

รายละเอียดของโครงการ

ผู้ว่าจ้าง	สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง
ผู้รับจ้าง	บริษัท ชีทาเดล จำกัด และ บริษัท เอสโคนา เอ็ม จำกัด
เลขที่สัญญา	สจ.3/2560 ลงวันที่ 8 พฤศจิกายน 2559
วันเริ่มโครงการ	วันที่ 9 พฤศจิกายน 2559
วันสิ้นสุดโครงการ	วันที่ 3 พฤศจิกายน 2560
ระยะเวลาดำเนินงาน	360 วัน

คณะกรรมการกำกับโครงการ

1. ดร. พันธุ์ศักดิ์ สัตยเทวา	ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาทาง	ประธานกรรมการ
2. นายชลเลิศ เลิศขวนะกุล	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ	กรรมการ
3. นายอนุสรณ์ เอี่ยมวงศ์	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	กรรมการ
4. ดร. นิพนธ์ ใหญ่อรุณ	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	กรรมการ
5. นายวิศิษฐ์ศักดิ์ หนูสุวรรณ	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	กรรมการ
6. ดร. สุกิจ ยินดีสุข	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	กรรมการ
7. นายนพพล พรหมจริย	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	กรรมการ
8. นายจุติชัย อมรประสิทธิ์ผล	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	กรรมการ
9. ดร. ราชวัลลภ กัมพูพงศ์	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	กรรมการและวิศวกรกำกับ โครงการ

บุคลากรของที่ปรึกษา

1. นายจิต พงศ์พิสันต์รัตน์	ผู้จัดการ โครงการ
3. รศ.ดร. อาณัติ เรืองรัมย์	วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านการทดสอบโครงสร้าง
4. ผศ.ดร. กิตติภูมิ รอดสิน	วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์โครงสร้าง
5. นายภูวิศร อ้อแสงชัย	วิศวกรผู้ช่วยด้านการทดสอบโครงสร้าง
6. นายรัชพงษ์ อำพันสุข	วิศวกรผู้ช่วยด้านการวิเคราะห์โครงสร้าง
7. นายภาณุ บัวทอง	เลขานุการ

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของตอม่อสะพานประเภทเสาเรียงของกรมทางหลวง โดยอาศัยการทดสอบขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ และการวิเคราะห์ทางสถิติ ตอม่อเสาเรียงที่พิจารณาแบ่งออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ตอม่อตามแบบมาตรฐานของสำนักสำรวจและออกแบบ ปี 1994 ซึ่งเป็นชุดที่ไม่ได้รับการออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหว ชุดที่ 2 ตอม่อตามแบบมาตรฐานของสำนักสำรวจและออกแบบ ปี 2015 ซึ่งเป็นชุดที่ได้รับการออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหวตามข้อกำหนดของมาตรฐาน AASHTO ปี 2012 และชุดที่ 3 ตอม่อตามที่ได้ปรับปรุงการออกแบบในการศึกษารุ่นนี้ โดยยึดรูปแบบตอม่อชุดที่ 2 เป็นเกณฑ์ แต่ได้ปรับปรุงรายละเอียดการก่อสร้าง ให้ตอม่อมีพฤติกรรมการรับแรงที่พึงประสงค์มากขึ้น ในลักษณะของเสาแข็งแรงคานอ่อน (Strong Column Weak Beam) ในแต่ละชุดพิจารณาจำนวนเสาเรียงต่อตอม่อตั้งแต่ 4 ถึง 9 ต้น จำนวน 24 รูปแบบ การวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของตอม่อทั้ง 3 ชุด ภายใต้แรงแผ่นดินไหวทั้งในทิศทางขวางกับสะพานและในทิศทางตามแนวสะพาน ชี้ชัดว่า ตอม่อชุดที่ 2 และ ตอม่อชุดที่ 3 มีกำลังต้านทานแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทางสูงกว่าตอม่อชุดที่ 1 เป็นอย่างมาก ตอม่อชุดที่ 3 มีความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทางใกล้เคียงกันกับตอม่อชุดที่ 2 โดยตอม่อชุดที่ 3 เกิดการความเสียหายที่คานยึดครั้งแรก เป็นพฤติกรรมแบบเหนียว ในลักษณะของ Strong Column Weak Beam ในขณะที่ตอม่อชุดที่ 2 เกิดการความเสียหายที่รอยต่อระหว่างคานยึดครั้งแรกกับเสาเรียง เป็นพฤติกรรมแบบเปราะ ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ได้รับการตรวจสอบโดยการทดสอบตอม่อเสาเรียง จำนวนเสาเรียง 4 ต้น ขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ทางสถิติในรูปแบบเส้นโค้งแตกร้าว (Fragility Curve) โดยพิจารณาค่าความเร่งผิวดินสูงสุด ในพื้นที่จังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวรุนแรงของประเทศ แสดงให้เห็นว่า ตอม่อชุดที่ 1 ทั้ง 24 รูปแบบมีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายไปจนถึงขั้นวิบัติจากแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทาง แตกต่างกันไป และในหลายรูปแบบมีโอกาสเกินกว่าร้อยละ 50 ที่จะเกิดการวิบัติจากแผ่นดินไหวขนาดรอบการเกิด 475 ปี (โอกาสเกิดร้อยละ 10 ใน 50 ปี) โดยตอม่อมีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายไปจนถึงขั้นวิบัติจากแผ่นดินไหวในทิศทางตามแนวสะพานสูงกว่าแผ่นดินไหวในทิศทางขวางกับสะพาน ในขณะที่ตอม่อชุดที่ 2 และตอม่อชุดที่ 3 ทั้ง 24 รูปแบบ จะไม่เกิดการวิบัติจากแผ่นดินไหวขนาดรอบการเกิด 2500 ปี ซึ่งเป็นขนาดแผ่นดินไหวออกแบบตามมาตรฐาน AASHTO การวิเคราะห์ความเสี่ยง แสดงให้เห็นว่า ตอม่อชุดที่ 2 มีความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายจนถึงขั้นวิบัติในแต่ละปี ลดลงเกือบเท่าตัวไปจนถึงไม่มีความเสี่ยงเมื่อเทียบกับความเสี่ยงของตอม่อชุดที่ 1 ในขณะที่ค่าก่อสร้างตอม่อชุดที่ 2 มีราคาสูงกว่าค่าก่อสร้างตอม่อชุดที่ 1 ไม่มาก ดังนั้นการปรับเปลี่ยนแบบมาตรฐานการก่อสร้างตอม่อสะพานประเภทเสาเรียงจากตอม่อชุดที่ 1 ปี 1994 มาเป็นตอม่อชุดที่ 2 แบบมาตรฐานปี 2015 จึงมีความคุ้มค่า นอกจากนี้ ความเสี่ยงและค่าก่อสร้างตอม่อชุดที่ 2 และ ตอม่อชุดที่ 3 มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย การศึกษารุ่นนี้จึงแนะนำให้ใช้แบบก่อสร้างตอม่อชุดที่ 3 ตามที่ได้ออกแบบปรับปรุงในการศึกษารุ่นนี้ เนื่องจากพฤติกรรมการรับแรงของตอม่อตามที่ได้ออกแบบปรับปรุงมีลักษณะที่พึงประสงค์มากกว่าตอม่อชุดที่ 2 ตามแบบมาตรฐานใหม่ปี 2015

Abstract

Evaluation of seismic resistance of multiple-column bent piers was conducted in this study by full-scale laboratory tests, finite element analysis, and statistical analysis. Three categories of multiple-column bent pier were considered. Category 1: multiple-column bent piers designed in accordance with 1994-Standard Drawings (no consideration of seismic forces). Category 2: multiple-column bent piers designed in accordance with 2015-Standard Drawings (consideration of seismic forces stated in AASHTO 2012). Category 3: multiple-column bent piers proposed in this study. The proposed designed piers were based on the 2015-piers with some modification in order to achieve the most desirable structural behavior under load- the so called strong column weak beam behavior. Four to nine columns per pier were considered. In total, twenty four multiple-column bent piers were evaluated for each category. Finite element analysis of the three categories indicated that piers in Category 2 and Category 3 had much higher seismic resistance than piers in Category 1 in both transverse and longitudinal directions. Piers in Category 2 and Category 3 had a comparable seismic resistance. Damages of piers in Category 3 occurred in the horizontal braced beam. This showed the ductile behavior in the form of strong column weak beam. In contrary, piers in Category 2 showed the brittle behavior. Damages occurred at joints connecting columns and horizontal braced beam. Analysis results were verified by the full-scale laboratory tests of the four-column bent pier. Statistical analysis in terms of fragility curves considering peak ground acceleration in Prae (high seismic hazard area) revealed that 24 piers in Category 1 had different probabilities of being damaged and collapsed. Many piers in Category 1 had probabilities of being collapsed under the scenario of 475-year return period earthquake (10% chance of being occurred in 50 years) greater than 50%. Piers were more susceptible to be damaged in longitudinal direction than in the transverse direction. All 24 piers in each of the Category 2 and the Category 3; however, were not collapsed under the scenario of 2500-year return period earthquake (AASHTO's design earthquake). Risk of being damaged or collapsed of piers in Category 2 dramatically decreased as compared with the risk of being damaged or collapsed of piers in Category 1 whereas the construction cost of piers in Category 2 was slightly increased. This indicated that alteration of standard drawings of multiple-column bent piers from 1994-drawings to 2015-drawing was sensible. In as much, the risk of being damaged or collapsed and the construction cost of piers in Category 2 and those in Category 3 were slightly different. It is therefore recommended to construct the new multiple-column bent pier in high seismic hazard area with the proposed designed drawings as they provide the most desirable strong column weak beam behavior.

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

เหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.3 ริกเตอร์ ที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 แสดงให้เห็นชัดเจนว่า แผ่นดินไหวขนาดปานกลางถึงรุนแรงในประเทศไทย ไม่ใช่เรื่องไกลตัวอีกต่อไป หลายหน่วยงานต่างตื่นตัว เพื่อเตรียมการรับมือกับภัยพิบัติแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นอีกในอนาคต ในส่วนของกรมทางหลวง สำนักสำรวจและออกแบบ ได้จัดทำแนวทางการออกแบบและแบบมาตรฐานก่อสร้างสะพาน ที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวให้มีความถูกต้อง เหมาะสม และทันสมัย ดังนั้น เพื่อเป็นการสนับสนุนการทำงานของสำนักสำรวจและออกแบบ ให้การปรับปรุงแบบมาตรฐาน มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น สำนักวิจัยและพัฒนาทาง จึงได้ดำเนินโครงการวิจัยนี้ขึ้น เพื่อประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรรมทางหลวง ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง โดยจำกัดขอบเขตของการศึกษาวิจัยอยู่ที่การประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของตอม่อเสาเรียงที่ใช้กับสะพานกรรมทางหลวงช่วงสั้น

การประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของตอม่อเสาเรียง ดำเนินการโดยการทดสอบโครงสร้างขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และการวิเคราะห์ทางสถิติ ตอม่อเสาเรียงที่พิจารณาแบ่งออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ตอม่อตามแบบมาตรฐานของสำนักสำรวจและออกแบบ ปี 1994 ซึ่งเป็นชุดที่ไม่ได้รับการออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหว ลักษณะทางโครงสร้างที่เด่นชัด คือ เสาสองต้นริมอยู่ในแนวเอียง เสาต้นกลางอยู่ในแนวตรง มีปารองรับคานยึดรั้งกับเสาเรียง ชุดที่ 2 ตอม่อตามแบบมาตรฐานของสำนักสำรวจและออกแบบ ปี 2015 ซึ่งเป็นชุดที่ได้รับการออกแบบให้ต้านทานแผ่นดินไหวตามข้อกำหนดของมาตรฐาน AASHTO ปี 2012 ลักษณะทางโครงสร้างที่เด่นชัด คือ เสาทุกต้นอยู่ในแนวตรง ไม่มีปารองรับคานยึดรั้งกับเสาเรียง เพิ่มปริมาณเหล็กเสริมเอกและเหล็กปลอกทั้งในเสาเรียงและคานยึดรั้ง ขึ้นจากตอม่อชุดที่ 1 และชุดที่ 3 ตอม่อตามที่ได้ปรับปรุงการออกแบบในการศึกษารุ่นนี้ โดยยึดรูปแบบตอม่อชุดที่ 2 เป็นเกณฑ์ แต่ได้ปรับปรุงรายละเอียดการก่อสร้าง ให้ตอม่อมีพฤติกรรมการรับแรงที่พึงประสงค์มากขึ้น ในลักษณะของเสาแข็งแรงคานอ่อน (Strong Column Weak Beam) โดยการปรับลดขนาดคานยึดรั้งและปริมาณเหล็กเสริมเอกในคานยึดรั้ง ปรับลดปริมาณเหล็กปลอกทั้งในคานยึดรั้งและเสาเรียง ในแต่ละชุดพิจารณาจำนวนเสาเรียงต่อตอม่อตั้งแต่ 4 ถึง 9 ต้น จำนวน 24 รูปแบบ

การวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของตอม่อทั้ง 3 ชุด ภายใต้อิทธิพลของแรงแผ่นดินไหวทั้งในทิศทางขวางกับสะพานและในทิศทางตามแนวสะพาน ชี้ชัดว่า ตอม่อชุดที่ 2 และ ตอม่อชุดที่ 3 มีกำลังต้านทานแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทางสูงกว่าตอม่อชุดที่ 1 เป็นอย่างมาก ตอม่อชุดที่ 3 มีความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทางใกล้เคียงกันกับตอม่อชุดที่ 2 โดยตอม่อชุดที่ 3 เกิดการความเสียหายที่คานยึดรั้ง เป็นพฤติกรรมแบบเหนียว ในลักษณะของ Strong Column Weak Beam ในขณะที่ตอม่อชุดที่ 2 เกิดการความเสียหายที่รอยต่อระหว่างคานยึดรั้งกับเสาเรียง เป็นพฤติกรรมแบบเปราะ ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้รับการตรวจสอบโดยการทดสอบตอม่อเสาเรียงจำนวนเสาเรียง 4 ต้น ขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ทางสถิติในรูปแบบเส้นโค้งแตกร้าว (Fragility Curve) โดยพิจารณาค่าความเร่งผิวดินสูงสุด ในพื้นที่จังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวรุนแรงของประเทศ แสดงให้เห็นว่า ตอม่อชุดที่ 1 ทั้ง 24 รูปแบบมีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายไปจนถึงขั้นวิบัติจากแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทาง แตกต่างกันไป และในหลายรูปแบบมีโอกาสเกินกว่าร้อยละ 50 ที่จะเกิดการวิบัติจากแผ่นดินไหวขนาดรอบการเกิด 475 ปี (โอกาสเกิดร้อยละ 10 ใน 50 ปี) โดยตอม่อมีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายไปจนถึงขั้นวิบัติจากแผ่นดินไหวในทิศทางตามแนวสะพานสูงกว่าแผ่นดินไหว

ในทิศทางขวางกับสะพาน ในขณะที่ตอม่อชุดที่ 2 และตอม่อชุดที่ 3 ทั้ง 24 รูปแบบ จะไม่เกิดการวิบัติจากแผ่นดินไหว ขนาดรอบการเกิด 2500 ปี ซึ่งเป็นขนาดแผ่นดินไหวออกแบบตามมาตรฐาน AASHTO

การวิเคราะห์ความเสี่ยง แสดงให้เห็นว่า ตอม่อชุดที่ 2 มีความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายจนถึงขั้นวิบัติในแต่ละปี ลดลงเกือบเท่าตัวไปจนถึงไม่มีความเสี่ยงเมื่อเทียบกับความเสี่ยงของตอม่อชุดที่ 1 ในขณะที่ค่าก่อสร้างตอม่อชุดที่ 2 มีราคาสูงกว่าค่าก่อสร้างตอม่อชุดที่ 1 ไม่มาก ดังนั้น การปรับเปลี่ยนแบบมาตรฐานการก่อสร้างตอม่อสะพานประเภทเสาเรียงจากตอม่อชุดที่ 1 ปี 1994 มาเป็นตอม่อชุดที่ 2 แบบมาตรฐานปี 2015 จึงมีความคุ้มค่า นอกจากนี้ ความเสี่ยงและค่าก่อสร้างตอม่อชุดที่ 2 และ ตอม่อชุดที่ 3 มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการปรับเปลี่ยนแบบมาตรฐานการก่อสร้างตอม่อสะพานประเภทเสาเรียงจากตอม่อชุดที่ 2 ปี 2015 มาเป็นตอม่อชุดที่ 3 ตามที่ได้ออกแบบปรับปรุงในโครงการนี้ เนื่องจากพฤติกรรมการรับแรงมีลักษณะที่พึงประสงค์มากกว่า

ข้อเสนอแนะสำหรับสำนักสำรวจและออกแบบ มีดังนี้

- 1) ตอม่อเสาเรียงที่จะก่อสร้างใหม่ในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวรุนแรงของประเทศ แนะนำให้ใช้แบบก่อสร้างตามที่ได้ปรับปรุงในการศึกษาครั้งนี้ รายละเอียดดูในบทที่ 5
- 2) ตอม่อเสาเรียงที่ได้ก่อสร้างไปแล้วตามแบบมาตรฐานปี 2015 ไม่มีความจำเป็นต้องดำเนินการใดๆ
- 3) ตอม่อเสาเรียงที่ได้ก่อสร้างไปแล้วตามแบบมาตรฐานปี 1994 ให้ทำการเสริมกำลังตามข้อเสนอแนะในรายงานขั้นสุดท้าย “โครงการปรับปรุงและเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวของโครงสร้างส่วนล่างของสะพานกรรมทางหลวงช่วงสั้น” ของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง ปี 2557

Executive Summary Report

The incident of the ground shaking on May 5, 2014 or the so-called 2014-Chiang Rai Earthquake confirms the geological evidence, which has previously been ignored by most engineers, that earthquakes of considerable magnitudes 6 to 7 Richter can be occurred within the country. This promptly stimulates authorized agencies to pay more attention on the safety of their assets and promotes the comprehensive review of seismic resistance design of their building structures. In response to this expected situation, Thailand Department of Highways (DOH) has set up a team to revise the standard practices for the seismic resistance design of highway bridges in Thailand. In addition, DOH has also funded this research project '*Seismic Resistance Evaluation of Pre- and Post- Design Modifications of DOH's Bridges*' with the scope of full scale tests of multiple-column piers under reversed cyclic static loadings for both longitudinal and transverse directions and computer simulations to evaluate their seismic performance.

Evaluation of seismic resistance of multiple-column bent piers was conducted in this study by full-scale laboratory tests, finite element analysis, and statistical analysis. Three categories of multiple-column bent pier were considered. Category 1: multiple-column bent piers designed in accordance with 1994-Standard Drawings (no consideration of seismic forces). Category 2: multiple-column bent piers designed in accordance with 2015-Standard Drawings (consideration of seismic forces stated in AASHTO 2012). Category 3: multiple-column bent piers proposed in this study. The proposed designed piers were based on the 2015-piers with some modification in order to achieve the most desirable structural behavior under load- the so called strong column weak beam behavior. Four to nine columns per pier were considered. In total, twenty four multiple-column bent piers were evaluated for each category.

Finite element analysis of the three categories indicated that piers in Category 2 and Category 3 had much higher seismic resistance than piers in Category 1 in both transverse and longitudinal directions. Piers in Category 2 and Category 3 had a comparable seismic resistance. Damages of piers in Category 3 occurred in the horizontal braced beam. This showed the ductile behavior in the form of strong column weak beam. In contrary, piers in Category 2 showed the brittle behavior. Damages occurred at joints connecting columns and horizontal braced beam. Analysis results were verified by the full-scale laboratory tests of the four-column bent pier.

Statistical analysis in terms of fragility curves considering peak ground acceleration in Prae (high seismic hazard area) revealed that 24 piers in Category 1 had different probabilities of being damaged and collapsed. Many piers in Category 1 had probabilities of being collapsed under the scenario of 475-year return period earthquake (10% chance of being occurred in 50 years) greater than 50%. Piers were more susceptible to be damaged in longitudinal direction than in the transverse direction. All 24 piers in each of the Category 2 and the Category 3; however, were not collapsed under the scenario of 2500-year return period earthquake (AASHTO's design earthquake).

Risk of being damaged or collapsed of piers in Category 2 dramatically decreased as compared with the risk of being damaged or collapsed of piers in Category 1 whereas the construction cost of piers in Category 2 was

slightly increased. This indicated that alteration of standard drawings of multiple-column bent piers from 1994-drawings to 2015-drawing was sensible. In as much, the risk of being damaged or collapsed and the construction cost of piers in Category 2 and those in Category 3 were slightly different. It is therefore encouraged to construct the new multiple-column bent piers in high seismic hazard area with the proposed designed drawings as they provide the most desirable strong column weak beam behavior.

Recommendations for Bureau of Locations and Design are as follows:

- 1) For the construction of new multiple-column bent piers in high seismic hazard area, it is recommended to use the proposed designed drawings. Details are shown in Chapter 5.
- 2) For the existing multiple-column bent piers designed in accordance with the 2015 drawings, no further actions are required.
- 3) For the existing multiple-column bent piers designed in accordance with the 1994 drawings, it is recommended to strengthen the piers by the method recommended by Bureau of Road Research and Development which is presented in the final report under the project '*Seismic Retrofitting for Substructures of Short-Span Bridges (2014)*'.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	iii
Executive Summary	v
สารบัญ	vii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1. ที่มาและความสำคัญ	1-1
1.2. วัตถุประสงค์	1-2
1.3. ขอบเขตของงาน	1-3
บทที่ 2 การทดสอบส่วนของโครงสร้าง ก่อนปรับปรุงแบบ	
2.1. ส่วนของโครงสร้างที่ 1 : โครงสร้างเสา	2-1
2.2. ส่วนของโครงสร้างที่ 2 : รอยต่อระหว่างเสากับคานขวาง	2-26
2.3. ส่วนของโครงสร้างที่ 3 : รอยต่อระหว่างคานรัดหัวเสากับคานสะพาน	2-49
บทที่ 3 การปรับปรุงแบบก่อสร้างต่อม่อทดสอบ	
3.1. แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์สำหรับส่วนของโครงสร้างก่อนการปรับปรุงแบบ และการปรับแก้แบบจำลอง	3-1
3.2. การปรับปรุงรูปแบบของตอม่อสะพานประเภทเสาเรียง	3-25
3.3. รูปแบบส่วนของโครงสร้างเพื่อการปรับปรุงแบบ	3-26
บทที่ 4 การทดสอบตอม่อ หลังการปรับปรุงแบบ	
4.1. ส่วนของโครงสร้างที่ 1 : แผ่นยางรองสะพาน	4-1
4.2. ส่วนของโครงสร้างที่ 2 : เหล็กเดือย	4-8
4.3. ส่วนของโครงสร้างที่ 3 : เสา	4-15
4.4. ส่วนของโครงสร้างที่ 4 : รอยต่อระหว่างเสากับคานขวาง	4-31
4.5. การทดสอบตอม่อสะพาน	4-45

สารบัญ (ต่อ)

viii

บทที่ 5 การปรับปรุงตอม่อสะพาน ประเภทเสาเรียง

5.1. ตอม่อสะพานตามแบบก่อสร้างกรรมทางหลวงเดิมปี 1994 (พ.ศ. 2537) และ แบบก่อสร้างฉบับใหม่ปี 2015 (พ.ศ. 2558)	5-1
5.2. แนวความคิดการออกแบบเพื่อปรับปรุงตอม่อสะพาน	5-11
5.3. ผลการวิเคราะห์ 2D Finite Element Analysis โดยใช้ Program ATENA เปรียบเทียบกับ ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	5-18
5.4. โครงสร้างตอม่อสะพานขนาดเท่าจริง ภายหลังจากปรับปรุงแบบ	5-39
5.5. การจำลองพฤติกรรมของตอม่อสะพานโดยใช้แบบจำลองแบบ 1D Nonlinear FEA	5-42

บทที่ 6 การวิเคราะห์ Nonlinear Pushover ของตอม่อสะพาน

6.1. รูปแบบตอม่อสะพานสำหรับการวิเคราะห์	6-1
6.2. ผลการวิเคราะห์ตอม่อสะพานรูปแบบต่างๆ ด้วยวิธี Pushover	6-8

บทที่ 7 การประเมินความสามารถของตอม่อสะพานในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว

7.1. การสร้างเส้นโค้งแตกร้าว (Fragility Curves)	7-1
7.2. ค่าสัมประสิทธิ์ของสเปกตรัมความเร่ง	7-3
7.2. เส้นโค้งแตกร้าว (Fragility Curves)	7-4

บทที่ 8 การประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อสะพานจากแรงแผ่นดินไหว

8.1. แนวทางการประเมินความเสี่ยง	8-1
8.2. ราคาซ่อมแซมและก่อสร้างตอม่อสะพาน	8-1
8.3. ผลการประเมินความเสี่ยง	8-2

บทที่ 9 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก แบบปรับปรุงตอม่อสะพานที่เสนอในโครงการนี้

ภาคผนวก ข การถ่ายทอดความรู้

บทที่ 1 บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

ในอดีตที่ผ่านมาการรับรู้เกี่ยวกับแผ่นดินไหวในประเทศไทยมักมาจากจุดกำเนิดระยะไกลนอกประเทศ ซึ่งกำลังของคลื่นแผ่นดินไหวเมื่อมาถึงประเทศไทยจะถูกลดทอนลงอย่างมาก จนไม่ได้สร้างความเสียหายหรือการวิบัติต่อสะพาน แต่จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.3 ริคเตอร์ ที่อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 เป็นที่ประจักษ์ชัดแล้วว่า แผ่นดินไหวขนาดปานกลางถึงรุนแรงสามารถเกิดขึ้นได้จากจุดกำเนิดในประเทศ สร้างความเสียหายอย่างมากให้กับบ้านเรือน วัด และ โรงเรียน ในส่วนของสะพาน สะพานโดยทั่วไปจะมีข้อได้เปรียบกว่าโครงสร้างบ้าน วัด และ โรงเรียน ตรงที่โครงสร้างสะพานส่วนใหญ่จะเป็นโครงสร้างที่สมมาตรมากกว่า เมื่อเกิดการสั่นไหวแรงมักจะกระจายไปทั่วไม่มีการกักเก็บของแรง ทำให้สะพานโดยทั่วไปเสียหายน้อยกว่า แผ่นดินไหวครั้งนี้ สะพานกรรมทางหลวงเสียหายไม่มากจากการกระแทกกันระหว่างคันสะพานและคันรัดหัวเสาของสะพานข้ามแม่น้ำลาว แต่อย่างไรก็ตาม หากแผ่นดินไหวมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งโดยทั่วไประยะเวลาการสั่นไหวก็จะนานขึ้นด้วย โอกาสที่สะพานจะเสียหายหรือวิบัติก็จะมากขึ้น หลักฐานทางธรณีวิทยา รวมทั้งความเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านแผ่นดินไหวต่างชี้ว่า แผ่นดินไหวขนาดรุนแรงถึง 7.0 ริคเตอร์ สามารถเกิดขึ้นได้ในบริเวณภาคเหนือ และภาคตะวันตกของประเทศ ในอนาคตอันใกล้ และถ้าหากเกิดขึ้นจริงก็มีความเป็นไปได้สูงที่สะพานกรรมทางหลวงจะได้รับความเสียหาย

กรมทางหลวงตระหนักดีถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ หากสะพานกรรมทางหลวงได้รับความเสียหายจนถึงขั้นวิบัติจากเหตุแผ่นดินไหว และเพื่อให้เป็นไปตามนโยบายของกระทรวงคมนาคม ในการกำหนดแนวทาง และหลักเกณฑ์การออกแบบถนนและสะพานที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวให้มีความถูกต้อง เหมาะสม ทันสมัย เป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกหน่วยงาน กรมทางหลวงในฐานะหน่วยงานผู้รับผิดชอบหลักจึงแต่งตั้งคณะกรรมการซึ่งประกอบด้วย วิศวกรและนักวิจัยของกรมทางหลวง ผู้แทนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้เชี่ยวชาญจากสถาบันการศึกษา เพื่อปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างถนนและสะพานต้านทานแรงแผ่นดินไหว อนึ่ง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างสะพาน การที่จะปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างสะพานต้านทานแรงแผ่นดินไหวให้มีประสิทธิภาพได้นั้น นอกจากจะต้องทำการทบทวนมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างสะพานภายใต้แรงกระทำเสมือนแผ่นดินไหวที่หน่วยงานต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศใช้อยู่ในปัจจุบันแล้ว การทดสอบสะพานภายใต้แรงกระทำเสมือนแผ่นดินไหวในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาพฤติกรรมของสะพานในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ทำการทดสอบสะพานกรรมทางหลวงภายใต้แรงกระทำเสมือนแผ่นดินไหวในห้องปฏิบัติการ โดยจะมุ่งเน้นไปที่การทดสอบตอม่อประเภทเสาเรียง (Pile Bent) ของสะพานกรรมทางหลวงที่มีความยาวช่วงสั้น ทั้งนี้ เนื่องจากผลการวิจัยที่ผ่านมาของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง พบว่า ตอม่อประเภทเสาเรียงที่ออกแบบและก่อสร้างตามแบบมาตรฐานของสำนักสำรวจและออกแบบปี 2537 มีพฤติกรรมแบบเปราะเมื่อรับแรงแผ่นดินไหว สาเหตุหลักมาจากการยึดรั้งเสาเรียงเข้าด้วยกันโดยคานขวาง อนึ่ง การยึดรั้งเสาเรียงเข้าด้วยกันโดยคานขวางเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้ เนื่องจากคานขวางสามารถช่วยป้องกันการโก่งคดของเสาเรียงเนื่องจากน้ำหนักกระทำในแนวดิ่ง ทั้งจากน้ำหนักคานและพื้นสะพาน และน้ำหนักบรรทุกทุก การปรับปรุงรายละเอียดการยึดรั้งเสาเรียง

เข้ากับคานขวาง เพื่อให้พฤติกรรมของตอม่อมีความเหนียวเพิ่มขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการที่จะทำให้ตอม่อประเภทเสาเรียงมีความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวที่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงพฤติกรรมตามที่ได้กล่าวเป็นแต่เพียงการปรับปรุงพฤติกรรมของตอม่อในทิศทางขวางกับแนวสะพานเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้ตอม่อมีพฤติกรรมโดยรวมดีขึ้น งานวิจัยนี้ยังครอบคลุมถึงการศึกษากฎการรับแรงแผ่นดินไหวของตอม่อประเภทเสาเรียงในทิศทางตามแนวสะพานด้วย โดยจะพิจารณาทั้งในส่วนของการวิเคราะห์ของเสาเรียง และรายละเอียดการยึดรั้งคานสะพานกับคานรัดหัวเสา พร้อมทั้งการปรับปรุงรายละเอียดดังกล่าวในกรณีที่มีความจำเป็น

การทดสอบตอม่อประเภทเสาเรียงจะดำเนินการทั้งก่อนการปรับปรุงแบบ (ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานของสำนักสำรวจและออกแบบปี 2537) และหลังการปรับปรุงแบบ โดยผลการทดสอบฯ ก่อนการปรับปรุงแบบจะถูกนำมาวิเคราะห์ร่วมกับแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงแบบก่อสร้างให้ตอม่อสามารถรองรับแรงแผ่นดินไหวได้ตามข้อกำหนดที่ระบุในมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างถนนและสะพานต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสำนักสำรวจและออกแบบ และจะทำการทดสอบตอม่อตามแบบที่ได้ปรับปรุงใหม่เพื่อยืนยันผลการออกแบบ จากนั้นจะทำการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของตอม่อประเภทเสาเรียงที่มีจำนวนเสาเรียงต่อตอม่อต่างๆ กัน ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง ด้วยวิธี Nonlinear Pushover Analysis และเพื่อให้สะท้อนสภาพความเป็นจริง การประเมินจะพิจารณาการผันแปรของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของตอม่อประเภทเสาเรียงด้วย โดยจะนำเสนอผลการประเมินในรูปของ Fragility Curves ซึ่งเป็นเส้นโค้งที่แสดงถึงความเสี่ยงที่จะเป็นที่ตอม่อจะเกิดความเสียหายเกินกว่าระดับที่กำหนด ที่ค่าความเร่งผิวดินสูงสุดต่างๆ การประเมินเช่นนี้จะมีส่วนช่วยกรรมทางหลวงอย่างมากในการวางแผนปรับปรุงและก่อสร้างสะพานให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้งบประมาณที่มีอยู่จำกัดได้อย่างคุ้มค่า

1.2. วัตถุประสงค์

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

- 1) ปรับปรุงแบบก่อสร้างตอม่อสะพานประเภทเสาเรียงของสะพานกรรมทางหลวงที่มีความยาวช่วงสั้น ให้สามารถรองรับแรงแผ่นดินไหวได้ตามมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างถนนและสะพานต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสำนักสำรวจและออกแบบ
- 2) ประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของตอม่อสะพานประเภทเสาเรียงของสะพานกรรมทางหลวงที่มีความยาวช่วงสั้น ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง

1.3. ขอบเขตของงาน

งานวิจัยนี้กรมทางหลวงเป็นผู้วิจัยหลัก การดำเนินงานของที่ปรึกษาจะเป็นไปในลักษณะร่วมกับสำนักวิจัยและพัฒนาทางเพื่อให้งานออกมามีคุณภาพและตรงกับวัตถุประสงค์ในการศึกษา โดยมีขอบเขตของงานดังต่อไปนี้

1.3.1. การทดสอบก่อนการปรับปรุงแบบ

ในการทดสอบก่อนประเภทเสาเรียงก่อนการปรับปรุงแบบ ที่ปรึกษาจะต้องทำการก่อสร้างและทดสอบส่วนของโครงสร้างดังนี้

- ส่วนของโครงสร้างบริเวณรอยต่อระหว่างเสาเรียงกับคานขวาง
- ส่วนของโครงสร้างเสาเรียง
- ส่วนของโครงสร้างบริเวณคานรัดหัวเสา

การก่อสร้างส่วนของโครงสร้างข้างต้นให้อ้างอิงแบบมาตรฐานของสำนักสำรวจและออกแบบปี 2537 ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำแบบก่อสร้าง และแบบติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดส่วนของโครงสร้างทั้งสาม รวมถึงแผนการดำเนินการก่อสร้างและทดสอบ เสนอต่อคณะกรรมการกำกับโครงการ เพื่อขอความเห็นชอบก่อนทำการก่อสร้างและทดสอบ โดยในการจัดทำแบบติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัด ให้พิจารณาติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดความเครียดและอุปกรณ์การตรวจวัดระยะการเคลื่อนที่ ตามตำแหน่งต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอที่สามารถนำไปศึกษาพฤติกรรมการรับแรงและรูปแบบการวิบัติ รวมถึงสามารถนำไปใช้ปรับแก้แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ในข้อที่ 1.3.2. โดยให้พิจารณาติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดความเครียดและอุปกรณ์การตรวจวัดระยะการเคลื่อนที่ รวมทั้งสามส่วนของโครงสร้างเป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 30 และ 14 ตัว ตามลำดับ

ในการทดสอบส่วนของโครงสร้างทั้งสามภายใต้แรงกระทำเสมือนแผ่นดินไหว ที่ปรึกษาจะต้องดำเนินการโดยอาศัยมาตรฐานและแนวทางที่อ้างอิงได้จากสถาบันหรือหน่วยงานที่มีชื่อเสียงและเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ และจะต้องจัดทำรายงานผลการทดสอบแสดงรายละเอียดพฤติกรรมการรับแรงและรูปแบบการวิบัติของส่วนของโครงสร้างทั้งสาม

1.3.2. การปรับปรุงแบบก่อสร้างก่อนทดสอบ

ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของส่วนของโครงสร้างทั้งสามตามที่ได้ทำการทดสอบในข้อที่ 1.3.1. โดยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ที่เลือกใช้จะต้องสามารถจำลองพฤติกรรมของคอนกรีตก่อนและหลังการแตกร้าวได้ ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์กับผลการทดสอบในข้อที่ 1.3.1. ทำการปรับแก้แบบจำลองในกรณีที่มีความจำเป็น จากนั้น นำแบบจำลองที่ปรับแก้แล้วไปทำการวิเคราะห์เพื่อออกแบบส่วนของโครงสร้างทั้งสามให้มีความเหนียวมากกว่าก่อนการปรับปรุงแบบ และอยู่ในข้อกำหนดของมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างถนนและสะพานต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสำนักสำรวจและออกแบบ นอกจากนี้ ที่ปรึกษา ยังจะต้องจัดทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของตอม่อประเภทเสาเรียง 4 ต้นทั้งตอม่อ ความสูงไม่น้อยกว่า 4 เมตร มีคานขวางยึดเสาเรียงเข้าด้วยกันที่ตำแหน่งกึ่งกลางเสา โดยอาศัยผลการออกแบบปรับปรุงส่วนของโครงสร้างทั้งสามประกอบ ทำการวิเคราะห์ภายใต้แรงกระทำเสมือนแผ่นดินไหวในทิศทางขวาง ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำรายงานการปรับปรุงแบบก่อสร้างก่อน โดยมียรายละเอียดดังนี้

- การจัดทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของส่วนของโครงสร้างทั้งสามก่อนการปรับปรุงแบบ
- การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของส่วนของโครงสร้างทั้งสามก่อนการปรับปรุงแบบกับผลการทดสอบ พร้อมผลการปรับแก้แบบจำลองในกรณีที่มีความจำเป็น
- ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ในการปรับปรุงแบบก่อสร้างส่วนของโครงสร้างทั้งสาม

- ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ในการปรับปรุงแบบก่อสร้างต่อม่อประเภทเสาเรียง 4 ต้น ความสูงไม่น้อยกว่า 4 เมตร มีคานขวางยึดเสาเรียงเข้าด้วยกันที่ตำแหน่งกึ่งกลางเสา
- แบบปรับปรุงการก่อสร้าง และแบบติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดส่วนของโครงสร้างทั้งสาม (จำนวนอุปกรณ์การตรวจวัดความเครียดและอุปกรณ์การตรวจวัดระยะการเคลื่อนที่ รวมทั้งสามส่วนของโครงสร้าง ไม่น้อยกว่า 30 และ 14 ตัว ตามลำดับ)
- แบบปรับปรุงการก่อสร้าง และแบบติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดต่อม่อประเภทเสาเรียง 4 ต้น ความสูงไม่น้อยกว่า 4 เมตร มีคานขวางยึดเสาเรียงเข้าด้วยกันที่ตำแหน่งกึ่งกลางเสา (จำนวนอุปกรณ์การตรวจวัดความเครียดและอุปกรณ์การตรวจวัดระยะการเคลื่อนที่ ไม่น้อยกว่า 60 และ 28 ตัว ตามลำดับ)

1.3.3. การทดสอบต่อม่อหลังการปรับปรุงแบบ

ที่ปรึกษาจะต้องทำการทดสอบส่วนของโครงสร้างและโครงสร้างทั้งหมดในข้อที่ 1.3.2. ตามที่ได้ออกแบบปรับปรุงและจัดทำแบบติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัด โดยให้ใช้รูปแบบการทดสอบเช่นเดียวกันกับการทดสอบก่อนการปรับปรุงแบบในข้อที่ 1.3.1.

ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำรายงานผลการทดสอบแสดงรายละเอียดพฤติกรรมการรับแรงและรูปแบบการวิบัติของส่วนของโครงสร้างและโครงสร้างทั้งหมดที่ทำการทดสอบ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ในข้อที่ 1.3.2. โดยให้ทำการปรับแก้แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ ในกรณีที่มีความจำเป็นด้วย

1.3.4. การปรับปรุงต่อม่อสะพานประเภทเสาเรียง

ที่ปรึกษาจะต้องนำผลการศึกษาในข้อที่ 1.3.3. มาประกอบกับการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ เพื่อทำปรับปรุงแบบก่อสร้างต่อม่อสะพานประเภทเสาเรียงจำนวน 4 ถึง 9 ต้นต่อตอม่อของสำนักสำรวจและออกแบบ (แบบมาตรฐานปี 2537) ให้มีความเหนียวมากกว่าก่อนการปรับปรุงแบบ และอยู่ในข้อกำหนดของมาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างถนนและสะพานต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสำนักสำรวจและออกแบบ ที่ปรึกษาจะต้องนำเสนอรายงานการปรับปรุงแบบต่อม่อแต่ละรูปแบบ พร้อมทั้งจัดทำแบบแนะนำการปรับปรุงแบบก่อสร้าง

1.3.5. การประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของตอม่อสะพานประเภทเสาเรียง

ที่ปรึกษาจะต้องทำการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของตอม่อประเภทเสาเรียงในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวรุนแรงของประเทศ ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง ตามที่ได้ทำการปรับปรุงในข้อที่ 1.3.4. ด้วยวิธี Nonlinear Pushover Analysis การประเมินให้พิจารณาการผันแปรของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของตอม่อประเภทเสาเรียงด้วย และให้นำเสนอผลการประเมินในรูปแบบของ Fragility Curves ซึ่งเป็นเส้นโค้งที่แสดงถึงความน่าจะเป็นที่ตอม่อจะเกิดความเสียหายเกินกว่าระดับที่กำหนด ที่ค่าความเร่งผิวดินสูงสุดต่างๆ โดยให้พิจารณาระดับความเสียหาย 2 ระดับ ได้แก่ ระดับความเสียหายที่ 1 เสียหายปานกลางถึงหนัก ความเสียหายสามารถซ่อมได้ และระดับความเสียหายที่ 2 เสียหายหนักถึงวิบัติ ไม่สามารถซ่อมได้ ต้องก่อสร้างใหม่ ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำรายงานการประเมิน พร้อมทั้งศึกษาความคุ้มค่าของงบประมาณในการซ่อมบำรุงหากเกิดแผ่นดินไหว

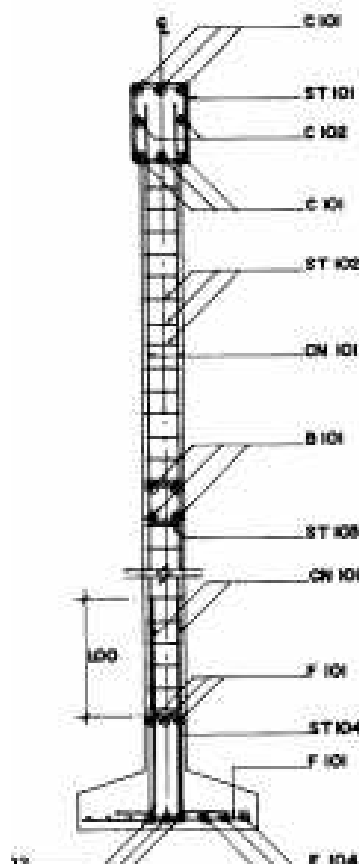
1.3.6. การถ่ายทอดความรู้

ที่ปรึกษาจะต้องถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการทดสอบและการวิเคราะห์ต่างๆ ให้กับวิศวกรของกรมทางหลวงอย่างน้อย 50 คน ณ สถานที่ภายนอกกรมทางหลวง โดยวิธีการและเนื้อหาของการถ่ายทอดให้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกรกำกับโครงการ

บทที่ 2 การทดสอบส่วนของโครงสร้าง ก่อนปรับปรุงแบบ

2.1. ส่วนของโครงสร้างที่ 1 : โครงสร้างเสา

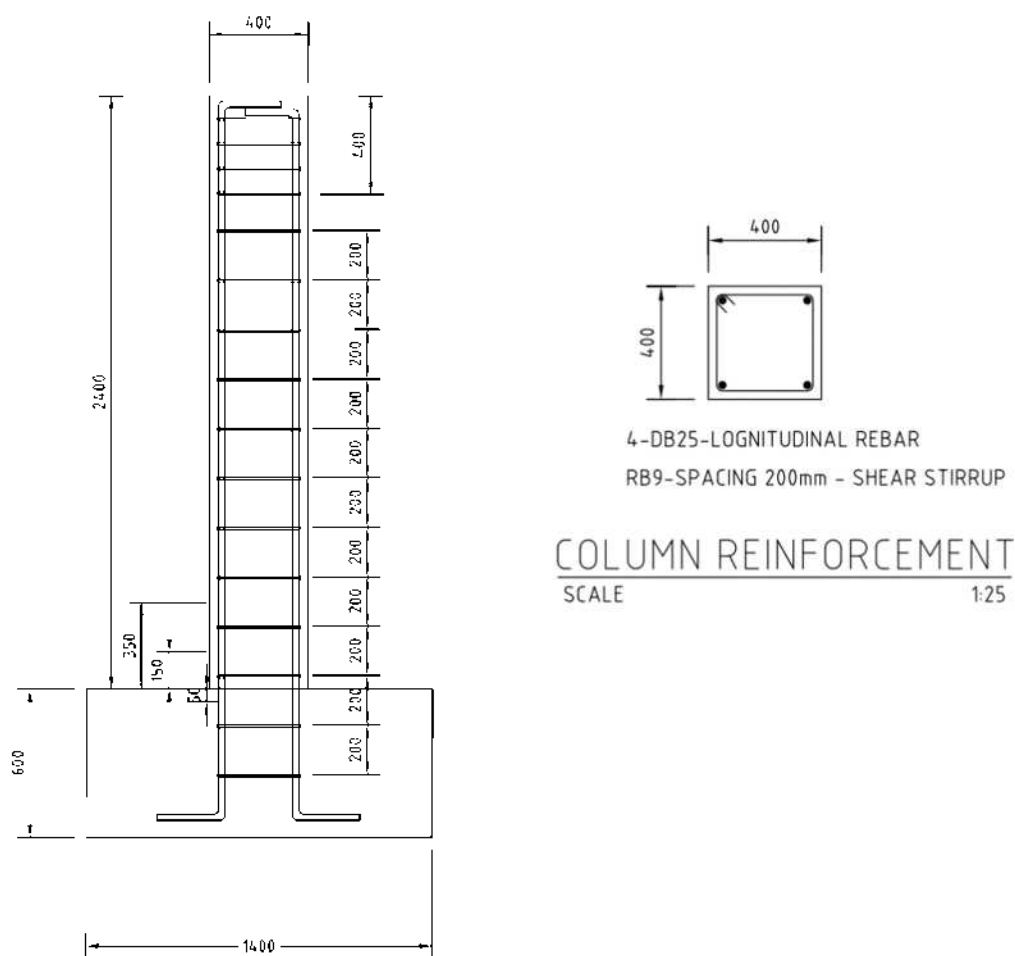
แบบก่อสร้างของเสาตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงปี 1994 (พ.ศ. 2537) แสดงในรูปที่ 2-1 ในการออกแบบเสาของสะพาน นอกจากจะต้องพิจารณาแรงจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) แล้ว จะต้องพิจารณาการรับแรงกระทำทางด้านข้างประเภทต่างๆ อาทิเช่น แรงน้ำ แรงลม นอกจากนี้ในพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว เสาจะต้องออกแบบให้มีความสามารถรับแรงแผ่นดินไหวอีกด้วย โดยเสาจะต้องมีปริมาณเหล็กเสริมที่เพียงพอ โดยเฉพาะเหล็กปลอกหรือเหล็กตามขวาง ซึ่งทำหน้าที่รับแรงเฉือน นอกจากนี้ยังช่วยโอברัดคอนกรีตให้โครงสร้างมีความเหนียว (Ductile) และป้องกันการโก่งเดาะของเหล็กขึ้น ขณะเกิดแผ่นดินไหว โดยการทดสอบจะจำลองการรับแรงของคอม่อในทิศทางตามแนวยาวของสะพาน ซึ่งเสาทุกต้นในโครงสร้างคอม่อจะมีพฤติกรรมเหมือนเสาเดี่ยวที่มีความสูงตั้งแต่ฐานรากถึงคานรัดหัวเสา (Cap Beam)



รูปที่ 2-1 แบบก่อสร้างเสาในทิศทางตามแนวยาวของสะพาน

2.1.1. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการศึกษาจะเตรียมตัวอย่างเสาขนาดเท่าของจริง (Full Scale) โดยที่เสามีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.4 เมตร x 0.4 เมตร มีความสูงเท่ากับ 2.40 เมตร และมีระดับความสูงถึงจุดศูนย์กลางของแรงกระทำเท่ากับ 2.20 เมตร เสามีเหล็กเสริมตามยาว 4 เส้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 25 มิลลิเมตร เป็นเหล็กเกรด SD40 (มอก.) และใช้เหล็กปลอกกรดรอบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 9 มิลลิเมตร เกรด SR24 (มอก.) และมีระยะเรียงระหว่างเหล็กปลอกเท่ากับ 20 เซนติเมตร ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างชิ้นงานนั้น ได้มีการกำหนดรายละเอียดการก่อสร้างตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงปี 1994 (พ.ศ. 2537) ดังแสดงในรูปที่ 2-2

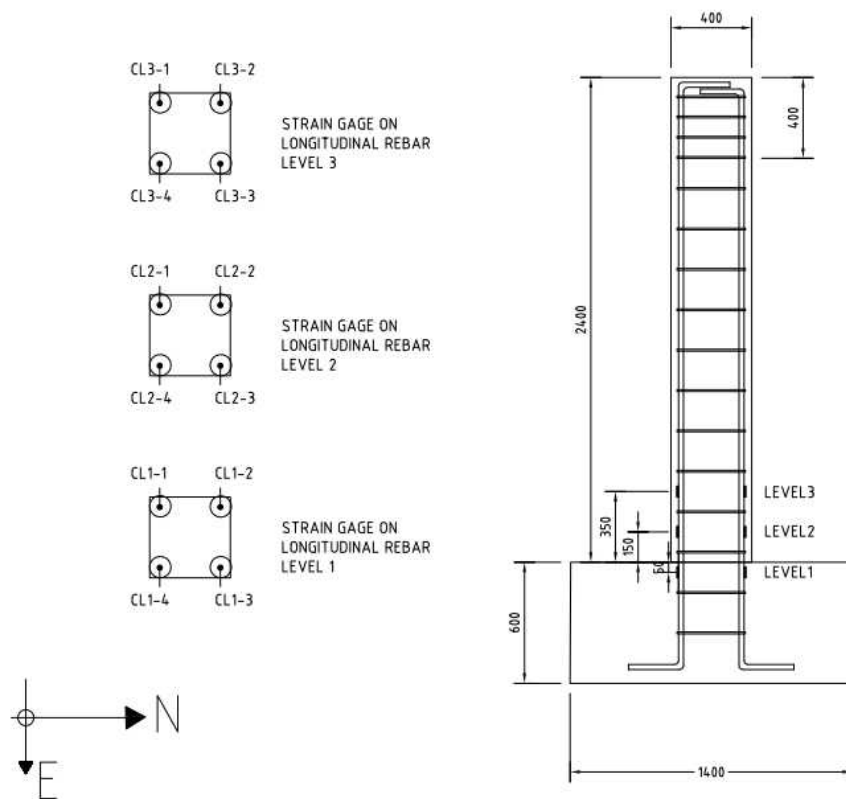


รูปที่ 2-2 แบบตัวอย่างทดสอบเสาสะพาน

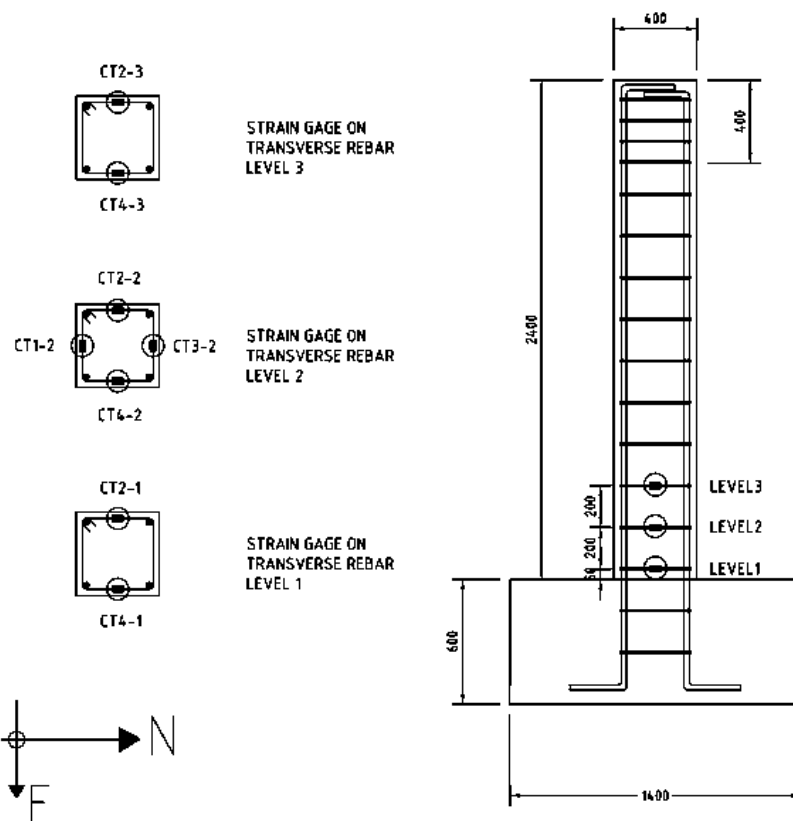


รูปที่ 2-3 ตัวอย่างทดสอบเสาสะพาน

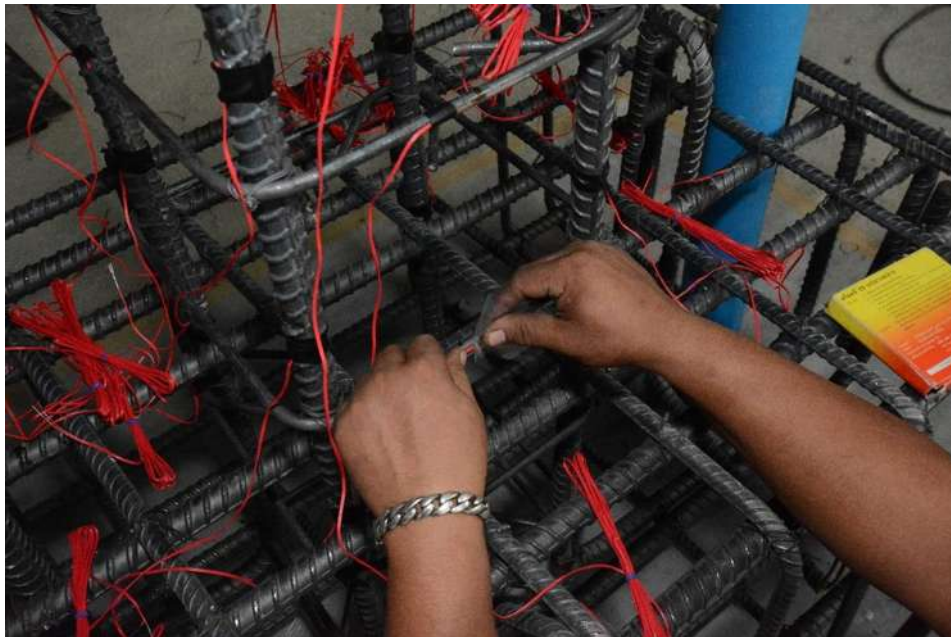
ในการติดตั้งแถวความเครียดนั้น จะทำการติดตั้งที่ผิวเหล็กตามยาว และเหล็กตามขวางของเสา โดยแบ่งเป็น ติดตั้งที่ผิวเหล็กชั้น 4 เส้น จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ ระดับใต้ผิวบนฐานราก 5 เซนติเมตร ระดับสูงจากผิวฐานราก 10 เซนติเมตร และระดับสูงจากผิวฐานราก 35 เซนติเมตร ในส่วนของแถวความเครียดที่ติดตั้งบนผิวเหล็กปลอกนั้น จะติดตั้งจำนวน 3 ระดับเช่นกัน ได้แก่ ระดับที่สูงจากผิวฐานราก 5 เซนติเมตร 25 เซนติเมตร และ 45 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยที่ระดับที่ 1 และระดับที่ 3 จะติดตั้งแถวความเครียดจำนวน 2 ตัว แต่ในส่วนระดับที่ 2 นั้น จะติดตั้งแถวความเครียดจำนวน 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2-4 ถึงรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-4 การติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมตามยาว



รูปที่ 2-5 การติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมตามขวาง



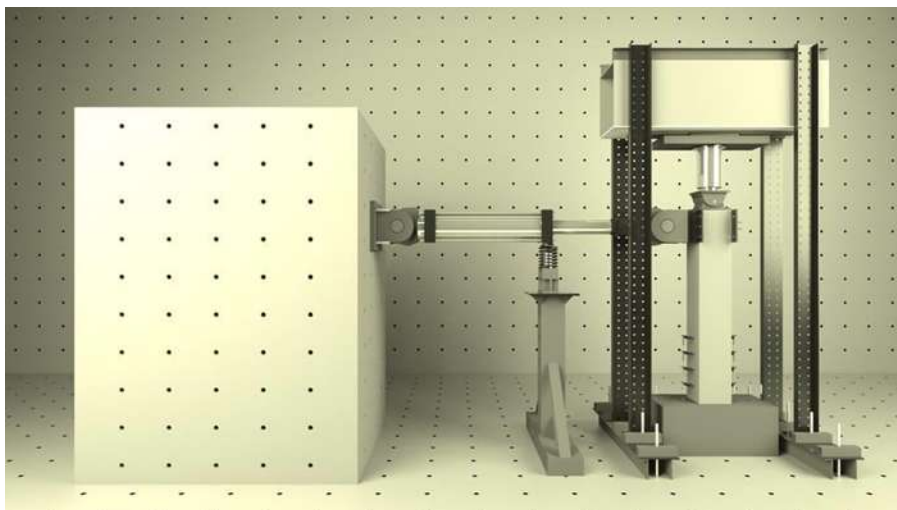
รูปที่ 2-6 เกจวัดความเครียดบริเวณเหล็กปลอก

ในขั้นตอนการเทคอนกรีต จะแบ่งการเทเป็นสองครั้ง ได้แก่ การเทคอนกรีตบริเวณฐานราก และการเทคอนกรีตในส่วนของเสา โดยกำลังรับแรงอัดระบุที่ 28 วันของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 2-7 ขั้นตอนตัวอย่างเสาขณะกำลังเทคอนกรีต และภายหลังการถอดไม้แบบ

ในการทดสอบเสา จะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดระยะการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ เพื่อคำนวณค่าความโค้งของเสา และเพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆจากการทดสอบ โดยเครื่องมือวัดระยะการเคลื่อนที่มีจำนวนทั้งหมดเท่ากับ 8 ชุด การทดสอบจะดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการทดสอบโครงสร้างจริง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี โดยจะทำการติดตั้งผนังรับแรง เรียงต่อกัน และยึดเข้ากับพื้นห้องปฏิบัติการด้วยแท่งเหล็กอัดแรง จากนั้นทำการติดตั้งโครงให้แรงในแนวแกน เครื่องให้แรง และตัวรองรับเครื่องให้แรง ดังแสดงในรูปที่ 2-8 และรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-8 รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์การทดสอบเสา

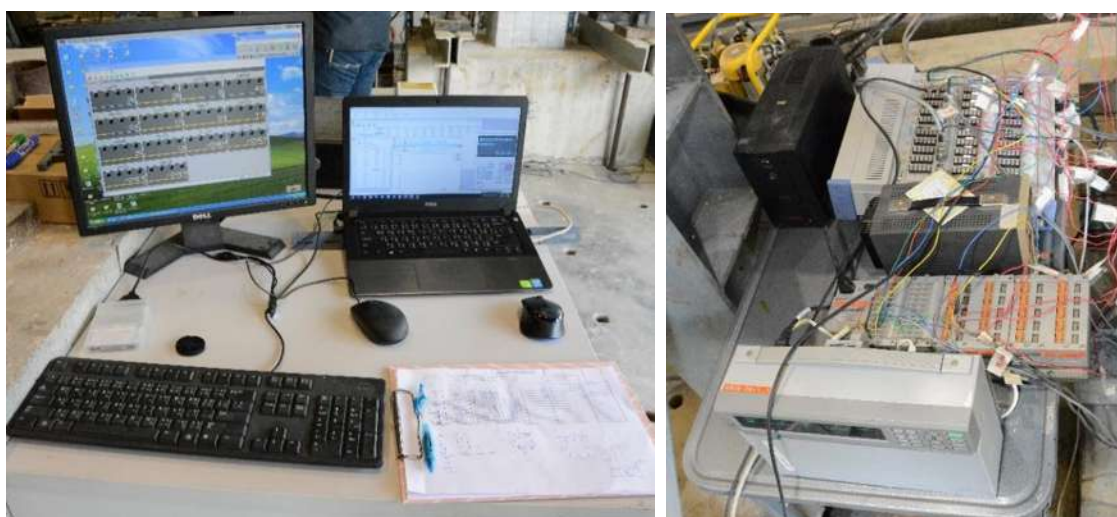


รูปที่ 2-9 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับทดสอบเสา

ในการทดสอบแรงแผ่นดินไหวกับตัวอย่างเสา นั้น จะใช้เครื่องให้แรง (Hydraulic Actuator) ในการให้แรงกระทำกับเสาทางด้านข้าง โดยการควบคุมการเคลื่อนที่หรือการพลิกคว่ำของตัวอย่างเสาที่ทดสอบจะกระทำโดยติดตั้งอุปกรณ์การให้แรงในแนวดิ่ง และใช้เหล็กเส้นอัดแรงยึดตัวอย่างเสาเข้ากับพื้นห้องปฏิบัติการ ทำการตรวจสอบให้ตำแหน่งการให้แรงอยู่ในแนวกึ่งกลางของตัวอย่างเสา และปรับระดับผิวบนหัวเสาให้เรียบเพื่อให้อุปกรณ์ให้แรงในแนวดิ่งสามารถถ่ายแรงลงได้เต็มพื้นที่หน้าตัดเสา โดยในการทดสอบจะทำการให้แรงกดกับหัวเสาเท่ากับ 17 ตัน ซึ่งเป็นการจำลองแรงที่กระทำจริงต่อเสาด้านกลางของตอม่อสะพาน

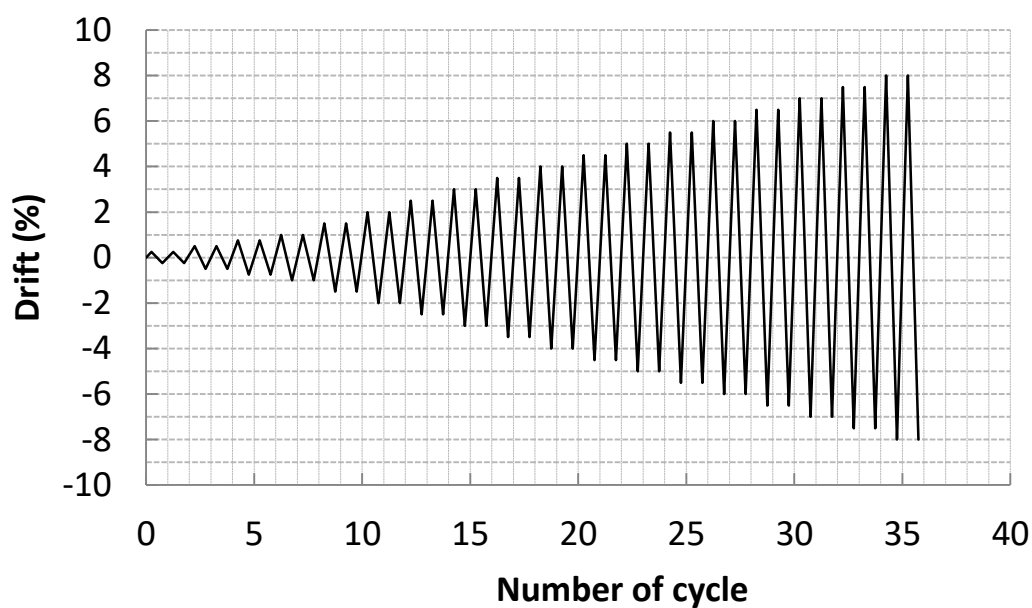
ก่อนดำเนินการทดสอบชิ้นส่วนโครงสร้างในห้องปฏิบัติการ จะใช้เครื่องวัดแรง (Load Cell) ในการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือให้แรง ทั้งนี้เพื่อให้ผลการตรวจวัดพฤติกรรมด้านต่างๆ มีความแม่นยำ สามารถนำผลทดสอบไปใช้วิเคราะห์โดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้

ระหว่างการทดสอบจะทำการบันทึกผลตอบสนอง (Responses) ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดประเภทต่างๆ ที่ได้ติดตั้งบนตัวอย่างเสาเข้าสู่เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ดังแสดงในรูปที่ 2-10 ซึ่งได้ต่อเข้ากับ เครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า เกจวัดความเครียดชนิดที่ใช้ตรวจวัดค่าความเครียดบนเหล็กเสริม นอกจากนี้จะทำการบันทึกแรงด้านข้าง และระยะการเคลื่อนที่ของหัวเสาจากตัวควบคุมเครื่องให้แรงด้วย



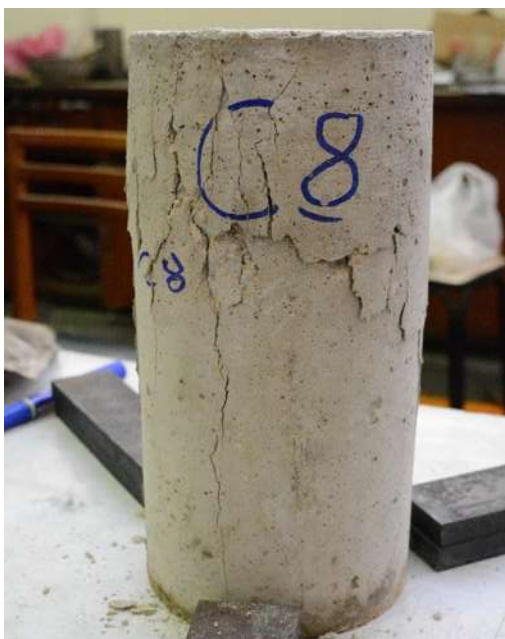
รูปที่ 2-10 อุปกรณ์สำหรับบันทึกผลการทดสอบ

สำหรับรูปแบบการให้แรงทางด้านข้าง จะอ้างอิงจากข้อกำหนด FEMA 461 “Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components” ซึ่งการทดสอบตัวอย่างเสาจะเริ่มทำการบันทึกผลเครื่องมือตรวจวัด จากนั้นทำการขยับเครื่องให้แรงไปสัมผัสกับเสาเพื่อทำการยึดหัวเสา และเริ่มให้แรงอัดตามแนวแกนและรักษาระดับแรงอัดให้คงที่ตลอดการทดสอบ จากนั้นจะให้แรงทางด้านข้างแบบวัฏจักร (Cyclic Loading) ที่หัวเสาแบบการควบคุมการเคลื่อนที่ (Displacement Control) ดังแสดงในรูปที่ 2-11 โดยในแต่ละรอบการทดสอบ จะทำการหยุดเครื่องให้แรง เพื่อจดบันทึกข้อมูล และรายละเอียดต่างๆ ที่สังเกตได้ระหว่างการทดสอบ อาทิเช่น รอยแตกร้าว โดยการทดสอบจะกระทำจนกว่าตัวอย่างเสาจะเกิดการวิบัติ หรือเครื่องให้แรงกระทำทางด้านข้างไม่สามารถทดสอบต่อไปได้



รูปที่ 2-11 ตัวอย่างรูปแบบการให้แรงกระทำ (Loading Scheme)

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างตัวอย่างเสาและรอยต่อเสากับคาน ได้ดำเนินการกดแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2-12 จำนวน 3 ตัวอย่าง และได้กำลังรับแรงอัดเท่ากับ 29 MPa



รูปที่ 2-12 แท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกสำหรับหาค่ากำลังรับแรงอัด

2.1.2. ผลการทดสอบ

2.1.2.1. พฤติกรรมของตัวอย่างเสาที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดสอบ

ตัวอย่างเสาเมื่อรับแรงกระทำทางด้านข้างในช่วงแรกจะเกิดการเสียรูปตามทิศทางแรงกระทำ และเกิดรอยร้าวในแนวราบที่ระดับความสูงต่างๆ จากนั้นมีการแตกร้าวเกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อเสาและฐานราก กะเทาะและหลุดล่อน ส่งผลให้เกิดช่องว่างและสามารถโยกตัวได้มาก เป็นสาเหตุให้เสาสูญเสียกำลังรับแรงทางด้านข้าง และนำไปสู่การวิบัติ ซึ่งพฤติกรรมของเสาที่อัตราการเคลื่อนตัวต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-1 อธิบายได้ดังนี้

- เมื่อเริ่มให้แรงกระทำทางด้านข้างไปยังอัตราการเคลื่อนตัว 0.5% ในรอบแรก ยังไม่พบความเสียหายใดๆ จนกระทั่งให้แรงไปยังอัตราการเคลื่อนตัว 0.5% ในรอบที่สอง พบว่าเริ่มมีรอยแตกร้าวในแนวราบที่ระดับความสูง 20 ซม. จากฐานราก
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 1.5% เริ่มมีรอยแตกร้าวที่รอยต่อโคนเสาและฐานราก และเกิดรอยแตกร้าวในทุกด้านของเสาทดสอบ โดยรอยแตกร้าวมีลักษณะยาวขึ้นในแนวราบ
- เมื่อให้แรงไปยังอัตราการเคลื่อนตัว 2.5% รอยแตกร้าวเริ่มมีความกว้างและยาวมากขึ้น รวมถึงลักษณะของรอยแตกร้าวเริ่มเอียงในลักษณะแรงเฉือนตัดเข้าหากันที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80 และ 100 ซม. ซึ่งเป็นระดับความสูงที่ใกล้เคียงกับเหล็กเสริมทางขวาง
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 3.5% คอนกรีตที่โคนเสาด้านทิศตะวันตกกะเทาะมากขึ้น และที่มุมเสากะเทาะเพิ่มขึ้นในด้านทิศเหนือกับทิศตะวันตก จนถึงอัตราการเคลื่อนตัว 4.5% โดยความสามารถในการรับแรงกระทำทางด้านข้างได้ลดลงเหลือต่ำกว่า 80% ของแรงกระทำสูงสุด เป็นเหตุให้เสาเกิดการวิบัติ

ตารางที่ 2-1 ลักษณะความเสียหายระหว่างการทดสอบและการวิพากษ์การทดสอบของตัวอย่างเสา C-DOH

(% Drift)	0.5%	1.5%	2.5%	3% - 3.5%	4%	4.5%
รูปภาพ ความ เสียหาย						
ลักษณะ ความ เสียหาย	เริ่มมีรอยแตกกว้างใน แนวราบที่ระดับความสูง 20, 40 ซม. จากฐานราก	เริ่มมีรอย แตกกว้างใน แนวราบที่ระดับ ความสูง 20, 40, 60 ซม. จากฐาน ราก	ลักษณะของรอย แตกกว้างเริ่มเอียง ในลักษณะแรง เฉือนเข้าด้วยกัน ที่ระดับความสูง 20, 40, 60 ซม.	คอนกรีตเริ่มมีการกะเทาะออกที่บริเวณ รอบต่อเสาและฐานราก	คอนกรีตที่โคนเสา ทิศตะวันออกกะเทาะมาก ขึ้น และที่มุมเสาและ เพนขึ้น ในด้านทิศเหนือ กับทิศตะวันตก	การกะเทาะออกของคอนกรีตที่ รอยต่อเสาและฐานรากส่งผลให้ เกิดช่องว่างและสามารถโยกตัว ได้เป็นเหตุให้เสาสูญเสียกำลัง รับแรงทางด้านข้างนำไปสู่การ วิบัติ

2.1.2.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางดัดข้างกับการเคลื่อนที่ทางดัดข้าง

ข้อมูลการทดสอบของเสาสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางดัดข้างกับการเคลื่อนที่ทางดัดข้างได้ โดยระยะการเคลื่อนที่ทางดัดข้างนั้นได้รับการปรับแก้ผลเนื่องจากเลื่อนไถลของฐานรากและการหมุนของฐานราก รวมถึงการเลื่อนไถลของผนังรับแรง กราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของตัวอย่างเสาที่อัตราส่วนการเคลื่อนที่ต่างๆ และสามารถใส่หาเส้นโค้งขอบนอก (envelop curve) เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ค่าความเหนียว ค่าการสลายพลังงาน และ ค่าความโค้ง ของตัวอย่างเสา

โดยแรงกระทำทางดัดข้างและการเคลื่อนที่ทางดัดข้างนั้นถูกกำหนดด้วยหลักการดังนี้ เมื่อแรงกระทำทางดัดข้างที่ทำให้ตัวอย่างเสาเคลื่อนตัวไปยังด้านที่อยู่ตรงข้ามกับเครื่องให้แรงทางดัดข้าง ซึ่งจะเกิดแรงอัดในเครื่องให้แรง จะแสดงผลของแรงและการเคลื่อนตัวเป็นเครื่องหมาย + และเมื่อแรงกระทำทางดัดข้างที่ทำให้ตัวอย่างเสาเคลื่อนตัวไปยังด้านเดียวกับเครื่องให้แรงทางดัดข้าง ซึ่งจะเกิดแรงดึงในเครื่องให้แรง จะแสดงผลของแรงและการเคลื่อนตัวเป็นเครื่องหมาย -

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางดัดข้างกับการเคลื่อนที่ทางดัดข้างนั้นจะอ้างอิงจากค่าอัตราการเคลื่อนตัว (Drift) ซึ่งนิยามว่า

$$\text{อัตราการเคลื่อนตัว} = \frac{\delta}{L} \times 100 \quad (2-1)$$

โดยที่ δ คือ ระยะการเคลื่อนที่ทางดัดข้างที่หัวเสา

L คือ ระยะความสูงของเสา (ในงานวิจัยนี้มีค่า 2200 มม.)

และค่าความเหนียวนิยามโดย

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (2-2)$$

โดยที่ μ คือ ค่าความเหนียว

δ_u คือ ระยะการเคลื่อนที่ทางดัดข้างที่หัวเสาเมื่อแรงกระทำทางดัดข้างลดลงเหลือ 80% ของแรงกระทำสูงสุด

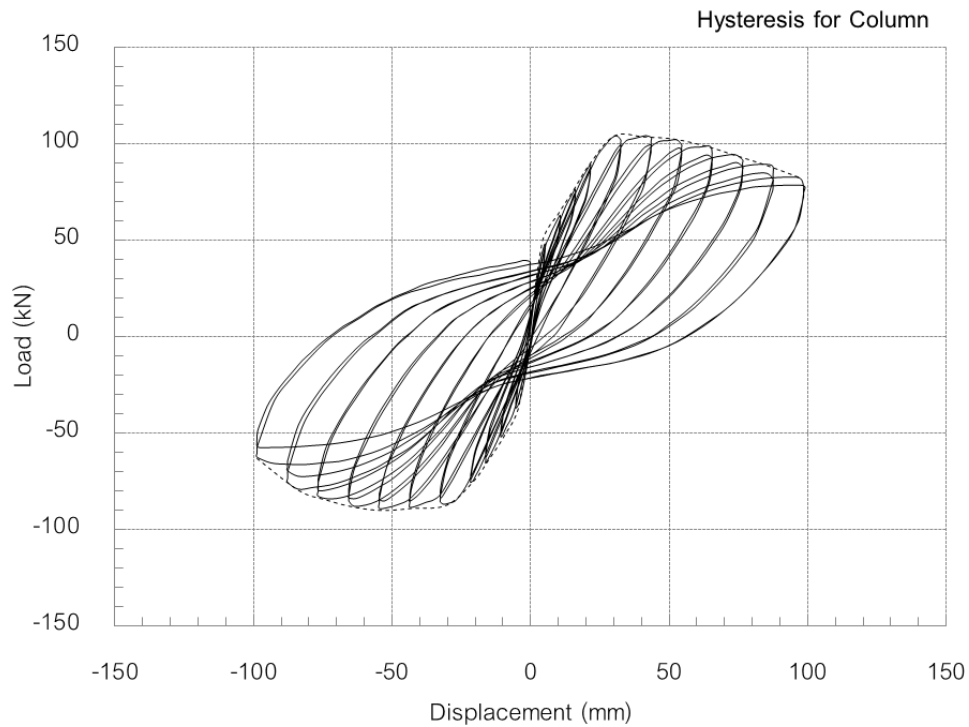
δ_y คือ ระยะการเคลื่อนที่ทางดัดข้างที่หัวเสา ณ จุดคราก

โดยค่า μ และ ค่า δ_y สามารถหาได้หลายวิธีที่แตกต่างกันได้แก่

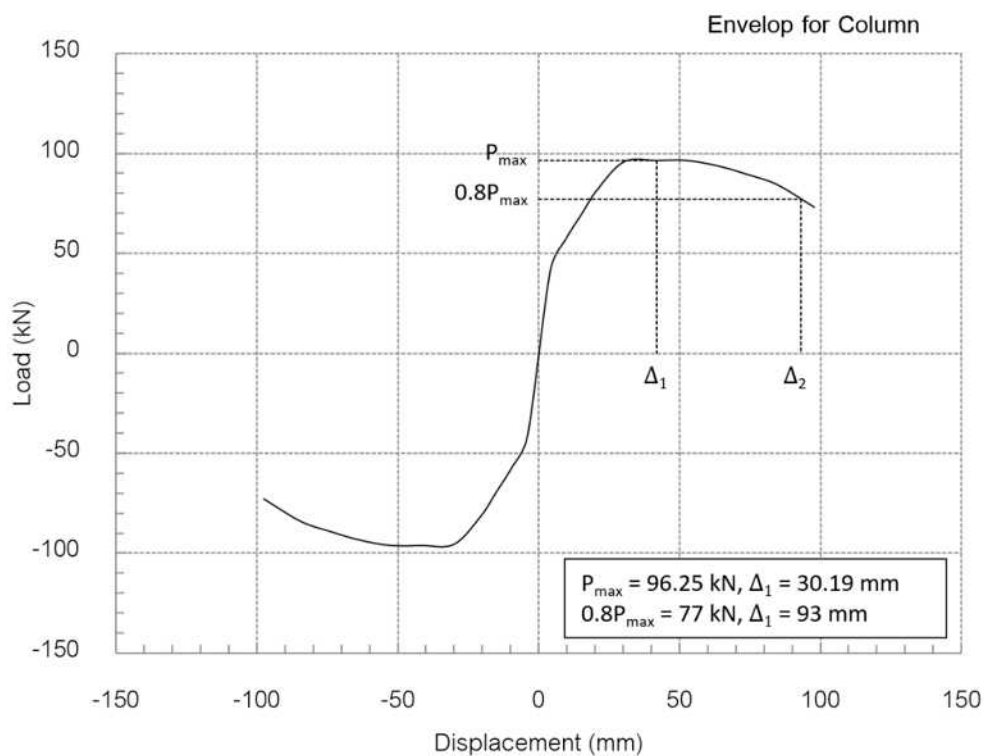
การหาระยะการเคลื่อนที่ทางดัดข้าง ณ จุดครากจากจุดที่เหล็กยื่นรับแรงดึงเส้นแรกเริ่มคราก (1st steel yielding) โดย Xiao and Yun (2002)

การหาระยะการเคลื่อนที่ที่จุดคราก โดยการลากเส้นจากจุดเริ่มต้นมาตัดผ่านจุดที่แรงกระทำทางดัดข้างมีค่าเท่ากับ 75 % ของแรงกระทำสูงสุด (75% secant approach) จนถึงเส้นตรงที่ขนานกับแกนนอนที่ลากจากจุดที่แรงกระทำทางดัดข้างมีค่ามากที่สุด จากนั้นลากเส้นขนานกับแกนตั้งไปตัดกับแกนการเคลื่อนที่ทางดัดข้าง วิธีนี้แนะนำโดย Priestly (1992)





รูปที่ 2-15 เส้นโค้งขอบนอก (envelop curve) ของตัวอย่างเสา C-DOH



รูปที่ 2-16 การหาคุณสมบัติจากเส้นโค้งขอบนอก (envelop curve) ตัวอย่างเสา C-DOH

ตารางที่ 2-2 สรุปผลการทดสอบตัวอย่างเสา

Specimen	P_{max} (kN)	Disp@ P_{max} (mm)	$0.8 P_{max}$ (ton)	Displ@ $0.8 P_{max}$ (mm)	Drift@ $0.8 P_{max}$ (%)
C-SP-100	96.5	30.19	77	93	4.2

2.1.2.3. การสลายพลังงานของตัวอย่างเสา C-DOH

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนที่ทางด้านข้างนอกจากจะสามารถใช้หาค่าความเหนียวและแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของตัวอย่างเสาด้วยเส้นโค้งขอบนอกแล้ว ยังสามารถใช้หาค่าการสลายพลังงาน ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการรองรับแรงจากแผ่นดินไหว ในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหว พลังงานจำนวนมากจะถูกถ่ายให้กับโครงสร้างในรูปแบบการสั่นสะเทือน หากโครงสร้างสามารถสลายพลังงานได้มาก โครงสร้างนั้นจะสามารถเปลี่ยนพลังงานจากการสั่นไหวมาเป็นความเสียหายในลักษณะการเสียรูปของวัสดุ หากโครงสร้างนั้นสามารถเคลื่อนตัวได้มากและยังคงรักษากำลังไว้ได้มาก แสดงว่าโครงสร้างนั้นมีความสามารถในการต้านแผ่นดินไหวได้นั่นเอง

ในการคำนวณค่าการสลายพลังงาน (Energy dissipation) คือ การหาพื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีเชิงตัวเลขแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal rule) โดยจะทำการหาพื้นที่ใต้กราฟในแต่ละรอบของการทดสอบ ซึ่งจะเริ่มจากจุดที่การเคลื่อนที่ด้านข้างมีค่าเท่ากับศูนย์แล้วให้แรงกระทำทางด้านข้างไปในทิศทางบวก จากนั้นให้แรงกระทำทางด้านข้างไปในทิศทางลบและให้แรงไปในทิศทางบวกอีกครั้ง จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบมีค่าการเคลื่อนที่เท่ากับศูนย์ จึงถือว่าครบ 1 รอบการทดสอบ

โดยวิธีเชิงตัวเลขแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal rule) มีสมการดังนี้

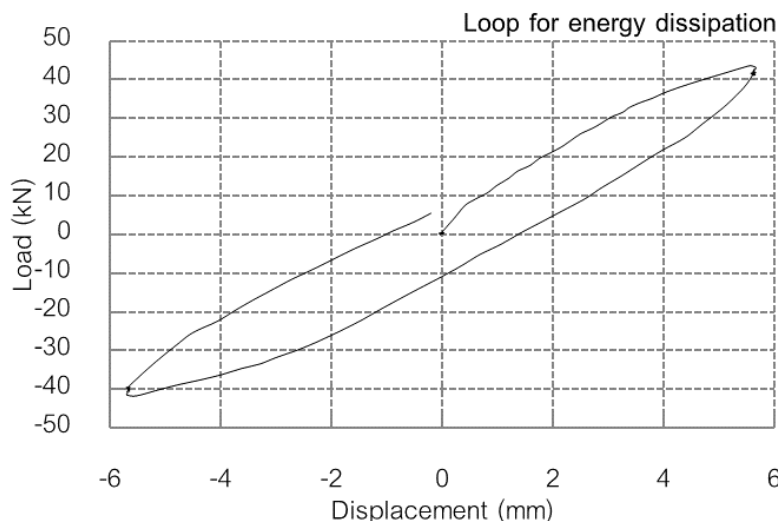
$$Area = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_{i+1} + y_i)(x_{i+1} - x_i) \quad (2-3)$$

ค่าการสลายพลังงาน (Energy dissipation)

$$Energy \text{ dissipation} = \frac{1}{2} Fd \quad (2-4)$$

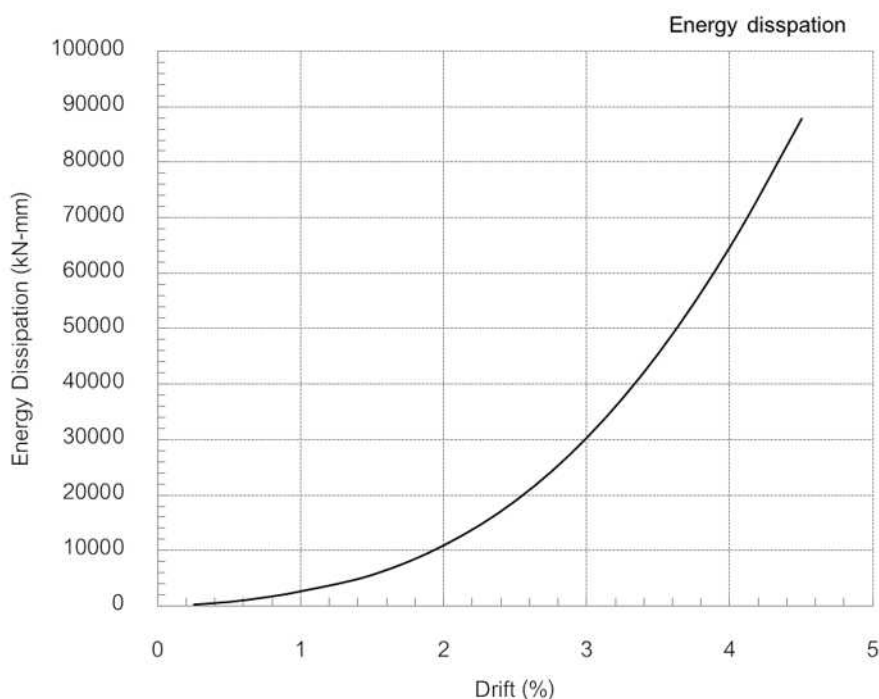
F คือ แรงกระทำทางด้านข้าง (Lateral force)

d คือ ระยะการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง



รูปที่ 2-17 การหาค่าการสลายพลังงานใน 1 รอบการทดสอบ

การทดสอบตัวอย่างเสาได้เกิดรอยแตกร้าวตามแนวราบที่ระดับต่างๆบนเสา และเมื่อคอนกรีตบริเวณนั้นกะเทาะออก กำลังรับแรงของเสามีพฤติกรรมเสื่อมถอยอย่างต่อเนื่อง หลังจากที่ยกคอนกรีตกะเทาะออกมาจนเห็นเหล็กเสริม เสาเกิดความเสียหายในลักษณะเกิดรอยร้าวเอียง 45° ซึ่งจะเห็นได้ว่าเสายังคงสามารถรับแรงได้อีก และหลังจากคอนกรีตมีความเสียหายเพิ่มขึ้น เสายังคงมีแนวโน้มรับแรงกระทำทางด้านข้างได้อยู่ เมื่อคอนกรีตบริเวณโคนเสากะเทาะออกทำให้เกิดความเสียหายขึ้นวิบัติ ด้วยพฤติกรรมดังที่ได้กล่าวมา แสดงว่าเสามีความสามารถสลายพลังงานที่สูง เพราะสามารถรับแรงกระทำทางด้านข้างได้สูงที่อัตราส่วนการเคลื่อนที่มาก โดยค่าการสลายพลังงานสะสมมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 87833 kN-mm



รูปที่ 2-18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายพลังงานกับอัตราส่วนการเคลื่อนที่

ตารางที่ 2-3 ค่าพลังงานในแต่ละรอบการทดสอบ

อัตรา การเคลื่อนตัว	ค่าการสลายพลังงาน (กิโลนิวตัน-มม.)	
	C-SP-100	
	แต่ละรอบ	สะสม
0.0	0.00	0.00
0.25	184	184
0.5	488	672
0.75	823	1495
1.0	1102	2597
1.5	2966	5563
2.0	5337	10900
2.5	8031	18931
3.0	11433	30364
3.5	15203	45567
4.0	19228	64794
4.5	23038	87833

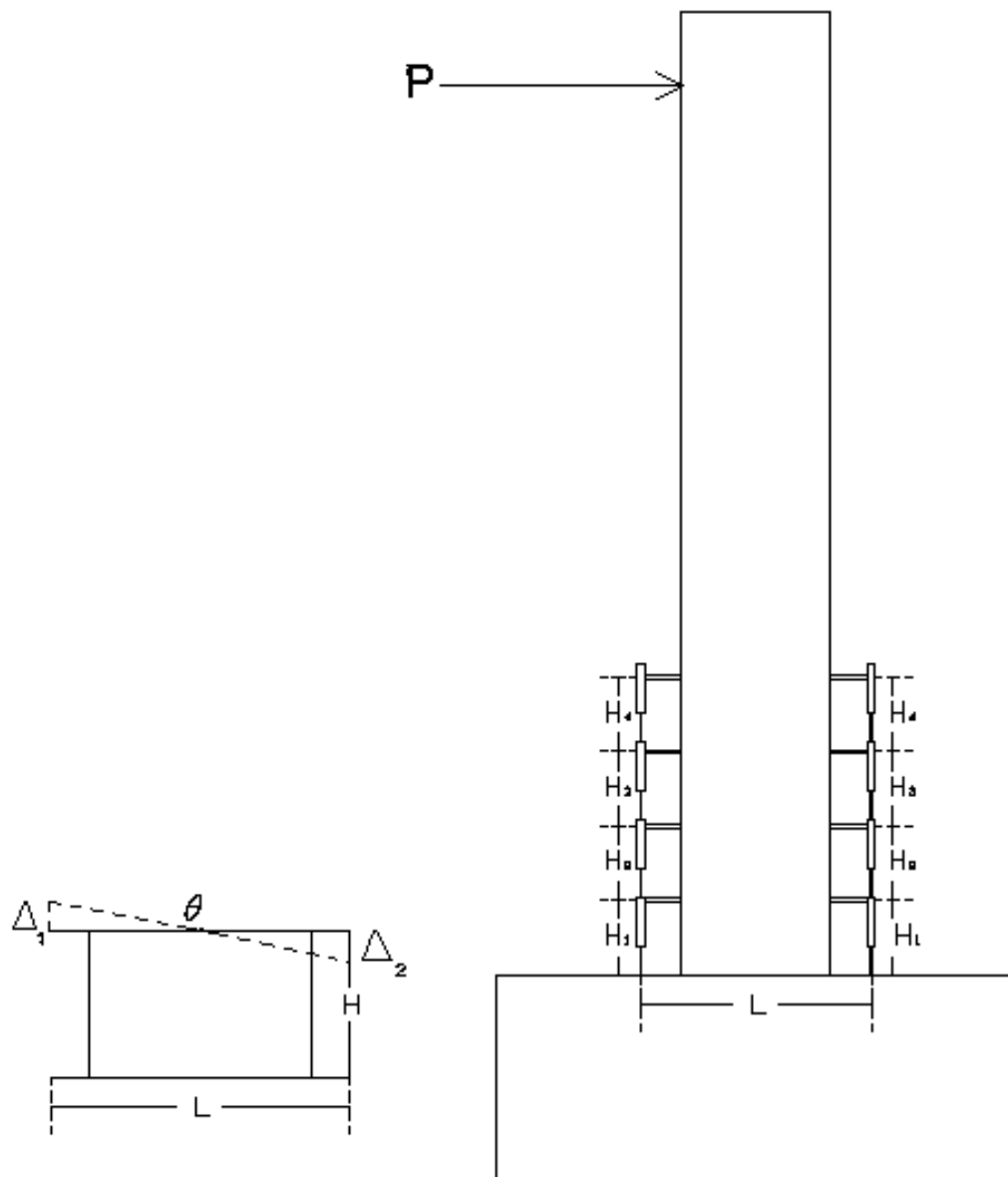
2.1.2.4. ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้ง

ในการทดสอบได้มีการติดเครื่องมือวัดระยะการเคลื่อนที่จำนวน 8 ตัว ดังแสดงได้ในรูปที่ 2-19 ซึ่งสามารถใช้คำนวณหาค่าความโค้ง (Curvature) ตามความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตดังแสดงในสมการที่ (2-5) และ (2-6) จากนั้นผลการทดสอบของเสาสามารถนำเสนอในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งได้ดังแสดงในรูปที่ 2-20 และ รูปที่ 2-21

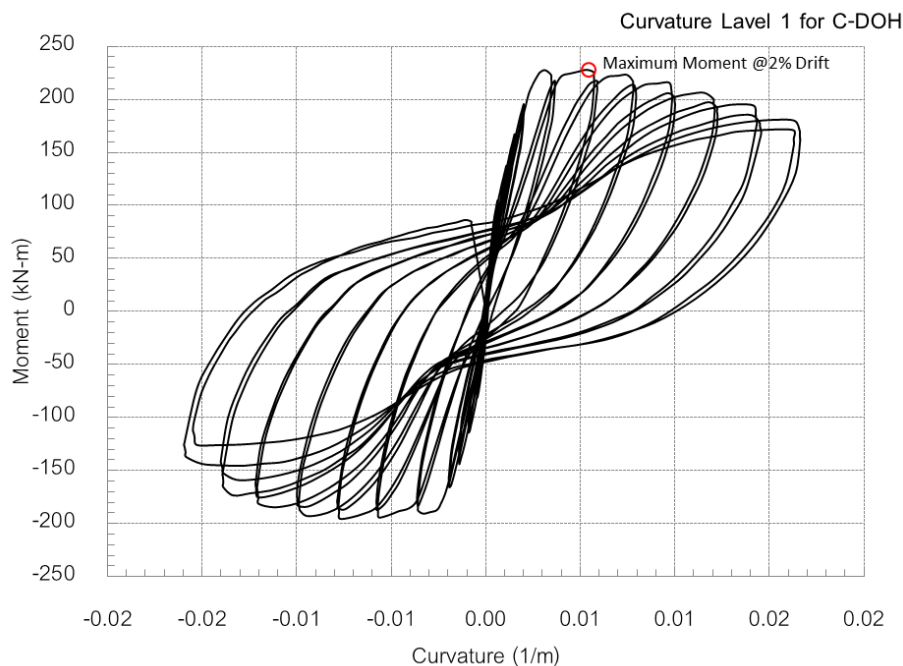
$$\text{Curvature, } \rho = \frac{\theta}{L} \quad (2-5)$$

$$= \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{L} \cdot \frac{1}{H} \quad (2-6)$$

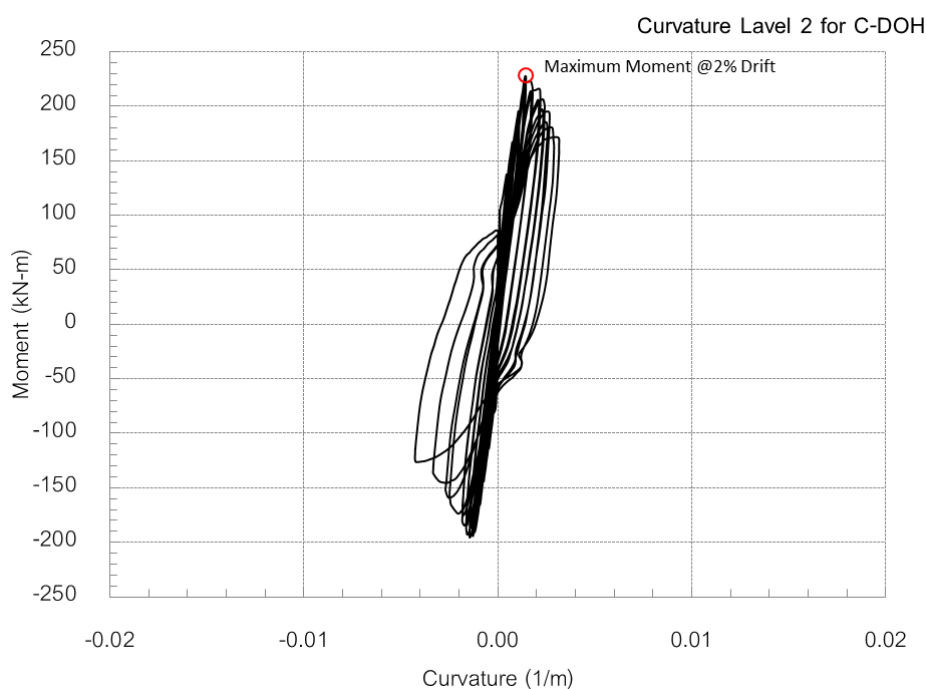
$$\text{Rotation} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{L} \quad (2-7)$$



รูปที่ 2-19 การหาค่าความโค้ง (curvature)



รูปที่ 2-20 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งระดับที่ 1 ของตัวอย่าง C-DOH



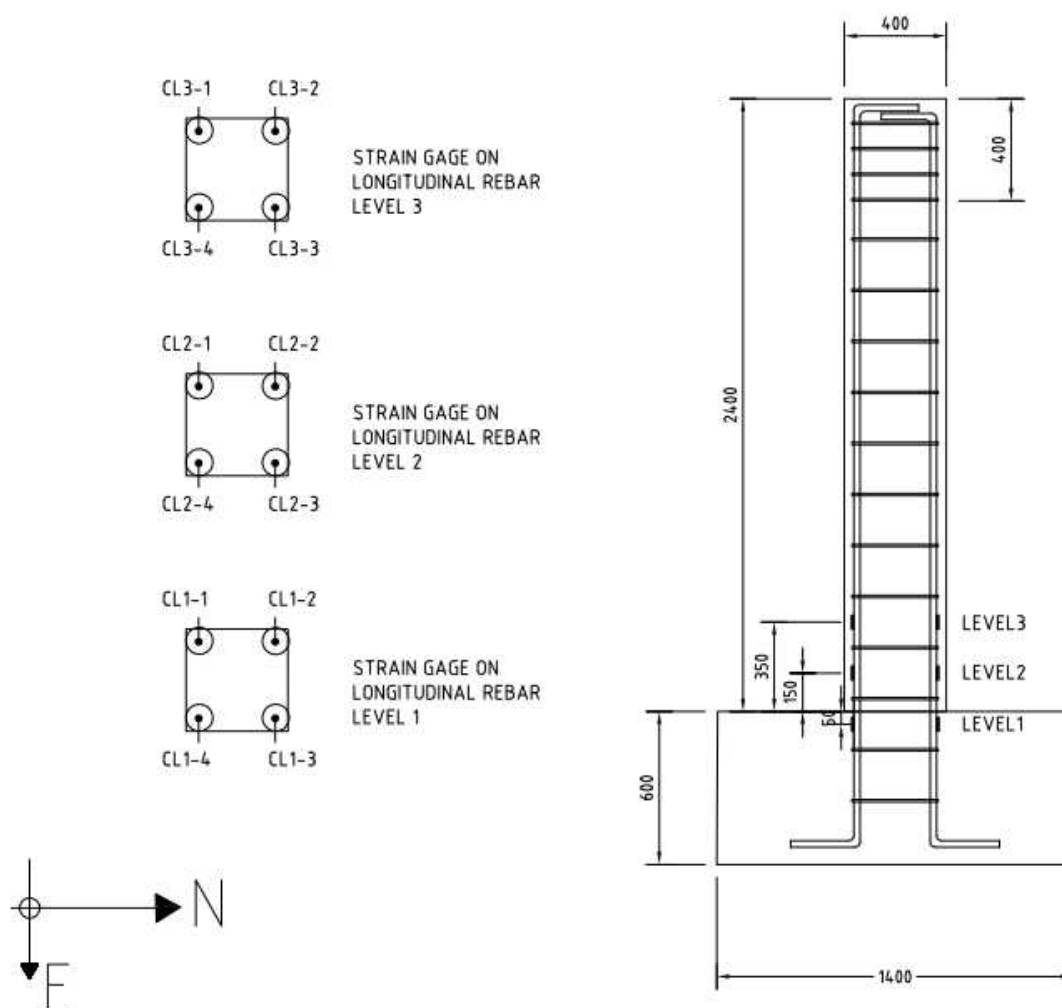
รูปที่ 2-21 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งระดับที่ 2 ของตัวอย่าง C-DOH

ตารางที่ 2-4 โมเมนต์และค่าความโค้งของตัวอย่างเสา

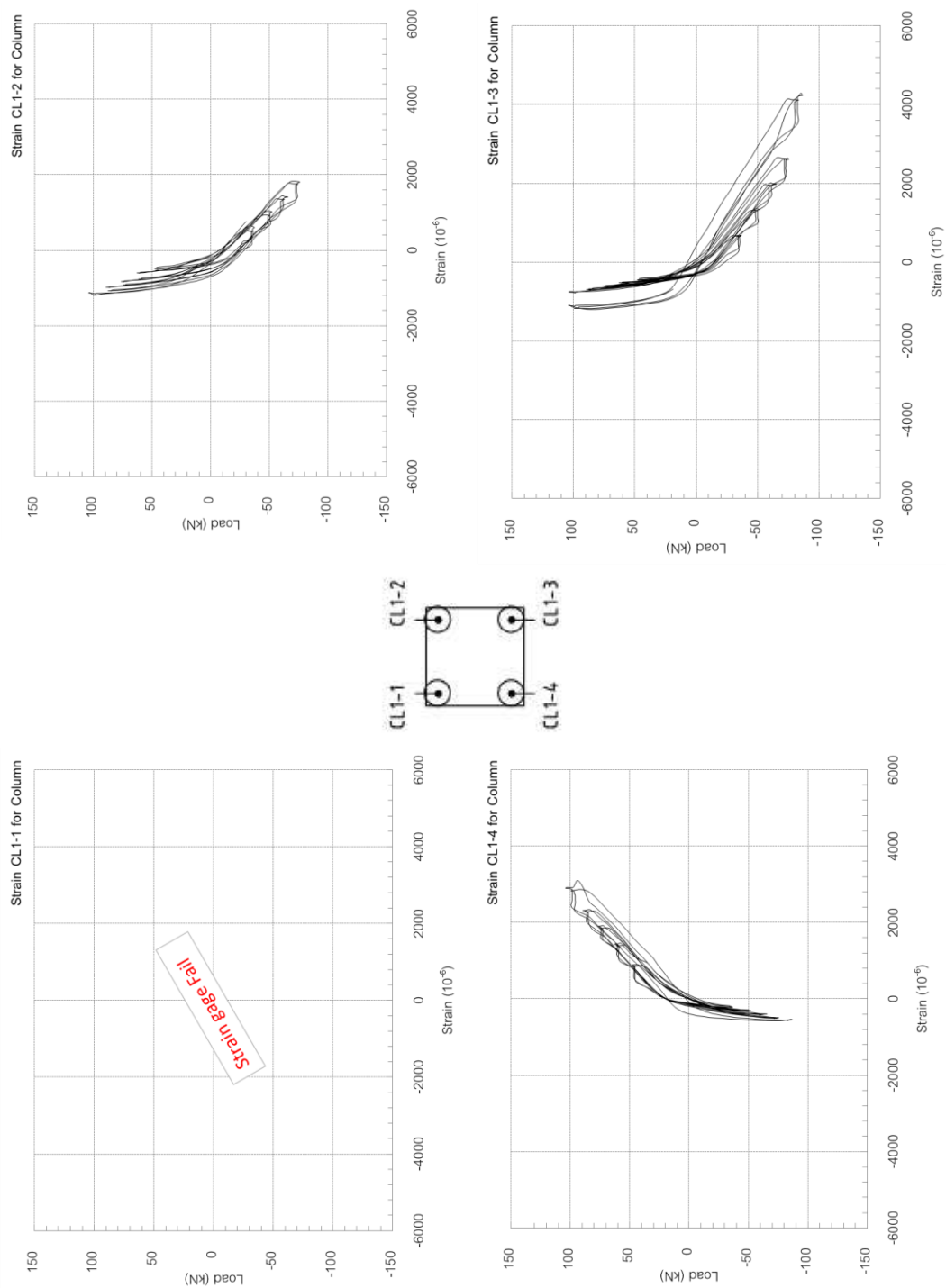
Specimens	M_{max} (kN)	Disp@ M_{max} (mm)	Drift@ M_{max} (%)	Curvature (1/m)	
				Level 1	Level 2
C-DOH	227.89	41.59	2	0.0053	0.0014

2.1.2.5. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับความเครียดในเหล็กเสริม

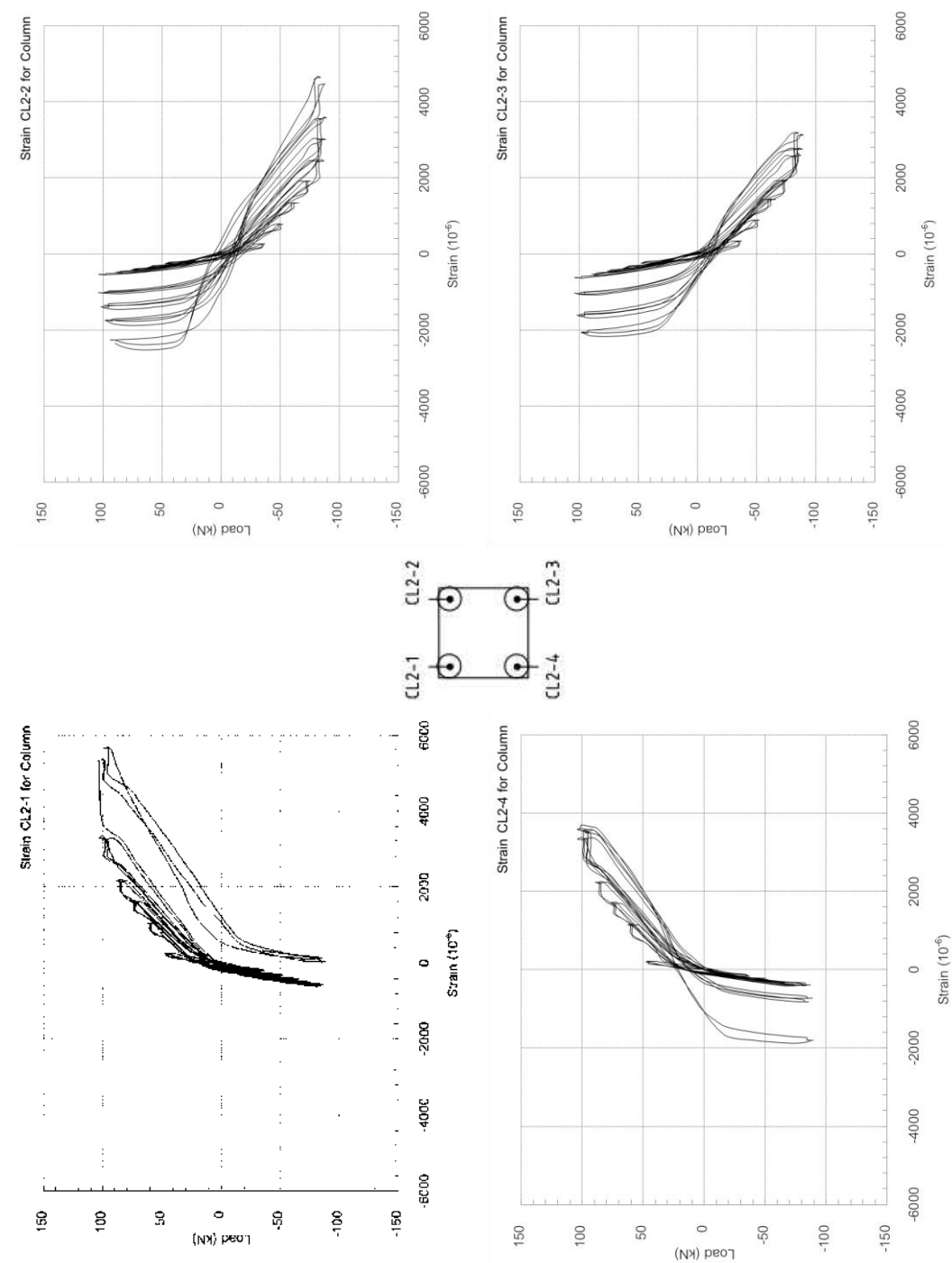
ในการเตรียมตัวอย่างเสา ได้มีการติดตั้งเกจวัดความเครียดตามตำแหน่งต่างๆ ของเหล็กขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2-22 โดยผลการทดสอบจะนำเสนอในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับค่าความเครียดในเหล็กขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2-23 ถึง รูปที่ 2-25 เพื่อแสดงระดับค่าความเครียดและทิศทางของความเครียดที่เกิดขึ้น ณ อัตราการเคลื่อนตัวต่างๆ รวมถึงรูปแบบการรับแรงแบบวัฏจักรของตัวอย่างเสา



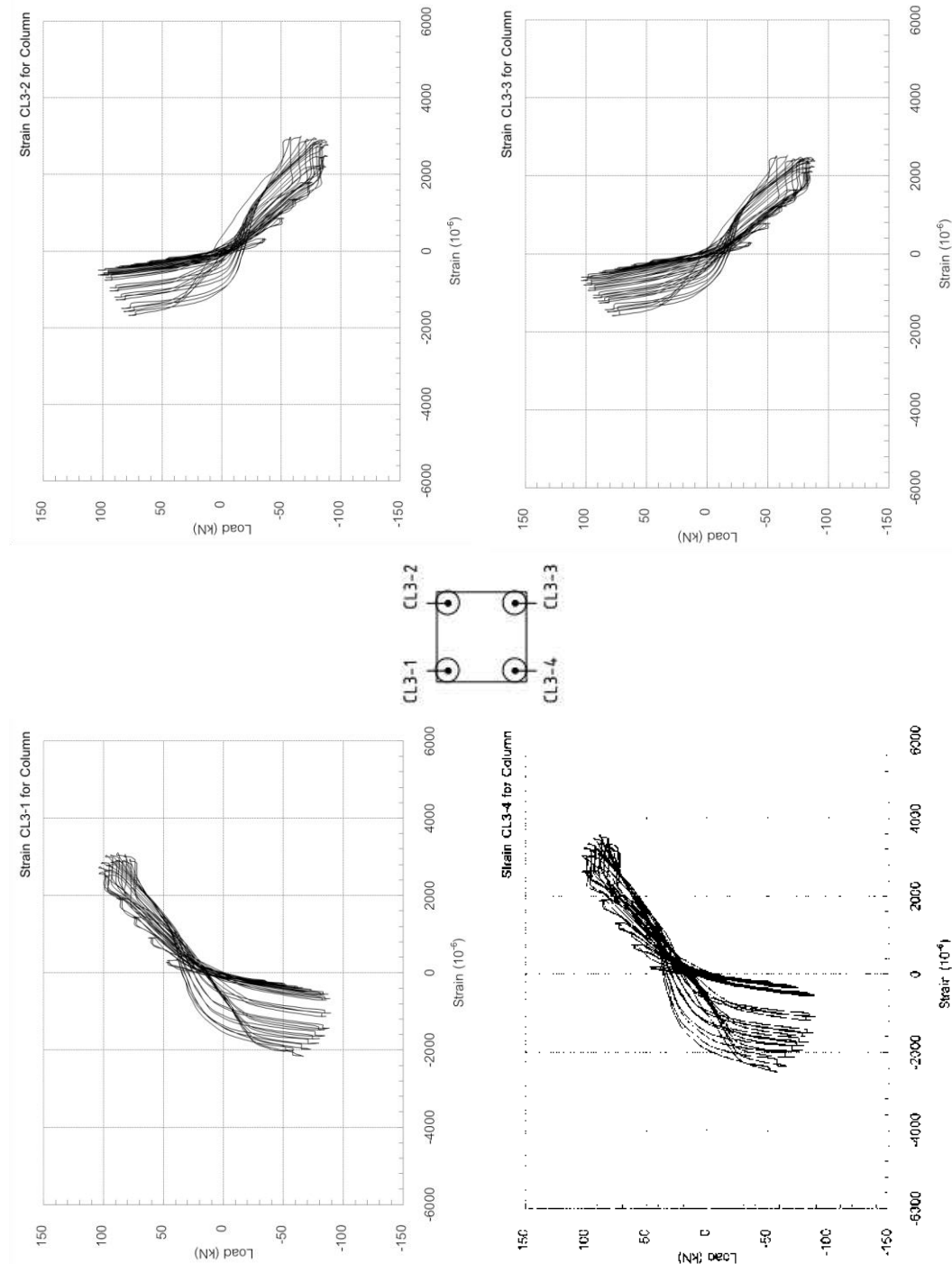
รูปที่ 2-22 การติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมตามยาว



รูปที่ 2-23 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางดันทั้งกับความเครียดในเหล็กยื่น (ระดับที่ 1)

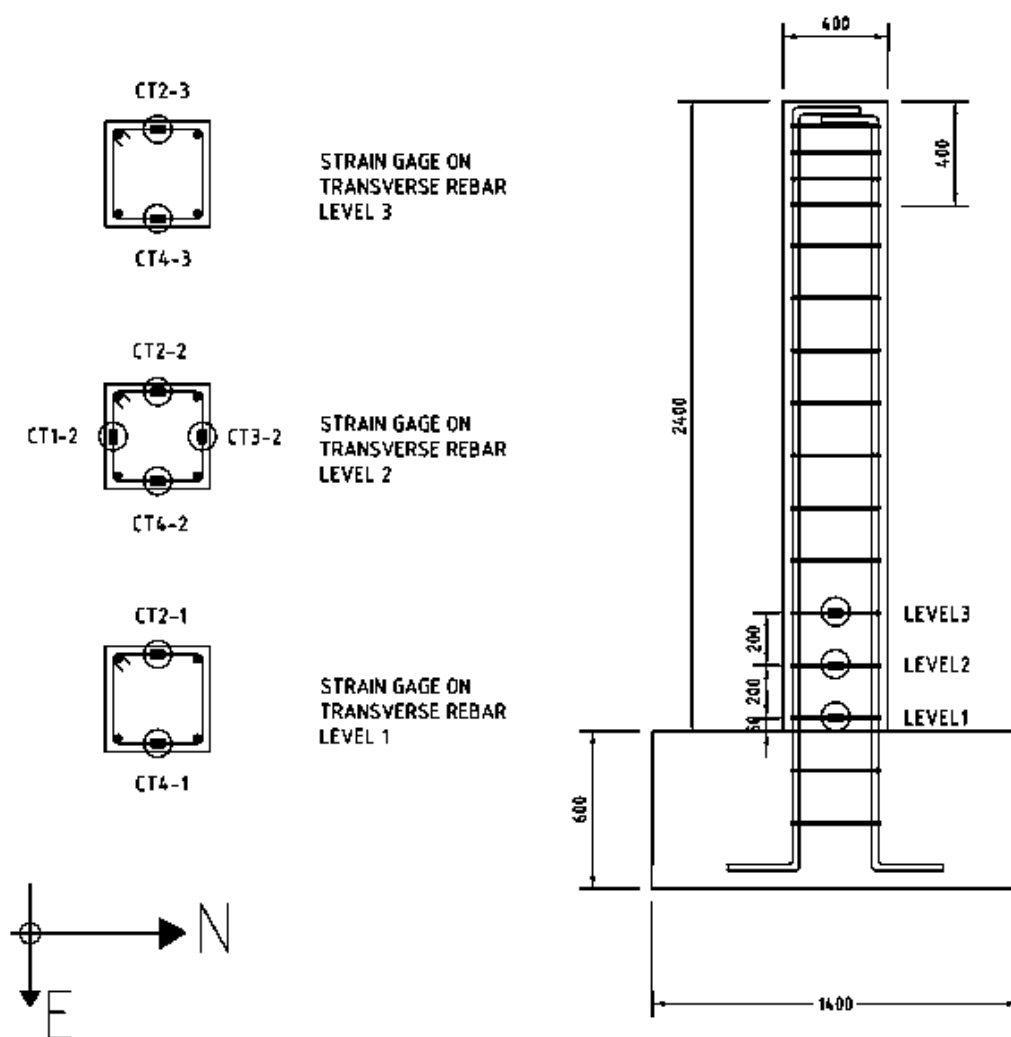


รูปที่ 2-24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านความเค้นในเหล็กเส้น (ระดับที่ 2)

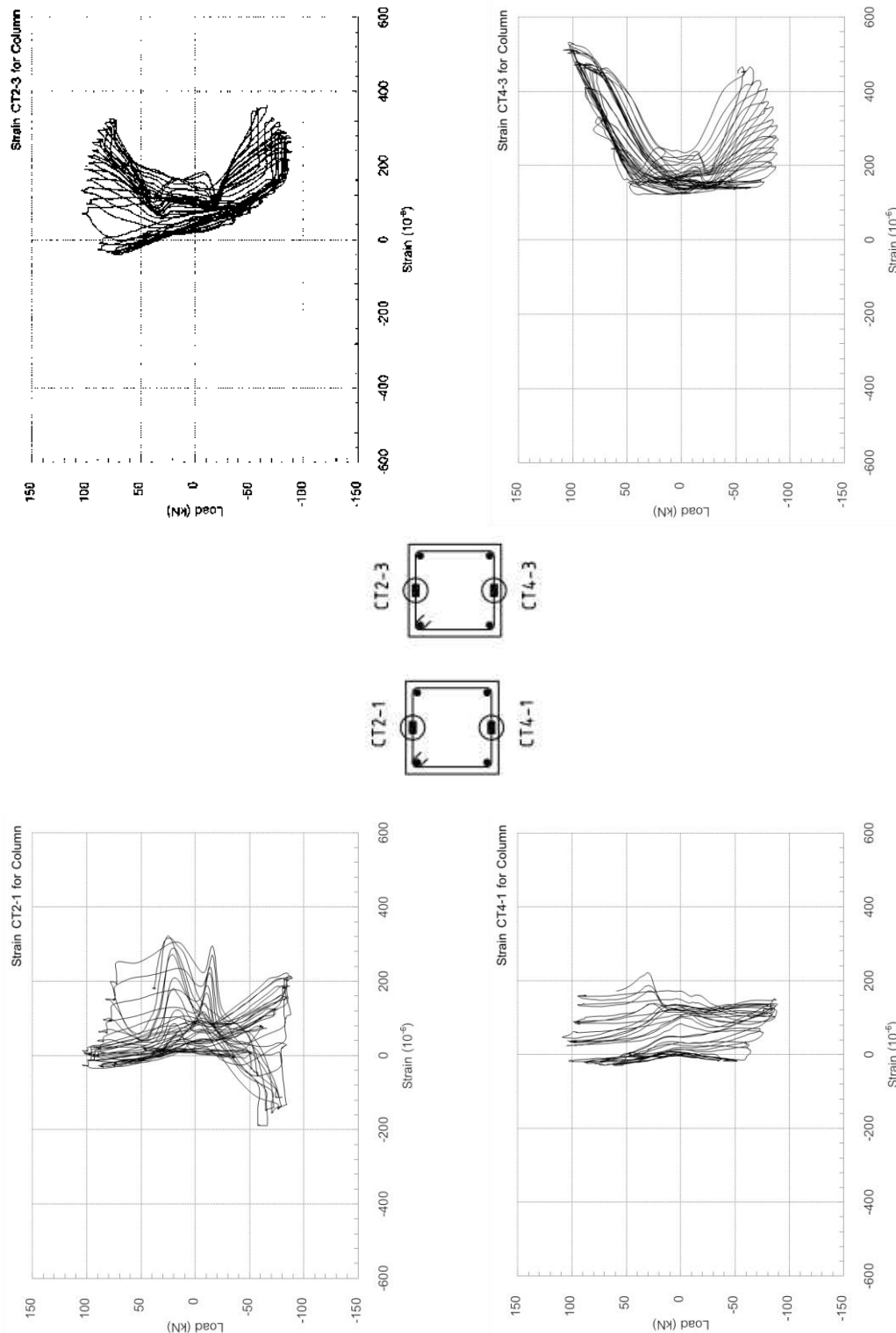


รูปที่ 2-25 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับความเครียดในเหล็กยื่น (ระดับที่ 3)

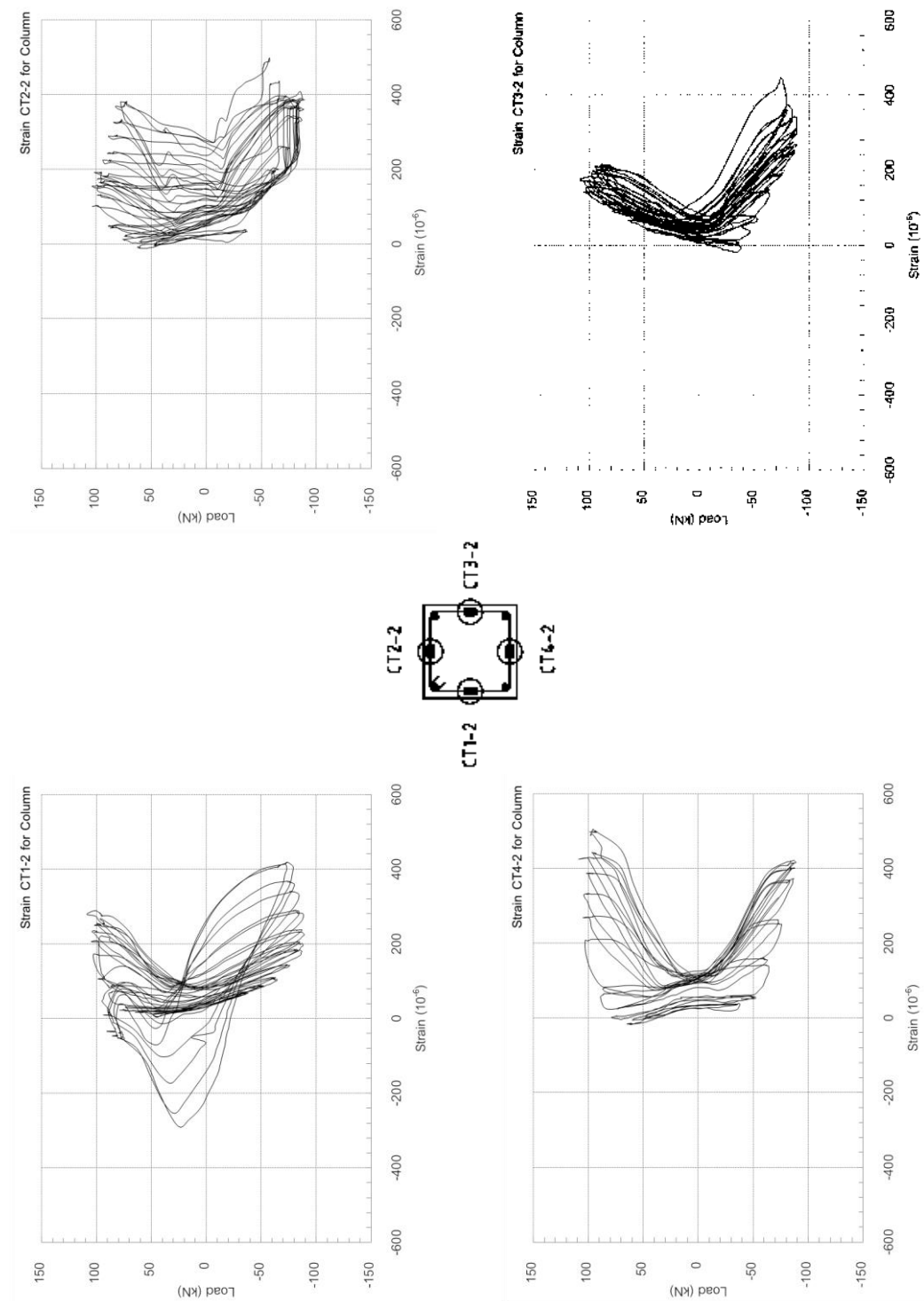
นอกจากนี้ในการเตรียมตัวอย่างเสา ได้มีการติดตั้งเกจวัดความเครียดตามตำแหน่งต่างๆของเหล็กปลอกดัง
แสดงในรูปที่ 2-26 โดยผลการทดสอบจะนำเสนอในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับ
ความเครียดในเหล็กปลอกดังแสดงในรูปที่ 2-27 และ รูปที่ 2-28 เพื่อแสดงระดับค่าความเครียดและทิศทางของ
ความเครียดที่เกิดขึ้น ณ อัตราการเคลื่อนตัวต่างๆ รวมถึงรูปแบบการรับแรงแบบวัฏจักรของตัวอย่างเสา



รูปที่ 2-26 การติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมตามขวาง



รูปที่ 2-27 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางดิ่งเข้ากับความเครียดในเหล็กปลอก (ระดับที่ 1 และ 3)

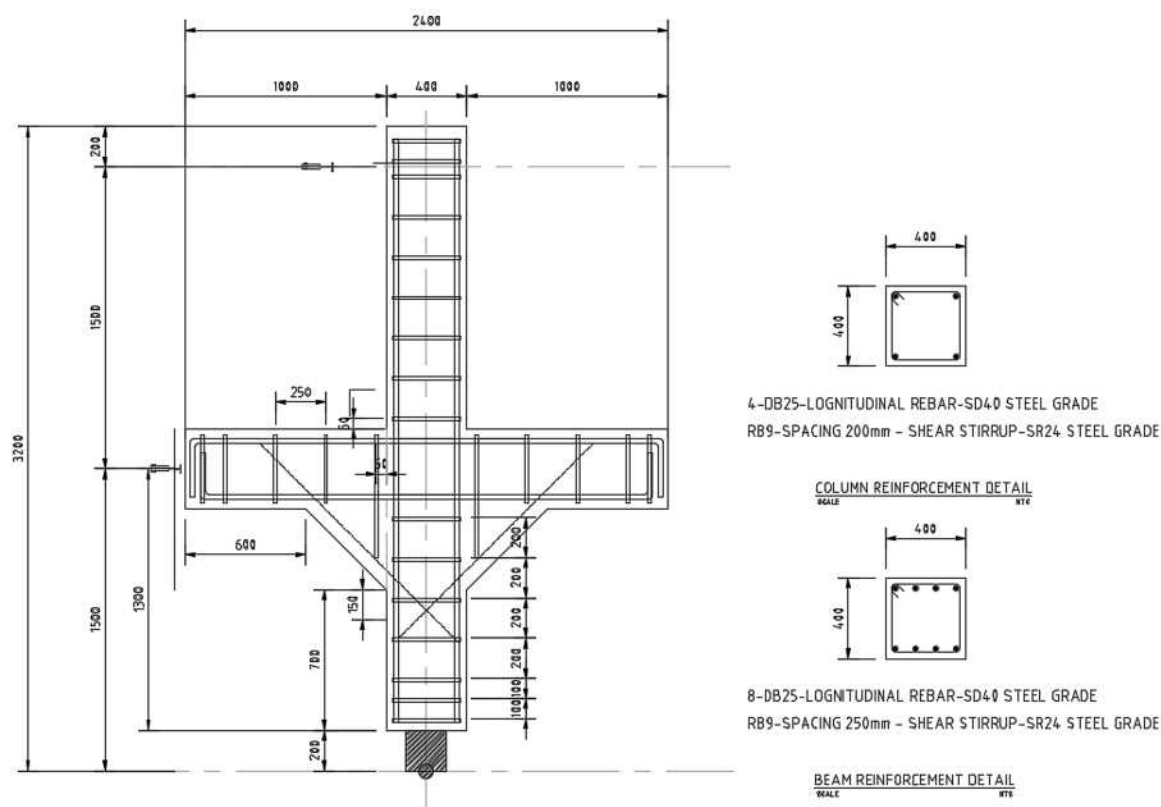


รูปที่ 2-28 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับความเครียดในเหล็กปลอก (ระดับที่ 2)

2.2. ส่วนของโครงสร้างที่ 2 : รอยต่อระหว่างเสากับคานขวาง

2.2.1.1. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่างรอยต่อเสากับคานขวาง จะทำการก่อสร้างตัวอย่างที่มีขนาดเท่าของจริงในลักษณะเป็นรูปกากบาท โดยที่ขนาดหน้าตัดเสา และคานขวางจะมีขนาดเท่ากับ 40 เซนติเมตร x 40 เซนติเมตร (ขนาดเสา คานและรายละเอียดการเสริมเหล็ก อ้างอิงแบบเลขที่ ST-34) โดยในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของเสาและคานขวาง ตัวอย่างทดสอบจะมีขนาดครึ่งหนึ่งของความยาวคานขวาง และครึ่งหนึ่งของความสูงเสา ที่บริเวณปลายด้านบนและปลายด้านล่างของตัวอย่างจะใช้ข้อต่อแบบหมุน เพื่อจำลองจุดดัดกลับซึ่งมีค่าแรงดัดเป็นศูนย์ เหล็กเสริมที่นำมาใช้จะเป็นเกรด SD40 (มอก.) โดยรายละเอียดเหล็กเสริมในการเตรียมตัวอย่างชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 2-29 และรูปที่ 2-30

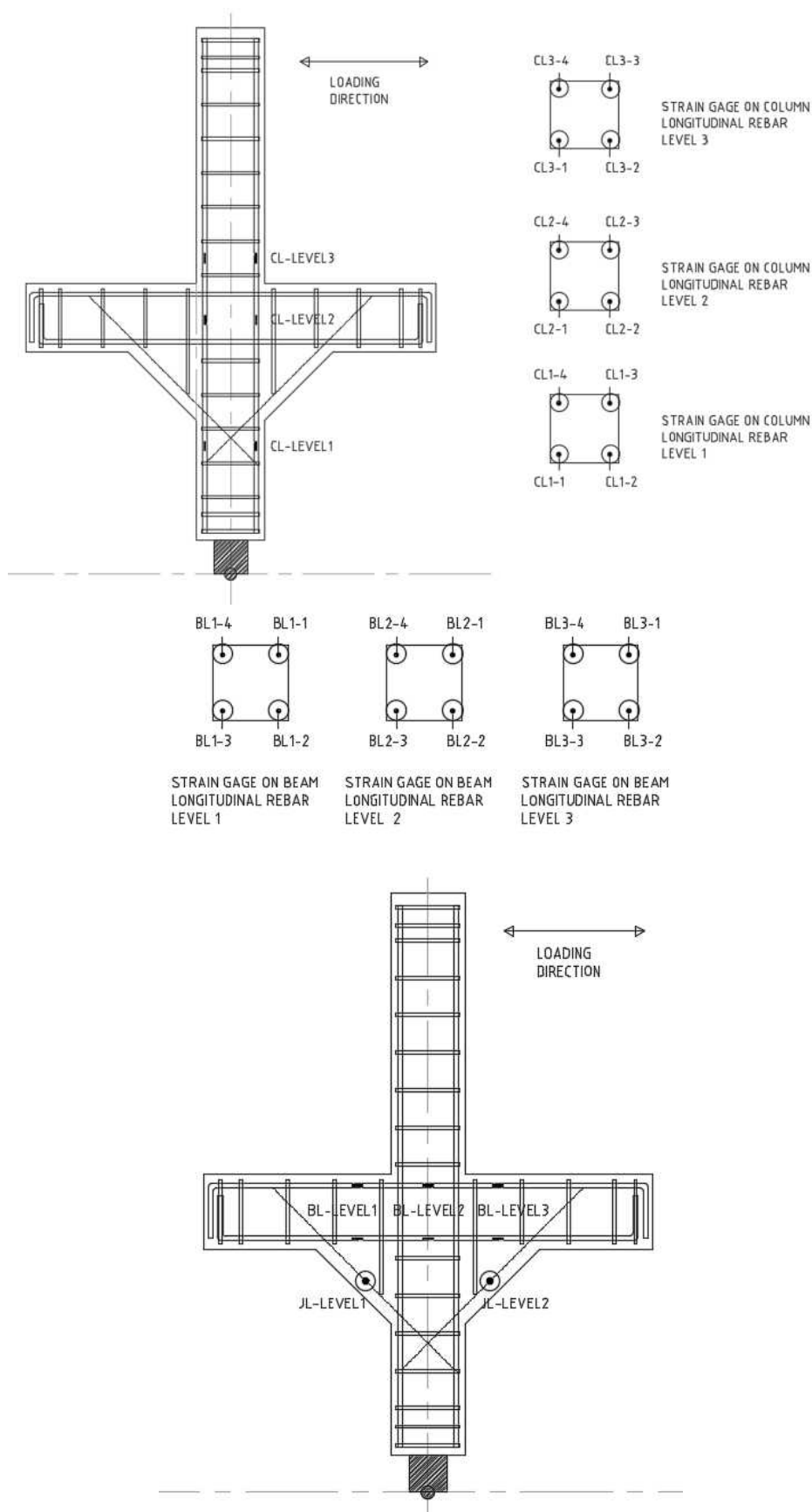


รูปที่ 2-29 รายละเอียดชิ้นงาน และการเสริมเหล็ก

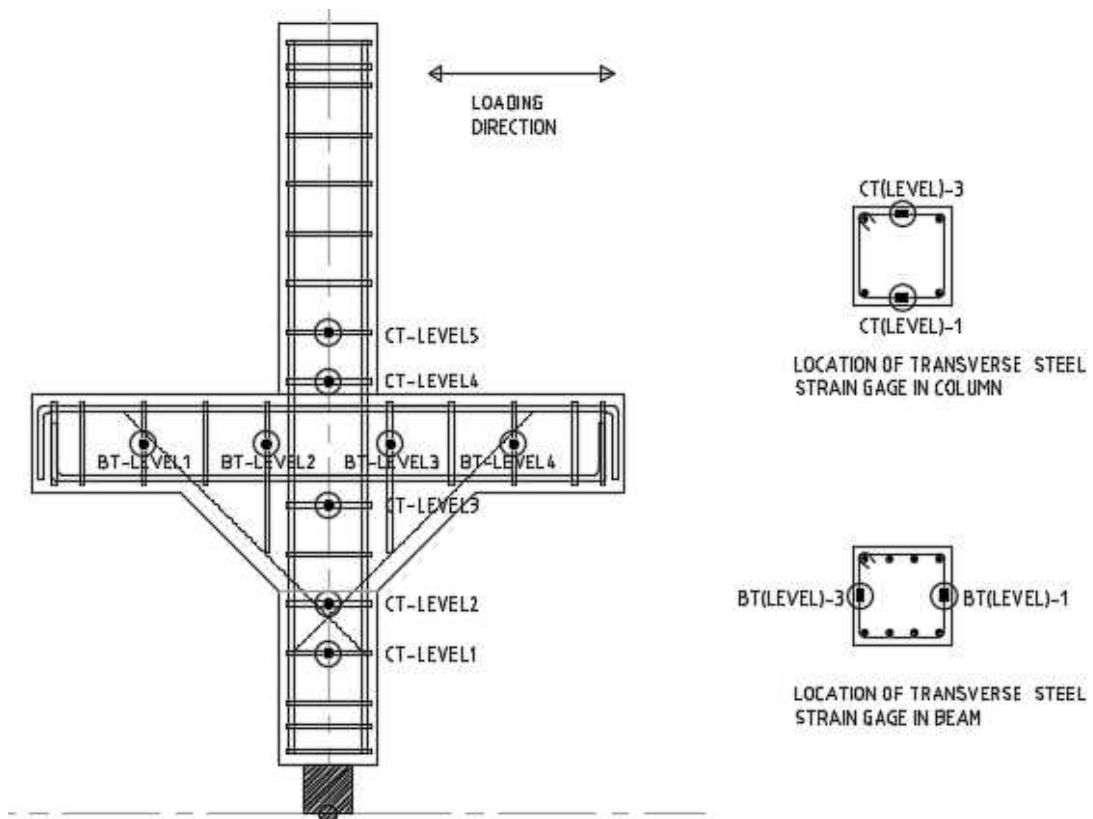


รูปที่ 2-30 การเสริมเหล็กของชิ้นงาน

การติดตั้งเกจวัดความเครียด (Strain Gages) ในเสา จะติดตั้งบนผิวเหล็กยื่นจำนวน 3 แถวๆ ละ 4 ตัว และติดตั้งบนเหล็กปลอกจำนวน 5 แถวๆ ละ 2 ตัว ส่วนในคานขวาง จะติดตั้งบนผิวเหล็กนอนจำนวน 3 ตำแหน่งๆ ละ 4 ตัว และติดตั้งบนผิวเหล็กปลอกจำนวน 4 แถวๆ ละ 2 ตัว รวมถึงติดตั้งที่ผิวเหล็กไขว้แนวทะแยงบริเวณบ่าคาน-เสา จำนวน 2 ตำแหน่งๆ ละ 2 ตัว รวมจำนวนเกจวัดความเครียดทั้งสิ้น 46 ตัว



รูปที่ 2-31 การตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริม



รูปที่ 2-32 การตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กปลอก



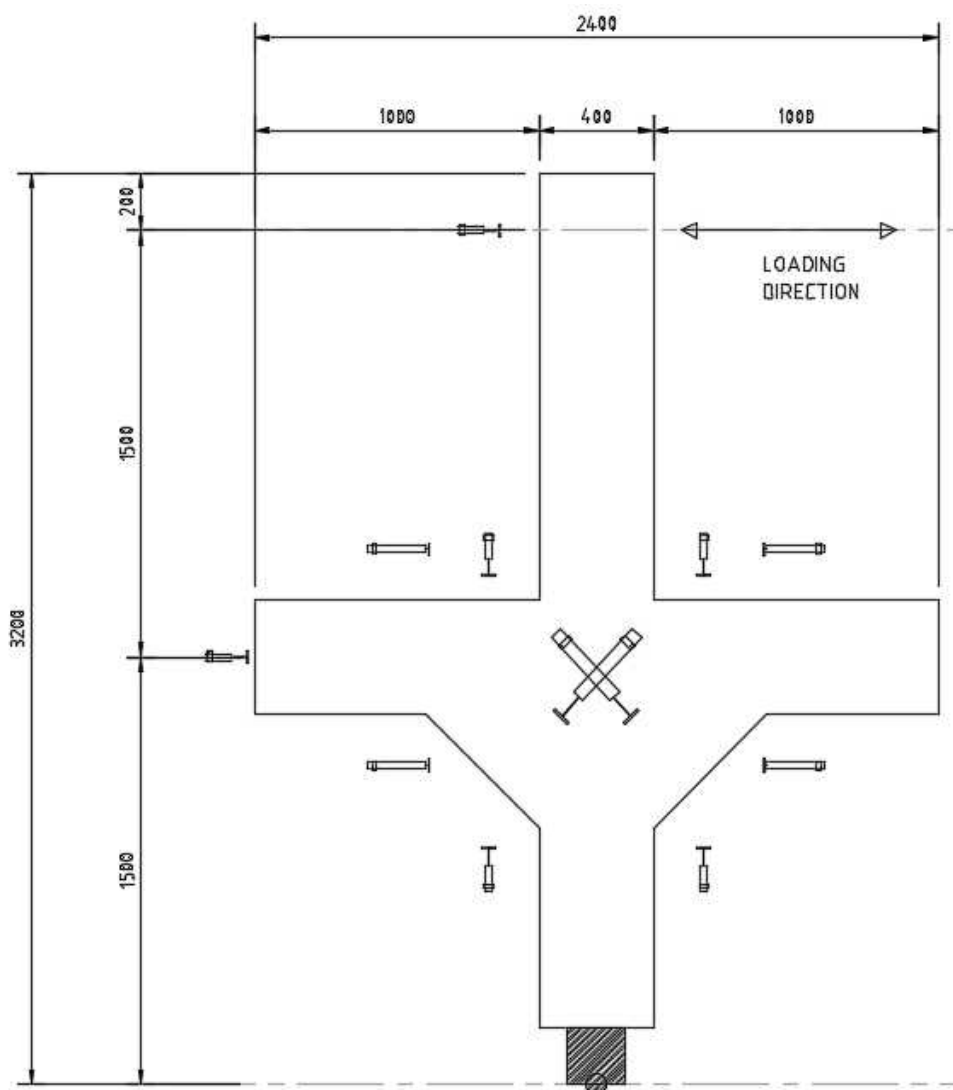
รูปที่ 2-33 การติดตั้งเกจวัดความเครียดในชิ้นงาน

ในขั้นตอนการเทคอนกรีต จะวางแบบหล่อขนานกับพื้น และใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดระบุที่ 28 วัน เท่ากับ 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) และหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะทำการถอดไม้แบบ และบ่มคอนกรีตจนกำลังของคอนกรีตมีค่าตามที่ระบุ



รูปที่ 2-34 ชี้นตัวอย่างคาน-เสา ขณะทำการเทคอนกรีต

ในการทดสอบชิ้นส่วนเสา จะทำการตรวจวัดระยะเคลื่อนที่ ณ จุดต่างๆ เพื่อคำนวณค่าความโค้งของเสาและคาน โดยจะมีเครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า ติดตั้งเป็นจำนวน 12 ชุด ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2-35



รูปที่ 2-35 ภาพตัดตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า

2.2.1.2. พฤติกรรมของรอยต่อเสากับคานขวางที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดสอบ

ตัวอย่างรอยต่อเสากับคานขวาง (BC-DOH) เมื่อรับแรงกระทำทางด้านข้างในช่วงแรกจะเกิดการเสียรูปตามทิศทางแรงกระทำ และเกิดรอยร้าวในส่วนเสาด้านบน จากนั้นมีการแตกร้าวก่เกิดที่บริเวณรอยต่อเสาและคาน และคอนกรีตเกิดการอัดแตกที่โคนเสาด้านบน เป็นเหตุให้ชิ้นส่วนรอยต่อเสากับคานขวางสูญเสียกำลังรับแรงทางด้านข้างนำไปสู่การวิบัติ ซึ่งพฤติกรรมที่อัตราการเคลื่อนตัวต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-5 อธิบายได้ดังนี้

- เมื่อเริ่มให้แรงกระทำทางด้านข้างไปยังอัตราการเคลื่อนตัว 0.75% ในรอบแรก พบว่าเริ่มมีรอยแตกร้าวในแนวราบที่บริเวณรอยต่อเสาด้านบนและคาน และเมื่อเคลื่อนตัวในรอบที่สอง เสาเกิดรอยร้าวในแนวราบที่ระดับความสูง 25 ซม. และ 45 ซม. จากโคนเสาด้านบน
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 1.0 % ในรอบแรก รอยแตกร้าวที่รอยต่อของโคนเสาด้านบนและคานมีลักษณะเฉียงเข้าตัดกันจากแรงเฉือน รวมถึงเสาด้านบนมีรอยแตกร้าวในลักษณะเฉียงต่อจากรอยร้าวในแนว

ระนาบ และเมื่อเคลื่อนตัวในรอบที่สอง พบว่าเริ่มมีรอยแตกร้าวในแนวราบที่บริเวณรอยต่อเสาด้านล่าง และคานตลอดทั้งหน้าเสา

- เมื่อให้แรงไปยังอัตราการเคลื่อนตัว 2.0% รอยแตกร้าวเริ่มมีความกว้างและยาวมากขึ้น รวมถึงคอนกรีตเกิดการอัดแตกที่โคนเสาด้านบนทั้งสองข้าง ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงทางด้านข้างตกลง
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 2.5% คอนกรีตที่โคนเสาด้านบนในทิศตะวันออกกะเทาะมากขึ้น และที่มุมเกิดรอยร้าวขนาดใหญ่ลักษณะเอียงจากจุดต่อโคนเสาด้านบนขึ้นไปยังความสูงเสาที่ระดับ 80 ซม. โดยความสามารถในการรับแรงกระทำทางด้านข้างได้ลดลงต่ำกว่า 80% ของแรงกระทำสูงสุด เป็นเหตุให้เสาเกิดการวิบัติ

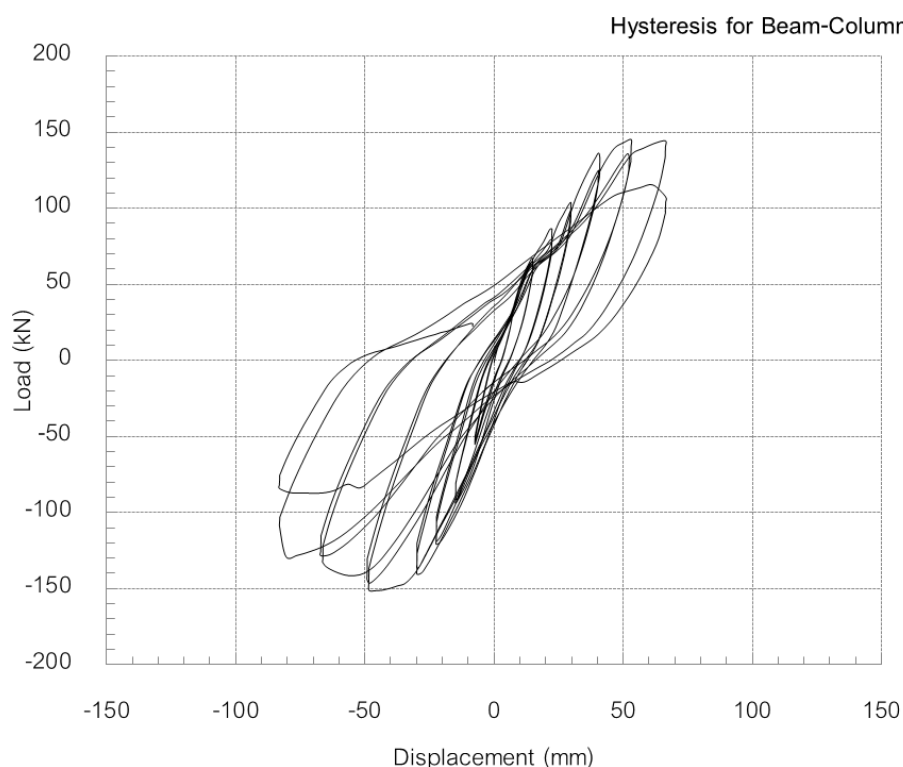
ตารางที่ 2-5 ลักษณะความเสียหายระหว่างการทดสอบและการวิบัติหลังการทดสอบของตัวอย่างรอยต่อเสาคานขวาง (BC-DOH)

(% Drift)	0.75%	1.0%	2.0%	2.5%	4%
รูปภาพ ความ เสียหาย					
ลักษณะ ความ เสียหาย	เริ่มมีรอยแตกกว้าง บริเวณรอยต่อเสาคาน ด้านบนและคาน	รอยแตกกว้างที่รอยต่อ ของโคนเสาด้านบน และคานมีลักษณะเฉียง เข้าตัดกันจากแรงเฉือน รวมถึงเสาด้านบนมี รอยแตกกว้างมีลักษณะ เฉียงต่อจากรอยร้าวใน แนวระนาบ	รอยแตกกว้างเริ่มมีความ กว้างและขามากขึ้น รวมถึงคอนกรีตเกิด การอัดแตกที่โคนเสาคาน ด้านบนทั้งสองข้างของ เสา	คอนกรีตที่โคนเสาด้านบนในทิศ ตะวันออกทะลุทะลวงมากจน รอยร้าวขนาดใหญ่ในลักษณะเฉียง	เกิดรอยร้าวลักษณะเฉียง จากจุดต่อโคนเสาคาน ด้านบนได้พัฒนาไปขึ้น ไปถึงความสูงเสาที่ระดับ 80 ซม. เป็นเหตุเสาเกิด การวิบัติ

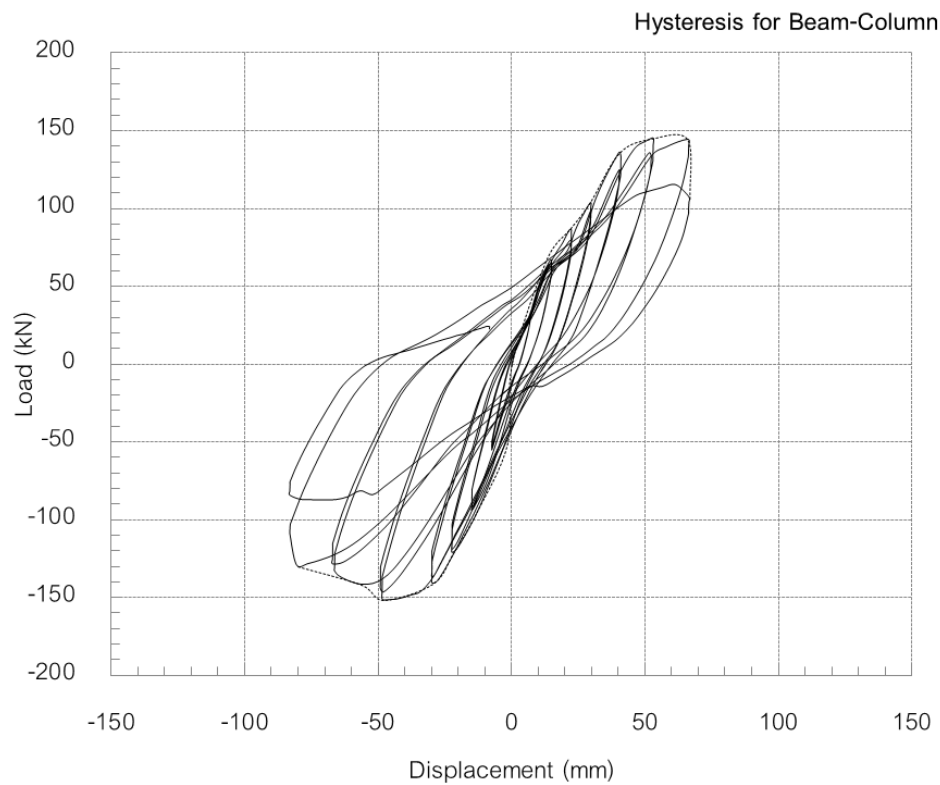
2.2.1.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้นข้างกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้าง

ข้อมูลทดสอบรอยต่อเสาและคานขวางสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้นข้างกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้างได้ โดยระยะการเคลื่อนที่ทางด้นข้างนั้นได้ทำการปรับแก้ผลเนื่องจากการเลื่อนไถลของฐานรากและการหมุนของฐานราก รวมถึงการเลื่อนไถลของผนังรับแรง ซึ่งกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของตัวอย่างรอยต่อเสาและคานขวางที่อัตราส่วนการเคลื่อนที่ต่างๆได้ และสามารถใช้อาเส้นโค้งห่อหุ้ม (envelop curve) เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ค่าความหนืด ค่าการสลายพลังงาน และค่าความโค้ง ของตัวอย่างรอยต่อเสาและคานขวาง

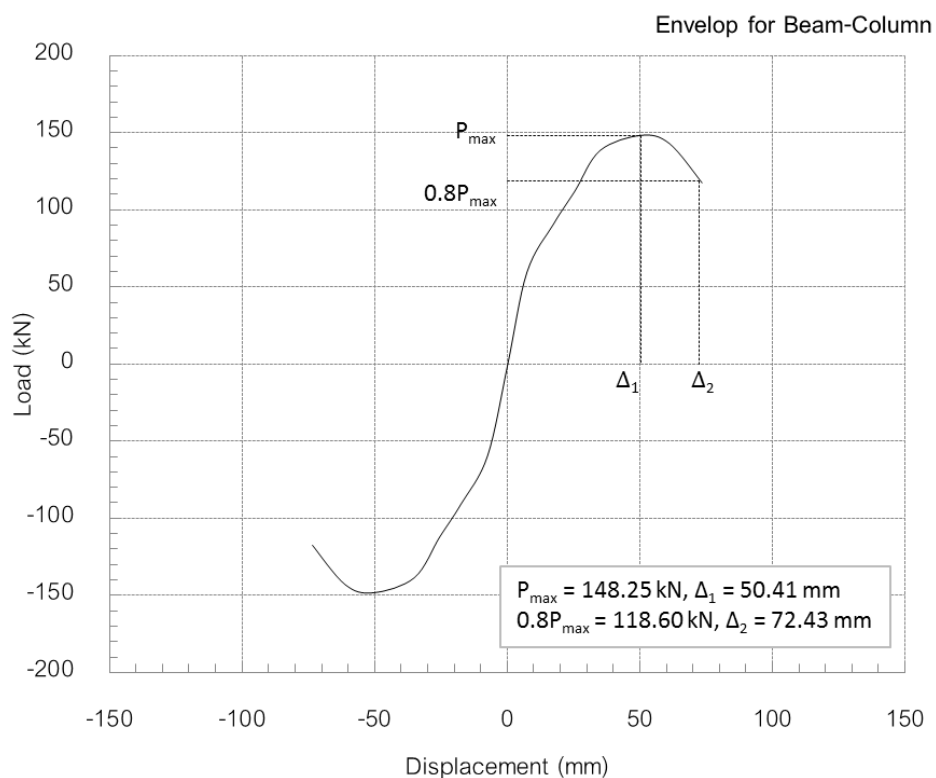
โดยแรงกระทำทางด้นข้างและการเคลื่อนที่ทางด้นข้างนั้นถูกกำหนดด้วยหลักการดังนี้ เมื่อแรงกระทำทางด้นข้างที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบเคลื่อนตัวไปยังด้านที่อยู่ตรงข้ามกับเครื่องให้แรงทางด้นข้าง ซึ่งจะเกิดแรงอัดในเครื่องให้แรง จะแสดงผลของแรงและการเคลื่อนตัวเป็นเครื่องหมาย + และเมื่อแรงกระทำทางด้นข้างที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบเคลื่อนตัวไปยังด้านเดียวกับเครื่องให้แรงทางด้นข้าง ซึ่งจะเกิดแรงดึงในเครื่องให้แรง จะแสดงผลของแรงและการเคลื่อนตัวเป็นเครื่องหมาย -



รูปที่ 2-36 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้างของตัวอย่างรอยต่อเสาและคานขวาง (BC-DOH)



รูปที่ 2-37 เส้นโค้งขอบนอก (envelop curve) ตัวอย่างรอยต่อเสาและคานขวาง (BC-DOH)



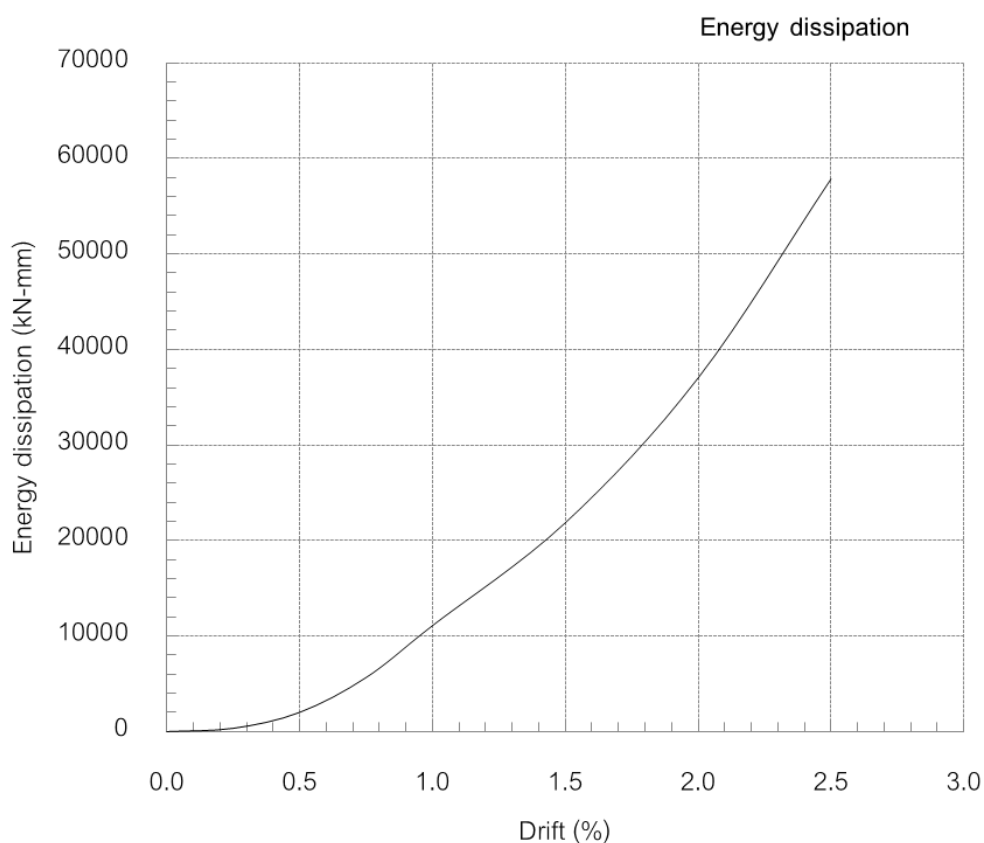
รูปที่ 2-38 การหาคุณสมบัติจากเส้นโค้งขอบนอก (envelop curve) ตัวอย่างรอยต่อเสาและคานขวาง (BC-DOH)

ตารางที่ 2-6 สรุปผลการทดสอบตัวอย่างรอยต่อเสาและคานขวาง

Specimen	P_{max} (kN)	Disp@ P_{max} (mm)	$0.8 P_{max}$ (ton)	Displ@ $0.8 P_{max}$ (mm)	Drift@ $0.8 P_{max}$ (%)
BC-DOH	148.25	50.41	118.60	72.43	2.4

2.2.1.4. การสลายพลังงานของรอยต่อเสาและคานขวาง (BC-DOH)

ความเสียหายของรอยต่อเสาและคานขวางมีลักษณะเกิดเป็นรอยแตกร้าวตามจุดต่อของเสาด้านบนและคาน รอยแตกร้าวได้พัฒนาต่อจากแนวราบในลักษณะเฉียงเนื่องจากแรงเฉือน หลังจากคอนกรีตบริเวณเสาด้านบนและคานเริ่มกะเทาะ คอนกรีตมีความเสียหายเพิ่มขึ้น แต่รอยต่อเสาและคานขวางยังคงมีแนวโน้มรับแรงกระทำทางด้านข้างได้อยู่ แต่เมื่อรอยร้าวที่จากแรงเฉือนเกิดขึ้นตลอดทั้งหน้าเสา จากโคนเสาด้านบนไปยังที่ระดับความสูง 80 ซม. อีกสิ่งหนึ่งเป็นผลทำให้ความสามารถในการรับแรงทางด้านข้างตกลงอย่างรวดเร็วและเกิดการวิบัติในที่สุด ซึ่งแสดงว่าความสามารถสลายพลังงานมีค่าสูงเพราะสามารถรับแรงกระทำทางด้านข้างได้ที่สูงที่อัตราส่วนการเคลื่อนตัวมาก โดยค่าการสลายพลังงานสะสมมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 57,848 kN-mm



รูปที่ 2-39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายพลังงานกับอัตราส่วนการเคลื่อนที่

ตารางที่ 2-7 ค่าการสลายพลังงานในแต่ละรอบการทดสอบ

อัตรา การเคลื่อนตัว	ค่าการสลายพลังงาน (กิโลนิวตัน-มม.)	
	BC-DOH	
	แต่ละรอบ	สะสม
0.25	350	350
0.5	2013	1663
0.75	5660	3647
1.0	11100	5441
1.5	21861	10761
2.0	37023	15163
2.5	57848	20825

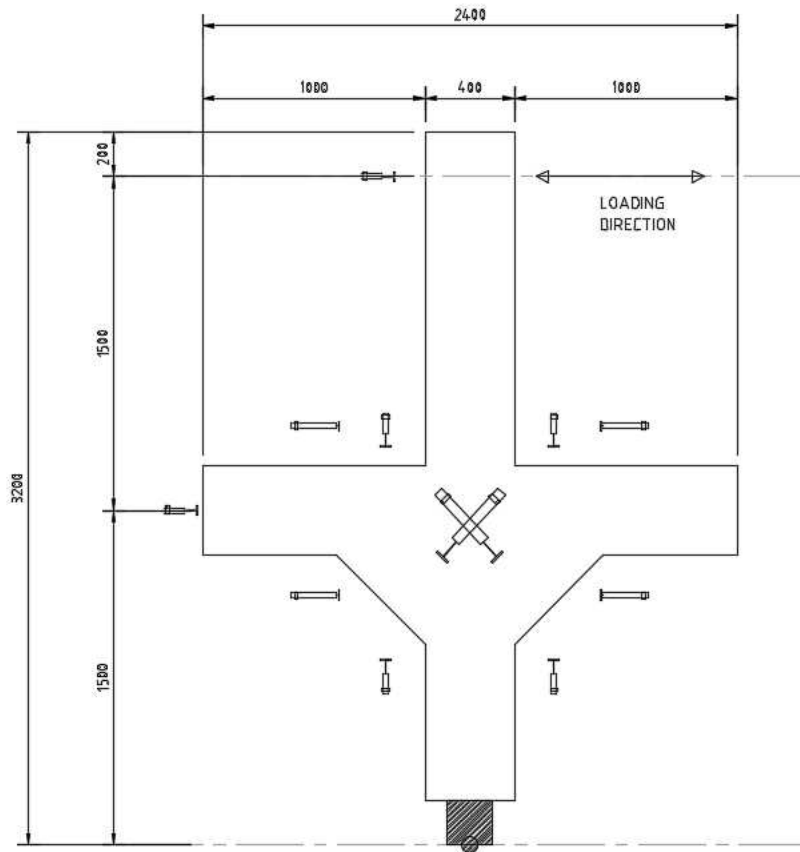
2.2.1.5. ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้ง

ในการทดสอบได้มีการติดเครื่องมือวัดระยะการเคลื่อนที่จำนวน 10 ตัว ดังแสดงได้ในรูปที่ 2-40 ซึ่งสามารถใช้คำนวณค่าความโค้งได้ตามความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตดังแสดงในสมการที่ (2-8) และ (2-9) โดยผลทดสอบสามารถนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งดังแสดงในรูปที่ 2-41 ถึง รูปที่ 2-44

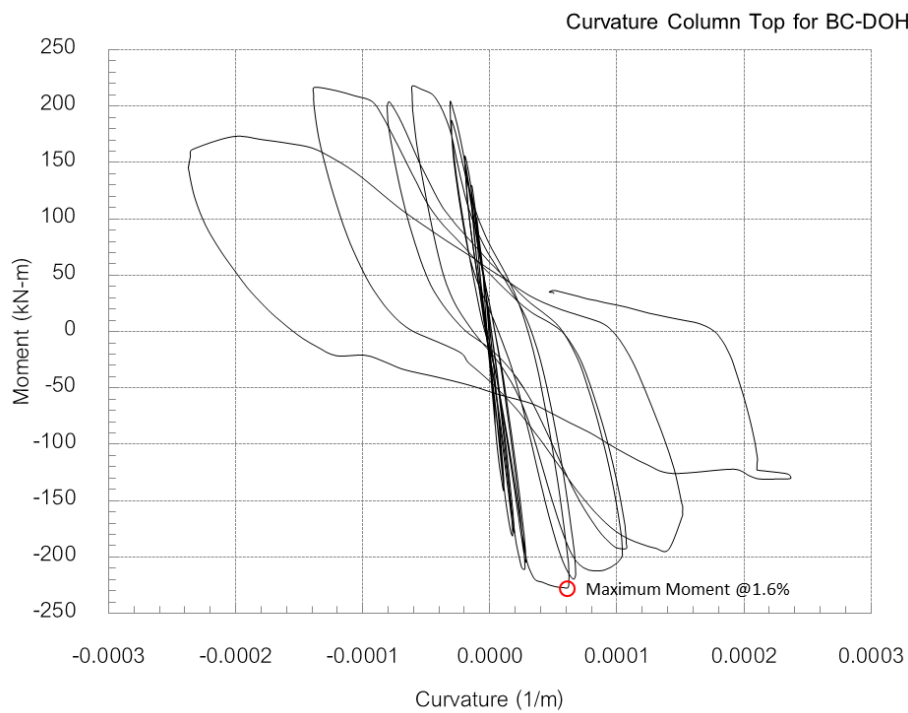
$$\text{Curvature, } \rho = \frac{\theta}{L} \quad (2-8)$$

$$= \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{L} \cdot \frac{1}{H} \quad (2-9)$$

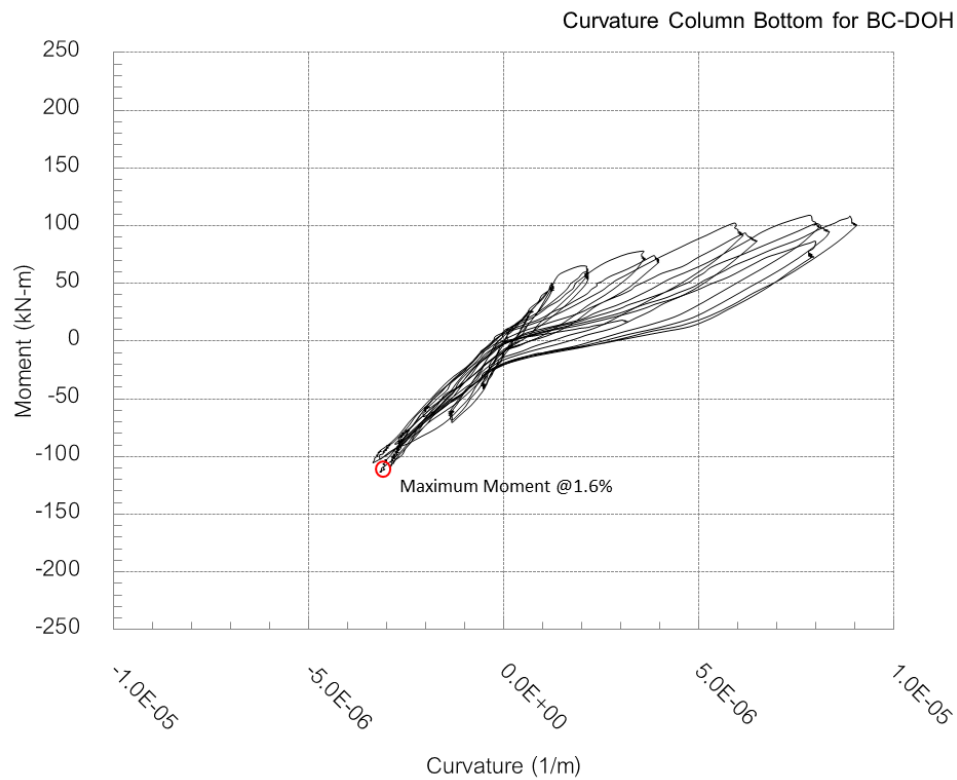
$$\text{Rotation} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{L} \quad (2-10)$$



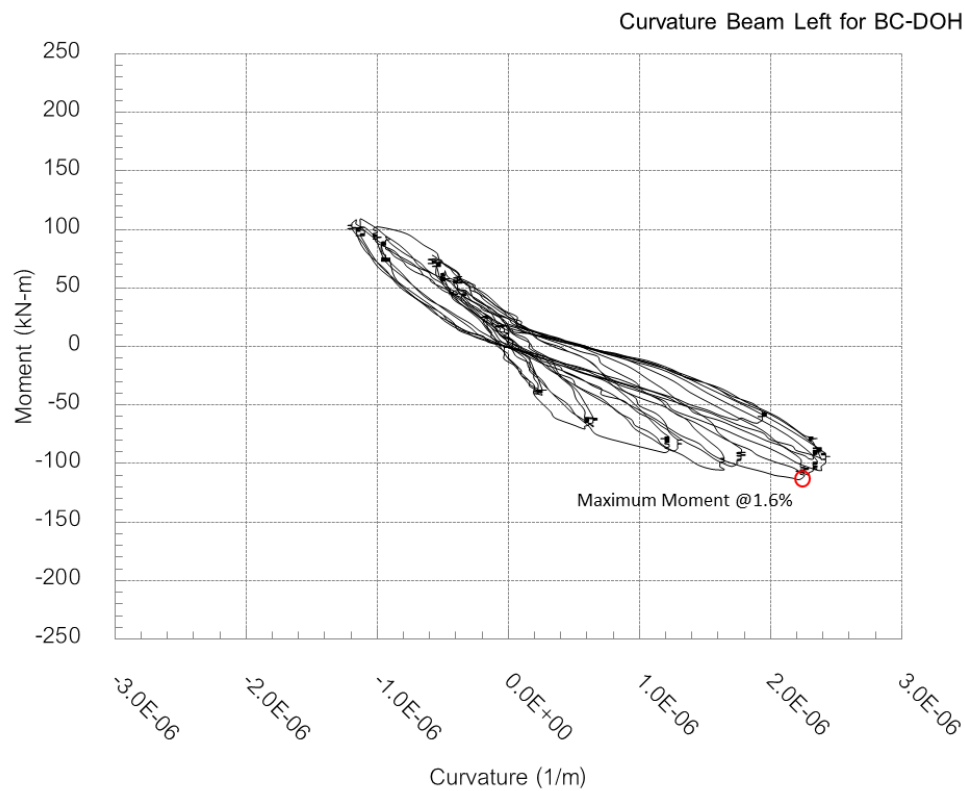
รูปที่ 2-40 การหาค่าความโค้ง (curvature)



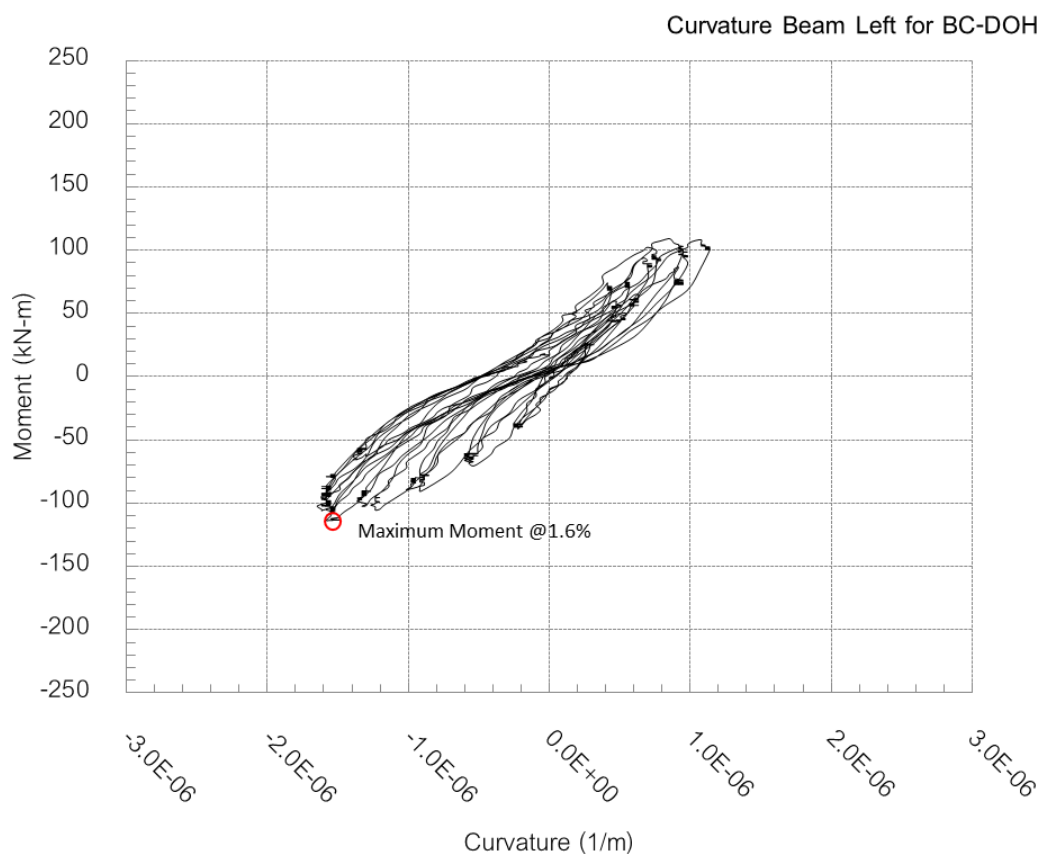
รูปที่ 2-41 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งเสาด้านบนของตัวอย่าง BC-DOH



รูปที่ 2-42 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งเสาด้านล่างของตัวอย่าง BC- DOH



รูปที่ 2-43 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งเสาด้านบนของตัวอย่าง BC-DOH



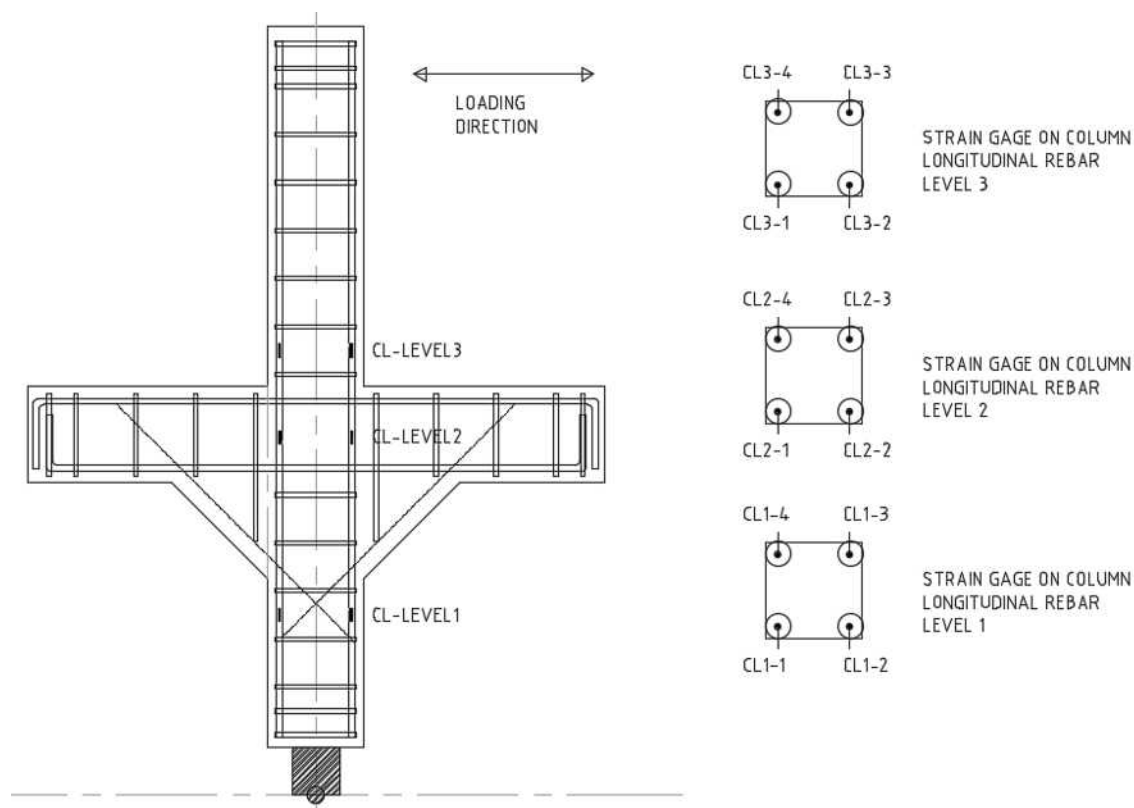
รูปที่ 2-44 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งเสาด้านล่างของตัวอย่าง BC- DOH

ตารางที่ 2-8 โมเมนต์และค่าความโค้งของตัวอย่างรอยต่อเสาและคานขวาง

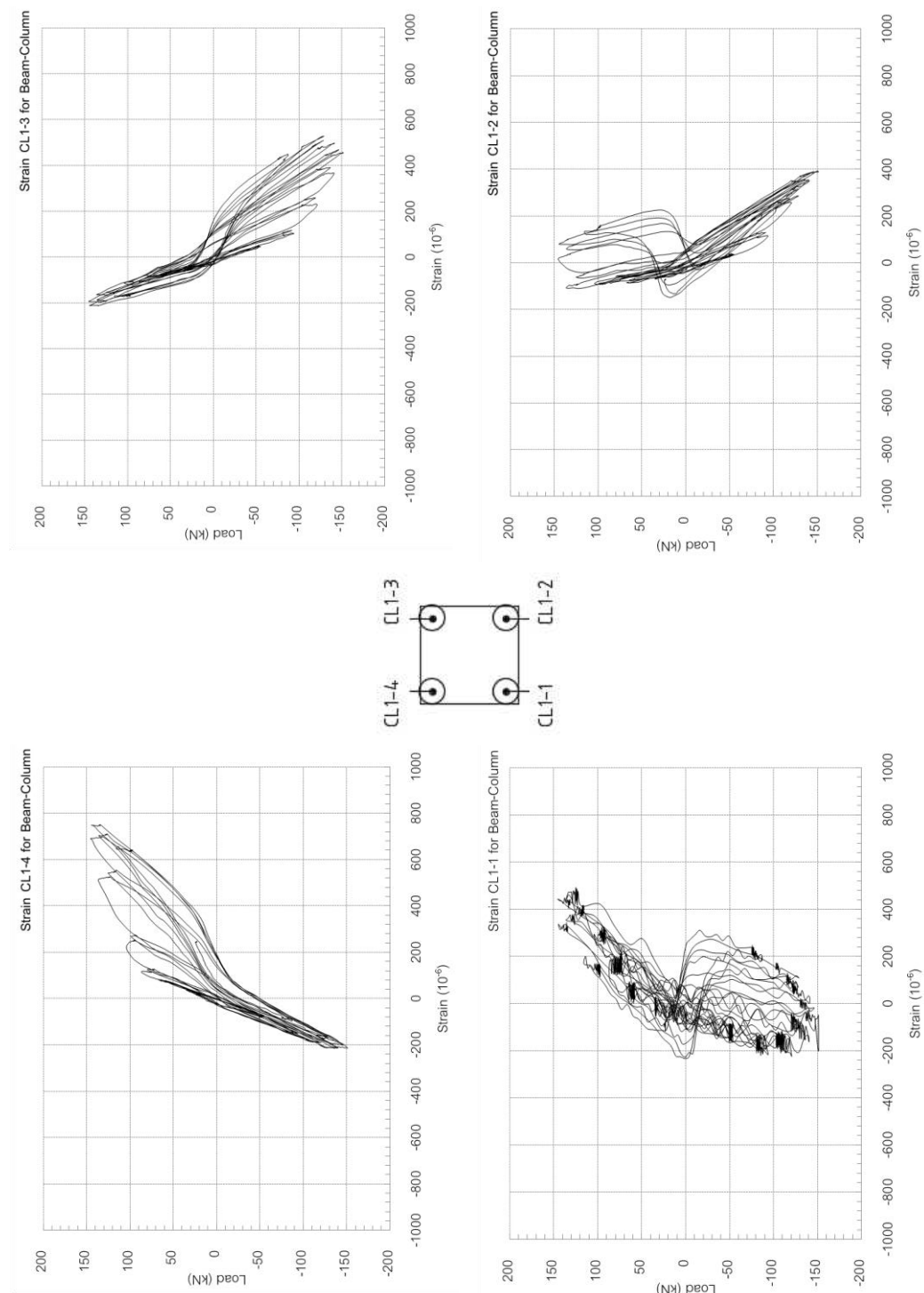
Specimens	M_{max} (kN)	Disp@ M_{max} (mm)	Drift@ M_{max} (%)	Curvature (1/m)			
				Column Top	Column Bottom	Beam Left	Beam Right
C-DOH	226.95	50.41	1.6	0.000062	0.000037	0.000002	0.000002

2.2.1.6. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับความเครียดในเหล็กเสริม

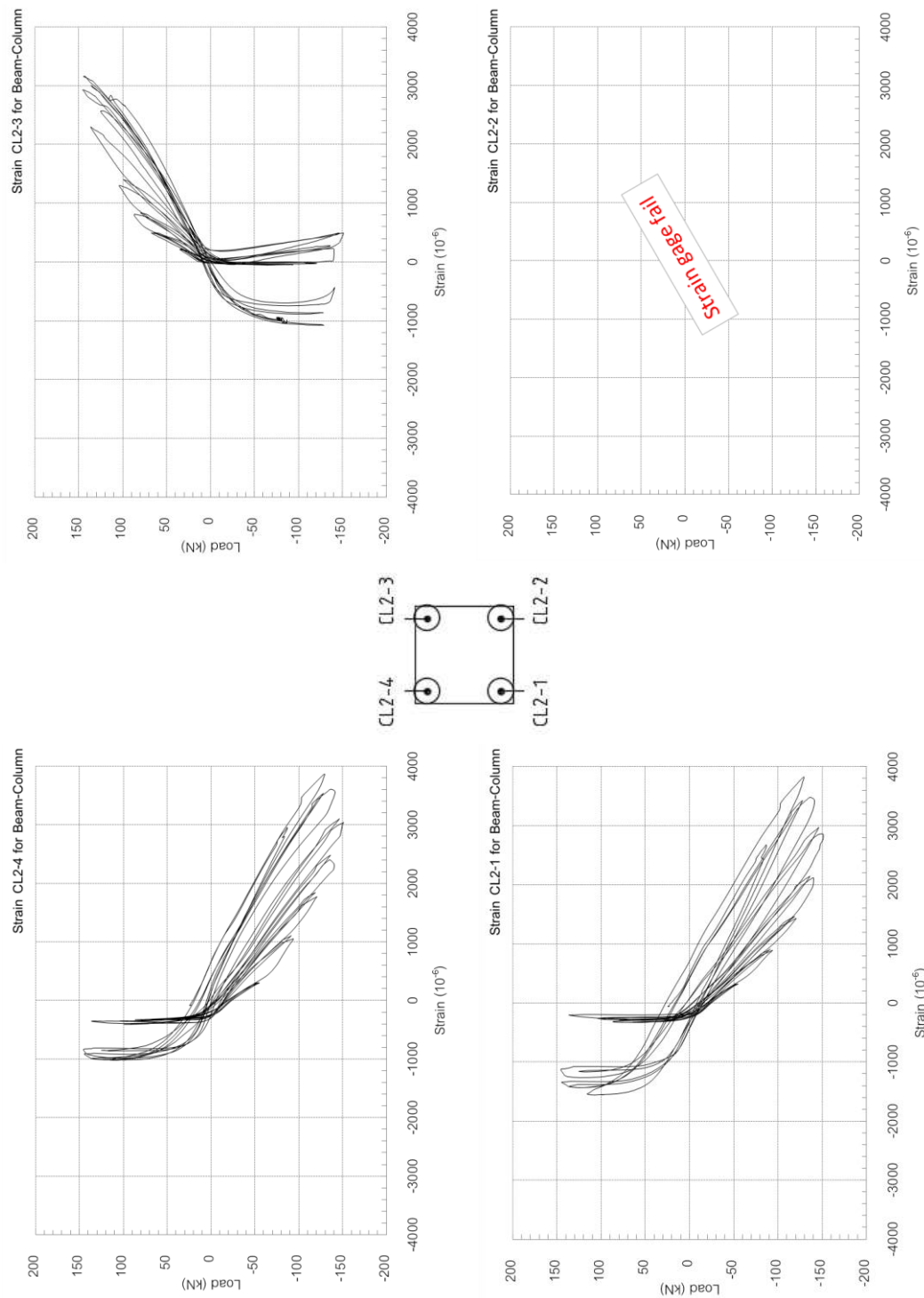
การติดตั้งเกจวัดความเครียด (Strain Gages) ในเสา จะติดตั้งบนผิวเหล็กขึ้นจำนวน 3 แถวๆ ละ 4 ตัว และติดตั้งบนเหล็กปลอกจำนวน 5 แถวๆ ละ 2 ตัว ส่วนในคานขวาง จะติดตั้งบนผิวเหล็กนอนจำนวน 3 ตำแหน่งๆ ละ 4 ตัว และติดตั้งบนผิวเหล็กปลอกจำนวน 4 แถวๆ ละ 2 ตัว รวมถึงติดตั้งที่ผิวเหล็กไขว้แนวทะแยงบริเวณบ่าคาน-เสา จำนวน 2 ตำแหน่งๆ ละ 2 ตัว รวมจำนวนเกจวัดความเครียดทั้งสิ้น 46 ตัว



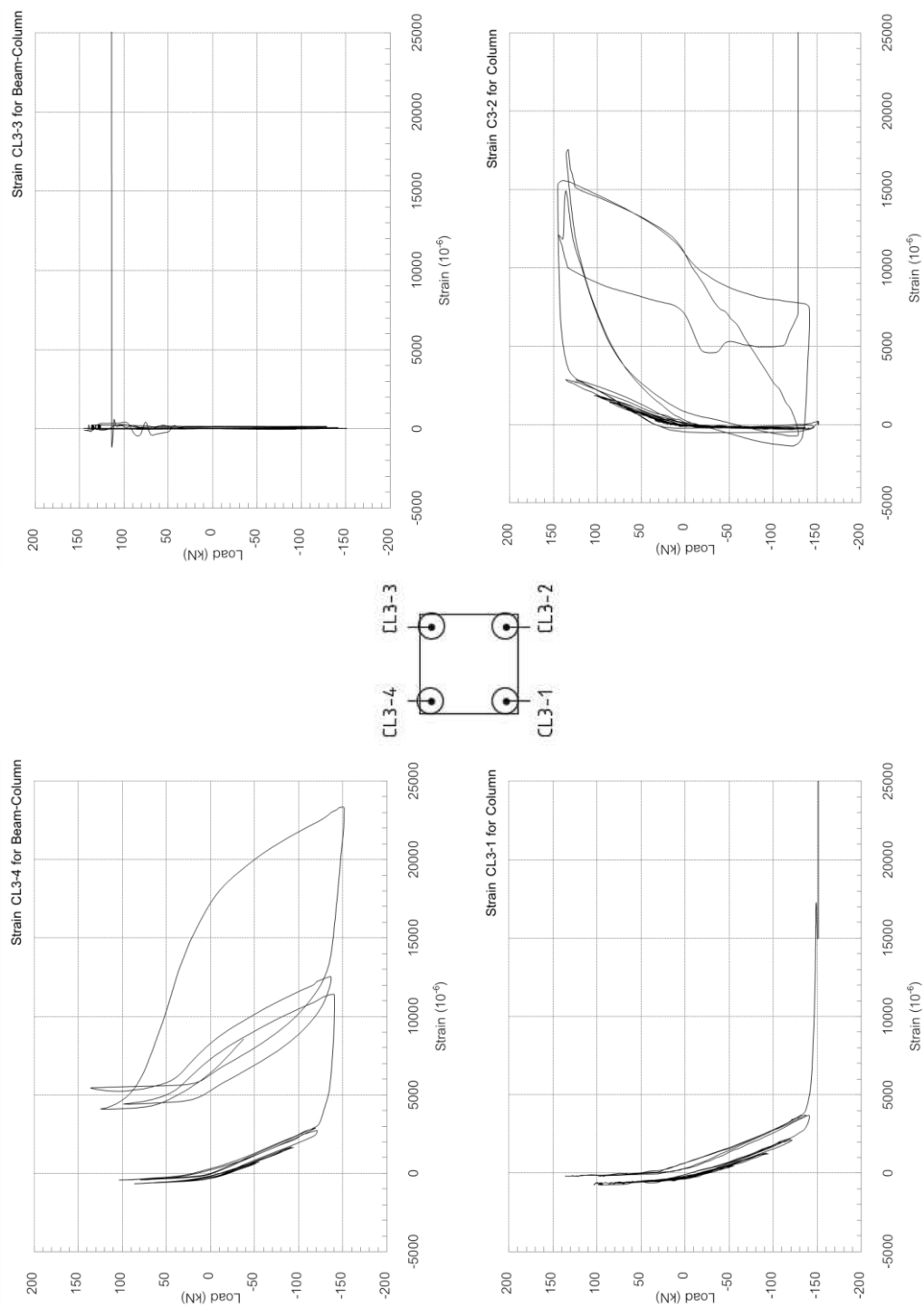
รูปที่ 2-45 การตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมของเสา



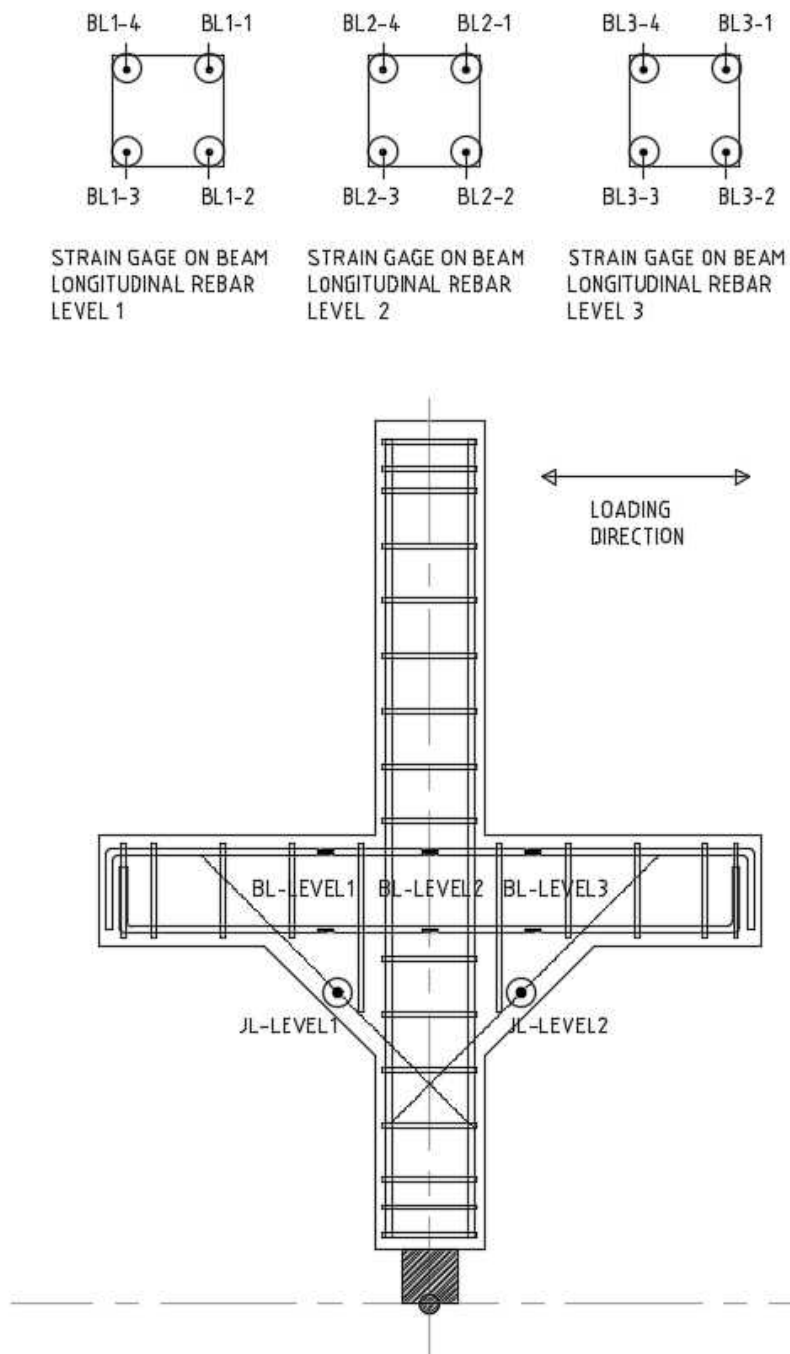
รูปที่ 2-46 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับความเครียดในเหล็กขึ้น (ระดับที่ 1)



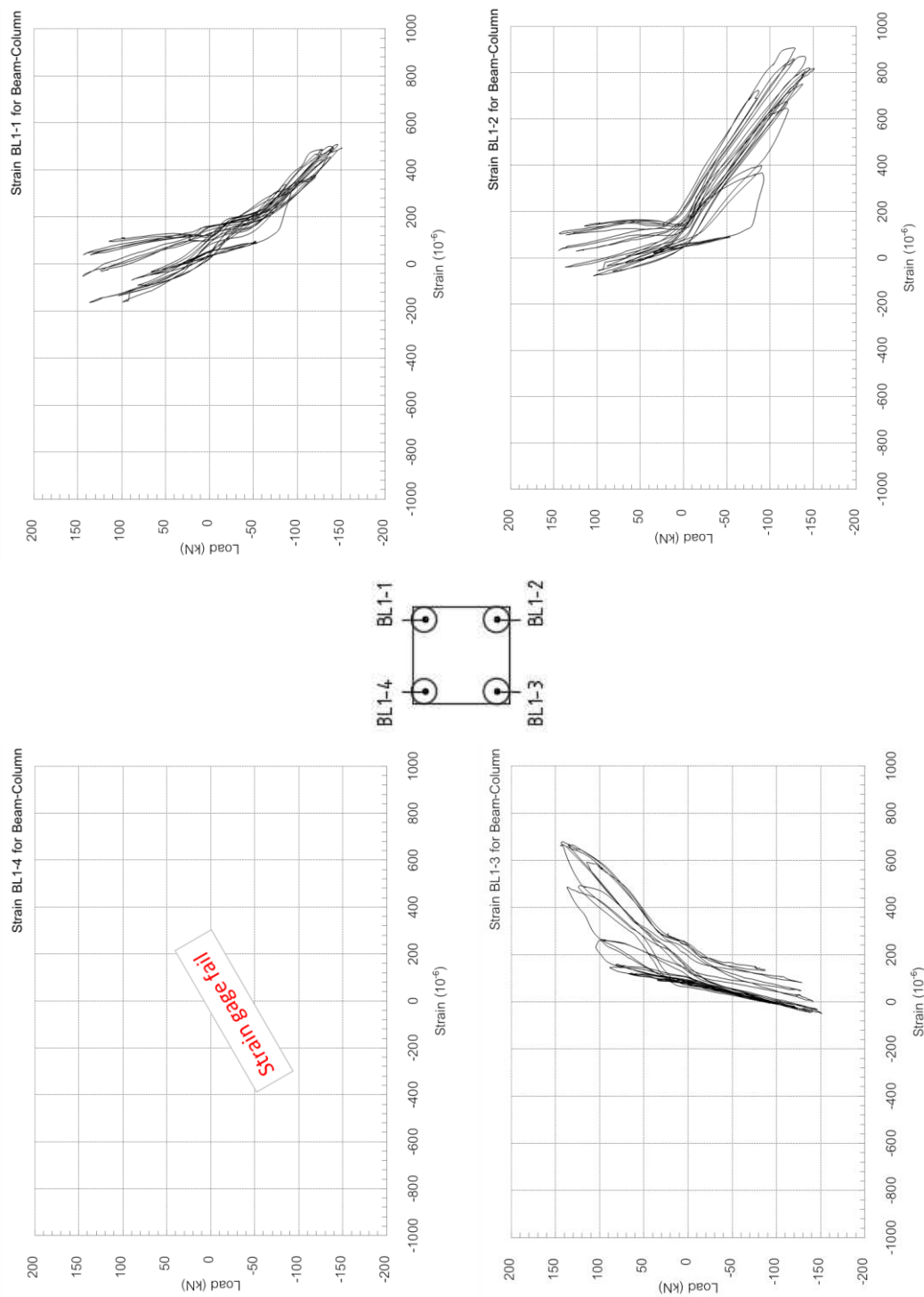
รูปที่ 2-47 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางดิ่งข้างกับความเครียดในเหล็กชั้น (ระดับที่ 2)



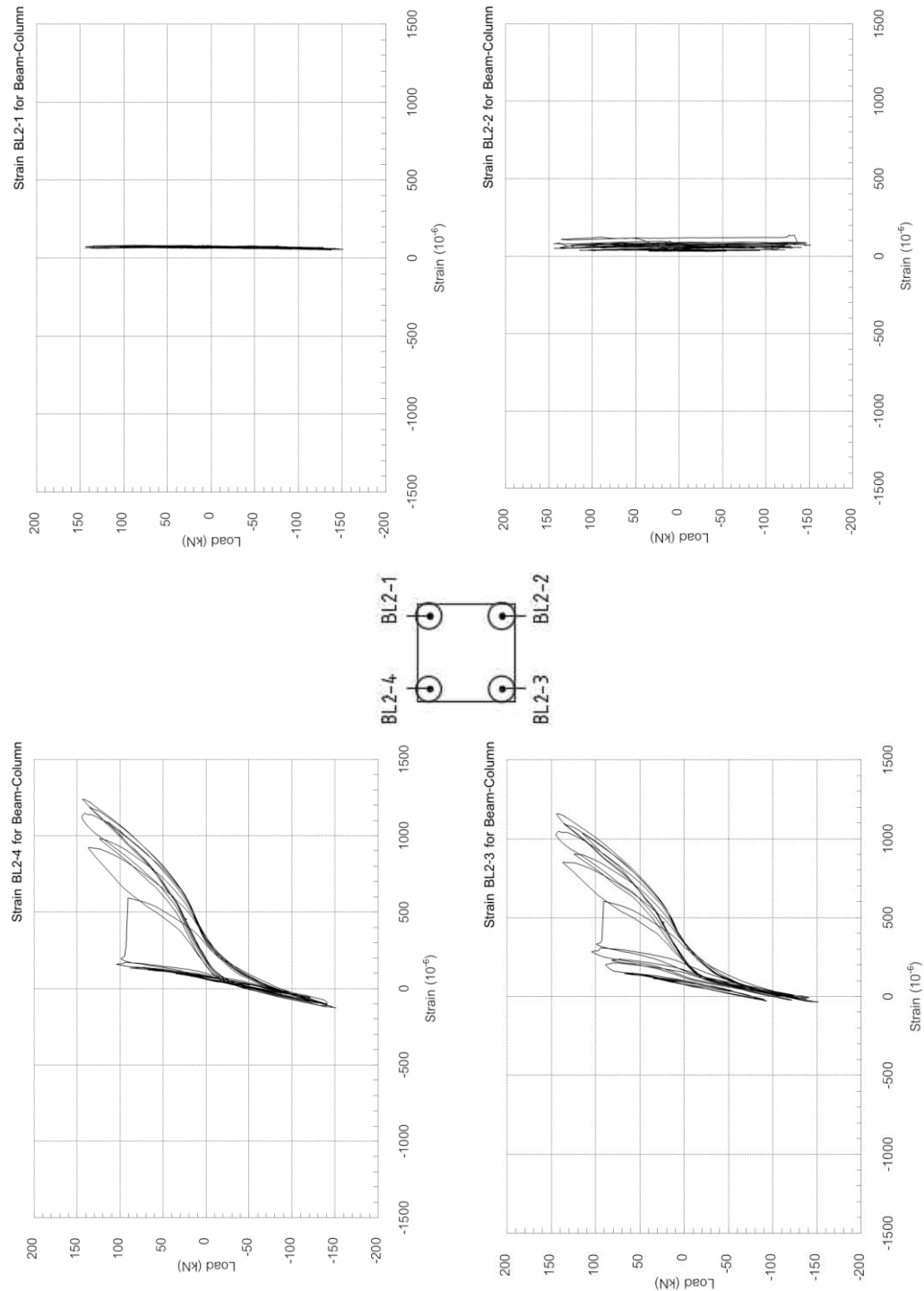
รูปที่ 2-48 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้นข้างกับความเครียดในเหล็กขึ้น (ระดับที่ 3)



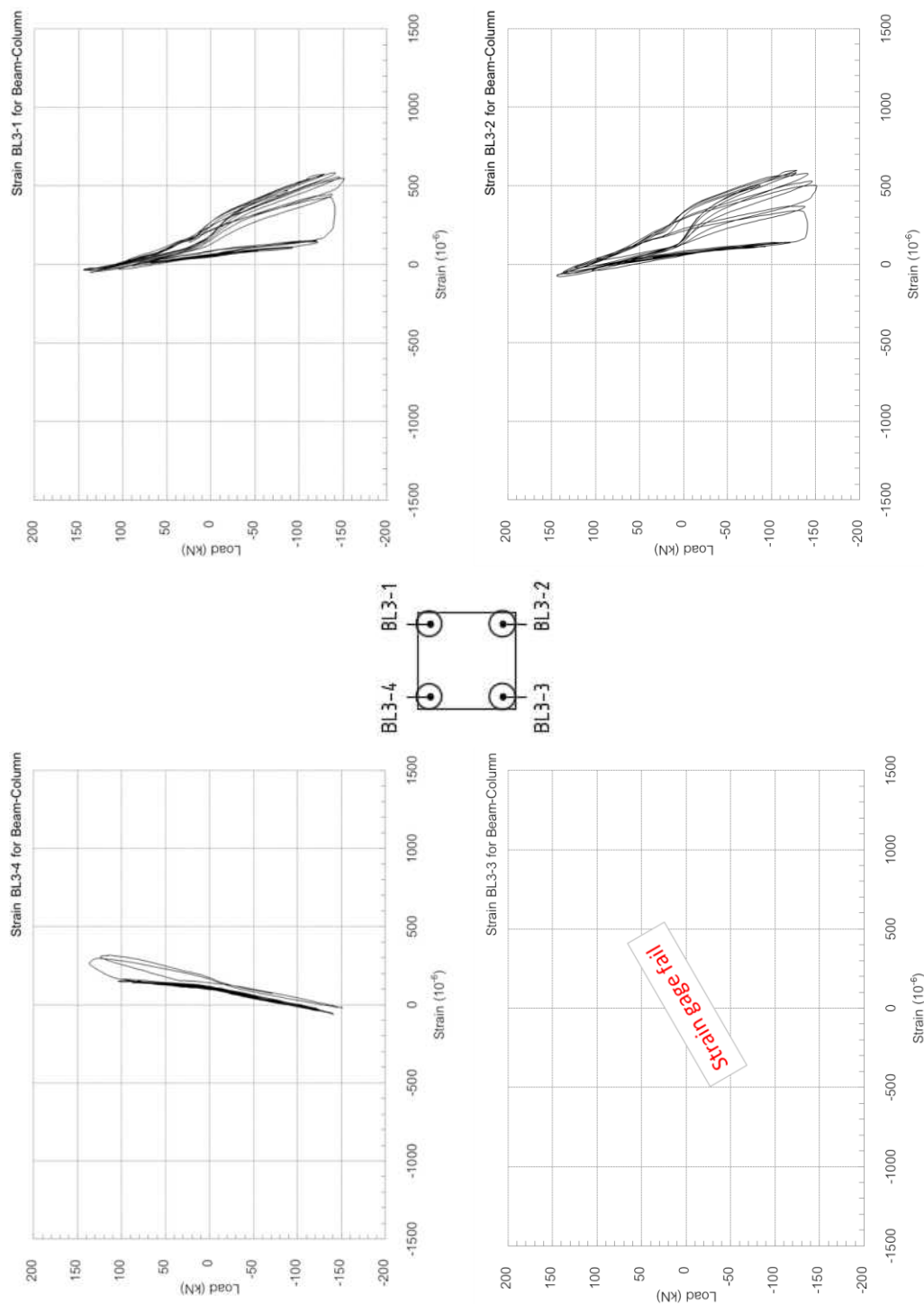
รูปที่ 2-49 การตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมของคานขวาง



รูปที่ 2-50 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางดิ่งข้างกับความเครียดในเหล็กนอน (ระดับที่ 1)



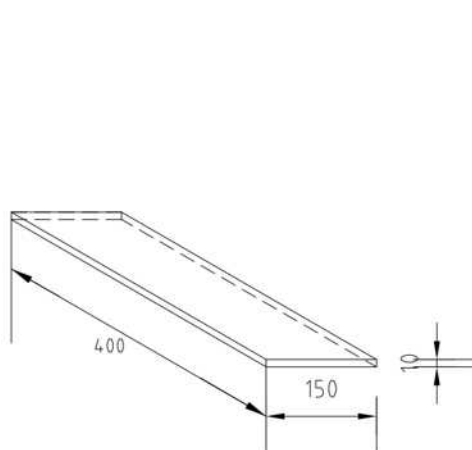
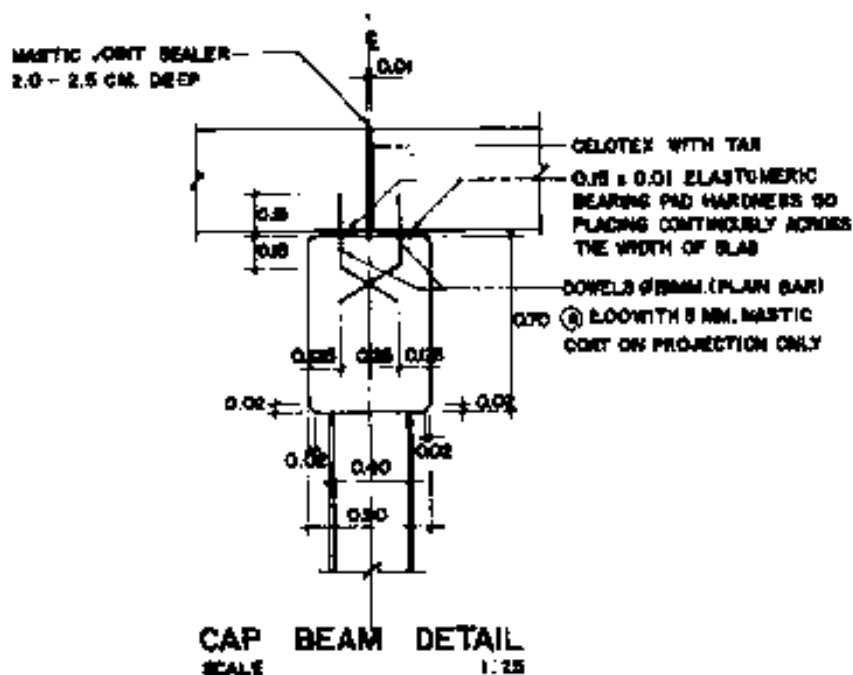
รูปที่ 2-51 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางดันท่างกับความเครียดในเหล็กนอน (ระดับที่ 2)



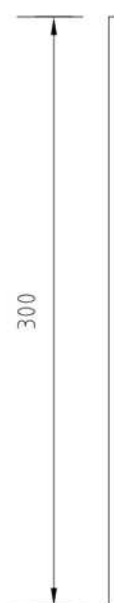
รูปที่ 2-52 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางดิ่งกับความเครียดในเหล็กนอน (ระดับที่ 3)

2.3. ส่วนของโครงสร้างที่ 3 : รอยต่อระหว่างคานรัดหัวเสา กับคานสะพาน

บริเวณรอยต่อระหว่างคานรัดหัวเสา กับคานสะพานหรือพื้นสะพาน จะมีการติดตั้งแผ่นยางรองสะพาน (Bearing) และเหล็กเดือย (Dowel Bar) ซึ่งแรงกระทำในบริเวณนี้จะมีพฤติกรรมที่ซับซ้อน โดยการศึกษาในโครงการนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบแผ่นยางรองสะพาน และการทดสอบเหล็กเดือย ดังแสดงในรูปที่ 2-53 ซึ่งผลการทดสอบพฤติกรรมของ 2 ส่วนนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป



BEARING PAD
SIZE: 150 x 400 x 10 mm.



DOWEL BAR: ROUND BAR
19mm. DIA.

รูปที่ 2-53 รอยต่อระหว่างคานรัดหัวเสา กับคานสะพาน และตัวอย่างชิ้นงานสำหรับการทดสอบ

2.3.1. การทดสอบแผ่นยางรองสะพานในการรับแรงด้านข้าง

2.3.1.1. การเตรียมการทดสอบแผ่นยางรองสะพาน

ในการติดตั้งชุดทดสอบแผ่นยาง ที่ปลายด้านหนึ่งของเครื่องให้แรงทางด้านข้างจะยึดติดกับผนังรับแรงขนาดใหญ่ซึ่งยึดกับพื้นห้องปฏิบัติการ (Strong Floor) ด้วยเหล็กอัดแรงดังแสดงในรูปที่ 2-54 ทั้งนี้เพื่อให้มีแรงเสียดทานระหว่างผนังรับแรงกับพื้นห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะช่วยป้องกันมิให้ผนังรับแรงมีการเคลื่อนตัวในระหว่างการให้แรงกับตัวอย่างแผ่นยาง

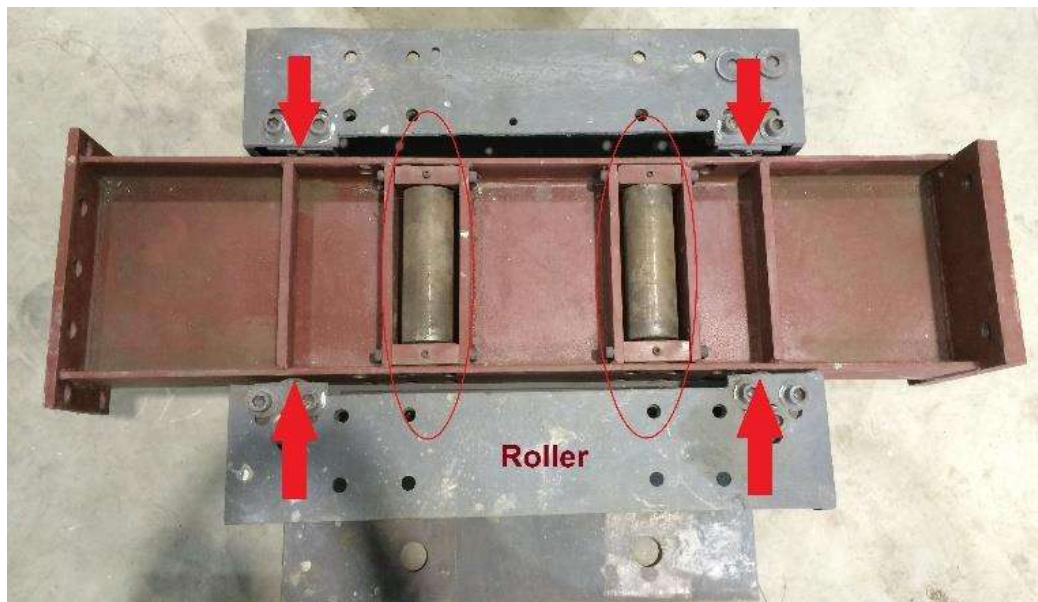


รูปที่ 2-54 ผนังรับแรงขนาดใหญ่ที่ยึดติดกับพื้นห้องปฏิบัติการด้วยเหล็กอัดแรง

ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของเครื่องให้แรงทางด้านข้างจะยึดติดกับโครงเหล็กแบบล้อเลื่อน โดยมีทิศทางการเคลื่อนตัวดังแสดงในรูปที่ 2-55 และภายในโครงเหล็กแบบล้อเลื่อนจะมีการติดตั้งล้อเลื่อน (Roller) ทั้งด้านบน ด้านล่าง ด้านซ้าย และด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 2-56 เพื่อให้แกนของเครื่องให้แรงทางด้านข้างเคลื่อนตัวอยู่ในระนาบที่ถูกต้องระหว่างการทดสอบ และโครงเหล็กแบบล้อเลื่อนจะยึดติดกับแผ่นเหล็กที่ประกบกับแผ่นยางที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งภาพรวมของชุดทดสอบทั้งหมดแสดงในรูปที่ 2-57



รูปที่ 2-55 โครงหลักแบบสั่น



รูปที่ 2-56 ตำแหน่งติดตั้งสั่น

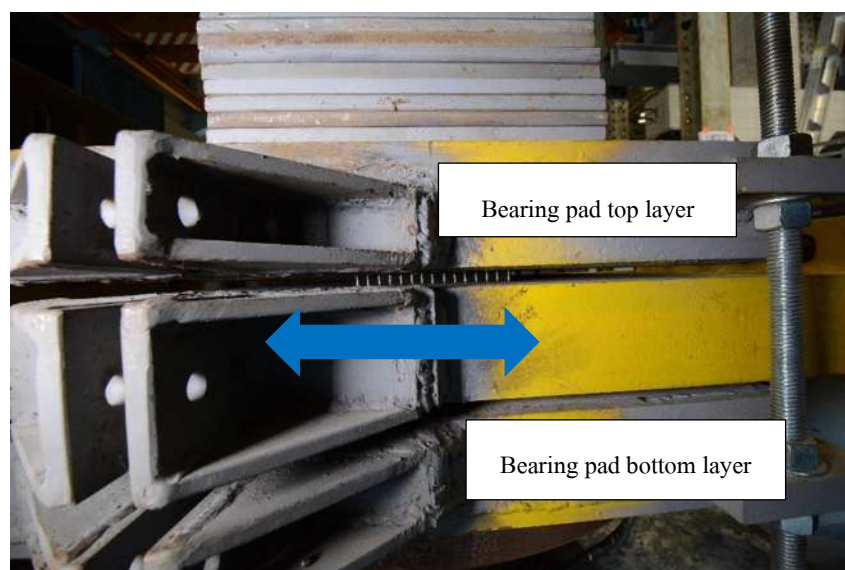
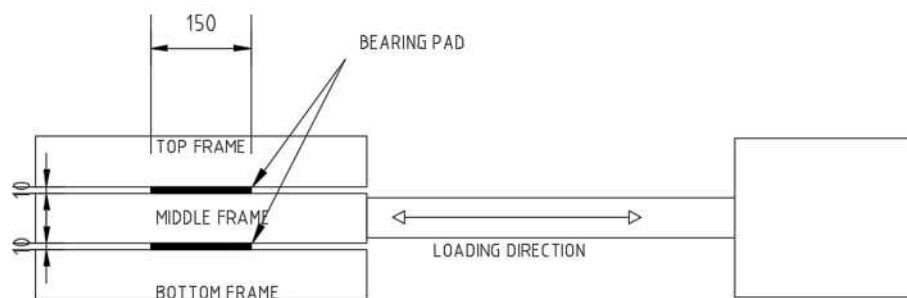


รูปที่ 2-57 ภาพรวมชุดทดสอบแผ่นยางรองสะพาน

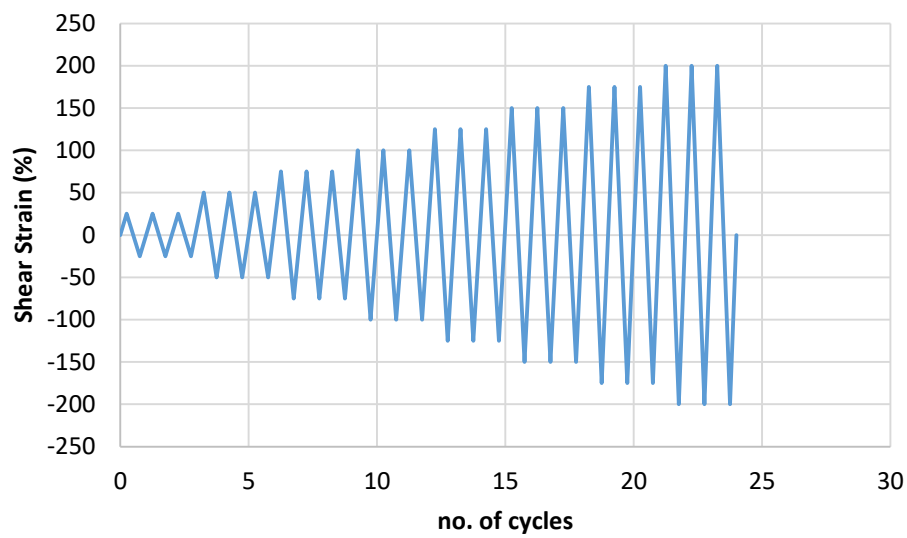
ในการทดสอบ จะใช้แผ่นยางรองสะพานจำนวน 2 แผ่น ที่มีขนาดเท่ากัน เพื่อให้เกิดความสมมาตรของแรงที่กระทำทางด้านข้างของแผ่นยาง อีกทั้งยังช่วยป้องกันการเกิดโมเมนต์ในตัวอย่างทดสอบ หลังจากที่ได้ติดตั้งแผ่นยางเข้าไปในชุดทดสอบแล้ว จะทำการให้แรงอัดคงที่บนแผ่นยาง 1.2 ดัน ซึ่งเป็นการจำลองน้ำหนักกดของแผ่นพื้นสะพานที่หนาเท่ากับ 40 เซนติเมตร โดยจะใช้วิธีการอัดแรงด้วยแท่นไฮดรอลิกที่ติดตั้งด้านล่างของชุดทดสอบ เมื่อให้แรงกระทำทางด้านข้างต่อแผ่นยาง จะเกิดการเคลื่อนที่ การทดสอบแผ่นยางรับแรงแผ่นดินไหวจะให้แรงกระทำแบบวัฏจักร (Cyclic Loading) แบบควบคุมระยะการเคลื่อนที่ (Displacement Control) ซึ่งในแต่ละระดับการให้แรง จะให้แรงกระทำจำนวน 3 รอบ โดยการเคลื่อนที่นั้นจะคำนวณมาจากระยะการเคลื่อนที่ที่จะทำให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบมีความเครียดเฉือน (shear strain) ในระดับที่กำหนด โดยเริ่มจาก 25% และเพิ่มระดับการเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆ จนชิ้นแผ่นยางตัวอย่างมีค่าความเครียดแรงเฉือน (shear strain) เท่ากับ 200% ซึ่งระหว่างการทดสอบได้มีบันทึกแรงกระทำและระยะการเคลื่อนที่ของแผ่นยาง



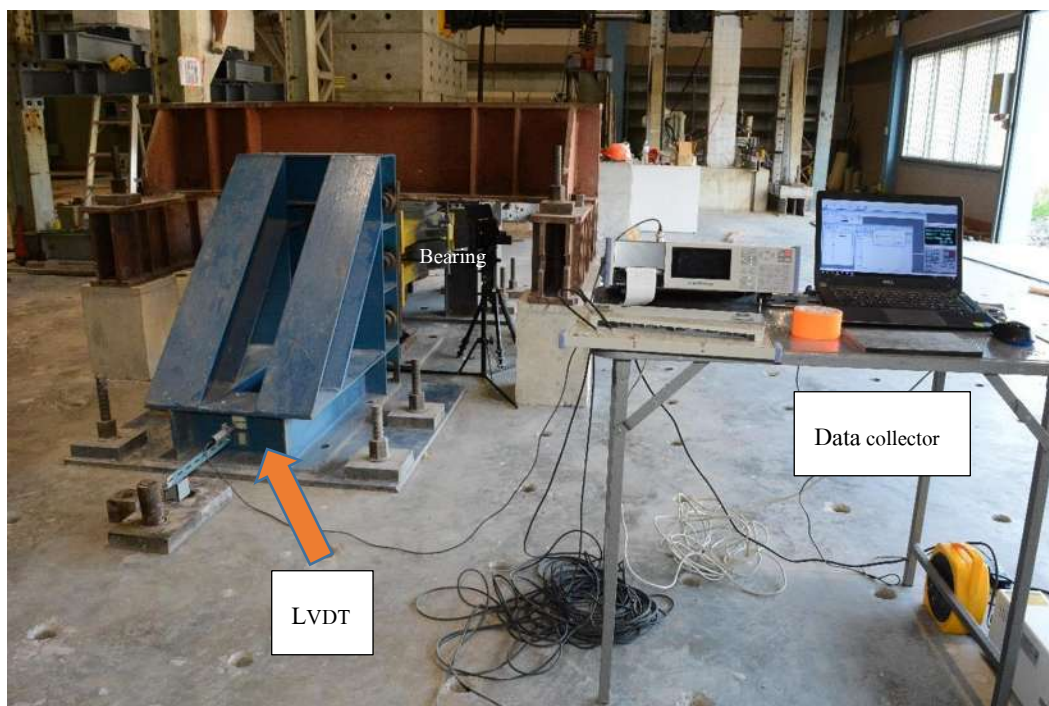
รูปที่ 2-58 การให้แรงอัดในแนวแกนด้วยแท่นไฮดรอลิก



รูปที่ 2-59 ทิศทางการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 2-60 รูปแบบการให้แรงกระทำทางด้านข้าง



รูปที่ 2-61 การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบแผ่นยางรองสะพาน

2.3.1.2. พฤติกรรมของแผ่นยางรองสะพานภายใต้แรงกระทำทางด้านข้าง

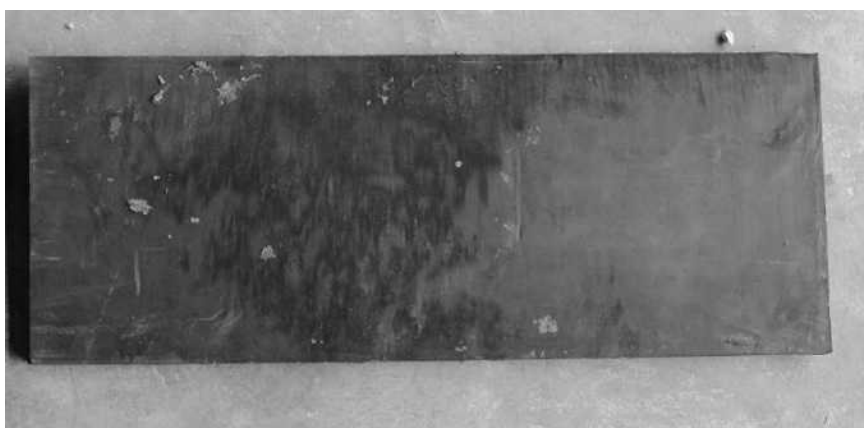
ในระหว่างการทดสอบ ได้มีการอัดภาพเคลื่อนไหวเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของแผ่นยางรองสะพานภายใต้แรงกระทำทางด้านข้าง จากการตรวจสอบ พบว่าเมื่อมีการให้แรงกระทำ แผ่นยางรองสะพานจะมีการเคลื่อนที่ในลักษณะเลื่อนไถลไปตามทิศทางการให้แรงของชุดทดสอบ และเนื่องจากแผ่นยางรองสะพานมีความหนาเพียง 10 มิลลิเมตร จึงไม่สามารถสังเกตเห็นการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนได้ชัดเจนนัก โดยรูปที่ 2-62 และรูปที่ 2-63 แสดงภาพตัวอย่างของแผ่นยางรองสะพานก่อนและหลังการให้แรงทางด้านข้างตามลำดับ ซึ่งหลังจากการทดสอบเสร็จสิ้นลงแล้ว ได้นำแผ่นยางรองสะพานมาตรวจดู พบว่าผิวหน้าของแผ่นยางรองสะพานมีความเสียหายที่เกิดจากการครูดระหว่างผิวยางและชุดทดสอบอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 2-64



รูปที่ 2-62 แผ่นยางรองสะพานในขณะไม่มีแรงกระทำ



รูปที่ 2-63 แผ่นยางรองสะพานในขณะรับแรงกระทำเท่ากับ 175 % shear strain



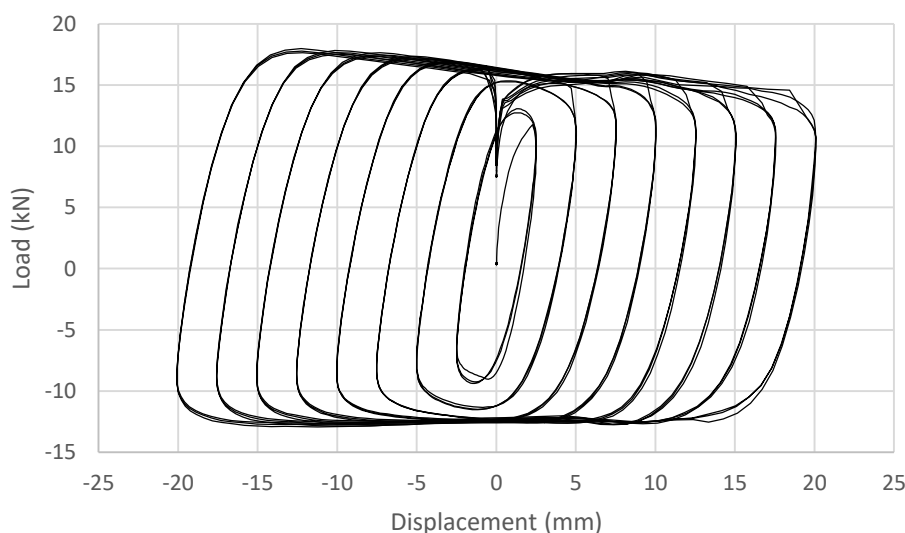
รูปที่ 2-64 ความเสียหายที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นยางรองสะพาน

2.3.1.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนที่ของแผ่นยาง

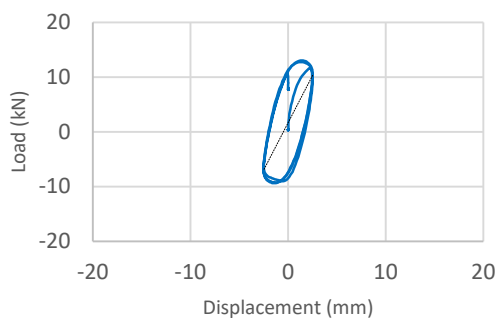
การวิเคราะห์ผลทดสอบของแผ่นยางรองสะพานนั้นจะใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านและการเคลื่อนที่ของแผ่นยางรองสะพานดังแสดงในรูปที่ 2-65 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าสลิปในสเปคผลของแผ่นยางมีค่าลดลงเรื่อยๆในแต่ละระดับการเคลื่อนที่ที่แสดงในรูปที่ 2-66 และได้สรุปค่าไว้ในตารางที่ 2-9 โดยที่ค่าสลิปในสเปคผลสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$K_{eff} = \frac{F_p - F_n}{\Delta_p - \Delta_n} \quad (2-11)$$

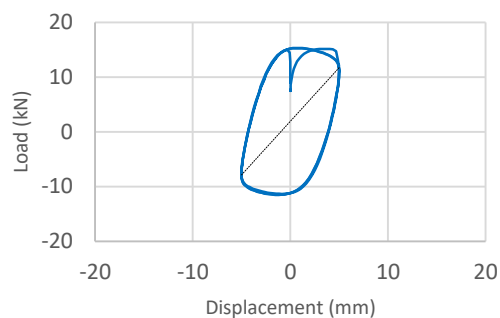
โดยที่ Δ_p และ Δ_n คือ ค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดด้านบวกและระยะการเคลื่อนตัวสูงสุดด้านลบ ในแต่ละระดับการให้แรงกระทำ ส่วน F_p และ F_n คือค่าแรงกระทำในขณะที่เกิดการเคลื่อนที่ในตำแหน่ง Δ_p และ Δ_n ตามลำดับ



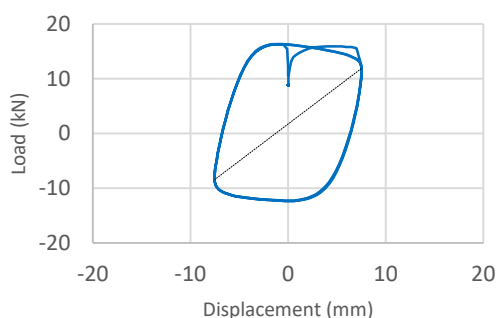
รูปที่ 2-65 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนที่ของแผ่นยางรองสะพาน



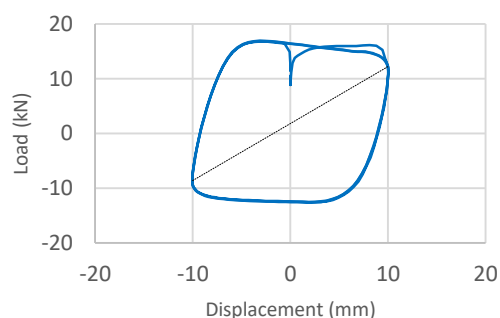
(a) ระดับการให้แรง 25 % shear strain



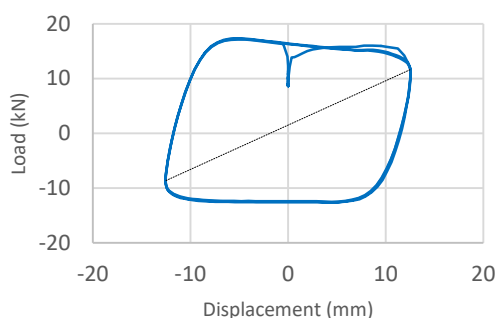
(b) ระดับการให้แรง 50 % shear strain



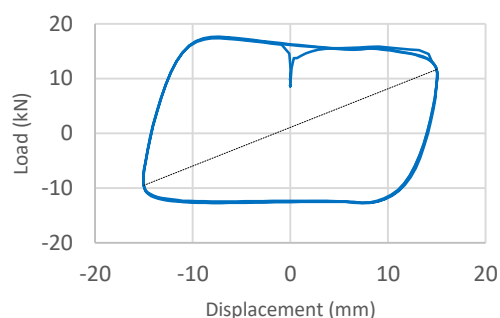
(b) ระดับการให้แรง 75 % shear strain



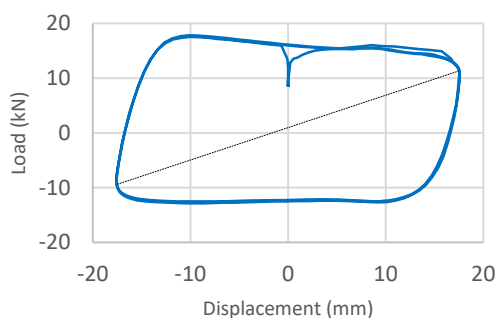
(d) ระดับการให้แรง 100 % shear strain



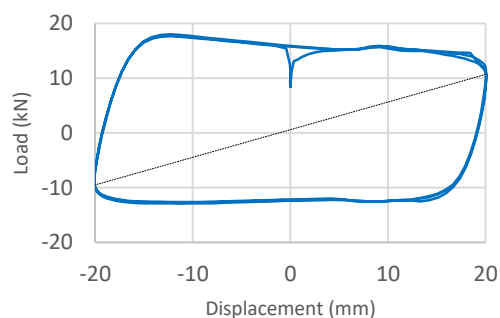
(e) ระดับการให้แรง 125 % shear strain



(f) ระดับการให้แรง 150 % shear strain



(g) ระดับการให้แรง 175 % shear strain

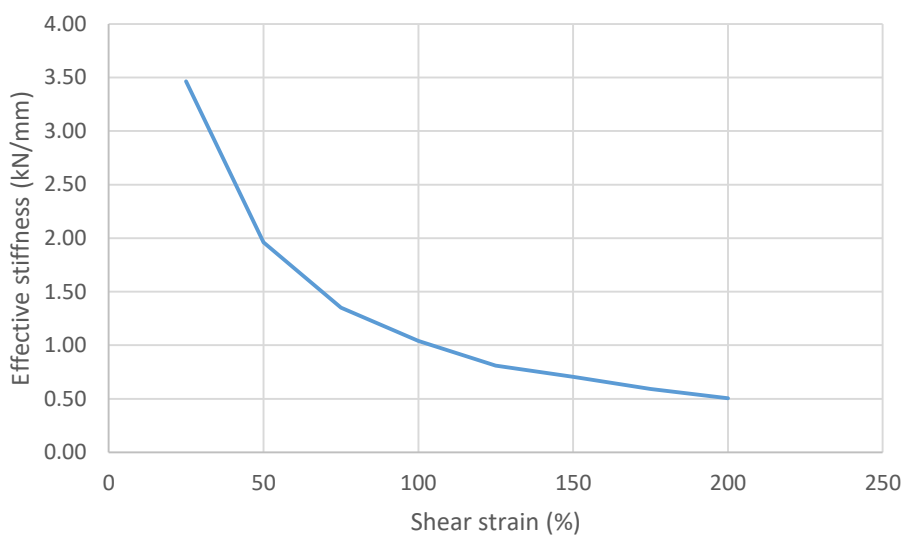


(h) ระดับการให้แรง 200 % shear strain

รูปที่ 2-66 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่ในระดับการให้แรงต่างๆ

ตารางที่ 2-9 ค่าสติฟเนสประสิทธิภาพขณะแรงกระทำระดับต่างๆ

Shear Strain (%)	Effective stiffness (kN/mm)
25	3.46
50	1.96
75	1.35
100	1.04
125	0.81
150	0.70
175	0.59
200	0.50



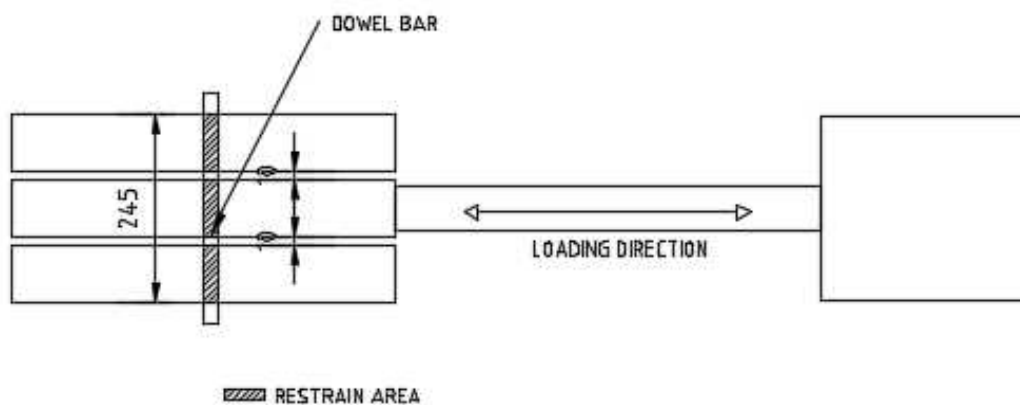
รูปที่ 2-67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและสติฟเนสประสิทธิภาพ

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า ค่าสติฟเนสประสิทธิภาพมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงการให้แรงระดับเริ่มต้น และมีค่าลดลงอย่างช้าๆในช่วงการให้แรงระดับสูง โดยค่าสติฟเนสที่ระดับความเครียดเฉือน (shear strain) 200 % มีค่าเหลือเพียง 14.6% ของค่าสติฟเนสประสิทธิภาพที่ระดับความเครียดเฉือน (shear strain) 25% เท่านั้น

2.3.2. การทดสอบหลักเดียว

2.3.2.1. การเตรียมการทดสอบเหล็กเดือย

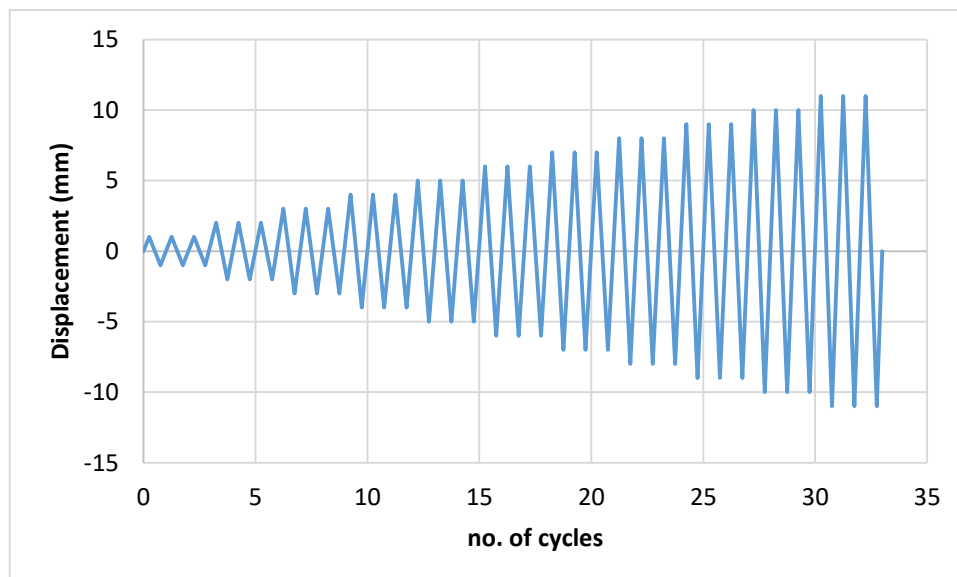
เหล็กเดือยที่ใช้ทดสอบมีความยาวเท่ากับ 30 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 19 มิลลิเมตร เกรด SR24 (มอก.) โดยในการติดตั้งนั้น เพื่อให้เกิดความสมมาตรของชุดเครื่องมือทดสอบ จะนำเหล็กเดือยจำนวน 2 ตัวอย่าง มาติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบให้แรงทั้งสองฝั่ง และทำการยึดเหล็กเป็น 3 ช่วง เข้ากับชุดทดสอบการให้แรงด้านข้าง โดยเว้นระยะห่างระหว่างแต่ละช่วงยึดไว้เท่ากับ 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2-68 และรูปที่ 2-69 การทดสอบเหล็กเดือยรับแรงแผ่นดินไหวนั้น จะให้แรงกระทำแบบวัฏจักร (Cyclic Loading) แบบควบคุมการเคลื่อนที่ (Displacement Control) โดยเริ่มจากการกำหนดการเคลื่อนที่เริ่มต้นเท่ากับ 1 มิลลิเมตร กระทำจำนวน 3 รอบ และค่อยๆ เพิ่มการเคลื่อนที่ขึ้นทีละ 1 มิลลิเมตร จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการวิบัติหรือถึงขีดจำกัดของเครื่องมือทดสอบ ซึ่งรูปแบบการให้แรงในระดับต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2-70 ในระหว่างการทดสอบจะมีการเก็บข้อมูลของแรงกระทำ และการเคลื่อนที่ตลอดการทดสอบ เช่นเดียวกับการทดสอบแผ่นยางรองสะพาน โดยที่อุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ แสดงในรูปที่ 2-71



รูปที่ 2-68 การติดตั้งเหล็กเดือยเข้ากับชุดทดสอบ



รูปที่ 2-69 เหล็กเดือยภายหลังการติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบ



รูปที่ 2-70 รูปแบบการให้แรงกระทำทางด้านข้าง



รูปที่ 2-71 การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบเหล็กเดือย

2.3.3. ผลการทดสอบ

2.3.3.1. พฤติกรรมของเหล็กเดือยภายใต้แรงกระทำทางด้านข้าง

ในช่วงเริ่มต้น เนื่องจากการกำหนดการเคลื่อนตัวที่มีค่าน้อย เหล็กเดือยจะมีพฤติกรรมการ โกงตัวโดยแรงคัด ดังแสดงในรูปที่ 2-72 และเมื่อทำการคืนค่าแรงกลับมาที่จุดเริ่มต้น พบว่าเหล็กยังสามารถกลับคืนตัวมายังสภาพเดิมได้ดังแสดงในรูปที่ 2-73 แต่เมื่อทำการให้แรงในระดับการเคลื่อนตัวที่มากขึ้น พบว่าเหล็กเดือยเกิดการ โกงตัวเฉพาะจุดที่ปราศจากการยึดรั้งเนื่องจากแรงเฉือนดังแสดงในรูปที่ 2-74 โดยการทดสอบพบว่าเหล็กเดือยเริ่มเกิดการเสียรูปแบบถาวรที่ระดับการเคลื่อนที่เท่ากับ 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 2-72 ลักษณะการเสียรูปของเหล็กเดือยเมื่อกำหนดการเคลื่อนที่ทางด้านข้างเท่ากับ 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 2-73 ลักษณะการเสียรูปของเหล็กเดือยภายหลังจากการให้แรงกระทำที่ระดับการเคลื่อนที่ 4 มิลลิเมตร



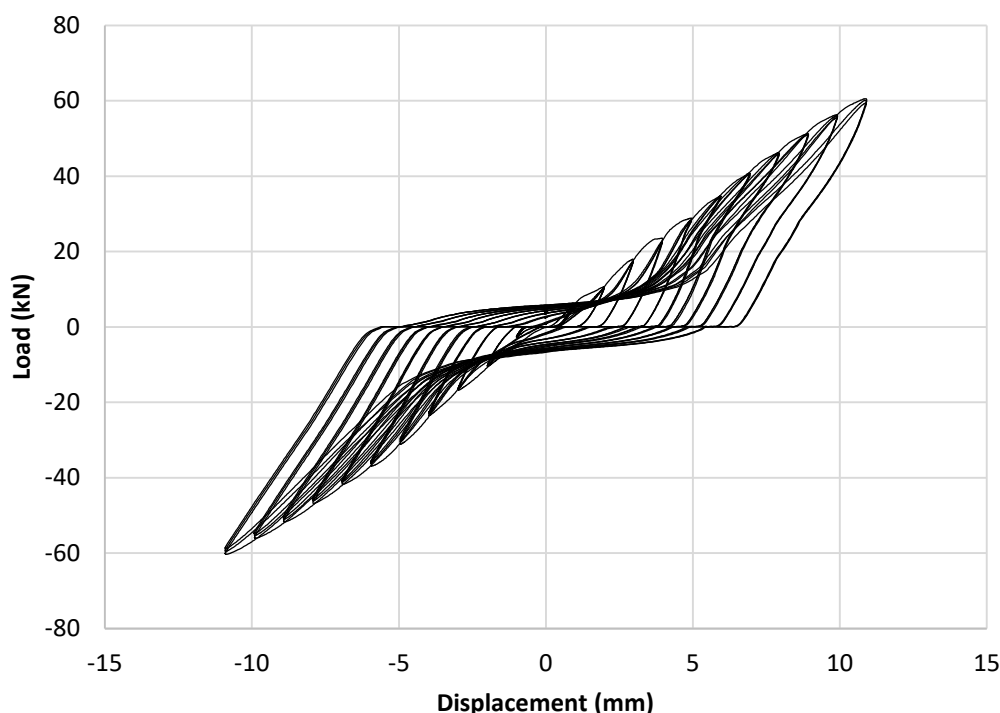
รูปที่ 2-74 ลักษณะการเสียรูปของเหล็กเดือยเมื่อกำหนดการเคลื่อนที่ทางด้านข้างเท่ากับ 11 มิลลิเมตร



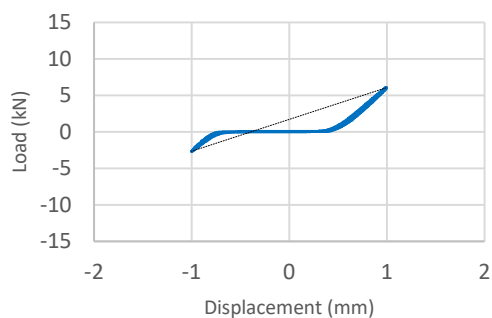
รูปที่ 2-75 ลักษณะการเสียรูปของเหล็กเดือยหลังจากสิ้นสุดการทดสอบ

2.3.3.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนที่

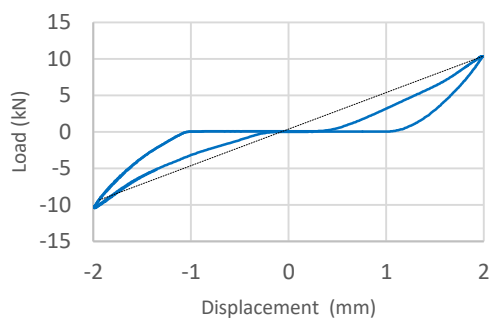
จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 2-76 พบว่า ค่าแรงกระทำมีค่าเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงตามค่าการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละระดับของการให้แรงกระทำ โดยมีค่าแรงกระทำสูงสุดเท่ากับ 60 kN ที่การเคลื่อนที่เท่ากับ 10.8 มิลลิเมตร ส่วนการคำนวณค่าสถิติในสเปกตรัมผลนั้น จะใช้วิธีการเดียวกันกับการคำนวณค่าสถิติในสเปกตรัมผลของแผ่นยางรองสะพานซึ่งได้อธิบายไปแล้ว โดยค่าสถิติในสเปกตรัมผลของเหล็กเดือยในแต่ละระดับการให้แรงกระทำได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-79 และตารางที่ 2-10 จะเห็นได้ว่าในช่วงเริ่มต้น ค่าสถิติในสเปกตรัมผลมีค่าเพิ่มขึ้น และจะเริ่มมีค่าลดลงเมื่อเหล็กเดือยเคลื่อนที่ไปยังระดับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของเหล็กเดือยที่พบว่าเหล็กเดือยนั้นเริ่มมีการเสียรูปแบบถาวรที่ระยะการเคลื่อนที่ 5 มิลลิเมตรเช่นเดียวกัน



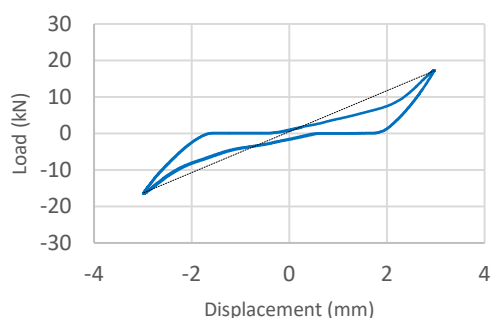
รูปที่ 2-76 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่ของเหล็กเดือย



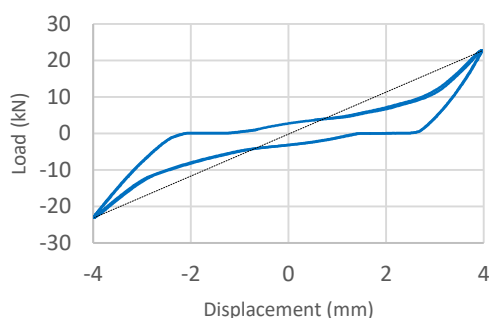
(a) ระดับแรง +/- 1 มิลลิเมตร



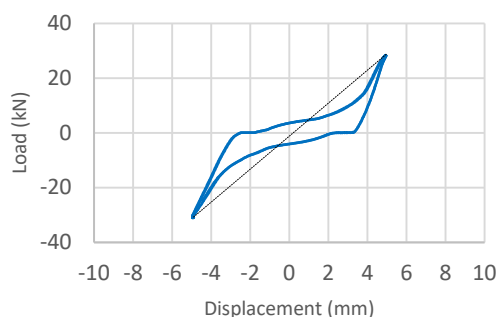
(b) ระดับแรง +/- 2 มิลลิเมตร



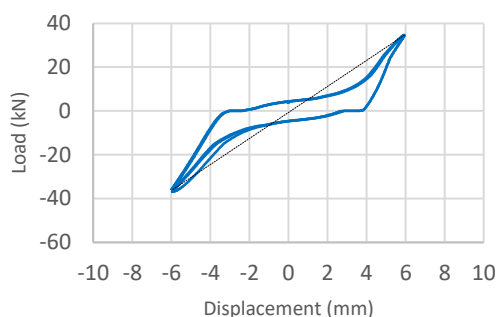
(c) ระดับแรง +/- 3 มิลลิเมตร



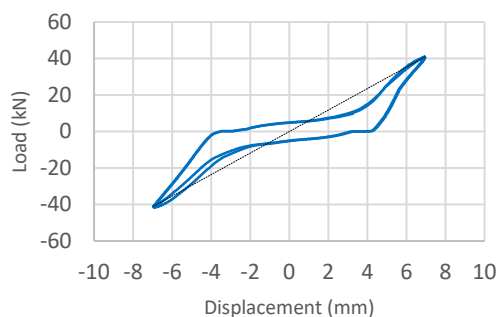
(d) ระดับแรง +/- 4 มิลลิเมตร



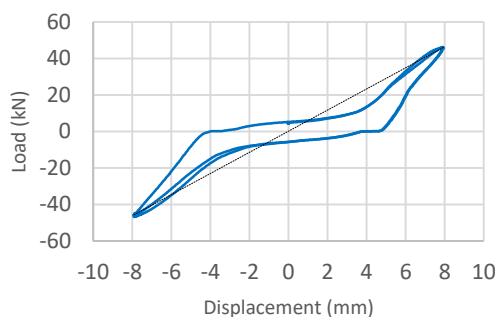
(e) ระดับแรง +/- 5 มิลลิเมตร



(f) ระดับแรง +/- 6 มิลลิเมตร

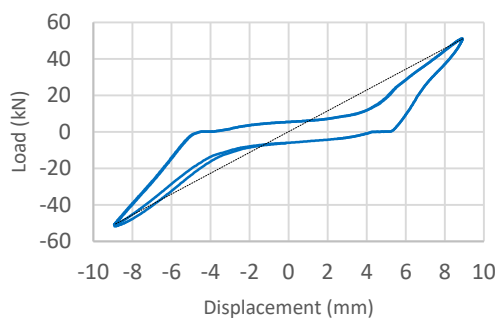


(g) ระดับแรง +/- 7 มิลลิเมตร

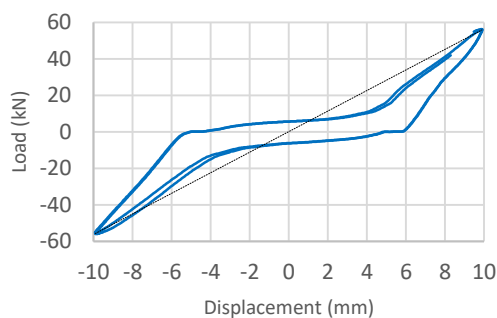


(h) ระดับแรง +/- 8 มิลลิเมตร

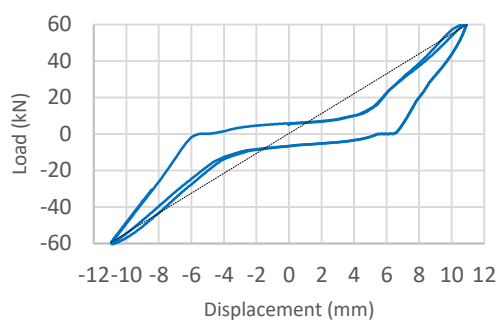
รูปที่ 2-77 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเคลื่อนที่ ในระดับให้แรง 0 มิลลิเมตร ถึง 8 มิลลิเมตร



(a) ระดับแรง +/- 9 มิลลิเมตร

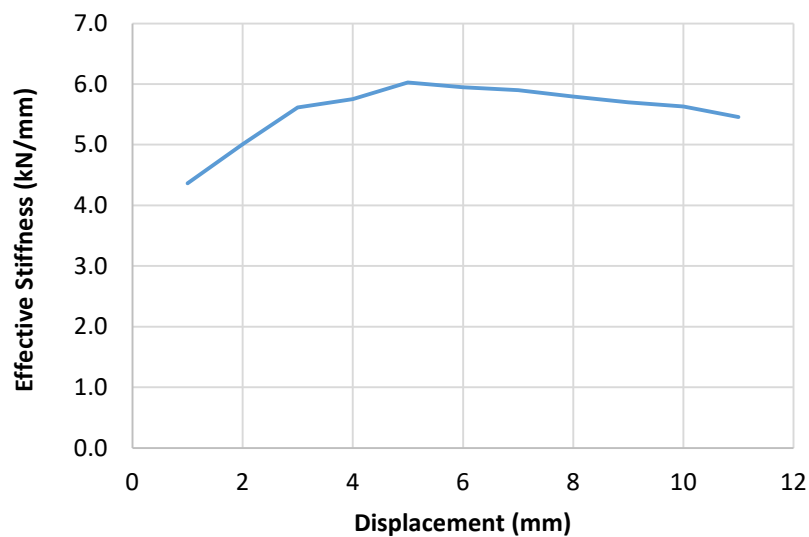


(b) ระดับแรง +/- 10 มิลลิเมตร



(c) ระดับแรง +/- 11 มิลลิเมตร

รูปที่ 2-78 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเคลื่อนที่ ในระดับการให้แรง 9 มิลลิเมตร ถึง 11 มิลลิเมตร



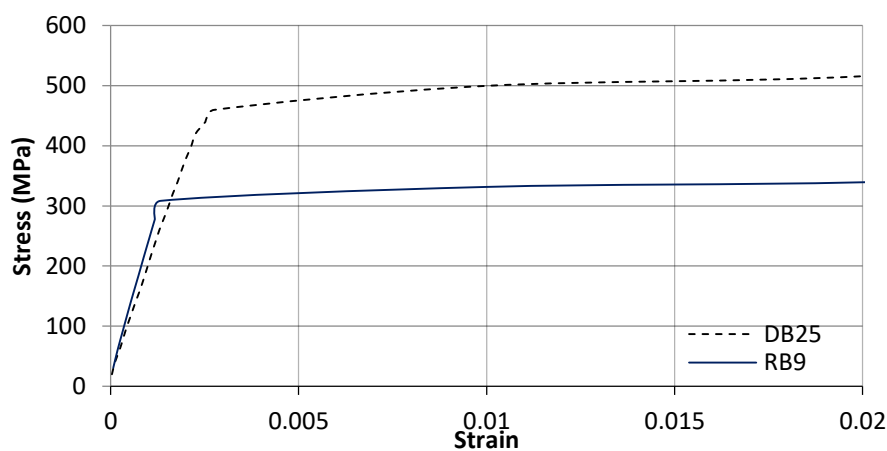
รูปที่ 2-79 ความสัมพันธ์ระหว่างสติฟเนสประสิทธิภาพและการเคลื่อนที่ของเหล็กเดือย

ตารางที่ 2-10 สถิติประสิทธิภาพของเหล็กเดี่ยวขณะการให้แรงระดับต่างๆ

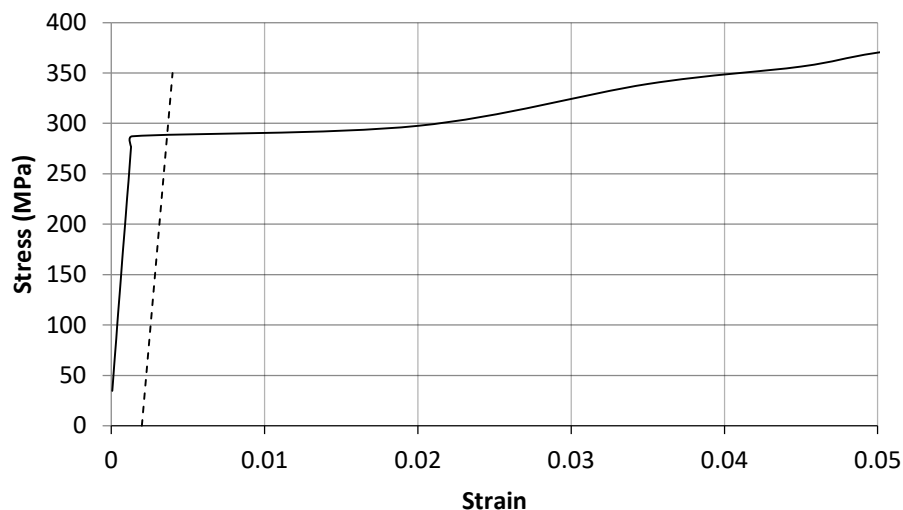
Displacement (mm)	Effective stiffness (kN/mm)
1	4.4
2	5.0
3	5.6
4	5.7
5	6.0
6	5.9
7	5.9
8	5.8
9	5.7
10	5.6
11	5.5

2.4. การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง เสา และ รอยต่อคานเสา ได้ดำเนินการกับเหล็ก 2 ขนาด ได้แก่ RB9 และ DB25 ซึ่งใช้เป็นเหล็กปลอก และเหล็กเสริมตามยาวของตัวอย่างทดสอบ ตามลำดับ นอกจากนี้ ได้ทำการทดสอบเหล็กเส้น RB19 ที่ใช้เป็นเหล็กเดี่ยวในแผ่นยางรองสะพาน ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงในรูปแบบสัมพัทธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมทั้ง 3 ชนิด แสดงในรูปที่ 2-80 และ รูปที่ 2-81 โดยคุณสมบัติที่สำคัญได้สรุปไว้ในตารางที่ 2-11 ลักษณะการวิบัติของเหล็กเสริมและเหล็กเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 2-82 และ รูปที่ 2-83 ตามลำดับ



รูปที่ 2-80 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริม



รูปที่ 2-81 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเดี่ยว RB19

ตารางที่ 2-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมและเหล็กเดี่ยว

Size	Yield (MPa)	Ultimate Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)
RB9	319	467	219386
DB25	480	636	180541
RB19	287	443	200844



(ก) รูปแบบการวิบัติของเหล็กเสริม RB9



(ข) รูปแบบการวิบัติของเหล็กเสริม DB25

รูปที่ 2-82 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงดึงของเหล็กเสริม RB9 และ DB25



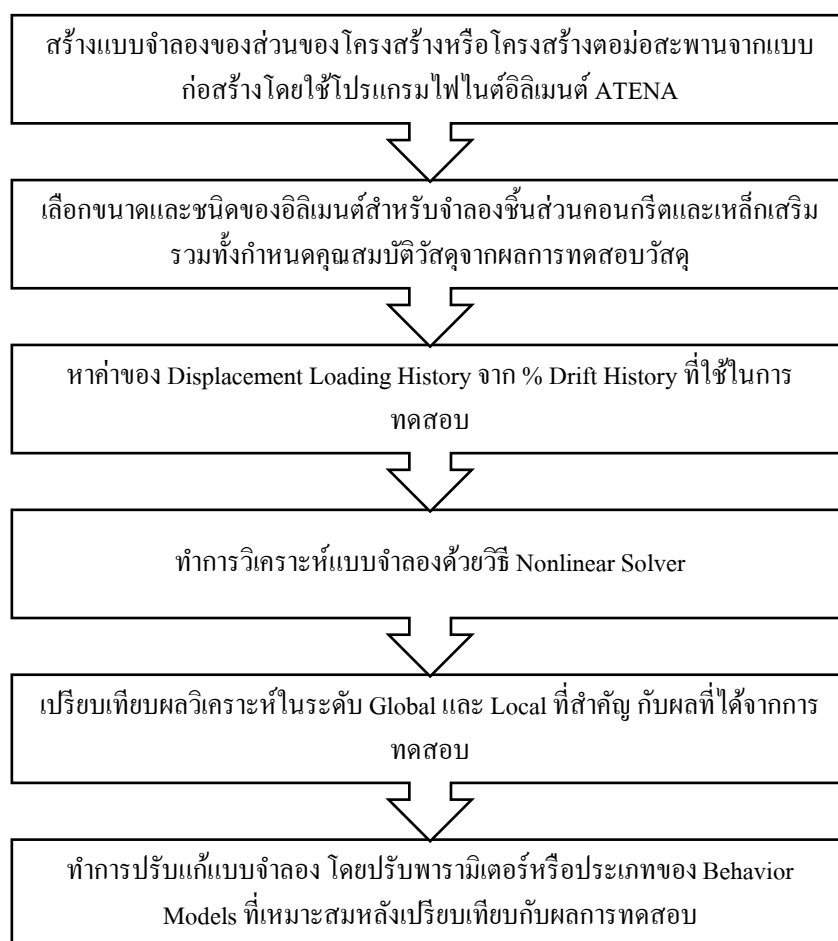
รูปที่ 2-83 ลักษณะการวิบัติเนื่องจากแรงดึงของเหล็กเดือย RB19

บทที่ 3 การปรับปรุงแบบก่อสร้างตอม่อ

ทดสอบ

3.1. แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์สำหรับส่วนของโครงสร้างก่อนการปรับปรุงแบบและการปรับแก้แบบจำลอง

แนวทางการสร้างแบบจำลองสำหรับ 3 ส่วนของโครงสร้างตอม่อสะพาน ได้แก่ เสาตรง รอยต่อคานเสา และแผ่นยางรองสะพาน แสดงได้ดังรูปที่ 3-1

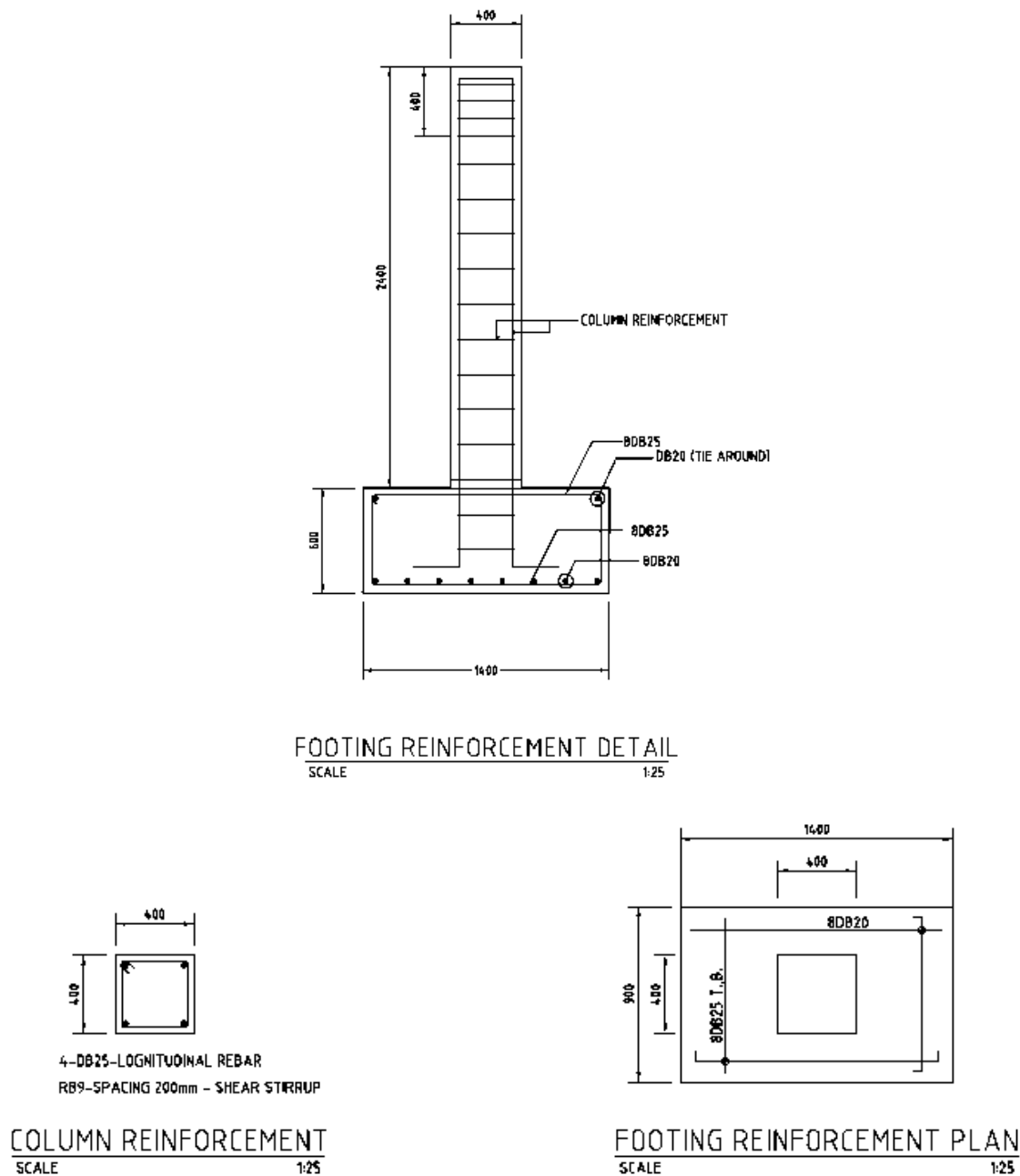


รูปที่ 3-1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์สำหรับ 3 ส่วนของโครงสร้าง และโครงสร้างตอม่อสะพาน

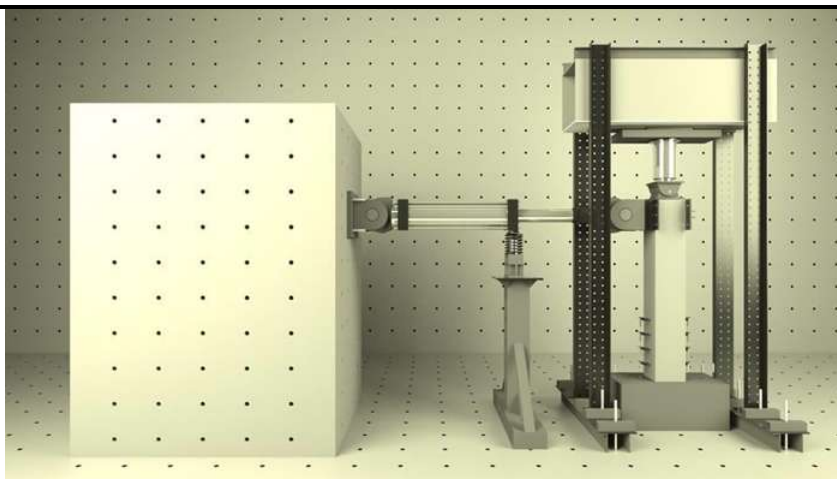
3.1.1. เสาตอม่อ

3.1.1.1. การสร้างแบบจำลองเสาตอม่อ

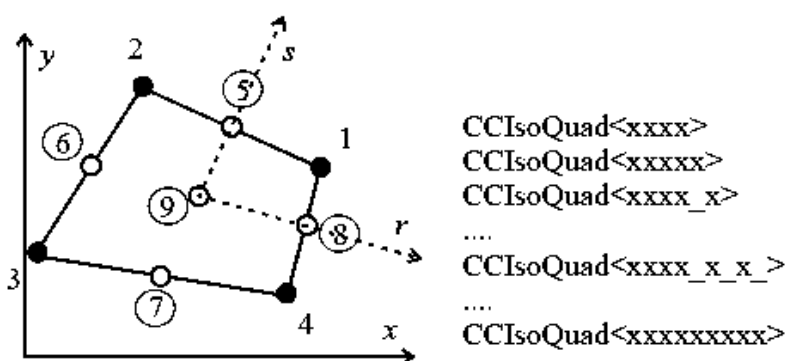
จากรายละเอียดของแบบก่อสร้างเสาตอม่อที่แสดงใน (รูปที่ 3-2) และรูปแบบการทดสอบเสาตอม่อในห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 3-3) สามารถนำมาสร้างแบบจำลองเสาตอม่อได้ โดยพิจารณาเลือกใช้ลิเมนต์ประเภท 2D Four Nodes Iso-parametric Plane Stress Element ที่สามารถปรับรูปร่างของลิเมนต์หรือตำแหน่งของ Nodes ที่มุมต่างๆ ให้สอดคล้องกับรูปร่างของโครงสร้างเสาได้ โดยตัวอย่างของลิเมนต์ที่ใช้แสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-2 ขนาดและการเสริมหลักของเสาตอม่อที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง



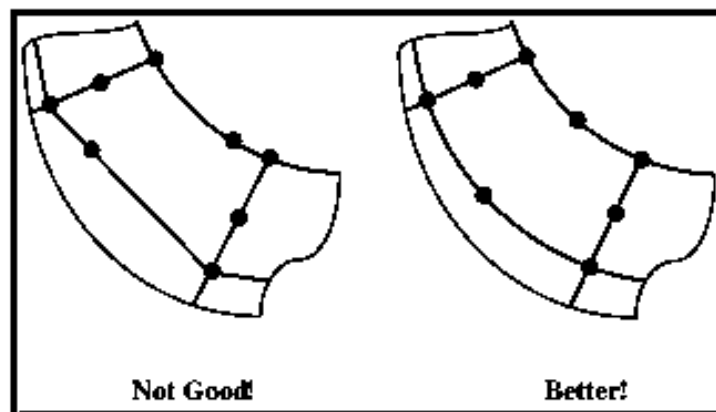
รูปที่ 3-3 รูปแบบของการทดสอบและ Reaction Frame ที่จำลองแรงกระทำต่อเสาตอม่อ



รูปที่ 3-4 ตัวอย่างของ 2D Iso-parametric plane stress element

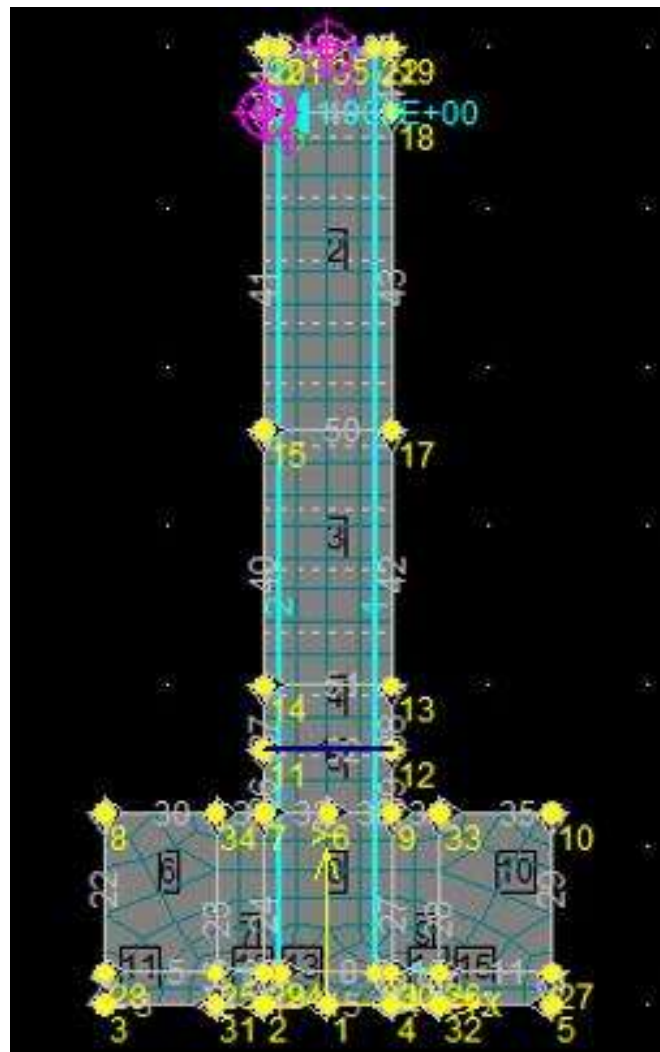
เพื่อให้ลักษณะของ Mesh Topology ที่ใช้สร้างแบบจำลองมีขนาดสม่ำเสมอ และ Element มีรูปร่างที่เหมาะสม ไม่เกิดการบิดหรือเสียรูป (Mesh Distortion) จนทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณ (Computation Errors) ที่ปรึกษาได้เลือกใช้ Automatic Mesh Generation ที่มีอยู่ ATENA โดยจะเลือกขนาดของ Element ให้อยู่ในช่วงประมาณ 2-3 เท่าของ Maximum Aggregate Size (5-7 ซม.) เนื่องจากการจำลองชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก ข้อเสนอแนะด้านการบิดหรือเสียรูปของ Element แสดงในรูปที่ 3-5 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- เส้นขอบของ Element ควรจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- หาก Element มี Middle Node ระหว่าง Corner Nodes เช่น 8 หรือ 9 Node Element ควรให้ Middle Node อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางมากที่สุด
- หาก Element มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มุมเฉียงควรมีค่าน้อยกว่า 25 องศา
- หาก Element มีลักษณะโค้ง หรือ Node มีการ Offset ควรจัดให้ขอบทั้งสองฝั่ง หรือหน้าทั้งสองด้านมีความโค้ง (Curvature) หรือระยะ Offset ที่ใกล้เคียงกัน และใช้จำนวนจุดในการวิเคราะห์ที่เหมาะสม (Optimal Sample Points)



รูปที่ 3-5 ข้อแนะนำและตัวอย่างของ Mesh Distortion

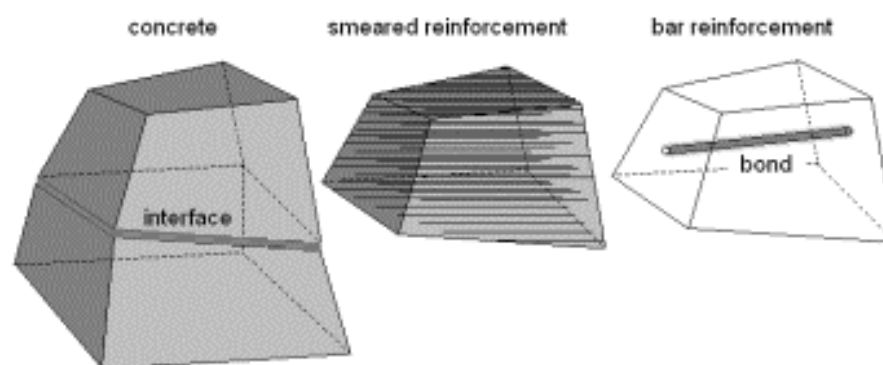
จากหลักการที่นำเสนอใช้ในการสร้างแบบจำลอง ตัวอย่างแบบจำลองเสาตอม่อที่จะใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 แบบจำลองเสาตอม่อที่ใช้ทดสอบการเคลื่อนตัวกลับไปกลับมาแบบวัฏจักร

ตัวอย่างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของเสาตอม่อที่แสดงข้างต้น ได้มีการกำหนดคุณลักษณะที่สำคัญ ดังนี้

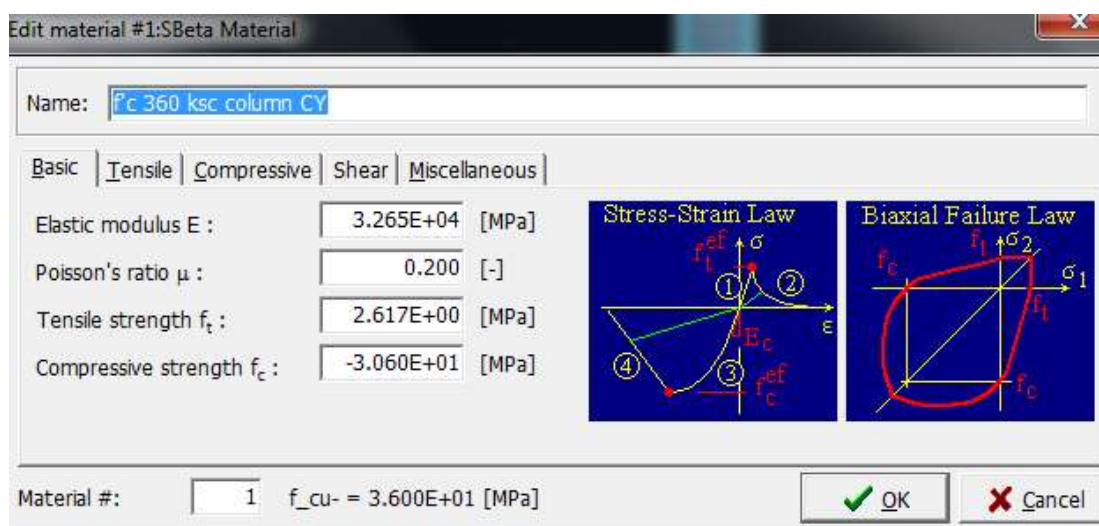
- Concrete Elements มีขนาด 2-3 เท่าของ Maximum Aggregate Size
- เหล็กปลอกหรือเหล็กตะแกรงที่กระจายอย่างสม่ำเสมอในแกนหรือเสาจำลองโดยใช้ Smeared Reinforcement
- เหล็กเสริมตามยาวในแกนและเหล็กยื่นในเสาพิจารณาใช้ Embedded Reinforcement เพื่อให้สามารถจำลองการวางเหล็กเสริมที่ซับซ้อนตามแบบก่อสร้างได้



รูปที่ 3-7 ตัวอย่าง Smeared Reinforcement และ Embedded Reinforcement ของ FE Model

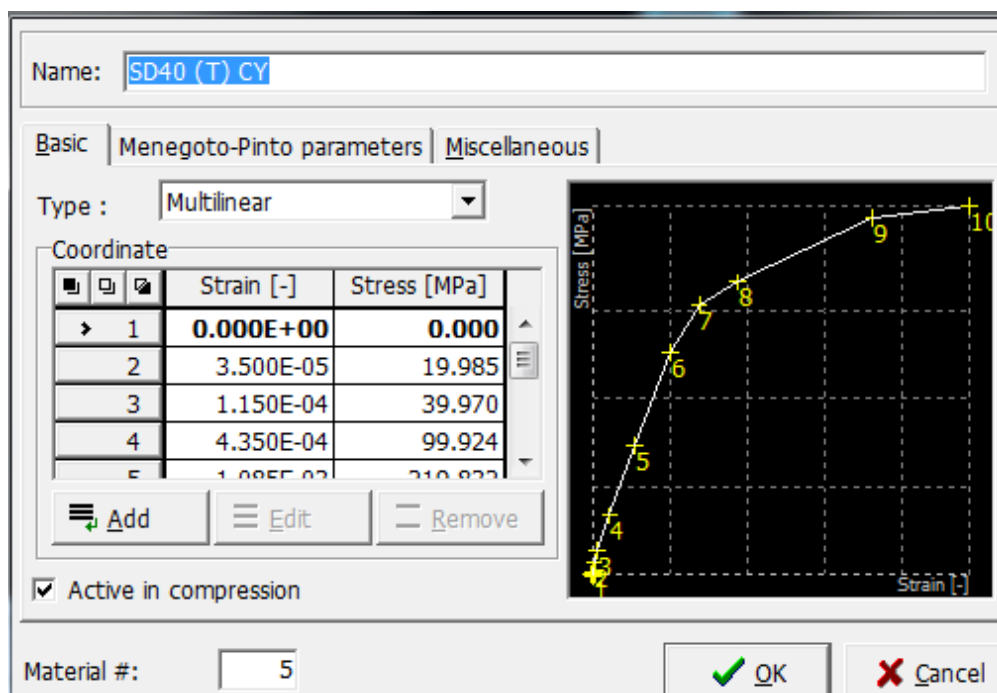
- แบบจำลองวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองเสาตอม่อมีดังนี้

- 1) แบบจำลองคอนกรีตภายใต้แรงอัดและแรงดึง

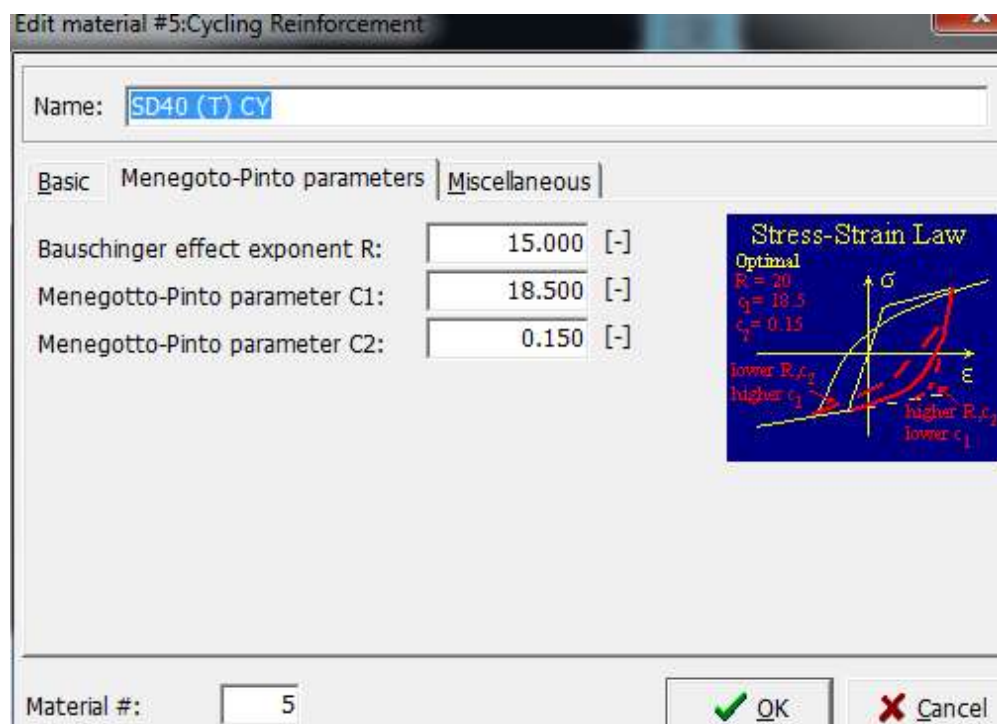


2) แบบจำลองของเหล็กเสริมขึ้นในเสา ที่เป็นประเภท SD40T

2.1) Envelop Curve



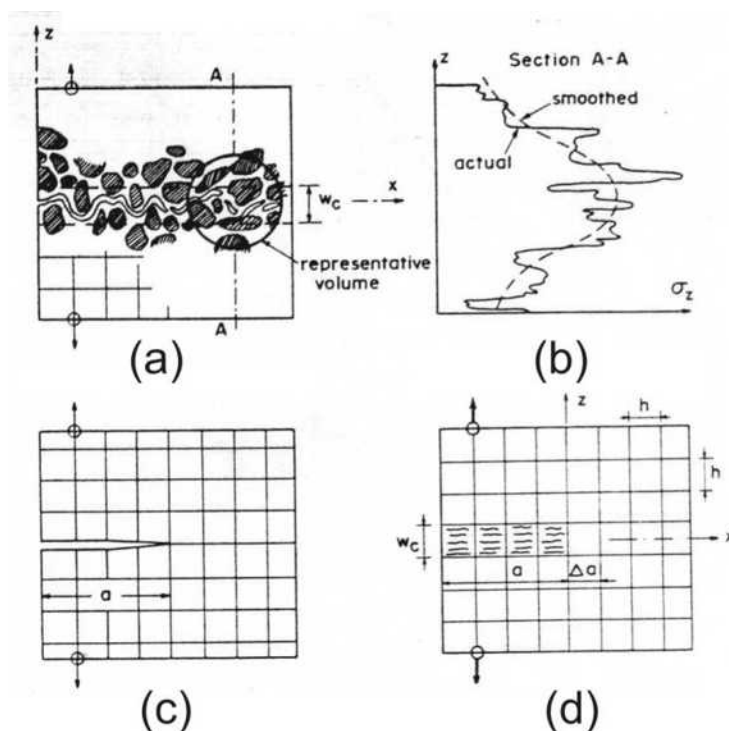
2.2) Menegotto-Pinto กรณีแรงกระทำเป็นแบบวัฏจักร



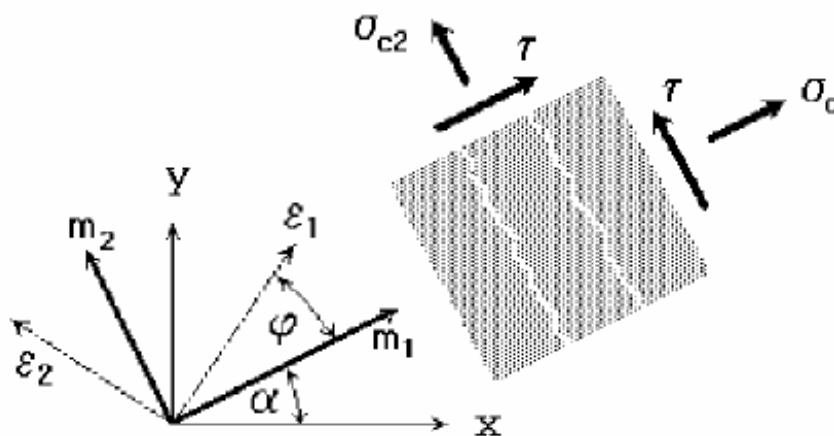
- สำหรับค่าอื่นๆของวัสดุก่อสร้าง ที่ไม่สามารถทดสอบได้ จะพิจารณาใช้ตามคำแนะนำของคู่มือการใช้งานโปรแกรม ATENA ดังเช่น

Parameter:	Formula:
Cylinder strength	$f'_c = -0.85 f'_{cu}$
Tensile strength	$f'_t = 0.24 f'_{cu}^{\frac{2}{3}}$
Initial elastic modulus	$E_c = (6000 - 15.5 f'_{cu}) \sqrt{f'_{cu}}$
Poisson's ratio	$\nu = 0.2$
Softening compression	$w_d = -0.0005 mm$
Type of tension softening	1 – exponential, based on G_F
Compressive strength in cracked concrete	$c = 0.8$
Tension stiffening stress	$\sigma_{st} = 0.$
Shear retention factor	variable (Sect.2.1.7)
Tension-compression function type	linear
Fracture energy G_F according to VOS 1983	$G_F = 0.000025 f'_t{}^{\frac{2}{3}} [MN/m]$
Orientation factor for strain localization	$\gamma_{max} = 1.5$ (Sect.2.1.3)

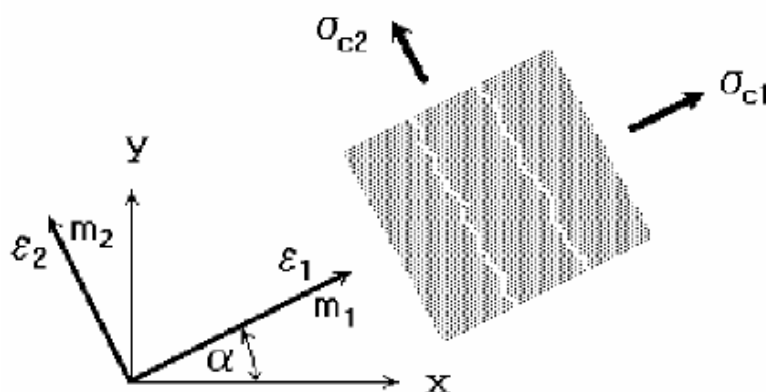
- การจำลองการแตกร้าว (Crack) พิจารณาใช้ Smeared Rotating Crack และ Smeared Fixed Crack



รูปที่ 3-8 ตัวอย่างระหว่าง Discrete และ Smear Crack ของ FE Model



รูปที่ 3-9 ตัวอย่างของ Fixed Crack ของ FE Model

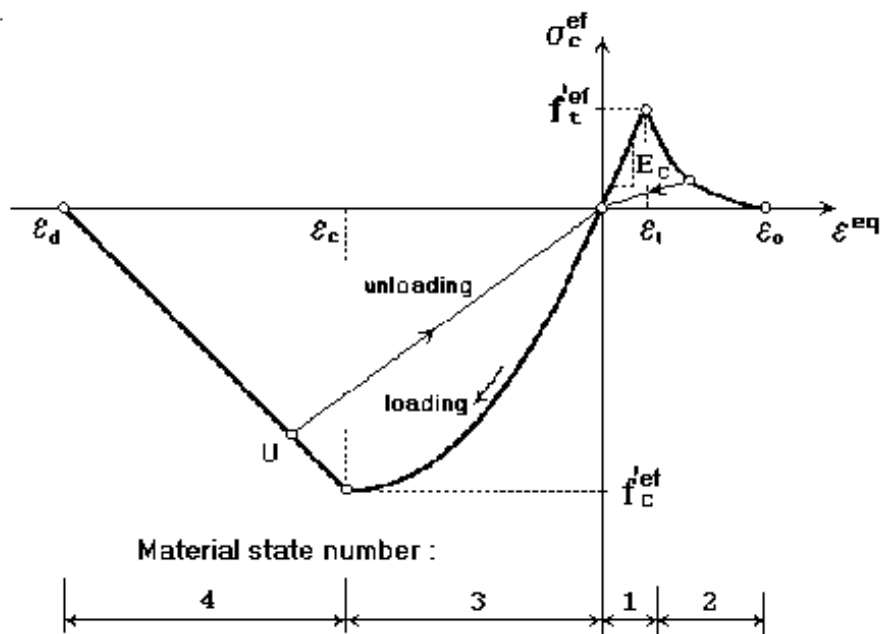


รูปที่ 3-10 ตัวอย่างของ Rotated Crack Model ของ FE Model

แบบจำลองวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองโครงสร้าง มีดังนี้

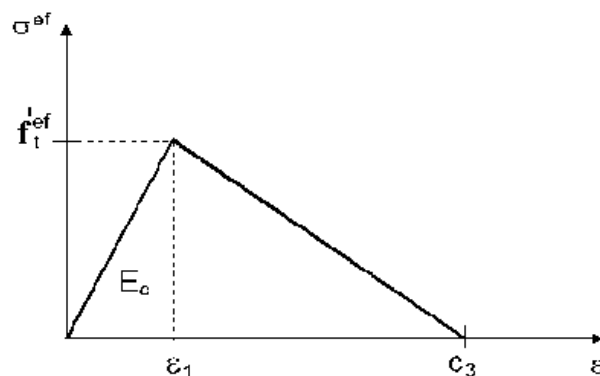
- Concrete Behavior Model using SBETA
- โดยพฤติกรรมที่พิจารณาในแบบจำลองนี้ได้แก่

a) Nonlinear Behavior in compression including hardening and softening

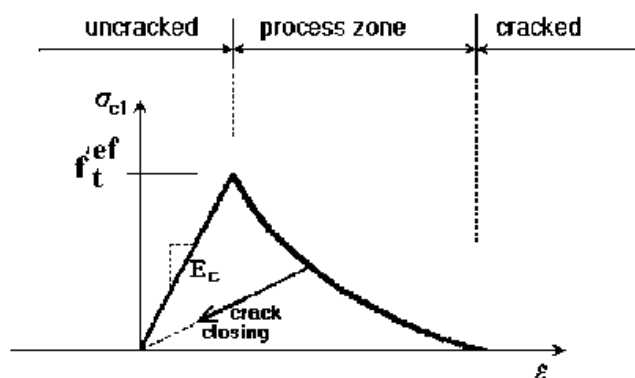


รูปที่ 3-11 ตัวอย่างของ Uniaxial Stress-Strain Curve ที่ใช้ใน Concrete

b) Fracture of concrete in tension based on the nonlinear fracture mechanics

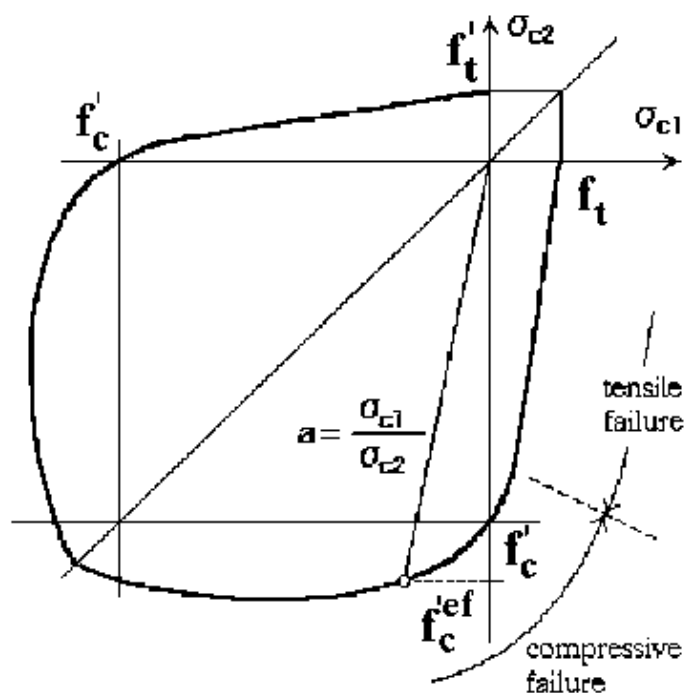


รูปที่ 3-12 ตัวอย่างของ Tension Softening Curve ที่ใช้ใน Concrete



รูปที่ 3-13 ตัวอย่าง การพิจารณาการเปิดและปิดของรอยแตกร้าวที่ใช้ใน Concrete

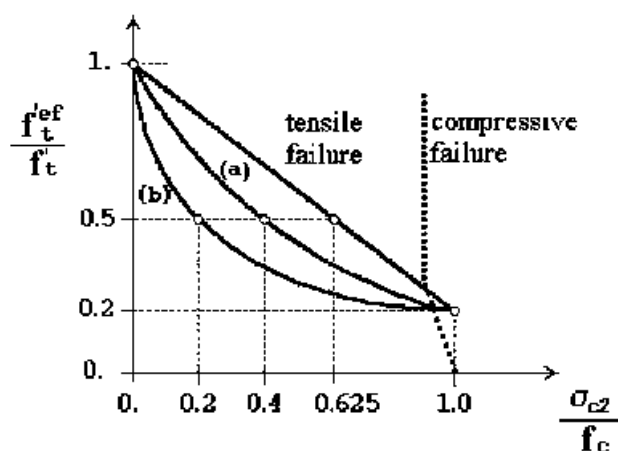
c) Biaxial strength failure criterion



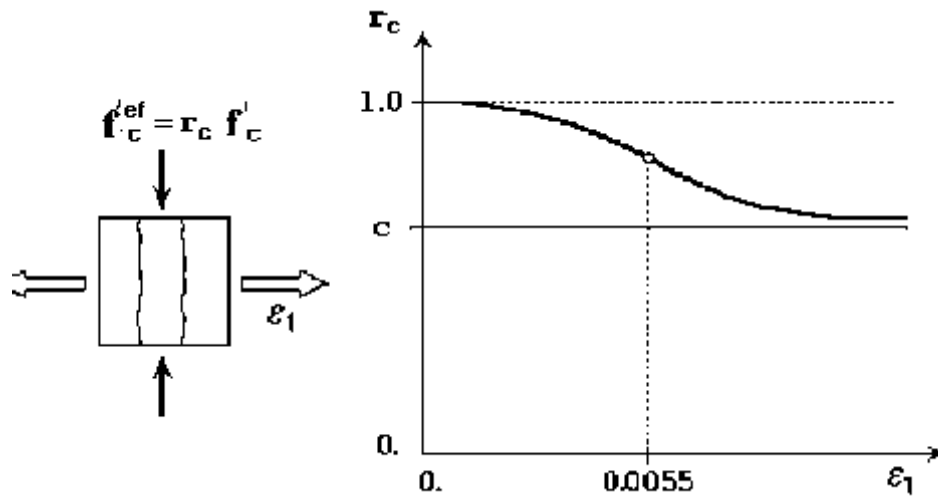
รูปที่ 3-14 ตัวอย่างของ กำลังของ concrete ภายใต้ความเค้นที่กระทำในสองทิศทาง

d) Reduction of compressive strength after cracking

type	point		parameters	
	r	x	A	K
a	0.5	0.4	0.75	1.125
b	0.5	0.2	1.0625	6.0208



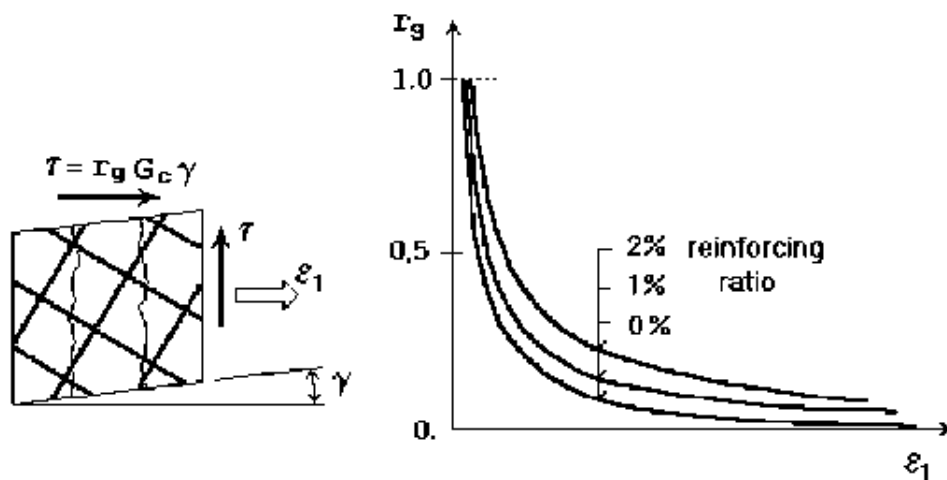
รูปที่ 3-15 ตัวอย่าง กำลังของ Concrete ที่ลดลง ภายใต้ความเค้นอัดและดึงที่กระทำในสองทิศทาง



รูปที่ 3-16 ตัวอย่างกำลังของ Concrete ที่ลดลง ภายใต้ความเค้นอัดและดึงที่กระทำในสองทิศทางกรณีใช้

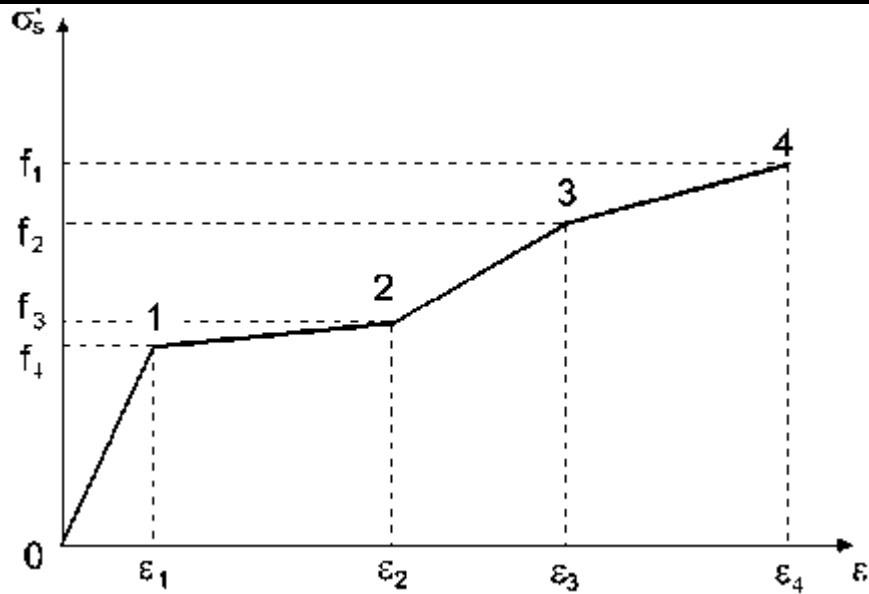
Compression Softening Model

- e) Tension stiffening effect
- f) Reduction of shear stiffness after cracking



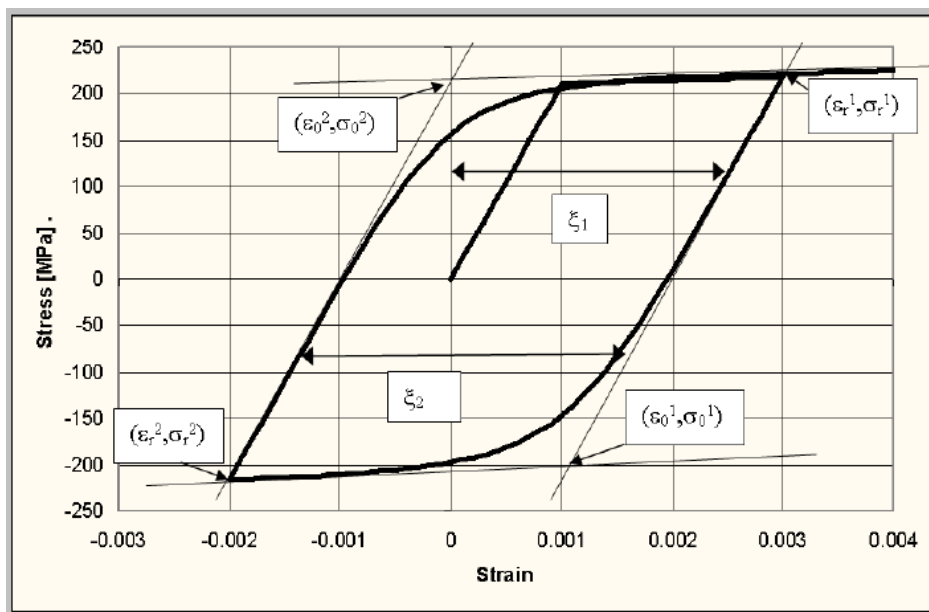
รูปที่ 3-17 ตัวอย่างแบบจำลองความแข็งแรงเกร็งเฉือนของ Concrete ที่ลดลงภายใต้แรงเฉือนและดึงที่กระทำในสองทิศทาง

- g) Fixed or Rotated cracking direction
- h) Perfect bond model for smeared reinforcement
- i) Reinforcement Behavior Model using Multi-Line Law



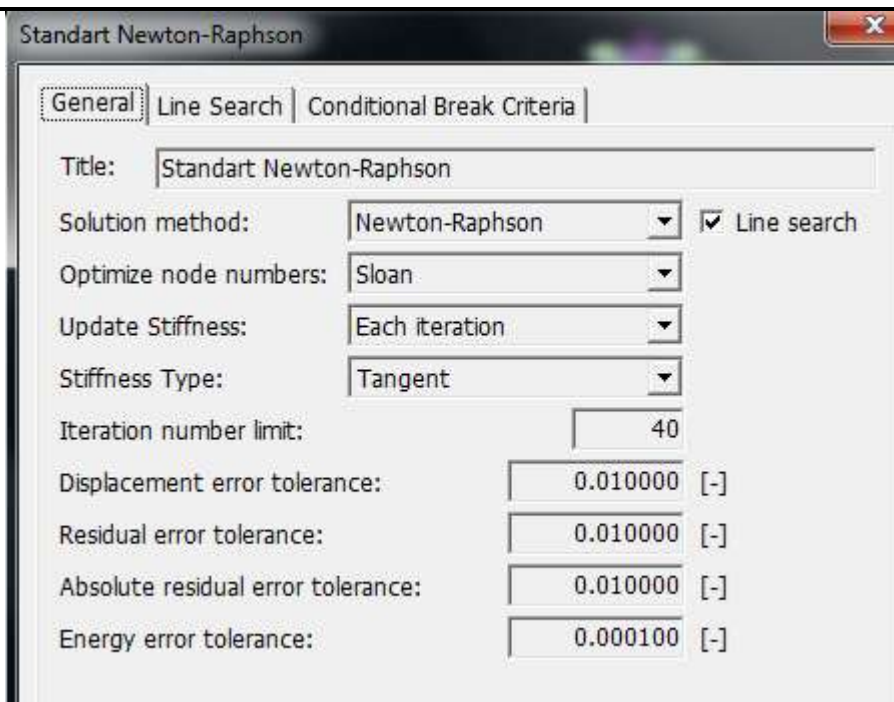
รูปที่ 3-18 ตัวอย่างแบบจำลอง stress-strain ของเหล็กเสริม กรณีแรงอัดหรือแรงดึงในทิศทางเดียว
(Monotonic Loading)

j) Reinforcement Behavior Model using Cycling Reinforcement Model



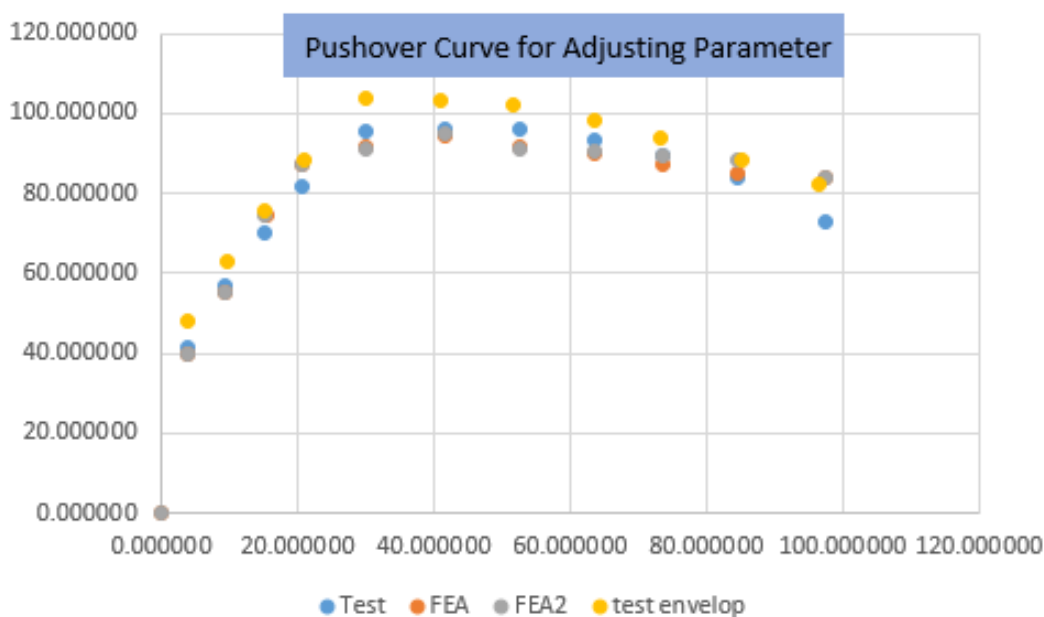
รูปที่ 3-19 ตัวอย่างแบบจำลอง stress-strain ของเหล็กเสริม กรณีแรงอัดหรือแรงดึงในทิศทางสลับ
(Reversed Cyclic Loading)

สำหรับวิธีการแก้สมการแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของสะพาน จะเลือกใช้การวิเคราะห์แบบ Displacement Control และเลือกใช้ Solver แบบ Newton-Raphson และเลือกใช้ Line Search Technique เพื่อให้การวิเคราะห์มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

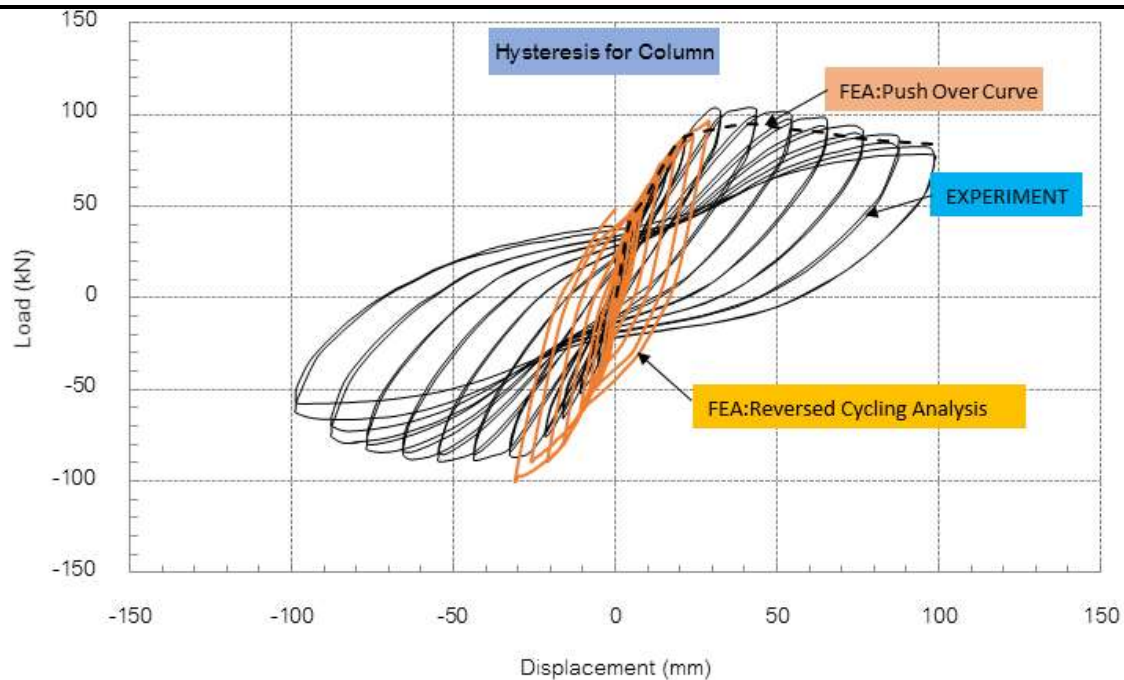


3.1.1.2. ผลการวิเคราะห์เสาคอมม่อ

ในการวิเคราะห์เสาคอมม่อ ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์แบบ Pushover Analysis เพื่อใช้ในการปรับแก้ และเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 3-20 เพื่อให้ได้ค่าของ Pushover Curve หรือ Backbone Curve ใกล้เคียงกับผลการทดสอบเสาคอมม่อในห้องปฏิบัติการ จากนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์คอมม่อแบบ Nonlinear Reversed Cycling Load ดังแสดงในรูปที่ 3-21

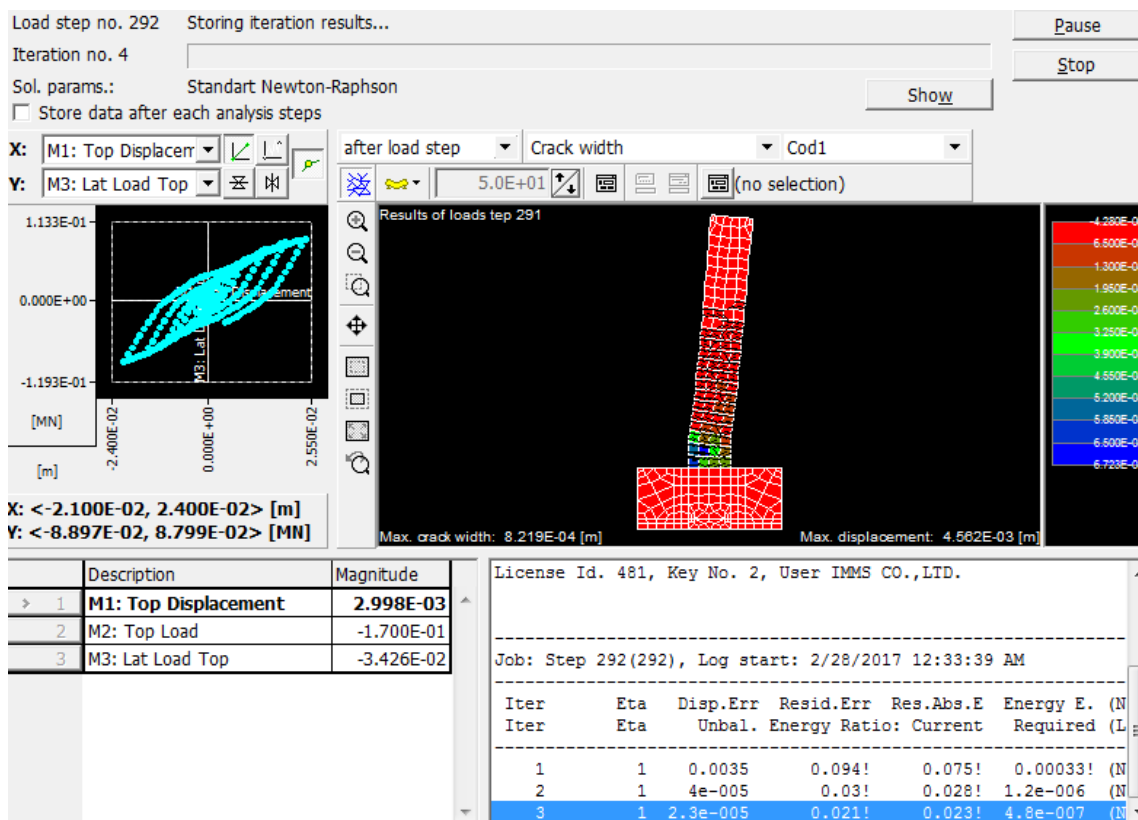


รูปที่ 3-20 ผลการวิเคราะห์คอมม่อแบบ Pushover Analysis เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์

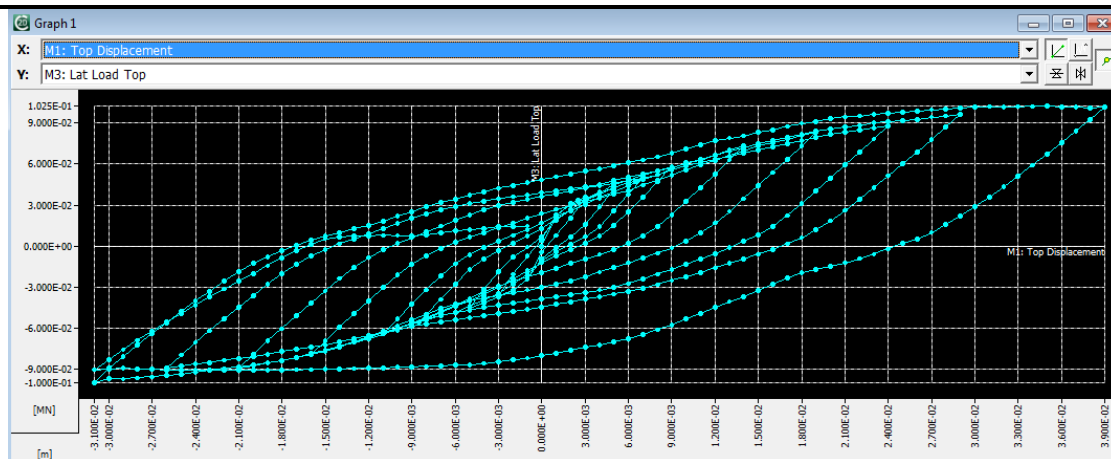


รูปที่ 3-21 ผลการวิเคราะห์หัตถ์ม่อภายหลังที่ได้ปรับค่าพารามิเตอร์

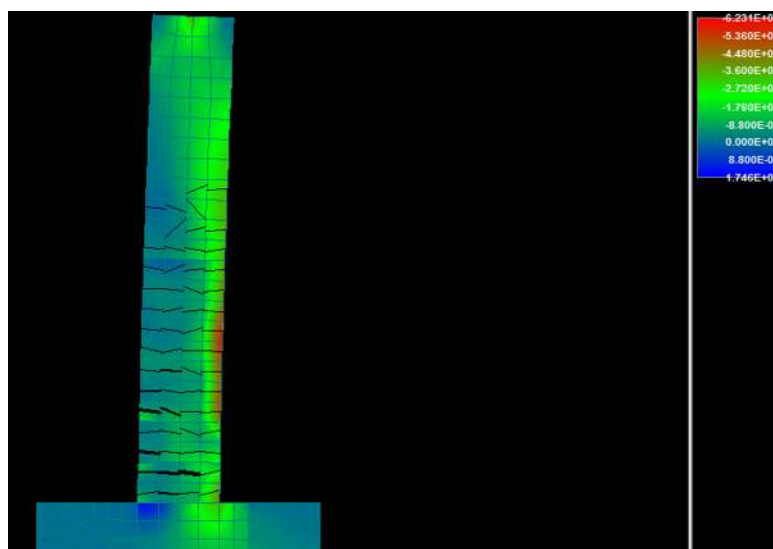
ตัวอย่างผลการวิเคราะห์เพื่อแสดงรอยแตกร้าวและการเคลื่อนตัวของเสาตอม่อได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-22 ถึง รูปที่ 3-25



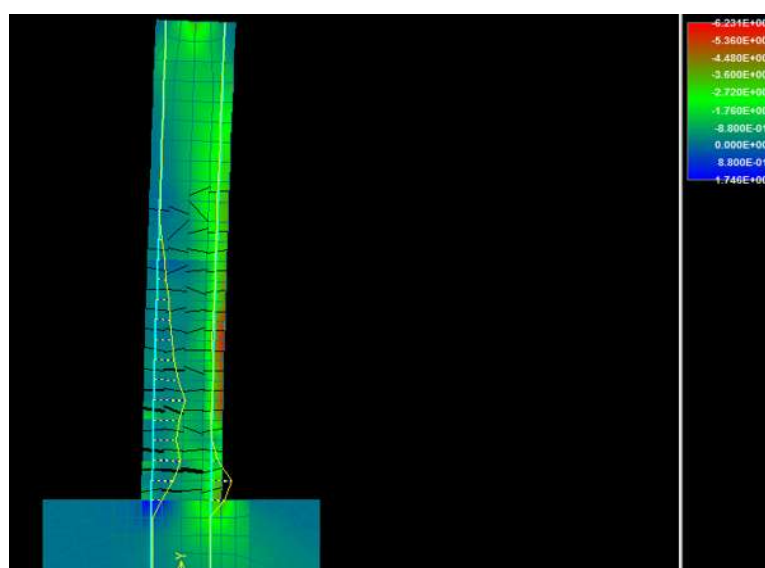
รูปที่ 3-22 รอยร้าวและการเคลื่อนตัวที่ได้จากผลการวิเคราะห์หัตถ์ม่อแบบ Reversed Cycling Load



รูปที่ 3-23 ตัวอย่าง Load Displacement Curve จากผลการวิเคราะห์แบบ Reversed Cyclic Loading



รูปที่ 3-24 ความเค้นหลักในคอนกรีต (Principal Compressive Stress in Concrete) : Load Step = 358

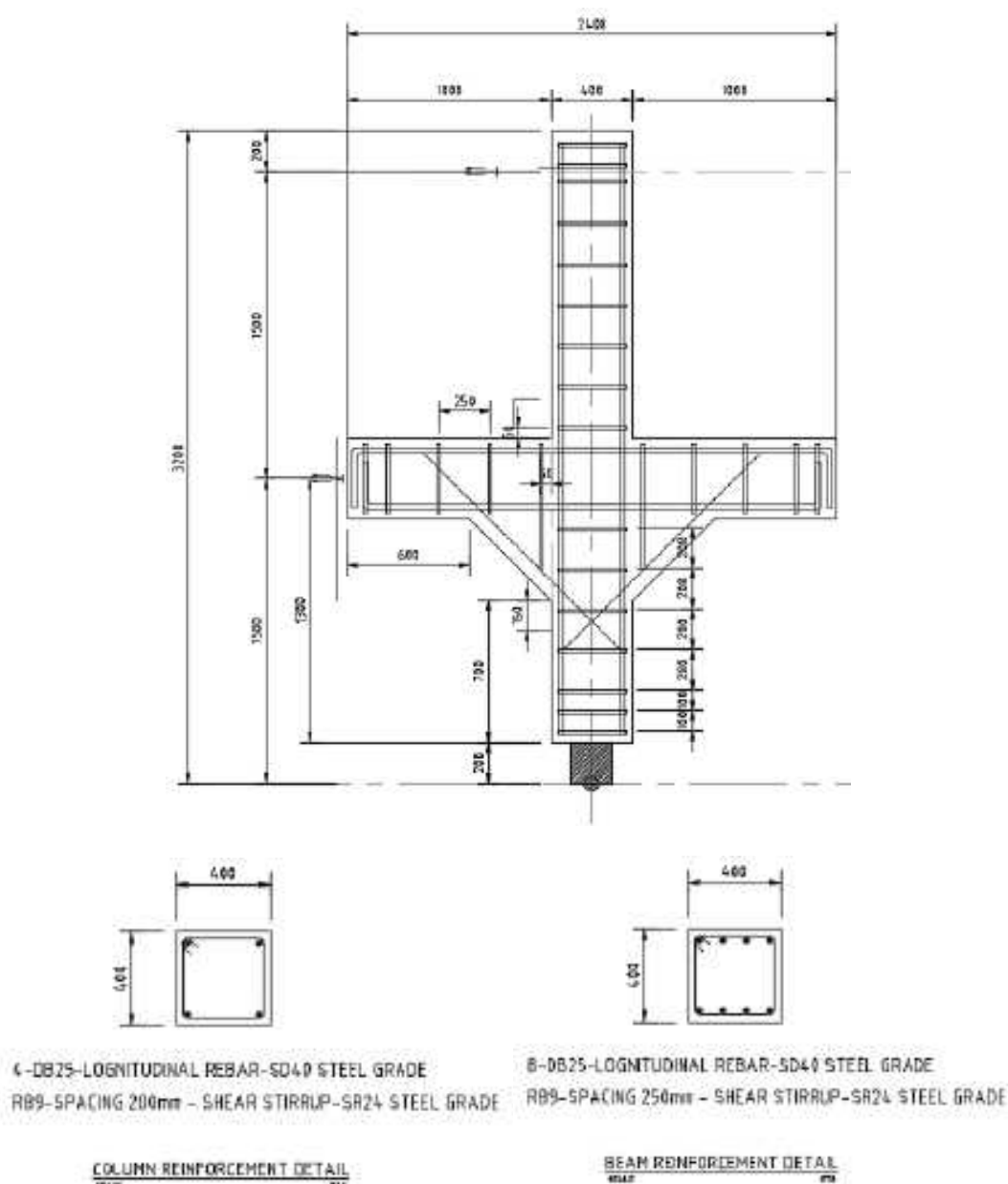


รูปที่ 3-25 รอยร้าวและการเคลื่อนตัวและความเค้นหลักเสริมที่ได้จากการวิเคราะห์: Load Step 358

3.1.2. ชิ้นส่วนรอยต่อคานเสา (Beam Column Joint)

3.1.2.1. การสร้างแบบจำลองของรอยต่อคานเสา

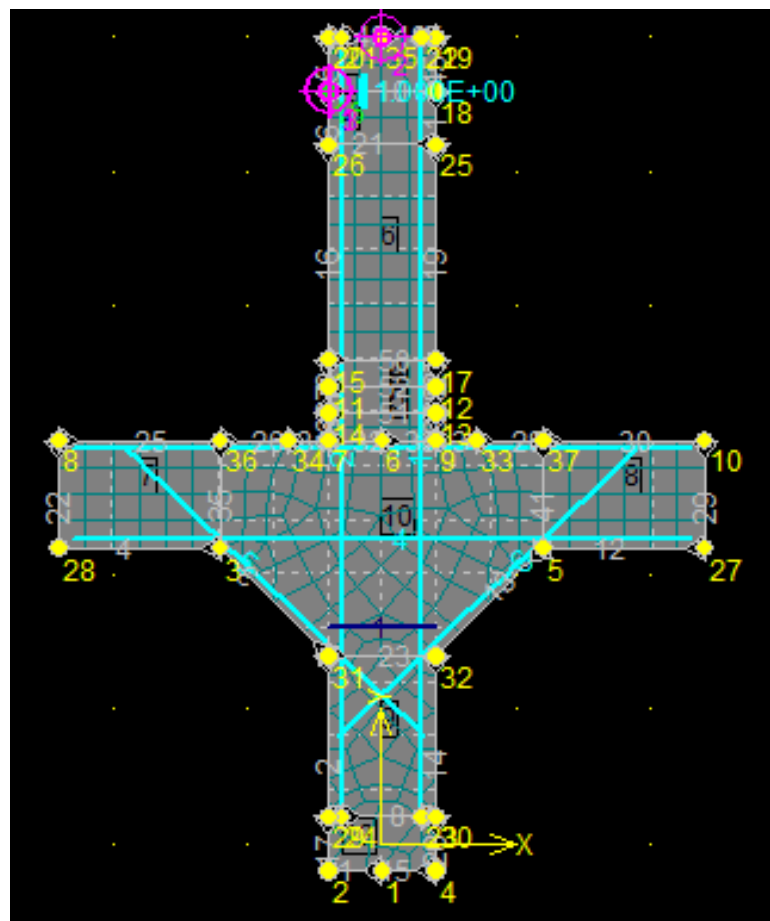
รูปที่ 3-26 แสดงรายละเอียดของแบบก่อสร้างชิ้นส่วนรอยต่อคานเสา รูปที่ 3-27 แสดงการทดสอบรอยต่อคานเสาในห้องปฏิบัติการ การสร้างแบบจำลองสำหรับใช้วิเคราะห์รอยต่อคานเสาดำเนินการตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-1 โดยเลือกใช้อิเลเมนต์ประเภท 2D Four Nodes Iso-parametric Plane Stress Element ที่สามารถปรับรูปร่างของอิเลเมนต์หรือตำแหน่งของ Nodes ที่มุมให้สอดคล้องกับรูปร่างของชิ้นส่วนโครงสร้างได้ ซึ่งจะได้แบบจำลองรอยต่อคานเสาดังแสดงในรูปที่ 3-28 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุสำหรับคอนกรีตและเหล็กเสริม และวิธีการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นได้ดำเนินการในลักษณะเดียวกับการจำลองเสาตอม่อที่ได้นำเสนอในช่วงต้น



รูปที่ 3-26 แบบก่อสร้างรอยต่อคานเสาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง



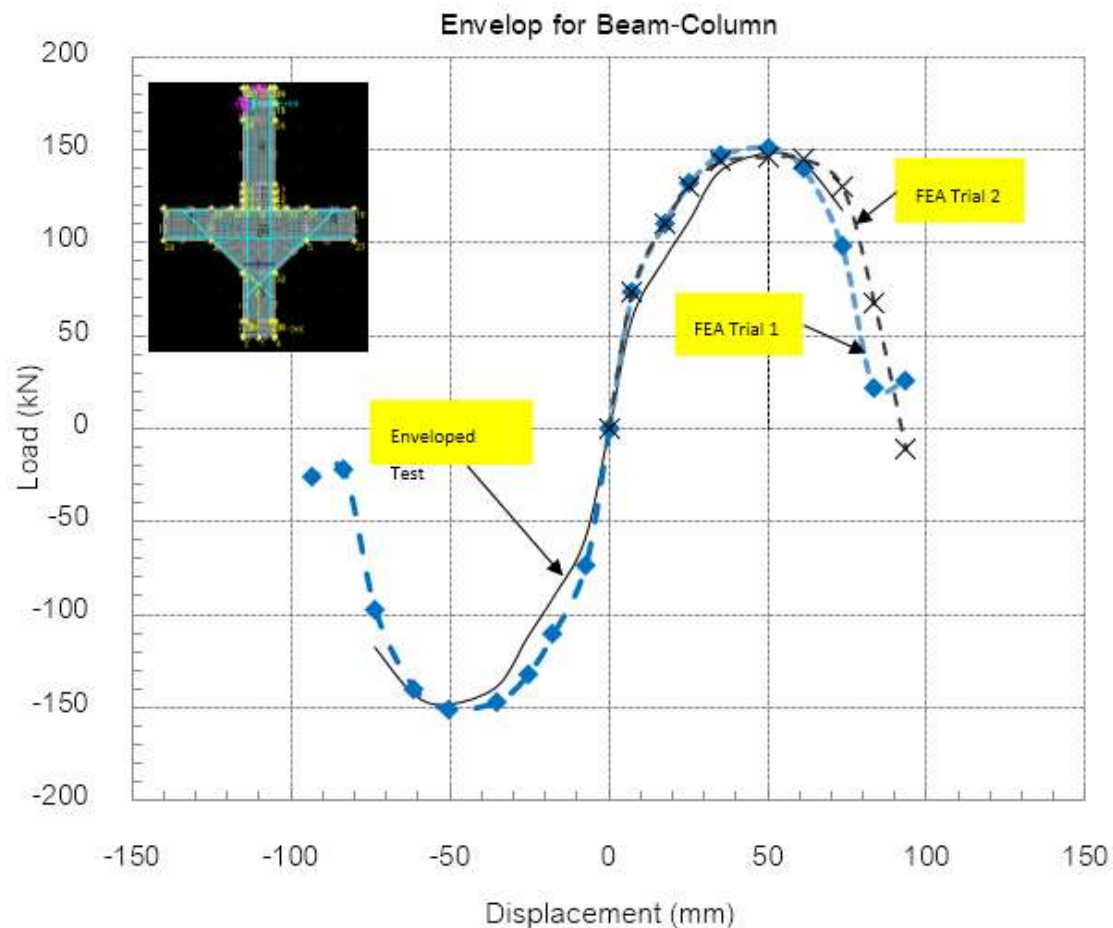
รูปที่ 3-27 รูปแบบการทดสอบและ Reaction Frame ที่จำลองแรงกระทำต่อรอยต่อคานเสาสะพาน



รูปที่ 3-28 แบบจำลองชิ้นส่วนรอยต่อคานเสาที่รับแรงกระทำด้านข้างแบบวิฐจักร

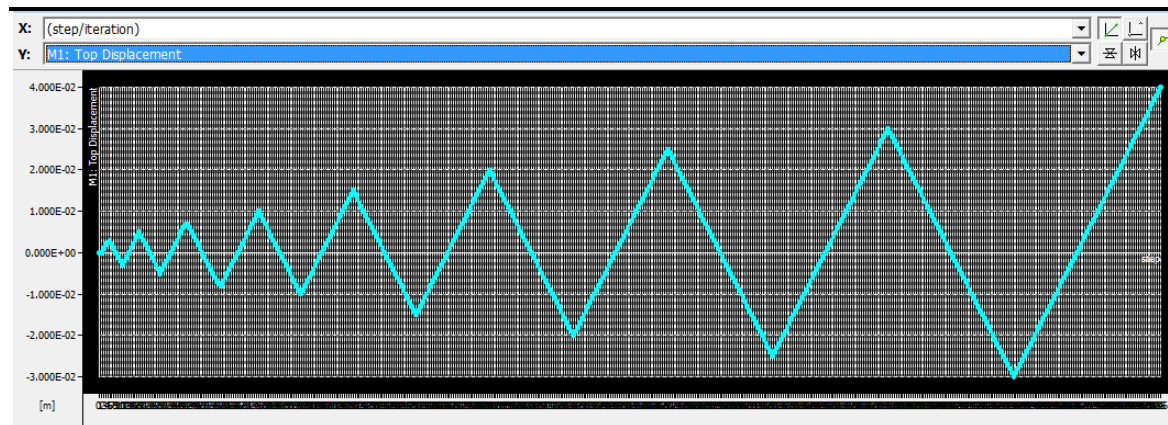
3.1.2.2. ผลการวิเคราะห์รอยต่อคานเสา

ในการวิเคราะห์รอยต่อคานเสา ได้ดำเนินการวิเคราะห์แบบ Pushover Analysis เพื่อใช้ในการปรับแก้และเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าของ Pushover Curve หรือ Backbone Curve ที่ใกล้เคียงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 3-29

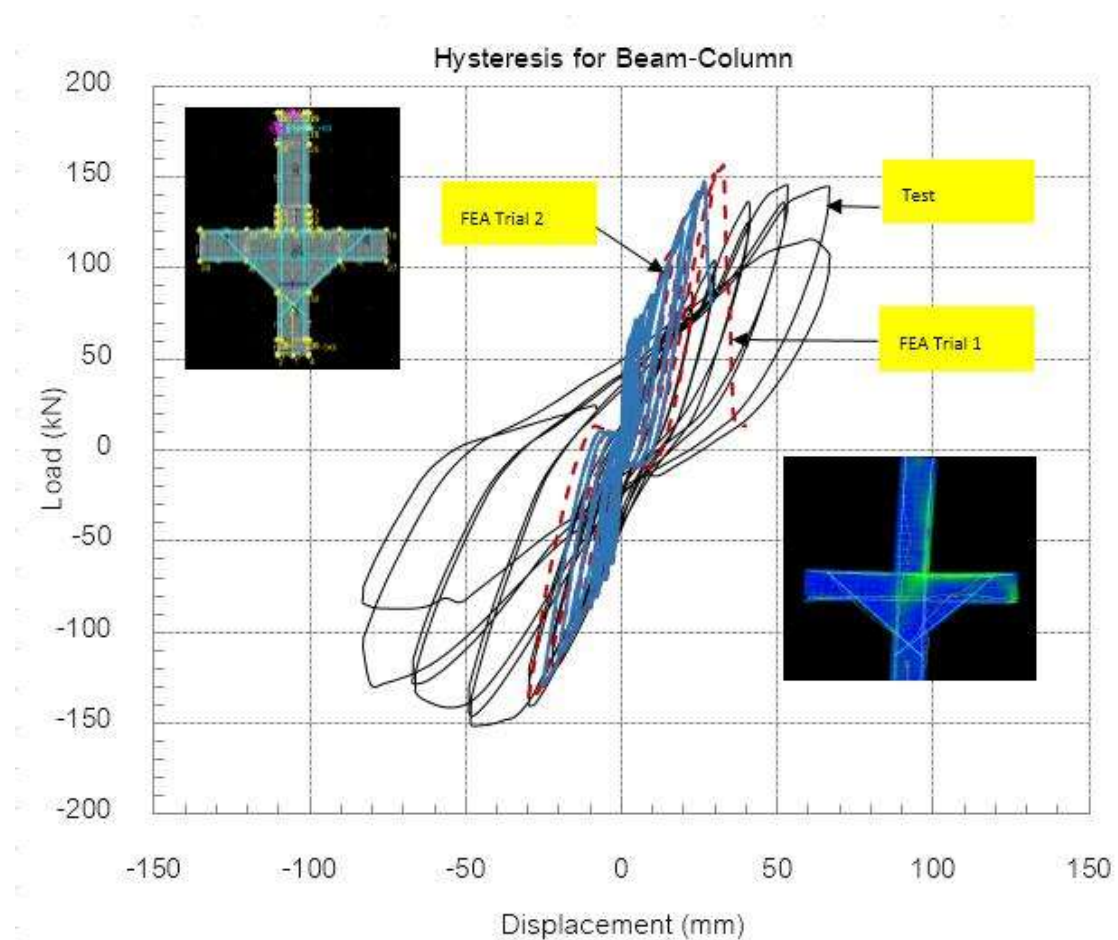


รูปที่ 3-29 ค่าของ Pushover Curve ของการวิเคราะห์รอยต่อคานเสาของสะพาน

ภายหลังการปรับค่าพารามิเตอร์ เพื่อให้ได้ Backbone Curve ที่ใกล้เคียงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการแล้ว ที่ปรึกษาได้นำแบบจำลองที่ปรับค่าเรียบร้อยแล้วมาดำเนินการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Static Reversed Cycling Loading โดยจะปรับค่าพารามิเตอร์ของเหล็กเสริมอีกครั้ง เพื่อให้สามารถจำลองการสลายพลังงานของโครงสร้างได้ โดยตัวอย่างของ Loading History แสดงดังรูปที่ 3-30 ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์แบบ Reversed Cycling Loading ของรอยต่อคานเสาดังแสดงในรูปที่ 3-31

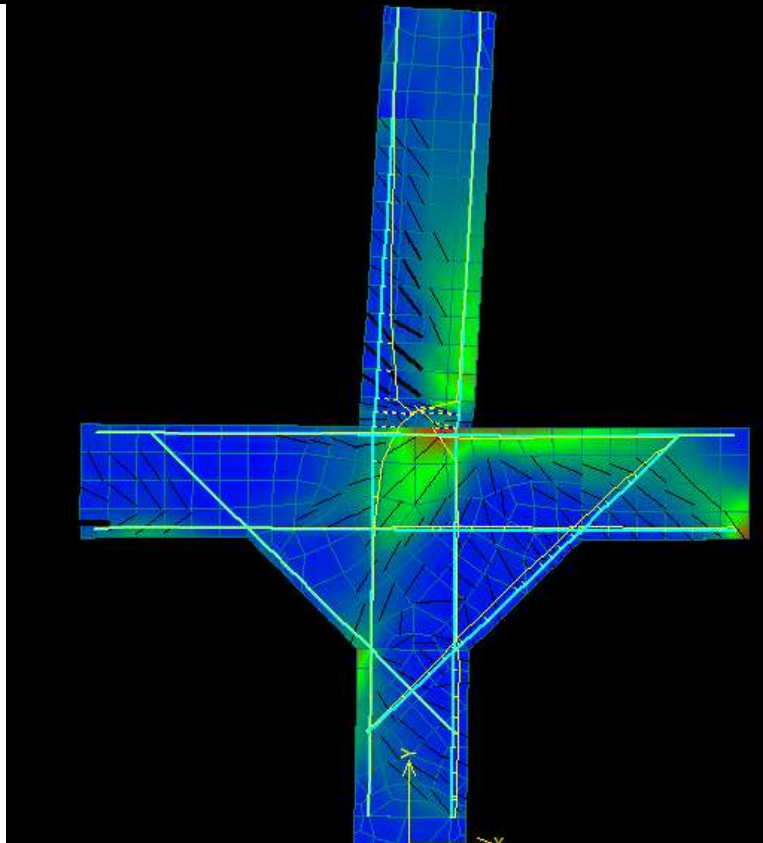


รูปที่ 3-30 ค่า Loading History ของการวิเคราะห์รอยต่อคานเสา

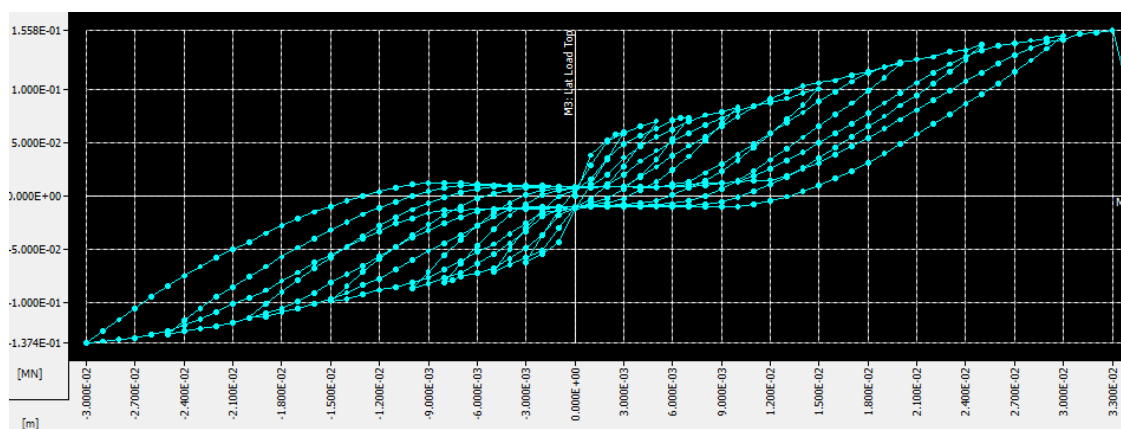


รูปที่ 3-31 ผลการวิเคราะห์แบบ Reversed Cycling Loading ของรอยต่อคานเสา

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์เพื่อแสดงรอยแตกร้าวและการเคลื่อนตัวของรอยต่อคานเสาได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-32 และรูปที่ 3-33 ตามลำดับ



รูปที่ 3-32 รอยร้าวและการเคลื่อนตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ต่อม่อแบบ Reversed Cycling Load
(At Peak Load)



รูปที่ 3-33 ตัวอย่าง Load Displacement Curve จากการวิเคราะห์แบบ Reversed Cyclic Loading

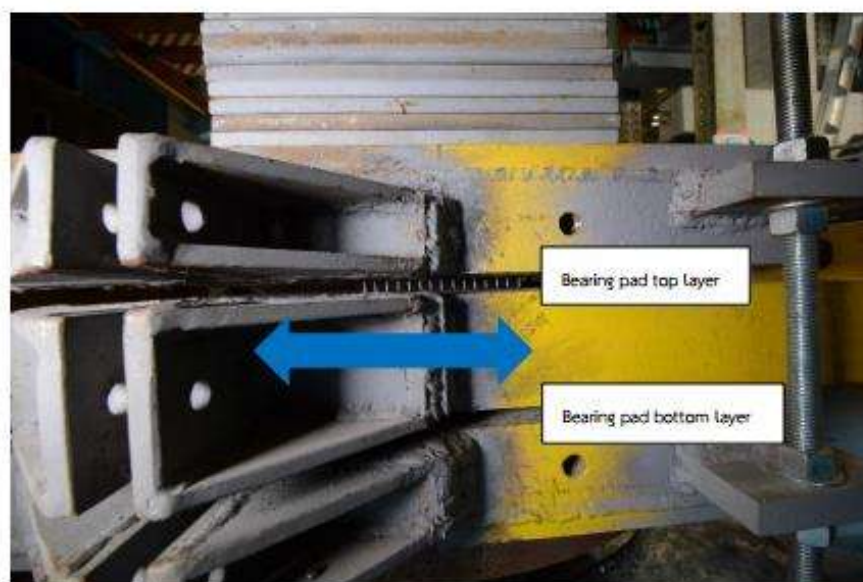
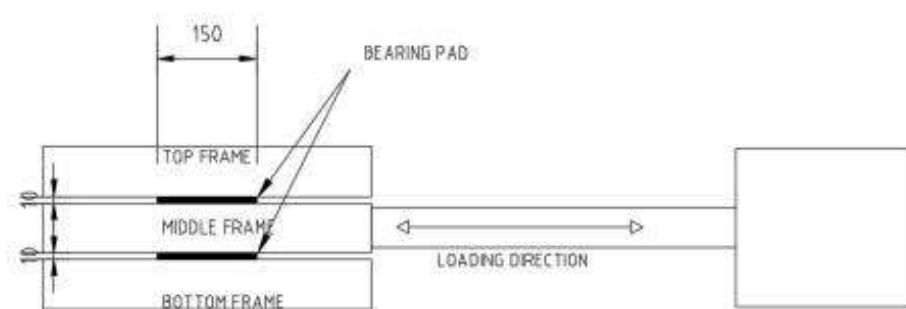
3.1.1. แผ่นยางรองสะพาน

3.1.1.1. การสร้างแบบจำลองแผ่นยางรองสะพานและผลการวิเคราะห์

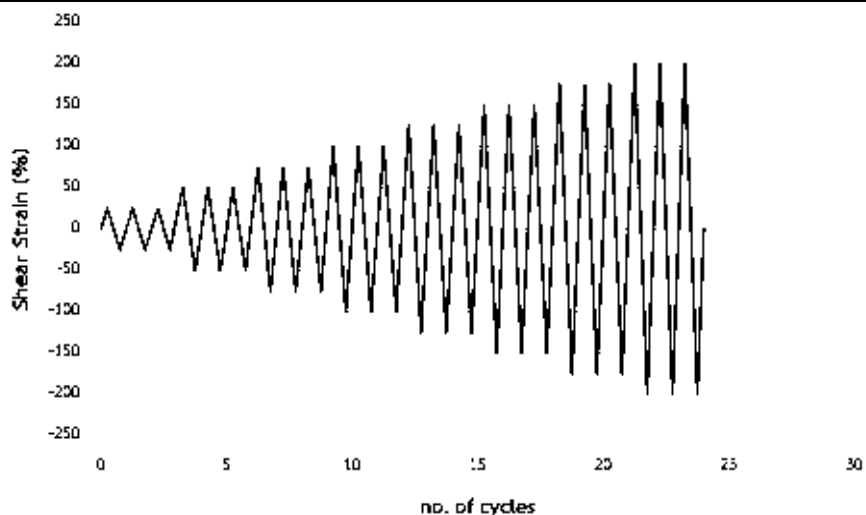
การสร้างแบบจำลองของแผ่นยางรองสะพาน (Elastomeric pad) ที่ใช้ประกอบการสร้างแบบจำลองสะพานแบบ Global Model ได้เลือกใช้โวลูเมนต์ประเภท Multi Linear Spring Model โดยค่าของแบบจำลองที่ใช้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัวของแผ่นยาง

รูปที่ 3-34 แสดงรูปแบบการทดสอบแผ่นยางโดยการควบคุมระดับของ Shear Strain ด้วยการเคลื่อนที่ด้านข้างแบบวัฏจักร (รูปที่ 3-35) ที่ปรึกษาได้ดำเนินจำลองพฤติกรรมของแผ่นยางและเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัวดังรูปที่ 3-36

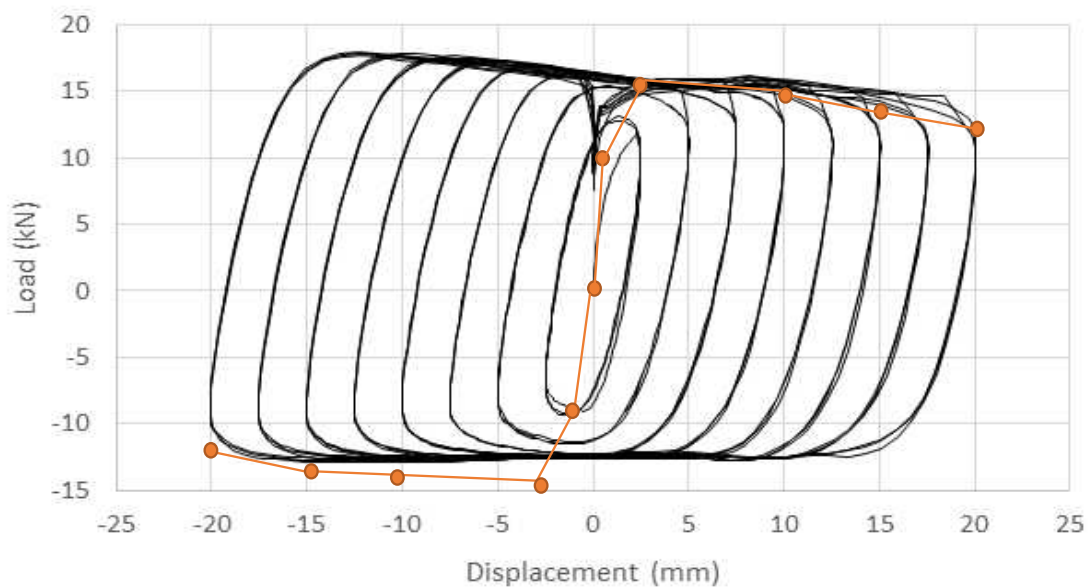
จากผลการทดสอบที่ปรึกษาได้พิจารณาเลือกใช้ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างและการเคลื่อนตัวของแผ่นยางเพื่อใช้เป็นค่าของ Envelop Curve และใช้ในแบบจำลองของสะพาน โดยค่าของ Envelop Curve ได้เลือกเป็นประเภท Multi Linear Model เพื่อให้รวดเร็วในการจำลองแผ่นยางในแบบจำลองของสะพานแบบ Global ต่อไป



รูปที่ 3-34 การเตรียมตัวอย่างแผ่นยางและทิศทางของแรงกระทำในการทดสอบ



รูปที่ 3-35 ค่า Shear Strain (%) และจำนวนรอบที่ทดสอบแผ่นยาง



รูปที่ 3-36 ผลการจำลองพฤติกรรมของแผ่นยางเทียบกับผลการทดสอบแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัว

ตารางที่ 3-1 ค่าแรงกระทำและระยะการเคลื่อนที่ของแผ่นยางที่จำลองด้วย Multi Linear Spring

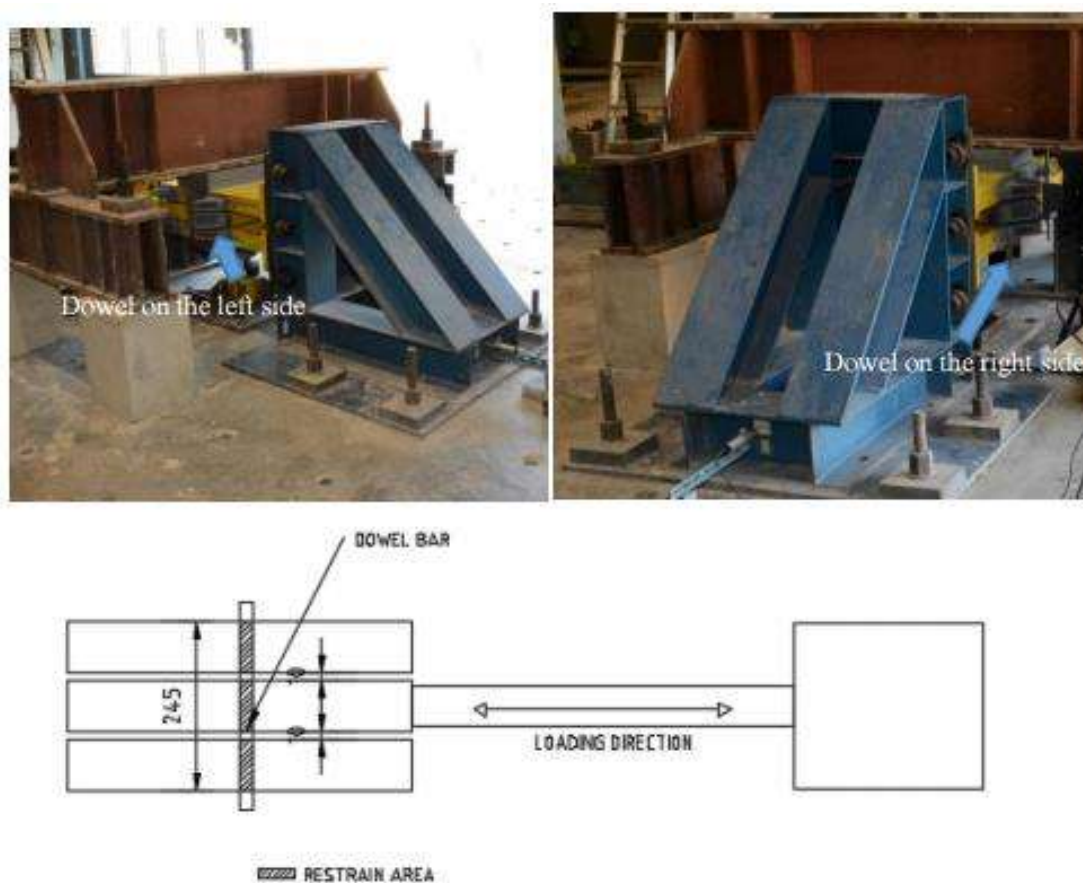
Displacement (mm) +Pull/-Push	Force (kN) + Pull/-Push
0	0
0.5	10
2.65	15.1
10	14.5
15	13
20	12.5

3.1.1.2. การสร้างแบบจำลองเหล็กเดือยและผลการวิเคราะห์

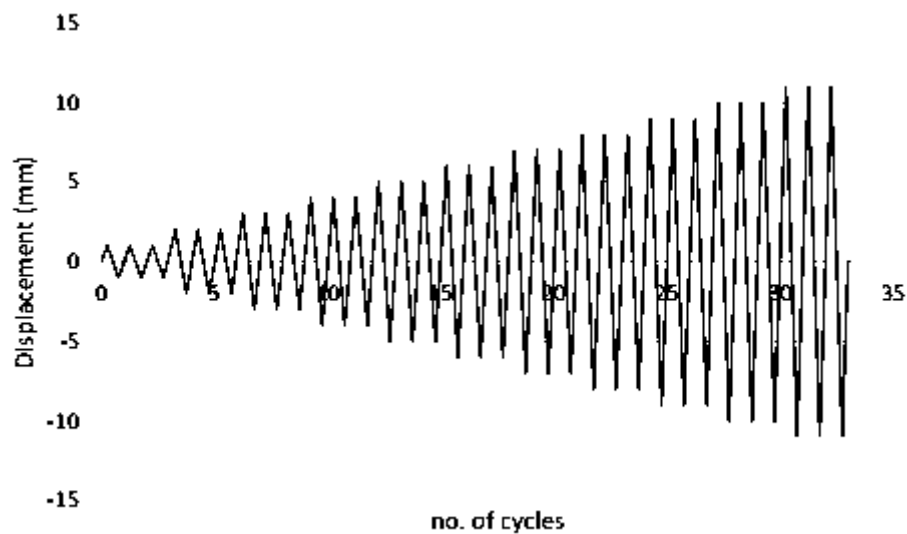
การสร้างแบบจำลองของเหล็กเดือย (Dowel) ที่ใช้ประกอบการสร้างแบบจำลองสะพานแบบ Global Model ได้เลือกใช้อิเลเมนต์ประเภท Multi Linear Spring Model เช่นเดียวกับการจำลองแผ่นยางรองสะพาน โดยค่าของแบบจำลองที่ใช้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัวของเหล็กเดือย

การติดตั้งและรูปแบบการทดสอบเหล็กเดือยได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-37 ซึ่งเหล็กเดือยจะถูกทดสอบภายใต้การควบคุมระดับการเคลื่อนตัวด้านข้างแบบวัฏจักรดังรูปที่ 3-38 ที่ปรึกษาได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัวของเหล็กเดือยดังแสดงในรูปที่ 3-39

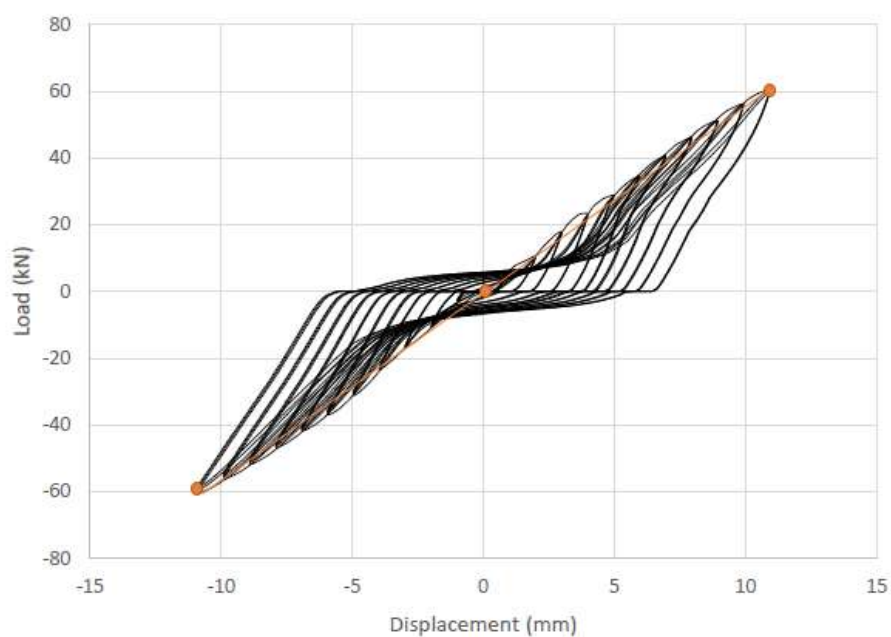
จากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองเหล็กเดือย ที่ปรึกษาได้ใช้ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างและการเคลื่อนตัวของเหล็กเดือยเป็นค่าของ Envelop Curve โดยค่าของ Envelop Curve ได้เลือกเป็นประเภท Multi Linear Model เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการจำลองเหล็กเดือยในแบบจำลองของสะพานแบบ Global ต่อไป



รูปที่ 3-37 การเตรียมตัวอย่างเหล็กเดือยและทิศทางของแรงกระทำในการทดสอบ



รูปที่ 3-38 ค่าของระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง และจำนวนรอบที่ทดสอบเหล็กเดียว



รูปที่ 3-39 ผลการจำลองพฤติกรรมของเหล็กเดียวเทียบกับผลการทดสอบแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัวของเหล็กเดียว

ตารางที่ 3-2 ค่าแรงและระยะการเคลื่อนตัวของเหล็กเดียวที่จำลองด้วย Multi Linear Spring

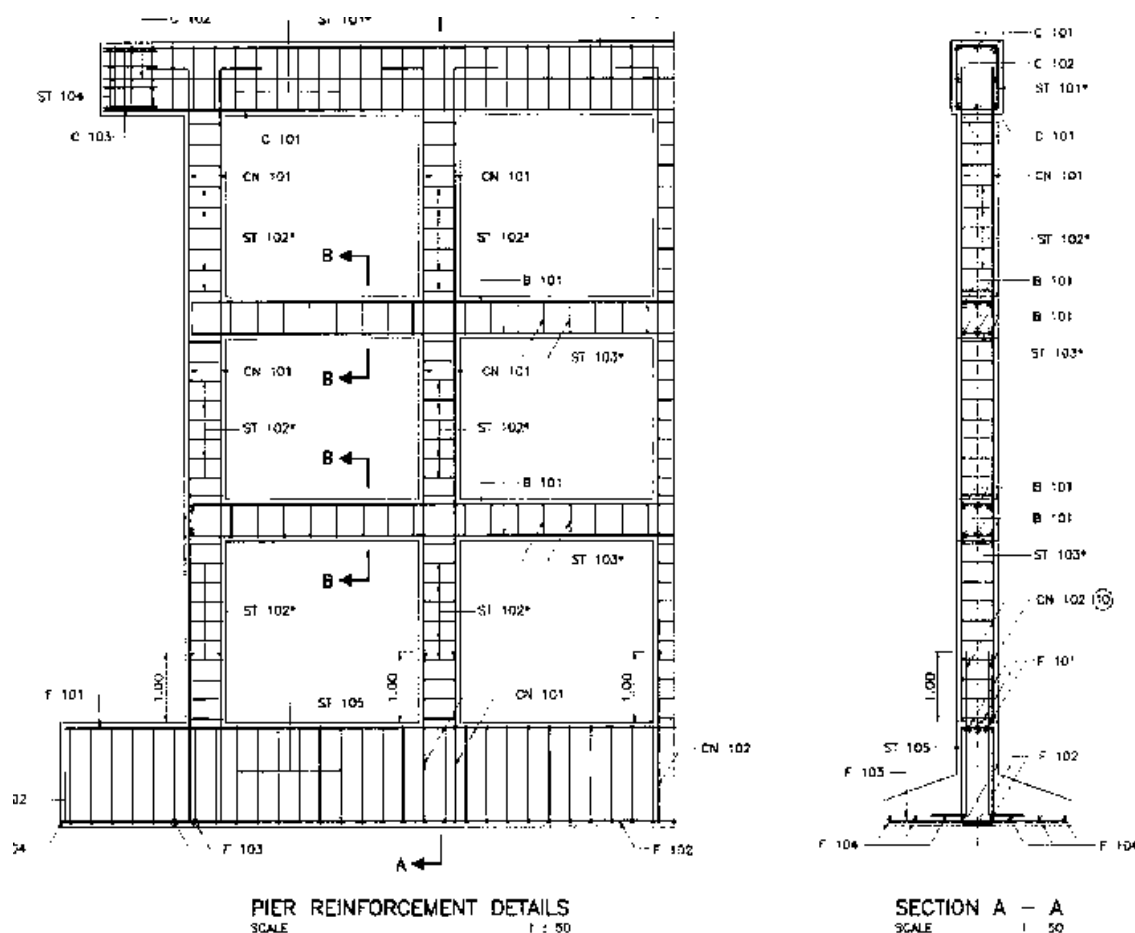
Displacement (mm) + Pull/-Push	Force (kN) + Pull/-Push
0	0
11.5	60

3.2. การปรับปรุงรูปแบบของตอม่อสะพานประเภทเสาเรียง

จากลักษณะความเสียหายและการพังทลายของชิ้นส่วน โครงสร้างตอม่อ ได้แก่ เสา รอยต่อคานเสา แผ่นยางรองคาน และเหล็กเคอีย ที่ได้แสดงไปในข้างต้น ที่ปรึกษาได้พิจารณาปรับปรุงตามแนวทางดังนี้

- เพิ่มกำลังรับน้ำหนักของเสาตอม่อสะพาน
- เพิ่มกำลังรับน้ำหนักของคานยึดเสาของตอม่อสะพาน
- ลดโอกาสการพังทลายแบบเปราะเช่น Shear Failure ในบริเวณเสา คาน และรอยต่อคานเสา โดยโครงสร้างตอม่อสะพานควรมีความเหนียวที่เพียงพอต่อการรองรับแผ่นดินไหวที่รุนแรงในอนาคต

จากแนวทางข้างต้น ที่ปรึกษาได้พิจารณาเลือก ขนาดของเสาและคาน โดยได้เริ่มจากพิจารณาแบบตอม่อตามมาตรฐานกรรมทางหลวงปี 2015 ซึ่งมีรูปแบบของตอม่อประเภท Pile Bent ดังนี้



รูปที่ 3-40 ลักษณะของตอม่อแบบ Pile Bent ตามแบบมาตรฐานกรรมทางหลวงปี 2015

ตอม่อตามแบบมาตรฐานกรรมทางหลวงปี 2015 นี้ ถูกออกแบบให้เสาอยู่ในแนวตรงทั้งหมด ไม่ใช่เสาเอียงด้านนอกแบบ Batter Pile ตามแบบมาตรฐานกรรมทางหลวงปี 1994 ซึ่งเสาที่อยู่ในแนวตรงนี้มีแนวโน้มที่จะรับแรงในลักษณะเสา-คานมากกว่ากรณีของ Batter Pile ซึ่งจะมีแรงตามแนวเสาที่เป็นแรงอัดมาก ทำให้รูปแบบใหม่จะมีความเหนียวได้ดีกว่าแบบเดิม อย่างไรก็ตามปริมาณเหล็กขึ้นและเหล็กมัดตามขวางในเสาควรที่จะพิจารณาเพิ่มเติม เพื่อยืนยันประสิทธิภาพในการรับแรงแผ่นดินไหวของตอม่อลักษณะนี้

นอกจากนั้น แบบตอม่อตามแบบกรมทางหลวงปี 2015 นี้ ได้ออกแบบให้รอยต่อบริเวณเสาและคานามีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยยกเลิกการใช้รูปแบบของ Taper ที่บริเวณรอยต่อ (Joint) ซึ่งจะทำให้การก่อสร้างง่ายมากขึ้น โดยเฉพาะการทำแบบหล่อและการเสริมเหล็ก อย่างไรก็ตาม รูปแบบนี้จะทำให้น้ำตดรับแรงของรอยต่อในตอม่อมีพื้นที่น้อยลง ซึ่งอาจเป็นผลให้กำลังรับแรงเฉือนบริเวณรอยต่อลดลงได้ ซึ่งหากเกิดแผ่นดินไหวในระดับที่รุนแรง และตอม่อมีการเคลื่อนตัวมาก จะต้องตรวจสอบไม่ให้เกิดความเสียหายของรอยต่อมากเกินไป ซึ่งจะไม่สามารถซ่อมได้ หรือเกิดความเสียหายที่นำไปสู่การพังทลายแบบประาะของตอม่อสะพานได้

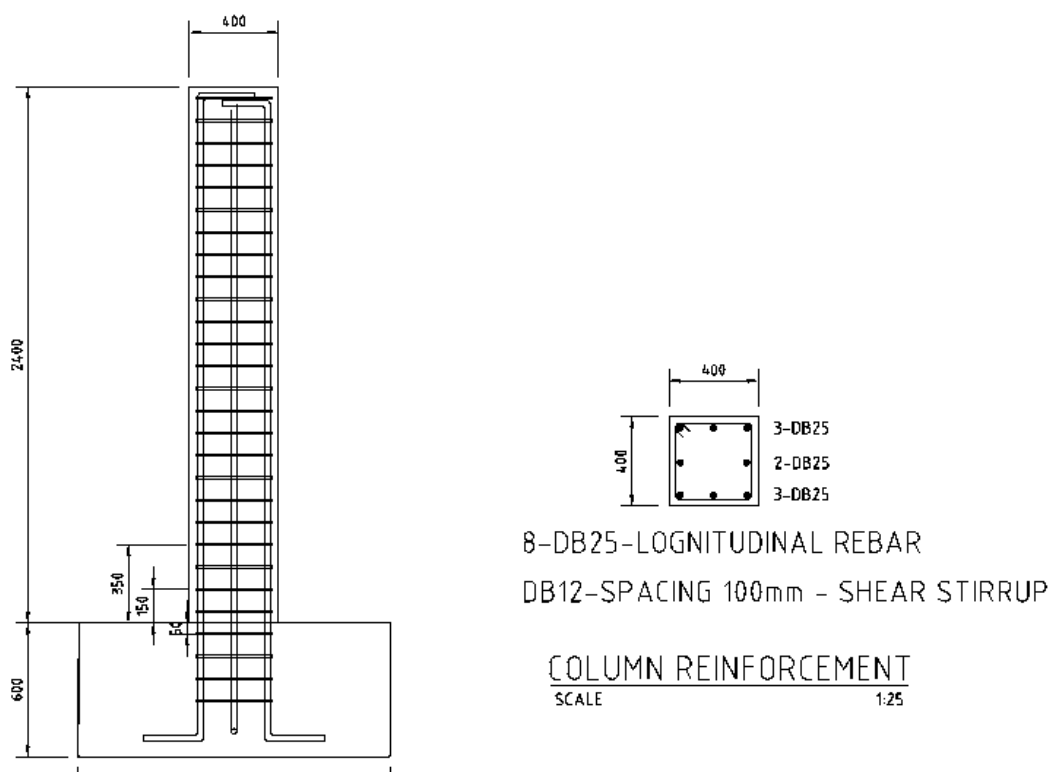
นอกจากนั้น เนื่องจากระบบของตอม่อตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 นี้ ออกแบบให้รับแรงด้านข้างในลักษณะ Frame โดยที่คานาและเสาร่วมกันทำหน้าที่ในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นควรตรวจสอบลักษณะการถ่ายแรง ลำดับความเสียหายของส่วนโครงสร้าง โดยจะต้องออกแบบให้ตอม่อมีการพังทลายแบบเหนียว ไม่เกิดการพังทลายแบบประาะในบริเวณ คานา รอยต่อคานาเสา และเสา

3.3. รูปแบบส่วนของโครงสร้างเพื่อการปรับปรุงแบบ

จากแนวทางการปรับปรุงพฤติกรรมของตอม่อสะพานที่ได้อธิบายข้างต้น ที่ปรึกษาจะนำเสนอรูปแบบการทดสอบส่วนของโครงสร้างที่สำคัญจำนวน 3 ชิ้น ได้แก่ เสา รอยต่อคานาเสา และ แผ่นยางรอง อีกทั้งจะนำเสนอรูปแบบโครงสร้างตอม่อประเภทเสาเรียงจำนวน 4 ต้น ขนาดเท่าจริง

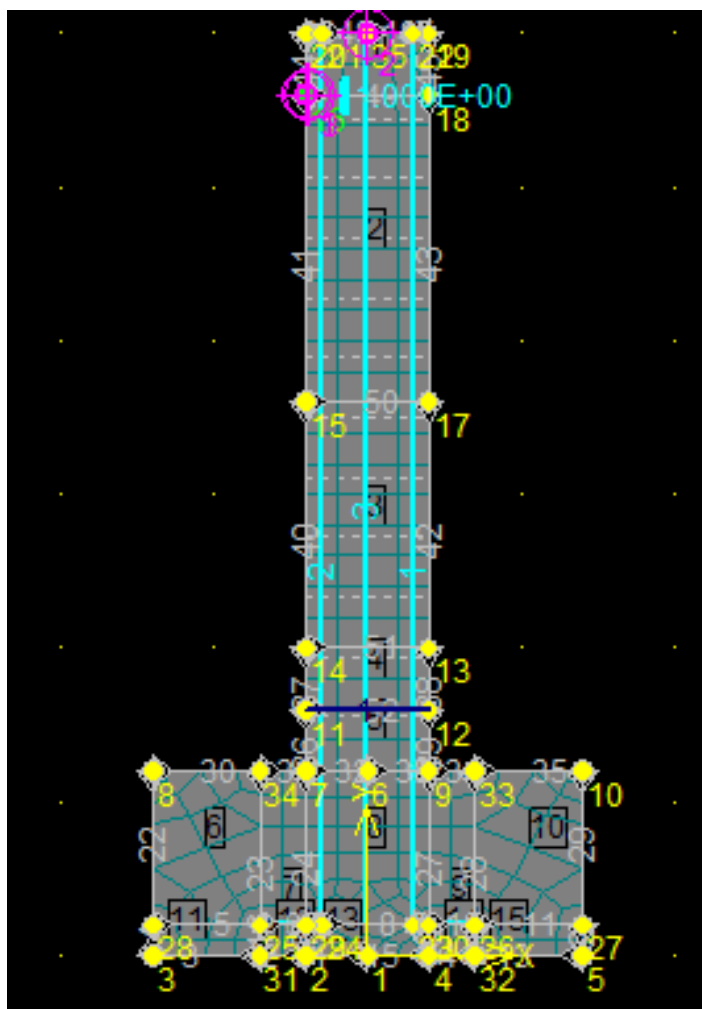
3.3.1. รูปแบบการทดสอบเสาตอม่อเพื่อการปรับปรุงแบบ

ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเสาตอม่อ ที่ปรึกษาได้พิจารณาเพิ่มกำลังของหน้าตัดของเสาโดยเพิ่มจำนวนของเหล็กขึ้นและเหล็กปลอกกรอบ ดังนี้



รูปที่ 3-41 ลักษณะของเสาที่ใช้ทดสอบเพื่อการปรับปรุงแบบ

ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเสาตอม่อที่จะดำเนินการทดสอบเพื่อยืนยันผล ที่ปรึกษาได้นำเสาตอม่อที่ได้รับการปรับปรุง เหล็กเสริมข้างต้นมาสร้างแบบจำลอง FEA เพื่อวิเคราะห์หา Load Displacement Response รวมทั้งลักษณะของความเสียหาย และการพังทลายของเสา เปรียบเทียบกับรูปแบบก่อนการปรับปรุง โดยแบบจำลองรวมทั้งแนวทางการสร้างแบบจำลอง และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3-42 แบบจำลอง FEA ของเสาตอม่อที่ใช้ปรับปรุงแบบ

โดยในการสร้างแบบจำลองของเสาที่ปรับปรุงใหม่ รวมทั้งรอยต่อคานเสา และ ตอม่อสะพานแบบขนาดเท่าจริง จะเลือกใช้การจำลองวัสดุต่างๆ ดังนี้

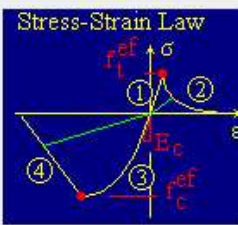
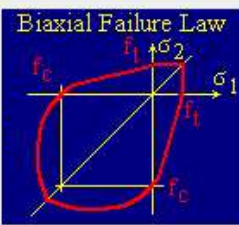
- Concrete Elements มีขนาด 2-3 เท่าของ Maximum Aggregate Size
- เหล็กปลอกหรือเหล็กตะแกรงที่กระจายอย่างสม่ำเสมอในคานหรือเสาจำลองโดยใช้ Smeared Reinforcement
- เหล็กเสริมตามยาวในคานและเหล็กยื่นในเสาพิจารณาใช้ Embedded Reinforcement เพื่อให้สามารถจำลองการวางเหล็กเสริมที่ซับซ้อนตามแบบก่อสร้างได้
- แบบจำลองวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองส่วนของโครงสร้างมีดังนี้
 - 1) แบบจำลองของคอนกรีตภายใต้ แรงอัดและแรงดึง

Edit material #1:SBeta Material

Name: **f_c 360 ksc column CY**

Basic | Tensile | Compressive | Shear | Miscellaneous

Elastic modulus E : 3.265E+04 [MPa]
 Poisson's ratio μ : 0.200 [-]
 Tensile strength f_t : 2.617E+00 [MPa]
 Compressive strength f_c : -3.060E+01 [MPa]

Stress-Strain Law  

Material #: 1 f_{cu} = 3.600E+01 [MPa] OK Cancel

2) แบบจำลองของเหล็กเสริมยื่นในเสา ที่เป็นประเภท SD40T

2.1) Envelop Curve

Name: **SD40 (T) CY**

Basic | Menegoto-Pinto parameters | Miscellaneous

Type : Multilinear

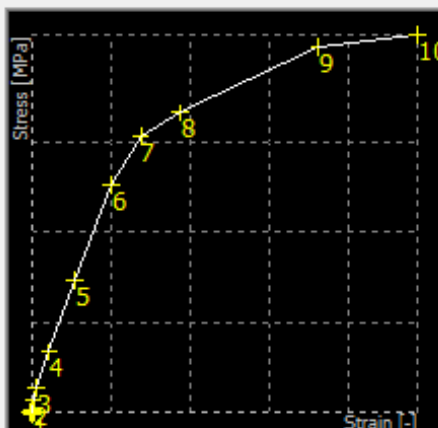
Coordinate

	Strain [-]	Stress [MPa]
1	0.000E+00	0.000
2	3.500E-05	19.985
3	1.150E-04	39.970
4	4.350E-04	99.924
5	1.085E-03	210.822

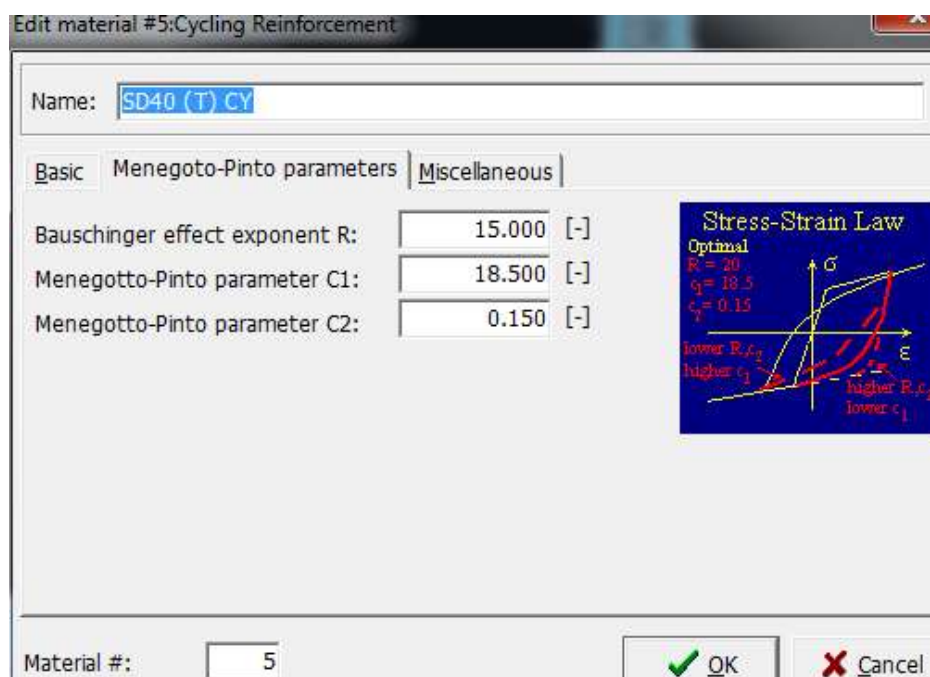
Add Edit Remove

☒ Active in compression

Material #: 5 OK Cancel



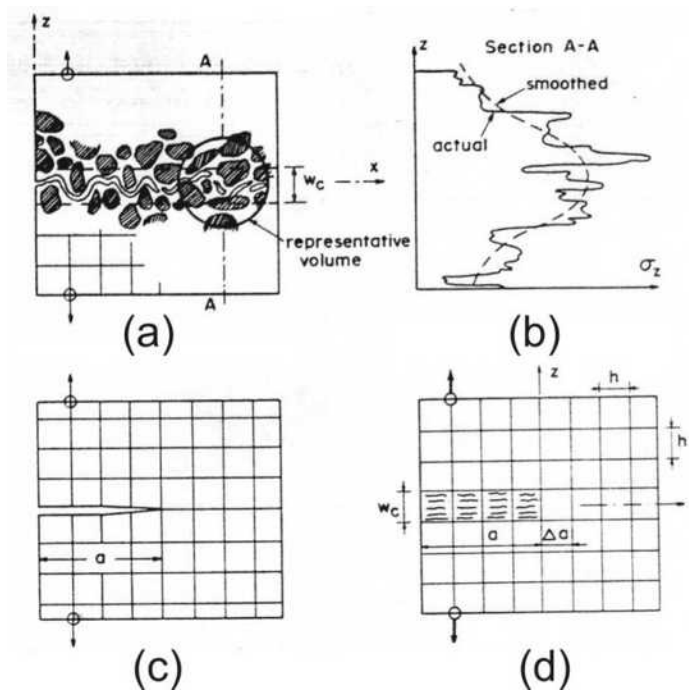
2.2) Menegoto-Pinto กรณีแรงกระทำเป็นแบบวัฏจักร



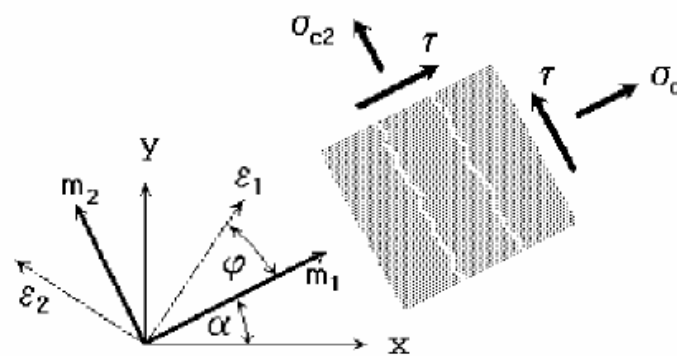
- สำหรับค่าของวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ที่ไม่สามารถทดสอบได้ จะพิจารณาตามข้อเสนอแนะของกลุ่มมือการใช้งานโปรแกรม ATENA ดังเช่น

Parameter:	Formula:
Cylinder strength	$f'_c = -0.85 f'_{cu}$
Tensile strength	$f'_t = 0.24 f'_{cu}^{\frac{2}{3}}$
Initial elastic modulus	$E_c = (6000 - 15.5 f'_{cu}) \sqrt{f'_{cu}}$
Poisson's ratio	$\nu = 0.2$
Softening compression	$w_d = -0.0005 mm$
Type of tension softening	1 – exponential, based on G_F
Compressive strength in cracked concrete	$c = 0.8$
Tension stiffening stress	$\sigma_s = 0.$
Shear retention factor	variable (Sect.2.1.7)
Tension-compression function type	linear
Fracture energy G_F according to VOS 1983	$G_F = 0.000025 f'_t{}^{\frac{2}{3}} [MN/m]$
Orientation factor for strain localization	$\gamma_{max} = 1.5$ (Sect.2.1.3)

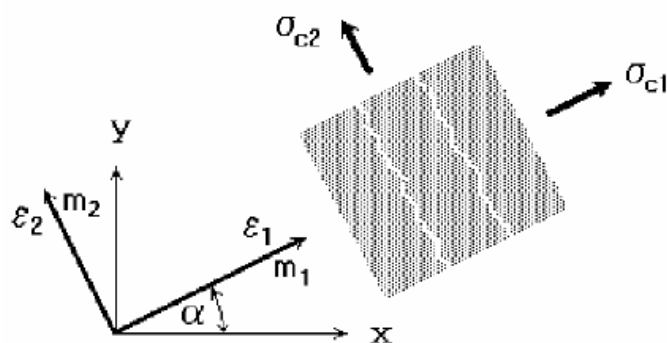
- การจำลองการแตกร้าว (Crack) พิจารณาใช้ Smeared Rotating Crack และ Smeared Fixed Crack



รูปที่ 3-43 ตัวอย่างระหว่าง Discrete และ Smeared Crack ของ FE Model



รูปที่ 3-44 ตัวอย่างของ Fixed Crack Model ของ FE Model



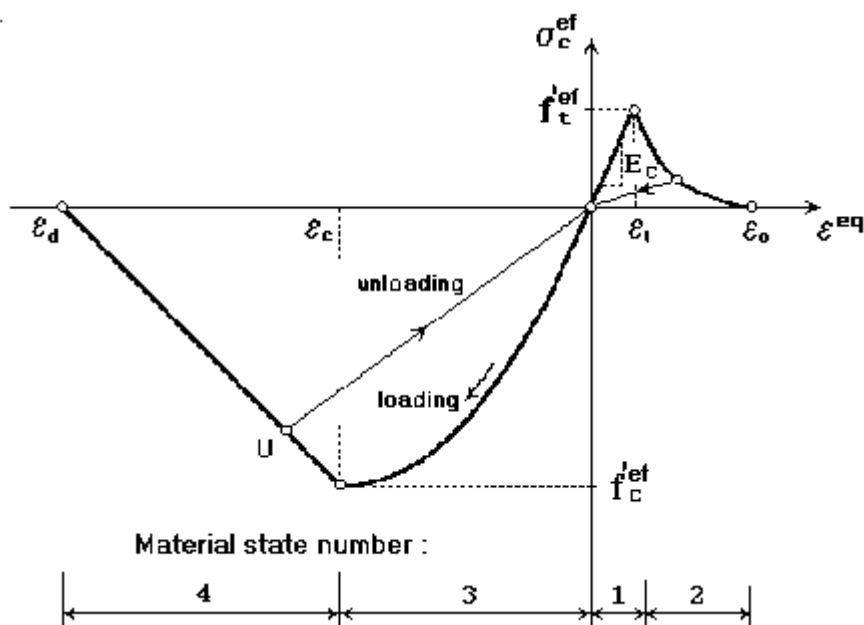
รูปที่ 3-45 ตัวอย่างของ Rotated Crack Model ของ FE Model

แบบจำลองวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองโครงสร้าง มีดังนี้

➤ Concrete Behavior Model using SBETA

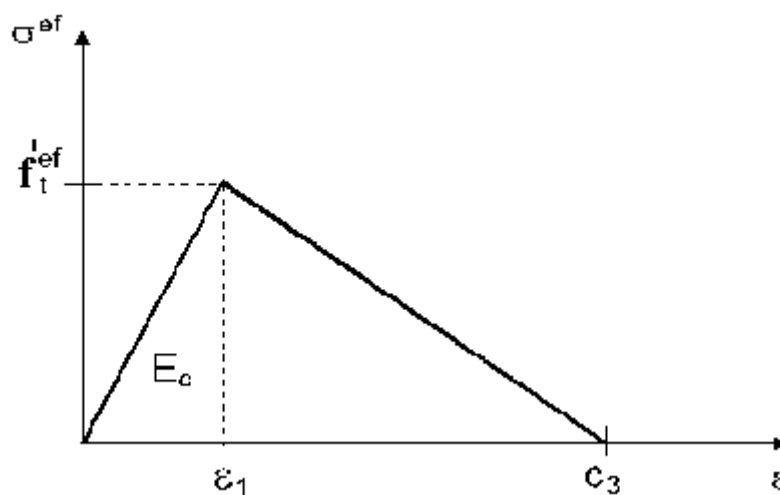
- โดยพฤติกรรมที่พิจารณาในแบบจำลองนี้ได้แก่

3) Nonlinear Behavior in compression including hardening and softening

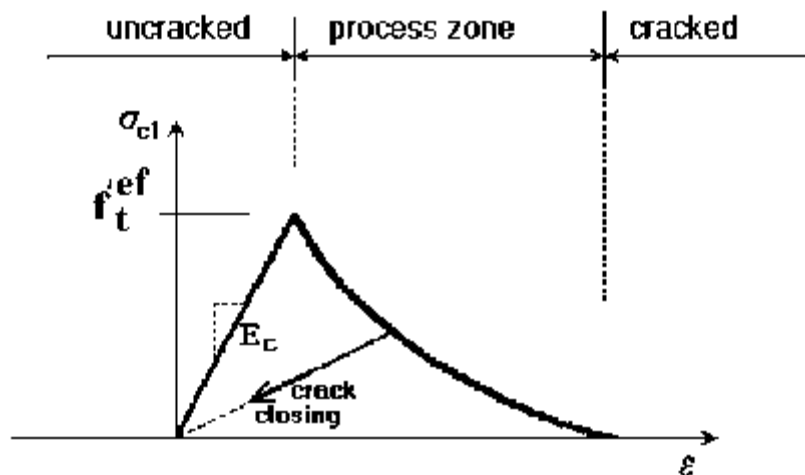


รูปที่ 3-46 ตัวอย่างของ Uniaxial Stress-Strain Curve ที่ใช้ใน Concrete

4) Fracture of concrete in tension based on the nonlinear fracture mechanics

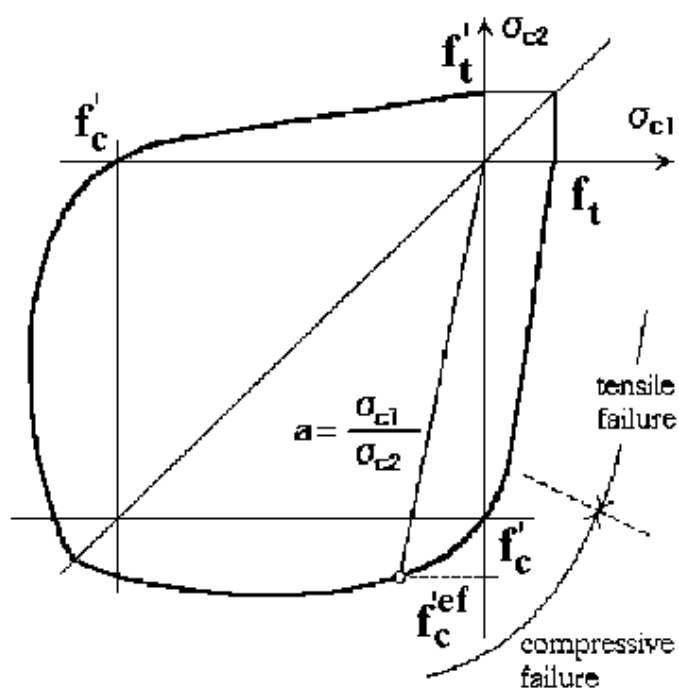


รูปที่ 3-47 ตัวอย่างของ Tension Softening Curve ที่ใช้ใน Concrete



รูปที่ 3-48 ตัวอย่าง การพิจารณาการเปิดและปิดของรอยแตกร้าวที่ใช้ใน Concrete

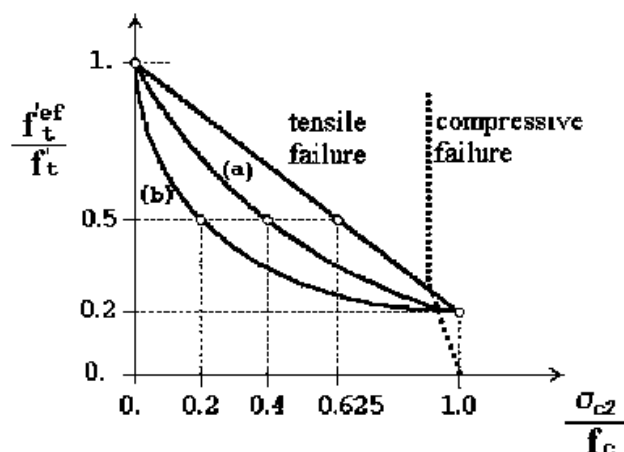
5) Biaxial strength failure criterion



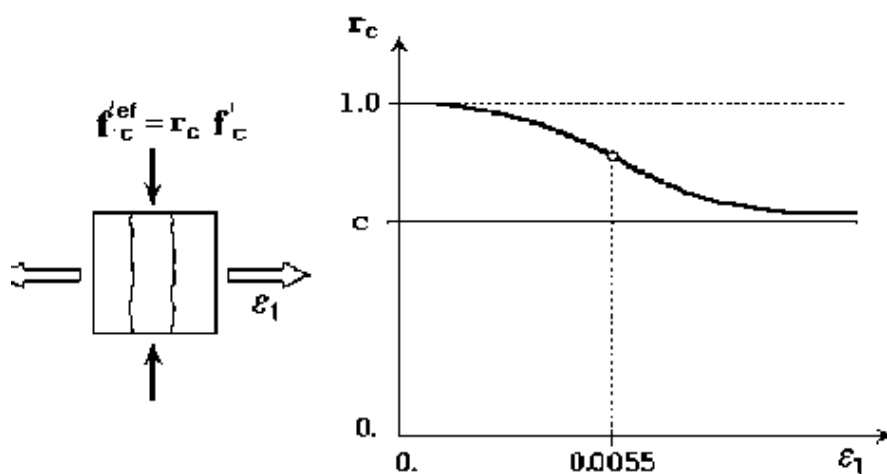
รูปที่ 3-49 ตัวอย่างของ กำลังของ concrete ภายใต้ความเค้นที่กระทำในสองทิศทาง

6) Reduction of compressive strength after cracking

type	point		parameters	
	r	x	A	K
a	0.5	0.4	0.75	1.125
b	0.5	0.2	1.0625	6.0208



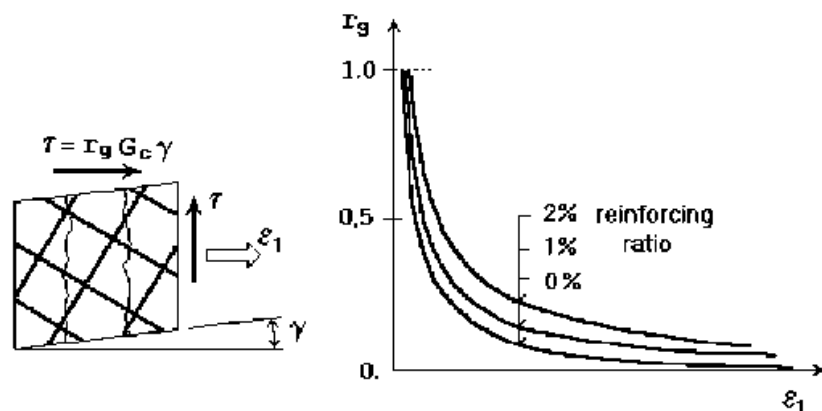
รูปที่ 3-50 ตัวอย่าง กำลังของ Concrete ที่ลดลง ภายใต้ความเค้นอัดและดึงที่กระทำในสองทิศทาง



รูปที่ 3-51 ตัวอย่าง กำลังของ Concrete ที่ลดลง ภายใต้ความเค้นอัดและดึงที่กระทำในสองทิศทาง กรณีใช้

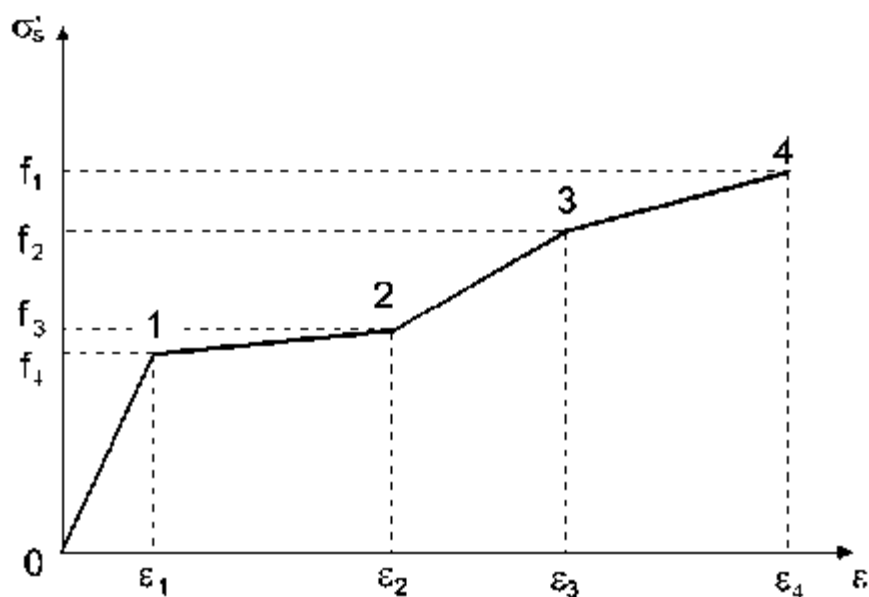
Compression Softening Model

- 7) Tension stiffening effect
- 8) Reduction of shear stiffness after cracking



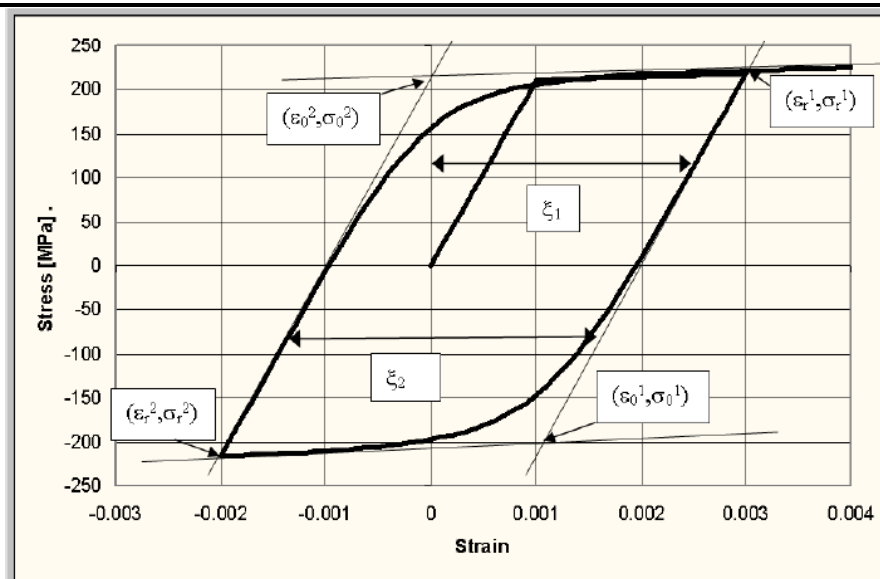
รูปที่ 3-52 ตัวอย่างของแบบจำลองการลดลงของความแข็งแรงเฉือนของ Concrete ที่ลดลง ภายใต้แรงเฉือนและดึงที่กระทำในสองทิศทาง

- 9) Fixed or Rotated cracking direction
- 10) Perfect bond model for smeared reinforcement
- 11) Reinforcement Behavior Model using Multi-Line Law



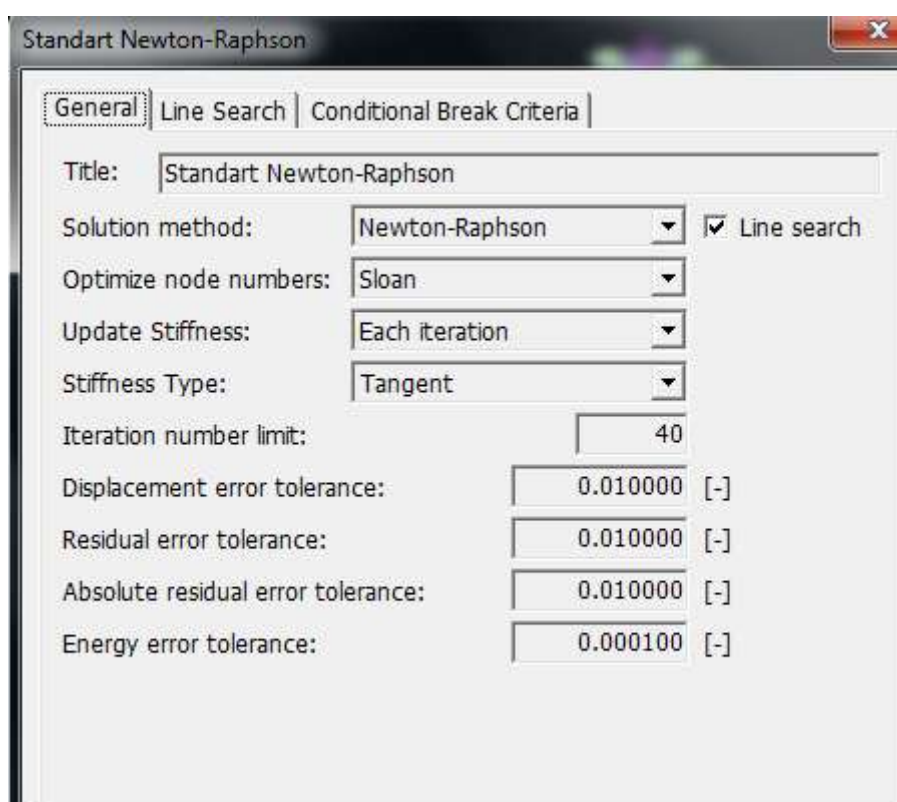
รูปที่ 3-53 ตัวอย่างของแบบจำลอง stress-strain ของ เหล็กเสริม กรณีแรงอัดหรือแรงดึงในทิศทางเดียว
(Monotonic Loading)

- 12) Reinforcement Behavior Model using Cycling Reinforcement Model

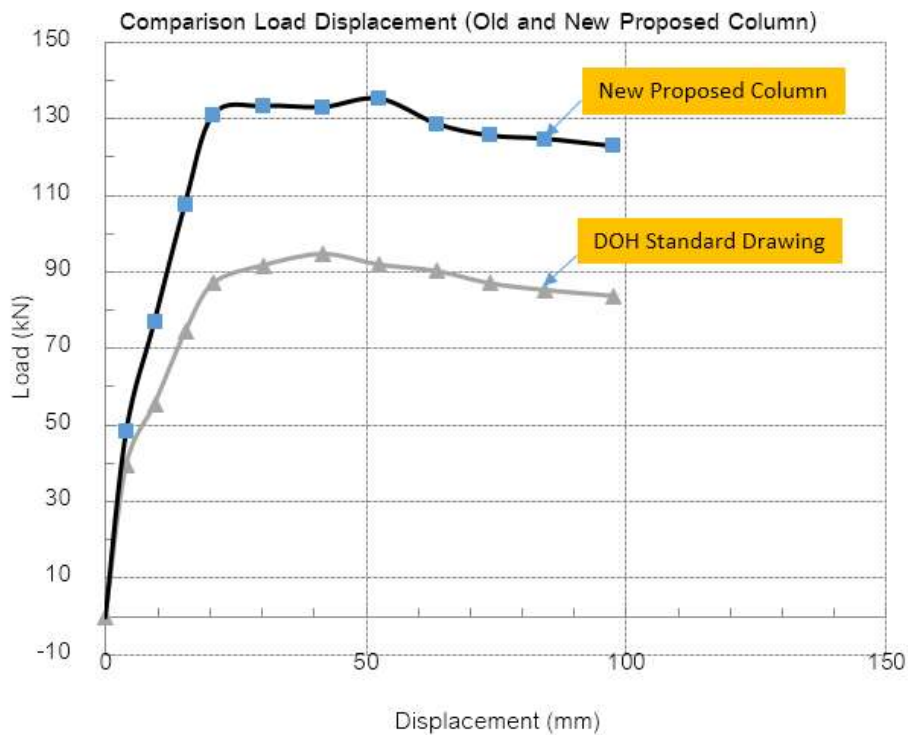


รูปที่ 3-54 ตัวอย่างของแบบจำลอง stress-strain ของเหล็กเสริม กรณีแรงอัดหรือแรงดึงในทิศทางสลับ
(Reversed Cyclic Loading)

สำหรับวิธีการแก้สมการแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของสะพาน จะเลือกใช้การวิเคราะห์แบบ Displacement Control และเลือกใช้ Solver แบบ Newton-Raphson และเลือกใช้ Line Search Technique เพื่อให้การวิเคราะห์มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

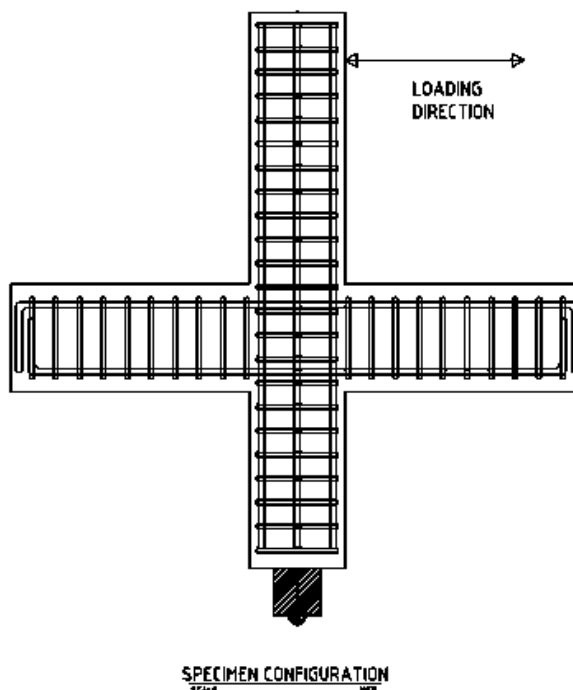


จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงในรูปที่ 3-55 จะเห็นว่าหน้าตัดของเสาที่จะทำการปรับปรุงใหม่โดยเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมมีกำลังที่สูงกว่าเสาเดิมที่ได้ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานปี 1994



รูปที่ 3-55 ผลการวิเคราะห์ FEA ของเสาตอม่อที่จะใช้ปรับปรุงแบบเปรียบเทียบกับแบบมาตรฐานเดิมในปี 1994

3.3.2. รูปแบบการทดสอบรอยต่อคานเสา (Beam Column Joint) เพื่อการปรับปรุงแบบ

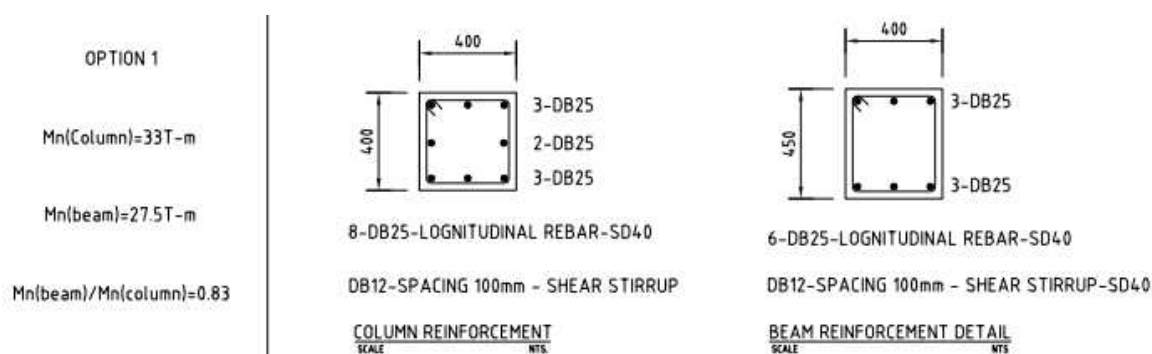


NOTE;

- 1) THE CLEAR COVERING ARE TO BE 40mm. FOR ALL ELEMENTS
- 2) ALL REINFORCEMENT STEEL GRADES ARE TO BE;
SD40 FOR DEFORM BARS
SR24 FOR ROUND BARS
- 3) ALL CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH ARE TO BE 35MPa

รูปที่ 3-56 ตัวอย่าง Specimen และ รูปแบบรอยต่อคานเสาที่จะใช้ในการปรับปรุงแบบ

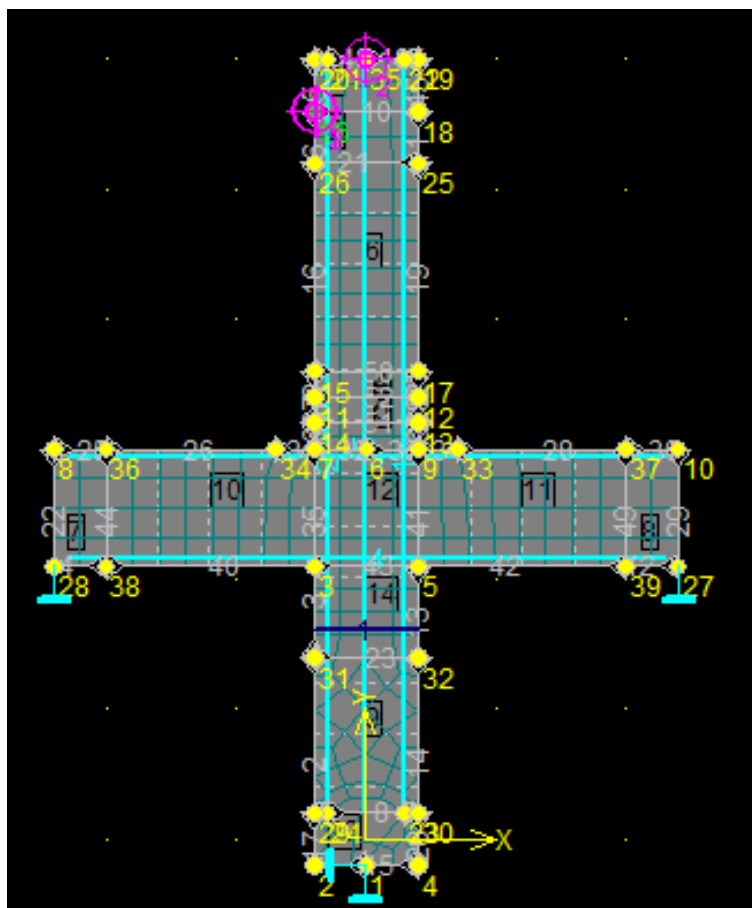
ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของรอยต่อคานเสา (Beam Column Joint) ที่จะดำเนินการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อ
ยืนยันผล ที่ปรึกษาได้ปรับปรุงโดยเพิ่มกำลังของหน้าตัดเสาและหน้าตัดคาน โดยจะเสริมเหล็กในเสาที่สอดคล้องกับ
รูปแบบของเสาที่ได้นำเสนอไปก่อนหน้านี้ สำหรับคานที่ใช้ยึดเสานั้น จะเพิ่มกำลังโดยการเพิ่มปริมาณเหล็กเสริม
ตามยาวที่ด้านบนและด้านล่างของคาน โดยคงขนาดของคานให้เท่ากับแบบมาตรฐานกรมทางหลวงในปี 2015
อย่างไรก็ตาม รูปแบบของเหล็กเสริมของคานยึดเสาจะพิจารณาเพิ่มเติมในช่วงของการวิเคราะห์พฤติกรรมของต่อม่อ
แบบ Full Scale ซึ่งจะแสดงผลในลำดับต่อไป



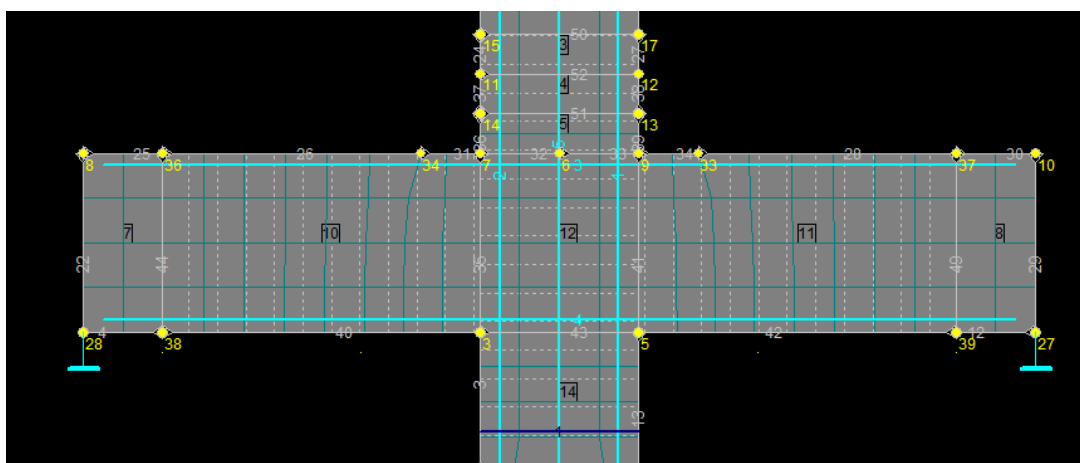
รูปที่ 3-57 ตัวอย่าง Specimen และ รูปแบบรอยต่อคานเสาที่ใช้ในการปรับปรุงต่อม่อ แบบที่ 1

จากรูปแบบของรอยต่อคานเสา และการเสริมเหล็กข้างต้น ที่ปรึกษาเรียกรูปแบบนี้ว่า รูปแบบการปรับปรุงเสาคานแบบที่ 1 โดยรูปแบบนี้ได้นำไปสร้างแบบจำลอง FEA เพื่อศึกษาพฤติกรรมและประสิทธิภาพเทียบกับผลการจำลองของรอยต่อคานเสาของตอม่อที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 1994

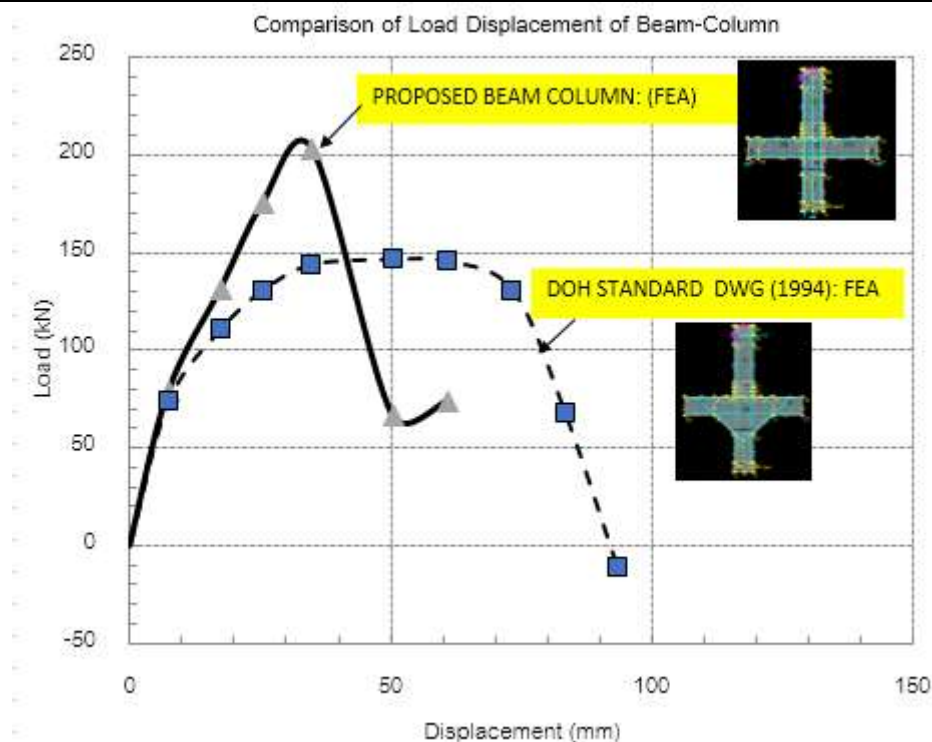
สำหรับแนวทางการสร้างแบบจำลองส่วนของโครงสร้างและแบบจำลองของวัสดุต่างๆ ที่ปรึกษาใช้หลักการเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองของเสาที่ได้แสดงก่อนหน้านี้



รูปที่ 3-58 FEA ตัวอย่าง Specimen และ รูปแบบเสาคานที่ใช้ในการปรับปรุงตอม่อ แบบที่ 1



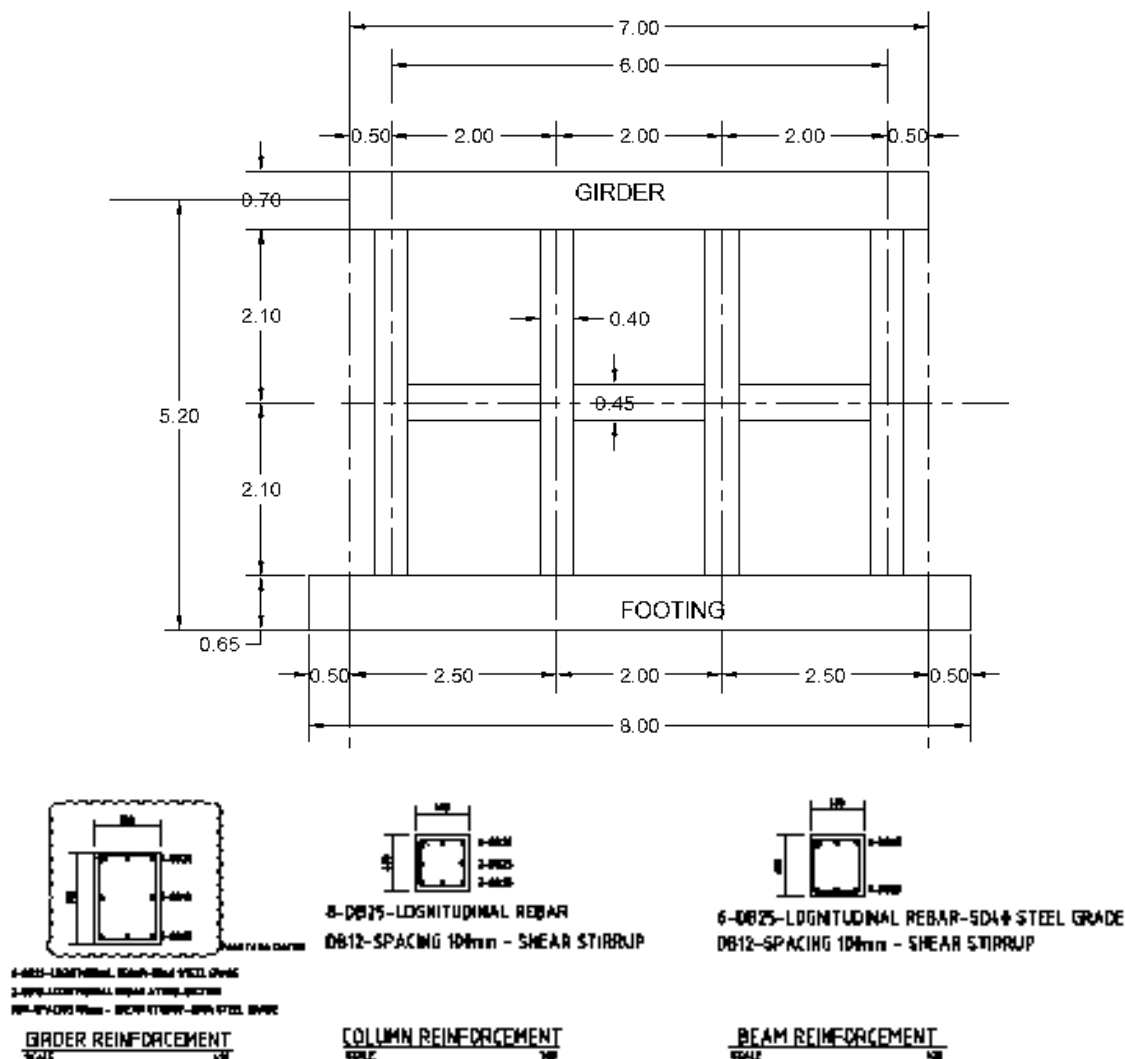
รูปที่ 3-59 FEA ตัวอย่างที่ใช้ปรับปรุงแบบบริเวณรอยต่อคานเสา



รูปที่ 3-60 ผลการวิเคราะห์ FEA ของรอยต่อคานเสา (แบบที่ 1) ที่จะใช้ปรับปรุงแบบเปรียบเทียบกับแบบมาตรฐานเดิม
ในปี 1994

จากผลการวิเคราะห์ Load Displacement ของรอยต่อคานเสาที่ได้ปรับปรุง (แบบที่ 1) ดังรูปที่ 3-60 จะเห็นได้ว่า กำลังของรอยต่อคานเสามีค่าที่สูงขึ้นจากแบบก่อสร้างตามมาตรฐานกรรมทางหลวงปี 1994 อย่างไรก็ตามความเหนียวของรอยต่อที่ปรับปรุงนี้ จะมีค่าน้อยลง ดังนั้นเพื่อที่จะพิจารณาพฤติกรรมด้านความเหนียวและรูปแบบการพังทลายของต่อม่อสะพาน จำเป็นจะต้องนำรูปแบบ เสา และ รอยต่อคานเสา ในระดับ Sub Assembly นี้ ไปจำลองในระดับโครงสร้างต่อม่อขนาดเท่าจริง ซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

3.3.3. รูปแบบการทดสอบต่อม่อสะพานขนาดเท่าจริงเพื่อการปรับปรุงแบบ



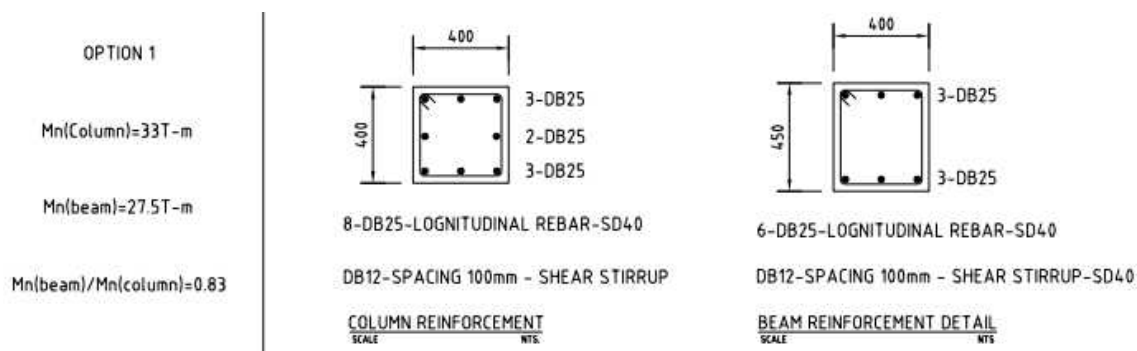
รูปที่ 3-61 ตัวอย่างโครงสร้างต่อม่อสะพานที่จะใช้ปรับปรุงแบบ

รูปแบบของต่อม่อสะพานขนาดเท่าจริงที่จะดำเนินการจำลองและทดสอบแสดงในรูปที่ 3-61 โดยลักษณะของเสาและรอยต่อจะอ้างอิงจากรูปแบบของเสาและรอยต่อคานเสาที่ได้จำลองไปก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตาม เพื่อศึกษาพฤติกรรมด้าน ความเหนียว กำลังของต่อม่อ และรูปแบบการพังทลายของต่อม่อในภาพรวม ที่ปรึกษาได้ขยายการศึกษาในระดับ Full Scale ออกไปอีก 3 รูปแบบ โดยพิจารณาจากรายละเอียดการเสริมเหล็กบริเวณรอยต่อคานเสา รวมทั้งขนาดของคานชิดเสา ซึ่งในแต่ละรูปแบบ ที่ปรึกษาพยายามที่จะออกแบบให้ต่อม่อมีพฤติกรรม ดังนี้

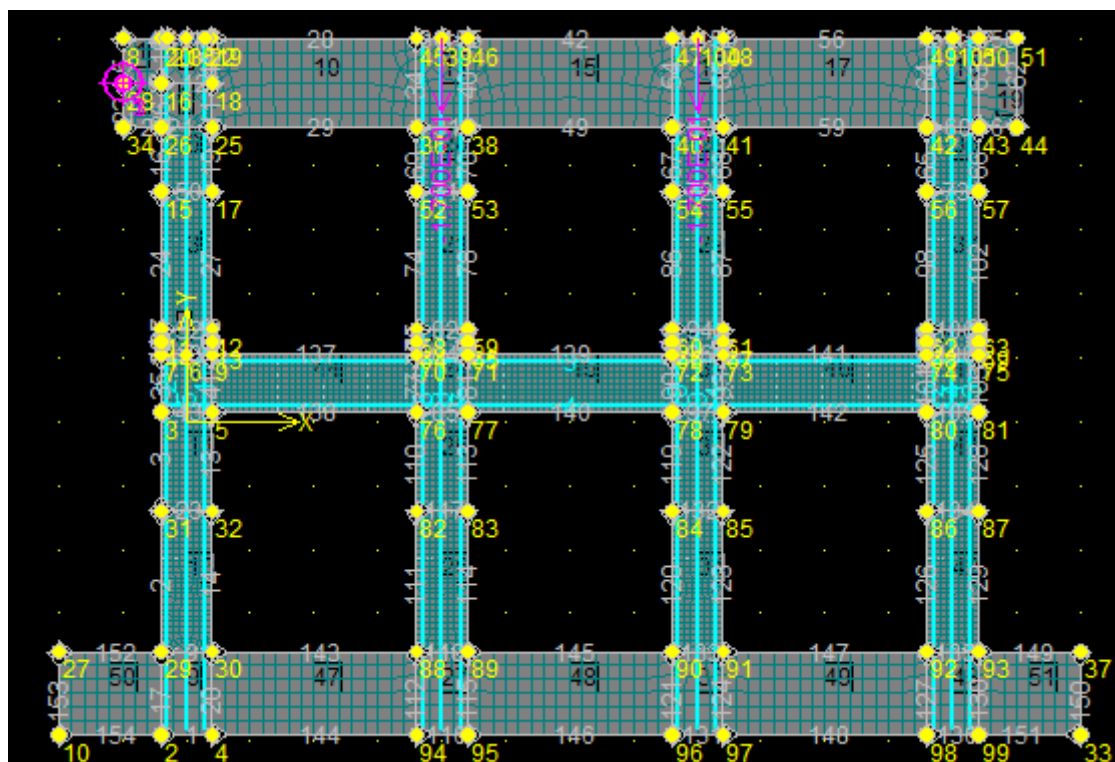
- มีกำลังรับแรงด้านข้างเพียงพอที่จะต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้
- มีลักษณะการพังทลายแบบเหนียว นั่นคือ ไม่มีการพังทลายแบบ Shear Failure ในเสา คาน หรือในรอยต่อ ก่อนถึงจุดครากของเหล็กเสริมในเสา

➤ แนวทางการปรับปรุงต่อม่อแบบที่ 1

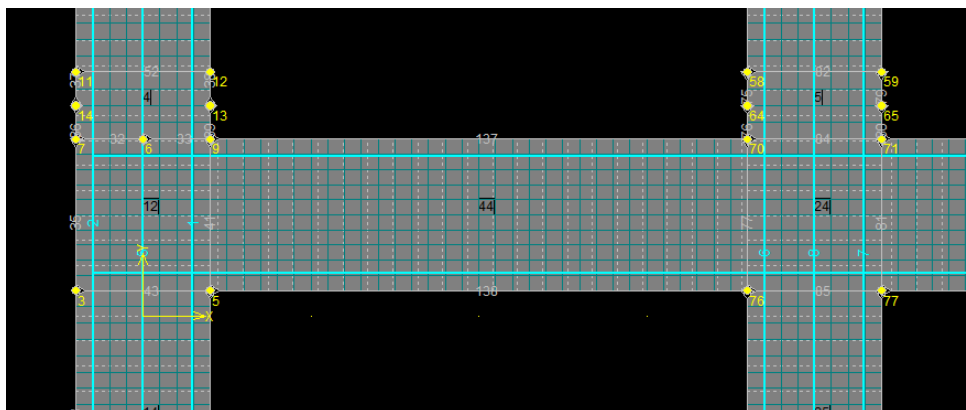
รูปแบบที่ 1 นี้ ที่ปรึกษาได้ ใช้ขนาดเสาและคาน ตามที่ได้ศึกษาพฤติกรรมในระดับ Sub Assembly โดยทั้งเสาและคาน มีปริมาณของเหล็กเสริมที่สูงกว่าที่ได้ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงในปี 1994



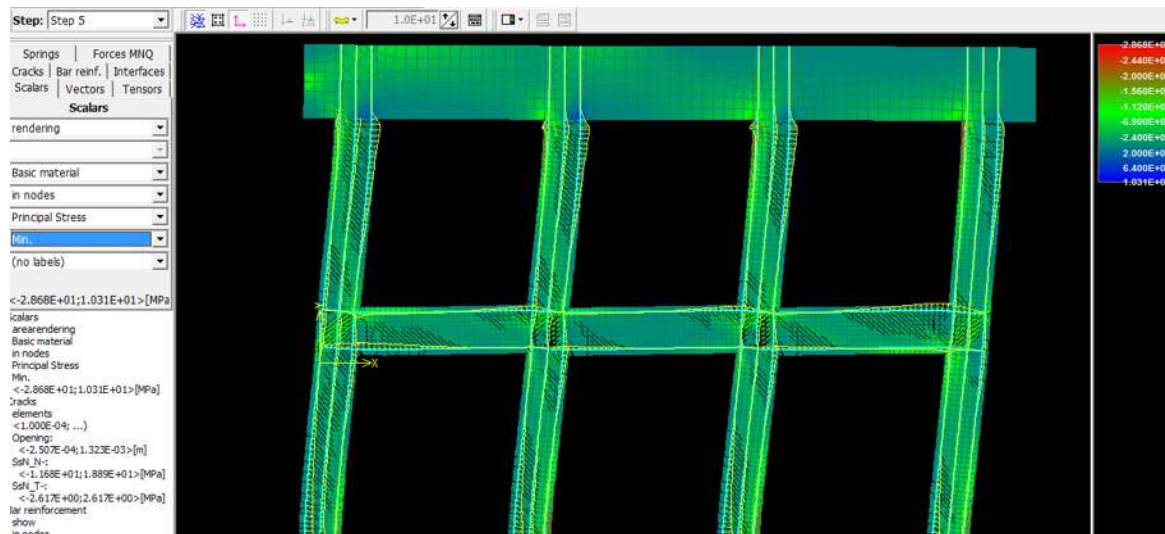
รูปที่ 3-62 ตัวอย่างขนาดเสาและคานที่ใช้ปรับปรุงแบบของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 1



รูปที่ 3-63 FEA ตัวอย่างขนาดเสาและคานที่ใช้ปรับปรุงแบบของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 1



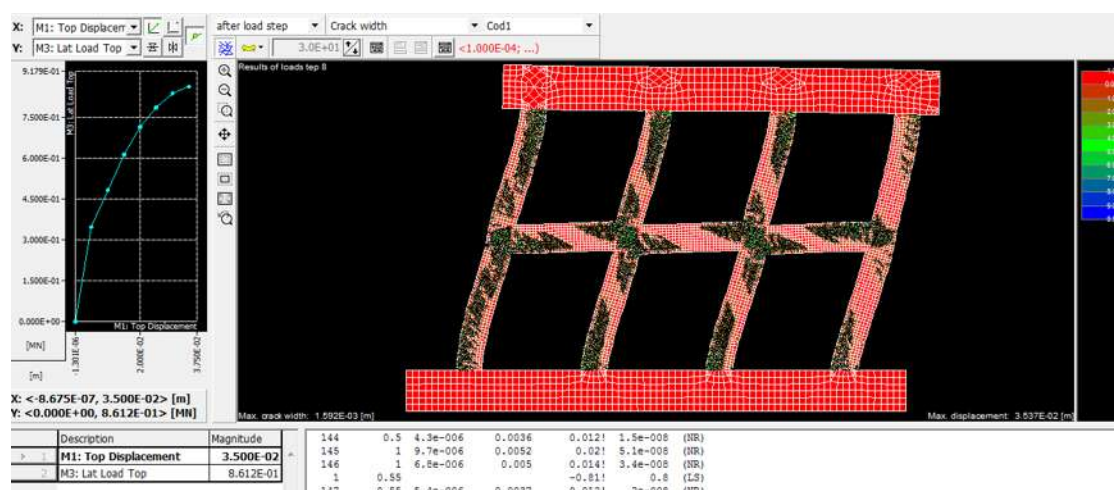
รูปที่ 3-64 FEA ตัวอย่างขนาดเสาและคานที่ใช้ปรับปรุงแบบของตอม่อแบบ Full Scale
แบบที่ 1 บริเวณรอยต่อคานเสา



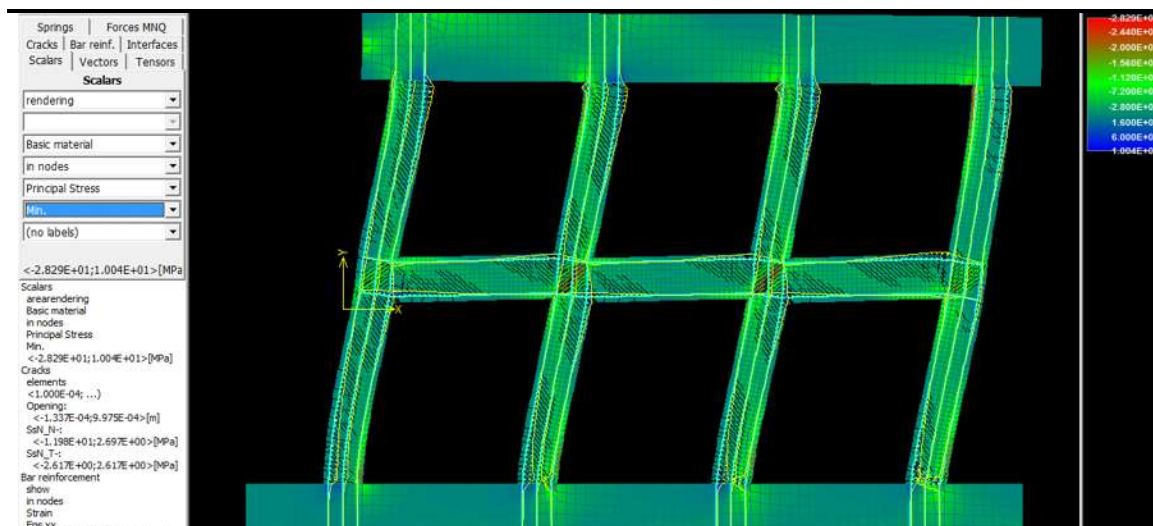
รูปที่ 3-65 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 1

จากผลการวิเคราะห์ ที่ปรึกษาพบความเสียหายระดับสูงในบริเวณรอยต่อคานเสา และมีรอยแตกร้าวกระจายในบริเวณปลายเสาบนและล่าง แม้ว่าเหล็กในเสาจะคราก อย่างไรก็ตาม รอยต่อเกิดความเสียหายก่อน ทำให้เป็นรูปแบบที่ควรปรับปรุง ซึ่งที่ปรึกษาได้ทดลองปรับเบื้องต้น โดยได้เพิ่มปริมาณของเหล็กเสริมในรอยต่อเป็นสองเท่าจากเดิม และได้ดำเนินการวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างตอม่อสะพาน

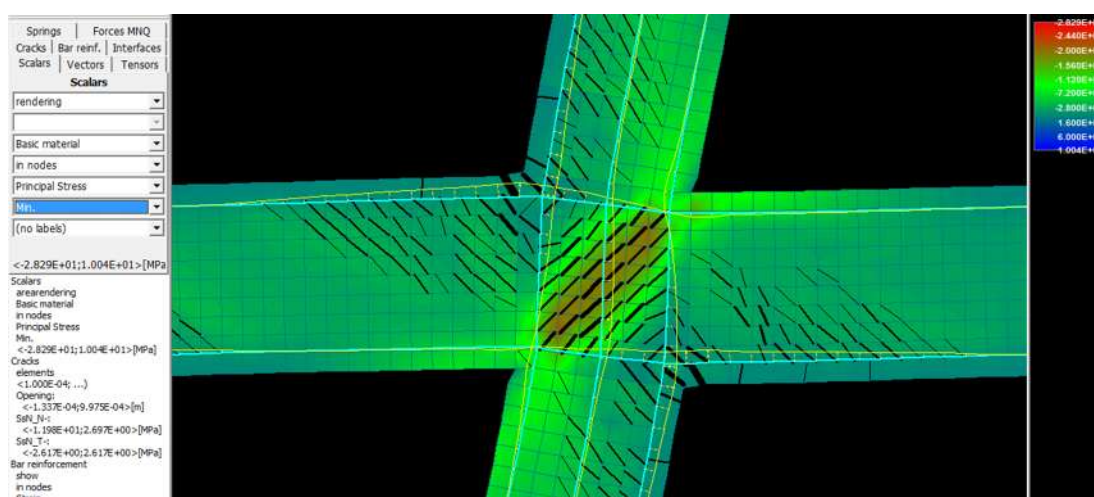
- ปรับเหล็กในคานยึดเสาเป็น 3 DB25 บน และ 3DB25 ล่าง
- เสริมเหล็กในรอยต่อเป็นสองเท่าของเหล็กในเสา



รูปที่ 3-66 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 1 ที่ได้ปรับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ



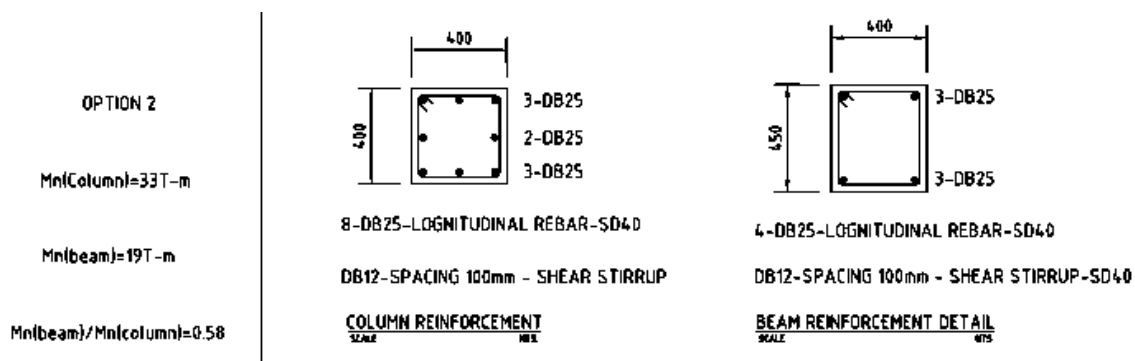
รูปที่ 3-67 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 1 ที่ได้รับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ



รูปที่ 3-68 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 1 ที่ได้รับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ

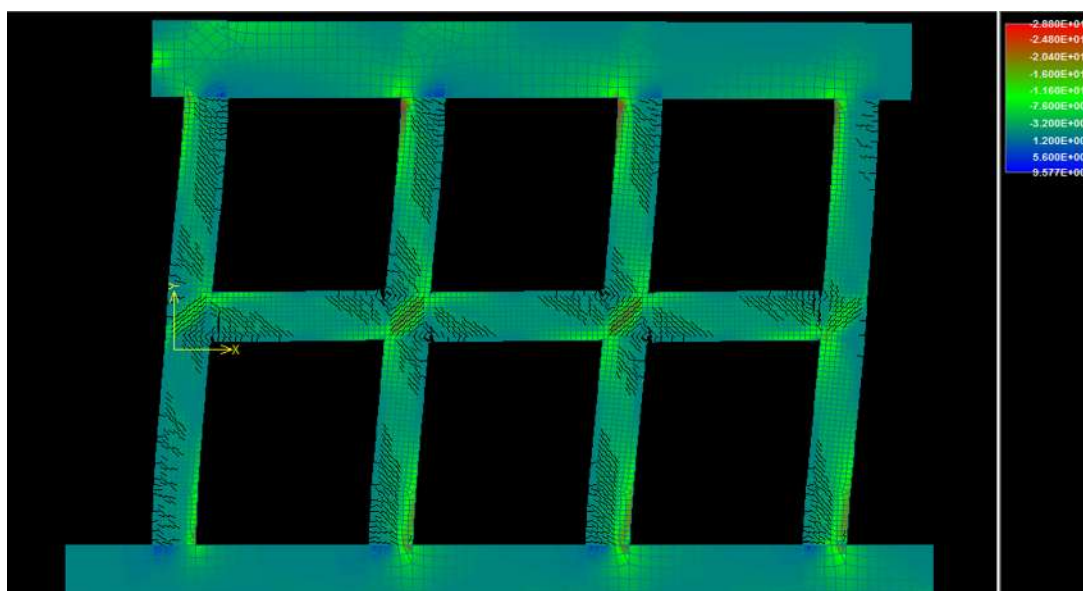
จากผลการวิเคราะห์ ที่ศึกษาพบว่ากำลังของตอม่อมีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามรูปแบบการพังทลายยังคงมีลักษณะเป็นแบบ Shear Compression ในบริเวณรอยต่อ ดังนั้น ที่ศึกษาจึงพิจารณาปรับปรุงรูปแบบเป็น แบบที่ 2 โดยให้เหล็กเสริมในคานยึดเสา (Bracing) มีปริมาณลดลง เพื่อลดความแข็งและกำลังของคานลง เป็นการลดการยึดรั้งบริเวณเสา และทำให้เสามีความให้ตัวได้มากขึ้น หรือมีพฤติกรรมชะลูดมากขึ้น และการลดปริมาณเหล็กของคานยึดเสาดังกล่าวจะมีส่วนช่วยลดโมเมนต์ที่ถ่ายจากคานไปสู่เสาโดยผ่าน รอยต่อคานเสา (Joint) ซึ่งจะทำให้ลดโอกาสที่จะเกิดการวิบัติของรอยต่อ (Joint Failure) ได้

➤ แนวทางการปรับปรุงตอม่อแบบที่ 2

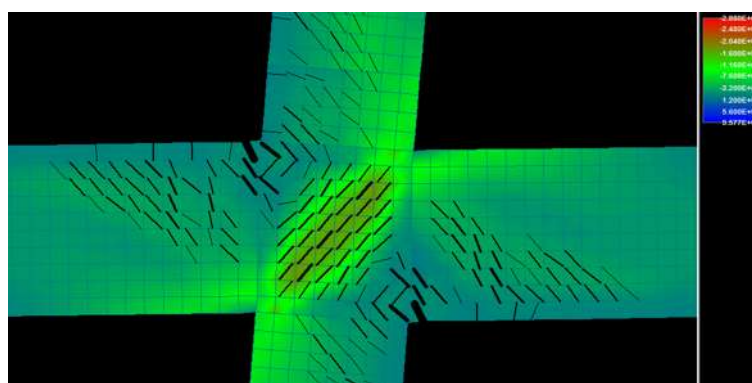


รูปที่ 3-69 ตัวอย่าง Specimen และ รูปแบบเสาแกนที่ใช้ในการปรับปรุงตอม่อ แบบที่ 2

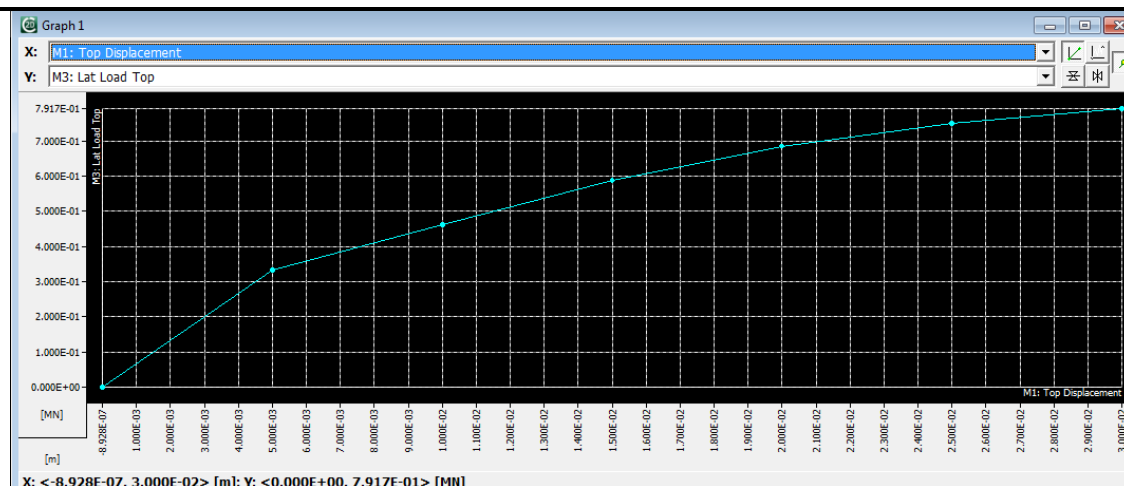
- ปรับเหล็กในคานยึดเสา (bracing beam) เป็น 2 DB25 บน และ 2DB25 ล่าง
- เสริมเหล็กในรอยต่อตามเดิม เท่าเสา



รูปที่ 3-70 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 2



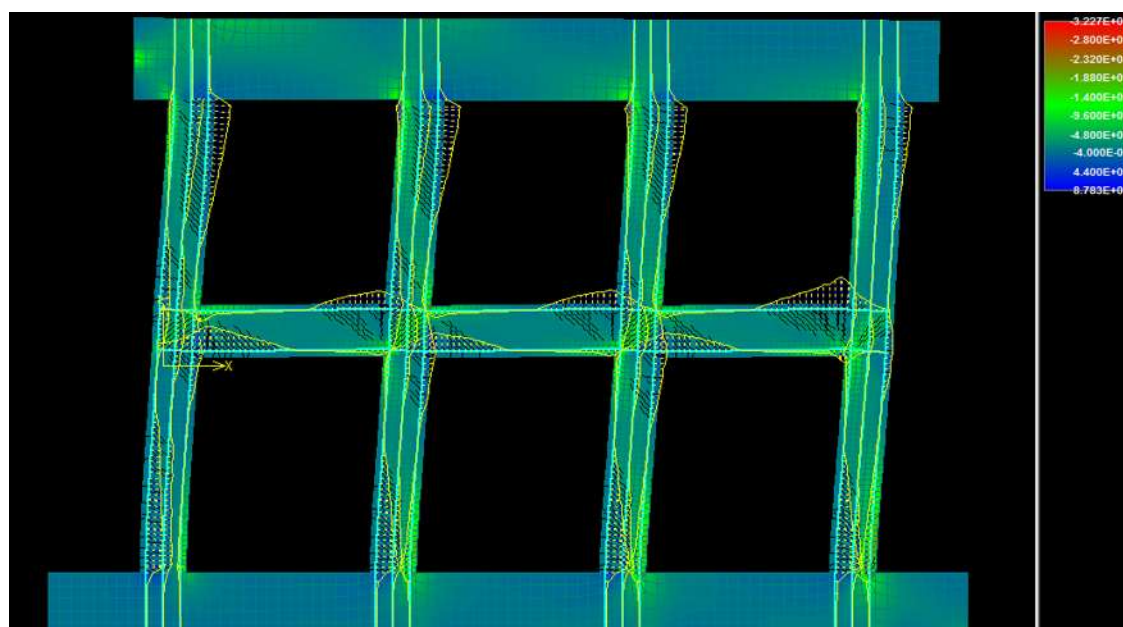
รูปที่ 3-71 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 2



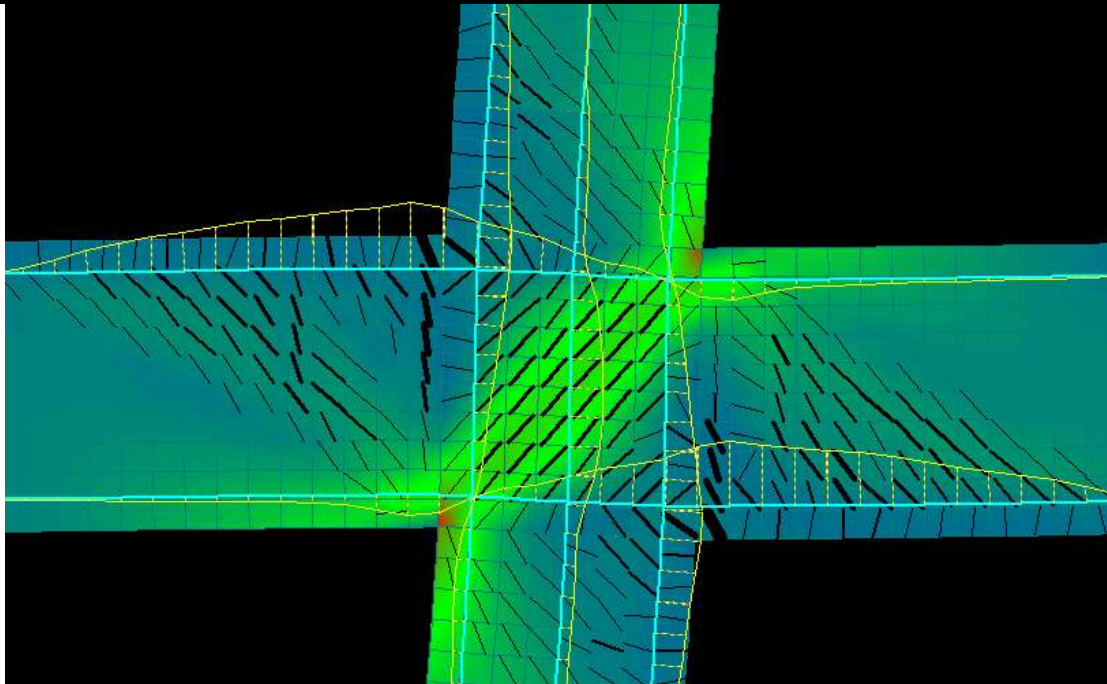
รูปที่ 3-72 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 2

จากการปรับลดปริมาณเหล็กเสริมในคาน ผลวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าตอม่อมีความเหนียวมากขึ้น อย่างไรก็ตาม จากลักษณะการแตกร้าวบริเวณรอยต่อของเสาที่ปลายเสาบนและล่าง แสดงให้เห็นว่า คานยึดเสายังคงมีความแข็งแรงและมีกำลังที่ค่อนข้างสูง ซึ่งมีส่วนทำให้แรงที่ถ่ายผ่านรอยต่อยังอยู่ในระดับที่สูง และท้ายที่สุดทำให้เกิดการพังทลายแบบ Shear Failure ของรอยต่อ ดังนั้น ที่ปรึกษาได้ปรับปรุง แบบที่ 2 โดยเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ

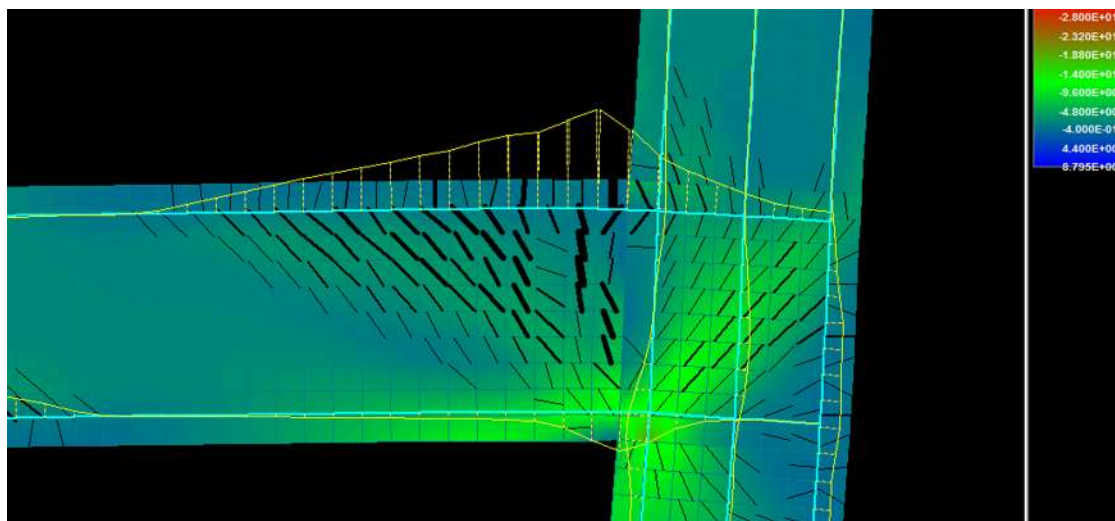
- ปรับลดปริมาณเหล็กในคานยึดเสา (bracing beam) เป็น 2 DB25 บน และ 2DB25 ล่าง
- เสริมเหล็กในรอยต่อ (Joint) สองเท่าในเสา



รูปที่ 3-73 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 2 ที่ได้ปรับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ

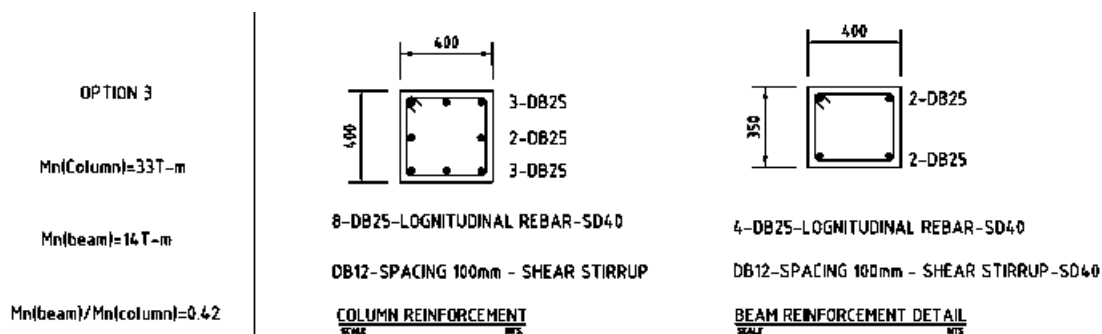


รูปที่ 3-74 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 2 ที่ได้ปรับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ



รูปที่ 3-75 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 2 ที่ได้ปรับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ

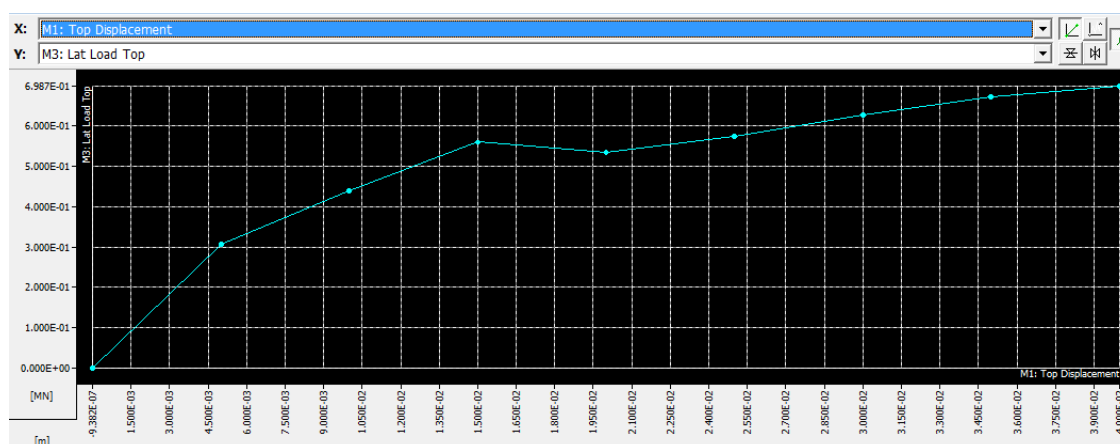
➤ แนวทางการปรับปรุงตอม่อแบบที่ 3



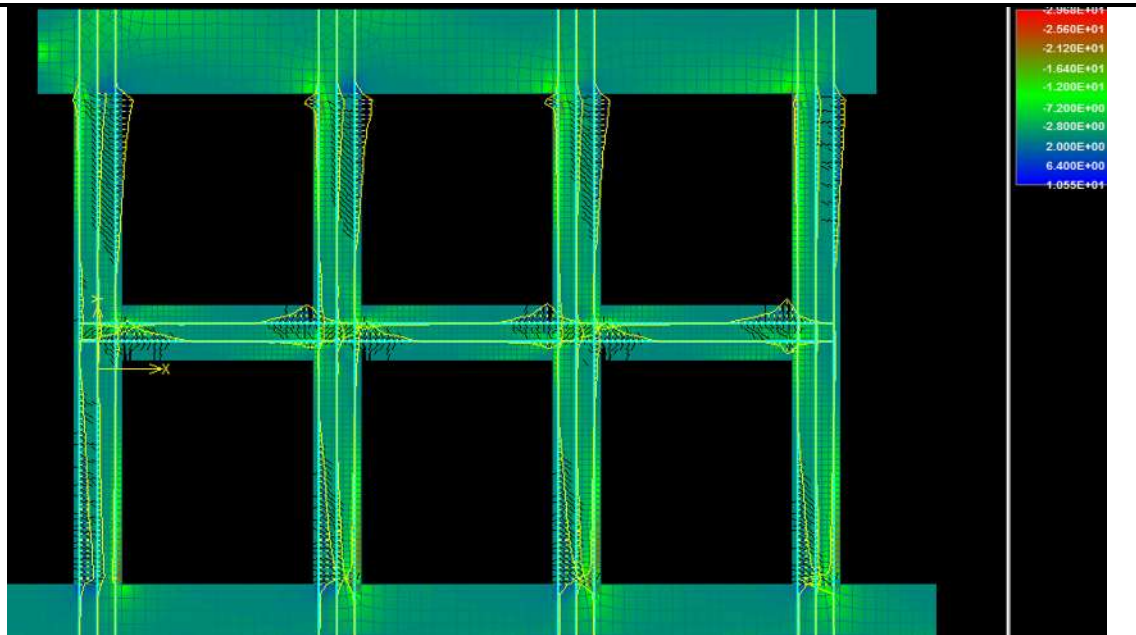
รูปที่ 3-76 ตัวอย่าง Specimen และ รูปแบบเสาคานที่ใช้ในการปรับปรุงตอม่อ แบบที่ 3

รูปแบบที่ 3 ที่ศึกษาได้ปรับลดความลึกของคานยึดเสา (bracing beam) และลดปริมาณเหล็กเสริมตามยาวในคานยึดเสาให้น้อยลง ทั้งนี้เพื่อลดโมเมนต์ที่ถ่ายเข้าสู่เสา และลดการยึดรั้งบริเวณรอยต่อเสา คาน ทำให้เสามีพฤติกรรมเป็นเสาขามากขึ้น ลดโอกาสที่เสาจะมีการพังทลายแบบแรงเฉือนได้

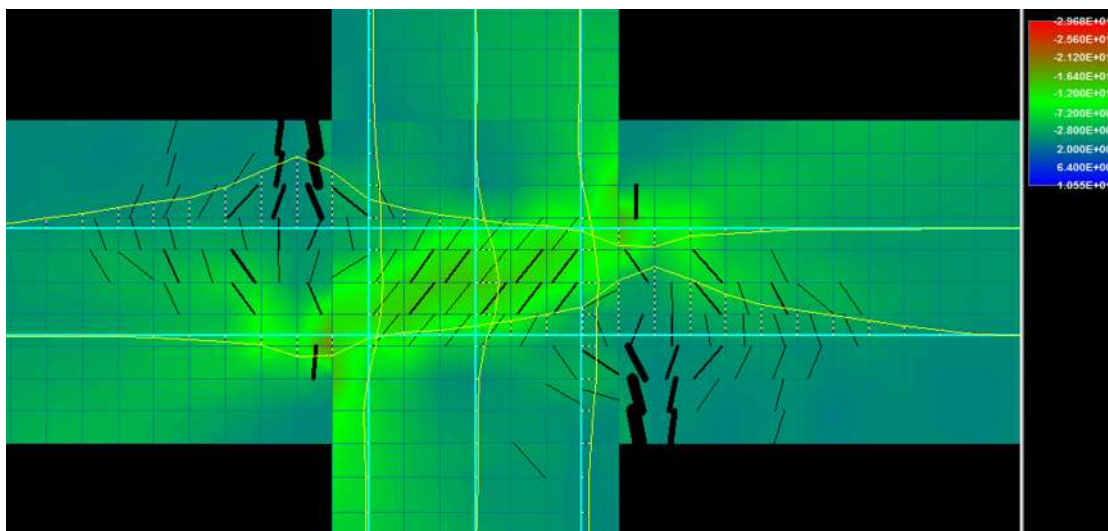
- ปรับเหล็กในคานยึดเสา (bracing beam) เป็น 2 DB25 บน และ 2DB25 ล่าง
- ปรับลดความลึกของคานยึดเสาเหลือ 350 มม.



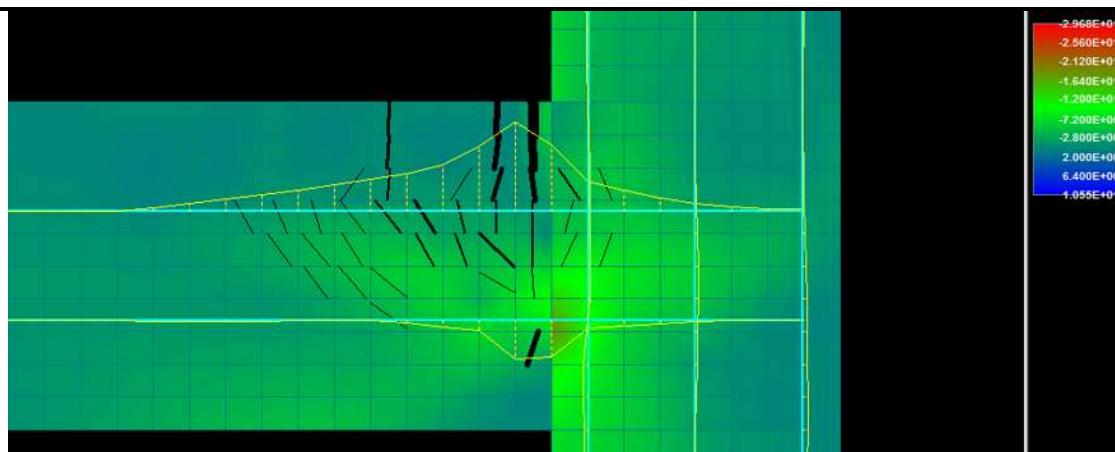
รูปที่ 3-77 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 3 ที่ได้ปรับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ



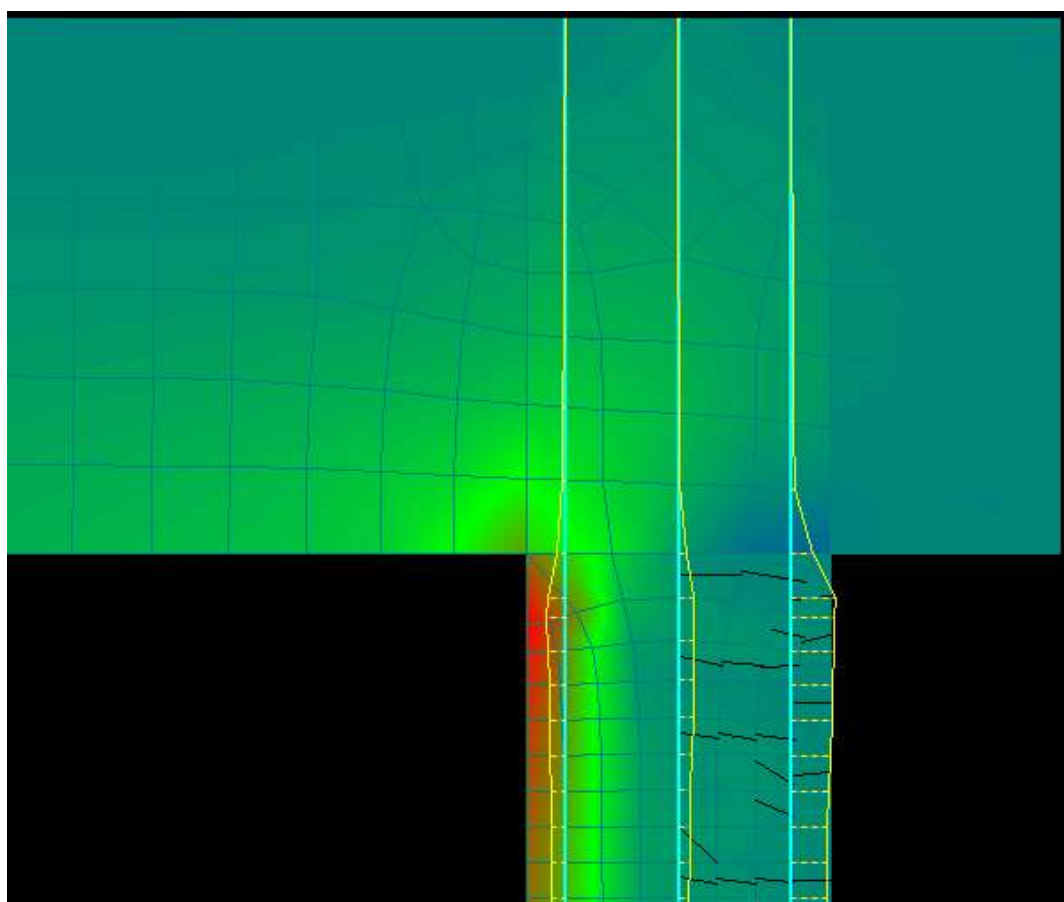
รูปที่ 3-78 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 3 ที่ได้ปรับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ



รูปที่ 3-79 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 3 ที่ได้ปรับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ



รูปที่ 3-80 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 3 ที่ได้ปรับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ

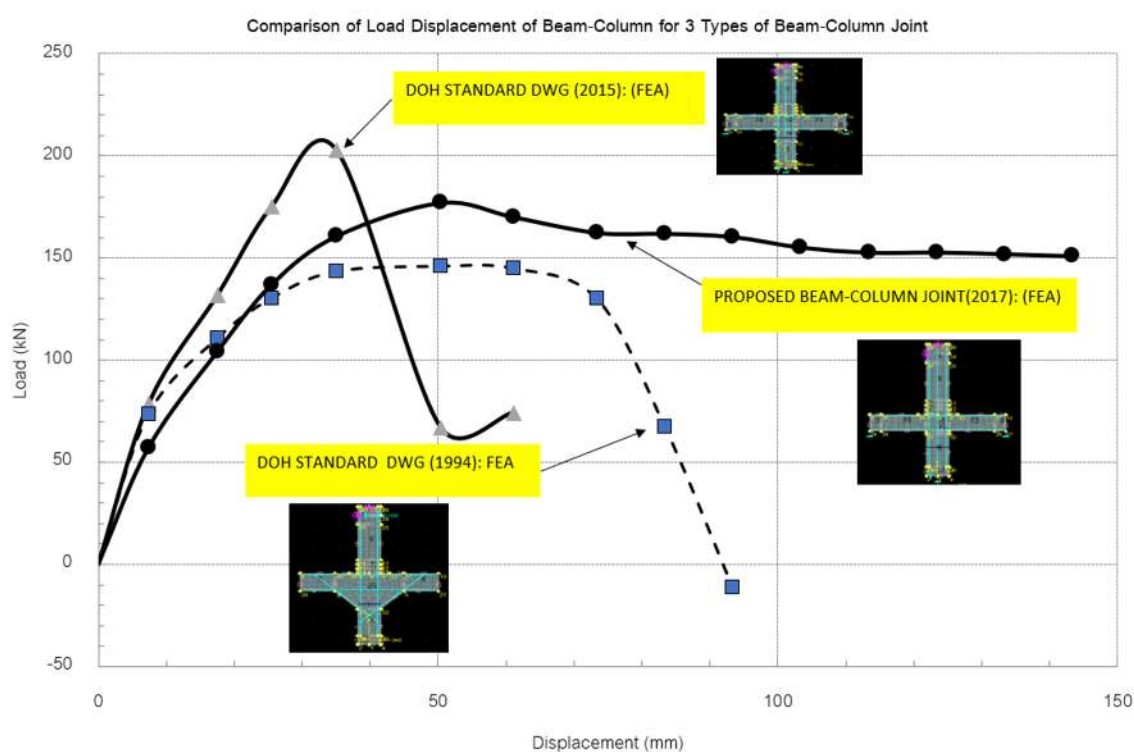


รูปที่ 3-81 ผลการวิเคราะห์ FEA ของตอม่อแบบ Full Scale แบบที่ 3 ที่ได้ปรับเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมในรอยต่อ

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างตอม่อแบบขนาดเท่าจริงที่ใช้รายละเอียดการเสริมเหล็กแบบที่ 3 ที่ปรึกษาพบว่า รอยแตกของเสามีเฉพาะปลายเสานบนและบริเวณฐานราก ไม่พบรอยแตกริ้วของเสาบริเวณใกล้รอยต่อคานเสา (Joint) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการยึดรั้งระหว่างคานและเสาตลอด ดังนั้นจึงช่วยลดแรงที่ถ่ายให้เสาและรอยต่อคานเสาได้ ด้วยเหตุนี้รูปแบบของการพังทลายของโครงสร้างตอม่อจึงเป็นแบบเหนียว นั่นคือ ไม่มีการพังทลายของรอยต่อเสาคานแบบ

เปราะหรือ Shear Failure และเสามีการพังทลายแบบดัด (Flexure) นั่นคือ ความเครียดในเหล็กเสริมถึงจุดครากและมีการแตกของคอนกรีตที่ปลายด้านบนของเสา

พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงสร้างต่อม่อสะพานขนาดเท่าจริงที่ได้วิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์แสดงให้เห็นว่า รูปแบบของ คาน เสา และรอยต่อคานเสา แบบที่ 3 นี้ เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อยืนยันผลการออกแบบปรับปรุงด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยแบบก่อสร้างรอยต่อคานเสาขอเสนอเป็นแบบที่ 3 ตามผลการวิเคราะห์ในระดับโครงสร้าง (ยกเลิกแบบที่ 1 ที่ผลการวิเคราะห์ในระดับ Sub Assembly แสดงพฤติกรรมแบบเปราะ) รูปที่ 3-82 แสดงผลการวิเคราะห์รอยต่อเสาและคานรูปแบบที่ 3 ในระดับ Sub Assembly ซึ่งจะเห็นว่ารอยต่อคานเสามีกำลังรับน้ำหนักได้สูงกว่าแบบมาตรฐานปี 1994 แต่น้อยกว่าแบบมาตรฐานปี 2015 โดยพฤติกรรมด้านความเหนียวดีขึ้นมาก สามารถเคลื่อนตัวได้มากโดยกำลังลดลงอย่างช้าๆ



รูปที่ 3-82 ผลการวิเคราะห์ FEA ของรอยต่อคานเสาในระดับ Sub Assembly เปรียบเทียบกับผลการทดสอบรอยต่อคานเสาตามแบบมาตรฐานปี 1994

บทที่ 4 การทดสอบตอม่อ หลังการปรับปรุงแบบ

4.1. ส่วนของโครงสร้างที่ 1 : แผ่นยางรองสะพาน

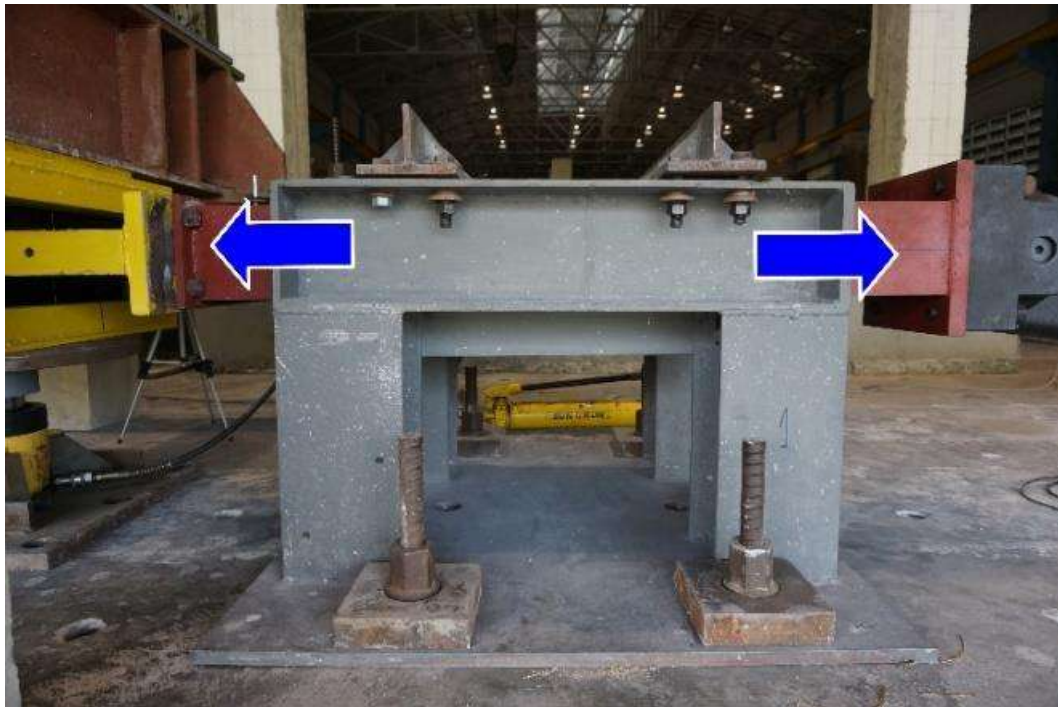
4.1.1. การเตรียมการทดสอบแผ่นยางรองสะพาน

ในการติดตั้งชุดทดสอบแผ่นยาง ที่ปลายด้านหนึ่งของเครื่องให้แรงทางด้านข้างจะยึดติดกับผนังรับแรงขนาดใหญ่ ซึ่งยึดติดกับพื้นห้องปฏิบัติการ (Strong Floor) ด้วยเหล็กอัดแรงดังแสดงรูปที่ 4-1 ทั้งนี้เพื่อให้มีแรงเสียดทานระหว่างผนังรับแรงกับพื้นห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะช่วยป้องกันมิให้ผนังรับแรงเกิดการเคลื่อนตัวในระหว่างการให้แรงกับตัวอย่างแผ่นยาง

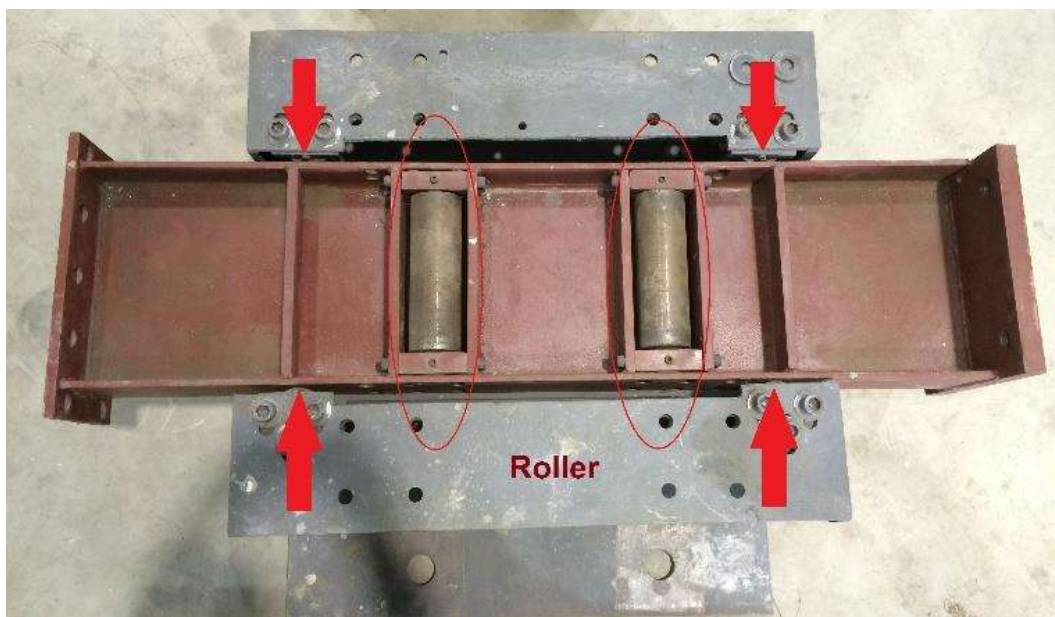


รูปที่ 4-1 ผนังรับแรงที่ยึดติดกับพื้นห้องปฏิบัติการด้วยเหล็กอัดแรง

ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของเครื่องให้แรงทางด้านข้างจะยึดติดกับโครงเหล็กแบบล้อเลื่อน โดยมีทิศทางการเคลื่อนตัวดังแสดงในรูปที่ 4-2 และภายในโครงเหล็กแบบล้อเลื่อนจะมีการติดตั้งล้อเลื่อน (Roller) ทั้งด้านบน ด้านล่าง ด้านซ้าย และด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 4-3 เพื่อให้แกนของเครื่องให้แรงทางด้านข้างเคลื่อนตัวอยู่ในระนาบที่ถูกต้องระหว่างการทดสอบ โครงเหล็กแบบล้อเลื่อนจะยึดติดกับแผ่นเหล็กที่ประกบกับแผ่นยางที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งภาพรวมของชุดทดสอบทั้งหมดแสดงในรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-2 โครงเหล็กแบบล้อเลื่อน



รูปที่ 4-3 ตำแหน่งติดตั้งล้อเลื่อน

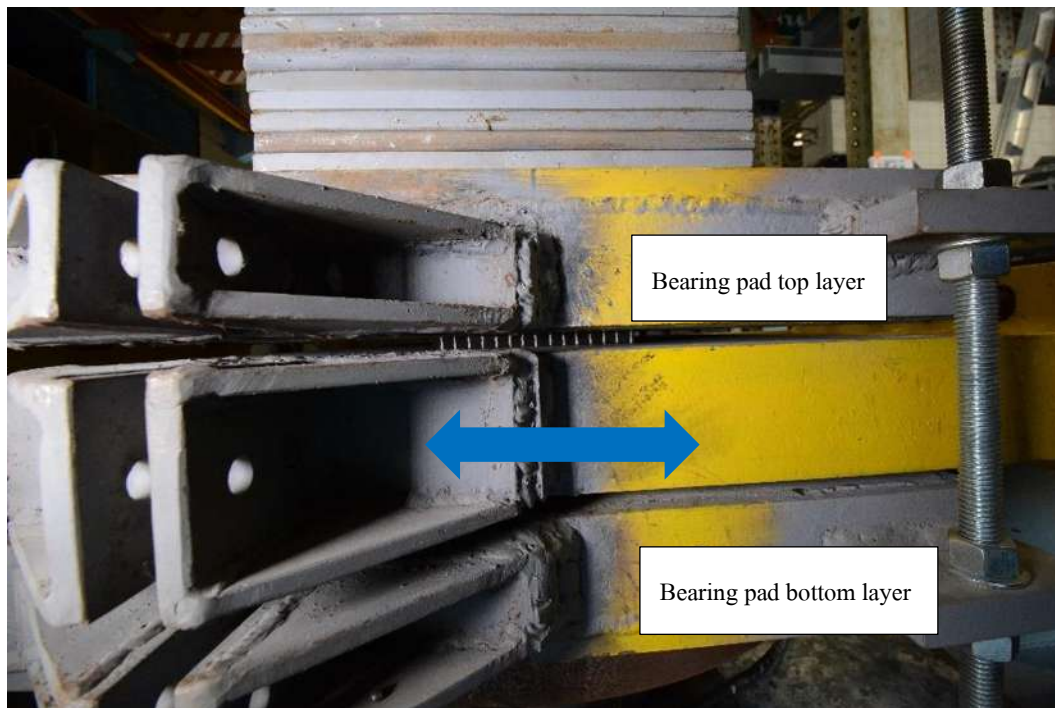
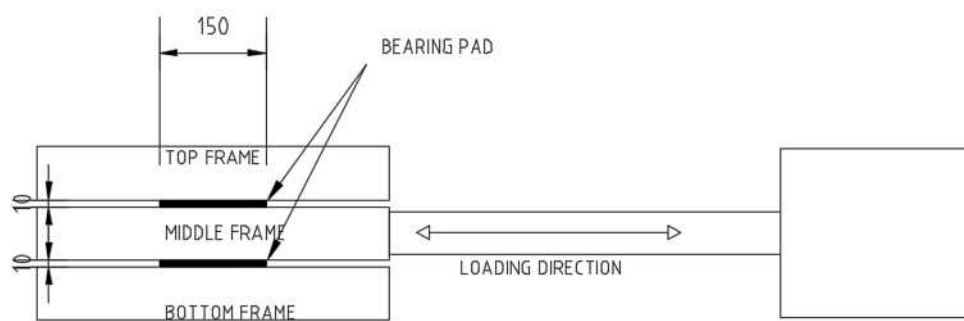


รูปที่ 4-4 ภาพรวมชุดทดสอบแผ่นยางรองสะพาน

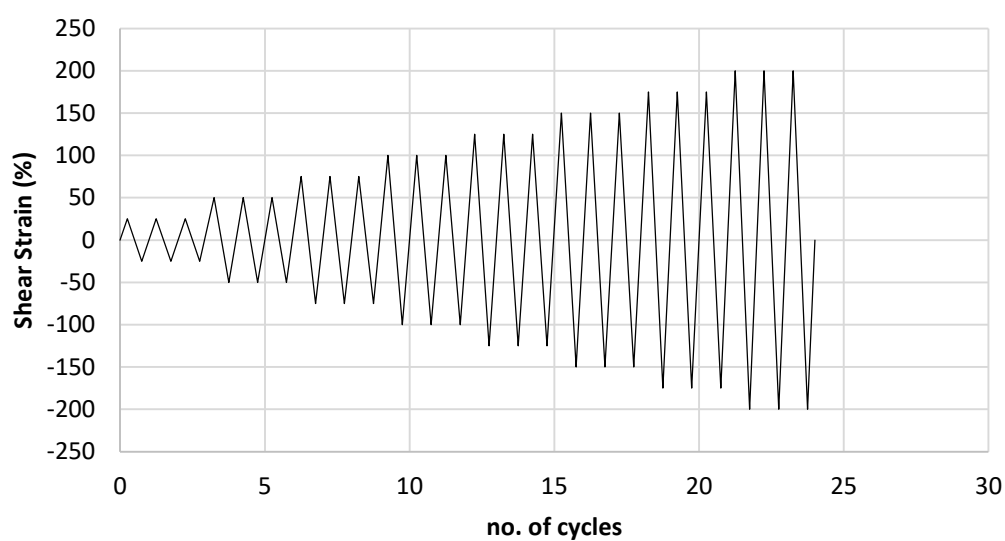
ในการทดสอบจะใช้แผ่นยางรองสะพานจำนวน 2 แผ่น ที่มีขนาดเท่ากัน เพื่อให้เกิดความสมมาตรของแรงที่กระทำทางด้านข้างของแผ่นยาง อีกทั้งยังช่วยป้องกันการเกิดโมเมนต์ในตัวอย่างทดสอบ หลังจากที่ได้ติดตั้งแผ่นยางเข้าไปในชุดทดสอบแล้ว จะทำการให้แรงอัดคงที่บนแผ่นยาง 1.2 ดัน เพื่อจำลองน้ำหนักกดของแผ่นพื้นสะพานที่หนา 40 เซนติเมตร โดยใช้วิธีอัดแรงด้วยแท่นไฮดรอลิกที่ติดตั้งด้านล่างของชุดทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4-5 และเมื่อให้แรงกระทำทางด้านข้างต่อแผ่นยางแล้ว จะเกิดการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 4-6 การทดสอบแผ่นยางรับแรงแผ่นดินไหวจะให้แรงกระทำแบบวัฏจักร (cyclic Loading) แบบควบคุมระยะการเคลื่อนที่ (Displacement Control) ซึ่งในแต่ละระดับการให้แรง จะกระทำ 3 รอบ ดังแสดงใน รูปที่ 4-7 ในระหว่างการทดสอบจะทำการบันทึกแรงกระทำและระยะการเคลื่อนที่ของแผ่นยาง



รูปที่ 4-5 การให้แรงอัดในแนวแกนด้วยแท่นไฮดรอลิก



รูปที่ 4-6 ทิศทางการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 4-7 รูปแบบการให้แรงทางด้านข้างของแผ่นยางรองสะพาน

4.1.2. ผลการทดสอบ

4.1.2.1. พฤติกรรมของแผ่นยางรองสะพานภายใต้แรงกระทำทางด้านข้าง

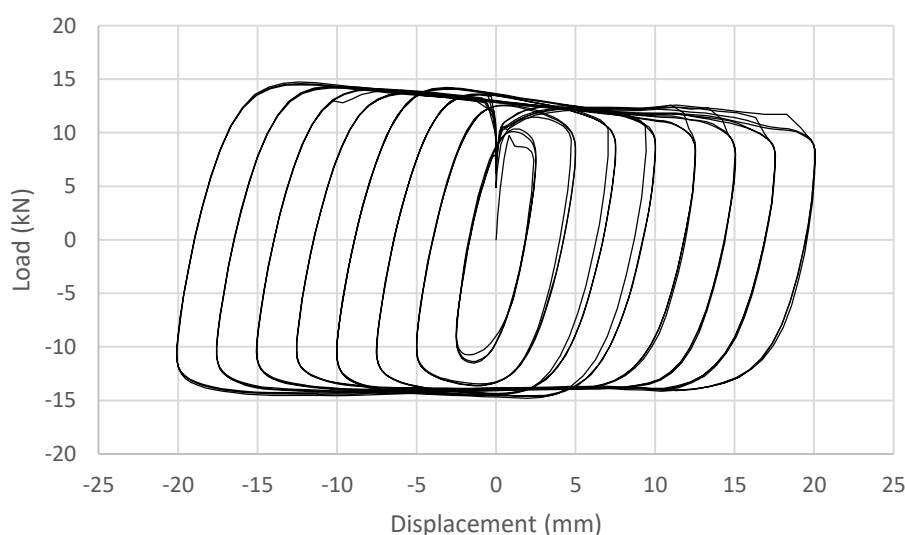
ในระหว่างการทดสอบ ได้มีการบันทึกภาพเคลื่อนไหวเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของแผ่นยางรองสะพานภายใต้แรงกระทำทางด้านข้าง ซึ่งพบว่าเมื่อมีการให้แรงไปถึงระดับหนึ่ง แผ่นยางรองสะพานจะเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะเลื่อนไถลไปตามทิศทางการให้แรงของชุดทดสอบ และเนื่องจากแผ่นยางรองสะพานมีความหนาเพียง 10 มิลลิเมตร จึงไม่สามารถสังเกตเห็นการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนได้ชัดเจนนัก โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนที่จะแสดงในหัวข้อต่อไป

4.1.2.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนที่

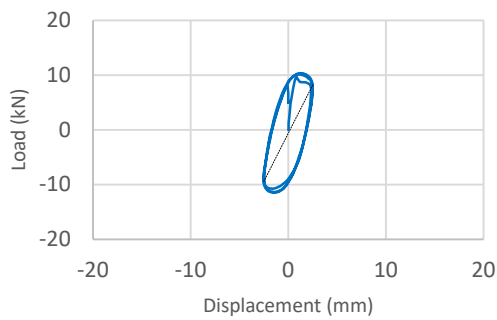
หลังจากได้ทดสอบแผ่นยางรองสะพานเรียบร้อยแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านการเคลื่อนที่ของแผ่นยางรองสะพานดังรูปที่ 4-8 จะเห็นว่าในแต่ละรอบการให้แรงกระทำ แรงกระทำสูงสุดจะมีค่าค่อนข้างคงที่ และค่อยๆลดลง แต่ระยะการเคลื่อนที่ด้านข้างจะค่อยๆเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าสตีเฟนสปรีตผลของแผ่นยางในแต่ละระดับการเคลื่อนที่จึงมีค่าลดลงเรื่อยๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4-9 และได้สรุปค่าไว้ในตารางที่ 4-1 โดยค่าสตีเฟนสปรีตผลสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$K_{eff} = \frac{F_p - F_n}{\Delta_p - \Delta_n} \quad (4-1)$$

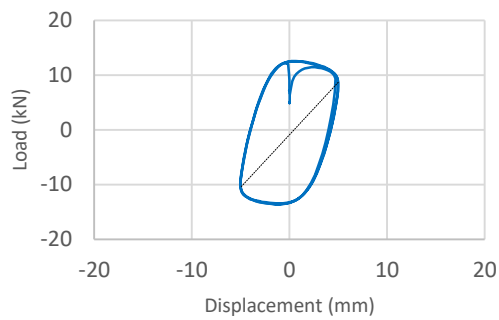
โดยที่ Δ_p และ Δ_n คือค่าการเคลื่อนที่สูงสุดด้านบวกและระยะการเคลื่อนที่สูงสุดด้านลบ ในแต่ละระดับการให้แรงกระทำ ส่วน F_p และ F_n คือค่าแรงกระทำในขณะที่เกิดการเคลื่อนที่ในตำแหน่ง Δ_p และ Δ_n ตามลำดับ



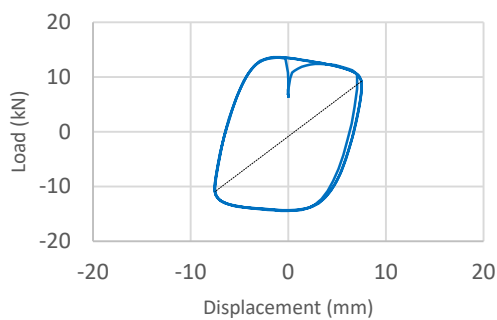
รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนที่ของแผ่นยางรองสะพาน



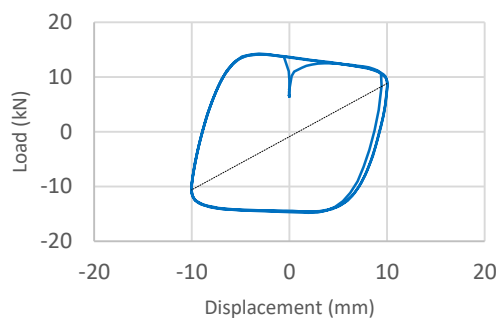
(c) ระดับการให้แรง 25 % shear strain



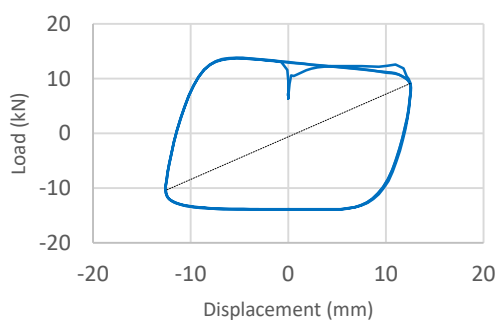
(b) ระดับการให้แรง 50 % shear strain



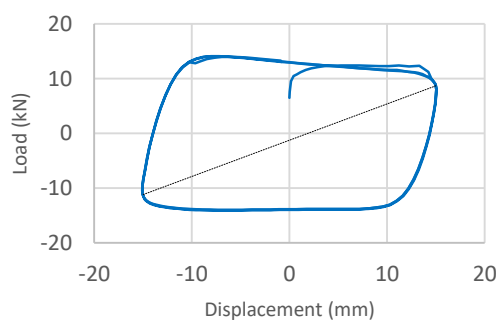
(d) ระดับการให้แรง 75 % shear strain



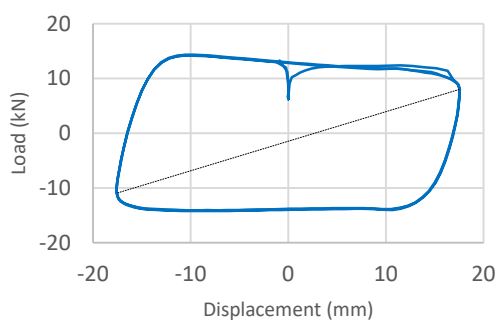
(d) ระดับการให้แรง 100 % shear strain



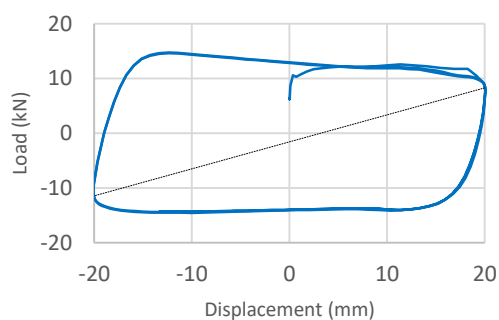
(e) ระดับการให้แรง 125 % shear strain



(f) ระดับการให้แรง 150 % shear strain



(g) ระดับการให้แรง 175 % shear strain

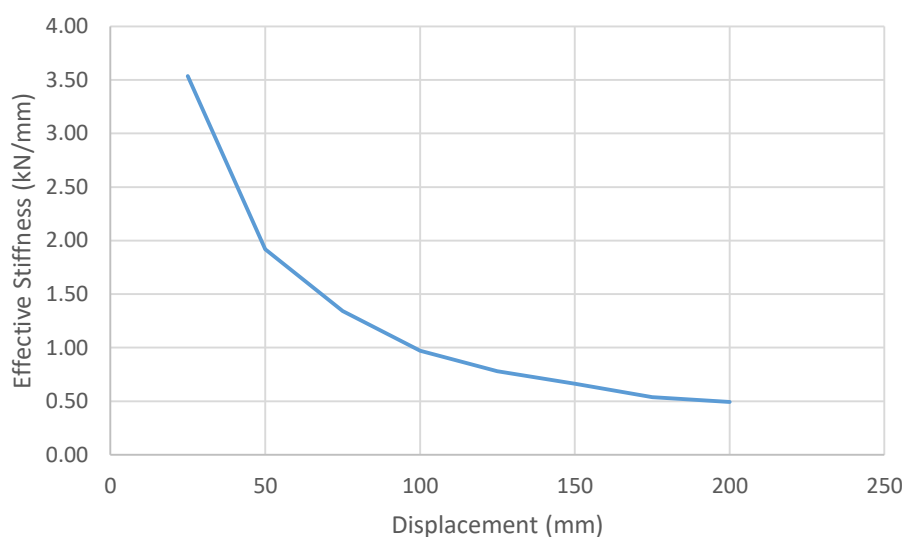


(h) ระดับการให้แรง 200 % shear strain

รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่ ในระดับการให้แรงระดับต่างๆ

ตารางที่ 4-1 ค่าสติเฟนสประสิทธิภาพที่แรงกระทำระดับต่างๆ

Shear Strain (%)	Effective stiffness (kN/mm)
25	3.54
50	1.92
75	1.34
100	0.97
125	0.78
150	0.66
175	0.54
200	0.49



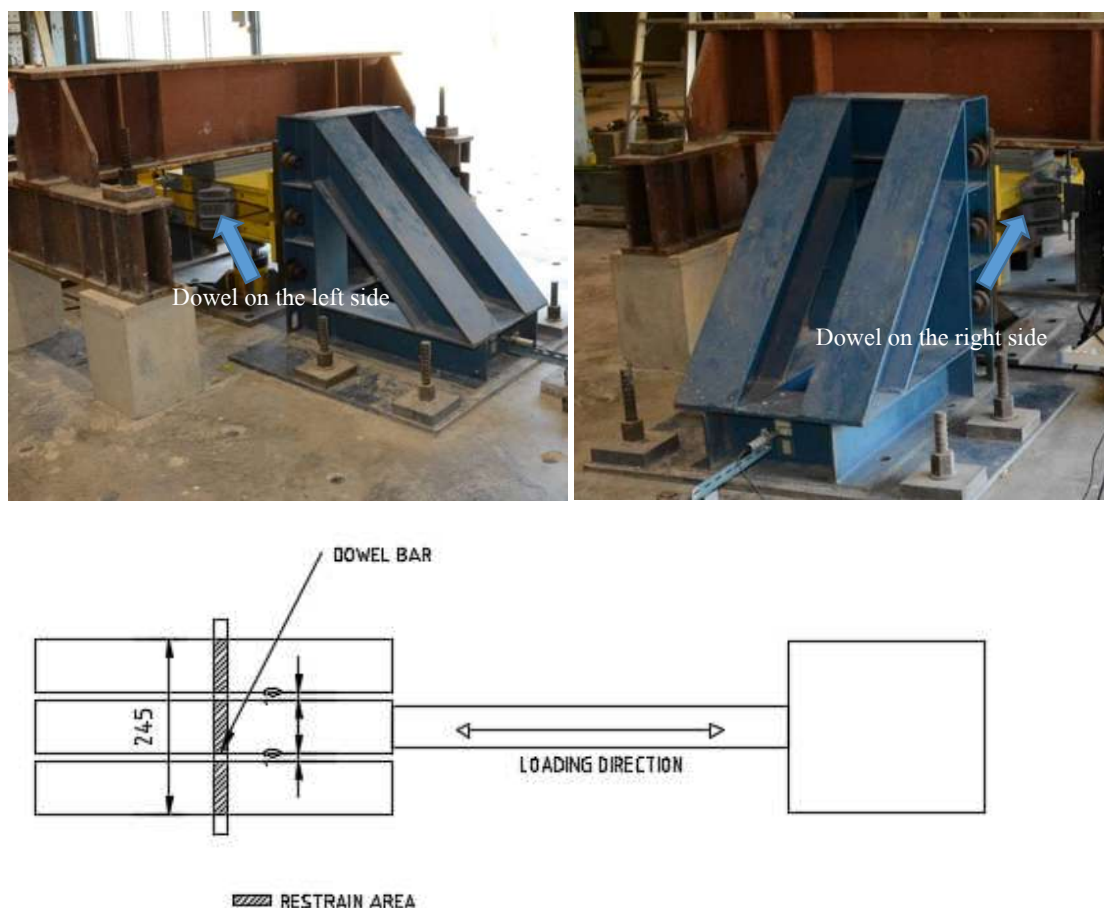
รูปที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและสติเฟนสประสิทธิภาพ

จากผลการทดสอบจะเห็นว่า ค่าสติเฟนสประสิทธิภาพมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงการให้แรงระดับเริ่มต้น และมีค่าลดลงอย่างช้าๆในช่วงการให้แรงระดับสูง โดยค่าสติเฟนสประสิทธิภาพของแผ่นยางรองสะพานที่ระดับความเครียดเฉือน (shear strain) 200 % จะลดลงเหลือเพียง 14% ของค่าสติเฟนสประสิทธิภาพของแผ่นยางรองสะพานที่ระดับความเครียดเฉือน (shear strain) 25%

4.2. ส่วนของโครงสร้างที่ 2 :เหล็กเดือย

4.2.1. การเตรียมการทดสอบเหล็กเดือย

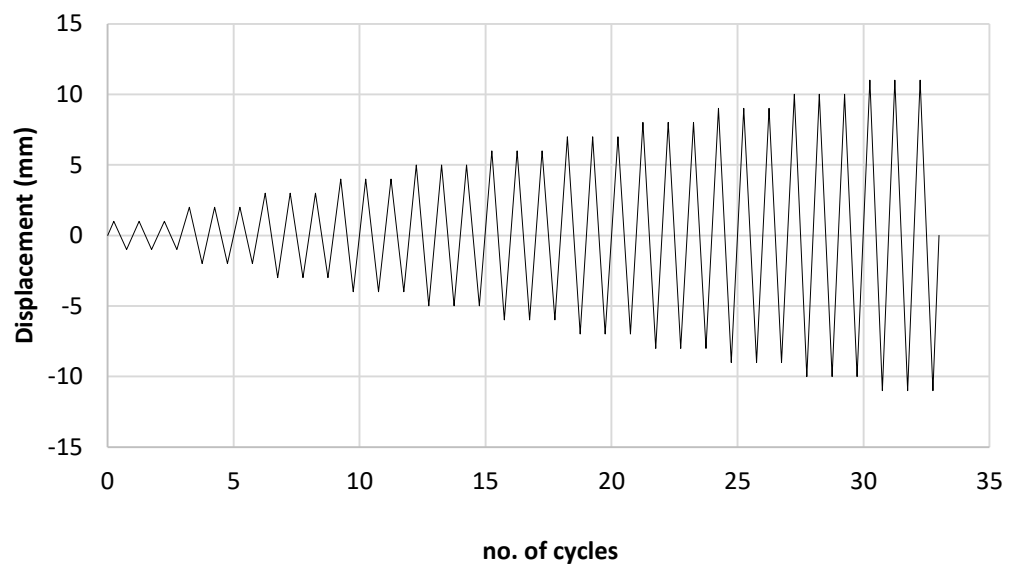
เหล็กเดือยที่ใช้ทดสอบมีความยาว 30 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร เป็นเหล็กเกรด SD40 ตาม มอก. ในขั้นตอนการติดตั้ง เพื่อให้เกิดความสมมาตรของชุดเครื่องมือทดสอบ จะใช้เหล็กเดือยจำนวน 2 ตัวอย่าง มาติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบให้แรงทั้งสองฝั่ง และทำการยึดเหล็กเป็น 3 ช่วง เข้ากับชุดทดสอบการให้แรงด้านข้าง โดยเว้นระยะห่างระหว่างแต่ละช่วงยึดรั้งเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับความหนาของแผ่นยาง ดังแสดงในรูปที่ 4-11 และ รูปที่ 4-12 การทดสอบเหล็กเดือยรับแรงแผ่นดินไหวนั้น จะให้แรงกระทำแบบวัฏจักร (Cyclic Loading) แบบควบคุมการเคลื่อนที่ (Displacement Control) โดยเริ่มจากการกำหนดการเคลื่อนที่เริ่มต้นเท่ากับ 1 มิลลิเมตร กระทำจำนวน 3 รอบ และค่อยๆเพิ่มการเคลื่อนที่ขึ้นครั้งละ 1 มิลลิเมตร จนกระทั่งขึ้นงานเกิดการวิบัติหรือถึงขีดจำกัดของเครื่องมือทดสอบ ซึ่งรูปแบบการให้แรงในระดับต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4-13 โดยในการทดสอบเหล็กเดือยนั้น ได้มีการให้แรงไปจนถึงระดับการเคลื่อนที่ 10 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่าระดับดังกล่าวเป็นขีดจำกัดของเครื่องมือทดสอบแล้วนั่นเอง และในขณะการทดสอบได้มีการบันทึกข้อมูลแรงกระทำ และการเคลื่อนที่ตลอดเวลาเช่นเดียวกับการทดสอบแผ่นยางรองสะพาน โดยอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆแสดงดังรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-11 การติดตั้งเหล็กเดือยเข้ากับชุดทดสอบ



รูปที่ 4-12 เหล็กเดือยภายหลังการติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบ



รูปที่ 4-13 รูปแบบการให้แรงกระทำทางด้านข้างกับเหล็กเดือย



รูปที่ 4-14 การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบเหล็กเดือย

4.2.2. ผลการทดสอบ

4.2.2.1. พฤติกรรมของเหล็กเดือยภายใต้อิทธิพลของแรงกระทำทางด้านข้าง

เมื่อให้แรงผลักเหล็กเดือยไปทางด้านข้าง 4-10 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ไม่สูงมาก เหล็กเดือยจะเกิดการเสียรูปในลักษณะถูกดัดให้โค้งดังแสดงในรูปที่ 4-15 ถึง รูปที่ 4-17



รูปที่ 4-15 ลักษณะการเสียรูปของเหล็กเดือยเมื่อกำหนดการเคลื่อนที่ทางด้านข้างเท่ากับ 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-16 ลักษณะการเสียรูปของเหล็กเดือยเมื่อกำหนดการเคลื่อนที่ทางด้านข้างเท่ากับ 7 มิลลิเมตร



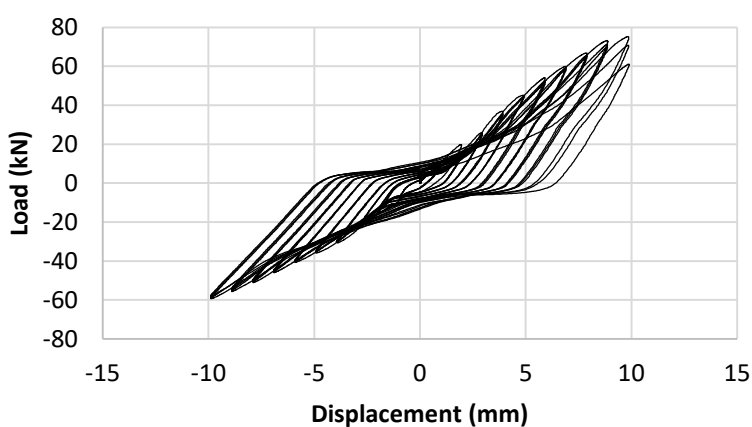
รูปที่ 4-17 ลักษณะการเสียรูปของเหล็กเดือยเมื่อกำหนดการเคลื่อนที่ทางด้านข้างเท่ากับ 10 มิลลิเมตร



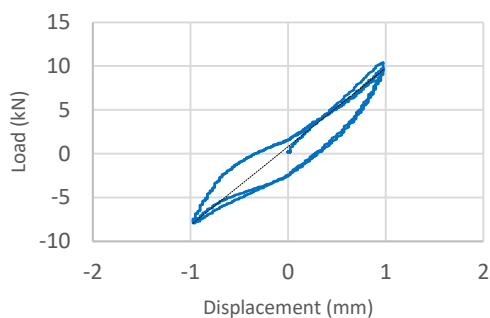
รูปที่ 4-18 ลักษณะการเสียรูปของเหล็กเดือยหลังจากสิ้นสุดการทดสอบ

4.2.2.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนที่

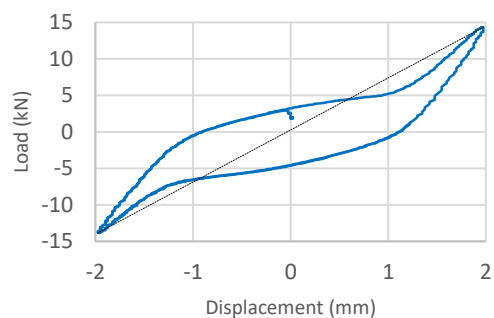
จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนของเหล็กเดี่ยวดังแสดงในรูปที่ 4-19 ถึงรูปที่ 4-21 พบว่า แรงกระทำมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละระดับของการให้แรงกระทำ โดยที่แรงกระทำสูงสุดมีค่าเท่ากับ 70 kN ที่ระดับการเคลื่อนที่เท่ากับ 9.825 มิลลิเมตร ส่วนการคำนวณค่าสถิติในสเปกตรัมผลนั้น จะใช้วิธีเดียวกันกับแผ่นยางรองสะพานซึ่งได้อธิบายไปแล้วข้างต้น โดยผลการคำนวณสถิติในสเปกตรัมผลของเหล็กเดี่ยใน แต่ละระดับการให้แรงกระทำได้แสดงไว้ตารางที่ 4-2 และสรุปไว้ในรูปที่ 2-79



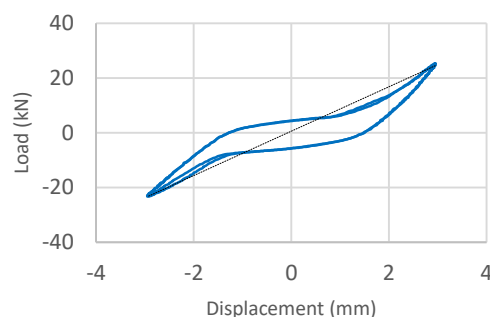
รูปที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่ของเหล็กเดี่ย



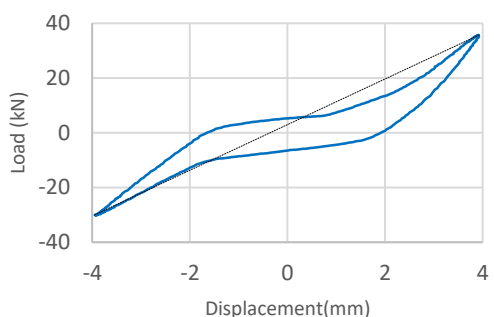
(b) ระดับแรง ± 1 มิลลิเมตร



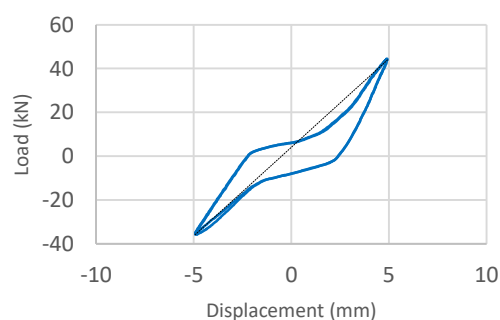
(b) ระดับแรง ± 2 มิลลิเมตร



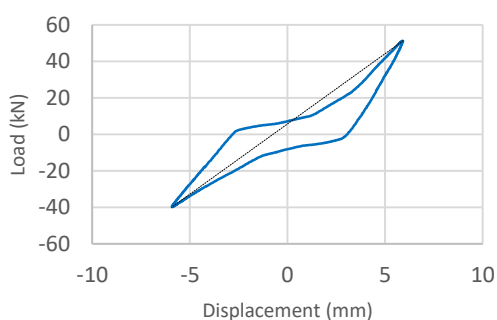
(d) ระดับแรง ± 3 มิลลิเมตร



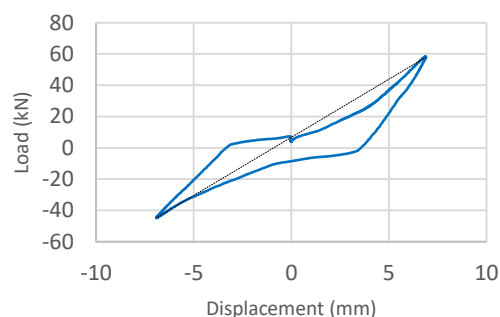
(d) ระดับแรง ± 4 มิลลิเมตร



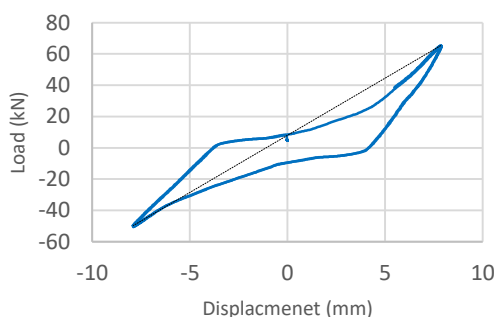
(f) ระดับแรง ± 5 มิลลิเมตร



(f) ระดับแรง ± 6 มิลลิเมตร

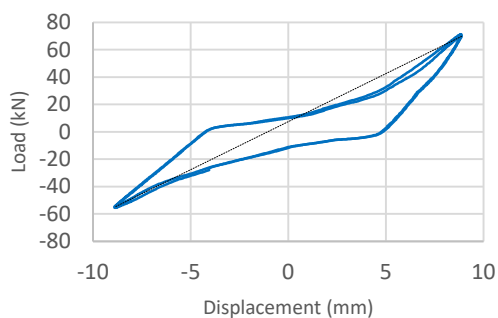


(h) ระดับแรง ± 7 มิลลิเมตร

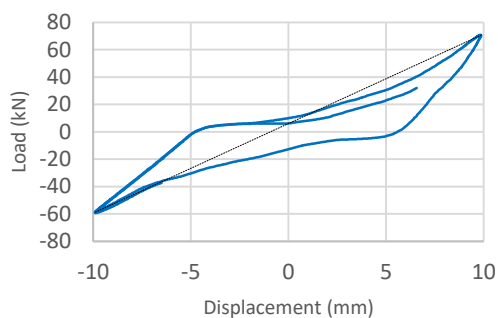


(h) ระดับแรง ± 8 มิลลิเมตร

รูปที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเคลื่อนที่ในระดับให้แรงแรง 0 มิลลิเมตร ถึง 8 มิลลิเมตร

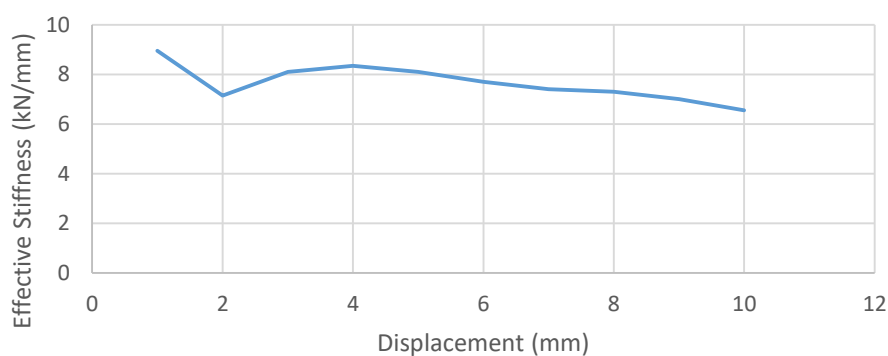


(i) ระดับแรง ± 9 มิลลิเมตร



(j) ระดับแรง ± 10 มิลลิเมตร

รูปที่ 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเคลื่อนที่ ในระดับให้แรงแรง 9 มิลลิเมตร ถึง 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างสติฟเนสประสิทธิภาพและการเคลื่อนที่

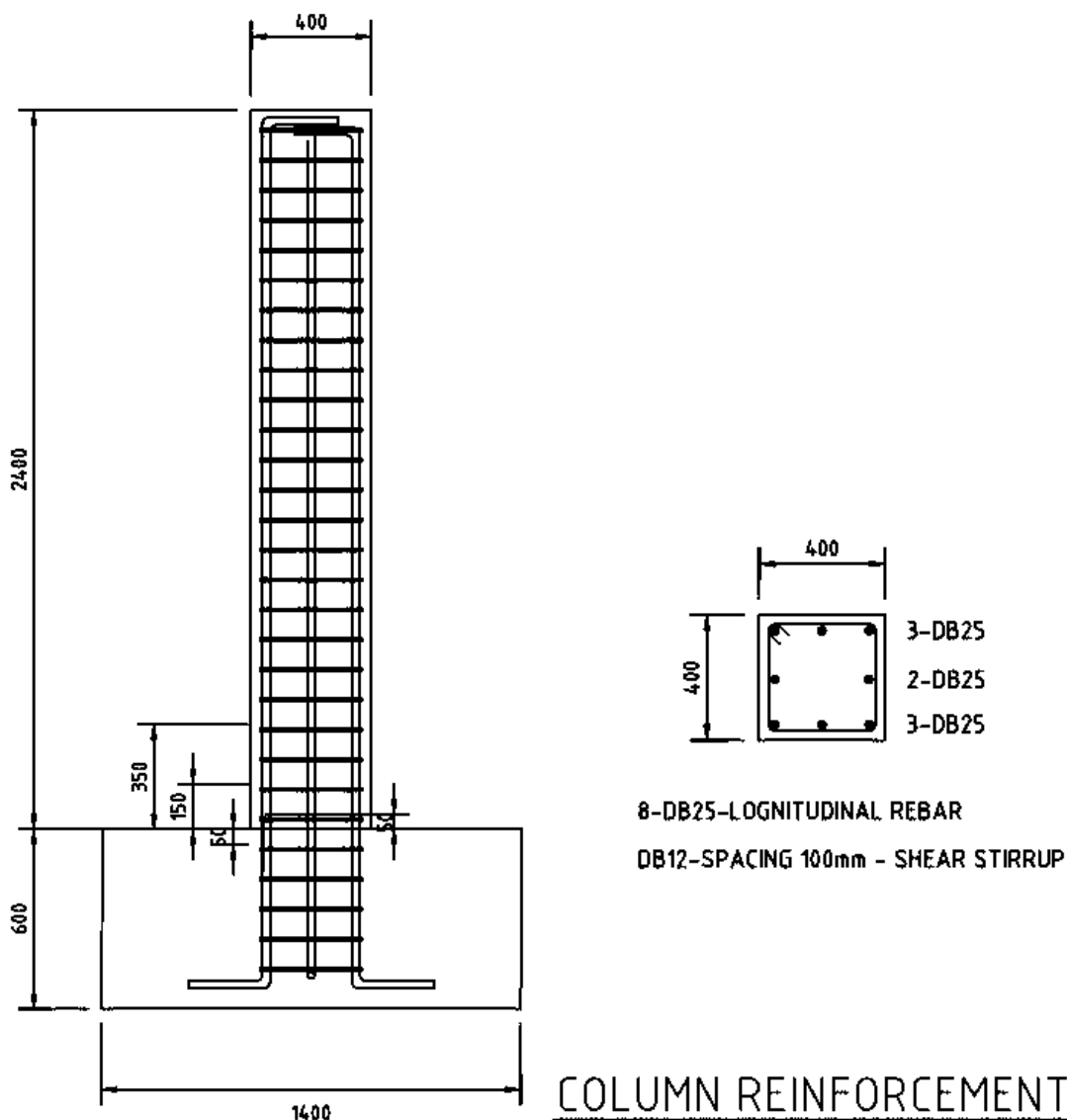
ตารางที่ 4-2 สติฟเนสประสิทธิภาพขณะการให้แรงระดับต่างๆ

Displacement (mm)	Effective stiffness (kN/mm)
1	9
2	7.2
3	8.1
4	8.4
5	8.1
6	7.7
7	7.4
8	7.3
9	7
10	6.6

4.3. ส่วนของโครงสร้างที่ 3 :เสา

4.3.1. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการศึกษาจะเตรียมตัวอย่างเสาที่มีขนาดเท่าของจริง (Full Scale) โดยเสาจะมีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.4 เมตร x 0.4 เมตร มีความสูงเท่ากับ 2.40 เมตร และมีระดับความสูงถึงจุดศูนย์กลางของแรงกระทำเท่ากับ 2.20 เมตร สำหรับเหล็กเสริมตามยาว มีจำนวน 8 เส้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 25 มิลลิเมตร เป็นเหล็กเกรด SD40 ตาม มอก. และใช้เหล็กปลอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร เกรด SD40 ตาม มอก. และมีระยะเรียงระหว่างเหล็กเสริมตามขวางเท่ากับ 10 เซนติเมตร ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างชิ้นงานนั้นได้มีการกำหนดรายละเอียดแบบก่อสร้างดังแสดงในรูปที่ 4-23



รูปที่ 4-23 แบบตัวอย่างทดสอบเสาสะพาน C-DOH



รูปที่ 4-24 ตัวอย่างทดสอบเสาสะพาน

ตารางที่ 4-3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำหรับก่อสร้างเสา

Specimen No.	Day	Area (mm ²)	Crushing Load (kN)	Crushing Strength (Mpa)	Average Strength (MPa)
1	28	23562	725	30.8	31.3
2	28	23256	750	32.3	
3	28	23858	734	30.8	

ในส่วนของการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมที่ใช้ในตัวอย่างเสา และรอยต่อเสากับคานขวาง ได้ทดสอบเหล็กจำนวน 2 ชนิด คือ เหล็ก DB12 และ DB25 ดังแสดงในรูปที่ 4-25 ซึ่งใช้เป็นเหล็กปลอกและเหล็กเสริมหลัก ตามลำดับ ซึ่งผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมทั้งสองชนิดได้แสดงในรูปที่ 4-26 และผลการทดสอบได้สรุปไว้ในตารางที่ 4-4

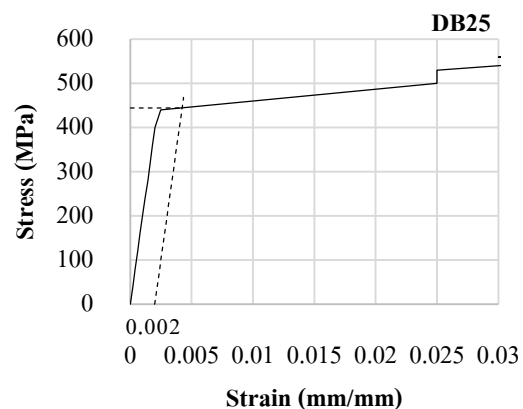
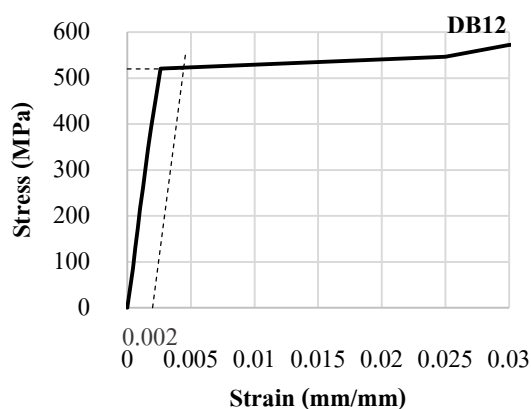


(ก) รูปแบบการวัดของเหล็กเสริม DB12



(ข) รูปแบบการวัดของเหล็กเสริม DB25

รูปที่ 4-25 การวัดของเหล็กเสริม DB12 และ DB25

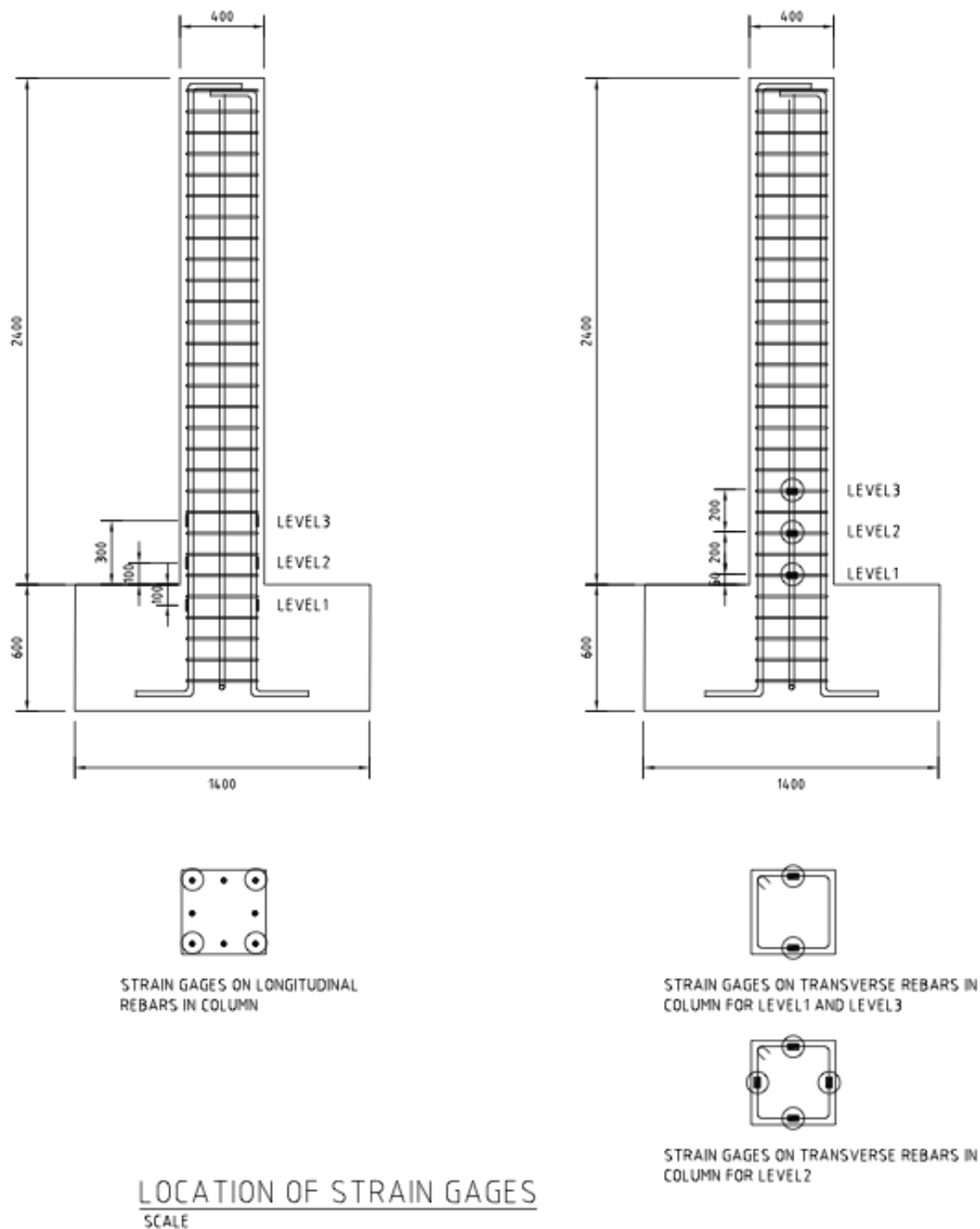


รูปที่ 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริม 2 ชนิด

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

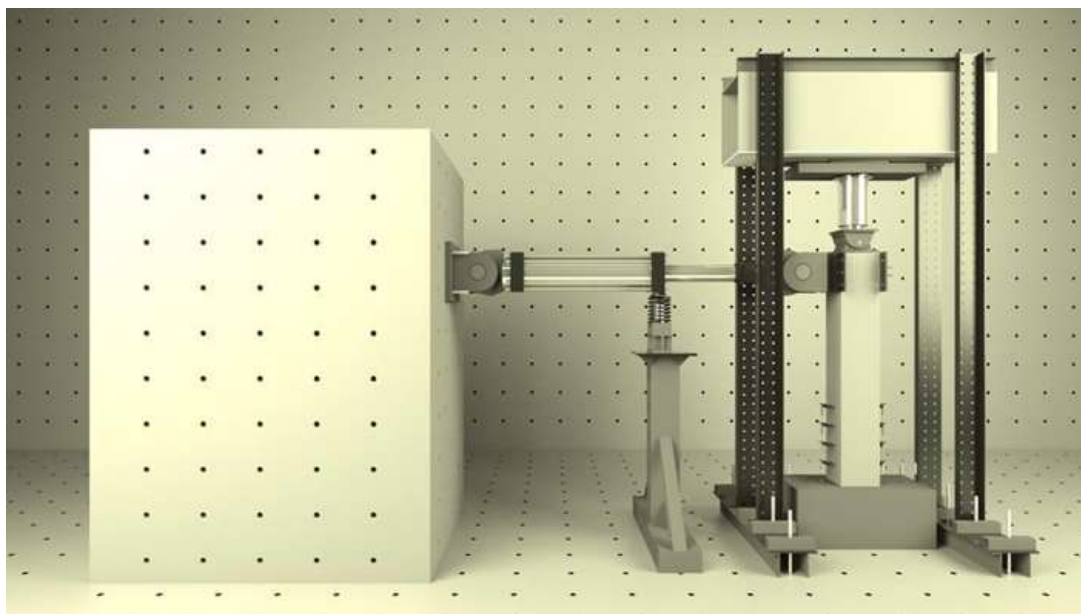
Size	Area (mm ²)	Yield stress (MPa)	0.2% offset Yield stress (MPa)	Ultimate stress (MPa)	Elastic modulus (MPa)
DB12	113	520	520	637	214352
DB25	491	439	444	639	199109

ในการติดตั้งเกจวัดความเครียดนั้น จะทำการติดตั้งไว้ที่ผิวเหล็กยื่นและเหล็กปลอก โดยแบ่งติดตั้งที่ผิวเหล็กยื่น 4 เส้น จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ ระดับใต้ผิวบนฐานราก 10 เซนติเมตร ระดับสูงจากผิวฐานราก 10 เซนติเมตร และระดับสูงจากผิวฐานราก 30 เซนติเมตร ในส่วนของเกจวัดความเครียดที่ติดตั้งที่ผิวเหล็กปลอกนั้น จะติดตั้งจำนวน 3 ระดับเช่นกัน ได้แก่ ระดับที่สูงจากผิวฐานราก 5 เซนติเมตร 25 เซนติเมตร และ 45 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยที่ระดับที่ 1 และระดับที่ 3 จะติดตั้งเกจวัดความเครียดจำนวน 2 ตัว แต่ในส่วนระดับที่ 2 นั้น จะติดตั้งเกจวัดความเครียดจำนวน 4 ตัว



รูปที่ 4-27 การติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมตามยาว

ในการทดสอบเสา จะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดระยะการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ เพื่อคำนวณค่าความโค้งของเสา และเพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆจากการทดสอบ โดยเครื่องมือวัดระยะการเคลื่อนที่ที่มีจำนวนทั้งหมดเท่ากับ 8 ชุด การทดสอบจะดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการทดสอบโครงสร้างจริง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี โดยจะทำการติดตั้งผนังรับแรง เรียงต่อกัน และยึดเข้ากับพื้นห้องปฏิบัติการด้วยแท่งเหล็กอัดแรง จากนั้นทำการติดตั้งโครงให้แรงในแนวแกน เครื่องให้แรง และตัวรองรับเครื่องให้แรง



รูปที่ 4-28 รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์การทดสอบเสา



รูปที่ 4-29 ตัวอย่างการจัดวางอุปกรณ์สำหรับทดสอบเสา

ในการทดสอบแรงแผ่นดินไหวกับตัวอย่างเสา นั้น จะใช้เครื่องให้แรง (Hydraulic Actuator) ให้แรงกระทำกับเสาทางด้านข้าง โดยการควบคุมการเคลื่อนที่หรือการพลิกคว่ำของตัวอย่างเสาที่ทดสอบจะกระทำโดยติดตั้งอุปกรณ์การให้แรงในแนวดิ่ง และใช้เหล็กเส้นอัดแรงยึดตัวอย่างเสาเข้ากับพื้นห้องปฏิบัติการ ทำการตรวจสอบให้ตำแหน่งการให้แรงอยู่ในแนวกึ่งกลางของตัวอย่างเสา และปรับระดับที่ผิวบนหัวเสาให้เรียบเพื่อให้อุปกรณ์ให้แรงในแนวดิ่งสามารถถ่ายแรงลงได้เต็มพื้นที่หน้าตัดเสา โดยในการทดสอบจะทำการให้แรงกดหัวเสาเท่ากับ 17 ตัน ซึ่งเป็นแรงที่จำลองมาจากแรงกระทำจริงต่อโครงสร้างสะพานสำหรับเสาต้นกลางของตอม่อสะพาน

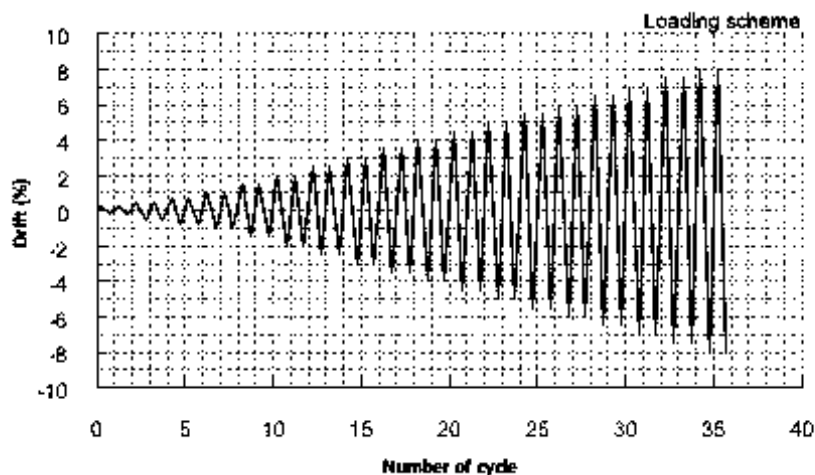
ก่อนดำเนินการทดสอบชิ้นส่วนโครงสร้างในห้องปฏิบัติการ จะใช้เครื่องวัดแรง (Load Cell) ในการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือให้แรงที่จะใช้ทดสอบชิ้นส่วนโครงสร้าง ทั้งนี้เพื่อให้ผลการตรวจวัดพฤติกรรมด้านต่างๆ มีความแม่นยำ สามารถนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์โดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้

ระหว่างการทดสอบจะทำการบันทึกผลตอบสนอง (Responses) ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดประเภทต่างๆ ที่ได้ติดตั้งบนตัวอย่างเสาเข้าสู่เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ซึ่งได้ต่อเข้ากับ เครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า เกจวัดความเครียดชนิดที่ใช้ในการวัดความเครียดบนเหล็กเสริม นอกจากนี้จะทำการบันทึกแรงที่กระทำทางด้านข้าง และระยะการเคลื่อนที่ของหัวเสาจากตัวควบคุมเครื่องให้แรงด้วย



รูปที่ 4-30 อุปกรณ์สำหรับบันทึกผลการทดสอบ

สำหรับรูปแบบการให้แรงทางด้านข้าง จะอ้างอิงจากข้อกำหนด FEMA 461 “Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components” โดยในการทดสอบตัวอย่างเสาจะเริ่มทำการบันทึกผลจากเครื่องมือตรวจวัด จากนั้นทำการขยับเครื่องให้แรงไปสัมผัสกับเสาเพื่อทำการยึดหัวเสา และเริ่มให้แรงอัดตามแนวแกนและรักษาระดับแรงอัดให้คงที่ตลอดการทดสอบ จากนั้นจะให้แรงทางด้านข้างแบบวัฏจักร (Cyclic Loading) ที่หัวเสาแบบการควบคุมการเคลื่อนที่ (Displacement Control) ดังแสดงในรูปที่ 4-31 โดยในแต่ละรอบการทดสอบจะทำการหยุดเครื่องให้แรงเพื่อจดบันทึกข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ ที่สังเกตได้ระหว่างการทดสอบ อาทิเช่น รอยแตกร้าว โดยการทดสอบจะกระทำจนกว่าตัวอย่างเสาจะเกิดการวิบัติ หรือเครื่องให้แรงกระทำทางด้านข้างไม่สามารถทดสอบต่อไปได้



รูปที่ 4-31 ตัวอย่างรูปแบบการให้แรงกระทำแบบวัฏจักร (Cyclic Loading)

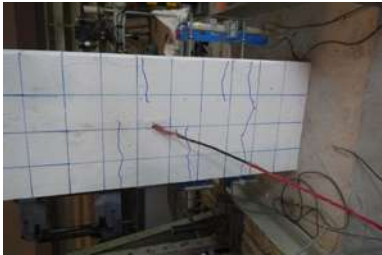
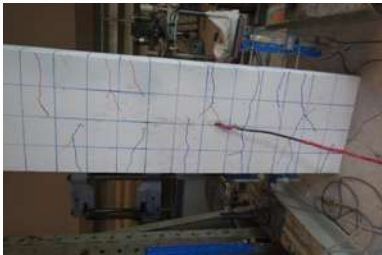
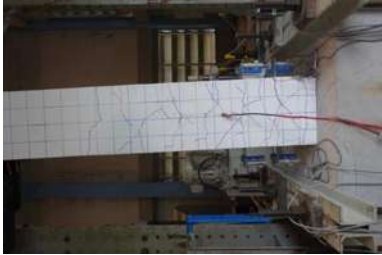
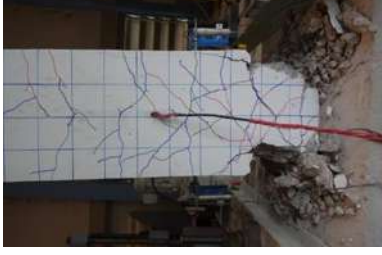
4.3.2. ผลการทดสอบ

4.3.2.1. พฤติกรรมของตัวอย่างเสาที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดสอบ

ตัวอย่างเสาทดสอบ C-DOH เมื่อรับแรงกระทำทางด้านข้าง ในช่วงแรกจะเกิดการเสียรูปตามทิศทางแรงกระทำ และเกิดรอยร้าวในแนวราบที่ระดับความสูงต่างๆ จากนั้นจะมีการแตกร้าวก่อกที่บริเวณรอยต่อระหว่างเสาและฐานราก กะเทาะและหลุดล่อน ส่งผลให้เกิดช่องว่างและสามารถโยกตัวได้ เป็นเหตุให้เสาสูญเสียกำลังรับแรงทางด้านข้าง นำไปสู่การวิบัติ ซึ่งพฤติกรรมที่อัตราการเคลื่อนตัว (% Drift) ต่างๆดังแสดงในตารางที่ 4-5 อธิบายได้ดังนี้

- เมื่อเริ่มให้แรงกระทำทางด้านข้างด้วยอัตราการเคลื่อนตัว 0.5% ในรอบแรก ยังไม่พบความเสียหายใดๆ จนกระทั่งให้แรงไปถึงอัตราการเคลื่อนตัว 0.5% ในรอบที่สอง พบว่าเริ่มมีรอยแตกร้าวก่อกในแนวราบที่ระดับความสูง 25, 40 และ 65 ซม. จากฐานราก
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 0.75% ร้อยแตกร้าวก่อกในแนวราบเริ่มเกิดในระดับที่สูงขึ้น ตลอดช่วงความสูงเสาที่ระดับ 25, 40, 65, 85 และ 95 ซม. จากฐานราก
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 2.0% เริ่มมีรอยแตกร้าวก่อกที่รอยต่อของโคนเสาและฐานราก และเกิดรอยแตกร้าวก่อกในท่อกด้านของเสาทดสอบ โดยรอยแตกร้าวก่อกมีลักษณะยาวขึ้นในแนวราบ รวมถึงลักษณะของรอยแตกร้าวก่อกเริ่มเอียงในลักษณะแรงเฉือนตัดเข้าหากันที่ระดับความสูง 20, 40, 60, 80 และ 100 ซม. ซึ่งเป็นระดับความสูงที่ใกล้เคียงกับเหล็กเสริมทางขวาง
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 2.5% คอนกรีตที่โคนเสาด้านทิศตะวันออกและที่มุมเสาเกิดการกะเทาะออกมา จนถึงอัตราการเคลื่อนตัว 3.0% โคนเสาด้านทิศตะวันตกเริ่มกะเทาะออก ส่งผลให้เกิดรอยร้าวในแนวทแยงขนาดใหญ่เมื่อแรงกระทำทางด้านข้างไปถึงอัตราการเคลื่อนตัว 4.5%
- ความเสียหายพัฒนามากขึ้นเฉพาะในส่วนโคนเสา และคอนกรีตได้แตกออกจนเหล็กปลอกสูญเสียการโอบรัด ส่งผลให้เหล็กเสริมตามยาวโก่งตัว ทำให้ความสามารถในการรับแรงกระทำทางด้านข้างได้ลดลงเหลือต่ำกว่า 80% ของแรงกระทำสูงสุด เป็นเหตุให้เสาเกิดการวิบัติที่อัตราการเคลื่อนตัว 6.5%

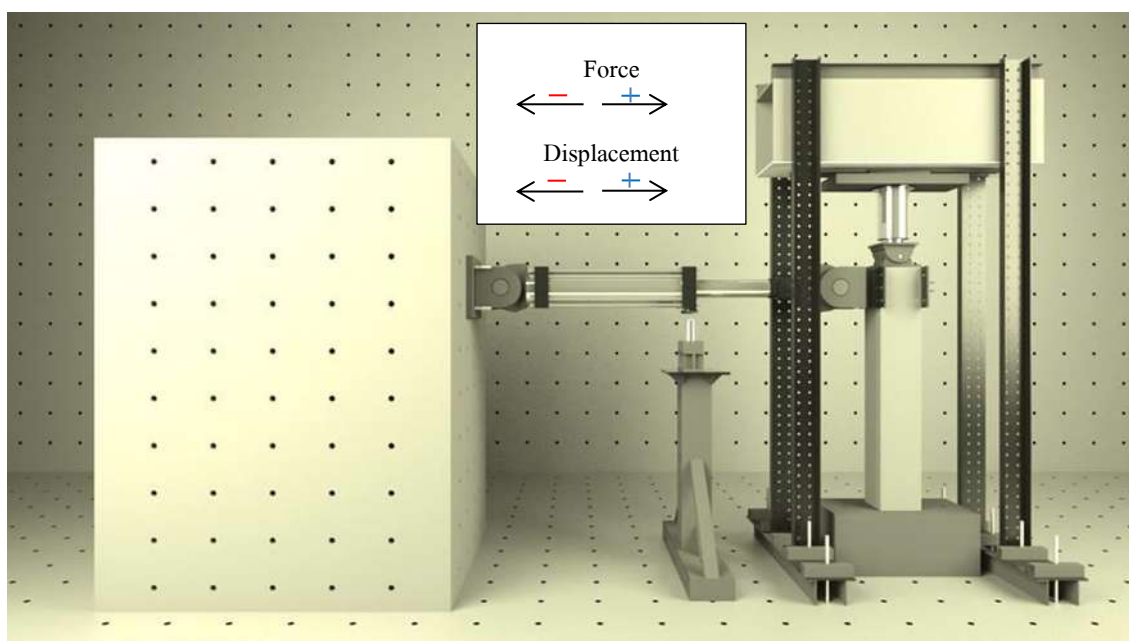
ตารางที่ 4-5 ลักษณะความเสียหายระหว่างการทดสอบและกรณีหลังการทดสอบของตัวอย่างเสาทดสอบ C-DOH

(% Drift)	0.5%	0.75%	2.0%	2.5% - 3.5%	4.5%	6.5%
รูปภาพ ความ เสียหาย						
ลักษณะ ความ เสียหาย	เริ่มมีรอยแตกกว้างใน แนวราบที่ระดับความสูง 25, 40, 65 ซม. จากฐาน ราก	เริ่มมีรอยแตกกว้างใน แนวราบที่ระดับความสูง 25, 40, 65, 85, 95 ซม. จาก ฐานราก	ลักษณะของรอยแตกกว้าง เริ่มเอียงในลักษณะแรง เฉือนเข้าด้วยกันที่ระดับ ความสูง 20, 40, 60, 80 ซม.	คอนกรีตเริ่มมีการหักแตก ออกที่บริเวณรอบต่อเสา และฐานราก	คอนกรีตที่โคนเสามีการ อัดแตกเพิ่มมากขึ้น รวมถึงรอยแตกกว้างแบบ เอียงในลักษณะแรงเฉือน มีขนาดใหญ่ขึ้น	การกะเทาะออกของ คอนกรีตที่รอยต่อเสาและ ฐานรากส่งผลให้เกิด เหล็กเสริมไร้การโอบรัด ทำให้โคงตัวล้มหัก ปลอกหุ้มเหล็ก ให้เสา สูญเสียกำลังรับแรงทาง ด้านข้างนำไปสู่การวิบัติ

4.3.2.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้นข้างกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้าง

ข้อมูลการทดสอบเสาสามารถนำมาเขียนในรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้นข้างกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้างได้ โดยระยะการเคลื่อนที่ทางด้นข้างนั้นเป็นค่าที่ได้รับการปรับแก้ผลที่เกิดจากการเลื่อนไถลของฐานรากและการหมุนของฐานราก รวมถึงการเลื่อนไถลของผนังรับแรง ซึ่งกราฟความสัมพันธ์ที่ได้สามารถแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของตัวอย่างเสาทดสอบที่อัตราส่วนการเคลื่อนตัว (% Drift) ระดับต่างๆ ได้ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้นข้างกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้างตลอดการทดสอบของตัวอย่างเสาทดสอบ C-DOH สามารถนำมาหาเส้นโค้งขอบนอก (envelop curve) เพื่อใช้วิเคราะห์ ค่าความเหนียว ค่าการสลายพลังงาน และค่าความโค้ง ของตัวอย่างเสาได้

โดยแรงกระทำทางด้นข้างและการเคลื่อนที่ทางด้นข้างนั้นถูกกำหนดด้วยหลักการดังนี้ เมื่อแรงกระทำทางด้นข้างที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบเคลื่อนตัวไปยังด้านที่อยู่ตรงข้ามกับเครื่องให้แรงทางด้นข้าง ซึ่งจะเกิดแรงอัดในเครื่องให้แรง จะแสดงผลของแรงและการเคลื่อนตัวเป็นเครื่องหมาย + และเมื่อแรงกระทำทางด้นข้างที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบเคลื่อนตัวไปยังด้านเดียวกับเครื่องให้แรงทางด้นข้าง ซึ่งจะเกิดแรงดึงในเครื่องให้แรง จะแสดงผลของแรงและการเคลื่อนตัวเป็นเครื่องหมาย -



รูปที่ 4-32 เครื่องหมาย ± แสดงทิศทางการให้แรงกระทำและระยะการเคลื่อนที่ของเครื่องให้แรง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้นข้างกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้างนั้นจะอ้างอิงจากค่าอัตราการเคลื่อนตัว ซึ่งนิยามว่า

$$\text{อัตราการเคลื่อนตัว} = \frac{\delta}{L} \times 100 \quad (4-2)$$

โดยที่ δ คือระยะการเคลื่อนที่ทางด้นข้างที่หัวเสา

L คือระยะความสูงของเสา (ในงานวิจัยนี้มีค่า 2200 มม.)

และค่าความเหนียวนิยามโดย

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (4-3)$$

โดยที่ μ คือ ค่าความเหนียว

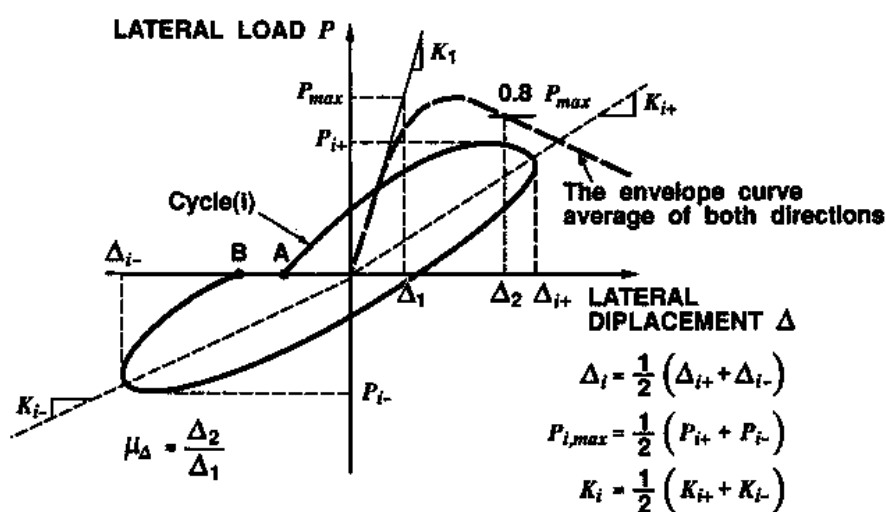
δ_u คือ ระยะการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่หัวเสาเมื่อแรงกระทำทางด้านข้างลดลงเหลือ 80% ของแรงกระทำสูงสุด

δ_y คือ ระยะการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่หัวเสา ณ จุดคราก

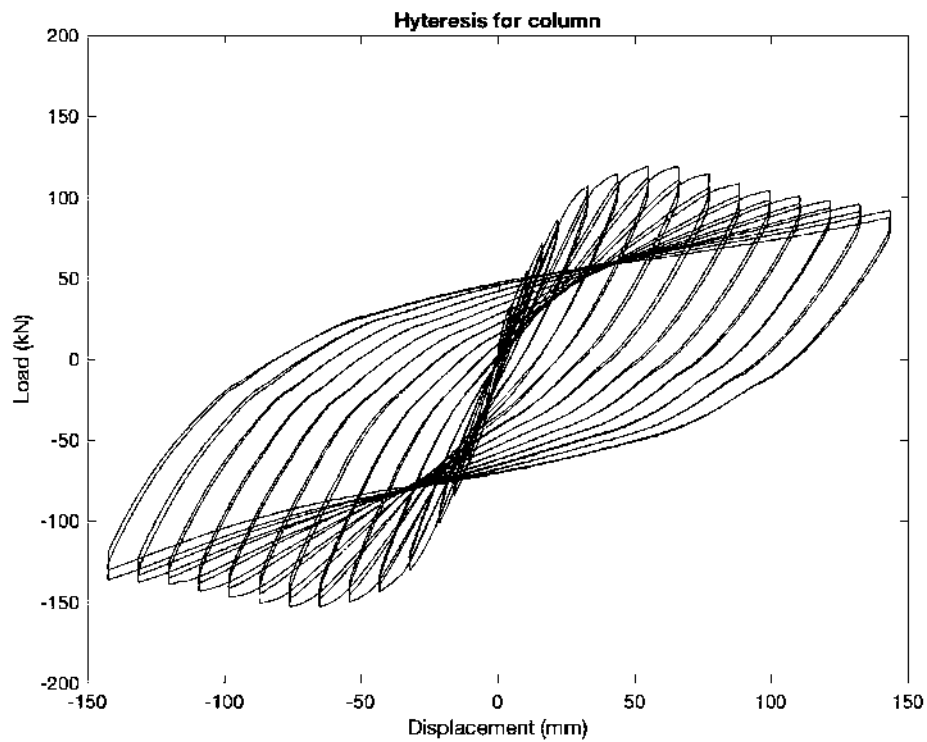
โดย ค่า μ และ ค่า δ_y สามารถหาได้หลายวิธีที่แตกต่างกัน ดังนี้

การหาระยะการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง ณ จุดครากจากจุดที่เหล็กยื่นรับแรงดึงเส้นแรกเริ่มคราก (1st steel yielding) โดย Xiao and Yun (2002)

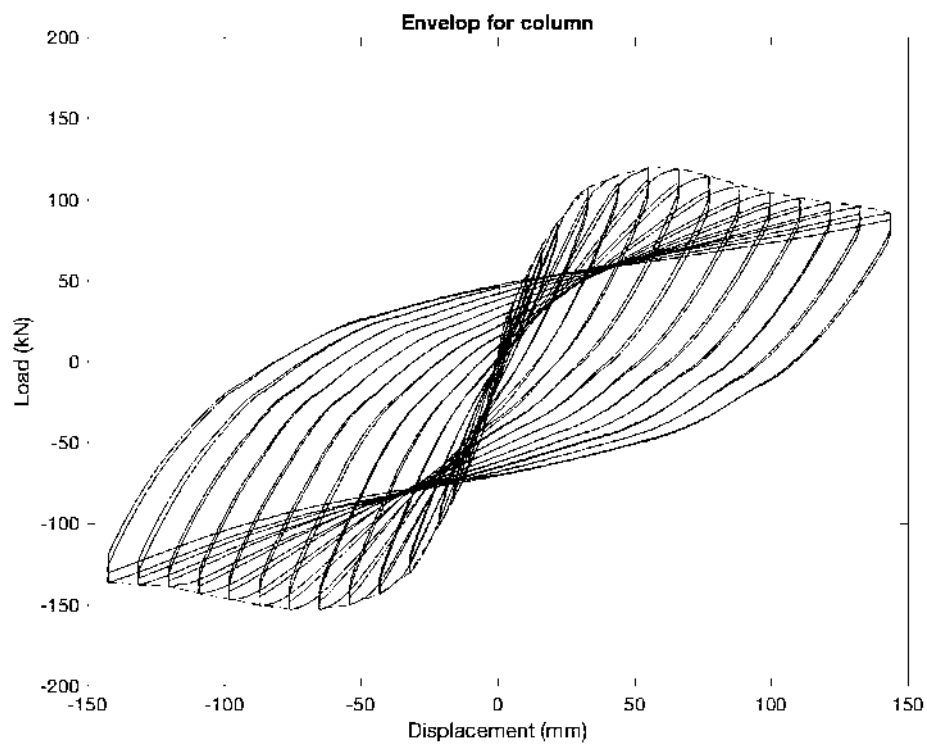
การหาระยะการเคลื่อนที่ที่จุดคราก โดยการลากเส้นจากจุดเริ่มต้นมาตัดผ่านจุดที่แรงกระทำทางด้านข้างมีค่าเท่ากับ 75 % ของแรงกระทำสูงสุด (75% secant approach) จนไปถึงเส้นตรงที่ขนานกับแกนอนที่ลากจากจุดที่แรงกระทำทางด้านข้างมีค่ามากที่สุด จากนั้นลากเส้นขนานกับแกนตั้ง ไปตัดกับแกนการเคลื่อนที่ด้านข้าง วิธีนี้แนะนำโดย Priestly (1992)



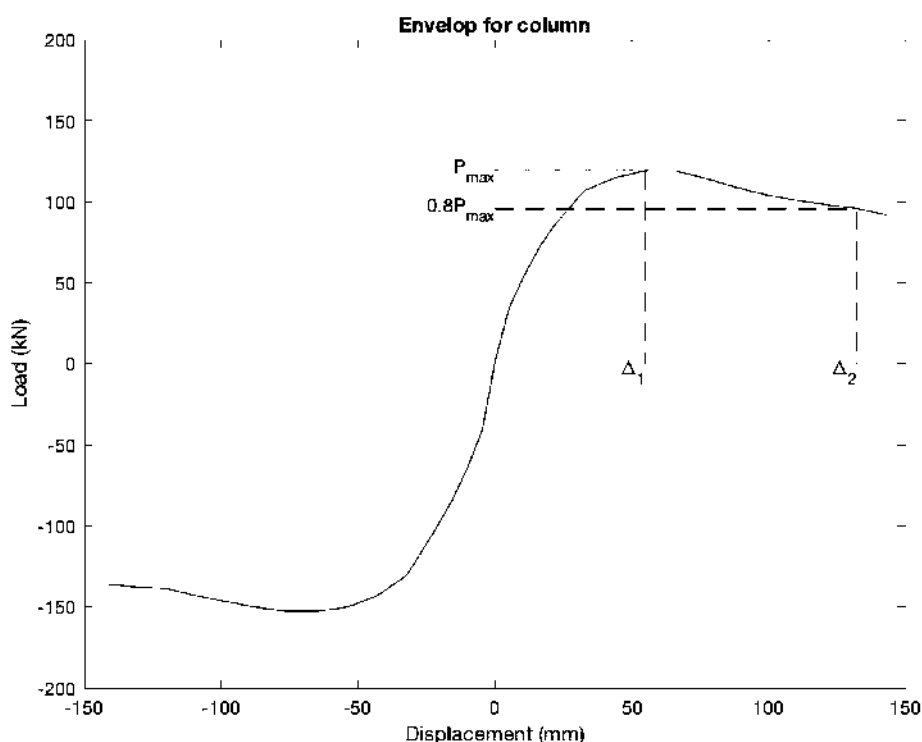
รูปที่ 4-33 วิธีการหาค่าความเหนียวเชิงการเคลื่อนตัวโดย Sheikh และ Khoury (1993)



รูปที่ 4-34 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ทางด้านข้างของตัวอย่างเสา C-DOH



รูปที่ 4-35 เส้นโค้งขอบนอก (envelop curve) ตัวอย่างเสา C-DOH



รูปที่ 4-36 การหาคุณสมบัติจากเส้นโค้งขอบนอก (envelop curve) ตัวอย่างเสา C-DOH

ตารางที่ 4-6 สรุปผลการทดสอบตัวอย่างเสา

Specimen	P_{max} (kN)	Disp@ P_{max} (mm)	$0.8 P_{max}$ (ton)	Displ@ $0.8P_{max}$ (mm)	Drift@ $0.8 P_{max}$ (%)
C-DOH	119.28	55.00	95.42	132.16	6.03

4.3.2.3. การสลายพลังงานของเสาทดสอบ C-DOH

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนที่ทางด้านข้างนอกจากจะสามารถใช้หาค่าความเหนียวและแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของตัวอย่างเสาด้วยเส้นโค้งขอบนอกแล้ว ยังสามารถนำมาใช้หาค่าการสลายพลังงาน ซึ่งค่าที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรองรับแรงจากแผ่นดินไหว เมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้นพลังงานจำนวนมากจะถูกถ่ายให้กับโครงสร้างในรูปแบบการสั่นสะเทือน ถ้าโครงสร้างสามารถสลายพลังงานได้มากหมายถึงโครงสร้างนั้นสามารถเปลี่ยนพลังงานการสั่นไหวมาเป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นในลักษณะการเสียรูปของวัสดุ

การคำนวณหาค่าการสลายพลังงาน (Energy dissipation) สามารถกระทำได้โดยการหาพื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีเชิงตัวเลขแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal rule) เพื่อใช้ในการหาพื้นที่ใต้กราฟ โดยจะทำการหาพื้นที่ใต้กราฟในแต่ละรอบของการทดสอบ ซึ่งจะเริ่มจากจุดที่การเคลื่อนที่ด้านข้างมีค่าเท่ากับศูนย์แล้วให้แรงกระทำทางด้านข้างไปในทิศทางบวก

จากนั้นให้แรงกระทำทางด้านข้างไปในทิศทางลบ และให้แรงไปในทิศทางบวกอีกครั้ง จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบมีการเคลื่อนที่เท่ากับศูนย์ จึงถือว่าครบ 1 รอบการทดสอบ

โดยวิธีเชิงตัวเลขแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal rule) มีสมการดังนี้

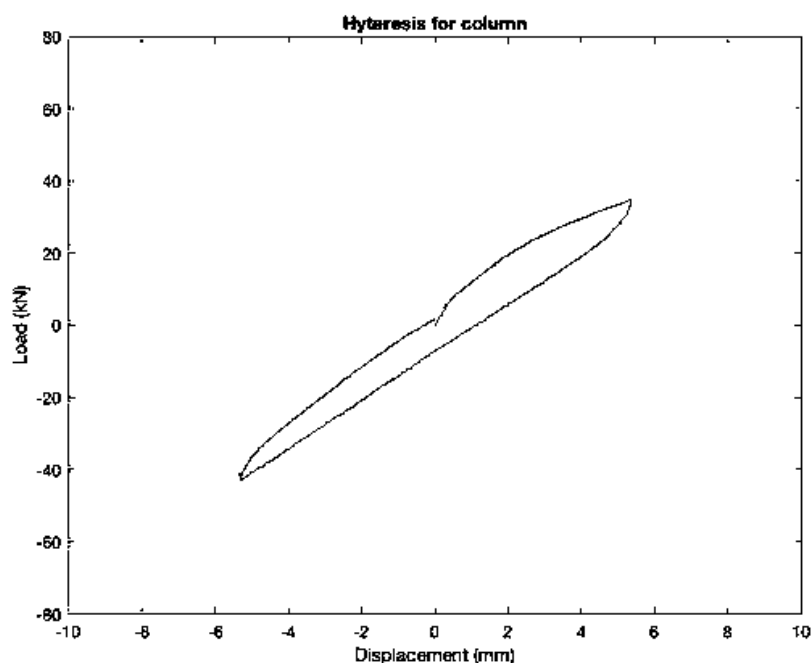
$$Area = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_{i+1} + y_i)(x_{i+1} - x_i) \quad (4-4)$$

ค่าการสลายพลังงาน (Energy dissipation)

$$Energy\ dissipation = \frac{1}{2} Fd \quad (4-5)$$

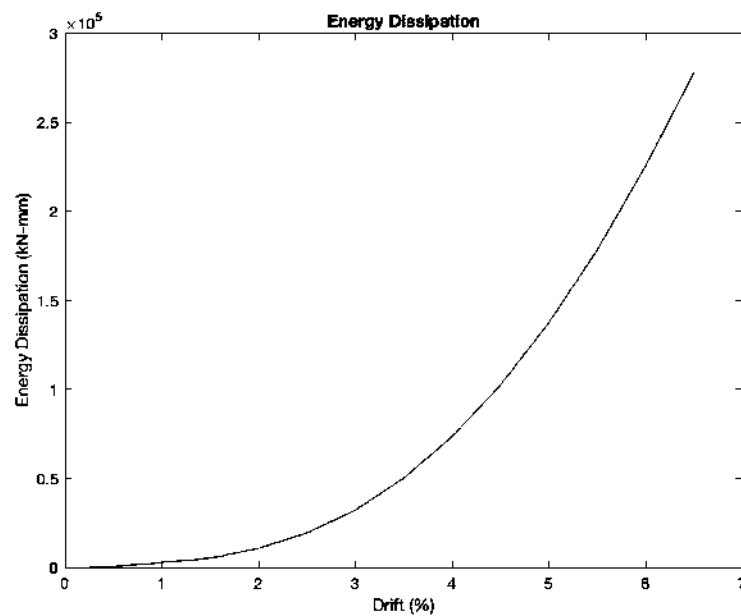
F คือ แรงกระทำทางด้านข้าง (Lateral force)

d คือ ระยะการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง



รูปที่ 4-37 การหาค่าการสลายพลังงานใน 1 รอบการทดสอบ

แรงพลัดจากการทดสอบทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามแนวราบที่ระดับต่างๆบนเสา และเมื่อคอนกรีตบริเวณนั้นกะเทาะออกมา กำลังรับแรงของเสามีพฤติกรรมเสื่อมถอยอย่างต่อเนื่อง หลังจากคอนกรีตกะเทาะออกมาจนเห็นเหล็กเสริม เสาทดสอบเกิดความเสียหายในลักษณะเกิดรอยร้าวเอียง 45 องศา ซึ่งเห็นได้ว่าเสายังคงสามารถรับแรงได้จากกำลังรับแรงเฉือน และหลังจากคอนกรีตเสียหายเพิ่มขึ้น เสายังคงมีแนวโน้มรับแรงกระทำทางด้านข้างได้อยู่ จนกระทั่งเมื่อคอนกรีตบริเวณโคนเสากะเทาะออกมา ทำให้เกิดความเสียหายถึงขั้นวิบัติ จากพฤติกรรมดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเสามีความสามารถสลายพลังงานที่สูง เพราะสามารถรับแรงกระทำทางด้านข้างได้สูงที่อัตราส่วนการเคลื่อนมาก โดยค่าการสลายพลังงานสะสมมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 278 kN-m



รูปที่ 4-38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายพลังงานกับอัตราส่วนการเคลื่อนที่

ตารางที่ 4-7 ค่าพลังงานในแต่ละรอบการทดสอบ

อัตรา เคลื่อนตัว (% Drift)	ค่าการสลายพลังงาน (กิโลนิวตัน-มม.)	
	C-DOH	
	แต่ละรอบ	สะสม
0.0	0	0
0.25	172	172
0.5	487	659
0.75	785	1444
1.0	1171	2615
1.5	2480	5095
2.0	5527	10622
2.5	8635	19257
3.0	12781	32038
3.5	17962	50000
4.0	23316	73316
4.5	29015	102331
5.0	34888	137219
5.5	40933	178152
6.0	47150	225302

6.5	52504	277806

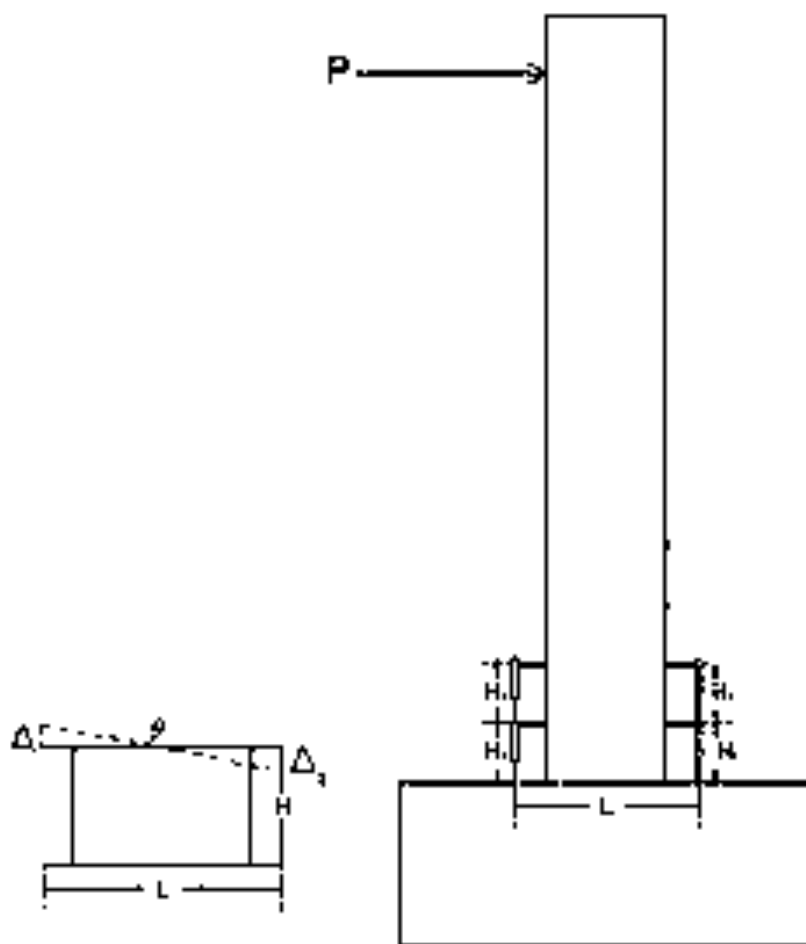
4.3.2.4. ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้ง

ในการทดสอบได้มีการติดเครื่องมือวัดระยะเคลื่อนที่จำนวน 8 ตัวดังแสดงได้ในรูปที่ 4-39 ซึ่งสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้ง (Curvature) ได้ โดยใช้ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตในการหาค่าความโค้งดังแสดงในสมการที่ (4-6) และ (4-7) ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งของตัวอย่างที่ระยะความสูงต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4-40 และรูปที่ 4-41

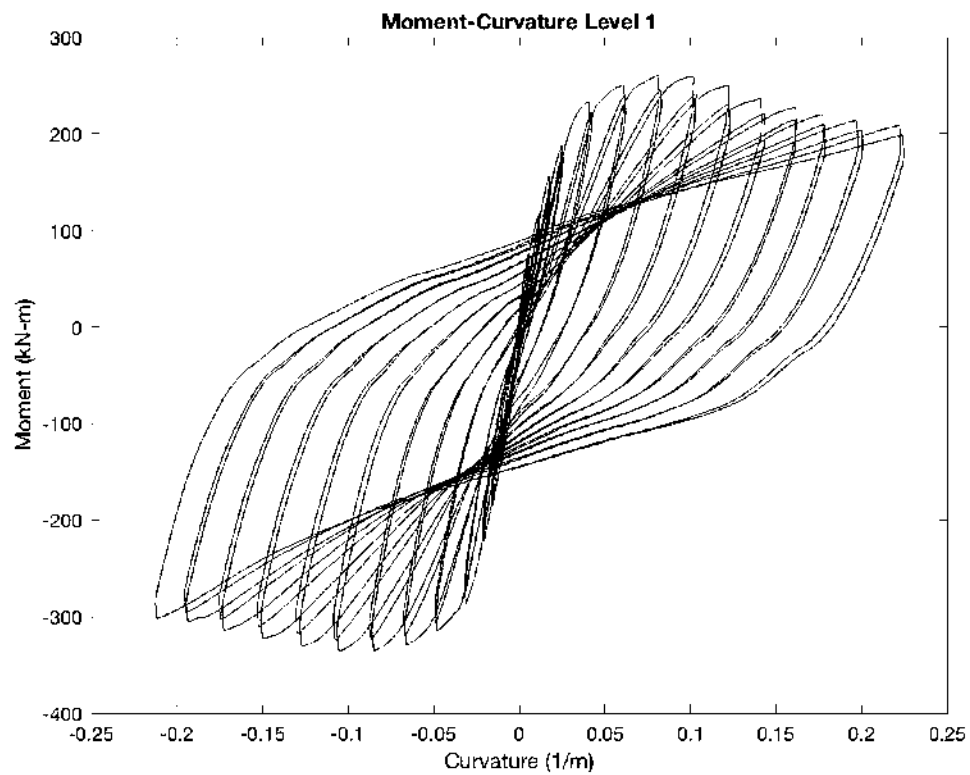
$$\text{Curvature, } \rho = \frac{\theta}{L} \quad (4-6)$$

$$= \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{L} \cdot \frac{1}{H} \quad (4-7)$$

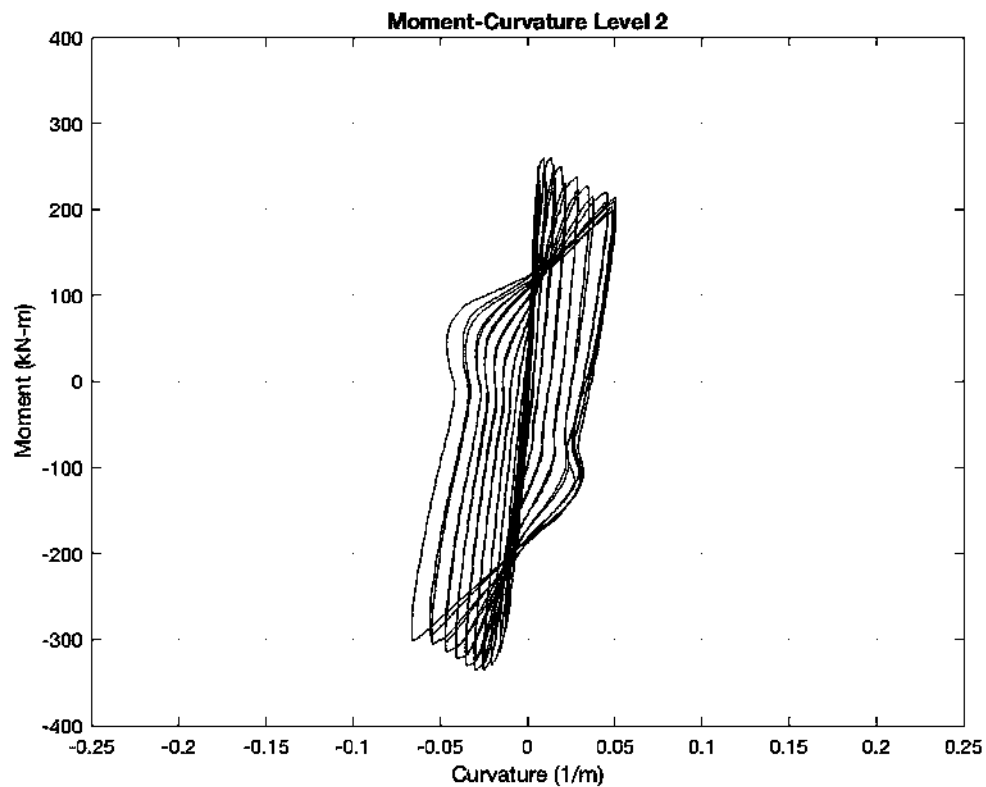
$$\text{Rotation} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{L} \quad (4-8)$$



รูปที่ 4-39 การหาค่าความโค้ง (curvature)



รูปที่ 4-40 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งที่ระดับความสูงที่ 1 ของตัวอย่าง C-DOH

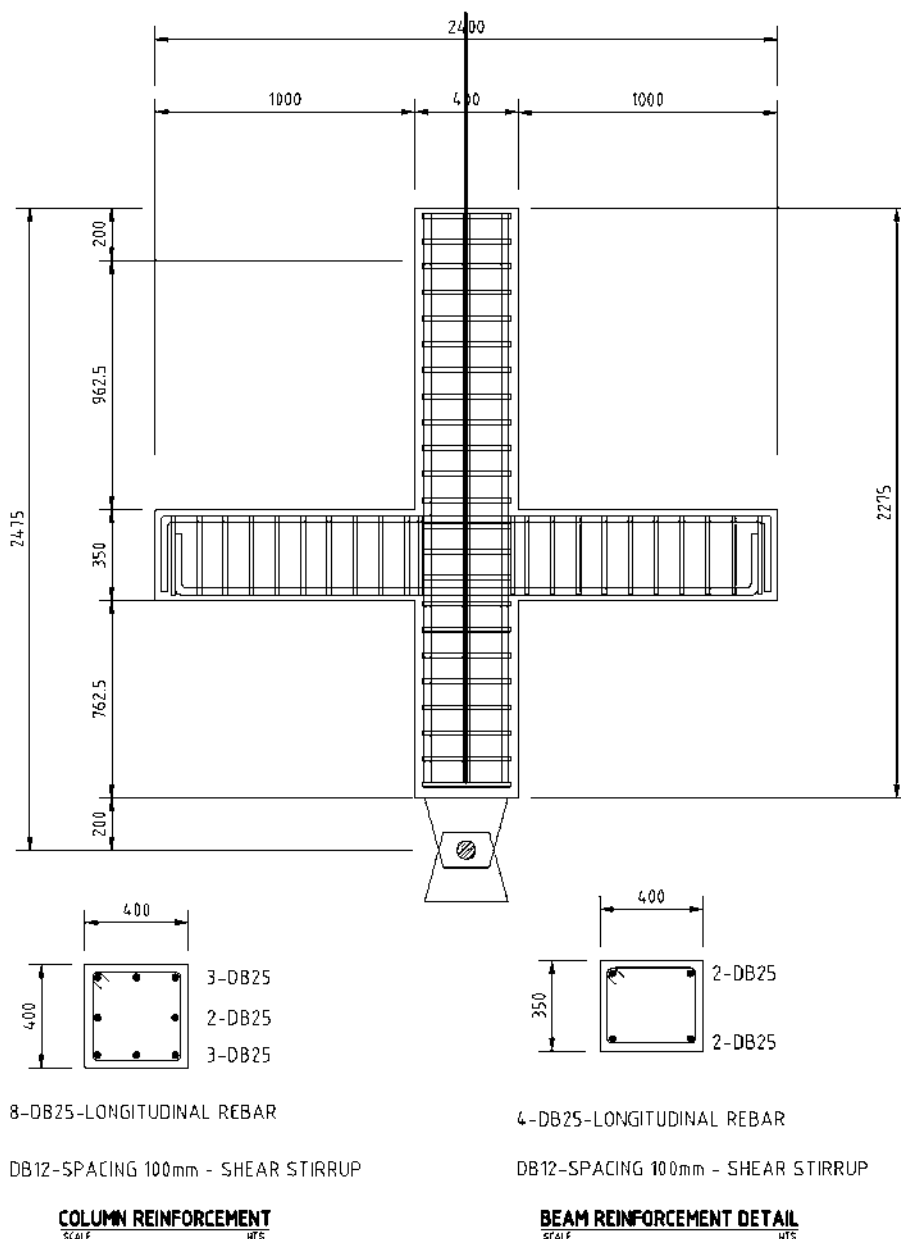


รูปที่ 4-41 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งที่ระดับความสูงที่ 2 ของตัวอย่าง C-DOH

4.4. ส่วนของโครงสร้างที่ 4 : รอยต่อระหว่างเสากับคานขวาง

4.4.1. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ในการเตรียมตัวอย่างรอยต่อเสาและคานขวาง จะทำการก่อสร้างตัวอย่างที่มีขนาดเท่าของจริงในลักษณะเป็นรูปกากบาท โดยที่เสามีขนาดหน้าตัดเสาเท่ากับ 40 เซนติเมตร x 40 เซนติเมตร ส่วนคานมีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 40 เซนติเมตร x 35 เซนติเมตร โดยในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของเสาและคานขวาง ตัวอย่างทดสอบจะมีขนาดครึ่งหนึ่งของความยาวคานขวาง และครึ่งหนึ่งของความสูงเสา ที่บริเวณปลายด้านบนและปลายด้านล่างของตัวอย่างจะใช้ข้อต่อแบบหมุน เพื่อจำลองจุดดัดกลับซึ่งมีค่าแรงดัดเป็นศูนย์ เหล็กเสริมที่นำมาใช้เป็นชนิด SD40 ตาม มอก. โดยมีรายละเอียดเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 4-42 และ รูปที่ 4-43

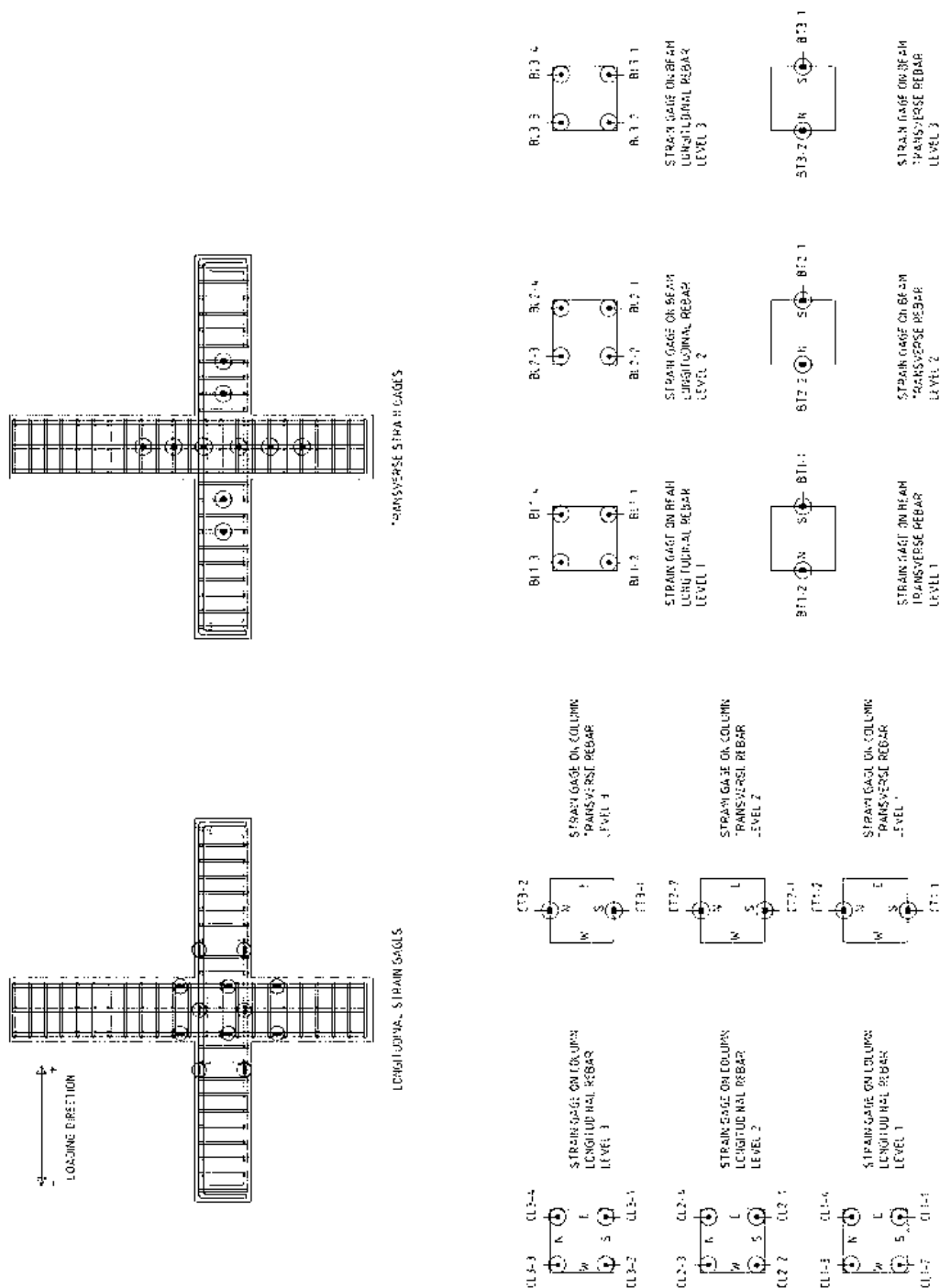


รูปที่ 4-42 รายละเอียดชิ้นงาน และการเสริมเหล็ก



รูปที่ 4-43 การเสริมเหล็กของชิ้นงาน

การติดตั้งเกจวัดความเครียด (Strain Gages) ในโครงสร้างเสา จะติดตั้งบนผิวเหล็กยื่นจำนวน 3 แถวๆ ละ 4 ตัว และติดตั้งบนเหล็กปลอกจำนวน 5 แถวๆ ละ 2 ตัว ส่วนในโครงสร้างคานขวาง จะติดตั้งบนผิวเหล็กตามยาวจำนวน 3 ตำแหน่งๆ ละ 4 ตัว และติดตั้งบนผิวเหล็กปลอกจำนวน 4 แถวๆ ละ 2 ตัว รวมจำนวนเกจวัดความเครียดทั้งสิ้น 42 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 4-44



รูปที่ 4-44 การตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริม และหลักปลอก



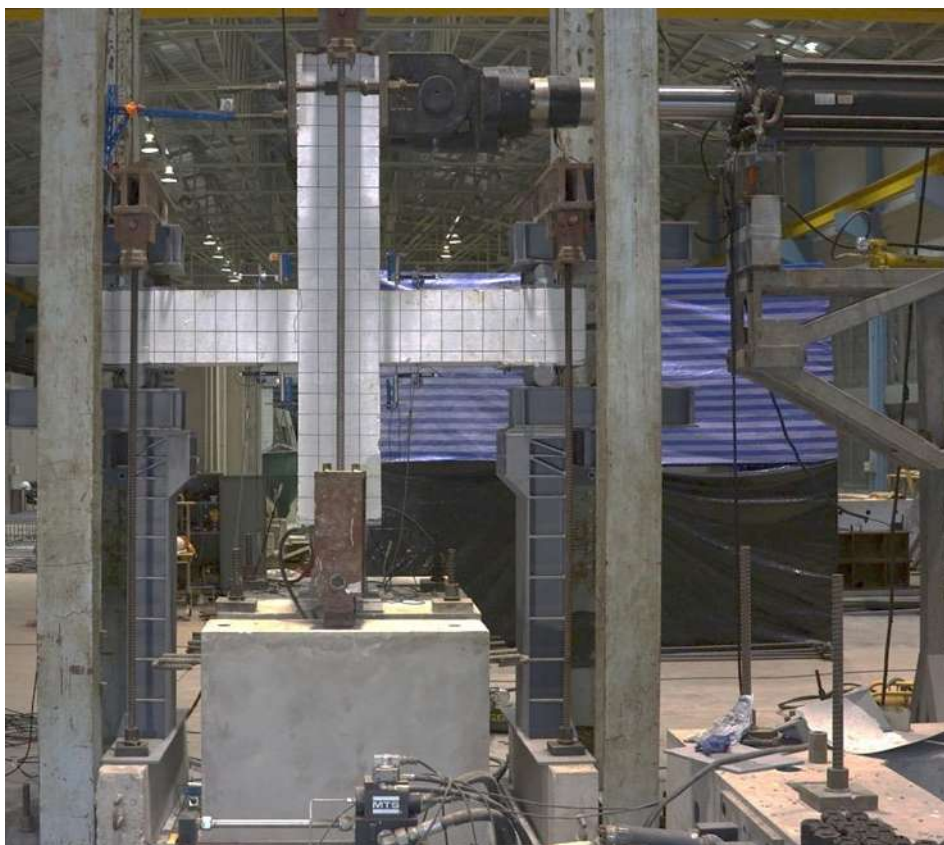
รูปที่ 4-45 การติดตั้งเกจวัดความเครียดในชิ้นงาน

ในขั้นตอนการเทคอนกรีต จะทำแบบหล่อชิ้นงานวางในแนวราบกับพื้น และหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะทำการถอดไม้แบบ และบ่มคอนกรีตจนกำลังของคอนกรีตมีค่าตามที่ระบุ



รูปที่ 4-46 ชิ้นตัวอย่างรอยต่อเสาและคานขวาง ขณะทำการเทคอนกรีต

ในการทดสอบรอยต่อเสาและคานขวาง จะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดระยะการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้าจำนวน 12 ชุด ณ จุดต่างๆ เพื่อใช้คำนวณค่าความโค้งของเสา และเพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆจากการทดสอบ การทดสอบได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการทดสอบโครงสร้างจริง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ก่อนทำการทดสอบ จะติดตั้งผนังรับแรงโดยวางแผ่นคอนกรีตซ้อนกันขึ้นไป และยึดแผ่นคอนกรีตให้เข้ากับพื้นห้องปฏิบัติการด้วยแท่งเหล็กอัดแรง จากนั้นทำการติดตั้งโครงให้แรงในแนวแกนเครื่องให้แรง และตัวรองรับเครื่องให้แรง



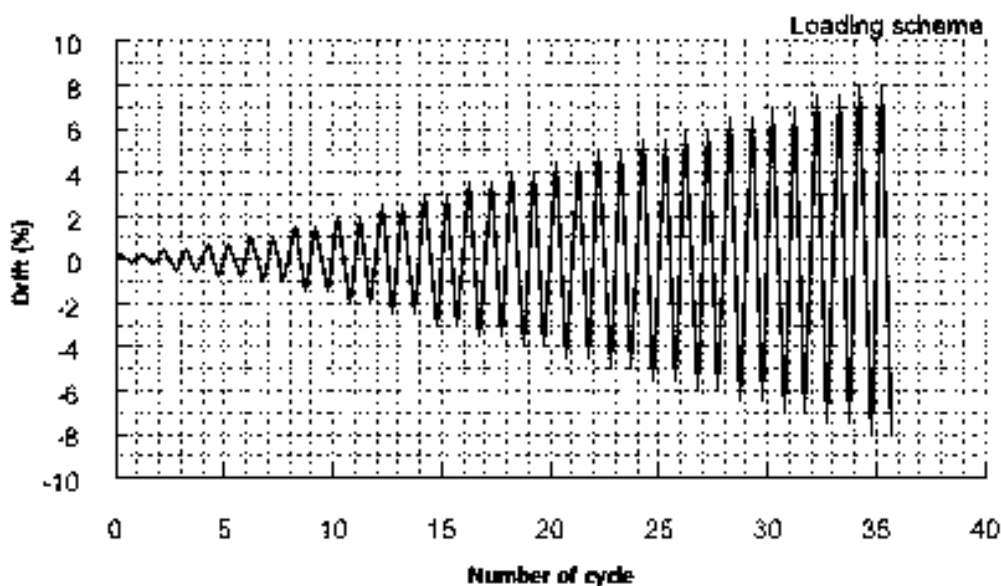
รูปที่ 4-47 ตัวอย่างการจัดวางอุปกรณ์สำหรับทดสอบเสา

ในการทดสอบแรงแผ่นดินไหวกับตัวอย่างเสานั้น จะใช้เครื่องให้แรง (Hydraulic Actuator) ให้แรงกระทำกับเสาทางด้านข้างแบบควบคุมการเคลื่อนที่ และใช้เหล็กเส้นอัดแรงให้แรงในแนวแกน ทำการตรวจสอบตำแหน่งการให้แรงให้อยู่ในแนวกึ่งกลางของตัวอย่างเสา และปรับระดับที่ผิวบนหัวเสาให้เรียบเพื่อให้อุปกรณ์ให้แรงในแนวตั้งสามารถถ่ายแรงลงได้เต็มพื้นที่หน้าตัดเสา ก่อนดำเนินการทดสอบชิ้นส่วนโครงสร้างในห้องปฏิบัติการ จะใช้เครื่องวัดแรง (Load Cell) ในการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือให้แรงที่ใช้ทดสอบชิ้นส่วนโครงสร้าง ทั้งนี้เพื่อผลการตรวจวัดพฤติกรรมด้านต่างๆ มีความแม่นยำ สามารถนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์โดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ ระหว่างการทดสอบจะทำการบันทึกผลตอบสนอง (Responses) ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดประเภทต่างๆที่ได้ติดตั้งบนตัวอย่างเสาเข้าสู่เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ที่ได้ต่อเข้ากับ เครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า เกจวัดความเครียดชนิดที่ใช้ในการวัดความเครียดบนเหล็กเสริม นอกจากนี้จะทำการบันทึกแรงที่กระทำทางด้านข้าง และระยะการเคลื่อนที่ของหัวเสาจากตัวควบคุมเครื่องให้แรงด้วย



รูปที่ 4-48 อุปกรณ์สำหรับบันทึกผลการทดสอบ

สำหรับรูปแบบการให้แรงทางด้านข้าง จะอ้างอิงจาก ข้อกำหนด FEMA 461 “Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components” ซึ่งการทดสอบตัวอย่างเสาจะเริ่มทำการบันทึกผลจากเครื่องมือตรวจวัด จากนั้นทำการขยับเครื่องให้แรงไปสัมผัสกับเสาเพื่อทำการยึดหัวเสาและเริ่มให้แรงอัดตามแนวแกนและรักษาระดับแรงอัดให้คงที่ตลอดการทดสอบ จากนั้นจะให้แรงทางด้านข้างแบบวัฏจักร (Cyclic Loading) ที่หัวเสาแบบการควบคุมการเคลื่อนที่ (Displacement Control) ดังแสดงในรูปที่ 4-49 โดยในแต่ละรอบการทดสอบจะทำการหยุดเครื่องให้แรงเพื่อจดบันทึกข้อมูลและรายละเอียดต่างๆที่สังเกตได้ระหว่างการทดสอบ อาทิเช่น การบันทึกรอยแตกร้าว โดยการทดสอบจะกระทำจนกว่าตัวอย่างเสาจะเกิดการวิบัติ หรือเครื่องให้แรงกระทำทางด้านข้างไม่สามารถทดสอบต่อไปได้



รูปที่ 4-49 ตัวอย่างรูปแบบการให้แรงกระทำ (Loading Scheme)

ตารางที่ 4-8 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำหรับก่อสร้างรอยต่อเสาและคานขวาง

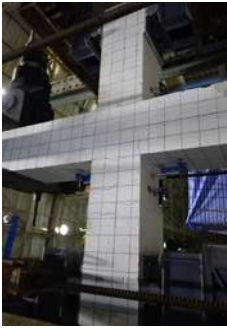
Specimen No.	Day	Area (mm ²)	Crushing Load (kN)	Crushing Strength (Mpa)	Average Strength (MPa)
1	28	23104	877	38.0	41.7
2	28	23712	1035	43.6	
3	28	23716	1032	43.5	

4.4.1.1. พฤติกรรมของรอยต่อเสาและคานที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดสอบ

ตัวอย่างรอยต่อเสาและคาน (BC-DOH) เมื่อรับแรงกระทำทางด้นข้างในช่วงแรกจะเกิดการเสียรูปตามทิศทางแรงกระทำ และเกิดรอยร้าวในส่วนคานบริเวณรอยต่อกับเสา จากนั้นมีการแตกร้าวจากแรงดัดตลอดช่วงความยาวคาน และจุดต่อตรงกลางมีรอยร้าวลักษณะทะแยงมุม จนคอนกรีตบนคานบริเวณจุดต่อเกิดการแตกร้าวเป็นเหตุให้เสาสูญเสียกำลังรับแรงทางด้นข้างนำไปสู่การวิบัติ ซึ่งพฤติกรรมที่อัตราการเคลื่อนตัวต่างๆ อธิบายได้ดังนี้

- เมื่อเริ่มให้แรงกระทำทางด้นข้างไปยังอัตราการเคลื่อนตัว 0.25% ในรอบที่สอง พบว่าเริ่มมีรอยแตกร้าวในแนวตั้งบนคานที่บริเวณรอยต่อเสาและคานด้านทิศตะวันออก
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 0.75 % เกิดรอยแตกร้าวในแนวตั้งบนคานที่บริเวณรอยต่อเสาและคานด้านทิศตะวันตก รวมถึงคานด้านทิศตะวันออกมีรอยแตกร้าวในแนวตั้งบนคานที่บริเวณระหว่างรอยต่อเสาและคานด้านทิศตะวันออกที่ระยะ 20 และ 40 ซม.
- เมื่อให้แรงไปถึงอัตราการเคลื่อนตัว 2.0% ที่จุดกึ่งกลางเสาและคานเกิดรอยแตกร้าวที่มีลักษณะเอียง
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 3.5% บริเวณรอยต่อเสาและคานด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเริ่มมีการกะเทาะออกของคอนกรีตทั้งด้านบนและด้านล่าง
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 5.5% คอนกรีตที่โคนคานด้านทิศตะวันออกกะเทาะมากขึ้น และที่มุมและเกิดรอยร้าวขนาดใหญ่ลักษณะเอียงจากจุดต่อเสาและคาน โดยความสามารถในการรับแรงกระทำทางด้นข้างได้ลดลงเหลือต่ำกว่า 80% ของแรงกระทำสูงสุด เป็นเหตุให้เสาเกิดการวิบัติ

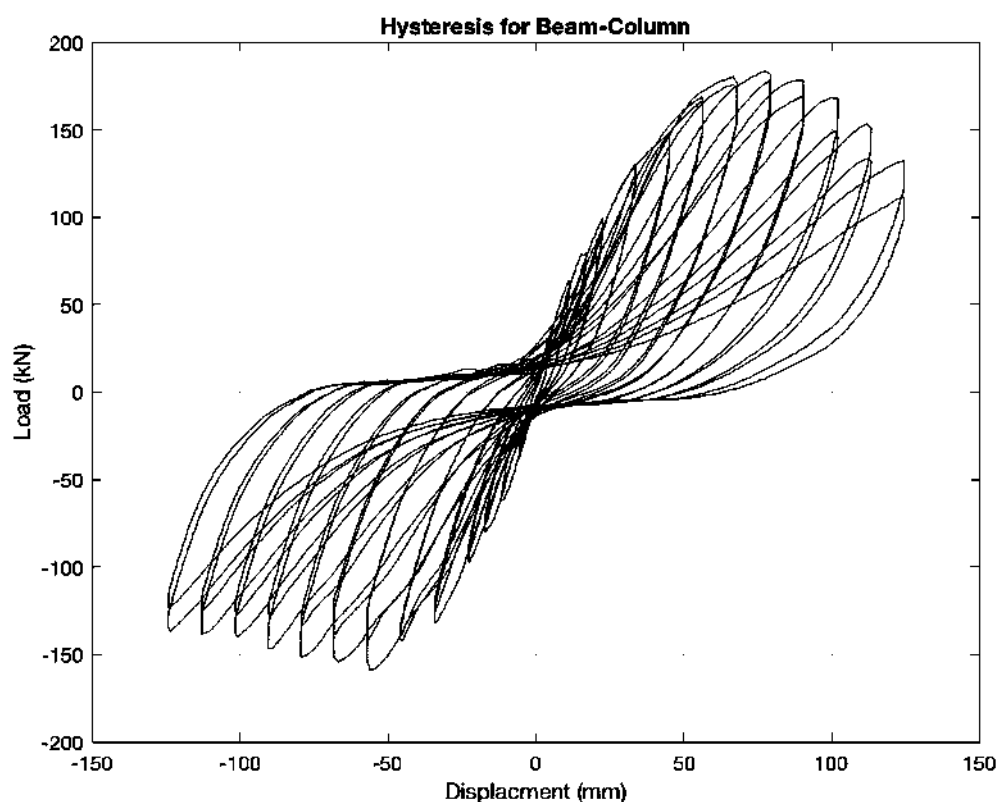
ตารางที่ 4-9 ลักษณะความเสียหายระหว่างการทดสอบและการวัดหลังการทดสอบของตัวอย่างรอยต่อเสาและคาน (BC-DOH)

(% Drift)	0.75%	0.75%	2.0%	3.5%	5.5%
รูปภาพ ความ เสียหาย					
ลักษณะ ความ เสียหาย	เริ่มมีรอยแตกกว้างในแนวตั้งบน คานที่บริเวณรอยต่อเสาและคาน ด้านทิศตะวันออก	เริ่มมีรอยแตกกว้างในแนวตั้งบน คานที่บริเวณรอยต่อเสาและคาน ด้านทิศตะวันออก ที่ระยะ 20, 40 ซม.	จุดกึ่งกลางเสาและคานเกิดรอย แตกกว้างที่มีลักษณะเฉียง	บริเวณรอยต่อเสาและคานด้าน ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เริ่มมีการกระเทาะออกจาก คอนกรีตทั้งด้านบนและ ด้านล่าง	คอนกรีตที่โคนคานดี ทิศ ตะวันออกกระเทาะมากขึ้น และ ที่มุมและเกิดรอยร้าวขนาด ใหญ่ลักษณะเฉียงจากจุดต่อเสา และคาน

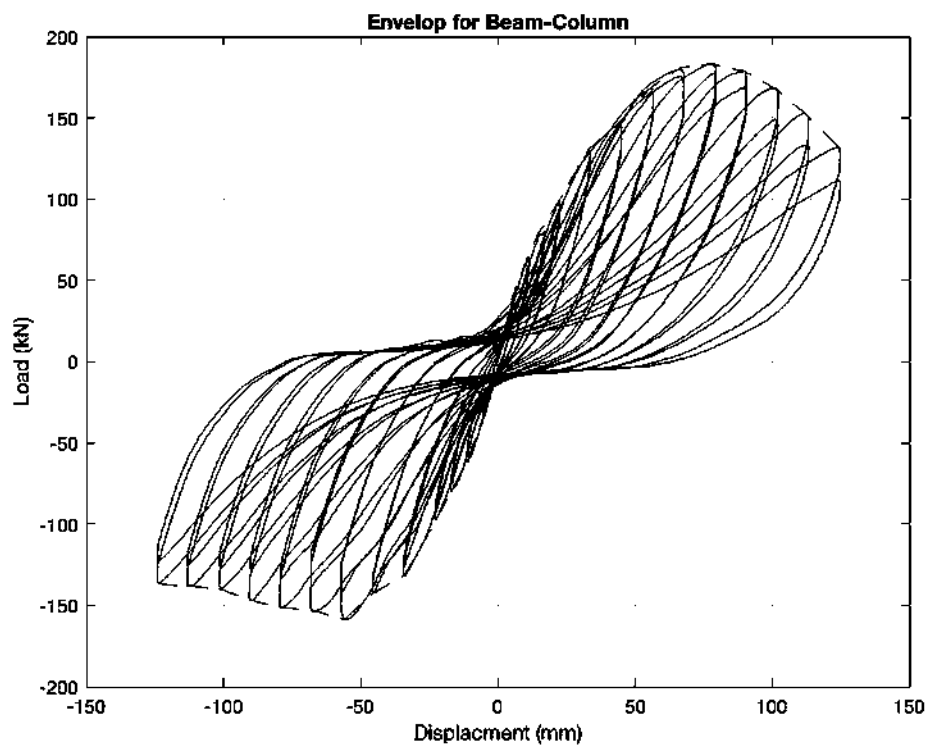
4.4.1.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้นข้างกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้าง

ข้อมูลการทดสอบของตัวอย่างรอยต่อเสาและคานสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้นข้างกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้างได้ โดยระยะการเคลื่อนที่ทางด้นข้างนั้นได้รับการปรับแก้เนื่องจากการเลื่อนไถลของฐานราก รวมถึงการเลื่อนไถลของผนังรับแรง โดยกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของตัวอย่างรอยต่อเสาและคานที่อัตราส่วนการเคลื่อนตัวต่างๆ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้นข้างกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้างตลอดการทดสอบของตัวอย่างรอยต่อเสาและคาน (BC-DOH) สามารถหาเส้นโค้งห่อหุ้ม (envelop curve) เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ค่าความเหนียว ค่าการสลายพลังงาน และค่าความโค้ง ได้

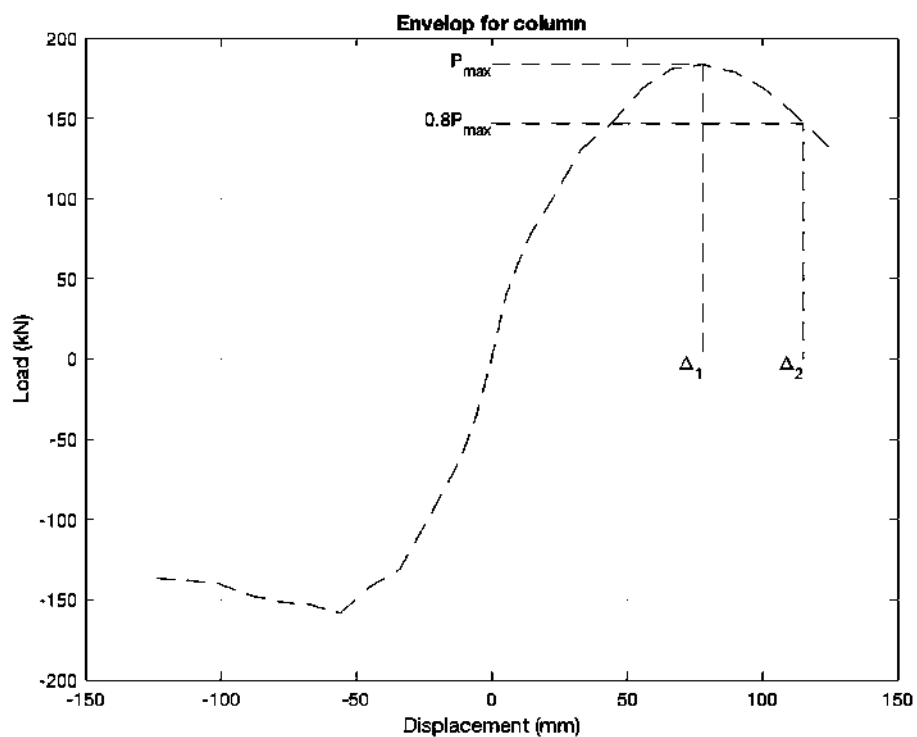
โดยแรงกระทำทางด้นข้างและการเคลื่อนที่ทางด้นข้างนั้นถูกกำหนดด้วยหลักการดังนี้ เมื่อแรงทางด้นข้างที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบเคลื่อนตัวไปยังด้านที่อยู่ตรงข้ามกับเครื่องให้แรงทางด้นข้าง ซึ่งจะเกิดแรงอัดในเครื่องให้แรง จะแสดงผลของแรงและการเคลื่อนตัวเป็นเครื่องหมาย + และเมื่อแรงทางด้นข้างที่ทำให้ตัวอย่างทดสอบเคลื่อนตัวไปยังด้านเดียวกับเครื่องให้แรงทางด้นข้าง ซึ่งจะเกิดแรงดึงในเครื่องให้แรง จะแสดงผลของแรงและการเคลื่อนตัวเป็นเครื่องหมาย -



รูปที่ 4-50 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ทางด้นข้างของตัวอย่าง BC-DOH



รูปที่ 4-51 เส้นโค้งขอบนอก (envelop curve) ตัวอย่าง BC-DOH



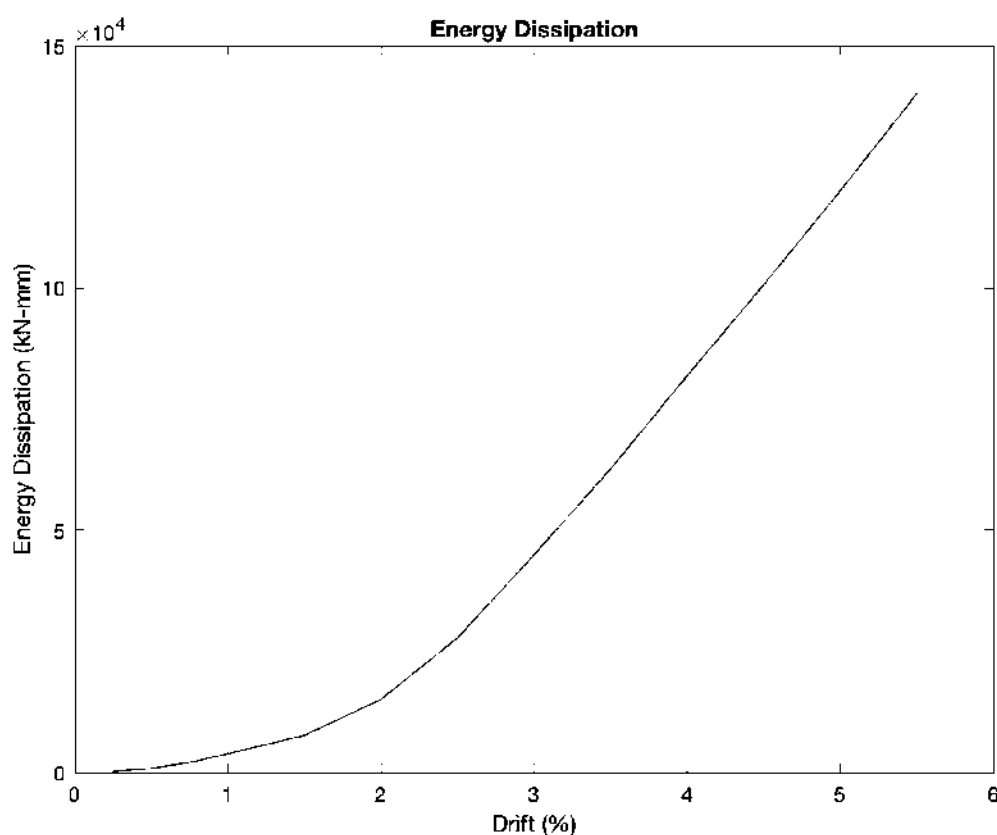
รูปที่ 4-52 การหาคุณสมบัติจากเส้นโค้งขอบนอก (envelop curve) ตัวอย่าง BC-DOH

ตารางที่ 4-10 สรุปผลการทดสอบตัวอย่าง BC-DOH

Specimen	P_{max} (kN)	Disp@ P_{max} (mm)	$0.8 P_{max}$ (ton)	Displ@ $0.8 P_{max}$ (mm)	Drift@ $0.8 P_{max}$ (%)
BC-DOH	183.35	77.98	146.68	115.00	5.05

4.4.1.3. การสลายพลังงานของรอยต่อเสาและคาน (BC-DOH)

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนที่ทางด้านข้างนอกจากจะสามารถใช้หาค่าความเหนียวและแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของตัวอย่างรอยต่อเสาและคานด้วยเส้นโค้งฮิสเทรีซิสแล้ว ยังสามารถใช้หาค่าการสลายพลังงาน ซึ่งเป็นค่าที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรองรับแรงจากแผ่นดินไหว เมื่อเกิดแผ่นดินไหวขึ้น พลังงานจำนวนมากจะถูกถ่ายให้กับโครงสร้างในรูปแบบการสั่นสะเทือน ถ้าโครงสร้างสามารถสลายพลังงานได้มาก จะหมายถึง โครงสร้างนั้นสามารถเปลี่ยนพลังงานจากการสั่นไหวมาเป็นความเสียหายในแบบการเสียรูปของวัสดุ



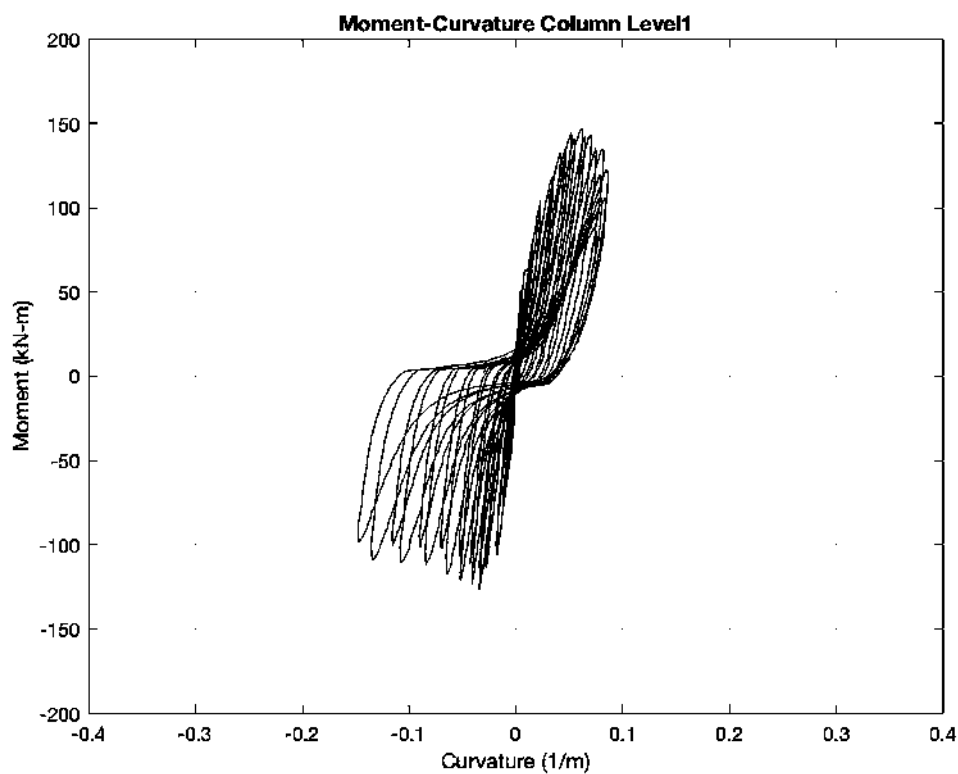
รูปที่ 4-53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายพลังงานกับอัตราส่วนการเคลื่อนที่

ตารางที่ 4-11 ค่าพลังงานในแต่ละรอบการทดสอบ

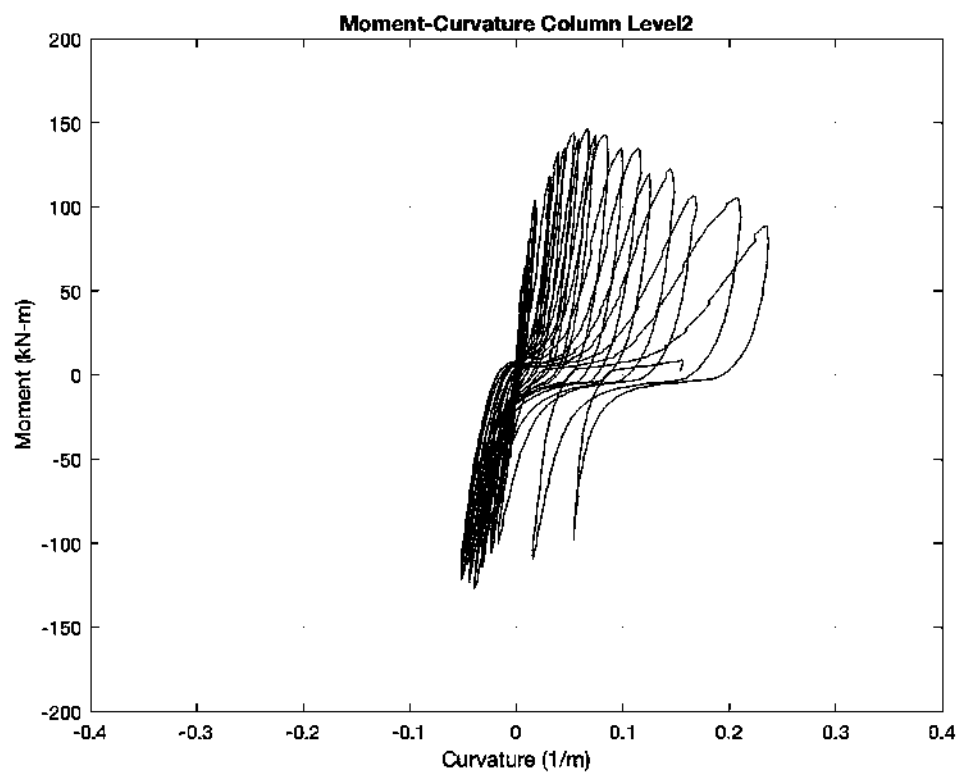
อัตรา การเคลื่อนตัว	ค่าการสลายพลังงาน (กิโลนิวตัน-มม.)	
	BC-DOH	
	แต่ละรอบ	สะสม
0.0	0	0
0.25	182	182
0.5	825	643
0.75	2050	1225
1.0	3845	1795
1.5	7647	3802
2.0	15078	7431
2.5	27779	12701
3.0	44974	17195
3.5	62687	17713
4.0	81956	19269
4.5	100706	18750
5.0	120147	19441
5.5	140193	20046

4.4.1.4. ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้ง

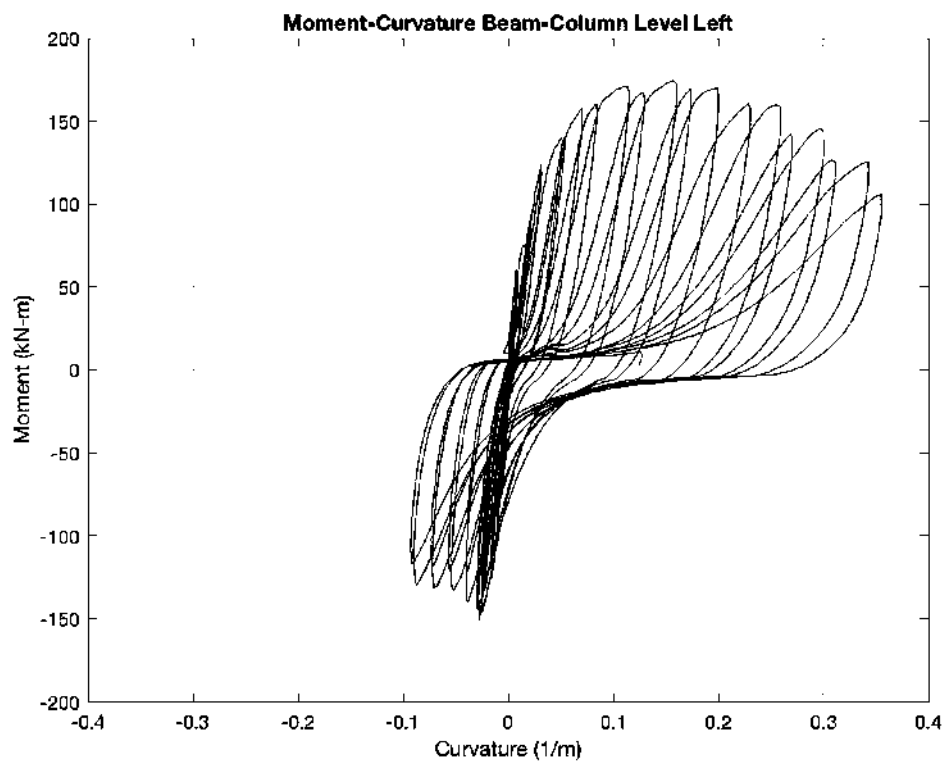
ในการทดสอบได้มีการติดเครื่องมือวัดระยะเคลื่อนที่จำนวน 8 ตัว ซึ่งสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้ง (Curvature) ดังนี้



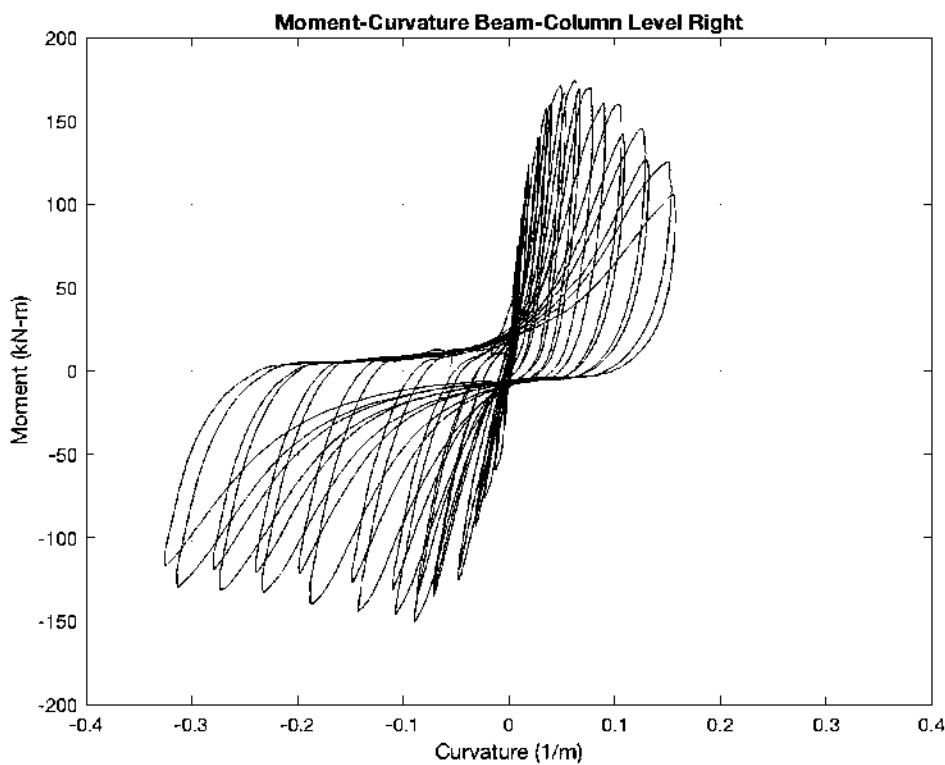
รูปที่ 4-54 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งที่เสาระดับที่ 1 ของตัวอย่าง BC-DOH



รูปที่ 4-55 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งที่เสาระดับที่ 2 ของตัวอย่าง BC-DOH



รูปที่ 4-56 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งที่คานด้านทิศตะวันตก ของตัวอย่าง BC-DOH

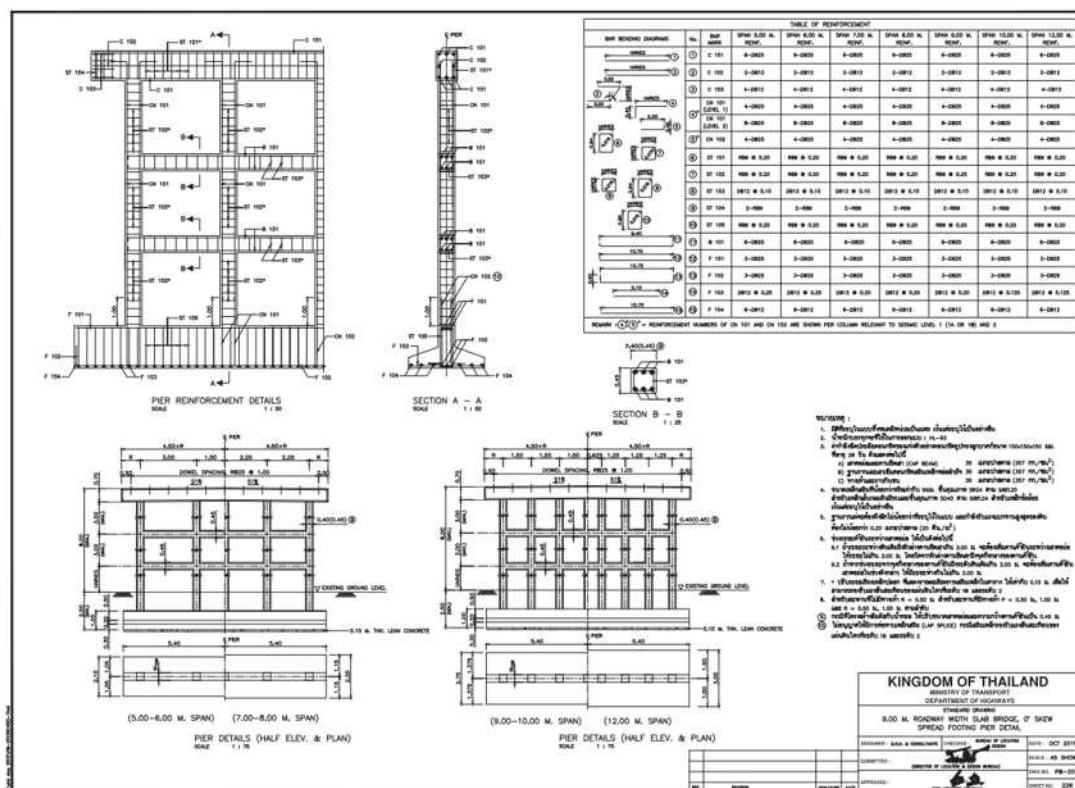


รูปที่ 4-57 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งที่คานด้านทิศตะวันออก ของตัวอย่าง BC-DOH

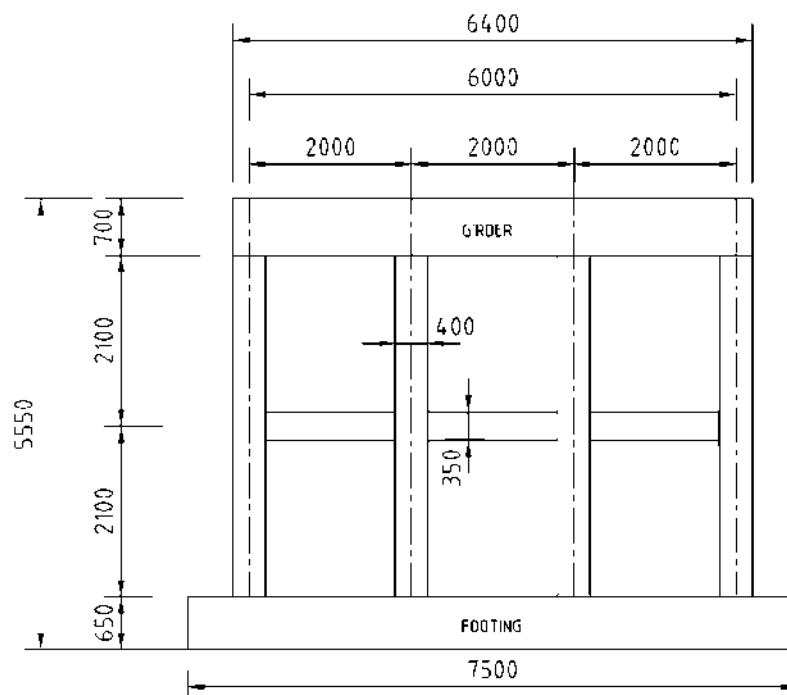
4.5. การทดสอบตอม่อสะพาน

4.5.1. ตอม่อสะพานที่พิจารณา

ตอม่อสะพานที่พิจารณาเพื่อใช้ในการทดสอบนั้น มีต้นแบบมาจากแบบมาตรฐานสะพานสำหรับตอม่อสะพานที่มีช่วงความยาว (Span) 6 เมตร และมีความกว้างของถนนเท่ากับ 10 เมตร ซึ่งแบบก่อสร้างชิ้นตัวอย่างทดสอบตอม่อสะพาน เป็นแบบที่ได้รับการปรับปรุงมาจากแบบมาตรฐานฉบับปรับปรุงของกรมทางหลวงปี 2015 เลขแบบมาตรฐานที่ PB-204 ดังแสดงในรูปที่ 4-58 โดยที่ตอม่อสะพานจะประกอบไปด้วย เสาจำนวน 4 ต้น และมีการค้ำยันระหว่างเสาตอม่อในบริเวณช่วงกึ่งกลางของความสูงเสา เสาทั้ง 4 ต้นมีขนาด 0.4 เมตร x 0.4 เมตร คานค้ำยันมีขนาด 0.35 เมตร x 0.4 เมตร และคานรัดหัวเสา (Capbeam) มีขนาด 0.5 เมตร x 0.7 เมตร โดยที่ขนาดโครงสร้างสะพานมีมิติต่างๆ ตามที่แสดงในรูปที่ 4-59

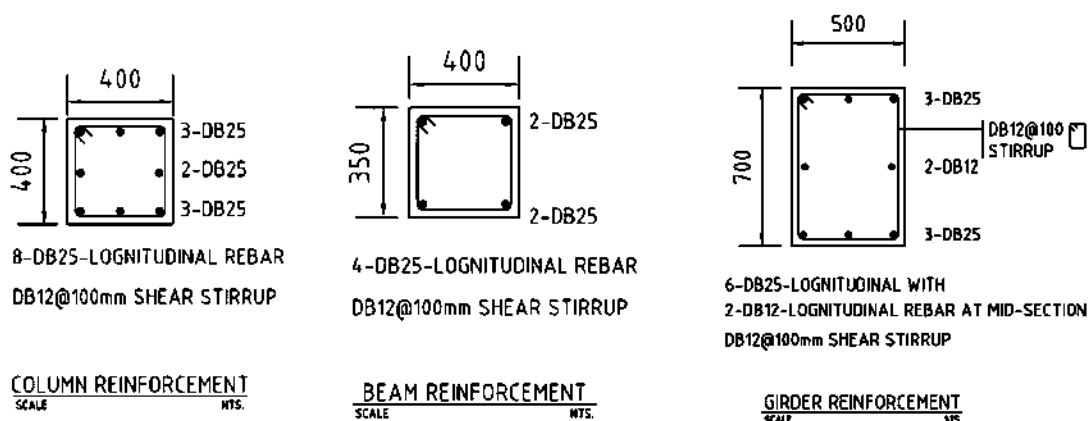


รูปที่ 4-58 แบบมาตรฐานกรมทางหลวงฉบับปรับปรุง 2015 เลขที่ PB-204

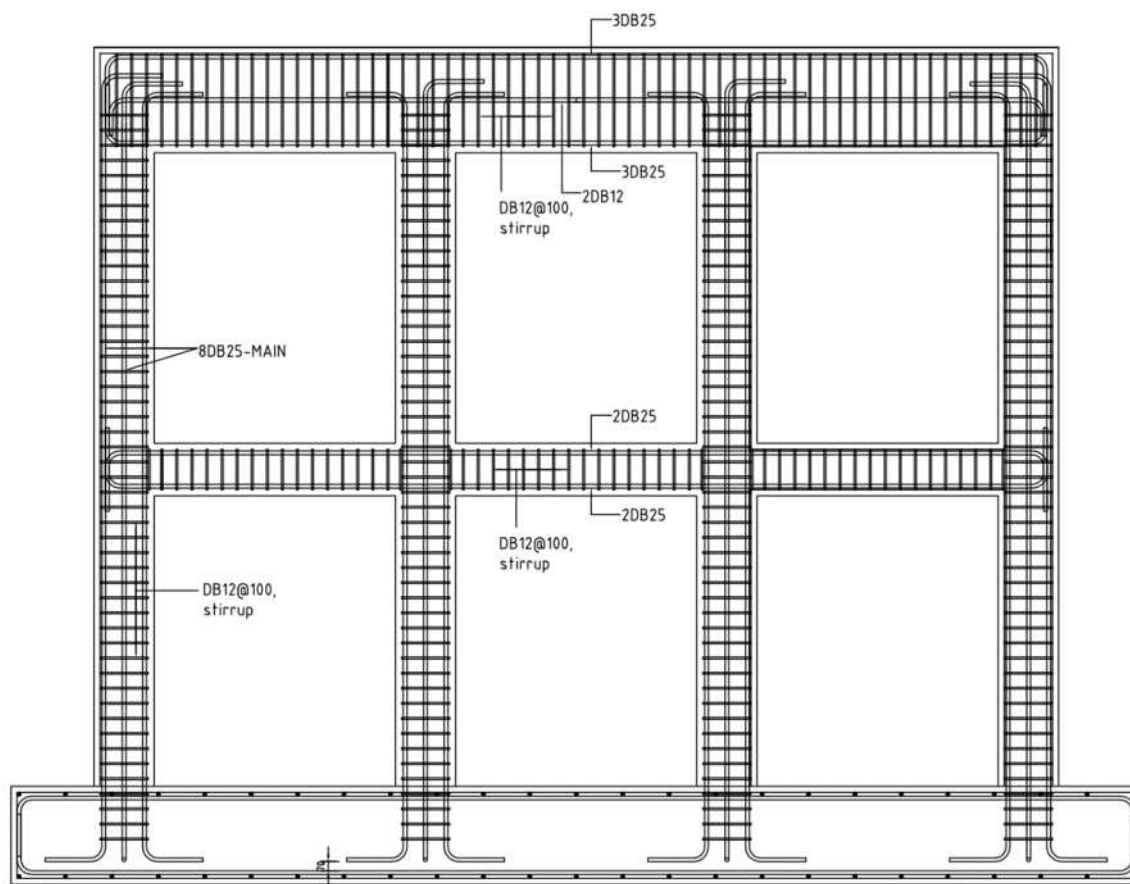


รูปที่ 4-59 แบบและมิติต่างๆของตอม่อสะพานที่พิจารณา

สำหรับรายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา และคานของโครงสร้างสะพานนั้น เหล็กเสริมทั้งหมดที่ใช้ในการก่อสร้างจะเป็นเหล็กเกรด SD40 ตาม มอก. ทั้งหมด โดยที่เหล็กเสริมตามยาวของทั้ง โครงสร้างเสา และ โครงสร้างคานนั้น จะเป็นเหล็กข้ออ้อยมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 25 มิลลิเมตร ส่วนเหล็กเสริมตามขวางหรือเหล็กปลอกของโครงสร้างเสาและ โครงสร้างคานนั้น จะเป็นเหล็กข้ออ้อยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร โดยรายละเอียดการเสริมเหล็กใน ส่วนโครงสร้างต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4-60 และ รูปที่ 4-61



รูปที่ 4-60 แบบการเสริมเหล็กในชิ้นส่วนโครงสร้างตอม่อสะพาน



รูปที่ 4-61 แบบแสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กภายในตอม่อสะพาน

4.5.2. การเตรียมตัวอย่าง

ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตอม่อสะพานนั้น จะแบ่งการก่อสร้างออกเป็น 3 ช่วง โดยที่ช่วงแรกจะเป็นการหล่อคอนกรีตบริเวณฐานราก ขึ้นต่อมาจะเป็นการหล่อคอนกรีตในส่วนของเสาชั้นที่ 1 ที่ติดกับฐานราก และคานค้ำยันช่วงบริเวณกึ่งกลางเสา และขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการหล่อคอนกรีตในส่วนของเสาชั้นที่ 2 และคานรัดหัวเสา (Cap beam) ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนที่อยู่สูงขึ้นไปจากคานค้ำยัน โดยในขั้นตอนการก่อสร้างนั้น ได้มีการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตให้ได้ตามค่าที่ออกแบบไว้ก่อนเสมอ จึงจะทำการหล่อคอนกรีตในส่วนถัดไป และได้มีการบ่มคอนกรีตตามมาตรฐานเพื่อให้กำลังของคอนกรีตได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยที่ขั้นตอนการเทคอนกรีตในแต่ละส่วนถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4-62 ถึง รูปที่ 4-65



รูปที่ 4-62 ขณะเทคอนกรีตส่วนฐาน



รูปที่ 4-63 ขณะเตรียมการเทคอนกรีตส่วนที่สอง เหนือฐาน



รูปที่ 4-64 ภายหลังการเทคอนกรีตส่วนที่สอง และเตรียมการเทคอนกรีตส่วนบน



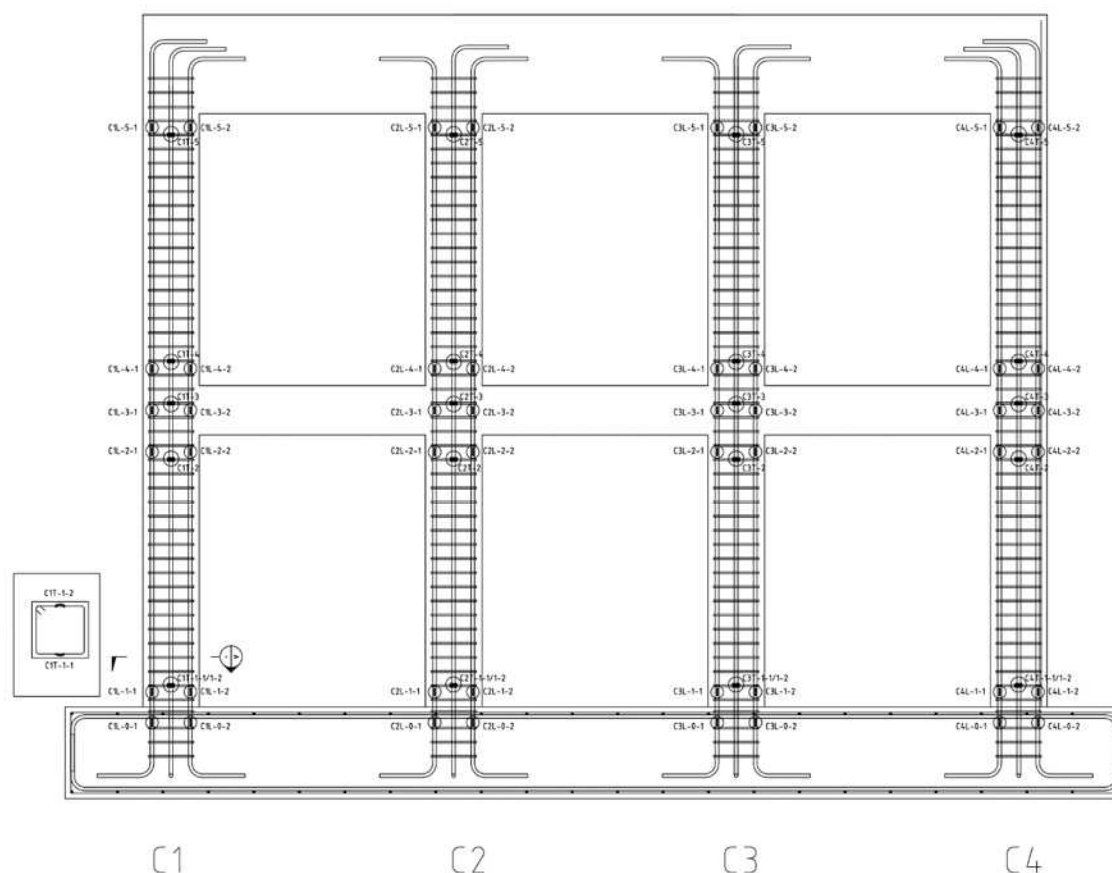
รูปที่ 4-65 ภายหลังการเทคอนกรีตส่วนที่สาม

ตารางที่ 4-12 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างโครงสร้างต่อม่อสะพาน

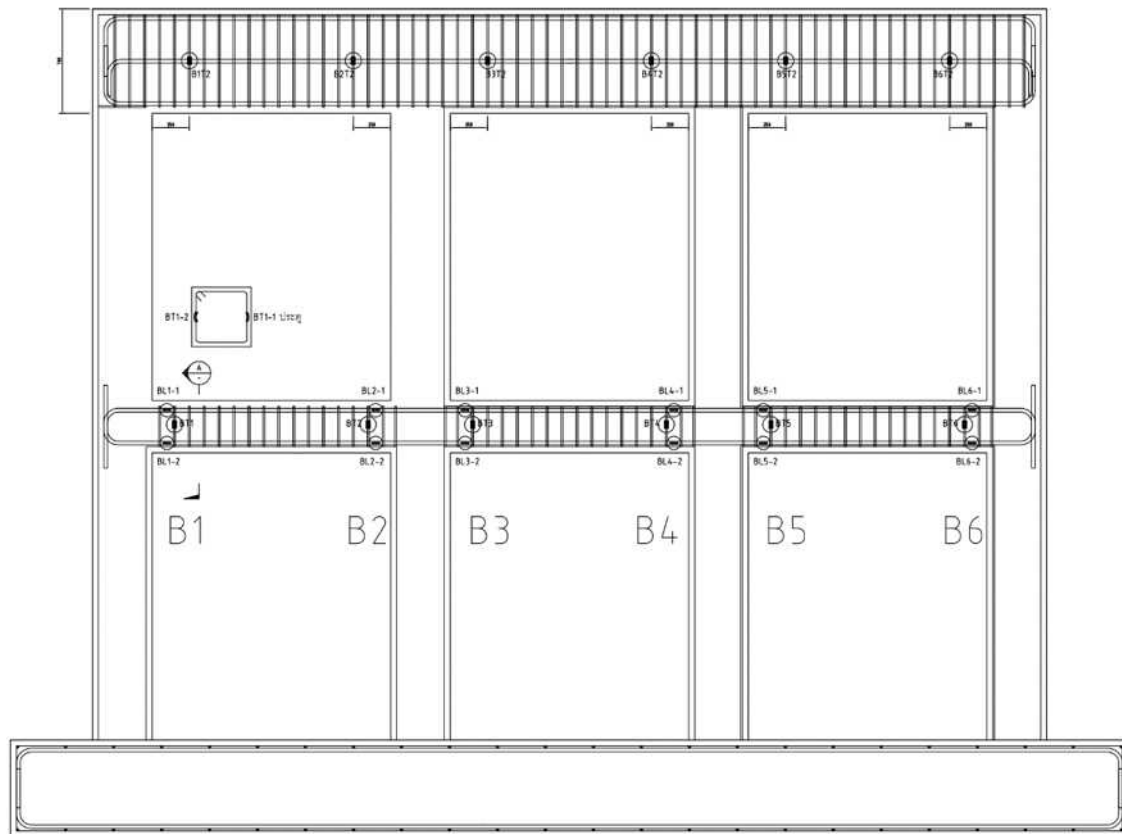
Specimen no.	Day	Area (mm ²)	Crushing load (kN)	Crushing strength (MPa)	Average Strength (MPa)
1	28	19359	767	39.6	42.5
2	28	19113	856	44.8	
3	28	18627	805	43.2	

4.5.3. การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด

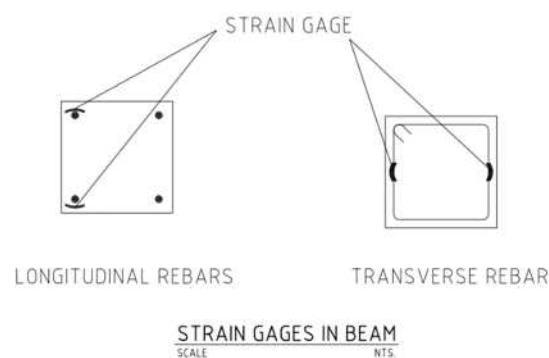
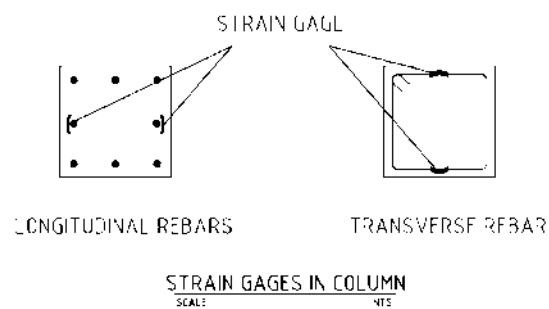
ในการติดตั้งเกจวัดความเครียดนั้น จะทำการติดตั้งจำนวนทั้งหมด 124 จุด โดยแบ่งเป็น ติดตั้งในเหล็กเสริมตามยาวของเสาทั้งหมดจำนวน 48 จุด ติดตั้งในเหล็กปลอกของเสาจำนวน 40 จุด ติดตั้งในเหล็กเสริมตามยาวของคานค้ำยันจำนวน 12 จุด ติดตั้งในเหล็กปลอกของคานค้ำยันจำนวน 12 จุด และติดตั้งในเหล็กปลอกของคานรัดหัวเสาจำนวน 12 จุด โดยที่ตำแหน่งในการติดตั้งเกจวัดความเครียดนั้นได้แสดงในรูปที่ 4-66 ถึงรูปที่ 4-69



รูปที่ 4-66 ตำแหน่งการติดตั้งเกจวัดความเครียดในเสา



รูปที่ 4-67 ตำแหน่งการติดตั้งเกจวัดความเครียดในคาน



รูปที่ 4-68 ตำแหน่งการติดตั้งเกจวัดความเครียดในชิ้นโครงสร้างเสาและคาน



รูปที่ 4-69 การติดเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริม

ในส่วนของการติดตั้งเครื่องมือวัดระยะการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า ตามจุดต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความโค้งงอของเสาและคาน รวมถึงใช้ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆจากการทดสอบนั้น จะใช้เครื่องมือวัดระยะการเคลื่อนที่ทั้งหมดจำนวน 28 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 4-70

○	○
○	○
○	○
○	○

○	○
○	○
○	○
○	○

○	○
○	○
○	○
○	○

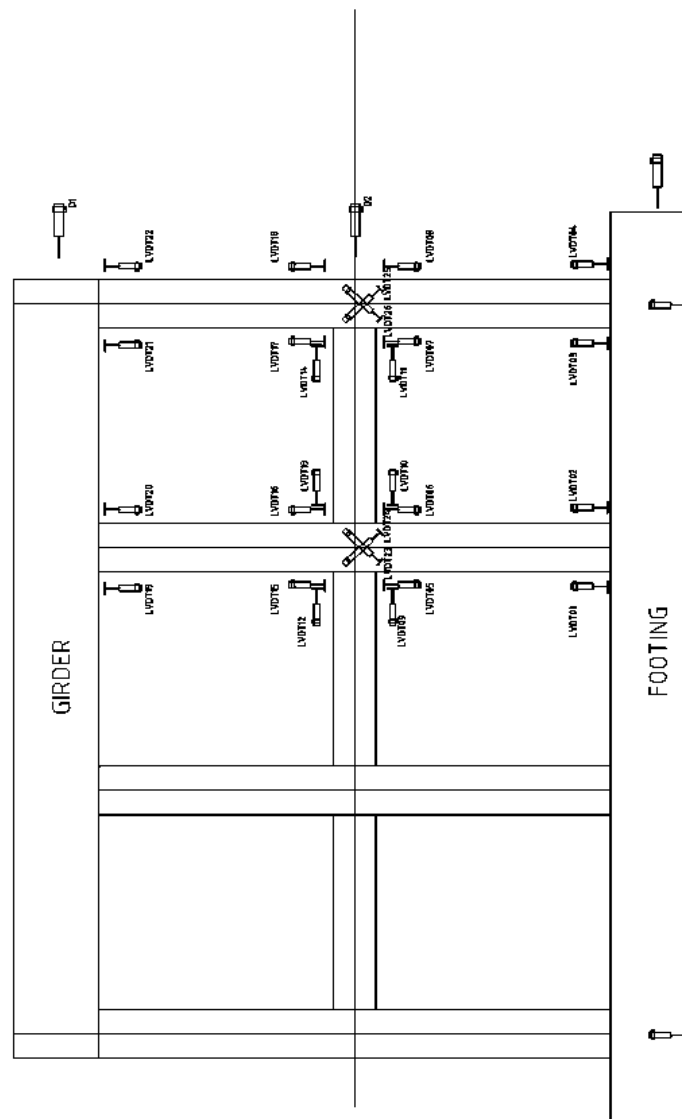
○	○
○	○
○	○
○	○

○	○
○	○
○	○
○	○

○	○
○	○
○	○
○	○

○	○
○	○
○	○
○	○

wall

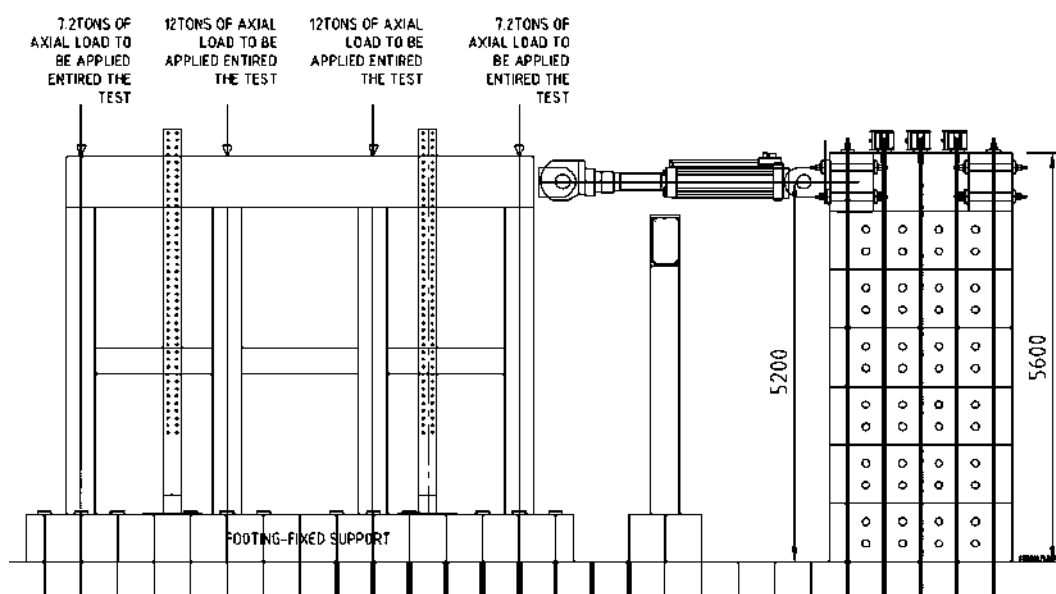
รูปที่ 4-70 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนที่บนโครงสร้างสะพาน



รูปที่ 4-71 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนที่บนตอม่อสะพาน

4.5.4. การติดตั้งตอม่อในการทดสอบ

ในการทดสอบการรับแรงแผ่นดินไหวของตอม่อสะพานนั้น จะใช้เครื่องให้แรง(Hydraulic Actuator) จำนวน 2 ตัว ที่ยึดติดเข้ากับผนังรับแรง และกำหนดให้เครื่องให้แรงทั้งสองตัวออกแรงพร้อมกันโดยใช้แผ่นเหล็กขนาดใหญ่ที่ติดตั้งไว้ที่ปลายคานทั้งสองด้านเป็นตัวถ่ายแรงระหว่างเครื่องให้แรงกับตอม่อสะพาน โดยที่จุดที่ทำการให้แรงจะเป็นบริเวณกึ่งกลางของคานรัดหัวเสา (Cap beam) ซึ่งมีความสูงจากพื้นห้องทดสอบเท่ากับ 5.2 เมตร และยึดฐานของตอม่อสะพานด้วยเหล็กเส้นอัดแรงจำนวน 32 เส้น เข้ากับพื้นของห้องทดสอบเพื่อให้ฐานของตอม่อสะพานมีพฤติกรรมแบบยึดแน่น (Fixed support) ป้องกันการลื่นไถล และการพลิกคว่ำ ในระหว่างการทดสอบจะทำการให้แรงกด 7.2 ตัน ที่หัวเสาต้นริมทั้งสองต้น และให้แรงกด 12 ตัน ที่หัวเสาต้นกลางทั้งสองต้น เพื่อจำลองแรงกดที่เกิดจากน้ำหนักคงที่ (Dead load) ของแผ่นพื้นสะพาน โดยที่รูปแบบการทดสอบและติดตั้งเครื่องมือต่างๆให้ห้องทดสอบได้แสดงดังในรูปที่ 4-72 และ รูปที่ 4-73

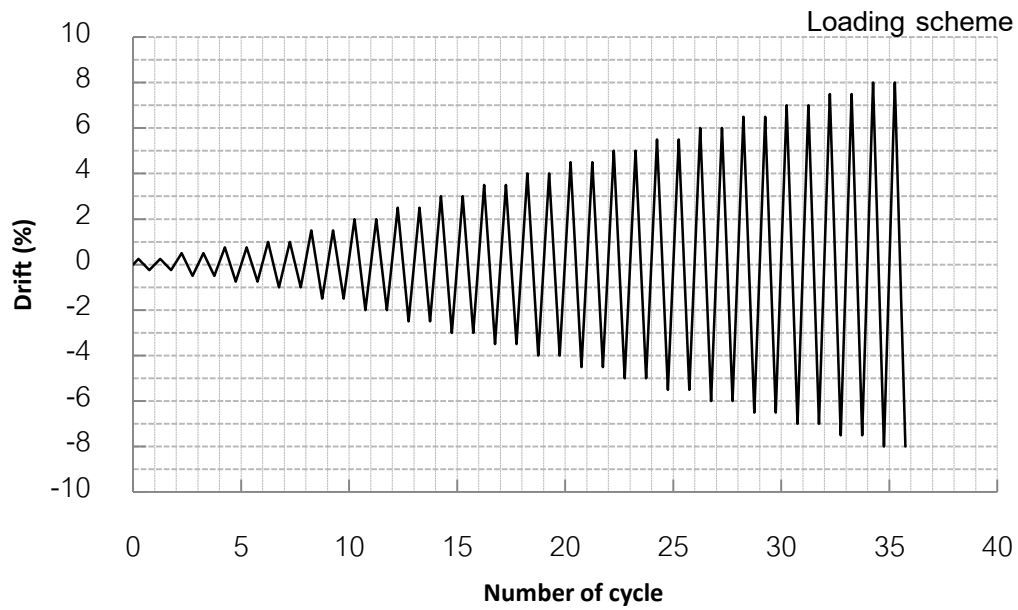


รูปที่ 4-72 ตำแหน่งการติดตั้งโครงสร้างเพื่อทำการทดสอบ

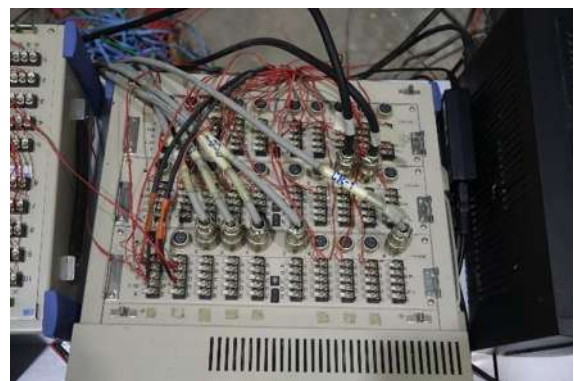
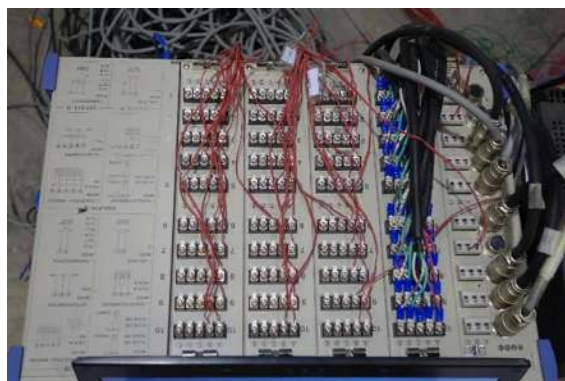


รูปที่ 4-73 การติดตั้งโครงสร้างสะพานเพื่อทำการทดสอบ

รูปแบบการให้แรงทางด้านข้าง จะอ้างอิงจากข้อกำหนด FEMA461 “Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structure and Nonstructural Components” ดังเช่นที่ใช้ในการทดสอบใน “ส่วนของโครงสร้าง” ที่ได้นำเสนอไปก่อนหน้านี้แล้ว ในระหว่างการทดสอบนั้นได้มีการบันทึกผลการตอบสนอง (Response) ของโครงสร้างที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัด ทั้งเครื่องมือตรวจวัดการเคลื่อนที่แบบไฟฟ้า และเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริม ตลอดการทดสอบ ซึ่งได้ใช้เครื่องมือบันทึกข้อมูล (Data Logger) ทั้งหมดจำนวน 4 เครื่อง และใช้คอมพิวเตอร์ต่อพ่วงสำหรับควบคุมเครื่องมือบันทึกข้อมูลจำนวนทั้งหมด 3 เครื่อง ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการบันทึกผลนี้ จะนำไปประมวลผลเพื่ออธิบายพฤติกรรมของตอม่อสะพานภายใต้แรงแผ่นดินไหวต่อไป สำหรับรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือบันทึกข้อมูล (Data Logger) ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4-75



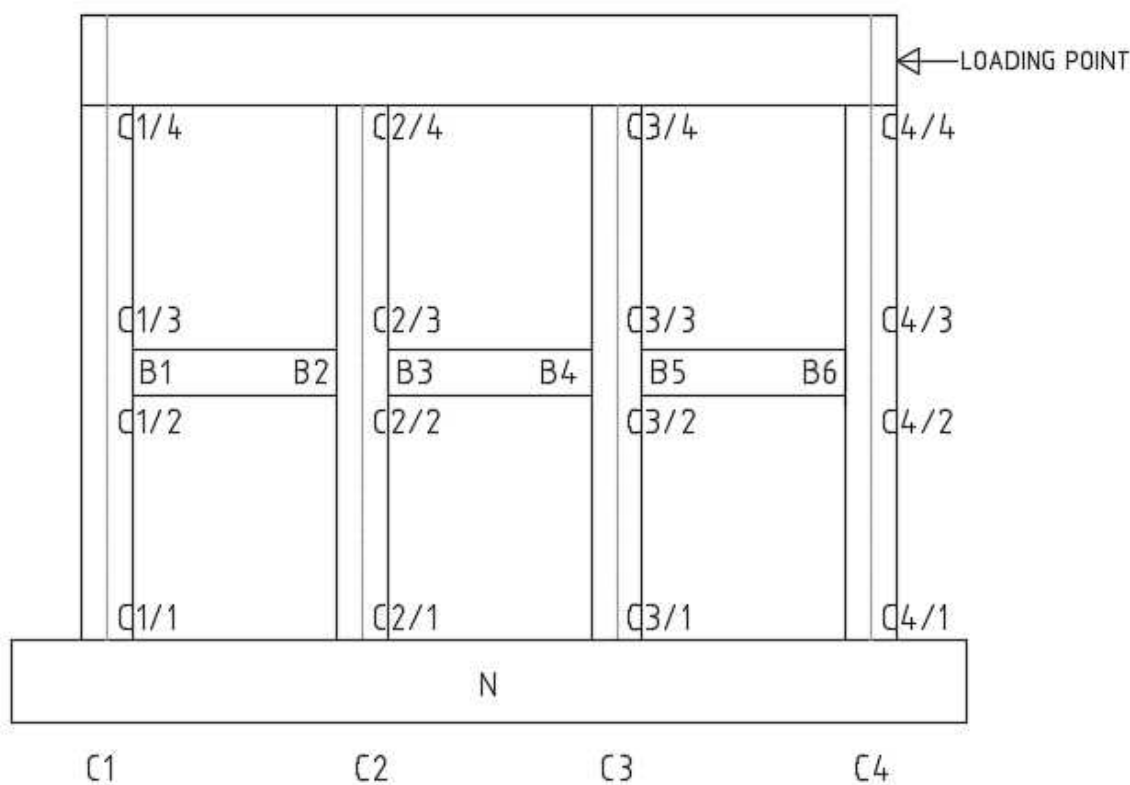
รูปที่ 4-74 รูปแบบการให้แรงกระทำด้านข้าง



รูปที่ 4-75 อุปกรณ์บันทึกผลการทดสอบของโครงสร้างสะพาน

4.5.5. ผลการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบนั้น เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ จึงได้กำหนดชื่อเสา และชื่อคาน รวมถึงตำแหน่งของ
เครื่องมือตรวจวัด เพื่อใช้อ้างอิงในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ



รูปที่ 4-76 ตำแหน่งที่ใช้อ้างอิงในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

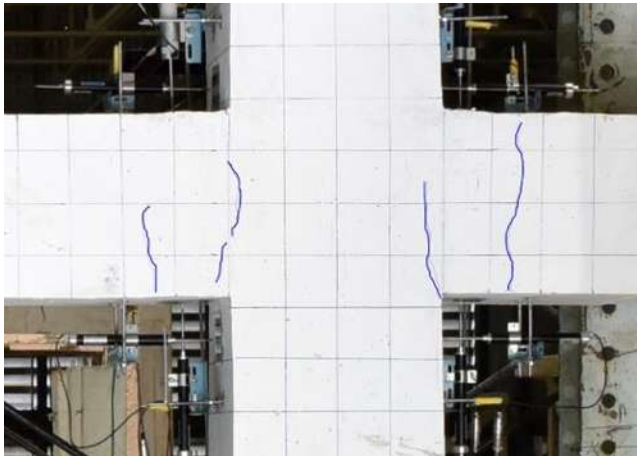
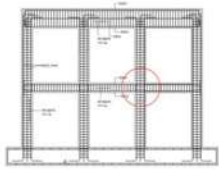
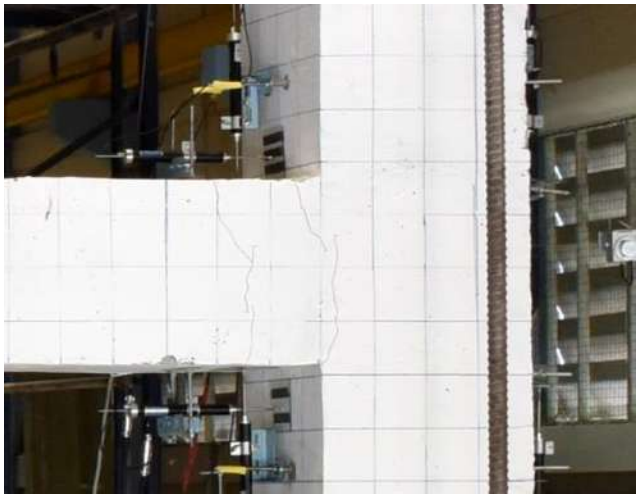
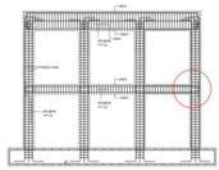
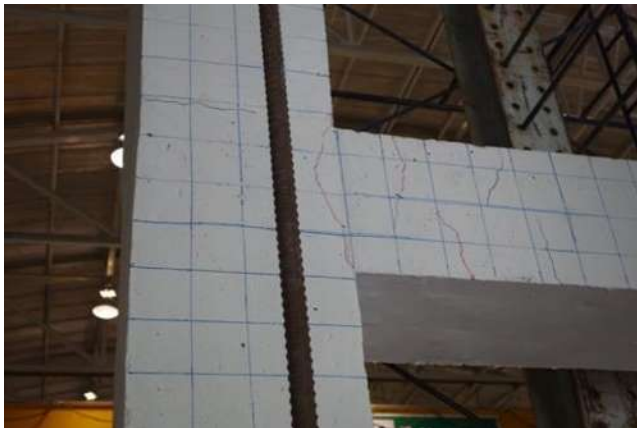
4.5.5.1. พฤติกรรมของโครงสร้างต่อม่อสะพาน

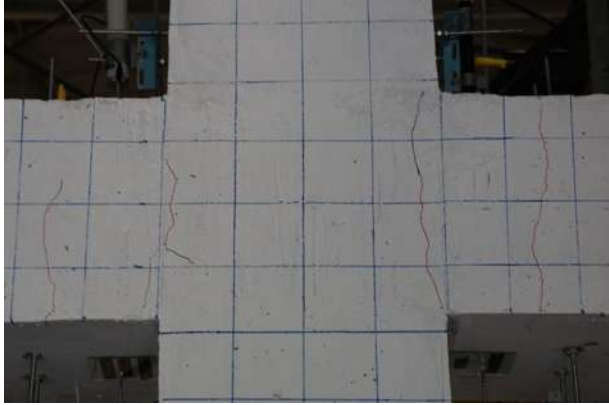
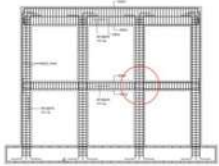
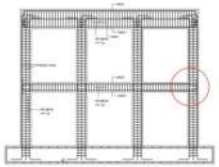
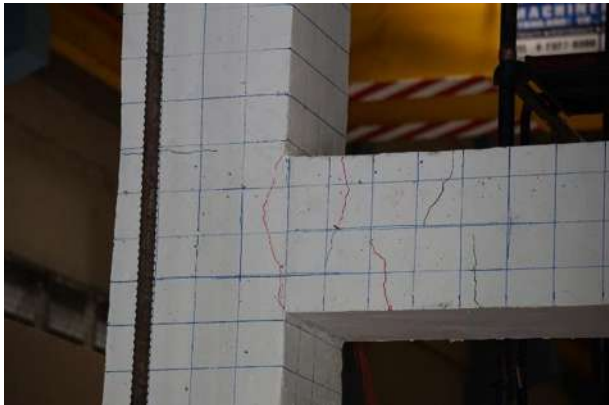
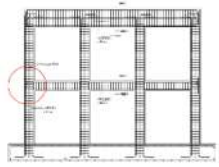
พฤติกรรมของโครงสร้างต่อม่อสะพานเมื่อรับแรงกระทำทางด้านข้างในช่วงแรกที่ย่อการเคลื่อนตัวที่ 0.25% จะเกิด
ความเสียหายบนคานค้ำยัน บริเวณจุดต่อระหว่างเสาทั้ง 4 ต้น ในลักษณะรอยร้าวในแนวตั้ง และมีการเสียหายเพิ่มขึ้น
โดยการเกิดรอยร้าวในลักษณะเดียวกันที่กระจายตัวออกจากจุดต่อห่างออกเป็นระยะ 20 และ 40 ซม. จากนั้นความ
เสียหายพัฒนาจากแรงเฉือนส่งผลให้เกิดรอยร้าวลักษณะเฉียงกระจายตัวตลอดความยาวคาน รวมถึงที่โคนเสาทั้ง 4 เกิด
รอยร้าวในแนวราบที่ความสูง 20, 40 และ 60 ซม. เมื่อให้แรงกระทำทางด้านข้างที่ย่อการเคลื่อนตัว 0.5% เมื่อให้
แรงกระทำทางด้านข้างไปที่ย่อการเคลื่อนตัวที่สูงขึ้น คอนกรีตที่บริเวณจุดต่อของคานค้ำยันเกิดการปริแตกออก
รวมถึงโคนเสาทั้ง 4 ต้น เป็นสาเหตุให้โครงสร้างสูญเสียกำลังรับแรงทางด้านข้างนำไปสู่การวิบัติ ซึ่งพฤติกรรมของ
โครงสร้างสะพานที่ย่อการเคลื่อนตัวต่างๆ อธิบายได้ดังนี้

- เมื่อเริ่มทำการให้แรงทางด้านข้างที่ย่อการเคลื่อนตัว 0.25 % พบว่าเริ่มเกิดรอยร้าวในแนวตั้งในคานค้ำยัน
บริเวณจุดต่อเสาสะพาน

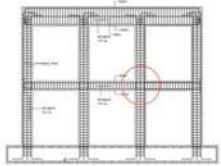
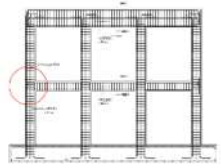
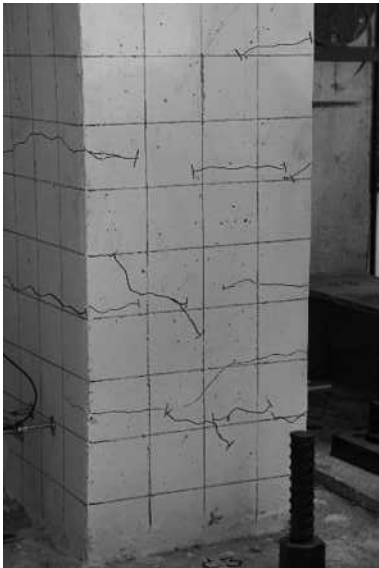
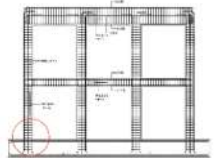
- รอยร้าวในแนวดิ่งในคานค้ำยันบริเวณจุดต่อคานค้ำยันและเสาสะพานเพิ่มมากขึ้น และกระจายตัวออกห่างจากจุดต่อเป็นระยะ 20 และ 40 ซม. เมื่อทำการให้แรงกระทำไปที่อัตราการเคลื่อนตัว 0.5% เริ่มพบรอยร้าวบริเวณโคนเสา ในลักษณะเป็นรอยร้าวที่เกิดจากการกระทำของแรงคด
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 0.75% รอยร้าวทั้งบริเวณจุดต่อคานค้ำยันและเสา และโคนเสามีปริมาณเพิ่มมากขึ้น รอยร้าวที่โคนเสามีขนาดที่ชัดเจนขึ้น และกระจายตัวอยู่ในบริเวณความสูง 90 เซนติเมตรจากฐานราก
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 1.5% พบว่ามีการกะเทาะออกของคอนกรีตที่บริเวณโคนเสา C1 รอยร้าวมีจำนวนเพิ่มขึ้น และมีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราการเคลื่อนตัวไปที่ 3.0% พบการกะเทาะออกของคอนกรีตได้คานตำแหน่ง B1 และสามารถพบเห็นการกะเทาะออกของคอนกรีตรอบโคนเสาทุกต้น
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 4.0% พบความเสียหายเกิดเยอะมากขึ้นที่บริเวณปลายคานค้ำยัน เกิดคอนกรีต crushing and spalling กระจุกตัวนับเป็นความยาวเท่ากับ 20 เซนติเมตร จากหน้าเสาจุดเชื่อมต่อ โดยที่โคนเสาก็มีการกะเทาะออกของคอนกรีตเช่นเดียวกัน ความเสียหายของโคนเสาจะกระจุกอยู่บริเวณความสูงเท่ากับ 20 เซนติเมตร
- ที่อัตราการเคลื่อนตัว 5.0% ความเสียหายพัฒนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่บริเวณปลายคานค้ำยัน และโคนเสา คอนกรีตที่แตกออกทำให้เกิดช่องว่าง เหล็กปลอกสูญเสียการโอบรัด ส่งผลให้เหล็กเสริมตามยาวโก่งตัวออก ทำให้ความสามารถในการรับแรงมีค่าลดลงต่ำกว่า 80% ของแรงกระทำสูงสุด เป็นสาเหตุให้โครงสร้างสะพานเกิดการวิบัติ

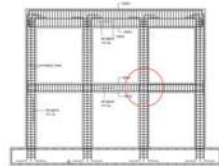
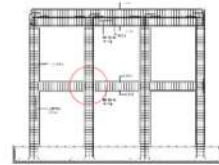
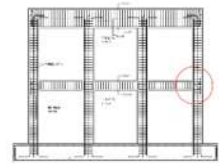
ตารางที่ 4-13 ลักษณะความเสียหายระหว่างการทดสอบโครงสร้างต่อม่อสะพาน

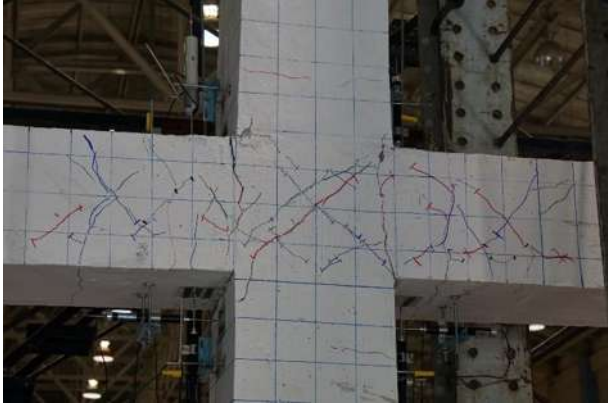
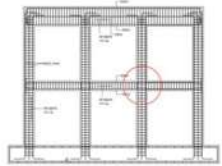
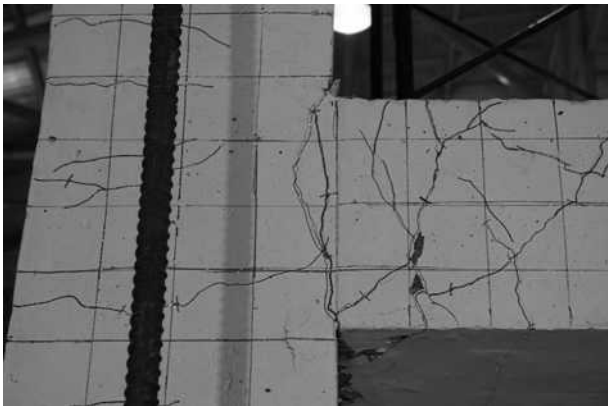
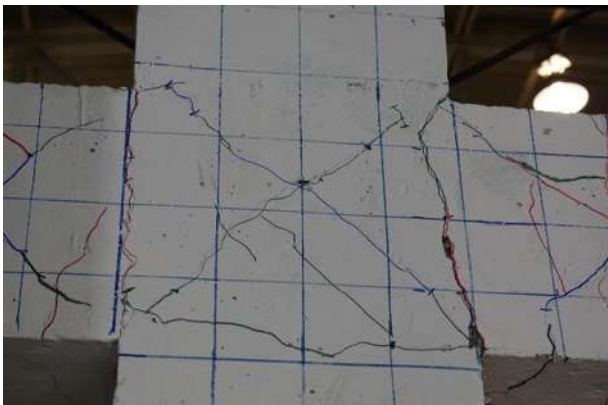
Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
0.25%		เกิดความเสียหายบนคานข้างขึ้น บริเวณจุดต่อระหว่างเสาทั้ง 4 ต้น ในลักษณะรอยร้าวในแนวตั้ง	
			
			

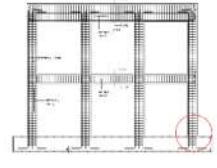
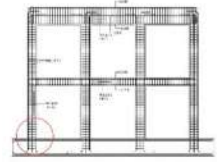
Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
0.5%		รอยร้าวในแนวตั้งในคานค้ำขึ้นบริเวณจุดต่อคานค้ำขึ้นและเสาสะพานเพิ่มมากขึ้นและกระจายตัวออกห่างจากจุดต่อเป็นระยะ 20, 40 ซม.	
			
			

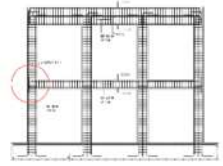
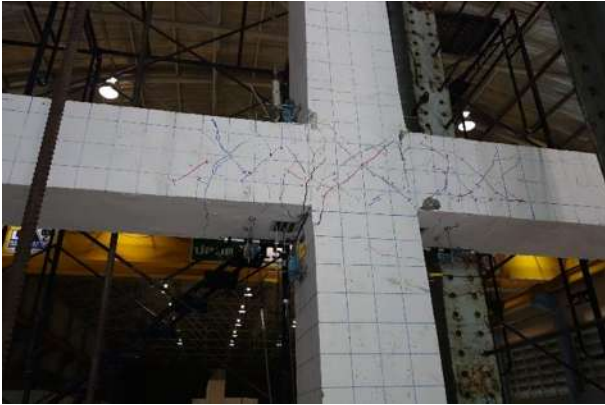
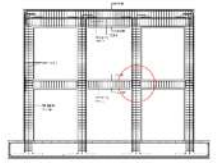
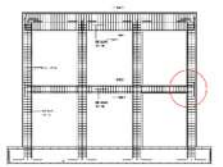
Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
0.5%		พบรอยร้าวบริเวณ โคนเสา ในลักษณะเป็นรอยร้าวที่เกิดจากการกระทำของแรงตัด	
			
			

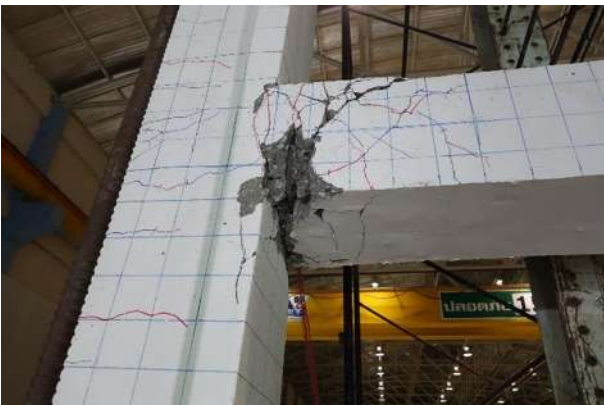
Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
0.75%		รอยร้าวทั้งบริเวณจุดต่อคาน้ำยันและเสา และ โคนเสามีปริมาณเพิ่มมากขึ้น รอยร้าวที่โคนเสามีขนาดที่ชัดเจนขึ้น และกระจายตัวอยู่ในบริเวณความสูง 90 เซนติเมตร จากฐานราก	
			
			

Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
1.0%		คอนกรีตบริเวณคานด้านซ้ายเริ่มเกิดมีรอยปริแตกในแนวดิ่ง รวมถึงรอยร้าวในแนวเฉียงเนื่องจากแรงเฉือน	
			
			

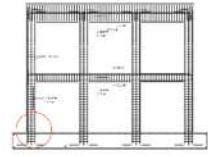
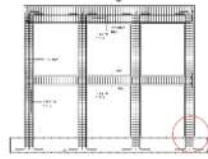
Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
1.5%- 2.5%		คอนกรีตบริเวณจุดต่อคานค้ำชันเริ่มเกิดรอยร้าวทั้งด้านบนและด้านล่างของคานค้ำชัน	
			
			

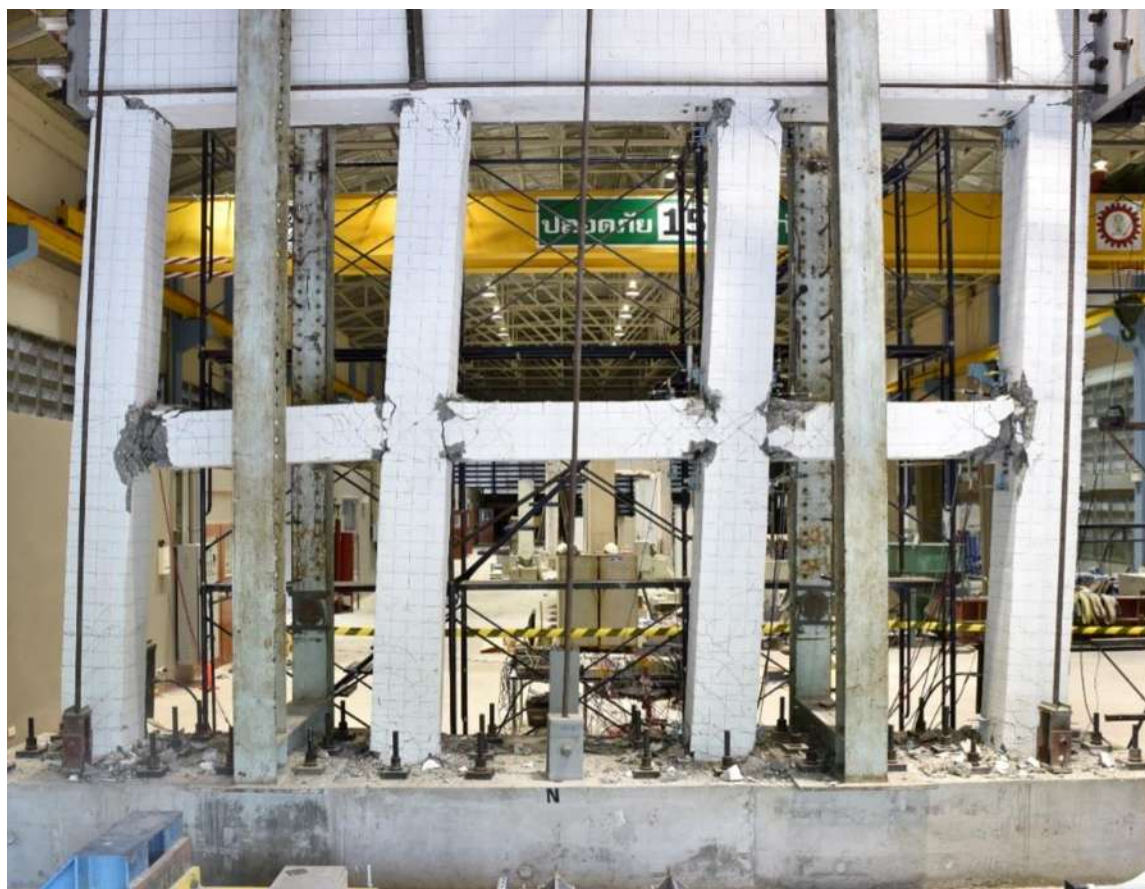
Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
1.5%- 2.5%		คอนกรีตบริเวณ โคนเสามีการอัดแตกของคอนกรีต	
			
			

Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
3.0%- 4.0%		คอนกรีต crushing and spalling กระจุยตัวนั้นเป็นความยาวเท่ากับ 20 เซนติเมตร จากหน้าเสาจุดเชื่อมต่อ โดยที่ โคนเสาที่มีการเกิดการกะเทาะออกของคอนกรีต เช่นเดียวกัน ความเสียหายของ โคนเสาจะกระจุยอยู่บริเวณความสูงเท่ากับ 20 เซนติเมตร	
			
			

Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
4.5%		ความเสียหายพัฒนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่บริเวณปลายคานาก้าน และโคนเสา	
			
			

Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
5.0%		ความเสียหายพัฒนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่บริเวณปลายคานาค้าน และ โคนเสา คอนกรีตที่แตกออกทำให้เกิดช่องว่าง เหล็กปลอกสูญเสียการโอบรัด ส่งผลให้เหล็กเสริมตามยาวโค้งตัวออก ทำให้ความสามารถในการรับแรงมีค่าลดลงต่ำกว่า 80% ของแรงกระทำสูงสุด เป็นสาเหตุให้โครงสร้างสะพานเกิดการวิบัติ	
			
			

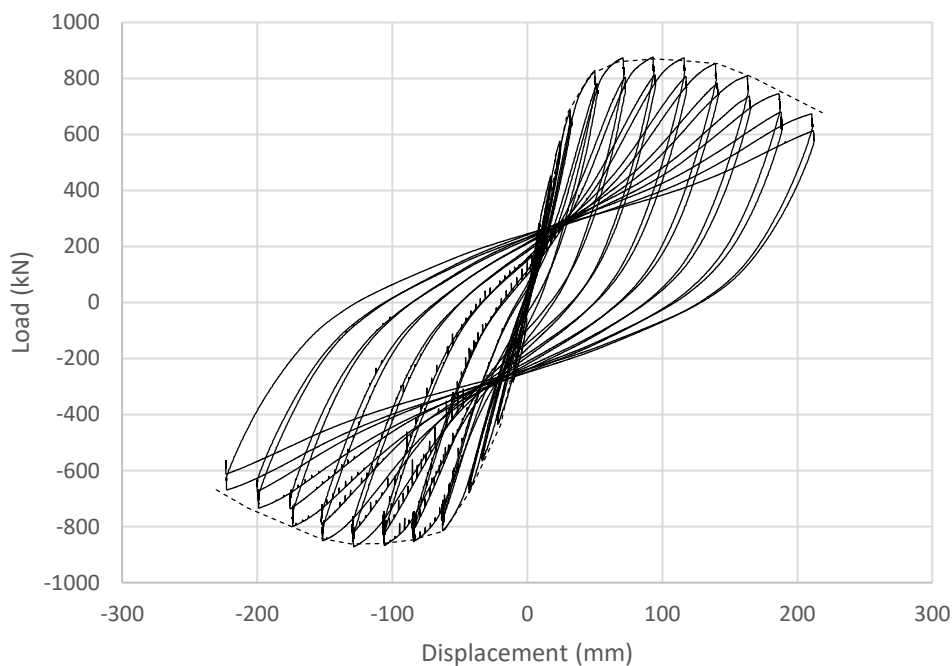
Drift	รูปภาพ	รูปแบบความเสียหาย	ตำแหน่ง
5.0%		ความเสียหายพัฒนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่บริเวณปลายคานาค้ำขึ้น และ โคนเสา คอนกรีตที่แตกออกทำให้เกิดช่องว่าง เหล็กปลอกสูญเสียการโอบรัด ส่งผลให้เหล็กเสริมตามยาวโค้งตัวออก ทำให้ความสามารถในการรับแรงมีค่าลดลงจนต่ำกว่า 80% ของแรงกระทำสูงสุด เป็นสาเหตุให้โครงสร้างสะพานเกิดการวิบัติ	
			
			



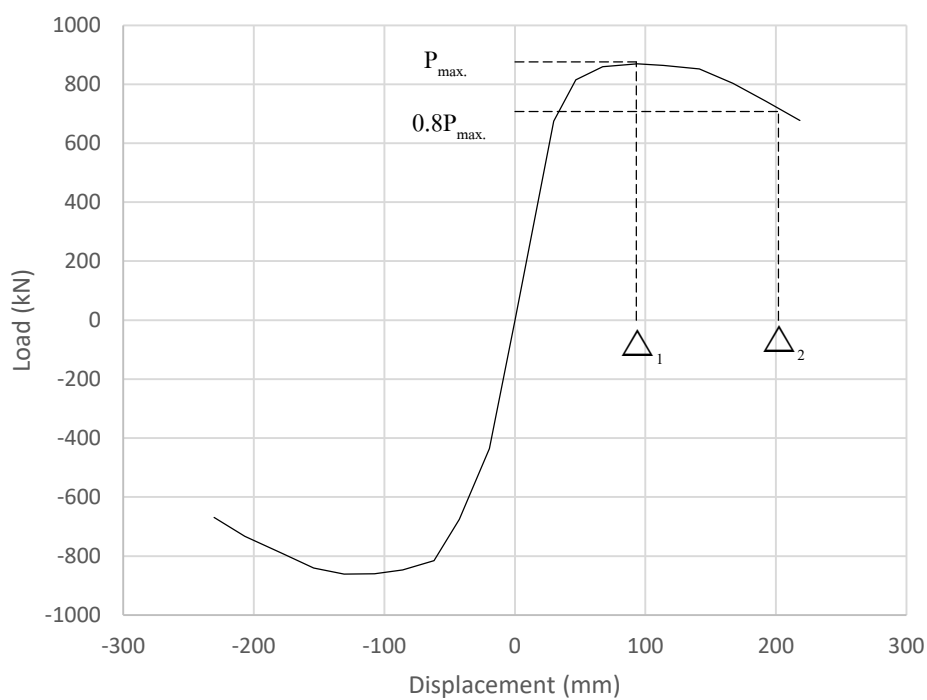
รูปที่ 4-77 ความเสียหายของโครงสร้างสะพานเมื่อมีระดับการเคลื่อนตัวเท่ากับ 5.0%

4.5.5.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง

ข้อมูลทดสอบของตอม่อสะพานสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับการเคลื่อนที่ และสามารถนำมาหาเส้นโค้งขอบนอก (Envelop curve) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการตอบสนองของโครงสร้างตอม่อสะพานได้ โดยทิศทางของแรงกระทำที่เป็นบวก หมายถึงเครื่องให้แรงออกแรงผลักโครงสร้างตอม่อสะพาน และเมื่อแรงกระทำมีค่าเป็นลบ หมายถึงเครื่องทดสอบออกแรงดึงโครงสร้างตอม่อสะพาน โดยที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่ และเส้นโค้งขอบนอกของโครงสร้างตอม่อสะพาน แสดงไว้ในรูปที่ 4-78 และรูปที่ 4-79 ตามลำดับ



รูปที่ 4-78 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนที่ของโครงสร้างตอม่อสะพาน

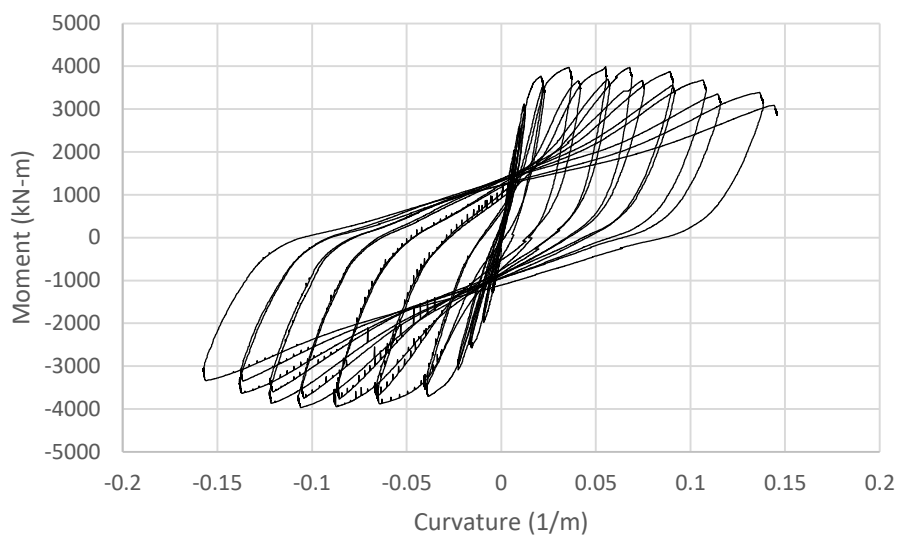


Specimen	P_{max} (kN)	Displacement @max (mm)	$0.8P_{max}$ (kN)	Displacement @ $0.8P_{max}$ (mm)
Pier	876	93	700.8	202

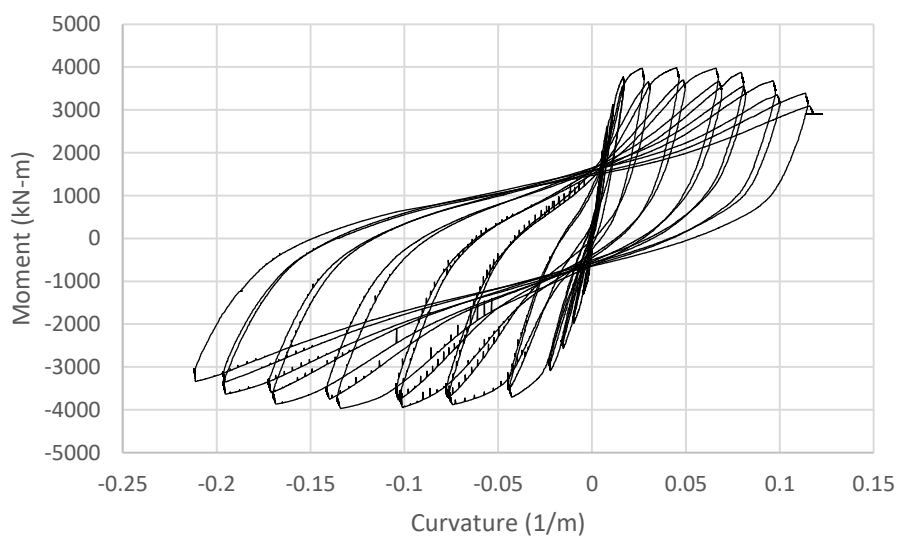
รูปที่ 4-79 เส้นโค้งขอบนอก (Envelop curve) ของโครงสร้างตอม่อสะพาน

4.5.5.3. ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้ง

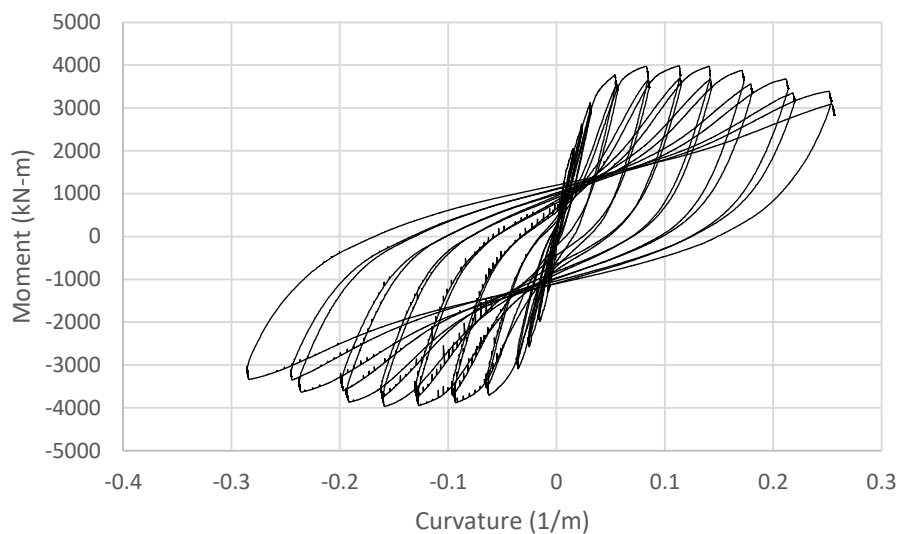
ในการทดสอบได้มีการติดตั้งเครื่องมือวัดระยะการเคลื่อนที่ตามจุดต่างๆ ซึ่งสามารถนำค่าการเคลื่อนที่ที่ได้จากเครื่องมือตรวจวัดมาคำนวณเป็นค่าความโค้งของเสา และคานได้ โดยในหัวข้อนี้ จะนำเสนอค่าความโค้งที่คำนวณได้ บริเวณเสาที่ตำแหน่ง C3/1 และ C4 /1 บริเวณคานซ้ายที่ตำแหน่ง B4 และ B6 ดังแสดงในรูปที่ 4-80 ถึงรูปที่ 4-83 ตามลำดับ



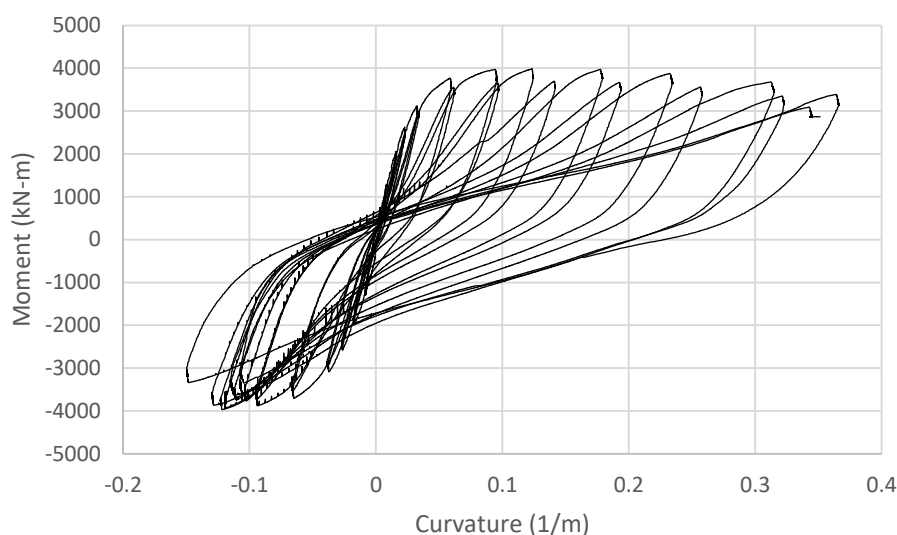
รูปที่ 4-80 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งของ C3/1



รูปที่ 4-81 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งของ C4/1



รูปที่ 4-82 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งของคาน้ายันตำแหน่ง B4



รูปที่ 4-83 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับค่าความโค้งของคาน้ายันตำแหน่ง B6

4.5.5.4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับความเครียดในเหล็กเสริม

ในการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นนั้น จะทำการติดตั้งเกจวัดความเครียดจำนวน 2 ตำแหน่ง สำหรับวัดค่าความเครียดในเหล็กเสริมตามยาว (Longitudinal rebar) และติดตั้งเกจวัดความเครียดจำนวน 2 ตำแหน่ง สำหรับวัดค่าความเครียดในเหล็กเสริมตามขวาง (Transverse rebar) โดยที่ชื่อตำแหน่งสำหรับใช้อ้างอิงในการวิเคราะห์ผลการทดสอบนั้น จะใช้ชื่อเรียกตามรหัสดังต่อไปนี้

สำหรับเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมตามยาวในเสา จะใช้ชื่อว่า CX/Y(L-N)

สำหรับเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมตามขวางในเสา จะใช้ชื่อว่า CX/Y(T-N)

สำหรับแถวความเครียดในเหล็กเสริมตามยาวในคาน จะใช้ชื่อว่า BX(L-N)

สำหรับแถวความเครียดในเหล็กเสริมตามขวางในคาน จะใช้ชื่อว่า BX(T-N)

โดยที่ C และ B หมายถึงเสา หรือคาน ตามลำดับ

X หมายถึง ลำดับของเสา หรือ ลำดับของคาน

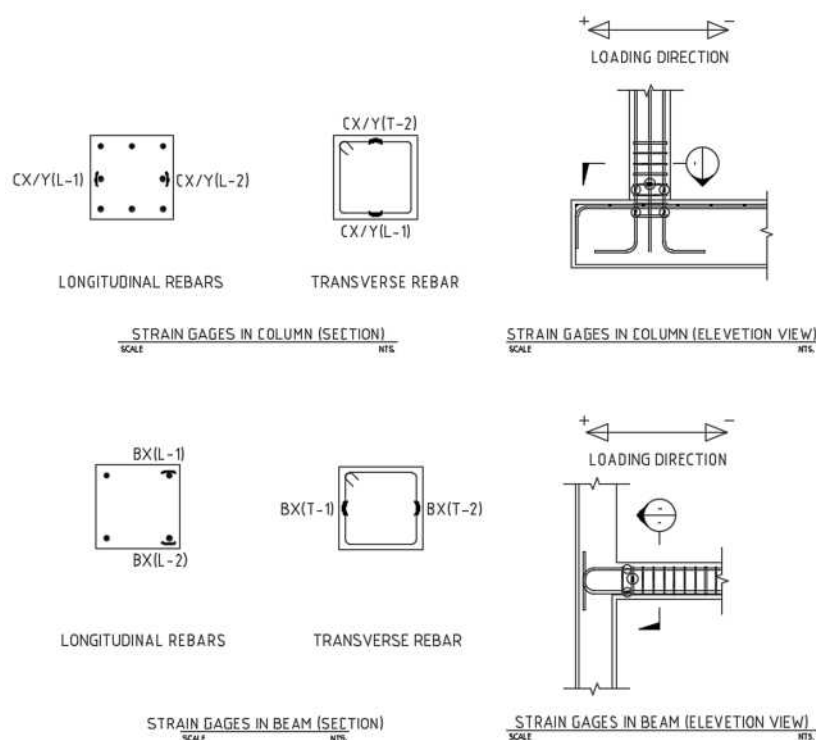
Y หมายถึง ตำแหน่งตามความสูงของเสาดันที่ X

L หมายถึง เหล็กเสริมตามยาว

T หมายถึง เหล็กเสริมตามขวาง

N หมายถึง ตำแหน่งของแถวความเครียดในหน้าตัดที่พิจารณา

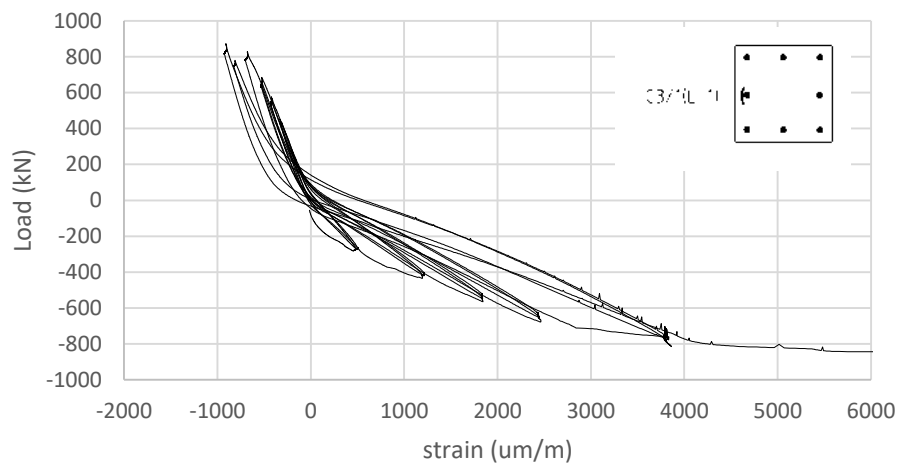
โดยที่รหัสของแถวความเครียดในหน้าตัดของเสา และหน้าตัดของคาน ที่ใช้อ้างอิงในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ นั้น ได้สรุปดังแสดงในรูปที่ 4-84



รูปที่ 4-84 ผังแสดงรหัสของแถวความเครียดในเสาและคาน

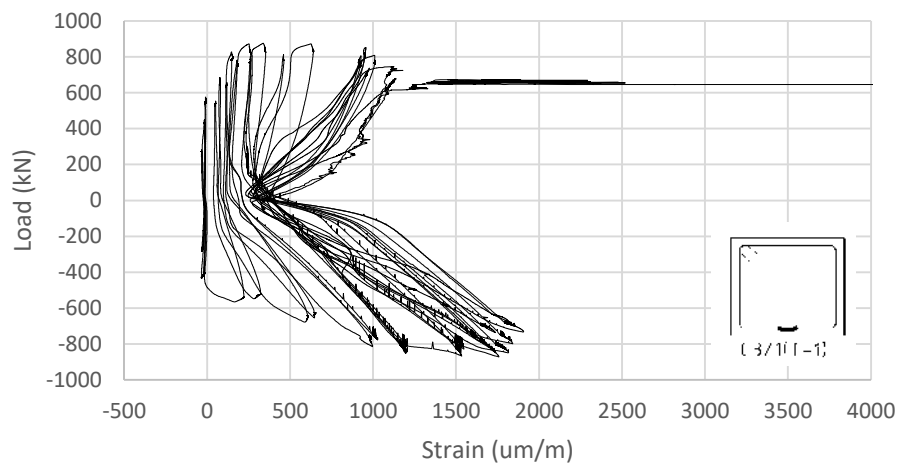
โดยแถวความเครียดที่นำมาแสดงได้แก่ แถวความเครียดของเสา C3/1 และ C4/1 ส่วนแถวความเครียดในคาน ได้แก่คานตำแหน่งที่ B4 และ คานตำแหน่งที่ B6 โดยแรงกระทำและค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-85 ถึง รูปที่ 4-95

C3/1(L-1)

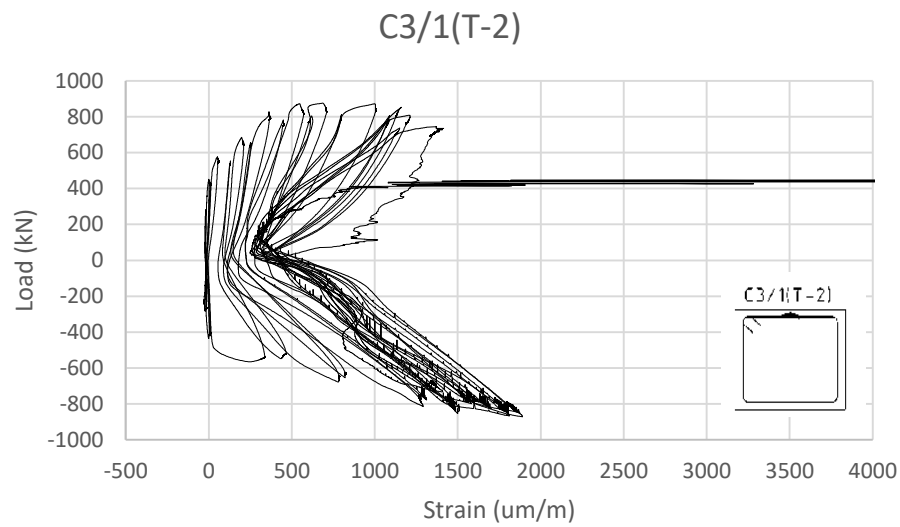


รูปที่ 4-85 เงามัดความเค้นดัดหลักเสริมตามยาว เสา C3/1 ตำแหน่งที่ 1

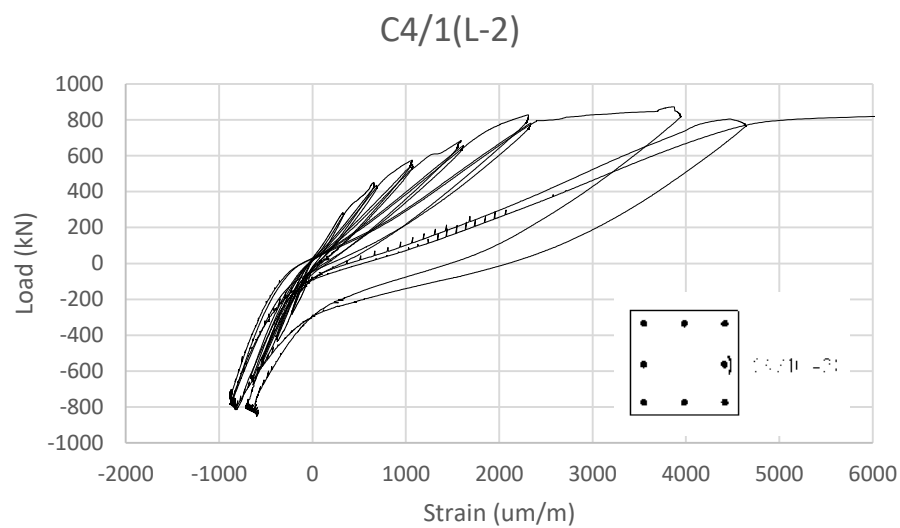
C3/1(T-1)



รูปที่ 4-86 เงามัดความเค้นดัดหลักเสริมตามขวาง เสา C3/1 ตำแหน่งที่ 1

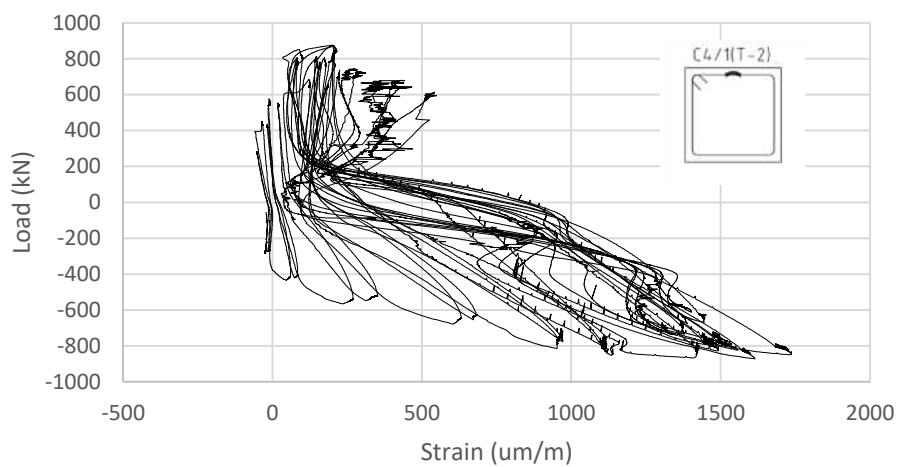


รูปที่ 4-87 เงามัดความเค้นดเหล็กเสริมตามขวาง เสา C3/1 ตำแหน่งที่ 2



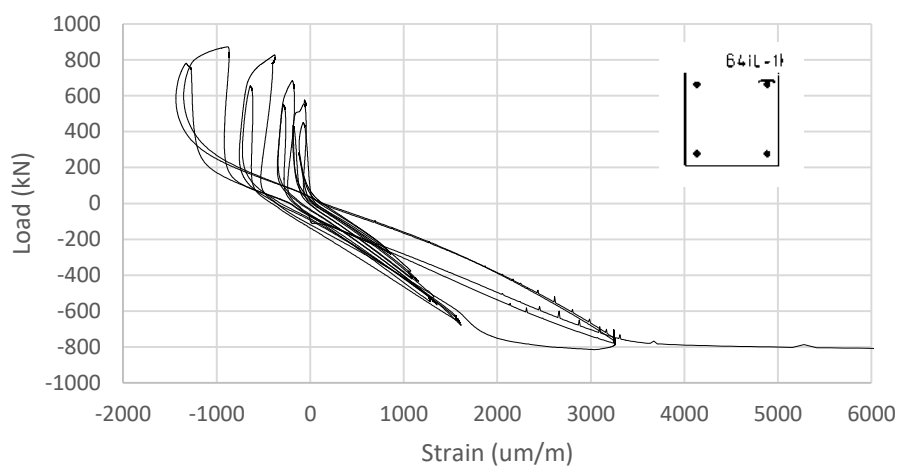
รูปที่ 4-88 เงามัดความเค้นดเหล็กเสริมตามยาว เสา C4/1 ตำแหน่งที่ 2

C4/1(T-2)



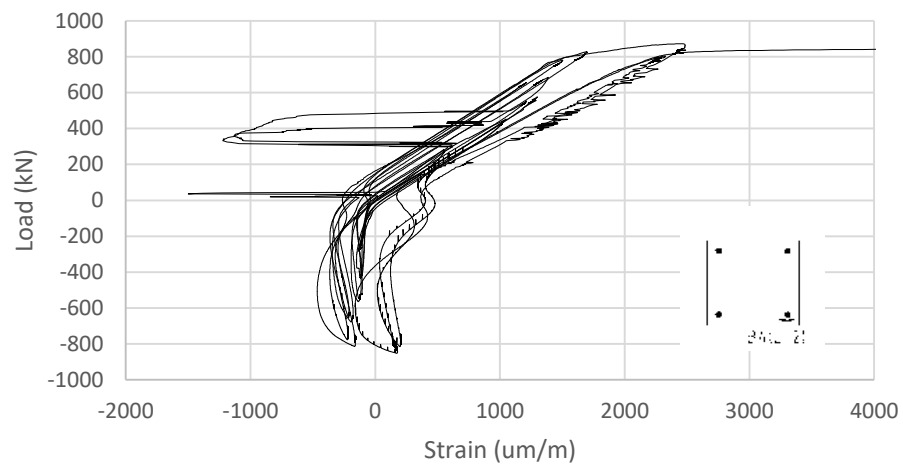
รูปที่ 4-89 เจ็วัดความเครียดหลักเสริมตามขวาง เสา C4/1 ตำแหน่งที่ 2

B4(L-1)



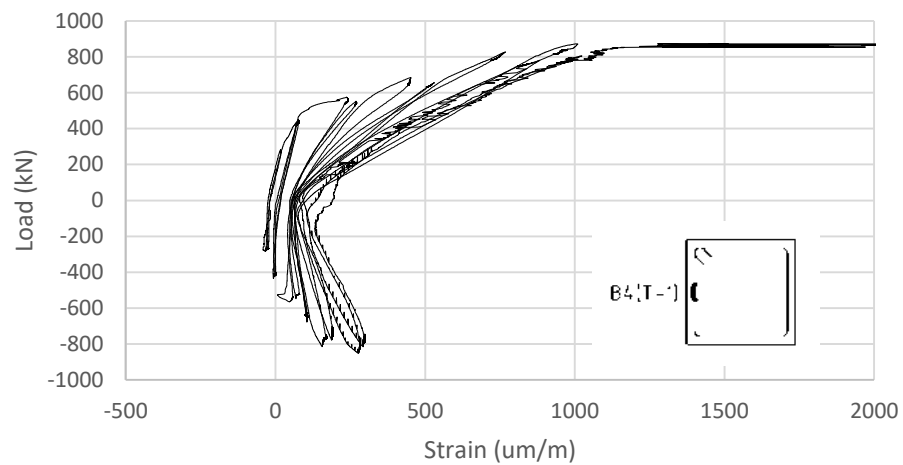
รูปที่ 4-90 เจ็วัดความเครียดหลักเสริมตามยาว คาน B4 ตำแหน่งที่ 1

B4(L-2)

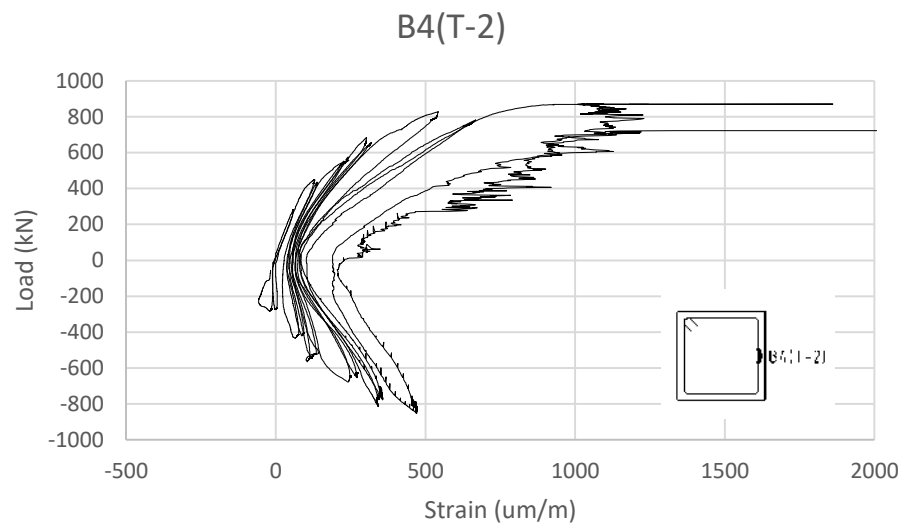


รูปที่ 4-91 เจ็วัดความเครียดหลักเสริมตามยาว คาน B4 ตำแหน่งที่ 2

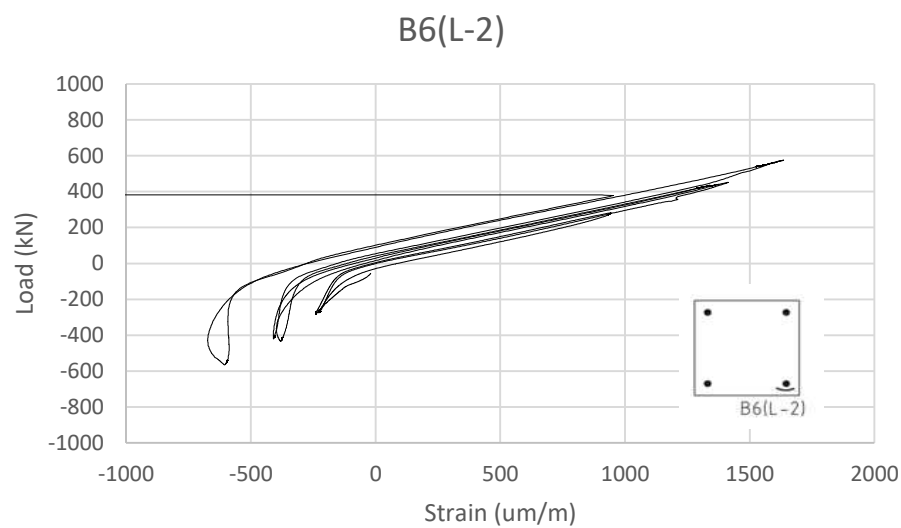
B4(T-1)



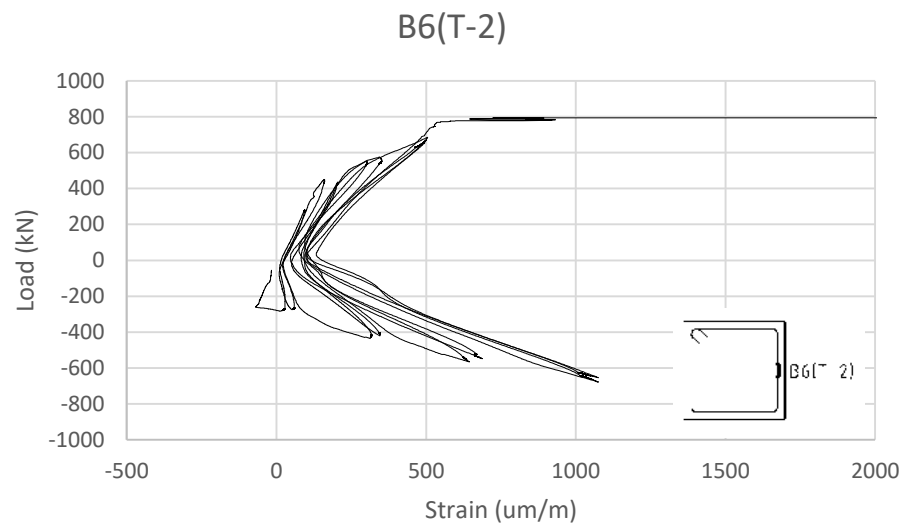
รูปที่ 4-92 เจ็วัดความเครียดหลักเสริมตามขวาง คาน B4 ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 4-93 เจ็วัดความเครียดหลักเสริมตามขวาง คาน B4 ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 4-94 เจ็วัดความเครียดหลักเสริมตามยาว คาน B6 ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 4-95 เจวัดความเครียดหลักเสริมตามขวาง คาน B6 ตำแหน่งที่ 2

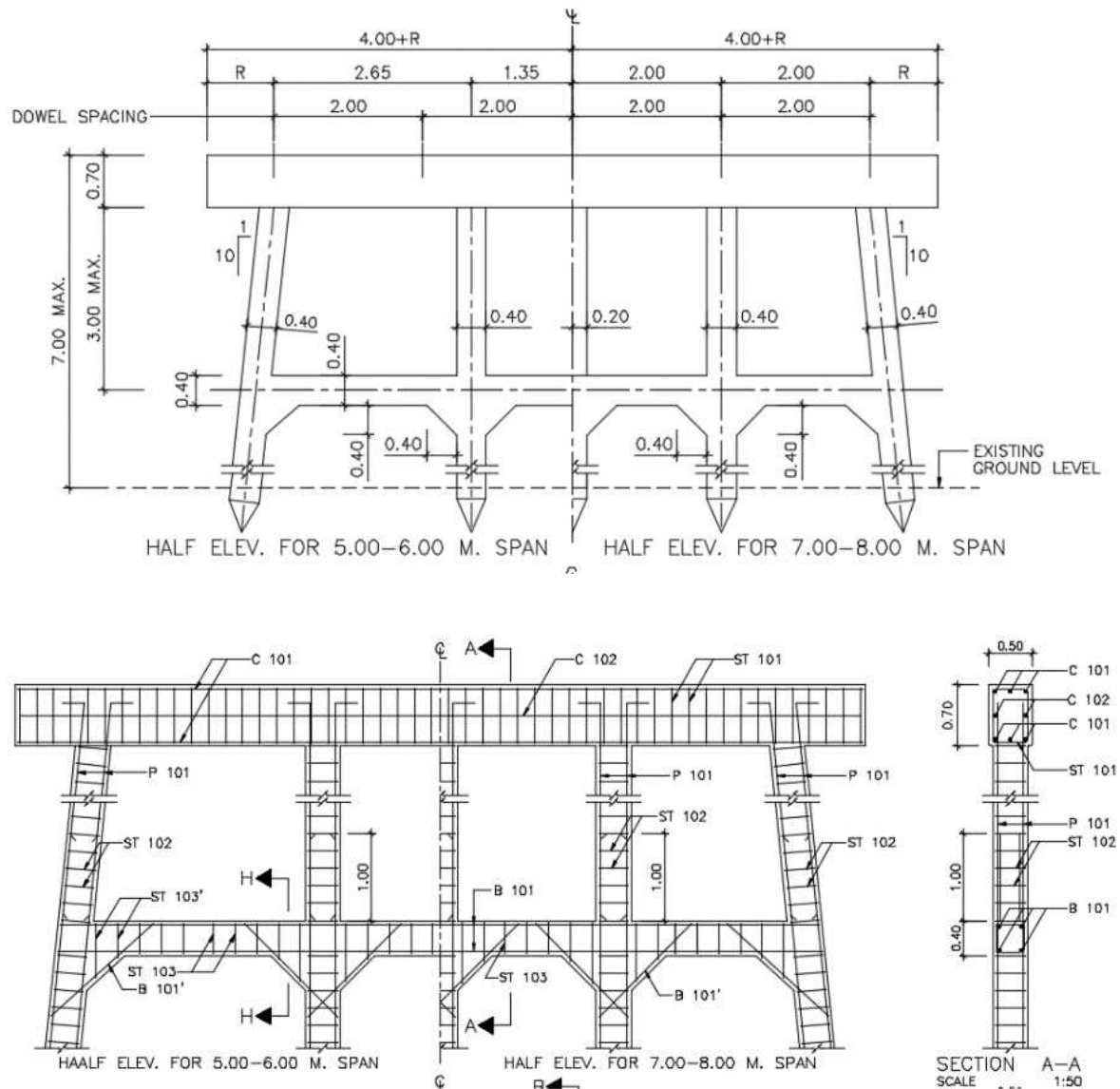
บทที่ 5 การปรับปรุงตอม่อสะพาน

ประเภทเสาเรียง

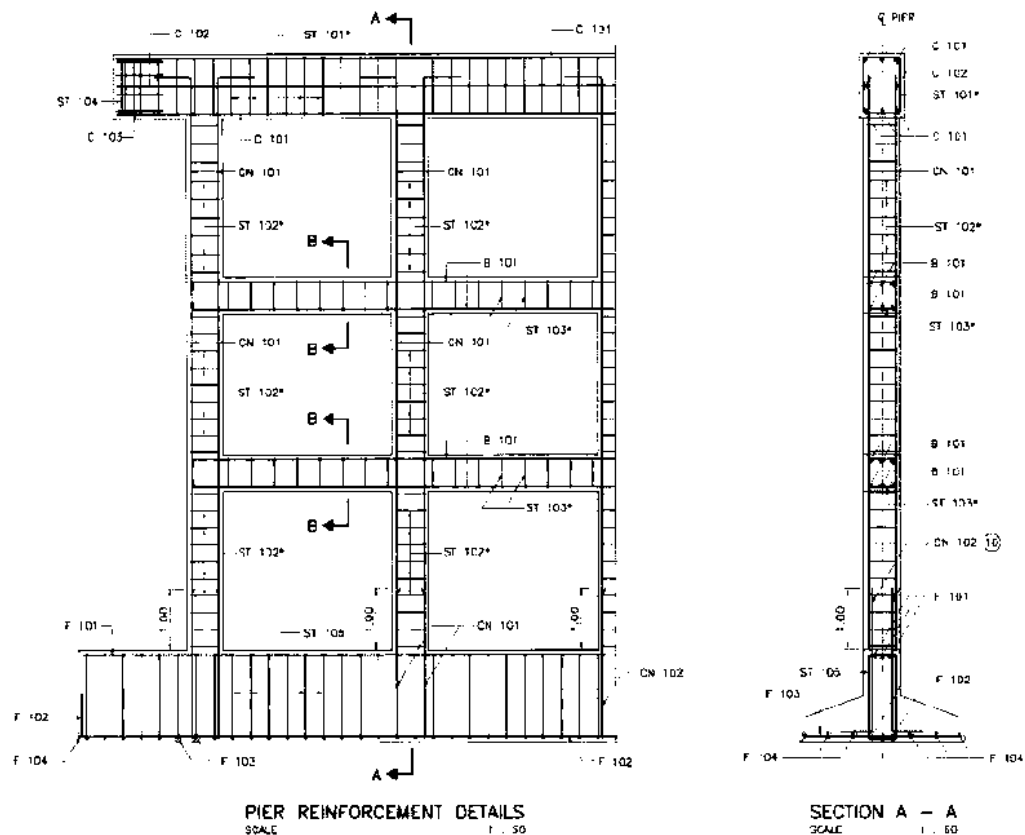
5.1. ตอม่อสะพานตามแบบก่อสร้างกรรมทางหลวงเดิมปี 1994 (พ.ศ. 2537) และแบบก่อสร้างฉบับใหม่ปี 2015 (พ.ศ. 2558)

ในปัจจุบันกรรมทางหลวงมีการใช้แบบมาตรฐานในการออกแบบและก่อสร้างสะพาน โดยแบบมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ แบบมาตรฐานเล่มสี่สิบปี 1994 และ แบบมาตรฐานที่ปรับปรุงใหม่เล่มสี่เล็ดหมูปี่ 2015 โดยแบบมาตรฐานทั้ง 2 ฉบับ ได้แสดงรูปแบบการก่อสร้างสะพานช่วงสั้นที่มีความยาวไม่เกิน 10 เมตร (แบบมาตรฐานเล่มสี่สิบปี 1994) และที่มีความยาวไม่เกิน 12 เมตร (แบบมาตรฐานเล่มสี่เล็ดหมูปี่ 2015) โดยสะพานช่วงสั้นนี้ออกแบบโดยใช้โครงสร้างสะพานส่วนบน (Superstructure) เป็นประเภท Slab Type หรือ Plank Girder Bridge โดยโครงสร้างส่วนบนทั้งสองแบบนี้ถูกรองรับโดยโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) ประเภทเสาเรียง Pile Bent หรือ Multi Column Bent กรณีที่ก่อสร้างในพื้นที่ดินอ่อน ซึ่งฐานรากของสะพานจำเป็นต้องใช้เสาเข็มตอก (Driven Pile) ส่วนของเสาของตอม่อสะพานจะถูกหล่อตอกขึ้นมาจากปลายเสาเข็มที่ได้ก่อสร้างแล้ว ระบบโครงสร้างนี้เรียกว่า Pile Bent สำหรับกรณีที่ก่อสร้างในพื้นที่ดินแข็งหรือหินแข็งโดยที่ความยาวเข็มตอกไม่เกิน 4 เมตร โดยส่วนใหญ่การก่อสร้างตอม่อสะพานจะเป็นรูปแบบ Multi Column Bent โดยฐานรากของสะพานจะเป็นรูปแบบฐานแผ่ แล้วจึงหล่อเสาขึ้นมาเพื่อรองรับโครงสร้างส่วนบน ทั้งสองแบบนี้ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างสะพานช่วงสั้นของกรรมทางหลวงอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นรูปแบบที่ไม่ซับซ้อน ค่าก่อสร้างไม่สูง และเหมาะสมสำหรับสะพานช่วงสั้นที่มีความสูงของสะพานไม่มากนัก ตัวอย่างของรูปแบบสะพานช่วงสั้นตามแบบมาตรฐานกรรมทางหลวงปี 1994 และปี 2015 แสดงในรูปที่ 5-1 และ รูปที่ 5-2

ตอม่อสะพานช่วงสั้นตามแบบมาตรฐานกรรมทางหลวงปี 1994 มีรูปแบบโครงสร้างเป็นประเภท Pile Bent หรือ Multi Column Bent โดยใช้รองรับสะพานช่วงสั้นประเภท Slab Type หรือ Plank Girder Bridge จุดเด่นของโครงสร้างตอม่อตามแบบปี 1994 คือ การออกแบบให้เข็มหรือเสาต้านริมของตอม่อมีลักษณะเอียงทำมุมประมาณ 1:10 โดยเสาเข็มลักษณะนี้เรียกว่า Batter Pile ซึ่งมีความสามารถในการรับแรงด้านข้างและเพิ่มเสถียรภาพของตอม่อในแนวขวางได้เนื่องจากความแข็งแรงของพื้นที่หน้าตัดเสา (A) จะมีส่วนช่วยรับแรงเพิ่มขึ้นจากค่าความแข็งแรงเนื่องจาก Moment of Inertia (I) อย่างไรก็ตามในเชิงความเหนียว (Ductility) ของโครงสร้างที่จำเป็นต้องออกแบบให้รองรับในกรณีการเกิดแผ่นดินไหว รูปแบบ Batter Pile อาจทำให้เกิดการพังทลายแบบเปราะได้ (Brittle Failure Mode) ซึ่งมีความเหนียวต่ำกว่ารูปแบบการก่อสร้างให้เสาทุกต้นในตอม่ออยู่ในแนวตรง



รูปที่ 5-1 แบบก่อสร้างต่อม่อสะพานช่วงสั้น ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 1994 (พ.ศ. 2537)

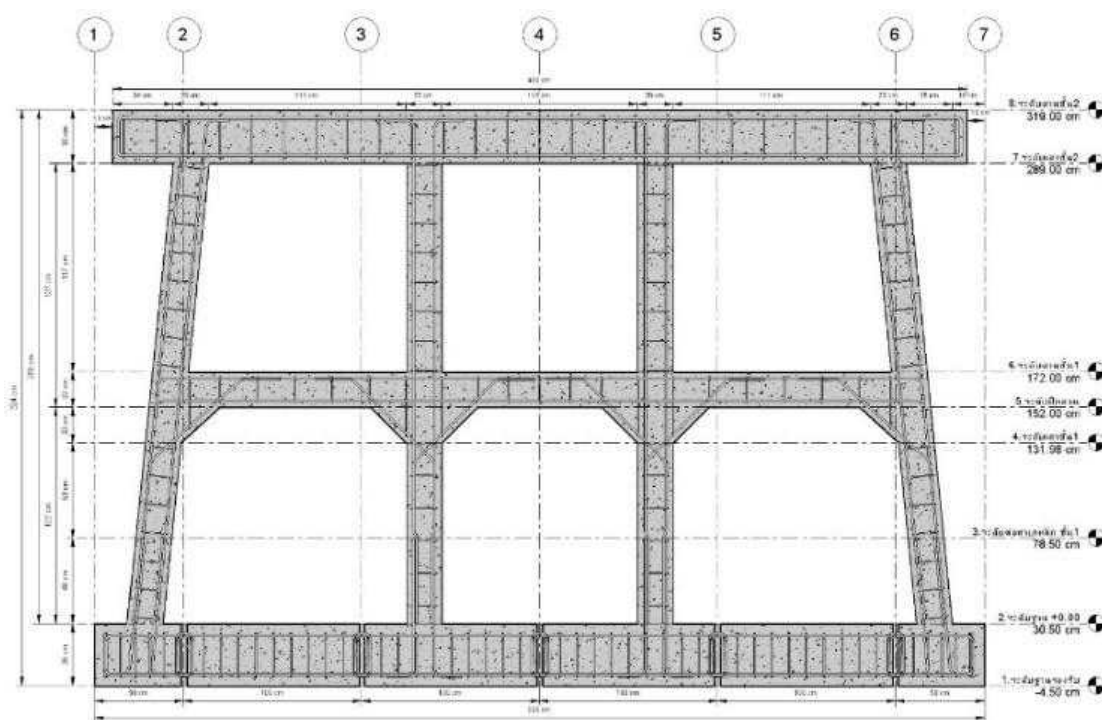


5-3

ตอม่อสะพานช่วงสั้นตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 มีรูปแบบเป็นประเภท Pile Bent หรือ Multi Column Bent โดยใช้รองรับสะพานช่วงสั้นประเภท Slab Type หรือ Plank Girder Bridge จุดเด่นของโครงสร้างตอม่อตามแบบปี 2015 คือ การออกแบบให้เข็มหรือเสาต้านริมนอกของตอม่อมีลักษณะตรงในแนวดิ่ง ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อต้องการเพิ่มความเหนียวของเสาตอม่อในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหว ทำให้แรงด้านข้างที่เกิดขึ้นจากแผ่นดินไหวกระจายเข้าสู่เสาแต่ละต้นได้อย่างสม่ำเสมอมากขึ้น ทำให้สามารถควบคุมและออกแบบให้เสาตอม่อเกิดความเสียหายและพังทลายแบบเหนียวได้ (Ductile Failure)

5.1.1. พฤติกรรมการรับแรงแผ่นดินไหวของตอม่อสะพานแบบ ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 1994 (พ.ศ. 2537)

เพื่อยืนยันพฤติกรรมและประสิทธิภาพของเสาตอม่อที่ออกแบบและก่อสร้างตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 1994 ทางสำนักวิจัยและพัฒนาทางกรมทางหลวง ได้เคยดำเนินการทดสอบตอม่อภายใต้แรงจำลองแผ่นดินไหวเพื่อดูพฤติกรรมและลักษณะความเสียหายที่จะเกิดขึ้นใน “โครงการปรับปรุงและเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวของโครงสร้างส่วนล่างของสะพานกรมทางหลวงช่วงสั้น” ปี พ.ศ. 2557 โดยรูปแบบของโครงสร้างที่นำมาทดสอบแสดงในรูปที่ 5-3 ซึ่งเป็นแบบขนาดย่อส่วน (Reduced Scale)



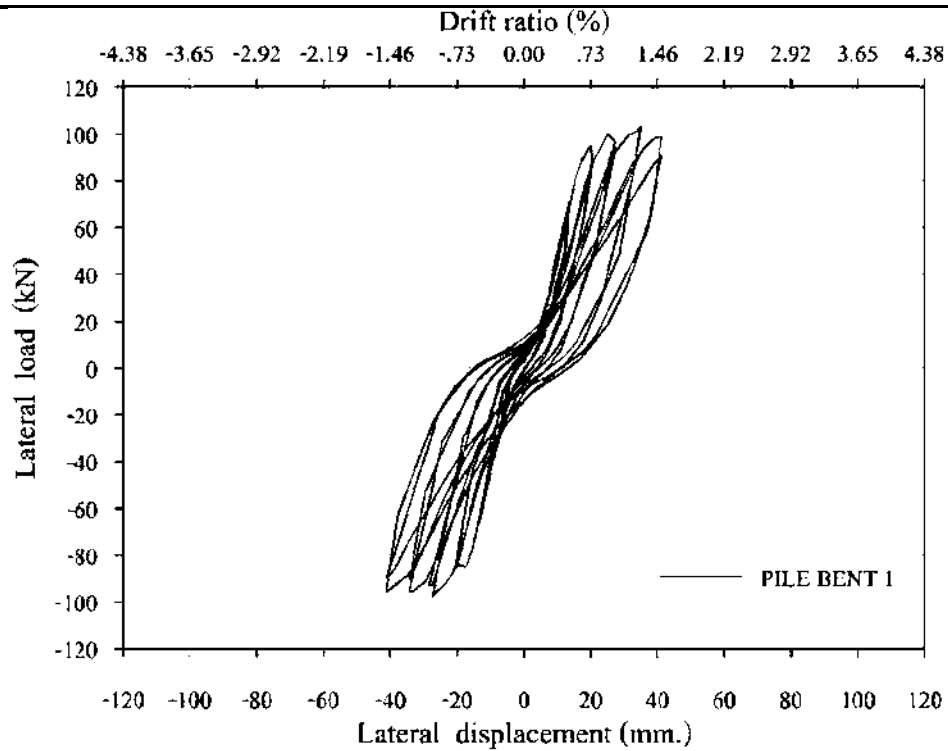
รูปที่ 5-3 แบบก่อสร้างตอม่อสะพานช่วงสั้น ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 1994 (สำหรับการทดสอบ)

ตอม่อสะพานช่วงสั้นที่นำไปทดสอบรับแรงจำลองแผ่นดินไหวมีพฤติกรรม ดังนี้

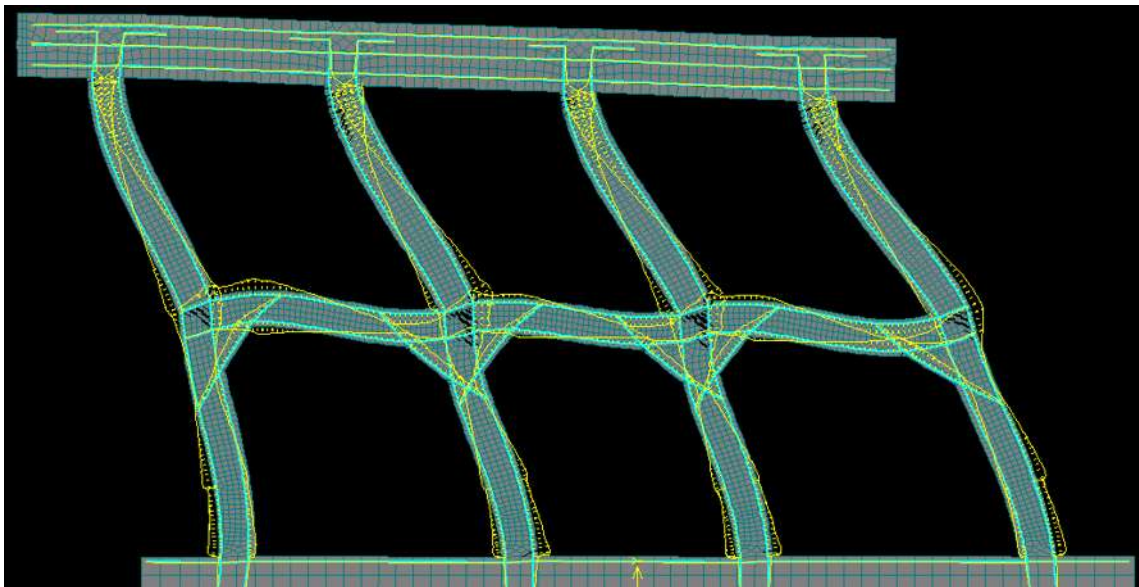
- เมื่อให้แรงกระทำด้านข้างกับเสาประมาณ 2 ตัน และเกิดการเคลื่อนตัวที่ปลายคานาด้านบนเท่ากับ 0.25% Drift พบว่า รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ชัด
- เมื่อเพิ่มแรงกระทำด้านข้างจนถึงระดับ 7.10 ตัน และเกิดการเคลื่อนตัวที่ปลายคานาด้านบนเท่ากับ 0.5 % Drift ได้พบรอยแตกร้าวแบบคดที่คานาด้านบนและด้านล่างในเสาทุกต้น และพบรอยแตกร้าวแบบเฉือนที่คานา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-4
- เมื่อเพิ่มแรงกระทำด้านข้างจนถึงระดับ 9.27 ตัน และเกิดการเคลื่อนตัวที่ปลายคานาด้านบนเท่ากับ 0.75 % Drift พบว่ามีการเกิดรอยร้าวมากขึ้น และรอยร้าวเดิมมีขนาดยาวรอยเพิ่มขึ้น
- เมื่อเพิ่มแรงกระทำด้านข้างไปที่ระดับประมาณ 9.87 ตัน สังเกตพบรอยแตกร้าวมีจำนวนเพิ่มขึ้น และผิวคอนกรีตเกิดการกะเทาะหลุดตกลงมา ดังนั้นผู้ทดสอบจึงหยุดการทดสอบที่ระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างเท่ากับ 1.50 % Drift ดังแสดงในรูปที่ 5-6 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-7



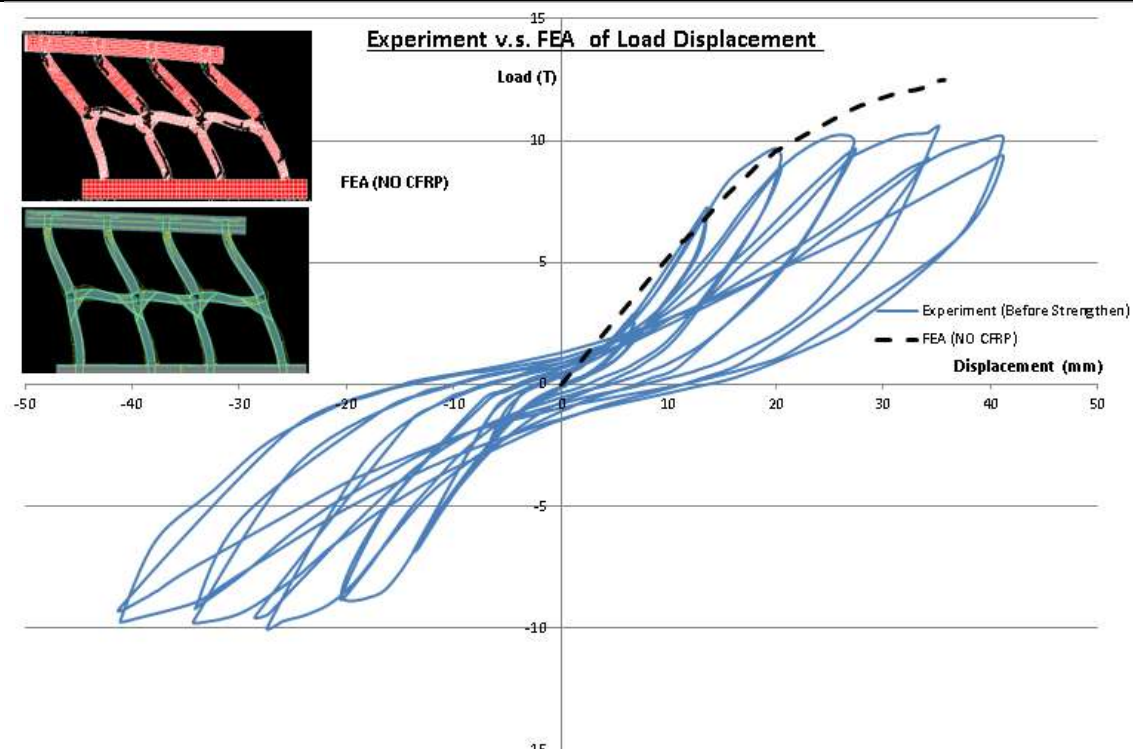
รูปที่ 5-4 รูปแบบความเสียหายของตอม่อสะพานช่วงสั้นตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 1994



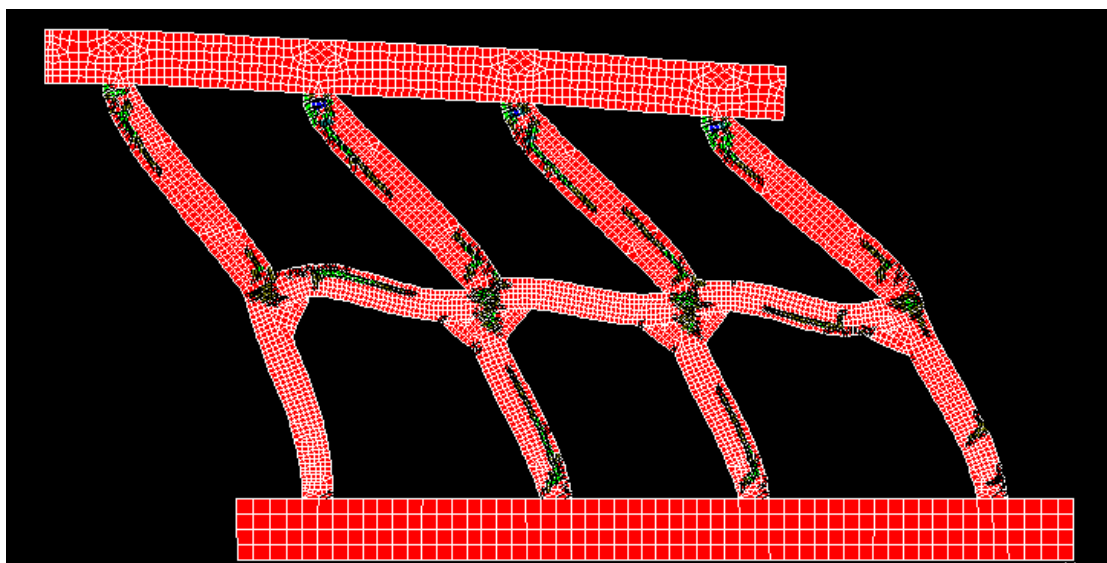
รูปที่ 5-5 Load-Displacement ของตอม่อสะพานช่วงสั้นตามแบบมาตรฐานกรรมทางหลวงปี 1994



รูปที่ 5-6 ตัวอย่างทดสอบที่ 1 และ FEA (PILE BENT 1) เมื่อมีระยะเคลื่อนที่ทางข้างสัมพัทธ์ +1.50% รอบที่ 1



รูปที่ 5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (PILE BENT 1)



รูปที่ 5-8 รูปแบบความเสียหายของตอม่อสะพานตามแบบก่อสร้างกรรมทางหลวงปี 1994

จากผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อตอม่อมีการเคลื่อนที่ทางด้านข้างมากขึ้นจะเกิดความเสียหายบริเวณคานชิดเสา (bracing beam) ในลักษณะ diagonal cracking โดยการกระจายตัวของรอยร้าว (crack propagation) เพิ่มขึ้นจนเกือบตลอดแนวคาน นอกจากนั้น บริเวณ เสาบน จะมี diagonal cracking กระจายต่อเนื่องทั้งสองด้านของปลายเสา สำหรับเสาล่างนั้น diagonal cracking จะกระจายตัวเกือบตลอดความสูงของเสาล่าง

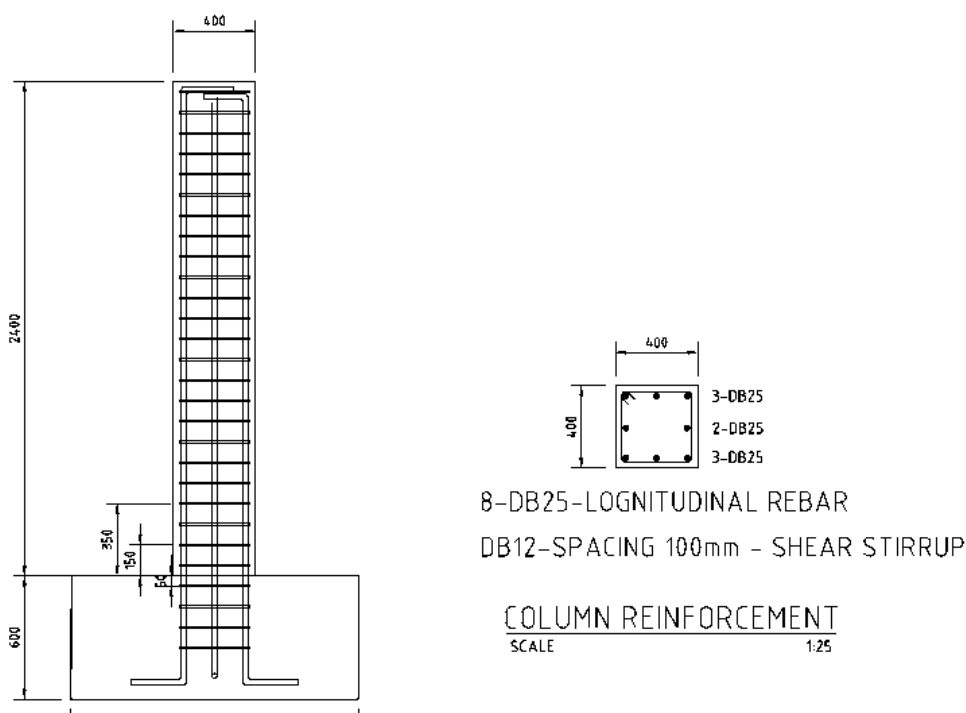
จากลักษณะการพังทลายของตอม่อที่ได้ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงปี 1994 พบว่าตอม่ออาจเกิดความเสียหายแบบ shear failure ในบริเวณเสาหรือคานยึดเสา (bracing beam) ได้ นอกจากนั้นอาจเกิดความเสียหายบริเวณรอยต่อระหว่างเสาและคานได้ โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายและการพังทลายของตอม่อลักษณะนี้ เกิดจากความแข็งแรงของคานยึดเสาและเสาที่ไม่เพียงพอ อันเนื่องจากปริมาณเหล็กเสริมในคานกับเสาที่ค่อนข้างน้อย ดังนั้นหากตอม่ออยู่ภายใต้แรงแผ่นดินไหวขนาดรุนแรงและตอม่อมีการเคลื่อนตัวสูง อาจเกิดความเสียหายและพังทลายในลักษณะประdaeได้

5.1.2. พฤติกรรมการรับแรงแผ่นดินไหวของตอม่อสะพาน ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 (พ.ศ. 2558)

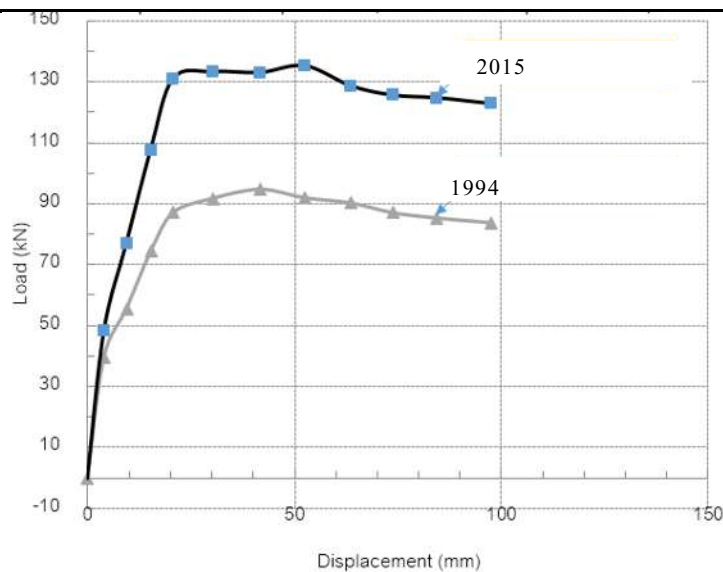
จากข้อด้อยด้านพฤติกรรมความเหนียวของตอม่อตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 1994 ซึ่งเกิดจากการใช้ Batter Pile ที่บริเวณเสาต้นริมทั้งสองข้าง และ ปริมาณเหล็กปลอกรัดหัวเสาที่ไม่เพียงพอตามมาตรฐานโครงสร้างรองรับแผ่นดินไหว กรมทางหลวงได้นำข้อด้อยนี้มาปรับปรุงเป็นแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 ปรับรูปแบบให้เสาต้นริมทั้งสองข้างของตอม่อมีลักษณะตรงในแนวตั้ง มีการเพิ่มเหล็กยื่นในเสา เพิ่มเหล็กปลอกรัดรอบเสาและคานเพื่อเพิ่มกำลังในการรองรับแรงแผ่นดินไหวและเพิ่มความเหนียวของโครงสร้าง จากรูปแบบที่ใช้ในแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 นี้ ที่ปรึกษาได้นำมาศึกษาและวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ ตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบก่อสร้าง โดยการศึกษาได้ใช้ระบบโครงสร้างแบบแยกส่วน (Sub Assembly) ในการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1.2.1. รูปแบบการทดสอบเสาตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015

เสาที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานปี 2015 ที่ทดสอบแยกจากโครงสร้างส่วนอื่นๆ ซึ่งได้เพิ่มกำลังของหน้าตัดของเสาโดยเพิ่มจำนวนเหล็กยื่นและเพิ่มความถี่ของเหล็กปลอกรัดรอบมีพฤติกรรม ดังนี้



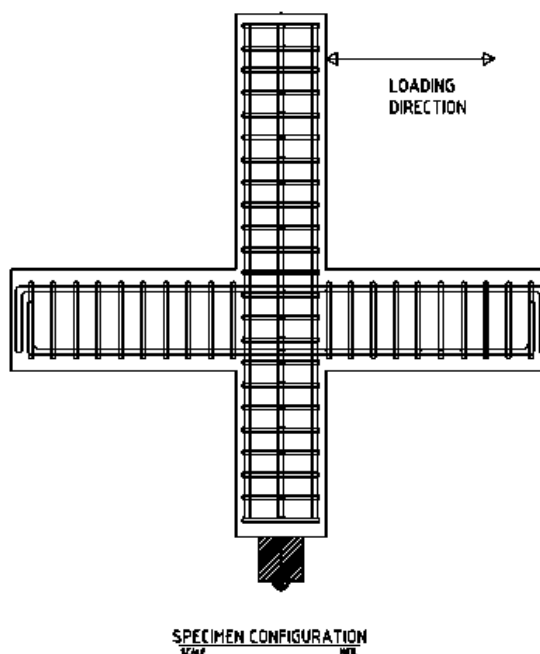
รูปที่ 5-9 ลักษณะของเสาตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015



รูปที่ 5-10 ผลการวิเคราะห์ FEA ของเสาตามแบบมาตรฐานปี 2015 เทียบกับแบบมาตรฐานเดิมในปี 1994

จากผลการวิเคราะห์ FEA แสดงให้เห็นว่าหน้าตัดของเสาตามแบบมาตรฐานปี 2015 ที่ได้เพิ่มปริมาณเหล็กขึ้นและเหล็กปลอกมีกำลังต้านทานแรงดัดข้างได้สูงกว่าเสาที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานปี 1994

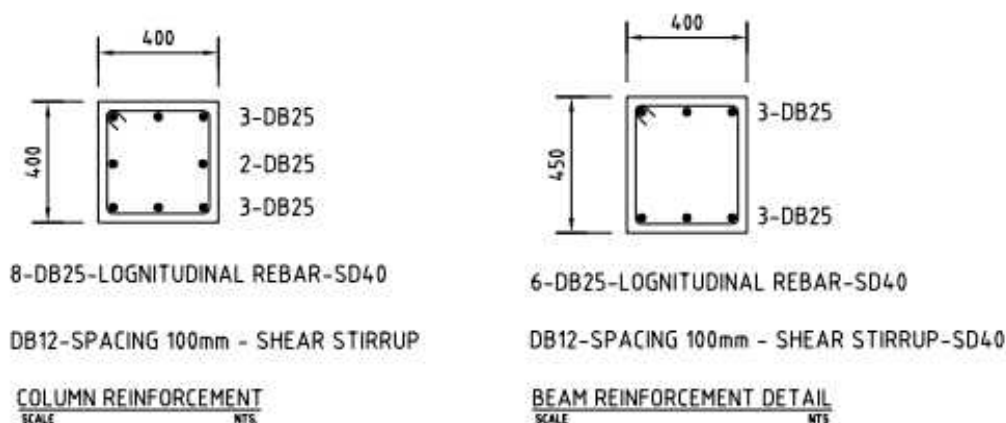
5.1.2.2. รูปแบบการทดสอบรอยต่อเสาคานตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015



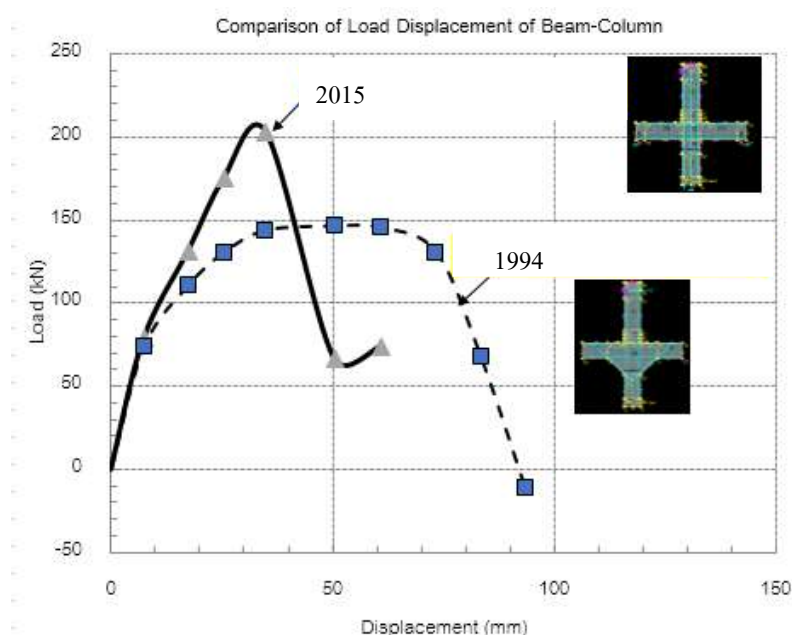
- NOTE;
- 1) THE CLEAR COVERING ARE TO BE 40mm. FOR ALL ELEMENTS
 - 2) ALL REINFORCEMENT STEEL GRADES ARE TO BE;
SD40 FOR DEFORM BARS
SR24 FOR ROUND BARS
 - 3) ALL CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH ARE TO BE 35MPa

รูปที่ 5-11 ลักษณะของรอยต่อคานเสาตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์รอยต่อเสา-คาน (Beam Column Joint) ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 ซึ่งตามแบบมาตรฐานใหม่นี้ได้มีการเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมที่ด้านบนและด้านล่างของคาน และเพิ่มขนาดของคานให้สูงขึ้นเป็น 450 มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่าคานที่ใช้ในแบบมาตรฐานกรมทางหลวงในปี 1994 ที่สูง 400 มิลลิเมตร แต่มีบ่าคานที่รอยต่อ



รูปที่ 5-12 รูปแบบรอยต่อเสา-คานตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015



รูปที่ 5-13 ผลการวิเคราะห์ FEA ของรอยต่อคาน-เสาตามแบบมาตรฐานปี 2015 เทียบกับแบบมาตรฐานเดิมในปี 1994

จากผลการวิเคราะห์ FEA แสดงให้เห็นว่ากำลังของรอยต่อเสา-คานตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 มีความต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้สูงขึ้นจากแบบก่อสร้างตามมาตรฐานกรมทางหลวงปี 1994 อย่างไรก็ตาม ความเหนียวของรอยต่อตามแบบปี 2015 มีค่าต่ำกว่ารอยต่อที่ก่อสร้างตามแบบปี 1994

จากผลการวิเคราะห์เสาและรอยต่อคาน-เสาเพื่อยืนยันพฤติกรรมด้านกำลังของตอม่อสะพานที่ได้ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงฉบับใหม่ปี 2015 นั้น พบว่ากำลังของเสาและรอยต่อคาน-เสามีค่าสูงกว่าแบบมาตรฐานกรมทางหลวงเดิมในปี 1994 อย่างไรก็ตามพฤติกรรมโดยรวมของตอม่อสะพานที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานปี 2015 นั้น

อาจยังไม่เป็นไปตามข้อเสนอแนะของคู่มือออกแบบสะพานและถนนต้านแรงแผ่นดินไหว นั่นคือ รูปแบบความเสียหายของโครงสร้างตอม่อควรมีลักษณะเป็นแบบ Strong Column-Weak Beam เพื่อให้เกิดความเสียหายในบริเวณที่สามารถซ่อมแซมได้ อีกทั้งยังสามารถคงความเหนียวและกำลังของโครงสร้างได้ จากแนวความคิดที่สำคัญนี้ ที่ปรึกษาได้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อปรับปรุงตอม่อสะพานดังที่จะได้แสดงในลำดับถัดไป

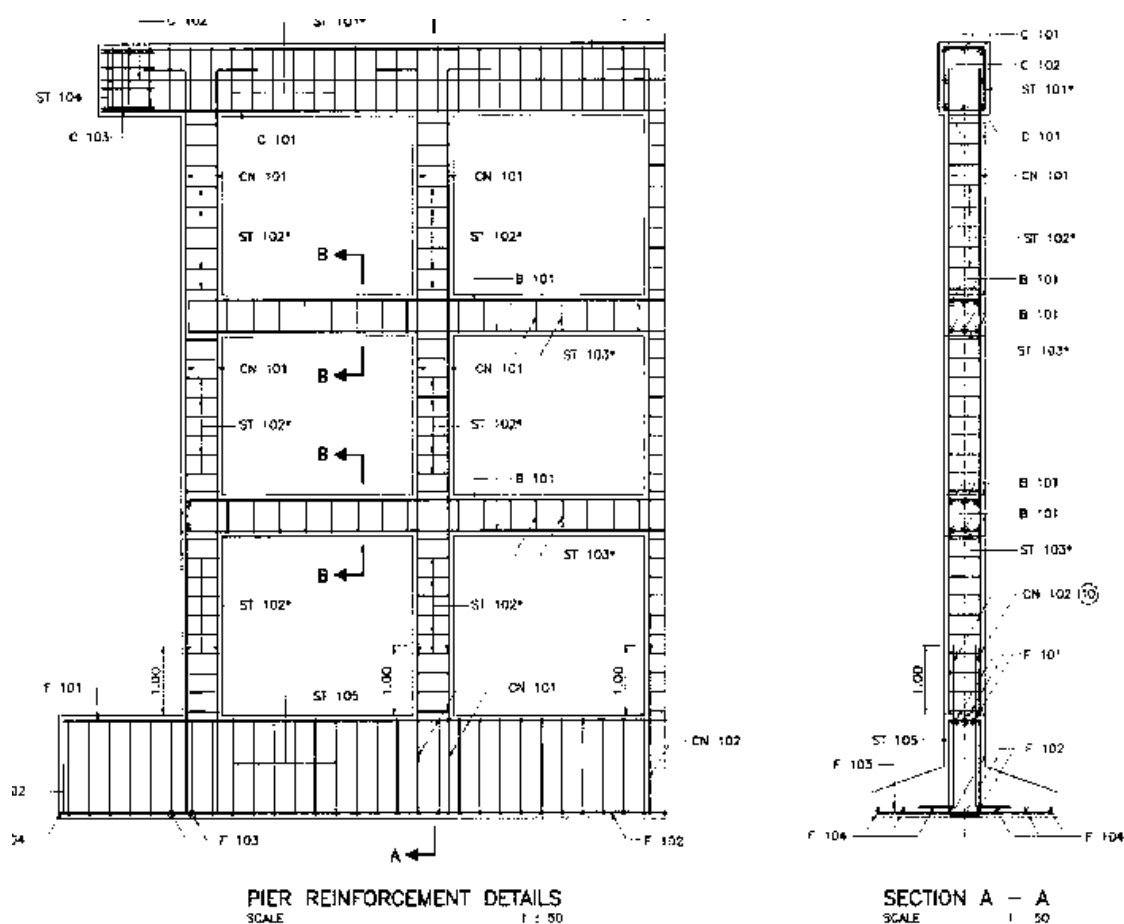
5.2. แนวความคิดการออกแบบเพื่อปรับปรุงตอม่อสะพาน

จากลักษณะความเสียหายและการพังทลายของตอม่อสะพานที่ได้แสดงไปข้างต้นทั้งทั้งตามแบบก่อสร้างปี 1994 และ ปี 2015 ที่ปรึกษาได้พิจารณาปรับปรุงตามแนวทางดังนี้

- เพิ่มกำลังรับน้ำหนักของเสาตอม่อของสะพาน
- ลดโอกาสการพังทลายแบบเปราะเช่น Shear Failure ในบริเวณเสา คาน และรอยต่อคานเสา
- ให้โครงสร้างตอม่อมีความเหนียวที่เพียงพอต่อการรองรับแผ่นดินไหวที่รุนแรงได้ในอนาคต
- ให้เกิดความเสียหายในบริเวณคาน มากกว่าใน เสา และในรอยต่อคานเสา หรือมีลักษณะเป็นแบบ

Strong Column-Weak Beam

จากแนวทางข้างต้น ที่ปรึกษาได้พิจารณาเลือก ขนาดของเสาและคาน โดยใช้รูปแบบตอม่อสะพานตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 เป็นต้นแบบในการปรับปรุงเพิ่มเติม ดังนี้



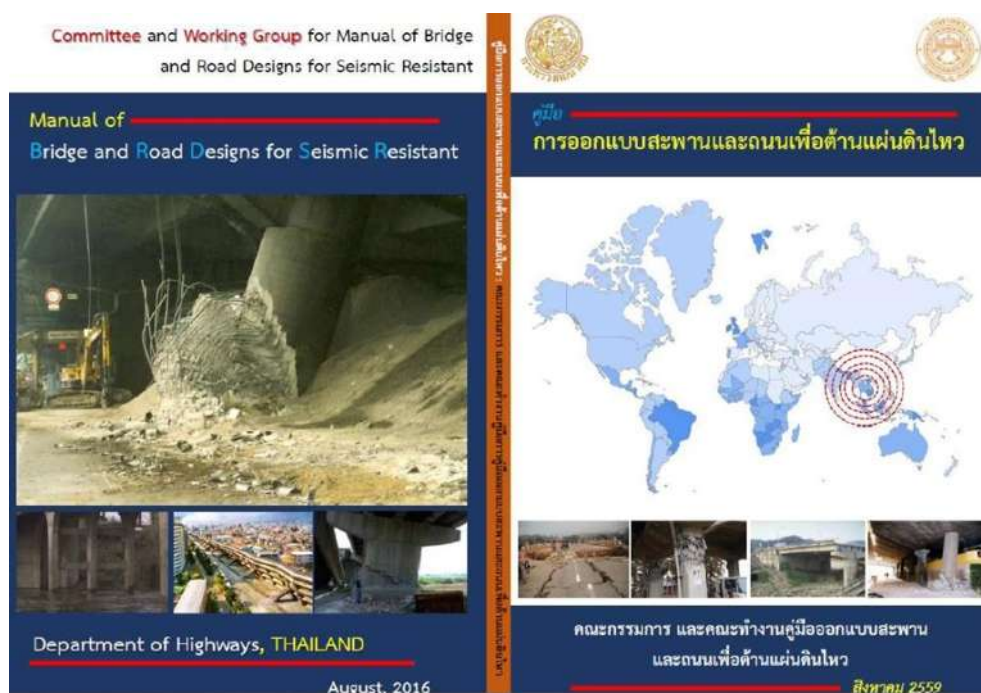
รูปที่ 5-14 ลักษณะของตอม่อแบบ Pile Bent ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015

ตอม่อที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 เสาทุกต้นในจะอยู่ในแนวตั้ง ทำให้พฤติกรรมการรับแรงของ
โครงสร้างมีลักษณะเป็นแบบ เสา-คาน มากกว่ากรณีของ Batter Pile ที่ใช้ในแบบมาตรฐานปี 1994 ซึ่งจะมีแรงตาม
แนวเสาที่เป็นแรงอัดมาก ทำให้ตอม่อตามรูปแบบปี 2015 จะมีความเหนียวได้ดีกว่าแบบปี 1994

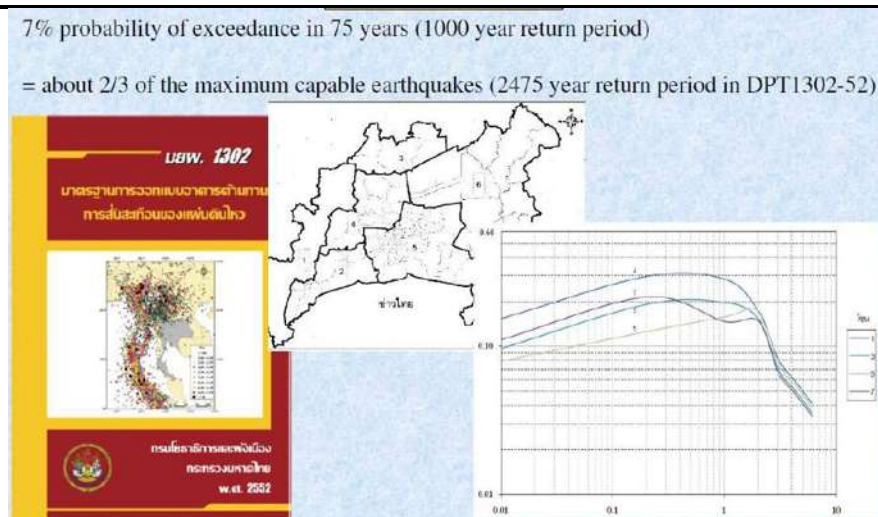
นอกจากนั้น แบบตอม่อตามแบบกรมทางหลวงปี 2015 นี้ ได้ออกแบบให้รอยต่อบริเวณเสาและคานเป็นลักษณะ
สี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยยกเลิกการใช้รูปแบบของ Taper ในบริเวณรอยต่อ ซึ่งจะทำให้การก่อสร้างง่ายมากขึ้น โดยเฉพาะ
การทำแบบหล่อและเสริมเหล็ก อย่างไรก็ตามรูปแบบนี้จะทำให้น้ำตดที่รับแรงของรอยต่อของตอม่อมีพื้นที่น้อยลง
ซึ่งอาจเป็นผลให้กำลังรับแรงเฉือนบริเวณรอยต่อลดลงได้ ซึ่งหากเกิดแผ่นดินไหวในระดับที่รุนแรงและตอม่อมีการ
เคลื่อนตัวมาก จะต้องตรวจสอบให้ไม่เกิดความเสียหายของรอยต่อมากเกินไปจนระดับที่ไม่สามารถซ่อมได้หรือเกิดความ
เสียหายที่นำไปสู่การพังทลายแบบประားของเสาตอม่อได้

นอกจากนั้น เนื่องจากระบบของตอม่อตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 นี้ ออกแบบให้รับแรงด้านข้างเป็น
ลักษณะเสา-คาน (Frame Structure) โดยที่คานและเสาร่วมกันทำหน้าที่ในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นควร
ตรวจสอบลักษณะการถ่ายแรง ลำดับความเสียหายของส่วนโครงสร้าง คานเสา โดยที่จะต้องออกแบบให้ตอม่อมีการ
พังทลายแบบเหนียวหรือไม่เกิดการพังทลายแบบประาะบริเวณ คาน รอยต่อ และเสา และมีความเสียหายของตอม่อ
เป็นแบบ Strong Column-Weak Beam

โดยแนวทางการปรับปรุงและการเสริมเหล็กในตอม่อสะพานนั้น จะดำเนินการตามข้อเสนอแนะในคู่มือการออกแบบ
สะพานและถนนเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว กรมทางหลวง ปี พ.ศ. 2559 ดังรูปที่ 5-15 ซึ่งได้ให้แนวทางได้ในการ
ออกแบบโครงสร้างสะพานไว้ โดยยึดหลักการออกแบบประเภท Force Based Design ที่ผู้ออกแบบจะต้องใช้แผนที่
ความรุนแรงของแผ่นดินไหวตาม Return Period เท่ากับ 1000 ปี ในการคำนวณค่าของแรงแผ่นดินไหวที่นำมาใช้
ในการออกแบบ และคำนวณปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในการออกแบบ โดยค่าของแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการวิเคราะห์
โครงสร้างได้มาจาก Design Response Spectrum ซึ่งขึ้นกับคาบการสั่นไหวของสะพาน ดังแสดงในรูปที่ 5-16



รูปที่ 5-15 คู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อต้านแผ่นดินไหว ปี พ.ศ. 2559



รูปที่ 5-16 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่ใช้ในคู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อด้านทานแผ่นดินไหว

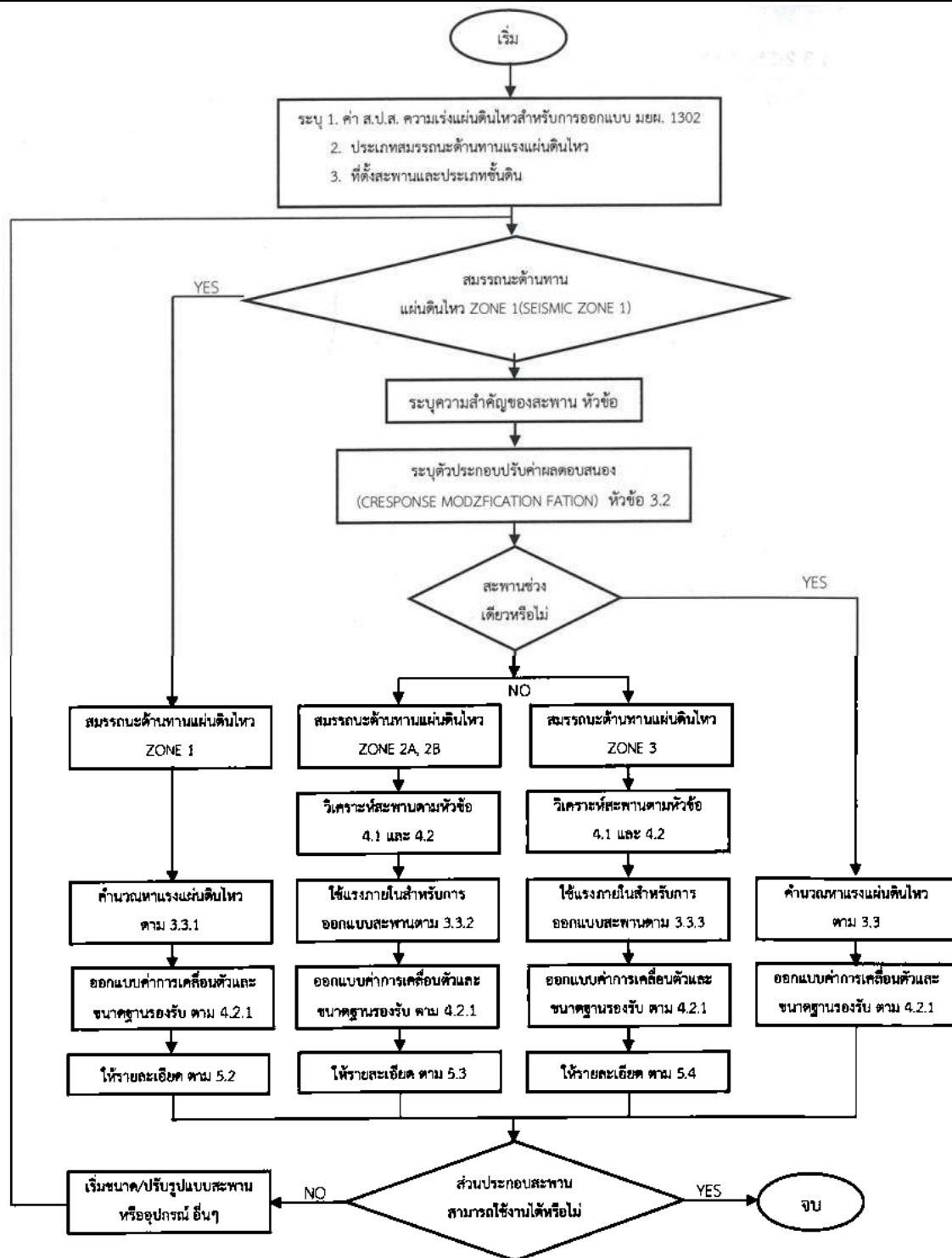
ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างสะพานภายใต้แรงแผ่นดินไหวแสดงในรูปที่ 5-17 ถึง รูปที่ 5-18 โดยเริ่มต้นจากการกำหนดที่ตั้งของสะพานและการเจาะสำรวจเพื่อนำข้อมูลดินมาใช้ในการสร้าง Design Response Spectrum สำหรับการคำนวณแรงแผ่นดินไหว โดยในการกำหนดรูปแบบของโครงสร้างสะพาน ตามคู่มือจะพิจารณาความสามารถในการมีความเหนียวของโครงสร้างได้ในรูปแบบของ Response Modification Factor โดยโครงสร้างที่เป็นลักษณะ Moment Resisting Frame จะสามารถออกแบบให้มีความเหนียวได้ดีกว่าโครงสร้างที่เป็นลักษณะกำแพงหนา ซึ่งผลจากการออกแบบเพื่อให้โครงสร้างมีความเหนียวได้ จะทำให้สามารถลดแรงของแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบลงได้ โดยหลังจากที่ได้ค่าแรงในการออกแบบแล้ว ผู้ออกแบบจะนำแรงที่ได้มาวิเคราะห์หาแรงภายในโครงสร้างเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณเหล็กเสริมที่จำเป็นในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ต่อไป โดยรูปที่ 5-19 ถึง รูปที่ 5-22 แสดงตัวอย่างของสมการที่ใช้ในการหาปริมาณเหล็กเสริมเพิ่มความเหนียวและตัวอย่างของการเสริมเหล็กในบริเวณต่างๆ ที่เหมาะสมเพื่อให้โครงสร้างมีความเหนียวตามที่ออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างสะพานเพื่อด้านทานแรงแผ่นดินไหวในคู่มือนี้ได้กำหนดไว้ดังนี้

1. พิจารณาค่าแรงที่ตั้งสะพานและประเภทของชั้นดิน
2. สร้างค่าของสเปกตรัมตอบสนองสำหรับการออกแบบสะพาน
3. กำหนดประเภทของสมรรถนะด้านทานแผ่นดินไหวของสะพาน (Seismic Performance Zone 1,2,3)
4. พิจารณาลักษณะของโครงสร้างสะพานและคำนวณตัวประกอบลดผลกระทบ (Response Modification Factor)
5. พิจารณาความสำคัญและลักษณะของโครงสร้างสะพานและกำหนดวิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง
6. คำนวณค่าของแรงภายในและค่าของการเคลื่อนตัวของสะพาน
7. รวมแรงภายในของสะพานเนื่องจากแผ่นดินไหวในทิศทางตามยาวและตามขวางของสะพาน
8. รวมแรงแผ่นดินไหวกับแรงประเภทอื่นๆตามสภาวะขีดจำกัดที่กำหนด
9. นำแรงภายในและการเคลื่อนตัวตามสภาวะขีดจำกัดไปทำการออกแบบโครงสร้างสะพาน
10. ให้รายละเอียดการเสริมเหล็กเพิ่มความเหนียวและอุปกรณ์ป้องกันโครงสร้างต่างๆจาก

ขั้นตอนข้างต้น สรุปได้ดังรูปที่ 3.2-1

รูปที่ 5-17 ขั้นตอนการออกแบบสะพานที่ใช้ในคู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อด้านทานแผ่นดินไหว



รูปที่ 5-18 ขั้นตอนการออกแบบสะพานที่ใช้ในคู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว

กรณีเสาสี่เหลี่ยม พื้นที่รวมของเหล็กปลอกที่รัดเป็นวงสี่เหลี่ยมรอบเหล็กเสริมเอกใน
เสา (Rectangular Hoop Reinforcement, A_{sh}) ต้องสอดคล้องกับ

$$A_{sh} \geq 0.30sh_c \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \quad (5.4-2)$$

หรือ

$$A_{sh} \geq 0.12sh_c \frac{f'_c}{f_y} \quad (5.4-3)$$

เมื่อ s คือ ระยะเรียงในแนวดิ่งของเหล็กปลอกที่รัด (มม.) ซึ่งต้องมีค่าไม่เกินค่ากว่า
ค่าในตารางที่ 4.2-1

A_c คือ พื้นที่แกนของเสา (มม.²)

A_g คือ พื้นที่รวมของเสา (มม.²)

A_{sh} คือ พื้นที่รวมของเหล็กปลอกที่รัด (Hoops) ซึ่งรวมถึงเหล็กรั้ง (Cross Ties) ซึ่งมี
ระยะเรียง s และคล้องผ่านพื้นที่หน้าตัดซึ่งมีมิติของแกนเสา (Core
Dimension) เท่ากับ h_c (มม.²)

h_c คือ มิติของแกนเสาในทิศทางที่พิจารณา (มม.)

รูปที่ 5-19 สมการที่ใช้หาปริมาณเหล็กรัดเสา (Column Tie) ที่ใช้ในคู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อด้านทาน
แผ่นดินไหว

ตารางที่ 4.2-1 ระยะเรียงของเหล็กปลอกที่รัด (s) ซึ่งแปรผันตามพื้นที่สมรรถนะแผ่นดินไหว

พื้นที่สมรรถนะของแผ่นดินไหว	ระยะเรียง (มม.)
1 (สำหรับ $0.10 \leq S_{DI} \leq 0.15$) และ 2A	150
2B และ 3	100

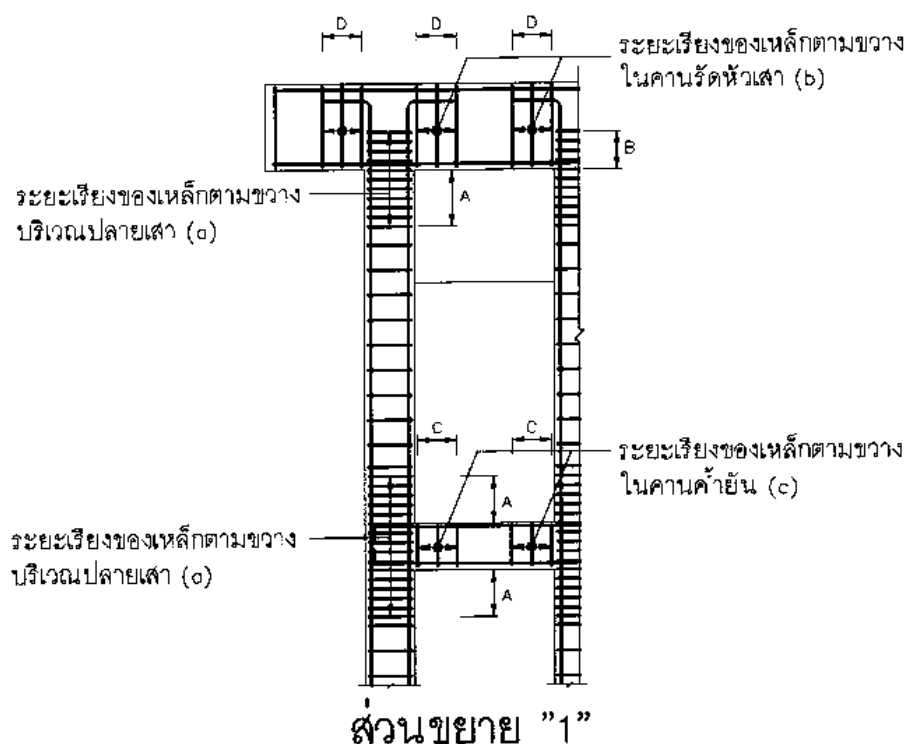
รูปที่ 5-20 ระยะห่างของเหล็กรัดเสา (Column Tie) ที่ใช้ในคู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อด้านทาน
แผ่นดินไหว

5. ระยะเรียงของเหล็กเสริมตามขวางสำหรับการโอบรัด (Spacing Of Transverse Reinforcement For Confinement)

เหล็กเสริมตามขวางเพื่อการโอบรัด จำเป็นต้อง

- จัดวางให้อยู่ในบริเวณปลายบน และปลายล่างของเสาภายในระยะซึ่งไม่น้อยค่าที่มากกว่าของ (1) มิติด้านมากของเสา (2) $1/6$ ของความสูงเว้นว่างของเสา (Clear Height) หรือ (3) 450 มม.
- ให้เรียงเหล็กเสริมเหล่านี้นี้เข้าไปรอยต่อที่ปลายทั้งสองของเสาตามที่ระบุในหัวข้อ 5.4.3
- ที่ปลายบนของเสาเพิ่มเติม ให้เรียงเหล็กเสริมตามขวางเหมือนเช่นที่ปฏิบัติกับเสา
- จากข้อ (ค) ณ อีกปลายหนึ่งของเสาเพิ่มเติม ให้เรียงเหล็กเสริมตามขวางในพื้นที่ที่วัดต่ำลงไปเป็นระยะ 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเสาเพิ่มเติมจากจุดที่เกิดโมเมนต์ดัด

รูปที่ 5-21 ข้อกำหนดเพิ่มเติมบริเวณเสริมเหล็กรัดเสา (Column Tie) ที่ใช้ในคู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อด้านทานแผ่นดินไหว

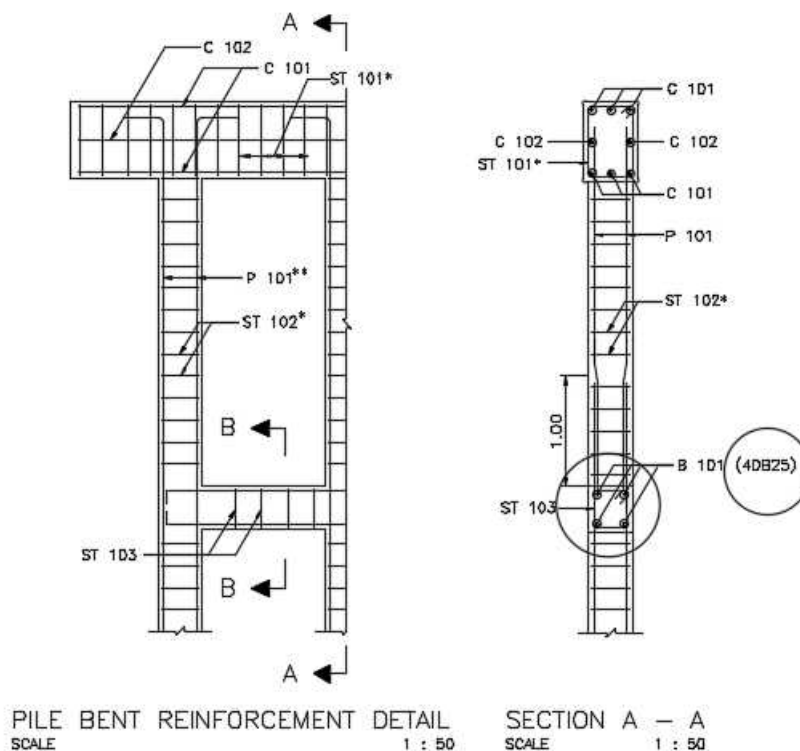
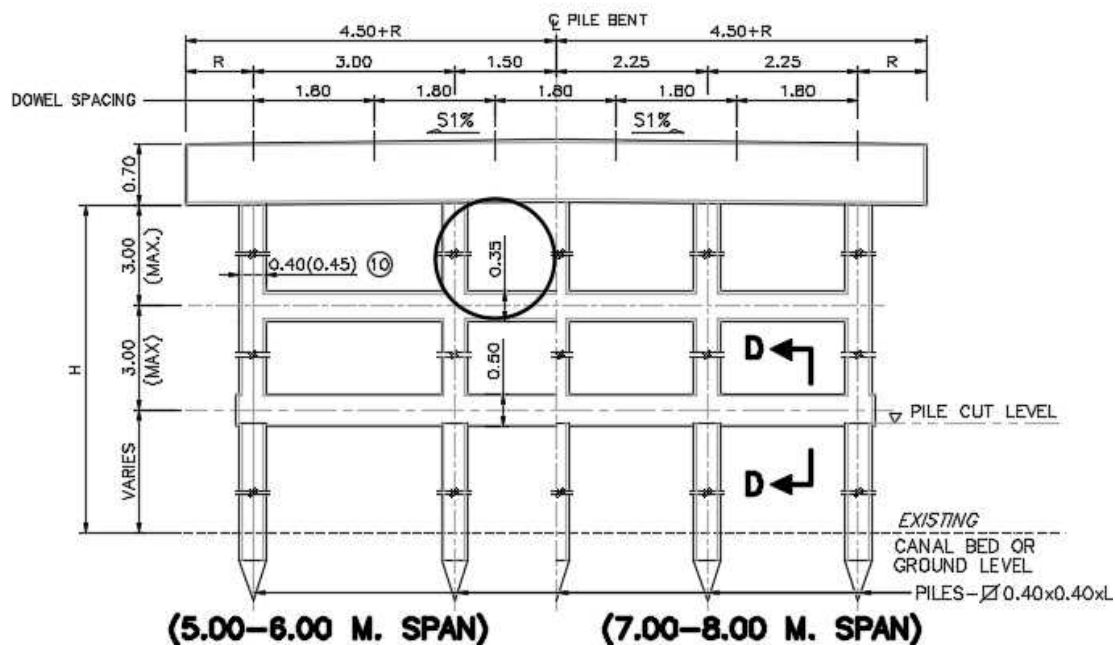


หมายเหตุ

- A = ความยาวบริเวณปลายเสาที่ทำการเสริมเหล็กตามขวาง
- B = ความยาวรอยต่อปลายเสาและคานรัดที่ทำการเสริมเหล็กตามขวาง
- C = ความยาวบริเวณคานค้ำยันที่ทำการเสริมเหล็กตามขวาง
- D = ความยาวในคานรัดหัวเสาที่ทำการเสริมเหล็กตามขวาง
- E = ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมจากเสาเข็มและเสาหล่อในที่

รูปที่ 5-22 ตัวอย่างแสดงบริเวณเสริมเหล็กรัดเสา (Column Tie) สำหรับ Pile Bent และ Multiple Column Bent ที่ใช้ในคู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อด้านทานแผ่นดินไหว

จากแนวทางที่ใช้ในการออกแบบตามคู่มือออกแบบสะพานและถนนเพื่อด้านแรงแผ่นดินไหวนี้ ที่ปรึกษาได้นำมาประกอบเป็นแนวทางในการเลือกขนาดของ คาน เสา และ รอยต่อคานเสา รวมทั้งปริมาณเหล็กเสริมที่เหมาะสมเพื่อให้พฤติกรรมของโครงสร้างต่อม่อสะพานมีพฤติกรรมเป็นแบบ Strong Column-Weak Beam โดยตัวอย่างของรูปแบบของ เสา คาน และเหล็กเสริม แสดงในรูปที่ 5-23



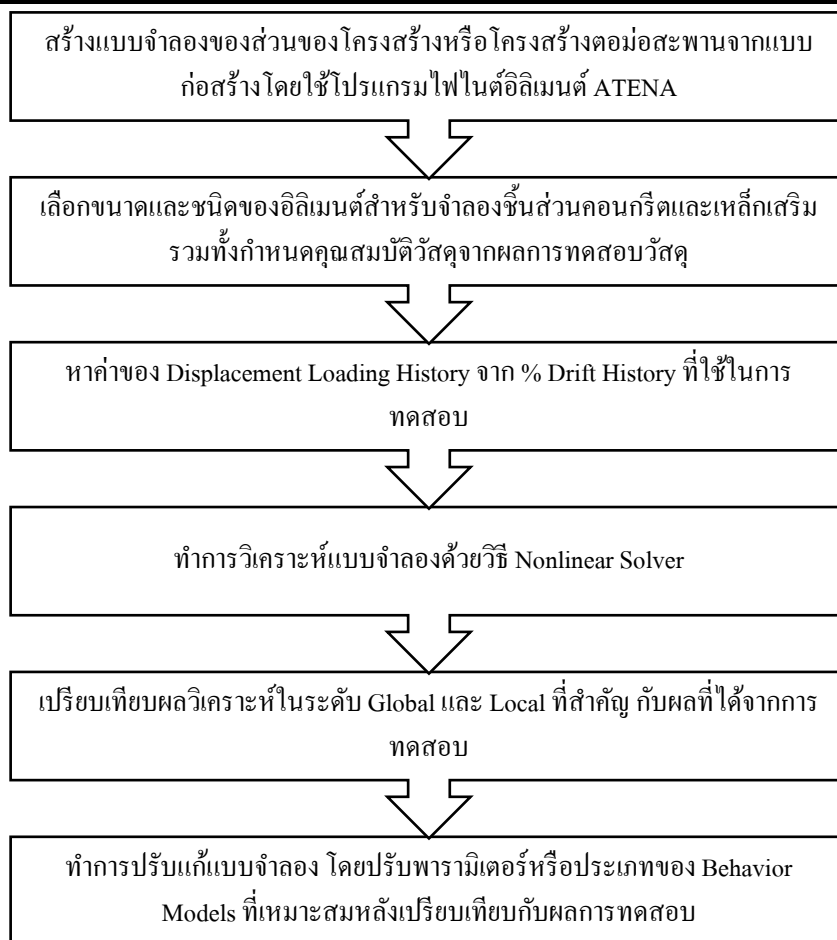
รูปที่ 5-23 ตัวอย่างรายละเอียดการปรับปรุงขนาดและเหล็กเสริม สำหรับ Pile Bent และ Multiple Column Bent ที่ใช้
ในคู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อด้านทานแผ่นดินไหว

เพื่อให้ตอม่อสะพานมีพฤติกรรมการวิบัติแบบเหนียว และลำดับการวิบัติเกิดขึ้นที่คาน ก่อนเสา หรือ รอยต่อ ในลักษณะ Strong Column- Weak Beam ที่ปรึกษาได้เสนอแบบปรับปรุงส่วนของโครงสร้าง เสา รอยต่อคานเสา และแผ่นยางรองสะพาน ดังรายละเอียดที่แสดงในบทที่ 3 โดยแบบก่อสร้างเสาที่เสนอการปรับปรุงนี้จะเหมือนกับแบบมาตรฐานปี 2015 ส่วนแบบก่อสร้างรอยต่อคานเสาที่เสนอการปรับปรุงนี้ ได้ลดความลึกของคานยึดเสา (Bracing Beam) จากแบบมาตรฐานปี 2015 ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 0.45 เมตร ให้เหลือ 0.35 เมตร และลดจำนวนเหล็กตามยาวในคานยึดเสาด้านบน 3DB25 และ ด้านล่าง 3DB25 ให้เหลือ ด้านบน 2DB25 และ ด้านล่าง 2DB25 เพื่อลดสตีเฟนและกำลังของคานลง ซึ่งจะทำให้แรงและโมเมนต์ดัดที่ถ่ายเข้าสู่เสาและรอยต่อคานเสาลดลง ช่วยลดโอกาสที่เสาและรอยต่อคานเสาจะพังทลายก่อนคานยึดเสาได้ ทั้งนี้ขนาดของคานยึดเสาและปริมาณเหล็กในโครงสร้างต่างๆ ยังสามารถรองรับแรงเนื่องจาก น้ำหนักคงที่ (DL) น้ำหนักจร (LL+IM) รวมถึงแรงกระทำด้านข้างต่างๆ เช่น แรงลม แรงเบรกของรถบรรทุก แรงเนื่องจากกระแสน้ำ รวมทั้งแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวตามคู่มือการออกแบบสะพานและถนนเพื่อด้านแรงแผ่นดินไหวได้ ส่วนแผ่นยางรองสะพานได้เสนอปรับปรุงให้เหล็กเดือยมีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้การสั่นไหวของมวลโครงสร้างส่วนบนสามารถถ่ายแรงลงสู่ตอม่อเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวได้อย่างสมบูรณ์

ในบทที่ 4 ที่ปรึกษาได้ดำเนินการทดสอบส่วนของโครงสร้าง อันได้แก่ เสา รอยต่อคานเสา แผ่นยางรองสะพาน เหล็กเดือย และโครงสร้างตอม่อขนาดเท่าจริง ที่ได้เสนอให้ปรับปรุงเพิ่มเติมจากแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015 และในหัวข้อถัดไปจะเป็นการวิเคราะห์ผลทดสอบด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์แบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อยืนยันพฤติกรรมด้านต่างๆของแบบก่อสร้างที่ได้นำเสนอให้ปรับปรุง เช่น กำลังรับแรงด้านข้าง ค่าความเหนียว โหมดการวิบัติ และลำดับการวิบัติ

5.3. ผลการวิเคราะห์ 2D Finite Element Analysis โดยใช้ Program ATENA เปรียบเทียบกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (ส่วนของโครงสร้างและตอม่อสะพานที่ได้รับการปรับปรุงใหม่)

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์สำหรับ เสา รอยต่อคานเสา แผ่นยางรองสะพาน และ เหล็กเดือย เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับพฤติกรรมจริงที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และทำการ Calibrate Modeling Parameters สำหรับใช้ขยายผลในการใช้ออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างตอม่อรูปแบบอื่นๆ ที่มีได้มีผลการทดสอบ ขั้นตอนการสร้างและปรับแบบจำลองแสดงดังรูปที่ 5-24

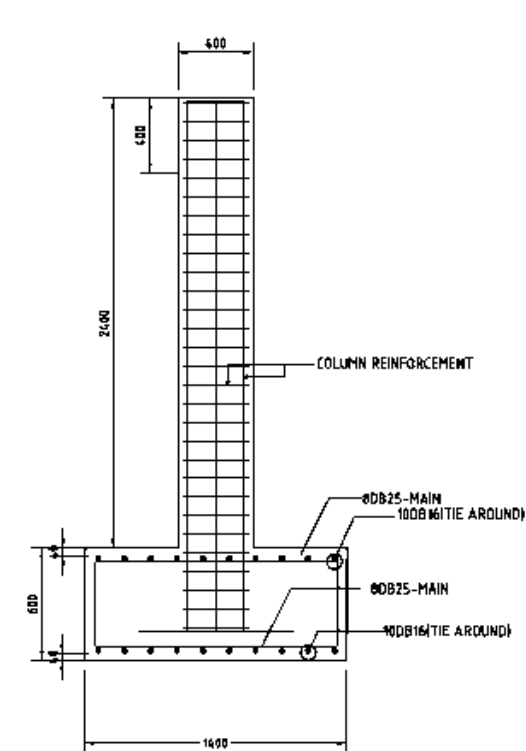


รูปที่ 5-24 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์สำหรับ 3 ส่วนของโครงสร้าง และโครงสร้างค่อมสะพาน

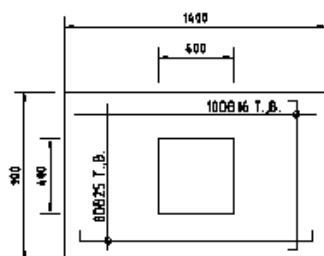
5.3.1. เสาหลังปรับปรุงแบบ

5.3.1.1. การสร้างแบบจำลองเสาหลังปรับปรุงแบบ

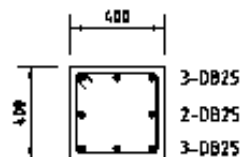
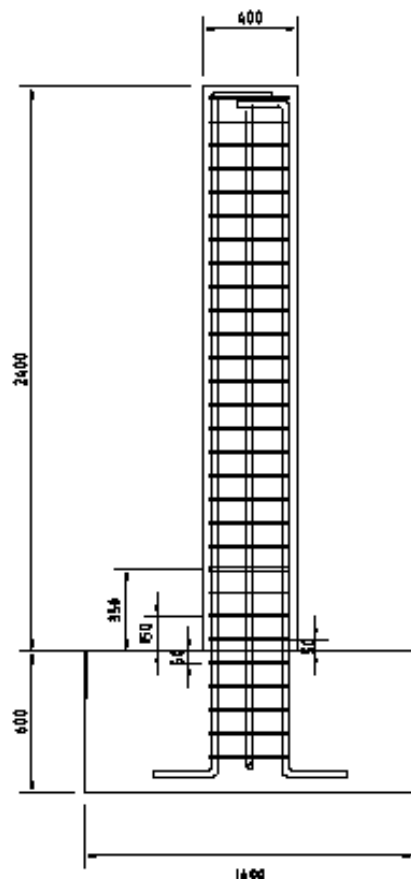
แบบก่อสร้างเสาที่ได้ปรับปรุงรูปแบบการเสริมเหล็กแสดงดังรูปที่ 5-25 การจำลองแรงผลักและดึงต่อเสาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแสดงดังรูปที่ 5-26 การสร้างแบบจำลองเสาพิจารณาเลือกใช้อีลิเมนต์ประเภท 2D Four Nodes Iso-parametric Plane Stress Element ที่สามารถปรับรูปร่างของอีลิเมนต์หรือตำแหน่งของ Nodes ที่มุมให้สอดคล้องกับรูปร่างของชิ้นส่วนโครงสร้าง รวมทั้ง Mesh Topology ได้ โดยตัวอย่างของ Four Nodes Iso-parametric Plane Stress Element แสดงในรูปที่ 5-27



FOOTING REINFORCEMENT DETAIL
SCALE 1:25



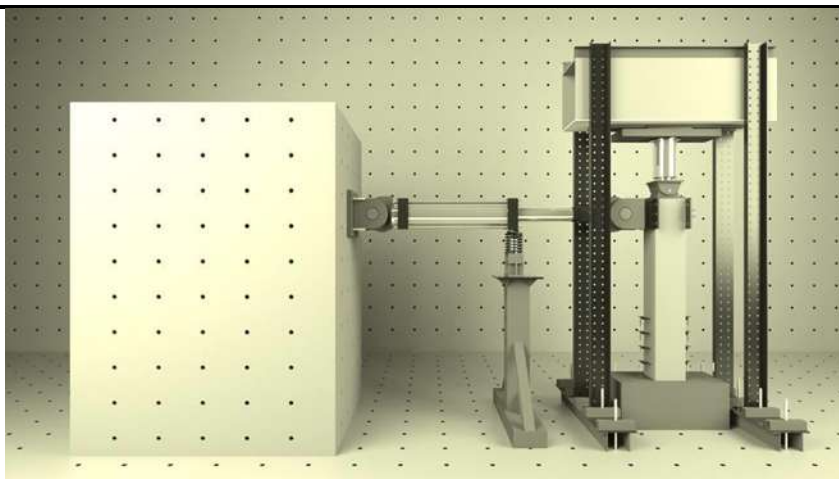
FOOTING REINFORCEMENT PLAN
SCALE 1:25



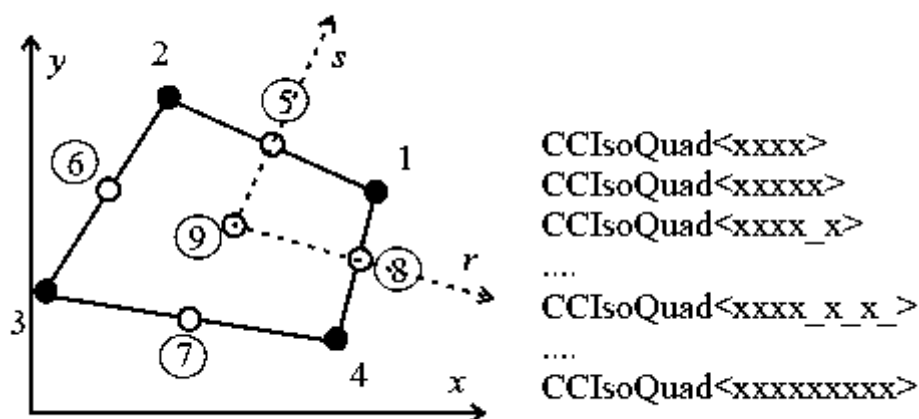
8-DB25-LONGITUDINAL REBAR
10DB12-SPACING 100mm - SHEAR STIRRUP

COLUMN REINFORCEMENT-SPECIMEN1
SCALE

รูปที่ 5-25 ขนาดและการเสริมหลักของเสาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง
(รูปแบบตอม่อที่ได้ปรับปรุงจากแบบมาตรฐานปี 2015)



รูปที่ 5-26 รูปแบบของการทดสอบและ Reaction Frame ที่จำลองแรงกระทำต่อเสา

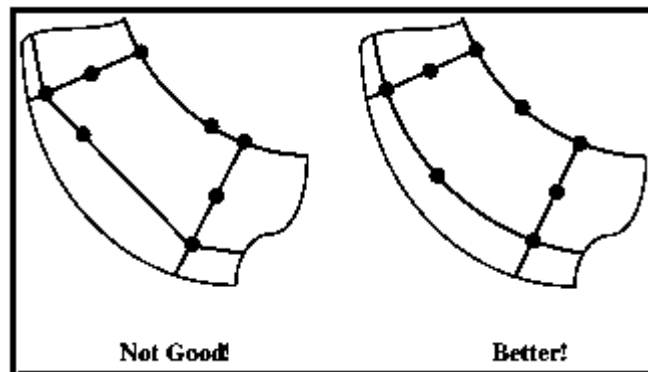


รูปที่ 5-27 ตัวอย่างของ 2D Iso-parametric plane stress element

เพื่อให้ลักษณะของ Mesh Topology ที่ใช้สร้างแบบจำลองมีขนาดสม่ำเสมอ และ Element มีรูปร่างที่เหมาะสม ไม่เกิดการบิดหรือเสียรูป (Mesh Distortion) จนทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณ (Computation Errors) ที่ปรึกษาได้เลือกใช้ Automatic Mesh Generation ที่มีอยู่ ATENA โดยจะเลือกขนาดของ Element ให้อยู่ในช่วงประมาณ 2-3 เท่าของ Maximum Aggregate Size (5-7 ซม.) เนื่องจากการจำลองชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก ข้อเสนอแนะด้านการบิดหรือเสียรูปของ Element แสดงในรูปที่ 5-28 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

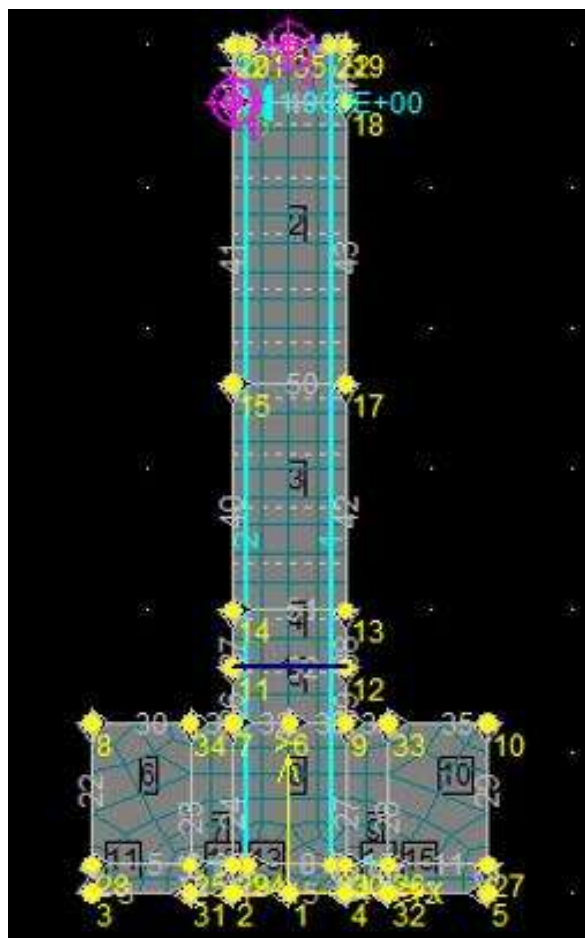
- เส้นขอบของ Element ควรจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- หาก Element มี Middle Node ระหว่าง Corner Nodes เช่น 8 หรือ 9 Node Element ควรให้ Middle Node อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางมากที่สุด
- หาก Element มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มุมเฉียงควรมีค่าน้อยกว่า 25 องศา

- หาก Element มีลักษณะโค้ง หรือ Node มีการ Offset ควรจัดให้ขอบทั้งสองฝั่ง หรือหน้าทั้งสองด้านมีความโค้ง (Curvature) หรือระยะ Offset ที่ใกล้เคียงกัน และใช้จำนวนจุดในการวิเคราะห์ที่เหมาะสม (Optimal Sample Points)



รูปที่ 5-28 ข้อเสนอแนะและตัวอย่างของ Mesh Distortion

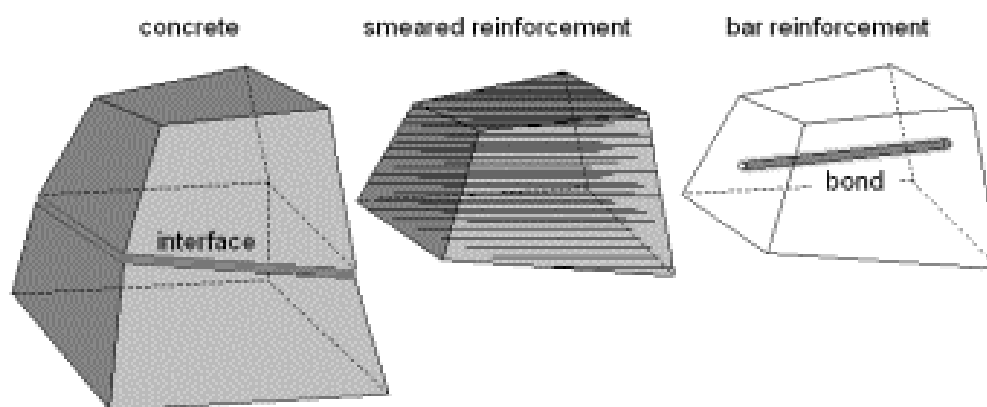
จากหลักการที่นำเสนอใช้ในการสร้างแบบจำลอง ตัวอย่างแบบจำลองเสาที่จะใช้ในการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 5-29



รูปที่ 5-29 แบบจำลองเสาที่ใช้ทดสอบการเคลื่อนตัวกลับไปกลับมาแบบวัฏจักร

ตัวอย่างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของเสาที่แสดงข้างต้น ได้มีการกำหนดคุณลักษณะที่สำคัญ ดังนี้

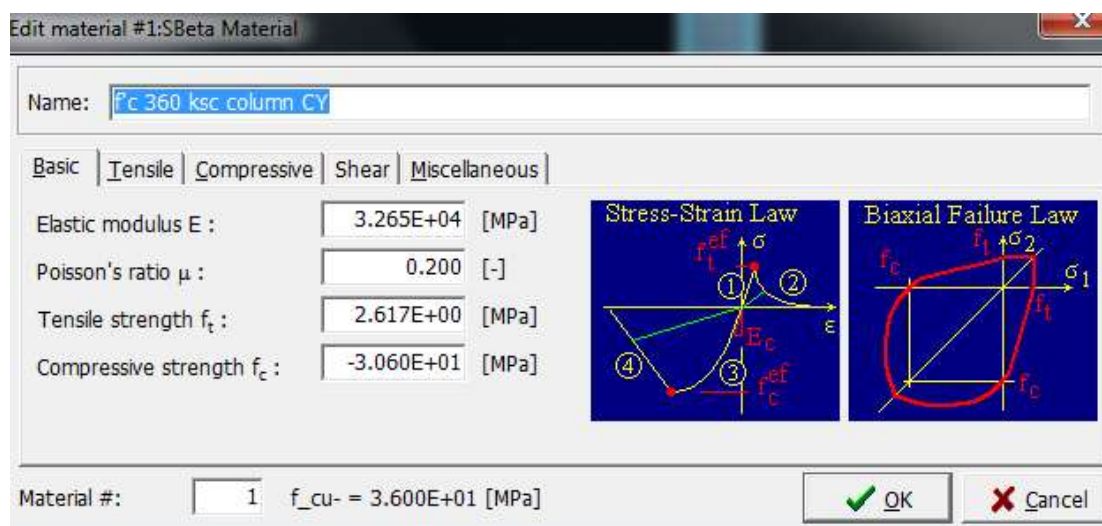
- Concrete Elements มีขนาด 2-3 เท่าของ Maximum Aggregate Size
- เหล็กปลอกหรือเหล็กตะแกรงที่กระจายอย่างสม่ำเสมอในแกนหรือเสาจำลองโดยใช้ Smeared Reinforcement
- เหล็กเสริมตามยาวในแกนและเหล็กยื่นในเสาพิจารณาใช้ Embedded Reinforcement เพื่อให้สามารถจำลองการวางเหล็กเสริมที่ซับซ้อนตามแบบก่อสร้างได้



รูปที่ 5-30 ตัวอย่าง Smeared Reinforcement และ Embedded Reinforcement ของ FE Model

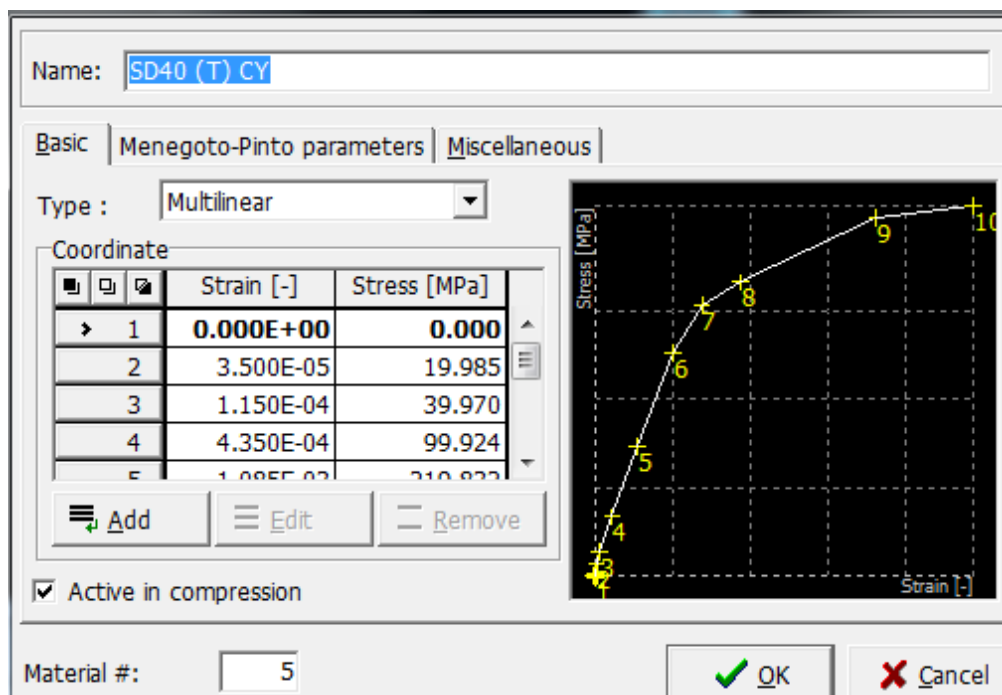
- แบบจำลองวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองเสามัดดังนี้

13) แบบจำลองคอนกรีตภายใต้แรงอัดและแรงดึง

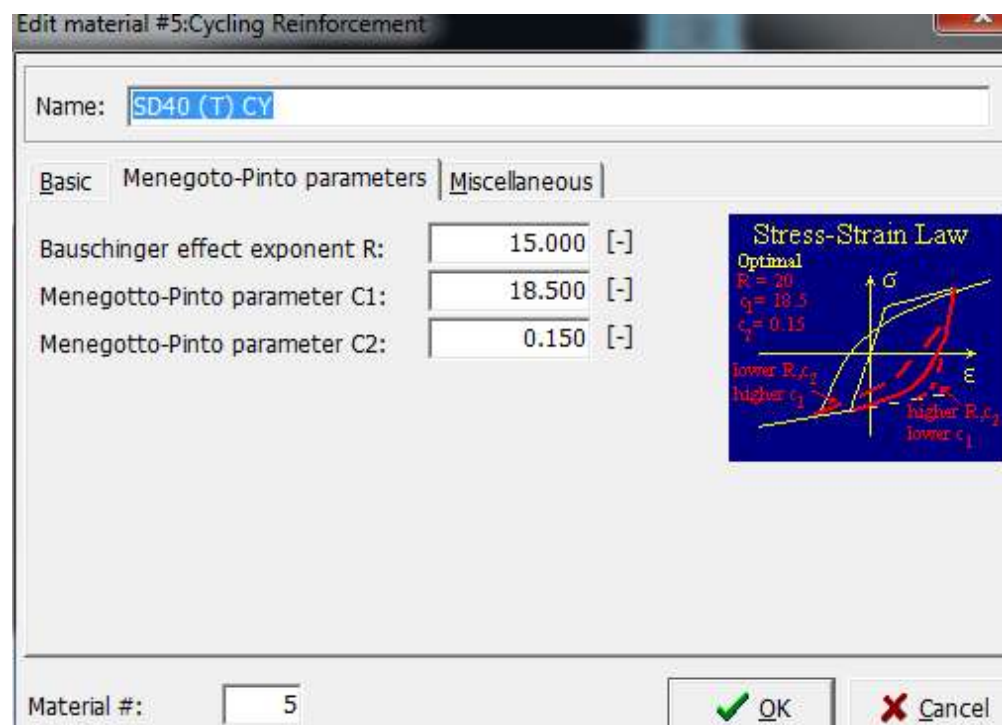


14) แบบจำลองของเหล็กเสริมขึ้นในเสาที่เป็นประเภท SD40T

2.1) Envelop Curve



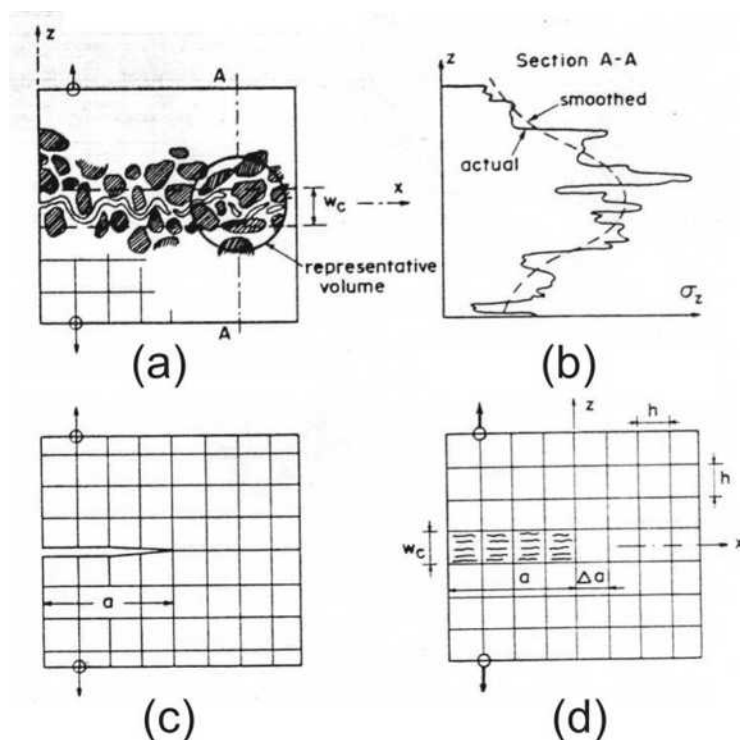
2.2) Menegotto-Pinto กรณีแรงกระทำเป็นแบบวัฏจักร



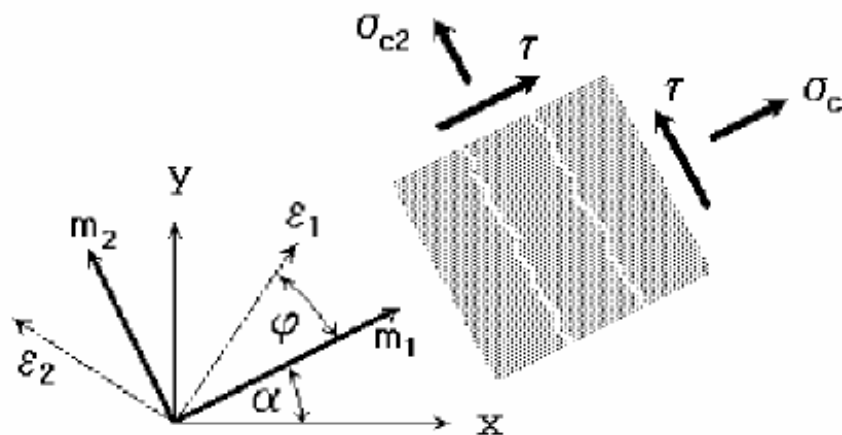
- สำหรับค่าอื่นๆของวัสดุก่อสร้าง ที่ไม่สามารถทดสอบได้ จะพิจารณาใช้ตามข้อเสนอแนะของคู่มือการใช้งาน โปรแกรม ATENA ดังเช่น

Parameter:	Formula:
Cylinder strength	$f'_c = -0.85 f'_{cu}$
Tensile strength	$f'_t = 0.24 f'_{cu}^{\frac{2}{3}}$
Initial elastic modulus	$E_c = (6000 - 15.5 f'_{cu}) \sqrt{f'_{cu}}$
Poisson's ratio	$\nu = 0.2$
Softening compression	$w_d = -0.0005 mm$
Type of tension softening	1 – exponential, based on G_F
Compressive strength in cracked concrete	$c = 0.8$
Tension stiffening stress	$\sigma_{st} = 0.$
Shear retention factor	variable (Sect.2.1.7)
Tension-compression function type	linear
Fracture energy G_F according to VOS 1983	$G_F = 0.000025 f'_t [MN/m]$
Orientation factor for strain localization	$\gamma_{max} = 1.5$ (Sect.2.1.3)

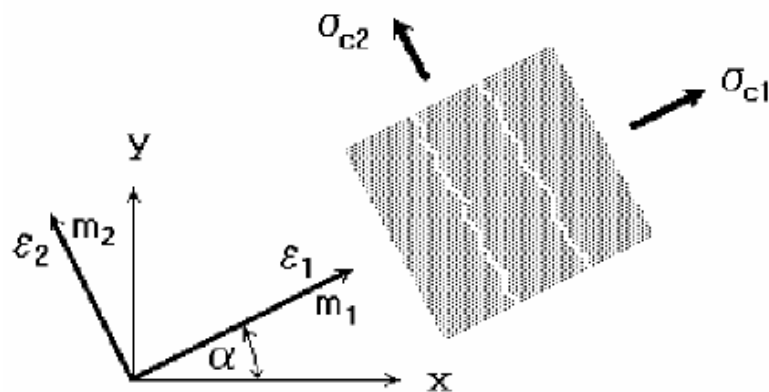
- การจำลองการแตกร้าว (Crack) พิจารณาใช้ Smeared Rotating Crack และ Smeared Fixed Crack



รูปที่ 5-31 ตัวอย่างระหว่าง Discrete และ Smear Crack ของ FE Model



รูปที่ 5-32 ตัวอย่างของ Fixed Crack ของ FE Model

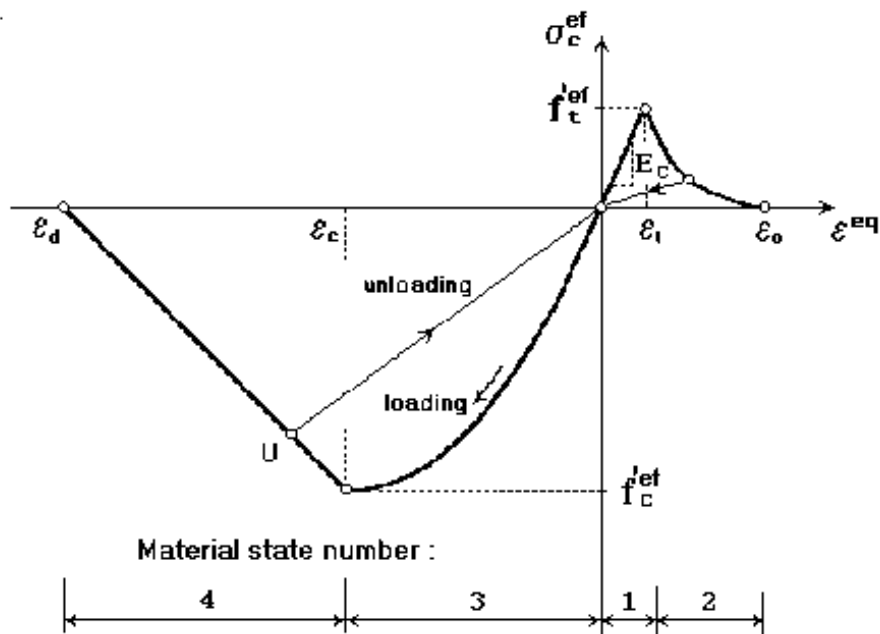


รูปที่ 5-33 ตัวอย่างของ Rotated Crack Model ของ FE Model

แบบจำลองวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองโครงสร้าง มีดังนี้

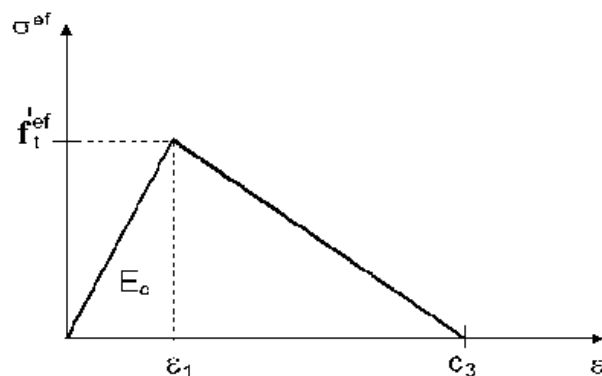
- Concrete Behavior Model using SBETA
- โดยพฤติกรรมที่พิจารณาในแบบจำลองนี้ได้แก่

k) Nonlinear Behavior in compression including hardening and softening

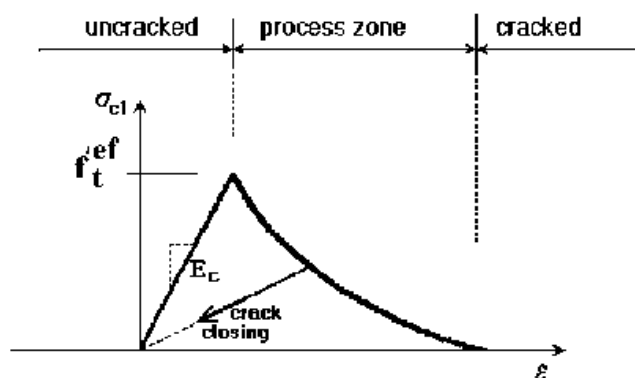


รูปที่ 5-34 ตัวอย่างของ Uniaxial Stress-Strain Curve ที่ใช้ใน Concrete

l) Fracture of concrete in tension based on the nonlinear fracture mechanics

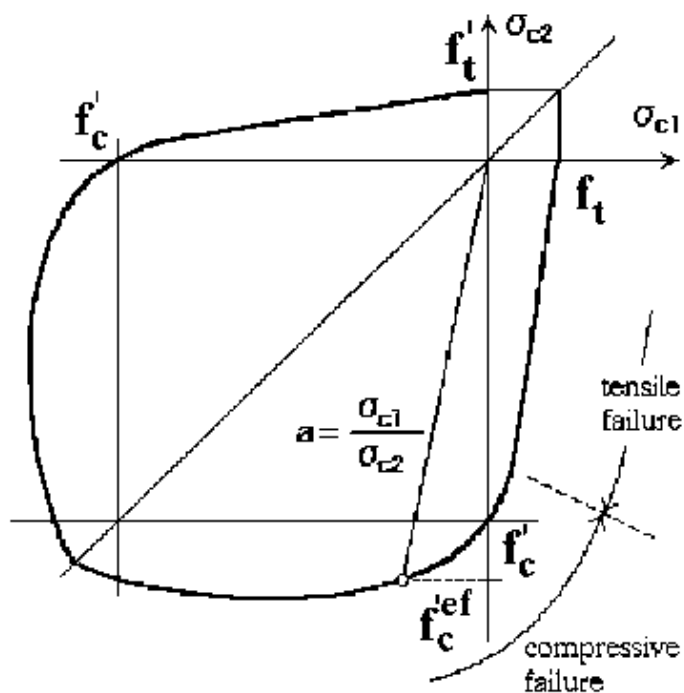


รูปที่ 5-35 ตัวอย่างของ Tension Softening Curve ที่ใช้ใน Concrete



รูปที่ 5-36 ตัวอย่าง การพิจารณาการเปิดและปิดของรอยแตกร้าวที่ใช้ใน Concrete

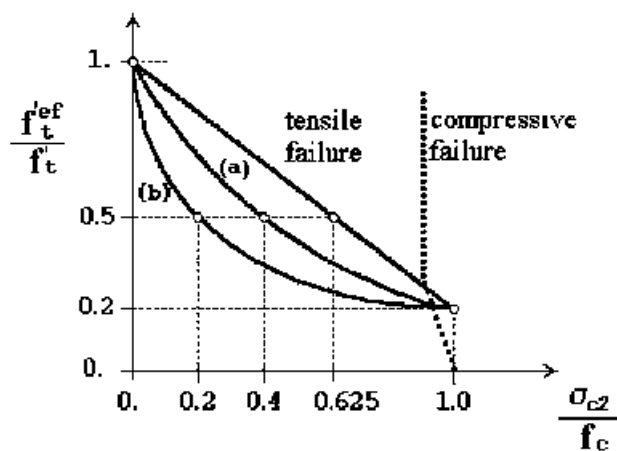
m) Biaxial strength failure criterion



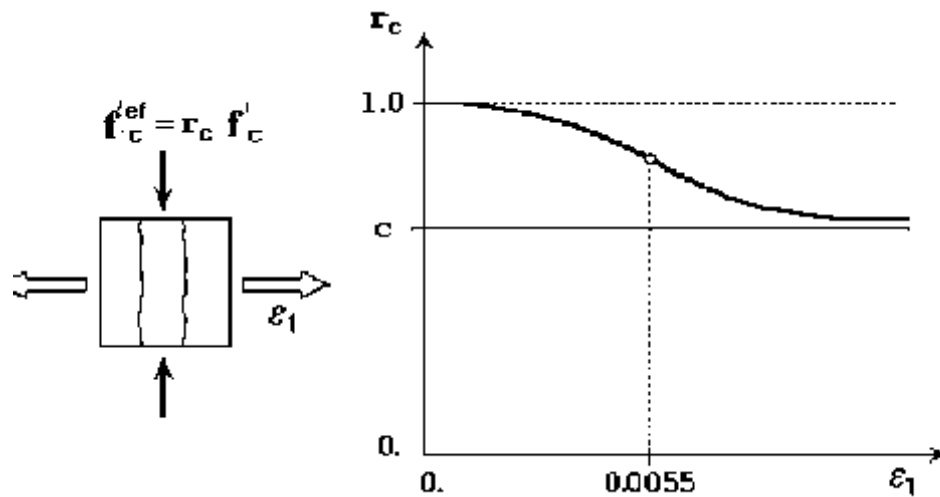
รูปที่ 5-37 ตัวอย่างของ กำลังของ concrete ภายใต้ความเค้นที่กระทำในสองทิศทาง

n) Reduction of compressive strength after cracking

type	point		parameters	
	r	x	A	K
a	0.5	0.4	0.75	1.125
b	0.5	0.2	1.0625	6.0208



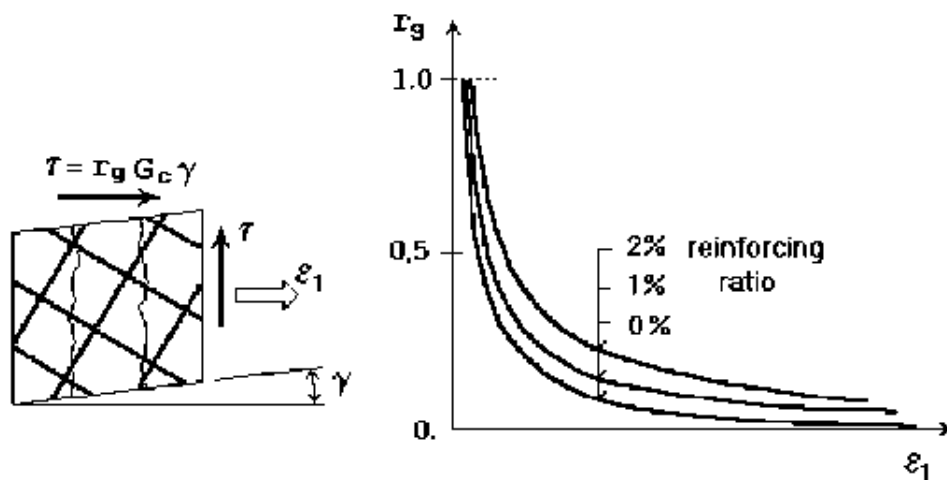
รูปที่ 5-38 ตัวอย่าง กำลังของ Concrete ที่ลดลง ภายใต้ความเค้นอัดและดึงที่กระทำในสองทิศทาง



รูปที่ 5-39 ตัวอย่างกำลังของ Concrete ที่ลดลง ภายใต้ความเค้นอัดและดิ่งที่กระทำในสองทิศทางกรณีใช้

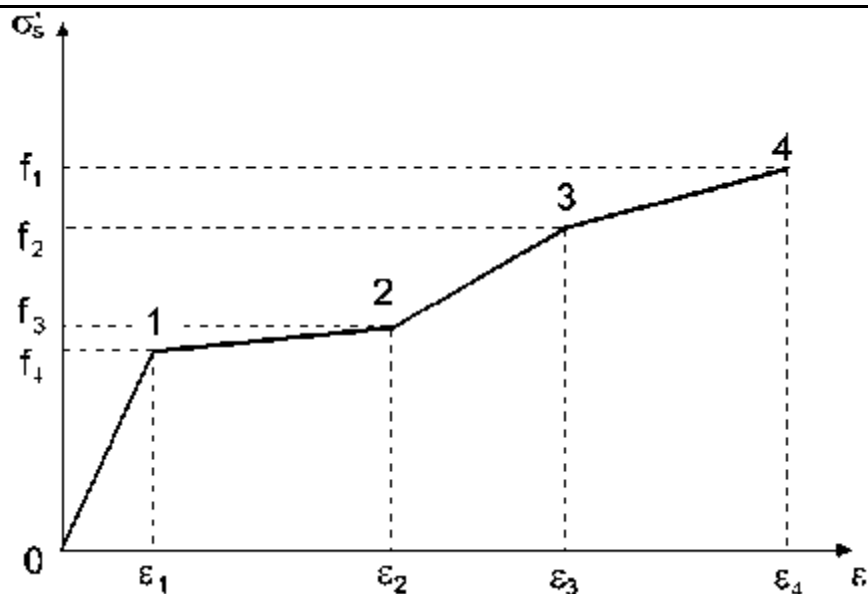
Compression Softening Model

- o) Tension stiffening effect
- p) Reduction of shear stiffness after cracking



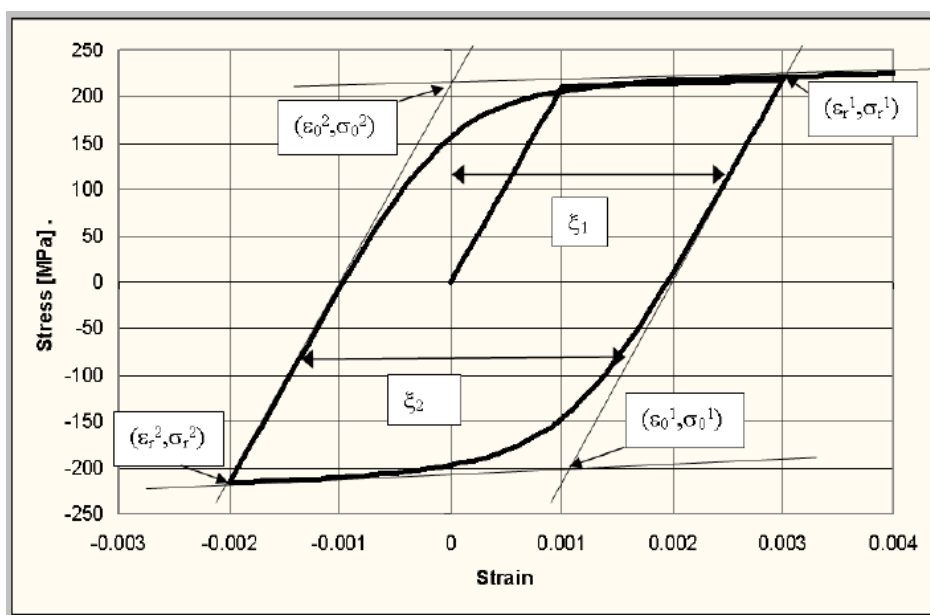
รูปที่ 5-40 ตัวอย่างแบบจำลองความแข็งแรงเกร็งเฉือนของ Concrete ที่ลดลงภายใต้แรงเฉือนและดิ่งที่กระทำในสองทิศทาง

- q) Fixed or Rotated cracking direction
- r) Perfect bond model for smeared reinforcement
- s) Reinforcement Behavior Model using Multi-Line Law



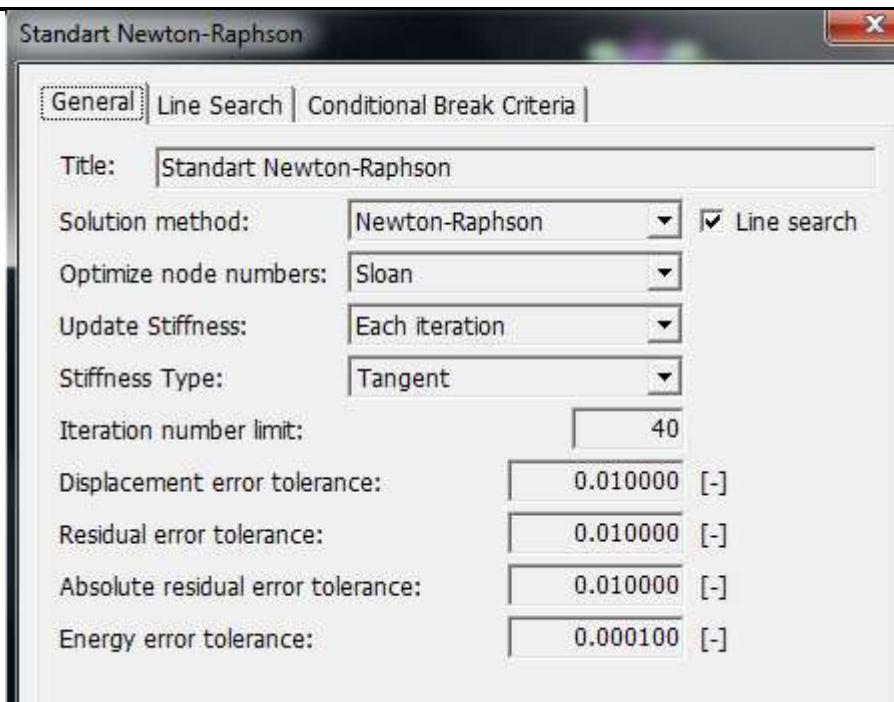
รูปที่ 5-41 ตัวอย่างแบบจำลอง stress-strain ของเหล็กเสริม กรณีแรงอัดหรือแรงดึงในทิศทางเดียว
(Monotonic Loading)

t) Reinforcement Behavior Model using Cycling Reinforcement Model



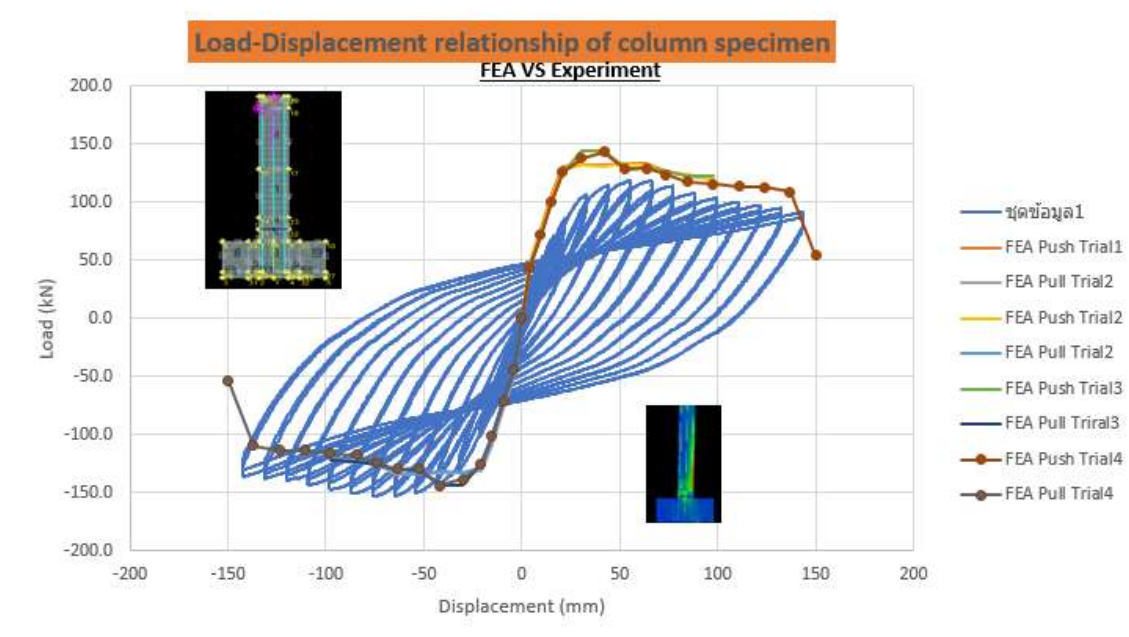
รูปที่ 5-42 ตัวอย่างแบบจำลอง stress-strain ของเหล็กเสริม กรณีแรงอัดหรือแรงดึงในทิศทางสลับ
(Reversed Cyclic Loading)

สำหรับวิธีการแก้สมการแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อใช้วิเคราะห์เสาในตอม่อสะพาน จะเลือกใช้การวิเคราะห์แบบ Displacement Control และเลือกใช้ Solver แบบ Newton-Raphson และเลือกใช้ Line Search Technique เพื่อให้การวิเคราะห์มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น



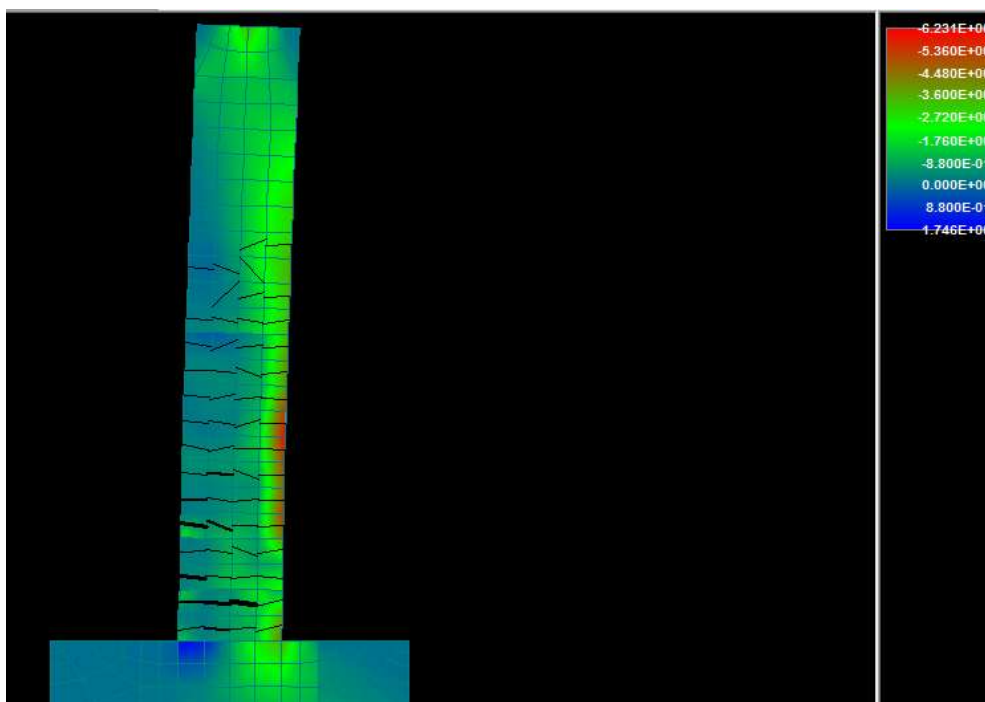
5.3.1.2. ผลการวิเคราะห์เสาหลังปรับปรุงแบบ

ในการวิเคราะห์เสา ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์แบบ Pushover Analysis เพื่อใช้ในการปรับแก้ และเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าของ Pushover Curve หรือ Backbone Curve ใกล้เคียงกับผลการทดสอบเสาในห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 5-43

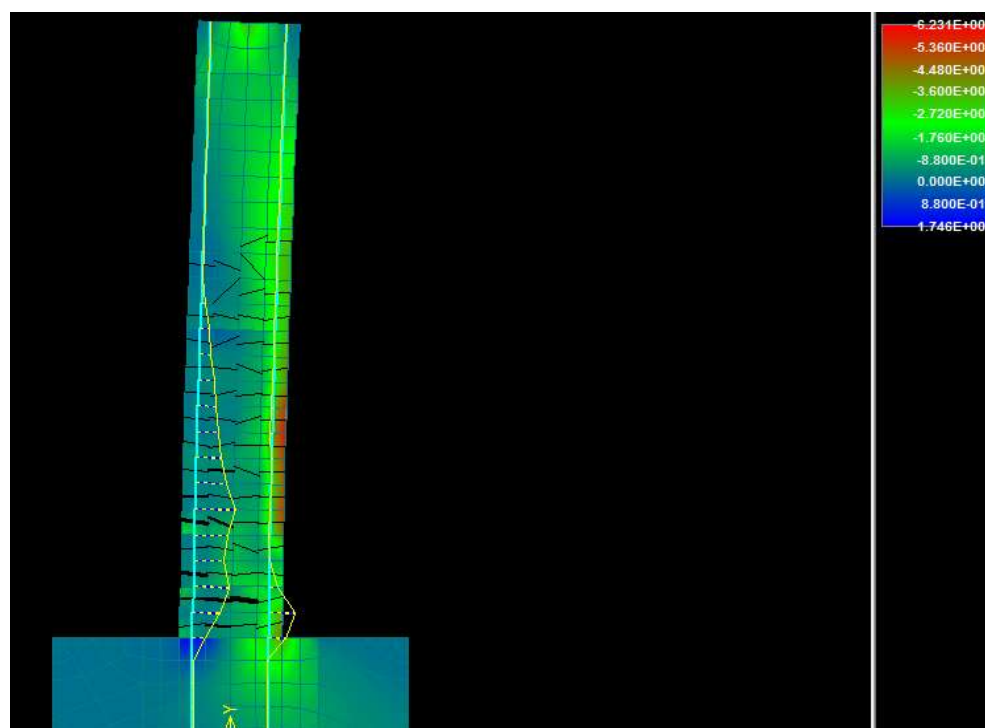


รูปที่ 5-43 Pushover Curve ของแบบจำลองเสาที่ได้ปรับแก้กับผลทดสอบเสาที่ปรับปรุงใหม่

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์เพื่อแสดง ความเค้น รอยแตกร้าว และการเคลื่อนตัวของเสา
ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-44 และ รูปที่ 5-45



รูปที่ 5-44 ความเค้นหลักในคอนกรีต (Principal Compressive Stress in Concrete): Load Step 358

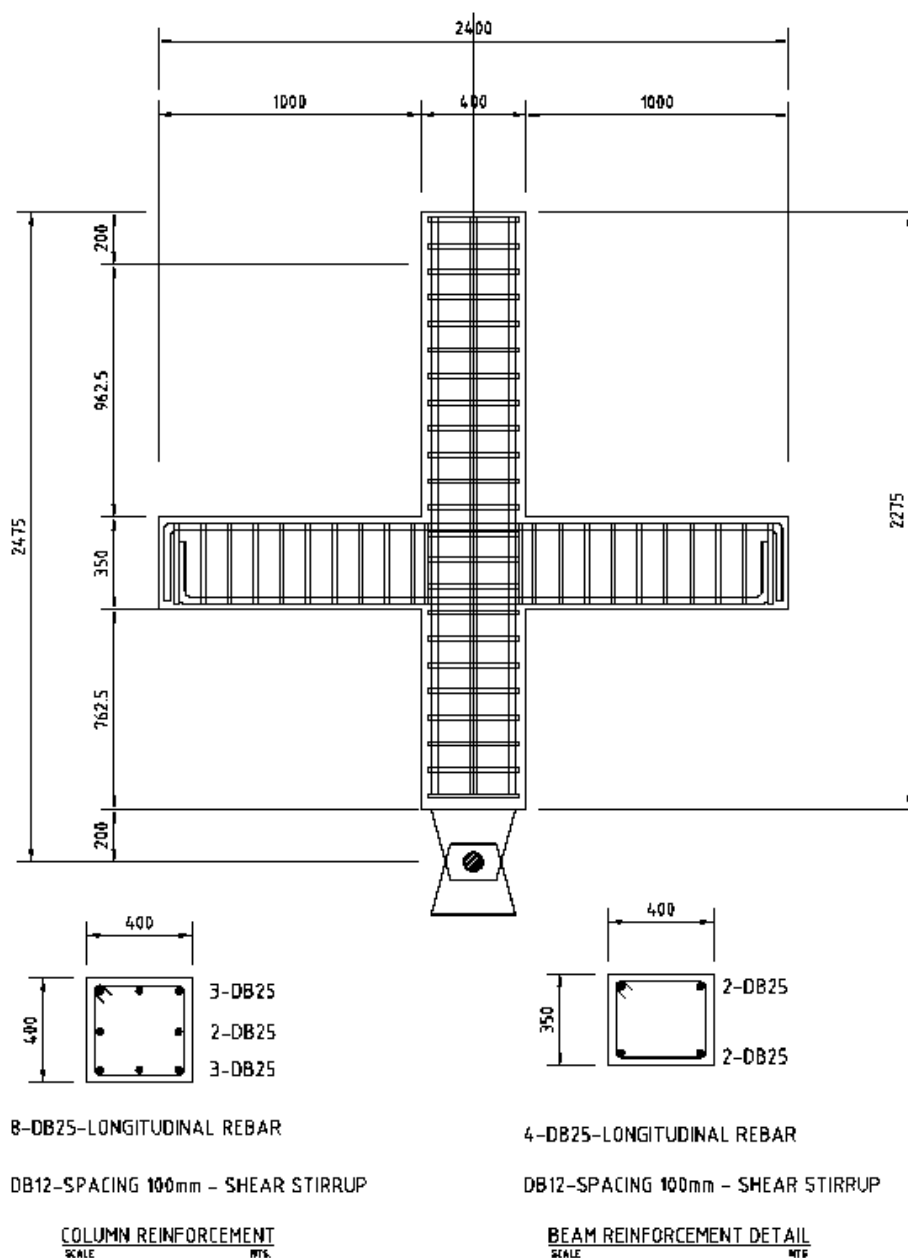


รูปที่ 5-45 รอยร้าวและการเคลื่อนตัวและความเครียดในเหล็กเสริมที่ได้จากผลการวิเคราะห์: Load Step 358

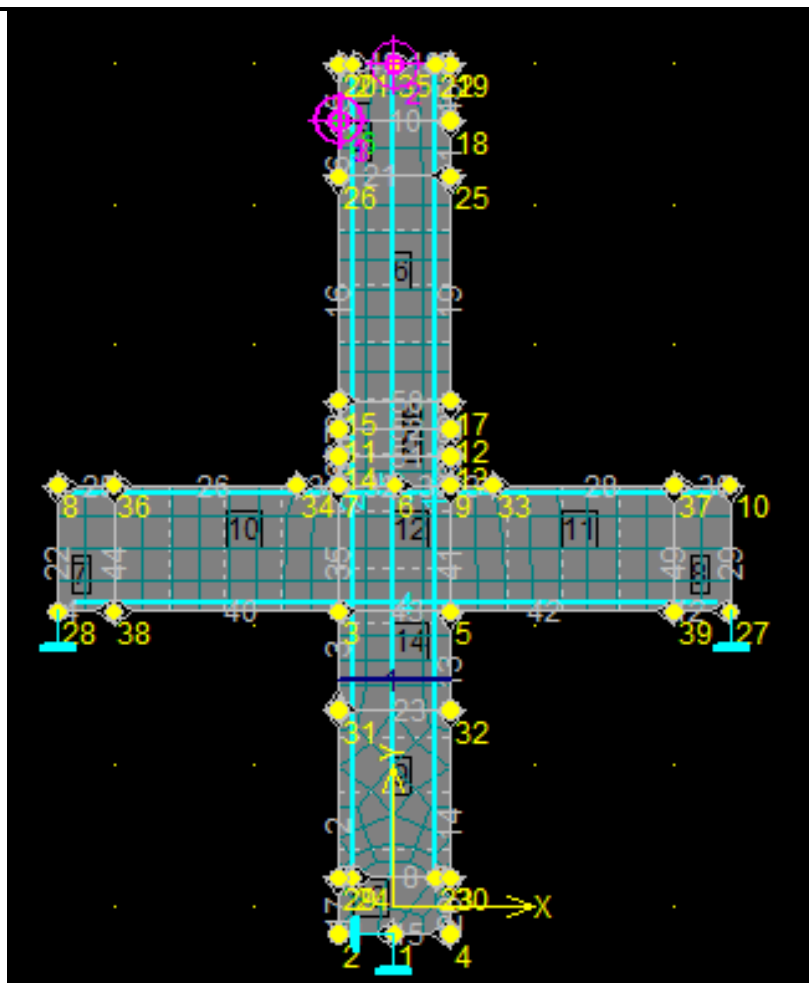
5.3.2. รอยต่อเสาคาน (Beam Column Joint) หลังการปรับปรุงแบบ

5.3.2.1. การสร้างแบบจำลองรอยต่อเสาคานหลังการปรับปรุงแบบ

รูปที่ 5-46 แสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนรอยต่อคานเสาหลังปรับปรุงแบบที่ได้ดำเนินการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อยืนยันพฤติกรรม การสร้างแบบจำลองสำหรับใช้วิเคราะห์รอยต่อคานเสาได้ดำเนินการด้วยวิธีการเดียวกันกับเสาที่ได้นำเสนอข้างต้น โดยเลือกใช้โอลิเมนต์ประเภท 2D Four Nodes Iso-parametric Plane Stress Element ที่สามารถปรับรูปร่างของโอลิเมนต์หรือตำแหน่งของ Nodes ที่มุมให้สอดคล้องกับรูปร่างของชิ้นส่วนโครงสร้างได้ ซึ่งจะได้แบบจำลองรอยต่อคานเสาดังแสดงในรูปที่ 5-47 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุสำหรับคอนกรีตและเหล็กเสริม และวิธีการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นได้ดำเนินการในลักษณะเดียวกันกับการจำลองเสาที่ได้นำเสนอในช่วงต้น



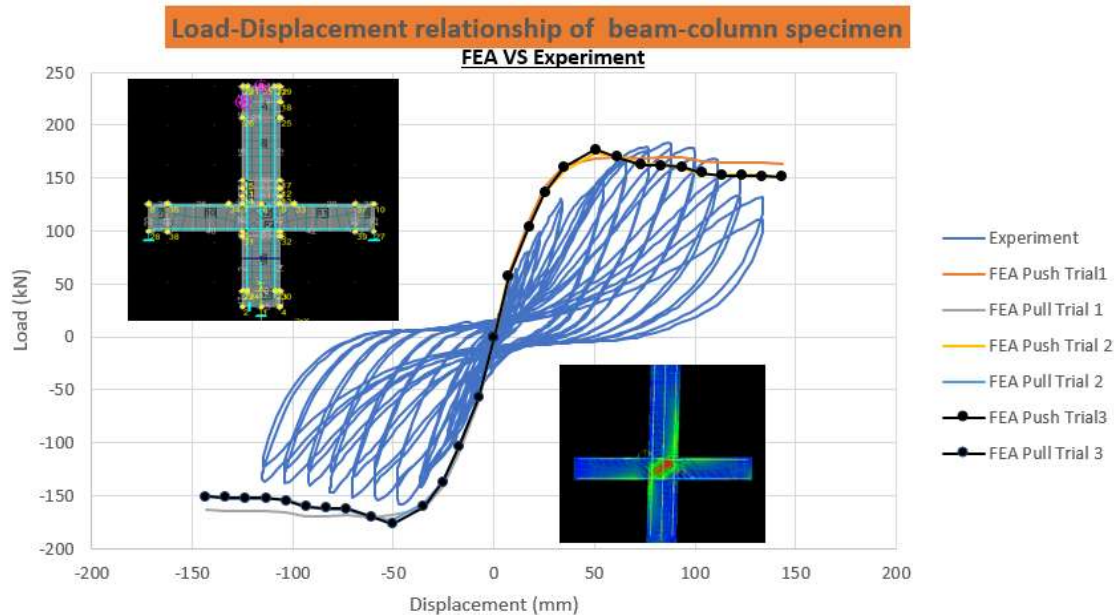
รูปที่ 5-46 ขนาดและการเสริมเหล็กในรอยต่อคานเสาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 5-47 แบบจำลองรอยต่อคานเสาหลังปรับปรุงแบบ

5.3.2.1. ผลการวิเคราะห์รอยต่อคานเสาหลังปรับปรุงแบบ

ในการวิเคราะห์รอยต่อคานเสา ได้ดำเนินการวิเคราะห์แบบ Pushover Analysis เพื่อใช้ในการปรับแก้และเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าของ Pushover Curve หรือ Backbone Curve ใกล้เคียงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 5-48



รูปที่ 5-48 Pushover Curve ของแบบจำลองรอยต่อคานเสาที่ได้ปรับแก้กับผลทดสอบรอยต่อคานเสาที่ปรับปรุงใหม่

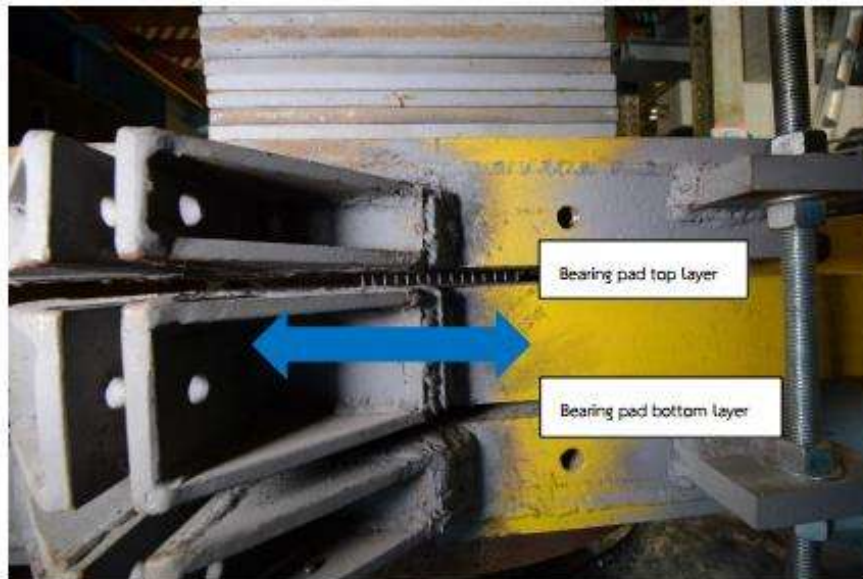
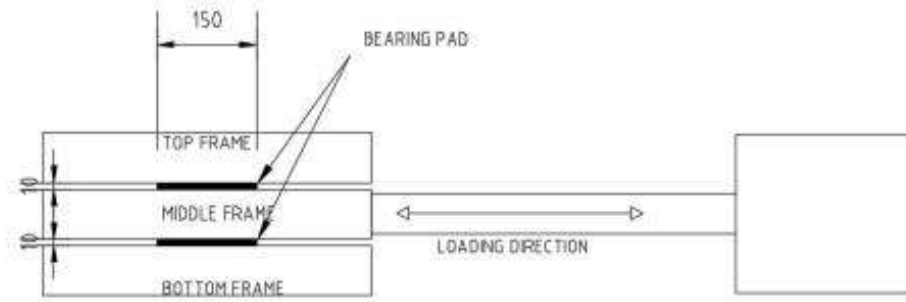
5.3.3. แผ่นยางรองสะพาน หลังปรับปรุงแบบ

5.3.3.1. การสร้างแบบจำลองแผ่นยางรองสะพานหลังปรับปรุงแบบและผลการวิเคราะห์

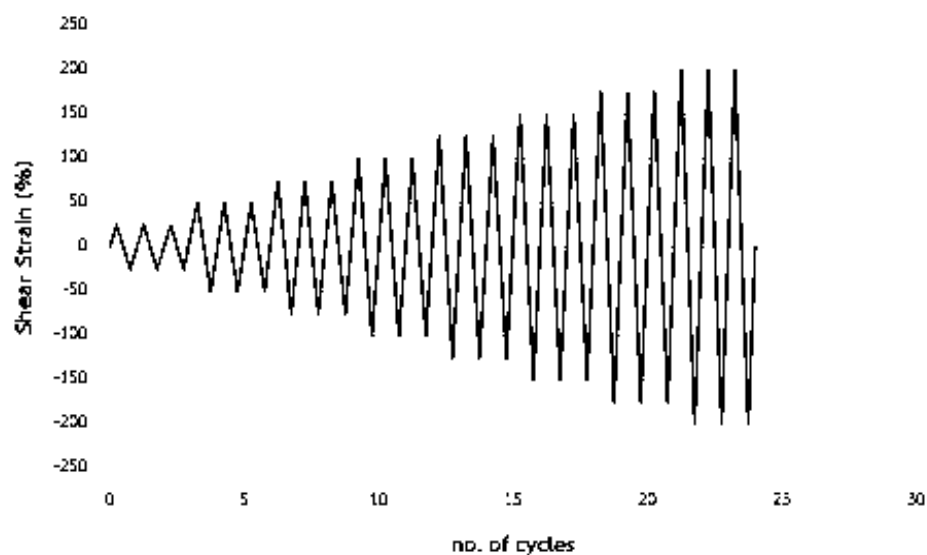
การสร้างแบบจำลองของแผ่นยางรองสะพาน (Elastomeric pad) ที่ใช้ประกอบการสร้างแบบจำลองสะพานแบบ Global Model ได้เลือกใช้อีลิเมนต์ประเภท Multi Linear Spring Model โดยค่าของแบบจำลองที่ใช้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัวของแผ่นยาง

รูปที่ 3-34 แสดงรูปแบบการทดสอบแผ่นยางโดยการควบคุมระดับของ Shear Strain ด้วยการเคลื่อนที่ด้านข้างแบบวัฏจักร (รูปที่ 3-35) ที่ปรึกษาได้ดำเนินจำลองพฤติกรรมของแผ่นยางและเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัวดังรูปที่ 3-36

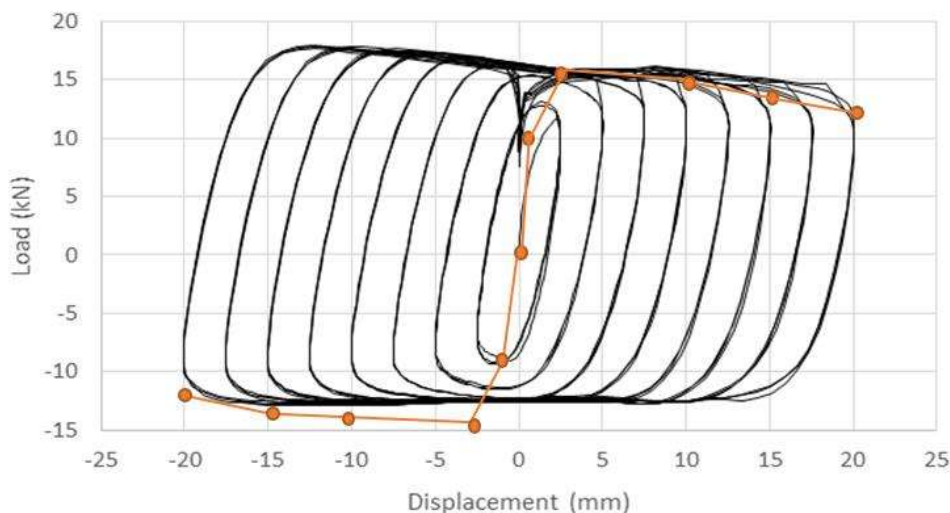
จากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองแผ่นยาง ที่ปรึกษาได้ใช้ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างและการเคลื่อนตัวของแผ่นยางเป็นค่าของ Envelop Curve โดยค่าของ Envelop Curve ได้เลือกเป็นประเภท Multi Linear Model เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการจำลองแผ่นยางในแบบจำลองของสะพานแบบ Global ต่อไป



รูปที่ 5-49 การเตรียมตัวอย่างแผ่นยางและทิศทางของแรงกระทำในการทดสอบ



รูปที่ 5-50 ค่า Shear Strain (%) และจำนวนรอบที่ทดสอบแผ่นยาง



รูปที่ 5-51 ผลการจำลองพฤติกรรมของแผ่นยางเทียบกับผลการทดสอบแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัว

ตารางที่ 5-1 ค่าแรงกระทำและระยะการเคลื่อนที่ของแผ่นยางที่จำลองด้วย Multi Linear Spring

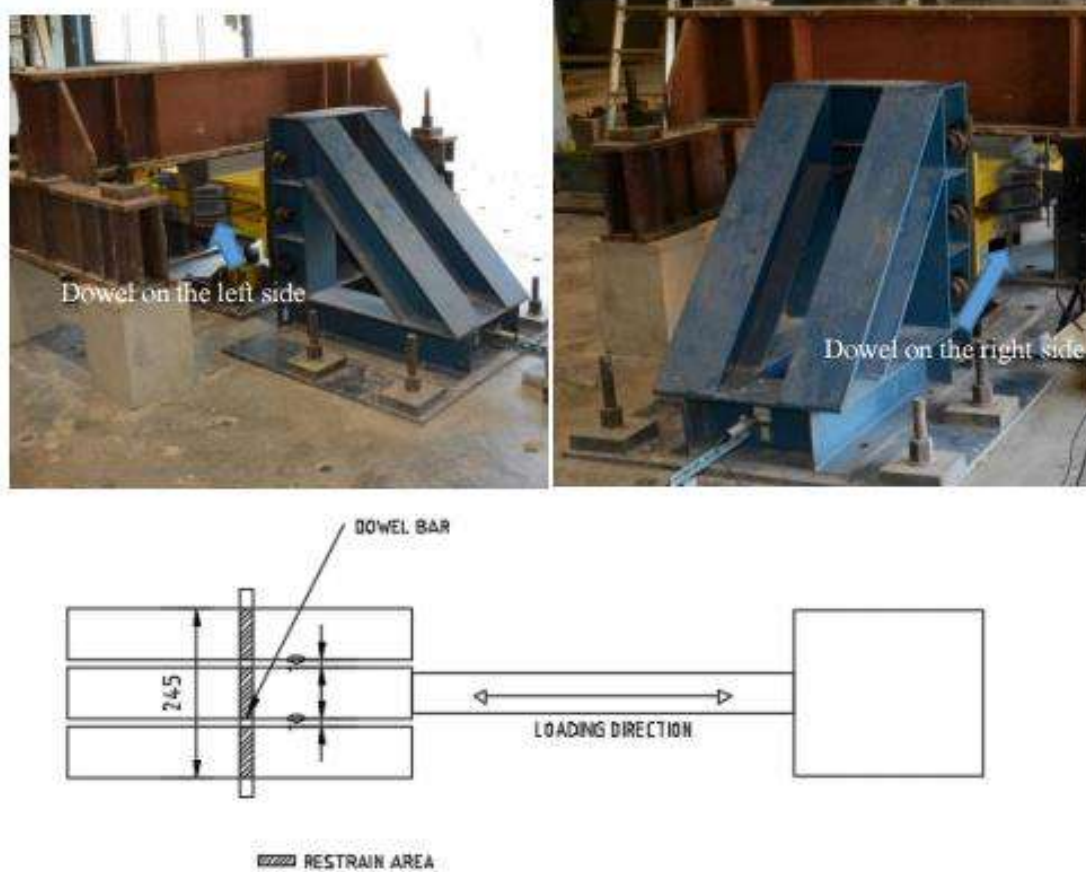
Displacement (mm)	Force (kN)
+ Pull/-Push	+ Pull/-Push
0	0
0.5	10
2.65	15.1
10	14.5
15	13
20	12.5

5.3.3.2. การสร้างแบบจำลองเหล็กเดือยหลังปรับปรุงแบบและผลการวิเคราะห์

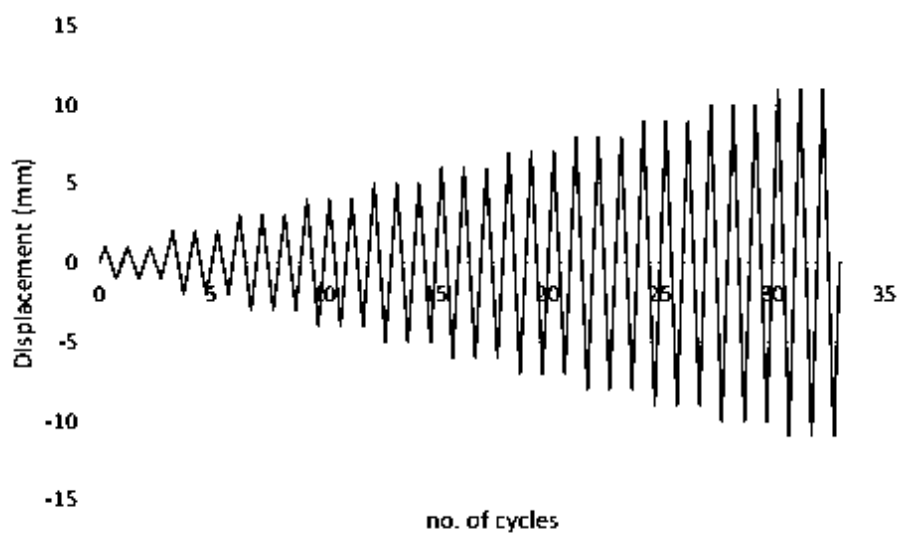
การสร้างแบบจำลองของเหล็กเดือย (Dowel) ที่ใช้ประกอบการสร้างแบบจำลองสะพานแบบ Global Model ได้เลือกใช้อัลกอริทึมประเภท Multi Linear Spring Model เช่นเดียวกับการจำลองแผ่นยางรองสะพาน โดยค่าของแบบจำลองที่ใช้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัวของเหล็กเดือย

การติดตั้งและรูปแบบการทดสอบเหล็กเดือยได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-37 ซึ่งเหล็กเดือยจะถูกทดสอบภายใต้การควบคุมระดับการเคลื่อนตัวด้านข้างแบบวัฏจักรดังรูปที่ 3-38 ที่ปรึกษาได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัวของเหล็กเดือยดังแสดงในรูปที่ 3-39

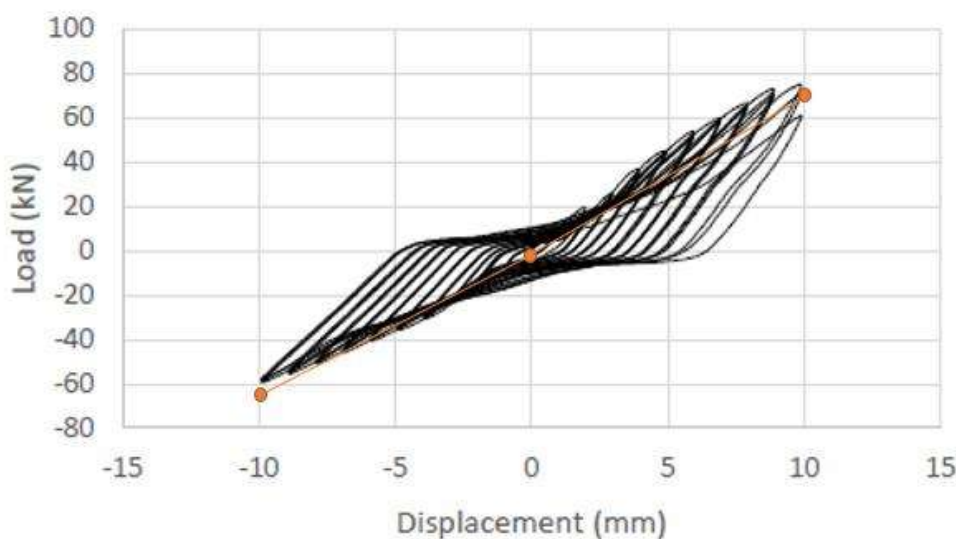
จากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองเหล็กเดือย ที่ปรึกษาได้ใช้ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างและการเคลื่อนตัวของเหล็กเดือยเป็นค่าของ Envelop Curve โดยค่าของ Envelop Curve ได้เลือกเป็นประเภท Multi Linear Model เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการจำลองเหล็กเดือยในแบบจำลองของสะพานแบบ Global ต่อไป



รูปที่ 5-52 การเตรียมตัวอย่างหลักเดียวและทิศทางของแรงกระทำในการทดสอบ



รูปที่ 5-53 ค่าของระยะการเคลื่อนตัวด้านข้าง และจำนวนรอบที่ทดสอบหลักเดียว



รูปที่ 5-54 ผลการจำลองพฤติกรรมของเหล็กเดียวเทียบกับผลการทดสอบแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนตัวของเหล็กเดียว

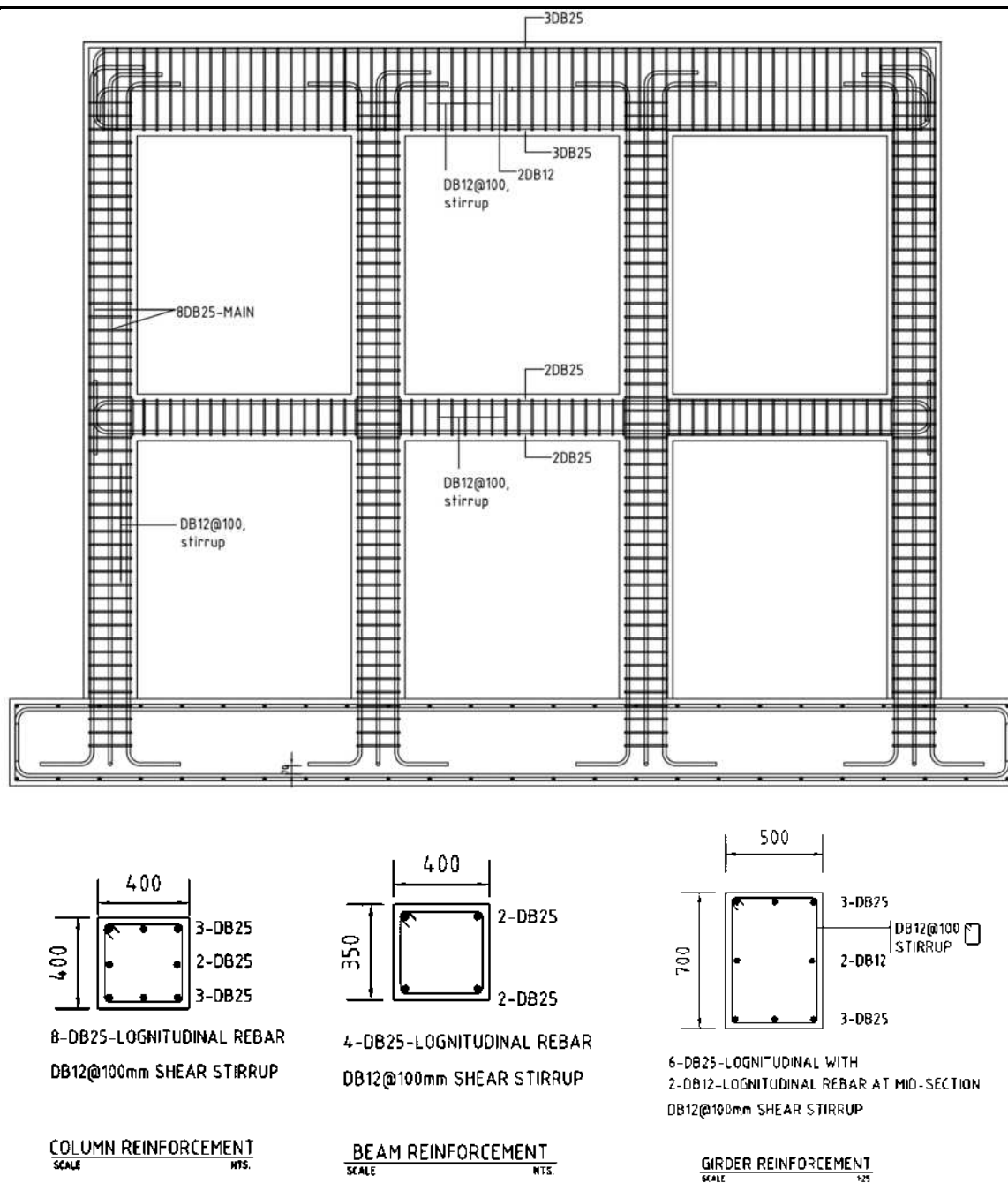
ตารางที่ 5-2 ค่าแรงและระยะการเคลื่อนที่ของเหล็กเดียวที่จำลองด้วย Multi Linear Spring

Displacement (mm)	Force (kN)
+ Pull/-Push	+ Pull/-Push
0	0
10	65

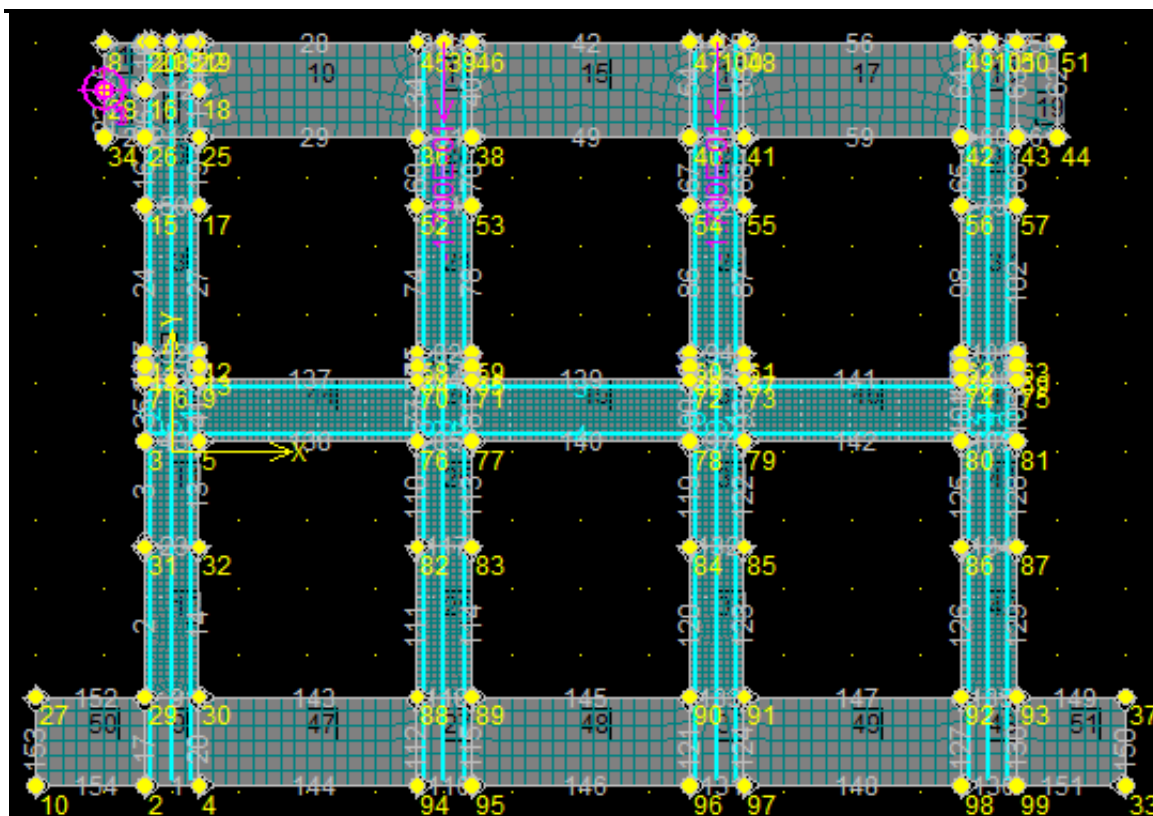
5.4. โครงสร้างต่อม่อสะพานขนาดเท่าจริง ภายหลังจากปรับปรุงแบบ

5.4.1. การสร้างแบบจำลองของโครงสร้างต่อม่อสะพานภายหลังจากปรับปรุงแบบ

รูปที่ 5-47 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างต่อม่อสะพานประเภทเสาเรียงที่ได้ปรับปรุงแบบและดำเนินการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อยืนยันพฤติกรรมของโครงสร้างในการรับแรงแผ่นดินไหว การสร้างแบบจำลองสำหรับใช้วิเคราะห์โครงสร้างต่อม่อสะพานได้ดำเนินการด้วยวิธีการเดียวกันกับเสาที่ได้นำเสนอข้างต้น โดยเลือกใช้อิlemenต์ประเภท 2D Four Nodes Iso-parametric Plane Stress Element ที่สามารถปรับรูปร่างของอิlemenต์หรือตำแหน่งของ Nodes ที่มุมให้สอดคล้องกับรูปร่างของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานในบริเวณต่างๆได้ ซึ่งจะได้แบบจำลองโครงสร้างต่อม่อสะพานดังแสดงในรูปที่ 5-56 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุสำหรับคอนกรีตและเหล็กเสริม และวิธีการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นได้ดำเนินการในลักษณะเดียวกับการจำลองเสาที่ได้นำเสนอในช่วงต้น



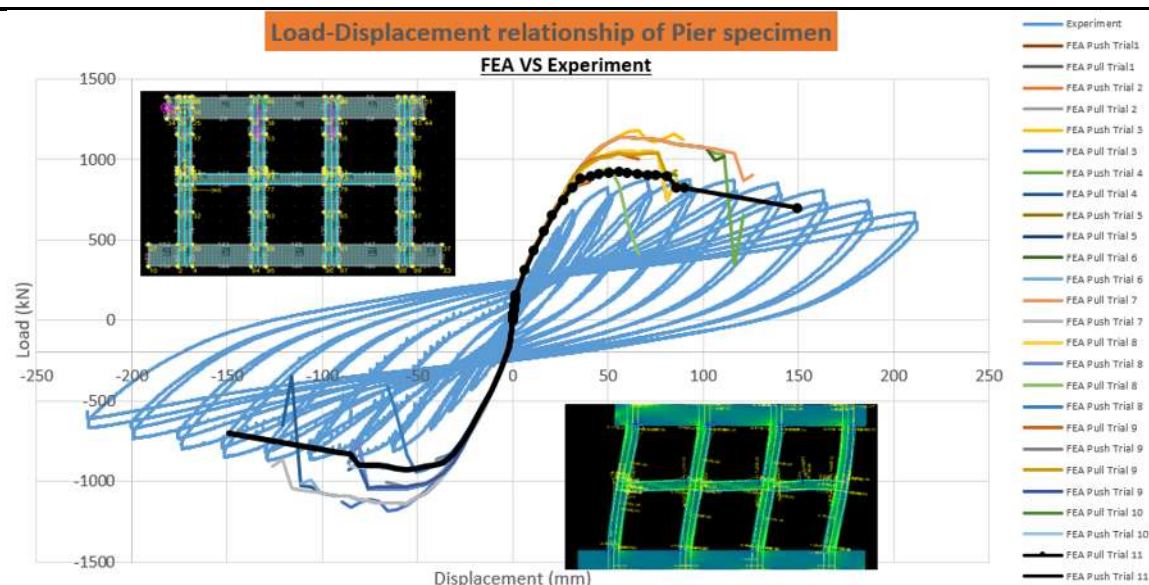
รูปที่ 5-55 รายละเอียดโครงสร้างตอม่อสะพานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 5-56 แบบจำลองโครงสร้างต่อม่อสะพานหลังปรับปรุงแบบ

5.4.2. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างต่อม่อสะพานหลังการปรับปรุงแบบ

ในการวิเคราะห์ต่อม่อสะพาน ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์แบบ Pushover Analysis เพื่อใช้ในการปรับแก้และเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าของ Pushover Curve หรือ Backbone Curve ใกล้เคียงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 5-57 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโครงสร้างมีพฤติกรรมการวิบัติเป็นแบบเหนียว กล่าวคือ หลังจากโครงสร้างรับแรงถึงจุดสูงสุดแล้ว โครงสร้างยังสามารถรับแรงต่อไปได้อีกมาก แต่จะเกิดการเสียรูป ลำดับการพังทลายจะเกิดขึ้นที่คานก่อนเสาตามลักษณะ Strong Column-Weak Beam ที่ได้ออกแบบในบทที่ 3 จากผลทดสอบโครงสร้างต่อม่อขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการและผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ได้ยืนยันว่าแบบต่อม่อสะพานที่เสนอให้ปรับปรุงในโครงการนี้ มีลักษณะที่ดีขึ้นกว่าแบบมาตรฐานกรมทางหลวงปี 2015

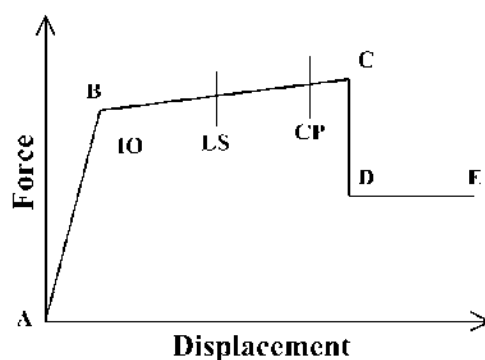


รูปที่ 5-57 Pushover Curve ของแบบจำลองโครงสร้างตอม่อสะพานที่ได้ปรับปรุงแก้กับผลทดสอบโครงสร้างตอม่อสะพานหลังปรับปรุงแบบ

5.5. การจำลองพฤติกรรมของตอม่อสะพานโดยใช้แบบจำลองแบบ 1D Nonlinear FEA

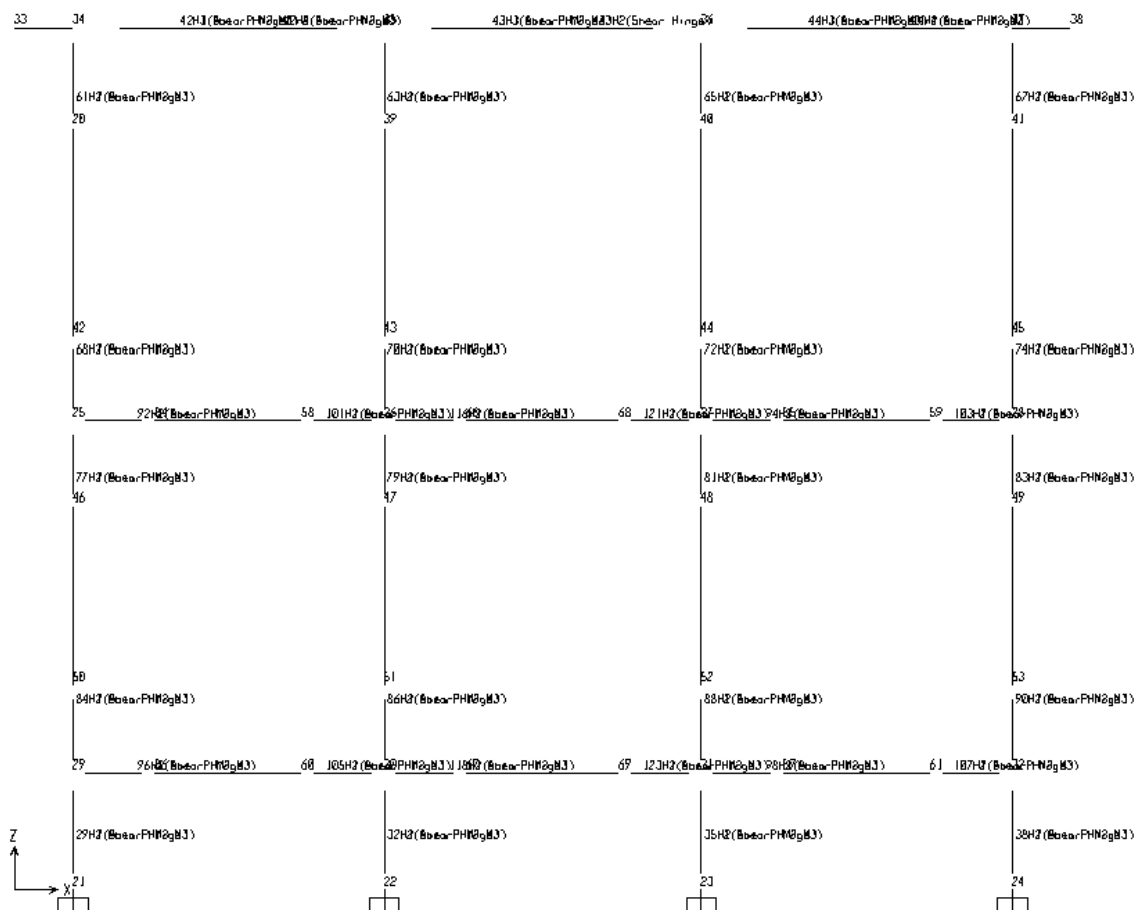
การขยายผลการศึกษาไปสู่ตอม่อรูปแบบอื่นๆ ที่มีได้มีผลการทดสอบขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการ จะกระทำโดยนำผลการวิเคราะห์อย่างละเอียดจากแบบจำลอง 2D FEA มา Calibrate กับแบบจำลองอย่างง่ายที่เป็น 1D Frame Structure ซึ่งประกอบด้วย 1D Frame Element สำหรับเสาและคาน และ 1D Nonlinear Spring Element สำหรับตำแหน่ง Plastic Hinge ที่เกิดความเสียหายแบบดัดเหนียว (Ductile Flexural Damage) ทั้งนี้เพื่อให้การวิเคราะห์หาความสามารถการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของตอม่อรูปแบบต่างๆตามแบบมาตรฐานปรับปรุงใหม่กระทำได้อย่างรวดเร็ว สามารถใช้วิเคราะห์ตอม่อแต่ละรูปแบบได้หลายกรณี (Case) สำหรับใช้เป็นข้อมูลการจัดทำเส้นโค้งแตกร้าว (Fragility Curve) ซึ่งจะอธิบายในบทถัดไป

ในส่วนของ Nonlinear Spring Element ที่ใช้ในการจำลองผลของความเสียหายของตอม่อสะพานระหว่างการเคลื่อนตัวที่ปรึกษาได้เลือกใช้ตาม FEMA-356 (รูปที่ 5-58) ที่ได้ทำการ Calibrate กับผลการทดสอบวัสดุ เพื่อใช้ในการจำลอง Plastic Hinge ที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด



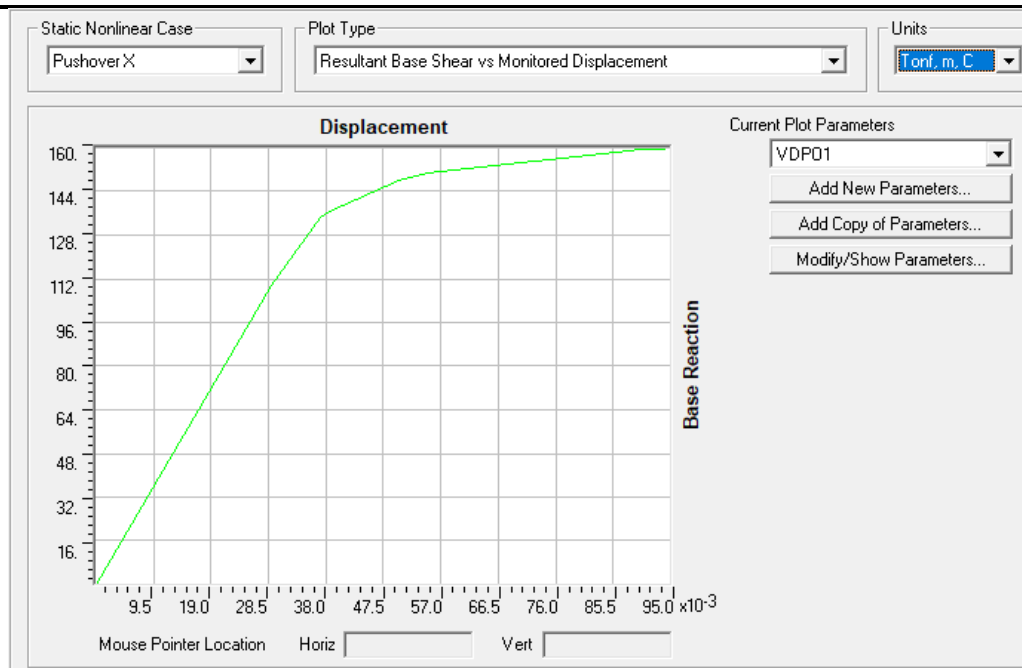
รูปที่ 5-58 ตัวอย่างแบบจำลองของ Plastic Hinge สะพาน FEMA-356

ในการสร้างแบบจำลอง 1D Frame Structure ของตอม่อสะพานนั้น ได้เลือกใช้โปรแกรม SAP2000 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในงานวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ Nonlinear Pushover Analysis ได้ ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างตอม่อสะพานที่สร้างด้วย Frame Element และ Nonlinear Spring Element แสดงดังรูปที่ 5-59

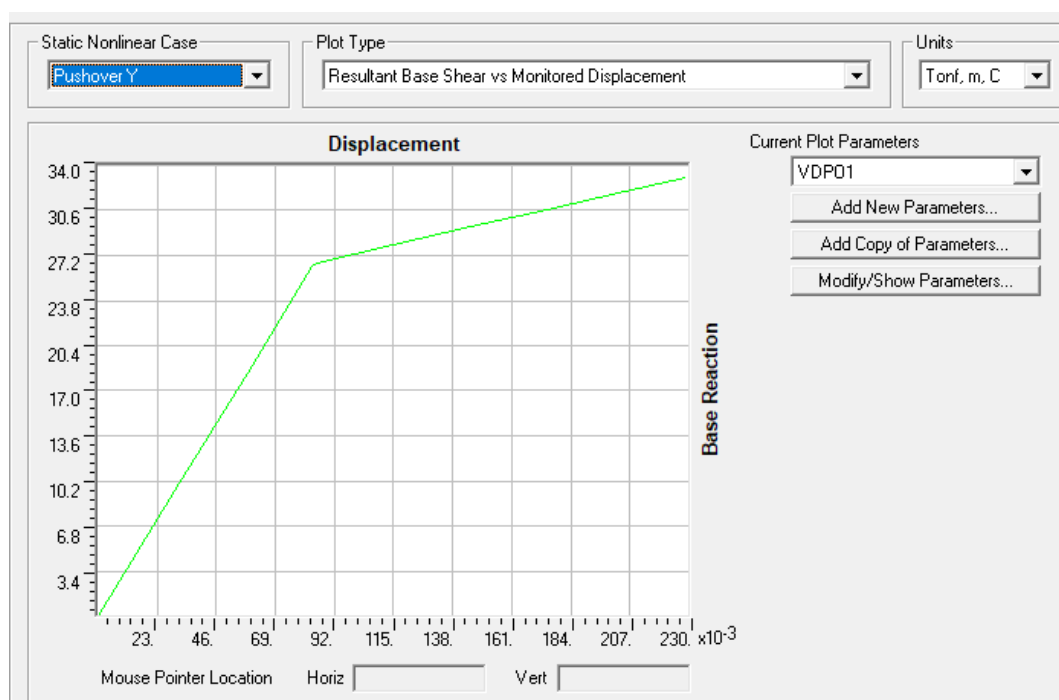


รูปที่ 5-59 แบบจำลองตอม่อสะพานที่สร้างด้วย Frame Element และ Nonlinear Spring Element โดย SAP2000

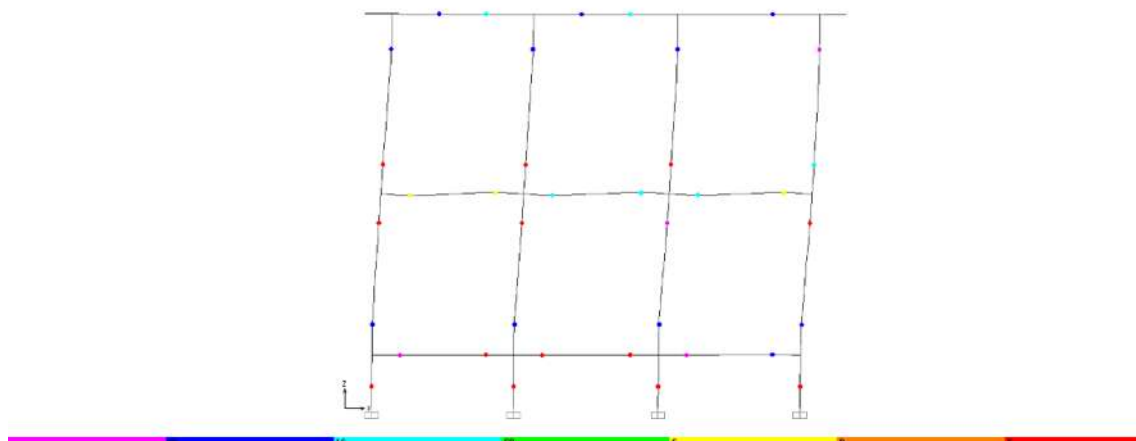
โดยแบบจำลองนี้ได้นำไปวิเคราะห์หาความสามารถการต้านทานแรงกระทำด้านข้าง ทั้งตามแนวขวางของสะพาน และตามแนวยาวของสะพาน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5-60 ถึง รูปที่ 5-62 ซึ่งแบบจำลองสามารถทำนายลักษณะการพังทลายแบบ Strong Column -Weak Beam ได้ และสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นอย่างละเอียดด้วยแบบจำลอง 2 มิติ ที่ใช้ 2D Four Nodes Iso-parametric Plane Stress Element และแบบจำลองวัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริมได้



รูปที่ 5-60 ตัวอย่างผลวิเคราะห์ Pushover Analysis ตามแนวขวางของตอม่อสะพานภายหลังการปรับปรุงตามคู่มือ
การออกแบบสะพานต้านแรงแผ่นดินไหว (Strong Axis Direction of Pier)



รูปที่ 5-61 ตัวอย่างผลวิเคราะห์ Pushover Analysis ตามแนวยาวของตอม่อสะพานภายหลังการปรับปรุงตามคู่มือการ
ออกแบบสะพานต้านแรงแผ่นดินไหว (Minor Axis Direction of Pier)

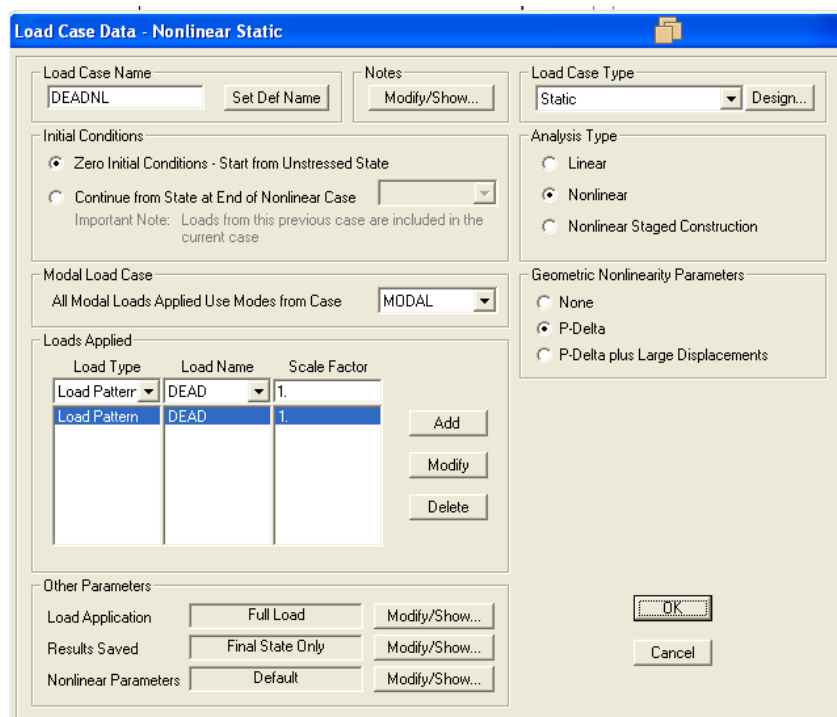


รูปที่ 5-62 รูปแบบความเสียหายจากผลวิเคราะห์ Pushover Analysis ตอม่อสะพานภายหลังการปรับปรุงแบบตาม
คู่มือการออกแบบสะพานต้านแรงแผ่นดินไหว (Strong Column-Weak Beam)

สำหรับตัวอย่างการสร้างแบบจำลองตอม่อ 1D Frame Structure (อย่างง่าย) ที่มีการใช้ 1D Frame Element และ Nonlinear Spring Element แทนการจำลองพฤติกรรมตอม่อสะพานด้วยแบบจำลอง 2D FEA (อย่างละเอียด) แสดงได้
ดังนี้

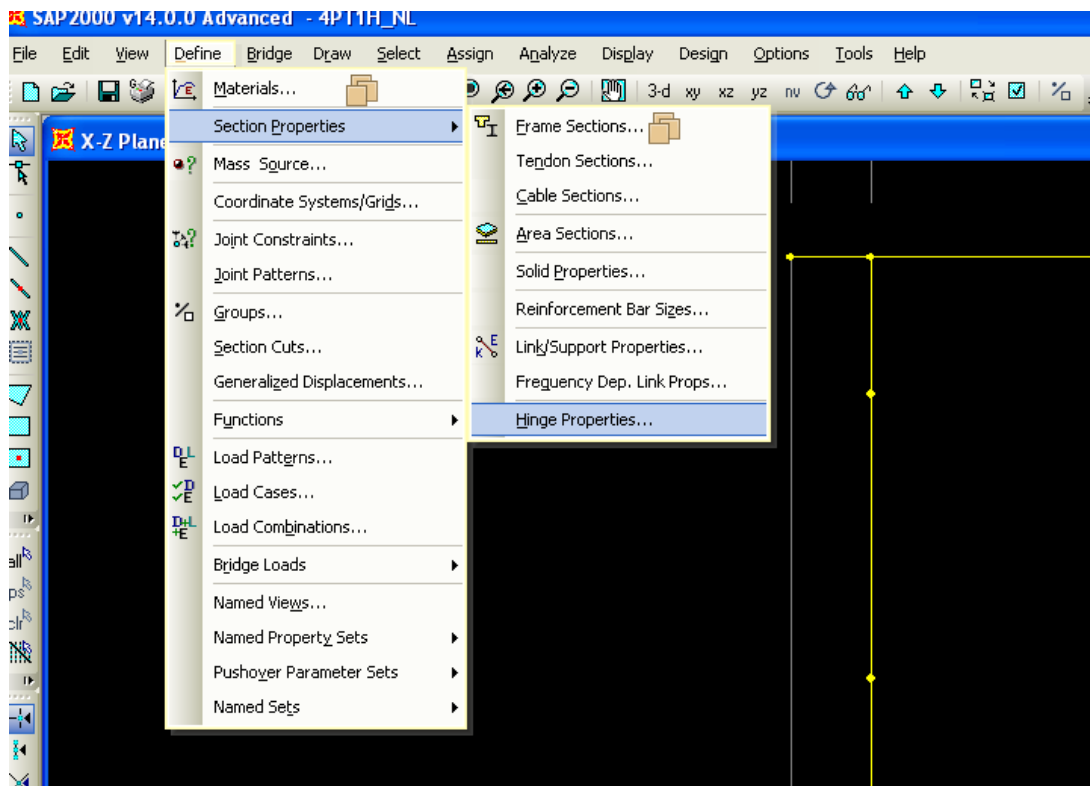
ให้ใช้ Load Patter: Dead ที่สร้างไว้สำหรับการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (Linear Analysis) เป็น Load Applied ในส่วนของ DEADNL ดังรูปที่ 5-63

ปรับให้ Dead Load Pattern ประกอบด้วย น้ำหนักของ Pier และ โครงสร้างส่วนบนและอุปกรณ์สะพานอื่นๆ เพื่อ
พิจารณาผลของมวลของโครงสร้างที่ทำให้เกิดแรงจากความเร่งการสั่นไหว ตามที่คู่มือออกแบบสะพานและถนน
ต้านทานแรงแผ่นดินไหวกำหนด

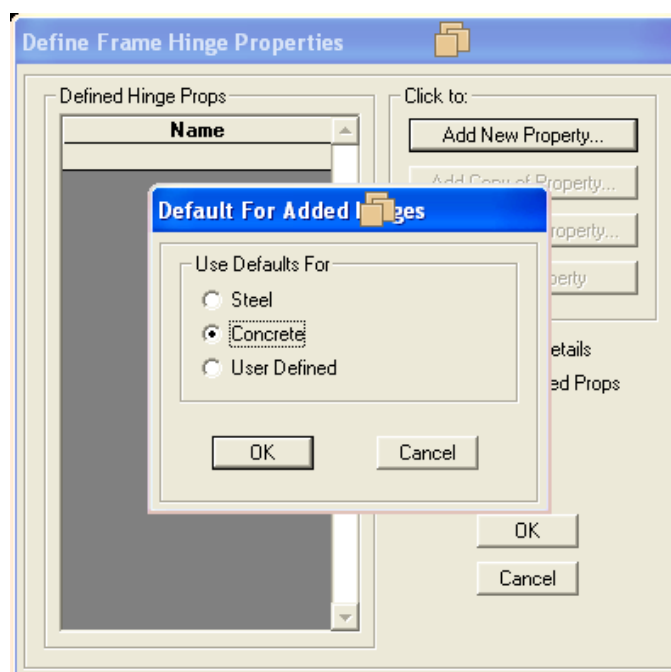


รูปที่ 5-63 การกำหนด Load Case แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) สำหรับ 1D Element

จากนั้นให้กำหนด Shear and Moment Hinge Properties เพื่อนำไปกำหนดคุณสมบัติให้กับ Member อื่นๆ ใน Model

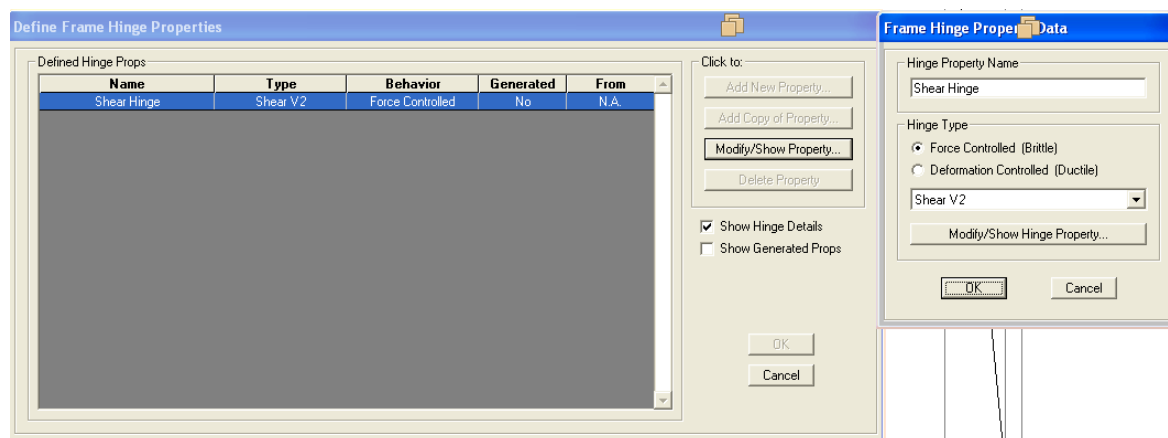


รูปที่ 5-64 การกำหนดค่า Nonlinear Spring ประเภท Hinge สำหรับ 1D Element



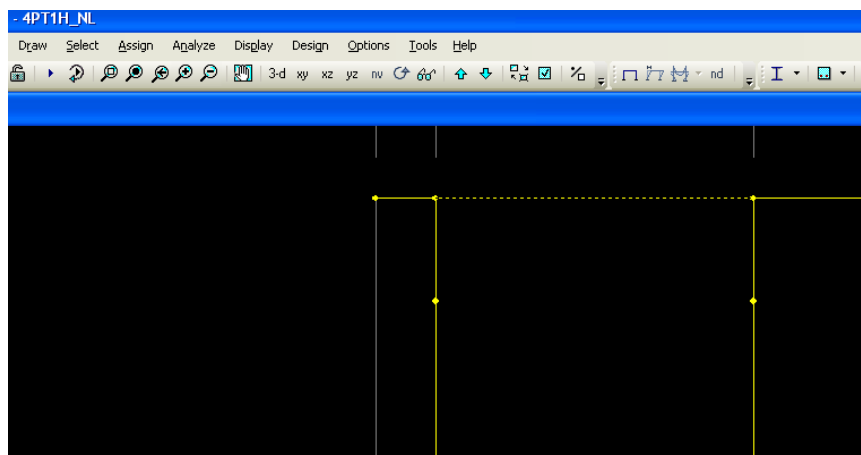
รูปที่ 5-65 การกำหนดค่าคุณสมบัติของ Nonlinear Spring ประเภท Hinge ประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก

เนื่องจากแบบจำลองนี้จะถูกผลักไปในทิศ 3-3 หรือ Strong Axis ของตอม่อ แรงเฉือน (Shear) ในการพิจารณาให้ใช้ใน
ทิศทาง 2-2



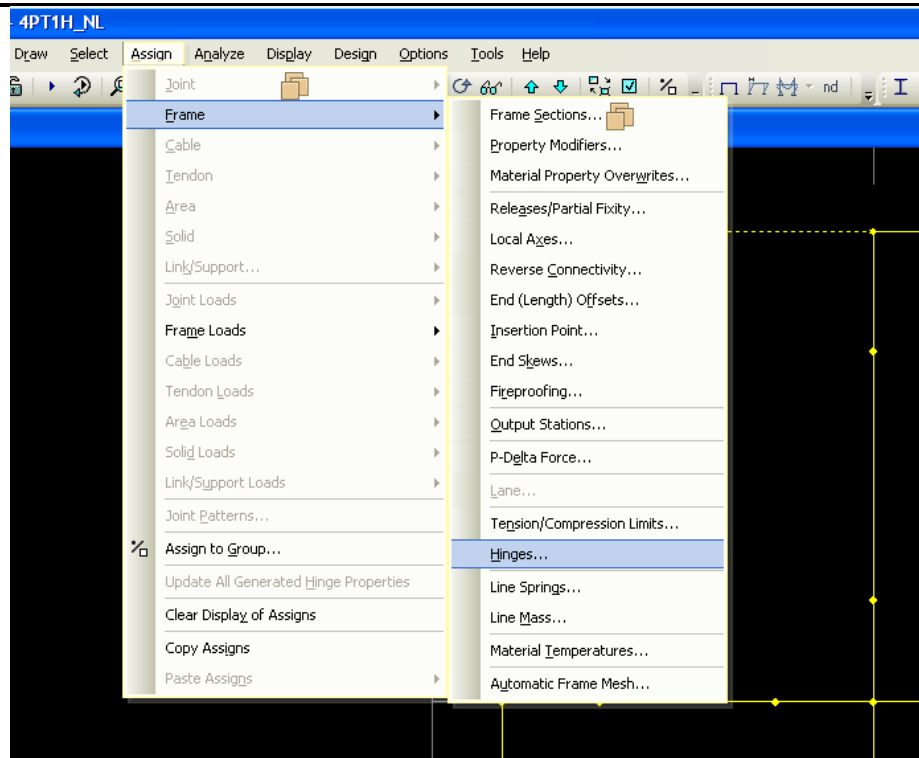
รูปที่ 5-66 การกำหนดค่าคุณสมบัติของ Nonlinear Spring ประเภท Shear Hinge ประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากนั้นให้เริ่มกำหนดคุณสมบัติในแต่ละ Member ในตัวอย่างนี้ เลือกที่ Capbeam Element แรกของแบบจำลองตอม่อ
เป็นชิ้นส่วนที่จะดำเนินการกำหนดค่าของ Hinge Properties



รูปที่ 5-67 การเลือก Member ที่เป็นประเภท 1D Frame Element เพื่อใส่ค่า Hinge Properties

โดยให้เตรียมหาความยาวของ Element ที่เลือกนี้ไว้ ซึ่งในตัวอย่างนี้เท่ากับ 2.65 เมตร จากนั้นเลือก Assign : Hinges

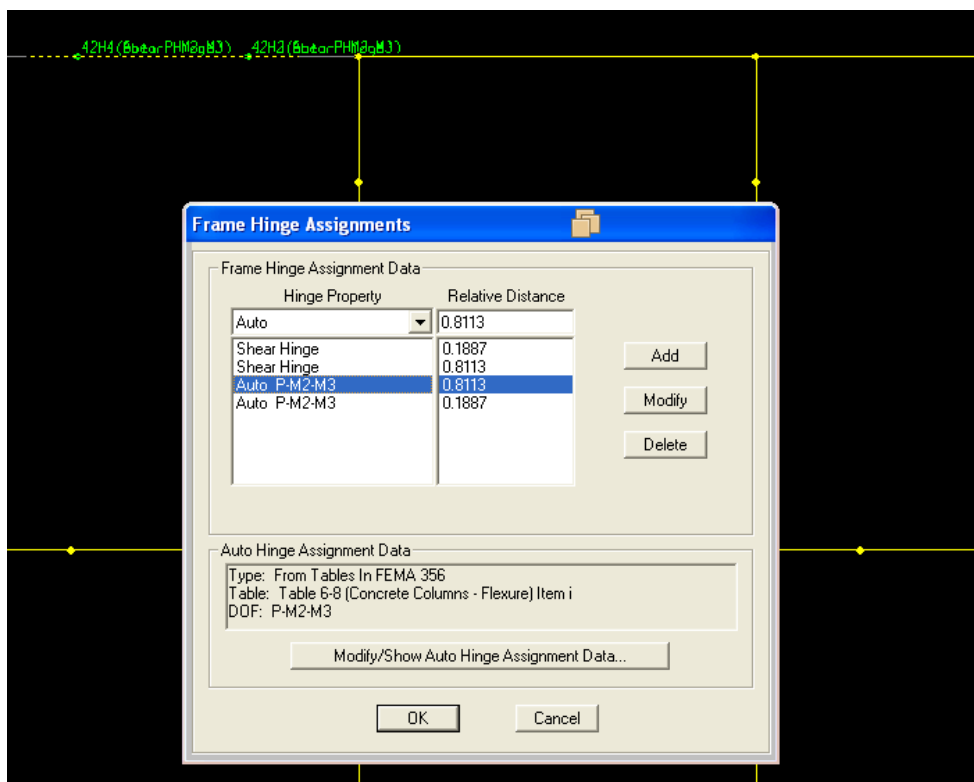


รูปที่ 5-68 การเลือกค่า Hinge เพื่อกำหนดใส่ใน Member ที่เป็นประเภท 1D Frame Element

สำหรับตำแหน่งของ Hinge นั้น ให้กำหนดโดยใช้ขนาดด้านแคบของ Member นั้นๆ เช่น Capbeam มีขนาดหน้าตัด 0.50x0.70 เมตร จะมีด้านแคบเท่ากับ 0.50 เมตร โปรแกรม SAP2000 จะให้ผู้ใช้ใส่ตำแหน่งของ Hinge เป็นค่า Relative Distance ของความยาว Member ที่เลือกนั้นๆ เช่น ถ้าต้องการกำหนดให้ Plastic Hinge เกิดขึ้นได้ที่ปลายทางด้านซ้ายและปลายด้านขวาของ Capbeam ที่มีช่วงความยาวเท่ากับ 2.65 เมตร ค่า Relative Distance สำหรับกำหนดตำแหน่ง Shear and Moment Hinge ที่ปลายด้านซ้ายและด้านขวาสามารถคำนวณได้ดังนี้

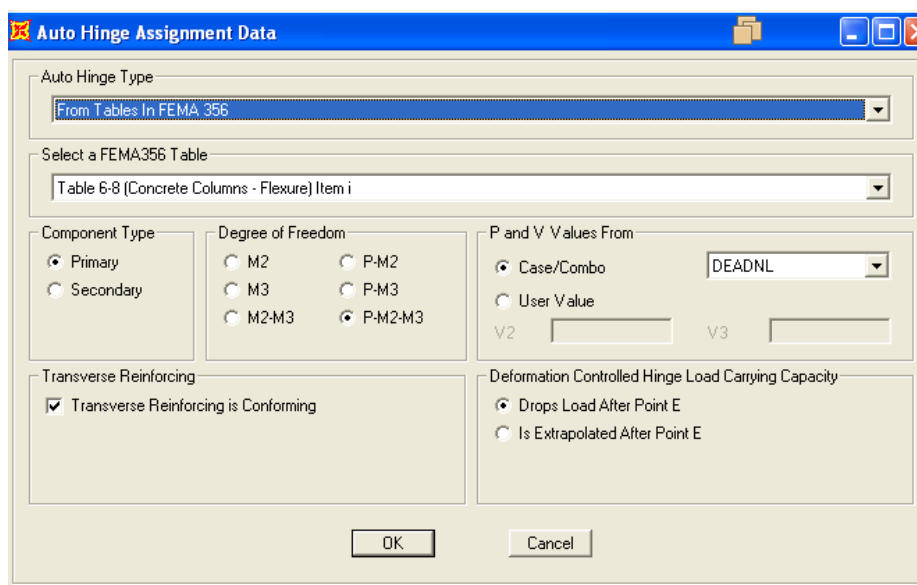
- ที่ปลายด้านซ้าย = $0.5/2.65 = 0.189$
- ที่ปลายด้านขวา = $1-0.189 = 0.811$

Plastic Hinge for Moment (Right Location)



รูปที่ 5-69 การกำหนดตำแหน่งของ Hinge Properties ในส่วนของ Frame Element

จากนั้น เลือกประเภทของ Plastic Hinge สำหรับ Moment เป็นประเภทของ P-M2-M3 และ ใช้ FEMA 356 โดย
เนื่องจากแบบมาตรฐานใหม่ เหล็กเสริมเป็นแบบ Conforming จึงทำการเลือกดังนี้ และในการประมาณค่าของ
Corresponding P and V เพื่อใช้คำนวณกำลังของ Moment ในหน้าตัด ให้ใช้ค่าจาก Nonlinear Load Case: Dead NL
ดังที่ได้เตรียมไว้ก่อนหน้านี้



รูปที่ 5-70 การกำหนด คุณสมบัติของ Hinges เป็นแบบ FEMA 356

จากแนวทางการสร้างแบบจำลองต่อม่อสะพานข้างต้น ที่ปรึกษาได้นำไปสร้างแบบจำลองต่อม่อประเภทเสาเรียงที่มีจำนวนเสา 4-9 ต้น สำหรับสะพานช่วงความยาว 5-12 เมตร เพื่อใช้วิเคราะห์หาความสามารถการต้านทานแรงกระทำด้านข้าง (Pushover Curve) และนำผลที่ได้ไปจัดทำเส้นโค้งแตกร้าว (Fragility Curve) สำหรับต่อม่อแต่ละรูปแบบ โดยรายละเอียดจะนำเสนอในบทถัดไป

บทที่ 6 การวิเคราะห์ Nonlinear Pushover ของตอม่อสะพาน

การวิเคราะห์ Nonlinear Pushover เป็นการประเมินกำลังต้านทานและความเหนียวของตอม่อสะพานรูปแบบต่างๆ โดยกำลังต้านทานและความเหนียวที่ได้จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์ร่วมกับหลักการทางสถิติและความน่าจะเป็น เพื่อนำไปประเมินความสามารถของตอม่อสะพานในการต้านทานแผ่นดินไหว รวมถึงประเมินความเสี่ยงต่อการวิบัติของสะพาน

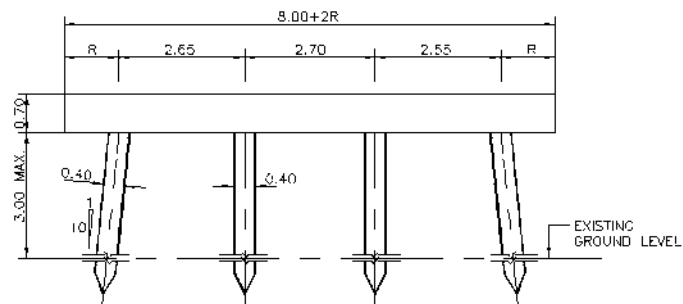
6.1 รูปแบบตอม่อสะพานสำหรับการวิเคราะห์

รูปแบบตอม่อที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากแผ่นดินไหวมีจำนวนทั้งสิ้น 24 รูปแบบ จำแนกตามจำนวนเสา ความยาวช่วงสะพาน และจำนวนคานค้ำยัน ดังแสดงในตารางที่ 6-1

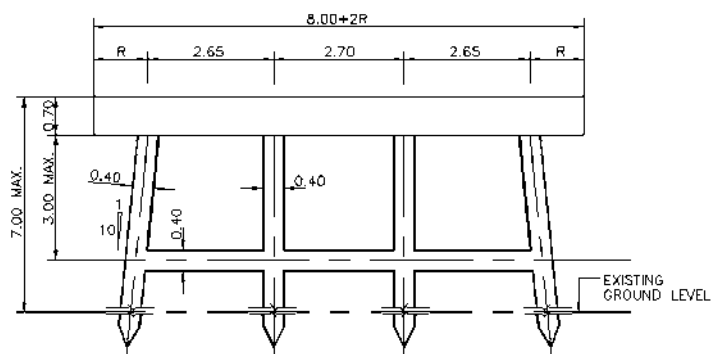
ตารางที่ 6-1 รูปแบบตอม่อสะพานที่นำมาวิเคราะห์ Nonlinear Pushover

จำนวนเสา (ต้น)	ความยาวช่วงสะพาน (ม.)					
	5-6 ม.		7-8 ม.		9-10 ม.	
	ไม่มีคานค้ำยัน	มีคานค้ำยัน	ไม่มีคานค้ำยัน	มีคานค้ำยัน	ไม่มีคานค้ำยัน	มีคานค้ำยัน
4	4PT1	4PT1H	-	-	-	-
5	5PT1	5PT1H	5PT2	5PT2H	-	-
6	6PT1	6PT1H	6PT2	6PT2H	6PT3	6PT3H
7	7PT1	7PT1H	7PT2	7PT2H	7PT3	7PT3H
8	-	-	8PT2	8PT2H	8PT3	8PT3H
9	-	-	-	-	9PT3	9PT3H

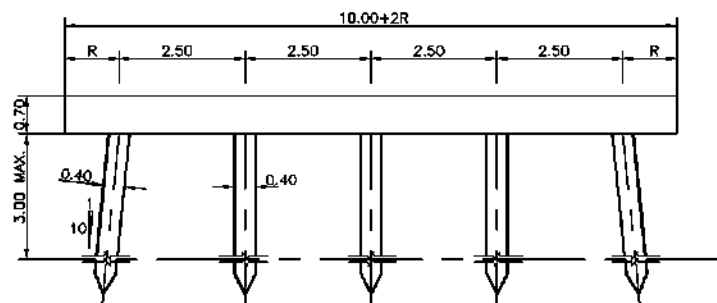
รูปที่ 6-1 ถึง รูปที่ 6-24 แสดงตอม่อทั้ง 24 รูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบจะแบ่งออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (เสาตัวริมเอียง ดังแสดง) ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (เสาตัวริมตรง ไม่ได้แสดง) ชุดออกแบบใหม่ นำเสนอในการศึกษาครั้งนี้ (เสาตัวริมตรง ไม่ได้แสดง) รายละเอียดต่างๆสามารถดูได้ในบทที่ 5



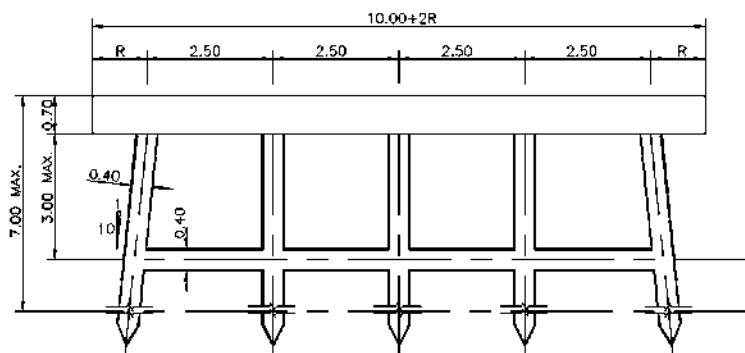
รูปที่ 6-1 ตอม่อ 4PT1



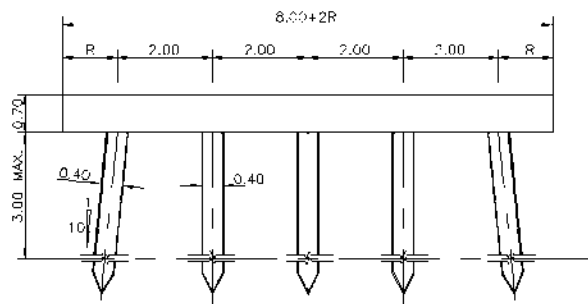
รูปที่ 6-2 ตอม่อ 4PT1H



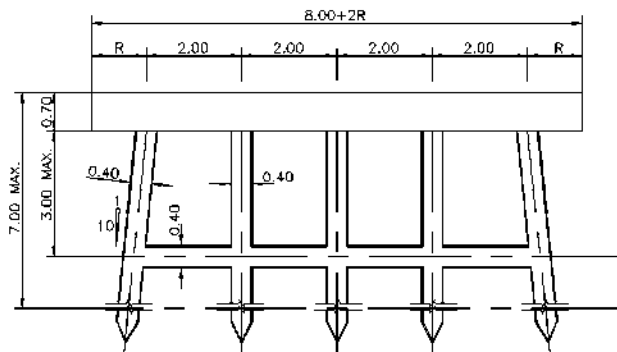
รูปที่ 6-3 ตอม่อ 5PT1



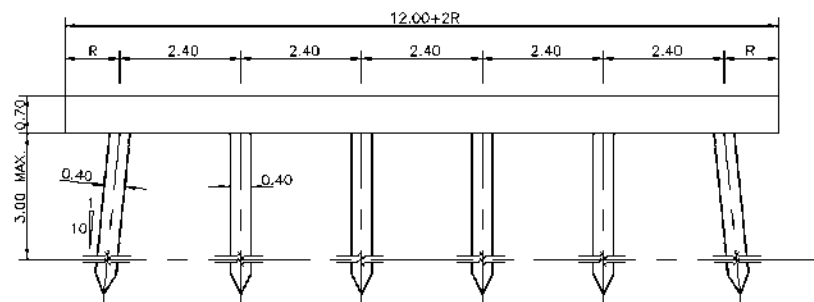
รูปที่ 6-4 ตอม่อ 5PT1H



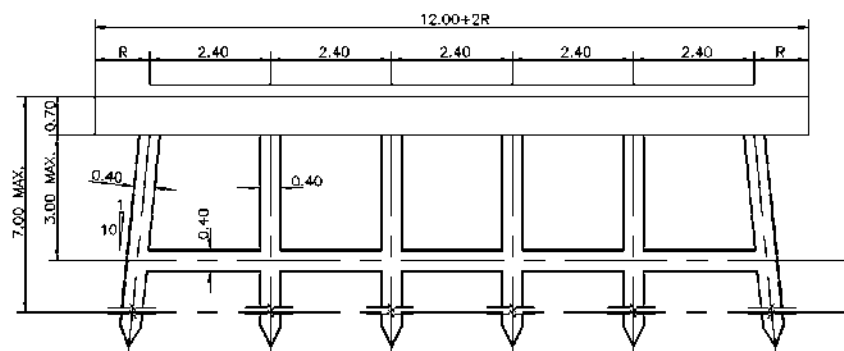
รูปที่ 6-5 ตอม่อ SPT2



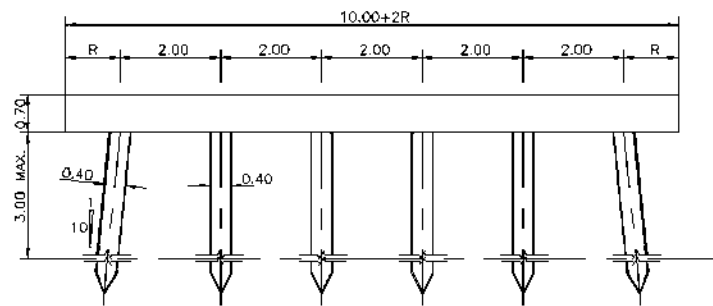
รูปที่ 6-6 ตอม่อ SPT2H



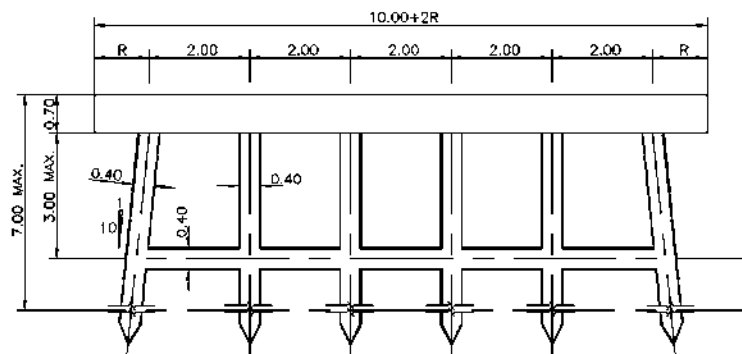
รูปที่ 6-7 ตอม่อ 6PT1



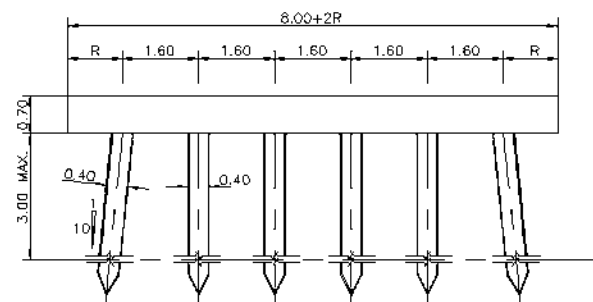
รูปที่ 6-8 ตอม่อ 6PT1H



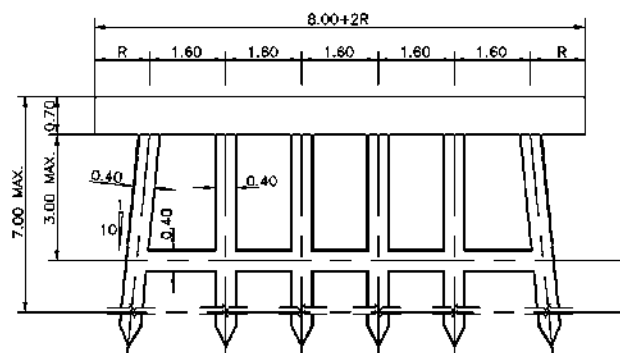
รูปที่ 6-9 ตอม่อ 6PT2



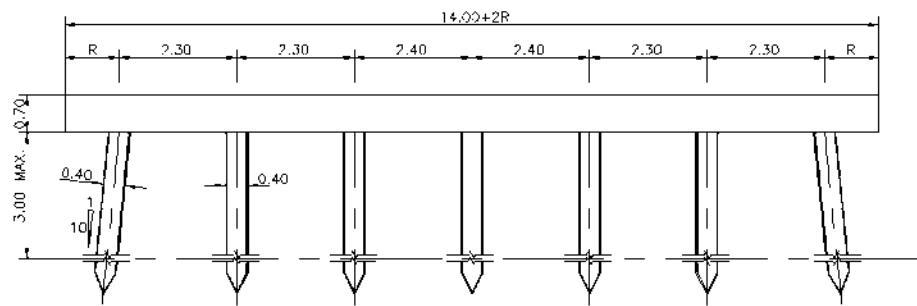
รูปที่ 6-10 ตอม่อ 6PT2H



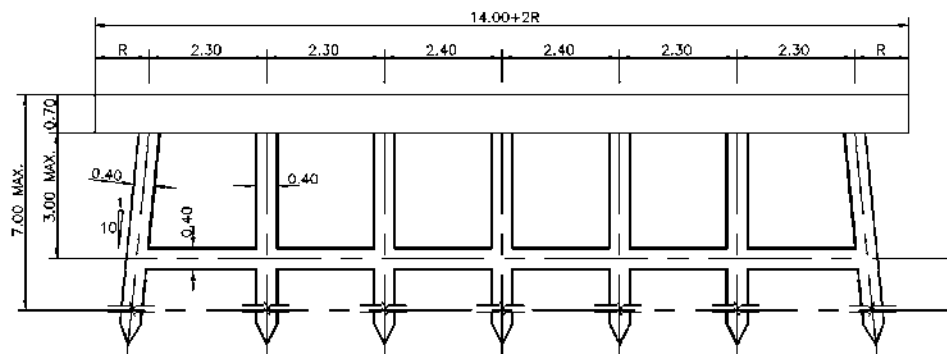
รูปที่ 6-11 ตอม่อ 6PT3



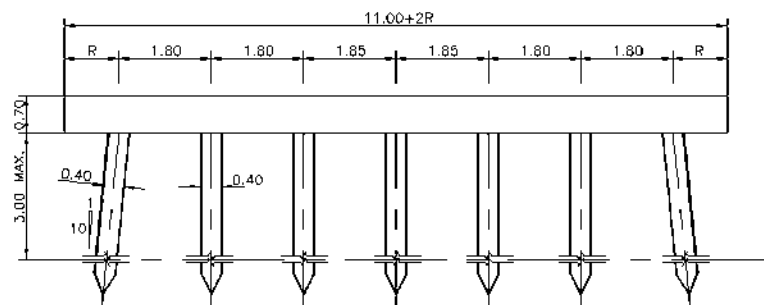
รูปที่ 6-12 ตอม่อ 6PT3H



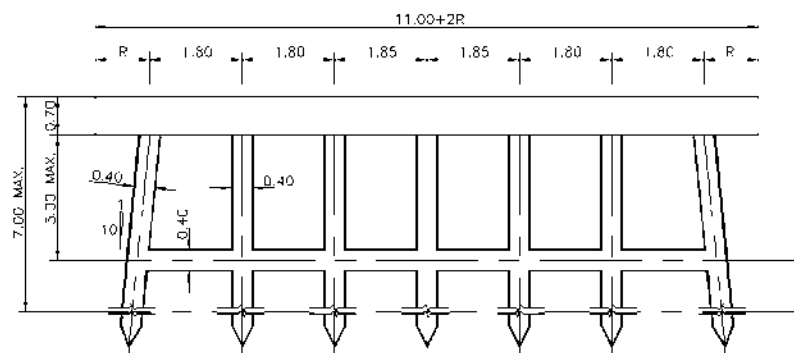
รูปที่ 6-13 ตอม่อ 7PT1



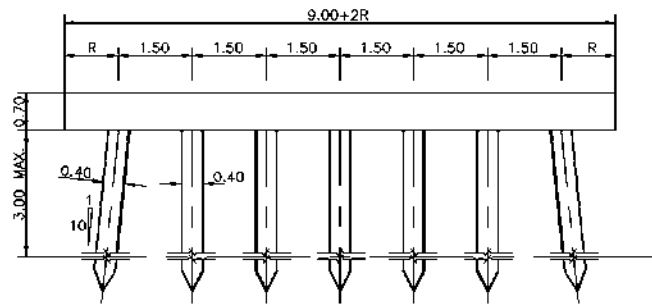
รูปที่ 6-14 ตอม่อ 7PT1H



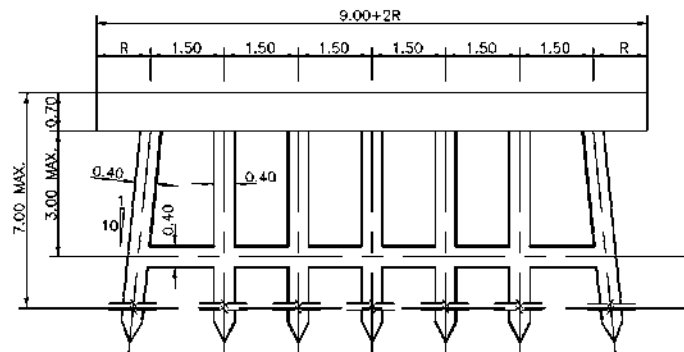
รูปที่ 6-15 ตอม่อ 7PT2



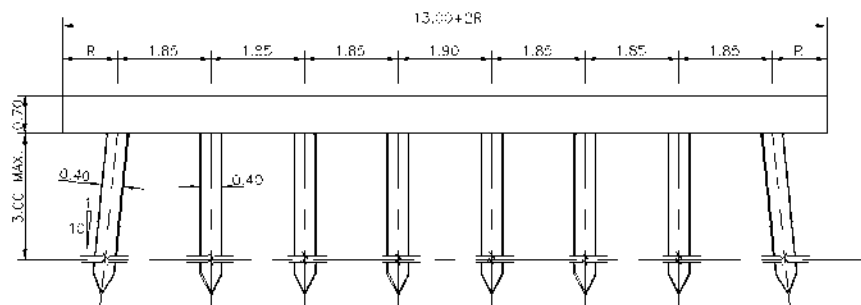
รูปที่ 6-16 ตอม่อ 7PT2H



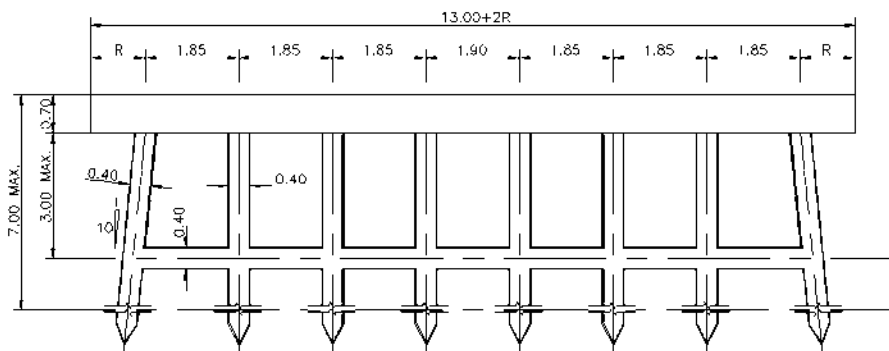
รูปที่ 6-17 ตอม่อ 7PT3



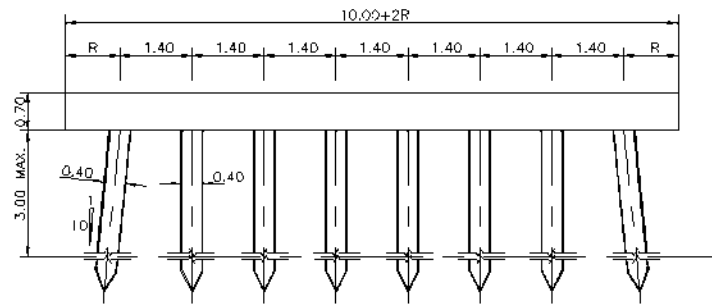
รูปที่ 6-18 ตอม่อ 7PT3H



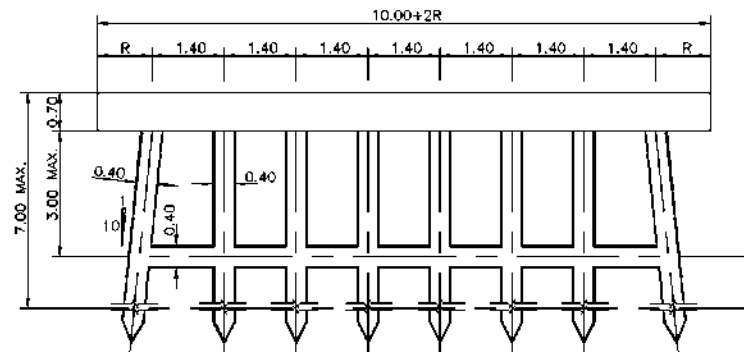
รูปที่ 6-19 ตอม่อ 8PT2



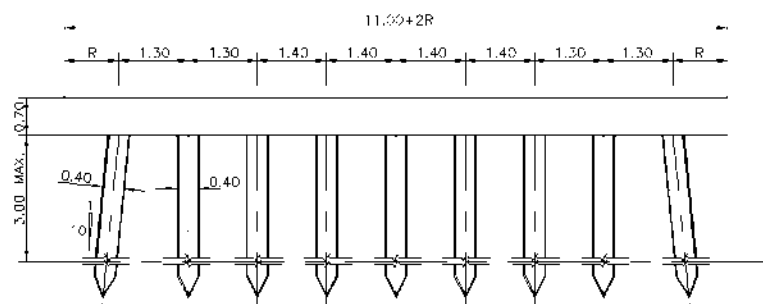
รูปที่ 6-20 ตอม่อ 8PT2H



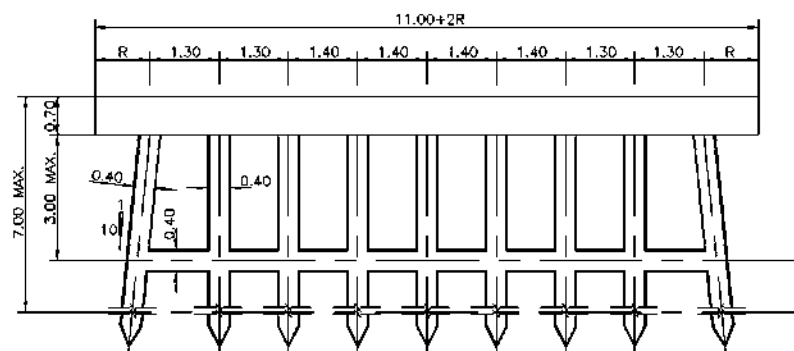
รูปที่ 6-21 ตอม่อ 8PT3



รูปที่ 6-22 ตอม่อ 8PT3H



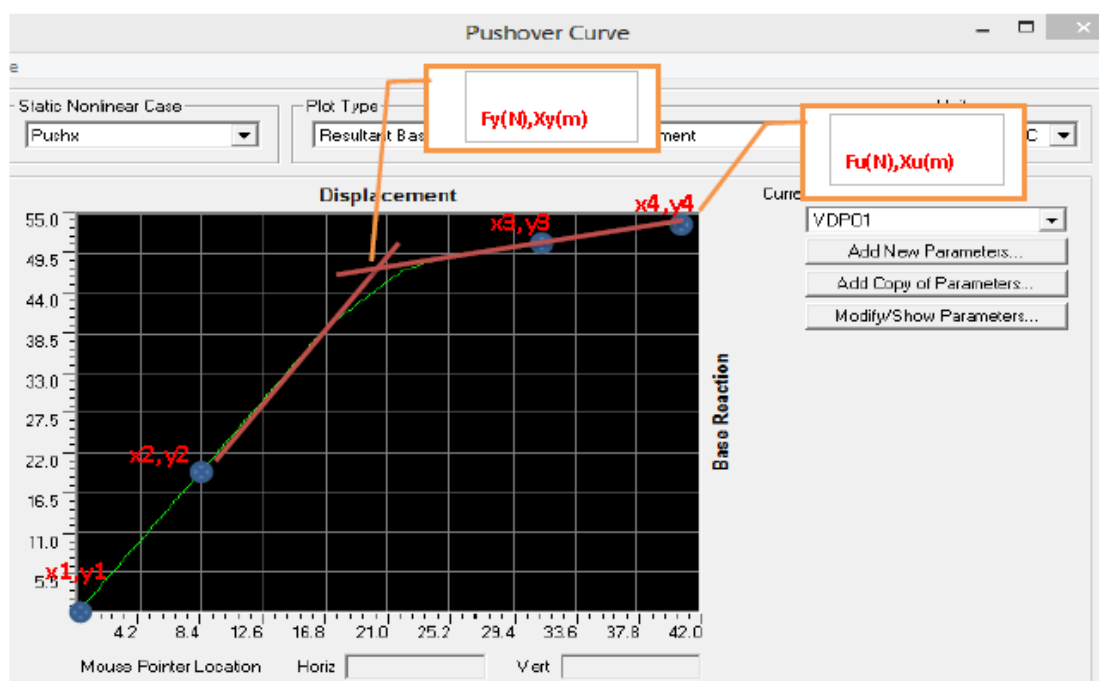
รูปที่ 6-23 ตอม่อ 9PT3



รูปที่ 6-24 ตอม่อ 9PT3H

6.2 ผลการวิเคราะห์ตอม่อสะพานรูปแบบต่างๆ ด้วยวิธี Pushover

การวิเคราะห์กำลังต้านทานแผ่นดินไหวของตอม่อด้วยวิธี Pushover เป็นการประมาณค่าของ Displacement Capacity โดยให้แรงผลักตอม่อไปทางด้านข้างในลักษณะ Monotonic Loading จากช่วง Elastic เข้าสู่ช่วง Plastic จนกระทั่งถึงสภาวะประลัยหรือพังทลาย ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานด้านข้างกับการเคลื่อนตัวของตอม่อที่สภาวะต่างๆ จะแสดงอยู่ในรูปของ Pushover Curve ซึ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของตอม่อภายใต้แรงแผ่นดินไหว เช่น แรงต้านทานทางข้างที่สภาวะคราก (F_y) ค่าเคลื่อนตัวที่สภาวะคราก (X_y) แรงต้านทานทางข้างที่สภาวะประลัย (F_u) และค่าเคลื่อนตัวที่สภาวะประลัย (X_u) รูปที่ 6-25 แสดงตัวอย่าง Pushover Curve และการหาค่า F_y, X_y และ F_u, X_u



รูปที่ 6-25 ตัวอย่าง Pushover Curve และการหาค่า F_y, X_y และ F_u, X_u

ค่า F_y, X_y และ F_u, X_u สามารถนำไปคำนวณหาคาบการแกว่งตัวที่สภาวะคราก (T_y) และค่าความเหนียวของตอม่อที่สภาวะประลัย (M_u) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการสร้าง Fragility Curve ซึ่งจะอธิบายในบทถัดไป

$$T_y = 2\pi \sqrt{\frac{m \cdot X_y}{F_y}} \quad (6-1)$$

$$M_u = \frac{X_u}{X_y} \quad (6-2)$$

โครงการนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม Finite Element SAP2000 ในการวิเคราะห์ Pushover ของตอม่อสะพานจำนวน 24 รูปแบบ ทั้ง 3 ชุด ในทิศทางขวางกับสะพานและในทิศทางตามแนวสะพานโดยจะพิจารณาความสามารถในการต้านทานของตอม่อที่มีแปรปรวนเนื่องจากความไม่แน่นอนของกำลังวัสดุก่อสร้างหลักที่ใช้ อันได้แก่ คอนกรีต และ เหล็กเสริม โดยจะใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากรายงานการศึกษาวิจัย “โครงการทดสอบสะพานกรมทางหลวงภายใต้การกระตุ้นแบบพลวัตเนื่องจากการจราจรและแผ่นดินไหวเพื่อปรับปรุงการออกแบบและเสริมกำลัง” ของ

สำนักวิจัยและพัฒนาทางานทาง ปี 2556 กล่าวโดยสรุปกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีการกระจายตัวเป็นโค้งปกติ (Normal Distribution) มีค่าเฉลี่ย 189 ksc (18.5 MPa) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 59 ksc (5.8 MPa) กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมมีการกระจายตัวเป็นโค้งปกติ (Normal Distribution) เช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3487 ksc (341.7 MPa) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 467 ksc (45.8 MPa) จากข้อมูลเชิงสถิติดังกล่าว จะทำการสร้างข้อมูลกำลังอัดประลัยของคอนกรีต 5 ค่า (9.3, 13.9, 18.5, 23.1, 27.8 MPa) และ กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม 5 ค่า (268.6, 305.3, 342.0, 378.6, 415.3 MPa) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสามารถการต้านทานของดอม่อ ซึ่งจะมี 25 ชุดคำตอบ สำหรับใช้ในการสร้างเส้นโค้งแตกร้าวในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 6-1 ถึง ตารางที่ 6-6 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ Pushover ของดอม่อ 4PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 และ ชุดออกแบบใหม่นำเสนอในการศึกษาครั้งนี้ ทั้งในทิศทางตามขวางกับสะพาน และในทิศทางตามแนวสะพาน

ตารางที่ 6-7 สรุปผลการวิเคราะห์ Pushover ของดอม่อทั้ง 24 รูปแบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าดอม่อทั้ง 24 รูปแบบที่ก่อสร้างตามแบบปรับปรุงปี 2015 มีค่าเฉลี่ยแรงต้านทานที่สภาวะคราก (Expected Value of F_y , $E[F_y]$) ทั้งในทิศทางขวางกับสะพานและในทิศทางตามแนวสะพาน สูงกว่าดอม่อที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานปี 1994 ประมาณ 2.4 ถึง 4.7 เท่า ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความเหนียว (Expected Value of μ_u , $E[\mu_u]$) ของดอม่อที่ก่อสร้างตามแบบปรับปรุงปี 2015 จะมีค่าประมาณ 0.8 ถึง 1.5 เท่าของดอม่อที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานปี 1994 ส่วนดอม่อที่ก่อสร้างตามแบบที่ได้ออกแบบใหม่ในการศึกษาครั้งนี้ ให้ค่า $E[F_y]$ และค่า $E[\mu_u]$ ใกล้เคียงกับดอม่อที่ก่อสร้างตามแบบปรับปรุงปี 2015

ผลการวิเคราะห์ Pushover ของดอม่อรูปแบบอื่นๆ แสดงในตารางที่ 6-8 ถึง ตารางที่ 6-145

ตารางที่ 6-1 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ดอม่อ 4PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	F _c (MPa)	P f _c '	P F _c	P f _c '*P f _y	F _y (N)	Push-over Analysis { Transverse }						Ductility	Mass (kg)	I (sec)
							X _u (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _u (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	275593	0.026	300000	0.066	10765360	2.566	64728	0.487		
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	303119	0.029	334237	0.099	10561626	3.456	64728	0.492		
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	332373	0.033	363729	0.100	9981168.2	2.988	64728	0.506		
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	356610	0.033	393220	0.100	10806370	3.024	64728	0.486		
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	374441	0.037	417153	0.081	11556812	2.506	64728	0.470		
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	283119	0.025	316746	0.064	11234867	2.548	64728	0.477		
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	314407	0.029	344068	0.063	10916902	2.188	64728	0.484		
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	341085	0.031	382068	0.094	10932205	3.013	64728	0.483		
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	367322	0.033	415729	0.099	11030691	2.970	64728	0.481		
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	392034	0.035	442373	0.100	11297807	2.876	64728	0.476		
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	293966	0.027	317831	0.060	10847457	2.210	64728	0.485		
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	317966	0.028	350000	0.062	11355932	2.225	64728	0.474		
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	350339	0.032	384712	0.066	10948094	2.072	64728	0.483		
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	378034	0.034	403051	0.056	11053623	1.649	64728	0.481		
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	402712	0.036	442373	0.069	11248936	1.925	64728	0.477		
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	299797	0.027	325525	0.061	10941483	2.219	64728	0.483		
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	330712	0.030	357559	0.063	10878681	2.072	64728	0.485		
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	359593	0.033	388678	0.064	11030466	1.977	64728	0.481		
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	385831	0.034	415729	0.062	11248703	1.802	64728	0.477		
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	411864	0.037	448475	0.063	11161637	1.715	64728	0.478		
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	307627	0.029	328881	0.057	10681498	1.993	64728	0.489		
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	336136	0.030	361220	0.059	11130318	1.967	64728	0.479		
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	362034	0.032	393220	0.062	11243289	1.910	64728	0.477		
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	393559	0.035	421254	0.058	11212516	1.655	64728	0.477		
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	410102	0.036	450644	0.060	11552161	1.693	64728	0.470		
						E[F _y]	348541							E[μ _u]	2.255

ตารางที่ 6-2 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ดอม่อ 4PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

Push-over Analysis (Longitudinal)													
CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pl_c'	Pl_y	$Pl_c' \cdot Pl_y$	F_y (N)	X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	43702	0.061	53498	0.209	711050.39	3.393	64728	1.896
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	44390	0.064	34945	0.300	697732.22	4.714	64728	1.914
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	47699	0.072	40876	0.292	659344.34	4.038	64728	1.969
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	52298	0.073	46197	0.282	714261.16	3.847	64728	1.891
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	55273	0.073	50735	0.229	759770.43	3.142	64728	1.834
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	51599	0.066	59513	0.214	777924.56	3.228	64728	1.812
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	50057	0.068	61654	0.165	741281.52	2.437	64728	1.857
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	59461	0.080	76678	0.280	746509.67	3.509	64728	1.850
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	61448	0.082	83850	0.297	749048.27	3.626	64728	1.847
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	62974	0.082	83402	0.291	768815.54	3.557	64728	1.823
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	47385	0.064	36590	0.217	739381.54	3.386	64728	1.859
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	58906	0.076	64996	0.186	779105.64	2.465	64728	1.811
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	57155	0.077	71771	0.259	741364.75	3.357	64728	1.857
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	49120	0.065	69566	0.143	760734.51	2.208	64728	1.833
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	66946	0.086	86146	0.208	780700.78	2.423	64728	1.809
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	45468	0.060	53961	0.152	757898.99	2.530	64728	1.836
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	52767	0.070	47907	0.279	744003.9	3.754	64728	1.853
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	58459	0.077	70293	0.172	755952.76	2.230	64728	1.839
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	59694	0.077	73907	0.165	774521.31	2.140	64728	1.816
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	57693	0.075	76905	0.157	766488.88	2.087	64728	1.826
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	45069	0.060	52978	0.107	751207.34	1.780	64728	1.844
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	53503	0.068	44475	0.272	783627.22	3.247	64728	1.806
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	56028	0.071	53112	0.158	785869.38	2.214	64728	1.803
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	60882	0.078	75397	0.153	781181.93	1.966	64728	1.809
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	62999	0.078	79412	0.159	811053.2	2.042	64728	1.775
$E[F_y]$						55452	$E[M_u]$						2.896

ตารางที่ 6-3 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 4PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

Push-over Analysis (Transverse)													
CASF	f_c' [MPa]	f_y [MPa]	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' \cdot Pf_y$	F_y [N]	X_y [m]	F_u [N]	X_u [m]	K_y [N/m]	Ductility	Mass [kg]	T [sec]
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1094045	0.044	1168861	0.094	25080204	2.161	64728	0.319
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1193128	0.048	1270588	0.099	25087869	2.081	64728	0.319
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1315770	0.053	1396251	0.102	24954223	1.935	64728	0.320
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1394785	0.056	1521249	0.106	24951325	1.897	64728	0.320
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1471056	0.058	1621978	0.106	25362668	1.833	64728	0.317
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1139544	0.037	1218728	0.088	30462572	2.342	64728	0.290
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1257851	0.041	1340401	0.091	30817514	2.225	64728	0.288
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1428371	0.047	1537206	0.101	30432379	2.144	64728	0.290
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1549868	0.051	1667190	0.099	30588011	1.963	64728	0.289
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1656678	0.054	1768584	0.103	30719115	1.903	64728	0.288
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1159070	0.033	1270588	0.083	35276770	2.524	64728	0.269
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1299371	0.037	1416197	0.087	35583987	2.370	64728	0.268
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1373280	0.038	1489334	0.062	35820156	1.622	64728	0.267
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1557789	0.044	1681485	0.093	35535276	2.110	64728	0.268
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1693236	0.048	1863330	0.099	35393687	2.074	64728	0.269
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1225019	0.031	1266267	0.080	39564330	2.577	64728	0.254
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1337745	0.034	1476171	0.083	39637783	2.456	64728	0.254
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1447385	0.036	1593721	0.086	39804157	2.374	64728	0.253
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1600705	0.040	1717389	0.089	39687870	2.195	64728	0.254
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1775438	0.045	1851668	0.093	39538770	2.066	64728	0.254
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1226342	0.028	1298513	0.084	43120344	2.952	64728	0.243
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1364260	0.032	1436144	0.080	42782633	2.514	64728	0.244
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1510778	0.035	1605024	0.083	43485400	2.399	64728	0.242
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1626965	0.037	1765260	0.087	43510198	2.315	64728	0.242
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1759527	0.041	1908209	0.089	43150050	2.184	64728	0.243
E[F _y]						1421850	E[M _u]						2.166

ตารางที่ 6-4 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 4PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	Push-over Analysis (Longitudinal)										Ductility	Mass (kg)	T (sec)
	f_c (MPa)	f_t (MPa)	Pf_c'	Pf_t	$Pf_c' \cdot Pf_t$	F_y (N)	X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	173488	0.105	208440	0.299	1656543.6	2.857	64728	1.242
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	174727	0.105	132843	0.299	1657378.8	2.838	64728	1.242
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	188826	0.115	156912	0.300	1648446.9	2.615	64728	1.245
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	204551	0.124	178720	0.299	1649190.5	2.413	64728	1.245
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	217150	0.130	197270	0.299	1667398.1	2.298	64728	1.238
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	207685	0.098	228985	0.292	2109289	2.968	64728	1.101
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	200262	0.096	240188	0.237	2092576.6	2.479	64728	1.105
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	249008	0.120	308505	0.299	2078086.3	2.497	64728	1.109
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	259272	0.125	336264	0.299	2077104.4	2.397	64728	1.109
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	266119	0.127	333438	0.300	2090435.2	2.353	64728	1.106
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	186832	0.078	146274	0.300	2404526	3.866	64728	1.031
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	240719	0.099	262994	0.259	2441339.4	2.626	64728	1.023
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	224039	0.092	277654	0.243	2425609.6	2.628	64728	1.026
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	202410	0.083	290221	0.234	2445615.4	2.826	64728	1.022
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	281480	0.115	362859	0.299	2456399.4	2.611	64728	1.020
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	185792	0.068	209903	0.199	2740557.8	2.939	64728	0.966
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	210634	0.078	171140	0.300	2710867.7	3.856	64728	0.971
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	235300	0.086	288226	0.231	2727904.8	2.684	64728	0.968
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	247656	0.091	305314	0.236	2732679.6	2.607	64728	0.967
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	248700	0.092	319243	0.230	2715195.6	2.514	64728	0.970
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	179664	0.059	209172	0.156	3032563.4	2.637	64728	0.918
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	217150	0.072	176626	0.299	3012085.1	4.151	64728	0.921
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	233808	0.077	257608	0.214	3039488.2	2.781	64728	0.917
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	251684	0.083	315952	0.228	3031378.7	2.749	64728	0.918
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	270293	0.089	336264	0.235	3029475.4	2.634	64728	0.918
					$E[F_y]$	226222				$E[M_u]$	2.772		

ตารางที่ 6-5 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อม่อ 4PT1H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	Push-over Analysis (Transverse)										Ductility	Mass (kg)	I (sec)
	f_c (MPa)	f_t (MPa)	Pf_c'	Pf_t	$Pf_c' \cdot Pf_t$	F_y (N)	X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	931774	0.045	1001976	0.097	20782547	2.173	64728	0.351
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1031659	0.050	1097054	0.103	20713286	2.072	64728	0.351
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1131923	0.054	1205762	0.107	20937417	1.987	64728	0.349
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1231363	0.059	1317130	0.113	20816181	1.913	64728	0.350
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1322471	0.064	1426171	0.120	20760335	1.877	64728	0.351
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	977859	0.038	1067799	0.086	25990161	2.298	64728	0.314
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1073634	0.042	1156894	0.090	25780858	2.165	64728	0.315
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1179933	0.046	1307822	0.097	25830899	2.127	64728	0.315
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1267710	0.049	1421184	0.105	25758723	2.143	64728	0.315
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1401705	0.055	1505291	0.105	25406215	1.911	64728	0.317
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1018074	0.034	1097054	0.083	29605446	2.427	64728	0.294
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1117545	0.038	1223049	0.087	29381254	2.292	64728	0.295
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1233164	0.042	1335747	0.092	29471866	2.198	64728	0.294
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1325863	0.045	1441130	0.098	29422226	2.176	64728	0.295
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1421439	0.048	1563801	0.100	29566915	2.075	64728	0.294
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1056287	0.032	1124979	0.080	32800723	2.491	64728	0.279
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1141768	0.035	1248980	0.084	32755533	2.402	64728	0.279
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1246590	0.038	1377980	0.089	33190587	2.364	64728	0.277
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1350210	0.041	1478696	0.089	33109161	2.186	64728	0.278
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1459891	0.044	1588069	0.094	33294070	2.133	64728	0.277
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1069777	0.029	1144976	0.078	36787087	2.680	64728	0.264
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1179095	0.032	1274910	0.080	36422874	2.486	64728	0.265
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1277200	0.035	1406224	0.091	36529566	2.591	64728	0.264
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1393866	0.038	1510610	0.088	36640776	2.311	64728	0.264
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1510713	0.042	1621978	0.097	36377723	2.327	64728	0.265
					$E[F_y]$	1215835				$E[M_u]$	2.229		

ตารางที่ 6-6 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อม่อ 4PT1H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

Push-over Analysis (Longitudinal)													
CASE	f_c' (MPa)	f_t (MPa)	Pf_c'	Pf_t	$Pf_c' \cdot Pf_t$	F_y (N)	X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.0093355	168789	0.102	209172	0.300	1662583.9	2.951	64728	1.240
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	175329	0.107	132245	0.299	1638943.2	2.797	64728	1.249
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	189491	0.114	155582	0.299	1662888.9	2.626	64728	1.240
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	203853	0.124	178720	0.299	1643561.9	2.413	64728	1.247
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.0093355	217915	0.132	199564	0.300	1648734.4	2.267	64728	1.245
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	194936	0.094	228985	0.294	2079688.5	3.134	64728	1.108
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	192006	0.092	223267	0.235	2081082.4	2.546	64728	1.108
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	247496	0.121	309569	0.299	2044759.7	2.472	64728	1.118
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	261702	0.125	336264	0.300	2088048.7	2.397	64728	1.106
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	260621	0.127	331177	0.299	2056934.2	2.362	64728	1.115
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	186333	0.078	145277	0.300	2398108.1	3.856	64728	1.032
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	224373	0.093	261199	0.260	2408513.4	2.795	64728	1.030
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	223829	0.092	277654	0.244	2435734.4	2.650	64728	1.024
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	227996	0.094	289223	0.233	2422544.9	2.471	64728	1.027
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	282062	0.117	362859	0.299	2408958	2.556	64728	1.030
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	183236	0.067	209172	0.199	2739119.1	2.982	64728	0.966
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	210634	0.078	171140	0.299	2717197.4	3.860	64728	0.970
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	231193	0.084	286231	0.233	2765327.5	2.791	64728	0.961
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	248466	0.091	305314	0.236	2741258.8	2.607	64728	0.965
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	265348	0.097	318146	0.232	2740076.2	2.393	64728	0.966
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.0093355	193972	0.064	208440	0.155	3038190.2	2.434	64728	0.917
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	215621	0.071	175097	0.299	3023374.6	4.196	64728	0.919
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	234685	0.078	257608	0.215	3009467.9	2.753	64728	0.921
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	254878	0.085	313824	0.228	3001384.9	2.680	64728	0.923
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.0093355	274911	0.091	335100	0.236	3004992.8	2.583	64728	0.922
					$E[F_y]$	226325				$E[M_u]$	2.766		

ตารางที่ 6-7 สรุปผลการวิเคราะห์ Pushover ของตอม่อทั้ง 24 รูปแบบ

	Transverse						Longitudinal					
	$E[F_y]$ (N)			$E[M_u]$			$E[F_y]$ (N)			$E[M_u]$		
	1994	2015	PROPOSED	1994	2015	PROPOSED	1994	2015	PROPOSED	1994	2015	PROPOSED
4PT1	381465	946188	967095	3.115	3.580	3.530	155286	384597	391237	3.594	4.155	4.143
4PT1H	348541	1421850	1715835	2.255	2.166	2.279	55457	276277	276325	2.896	2.777	2.766
5P11	467825	1205268	1217197	3.282	3.541	3.515	190264	489820	492487	3.708	4.054	4.083
5PT1H	414228	1838775	1627642	2.464	1.968	2.255	67528	299902	295714	3.861	3.102	3.110
6PT1	555309	1453374	1462178	3.332	3.649	3.570	224963	588404	582885	3.639	4.027	3.948
6PT1H	471887	2153906	1936488	2.379	2.170	2.523	77720	354478	344272	3.048	2.806	2.857
7PT1	642179	1695753	1697753	3.399	3.616	3.623	260040	686399	677287	3.663	3.922	3.925
7P11H	570188	2444602	2333870	2.183	2.207	2.504	90305	387200	384645	2.929	2.981	3.001
5PT2	489015	1233703	1250268	3.095	3.693	3.641	202055	509219	508695	3.445	4.197	4.240
5PT2H	436221	1797979	1814264	1.977	2.001	1.886	69595	286694	293030	2.755	2.788	2.781
6PT2	579865	1496688	1510438	3.135	3.559	3.514	239387	617441	607575	3.729	4.325	4.349
6PT2H	517284	2217377	2760864	2.072	2.070	1.937	84111	360665	342380	2.836	2.763	2.900
7P12	664441	1763111	1759806	2.936	3.623	3.617	268668	712910	711868	3.228	4.029	4.086
7PT2H	616327	2491748	2515017	1.572	2.081	1.951	96719	391050	389903	2.251	2.970	3.003
8PT2	758492	2011199	2007266	3.027	3.587	3.573	305541	810128	808228	3.315	4.002	4.000
8PT2H	684875	2865800	2887769	1.937	1.972	1.932	106506	445733	445310	3.005	2.943	2.979
6PT3	606120	1712612	1702431	2.696	3.821	3.855	252467	713413	708420	2.670	3.787	3.814
6P13H	543715	2552853	2539755	1.825	2.137	1.980	88574	415351	409133	2.423	2.844	2.870
7PT3	692689	1677849	1683446	2.512	3.768	3.725	285808	692295	695785	2.524	3.773	3.800
7PT3H	611674	2522353	2541111	1.990	2.016	1.925	95681	394659	393441	2.980	2.950	2.903
8PT3	776569	2085205	2088227	2.558	3.571	3.573	318089	854132	856819	2.924	4.137	4.245
8PT3H	839165	2901439	2971055	1.715	2.121	1.957	130657	451865	470757	2.363	2.918	2.787
9P13	704886	2337395	2351458	2.800	3.668	3.634	321967	1068430	963966	3.352	4.416	4.201
9PT3H	782717	3277265	3345792	1.840	2.121	1.942	121750	509896	527990	2.578	2.933	2.901

ตารางที่ 6-8 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 4PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' \cdot Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	303119	0.007	336542	0.026	41534483	3.549	64728	0.248
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	332373	0.008	363729	0.025	40756947	3.017	64728	0.250
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	360678	0.009	395932	0.026	41102906	2.906	64728	0.249
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	386271	0.009	427085	0.026	42517468	2.906	64728	0.245
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	416339	0.010	455322	0.025	41633900	2.490	64728	0.248
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	314407	0.007	347627	0.025	42475923	3.391	64728	0.245
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	342407	0.008	382068	0.027	41782404	3.331	64728	0.247
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	371593	0.009	415729	0.028	40901838	3.115	64728	0.250
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	399661	0.009	442373	0.028	42539755	2.948	64728	0.245
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	432814	0.011	476746	0.030	40831472	2.821	64728	0.250
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	324848	0.008	366237	0.029	41727360	3.699	64728	0.247
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	354305	0.008	390000	0.026	42103993	3.090	64728	0.246
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	381898	0.009	428542	0.029	42938869	3.261	64728	0.244
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	409458	0.010	460441	0.030	40945760	3.020	64728	0.250
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	438983	0.010	491525	0.031	42619718	2.990	64728	0.245
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	332339	0.008	372271	0.025	42025670	3.111	64728	0.247
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	364136	0.009	407720	0.029	42267626	3.308	64728	0.246
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	392271	0.009	438509	0.029	42624275	3.108	64728	0.245
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	419797	0.010	471864	0.030	42549828	3.071	64728	0.245
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	449492	0.011	504814	0.031	42008551	2.907	64728	0.247
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	338441	0.008	383390	0.026	41700431	3.167	64728	0.248
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	370170	0.009	417153	0.026	42112571	2.958	64728	0.246
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	400746	0.009	450644	0.030	42510427	3.225	64728	0.245
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	429559	0.010	476746	0.027	42530624	2.713	64728	0.245
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	460068	0.011	516475	0.031	42996991	2.935	64728	0.244
					$E[F_y]$	381465				$E[M_u]$	3.115		381465

ตารางที่ 6-9 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อมา 4PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' \cdot Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	123040	0.011	156526	0.038	11396412	3.500	64728	0.474
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	147512	0.013	150709	0.039	11770266	3.073	64728	0.466
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	170650	0.015	137252	0.038	11451821	2.548	64728	0.472
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	167762	0.014	144833	0.037	11823612	2.614	64728	0.465
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	191175	0.016	158821	0.039	11711939	2.419	64728	0.467
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	129313	0.011	153251	0.035	11713707	3.161	64728	0.467
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	131389	0.011	154950	0.043	11501896	3.793	64728	0.471
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	143236	0.013	165065	0.042	11437798	3.382	64728	0.473
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	155023	0.013	175049	0.041	11833656	3.127	64728	0.465
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	158858	0.014	225519	0.040	11223909	2.818	64728	0.477
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	130860	0.012	109402	0.081	11252792	6.992	64728	0.477
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	143901	0.012	171360	0.041	11752251	3.355	64728	0.466
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	156719	0.013	185549	0.044	11810052	3.343	64728	0.465
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	171707	0.015	184306	0.045	11452998	2.988	64728	0.472
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	194560	0.017	211894	0.045	11656784	2.689	64728	0.468
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	131036	0.011	156206	0.035	11907152	3.192	64728	0.463
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	148951	0.013	125260	0.080	11738286	6.336	64728	0.467
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	160346	0.014	188281	0.042	11548045	3.045	64728	0.470
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	167828	0.014	205041	0.046	11839065	3.211	64728	0.465
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	185624	0.015	210369	0.048	12021424	3.113	64728	0.461
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	138616	0.012	132921	0.081	11346520	6.634	64728	0.475
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	144739	0.012	170241	0.036	12219939	3.041	64728	0.457
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	158947	0.013	144672	0.085	11872646	6.354	64728	0.464
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	171545	0.014	206789	0.041	12105515	2.858	64728	0.459
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	180041	0.015	220649	0.046	12232429	3.118	64728	0.457
					$E[F_y]$	155286				$E[M_u]$	3.594		155286

ตารางที่ 6-10 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 4PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f'_c (MPa)	f_y (MPa)	Pf'_c	Pf_y	$Pf'_c \cdot Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	720169	0.016	912051	0.059	44111010	3.593	64728	0.241
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	731093	0.017	987349	0.060	43924236	3.618	64728	0.241
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	735472	0.017	1053172	0.060	43805792	3.597	64728	0.242
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	860095	0.020	1148915	0.064	43179836	3.213	64728	0.243
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	873283	0.020	1188475	0.060	43510261	3.001	64728	0.242
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	765290	0.014	980700	0.057	53594909	3.964	64728	0.218
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	860396	0.016	1053172	0.057	54348052	3.620	64728	0.217
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	936578	0.017	1160883	0.056	53783674	3.220	64728	0.218
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	935067	0.017	1160883	0.056	53830122	3.219	64728	0.218
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1185487	0.022	1363672	0.069	53301839	3.123	64728	0.219
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	811138	0.013	961086	0.053	63583916	4.155	64728	0.200
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	875244	0.014	1056829	0.049	62376932	3.515	64728	0.202
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	950279	0.015	1120990	0.053	62723451	3.512	64728	0.202
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1047589	0.017	1298513	0.055	61821675	3.254	64728	0.203
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1130620	0.018	1441130	0.060	62719320	3.321	64728	0.202
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	800203	0.012	902244	0.050	69045968	4.333	64728	0.192
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	901780	0.013	1067799	0.053	69842366	4.109	64728	0.191
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	972539	0.014	1164872	0.053	70348732	3.831	64728	0.191
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1088833	0.016	1218728	0.053	69356737	3.403	64728	0.192
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1208664	0.017	1411211	0.056	69601837	3.204	64728	0.192
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	826692	0.011	902776	0.047	76440808	4.387	64728	0.183
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	899603	0.012	1009290	0.053	74874978	4.397	64728	0.185
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1027927	0.013	1156894	0.053	76759015	3.994	64728	0.182
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1109187	0.015	1248980	0.053	76110087	3.634	64728	0.183
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1207588	0.016	1354363	0.055	75691076	3.458	64728	0.184
					$E[F_y]$	946188				$E[M_u]$	3.580		
											946188	3.5796	

ตารางที่ 6-11 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 4PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f'_c (MPa)	f_y (MPa)	Pf'_c	Pf_y	$Pf'_c \cdot Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	292325	0.024	424194	0.086	12103371	3.543	64728	0.459
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	324469	0.026	409101	0.094	12684953	3.685	64728	0.449
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	347979	0.029	365086	0.090	12204881	3.154	64728	0.458
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	373550	0.031	389620	0.090	12007809	2.891	64728	0.461
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	400995	0.033	414554	0.096	12239774	2.915	64728	0.457
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	314758	0.021	432339	0.079	14780022	3.695	64728	0.416
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	330154	0.022	427120	0.091	14960979	4.122	64728	0.413
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	361018	0.024	460929	0.084	15040077	3.496	64728	0.412
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	362699	0.024	459367	0.083	14974397	3.414	64728	0.413
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	435115	0.030	645068	0.093	14651810	3.119	64728	0.418
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	326755	0.019	287096	0.150	17146940	7.854	64728	0.386
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	355480	0.020	464353	0.078	17410922	3.816	64728	0.383
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	389965	0.023	485363	0.081	17251671	3.601	64728	0.385
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	439309	0.025	519771	0.082	17292231	3.219	64728	0.384
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	501098	0.029	621265	0.087	17154162	2.986	64728	0.386
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	315507	0.016	378583	0.072	19562825	4.446	64728	0.361
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	368876	0.019	328451	0.150	19396161	7.870	64728	0.363
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	397538	0.021	500157	0.078	19059334	3.754	64728	0.366
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	435298	0.023	529578	0.080	19297820	3.557	64728	0.364
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	499135	0.025	588088	0.086	19917688	3.432	64728	0.358
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	338591	0.016	312993	0.150	20799238	9.190	64728	0.351
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	351750	0.016	411894	0.073	21726712	4.520	64728	0.343
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	407705	0.019	371403	0.150	21437861	7.870	64728	0.345
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	442956	0.020	541745	0.078	21663256	3.829	64728	0.343
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	472572	0.022	578613	0.081	21533732	3.674	64728	0.344
					$E[F_y]$	384597				$E[M_u]$	4.155		
											384597	4.15498	

ตารางที่ 6-12 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 4PT1 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f'_c (MPa)	f_y (MPa)	Pf'_c	Pf_y	$Pf'_c \cdot Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	734905	0.017	912051	0.058	44346414	3.520	64728	0.240	6874.91	0.03292
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	770467	0.017	987349	0.060	44489187	3.468	64728	0.240	17918.2	0.08065
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	763309	0.017	1053172	0.061	44925742	3.574	64728	0.238	24042.7	0.11257
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	886443	0.020	1152904	0.063	44434500	3.180	64728	0.240	20615.4	0.07396
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	929762	0.021	1192797	0.060	43728401	2.818	64728	0.242	8697.76	0.02636
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	777350	0.014	980700	0.057	54881954	4.008	64728	0.216	18078.3	0.09321
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	865476	0.016	1056829	0.058	54798256	3.650	64728	0.216	50038.2	0.21101
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	946942	0.018	1164872	0.056	54082807	3.202	64728	0.217	74150.2	0.25077
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1059298	0.020	1307822	0.066	53981795	3.376	64728	0.218	61244.1	0.19517
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1101482	0.020	1363672	0.068	54487836	3.373	64728	0.217	25616.4	0.07845
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	820386	0.013	961086	0.053	62555151	4.042	64728	0.202	25840.6	0.12732
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	902543	0.014	1053172	0.049	62277530	3.383	64728	0.203	70673.5	0.26493
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	986150	0.016	1120990	0.053	62366698	3.355	64728	0.202	104586	0.35584
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1052497	0.017	1307822	0.055	62433983	3.270	64728	0.202	82415.7	0.25609
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1126089	0.018	1451104	0.059	62845429	3.312	64728	0.202	35469.6	0.10433
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	826496	0.012	902244	0.050	69860441	4.256	64728	0.191	19221.2	0.09899
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	919047	0.013	1071456	0.053	69433808	4.008	64728	0.192	53135.4	0.23174
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	998287	0.014	1164872	0.052	69801315	3.659	64728	0.191	78170.8	0.28652
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1101609	0.016	1223049	0.053	69970444	3.361	64728	0.191	63690.4	0.19434
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1159774	0.016	1416197	0.055	70529075	3.365	64728	0.190	26972.1	0.07827
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	856585	0.011	905868	0.047	76519534	4.155	64728	0.183	8013.21	0.03887
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	936592	0.012	1012947	0.052	77206168	4.290	64728	0.182	21781.7	0.09977
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1031749	0.014	1160883	0.053	75840260	3.863	64728	0.184	32498.1	0.12169
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1120086	0.015	1248980	0.053	76675840	3.615	64728	0.183	26049.1	0.08406
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1208004	0.016	1349709	0.055	76240069	3.442	64728	0.183	11300.7	0.0322
						E[Fy]	967095					E[M _u]	3.530	967095	3.53002

ตารางที่ 6-13 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 4PT1 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f'_c (MPa)	f_y (MPa)	Pf'_c	Pf_y	$Pf'_c \cdot Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	296702	0.024	425657	0.086	12285177	3.547	64728	0.456	2775.6	0.03318
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	335375	0.027	409101	0.095	12407529	3.518	64728	0.454	7799.59	0.08181
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	353507	0.029	365086	0.089	12208487	3.065	64728	0.458	11134.8	0.09655
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	375461	0.030	389620	0.090	12429792	2.964	64728	0.453	8731.84	0.06893
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	399502	0.032	414554	0.091	12405608	2.816	64728	0.454	3737.27	0.02635
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	314531	0.021	435331	0.079	15192231	3.819	64728	0.410	7314.84	0.08882
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	347439	0.023	427120	0.091	14911820	3.909	64728	0.414	20087.4	0.22602
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	368794	0.024	460929	0.082	15116789	3.355	64728	0.411	28878.4	0.26275
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	410663	0.027	637455	0.091	15257993	3.399	64728	0.409	23742.8	0.19649
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	439992	0.029	647262	0.093	15356051	3.247	64728	0.408	10232.6	0.0755
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	326656	0.019	287096	0.150	17199672	7.878	64728	0.385	10289	0.24813
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	355589	0.020	465949	0.078	17472435	3.828	64728	0.382	27844.4	0.29976
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	388492	0.022	487026	0.081	17929239	3.721	64728	0.378	41201.6	0.3946
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	456279	0.026	519771	0.081	17554414	3.102	64728	0.382	35728.9	0.24288
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	495802	0.028	623393	0.087	17539373	3.086	64728	0.382	15616.8	0.0972
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	323972	0.017	378583	0.071	19623950	4.296	64728	0.361	7534.4	0.09992
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	368876	0.019	327188	0.150	19422714	7.878	64728	0.363	21326.9	0.45545
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	401404	0.020	500157	0.078	19684450	3.820	64728	0.360	31431.9	0.29916
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	437616	0.022	529578	0.080	19610296	3.578	64728	0.361	25301.1	0.20686
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	484090	0.025	590115	0.087	19492021	3.496	64728	0.362	11258.2	0.0813
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	340918	0.016	314156	0.150	20942189	9.190	64728	0.349	3189.23	0.08598
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	365622	0.017	411894	0.073	22127996	4.434	64728	0.340	8503.02	0.10311
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	409101	0.019	371403	0.150	21511277	7.891	64728	0.345	12885.9	0.24856
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	439521	0.020	545469	0.079	21614297	3.869	64728	0.344	10221.6	0.08999
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	477712	0.022	578613	0.080	21590918	3.609	64728	0.344	4468.91	0.03376
						E[Fy]	391237					E[M _u]	4.143	391237	4.14307

ตารางที่ 6-14 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 5PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	368746	0.007	411458	0.025	54147695	3.730	76670	0.236
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	406983	0.008	452203	0.027	54012356	3.636	76670	0.237
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	441831	0.008	490000	0.027	54179093	3.360	76670	0.236
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	477898	0.009	526407	0.027	52603005	3.016	76670	0.240
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	513966	0.010	566136	0.028	52958897	2.885	76670	0.239
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	387729	0.007	430000	0.028	54205061	3.859	76670	0.236
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	422203	0.008	470000	0.028	53295052	3.497	76670	0.238
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	456407	0.009	506542	0.028	52996609	3.216	76670	0.239
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	492203	0.009	550000	0.029	52389931	3.108	76670	0.240
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	530000	0.010	584000	0.030	53000000	2.960	76670	0.239
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	398136	0.007	446949	0.028	53269414	3.720	76670	0.238
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	431864	0.008	480034	0.029	53681094	3.555	76670	0.237
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	465356	0.009	520000	0.029	53873107	3.380	76670	0.237
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	504305	0.009	560339	0.030	53281046	3.127	76670	0.238
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	538983	0.010	600000	0.030	53898310	3.020	76670	0.237
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	406983	0.008	460000	0.027	53409856	3.478	76670	0.238
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	444068	0.008	494915	0.028	53663782	3.323	76670	0.237
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	481424	0.009	532678	0.028	53995480	3.118	76670	0.237
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	517085	0.010	574102	0.030	53896685	3.096	76670	0.237
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	550644	0.010	613695	0.031	53460592	2.990	76670	0.238
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	412644	0.008	470000	0.028	54053458	3.642	76670	0.237
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	451254	0.008	512949	0.028	54010090	3.303	76670	0.237
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	491661	0.009	550509	0.029	53733443	3.202	76670	0.237
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	526780	0.010	597966	0.029	53851942	2.934	76670	0.237
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	568068	0.011	630000	0.031	53591302	2.943	76670	0.238
E[F _y]							467825	E[M _u]			3.282		467824.7
													3.281975

ตารางที่ 6-15 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 5PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	153620	0.010	184225	0.038	14945151	3.722	76670	0.450
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	172349	0.012	176188	0.043	14661520	3.643	76670	0.454
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	190095	0.013	179589	0.041	14838403	3.174	76670	0.452
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	212646	0.015	187378	0.041	14356730	2.793	76670	0.459
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	212941	0.015	202413	0.044	14186925	2.923	76670	0.462
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	152492	0.010	186879	0.040	15305012	3.991	76670	0.445
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	165476	0.011	195386	0.033	14771712	2.971	76670	0.453
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	179673	0.012	184904	0.045	14810793	3.673	76670	0.452
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	204576	0.014	250208	0.043	14420130	3.025	76670	0.458
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	216654	0.015	277325	0.044	14457645	2.949	76670	0.458
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	164092	0.011	134565	0.079	14608334	7.023	76670	0.455
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	172384	0.012	207304	0.045	14672521	3.866	76670	0.454
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	189294	0.013	210074	0.043	14861914	3.379	76670	0.451
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	209292	0.014	241182	0.043	14635830	3.036	76670	0.455
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	225606	0.015	262007	0.044	14727144	2.874	76670	0.453
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	166932	0.011	191177	0.039	15265101	3.595	76670	0.445
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	180707	0.012	158408	0.077	15294213	6.519	76670	0.445
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	194493	0.013	224965	0.041	14867362	3.140	76670	0.451
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	206170	0.014	236944	0.044	14726486	3.134	76670	0.453
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	228361	0.015	260115	0.045	15082666	2.996	76670	0.448
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	162763	0.011	164821	0.088	14338888	7.777	76670	0.459
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	177881	0.012	208020	0.043	14865390	3.593	76670	0.451
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	196419	0.014	247670	0.078	14290230	5.691	76670	0.460
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	207625	0.014	247638	0.043	14621693	2.993	76670	0.455
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	228906	0.016	254906	0.046	14541911	2.918	76670	0.456
E[F _y]							190264	E[M _u]			3.708		190263.6
													3.707821

ตารางที่ 6-16 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	897145	0.016	1160883	0.056	55188465	3.451	76670	0.234	8392.63
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	968815	0.018	1261945	0.062	55288642	3.552	76670	0.234	22531.06
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1017366	0.018	1257623	0.060	55360739	3.240	76670	0.234	32045.04
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1052775	0.019	1381291	0.060	55262920	3.162	76670	0.234	24483.66
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1217762	0.022	1456090	0.061	55970738	2.789	76670	0.233	11391.95
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1002814	0.015	1214406	0.054	67487722	3.658	76670	0.212	23321.75
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1120954	0.017	1326438	0.058	67675608	3.525	76670	0.211	64808.82
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1207384	0.018	1510610	0.058	68453414	3.293	76670	0.210	94544.08
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1263367	0.019	1681485	0.061	67500190	3.247	76670	0.212	73042.5
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1289128	0.019	1693453	0.061	68248832	3.241	76670	0.211	29980.37
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	992604	0.013	1205762	0.053	78441054	4.168	76670	0.196	31265.09
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1139125	0.015	1317130	0.049	78179755	3.367	76670	0.197	89199.13
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1201267	0.015	1499972	0.054	78112677	3.539	76670	0.197	127400.6
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1350167	0.017	1526568	0.056	77976180	3.220	76670	0.197	105724.8
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1392086	0.018	1819115	0.059	78256965	3.300	76670	0.197	43847.99
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1027110	0.012	1124979	0.048	85435677	3.977	76670	0.188	23886.8
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1132684	0.013	1298513	0.053	85040017	4.012	76670	0.189	65486.97
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1254183	0.014	1471050	0.053	87717551	3.688	76670	0.186	98208.7
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1357015	0.015	1599372	0.055	87742363	3.529	76670	0.186	78456.88
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1473026	0.017	1735340	0.058	87643182	3.474	76670	0.186	34257.16
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1069117	0.011	1120990	0.047	98591587	4.346	76670	0.175	10001.4
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1147622	0.012	1248980	0.048	96212446	4.027	76670	0.177	26689.46
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1276506	0.013	1471050	0.056	98679617	4.334	76670	0.175	40207.45
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1387848	0.014	1599372	0.053	96213400	3.665	76670	0.177	32276.22
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1477061	0.015	1787534	0.055	98442728	3.649	76670	0.175	13817.64
					$E[F_y]$	1205268				$E[M_u]$	3.541			1205268
														3.540853

ตารางที่ 6-17 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	373752	0.025	519771	0.084	15232411	3.444	76670	0.446	3496.387
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	410272	0.027	491680	0.097	15007964	3.559	76670	0.449	9541.426
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	437716	0.029	460929	0.088	15162028	3.061	76670	0.447	13787.21
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	468444	0.031	491680	0.091	15082690	2.929	76670	0.448	10894.28
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	504531	0.034	520602	0.095	14993754	2.826	76670	0.449	4719.797
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	394403	0.021	527783	0.078	19055423	3.783	76670	0.399	9172.354
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	439341	0.023	551419	0.070	18757550	2.995	76670	0.402	25400.84
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	475308	0.025	551419	0.093	19130457	3.761	76670	0.398	37218.98
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	525097	0.028	764946	0.089	18579172	3.160	76670	0.404	30358.89
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	526971	0.028	804174	0.091	18617309	3.228	76670	0.403	12255.41
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	409101	0.019	363025	0.150	21511277	7.870	76670	0.375	12885.9
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	454697	0.021	568806	0.078	21368679	3.661	76670	0.376	35604.99
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	488642	0.023	605973	0.080	21548858	3.537	76670	0.375	51823.04
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	560335	0.026	657069	0.082	21419364	3.126	76670	0.376	43876.95
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	582696	0.027	794367	0.086	21382890	3.141	76670	0.376	18353.81
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	421290	0.017	467545	0.071	24418419	4.111	76670	0.352	9797.651
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	460929	0.019	415617	0.150	24236460	7.870	76670	0.353	26648.96
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	506684	0.021	621265	0.078	24152552	3.714	76670	0.354	39675.89
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	541064	0.023	660094	0.081	23974326	3.572	76670	0.355	31282.01
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	610889	0.025	735525	0.086	24726491	3.481	76670	0.350	14207.02
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	421701	0.016	393111	0.150	26153622	9.282	76670	0.340	3944.939
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	452385	0.017	506507	0.075	26480895	4.380	76670	0.338	10520.81
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	509964	0.019	466747	0.150	26243516	7.702	76670	0.340	16062.88
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	547005	0.021	662355	0.078	26123529	3.739	76670	0.340	12721.33
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	595191	0.022	723258	0.081	26712270	3.618	76670	0.337	5567.904
					$E[F_y]$	489820				$E[M_u]$	4.054			489819.6
														4.053725

ตารางที่ 6-18 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT1 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	895750	0.016	1160883	0.056	55420522	3.481	76670	0.234
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1009979	0.018	1270588	0.062	56474264	3.452	76670	0.232
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1095163	0.020	1261945	0.059	55893028	3.030	76670	0.233
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1191763	0.021	1386278	0.060	55662951	2.798	76670	0.233
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1253027	0.022	1461077	0.061	55971223	2.711	76670	0.233
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	999387	0.015	1218728	0.054	68320811	3.725	76670	0.210
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1093570	0.016	1331092	0.057	67937802	3.552	76670	0.211
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1185911	0.017	1515929	0.058	68282423	3.336	76670	0.211
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1274267	0.018	1681485	0.061	69125522	3.296	76670	0.209
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1353001	0.020	1699437	0.061	69382917	3.139	76670	0.209
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1008682	0.013	1205762	0.053	78620210	4.111	76670	0.196
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1143623	0.014	1321784	0.048	79713848	3.379	76670	0.195
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1213967	0.015	1505291	0.054	79396136	3.529	76670	0.195
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1353047	0.017	1526568	0.055	78915195	3.191	76670	0.196
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1397134	0.018	1819115	0.059	77931196	3.283	76670	0.197
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1057493	0.012	1128969	0.048	87651442	3.938	76670	0.186
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1148926	0.013	1303167	0.053	87646502	4.064	76670	0.186
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1263721	0.014	1471050	0.052	87721831	3.621	76670	0.186
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1358374	0.015	1599372	0.053	89760312	3.503	76670	0.184
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1458113	0.016	1741324	0.059	89559963	3.596	76670	0.184
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1072165	0.011	1128969	0.047	98175421	4.270	76670	0.176
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1186749	0.012	1253301	0.048	97331200	3.953	76670	0.176
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1286455	0.013	1471050	0.055	97721923	4.171	76670	0.176
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1393922	0.014	1605024	0.052	96810998	3.640	76670	0.177
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1486990	0.015	1793850	0.055	97545628	3.592	76670	0.176
					$E[F_y]$	1217197				$E[M_u]$	3.515		1217197

ตารางที่ 6-19 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT1 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	381173	0.025	519771	0.085	15400237	3.430	76670	0.443
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	419346	0.027	491680	0.095	15270002	3.472	76670	0.445
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	442501	0.029	460929	0.089	15385532	3.086	76670	0.444
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	474031	0.031	493375	0.091	15173318	2.898	76670	0.447
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	504736	0.033	522397	0.092	15328797	2.800	76670	0.444
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	409131	0.022	527783	0.078	18920485	3.621	76670	0.400
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	444077	0.023	555209	0.071	19130457	3.046	76670	0.398
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	478807	0.025	555209	0.093	18803393	3.668	76670	0.401
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	532809	0.028	764946	0.091	19177308	3.259	76670	0.397
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	542992	0.029	801448	0.091	18617488	3.110	76670	0.403
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	410498	0.019	364421	0.150	21584698	7.891	76670	0.374
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	457420	0.021	568806	0.077	22125310	3.740	76670	0.370
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	487817	0.022	608034	0.081	21935189	3.625	76670	0.371
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	557808	0.025	657069	0.081	21956379	3.206	76670	0.371
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	588500	0.027	794367	0.086	21710410	3.157	76670	0.373
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	417070	0.017	469140	0.069	24887302	4.145	76670	0.349
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	460929	0.019	415617	0.150	24269640	7.878	76670	0.353
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	499308	0.020	625520	0.078	24852151	3.869	76670	0.349
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	543951	0.022	662355	0.081	24605472	3.647	76670	0.351
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	615168	0.025	735525	0.086	24635374	3.427	76670	0.351
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	421701	0.016	391682	0.150	25904601	9.190	76670	0.342
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	471812	0.018	506507	0.074	26759039	4.199	76670	0.336
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	509964	0.019	465018	0.150	26243516	7.702	76670	0.340
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	554905	0.020	662355	0.079	27079248	3.854	76670	0.334
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	596779	0.022	725718	0.081	26939090	3.639	76670	0.335
					$E[F_y]$	492487				$E[M_u]$	4.083		492487.2

ตารางที่ 6-20 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
						F _y (N)	X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	333559	0.022	390509	0.078	15025194	3.527	76670	0.449	3120.389	0.032995
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	368407	0.024	431051	0.092	15098639	3.762	76670	0.448	8567.785	0.087497
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	391390	0.025	460000	0.063	15910154	2.569	76670	0.436	12328.02	0.080922
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	420237	0.026	485017	0.053	16039592	2.031	76670	0.434	9773.172	0.047223
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	462373	0.030	540678	0.092	15361226	3.040	76670	0.444	4325.417	0.028437
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	343288	0.022	405831	0.072	15675256	3.288	76670	0.439	7983.617	0.076459
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	372203	0.023	446949	0.075	15974395	3.202	76670	0.435	21519.22	0.185111
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	403085	0.025	465220	0.055	16123392	2.184	76670	0.433	31563.53	0.171018
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	432983	0.027	521017	0.074	16096026	2.743	76670	0.434	25033.25	0.158617
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	469525	0.030	566136	0.097	15598850	3.209	76670	0.441	10919.43	0.074637
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	350237	0.022	411458	0.061	15847842	2.760	76670	0.437	11031.79	0.086941
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	383593	0.024	450644	0.065	15983050	2.696	76670	0.435	30037.24	0.211097
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	413593	0.026	490000	0.064	16093121	2.498	76670	0.434	43863.7	0.264932
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	445559	0.028	526407	0.063	16143453	2.293	76670	0.433	34889.49	0.179591
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	481119	0.030	570000	0.072	16037290	2.387	76670	0.434	15154.3	0.075175
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	361627	0.023	418576	0.059	15722917	2.552	76670	0.439	8410.114	0.059354
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	392949	0.025	455322	0.060	15844726	2.399	76670	0.437	22718.66	0.138711
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	425424	0.027	489831	0.056	15874019	2.104	76670	0.437	33312.77	0.164791
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	456339	0.029	522814	0.054	16011895	1.881	76670	0.435	26383.59	0.108734
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	484068	0.030	560000	0.055	16028735	1.831	76670	0.435	11257.63	0.042585
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	365864	0.023	421254	0.054	15635231	2.308	76670	0.440	3422.597	0.021588
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	402305	0.026	460000	0.053	15715043	2.051	76670	0.439	9356.135	0.047694
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	438983	0.028	494915	0.053	15677968	1.900	76670	0.439	13827.11	0.059846
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	466780	0.029	536339	0.054	16040540	1.856	76670	0.434	10855.58	0.043156
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	488848	0.030	568068	0.055	16240781	1.817	76670	0.432	4573.082	0.017
E[F _y]						414228	E[M _u]						2.464	414227.6	2.46411

ตารางที่ 6-21 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)						
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	51905	0.055	69100	0.275	944315.34	5.006	76670	1.790	485.5646	0.046828	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	49669	0.051	63829	0.242	965074	4.697	76670	1.771	1155.124	0.109228	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	58491	0.057	30478	0.282	1019783.6	4.911	76670	1.723	1842.35	0.154673	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	62609	0.062	36999	0.224	1015658.5	3.638	76670	1.726	1456.047	0.0846	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	69005	0.070	47409	0.379	985434.11	5.409	76670	1.753	645.5297	0.050597	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	60500	0.059	75349	0.248	1023057.8	4.200	76670	1.720	1407.008	0.097674	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	52952	0.050	74448	0.234	1050063.7	4.647	76670	1.698	3061.464	0.26868	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	67244	0.064	84763	0.180	1043878	2.795	76670	1.703	5265.554	0.218861	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	68424	0.064	108734	0.273	1062056.4	4.234	76670	1.688	3956.005	0.24478	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	81774	0.081	110491	0.372	1003981.6	4.564	76670	1.736	1901.769	0.106141	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	55143	0.053	39129	0.333	1038397.1	6.265	76670	1.707	1736.892	0.197334	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	65757	0.063	80261	0.209	1050943.2	3.339	76670	1.697	5149.091	0.261443	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	74659	0.070	86333	0.208	1061029.3	2.949	76670	1.689	7917.937	0.312764	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	76723	0.071	96460	0.255	1076309.9	3.574	76670	1.677	6007.773	0.279884	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	74286	0.070	108923	0.244	1065492.5	3.504	76670	1.685	2339.85	0.110374	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	55072	0.053	68467	0.165	1041686.3	3.121	76670	1.705	1280.761	0.072584	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	61459	0.058	45500	0.327	1054604.3	5.615	76670	1.694	3553.313	0.324663	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	74429	0.071	89332	0.237	1054601	3.363	76670	1.694	5828.143	0.263331	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	69969	0.066	90179	0.171	1060083.5	2.586	76670	1.690	4045.303	0.149512	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	73216	0.069	96984	0.156	1060471.2	2.264	76670	1.689	1702.737	0.052651	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	52417	0.051	69286	0.149	1026715.2	2.912	76670	1.717	490.3505	0.027243	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	67628	0.064	49937	0.459	1059257.4	7.196	76670	1.690	1572.776	0.167346	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	74424	0.070	53452	0.385	1060663.4	5.491	76670	1.689	2344.208	0.172952	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	71751	0.067	94629	0.188	1075889.2	2.825	76670	1.677	1668.655	0.06571	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	76320	0.071	98471	0.163	1079385.8	2.306	76670	1.675	713.9629	0.021576	
[E/F _y]						67528	[E/M _u]						3.861	67528.17		3.861431

ตารางที่ 6-22 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 5PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1489799	0.045	1569120	0.091	33135183	2.025	76670	0.302	13936.81
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1506548	0.046	1633281	0.086	32914767	1.881	76670	0.303	35036.76
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1601651	0.049	1781217	0.090	32637349	1.826	76670	0.305	50448.89
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1723074	0.052	1941454	0.095	32988221	1.819	76670	0.303	40072.36
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1839950	0.056	2059470	0.097	32583392	1.713	76670	0.305	17212.41
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1539261	0.038	1655887	0.088	40217706	2.287	76670	0.274	35797.54
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1671075	0.042	1812799	0.084	40035932	2.010	76670	0.275	96614.48
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1835920	0.046	2024564	0.092	40288134	2.008	76670	0.274	143761.6
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2094709	0.052	2255610	0.102	40351090	1.960	76670	0.274	121107.2
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2069963	0.051	2345701	0.095	40391542	1.859	76670	0.274	48139.71
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1484795	0.032	1627630	0.073	46772942	2.313	76670	0.254	46768.15
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1756809	0.038	1874965	0.082	46364740	2.174	76670	0.256	137566.8
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1884059	0.041	2031545	0.086	46225623	2.107	76670	0.256	199814.2
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2118410	0.046	2202087	0.076	46340213	1.658	76670	0.256	165881.9
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2318638	0.050	2463385	0.097	46151002	1.941	76670	0.256	73032.59
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1583124	0.030	1638933	0.069	52081629	2.281	76670	0.241	36817.63
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1692970	0.032	1868317	0.073	52154300	2.243	76670	0.241	97880.33
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1722895	0.033	1989657	0.057	51906226	1.729	76670	0.241	134911.2
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2011300	0.039	2217379	0.074	52010724	1.909	76670	0.241	116284.9
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2244359	0.043	2410195	0.078	51935698	1.800	76670	0.241	52195.52
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1614278	0.028	1669517	0.068	57253062	2.416	76670	0.230	15101.29
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1611368	0.028	1774901	0.046	56614935	1.604	76670	0.231	37474.48
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1735373	0.030	2031545	0.055	57011783	1.802	76670	0.230	54660.89
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2018124	0.036	2240318	0.065	56728410	1.829	76670	0.231	46934.13
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2279363	0.040	2489316	0.080	57202951	2.007	76670	0.230	21323.04
$E[F_y]$ 1838775							$E[M_u]$ 1.968				1838775 1.967604			

ตารางที่ 6-23 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 5PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	231828	0.111	277654	0.320	2082506.4	2.874	76670	1.206	2168.71
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	203116	0.097	241851	0.227	2103844.3	2.348	76670	1.199	4723.719
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	239357	0.114	218016	0.399	2091936.5	3.491	76670	1.203	7539.289
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	256711	0.123	148102	0.400	2088879	3.259	76670	1.204	5970.145
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	274596	0.131	180582	0.400	2090248.9	3.048	76670	1.203	2568.797
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	271275	0.103	307441	0.302	2624840.1	2.922	76670	1.074	6308.85
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	237738	0.090	301956	0.264	2631729.1	2.918	76670	1.072	13745
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	306276	0.117	368876	0.302	2608377.7	2.570	76670	1.077	23982.88
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	331027	0.124	470736	0.376	2662466.8	3.025	76670	1.066	19138.57
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	360512	0.139	457804	0.367	2599702.2	2.643	76670	1.079	8384.192
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	233772	0.076	154784	0.400	3064700.5	5.250	76670	0.994	7363.373
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	301159	0.099	333937	0.266	3048648.8	2.692	76670	0.996	23582.2
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	340096	0.112	357939	0.278	3047683.6	2.487	76670	0.997	36068.92
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	364778	0.118	403516	0.305	3089576.3	2.584	76670	0.990	28563.93
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	358002	0.117	470736	0.333	3066200.4	2.849	76670	0.994	11276.35
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	241091	0.070	268080	0.195	3450550.4	2.790	76670	0.937	5606.891
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	264789	0.076	186699	0.400	3471322.4	5.250	76670	0.934	15308.98
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	301424	0.087	362859	0.242	3448424.5	2.763	76670	0.937	23603.01
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	308386	0.090	382473	0.235	3443422	2.624	76670	0.938	17829.55
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	339463	0.099	417412	0.220	3436098.5	2.226	76670	0.939	7894.664
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	231275	0.062	274596	0.188	3759624	3.048	76670	0.897	2163.54
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	270873	0.071	192683	0.399	3816075.5	5.627	76670	0.891	6299.501
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	294210	0.076	219411	0.397	3857024.9	5.208	76670	0.886	9267.043
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	310214	0.082	395272	0.227	3804951.9	2.785	76670	0.892	7214.434
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	355861	0.094	431508	0.238	3801790.8	2.547	76670	0.892	3329.015
$E[F_y]$ 299902							$E[M_u]$ 3.102				299901.6 3.102404			

ตารางที่ 6-24 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT1H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1233721	0.044	1372980	0.094	27787816	2.112	76670	0.330	11541.25	0.019758
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1363779	0.049	1478696	0.102	27731400	2.081	76670	0.330	31716.47	0.04839
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1521115	0.055	1616327	0.110	27669312	1.992	76670	0.331	47912.17	0.062744
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1625252	0.058	1747308	0.106	27876815	1.814	76670	0.330	37797.39	0.042178
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1771204	0.064	1894912	0.119	27696566	1.857	76670	0.331	16569.3	0.017373
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1301390	0.038	1431157	0.090	34243647	2.371	76670	0.297	30265.54	0.05513
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1453561	0.043	1569120	0.096	33430761	2.199	76670	0.301	84038.73	0.12713
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1584372	0.046	1741324	0.099	34201999	2.132	76670	0.297	124064.2	0.166914
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1722245	0.050	1934805	0.104	34159317	2.063	76670	0.298	99572.9	0.119295
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1851729	0.055	2038526	0.109	33683043	1.985	76670	0.300	43064.4	0.046173
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1357043	0.034	1473377	0.086	39683382	2.510	76670	0.276	42744.22	0.079046
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1488368	0.038	1644584	0.092	39329740	2.425	76670	0.277	116546.5	0.189916
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1636684	0.042	1800166	0.095	39110669	2.275	76670	0.278	173578.8	0.241253
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1780095	0.046	1961400	0.099	38863638	2.166	76670	0.279	139390.2	0.169589
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1909294	0.049	2142913	0.105	39103083	2.142	76670	0.278	60139.05	0.067476
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1404142	0.032	1505291	0.078	44110993	2.448	76670	0.262	32655.17	0.056937
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1530663	0.035	1655887	0.084	44034537	2.417	76670	0.262	88496.46	0.139714
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1669679	0.038	1844381	0.090	44062679	2.372	76670	0.262	130744.1	0.185715
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1817194	0.041	1996639	0.095	44155360	2.307	76670	0.262	105062.5	0.133405
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1954284	0.045	2163856	0.096	43837810	2.156	76670	0.263	45449.44	0.050146
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1431365	0.030	1531887	0.076	48129542	2.567	76670	0.251	13390.17	0.024017
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1585723	0.033	1693453	0.078	48532107	2.390	76670	0.250	36878.08	0.05559
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1701382	0.035	1863330	0.089	48106607	2.507	76670	0.251	53590.23	0.078981
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1880042	0.039	2038526	0.096	48086780	2.455	76670	0.251	43722.86	0.057103
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2000227	0.042	2194441	0.096	48045738	2.300	76670	0.251	18711.77	0.021515
					$E[F_y]$	1627642				$E[M_u]$	2.255			1627642	2.255488

ตารางที่ 6-25 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT1H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	236611	0.113	277654	0.332	2102144.8	2.950	76670	1.200	2213.455	0.027601
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	222779	0.107	242682	0.188	2088905.6	1.758	76670	1.204	5181.008	0.040891
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	240188	0.115	117185	0.399	2079949.3	3.459	76670	1.206	7565.467	0.108943
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	256711	0.124	149000	0.400	2071032.5	3.231	76670	1.209	5970.145	0.075136
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	274596	0.132	182443	0.399	2073533.7	3.016	76670	1.208	2568.797	0.028214
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	266729	0.102	309569	0.304	2624466.6	2.987	76670	1.074	6203.142	0.069471
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	273765	0.104	313824	0.283	2632545.4	2.724	76670	1.072	15827.96	0.157479
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	292710	0.111	372666	0.305	2630698.5	2.740	76670	1.073	22920.65	0.214546
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	329552	0.126	469140	0.380	2618732.6	3.022	76670	1.075	19053.27	0.174736
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	363868	0.138	457804	0.369	2645050.1	2.680	76670	1.070	8462.224	0.062328
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	233772	0.077	155582	0.398	3022735.2	5.151	76670	1.001	7363.373	0.162238
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	278735	0.091	333438	0.266	3056033.1	2.916	76670	0.995	21826.29	0.228298
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	308941	0.101	355479	0.265	3062414.4	2.625	76670	0.994	32764.83	0.278441
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	356374	0.117	402087	0.298	3040341.1	2.540	76670	0.998	27905.87	0.198859
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	369537	0.122	467545	0.331	3030539.7	2.711	76670	0.999	11639.69	0.085384
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	240807	0.070	269011	0.195	3452785.4	2.795	76670	0.936	5600.279	0.065003
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	263891	0.077	187596	0.400	3412183.1	5.178	76670	0.942	15257.08	0.299377
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	296794	0.086	361629	0.241	3463648.7	2.812	76670	0.935	23240.47	0.220194
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	309722	0.090	384301	0.235	3447958.5	2.617	76670	0.937	17906.83	0.151278
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	332255	0.097	415983	0.221	3433604.4	2.285	76670	0.939	7727.037	0.053135
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	244675	0.064	274596	0.192	3820059.5	2.994	76670	0.890	2288.888	0.028007
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	270873	0.071	194544	0.399	3816075.5	5.627	76670	0.891	6299.501	0.13086
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	293213	0.077	219411	0.398	3791314.5	5.151	76670	0.894	9235.63	0.162238
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	317758	0.084	392280	0.228	3787845.3	2.720	76670	0.894	7389.869	0.063268
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	353012	0.092	430045	0.234	3856788.8	2.562	76670	0.886	3302.365	0.023964
					$E[F_y]$	295714				$E[M_u]$	3.110			295714.1	3.109886

ตารางที่ 6-26 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	P_f'	P_{fy}	$P_f' * P_{fy}$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	441831	0.007	488339	0.027	63848338	3.873	86320	0.231	4133.247
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	483254	0.008	536339	0.027	62275039	3.415	86320	0.234	11238.72
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	526000	0.008	578000	0.026	64460784	3.235	86320	0.230	16567.98
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	565932	0.009	625729	0.027	60269670	2.918	86320	0.238	13161.5
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	610847	0.010	673085	0.028	62973959	2.887	86320	0.233	5714.37
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	454678	0.007	508271	0.028	64310891	3.918	86320	0.230	10574.14
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	497356	0.008	558102	0.029	64507899	3.709	86320	0.230	28755.01
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	539695	0.009	603797	0.030	61468667	3.405	86320	0.235	42260.77
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	586170	0.009	651051	0.030	62424867	3.152	86320	0.234	33889.84
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	626441	0.009	695254	0.030	66713600	3.216	86320	0.226	14568.7
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	472271	0.007	532678	0.027	63906793	3.694	86320	0.231	14875.63
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	517085	0.008	574102	0.028	63758915	3.428	86320	0.231	40490.29
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	555254	0.009	621458	0.030	64942023	3.462	86320	0.229	58887.6
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	597322	0.009	670000	0.031	63612577	3.248	86320	0.231	46773.26
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	644339	0.010	720000	0.030	62557184	2.932	86320	0.233	20295.43
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	482170	0.008	556203	0.029	63863510	3.775	86320	0.231	11213.49
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	528814	0.008	600000	0.029	63789337	3.450	86320	0.231	30573.76
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	570576	0.009	637831	0.028	64326528	3.179	86320	0.230	44678.93
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	608136	0.009	690000	0.030	64489459	3.203	86320	0.230	35159.82
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	649695	0.010	729966	0.030	66978856	3.113	86320	0.226	15109.51
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	491661	0.008	556203	0.026	63522093	3.359	86320	0.232	4599.402
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	537627	0.008	607932	0.027	63474274	3.164	86320	0.232	12503.23
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	586170	0.009	651051	0.028	63028978	3.022	86320	0.233	18463.2
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	624814	0.010	712678	0.029	64083446	3.015	86320	0.231	14530.86
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	672407	0.011	752271	0.031	64038743	2.952	86320	0.231	6290.247
$E[F_y]$						555309	$E[M_u]$				3.332	555308.9		

ตารางที่ 6-27 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	P_f'	P_{fy}	$P_f' * P_{fy}$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	179677	0.010	220650	0.041	17358781	3.954	86320	0.443	1680.846
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	202716	0.012	206016	0.042	17008982	3.535	86320	0.448	4714.438
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	227935	0.013	207328	0.037	17735177	2.881	86320	0.438	7179.509
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	231264	0.014	227623	0.041	16376671	2.917	86320	0.456	5378.353
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	259696	0.015	242609	0.042	17590689	2.854	86320	0.440	2429.414
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	186835	0.011	228577	0.040	17663676	3.788	86320	0.439	4345.101
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	216076	0.012	244683	0.042	17508045	3.415	86320	0.441	12492.57
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	217292	0.013	211181	0.044	17321769	3.520	86320	0.444	17015.07
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	253083	0.015	296447	0.043	17128409	2.909	86320	0.446	14632.19
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	253330	0.013	328352	0.047	18816920	3.458	86320	0.426	5891.511
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	194162	0.011	197820	0.040	17202438	3.540	86320	0.445	6115.714
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	202760	0.012	252567	0.040	17351494	3.445	86320	0.443	15877.11
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	222981	0.013	257534	0.042	17738495	3.369	86320	0.438	23648.27
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	240097	0.014	282384	0.043	17666816	3.193	86320	0.439	18800.75
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	257478	0.015	311967	0.046	17187765	3.048	86320	0.445	8110.065
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	187381	0.010	240856	0.045	18053533	4.334	86320	0.434	4357.8
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	213752	0.012	200106	0.082	17337902	6.691	86320	0.443	12358.26
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	222201	0.013	272850	0.041	17664412	3.287	86320	0.439	17399.42
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	240696	0.014	290813	0.045	17763176	3.315	86320	0.438	13916
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	265093	0.014	305666	0.042	18659210	2.974	86320	0.427	6165.079
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	195516	0.011	196547	0.081	17663262	7.357	86320	0.439	1829.02
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	209658	0.012	244191	0.042	17745549	3.535	86320	0.438	4875.881
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	236624	0.014	223920	0.080	17103887	5.771	86320	0.446	7453.189
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	249858	0.014	304503	0.043	18059594	3.140	86320	0.434	5810.787
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	265815	0.015	310646	0.045	17912942	3.044	86320	0.436	2486.655
$E[F_y]$						224963	$E[M_u]$				3.639	224963		

ตารางที่ 6-28 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1112503	0.017	1401237	0.057	67189545	3.418	86320	0.225	10407.27	0.031979
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1148167	0.017	1531887	0.060	66958507	3.504	86320	0.226	26702.13	0.081481
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1220873	0.018	1547844	0.064	68114128	3.552	86320	0.224	38455.14	0.111887
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1380875	0.021	1638933	0.061	67096732	2.953	86320	0.225	32114.07	0.068677
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1419314	0.021	1741324	0.063	67084444	2.970	86320	0.225	13277.43	0.027786
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1161561	0.014	1461077	0.055	84286830	3.986	86320	0.201	27013.63	0.092711
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1287327	0.015	1616327	0.058	83405448	3.783	86320	0.202	74427.79	0.218721
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1404093	0.017	1838065	0.057	82864184	3.392	86320	0.203	109947.4	0.265607
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1534357	0.019	2024564	0.062	82641242	3.344	86320	0.203	88710.01	0.19331
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1621386	0.019	2062462	0.061	83438378	3.133	86320	0.202	37707.46	0.072866
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1175240	0.012	1421184	0.052	96713303	4.293	86320	0.188	37017.76	0.135235
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1374226	0.014	1605024	0.054	97641528	3.804	86320	0.187	107608.7	0.297882
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1467431	0.015	1774901	0.056	96202374	3.694	86320	0.188	155628.7	0.391798
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1619174	0.017	1901561	0.059	94963250	3.443	86320	0.189	126789.3	0.269618
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1698352	0.018	2150226	0.057	96914086	3.277	86320	0.188	53494.8	0.103208
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1250064	0.012	1340401	0.047	105368177	3.952	86320	0.180	29071.89	0.091906
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1373562	0.013	1499972	0.052	105403352	3.981	86320	0.180	79413.53	0.230141
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1527879	0.014	1765260	0.053	108630356	3.789	86320	0.177	119640.5	0.296714
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1652294	0.015	1901561	0.054	107330848	3.521	86320	0.178	95528.63	0.203589
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1767384	0.017	2084403	0.059	106893651	3.574	86320	0.179	41102.84	0.083119
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1282397	0.011	1340401	0.048	116731905	4.362	86320	0.171	11996.59	0.040803
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1410877	0.012	1489334	0.049	116380065	4.005	86320	0.171	32811.8	0.093133
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1530529	0.013	1650236	0.053	117166829	4.032	86320	0.171	48208.69	0.127007
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1697223	0.014	1921507	0.054	117075754	3.706	86320	0.171	39471.15	0.086181
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1798753	0.015	2113658	0.055	118572587	3.647	86320	0.170	16827.02	0.034118
[E[F _y]						1453374	[E[M _u]				3.649	1453374			3.649475

ตารางที่ 6-29 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)								Ductility	Mass (kg)	T (sec)
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)						
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	452416	0.025	633133	0.086	18267173	3.490	86320	0.432	4232.27	0.032648	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	481635	0.026	588420	0.096	18288163	3.626	86320	0.432	11201.06	0.084336	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	529049	0.028	555209	0.089	18740326	3.163	86320	0.426	16664.01	0.099638	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	564285	0.031	596199	0.091	18231742	2.952	86320	0.432	13123.18	0.068655	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	603409	0.032	627648	0.095	18738882	2.937	86320	0.426	5644.784	0.027475	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	477306	0.021	657069	0.079	23150282	3.854	86320	0.384	11100.38	0.089626	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	559277	0.025	708631	0.086	22637016	3.483	86320	0.388	32335.04	0.20136	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	565317	0.024	642874	0.085	23350990	3.506	86320	0.382	44267.11	0.274554	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	662470	0.029	921858	0.090	22675467	3.085	86320	0.388	38301.2	0.178361	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	655680	0.028	974051	0.094	23534231	3.369	86320	0.381	15248.71	0.07834	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	483168	0.019	527783	0.076	26033298	4.114	86320	0.362	15218.86	0.129588	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	538864	0.020	706104	0.078	26572385	3.823	86320	0.358	42195.68	0.299329	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	589296	0.022	735525	0.081	26277058	3.595	86320	0.360	62497.84	0.381257	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	650835	0.025	801448	0.084	26373688	3.384	86320	0.359	50963.59	0.265001	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	678663	0.025	931665	0.087	26627421	3.406	86320	0.358	21376.55	0.107297	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	485802	0.016	580441	0.074	29786460	4.538	86320	0.338	11297.95	0.105527	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	555209	0.019	500257	0.150	28648565	7.720	86320	0.345	32099.84	0.446333	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	595006	0.020	755139	0.078	29830482	3.918	86320	0.338	46591.87	0.306762	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	653966	0.022	801448	0.081	29563541	3.645	86320	0.340	37809.53	0.210713	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	721139	0.024	872823	0.083	29778817	3.414	86320	0.338	16771.04	0.079408	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	509964	0.016	473661	0.150	32459041	9.552	86320	0.324	4770.623	0.089361	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	550199	0.017	598227	0.076	32536460	4.474	86320	0.324	12795.61	0.104052	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	617841	0.019	567576	0.150	31795029	7.702	86320	0.327	19460.79	0.242596	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	678707	0.021	820996	0.079	32993553	3.859	86320	0.321	15784.23	0.089743	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	711081	0.021	872823	0.081	33167169	3.760	86320	0.321	6652.042	0.035178	
[E _{F_y}]						588404	[E _{M_u}]				4.027	588403.8			4.02714	

ตารางที่ 6-30 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1118680	0.017	1396251	0.057	67438210	3.422	86320	0.225	10465.05	0.032015
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1196076	0.018	1537206	0.060	67616768	3.378	86320	0.224	27816.33	0.078564
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1312165	0.020	1547844	0.064	67155265	3.250	86320	0.225	41330.65	0.102371
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1402788	0.021	1638933	0.060	67159945	2.875	86320	0.225	32623.68	0.066863
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1515775	0.023	1741324	0.063	67097048	2.789	86320	0.225	14179.81	0.026092
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1204452	0.015	1461077	0.054	81783747	3.690	86320	0.204	28011.11	0.085824
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1299947	0.016	1621978	0.057	83141324	3.676	86320	0.202	75157.44	0.212528
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1410643	0.017	1844381	0.057	82399617	3.322	86320	0.203	110460.3	0.260106
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1537396	0.018	2010601	0.062	83386925	3.349	86320	0.202	88885.71	0.193596
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1609244	0.019	2062462	0.060	83293732	3.118	86320	0.202	37425.09	0.072505
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1218249	0.013	1421184	0.052	94907729	4.040	86320	0.189	38372.46	0.127252
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1370110	0.014	1610675	0.053	96183192	3.718	86320	0.188	107286.4	0.291131
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1484275	0.015	1781217	0.055	95896964	3.554	86320	0.189	157415.1	0.376885
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1613892	0.017	1914858	0.059	94769719	3.457	86320	0.190	126375.7	0.270708
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1701344	0.018	2142913	0.057	94923274	3.156	86320	0.189	53589.04	0.099422
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1259151	0.012	1326438	0.047	106615871	3.956	86320	0.179	29283.23	0.092002
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1391815	0.013	1494653	0.051	107434573	3.916	86320	0.178	80468.84	0.226425
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1513522	0.014	1765260	0.053	107231858	3.766	86320	0.178	118516.2	0.294879
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1633519	0.015	1894912	0.054	106195017	3.524	86320	0.179	94443.14	0.20375
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1765665	0.017	2091717	0.058	105755162	3.491	86320	0.180	41062.87	0.081179
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1290618	0.011	1335747	0.046	118701696	4.233	86320	0.169	12073.5	0.0396
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1408764	0.012	1489334	0.048	115604368	3.906	86320	0.172	32762.67	0.090845
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1535851	0.013	1650236	0.052	117777548	3.973	86320	0.170	48376.33	0.12513
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1682095	0.014	1921507	0.052	119234649	3.716	86320	0.169	39119.33	0.086414
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1782788	0.015	2106344	0.055	118173300	3.636	86320	0.170	16677.67	0.034014
					$E[F_y]$	1462178				$E[M_u]$	3.570			1462178	3.5701

ตารางที่ 6-31 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	447654	0.024	633133	0.087	18348220	3.559	86320	0.431	4187.723	0.03329
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	484540	0.026	588420	0.096	18466615	3.671	86320	0.430	11268.62	0.085382
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	527757	0.028	555209	0.087	18708684	3.078	86320	0.427	16623.31	0.096944
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	564424	0.031	592143	0.090	18448656	2.932	86320	0.430	13126.43	0.068198
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	603398	0.033	627648	0.093	18496507	2.852	86320	0.429	5644.686	0.026675
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	476147	0.021	657069	0.079	22580718	3.765	86320	0.388	11073.43	0.087548
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	524020	0.023	711057	0.086	22657491	3.718	86320	0.388	30296.61	0.214973
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	568914	0.025	640680	0.085	22603466	3.367	86320	0.388	44548.74	0.263684
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	609703	0.027	921858	0.090	22675256	3.337	86320	0.388	35250.42	0.192908
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	654983	0.029	974051	0.094	22804219	3.268	86320	0.387	15232.5	0.075991
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	491198	0.019	527783	0.076	26158302	4.051	86320	0.361	15471.78	0.127603
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	543802	0.021	706104	0.078	26073778	3.735	86320	0.362	42582.41	0.292502
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	589352	0.022	735525	0.081	26290950	3.596	86320	0.360	62503.84	0.381422
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	635162	0.024	798722	0.083	26274191	3.447	86320	0.360	49736.32	0.26993
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	678832	0.026	931665	0.086	26311145	3.349	86320	0.360	21381.9	0.105491
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	499941	0.017	580441	0.071	29472891	4.182	86320	0.340	11626.78	0.097247
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	553314	0.019	502152	0.150	29134071	7.878	86320	0.342	31990.29	0.455451
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	600534	0.021	755139	0.078	29058538	3.751	86320	0.342	47024.74	0.29372
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	654670	0.022	804174	0.081	29241078	3.601	86320	0.341	37850.24	0.20819
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	697677	0.023	872823	0.083	29853037	3.549	86320	0.338	16225.39	0.082541
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	506507	0.016	509964	0.039	31413213	2.410	86320	0.329	4738.28	0.022548
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	561019	0.018	598227	0.075	32025126	4.270	86320	0.326	13047.24	0.099309
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	613652	0.019	565482	0.150	31579469	7.702	86320	0.328	19328.85	0.242596
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	663645	0.020	820996	0.079	32671862	3.867	86320	0.323	15433.94	0.089938
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	715235	0.022	872823	0.081	32131079	3.622	86320	0.326	6690.895	0.033881
					$E[F_y]$	582885				$E[M_u]$	3.948			582885.4	3.947962

ตารางที่ 6-32 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	369839	0.020	431051	0.051	18491945	2.545	86320	0.429	3459.778	0.023808
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	406949	0.022	483356	0.073	18497691	3.336	86320	0.429	9464.14	0.077592
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	450305	0.025	530847	0.100	18012204	4.004	86320	0.435	14183.74	0.126118
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	475322	0.025	564203	0.057	18787431	2.269	86320	0.426	11054.24	0.052763
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	517017	0.028	615797	0.100	18732496	3.627	86320	0.427	4836.602	0.033928
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	383593	0.020	460000	0.064	18896217	3.128	86320	0.425	8920.965	0.072748
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	420339	0.022	493220	0.055	18765134	2.473	86320	0.426	24302.22	0.142991
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	455797	0.024	540000	0.057	18757062	2.329	86320	0.426	35691.12	0.182389
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	498305	0.027	591864	0.077	18733274	2.910	86320	0.427	28809.89	0.168231
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	528814	0.028	645593	0.101	18620197	3.542	86320	0.428	12298.26	0.08238
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	398644	0.022	473492	0.063	18541586	2.944	86320	0.429	12556.51	0.092736
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	435390	0.023	520000	0.066	18766802	2.858	86320	0.426	34093.17	0.223777
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	472678	0.026	552407	0.057	18463984	2.211	86320	0.430	50129.95	0.234481
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	512000	0.027	590000	0.055	18686131	1.996	86320	0.427	40092.12	0.156324
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	548881	0.029	631322	0.055	18861904	1.904	86320	0.425	17288.7	0.059965
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	410034	0.022	473492	0.050	18553570	2.271	86320	0.429	9535.878	0.052827
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	445966	0.024	520000	0.052	18738071	2.168	86320	0.426	25783.87	0.125348
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	485966	0.026	556203	0.049	18691004	1.869	86320	0.427	38053.54	0.14637
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	522712	0.028	595932	0.050	18802586	1.802	86320	0.426	30220.99	0.104193
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	561898	0.030	640000	0.051	18605904	1.692	86320	0.428	13067.69	0.039351
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	425220	0.024	481695	0.050	17717513	2.063	86320	0.439	3977.861	0.019294
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	459932	0.025	524610	0.050	18545653	1.996	86320	0.429	10696.33	0.046419
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	492712	0.027	570000	0.049	18592902	1.834	86320	0.428	15519.47	0.057766
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	538034	0.029	613695	0.051	18681733	1.774	86320	0.427	12512.69	0.041264
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	570509	0.030	648814	0.052	18766727	1.701	86320	0.426	5337.007	0.015909
					E[F _y]	471887				E[M _u]	2.379			471886.7	2.378973

ตารางที่ 6-33 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	P _{f_c} '	P _{f_y}	P _{f_c} *P _{f_y}	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	62585	0.054	77313	0.203	1153040.1	3.745	86320	1.719	585.4704	0.035034
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	63644	0.054	66417	0.130	1170726.9	2.400	86320	1.706	1480.123	0.055819
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	66638	0.060	60737	0.319	1112964.4	5.321	86320	1.750	2098.969	0.167596
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	71879	0.062	66812	0.174	1162375.7	2.816	86320	1.712	1671.643	0.06549
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	79345	0.069	76572	0.296	1157978.2	4.320	86320	1.715	742.2544	0.040413
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	65991	0.055	84678	0.206	1203215	3.759	86320	1.683	1534.718	0.087409
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	66711	0.056	79619	0.177	1182619.9	3.140	86320	1.698	3856.945	0.181559
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	76871	0.065	102139	0.189	1180988.7	2.903	86320	1.699	6019.356	0.227336
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	91988	0.076	115976	0.267	1206695.9	3.498	86320	1.680	5318.375	0.202216
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	94863	0.081	118636	0.325	1174933.4	4.030	86320	1.703	2206.167	0.093718
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	61380	0.051	55115	0.265	1191968.4	5.141	86320	1.691	1933.349	0.161944
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	73355	0.061	91629	0.203	1208162.9	3.343	86320	1.679	5744.029	0.261772
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	74807	0.062	95014	0.170	1215237.4	2.758	86320	1.675	7933.71	0.292487
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	96893	0.081	105981	0.200	1195062.4	2.462	86320	1.689	7587.234	0.192774
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	100365	0.082	118325	0.197	1222710.7	2.401	86320	1.669	3161.302	0.075619
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	69654	0.057	87000	0.200	1213209.7	3.477	86320	1.676	1619.9	0.080863
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	69217	0.057	59960	0.193	1223639.6	3.405	86320	1.669	4001.81	0.196863
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	74349	0.061	96597	0.142	1214599.8	2.315	86320	1.675	5821.908	0.181309
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	77995	0.064	101462	0.140	1221139.1	2.192	86320	1.671	4509.318	0.126716
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	109156	0.090	117738	0.200	1208140.4	2.209	86320	1.679	2538.567	0.051379
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	63638	0.057	48066	0.222	1122733.8	3.925	86320	1.742	595.3219	0.036717
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	74036	0.061	79832	0.179	1210029.4	2.929	86320	1.678	1721.815	0.068127
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	73480	0.062	67380	0.182	1187179.2	2.942	86320	1.694	2314.481	0.092678
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	81891	0.067	105124	0.150	1230240.5	2.258	86320	1.664	1904.481	0.052506
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	87530	0.071	111093	0.149	1232721.7	2.092	86320	1.663	818.8259	0.019572
					E[F _y]	77720				E[M _u]	3.048			77720.07	3.047915

ตารางที่ 6-34 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1639145	0.040	1868317	0.075	40766952	1.866	86320	0.289	15333.91
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1704389	0.042	2069776	0.094	40779161	2.243	86320	0.289	39637.82
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1954421	0.048	2135599	0.094	40798650	1.963	86320	0.289	61560.45
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2054151	0.050	2353680	0.098	40700249	1.951	86320	0.289	47771.99
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2172714	0.053	2463385	0.101	40691566	1.895	86320	0.289	20325.36
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1837776	0.037	2017582	0.089	49839036	2.416	86320	0.261	42739.89
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1945516	0.039	2209733	0.084	50464498	2.185	86320	0.260	112481.5
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2042575	0.041	2376951	0.086	50248304	2.124	86320	0.260	159943.7
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2166265	0.044	2643568	0.087	49795189	1.997	86320	0.262	125244.2
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2373135	0.047	2862314	0.093	50723795	1.978	86320	0.259	55190.38
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1828326	0.032	1921507	0.072	57544508	2.254	86320	0.243	57588.73
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2082217	0.036	2281873	0.085	58243606	2.387	86320	0.242	163047.9
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2173091	0.038	2451750	0.081	57733759	2.156	86320	0.243	230467.5
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2334140	0.040	2638914	0.081	58246377	2.030	86320	0.242	182774.7
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2415724	0.041	2942100	0.084	58239224	2.028	86320	0.242	76090.6
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1773038	0.027	1954751	0.051	64620031	1.877	86320	0.230	41234.34
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2049830	0.032	2273894	0.080	64129975	2.508	86320	0.231	118512.5
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2269862	0.035	2515246	0.079	65086278	2.276	86320	0.229	177741.4
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2483601	0.038	2727343	0.084	64794057	2.200	86320	0.229	143591.3
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2574598	0.040	2892234	0.077	64501289	1.919	86320	0.230	59875.67
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1969426	0.027	2003620	0.066	71685318	2.420	86320	0.218	18423.63
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2008557	0.028	2209733	0.056	71785180	2.000	86320	0.218	46711.63
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2367346	0.033	2541177	0.080	71903308	2.435	86320	0.218	74566.81
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2503484	0.035	2795826	0.077	71480860	2.204	86320	0.218	58221.83
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2654065	0.037	2978336	0.081	70887967	2.173	86320	0.219	24828.31
$E[F_y]$ 2153906							$E[M_u]$ 2.170				2153906 2.170361			

ตารางที่ 6-35 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	277379	0.109	335100	0.300	2541967.9	2.745	86320	1.158	2594.834
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	266554	0.103	284403	0.167	2580930.8	1.614	86320	1.149	6199.067
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	289223	0.115	244344	0.299	2520926.6	2.608	86320	1.163	9109.975
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	310633	0.123	278718	0.299	2518118.7	2.422	86320	1.163	7224.17
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	333438	0.133	306311	0.299	2515412.1	2.257	86320	1.164	3119.254
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	316162	0.100	371403	0.289	3173496.4	2.902	86320	1.036	7352.755
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	308768	0.097	356709	0.269	3180383.4	2.774	86320	1.035	17851.66
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	344483	0.109	449593	0.288	3163751.4	2.647	86320	1.038	26974.72
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	399898	0.125	518009	0.299	3207535.9	2.400	86320	1.031	23120.39
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	425713	0.133	525988	0.299	3200668.6	2.250	86320	1.032	9900.527
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	281511	0.076	223666	0.300	3699318.8	3.937	86320	0.960	8867.042
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	350813	0.094	402087	0.261	3749587.4	2.792	86320	0.953	27470.37
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	343920	0.091	421701	0.243	3799841.9	2.689	86320	0.947	36474.45
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	441724	0.119	474027	0.297	3725118.5	2.504	86320	0.956	34589.19
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	441724	0.117	551419	0.299	3775320	2.557	86320	0.950	13913.45
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	301193	0.071	359169	0.205	4225475	2.873	86320	0.898	7004.651
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	318146	0.076	262196	0.299	4187836.5	3.939	86320	0.902	18393.84
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	347272	0.082	436827	0.231	4229509.6	2.819	86320	0.898	27193.11
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	370582	0.088	464353	0.236	4208067.7	2.676	86320	0.900	21425.47
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	500149	0.119	532071	0.299	4188273.3	2.506	86320	0.902	11631.63
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	294742	0.065	199930	0.299	4542597.4	4.605	86320	0.866	2757.259
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	323322	0.069	336264	0.203	4683694.9	2.936	86320	0.853	7519.287
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	353052	0.077	300393	0.300	4591113	3.906	86320	0.862	11120.45
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	381040	0.081	478914	0.227	4707200	2.805	86320	0.851	8861.593
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	407198	0.087	509964	0.234	4656386.6	2.674	86320	0.855	3809.263
$E[F_y]$ 354478							$E[M_u]$ 2.806				354478.4 2.806446			

ตารางที่ 6-36 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1469041	0.043	1667190	0.108	34242538	2.518	86320	0.315	13742.62
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1630647	0.047	1781217	0.109	34839239	2.339	86320	0.313	37922.84
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1799678	0.052	1941454	0.120	34776646	2.311	86320	0.313	56686.36
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1941726	0.056	2113658	0.117	34579362	2.076	86320	0.314	45157.39
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2101540	0.060	2255610	0.115	34812029	1.906	86320	0.313	19659.54
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1541035	0.036	1741324	0.092	42442374	2.540	86320	0.283	35838.81
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1706234	0.040	1928156	0.105	42327847	2.602	86320	0.284	98647.2
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1877108	0.045	2113658	0.106	41866670	2.365	86320	0.285	146986.8
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2040676	0.048	2337723	0.111	42344397	2.303	86320	0.284	117983.2
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2205648	0.052	2497959	0.107	42616879	2.076	86320	0.283	51295.25
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1646797	0.033	1747308	0.094	49205138	2.803	86320	0.263	51870.89
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1822857	0.037	1989657	0.099	49121884	2.673	86320	0.263	142738.7
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1920147	0.040	2179149	0.100	48594642	2.525	86320	0.265	203641.5
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2095522	0.043	2353680	0.105	49122066	2.472	86320	0.263	164089.7
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2266046	0.046	2594035	0.107	49156070	2.325	86320	0.263	71376.04
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1656976	0.030	1819115	0.086	54874371	2.834	86320	0.249	38535.16
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1790994	0.033	1996639	0.094	54613291	2.869	86320	0.250	103547.7
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2017251	0.037	2225025	0.096	54927287	2.620	86320	0.249	157960.7
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2143274	0.039	2385262	0.095	55651445	2.478	86320	0.247	123915
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2375951	0.043	2585059	0.102	54755819	2.352	86320	0.249	55255.86
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1694685	0.028	1844381	0.080	60953764	2.860	86320	0.236	15853.48
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1908781	0.032	2038526	0.087	60401760	2.744	86320	0.238	44391.21
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2072815	0.034	2217379	0.095	60911833	2.790	86320	0.237	65289.65
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2240455	0.037	2472029	0.095	60261071	2.562	86320	0.238	52104.72
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2351491	0.039	2671493	0.102	60245151	2.614	86320	0.238	21997.79
$E[F_y]$ 1936488							$E[M_u]$				2.523	1936488		
												2.52536		

ตารางที่ 6-37 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT1H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	265300	0.104	332308	0.300	2558339.9	2.889	86320	1.154	2481.838
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	267175	0.105	283439	0.166	2534709.7	1.574	86320	1.160	6213.496
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	290221	0.115	246339	0.299	2529619.5	2.608	86320	1.161	9141.389
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	311696	0.123	278718	0.299	2528853.5	2.428	86320	1.161	7248.91
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	331177	0.131	308571	0.300	2520951.4	2.280	86320	1.163	3098.106
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	321114	0.102	368876	0.290	3163378.8	2.856	86320	1.038	7467.931
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	295503	0.093	357939	0.271	3188604.1	2.928	86320	1.034	17084.71
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	318884	0.099	418842	0.280	3214729.8	2.818	86320	1.030	24970.17
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	404596	0.127	518009	0.300	3189402	2.362	86320	1.034	23392.05
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	421444	0.133	525988	0.300	3174875.3	2.263	86320	1.036	9801.231
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	281511	0.077	223666	0.300	3660785.7	3.896	86320	0.965	8867.042
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	364691	0.098	402087	0.264	3733886.3	2.699	86320	0.955	28557.08
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	334379	0.091	420272	0.248	3679523.7	2.733	86320	0.962	35462.63
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	365061	0.099	470736	0.291	3699562.1	2.947	86320	0.960	28586.04
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	441521	0.119	549192	0.298	3706733.6	2.506	86320	0.959	13907.05
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	295317	0.070	357939	0.203	4197599.3	2.884	86320	0.901	6867.99
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	315952	0.076	260002	0.299	4158954.7	3.939	86320	0.905	18266.98
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	346923	0.083	436827	0.233	4196776.8	2.820	86320	0.901	27165.77
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	372529	0.090	462757	0.235	4154904.7	2.621	86320	0.906	21538.03
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	427798	0.103	529578	0.292	4173210	2.851	86320	0.904	9949.005
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	294210	0.064	199464	0.299	4572667.5	4.651	86320	0.863	2752.283
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	325487	0.070	333438	0.203	4660759.5	2.902	86320	0.855	7569.621
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	353052	0.078	299197	0.300	4543783.8	3.856	86320	0.866	11120.45
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	384320	0.083	475656	0.227	4651242.9	2.748	86320	0.856	8937.868
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	408832	0.088	509964	0.235	4655112.8	2.676	86320	0.856	3824.552
$E[F_y]$ 344272							$E[M_u]$				2.857	344272.2		
												2.857393		

ตารางที่ 6-38 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	510102	0.007	564203	0.026	74035080	3.803	98550	0.229	4771.912 0.035573
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	554847	0.007	620000	0.027	74276760	3.668	98550	0.229	12903.71 0.085304
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	603932	0.008	673085	0.029	74102110	3.546	98550	0.229	19022.69 0.111692
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	658237	0.009	722576	0.028	72493095	3.051	98550	0.232	15308.18 0.070947
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	703322	0.009	777356	0.029	74901182	3.078	98550	0.228	6579.454 0.028792
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	526000	0.007	588000	0.028	75250358	3.934	98550	0.227	12232.82 0.091495
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	572881	0.008	643390	0.029	74303684	3.722	98550	0.229	33121.57 0.215216
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	621695	0.008	695254	0.029	74633241	3.457	98550	0.228	48681.77 0.27073
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	677559	0.009	752271	0.030	77258757	3.375	98550	0.224	39173.61 0.195136
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	724881	0.009	804509	0.030	77197167	3.184	98550	0.224	16858.07 0.074054
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	542237	0.007	611593	0.027	75837385	3.720	98550	0.226	17079.42 0.117182
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	595051	0.008	665458	0.029	75514074	3.629	98550	0.227	46595.42 0.284203
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	641898	0.009	720000	0.030	74293785	3.426	98550	0.229	68076.64 0.363337
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	695390	0.009	774712	0.030	74056422	3.184	98550	0.229	54452.45 0.249342
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	743186	0.010	828610	0.031	76617155	3.206	98550	0.225	23408.93 0.100989
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	555390	0.007	635661	0.027	75154235	3.586	98550	0.228	12916.32 0.083395
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	610475	0.008	687661	0.030	74996880	3.624	98550	0.228	35295.05 0.209529
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	661017	0.009	737288	0.029	75030295	3.326	98550	0.228	51760.88 0.260424
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	707797	0.009	797288	0.030	75057964	3.203	98550	0.228	40921.8 0.185158
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	760678	0.010	850000	0.031	76067790	3.110	98550	0.226	17690.57 0.072327
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	566271	0.008	643390	0.026	74607536	3.426	98550	0.228	5297.367 0.032046
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	621695	0.008	700000	0.025	74543753	2.974	98550	0.228	14458.33 0.069155
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	677559	0.009	754847	0.028	74621068	3.051	98550	0.228	21341.8 0.09609
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	728712	0.010	821559	0.029	75749678	2.973	98550	0.227	16947.15 0.06914
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	778576	0.010	870000	0.031	75589932	2.990	98550	0.227	7283.444 0.027974
					$E[F_y]$	642179				$E[M_u]$	3.399			642179.4 3.399229

ตารางที่ 6-39 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	205023	0.010	211716	0.041	20122135	4.031	98550	0.440	1917.955 0.037713
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	223919	0.011	233910	0.044	20147348	3.984	98550	0.439	5207.529 0.092663
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	241594	0.012	243723	0.040	20848867	3.435	98550	0.432	7609.747 0.1082
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	263857	0.013	260053	0.042	19841699	3.129	98550	0.443	6136.331 0.07276
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	277255	0.014	282414	0.040	20215275	2.909	98550	0.439	2593.67 0.027213
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	207615	0.010	256294	0.040	20801591	4.036	98550	0.432	4828.357 0.093852
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	225563	0.011	268431	0.044	20356861	3.968	98550	0.437	13041.07 0.229424
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	252142	0.013	313446	0.045	20161725	3.588	98550	0.439	19743.97 0.280935
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	269508	0.013	347161	0.041	20775058	3.153	98550	0.433	15581.82 0.182273
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	282196	0.014	379389	0.047	20675517	3.468	98550	0.434	6562.843 0.080648
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	219814	0.011	230095	0.039	20132842	3.534	98550	0.440	6923.726 0.111322
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	234403	0.012	282445	0.041	20330511	3.542	98550	0.437	18354.92 0.277355
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	253196	0.013	298286	0.044	20195614	3.492	98550	0.439	26852.79 0.370327
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	275691	0.014	331217	0.044	19777478	3.132	98550	0.444	21587.96 0.245242
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	299083	0.015	260482	0.045	19835370	2.952	98550	0.443	9420.531 0.092972
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	220574	0.011	278102	0.039	19807331	3.511	98550	0.443	5129.741 0.081658
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	243694	0.013	233210	0.083	19053453	6.507	98550	0.452	14089.36 0.376186
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	260758	0.013	316765	0.043	20539317	3.348	98550	0.435	20418.62 0.262173
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	279686	0.014	335012	0.040	20189117	2.871	98550	0.439	16170.27 0.165999
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	307012	0.015	372701	0.049	20405503	3.269	98550	0.437	7139.958 0.076036
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	227791	0.011	246132	0.042	21140207	3.907	98550	0.429	2130.945 0.036552
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	249125	0.012	279906	0.039	20144838	3.118	98550	0.439	5793.738 0.072504
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	270140	0.013	256776	0.079	20489730	5.960	98550	0.436	8508.881 0.187717
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	290199	0.014	346484	0.042	20496599	2.956	98550	0.436	6748.959 0.068756
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	806635	0.010	879062	0.034	83064376	3.456	98550	0.216	7545.93 0.032334
					$E[F_y]$	260040				$E[M_u]$	3.663			260039.6 3.662815

ตารางที่ 6-40 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1279554	0.016	1681485	0.056	78910884	3.480	98550	0.222	11970 0.032558
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1392554	0.018	1787534	0.061	79543873	3.507	98550	0.221	32385.69 0.081558
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1541225	0.020	1787534	0.064	77446690	3.224	98550	0.224	48545.61 0.101551
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1642825	0.021	1928156	0.063	78642675	3.004	98550	0.222	38206.07 0.06987
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1770959	0.023	2024564	0.069	77601133	3.014	98550	0.224	16567.01 0.028196
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1383397	0.015	1687469	0.054	94376154	3.665	98550	0.203	32172.72 0.085232
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1540817	0.016	1844381	0.056	93659148	3.383	98550	0.204	89083.51 0.195605
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1635268	0.017	2045507	0.051	95777226	2.984	98550	0.202	128049.5 0.233686
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1783545	0.018	2321766	0.066	96684810	3.569	98550	0.201	103117 0.206318
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1916253	0.020	2368640	0.060	94888749	2.975	98550	0.202	44564.99 0.069177
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1418546	0.013	1610675	0.053	111772394	4.210	98550	0.187	44681.43 0.132622
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1584726	0.015	1888263	0.054	108766875	3.726	98550	0.189	124091.9 0.291772
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1708434	0.015	2059470	0.055	113136511	3.665	98550	0.185	181188.3 0.388728
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1848965	0.016	2247964	0.058	112525094	3.533	98550	0.186	144783.1 0.276624
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1957636	0.018	2558131	0.059	111520771	3.374	98550	0.187	61661.73 0.10627
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1464858	0.012	1542525	0.047	127124714	4.110	98550	0.175	34067.21 0.095572
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1610454	0.013	1753292	0.053	125548749	4.113	98550	0.176	93109.61 0.237802
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1770074	0.014	2031545	0.054	123391242	3.755	98550	0.178	138605.5 0.294017
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1902183	0.015	2209733	0.062	122891779	3.995	98550	0.178	109976.1 0.230986
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2020495	0.016	2393573	0.055	124623511	3.370	98550	0.177	46989.27 0.078364
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1472023	0.011	1553163	0.047	134789649	4.296	98550	0.170	13770.52 0.040187
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1637483	0.012	1741324	0.049	136187680	4.085	98550	0.169	38081.82 0.095
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1783460	0.013	1954751	0.053	133621436	3.952	98550	0.171	56175.51 0.124471
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1935280	0.014	2255610	0.054	136086032	3.818	98550	0.169	45007.49 0.088782
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2020495	0.016	2393573	0.055	124623511	3.370	98550	0.177	18901.37 0.031522
E[F _y]							E[M _u]				3.616		1695753 3.616472	

ตารางที่ 6-41 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT1 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	514286	0.024	630972	0.088	21447339	3.690	98550	0.426	4811.053 0.034516
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	561991	0.026	674389	0.099	21576036	3.809	98550	0.425	13069.84 0.088594
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	616545	0.028	647262	0.088	21789875	3.123	98550	0.423	19419.95 0.098376
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	658532	0.031	693937	0.094	21524868	3.081	98550	0.425	15315.02 0.071656
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	698125	0.033	735525	0.095	20943972	2.849	98550	0.431	6530.84 0.026651
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	546034	0.021	735525	0.079	26088569	3.759	98550	0.386	12698.73 0.087427
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	606671	0.024	769500	0.085	25659647	3.607	98550	0.389	35075.15 0.208519
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	663219	0.026	922190	0.079	25873646	3.097	98550	0.388	51933.33 0.242494
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	709428	0.027	1071456	0.091	25998768	3.333	98550	0.387	41016.14 0.192718
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	745997	0.029	1117001	0.095	25413808	3.239	98550	0.391	17349.14 0.075337
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	575056	0.019	605973	0.078	29672647	4.000	98550	0.362	18113.14 0.125991
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	624257	0.021	801448	0.078	29283100	3.636	98550	0.365	48882.41 0.284742
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	673891	0.022	853209	0.082	30754406	3.736	98550	0.356	71469.59 0.396207
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	733032	0.024	961086	0.085	30050907	3.475	98550	0.360	57400 0.272075
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	787818	0.027	804174	0.085	28871546	3.106	98550	0.367	24814.73 0.097835
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	581771	0.017	674855	0.070	33504449	4.024	98550	0.341	13529.86 0.093581
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	642874	0.020	594603	0.149	31896490	7.385	98550	0.349	37168.24 0.426947
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	698258	0.021	872823	0.078	33777980	3.780	98550	0.339	54677.07 0.295992
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	751648	0.023	928507	0.081	33055473	3.582	98550	0.343	43457.13 0.207086
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	815477	0.024	1049515	0.086	33430778	3.542	98550	0.341	18964.99 0.082381
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	592143	0.016	594171	0.076	38192939	4.900	98550	0.319	5539.397 0.045838
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	656171	0.018	696297	0.076	36803604	4.283	98550	0.325	15260.13 0.099601
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	711057	0.019	664948	0.150	36690269	7.720	98550	0.326	22396.93 0.243162
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	770697	0.021	951279	0.079	36822610	3.796	98550	0.325	17923.58 0.088288
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2093311	0.015	2418506	0.060	136946468	3.895	98550	0.169	19582.55 0.036436
E[F _y]							E[M _u]				3.922		686398.9 3.922449	

ตารางที่ 6-42 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อม่อ 7PT1 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1283844	0.016	1675501	0.057	79363649	3.498	98550	0.221	12010.13
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1410754	0.018	1793850	0.060	78236793	3.339	98550	0.223	32808.93
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1540097	0.019	1825432	0.064	79308383	3.313	98550	0.221	48510.06
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1650841	0.021	1908209	0.061	78604146	2.920	98550	0.222	38392.49
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1768842	0.022	2017582	0.067	79264780	3.019	98550	0.222	16547.2
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1387492	0.015	1693453	0.054	93195877	3.647	98550	0.204	32267.95
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1511009	0.016	1838065	0.056	95217107	3.507	98550	0.202	87360.14
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1629038	0.017	2038526	0.051	96854786	3.039	98550	0.200	127561.7
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1789369	0.019	2329744	0.065	95691874	3.502	98550	0.202	103453.8
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1900344	0.020	2360329	0.060	97152697	3.046	98550	0.200	44194.99
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1422916	0.013	1605024	0.053	109234309	4.091	98550	0.189	44819.08
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1569413	0.014	1874965	0.054	110275172	3.765	98550	0.188	122892.8
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1723432	0.015	2045507	0.055	111218300	3.522	98550	0.187	182778.9
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1859653	0.017	2225025	0.064	110419404	3.771	98550	0.188	145620
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1943423	0.018	2558131	0.057	110470782	3.243	98550	0.188	61214.04
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1454863	0.012	1547844	0.047	124047026	3.987	98550	0.177	33834.76
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1598845	0.013	1753292	0.053	126106744	4.195	98550	0.176	92438.44
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1796979	0.015	2017582	0.054	123415316	3.690	98550	0.178	140712.3
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1893126	0.015	2202087	0.062	123850973	4.035	98550	0.177	109452.5
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2046554	0.017	2393573	0.054	121440593	3.194	98550	0.179	47595.32
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1504058	0.011	1547844	0.049	135929321	4.399	98550	0.169	14070.19
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1645195	0.012	1741324	0.050	132988846	4.053	98550	0.171	38261.17
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1794723	0.013	1968714	0.052	138556227	4.047	98550	0.168	56530.29
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1929472	0.014	2232672	0.054	133861820	3.737	98550	0.170	44872.41
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2090204	0.015	2418506	0.060	136820206	3.924	98550	0.169	19553.49
$E[F_y]$							1697753				$E[M_u]$		3.623	
													1697753	
													3.622583	

ตารางที่ 6-43 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อม่อ 7PT1 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	514286	0.024	630972	0.088	21752136	3.721	98550	0.423	4811.053
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	559697	0.026	676683	0.099	21835024	3.871	98550	0.422	13016.49
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	623401	0.029	647262	0.088	21208358	2.993	98550	0.428	19635.91
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	663549	0.032	696297	0.094	20616303	2.916	98550	0.434	15431.69
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	702955	0.034	735525	0.093	20911340	2.767	98550	0.431	6576.022
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	551020	0.021	730538	0.078	26326824	3.704	98550	0.384	12814.71
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	604045	0.024	766874	0.084	24763035	3.441	98550	0.396	34923.31
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	660061	0.026	922190	0.079	25750440	3.097	98550	0.389	51686.03
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	702115	0.027	1075113	0.092	26127143	3.431	98550	0.386	40593.3
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	742008	0.028	1128969	0.095	26588584	3.389	98550	0.383	17256.36
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	572995	0.020	608034	0.077	28987442	3.882	98550	0.366	18048.22
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	626983	0.020	801448	0.076	31718677	3.863	98550	0.350	49095.86
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	685459	0.023	850317	0.080	29606919	3.446	98550	0.363	72696.52
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	742806	0.025	961086	0.085	29944591	3.438	98550	0.360	58165.33
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	793270	0.027	804174	0.086	29519216	3.185	98550	0.363	24986.46
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	581771	0.017	677182	0.071	34113478	4.159	98550	0.338	13529.86
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	640680	0.019	592409	0.150	34435885	8.041	98550	0.336	37041.38
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	701217	0.021	872823	0.078	32616269	3.615	98550	0.345	54908.76
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	761123	0.023	928507	0.081	33472138	3.564	98550	0.341	44004.9
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	811820	0.024	1038545	0.086	33782203	3.565	98550	0.339	18879.95
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	588088	0.016	596199	0.077	37931343	4.950	98550	0.320	5501.455
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	656171	0.018	691576	0.076	36909183	4.302	98550	0.325	15260.13
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	715911	0.019	662521	0.150	37695398	7.878	98550	0.321	22549.81
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	777147	0.021	951279	0.078	36857794	3.686	98550	0.325	18073.57
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	833761	0.023	1020260	0.081	36666574	3.582	98550	0.326	7799.69
$E[F_y]$							677287				$E[M_u]$		3.925	
													677286.8	
													3.924723	

ตารางที่ 6-44 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	452136	0.020	536339	0.058	22606780	2.905	98550	0.415	4229.649	0.027176
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	500339	0.022	595932	0.082	22436726	3.673	98550	0.416	11636.04	0.085412
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	539186	0.024	651051	0.100	22654891	4.189	98550	0.414	16983.32	0.131948
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	573051	0.025	690000	0.060	23014092	2.418	98550	0.411	13327.05	0.056226
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	622881	0.027	750000	0.092	22984554	3.376	98550	0.411	5826.946	0.031585
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	468881	0.021	560000	0.061	22651271	2.947	98550	0.414	10904.45	0.068533
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	508475	0.022	600000	0.053	22801552	2.372	98550	0.413	29397.85	0.13715
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	555254	0.024	645593	0.053	22756324	2.160	98550	0.413	43479.15	0.169126
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	597966	0.026	720000	0.069	22998696	2.638	98550	0.411	34571.87	0.152545
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	644068	0.028	752271	0.060	22920562	2.132	98550	0.412	14978.64	0.049575
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	481119	0.021	564203	0.055	22587732	2.568	98550	0.415	15154.3	0.080889
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	527288	0.023	605864	0.046	22630391	1.979	98550	0.415	41289.26	0.154929
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	570509	0.025	653288	0.047	22911988	1.888	98550	0.412	60505.38	0.200184
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	616136	0.027	707593	0.049	22819837	1.822	98550	0.413	48246.45	0.142689
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	665593	0.030	764780	0.055	22562485	1.878	98550	0.415	20964.9	0.059152
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	492712	0.022	570000	0.047	22810736	2.181	98550	0.413	11458.66	0.050712
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	536034	0.024	630000	0.051	22713301	2.157	98550	0.414	30991.21	0.124696
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	590509	0.026	670000	0.048	22799556	1.834	98550	0.413	46239.72	0.143609
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	627254	0.028	720000	0.048	22726605	1.743	98550	0.414	36265.19	0.100759
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	683864	0.030	770000	0.050	22719748	1.658	98550	0.414	15904.17	0.038554
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	498000	0.022	580000	0.048	22844037	2.183	98550	0.413	4658.702	0.020426
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	555390	0.025	635661	0.047	22576821	1.907	98550	0.415	12916.32	0.044338
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	598780	0.026	680644	0.048	22681049	1.799	98550	0.414	18860.4	0.056673
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	642170	0.028	740000	0.049	22771968	1.741	98550	0.413	14934.5	0.040492
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	690915	0.031	779288	0.050	22578931	1.641	98550	0.415	6463.391	0.015347
						E[F _y]	570188					E[M _u]	2.183	570187.5	2.182727

ตารางที่ 6-45 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	69398	0.051	92897	0.203	1371451.7	4.016	98550	1.684	649.2106	0.037566
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	76748	0.055	79553	0.149	1393987.4	2.699	98550	1.671	1784.873	0.062774
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	82506	0.059	75121	0.330	1392593.2	5.562	98550	1.671	2598.785	0.175195
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	87603	0.062	82533	0.187	1410718.1	3.006	98550	1.661	2037.321	0.069909
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	94878	0.068	93793	0.275	1394220.4	4.044	98550	1.670	887.5696	0.037833
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	72541	0.050	102568	0.241	1449980.8	4.816	98550	1.638	1687.036	0.112001
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	79923	0.056	101031	0.183	1421534.8	3.262	98550	1.654	4620.8	0.18859
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	85746	0.062	105205	0.160	1390568.8	2.596	98550	1.673	6714.349	0.203304
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	93780	0.065	134814	0.225	1453771.1	3.486	98550	1.636	5421.941	0.201533
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	99423	0.069	134390	0.191	1442742.6	2.767	98550	1.642	2312.205	0.064348
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	76939	0.053	66894	0.227	1450494.5	4.287	98550	1.638	2423.415	0.135042
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	84268	0.057	104944	0.152	1477214	2.660	98550	1.623	6598.604	0.208265
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	90621	0.062	112980	0.146	1467472.7	2.365	98550	1.628	9610.807	0.250805
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	97639	0.066	123940	0.176	1474284.3	2.660	98550	1.624	7645.613	0.208297
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	105329	0.072	137192	0.176	1454275.7	2.431	98550	1.636	3317.659	0.076572
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	77683	0.054	103534	0.168	1446379.3	3.130	98550	1.640	1806.628	0.072799
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	86590	0.059	73200	0.211	1479869.3	3.607	98550	1.621	5006.273	0.208562
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	94751	0.063	112990	0.151	1498176.1	2.392	98550	1.611	7419.507	0.187335
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	101583	0.068	118994	0.140	1493333.3	2.059	98550	1.614	5873.121	0.119024
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	110069	0.075	138305	0.188	1462722.2	2.496	98550	1.631	2559.793	0.058048
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	80575	0.054	57901	0.219	1504097.8	4.086	98550	1.608	753.7675	0.038227
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	89163	0.061	95160	0.142	1468804.3	2.343	98550	1.628	2073.596	0.054483
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	97792	0.065	79539	0.191	1512310.1	2.957	98550	1.604	3080.27	0.093143
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	102656	0.071	124906	0.145	1448237.6	2.042	98550	1.639	2387.391	0.047492
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	110613	0.076	127606	0.146	1447173.2	1.909	98550	1.640	1034.763	0.017863
						E[F _y]	90305					E[M _u]	2.929	90305.3	2.929009

ตารางที่ 6-46 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1864816	0.038	2297830	0.086	48691843	2.234	98550	0.283	17445.03	0.020898
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2048499	0.043	2489316	0.092	47621803	2.145	98550	0.286	47640.55	0.04989
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2212725	0.046	2480672	0.091	48010876	1.964	98550	0.285	69696.55	0.061871
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2388198	0.049	2745960	0.096	48627337	1.965	98550	0.283	55540.68	0.045696
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2549151	0.052	2892234	0.099	48861165	1.907	98550	0.282	23846.86	0.017838
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2011266	0.035	2368640	0.074	57793343	2.115	98550	0.259	46774.64	0.049196
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2208071	0.038	2611986	0.083	58496597	2.193	98550	0.258	127661.3	0.1268
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2421830	0.041	2988642	0.092	59229387	2.244	98550	0.256	189641.3	0.17573
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2589048	0.044	3236310	0.091	59189063	2.087	98550	0.256	149687.8	0.120658
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2740641	0.046	3446745	0.094	59385503	2.026	98550	0.256	63737.22	0.047124
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2056810	0.031	2240318	0.072	67308412	2.352	98550	0.240	64785.53	0.074079
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2252618	0.033	2736652	0.079	67286519	2.354	98550	0.240	176391.1	0.184304
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2465645	0.036	2882261	0.079	68593392	2.192	98550	0.238	261494.4	0.232481
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2676812	0.040	3214369	0.083	67760541	2.110	98550	0.240	209607.6	0.165215
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2843159	0.041	3625598	0.094	68616273	2.275	98550	0.238	89553.99	0.071656
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2139734	0.028	2313787	0.058	75561204	2.032	98550	0.227	49762.34	0.047263
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2299160	0.030	2652877	0.072	75704961	2.379	98550	0.227	132927.7	0.137534
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2514581	0.033	3029864	0.074	75438193	2.227	98550	0.227	196904.1	0.174367
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2701413	0.036	3300471	0.081	74556702	2.228	98550	0.228	156184.3	0.128817
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2908191	0.038	3470681	0.079	75635660	2.064	98550	0.227	67633.81	0.048013
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2130280	0.026	2337723	0.065	82722890	2.536	98550	0.217	19928.39	0.023728
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2360661	0.029	2567107	0.066	82638844	2.321	98550	0.217	54900.29	0.053982
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2555804	0.031	3009253	0.074	81407993	2.370	98550	0.219	80502.86	0.074663
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2773779	0.033	3311774	0.076	85009417	2.342	98550	0.214	64507.89	0.054456
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2976674	0.036	3628590	0.081	82685389	2.244	98550	0.217	27846.26	0.020994
[E _{Fy}]						2444602				[E _{M_y}]	2.207			2444602	2.207254

ตารางที่ 6-47 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	286231	0.097	397998	0.299	2953915.2	3.088	98550	1.148	2677.645	0.028888
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	314223	0.106	332308	0.167	2958729.1	1.577	98550	1.147	7307.669	0.036667
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	338591	0.115	286231	0.299	2951222.4	2.608	98550	1.148	10664.95	0.08215
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	365086	0.122	328451	0.299	2980759.2	2.443	98550	1.142	8490.564	0.056816
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	388291	0.131	361695	0.299	2963870.2	2.284	98550	1.146	3632.391	0.021367
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	311164	0.084	433835	0.291	3699538	3.457	98550	1.025	7236.539	0.0804
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	347068	0.095	439819	0.287	3646898.8	3.016	98550	1.033	20066	0.174358
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	373996	0.103	487026	0.279	3619325.2	2.698	98550	1.037	29285.71	0.211242
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	406043	0.109	605973	0.299	3741401.2	2.757	98550	1.020	23475.69	0.159407
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	423064	0.113	615747	0.298	3738040.8	2.630	98550	1.020	9838.91	0.061167
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	328917	0.076	265620	0.299	4322278.9	3.926	98550	0.949	10360.24	0.123672
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	360000	0.082	474027	0.259	4392172.9	3.164	98550	0.941	28189.78	0.247751
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	391648	0.089	498462	0.245	4393286.7	2.746	98550	0.941	41536.34	0.291268
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	424194	0.097	563022	0.298	4377695.7	3.080	98550	0.943	33216.51	0.24118
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	449925	0.102	650387	0.300	4422694.7	2.945	98550	0.938	14171.77	0.092758
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	337361	0.070	420272	0.205	4791172.1	2.917	98550	0.901	7845.77	0.067849
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	371403	0.075	308239	0.300	4932504.1	3.979	98550	0.888	21472.93	0.230034
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	403483	0.081	510961	0.236	4957100.8	2.905	98550	0.886	31594.72	0.227458
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	437492	0.089	545469	0.235	4899016.1	2.632	98550	0.891	25293.93	0.152169
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	468076	0.096	623393	0.299	4869506.5	3.108	98550	0.894	10885.73	0.072289
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	344674	0.063	233373	0.300	5446643.1	4.747	98550	0.845	3224.369	0.044406
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	378982	0.070	384301	0.201	5376323.1	2.852	98550	0.851	8813.735	0.066333
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	417412	0.077	351656	0.300	5428061.4	3.896	98550	0.847	13147.68	0.122712
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	443409	0.082	558999	0.225	5406376.6	2.746	98550	0.848	10312.07	0.06387
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	476554	0.090	594171	0.235	5299634.2	2.612	98550	0.857	4458.076	0.024436
[E/F _y]						387200								387199.7	2.980645

ตารางที่ 6-48 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT1H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1776515	0.043	2040521	0.109	41360151	2.541	98550	0.307	16618.98	0.023772
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1992766	0.048	2186795	0.110	41297953	2.281	98550	0.307	46344.39	0.053053
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2190132	0.054	2353680	0.118	40589607	2.178	98550	0.310	68984.9	0.068602
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2336979	0.056	2594035	0.121	41823114	2.158	98550	0.305	54349.53	0.050191
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2511499	0.061	2736652	0.122	41380248	2.015	98550	0.307	23494.63	0.018846
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1842716	0.036	2120972	0.088	50510236	2.408	98550	0.278	42854.79	0.056002
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2072105	0.042	2337723	0.100	49902301	2.410	98550	0.279	119800.3	0.13931
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2257817	0.045	2611986	0.113	50334157	2.516	98550	0.278	176798.2	0.197031
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2456888	0.049	2882261	0.106	50423785	2.170	98550	0.278	142046.8	0.125464
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2659786	0.053	2998948	0.107	50618351	2.034	98550	0.277	61856.82	0.047301
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1972619	0.034	2113658	0.090	57343091	2.628	98550	0.260	62133.66	0.082762
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2150208	0.038	2443439	0.100	56954377	2.650	98550	0.261	168371.8	0.207521
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2347882	0.041	2680802	0.105	56679829	2.532	98550	0.262	249005	0.26853
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2554520	0.044	2892234	0.100	58214110	2.274	98550	0.259	200031.5	0.178031
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2753686	0.048	3148545	0.109	57869614	2.294	98550	0.259	86735.75	0.072249
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1980229	0.031	2186795	0.086	63398086	2.742	98550	0.248	46052.83	0.063773
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2217448	0.034	2426817	0.100	64884134	2.928	98550	0.245	128203.4	0.169261
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2404923	0.037	2718035	0.101	65209795	2.728	98550	0.244	188317.3	0.213641
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2609110	0.040	2942100	0.101	64710747	2.510	98550	0.245	150847.7	0.145099
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2788905	0.043	3127602	0.095	65174419	2.226	98550	0.244	64859.67	0.05177
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2006593	0.028	2217379	0.081	71263658	2.867	98550	0.234	18771.32	0.026821
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2250600	0.032	2426800	0.095	69337823	2.935	98550	0.237	52340.67	0.06825
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2432835	0.034	2680802	0.098	71959648	2.891	98550	0.233	76629.58	0.091068
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2662391	0.037	2998948	0.098	71196276	2.622	98550	0.234	61917.42	0.060986
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2833031	0.039	3266563	0.102	72214390	2.594	98550	0.232	26502.51	0.024265
E[F _y]							E[M _u]				2.504		2333870		
													2.503598		

ตารางที่ 6-49 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT1H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	280779	0.096	392546	0.298	2921012.4	3.100	98550	1.154	2626.642	0.029
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	312361	0.106	345871	0.228	2941199.7	2.146	98550	1.150	7264.373	0.049908
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	340918	0.116	292049	0.298	2951567.9	2.577	98550	1.148	10738.25	0.081176
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	366350	0.124	325925	0.300	2950625	2.419	98550	1.148	8519.943	0.056265
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	388291	0.131	364355	0.299	2963870.2	2.284	98550	1.146	3632.391	0.021367
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	309668	0.084	435331	0.290	3664889.3	3.431	98550	1.030	7201.749	0.079797
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	344076	0.092	441947	0.294	3729903.6	3.185	98550	1.021	19893.02	0.184136
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	378118	0.100	453117	0.253	3776308.6	2.528	98550	1.015	29608.5	0.197956
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	399860	0.109	597728	0.297	3658301.2	2.716	98550	1.031	23118.19	0.157046
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	418875	0.113	615747	0.299	3708633.4	2.645	98550	1.024	9741.497	0.061522
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	327787	0.077	265620	0.299	4271168	3.899	98550	0.954	10324.64	0.122811
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	359036	0.082	465949	0.261	4398440.9	3.197	98550	0.941	28114.28	0.250308
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	386562	0.090	489984	0.248	4274284.6	2.743	98550	0.954	40996.91	0.290895
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	422266	0.097	561093	0.299	4356628.1	3.083	98550	0.945	33065.52	0.241387
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	445404	0.103	647262	0.299	4310375.5	2.891	98550	0.950	14029.36	0.091076
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	338790	0.069	417412	0.197	4921630.3	2.856	98550	0.889	7879.014	0.066417
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	366350	0.076	305712	0.298	4814181.8	3.916	98550	0.899	21180.78	0.226395
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	399328	0.083	508235	0.235	4793447.2	2.817	98550	0.901	31269.33	0.220611
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	433769	0.089	543607	0.234	4857322.5	2.618	98550	0.895	25078.66	0.151365
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	468076	0.095	619137	0.298	4910425	3.126	98550	0.890	10885.73	0.0727
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	343245	0.063	232708	0.296	5424054.2	4.671	98550	0.847	3210.997	0.043695
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	372100	0.071	320200	0.300	5219379.6	4.202	98550	0.863	8653.676	0.097729
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	410498	0.078	350459	0.296	5283111.7	3.814	98550	0.858	12929.88	0.120147
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	439620	0.083	557104	0.222	5321626.5	2.691	98550	0.855	10223.93	0.062574
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	476554	0.089	598227	0.236	5345706.6	2.652	98550	0.853	4458.076	0.024811
E[F _y]							E[M _u]				3.001		384645		
													384645.4		

ตารางที่ 6-50 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 5PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	390780	0.007	435525	0.026	53051819	3.530	92790	0.263	3655.675 0.03302
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	424678	0.008	475119	0.027	54133588	3.416	92790	0.260	9876.446 0.079448
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	460068	0.009	512949	0.028	53421714	3.240	92790	0.262	14491.24 0.102043
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	497356	0.009	550509	0.026	52938361	2.810	92790	0.263	11566.67 0.06535
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	530000	0.010	586000	0.028	54611025	2.916	92790	0.259	4958.057 0.027279
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	402305	0.007	456881	0.027	54453858	3.614	92790	0.259	9356.135 0.084048
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	438983	0.008	498305	0.028	54640665	3.448	92790	0.259	25380.14 0.19934
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	477288	0.009	538814	0.029	52535839	3.148	92790	0.264	37374.01 0.246508
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	509220	0.009	574102	0.029	53800349	3.106	92790	0.261	29440.96 0.179586
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	548542	0.010	611593	0.030	53256544	2.874	92790	0.262	12757.08 0.066834
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	419017	0.008	462034	0.024	52090614	3.008	92790	0.265	13198.22 0.09476
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	451254	0.008	516475	0.030	53893981	3.607	92790	0.261	35335.43 0.282433
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	491661	0.009	556203	0.029	54243270	3.211	92790	0.260	52143.2 0.340491
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	524746	0.010	600000	0.032	52844491	3.182	92790	0.263	41090.18 0.249188
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	561898	0.010	635661	0.030	54028683	2.875	92790	0.260	17698.7 0.090557
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	430203	0.008	483356	0.024	52566398	2.957	92790	0.264	10004.95 0.068769
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	467119	0.009	514712	0.025	53226835	2.860	92790	0.262	27006.82 0.165357
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	504305	0.009	564203	0.027	54133222	2.930	92790	0.260	39489.57 0.229468
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	539695	0.010	603797	0.028	53969490	2.820	92790	0.261	31202.87 0.16304
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	572746	0.011	635661	0.027	54032623	2.538	92790	0.260	13319.96 0.059018
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	435593	0.008	494915	0.024	54812281	3.045	92790	0.259	4074.898 0.028487
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	479593	0.009	532678	0.025	53645772	2.841	92790	0.261	11153.57 0.066075
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	513153	0.010	570170	0.026	53795209	2.726	92790	0.261	16163.31 0.085853
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	550983	0.010	623593	0.028	54017951	2.755	92790	0.260	12813.84 0.064069
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	583932	0.011	651051	0.027	54067796	2.528	92790	0.260	5462.583 0.023647
$E[F_y]$						489015	$E[M_u]$				3.095	489014.5 3.094667		

ตารางที่ 6-51 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 5PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	163074	0.011	191639	0.039	14754068	3.559	92790	0.498	1525.528 0.033293
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	186555	0.012	198251	0.038	15169416	3.116	92790	0.491	4338.574 0.072463
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	198624	0.013	178900	0.038	15292041	2.922	92790	0.489	6256.266 0.092022
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	216896	0.015	198314	0.038	14946087	2.632	92790	0.495	5044.198 0.061201
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	245033	0.016	207112	0.041	15186292	2.525	92790	0.491	2292.243 0.023618
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	164805	0.011	195452	0.039	15492357	3.630	92790	0.486	3832.751 0.08443
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	179069	0.012	205639	0.047	15012155	3.935	92790	0.494	10353.03 0.22748
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	197174	0.014	245355	0.042	14501952	3.062	92790	0.503	15439.69 0.239754
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	220143	0.015	273055	0.044	14979511	3.006	92790	0.495	12727.76 0.173807
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	227892	0.015	289333	0.045	15082589	2.968	92790	0.493	5299.923 0.069032
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	174724	0.012	144568	0.073	14427485	6.036	92790	0.504	5503.468 0.190132
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	182195	0.012	221803	0.042	15271991	3.510	92790	0.490	14266.74 0.274873
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	205628	0.014	223652	0.041	15008158	2.976	92790	0.494	21807.9 0.315659
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	211319	0.014	243310	0.044	15247937	3.192	92790	0.490	16547.35 0.249978
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	232279	0.015	291675	0.045	15282882	2.968	92790	0.490	7316.337 0.093494
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	181707	0.012	203775	0.032	14983551	2.644	92790	0.494	4225.836 0.061482
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	191849	0.013	161393	0.071	14591835	5.385	92790	0.501	11091.91 0.311364
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	202240	0.013	243463	0.040	15220730	3.039	92790	0.491	15836.4 0.237979
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	216181	0.014	248622	0.041	15175727	2.867	92790	0.491	12498.69 0.165772
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	243320	0.017	274730	0.039	14734915	2.363	92790	0.499	5658.725 0.054959
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	178213	0.011	200021	0.034	15503533	2.973	92790	0.486	1667.151 0.027816
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	196720	0.013	177532	0.073	15101808	5.639	92790	0.493	4574.981 0.131151
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	209142	0.014	180866	0.072	15000779	5.153	92790	0.494	6587.555 0.162301
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	222007	0.014	267740	0.042	15332097	2.888	92790	0.489	5163.065 0.067174
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	235074	0.016	269382	0.040	15151537	2.559	92790	0.492	2199.074 0.02394
$E[F_y]$						202055	$E[M_u]$				3.445	202055.1 3.445175		

ตารางที่ 6-52 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	912054	0.016	1128969	0.058	56695308	3.583	92790	0.254	8532.102	0.03352
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	950981	0.017	1201441	0.060	57388810	3.595	92790	0.253	22116.3	0.083598
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1046564	0.019	1349709	0.064	56288276	3.433	92790	0.255	32964.74	0.108142
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1112335	0.020	1401237	0.061	56778743	3.132	92790	0.254	25868.82	0.07284
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1119411	0.019	1510610	0.063	57626398	3.244	92790	0.252	10471.89	0.030343
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1043207	0.015	1284551	0.058	69533165	3.858	92790	0.230	24261.14	0.089722
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1085149	0.015	1321784	0.055	70761391	3.595	92790	0.228	62738.74	0.207853
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1193440	0.017	1593721	0.061	70292187	3.576	92790	0.228	93452.23	0.280012
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1236242	0.018	1711405	0.061	70627712	3.458	92790	0.228	71474.3	0.199925
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1333315	0.019	1741324	0.060	69957579	3.168	92790	0.229	31007.99	0.073666
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1034827	0.013	1201441	0.050	80166974	3.849	92790	0.214	32595.04	0.12123
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1180500	0.015	1406224	0.056	80358321	3.816	92790	0.214	92438.93	0.298776
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1251633	0.015	1563801	0.057	81687921	3.719	92790	0.212	132742.2	0.394378
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1368074	0.017	1705421	0.063	79728528	3.662	92790	0.214	107127	0.286776
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1471476	0.018	1838065	0.061	80730412	3.322	92790	0.213	46348.63	0.10465
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1045383	0.012	1201441	0.054	89069321	4.562	92790	0.203	24311.77	0.106089
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1181773	0.013	1372980	0.053	91110889	4.090	92790	0.201	68325.11	0.236483
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1311153	0.015	1499972	0.053	89930892	3.642	92790	0.202	102669.7	0.285225
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1419387	0.016	1667190	0.056	90076158	3.569	92790	0.202	82062.92	0.206323
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1484730	0.016	1831748	0.060	91712044	3.680	92790	0.200	34529.36	0.085591
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1098898	0.011	1152904	0.047	101238118	4.342	92790	0.190	10280	0.040617
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1202824	0.012	1312476	0.052	100481835	4.322	92790	0.191	27973.25	0.100503
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1323442	0.013	1515929	0.054	99810187	4.084	92790	0.192	41685.84	0.128626
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1430236	0.014	1644584	0.053	98899329	3.669	92790	0.192	33262.02	0.085319
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1546059	0.016	1806483	0.055	97857311	3.509	92790	0.193	14463.11	0.032822
E[F _y]							E[M _u]				3.693		1233703		
													3.693029		

ตารางที่ 6-53 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	380604	0.024	496766	0.087	15767346	3.613	92790	0.482	3560.482	0.033797
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	417751	0.026	501321	0.085	16081601	3.279	92790	0.477	9715.359	0.076248
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	451830	0.028	470736	0.087	16112599	3.096	92790	0.477	14231.78	0.097522
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	485087	0.030	504778	0.089	16030342	2.933	92790	0.478	11281.34	0.068215
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	517534	0.032	533900	0.091	16024810	2.808	92790	0.478	4841.436	0.026272
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	427351	0.022	549524	0.084	19782485	3.876	92790	0.430	9938.606	0.09013
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	442652	0.023	545469	0.093	19441216	4.103	92790	0.434	25592.28	0.237195
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	493026	0.025	725718	0.088	19403400	3.478	92790	0.435	38606.33	0.27234
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	534446	0.027	813981	0.091	19664717	3.347	92790	0.432	30899.38	0.193491
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	553925	0.028	823788	0.091	19812428	3.272	92790	0.430	12882.26	0.076089
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	431508	0.019	375924	0.150	22203767	7.722	92790	0.406	13591.66	0.243242
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	476629	0.021	603912	0.078	22771217	3.713	92790	0.401	37322.36	0.290778
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	523472	0.023	628812	0.080	22601610	3.447	92790	0.403	55516.89	0.365617
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	550935	0.024	691576	0.088	23005152	3.674	92790	0.399	43140.89	0.287685
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	608283	0.027	843402	0.091	22835896	3.430	92790	0.401	19159.72	0.108044
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	441543	0.017	506507	0.071	25388361	4.078	92790	0.380	10268.67	0.094849
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	485363	0.019	430511	0.150	24977534	7.702	92790	0.383	28061.66	0.445293
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	525808	0.021	647262	0.079	25286021	3.778	92790	0.381	41173.37	0.295805
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	568553	0.022	686490	0.081	25328592	3.628	92790	0.380	32871.3	0.209779
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	630759	0.025	791674	0.086	25010245	3.427	92790	0.383	14669.13	0.079704
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	449589	0.016	465949	0.067	28634979	4.239	92790	0.358	4205.826	0.03966
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	493375	0.017	437425	0.150	28286617	8.578	92790	0.360	11474.09	0.199485
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	539385	0.019	480875	0.150	27832043	7.720	92790	0.363	16989.58	0.243162
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	576283	0.021	706104	0.079	28070929	3.846	92790	0.361	13402.23	0.089454
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	622397	0.023	747460	0.081	27422768	3.552	92790	0.365	5822.417	0.033229
E[F _y]							E[M _u]				4.197		509219		
													4.197087		

ตารางที่ 6-54 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT2 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	948356	0.016	1132958	0.058	58294692	3.575	92790	0.251	8871.701	0.033441
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1030749	0.018	1210084	0.059	57591056	3.308	92790	0.252	23971.43	0.076943
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1113545	0.020	1354363	0.064	56877385	3.244	92790	0.254	35074.49	0.102168
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1211766	0.021	1406224	0.061	57369972	2.882	92790	0.253	28181.22	0.067031
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1282379	0.022	1521249	0.063	57283029	2.807	92790	0.253	11996.43	0.02626
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1023665	0.014	1289205	0.058	70968844	4.001	92790	0.227	23806.67	0.093057
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1120867	0.016	1326438	0.054	70174384	3.370	92790	0.228	64803.81	0.194844
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1207066	0.017	1599372	0.061	70269341	3.534	92790	0.228	94519.19	0.276762
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1308312	0.018	1717389	0.060	70976927	3.267	92790	0.227	75641.05	0.188858
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1376087	0.020	1747308	0.060	70502273	3.077	92790	0.228	32002.72	0.071555
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1059387	0.013	1210084	0.049	80655727	3.742	92790	0.213	33368.63	0.117878
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1187380	0.015	1406224	0.055	80530312	3.761	92790	0.213	92977.73	0.294494
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1252298	0.015	1558482	0.057	81683708	3.727	92790	0.212	132812.7	0.395276
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1377905	0.017	1705421	0.063	80215909	3.658	92790	0.214	107896.8	0.286471
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1471855	0.018	1844381	0.060	81201792	3.314	92790	0.212	46360.57	0.1044
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1091122	0.012	1197119	0.053	90075520	4.396	92790	0.202	25375.48	0.102236
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1180654	0.013	1372980	0.053	90127596	4.050	92790	0.202	68260.43	0.234153
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1296687	0.014	1505291	0.053	90009631	3.656	92790	0.202	101537	0.286301
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1390513	0.015	1667190	0.056	91914368	3.675	92790	0.200	80393.55	0.212455
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1496476	0.016	1831748	0.059	90906991	3.580	92790	0.201	34802.52	0.083254
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1111154	0.011	1156894	0.047	100731927	4.244	92790	0.191	10394.65	0.039701
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1208781	0.012	1312476	0.051	101311075	4.264	92790	0.190	28111.79	0.099172
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1319105	0.013	1521249	0.054	101434073	4.164	92790	0.190	41549.23	0.131148
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1435368	0.014	1644584	0.053	99779974	3.688	92790	0.192	33381.37	0.085771
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1515463	0.015	1819115	0.060	100416344	3.981	92790	0.191	14176.89	0.03724
E[F _y]							E[M _u]				3.641				3.640866

ตารางที่ 6-55 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT2 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c *Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)										
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	380743	0.024	500157	0.087	16141302	3.702	92790	0.476	3561.787	0.034632	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	421353	0.027	504778	0.086	15844747	3.218	92790	0.481	9799.112	0.074844	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	455642	0.028	470736	0.086	16156140	3.051	92790	0.476	14351.85	0.096102	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	488431	0.030	508235	0.089	16159621	2.937	92790	0.476	11359.09	0.068295	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	518426	0.032	535728	0.090	16261424	2.827	92790	0.475	4849.787	0.026447	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	414882	0.021	551419	0.084	20208507	4.068	92790	0.426	9648.636	0.094604	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	455367	0.023	545469	0.093	19992755	4.084	92790	0.428	26327.4	0.236128	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	495005	0.025	725718	0.088	19759045	3.528	92790	0.431	38761.34	0.276223	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	534033	0.027	813981	0.091	19787597	3.370	92790	0.430	30875.55	0.194851	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	561884	0.028	823788	0.092	19893440	3.252	92790	0.429	13067.35	0.075636	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	431508	0.019	377387	0.150	22206052	7.723	92790	0.406	13591.66	0.243267	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	472318	0.020	603912	0.077	23224636	3.793	92790	0.397	36984.84	0.296987	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	516585	0.023	630972	0.080	22648849	3.517	92790	0.402	54786.52	0.372948	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	554137	0.024	691576	0.088	22864498	3.630	92790	0.400	43391.67	0.284274	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	587331	0.025	843402	0.093	23286150	3.673	92790	0.397	18499.79	0.115685	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	443562	0.017	508235	0.071	25731385	4.115	92790	0.377	10315.62	0.095693	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	487026	0.019	428848	0.150	25643725	7.878	92790	0.378	28157.76	0.455451	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	527370	0.020	647262	0.079	25826915	3.872	92790	0.377	41295.65	0.30322	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	569556	0.022	686490	0.081	25666378	3.633	92790	0.378	32929.32	0.210047	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	612274	0.024	794367	0.088	25691614	3.676	92790	0.378	14239.24	0.085482	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	449742	0.016	467545	0.062	28069419	3.871	92790	0.361	4207.26	0.036208	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	495071	0.018	439121	0.150	27767721	8.391	92790	0.363	11513.52	0.195155	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	537557	0.019	482704	0.150	27737698	7.720	92790	0.363	16931.99	0.243162	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	577471	0.020	703710	0.079	28318112	3.872	92790	0.360	13429.84	0.090057	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	621992	0.022	750019	0.081	28195191	3.655	92790	0.360	5818.63	0.034188	
E[F _y]						E[M _u]				4.240		508695.2				4.239588

ตารางที่ 6-56 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	349831	0.023	395932	0.057	15144177	2.455	92790	0.492	3272.603	0.022962
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	380339	0.023	434034	0.056	16253803	2.389	92790	0.475	8845.284	0.055557
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	411661	0.025	470237	0.059	16271186	2.320	92790	0.474	12966.52	0.07308
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	442576	0.027	508271	0.061	16391715	2.248	92790	0.473	10292.69	0.052284
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	471695	0.028	548136	0.064	16608975	2.254	92790	0.470	4412.623	0.021081
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	353017	0.022	407220	0.050	16268060	2.300	92790	0.475	8209.873	0.053479
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	390780	0.024	440000	0.050	16350615	2.105	92790	0.473	22593.23	0.121679
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	426881	0.026	481695	0.052	16481903	2.004	92790	0.471	33426.91	0.156912
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	458305	0.028	516475	0.052	16426706	1.875	92790	0.472	26497.26	0.108379
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	487864	0.029	550509	0.053	16594027	1.813	92790	0.470	11345.93	0.042162
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	368746	0.023	415729	0.050	16244308	2.198	92790	0.475	11614.78	0.06924
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	403864	0.025	455322	0.051	16154576	2.028	92790	0.476	31624.57	0.158802
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	437288	0.027	496610	0.052	16439402	1.936	92790	0.472	46376.67	0.205332
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	470441	0.029	530847	0.052	16448976	1.825	92790	0.472	36837.82	0.14292
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	502373	0.031	566136	0.055	16471243	1.807	92790	0.472	15823.77	0.056903
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	377525	0.024	421254	0.050	15996839	2.131	92790	0.479	8779.85	0.049567
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	414237	0.026	465220	0.051	16118183	1.992	92790	0.477	23949.45	0.115182
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	449492	0.028	504814	0.052	16345145	1.876	92790	0.473	35197.4	0.146929
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	482881	0.029	540678	0.052	16424534	1.779	92790	0.472	27918.15	0.102849
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	517085	0.031	578034	0.053	16467669	1.697	92790	0.472	12025.49	0.039476
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	386305	0.025	438509	0.051	15767555	2.090	92790	0.482	3613.816	0.01955
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	421424	0.026	478373	0.053	16146502	2.038	92790	0.476	9800.763	0.047404
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	459864	0.028	510000	0.052	16307248	1.855	92790	0.474	14484.84	0.058417
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	489763	0.030	554305	0.053	16546037	1.787	92790	0.471	11390.08	0.041563
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	526000	0.032	588000	0.054	16437500	1.675	92790	0.472	4920.637	0.015669
					[E/F _y]	436221				[E/M _u]	1.977			436221	1.977378

ตารางที่ 6-57 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	51753	0.057	59460	0.216	908981.28	3.796	92790	2.007	484.1388	0.035512
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	60480	0.062	38381	0.197	978515.57	3.180	92790	1.935	1406.549	0.073947
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	60857	0.063	48339	0.202	973437.72	3.223	92790	1.940	1916.881	0.101531
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	66824	0.068	53908	0.202	989065.4	2.985	92790	1.925	1554.088	0.069421
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	72193	0.072	62689	0.206	1003807.7	2.871	92790	1.910	675.3535	0.026854
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	56986	0.056	68348	0.184	1009592.1	3.264	92790	1.905	1325.276	0.075901
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	61806	0.060	76887	0.174	1034149.1	2.909	92790	1.882	3573.339	0.168211
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	71747	0.070	82524	0.186	1023295.3	2.647	92790	1.892	5618.156	0.207261
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	84042	0.083	89762	0.182	1008149.3	2.183	92790	1.906	4858.978	0.126209
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	79062	0.076	89059	0.177	1037431.8	2.318	92790	1.879	1838.683	0.053901
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	58896	0.058	41495	0.214	1016847.3	3.702	92790	1.898	1855.104	0.116602
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	66208	0.066	77673	0.190	1010087.5	2.902	92790	1.904	5184.433	0.227232
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	70056	0.067	84552	0.185	1039927	2.744	92790	1.877	7429.76	0.29097
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	68227	0.066	79078	0.148	1037150.4	2.254	92790	1.879	5342.498	0.176463
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	91037	0.087	97679	0.188	1041680.5	2.149	92790	1.875	2867.478	0.0677
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	58541	0.057	61477	0.157	1029594.2	2.758	92790	1.886	1361.453	0.064133
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	66284	0.065	50015	0.227	1023590.3	3.511	92790	1.892	3832.289	0.202979
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	68788	0.066	83461	0.166	1045836	2.521	92790	1.872	5386.462	0.197374
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	75393	0.072	90644	0.186	1046835.8	2.583	92790	1.871	4358.881	0.149359
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	85354	0.081	90787	0.192	1050133.6	2.358	92790	1.868	1985.026	0.054827
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	59291	0.059	68449	0.157	996624.75	2.633	92790	1.917	554.6609	0.024629
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	65346	0.063	52801	0.237	1030746.3	3.736	92790	1.885	1519.706	0.086884
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	69256	0.066	82338	0.164	1047960.1	2.485	92790	1.870	2181.421	0.078269
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	74277	0.070	92384	0.167	1059455	2.377	92790	1.859	1727.412	0.055288
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	80874	0.076	99626	0.187	1066273.8	2.471	92790	1.854	756.5619	0.023116
					[E/F _y]	69595				[E/M _u]	2.755			69594.59	2.754572

ตารางที่ 6-58 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 5PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)			
							X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _p (N/m)						
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1342139	0.039	1599372	0.074	34221837	1.877	92790	0.327	12555.48	0.01756	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1365580	0.040	1781217	0.085	34213686	2.132	92790	0.327	31758.37	0.049592	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1596617	0.046	1819115	0.087	34622449	1.890	92790	0.325	50290.34	0.059533	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1683016	0.050	1996639	0.090	33955020	1.817	92790	0.328	39140.75	0.042256	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1775909	0.052	2091717	0.093	33926683	1.772	92790	0.329	16613.32	0.016577	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1468534	0.035	1699437	0.076	41871773	2.161	92790	0.296	34152.7	0.050266	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1635878	0.039	1753292	0.077	41766505	1.976	92790	0.296	94579.53	0.114245	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1706202	0.041	2217379	0.084	42014376	2.061	92790	0.295	133604	0.161357	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1815815	0.043	2385262	0.086	42446463	2.013	92790	0.294	104982.8	0.116366	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1978482	0.047	2451750	0.090	41701293	1.903	92790	0.296	46012.2	0.044261	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1472594	0.030	1765260	0.070	48470546	2.292	92790	0.275	46383.86	0.072198	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1723556	0.036	1914858	0.070	48506590	1.965	92790	0.275	134962.9	0.153864	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1840878	0.038	2045507	0.071	47979235	1.841	92790	0.276	195234.6	0.19524	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1986569	0.041	2313787	0.081	48125964	1.964	92790	0.276	155558.1	0.153789	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2082386	0.043	2671493	0.088	47981128	2.022	92790	0.276	65591.12	0.063702	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1575502	0.029	1735340	0.064	53606338	2.183	92790	0.261	36640.36	0.050769	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1669519	0.031	1948102	0.068	54140591	2.194	92790	0.260	96524.5	0.126835	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1917464	0.035	2157540	0.073	54056019	2.047	92790	0.260	150146.9	0.160317	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2001741	0.037	2265916	0.066	54025753	1.793	92790	0.260	115732.2	0.103641	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2133185	0.040	2480672	0.077	53799881	1.947	92790	0.261	49610.03	0.045277	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1636876	0.027	1723372	0.062	60356671	2.269	92790	0.246	15312.69	0.021226	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1770902	0.030	1948102	0.067	59010473	2.248	92790	0.249	41184.66	0.052288	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1948665	0.033	2186795	0.069	59027345	2.098	92790	0.249	61379.16	0.066097	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2115849	0.035	2353680	0.072	59632168	2.036	92790	0.248	49206.85	0.047353	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2225712	0.038	2472029	0.068	58934823	1.789	92790	0.249	20821.14	0.016739	
E[F _y]							1797979	E[M _u]			2.001	1797979				2.001347

ตารางที่ 6-59 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 5PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c *Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)								Ductility	Mass (kg)	T (sec)
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)						
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	198552	0.097	240188	0.281	2054057.4	2.903	92790	1.335	1857.419	0.027158	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	217150	0.105	157510	0.299	2059741	2.838	92790	1.334	5050.115	0.066007	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	236033	0.114	186998	0.299	2071317.9	2.626	92790	1.330	7434.577	0.08271	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	254118	0.124	211765	0.299	2048823.8	2.413	92790	1.337	5909.841	0.056106	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	271803	0.133	239224	0.299	2050449.6	2.257	92790	1.337	2542.674	0.021117	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	237058	0.091	285234	0.280	2598552.8	3.068	92790	1.187	5513.087	0.071341	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	258730	0.098	306377	0.268	2641661.8	2.732	92790	1.178	14958.67	0.157933	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	286766	0.110	379880	0.299	2608504.2	2.722	92790	1.185	22455.2	0.213133	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	332978	0.128	414554	0.300	2605048.9	2.344	92790	1.186	19251.38	0.135509	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	320626	0.123	396635	0.299	2607097.6	2.433	92790	1.185	7456.581	0.056584	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	235202	0.078	176194	0.299	3034117.8	3.860	92790	1.099	7408.399	0.121583	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	282554	0.093	326656	0.262	3032942.6	2.812	92790	1.099	22125.39	0.220166	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	294917	0.097	348265	0.253	3035080.1	2.609	92790	1.099	31277.5	0.276668	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	288107	0.095	344674	0.230	3034466.4	2.425	92790	1.099	22560.21	0.189883	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	377356	0.124	460929	0.299	3034440.5	2.406	92790	1.099	11885.98	0.075789	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	244306	0.071	253253	0.200	3450230.1	2.825	92790	1.030	5681.661	0.065688	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	267149	0.078	209438	0.300	3438215.3	3.866	92790	1.032	15445.44	0.223516	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	293441	0.085	356709	0.233	3458747.6	2.750	92790	1.029	22977.85	0.215359	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	312533	0.091	379880	0.236	3443390.9	2.603	92790	1.031	18069.35	0.150509	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	352121	0.103	389620	0.278	3430786.9	2.704	92790	1.033	8189.04	0.062883	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	251233	0.066	269011	0.188	3814982.8	2.858	92790	0.980	2350.244	0.026741	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	274596	0.073	215023	0.300	3767059	4.121	92790	0.986	6386.092	0.095837	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	293470	0.077	353052	0.218	3793301	2.812	92790	0.983	9243.719	0.08856	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	320888	0.084	392280	0.228	3818291.8	2.709	92790	0.979	7462.682	0.06299	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	342210	0.090	418842	0.236	3823005.7	2.640	92790	0.979	3201.31	0.024693	
E[F _y]						286694	E[M _u]				2.788	286694.4				2.788461

ตารางที่ 6-60 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT2H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1320754	0.045	1582418	0.091	29499925	2.023	92790	0.352	12355.42	0.018925
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1435667	0.049	1667190	0.091	29556162	1.865	92790	0.352	33388.34	0.043365
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1582124	0.053	1800166	0.094	29607998	1.764	92790	0.352	49833.85	0.055563
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1679887	0.057	1921507	0.098	29477734	1.719	92790	0.353	39067.97	0.039983
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1831624	0.062	2052489	0.103	29473729	1.651	92790	0.353	17134.52	0.015446
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1481660	0.041	1650236	0.081	35847262	1.958	92790	0.320	34457.94	0.045543
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1545909	0.043	1768584	0.078	36104033	1.817	92790	0.319	89377.89	0.105048
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1797139	0.049	2120972	0.100	36306908	2.015	92790	0.318	140724.8	0.157788
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1890389	0.052	2313787	0.098	36390563	1.895	92790	0.317	109294.3	0.109572
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1932191	0.053	2376951	0.099	36379303	1.859	92790	0.317	44935.65	0.043237
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1432453	0.034	1605024	0.052	41725346	1.528	92790	0.296	45119.5	0.048124
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1687432	0.040	1881614	0.075	41808374	1.868	92790	0.296	132134.2	0.146306
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1918647	0.046	2069776	0.086	42060775	1.883	92790	0.295	203482.5	0.199658
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1921118	0.046	2247964	0.086	41526716	1.849	92790	0.297	150433	0.144815
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2119006	0.051	2472029	0.094	41940024	1.851	92790	0.296	66744.56	0.058298
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1626194	0.035	1667190	0.066	46658342	1.903	92790	0.280	37819.28	0.044257
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1780429	0.038	1948102	0.075	46668078	1.961	92790	0.280	102936.9	0.113365
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1958443	0.042	2150226	0.080	46590358	1.902	92790	0.280	153355.8	0.148939
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2058822	0.044	2255610	0.081	46814569	1.831	92790	0.280	119032.3	0.105851
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2112284	0.045	2451750	0.082	46831338	1.809	92790	0.280	49123.95	0.042062
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1600421	0.031	1781217	0.068	51396102	2.178	92790	0.267	14971.66	0.020376
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1731130	0.034	1961400	0.073	51087108	2.156	92790	0.268	40259.71	0.050131
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1873741	0.037	2209733	0.077	51229002	2.111	92790	0.267	59019.21	0.066477
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2081409	0.041	2368640	0.080	51388409	1.965	92790	0.267	48405.92	0.045697
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2229303	0.044	2506603	0.082	50763884	1.862	92790	0.269	20854.73	0.017423
E[F _y]							E[M _u]				1.886	1814264			
												1.886249			

ตารางที่ 6-61 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ SPT2H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	198124	0.095	241019	0.276	2075082.5	2.894	92790	1.329	1853.418	0.027077
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	218679	0.106	160569	0.300	2068164.8	2.833	92790	1.331	5085.679	0.065893
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	235368	0.116	186699	0.299	2037747.6	2.591	92790	1.341	7413.635	0.081599
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	254118	0.123	214358	0.299	2061706.2	2.428	92790	1.333	5909.841	0.056459
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	269942	0.131	240155	0.299	2060498.8	2.284	92790	1.333	2525.258	0.021367
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	250732	0.096	281511	0.267	2604251.6	2.768	92790	1.186	5831.114	0.064377
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	294532	0.113	306377	0.299	2611394.6	2.653	92790	1.184	17028.61	0.153385
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	283017	0.109	379880	0.299	2598071.1	2.747	92790	1.187	22161.64	0.215092
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	334118	0.128	411894	0.298	2601691.8	2.324	92790	1.187	19317.27	0.134361
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	321477	0.124	402120	0.299	2588342.7	2.409	92790	1.190	7476.359	0.056029
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	235368	0.078	176327	0.300	3029189.2	3.856	92790	1.100	7413.635	0.121447
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	289279	0.096	326656	0.263	3028207.6	2.750	92790	1.100	22651.97	0.215369
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	312999	0.103	350658	0.267	3042292.6	2.592	92790	1.097	33195.17	0.27489
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	320209	0.106	348265	0.285	3025969.8	2.696	92790	1.100	25073.98	0.211095
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	378106	0.123	459367	0.299	3069615.3	2.429	92790	1.092	11909.6	0.076516
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	243735	0.071	252389	0.198	3425929.3	2.781	92790	1.034	5668.388	0.064677
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	266218	0.078	208507	0.299	3400197.8	3.822	92790	1.038	15391.62	0.220958
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	288687	0.083	356709	0.223	3459405.7	2.678	92790	1.029	22605.62	0.209709
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	312356	0.091	379880	0.237	3445385.5	2.613	92790	1.031	18059.08	0.151077
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	330607	0.096	379880	0.258	3459287.4	2.699	92790	1.029	7688.69	0.062766
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	248922	0.065	269011	0.184	3828586.8	2.826	92790	0.978	2328.62	0.026434
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	273665	0.073	214092	0.300	3754289.2	4.110	92790	0.988	6364.444	0.095581
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	297423	0.078	351855	0.216	3833806.2	2.781	92790	0.977	9368.234	0.087592
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	322034	0.084	390950	0.228	3811989.1	2.701	92790	0.980	7489.322	0.062826
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	344044	0.091	418842	0.235	3792207.6	2.591	92790	0.983	3218.468	0.024236
E[F _y]							E[M _u]				2.781	293030			
												2.780811			

ตารางที่ 6-62 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อม่อ 6PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	P _f '	P _{fy}	P _f '*P _{fy}	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	460068	0.007	514712	0.026	64300182	3.690	110990	0.261	4303.853	0.034517
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	506237	0.008	560339	0.027	62933528	3.332	110990	0.264	11773.22	0.077483
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	547966	0.009	603797	0.027	62446279	3.088	110990	0.265	17259.87	0.097276
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	588407	0.009	651051	0.027	64766846	2.950	110990	0.260	13684.18	0.068604
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	631186	0.010	692881	0.028	65037239	2.916	110990	0.260	5904.638	0.027279
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	477763	0.007	540000	0.027	63923294	3.666	110990	0.262	11111	0.085259
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	520678	0.008	589831	0.029	64075560	3.569	110990	0.262	30103.4	0.206332
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	564068	0.009	640000	0.031	62087815	3.456	110990	0.266	44169.29	0.270641
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	608542	0.008	680000	0.030	71889238	3.568	110990	0.247	35183.34	0.206265
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	651661	0.010	720000	0.029	63268058	2.835	110990	0.263	15155.23	0.065931
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	497356	0.008	556203	0.027	63333236	3.375	110990	0.263	15665.74	0.10629
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	537627	0.008	605864	0.028	63737653	3.296	110990	0.262	42098.85	0.258077
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	579458	0.009	653288	0.029	64113476	3.164	110990	0.261	61454.48	0.335603
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	623356	0.010	710000	0.031	62335590	3.140	110990	0.265	48811.84	0.245877
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	664678	0.011	752271	0.032	62705462	2.991	110990	0.264	20936.06	0.094197
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	507254	0.008	570170	0.025	64144449	3.111	110990	0.261	11796.87	0.072345
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	554847	0.009	611593	0.026	63122571	2.901	110990	0.263	32078.93	0.167725
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	595051	0.009	667729	0.028	63330236	2.959	110990	0.263	46595.42	0.231681
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	640203	0.010	705186	0.027	64367927	2.664	110990	0.261	37013.85	0.154044
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	681356	0.011	750000	0.027	64278858	2.538	110990	0.261	15845.83	0.095018
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	518000	0.008	584000	0.025	63753846	3.052	110990	0.262	4845.799	0.028554
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	564068	0.009	631322	0.026	63628629	2.876	110990	0.262	13118.14	0.066896
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	610847	0.010	675390	0.026	64036838	2.726	110990	0.262	19240.51	0.085853
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	653390	0.010	742373	0.029	64057824	2.804	110990	0.262	15195.44	0.065209
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	696915	0.011	770000	0.027	64529194	2.528	110990	0.261	6519.52	0.023647
					[E _{F_y}]	579865				[E _{M_u}]	3.135			579865.3	3.134603

ตารางที่ 6-63 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อม่อ 6PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c *Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	187369	0.011	240731	0.041	17626695	3.887	110990	0.499	1752.801	0.036365
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	224085	0.013	222177	0.042	17367255	3.223	110990	0.502	5211.395	0.07496
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	224700	0.013	214861	0.038	17356435	2.929	110990	0.502	7077.624	0.092255
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	243183	0.014	240717	0.040	17731934	2.936	110990	0.497	5655.539	0.068282
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	272718	0.015	242339	0.042	18119596	2.813	110990	0.492	2551.233	0.026319
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	190082	0.011	235268	0.040	17821984	3.746	110990	0.496	4420.613	0.087129
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	224100	0.012	227046	0.053	18364450	4.361	110990	0.488	12956.51	0.252133
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	258685	0.015	269311	0.054	17435778	3.667	110990	0.501	20256.33	0.287112
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	256116	0.013	330574	0.046	20092877	3.615	110990	0.467	14807.55	0.209017
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	262408	0.015	335427	0.043	17803168	2.947	110990	0.496	6102.644	0.068537
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	207234	0.012	161929	0.074	17820973	6.402	110990	0.496	6527.455	0.201647
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	213064	0.012	262421	0.045	17651995	3.732	110990	0.498	16683.95	0.292256
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	231719	0.013	271917	0.041	17705195	3.162	110990	0.497	24574.97	0.335382
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	267100	0.015	330187	0.055	17475279	3.580	110990	0.501	20915.25	0.280349
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	279000	0.016	342473	0.047	16980680	2.876	110990	0.508	8787.957	0.090598
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	196589	0.010	232666	0.035	19395899	3.458	110990	0.475	4571.944	0.080423
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	230653	0.013	186356	0.071	17234675	5.284	110990	0.504	13335.38	0.305479
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	232841	0.013	283081	0.041	17913520	3.117	110990	0.495	18232.63	0.244087
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	253472	0.014	295078	0.038	18263857	2.736	110990	0.490	14654.69	0.158185
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	286160	0.016	344900	0.043	17791351	2.701	110990	0.496	6655.021	0.062806
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	206115	0.012	208430	0.075	17832414	6.489	110990	0.496	1928.167	0.060702
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	229933	0.013	211319	0.073	18087491	5.725	110990	0.492	5347.386	0.133136
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	247364	0.013	214173	0.082	18546094	6.130	110990	0.486	7791.487	0.193094
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	256062	0.015	312494	0.041	17517857	2.814	110990	0.500	5955.062	0.065433
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	281475	0.015	319930	0.039	18549590	2.540	110990	0.486	2633.145	0.02376
					[E/F]	239387				[E/M]	3.729			239386.7	3.729447

ตารางที่ 6-64 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1131935	0.016	1416197	0.057	70053775	3.515	110990	0.250	10589.06	0.032879
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1139795	0.016	1484015	0.060	69099450	3.650	110990	0.252	26507.44	0.084893
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1316779	0.019	1576766	0.062	69972394	3.313	110990	0.250	41475.97	0.104353
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1396164	0.020	1638933	0.059	68910624	2.934	110990	0.252	32469.62	0.068226
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1425058	0.021	1838065	0.061	69161139	2.942	110990	0.252	13331.17	0.02752
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1253046	0.015	1553163	0.054	84908186	3.688	110990	0.227	29141.23	0.085778
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1312789	0.016	1681485	0.052	83941699	3.349	110990	0.228	75899.87	0.193647
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1422693	0.017	1874965	0.057	84446133	3.400	110990	0.228	111403.8	0.266204
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1522653	0.018	2038526	0.060	83637646	3.319	110990	0.229	88033.36	0.191882
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1657184	0.020	2142913	0.062	84871332	3.174	110990	0.227	38540.01	0.073818
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1243210	0.013	1537206	0.053	96931948	4.142	110990	0.213	39158.7	0.130454
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1413013	0.014	1675501	0.048	98832665	3.391	110990	0.211	110645.9	0.265498
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1527399	0.016	1819115	0.056	97834915	3.568	110990	0.212	161988.6	0.378455
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1682528	0.017	2017582	0.055	97182035	3.193	110990	0.212	131750.2	0.250005
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1779467	0.018	2225025	0.058	98711177	3.231	110990	0.211	56049.76	0.101758
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1228531	0.011	1451104	0.051	110137872	4.552	110990	0.199	28571.12	0.105873
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1391883	0.013	1667190	0.054	109349300	4.239	110990	0.200	80472.78	0.245062
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1592194	0.015	1838065	0.054	109158399	3.683	110990	0.200	124676.6	0.288399
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1709743	0.016	1968714	0.056	109503460	3.604	110990	0.200	98850.08	0.208341
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1819864	0.017	2186795	0.058	109565066	3.483	110990	0.200	42323.33	0.080996
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1350968	0.011	1372980	0.049	119192145	4.366	110990	0.192	12638.06	0.040845
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1452639	0.012	1569120	0.052	117170471	4.230	110990	0.193	33783.02	0.098374
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1592948	0.013	1812799	0.048	119716268	3.575	110990	0.191	50174.76	0.112617
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1759842	0.014	2003620	0.055	122531881	3.829	110990	0.189	40927.44	0.089038
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1847817	0.015	2171503	0.057	119483747	3.674	110990	0.191	17286	0.034367
E[Fy]							E[M _u]				3.559			1496688	3.559283

ตารางที่ 6-65 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	460995	0.024	662355	0.089	19203935	3.703	110990	0.478	4312.532	0.03464
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	504528	0.026	588420	0.093	19068815	3.531	110990	0.479	11733.47	0.082129
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	539962	0.028	561093	0.087	19448257	3.142	110990	0.475	17007.74	0.098967
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	577021	0.031	605973	0.089	18866421	2.920	110990	0.482	13419.39	0.067905
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	615729	0.032	642874	0.091	19268529	2.838	110990	0.477	5760.034	0.026552
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	498536	0.021	676683	0.079	23672627	3.769	110990	0.430	11594.1	0.08766
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	565025	0.023	647262	0.096	24058208	4.093	110990	0.427	32667.33	0.236632
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	652456	0.028	788981	0.099	23714541	3.606	110990	0.430	51090.55	0.282406
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	640837	0.027	991006	0.092	23376530	3.363	110990	0.433	37050.45	0.194442
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	667308	0.028	998319	0.092	23882171	3.300	110990	0.428	15519.12	0.076736
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	518009	0.019	447532	0.149	27275120	7.857	110990	0.401	16316.28	0.247488
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	559983	0.020	725718	0.079	27371477	3.840	110990	0.400	43849.43	0.30066
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	610790	0.023	757167	0.081	27017506	3.566	110990	0.403	64777.45	0.378206
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	720942	0.026	938281	0.096	27244198	3.640	110990	0.401	56453.29	0.285055
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	746935	0.028	1012947	0.087	26731051	3.107	110990	0.405	23527.01	0.097869
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	476124	0.014	592143	0.072	33303319	5.061	110990	0.363	11072.9	0.117694
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	578613	0.019	508003	0.150	29856192	7.720	110990	0.383	33452.95	0.446333
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	623020	0.020	779241	0.078	30876423	3.880	110990	0.377	48785.54	0.303842
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	676929	0.022	823788	0.081	31070684	3.700	110990	0.376	39137.17	0.213942
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	764317	0.025	1005633	0.093	30325842	3.706	110990	0.380	17775.19	0.086194
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	537557	0.016	490018	0.150	33338910	9.282	110990	0.363	5028.747	0.086832
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	592143	0.018	525223	0.150	33307646	8.418	110990	0.363	13771.07	0.195783
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	645068	0.019	574856	0.150	34671748	8.041	110990	0.355	20318.38	0.253291
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	689678	0.021	843402	0.079	33508725	3.842	110990	0.362	16039.38	0.089344
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	746308	0.022	902244	0.080	34346849	3.691	110990	0.357	6981.579	0.034532
E[Fy]							E[M _u]				4.325			617441.1	4.325135

ตารางที่ 6-66 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT2 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	P_f'	P_{fy}	$P_f' * P_{fy}$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1143242	0.016	1421184	0.056	69339696	3.413	110990	0.251
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1241002	0.018	1478696	0.060	69137370	3.354	110990	0.252
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1346152	0.019	1576766	0.062	69099240	3.183	110990	0.252
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1476278	0.022	1633281	0.059	68434514	2.726	110990	0.253
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1537788	0.022	1838065	0.061	68907182	2.750	110990	0.252
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1228070	0.015	1542525	0.054	84322018	3.737	110990	0.228
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1327356	0.016	1687469	0.053	85225400	3.382	110990	0.227
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1467836	0.017	1874965	0.057	84594641	3.291	110990	0.228
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1595967	0.019	2045507	0.060	84953651	3.198	110990	0.227
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1660276	0.019	2150226	0.062	85590049	3.178	110990	0.226
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1264598	0.013	1531887	0.053	97097542	4.054	110990	0.212
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1410542	0.014	1675501	0.048	99001182	3.402	110990	0.210
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1524205	0.016	1819115	0.056	97280502	3.556	110990	0.212
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1645850	0.017	2031545	0.055	97907836	3.297	110990	0.212
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1773700	0.018	2232672	0.058	97391865	3.181	110990	0.212
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1306221	0.012	1461077	0.050	110182887	4.239	110990	0.199
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1427301	0.013	1667190	0.054	108222469	4.091	110990	0.201
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1575649	0.014	1844381	0.053	109092062	3.670	110990	0.200
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1705170	0.016	1975695	0.056	109221629	3.594	110990	0.200
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1795880	0.016	2194441	0.057	110047596	3.506	110990	0.200
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1356150	0.011	1372980	0.050	120769298	4.433	110990	0.190
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1474056	0.012	1569120	0.052	119217708	4.218	110990	0.192
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1595881	0.013	1812799	0.048	119696164	3.590	110990	0.191
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1750548	0.015	2017582	0.055	119887515	3.776	110990	0.191
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1857828	0.015	2171503	0.056	120577186	3.613	110990	0.191
					$E[F_y]$	1510438				$E[M_u]$	3.514		1510438
													3.513972

ตารางที่ 6-67 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT2 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	P_f'	P_{fy}	$P_f' * P_{fy}$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	461344	0.024	662355	0.088	18934494	3.631	110990	0.481
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	499704	0.026	588420	0.093	19210476	3.592	110990	0.478
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	541249	0.028	563022	0.084	19113361	2.978	110990	0.479
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	580250	0.030	603912	0.088	19174749	2.896	110990	0.478
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	620350	0.033	642874	0.090	19020135	2.769	110990	0.480
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	501426	0.021	676683	0.079	23918575	3.787	110990	0.428
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	543031	0.023	647262	0.096	23727255	4.183	110990	0.430
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	587326	0.025	791674	0.098	23840695	3.977	110990	0.429
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	636780	0.027	994663	0.091	23534479	3.377	110990	0.431
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	667688	0.028	1005633	0.092	23637823	3.249	110990	0.431
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	516247	0.019	449294	0.149	27182348	7.857	110990	0.401
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	564609	0.020	725718	0.078	27626806	3.823	110990	0.398
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	615289	0.023	757167	0.081	27328140	3.581	110990	0.400
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	663617	0.024	941472	0.096	27263147	3.958	110990	0.401
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	708893	0.026	1012947	0.087	26956721	3.302	110990	0.403
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	530491	0.018	596199	0.073	30269771	4.180	110990	0.380
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	578613	0.019	509964	0.150	30466144	7.878	110990	0.379
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	632578	0.021	779241	0.078	30556316	3.775	110990	0.379
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	682751	0.022	823788	0.080	30548506	3.589	110990	0.379
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	729934	0.024	1009290	0.094	30524601	3.939	110990	0.379
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	539385	0.016	486361	0.149	33133792	9.167	110990	0.364
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	592143	0.018	525223	0.150	33307646	8.418	110990	0.363
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	640680	0.019	577051	0.150	32970340	7.702	110990	0.365
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	694139	0.021	843402	0.078	33118036	3.736	110990	0.364
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	744630	0.022	902244	0.081	33135182	3.587	110990	0.364
					$E[F_y]$	607575				$E[M_u]$	4.349		607575
													4.349149

ตารางที่ 6-68 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	418576	0.022	481695	0.058	19026195	2.645	110990	0.480	3915.708	0.024748
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	448475	0.023	536339	0.073	19844009	3.248	110990	0.470	10429.87	0.075532
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	488000	0.024	582000	0.081	20082305	3.325	110990	0.467	15371.05	0.104734
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	525356	0.026	625729	0.077	19899845	2.917	110990	0.469	12217.84	0.067831
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	567051	0.029	673085	0.100	19757871	3.477	110990	0.471	5304.661	0.03253
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	426881	0.022	488339	0.049	19671949	2.240	110990	0.472	9927.687	0.052086
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	463119	0.023	532678	0.049	20048429	2.139	110990	0.468	26775.56	0.123641
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	501356	0.025	576068	0.051	19816439	2.000	110990	0.470	39258.64	0.15661
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	544339	0.027	615797	0.052	20086310	1.915	110990	0.467	31471.37	0.110725
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	579458	0.029	655525	0.052	19981297	1.793	110990	0.468	13476.05	0.041701
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	439119	0.022	503085	0.049	19603513	2.196	110990	0.473	13831.39	0.069183
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	477288	0.024	546271	0.050	19887004	2.079	110990	0.469	37374.01	0.162809
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	518644	0.026	589831	0.050	20102484	1.942	110990	0.467	55004.9	0.205944
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	557559	0.028	631322	0.051	19984204	1.832	110990	0.468	43659.64	0.143419
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	597017	0.030	675390	0.054	20101579	1.818	110990	0.467	18804.87	0.057269
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	453017	0.023	516475	0.050	19611121	2.147	110990	0.473	10535.5	0.049936
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	491661	0.025	560000	0.050	19745422	2.016	110990	0.471	28425.76	0.11656
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	531424	0.027	603797	0.051	19903513	1.918	110990	0.469	41613.1	0.150158
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	570678	0.029	650000	0.052	20023786	1.825	110990	0.468	32994.18	0.105488
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	612814	0.031	685322	0.052	19961355	1.700	110990	0.469	14251.79	0.039543
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	465322	0.024	521017	0.051	19228182	2.095	110990	0.477	4353.005	0.019599
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	503322	0.026	574102	0.051	19738118	2.004	110990	0.471	11705.42	0.046604
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	544339	0.028	615797	0.051	19651227	1.838	110990	0.472	17145.62	0.057879
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	585966	0.030	663186	0.053	19729498	1.774	110990	0.471	13627.41	0.041266
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	620949	0.031	702780	0.054	19775449	1.707	110990	0.471	5808.87	0.015969
					[E/F _y]	517284				[E/M _u]	2.072			517283.9	2.071763

ตารางที่ 6-69 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	P _{Fc} '	P _{Fy}	P _{Fc} '*P _{Fy}	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	60674	0.054	69293	0.191	1121691.9	3.528	110990	1.976	567.5963	0.033003
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	64306	0.056	52021	0.273	1146599.5	4.872	110990	1.955	1495.514	0.113316
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	70325	0.060	59994	0.283	1181661.3	4.761	110990	1.926	2215.085	0.149955
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	76677	0.066	68891	0.254	1159214.1	3.846	110990	1.944	1783.23	0.089438
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	82774	0.071	78239	0.333	1168648.6	4.697	110990	1.936	774.337	0.043938
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	65460	0.055	74437	0.166	1180411.4	2.989	110990	1.927	1522.37	0.069511
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	74490	0.062	88364	0.158	1210779.2	2.573	110990	1.902	4306.707	0.148769
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	82893	0.069	101507	0.180	1195614.2	2.592	110990	1.914	6490.909	0.203001
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	99209	0.083	106373	0.182	1201028	2.197	110990	1.910	5735.844	0.127047
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	88628	0.074	103615	0.179	1201646.3	2.420	110990	1.910	2061.153	0.05629
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	69400	0.058	49998	0.216	1203517.9	3.753	110990	1.908	2185.97	0.118211
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	83013	0.068	92103	0.201	1226152.9	2.970	110990	1.890	6500.317	0.232562
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	92910	0.074	99493	0.191	1253137.8	2.580	110990	1.870	9853.587	0.273654
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	97669	0.078	101277	0.191	1248405.6	2.440	110990	1.873	7648	0.191078
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	101075	0.081	120304	0.193	1252623.1	2.396	110990	1.870	3183.652	0.075479
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	69582	0.057	68901	0.151	1220740.3	2.651	110990	1.895	1618.231	0.061646
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	78722	0.065	58933	0.219	1215771.6	3.384	110990	1.898	4551.374	0.195642
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	81455	0.066	97039	0.163	1230888.3	2.461	110990	1.887	6378.338	0.192713
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	84703	0.067	105345	0.167	1255256.4	2.480	110990	1.868	4897.176	0.14337
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	94382	0.076	112747	0.189	1241757.1	2.482	110990	1.878	2194.967	0.057715
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	73096	0.061	83177	0.162	1189535.2	2.637	110990	1.919	683.8	0.024671
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	77253	0.062	64164	0.231	1239561.5	3.710	110990	1.880	1796.624	0.086275
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	85470	0.070	95777	0.158	1219052.2	2.254	110990	1.896	2692.131	0.070981
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	89853	0.073	107584	0.175	1230236.3	2.393	110990	1.887	2089.659	0.055645
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	94552	0.076	113815	0.177	1245922.2	2.330	110990	1.875	884.5167	0.021795
					[Fv]	84111				[M _u]	2.836			84111.09	2.835705

ตารางที่ 6-70 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1637802	0.038	2003620	0.081	42865373	2.116	110990	0.320	15321.35
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1846665	0.043	1989657	0.080	42837802	1.864	110990	0.320	42946.63
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1993155	0.047	2157540	0.085	42837358	1.834	110990	0.320	62780.5
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2106441	0.049	2376951	0.091	42819338	1.841	110990	0.320	48988.05
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2253272	0.052	2489316	0.090	42955293	1.711	110990	0.319	21078.97
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1739014	0.033	2135599	0.069	52243439	2.062	110990	0.290	40443.05
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1976817	0.038	2128285	0.077	52513248	2.035	110990	0.289	114291.2
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2199408	0.042	2671493	0.084	52678997	2.020	110990	0.288	172224.5
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2232448	0.042	2912180	0.086	52800289	2.024	110990	0.288	129070.7
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2410641	0.046	2988642	0.087	52690451	1.905	110990	0.288	56062.64
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1817395	0.030	2157540	0.068	60839907	2.280	110990	0.268	57244.43
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2102542	0.035	2368640	0.065	60902503	1.878	110990	0.268	164639.4
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2268701	0.038	2558131	0.071	59968581	1.884	110990	0.270	240607.5
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2341626	0.038	2844030	0.080	61191371	2.093	110990	0.268	183360.8
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2711007	0.045	3138240	0.083	60448404	1.858	110990	0.269	85391.44
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1860731	0.028	2247964	0.065	66918750	2.343	110990	0.256	43273.76
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2021248	0.030	2418506	0.069	66955977	2.280	110990	0.256	116860
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2350997	0.035	2699418	0.073	67506087	2.085	110990	0.255	184094.7
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2532783	0.038	2844030	0.073	66984869	1.942	110990	0.256	146434.8
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2723491	0.041	3138240	0.077	67156477	1.894	110990	0.255	63338.38
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1984089	0.027	2106344	0.061	74743714	2.311	110990	0.242	18560.8
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2165061	0.029	2305809	0.066	74195736	2.266	110990	0.243	50351.35
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2380308	0.032	2727343	0.070	74797283	2.214	110990	0.242	74975.09
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2551983	0.034	2932127	0.069	74148727	2.000	110990	0.243	59349.72
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2745375	0.037	3138240	0.071	74023461	1.926	110990	0.243	25682.5
E[F _y]							2217372	E[M _u]			2.020	2217372		
												2.020377		

ตารางที่ 6-71 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	237405	0.094	288226	0.265	2527133.8	2.822	110990	1.317	2220.886
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	264789	0.107	192982	0.299	2475195.6	2.797	110990	1.331	6158.017
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	287229	0.114	222403	0.299	2520589.5	2.626	110990	1.318	9047.147
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	307441	0.123	261697	0.299	2494330	2.428	110990	1.325	7149.948
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	328917	0.129	289356	0.299	2540741.5	2.311	110990	1.313	3076.959
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	266671	0.085	325526	0.234	3134857.1	2.752	110990	1.182	6201.774
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	317961	0.100	353052	0.245	3171418.2	2.448	110990	1.175	18383.13
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	363644	0.114	470736	0.300	3178359.1	2.618	110990	1.174	28475.09
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	406877	0.129	503049	0.299	3157106.9	2.322	110990	1.178	23523.89
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	368706	0.116	472398	0.299	3168727.5	2.572	110990	1.176	8574.742
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	287229	0.077	214424	0.300	3735142.7	3.896	110990	1.083	9047.147
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	365687	0.097	399361	0.261	3755003.9	2.683	110990	1.080	28635.09
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	406416	0.109	431508	0.272	3738289	2.503	110990	1.083	43102.48
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	410190	0.107	456242	0.299	3822601.6	2.789	110990	1.071	32119.91
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	458972	0.122	558999	0.298	3766821.9	2.449	110990	1.079	14456.71
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	285804	0.069	299895	0.198	4165514.7	2.892	110990	1.026	6646.755
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	323631	0.079	254517	0.300	4122635.4	3.827	110990	1.031	18710.97
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	360354	0.086	433835	0.231	4174763.3	2.676	110990	1.024	28217.5
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	375929	0.090	460929	0.236	4199165.1	2.639	110990	1.022	21734.65
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	419454	0.100	500157	0.278	4177674	2.764	110990	1.024	9754.961
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	311674	0.067	336264	0.196	4623956.6	2.910	110990	0.973	2915.658
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	332308	0.071	257708	0.299	4659521.3	4.196	110990	0.970	7728.254
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	373746	0.081	424194	0.219	4640004.7	2.715	110990	0.972	11772.26
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	391327	0.085	475656	0.228	4623556.9	2.696	110990	0.973	9100.822
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	418038	0.090	508235	0.236	4663736.1	2.629	110990	0.969	3910.675
E[F _y]							360665	E[M _u]			2.763	360665.4		
												2.763137		

ตารางที่ 6-72 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT2H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1695064	0.047	1881614	0.094	36392216	2.023	110990	0.347	15857.02	0.018928
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1782417	0.048	1989657	0.089	36911957	1.851	110990	0.345	41452.45	0.043049
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1925823	0.053	2186795	0.094	36241149	1.774	110990	0.348	60659.68	0.055875
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2057127	0.056	2337723	0.097	36683627	1.725	110990	0.346	47841.2	0.040117
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2233607	0.061	2472029	0.102	36623880	1.668	110990	0.346	20895	0.015608
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1831289	0.041	1968714	0.083	44834413	2.030	110990	0.313	42589.05	0.047209
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2048678	0.045	2194441	0.090	45090549	1.976	110990	0.312	118445.9	0.114229
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2241998	0.050	2523890	0.101	44788419	2.010	110990	0.313	175559.5	0.1574
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2410268	0.054	2718035	0.096	44934786	1.788	110990	0.312	139351.5	0.103399
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2611864	0.058	2882261	0.104	44767451	1.783	110990	0.313	60742.34	0.041468
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1941443	0.038	2106344	0.085	51489942	2.257	110990	0.292	61151.69	0.0711
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2134445	0.041	2305809	0.089	51866824	2.153	110990	0.291	167137.5	0.168598
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2246826	0.043	2463385	0.078	52114151	1.813	110990	0.290	238287.5	0.192323
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2536001	0.049	2727343	0.090	51895491	1.837	110990	0.291	198581.4	0.143842
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2644795	0.051	2957725	0.097	51565367	1.900	110990	0.292	83305.89	0.059855
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1503213	0.026	1863330	0.035	57938216	1.359	110990	0.275	34959.2	0.031602
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2242357	0.038	2321766	0.079	58493956	2.073	110990	0.274	129643.6	0.119835
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2373908	0.041	2603010	0.086	58042592	2.111	110990	0.275	185888.7	0.165277
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2469618	0.043	2745960	0.077	57990475	1.808	110990	0.275	147282.9	0.104525
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2686627	0.046	2978336	0.087	58089638	1.871	110990	0.275	62481.04	0.043521
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2018892	0.032	2106344	0.069	63271792	2.157	110990	0.263	18886.38	0.020182
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2176628	0.034	2321766	0.071	63771347	2.084	110990	0.262	50620.34	0.048455
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2456924	0.038	2629938	0.081	64042967	2.115	110990	0.262	77388.34	0.066631
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2627873	0.041	2842368	0.083	63591592	2.006	110990	0.262	61114.65	0.046663
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2698177	0.042	3029864	0.078	63623732	1.848	110990	0.262	25240.97	0.017292
$E[F_y]$ 2260864							$E[M_u]$				1.937			2260864	1.936982

ตารางที่ 6-73 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT2H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	240260	0.096	286231	0.257	2508119.9	2.679	110990	1.322	2247.588	0.025058
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	264789	0.107	194777	0.300	2466871	2.791	110990	1.333	6158.017	0.06491
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	286231	0.115	229384	0.300	2498790.3	2.622	110990	1.324	9015.734	0.0826
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	308505	0.123	260633	0.299	2502960.9	2.428	110990	1.323	7174.689	0.056459
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	327787	0.132	291617	0.300	2480018.5	2.267	110990	1.329	3066.385	0.021204
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	268448	0.086	335100	0.259	3127250.9	3.014	110990	1.184	6243.117	0.070097
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	294551	0.094	355479	0.242	3141759.3	2.580	110990	1.181	17029.69	0.14915
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	366574	0.116	467545	0.299	3152598	2.573	110990	1.179	28704.55	0.201509
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	399869	0.126	501321	0.299	3185713.5	2.380	110990	1.173	23118.76	0.137624
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	360682	0.114	470736	0.299	3153071	2.616	110990	1.179	8388.124	0.060834
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	284237	0.078	214424	0.300	3658131	3.856	110990	1.094	8952.906	0.121447
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	316905	0.086	395272	0.261	3671112.4	3.026	110990	1.093	24815.26	0.236972
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	339731	0.092	432339	0.288	3709745.8	3.140	110990	1.087	36030.24	0.333062
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	363443	0.099	457804	0.300	3677645.7	3.031	110990	1.092	28459.37	0.237381
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	454167	0.122	557104	0.299	3735815.8	2.461	110990	1.083	14305.39	0.077527
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	294678	0.071	299895	0.198	4178176.2	2.814	110990	1.024	6853.127	0.065438
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	323631	0.079	253420	0.300	4122635.4	3.827	110990	1.031	18710.97	0.221235
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	349166	0.084	433835	0.234	4159576.1	2.786	110990	1.026	27341.45	0.218192
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	377694	0.091	460929	0.237	4164424.8	2.612	110990	1.026	21836.67	0.151016
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	402407	0.096	496766	0.277	4177433.6	2.873	110990	1.024	9358.506	0.066813
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	300668	0.065	336264	0.194	4615320.8	2.984	110990	0.974	2812.698	0.027918
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	328917	0.072	258838	0.299	4562395.5	4.151	110990	0.980	7649.393	0.096526
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	359494	0.078	421701	0.219	4599018.4	2.807	110990	0.976	11323.35	0.0884
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	384193	0.083	472398	0.229	4606525	2.743	110990	0.975	8934.924	0.063803
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	411433	0.090	506507	0.236	4584410.2	2.633	110990	0.978	3848.888	0.024629
$E[F_y]$ 342380							$E[M_u]$				2.900			342379.8	2.899804

ตารางที่ 6-74 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	528000	0.007	590000	0.025	75785848	3.603	119000	0.249	4939.347	0.033703
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	575085	0.008	643390	0.027	76321805	3.636	119000	0.248	13374.35	0.084568
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	631186	0.008	700000	0.027	77398700	3.286	119000	0.246	19881.15	0.103513
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	677559	0.009	749695	0.028	74580000	3.049	119000	0.251	15757.53	0.070908
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	724068	0.009	800000	0.028	77069484	3.012	119000	0.247	6773.527	0.028179
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	548542	0.007	620000	0.026	76017517	3.603	119000	0.249	12757.08	0.083795
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	597322	0.008	665458	0.026	74983944	3.226	119000	0.250	34534.63	0.186526
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	644339	0.009	720000	0.025	74645389	2.850	119000	0.251	50454.92	0.223158
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	698034	0.009	780000	0.029	74512585	3.042	119000	0.251	40357.36	0.175891
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	746034	0.010	840000	0.031	76871087	3.143	119000	0.247	17350	0.073088
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	566237	0.007	629153	0.024	75639500	3.206	119000	0.249	17835.37	0.100982
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	617492	0.008	690000	0.026	75395788	3.138	119000	0.250	48352.63	0.245719
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	666102	0.009	739831	0.026	74508020	2.908	119000	0.251	70643.54	0.308438
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	713220	0.009	789153	0.025	75361401	2.684	119000	0.250	55848.66	0.210159
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	766441	0.010	844237	0.026	75885218	2.574	119000	0.249	24141.39	0.081084
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	579492	0.008	645593	0.022	74571033	2.831	119000	0.251	13476.84	0.065584
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	635390	0.008	702780	0.025	75515783	2.947	119000	0.249	36735.55	0.17041
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	685288	0.009	760000	0.026	74772297	2.793	119000	0.251	53661.43	0.218724
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	730373	0.010	810000	0.026	75969721	2.652	119000	0.249	42227.07	0.153349
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	778576	0.010	864102	0.026	75589932	2.553	119000	0.249	18106.82	0.059383
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	588407	0.008	660000	0.022	75718286	2.831	119000	0.249	5504.442	0.026484
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	646780	0.009	712678	0.023	75629058	2.689	119000	0.249	15041.71	0.062546
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	696915	0.009	770000	0.025	75669414	2.725	119000	0.249	21951.48	0.085842
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	743186	0.010	840000	0.026	76114953	2.632	119000	0.248	17283.78	0.061213
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	796475	0.011	880000	0.026	75854724	2.448	119000	0.249	7450.88	0.022897
					[E/F]	664441				[E/M]	2.936			664441.5	2.936399

ตารางที่ 6-75 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c *Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	210381	0.010	259674	0.036	21769955	3.725	119000	0.465	1968.077	0.03485
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	231015	0.011	247197	0.042	21417516	3.923	119000	0.468	5372.561	0.091237
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	252170	0.012	263548	0.038	20460377	3.123	119000	0.479	7942.856	0.098358
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	271400	0.013	279320	0.041	20735018	3.136	119000	0.476	6311.765	0.07294
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	290647	0.014	277991	0.040	20966824	2.917	119000	0.473	2718.952	0.027286
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	221105	0.010	274590	0.038	22222964	3.834	119000	0.460	5142.092	0.089154
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	242275	0.012	291080	0.043	20149969	3.568	119000	0.483	14007.32	0.20629
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	260945	0.013	252741	0.034	20057752	2.615	119000	0.484	20433.27	0.204734
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	280123	0.015	360439	0.043	19238042	2.984	119000	0.494	16195.53	0.172541
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	305874	0.014	375944	0.046	21223735	3.185	119000	0.470	7113.499	0.074078
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	229016	0.011	192795	0.067	20258631	5.938	119000	0.482	7213.558	0.187049
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	249897	0.012	296929	0.037	21026275	3.081	119000	0.473	19568.19	0.241259
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	271317	0.013	308117	0.036	20697778	2.734	119000	0.476	28774.61	0.289965
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	285261	0.013	316830	0.031	21272510	2.335	119000	0.470	22337.34	0.182873
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	316037	0.015	363047	0.036	20942152	2.384	119000	0.474	9954.558	0.075102
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	238710	0.011	283292	0.032	21318217	2.899	119000	0.469	5551.525	0.06741
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	258007	0.013	223690	0.068	20458824	5.397	119000	0.479	14916.89	0.312013
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	278303	0.013	323627	0.036	21344656	2.797	119000	0.469	21792.53	0.219008
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	291405	0.014	336406	0.037	21133492	2.651	119000	0.471	16847.81	0.153273
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	317660	0.014	347268	0.036	22241337	2.540	119000	0.460	7387.59	0.059076
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	239369	0.009	229686	0.061	25274249	6.423	119000	0.431	2239.256	0.060087
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	262249	0.012	270167	0.032	21158345	2.606	119000	0.471	6098.937	0.060602
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	281556	0.013	252538	0.069	21236928	5.204	119000	0.470	8868.48	0.163913
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	298740	0.014	354778	0.037	22085740	2.713	119000	0.461	6947.588	0.063092
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	316741	0.015	367208	0.036	20443220	2.354	119000	0.479	2963.058	0.022018
					[F _y]	268668				[F _u]	3.228			268667.9	3.228207

ตารางที่ 6-76 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1337943	0.017	1693453	0.059	80158994	3.558	119000	0.242	12516.22 0.033281
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1457188	0.018	1793850	0.062	80084051	3.399	119000	0.242	33888.83 0.079039
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1595647	0.020	1765260	0.062	81013453	3.157	119000	0.241	50259.79 0.099448
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1696416	0.021	1921507	0.061	81891986	2.954	119000	0.240	39452.39 0.068706
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1808757	0.023	2171503	0.064	79143665	2.813	119000	0.244	16920.6 0.026318
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1442993	0.015	1787534	0.054	98212800	3.664	119000	0.219	33558.71 0.085204
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1585969	0.016	1928156	0.055	99613265	3.486	119000	0.217	91694.03 0.201518
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1722371	0.017	2179149	0.059	99660725	3.391	119000	0.217	134870.1 0.265535
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1848996	0.018	2451750	0.060	101570465	3.282	119000	0.215	106901.1 0.18973
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1936264	0.020	2567107	0.061	97611538	3.064	119000	0.219	45030.38 0.071253
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1488063	0.013	1735340	0.053	113680634	4.076	119000	0.203	46871.1 0.128373
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1643730	0.015	1982676	0.055	113128594	3.774	119000	0.204	128712.2 0.295559
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1782501	0.016	2135599	0.059	112890550	3.723	119000	0.204	189043.5 0.394851
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1941971	0.017	2401884	0.059	114503759	3.466	119000	0.203	152065.9 0.271419
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2022004	0.018	2736652	0.064	114179391	3.627	119000	0.203	63689.2 0.114242
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1508824	0.012	1675501	0.048	121942513	3.843	119000	0.196	35089.69 0.089379
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1667682	0.013	1908209	0.055	125953752	4.119	119000	0.193	96418.3 0.238142
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1831360	0.014	2157540	0.054	129267022	3.822	119000	0.191	143404.5 0.29928
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1971491	0.015	2337723	0.056	127985813	3.633	119000	0.192	113983.2 0.210069
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2106270	0.017	2647890	0.058	121536279	3.372	119000	0.197	48984.08 0.078426
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1542857	0.013	1644584	0.055	116618076	4.125	119000	0.201	14433.16 0.038589
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1710953	0.012	1894912	0.052	139083299	4.263	119000	0.184	39790.47 0.099142
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1856466	0.013	2091717	0.054	137894657	4.032	119000	0.185	58475.09 0.127015
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2010499	0.015	2337723	0.054	134733206	3.629	119000	0.187	46756.79 0.084389
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2170133	0.015	2523890	0.056	142441504	3.693	119000	0.182	20301.21 0.034552
						E[F _y]					E[M _u]			
						1763111					3.623			1763111 3.623458

ตารางที่ 6-77 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	533102	0.023	745332	0.085	23026168	3.679	119000	0.452	4987.074 0.034413
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	585362	0.026	689216	0.096	22473282	3.667	119000	0.457	13613.35 0.085272
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	637488	0.030	664615	0.089	21415939	3.000	119000	0.468	20079.64 0.094495
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	679509	0.030	715911	0.091	22767924	3.039	119000	0.454	15802.87 0.070675
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	726050	0.034	754574	0.092	21531107	2.724	119000	0.467	6792.074 0.025484
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	581638	0.020	791674	0.079	28711534	3.898	119000	0.405	13526.76 0.090653
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	643273	0.024	843402	0.093	26768454	3.855	119000	0.419	37191.3 0.222871
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	697527	0.026	764946	0.081	26779552	3.111	119000	0.419	54619.8 0.243612
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	742008	0.028	1132958	0.091	26223984	3.219	119000	0.423	42899.74 0.186116
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	793868	0.029	1148915	0.091	26950073	3.105	119000	0.418	18462.45 0.072218
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	601851	0.020	531772	0.149	30447240	7.549	119000	0.393	18957.12 0.237785
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	665214	0.021	853209	0.078	31549149	3.706	119000	0.386	52089.52 0.290194
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	726050	0.023	889412	0.081	31360161	3.500	119000	0.387	77001.42 0.371202
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	776714	0.024	964311	0.072	32321352	3.016	119000	0.381	60820.56 0.236179
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	833761	0.026	1176840	0.089	31510251	3.359	119000	0.386	26261.86 0.105814
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	621531	0.018	735226	0.070	34860681	3.935	119000	0.367	14454.52 0.091511
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	677182	0.020	607369	0.150	34123537	7.542	119000	0.371	39151.77 0.436026
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	743736	0.020	918733	0.077	36900834	3.827	119000	0.357	58238.22 0.299668
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	786588	0.022	970893	0.080	35603489	3.632	119000	0.363	45477.18 0.209964
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	859359	0.024	1064143	0.081	35760441	3.355	119000	0.362	19985.53 0.078021
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	627648	0.016	572330	0.151	38926321	9.359	119000	0.347	5871.537 0.087551
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	693737	0.018	718338	0.074	38910605	4.131	119000	0.347	16133.77 0.096061
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	750019	0.019	686025	0.149	38700694	7.700	119000	0.348	23624.16 0.242533
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	808163	0.021	987349	0.077	39094586	3.740	119000	0.347	18794.9 0.086978
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	863016	0.022	1053172	0.080	38388684	3.552	119000	0.350	8073.363 0.033225
						E[F _y]					E[M _u]			
						712910					4.029			712910.5 4.028523

ตารางที่ 6-78 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อม่อ 7PT2 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	P_f'	P_{fy}	$P_f' * P_{fy}$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_p (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1330384	0.017	1699437	0.056	80197475	3.393	119000	0.242	12445.5	0.031737
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1457692	0.018	1781217	0.062	80095928	3.398	119000	0.242	33900.55	0.079023
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1578430	0.019	1765260	0.061	81604090	3.173	119000	0.240	49717.49	0.09994
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1691955	0.021	1914858	0.062	81133245	2.950	119000	0.241	39348.64	0.068606
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1812371	0.023	2171503	0.065	79835694	2.855	119000	0.243	16954.41	0.026706
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1437751	0.015	1800166	0.053	97337073	3.605	119000	0.220	33436.8	0.083842
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1571942	0.016	1928156	0.056	98368141	3.501	119000	0.219	90883.02	0.202429
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1714862	0.017	2186795	0.058	98633841	3.326	119000	0.218	134282.2	0.260454
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1826558	0.018	2451750	0.059	99411450	3.217	119000	0.217	105603.8	0.185996
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1938896	0.019	2567107	0.061	101428749	3.189	119000	0.215	45091.58	0.074159
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1472685	0.013	1723372	0.053	112597969	4.079	119000	0.204	46386.7	0.128479
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1642933	0.015	1982676	0.056	111464941	3.780	119000	0.205	128649.8	0.295971
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1789876	0.016	2142913	0.058	115000463	3.701	119000	0.202	189825.7	0.392526
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1944394	0.017	2401884	0.059	111920989	3.384	119000	0.205	152255.6	0.264966
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2051978	0.018	2727343	0.065	114864972	3.615	119000	0.202	64633.32	0.11386
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1520779	0.012	1675501	0.048	124930345	3.939	119000	0.194	35367.72	0.091609
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1662465	0.013	1901561	0.054	124733041	4.080	119000	0.194	96116.68	0.235893
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1824909	0.014	2157540	0.054	128963081	3.796	119000	0.191	142899.3	0.297274
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1964775	0.016	2329744	0.056	125987130	3.561	119000	0.193	113595	0.205856
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2097993	0.016	2638914	0.059	128441942	3.618	119000	0.191	48791.59	0.084136
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1571308	0.012	1644584	0.055	134423705	4.669	119000	0.187	14699.31	0.043675
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1699660	0.012	1901561	0.053	139705191	4.357	119000	0.183	39527.83	0.101333
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1863415	0.013	2106344	0.054	138811915	4.012	119000	0.184	58693.95	0.126384
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2001688	0.014	2337723	0.054	140681845	3.786	119000	0.183	46551.89	0.088039
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2153733	0.016	2497959	0.056	138429064	3.617	119000	0.184	20147.79	0.033834
$E[F_y]$							$E[M_u]$				3.617	1759806			

ตารางที่ 6-79 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อม่อ 7PT2 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	P_f'	P_{fy}	$P_f' * P_{fy}$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_p (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	528049	0.024	745332	0.084	21624505	3.460	119000	0.466	4939.804	0.03237
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	585362	0.026	693937	0.098	22208961	3.735	119000	0.460	13613.35	0.086868
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	639749	0.028	666876	0.088	22755526	3.147	119000	0.454	20150.85	0.099125
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	684362	0.031	711057	0.091	22070510	2.937	119000	0.461	15915.75	0.068315
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	723457	0.033	757167	0.092	22220572	2.833	119000	0.460	6767.817	0.026505
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	570867	0.021	794367	0.079	27275066	3.778	119000	0.415	13276.27	0.087858
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	637555	0.024	834825	0.094	26588045	3.914	119000	0.420	36860.71	0.226282
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	697527	0.025	764946	0.079	28119285	3.183	119000	0.409	54619.8	0.249271
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	745997	0.027	1132958	0.091	27495095	3.357	119000	0.413	43130.38	0.194094
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	789879	0.029	1152904	0.093	27292738	3.214	119000	0.415	18369.68	0.074751
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	605973	0.019	529711	0.148	31906743	7.816	119000	0.384	19086.97	0.246203
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	662322	0.020	850317	0.078	33374731	3.917	119000	0.375	51863.04	0.306693
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	716975	0.023	892437	0.081	31530624	3.564	119000	0.386	76038.9	0.377944
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	773423	0.024	970893	0.072	32184398	3.000	119000	0.382	60562.85	0.234915
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	833761	0.026	1176840	0.086	31510251	3.234	119000	0.386	26261.86	0.101876
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	611425	0.018	735226	0.070	34293840	3.935	119000	0.370	14219.49	0.091511
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	681836	0.018	605042	0.149	37428544	8.192	119000	0.354	39420.86	0.473599
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	743736	0.021	918733	0.078	35273242	3.706	119000	0.365	58238.22	0.290194
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	796461	0.023	964311	0.080	34247565	3.433	119000	0.370	46048.02	0.198499
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	855702	0.024	1067799	0.071	35042476	2.921	119000	0.366	19900.48	0.067922
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	627648	0.017	570202	0.149	37027196	8.805	119000	0.356	5871.537	0.082368
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	693737	0.018	718338	0.076	38136286	4.159	119000	0.351	16133.77	0.096726
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	750019	0.019	678345	0.150	40312790	8.041	119000	0.341	23624.16	0.253291
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	811820	0.021	991006	0.078	37760832	3.635	119000	0.353	18879.95	0.084527
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	863016	0.022	1060486	0.080	39385542	3.660	119000	0.345	8073.363	0.034243
$E[F_y]$							$E[M_u]$				4.086	711867.9			

ตารางที่ 6-80 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Transverse)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	464915	0.018	641186	0.036	25267136	1.973	119000	0.431	4349.201	0.018455
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	519661	0.021	692881	0.038	25104396	1.816	119000	0.433	12085.4	0.042243
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	577119	0.024	739831	0.039	24558238	1.651	119000	0.437	18178.11	0.052005
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	629322	0.026	779288	0.040	24298151	1.537	119000	0.440	14635.71	0.035738
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	666814	0.027	821559	0.041	24881104	1.511	119000	0.435	6237.924	0.014137
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	488305	0.020	658644	0.036	24913526	1.852	119000	0.434	11356.18	0.043072
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	553559	0.023	705186	0.037	24172895	1.633	119000	0.441	32004.45	0.094424
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	608000	0.025	757424	0.039	24223108	1.554	119000	0.440	47609.39	0.121669
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	653220	0.027	808881	0.041	24557154	1.545	119000	0.437	37766.43	0.089332
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	691525	0.028	841356	0.042	24609445	1.477	119000	0.437	16082.33	0.034347
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	497898	0.020	673085	0.037	25274025	1.868	119000	0.431	15682.83	0.058839
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	576576	0.024	720102	0.038	24328114	1.586	119000	0.439	45148.76	0.124231
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	618610	0.025	767390	0.039	24450996	1.542	119000	0.438	65606.82	0.163484
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	669898	0.027	814441	0.040	24538399	1.476	119000	0.438	52456.34	0.115593
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	713695	0.029	864102	0.042	24525598	1.443	119000	0.438	22480	0.045461
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	512542	0.020	692881	0.038	25248394	1.857	119000	0.431	11919.85	0.04319
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	582203	0.024	744915	0.039	24157817	1.618	119000	0.441	33660.53	0.093561
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	637356	0.026	781966	0.039	24419766	1.502	119000	0.439	49908.11	0.117607
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	692136	0.029	824373	0.041	24200545	1.416	119000	0.441	40016.35	0.081872
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	724881	0.030	868068	0.042	24572251	1.417	119000	0.437	16858.07	0.032953
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	517424	0.021	712678	0.039	24876144	1.894	119000	0.435	4840.409	0.01772
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	582237	0.023	752271	0.039	24881936	1.679	119000	0.435	13540.7	0.039059
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	656237	0.027	801763	0.041	24305085	1.504	119000	0.440	20670.2	0.047364
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	700475	0.029	837153	0.041	24406780	1.411	119000	0.439	16290.46	0.032818
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	742170	0.030	886983	0.042	24656794	1.405	119000	0.437	6942.865	0.013146
					E[F _y]	616327				E[M _u]	1.572			616327.4	1.57232

ตารางที่ 6-81 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)								Mass (kg)	T (sec)
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	70065	0.048	100528	0.139	1456419.2	2.888	119000	1.796	655.4465	0.027015
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	78859	0.054	63517	0.144	1459690.7	2.664	119000	1.794	1833.969	0.061948
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	86048	0.062	79473	0.138	1398438.2	2.240	119000	1.833	2710.342	0.070561
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	92386	0.065	87980	0.132	1425661.9	2.035	119000	1.815	2148.563	0.047333
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	97624	0.068	96774	0.132	1442728.9	1.951	119000	1.805	913.2576	0.018251
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	75295	0.051	105322	0.145	1474211.1	2.838	119000	1.785	1751.088	0.066009
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	85423	0.059	110070	0.135	1439484.1	2.276	119000	1.807	4938.802	0.131602
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	95073	0.066	134382	0.147	1442934.3	2.231	119000	1.804	7444.662	0.174718
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	102224	0.070	132085	0.135	1469034.8	1.941	119000	1.788	5910.16	0.112232
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	106425	0.072	136462	0.139	1481686.1	1.936	119000	1.781	2475.056	0.045024
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	78719	0.051	68630	0.164	1552663.8	3.244	119000	1.739	2479.489	0.102193
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	91440	0.061	121681	0.136	1500390.6	2.229	119000	1.770	7160.226	0.174503
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	96437	0.064	126248	0.130	1509671.5	2.030	119000	1.764	10227.6	0.215332
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	104384	0.069	1350613	0.156	1509733.4	2.254	119000	1.764	8173.817	0.176481
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	110123	0.073	150153	0.149	1504306.1	2.041	119000	1.767	3468.664	0.064281
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	82724	0.051	111503	0.159	1614014.2	3.106	119000	1.706	1923.863	0.072243
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	93378	0.063	80846	0.177	1491667	2.822	119000	1.775	5398.72	0.163159
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	102457	0.068	129058	0.128	1507947.9	1.884	119000	1.765	8022.913	0.147555
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	110261	0.075	133938	0.128	1473679.9	1.715	119000	1.785	6374.832	0.099132
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	115299	0.076	148314	0.165	1512850.9	2.165	119000	1.762	2681.429	0.05035
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	84120	0.054	111944	0.110	1562119.1	2.033	119000	1.734	786.928	0.019022
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	93309	0.059	86944	0.179	1571614.4	3.017	119000	1.729	2170.018	0.070156
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	105720	0.069	90101	0.185	1525045.7	2.667	119000	1.755	3329.966	0.084018
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	113268	0.075	134834	0.131	1503428.1	1.737	119000	1.768	2634.202	0.040392
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	118149	0.076	144848	0.141	1558121.6	1.863	119000	1.736	1105.263	0.017423
						E[F _y]	96719			E[M _u]	2.251			96719.27	2.250934

ตารางที่ 6-82 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	P _f '	P _{f_y}	P _f '*P _{f_y}	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1877665	0.037	2376942	0.078	51072078	2.127	119000	0.303	17565.22	0.019894
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2061012	0.040	2506603	0.078	51399285	1.950	119000	0.302	47931.55	0.045345
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2270910	0.044	2567107	0.085	51192917	1.911	119000	0.303	71529.25	0.060199
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2478312	0.049	2786185	0.090	50308201	1.833	119000	0.306	57636.4	0.042627
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2643102	0.052	2957725	0.092	50939455	1.765	119000	0.304	24725.76	0.016507
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2055481	0.033	2567107	0.073	61913934	2.193	119000	0.275	47802.91	0.051005
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2252950	0.036	2629938	0.068	62243078	1.874	119000	0.275	130256	0.108335
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2432136	0.039	3019559	0.079	61924229	2.016	119000	0.275	190448.2	0.157848
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2591676	0.041	3663496	0.090	62920848	2.193	119000	0.273	149839.7	0.126801
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2753939	0.045	3650864	0.089	61356799	1.979	119000	0.277	64046.47	0.046603
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2109004	0.030	2472029	0.067	71445631	2.262	119000	0.256	66429.52	0.071246
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2304146	0.032	2766904	0.072	71433110	2.222	119000	0.256	180426	0.174011
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2555804	0.036	2978336	0.073	70347745	2.021	119000	0.258	271056.3	0.214341
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2724019	0.039	330049	0.075	70279128	1.930	119000	0.259	213304.1	0.151127
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2930132	0.041	3824730	0.084	70961255	2.037	119000	0.257	92293.47	0.064169
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2160864	0.028	2368640	0.049	78286515	1.766	119000	0.245	50253.75	0.041072
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2352350	0.030	2747622	0.066	79457871	2.228	119000	0.243	136002.9	0.128816
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2531868	0.032	3127955	0.071	79314206	2.213	119000	0.243	198257.7	0.173263
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2757928	0.035	3334380	0.074	79685868	2.133	119000	0.243	159451.7	0.123297
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2988974	0.037	3579389	0.076	80333650	2.032	119000	0.242	9512.53	0.047258
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2169175	0.025	2410195	0.061	86552367	2.415	119000	0.233	20292.25	0.022593
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2422896	0.027	2680802	0.065	88114040	2.382	119000	0.231	56347.63	0.055388
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2617638	0.030	3040170	0.066	87397344	2.214	119000	0.232	82450.51	0.069732
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2812448	0.032	3470681	0.070	88103757	2.195	119000	0.231	65407.19	0.051058
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3044492	0.035	3650864	0.071	87042681	2.037	119000	0.232	28480.69	0.019058
E[F _y]						2491748	E[M _u]						2.081	2491748	2.081019

ตารางที่ 6-83 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	282973	0.096	372666	0.299	2943838.1	3.113	119000	1.263	2647.167	0.029121
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	312760	0.105	229783	0.299	2988602.4	2.859	119000	1.254	7273.651	0.066496
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	338591	0.116	275760	0.301	2915116.6	2.593	119000	1.269	10664.95	0.081678
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	363823	0.123	314555	0.299	2951767.3	2.428	119000	1.262	8461.184	0.056459
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	386961	0.131	348398	0.298	2953720.2	2.278	119000	1.261	3619.952	0.021311
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	316949	0.087	410498	0.291	3663640.9	3.361	119000	1.132	7371.064	0.078167
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	347666	0.094	410498	0.245	3706544.8	2.612	119000	1.126	20100.6	0.150991
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	380312	0.103	535728	0.298	3688733.6	2.895	119000	1.129	29780.31	0.226672
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	405578	0.108	598227	0.297	3763991.4	2.755	119000	1.117	23448.78	0.159305
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	423829	0.115	592143	0.298	3694171.7	2.595	119000	1.128	9856.693	0.06034
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	333438	0.076	252057	0.298	4389132.4	3.929	119000	1.035	10502.65	0.123743
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	365419	0.083	467545	0.259	4405502.7	3.121	119000	1.033	28614.09	0.244428
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	398430	0.092	489984	0.244	4343462.6	2.662	119000	1.040	42255.59	0.282317
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	424460	0.098	547330	0.289	4323947.4	2.947	119000	1.042	33237.33	0.230732
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	452119	0.104	664615	0.299	4352491.2	2.881	119000	1.039	14240.88	0.090733
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	348763	0.070	381177	0.206	5004498.4	2.954	119000	0.969	8110.954	0.0687
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	377287	0.077	298199	0.299	4906266.1	3.885	119000	0.979	21813.13	0.224639
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	407007	0.083	516247	0.231	4897741	2.776	119000	0.979	31870.67	0.217384
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	439354	0.091	541745	0.234	4852430.3	2.582	119000	0.984	25401.56	0.14929
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	475423	0.096	611558	0.298	4945938.1	3.105	119000	0.975	11056.6	0.072207
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	352653	0.065	378583	0.168	5435131.2	2.593	119000	0.930	3299.007	0.024253
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	388291	0.070	309835	0.298	5565535.4	4.278	119000	0.919	9030.212	0.099486
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	421701	0.077	341649	0.302	5483829.4	3.927	119000	0.926	13282.76	0.123696
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	454779	0.084	558999	0.226	5427084.6	2.702	119000	0.930	10576.48	0.062842
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	484665	0.088	596199	0.238	5500434.4	2.700	119000	0.924	4533.958	0.025258
E[F _y]						391050	E[M _u]						2.970	391050.2	2.970247

ตารางที่ 6-84 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT2H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1885711	0.042	2329744	0.085	44472196	1.994	119000	0.325	17640.5	0.018656
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2071689	0.047	2393573	0.086	43799049	1.824	119000	0.328	48179.87	0.042429
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2269169	0.051	2594035	0.092	44823966	1.813	119000	0.324	71474.41	0.057094
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2413520	0.054	2786185	0.096	44442251	1.768	119000	0.325	56129.59	0.04111
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2599711	0.060	2922153	0.099	43506767	1.653	119000	0.329	24319.84	0.015459
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2277672	0.042	241352	0.071	54598683	1.713	119000	0.293	52970.26	0.039828
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2272757	0.042	2541177	0.077	54112114	1.824	119000	0.295	131401.2	0.105445
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2448904	0.046	3085050	0.090	53619184	1.967	119000	0.296	191761.2	0.154003
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2600813	0.048	3397544	0.094	53926831	1.949	119000	0.295	150368	0.112708
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2792059	0.052	3530188	0.096	53683523	1.851	119000	0.296	64933	0.043038
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2125399	0.034	2451750	0.070	62043352	2.047	119000	0.275	66945.95	0.064492
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2341768	0.037	2737981	0.076	63556590	2.057	119000	0.272	183372	0.161105
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2539505	0.040	3019559	0.081	63351904	2.015	119000	0.272	269327.7	0.21375
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2760743	0.044	3159516	0.073	62662868	1.667	119000	0.274	216179.8	0.130546
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2895951	0.046	3616290	0.089	62555585	1.918	119000	0.274	91216.83	0.060398
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2208407	0.032	2401884	0.065	70100368	2.058	119000	0.259	51359.42	0.04786
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2400076	0.035	2736652	0.070	69250311	2.017	119000	0.260	138762.2	0.116604
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2585879	0.037	3074411	0.076	70198089	2.052	119000	0.259	202487	0.160719
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2794697	0.039	3289168	0.080	71046326	2.028	119000	0.257	161577.5	0.117278
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3047049	0.044	3591689	0.083	69670282	1.891	119000	0.260	70863.15	0.043975
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2232972	0.029	2435128	0.062	76579064	2.116	119000	0.248	20889.06	0.019794
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2433174	0.032	2718035	0.069	76637746	2.171	119000	0.248	56586.67	0.050481
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2638465	0.034	3159516	0.073	76630106	2.127	119000	0.248	83106.52	0.066996
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2815094	0.037	3432450	0.076	76925829	2.088	119000	0.247	65468.73	0.048555
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3067545	0.040	3579389	0.078	77251089	1.969	119000	0.247	28696.34	0.018419
						E[F _y]	2516017			E[M _u]	1.951			2516017	1.950742

ตารางที่ 6-85 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT2H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	285500	0.095	371403	0.301	3020461.5	3.186	119000	1.247	2670.803	0.029809
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	311696	0.106	232974	0.300	2947873.7	2.841	119000	1.262	7248.91	0.066069
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	340918	0.116	273432	0.298	2951567.9	2.584	119000	1.262	10738.25	0.081388
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	361629	0.123	313658	0.299	2933966.8	2.428	119000	1.265	8410.159	0.056459
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	388291	0.130	347068	0.300	2992214.6	2.309	119000	1.253	3632.391	0.021597
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	315553	0.084	410498	0.298	3734528	3.532	119000	1.122	7338.593	0.082144
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	345938	0.092	410265	0.299	3750084.6	3.244	119000	1.119	20000.66	0.187537
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	380312	0.102	532071	0.299	3716671.5	2.924	119000	1.124	29780.31	0.228982
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	401522	0.107	592143	0.298	3753347.2	2.783	119000	1.119	23214.29	0.160878
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	429347	0.115	613652	0.300	3722157.3	2.604	119000	1.123	9985.033	0.060563
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	332308	0.078	256578	0.299	4286790.9	3.860	119000	1.047	10467.05	0.121583
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	362227	0.084	465949	0.258	4326600.6	3.083	119000	1.042	28364.18	0.24144
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	391648	0.092	491680	0.243	4245602.4	2.630	119000	1.052	41536.34	0.278952
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	430145	0.097	558999	0.299	4439106.9	3.088	119000	1.029	33682.47	0.241806
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	456640	0.104	657834	0.301	4385123.9	2.892	119000	1.035	14383.29	0.091103
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	344874	0.070	382473	0.202	4948686.2	2.897	119000	0.974	8020.498	0.067363
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	373397	0.078	296903	0.300	4805629.4	3.856	119000	0.989	21588.26	0.22292
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	404514	0.083	509964	0.221	4902841.5	2.680	119000	0.979	31675.43	0.209828
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	443077	0.090	538022	0.234	4927347.3	2.607	119000	0.976	25616.83	0.150721
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	477518	0.098	611558	0.298	4888894	3.056	119000	0.980	11105.31	0.071061
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	352454	0.067	372666	0.174	5226025	2.586	119000	0.948	3297.141	0.024194
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	382972	0.070	309835	0.299	5432916.1	4.239	119000	0.930	8906.511	0.098575
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	418842	0.079	341649	0.298	5297103.4	3.775	119000	0.942	13192.71	0.11889
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	452884	0.083	558999	0.228	5482192.5	2.763	119000	0.926	10532.41	0.064248
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	482637	0.088	596199	0.234	5480654.3	2.655	119000	0.926	4514.988	0.024836
						E[F _y]	389903			E[M _u]	3.003			389902.8	3.002945

ตารางที่ 6-86 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	604136	0.007	670000	0.026	85450580	3.678	139657	0.254	5651.582	0.034402
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	658237	0.008	730000	0.026	80765313	3.202	139657	0.261	15308.18	0.074477
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	715017	0.008	790000	0.027	84517364	3.203	139657	0.255	22521.64	0.100898
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	769627	0.009	857085	0.029	84760694	3.183	139657	0.255	17898.69	0.074021
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	823627	0.010	903831	0.028	84822564	2.915	139657	0.255	7704.887	0.027265
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	623356	0.007	697966	0.027	85274405	3.625	139657	0.254	14496.96	0.084308
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	678644	0.008	762170	0.027	86451478	3.427	139657	0.253	39236.33	0.19812
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	737492	0.009	828610	0.029	84671814	3.341	139657	0.255	57749.22	0.261616
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	799492	0.009	886983	0.031	85142865	3.248	139657	0.254	46223.21	0.187793
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	853390	0.010	946780	0.031	85338980	3.050	139657	0.254	19846.7	0.070932
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	646780	0.007	720000	0.024	86352430	3.231	139657	0.253	20372.3	0.101769
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	700678	0.008	780000	0.026	86290382	3.202	139657	0.253	54866.53	0.25073
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	760271	0.009	840000	0.027	85041521	2.998	139657	0.255	80630.7	0.317928
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	817627	0.010	896949	0.026	85705147	2.694	139657	0.254	64024.23	0.210947
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	872136	0.010	950237	0.026	87300861	2.603	139657	0.251	27470.58	0.081977
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	662237	0.008	740000	0.022	86680275	2.880	139657	0.252	15401.2	0.066968
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	724068	0.008	800000	0.025	86096052	2.985	139657	0.253	41862.53	0.172554
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	781525	0.009	864102	0.026	85976392	2.893	139657	0.253	61197.29	0.226559
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	835424	0.010	920542	0.027	85334402	2.748	139657	0.254	48300.66	0.15886
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	893627	0.010	980000	0.027	85925683	2.577	139657	0.253	20782.48	0.05993
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	674983	0.008	749695	0.022	84796872	2.789	139657	0.255	6314.348	0.02609
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	739390	0.009	814441	0.023	86478339	2.702	139657	0.252	17195.48	0.062833
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	796475	0.009	877932	0.026	86198550	2.781	139657	0.253	25087.4	0.087608
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	854915	0.010	960136	0.028	86529889	2.804	139657	0.252	19882.18	0.065202
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	905085	0.010	1000000	0.026	87027385	2.500	139657	0.252	8466.909	0.023387
$E[F_y]$						758492	$E[M_u]$				3.027	758492.2			

ตารางที่ 6-87 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	238581	0.010	313348	0.039	23138157	3.830	139657	0.488	2231.883	0.035829
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	263501	0.012	277480	0.041	22235921	3.471	139657	0.498	6128.066	0.080732
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	283086	0.012	299563	0.040	22999471	3.253	139657	0.490	8916.651	0.102467
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	308692	0.013	321276	0.042	23328055	3.163	139657	0.486	7179.037	0.07357
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	329674	0.014	334809	0.043	22925736	3.002	139657	0.490	3084.044	0.028087
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	253190	0.011	310151	0.039	23804969	3.693	139657	0.481	5888.273	0.08588
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	275423	0.012	320256	0.034	23148592	2.850	139657	0.488	15923.79	0.164764
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	303697	0.013	286827	0.044	23880949	3.483	139657	0.480	23781	0.27276
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	323925	0.014	431383	0.047	23423995	3.423	139657	0.485	18727.96	0.197898
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	337188	0.014	434342	0.016	23916973	1.169	139657	0.480	7841.748	0.027176
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	267495	0.011	218745	0.070	24451570	6.354	139657	0.475	8425.558	0.200139
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	281328	0.012	346245	0.038	23104890	3.101	139657	0.488	22029.34	0.242839
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	307031	0.013	353089	0.039	23074502	2.931	139657	0.489	32562.23	0.310808
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	326127	0.013	372436	0.032	24528634	2.380	139657	0.474	25537.37	0.186368
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	346623	0.014	430599	0.038	24461897	2.711	139657	0.475	10917.94	0.085376
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	266167	0.011	323328	0.034	24326656	3.067	139657	0.476	6190.065	0.071331
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	292247	0.012	265175	0.070	24162045	5.798	139657	0.478	16896.5	0.335241
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	312733	0.013	377574	0.039	24806147	3.069	139657	0.471	24488.57	0.240321
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	333479	0.014	386213	0.039	23225602	2.686	139657	0.487	19280.34	0.155275
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	363289	0.015	399591	0.033	24857809	2.279	139657	0.471	8448.767	0.053001
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	270807	0.012	266189	0.062	22691857	5.176	139657	0.493	2533.356	0.048423
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	296465	0.012	313113	0.033	25320409	2.823	139657	0.467	6894.683	0.065644
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	324041	0.014	286341	0.072	23169223	5.167	139657	0.488	10206.65	0.162752
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	343571	0.014	408599	0.040	23983283	2.824	139657	0.479	7990.195	0.065667
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	367406	0.015	415464	0.038	23740808	2.441	139657	0.482	3437.016	0.022832
$E[F_y]$						305541	$E[M_u]$				3.315	305541			

ตารางที่ 6-88 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1532089	0.016	1908209	0.057	94508133	3.495	139657	0.242
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1666384	0.018	2010601	0.061	93022288	3.383	139657	0.243
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1827306	0.020	2003620	0.061	93193355	3.097	139657	0.243
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1939977	0.021	2171503	0.062	93513891	3.005	139657	0.243
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2075682	0.022	2329744	0.062	94415988	2.808	139657	0.242
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1628921	0.015	2052489	0.053	111177147	3.641	139657	0.223
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1789813	0.016	2209733	0.055	112886400	3.491	139657	0.221
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1932655	0.017	2549820	0.056	112002691	3.261	139657	0.222
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2113633	0.018	2727343	0.060	114726957	3.240	139657	0.219
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2249837	0.020	2942100	0.061	111188711	3.021	139657	0.223
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1660760	0.013	1996639	0.052	130377798	4.057	139657	0.206
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1871236	0.014	2186795	0.054	133078371	3.867	139657	0.204
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2037397	0.015	2418506	0.056	132604981	3.624	139657	0.204
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2210323	0.017	2690110	0.059	128466572	3.415	139657	0.207
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2365487	0.018	3029864	0.059	129201261	3.225	139657	0.207
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1736558	0.012	1894912	0.046	145828241	3.905	139657	0.194
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1919517	0.013	2091717	0.053	145160336	4.017	139657	0.195
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2092720	0.014	2401884	0.053	146255136	3.732	139657	0.194
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2258616	0.016	2652877	0.056	144854776	3.590	139657	0.195
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2391905	0.016	3029864	0.059	146984647	3.641	139657	0.194
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1772299	0.011	1831748	0.053	159425220	4.811	139657	0.186
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1964005	0.012	2120972	0.053	157707700	4.220	139657	0.187
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2106866	0.013	2376951	0.053	161328905	4.074	139657	0.185
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2293053	0.014	2652877	0.054	158853086	3.751	139657	0.186
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2448661	0.016	2902207	0.055	156678987	3.500	139657	0.188
E[F _y]							E[M _u]				3.587	2011199	
												3.587347	

ตารางที่ 6-89 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	605042	0.024	892437	0.086	25590745	3.639	139657	0.464
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	667075	0.026	764248	0.096	25610453	3.667	139657	0.464
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	723457	0.029	759760	0.090	25360444	3.145	139657	0.466
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	778111	0.030	813981	0.090	25737132	2.987	139657	0.463
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	830836	0.033	863016	0.094	25518635	2.893	139657	0.465
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	661623	0.021	912051	0.079	31035907	3.709	139657	0.421
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	726383	0.024	928507	0.070	30226912	2.903	139657	0.427
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	795863	0.025	882630	0.086	31589385	3.400	139657	0.418
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	856367	0.027	1326438	0.093	31562994	3.414	139657	0.418
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	888946	0.029	1349709	0.033	31161580	1.158	139657	0.421
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	686856	0.019	606605	0.148	36917802	7.979	139657	0.386
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	751316	0.021	970727	0.079	35632722	3.745	139657	0.393
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	822791	0.023	1016604	0.081	35979999	3.542	139657	0.391
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	881633	0.024	1117001	0.072	36766864	3.017	139657	0.387
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	940142	0.026	1372980	0.087	36202483	3.358	139657	0.390
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	697959	0.017	827944	0.071	40926421	4.159	139657	0.367
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	774753	0.019	693338	0.148	40737880	7.804	139657	0.368
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	837418	0.020	1049515	0.079	42197937	3.958	139657	0.361
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	901579	0.023	1113011	0.080	39425358	3.509	139657	0.374
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	972389	0.023	1214406	0.074	42521819	3.220	139657	0.360
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	711057	0.017	650387	0.149	42662592	8.930	139657	0.359
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	787485	0.017	815411	0.075	46175996	4.409	139657	0.346
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	857165	0.020	775252	0.150	43363436	7.569	139657	0.357
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	921526	0.021	1128969	0.079	44028932	3.778	139657	0.354
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	993998	0.023	1205762	0.079	42741555	3.417	139657	0.359
E[F _y]							E[M _u]				4.002	810127.8	
												4.00184	

ตารางที่ 6-90 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)			
							X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _p (N/m)						
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1517867	0.017	1901561	0.057	9065203	3.424	139657	0.246	14199.38	0.032034	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1651529	0.018	1996639	0.061	93627231	3.474	139657	0.243	38408.47	0.080803	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1816790	0.020	2010601	0.061	92915215	3.130	139657	0.244	57225.35	0.098601	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1940135	0.021	2163856	0.062	93090747	2.984	139657	0.243	45120.4	0.069392	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2073159	0.022	2353680	0.063	93566814	2.840	139657	0.243	19394.04	0.026569	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1626610	0.014	2059470	0.054	114099016	3.787	139657	0.220	37828.96	0.088075	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1794274	0.016	2217379	0.055	111242425	3.432	139657	0.223	103737.3	0.198398	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1927329	0.017	2532533	0.057	113285700	3.335	139657	0.221	150919.3	0.261173	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2117044	0.019	2736652	0.060	111582255	3.146	139657	0.222	122398.5	0.181892	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2242849	0.020	2932127	0.061	113959098	3.089	139657	0.220	52160.4	0.071846	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1667584	0.013	1996639	0.051	125924064	3.868	139657	0.209	52525.64	0.121839	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1862573	0.014	2194441	0.054	129784064	3.777	139657	0.206	145848.6	0.29578	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2047645	0.016	2418506	0.056	128912341	3.515	139657	0.207	217163.4	0.372815	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2200893	0.017	2699418	0.059	129209975	3.468	139657	0.207	172340.8	0.271552	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2330830	0.018	3029864	0.059	131230605	3.314	139657	0.205	73416.62	0.104388	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1739174	0.012	1908209	0.048	143661066	3.954	139657	0.196	40446.79	0.091962	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1901141	0.013	2077089	0.052	147811666	4.081	139657	0.193	109915.9	0.235939	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2072013	0.014	2401884	0.053	144875359	3.711	139657	0.195	162248.8	0.290563	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2253740	0.015	2652877	0.056	147227026	3.666	139657	0.194	130301.7	0.211942	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2433699	0.017	2998948	0.058	143873537	3.445	139657	0.196	56598.88	0.080125	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1787295	0.011	1825432	0.053	158743923	4.672	139657	0.186	16719.83	0.043702	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1951919	0.012	2128285	0.052	159819868	4.265	139657	0.186	45394.44	0.099195	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2111075	0.013	2352018	0.053	158382259	3.946	139657	0.187	66494.76	0.124293	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2296710	0.014	2643568	0.054	159175498	3.753	139657	0.186	53413.01	0.087274	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2463413	0.016	2892234	0.055	157796879	3.493	139657	0.187	23044.8	0.03268	
E[F _y]							2007266				E[M _u]		3.573		2007266	
															3.572833	

ตารางที่ 6-91 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c *Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)										
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	611092	0.024	883361	0.087	25846653	3.672	139657	0.462	5716.662	0.034353	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	667075	0.026	769500	0.096	25687376	3.701	139657	0.463	15513.72	0.086083	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	726158	0.028	759760	0.091	25629787	3.201	139657	0.464	22872.56	0.100831	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	775351	0.031	813981	0.090	24676217	2.868	139657	0.473	18031.82	0.066709	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	827910	0.033	863016	0.092	25031301	2.787	139657	0.469	7744.955	0.020676	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	661623	0.021	905868	0.080	31378870	3.784	139657	0.419	15386.93	0.08801	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	723225	0.023	931665	0.070	31098416	3.017	139657	0.421	41813.79	0.174409	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	795863	0.025	879638	0.088	32083486	3.547	139657	0.415	62319.99	0.277738	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	847059	0.029	1321784	0.091	29693232	3.188	139657	0.431	48973.35	0.184341	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	888946	0.029	1345055	0.091	30715815	3.143	139657	0.424	20673.62	0.07309	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	686856	0.020	608965	0.149	34747595	7.530	139657	0.398	21634.62	0.237167	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	744667	0.021	980700	0.078	35578934	3.741	139657	0.394	58311.1	0.292923	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	815477	0.023	1009290	0.080	35065229	3.433	139657	0.397	86485.56	0.36412	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	893601	0.024	1101044	0.071	36633481	2.898	139657	0.388	69973.32	0.22695	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	940142	0.026	1368326	0.087	36202483	3.343	139657	0.390	29612.65	0.105307	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	703611	0.017	827944	0.071	40521237	4.095	139657	0.369	13634.4	0.095242	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	772127	0.019	693654	0.148	39841418	7.640	139657	0.372	44641.09	0.441709	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	830104	0.021	1049515	0.078	39369428	3.706	139657	0.374	65001.26	0.290194	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	901579	0.023	1109022	0.080	39425358	3.492	139657	0.374	52125.48	0.201867	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	972389	0.024	1214406	0.082	41127985	3.459	139657	0.366	22614.19	0.080445	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	711057	0.016	652814	0.149	43679429	9.167	139657	0.355	6651.817	0.085753	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	787485	0.018	815411	0.074	43228052	4.064	139657	0.357	18314.01	0.09451	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	851314	0.019	781103	0.150	44824878	7.878	139657	0.351	26814.74	0.24813	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	917536	0.021	1140936	0.080	44385461	3.860	139657	0.352	21338.51	0.089768	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	993998	0.022	1201441	0.080	45363162	3.642	139657	0.349	928.673	0.034066	
						E[F _y]	808228		E[M _u]		4.000		808227.8			3.999794

ตารางที่ 6-92 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	539831	0.020	643390	0.049	26724282	2.436	139657	0.454	5050.019	0.022785
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	595525	0.022	715119	0.057	26825468	2.572	139657	0.453	13849.73	0.059817
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	654373	0.025	760000	0.053	26492830	2.134	139657	0.456	20611.47	0.067204
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	700576	0.026	824373	0.059	26536981	2.216	139657	0.456	16292.82	0.051534
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	739797	0.027	880000	0.060	27098777	2.190	139657	0.451	6920.667	0.020492
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	560136	0.021	670780	0.051	26929596	2.457	139657	0.452	13026.69	0.057135
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	611220	0.023	730000	0.052	26574796	2.248	139657	0.455	35338.17	0.12996
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	669492	0.025	784644	0.052	26462115	2.051	139657	0.456	52424.48	0.160633
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	717559	0.027	834305	0.053	26478203	1.952	139657	0.456	41486.24	0.112858
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	765763	0.029	887797	0.055	26681627	1.913	139657	0.455	17808.82	0.044487
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	583186	0.022	680000	0.046	26751670	2.092	139657	0.454	18369.24	0.065886
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	629627	0.024	732475	0.047	26679114	1.987	139657	0.455	49302.9	0.155614
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	693593	0.026	790000	0.047	26676665	1.819	139657	0.455	73559.17	0.192939
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	734644	0.028	840000	0.048	26521448	1.718	139657	0.456	57526.25	0.13456
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	787119	0.029	900000	0.051	26864116	1.730	139657	0.453	24792.71	0.054503
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	593220	0.022	700000	0.048	26842548	2.167	139657	0.453	13796.12	0.050406
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	649220	0.024	752271	0.046	26607389	1.898	139657	0.455	37535.17	0.109708
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	702915	0.027	807254	0.048	26525106	1.808	139657	0.456	55041.73	0.14154
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	757966	0.029	854170	0.047	26409969	1.648	139657	0.457	43822.39	0.095285
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	807729	0.030	913763	0.049	26657716	1.601	139657	0.455	18784.8	0.037225
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	604102	0.023	705186	0.043	26730164	1.912	139657	0.454	5651.265	0.017882
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	657763	0.024	770000	0.048	26957488	1.984	139657	0.452	15297.14	0.046131
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	725898	0.028	827186	0.048	26300663	1.739	139657	0.458	22864.39	0.054779
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	775356	0.029	880949	0.049	26553284	1.668	139657	0.456	18031.92	0.038787
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	822102	0.031	927254	0.050	26866069	1.618	139657	0.453	7690.617	0.015133
					[F _y]	684875				[E _m]	1.937			684874.9	1.937284

ตารางที่ 6-93 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	81190	0.053	101804	0.192	1543316.6	3.644	139657	1.890	759.5155	0.034087
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	88240	0.058	70710	0.215	1526401.1	3.721	139657	1.901	2052.14	0.08653
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	95991	0.064	82247	0.189	1503519	2.959	139657	1.915	3023.524	0.093211
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	103872	0.068	92387	0.200	1516848.4	2.916	139657	1.907	2415.688	0.067806
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	109267	0.070	102650	0.197	1558415.6	2.806	139657	1.881	1022.171	0.026246
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	87557	0.055	133698	0.443	1589333.3	8.034	139657	1.863	2036.254	0.186838
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	93781	0.059	109540	0.210	1589623.1	3.565	139657	1.862	5422.014	0.206125
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	102995	0.066	134517	0.206	1557537.3	3.118	139657	1.881	8065.018	0.244155
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	109709	0.069	150846	0.192	1579312.2	2.760	139657	1.868	6342.894	0.159551
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	117333	0.075	150646	0.190	1567536.8	2.536	139657	1.875	2728.735	0.058971
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	91138	0.058	71197	0.203	1576202.3	3.507	139657	1.870	2870.679	0.110449
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	98384	0.061	120123	0.173	1600388.2	2.818	139657	1.856	7703.965	0.220654
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	107368	0.068	129495	0.159	1577047.6	2.332	139657	1.870	11386.95	0.247372
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	114601	0.072	135304	0.184	1602071.1	2.566	139657	1.855	8973.828	0.20091
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	123715	0.076	155599	0.185	1626790.4	2.429	139657	1.841	3896.78	0.076495
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	96872	0.061	126000	0.370	1599430.7	6.102	139657	1.857	2252.892	0.141899
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	101884	0.064	84695	0.210	1582548.9	3.269	139657	1.867	5890.486	0.188999
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	111612	0.068	131356	0.160	1634844.4	2.337	139657	1.836	8739.734	0.182999
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	119348	0.073	141141	0.153	1625030.5	2.079	139657	1.842	6900.217	0.120197
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	127273	0.077	163240	0.205	1648732.5	2.662	139657	1.829	2959.896	0.0619
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	99394	0.063	128869	0.279	1589625.4	4.468	139657	1.862	929.8164	0.041794
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	104887	0.063	89691	0.227	1656606	3.593	139657	1.824	2439.293	0.083551
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	115586	0.072	97390	0.216	1616289.2	3.017	139657	1.847	3640.722	0.095025
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	122213	0.074	143863	0.157	1658953	2.128	139657	1.823	2842.227	0.049501
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	129375	0.079	156681	0.169	1638418.6	2.138	139657	1.834	1210.276	0.019999
					[F _y]	106506				[M _u]	3.005			106505.7	3.005264

ตารางที่ 6-94 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2168843	0.037	2690110	0.077	58291264	2.059	139657	0.308	20289.15	0.01926
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2415700	0.041	2699418	0.080	59045526	1.949	139657	0.306	56180.29	0.04533
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2637928	0.045	2912180	0.084	59111606	1.873	139657	0.305	83089.59	0.058983
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2805634	0.048	3214369	0.088	58994850	1.841	139657	0.306	65248.72	0.042811
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3012932	0.051	3434777	0.091	58902697	1.785	139657	0.306	28185.45	0.016701
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2337723	0.032	2337723	0.032	71956502	1.000	139657	0.277	54366.82	0.023257
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2576415	0.037	3009253	0.060	70455464	1.647	139657	0.280	148957.4	0.095198
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2804469	0.040	3591689	0.075	70936371	1.892	139657	0.279	219603.8	0.148164
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2994958	0.042	3785834	0.083	71247458	1.964	139657	0.278	173155.8	0.113567
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3155527	0.044	4118940	0.086	71251762	1.949	139657	0.278	73385.93	0.065332
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2439117	0.030	2786185	0.067	82628721	2.280	139657	0.258	76827.45	0.071809
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2656201	0.032	3277865	0.070	82263345	2.176	139657	0.259	207993.6	0.170404
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2902200	0.035	3434777	0.073	83079122	2.102	139657	0.258	307793.3	0.222919
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	3132921	0.038	3688762	0.072	82222415	1.881	139657	0.259	245323.1	0.147309
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	3306123	0.040	4323391	0.082	81997100	2.037	139657	0.259	104136.5	0.064169
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2418506	0.026	2418506	0.026	92937245	1.000	139657	0.244	56245.54	0.023257
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2731000	0.030	3040170	0.066	92033430	2.218	139657	0.245	157894.8	0.128259
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2952073	0.032	3579389	0.070	92206182	2.181	139657	0.245	231161.9	0.170764
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	3202401	0.035	3746939	0.073	91767238	2.086	139657	0.245	185149.3	0.12063
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3434777	0.037	4007240	0.070	91775162	1.882	139657	0.245	79880.27	0.043777
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2435128	0.024	2435128	0.024	101332775	1.000	139657	0.233	22780.19	0.009355
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2761917	0.028	3019559	0.064	99410332	2.286	139657	0.236	64232.02	0.053157
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	3017896	0.030	3334380	0.067	99610405	2.200	139657	0.235	95057.87	0.069296
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	3271216	0.033	3882907	0.070	99902762	2.148	139657	0.235	76076.44	0.049949
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3504589	0.035	4035165	0.069	100802178	1.980	139657	0.234	32784.82	0.018518
E[F _y]						2865800	E[M _u]		1.972	2865800		1.972175			

ตารางที่ 6-95 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	326191	0.097	425657	0.298	3366297.1	3.080	139657	1.280	3051.458	0.028813
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	357939	0.107	266917	0.300	3359760.7	2.820	139657	1.281	8324.339	0.065573
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	386961	0.115	315154	0.300	3354697.3	2.597	139657	1.282	12188.52	0.081807
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	415983	0.123	360233	0.299	3372133.6	2.422	139657	1.279	9674.233	0.056329
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	445005	0.131	400658	0.300	3387417.8	2.287	139657	1.276	4162.944	0.021391
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	365419	0.086	465949	0.281	4246735.2	3.270	139657	1.139	8498.296	0.076054
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	395305	0.094	451554	0.245	4214430.6	2.612	139657	1.144	22854.87	0.150991
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	431442	0.103	615747	0.297	4175253.9	2.876	139657	1.149	33784	0.225203
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	457904	0.108	684495	0.299	4249607.8	2.777	139657	1.139	26474.05	0.160553
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	483502	0.116	698923	0.298	4186017.6	2.584	139657	1.148	11244.47	0.060092
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	381177	0.078	291717	0.299	4868465.6	3.822	139657	1.064	12006.32	0.120378
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	415052	0.084	537557	0.260	4934694.8	3.086	139657	1.057	32500.64	0.241625
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	449260	0.091	563022	0.247	4911398.3	2.695	139657	1.060	47646.39	0.28581
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	488721	0.098	594171	0.276	4966778.4	2.809	139657	1.054	38269.27	0.219944
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	519638	0.105	747460	0.299	4965437.7	2.859	139657	1.054	16367.59	0.090061
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	394940	0.071	435331	0.201	5537726.2	2.815	139657	0.998	9184.84	0.065471
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	428583	0.078	342281	0.299	5473945.6	3.822	139657	1.004	24778.83	0.220958
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	468741	0.082	582436	0.233	5683022.2	2.820	139657	0.985	36704.76	0.220783
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	504246	0.089	619137	0.235	5646525.6	2.632	139657	0.988	29153.37	0.152169
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	541213	0.095	715878	0.298	5676131	3.130	139657	0.986	12586.63	0.072794
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	400658	0.066	445005	0.155	6026194	2.337	139657	0.957	3748.081	0.021865
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	440417	0.072	351722	0.298	6109017	4.140	139657	0.950	10242.49	0.096276
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	480543	0.079	392579	0.300	6121488.9	3.816	139657	0.949	15136.17	0.120207
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	515615	0.083	634097	0.226	6241562.5	2.741	139657	0.940	11991.32	0.063746
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	551519	0.090	681836	0.235	6147388.5	2.616	139657	0.947	5159.364	0.024473
E[Fy]						445733		E[M _u]		2.943		445733.2			2.943367

ตารางที่ 6-96 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2180953	0.043	2690110	0.084	51308820	1.966	139657	0.328	20402.43
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2374694	0.047	2680802	0.081	50759515	1.739	139657	0.330	55226.63
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2588192	0.051	2947419	0.090	50820778	1.768	139657	0.329	81523.03
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2774379	0.054	3192428	0.095	51099319	1.754	139657	0.328	64521.84
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2973542	0.058	3351002	0.097	51158254	1.669	139657	0.328	27816.96
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2411787	0.039	2824749	0.078	62120427	2.004	139657	0.298	56089.28
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2582887	0.041	3074411	0.079	62729325	1.928	139657	0.296	149331.6
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2826258	0.045	3518553	0.085	62185118	1.861	139657	0.298	221309.9
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2983546	0.048	3922800	0.094	62183377	1.960	139657	0.298	172496
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3197895	0.051	4020870	0.094	63110595	1.855	139657	0.296	74371.26
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2460272	0.034	2718035	0.069	71906288	2.025	139657	0.277	77493.8
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2676068	0.036	3203399	0.075	73602468	2.069	139657	0.274	209549.3
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2937565	0.040	3277865	0.071	72562528	1.745	139657	0.276	311544
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	3182736	0.044	3616290	0.082	71608391	1.840	139657	0.277	249223.9
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	3330797	0.046	4256570	0.090	72574962	1.956	139657	0.276	104913.6
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2501312	0.031	2844030	0.064	81615885	2.083	139657	0.260	58171.31
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2753458	0.034	3138240	0.070	80379609	2.035	139657	0.262	159193.3
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2950182	0.037	3603989	0.076	80244305	2.073	139657	0.262	231013.7
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	3276252	0.040	3759904	0.079	81888749	1.964	139657	0.259	189419
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3493226	0.043	3939089	0.074	80880174	1.723	139657	0.261	12109.56
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2550963	0.029	2786185	0.064	88671529	2.230	139657	0.249	23863.81
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2807368	0.032	3116964	0.068	88200479	2.129	139657	0.250	65289.05
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	3042265	0.034	3506584	0.071	88450214	2.055	139657	0.250	95825.43
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	3216611	0.036	3869610	0.075	89993467	2.104	139657	0.248	74806.52
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3541852	0.040	4131241	0.078	87868728	1.940	139657	0.250	33133.41
E[F _y]							E[M _u]				1.932	2887769		
												1.931897		

ตารางที่ 6-97 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT2H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	327620	0.096	432339	0.299	3408309	3.113	139657	1.272	3064.83
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	356709	0.105	265687	0.298	3408556.4	2.852	139657	1.272	8295.734
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	384301	0.116	311164	0.298	3304994.2	2.567	139657	1.292	12104.75
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	411695	0.122	355944	0.298	3361293	2.430	139657	1.281	9574.498
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	440417	0.132	402187	0.301	3332178.5	2.279	139657	1.286	4120.027
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	362360	0.086	482039	0.292	4227699.1	3.411	139657	1.142	8427.166
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	399993	0.095	456242	0.249	4229414.2	2.631	139657	1.142	23125.88
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	431508	0.102	351057	0.298	4249217.1	2.939	139657	1.139	33789.2
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	460763	0.108	679509	0.299	4276141.2	2.777	139657	1.135	26639.35
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	483867	0.115	696297	0.298	4217481	2.595	139657	1.143	11252.97
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	379880	0.078	290420	0.299	4900475.1	3.860	139657	1.061	11965.48
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	415052	0.086	535728	0.261	4823552.8	3.036	139657	1.069	32500.64
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	451188	0.090	564950	0.243	5017554	2.698	139657	1.048	47850.88
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	487092	0.098	634097	0.299	4986916.8	3.064	139657	1.051	38141.71
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	511959	0.103	755139	0.300	4954454.5	2.899	139657	1.055	16125.7
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	393444	0.070	432339	0.201	5581471.4	2.852	139657	0.994	9150.047
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	431508	0.078	340818	0.300	5553513.5	3.856	139657	0.996	24947.96
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	464752	0.084	582436	0.239	5500284.8	2.826	139657	1.001	36392.38
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	502118	0.091	621265	0.236	5507918.8	2.592	139657	1.001	29030.36
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	538753	0.096	713484	0.300	5604774.4	3.117	139657	0.992	12529.42
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	400658	0.064	445005	0.155	6303016.3	2.439	139657	0.935	3748.081
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	445005	0.071	356310	0.298	6308281.2	4.231	139657	0.935	10349.18
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	477285	0.078	392579	0.301	6142665.6	3.876	139657	0.947	15033.55
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	515615	0.081	638486	0.228	6332708.8	2.796	139657	0.933	11991.32
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	551519	0.088	679509	0.235	6259154.1	2.664	139657	0.939	5159.364
E[F _y]							E[M _u]				2.979	445310.5		
												2.979391		

ตารางที่ 6-98 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	486915	0.007	538170	0.025	65156604	3.332	135585	0.287	4555.007 0.03117
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	530000	0.008	588000	0.026	62610750	3.119	135585	0.292	12325.85 0.07253
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	570576	0.009	637831	0.029	64131314	3.237	135585	0.289	17972.04 0.101961
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	613153	0.010	673085	0.027	63179042	2.761	135585	0.291	14259.67 0.064221
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	654102	0.010	720000	0.028	63505019	2.718	135585	0.290	6119.006 0.025431
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	504305	0.008	568068	0.025	63771510	3.174	135585	0.290	11728.28 0.073816
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	544339	0.008	617898	0.026	64686750	3.054	135585	0.288	31471.37 0.176573
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	588407	0.009	657763	0.027	63625303	2.898	135585	0.290	46075.15 0.226922
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	637017	0.010	715119	0.029	63701690	2.920	135585	0.290	36829.62 0.168822
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	674983	0.011	760000	0.030	63677651	2.821	135585	0.290	15697.62 0.0656
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	524949	0.008	580000	0.024	63607064	2.932	135585	0.290	16534.88 0.092361
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	563797	0.009	623593	0.024	65013446	2.744	135585	0.287	44148.05 0.214905
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	603932	0.009	668475	0.024	64453810	2.583	135585	0.288	64050.14 0.27391
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	645864	0.010	722576	0.026	64657563	2.563	135585	0.288	50574.36 0.200681
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	689085	0.011	767390	0.026	65008000	2.491	135585	0.287	21704.83 0.078448
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	541017	0.008	591864	0.022	63784119	2.641	135585	0.290	12582.06 0.061417
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	581695	0.009	643390	0.024	63022199	2.622	135585	0.291	33631.13 0.151586
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	624509	0.010	690000	0.025	63331153	2.495	135585	0.291	48902.09 0.195345
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	667254	0.010	734983	0.025	64159067	2.413	135585	0.289	38577.82 0.139536
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	708610	0.011	769424	0.024	63838757	2.180	135585	0.290	16479.66 0.050703
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	550644	0.009	611593	0.022	63002757	2.540	135585	0.291	5151.179 0.023762
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	597356	0.009	655525	0.023	62925935	2.433	135585	0.292	13892.3 0.056591
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	640678	0.010	700000	0.024	63433455	2.356	135585	0.290	20180.11 0.074223
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	683864	0.011	759559	0.025	62739853	2.330	135585	0.292	15904.17 0.054194
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	724068	0.011	797288	0.026	64076796	2.301	135585	0.289	6773.527 0.021524
					$E[F_y]$	606120				$E[M_u]$	2.696			606119.9 2.696233

ตารางที่ 6-99 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	203268	0.011	244187	0.032	18933356	2.977	135585	0.532	1901.537 0.027847
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	233128	0.013	256863	0.042	18126512	3.233	135585	0.543	5421.698 0.075194
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	232257	0.013	261032	0.036	18310893	2.877	135585	0.541	7315.641 0.090611
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	256244	0.014	329882	0.041	18152329	2.891	135585	0.543	5959.302 0.067224
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	275920	0.015	332308	0.042	18255784	2.784	135585	0.541	2581.182 0.026048
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	207165	0.011	203289	0.028	18048882	2.443	135585	0.545	4817.896 0.056806
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	225505	0.012	274366	0.038	18811081	3.133	135585	0.533	13037.75 0.181155
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	244992	0.013	283611	0.040	18492721	2.988	135585	0.538	19184.05 0.233985
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	266621	0.014	307812	0.035	18546201	2.400	135585	0.537	15414.92 0.138785
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	283569	0.016	360896	0.046	18096471	2.936	135585	0.544	6594.778 0.068276
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	215823	0.012	228911	0.038	18328136	3.215	135585	0.540	6798.019 0.101256
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	236447	0.012	231679	0.032	19139433	2.587	135585	0.529	18514.99 0.20259
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	249572	0.013	288576	0.035	18677871	2.617	135585	0.535	26468.38 0.277571
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	267892	0.014	313189	0.037	18689992	2.602	135585	0.535	20977.28 0.203734
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	302682	0.016	338412	0.037	18980878	2.341	135585	0.531	9533.893 0.073743
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	221759	0.012	238231	0.031	18222777	2.543	135585	0.542	5157.308 0.059132
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	241612	0.013	311777	0.042	18734922	3.239	135585	0.535	13968.98 0.187247
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	260209	0.014	257789	0.033	18528089	2.352	135585	0.537	20375.61 0.184158
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	277209	0.015	314720	0.037	18597326	2.470	135585	0.536	16027.06 0.142797
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	294998	0.016	328940	0.035	18475266	2.169	135585	0.538	6860.569 0.05045
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	226836	0.013	243289	0.031	18048096	2.445	135585	0.545	2122.013 0.022876
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	244534	0.014	265826	0.032	17780007	2.320	135585	0.549	5686.971 0.053966
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	263422	0.014	269500	0.032	18442747	2.252	135585	0.539	8297.276 0.070946
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	285324	0.016	279793	0.036	18012060	2.250	135585	0.545	6635.578 0.052338
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	300829	0.016	344317	0.037	18696961	2.275	135585	0.535	2814.202 0.021279
					$E[F_y]$	252467				$E[M_u]$	2.670			252466.9 2.670015

ตารางที่ 6-100 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1335414	0.016	1717389	0.062	85214232	3.968	135585	0.251	12492.57
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1449999	0.017	1863330	0.061	84876089	3.591	135585	0.251	33721.65
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1654546	0.019	2240318	0.069	86436223	3.600	135585	0.249	52114.98
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1723514	0.020	2368640	0.063	85630349	3.127	135585	0.250	40082.58
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1806658	0.021	2549820	0.064	85560373	3.039	135585	0.250	16900.97
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1392385	0.013	1621978	0.064	105908609	4.864	135585	0.225	32381.75
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1523811	0.015	1921507	0.053	104241329	3.643	135585	0.227	88100.32
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1663133	0.016	2069776	0.055	105047649	3.496	135585	0.226	130231.5
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1942142	0.019	2255610	0.061	103513261	3.236	135585	0.227	112286.4
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1929014	0.018	2611986	0.059	105092332	3.206	135585	0.226	44861.77
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1413699	0.012	1510610	0.046	120711051	3.956	135585	0.211	44528.78
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1547370	0.013	1768584	0.053	120954978	4.156	135585	0.210	121166.7
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1708342	0.014	2120972	0.054	120559528	3.786	135585	0.211	181178.5
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1883245	0.016	2217379	0.055	121379357	3.541	135585	0.210	147467.4
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2019142	0.017	2523890	0.060	120497646	3.585	135585	0.211	63599.05
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1439904	0.011	1510610	0.051	134430935	4.794	135585	0.200	33486.87
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1561772	0.012	1774901	0.048	134120749	4.089	135585	0.200	90295.05
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1746477	0.013	1968714	0.053	133153043	4.067	135585	0.200	136757.7
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1902929	0.014	2305809	0.052	134965077	3.705	135585	0.199	110019.3
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2063574	0.015	2472029	0.054	134276959	3.546	135585	0.200	47991.13
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1451127	0.010	1553163	0.051	147893894	5.206	135585	0.190	13575.03
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1638676	0.011	1705421	0.052	149555092	4.732	135585	0.189	38109.57
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1797550	0.012	1948102	0.052	146270829	4.226	135585	0.191	56619.33
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1933315	0.013	2209733	0.053	149370610	4.062	135585	0.189	44961.79
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2103819	0.014	2497959	0.054	147960893	3.828	135585	0.190	19680.85
E[Fy]							E[M _u]				3.821		1712612	
													3.82121	

ตารางที่ 6-101 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	557483	0.023	779241	0.080	24761748	3.545	135585	0.465	5215.156
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	637803	0.026	813981	0.097	24572576	3.723	135585	0.467	14832.94
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	673494	0.027	706104	0.087	24679432	3.199	135585	0.466	21213.75
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	720279	0.029	1160883	0.096	24602941	3.273	135585	0.466	16751.03
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	762103	0.031	1176840	0.096	24596035	3.112	135585	0.467	7129.34
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	571982	0.019	580441	0.071	29974702	3.743	135585	0.423	13302.2
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	631275	0.021	853209	0.078	30313658	3.737	135585	0.420	36497.62
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	692469	0.023	892437	0.082	30532143	3.605	135585	0.419	54223.75
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	812877	0.027	970893	0.072	30136999	2.660	135585	0.421	46997.13
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	810404	0.027	1240336	0.091	29866058	3.337	135585	0.423	18847.02
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	581217	0.017	596199	0.072	34782435	4.337	135585	0.392	18307.21
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	648943	0.018	657069	0.071	35608168	3.918	135585	0.388	50815.41
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	705963	0.020	915608	0.078	34936574	3.836	135585	0.391	74871.05
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	781134	0.022	961086	0.080	35086062	3.595	135585	0.391	61166.66
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	886912	0.025	1113011	0.085	35182609	3.370	135585	0.390	27936.02
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	590208	0.015	608034	0.071	38406189	4.616	135585	0.373	13726.06
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	648696	0.016	860091	0.082	39870740	5.050	135585	0.366	37504.83
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	727689	0.019	735525	0.072	38955101	3.834	135585	0.371	56981.65
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	790567	0.020	987349	0.077	39121353	3.792	135585	0.370	45707.25
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	859076	0.022	1056829	0.078	38860445	3.528	135585	0.371	19978.95
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	597787	0.014	617841	0.071	42366451	5.012	135585	0.355	5592.196
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	670811	0.016	691576	0.072	42257467	4.512	135585	0.356	15600.59
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	739083	0.017	750019	0.070	42527021	4.040	135585	0.355	23279.67
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	806623	0.019	813981	0.074	42882989	3.923	135585	0.353	18759.08
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	874075	0.020	1078770	0.077	43173491	3.785	135585	0.352	8176.818
E[Fy]							E[M _u]				3.787		713413.4	
													3.786997	

ตารางที่ 6-102 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อมา GPT3 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	P_f'	P_{fy}	$P_f' * P_{fy}$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1317273	0.015	1705421	0.062	85233621	3.992	135585	0.251
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1446242	0.017	1857014	0.061	85821566	3.621	135585	0.250
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1604794	0.019	2247964	0.069	85720334	3.691	135585	0.250
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1735747	0.020	2360329	0.063	86060062	3.112	135585	0.249
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1804252	0.021	2549820	0.064	86323907	3.070	135585	0.249
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1354404	0.013	1621978	0.064	105031693	4.946	135585	0.226
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1519505	0.015	1914858	0.054	104369765	3.687	135585	0.226
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1660379	0.016	2084403	0.056	104133372	3.494	135585	0.227
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1822398	0.017	2247964	0.061	104187992	3.481	135585	0.227
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1926730	0.018	2629938	0.059	105461790	3.213	135585	0.225
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1398511	0.011	1505291	0.046	122478151	4.045	135585	0.209
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1559549	0.013	1768584	0.053	120936003	4.112	135585	0.210
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1712848	0.014	2113658	0.054	120704059	3.835	135585	0.211
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1863733	0.015	2209733	0.055	121650111	3.567	135585	0.210
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2009306	0.017	2523890	0.060	121578306	3.635	135585	0.210
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1438662	0.010	1515929	0.051	137774983	4.931	135585	0.197
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1584640	0.012	1774901	0.048	134045664	4.027	135585	0.200
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1737228	0.013	1975695	0.054	133496687	4.112	135585	0.200
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1905330	0.014	2289851	0.052	135054020	3.713	135585	0.199
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2068873	0.015	2472029	0.054	134973783	3.536	135585	0.199
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1461512	0.010	1547844	0.051	147793961	5.165	135585	0.190
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1637244	0.011	1693453	0.051	149637900	4.667	135585	0.189
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1793601	0.012	1954751	0.052	148568279	4.276	135585	0.190
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1923362	0.013	2209733	0.052	150067388	4.091	135585	0.189
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2109366	0.014	2489316	0.054	148575715	3.814	135585	0.190
					$E[F_y]$	1702431				$E[M_u]$	3.855		1702431
													3.855325

ตารางที่ 6-103 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ต่อมา GPT3 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	P_f'	P_{fy}	$P_f' * P_{fy}$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	551025	0.022	776581	0.080	24496005	3.548	135585	0.467
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	607388	0.025	811222	0.097	24562687	3.920	135585	0.467
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	671648	0.027	706104	0.087	24801283	3.195	135585	0.465
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	713867	0.029	1160883	0.096	24683410	3.313	135585	0.466
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	764420	0.031	1176840	0.097	24671018	3.142	135585	0.466
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	570440	0.019	582436	0.072	30143326	3.788	135585	0.421
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	632013	0.021	847425	0.078	30511129	3.787	135585	0.419
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	691795	0.022	886387	0.081	30768057	3.604	135585	0.417
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	757608	0.025	970893	0.072	30370665	2.876	135585	0.420
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	815455	0.027	1240336	0.091	30051757	3.342	135585	0.422
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	581942	0.017	596199	0.073	34961045	4.365	135585	0.391
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	647857	0.018	657069	0.071	35969668	3.964	135585	0.386
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	712819	0.020	915608	0.078	35115740	3.838	135585	0.390
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	776172	0.022	961086	0.079	34816643	3.550	135585	0.392
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	843836	0.024	1117001	0.086	34609102	3.510	135585	0.393
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	587173	0.015	608034	0.071	38775807	4.699	135585	0.372
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	657662	0.017	860091	0.082	39773475	4.988	135585	0.367
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	726792	0.018	735525	0.072	39294514	3.873	135585	0.369
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	790134	0.020	991006	0.077	38768754	3.759	135585	0.372
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	860170	0.022	1053172	0.079	38932520	3.561	135585	0.371
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	594382	0.014	617841	0.070	42470859	5.037	135585	0.355
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	669162	0.016	693937	0.071	42511197	4.536	135585	0.355
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	739637	0.017	750019	0.070	42347058	4.003	135585	0.356
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	801930	0.018	813981	0.072	43807054	3.913	135585	0.350
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	868595	0.020	1078770	0.076	42802103	3.744	135585	0.354
					$E[F_y]$	708420				$E[M_u]$	3.814		708420.4
													3.813944

ตารางที่ 6-104 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	453017	0.023	512949	0.053	19611121	2.281	135585	0.522	4237.893	0.021342
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	482170	0.024	548610	0.051	20344705	2.148	135585	0.513	11213.49	0.049947
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	514576	0.025	589831	0.050	20917736	2.037	135585	0.506	16208.15	0.064148
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	548881	0.026	631322	0.050	21029939	1.920	135585	0.505	12764.96	0.044641
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	590102	0.028	675390	0.052	21150599	1.853	135585	0.503	5520.298	0.017335
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	453966	0.022	530847	0.049	20824133	2.229	135585	0.507	10557.58	0.051847
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	489559	0.023	572136	0.049	21011129	2.099	135585	0.505	28304.24	0.121339
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	531729	0.025	620000	0.051	21016949	1.996	135585	0.505	41636.98	0.1563
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	567797	0.027	663186	0.052	20951904	1.930	135585	0.505	32827.59	0.111578
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	611322	0.029	700373	0.053	20935688	1.805	135585	0.506	14217.1	0.041973
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	464237	0.022	548136	0.049	20817816	2.184	135585	0.507	14622.57	0.068787
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	506441	0.024	591864	0.050	21101696	2.088	135585	0.504	39656.8	0.163462
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	544339	0.026	620000	0.043	21098411	1.659	135585	0.504	57729.97	0.175937
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	580881	0.028	677695	0.053	20970448	1.895	135585	0.505	45485.87	0.148412
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	623593	0.030	725051	0.054	21067341	1.828	135585	0.504	19641.98	0.057569
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	477288	0.023	542542	0.039	20933689	1.689	135585	0.506	11099.96	0.039271
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	518000	0.025	586000	0.040	20971660	1.615	135585	0.505	29948.56	0.093395
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	559729	0.027	629153	0.042	21042436	1.568	135585	0.504	43829.52	0.122756
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	597017	0.028	670780	0.043	21021722	1.521	135585	0.505	34516.99	0.087945
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	637017	0.030	720000	0.046	20954503	1.516	135585	0.505	14814.67	0.035267
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	485966	0.023	554305	0.039	20856914	1.687	135585	0.507	4546.127	0.015779
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	526780	0.025	597966	0.041	20987239	1.622	135585	0.505	12250.96	0.03771
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	568475	0.027	641186	0.042	20976923	1.561	135585	0.505	17905.85	0.049165
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	605797	0.029	687661	0.044	20889538	1.528	135585	0.506	14088.6	0.035526
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	650814	0.031	730000	0.046	21130312	1.477	135585	0.503	6088.247	0.01382
						E[F _y]	543715			E[M _u]	1.825			543715	1.82525

ตารางที่ 6-105 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)								Ductility	Mass (kg)	T (sec)
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)						
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	71122	0.064	74894	0.197	1103431.9	3.060	135585	2.202	665.3299	0.028624	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	71589	0.064	50850	0.193	1124980.9	3.037	135585	2.181	1664.899	0.07064	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	76283	0.065	61221	0.184	1182355.2	2.856	135585	2.128	2402.772	0.089951	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	80876	0.067	72520	0.178	1200422.9	2.638	135585	2.112	1880.875	0.061355	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	89420	0.076	79910	0.178	1169955	2.331	135585	2.139	836.5117	0.021807	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	67145	0.055	76943	0.147	1213491.7	2.653	135585	2.100	1561.537	0.061693	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	79279	0.064	54558	0.196	1237644.2	3.054	135585	2.080	4583.578	0.176544	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	103241	0.085	108199	0.191	1208962.8	2.241	135585	2.104	8084.257	0.175469	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	106133	0.088	119294	0.192	1203663.9	2.173	135585	2.109	6136.184	0.125613	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	105577	0.088	113962	0.188	1203114.4	2.145	135585	2.109	2455.328	0.049881	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	75280	0.062	54462	0.219	1218102.4	3.536	135585	2.096	2371.161	0.11138	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	85447	0.068	99662	0.186	1250924	2.718	135585	2.069	6690.911	0.212811	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	89498	0.071	104203	0.152	1255614.4	2.133	135585	2.065	9491.762	0.226171	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	85726	0.069	110301	0.170	1249353.1	2.481	135585	2.070	6712.799	0.194274	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	117771	0.094	130054	0.201	1251495.6	2.132	135585	2.068	3709.544	0.067148	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	74429	0.060	84973	0.124	1245871.7	2.073	135585	2.073	1730.955	0.048205	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	84643	0.068	59875	0.179	1238929.7	2.625	135585	2.079	4893.691	0.151765	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	84780	0.067	104558	0.137	1259783.1	2.040	135585	2.061	6638.679	0.159752	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	91087	0.072	110481	0.142	1266620	1.975	135585	2.056	5266.27	0.114184	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	104276	0.083	120240	0.170	1251066.4	2.044	135585	2.068	2425.077	0.047536	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	73133	0.058	87707	0.122	1256186	2.097	135585	2.064	684.1489	0.019615	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	80089	0.065	69256	0.226	1241190	3.497	135585	2.077	1862.585	0.081328	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	87363	0.069	104051	0.139	1271692.6	2.029	135585	2.052	2751.763	0.063896	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	92078	0.074	115126	0.147	1237142.5	1.969	135585	2.080	2141.393	0.045782	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	99595	0.079	121495	0.150	1255687	1.895	135585	2.065	931.6925	0.017732	
						E[F _y]	88574			E[M _u]	2.423			88573.7	2.423156	

ตารางที่ 6-106 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1899084	0.035	2385262	0.076	53897646	2.146	135585	0.315
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2113679	0.039	2410195	0.079	53832514	2.002	135585	0.315
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2299698	0.043	2567107	0.081	53658510	1.898	135585	0.316
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2494884	0.047	2672376	0.084	53598280	1.812	135585	0.316
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2579954	0.048	2922153	0.087	54130030	1.819	135585	0.314
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2048378	0.031	2594035	0.072	65374678	2.294	135585	0.286
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2202727	0.034	2786185	0.075	65646335	2.229	135585	0.286
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2398619	0.036	3181457	0.079	66212445	2.180	135585	0.284
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2576346	0.039	3334380	0.082	66428928	2.109	135585	0.284
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2700142	0.041	3603989	0.084	65904985	2.045	135585	0.285
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2102387	0.028	2541177	0.067	75920097	2.408	135585	0.266
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2432895	0.032	2815108	0.069	75325472	2.150	135585	0.267
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2655873	0.035	3040170	0.072	75486042	2.060	135585	0.266
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2728294	0.036	3374273	0.077	74995248	2.103	135585	0.267
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2862556	0.038	3746939	0.081	75410309	2.128	135585	0.266
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2232031	0.026	2541177	0.063	85260332	2.388	135585	0.251
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2351860	0.028	2902207	0.067	84593589	2.397	135585	0.252
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2714818	0.032	3127602	0.069	85194767	2.168	135585	0.251
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2959148	0.035	3334380	0.072	84435312	2.045	135585	0.252
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3099231	0.036	3628590	0.075	85143541	2.066	135585	0.251
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2324281	0.025	2541177	0.057	92759529	2.291	135585	0.240
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2599860	0.028	2647890	0.054	93750224	1.943	135585	0.239
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2791006	0.030	3159516	0.066	92788498	2.199	135585	0.240
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	3030582	0.032	3397544	0.069	93911081	2.133	135585	0.239
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3243969	0.035	3628590	0.071	94016333	2.067	135585	0.239
$E[F_y]$ 2552853							$E[M_u]$ 2.137				2552853 2.137413		

ตารางที่ 6-107 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	298148	0.098	348265	0.283	3032584.5	2.878	135585	1.329
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	313824	0.105	223400	0.298	2976723	2.831	135585	1.341
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	340918	0.112	266451	0.299	3032996.4	2.662	135585	1.328
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	367613	0.120	306976	0.299	3059476.6	2.490	135585	1.323
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	390950	0.131	345738	0.299	2994227.3	2.288	135585	1.337
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	302969	0.080	375990	0.217	3809600.6	2.729	135585	1.185
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	356709	0.092	265687	0.299	3866846.3	3.244	135585	1.177
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	465717	0.122	555209	0.299	3808753.7	2.447	135585	1.185
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	481575	0.126	599789	0.300	3816269	2.374	135585	1.184
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	466321	0.123	586425	0.299	3787371.8	2.430	135585	1.189
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	340918	0.077	252489	0.299	4442274.3	3.899	135585	1.098
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	410479	0.092	474027	0.257	4465349.2	2.800	135585	1.095
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	436669	0.097	510961	0.257	4492346.2	2.648	135585	1.092
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	402641	0.090	549192	0.248	4467980.3	2.753	135585	1.095
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	540616	0.121	672095	0.300	4479714.3	2.482	135585	1.093
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	348068	0.069	397998	0.201	5074281.9	2.931	135585	1.027
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	384301	0.077	296537	0.300	4997482.6	3.896	135585	1.035
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	411202	0.081	519771	0.227	5100499.1	2.822	135585	1.024
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	451478	0.089	549192	0.236	5087473.6	2.656	135585	1.026
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	507327	0.100	605973	0.278	5083404.7	2.785	135585	1.026
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	349782	0.063	402087	0.178	5586790.9	2.848	135585	0.979
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	395272	0.071	306677	0.299	5544409.2	4.191	135585	0.983
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	428921	0.076	512723	0.218	5625155.1	2.857	135585	0.975
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	460633	0.083	568806	0.228	5561702	2.748	135585	0.981
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	496429	0.089	603912	0.236	5587001.8	2.652	135585	0.979
$E[F_y]$ 415351							$E[M_u]$ 2.844				415351.4 2.844439		

ตารางที่ 6-108 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT3H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1899925	0.040	2345701	0.080	47826945	2.007	135585	0.335	17773.47
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2076856	0.043	2451750	0.084	47863840	1.939	135585	0.334	48300.03
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2222296	0.047	2329744	0.053	47610994	1.145	135585	0.335	69997.99
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2432007	0.051	2776545	0.090	47661502	1.755	135585	0.335	56559.53
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2582349	0.054	2998948	0.093	48015153	1.721	135585	0.334	24157.42
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2061994	0.035	2480672	0.073	58358436	2.067	135585	0.303	47954.38
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2243108	0.038	2745960	0.076	58599264	1.982	135585	0.302	129687
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2467798	0.042	3063773	0.082	58671261	1.956	135585	0.302	193240.8
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2642901	0.045	3397544	0.092	59156009	2.049	135585	0.301	152801.3
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2791916	0.048	3518553	0.093	57931178	1.935	135585	0.304	64929.68
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2138290	0.032	2451750	0.066	67414066	2.075	135585	0.282	67352
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2458953	0.037	2776545	0.073	67282893	2.004	135585	0.282	192548.1
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2544944	0.038	3009253	0.072	67579318	1.902	135585	0.281	269904.5
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2738981	0.041	3374273	0.082	67505464	2.016	135585	0.282	214475.7
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2923779	0.043	3721008	0.088	67572828	2.041	135585	0.281	92093.36
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2234363	0.030	2594035	0.071	75245461	2.381	135585	0.267	51963.06
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2375852	0.031	2892234	0.070	76004661	2.248	135585	0.265	137361.7
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2668606	0.035	3009253	0.067	75192684	1.896	135585	0.267	208965
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2899933	0.039	3334380	0.074	74914696	1.913	135585	0.267	167661.8
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2979846	0.039	3663496	0.080	76167573	2.034	135585	0.265	69300.25
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2275050	0.027	2523890	0.058	82862757	2.104	135585	0.254	21282.69
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2549760	0.031	2745960	0.065	83131685	2.133	135585	0.254	59298.03
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2648830	0.032	3236310	0.073	82969749	2.276	135585	0.254	83433.01
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2938432	0.036	3409179	0.073	82582384	2.042	135585	0.255	68337.1
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3247264	0.039	3650864	0.075	82847264	1.904	135585	0.254	30377.59
E[F _y]							E[M _u]				1.980			
												2539755		
												1.980252		

ตารางที่ 6-109 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 6PT3H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	287717	0.096	351855	0.284	2998646.3	2.965	135585	1.336	2691.542
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	313824	0.105	224464	0.299	2998767.3	2.859	135585	1.336	7298.39
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	340918	0.114	266451	0.299	2991741.3	2.626	135585	1.338	10738.25
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	366350	0.122	308239	0.300	3008858.7	2.467	135585	1.334	8519.943
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	392280	0.131	340419	0.299	2994321	2.284	135585	1.337	3669.71
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	324879	0.085	375990	0.213	3815557.8	2.499	135585	1.184	7555.493
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	353052	0.095	268080	0.299	3735130.4	3.161	135585	1.197	20411.97
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	447025	0.117	549524	0.299	3817992.4	2.556	135585	1.184	35004.25
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	478825	0.127	601851	0.299	3770337	2.356	135585	1.192	27683.65
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	432692	0.115	596199	0.299	3767784.3	2.606	135585	1.192	10062.82
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	339754	0.077	248998	0.299	4427113.4	3.899	135585	1.100	10701.6
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	371630	0.084	470736	0.256	4431357.1	3.057	135585	1.099	29100.47
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	405052	0.090	509964	0.274	4496100.3	3.036	135585	1.091	42957.87
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	434473	0.098	543607	0.240	4446412	2.459	135585	1.097	34021.4
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	539150	0.121	666876	0.300	4466065.9	2.488	135585	1.095	16982.17
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	352114	0.069	395272	0.202	5079446.9	2.907	135585	1.027	8188.878
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	382473	0.077	296903	0.299	4983751.2	3.899	135585	1.036	22112.97
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	418148	0.083	514485	0.225	5040713.1	2.713	135585	1.030	32743.07
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	451866	0.090	547330	0.236	5026002.4	2.621	135585	1.032	26125
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	478827	0.095	603912	0.259	5052597.3	2.730	135585	1.029	11135.74
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	359256	0.064	402087	0.177	5580662.8	2.746	135585	0.979	3360.777
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	395272	0.071	306677	0.299	5544409.2	4.191	135585	0.983	9192.571
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	430357	0.077	509964	0.219	5562748.7	2.836	135585	0.981	13555.42
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	460469	0.083	564950	0.227	5565994.8	2.744	135585	0.981	10708.8
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	492869	0.089	603912	0.234	5554098.8	2.638	135585	0.982	4610.703
E[F _y]							E[M _u]				2.870			
												409133		
												2.870118		

ตารางที่ 6-110 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Transverse)										
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	481797	0.006	610000	0.022	80675921	3.600	149400	0.270	4507.122	0.033679	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	610847	0.009	675390	0.032	66252430	3.514	149400	0.298	14206.06	0.081725	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	648305	0.008	709322	0.031	79342198	3.818	149400	0.273	20420.35	0.120272	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	708610	0.010	777356	0.029	73150635	3.025	149400	0.284	16479.66	0.070343	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	749593	0.099	810000	0.022	7588512.9	0.218	149400	0.882	7012.313	0.002036	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	577288	0.008	650000	0.025	75769537	3.242	149400	0.279	13425.6	0.075395	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	633559	0.009	692881	0.023	71823966	2.596	149400	0.287	36629.71	0.150094	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	678814	0.009	750000	0.025	73703974	2.671	149400	0.283	53154.45	0.209153	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	730373	0.010	801763	0.025	73037290	2.510	149400	0.284	42227.07	0.145118	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	769729	0.010	870000	0.028	75463608	2.716	149400	0.280	17901.06	0.063157	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	597322	0.008	663186	0.024	74256850	2.921	149400	0.282	18814.49	0.092019	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	640203	0.008	710000	0.022	76060758	2.661	149400	0.278	50131.08	0.208391	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	699525	0.010	770000	0.024	71467654	2.421	149400	0.287	74188.3	0.256795	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	747729	0.010	814441	0.023	72595029	2.214	149400	0.285	58550.85	0.173335	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	796271	0.011	864102	0.024	73052404	2.174	149400	0.284	25081	0.068487	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	629288	0.011	670780	0.022	56692622	1.937	149400	0.323	14634.92	0.045046	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	658237	0.009	722576	0.022	74757217	2.521	149400	0.281	38056.49	0.145771	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	716542	0.010	780000	0.023	73401188	2.336	149400	0.283	56108.8	0.182888	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	723254	0.012	837153	0.025	60271192	2.050	149400	0.313	41815.5	0.118522	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	808542	0.011	890000	0.024	74178202	2.183	149400	0.282	18803.72	0.050578	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	626441	0.009	695254	0.022	71487014	2.453	149400	0.287	5860.243	0.022952	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	681356	0.009	729661	0.022	72592787	2.387	149400	0.285	15846.83	0.055502	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	724068	0.010	789153	0.022	72836515	2.163	149400	0.285	22806.73	0.068123	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	784203	0.011	860000	0.024	73290037	2.215	149400	0.284	18237.68	0.051512	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	832678	0.011	891932	0.025	74346250	2.241	149400	0.282	7789.556	0.020965	
E[F _y]						692689	E[M _u]				2.512	692688.6				2.512058

ตารางที่ 6-111 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c *Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)										
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	198277	0.009	280759	0.030	22661127	3.484	149400	0.510	1854.842	0.032589	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	254759	0.014	299695	0.058	18711660	4.289	149400	0.561	5924.752	0.099743	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	272376	0.012	232892	0.047	21944018	3.747	149400	0.518	8579.316	0.118028	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	289407	0.014	379392	0.042	21254259	3.048	149400	0.527	6730.53	0.070893	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	310693	0.142	386128	0.034	2181912.1	0.238	149400	1.644	2906.476	0.002229	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	241441	0.011	239688	0.037	22335182	3.403	149400	0.514	5615.036	0.079134	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	259915	0.013	310754	0.034	20450651	2.674	149400	0.537	15027.17	0.154591	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	279783	0.013	325583	0.035	21111639	2.677	149400	0.529	21908.38	0.209605	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	298157	0.014	333110	0.028	21174463	1.989	149400	0.528	17238.2	0.115006	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	322929	0.015	414510	0.041	21359507	2.690	149400	0.525	7510.15	0.062548	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	245819	0.011	273188	0.042	21537374	3.691	149400	0.523	7742.822	0.116269	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	268310	0.013	259844	0.031	21069045	2.455	149400	0.529	21009.96	0.192257	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	286068	0.014	337333	0.034	20474327	2.443	149400	0.537	30339.03	0.259067	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	307792	0.015	355457	0.032	20505372	2.160	149400	0.536	24101.63	0.16917	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	326620	0.016	391964	0.037	20893087	2.388	149400	0.531	10287.9	0.075215	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	254570	0.016	261994	0.029	15688866	1.812	149400	0.613	5920.368	0.042146	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	273195	0.013	336623	0.033	21195995	2.592	149400	0.528	15795	0.14988	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	294058	0.014	295688	0.033	21293905	2.387	149400	0.526	23026.21	0.186907	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	301319	0.017	357321	0.035	17289159	1.985	149400	0.584	17421	0.114751	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	333577	0.016	379653	0.034	21064672	2.128	149400	0.529	7757.777	0.04949	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	257168	0.013	278931	0.033	19476297	2.481	149400	0.550	2405.759	0.023211	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	280985	0.013	287726	0.036	20952323	2.692	149400	0.531	6534.675	0.062612	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	299124	0.014	303125	0.031	20858995	2.143	149400	0.532	9421.818	0.067492	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	324664	0.015	317481	0.034	21035679	2.179	149400	0.530	7550.482	0.050679	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	341947	0.016	385217	0.037	20850662	2.229	149400	0.532	3198.856	0.020848	
E[F _y]						285808	E[M _u]				2.524	285808.1				2.524362

ตารางที่ 6-112 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1305413	0.016	1681485	0.057	82609393	3.599	149400	0.267	12211.91
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1424912	0.017	1793850	0.055	83517384	3.240	149400	0.266	33138.2
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1561809	0.019	2106344	0.059	83166669	3.131	149400	0.266	49193.94
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1709356	0.021	2337723	0.067	81567483	3.212	149400	0.269	39753.33
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1799831	0.022	2418506	0.062	83672491	2.866	149400	0.265	16837.1
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1341261	0.013	1553163	0.054	100062763	4.018	149400	0.243	31192.79
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1505299	0.015	1855019	0.053	99923769	3.520	149400	0.243	87029.99
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1636697	0.016	2010601	0.057	101723068	3.546	149400	0.241	128161.5
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1816823	0.018	2281873	0.064	99803677	3.541	149400	0.243	105041
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1895420	0.018	2576083	0.062	104545536	3.402	149400	0.238	44080.48
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1377310	0.012	1471050	0.046	115288768	3.841	149400	0.226	43382.58
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1518231	0.013	1768584	0.054	118527230	4.184	149400	0.223	118885
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1697702	0.015	2052489	0.054	115786656	3.671	149400	0.226	180050.1
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1844093	0.016	2202087	0.056	117518760	3.595	149400	0.224	144401.6
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1984009	0.017	2418506	0.056	116652017	3.272	149400	0.225	62492.92
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1418640	0.011	1521249	0.055	133758577	5.157	149400	0.210	32992.34
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1568966	0.012	1741324	0.048	132267698	4.006	149400	0.211	90710.95
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1726422	0.013	1894912	0.053	128592445	3.914	149400	0.214	135187.3
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1859235	0.014	2289851	0.055	130624157	3.884	149400	0.212	107493.1
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2012052	0.015	2451750	0.056	132312119	3.690	149400	0.211	46792.92
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1420874	0.010	1505291	0.049	143844526	4.944	149400	0.202	13292.03
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1591301	0.011	1711405	0.047	143077521	4.194	149400	0.203	37007.8
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1744221	0.012	1914858	0.053	144255636	4.374	149400	0.202	54939.58
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1902921	0.013	2156210	0.053	144525187	4.004	149400	0.202	44254.94
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2065917	0.014	2489316	0.054	144532278	3.743	149400	0.202	19326.29
E[Fy]							E[M _u]				3.768		1677849	
											3.768		3.768191	

ตารางที่ 6-113 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	537224	0.023	773922	0.081	23204221	3.482	149400	0.504	5025.637
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	594271	0.025	795996	0.100	23587797	3.954	149400	0.500	13820.55
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	656171	0.029	691576	0.088	23001769	3.072	149400	0.506	20668.13
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	698125	0.029	1140936	0.095	23699814	3.237	149400	0.499	16235.83
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	745997	0.031	1152904	0.097	24058208	3.137	149400	0.495	6978.67
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	560960	0.019	572729	0.080	29496288	4.217	149400	0.447	13045.87
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	617542	0.022	831966	0.079	28451591	3.625	149400	0.455	35703.65
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	674589	0.023	872823	0.082	29137380	3.554	149400	0.450	52823.61
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	741675	0.026	948054	0.072	28934388	2.806	149400	0.451	42880.52
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	795198	0.027	1227371	0.091	29590967	3.369	149400	0.446	18493.38
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	566811	0.017	605973	0.082	33438225	4.854	149400	0.420	17853.46
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	636291	0.019	647262	0.075	32832379	3.860	149400	0.424	49824.76
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	694269	0.021	899185	0.078	33171004	3.704	149400	0.422	73630.84
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	759095	0.023	961086	0.080	33194641	3.509	149400	0.422	59440.88
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	813815	0.024	1097054	0.088	33362636	3.593	149400	0.420	25633.58
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	573892	0.016	594171	0.075	37015757	4.825	149400	0.399	13346.62
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	651185	0.017	811222	0.072	37502004	4.119	149400	0.397	37648.75
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	708498	0.019	718338	0.076	37305054	4.000	149400	0.398	55478.85
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	774587	0.021	977376	0.078	37470335	3.760	149400	0.397	44783.32
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	830104	0.022	1045858	0.079	37573186	3.596	149400	0.396	19305.17
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	583300	0.015	603912	0.074	39189758	5.000	149400	0.388	5456.672
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	656238	0.016	674855	0.075	41296203	4.732	149400	0.378	15261.68
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	720565	0.017	735525	0.076	41312075	4.333	149400	0.378	22696.4
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	787818	0.019	795996	0.075	41481565	3.939	149400	0.377	18321.74
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	848389	0.021	1075113	0.078	40534575	3.722	149400	0.381	7936.527
E[Fy]							E[M _u]				3.773		692295.1	
											3.773		3.772675	

ตารางที่ 6-114 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	$f_c'(MPa)$	$f_y(MPa)$	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	$F_y(N)$	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							$X_p(m)$	$F_p(N)$	$X_u(m)$	$K_p(N/m)$					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1291401	0.015	1693453	0.056	85044174	3.665	149400	0.263	12080.83	0.034281
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1418045	0.017	1793850	0.054	84484032	3.226	149400	0.264	32978.51	0.075028
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1593351	0.019	2113658	0.058	83166669	3.019	149400	0.266	50187.45	0.095085
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1674103	0.020	2329744	0.062	83100547	3.070	149400	0.266	38933.48	0.071401
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1808405	0.021	2426817	0.061	85471893	2.905	149400	0.263	16917.31	0.02718
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1342872	0.013	1547844	0.054	102126525	4.096	149400	0.240	31230.27	0.09526
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1508634	0.015	1868317	0.054	101368279	3.612	149400	0.241	87222.81	0.208825
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1638374	0.016	2017582	0.057	103715537	3.601	149400	0.238	128292.8	0.281999
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1775847	0.017	2265916	0.056	103134576	3.278	149400	0.239	102672	0.189544
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1924640	0.019	2576083	0.062	102235135	3.268	149400	0.240	44760.03	0.075998
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1386462	0.012	1471050	0.046	120491451	4.002	149400	0.221	43670.85	0.126047
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1526260	0.013	1774901	0.053	115831282	3.995	149400	0.226	119513.7	0.312861
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	1680592	0.014	2052489	0.054	115903169	3.702	149400	0.226	178235.5	0.392661
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1852131	0.016	2225025	0.057	113766987	3.483	149400	0.228	145031	0.272744
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1998041	0.017	2418506	0.057	117916177	3.338	149400	0.224	62934.41	0.10514
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1649315	0.012	148269	0.053	132028975	4.265	149400	0.211	38356.99	0.099183
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1571350	0.012	1747308	0.047	132267698	3.977	149400	0.211	90848.81	0.229938
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1726665	0.013	1894912	0.054	129690778	4.031	149400	0.213	135206.4	0.315656
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1864573	0.014	2289851	0.055	131115987	3.836	149400	0.212	107801.7	0.22179
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2014102	0.016	2435128	0.055	128462095	3.485	149400	0.214	46840.61	0.081053
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1443539	0.010	1521249	0.049	143205209	4.845	149400	0.203	13504.06	0.045323
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1593316	0.011	1711405	0.047	144129124	4.234	149400	0.202	37054.66	0.098463
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1777083	0.012	1921507	0.053	149763393	4.469	149400	0.198	55974.66	0.140749
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1894996	0.013	2171503	0.053	144525187	4.032	149400	0.202	44070.64	0.093771
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2044518	0.014	2506603	0.053	144532278	3.772	149400	0.202	19126.11	0.035284
E[F _y]							E[M _u]				3.725	1683446			
												3.725264			

ตารางที่ 6-115 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	$f_c'(MPa)$	$f_y(MPa)$	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	$F_y(N)$	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							$X_p(m)$	$F_p(N)$	$X_u(m)$	$K_p(N/m)$					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	537224	0.022	776581	0.081	23896807	3.603	149400	0.497	5025.637	0.033709
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	599723	0.025	804174	0.100	23804198	3.985	149400	0.498	13947.35	0.092667
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	660892	0.028	696297	0.087	23357203	3.082	149400	0.503	20816.82	0.097081
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	702115	0.029	1148915	0.095	23918877	3.239	149400	0.497	16328.6	0.075337
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	738018	0.032	1156894	0.096	23182605	3.000	149400	0.504	6904.031	0.028064
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	564883	0.019	572729	0.075	29702555	3.957	149400	0.446	13137.1	0.092014
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	628978	0.022	834825	0.078	28704716	3.566	149400	0.453	36364.83	0.206176
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	680506	0.023	872823	0.082	29926825	3.600	149400	0.444	53286.98	0.281896
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	748124	0.026	951279	0.073	29185989	2.839	149400	0.450	43253.39	0.164123
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	782233	0.027	1223049	0.089	29108507	3.323	149400	0.450	18191.86	0.077283
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	572995	0.017	603912	0.082	32999007	4.738	149400	0.423	18048.22	0.149244
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	636291	0.020	647262	0.077	32063064	3.875	149400	0.429	49824.76	0.30343
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	703444	0.021	902244	0.078	33609386	3.704	149400	0.419	74603.93	0.392799
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	752579	0.023	951312	0.080	33096406	3.509	149400	0.422	58930.66	0.274778
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	821793	0.025	1097054	0.088	33128814	3.533	149400	0.422	25884.89	0.111295
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	577948	0.015	594171	0.075	39238786	5.105	149400	0.388	13440.94	0.118727
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	651185	0.018	808463	0.072	36628687	4.023	149400	0.401	37648.75	0.232606
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	710958	0.018	720798	0.080	39082930	4.409	149400	0.388	55671.48	0.345259
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	787884	0.021	974051	0.078	37643783	3.704	149400	0.396	45552.14	0.214134
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	826448	0.022	1053172	0.080	37017270	3.593	149400	0.399	19220.13	0.083549
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	581239	0.014	608034	0.072	42845298	5.314	149400	0.371	5437.392	0.049714
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	653911	0.017	681836	0.076	39233866	4.581	149400	0.388	15207.56	0.106545
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	720565	0.017	735525	0.079	41497651	4.548	149400	0.377	22696.4	0.143243
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	787818	0.019	798722	0.074	41481565	3.918	149400	0.377	18321.74	0.091128
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	859359	0.021	1075113	0.078	41058727	3.741	149400	0.379	8039.154	0.034995
E[F _y]							E[M _u]				3.800	695785			
												695784.7			

ตารางที่ 6-116 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)					Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	495458	0.020	580000	0.052	25023111	2.631	149400	0.485	4634.919	0.024615
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	540203	0.022	626983	0.054	25009417	2.491	149400	0.486	12563.14	0.057925
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	580881	0.023	680000	0.057	25477254	2.478	149400	0.481	18296.64	0.078054
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	629627	0.025	729966	0.059	25084745	2.359	149400	0.485	14642.81	0.054852
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	664136	0.026	781966	0.061	25445808	2.337	149400	0.481	6212.872	0.021864
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	510509	0.021	591864	0.046	24902854	2.234	149400	0.487	11872.55	0.051958
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	555254	0.022	645593	0.047	25124629	2.145	149400	0.485	32102.45	0.124003
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	597966	0.024	692881	0.049	25337547	2.055	149400	0.482	46823.69	0.160923
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	640678	0.025	744915	0.051	25223543	2.016	149400	0.484	37041.29	0.116542
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	680203	0.027	790000	0.052	25286372	1.937	149400	0.483	15819.03	0.045043
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	525424	0.021	613695	0.047	25139895	2.225	149400	0.484	16549.83	0.070709
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	567797	0.023	660915	0.048	25235404	2.116	149400	0.483	44461.27	0.165658
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	605288	0.024	710237	0.048	25325862	2.017	149400	0.483	64193.94	0.213885
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	656949	0.026	754847	0.049	25074393	1.885	149400	0.485	51442.35	0.147644
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	702915	0.028	810000	0.051	25376004	1.841	149400	0.482	22140.47	0.057993
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	538170	0.022	630000	0.048	24800438	2.194	149400	0.488	12515.84	0.051014
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	585966	0.023	670000	0.043	25041286	1.842	149400	0.485	33878.08	0.10649
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	627254	0.025	717559	0.046	25190936	1.839	149400	0.484	49117.1	0.144031
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	671593	0.027	772068	0.049	25059451	1.810	149400	0.485	38828.68	0.104629
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	711831	0.028	824373	0.050	25422518	1.796	149400	0.482	16554.56	0.041778
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	548881	0.022	631322	0.041	24949155	1.864	149400	0.486	5134.689	0.017434
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	596441	0.024	678305	0.042	24851696	1.758	149400	0.487	13871.01	0.040892
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	640678	0.025	685763	0.031	25223539	1.236	149400	0.484	20180.11	0.038939
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	688237	0.027	779288	0.045	25302842	1.651	149400	0.483	16005.86	0.03839
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	725898	0.029	830000	0.047	25204802	1.622	149400	0.484	6790.651	0.015169
						E[F _y]	611674			E[M _u]	1.990			611673.8	1.989805

ตารางที่ 6-117 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	74037	0.052	42137	0.202	1415531.5	3.871	149400	2.041	692.6066	0.036215
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	78460	0.057	56010	0.202	1374446.9	3.543	149400	2.072	1824.695	0.082407
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	82777	0.058	69893	0.204	1431868.9	3.526	149400	2.030	2607.304	0.111066
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	91555	0.066	77495	0.205	1383650.1	3.101	149400	2.065	2129.231	0.072121
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	96016	0.068	86434	0.204	1403759.6	2.980	149400	2.050	898.2121	0.027882
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	78964	0.056	84300	0.165	1412930.3	2.949	149400	2.043	1836.415	0.068594
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	85710	0.059	57697	0.184	1446385.1	3.101	149400	2.019	4955.374	0.179271
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	93141	0.062	123419	0.181	1493445.6	2.903	149400	1.987	7293.398	0.227309
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	99123	0.069	125571	0.185	1443239.9	2.698	149400	2.022	5730.864	0.15596
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	104348	0.072	112792	0.174	1456667.4	2.424	149400	2.012	2426.761	0.056381
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	83330	0.057	57885	0.208	1457632.9	3.641	149400	2.012	2624.727	0.114669
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	88998	0.061	118306	0.277	1470305.7	4.581	149400	2.003	6968.993	0.35868
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	95890	0.063	116620	0.199	1513597.6	3.133	149400	1.974	10169.64	0.332311
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	103993	0.072	72956	0.196	1446500.7	2.727	149400	2.019	8143.167	0.213506
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	108522	0.074	140584	0.187	1472676.1	2.541	149400	2.001	3418.23	0.080052
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	86047	0.059	66762	0.223	1458097.8	3.786	149400	2.011	2001.129	0.080859
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	93846	0.063	110145	0.148	1493717.1	2.352	149400	1.987	5425.79	0.135974
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	100515	0.067	116628	0.150	1496278	2.237	149400	1.985	7870.846	0.175178
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	106988	0.071	138000	0.241	1497955.2	3.380	149400	1.984	6185.573	0.195436
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	113465	0.074	115371	0.162	1523290.4	2.178	149400	1.968	2638.771	0.050643
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	90511	0.060	110801	0.134	1504981.6	2.222	149400	1.980	846.7104	0.02079
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	89272	0.060	74666	0.195	1492236.1	3.266	149400	1.988	2076.132	0.075949
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	103324	0.069	113208	0.102	1487483.5	1.462	149400	1.991	3254.496	0.046045
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	111166	0.073	126052	0.148	1532935.2	2.045	149400	1.962	2585.303	0.047559
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	115045	0.076	148539	0.227	1516997	2.993	149400	1.972	1076.228	0.027995
						E[F _y]	95681			E[M _u]	2.980			95680.59	2.980052

ตารางที่ 6-118 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	$f_c'(MPa)$	$f_y(MPa)$	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	$F_y(N)$	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							$X_p(m)$	$F_p(N)$	$X_u(m)$	$K_p(N/m)$					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1903223	0.037	2401884	0.077	51884382	2.099	149400	0.337	17804.32	0.019635
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2116752	0.040	2393573	0.079	53455722	2.005	149400	0.332	49227.85	0.04662
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2335220	0.045	2501782	0.083	51960318	1.836	149400	0.337	73554.88	0.057825
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2478478	0.047	2745960	0.086	52678893	1.835	149400	0.335	57640.26	0.042671
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2639791	0.050	2947419	0.090	52495265	1.781	149400	0.335	24694.78	0.016656
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2061132	0.032	2393573	0.065	63583789	2.000	149400	0.305	47934.34	0.046513
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2263921	0.035	2852341	0.077	64186469	2.177	149400	0.303	130890.3	0.125875
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2457401	0.039	3138240	0.080	63464308	2.065	149400	0.305	192426.6	0.161688
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2629606	0.041	3374273	0.083	63859482	2.005	149400	0.304	152032.7	0.115933
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2741306	0.043	3726660	0.089	64062676	2.087	149400	0.303	63752.68	0.048534
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2134934	0.029	2541177	0.067	73638731	2.327	149400	0.283	67246.28	0.073305
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2351685	0.032	2603010	0.044	73813100	1.394	149400	0.283	184148.5	0.109172
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2542506	0.035	3053135	0.072	73058425	2.077	149400	0.284	269646	0.220268
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2740641	0.037	3482649	0.075	74055366	2.038	149400	0.282	214605.7	0.159555
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2943097	0.040	3785834	0.081	73491080	2.032	149400	0.283	92701.85	0.063995
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2200639	0.027	2360329	0.064	83012506	2.420	149400	0.267	51178.76	0.056286
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2381273	0.029	2844030	0.067	83142089	2.356	149400	0.266	137675.1	0.136203
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2589048	0.031	3137575	0.070	82262511	2.218	149400	0.268	202735.2	0.17371
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2819097	0.035	3074411	0.048	81556934	1.392	149400	0.269	162988.2	0.080476
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3006594	0.037	3701394	0.076	81241720	2.059	149400	0.269	69922.29	0.047888
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2195438	0.024	2463385	0.061	90444025	2.500	149400	0.255	20537.94	0.023387
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2622671	0.029	2662185	0.064	89716468	2.205	149400	0.256	60993.67	0.051285
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2643901	0.029	3148545	0.069	90790176	2.360	149400	0.255	83277.74	0.074345
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2839043	0.032	3432450	0.069	89689879	2.194	149400	0.256	66025.69	0.05103
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3069198	0.034	3397544	0.049	91134107	1.447	149400	0.254	28711.81	0.013541
					$E[F_y]$	2522353				$E[M_u]$	2.016			2522353	2.016398

ตารางที่ 6-119 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	$f_c'(MPa)$	$f_y(MPa)$	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	$F_y(N)$	Push-over Analysis (Longitudinal)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							$X_p(m)$	$F_p(N)$	$X_u(m)$	$K_p(N/m)$					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	284403	0.097	174498	0.299	2935045.8	3.088	149400	1.418	2660.54	0.028888
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	307441	0.105	213826	0.298	2937775.4	2.852	149400	1.417	7149.948	0.066324
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	332773	0.114	257143	0.298	2920266.1	2.612	149400	1.421	10481.71	0.082281
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	360399	0.124	291517	0.299	2905716.4	2.413	149400	1.425	8381.551	0.056106
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	381642	0.132	325792	0.299	2895987	2.271	149400	1.427	3570.192	0.021241
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	318811	0.088	340918	0.233	3607597	2.640	149400	1.279	7414.36	0.061405
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	349462	0.095	254916	0.298	3695113.4	3.148	149400	1.263	20204.39	0.181977
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	382772	0.102	558999	0.298	3740713.1	2.917	149400	1.256	29972.95	0.228389
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	406841	0.111	568806	0.299	3653909.9	2.683	149400	1.271	23521.82	0.155146
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	420537	0.114	532071	0.298	3690446.9	2.612	149400	1.264	9780.153	0.060751
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	338591	0.079	239690	0.302	4269637.5	3.808	149400	1.175	10664.95	0.119948
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	368610	0.086	465949	0.259	4300617.4	3.019	149400	1.171	28864	0.236377
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	402785	0.092	501321	0.298	4366329.5	3.227	149400	1.162	42717.45	0.342228
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	433835	0.102	336596	0.299	4272133	2.947	149400	1.175	33971.43	0.230732
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	454380	0.107	657069	0.299	4264996.1	2.805	149400	1.176	14312.08	0.088337
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	351855	0.072	250128	0.301	4880573.1	4.178	149400	1.099	8182.855	0.09716
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	381376	0.077	467545	0.231	4959440.2	3.008	149400	1.091	22049.54	0.173914
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	414886	0.085	509964	0.229	4886185.6	2.698	149400	1.099	32487.62	0.211275
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	449094	0.092	549524	0.240	4875151.8	2.600	149400	1.100	25964.72	0.150321
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	479247	0.098	518009	0.246	4867917.9	2.496	149400	1.101	11145.51	0.058049
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	362028	0.066	432339	0.198	5455759.9	2.981	149400	1.040	3386.707	0.027889
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	392546	0.073	293046	0.298	5387083	4.096	149400	1.046	9129.173	0.095252
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	426388	0.080	519771	0.222	5354081.6	2.791	149400	1.050	13430.4	0.087913
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	458569	0.084	555209	0.229	5433728.5	2.718	149400	1.042	10664.62	0.063218
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	486427	0.089	608034	0.237	5485072.5	2.671	149400	1.037	4550.441	0.02499
					$E[F_y]$	394659				$E[M_u]$	2.950			394659.1	2.950109

ตารางที่ 6-120 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1946965	0.042	2273894	0.083	46068928	1.959	149400	0.358	18213.52
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2068880	0.044	2393573	0.081	46898290	1.844	149400	0.355	48114.53
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2264745	0.049	2523890	0.085	46514398	1.739	149400	0.356	71335.07
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2408449	0.051	2786185	0.090	47137003	1.752	149400	0.354	56011.65
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2625302	0.056	2912180	0.094	46893802	1.684	149400	0.355	24559.24
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2057803	0.036	2506603	0.075	56419821	2.051	149400	0.323	47856.93
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2263387	0.039	2824749	0.083	57684316	2.124	149400	0.320	130859.5
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2457968	0.044	3040170	0.077	56189201	1.760	149400	0.324	192471
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2642375	0.046	3374273	0.091	57546771	1.983	149400	0.320	152770.9
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2812782	0.050	3494617	0.093	56274789	1.861	149400	0.324	65414.96
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2165814	0.033	2585059	0.070	64785538	2.083	149400	0.302	68218.93
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2356603	0.036	2815108	0.074	65759690	2.077	149400	0.299	184533.6
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2585707	0.040	3019559	0.073	64611307	1.825	149400	0.302	274227.6
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2749289	0.042	3362637	0.083	65034536	1.958	149400	0.301	215282.9
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2970830	0.045	3701394	0.087	66441161	1.941	149400	0.298	93575.36
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2226907	0.030	2385262	0.047	73616109	1.546	149400	0.283	51789.66
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2434117	0.033	2872287	0.071	73132607	2.130	149400	0.284	140730.4
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2688738	0.037	3063773	0.071	73628211	1.951	149400	0.283	210541.4
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2814302	0.039	3192428	0.059	72830902	1.533	149400	0.285	162711
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3030767	0.042	3663496	0.081	72946740	1.939	149400	0.284	70484.47
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2281934	0.028	2549820	0.062	81388492	2.206	149400	0.269	21347.09
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2509946	0.031	2736652	0.068	81079646	2.189	149400	0.270	58372.1
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2687628	0.033	3214369	0.072	80395339	2.161	149400	0.271	84655.05
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2911310	0.036	3396879	0.074	80067850	2.030	149400	0.271	67706.36
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3134993	0.039	3579389	0.075	79789211	1.919	149400	0.272	29327.31
$E[F_y]$						2541111	$E[M_u]$				1.925			2541111
														1.92541

ตารางที่ 6-121 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 7PT3H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	282375	0.098	293711	0.247	2868208.4	2.504	149400	1.434	2641.57
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	308505	0.104	211698	0.300	2962576.6	2.885	149400	1.411	7174.689
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	333937	0.114	254816	0.298	2930477.4	2.619	149400	1.419	10518.36
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	362859	0.123	297667	0.299	2943945.9	2.428	149400	1.415	8438.764
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	381642	0.133	332441	0.299	2862321.1	2.244	149400	1.435	3570.192
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	319608	0.088	366350	0.215	3650790.6	2.455	149400	1.271	7432.916
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	350658	0.095	254916	0.298	3677630.7	3.130	149400	1.266	20273.58
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	382772	0.104	557104	0.302	3675766	2.900	149400	1.267	29972.95
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	406841	0.110	564950	0.298	3695933.3	2.711	149400	1.263	23521.82
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	421867	0.116	527783	0.298	3628060.3	2.567	149400	1.275	9811.078
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	333937	0.077	244344	0.297	4351306.8	3.869	149400	1.164	10518.36
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	368743	0.085	459367	0.263	4324368.2	3.082	149400	1.168	28874.41
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	394142	0.091	501321	0.300	4316144.3	3.281	149400	1.169	41800.77
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	434035	0.101	464353	0.236	4306966.8	2.338	149400	1.170	33987.05
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	456607	0.103	650387	0.297	4418794.1	2.876	149400	1.155	14382.24
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	349462	0.070	252522	0.298	5008982.1	4.278	149400	1.085	8127.191
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	379780	0.079	464353	0.216	4789038	2.727	149400	1.110	21957.29
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	414886	0.084	509964	0.234	4955578.9	2.796	149400	1.091	32487.62
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	444307	0.091	537557	0.239	4873764.8	2.626	149400	1.100	25687.95
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	479413	0.097	547630	0.229	4947551	2.368	149400	1.092	11149.37
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	362759	0.066	427120	0.197	5466782.1	2.963	149400	1.039	3393.549
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	392280	0.072	295207	0.302	5441305	4.189	149400	1.041	9122.988
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	426388	0.077	519771	0.219	5518804.5	2.838	149400	1.034	13430.4
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	454779	0.084	558999	0.229	5427084.6	2.731	149400	1.042	10576.48
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	490549	0.090	608034	0.243	5463114.9	2.705	149400	1.039	4589.004
$E[F_y]$						393441	$E[M_u]$				2.903			393440.6
														2.903217

ตารางที่ 6-122 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	624068	0.007	695254	0.025	85995287	3.376	159732	0.271	5838.044
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	682712	0.008	752271	0.023	84473138	2.883	159732	0.273	15877.36
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	737153	0.008	821559	0.028	87082410	3.308	159732	0.269	23218.87
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	796475	0.009	877932	0.028	84776434	3.012	159732	0.273	18523.07
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	847593	0.010	940000	0.028	84759330	2.770	159732	0.273	7929.086
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	645017	0.007	710000	0.021	87188010	2.839	159732	0.269	15000.72
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	703322	0.008	780000	0.022	86201998	2.745	159732	0.270	40663.1
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	757424	0.009	831458	0.022	86661762	2.506	159732	0.270	59310.01
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	811559	0.009	890000	0.022	87058496	2.403	159732	0.269	46920.92
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	874644	0.010	960136	0.025	85749422	2.461	159732	0.271	20341
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	667254	0.008	732475	0.021	86555234	2.737	159732	0.270	21017.21
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	718644	0.008	791864	0.022	86282159	2.581	159732	0.270	56273.37
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	775627	0.009	861153	0.023	86604187	2.579	159732	0.270	82259.28
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	832678	0.010	920000	0.022	85763518	2.307	159732	0.271	65202.79
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	893627	0.011	980000	0.023	85107343	2.219	159732	0.272	28147.52
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	680136	0.008	760000	0.021	86147638	2.685	159732	0.271	15817.45
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	739390	0.009	814441	0.022	86508693	2.562	159732	0.270	42748.39
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	796475	0.009	880000	0.022	87256201	2.454	159732	0.269	62367.88
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	856610	0.010	943559	0.024	86282252	2.417	159732	0.270	49525.57
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	908475	0.010	1000000	0.023	87353327	2.240	159732	0.269	21127.77
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	693593	0.008	784644	0.021	86493740	2.644	159732	0.270	6488.443
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	751279	0.009	840000	0.022	87298664	2.543	159732	0.269	17482.44
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	811525	0.009	900000	0.022	87666134	2.420	159732	0.268	25561.47
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	870373	0.010	970034	0.023	87037290	2.310	159732	0.269	20241.67
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	928475	0.011	1029153	0.025	86773327	2.318	159732	0.270	8685.716
					$E[F_y]$	776569				$E[M_u]$	2.558			776569.2

ตารางที่ 6-123 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	257049	0.010	297683	0.036	24516126	3.458	159732	0.507	2404.647
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	272029	0.012	282220	0.033	22524246	2.758	159732	0.529	6326.398
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	295473	0.012	310361	0.040	24591159	3.342	159732	0.506	9306.815
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	325486	0.014	312643	0.042	23514011	3.031	159732	0.518	7569.614
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	345873	0.014	316815	0.040	24235085	2.802	159732	0.510	3235.584
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	268182	0.010	307644	0.032	25686134	3.093	159732	0.495	6236.937
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	288062	0.012	297368	0.031	23956523	2.569	159732	0.513	16654.5
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	310564	0.013	346835	0.035	24486023	2.789	159732	0.507	24318.65
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	322323	0.013	438424	0.034	24395687	2.551	159732	0.508	18635.32
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	363100	0.015	447020	0.038	23873136	2.471	159732	0.514	8444.373
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	274347	0.011	233867	0.057	25225014	5.253	159732	0.500	8641.396
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	295942	0.012	335204	0.031	23933754	2.540	159732	0.513	23173.7
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	315498	0.013	356951	0.033	23855759	2.513	159732	0.514	33460.25
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	344819	0.014	409589	0.040	23984142	2.812	159732	0.513	27001
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	356326	0.015	454735	0.034	24039502	2.308	159732	0.512	11223.59
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	282275	0.012	304000	0.030	24409534	2.618	159732	0.508	6564.67
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	306307	0.013	253600	0.062	23305815	4.736	159732	0.520	17709.38
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	329103	0.013	368341	0.031	25335499	2.412	159732	0.499	25770.39
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	353259	0.015	400062	0.032	23335773	2.096	159732	0.520	20423.93
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	373865	0.015	418309	0.036	25328508	2.409	159732	0.499	8694.731
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	279759	0.011	321046	0.028	24395125	2.439	159732	0.508	2617.098
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	309609	0.012	276310	0.061	25224816	4.977	159732	0.500	7200.359
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	332998	0.014	287077	0.063	24031632	4.560	159732	0.512	10488.8
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	360725	0.015	409527	0.033	24672088	2.255	159732	0.506	8389.127
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	384616	0.015	425668	0.036	25671332	2.381	159732	0.496	3598.013
					$E[F_y]$	318089				$E[M_u]$	2.924			318089.3

ตารางที่ 6-124 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1558763	0.016	2038526	0.058	95565439	3.580	159732	0.257	14581.95
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1741073	0.018	1908209	0.060	95347112	3.263	159732	0.257	40490.94
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1890989	0.020	2069776	0.062	96899302	3.162	159732	0.255	59562.49
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1979877	0.021	2360329	0.060	95266961	2.906	159732	0.257	46044.65
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2120274	0.023	2638914	0.063	93834335	2.788	159732	0.259	19834.79
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1686287	0.015	2128285	0.053	115847017	3.619	159732	0.233	39216.82
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1854032	0.016	2385262	0.059	115946054	3.675	159732	0.233	107192.2
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2033434	0.017	2629938	0.055	117005393	3.167	159732	0.232	159227.9
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2209773	0.019	2834389	0.060	114778455	3.112	159732	0.234	127759.7
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2282254	0.019	2998948	0.061	117067332	3.121	159732	0.232	53076.81
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1770718	0.013	1975695	0.055	131357646	4.100	159732	0.219	55774.19
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1935847	0.014	2410195	0.053	133676552	3.694	159732	0.217	151586.3
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2121654	0.016	2576083	0.056	132947023	3.494	159732	0.218	225012.4
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2254227	0.017	2815108	0.051	134565248	3.051	159732	0.216	176517.1
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2438643	0.018	3159516	0.059	136501211	3.294	159732	0.215	76812.53
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1803233	0.012	2059470	0.050	151431375	4.217	159732	0.204	41936.56
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1968307	0.013	2313787	0.052	153119686	4.063	159732	0.203	113799.2
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2172290	0.015	2620962	0.056	147698308	3.826	159732	0.207	170101
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2340997	0.016	2737981	0.062	150975849	3.989	159732	0.204	135346.6
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2476760	0.017	3137575	0.060	148680346	3.583	159732	0.206	57600.31
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1869295	0.011	1941454	0.050	168223872	4.521	159732	0.194	17486.92
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2040835	0.012	2225025	0.054	167528917	4.416	159732	0.194	47462.31
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2215158	0.013	2549155	0.053	167086708	3.991	159732	0.194	69773.16
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2377507	0.014	2815108	0.054	166082010	3.794	159732	0.195	55292.07
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2535168	0.015	3009253	0.055	168355766	3.685	159732	0.194	23716.05
E[F _y]							E[M _u]				3.571	2085205		
												3.571085		

ตารางที่ 6-125 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	642043	0.024	872823	0.086	27244450	3.667	159732	0.481	6006.197
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	693737	0.027	715878	0.085	25423725	3.121	159732	0.498	16133.77
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	757965	0.028	781900	0.088	27363346	3.194	159732	0.480	23874.42
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	809094	0.031	840543	0.090	26423716	2.924	159732	0.489	18816.55
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	865210	0.032	889412	0.091	26829885	2.821	159732	0.485	8093.888
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	701117	0.021	922190	0.081	34129257	3.943	159732	0.430	16305.41
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	759361	0.024	909358	0.081	32222737	3.439	159732	0.442	43903.04
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	833761	0.025	1097054	0.089	33059525	3.525	159732	0.437	65287.61
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	877643	0.027	1396251	0.090	32163423	3.303	159732	0.443	50741.62
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	947456	0.029	1396251	0.091	32592224	3.133	159732	0.440	22034.34
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	728045	0.019	630806	0.150	38281896	7.870	159732	0.406	22932.01
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	797193	0.021	1020260	0.078	37080454	3.635	159732	0.412	62424.11
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	863016	0.024	1067796	0.080	36621234	3.404	159732	0.415	91527.32
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	933493	0.025	1253301	0.092	37631759	3.719	159732	0.409	73097.13
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	972389	0.025	1466063	0.086	38556263	3.426	159732	0.404	30628.36
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	748391	0.017	823788	0.072	42907379	4.111	159732	0.383	17404.81
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	815411	0.020	720465	0.148	41251104	7.510	159732	0.391	47143.58
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	897590	0.021	1097054	0.079	42885322	3.759	159732	0.383	70285.7
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	965408	0.024	1160883	0.082	40832709	3.459	159732	0.393	55815.79
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1019263	0.024	1312476	0.091	43110565	3.853	159732	0.382	23704.31
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	753975	0.016	794367	0.066	47446699	4.171	159732	0.365	7053.308
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	840543	0.017	731901	0.150	48407225	8.643	159732	0.361	19547.94
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	908959	0.020	813117	0.149	45802935	7.521	159732	0.371	28630.45
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	985354	0.021	1188475	0.078	47078557	3.704	159732	0.366	22915.71
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1050180	0.021	1244658	0.080	49806974	3.784	159732	0.356	9824.25
E[F _y]							E[M _u]				4.137	8541316		
												4.13699		

ตารางที่ 6-126 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1547751	0.016	2031545	0.057	95977344	3.564	159732	0.256	14478.94
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1721571	0.018	1908209	0.059	95777059	3.280	159732	0.257	40037.4
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1880265	0.019	2077089	0.059	96594914	3.036	159732	0.256	59224.7
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1972507	0.021	2368640	0.060	95470250	2.907	159732	0.257	45873.24
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2120546	0.022	2629938	0.064	95850697	2.870	159732	0.256	19837.34
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1698950	0.014	2120972	0.052	118671723	3.649	159732	0.231	39511.33
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1848499	0.015	2393573	0.058	119289665	3.722	159732	0.230	106872.4
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2044068	0.017	2611986	0.055	117859070	3.165	159732	0.231	160060.6
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2210310	0.019	2844030	0.060	118447496	3.202	159732	0.231	127790.7
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2271730	0.019	3040170	0.060	117973922	3.102	159732	0.231	52832.07
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1770306	0.013	1982676	0.054	136948361	4.152	159732	0.215	55761.2
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	1950105	0.014	2393573	0.054	138047989	3.811	159732	0.214	152702.8
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2125207	0.016	2558131	0.055	136479659	3.509	159732	0.215	225389.2
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2262089	0.016	2795826	0.050	137609099	3.054	159732	0.214	177132.7
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2434910	0.018	3181457	0.059	135741658	3.272	159732	0.216	76694.95
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1821879	0.012	2059470	0.049	152643261	4.122	159732	0.203	42370.21
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	1990477	0.013	2329744	0.053	153561857	4.054	159732	0.203	115080.9
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2145757	0.014	2603010	0.055	154505285	3.935	159732	0.202	168023.3
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2351942	0.015	2757263	0.057	152675751	3.682	159732	0.203	135979.3
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2497080	0.016	3170486	0.060	153310460	3.674	159732	0.203	58072.95
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1868036	0.011	1941454	0.047	170114538	4.289	159732	0.193	17475.15
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2057605	0.012	2225025	0.052	168211478	4.284	159732	0.194	47852.32
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2213989	0.013	2549155	0.053	166424560	3.977	159732	0.195	69736.35
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2386377	0.014	2844030	0.054	171280541	3.852	159732	0.192	55498.33
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2558957	0.015	3029864	0.055	167205729	3.594	159732	0.194	23938.59
E[F _y]							E[M _u]				3.573	2088227		
												3.573257		

ตารางที่ 6-127 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	639005	0.024	872823	0.087	26600413	3.614	159732	0.487	5977.775
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	695730	0.026	715878	0.083	26551225	3.165	159732	0.487	16180.12
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	754773	0.028	781900	0.084	26617732	2.980	159732	0.487	23773.89
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	811367	0.030	840543	0.087	27168764	2.907	159732	0.482	18869.41
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	867876	0.032	892437	0.088	27017238	2.751	159732	0.483	8118.827
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	698805	0.021	925349	0.080	33833286	3.885	159732	0.432	16251.64
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	769151	0.023	915608	0.095	33301869	4.095	159732	0.435	44469.03
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	834220	0.025	1089076	0.087	33674018	3.505	159732	0.433	65323.52
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	887158	0.026	1386278	0.091	33746039	3.465	159732	0.432	51291.69
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	933699	0.028	1406224	0.092	32967994	3.255	159732	0.437	21714.4
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	730538	0.019	630806	0.149	39265699	8.021	159732	0.401	23010.54
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	802256	0.021	1027574	0.079	38797842	3.819	159732	0.403	62820.6
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	872656	0.023	1067799	0.081	38524163	3.559	159732	0.405	92549.68
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	931158	0.024	1248980	0.094	38533794	3.901	159732	0.405	72914.27
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	988389	0.026	1471050	0.087	38503060	3.398	159732	0.405	31132.35
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	753463	0.017	823788	0.072	43226140	4.136	159732	0.382	17522.78
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	818203	0.019	717673	0.150	43081456	7.878	159732	0.383	47305.03
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	892865	0.021	1097054	0.078	42921471	3.764	159732	0.383	69915.69
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	966412	0.023	1156894	0.081	42702484	3.562	159732	0.384	55873.84
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1029479	0.024	1312476	0.087	42950908	3.638	159732	0.383	23941.89
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	756496	0.016	794367	0.063	47546278	3.950	159732	0.364	7076.888
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	837684	0.018	740478	0.150	47119138	8.418	159732	0.366	19481.45
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	912051	0.020	806933	0.150	46140082	7.569	159732	0.370	28727.83
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	976729	0.021	1192797	0.079	47573210	3.851	159732	0.364	22715.11
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1054121	0.022	1261945	0.081	47386865	3.624	159732	0.365	9861.112
E[F _y]							E[M _u]				4.245	856819.4		
												4.245334		

ตารางที่ 6-128 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _p (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	673424	0.016	770000	0.040	42621759	2.500	159732	0.385	6299.761	0.023387
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	740339	0.018	840000	0.040	42064716	2.290	159732	0.387	17217.56	0.053252
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	814373	0.020	910000	0.039	41129944	1.965	159732	0.392	25651.16	0.061883
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	845051	0.020	963424	0.041	43335938	2.082	159732	0.381	19652.77	0.048421
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	898644	0.021	1017966	0.038	43204043	1.813	159732	0.382	8406.657	0.016956
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	696271	0.016	784644	0.031	42979704	1.914	159732	0.383	16192.7	0.044503
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	763559	0.018	850000	0.032	42185597	1.779	159732	0.387	44145.76	0.102855
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	820203	0.019	920000	0.034	42497585	1.767	159732	0.385	64425.97	0.138352
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	879254	0.020	986644	0.035	43100701	1.716	159732	0.383	50834.76	0.099194
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	921017	0.021	1051525	0.037	43857948	1.752	159732	0.379	21419.46	0.040754
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	727627	0.017	804509	0.030	42551292	1.778	159732	0.385	22918.84	0.055997
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	781525	0.018	870000	0.031	42474207	1.707	159732	0.385	61197.29	0.133629
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	831661	0.019	927254	0.032	42869124	1.665	159732	0.384	88201.96	0.176576
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	902373	0.021	999322	0.034	42970138	1.610	159732	0.383	70660.24	0.126034
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	954576	0.022	1070170	0.036	43389832	1.614	159732	0.381	30067.3	0.050826
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	745593	0.018	824373	0.031	41653257	1.704	159732	0.389	17339.75	0.039627
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	808475	0.020	887797	0.031	41460236	1.610	159732	0.390	46742.58	0.093098
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	852610	0.020	960000	0.033	43061121	1.652	159732	0.383	66763.58	0.129322
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	928475	0.022	1021695	0.034	42396100	1.543	159732	0.386	53680.47	0.089232
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	962034	0.022	1085085	0.035	43140534	1.565	159732	0.382	22373.37	0.036397
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	754915	0.018	847119	0.031	42174039	1.749	159732	0.387	7062.1	0.016358
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	829559	0.020	920000	0.033	41477965	1.650	159732	0.390	19292.49	0.038373
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	880339	0.021	980000	0.033	42323990	1.591	159732	0.386	27728.97	0.050124
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	935932	0.022	1047797	0.034	42736630	1.557	159732	0.384	21766.34	0.036212
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	996610	0.023	1106441	0.035	42772970	1.502	159732	0.384	9323.113	0.014052
					E[F _y]	839165				E[M _u]	1.715			839164.9	1.715411

ตารางที่ 6-129 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)								Mass (kg)	T (sec)
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	98942	0.043	107992	0.130	2304216.7	3.024	159732	1.654	925.5807	0.02829
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	109965	0.048	76904	0.154	2310651.7	3.243	159732	1.652	2557.37	0.075419
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	118953	0.052	94044	0.141	2287834.8	2.707	159732	1.660	3746.791	0.085266
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	122811	0.052	108479	0.144	2365909.5	2.779	159732	1.633	2856.125	0.064627
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	131271	0.055	118518	0.131	2404651	2.394	159732	1.619	1228.022	0.0224
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	108568	0.044	111318	0.105	2485181.7	2.401	159732	1.593	2524.887	0.055837
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	117779	0.049	79384	0.139	2414356.5	2.858	159732	1.616	6809.491	0.165265
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	125266	0.053	157909	0.131	2385334	2.504	159732	1.626	9808.947	0.196073
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	135041	0.053	171362	0.123	2535357.6	2.307	159732	1.577	7807.484	0.133381
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	142181	0.056	165240	0.130	2544686.1	2.331	159732	1.574	3306.605	0.054202
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	113529	0.045	75208	0.135	2514122.9	2.997	159732	1.584	3575.945	0.094404
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	121736	0.049	145993	0.118	2483849.6	2.409	159732	1.593	9532.553	0.188661
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	132007	0.052	152454	0.130	2544056	2.498	159732	1.574	13999.99	0.264901
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	141200	0.056	146664	0.105	2539063.7	1.892	159732	1.576	11056.63	0.148161
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	150620	0.059	187422	0.133	2545747.1	2.243	159732	1.574	4744.251	0.070644
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	118356	0.048	84080	0.147	2476131.5	3.074	159732	1.596	2752.515	0.071496
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	128947	0.052	140792	0.104	2489338.7	2.005	159732	1.592	7455.145	0.115924
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	132604	0.053	153662	0.108	2497932.6	2.039	159732	1.589	10383.58	0.159653
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	144962	0.059	160700	0.111	2473427.1	1.886	159732	1.597	8381.08	0.109048
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	152635	0.059	162345	0.137	2566296.1	2.311	159732	1.568	3549.723	0.053742
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	121260	0.048	138353	0.092	2542401.8	1.934	159732	1.575	1134.367	0.018094
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	131802	0.053	100869	0.151	2479667.5	2.847	159732	1.595	3065.222	0.066203
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	141040	0.056	158829	0.108	2498966.1	1.913	159732	1.589	4442.498	0.060242
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	150662	0.059	170409	0.111	2550863.6	1.887	159732	1.572	3503.849	0.043887
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	160720	0.063	180993	0.116	2568571.7	1.860	159732	1.567	1503.504	0.017397
					E[F _y]	130652				E[M _u]	2.363			130652.2	2.363214

ตารางที่ 6-130 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	$f_c'(MPa)$	$f_y(MPa)$	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	$F_y(N)$	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							$X_p(m)$	$F_u(N)$	$X_u(m)$	$K_p(N/m)$					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2223766	0.036	2690110	0.077	61874020	2.131	159732	0.319	20802.94	0.019935
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2401551	0.039	2727343	0.078	61145521	1.984	159732	0.321	55851.24	0.046146
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2649200	0.043	2882261	0.082	61159042	1.901	159732	0.321	83444.65	0.059887
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2842673	0.046	3085050	0.084	61393504	1.809	159732	0.320	66110.11	0.042082
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3046368	0.050	3323077	0.087	60861283	1.731	159732	0.322	28498.23	0.016192
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2383600	0.032	2932127	0.069	74034029	2.135	159732	0.292	55433.75	0.049649
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2589048	0.035	3225339	0.069	73783072	1.969	159732	0.292	149687.8	0.113845
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2829735	0.038	3676129	0.077	74680930	2.043	159732	0.291	221582.2	0.159943
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	3031859	0.041	3882907	0.085	73748118	2.076	159732	0.292	175289.2	0.120007
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3169489	0.043	4077052	0.084	74003339	1.969	159732	0.292	73710.64	0.045797
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2463053	0.029	3029864	0.067	85472223	2.341	159732	0.272	77581.39	0.073751
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2734990	0.032	3203399	0.069	86217736	2.164	159732	0.270	214163.2	0.169444
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2902872	0.034	3542487	0.072	85023490	2.105	159732	0.272	307864.6	0.223243
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	3162176	0.037	4020870	0.077	85732999	2.093	159732	0.271	247614	0.163883
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	3336042	0.039	4323391	0.081	86155892	2.086	159732	0.271	105078.9	0.06572
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2533198	0.027	2902207	0.062	94883434	2.335	159732	0.258	58912.85	0.054311
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2757595	0.029	3339367	0.066	94811601	2.286	159732	0.258	159432.5	0.132152
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	3026704	0.032	3676129	0.069	95570353	2.193	159732	0.257	237005.9	0.171735
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	3256930	0.034	3922800	0.072	95609324	2.115	159732	0.257	188301.9	0.122297
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3459378	0.036	4188421	0.074	95218355	2.026	159732	0.257	80452.39	0.047125
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2543171	0.024	2882261	0.061	104438058	2.500	159732	0.246	23790.92	0.023388
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2829735	0.027	3138240	0.065	105449418	2.419	159732	0.245	65809.22	0.056264
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	3050476	0.029	3628590	0.067	104751746	2.311	159732	0.245	96084.05	0.072779
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	3271216	0.031	3966350	0.069	104538414	2.214	159732	0.246	76076.44	0.051486
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3512693	0.033	4256570	0.071	106371669	2.152	159732	0.243	32860.63	0.020133
$E[F_y]$						2901439	$E[M_u]$						2.121	2901439	2.121195

ตารางที่ 6-131 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	$f_c'(MPa)$	$f_y(MPa)$	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	$F_y(N)$	Push-over Analysis (Longitudinal)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							$X_p(m)$	$F_u(N)$	$X_u(m)$	$K_p(N/m)$					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	326723	0.098	377287	0.252	3345032	2.578	159732	1.373	3056.433	0.024115
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	356709	0.106	249696	0.298	3358777	2.810	159732	1.370	8295.734	0.065355
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	386961	0.114	297867	0.298	3401944.5	2.620	159732	1.361	12188.52	0.082516
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	413124	0.123	347367	0.298	3351755.6	2.415	159732	1.372	9607.743	0.056166
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	445005	0.131	386894	0.300	3387417.8	2.287	159732	1.364	4162.944	0.021391
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	371669	0.087	415983	0.233	4280811.6	2.679	159732	1.214	8643.643	0.062293
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	399361	0.095	301224	0.299	4222736.1	3.164	159732	1.222	23089.36	0.182925
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	432173	0.103	630972	0.298	4191743.2	2.895	159732	1.227	33841.27	0.226672
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	465650	0.107	674389	0.300	4338162.6	2.791	159732	1.206	26921.89	0.161367
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	489286	0.114	640680	0.298	4293754.7	2.619	159732	1.212	11379	0.06091
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	384301	0.076	283239	0.300	5050085.6	3.947	159732	1.117	12104.75	0.124335
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	426023	0.084	537557	0.258	5041928	3.055	159732	1.118	33359.68	0.239226
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	460763	0.091	582436	0.288	5045694.9	3.158	159732	1.118	48866.28	0.33491
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	494805	0.098	590115	0.240	5065879.7	2.460	159732	1.116	38745.65	0.192656
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	526387	0.104	757167	0.302	5054896.6	2.900	159732	1.117	16580.16	0.091345
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	402120	0.071	296005	0.300	5640468	4.213	159732	1.057	9351.836	0.09799
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	439819	0.077	529578	0.220	5692639.8	2.846	159732	1.052	25428.47	0.164553
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	470736	0.085	588420	0.230	5543940.6	2.708	159732	1.067	36860.95	0.212014
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	508501	0.091	617010	0.236	5577935	2.585	159732	1.063	29399.39	0.149455
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	548860	0.097	626651	0.290	5664243.6	2.992	159732	1.055	12764.45	0.069583
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	408503	0.065	470736	0.179	6295899.3	2.765	159732	1.001	3821.475	0.02587
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	449593	0.071	344076	0.298	6304057.8	4.174	159732	1.000	10455.87	0.097069
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	488721	0.079	588088	0.219	6184933.3	2.777	159732	1.010	15393.76	0.08747
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	526586	0.084	645068	0.226	6239687.9	2.683	159732	1.005	12246.45	0.062399
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	566479	0.089	696297	0.236	6387755.1	2.664	159732	0.994	5299.31	0.024924
$E[F_y]$						451865	$E[M_u]$						2.918	451865	2.917509

ตารางที่ 6-132 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2216331	0.041	2680802	0.078	54685177	1.926	159732	0.340	20733.39
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2403335	0.044	2805467	0.079	54593229	1.789	159732	0.340	55892.71
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2659947	0.049	2942100	0.087	54372824	1.769	159732	0.341	83783.16
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2803787	0.052	3148545	0.089	54346492	1.731	159732	0.341	65205.76
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2991372	0.055	3351002	0.092	54847343	1.688	159732	0.339	27983.76
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2412761	0.036	2824749	0.071	66514807	1.964	159732	0.308	56111.92
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2608155	0.039	3243957	0.079	67140862	2.038	159732	0.306	150792.5
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2856823	0.042	3663496	0.087	67459299	2.046	159732	0.306	223703.3
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	3036171	0.045	3824730	0.088	67189140	1.944	159732	0.306	175538.6
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3271524	0.049	3922800	0.089	66656787	1.809	159732	0.308	76083.61
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2502611	0.033	2968030	0.065	76331502	1.982	159732	0.287	78827.38
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2855430	0.037	3243957	0.073	77801727	1.985	159732	0.285	223594.2
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2962416	0.038	3506584	0.076	77348128	1.979	159732	0.286	314179.6
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	3181763	0.041	3824730	0.075	77223747	1.821	159732	0.286	249147.7
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	3430351	0.044	4271198	0.088	77505035	1.985	159732	0.285	108049.4
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2704279	0.031	2745960	0.056	86334405	1.787	159732	0.270	62891.57
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2776874	0.032	3409179	0.071	86945346	2.231	159732	0.269	160547.1
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	3231796	0.037	3506584	0.072	86394331	1.926	159732	0.270	253065.5
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	3347178	0.039	3746939	0.071	86381944	1.826	159732	0.270	193519.6
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3509322	0.040	4174125	0.079	87060458	1.955	159732	0.269	81613.91
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2705284	0.028	2912180	0.061	95097921	2.143	159732	0.258	25307.45
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	3006564	0.032	3106326	0.064	94005972	2.008	159732	0.259	69921.61
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	3098823	0.033	3676129	0.070	94252356	2.137	159732	0.259	97606.9
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	3497364	0.037	3896204	0.072	95242215	1.968	159732	0.257	81335.8
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3807554	0.040	4118940	0.073	94477593	1.813	159732	0.258	35618.99
E[F _y]							E[M _u]				1.952	2971055		
												1.951621		

ตารางที่ 6-133 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 8PT3H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	326361	0.096	375990	0.249	3412925.7	2.607	159732	1.359	3053.051
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	354249	0.107	249696	0.300	3325125	2.820	159732	1.377	8238.523
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	384301	0.114	296537	0.299	3372455.5	2.626	159732	1.367	12104.75
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	413124	0.123	344508	0.299	3351755.6	2.428	159732	1.372	9607.743
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	443476	0.130	388424	0.299	3405249.6	2.298	159732	1.361	4148.639
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	366933	0.086	415983	0.234	4262215.7	2.723	159732	1.216	8533.511
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	402087	0.096	299861	0.300	4183003.2	3.117	159732	1.228	23246.97
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	512991	0.119	630972	0.300	4310885	2.518	159732	1.209	40169.71
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	552885	0.129	676683	0.298	4282248.9	2.308	159732	1.214	31965.46
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	487614	0.113	633133	0.299	4301974.8	2.640	159732	1.211	11340.1
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	385631	0.078	283239	0.300	4963079.1	3.856	159732	1.127	12146.63
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	424627	0.084	535728	0.256	5037413.6	3.041	159732	1.119	33250.35
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	492836	0.098	582436	0.281	5038943.1	2.869	159732	1.119	52267.82
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	497615	0.099	601851	0.252	5042674.4	2.551	159732	1.118	38965.68
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	619005	0.122	755139	0.296	5059698.7	2.416	159732	1.116	19497.46
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	401309	0.070	417412	0.200	5749111.7	2.865	159732	1.047	9332.97
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	439076	0.077	529578	0.222	5679094.8	2.870	159732	1.054	25385.53
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	477262	0.083	586425	0.232	5729753.5	2.783	159732	1.049	37371.94
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	509568	0.089	617841	0.237	5704588	2.654	159732	1.051	29461.09
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	549378	0.096	647262	0.238	5708399.1	2.477	159732	1.051	12776.5
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	409656	0.064	469140	0.179	6387288.5	2.798	159732	0.994	3832.256
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	451122	0.072	345605	0.300	6257500.7	4.167	159732	1.004	10491.44
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	491087	0.078	588420	0.219	6260592.8	2.796	159732	1.004	15468.3
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	528259	0.083	642874	0.228	6338836.8	2.738	159732	0.997	12285.35
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	567612	0.090	696297	0.237	6279916.8	2.621	159732	1.002	5309.906
E[F _y]							E[M _u]				2.787	470251.7		
												2.78672		

ตารางที่ 6-134 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	539695	0.005	607932	0.018	99943500	3.407	170288	0.259	5048.751	0.031876
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	605797	0.006	685322	0.020	100297450	3.228	170288	0.259	14088.6	0.075082
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	663559	0.007	747458	0.019	100387186	2.890	170288	0.259	20900.83	0.091016
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	725492	0.007	814441	0.020	100622954	2.774	170288	0.258	16872.26	0.064511
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	790441	0.008	880949	0.021	99803119	2.601	170288	0.260	7394.434	0.024332
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	553200	0.006	631322	0.018	99675730	3.243	170288	0.260	12865.4	0.075426
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	623356	0.006	700373	0.019	100379372	3.076	170288	0.259	36039.8	0.177823
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	684814	0.007	774712	0.019	100118947	2.822	170288	0.259	53624.28	0.220948
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	752034	0.008	841356	0.021	100137670	2.730	170288	0.259	43479.41	0.157819
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	807729	0.008	907525	0.021	100463781	2.550	170288	0.259	18784.8	0.059298
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	574983	0.006	657763	0.018	100697566	3.170	170288	0.258	18110.85	0.099845
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	640915	0.006	727525	0.019	100456944	2.947	170288	0.259	50186.83	0.230742
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	705085	0.007	794576	0.020	100726400	2.786	170288	0.258	74777.9	0.295439
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	769729	0.008	858203	0.020	99448165	2.610	170288	0.260	60273.56	0.204362
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	834847	0.008	936814	0.021	100221777	2.569	170288	0.259	26296.07	0.080919
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	587797	0.006	673085	0.018	99965408	3.129	170288	0.259	13669.98	0.072775
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	659525	0.007	747119	0.019	99326114	2.831	170288	0.260	38130.96	0.163695
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	725898	0.007	818746	0.020	98761673	2.680	170288	0.261	56841.41	0.209879
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	799492	0.008	883966	0.020	99439241	2.525	170288	0.260	46223.21	0.145978
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	855864	0.009	953492	0.021	99751096	2.448	170288	0.260	19904.25	0.056921
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	596441	0.006	690000	0.019	99572738	3.088	170288	0.260	5579.598	0.028892
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	665593	0.007	767390	0.019	100694902	2.859	170288	0.258	15479.25	0.066497
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	740509	0.007	838475	0.020	100749456	2.680	170288	0.258	23324.58	0.084423
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	807729	0.008	916881	0.021	100463781	2.550	170288	0.259	18784.8	0.059298
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	877017	0.009	976678	0.021	98652070	2.362	170288	0.261	8204.339	0.022098
					[E/F _y]	704886				[E/M _u]	2.800			704886.1	2.799894

ตารางที่ 6-135 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c *Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	221289	0.008	279613	0.029	28241939	3.640	170288	0.488	2070.121	0.034047
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	246310	0.009	254230	0.028	27274809	3.119	170288	0.496	5728.257	0.072527
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	269455	0.010	282444	0.028	28150408	2.923	170288	0.489	8487.307	0.092074
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	344372	0.012	293074	0.030	28741839	2.503	170288	0.484	8008.82	0.058205
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	373836	0.013	304400	0.030	28051576	2.265	170288	0.490	3497.174	0.021193
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	225735	0.008	282638	0.029	27069544	3.505	170288	0.498	5249.771	0.081511
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	258707	0.009	284526	0.034	27339800	3.546	170288	0.496	14957.32	0.204989
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	313105	0.012	280288	0.048	27071220	4.190	170288	0.498	24517.63	0.328113
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	305306	0.011	394590	0.028	28265586	2.598	170288	0.488	17651.48	0.150198
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	337225	0.012	418385	0.032	28994737	2.732	170288	0.482	7842.615	0.063546
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	235743	0.008	212411	0.050	28317376	6.037	170288	0.487	7425.459	0.190162
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	640915	0.006	727525	0.019	100456944	2.947	170288	0.259	50186.83	0.230742
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	285520	0.010	337892	0.025	28648724	2.528	170288	0.484	30280.9	0.26806
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	314529	0.011	373361	0.033	27658712	2.887	170288	0.493	24629.17	0.22603
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	339140	0.011	427510	0.032	29562877	2.822	170288	0.477	10682.24	0.088897
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	239532	0.008	291535	0.033	28795056	4.019	170288	0.483	5570.623	0.093459
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	269599	0.009	235318	0.052	28605493	5.482	170288	0.485	15587.07	0.316937
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	296225	0.011	342763	0.028	26802504	2.532	170288	0.501	23195.85	0.198277
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	327524	0.012	373399	0.030	28401611	2.562	170288	0.487	18936.06	0.148135
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	347806	0.012	410505	0.026	28512338	2.165	170288	0.486	8088.689	0.05034
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	244528	0.008	243415	0.057	30289579	7.029	170288	0.471	2287.515	0.065757
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	272405	0.010	259483	0.053	28237038	5.501	170288	0.488	6335.148	0.127943
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	306912	0.011	272139	0.056	28749494	5.209	170288	0.484	9667.125	0.164066
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	332265	0.012	390335	0.029	27593033	2.376	170288	0.494	7727.252	0.055256
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	358838	0.013	412862	0.031	27414880	2.337	170288	0.495	3356.865	0.021864
					[E _{F_y}]	321967				[E _{M_u}]	3.352			321967.3	3.352329

ตารางที่ 6-136 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1748039	0.016	2273894	0.056	107630922	3.433	170288	0.250	16352.6 0.032113
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1954475	0.018	2186795	0.059	108741865	3.297	170288	0.249	45453.88 0.076673
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2100865	0.019	2337723	0.060	108212044	3.111	170288	0.249	66173.18 0.097986
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1936135	0.018	2643568	0.060	109225687	3.398	170288	0.248	45027.36 0.079025
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2064457	0.019	2942100	0.063	106695776	3.239	170288	0.251	19312.63 0.030303
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1926763	0.014	2376951	0.049	133381007	3.404	170288	0.225	44809.41 0.079165
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2057016	0.016	2680802	0.059	130432686	3.736	170288	0.227	118927.9 0.215984
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2281065	0.017	3074411	0.060	130761750	3.415	170288	0.227	178618.6 0.267448
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2463171	0.019	3334380	0.067	130571881	3.542	170288	0.227	142410.1 0.204811
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2558412	0.020	3432450	0.059	130799343	3.029	170288	0.227	59499.25 0.070454
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2002425	0.013	2179149	0.054	150241278	4.033	170288	0.212	63072.51 0.127024
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2164940	0.014	2708727	0.053	153945912	3.803	170288	0.209	169525.5 0.29783
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2401289	0.016	2815108	0.061	152076612	3.876	170288	0.210	254669.2 0.411117
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2574927	0.017	3255259	0.056	154926174	3.358	170288	0.208	201629.5 0.262961
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2726765	0.018	3628590	0.058	151383254	3.216	170288	0.211	85887.81 0.101307
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2046001	0.012	2321766	0.049	170756873	4.064	170288	0.198	47582.46 0.09452
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2239871	0.013	2549820	0.054	167170174	4.053	170288	0.201	129499.8 0.234348
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2425200	0.014	2942100	0.055	171064399	3.868	170288	0.198	189905.1 0.302911
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2635729	0.016	3085050	0.056	169330077	3.577	170288	0.199	152386.7 0.206791
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2853372	0.018	3397544	0.058	174437749	3.543	170288	0.196	66358.92 0.082395
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2081106	0.012	2156210	0.049	180908461	4.240	170288	0.193	19468.38 0.099664
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2300385	0.012	2463385	0.053	184297267	4.213	170288	0.191	53498.48 0.097984
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2479303	0.013	2805467	0.053	193551257	4.139	170288	0.186	78093.23 0.103081
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2670150	0.014	3148545	0.056	187593516	3.922	170288	0.189	62097.85 0.091207
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2900629	0.016	3409179	0.055	186755778	3.563	170288	0.190	27134.87 0.033332
E[F _y]							E[M _u]				3.668		2337395 3.667734	

ตารางที่ 6-137 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_y (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_y (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	716742	0.024	1045858	0.086	30414243	3.667	170288	0.470	6704.996 0.034301
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	794666	0.027	811222	0.086	29571176	3.185	170288	0.477	18481.01 0.074063
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	853109	0.028	883361	0.088	30344642	3.147	170288	0.471	26871.28 0.099125
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	919032	0.029	951279	0.090	31199114	3.066	170288	0.464	21373.31 0.0713
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	976378	0.033	1016604	0.092	29988889	2.821	170288	0.473	9133.847 0.026394
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	786222	0.022	1064143	0.080	36223091	3.679	170288	0.431	18284.63 0.085552
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	853708	0.024	1089076	0.103	35525263	4.306	170288	0.435	49357.76 0.24898
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1042929	0.029	826580	0.150	35356745	5.072	170288	0.436	81666.45 0.397167
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	999982	0.027	1563801	0.091	36856168	3.371	170288	0.427	57814.7 0.19492
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1068132	0.028	1582418	0.092	37749848	3.247	170288	0.422	24840.82 0.075502
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	820996	0.019	703710	0.149	42249668	7.681	170288	0.399	25859.76 0.241927
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	972389	0.014	2708727	0.053	153945912	3.803	170288	0.209	169525.5 0.29783
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	972389	0.022	1197119	0.079	43253813	3.517	170288	0.394	103126.9 0.373016
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1052175	0.024	1416197	0.091	43088361	3.714	170288	0.395	82390.46 0.290843
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1107692	0.025	1655887	0.088	44654213	3.533	170288	0.388	34890.16 0.111295
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	833761	0.017	1005633	0.088	49186551	5.219	170288	0.370	19390.22 0.121385
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	915608	0.019	803110	0.149	48144289	7.848	170288	0.374	52936.58 0.453731
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	989676	0.021	1231693	0.078	46424428	3.655	170288	0.381	77496.5 0.286167
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1079767	0.022	1303167	0.081	48363673	3.630	170288	0.373	62427.57 0.209847
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1159553	0.023	1462739	0.073	49860385	3.133	170288	0.367	26966.93 0.072869
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	853209	0.016	760657	0.150	55031540	9.650	170288	0.350	7981.62 0.090273
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	941472	0.018	832963	0.148	51680957	8.106	170288	0.361	21895.17 0.188525
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1027574	0.019	910555	0.150	55231074	8.044	170288	0.349	32366.59 0.253379
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1098384	0.021	1340401	0.078	51523783	3.655	170288	0.361	25544.37 0.084991
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1186813	0.023	1441130	0.081	51898427	3.525	170288	0.360	11102.43 0.03298
E[F _y]							E[M _u]				4.416		1068430 4.416361	

ตารางที่ 6-138 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	1745184	0.016	2265916	0.055	109040752	3.455	170288	0.248
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	1959487	0.018	2186795	0.059	109592993	3.323	170288	0.248
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2130857	0.019	2345701	0.061	109556225	3.114	170288	0.248
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2240305	0.021	2671493	0.060	108975671	2.939	170288	0.248
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2382522	0.022	2932127	0.063	109761513	2.918	170288	0.247
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	1926195	0.015	2368640	0.050	132645380	3.416	170288	0.225
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2075264	0.015	2647890	0.057	134821935	3.694	170288	0.223
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2292985	0.017	3074411	0.059	134165464	3.477	170288	0.224
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2454039	0.018	3323077	0.064	133024279	3.482	170288	0.225
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2583534	0.019	3420815	0.059	134104685	3.076	170288	0.224
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	1999563	0.013	2171503	0.053	154426568	4.066	170288	0.209
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	2171514	0.014	2718035	0.053	156093401	3.823	170288	0.208
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	2397805	0.016	2844030	0.058	153071643	3.710	170288	0.210
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	2575638	0.017	3277865	0.055	155246618	3.289	170288	0.208
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	2699888	0.018	3628590	0.058	153011943	3.283	170288	0.210
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2037048	0.012	2321766	0.049	174343885	4.168	170288	0.196
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2232955	0.013	2549820	0.054	172462322	4.133	170288	0.197
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	2433103	0.014	2922153	0.053	172298646	3.781	170288	0.198
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	2660072	0.015	3053135	0.055	172298088	3.558	170288	0.198
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	2832175	0.017	3482649	0.057	169919035	3.421	170288	0.199
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2095380	0.011	2171503	0.046	190005895	4.175	170288	0.188
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2306377	0.012	2454742	0.052	190323716	4.272	170288	0.188
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2478617	0.013	2815108	0.054	190366666	4.132	170288	0.188
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	2691407	0.014	3148545	0.055	193651722	3.932	170288	0.186
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	2901943	0.015	3409179	0.055	188418261	3.544	170288	0.189
$E[F_y]$						2351458	$E[M_u]$				3.634	2351458	
												3.63677	

ตารางที่ 6-139 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3 ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)
							X_p (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_p (N/m)			
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	722676	0.023	1042202	0.086	31141710	3.706	170288	0.465
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	788428	0.026	813981	0.083	30700214	3.220	170288	0.468
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	857681	0.028	886387	0.086	30610649	3.071	170288	0.469
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	918037	0.030	951279	0.088	30924913	2.953	170288	0.466
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	986430	0.032	1012947	0.091	30765429	2.841	170288	0.467
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	792692	0.021	1071456	0.080	38395793	3.865	170288	0.418
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	859256	0.023	1089076	0.102	37669750	4.452	170288	0.422
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	933450	0.025	941472	0.033	37698300	1.336	170288	0.422
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	997193	0.026	1563801	0.091	38195798	3.474	170288	0.420
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1064983	0.028	1582418	0.092	38459707	3.315	170288	0.418
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	820996	0.019	706503	0.150	43228494	7.878	170288	0.394
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	890862	0.020	1152904	0.079	43651503	3.869	170288	0.392
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	977878	0.023	1201441	0.081	43146117	3.575	170288	0.395
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	1057522	0.024	1426171	0.091	43368520	3.730	170288	0.394
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	1121058	0.026	1655887	0.088	43588082	3.424	170288	0.393
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	846926	0.017	1005633	0.087	50659254	5.193	170288	0.364
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	921858	0.019	812485	0.150	49548938	8.067	170288	0.368
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	1005132	0.020	1236014	0.079	49971024	3.905	170288	0.367
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	1086366	0.022	1303167	0.081	49564084	3.696	170288	0.368
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	1152382	0.024	1478696	0.084	48294539	3.541	170288	0.373
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	853209	0.016	775119	0.149	54306473	9.500	170288	0.352
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	941472	0.018	836155	0.149	52957138	8.372	170288	0.356
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	1023917	0.019	917869	0.149	52833710	7.700	170288	0.357
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	1107123	0.020	1340401	0.078	54803727	3.868	170288	0.350
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	1177300	0.022	1431157	0.080	53990020	3.659	170288	0.353
$E[F_y]$						963966	$E[M_u]$				4.201	963965.7	
												4.200843	

ตารางที่ 6-140 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
							X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)					
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	612610	0.018	710237	0.043	34033900	2.389	170288	0.444	5730.861	0.022348
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	668949	0.020	777356	0.043	33615533	2.161	170288	0.447	15557.29	0.050252
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	731797	0.022	840000	0.045	33263482	2.027	170288	0.450	23050.17	0.063855
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	787119	0.024	896949	0.045	33352483	1.894	170288	0.449	18305.48	0.044049
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	836339	0.025	946983	0.045	33453560	1.788	170288	0.448	7823.804	0.016726
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	667254	0.021	740000	0.040	31623427	1.910	170288	0.461	15517.88	0.044418
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	730373	0.023	810000	0.044	31346476	1.888	170288	0.463	42227.07	0.10918
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	790373	0.025	867051	0.045	31614916	1.784	170288	0.461	61890.09	0.139696
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	815729	0.024	933627	0.046	33431508	1.898	170288	0.448	47161.98	0.109708
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	877966	0.027	996610	0.048	32882625	1.805	170288	0.452	20418.26	0.041983
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	659525	0.020	760000	0.040	33309364	2.005	170288	0.449	20773.77	0.063155
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	717458	0.022	821559	0.041	33370121	1.921	170288	0.449	56180.46	0.150418
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	781390	0.024	880949	0.043	32970034	1.819	170288	0.452	82870.44	0.192868
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	833085	0.025	953492	0.045	33190629	1.781	170288	0.450	65234.64	0.139451
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	898644	0.027	1006780	0.045	33160299	1.664	170288	0.450	28305.54	0.052419
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	674847	0.020	773932	0.040	33080755	1.980	170288	0.451	15694.47	0.046057
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	769322	0.025	844237	0.042	31273256	1.715	170288	0.464	44478.94	0.09918
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	798949	0.024	903831	0.044	33014426	1.810	170288	0.451	62561.65	0.141725
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	857085	0.026	963390	0.045	33092077	1.726	170288	0.451	49553.01	0.099782
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	913559	0.028	1032881	0.046	32861845	1.647	170288	0.452	21246.02	0.038314
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	694237	0.021	789153	0.040	32747042	1.906	170288	0.453	6494.468	0.017827
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	746136	0.022	864102	0.043	33309625	1.911	170288	0.449	17352.37	0.044436
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	807051	0.025	930000	0.044	32940853	1.796	170288	0.452	25420.54	0.056568
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	867797	0.026	993220	0.046	32996068	1.730	170288	0.451	20181.75	0.040234
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	928475	0.028	1055254	0.046	32924631	1.624	170288	0.452	8685.716	0.015193
					[E _{F_y}]	782717				[E _{M_u}]	1.840			782716.7	1.839846

ตารางที่ 6-141 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	90898	0.049	99898	0.147	1850981.8	2.996	170288	1.906	850.3338	0.028023
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	97803	0.055	83174	0.314	1793504.8	5.755	170288	1.936	2274.534	0.133836
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	107026	0.059	89483	0.163	1819698.8	2.770	170288	1.922	3371.115	0.087236
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	115651	0.064	97967	0.158	1817851	2.486	170288	1.923	2689.614	0.057818
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	123011	0.067	110920	0.157	1826089.6	2.324	170288	1.919	1150.745	0.021743
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	103526	0.057	106498	0.142	1815706.4	2.482	170288	1.924	2407.623	0.057729
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	111640	0.064	77796	0.189	1731116.4	2.924	170288	1.971	6454.58	0.169055
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	120487	0.067	153823	0.168	1809138.3	2.524	170288	1.928	9434.715	0.197671
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	125894	0.067	158004	0.162	1880619.5	2.422	170288	1.891	7278.634	0.140013
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	135480	0.072	156072	0.171	1874799.6	2.360	170288	1.894	3150.771	0.054891
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	103678	0.053	80063	0.185	1959636.9	3.491	170288	1.852	3265.649	0.109944
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	112222	0.058	137780	0.154	1945299.6	2.675	170288	1.859	8787.514	0.209462
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	120936	0.063	146555	0.138	1906205.5	2.173	170288	1.878	12825.86	0.230441
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	130837	0.069	144000	0.155	1898243.4	2.250	170288	1.882	10245.18	0.176194
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	139731	0.072	180192	0.174	1940938.8	2.412	170288	1.861	4401.251	0.075986
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	106229	0.056	120514	0.134	1894963.3	2.382	170288	1.884	2470.492	0.055399
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	123007	0.067	86203	0.182	1830309.8	2.701	170288	1.917	7111.743	0.156182
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	126045	0.066	150934	0.153	1920276.2	2.329	170288	1.871	9869.928	0.182401
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	135762	0.069	159820	0.150	1978508.7	2.183	170288	1.843	7849.199	0.126227
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	144484	0.076	160290	0.154	1904935.4	2.032	170288	1.879	3360.176	0.047255
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	111628	0.057	125596	0.115	1960728.9	2.014	170288	1.852	1044.259	0.018838
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	119413	0.060	98586	0.206	1983461	3.430	170288	1.841	2777.107	0.079768
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	129269	0.067	97348	0.201	1925056.3	2.988	170288	1.869	4071.72	0.09412
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	137886	0.071	162534	0.152	1929809.4	2.128	170288	1.866	3206.712	0.049495
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	149731	0.078	174270	0.154	1914100.7	1.975	170288	1.874	1400.703	0.018475
					[E/F]	121750				[E/M]	2.578			121750.2	2.578201

ตารางที่ 6-142 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c '*Pf _y	F _y (N)	Push-over Analysis (Transverse)						Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X _p (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _p (N/m)						
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2490313	0.035	3137575	0.077	70605117	2.189	170288	0.309	23296.44	0.020474	
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2759960	0.039	2727343	0.041	70698193	1.048	170288	0.308	64186.5	0.024362	
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2986827	0.043	3243957	0.082	70073197	1.922	170288	0.310	94079.24	0.060542	
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	3192963	0.045	3579389	0.085	70231341	1.862	170288	0.309	74256.56	0.04331	
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3408429	0.048	3733974	0.085	70520388	1.767	170288	0.309	31885.25	0.016534	
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2687783	0.032	3327731	0.070	85175013	2.227	170288	0.281	62507.93	0.051785	
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2964374	0.035	3530188	0.070	85357297	2.010	170288	0.281	171387.5	0.116233	
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	3211377	0.038	4035165	0.079	84891926	2.098	170288	0.281	251466.6	0.164314	
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	3437437	0.040	4562415	0.085	85935921	2.133	170288	0.280	198738	0.12334	
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3616290	0.042	4740271	0.084	85309980	1.984	170288	0.281	84101.59	0.046151	
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2797821	0.029	3053135	0.064	97413763	2.234	170288	0.263	88125.92	0.070364	
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	3057124	0.031	3625598	0.068	97978477	2.194	170288	0.262	239387.9	0.171821	
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	3324407	0.033	3909503	0.071	99826054	2.140	170288	0.260	352570.6	0.226925	
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	3578392	0.036	4480635	0.075	99031159	2.065	170288	0.261	280205.7	0.161718	
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	3762896	0.038	4772851	0.078	98260762	2.032	170288	0.262	118523.9	0.06399	
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2861650	0.026	3116964	0.062	110262765	2.377	170288	0.247	66551.43	0.055271	
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	3085714	0.028	3785834	0.070	110777753	2.500	170288	0.246	178402.9	0.14454	
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	3352997	0.031	3966350	0.067	109439148	2.198	170288	0.248	262556.2	0.172085	
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	3656847	0.034	4241943	0.070	107741284	2.065	170288	0.250	211423.4	0.119381	
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3925460	0.036	4691403	0.072	110467417	2.021	170288	0.247	91291.73	0.047	
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2870958	0.024	3232653	0.060	119827938	2.520	170288	0.237	26857.3	0.023572	
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	3164836	0.027	3409179	0.062	119270232	2.325	170288	0.237	73602.42	0.054075	
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	3430788	0.029	4145536	0.066	120100389	2.297	170288	0.237	108063.1	0.07235	
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	3731314	0.031	4434759	0.068	120969830	2.214	170288	0.236	86776.63	0.051487	
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3957374	0.033	4675446	0.070	120211835	2.121	170288	0.236	37020.53	0.01984	
[E(F _y)							3277265		[E(M _u)		2.121		3277265			2.121462

ตารางที่ 6-143 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3H ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f _c '(MPa)	f _y (MPa)	Pf _c '	Pf _y	Pf _c *Pf _y	Push-over Analysis (Longitudinal)									
						F _y (N)	X _y (m)	F _u (N)	X _u (m)	K _y (N/m)	Ductility	Mass (kg)	T (sec)		
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	369508	0.096	441315	0.264	3839959.2	2.744	170288	1.323	3456.68	0.025673
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	403516	0.107	291816	0.298	3771992.7	2.790	170288	1.335	9384.307	0.064882
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	436827	0.114	345572	0.299	3833396.4	2.626	170288	1.324	13759.2	0.08271
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	469140	0.123	390950	0.300	3827904.4	2.444	170288	1.325	10910.48	0.056849
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	501321	0.130	437359	0.299	3849412.2	2.298	170288	1.322	4689.765	0.021494
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	417014	0.085	478914	0.247	4890451	2.894	170288	1.172	9698.202	0.067303
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	453117	0.096	339056	0.299	4713876.3	3.113	170288	1.194	26197.28	0.179975
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	489552	0.101	715878	0.299	4857872.5	2.969	170288	1.176	38334.34	0.232506
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	530509	0.110	772127	0.299	4834145.4	2.723	170288	1.179	30671.77	0.15741
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	558035	0.115	742340	0.298	4863940	2.595	170288	1.176	12977.84	0.06034
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	439819	0.077	321636	0.298	5730989.3	3.889	170288	1.083	13853.45	0.122493
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	478183	0.084	608034	0.256	5711621.4	3.056	170288	1.085	37444.06	0.239265
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	514518	0.089	650387	0.228	5771573.6	2.557	170288	1.079	54567.35	0.271133
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	561991	0.099	676683	0.259	5663804.7	2.609	170288	1.089	44006.66	0.204327
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	585096	0.102	854240	0.300	5751399.5	2.945	170288	1.081	18429.38	0.092758
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	450457	0.071	485363	0.204	6316176.6	2.859	170288	1.032	10475.97	0.066483
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	493375	0.076	386562	0.300	6483418.3	3.937	170288	1.018	28524.86	0.227612
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	528980	0.083	662355	0.235	6365501.9	2.828	170288	1.028	41421.71	0.221474
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	579245	0.090	703710	0.235	6441634.6	2.612	170288	1.022	33489.47	0.15102
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	620833	0.097	728045	0.242	6403575.2	2.493	170288	1.025	14438.29	0.057967
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	461627	0.064	514485	0.171	7174696.7	2.663	170288	0.968	4318.441	0.024909
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	506507	0.071	388956	0.298	7102087	4.174	170288	0.973	11779.48	0.097069
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	549524	0.078	433935	0.299	7018640.5	3.822	170288	0.979	17308.95	0.120378
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	592875	0.084	725718	0.228	7075046.3	2.723	170288	0.975	13788.08	0.063337
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	638186	0.091	772127	0.236	6988614.6	2.579	170288	0.981	5970.121	0.024126
[E _{F_y}]						509896		[E _{M_u}]		2.933		509896.1			

ตารางที่ 6-144 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางขวางกับสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Transverse)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	2481028	0.039	3116964	0.077	63054261	1.952	170288	0.327	23209.58
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	2757518	0.043	3138240	0.083	63560704	1.908	170288	0.325	64129.71
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	2938162	0.046	3138240	0.062	63414097	1.335	170288	0.326	92546.41
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	3202746	0.051	3628590	0.090	62441826	1.746	170288	0.328	74484.08
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	3403613	0.054	3882907	0.094	62786055	1.730	170288	0.327	31840.2
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2706028	0.036	3266563	0.069	76075160	1.953	170288	0.297	62932.25
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	2980884	0.039	3432450	0.074	76524573	1.895	170288	0.296	172342.1
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	3217513	0.042	4188421	0.084	77229018	2.011	170288	0.295	251947.1
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	3470011	0.045	4368270	0.088	77149122	1.946	170288	0.295	200621.3
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3659099	0.048	4593665	0.089	76493905	1.851	170288	0.296	85097.16
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	2838259	0.032	3106326	0.067	89171010	2.120	170288	0.275	89399.64
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	3192555	0.036	3616290	0.070	89035479	1.960	170288	0.275	249992.8
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	3452015	0.039	3922800	0.075	88828146	1.920	170288	0.275	366104.1
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	3600371	0.040	4383231	0.079	89083605	1.958	170288	0.275	281926.8
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	3814197	0.043	4903500	0.085	89145415	1.994	170288	0.275	120139.8
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	2994075	0.030	3181457	0.064	100082137	2.141	170288	0.259	69631.15
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	3141302	0.032	3759904	0.069	99579829	2.181	170288	0.260	181616.8
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	3558365	0.036	3979980	0.068	98218307	1.885	170288	0.262	278637.5
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	3674863	0.037	4315080	0.074	99824890	2.000	170288	0.260	212465
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	3930679	0.040	4740271	0.078	99305160	1.975	170288	0.260	91413.11
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	3094169	0.028	3192428	0.060	109015177	2.122	170288	0.248	28945.41
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	3265705	0.030	3432450	0.046	109704454	1.529	170288	0.248	75948.26
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	3483536	0.032	4202715	0.070	107837007	2.170	170288	0.250	109724.6
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	3940951	0.036	4413150	0.071	109913678	1.972	170288	0.247	91652.01
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	4173786	0.038	4740271	0.073	109983207	1.925	170288	0.247	39045.03
E[Fy]							E[M _u]				1.942			
												3345792		
												1.942116		

ตารางที่ 6-145 ผลการวิเคราะห์ Pushover 25 กรณี ตอม่อ 9PT3H ชุดออกแบบใหม่ (ทิศทางตามแนวสะพาน)

CASE	f_c' (MPa)	f_y (MPa)	Pf_c'	Pf_y	$Pf_c' * Pf_y$	F_y (N)	Push-over Analysis (Longitudinal)				Ductility	Mass (kg)	T (sec)	
							X_u (m)	F_u (N)	X_u (m)	K_u (N/m)				
1	9.3	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	367768	0.094	446534	0.274	3905146.4	2.914	170288	1.312	3440.406
2	9.3	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	403516	0.105	290420	0.299	3827485.3	2.838	170288	1.325	9384.307
3	9.3	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	438323	0.114	344076	0.299	3846524.3	2.626	170288	1.322	13806.32
4	9.3	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	469140	0.123	394142	0.299	3806226.9	2.428	170288	1.329	10910.48
5	9.3	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	500157	0.129	440816	0.299	3863499.1	2.311	170288	1.319	4678.881
6	13.9	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	416517	0.086	478914	0.243	4845517.7	2.826	170288	1.178	9686.645
7	13.9	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	454679	0.093	342181	0.300	4893231.8	3.233	170288	1.172	26287.62
8	13.9	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	584987	0.119	711057	0.299	4901446.4	2.507	170288	1.171	45807.34
9	13.9	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	618602	0.127	772127	0.299	4859678.9	2.351	170288	1.176	35764.97
10	13.9	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	584044	0.119	740279	0.299	4888890.3	2.505	170288	1.173	13582.71
11	18.5	268.6	0.325661	0.096720	0.031498	436827	0.077	323132	0.300	5680529.3	3.906	170288	1.088	13759.2
12	18.5	305.3	0.325661	0.240449	0.078305	480506	0.084	608034	0.260	5751217.4	3.108	170288	1.081	37625.97
13	18.5	342.0	0.325661	0.325661	0.106055	521853	0.091	647262	0.242	5751148.5	2.665	170288	1.081	55345.26
14	18.5	378.6	0.325661	0.240449	0.078305	557937	0.097	686856	0.282	5744343.9	2.905	170288	1.082	43689.22
15	18.5	415.3	0.325661	0.096720	0.031498	692690	0.121	860091	0.300	5714881	2.478	170288	1.085	21818.39
16	23.1	268.6	0.240449	0.096720	0.023256	456733	0.070	485363	0.202	6565403.5	2.902	170288	1.012	10621.92
17	23.1	305.3	0.240449	0.240449	0.057816	495071	0.077	386562	0.299	6437934.1	3.885	170288	1.022	28622.89
18	23.1	342.0	0.240449	0.325661	0.078305	535510	0.084	662355	0.229	6403770	2.736	170288	1.025	41933.05
19	23.1	378.6	0.240449	0.240449	0.057816	578512	0.090	706104	0.236	6432708.9	2.620	170288	1.022	33447.09
20	23.1	415.3	0.240449	0.096720	0.023256	616293	0.096	728045	0.235	6451253.2	2.461	170288	1.021	14332.7
21	27.8	268.6	0.096720	0.096720	0.009355	462689	0.064	510961	0.171	7191268.4	2.663	170288	0.967	4328.378
22	27.8	305.3	0.096720	0.240449	0.023256	509964	0.070	395870	0.300	7234455.5	4.250	170288	0.964	11859.88
23	27.8	342.0	0.096720	0.325661	0.031498	553314	0.078	443409	0.300	7121161.8	3.856	170288	0.972	17428.32
24	27.8	378.6	0.096720	0.240449	0.023256	596183	0.083	725718	0.228	7167162.1	2.744	170288	0.968	13865.03
25	27.8	415.3	0.096720	0.096720	0.009355	637445	0.089	774753	0.236	7127340.6	2.635	170288	0.971	5963.184
E[Fy]							E[M _u]				2.901			
												527990		
												2.900615		

บทที่ 7 การประเมินความสามารถของตอม่อ

สะพานในการต้านทานแรง

แผ่นดินไหว

การประเมินความสามารถของตอม่อสะพานในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวจะนำเสนอในรูปของเส้นโค้งแตกร้าว (Fragility Curve) ซึ่งเป็นเส้นโค้งที่แสดงถึงความน่าจะเป็นที่ตอม่อจะเกิดความเสียหายเกินกว่าระดับที่กำหนด ที่ค่าความเร่งผิวดินสูงสุด (Peak Ground Acceleration, PGA) ต่างๆ โดยความสามารถการต้านทานของตอม่อจะแปรปรวนตามกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมที่ใช้ในการก่อสร้างตอม่อสะพาน

การประเมินความสามารถของตอม่อสะพานในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวพิจารณาว่า PGA ของพื้นที่จังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวรุนแรงของประเทศไทย ที่รอบการเกิดแผ่นดินไหว 475 ปี และ 2500 ปี โดยรอบการเกิดแผ่นดินไหวที่ 475 ปี จะสอดคล้องกับขนาดแผ่นดินไหวหรือค่าความเร่งผิวดินสูงสุดที่ใช้ในการสร้างแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวทั่วไปรวมทั้งของประเทศไทย ส่วนรอบการเกิดแผ่นดินไหวที่ 2500 ปี เป็นขนาดแผ่นดินไหวหรือค่าความเร่งผิวดินสูงสุดที่สะพานจะต้องต้านทานได้ตามมาตรฐานการออกแบบสะพานของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ AASHTO

7.1 การสร้างเส้นโค้งแตกร้าว (Fragility Curves)

เส้นโค้งแตกร้าวเป็นเส้นโค้งที่แสดงถึงความน่าจะเป็นที่โครงสร้างจะเกิดความเสียหายเกินกว่าระดับที่กำหนด ณ ค่าต่างๆ ของตัวแปรที่พิจารณา โดยในแง่ของแผ่นดินไหวตัวแปรที่นิยมใช้คือความเร่งผิวดินสูงสุด (Peak Ground Acceleration) หรือ PGA ในประเทศไทย ค่า PGA สามารถอ้างอิงได้จากมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยพ.1302) กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย

การสร้างเส้นโค้งแตกร้าวสามารถทำได้ทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายจากแผ่นดินไหวในอดีต การสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ และการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ในโครงการนี้การสร้างเส้นโค้งแตกร้าวใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ตามแนวทางที่เสนอโดย Monti and Nistico (2002) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 15) กำหนดฟังก์ชันความเสียหาย (Damage Function) ในรูปของความเร่งผิวดินเพื่อนำไปคำนวณหาความน่าจะเป็นในการวิบัติของตอม่อสะพานที่ความเร่งผิวดินต่างๆ

$$D(a) = \frac{a - A_y}{A_u - A_y} \text{ if } a < A_y \text{ then } D = 0 \quad (7-1)$$

โดยที่ $a = \text{PGA}$ ที่พิจารณา

A_y = ความแรงผิวดินที่สภาวะคราก (Yield State)

A_u = ความแรงผิวดินที่สภาวะประลัย (Ultimate State)

$$A_y = \frac{F_y}{mS_a(T_y)} \quad (7-2)$$

$$A_u \approx A_y \cdot M_u = \frac{F_y M_u}{mS_a(T_y)} \quad (7-3)$$

โดยที่ F_y = แรงต้านทานทางข้างที่สภาวะครากพิจารณาเป็น random value

m = มวลของโครงสร้างส่วนบนพิจารณาเป็น deterministic value

$S_a(T_y)$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของสเปกตรัมความเร่งวัดที่คาบการแกว่งช่วงยืดหยุ่น T_y
โดยพิจารณา T_y เป็น random value

M_u = ค่าความเหนียวของตอม่อที่สภาวะประลัยพิจารณาเป็น random value

เมื่อให้ $\mathbf{P} = \{F_y, T_y, M_u\}^T$ ดังนั้น Damage Function สามารถเขียนได้เป็น

$$D(F_y, T_y, M_u, S_a | a) = D(\mathbf{P}, S_a | a) = \frac{1}{M_u - 1} \left(a \frac{mS_a(T_y)}{F_y} - 1 \right) \quad (7-4)$$

16) สร้างแบบจำลองทางกลศาสตร์ของตอม่อสะพาน ในที่นี้จะพิจารณาตอม่อสะพานเป็น Single-degree-of-freedom Structure และใช้วิธี Nonlinear Pushover Analysis เพื่อหา $\mathbf{P}$ ที่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมพิจารณาเป็น random value

17) นิยามระดับความเสียหาย ระดับความเสียหายหมายถึงความเสียหายเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าความเหนียวที่ต้องการมีค่าเป็นสัดส่วน α กับค่าความเหนียวเฉลี่ยที่สภาวะประลัย

$$d_{PL} = E[D] = \frac{\alpha \cdot E[M_u] - 1}{E[M_u] - 1} \quad (7-5)$$

โดยพิจารณาระดับความเสียหาย 2 ระดับ ได้แก่

ระดับความเสียหายที่ 1 เสียหายปานกลางถึงหนัก $\alpha = 0.7$ (ความเสียหายสามารถซ่อมแซมได้ REPAIRABLE DAMAGE)

ระดับความเสียหายที่ 2 เสียหายหนักถึงวิบัติ $\alpha = 0.9$ (ตอม่อไม่สามารถใช้งานได้หรือวิบัติ COLLAPSE)

18) คำนวณความน่าจะเป็นที่ตอม่อจะเกิดความเสียหายเกินกว่าระดับที่กำหนดจาก

$$P_{f, pier}(a) = \Pr[D(\mathbf{P}, S_a | a) > d_{PL}] = \int_{D(a) > d_{PL}} f_D(d | a) dd \quad (7-6)$$

โดยใช้ Numerical Integration

จากแนวทางข้างต้นข้อมูลที่ต้องใช้ในการสร้างเส้นโค้งแตกร้าประกอบด้วย

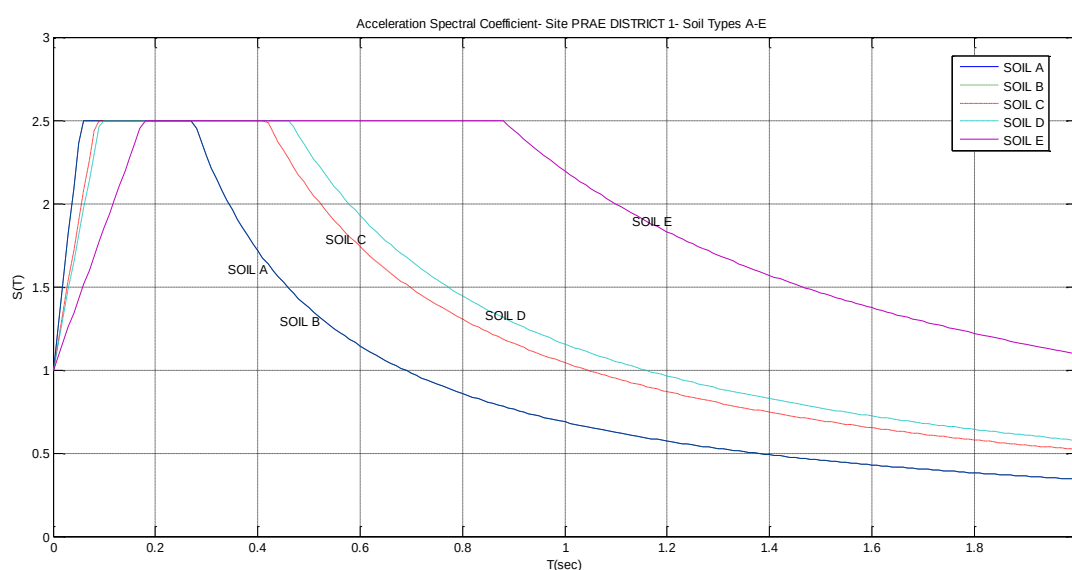
u) ค่าทางสถิติของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม ซึ่งในโครงการนี้ค่าทางสถิติดังกล่าวได้นำมาจากรายงานการศึกษาวิจัย โครงการทดสอบสะพานกรรมทางหลวงภายใต้

การกระตุ้นแบบพลวัตเนื่องจากการจราจรและแผ่นดินไหวเพื่อปรับปรุงการออกแบบและเสริมกำลัง ของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง ปี 2556 กล่าวโดยสรุปกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีการกระจายตัวเป็นโค้งปกติ (Normal Distribution) มีค่าเฉลี่ย 189 kg/cm^2 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 59 kg/cm^2 กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมมีการกระจายตัวเป็นโค้งปกติ (Normal Distribution) เช่นกันโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3487 kg/cm^2 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 467 kg/cm^2 (ดูในบทที่ 6)

- v) ค่า F_y ซึ่งได้จากการทำ Pushover Analysis จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหา T_y (ดูบทที่ 6)
- w) ค่าสัมประสิทธิ์ของสเปกตรัมความเร่ง โดยค่าสัมประสิทธิ์นี้จะแตกต่างกันตามพื้นที่ ซึ่งสามารถหาค่าได้จาก มยพ.1302 โดยรายละเอียดจะแสดงในหัวข้อถัดไป

7.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของสเปกตรัมความเร่ง

ค่าสัมประสิทธิ์ของสเปกตรัมความเร่งจะมีค่าแตกต่างกันตามพื้นที่ ขึ้นอยู่กับลักษณะของรอยเลื่อนที่พิจารณา และประเภทของชั้นดินบริเวณที่ตั้งสะพาน ซึ่งมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยพ.1302) กระทรวงมหาดไทย ได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ให้กับทุกอำเภอของประเทศไทยแล้ว สามารถนำมาวิเคราะห์เป็นความเร่งผิวดินสูงสุด (Peak Ground Acceleration, PGA) สำหรับแผ่นดินไหวรอบการเกิด 475 ปี และ 2500 ปี ได้ โครงการนี้พิจารณาค่า PGA ในพื้นที่จังหวัดแพร่ ซึ่งถูกจัดเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวรุนแรงของประเทศ โดยมีค่า PGA ที่รอบการเกิดแผ่นดินไหว 475 ปี และ 2500 ปี เท่ากับ $0.297g$ และ $0.4455g$ ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ของสเปกตรัมความเร่งของพื้นที่จังหวัดแพร่แสดงไว้ในรูปที่ 7-1 โดยค่าสัมประสิทธิ์ของสเปกตรัมความเร่งที่ถูกนำมาสร้าง fragility curves ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นของชั้นดินประเภท D ซึ่งเป็นสมมติฐานที่ค่อนข้างปลอดภัยสำหรับดินทั่วไป

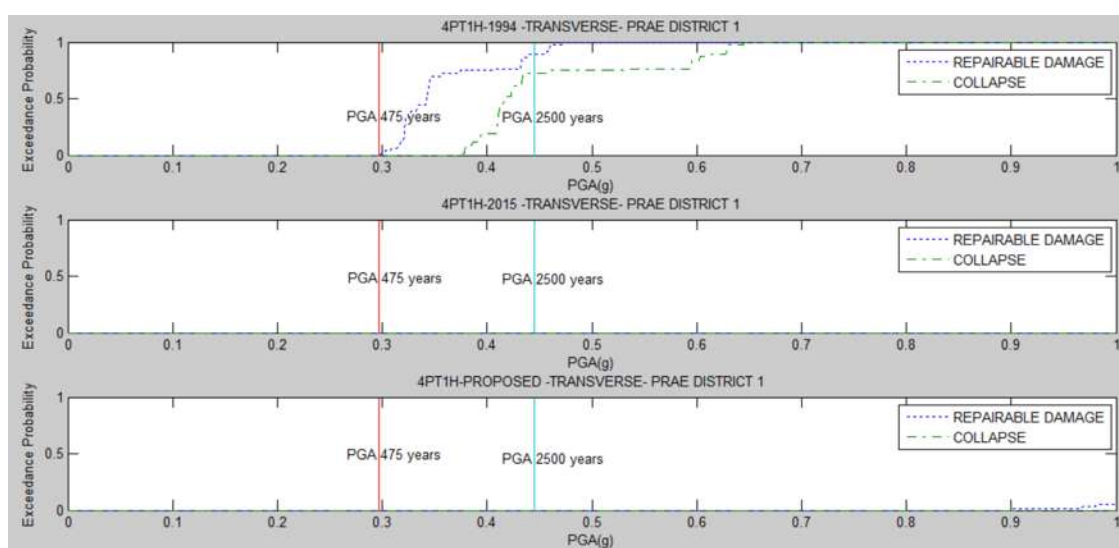


รูปที่ 7-1 ค่าสัมประสิทธิ์ของสเปกตรัมความเร่งของพื้นที่จังหวัดแพร่

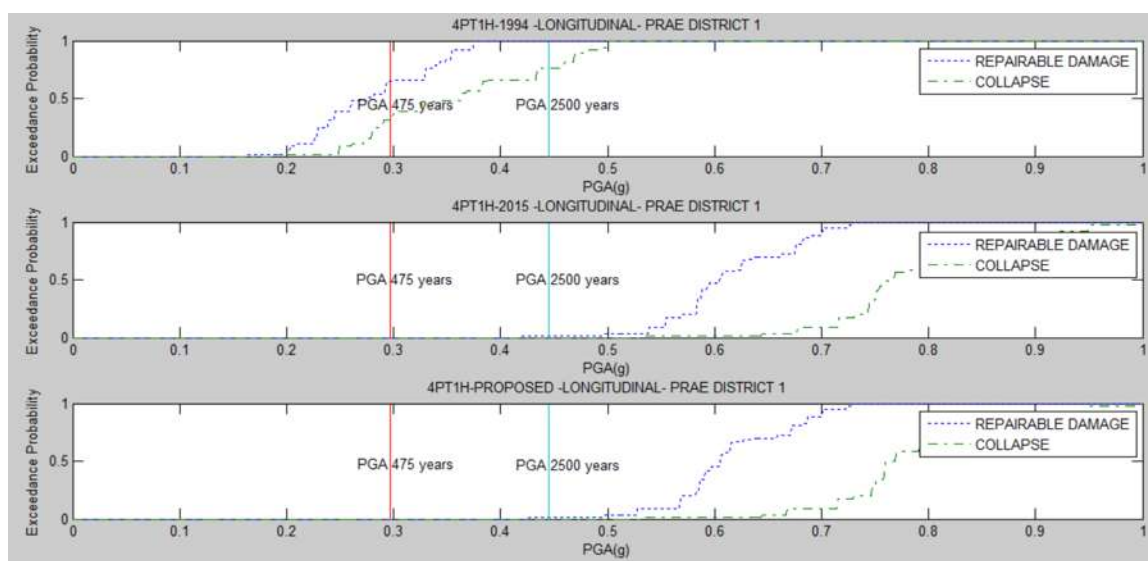
7.3 เส้นโค้งแตกร้าว (Fragility Curves)

รูปที่ 7-2 และ รูปที่ 7-3 แสดงตัวอย่างเส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 4PT1H ชุดแบบมาตรฐานปี 1994 ชุดแบบมาตรฐานปี 2015 และ ชุดออกแบบใหม่นำเสนอในการศึกษาครั้งนี้ ทั้งในทิศทางตามขวางกับสะพานและในทิศทางตามแนวสะพาน ที่ได้สร้างขึ้นจากหลักเกณฑ์ในหัวข้อที่ 7.1 และข้อมูลในหัวข้อที่ 7.2 และผลการวิเคราะห์ Pushover ในบทที่ 4 พื้นที่จังหวัดแพร่ โดยสมมติชั้นดินประเภท D แต่ละตอม่อมีเส้นโค้งแตกร้าว 2 เส้น ประกอบด้วย

- เส้นที่ 1 เป็นเส้นโค้งแตกร้าวที่ตอม่อเสียหายปานกลางถึงหนัก แต่สามารถซ่อมแซมได้ (REPAIRABLE DAMAGE)
- เส้นที่ 2 เป็นเส้นโค้งแตกร้าวที่ตอม่อเสียหายหนักถึงวิบัติ ตอม่อไม่สามารถใช้งานได้หรือวิบัติ (COLLAPSE)



รูปที่ 7-2 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 4PT1H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



รูปที่ 7-3 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 4PT1H (ทิศทางตามแนวสะพาน)

จากรูปที่ 7-2 และ รูปที่ 7-3 แสดงให้เห็นว่าตอม่อ 4PT1H ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานปี 1994 สามารถต้านทานแผ่นดินไหวทิศทางขวางกับสะพาน ได้ดีกว่าแผ่นดินไหวทิศทางตามแนวสะพาน ที่รอบการเกิดแผ่นดินไหว 475 ปี ตอม่อ 4PT1H จะไม่ได้รับความเสียหาย หากแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในทิศทางขวางกับสะพาน ในขณะที่หากแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในทิศทางตามแนวสะพาน ตอม่อ 4PT1H จะมีโอกาสเสียหายปานกลางถึงหนักร้อยละ 33 และจะมีโอกาสเสียหายหนักถึงวิบัติร้อยละ 31 นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นชัดเจนว่า ตอม่อ 4PT1H หากก่อสร้างตามแบบปรับปรุงปี 2015 และตามแบบที่ได้ออกแบบใหม่ในการศึกษาครั้งนี้ จะทำให้ตอม่อ 4PT1H ปลอดภัยจากแผ่นดินไหวขนาดรอบการเกิด 2500 ปี ทั้งสองทิศทาง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากกำลังรับแรงที่จุดครากที่สูงขึ้นเป็นอย่างมากของตอม่อ 4PT1H ตามผลการวิเคราะห์ Pushover ในบทที่ 6

ตารางที่ 7-1 ถึง ตารางที่ 7-3 สรุปผลการประเมินความสามารถของตอม่อทั้ง 24 รูปแบบในการต้านทานแรงแผ่นดินไหว จะเห็นได้ว่าตอม่อทั้ง 24 รูปแบบที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานเดิมปี 1994 มีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายไปจนถึงขั้นวิบัติจากแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทาง แตกต่างกันไป โดยตอม่อมีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายไปจนถึงขั้นวิบัติจากแผ่นดินไหวในทิศทางตามแนวสะพานสูงกว่าแผ่นดินไหวในทิศทางขวางกับสะพาน ตอม่อ 7PT2H และตอม่อ 7PT3H ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานเดิมปี 1994 มีความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวต่ำกว่าตอม่อรูปแบบอื่นๆ โดยหากเกิดแผ่นดินไหวขนาดรอบการเกิด 475 ปี ในทิศทางขวางกับสะพาน ตอม่อ 7PT2H และ 7PT3H มีโอกาสวิบัติร้อยละ 53 และร้อยละ 18 ตามลำดับ ในขณะที่หากแผ่นดินไหวมาในทิศทางตามแนวสะพาน ตอม่อ 7PT2H และ 7PT3H มีโอกาสวิบัติร้อยละ 89 และร้อยละ 52 ตามลำดับ นอกจากนี้ ตอม่อทุกรูปแบบหากก่อสร้างตามแบบปรับปรุงปี 2015 และตามที่ได้ออกแบบใหม่ในการศึกษาครั้งนี้ จะไม่เกิดการวิบัติจากแผ่นดินไหวขนาดรอบการเกิด 2500 ปี

ตารางที่ 7-1 ความน่าจะเป็นที่ตอม่อ 4PT1, 4PT1H, 5PT1, 5PT1H, 6PT1, 6PT1H, 7PT1 และ 7PT1H ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว

โครงการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรมทางหลวง
ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง



ความน่าจะเป็นที่ตอม่อได้รับความเสียหาย (สะพานความยาวช่วง 5-6 ม.)													
ตอม่อ	ปี	แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี					
		ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน		
		ไม่เสียหาย	ปานกลาง	วิกฤติ	ไม่เสียหาย	ปานกลาง	วิกฤติ	ไม่เสียหาย	ปานกลาง	วิกฤติ	ไม่เสียหาย	ปานกลาง	วิกฤติ
4PT1	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.1302	0.3063	0.5635	0.9875	0.0125	0.0000	0.0000	0.1302	0.8698
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
4PT1H	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.3578	0.3333	0.3139	0.1043	0.1739	0.7218	0.0000	0.2374	0.7626
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
5P11	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.1302	0.6231	0.2467	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1302	0.8698
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
5PT1H	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.7754	0.2147	0.0099	0.0559	0.5632	0.3809	0.1767	0.2317	0.5916
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9767	0.0233	0.0000
6PT1	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.0987	0.8137	0.0881	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0987	0.9013
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
6PT1H	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.2865	0.5215	0.1920	0.1219	0.3954	0.4826	0.0000	0.1534	0.8466
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9767	0.0233	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9767	0.0233	0.0000
7PT1	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.0987	0.8233	0.0780	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0994	0.9006
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
7PT1H	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.2206	0.4562	0.3232	0.0641	0.3051	0.6308	0.0000	0.0641	0.9359
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9767	0.0233	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ 7-2 ความน่าจะเป็นที่ตอม่อ 5PT2, 5PT2H, 6PT2, 6PT2H, 7PT2, 7PT2H, 8PT2 และ 8PT2H ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว

ความน่าจะเป็นที่ตอม่อได้รับความเสียหาย (สะพานความยาวช่วง 7-8 ม.)													
ตอม่อ	ปี	แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี					
		ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน		
		ไม่เสียหาย	ปานกลาง	วิกฤติ	ไม่เสียหาย	ปานกลาง	วิกฤติ	ไม่เสียหาย	ปานกลาง	วิกฤติ	ไม่เสียหาย	ปานกลาง	วิกฤติ
5PT2	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.1441	0.0000	0.8559	0.7442	0.2558	0.0000	0.0000	0.0694	0.9306
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
5PT2H	1994	0.0187	0.9813	0.0000	0.0000	0.6982	0.3018	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
6PT2	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.1534	0.2722	0.5743	0.7360	0.2640	0.0000	0.0000	0.0956	0.9044
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
6PT2H	1994	0.1282	0.8718	0.0000	0.0874	0.5065	0.4061	0.0000	0.0874	0.9126	0.0000	0.0409	0.9591
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
7PT2	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.1302	0.0233	0.8466	0.8250	0.1750	0.0000	0.0000	0.0409	0.9591
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
7PT2H	1994	0.0000	0.4678	0.5322	0.0000	0.1126	0.8874	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
8PT2	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.1208	0.0672	0.8120	0.8097	0.1903	0.0000	0.0000	0.1208	0.8792
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	0.9767	0.0000	0.0233	1.0000	0.0000	0.0000	0.9767	0.0000	0.0233
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
8PT2H	1994	0.0559	0.9441	0.0000	0.0559	0.5910	0.3531	0.0000	0.0000	1.0000	0.0233	0.0326	0.9441
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000

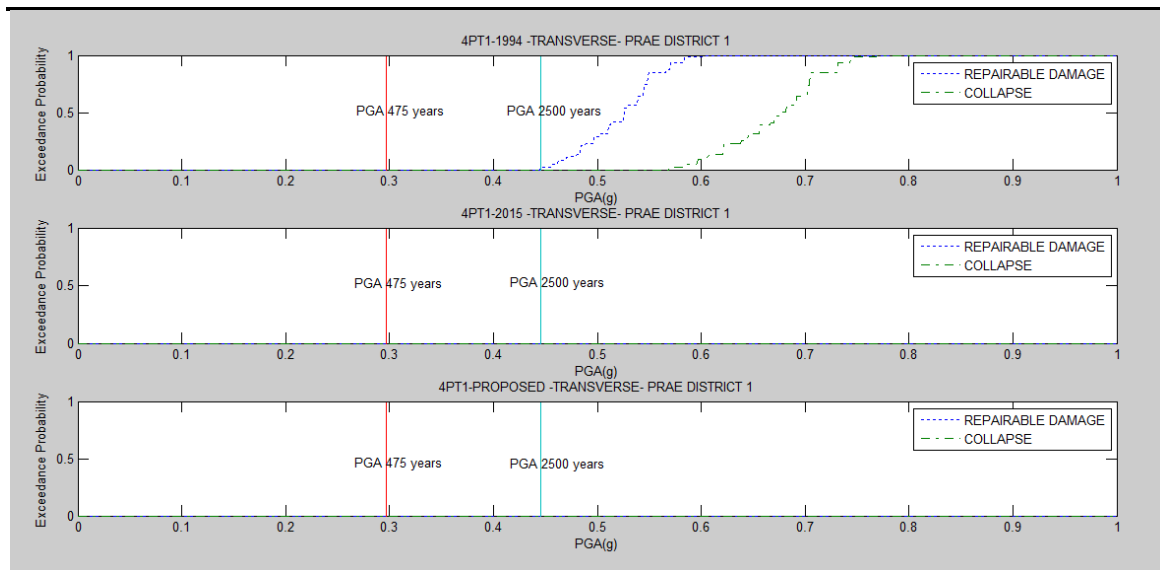
ตารางที่ 7-3 ความน่าจะเป็นที่ตอม่อ 6PT3, 6PT3H, 7PT3, 7PT3H, 8PT3, 8PT3H, 9PT3 และ 9PT3H ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว

โครงการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรมทางหลวง
ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง

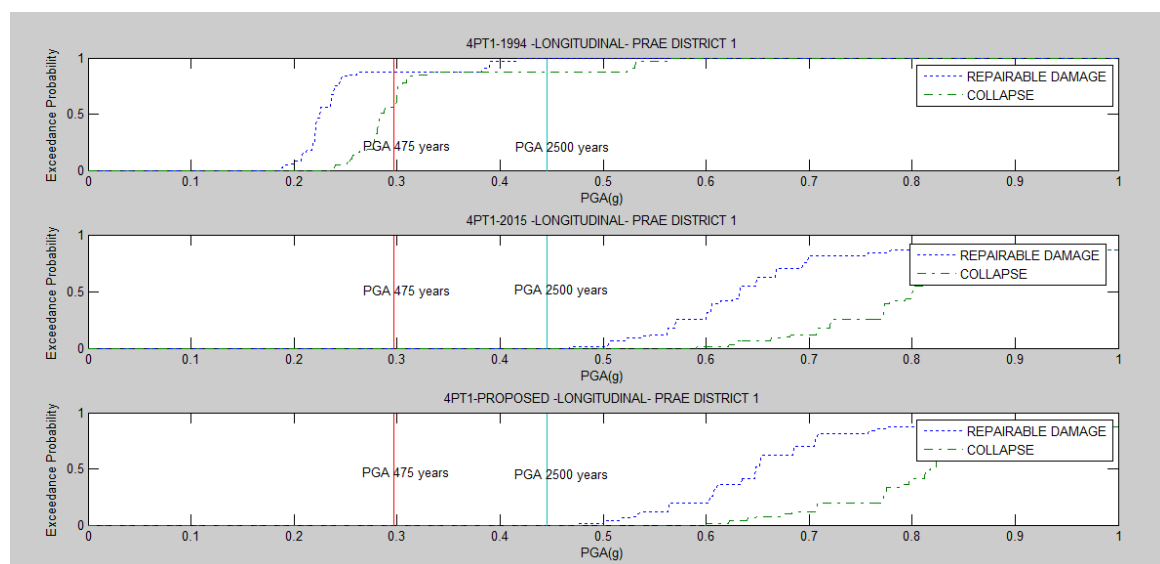


ความน่าจะเป็นที่คอม่อจะได้รับความเสียหาย (สะพานความยาวช่วง 9-10 ม.)													
คอม่อ	ปี	แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี					
		ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน		
		ไม่เสียหาย	ปานกลาง	รื้อทิ้ง	ไม่เสียหาย	ปานกลาง	รื้อทิ้ง	ไม่เสียหาย	ปานกลาง	รื้อทิ้ง	ไม่เสียหาย	ปานกลาง	รื้อทิ้ง
6PT3	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.4005	0.5995	0.0000	0.0000	1.0000
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
6PT3H	1994	0.0000	0.5020	0.4980	0.0000	0.0855	0.9145	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
/PT3	1994	0.9674	0.0326	0.0000	0.0094	0.0233	0.9674	0.0094	0.1917	0.7990	0.0094	0.0000	0.9906
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.8203	0.1797	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.8203	0.1797	0.0000
7PT3H	1994	0.0000	0.8233	0.1767	0.0783	0.4000	0.5187	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9674	0.0326	0.0000
8PT3	1994	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1441	0.8559	0.0000	0.5388	0.4612	0.0000	0.0000	1.0000
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9717	0.0283	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9674	0.0326	0.0000
8PT3H	1994	0.0000	0.9452	0.0548	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
9PT3	1994	0.9666	0.0334	0.0000	0.0783	0.2317	0.6900	0.0000	0.1150	0.8850	0.0000	0.0000	1.0000
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	0.9217	0.0000	0.0783	1.0000	0.0000	0.0000	0.9217	0.0000	0.0783
9PT3H	1994	0.0000	0.7751	0.2249	0.0233	0.1427	0.8341	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0233	0.9767
	2015	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000
	PROPOSED	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.9906	0.0094	0.0000

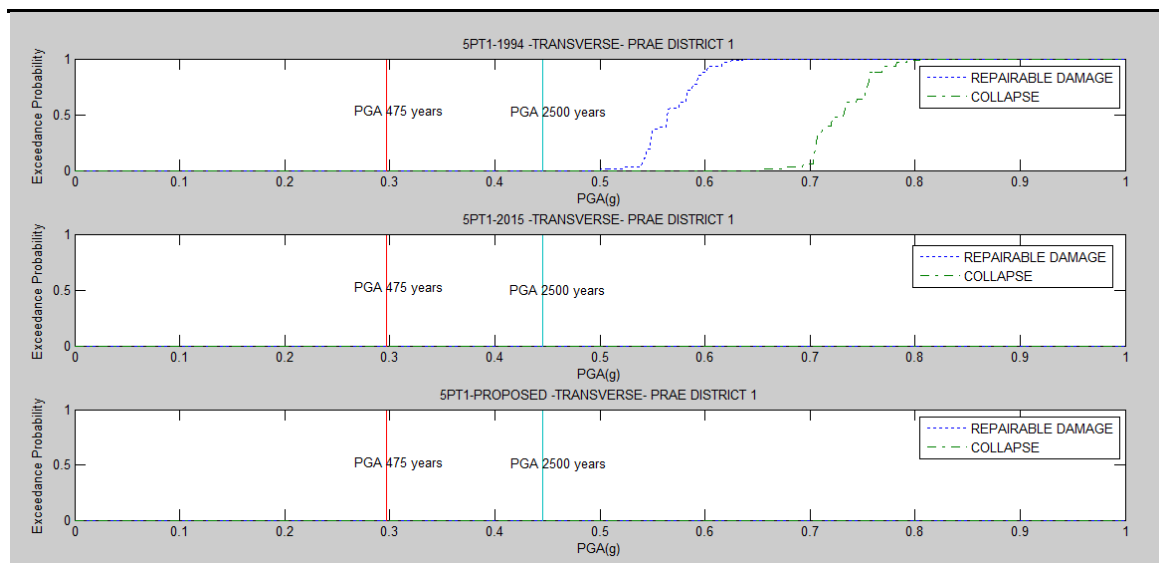
เส้นโค้งแตกตัวของคอม่อรูปแบบอื่นๆ แสดงในรูปที่ 7-4 ถึง รูปที่ 7-49



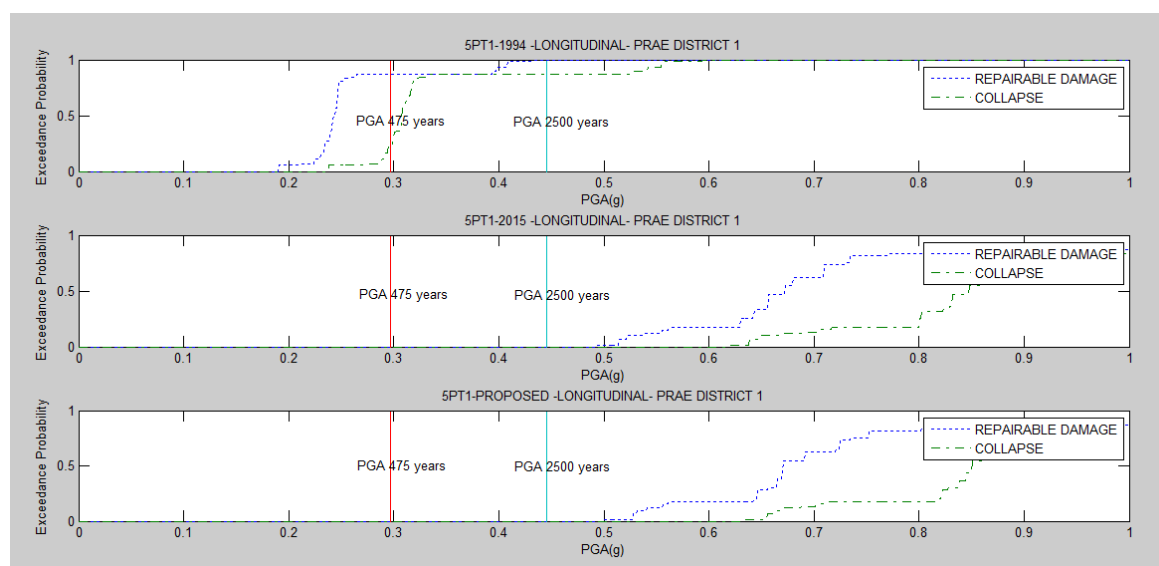
รูปที่ 7-4 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 4PT1 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



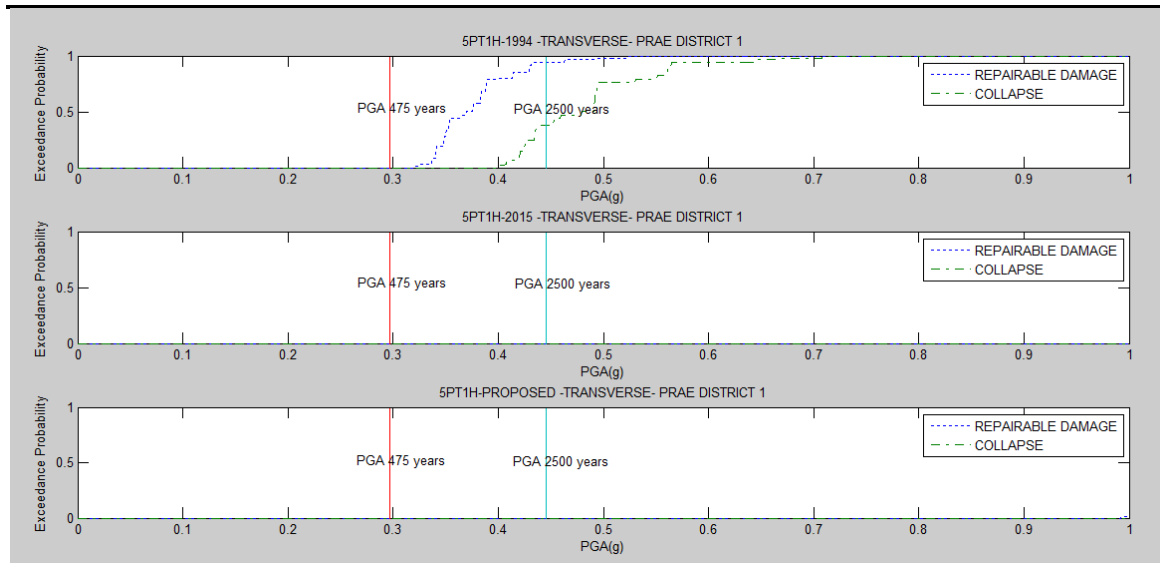
รูปที่ 7-5 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 4PT1 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



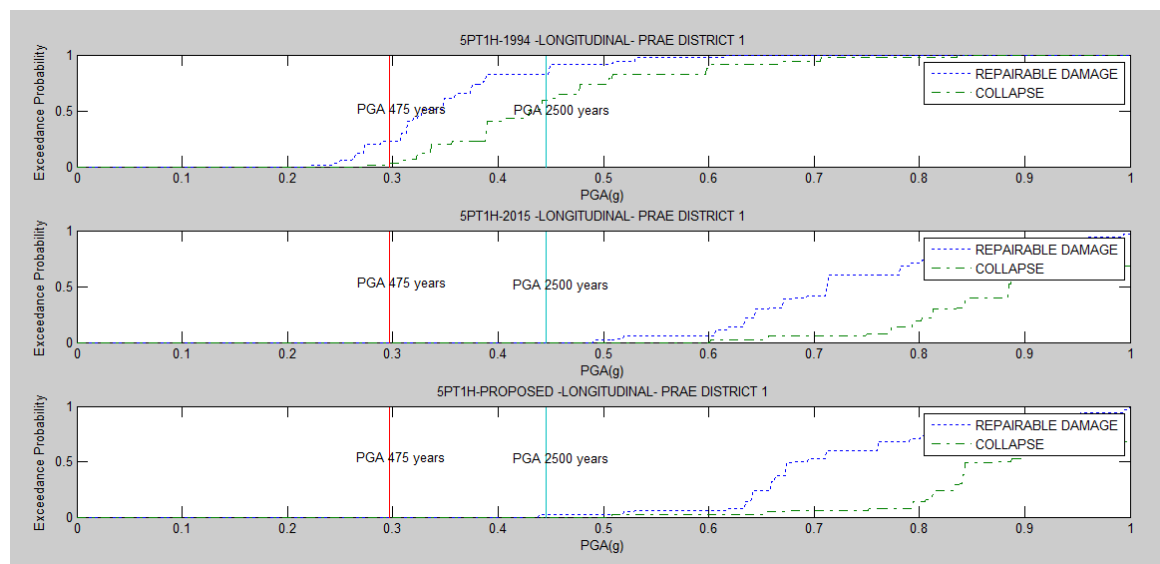
รูปที่ 7-6 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 5PT1 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



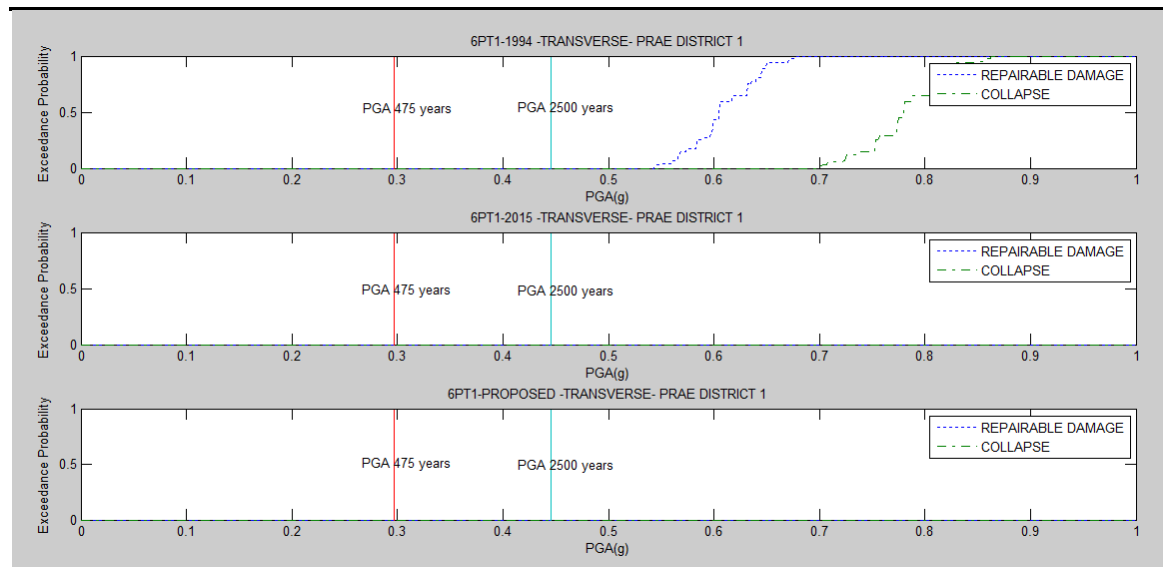
รูปที่ 7-7 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 5PT1 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



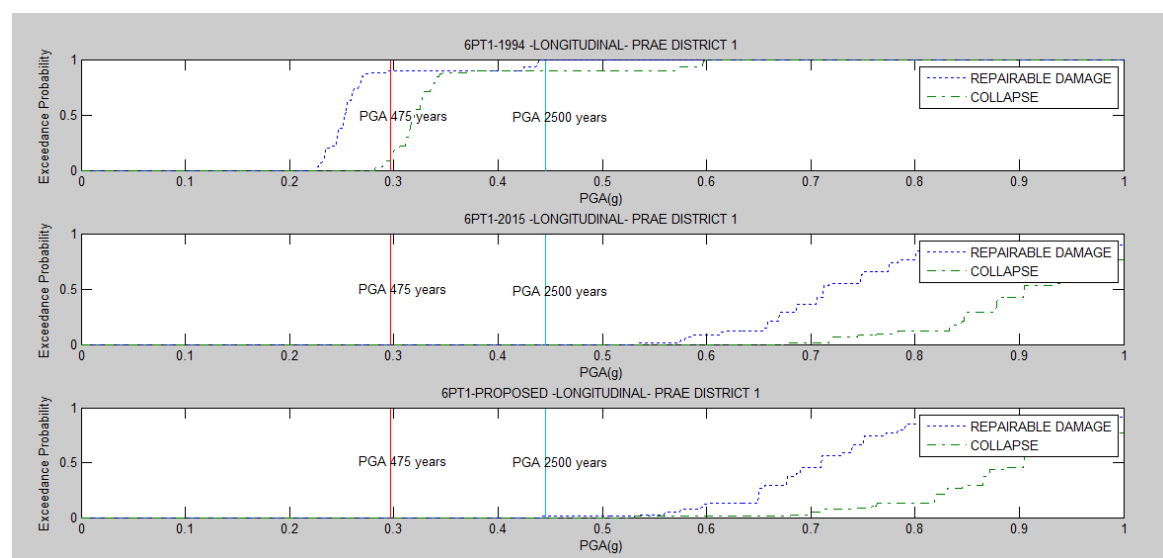
รูปที่ 7-8 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 5PT1H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



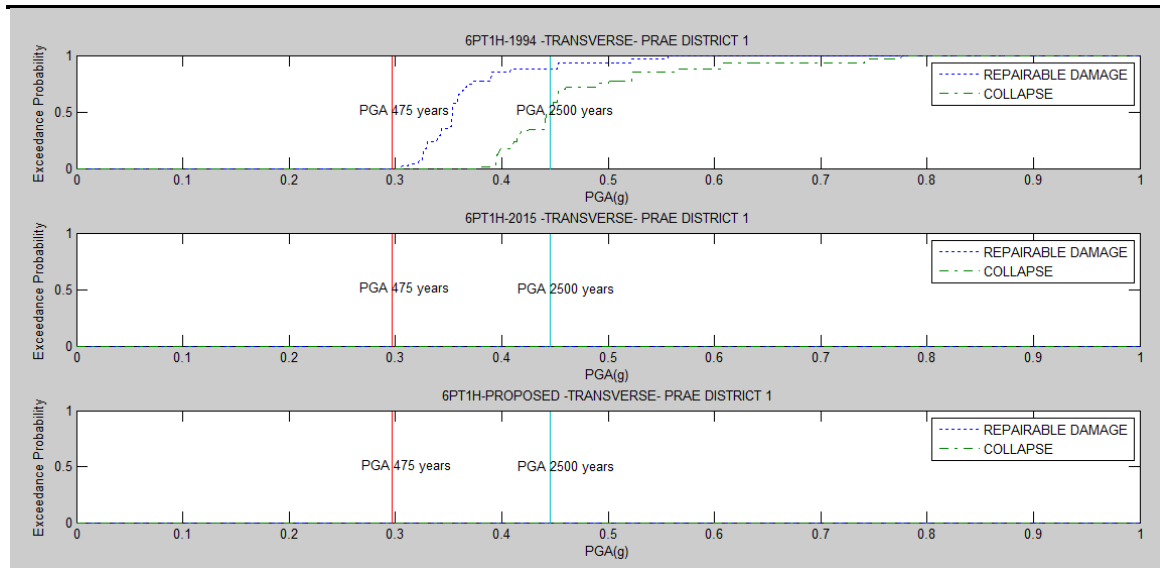
รูปที่ 7-9 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 5PT1H (ทิศทางตามแนวสะพาน)



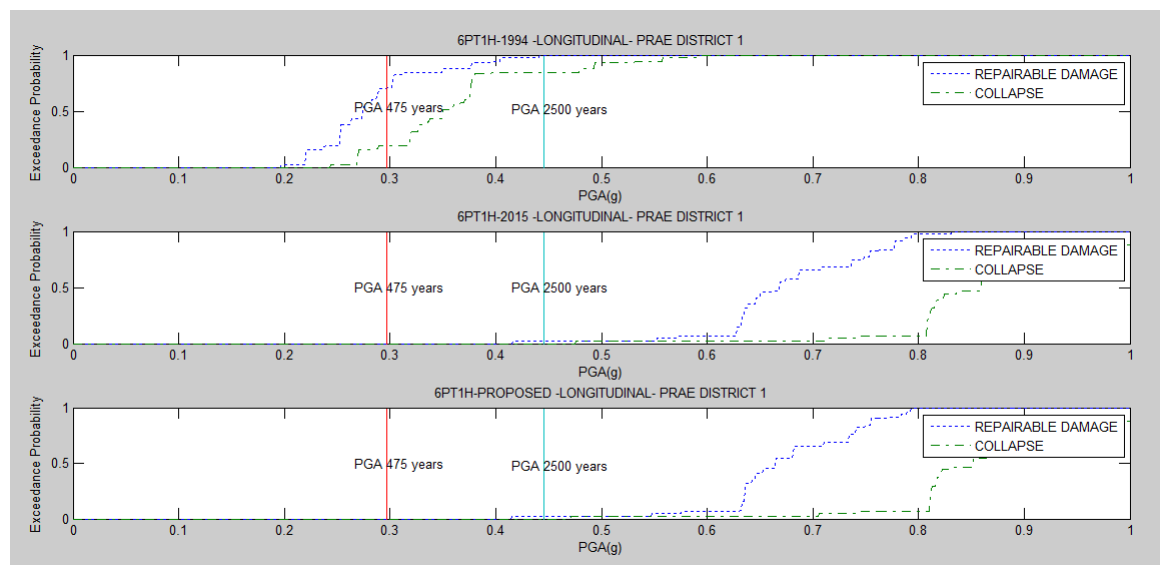
รูปที่ 7-10 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT1 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



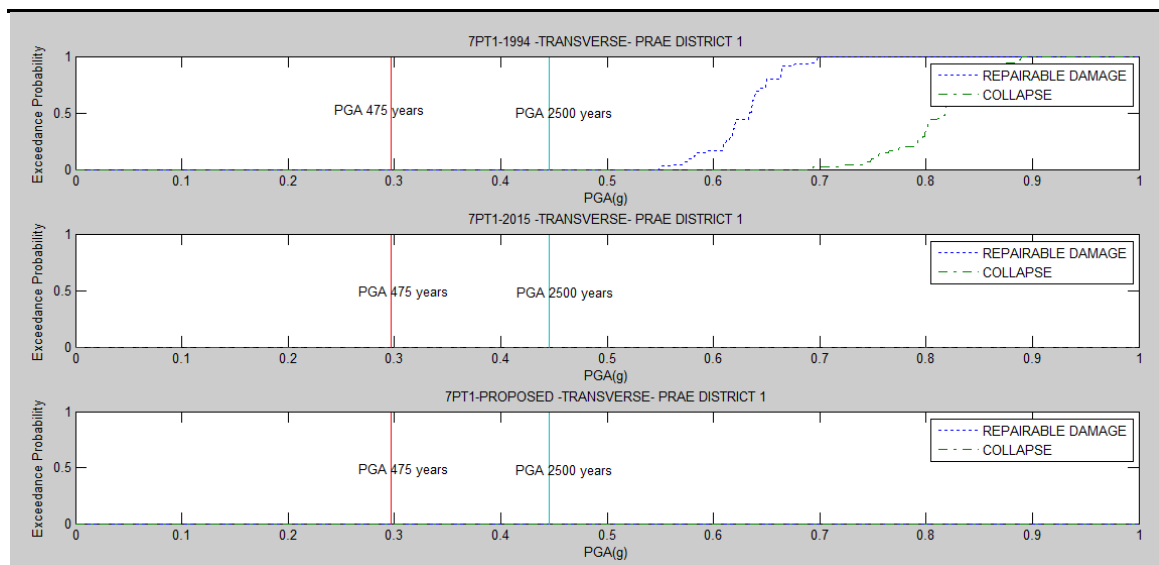
รูปที่ 7-11 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT1 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



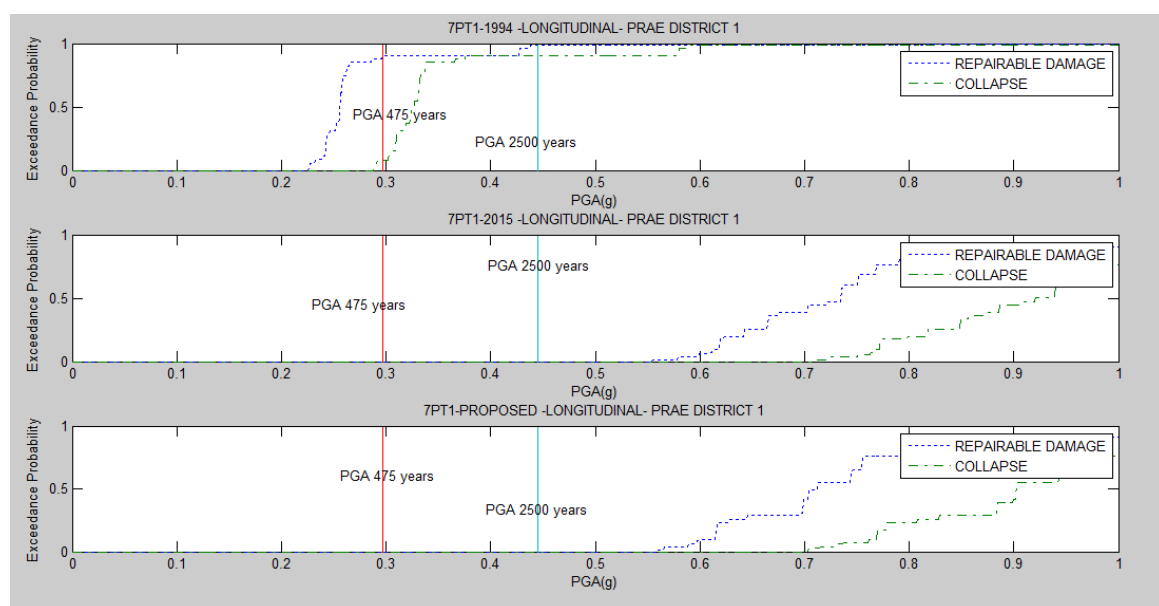
รูปที่ 7-12 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT1H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



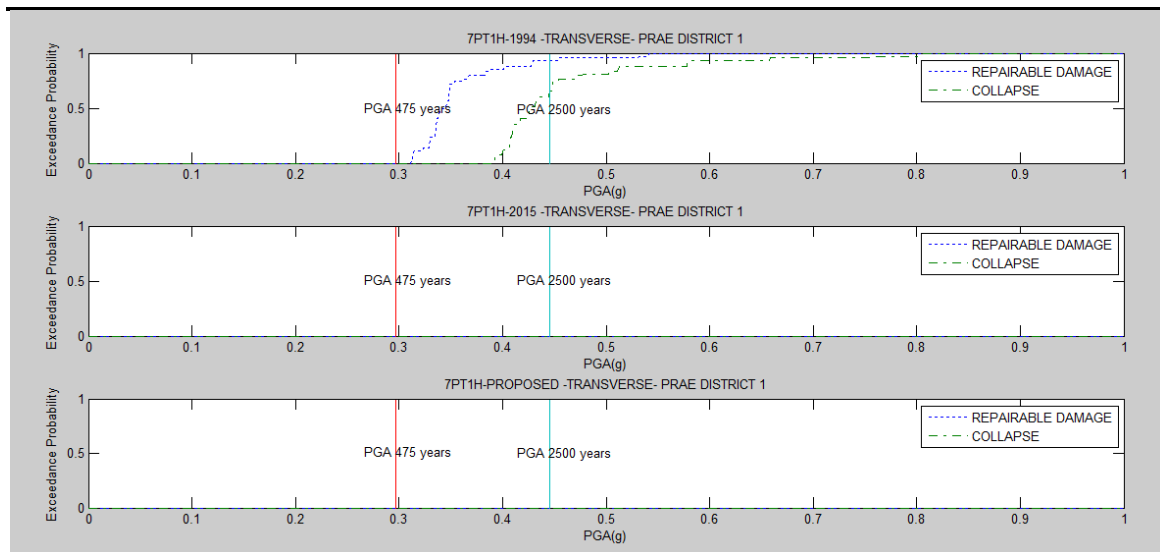
รูปที่ 7-13 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT1H (ทิศทางตามแนวสะพาน)



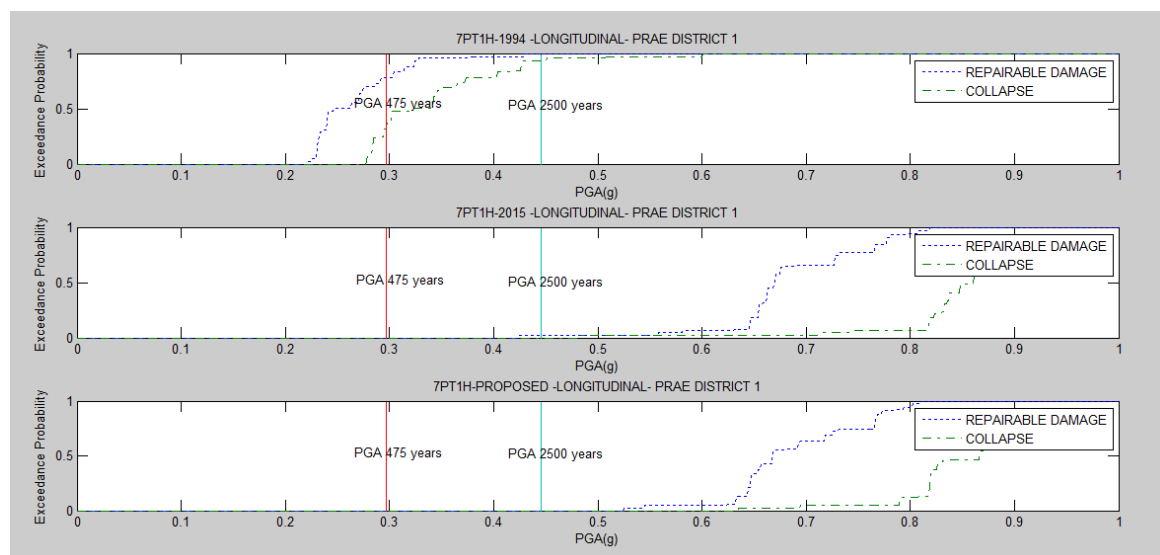
รูปที่ 7-14 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 7PT1 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



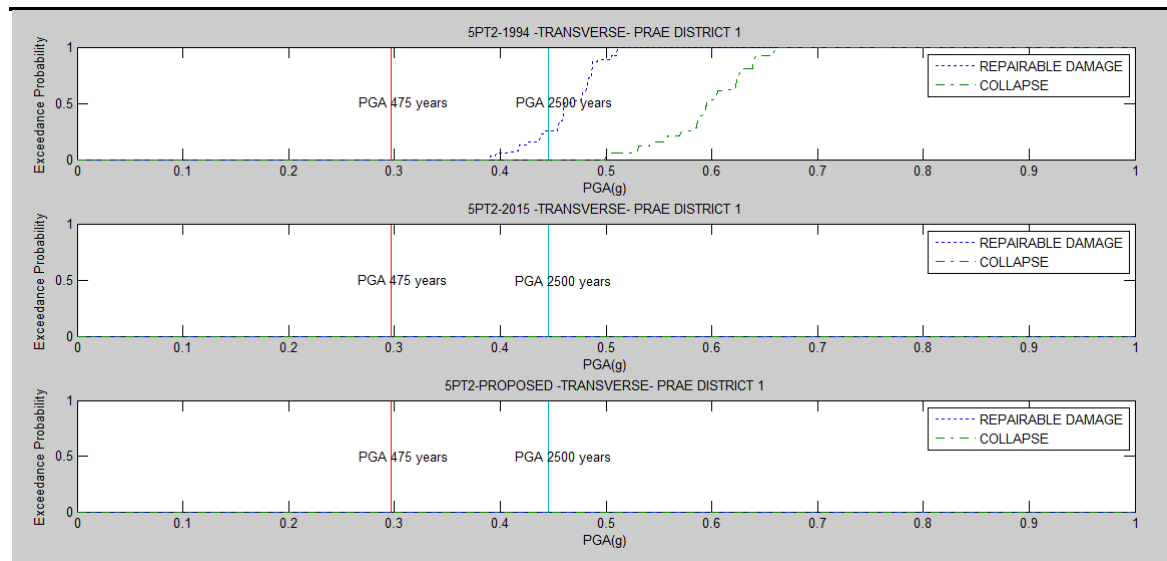
รูปที่ 7-15 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 7PT1 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



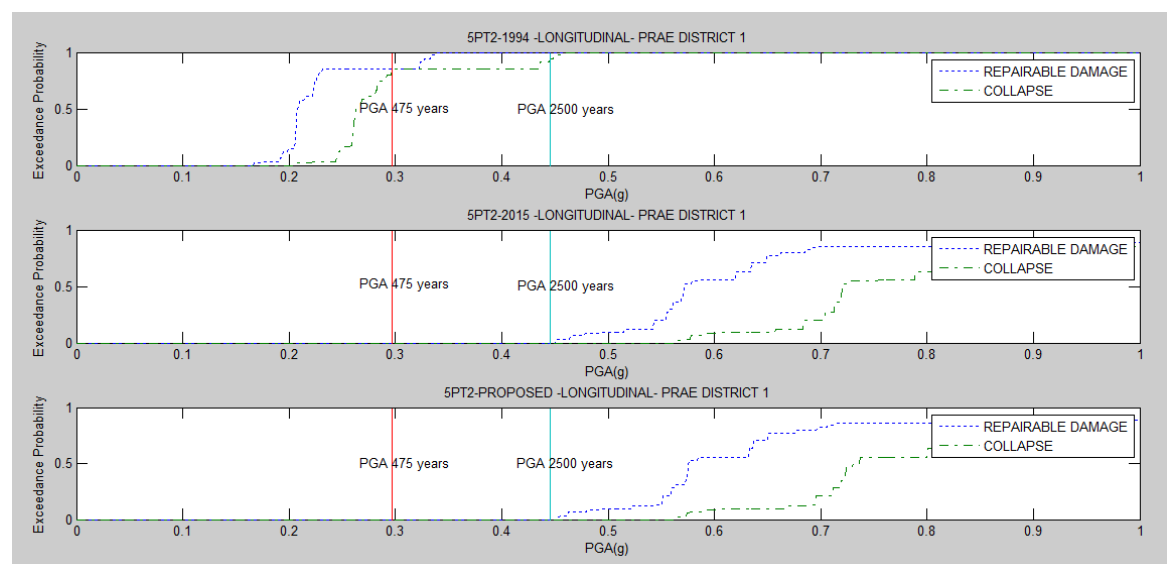
รูปที่ 7-16 เส้นโค้งแตกร้าของตอม่อ 7PT1H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



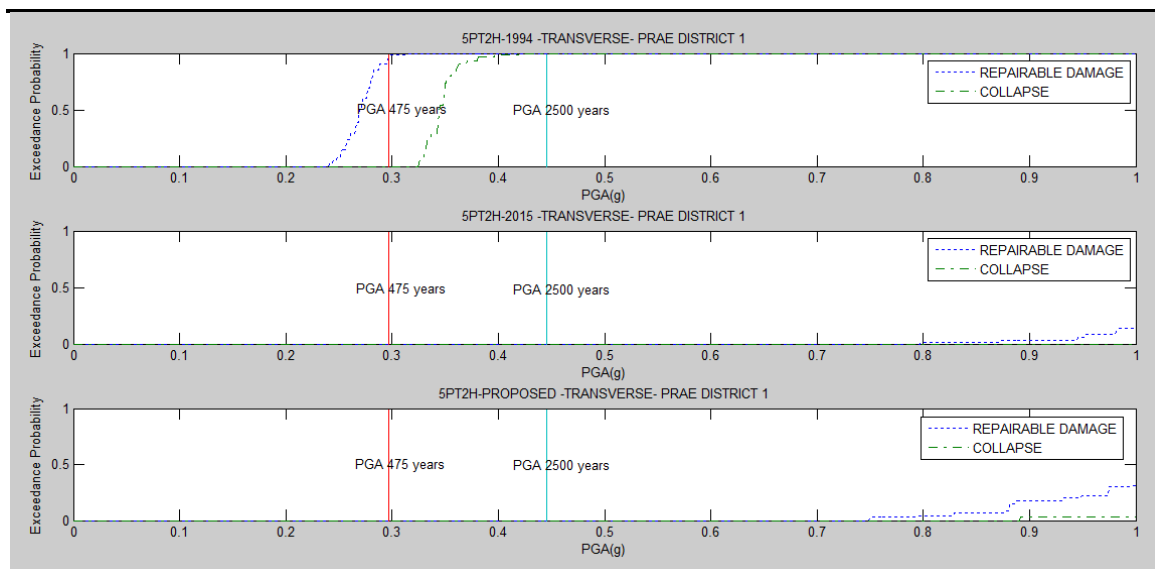
รูปที่ 7-17 เส้นโค้งแตกร้าของตอม่อ 7PT1H (ทิศทางตามแนวสะพาน)



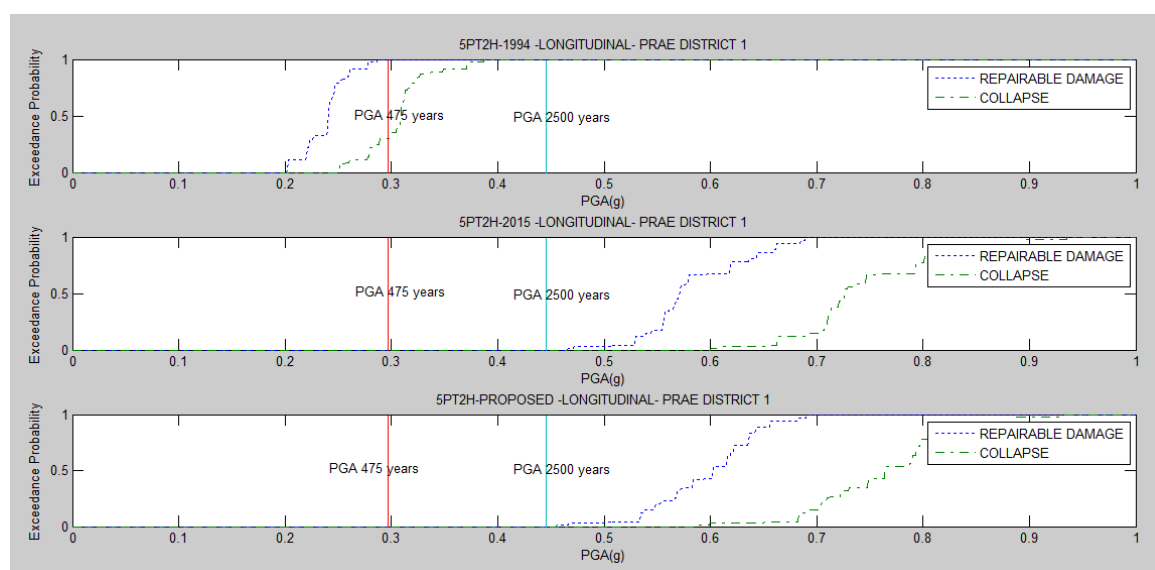
รูปที่ 7-18 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 5PT2 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



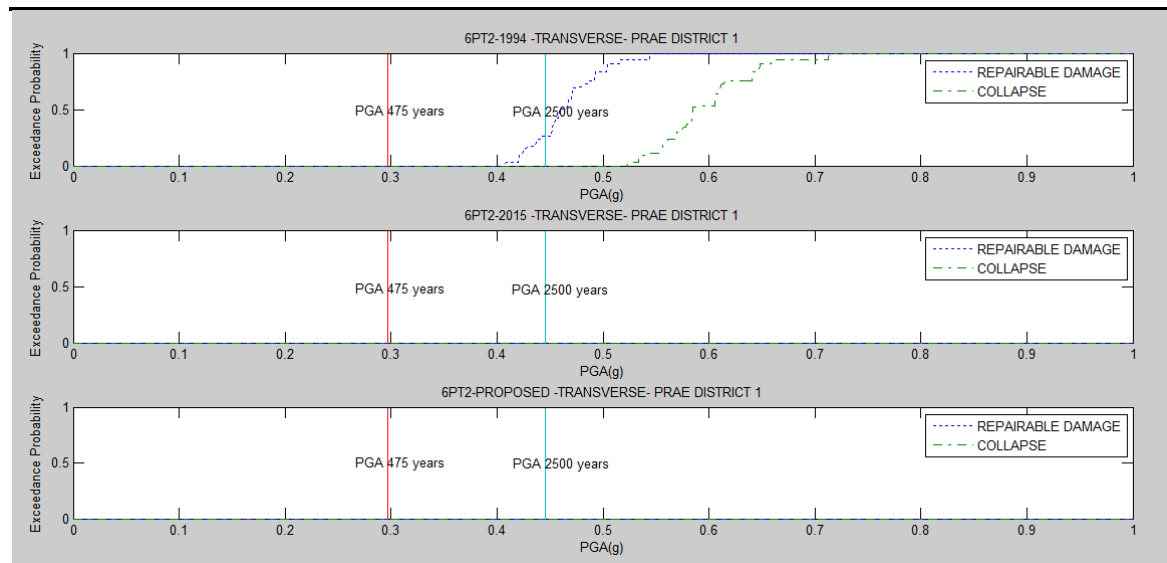
รูปที่ 7-19 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 5PT2 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



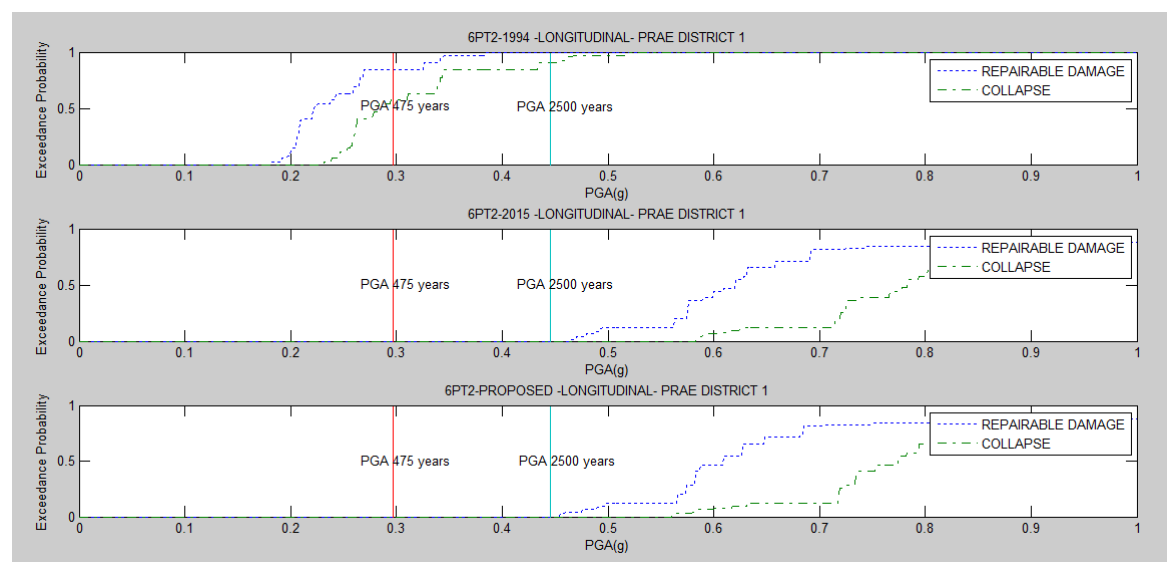
รูปที่ 7-20 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 5PT2H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



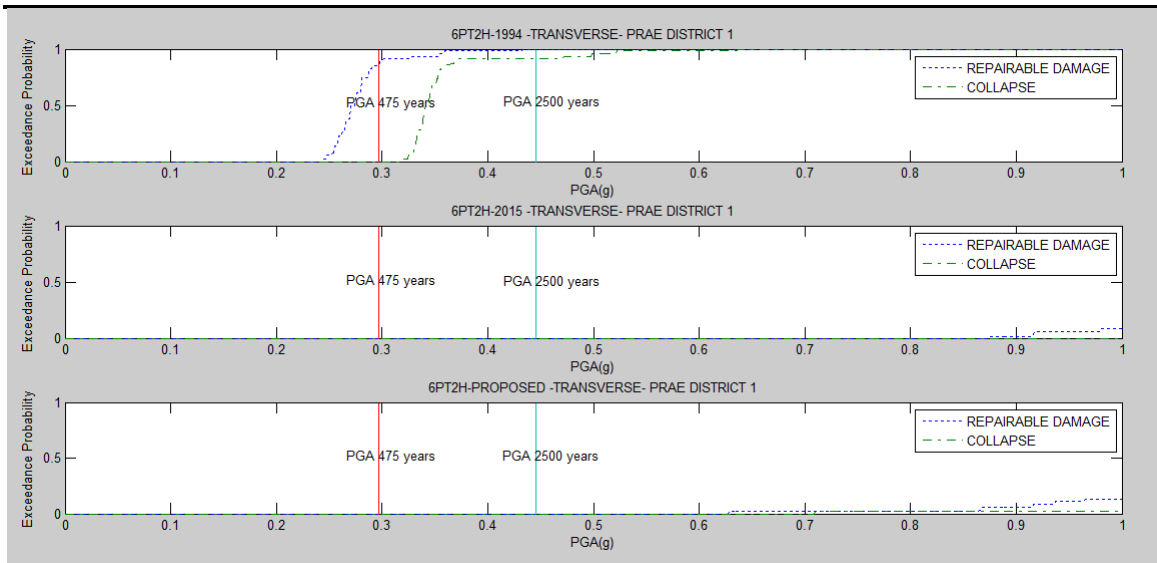
รูปที่ 7-21 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 5PT2H (ทิศทางตามแนวสะพาน)



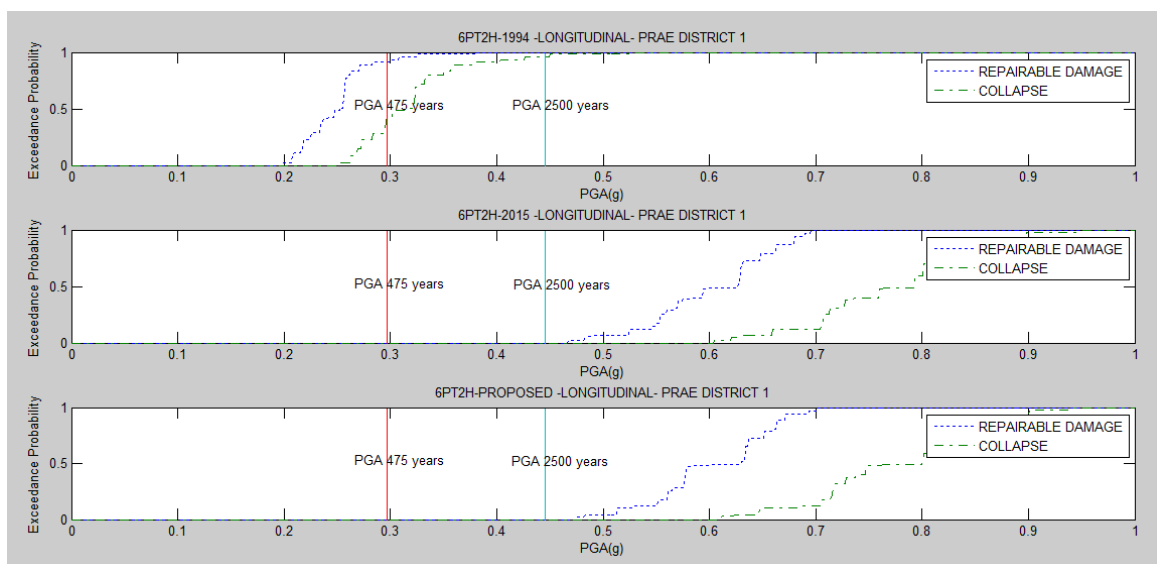
รูปที่ 7-22 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT2 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



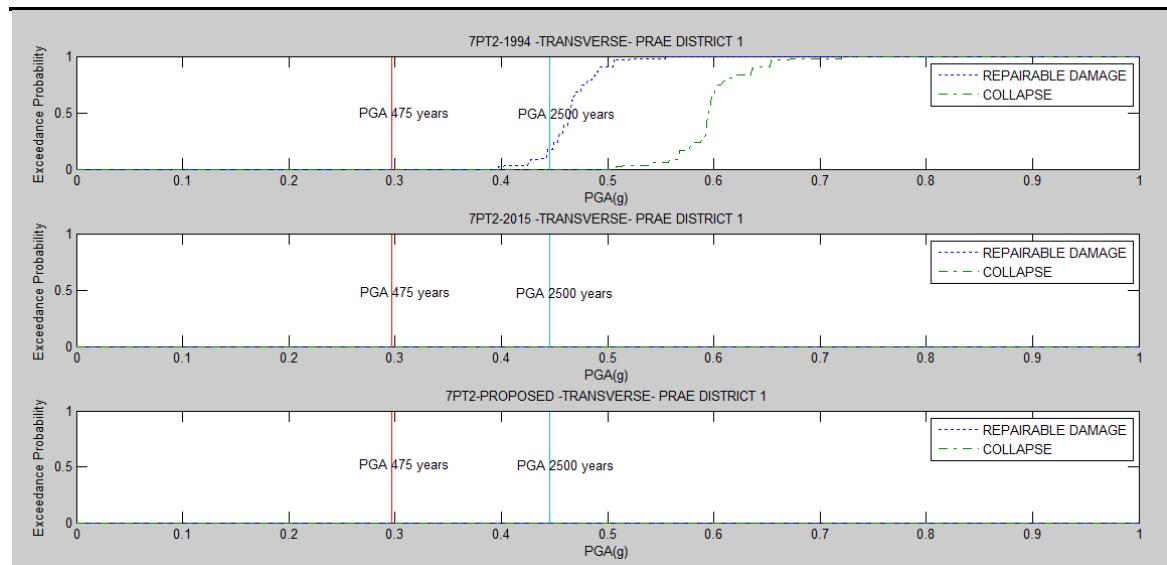
รูปที่ 7-23 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT2 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



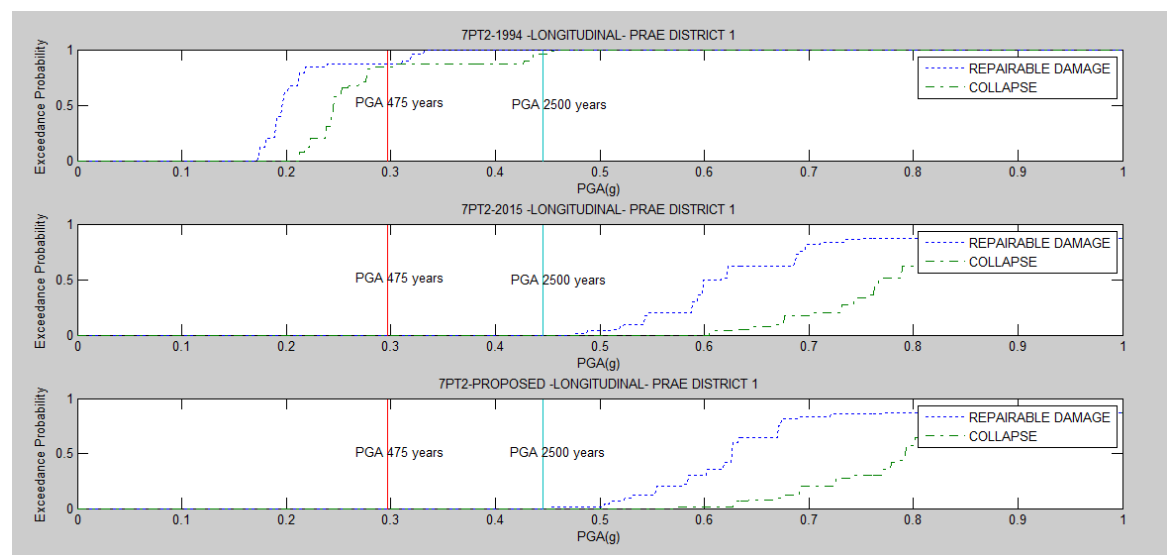
รูปที่ 7-24 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT2H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



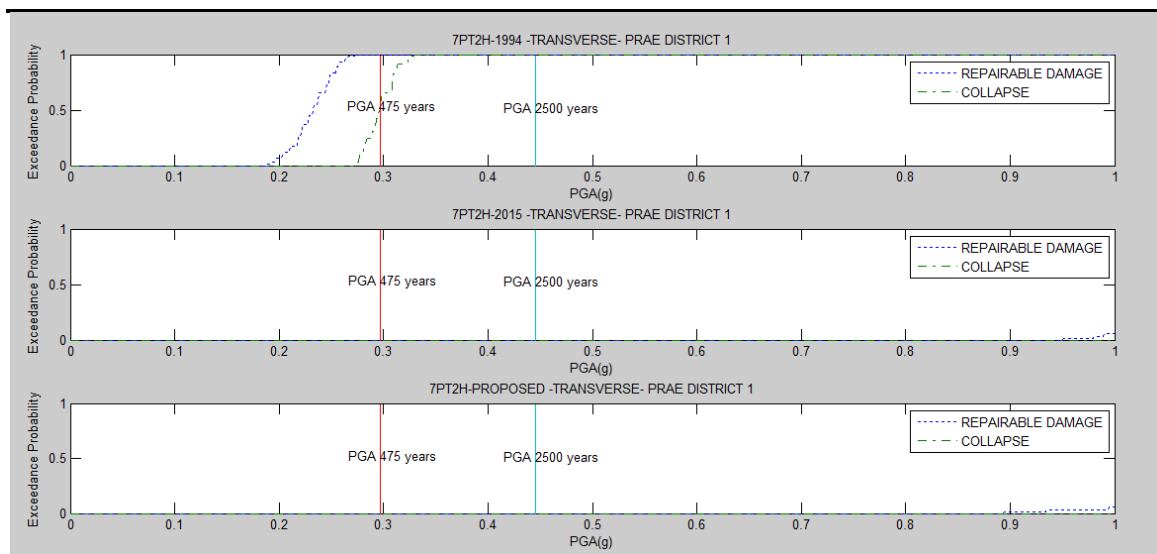
รูปที่ 7-25 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT2H (ทิศทางตามแนวสะพาน)



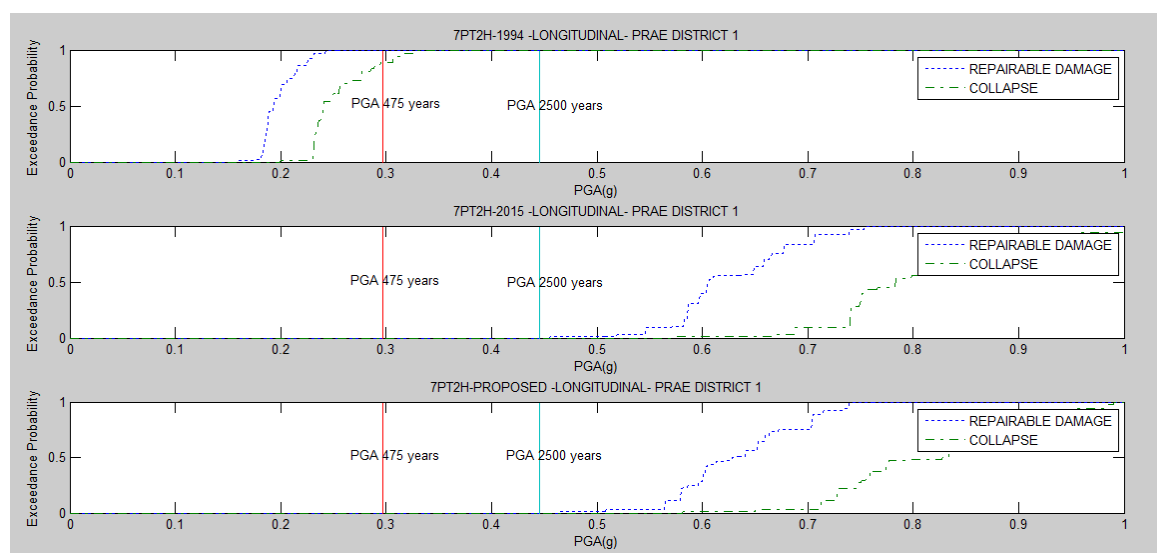
รูปที่ 7-26 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 7PT2 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



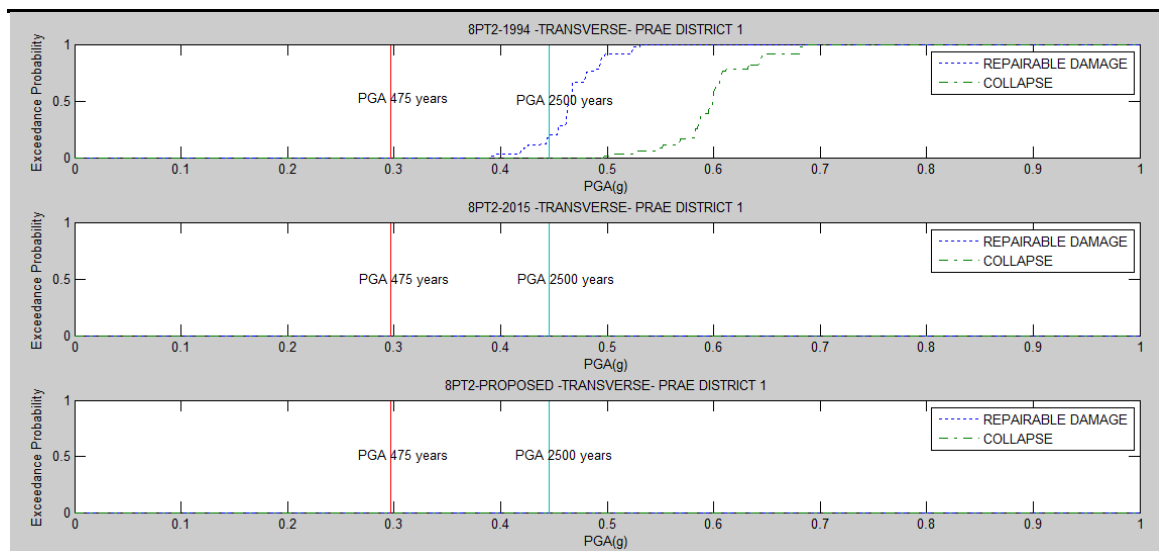
รูปที่ 7-27 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 7PT2 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



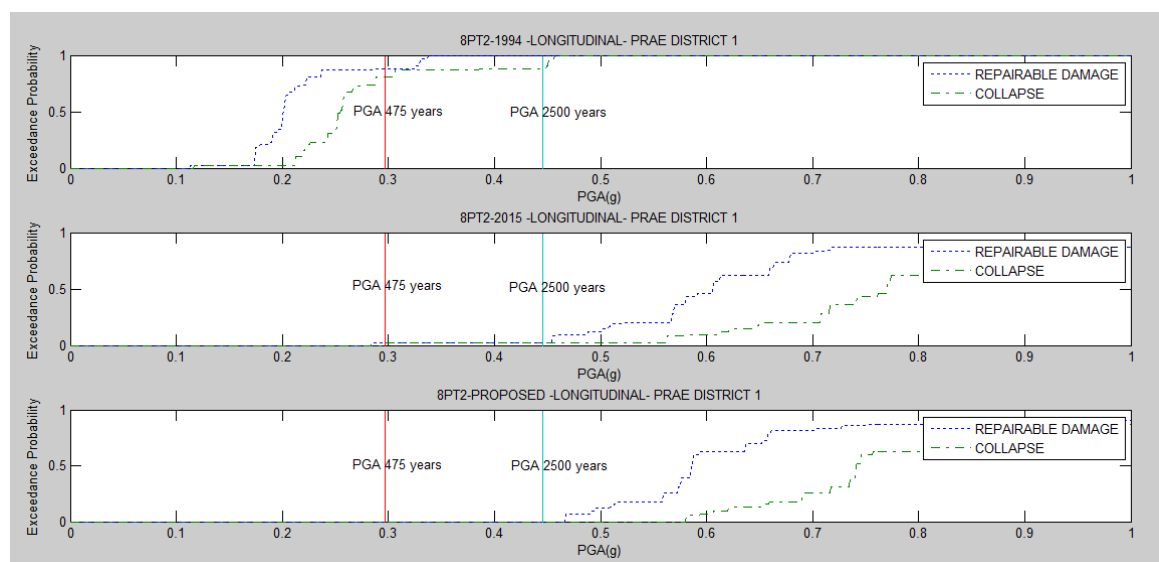
รูปที่ 7-28 เส้นโค้งแตกร้าของตอม่อ 7PT2H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



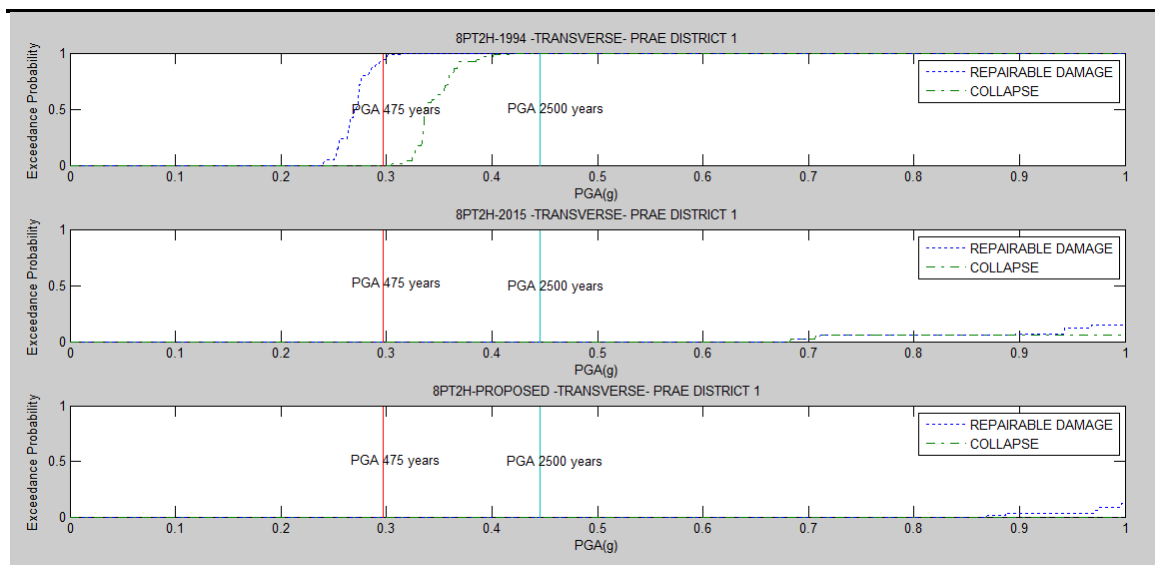
รูปที่ 7-29 เส้นโค้งแตกร้าของตอม่อ 7PT2H (ทิศทางตามแนวสะพาน)



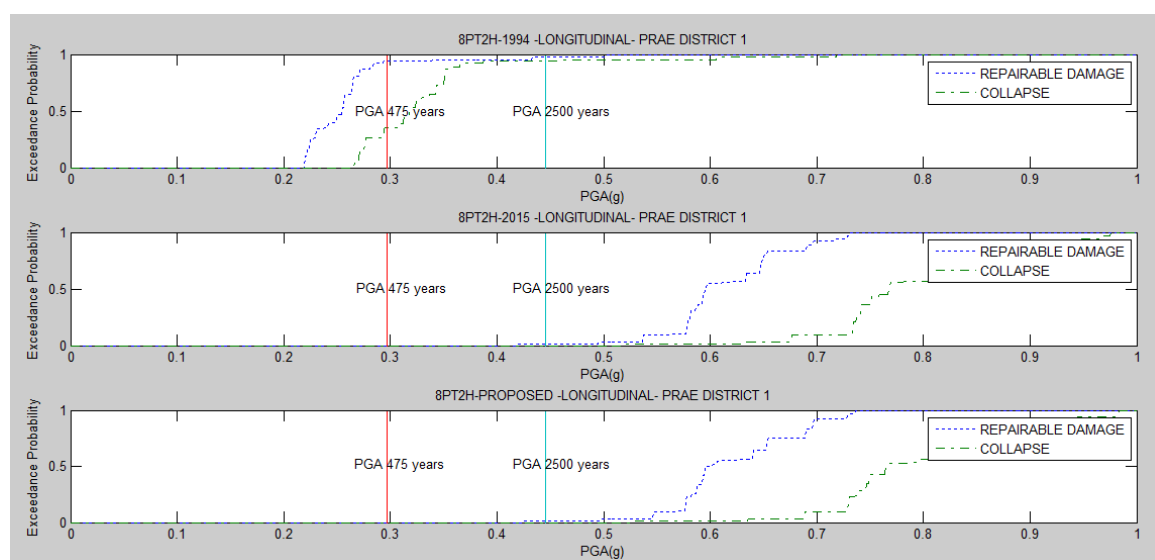
รูปที่ 7-30 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 8PT2 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



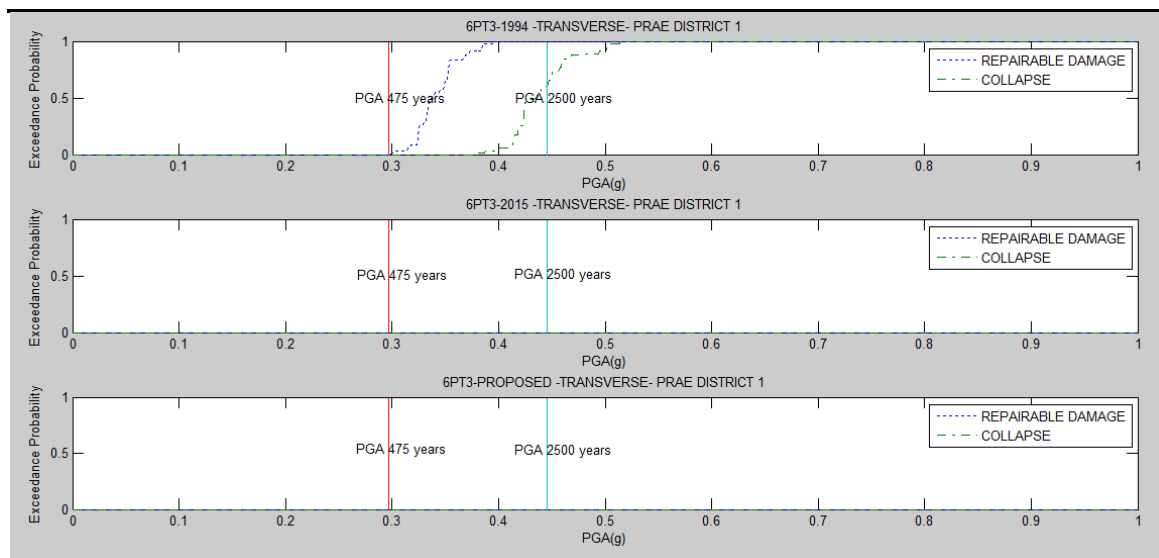
รูปที่ 7-31 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 8PT2 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



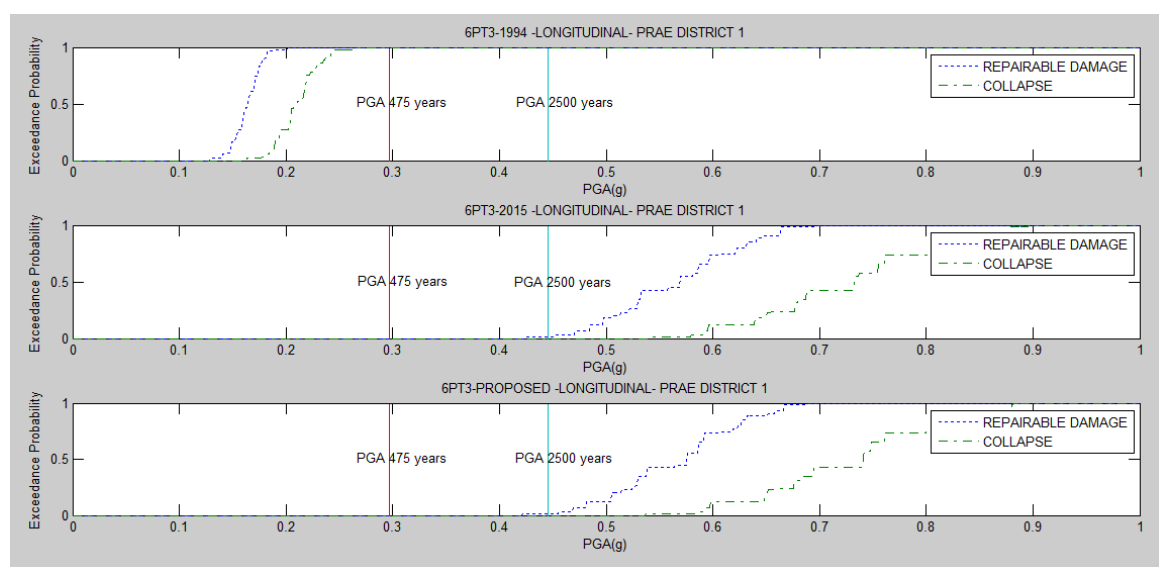
รูปที่ 7-32 เส้นโค้งแตกร้าของตอม่อ 8PT2H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



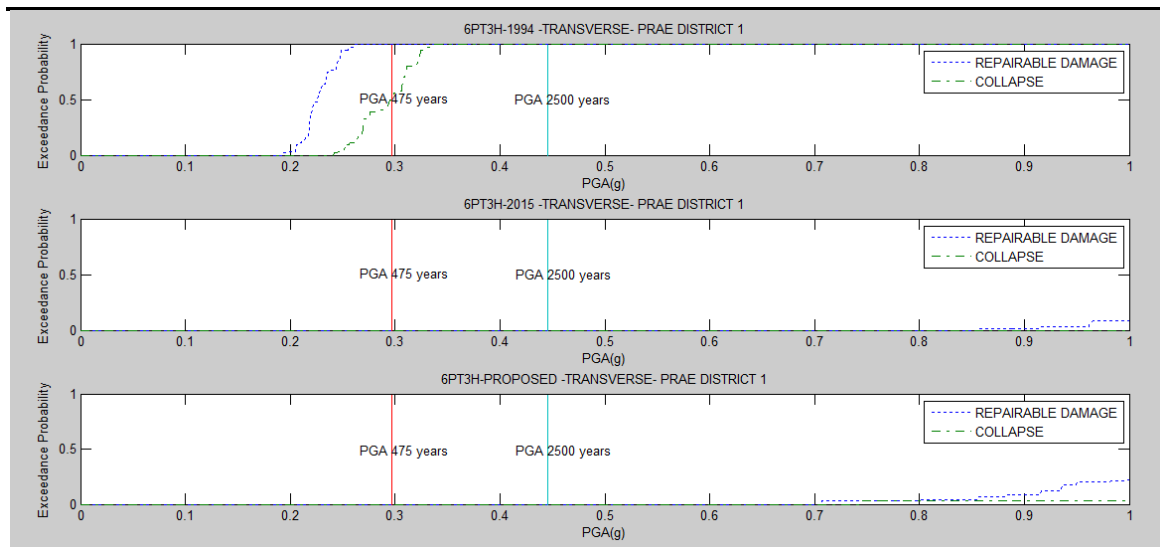
รูปที่ 7-33 เส้นโค้งแตกร้าของตอม่อ 8PT2H (ทิศทางตามแนวสะพาน)



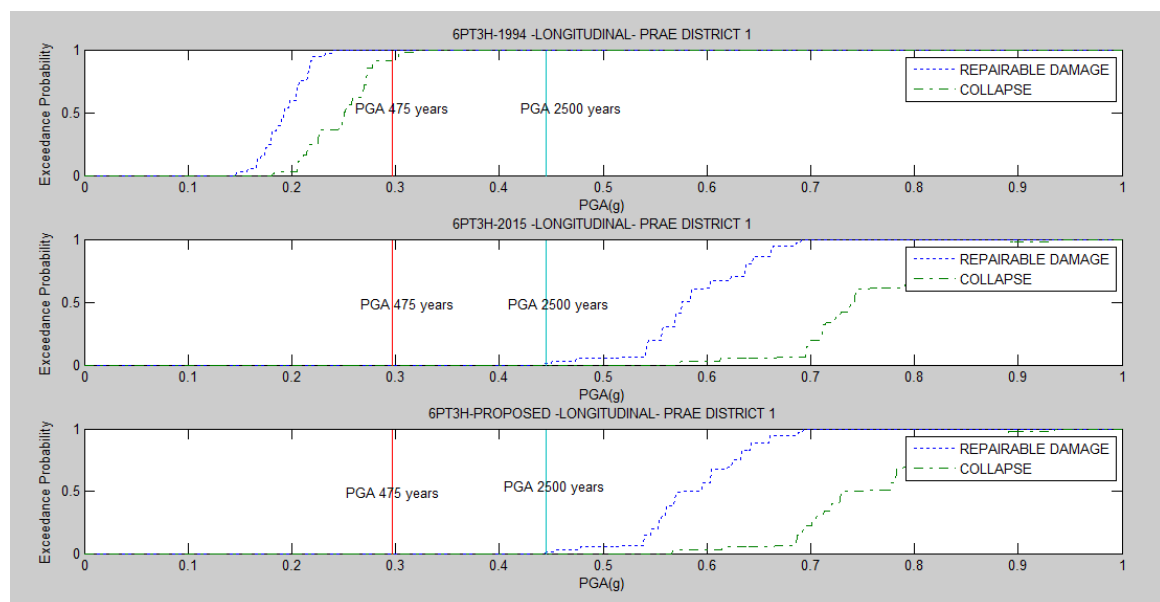
รูปที่ 7-34 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT3 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



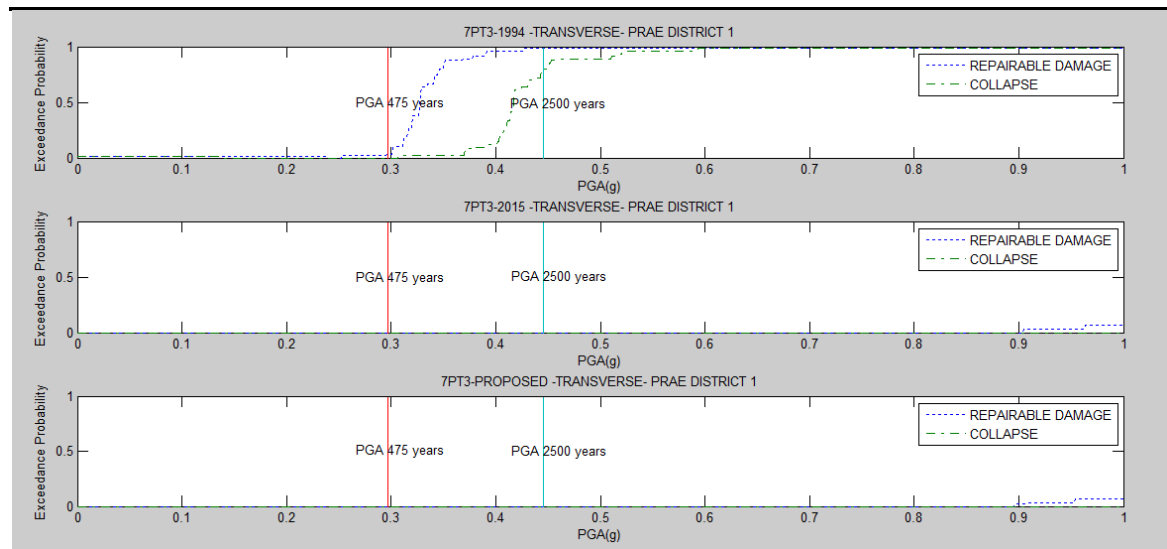
รูปที่ 7-35 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT3 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



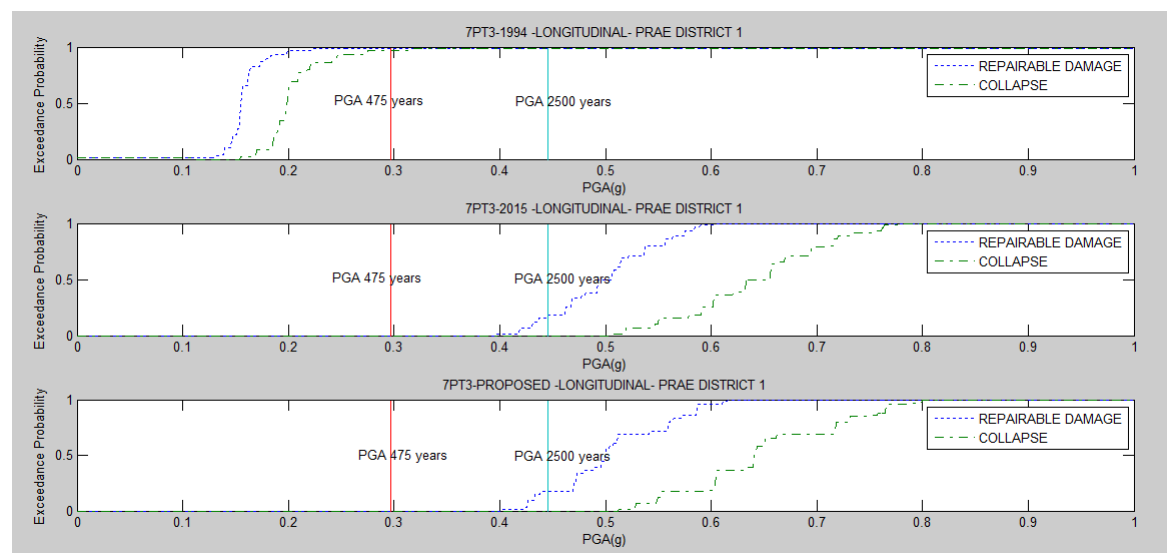
รูปที่ 7-36 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT3H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



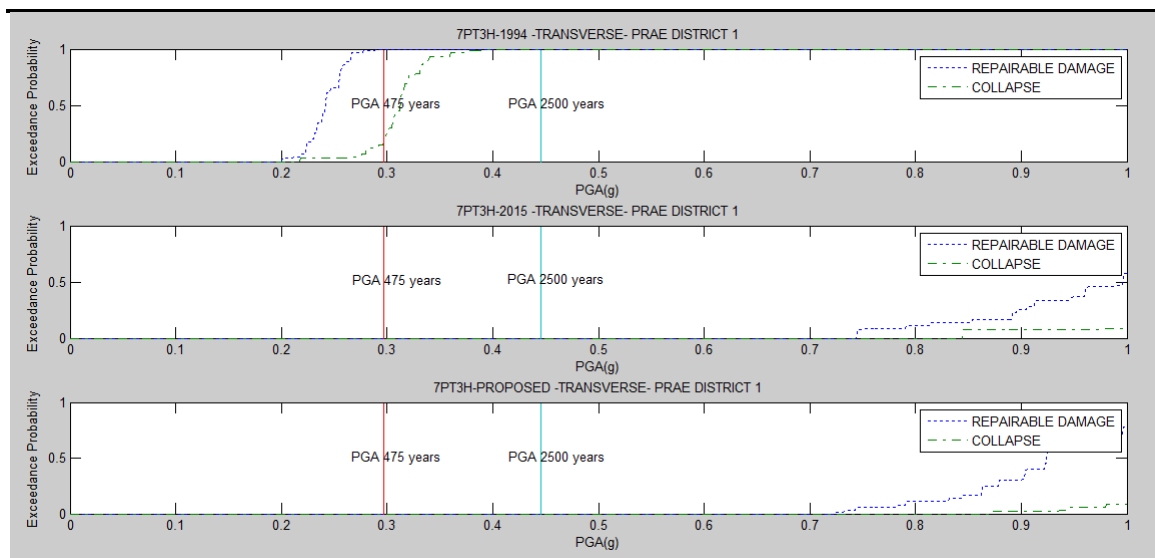
รูปที่ 7-37 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 6PT3H (ทิศทางตามแนวสะพาน)



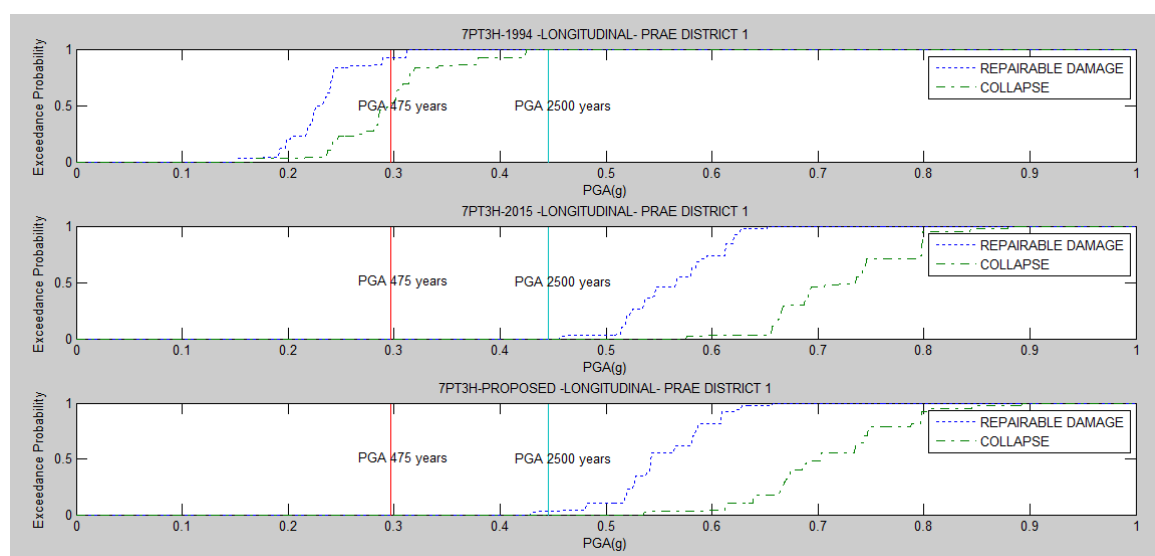
รูปที่ 7-38 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 7PT3 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



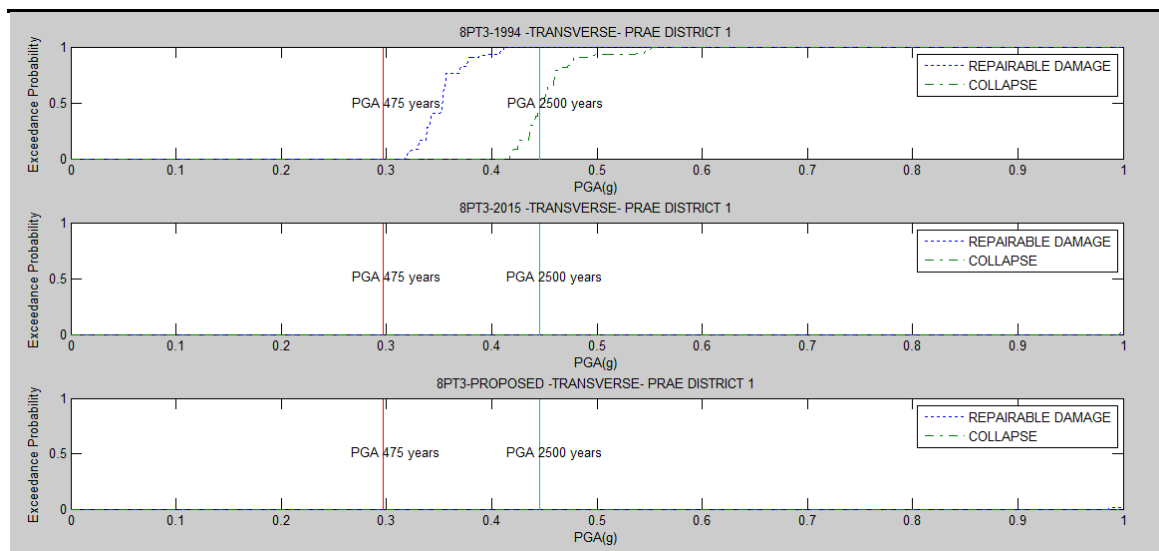
รูปที่ 7-39 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 7PT3 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



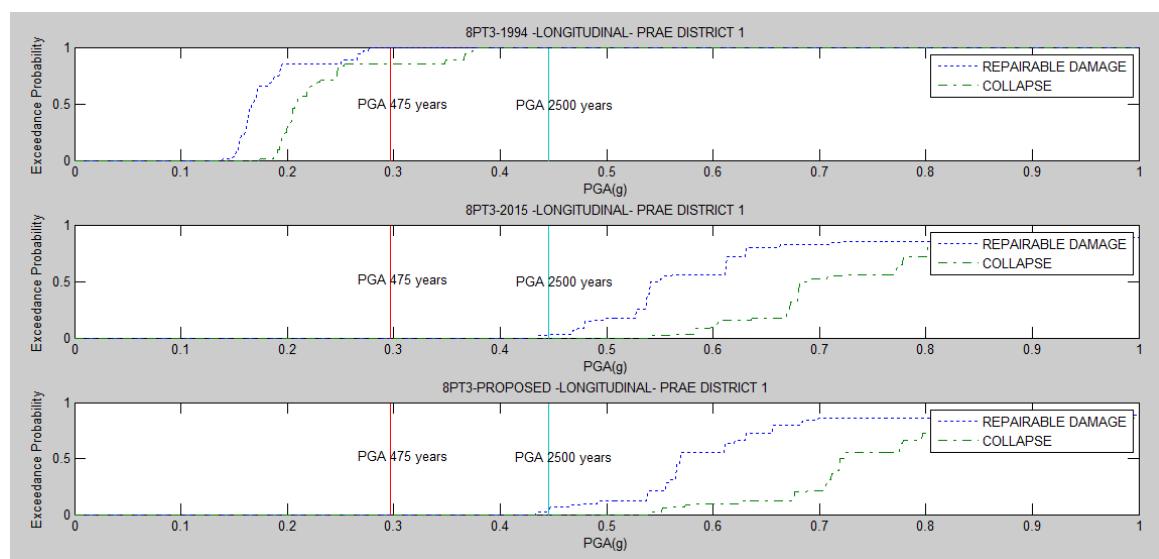
รูปที่ 7-40 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 7PT3H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



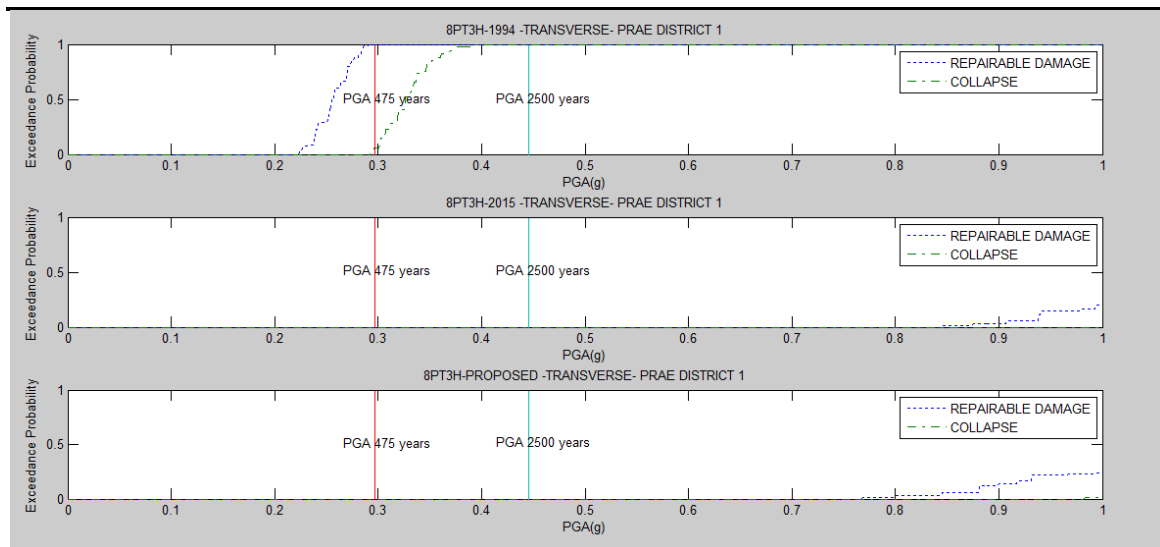
รูปที่ 7-41 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 7PT3H (ทิศทางตามแนวสะพาน)



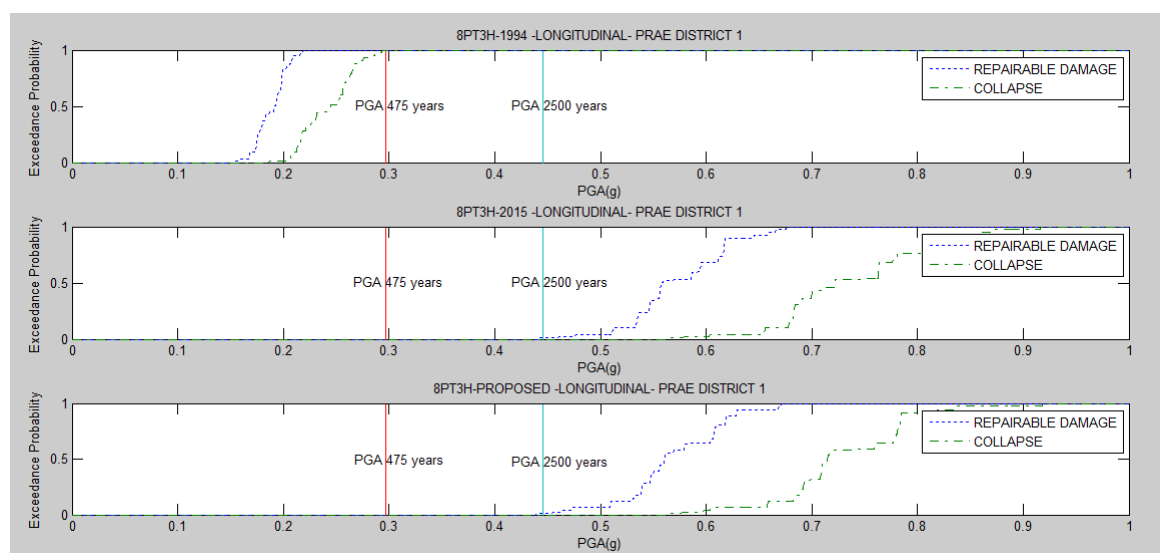
รูปที่ 7-42 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 8PT3 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



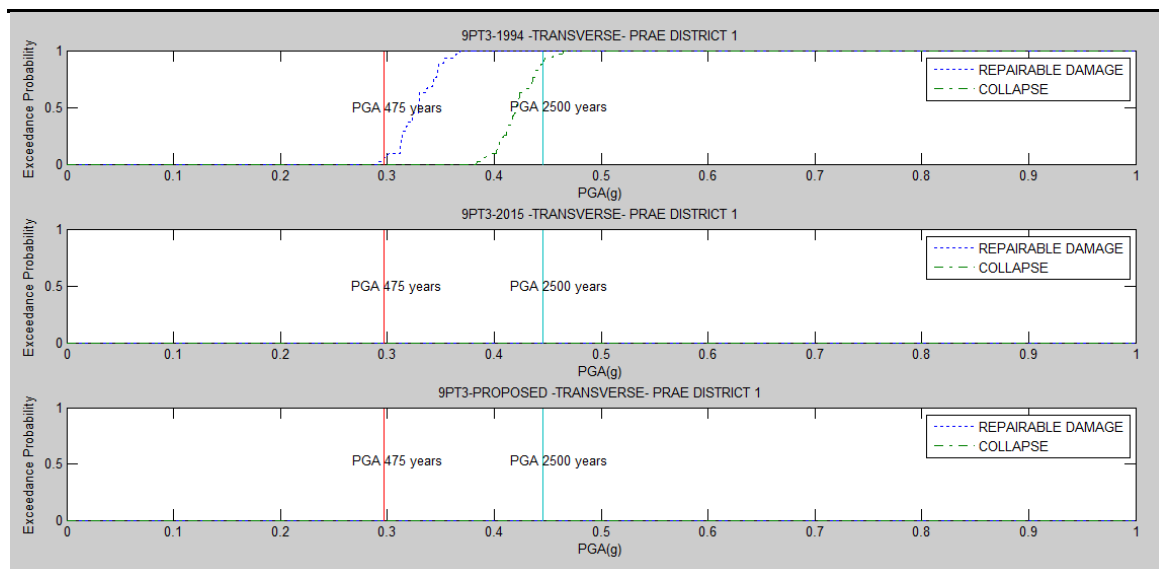
รูปที่ 7-43 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 8PT3 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



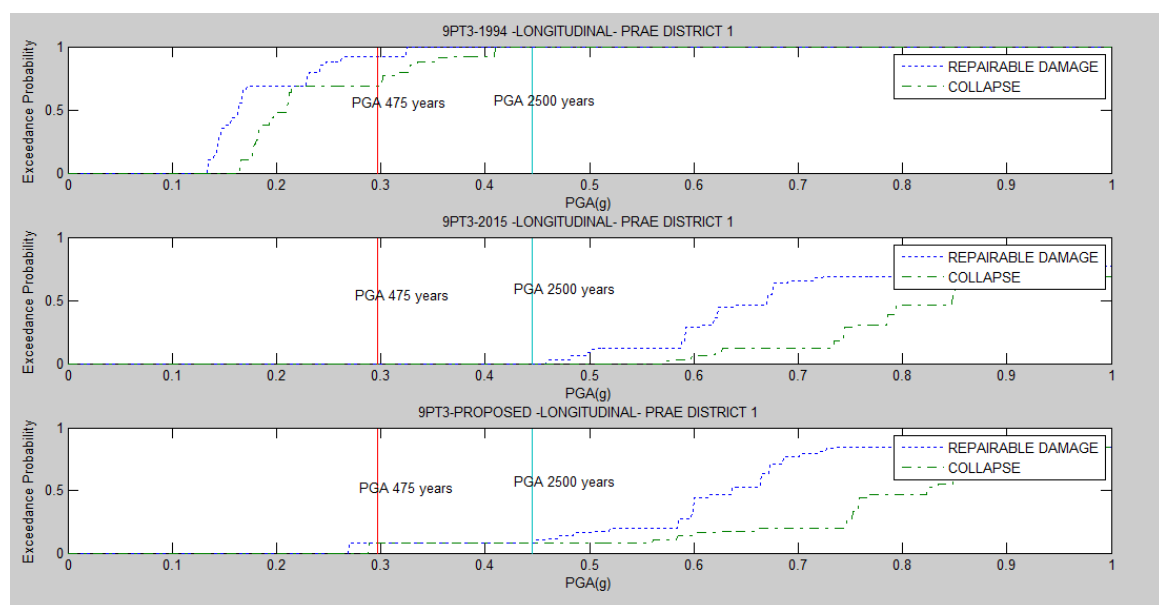
รูปที่ 7-44 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 8PT3H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



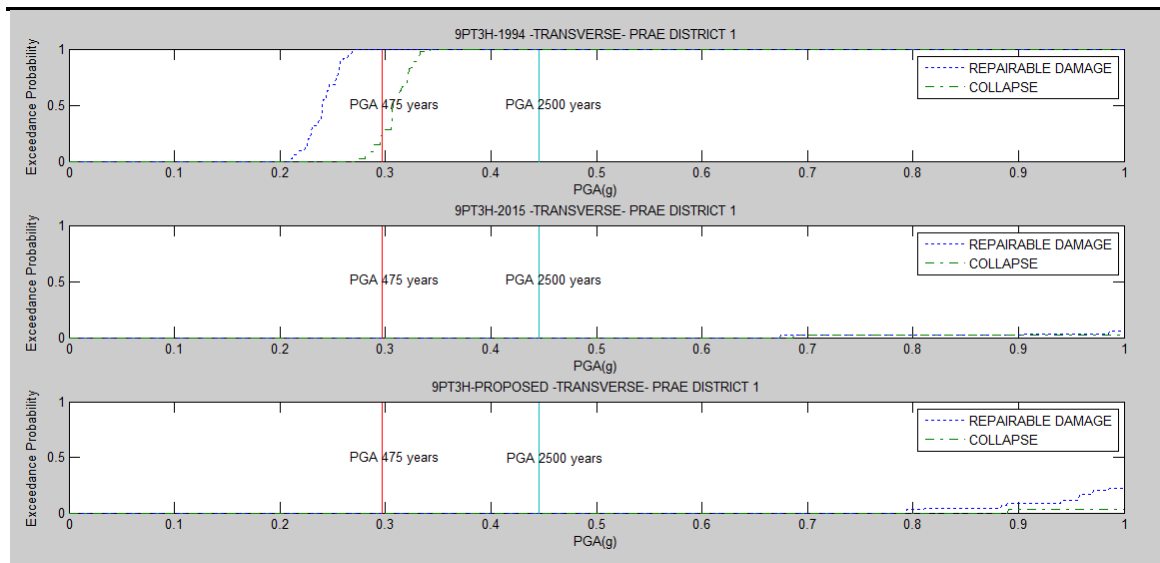
รูปที่ 7-45 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 8PT3H (ทิศทางตามแนวสะพาน)



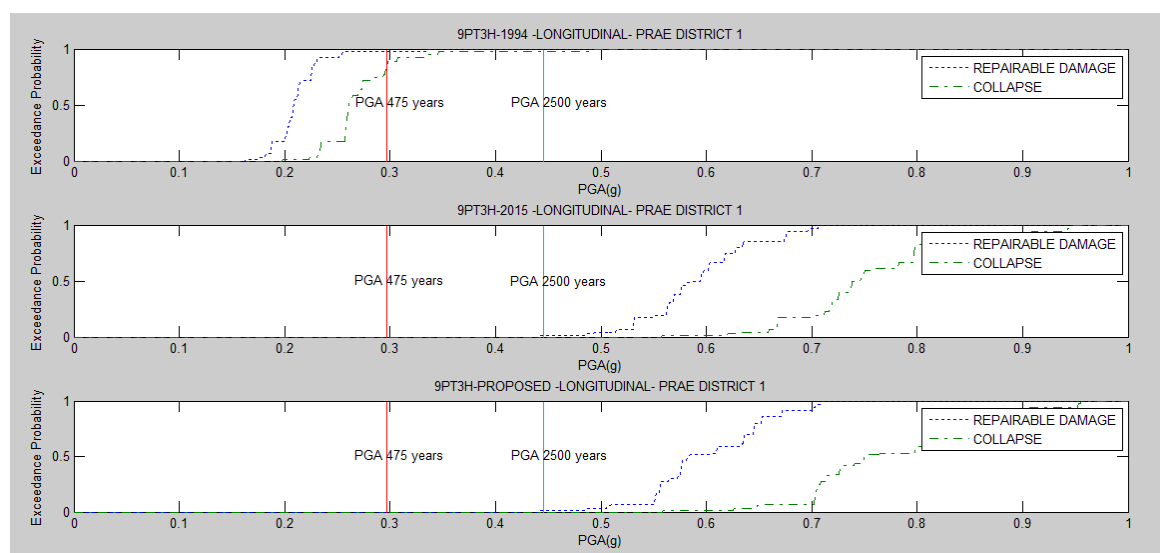
รูปที่ 7-46 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 9PT3 (ทิศทางขวางกับสะพาน)



รูปที่ 7-47 เส้นโค้งแตกร้าวของตอม่อ 9PT3 (ทิศทางตามแนวสะพาน)



รูปที่ 7-48 เส้นโค้งแตกร้าของตอม่อ 9PT3H (ทิศทางขวางกับสะพาน)



รูปที่ 7-49 เส้นโค้งแตกร้าของตอม่อ 9PT3H (ทิศทางตามแนวสะพาน)

บทที่ 8 การประเมินความเสี่ยงต่อการได้รับ ความเสียหายของตอม่อสะพานจาก แรงแผ่นดินไหว

8.1 แนวทางการประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยง (Risk) พิจารณาในรูปของค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดจากความเสียหายของตอม่อต่อเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นได้ทุกปี โดยจะประเมินจากผลคูณของความน่าจะเป็นที่ตอม่อจะเกิดความเสียหายไปจนถึงขั้นวิกฤตกับค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ซ่อมแซมสะพานหรือก่อสร้างสะพานใหม่เพื่อให้สะพานสามารถกลับมาใช้งานได้ตามเดิม ดังนั้นหากพิจารณาความน่าจะเป็นที่ตอม่อจะเกิดความเสียหายไปจนถึงขั้นวิกฤตที่รอบการเกิดแผ่นดินไหว 475 ปี และรอบการเกิด 2,500 ปี ค่าความเสี่ยงที่คิดเป็นรายปีสามารถเขียนเป็นสมการได้ตามแนวทางการประเมินความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐาน (Birdsall and Hajdin 2008¹) ดังนี้

$$RISK_i = \left(\frac{1}{475} - \frac{1}{2500} \right) \cdot COST_{475y} + \frac{1}{2500} \cdot COST_{2500y} \quad (8-1)$$

โดยที่ $RISK_i$ คือ มูลค่าความเสี่ยงของสะพาน i ที่จะเกิดจากการซ่อมแซมหรือก่อสร้างใหม่

$COST_{475y}$ คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมหรือก่อสร้างใหม่ กรณีแผ่นดินไหวรอบการเกิด 475 ปี

$COST_{2500y}$ คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมหรือก่อสร้างใหม่ กรณีแผ่นดินไหวรอบการเกิด 2,500 ปี

8.2 ราคาซ่อมแซมและก่อสร้างตอม่อสะพาน

ราคาซ่อมแซม เสริมกำลัง และก่อสร้างสะพาน ที่นำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยง อ้างอิงจากวิธีการคิดราคาของระบบบริหารและบำรุงรักษาสะพานของสำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง ดังสรุปไว้ในตารางที่ 8-1 โดยงานซ่อมและก่อสร้างคิดรวม ค่าเครื่องจักร ค่าอำนาจการและดำเนินงาน ภาษีมูลค่าเพิ่ม เรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 8-1 ราคาซ่อมแซมและก่อสร้างตอม่อทั้ง 24 รูปแบบ

¹ Birdsall, J. D. and Hajdin R. Vulnerability Assessment of Individual Infrastructure Objects Subjected to Natural Hazards. 10th International Bridge and Structure Management Conference, Buffalo, New York, October 20-22, 2008

		4PT1		4PT1H													
		ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง												
1994		100,024	1,376,890	300,071	1,451,908												
2015		100,024	1,390,690	300,071	1,471,803												
proposed		100,024	1,397,337	300,071	1,500,523												
		5PT1		5PT1H		5PT2		5PT2H									
		ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง								
1994		125,030	1,655,081	375,089	1,733,225	125,030	1,832,727	358,419	1,920,248								
2015		125,030	1,672,331	375,089	1,758,094	125,030	1,849,978	358,419	1,945,117								
proposed		125,030	1,680,640	375,089	1,793,994	125,030	1,858,287	358,419	1,981,018								
		6PT1		6PT1H		6PT2		6PT2H		6PT3		6PT3H					
		ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง				
1994		150,036	1,880,135	450,107	1,992,661	150,036	2,200,523	433,436	2,306,798	150,036	2,288,565	416,766	2,388,589				
2015		150,036	1,900,835	450,107	2,022,504	150,036	2,221,223	433,436	2,336,642	150,036	2,309,265	416,766	2,418,432				
proposed		150,036	1,910,806	450,107	2,065,585	150,036	2,231,195	433,436	2,379,722	150,036	2,319,236	416,766	2,461,512				
		7PT1		7PT1H		7PT2		7PT2H		7PT3		7PT3H					
		ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง				
1994		175,042	2,123,317	525,125	2,254,599	175,042	2,314,092	499,285	2,435,683	175,042	2,532,373	483,448	2,648,025				
2015		175,042	2,147,468	525,125	2,289,415	175,042	2,338,242	499,285	2,470,500	175,042	2,556,523	483,448	2,682,842				
proposed		175,042	2,159,101	525,125	2,339,676	175,042	2,349,875	499,285	2,520,761	175,042	2,568,156	483,448	2,733,103				
						8PT2		8PT2H		8PT3		8PT3H					
						ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง				
1994						200,048	2,661,883	575,137	2,802,541	200,048	2,755,343	548,437	2,885,999				
2015						200,048	2,689,483	575,137	2,842,332	200,048	2,782,943	548,437	2,925,789				
proposed						200,048	2,702,778	575,137	2,899,773	200,048	2,796,238	548,437	2,983,230				
										9PT3		9PT3H					
										ซ่อม	ก่อสร้าง	ซ่อม	ก่อสร้าง				
1,994										225,054	2,894,959	615,146	3,041,244				
2,015										225,054	2,926,010	615,146	3,086,008				
proposed										225,054	2,940,966	615,146	3,150,629				

8.3 ผลการประเมินความเสี่ยง

โดยอาศัยแนวทางการประเมินความเสี่ยงตามสมการที่ 8-1 ตารางที่ 8-2 แสดงการคำนวณความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 4PT1H การประเมินความเสี่ยง พิจารณาแรงแผ่นดินไหวรวมทั้งสองทิศทาง โดยสมมติว่าโอกาสที่แรงแผ่นดินไหวกระทำต่อตอม่อสะพานมีค่าเท่ากันทั้งสองทิศทาง ดังนั้น COST475y และ COST2500y จึงเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการซ่อมหรือก่อสร้างใหม่ สถานะ 0 หมายถึงตอม่อไม่เสียหาย สถานะ 1 หมายถึงตอม่อเสียหายปานกลางถึงหนัก (ซ่อมแซม) และสถานะ 2 หมายถึงตอม่อเสียหายหนักถึงวิบัติ (ก่อสร้างใหม่) ผลการประเมินความเสี่ยงของตอม่อ 4PT1H เป็นไปตามคาด กล่าวคือ ตอม่อ 4PT1H ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานเดิมปี 1994 มีความเสี่ยงสูงกว่าตอม่อ 4PT1H ที่ก่อสร้างตามแบบปรับปรุงปี 2015 และตามแบบที่ได้ออกแบบในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากตอม่อ 4PT1H ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานเดิมปี 1994 มีโอกาสได้รับความเสียหายจากแรงแผ่นดินไหวมากกว่าตอม่อ 4PT1H ที่ก่อสร้างตามแบบปรับปรุงปี 2015 และตามแบบที่ได้ออกแบบในการศึกษาครั้งนี้ จากผลการประเมินความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวในบทที่ 7

ตารางที่ 8-3 สรุปความเสี่ยงของตอม่อทั้ง 24 รูปแบบ พร้อมด้วยค่าก่อสร้าง ตอม่อทั้ง 24 รูปแบบที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานเดิมปี 1994 มีความเสี่ยงตั้งแต่ 480.06 บาท/ปี ไปจนถึง 4432.48 บาท/ปี โดยหากก่อสร้างตามแบบปรับปรุงปี 2015 และตามแบบที่ได้ออกแบบในการศึกษาครั้งนี้ ความเสี่ยงจะมีค่าต่ำมากจนถึงไม่มีความเสี่ยง ในขณะที่ค่าก่อสร้างตอม่อตามแบบปรับปรุงปี 2015 และตามแบบที่ได้ออกแบบในการศึกษาครั้งนี้มีราคาสูงกว่าค่าก่อสร้างตอม่อตามแบบมาตรฐานเดิมปี 1994 เพียงเล็กน้อย ดังนั้น การก่อสร้างตอม่อตามแบบปรับปรุงปี 2015 และตามแบบที่ได้ออกแบบในการศึกษาครั้งนี้จึงมีความคุ้มค่า

เมื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงและค่าก่อสร้างของตอม่อก่อสร้างตามแบบปรับปรุงปี 2015 กับตอม่อก่อสร้างตามแบบที่ได้ออกแบบในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ทั้งความเสี่ยงและค่าก่อสร้างมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้น ที่ปรึกษาจึง

แนะนำให้ใช้แบบก่อสร้างตอม่อตามที่ได้ออกแบบในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากรูปแบบการวิบัติของตอม่อตามที่ได้
ออกแบบในการศึกษาครั้งนี้ มีลักษณะที่พึงประสงค์ (Strong column weak beam) มากกว่าตอม่อที่ก่อสร้างตามแบบ
ปรับปรุงปี 2015

ตารางที่ 8-2 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 4PT1H

		แผ่นดินไหว 475 ปี					แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
สถานะ ตอม่อ	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม		
		ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง			
0	0	1.0000	0	0.3528	0	0.1043	0	0.0000	0	0.0000	0	4PT1H (1994)	
1	300,071	0.0000	0	0.3333	100,010	0.1739	52,186	0.2374	71,233				
2	1,451,908	0.0000	0	0.3139	455,773	0.7218	1,047,927	0.7626	1,107,242				
			0		555,783		1,100,113		1,178,475				
		Expected		COST _{475yr} =		277,892	Expected		COST _{2500yr} =		1,139,294	Risk = 929.60 บาท/ปี	
		แผ่นดินไหว 475 ปี					แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
สถานะ ตอม่อ	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม		
		ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง			
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9906	0	0.9906	0	4PT1H (2015)	
1	300,071	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0094	2,807				
2	1,471,803	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0				
			0		0		0		0		2,807		
		Expected		COST _{475yr} =		0	Expected		COST _{2500yr} =		1,404	Risk = 0.56 บาท/ปี	
		แผ่นดินไหว 475 ปี					แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
สถานะ ตอม่อ	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม		
		ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	ความน่า จะเป็น	ซ่อม/สร้าง			
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9906	0	0.9906	0	4PT1H (PROPOSED)	
1	300,071	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0094	2,807				
2	1,500,523	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0				
			0		0		0		0		2,807		
		Expected		COST _{475yr} =		0	Expected		COST _{2500yr} =		1,404	Risk = 0.56 บาท/ปี	

ตารางที่ 8-3 สรุปค่าก่อสร้างและความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อทั้ง 24 รูปแบบ

โครงการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรมทางหลวง
ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง



		4P11		4P11H											
		ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง			ก่อสร้าง	ความเสี่ยง			ก่อสร้าง	ความเสี่ยง		
1994		1,376,890	930.10	1,451,908	929.60										
2015		1,390,690	0.00	1,471,803	0.56										
proposed		1,397,337	0.00	1,500,523	0.56										
		5PT1		5PT1H		5PT2		5PT2H							
		ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง			ก่อสร้าง	ความเสี่ยง		
1994		1,655,081	705.80	1,733,225	480.06	1,832,727	1,686.76	1,920,248	1,775.46						
2015		1,672,331	0.00	1,758,094	0.00	1,849,978	0.00	1,945,117	0.00						
proposed		1,680,640	0.00	1,793,994	1.74	1,858,287	0.00	1,981,018	0.00						
		6PT1		6PT1H		6PT2		6PT2H		6PT3		6PT3H			
		ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง		
1994		1,880,135	587.19	1,992,661	1,105.48	2,200,323	1,521.23	2,306,798	2,182.82	2,288,563	2,695.43	2,388,589	4,040.85		
2015		1,900,835	0.00	2,027,504	2.09	2,271,273	0.00	2,336,647	0.00	2,309,265	0.78	2,418,432	0.78		
proposed		1,910,806	0.28	2,065,585	2.09	2,231,195	0.00	2,379,722	0.00	2,319,236	0.28	2,461,512	0.78		
		7PT1		7PT1H		7PT2		7PT2H		7PT3		7PT3H			
		ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง		
1994		2,123,317	650.00	2,254,599	1,570.76	2,314,092	2,125.29	2,435,683	4,169.55	2,532,373	3,010.20	2,648,025	3,134.70		
2015		2,147,468	0.00	2,789,415	2.44	2,338,242	0.00	2,470,500	0.00	2,556,573	6.29	2,682,842	0.00		
proposed		2,159,101	0.00	2,339,676	0.00	2,349,875	0.00	2,520,761	0.00	2,568,156	6.29	2,733,103	3.15		
						8PT2		8PT2H		8PT3		8PT3H			
						ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง		
1994						2,661,883	2,334.92	2,802,541	2,690.00	2,755,343	2,862.17	2,885,999	4,191.84		
2015						2,689,483	65.84	2,842,332	1.08	2,782,943	1.13	2,925,789	1.03		
proposed						2,702,778	0.00	2,899,773	1.08	2,796,238	1.30	2,983,230	1.03		
										9PT3		9PT3H			
										ก่อสร้าง	ความเสี่ยง	ก่อสร้าง	ความเสี่ยง		
1,994										2,894,959	2,850.53	3,041,244	4,432.48		
2,015										2,926,010	0.00	3,086,008	1.15		
proposed										2,940,966	242.41	3,150,629	1.15		

ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อรูปแบบอื่นๆ แสดงในตารางที่ 8-4 ถึง ตารางที่ 8-26

ตารางที่ 8-4 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 4PT1

แผ่นดินไหว 475 ปี										แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
		ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน				ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน					
สถานะ	ค่าซ่อม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	สถานะ	ค่าซ่อม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม				
ตอม่อ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	ตอม่อ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง				
0	0	1.0000	0	0.1302	0	0.9875	0	0.0000	0	4PT1 (1994)	0	1.0000	0	0.0000	0				
1	100,024	0.0000	0	0.3063	30,636	0.0125	1,247	0.1302	13,020		100,024	0.0000	0	0.0000	0				
2	1,376,890	0.0000	0	0.5635	775,942	0.0000	0	0.8698	1,197,663		1,376,890	0.0000	0	0.0000	0				
			0		806,578		1,247		1,210,683										
Expected		COST _{475y} =		403,289		Expected		COST _{2500y} =		605,965		Risk =		930.10		บาท/ปี			
แผ่นดินไหว 475 ปี										แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
		ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน				ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน					
สถานะ	ค่าซ่อม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	สถานะ	ค่าซ่อม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม				
ตอม่อ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	ตอม่อ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง				
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	4PT1 (2015)	0	1.0000	0	0.0000	0				
1	100,024	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0		100,024	0.0000	0	0.0000	0				
2	1,390,690	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0		1,390,690	0.0000	0	0.0000	0				
			0		0		0		0						0				
Expected		COST _{475y} =		0		Expected		COST _{2500y} =		0		Risk =		0.00		บาท/ปี			
แผ่นดินไหว 475 ปี										แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
		ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน				ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน					
สถานะ	ค่าซ่อม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	สถานะ	ค่าซ่อม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม				
ตอม่อ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	ตอม่อ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง				
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	4PT1 (PROPOSED)	0	1.0000	0	0.0000	0				
1	100,024	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0		100,024	0.0000	0	0.0000	0				
2	1,397,337	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0		1,397,337	0.0000	0	0.0000	0				
			0		0		0		0						0				
Expected		COST _{475y} =		0		Expected		COST _{2500y} =		0		Risk =		0.00		บาท/ปี			

ตารางที่ 8-5 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 5PT1

ตารางที่ 8-6 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 5PT1H

ตารางที่ 8-7 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของต่อม่อ 5PT2

โครงการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรมทางหลวง
ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง



แผ่นดินไหว 475 ปี					แผ่นดินไหว 2,500 ปี					
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	
ดอม	ก่อสร้าง	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	
0	0	1.0000	0	0.1441	0	0.7442	0	0.0000	0	SPT2 (1994)
1	125,030	0.0000	0	0.0000	0	0.2558	31,983	0.0694	8,673	
2	1,832,727	0.0000	0	0.8559	1,568,688	0.0000	0	0.9306	1,705,591	
			0		1,568,688		31,983		1,714,264	
Expected		COST _{475y} =		784,344		Expected		COST _{2500y} =		Risk = 1686.76 บาท/ปี
										SPT2 (2015)
แผ่นดินไหว 475 ปี					แผ่นดินไหว 2,500 ปี					
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	
ดอม	ก่อสร้าง	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	
1	125,030	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	
2	1,849,978	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	
			0		0		0		0	
Expected		COST _{475y} =		0		Expected		COST _{2500y} =		Risk = 0.00 บาท/ปี
										SPT2 (PROPOSED)
แผ่นดินไหว 475 ปี					แผ่นดินไหว 2,500 ปี					
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	
ดอม	ก่อสร้าง	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	
1	125,030	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	
2	1,858,287	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	
			0		0		0		0	
Expected		COST _{475y} =		0		Expected		COST _{2500y} =		Risk = 0.00 บาท/ปี

ตารางที่ 8-8 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ SPT2H

แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี										
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน					
		ก่อสร้าง	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ก่อสร้าง	ความน่าจะเป็น	รวม		ความน่าจะเป็น	รวม				
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง			
0	0	0.0187	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
1	358,419	0.9813	351,712	0.6982	250,251	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
2	1,920,248	0.0000	0	0.3018	579,514	1.0000	1,920,246	1.0000	1,920,246	1.0000	1,920,246	1.0000	1,920,246			
			351,712				829,764				1,920,246					
Expected			COST _{475y} =			590,738	Expected			COST _{2500y} =			1,920,246	Risk =	1775.46	บาท/ปี
										SPT2H (2015)						
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี										
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน					
		ก่อสร้าง	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ก่อสร้าง	ความน่าจะเป็น	รวม		ความน่าจะเป็น	รวม				
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0		1.0000	0	1.0000	0		
1	358,419	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
2	1,945,117	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
			0				0				0					
Expected			COST _{475y} =			0	Expected			COST _{2500y} =			0	Risk =	0.00	บาท/ปี
										SPT2H (PROPOSED)						
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี										
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน					
		ก่อสร้าง	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ก่อสร้าง	ความน่าจะเป็น	รวม		ความน่าจะเป็น	รวม				
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0		1.0000	0	1.0000	0		
1	358,419	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
2	1,981,018	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
			0				0				0					
Expected			COST _{475y} =			0	Expected			COST _{2500y} =			0	Risk =	0.00	บาท/ปี

ตารางที่ 8-9 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 6PT1

ตารางที่ 8-10 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของต่อม่อ 6PT1H

ตารางที่ 8-11 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 6PT2

โครงการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรมทางหลวง
ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง



แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	รวม	รวม	รวม		
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม						
ดอมอ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	1.0000	0	0.1534	0	0.7360	0	0.0000	0					6PT2 (1994)	
1	150,036	0.0000	0	0.2722	40,846	0.2640	39,616	0.0956	14,344						
2	2,200,523	0.0000	0	0.5743	1,263,835	0.0000	0	0.9044	1,990,136						
			0	0	1,304,681		39,616		2,004,480						
			Expected	COST _{475y} = 652,341			Expected			COST _{2500y} = 1,022,048			Risk =	1521.23	บาท/ปี
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	รวม	รวม	รวม		
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม						
ดอมอ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0					6PT2 (2015)	
1	150,036	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
2	2,221,223	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
			0	0	0		0		0						
			Expected	COST _{475y} = 0			Expected			COST _{2500y} = 0			Risk =	0.00	บาท/ปี
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	รวม	รวม	รวม		
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม						
ดอมอ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0					6PT2 (PROPOSED)	
1	150,036	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
2	2,231,195	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
			0	0	0		0		0						
			Expected	COST _{475y} = 0			Expected			COST _{2500y} = 0			Risk =	0.00	บาท/ปี

ตารางที่ 8-12 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอมอ 6PT2H

แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี								
สถานะ ดอมอ	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	รวม	Risk =	2182.82	บาท/ปี
		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม					
0	0	0.1282	0	0.0874	0	0.0000	0	0.0000	0	0				
1	433,436	0.8718	377,862	0.5065	219,542	0.0874	37,867	0.0409	17,707					
2	2,306,798	0.0000	0	0.4061	936,835	0.9126	2,105,263	0.9591	2,212,557					
			377,862		1,156,377		2,143,130		2,230,264					
		Expected	COST _{475y} =	767,119		Expected	COST _{2500y} =	2,186,697						
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี								
สถานะ ดอมอ	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	รวม	Risk =	0.00	บาท/ปี
		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม					
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0				
1	433,436	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0				
2	2,336,642	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0				
			0		0		0		0					
		Expected	COST _{475y} =	0		Expected	COST _{2500y} =	0						
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี								
สถานะ ดอมอ	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	รวม	Risk =	0.00	บาท/ปี
		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม					
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0				
1	433,436	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0				
2	2,379,722	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0				
			0		0		0		0					
		Expected	COST _{475y} =	0		Expected	COST _{2500y} =	0						

ตารางที่ 8-13 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอมอ 6PT3

โครงการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรมทางหลวง
ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง



แผ่นดินไหว 475 ปี											แผ่นดินไหว 2,500 ปี										
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			Risk =	2695.45	บาท/ปี					
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม										
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง								
0	0	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	6PT3 (1994)							
1	150,036	0.0000	0	0.0000	0	0.4005	60,083	0.0000	0												
2	2,288,565	0.0000	0	1.0000	2,288,563	0.5995	1,372,084	1.0000	2,288,563												
				0	2,288,563			1,432,167			2,288,563										
Expected		COST _{475y} = 1,144,281					Expected		COST _{2500y} = 1,860,365												
แผ่นดินไหว 475 ปี											แผ่นดินไหว 2,500 ปี										
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			Risk =	0.28	บาท/ปี					
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม										
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง								
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9906	0			6PT3 (2015)							
1	150,036	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0094	1,404										
2	2,309,265	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0										
				0	0			0			1,404										
Expected		COST _{475y} = 0					Expected		COST _{2500y} = 702												
แผ่นดินไหว 475 ปี											แผ่นดินไหว 2,500 ปี										
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			Risk =	0.28	บาท/ปี					
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม										
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง								
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9906	0			6PT3 (PROPOSED)							
1	150,036	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0094	1,404										
2	2,319,236	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0										
				0	0			0			1,404										
Expected		COST _{475y} = 0					Expected		COST _{2500y} = 702												

ตารางที่ 8-14 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอม 6PT3H

แผ่นดินไหว 475 ปี										แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			Risk =	บาท/ปี				
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม								
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	6PT3H (1994)					
1	416,766	0.5020	209,225	0.0855	35,632	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
2	2,388,589	0.4980	<u>1,189,465</u>	0.9145	<u>2,184,371</u>	1.0000	<u>2,388,586</u>	1.0000	<u>2,388,586</u>	1.0000	<u>2,388,586</u>	1.0000	<u>2,388,586</u>						
			<u>1,398,690</u>		<u>2,220,003</u>				<u>2,388,586</u>				<u>2,388,586</u>						
Expected			COST _{475y} =			<u>1,809,347</u>	Expected			COST _{2500y} =			<u>2,388,586</u>						
แผ่นดินไหว 475 ปี										แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			Risk =	บาท/ปี				
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม								
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9906	0	0.9906	0	6PT3H (2015)					
1	416,766	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0094	3,899	0.0094	3,899						
2	2,418,432	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>						
			<u>0</u>		<u>0</u>				<u>0</u>				<u>3,899</u>						
Expected			COST _{475y} =			<u>0</u>	Expected			COST _{2500y} =			<u>1,949</u>						
แผ่นดินไหว 475 ปี										แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			Risk =	บาท/ปี				
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม								
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9906	0	0.9906	0	6PT3H (PROPOSED)					
1	416,766	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0094	3,899	0.0094	3,899						
2	2,461,512	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>						
			<u>0</u>		<u>0</u>				<u>0</u>				<u>3,899</u>						
Expected			COST _{475y} =			<u>0</u>	Expected			COST _{2500y} =			<u>1,949</u>						

ตารางที่ 8-15 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอม 7PT1

ตารางที่ 8-16 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 7PT1H

ตารางที่ 8-17 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 7PT2

โครงการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรมทางหลวง
ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง



แผ่นดินไหว 475 ปี											แผ่นดินไหว 2,500 ปี										
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน				ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน				Risk =	2125.29	บาท/ปี	
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม										
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	1.0000	0	0.1302	0	0.8250	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			7PT2 (1994)			
1	175,042	0.0000	0	0.0233	4,071	0.1750	30,637	0.0409	7,151												
2	2,314,092	0.0000	0	0.8466	1,959,055	0.0000	0	0.9591	2,219,552												
			0		1,963,125		30,637		2,226,703												
		Expected	COST _{475y} =	981,563				Expected	COST _{2500y} =	1,128,670											
แผ่นดินไหว 475 ปี											แผ่นดินไหว 2,500 ปี										
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน				ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน				Risk =	0.00	บาท/ปี	
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม										
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0			7PT2 (2015)			
1	175,042	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
2	2,338,242	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
			0		0		0		0		0		0		0						
		Expected	COST _{475y} =	0				Expected	COST _{2500y} =	0											
แผ่นดินไหว 475 ปี											แผ่นดินไหว 2,500 ปี										
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน				ทิศทางขวางกับสะพาน				ทิศทางตามแนวสะพาน				Risk =	0.00	บาท/ปี	
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม										
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0			7PT2 (PROPOSED)			
1	175,042	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
2	2,349,875	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
			0		0		0		0		0		0		0						
		Expected	COST _{475y} =	0				Expected	COST _{2500y} =	0											

ตารางที่ 8-18 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอม 7PT2H

		แผ่นดินไหว 475 ปี					แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม		
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม		ความน่าจะเป็น	รวม					
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	7PT2H (1994)	
1	499,285	0.4678	233,561	0.1126	56,205	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0		
2	2,435,683	0.5322	<u>1,296,291</u>	0.8874	<u>2,161,496</u>	1.0000	<u>2,435,681</u>	1.0000	<u>2,435,681</u>				
			<u>1,529,852</u>		<u>2,217,701</u>		<u>2,435,681</u>		<u>2,435,681</u>				
		Expected	COST _{475y} =		<u>1,873,776</u>	Expected	COST _{2500y} =		<u>2,435,681</u>	Risk =	4169.55	บาท/ปี	
		แผ่นดินไหว 475 ปี					แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม		
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม		ความน่าจะเป็น	รวม					
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	7PT2H (2015)	
1	499,285	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0		
2	2,470,500	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>				
			<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>				
		Expected	COST _{475y} =		<u>0</u>	Expected	COST _{2500y} =		<u>0</u>	Risk =	0.00	บาท/ปี	
		แผ่นดินไหว 475 ปี					แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม		
		ความน่าจะเป็น	รวม	ความน่าจะเป็น	รวม		ความน่าจะเป็น	รวม					
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	7PT2H (PROPOSED)	
1	499,285	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0		
2	2,520,761	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>				
			<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>				
		Expected	COST _{475y} =		0	Expected	COST _{2500y} =		0	Risk =	0.00	บาท/ปี	

ตารางที่ 8-19 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอม 7PT3

โครงการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรมทางหลวง
ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง



แผ่นดินไหว 475 ปี										แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			Risk =	3010.20	บาท/ปี			
		ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม								
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	0.9674	0	0.0094	0	0.0094	0	0.0094	0	0.0094	0	0.0094	0			7PT3 (1994)			
1	175,042	0.0326	5,708	0.0233	4,071	0.1917	33,554	0.0000	0										
2	2,532,373	0.0000	0	0.9674	2,449,787	0.7990	2,023,242	0.9906	2,508,680										
			5,708		2,453,858		2,056,796		2,508,680										
		Expected	COST _{475y} =		1,229,783		Expected	COST _{2500y} =	2,282,738										
แผ่นดินไหว 475 ปี										แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			Risk =	6.29	บาท/ปี			
		ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม								
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.8203	0	0.8203	0	0.8203	0			7PT3 (2015)			
1	175,042	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.1797	31,462										
2	2,556,523	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
			0		0		0		31,462										
		Expected	COST _{475y} =		0		Expected	COST _{2500y} =	15,731										
แผ่นดินไหว 475 ปี										แผ่นดินไหว 2,500 ปี									
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			ทิศทางขวางกับสะพาน			ทิศทางตามแนวสะพาน			Risk =	6.29	บาท/ปี			
		ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม								
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง						
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.8203	0	0.8203	0	0.8203	0			7PT3 (PROPOSED)			
1	175,042	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.1797	31,462										
2	2,568,156	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0						
			0		0		0		31,462										
		Expected	COST _{475y} =		0		Expected	COST _{2500y} =	15,731										

ตารางที่ 8-20 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอม 7PT3H

แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี								
สถานะ ดอม	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	Risk =	3134.70	บาท/ปี
		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม				
0	0	0.0000	0	0.0783	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
1	483,448	0.8233	398,033	0.4030	194,832	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
2	2,648,025	0.1767	<u>467,850</u>	0.5187	<u>1,373,502</u>	1.0000	<u>2,648,023</u>	1.0000	<u>2,648,023</u>		<u>2,648,023</u>			
			<u>865,883</u>		<u>1,568,334</u>		<u>2,648,023</u>		<u>2,648,023</u>					
		Expected	COST _{475y} =		<u>1,217,108</u>	Expected	COST _{2500y} =		<u>2,648,023</u>					
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี								
สถานะ ดอม	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	Risk =	0.00	บาท/ปี
		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม				
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0			
1	483,448	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
2	2,682,842	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>			
			<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>			
		Expected	COST _{475y} =		<u>0</u>	Expected	COST _{2500y} =		<u>0</u>					
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี								
สถานะ ดอม	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	Risk =	3.15	บาท/ปี
		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม				
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9674	0	0.9674	0			
1	483,448	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0326	15,766	0.0326	15,766			
2	2,733,103	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>			
			<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>		<u>15,766</u>			
		Expected	COST _{475y} =		<u>0</u>	Expected	COST _{2500y} =		<u>7,883</u>					

ตารางที่ 8-21 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอม 8PT2

ตารางที่ 8-22 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 8PT2H

ตารางที่ 8-23 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของตอม่อ 8PT3

โครงการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรมทางหลวง
ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง



แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		Risk =		
		ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม			
ดอมอ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง			
0	0	1.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	8PT3 (1994)		
1	200,048	0.0000	0	0.1441	28,820	0.5388	107,792	0.0000	0			
2	2,755,343	0.0000	0	0.8559	2,358,383	0.4612	1,270,676	1.0000	2,755,340			
			0		2,387,204		1,378,468		2,755,340			
		Expected		COST _{475y} =	1,193,602		Expected		COST _{2500y} =	2,066,904	บาท/ปี	
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		Risk =		
		ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม			
ดอมอ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง			
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9717	0	8PT3 (2015)		
1	200,048	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0283	5,655			
2	2,782,943	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
			0		0		0		5,655			
		Expected		COST _{475y} =	0		Expected		COST _{2500y} =	2,828	บาท/ปี	
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		Risk =		
		ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม			
ดอมอ	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง			
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9674	0	8PT3 (PROPOSED)		
1	200,048	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0326	6,524			
2	2,796,238	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
			0		0		0		6,524			
		Expected		COST _{475y} =	0		Expected		COST _{2500y} =	3,262	บาท/ปี	

ตารางที่ 8-24 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอมอ 8PT3H

แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี								
สถานะ ดอมอ	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	รวม	Risk =	บาท/ปี	
		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม					
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	8PT3H (1994)		
1	548,437	0.9452	518,407	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
2	2,885,999	0.0548	<u>158,020</u>	1.0000	<u>2,885,999</u>	1.0000	<u>2,885,999</u>	1.0000	<u>2,885,999</u>	1.0000	<u>2,885,999</u>			
			<u>676,427</u>		<u>2,885,999</u>		<u>2,885,999</u>		<u>2,885,999</u>		<u>2,885,999</u>			
Expected			COST _{475y} =	<u>1,781,213</u>		Expected			COST _{2500y} =	<u>2,885,999</u>		Risk =	4191.84	บาท/ปี
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี								
สถานะ ดอมอ	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	รวม	Risk =	บาท/ปี	
		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม					
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9906	0	0.9906	0	8PT3H (2015)		
1	548,437	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0094	5,131	0.0094	5,131			
2	2,925,789	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>			
			<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>		<u>5,131</u>		<u>5,131</u>			
Expected			COST _{475y} =	<u>0</u>		Expected			COST _{2500y} =	<u>2,565</u>		Risk =	1.03	บาท/ปี
แผ่นดินไหว 475 ปี						แผ่นดินไหว 2,500 ปี								
สถานะ ดอมอ	ค่าซ่อม ก่อสร้าง	ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		รวม	รวม	Risk =	บาท/ปี	
		ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม	ความน่า จะเป็น	รวม					
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	0.9906	0	0.9906	0	8PT3H (PROPOSED)		
1	548,437	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0094	5,131	0.0094	5,131			
2	2,983,230	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>	0.0000	<u>0</u>			
			<u>0</u>		<u>0</u>		<u>0</u>		<u>5,131</u>		<u>5,131</u>			
Expected			COST _{475y} =	<u>0</u>		Expected			COST _{2500y} =	<u>2,565</u>		Risk =	1.03	บาท/ปี

ตารางที่ 8-25 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอมอ 9PT3

โครงการประเมินความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของสะพานกรมทางหลวง
ก่อนและหลังการปรับปรุงแบบก่อสร้าง



		แผ่นดินไหว 475 ปี				แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน				
สถานะ	ค่าซ่อม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม			
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง			
0	0	0.9666	0	0.0783	0	0.0000	0	0.0000	0	9PT3 (1994)		
1	225,054	0.0334	7,509	0.2317	52,151	0.1150	25,873	0.0000	0			
2	2,894,959	0.0000	0	0.6900	1,997,423	0.8850	2,562,147	1.0000	2,894,959			
			7,509	2,049,575			2,588,019			2,894,959		
		Expected	COST _{475y} =	1,028,542			Expected		COST _{2500y} =	2,741,489		
										Risk =	2850.53	บาท/ปี
		แผ่นดินไหว 475 ปี				แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน				
สถานะ	ค่าซ่อม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม			
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง			
0	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	0	9PT3 (2015)		
1	225,054	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
2	2,926,010	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
			0	0			0			0		
		Expected	COST _{475y} =	0			Expected		COST _{2500y} =	0		
										Risk =	0.00	บาท/ปี
		แผ่นดินไหว 475 ปี				แผ่นดินไหว 2,500 ปี						
		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน		ทิศทางขวางกับสะพาน		ทิศทางตามแนวสะพาน				
สถานะ	ค่าซ่อม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม	ความน่า	รวม			
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง			
0	0	1.0000	0	0.9217	0	1.0000	0	0.9217	0	9PT3 (PROPOSED)		
1	225,054	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0			
2	2,940,966	0.0000	0	0.0783	230,292	0.0000	0	0.0783	230,292			
			0	230,292			0			230,292		
		Expected	COST _{475y} =	115,146			Expected		COST _{2500y} =	115,146		
										Risk =	242.41	บาท/ปี

ตารางที่ 8-26 ความเสี่ยงต่อการได้รับความเสียหายของดอม 9PT3H

		แผ่นดินไหว 475 ปี				แผ่นดินไหว 2,500 ปี					
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน		
		จะเป็น	รวม	จะเป็น	รวม	จะเป็น	รวม	จะเป็น	รวม		
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		
0	0	0.0000	0	0.0233	0	0.0000	0	0.0000	0		9PT3H (1994)
1	615,146	0.7751	476,816	0.1427	87,769	0.0000	0	0.0233	14,306		
2	3,041,244	0.2249	683,895	0.8341	2,536,588	1.0000	3,041,241	0.9767	2,970,514		
		1,160,711		2,624,357		3,041,241		2,984,820			
		Expected		COST _{475y} =		1,892,534		Expected		COST _{2500y} = 3,013,030	
										Risk = 4432.48 บาท/ปี	
		แผ่นดินไหว 475 ปี				แผ่นดินไหว 2,500 ปี					
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน		
		จะเป็น	รวม	จะเป็น	รวม	จะเป็น	รวม	จะเป็น	รวม		
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		
0	0		0		0		0		0.9906	0	9PT3H (2015)
1	615,146		0		0		0		0.0094	5,755	
2	3,086,008		0		0		0		0.0000	0	
		0		0		0		5,755			
		Expected		COST _{475y} =		0		Expected		COST _{2500y} = 2,877	
										Risk = 1.15 บาท/ปี	
		แผ่นดินไหว 475 ปี				แผ่นดินไหว 2,500 ปี					
สถานะ	ค่าซ่อม	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน	ทิศทางขวางกับสะพาน	ทิศทางตามแนวสะพาน		
		จะเป็น	รวม	จะเป็น	รวม	จะเป็น	รวม	จะเป็น	รวม		
ดอม	ก่อสร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง	จะเป็น	ซ่อม/สร้าง		
0	0		0		0		0		0.9906	0	9PT3H (PROPOSED)
1	615,146		0		0		0		0.0094	5,755	
2	3,150,629		0		0		0		0.0000	0	
		0		0		0		5,755			
		Expected		COST _{475y} =		0		Expected		COST _{2500y} = 2,877	
										Risk = 1.15 บาท/ปี	

บทที่ 9 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้ได้ทำการประเมินความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวของตอม่อสะพานประเภทเสาเรียง (Pile Bent) ของกรรมทางหลวง โดยอาศัยการทดสอบขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ และการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตอม่อประเภทเสาเรียงที่พิจารณาแบ่งออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ตอม่อตามแบบมาตรฐานของสำนักสำรวจและออกแบบ ปี 1994 ซึ่งไม่ได้ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว ชุดที่ 2 ตอม่อตามแบบมาตรฐานของสำนักสำรวจและออกแบบ ปี 2015 ซึ่งได้รับการออกแบบรับแรงแผ่นดินไหวตามข้อกำหนดของมาตรฐาน AASHTO ปี 2012 และชุดที่ 3 ตอม่อตามที่ได้ปรับปรุงการออกแบบในการศึกษานี้ โดยยึดรูปแบบตอม่อชุดที่ 2 เป็นเกณฑ์ แต่ได้ปรับปรุงรายละเอียดการก่อสร้าง ให้ตอม่อมีพฤติกรรมการรับแรงที่พึงประสงค์มากขึ้น ในลักษณะของ Strong Column Weak Beam โดยในแต่ละชุดที่ศึกษาจะมีตอม่อ 24 รูปแบบย่อย จำแนกตามจำนวนเสาในตอม่อ ความยาวของช่วงสะพานที่ตอม่อต้องรับน้ำหนักบรรทุก และจำนวนแถวของคานยึดเสา

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของตอม่อทั้ง 3 ชุด ภายใต้อิทธิพลของแรงแผ่นดินไหวทั้งในทิศทางตามขวางของสะพานและในทิศทางตามยาวของสะพาน พบว่า ตอม่อชุดที่ 2 และ ตอม่อชุดที่ 3 มีกำลังต้านทานแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทางสูงกว่าตอม่อชุดที่ 1 เป็นอย่างมาก ตอม่อชุดที่ 3 มีความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทางใกล้เคียงกันกับตอม่อชุดที่ 2 โดยตอม่อชุดที่ 3 เกิดการความเสียหายที่คานยึดซึ่งเป็นพฤติกรรมแบบเหนียว ในลักษณะของ Strong Column Weak Beam ในขณะที่ตอม่อชุดที่ 2 เกิดการความเสียหายที่รอยต่อระหว่างคานยึดกับเสาเรียง เป็นพฤติกรรมแบบเปราะ ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ได้รับการตรวจสอบโดยการทดสอบตอม่อเสาเรียง จำนวนเสาเรียง 4 ต้น ขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ทางสถิติได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินความสามารถของตอม่อสะพานประเภทเสาเรียงในการต้านทานแผ่นดินไหว เพื่อให้ครอบคลุมความแปรปรวนเนื่องจากความไม่แน่นอนของกำลังวัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ใช้ในการก่อสร้างตอม่อ การประเมินความสามารถของตอม่อสะพานประเภทเสาเรียงในการต้านทานแผ่นดินไหวได้พิจารณาค่าความเร่งผิวดินสูงสุดในพื้นที่จังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวรุนแรงของประเทศ โดยพบว่า ตอม่อชุดที่ 1 ทั้ง 24 รูปแบบที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานเดิมปี 1994 มีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายไปจนถึงขั้นวิบัติจากแผ่นดินไหวทั้งสองทิศทางแตกต่างกันไป และในหลายรูปแบบมีโอกาสมากกว่าร้อยละ 50 ที่จะเกิดการวิบัติจากแผ่นดินไหวขนาดรอบการเกิด 475 ปี (โอกาสเกิดร้อยละ 10 ใน 50 ปี) โดยตอม่อมีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายไปจนถึงขั้นวิบัติจากแผ่นดินไหวในทิศทางตามแนวยาวของสะพานสูงกว่าแผ่นดินไหวในทิศทางตามขวางของสะพาน ในขณะที่ตอม่อชุดที่ 2 ที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานใหม่ปี 2015 และตอม่อชุดที่ 3 ที่ออกแบบปรับปรุงในการศึกษานี้ ทั้ง 24 รูปแบบ จะไม่เกิดการวิบัติจากแผ่นดินไหวขนาดรอบการเกิด 2500 ปี ซึ่งเป็นขนาดแผ่นดินไหวออกแบบตามมาตรฐาน AASHTO

การวิเคราะห์ความเสี่ยงได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินความคุ้มค่า ในการปรับเปลี่ยนแบบมาตรฐานการก่อสร้าง ตอม่อสะพานประเภทเสาเรียงจากปี 1994 มาเป็นแบบมาตรฐานปี 2015 และที่ได้ปรับปรุงในการศึกษาครั้งนี้ โดยพบว่า การก่อสร้างตอม่อตามแบบมาตรฐานใหม่ปี 2015 และตามแบบที่ได้ออกแบบปรับปรุงในการศึกษาครั้งนี้ มีความคุ้มค่า ทั้งนี้ เนื่องจากค่าก่อสร้างตอม่อตามแบบมาตรฐานใหม่ปี 2015 และตามแบบที่ได้ออกแบบปรับปรุงในการศึกษาครั้งนี้ มีราคาสูงกว่าค่าก่อสร้างตอม่อตามแบบมาตรฐานปี 1994 เพียงเล็กน้อย แต่ความเสี่ยงของตอม่อต่อการ ได้รับความเสียหายจนถึงขั้นวิบัติ ลดลงเกือบเท่าตัวไปจนถึงไม่มีความเสี่ยงต่อการ ได้รับความเสียหายจนถึงขั้นวิบัติเลย และเมื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงและค่าก่อสร้างของตอม่อที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานใหม่ปี 2015 กับตอม่อที่ก่อสร้าง ตามแบบปรับปรุงในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ทั้งความเสี่ยงและค่าก่อสร้างมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้น จึงแนะนำให้ ใช้แบบก่อสร้างตอม่อตามที่ได้ออกแบบปรับปรุงในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากพฤติกรรมการรับแรงของตอม่อตามที่ได้ ออกแบบปรับปรุงในการศึกษาครั้งนี้ มีลักษณะที่พึงประสงค์มากกว่าตอม่อที่ก่อสร้างตามแบบมาตรฐานใหม่ปี 2015