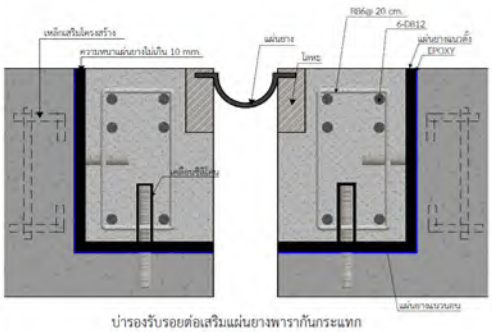
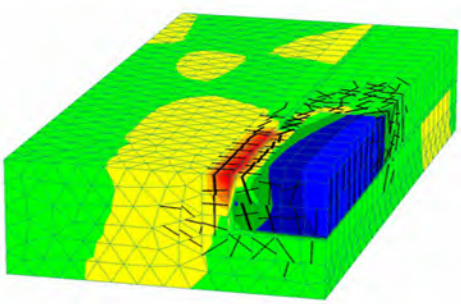
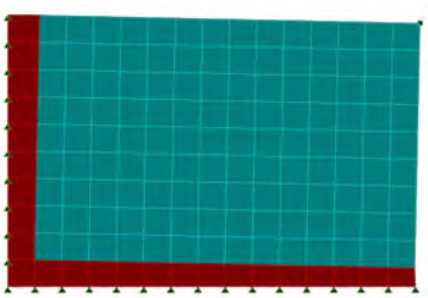
สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง

โครงการศึกษาจัดทำแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุดเนื่องจากน้ำหนักล้อรถบรรทุก







รายงานขั้นสุดท้าย
(Final Report)

บริษัท ซิทาเดล จำกัด

กันยายน 2564

รายละเอียดโครงการ

ผู้ว่าจ้าง	สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง
ผู้รับจ้าง	บริษัท ซิทาเดล จำกัด
เลขที่สัญญา	สจ.4/2564 ลงวันที่ 14 มกราคม 2564
วันเริ่มโครงการ	วันที่ 15 มกราคม 2564
วันสิ้นสุดโครงการ	วันที่ 11 ตุลาคม 2564
ระยะเวลาดำเนินงาน	270 วัน

คณะกรรมการ

1.	ดร.พลเทพ เสิศวรวนิช	รก.ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
2.	นายเศกชัย อนุเวชศิริเกียรติ	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ
3.	นายวิศิษฐ์ศักดิ์ หนูสุวรรณ	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
4.	นางวรมนัส ศุภวิเศษ	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ
5.	ดร.ราชวัลลภ กัมพูพงศ์	วิศวกรโยธาชำนาญการ
6.	นายวุฒิชัย อมรประสิทธิ์ผล	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
7.	นายวิกรินทร์ สอนถม	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
8.	นายอารักษ์ มณฑา	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
9.	นายอรรถพล หายทุกข์	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
10.	นายศิวา นาคอ้าย	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

ที่ปรึกษา บริษัท ซิทาเดล จำกัด

1.	ดร.ยงยุทธ แต้ศิริ	ผู้จัดการโครงการ
2.	ผศ. ภาณุเมศวร์ ศิรินรานันตร์	ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์โครงสร้าง
3.	รศ.ดร.กิตติภูมิ รอดสิน	ผู้เชี่ยวชาญด้านการทดสอบโครงสร้าง

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้พัฒนาต้นแบบแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานแตกร้าวเนื่องจากความล้าจากการจราจรของรถบรรทุก แผ่นยางพารากันกระแทกเป็นการประยุกต์ใช้แผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ (ยางพารา) โดยการนำแผ่นยางรองคานสะพานมาติดตั้งตามแนวด้านข้างและด้านล่างของช่องเปิดคอนกรีตก่อนทำการเทบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน การติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการสะสมพลังงานจากการกระแทกให้กับบ่ารองรับรอยต่อโดยอาศัยคุณสมบัติการยืดหยุ่นที่ดีเยี่ยมของแผ่นยาง การออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทกอาศัยการวิเคราะห์เชิงตัวเลขประกอบกับการทดสอบขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการ ซึ่งพบว่า แผ่นยางพารากันกระแทกขนาดความหนา 10 มิลิเมตรมีความเพียงพอที่จะให้ความยืดหยุ่นกับบ่ารองรับรอยต่อโดยที่ไม่ก่อให้เกิดความไม่ราบเรียบในการขับขี่ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่บ่ารองรับรอยต่อแตกร้าวเนื่องจากความล้าสามารถชะลอไปได้อีกร้อยละ 25 ถึง 30 ภายหลังการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก นอกจากนี้ ยังพบว่า อัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของบ่ารองรับรอยต่อ 2:1 เป็นอัตราที่ส่วนที่มีความเหมาะสมในการก่อสร้าง ซึ่งทำให้บ่ารองรับรอยต่อทั้งที่เสริมและไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกยังคงมีความสามารถในการต้านทานความล้าได้ดี

Abstract

The prototype shock absorbing natural rubber strip (SANRS) for alleviating truck-induced fatigue cracking of the deck joint header has been developed in this study. The SANRSs are the conventional natural rubber plain bearing pads that are adapted to be installed along the sides of the concrete block out prior to casting of the header. The intent of this modification is to provide more energy absorption to the header utilizing the excellent flexibility property of the natural rubber pad. The design of SANRS is based on numerical analysis and full-scale laboratory investigation. It has been found that the maximum SANRS's thickness of 10 mm is sufficient to provide great flexibility without disturbing the riding comfort. The fatigue cracking of the header can be retarded up to 25-30% after installing the SANRSs. It is also suggested that a 2:1 ratio of width and depth of the header is the practical ratio that provides great fatigue resistance for both SANRS and non-SANRS headers.

บทสรุปผู้บริหาร

บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่ง ทำจากคอนกรีตหล่อในที่ชนิดไม่หดตัว (Non-shrink Concrete) ทำหน้าที่ยึดรอยต่อเผื่อขยาย (Expansion Joint) ที่อยู่ด้านบนให้เข้ากับพื้นสะพานคอนกรีตที่อยู่ด้านล่าง บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานนี้มักเกิดการชำรุด ทำให้เกิดความไม่ราบเรียบในการขับขี่ กลายเป็นจุดเสี่ยงอุบัติเหตุบนสะพาน และเป็นภาระในการบำรุงรักษาสะพาน การชำรุดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเกิดจากแรงกระแทกของน้ำหนักล้อรถบรรทุกต่อบ่ารองรับรอยต่อที่มีลักษณะแข็งแต่เปราะ ทำให้บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเกิดการแตกร้าวและหลุดร่อนง่าย นอกจากนี้แรงกระแทกที่เกิดขึ้นยังส่งผ่านไปสร้างความเสียหายให้กับโครงสร้างส่วนที่อยู่ใต้บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานอีกด้วย

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีที่จะป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุดเนื่องจากน้ำหนักล้อรถบรรทุกโดยการใช้แผ่นยางพาราเป็นตัวสลายพลังงานจากการกระแทก ในโครงการนี้จะนำแผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ (ยางพารา) ที่มีจำหน่ายทั่วไป มาวางรองที่ด้านบนของพื้นสะพาน ก่อนที่ทำการเทบ่ารองรับรอยต่อด้วย Non-Shrink Concrete ในการประเมินประสิทธิภาพของแผ่นยางพารากันกระแทก ได้ทำการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกภายใต้แรงกระทำเทียบเท่าน้ำหนักล้อรถบรรทุกในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดสอบไปประกอบการออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทก โดยในงานวิจัยนี้ ได้ทำการก่อสร้างแท่นคอนกรีตขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร หนา 0.25 เมตร เพื่อจำลองพื้นสะพาน โดยที่ปลายด้านบนข้างหนึ่งของแท่นคอนกรีตในทิศทางตามแนวกว้าง จะทำการเว้นช่องคอนกรีต (Concrete Block Out) เพื่อใช้หล่อบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานภายหลังจากที่แท่นคอนกรีตแข็งตัว โดยการเว้นช่องคอนกรีตสำหรับกรณีที่ไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก มีขนาดต่างกันรวม 6 รูปแบบ คือ ขนาดกว้างคูณความลึกเท่ากับ 100x100mm (B-01), 150x100mm (B-02), 200x100mm (B-03), 150x150mm (B-04), 200x150mm (B-05) และ 200x200mm (B-06) ส่วนในกรณีที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ก็ได้เตรียมช่องคอนกรีตจำนวน 6 รูปแบบ เช่นกัน คือ ขนาดกว้างคูณความลึกเท่ากับ 100x100mm (B-07), 150x100mm (B-08), 200x100mm (B-09), 150x150mm (B-10), 200x150mm (B-11) และ 200x200mm (B-12) ซึ่งตัวอย่างของทั้งสองกลุ่มจะนำไปทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบสถิต

กรณีการทดสอบกำลังรับแรงกระทำแบบสถิตของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานแบบไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก พบว่ากำลังรับแรงสูงสุดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีกำลังรับแรงสูงสุดเกินกว่า 50 ตัน และกลุ่มที่มีกำลังรับแรงสูงสุดอยู่ในช่วง 30 ถึง 40 ตัน โดยกลุ่มที่มีกำลังรับแรงสูงสุดเกินกว่า 50 ตัน ได้แก่ บ่ารองรับรอยต่อ B-02, B-03 และ B-05 ซึ่งมีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเกิน 1.0 โดยสัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-02, B-03 และ B-05 เท่ากับ 1.5, 2.0, และ 1.33 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่มีกำลังรับแรงสูงสุดอยู่ในช่วง 30 ถึง 40 ตัน มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1.0 ซึ่งได้แก่ บ่ารองรับรอยต่อ B-01,

B-04 และ B-06 ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนความกว้างต่อความลึกที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อมีค่าสูงขึ้น

กรณีการทดสอบกำลังรับแรงกระทำแบบสถิตของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานแบบเสริมแผ่นยางพารากันกระแทก พบว่าสัดส่วนความกว้างต่อความลึกมีผลต่อกำลังรับแรงสูงสุดเช่นเดียวกับกรณีของบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก โดยสัดส่วนความกว้างต่อความลึกที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อมีค่าสูงขึ้น กำลังรับแรงสูงสุดสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเกิน 1.0 (B-08 B-09 และ B-11) โดยสัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-08, B-09 และ B-11 เท่ากับ 1.5, 2.0 และ 1.33 ตามลำดับ ซึ่งกลุ่มนี้มีกำลังรับแรงสูงสุดอยู่ในช่วง 30 ถึง 40 ตัน และกลุ่มที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1.0 (B-07 B-10 และ B-12) ซึ่งมีกำลังรับแรงสูงสุดอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 ตัน ถึงแม้กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะมีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกอยู่ประมาณ 20 ถึง 50% แต่กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกยังคงสูงกว่าน้ำหนักล้อรถบรรทุกสิบล้อซึ่งมีค่าประมาณ 5 ถึง 6 ตัน (รถบรรทุกสิบล้อน้ำหนักรวม 25 ถึง 30 ตัน) ค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นการยืนยันว่า บ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะยังไม่เกิดการวิบัติภายใต้แรงกระทำแบบสถิตของรถบรรทุกสิบล้อจอดนิ่งบนบ่ารองรับรอยต่อ

แบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจำลองพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของรอยต่อพื้นสะพานทั้ง 6 รูปแบบภายใต้แรงกระทำแบบสถิต ทั้งแบบที่ไม่ได้เสริมและแบบที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก และนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบเพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมการรับแรงของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ชัดเจนขึ้น ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์มีความแม่นยำในการทำนายพฤติกรรมของบ่ารองรับรอยต่อสะพานทั้งแบบที่ไม่เสริมและแบบที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

โครงการนี้ได้คัดเลือกบ่ารองรับรอยต่อขนาดกว้างและลึก 150x100 mm ไปทดสอบกำลังรับแรงกระทำแบบวัฏจักร เพื่อประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารอยต่อพื้นสะพานชำรุด โดยการคัดเลือกได้คำนึงถึงขนาดของบ่ารองรับรอยต่อให้ใกล้เคียงกับแบบรอยต่อที่กรมทางหลวงใช้ในงานก่อสร้างจริง และเป็นรูปแบบบ่ารองรับรอยต่อที่ผลทดสอบแบบสถิตพบว่ามีความสามารถในการรับแรงที่สูง ทั้งแบบไม่เสริมและแบบเสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

การประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารอยต่อพื้นสะพานชำรุดเป็นการทดสอบความสามารถของรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมกำลังในการรับแรงกระทำแบบซ้ำไปมา (Cyclic Load) การเปรียบเทียบความสามารถของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานระหว่างที่เสริมและไม่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางกันกระแทกจะอยู่ในรูปเส้นโค้งความล้า (Fatigue Curve) ในการสร้างเส้นโค้งความล้า จะทำการทดสอบบ่ารอยต่อให้รับแรงกระทำซ้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.50, 0.35 และ 0.20 เท่าของแรงกระทำประลัย (P_{ult}) โดยแต่ละระดับของแรงกระทำจะทำการบันทึกจำนวนรอบของแรงกระทำ (N) เทียบกับระดับ

ความยาวรอยร้าว อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดด้านระยะเวลาของโครงการ ผลการทดสอบที่ระดับ 0.50 และ 0.35 เท่าของแรงกระทำประลัย (P_{ult}) สามารถทำให้เกิดรอยร้าวได้ ขณะที่ระดับ 0.20 เท่าของแรงกระทำประลัย (P_{ult}) ยังไม่ทำให้เกิดรอยร้าว อาจต้องทดสอบอีกหลายแสนหรือล้านรอบจึงจะเห็นการเกิดรอยร้าวได้ จึงได้ยุติการทดสอบ ดังนั้นจึงได้นำผลทดสอบเพียง 2 ระดับน้ำหนักแรกเท่านั้นในการสร้างเส้นโค้งความล้า ซึ่งจะได้ในรูปแบบเส้นตรง และใช้เส้นโค้งความล้าดังกล่าวในการทำนายผลการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อจากน้ำหนักรถบรรทุก 2 กรณี คือ รถบรรทุกสิบล้อน้ำหนักมาตรฐาน 25 ตัน มีน้ำหนักลงล้อสูงสุดเท่ากับ 5 ตัน และรถบรรทุกสิบล้อน้ำหนักเกินมาตรฐาน 40 ตัน มีน้ำหนักลงล้อสูงสุด 8 ตัน **ผลการทำนายอายุการใช้งานจากความล้า พบว่าบ่ารองรับพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกสามารถรองรับจำนวนรอบการวิ่งของรถบรรทุกหนักได้มากกว่าบ่ารองรับพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพาราประมาณ 25-30%**

Executive Summary

A joint shoulder is one of important parts, made of non-shrink concrete aiming to connect the expansion joint at the top to the bridge deck at the bottom. The joint shoulders often get damages, resulting to uneven road surface and posts potential risk to road users. Thus, this problem becomes a maintenance issue. The damage is caused by the impact load from truck wheel hitting joint shoulder, which is stiff but brittle. Thus, the joint shoulder is susceptible to cracking and spalling. Furthermore, the impact at joint can pass down to cause damages to the structural elements underneath.

This research project had an objective to study the protective measure for joint shoulder by using Para rubber as an energy dissipating material. The elastomeric bearing pads made from Para rubber (Para pad), commercially available anywhere, were placed at the top edge of bridge deck before casting with non-shrink concrete to make a joint shoulder. In order to study the effectiveness of Para pad as an impact absorber, joint shoulders with and without Para pads were tested at the load comparable to truck load in laboratory. The test results were then used to design a suitable Para pad as an impact absorber. In the experimental program, concrete deck specimens were constructed, having dimension width x length x thick of 1.5 x 2.0 x 0.25 meter. At the end of the specimens on the wide side, concrete block out without Para pad was created for 6 patterns (width x thickness): 100x100mm (B-01), 150x100mm (B-02), 200x100mm (B-03), 150x150mm (B-04), 200x150mm (B-05) and 200x200mm (B-06). similarly, concrete block out with Para pad was created for 6 patterns (width x thickness): 100x100mm (B-07), 150x100mm (B-08), 200x100mm (B-09), 150x150mm (B-10), 200x150mm (B-11) and 200x200mm (B-12). These 2 sets of specimens were then performed static tests.

For the case without Para pad, it found that the performance can be divided into 2 groups: load capacity over 50 tons and load capacity between 30 and 40 tons. The group having load capacity over 50 tons had width/depth ratio greater than 1.0. These samples were B-02, B-03 and B-05, having width/depth ratios of 1.5, 2.0 and 1.33, respectively. On the other hand, the group having load capacity between 30 and 40 tons had width/depth ratio equal to 1.0. These samples were B-01, B-04 and B-04. The test results revealed that higher width/depth ratio yielded higher load capacity.

For the case with Para pad, it also showed the same trend as the case without Para pad, the higher width/depth ratio the higher load capacity. The performance can be divided into 2 groups: load capacity between 30 and 40 tons and load capacity between 20 and 30 tons. The group having load capacity between 30 and 40 tons had width/depth ratio greater than 1.0. These samples were B-08, B-09 and B-11, having width/depth ratio of 1.5, 2.0 and 1.33, respectively. On the other hand, the group having load

capacity between 20 and 30 tons had width/depth ratio equal to 1.0. These samples were B-07, B-10 and B-12. Even though the case with Para pad had lower load capacity than the case without Para pad by about 20-50%, the load capacity still significantly higher than the truck wheel load, which was approximately 5-6 tons (based on a ten-wheel truck having a gross weight of 25 to 30 tons). This ensured that the joint shoulder with Para pads will not fail under a static load of ten-wheel truck.

Finite element model was created to study the behavior of joint shoulders under static load tests for 6 patterns, both the case with and without Para pads. The experimental results were compared to the finite element model in order to better understanding the load carrying behavior of the joint shoulders. The simulation showed that the finite element model can predict behavior of joint shoulders with good accuracy for both the case with and without Para pads.

The project selected the concrete block out, size 150 x 100 mm, to perform cyclic load test in order to evaluate the effectiveness of preventing fatigue damage at a joint shoulder. The selection of the concrete block out size considered the closeness to typical size used by Department of Highways (DOH). It also considered the size that had good performance from static tests in both cases, with and without Para pad.

The effectiveness of Para pads to protect fatigue damage of joint shoulders was evaluated by conducting cyclic load test of the specimens with and without Para pads. The effectiveness was assessed by comparing the obtained fatigue resistance curves. In order to construct a fatigue resistance curve, the specimens were tested for 3 load levels, 0.50, 0.35 and 0.20 times of the ultimate load (P_{ult}). The load levels were then plotted against number of cycles (N) at specific levels of damages, defined as crack lengths. However, due to time available in the project, the test at 0.50 and 0.35 of the ultimate load can achieve cracking failure while the test at 0.2 of the ultimate load cannot. The test may need additional hundreds of thousand or million cycles to achieve cracking failure. Therefore, the test was stopped and the only 2 known test data points were used to construct fatigue curves, which had a linear shape. Then the fatigue curves were used to predict crack lengths for 2 load levels: (1) a standard ten-wheel truck with a gross weight of 25 tons, which had a wheel load of 5 tons; (2) an overload ten-wheel truck with a gross weight of 40 tons, which had a wheel load of 8 tons. **The fatigue life prediction found that the joint shoulders with Para pads can withstand higher number of truck passes than the joint shoulders without Para pads by about 25-30%.**

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ **i**

Abstract **i**

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร **ii**

Executive Summary **v**

สารบัญ a

บทที่ 1 บทนำ

1.1. ความเป็นมา 1-1

1.2. วัตถุประสงค์ 1-2

1.3. ขอบเขตการทำงาน 1-3

1.4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ 1-6

บทที่ 2 การออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทก

2.1. แรงกระแทก (Impact Load) 2-1

2.2. การออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทก 2-3

2.3. แบบรายละเอียดและขั้นตอนการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก 2-19

2.4. แบบรายละเอียดสำหรับการก่อสร้างบ่ารองรับรอยต่อ 2-31

บทที่ 3 การเตรียมการทดสอบ

3.1. การเตรียมการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน 3-1

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรับแรงกระทำแบบสถิต

4.1. การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก 4-1

4.2. การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก 4 -69

4.3. แบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน 4-135

4.4. การคัดเลือกรูปแบบบ่ารองรับรอยต่อเพื่อนำมาทดสอบ
การรับแรงกระทำแบบวัฏจักร (Cyclic Load) 4-159

บทที่ 5 ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรับแรงกระทำแบบวัฏจักร

5.1. การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักร 5-1

5.2. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรับแรงกระทำแบบวัฏจักร 5-4

5.3. เส้นความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) 5-30

บทที่ 6 บทสรุป

6.1. การทดสอบกำลังรับแรงกระทำแบบสถิตของแผ่นพื้นไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก 6-1

6.2. การออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทก 6-2

6.3. การทดสอบกำลังรับแรงกระทำแบบสถิตของแผ่นพื้นเสริมแผ่นยางพารากันกระแทก 6-2

6.4. แบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ 6-2

6.5. การทดสอบกำลังรับแรงกระทำแบบวัฏจักรของแผ่นพื้นที่ไม่เสริม
และเสริมแผ่นยางพารากันกระแทก 6-3

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา

บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ตามรายการข้อกำหนดของสำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง เป็นคอนกรีตหล่อในที่ชนิดไม่หดตัว (Non-shrink Concrete) ทำหน้าที่ยึดรอยต่อพื้นสะพาน ซึ่งส่วนใหญ่ทำจากเหล็กรูปพรรณ ให้เข้ากับพื้นสะพานคอนกรีต บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานนับเป็นส่วนประกอบหนึ่งของรอยต่อพื้นสะพานที่มีความสำคัญ ซึ่งช่วยปรับระดับและเสริมสร้างเสถียรภาพให้กับรอยต่อพื้นสะพาน เพื่อให้รอยต่อพื้นสะพานสามารถรองรับการยืด-หดตัวของสะพานได้ตามที่ออกแบบ แต่อย่างไรก็ตาม บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานมักเกิดการชำรุด ทำให้เป็นภาระในการบำรุงรักษา นอกจากนี้ การชำรุดบริเวณบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานยังก่อให้เกิดความไม่ราบเรียบในการขับขี่ ส่งผลให้บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานกลายเป็นจุดเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุบนสะพาน

การชำรุดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเกิดจากแรงกระแทกของน้ำหนักล้อรถบรรทุก เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเป็นชนิดที่ป้องกันไม่ให้บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานหดตัว ซึ่งถึงแม้จะมีความแข็งมาก แต่ก็มีความยืดหยุ่นต่ำและเปราะมากกว่าคอนกรีตทั่วไป ทำให้คอนกรีตบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานแตกร้าวและกระเทาะหลุดร่อนได้ง่าย นอกจากนี้ เนื่องจากคอนกรีตมีความแข็งมาก จึงทำให้แรงกระแทกที่เกิดขึ้นส่งผ่านไปสร้างความเสียหายยังส่วนของโครงสร้างสะพานที่อยู่ใต้บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานอีกด้วย

ในการแก้ปัญหาการชำรุดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ได้มีการนำ Elastomeric Concrete ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงกว่า Non-shrink Concrete มาใช้รับพลังงานจากแรงกระแทกของน้ำหนักล้อรถบรรทุก เพื่อป้องกันการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ แต่อย่างไรก็ตาม Elastomeric Concrete ยังมีความยืดหยุ่นไม่สูงพอที่จะป้องกันการแตกร้าวได้ทั้งหมด เพียงแต่ช่วยลดการแตกร้าวลง นอกจากนี้ ยังพบปัญหาการเลื่อนไถลแยกตัวบริเวณผิวสัมผัสกับพื้นสะพานและการเกิดร่องล้อเพิ่มเติมขึ้นมา ประกอบกับ Elastomeric Concrete เป็นวัสดุที่มีราคาสูง การนำ Elastomeric Concrete มาใช้แก้ปัญหาการชำรุดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานจึงยังมีความไม่คุ้มค่า

จากรายละเอียดข้างต้น การป้องกันไม่ให้บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุดจากน้ำหนักล้อรถบรรทุกด้านบนของบ่ารองรับรอยต่อ ซึ่งสัมผัสโดยตรงกับล้อรถบรรทุก ควรเป็นวัสดุที่มีความแข็งสูง เพื่อให้ทนต่อการขัดสีบดอัด ป้องกันไม่ให้บ่ารองรับรอยต่อเกิดการหลุดร่อนและร่องล้อ ส่วนด้านล่างของบ่ารองรับรอยต่อ ซึ่งเชื่อมต่อกับโครงสร้างสะพานที่อยู่ใต้บ่ารองรับรอยต่อ ควรเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง เพื่อช่วย

สลายพลังงานจากการกระแทกที่ด้านบน ป้องกันทั้งบ่ารองรับรอยต่อด้านบนและโครงสร้างสะพานที่อยู่ใต้บ่ารองรับรอยต่อไม่ให้ถูกกระแทกจนแตกร้าว

โครงการนี้ มุ่งเน้นที่จะป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุดเนื่องจากน้ำหนักล้อรถบรรทุกโดยใช้แผ่นยางพาราเป็นตัวสลายพลังงานจากการกระแทก การนำแผ่นยางพารามาสลายพลังงานจากการกระแทก มีความเป็นไปได้ ด้วยเหตุผล ประการแรก คือ ยางพารามีความยืดหยุ่นสูงและเหนียวติดกัน ทนต่อแรงดึง ทนต่อการฉีกขาด และ ดูดซับพลังงานได้ดี เมื่อนำยางพารามาผ่านกระบวนการผลิตขึ้นรูปให้มีความเสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ทนต่อแสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน สามารถนำยางพารามาใช้งานเป็นวัสดุวิศวกรรมได้ เช่น แผ่นยางรองคานสะพาน ประการที่สอง สามารถออกแบบขนาดของแผ่นยางและกำหนดตำแหน่งการติดตั้งที่เหมาะสมกับขนาดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ประการที่สาม แผ่นยางพารา ผลิตโดยใช้วัสดุและเทคโนโลยีในประเทศ จึงมีราคาไม่สูง และ ประการสุดท้าย เป็นผลพลอยได้ คือ เป็นการส่งเสริมการใช้ยางพาราในประเทศตามนโยบายของรัฐบาล

แผ่นยางพาราสลายพลังงานจากการกระแทกหรือเรียกสั้นๆ ว่า แผ่นยางพารากันกระแทก จะเป็นการนำแผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ (ยางพารา) ที่มีผลิตและจำหน่ายอยู่ทั่วไป มาวางรองที่ด้านบนของโครงสร้างสะพานที่อยู่ใต้บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานก่อนทำการเทบ่ารองรับรอยต่อด้วย Non-shrink Concrete แผ่นยางพารากันกระแทกนี้เป็นเสมือนฐานรองบ่ารองรับรอยต่อ ซึ่งจะช่วยดูดซับพลังงานจากแรงกระแทก แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแผ่นยางพารากันกระแทกเป็นรูปแบบใหม่ของการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุดเนื่องจากน้ำหนักล้อรถบรรทุก จึงมีความจำเป็นต้องทำการศึกษา ทั้งในส่วนของการวิเคราะห์ออกแบบและความสามารถในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานแตกร้าวจนเกิดการชำรุด ก่อนนำไปใช้งานจริง

1.2 วัตถุประสงค์

กรมทางหลวงมีความประสงค์จะว่าจ้าง “ที่ปรึกษา” เพื่อ

1.2.1. ออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

1.2.2. ประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุด

1.2.3. จัดทำแบบรายละเอียดบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

1.3 ขอบเขตการทำงาน

งานวิจัยนี้กรมทางหลวงเป็นผู้วิจัยหลัก การดำเนินงานของที่ปรึกษาจะเป็นไปในลักษณะร่วมกับสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง เพื่อให้งานออกมามีคุณภาพและตรงกับวัตถุประสงค์ในการศึกษา โดยมีขอบเขตของงานดังต่อไปนี้

1.3.1. การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

งานในข้อนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1.2.1 ที่ปรึกษาจะต้องทำการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ภายใต้แรงกระทำเทียบเท่าน้ำหนักล้อรถบรรทุกในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดสอบไปประกอบการออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทกในขอบเขตของงานข้อที่ 1.3.2 โดยมีรายละเอียดการดำเนินงาน ดังนี้

ที่ปรึกษาจะต้องก่อสร้างแท่นคอนกรีตขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร หนา 0.25 เมตร เพื่อจำลองพื้นสะพาน โดยที่ปลายด้านบนข้างหนึ่งของแท่นคอนกรีตในทิศทางตามแนวกว้าง ให้ทำการเว้นช่องคอนกรีต (Concrete Block Out) ตลอดแนวความยาวของแท่นคอนกรีตไว้เพื่อหล่อบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานภายหลังจากที่แท่นคอนกรีตแข็งตัว โดยมีความกว้างและความหนาของช่องคอนกรีตขนาดต่างๆ กันเป็นจำนวนอย่างน้อย 6 รูปแบบ ที่ปรึกษาจะต้องนำเสนอขนาดช่องคอนกรีตทั้งหมดต่อคณะกรรมการบริหารโครงการ เพื่อขอความเห็นชอบก่อนทำการเว้นช่อง

ในการหล่อบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ให้ทำการเทปิดช่องคอนกรีตที่เว้นไว้ด้วย Non-shrink Concrete โดยให้หล่อบ่ารองรับรอยต่ออย่างน้อย 2 บ่าต่อ 1 รูปแบบของขนาดช่องคอนกรีต รวมขนาดช่องคอนกรีตอย่างน้อย 6 รูปแบบ จะต้องหล่อบ่ารองรับรอยต่อทั้งหมดอย่างน้อย 12 บ่าบนแท่นคอนกรีตอย่างน้อย 12 แท่น โดยในแท่นคอนกรีตและบ่ารองรับรอยต่อแต่ละชุด ให้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดความเครียดในเนื้อคอนกรีต จำนวนรวมอย่างน้อย 20 ตัว และ อุปกรณ์ตรวจวัดระยะการเคลื่อนที่ จำนวนรวมอย่างน้อย 6 ตัว ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำแบบติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดเสนอต่อคณะกรรมการบริหารโครงการก่อนทำการติดตั้ง การเปลี่ยนแปลงแบบติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัด ที่อาจเกิดขึ้นในภายหลังให้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกรบริหารโครงการ

ในการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ให้ทำการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อทั้งหมดโดยการให้แรงกระทำเป็นจุดแบบสถิต (Static) ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำรายละเอียดการทดสอบเสนอต่อคณะกรรมการบริหารโครงการก่อนทำการทดสอบ และ จะต้องเป็นผู้จัดเตรียมสถานที่ก่อสร้างสถานที่ทดสอบ รวมถึงอุปกรณ์อำนวยการทดสอบต่างๆ เช่น โครงเหล็กถ่ายแรง โครงเหล็กยึดแท่นคอนกรีต หัวกดและปั๊มไฮโดรลิคส์ รถเครนเคลื่อนย้ายแท่นคอนกรีต และอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นเองทั้งหมด

ที่ปรึกษาจะต้องรายงานผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานทั้งหมด พร้อมทั้งแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการกระจายแรงและใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทกในขอบเขตของงานข้อที่ 1.3.2

1.3.2. การออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทก

งานในข้อนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1.2.1 ที่ปรึกษาจะต้องออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานทุกรูปแบบในขอบเขตของงานข้อที่ 1.3.1 โดยจะต้องนำผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกดังกล่าวมาใช้ประกอบการออกแบบ เพื่อให้ได้ขนาดของแผ่นยางและตำแหน่งการติดตั้งที่เหมาะสมกับขนาดของบ่ารองรับรอยต่อนั้นๆ

ที่ปรึกษาจะต้องรายงานการออกแบบ พร้อมทั้งแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์และแบบรายละเอียดการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกกับบ่ารองรับรอยต่อ ในกรณีที่มีความจำเป็น ให้ปรับแก้การออกแบบโดยอาศัยผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกในขอบเขตของงานข้อที่ 1.3.3

1.3.3. การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

งานในข้อนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1.2.1 ที่ปรึกษาจะต้องทำการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกตามที่ได้ออกแบบไว้ในขอบเขตของงานข้อที่ 1.3.2 ภายใต้แรงกระทำเทียบเท่าน้ำหนักล้อรถบรรทุกในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นการตรวจสอบการออกแบบ โดยมีจำนวนชุดทดสอบ จำนวนอุปกรณ์การตรวจวัด และวิธีการทดสอบเหมือนกับการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกในขอบเขตของงานข้อที่ 1.3.1

ที่ปรึกษาจะต้องรายงานผลการทดสอบ พร้อมทั้งแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ โดยให้ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกด้วย

1.3.4. การประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุด

งานในข้อนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1.2.2 ที่ปรึกษาจะต้องทำการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุดของแผ่นยางพารากันกระแทกตามที่ได้ออกแบบในขอบเขตของงานข้อที่ 1.3.1 ถึง 1.3.3 โดยมีรายละเอียดการดำเนินงาน ดังนี้

ให้ที่ปรึกษาคัดเลือกบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ได้ออกแบบเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกในขอบเขตของงานข้อที่ 1.3.1 ถึง 1.3.3 จำนวน 1 รูปแบบ เพื่อนำมาเป็นตัวอย่างในการทดสอบประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุด ที่ปรึกษาจะต้องนำเสนอรูปแบบบ่ารองรับรอยต่อที่จะทำการทดสอบประเมินต่อคณะกรรมการบริหารโครงการ เพื่อขอความเห็นชอบก่อนทำการทดสอบประเมิน

จากนั้น ให้ที่ปรึกษาก่อสร้างแท่นคอนกรีตและบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานตามรูปแบบที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการบริหารโครงการ โดยแบ่งเป็น 2 ชุด

- ชุดที่ 1 เป็นชุดแท่นคอนกรีตและบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก จำนวนอย่างน้อย 3 ชิ้นทดสอบ โดยในแต่ละชิ้นทดสอบ ให้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดเหมือนกับที่ได้ติดตั้งในการทดสอบตามขอบเขตของงานข้อที่ 1.3.1
- ชุดที่ 2 เป็นชุดแท่นคอนกรีตและบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก จำนวนอย่างน้อย 3 ชิ้นทดสอบ โดยในแต่ละชิ้นทดสอบ ให้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดเหมือนกับที่ได้ติดตั้งในการทดสอบตามขอบเขตของงานข้อที่ 1.3.3

ในการทดสอบประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุด ให้ทำการทดสอบชิ้นทดสอบทั้งหมดโดยการให้แรงกระทำเป็นจุดแบบวัฏจักร (Cyclic) ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำรายละเอียดการทดสอบเสนอต่อคณะกรรมการบริหารโครงการก่อนทำการทดสอบ และ จะต้องเป็นผู้จัดเตรียมสถานที่ก่อสร้าง สถานที่ทดสอบ รวมถึงอุปกรณ์อำนวยการทดสอบต่างๆ เช่น โครงเหล็กถ่ายแรง โครงเหล็กยึดแท่นคอนกรีต หัวกดและปั๊มไฮโดรลิคส์ รถเครนเคลื่อนย้ายแท่นคอนกรีต และอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นเองทั้งหมด

ที่ปรึกษาจะต้องรายงานผลการทดสอบ พร้อมทั้งประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุด

1.3.5. การจัดทำแบบรายละเอียดบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

งานในข้อนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1.2.3 ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำแบบรายละเอียดบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก โดยแสดงทรวดทรง มิติต่างๆ คุณสมบัติวัสดุของทั้งบ่าคอนกรีตและแผ่นยางพารากันกระแทก และ ขั้นตอนการก่อสร้าง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. ได้แนวทางการออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

1.4.2. ทราบผลการประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุด

1.4.3. ได้แบบรายละเอียดบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

บทที่ 2 การออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทก

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอการออกแบบบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อพื้นสะพานให้สามารถรับแรงกระแทกจากการจราจรของรถบรรทุกได้ โดยนำแผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางพาราซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง มารองทางด้านใต้และทางด้านข้างของบ่าคอนกรีตเพื่อช่วยบ่าคอนกรีตรับพลังงานจากการกระแทก ทำให้หน่วยแรงเพิ่มเติมในบ่าคอนกรีตที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระแทกมีค่าลดลง อันเป็นการลดความล้าสะสมในบ่าคอนกรีต ช่วยยืดอายุการใช้งานของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อพื้นสะพาน แต่อย่างไรก็ตาม การติดตั้งแผ่นยางรองคานสะพาน หรือเรียกสั้นๆว่า แผ่นยางพารากันกระแทก จะทำให้ขนาดของบ่าคอนกรีตลดลง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะทำให้กำลังรับน้ำหนักแบบสถิตของบ่าคอนกรีตลดลงด้วย รวมถึงเกิดการทรุดตัวของบ่าคอนกรีตที่ค่อนข้างมากจากการยุบตัวของแผ่นยาง ก่อให้เกิดความไม่ราบเรียบในการขับขี่ ดังนั้น การออกแบบบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อพื้นสะพานให้สามารถรับแรงกระแทกจากการจราจรของรถบรรทุก จึงเป็นการออกแบบความหนาของแผ่นยางพารากันกระแทก ที่ทำให้บ่าคอนกรีตมีความยืดหยุ่นที่เหมาะสมโดยที่บ่าคอนกรีตยังคงมีกำลังรับน้ำหนักแบบสถิตที่สูงพอสมควรและไม่เกิดการทรุดตัวมากเกินไป

2.1 แรงกระแทก (Impact Load)

หากช่วงเวลาที่แรงกระทำต่อโครงสร้างมีค่าน้อยกว่าคาบของความถี่ธรรมชาติค่าที่สูงที่สุด (Largest Natural Period) ของโครงสร้าง แรงที่มากระทำต่อโครงสร้างนั้นๆจะเรียกว่า แรงกระแทก (Impact Load) ผลของแรงกระแทกที่มีต่อโครงสร้าง นอกจากจะทำให้โครงสร้างเกิดการสั่นไหวแล้วยังทำให้เกิดการเสียรูป (Deformation) และหน่วยแรง (Stress) ในโครงสร้างเพิ่มเติมขึ้นจากการเสียรูปและหน่วยแรงที่เกิดจากแรงนั้นกระทำต่อโครงสร้างอย่างช้าๆ หรือกระทำแบบสถิต

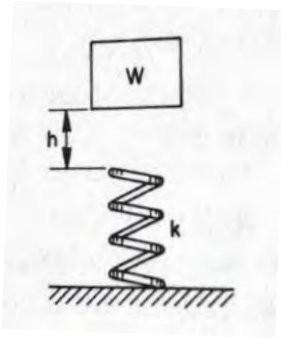
ตามที่ได้กล่าวข้างต้น แรงกระแทกทำให้โครงสร้างเกิดการสั่นไหว ผลกระทบของแรงกระแทกที่มีต่อโครงสร้างจึงเป็นปัญหาทางด้านพลวัต (Dynamic) แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อพื้นสะพาน ซึ่งเป็นโครงสร้างในการศึกษาครั้งนี้ การสั่นไหวของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อพื้นสะพานไม่ได้ก่อให้เกิดปัญหาในการใช้งาน แต่เป็นการแตกร้าวของคอนกรีตซึ่งเกิดจากแรงกระแทกที่ทำให้บ่าคอนกรีตชำรุดเป็นปัญหาในการใช้งาน ดังนั้น ผลกระทบของแรงกระแทกที่มีต่อบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อพื้นสะพานจึงพิจารณาเฉพาะการเสียรูปและหน่วยแรงเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นในบ่าคอนกรีตเนื่องจากแรงกระแทก และเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ การเสียรูปและหน่วยแรงเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นได้พิจารณาเป็นปัญหา

ทางด้านแรงกระทำแบบสถิต โดยที่แรงกระแทกมีค่าเทียบเท่าแรงกระทำแบบสถิตปรับค่าด้วยตัวคูณแรงกระแทก (Impact Factor)

การหาค่าตัวคูณแรงกระแทกสามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีพื้นฐานทางกลศาสตร์ในการคำนวณหา โดยมีสมมุติฐานดังนี้

1) การขจัด (Displacement) ของโครงสร้างเป็นสัดส่วนกับแรงที่มากระทำต่อโครงสร้างนั้น ทั้งในส่วนของแรงกระทำแบบสถิตและในส่วนของแรงกระทำแบบพลวัต
2) ไม่พิจารณาความเฉื่อยของโครงสร้างเนื่องจากแรงกระแทก
3) วัสดุมีพฤติกรรมแบบอีลาสติก (Elastic)

พิจารณาแบบจำลองอีลาสติกอย่างง่ายในรูปที่ 2.1-1 ภายใต้แรงกระแทก โดยมีก้อนน้ำหนัก W ตกลงมาเป็นระยะ h กระแทกปลายด้านอิสระของสปริงที่มีค่านิจสปริงเท่ากับ k



รูปที่ 2.1-1 แบบจำลองอีลาสติกอย่างง่าย

เนื่องจากความเร็วของก้อนน้ำหนักขณะปล่อยลงมาและขณะที่สปริงหดตัวมากที่สุด (δ_{max}) มีค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของระบบมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งก็หมายถึงผลรวมของงานที่กระทำต่อระบบมีค่าเท่ากับศูนย์ด้วยเช่นกัน ดังนั้น

$$W(h+\delta_{max})-\tfrac{1}{2}k\delta_{max}^2=0 \tag{2.1}$$

อัตราส่วน W/k คือ ระยะหดตัวของสปริงภายใต้น้ำหนัก W กระทำต่อสปริงอย่างช้าๆ หรือกระทำแบบสถิต (Static Deflection) โดยกำหนดให้แทนด้วย δ_{st} ซึ่งจากสมการที่ 2.1 สามารถคำนวณหาระยะที่สปริงหดตัวมากที่สุดหรือระยะที่สปริงหดตัวเนื่องจากแรงกระแทก (δ_{max}) ได้ดังสมการที่ 2.2

$$\delta_{max}=\delta_{st}\left(1+\sqrt{1+\frac{2h}{\delta_{st}}}\right) \tag{2.2}$$

อัตราส่วน δ_{max}/δ_{st} คือ ตัวคูณแรงกระแทก ดังแสดงในสมการที่ 2.3

$$\frac{\delta_{max}}{\delta_{st}}=1+\sqrt{1+\frac{2h}{\delta_{st}}} \tag{2.3}$$

โดยอาศัยสมมุติฐานที่ 1 ทำให้สามารถคำนวณแรงกระแทก $P_{\max}$ ได้จากน้ำหนัก W คูณด้วยตัวคูณแรงกระแทกในสมการที่ 2.3 ดังแสดงในสมการที่ 2.4

$$P_{\max} = W\left(1+\sqrt{1+\frac{2h}{\delta_{st}}}\right) \tag{2.4}$$

จากสมการที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความยืดหยุ่น (เพิ่ม δ_{st}) ให้กับโครงสร้างสามารถช่วยลดแรงกระแทกที่กระทำต่อโครงสร้างลงได้

2.2 การออกการออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทก

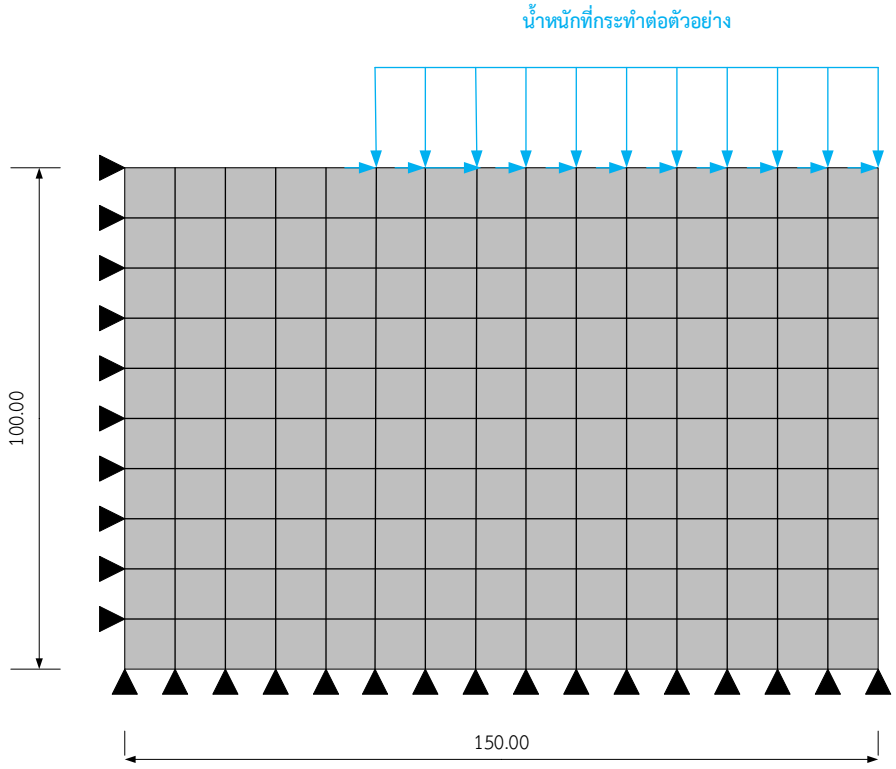
การออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทกมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อพื้นสะพานโดยอาศัยการยุบตัวของแผ่นยาง อันเป็นการเพิ่ม δ_{st} ตามสมการที่ 2.4 ซึ่งจะทำให้ลดแรงกระแทก $P_{\max}$ เนื่องจากน้ำหนักล้อรถบรรทุกลงได้ โดยแผ่นยางต้องมีความยืดหยุ่นพอสมควรที่จะไม่ทำให้บ่าคอนกรีตทรุดตัวมากเกินไปจนก่อให้เกิดปัญหาความไม่ราบเรียบในการขับขี่ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกขนาดความหนา 1 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดความหนาที่น้อยที่สุดที่ได้มีการผลิตจำหน่ายโดยทั่วไป มารองทางด้านใต้และทางด้านข้างของบ่าคอนกรีต ทำวิเคราะห์หา δ_{st} โดยอาศัยแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ในระนาบ 2 มิติแบบปัญหา Plane Strain จากนั้น จะทำการคำนวณหาตัวคูณแรงกระแทกโดยใช้สมการที่ 2.3 สมมุติให้ h มีค่าเท่ากับ 0.2 เซนติเมตร และ δ_{st} พิจารณาค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของบ่าคอนกรีตจุดมุมขอบนอกสุดใต้แรงกระทำที่เกิดจากน้ำหนักล้อรถบรรทุก 5 ตัน (น้ำหนักรถบรรทุก 25 ตัน) ทำการคำนวณค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดและค่าหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นในบ่าคอนกรีตโดยคูณค่าการเคลื่อนตัวและค่าหน่วยแรงที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์เข้ากับค่าตัวคูณแรงกระแทก โดยมีรายละเอียดแสดงดังนี้

2.2.1. การกำหนดรูปแบบและคุณสมบัติวัสดุของแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์

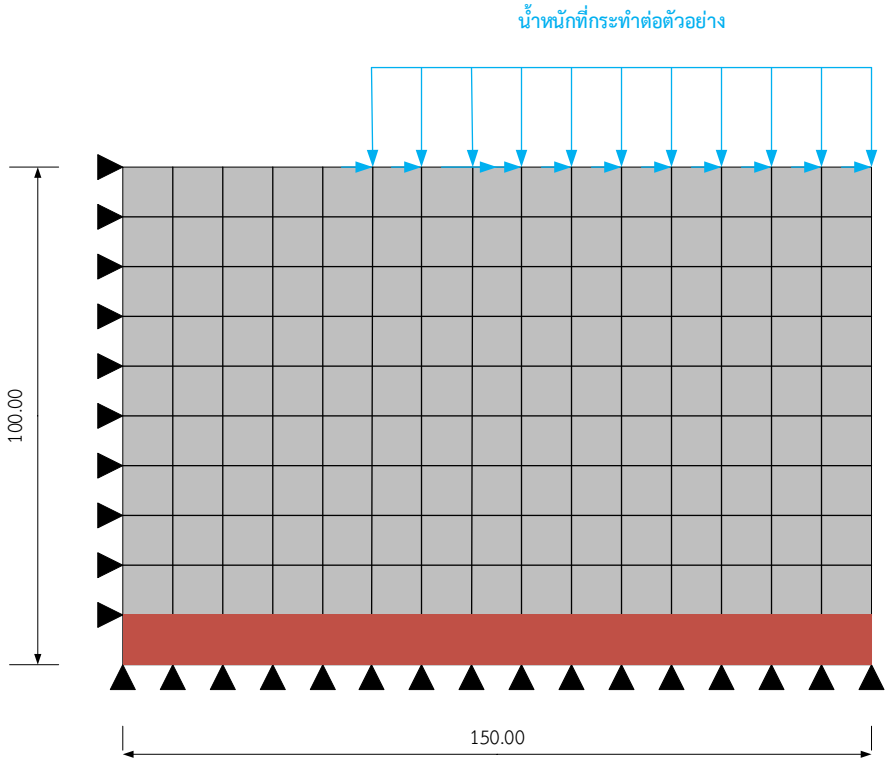
ในหัวข้อนี้เป็นการกำหนดรูปแบบของจุดรองรับ (Support) แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง ขนาดของตัวอย่างแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์และคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์หารูปแบบการติดตั้งและความหนาของแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับป้องบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

สำหรับจุดรองรับของบ่ารองรับนั้นจะใช้ฐานรองรับแบบจุดต่อหมุน (Hinge Support) รูปแบบของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างใช้รูปแบบเดียวกันการทดสอบตัวอย่างในบทที่ผ่านมาซึ่งมีทั้งหมด 6 รูปแบบ รูปแบบแรงที่กระทำแสดงได้ดังรูปที่ 2.2-1 ถึง รูปที่ 2.2-4 แรงที่กระทำต่อโครงสร้างในแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์จะใช้แรงในแนวดิ่งจากล้อรถบรรทุกที่เกิดขึ้นจึงซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 ตันต่อล้อรถบรรทุกโดยประมาณ ในขณะที่คุณสมบัติของปูนนอนชริ้งต์ (Non-Shrink) และแผ่นยางพารากันกระแทกแสดงได้ในตารางที่ 2.2-1และ ตารางที่ 2.2-2 ตามลำดับ รูปแบบการติดตั้ง

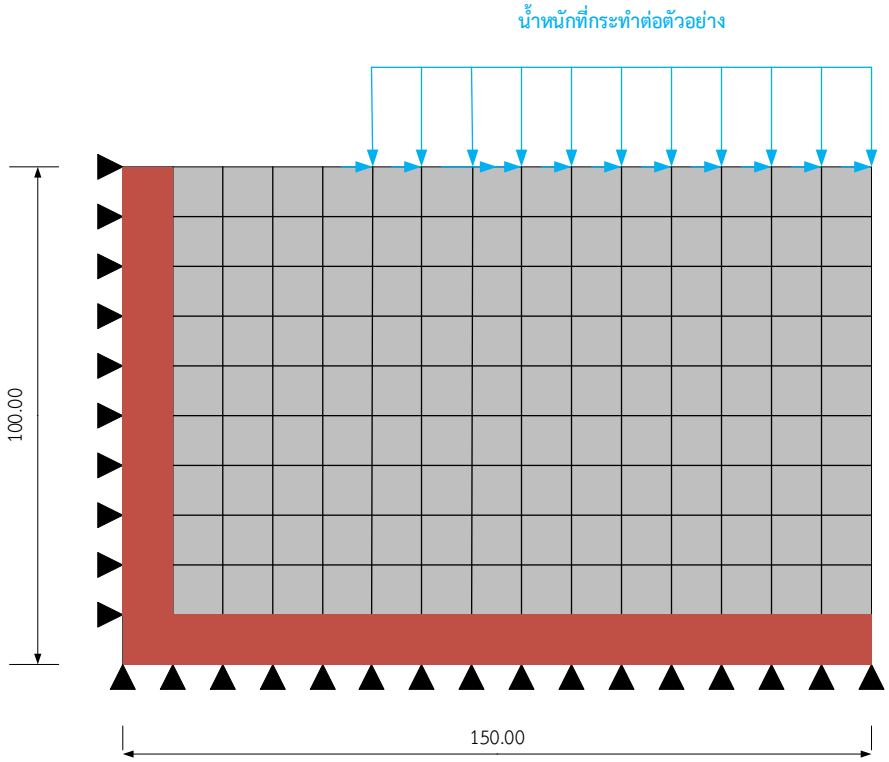
แผ่นยางพารากันกระแทกเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดที่บ่ารองรับรอยต่อจะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 เป็นแบบจำลองสองมิติที่ไม่มีแผ่นยางพารากันกระแทกดังในรูปที่ 2.2-1 รูปแบบที่ 2 เป็นการนำแผ่นยางพารากันกระแทกขนาดความหนา 1 เซนติเมตร ติดตั้งบริเวณใต้ปูนนอนชริ้งค์ในแนวราบดังแสดงในรูปที่ 2.2-3 และรูปแบบที่ 3 เป็นการนำแผ่นยางพารากันกระแทกขนาดความหนา 1 เซนติเมตร ติดตั้งบริเวณใต้ปูนนอนชริ้งค์ในแนวราบและแนวดิ่งดังแสดงในรูปที่ 2.2-4



รูปที่ 2.2-1 แบบจำลองสองมิติที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก



รูปที่ 2.2-2 แบบจำลองบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่มีการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก 1 ข้าง หนา 1 เซนติเมตร



รูปที่ 2.2-3 แบบจำลองบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก 2 ข้าง หนา 1 เซนติเมตร

ตารางที่ 2.2-1 คุณสมบัติของวัสดุสำหรับปูนนอนชริ้งค์ (Non-shrink)

คุณสมบัติของวัสดุ	จำนวน	หน่วย
หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight)	1400	Kg/m^3
กำลังรับแรงอัดประลัย (Compressive Strength)	300	Kg/cm^2
มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของ (Modulus of Elasticity)	253456	Kg/cm^2
มอดูลัสของแรงเฉือน (Shear Modulus)	105607	Kg/cm^2
อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio)	0.20	

ตารางที่ 2.2-2 คุณสมบัติของวัสดุสำหรับแผ่นยางพารากันกระแทก

คุณสมบัติของวัสดุ	จำนวน	หน่วย
หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight)	920	Kg/m^3
กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)	170	Kg/cm^2
มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของ (Modulus of Elasticity)	64.599	Kg/cm^2
มอดูลัสของแรงเฉือน (Shear Modulus)	21.547	Kg/cm^2
อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio)	0.499	

โดยแผ่นยางรองคานสะพานที่ใช้แนะนำให้ใช้เป็นยางธรรมชาติ Hardness 50 (มอก. 951-2533) โดยมีความหนาแผ่นไม่เกิน 10 มิลลิเมตร

2.2.2. การวิเคราะห์หาค่าตัวคูณแรงกระแทก

ในหัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์การเสียรูปและหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในปูนนอนชริ้งค์เพื่อที่จะนำค่าเหล่านี้ไปหาค่าตัวคูณแรงกระแทกตามสมการที่ 2.5 ซึ่งจะหาแรง หน่วยแรงและการเสียรูปที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระแทกจากน้ำหนักล้อรถบรรทุกตามสมการที่ 2.6 โดยการคำนวณหาค่าคูณแรงกระแทกจะแสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างแบบจำลองที่ใช้มีขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร โดยจะแบ่งแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ออกเป็น 3 รูปแบบ ประกอบด้วย รูปแบบที่ 1 เป็นแบบจำลองสองมิติที่ไม่มีแผ่นยางพารากันกระแทกดังในรูปที่ 2.1-1รูปแบบที่ 2 เป็นการนำแผ่นยางพารากันกระแทกขนาดความหนา 1 เซนติเมตร ติดตั้งบริเวณใต้ปูนนอนชริ้งค์ในแนวราบดังแสดงในรูปที่ 2.2-2 และรูปแบบที่ 3 เป็นการนำแผ่นยางพารากันกระแทกขนาดความหนา 1 เซนติเมตร ติดตั้งบริเวณใต้ปูนนอนชริ้งค์ในแนวราบและแนวดิ่ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลของการเสียรูปและหน่วยแรงที่เกิดขึ้นสำหรับแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ในกรณีต่างๆข้างต้น สำหรับตัวอย่างขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร ในกรณีที่ 1 จะได้ค่าการเคลื่อนตัวใน

แนวดิ่งคือ 0.0004 เซนติเมตร และค่าหน่วยแรงดึงคือ 1.6562 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งแสดงได้ในรูปที่ 2.2-4 และ รูปที่ 2.2-5 ตามลำดับ กำหนดให้ค่า h = 0.2 เซนติเมตร ดังนั้นเราสามารถหาค่าตัวคูณแรงกระแทกตามสมการที่ 2.5 ได้

$$\frac{\delta_{\max}}{\delta_{st}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2(0.2)}{0.0004}} = 32.639$$

สำหรับกรณีที่ 2 จะได้ค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งคือ 0.0044 เซนติเมตร และค่าหน่วยแรงดึงคือ 14.8805 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงผลการวิเคราะห์ได้ในรูปที่ 2.2-6 และ รูปที่ 2.2-7 ตามลำดับ ซึ่งจะได้ค่าตัวคูณแรงกระแทกตามสมการที่ 2.5 เป็น 10.587 และกรณีที่ 3 จะได้ค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งคือ 0.1218 เซนติเมตร และค่าหน่วยแรงดึงคือ 1.6639 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงผลการวิเคราะห์ได้ในรูปที่ 2.2-8 และ รูปที่ 2.2-9 ตามลำดับ ซึ่งจะได้ค่าตัวคูณแรงกระแทกตามสมการที่ 2.5 เป็น 3.070

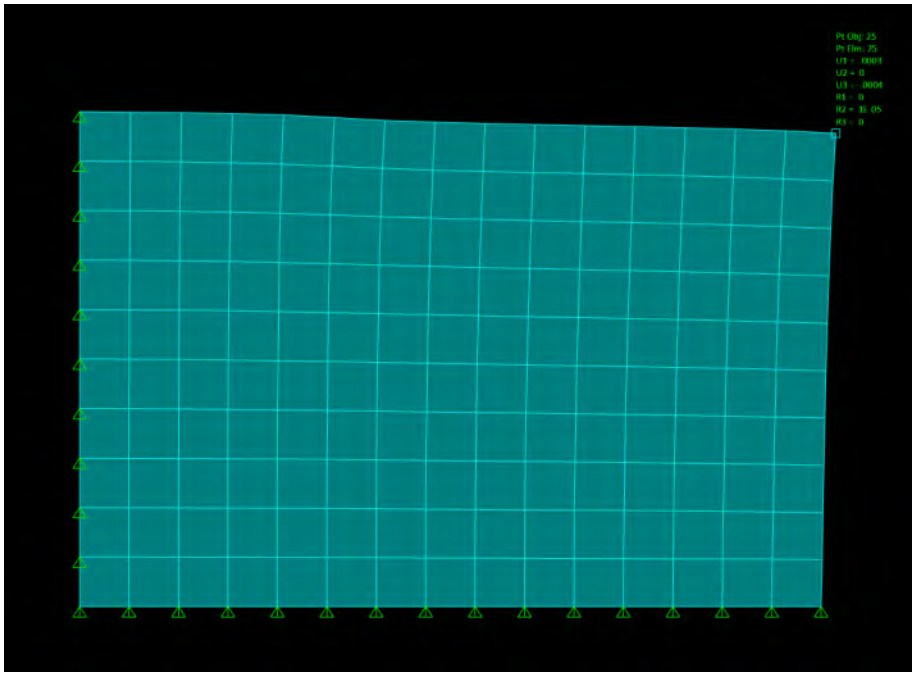
ดังนั้นเราสามารถหาค่าการเสียรูปสูงสุดและหน่วยแรงดึงสูงสุดสำหรับกรณีที่ 1 ตามสมการที่ 2.6 ได้เป็น

$$\delta_{\max} = \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}}\right)\delta_{st} = (32.639)(0.0004) = 0.013\,cm$$ และ

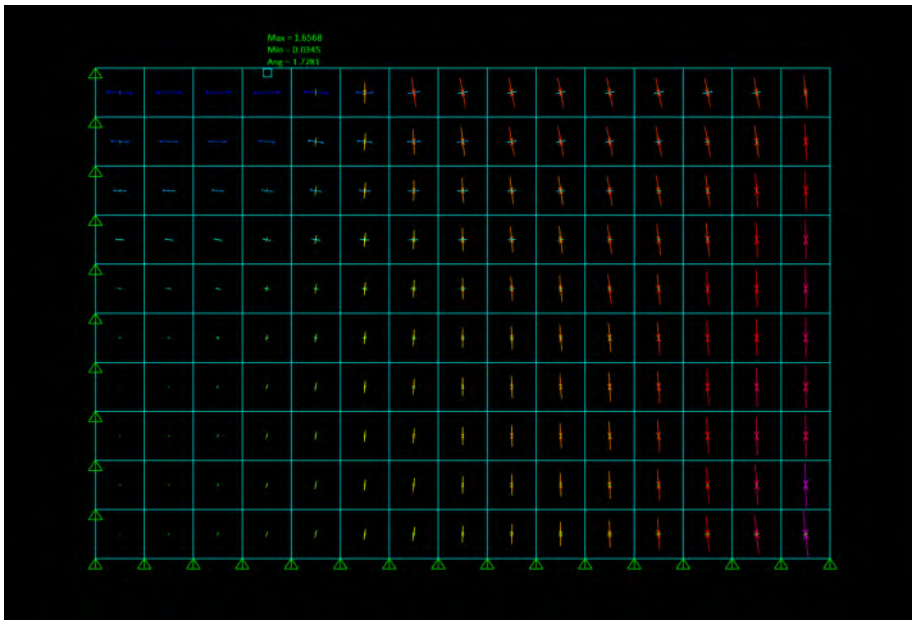
$$P_{\max} = W\left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}}\right) = (1.6562)(32.639) = 54.057\,ksc$$

สำหรับกรณีที่ 2 หาค่าการเสียรูปสูงสุดและหน่วยแรงดึงสูงสุดสำหรับกรณีที่ 1 ตามสมการที่ 2.6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.047 เซนติเมตร และ157.540 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และในกรณีที่ 3 หาค่าการเสียรูปสูงสุดและหน่วยแรงดึงสูงสุดสำหรับกรณีที่ 1 ตามสมการที่ 2.6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.047 เซนติเมตร และ 157.540 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

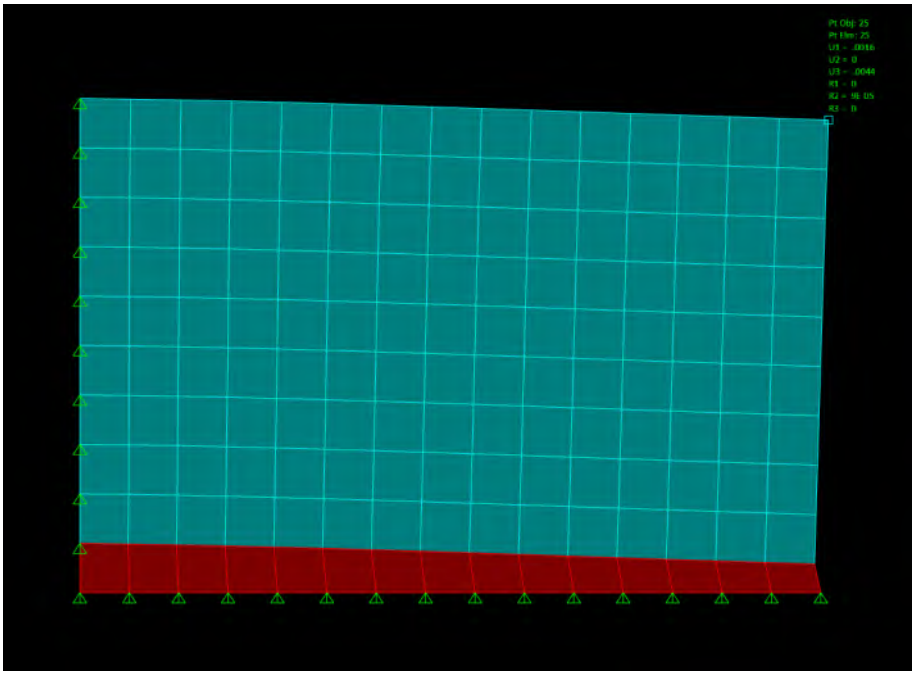
นอกเหนือจากตัวอย่างแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ข้างต้นแล้ว เราสามารถหาค่าตัวคูณแรงกระแทก ค่าการเสียรูปสูงสุดและหน่วยแรงดึงสูงสุดเนื่องจากการกระแทกของล้อรถบรรทุกสำหรับตัวอย่างแบบจำลองขนาดต่างๆได้ในตารางที่ 2.2-3



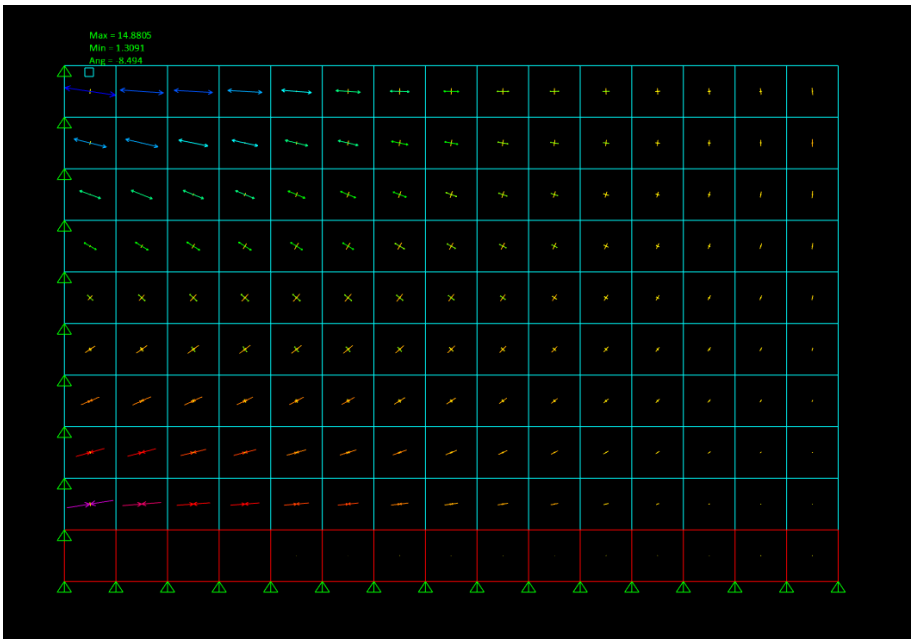
รูปที่ 2.2-4 การเสียรูปของแบบจำลองบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร ที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก



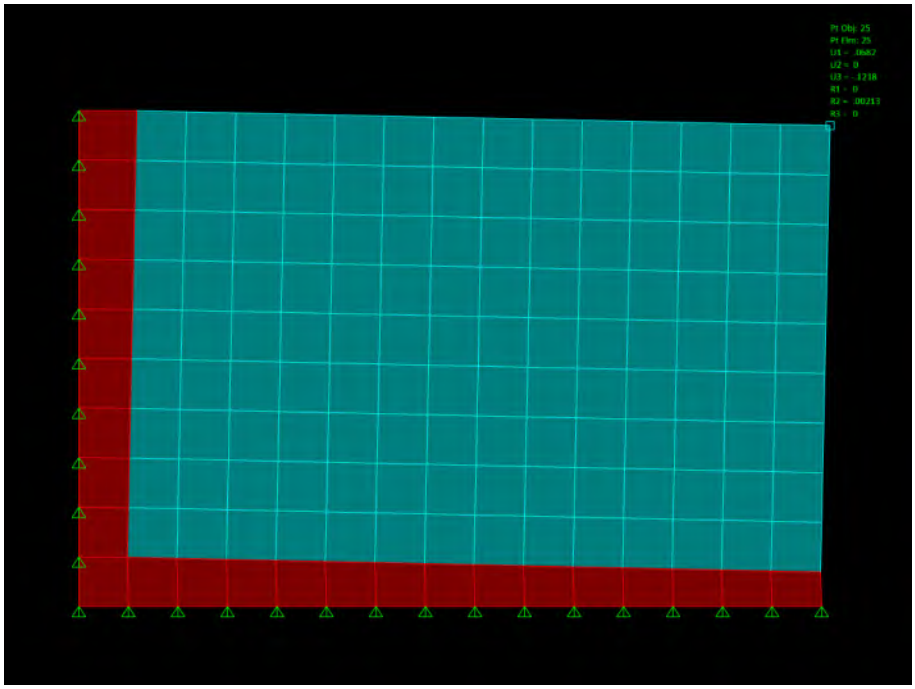
รูปที่ 2.2-5 หน่วยแรงที่กระทำต่อแบบจำลองบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร ที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก



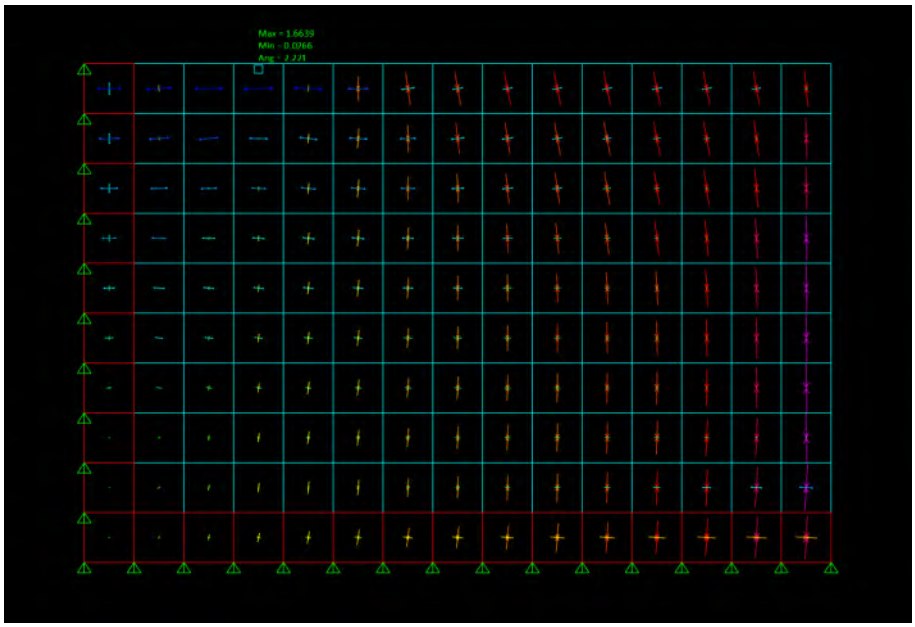
รูปที่ 2.2-6 การเสียรูปของแบบจำลองบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก 1 ข้าง หนา 1 เซนติเมตร



รูปที่ 2.2-7 หน่วยแรงที่กระทำต่อแบบจำลองบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก 1 ข้าง หนา 1 เซนติเมตร

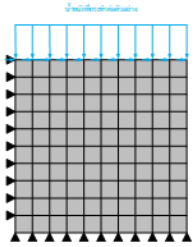
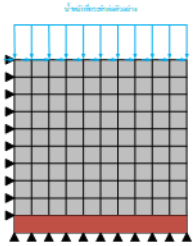
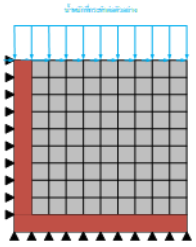


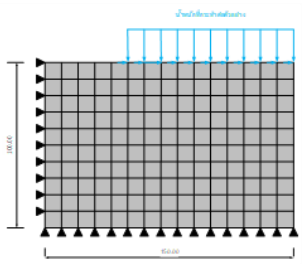
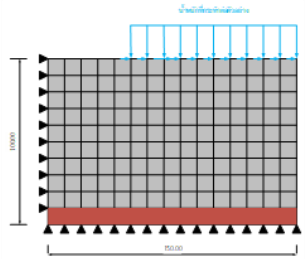
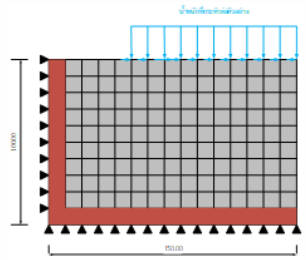
รูปที่ 2.2-8 การเสียรูปของแบบจำลองบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก 2 ข้าง หนา 1 เซนติเมตร

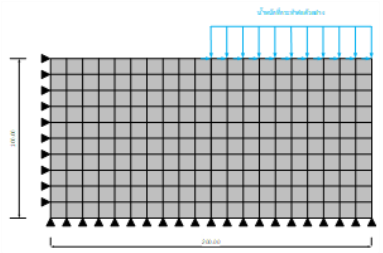
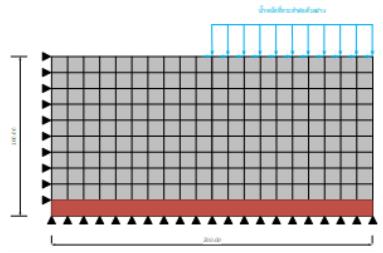
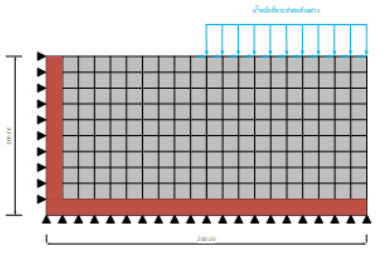


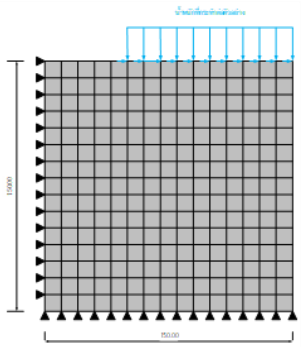
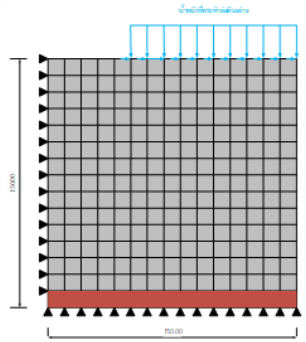
รูปที่ 2.2-9 หน่วยแรงที่กระทำต่อแบบจำลองบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก 2 ข้าง หนา 1 เซนติเมตร

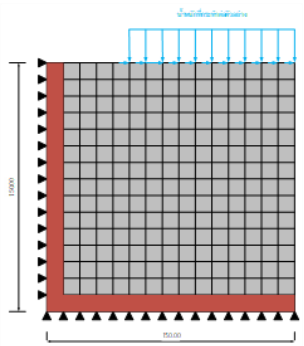
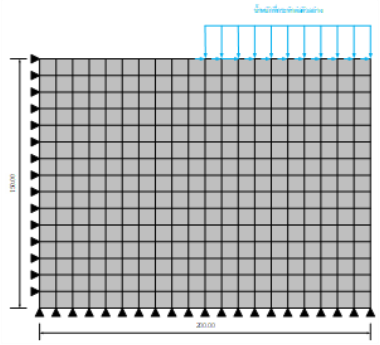
ตารางที่ 2.2-3 การวิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงดึงสูงสุดและค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งสูงสุดอันเนื่องมาจากแรงกระแทก (Impact Load)

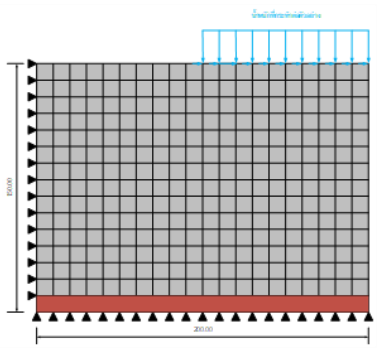
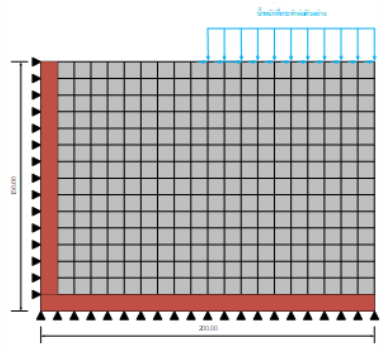
ลำดับที่	แบบจำลอง	รูปภาพ	ขนาดตัวอย่าง (mm x mm)	กรณีศึกษา	Static Tesile Stress (ksc)	Static Vertical Deflection (cm)	Impact Factor	Maximum Tesile Stress (ksc)	Maximum Vertical Deflection (cm)
1	B-01-SL		100 x 100	ไม่มีแผ่นยางพารา	3.767	0.0004	32.639	122.951	0.013
			100 x 100	มีแผ่นยางพารา 1 ข้าง	9.756	0.0014	17.933	174.954	0.025
			100 x 100	มีแผ่นยางพารา 2 ข้าง	1.3901	0.1184	3.092	4.298	0.366

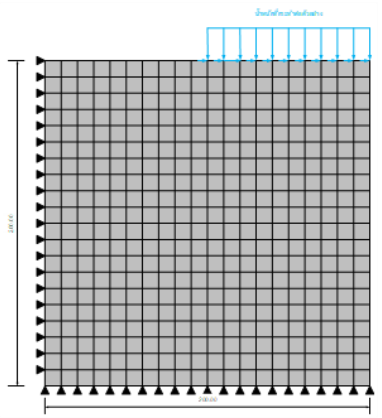
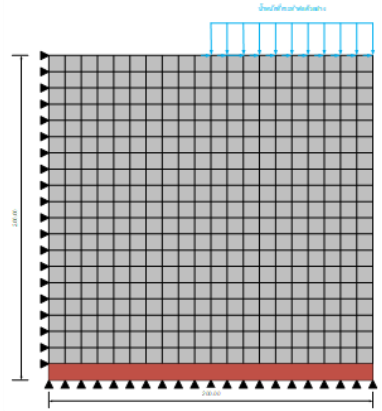
ลำดับที่	แบบจำลอง	รูปภาพ	ขนาดตัวอย่าง (mm x mm)	กรณีศึกษา	Static Tesile Stress (ksc)	Static Vertical Deflection (cm)	Impact Factor	Maximum Tesile Stress (ksc)	Maximum Vertical Deflection (cm)
2	B-02-SL		150 x 100	ไม่มีแผ่นยางพารา	1.6562	0.0004	32.639	54.057	0.013
			150 x 100	มีแผ่นยางพารา 1 ข้าง	14.8805	0.0044	10.587	157.540	0.047
			150 x 100	มีแผ่นยางพารา 2 ข้าง	1.6639	0.1218	3.070	5.108	0.374

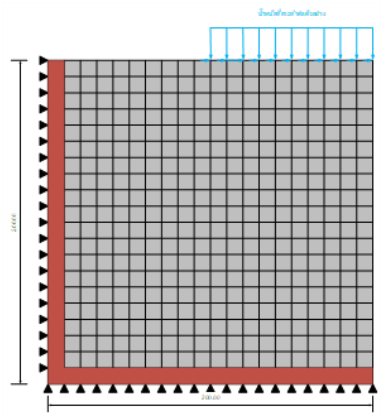
ลำดับที่	แบบจำลอง	รูปภาพ	ขนาดตัวอย่าง (mm x mm)	กรณีศึกษา	Static Tesile Stress (ksc)	Static Vertical Deflection (cm)	Impact Factor	Maximum Tesile Stress (ksc)	Maximum Vertical Deflection (cm)
3	B-03-SL		200 x 100	ไม่มีแผ่นยางพารา	1.3779	0.0004	32.639	44.973	0.013
			200 x 100	มีแผ่นยางพารา 1 ข้าง	19.717	0.0099	7.435	146.596	0.074
			200 x 100	มีแผ่นยางพารา 2 ข้าง	2.0488	0.1125	3.134	6.421	0.353

ลำดับที่	แบบจำลอง	รูปภาพ	ขนาดตัวอย่าง (mm x mm)	กรณีศึกษา	Static Tesile Stress (ksc)	Static Vertical Deflection (cm)	Impact Factor	Maximum Tesile Stress (ksc)	Maximum Vertical Deflection (cm)
4	B-04-SL		150 x 150	ไม่มีแผ่นยางพารา	2.5235	0.0006	26.839	67.728	0.016
			150 x 150	มีแผ่นยางพารา 1 ข้าง	8.1455	0.0018	15.941	129.847	0.029

ลำดับที่	แบบจำลอง	รูปภาพ	ขนาดตัวอย่าง (mm x mm)	กรณีศึกษา	Static Tesile Stress (ksc)	Static Vertical Deflection (cm)	Impact Factor	Maximum Tesile Stress (ksc)	Maximum Vertical Deflection (cm)
			150 x 150	มีแผ่นยางพารา 2 ข้าง	1.5951	0.103	3.21	5.120	0.331
5	B-05-SL		200 x 150	ไม่มีแผ่นยางพารา	1.7422	0.0006	26.839	46.759	0.016

ลำดับที่	แบบจำลอง	รูปภาพ	ขนาดตัวอย่าง (mm x mm)	กรณีศึกษา	Static Tesile Stress (ksc)	Static Vertical Deflection (cm)	Impact Factor	Maximum Tesile Stress (ksc)	Maximum Vertical Deflection (cm)
			200 x 150	มีแผ่นยางพารา 1 ข้าง	10.388	0.0036	11.588	120.376	0.042
			200 x 150	มีแผ่นยางพารา 2 ข้าง	1.8837	0.1001	3.235	6.094	0.324

ลำดับที่	แบบจำลอง	รูปภาพ	ขนาดตัวอย่าง (mm x mm)	กรณีศึกษา	Static Tesile Stress (ksc)	Static Vertical Deflection (cm)	Impact Factor	Maximum Tesile Stress (ksc)	Maximum Vertical Deflection (cm)
6	B-06-SL		200 x 200	ไม่มีแผ่นยางพารา	1.9166	0.0007	24.925	47.771	0.017
			200 x 200	มีแผ่นยางพารา 1 ข้าง	6.7695	0.0021	14.837	100.439	0.031

ลำดับที่	แบบจำลอง	รูปภาพ	ขนาดตัวอย่าง (mm x mm)	กรณีศึกษา	Static Tesile Stress (ksc)	Static Vertical Deflection (cm)	Impact Factor	Maximum Tesile Stress (ksc)	Maximum Vertical Deflection (cm)
			200 x 200	มีแผ่นยาง พารา 2 ข้าง	1.7743	0.0857	3.381	5.999	0.290

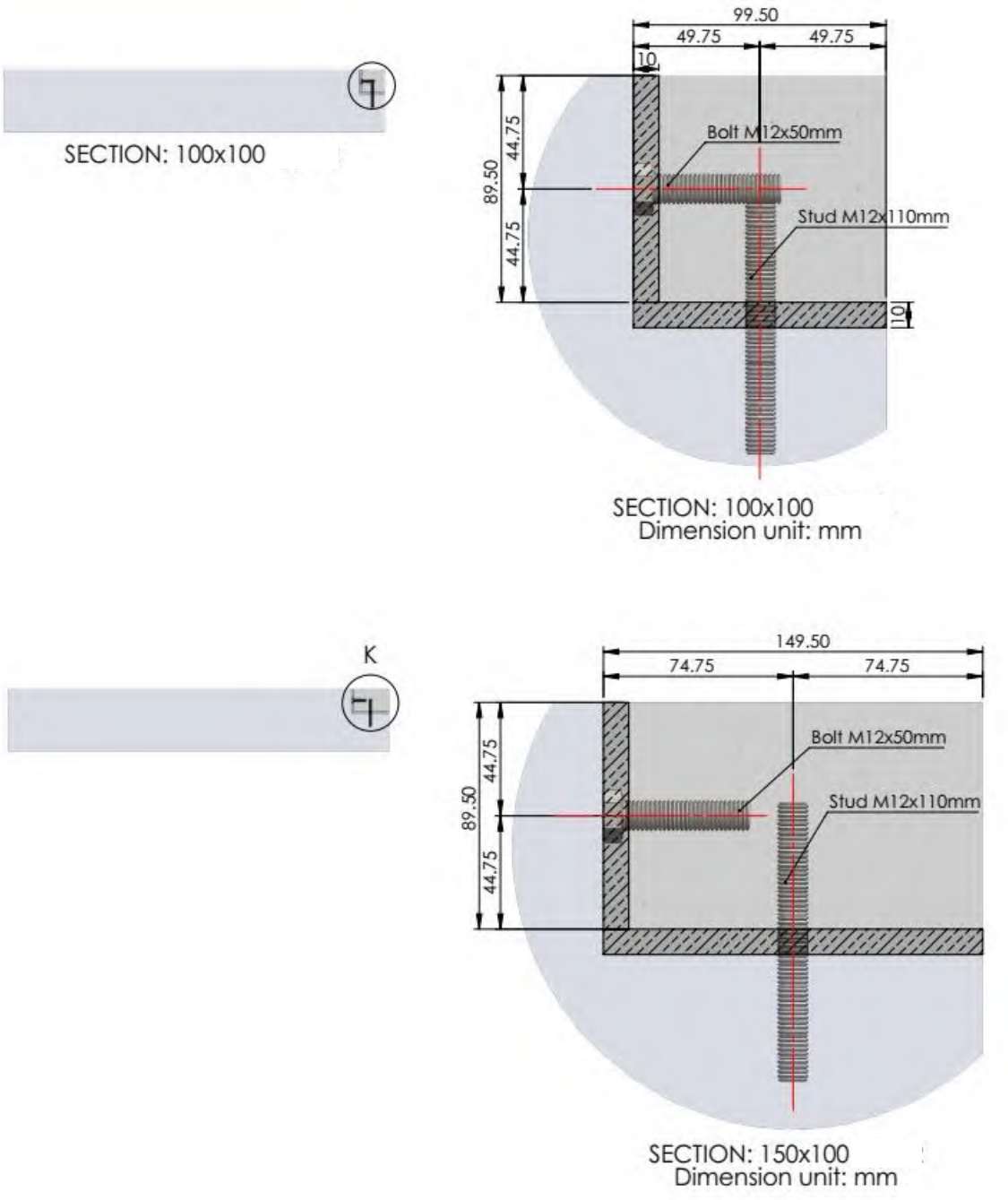
จากตารางที่ 2.2-3 พบว่าการการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกขนาดความหนา 1 เซนติเมตร 2 ข้าง ทั้งแนวราบและแนวดิ่งสามารถลดแรงกระแทก (Impact Load) ได้ดีที่สุดจาก 3 กรณี ถึงแม้ว่าการเสียรูปในแนวดิ่งจะมีค่ามากที่สุด แต่แผ่นยางพาราเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูงจึงทำให้โครงสร้างบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่มีแผ่นยางพารากันกระแทก 2 ข้าง จึงเหมาะสมต่อการกระจายหน่วยแรงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง โดยรายละเอียดการออกแบบและติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

2.3 แบบรายละเอียดและขั้นตอนการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก

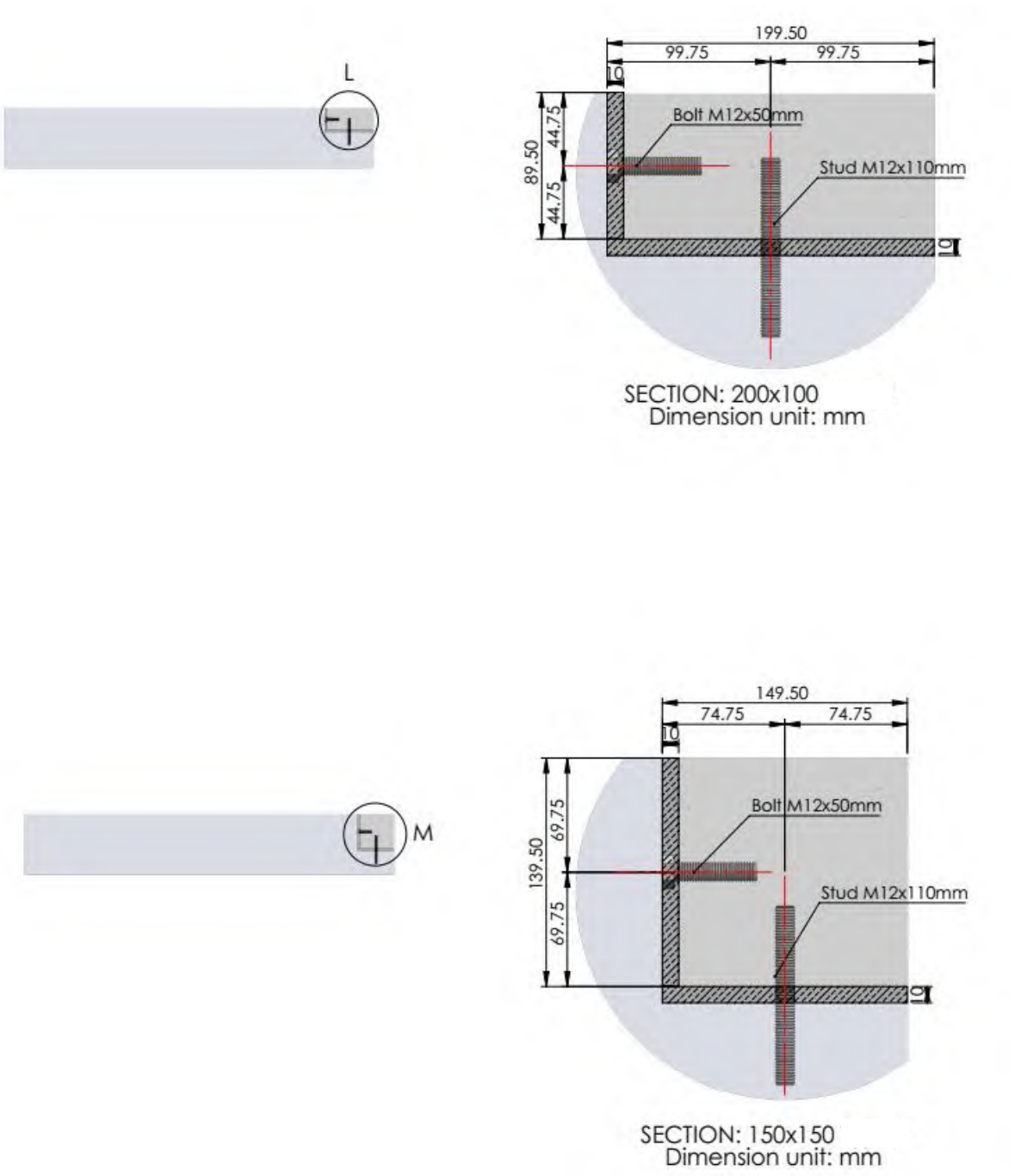
ในหัวข้อนี้จะเป็นการออกแบบรายละเอียดการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ซึ่งจะใช้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ในหัวข้อที่ผ่านมาทำการออกแบบวิธีการติดตั้งแผ่นยางพาราฟซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดในส่วนถัดไป

2.3.1. แบบรายละเอียดการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก

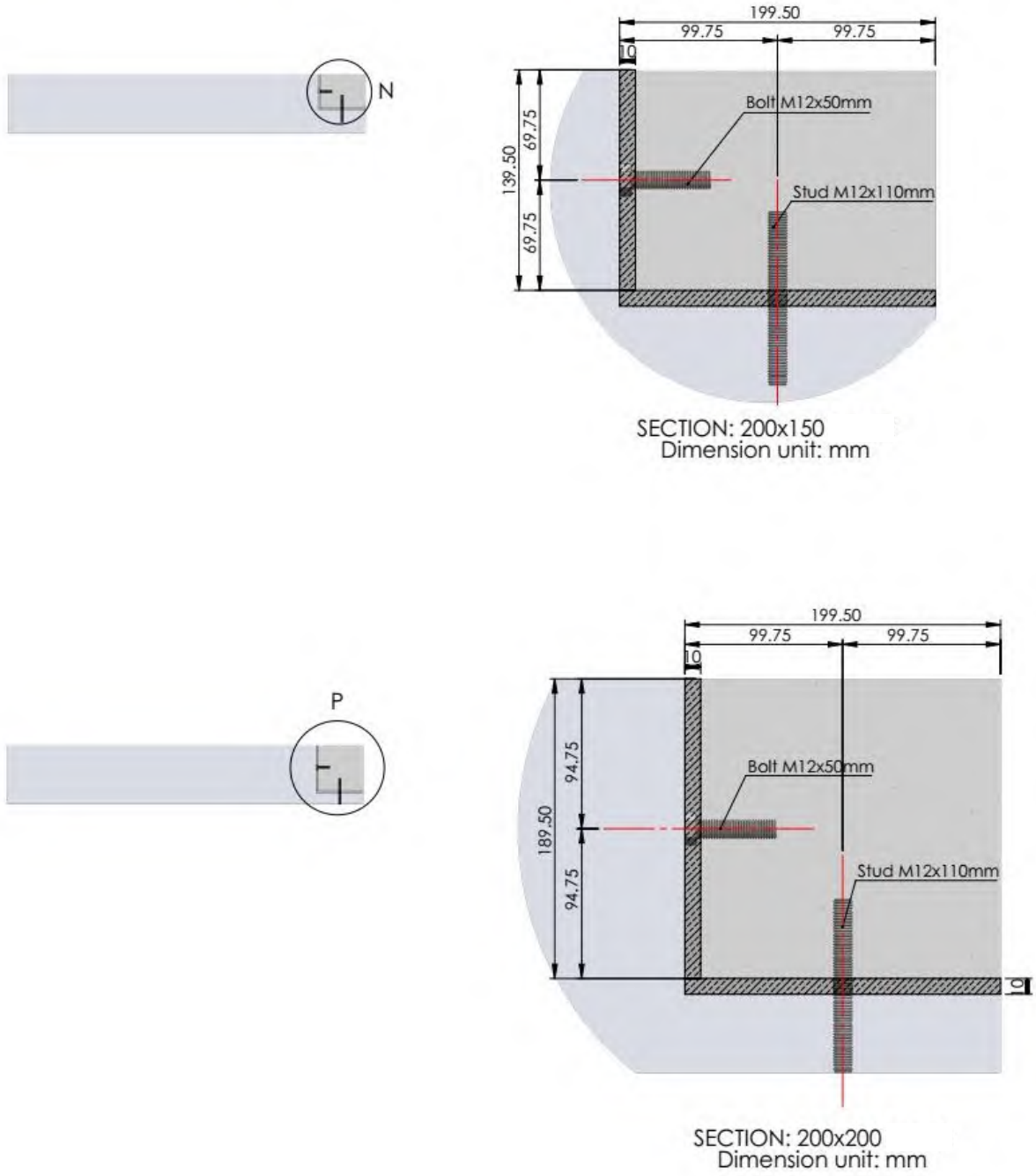
แบบรายละเอียดการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกได้แสดงรายละเอียดไว้ดังรูปที่ 2.3-1 ถึงรูปที่ 2.3-3



รูปที่ 2.3-1 แบบรายละเอียดการก่อสร้างแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับป้องกันบ่ารองรับรอยต่อ สำหรับตัวอย่างขนาด 100 x 100 มิลลิเมตร และขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.3-2 แบบรายละเอียดการก่อสร้างแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับป้องกันบ่ารองรับรอยต่อ สำหรับตัวอย่างขนาด 200 x 100 มิลลิเมตร และขนาด 150 x 150 มิลลิเมตร

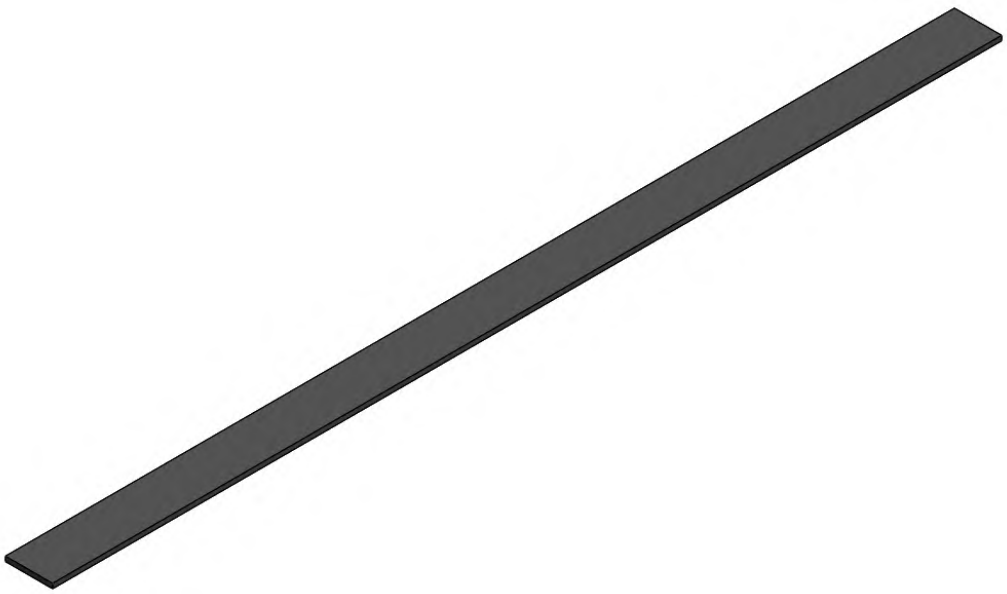


รูปที่ 2.3-3 แบบรายละเอียดการก่อสร้างแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับป้องกันบ่ารองรับรอยต่อ สำหรับตัวอย่างขนาด 200 x 150 มิลลิเมตร และขนาด 200 x 200 มิลลิเมตร

ขั้นตอนการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

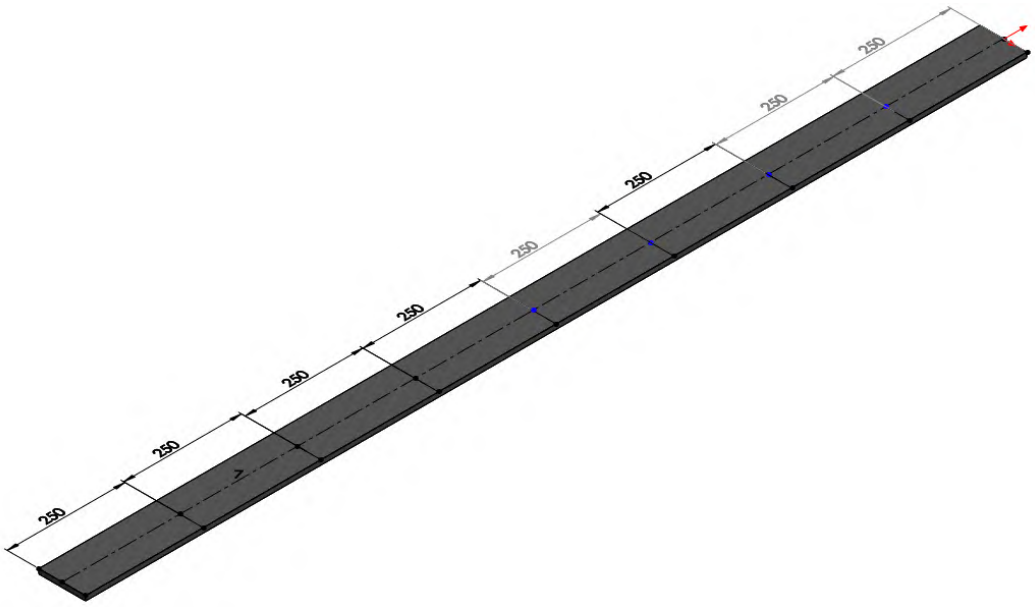
ขั้นตอนในการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน มีดังต่อไปนี้

1. เตรียมแผ่นยางที่ต้องการเสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 2.3-4



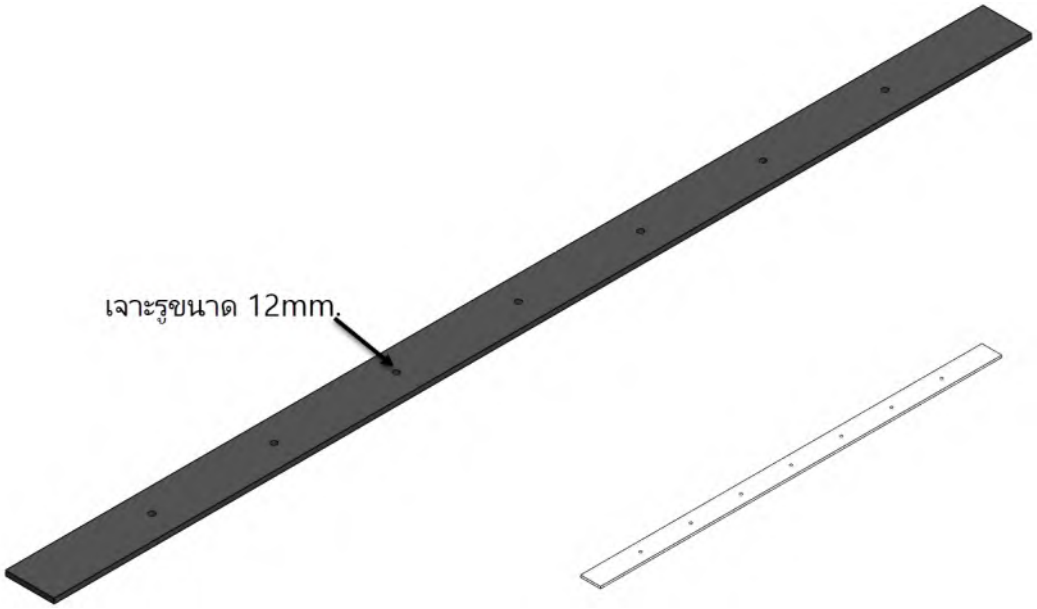
รูปที่ 2.3-4 แผ่นยางพาราที่ใช้เสริมกำลัง

2. วัดระยะสำหรับเจาะรูใส่ Bolt ดังแสดงในรูปที่ 2.3-5



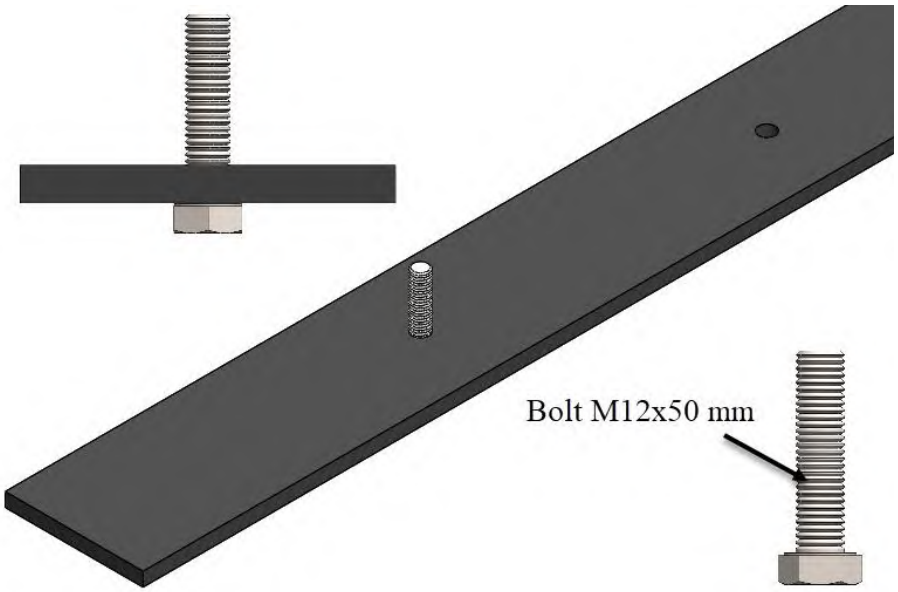
รูปที่ 2.3-5 วัดระยะสำหรับเจาะรูใส่ Bolt

3. ใช้สว่านเจาะรูสำหรับใส่ Bolt โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะเท่ากับ 12 mm. ดังแสดงในรูปที่ 2.3-6



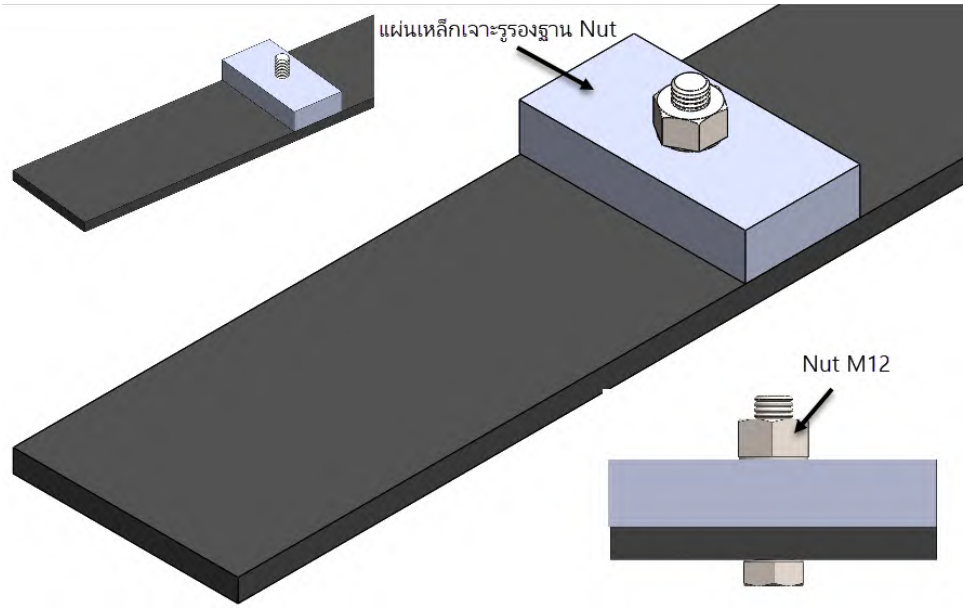
รูปที่ 2.3-6 เจาะรูสำหรับใส่ Bolt โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะเท่ากับ 12 mm.

4. นำ Bolt ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 mm.มีความยาวเท่ากับ 50 mm. มาหมุนใส่ลงไปในแผ่นยางพารา ดังแสดงในรูปที่ 2.3-7



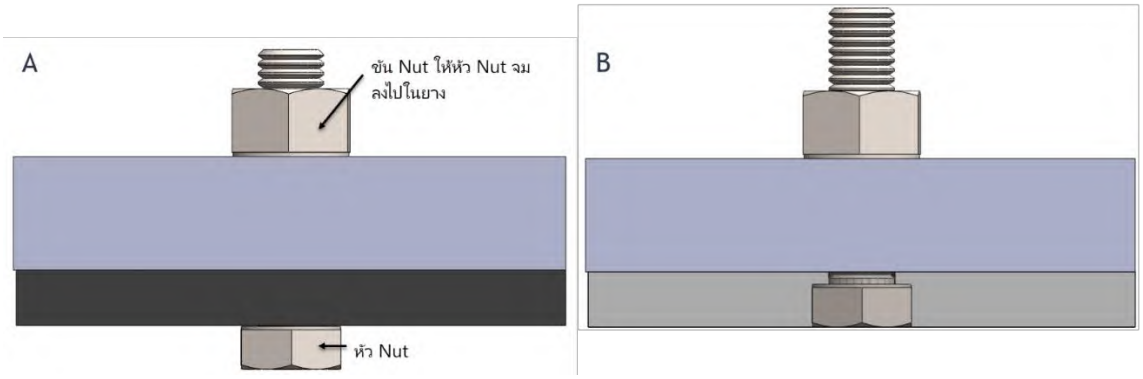
รูปที่ 2.3-7 ใส่ Bolt-M12x50 mm.ลงในแผ่นยางพารา

5. นำแผ่นเหล็กรองสำหรับขัน Bolt เพื่อให้หัว Bolt จมไปในเนื้อของแผ่นยางพารา ดังแสดงในรูปที่ 2.3-8



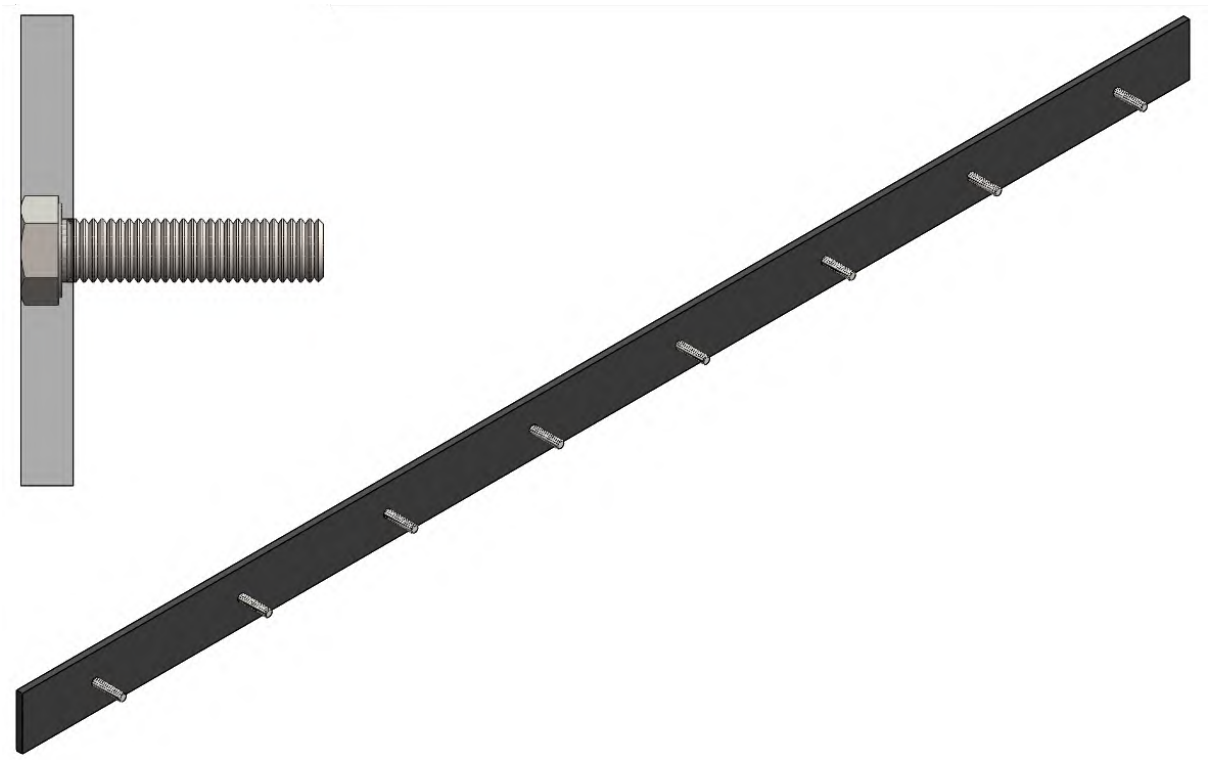
รูปที่ 2.3-8 แผ่นเหล็กรองสำหรับขัน Bolt

6. นำ NUT M12 หมุนลงใส่ใน Bolt ให้แน่น และหมุนอัดจนให้หัว Nut จมเข้าอยู่ในเนื้อยางพารา ดังแสดงในรูปที่ 2.3-9



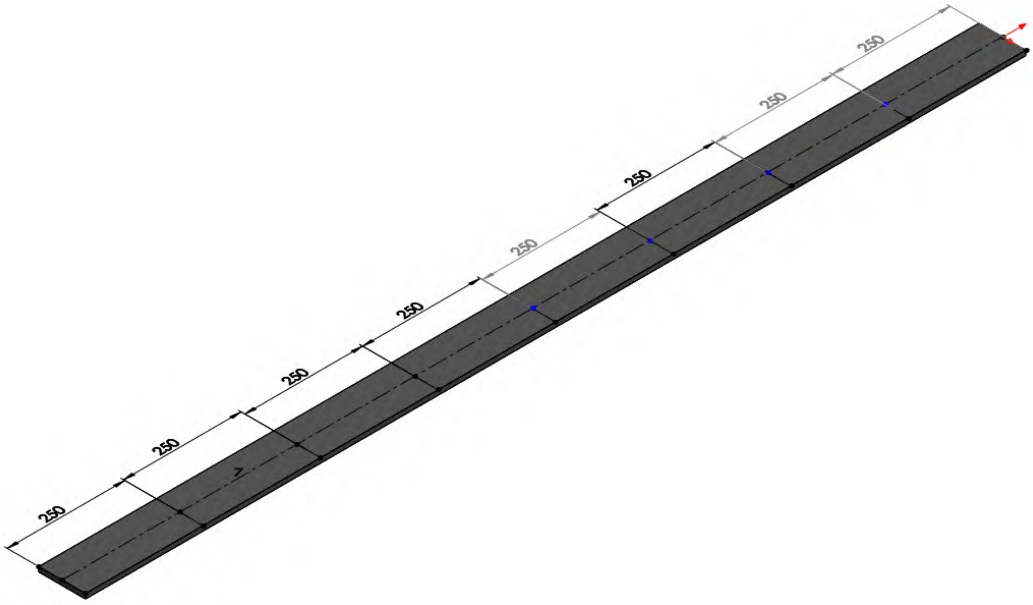
รูปที่ 2.3-9 NUT M12 หมุนอัดจนให้หัว Nut จมเข้าอยู่ในเนื้อยางพารา

7. นำ NUT M12 และแผ่นเหล็กรองสำหรับขัน Bolt ออก จะได้ชิ้นงานแผ่นยางพารามีเกลียว Nut ดังแสดงในรูปที่ 2.3-10



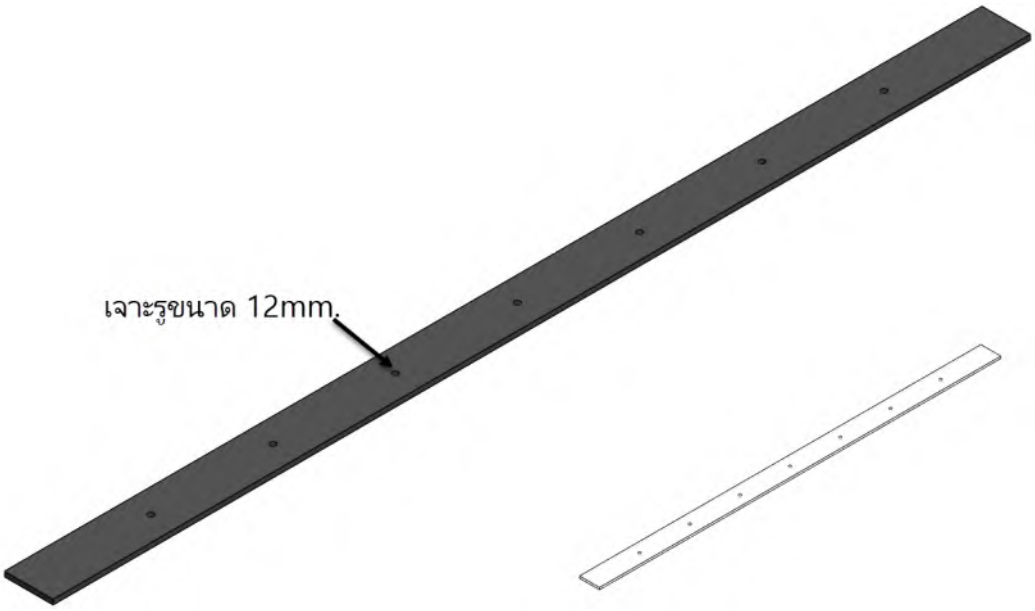
รูปที่ 2.3-10 ชิ้นงานแผ่นยางพาราแนวตั้งมีเกลียว Nut

8. แผ่นยางพาราแนวนอน วัดระยะสำหรับเจาะรูใส่ Stud ดังแสดงในรูปที่ 2.3-11



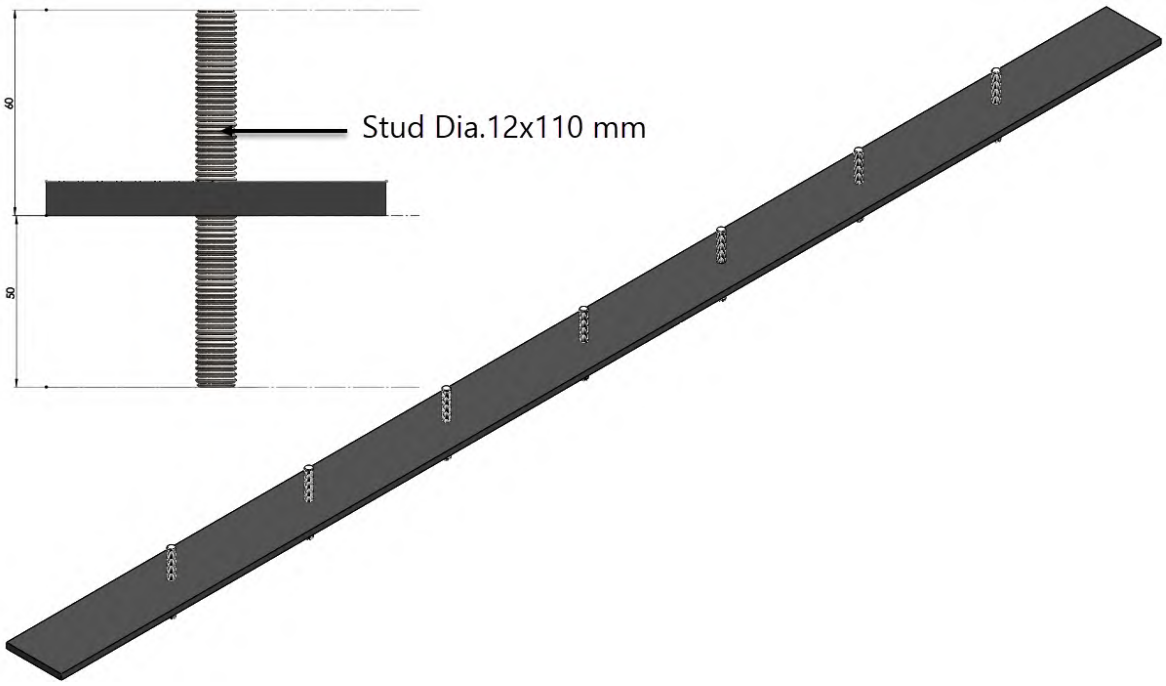
รูปที่ 2.3-11 วัดระยะสำหรับเจาะรูใส่ Stud

9. ใช้สว่านเจาะรูสำหรับใส่ Bolt โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะเท่ากับ 12 mm. ดังแสดงในรูปที่ 2.3-12



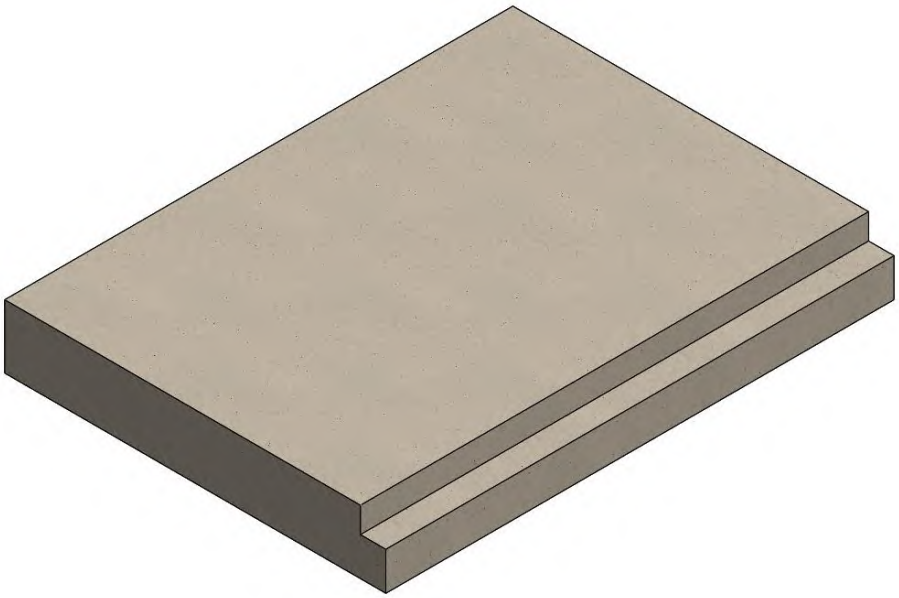
รูปที่ 2.3-12 เจาะรูสำหรับใส่ Bolt โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะเท่ากับ 12 mm.

10. ใส่ Stud Dia.12 ยาว 110 mm. ลงในแผ่นยางพารา ดังแสดงในรูปที่ 2.3-13



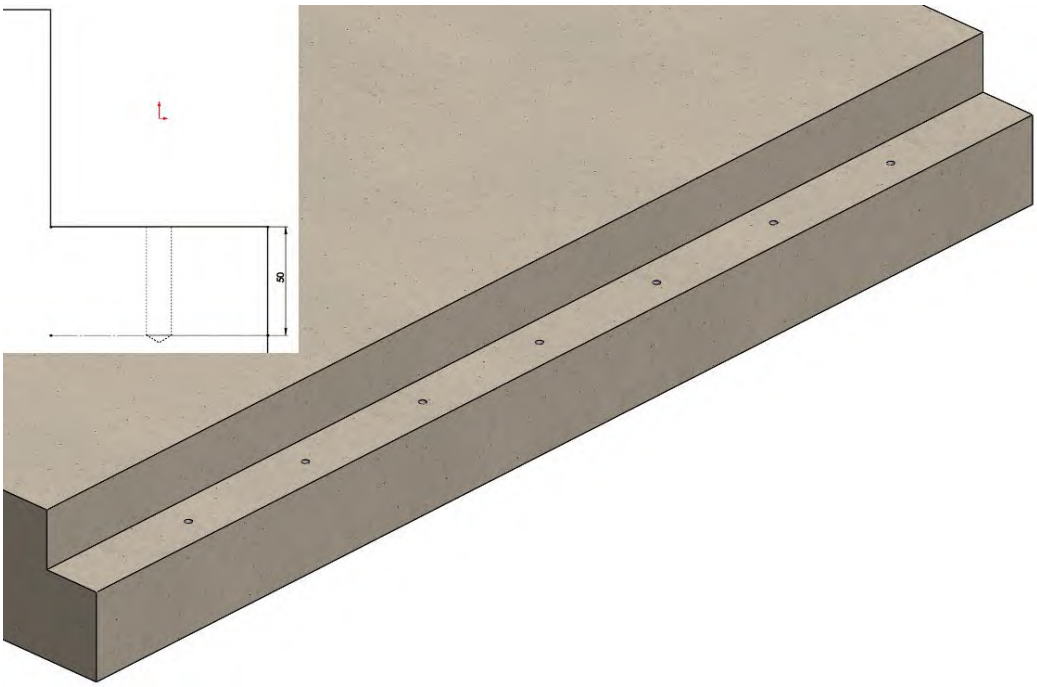
รูปที่ 2.3-13 ใส่ Stud Dia.12 ยาว 110 mm. ลงในแผ่นยางพารา

11. หล่อฐานคอนกรีตสำหรับทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3-14



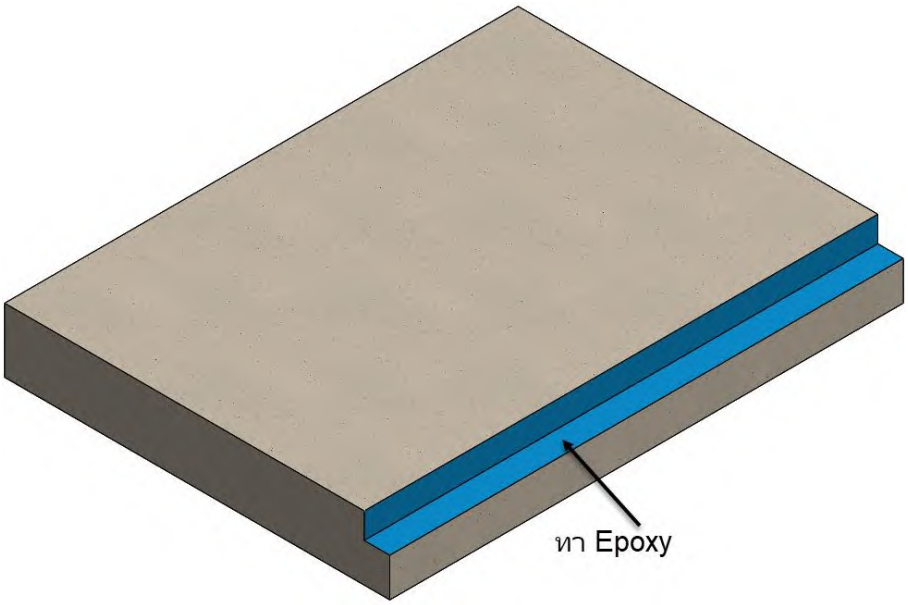
รูปที่ 2.3-14 ฐานคอนกรีตสำหรับทดสอบ

12. เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะเท่ากับ 12 mm. ลึก 50 mm. ลงในฐานคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 2.3-15



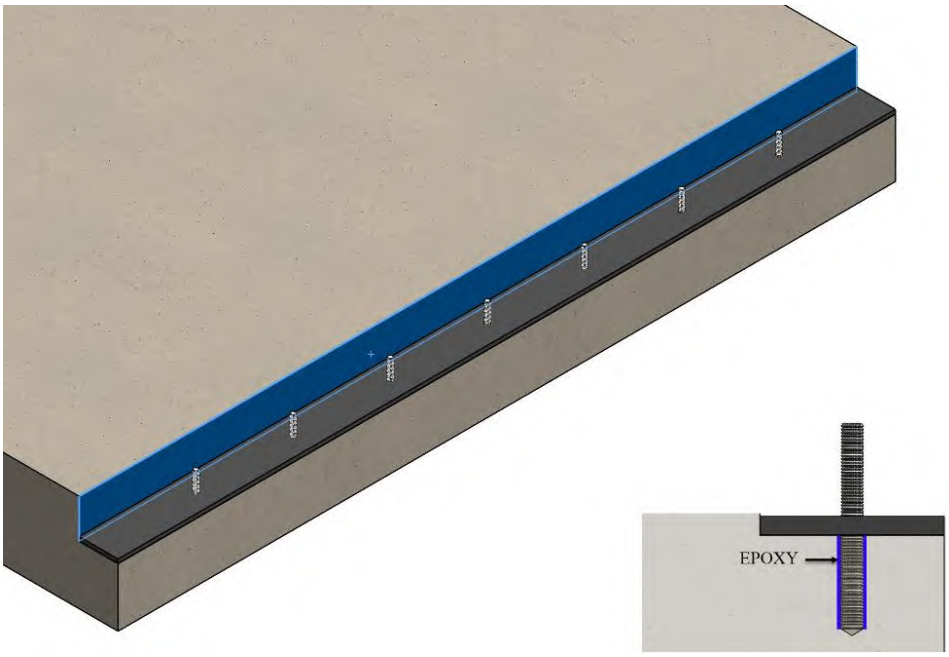
รูปที่ 2.3-15 เจาะรูในฐานคอนกรีต

13. ทำความสะอาดผิวที่ทำการติดตั้งทา Epoxy ด้วยผ้าชุบน้ำบิดหมาดแล้วทิ้งไว้จนแห้ง จากนั้นทา Epoxy ให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการติดตั้งแผ่นยางพารา ดังแสดงในรูปที่ 2.3-16



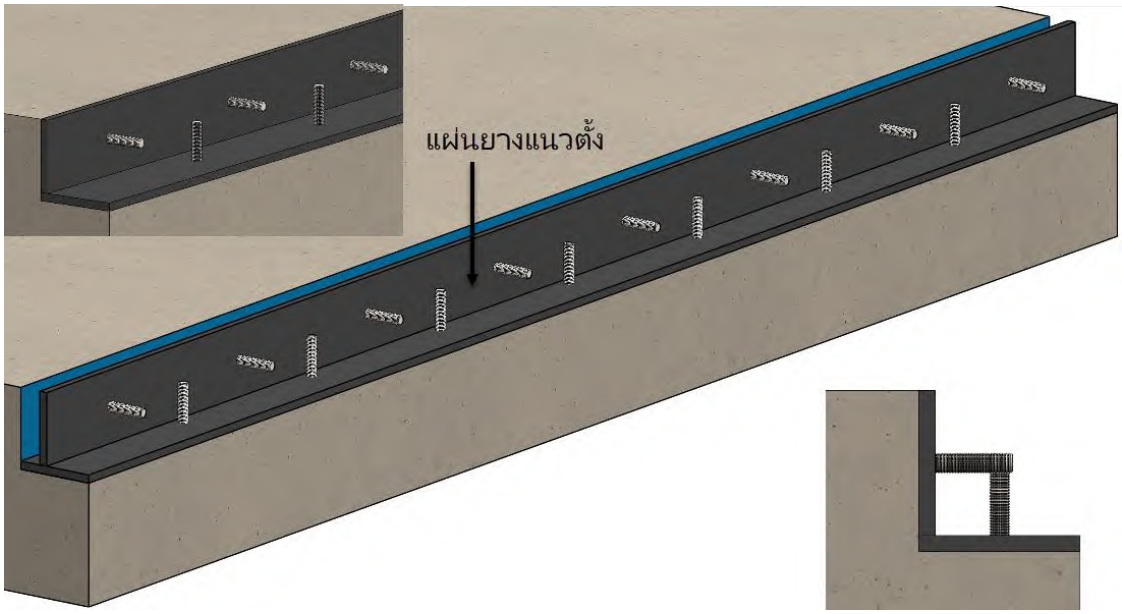
รูปที่ 2.3-16 ทา Epoxy ให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการติดตั้งแผ่นยางพารา

14. ติดตั้งแผ่นยางพาราแนวนอน ดังแสดงในรูปที่ 2.3-17



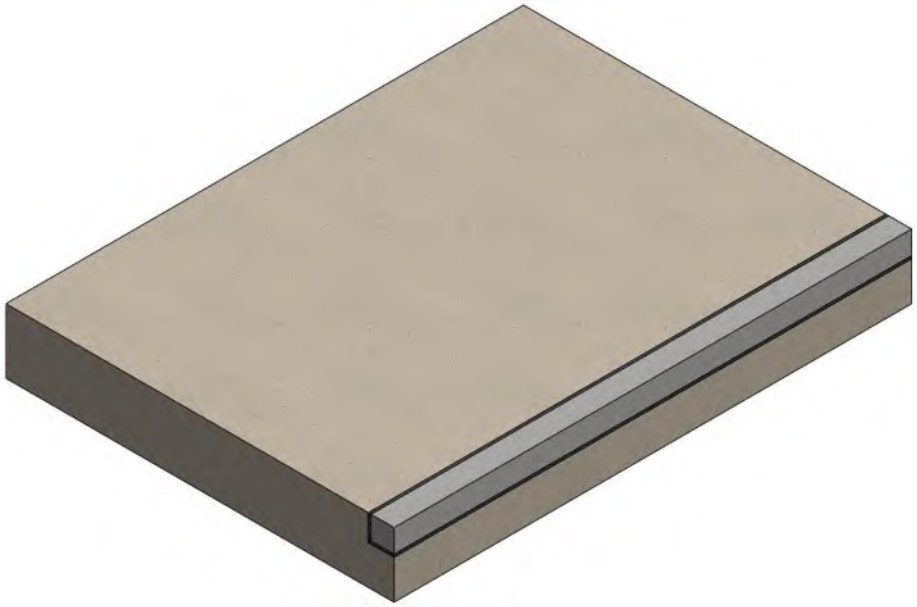
รูปที่ 2.3-17 ติดตั้งแผ่นยางพาราแนวนอน

15. ติดตั้งแผ่นยางพาราแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.3-18



รูปที่ 2.3-18 ติดตั้งแผ่นยางพาราแนวตั้ง

16. ติดตั้ง Formwork แล้วเทคอนกรีตหล่อจุดต่อให้เรียบร้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.3-19



รูปที่ 2.3-19 ติดตั้ง Formwork แล้วเทคอนกรีตหล่อจุดต่อ

2.4 แบบรายละเอียดสำหรับการก่อสร้างบ่ารองรับรอยต่อ

สำหรับงานก่อสร้างจริง ที่ปรึกษาได้จัดทำแบบรายละเอียดสำหรับการก่อสร้าง ที่มีรายละเอียดของแบบ รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ พร้อมขั้นตอนการก่อสร้าง สรุปอยู่ในรูปแบบมาตรฐานที่วิศวกรสามารถนำไปใช้อ้างอิงสำหรับการก่อสร้างได้จริง ในแบบรายละเอียดดังกล่าว

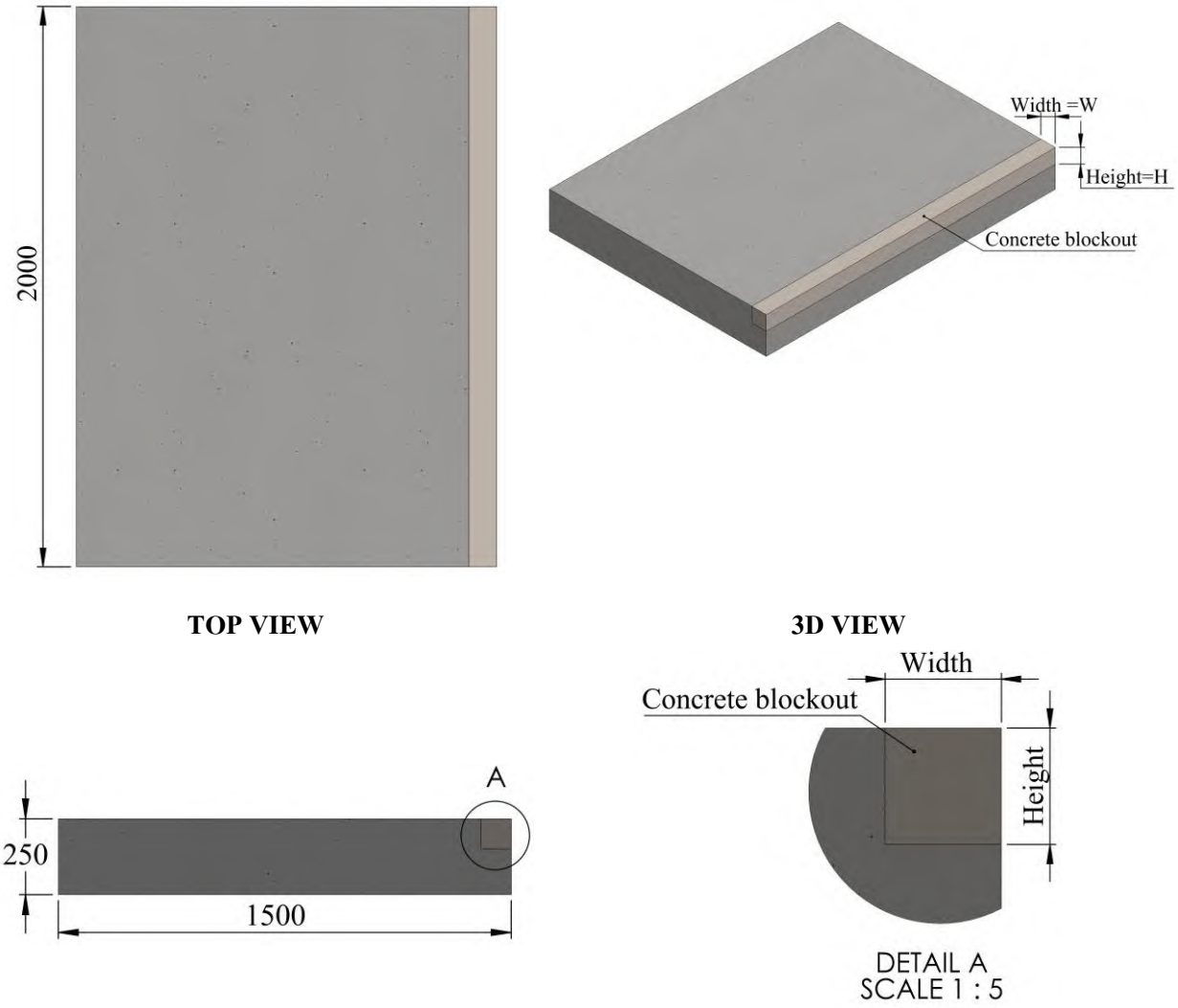
บทที่ 3 การเตรียมการทดสอบ

3.1 การเตรียมการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

3.1.1. ตัวอย่างทดสอบ

ในการทดสอบที่ปรึกษาจะทำการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก โดยจะทำการก่อสร้างแท่นคอนกรีตที่เป็นตัวแทนของพื้นสะพาน และทำการทดสอบบ่ารองรับภายใต้แรงกระทำเทียบเท่าน้ำหนักล้อรถบรรทุกในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดสอบไปประกอบการออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทกในหัวข้อที่ 3.2 โดยแท่นคอนกรีตที่ทดสอบนี้มีขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2.0 เมตร และหนา 0.25 เมตร เพื่อจำลองพื้นสะพาน ดังแสดงในตารางที่ 3.1-1

โดยที่ปลายด้านบนข้างหนึ่งของแท่นคอนกรีตในทิศทางตามแนวกว้าง จะทำการเว้นช่องคอนกรีต (Concrete Blackout) ตลอดแนวความยาวของแท่นคอนกรีตไว้เพื่อหล่อบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานภายหลังจากที่แท่นคอนกรีตแข็งตัว โดยมีความกว้างและความหนาของช่องคอนกรีตขนาดต่าง ๆ กันเป็นจำนวน 6 รูปแบบ โดยกำหนดให้ความกว้างจะต้องมากกว่าความลึกสำหรับการเว้นช่องสำหรับบ่าคอนกรีตเสมอ โดยในการหล่อบ่าแต่ละรูปแบบนั้นจะทำการหล่อบ่าอย่างน้อย 2 บ่าต่อรูปแบบ ดังนั้นจะมีจำนวนแท่นคอนกรีตทั้งหมด 12 แท่น รูปแบบการเว้นบ่าคอนกรีตเบื้องต้นกรณีพื้นสะพานไม่ได้เสริมแถบยางพารากันกระแทกได้ดังแสดงในตารางที่ 3.1-1 และกรณีที่เสริมแถบยางพารากันกระแทกได้แสดงดังตารางที่ 3.1-2 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบและการเว้นช่องกรณีพื้นสะพานเสริมแผ่นยางกันกระแทก



รูปที่ 3.1-1 รายละเอียดสัญลักษณ์ของการเว้นช่อง (Blockout) ของรอยต่อพื้นสะพานด้านบน (หน่วยเป็น mm)

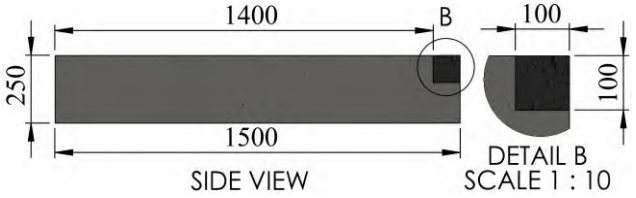
ตารางที่ 3.1-1 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบและการเว้นช่องกรณีพื้นสะพานไม่ได้เสริมแผ่นยางกันกระแทก

Test Specimens	Load Conditions	Width of Bockout (mm)	Height of Blackout (mm)	Number of Blockout	Use of Rubber Pad
B-01-SL	Static	100	100	2	No
B-02-SL	Static	150	100	2	No
B-03-SL	Static	200	100	2	No
B-04-SL	Static	150	150	2	No
B-05-SL	Static	200	150	2	No
B-06-SL	Static	200	200	2	No

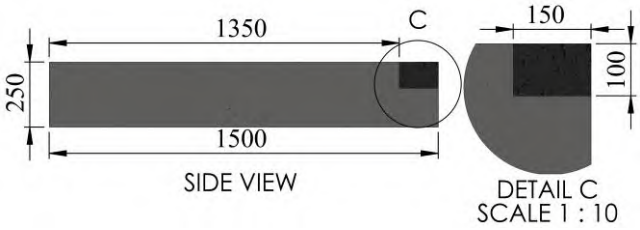
ตารางที่ 3.1-2 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบและการเว้นช่องกรณีพื้นสะพานเสริมแผ่นยางกันกระแทก

Test Specimens	Load Conditions	Width of Bockout (mm)	Height of Blackout (mm)	Number of Blockout	Use of Rubber Pad
B-07-SL-RP	Static	100	100	2	Yes
B-08-SL-RP	Static	150	100	2	Yes
B-09-SL-RP	Static	200	100	2	Yes
B-10-SL-RP	Static	150	150	2	Yes
B-11-SL-RP	Static	200	150	2	Yes
B-12-SL-RP	Static	200	200	2	Yes

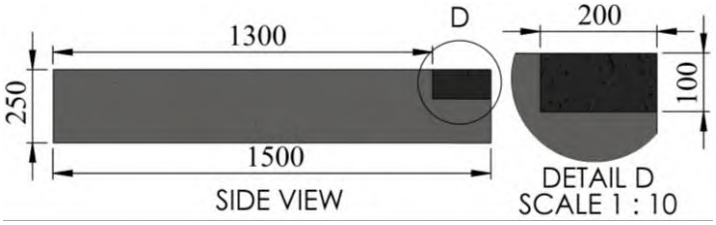
รายละเอียดสำหรับการเว้นช่องของรอยต่อพื้นสะพานด้านบนทุกรูปแบบ ได้แสดงรายละเอียดทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.1-2



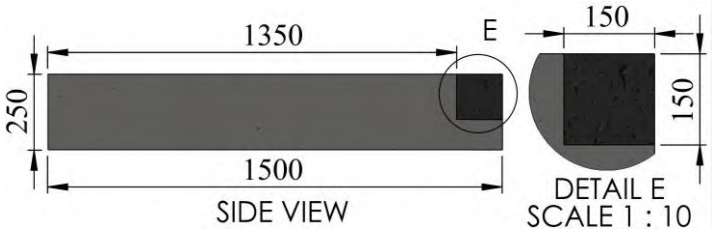
(a) B-01-SL, B-07-SL-RP



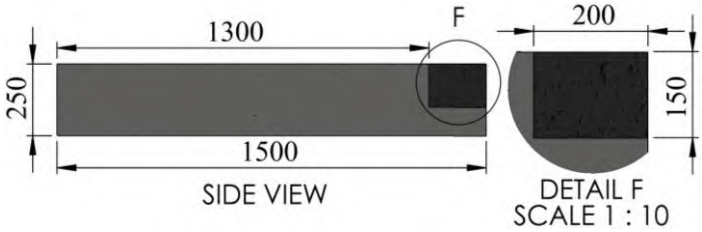
(b) B-02-SL B-07-SL-RP



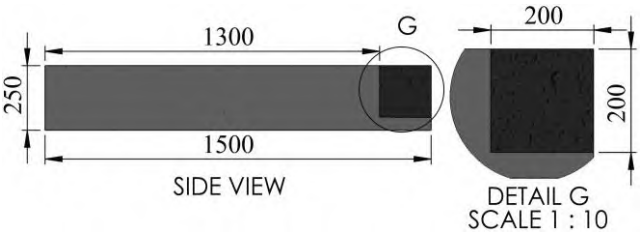
(c) B-03-SL B-07-SL-RP



(d) B-04-SL B-07-SL-RP



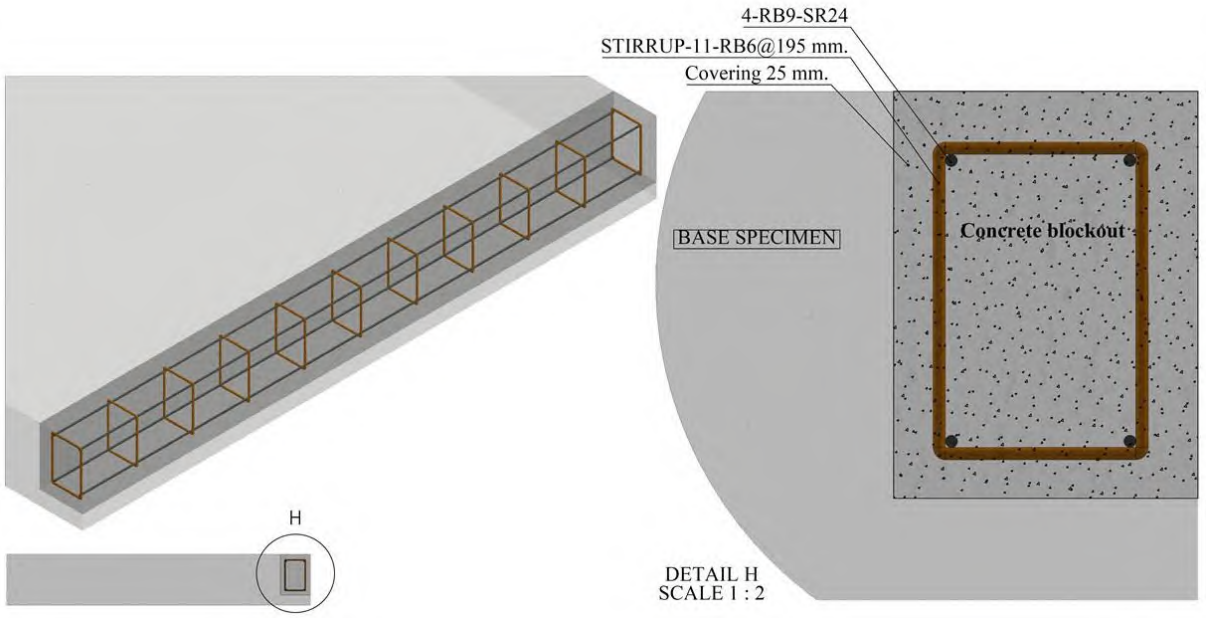
(e) B-05-SL B-07-SL-RP



(f) B-06-SL B-07-SL-RP

รูปที่ 3.1-2 รายละเอียดของการเว้นช่อง (Blockout) ของรอยต่อพื้นสะพานด้านบน (หน่วยเป็น mm)

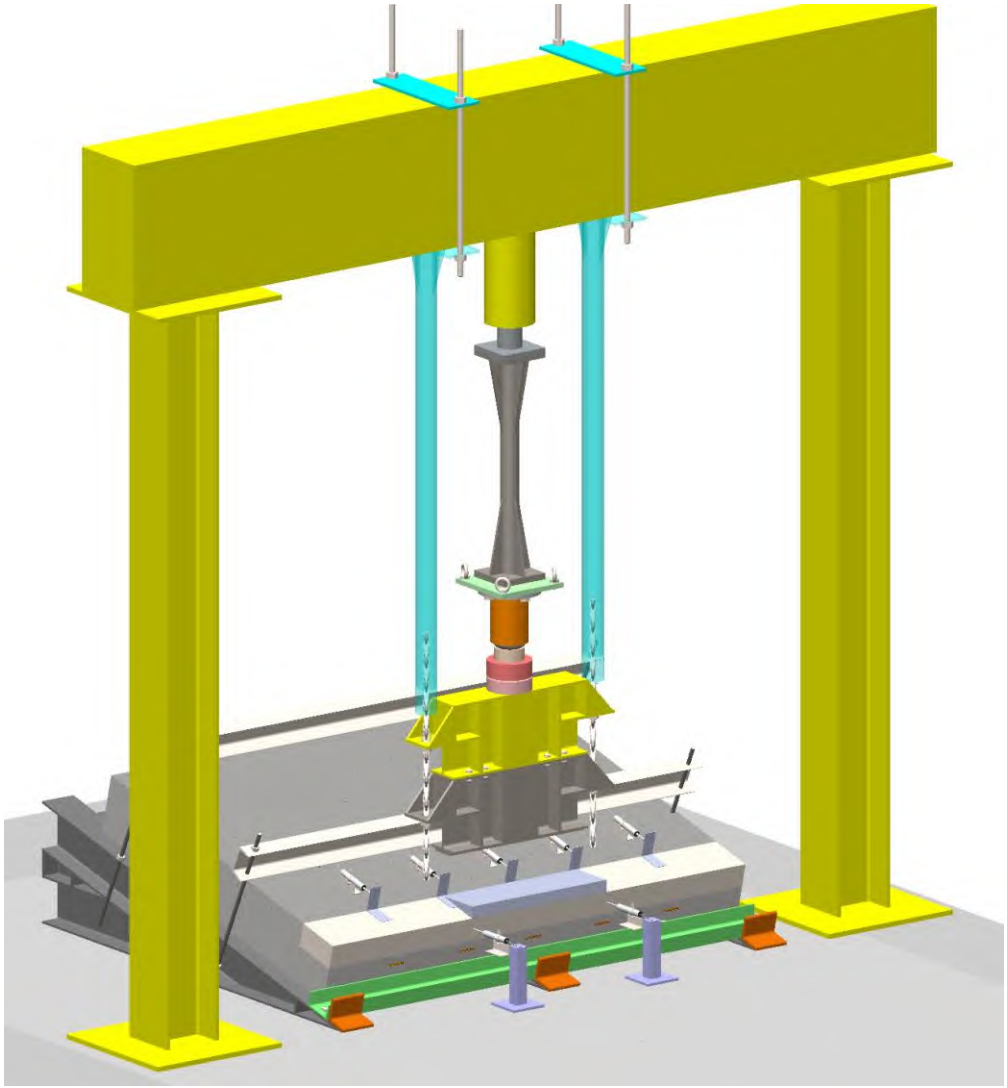
ในการหล่อบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน จะทำการเทปิดช่องคอนกรีตที่เว้นไว้ด้วย Non-Shrink Concrete โดยจะหล่อบ่ารองรับรอยต่ออย่างน้อย 2 บ่า ต่อ 1 รูปแบบของขนาดช่องคอนกรีต รวมขนาดช่องคอนกรีตอย่างน้อย 6 รูปแบบ จะต้องหล่อบ่ารองรับรอยต่อทั้งหมดอย่างน้อย 12 บ่าบนแท่นคอนกรีตอย่างน้อย 12 แท่น รายละเอียดเหล็กเสริมสำหรับการหล่อบ่อได้แสดงดังรูปที่ 3.1-3



รูปที่ 3.1-3 รายละเอียดการเสริมเหล็กสำหรับการหล่อบ่า (หน่วยเป็น มม.)

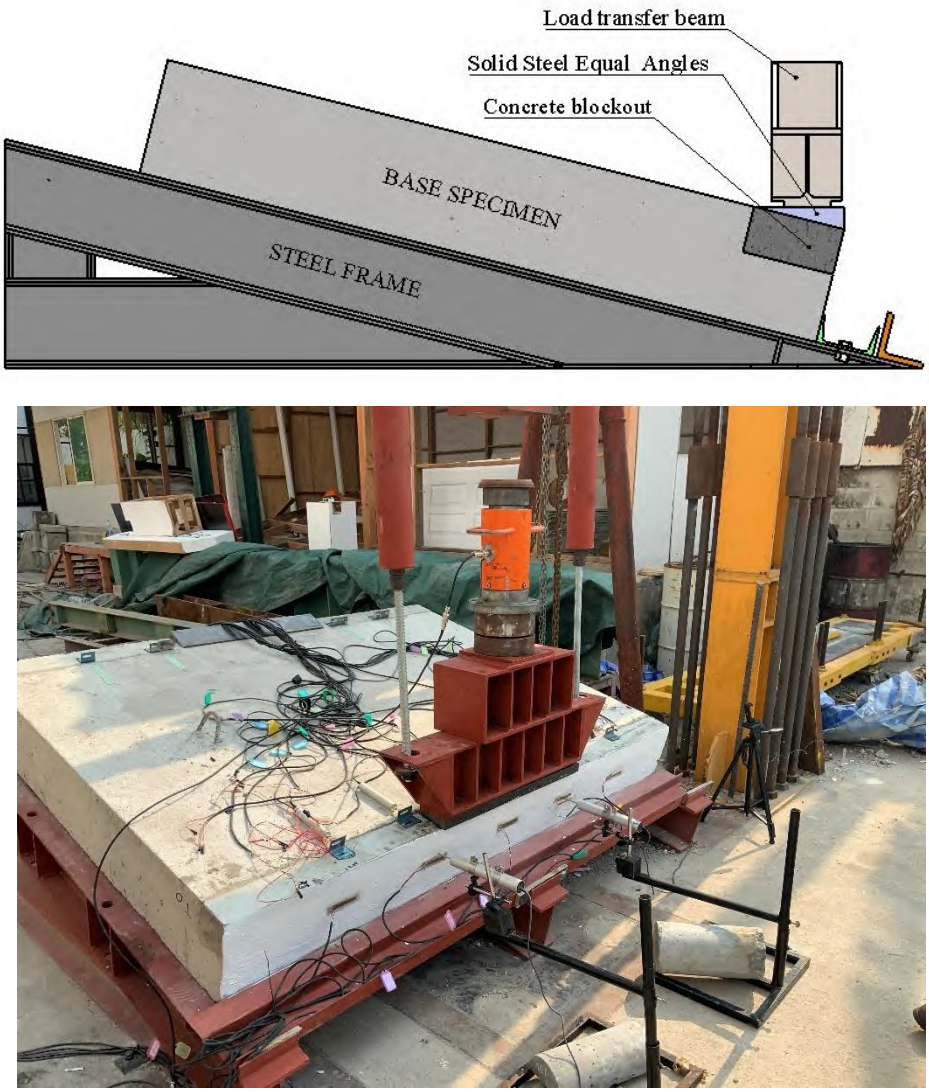
3.1.2. การทดสอบบ่ารองรับสะพาน และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

การทดสอบบ่ารองรับสะพาน จะทำการทดสอบบ่าสะพานโดยใช้แรงกดจากโครงเหล็กทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.1-4 โดยโครงเหล็กทดสอบจะมีฐานรากฝังยึดกับพื้นแข็ง (Strong Floor) ที่ออกแบบให้สามารถทดสอบที่ระดับแรงกดอย่างน้อย 200 ตัน การทดสอบจะนำแผ่นพื้นสะพานช่วงบริเวณรอยต่อเข้ามาทดสอบภายใต้โครงเหล็กทดสอบดังกล่าว



รูปที่ 3.1-4 โครงเหล็กทดสอบและการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ

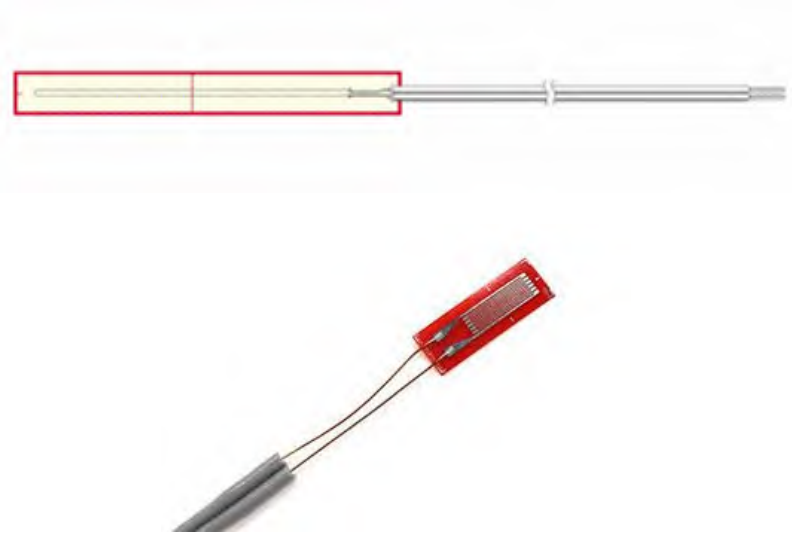
ในการทดสอบที่ปรึกษาจะทำการทดสอบบ่ารองรับโดยการให้แรงกระทำเป็นจุดแบบสถิต(Static) ลงบนบ่าคอนกรีต แรงกระทำจากกระบอกไฮดรอลิกซ์จะกระจายเป็นแรงกระทำบนบ่าคอนกรีตบนจุดที่กำหนดโดยใช้คานถ่ายแรง (Transfer Beam) คานถ่ายแรงนี้จะช่วยให้แรงที่กระทำกระจายลงไปสู่บ่าคอนกรีตได้ ในการทดสอบนี้ จะมีการออกแบบโครงเหล็กพิเศษที่มีความเอียง เพื่อรองรับพื้นสะพานโดยจะมีแผ่นเหล็กถ่ายแรงขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 650 มิลลิเมตร เพื่อถ่ายแรงกดลงไปยังพื้นรอยต่อสะพาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1-5 การจำลองพื้นทดสอบลักษณะนี้ แรงกดในแนวดิ่งจากเครื่องมือทดสอบจะทำให้เกิดแรงกระทำตั้งฉากกับพื้นสะพาน ซึ่งเป็นตัวแทนน้ำหนักกดจากล้อรถบรรทุก และแรงกระทำขนานไปกับพื้นสะพาน ซึ่งเป็นตัวแทนแรงเบรกของรถบรรทุก



รูปที่ 3.1-5 การเตรียมการทดสอบรอยต่อพื้นสะพาน (Test Setup)

อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดมีสองชนิด คือ อุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัว (Displacement Transducer) และอุปกรณ์วัดความเครียดในคอนกรีต (Strain Gage) ลักษณะของอุปกรณ์ดังกล่าวได้แสดงในรูปที่ 3.1-6 และ รูปที่ 3.1-7

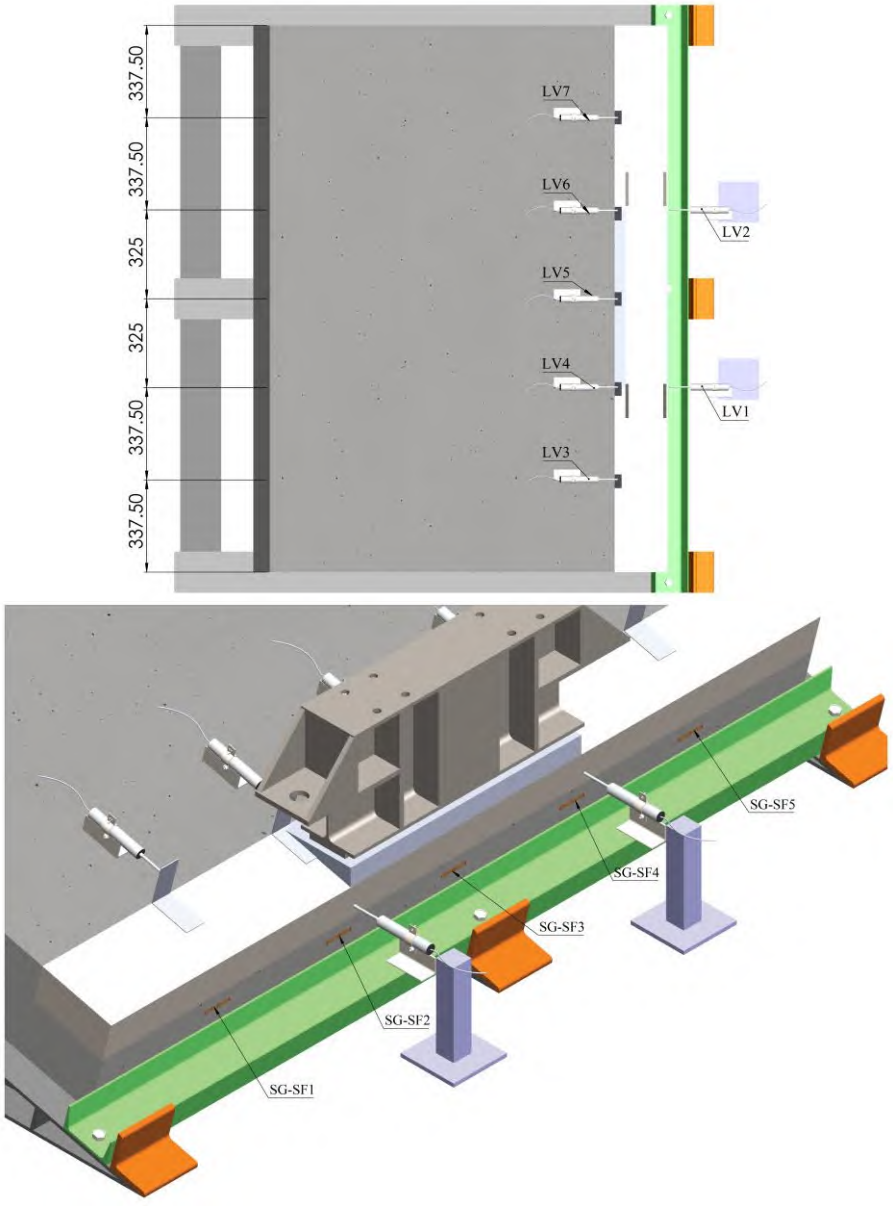
รูปที่ 3.1-6 อุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัว (Displacement Transducer)



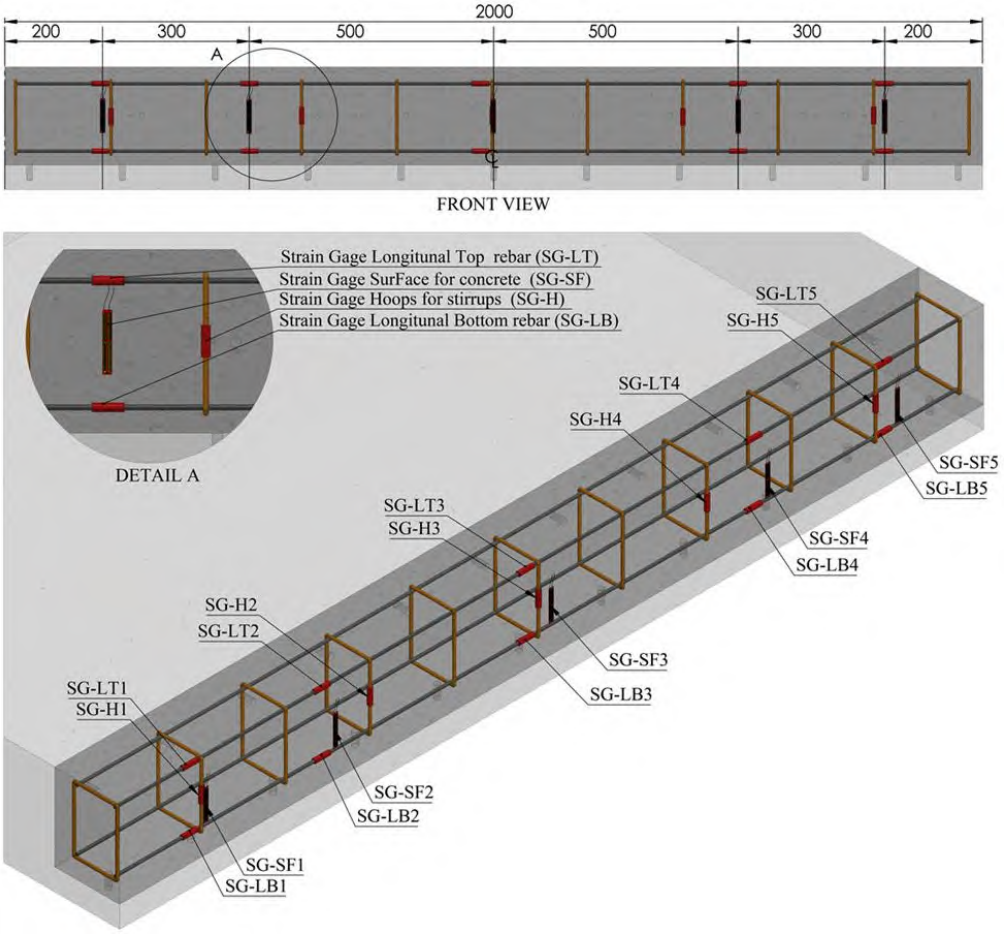
รูปที่ 3.1-7 อุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge)

3.1.3. ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ในงานทดสอบนี้มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่จำนวน 6 ตัว เพื่อตรวจวัดการเคลื่อนที่ระหว่างรอยต่อของพื้นสะพานและพื้นสะพานเป็นหลัก ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด จะมีการติดตั้งในเหล็กเสริมและคอนกรีต โดยมีจำนวน 20 ตัว โดยแบบการติดตั้งโดยสังเขป ของเกจวัดความเครียด และอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนตัว แสดงไว้ในรูปที่ 3.1-8 และ รูปที่ 3.1-9



รูปที่ 3.1-8 การติดตั้งเกจวัดการเสียรูปของรอยต่อ



รูปที่ 3.1-9 การติดตั้งเกจวัดความเครียดโดยสังเขป

รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ของชิ้นส่วนถูกออกแบบให้ตรงตำแหน่งที่ต้องการวัดค่าที่เกิดขึ้น เช่น วัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนทดสอบ วัดความเครียดของชิ้นส่วนทดสอบ เป็นต้น รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ของชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อ ดังแสดงในตารางที่ 3.1-3 และ ตารางที่ 3.1-4

ตารางที่ 3.1-3 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนทดสอบ

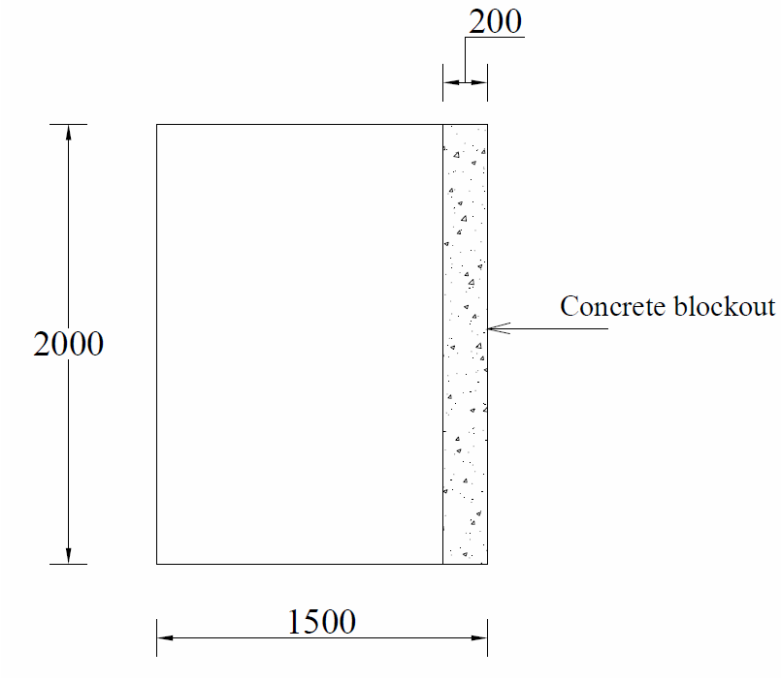
Sensors	Type of sensor	Location	Installation details
LVDT-1	Transducer	L-02	Concrete surface
LVDT-2	Transducer	L-04	Concrete surface
LVDT-3	Transducer	L-01	Concrete surface
LVDT-4	Transducer	L-02	Concrete surface
LVDT-5	Transducer	L-03	Concrete surface
LVDT-6	Transducer	L-04	Concrete surface
LVDT-7	Transducer	L-05	Concrete surface

ตารางที่ 3.1-4 ตำแหน่งเกจวัดความเครียดและเกจวัดการเสียรูปสำหรับการทดสอบรอยต่อพื้นสะพาน

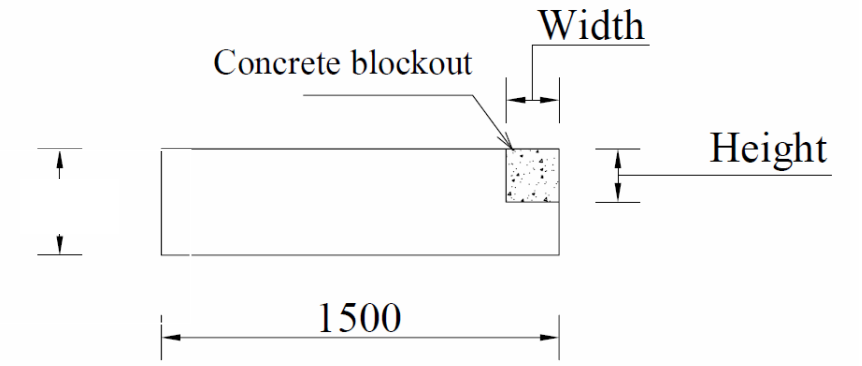
Sensors	Type of sensor	Location	Installation details
SG-LT1	Strain gauge	L-01	Top Longitudinal steel bars
SG-LT2	Strain gauge	L-02	Top Longitudinal steel bars
SG-LT3	Strain gauge	L-03	Top Longitudinal steel bars
SG-LT4	Strain gauge	L-04	Top Longitudinal steel bars
SG-LT5	Strain gauge	L-05	Top Longitudinal steel bars
SG-LB1	Strain gauge	L-01	Bottom Longitudinal steel bars
SG-LB2	Strain gauge	L-02	Bottom Longitudinal steel bars
SG-LB3	Strain gauge	L-03	Bottom Longitudinal steel bars
SG-LB4	Strain gauge	L-04	Bottom Longitudinal steel bars
SG-LB5	Strain gauge	L-05	Bottom Longitudinal steel bars
SG-H1	Strain gauge	L-01	Vertical stirrups
SG-H2	Strain gauge	L-02	Vertical stirrups
SG-H3	Strain gauge	L-03	Vertical stirrups
SG-H4	Strain gauge	L-04	Vertical stirrups
SG-H5	Strain gauge	L-05	Vertical stirrups
SG-SF1	Strain gauge	L-01	Concrete surface
SG-SF2	Strain gauge	L-02	Concrete surface
SG-SF3	Strain gauge	L-03	Concrete surface
SG-SF4	Strain gauge	L-04	Concrete surface
SG-SF5	Strain gauge	L-05	Concrete surface

3.1.4. แบบสำหรับการก่อสร้างแท่นคอนกรีตและบ่ารองรับรอยต่อสำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

ในการทดสอบที่ปรึกษาจะทำการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก โดยจะทำการก่อสร้างแท่นคอนกรีตที่เป็นตัวแทนของพื้นสะพาน และทำการทดสอบบ่ารองรับภายใต้แรงกระทำเทียบเท่าน้ำหนักล้อรถบรรทุกในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดสอบไปประกอบการออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทก โดยแท่นคอนกรีตที่ทดสอบนี้มีขนาด กว้าง 1.5 เมตร ยาว 2.0 เมตร และหนา 0.25 เมตร เพื่อจำลองพื้นสะพาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1-10 และรูปที่ 3.1-11



รูปที่ 3.1-10 รายละเอียดของการเว้นช่อง (Blockout) ของรอยต่อพื้นสะพานด้านบน (หน่วยเป็น มม.)



รูปที่ 3.1-11 รายละเอียดของการเว้นช่อง (Blockout) ของรอยต่อพื้นสะพานด้านข้าง (หน่วยเป็น มม.)

โดยที่ปลายด้านบนข้างหนึ่งของแท่นคอนกรีตในทิศทางตามแนวกว้าง จะทำการเว้นช่องคอนกรีต (Concrete Blockout) ตลอดแนวความยาวของแท่นคอนกรีตไว้เพื่อหล่อบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานภายหลังจากที่แท่นคอนกรีตแข็งตัว โดยมีความกว้างและความหนาของช่องคอนกรีตขนาดต่าง ๆ กันเป็นจำนวน 6 รูปแบบ และในการหล่อบ่าแต่ละรูปแบบนั้นจะทำการหล่อบ่าอย่างน้อย 2 บ่าต่อรูปแบบ ดังนั้นจะมีจำนวนแท่นคอนกรีตทั้งหมด 12 แท่น ดังแสดงในตารางที่ 3.1-5

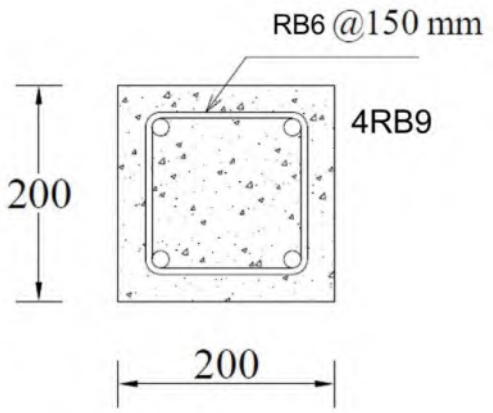
ตารางที่ 3.1-5 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบและการเว้นช่องกรณีพื้นสะพานไม่ได้เสริมแผ่นยางกันกระแทก

Test Specimens	Load Conditions	Width of Bockout (mm)	Height of Blockout (mm)	Number of Blockout	Use of Rubber Pad
B-01-SL	Static	100	100	2	No
B-02-SL	Static	150	100	2	No
B-03-SL	Static	200	100	2	No
B-04-SL	Static	150	150	2	No
B-05-SL	Static	200	150	2	No
B-06-SL	Static	200	200	2	No

ตารางที่ 3.1-6 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบและการเว้นช่องกรณีพื้นสะพานเสริมแผ่นยางกันกระแทก

Test Specimens	Load Conditions	Width of Bockout (mm)	Height of Blackout (mm)	Number of Blockout	Use of Rubber Pad
B-07-SL-RP	**Static**	**100**	**100**	**2**	**Yes**
B-08-SL-RP	**Static**	**150**	**100**	**2**	**Yes**
B-09-SL-RP	**Static**	**200**	**100**	**2**	**Yes**
B-10-SL-RP	**Static**	**150**	**150**	**2**	**Yes**
B-11-SL-RP	**Static**	**200**	**150**	**2**	**Yes**
B-12-SL-RP	**Static**	**200**	**200**	**2**	**Yes**

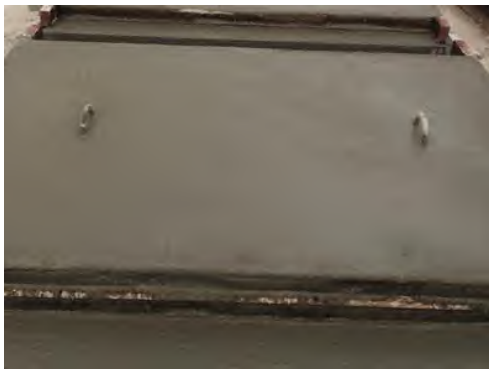
ในการหล่อบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน จะทำการเทปิดช่องคอนกรีตที่เว้นไว้ด้วย Non-Shrink Concrete โดยจะหล่อบ่ารองรับรอยต่ออย่างน้อย 2 บ่า ต่อ 1 รูปแบบของขนาดช่องคอนกรีต รวมขนาดช่องคอนกรีตอย่างน้อย 6 รูปแบบ จะต้องหล่อบ่ารองรับรอยต่อทั้งหมดอย่างน้อย 12 บ่าบนแท่นคอนกรีตอย่างน้อย 12 แท่น รายละเอียดเหล็กเสริมสำหรับการหล่อบ่อได้แสดงดังรูปที่ 3.1-12



รูปที่ 3.1-12 รายละเอียดการเสริมเหล็กสำหรับการหล่อบ่า (หน่วยเป็น มม.)

3.1.5. การก่อสร้างแท่นคอนกรีตสำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบครั้งนี้ ได้ก่อสร้างแท่นคอนกรีตขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร หนา 0.25 เมตร จำนวน 2 แท่นต่อ 1 ชุดทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดการเสริมเหล็ก และ ค่ากำลังรับแรงอัดออกแบบคอนกรีต เป็นไปตามแบบมาตฐานการก่อสร้าง ของสำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวงปี พ.ศ. 2537 แบบทดสอบจะเว้นช่องสำหรับบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ใช้ในการทดสอบซึ่งมีขนาดความกว้างและความลึกของ Concrete Block Out รวมทั้งสิ้น 6 รูปแบบ การก่อสร้างบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานจะเริ่มจากการเตรียมแบบหล่อบ่ารองรับรอยต่อ วางเหล็กที่ได้ประกอบไว้แล้ว ติดเกจวัดความเครียดบนผิวเหล็กเสริม และทำการเทคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 3.1-13



รูปที่ 3.1-13 การก่อสร้างแท่นคอนกรีตไม่ได้เสริมแผ่นยางกันกระแทก

3.1.6. การติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกใต้บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

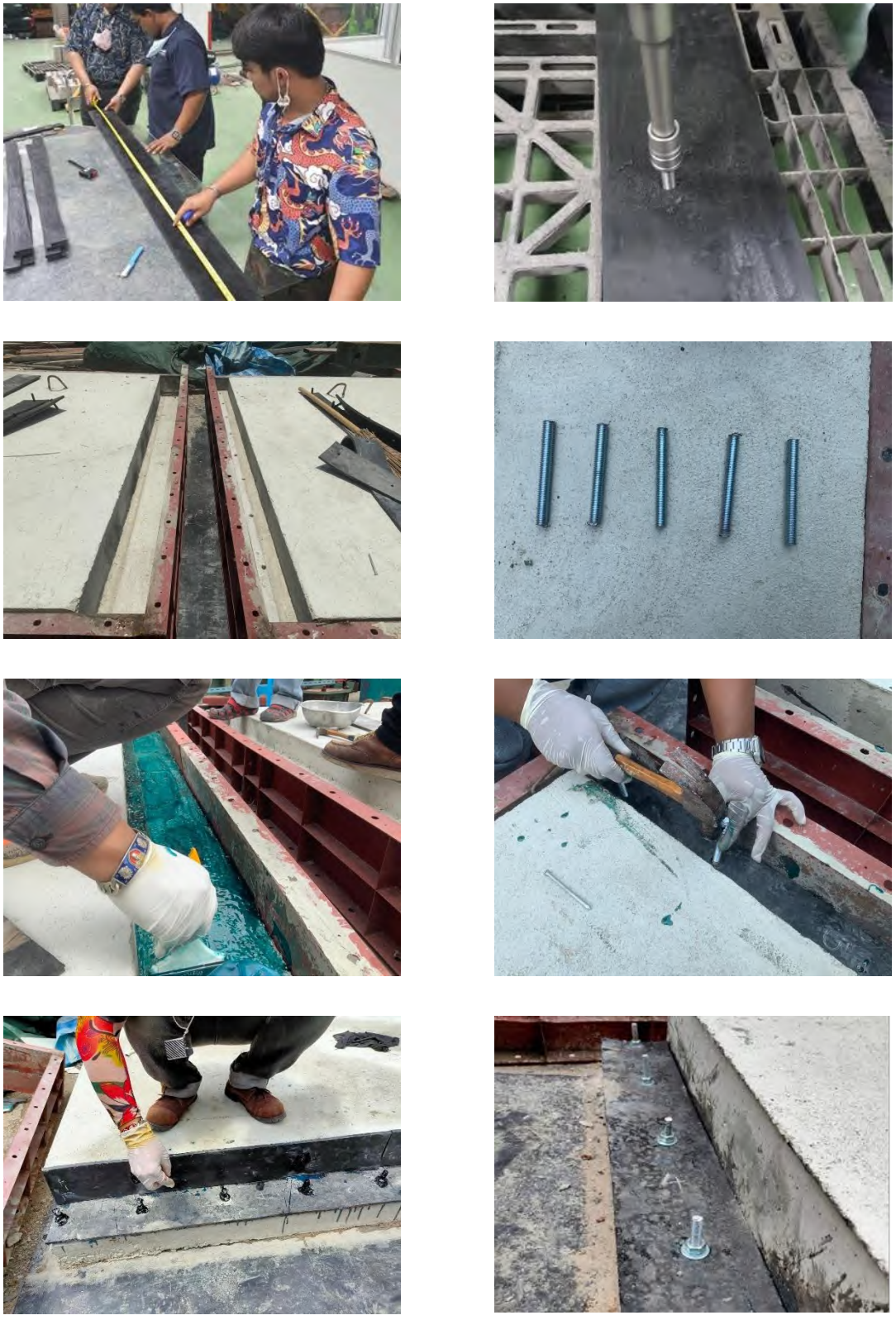
แผ่นยางพารากันกระแทก จะเป็นการนำแผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติที่มีผลิตและจำหน่ายอยู่ทั่วไป โดยแผ่นยางรองคานสะพานที่ใช้แนะนำให้ใช้เป็นยางธรรมชาติ Hardness 50 (มอก. 951-2533) โดยมีความหนาแผ่นไม่เกิน 10 มิลลิเมตร โดยให้นำยางดังกล่าวมาวางรองที่ด้านบนของโครงสร้างสะพานที่อยู่ใต้บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานก่อนทำการเทบ่ารองรับรอยต่อด้วย Non-shrink Concrete แผ่นยางพารากันกระแทกนี้เป็นเสมือนฐานรองบ่ารองรับรอยต่อ

ซึ่งจะช่วยดูดซับพลังงานจากแรงกระแทก โดยตัวอย่างการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก สามารถแสดงในรูปที่ 3.1-13

การติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุดเนื่องจากน้ำหนักล้อรถบรรทุกการ ที่กำหนดไว้ในแบบติดตั้งมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการกำหนดระยะฝังเหล็กสตัดเกลียวและตัดแผ่นยางพาราให้มีขนาดตามที่กำหนดไว้ในแบบการทดสอบแผ่นพื้นขนาดต่าง ๆ จากนั้นจึงทำการเจาะรูที่แผ่นยางขนาดเท่ากับเหล็กสตัดเกลียว
2. เจาะรูที่แผ่นพื้นคอนกรีตสำหรับฝังเหล็กสตัดเกลียว โดยสามารถนำแผ่นยางพาราที่เจาะรูไว้แล้วมาเทียบเพื่อความแม่นยำในการติดตั้ง
3. ก่อนจะเริ่มทำการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกให้ทำความสะอาดแผ่นพื้นและแผ่นยางด้วยอะซิโตน (Acetone) เพื่อกำจัดเศษฝุ่นและสิ่งสกปรกสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของกาวอีพ็อกซี่
4. เตรียมเหล็กสตัดเกลียวให้มีความยาว ประมาณ 10 เซนติเมตรสำหรับให้ยึดแผ่นยางพารากันกระแทกกับพื้นคอนกรีต
5. การทากาวอีพ็อกซี่ลงบนแผ่นพื้นและผิวยางพาราด้านที่ติดกับคอนกรีต จากนั้นวางแผ่นยางพาราที่เตรียมไว้ลงบนพื้นคอนกรีตตามด้วยการฝังเหล็กสตัดเกลียวตามตำแหน่งที่เตรียมไว้ จากนั้นทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 วันให้กาวอีพ็อกซี่แข็งตัว
6. เมื่อกาวอีพ็อกซี่แข็งตัวแล้วจึงทำการขันน็อตเพื่อล็อกแผ่นยางพารากันกระแทกไว้กับพื้นคอนกรีต

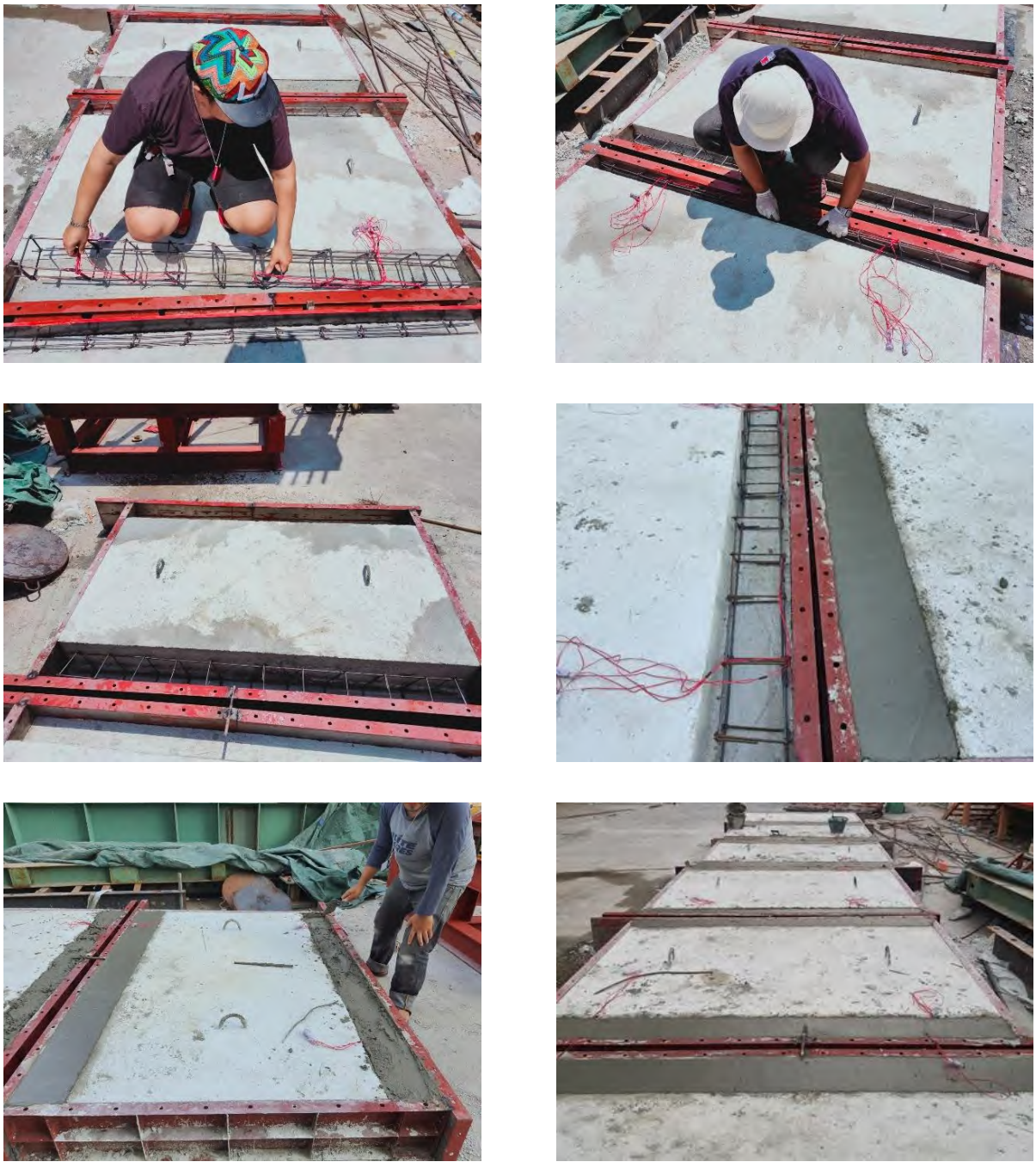
รูปที่ 3.1-14 การก่อสร้างแท่นคอนกรีตเสริมแผ่นยางกันกระแทก



รูปที่ 3.1-15 การติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทก

3.1.7. การก่อสร้างบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

ในการหล่อบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน จะทำการเทปิดช่องคอนกรีตที่เว้นไว้ด้วย Non-Shrink Concrete โดยจะหล่อบ่ารองรับรอยต่ออย่างน้อย 2 บ่า ต่อ 1 รูปแบบของขนาดช่องคอนกรีต รวมขนาดช่องคอนกรีตอย่างน้อย 6 รูปแบบ จะต้องหล่อบ่ารองรับรอยต่อทั้งหมดอย่างน้อย 12 บ่าบนแท่นคอนกรีตอย่างน้อย 12 แท่น แสดงดังรูปที่ 3.1-16 การหล่อของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน



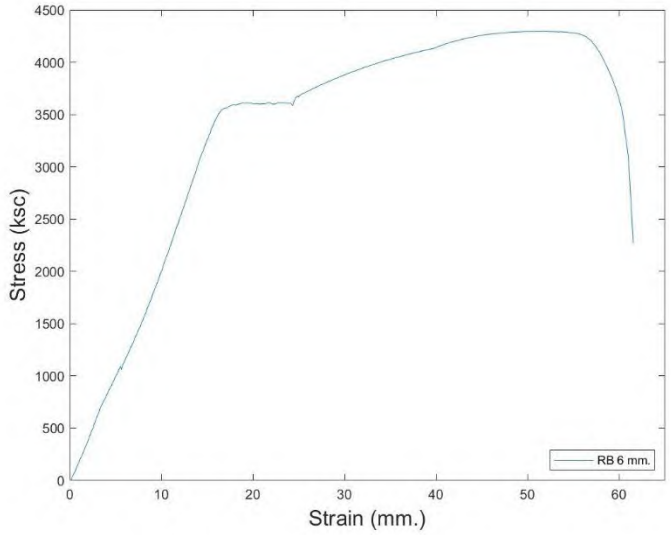
รูปที่ 3.1-16 การหล่อของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานไม่ได้เสริมแผ่นยางกันกระแทก

รูปที่ 3.1-17 การหล่อของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเสริมแผ่นยางกันกระแทก

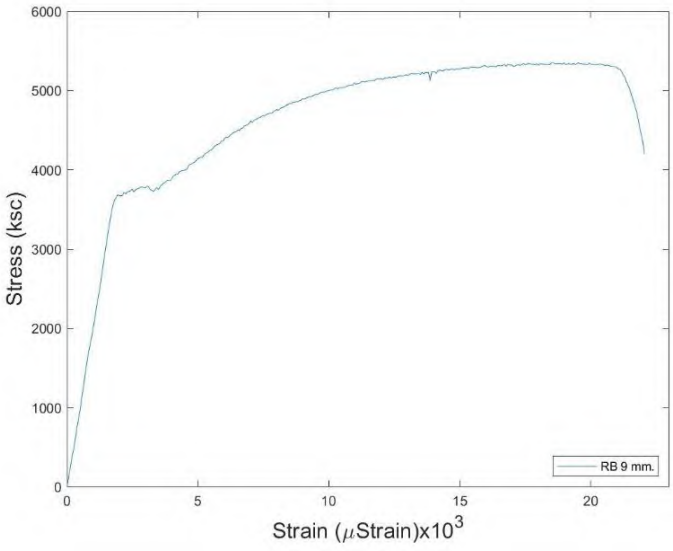
3.1.8. การทดสอบกำลังวัสดุที่ใช้ก่อสร้างแท่นคอนกรีตและบ่ารองรับรอยต่อสำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

3.1.8.1. คุณสมบัติด้านกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบกำลังรับโมเมนต์ดัดและแรงอัดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กจะใช้เหล็กยืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร และเหล็กปลอกจะใช้เหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ซึ่งคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงดึงของเหล็กทั้งสองชนิดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1-18 และ รูปที่ 3.1-19



รูปที่ 3.1-18 กำลังรับแรงดึงของเหล็กกลมขนาด 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.1-19 กำลังรับแรงดึงของเหล็กกลมขนาด 9 มิลลิเมตร

3.1.8.2. คุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต จะใช้คอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร มาทดสอบเพื่อหาค่าของกำลังรับแรงอัดซึ่งผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1-7

ตารางที่ 3.1-7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพื้นสะพาน

ตัวอย่างทดสอบ	กำลังรับแรงอัด (ksc)
1	179.6
2	192.9
3	194.83
เฉลี่ย	189.11

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เทบ่ารองรับรอยต่อ จะใช้ Non-shrink หล่อเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร มาทดสอบเพื่อหาค่าของกำลังรับแรงอัดซึ่งผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1-8

ตารางที่ 3.1-8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต Non-shrink ที่ใช้เทบ่ารองรับรอยต่อไม่ได้เสริมแผ่นยางกันกระแทก

ตัวอย่างทดสอบ	กำลังรับแรงอัด (ksc)
1	307.8
2	321.9
3	309.6
เฉลี่ย	313.3

ตารางที่ 3.1-9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต Non-shrink ที่ใช้เทบ่ารองรับรอยต่อเสริมแผ่นยางกันกระแทก

ตัวอย่างทดสอบ	กำลังรับแรงอัด (ksc)
1	315.3
2	303.8
3	304.5
เฉลี่ย	307.9

3.1.9. ขั้นตอนการทดสอบ

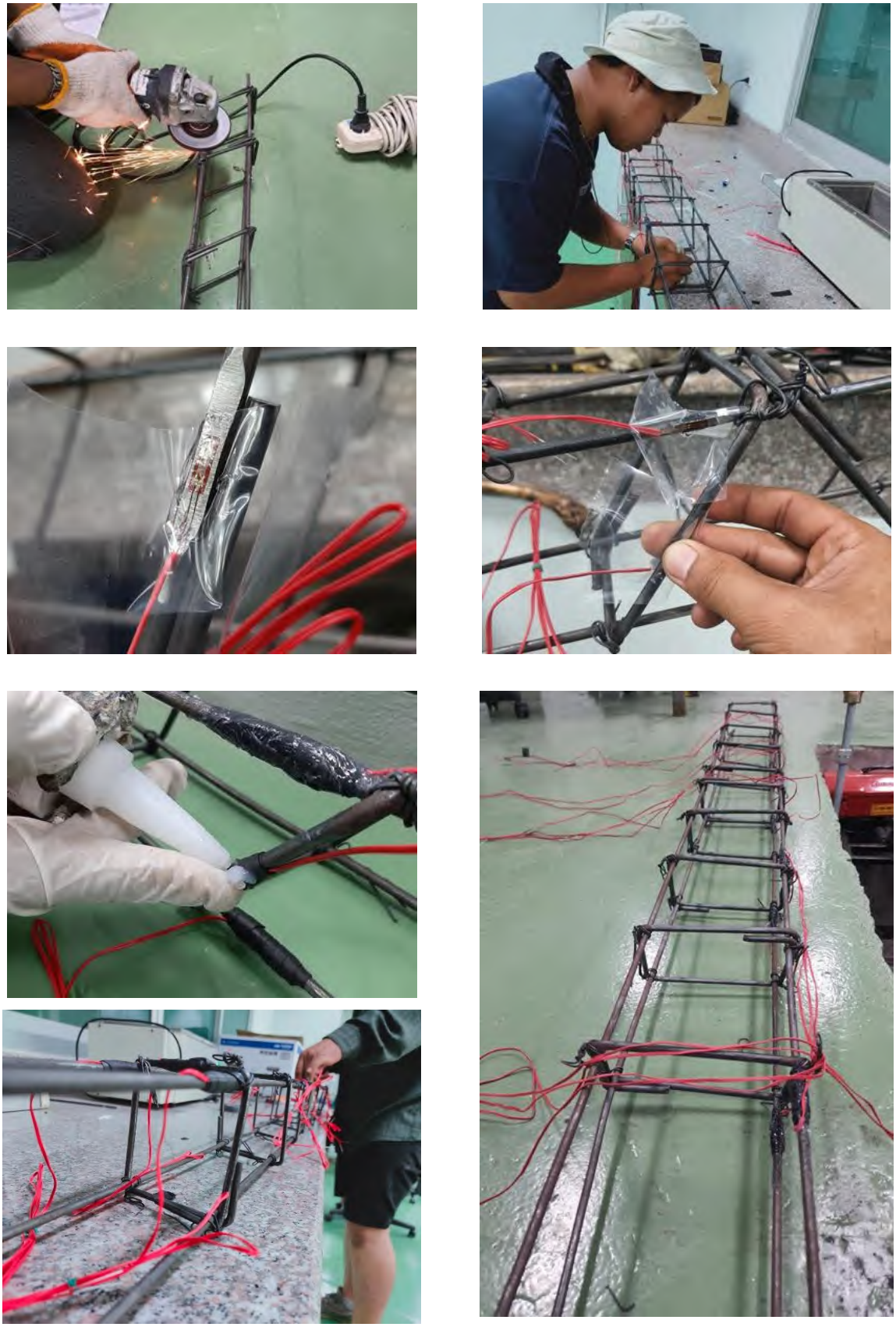
การทดสอบรอยต่อพื้นสะพานแบบสถิตจะกระทำภายใต้โครงเหล็กทดสอบ พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด และบันทึก การทดสอบโครงสร้างจะดำเนินการในสามส่วนหลักคือ การติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมและผิวคอนกรีต การติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ภายนอกพร้อมเครื่องมือวัดแรงกระทำ และการทำการทดสอบ รายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

3.1.9.1. การติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริมและคอนกรีต

การติดตั้งเกจวัดความเครียด (Strain Gauge) ที่เหล็กเสริมตามแนวยาวและเหล็กปลอกตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในแบบติดตั้ง จะต้องทำการเจียร์ ผิวเหล็กให้เรียบ สะอาดก่อนติดเกจวัดความเครียดลงบนผิวเหล็ก ด้วยกาวไซยาโนอะครีเลต และหุ้มด้วยเทปกันน้ำและกันกระแทกก่อนการเทคอนกรีต ตัวอย่างการติดตั้งเกจวัดความเครียดได้แสดงในรูปที่ 3.1-20

การติดตั้งเกจวัดความเครียด (Strain Gauge) ที่เหล็กยืนและเหล็กปลอกตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในแบบติดตั้งมีขั้นตอนดังนี้

1. ในการติดตั้งเกจวัดความเครียดบนเหล็กเสริม ให้ใช้เครื่องเจียร์ เจียร์ส่วนที่เป็นปล้องของเหล็กข้ออ้อยออกในบริเวณที่จะทำการติดตั้งเกจวัดความเครียด
2. ใช้กระดาษทรายชนิดละเอียดขัดผิวเหล็กเสริมที่จะติดเกจวัดความเครียดให้เรียบ
3. ทำความสะอาดบริเวณที่จะติดเกจวัดความเครียดด้วยสารอะซิโตน (Acetone)
4. ใช้กาวไซยาโนอะครีเลต (Cyano-Acrylate Adhesive) ชนิด CC-33A ยี่ห้อ Kyowa ทาลงบนตัวเกจวัดความเครียด
5. จากนั้นทำการติดเกจวัดความเครียดลงบนตำแหน่งที่ต้องการ โดยใช้แผ่นพลาสาติกกดทับเกจวัดความเครียดไว้ประมาณ 20 วินาทีเพื่อใช้กาวแห้งตัว
6. หุ้มเกจวัดความเครียดด้วยเทปกันน้ำและกันกระแทก Vinyl Mastic Tape (VM Tape) เพื่อป้องกันความเสียหายในระหว่างเทคอนกรีต
7. เมื่อติดตั้งเกจวัดความเครียดบนเหล็กเสริมเสร็จแล้ว ทำการประกอบแบบหล่อ โดยต้องมีการค้ำยันเหล็กยืนที่ผูกไว้แล้วเพื่อป้องกันการเอียงของเหล็กยืน ทำการทาน้ำมันและประกอบแบบหล่อบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานด้านข้าง โดยยึดให้มั่นคงและค้ำยันให้แข็งแรง รูปตัวอย่างการติดตั้งเกจวัดความเครียดได้แสดงไว้รูปที่ 3.1-21



รูปที่ 3.1-20 การติดตั้งเกจวัดความเครียดในเหล็กเสริม

การติดตั้งเกจวัดความเครียดที่ผิวคอนกรีต ทำโดยการเตรียมผิวคอนกรีตให้เรียบและสะอาดก่อนทำการติดที่ผิวคอนกรีต ตัวอย่างการติดตั้งเกจวัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1-21

รูปที่ 3.1-21 การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดบนผิวคอนกรีต

3.1.9.2. การติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ภายนอก

การติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างภายนอกจะใช้อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer) โดยการติดตั้งจะต้องทำการยึดอุปกรณ์ดังกล่าวเข้ากับจุดอ้างอิงให้แน่นหนา และนำปลายของอุปกรณ์สัมผัสกับตำแหน่งของโครงสร้างที่ต้องการวัดการเสียรูป หรือเคลื่อนที่ โดยการติดตั้งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1-22

รูปที่ 3.1-22 การติดตั้งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัวหรือการเสียรูปของโครงสร้าง

3.1.10. การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ทราบความสามารถในการรับแรงกระทำรวมถึงรูปแบบการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความยาวที่แตกต่างกัน ดังนั้นการทดสอบบ่ารอยต่อจะเน้นหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสียรูปของบ่ารอยต่อ โดยขั้นตอนการทดสอบโดยสังเขปมีดังนี้

1. ติดตั้งพื้นสะพานเข้ากับพื้นเอียงดังแสดงในรูปที่ 3.1-5 และนำพื้นสะพานมาเตรียมทดสอบในโครงเหล็กสำหรับการทดสอบโดยใช้เครนยกตัวอย่างทดสอบเข้ามาวางในโครงทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.1-4
2. ติดตั้งเกจวัดแรง (Load Cell) คานเหล็กกระจายแรง และ กระบอกไฮดรอลิกซ์ เข้ากับโครงทดสอบ
3. ทำการทาสีขาวที่ตัวอย่างทดสอบเพื่อช่วยให้สามารถสังเกตเห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจนขึ้น
4. ติดตั้งเกจวัดการเคลื่อนตัว และต่ออุปกรณ์ตรวจวัดทั้งหมดเข้ากับอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Logger)
5. เริ่มทำการทดสอบในรูปแบบของการควบคุมแรง (Force Controlled Test Scheme) โดยจะทำการให้แรงทีละน้อย โดยเพิ่มแรงกระทำครั้งละ 5 ตัน โดยแต่ละขั้นตอนที่เพิ่มแรง จะทำการถ่ายรูปวาดรอยแตก บันทึกภาพ และบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัดทุกตำแหน่ง ก่อนที่จะเพิ่มแรงในขั้นตอนต่อไป ทำการทดสอบไปจนกว่าบ่ารองรับรอยต่อจะไม่สามารถรับแรงกระทำได้
6. หลังจากที่บ่ารอยต่อเกิดความเสียหาย จนวิบัติ ให้ทำการบันทึกภาพการวิบัติ และสรุปผลรูปแบบการวิบัติเพื่อสรุปผลการทดสอบต่อไป

ทดสอบโดยการถ่ายรูปขั้นตอนการให้แรงกระทำ รอยแตกร้าว และพฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น รวมถึงบันทึกผลระหว่างการทดสอบโดยละเอียด เช่น การเคลื่อนที่ของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานตัวอย่างจาก LVDT เกจวัดความเครียดในเหล็กเสริม รอยแตกร้าว พฤติกรรมการวิบัติ เป็นต้น ตัวอย่างการติดตั้งบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานบนฐานรองรับที่กำหนดไว้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1-23 และตัวอย่างการติดตั้งบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานทดสอบบนฐานรองรับได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1-24

รูปที่ 3.1-23 การติดตั้งบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานตัวอย่างในโครงเหล็กบนฐานรองรับสำหรับการทดสอบ

รูปที่ 3.1-24 ตัวอย่างการติดตั้งบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานทดสอบบนฐานรองรับ

บทที่ 4 ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรับแรงกระทำแบบสถิต

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานทั้ง 6 รูปแบบ ภายใต้แรงกระทำแบบสถิต ทั้งที่ไม่ได้เสริมและที่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกตามรายละเอียดในบทที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดสอบพร้อมทั้งจัดทำแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ประกอบผลการทดสอบเพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมการรับแรงของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานได้ชัดเจนขึ้น จากนั้นได้นำเสนอแนวทางการคัดเลือกรูปแบบของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่จะนำไปทดสอบภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร ซึ่งจำลองแรงกระทำซ้ำและแรงกระแทกจากน้ำหนักล้อรถบรรทุก เพื่อประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุดต่อไป

4.1 การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

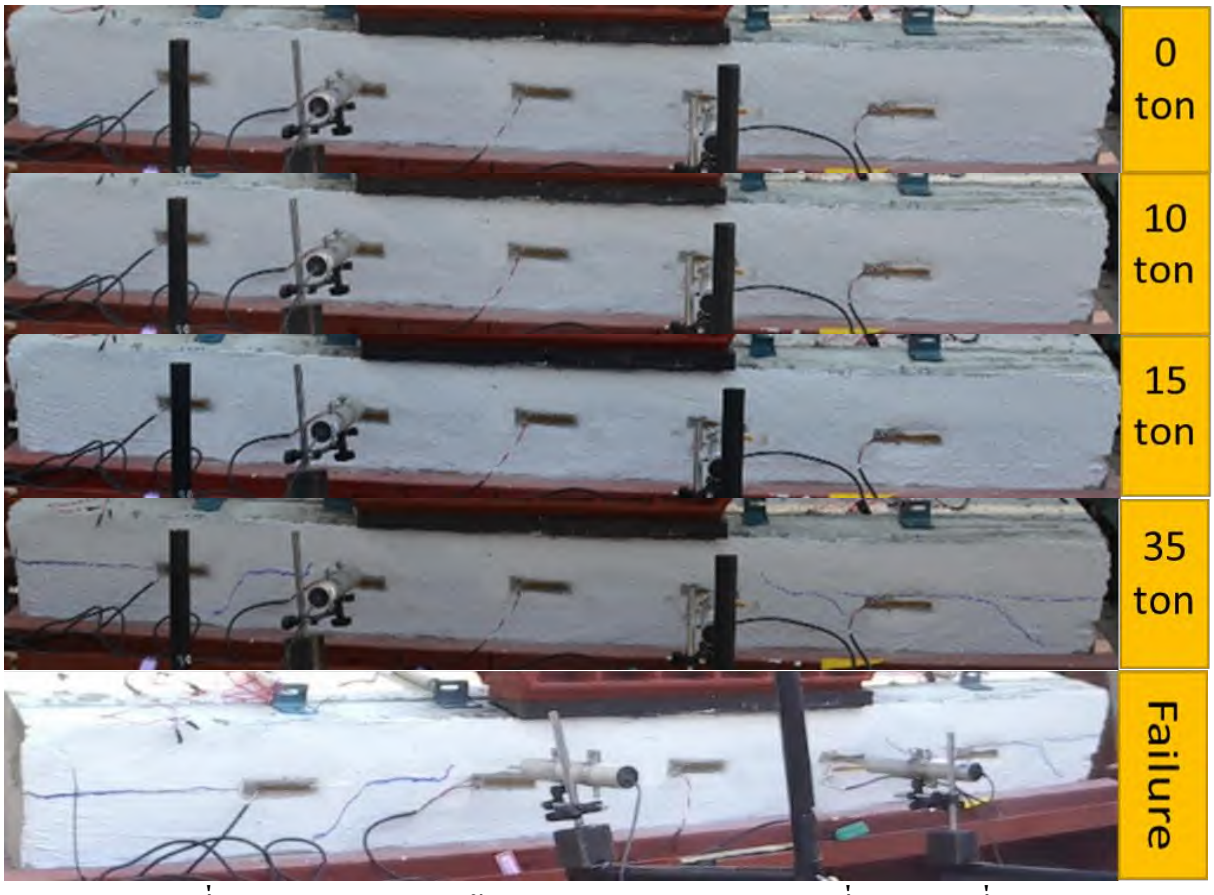
4.1.1. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 1 (B-01-SL)

บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 1 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 150 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีขนาดเล็กที่สุดในการทดสอบนี้

4.1.1.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

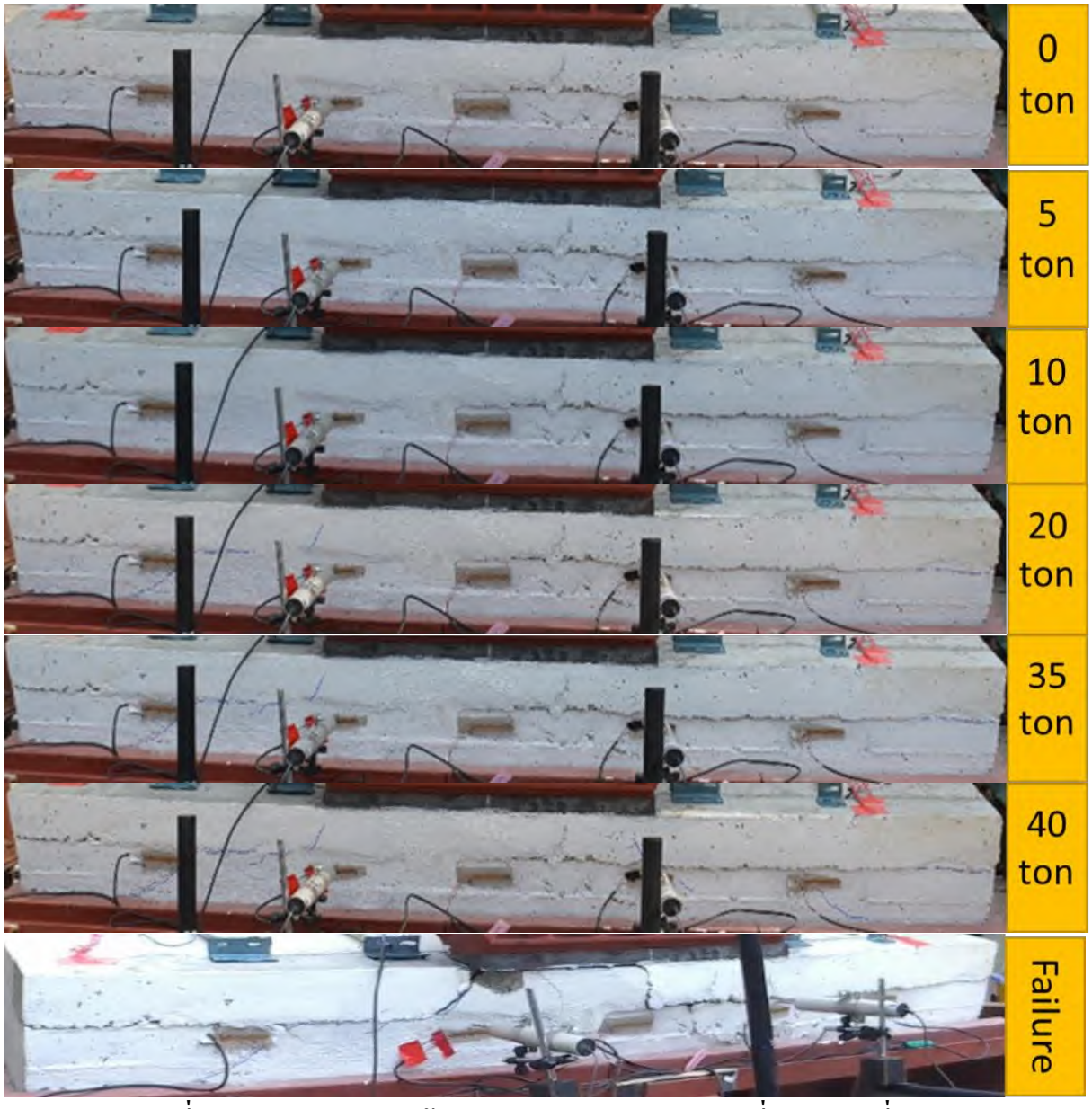
ในการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย โดยใช้การทดสอบแบบควบคุมระดับแรง (Force controlled scheme) โดยจะทำการเพิ่มแรงกดทีละประมาณ 5 ตัน ในแต่ละระดับของแรงกด จะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าว โดยรูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1

ตัวอย่างที่ 1 (B-01-SL1) และ ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-1 และ รูปที่ 4.1-2



รูปที่ 4.1-1 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 (B-01-SL1)

จากรูปที่ 4.1-1 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน และ 10 ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 15 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวซึ่งเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และรอยร้าวที่ทำมุมประมาณ 90 องศาบริเวณบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำ รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการขยายขนาดและความกว้าง และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 37 ตัน บ่ารองรับรอยต่อได้แตกและหลุดออกจากแผ่นพื้น ทำให้บ่ารองรับรอยต่อไม่สามารถรับแรงกระทำได้ต่อไป และเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.1-2



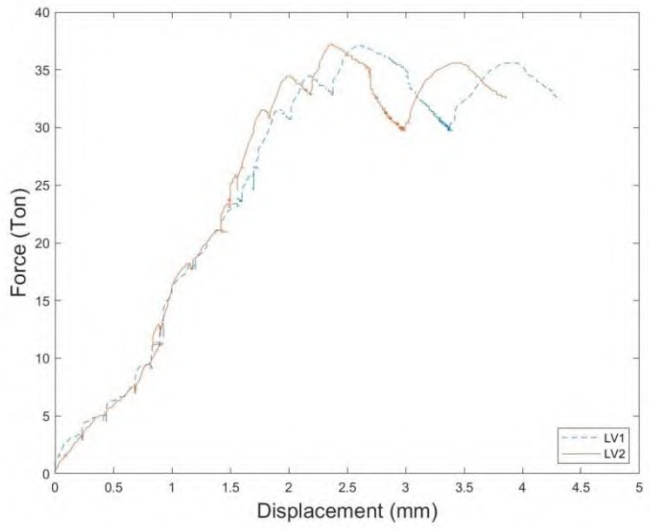
รูปที่ 4.1-2 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2)

จากรูปที่ 4.1-2 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน และ 10 ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 15 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวเพียงเล็กน้อยที่บ่ารองรับรอยต่อ และพบรอยร้าวบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อด้วย เมื่อเพิ่มแรงกระทำที่ระดับ 20 ตัน จะพบรอยร้าวซึ่งเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และรอยร้าวที่ทำมุมประมาณ 90 องศาบริเวณบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำ รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการขยายขนาดและความกว้าง และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 40 ตัน บ่า

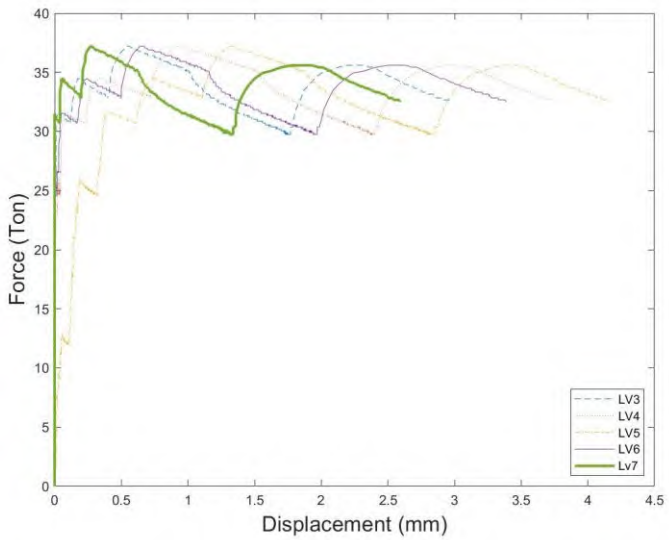
รองรับรอยต่อได้แตกและหลุดออกจากแผ่นพื้น ทำให้บ่ารองรับรอยต่อไม่สามารถรับแรงกระทำได้ต่อไป และเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.1-2

4.1.1.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1(B-01-SL1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-3 และรูปที่ 4.1-4



รูปที่ 4.1-3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 (B-01-SL1)

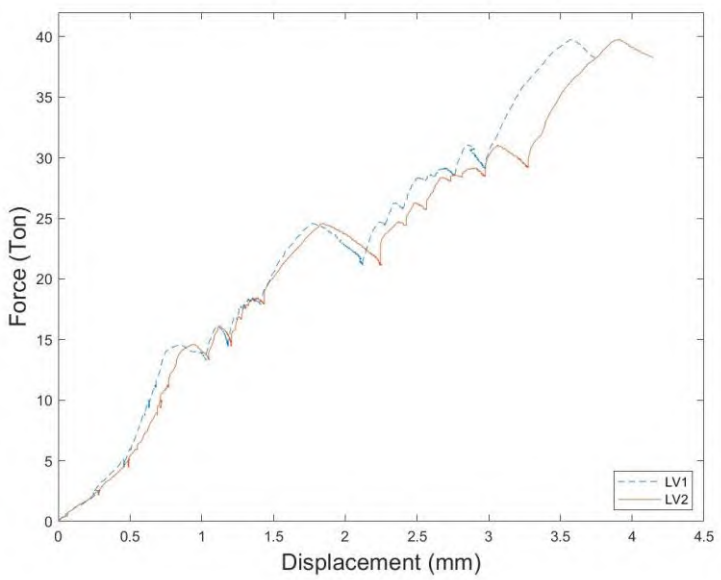


รูปที่ 4.1-4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 (B-01-SL1)

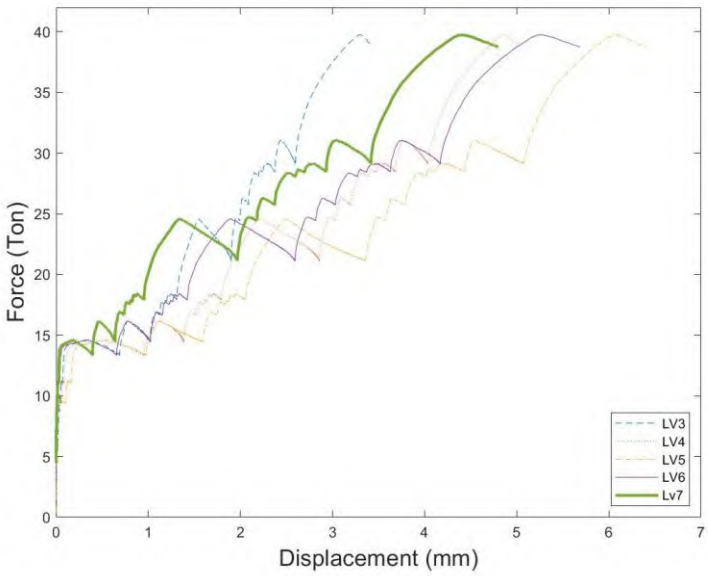
จากรูปที่ 4.1-3 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง แต่มีความชันของความสัมพันธ์ไม่คงที่เนื่องจากการขยับเข้าที่ของเฟรมและระบบยึดรั้งของโครงทดสอบและเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 15 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 37 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 37 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

จากรูปที่ 4.1-4 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 37 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-5 และรูปที่ 4.1-6



รูปที่ 4.1-5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2)



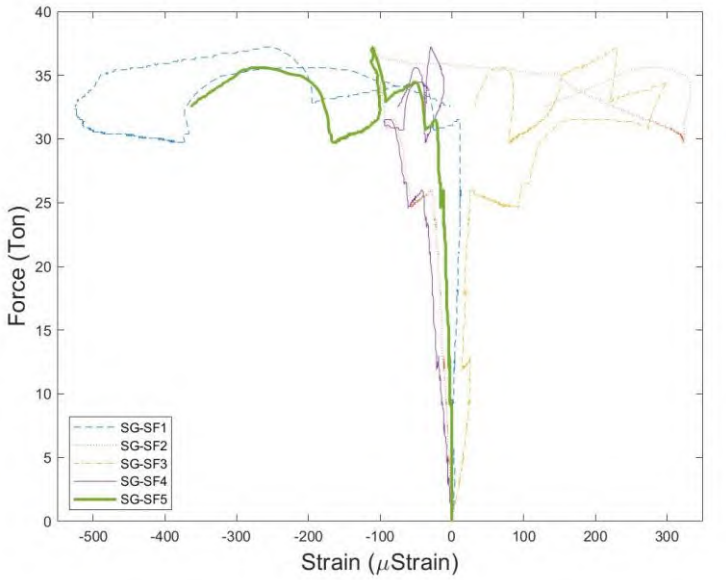
รูปที่ 4.1-6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2)

รูปที่ 4.1-5 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรงตลอดช่วง เมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 15 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และลดลงมากขึ้นที่ระดับแรงกดประมาณ 25 ตัน และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 40 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 40 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

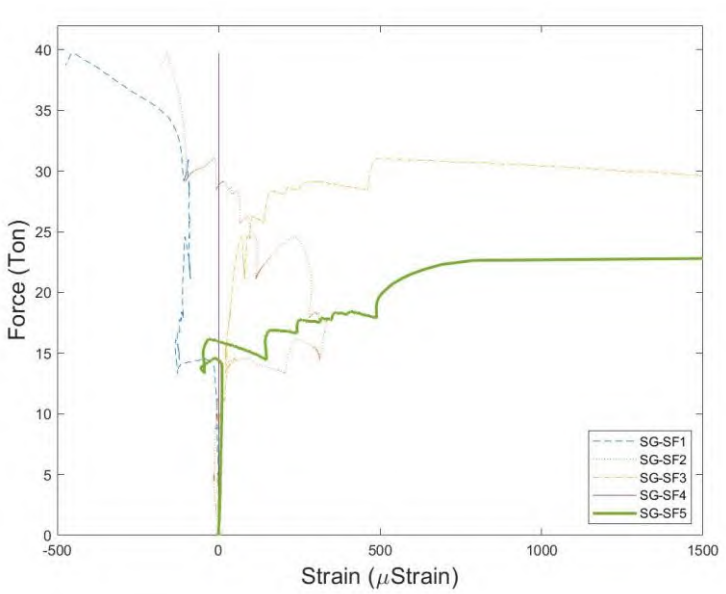
จากรูปที่ 4.1-6 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและมีความชันมากถึงระดับแรงกด 15 ตัน และเมื่อถึงระดับ 15 ตันแล้วระดับความชันของความสัมพันธ์ได้ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารอยต่อด้านบนเริ่มเกิดการแยกออกจากกันและมีความกว้างมากขึ้นตามระดับของแรงกด เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 40 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

4.1.1.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 (B-01-SL2) และ 2 (B-01-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-7 และ รูปที่ 4.1-8



รูปที่ 4.1-7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 (B-01-SL1)

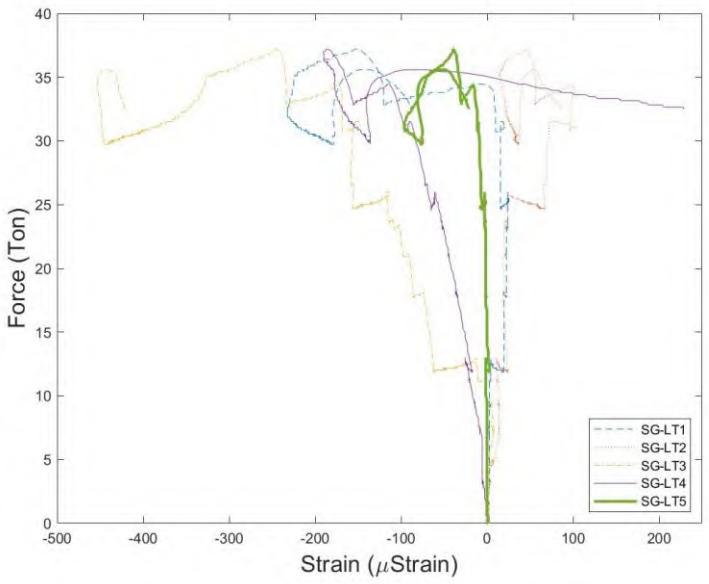


รูปที่ 4.1-8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2)

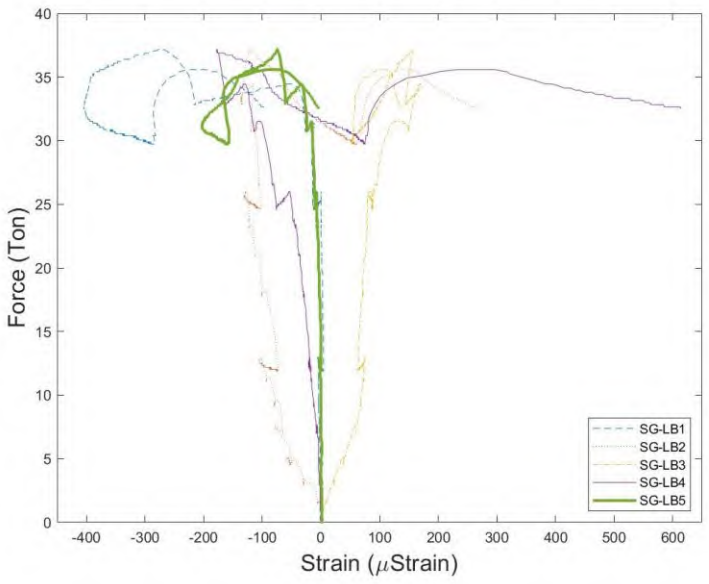
จากรูปที่ 4.1-7 และรูปที่ 4.1-8 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.1.1.4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

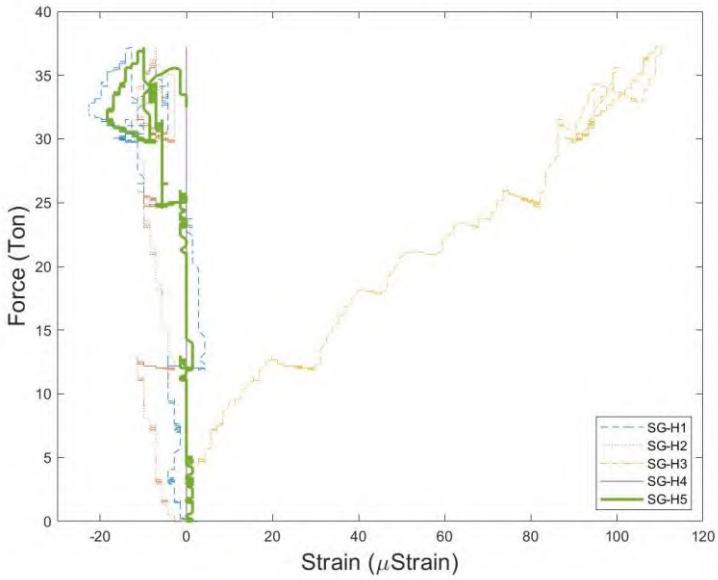
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1(B-01-SL1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-9 รูปที่ 4.1-10 และรูปที่ 4.1-11



รูปที่ 4.1-9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 (B-01-SL1)



รูปที่ 4.1-10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 (B-01-SL1)

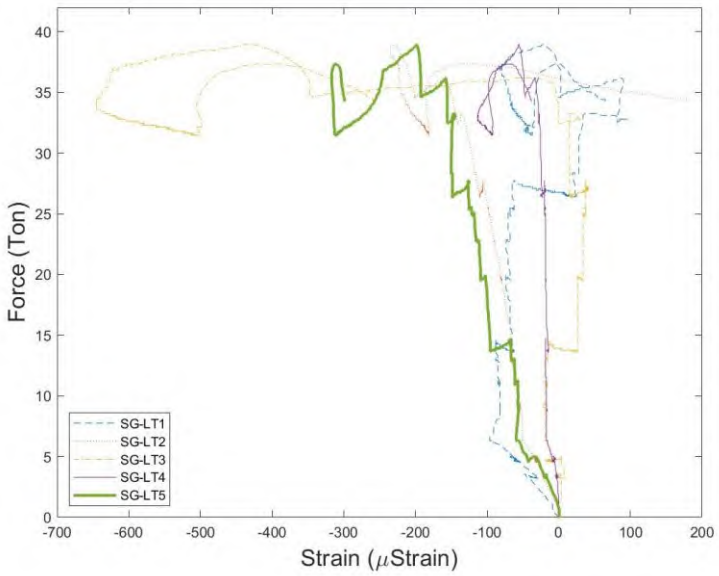


รูปที่ 4.1-11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 (B-01-SL1)

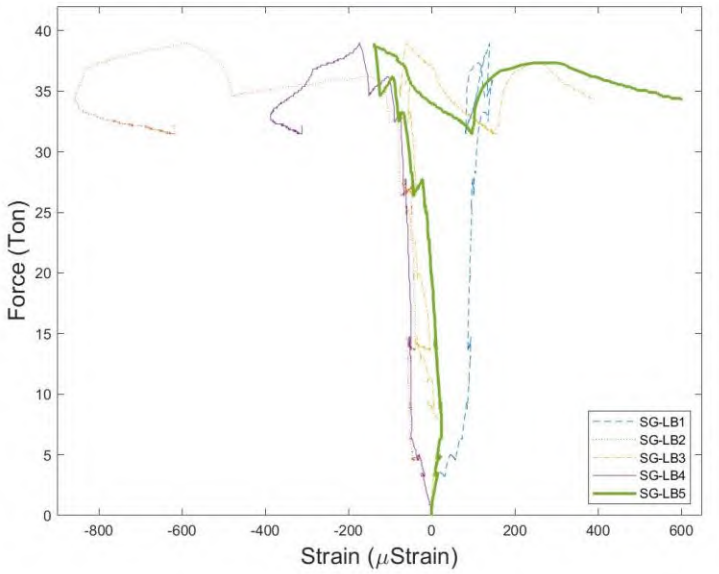
จากรูปที่ 4.1-9 และ รูปที่ 4.1-10 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณกึ่งกลางบ่ารองรับรอยต่อของคอนกรีต (SG-LT3 และ SG-LB5) มีค่าสูงสุด โดยเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.1-11 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

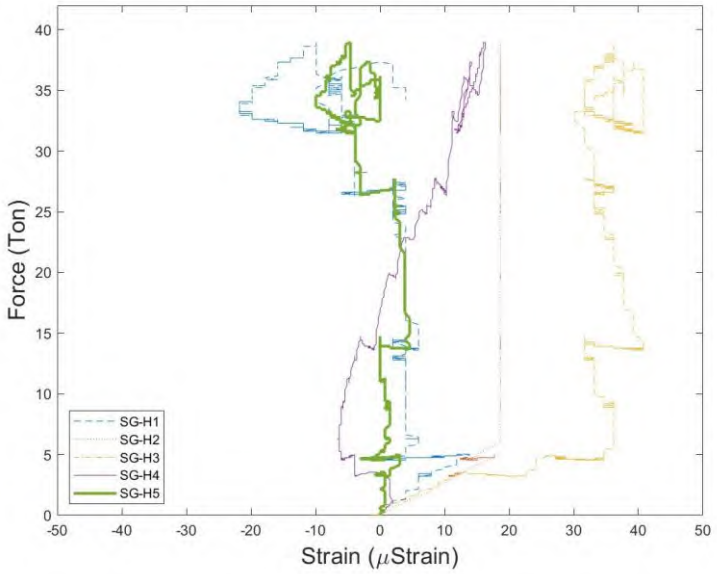
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-12 รูปที่ 4.1-13 และรูปที่ 4.1-14



รูปที่ 4.1-12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2)



รูปที่ 4.1-13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2)



รูปที่ 4.1-14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2)

จากรูปที่ 4.1-12 และรูปที่ 4.1-13 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณโดยรวมจะมีค่าน้อยและมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของแรงกระทำ โดยเหล็กเสริมส่วนใหญ่ที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.1-14 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3 และ SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

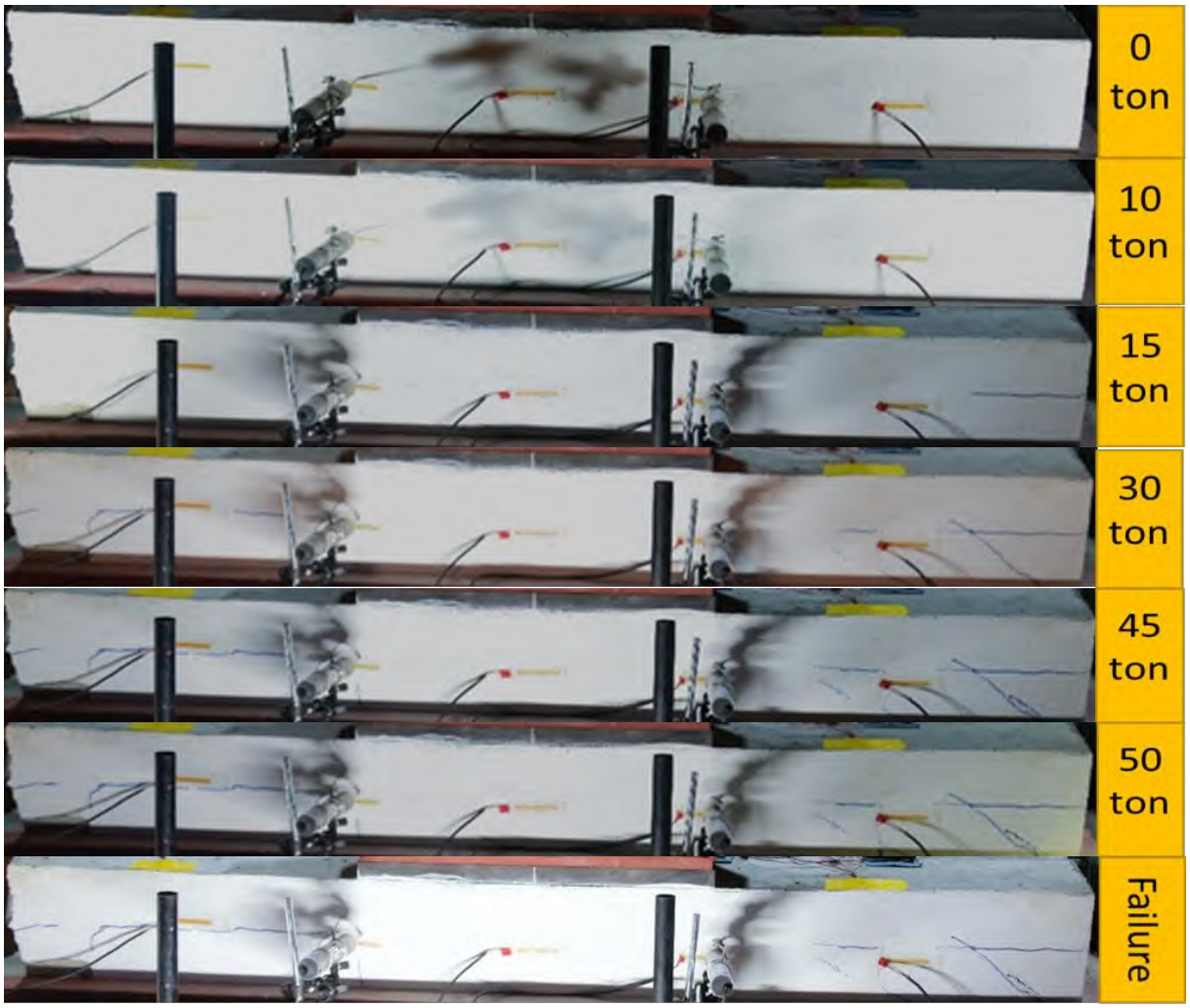
4.1.2. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 2 (B-02-SL)

บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 2 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 150 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็น

บ่ารองรับรอยต่อที่มีการเพิ่มความกว้างของบ่าให้มีความกว้างมากขึ้น 50 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับรอยต่อรูปแบบที่ 1

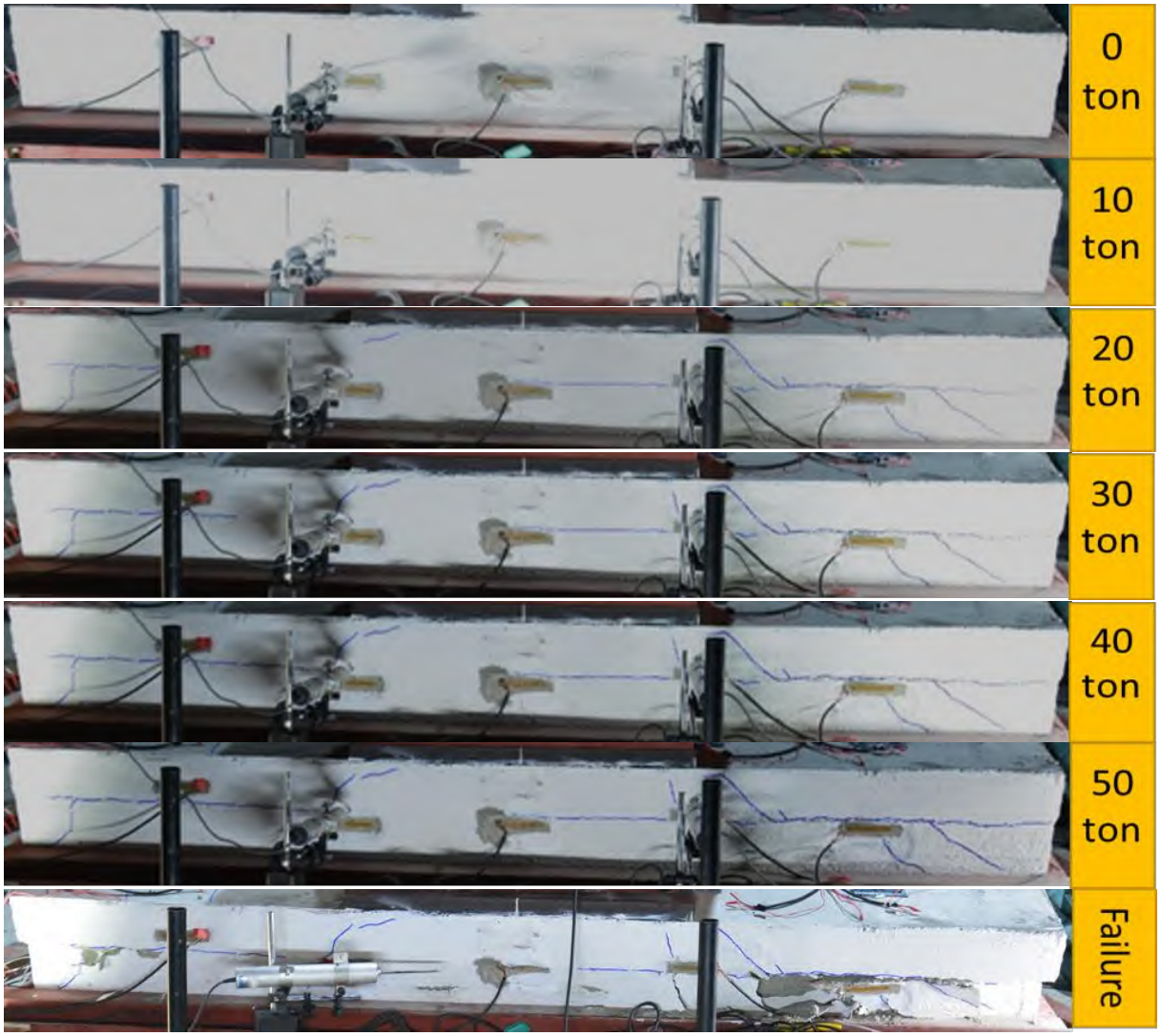
4.1.2.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย และจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าวในแต่ละระดับของแรงกด รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 (B-02-SL1 และ B-02-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-15 และรูปที่ 4.1-16



รูปที่ 4.1-15 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 1 (B-02-SL1)

จากรูปที่ 4.1-15 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน และ 10 ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 15 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวกระจายไปทั่วบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้น รอยร้าวบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ จะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มแรงกระทำไปที่ 25 ตัน รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการเพิ่มจำนวน ขยายขนาดและความกว้างมากขึ้น และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 40 ตัน รอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้น และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 52 ตัน เนื่องจากถึงขีดจำกัดของระบบโครงสร้างสำหรับการทดสอบ

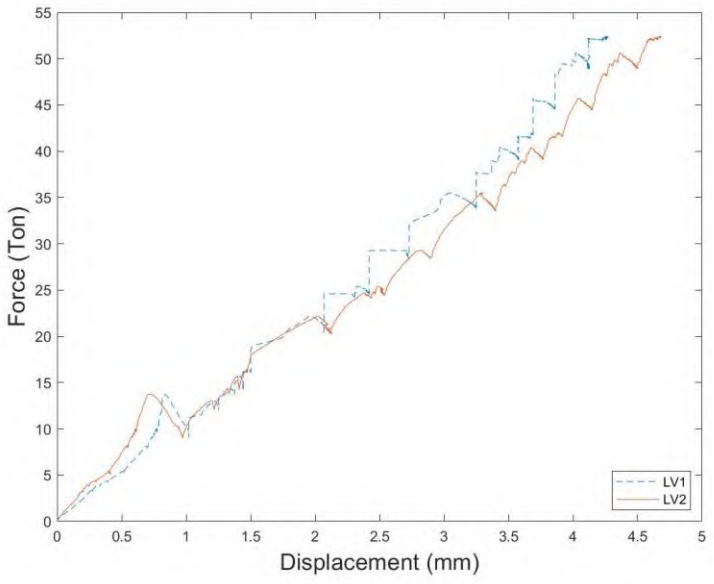


รูปที่ 4.1-16 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2 (B-02-SL2)

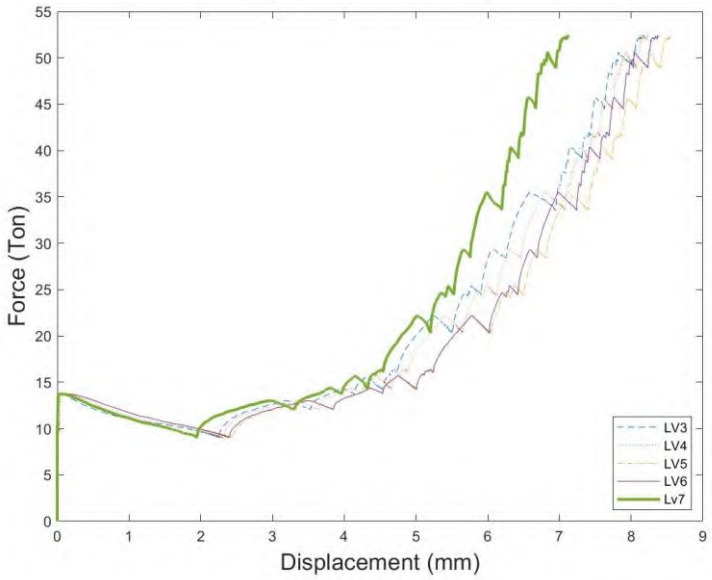
จากรูปที่ 4.1-16 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน และ 10 ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ พื้นที่ด้านหน้าเล็กน้อย เมื่อเพิ่มแรงกระทำไปที่ระดับ 30 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวกระจายไปทั่วบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้น รอยร้าวบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 40 ตัน รอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้น และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 55 ตัน และแผ่นพื้นเกิดการหลุดออกและเกิดการวิบัติที่แรงกระทำประมาณ 55 ตัน

4.1.2.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปและ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 1 (B-02-SL1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-17 และรูปที่ 4.1-18



รูปที่ 4.1-17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 1 (B-02-SL1)

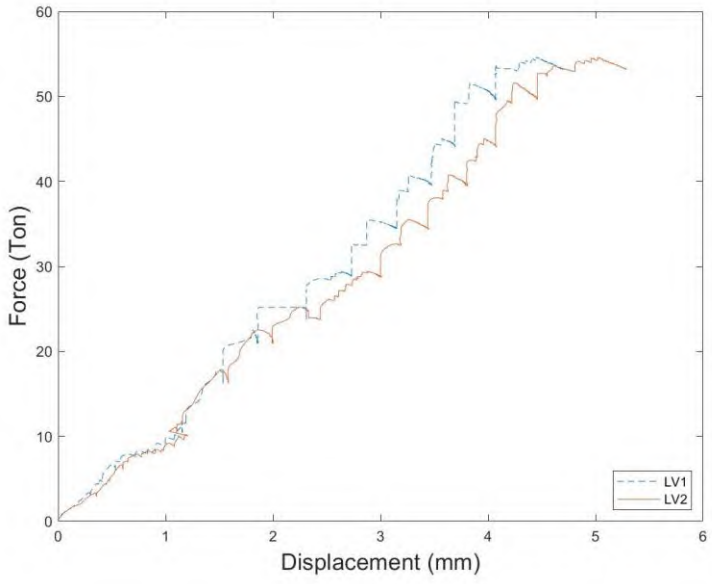


รูปที่ 4.1-18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 1 (B-02-SL1)

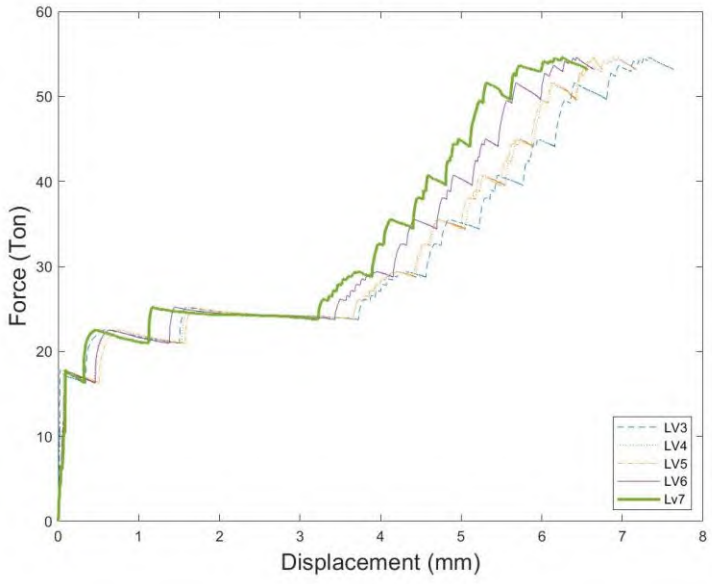
จากรูปที่ 4.1-17 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง เมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 15 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ การเสียรูปของแผ่นพื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกระทำและมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 52 ตัน เนื่องจากถึงขีดจำกัดของระบบโครงสร้างสำหรับการทดสอบ

จากรูปที่ 4.1-18 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อแรงกระทำถึง 15 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนเกิดการแตกร้าวและมีความกว้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 52 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมาก แต่แผ่นพื้นไม่เกิดการหลุดออก และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจาก ถึงขีดจำกัดของระบบโครงสร้างสำหรับการทดสอบ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2(B-02-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-19 และรูปที่ 4.1-20



รูปที่ 4.1-19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2 (B-01-SL2)



รูปที่ 4.1-20 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2 (B-02-SL2)

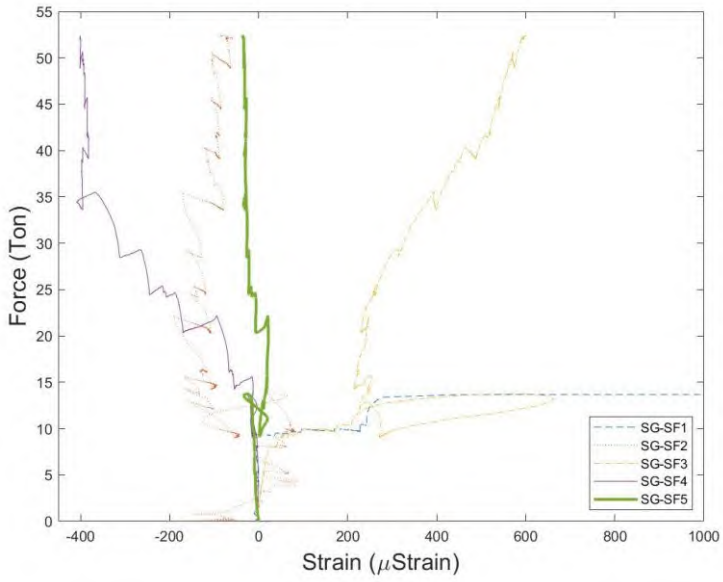
จากรูปที่ 4.1-19 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในเกือบจะเป็นเส้นตรงตลอดช่วง ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อยเมื่อเกิดการแตกร้าวขึ้น การเสียรูปของแผ่นพื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกระทำและมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย และการ

ทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 55 ตัน และแผ่นพื้นเกิดการหลุดออกและเกิดการวิบัติที่แรงกระทำประมาณ 55 ตัน

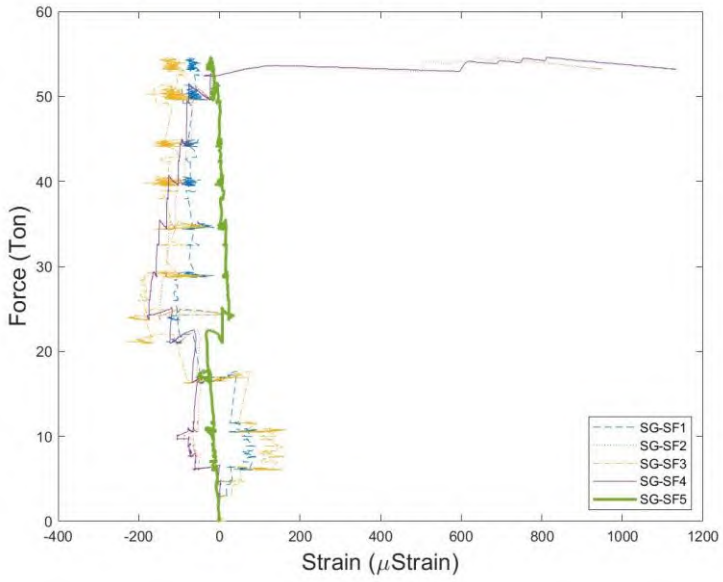
จากรูปที่ 4.1-20 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อแรงกระทำประมาณ 15 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนเกิดการแตกร้าวและมีความกว้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 55 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมาก และแผ่นพื้นเกิดการหลุดออกและเกิดการวิบัติที่แรงกระทำประมาณ 55 ตัน

4.1.2.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 1 (B-02-SL2) และตัวอย่างที่ 2(B-02-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-21 และรูปที่ 4.1-22



รูปที่ 4.1-21 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต บนบ่ารองรับรอยต่อ รูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 1 (B-02-SL1)

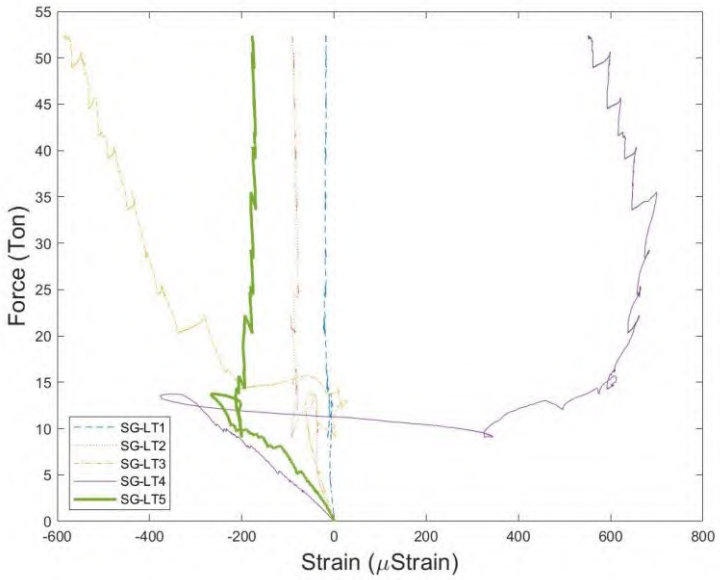


รูปที่ 4.1-22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2 (B-02-SL2)

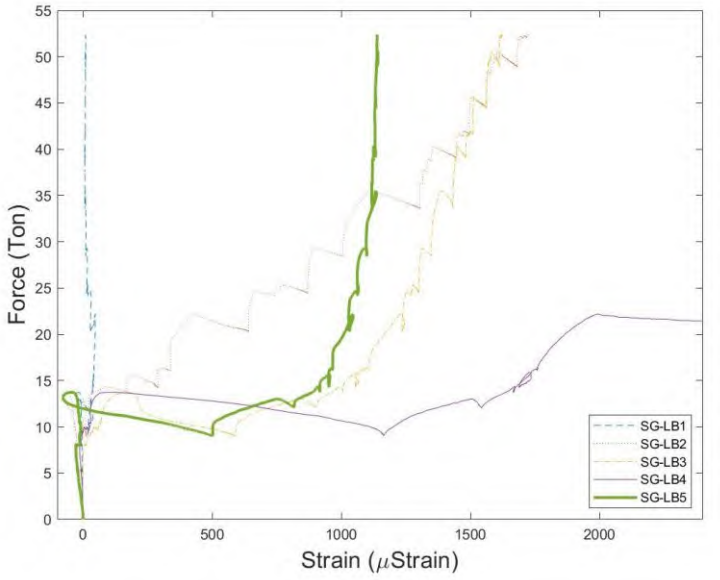
จากรูปที่ 4.1-22 และรูปที่ 4.1-23 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.1.2.4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

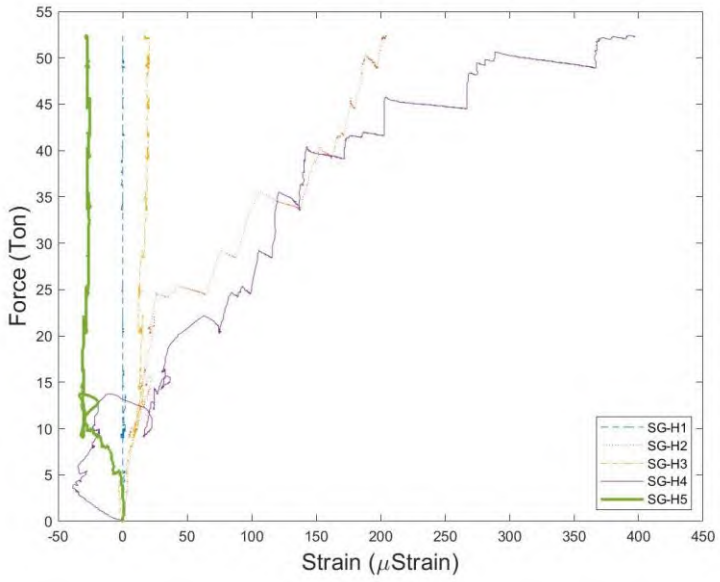
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 1(B-02-SL1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-23 รูปที่ 4.1-24 และรูปที่ 4.1-25



รูปที่ 4.1-23 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 1 (B-02-SL1)



รูปที่ 4.1-24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 1 (B-02-SL1)

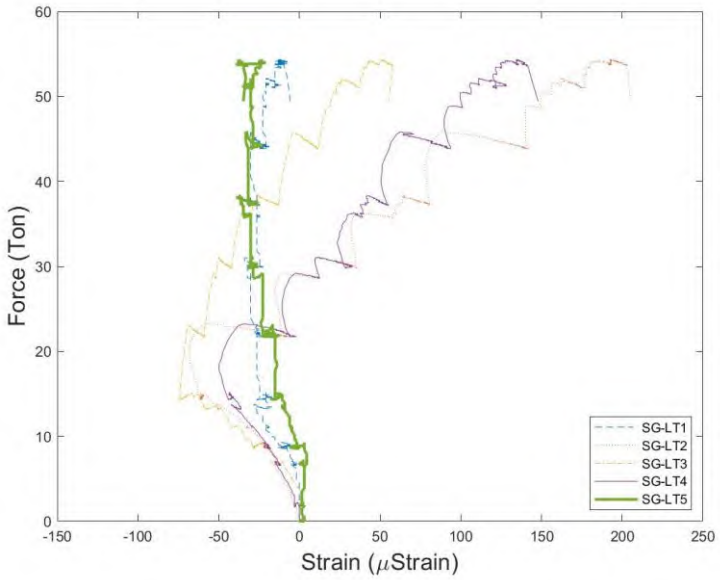


รูปที่ 4.1-25 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 1 (B-02-SL1)

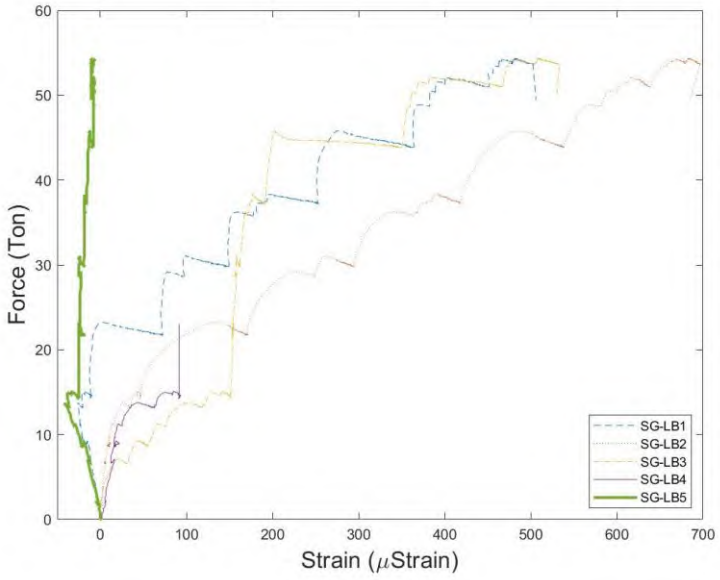
จากรูปที่ 4.1-23 และรูปที่ 4.1-24 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัด และที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.1-25 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณขอบของแรงกดจากคานถ่ายแรงบนบ่าคอนกรีต (SG-H2 และ SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

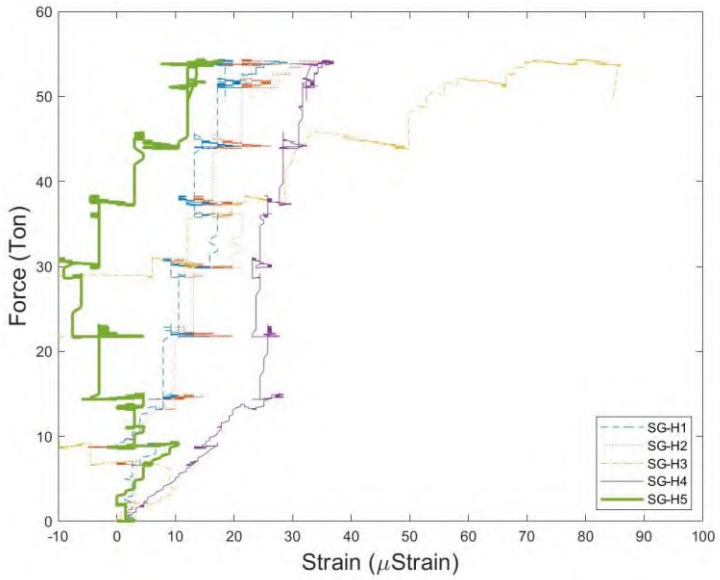
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2 (B-02-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-26 รูปที่ 4.1-27 และ รูปที่ 4.1-28



รูปที่ 4.1-26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2 (B-02-SL2)



รูปที่ 4.1-27 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2 (B-02-SL2)



รูปที่ 4.1-28 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2 (B-02-SL2)

จากรูปที่ 4.1-26 และ รูปที่ 4.1-27 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัด และที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

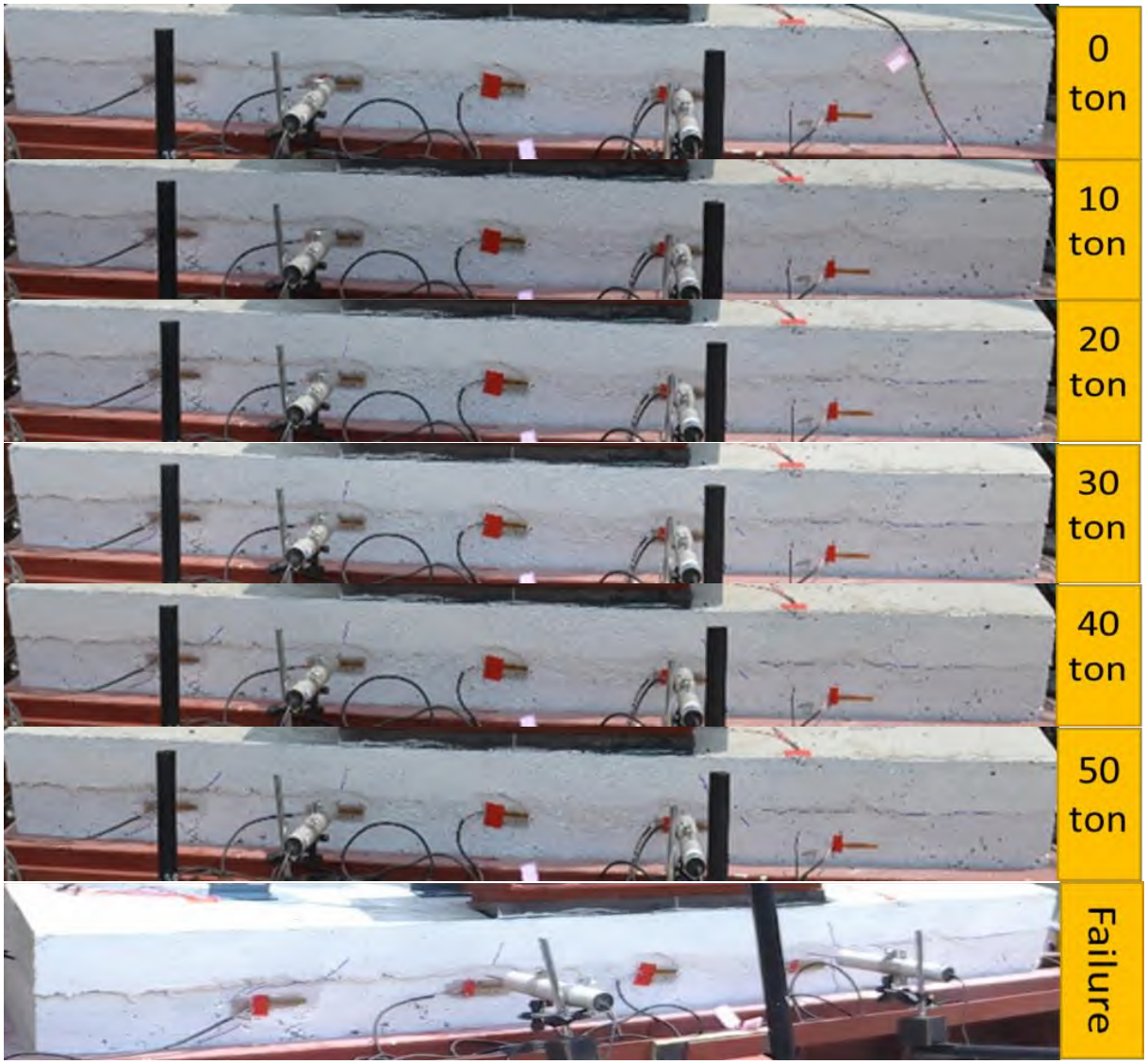
จากรูปที่ 4.1-28 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และ บ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

4.1.3. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 3 (B-03-SL)

บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 3 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 150 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีการเพิ่มความกว้างของบ่าให้มีความกว้างมากขึ้น 100 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับรอยต่อรูปแบบที่ 1

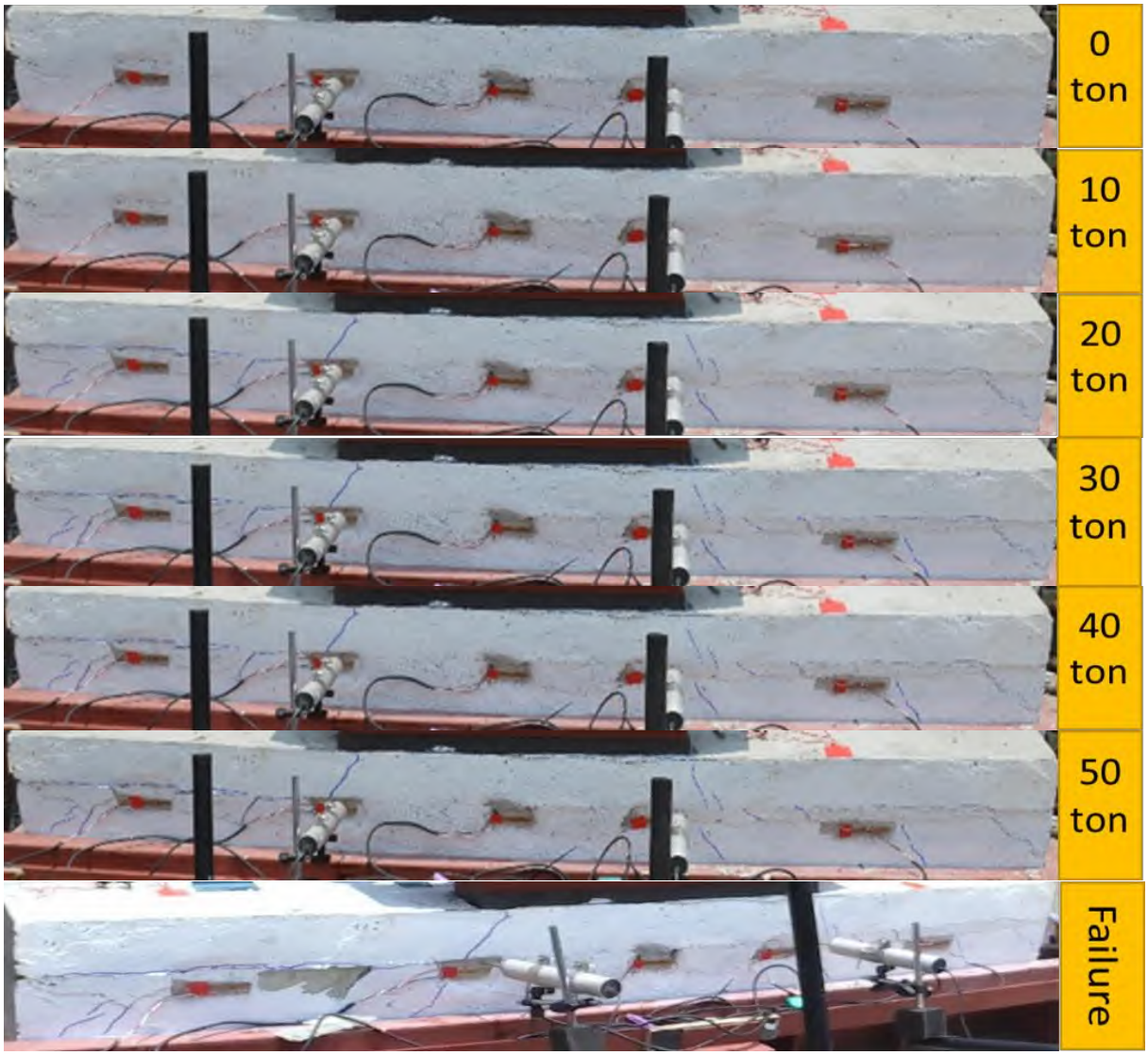
4.1.3.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย และจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าวในแต่ละระดับของแรงกด รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1(B-03-SL1 และ B-03-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-29 และรูปที่ 4.1-30



รูปที่ 4.1-29 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1 (B-03-SL1)

จากรูปที่ 4.1-29 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน และ 10 ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 15 ตัน พบรอยแตกร้าวที่มีขนาดเล็กมากบนบ่ารองรับรอยต่อ รอยแตกร้าวดังกล่าวทำมุม 90 องศา เมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 20 ตัน จึงเริ่มพบรอยแตกร้าวระหว่างบ่ารอยต่อกับแผ่นพื้นเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 40 ตัน พบรอยร้าวขนาดเล็กเพิ่มขึ้นอีก 1 รอยรอยร้าว และรอยแตกระหว่างบ่ารอยต่อที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้น และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 52 ตัน เนื่องจากถึงขีดจำกัดของระบบโครงสร้างสำหรับการทดสอบ

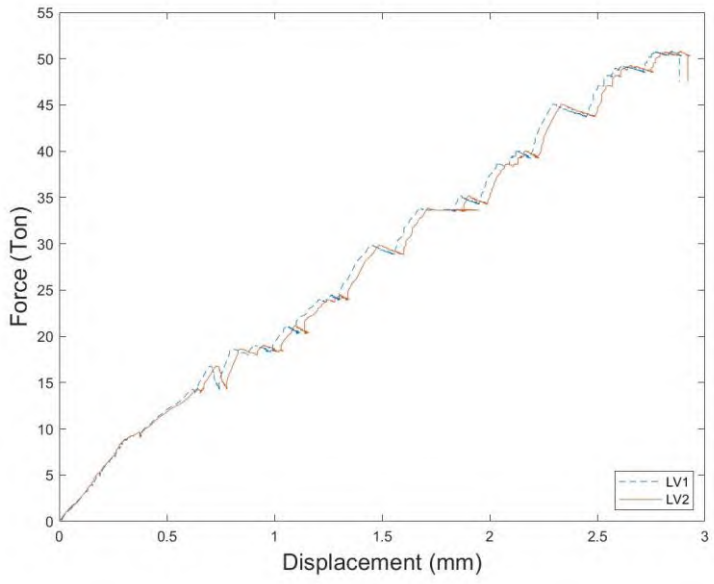


รูปที่ 4.1-30 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2 (B-03-SL2)

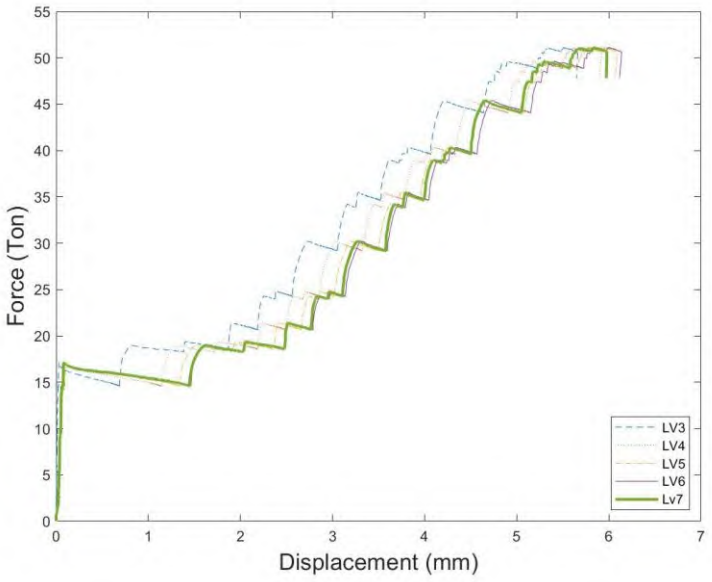
จากรูปที่ 4.1-30 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน และ 10 ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 15 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวกระจายไปทั่วบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้น รอยร้าวบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ จะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มแรงกระทำไปที่ 25 ตัน รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการเพิ่มจำนวน ขยายขนาดและความกว้างมากขึ้น และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 40 ตัน รอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้น และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 52 ตัน เนื่องจากถึงขีดจำกัดของระบบโครงสร้างสำหรับการทดสอบ

4.1.3.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1(B-03-SL1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-31 และ รูปที่ 4.1-32



รูปที่ 4.1-31 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1 (B-03-SL1)

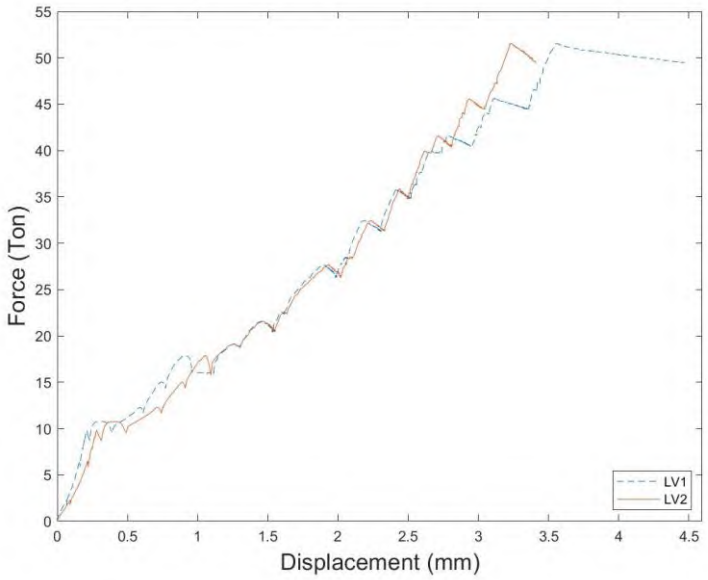


รูปที่ 4.1-32 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1 (B-03-SL1)

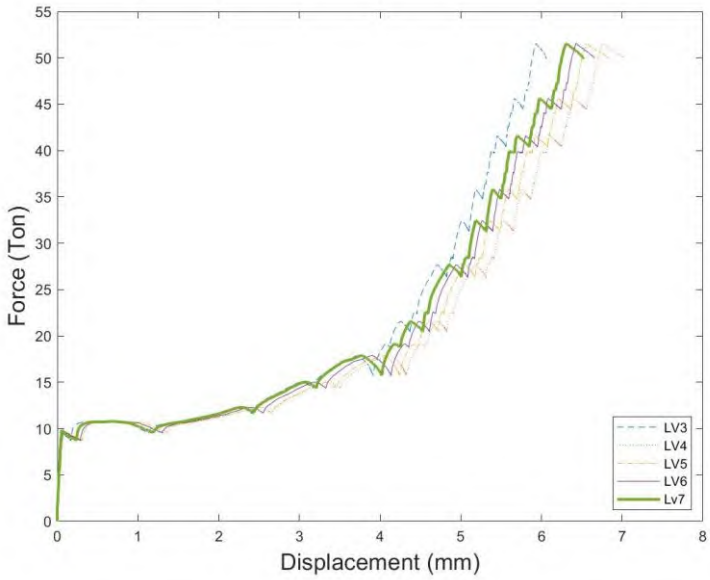
จากรูปที่ 4.1-31 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง เมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 15 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ การเสียรูปของแผ่นพื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกระทำและมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 52 ตัน เนื่องจากถึงขีดจำกัดของระบบโครงสร้างสำหรับการทดสอบ

จากรูปที่ 4.1-32 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อแรงกระทำถึง 15 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนเกิดการแตกร้าวและมีความกว้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 52 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมาก แต่แผ่นพื้นไม่เกิดการหลุดออก และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจาก ถึงขีดจำกัดของระบบโครงสร้างสำหรับการทดสอบ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2(B-03-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-33 และรูปที่ 4.1-34



รูปที่ 4.1-33 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 2 (B-03-SL2)



รูปที่ 4.1-34 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 2 (B-03-SL2)

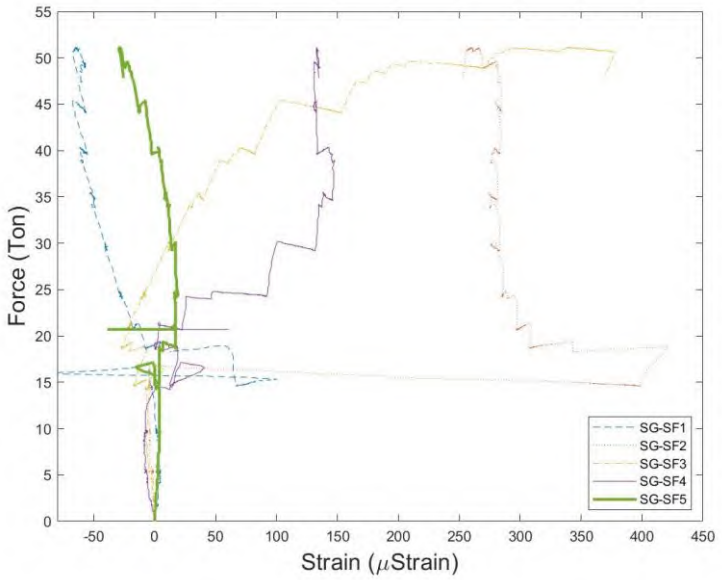
จากรูปที่ 4.1-33 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง เมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ การเสียรูปของแผ่นพื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกระทำและมีลักษณะ

เป็นเส้นโค้งเล็กน้อย และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 52 ตัน เนื่องจากถึงขีดจำกัดของระบบโครงสร้างสำหรับการทดสอบ

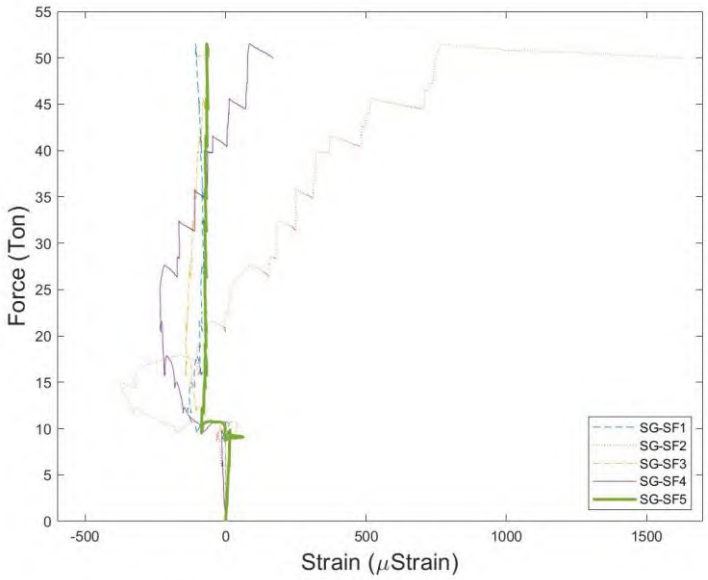
จากรูปที่ 4.1-34 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อแรงกระทำถึง 10 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนเกิดการแตกร้าวและมีความกว้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 52 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมาก แต่แผ่นพื้นไม่เกิดการหลุดออก และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจาก ถึงขีดจำกัดของระบบโครงสร้างสำหรับการทดสอบ

4.1.3.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1 (B-03-SL2) และตัวอย่างที่ 2(B-03-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-35 และรูปที่ 4.1-36



รูปที่ 4.1-35 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1 (B-03-SL1)

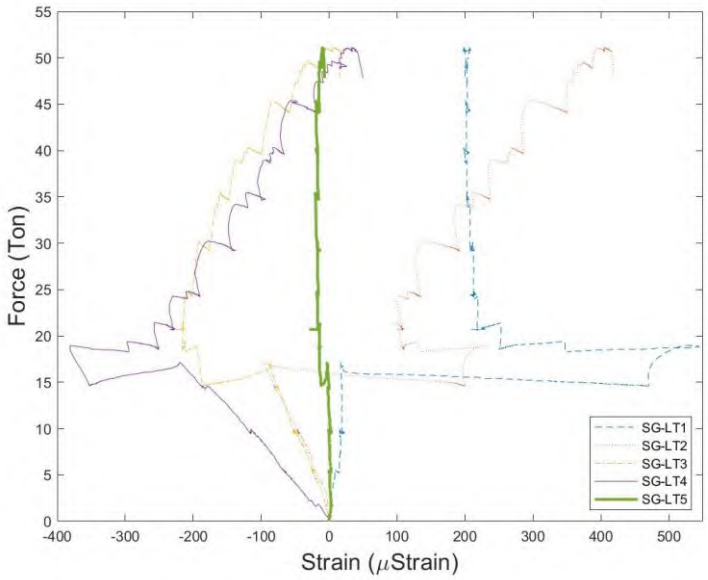


รูปที่ 4.1-36 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 2 (B-03-SL2)

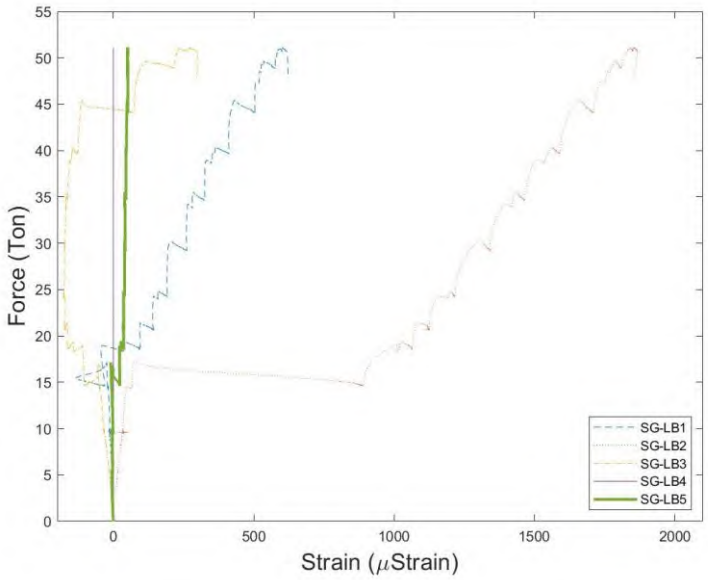
จากรูปที่ 4.1-35 และรูปที่ 4.1-36 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.1.3.4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

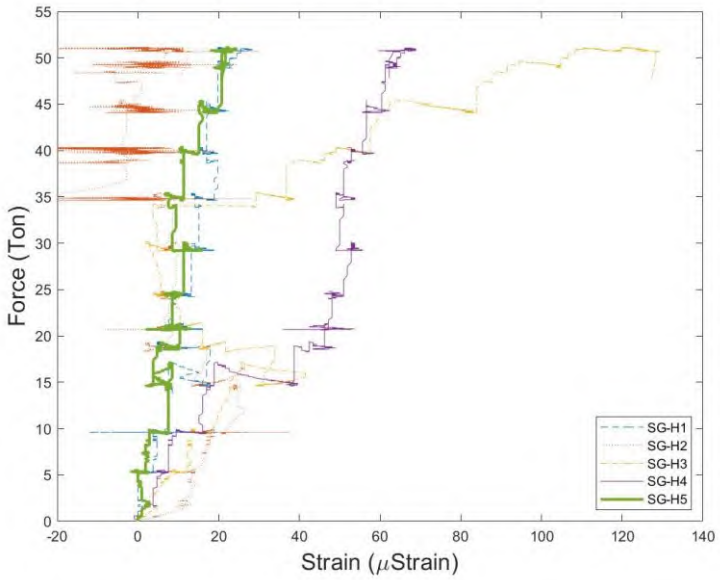
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1(B-03-SL1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-37 รูปที่ 4.1-38 และรูปที่ 4.1-39



รูปที่ 4.1-37 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1 (B-03-SL1)



รูปที่ 4.1-38 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1 (B-03-SL1)

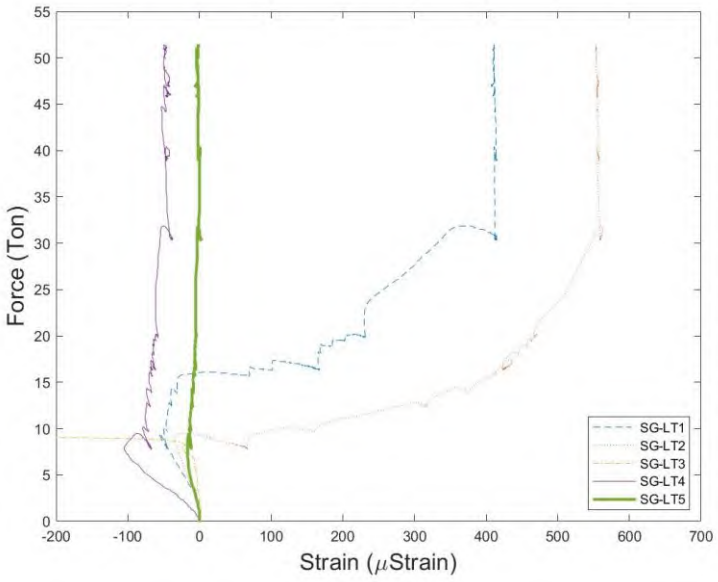


รูปที่ 4.1-39 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 1 (B-03-SL1)

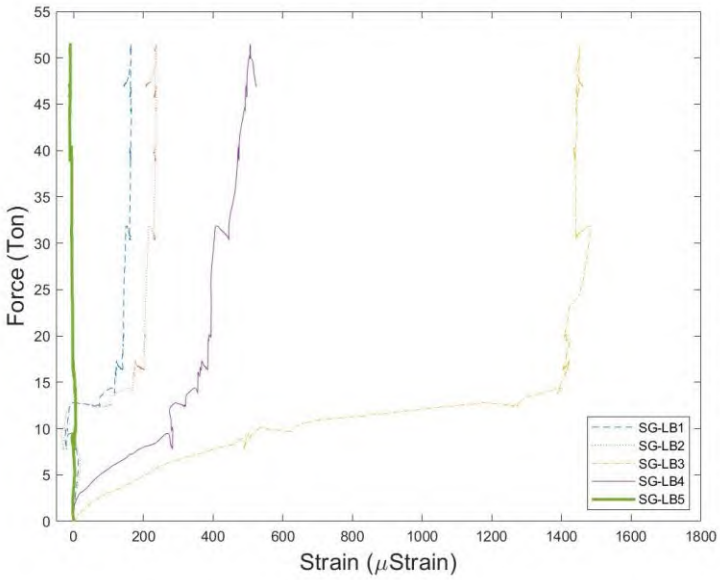
จากรูปที่ 4.1-37 และรูปที่ 4.1-38 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและจะเปลี่ยนเป็นแรงดึงในบางตัวหลังจากเกิดการแตกร้าว ส่วนเหล็กเสริมที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.1-39 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

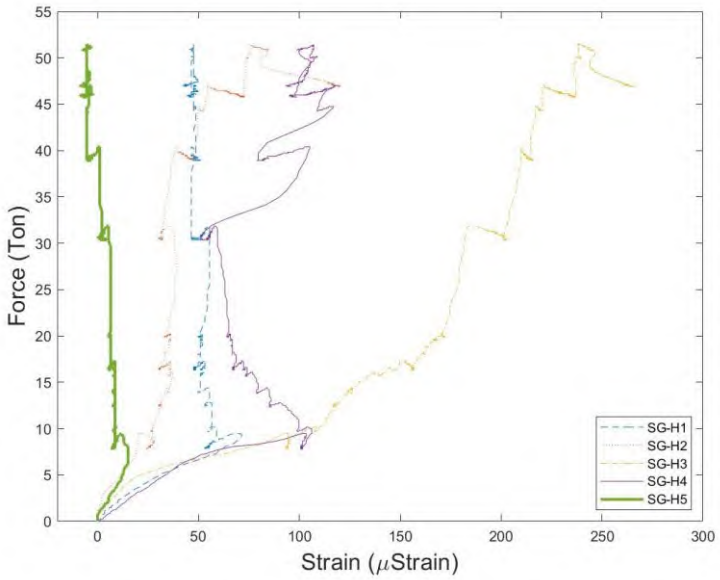
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 3(B-03-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-40 รูปที่ 4.1-41 และรูปที่ 4.1-42



รูปที่ 4.1-40 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 2 (B-03-SL2)



รูปที่ 4.1-41 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 2 (B-03-SL2)



รูปที่ 4.1-42 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 3 ตัวอย่างที่ 2 (B-03-SL2)

จากรูปที่ 4.1-40 และรูปที่ 4.1-41 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและจะเปลี่ยนเป็นแรงดึงในบางตัวหลังจากเกิดการแตกร้าว ส่วนเหล็กเสริมที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.1-42 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

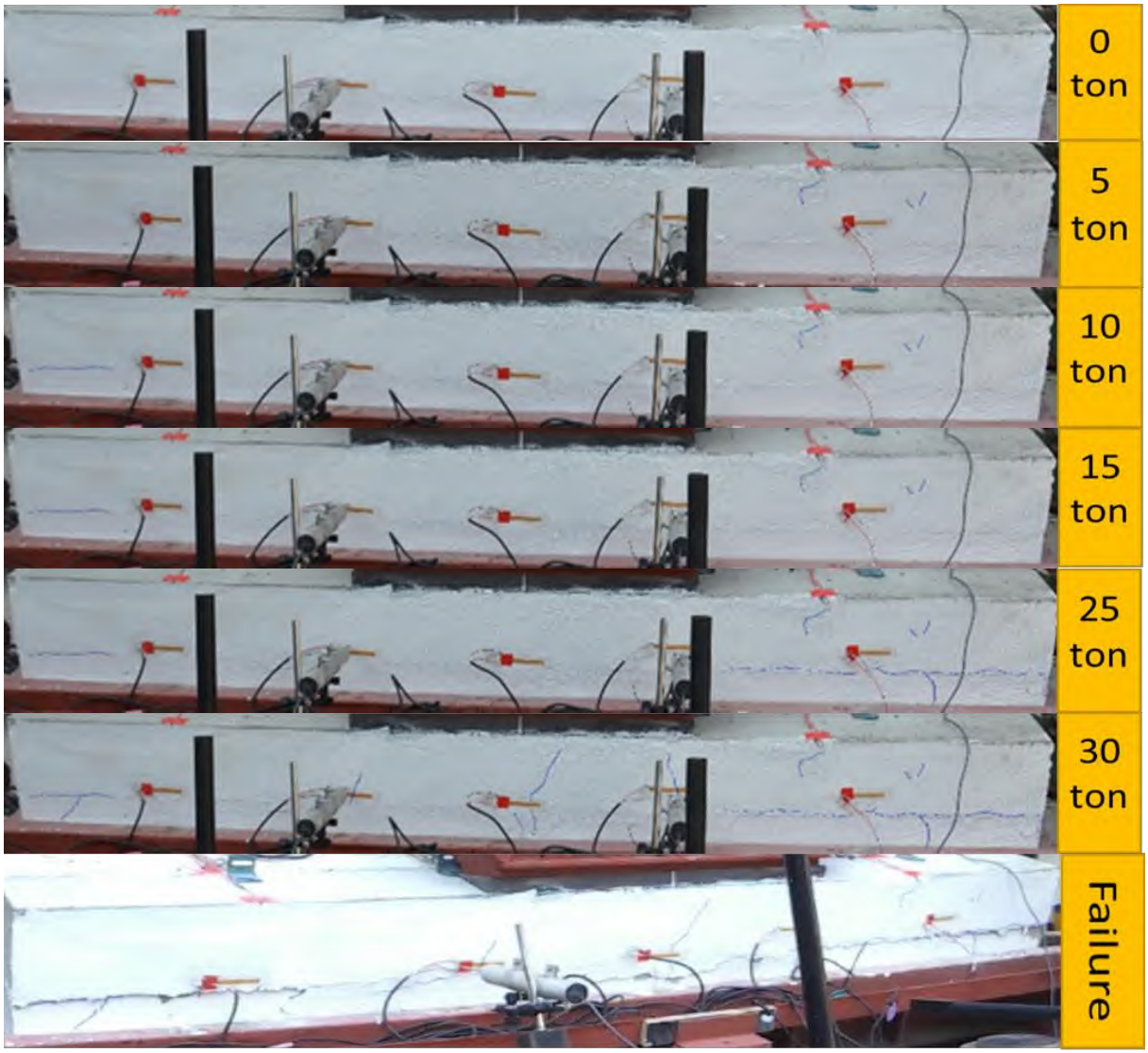
4.1.4. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 4 (B-04-SL)

บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 4 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 150 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 100 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็น

บ่ารองรับรอยต่อที่มีการเพิ่มความกว้างของบ่าให้มีความกว้างและความลึกมากขึ้น 50 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับรอยต่อรูปแบบที่ 1

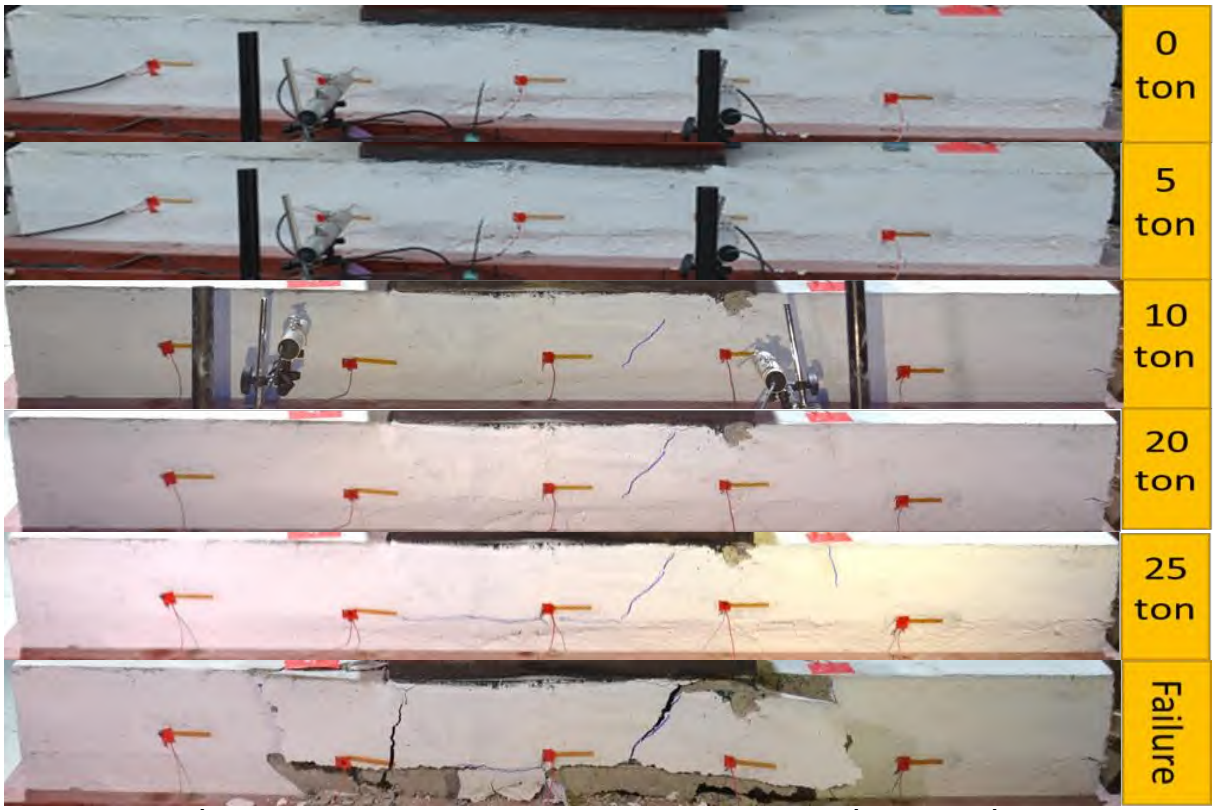
4.1.4.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร่งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย และจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าวในแต่ละระดับของแรงกด รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1(B-04-SL1 และ B-04-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-43 และรูปที่ 4.1-44



รูปที่ 4.1-43 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1 (B-04-SL1)

จากรูปที่ 4.1-43 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน พบรอยร้าวขนาดเล็กทำมุม 90 องศาบนบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงไปที่ระดับ 10 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวเล็กน้อยที่บ่ารองรับรอ ยต่อและแผ่นพื้นบริเวณด้านหน้าของรอยต่อทางด้านซ้ายมือ และเมื่อเพิ่มแรงไป 25 ตัน เกิดรอยร้าวเพิ่มขึ้นบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อทางด้านขวามือ และรอยร้าวจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 90 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 30 ตัน รอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้นและแผ่นพื้นเกิดการแตกและหลุดออก ทำให้เกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อที่แรงกดประมาณ 33 ตัน

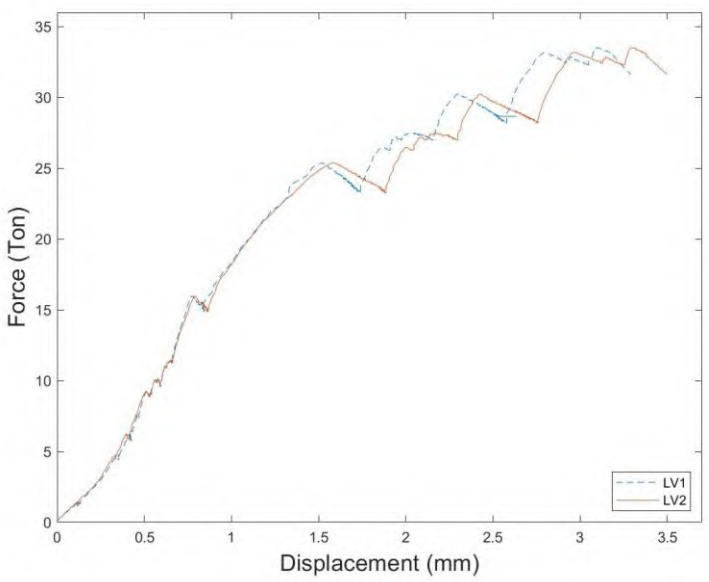


รูปที่ 4.1-44 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 4 (B-04-SL2)

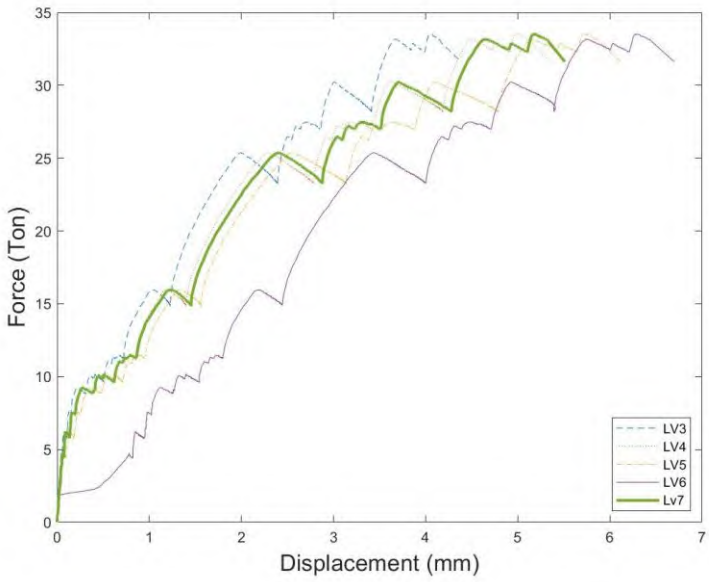
จากรูปที่ 4.1-44 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน พบรอยร้าวขนาดเล็กทำมุม 90 องศาบนบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงไปที่ระดับ 10 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวเล็กน้อยที่บ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้นบริเวณด้านหน้าของรอยต่อทางด้านซ้ายมือ และเมื่อเพิ่มแรงไป 25 ตัน เกิดรอยร้าวเพิ่มขึ้นบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อทางด้านขวามือ และรอยร้าวจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 90 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 30 ตัน รอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้นและแผ่นพื้นเกิดการแตกและหลุดออก ทำให้เกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อที่แรงกดประมาณ 33 ตัน

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1(B-04-SL1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-44 และรูปที่ 4.1-45



รูปที่ 4.1-45 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1 (B-04-SL1)

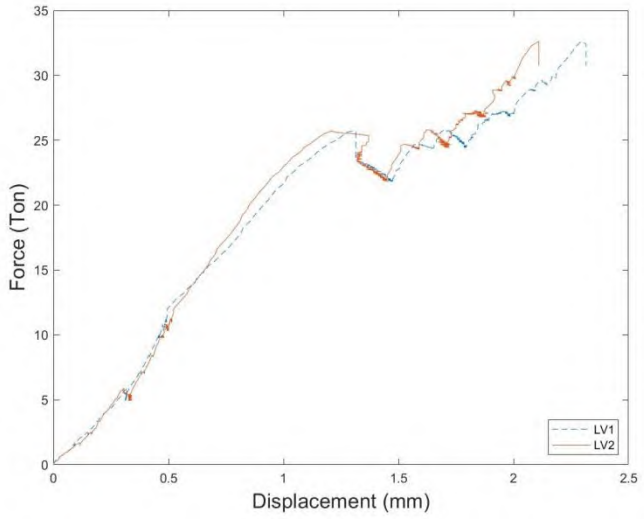


รูปที่ 4.1-46 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1 (B-04-SL1)

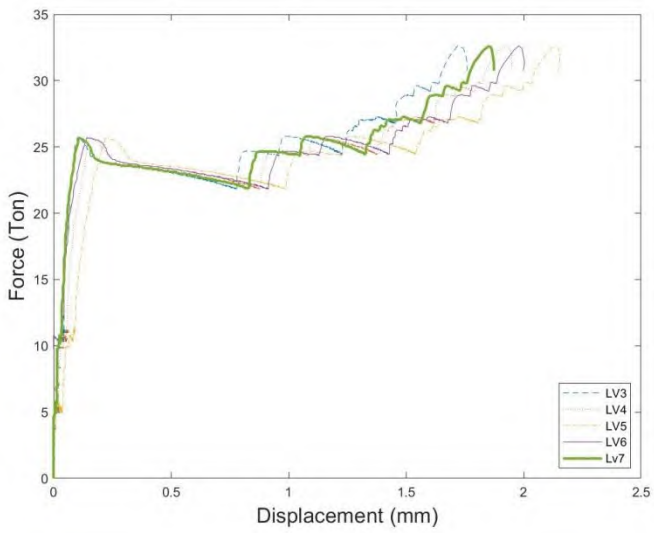
จากรูปที่ 4.1-45 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นโค้ง โดยความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงทีละน้อย และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 34 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 33 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

จากรูปที่ 4.1-46 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นโค้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 33 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 2(B-04-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-47 และรูปที่ 4.1-48



รูปที่ 4.1-47 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 2 (B-04-SL2)



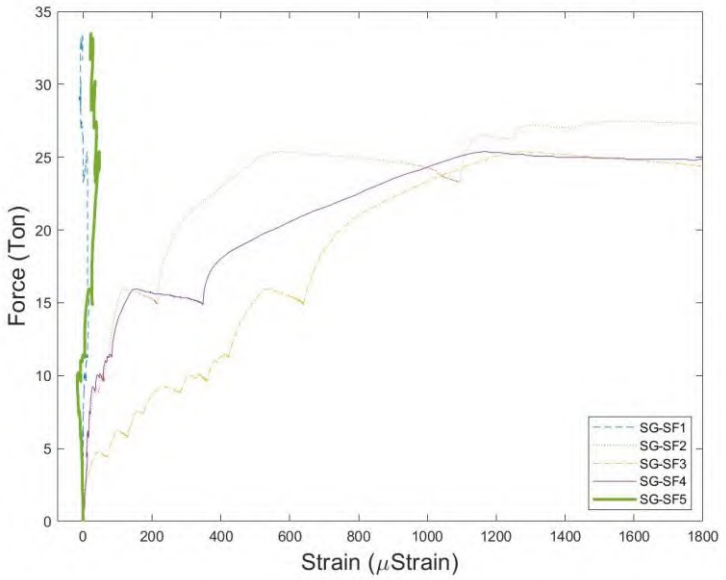
รูปที่ 4.1-48 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 2 (B-04-SL2)

จากรูปที่ 4.1-47 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง แต่มีความชันของความสัมพันธ์ไม่คงที่เนื่องจากการขยับเข้าที่ของเฟรมและระบบยึดรั้งของโครงทดสอบและเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 25 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 33 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 33 ตัน ก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

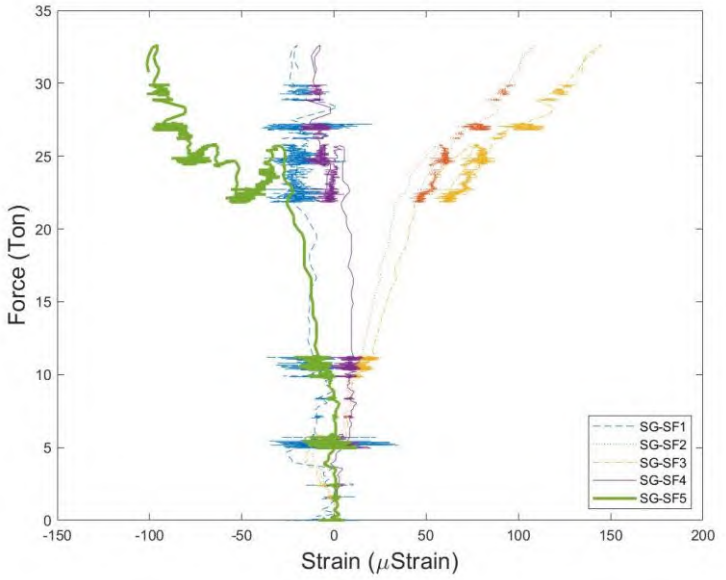
จากรูปที่ 4.1-48 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงจนถึงแรงกดที่ 25 ตัน ซึ่งเป็นจุดที่แผ่นพื้นเกิดการแตกร้าว หลังจากจุดนี้รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 33 ตัน จะเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

4.1.4.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1 (B-04-SL2) และตัวอย่างที่ 2 (B-04-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-49 และรูปที่ 4.1-50



รูปที่ 4.1-49 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1 (B-04-SL1)

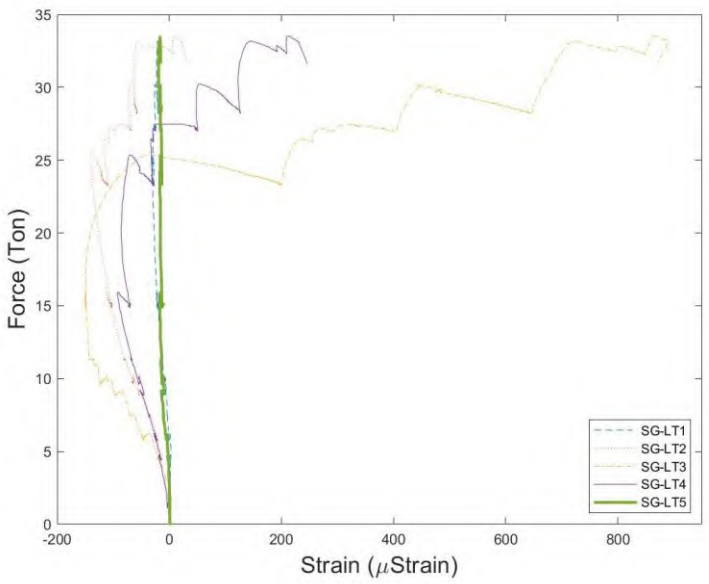


รูปที่ 4.1-50 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 2 (B-04-SL2)

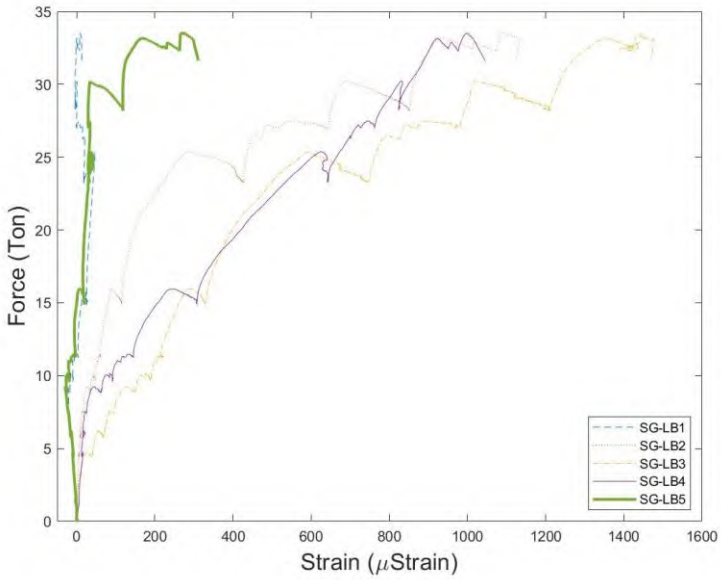
จากรูปที่ 4.1-49 และรูปที่ 4.1-50 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.1.4.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

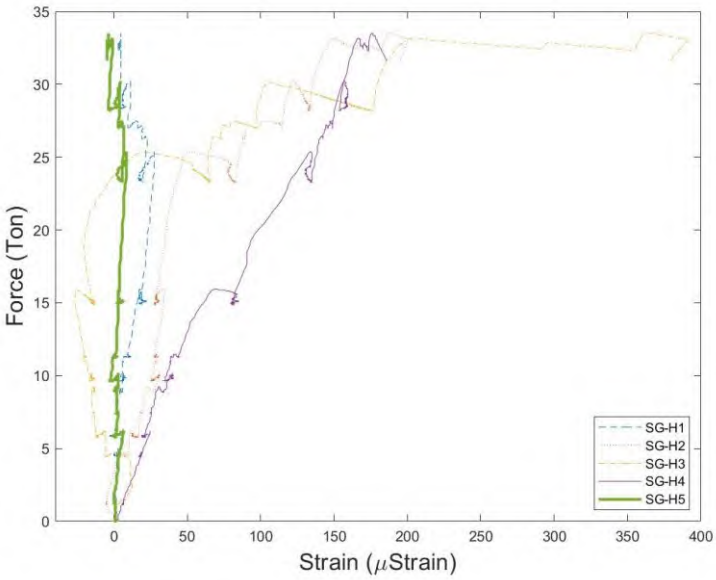
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1(B-04-SL1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-51 รูปที่ 4.1-52 และรูปที่ 4.1-53



รูปที่ 4.1-51 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1 (B-04-SL1)



รูปที่ 4.1-52 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1 (B-04-SL1)

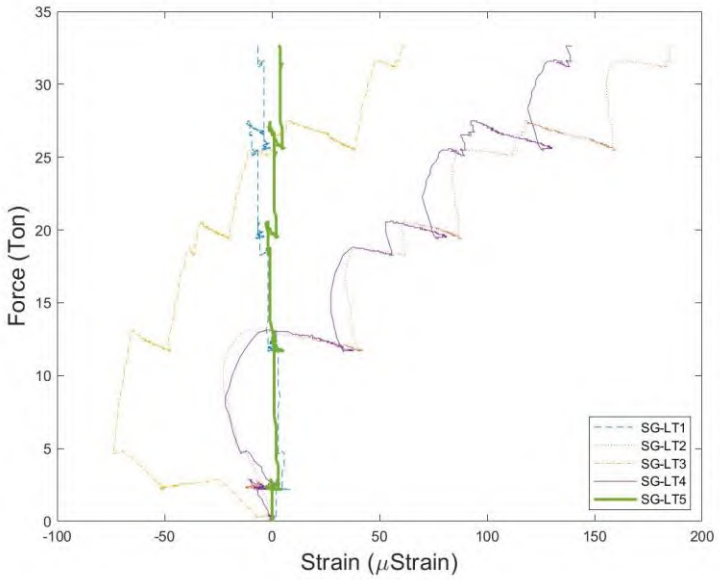


รูปที่ 4.1-53 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 1 (B-04-SL1)

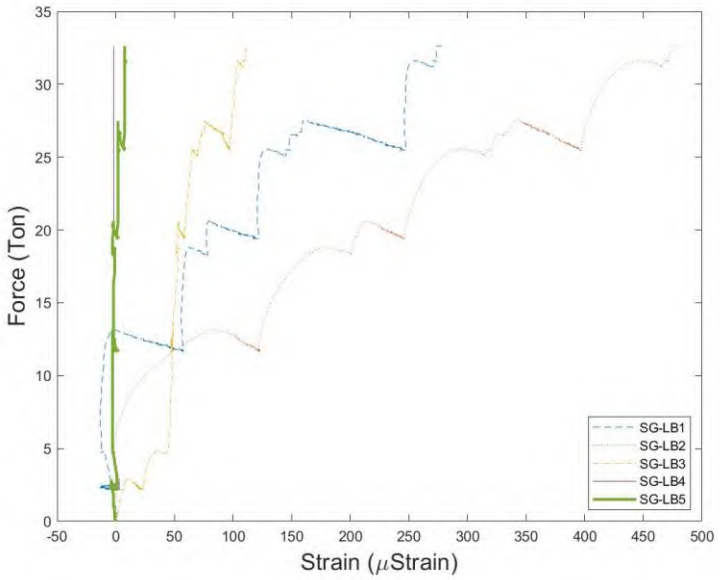
จากรูปที่ 4.1-51 และ รูปที่ 4.1-52 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและมีบางส่วนเปลี่ยนเป็นรับแรงดึงเมื่อคอนกรีตเกิดการแตกร้าว ส่วนที่อยู่ด้านล่างส่วนมากจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.1-53 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

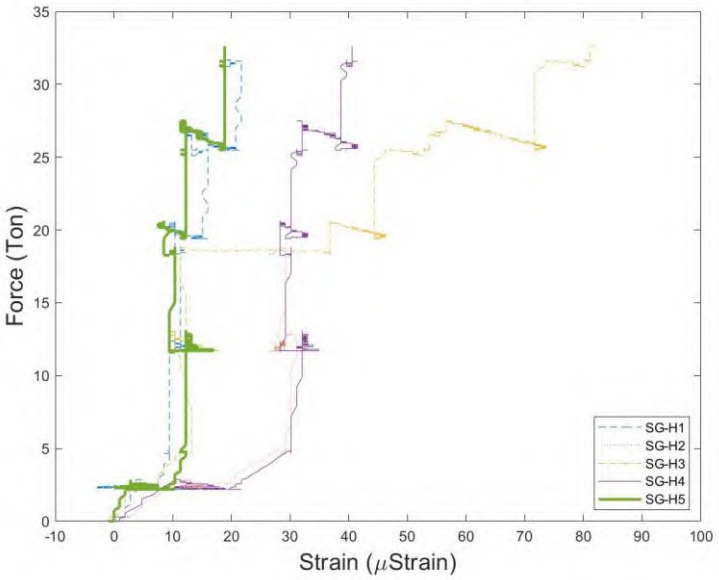
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 2(B-04-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-54 รูปที่ 4.1-55 และรูปที่ 4.1-56



รูปที่ 4.1-54 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 2 (B-04-SL2)



รูปที่ 4.1-55 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 2 (B-04-SL2)



รูปที่ 4.1-56 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 4 ตัวอย่างที่ 2 (B-04-SL2)

จากรูปที่ 4.1-54 และรูปที่ 4.1-55 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและมีบางส่วนเปลี่ยนเป็นรับแรงดึงเมื่อคอนกรีตเกิดการแตกร้าว ส่วนที่อยู่ด้านล่างส่วนมากจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.1-56 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

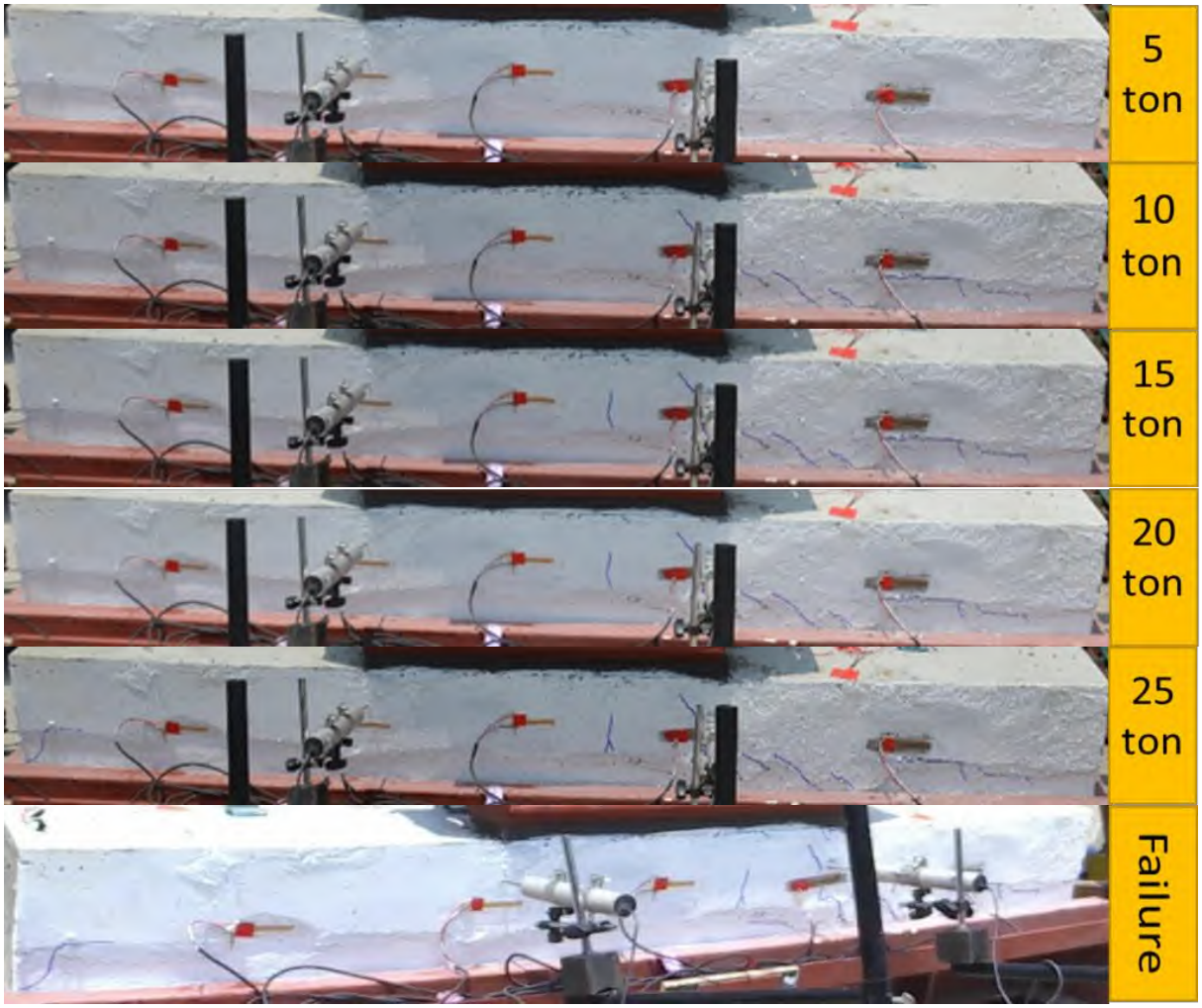
4.1.5. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 5 (B-05-SL)

บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 5 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 150 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 100 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็น

บ่ารองรับรอยต่อที่มีการเพิ่มความกว้างของบ่าให้มีความกว้างขึ้น 150 มิลลิเมตร และความลึกมากขึ้น 50 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับรอยต่อรูปแบบที่ 1

4.1.5.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย และจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าวในแต่ละระดับของแรงกด รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 (B-05-SL1 และ B-05-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-57 และรูปที่ 4.1-58



รูปที่ 4.1-57 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 (B-05-SL1)

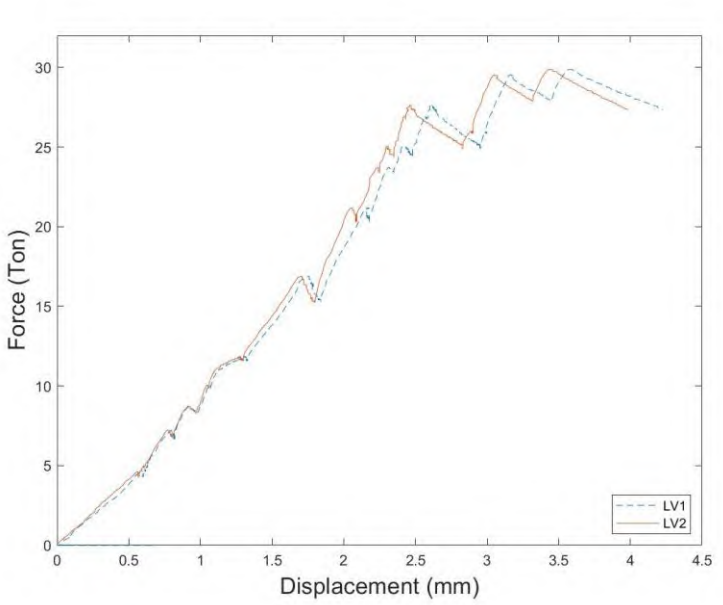
จากรูปที่ 4.1-57 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 10 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวระหว่างบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้นบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำไป 20 ตัน จะพบรอยร้าวตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวตรงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และต่อเนื่องไปยังแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มแรงกดไปที่ 30 ตัน รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการเพิ่มจำนวน ขยายขนาดและความกว้างมากขึ้น และบ่ารองรับรอยต่อเกิดการวิบัติด้วยการหลุดออกจากแผ่นพื้นในทันทีทันใด และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจากเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อ

รูปที่ 4.1-58 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 2 (B-05-SL2)

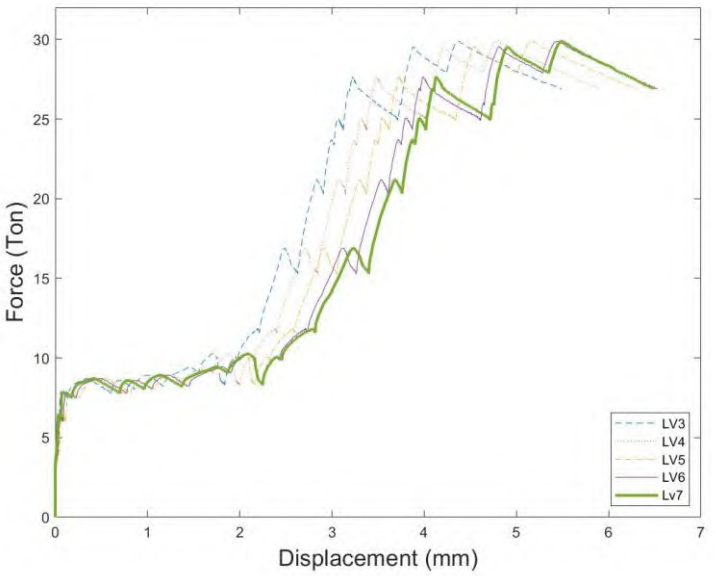
จากรูปที่ 4.1-58 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน และ 10 ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 20 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวระหว่างบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้นบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำไป 40 ตัน จะพบรอยร้าวตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวตรงประมาณ 90 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และต่อเนื่องไปยังแผ่นพื้นเมื่อเพิ่มแรงกดไปที่ 50 ตัน รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการเพิ่มจำนวน ขยายขนาดและความกว้างมากขึ้น และบ่ารองรับรอยต่อเกิดการวิบัติด้วยการหลุดออกจากแผ่นพื้นในทันทีทันใด และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจากเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อ

4.1.5.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1(B-05-SL1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-59 และรูปที่ 4.1-60



รูปที่ 4.1-59 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 (B-05-SL1)

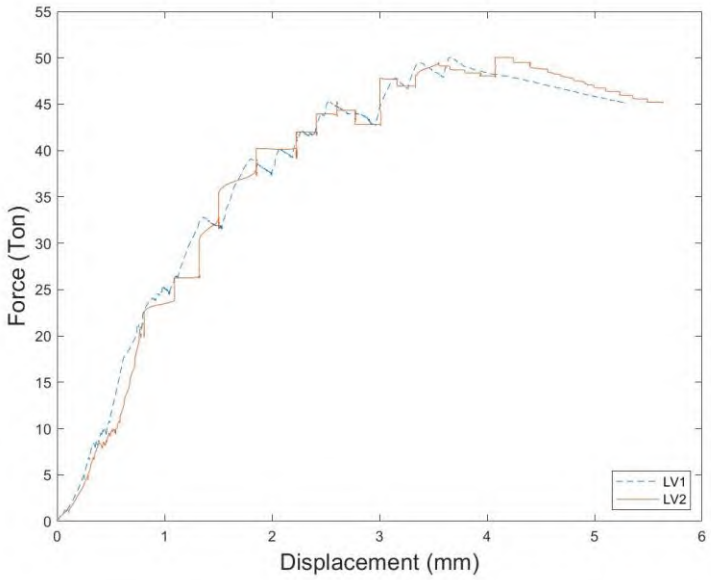


รูปที่ 4.1-60 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 (B-05-SL1)

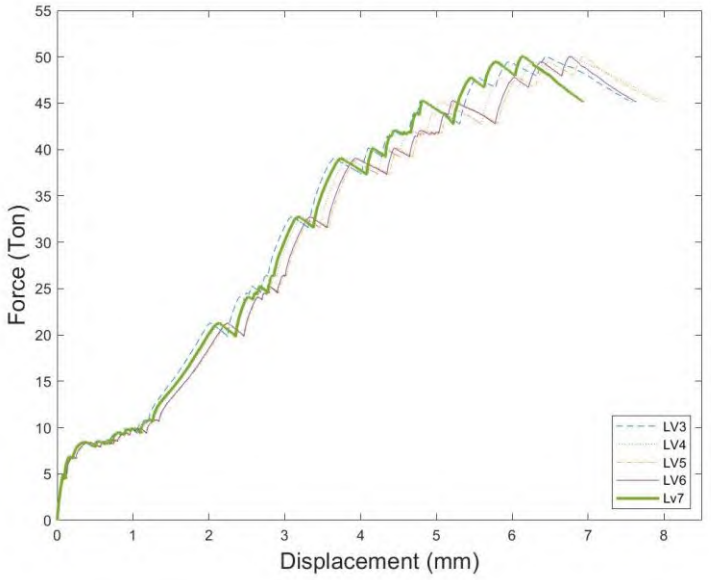
จากรูปที่ 4.1-59 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 30 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 30 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

จากรูปที่ 4.1-60 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด และเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงแสดงให้เห็นถึงการแตกร้าวของรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 30 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 2(B-05-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-61 และรูปที่ 4.1-62



รูปที่ 4.1-61 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 2 (B-05-SL2)



รูปที่ 4.1-62 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 2 (B-05-SL2)

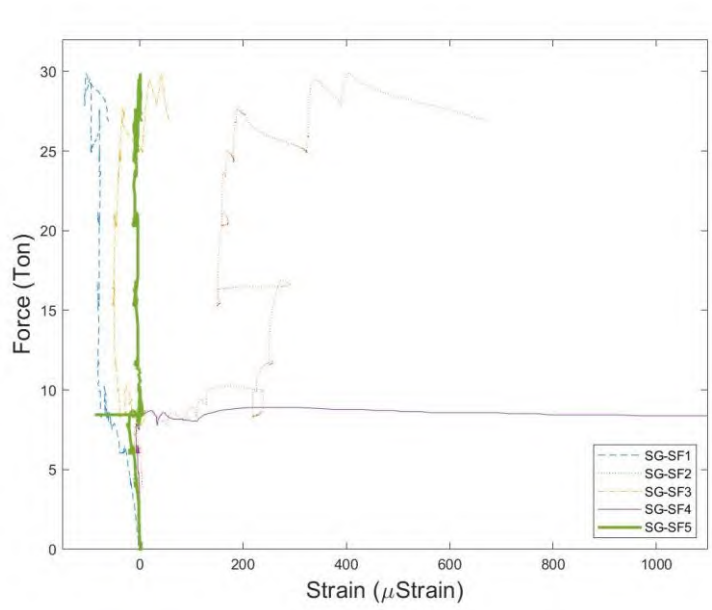
จากรูปที่ 4.1-61 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 50 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟ

ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 30 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

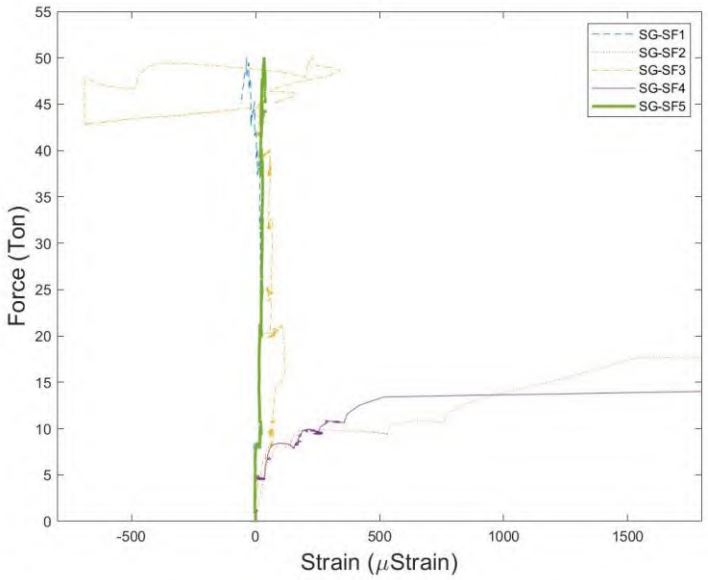
จากรูปที่ 4.1-62 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด และเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงแสดงให้เห็นถึงการแตกร้าวของรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 50 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

4.1.5.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 (B-05-SL2) และ ตัวอย่างที่ 2(B-05-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-63 และรูปที่ 4.1-64



รูปที่ 4.1-63 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 (B-05-SL1)

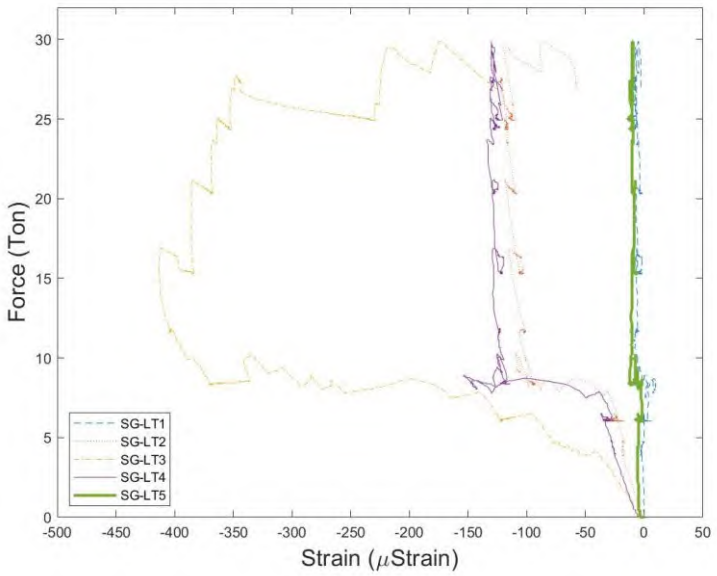


รูปที่ 4.1-64 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 2 (B-05-SL2)

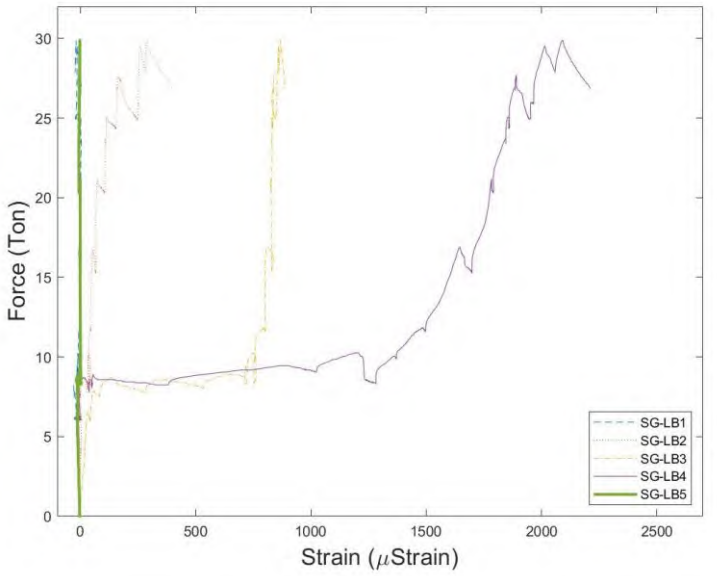
จากรูปที่ 4.1-63 และ รูปที่ 4.1-64 พบว่าระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.1.5.4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

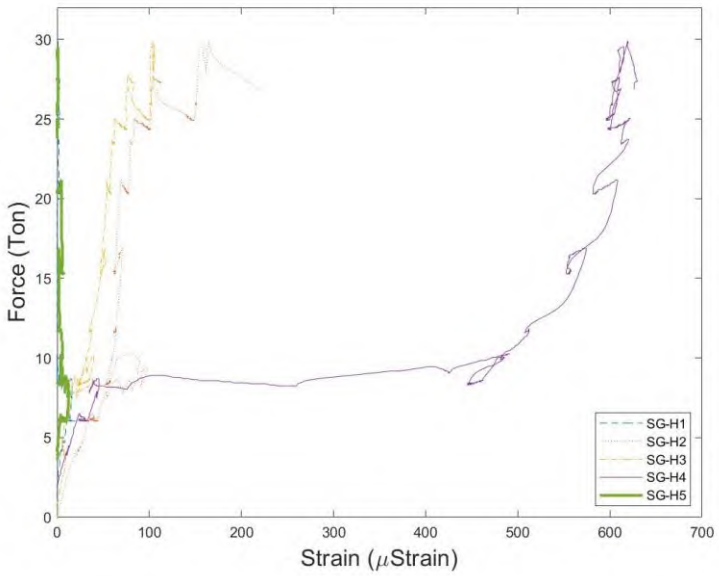
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 (B-05-SL1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-65 รูปที่ 4.1-66 และรูปที่ 4.1-67



รูปที่ 4.1-65 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 (B-05-SL1)



รูปที่ 4.1-66 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 (B-05-SL1)

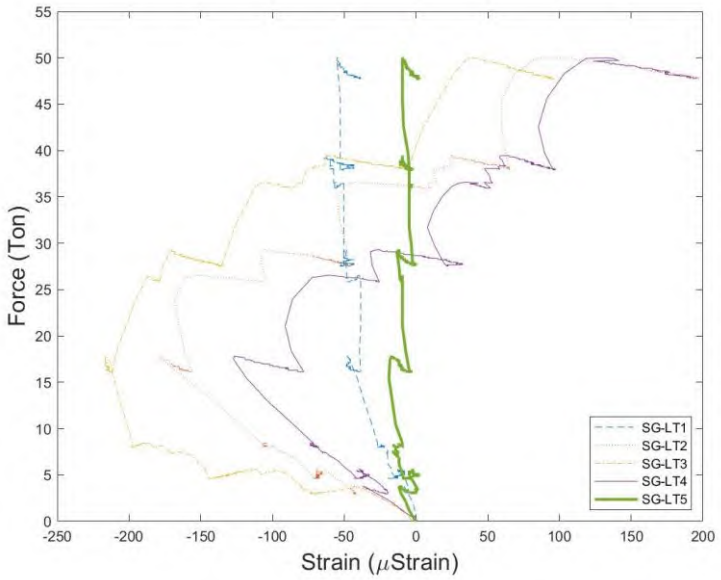


รูปที่ 4.1-67 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 1 (B-05-SL1)

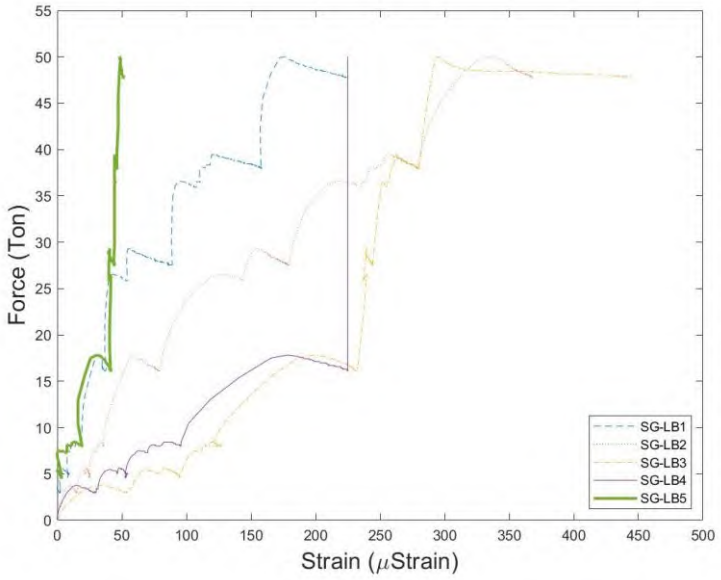
จากรูปที่ 4.1-65 และ รูปที่ 4.1-66 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณกึ่งกลางบ่ารองรับรอยต่อของคอนกรีต (SG-LT3) มีค่าสูงสุด โดยเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.1-67 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณขอบของคานถ่ายแรงกด (SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

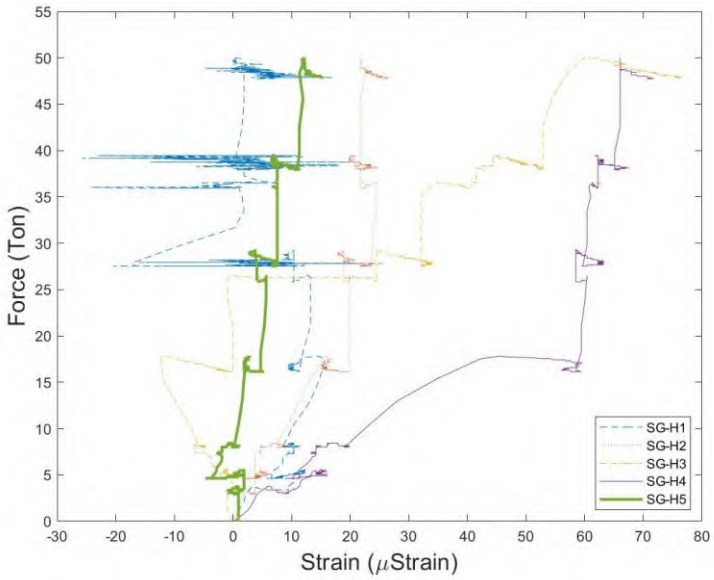
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 2(B-05-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-68 และรูปที่ 4.1-69 รูปที่ 4.1-70



รูปที่ 4.1-68 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 2 (B-05-SL2)



รูปที่ 4.1-69 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 2 (B-05-SL2)



รูปที่ 4.1-70 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 2 (B-05-SL2)

จากรูปที่ 4.1-68 และ รูปที่ 4.1-69 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณกึ่งกลางบ่ารองรับรอยต่อของคอนกรีต (SG-LT2 SG-LT3 และ SG-LB4) มีค่าสูงสุด โดยเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

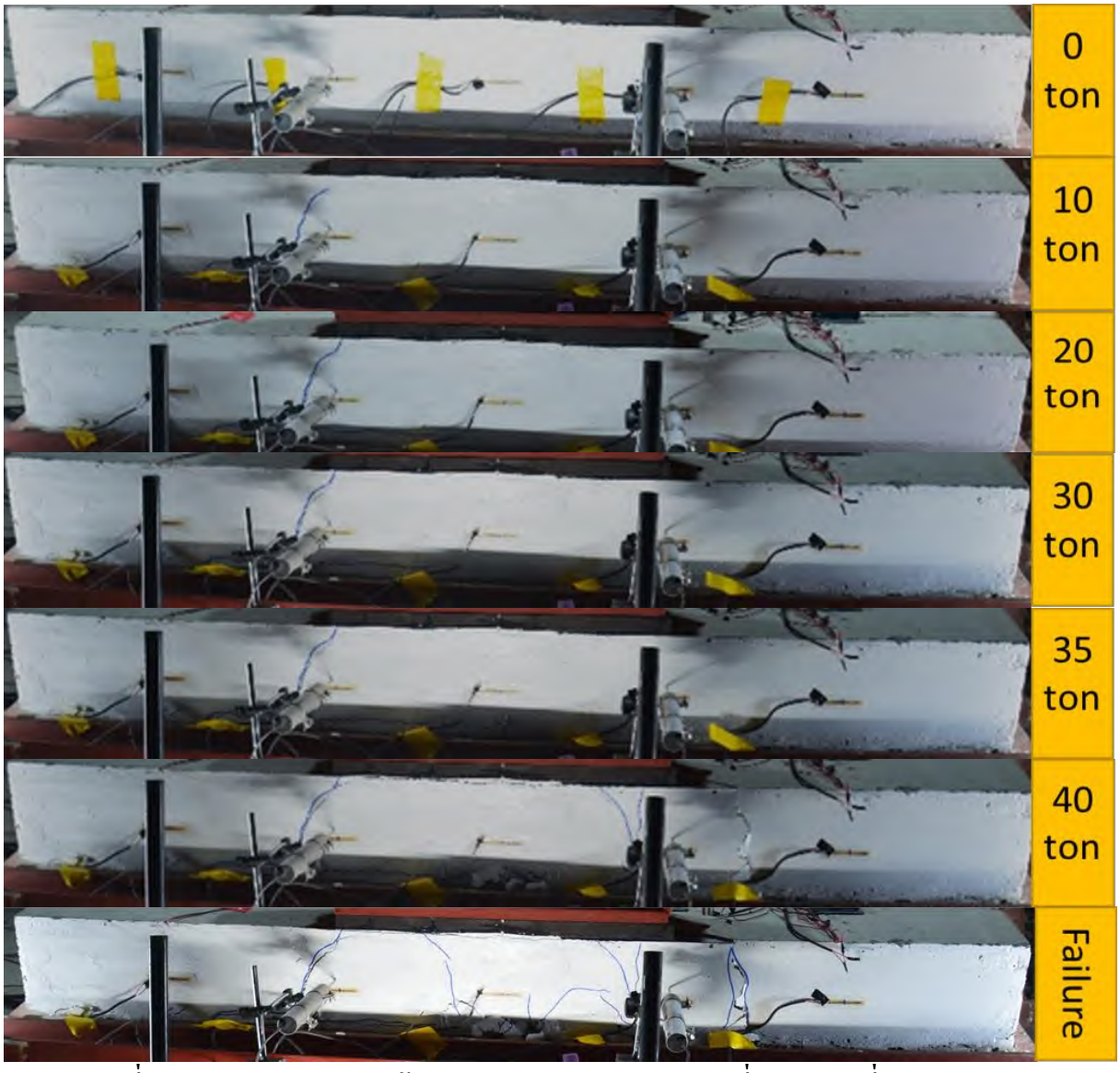
จากรูปที่ 4.1-70 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

4.1.6. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 6 (B-06-SL)

บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 5 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 200 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 50 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีการเพิ่มความกว้างของบ่าให้มีความกว้างขึ้น 150 มิลลิเมตร และความลึกมากขึ้น 150 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับรอยต่อรูปแบบที่ 1

4.1.6.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย และจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าวในแต่ละระดับของแรงกด รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 1(B-06-SL1 และ B-06-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-71 และรูปที่ 4.1-72



รูปที่ 4.1-71 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 1 (B-06-SL1)

จากรูปที่ 4.1-71 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 10 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวขนาดใหญ่ทางด้านซ้ายของแผ่นพื้น โดยรอยร้าวเริ่มแตกจากแผ่นพื้นและร้าวไปยังบ่ารองรับรอยต่อ โดยรอยร้าวดังกล่าวมีความชันประมาณ 70 องศาเทียบกับระนานของแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มแรงกระทำ รอยร้าวดังกล่าวได้มีการเพิ่มขนาดและความยาวไปจนถึงบ่ารองรับรอยต่อด้านบน และเมื่อแรงกระทำถึงระดับ 41 ตัน พบรอยร้าวที่มีลักษณะเดียวกันทางด้านขวาของแผ่นพื้น และรอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้มีการขยายขนาดเพิ่มขึ้น และบ่ารองรับรอยต่อเกิดการวิบัติด้วยการหลุดออกจากแผ่นพื้นในทันทีทันใด และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจากเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อ

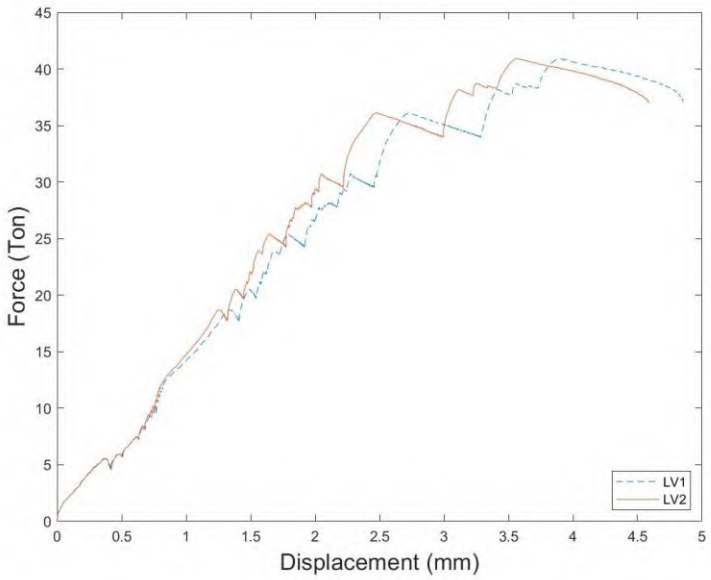
รูปที่ 4.1-72 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 2 (B-06-SL2)

จากรูปที่ 4.1-72 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 30 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวขนาดใหญ่ทางด้านซ้ายและขวาของแผ่นพื้น โดยรอยร้าวเริ่มแตกจากแผ่นพื้นและร้าวไปยังบ่ารองรับรอยต่อ โดยรอยร้าวดังกล่าวมีความชันประมาณ 70 องศาเทียบกับระนานของแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มแรงกระทำ รอยร้าวดังกล่าวได้มีการเพิ่มขนาดและความยาวไปจนถึงบ่ารองรับรอยต่อด้านบน และเมื่อแรงกระทำถึงระดับ 43 ตัน พบรอยร้าวที่มีลักษณะเดียวกันทางด้านขวาของแผ่นพื้น และรอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้มีการขยายขนาดเพิ่มขึ้น และบ่ารองรับรอยต่อเกิดการวิบัติด้วยการหลุดออกจากแผ่นพื้นในทันทีทันใด และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจากเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อ

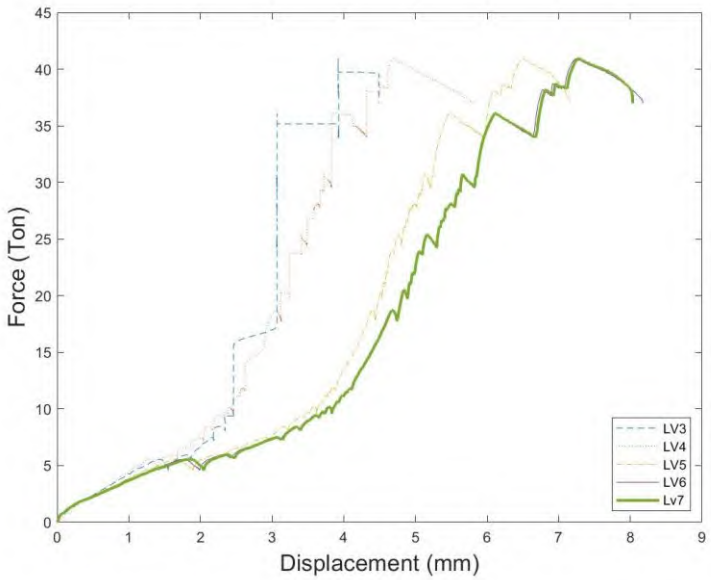
4.1.6.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่า

รองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 1 (B-06-SL1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-73 และ รูปที่ 4.1-74



รูปที่ 4.1-73 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 1 (B-06-SL1)

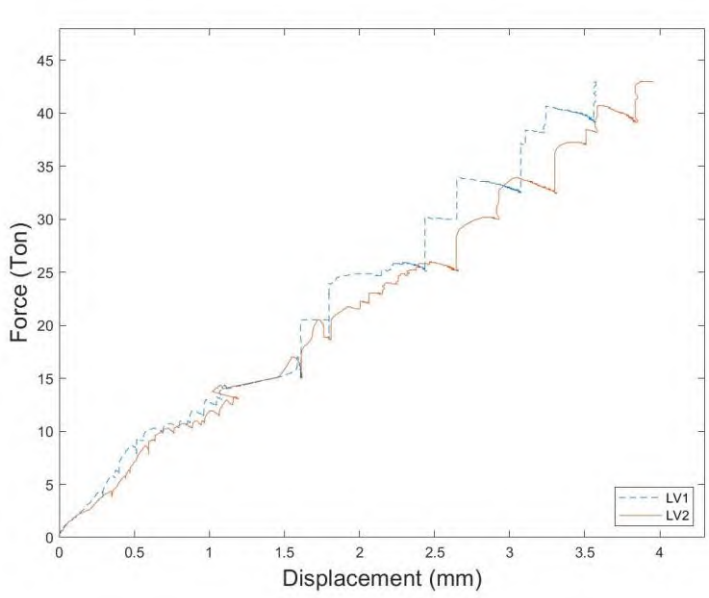


รูปที่ 4.1-74 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 1 (B-06-SL1)

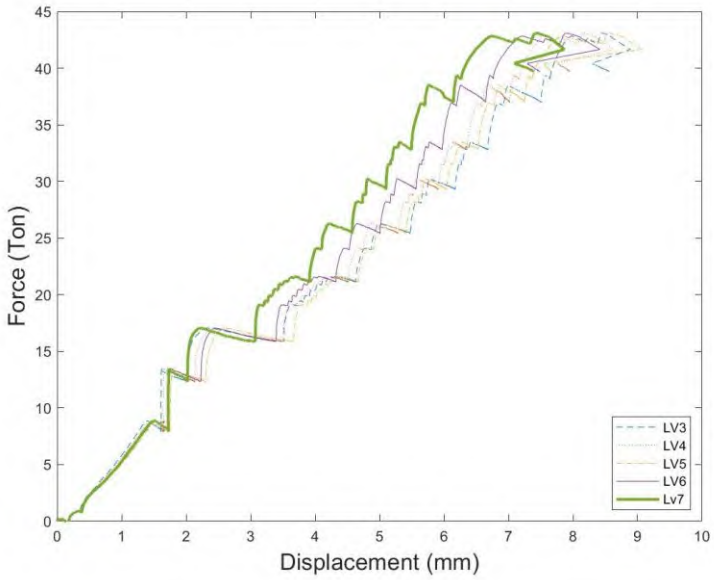
จากรูปที่ 4.1-73 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง แต่มีความชันของความสัมพันธ์ไม่คงที่เนื่องจากการขยับเข้าที่ของเฟรมและระบบยึดรั้งของโครงทดสอบและเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 30 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 41 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 40 ตัน ก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

จากรูปที่ 4.1-74 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 41 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 2 (B-06-SL2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1-75 และ รูปที่ 4.1-76



รูปที่ 4.1-75 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 2 (B-06-SL2)



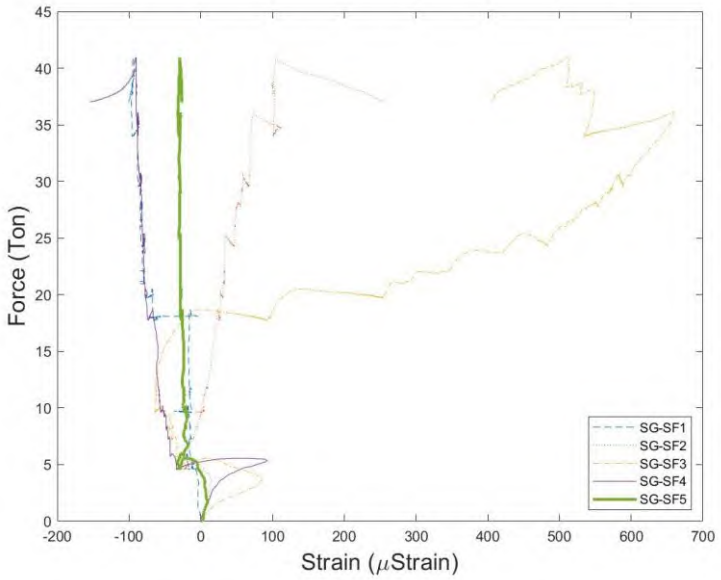
รูปที่ 4.1-76 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 5 ตัวอย่างที่ 2 (B-06-SL2)

จากรูปที่ 4.1-75 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง แต่มีความชันของความสัมพันธ์ไม่คงที่เนื่องจากการขยับเข้าที่ของเฟรมและระบบยึดรั้งของโครงทดสอบและเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 15 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 43 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 43 ตัน ก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

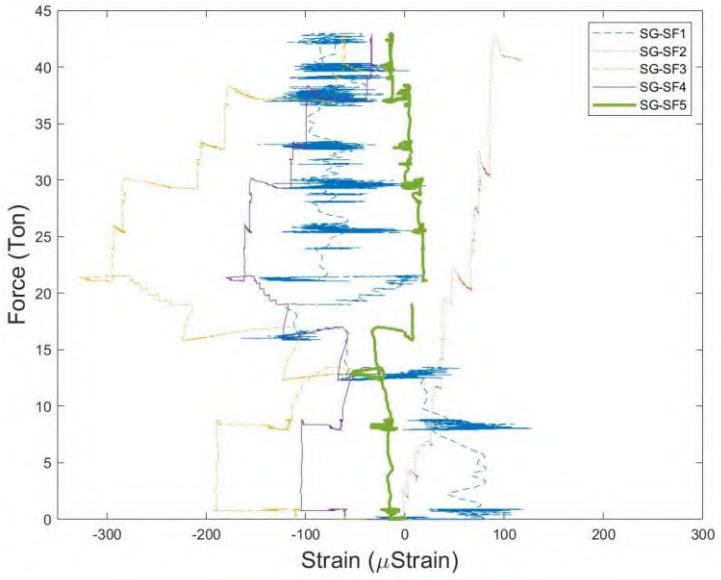
จากรูปที่ 4.1-76 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 43 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

4.1.6.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 1 (B-06-SL2) และ ตัวอย่างที่ 2 (B-06-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-77 และ รูปที่ 4.1-78

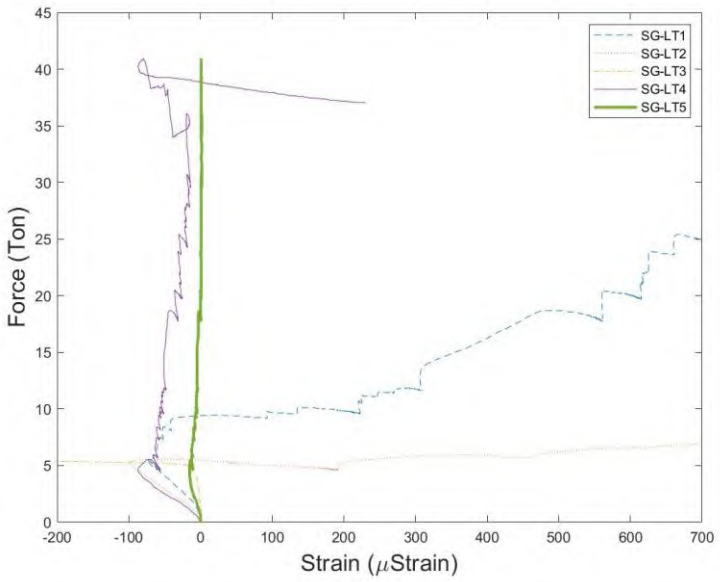


รูปที่ 4.1-77 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อ รูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 1 (B-06-SL1)

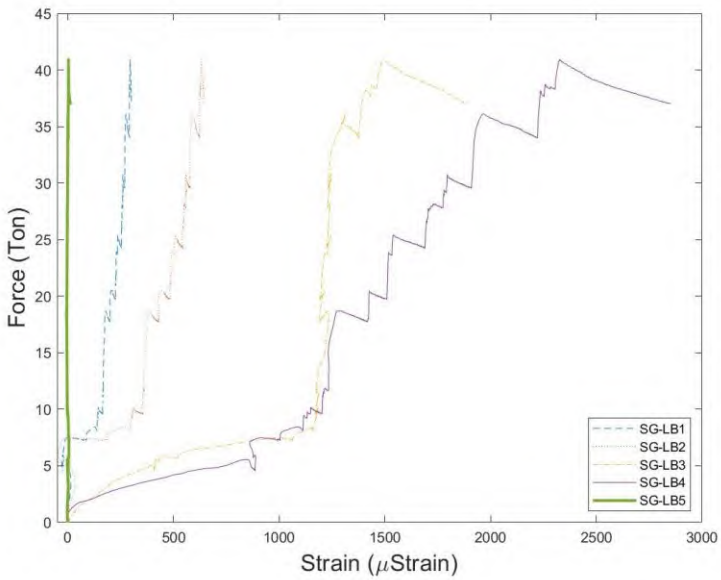


รูปที่ 4.1-78 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อ รูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 2 (B-06-SL2)

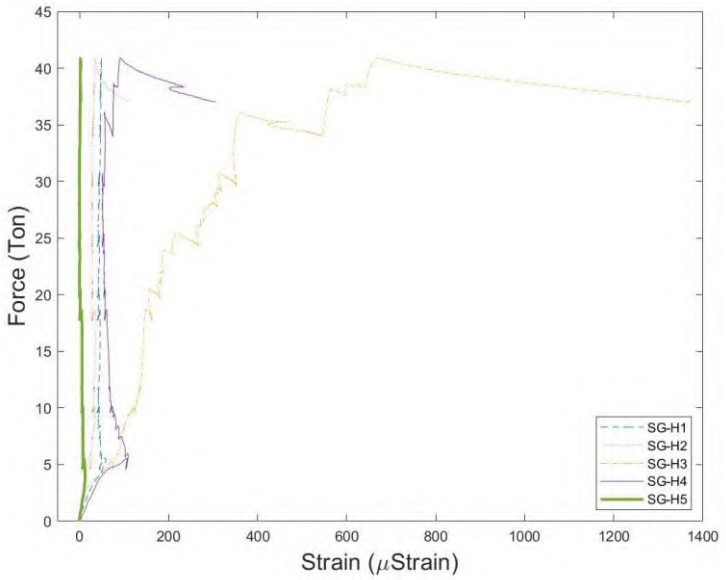
จากรูปที่ 4.1-77 และ รูปที่ 4.1-78 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ



รูปที่ 4.1-79 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 1 (B-06-SL1)



รูปที่ 4.1-80 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 1 (B-06-SL1)

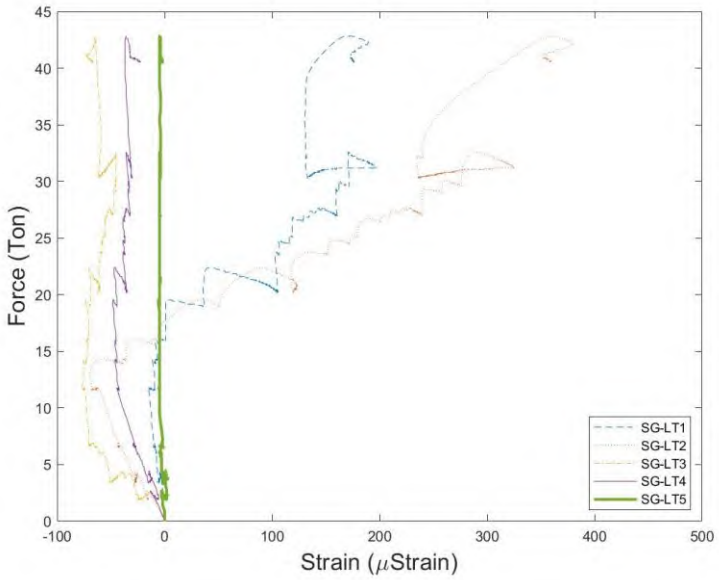


รูปที่ 4.1-81 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 1 (B-06-SL1)

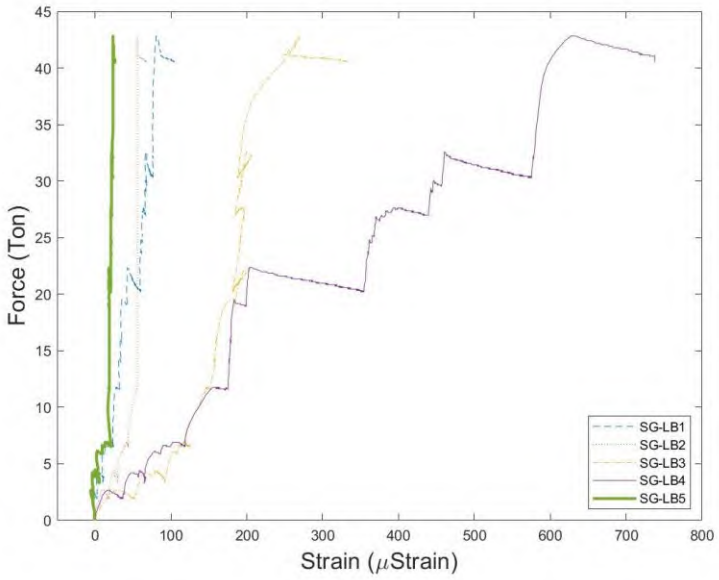
จากรูปที่ 4.1-79 และ รูปที่ 4.1-80 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและบางส่วนจะเป็นรับแรงดึงเมื่อเกิดการแตกร้าว ส่วนเหล็กเสริมที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.1-81 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

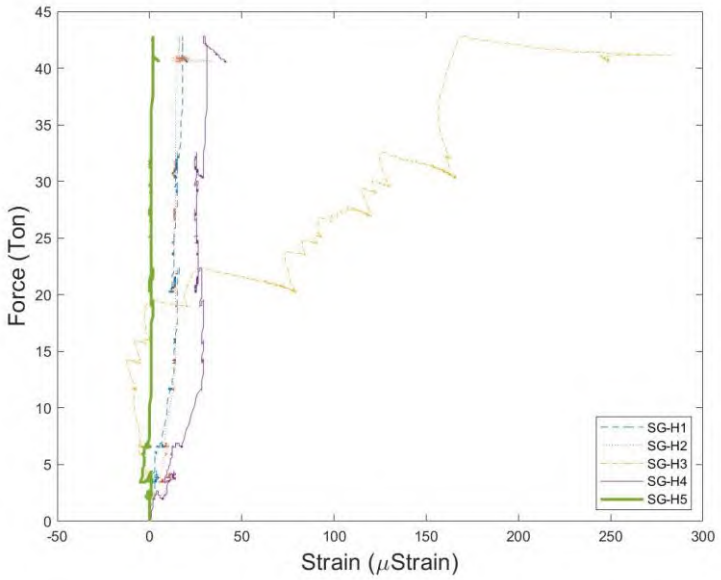
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 2(B-06-SL2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.1-82 รูปที่ 4.1-83 และ รูปที่ 4.1-84



รูปที่ 4.1-82 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 2 (B-06-SL2)



รูปที่ 4.1-83 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 2 (B-06-SL2)



รูปที่ 4.1-84 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 6 ตัวอย่างที่ 2 (B-06-SL2)

จากรูปที่ 4.1-82 และ รูปที่ 4.1-83 พบว่าระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณขอบของบ่ารองรับรอยต่อของคอนกรีต (SG-LT1 และ SG-LB2) มีค่าสูงสุด โดยเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

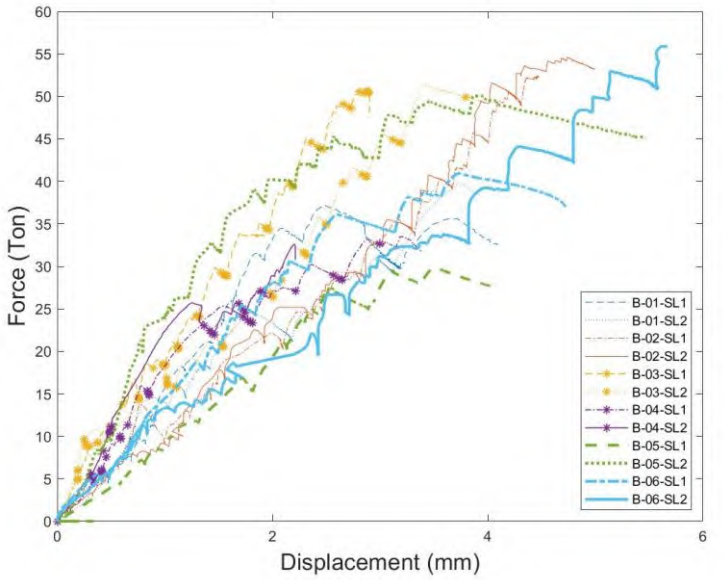
จากรูปที่ 4.1-84 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

4.1.7. สรุปผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

ตารางที่ 4.1-1 สรุปกำลังรับแรงสูงสุดและรูปแบบการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกทั้ง 6 รูปแบบ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานแสดงไว้ในรูปที่ 4.1-85

ตารางที่ 4.1-1 กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกทั้ง 6 รูปแบบ

Test Specimens	Load Conditions	Width of Block out (mm)	Height of Block out (mm)	Maximum Load (Ton)	Failure Pattern
B-01-SL1	Static	100	100	37	บ่าหลุดออก
B-01-SL2	Static	100	100	40	บ่าหลุดออก
B-02-SL1	Static	150	100	มากกว่า 52	ไม่วิบัติ
B-02-SL2	Static	150	100	55	บ่าหลุดออก
B-03-SL1	Static	200	100	มากกว่า 52	ไม่วิบัติ
B-03-SL2	Static	200	100	มากกว่า 52	ไม่วิบัติ
B-04-SL1	Static	150	150	33	บ่าหลุดออกและพื้นรองรับบ่าแตกร้าว
B-04-SL2	Static	150	150	33	บ่าหลุดออกและพื้นรองรับบ่าแตกร้าว
B-05-SL1	Static	200	150	30	บ่าหลุดออกและพื้นรองรับบ่าแตกร้าว
B-05-SL2	Static	200	150	50	บ่าหลุดออกและพื้นรองรับบ่าแตกร้าว
B-06-SL1	Static	200	200	41	พื้นรองรับบ่าแตกร้าว
B-06-SL2	Static	200	200	43	พื้นรองรับบ่าแตกร้าว



รูปที่ 4.1-85 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกทั้ง 6 รูปแบบ

จากตารางที่ 4.1-1 จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักได้แก่ กลุ่มที่มีกำลังรับแรงสูงสุดเกินกว่า 50 ตัน และกลุ่มที่มีกำลังรับแรงสูงสุดอยู่ในช่วง 30 ถึง 40 ตัน กลุ่มที่มีกำลังรับแรงสูงสุดเกินกว่า 50 ตัน ได้แก่ บ่ารองรับรอยต่อ B-02 B-03 และ B-05 ซึ่งเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเกิน 1 (สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-02 เท่ากับ 1.5 สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-03 เท่ากับ 2 สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-05 เท่ากับ 1.33)ในขณะที่กลุ่มที่มีกำลังรับแรงสูงสุดอยู่ในช่วง 30 ถึง 40 ตัน เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1 ซึ่งได้แก่ บ่ารองรับรอยต่อ B-01 B-04 และ B-06 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนความกว้างต่อความลึกมีผลต่อกำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อ โดยสัดส่วนความกว้างต่อความลึกที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อมีค่าสูงขึ้นด้วย ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับแนวทางการออกแบบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานของกรมทางหลวงซึ่งมีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อ B-03 และ B-04 แสดงให้เห็นอิทธิพลของสัดส่วนความกว้างต่อความลึกที่มีต่อกำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อได้เป็นอย่างดี บ่ารองรับรอยต่อ B-03 และ B-04 มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยที่ B-03 มีความกว้าง 200 มม. ความลึก 100 มม. ส่วน B-04 มีความกว้าง 150 มม. ความลึก 150 มม. แต่เนื่องจาก B-03 มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกสูงกว่า B-04 เท่าตัว จึงทำให้กำลังรับแรงสูงสุดของ B-03 สูงกว่า B-04 ค่อนข้างมาก

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในรูปที่ 4.1-85 แสดงให้เห็นว่าบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกทั้ง 6 รูปแบบเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งเกร็งสูง สังเกตได้จากความชันของกราฟที่ค่อนข้างสูง ลักษณะเช่นนี้เป็นพฤติกรรมที่ไม่พึงประสงค์ของโครงสร้างที่ต้องรับแรงกระแทก ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างมีความยืดหยุ่นไม่เพียงพอที่จะรับพลังงานจากการกระแทก ส่งผลให้เกิดหน่วยแรงในโครงสร้างเพิ่มเติมขึ้นจากหน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักกระทำแบบสถิตในระดับที่สูง หน่วยแรงเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระแทกนี้ทำให้โครงสร้างเกิดความล้าสะสมเร็วขึ้น ในกรณีของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานซึ่งต้องรับแรงกระแทกจากการจราจรของรถบรรทุกจึงมักพบเห็นบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเกิดการแตกร้าวจนกะเทาะหลุดร่อนภายในระยะเวลาไม่นานแม้น้ำหนักล้อรถบรรทุกที่มากระทำซึ่งมีค่าอยู่ประมาณ 5 ถึง 6 ตัน (รถบรรทุกสิบล้อหนัก 25 ถึง 30 ตัน) จะมีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อก็ตาม

4.2 การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

ในบทนี้เป็นการรายงานผลการทดสอบความสามารถของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกทั้ง 6 รูปแบบ ในการรับแรงกระทำแบบจุดที่กึ่งกลางแผ่นพื้น ในการทดสอบจะมีขั้นตอนและวิธีการทดสอบตามหัวข้อที่ 3.1 ในบทที่ 3 โดยผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อในแต่ละรูปแบบมีดังนี้

4.2.1. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 7 (B-07-SL-RP)

บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 12 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร มีแถบยางพาราที่มีความหนาเท่ากับ 1 เซนติเมตรรองระหว่างพื้นสะพานและบ่ารองรับรอยต่อ การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 150 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีขนาดเล็กที่สุดในการทดสอบนี้

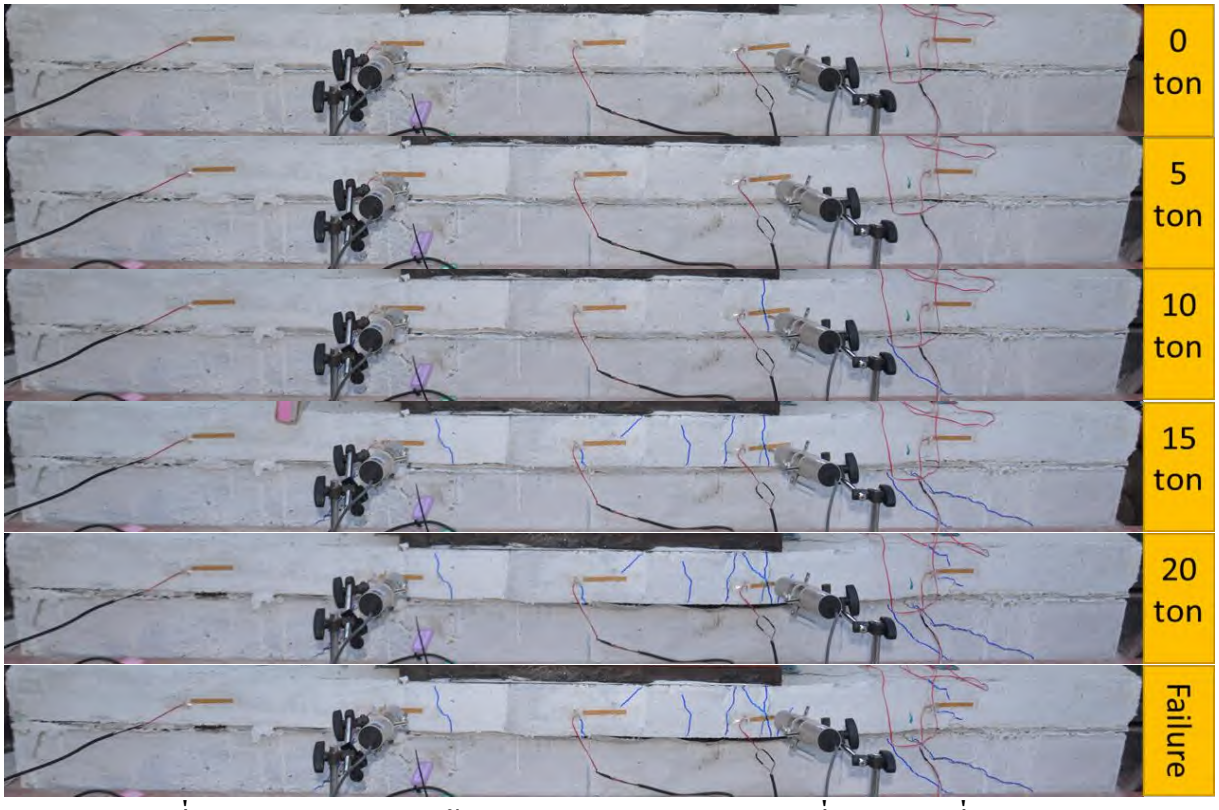
4.2.1.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย โดยใช้การทดสอบแบบควบคุมระดับแรง (Force controlled scheme) โดยจะทำการเพิ่มแรงกดทีละประมาณ 5 ตัน ในแต่ละระดับของแรงกดจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าว โดยรูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7

ตัวอย่างที่ 1(B-07-SL-RP1) และ ตัวอย่างที่ 2(B-07-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-1 และรูปที่ 4.2-2

รูปที่ 4.2-1 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 1 (B-07-SL-RP1)

จากรูปที่ 4.2-1 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน จะเริ่มพบรอยแตกร้าวเล็กน้อยบริเวณตำแหน่งที่กด ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 10 ตัน จึงพบรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นและ พบรอยร้าว ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และรอยร้าวที่ทำมุมประมาณ 90 องศาบริเวณบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำ รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการขยายขนาดและความกว้าง และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 20 ตัน บ่ารองรับรอยต่อได้แตกและหลุดออกจากแผ่นพื้น ทำให้บ่ารองรับรอยต่อไม่สามารถรับแรงกระทำได้ต่อไป และเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.2-2 การทดสอบสรุปได้ว่า การวิบัติเกิดจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

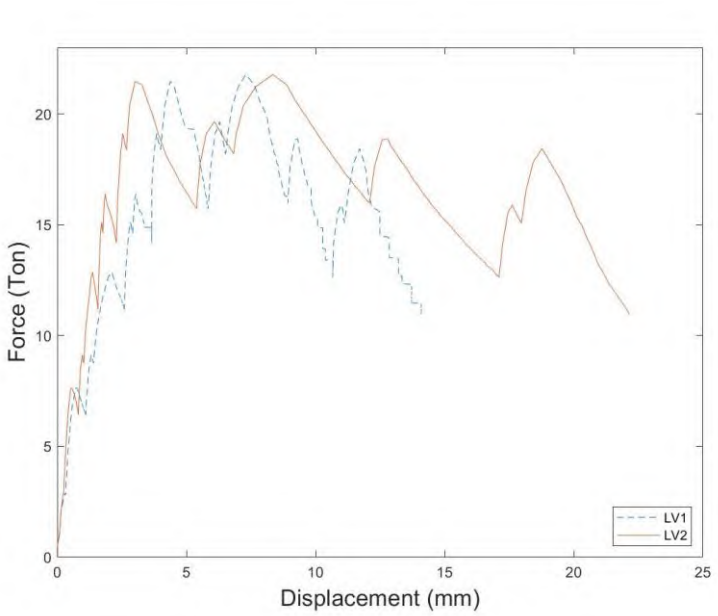


รูปที่ 4.2-2 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 2 (B-07-SL-RP2)

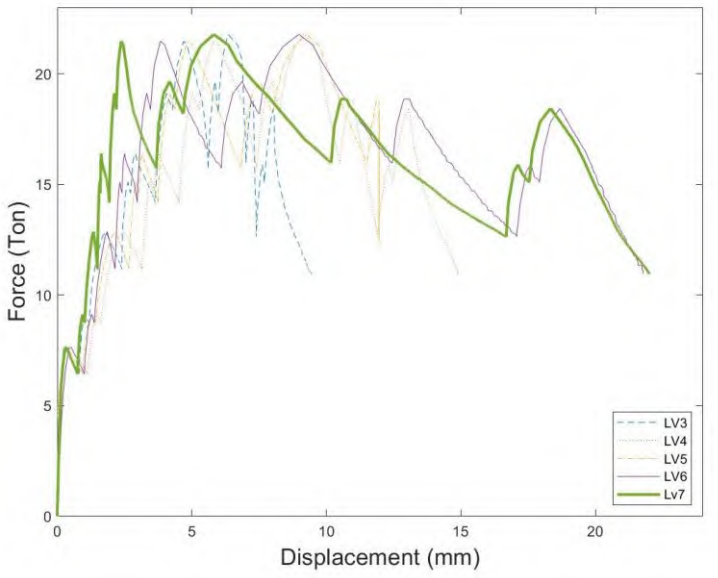
จากรูปที่ 4.2-2 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 10 ตัน จะเริ่มพบรอยแตกร้าวเล็กน้อยบริเวณตำแหน่งที่กด ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 10 ตัน จึงพบรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นและ พบรอยร้าว ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และรอยร้าวที่ทำมุมประมาณ 90 องศาบริเวณบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำ รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการขยายขนาดและความกว้าง และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 20 ตัน บ่ารองรับรอยต่อได้แตกและหลุดออกจากแผ่นพื้น ทำให้บ่ารองรับรอยต่อไม่สามารถรับแรงกระทำได้ต่อไป และเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อ ดังแสดงในรูปที่ 4.2-2 การวิบัติเกิดจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

4.2.1.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 1(B-07-SL-RP1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-3 และรูปที่ 4.2-4



รูปที่ 4.2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 1 (B-07-SL-RP1)



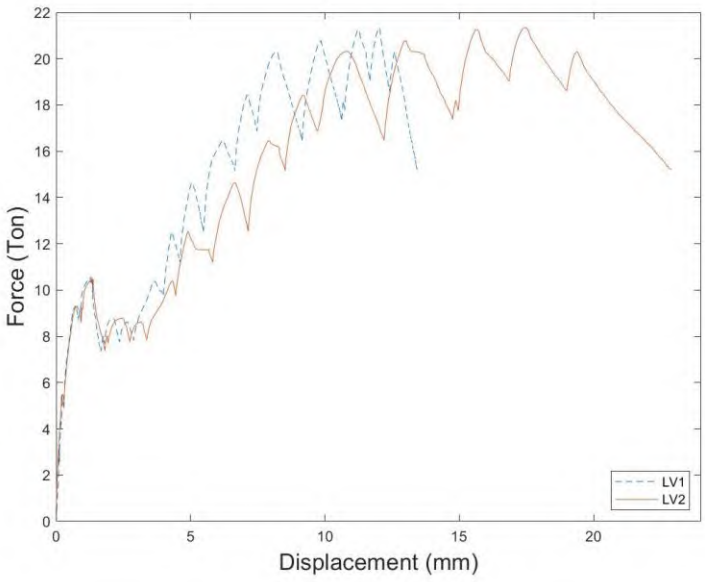
รูปที่ 4.2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 1 (B-07-SL-RP1)

จากรูปที่ 4.2-3 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง เมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 5-10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูงสำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 20 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการ

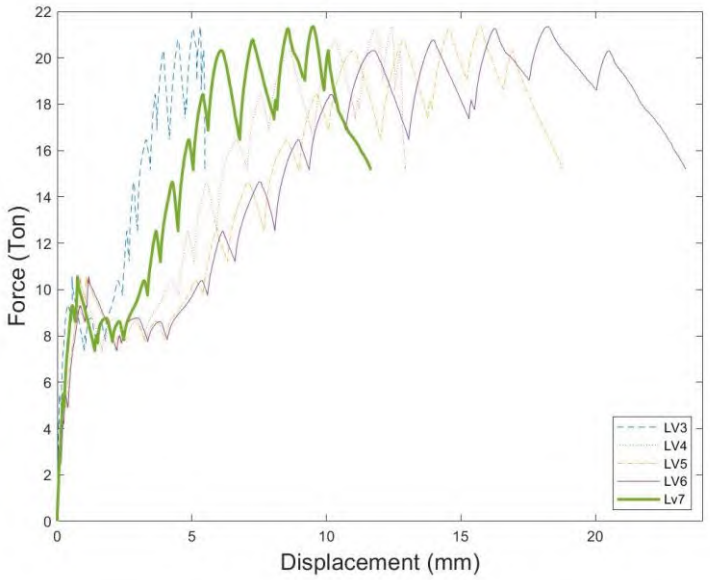
วิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 20 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

จากรูปที่ 4.2-4 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 20 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 2(B-07-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-5 และรูปที่ 4.2-6



รูปที่ 4.2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ



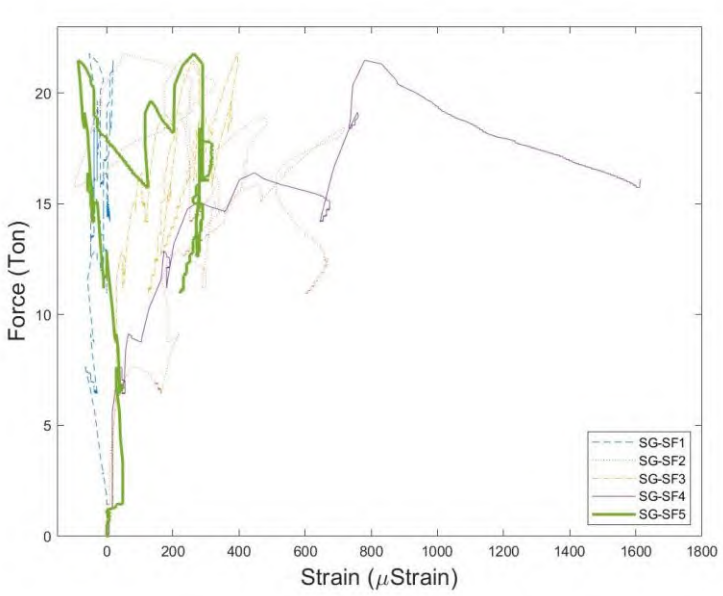
รูปที่ 4.2-6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 2 (B-07-SL-RP2)

รูปที่ 4.2-5 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรงตลอดช่วง เมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และลดลงมากขึ้นที่ระดับแรงกดประมาณ 20 ตัน และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับดังกล่าว แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารองรับรอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 20 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

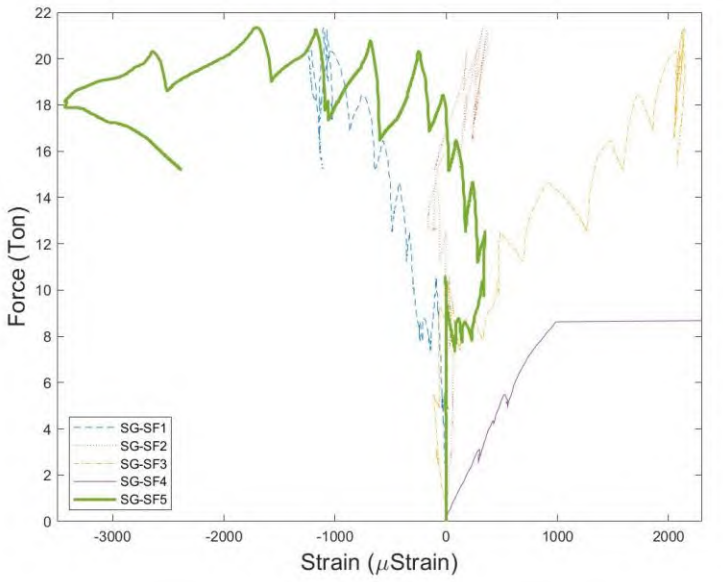
จากรูปที่ 4.2-6 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและมีความชันมากถึงระดับแรงกด 10 ตัน และเมื่อถึงระดับ 10 ตันแล้วระดับความชันของความสัมพันธ์ได้ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารอยต่อด้านบนเริ่มเกิดการแยกออกจากกันและมีความกว้างมากขึ้นตามระดับของแรงกด เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 20 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

4.2.1.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 1(B-07-SL-RP2) และตัวอย่างที่ 2(B-07-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-7 และรูปที่ 4.2-8



รูปที่ 4.2-7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 7 (B-07-SL-RP1)

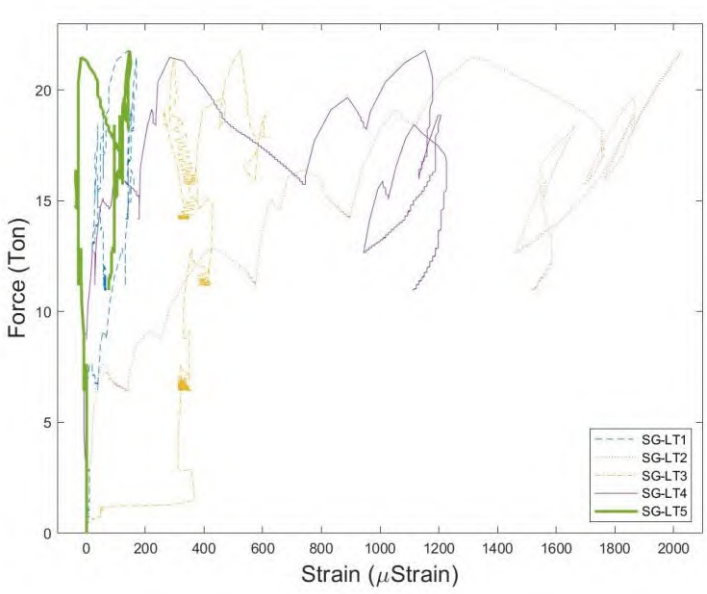


รูปที่ 4.2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 2 (B-07-SL-RP2)

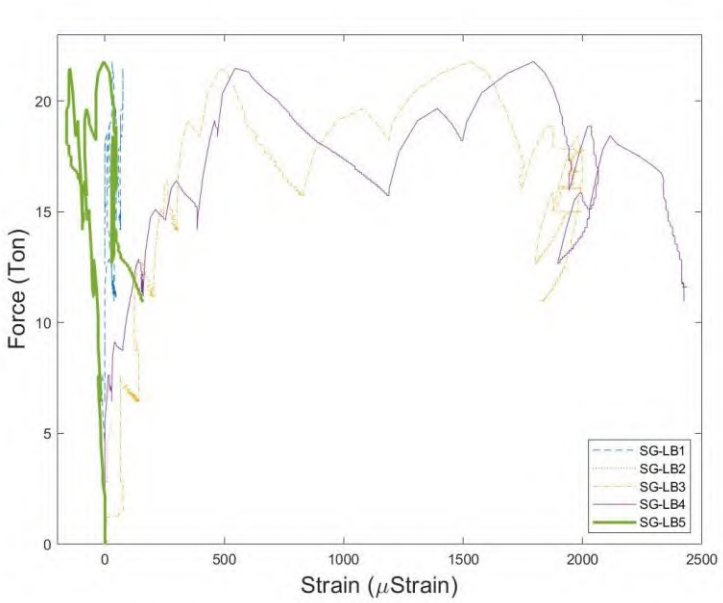
จากรูปที่ 4.2-7 และรูปที่ 4.2-8 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.2.1.4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

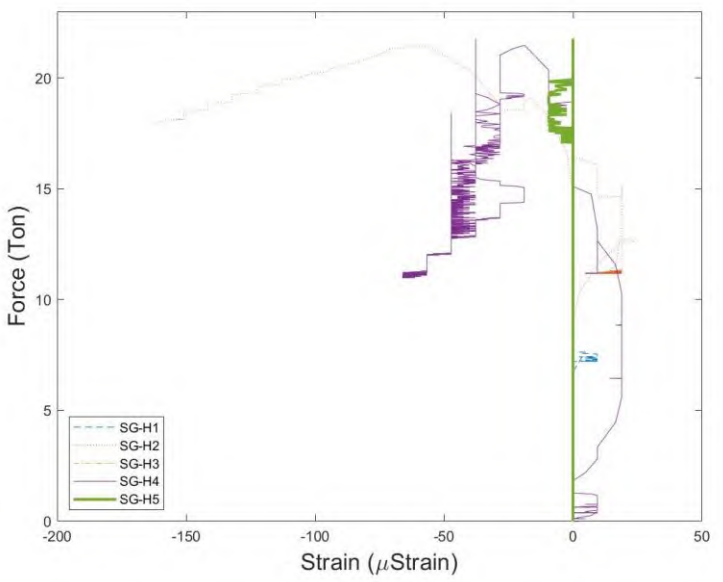
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 1(B-07-SL-RP1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-9 รูปที่ 4.2-10 และรูปที่ 4.2-11



รูปที่ 4.2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 1 (B-07-SL-RP1)



รูปที่ 4.2-10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 1 (B-07-SL-RP1)

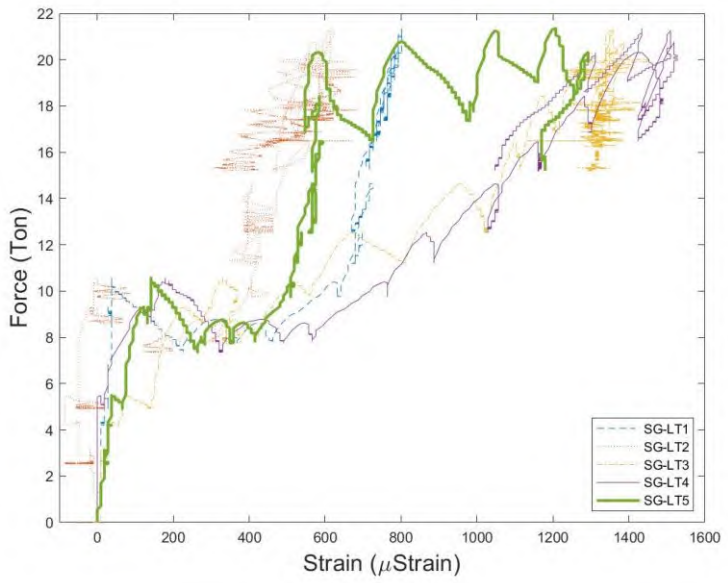


รูปที่ 4.2-11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 1 (B-07-SL-RP1)

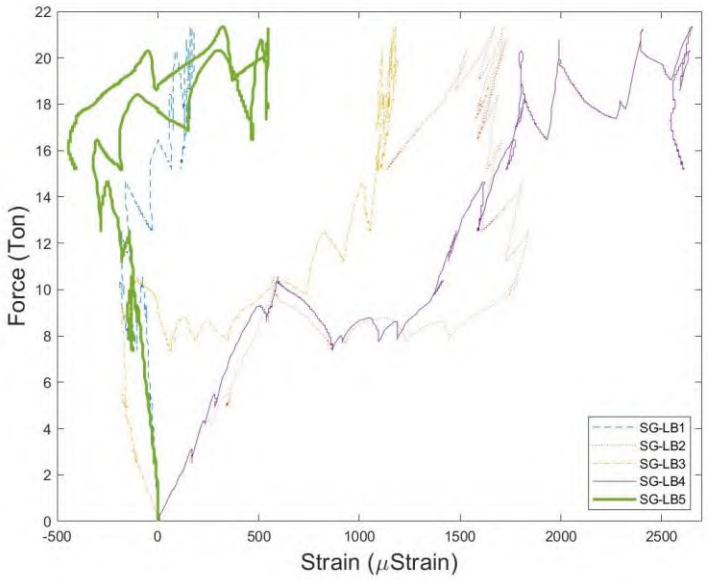
จากรูปที่ 4.2-9 และ รูปที่ 4.2-10 พบว่าระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณกึ่งกลางบ่ารองรับรอยต่อของคอนกรีต (SG-LT3 และ SG-LB4) มีค่าสูงสุด โดยเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนและด้านล่างจะรับแรงดึงเป็นส่วนมาก แสดงให้เห็นว่าบ่าคอนกรีตเกิดการแตกร้าวตามแนวขวาง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.2-11 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H2 และ SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

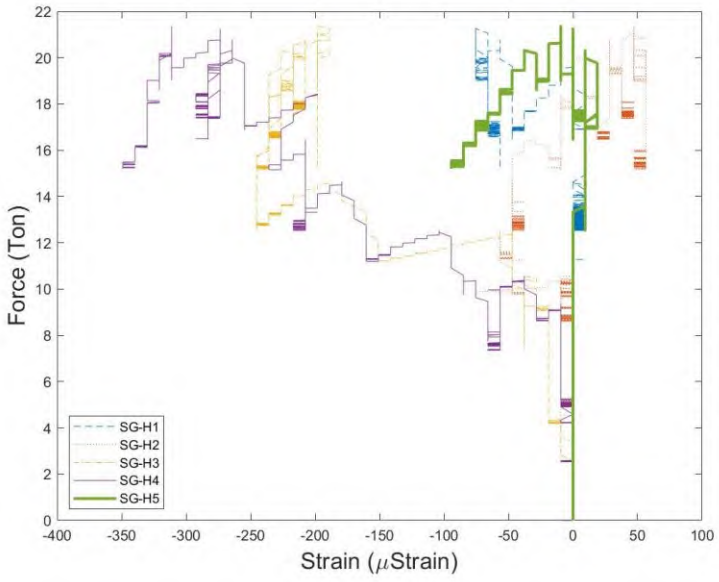
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 2(B-07-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-12 รูปที่ 4.2-13 และรูปที่ 4.2-14



รูปที่ 4.2-12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 2 (B-07-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 2 (B-07-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 7 ตัวอย่างที่ 2 (B-07-SL-RP2)

จาก

รูปที่ 4.2-12 และรูปที่ 4.2-13 พบว่าระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณโดยรวมจะมีค่าน้อย และมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของแรงกระทำ โดยเหล็กเสริมส่วนใหญ่ที่จะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลาก อยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) แม้แรงกระทำจะถึงจุดที่ทำให้บ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อเกิดการวิบัติ เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำเป็นแรงกด ซึ่งแตกต่างจากแรงดัดที่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.2-14 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3 และ SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

4.2.2. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 8 (B-08-SL-RP)

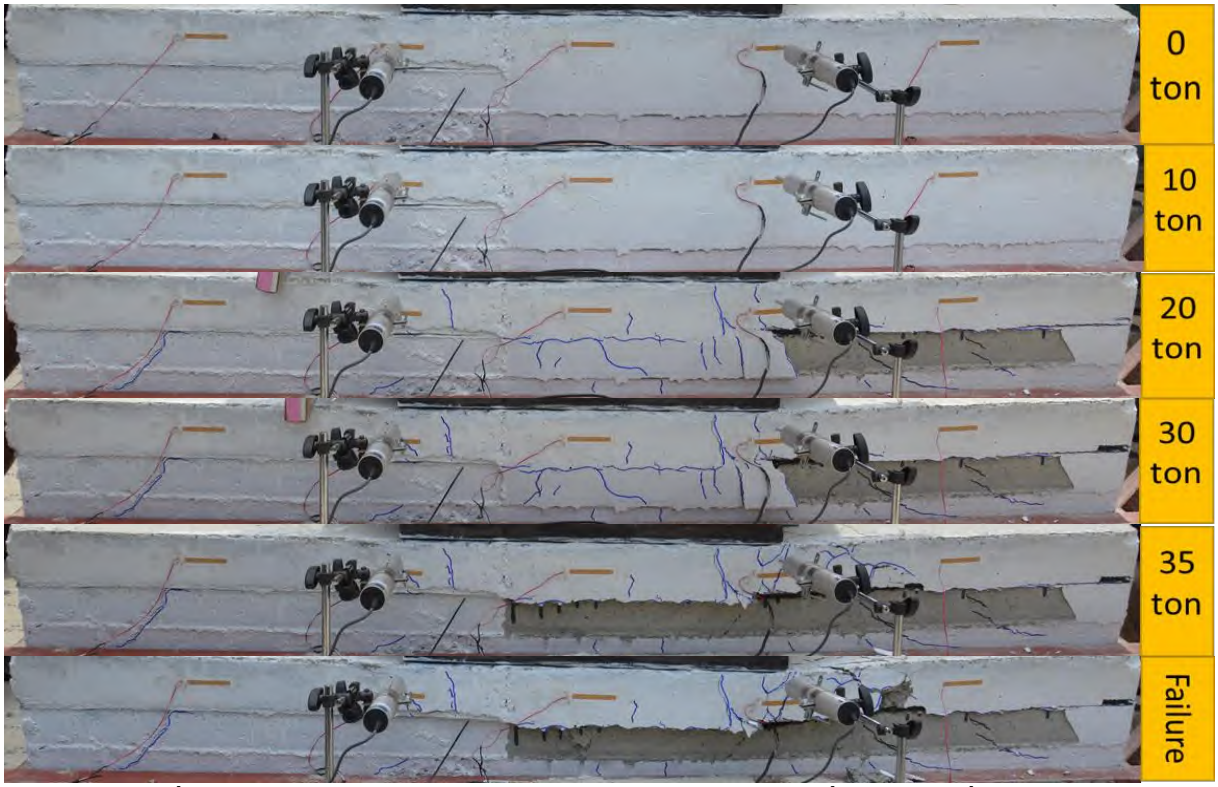
บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 2 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 150 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีการเพิ่มความกว้างของบ่าให้มีความกว้างมากขึ้น 50 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับรอยต่อรูปแบบที่ 1

4.2.2.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย และจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าวในแต่ละระดับของแรงกด รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 1(B-08-SL-RP1 และ B-08-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-15 และรูปที่ 4.2-16

รูปที่ 4.2-15 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 1 (B-08-SL-RP1)

จากรูปที่ 4.2-15 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน และ 10 ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 15 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวกระจายไปทั่วบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้น รอยร้าวบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ จะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ และแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มแรงกระทำไปที่ 25 ตัน รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการเพิ่มจำนวน ขยายขนาดและความกว้างมากขึ้น และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 40 ตัน รอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้น และการทดสอบได้หยุดการวิบัติเกิดจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

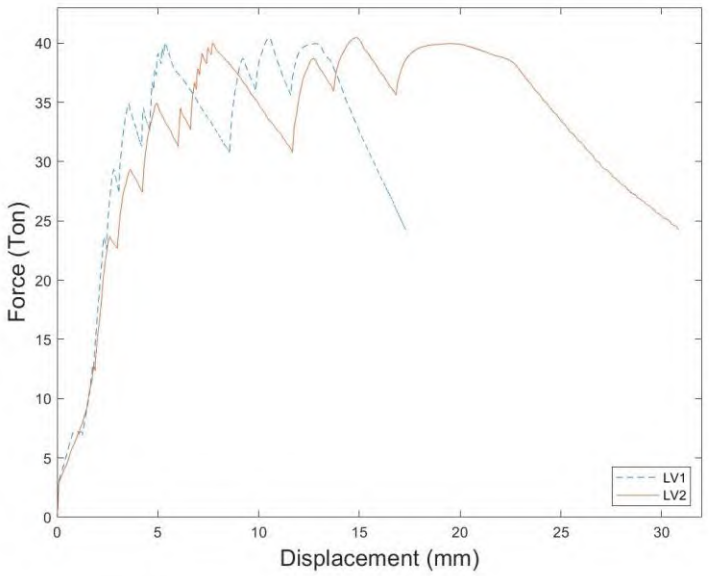


รูปที่ 4.2-16 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 2 (B-08-SL-RP2)

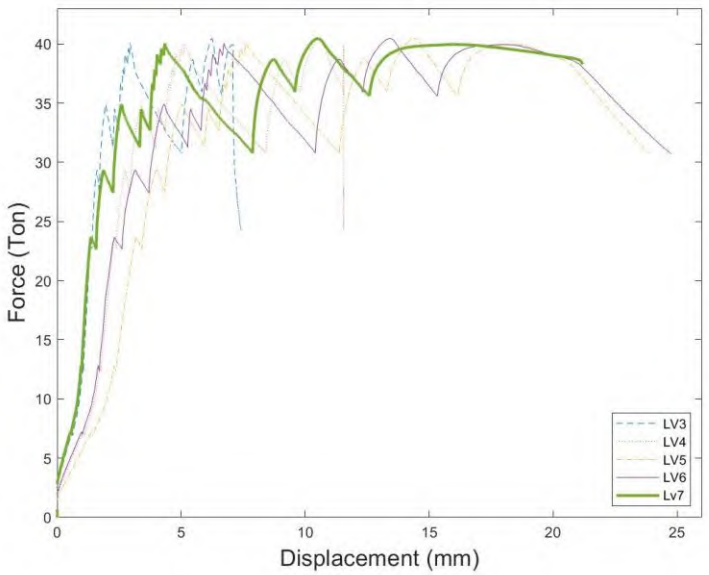
จากรูปที่ 4.2-16 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน และ 10 ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 15 ตัน เริ่มพบรอยร้าวระหว่างบ่ารองรับรอยต่อกับแผ่นพื้นที่ด้านหน้าเล็กน้อย เมื่อเพิ่มแรงกระทำไปที่ระดับ 30 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวกระจายไปทั่วบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้น รอยร้าวบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเฉียงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 38 ตัน รอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้น และการทดสอบได้หยุดการวิบัติเกิดจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

4.2.2.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปและ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 1(B-08-SL-RP1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-17 และรูปที่ 4.2-18



รูปที่ 4.2-17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 1 (B-08-SL-RP1)

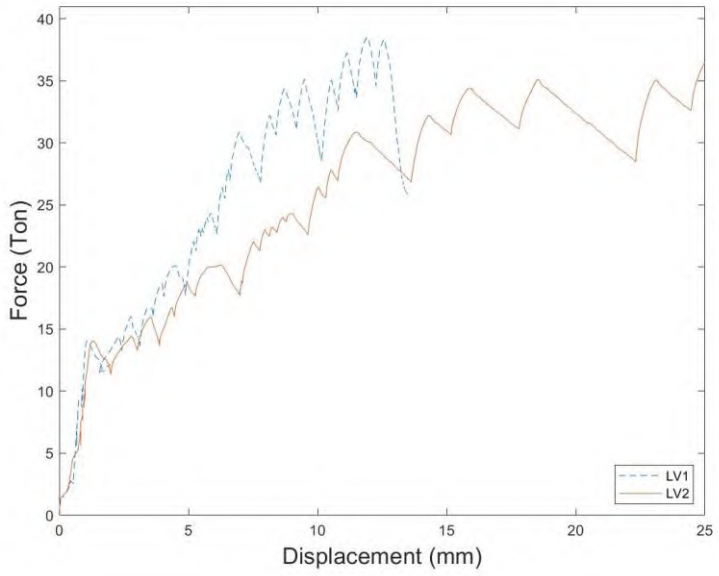


รูปที่ 4.2-18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 1 (B-08-SL-RP1)

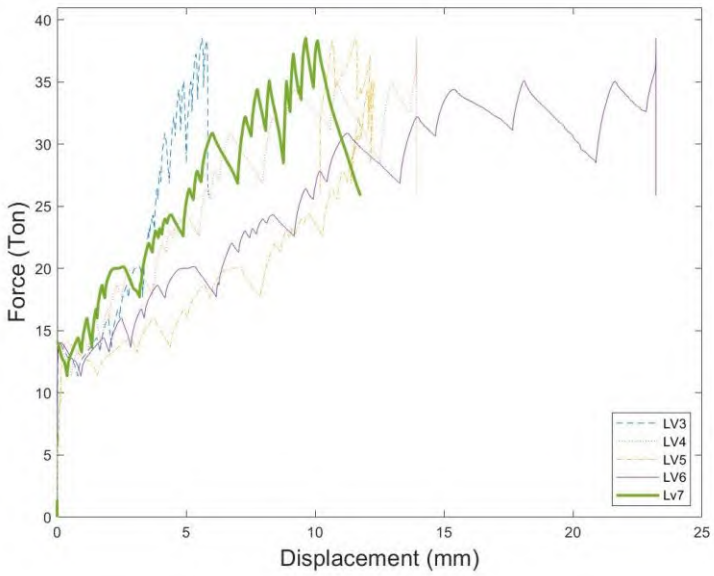
จากรูปที่ 4.2-17 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง เมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 7 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ การเสียรูปของแผ่นพื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกระทำและมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 40 ตัน เนื่องจาก เกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

จากรูปที่ 4.2-18 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อแรงกระทำถึง 7 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนเกิดการแตกร้าวและมีความกว้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 40 ตัน เกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ จึงได้หยุดการทดสอบ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2(B-08-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-19 และรูปที่ 4.2-20



รูปที่ 4.2-19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 2 (B-07-SL-RP2)



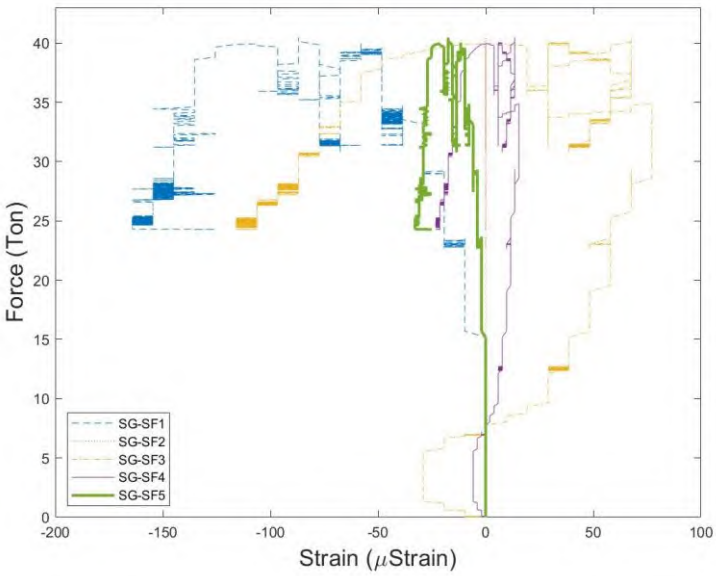
รูปที่ 4.2-20 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 2 (B-08-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-19 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง เมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 15 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ การเสียรูปของแผ่นพื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกระทำและมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 38 ตัน เนื่องจาก เกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

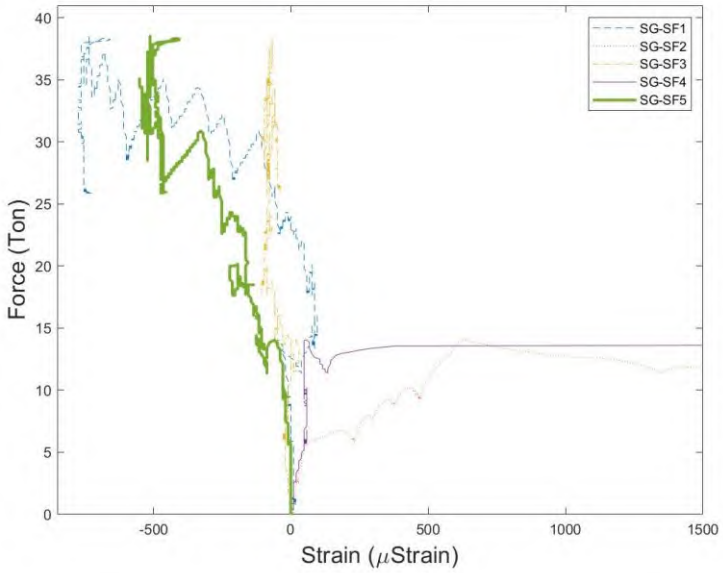
จากรูปที่ 4.2-20 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อแรงกระทำประมาณ 15 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนเกิดการแตกร้าวและมีความกว้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 38 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมาก และแผ่นพื้นเกิดการหลุดออกและเกิดการวิบัติที่แรงกระทำประมาณ 38 ตัน

4.2.2.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 1 (B-08-SL-RP2) และ ตัวอย่างที่ 2(B-08-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-21 และ รูปที่ 4.2-22



รูปที่ 4.2-21 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อ รูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 1 (B-08-SL-RP1)

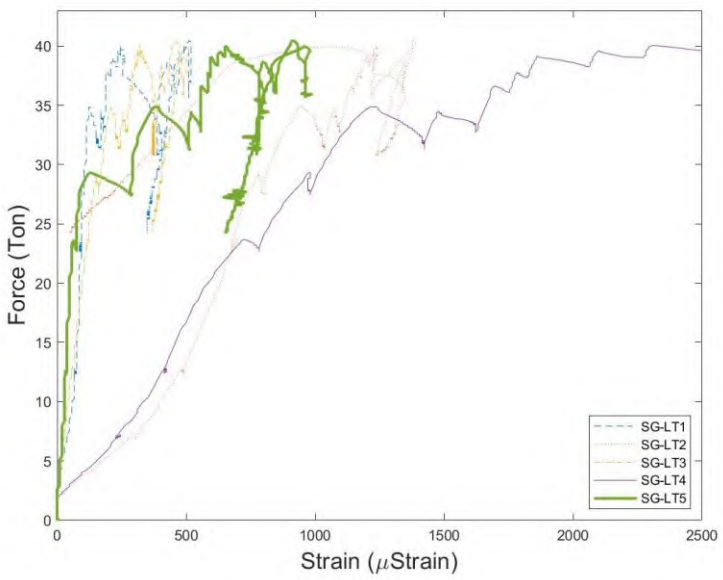


รูปที่ 4.2-22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อ รูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 2 (B-08-SL-RP2)

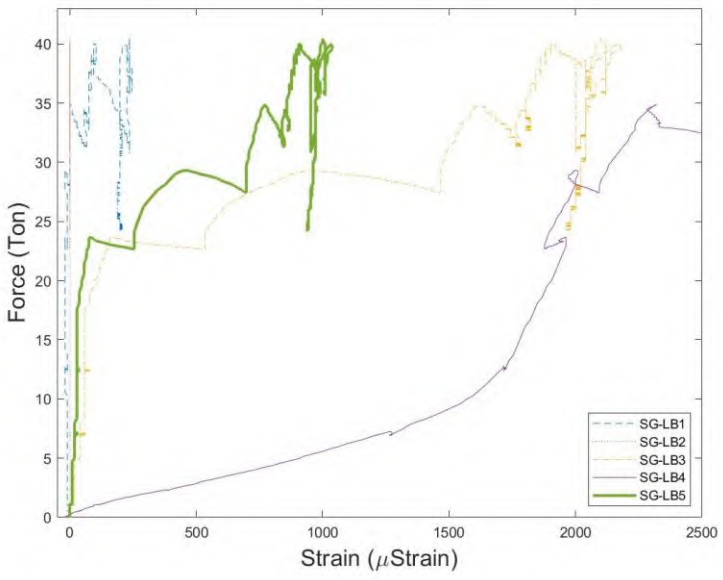
จากรูปที่ 4.2-21 และ รูปที่ 4.2-22 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.2.2.4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

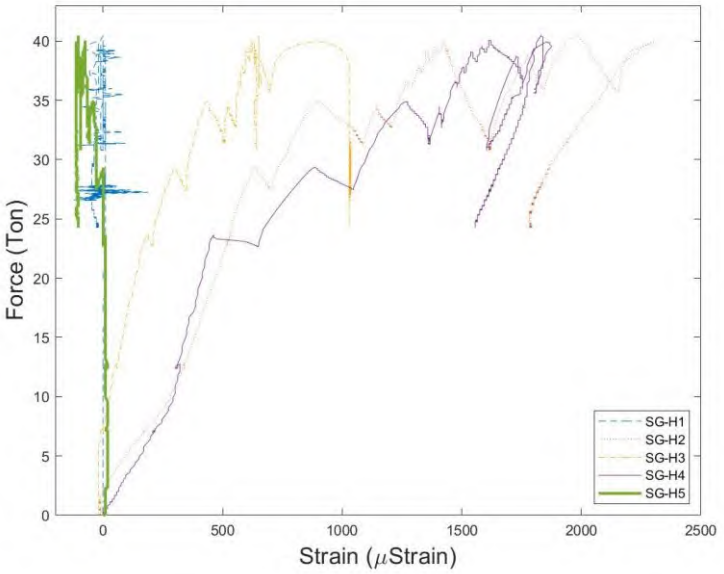
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 1 (B-08-SL-RP1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-23 รูปที่ 4.2-24 และ รูปที่ 4.2-25



รูปที่ 4.2-23 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 1 (B-08-SL-RP1)



รูปที่ 4.2-24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 1 (B-08-SL-RP1)

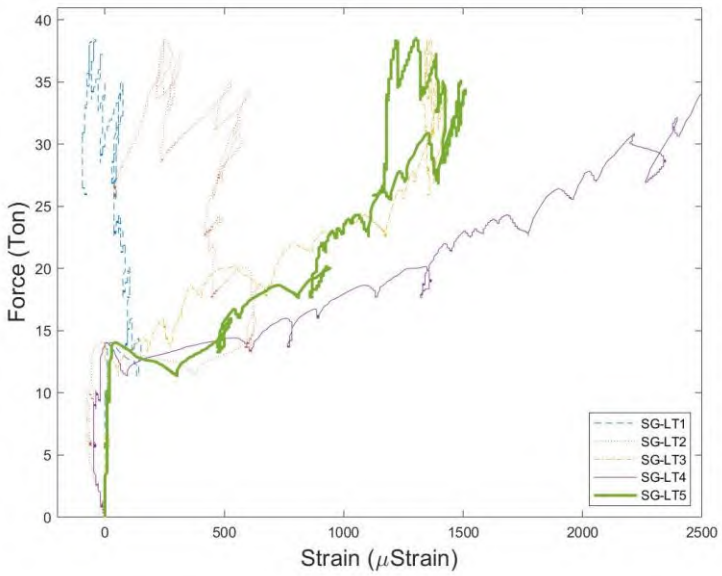


รูปที่ 4.2-25 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 1 (B-08-SL-RP1)

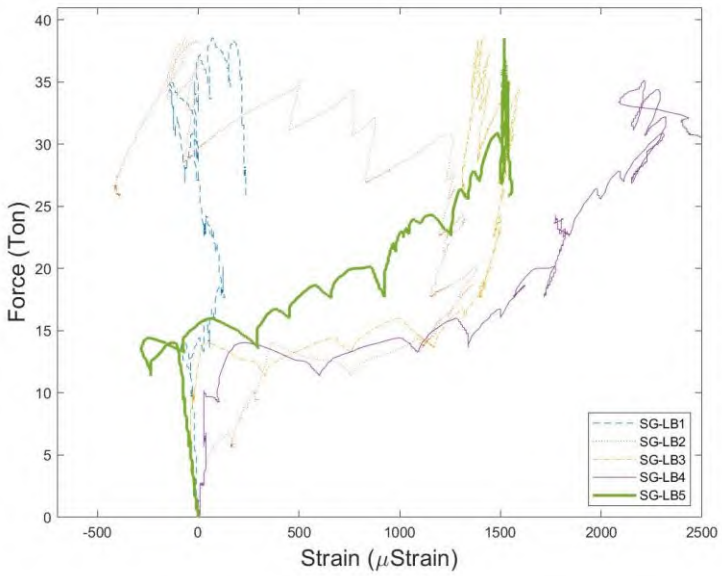
จากรูปที่ 4.2-23 และ รูปที่ 4.2-24 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบน และที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างสูง (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) และทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.2-25 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าสูง โดยเหล็กปลอกบริเวณขอบและกึ่งกลางของแรงกดจากคานถ่ายแรงบนบ่าคอนกรีต (SG-H2 SG-H3และ SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ ละบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกรับแรงถึงจุดคลาก

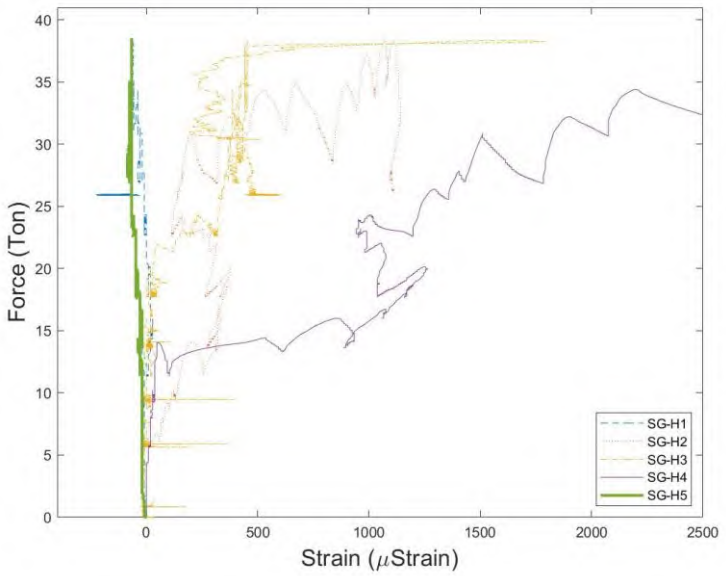
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2(B-08-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-26 รูปที่ 4.2-27 และรูปที่ 4.2-28



รูปที่ 4.2-26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 2 (B-08-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-27 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 2 (B-08-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-28 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 8 ตัวอย่างที่ 2 (B-08-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-26 และ รูปที่ 4.2-27 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนและที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างสูง (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

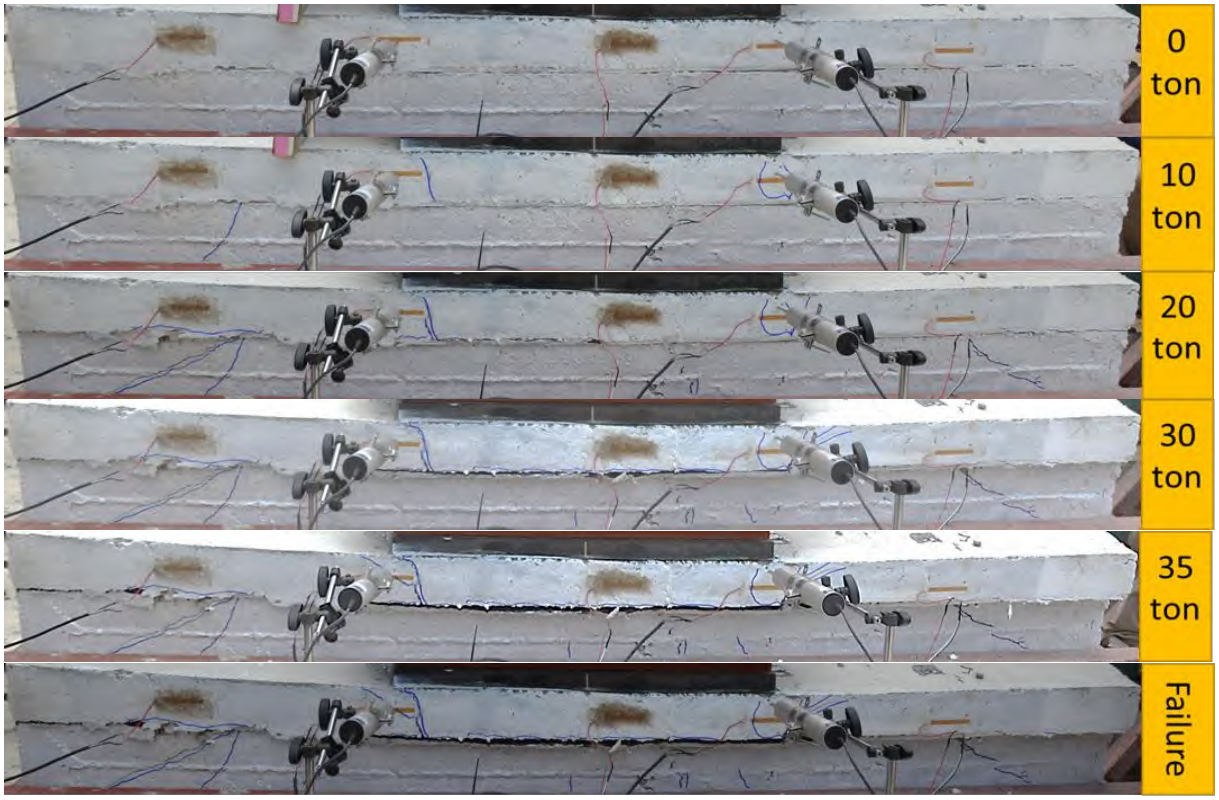
จากรูปที่ 4.2-28 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่ามาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H2 และ SH-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่ามาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกรับแรงใกล้เคียงจุดคลาก

4.2.3. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 9 (B-09-SL)

บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 9 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 150 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีการเพิ่มความกว้างของบ่าให้มีความกว้างมากขึ้น 100 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับรอยต่อรูปแบบที่ 1

4.2.3.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย และจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าวในแต่ละระดับของแรงกด รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1(B-09-SL-RP1 และ B-09-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-29 และรูปที่ 4.2-30



รูปที่ 4.2-29 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1 (B-09-SL-RP1)

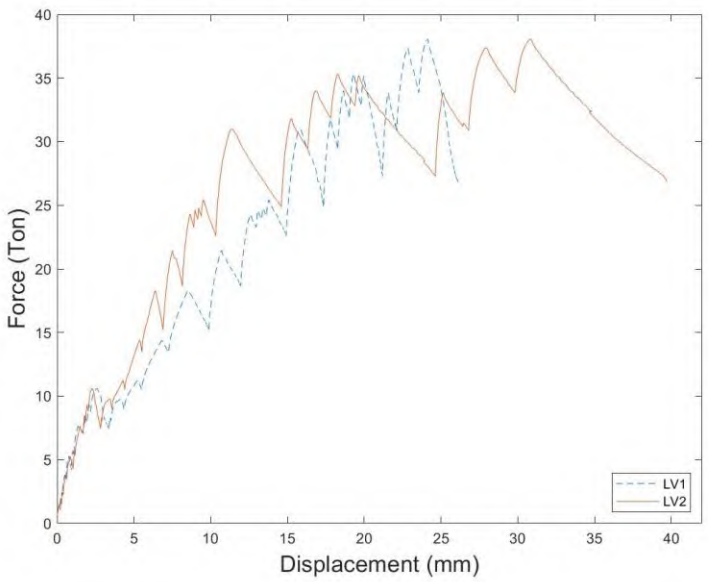
จากรูปที่ 4.2-29 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 10 ตัน พบรอยแตกร้าวเล็กน้อย บนแผ่นพื้น จากนั้นทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 15 ตัน พบรอยแตกร้าวที่มีการขยายขนาด รอยแตกร้าวดังกล่าวทำมุม 90 องศา เมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 20 ตัน จึงเริ่มพบรอยแตกร้าวระหว่างบ่ารอยต่อกับแผ่นพื้นเอียงทำมุม 45 องศากับแผ่นพื้น และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 38 ตัน พบรอยร้าวขนาดเล็กเพิ่มขึ้นอีก 1 รอยรอยร้าวและรอยแตกระหว่างบ่ารอยต่อที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้น และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อเมื่อถึงระดับแรงกระทำดังกล่าว

รูปที่ 4.2-30 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 2 (B-09-SL-RP2)

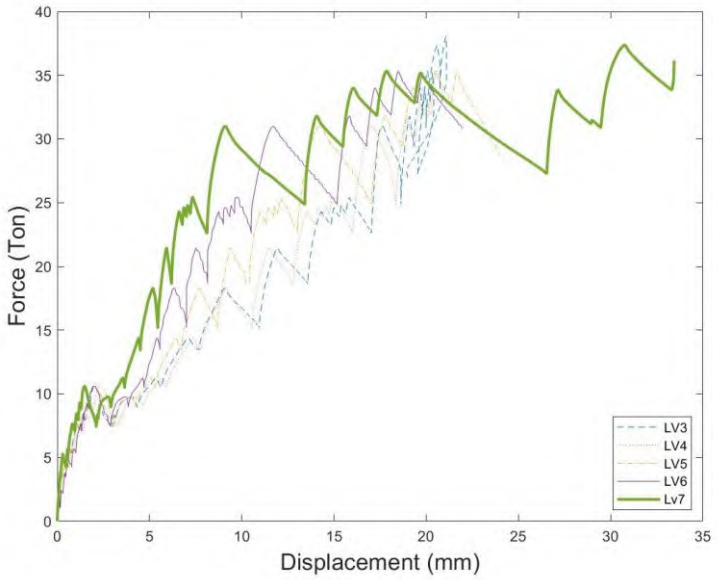
จากรูปที่ 4.2-30 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 10 ตัน พบรอยแตกร้าวเล็กน้อย บนแผ่นพื้น จากนั้นทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 15 ตัน พบรอยแตกร้าวที่มีการขยายขนาด รอยแตกร้าวดังกล่าวทำมุม 90 องศา เมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 20 ตัน จึงเริ่มพบรอยแตกร้าวระหว่างบ่ารอยต่อกับแผ่นพื้นเอียงทำมุม 45 องศากับแผ่นพื้น และเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำไปที่ 39 ตัน พบรอยร้าวขนาดเล็กเพิ่มขึ้นอีก 1 รอยรอยร้าวและรอยแตกระหว่างบ่ารอยต่อที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้น และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อเมื่อถึงระดับแรงกระทำดังกล่าว

4.2.3.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปและ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1(B-09-SL-RP1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-31 และรูปที่ 4.2-32



รูปที่ 4.2-31 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1 (B-09-SL-RP1)

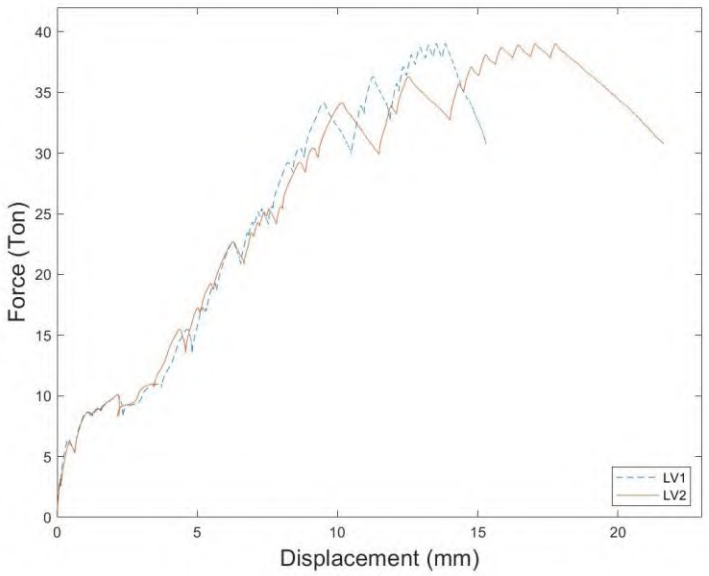


รูปที่ 4.2-32 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1 (B-09-SL-RP1)

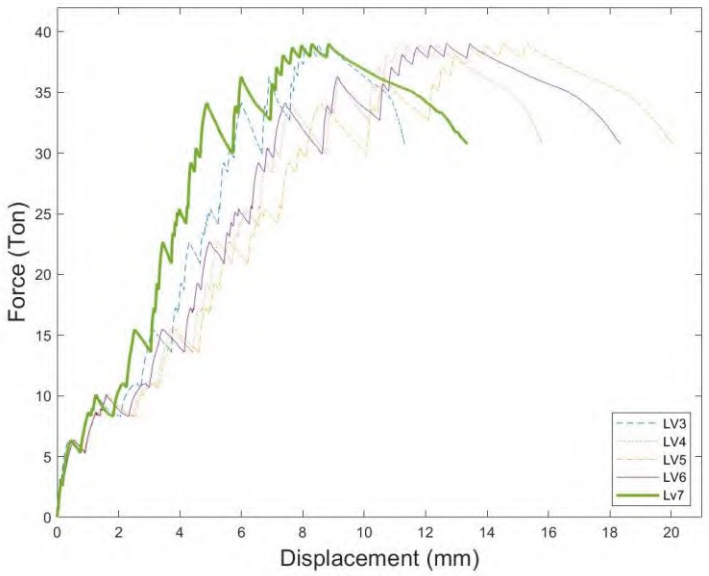
จากรูปที่ 4.2-31 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง เมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ การเสียรูปของแผ่นพื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกระทำและมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 38 ตัน เนื่องจากเกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อเมื่อถึงระดับแรงกระทำดังกล่าว

จากรูปที่ 4.2-32 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อแรงกระทำถึง 10 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนเกิดการแตกร้าวและมีความกว้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 38 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมาก และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจากเกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อเมื่อถึงระดับแรงกระทำดังกล่าว

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 1 ตัวอย่างที่ 2(B-09-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-33 และรูปที่ 4.2-34



รูปที่ 4.2-33 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 2 (B-09-SL-RP2)



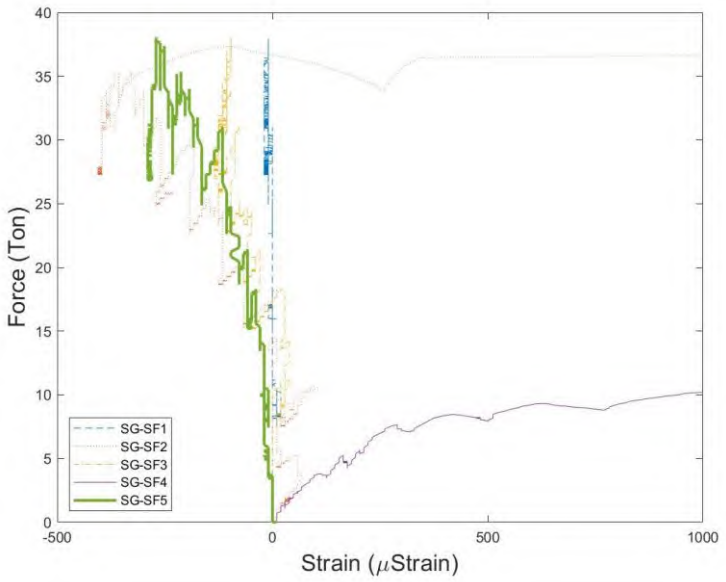
รูปที่ 4.2-34 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 2 (B-09-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-33 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง เมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นพื้นมีความแข็งเกร็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สำหรับวิธีการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อ การเสียรูปของแผ่นพื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกระทำและมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำไปถึง 39 ตัน เนื่องจากเกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อเมื่อถึงระดับแรงกระทำดังกล่าว

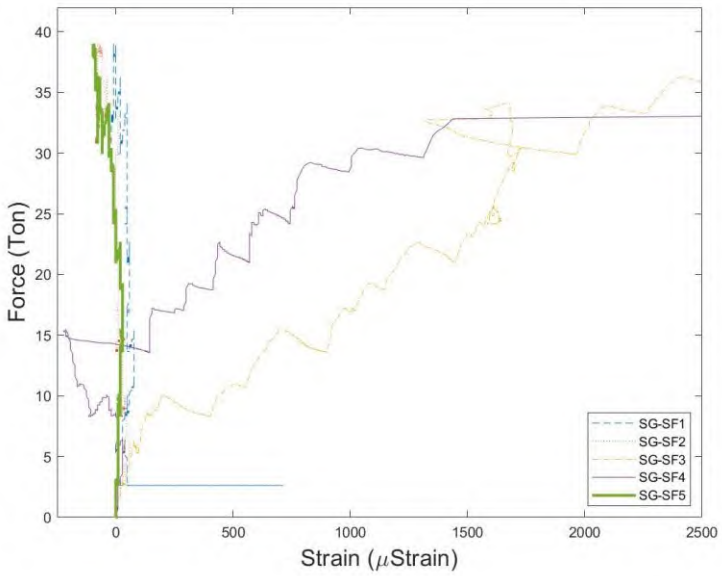
จากรูปที่ 4.2-34 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อแรงกระทำถึง 10 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนเกิดการแตกร้าวและมีความกว้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 38 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมาก และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจากเกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อเมื่อถึงระดับแรงกระทำดังกล่าว

4.2.3.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1(B-09-SL-RP2) และตัวอย่างที่ 2(B-09-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-35 และรูปที่ 4.2-36



รูปที่ 4.2-35 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1 (B-09-SL-RP1)

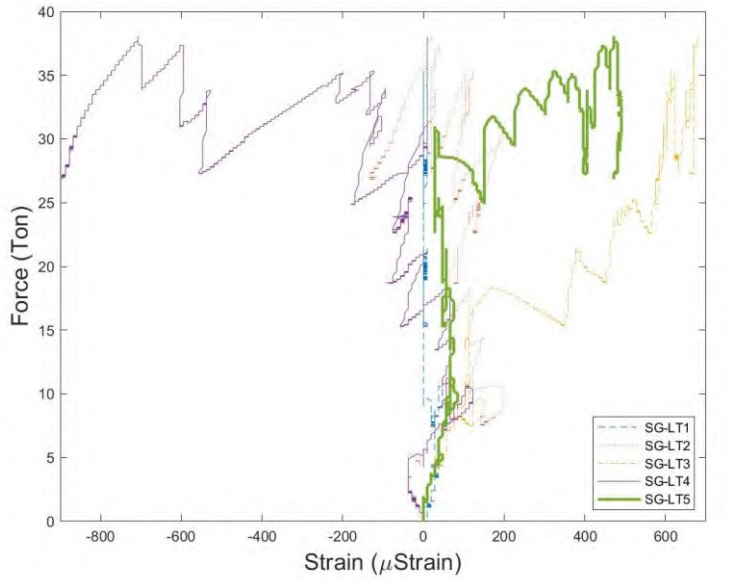


รูปที่ 4.2-36 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 2 (B-09-SL-RP2)

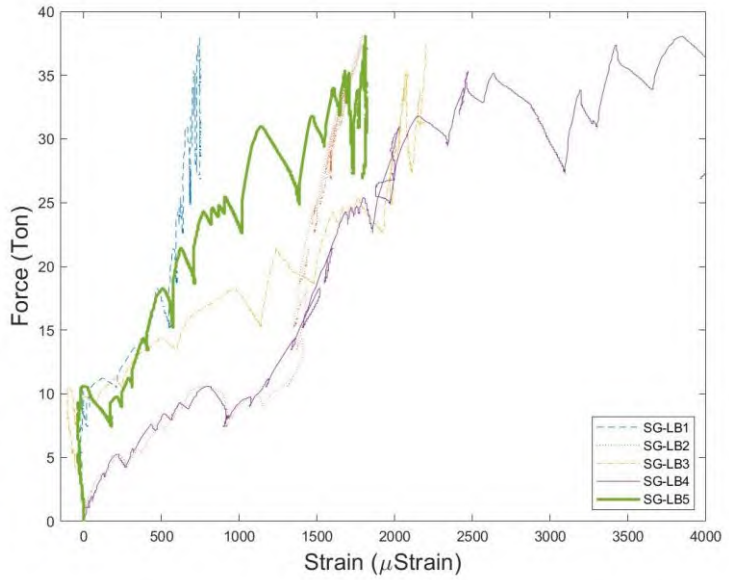
จากรูปที่ 4.2-35 และ รูปที่ 4.2-36 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.2.3.4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

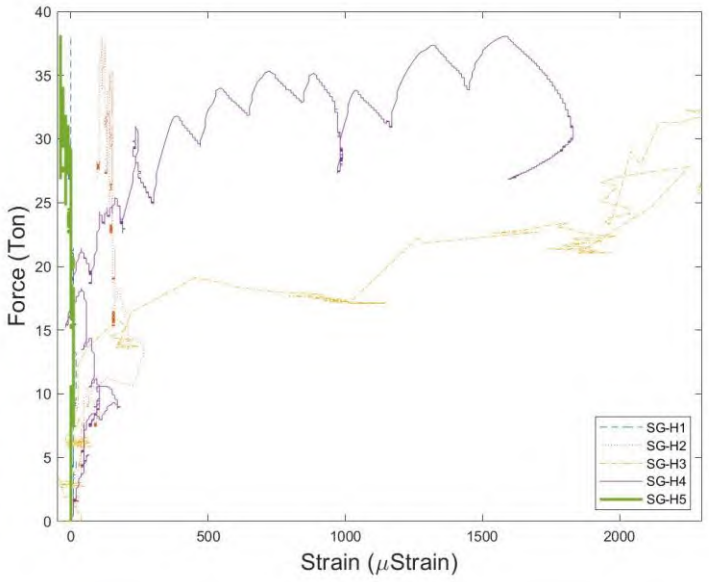
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1(B-09-SL-RP1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-37 รูปที่ 4.2-38 และรูปที่ 4.2-39



รูปที่ 4.2-37 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1 (B-09-SL-RP1)



รูปที่ 4.2-38 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1 (B-09-SL-RP1)

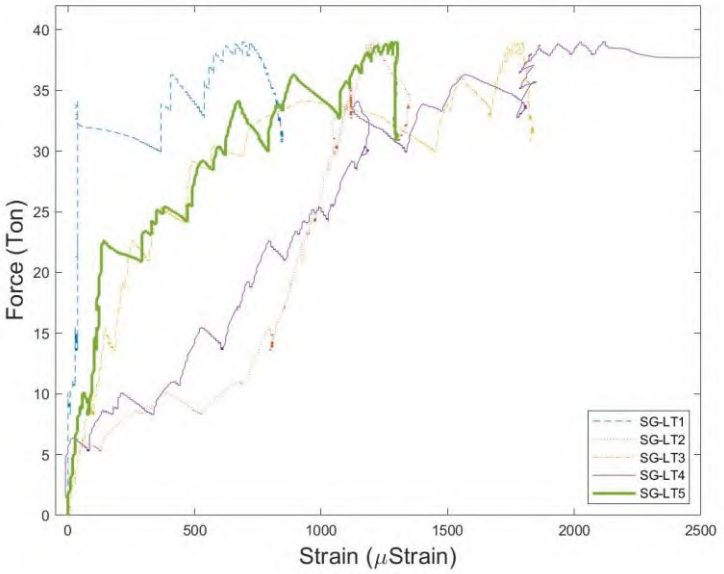


รูปที่ 4.2-39 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 1 (B-09-SL-RP1)

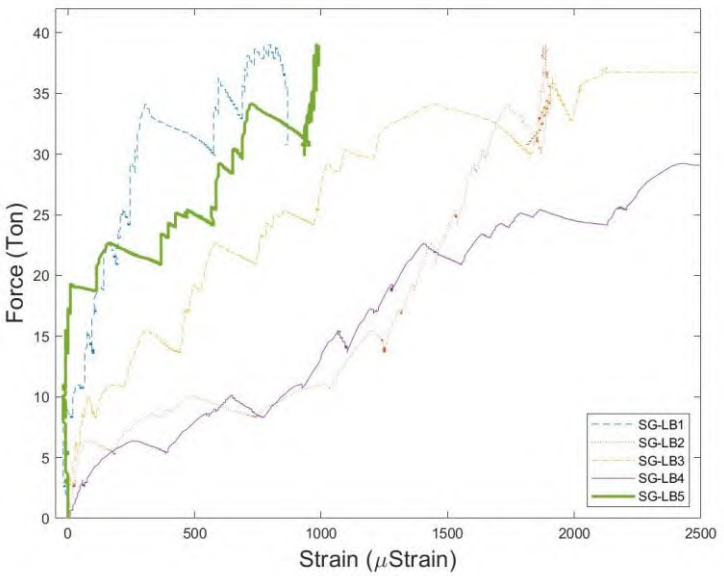
จากรูปที่ 4.2-37 และ รูปที่ 4.2-38 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนจะรับแรงอัดและจะเปลี่ยนเป็นแรงดึงในบางตัวหลังจากเกิดการแตกร้าว ส่วนเหล็กเสริมที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวด้านบนมีค่าค่อนข้างน้อย (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) ส่วนด้านล่างจะมีค่าค่อนข้างสูง และทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น ณ จุดวิบัติ

จากรูปที่ 4.2-39 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่ามาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3 และ SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ และเมื่อถึงจุดวิบัติพบว่าเหล็กปลอกรับแรงใกล้เคียงจุดคลาก

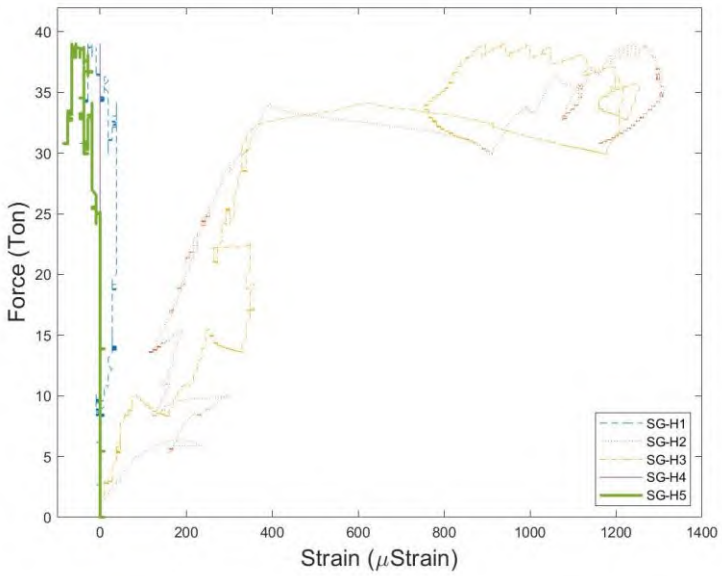
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 9(B-09-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-40 รูปที่ 4.2-41 และรูปที่ 4.2-42



รูปที่ 4.2-40 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 2 (B-09-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-41 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 2 (B-09-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-42 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 9 ตัวอย่างที่ 2 (B-09-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-40 และ รูปที่ 4.2-41 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนและเหล็กเสริมที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างสูง (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) และมีค่าถึงจุดคลากเมื่อรอยต่อเกิดการวิบัติ

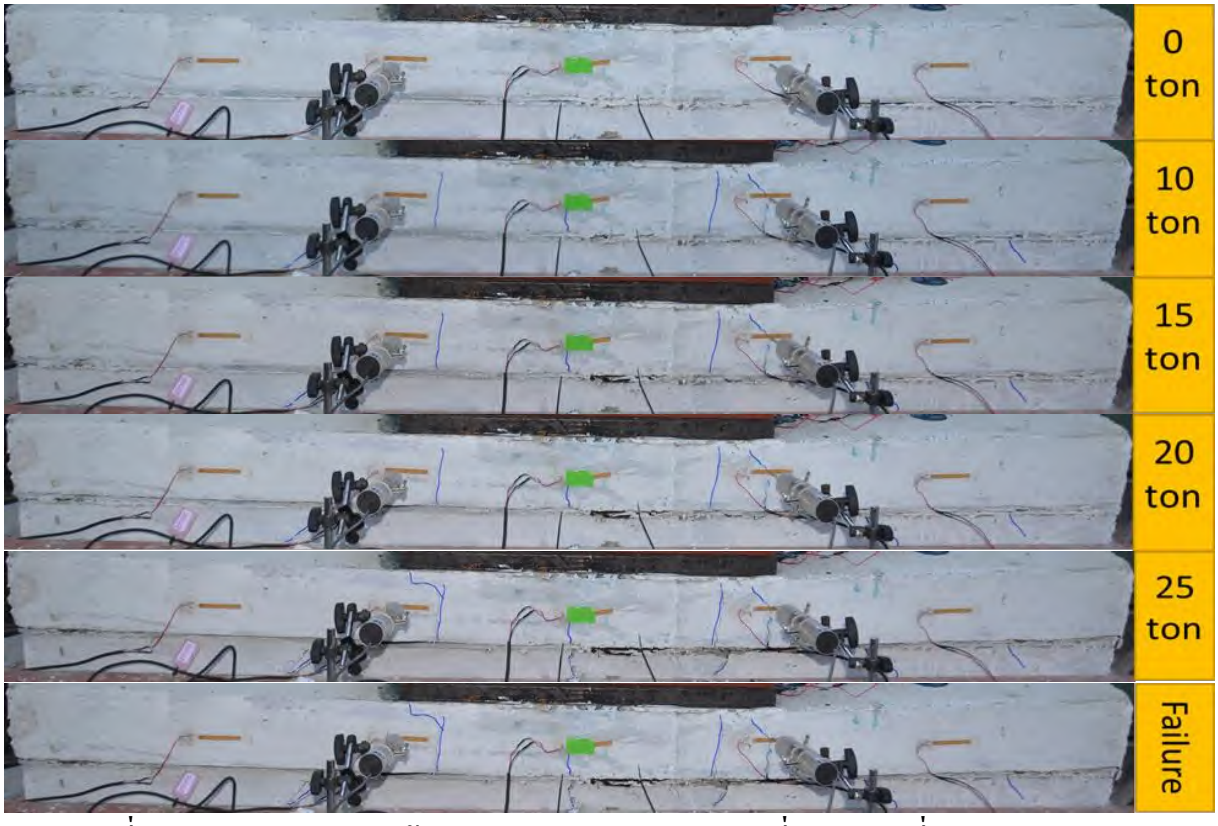
จากรูปที่ 4.2-42 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H2 และ SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่ามาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกรับแรงยังไม่ถึงจุดคลาก

4.2.4. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 10 (B-10-SL-RP)

บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 10 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 150 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 100 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีการเพิ่มความกว้างของบ่าให้มีความกว้างและความลึกมากขึ้น 50 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับรอยต่อรูปแบบที่ 1

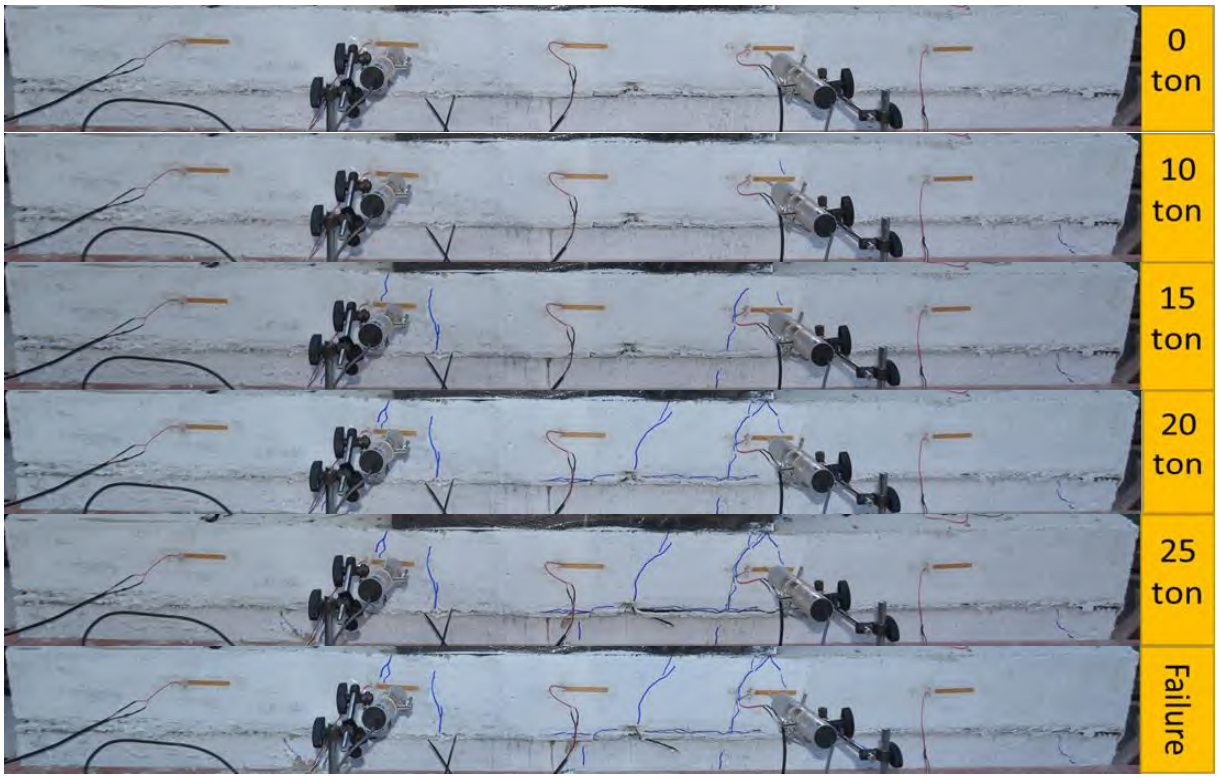
4.2.4.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย และจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าวในแต่ละระดับของแรงกด รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 1(B-10-SL-RP1 และ B-10-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-43 และรูปที่ 4.2-44



รูปที่ 4.2-43 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 4 (B-10-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-43 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 10 ตัน พบรอยร้าวขนาดเล็กทำมุม 90 องศา บนบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงไปที่ระดับ 10 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวเล็กน้อยที่บ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้นบริเวณด้านหน้าของรอยต่อทางด้านซ้ายมือ และเมื่อเพิ่มแรงไป 25 ตัน เกิดรอยร้าวเพิ่มขึ้นบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ และพบรอยร้าวจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ รอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้นและแผ่นพื้นเกิดการแตกและหลุดออก และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อเมื่อถึงระดับแรงกระทำดังกล่าว

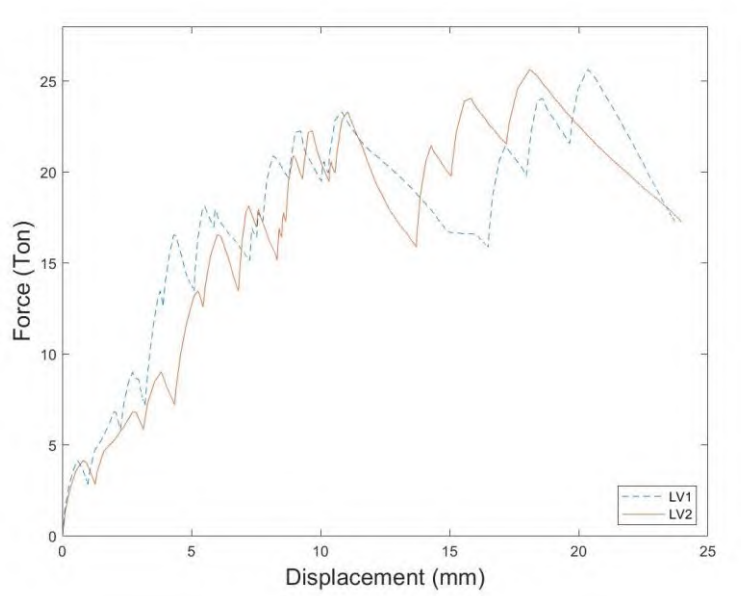


รูปที่ 4.2-44 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 2 ตัวอย่างที่ 4 (B-10-SL-RP2)

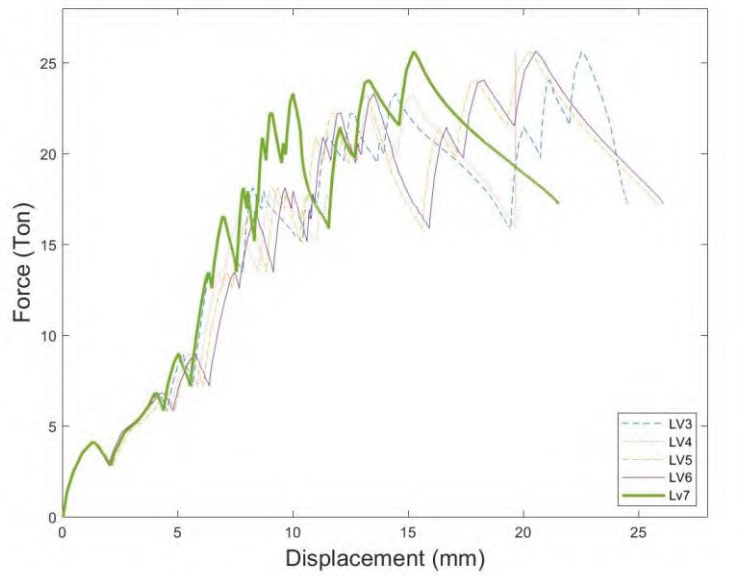
จากรูปที่ 4.2-44 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 10 ตัน พบรอยร้าวขนาดเล็กทำมุม 90 องศา บนบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงไปที่ระดับ 10 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวเล็กน้อยที่บ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้นบริเวณด้านหน้าของรอยต่อทางด้านซ้ายมือ และเมื่อเพิ่มแรงไป 27 ตัน เกิดรอยร้าวเพิ่มขึ้นบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ และพบรอยร้าวจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ รอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้เพิ่มขนาดและความกว้างมากขึ้นและแผ่นพื้นเกิดการแตกและหลุดออก และการทดสอบได้หยุดลงเมื่อเกิดการวิบัติจากการแตกและหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อและพื้นรองรับบ่าแตกร้าวเมื่อถึงระดับแรงกระทำดังกล่าว

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 1(B-10-SL-RP1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-45 และรูปที่ 4.2-46



รูปที่ 4.2-45 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 1 (B-10-SL-RP1)

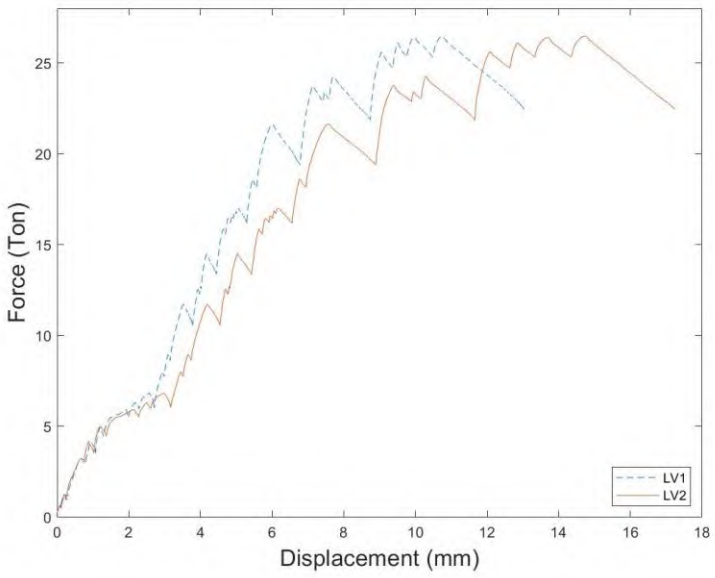


รูปที่ 4.2-46 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 1 (B-10-SL-RP1)

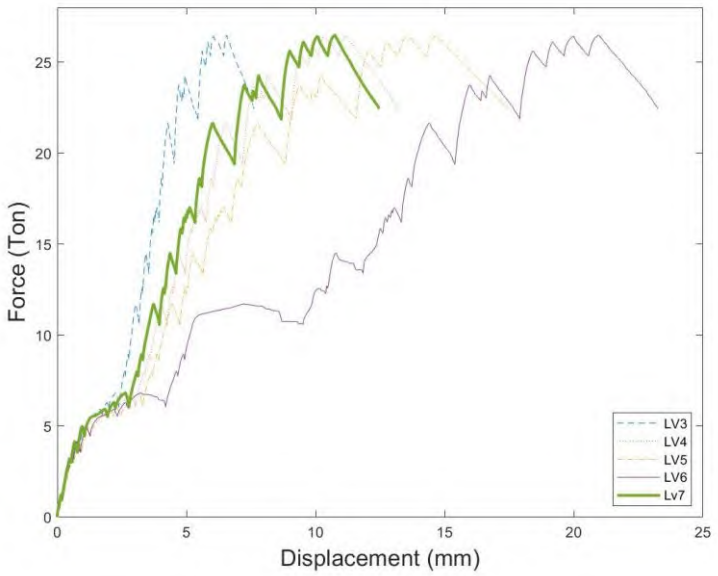
จากรูปที่ 4.2-45 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง โดยความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำถึง 5 ตัน และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 25 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 25 ตัน ก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ และพื้นรองรับบ่าแตกร้าว

จากรูปที่ 4.2-46 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์ในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง โดยความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำถึง 5 ตัน และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 25 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 25 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ และพื้นรองรับบ่าแตกร้าว

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 2(B-10-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-47 และรูปที่ 4.2-48



รูปที่ 4.2-47 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 2 (B-10-SL-RP2)



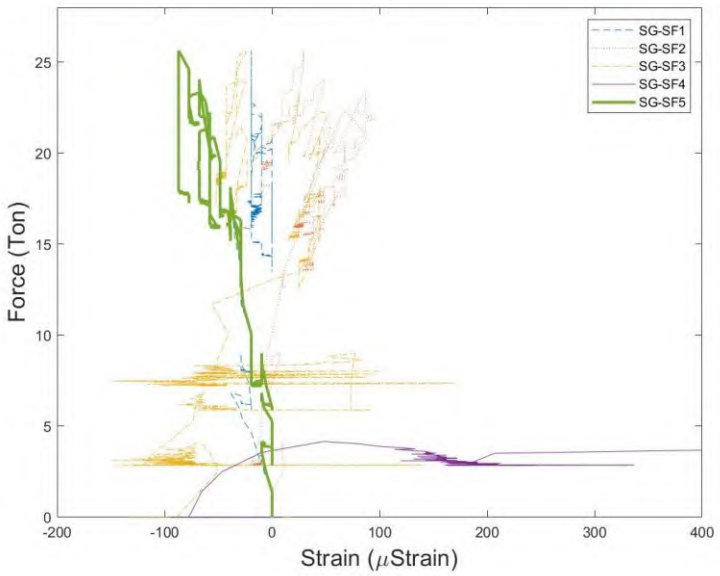
รูปที่ 4.2-48 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 2 (B-10-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-47 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง โดยความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเมื่อเพิ่มระดับแรงกระทำถึง 5 ตัน และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 27 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 25 ตัน ก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ และพื้นรองรับบ่าแตกร้าว

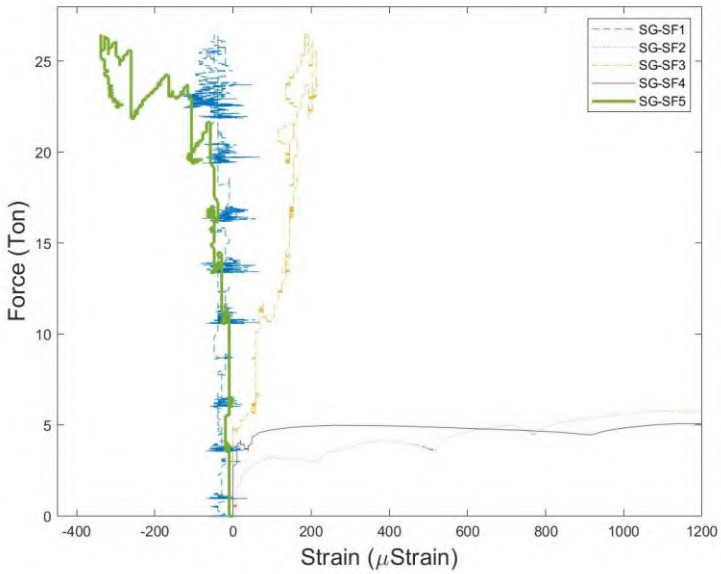
จากรูปที่ 4.2-48 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงจนถึงแรงกดที่ 5 ตัน หลังจากจุดนี้รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 27 ตัน จะเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

4.2.4.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 1 (B-10-SL-RP2) และ ตัวอย่างที่ 2(B-10-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-49 และรูปที่ 4.2-50



รูปที่ 4.2-49 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 1 (B-10-SL-RP1)

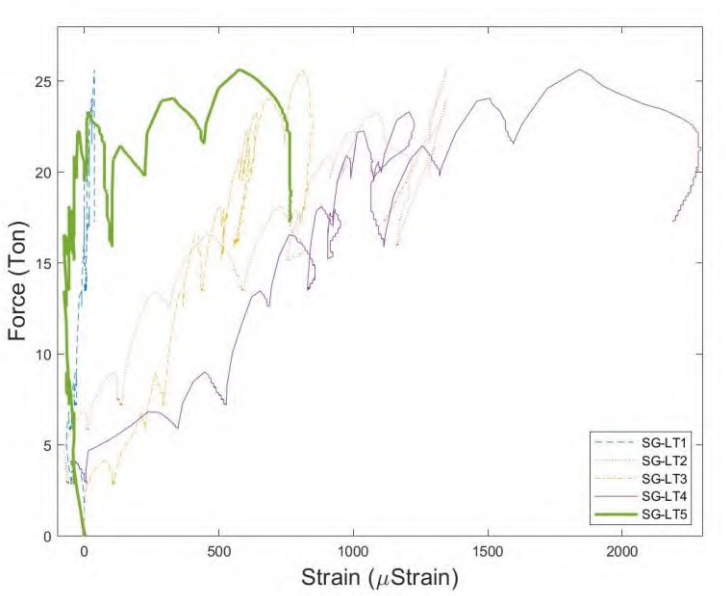


รูปที่ 4.2-50 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 2 (B-10-SL-RP2)

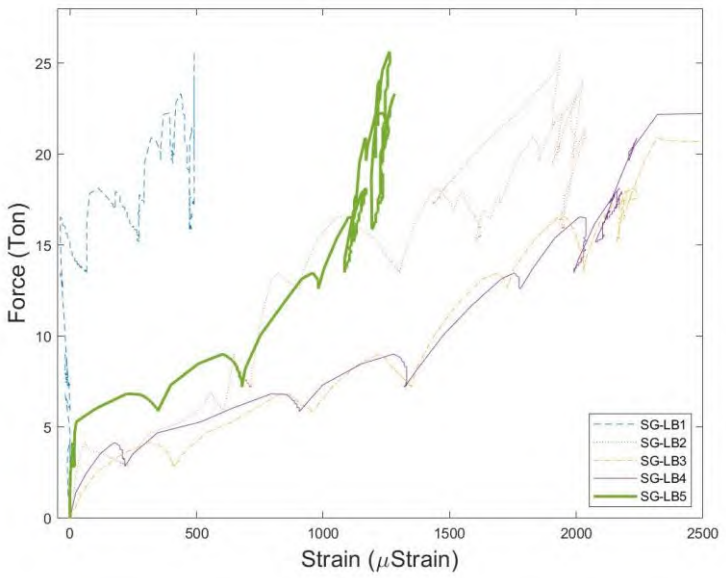
จากรูปที่ 4.2-49 และรูปที่ 4.2-50 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.2.4.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

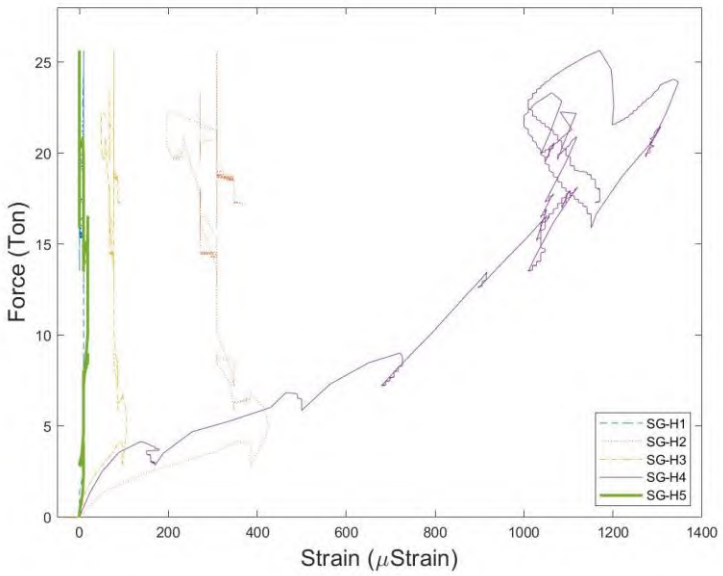
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 1(B-10-SL-RP1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-51 รูปที่ 4.2-52 และรูปที่ 4.2-53



รูปที่ 4.2-51 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 1 (B-10-SL-RP1)



รูปที่ 4.2-52 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 1 (B-10-SL-RP1)

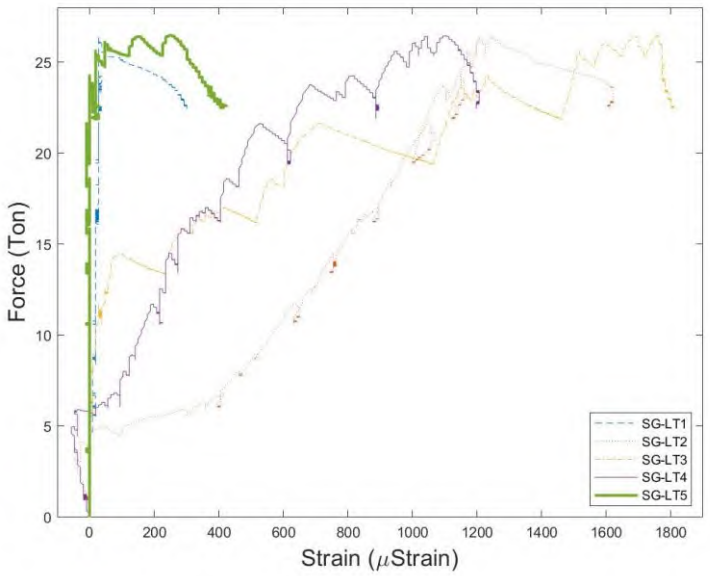


รูปที่ 4.2-53 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 1 (B-10-SL-RP1)

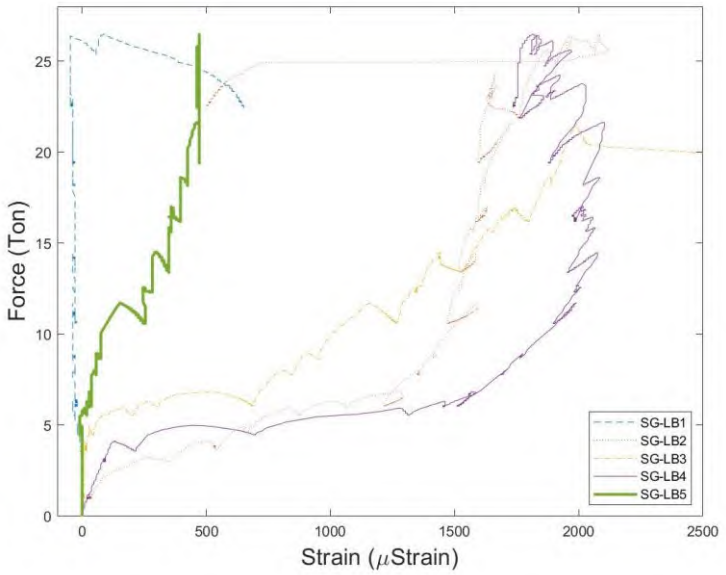
จากรูปที่ 4.2-51 และ รูปที่ 4.2-52 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนและที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง แต่อย่างไรก็ตาม ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างสูง (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.2-53 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าค่อนข้างน้อย โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

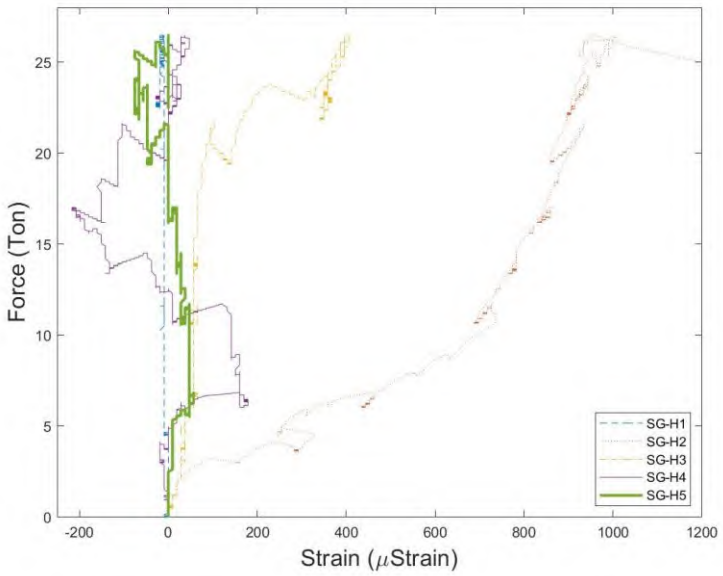
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 2(B-10-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-54 และ รูปที่ 4.2-55 รูปที่ 4.2-56



รูปที่ 4.2-54 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 2 (B-10-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-55 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 2 (B-10-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-56 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 10 ตัวอย่างที่ 2 (B-10-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-54 และ รูปที่ 4.2-55 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนและที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างสูง (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตรับแรงและเกิดการคลากขึ้น

จากรูปที่ 4.2-56 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H2) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

4.2.5. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 11 (B-11-SL)

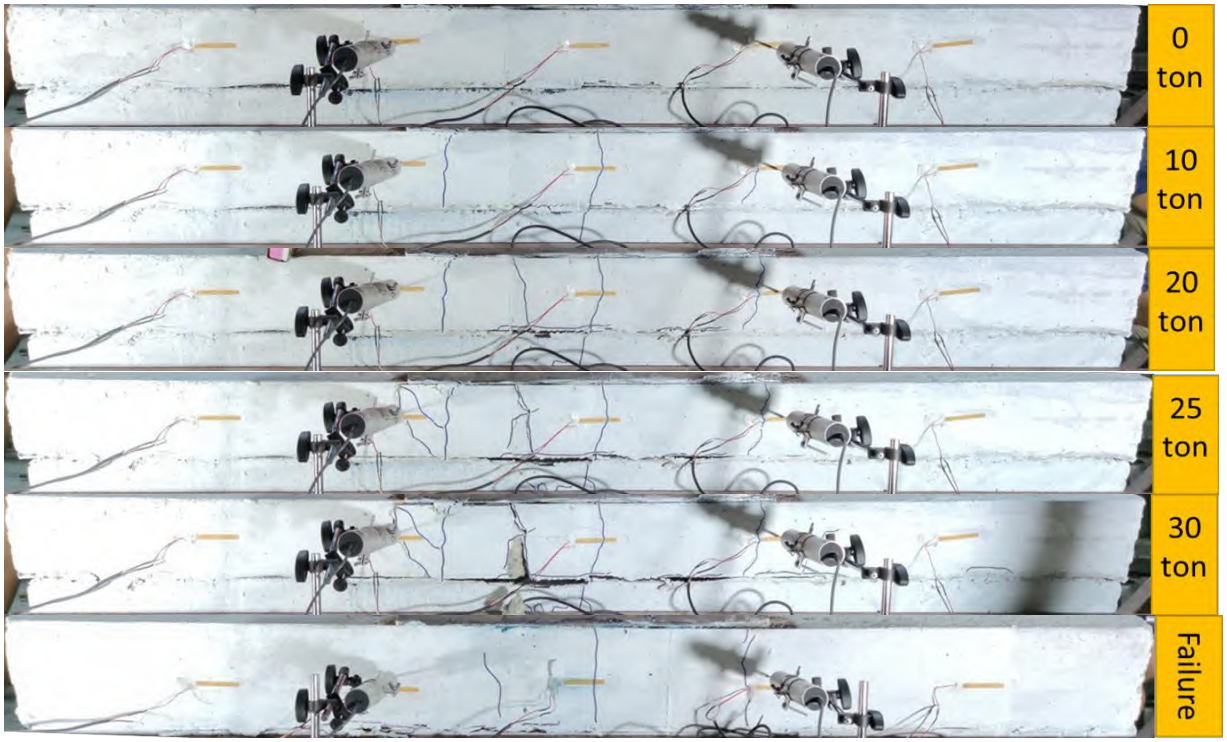
บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 11 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 150 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 100 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีการเพิ่มความกว้างของบ่าให้มีความกว้างขึ้น 150 มิลลิเมตร และความลึกมากขึ้น 50 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับรอยต่อรูปแบบที่ 1

4.2.5.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย และจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าวในแต่ละระดับของแรงกด รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 1(B-11-SL-RP1 และ B-11-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-57 และรูปที่ 4.2-58

รูปที่ 4.2-57 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 1 (B-11-SL-RP1)

จากรูปที่ 4.2-57 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน ไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 10 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวระหว่างบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้นบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำไป 20 ตัน จะพบรอยร้าวตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ นอกจากนั้นยังพบรอยแตกร้าวเป็นแนวเอียงประมาณ 45 องศา บริเวณแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกดไปที่ 30 ตัน รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการเพิ่มจำนวน ขยายขนาดและความกว้างมากขึ้น และบ่ารองรับรอยต่อเกิดการวิบัติด้วยการหลุดออกจากแผ่นพื้นในทันทีทันใด และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจากเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อ ร่วมกับการแตกร้าวของพื้นรองรับรอยต่อ

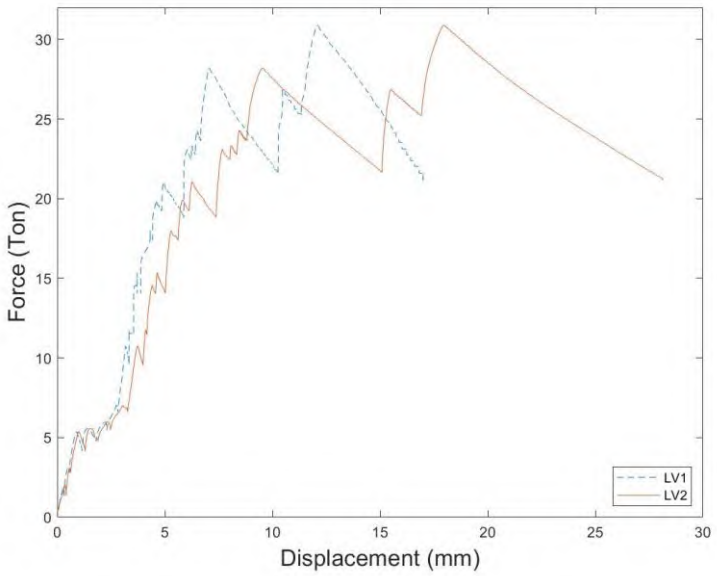


รูปที่ 4.2-58 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 2 (B-11-SL-RP2)

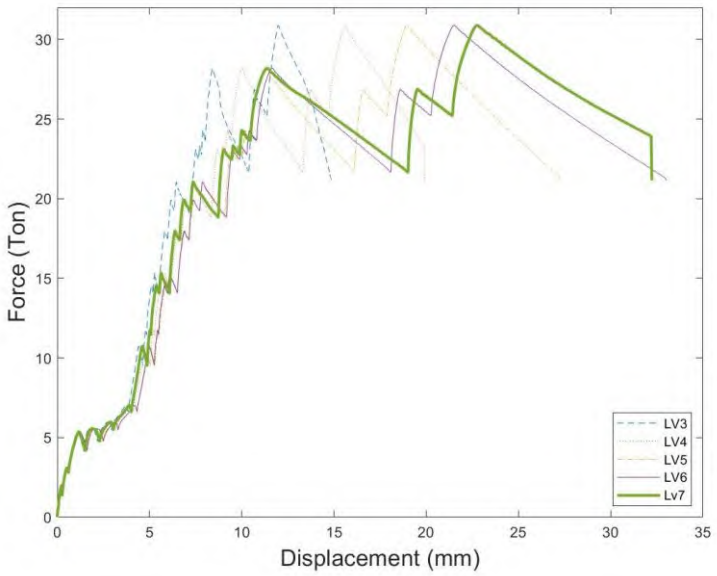
จากรูปที่ 4.2-58 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน ไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 10 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวระหว่างบ่ารองรับรอยต่อและแผ่นพื้นบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำไป 20 ตัน จะพบรอยร้าวตามแนวรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อ ทั้งทางด้านหน้า และด้านบนระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกดไปที่ 3 1 ตัน รอยร้าวที่เกิดขึ้นเดิมมีการเพิ่มจำนวน ขยายขนาดและความกว้างมากขึ้น และบ่ารองรับรอยต่อเกิดการวิบัติด้วยการหลุดออกจากแผ่นพื้นในทันทีทันใด และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจากเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อ ร่วมกับการแตกร้าวของพื้นรองรับรอยต่อ

4.2.5.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 1(B-11-SL-RP1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-59 และรูปที่ 4.2-60



รูปที่ 4.2-59 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 1 (B-11-SL-RP1)



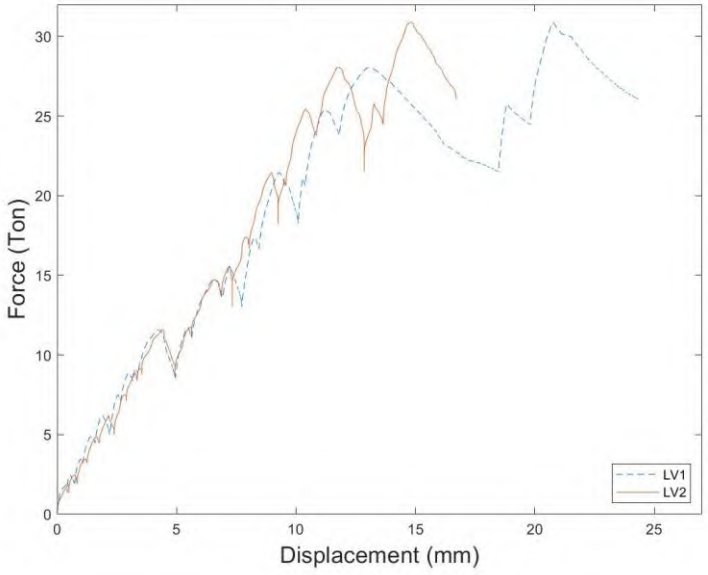
รูปที่ 4.2-60 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 1 (B-11-SL-RP1)

จากรูปที่ 4.2-59 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ5 ตัน และเมื่อเพิ่มแรงกระทำที่ระดับ 30 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ

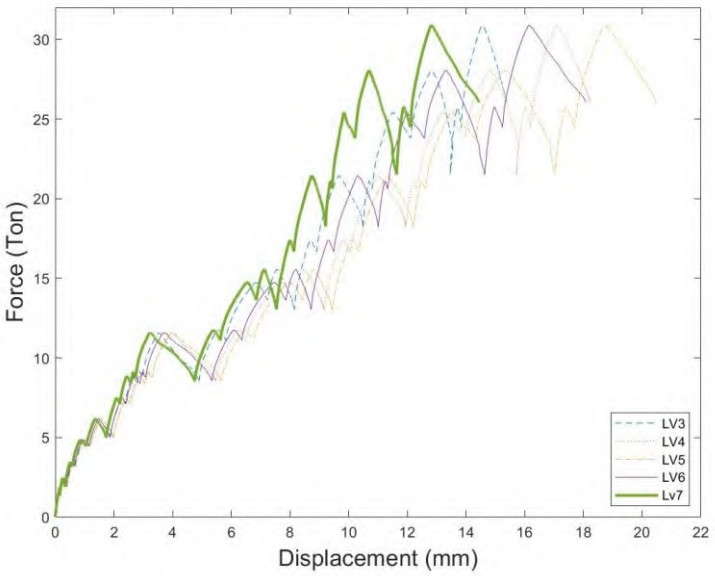
ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 30 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ ร่วมกับการแตกร้าวของพื้นรองรับบ่า

จากรูปที่ 4.2-60 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด การแยกตัวของบ่าและแผ่นพื้นจะเริ่มมากขึ้นเมื่อระดับแรงกดมีค่ามากว่า 5 ตัน และเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 20 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงแสดงให้เห็นถึงการแตกร้าวของรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 31 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว ร่วมกับการแตกร้าวของพื้นรองรับบ่า

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 2(B-11-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-61 และรูปที่ 4.2-62



รูปที่ 4.2-61 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 2 (B-11-SL-RP2)



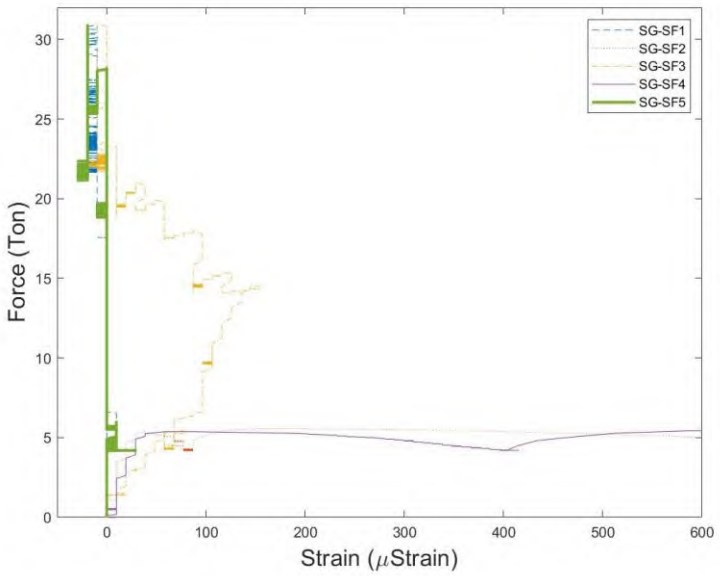
รูปที่ 4.2-62 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 2 (B-11-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-61 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 30 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 30 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

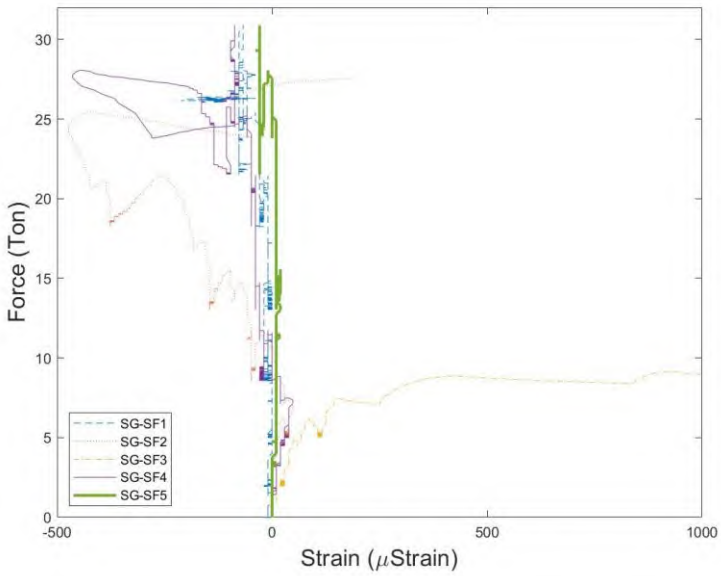
จากรูปที่ 4.2-62 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด และเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงแสดงให้เห็นถึงการแตกร้าวของรอยต่อ เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 31 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

4.2.5.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 1 (B-11-SL-RP2) และ ตัวอย่างที่ 2(B-11-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-63 และรูปที่ 4.2-64



รูปที่ 4.2-63 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อ รูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 1 (B-11-SL-RP1)

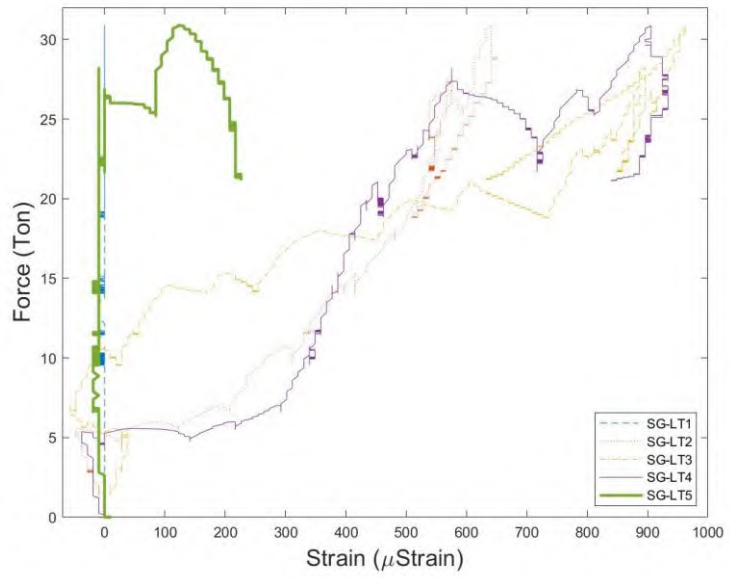


รูปที่ 4.2-64 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อ รูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 2 (B-11-SL-RP2)

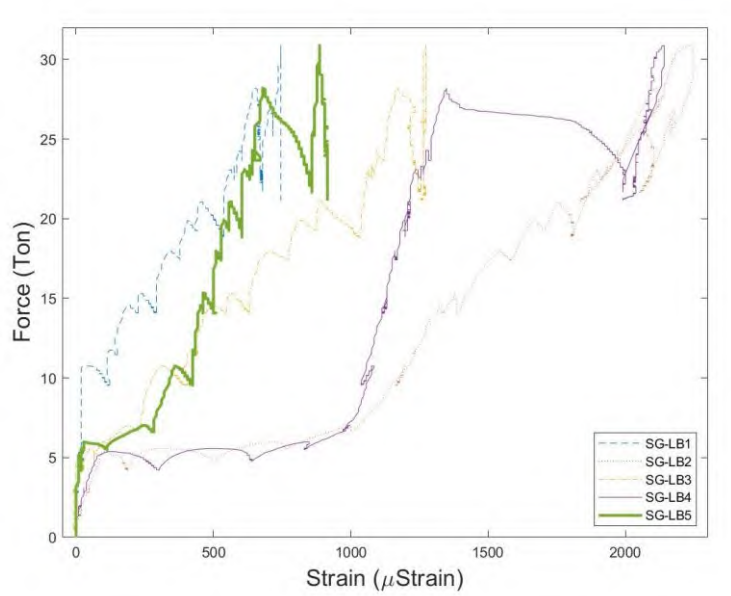
จากรูปที่ 4.2-63 และ รูปที่ 4.2-64 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.2.5.4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

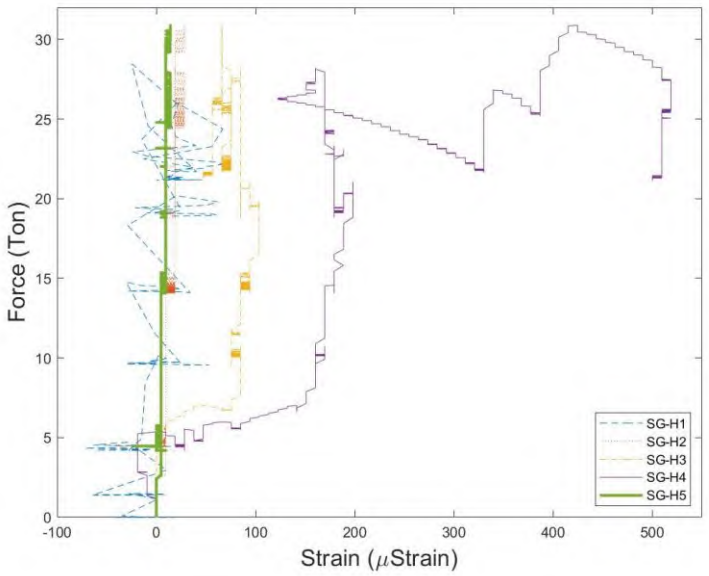
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่าง และเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 1(B-11-SL-RP1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-65 รูปที่ 4.2-66 และ รูปที่ 4.2-67



รูปที่ 4.2-65 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11ตัวอย่างที่ 1 (B-11-SL-RP1)



รูปที่ 4.2-66 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 1 (B-11-SL-RP1)

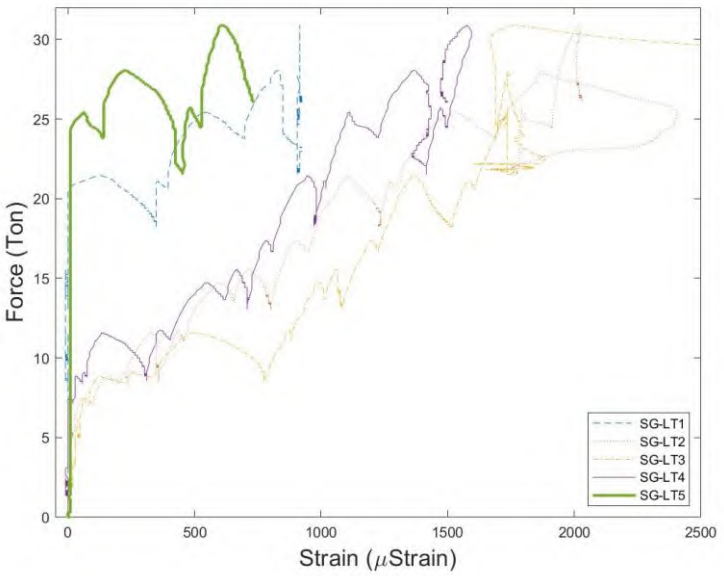


รูปที่ 4.2-67 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 1 (B-11-SL-RP1)

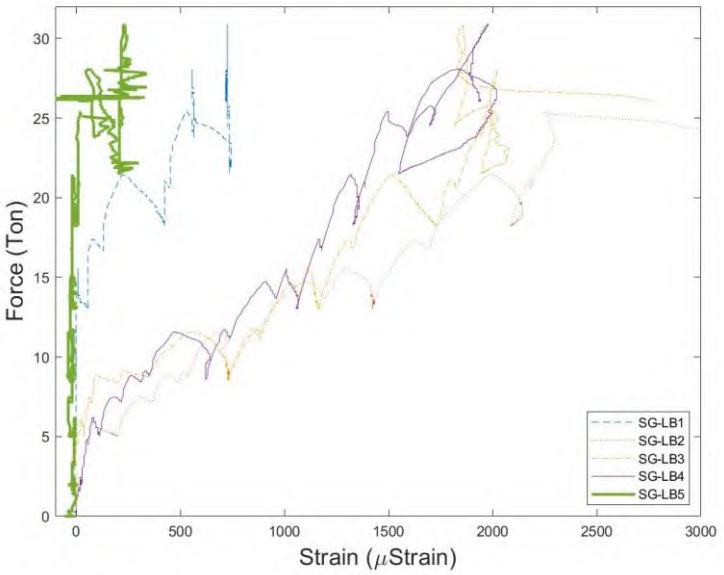
จากรูปที่ 4.2-65 และ รูปที่ 4.2-66 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนและเหล็กเสริมที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวที่อยู่ด้านล่างมีค่าค่อนข้างสูง (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) และมีค่าใกล้เคียงจุดคลากเมื่อรอยต่อเกิดการวิบัติ

จากรูปที่ 4.2-67 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณขอบของคานถ่ายแรงกด (SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

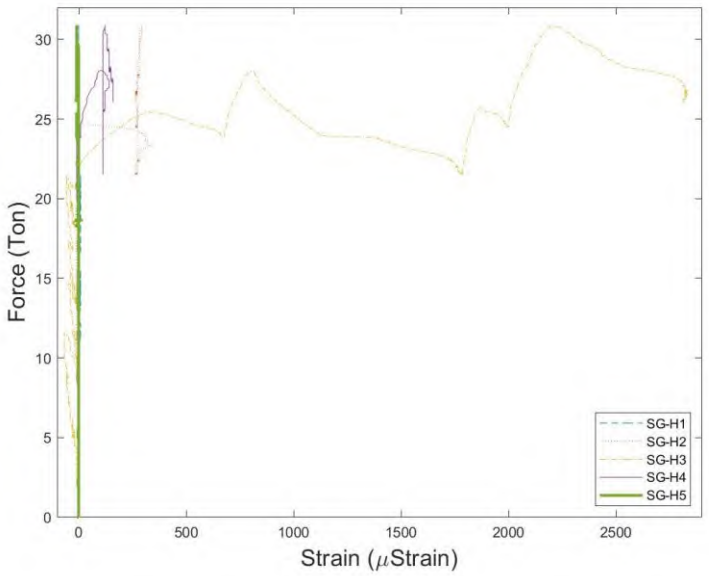
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 2(B-11-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-68 4.2-69 และรูปที่ 4.2-70



รูปที่ 4.2-68 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 2 (B-11-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-69 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 2 (B-11-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-70 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 2 (B-11-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-68 และ รูปที่ 4.2-69 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนและเหล็กเสริมที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวที่อยู่ด้านล่างมีค่าค่อนข้างสูงกว่าด้านบน (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) และมีค่าใกล้เคียงจุดคลากเมื่อรอยต่อเกิดการวิบัติ

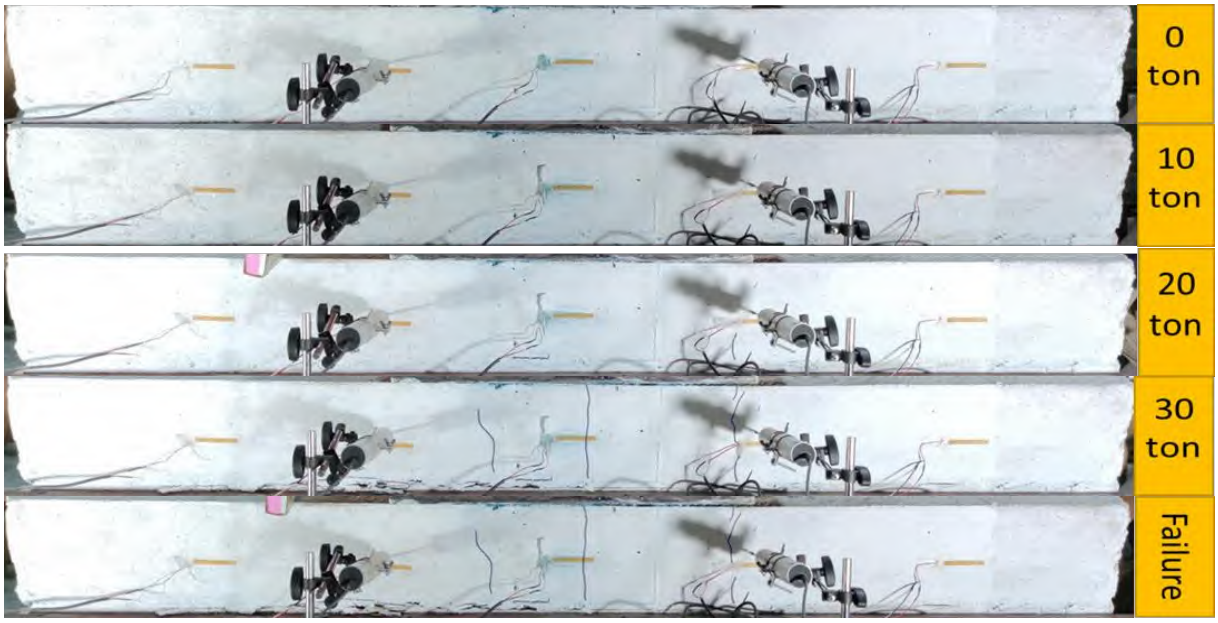
จากรูปที่ 4.2-70 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ บ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอก SG-H3 รับแรงถึงจุดคลาก แต่ขณะที่เหล็กปลอกตำแหน่งอื่น ๆ รับแรงไม่ถึงจุดคลาก

4.2.6. ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรูปแบบที่ 12 (B-12-SL)

บ่ารองรับรอยต่อในรูปแบบที่ 12 เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 200 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบสองตัวอย่างในแต่ละรูปแบบของรอยต่อ การเว้นบ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะทำให้พื้นเหลือความหนาพื้นที่รองรับรอยต่อมีความหนาเท่ากับ 50 มิลลิเมตร (จากความหนาพื้นเดิม 250 มิลลิเมตร) บ่ารอยต่อในรูปแบบนี้จะเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีการเพิ่มความกว้างของบ่าให้มีความกว้างขึ้น 150 มิลลิเมตร และความลึกมากขึ้น 150 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับรอยต่อรูปแบบที่ 1

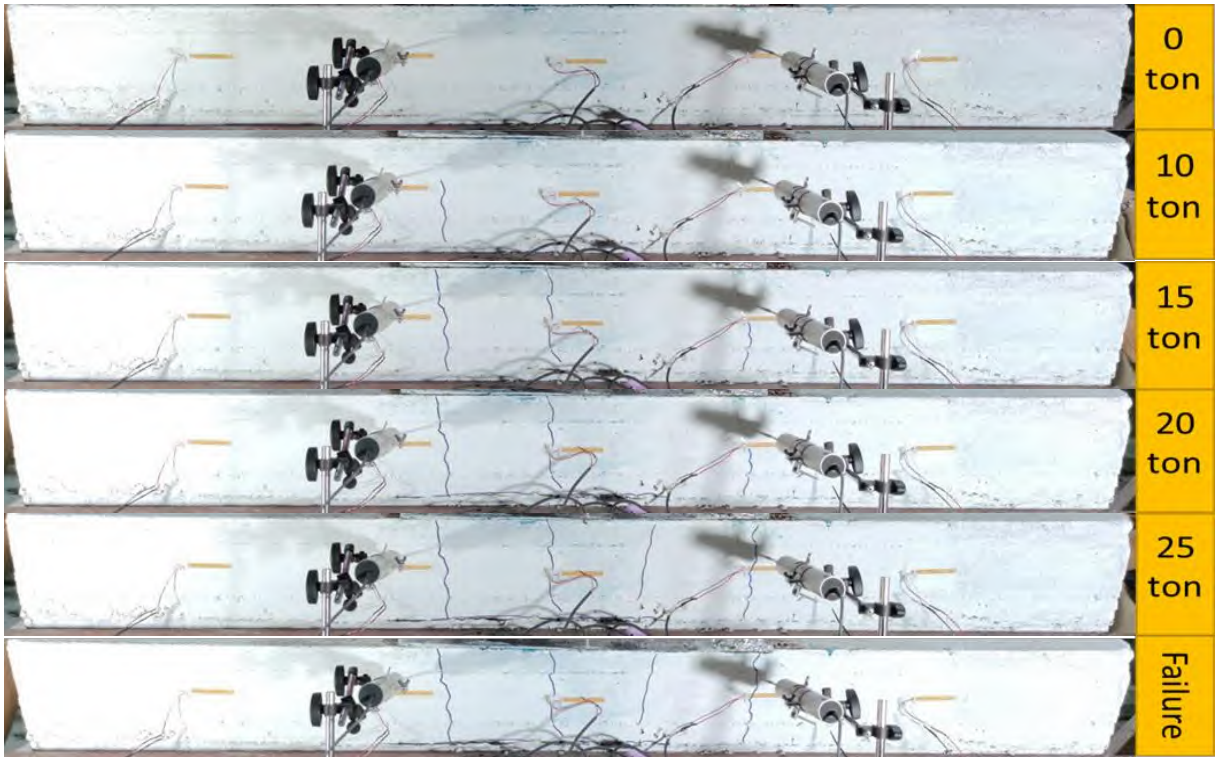
4.2.6.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการสอบบ่ารองรับรอยต่อ จะทำการค่อย ๆ เพิ่มแรงกดไปที่บริเวณกึ่งกลางของรอยต่อ โดยให้แรงกระทำผ่านแผ่นคานเหล็กกระจายน้ำหนัก โดยให้มีพื้นที่ของแรงที่กดกับบ่ารองรับรอยต่อมีความกว้างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เนื่องจากรูปแบบการทดสอบนี้ ความแข็งแกร็งของแผ่นพื้นมีค่าสูงมาก ดังนั้นการทดสอบจะเน้นเป็นแบบการเพิ่มระดับของแรงกดไปทีละน้อย และจะบันทึกรูปภาพของรอยแตกร้าวในแต่ละระดับของแรงกด รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1(B-12-SL-RP1 และ B-12-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-71 และรูปที่ 4.2-72



รูปที่ 4.2-71 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1 (B-12-SL-RP1)

จากรูปที่ 4.2-71 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 20 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวขนาดใหญ่กึ่งกลางของแผ่นพื้น โดยรอยร้าวเริ่มแตกจากแผ่นพื้นและร้าวไปยังบ่ารองรับรอยต่อ โดยรอยร้าวดังกล่าวมีความชันประมาณ 90 องศาเทียบกับระนานของแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มแรงกระทำ รอยร้าวดังกล่าวได้มีการเพิ่มขนาดและความยาวไปจนถึงบ่ารองรับรอยต่อด้านบน และเมื่อแรงกระทำถึงระดับ 33 ตัน พบรอยร้าวที่มีลักษณะเดียวกันทางด้านขวาของแผ่นพื้น และรอยร้าวที่มีอยู่เดิมได้มีการขยายขนาดเพิ่มขึ้น และบ่ารองรับรอยต่อเกิดการวิบัติด้วยการหลุดออกจากแผ่นพื้นในทันทีทันใด และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจากเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อร่วมกับการแตกร้าวของพื้นรองรับบ่ารอยต่อ

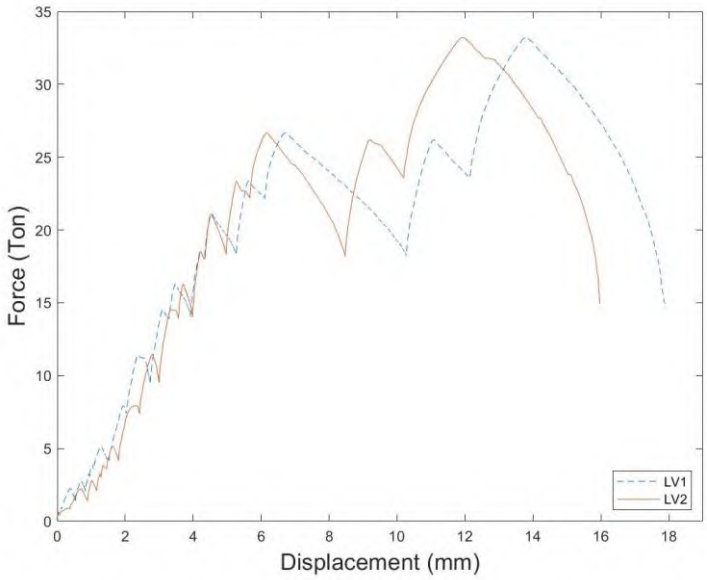


รูปที่ 4.2-72 รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1 (B-12-SL-RP1)

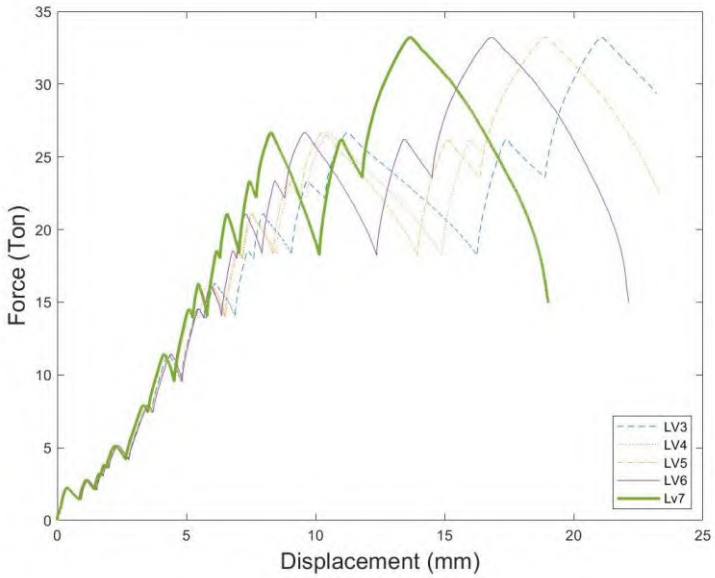
จากรูปที่ 4.2-72 เมื่อเริ่มเพิ่มแรงกดไปเล็กน้อยที่ระดับ 5 ตัน ตันไม่พบรอยแตกร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงทำการเพิ่มระดับแรงกดไปที่ 10 ตัน จึงเริ่มพบรอยร้าวในแนวดิ่งบริเวณด้านซ้ายของแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มแรงกดไปที่ระดับ 20 ตัน พบรอยร้าวขนาดใหญ่ทางด้านซ้าย และกึ่งกลางของแผ่นพื้น โดยรอยร้าวเริ่มแตกจากแผ่นพื้นและร้าวไปยังบ่ารองรับรอยต่อ โดยรอยร้าวดังกล่าวมีความชันประมาณ 90 องศาเทียบกับระนานของแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มแรงกระทำ รอยร้าวดังกล่าวได้มีการเพิ่มขนาดและความยาวไปจนถึงบ่ารองรับรอยต่อด้านบน และเมื่อแรงกระทำถึงระดับ 27 ตัน บ่ารองรับรอยต่อเกิดการวิบัติด้วยการหลุดออกจากแผ่นพื้นในทันทีทันใด และการทดสอบได้หยุดลงเนื่องจากเกิดการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อ ร่วมกับการแตกร้าวของพื้นรองรับบ่ารอยต่อ

4.2.6.2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปและความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1 (B-12-SL-RP1) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-73 และรูปที่ 4.2-74



รูปที่ 4.2-73 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1 (B-12-SL-RP1)



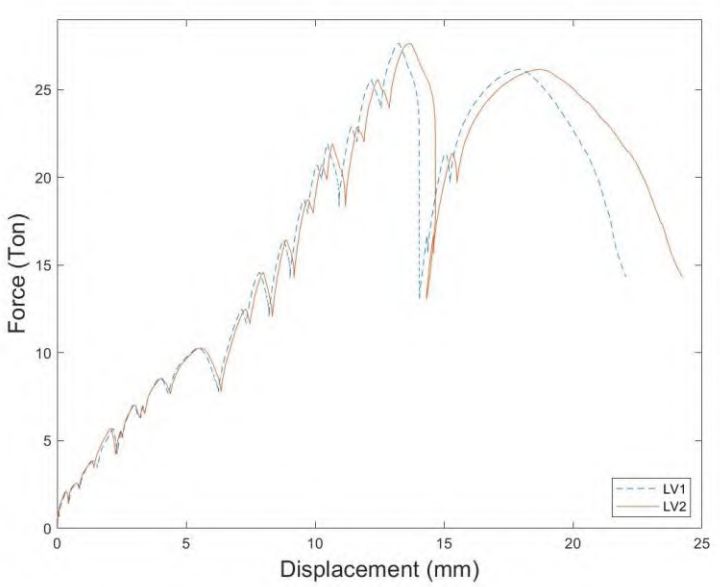
รูปที่ 4.2-74 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1 (B-12-SL-RP1)

จากรูปที่ 4.2-73 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย ที่แรงกระทำประมาณ 20 ตัน และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 33 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผล

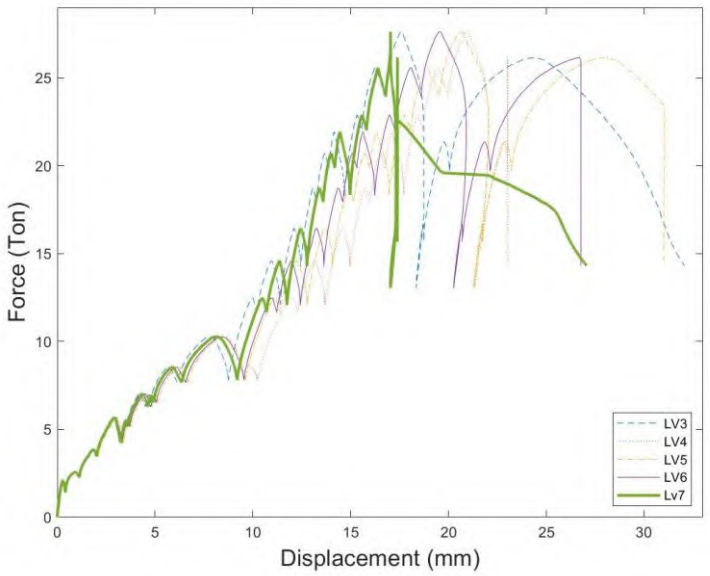
การทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 33 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ ร่วมกับการแตกร้าวของพื้นรองรับบ่ารอยต่อ

จากรูปที่ 4.2-74 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 33 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูป และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 2 (B-12-SL-RP2) ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2-75 และรูปที่ 4.2-76



รูปที่ 4.2-75 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 2 (B-12-SL-RP2)



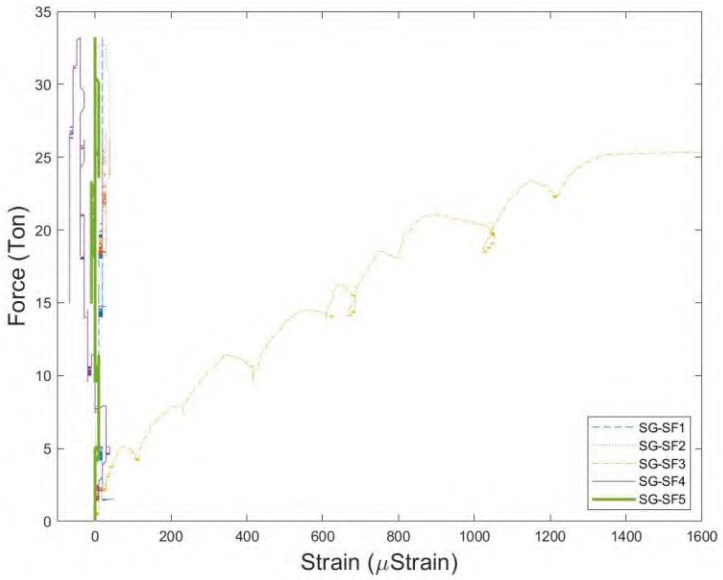
รูปที่ 4.2-76 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 11 ตัวอย่างที่ 2 (B-12-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-75 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อในช่วงแรกจะเป็น และเมื่อเกิดการแตกร้าวของบ่าคอนกรีตที่ระดับแรงกดประมาณ 10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับประมาณ 27 ตัน แผ่นพื้นจะเกิดการวิบัติและหลุดออก ทำให้ไม่สามารถเพิ่มแรงกระทำได้อีก ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นหยักขึ้นลงในแนวราบ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าบ่ารอยต่อสามารถรับแรงกระทำสูงสุดได้ 27 ตันก่อนเกิดการวิบัติแบบหลุดออกของบ่ารองรับรอยต่อ

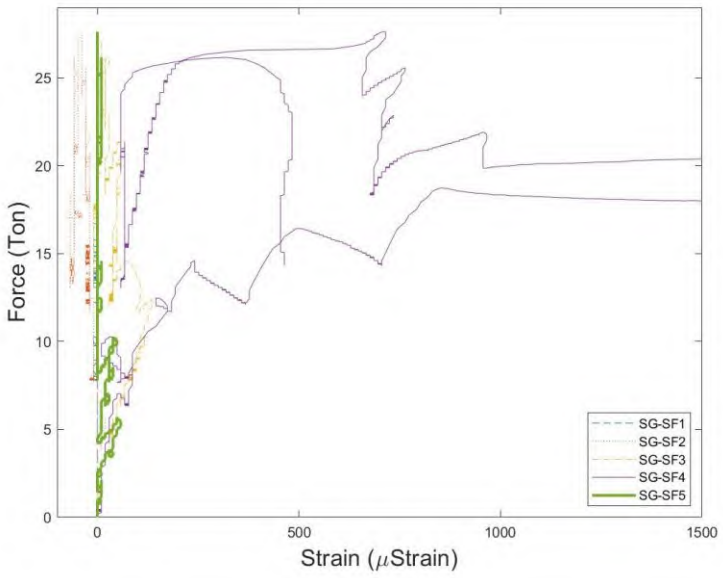
จากรูปที่ 4.2-76 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รอยต่อด้านบนจะมีขนาดกว้างขึ้นทีละน้อย ตามระดับของแรงกด เมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 27 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดอย่างรวดเร็ว แสดงให้เห็นว่าเกิดการหลุดของรอยต่อที่ระดับแรงกดดังกล่าว

4.2.6.3. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีต

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1 (B-12-SL-RP2) และ ตัวอย่างที่ 2(B-12-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-77 และรูปที่ 4.2-78



รูปที่ 4.2-77 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อ รูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1 (B-12-SL-RP1)

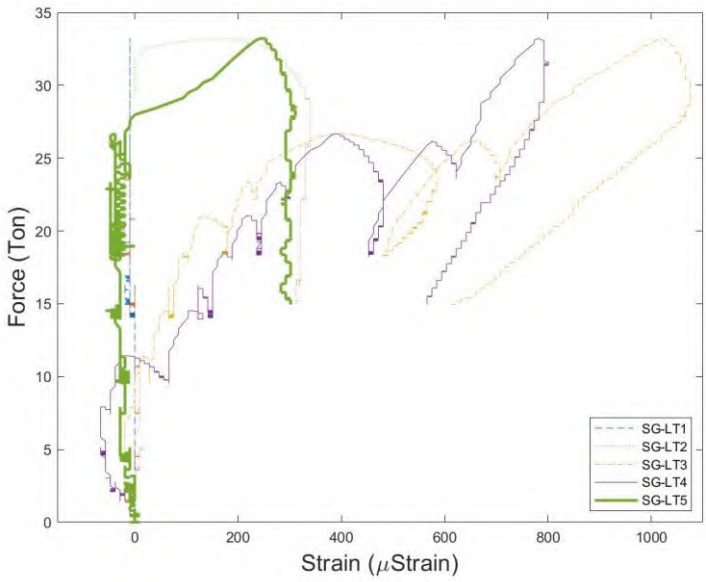


รูปที่ 4.2-78 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่ผิวคอนกรีตบนบ่ารองรับรอยต่อ รูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 2 (B-12-SL-RP2)

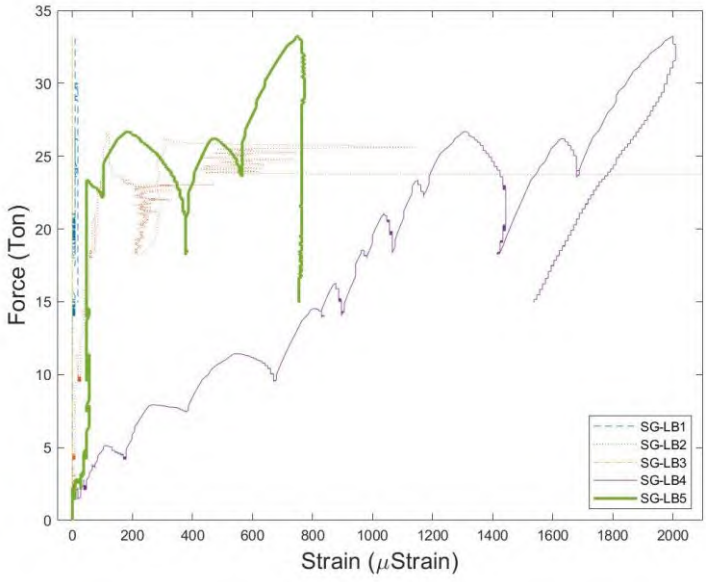
จากรูปที่ 4.2-77 และรูปที่ 4.2-78 พบว่า ระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น มีทั้งแรงอัดและแรงดึง โดยแรงที่เกิดขึ้นมีค่าค่อนข้างน้อยก่อนเกิดการแตกร้าว และระดับความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นและเกจวัดความเครียดหลายตัวเกิดการขาดออกจากกันเมื่อระดับแรงถึงจุดวิบัติ

4.2.6.4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

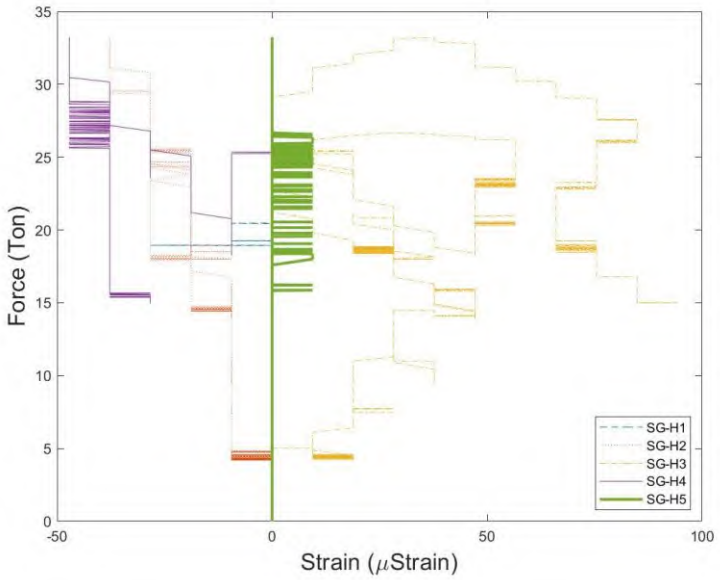
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1(B-12-SL-RP1) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-79 และรูปที่ 4.2-80



รูปที่ 4.2-79 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1 (B-12-SL-RP1)



รูปที่ 4.2-80 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1 (B-12-SL-RP1)

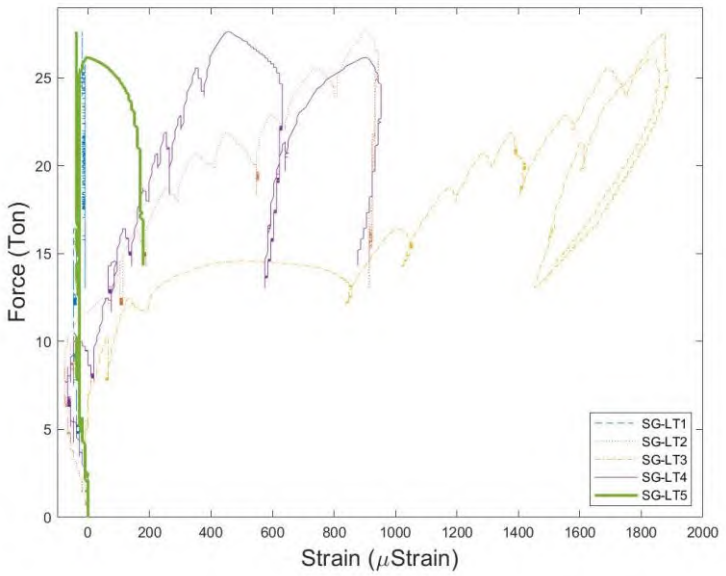


รูปที่ 4.2-81 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 1 (B-12-SL-RP1)

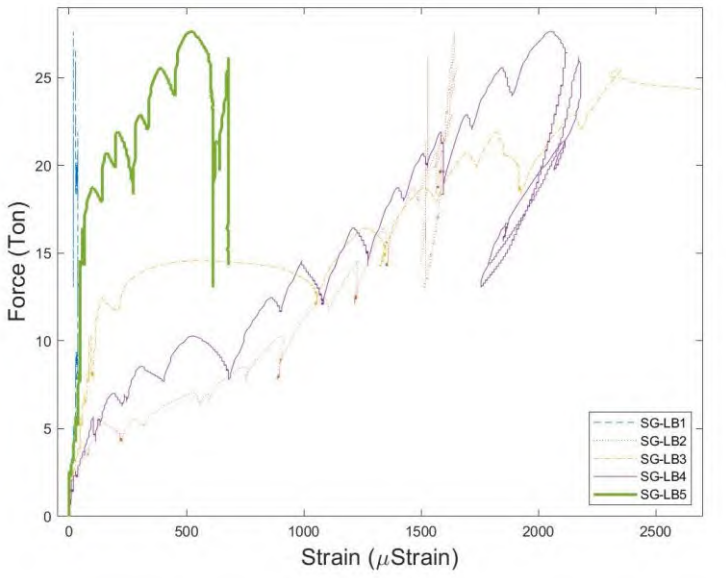
จากรูปที่ 4.2-79 และรูปที่ 4.2-80 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนและด้านล่างจะรับแรงดึงเมื่อเกิดการแตกร้าว ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างสูง (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) และที่จุดวิบัติ เหล็กเสริมในคอนกรีตมีค่าความเครียดที่ใกล้เคียงจุดคลาก

จากรูปที่ 4.2-81 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H3) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

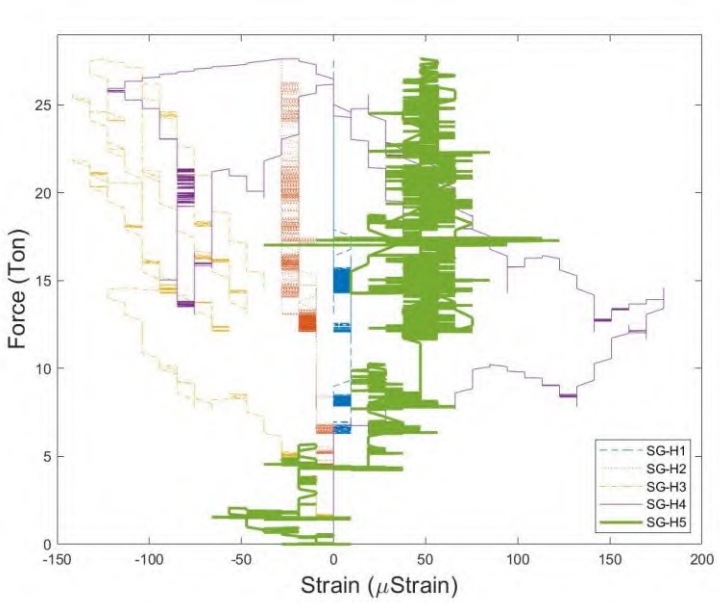
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบน ด้านล่างและเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 2(B-12-SL-RP2) ได้แสดงดังรูปที่ 4.2-82 รูปที่ 4.2-83 และรูปที่ 4.2-84



รูปที่ 4.2-82 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านบนของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 2 (B-12-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-83 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กเสริมด้านล่างของบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 2 (B-12-SL-RP2)



รูปที่ 4.2-84 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดบริเวณเหล็กปลอกของเหล็กเสริมในบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อรูปแบบที่ 12 ตัวอย่างที่ 2 (B-12-SL-RP2)

จากรูปที่ 4.2-83 และรูปที่ 4.2-84 พบว่า ระดับความเครียดของเหล็กเสริมที่อยู่บริเวณขอบของบ่ารองรับรอยต่อของคอนกรีต (SG-LT3 และ SG-LB3) มีค่าสูงสุด โดยเหล็กเสริมที่อยู่ด้านบนและที่อยู่ด้านล่างจะรับแรงดึง ระดับความเครียดที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมตามแนวยาวมีค่าค่อนข้างสูง (ระดับความเครียดที่ทำให้เหล็กคลากอยู่ที่ประมาณ 2500 ไมโครเสตรน) และที่จุดวิบัติ เหล็กเสริมในคอนกรีตมีค่าความเครียดที่ใกล้เคียงจุดคลาก

จากรูปที่ 4.2-84 พบว่าแรงกระทำที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกโดยรวมมีค่าน้อยมาก โดยเหล็กปลอกบริเวณกึ่งกลางบ่าคอนกรีต (SG-H4) จะเป็นเหล็กปลอกที่รับแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นเหล็กปลอกที่อยู่ในบริเวณที่แรงกดกระทำ แต่อย่างไรก็ตาม ระดับแรงที่ถ่ายมายังเหล็กปลอกมีค่าน้อยมาก และบ่าคอนกรีตเกิดการวิบัติโดยที่เหล็กปลอกยังไม่รับแรงถึงจุดคลาก

4.2.7. สรุปผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

ตารางที่ 4.2-1 สรุปกำลังรับแรงสูงสุดและรูปแบบการวิบัติของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกทั้ง 6 รูปแบบ

ตารางที่ 4.2-1 กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกทั้ง 6 รูปแบบ

Test Specimens	Load Conditions	Width of Block out (mm)	Height of Block out (mm)	Maximum Load (Ton)	Failure Pattern
B-07-SL-RP1	Static	100	100	22	บ่าแตกและหลุดออก
B-07-SL-RP2	Static	100	100	21	บ่าแตกและหลุดออก
B-08-SL-RP1	Static	150	100	40	บ่าแตกและหลุดออก
B-08-SL-RP2	Static	150	100	38	บ่าแตกและหลุดออก
B-09-SL-RP1	Static	200	100	38	บ่าแตกและหลุดออก
B-09-SL-RP2	Static	200	100	39	บ่าแตกและหลุดออก
B-10-SL-RP1	Static	150	150	25	บ่าแตกและหลุดออก
B-10-SL-RP2	Static	150	150	27	บ่าแตกและหลุดออก
B-11-SL-RP1	Static	200	150	30	บ่าหลุดออกและพื้นรองรับบ่าแตกร้าว
B-11-SL-RP2	Static	200	150	31	บ่าหลุดออกและพื้นรองรับบ่าแตกร้าว
B-12-SL-RP1	Static	200	200	33	บ่าหลุดออกและพื้นรองรับบ่าแตกร้าว
B-12-SL-RP2	Static	200	200	27	บ่าหลุดออกและพื้นรองรับบ่าแตกร้าว

จากตารางที่ 4.2-1 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนความกว้างต่อความลึกมีผลต่อกำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเช่นเดียวกันกับกรณีของบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก โดยสัดส่วนความกว้างต่อความลึกที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อมีค่าสูงขึ้นด้วย กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักตามสัดส่วนความกว้างต่อความลึกของบ่ารองรับรอยต่อเช่นเดียวกันกับกรณีของบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ได้แก่ กลุ่มที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเกิน 1 (B-08 สัดส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1.5 B-09 สัดส่วนความกว้างต่อ

ความลึกเท่ากับ 2 และ B-11 สัดส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1.33) ซึ่งมีกำลังรับแรงสูงสุดอยู่ในช่วง 30 ถึง 40 ตัน และกลุ่มที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1 (B-07 B-10 และ B-12) ซึ่งมีกำลังรับแรงสูงสุดอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 ตัน แต่อย่างไรก็ตาม กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกมีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกอยู่ประมาณ 20 ถึง 50% ดังแสดงสรุปเปรียบเทียบในตารางที่ 4.2-2

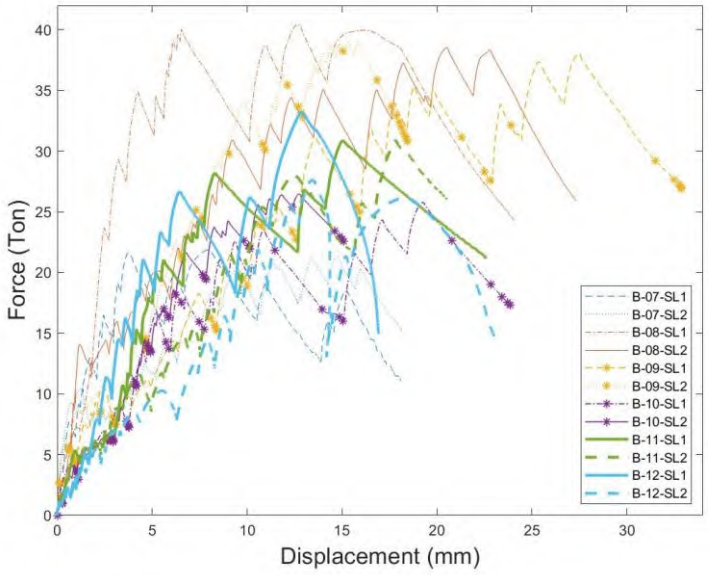
ตารางที่ 4.2-2 เปรียบเทียบกำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่เสริมและไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกทั้ง 6 รูปแบบ

Test Specimens	Width of Block out (mm)	Height of Block out (mm)	ไม่เสริมยางพารา Maximum Load (Ton)	เสริมยางพารา Maximum Load (Ton)	สัดส่วนการลดลงของแรงกระทำสูงสุด
B-01 VS B-07	100	100	38.5	20.5	47%
B-02 VS B-08	150	100	53.5	39	27%
B-03 VS B-09	200	100	มากกว่า 52	38.5	26%
B-04 VS B-10	150	150	33	26	21%
B-05 VS B-11	200	150	40	30.5	24%
B-06 VS B-12	200	200	42	30	29%

สาเหตุที่ทำให้กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกมีค่าลดลงจากกรณีที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก เนื่องจากแผ่นยางพารากันกระแทกมีความแข็งเกร็งที่ต่ำ เมื่อให้แรงกระทำจะเกิดการยุบตัว ประกอบกับแรงที่กระทำมีลักษณะเยื้องศูนย์จากจุดศูนย์รวมมวลของแผ่นยาง จึงเกิดการยุบตัวที่ไม่เท่ากัน ทำให้แรงที่กระทำต่อบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการกระจุกตัว ส่งผลให้บ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวและลุกลามได้เร็วกว่าบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก จนเกิดการวิบัติที่แรงกระทำต่ำกว่ากรณีของบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

ถึงแม้ว่าการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะทำให้กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตาม กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกยังคงสูงกว่าน้ำหนักล้อรถบรรทุกซึ่งมีค่าประมาณ 5 ถึง 6 ตัน (น้ำหนักรถบรรทุกสิบล้อ 25 ถึง 30 ตัน) ค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นการยืนยันว่าบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะไม่เกิดการวิบัติภายใต้แรงกระทำแบบสถิตหรือรถบรรทุกสิบล้อจอดนิ่งบนบ่ารองรับรอยต่อ

การเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับบ่ารองรับรอยต่อ ดังจะเห็นได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกในรูปที่ 4.2-85 มีค่าต่ำกว่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ในกรณีของบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก (รูปที่ 4.1-84) อย่างชัดเจน จึงคาดว่าแผ่นยางพารากันกระแทกจะช่วยดูดซับพลังงานจากการกระแทกเนื่องจากการจราจรของรถบรรทุกได้ ทำให้หน่วยแรงเพิ่มเติมในบ่ารองรับรอยต่อที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระแทกมีค่าลดลง อันเป็นการลดความล้าสะสมในบ่าคอนกรีต ช่วยยืดอายุการใช้งานของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานได้



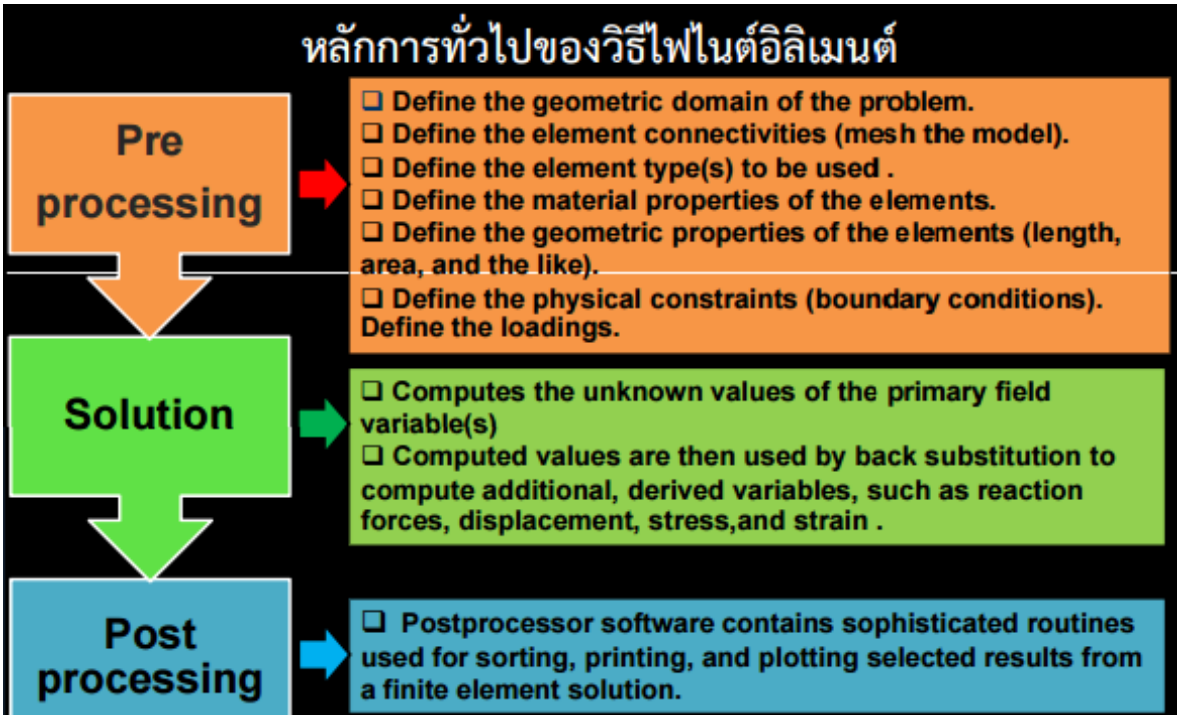
รูปที่ 4.2-85 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกทั้ง 6 รูปแบบ

4.3 แบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

4.3.1. ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Method (FEM))

ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ หรือ Finite Element Method (FEM) เป็นวิธีสำหรับแก้สมการคณิตศาสตร์ Differential Equation โดยใช้วิธีแบบประมาณโดยอาศัยกระบวนการของ Numerical Method มีการนำระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมหลากหลายสาขา อาทิเช่น การวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างอาคาร การวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนและสะพาน การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง การบดอัดของดินคันทาง หรือการวิเคราะห์เกิดร่องล้อในโครงสร้างชั้นทาง เป็นต้น

กระบวนการโดยทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (FEM) แสดงดังนี้

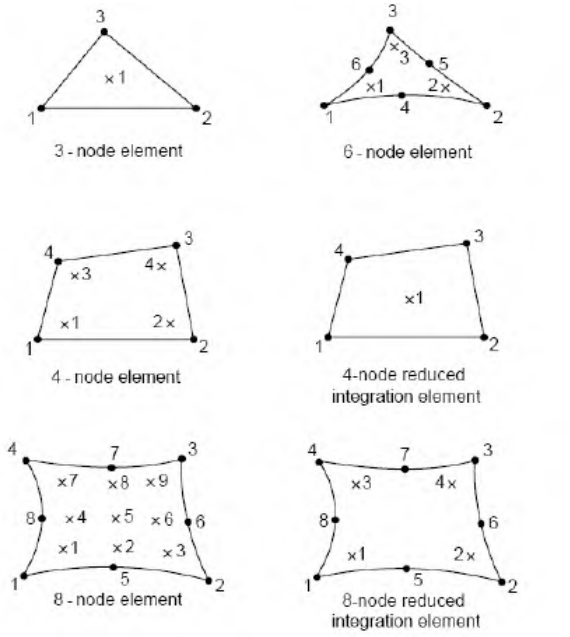


รูปที่ 4.3-1 กระบวนการทั่วไปของ FEM

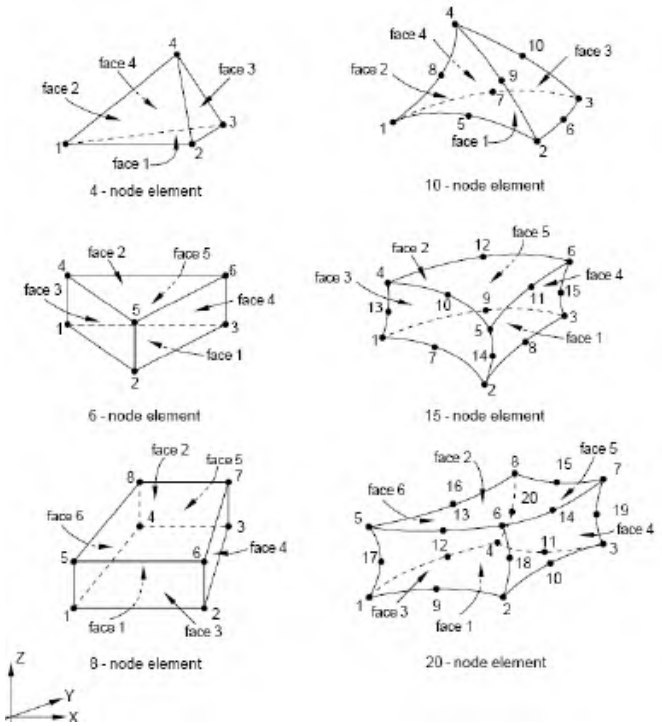
กระบวนการและขั้นตอนของ FEM แสดงในรูปที่ 4.3-1 โดยจะแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลักๆ ได้แก่ กระบวนการ Pre Processing กระบวนการ Solution หรือ Solver และ กระบวนการ Post Processing

กระบวนการ Pre Processing จะเกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเตรียมข้อมูลในการสร้างองค์ประกอบของ Matrix และ Vector เพื่อใช้ในกระบวนการ Solution Solver ต่อไป สำหรับในการแก้ปัญหาของวิศวกรรมโครงสร้างและวิศวกรรมปฐพี การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะเริ่มต้นที่การกำหนดขอบเขตทางกายภาพ (Geometric Domain) ของปัญหาที่ต้องการจะวิเคราะห์ เช่น ขนาดของ

โครงสร้าง ขนาดของคันทางหรือถนน จากนั้นจะเป็นการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties) และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในระดับวัสดุ (Behavior Model) ที่ใช้ใน Geometric Domain หลังจากระบุแบบจำลองในระดับวัสดุแล้ว จึงทำการกำหนดรูปแบบของอิลิเมนต์ (Elements) เพื่อทำการแบ่ง Geometric Domain ให้เป็นส่วนประกอบย่อยๆ เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์อย่างง่ายในการแก้ปัญหาภายในส่วนประกอบย่อยๆ นั้น โดยรูปแบบของอิลิเมนต์ที่จะใช้ในการประกอบกันเป็น Geometric Domain โดยทั่วไปจะขึ้นกับขนาดของมิติและพฤติกรรมของโครงสร้างนั้นๆ ตัวอย่างเช่น Element ประเภท 1 มิติ เช่น Truss-Beam Element, 1D Spring Element สำหรับ Element ประเภท 2 มิติ เช่น 2D Plan Stress 3 Triangle element (3 and 6 nodes), 2D Plan Strain Triangle Element (3 and 6 nodes), 2D Quadrilateral Element (4 and 8 nodes), 2D Spring Element แสดงในรูปที่ 4.3-2, สำหรับ Element ประเภท 3 มิติ ได้แก่ 3D Solid Element (4 to 20 Nodes) แสดงในรูปที่ 4.3-3 เป็นต้น



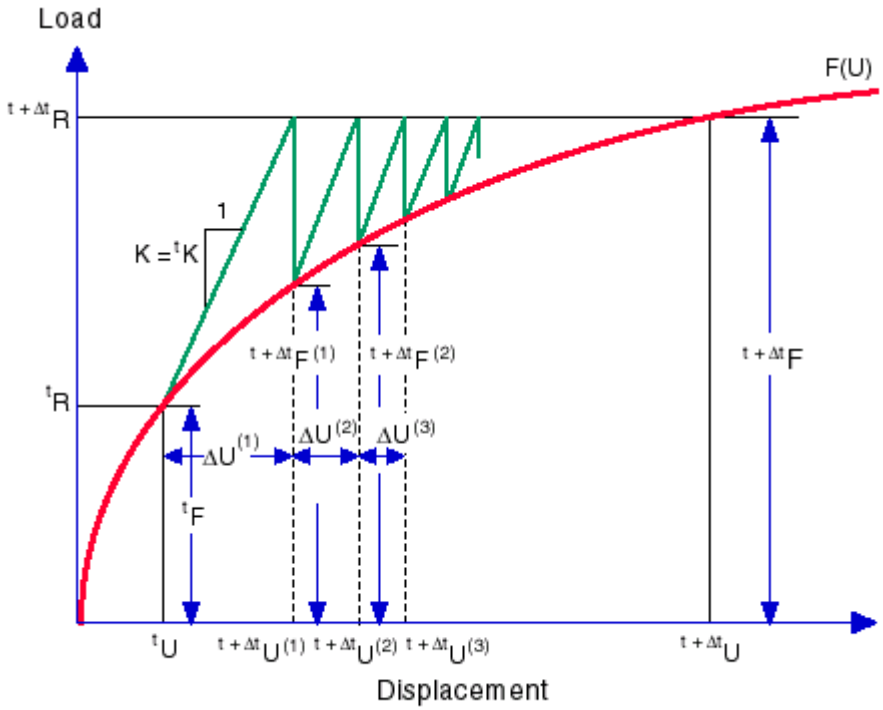
รูปที่ 4.3-2 ประเภทของ 2D Element ต่างๆ



รูปที่ 4.3-3 ประเภทของ 3D Element ต่างๆ

ภายหลังการแบ่ง Geometric Domain ออกเป็นอิลิเมนต์ย่อยๆ แล้ว จึงทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ต่างๆ ทั้งกรณีของการเคลื่อนตัวและแรงกระทำต่างๆ ให้สอดคล้องกับโครงสร้างหรือปัญหาที่ต้องการจะวิเคราะห์

หลังจากดำเนินการในกระบวนการ Pre Processing แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการในส่วนของกระบวนการ Solution Solver ซึ่งเป็นขั้นตอนในการแก้สมการของ Matrix และ Vector เพื่อหาคำตอบของตัวแปรที่ยังไม่ทราบค่า (Unknown) โดยรูปแบบของสมการเชิง Matrix นี้สามารถเป็นได้ทั้งรูปแบบสมการเชิงเส้น (Linear Equation) หรือสมการแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Equation) ซึ่งรูปแบบสมการจะขึ้นกับปัญหาทางวิศวกรรมที่ต้องการจะวิเคราะห์ โดยวิธีการแก้สมการจะดำเนินการโดยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ที่กำหนดโดยโปรแกรม Finite Element ตัวอย่างของ Numerical Method ที่ใช้ในการแก้สมการในขั้นตอน Solution Solver ได้แก่ Gauss Elimination Method, Newton Ralpson Method แสดงในรูปที่ 4.3-4, Newmark Time Integration เป็นต้น

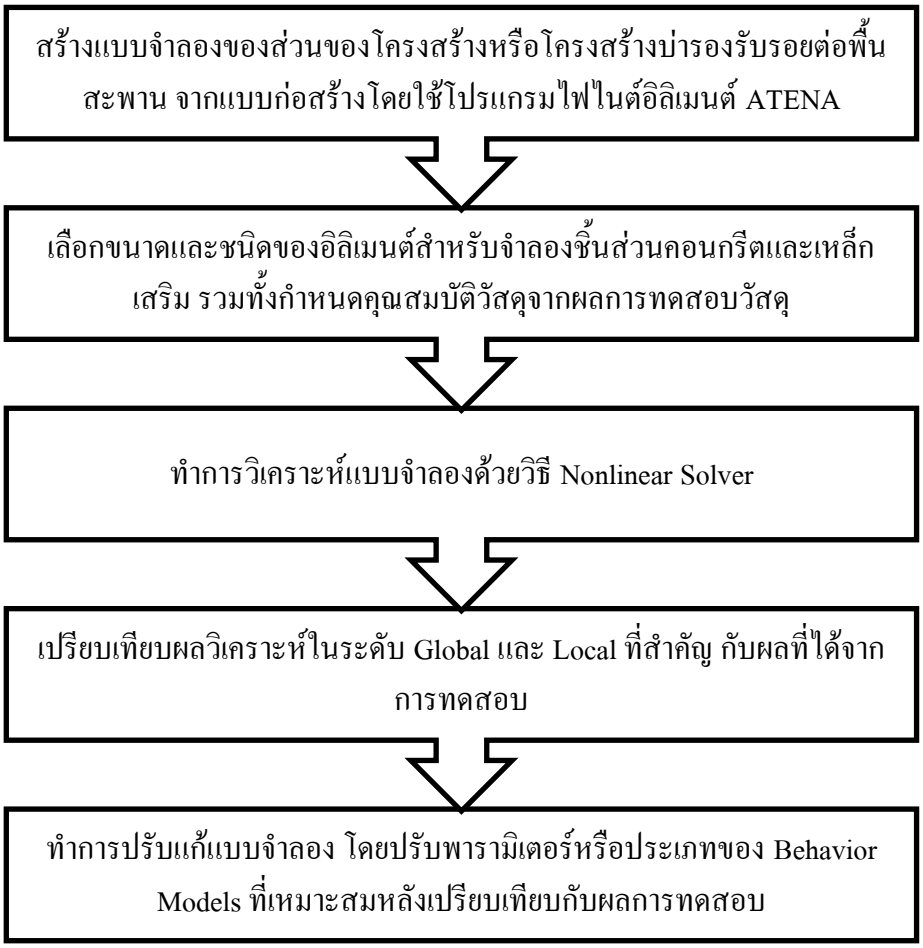


รูปที่ 4.3-4 ตัวอย่างวิธี Newton Raphson Method

หลังจากทำการแก้สมการ Matrix แล้ว จะทราบค่าของ Unknown ในระบบ และจะนำไปใช้ในการ Back Calculation ของผลลัพธ์หรือพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สนใจในระดับของ Element ได้แก่ ความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) ความเค้นและความเครียดที่เป็นพลาสติก (Plastic Stress-Strain) ความเสียหายของวัสดุ (Damage of Material) เป็นต้น โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการ Back Calculation จะนำไปแสดงผลในกระบวนการ Post Processing ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้นำเสนอค่าพามิเตอร์ต่างๆ ในตำแหน่งต่างๆ ของ Geometric Domain โดยรูปแบบการนำเสนออาจเป็น รูปภาพ กราฟ เส้นชั้นความแตกต่างของพารามิเตอร์ (Contour) เป็นต้น

4.3.2. การทำแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์สำหรับบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

แนวทางการสร้างแบบจำลองสำหรับโครงสร้างบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน แสดงได้ดังรูปที่ 4.3-5

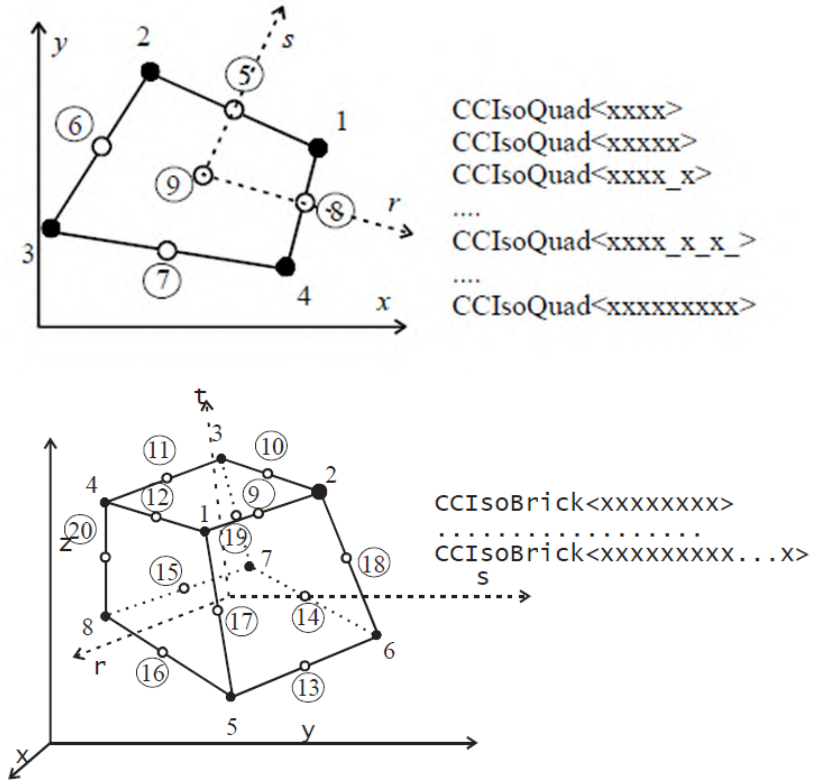


รูปที่ 4.3-5 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์สำหรับโครงสร้างบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

จากรายละเอียดการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ และรูปแบบการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานในห้องปฏิบัติการ แสดงในรูปที่ 4.3-6 สามารถนำมาสร้างแบบจำลองได้ โดยพิจารณาเลือกใช้อิลิเมนต์สำหรับแบบจำลอง 2D และแบบจำลอง 3D จากโปรแกรม ATENA แสดงในรูปที่ 4.3-7

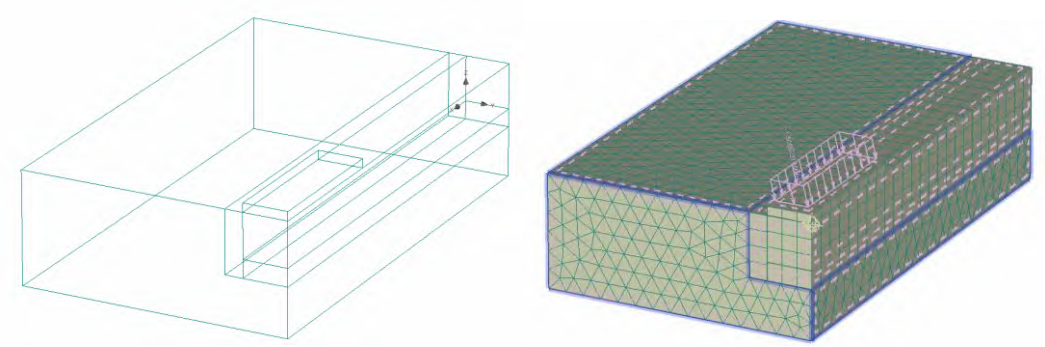
การทำแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานนั้นสามารถทำได้ทั้งในรูปแบบของ 2D และ 3D ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้แบบจำลอง 3D ในการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับการทดสอบเนื่องจากให้ความละเอียดที่มากกว่าจึงเหมาะสมในการวิเคราะห์ แต่ในการออกแบบเบื้องต้นจะใช้แบบจำลอง 2D ในการวิเคราะห์เนื่องจากมีความเหมาะสมในการปรับเปลี่ยนตัวแปรและสามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นค่อยนำมาขึ้นเป็นแบบจำลอง 3D ในภายหลัง อย่างไรก็ตาม แบบจำลองทั้ง 2D และ 3D ควรจะมีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง ก็ควรมีผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน

รูปที่ 4.3-6 การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.3-7 ตัวอย่างของอิลิเมนต์ในแบบจำลอง 2D และ 3D

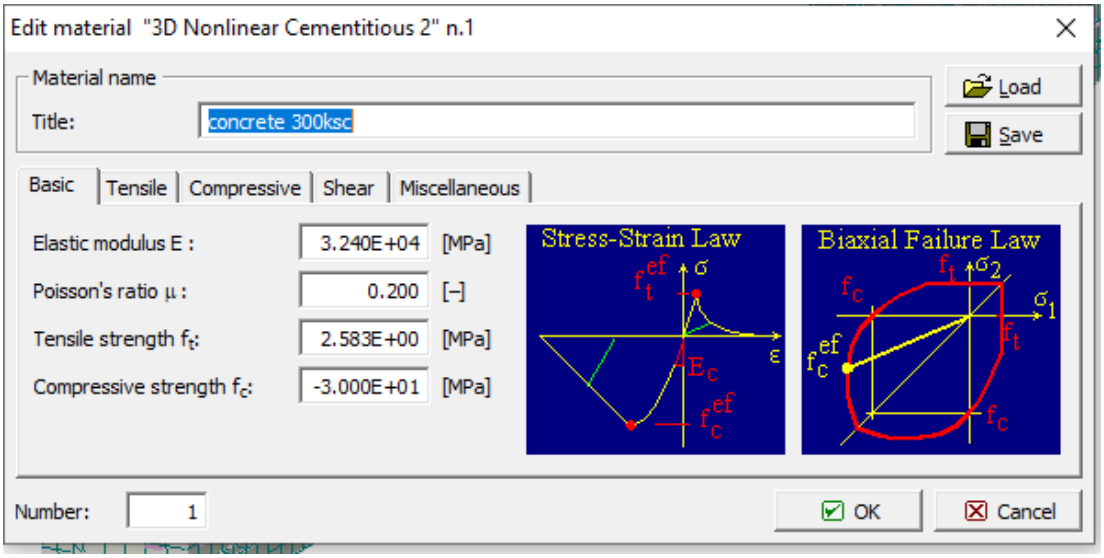
จากรายละเอียดที่ได้กล่าวมา เมื่อนำมาทำแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อสะพานสำหรับการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.3-8



รูปที่ 4.3-8 ตัวอย่างแบบจำลอง 3D สำหรับชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

สำหรับคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง มีดังนี้

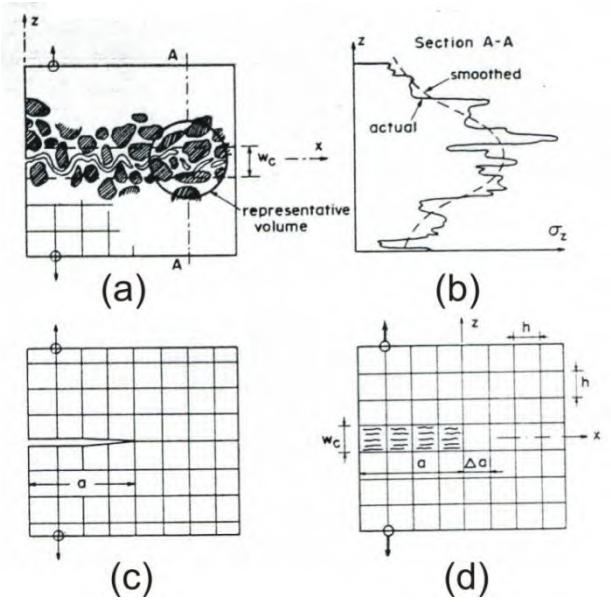
1) แบบจำลองคอนกรีตภายใต้แรงอัดและแรงดึง



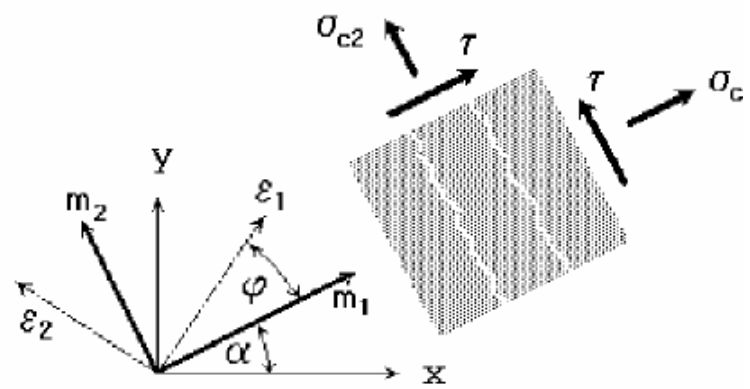
2) ค่าอื่นๆของวัสดุก่อสร้าง ที่ไม่สามารถทดสอบได้ จะพิจารณาใช้ตามข้อแนะนำของคู่มือการใช้งานโปรแกรม ATENA

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	$w_d = -0.0005mm$
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	$G_F = 0.000025 f_t^{'ef}$ *[MN/m]*
Orientation factor for strain localization	$\gamma_{max} = 1.5$ (Sect.2.1.3)

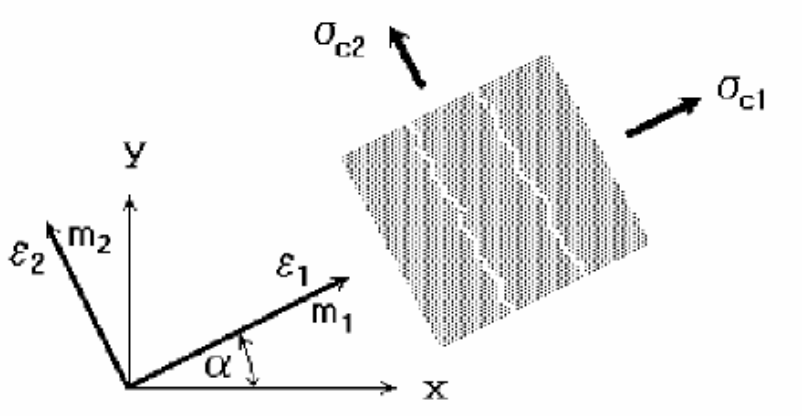
3) การจำลองการแตกร้าว (Crack) พิจารณาใช้ Smeared Rotating Crack และ Smeared Fixed Crack



รูปที่ 4.3-9 ตัวอย่างระหว่าง Discrete และ Smear Crack ของ FE Model



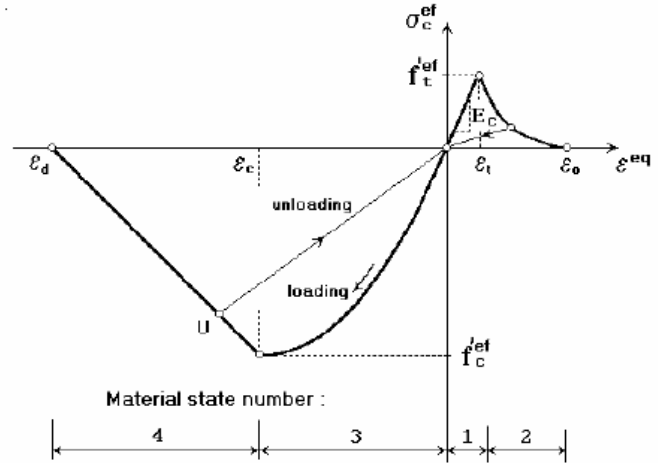
รูปที่ 4.3-10 ตัวอย่างของ Fixed Crack ของ FE Model



รูปที่ 4.3-11 ตัวอย่างของ Rotated Crack Model ของ FE Model

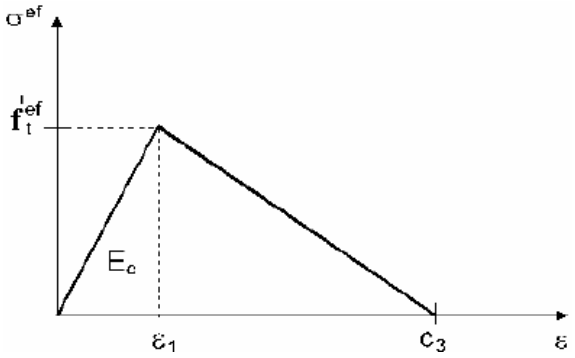
เนื่องจากแบบจำลองนี้ไม่มีองค์ประกอบของเหล็กเสริม ดังนั้นจึงพิจารณาแค่พฤติกรรมของวัสดุคอนกรีตโดยส่วนเดียว ซึ่งพฤติกรรมของคอนกรีตในแบบจำลองจากโปรแกรม ATENA มีดังนี้

1) Nonlinear Behavior in compression including hardening and softening

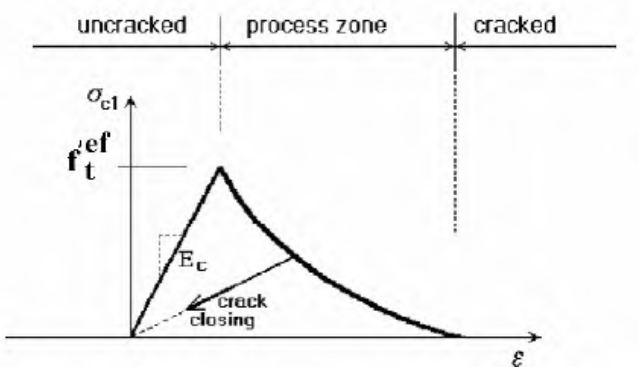


รูปที่ 4.3-12 ตัวอย่างของ Uniaxial Stress-Strain Curve ที่ใช้ใน Concrete

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

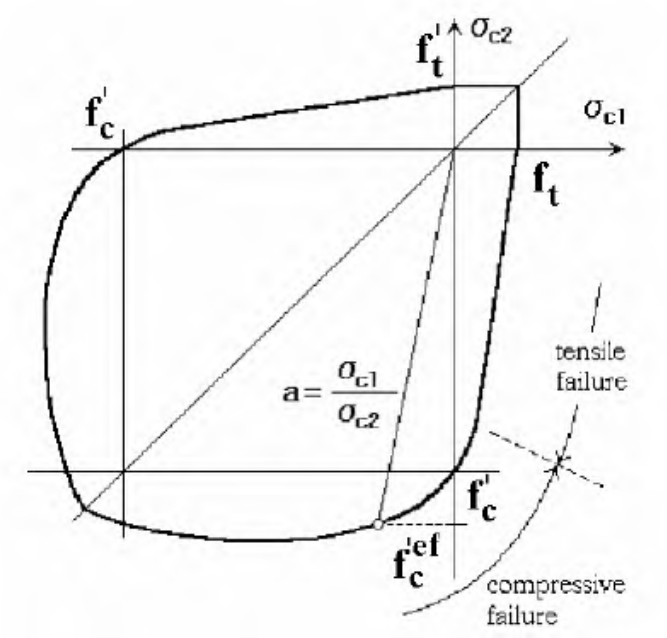


รูปที่ 4.3-13 ตัวอย่างของ Tension Softening Curve ที่ใช้ใน Concrete



รูปที่ 4.3-14 ตัวอย่าง การพิจารณาการเปิดและปิดของรอยแตกร้าวที่ใช้ใน Concrete

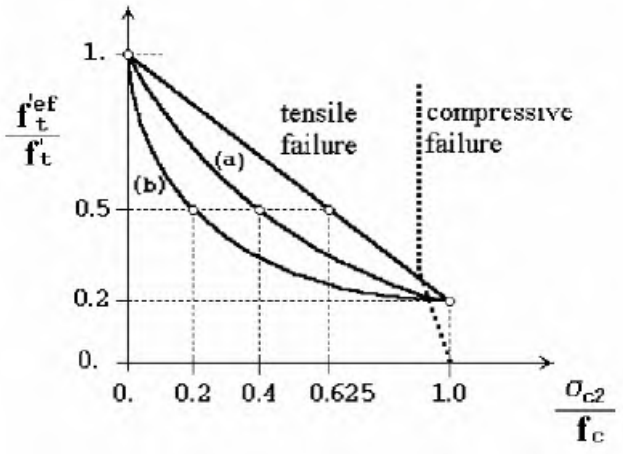
3) Biaxial strength failure criterion



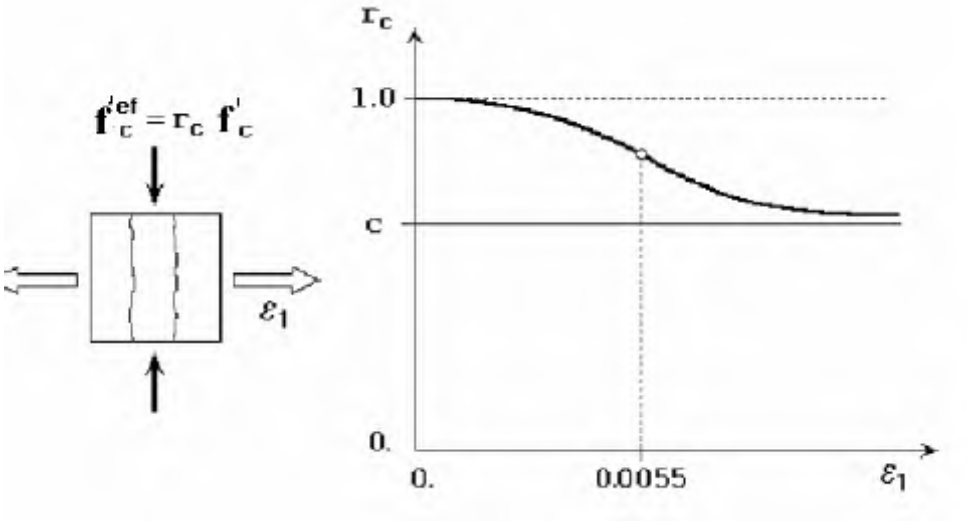
รูปที่ 4.3-15 ตัวอย่างของ กำลังของ concrete ภายใต้ความเค้นที่กระทำในสองทิศทาง

4) 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



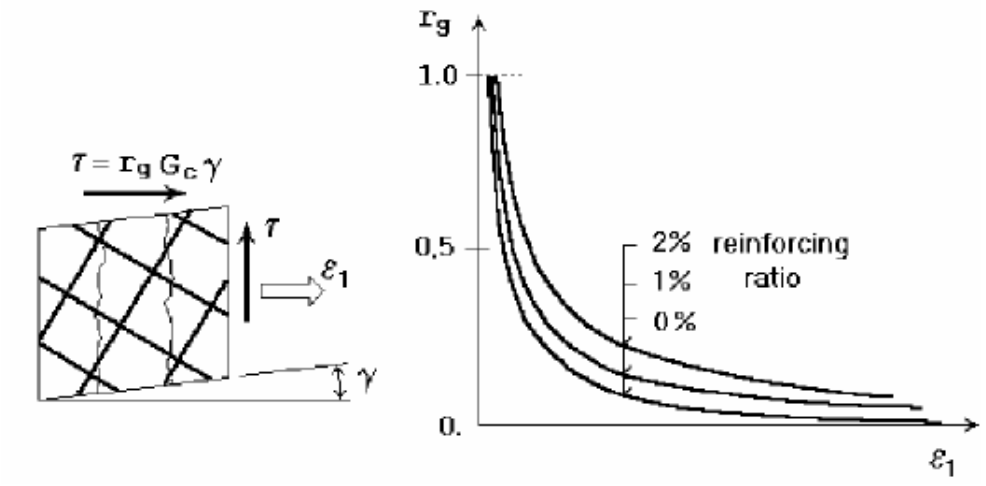
รูปที่ 4.3-16 ตัวอย่าง กำลังของ Concrete ที่ลดลง ภายใต้ความเค้นอัดและดึงที่กระทำในสองทิศทาง



รูปที่ 4.3-17 ตัวอย่างกำลังของ Concrete ที่ลดลง ภายใต้ความเค้นอัดและดึงที่กระทำในสองทิศทางกรณีใช้ Compression Softening Model

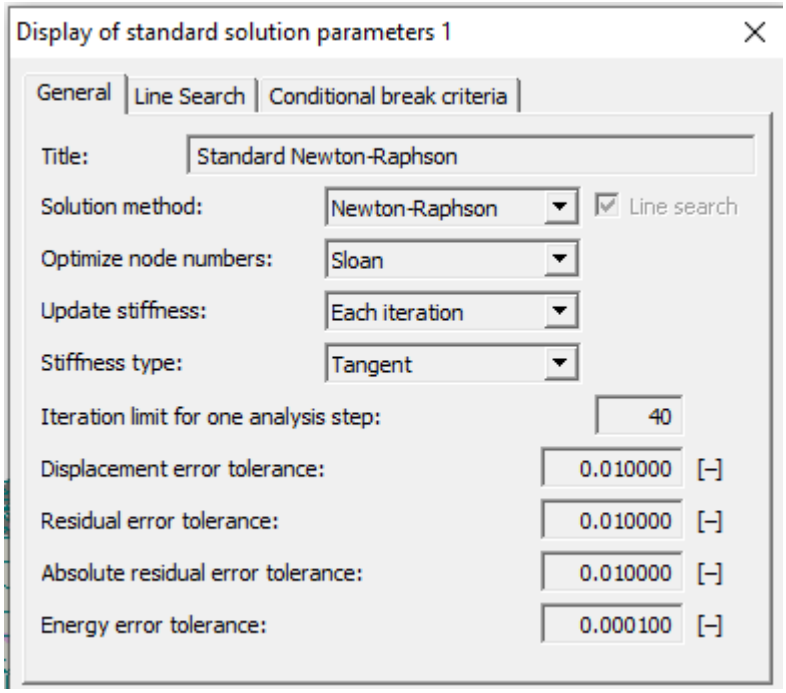
5) Tension stiffening effect

6) Reduction of shear stiffness after cracking



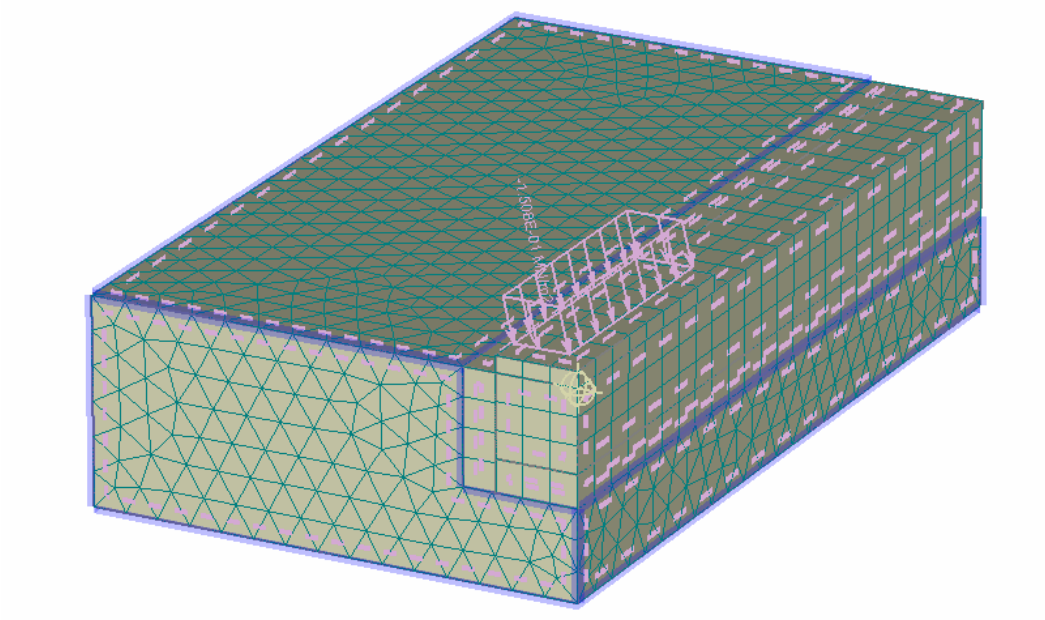
รูปที่ 4.3-18 ตัวอย่างแบบจำลองความแข็งเกร็งเฉือนของ Concrete ที่ลดลงภายใต้แรงเฉือนและดึงที่กระทำในสองทิศทาง

สำหรับวิธีการแก้สมการแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อใช้วิเคราะห์บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน จะเลือกใช้การวิเคราะห์แบบ Force Control และเลือกใช้ Solver แบบ Newton-Raphson และเลือกใช้ Line Search Technique เพื่อให้การวิเคราะห์มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น



4.3.3. ตัวอย่างแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานและแรงกระทำ

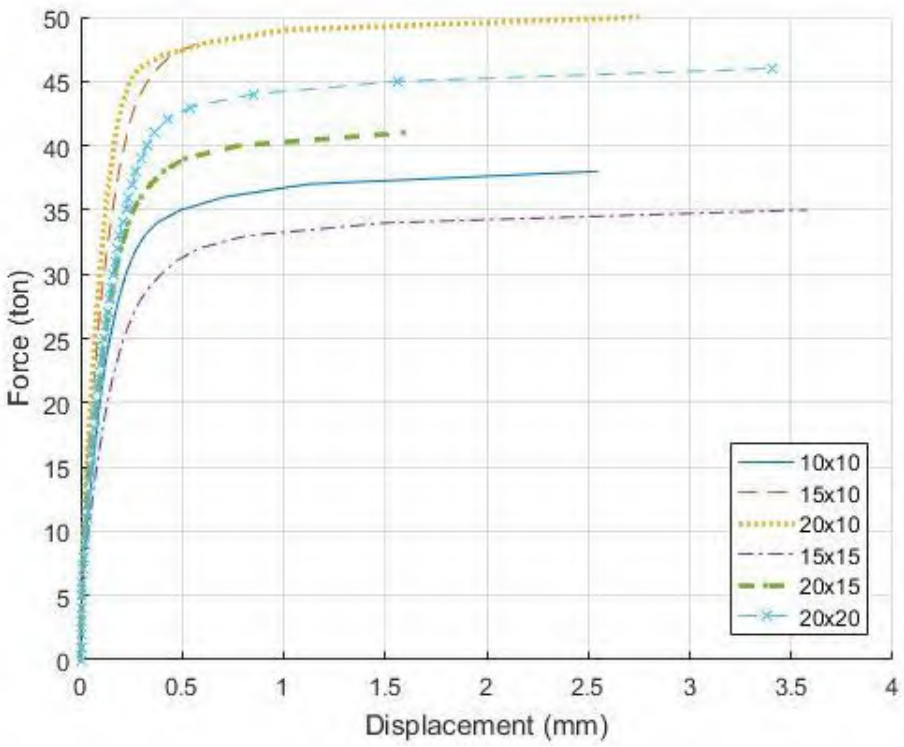
การทำแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานในการศึกษานี้ ใช้โปรแกรม ATENA โดยทำแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์เป็นรูปแบบ 3D โดยจะมีแรงกระทำในรูปแบบเฉียง มีอัตราส่วนแรงกระทำในทิศทางขนานกับผิวสัมผัสกับทิศตั้งฉากเป็น 1:4 ซึ่งแบบจำลองนี้จะเป็นแบบจำลองครึ่งส่วนที่สมมาตรในระบบ 3D เพื่อลดระยะเวลาในการประเมินผล แสดงในรูปที่ 4.3-19



รูปที่ 4.3-19 ตัวอย่างแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานและแรงกระทำ

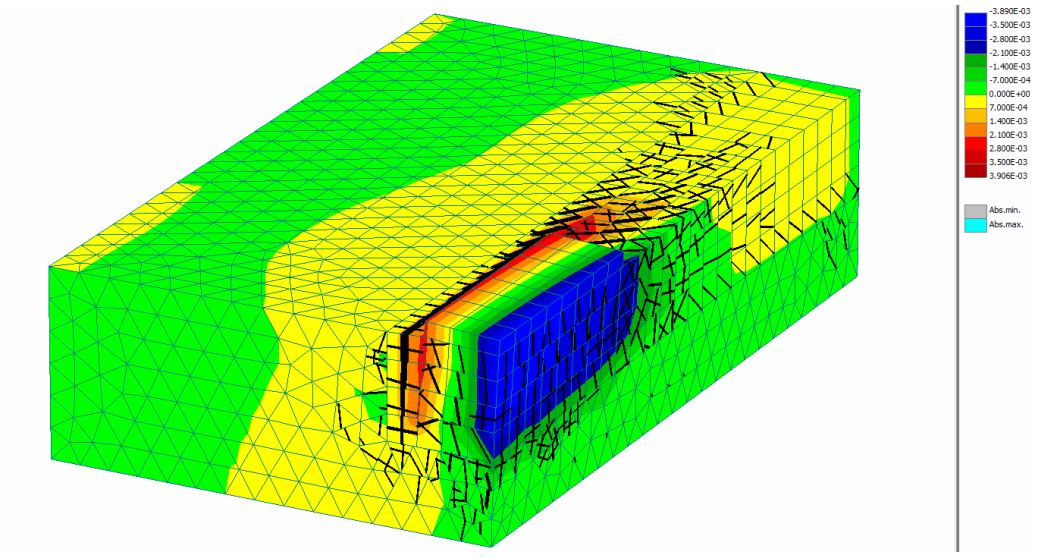
4.3.4. ผลการวิเคราะห์แบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน

แบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานในเบื้องต้น มีทั้งหมด 6 แบบจำลองตามจำนวนการทดสอบที่ไม่มีการใช้แผ่นยางพารามาเสริม ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแสดงในรูปที่ 4.3-20

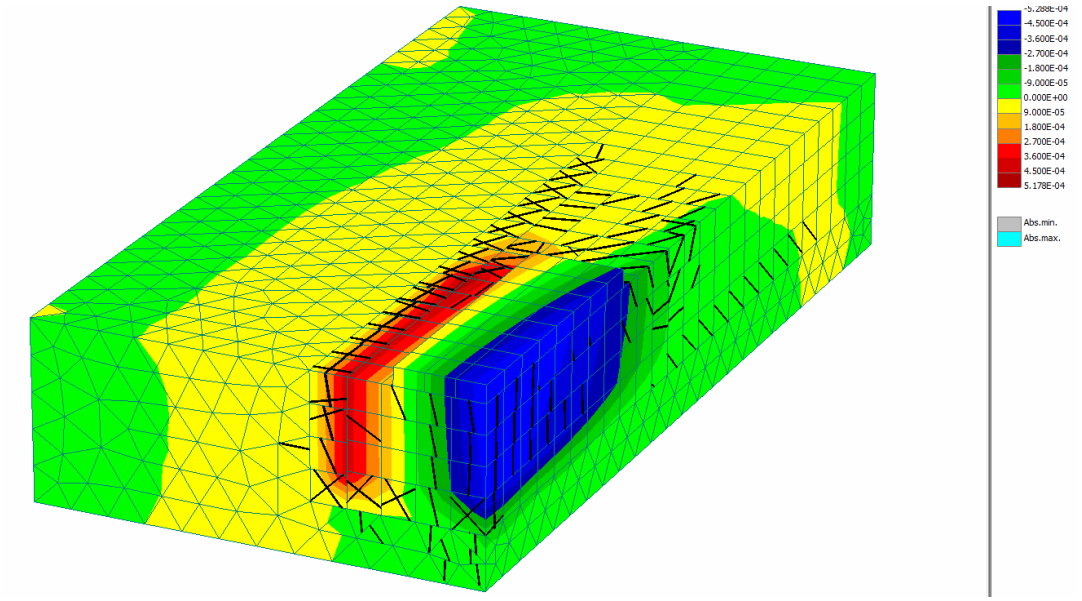


รูปที่ 4.3-20 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขนาดต่างๆ โดยไม่มีการเสริมแผ่นยางพารา

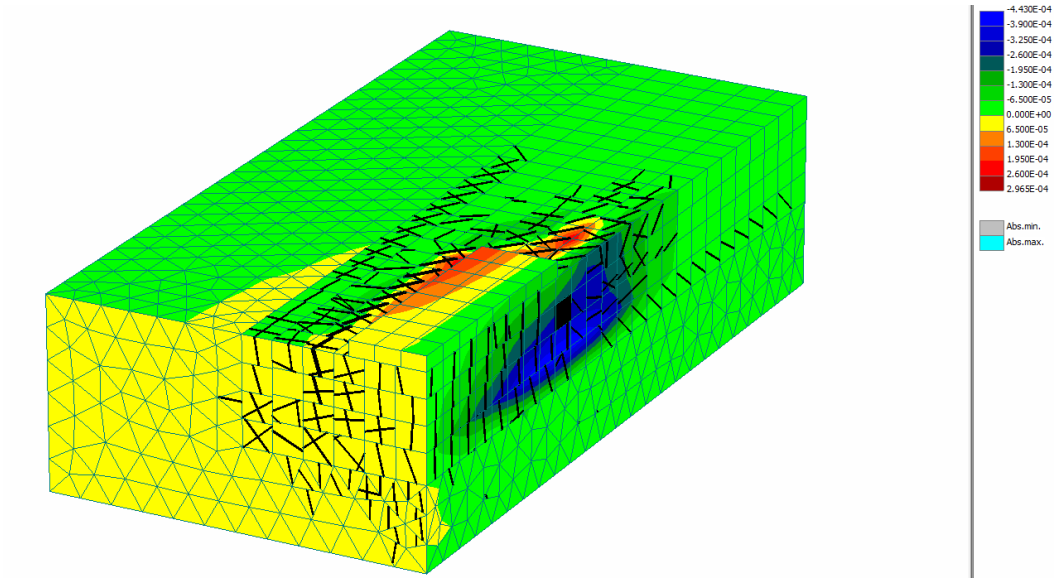
ผลจากแบบจำลองในโปรแกรม ATENA ยังสามารถแสดงถึงรอยร้าว (Crack) และขนาดของรอยร้าวที่เกิดขึ้นในโครงสร้างได้ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับรอยร้าวที่เกิดขึ้นในการทดสอบจริงและประเมินถึงการกระจายตัวได้ แสดงในรูปที่ 4.3-21 ถึงรูปที่ 4.3-26



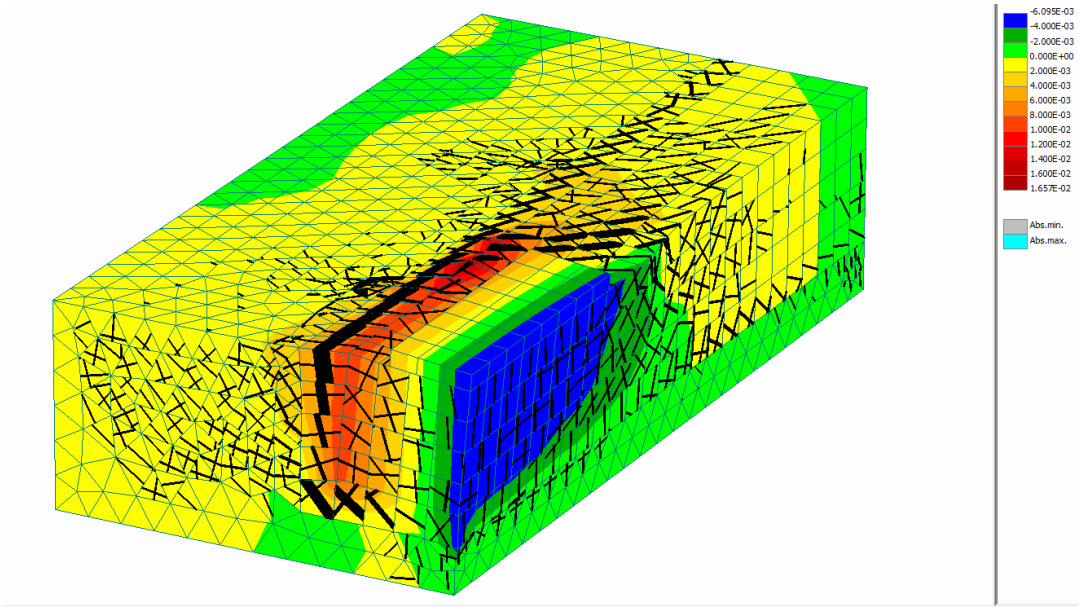
รูปที่ 4.3-21 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ขนาด 10x10 ที่จุดก่อนวิบัติ



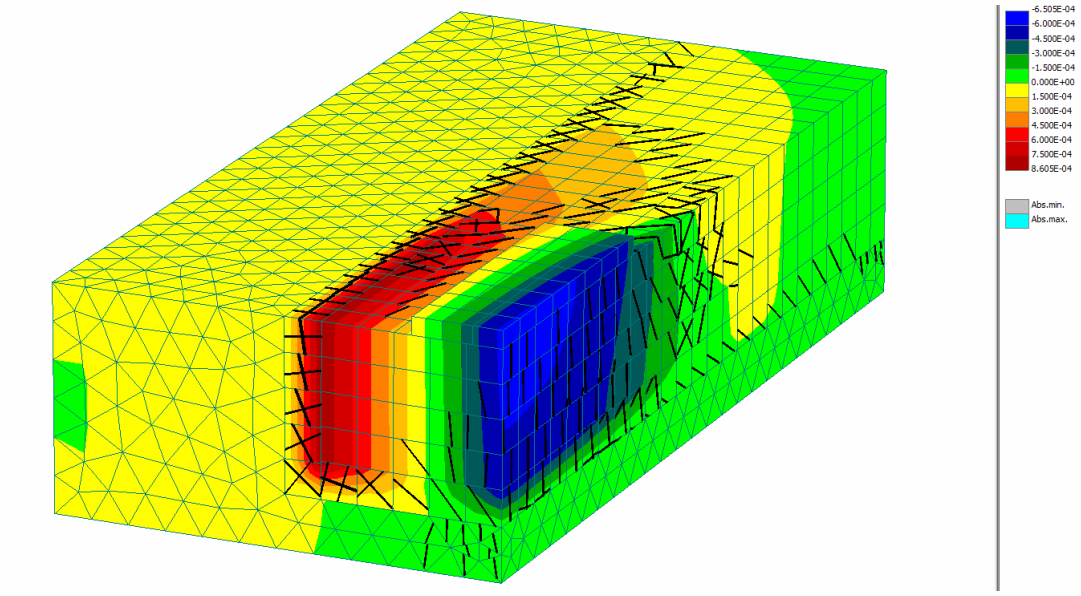
รูปที่ 4.3-22 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ขนาด 15x10 ที่จุดก่อนวิบัติ



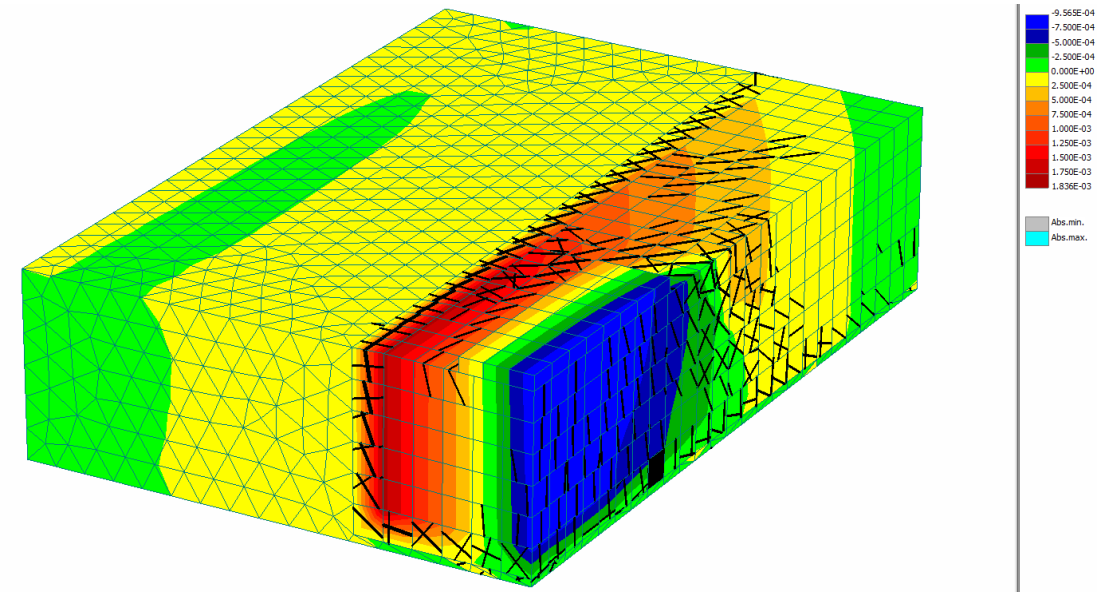
รูปที่ 4.3-23 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ขนาด 20x10 ที่จุดก่อนวิบัติ



รูปที่ 4.3-24 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ขนาด 15x15 ที่จุดก่อนวิบัติ



รูปที่ 4.3-25 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ขนาด 20x15 ที่จุดก่อนวิบัติ



รูปที่ 4.3-26 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ขนาด 20x20 ที่จุดก่อนวิบัติ

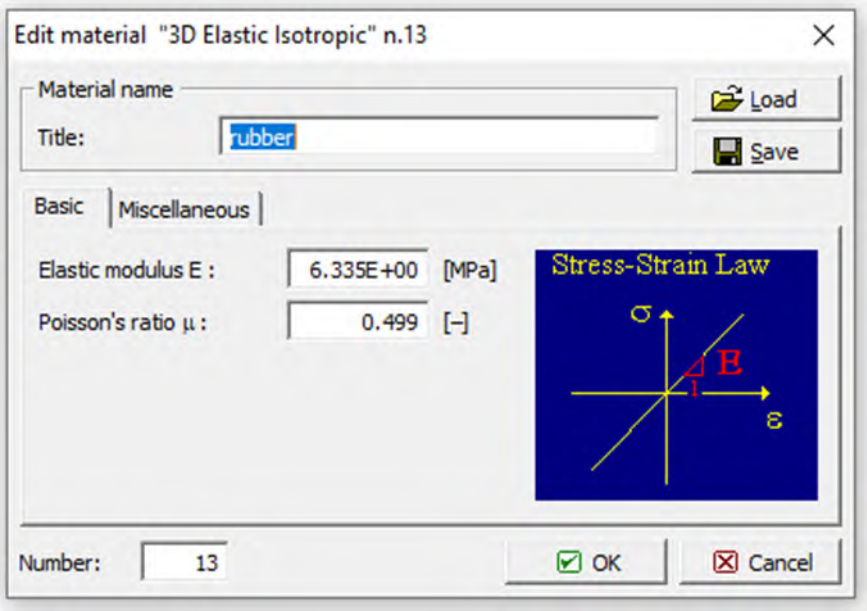
จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ เห็นได้ว่าการวิบัติของชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานมีการวิบัติจากการเลื่อนหลุดออกสำหรับแบบจำลองทุกขนาด ยกเว้นแต่เพียงขนาด 20x20 โดยเมื่อสังเกตจากรูปแบบจำลองที่จุดก่อนวิบัติจะเห็นรอยร้าวที่ขยายตัวบริเวณรอยต่อด้านบนของชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน ซึ่งเป็นจุดที่รับผลกระทบจากแรงกระทำในทิศทางที่ขนานกับพื้นผิวของชิ้นส่วน แต่ในส่วนของแบบจำลองขนาด 20x20 จะมีการวิบัติจากการโก่งตัวตามแนวยาวเนื่องจากชิ้นส่วนของบ่ามีขนาดใหญ่และมีส่วนของพื้นสะพานใต้บ่าเพียงเล็กน้อย ผลการทดสอบนี้มีความคล้ายคลึงกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งเมื่อสังเกตจากขนาดการเคลื่อนตัวสูงสุดในแบบจำลองซึ่งพิจารณาตรงจุดขอบมุมด้านบนของชิ้นส่วน บริเวณกึ่งกลางใต้แรงกระทำ แสดงใน ตารางที่ 4.3-1 จะเห็นได้ว่าชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อมีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อยก่อนการวิบัติ เนื่องจากชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเป็นชิ้นส่วนที่มีความแข็งแต่เปราะ ซึ่งไม่เหมาะกับการรับแรงกระทำแบบซ้ำๆในสภาพจริง ดังนั้นการเสริมแผ่นยางพาราซึ่งมีความยืดหยุ่นมากกว่าอาจช่วยลดปัญหาจากความล้าได้

ตารางที่ 4.3-1 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับการทดสอบจริง

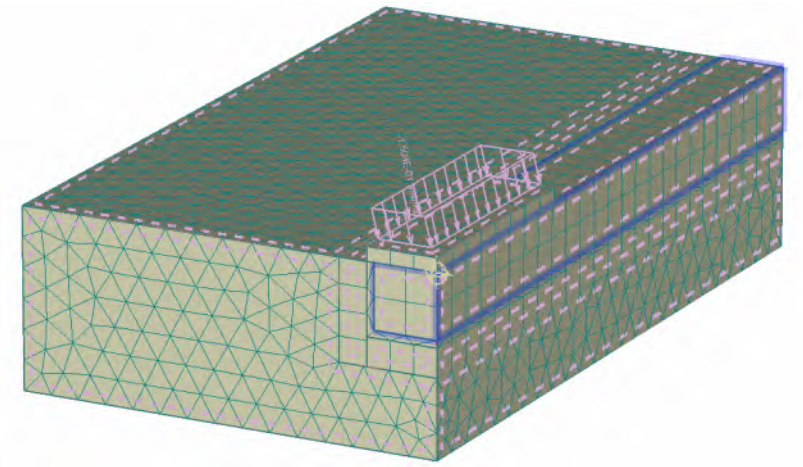
Test Specimens	Width of Block out (mm)	Height of Block out (mm)	Lab Test	Model
			Ultimate Strength (ton)	Ultimate Strength (ton)
B-01-SL	100	100	37-40	38
B-02-SL	150	100	52-55	49
B-03-SL	200	100	52	50
B-04-SL	150	150	33	35
B-05-SL	200	150	30-50	41
B-06-SL	200	200	41-43	46

4.3.5. ตัวอย่างแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานแบบเสริมด้วยแผ่นยางพารากันกระแทก

สำหรับคุณสมบัติแผ่นยางพารากันกระแทกที่นำมาใช้เสริมกำลังในแบบจำลองจะใช้ดังรูปที่ 4.3-27 โดยมีคุณสมบัติของยางเพียงแค่ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและค่าอัตราส่วนปัวซองส์เท่านั้น เนื่องจากพิจารณาว่าชิ้นส่วนแผ่นยางไม่มีการแตกหักก่อนชิ้นส่วนคอนกรีต และความหนาของชิ้นส่วนแผ่นยางนี้จะมีความหนา 1 เซนติเมตร โดยแทนที่ปริมาตรบางส่วนของชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อ การทำแบบจำลองจะคล้ายคลึงกับกรณีที่ไม่มีการเสริมยางพาราแสดงดังรูปที่ 4.3-28



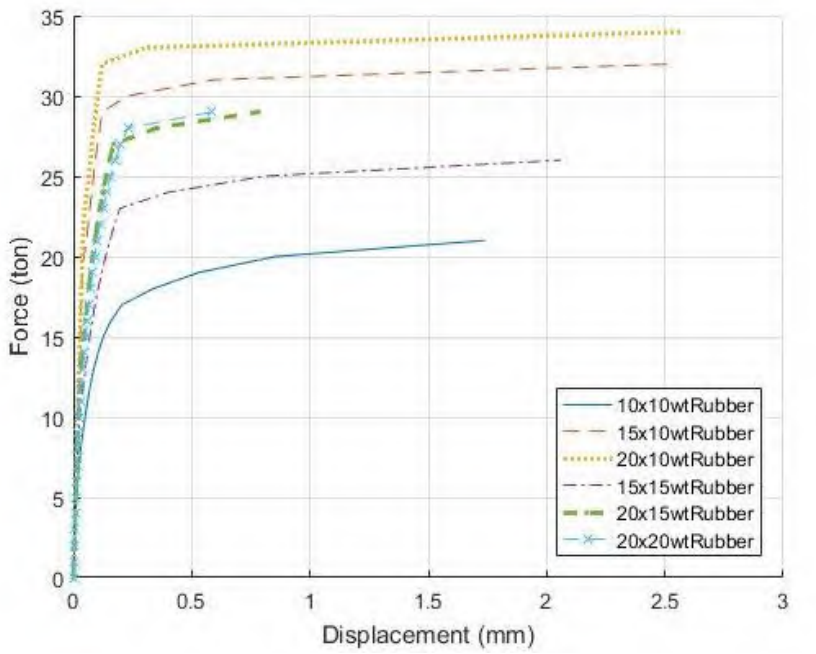
รูปที่ 4.3-27 คุณสมบัติแผ่นยางพารากันกระแทกในแบบจำลอง



รูปที่ 4.3-28 ตัวอย่างแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานแบบเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกและแรงกระทำ

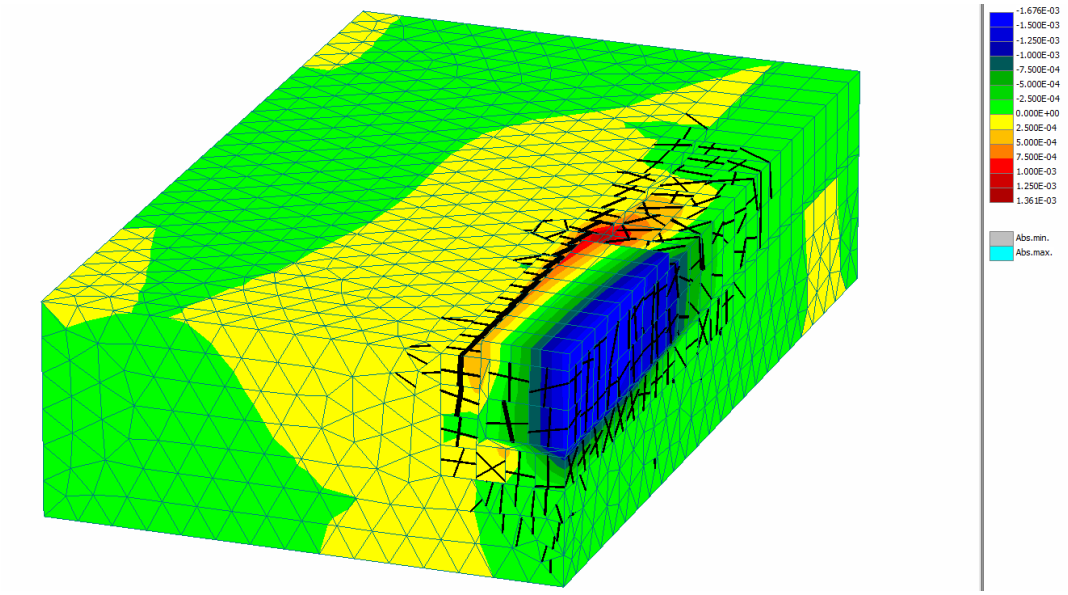
4.3.6. ผลการวิเคราะห์แบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน กรณีที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

แบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานกรณีเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารากันกระแทก มีทั้งหมด 6 แบบจำลองเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มีการเสริมแผ่นยางพารา ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแสดงในรูปที่ 4.3-29

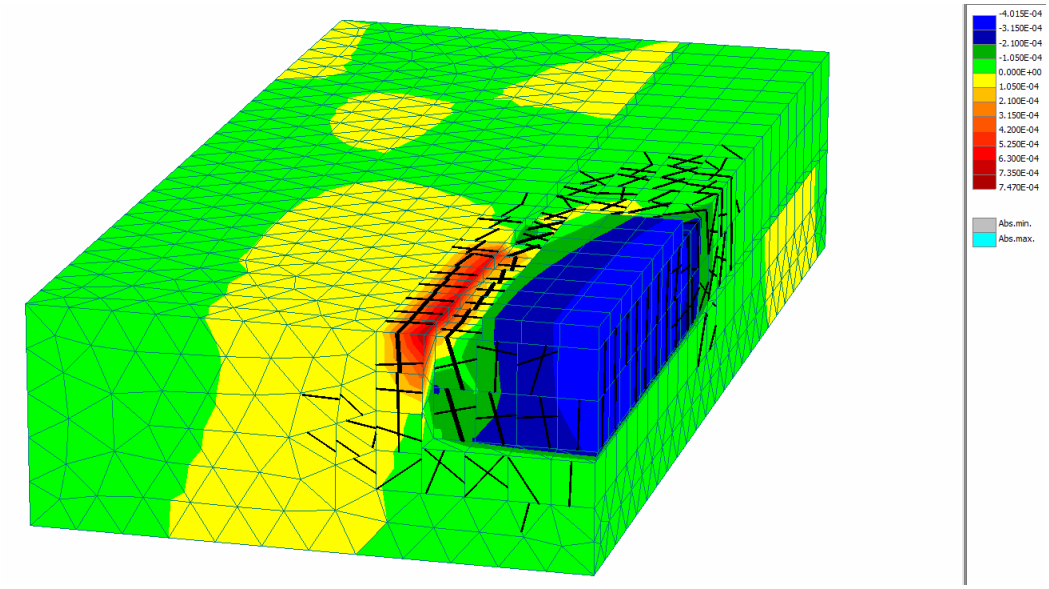


รูปที่ 4.3-29 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขนาดต่างๆ โดยมีการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

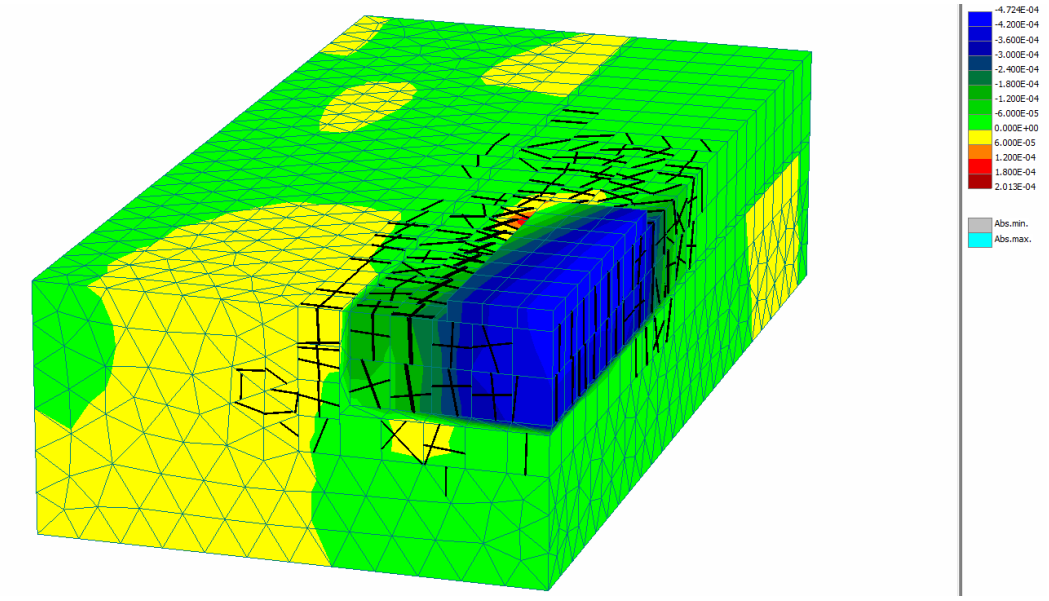
ผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับแรงกระทำได้ลดลง ร้อยละ 26 ถึง 45 ซึ่งมีความสอดคล้องกับรูปแบบของการกระจายตัวของรอยร้าวในแบบจำลอง ดังรูปที่ 4.3-30 ถึงรูปที่ 4.3-35 แสดงให้เห็นว่ารอยร้าวมีการกระจุกตัวบริเวณแรงกระทำ



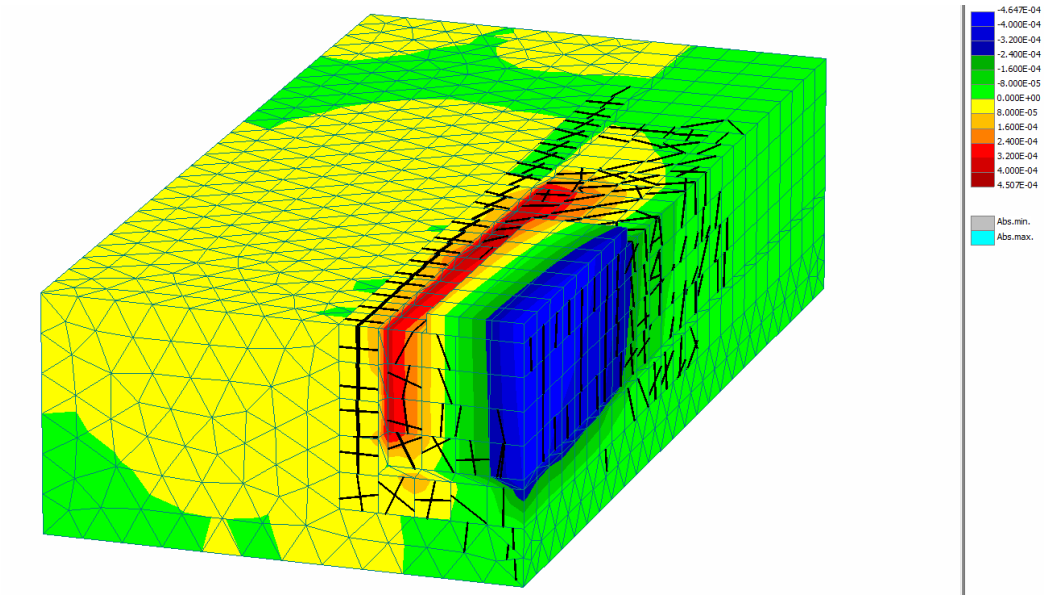
รูปที่ 4.3-30 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน กรณีที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ขนาด 10x10 ที่จุดก่อนวิบัติ



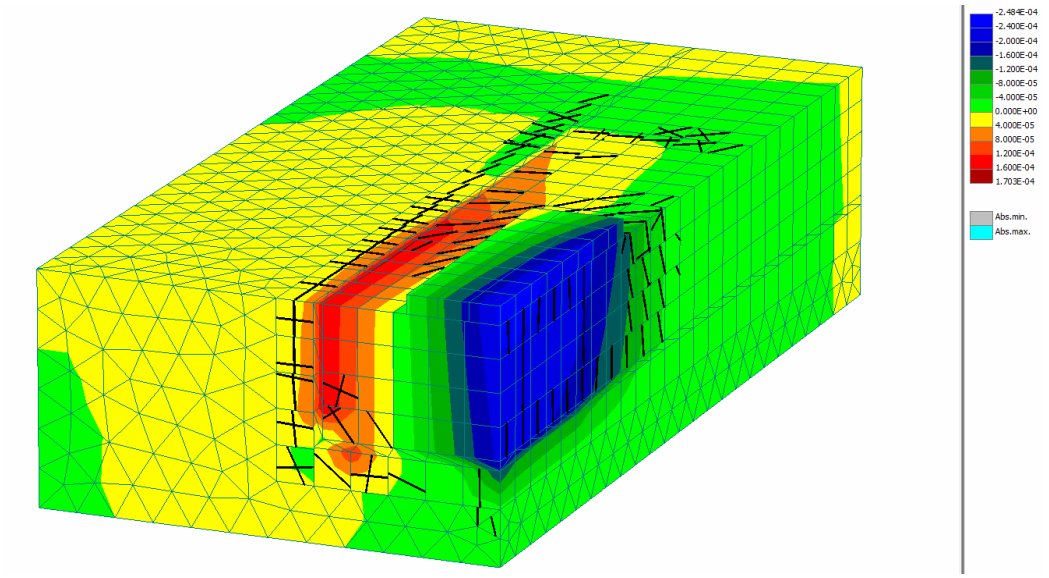
รูปที่ 4.3-31 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน กรณีที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ขนาด 15x10 ที่จุดก่อนวิบัติ



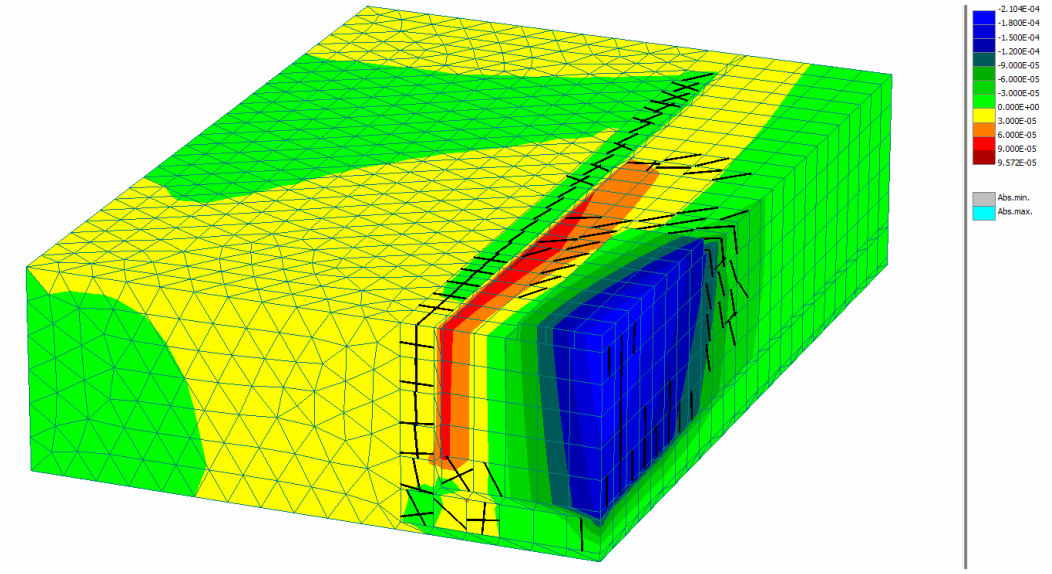
รูปที่ 4.3-32 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน กรณีที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ขนาด 20x10 ที่จุดก่อนวิบัติ



รูปที่ 4.3-33 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน กรณีที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ขนาด 15x15 ที่จุดก่อนวิบัติ



รูปที่ 4.3-34 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน กรณีที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ขนาด 20x15 ที่จุดก่อนวิบัติ



รูปที่ 4.3-35 ผลแบบจำลองชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน กรณีที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ขนาด 20x20 ที่จุดก่อนวิบัติ

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ของชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน กรณีเสริมด้วยแผ่นยางพารากันกระแทก แสดงให้เห็นถึงการวิบัติในลักษณะที่เกิดการหลุดออกด้านข้างของชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อในแบบจำลองทุกขนาด เนื่องจากแผ่นยางพาราด้านล่างของชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อจะช่วยในการรับแรงที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งและทำให้ชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อสามารถเคลื่อนที่ตามแนวแรงได้เล็กน้อย ส่งผลต่อแนวด้านข้างของชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อ โดยในแนวด้านข้างนี้แผ่นยางพาราไม่ได้ช่วยในการรับแรงดึงมากนัก อีกทั้งค่าโมดูลัสของยางที่ต่ำส่งผลให้การกระจายตัวของแรงกระทำที่ส่งไปถึงพื้นสะพานน้อยลง ซึ่งเห็นได้จากรอยร้าวที่กระจุกตัวบริเวณแรงกระทำ ดังนั้นการเสริมด้วยแผ่นยางพารากันกระแทก จะลดความสามารถในการรับแรงกระทำสูงสุดของชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน เนื่องจากเป็นการลดความสามารถในการกระจายตัวของแรงกระทำ ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการทดสอบจริงแสดงใน ตารางที่ 4.3-2 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองในกรณีที่ไม่เสริมแผ่นยาง จะเห็นได้ว่าการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะลดความสามารถในการรับแรงกระทำสูงสุดของชิ้นส่วนบ่าประมาณร้อยละ 26 ถึงร้อยละ 45 แสดงในตารางที่ 4.3-3 สอดคล้องกับผลการทดสอบในหัวข้อที่ผ่านมา

ตารางที่ 4.3-2 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับการทดสอบจริง กรณีที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

Test Specimens	Width of Block out (mm)	Height of Block out (mm)	Lab Test	Model
			Ultimate Strength (ton)	Ultimate Strength (ton)
B-07-SL	100	100	21	21
B-08-SL	150	100	38-40	32
B-09-SL	200	100	38-39	34
B-10-SL	150	150	25-38	26
B-11-SL	200	150	30	29
B-12-SL	200	200	27-33	29

ตารางที่ 4.3-3 ผลการเปรียบเทียบจากแบบจำลอง

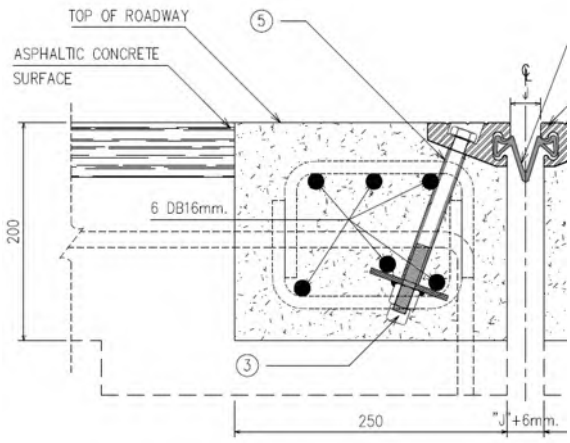
Width of Block out (mm)	Height of Block out (mm)	Model 1	Model 2 (with Rubber)	Strength Reduction
		Ultimate Strength (ton)	Ultimate Strength (ton)	
100	100	38	21	45%
150	100	49	32	35%
200	100	50	34	32%
150	150	35	26	26%
200	150	41	29	29%
200	200	46	29	37%

4.4 การคัดเลือกรูปแบบบ่ารองรับรอยต่อเพื่อนำมาทดสอบการรับแรงกระทำแบบวัฏจักร (Cyclic Load)

การคัดเลือกรูปแบบบ่ารองรับรอยต่อเพื่อนำมาทดสอบการรับแรงกระทำแบบวัฏจักรจะพิจารณาจากสองเหตุผลหลักดังนี้

1. รูปแบบบ่ารองรับรอยต่อเป็นรูปแบบที่ใกล้เคียงกับแบบที่ทางกรมทางหลวงใช้ในงานก่อสร้างจริง

ในการศึกษาแบบก่อสร้างของบ่ารองรับรอยต่อของกรมทางหลวง ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ รูปที่ 4.4-1 พบว่า บ่ารองรับรอยต่อทั่วไปจะมีขนาดความกว้างต่อความลึก ประมาณ 1.25:1 ดังนั้น เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของบ่ารองรับรอยต่อมากจนเกินไปสำหรับการก่อสร้างจริง สัดส่วนความกว้างต่อความลึกควรอยู่ในช่วง 1:1.2 ถึง 1:1.5



รูปที่ 4.4-1 แบบก่อสร้างของบ่ารองรับรอยต่อของกรมทางหลวง

2. รูปแบบบ่ารองรับรอยต่อจะต้องเป็นรูปแบบที่ดี และมีความสามารถในการรับแรงกระทำแบบสถิตได้ดี ทั้งแบบไม่เสริมแถบยางพาราและเสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

จากผลการทดสอบพบว่าสัดส่วนความกว้างต่อความลึกของบ่ารองรับรอยต่อกรณีที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา เท่ากับ 2:1 สามารถรับแรงกระทำได้สูงสุด และรองลงมาคือ 1.5:1 ในกรณีที่เสริมแถบยางพารา สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของบ่ารองรอยต่อที่ดีที่สุดคือ 1.5:1 และ 2:1 โดยที่จะต้องมีความลึกของบ่าเท่ากับ 100 มิลลิเมตร (พื้นรองรับเหลือความหนา 150 มิลลิเมตร) จากผลการทดสอบพบว่า กรณีเสริมแผ่นยางพาราและความลึกของบ่าเท่า 150 มิลลิเมตร (พื้นรองรับเหลือความหนา 100 มิลลิเมตร) กำลังรับแรงกระทำสูงสุดจะลงลง เนื่องจากพื้นรองรับรอยต่อเกิดการแตกร้าวและส่งผลให้กำลังรับน้ำหนักสูงสุดมีค่าลดลง ดังนั้นเพื่อป้องกันการแตกของพื้นรองรับบ่ารอยต่อ ความลึกของบ่ารองรับรอยต่อควรมีความหนาน้อยกว่าแผ่นพื้นรองรับบ่ารองรับรอยต่อ

ดังนั้นในการศึกษานี้ บ่ารองรับรอยต่อที่มีขนาด ความกว้าง x ความลึก เท่ากับ 150x100 จึงได้รับการคัดเลือกเพื่อนำมาทดสอบความสามารถในการรับแรงกระทำแบบวัฏจักร เนื่องจาก สัดส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1.5:1 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สอดคล้องกับสัดส่วนที่ใช้ในการก่อสร้างจริง สัดส่วนดังกล่าว เป็นสัดส่วนที่ดีและสามารถรับแรงกระทำแบบสถิต ได้ค่อนข้างสูงทั้งแบบเสริมและไม่เสริมแถบยางพารา นอกจากนั้น ความลึกของบ่ารองรับรอยต่อน้อยกว่าความหนาที่เหลือของแผ่นพื้นรองรับรอยต่อ ทำให้ลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหายกับแผ่นพื้นที่รองรับบ่ารองรับรอยต่อ เมื่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักรระหว่างการทดสอบ

บทที่ 5 ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรับแรงกระทำแบบวัฏจักร

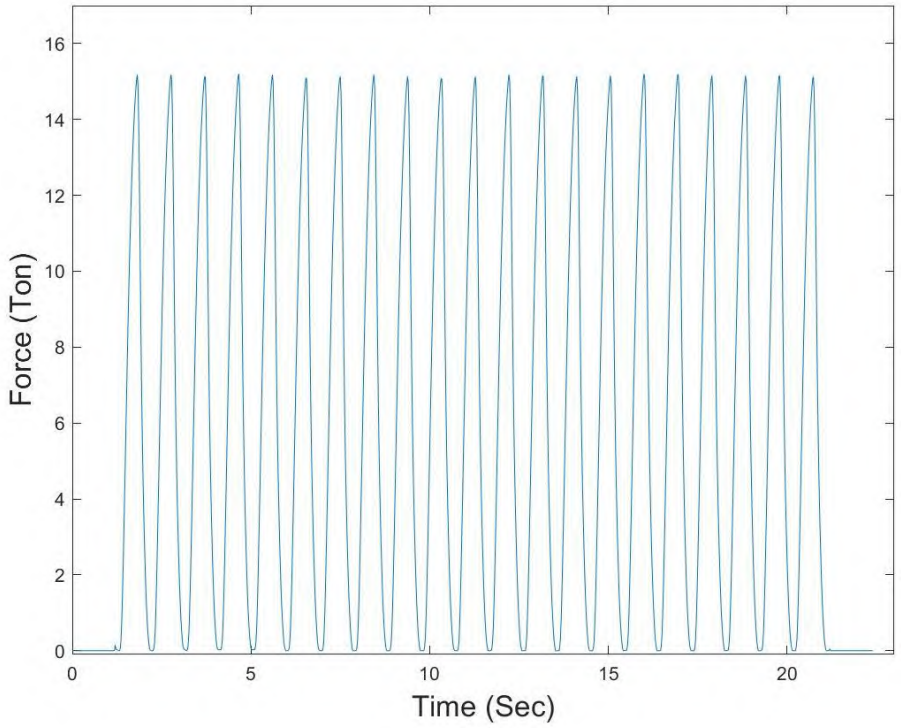
เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานในรูปแบบที่คัดเลือกภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุด ในการทดสอบนี้ จะทำการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อทั้งที่ไม่ได้เสริมและที่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกตามรายละเอียดที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบของบ่ารองรับรอยต่อทั้งสองรูปแบบ และประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุด

5.1 การทดสอบบ่ารองรับรอยต่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักร

การทดสอบบ่ารองรับโดยการให้แรงกระทำเป็นจุดแบบวัฏจักรลงบนบ่าคอนกรีต จะกระทำโดยการใช้กระบอกไฮดรอลิกซ์และอุปกรณ์ต้นกำลังให้กระทำซ้ำไปซ้ำมาจากเครื่องทดสอบแรงกระทำแบบวัฏจักรที่สามารถควบคุมระดับของแรงตามที่ต้องการได้ เครื่องทดสอบแรงกระทำแบบวัฏจักรได้แสดงดังรูปที่ 5-1

รูปที่ 5-1 เครื่องทดสอบแรงกระทำแบบวัฏจักร

โดยวิธีการทดสอบจะทำการกำหนดแรงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้ง เมื่อแรงที่กระทำถึงระดับที่กำหนดแล้วจะทำการลดแรงที่กระทำกลับให้เป็นศูนย์ และเพิ่มแรงกระทำให้ถึงระดับที่กำหนดอีกครั้ง โดยการทดสอบจะกระทำซ้ำไปซ้ำมาจนกว่าบ่ารองรับคอนกรีตพื้นสะพานจะเกิดการแตกร้าว ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและเวลาได้แสดงดังรูปที่ 5-2 จากนั้นจะทำการตรวจวัดค่าการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ ความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ และความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวคอนกรีตและเหล็กเสริม ทำการบันทึกภาพความเสียหายของบ่ารองรับรอยต่อทุก ๆ 500 รอบของแรงกระทำ



รูปที่ 5-2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงและเวลาของการทดสอบแบบวัฏจักรด้วยแรง 15 ตัน

การทดสอบเพื่อประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุด จะทำการทดสอบชิ้นทดสอบทั้งหมดโดยการให้แรงกระทำเป็นจุดแบบวัฏจักร (Cyclic) โดยจะแบ่งระดับแรงออกเป็นสามระดับคือ 0.50, 0.35 และ 0.20 เท่าของแรงกระทำสูงสุดโดยจะหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับของแรงและจำนวนรอบการกระแทกที่ทำให้บ่ารอยต่อที่เสริมและไม่เสริมกำลังเกิดความเสียหายการทดสอบในแต่ละชุดมีรายละเอียดดังนี้

ชุดที่ 1 บ่ารอยต่อรองรับพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารา

บ่ารอยต่อจะทำการทดสอบให้แรงกระทำซ้ำ ที่แตกต่างกันสามระดับ โดยระดับแรงที่จะให้แรงกระทำซ้ำสูงสุดเท่ากับ 0.50, 0.35 และ 0.20 เท่าของแรงกระทำประลัย (P_{ult}) การทดสอบจะบันทึกค่าแรงกระทำ ระยะการเสียรูปของบ่ารอยต่อ และจำนวนรอบของแรงกระทำ (N) จนบ่ารอยต่อเกิดการแตกร้าว ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะทำให้สามารถสร้างเส้นความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) ได้

ชุดที่ 2 บ่ารอยต่อรองรับพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

บ่ารอยต่อจะทำการทดสอบให้แรงกระทำซ้ำ ที่แตกต่างกันสามระดับ โดยระดับแรงที่จะให้แรงกระทำซ้ำสูงสุดเท่ากับ 0.50, 0.35และ 0.20 เท่าของแรงกระทำประลัย (P_{ult}) การทดสอบจะบันทึกค่าแรงกระทำ ระยะการเสียรูปของบ่ารอยต่อและจำนวนรอบของแรงกระทำ (N) จนบ่ารอยต่อเกิดการวิบัติข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะทำให้สามารถสร้างเส้นความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) ได้

สรุประดับของแรงกระทำซ้ำที่ใช้ในการทดสอบพื้นสะพานรับแรงกระทำแบบวัฏจักรเพื่อประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อได้แสดงดังตารางที่ 5.1-1

ตารางที่ 5.1-1 ระดับของแรงกระทำที่ใช้ทดสอบบ่ารองรับรอยต่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักร

Test Specimens	Load Conditions	Load Level (%)	Applied Load (Ton)	Number of Cycle	Use of Rubber Pad
B-13-FL	Fatigue	50	25	10,000	No
B-14-FL	Fatigue	35	17.5	60,000	No
B-15-FL	Fatigue	20	10	100,000	No
B-16-FL-RP	Fatigue	50	25	10,000	Yes
B-17-FL-RP	Fatigue	35	17.5	60,000	Yes
B-18-FL-RP	Fatigue	20	10	100,000	Yes

5.2 ผลการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานรับแรงกระทำแบบวัฏจักร

5.2.1. บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกรับแรงกระทำ 50% ของแรงกระทำสูงสุด (B-13-FL)

บ่ารองรับรอยต่อในตัวอย่าง B-13-FL เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะให้แรงกระทำแบบวัฏจักรซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 50% ของแรงกระทำสูงสุด หรือเท่ากับ 25 ตัน แรงกระทำจะเป็นลักษณะของแรงกระแทก โดยการกระแทกจะควบคุมระดับของแรงกระแทกจากเซนเซอร์วัดแรง โดยควบคุมแรงกระแทกที่กระทำกับบ่ารองรับรอยต่อให้มีค่าสูงสุดคงที่เท่ากับ 25 ตัน การให้แรงกระแทกจะให้อย่างสม่ำเสมอและบันทึกจำนวนรอบพร้อมบันทึกภาพรอยร้าวของแผ่นพื้นสัมพันธ์กับจำนวนรอบของแรงกระแทกที่กระทำกับแผ่นพื้น

5.2.1.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักร จะทำการให้แรงกระแทกสูงสุดเท่ากับ 25 ตัน อย่างต่อเนื่องและบันทึกภาพรอยแตกร้าวและจำนวนรอบของแรงกระทำ จากการทดสอบพบว่า เมื่อให้แรงกระทำแบบวัฏจักรประมาณ 500 รอบ พบรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นบริเวณขอบของแผ่นเหล็กถ่ายแรง และรอยร้าวมีการขยายขนาดและความลึกเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำ เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำประมาณ 1700 รอบ รอยร้าวมีความลึกประมาณ 5 เซนติเมตรจากผิวบนของแผ่นพื้น และ รอยร้าวดังกล่าวมีการเพิ่มความลึกอย่างรวดเร็วและลามไปถึงด้านล่างของแผ่นพื้นเมื่อเพิ่มจำนวนรอบไปอีกเพียงเล็กน้อย รอยร้าวดังกล่าวได้ลามไปถึงด้านล่างของแผ่นพื้นเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 2,000 รอบ รอยร้าวที่พบเป็นรอยร้าวที่มีลักษณะเฉียง 45 องศากับแผ่นพื้นและพบร้อยร้าวเริ่มจากปลายของแผ่นเหล็กถ่ายแรงทั้งสองด้าน เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำไปจนถึง 10,000 รอบ ไม่พบการขยายตัวของรอยร้าวอีก ดังนั้นจึงหยุดการทดสอบ ภาพรอยแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขณะมีแรงกระทำ 50% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 25 ตัน ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5-3

จำนวนรอบ = 0 รอบ

จำนวนรอบ = 500 รอบ

จำนวนรอบ = 1,000 รอบ

จำนวนรอบ = 1,700 รอบ

จำนวนรอบ = 2,000 รอบ

จำนวนรอบ = 2,500 รอบ

จำนวนรอบ = 3,000 รอบ

รูปที่ 5-3 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 50% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 25 ตัน

จำนวนรอบ = 4,000 รอบ

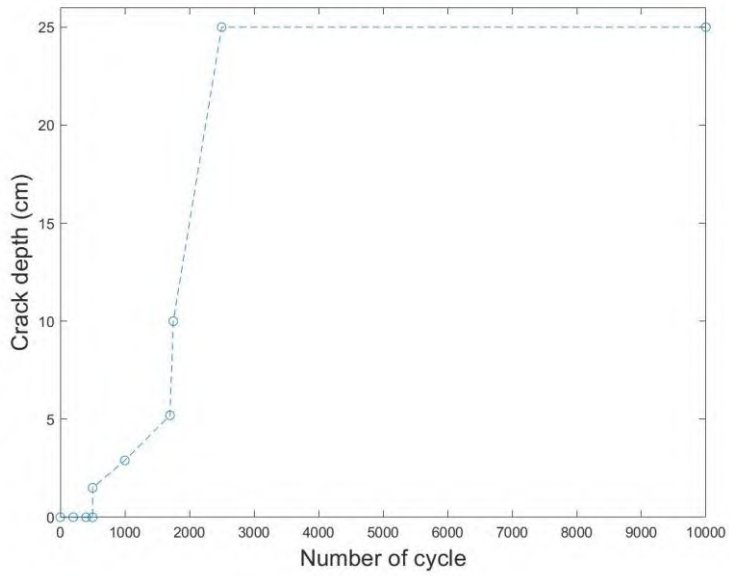
จำนวนรอบ = 8,000 รอบ

จำนวนรอบ = 10,000 รอบ

รูปที่ **5-3 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 50% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 25 ตัน (ต่อ)**

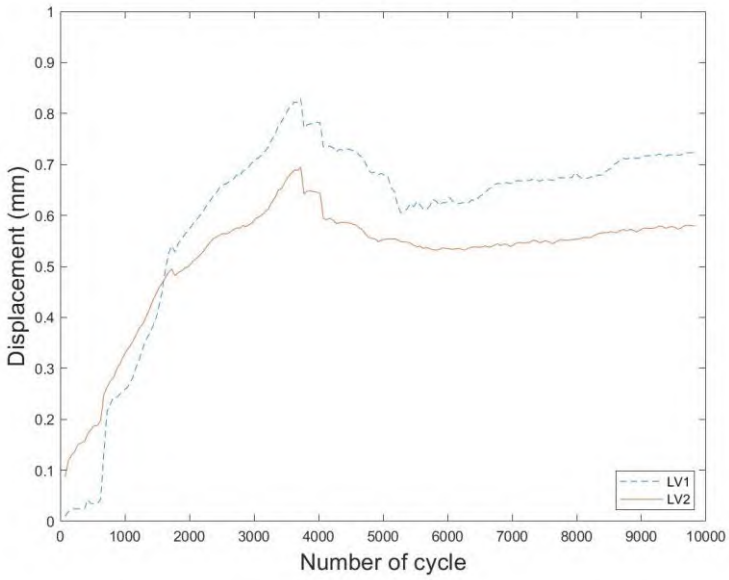
5.2.1.2. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ ความลึกของรอยร้าว และการเสียรูปของรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและความลึกของรอยร้าวได้แสดงดังรูปที่ 5-4 จากรูปพบว่า ในช่วงที่จำนวนรอบของแรงกระทำต่ำกว่า 500 รอบ ไม่พบรอยร้าวบริเวณบ่ารองรับรอยต่อ รอยร้าวจะเริ่มสังเกตุเห็นได้เมื่อรอบของแรงกระทำมากกว่า 500 รอบ รอยร้าวจะมีการเพิ่มความลึกอย่างรวดเร็วหลังจากแรงกระทำ 500 รอบ และรอยร้าวได้ลามถึงด้านล่างของแผ่นพื้นที่จำนวนรอบของแรงกระทำ เท่ากับ 2,000 รอบ การทดสอบได้สิ้นสุดลงเนื่องจากไม่พบการขยายตัวของรอยร้าวเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำครบ 10,000 รอบ

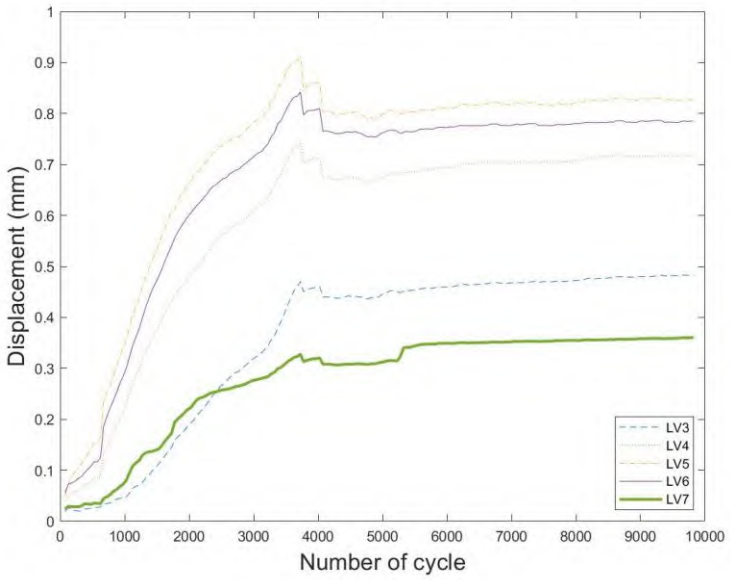


รูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ และความลึกของรอยร้าวที่เกิดขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อได้แสดงดังรูปที่ 5-5 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อมีแนวโน้มที่คงที่เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมีค่ามากกว่า 3,000 รอบ ซึ่งมีความสอดคล้องกับความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ



รูปที่ 5-6 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ

ความลึกของรอยแตกที่สังเกตได้ระหว่างการทดสอบและจำนวนรอบได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.2-1

ตารางที่ 5.2-1 สรุปจำนวนรอบและความลึกของรอยร้าวที่เกิดขึ้นของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพารากันกระแทกที่ระดับแรงกระทำ 50% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load)

จำนวนรอบ	ความลึกของรอยร้าว (cm)
0	0
500	1.5
1000	2.9
1700	5.2
1750	10
2500	25
10000	25

5.2.2. บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกรับแรงกระทำ 35% ของแรงกระทำสูงสุด (B-14-FL)

บ่ารองรับรอยต่อในตัวอย่าง B-14-FL เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะให้แรงกระทำแบบวัฏจักรซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 35% ของแรงกระทำสูงสุดหรือเท่ากับ 17.5 ตัน แรงกระทำจะเป็นลักษณะของแรงกระแทก โดยการกระแทกจะควบคุมระดับของแรงกระแทกจากเซนเซอร์วัดแรง โดยควบคุมแรงกระแทกที่กระทำกับบ่ารองรับรอยต่อให้มีค่าสูงสุดคงที่เท่ากับ 17.5 ตัน การให้แรงกระแทกจะให้อย่างสม่ำเสมอ และบันทึกจำนวนรอบพร้อมบันทึกภาพรอยร้าวของแผ่นพื้นสัมพันธ์กับจำนวนรอบของแรงกระแทกที่กระทำกับแผ่นพื้น

5.2.2.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักรจะทำการให้แรงกระแทกสูงสุดเท่ากับ 17.5 ตัน อย่างต่อเนื่องและบันทึกภาพรอยแตกร้าวและจำนวนรอบของแรงกระทำ จากการทดสอบพบว่า เมื่อให้แรงกระทำแบบวัฏจักรประมาณ 37,000 รอบ พบรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นบริเวณขอบของแผ่นเหล็กถ่ายแรง และรอยร้าวมีการขยายขนาดและความลึกเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำ เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำประมาณ 37,500 รอบ รอยร้าวมีความลึกประมาณ 7 เซนติเมตรจากผิวบนของแผ่นพื้น และรอยร้าวดังกล่าวมีการเพิ่มความลึกอย่างรวดเร็วและลามไปถึงด้านล่างของแผ่นพื้นเมื่อเพิ่มจำนวนรอบไปอีกเพียงเล็กน้อย รอยร้าวดังกล่าวได้ลามไปถึงด้านล่างของแผ่นพื้นเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 39,800 รอบ รอยร้าวที่พบเป็นรอยร้าวที่มีลักษณะเฉียง 45 องศากับแผ่นพื้น และพบร้อยร้าวเริ่มจากปลายของแผ่นเหล็กถ่ายแรงทั้งสองด้าน รวมถึงฐานที่รองรับของแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำไปจนถึง 60,000 รอบ ไม่พบการขยายตัวของรอยร้าวอีกดังนั้นจึงหยุดการทดสอบ ภาพรอยแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขณะมีแรงกระทำ 35% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 17.5 ตัน ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5-7

จำนวนรอบ = 0 รอบ

จำนวนรอบ = 10,000 รอบ

จำนวนรอบ = 20,000 รอบ

จำนวนรอบ = 30,000 รอบ

จำนวนรอบ = 37,000 รอบ

จำนวนรอบ = 37,500 รอบ

รูปที่ 5-7 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 35% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 17.5 ตัน

จำนวนรอบ = 37,800 รอบ

จำนวนรอบ = 38,000 รอบ

จำนวนรอบ = 39,800 รอบ

จำนวนรอบ = 40,000 รอบ

จำนวนรอบ = 50,000 รอบ

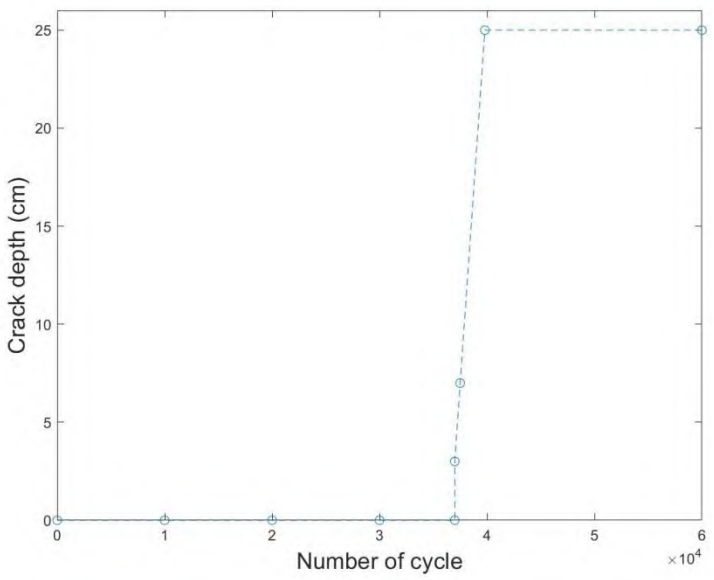
จำนวนรอบ = 60,000 รอบ

รูปที่ 5-7 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 35% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 17.5 ตัน (ต่อ)

5.2.2.2. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ ความลึกของรอยร้าว และการเสียรูปของรอยต่อ

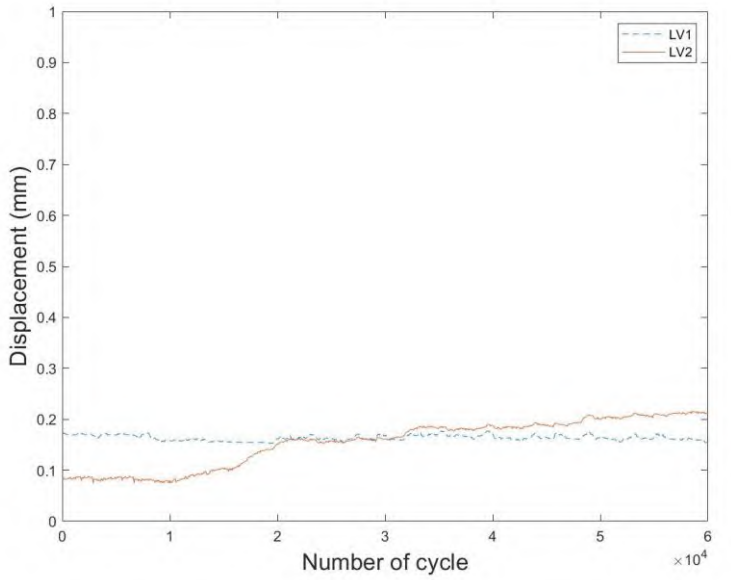
ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและความลึกของรอยร้าวได้แสดงดังรูปที่ 5-8 จากรูปพบว่า ในช่วงที่จำนวนรอบของแรงกระทำต่ำกว่า 37,000 รอบ ไม่พบรอยร้าวบริเวณบ่ารองรับรอยต่อ รอยร้าวจะเริ่มสังเกตุเห็นได้เมื่อรอบของแรงกระทำมากกว่า 37,000 รอบ

รอยร้าวจะมีการเพิ่มความลึกอย่างรวดเร็วหลังจากแรงกระทำ 37,000 รอบ และรอยร้าวได้ลามถึงด้านล่างของแผ่นพื้นที่จำนวนรอบของแรงกระทำ เท่ากับ 39,800 รอบ การทดสอบได้สิ้นสุดลงเนื่องจากไม่พบการขยายตัวของรอยร้าวเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำครบ 60,000 รอบ

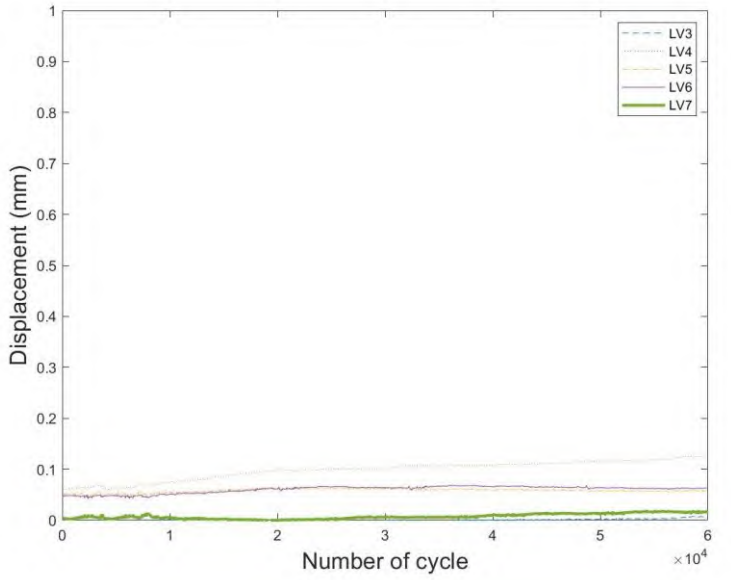


รูปที่ 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ และความลึกของรอยร้าวที่เกิดขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อได้แสดงดังรูปที่ 5-9 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า การเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อมีแนวโน้มที่คงที่ตลอดการทดสอบ ซึ่งมีความสอดคล้องกับความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 5-10



รูปที่ 5-9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ



รูปที่ 5-10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ

ความลึกของรอยแตกที่สังเกตได้ระหว่างการทดสอบและจำนวนรอบ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.2-2

ตารางที่ 5.2-2 สรุปจำนวนรอบและความลึกของรอยร้าวที่เกิดขึ้นของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพารากันกระแทกที่ระดับแรงกระทำ 35% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load)

จำนวนรอบ	ความลึกของรอยร้าว (cm)
0	0
37000	3
37500	7
39800	25
60000	25

5.2.3. บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกรับแรงกระทำ 20% ของแรงกระทำสูงสุด (B-15-FL)

บ่ารองรับรอยต่อในตัวอย่าง B-15-FL เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะให้แรงกระทำแบบวัฏจักรซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 20% ของแรงกระทำสูงสุดหรือเท่ากับ 10 ตัน แรงกระทำจะเป็นลักษณะของแรงกระแทก โดยการกระแทกจะควบคุมระดับของแรงกระแทกจากเซนเซอร์วัดแรง โดยควบคุมแรงกระแทกที่กระทำกับบ่ารองรับรอยต่อให้มีค่าสูงสุดคงที่เท่ากับ 10 ตัน การให้แรงกระแทกจะให้อย่างสม่ำเสมอ และบันทึกจำนวนรอบพร้อมบันทึกภาพรอยร้าวของแผ่นพื้นสัมพันธ์กับจำนวนรอบของแรงกระแทกที่กระทำกับแผ่นพื้น

5.2.3.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักร จะทำการให้แรงกระแทกสูงสุดเท่ากับ 10 ตัน อย่างต่อเนื่องและบันทึกภาพรอยแตกร้าวและจำนวนรอบของแรงกระทำ จากการทดสอบพบว่า ไม่เกิดรอยร้าวใด ๆ ขึ้นบนแผ่นพื้น และเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำไปจนถึง 100,000 รอบ ก็ยังไม่พบรอยร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้น ดังนั้นจึงหยุดการทดสอบ ภาพรอยแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 20% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 10 ตัน ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5-11

จำนวนรอบ = 0 รอบ

จำนวนรอบ = 10,000 รอบ

จำนวนรอบ = 20,000 รอบ

จำนวนรอบ = 30,000 รอบ

จำนวนรอบ = 40,000 รอบ

จำนวนรอบ = 50,000 รอบ

รูปที่ 5-11 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 20% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 10 ตัน

จำนวนรอบ = 60,000 รอบ

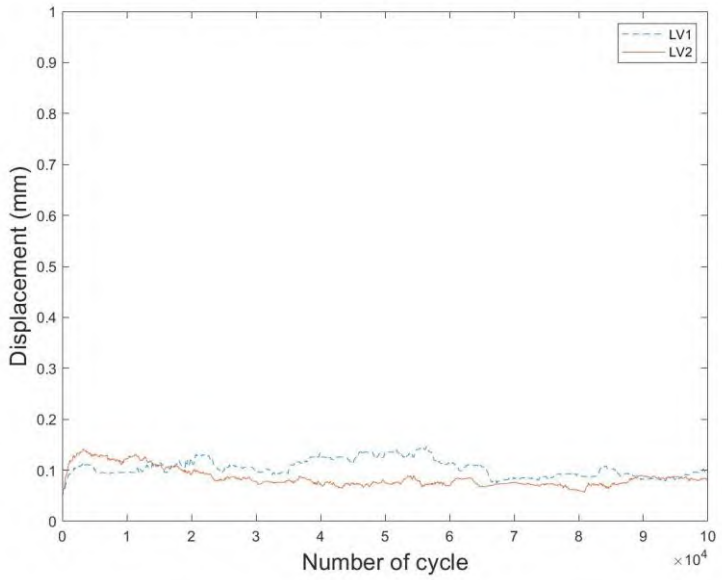
จำนวนรอบ = 80,000 รอบ

จำนวนรอบ = 100,000 รอบ

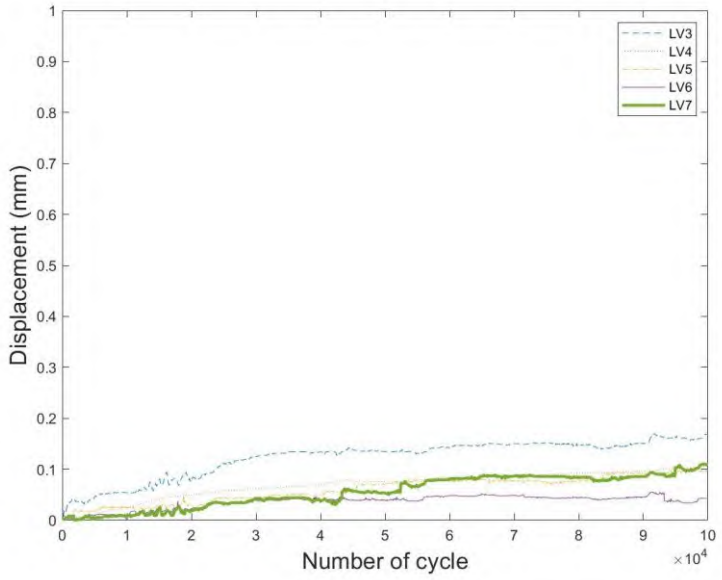
รูปที่ 5-11 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 20% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 10 ตัน (ต่อ)

5.2.3.2. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ ความลึกของรอยร้าว และการเสียรูปของรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ ได้แสดงดังรูปที่ 5-12 จากรูปพบว่า ตลอดช่วงการทดสอบการเสียรูปด้านหน้ามีค่าน้อยมากตลอดการทดสอบ และค่าความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อที่ตรวจวัดได้ระหว่างการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 5-13



รูปที่ 5-12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ



รูปที่ 5-13 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ

5.2.4. บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกรับแรงกระทำ 50% ของแรงกระทำสูงสุด (B-16-FL-RP)

บ่ารองรับรอยต่อในตัวอย่าง B-16-FL-RP เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะทำการทดสอบโดยให้แรงกระทำแบบวัฏจักรโดยแรงกระทำสูงสุดเท่ากับ 50% ของแรงกระทำสูงสุดหรือเท่ากับ 25 ตัน แรงกระทำจะเป็นลักษณะของแรงกระแทก โดยการกระแทกจะควบคุมระดับของแรงกระแทกจากเซนเซอร์วัดแรง โดยควบคุมแรงกระแทกที่กระทำกับบ่ารองรับรอยต่อให้มีค่าสูงสุดคงที่เท่ากับ 25 ตัน การให้แรงกระแทกจะให้อย่างสม่ำเสมอ และบันทึกจำนวนรอบพร้อมบันทึกภาพรอยร้าวของแผ่นพื้นสัมพันธ์กับจำนวนรอบของแรงกระแทกที่กระทำกับแผ่นพื้น

5.2.4.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักร จะทำการให้แรงกระแทกสูงสุดเท่ากับ 25 ตัน อย่างต่อเนื่องและบันทึกภาพรอยแตกร้าวและจำนวนรอบของแรงกระทำ จากการทดสอบพบว่า เมื่อให้แรงกระทำแบบวัฏจักรประมาณ 2,250 รอบ พบรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นบริเวณขอบของแผ่นเหล็กถ่ายแรง มีความลึกประมาณ 5 เซนติเมตร และรอยร้าวมีการขยายขนาดและความลึกเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำอีกเพียงเล็กน้อย คือที่จำนวนรอบของแรงกระทำประมาณ 2,400 รอบ รอยร้าวมีความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อเพิ่มจำนวนรอบขึ้นรอยร้าวดังกล่าวไม่ได้ลามไปถึงด้านล่างของแผ่นพื้นรอยร้าวได้หยุดลงบริเวณรอยต่อระหว่างบ่ารองรับและแผ่นพื้นด้านล่าง ถึงแม้จำนวนรอบของการให้แรงกระทำจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำไปจนถึง 10,000 รอบ ไม่พบการขยายตัวของรอยร้าวอีก ดังนั้นจึงหยุดการทดสอบภาพรอยแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขณะมีแรงกระทำ 50% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 25 ตัน ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5-14

จำนวนรอบ = 0 รอบ

จำนวนรอบ = 2000 รอบ

จำนวนรอบ = 2,150 รอบ

จำนวนรอบ = 2,250 รอบ

จำนวนรอบ = 2,400 รอบ

จำนวนรอบ = 3,000 รอบ

จำนวนรอบ = 4,000 รอบ

จำนวนรอบ = 6,000 รอบ

รูปที่ 5-14 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 50% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 25 ตัน

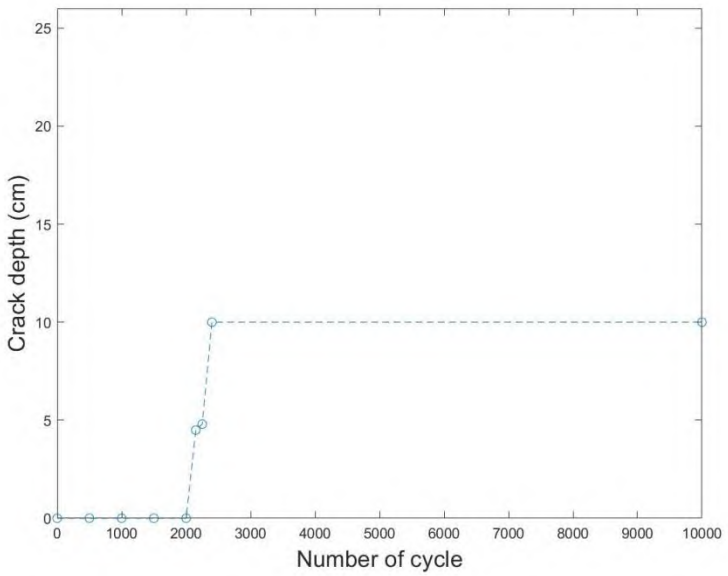
จำนวนรอบ = 8,000 รอบ

จำนวนรอบ = 10,000 รอบ

รูปที่ 5-14 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 50% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 25 ตัน (ต่อ)

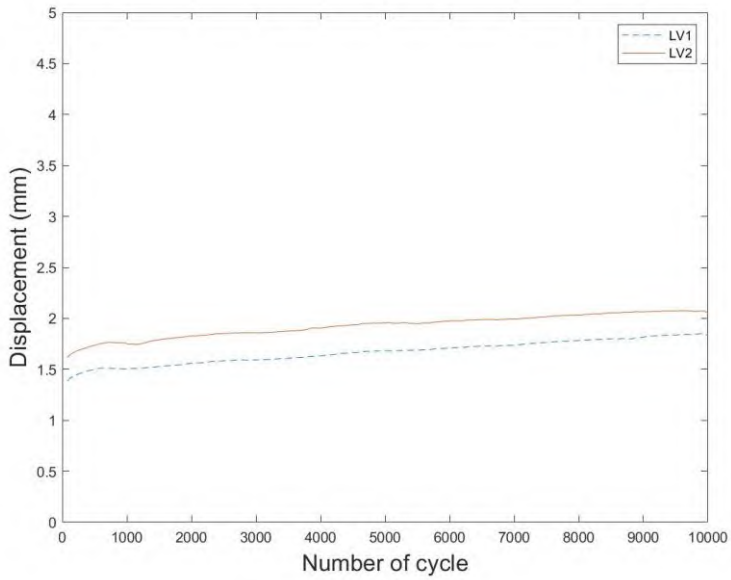
5.2.4.2. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ ความลึกของรอยร้าว และการเสียรูปของรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและความลึกของรอยร้าวได้แสดงดังรูปที่ 5-15 จากรูปพบว่า ในช่วงที่จำนวนรอบของแรงกระทำต่ำกว่า 2,000 รอบ ไม่พบรอยร้าวบริเวณบ่ารองรับรอยต่อ รอยร้าวจะเริ่มสังเกตุเห็นได้เมื่อรอบของแรงกระทำมากกว่า 2,150 รอบ รอยร้าวจะมีการเพิ่มความลึกอย่างรวดเร็วหลังจากแรงกระทำ 2,150 รอบ และรอยร้าวได้ลามถึงด้านล่างของบ่ารองรับรอยต่อที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตรที่จำนวน 2,400 รอบ การทดสอบได้สิ้นสุดลงเนื่องจากไม่พบการขยายตัวของรอยร้าวเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำครบ 10,000 รอบ

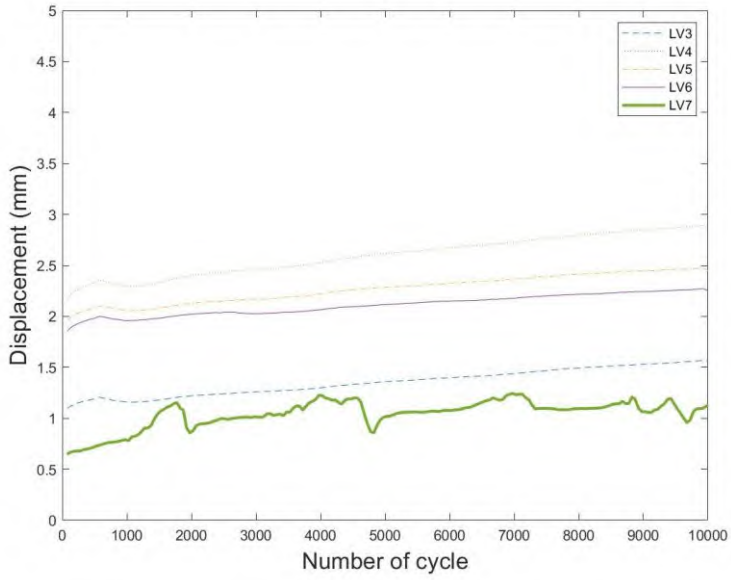


รูปที่ 5-15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ และความลึกของรอยร้าวที่เกิดขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อได้แสดงดังรูปที่ 5-16 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าการเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อมีแนวโน้มที่คงที่ตลอดการทดสอบ ซึ่งมีความสอดคล้องกับความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 5-17



รูปที่ 5-16 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ



รูปที่ 5-17 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ

ความลึกของรอยแตกที่สังเกตได้ระหว่างการทดสอบและจำนวนรอบ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.2-3

ตารางที่ 5.2-3 สรุปจำนวนรอบและความลึกของรอยร้าวที่เกิดขึ้นของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพารากันกระแทกที่ระดับแรงกระทำ 50% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load)

จำนวนรอบ	ความลึกของรอยร้าว (cm)
0	0
2150	4.5
2250	4.8
2400	10
10000	10

5.2.5. บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกรับแรงกระทำ 35% ของแรงกระทำสูงสุด (B-17-FL-RP)

บ่ารองรับรอยต่อในตัวอย่าง B-17-FL-RP เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะให้แรงกระทำแบบวัฏจักร ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 35% ของแรงกระทำสูงสุดหรือเท่ากับ 17.5 ตัน แรงกระทำจะเป็นลักษณะของแรงกระแทก โดยการกระแทกจะควบคุมระดับของแรงกระแทกจากเซนเซอร์วัดแรง โดยควบคุมแรงกระแทกที่กระทำกับบ่ารองรับรอยต่อให้มีค่าสูงสุดคงที่เท่ากับ 17.5 ตัน การให้แรงกระแทกจะให้อย่างสม่ำเสมอ และบันทึกจำนวนรอบพร้อมบันทึกภาพรอยร้าวของแผ่นพื้นสัมพันธ์กับจำนวนรอบของแรงกระแทกที่กระทำกับแผ่นพื้น

5.2.5.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักร จะทำการให้แรงกระแทกสูงสุดเท่ากับ 17.5 ตัน อย่างต่อเนื่องและบันทึกภาพรอยแตกร้าวและจำนวนรอบของแรงกระทำจากการทดสอบพบว่า เมื่อให้แรงกระทำแบบวัฏจักรประมาณ 49,000 รอบ พบรอยแตกร้าวของแผ่นพื้นบริเวณขอบของแผ่นเหล็กถ่ายแรง มีความลึกประมาณ 5 เซนติเมตร และรอยร้าวมีการขยายขนาดและความลึกเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำอีกเพียงเล็กน้อย คือที่จำนวนรอบของแรงกระทำประมาณ 49,150 รอบ รอยร้าวมีความลึกประมาณ 6 เซนติเมตร และ ลามอย่างรวดเร็วไปที่ระดับความลึกจากผิวบนของแผ่นพื้น 10 เซนติเมตรเมื่อรอบของแรงกระทำมีค่ามากกว่า 52,000 รอบ เมื่อเพิ่มจำนวนรอบขึ้นรอยร้าวดังกล่าวไม่ได้ลามไปถึงด้านล่างของแผ่นพื้น รอยร้าวได้หยุดลงบริเวณรอยต่อระหว่างบ่ารองรับและแผ่นพื้นด้านล่าง

ถึงแม้จำนวนรอบของการให้แรงกระทำจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำไปจนถึง 60,000 รอบ ไม่พบการขยายตัวของรอยร้าวอีกดังนั้นจึงหยุดการทดสอบภาพรอยแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขณะมีแรงกระทำ 35% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 17.5 ตัน ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5-18

จำนวนรอบ = 0 รอบ

จำนวนรอบ = 10,000 รอบ

จำนวนรอบ = 20,000 รอบ

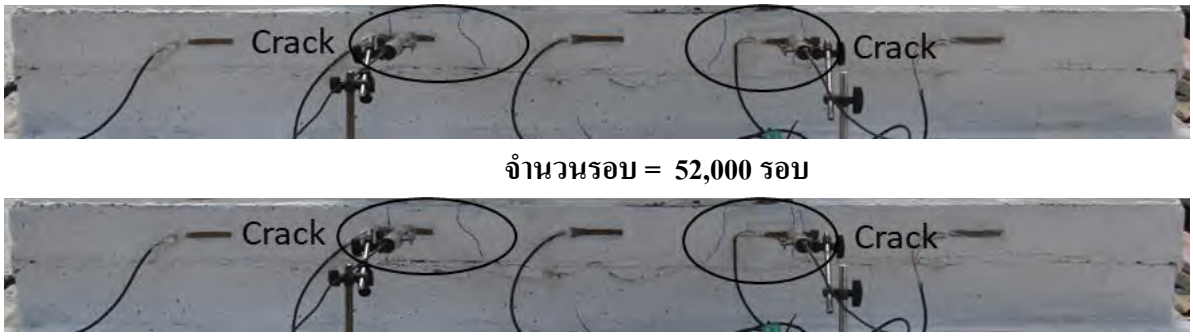
จำนวนรอบ = 30,000 รอบ

จำนวนรอบ = 49,000 รอบ

จำนวนรอบ = 49,150 รอบ

จำนวนรอบ = 49,500 รอบ

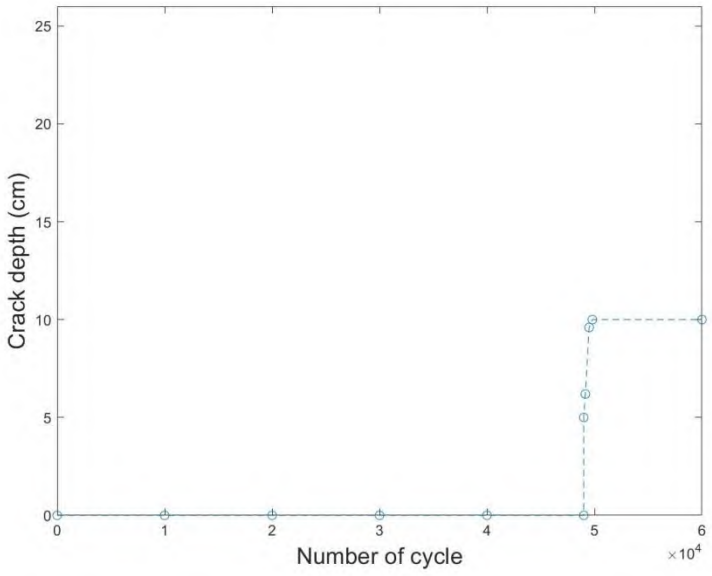
รูปที่ 5-18 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 35% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 17.5 ตัน



รูปที่ 5-18 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 35% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 17.5 ตัน (ต่อ)

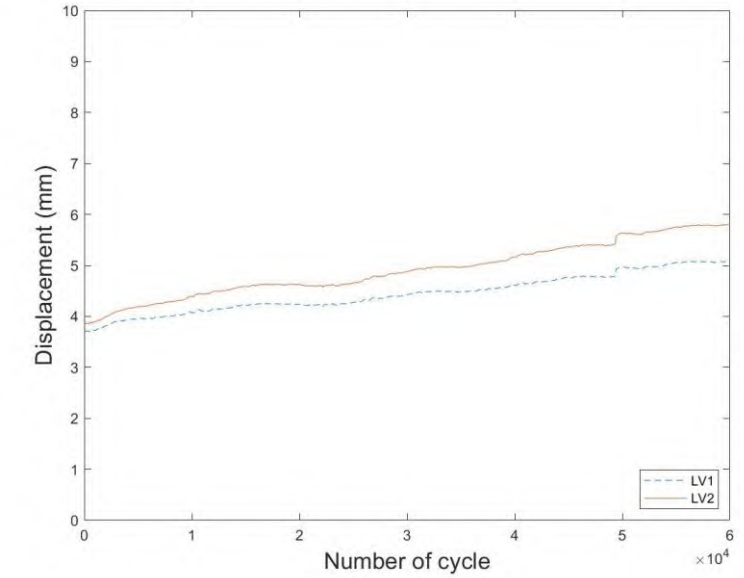
5.2.5.2. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ ความลึกของรอยร้าว และการเสียรูปของรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและความลึกของรอยร้าวได้แสดงดัง**รูปที่ 5-19** จากรูปพบว่า ในช่วงที่จำนวนรอบของแรงกระทำต่ำกว่า 49,000 รอบ ไม่พบรอยร้าวบริเวณบ่ารองรับรอยต่อ รอยร้าวจะเริ่มสังเกตุเห็นได้เมื่อรอบของแรงกระทำมากกว่า 49,000 รอบ รอยร้าวจะมีการเพิ่มความลึกอย่างรวดเร็วหลังจากแรงกระทำ 49,000 รอบ และรอยร้าวได้ลามถึงด้านล่างบ่ารองรับรอยต่อที่ระยะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 49,800 รอบ การทดสอบได้สิ้นสุดลงเนื่องจากไม่พบการขยายตัวของรอยร้าวเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำครบ 60,000 รอบ

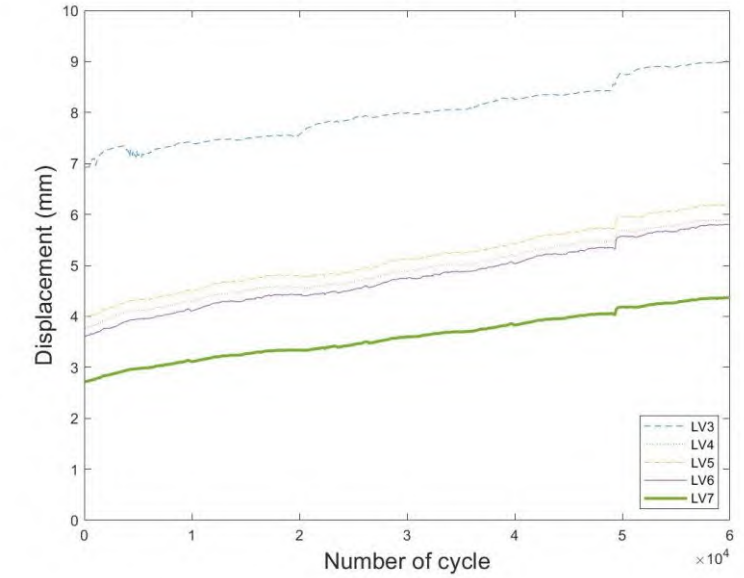


รูปที่ 5-19 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ และความลึกของรอยร้าวที่เกิดขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อได้แสดงดังรูปที่ 5-20 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า การเสียรูปของบ่ารองรับรอยต่อมีแนวโน้มที่คงที่ตลอดการทดสอบ ซึ่งมีความสอดคล้องกับความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 5-21



รูปที่ 5-20 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ



รูปที่ 5-21 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ

ความลึกของรอยแตกที่สังเกตได้ระหว่างการทดสอบและจำนวนรอบ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.2-4

ตารางที่ 5.2-4 สรุปจำนวนรอบและความลึกของรอยร้าวที่เกิดขึ้นของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพารากันกระแทกที่ระดับแรงกระทำ 35% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load)

จำนวนรอบ	ความลึกของรอยร้าว (cm)
0	0
49000	5
49150	6.2
49500	9.6
52000	10
60000	10

5.2.6. บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกรับแรงกระทำ 20% ของแรงกระทำสูงสุด (B-18-FL-RP)

บ่ารองรับรอยต่อในตัวอย่าง B-18-FL-RP เป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีความกว้างของบ่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความลึกเท่ากับ 100 มิลลิเมตร การทดสอบจะให้แรงกระทำแบบวัฏจักร ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 20% ของแรงกระทำสูงสุดหรือเท่ากับ 8 ตัน แรงกระทำจะเป็นลักษณะของแรงกระแทก โดยการกระแทกจะควบคุมระดับของแรงกระแทกจากเซนเซอร์วัดแรง โดยควบคุมแรงกระแทกที่กระทำกับบ่ารองรับรอยต่อให้มีค่าสูงสุดคงที่เท่ากับ 8 ตัน การให้แรงกระแทกจะให้อย่างสม่ำเสมอ และบันทึกจำนวนรอบพร้อมบันทึกภาพรอยร้าวของแผ่นพื้นสัมพันธ์กับจำนวนรอบของแรงกระแทกที่กระทำกับแผ่นพื้น

5.2.6.1. รูปแบบการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อ

ในการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักร จะทำการให้แรงกระแทกสูงสุดเท่ากับ 10 ตัน อย่างต่อเนื่อง และบันทึกภาพรอยแตกร้าวและจำนวนรอบของแรงกระทำ จากการทดสอบพบว่า ไม่เกิดรอยร้าวใด ๆ ขึ้นบนแผ่นพื้น เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำไปจนถึง 100,000 รอบ ไม่พบรอยร้าวใด ๆ บนแผ่นพื้นดังนั้นจึงหยุดการทดสอบ ภาพรอยแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานขณะมีแรงกระทำ 20% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 10 ตัน ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5-22

จำนวนรอบ = 0 รอบ

จำนวนรอบ = 10,000 รอบ

จำนวนรอบ = 20,000 รอบ

จำนวนรอบ = 30,000 รอบ

จำนวนรอบ = 40,000 รอบ

จำนวนรอบ = 50,000 รอบ

จำนวนรอบ = 60,000 รอบ

จำนวนรอบ = 70,000 รอบ

รูปที่ 5-22 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 20% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 10 ตัน

จำนวนรอบ = 80,000 รอบ

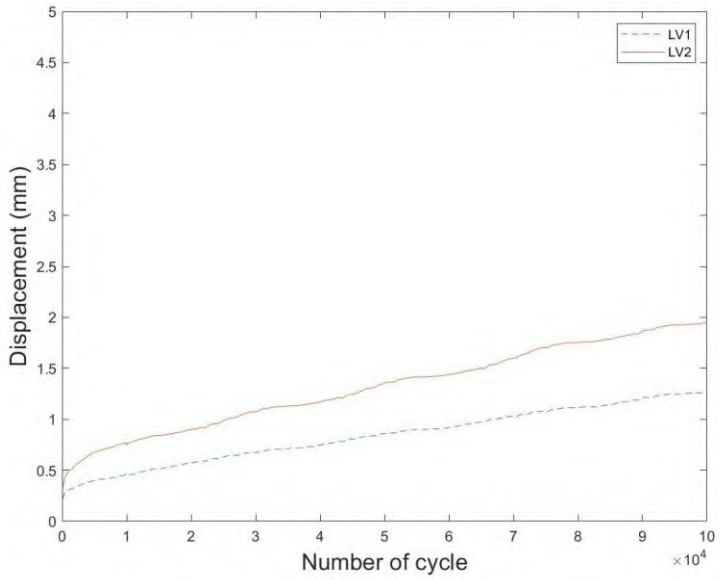
จำนวนรอบ = 90,000 รอบ

จำนวนรอบ = 100,000 รอบ

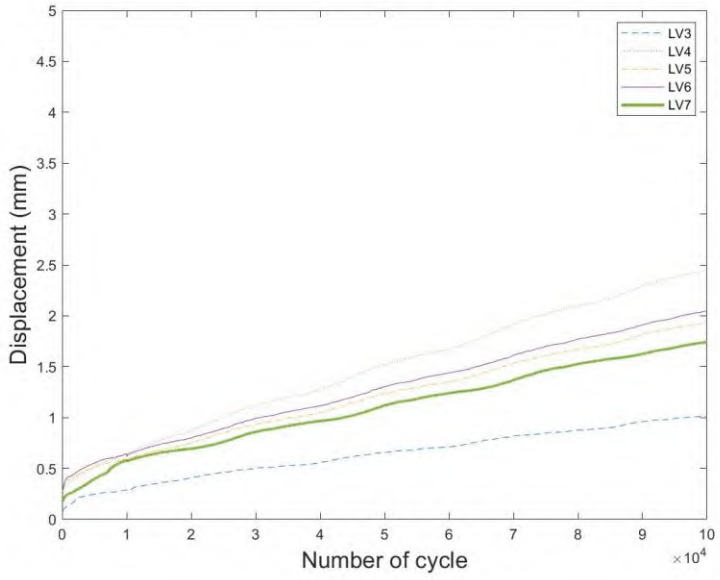
รูปที่ 5-22 บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ทดสอบด้วยแรงกระทำ 20% ของแรงกระทำสูงสุด (Ultimate Load) หรือแรงกระทำ 10 ตัน (ต่อ)

5.2.6.2. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบ ความลึกของรอยร้าว และการเสียรูปของรอยต่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ ได้แสดงดังรูปที่ 5-23 จากรูปพบว่า ตลอดช่วงการทดสอบ การเสียรูปด้านหน้ามีค่าน้อยมากตลอดการทดสอบ และค่าความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อที่ตรวจวัดได้ระหว่างการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 5-24 แต่อย่างไรก็ตาม ค่าการเสียรูปที่ตรวจวัดได้ จะมีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่เสริมแถบยางพารา เนื่องจากการการเสริมแถบยางพาราจะช่วยให้บ่ารอยต่อมีความยืดหยุ่นและดูดซับแรงกระแทกได้



รูปที่ 5-23 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเสียรูปบริเวณด้านหน้าของบ่ารองรับรอยต่อ



รูปที่ 5-24 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและความกว้างของรอยแตกระหว่างแผ่นพื้นด้านบนและบ่ารองรับรอยต่อ

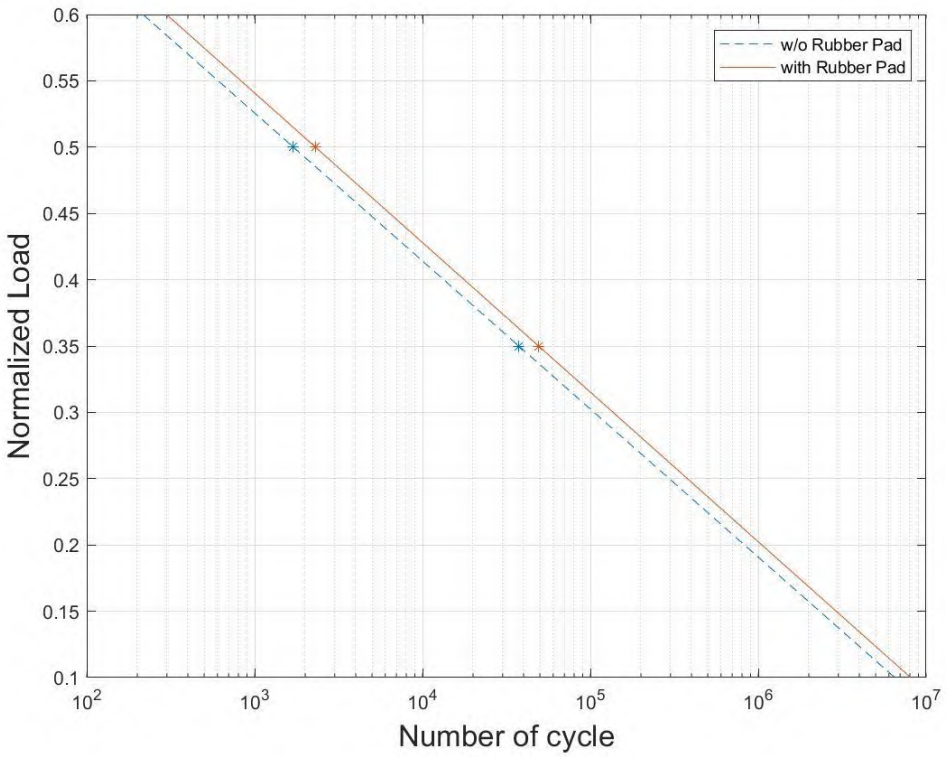
5.3 เส้นความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve)

การประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารอยต่อพื้นสะพานชำรุด เป็นการทดสอบความสามารถของพื้นสะพานที่เสริมกำลังในการรับแรงกระทำแบบซ้ำไปมา (Cyclic Load) เพื่อประเมินความสามารถในการต้านทานความล้าของพื้นสะพานผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานระหว่างพื้นสะพานที่เสริมและไม่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางกันกระแทกจะอยู่ในรูปเส้นความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) โดยในการสร้างเส้นความสัมพันธ์ดังกล่าวจะทำการทดสอบบ่ารอยต่อให้รับแรงกระทำซ้ำที่แตกต่างกันสามระดับ โดยระดับแรงที่จะให้แรงกระทำซ้ำสูงสุดเท่ากับ 0.50, 0.35 และ 0.20 เท่าของแรงกระทำประลัย (P_{ult}) การทดสอบจะบันทึกค่าแรงกระทำระยะความลึกของรอยร้าวที่จำนวนรอบของแรงกระทำ (N) ต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 5.2-1 ถึง ตารางที่ 5.2-4 โดยระดับความเสียหายที่จะนำมาเปรียบเทียบกันจะบันทึกในรูปแบบของความยาว หรือความลึกของรอยร้าว ในการศึกษานี้จะแบ่งระดับความลึกของรอยร้าวเป็นสามระดับดังนี้

- รอยร้าวที่ความลึกระดับ 5 เซนติเมตรจากพื้นด้านบน
- รอยร้าวที่ความลึกระดับ 10 เซนติเมตรจากพื้นด้านบน (ระดับความลึกของบ่ารองรับ)
- รอยร้าวที่ความลึกระดับ 25 เซนติเมตรจากพื้นด้านบน (ระดับความหนาของแผ่นพื้น)

โดยในสร้างเส้นความสัมพันธ์ของความล้าจะทำการบันทึกจำนวนรอบของแรงกระทำที่ทำให้รอยร้าวมีความลึกถึงระดับที่กำหนดสามระดับคือ 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร และ 25 เซนติเมตรตามลำดับ

เส้นความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) เมื่อกำหนดระดับรอยร้าวที่มีความลึก 5 เซนติเมตร ได้แสดงดังรูปที่ 5-25



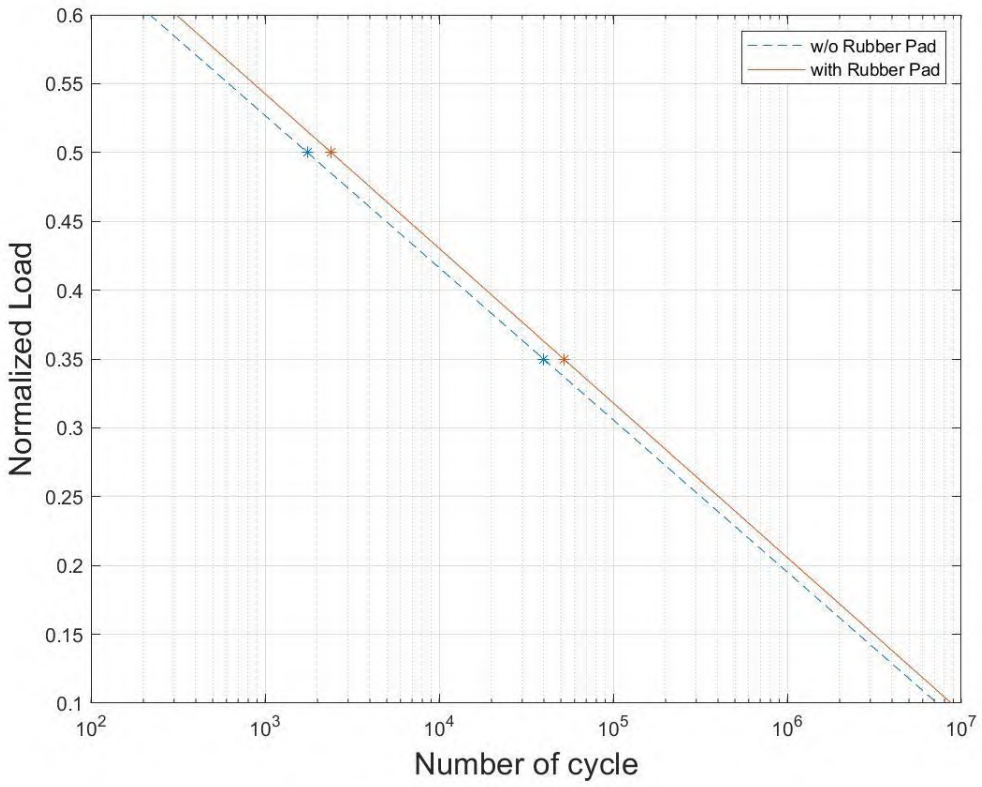
รูปที่ 5-25 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่เกิดรอยร้าวลึก 5 เซนติเมตร และสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load)

จากรูปความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่เกิดรอยร้าวลึก 5 เซนติเมตร และสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load) พบว่าบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก สามารถรับจำนวนรอบของแรงกระทำซ้ำ (Cyclic Load) ได้สูงกว่า บ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารา ในทุกช่วงของระดับแรงกระทำที่ใช้ในการทดสอบ คือ 50% และ 35% ของแรงกระทำสูงสุด ดังจะสังเกตเห็นได้ว่าเส้นความสัมพันธ์ของความล้าของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะอยู่สูงกว่าบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารา ส่วนที่ระดับแรงกระทำ 20% ไม่สามารถหารอบที่เกิดการแตกร้าวได้ เนื่องจากเมื่อระดับของแรงลดลงจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกร้าวจะมีค่าสูงมากการทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ทำการทดสอบเพียง 100,000 รอบ เนื่องจากมีเวลาจำกัด รอบดังกล่าวมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะทำให้บ่ารองรับรอยต่อเกิดการแตกร้าวได้ จากรูปความสัมพันธ์ของความล้าดังแสดงในรูปที่ 5-25 สามารถนำมาใช้ในการทำนายผลการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อจากน้ำหนักรถบรรทุกได้ ในกรณีน้ำหนักรถบรรทุก 3 เพลา 10 ล้อ มาตรฐานที่มีน้ำหนัก 25 ตัน จะมีน้ำหนักลงล้อสูงสุดเท่ากับ 5 ตัน ซึ่งจะมีสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized

Load) อยู่ที่ประมาณ 0.1 จาก รูปที่ 5-25 พบว่าจำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 5 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 8 ล้านรอบและจำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่ไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 5 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 6.4 ล้านรอบ จากผลการทดสอบแรงกระทำแบบวัฏจักรสามารถสรุปได้ว่าบ่ารองรับพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกสามารถรับแรงกระทำซ้ำได้มากกว่าบ่ารองรับพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพาราดังกล่าวที่ระดับรอยร้าวลึก 5 เซนติเมตร โดยการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะช่วยเพิ่มจำนวนรอบการใช้งานให้กับบ่ารองรับรอยต่อประมาณ 25%

ในกรณีน้ำหนักรถบรรทุก 3 เพลา 10 ล้อ มาตรฐานที่มีน้ำหนักบรรทุกเกินสูงสุดเท่ากับ 40 ตัน จะมีน้ำหนักลงล้อสูงสุดเท่ากับ 8 ตัน ซึ่งจะมีสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load) อยู่ที่ประมาณ 0.16 จาก รูปที่ 5-25 พบว่าจำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 5 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 2.6 ล้านรอบและจำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่ไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 5 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 2 ล้านรอบ จากผลการทดสอบแรงกระทำแบบวัฏจักรสามารถสรุปได้ว่า บ่ารองรับพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก สามารถรับแรงกระทำซ้ำได้มากกว่า บ่ารองรับพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพาราดังกล่าว ที่ระดับรอยร้าวลึก 5 เซนติเมตร โดยการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะช่วยเพิ่มจำนวนรอบการใช้งานให้กับบ่ารองรับรอยต่อประมาณ 30%

เส้นความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) เมื่อกำหนดระดับรอยร้าวที่มีความลึก 10 เซนติเมตร ได้แสดงดังรูปที่ 5-26



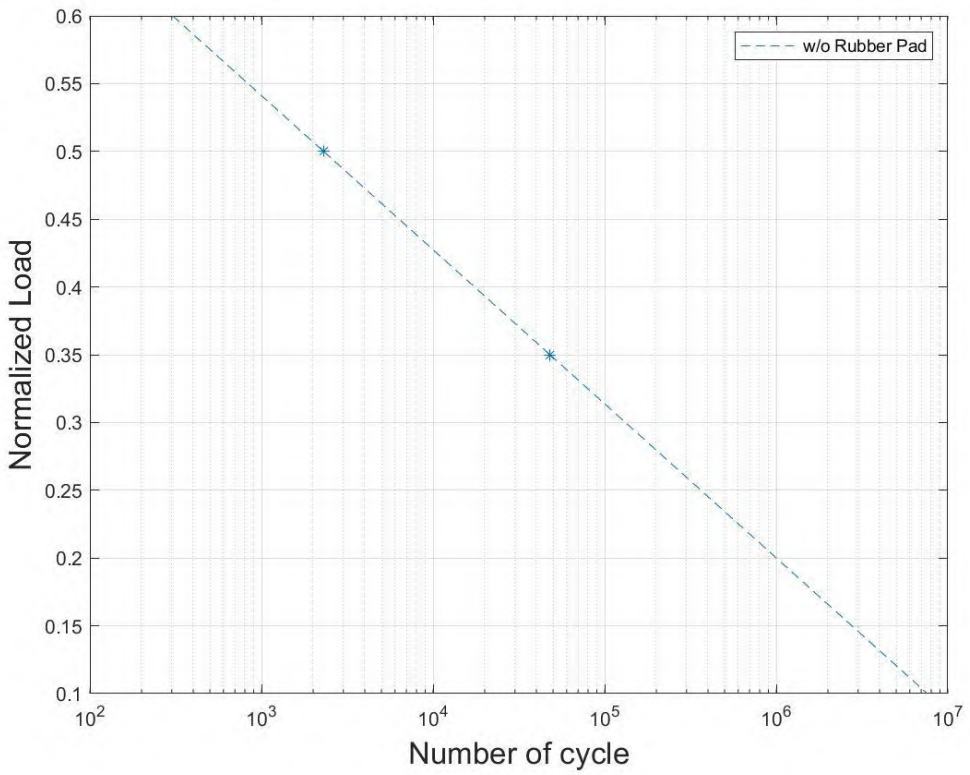
รูปที่ 5-26 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่เกิดรอยร้าวลึก 10 เซนติเมตร และสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load)

จากรูปความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่เกิดรอยร้าวลึก 10 เซนติเมตร และสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load) พบว่าบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก สามารถรับจำนวนรอบของแรงกระทำซ้ำ (Cyclic Load) ได้สูงกว่าบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพาราในทุกช่วงของระดับแรงกระทำที่ใช้ในการทดสอบ คือ 50% และ 35% ของแรงกระทำสูงสุดจะสังเกตเห็นได้ว่าเส้นความสัมพันธ์ของความล้าของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะอยู่สูงกว่าบ่ารองรับรอยต่อที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารา ส่วนที่ระดับแรงกระทำ 20% ไม่สามารถหารอบที่เกิดการแตกร้าวได้เนื่องจากเมื่อระดับของแรงลดลงจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกร้าวจะมีค่าสูงมากการทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ทำการทดสอบเพียง 100,000 รอบ เนื่องจากมีเวลาจำกัด รอบดังกล่าวมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะทำให้บ่ารองรับรอยต่อเกิดการแตกร้าวได้ จากรูปความสัมพันธ์ของความล้าดังแสดงใน รูปที่ 5-26 สามารถนำมาใช้ในการทำนายผลการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อจากน้ำหนักรถบรรทุกได้ ในกรณีน้ำหนักรถบรรทุก 3 เพลา 10 ล้อ มาตรฐานที่มีน้ำหนัก 25 ตัน จะมีน้ำหนักลงล้อสูงสุดเท่ากับ 5 ตัน ซึ่งจะมีสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load) อยู่ที่ประมาณ 0.1 จาก รูปที่ 5-26 พบว่าจำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 10 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 8.7 ล้านรอบ และ

จำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่ไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 5 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 7 ล้านรอบ จากผลการทดสอบแรงกระทำแบบวัฏจักรสามารถสรุปได้ว่าบ่ารองรับพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกสามารถรับแรงกระทำซ้ำได้มากกว่าบ่ารองรับพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพาราดังกล่าวที่ระดับรอยร้าวลึก 10 เซนติเมตร โดยการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะช่วยเพิ่มจำนวนรอบการใช้งานให้กับบ่ารองรับรอยต่อประมาณ 25%

ในกรณีน้ำหนักรถบรรทุก 3 เพลา 10 ล้อ มาตรฐานที่มีน้ำหนักบรรทุกเกินสูงสุดเท่ากับ 40 ตัน จะมีน้ำหนักลงล้อสูงสุดเท่ากับ 8 ตัน ซึ่งจะมีสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load) อยู่ที่ประมาณ 0.16 จาก รูปที่ 5-26 พบว่าจำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 10 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 2.8 ล้านรอบ และจำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่ไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 5 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 2.2 ล้านรอบ จากผลการทดสอบแรงกระทำแบบวัฏจักรสามารถสรุปได้ว่าบ่ารองรับพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก สามารถรับแรงกระทำซ้ำได้มากกว่าบ่ารองรับพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพาราดังกล่าว ที่ระดับรอยร้าวลึก 10 เซนติเมตร โดยการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะช่วยเพิ่มจำนวนรอบการใช้งานให้กับบ่ารองรับรอยต่อประมาณ 27%

เส้นความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) เมื่อกำหนดระดับรอยร้าวที่มีความลึก 25 เซนติเมตร ได้แสดงดังรูปที่ 5-27



รูปที่ 5-27 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่เกิดรอยร้าวลึก 25 เซนติเมตร และสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load)

จากรูปความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) หรือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่เกิดรอยร้าวลึก 25 เซนติเมตร และสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load) พบว่า บ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกไม่เกิดรอยร้าวที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร จึงไม่มีความสัมพันธ์ของความล้าของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกในทุกช่วงของระดับแรงกระทำที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่เกิดรอยร้าวลึก 25 เซนติเมตร และสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุดที่ระดับ 50% และ 35% ของแรงกระทำสูงสุดได้แสดงในรูปดังกล่าว ส่วนที่ระดับแรงกระทำ 20% ไม่สามารถหารอบที่เกิดการแตกร้าวได้เนื่องจากเมื่อระดับของแรงลดลงจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกร้าวจะมีค่าสูงมาก การทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ทำการทดสอบเพียง 100,000 รอบ เนื่องจากมีเวลาจำกัดรอบดังกล่าวมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะทำให้บ่ารองรับรอยต่อเกิดการแตกร้าวได้จากรูปความสัมพันธ์ของความล้าดังแสดงใน รูปที่ 5-27 สามารถนำมาใช้ในการทำนายผลการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อจากน้ำหนักรถบรรทุกได้ ในกรณีน้ำหนักรถบรรทุก 3 เพลา 10 ล้อ มาตรฐานที่มีน้ำหนัก 25 ตัน จะมีน้ำหนักลงล้อสูงสุดเท่ากับ 5 ตัน ซึ่งจะมีสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load) อยู่ที่ประมาณ 0.1 จาก รูปที่ 5-27 พบว่าจำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่ไม่

เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 25 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 7.5 ล้านรอบ

ในกรณีน้ำหนักรถบรรทุก 3 เพลา 10 ล้อ มาตรฐานที่มีน้ำหนักบรรทุกเกินสูงสุดเท่ากับ 40 ตัน จะมีน้ำหนักลงล้อสูงสุดเท่ากับ 8 ตัน ซึ่งจะมีสัดส่วนของแรงกระทำเทียบกับแรงกระทำสูงสุด (Normalized Load) อยู่ที่ประมาณ 0.16 จาก รูปที่ 5-27 พบว่าจำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่ไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 25 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 2.8 ล้านรอบ และจำนวนรอบที่ทำให้บ่ารองรับรอยต่อที่ไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกเกิดการแตกร้าวถึงความลึกที่ระยะ 5 เซนติเมตร จะอยู่ที่ประมาณ 2.3 ล้านรอบ

จากการนำผลการทดสอบมาสร้างเป็นความสัมพันธ์ของความล้าสามารถสรุปได้ว่าบ่ารองรับพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกสามารถรับแรงกระทำซ้ำได้มากกว่า บ่ารองรับพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพารา โดยการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะช่วยเพิ่มจำนวนรอบการใช้งานให้กับบ่ารองรับรอยต่อประมาณ 25-30% ในทุกช่วงระดับของแรงกระทำ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลการทดสอบในการสร้างความสัมพันธ์ของความล้ามีอยู่จำกัดและเส้นความสัมพันธ์ดังกล่าวมักไม่ได้มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในสเกลของ log ดังนั้นเพื่อให้การทำนายผลจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของพื้นที่ระดับแรงต่าง ๆ มีความแม่นยำมากขึ้น จึงควรมีการทดสอบที่ระดับแรงกระทำที่แตกต่างกันและครอบคลุมระดับของแรงในช่วงกว้าง หากมีผลการทดสอบจำนวนมากเพียงพอ จะทำให้การทำนายผลมีความแม่นยำมากขึ้น

บทที่ 6 บทสรุป

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาวิธีที่จะป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุดเนื่องจากน้ำหนักล้อรถบรรทุกโดยใช้แผ่นยางพาราเป็นตัวสลายพลังงานจากการกระแทก บ่ารองรับรอยเสริมยางพาราป้องกันการกระแทกนี้เป็นรูปแบบใหม่ของการป้องกันบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานชำรุดเนื่องจากน้ำหนักล้อรถบรรทุก โดยในการศึกษานี้ที่ปรึกษาได้ทำการทดสอบบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ภายใต้แรงกระทำเทียบเท่าน้ำหนักล้อรถบรรทุกในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดสอบไปประกอบการออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทก โดยมีการเว้นช่องคอนกรีต (Concrete Block Out) ไว้เพื่อหล่อบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน โดยมีความกว้างและความหนาของช่องคอนกรีตขนาดต่างๆ กันเป็นจำนวน 6 รูปแบบ คือ ขนาดกว้างคูณยาวเท่ากับ 100x100mm (B-01) 150x100mm (B-02) 200x100mm (B-03) 150x150mm (B-04) 200x150mm (B-05) และ 200x200mm (B-06) ในกรณีที่เสริมยางพารากันกระแทกตัวอย่างทดสอบจะมีทั้งหมดจะมี 6 ตัวอย่างคือ ขนาดกว้างคูณยาวเท่ากับ 100x100mm (B-07) 150x100mm (B-08) 200x100mm (B-09) 150x150mm (B-10) 200x150mm (B-11) และ 200x200mm(B-12) ตัวอย่างดังกล่าวจะนำไปทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบสถิต และคัดเลือกบ่ารอยต่อขนาดความกว้างคูณยาวเท่ากับ 150x100 เพื่อนำไปทดสอบกำลังแบบวัฏจักรที่ระดับของแรงกระทำแตกต่างกัน 3 ระดับ ผลสรุปทั้งหมดจากงานวิจัยแบ่งตามหัวข้อต่าง ๆ มีดังนี้

6.1 การทดสอบกำลังรับแรงกระทำแบบสถิตของแผ่นพื้นไม่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

สัดส่วนความกว้างต่อความลึกมีผลต่อกำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อ โดยสัดส่วนความกว้างต่อความลึกที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อมีค่าสูงขึ้นด้วย โดยบ่ารองรับรอยต่อ B-02 B-03 และ B-05 ซึ่งเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเกิน 1 (สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-02 เท่ากับ 1.5 สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-03 เท่ากับ 2 สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-05 เท่ากับ 1.33) เป็นกลุ่มที่มีกำลังรับแรงที่สูงสุดคือ 50 ตัน ซึ่งมากกว่า บ่ารองรับรอยต่อที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1 คือ บ่ารองรับรอยต่อ B-01 B-04 และ B-06

6.2 การออกแบบแผ่นยางพารากันกระแทก

การออกแบบบ่าคอนกรีตรองรับรอยต่อพื้นสะพานให้สามารถรับแรงกระแทกจากการจราจรของรถบรรทุก เป็นการออกแบบความหนาของแผ่นยางพารากันกระแทก ตัวอย่างแบบจำลองที่ใช้มีขนาด 150 x 100 มิลลิเมตร โดยใช้แบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ โดยผลการออกแบบพบว่าการติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกขนาดความหนา 1 เซนติเมตร 2 ข้าง ทั้งแนวราบและแนวดิ่งสามารถลดแรงกระแทก (Impact Load) ได้ดีที่สุด ถึงแม้ว่าการเสียรูปในแนวดิ่งจะมีค่ามากที่สุด จึงเหมาะสมต่อการกระจายหน่วยแรงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง โดยผลการออกแบบได้นำไปจัดทำเป็นรายละเอียดการออกแบบและติดตั้งแผ่นยางพารากันกระแทกสำหรับการใช้งานจริง

6.3 การทดสอบกำลังรับแรงกระทำแบบสถิตของแผ่นพื้นเสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

ผลการทดสอบพบว่าสัดส่วนความกว้างต่อความลึกมีผลต่อกำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก โดยสัดส่วนความกว้างต่อความลึกที่สูงขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อมีค่าสูงขึ้นด้วย โดยบ่ารองรับรอยต่อ B-08 B-09 และ B-011 ซึ่งเป็นบ่ารองรับรอยต่อที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเกิน 1 (สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-08 เท่ากับ 1.5 สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-09 เท่ากับ 2 สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของ B-011 เท่ากับ 1.33) เป็นกลุ่มที่มีกำลังรับแรงที่สูงสุดคือ อยู่ในช่วง 30-40 ตัน ซึ่งมากกว่า บ่ารองรับรอยต่อที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1 คือ บ่ารองรับรอยต่อ B-07 B-10 และ B-12 ถึงแม้ว่าการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะทำให้กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตาม กำลังรับแรงสูงสุดของบ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกยังคงสูงกว่าน้ำหนักล้อรถบรรทุกซึ่งมีค่าประมาณ 5 ถึง 6 ตัน (น้ำหนักรถบรรทุกสิบล้อ 25 ถึง 30 ตัน) ค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นการยืนยันว่า บ่ารองรับรอยต่อที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะไม่เกิดการวิบัติภายใต้แรงกระทำแบบสถิตหรือรถบรรทุกสิบล้อจอดนิ่งบนบ่ารองรับรอยต่อ

6.4 แบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์

แบบจำลองไฟไนท์อิลิเมนต์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจำลองพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของรอยต่อพื้นสะพานทั้ง 6 รูปแบบภายใต้แรงกระทำแบบสถิต ทั้งที่ไม่ได้เสริมและที่ได้เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก และนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบเพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมการรับแรงของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานได้ชัดเจนขึ้น จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ พบว่ามีความสอดคล้องกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยพบว่าชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อมีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อยก่อนการวิบัติ เนื่องจากชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานเป็นชิ้นส่วนที่มีความแข็งแต่เปราะ ซึ่งไม่เหมาะกับการรับแรงกระทำแบบซ้ำๆในสภาพจริง

กรณีที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทกผลการวิเคราะห์พบว่าการเสริมด้วยแผ่นยางพารากันกระแทกจะลดความสามารถในการรับแรงกระทำสูงสุดของชิ้นส่วนบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพาน เนื่องจากเป็นการลดความสามารถในการกระจายตัวของแรงกระทำ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองในกรณีที่ไม่เสริมแผ่นยาง จะเห็นได้ว่าการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะลดความสามารถในการรับแรงกระทำสูงสุดของชิ้นส่วนบ่า ประมาณร้อยละ 26 ถึงร้อยละ 45 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบ

6.5 การทดสอบกำลังรับแรงกระทำแบบวัฏจักรของแผ่นพื้นที่ไม่เสริมและเสริมแผ่นยางพารากันกระแทก

การคัดเลือกรูปแบบบ่ารองรับรอยต่อเพื่อนำมาทดสอบการรับแรงกระทำแบบวัฏจักร จะพิจารณาจากรูปแบบบ่ารองรับรอยต่อเป็นรูปแบบที่ใกล้เคียงกับแบบที่ทางกรมทางหลวงใช้ในงานก่อสร้างจริง และเป็นรูปแบบที่ดี มีความสามารถในการรับแรงกระทำแบบสถิตได้ดี ทั้งแบบไม่เสริมแถบยางพาราและเสริมแผ่นยางพารากันกระแทก ดังนั้นจึงเลือกบ่ารองรับรอยต่อที่มีขนาดความกว้าง 150 มิลลิเมตร และความลึก 100 มิลลิเมตร ในการการประเมินความสามารถของแผ่นยางพารากันกระแทกในการป้องกันบ่ารอยต่อพื้นสะพานชำรุด โดยการประเมินจะทำการทดสอบ การรับแรงกระทำแบบซ้ำไปมา (Cyclic Load) เพื่อประเมินความสามารถในการต้านทานความล้าของพื้นสะพาน ผลกรทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของบ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานระหว่างพื้นสะพานที่เสริมและไม่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางกันกระแทก จะอยู่ในรูปเส้นความสัมพันธ์ของความล้า (Fatigue Curve) โดยในการสร้าง เส้นความสัมพันธ์ดังกล่าว จะทำการทดสอบบ่ารอยต่อให้รับแรงกระทำซ้ำที่แตกต่างกันสามระดับ โดยระดับแรงที่จะให้แรงกระทำซ้ำสูงสุดเท่ากับ 0.50,0.35 และ 0.20 เท่าของแรงกระทำประลัย (P_{ult}) จากการนำผลการทดสอบมาสร้างเป็นความสัมพันธ์ของความล้า และนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาทำนายผลการแตกร้าวของบ่ารองรับรอยต่อจากน้ำหนักรถบรรทุก ในกรณีน้ำหนักรถบรรทุก 3 เพลา 10 ล้อ มาตรฐานที่มีน้ำหนัก 25 ตัน ซึ่งมีน้ำหนักลงล้อสูงสุดเท่ากับ 5 ตัน และ กรณีรถบรรทุกที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐาน 40 ตัน ซึ่งมีน้ำหนักลงล้อสูงสุด 8 ตัน ผลการทำนายสามารถสรุปได้ว่าบ่ารองรับพื้นสะพานที่เสริมแผ่นยางพารากันกระแทก สามารถรับแรงกระทำซ้ำได้มากกว่า บ่ารองรับพื้นสะพานที่ไม่ได้เสริมแถบยางพารา โดยการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะช่วยเพิ่มจำนวนรอบการใช้งานให้กับบ่ารองรับรอยต่อประมาณ 25-30% ในทุกช่วงระดับของแรงกระทำ และการเสริมแผ่นยางพารากันกระแทกจะช่วยป้องกันแรงกระแทกที่เกิดขึ้นส่งผ่านไปสร้างความเสียหายยังส่วนของโครงสร้างสะพานที่อยู่ใต้บ่ารองรับรอยต่อพื้นสะพานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผลการทดสอบในการสร้างความสัมพันธ์ของความล้ามีอยู่จำกัด และเส้นความสัมพันธ์ดังกล่าวมักไม่ได้มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในสเกลของ log ดังนั้นเพื่อให้การทำนายผลจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของพื้นที่ระดับแรงต่าง ๆ มีความแม่นยำมากขึ้น จึงควรมีการทดสอบที่

ระดับแรงกระทำที่แตกต่างกันและครอบคลุมระดับของแรงในช่วงกว้าง หากมีผลการทดสอบจำนวนมากเพียงพอ จะทำให้การทำนายผลมีความแม่นยำมากขึ้น