

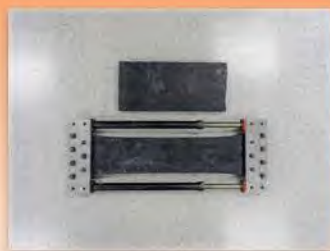


สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
โครงการศึกษาการนำยางพารามาใช้
เสริมกำลังโครงสร้างสะพาน



รายงานขั้นสุดท้าย

FINAL REPORT



งานบริการที่ปรึกษา
จัดทำโดย



บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้พัฒนาต้นแบบแถบยางพาราอัดแรงสำหรับเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือนและกำลังรับโมเมนต์ดัดของคานสะพานประเภท PC Plank Girder ประเภท PC Box Beam และประเภท RC T-girder ของกรมทางหลวง ซึ่งเป็นคานสะพานที่มักได้รับความเสียหายจากน้ำหนักรถบรรทุกและต้องการการเสริมกำลัง แถบยางพาราอัดแรงถือเป็นนวัตกรรมการเสริมกำลังคานสะพานโดยใช้วัสดุท้องถิ่น เป็นการสนับสนุนนโยบายการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราในหน่วยราชการของรัฐบาล แถบยางพาราอัดแรงประยุกต์ใช้หลักการเสริมกำลังแบบอัดแรงจากภายนอก โดยนำเอาแผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ (ยางพารา) มาดึงตามแนวยาวของแผ่นให้ยืดออกเพื่อให้เกิดแรงดึงตามที่ยึดติดกับคานสะพานเพื่อย้ายแรงไปช่วยเสริมกำลัง การผลิตแถบยางพาราอัดแรง เน้นไปที่ความสะดวกในการติดตั้ง โดยได้ทำการออกแบบและผลิตระบบเสริมแรงดึงในแผ่นยาง เพื่อให้สามารถดึงแผ่นยางและรั้งแรงดึงไว้ก่อน ซึ่งสามารถปลดอุปกรณ์รั้งแรงดึงภายหลังเพื่อย้ายแรงเข้าไปเสริมกำลังคานสะพานโดยไม่ต้องดึงแผ่นยางหน้างาน ผลการทดสอบคานสะพานประเภท PC Plank Girder และประเภท RC T-girder ที่เสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงในห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นชัดเจนว่า คานสะพานหลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงมีความแข็งแรงขึ้นและสามารถช่วยถ่ายเทแรงเฉือนได้ตามที่ยึดติดกับคานสะพานในกรณีที่ยึดติดกับคานสะพานเดิมชำรุด แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแถบยางพาราอัดแรงมีการคลายตัวของแรงดึงที่ค่อนข้างสูงในช่วงต้น การนำแถบยางพาราอัดแรงไปใช้เสริมกำลังคานสะพาน แนะนำให้เป็นการเสริมกำลังชั่วคราวเพื่อรอการซ่อมใหญ่ หรือเป็นการเสริมกำลังในกรณีพิเศษเพื่อให้รถบรรทุกหนักเกินพิกัดที่ได้รับอนุญาตวิ่งผ่านสะพาน โดยได้แนะนำพิกัดน้ำหนักและพิกัดความเร็วของรถบรรทุกที่เหมาะสมวิ่งผ่านสะพาน และไม่ควรใช้งานแถบยางพาราอัดแรงในการเสริมกำลังคานสะพานเป็นเวลานานเกินกว่า 3 เดือน

Abstract

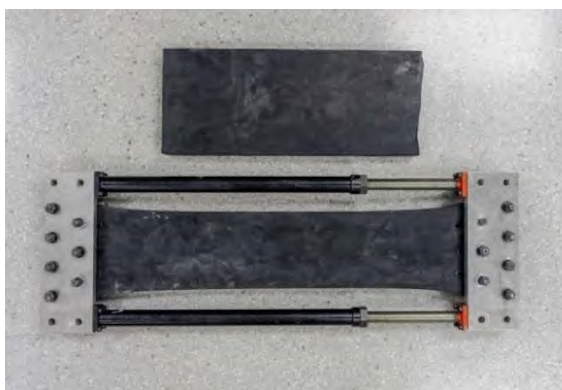
Prototype pre-stressing natural rubber strip (PNRS) for enhancing shear key and flexural serviceability of PC Plank Girder, PC Box Beam, and RC T-girder has been developed in this study. PNRS can be regarded as an innovation for bridge strengthening using local material that promotes the consumption of domestic natural rubber. PNRS applies the concept of external pre-stressing in which plain natural rubber bearing pad conventionally used to transmit gravity loads is stretched along its length to generate tensile force. The pre-tensioned strip is attached; and the tensile force is then released to strengthen the bridge member. The ease of installation is the major concern in the production of PNRS. System Rubber Grip (SRG) has been developed for this task to restrain the tensile force. The holding device in SRG can be unlocked later when the attachment is completed. Full-scale laboratory tests of PC Plank Girder and RC T-girder show that PNRS can enhance flexural as well as shear key serviceability. However, due to significant relaxation of PNRS, utilizing PNRS is limited to temporary strengthening pending for major restoration or special strengthening in case of

traverse by permitted overloading trucks. Weight and speed limits of truck traffic have also been imposed. Conservatively, PNRS should be in service no more than three months.

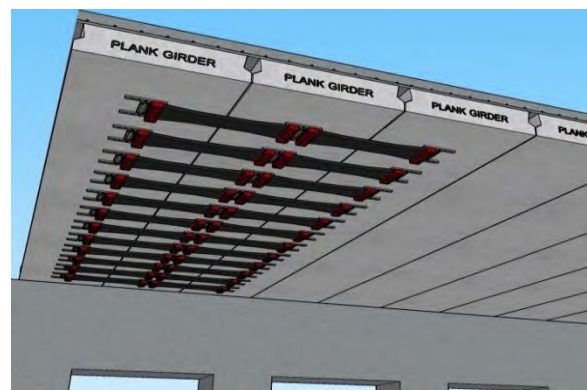
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการนี้สำนักวิจัยและพัฒนาทางได้จัดทำขึ้นเพื่อสนับสนุนนโยบายการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราในหน่วยราชการของรัฐบาล โดยได้พัฒนาต้นแบบแถบยางพาราอัดแรงสำหรับเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือนและกำลังรับโมเมนต์ดัดของคานสะพานประเภท PC Plank Girder ประเภท PC Box Beam และประเภท RC T-girder ของกรมทางหลวง ซึ่งเป็นคานสะพานที่มักได้รับความเสียหายจากน้ำหนักรถบรรทุกและต้องการการเสริมกำลัง

แถบยางพาราอัดแรงเป็นอุปกรณ์การเสริมกำลังที่ประยุกต์หลักการเสริมกำลังแบบอัดแรงจากภายนอก โดยนำเอาแผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ (ยางพารา) มาดึงตามแนวยาวของแผ่นให้ยืดออกเพื่อให้เกิดแรงดึงตามที่ยึดติดกับคานสะพานเพื่อถ่ายแรงไปช่วยเสริมกำลัง ซึ่งแนะนำให้ใช้แผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ Hardness 50 ตามมาตรฐาน มอก.951-2533 ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ความหนา 4 เซนติเมตร ความยาว 25 ถึง 50 เซนติเมตร ดึงให้เกิดระยะยืดตามแนวความยาวแผ่น 100% Strain หรือ 1 เท่าตัว การผลิตแถบยางพาราอัดแรง เน้นไปที่ความสะดวกในการติดตั้ง จึงได้ทำการออกแบบและผลิตระบบเสริมแรงดึงในแผ่นยาง เพื่อให้สามารถดึงแผ่นยางและรั้งแรงดึงไว้ก่อน ซึ่งสามารถปลดอุปกรณ์รั้งแรงดึงภายหลังเพื่อถ่ายแรงเข้าไปเสริมกำลังคานสะพานโดยที่ไม่ต้องดึงแผ่นยางหน้างาน รูปข้างล่างแสดงแผ่นยางรองคานสะพานก่อนนำมาดึงผลิตเป็นแถบยางพาราอัดแรง แถบยางพาราอัดแรงที่ถูกรั้งแรงดึงไว้ด้วยระบบเสริมแรงดึงในแผ่นยาง และภาพกราฟฟิกแสดงการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงสำหรับเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือนของคานสะพานประเภท PC Plank Girder



แผ่นยางรองคานสะพานก่อนนำมาดึงผลิตเป็นแถบยางพาราอัดแรง และ แถบยางพาราอัดแรงที่ถูกรั้งแรงดึงไว้ด้วยระบบเสริมแรงดึงในแผ่นยาง



ภาพกราฟฟิกแสดงการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงสำหรับเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือนของคานสะพานประเภท PC Plank Girder

แถบยางพาราอัดแรงได้รับการทดสอบประเมินความสามารถในการเสริมกำลัง โดยได้ทำการทดสอบคานสะพานประเภท PC Plank Girder ความยาวช่วง 7 เมตร และประเภท RC T-girder ความยาวช่วง 15 เมตร ทั้งก่อนและหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบและการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ แสดงให้เห็นชัดเจนว่าคานสะพานหลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงมีความแข็งแรงขึ้นและสามารถช่วยถ่ายเทแรงเฉือนได้ตามที่ออกแบบในกรณีที่ย่อยต่อรับแรงเฉือนเดิมชำรุด แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแถบยางพารา

อัดแรงมีการคลายตัวของแรงดึงที่ค่อนข้างสูงในช่วงต้น ถึงแม้ว่าอัตราการคลายตัวจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป การนำแถบยางพาราอัดแรงไปใช้เสริมกำลังคานสะพาน แนะนำให้เป็นการเสริมกำลังชั่วคราวเพื่อรอการซ่อมใหญ่ หรือเป็นการเสริมกำลังในกรณีพิเศษเพื่อให้รถบรรทุกหนักเกินพิกัดที่ได้รับอนุญาตวิ่งผ่านสะพาน โดยไม่ควรใช้งานแถบยางพาราอัดแรงในการเสริมกำลังคานสะพานเป็นเวลานานเกินกว่า 3 เดือน การจราจรของรถบรรทุกบนสะพานที่เสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง แนะนำให้เป็นดังนี้

- กรณีเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือน
 - รอยต่อรับแรงเฉือนเสียหายไม่เกิน 50% รถบรรทุกพิกัดน้ำหนัก 25 ตัน วิ่งผ่านสะพานได้ตามปกติ
 - รอยต่อรับแรงเฉือนเสียหายมากกว่า 50% แต่ไม่เกิน 75% รถบรรทุกพิกัดน้ำหนัก 15 ตัน วิ่งผ่านสะพานได้ตามปกติ หรือ รถบรรทุกพิกัดน้ำหนัก 25 ตัน วิ่งผ่านสะพานความเร็วไม่เกิน 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
 - รอยต่อรับแรงเฉือนเสียหายมากกว่า 75% รถบรรทุกพิกัดน้ำหนัก 15 ตัน วิ่งผ่านสะพานได้ตามปกติ หรือ รถบรรทุกพิกัดน้ำหนัก 21 ตัน วิ่งผ่านสะพานความเร็วไม่เกิน 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- กรณีเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัด รอยต่อรับแรงเฉือนหรือระบบการกระจายแรงทางข้างของสะพานจะต้องอยู่ในสภาพดีไม่เสียหาย และพิกัดน้ำหนักรถบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพานให้ได้ 32 ตัน

ข้อเสนอแนะ

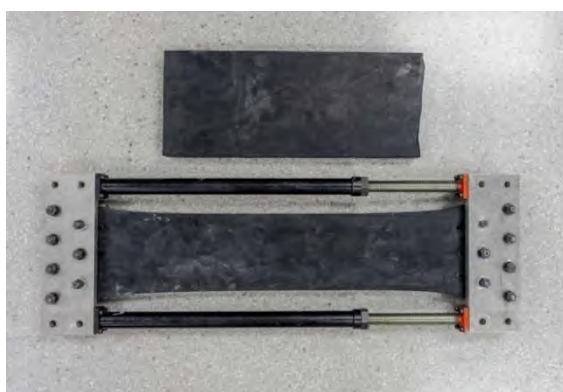
- 1) กรมทางหลวงควรทำการประเมินประสิทธิภาพของแถบยางพาราอัดแรงเพิ่มเติม โดยติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงเสริมกำลังคานสะพานที่ใช้งานจริง ตรวจสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานทุกๆ 3 เดือน เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ปี

กรมทางหลวงควรพัฒนาสูตรส่วนผสมยางพาราขึ้นมาเฉพาะสำหรับผลิตแถบยางพาราอัดแรง ซึ่งควรเป็นสูตรส่วนผสมที่ช่วยให้เกิดแรงดึงสูงที่ระยะยืดต่ำ เพื่อช่วยลดการคลายตัวของแรงดึงในแถบยางพาราอัดแรง

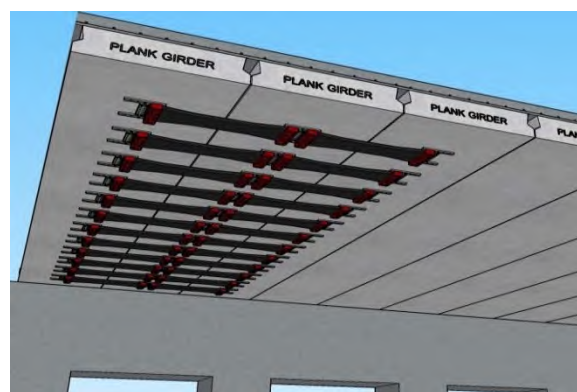
Executive Summary Report

This project is conducted as part of comprehensive promotion on the consumption of domestic natural rubber by the Royal Thai Government. Prototype pre-stressing natural rubber strip (PNRS) for enhancing shear key and flexural serviceability of PC Plank Girder, PC Box Beam, and RC T-girder has been developed in this study.

PNRS applies the concept of external pre-stressing in which plain natural rubber bearing pad conventionally used to transmit gravity loads is stretched along its length to generate tensile force. The pre-tensioned strip is attached; and the tensile force is then released to strengthen the bridge member. It is recommended in this study that plain natural rubber bearing pad of Hardness 50 (TIS 951-2533) with the width of 20 cm, the thickness of 4 cm, and the length of 25 to 50 cm shall be stretched along its length at 100%-strain. The ease of installation is the major concern in the production of PNRS. System Rubber Grip (SRG) has been developed for this task to restrain the tensile force. The holding device in SRG can be unlocked later when the attachment is completed. Figures below show unstretched plain natural rubber bearing pad, PNRS supported by SRG, and graphic presentation of installation of PNRSs for strengthening of shear key of PC Plank Girder Bridge.



Unstretched plain natural rubber bearing pad and PNRS supported by SRG.



Graphic presentation of installation of PNRSs for strengthening of shear key of PC Plank Girder Bridge.

Full-scale laboratory tests of 7-m span PC Plank Girder and 15-m span RC T-girder show that PNRS can enhance flexural as well as shear key serviceability. However, due to significant relaxation of PNRS, utilizing PNRS is limited to temporary strengthening pending for major restoration or special strengthening in case of traverse by permitted overloading trucks.

Conservatively, PNRS should be in service no more than three months. Weight and speed limits of truck traffic are recommended as follows.

- In case of shear key strengthening
 - Damage of shear key of no more than 50% - Truck weight limit of 25 tons with normal speed shall be imposed.
 - Damage of shear key of more than 50% but no more than 75% - Truck weight limit of 15 tons with normal speed or truck weight limit of 25 tons with speed limit of 10 km/hr. shall be imposed.
 - Damage of shear key of more than 75% - Truck weight limit of 15 tons with normal speed or truck weight limit of 21 tons with speed limit of 10 km/hr. shall be imposed.
- In case of flexural strengthening – Shear key or load transfer mechanism shall be in good condition with no damage. The maximum permissible weight is 32 tons.

Recommendations

- 1) Field evaluation shall be continuously performed every three months for a period of at least one year to validate long term performance of PNRS.
- 2) The new mixed proportion of compound natural rubber shall be designed specifically for PNRS in order to alleviate the relaxation problem.

รายละเอียดของโครงการ

ผู้ว่าจ้าง	สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง
ผู้รับจ้าง	บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด
เลขที่สัญญา	สจ.1/2562 ลงวันที่ 16 ตุลาคม 2561
วันเริ่มโครงการ	วันที่ 17 ตุลาคม 2561
วันสิ้นสุดโครงการ	วันที่ 13 กรกฎาคม 2562
ระยะเวลาดำเนินงาน	270 วัน

คณะกรรมการบริหารโครงการ

1.	ดร.อรรถสิทธิ์	สวัสดิ์พานิช	ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาทาง	ประธานกรรมการ
2.	นายเศกชัย	อนุเวชศิริเกียรติ	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ	กรรมการ
3.	นายอนุสรณ์	เอี่ยมวงศ์	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ	กรรมการ
4.	นายวิศิษฐ์ศักดิ์	หนูสุวรรณ	วิศวกรโยธาคำนวณการพิเศษ	กรรมการ
5.	นางวรรณัส	ศุภวิเศษ	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ	กรรมการ
6.	นายธิตีพัทธ์	รู้หลัก	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	กรรมการ
7.	ดร.ราชวัลลภ	กัมพูพงศ์	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	กรรมการและวิศวกรบริหารโครงการ
8.	นายวุฒิชัย	อมรประสิทธิ์ผล	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	กรรมการและผู้ช่วยวิศวกรบริหารโครงการ

บุคลากรของที่ปรึกษา

1.	ดร.โชติ	สรณาคมน์	ผู้จัดการโครงการ
2.	ดร.พลเดช	เทอดพิทักษ์วานิช	วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์โครงสร้าง
3.	รศ.ดร.กิตติภูมิ	รอตสิน	วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านการทดสอบโครงสร้าง
4.	นายธวัชพงษ์	อำพันสุข	วิศวกรผู้ช่วยด้านการวิเคราะห์โครงสร้าง
5.	นายภูวิศ	ฮ่อแสงชัย	วิศวกรผู้ช่วยด้านการทดสอบโครงสร้าง
6.	น.ส.ขวัญธิดา	จุฬา	เลขานุการ



โครงการศึกษาการนำยางพารามาใช้เสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

1. ที่มาและความสำคัญ



นโยบายส่งเสริมจากภาครัฐ



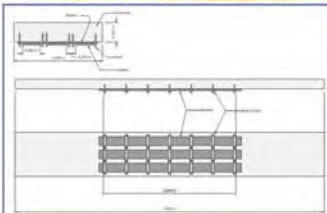
ความเสื่อมโทรมของโครงสร้างสะพาน



ผลผลิตภายในประเทศ



ยางพารามีความทนทานและมีคุณสมบัติที่ดี







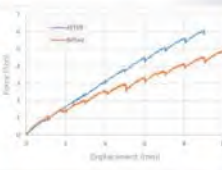

ออกแบบการเสริมแรงและรูปแบบการติดตั้ง

การทดสอบวัสดุและการสูญเสียกำลังของแผ่นยางพารา

การทดสอบ

3. การดำเนินงาน

การทดสอบโครงสร้างหลังการติดตั้งแผ่นยางพารา

กราฟความสัมพันธ์แสดงก่อนและหลังการติดตั้งแผ่นยางพาราตามแนวยาวของคาน

5. ประโยชน์



ซ่อมฉุกเฉินเพื่อให้ถนนสามารถเปิดใช้งานได้



สะพานรับน้ำหนักได้มากขึ้น

2. เป้าหมาย

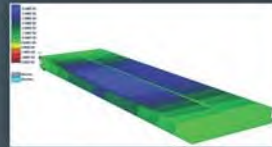
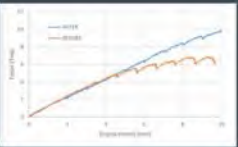


สะพานประเภท PC Plank Girder ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 60 ของสะพานทั่วประเทศ และมีความชำรุดในส่วนรอยต่อรับแรงเฉือน (Shear Key)



การจำลองการทดสอบด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ (Finite Element Method, FEM)

Simulation

แบบจำลองในการทดสอบการเสริมกำลังของยางพาราสำหรับแผ่นพื้น-คานคู่

4. ผลลัพธ์

- ✓ ยางพาราอัดแรงสามารถเสริมกำลังชิ้นส่วน Plank Girder ได้
- ✓ ยางพาราอัดแรงสามารถเพิ่มกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของสะพานได้
- ✓ คู่มือการออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานด้วยแผ่นยางพาราอัดแรง

6. Future Work



ติดตั้ง ทดสอบ และประเมินผลการใช้งานจริงบนสะพานในพื้นที่สำนักงานทางหลวงที่ 13 กรุงเทพฯ



สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง Bureau of Road Research and Development

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	i
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	ii
Executive Summary	iv
สารบัญ	vi
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-2
1.3 ขอบเขตและขั้นตอนการดำเนินงาน	1-2
บทที่ 2 การออกแบบแฉกยางพาราอัดแรง	
2.1 การเสริมกำลังแบบ Passive	2-1
2.2 การเสริมกำลังแบบ Active	2-1
2.3 การเสริมกำลังของโครงสร้างสะพาน	2-1
2.4 แนวทางในการนำยางพารามาใช้เสริมกำลังโครงสร้างสะพาน	2-5
2.5 การออกแบบอุปกรณ์และวิธีการอัดแรงให้แผ่นยางรองคานสะพาน	2-7
2.6 วิธีการออกแบบเสริมกำลังคานสะพาน PC Plank Girder	2-10
2.7 วิธีการออกแบบเสริมกำลังคานสะพาน RC T-girder	2-19
2.8 วิธีการออกแบบการเสริมกำลังถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างคาน	2-25
2.9 วิธีการติดตั้งแฉกยางพาราอัดแรงเพื่อเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัดของ	
คานสะพาน PC Plank Girder	2-31
2.10 วิธีการติดตั้งแฉกยางพาราอัดแรงเพื่อเสริมกำลังถ่ายเทแรงเฉือนระหว่าง	
คานสะพาน PC Plank Girder	2-34
2.11 วิธีการติดตั้งแฉกยางพาราอัดแรงเพื่อเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัดของ	
คานสะพาน RC T-girder	2-37

2.12	วิธีการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงเพื่อเสริมกำลังถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างคานสะพาน RC T-girder	2-40
		หน้า
บทที่ 3	การผลิตและการทดสอบคุณสมบัติแถบยางพาราอัดแรง	
3.1	การทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของแถบยางพาราอัดแรง	3-1
3.2	การผลิตแถบยางพาราอัดแรง	3-2
3.3	การทดสอบการคลายตัวของแรงดึง (Relaxation Test)	3-4
บทที่ 4	การก่อสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดคานสะพานทดสอบ	
4.1	การก่อสร้างคานเดี่ยว PC Plank Girder	4-1
4.2	การก่อสร้างระบบคาน PC Plank Girder	4-2
4.3	การก่อสร้างคานเดี่ยว RC T-girder	4-3
4.4	การก่อสร้างระบบคาน RC T-girder	4-4
4.5	การติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ	4-5
4.6	กระบวนการวิเคราะห์การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป	4-8
4.7	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	4-9
4.8	การก่อสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดคานสะพานทดสอบของ Plank Girder	4-11
4.9	การก่อสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดคานสะพานทดสอบของ RC T-girder	4-17
บทที่ 5	การทดสอบการเสริมกำลังคานสะพาน	
5.1	การทดสอบคานสะพาน PC Plank Girder แบบเดี่ยว	5-1
5.2	การทดสอบคานสะพาน PC Plank Girder แบบระบบคาน	5-19
5.3	การทดสอบคานสะพาน RC T-girder แบบเดี่ยว	5-36
5.4	การทดสอบคานสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน	5-64
5.5	การวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานสะพานสำเร็จรูป (PC Plank Girder)	5-95
5.6	การวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานสะพานสำเร็จรูป (RC T-girder)	5-108

บทที่ 6 บทสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6-1

ภาคผนวก ก มาตรฐานแผ่นยางรองสะพาน (มอก.951-2533)

ภาคผนวก ข ผลการทดสอบแถบยางพาราอัดแรง

ภาคผนวก ค รายละเอียดการทดสอบวัสดุยาง

ภาคผนวก ง รายละเอียดแบบคานสะพาน PC Plank Girder

ภาคผนวก จ รายละเอียดแบบคานสะพาน RC T-girder

ภาคผนวก ฉ การถ่ายทอดความรู้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา

กรมทางหลวงมีสะพานในความดูแลรับผิดชอบอยู่เป็นจำนวนมากที่ต้องการเสริมกำลัง ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นสะพานเก่าที่ผ่านการใช้งานมานาน และ/หรือ เป็นสะพานที่อยู่ในเส้นทางรถบรรทุกหนักวิ่งผ่าน การเสริมกำลังโครงสร้างสะพานในปัจจุบัน ใช้วัสดุที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น คาร์บอนไฟเบอร์ ซึ่งมีราคาสูง ทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณในการบำรุงรักษาสะพาน

ยางพาราเป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้เป็นปริมาณมากในประเทศ ยางพารามีความยืดหยุ่นสูงและเหนียวติดกัน ทนต่อแรงดึง ทนต่อการฉีกขาด ทนต่อการขีดสี และดูดซับพลังงานได้ดี โดยสามารถยืดได้มากกว่าตัวเองถึงประมาณ 4 เท่า เมื่อนำยางพารามาผ่านกระบวนการผลิตขึ้นรูปให้มีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ทนต่อแสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน สามารถนำยางพารามาใช้งานเป็นวัสดุวิศวกรรมได้ ปัจจุบันได้มีการนำยางพารามาใช้ในเชิงวิศวกรรมโครงสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุก เช่น แผ่นยางรองคานสะพานประเภท Elastomeric ซึ่งต้องรองรับแรงกดขนาดมหาศาลจากน้ำหนักคานและพื้นสะพาน และน้ำหนักรถบรรทุก รวมถึงแรงเฉือนจากการเคลื่อนตัวของคานสะพาน จากการที่ยางพารามีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี สำนักวิจัยและพัฒนาทางจิ้งมีแนวคิดที่จะพัฒนาสูตรส่วนผสมยางพาราเพื่อนำมาผลิตขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์เสริมกำลังโครงสร้างสะพาน ซึ่งจะช่วยประหยัดงบประมาณในการบำรุงรักษาสะพานเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการใช้ยางพาราในประเทศตามนโยบายของรัฐบาล

โครงการนี้เป็นโครงการแรกของกรมทางหลวงและของประเทศไทยที่ได้ศึกษาการนำยางพารามาใช้เสริมกำลังโครงสร้างสะพาน เนื่องจากโครงการมีระยะเวลาและงบประมาณในการดำเนินงานที่จำกัด ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงยังไม่พัฒนาสูตรส่วนผสมยางพาราเพื่อนำมาผลิตขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์เสริมกำลัง แต่ได้นำยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ (ยางพารา) ซึ่งปัจจุบันได้มีการผลิตและจำหน่ายอยู่ทั่วไป มาประยุกต์เป็นอุปกรณ์เสริมกำลังโครงสร้างสะพานแทน โดยในการประยุกต์ยางรองคานสะพานเพื่อนำมาเสริมกำลังโครงสร้างนั้น ได้อาศัยหลักการเสริมกำลังแบบอัดแรงจากภายนอก ยางรองคานสะพานซึ่งมีรูปร่างเหมือนแถบไม้กระดาน ความกว้างประมาณ 20 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 50 เซนติเมตร และความหนา 4 เซนติเมตร ได้ถูกดึงให้ยืดออกเพื่อให้เกิดแรงดึงตามที่ยกแบบ จากนั้นได้นำไปยึดติดกับโครงสร้างเพื่อถ่ายแรงไปช่วยเสริมกำลัง เนื่องจากยางรองคานสะพานมีลักษณะเป็นแถบและใช้การอัดแรงในการเสริมกำลัง ดังนั้น จึงเรียกกางรองคานสะพานที่นำมาประยุกต์เป็นอุปกรณ์เสริมกำลังนี้ว่า แถบยางพาราอัดแรง

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบและผลิตแถบกางพาราอัดแรง เพื่อนำมาทดลองเสริมกำลังให้กับคานสะพานประเภท PC Plank Girder และ RC T-girder ของกรมทางหลวง ซึ่งเป็นคานสะพานที่มักได้รับความเสียหายจากน้ำหนักบรรทุกและต้องการการเสริมกำลัง โดยได้ทำการก่อสร้างคานสะพานทดสอบขนาดเท่าจริงใน

ห้องปฏิบัติการ ทำการทดสอบคานสะพานทั้งก่อนและหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง วิเคราะห์และประเมินความสามารถในการเสริมกำลัง รวมถึง จัดทำคู่มือการออกแบบและติดตั้ง ก่อนนำไปใช้งานจริง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ออกแบบและผลิตแฉะยางพาราอัดแรงเพื่อนำไปทดสอบการเสริมกำลังคานสะพานของกรมทางหลวงในห้องปฏิบัติการ
- 2) ประเมินความสามารถของแฉะยางพาราอัดแรงในการเสริมกำลังคานสะพาน
- 3) จัดทำคู่มือการออกแบบแฉะยางพาราอัดแรงเพื่อเสริมกำลังคานสะพาน

1.3 ขอบเขตและขั้นตอนการดำเนินงาน

เพื่อให้การดำเนินงานมีคุณภาพและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ จึงได้กำหนดขอบเขตของงานเป็น 6 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การออกแบบแฉะยางพาราอัดแรง

งานในส่วนนี้เป็นการออกแบบแฉะยางพาราอัดแรง ซึ่งเป็นการนำยางรองคานสะพานประเภทยางธรรมชาติ (ยางพารา) มาทำการยึดเพื่อให้เกิดแรงดึง จากนั้นนำแฉะยางพาราอัดแรงไปยึดติดกับคาน PC Plank Girder ความยาวช่วง 7 เมตร และคาน RC T-girder ความยาวช่วง 15 เมตร เพื่อเสริมกำลังทั้งในส่วนของคานเดี่ยว (Single Component) และระบบคาน (Girder System)

งานในส่วนนี้ประกอบด้วย

- 1) การออกแบบระยะยึดที่เหมาะสมของยางรองคานสะพาน
- 2) การออกแบบอุปกรณ์การดึงและจับยึดยางรองคานสะพาน

รายละเอียดของงานในส่วนนี้ แสดงไว้ในบทที่ 2

ส่วนที่ 2 การผลิตและการทดสอบคุณสมบัติแฉะยางพาราอัดแรง

งานในส่วนนี้ประกอบด้วย

- 1) การทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของยางรองคานสะพาน เพื่อนำผลการทดสอบมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการออกแบบแฉะยางพาราอัดแรง
- 2) การผลิตแฉะยางพาราอัดแรงตามที่ได้ออกแบบไว้ในส่วนที่ 1
- 3) การทดสอบสมรรถนะการใช้งาน โดยการทดสอบการคลายตัวของแรงดึงในแฉะยางพาราอัดแรง เพื่อกำหนดหน่วยแรงดึงออกแบบใช้งาน

รายละเอียดของงานในส่วนนี้ แสดงไว้ในบทที่ 3

ส่วนที่ 3 การก่อสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดคานสะพานทดสอบ

งานในส่วนนี้ประกอบด้วย การก่อสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัด

- 1) คานเดี่ยว PC Plank Girder - ประกอบด้วยคาน PC Plank Girder ความยาวช่วง 7 เมตร จำนวน 1 คานและเทห์ด้านบนของคานด้วยคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร

- 2) ระบบคาน PC Plank Girder - ประกอบด้วยคาน PC Plank Girder ความยาวช่วง 7 เมตร จำนวน 2 คานวางเรียงชิดกันและเทพื้นด้านบนของคานทั้งสองด้วยคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร
- 3) คานเดี่ยว RC T-girder - ประกอบด้วยคาน RC T-girder ความยาวช่วง 15 เมตร จำนวน 1 คาน ปีกบนของคานกว้าง 1 เมตร หนา 18 เซนติเมตร
- 4) ระบบคาน RC T-girder - ประกอบด้วยคาน RC T-girder ความยาวช่วง 15 เมตร จำนวน 2 คาน ระยะห่างระหว่างคาน 1 เมตร ปีกบนของระบบคานกว้าง 2 เมตร หนา 18 เซนติเมตร

เพื่อใช้สำหรับการทดสอบการเสริมกำลังคานสะพานด้วยแถบยางพาราอัดแรงในส่วนที่ 4
รายละเอียดของงานในส่วนนี้ แสดงไว้ในบทที่ 4

ส่วนที่ 4 การทดสอบการเสริมกำลังคานสะพาน

งานในส่วนนี้ประกอบด้วย

- 1) การทดสอบคานสะพานทั้ง 4 ชุดในส่วนที่ 3 ชุดละ 2 ครั้ง ทั้งก่อนและหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงตามที่ได้ออกแบบไว้ในส่วนที่ 1 โดยในการทดสอบแต่ละครั้ง ให้แรงกระทำทั้งแบบสถิตและแบบฉับพลัน
- 2) การเปรียบเทียบผลการทดสอบก่อนและหลังการเสริมกำลัง การจัดทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ประกอบผลการทดสอบ และการประเมินความสามารถของแถบยางพาราอัดแรงในการเสริมกำลังคานสะพาน

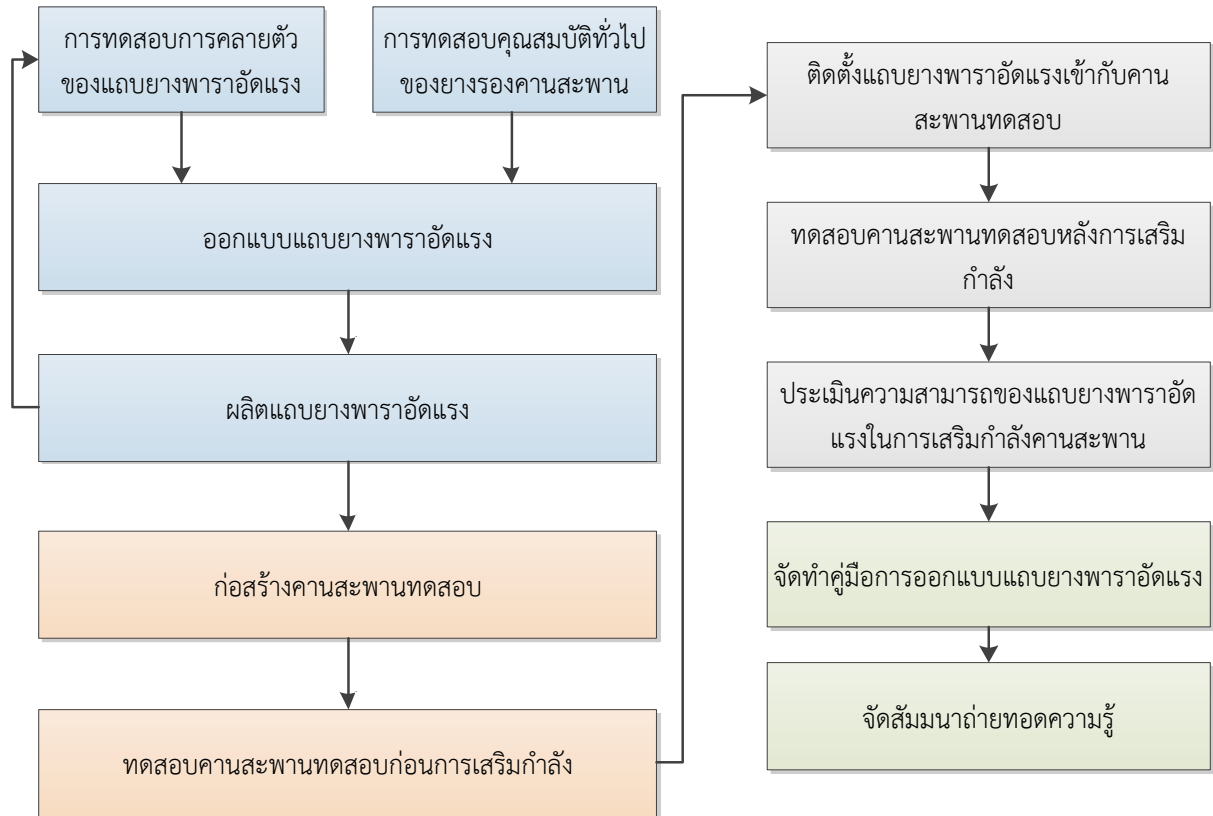
รายละเอียดของงานในส่วนนี้ แสดงไว้ในบทที่ 5

ส่วนที่ 5 การจัดทำคู่มือการออกแบบแถบยางพาราอัดแรง

งานในส่วนนี้เป็นการจัดทำคู่มือการออกแบบแถบยางพาราอัดแรง ซึ่งได้รวบรวมข้อแนะนำ หลักเกณฑ์การออกแบบ การผลิต และการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงสำหรับเสริมกำลังคานสะพานของกรมทางหลวง เพื่อให้วิศวกรของกรมทางหลวงสามารถใช้อ้างอิงได้

ส่วนที่ 6 การถ่ายทอดความรู้

งานในส่วนนี้เป็นการจัดสัมมนาเพื่อถ่ายทอดความรู้ต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ให้กับบุคลากรของกรมทางหลวงขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ แสดงในรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ

บทที่ 2 การออกแบบแฉะยางพาราอัดแรง

การเสริมกำลังโครงสร้าง (Structural Strengthening) เป็นกระบวนการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความมั่นคง แข็งแรงหรือความสามารถในการรับน้ำหนักให้กับโครงสร้าง โดยใช้เทคนิคและวิธีการต่าง ๆ ซึ่งการพิจารณาเทคนิควิธีในการเสริมกำลังนั้นจะต้องคำนึงถึงสภาพ พฤติกรรม และคุณสมบัติของโครงสร้างอย่างรอบคอบ เพราะในบางครั้ง การปรับปรุงคุณสมบัติอย่างหนึ่ง อาจเป็นการสร้างภาระอย่างอื่นให้กับโครงสร้าง เช่น น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เพิ่มขึ้น หรือ การเปลี่ยนแปลงการกระจายของแรงทำให้ชิ้นส่วนอื่นของโครงสร้างเกิดการวิกฤต เป็นต้น ส่งผลให้โครงสร้างมีความไม่ปลอดภัย หรือ มีความสามารถในการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นไม่คุ้มค่ากับการลงทุนวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการเสริมกำลังโครงสร้าง สามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะใหญ่ ตามกลไกของการต้านทานแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง ได้แก่ การเสริมกำลังแบบ Active และการเสริมกำลังแบบ Passive

2.1 การเสริมกำลังแบบ Passive

โดยปกติการเสริมกำลังในประเภทนี้จะไม่ได้ช่วยโครงสร้างรับแรงในทันที แต่จะช่วยกระจายแรงเนื่องจาก น้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นมาหลังจากการเสริมกำลังแล้ว ตัวอย่างเช่น การเพิ่มความหนาของหน้าตัดพื้นสะพานไม่ได้ ทำให้หน่วยแรงภายใน หรือการแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้างลดลง (ในทางกลับกันหน่วยแรงภายในหรือการแอ่นตัวจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างมีน้ำหนักบรรทุกคงที่มากขึ้น) แต่พื้นสะพานที่เสริมกำลังแล้วจะมีการสั่นไหว น้อยลงในขณะที่มีรถบรรทุกวิ่งอยู่บนพื้นสะพาน แต่ในบางครั้ง การเสริมกำลังแบบ Passive นี้อาจทำให้สามารถช่วยรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ และช่วยลดการแอ่นตัว ของโครงสร้างได้ ด้วยการปรับวิธีการทำงานบางส่วน เช่น การใช้แรงดันให้พื้นสะพานยกตัวสูงขึ้นก่อนการขยายหน้าตัดพื้นสะพาน

2.2 การเสริมกำลังแบบ Active

เป็นการเสริมกำลังโดยการใส่แรงเข้าไปในโครงสร้างเพื่อต้านทานแรงที่กระทำกับโครงสร้าง เช่น การอัดแรง (Prestressing) เป็นต้น ซึ่งวิธีการเสริมกำลังแบบนี้จะทำให้โครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทันที แม้จะยังไม่มี น้ำหนักบรรทุกกระทำ เช่น การแอ่นตัวหรือหน่วยแรงภายในมีค่าลดลง นิยมใช้ในการเสริมกำลังโครงสร้างที่มีหน่วยแรงภายในสูงเกินปกติ (Overstressed)

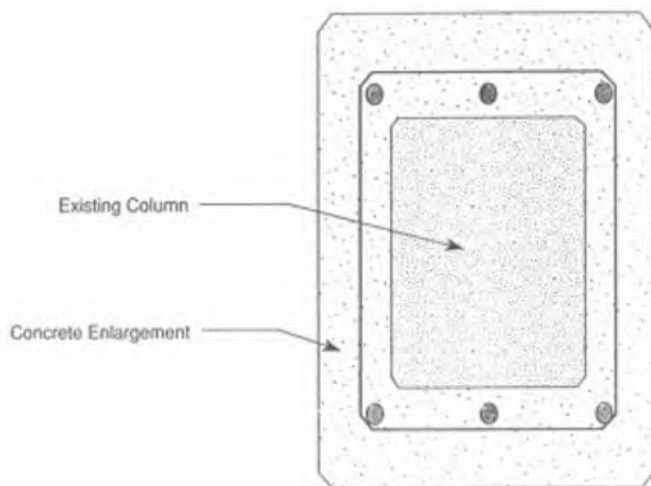
2.3 การเสริมกำลังของโครงสร้างสะพาน

การเสริมกำลังโครงสร้างสะพานมีทั้งแบบ Passive และ Active สรุปได้ดังนี้

- 1) การขยายขนาดหน้าตัด (Section Enlargement)

การขยายขนาดหน้าตัดเป็นการเสริมกำลังแบบ Passive เป็นวิธีการเสริมกำลังที่ง่ายที่สุด โดยเพิ่มปริมาณของวัสดุ เช่น คอนกรีต และเหล็กเสริมให้แก่ชิ้นส่วนโครงสร้างเดิม สามารถกระทำได้ทุกชิ้นส่วนไม่ว่าจะเป็นคาน พื้น เสา หรือ กำแพง ซึ่งการขยายขนาดหน้าตัดนี้จะเป็นการเพิ่มความแข็ง (Stiffness) หรือ ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก (Load Carrying Capacity) โดยส่วนใหญ่แล้วหน้าตัดส่วนที่เพิ่มขึ้นมานี้จะต้องยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตเดิมเป็นอย่างดี เพื่อให้เป็นชิ้นส่วนแน่นและมีพฤติกรรมเป็นเนื้อเดียวกัน

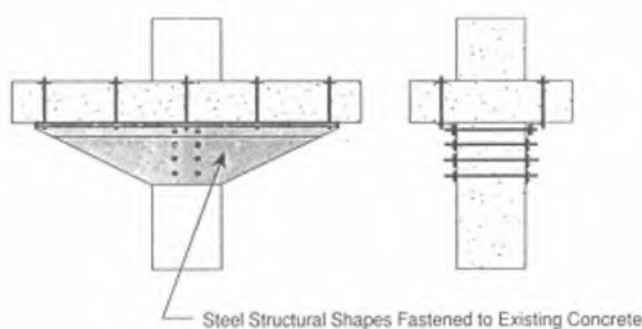
แต่การขยายขนาดหน้าตัดจะมีข้อเสีย คือ จะทำให้โครงสร้างมีน้ำหนักบรรทุกคงที่มากขึ้น ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกที่ได้มาจะต้องแบกรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น บางครั้งอาจจะไม่คุ้มค่ากับการลงทุน นอกจากนั้น ถ้าชิ้นส่วนอื่นไม่สามารถรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาได้ อาจทำให้โครงสร้างเกิดการวิบัติ นอกจากนั้นในบริเวณที่มีข้อจำกัดด้านสถานที่ การขยายขนาดหน้าตัดอาจกระทำไม่ได้



รูปที่ 2.3-1 การขยายขนาดหน้าตัดชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต

2) การประกบด้วยวัสดุต่างชนิดกัน (Composite Construction)

การประกบด้วยวัสดุต่างชนิดกันเป็นการเสริมกำลังแบบ Passive ใช้ในกรณีที่มีการขยายหน้าตัดด้วยวัสดุเดิมไม่สามารถทำได้ การใช้วัสดุอื่นที่มีความเหมาะสมเข้ามาเสริมแทนก็นับว่าเป็นวิธีที่ดีวิธีหนึ่ง โดยสามารถช่วยเพิ่มความแข็งหรือความสามารถในการรับน้ำหนักได้ ด้วยน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่น้อยลง หรือต้องการพื้นที่ดำเนินการที่น้อยลง วัสดุที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดคือ เหล็ก (Steel) ซึ่งจะใช้แผ่นเหล็กหรือเหล็กรูปพรรณมาประกอบเป็นรูปร่างต่างๆ เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อข้อกำหนดหรือความต้องการใช้งาน สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการเสริมกำลังวิธีนี้ คือ การถ่ายเทน้ำหนักบรรทุก (Load Transfer) ระหว่างวัสดุเก่าและวัสดุใหม่ โดยอาจใช้ สารเพิ่มการยึดเกาะ (Adhesives) การเทอุด (Grout) หรือใช้ระบบกลไกเพื่อยึดต่าง ๆ (Mechanical Anchorage)



รูปที่ 2.3-2 การประกบด้วยวัสดุต่างชนิด

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาใช้วัสดุที่ดี มาเป็นวัสดุประกบ เช่น (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ซึ่งมีกำลังรับแรงดึงสูงกว่าเหล็ก 10 เท่า แต่การใช้งานยังไม่แพร่หลายมากนัก เพราะมีราคาสูง และต้องการการติดตั้งจากผู้เชี่ยวชาญ

3) การเสริมเหล็กรับแรงดึงภายหลัง (Post-Tensioning)

การเสริมเหล็กรับแรงดึงภายหลังเป็นการเสริมกำลังแบบ Active ทำให้โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มขึ้น การติดตั้งชิ้นส่วนที่ใช้รับแรงดึงนั้น สามารถทำได้ทั้งภายในและภายนอกโครงสร้าง โดยทั่วไปแล้ว ชิ้นส่วนที่ใช้รับแรงดึงได้แก่ แผ่นเหล็ก (Steel Plates) แท่งเหล็ก (Rods) ลวดเอ็น (Tendons) หรือ ลวดเกลียว (Strand) การให้แรงดึงแก่ส่วนประกอบต่าง ๆ นั้น ทำได้โดยการใช้แม่แรง (Jacking) หรือการให้ความร้อน (Pre-Heating) วิธีการเสริมกำลังประเภทนี้จะช่วยลดหน่วยแรงในโครงสร้าง (Stress) จากแรงดึง หรือแรงบิดได้นอกจากนั้นวิธีการนี้ยังสามารถนำไปใช้ได้กับการลดการแอ่นตัว หรือการเคลื่อนที่ ที่ไม่ต้องการของโครงสร้างต่าง ๆ และช่วยให้เปลี่ยนจากโครงสร้างที่ไม่ต่อเนื่องให้เป็นโครงสร้างที่มีความต่อเนื่องได้

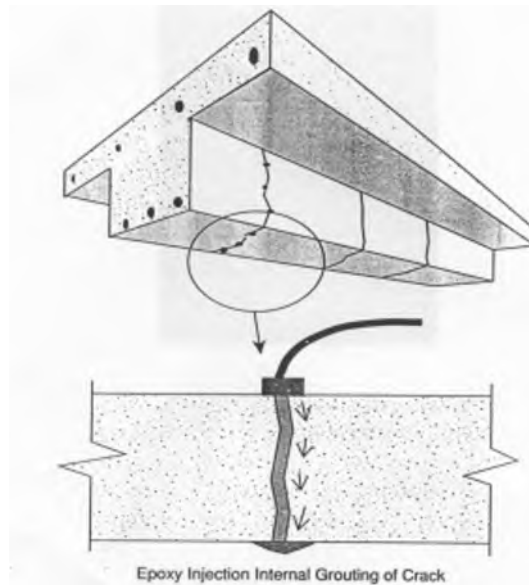
4) การลดแรงเค้น (Stress Reduction)

การลดแรงเค้นเป็นการเสริมกำลังที่เป็นได้ทั้งแบบ Passive และแบบ Active เป็นวิธีการที่มีจุดมุ่งหมายในการลดหน่วยแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง โดยอาศัยหลักการในการกำจัดส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงสร้างออกไป วิธีการที่ใช้โดยทั่ว ๆ ไปก็คือ การตัดแนวรอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joint) ขึ้นมาใหม่ (Passive) และการติดตั้งฐานรองรับ (Bearing) เพื่อแยกส่วนของโครงสร้างออกไป (Active) การเสริมกำลังโครงสร้างวิธีนี้ถือว่าการเปลี่ยนพฤติกรรมของโครงสร้างอย่างหนึ่ง เช่นเดียวกับการทำให้โครงสร้างมีความต่อเนื่อง เพื่อให้มีการกระจายแรงจากชิ้นส่วนหนึ่งไปอีกชิ้นส่วนหนึ่ง ทำให้หน่วยแรงภายในลดลง

5) การเติมวัสดุภายใน (Internal Grouting)

การเติมวัสดุภายในเป็นการเสริมกำลังแบบ Passive โดยเติมวัสดุที่สามารถไหลเข้าไปอุดช่องว่างที่เกิดขึ้นเช่น รอยแตกภายในชิ้นส่วนโครงสร้างที่เป็นคอนกรีต ซึ่งจะทำให้บริเวณนั้นมีความแข็งแรงเหมือนเดิม นอกจากนี้วิธีการเติมวัสดุภายในนี้ยังถูกนำมาใช้ในการซ่อมความไม่สมบูรณ์ของคอนกรีตแบบรั้งผึ้ง

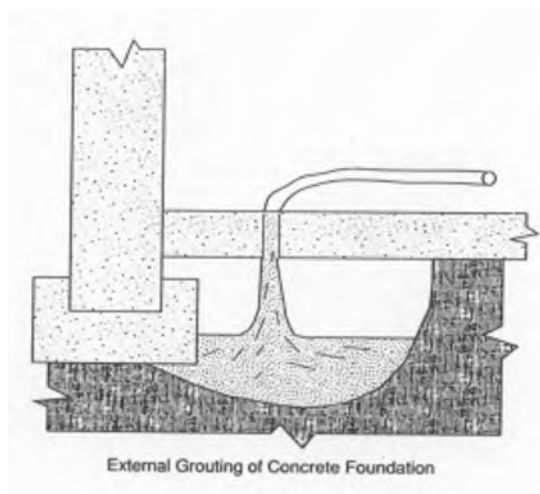
(Honeycomb) หรือการเกิดช่องว่าง (Void) ในคอนกรีตด้วย วัสดุที่นิยมนำมาใช้จะเป็นวัสดุจำพวกโพลิเมอร์ (Polymers) หรือ วัสดุที่มีส่วนผสมของซีเมนต์



รูปที่ 2.3-3 การเติมวัสดุ

6) การเติมวัสดุด้านนอก (External Grouting)

การเติมวัสดุด้านนอกเป็นการเสริมกำลังแบบ Passive เป็นวิธีการที่ใช้วัสดุที่ถูกปั๊มได้ (Pumpable) เข้าไปสู่บริเวณที่ต้องการ ซึ่งจะอยู่ภายนอกโครงสร้าง โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ได้แก่ บริเวณดินรอบ ๆ ฐานราก หรือ ที่ผิวสัมผัสระหว่างโครงสร้างและดิน ที่ดินอาจเกิดการทรุดตัว หรือถูกชะออกไป ทำให้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างโครงสร้างและดิน วัสดุที่ใช้เติมนี้อาจช่วยในการถ่ายเทน้ำหนักระหว่างโครงสร้างและดินได้ รวมทั้งขจัดปัญหาการทรุดตัวได้ วัสดุที่นิยมใช้เติม ได้แก่ วัสดุที่มีส่วนผสมของซีเมนต์ คล้ายกับการเติมวัสดุภายใน



รูปที่ 2.3-4 การเติมวัสดุภายนอก

นอกเหนือจากวิธีการเสริมกำลังตามที่ได้กล่าวข้างต้น การนำยางพารามาใช้เสริมกำลังโครงสร้างสะพานสามารถกระทำได้เช่นกัน

2.4 แนวทางในการนำยางพารามาใช้เสริมกำลังโครงสร้างสะพาน

ยางพารา โดยธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูงและเหนียวติดกัน ทนต่อแรงดึง ทนต่อการฉีกขาด ทนต่อการขีดสี และดูดซับพลังงานได้ดี เมื่อนำยางพารามาผ่านกระบวนการผลิตขึ้นรูปให้มีความเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ทนต่อแสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความชื้น สามารถนำยางพารามาใช้งานเป็นวัสดุทางวิศวกรรมได้ ปัจจุบันได้มีการนำยางพารามาใช้ในเชิงวิศวกรรมโครงสร้างเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุก เช่น แผ่นยางรองคานสะพาน แต่อย่างไรก็ตาม ยางพารายังไม่เคยถูกนำมาใช้ในการเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน โครงการนี้เป็นโครงการแรกของกรมทางหลวงและของประเทศไทยที่ได้ทำการศึกษาการนำยางพารามาใช้เสริมกำลังโครงสร้างสะพาน โดยมุ่งเน้นไปที่การนำยางพารามาใช้เสริมกำลังคานสะพานประเภท PC Plank Girder ประเภท PC Box Beam และประเภท RC T-girder ซึ่งเป็นคานสะพานของกรมทางหลวงที่มักพบความเสียหายและต้องการการเสริมกำลัง แนวทางในการนำยางพารามาใช้เสริมกำลังคานสะพานประเภทดังกล่าว มีดังนี้

การนำยางพารามาใช้เสริมกำลังคานสะพานในการศึกษาครั้งนี้เป็นการนำแผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ (ยางพารา) ซึ่งได้มีการผลิตและจำหน่ายอยู่ทั่วไป มาประยุกต์เป็นอุปกรณ์เสริมกำลัง เนื่องจากแผ่นยางรองคานสะพานมีโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าคอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุคานสะพานเป็นอย่างมาก ดังนั้น แผ่นยางรองคานสะพานจะสามารถเสริมกำลังให้กับคานสะพานได้จำเป็นจะต้องให้แรงดึงกับแผ่นยางรองคานสะพานก่อนนำไปเสริมกำลัง ซึ่งเป็นการเสริมกำลังแบบ Active อาศัยหลักการเสริมกำลังแบบอัดแรงจากภายนอก แผ่นยางรองคานสะพานจะถูกดึงตามแนวยาวของแผ่นให้ยืดออกเพื่อให้เกิดแรงดึงตามที่ต้องการ จากนั้นจะนำไปยึดติดกับคานสะพานเพื่อถ่ายแรงไปช่วยเสริมกำลัง เนื่องจากแผ่นยางรองคานสะพานมีลักษณะเป็นแถบและใช้การอัดแรงในการเสริมกำลัง ดังนั้น จึงเรียกแผ่นยางรองคานสะพานที่นำมาประยุกต์เป็นอุปกรณ์เสริมกำลังนี้ว่า “แถบยางพาราอัดแรง” รูปที่ 2.4-1 ถึง 2.4-4 แสดงหลักการทำงานของแถบยางพาราอัดแรง



รูปที่ 2.4-1 การยืดแผ่นยาง

สมมติให้ P เป็นแรงในแนวแกนของแผ่นยาง ระยะยืดของแผ่นยาง (Δ) สามารถหาได้จากสมการด้านล่าง โดยที่

A

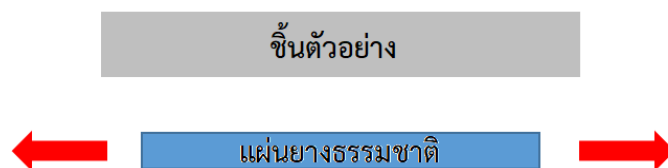
คือ พื้นที่หน้าตัดแผ่นยาง

E คือ ค่าโมดูลัสของแผ่นยาง

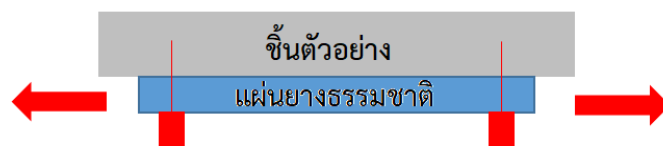
L คือ ความยาวของแผ่นยาง

$$\frac{\Delta}{L} = \frac{P}{AE} \quad (2.4-1)$$

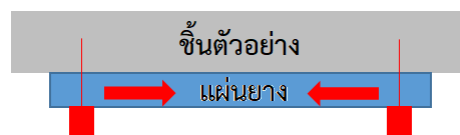
เมื่อทำการดึงแผ่นยางแล้วดังรูปที่ 2.4-1 ให้ยึดปลายทั้งสองของแผ่นยางไว้กับโครงข้อแข็ง ดังรูปที่ 2.4-2 ทำการติดตั้งแผ่นยางที่ยึดไว้กับโครงข้อแข็งเข้ากับคานสะพานดังรูปที่ 2.4-3 จากนั้นปลดโครงข้อแข็งออก เพื่อให้แผ่นยางถ่ายแรงดึงเข้าไปอัดคานสะพาน ดังรูปที่ 2.4-4



รูปที่ 2.4-2 การยึดและยึดยางไว้กับโครงข้อแข็ง



รูปที่ 2.4-3 การติดตั้งแผ่นยางเข้ากับโครงสร้าง



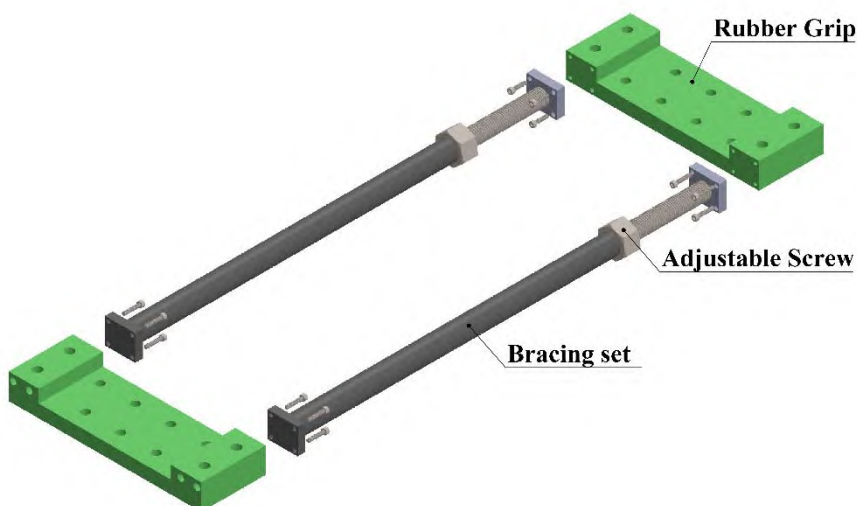
รูปที่ 2.4-4 การปลดยางออกจากโครงข้อแข็งให้ถ่ายแรงอัดเข้าสู่โครงสร้าง

จากหลักการดังกล่าวข้างต้น การออกแบบแถบยางพาราอัดแรงประกอบด้วยการออกแบบ 2 ขั้นตอน ดังนี้

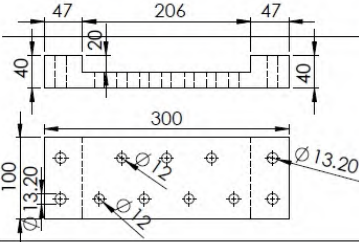
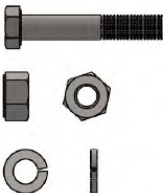
- 1) การออกแบบอุปกรณ์และวิธีการอัดแรงให้แผ่นยางรองคานสะพาน (หัวข้อ 2.5)
- 2) การออกแบบเสริมกำลังคานสะพาน
 - วิธีการออกแบบเสริมกำลังคานสะพาน PC Plank Girder (หัวข้อ 2.6)
 - วิธีการออกแบบเสริมกำลังคานสะพาน RC T-girder (หัวข้อ 2.7)
 - วิธีการออกแบบการเสริมกำลังถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างคาน (หัวข้อ 2.8)

2.5 การออกแบบอุปกรณ์และวิธีการอัดแรงให้แผ่นยางรองคานสะพาน

ในการเสริมกำลังด้วยยางพาราต้องมีอุปกรณ์ที่ทำให้ยางพารานั้นยืดออก เพื่อให้เกิดแรงดึงในชั้นยางพารา ซึ่งอุปกรณ์นี้เรียกว่า ระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip) หรือเรียกชื่อย่อว่า SRG



รูปที่ 2.5-1 ชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip, SRG)

	อุปกรณ์หัวจับยึดสำหรับอัดแรงยางพารา	
	Rubber Grip วัสดุ :อลูมิเนียมอัลลอย เกรด 7075 รูเจาะขนาด Dia. 14 mm. ใช้ทั้งหมด 2 ตัว	
		Bolt M12x1.5 ยาว 75 mm. Grade 8.8 Nut M12 (Grade 8.8) แหวน spring (Grade 8.8) ใช้ทั้งหมด 8 ตัว
Bolt and Nut		Bolt M10x1.5 ยาว 75 mm. Grade 8.8 Nut M10 (Grade 8.8) แหวน spring (Grade 8.8) ใช้ทั้งหมด 14 ตัว
		เหล็กท่อดำกลม เกรด SM520 หนา 3.2 mm. ยาว 70 cm. เหล็กเพลลา เกรด SM520 Dia. 24 mm. ยาว 50 cm. ใช้ทั้งหมด 2 ตัว
Bracing set		
		Socket head M6 เกรด 8.8 ยาว 25mm
Socket head M6 ยาว 25mm		ใช้ทั้งหมด 16 ตัว

รูปที่ 2.5-2 อุปกรณ์หัวจับยึดสำหรับอัดแรงยางพารา

ขั้นตอนการเสริมแรงในยางพารา

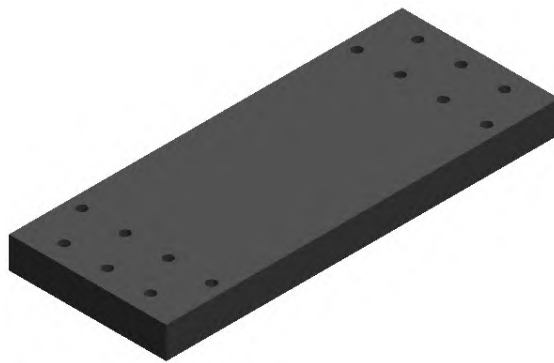
จากชนิดของยางที่นำมาเสริมกำลัง จะต้องนำไปดัดทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่ยางพาราสามารถรับได้ต่อระยะยืดตัวของยาง โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ (Tensile test) เมื่อทดสอบยางแล้ว สามารถทราบค่าระยะการยืดของยางและแรงดึงที่ต้องการได้ ในการศึกษานี้ใช้ยางพาราแบบแผ่นขึ้นรูปตามขนาดในตารางที่ 2.5-1

ขั้นตอนที่ 1

นำแผ่นยาง ขนาดตามตารางที่ 2.5-1 มาเจาะรูให้ตรงตามระยะรูของ Rubber Grip

ตารางที่ 2.5-1 ขนาดของแผ่นยางพาราในการเสริมกำลัง

วัสดุ	มิติ (มิลลิเมตร)		
	กว้าง	ยาว	หนา
แผ่นยางรองคานสะพานชนิดยางธรรมชาติ Hardness 50 (มอก. 951-2533)	200	500	40



รูปที่ 2.5-3 แผ่นยางพาราที่เจาะรู

ขั้นตอนที่ 2

นำแผ่นยางที่เจาะรูประกอบโดยการขันน็อตยึดติดกับ Rubber Grip



รูปที่ 2.5-4 แผ่นยางพาราที่เจาะรูและประกอบโดยการขันน็อตยึดติดกับ Rubber Grip

ขั้นตอนที่ 3

นำแผ่นยางที่เจาะรูและประกอบโดยการขันน็อตยึดติดกับ Rubber Grip แล้วเสร็จ มาประกอบเข้ากับเครื่องดึงยาง เพื่อให้ยางมีแรงดึงภายในคงค้าง



รูปที่ 2.5-5 แผ่นยางพาราประกอบเข้ากับเครื่องดึงยางเพื่อให้ยางมีแรงดึงภายในคงค้าง

ขั้นตอนที่ 4

ดึงแผ่นยางให้ยืดออกตามระยะที่ต้องการ



รูปที่ 2.5-6 ดึงแผ่นยางพารา

ขั้นตอนที่ 5

นำตัวค้ำยันมาประกอบยึดติดกับชุดดึงยาง เพื่อเตรียมติดตั้งในการเสริมกำลังโครงสร้าง



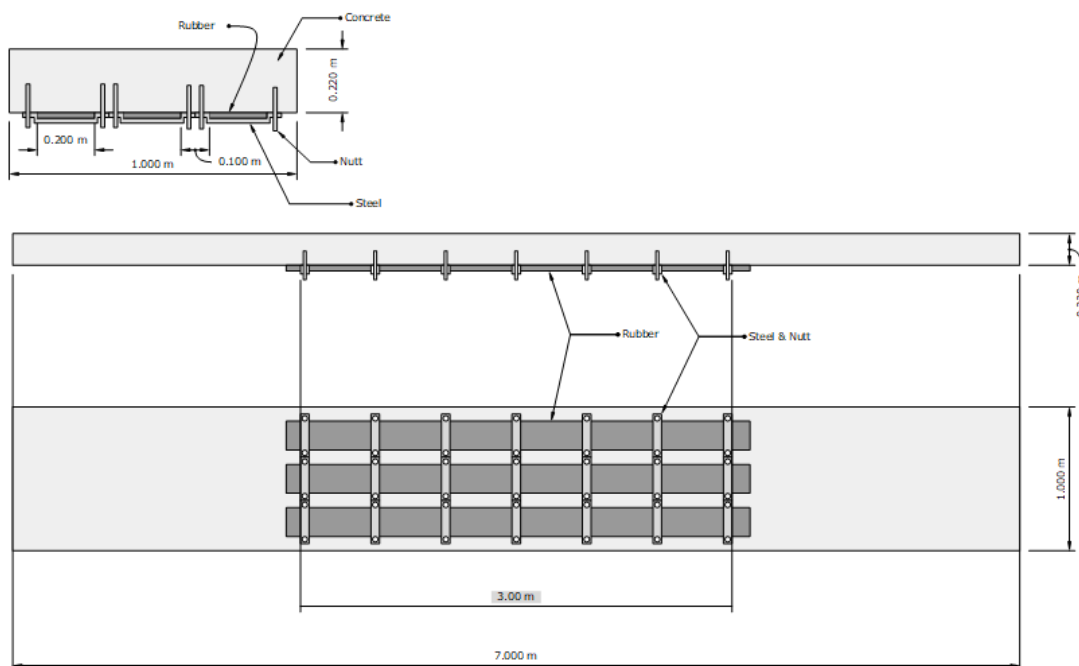
รูปที่ 2.5-7 ประกอบชุดค้ำยันในชุดดึงยาง



รูปที่ 2.5-7 ประกอบชุดค้ำยันในชุดตั้งยาง (ต่อ)

2.6 วิธีการออกแบบเสริมกำลังคานสะพาน PC Plank Girder

แฉวยางพาราอัดแรงติดตั้งบริเวณท้องคานในทิศทางตามแนวนอน โดยนำแฉวยางพาราอัดแรงมายืดตึงเป็นแถว ให้ได้ระยะวัดจากกึ่งกลางคานออกไปในแต่ละด้าน ไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของความยาวช่วงคาน (ความยาวของแฉวยางพาราอัดแรงไม่น้อยกว่า 1 ใน 2 ของความยาวช่วงคาน) ดูรายละเอียดวิธีการติดตั้งในหัวข้อ 2.9



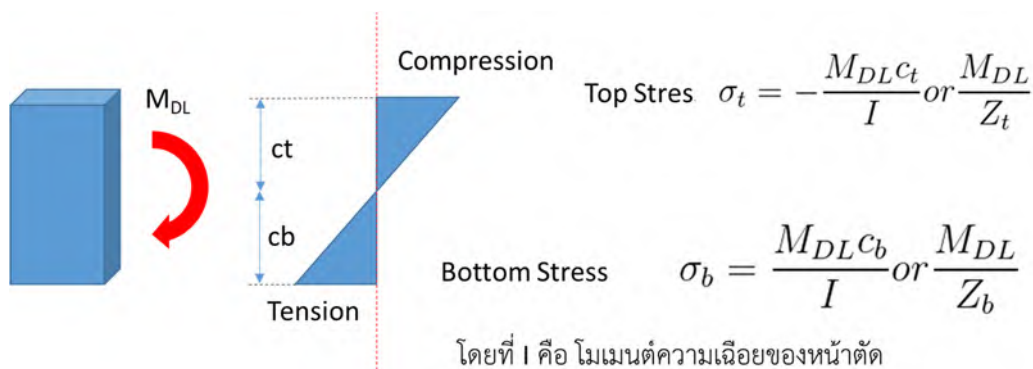
รูปที่ 2.6-2.6-1 การติดตั้งแผ่นยางพาราได้ PC Plank Girder

ในการก่อสร้างสะพานโดยใช้แผ่นพื้น PC Plank Girder โดยทั่วไปจะนำแผ่น PC Plank Girder มาจะทำการสร้างสะพานจากนั้นจะเทคอนกรีตทับหน้าประมาณ 10 cm ดังนั้นการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของแผ่น PC Plank Girder ที่เพิ่มขึ้นมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการออกแบบการเสริมกำลังแผ่น PC Plank Girder

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาค่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

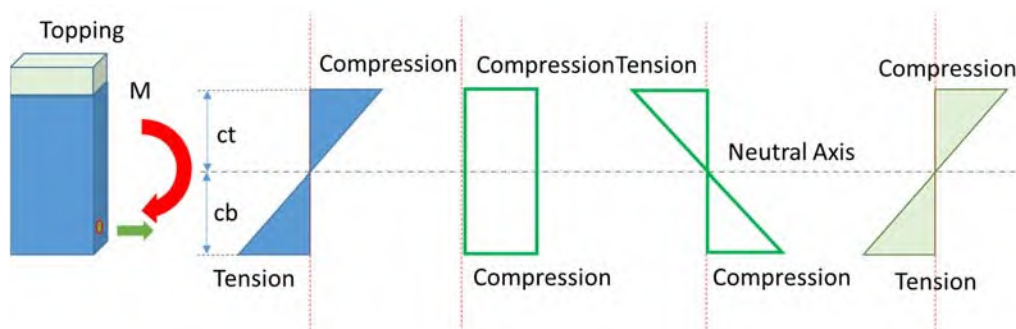
ในขณะที่แผ่นพื้น PC plank girder วางบนฐานรองรับ น้ำหนักของแผ่น PC plank girder จะทำให้ แผ่นพื้นเกิดโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกชิ้น โดยหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกทุกสามารถคำนวณได้จากสมการดังรูปที่ 2.6-2



รูปที่ 2.6-2 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นและสมการหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในขณะที่แผ่นพื้นรับโมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาค่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากลวดอัดแรงภายในแผ่นพื้น

ขนาดแผ่นพื้น PC Plank Girder รับน้ำหนักน้ำหนักบรรทุกจรและลวดตะแกรงเป็นดังรูปที่ 2.6-3



รูปที่ 2.6-3 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการอัดแรงของลวดอัดแรง

จากรูปที่ 2.6-3 สมการหน่วยแรงที่ใช้ เนื่องจากเส้นลวดอัดแรง

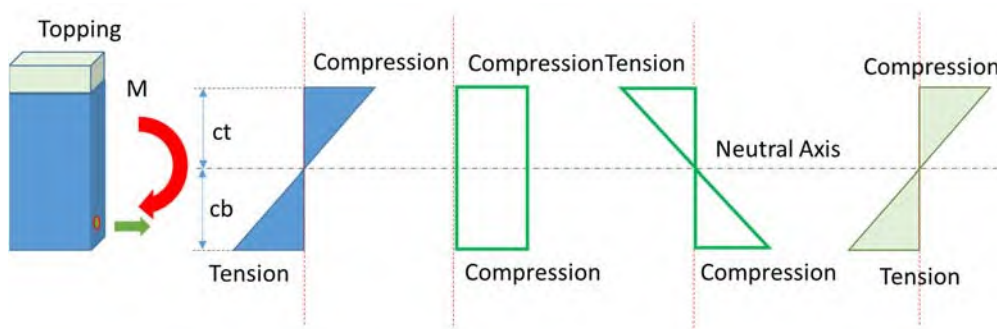
$$\sigma_t = -\frac{P_{ps}}{A} + \frac{M_{ps}}{Z_t} \quad (2.6-1)$$

(2.6-2)

โดยที่	σ_t	คือ หน่วยแรงที่ผิวบนของแผ่น PC-Plank-Girder
	σ_b	คือ หน่วยแรงที่ผิวล่างของแผ่น PC-Plank-Girder
	P_{ps}	คือ แรงดึงในเส้นลวดอัดแรง
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตของแผ่น PC-Plank-Girder
	M_{ps}	คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเยื้องศูนย์ของเส้น
	Z_t	คือ โมดูลัสของหน้าตัดผิวบน
	Z_b	คือ โมดูลัสของหน้าตัดผิวล่าง

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาค่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากคอนกรีตเททับหน้า

หลังจากการเทคอนกรีตทับหน้าแผ่นพื้น PC Plank Girder แผ่นพื้นจะเกิดหน่วยแรงเพิ่มเติมจากคอนกรีตที่เททับหน้า หน่วยแรงที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.6-4 สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง



รูปที่ 2.6-4 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ เส้นลวดอัดแรง และน้ำหนักคอนกรีตทับหน้า

จากรูปที่ 2.6-4 จะได้สมการที่ใช้วิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักคอนกรีตที่ทับหน้า

$$\sigma_t = -\frac{M_{topping}}{Z_t} \quad (2.6-3)$$

$$\sigma_b = +\frac{M_{topping}}{Z_b} \quad (2.6-4)$$

โดยที่	σ_t	คือ หน่วยแรงที่ผิวบนของแผ่น PC-Plank-Girder
	σ_b	คือ หน่วยแรงที่ผิวล่างของแผ่น PC-Plank-Girder
	$M_{topping}$	คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักคอนกรีตทับหน้า
	Z_b	คือ โมดูลัสของหน้าตัดผิวล่าง

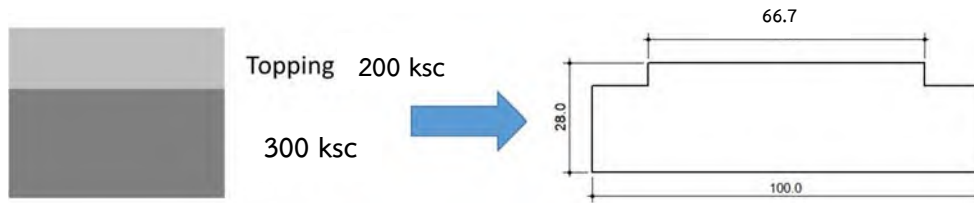
Z_t

คือ โมดูลัสของหน้าตัดผิวบน

ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาคูณสมบัติทางโครงสร้างของสะพานเมื่อคอนกรีตทับหน้าเกิดการแข็งตัว

เมื่อคอนกรีตทับหน้าเกิดการแข็งตัวขึ้นทำให้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางหน้าตัดของแผ่นพื้น PC Plank Girder เป็นดังรูปที่ 2.6-5

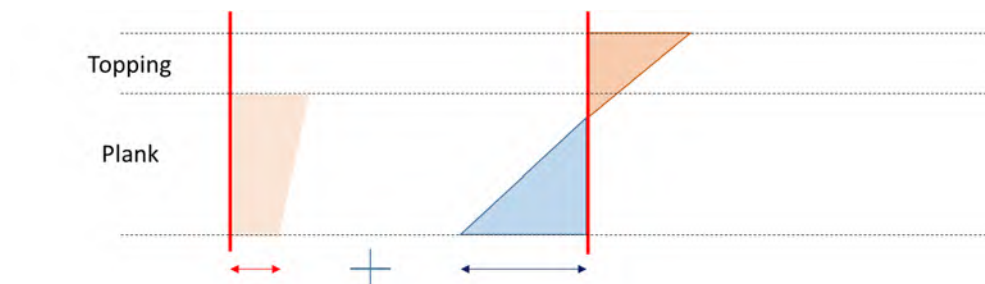
การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานที่ชำรุด ผู้ออกแบบควรกำหนดกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เหมาะสมตามระดับการเสื่อมสภาพ หรือผลทดสอบวัสดุ กรณีจะสมมุติกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากับ 300 ksc และพื้น 200 ksc



รูปที่ 2.6-5 ตัวอย่างการวิเคราะห์หน้าตัดเนื่องจากคอนกรีตทับหน้าเกิดการแข็งตัว

ขั้นตอนที่ 5 พิจารณาค่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรเป็นดังรูปที่ 2.6-6



รูปที่ 2.6-6 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นของแผ่นพื้น PC Plank Girder ขณะรวมหน้าตัดของคอนกรีตทับหน้าและหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร

จากรูปที่ 2.6-6 จะได้สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร

$$\sigma_t = -\frac{M_{LL}}{Z_{t_combine}} \quad (2.6-5)$$

$$\sigma_b = +\frac{M_{LL}}{Z_{b_combine}} \quad (2.6-6)$$

โดยที่ σ_t คือ หน่วยแรงที่ผิวบนของแผ่น PC-Plank-Girder

σ_b คือ หน่วยแรงที่ผิวล่างของแผ่น PC-Plank-Girder

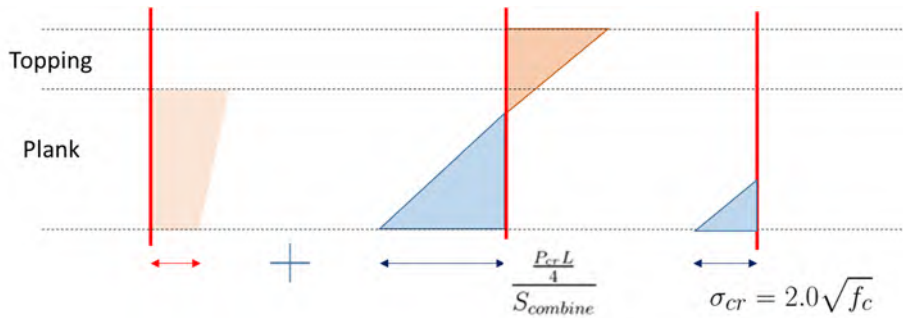
M_{LL} คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากโมเมนต์ทับหน้า

$Z_{b_combine}$ คือ โมดูลัสของหน้าตัดแปลงผิวล่าง

$Z_{t_combine}$

คือ โมดูลัสของหน้าตัดแปลงผิวบน

ขั้นตอนที่ 6 พิจารณาค่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นไม่เกินหน่วยแรงการแตกร้าวของคอนกรีต
วิเคราะห์หน่วยแรงของหน้าตัดไม่เกินหน่วยแรงการแตกร้าวของคอนกรีตเป็นดังรูปที่ 2.6-7



รูปที่ 2.6-7 การรวมแรงของหน่วยแรงน้ำหนักบรรทุกจรโดยไม่เกินหน่วยแรงการแตกร้าวของคอนกรีต

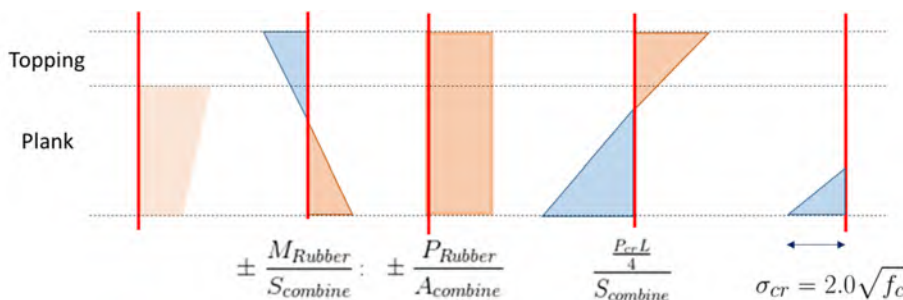
จากรูปที่ 2.6-7 จะได้สมการที่ใช้วิเคราะห์หน่วยแรงการแตกร้าวของคอนกรีต

$$\sigma_{cr} = 2.0\sqrt{f_c} \quad (2.6-7)$$

โดยที่ σ_{cr} คือ หน่วยแรงการแตกร้าวของคอนกรีต

f_c คือ กำลังอัดของคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 7 พิจารณาค่าของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายแรงของแผ่นยางพาราอัดแรง
หากมีการเสริมกำลังเนื่องจากวัสดุแผ่นยางพาราอัดแรงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจะเป็นดังรูปที่ 2.6-8



รูปที่ 2.6-8 การรวมแรงของหน่วยแรงที่ได้จากแผ่นยางพาราอัดโดยไม่เกินหน่วยแรงการแตกร้าวของคอนกรีต

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายแรงของแผ่นยางพาราอัดแรงสามารถคำนวณได้จาก

$$\sigma_t = -\frac{P_{rubber}}{A_{combine}} + \frac{M_{rubber}}{Z_{t_combine}} \text{ or } -\frac{P_{rubber}}{A_{combine}} + \frac{P_{rubber}c_b}{Z_{t_combine}}$$

$$\sigma_b = -\frac{P_{rubber}}{A_{combine}} - \frac{M_{rubber}}{Z_{b_combine}} \text{ or } -\frac{P_{rubber}}{A_{combine}} - \frac{P_{rubber}c_b}{Z_{t_combine}}$$

โดยที่ σ_t คือ หน่วยแรงที่ผิวบนของแผ่น PC-Plank-Girder

σ_b คือ หน่วยแรงที่ผิวล่างของแผ่น PC-Plank-Girder

P_{rubber}	คือ แรงดึงของแผ่นยาง
M_{rubber}	คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากแรงดึงของแผ่นยาง
$A_{combine}$	คือ พื้นที่หน้าตัดแปลงของคอนกรีต
$Z_{b_combine}$	คือ โมดูลัสของหน้าตัดแปลงผิวล่าง
$Z_{t_combine}$	คือ โมดูลัสของหน้าตัดแปลงผิวบน

จากขั้นตอนการวิเคราะห์ดังที่กล่าวมาการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นของแผ่นพื้น PC Plank Girder ควรเป็นดังนี้ สรุปสมการที่ใช้วิเคราะห์แผ่นพื้น PC Plank Girder แบบเสริมกำลังและไม่เสริมกำลังเป็นดังสมการ

ไม่เสริมกำลัง

$$\sigma_t = -\frac{M_{DL}}{Z_t} - \frac{P_{ps}}{A} + \frac{M_{ps}}{Z_t} - \frac{M_{topping}}{Z_t} - \frac{M_{LL}}{Z_{t_combine}} \quad (2.6-8)$$

$$\sigma_b = +\frac{M_{DL}}{Z_t} - \frac{P_{ps}}{A} + \frac{M_{ps}}{Z_t} - \frac{M_{topping}}{Z_t} - \frac{M_{LL}}{Z_{b_combine}} \quad (2.6-9)$$

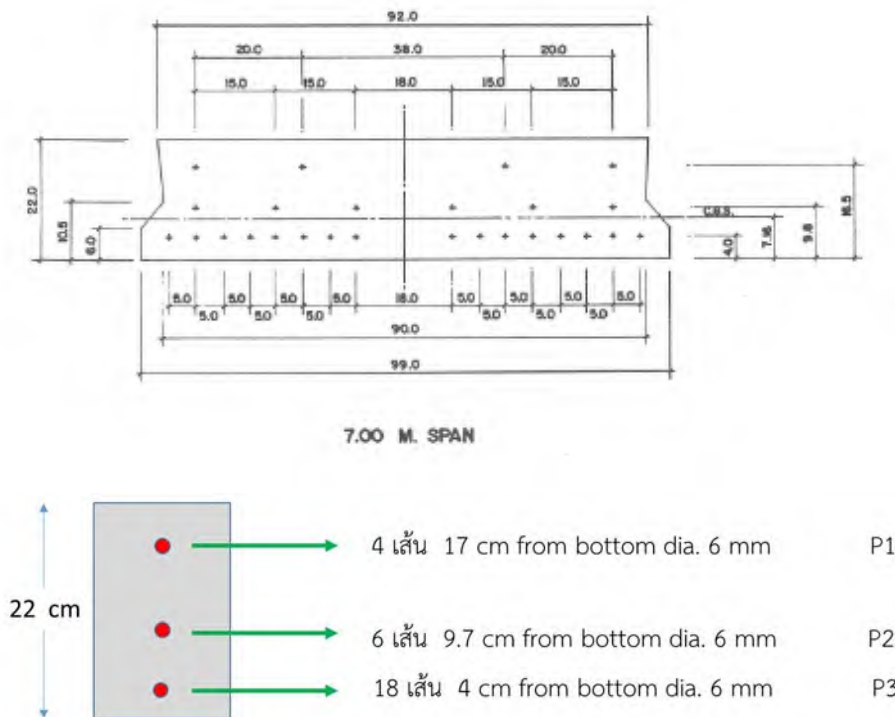
เสริมกำลัง

$$\sigma_t = -\frac{M_{DL}}{Z_t} - \frac{P_{ps}}{A} + \frac{M_{ps}}{Z_t} - \frac{M_{topping}}{Z_t} - \frac{M_{LL}}{Z_{t_combine}} - \frac{P_{rubber}}{A_{combine}} + \frac{P_{rubber}C_b}{Z_{t_combine}} \quad (2.6-10)$$

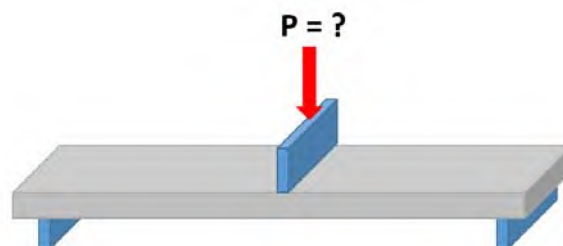
$$\sigma_b = +\frac{M_{DL}}{Z_t} - \frac{P_{ps}}{A} + \frac{M_{ps}}{Z_t} - \frac{M_{topping}}{Z_t} - \frac{M_{LL}}{Z_{b_combine}} - \frac{P_{rubber}}{A_{combine}} - \frac{P_{rubber}C_b}{Z_{t_combine}} \quad (2.6-11)$$

ตัวอย่างการออกแบบเสริมกำลังสะพานแบบแผ่นพื้น (Plank Girder)

ตัวอย่างที่ 1 แผ่นพื้นสำเร็จหน้าตัดกว้าง 1 เมตร หนา 22 เซนติเมตร ยาว 7 เมตร ดังรูป topping หนา 10cm กำหนดให้ กำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 300 ksc กำลังอัดของ toppingเท่ากับ 200 ksc แรงกดที่ทำให้คอนกรีตแตกร้าวเท่ากับเท่าไร



รูปที่ 2.6-9 รายละเอียดการเสริมเหล็กและขนาดหน้าตัดของแผ่นพื้น



รูปที่ 2.6-10 แนวแรงที่กระทำบริเวณกึ่งกลางของแผ่นพื้น

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณคุณสมบัติทางวัสดุ

(1) พื้นที่หน้าตัด

$$Area = (22 \text{ cm}) \times (100 \text{ cm}) = 2200 \text{ cm}^2$$

(2) Section Modulus

$$Z = \frac{bh^2}{6} = \frac{(100\text{ cm})(22\text{ cm})^2}{6} = 8067\text{ cm}^3$$

(3) แรงดึงของลวดอัดแรงแต่ละเส้น หน่วยแรงดึงลวดอัดแรงเท่ากับ 11200 ksc

$$P1 = (11200\text{ ksc})(0.283\text{ cm}^2)(4\text{ bar}) = 12667\text{ kg}$$

$$P2 = (11200\text{ ksc})(0.283\text{ cm}^2)(6\text{ bar}) = 19000\text{ kg}$$

$$P3 = (11200\text{ ksc})(0.283\text{ cm}^2)(18\text{ bar}) = 57000\text{ kg}$$

(4) โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

$$M_{DL} = \frac{wL^2}{8} = \frac{((0.22\text{ m})(1\text{ m})(2400\text{ kg / m}^3))(7\text{ m})^2}{8} = 3234\text{ kg-m}$$

(5) โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักของคอนกรีตทับหน้า

$$M_{topping} = \frac{wL^2}{8} = \frac{((0.1\text{ m})(1\text{ m})(2400\text{ kg / m}^3))(7\text{ m})^2}{8} = 1470\text{ kg-m}$$

(6) พื้นที่หน้าตัดแปลงของแผ่นพื้นหลังจากคอนกรีตทับหน้าแข็งตัว

$$Area = (2200) + (10\text{ cm})(100\text{ cm})\left(\frac{200\text{ ksc}}{300\text{ ksc}}\right) = 2867\text{ cm}^2$$

(7) section modulus ของแผ่นพื้นหลังจากคอนกรีตทับหน้าแข็งตัว

$$\bar{Y} = \frac{((667\text{ cm}^2)(5\text{ cm})) + ((2200\text{ cm}^2)(21\text{ cm}))}{(2867\text{ cm}^2)} = 17.28\text{ cm}$$

$$I = \frac{(100\text{ cm})(22\text{ cm})^3}{12} + (2200\text{ cm}^2)((21\text{ cm}) - (17.28\text{ cm}))^2$$

$$+ \frac{(66.7\text{ cm})(10\text{ cm})^3}{12} + (667\text{ cm}^2)((17.28\text{ cm}) - (5\text{ cm}))^2$$

$$I = 225319\text{ cm}^4$$

$$Z_b = \frac{(156222\text{ cm}^3)}{((32\text{ cm}) - (17.28\text{ cm}))} = 15307\text{ cm}^3$$

ขั้นตอนที่ 2 ใช้สมการหาหน่วยแรงของแผ่นพื้นแบบไม่เสริมกำลัง

$$\text{Use Eq: } \sigma_b = +\frac{M_{DL}}{Z_b} - \frac{P_{ps}}{A} + \frac{M_{ps}}{Z_b} - \frac{M_{topping}}{Z_b} - \frac{M_{LL}}{Z_{b_combine}} \text{ and } \sigma_{cr} = 2.0\sqrt{f_c}$$

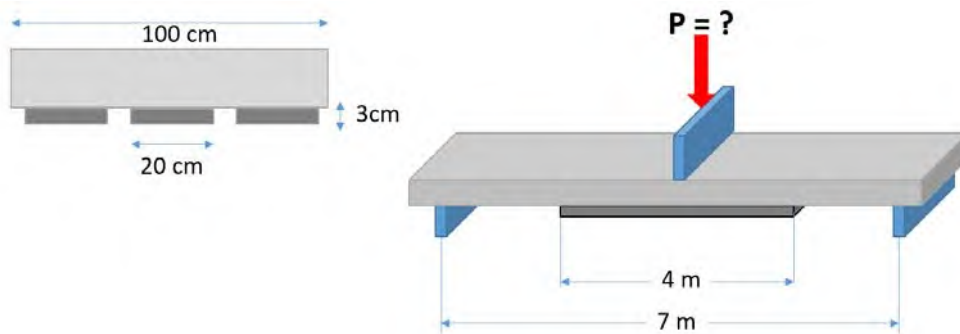
$$\begin{aligned}
 2.0\sqrt{(300 \text{ ksc})} = & + \frac{(323400 \text{ kg} - \text{cm})}{(8067 \text{ cm}^3)} - \frac{((12667 \text{ kg}) + (19000 \text{ kg}) + (57000 \text{ kg}))}{(2200 \text{ cm}^2)} \\
 & + \frac{[(+((12667)(6 \text{ cm})) - ((19000 \text{ kg})(1.3 \text{ cm})) - ((57000 \text{ kg})(7 \text{ cm}))]}{(8067 \text{ cm}^3)} \\
 & + \frac{(147000 \text{ kg} - \text{cm})}{(8067 \text{ cm}^3)} - \frac{M_{LL}}{(15307 \text{ cm}^3)}
 \end{aligned}$$

$$M_{LL} = 9143 \text{ kg} - \text{m}$$

$$\text{from } M = \frac{PL}{4} \text{ and } L = 7 \text{ m}$$

$$\therefore P \approx 5225 \text{ kg}$$

ตัวอย่างที่ 2 จากข้อที่ 1 หากมีแรงดึงของแผ่นยางพาราอัดแรงเท่ากับ 1800 กิโลกรัม จะทำให้ PC Plank Girder สามารถรับแรงกดได้เท่าไรจึงจะแตกร้าว



รูปที่ 2.6-11 การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราใต้แผ่นพื้นชนิด PC Plank girder

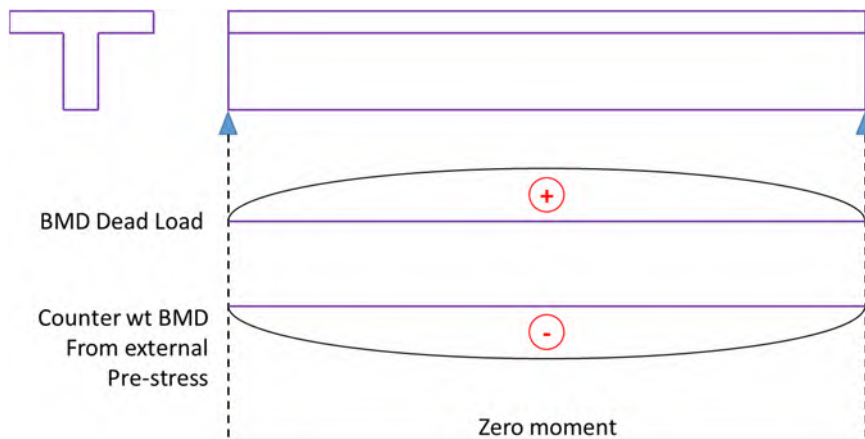
ขั้นตอนที่ 1 คำนวณคุณสมบัติทางวัสดุ (รูปแบบการคำนวณเหมือนกับตัวอย่างที่ 1)

ขั้นตอนที่ 2 ใช้สมการหาหน่วยแรงของแผ่นพื้นแบบเสริมกำลัง

$$\begin{aligned}
 \text{Use Eq: } \sigma_b &= + \frac{M_{DL}}{Z_b} - \frac{P_{ps}}{A} + \frac{M_{ps}}{Z_b} - \frac{M_{topping}}{Z_b} - \frac{M_{LL}}{Z_{b_combine}} - \frac{P_{rubber}}{A_{combine}} - \frac{P_{rubber} C_b}{Z_{t_combine}} \text{ and } \sigma_{cr} = 2.0\sqrt{f_c} \\
 2.0\sqrt{(300 \text{ ksc})} &= + \frac{(323400 \text{ kg} - \text{cm})}{(8067 \text{ cm}^3)} - \frac{((12667 \text{ kg}) + (19000 \text{ kg}) + (57000 \text{ kg}))}{(2200 \text{ cm}^2)} \\
 &+ \frac{[+((12667)(6 \text{ cm})) - ((19000 \text{ kg})(1.3 \text{ cm})) - ((57000 \text{ kg})(7 \text{ cm}))]}{(8067 \text{ cm}^3)} \\
 &+ \frac{(147000 \text{ kg} - \text{cm})}{(8067 \text{ cm}^3)} + \frac{M_{LL}}{(15307 \text{ cm}^3)} - \frac{(1800 \text{ kg})}{(2867 \text{ cm}^2)} - \frac{((1800 \text{ kg})(18.7 \text{ cm}))}{(15307 \text{ cm}^3)} \\
 M_{LL} &= 9576 \text{ kg} - \text{m} \\
 \text{from } M &= \frac{PL}{4} \text{ and } L = 7 \text{ m} \\
 \therefore P &\approx 5472 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

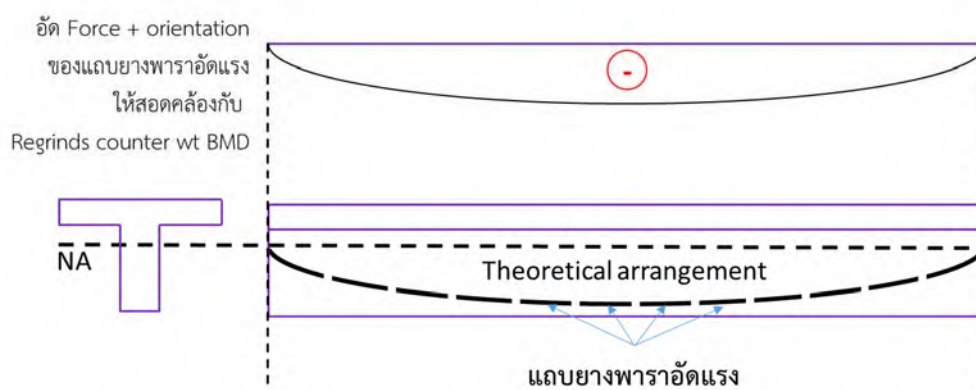
2.7 วิธีการออกแบบเสริมกำลังคานสะพาน RC T-girder

โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคาน RC T-girder สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7-1 โดยโมเมนต์บวกสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางคาน ในหลักการเสริมกำลังด้วยลวดอัดแรงจากภายนอก ควรทำให้เกิดโมเมนต์ลบที่มีขนาดตรงข้ามกับโมเมนต์บวกที่เกิดขึ้นในคานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่ เมื่อโมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกคงที่และโมเมนต์ที่ได้จากการเสริมกำลังมารวมกันในแผนภาพของโมเมนต์แล้ว โมเมนต์ลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 2.7-1 รูปแบบของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนคาน RC T-girder

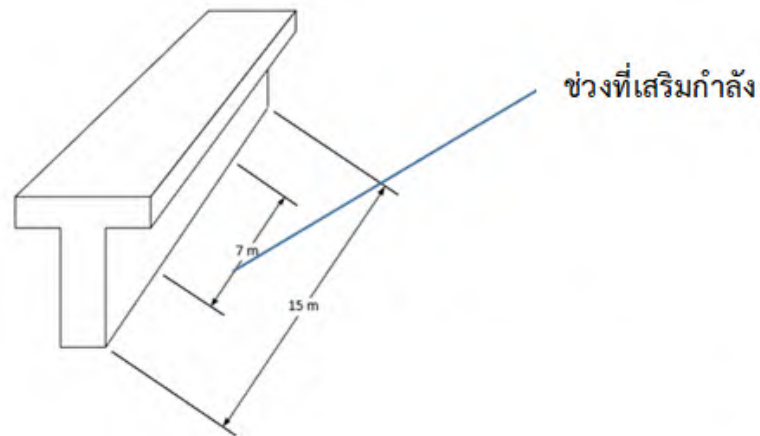
ดังนั้น เมื่อต้องการให้เกิดลักษณะของโมเมนต์ลบดังกล่าว จึงควรมีการเสริมกำลังด้วยแบบยางพาราที่เรียงกันในลักษณะดังรูปที่ 2.7-2



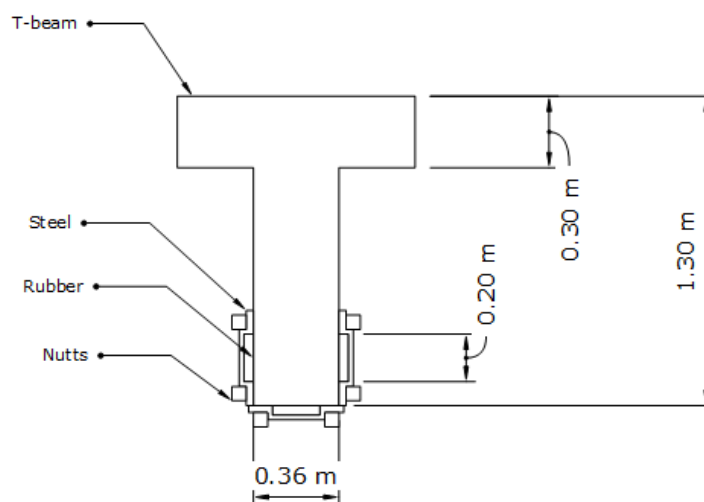
รูปที่ 2.7-2 การเรียงตัวของแบบยางพาราให้เกิดโมเมนต์ลบตามทฤษฎีที่ต้องการ

การเรียงตัวของแบบยางเพื่อให้ได้โมเมนต์ลบตามที่ต้องการ อาจจะยุ่งยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นผู้ออกแบบสามารถออกแบบการเรียงตัวของแบบยางพาราให้เกิดโมเมนต์ลบใกล้เคียงกับทฤษฎี แต่สามารถทำได้ง่ายกว่าดังแสดงในรูปที่ 2.7-3 ซึ่งลักษณะการเรียงตัวของแบบยางพาราจะเรียงตัวตามแนวยาวในทิศทางเดียวกับเหล็กเสริมตามยาว การเสริมแบบยางพารา เสริมจำนวน 3 แถบ ติดตั้งบริเวณท้องคาน 1 แถบ และด้านข้าง 2 แถบ ในทิศทาง

ตามแนวนอน โดยนำแถบยางพาราอัดแรงมายึดต่อกันเป็นแถว ให้ได้ระยะวัดจากกึ่งกลางคานออกไปในแต่ละด้าน ไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของความยาวช่วงคาน (ความยาวของแถบยางพาราอัดแรงไม่น้อยกว่า 1 ใน 2 ของความยาวช่วงคาน) ดูรายละเอียดวิธีการติดตั้งในหัวข้อ 2.11



รูปที่ 2.7-3 ตำแหน่งการเสริมกำลัง

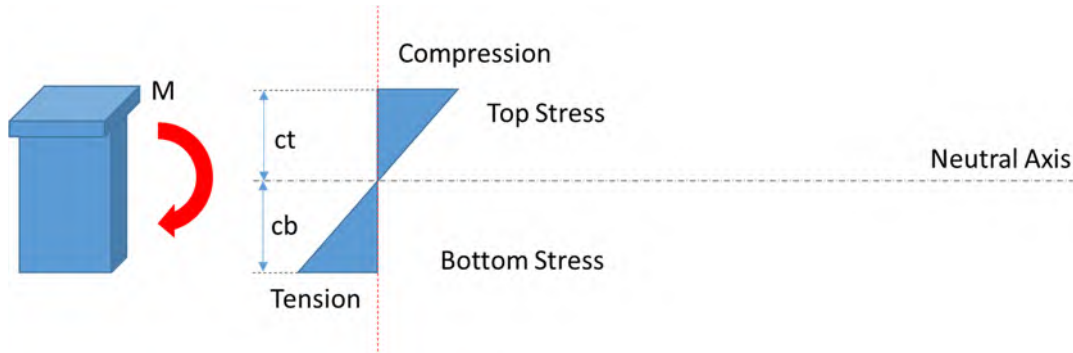


รูปที่ 2.7-4 ลักษณะการเรียงตัวของแถบยางพาราในทางปฏิบัติ

ขั้นตอนการออกแบบการเสริมกำลังคานสะพาน RC T-girder

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ของ RC T-girder

อันดับแรก RC T-girder มีน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ทำให้เกิดโมเมนต์ภายในซึ่งมีหน่วยแรงภายในหน้าตัดเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.7-5



รูปที่ 2.7-5 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

สมการที่ใช้วิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

$$\sigma_t = -\frac{M_{DL}}{Z_t} \quad (2.7-1)$$

$$\sigma_b = +\frac{M_{DL}}{Z_b} \quad (2.7-2)$$

โดยที่ σ_t คือ หน่วยแรงที่ผิวบนของ RC-T-girder

σ_b คือ หน่วยแรงที่ผิวล่างของ RC-T-girder

M_{DL} คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

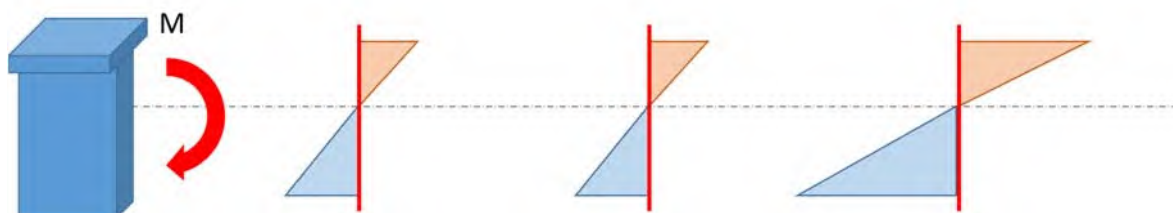
Z_t คือ โมดูลัสของหน้าตัดคานรูปตัว T ที่ผิวบน

Z_b คือ โมดูลัสของหน้าตัดคานรูปตัว T ที่ผิวล่าง

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร

เมื่อ RC-T-girder มีแรงภายนอกเข้ามากระทำเกิดโมเมนต์ภายในเกิดขึ้นทำให้มีหน่วยแรงเกิดขึ้นดังรูปที่

2.7-6



รูปที่ 2.7-6 ภาพแสดงหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และการรวมหน่วยแรงสมการที่ใช้วิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร

$$\sigma_t = -\frac{M_{LL}}{Z_t} \quad (2.7-3)$$

$$\sigma_b = +\frac{M_{LL}}{Z_b} \quad (2.7-4)$$

โดยที่ σ_t คือ หน่วยแรงที่ผิวบนของ RC-T-girder
 σ_b คือ หน่วยแรงที่ผิวล่างของ RC-T-girder
 M_{LL} คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกจร
 Z_b คือ โมดูลัสของหน้าตัดคานรูปตัวที่ผิวล่าง
 Z_t คือ โมดูลัสของหน้าตัดคานรูปตัวที่ผิวบน

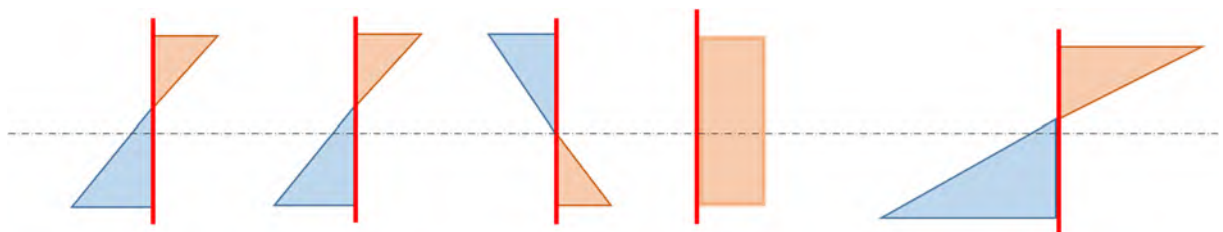
ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นไม่ให้เกินหน่วยแรงการแตกร้าวของคอนกรีต

สมการที่ใช้วิเคราะห์หน่วยแรงการแตกร้าวของคอนกรีต

$$\sigma_{cr} = 2.0\sqrt{f_c}$$

ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายแรงของแผ่นยางอัดแรง

หากมีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพาราอัดแรงจะทำให้เกิดหน่วยแรงภายในชิ้นส่วน RC-T-girder ดังแสดงในรูปที่ 2.7-7



รูปที่ 2.7-7 ภาพแสดงหน่วยแรงที่เกิดขึ้น ของน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร แรงเนื่องจากแผ่นยางพาราอัดแรง และการรวมของหน่วยแรง

สมการที่ใช้วิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายแรงของแผ่นยางพาราอัดแรง

$$\sigma_t = -\frac{P_{rubber}}{A} + \frac{M_{rubber}}{Z_t} \quad (2.7-5)$$

$$\sigma_b = -\frac{P_{rubber}}{A} - \frac{M_{rubber}}{Z_b} \quad (2.7-6)$$

โดยที่ σ_t คือ หน่วยแรงที่ผิวบนของ RC-T-girder

- σ_b คือ หน่วยแรงที่ผิวล่างของ RC-T-girder
- P_{rubber} คือ แรงดึงของแผ่นยาง
- M_{rubber} คือ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากแรงดึงของแผ่นยาง
- A คือ พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตของคานรูปตัวที่
- Z_t คือ โมดูลัสของหน้าตัดคานรูปตัวที่ผิวบน
- Z_b คือ โมดูลัสของหน้าตัดคานรูปตัวที่ผิวล่าง

สรุปสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ RC-T-girder แบบเสริมและไม่เสริมกำลัง

ไม่เสริมกำลัง

$$\sigma_t = -\frac{M_{DL}}{Z_t} - \frac{M_{LL}}{Z_t} \quad (2.7-7)$$

$$\sigma_b = +\frac{M_{DL}}{Z_t} + \frac{M_{LL}}{Z_b} \quad (2.7-8)$$

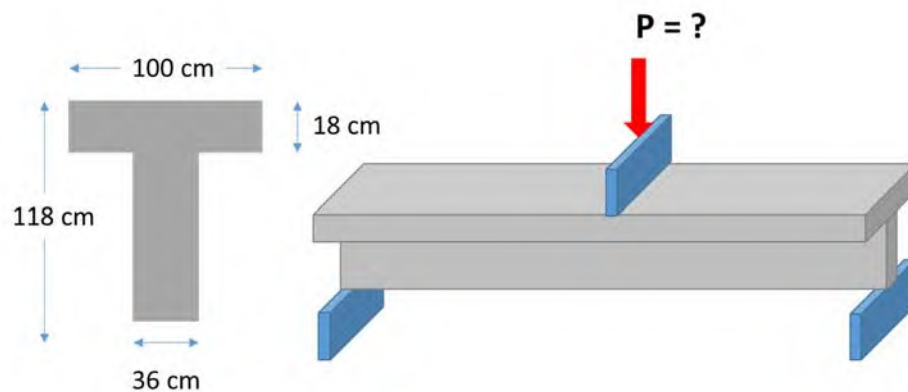
เสริมกำลัง

$$\sigma_t = -\frac{M_{DL}}{Z_t} - \frac{M_{LL}}{Z_t} - \frac{P_{rubber}}{A} + \frac{M_{rubber}}{Z_t} \quad (2.7-9)$$

$$\sigma_b = +\frac{M_{DL}}{Z_t} + \frac{M_{LL}}{Z_b} - \frac{P_{rubber}}{A} - \frac{M_{rubber}}{Z_b} \quad (2.7-10)$$

ตัวอย่างการออกแบบเสริมกำลังคานสะพาน RC T-girder

ตัวอย่างที่ 1 RC T-girder ขนาดสูง 118 cm กว้าง 1 เมตร ความหนาปีก 18 เซนติเมตร ความหนาเอว 36 cm ยาว 15 เมตรดังรูป กำหนดให้ กำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 300 ksc แรงกดที่ทำให้คอนกรีตแตกร้าวเท่ากับเท่าไร



รูปที่ 2.7-8 ตัวอย่างคานรูปตัวที (T-girder)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณคุณสมบัติทางวัสดุ

(1) พื้นที่หน้าตัด

$$Area = (18\text{ cm}) \times (100\text{ cm}) + (36\text{ cm}) \times (100\text{ cm}) + A_{\text{tran_steel}} = 5952\text{ cm}^2$$

(2) section modulus

$$Z_b = \text{Use respon2000 to find} = 139195.8\text{ cm}^3$$

(3) โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่

$$M_{DL} = \frac{wL^2}{8} = \frac{(5952\text{ cm}^2)(2400\text{ kg/m}^3)(15\text{ m})^2}{8} = 40176\text{ kg-m}$$

ขั้นตอนที่ 2 ใช้สมการหาหน่วยแรงของแผ่นพื้นแบบไม่เสริมกำลัง

$$\text{Use Eq: } \sigma_b = \sigma_b + \frac{M_{DL}}{Z_t} + \frac{M_{LL}}{Z_b} \text{ and } \sigma_{cr} = 2.0\sqrt{f_c}$$

$$2.0\sqrt{(300\text{ ksc})} = + \frac{(4017600\text{ kg-cm})}{(139195.8\text{ cm}^3)} + \frac{M_{LL}}{(139195.8\text{ cm}^3)}$$

$$M_{LL} = 8043\text{ kg-m}$$

$$\text{from } M = \frac{PL}{4} \text{ and } L = 15\text{ m}$$

$$\therefore P \approx 2145\text{ kg}$$

ตัวอย่างที่ 2 จากข้อที่ 1 หากมีแรงดึงของแผ่นยางพาราอัดแรงเท่ากับ 1800 กิโลกรัม บริเวณด้านล่างของแผ่นพื้น ดังกล่าวแสดงในรูปที่ จะทำให้ PC plank girder สามารถรับแรงกดได้เท่าไรจึงจะแตกร้าว

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณคุณสมบัติทางวัสดุ (รูปแบบการคำนวณเหมือนกับตัวอย่างที่ 1)

ขั้นตอนที่ 2 ใช้สมการหาหน่วยแรงของแผ่นพื้นแบบเสริมกำลัง

$$\text{Use Eq : } \sigma_b = \sigma_b = + \frac{M_{DL}}{Z_t} + \frac{M_{LL}}{Z_b} - \frac{P_{rubber}}{A} - \frac{M_{rubber}}{Z_b} \text{ and } \sigma_{cr} = 2.0\sqrt{f_c}$$

$$2.0\sqrt{(300\text{ksc})} = + \frac{(40176\text{ kg-m})}{(139195.8\text{ cm}^3)} + \frac{M_{LL}}{(139195.8\text{ cm}^3)} - \frac{(1800\text{ kg})}{(5952\text{ cm}^2)} - \frac{(1800\text{ kg})(64.74\text{ cm})}{(139195.8\text{ cm}^3)}$$

$$M_{LL} = 9629 \text{ kg-m}$$

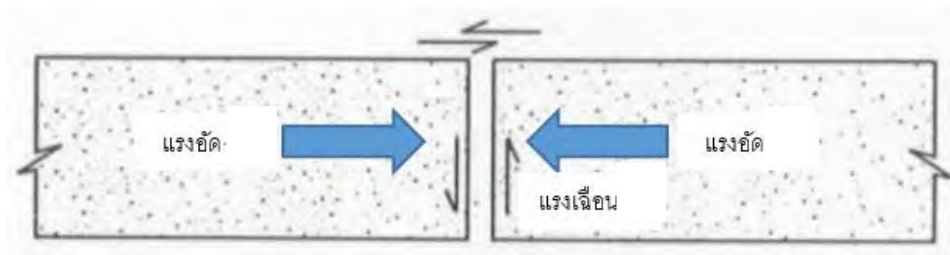
$$\text{from } M = \frac{PL}{4} \text{ and } L = 7\text{ m}$$

$$\therefore P \approx 2568 \text{ kg}$$

2.8 วิธีการออกแบบการเสริมกำลังถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างคาน

การเสริมกำลังความสามารถในการถ่ายเทแรงเฉือนด้วยแบบยางพาราอัดแรง สามารถใช้หลักการของการถ่ายแรงเสียดทานระหว่างผิวคอนกรีต โดยเมื่อมีแรงอัดระหว่างแผ่นพื้น (N) จะทำให้การถ่ายแรงระหว่างแผ่นพื้น (F) มากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคอนกรีต (μ) ตามสมการที่ 2.8-1

$$F = \mu N \quad (2.8-1)$$



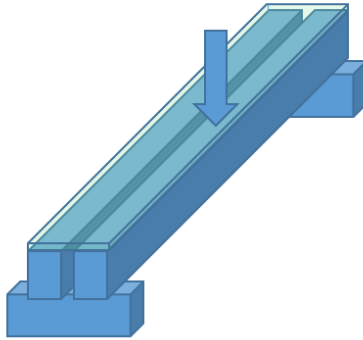
รูปที่ 2.8-1 การถ่ายแรงเฉือนระหว่างแผ่นพื้น

การเพิ่มแรงอัดเข้าไประหว่างแผ่นพื้น จะทำให้ความสามารถในการถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างแผ่นพื้นเพิ่มมากขึ้นตามขนาดของแรงอัด N ที่เพิ่มขึ้น การเสริมกำลังด้วยแบบยางพาราอัดแรงเข้าไปบริเวณด้านล่างของแผ่นพื้น ทำให้สามารถเพิ่มแรงอัดให้กับพื้นผิวของแผ่นพื้นทั้งสองได้ เทคนิคการยึดและติดตั้งเพื่อให้แรงอัดกับพื้นในขนาดที่ต้องการได้กล่าวถึงในบทที่ 4

เมื่อรอยต่อระหว่างพื้นเกิดความเสียหาย ผู้ออกแบบสามารถนำแบบยางพาราไปติดตั้งใต้แผ่นพื้น โดยจะต้องทำการออกแบบขนาดของแรงอัด N ระหว่างแผ่นพื้นที่เหมาะสม เมื่อนำแบบยางพาราอัดแรงไปติดตั้งและเมื่อแบบยางพาราอัดแรงทำงาน จะทำให้เกิดแรงกระทำ N ระหว่างแผ่นพื้น เมื่อเกิดแรงกระทำ จะทำให้พื้นมีความสามารถในการถ่ายแรงเฉือน F จากผลของแรงเสียดทานระหว่างแผ่นพื้น ในการออกแบบแบบยางพารา ผู้ออกแบบจำเป็นต้องทราบถึงปริมาณแรงที่ต้องการให้ถ่ายระหว่างแผ่นพื้น จากนั้นจึงนำไปออกแบบแรง N ที่ต้องการตามสมการที่ 2.1 และ เมื่อได้แรงปริมาณที่ต้องการแล้ว จึงนำไปออกแบบหาจำนวนแบบยางพาราอัดแรงที่เหมาะสมต่อไป ขั้นตอนการออกแบบแบบยางพาราอัดแรงเพื่อการถ่ายแรงเฉือนที่เหมาะสม จะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

วิธีการออกแบบเสริมกำลังถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างคาน

เมื่อโครงสร้างคาน 2 ชิ้นมาวางข้างกันโดยไม่ยึดติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8-2 เมื่อรับแรงกระทำที่คานที่ติดกัน จะเกิดการแอ่นตัวที่เป็นอิสระต่อกัน หรือเกิดการเสียรูปที่ต่างกัน หากคาน 2 ชิ้นนี้มีการเทคอนกรีตบนผิวหน้าเชื่อมกัน ไว้โดยไม่มีรายละเอียดการเสริมเหล็กพิเศษใด ๆ เนื่องจากการเสียรูปที่แตกต่างกันย่อมทำให้เกิดการแตกร้าวที่บริเวณรอยต่อได้ โดยส่วนมากเพื่อลดปัญหาการเกิดการแตกร้าวในการก่อสร้างทั่วไปจะมีการ Shear Key ซึ่งจะทำให้หน้าที่ยถ่ายแรงเฉือนไปยังคานข้างๆได้ ในกรณีที่ถ่ายแรงเฉือนอย่างสมบูรณ์โครงสร้างจะเปรียบเสมือนเป็นชิ้นเดียวกัน

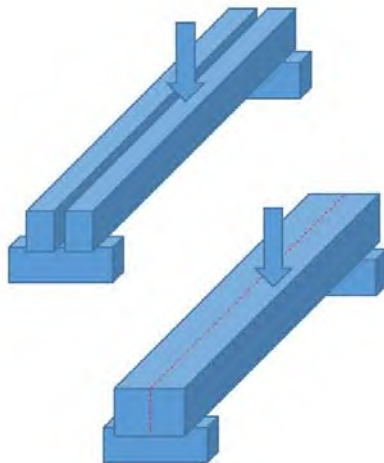


รูปที่ 2.8-2 การถ่ายแรงเฉือนระหว่างคาน

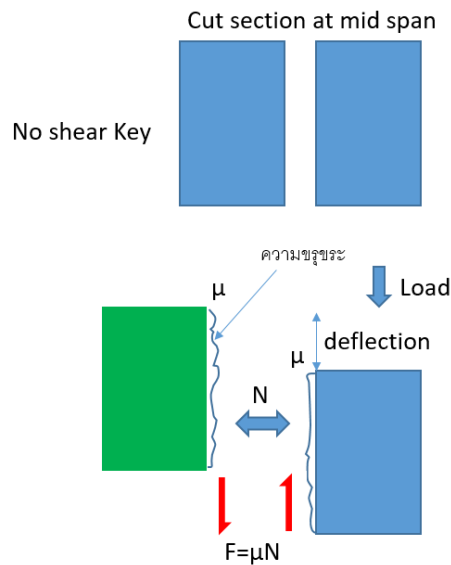
กรณีที่รอยต่อเกิดการแตกร้าว หรือ Shear key ที่ทำหน้าที่ในการถ่ายแรงเกิดความเสียหาย การถ่ายแรงจะไม่เกิดขึ้นเปรียบเสมือนคานทั้งสองชิ้นวางห่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8-3 หากทำการซ่อมแซมคานโดยการเทวัสดุเชื่อมประสานผิว หรือ อาจเป็นวัสดุเช่น Non-Shrink grout การซ่อมดังกล่าวอาจเพิ่มความฝืดระหว่างคานทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.8-3 ความฝืดดังกล่าว จะอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) ซึ่งสัมประสิทธิ์ดังกล่าวไม่ได้ช่วยการถ่ายแรงเฉือน F อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าไม่มีแรงอัด N มากกระทำ เนื่องจากแรงเฉือนที่ถ่ายจะแปรผันโดยตรงกับแรงอัด N ดังแสดงในสมการที่ 2.8-1

ดังนั้นสรุปได้ว่าการถ่ายแรงเฉือนไปยังชิ้นส่วนด้านข้างนั้นจำเป็นต้องมีแรงกระทำในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส เพราะฉะนั้นการเพิ่มแรงในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัสสามารถช่วยถ่ายแรงเฉือนไปยังชิ้นส่วนด้านข้างได้

กลไกการถ่ายแรงเฉือนได้แสดงเป็นแผนภาพอย่างง่ายในรูปที่ 2.8-4 เมื่อเพิ่มแรงกระทำ N โดยใช้แปดขางพาราอัดแรง พื้นผิวคอนกรีตจะมีแรงอัดมากกระทำส่งผลให้การส่งผ่านแรงเฉือนมีค่ามากขึ้น และช่วยลดการเสียรูปที่ไม่เท่ากันได้



รูปที่ 2.8-3 การถ่ายแรงเฉือนระหว่างคานที่ห่างกันและที่อยู่ติดกัน



รูปที่ 2.8-4 กลไกการถ่ายแรงเฉือนระหว่างคานสองตัวที่อยู่ติดกัน

การเสริมกำลังความสามารถในการถ่ายแรงเฉือนระหว่างรอยต่อคาน กรณีที่เดียวรับแรงเฉือนเกิดความเสียหาย ในขั้นตอนแรกควรมีการตรวจสอบรอยต่อระหว่างคาน หากมีระยะห่างเกินไป ควรทำการซ่อมแซมปิดรอยห่างด้วยวัสดุประสาน เช่น อีพอกซี หรือ non-shrink grout เพื่อให้รอยต่อมีการเชื่อมกันเสียก่อน เมื่อรอยต่อเชื่อมติดกันดี จึงนำแผ่นยางพาราอัดแรงมาติดตั้งตามแนวขวางกับทางวิ่ง ได้ทั้งคาน ดังแสดงในบทที่ 4 การออกแบบความสามารถในการถ่ายแรงเฉือน สามารถทำตามขั้นตอนได้ดังนี้

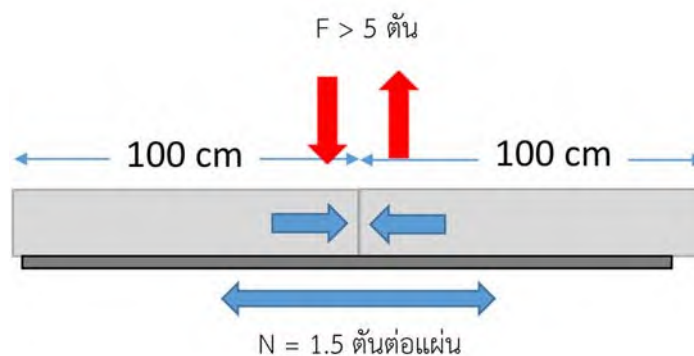
- ขั้นตอนที่ 1** กำหนดแรงเฉือนที่ต้องการให้ถ่ายผ่านรอยต่อ (F)
- ขั้นตอนที่ 2** กำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ที่เหมาะสมกับพื้นผิว โดยพื้นผิวคอนกรีตแนะนำให้ใช้ค่า $\mu = 0.4$
- ขั้นตอนที่ 3** คำนวณแรงอัดที่ต้องการจากแผ่นยางพาราอัดแรง (N) โดยนำแรงเฉือน F ที่กำหนดมาจากขั้นตอนที่ 1 หาค่าด้วยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ)
- ขั้นตอนที่ 4** คำนวณหาจำนวนแผ่นยางพาราอัดแรง โดยนำแรง N ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 หาค่าด้วยแรงที่ได้จากแผ่นยางพาราอัดแรง 1 แผ่น (n)

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดระยะการเสริมกำลังที่เหมาะสม หรือระยะการติดตั้งแบบอย่างพาราอัตร (L_{str})

ตัวอย่างการออกแบบเสริมกำลังถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างคานสะพาน PC Plank Girder

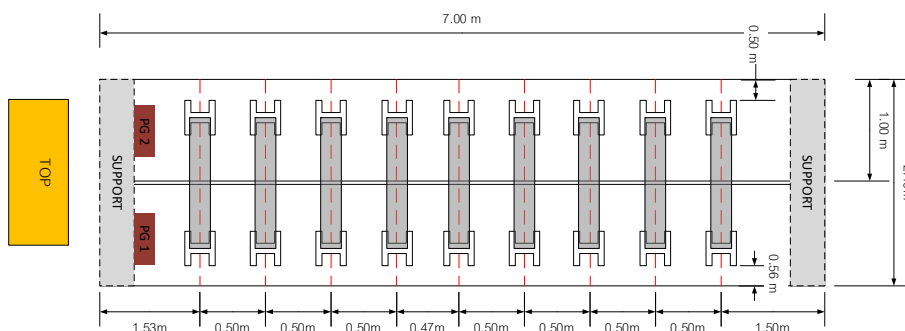
จงออกแบบแบบยางพาราอัดแรง สำหรับการซ่อมแซมสะพานแบบแผ่นพื้น (Plank Girder) ที่เกิดรอยแตก ทบบริเวณรอยต่อที่ทำหน้าที่ถ่ายแรงเฉือน ทำให้พื้นดังกล่าวไม่สามารถถ่ายแรงเฉือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแผ่นพื้นดังกล่าวมีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร และลึก 40 เซนติเมตร และมีความยาว 7.0 เมตร ให้ออกแบบการใช้แบบยางพาราซ่อมแซมชั่วคราว โดยกำหนดให้รอยต่อต้องสามารถถ่ายแรงเฉือนจากน้ำหนักที่ไม่เท่ากันได้น้อย 5 ตัน และสมมติให้กำลังอัดของคอนกรีตที่มีการเสื่อมสภาพมีค่าเท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สมมติว่า แบบยางพารา 1 แผ่น มีขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร และสามารถอัดแรงได้เท่ากับ 1.5 ตันต่อแผ่น

วิธีทำ รูปหน้าตัดของแผ่นพื้นและหน้าตัดสำหรับการถ่ายแรงในแนวรอยต่อแสดงในรูปที่ 2.8-5



รูปที่ 2.8-5 แผ่นพื้นสำหรับการออกแบบการถ่ายแรงเฉือน

- ขั้นตอนที่ 1** กำหนดแรงเฉือนที่ต้องการให้ถ่ายผ่านรอยต่อ (F)
จากโจทย์กำหนด แรงเฉือน $F = 5.0$ ตัน
- ขั้นตอนที่ 2** กำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ที่เหมาะสมกับพื้นผิว โดยพื้นผิวคอนกรีตแนะนำให้ใช้ค่า $\mu = 0.4$
กำหนดให้ $\mu = 0.4$
- ขั้นตอนที่ 3** คำนวณแรงอัดที่ต้องการจากแบบยางพาราอัดแรง (N) โดย นำแรงเฉือน F ที่กำหนดมาจากขั้นตอนที่ 1
หารด้วยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ)
แรงอัด N ที่ต้องการเท่ากับ $5.0/0.4 = 12.5$ ตัน
- ขั้นตอนที่ 4** คำนวณหาจำนวนแบบยางพาราอัดแรง โดยนำแรง N ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 หารด้วยแรงที่ได้จากแบบ
ยางพาราอัดแรง 1 แถบ (n)
แบบยางพารา 1 แถบ สามารถถ่ายแรงอัดได้เท่ากับ 1.5 ตัน
จำนวนแบบยางพาราที่ต้องการมีค่าเท่ากับ $12.5/1.5 = 8.33$ แผ่น
ดังนั้น ใช้แบบยางพาราจำนวน 9 แผ่น
- ขั้นตอนที่ 5** กำหนดระยะการเสริมกำลังที่เหมาะสม หรือระยะการติดตั้งแบบยางพาราอัดแรง (L_{str})
เนื่องจากแบบยางพารามีความกว้าง 20 เซนติเมตร และอุปกรณ์จับยึดมีความกว้าง ไม่เกิน 30 เซนติเมตร
ดังนั้น กำหนดให้แบบยางพาราวางที่ระยะห่างกัน (Spacing) เท่ากับ 50 เซนติเมตร แบบจำลองการติดตั้ง
แบบยางพาราแสดงในรูปที่ 2.8-6



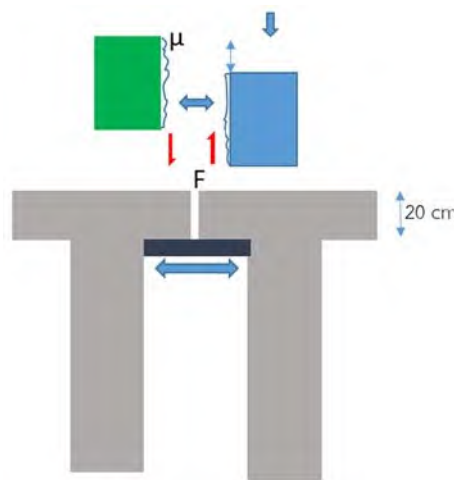
รูปที่ 2.8-6 แบบจำลองการติดตั้งแบบยางพารา

จากรูปที่ 2.8-6 แนวคอนกรีตที่ถูกอัดจากแบบยางพาราอัดแรง หรือระยะการติดตั้งแบบยางพาราอัดแรง (L_{str}) จะมี
ค่าเท่ากับ $4.0 + 0.15 \times 2 = 4.30$ เมตร

ตัวอย่างการออกแบบเสริมกำลังถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างคานสะพาน RC T-girder

จงออกแบบแบบยางพาราอัดแรง สำหรับการซ่อมแซมสะพานรูปตัวที (T-girder) ที่เกิดรอยแตกตามแนวยาวของปีกคานที่ทำหน้าที่ถ่ายแรงเฉือน ทำให้พื้นดังกล่าวไม่สามารถถ่ายแรงเฉือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปีกคานของสะพานตัวดังกล่าวมีขนาดกว้าง 150 เซนติเมตร และลึก 20 เซนติเมตร และมีความยาว 15.0 เมตร ให้ออกแบบการใช้แบบยางพาราซ่อมแซมชั่วคราว โดยกำหนดให้รอยต่อต้องสามารถถ่ายแรงเฉือนจากน้ำหนักที่ไม่เท่ากันได้น้อย 10 ตัน และสมมติให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สมมติว่า แบบยางพารา 1 แถบ มีขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร และสามารถอัดแรงได้เท่ากับ 1.5 ตันต่อแผ่น

วิธีทำ รูปหน้าตัดของแผ่นพื้นและหน้าตัดสำหรับการถ่ายแรงในแนวยาวแสดงในรูปที่ 2.8-7



รูปที่ 2.8-7 แผ่นพื้นสำหรับการออกแบบการถ่ายแรงเฉือน

- ขั้นตอนที่ 1** กำหนดแรงเฉือนที่ต้องการให้ถ่ายผ่านรอยต่อ (F)
จากโจทย์กำหนด แรงเฉือน $F = 10.0$ ตัน
- ขั้นตอนที่ 2** กำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ) ที่เหมาะสมกับพื้นผิว โดยพื้นผิวคอนกรีตแนะนำให้ใช้ค่า $\mu = 0.4$
กำหนดให้ $\mu = 0.4$
- ขั้นตอนที่ 3** คำนวณแรงอัดที่ต้องการจากแบบยางพาราอัดแรง (N) โดย นำแรงเฉือน F ที่กำหนดมาจากขั้นตอนที่ 1 หารด้วย สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ)
แรงอัด N ที่ต้องการเท่ากับ $10.0/0.4 = 25.0$ ตัน
- ขั้นตอนที่ 4** คำนวณหาจำนวนแบบยางพาราอัดแรง โดยนำแรง N ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 หารด้วยแรงที่ได้จากแบบยางพาราอัดแรง 1 แถบ (n)

แฉกยางพารา 1 แฉก สามารถถ่ายแรงอัดได้เท่ากับ 1.5 ตัน

จำนวนแฉกยางพาราที่ต้องการมีค่าเท่ากับ $25/1.5 = 16.7$ แผ่น

ดังนั้น ใช้แฉกยางพาราจำนวน 18 แผ่น

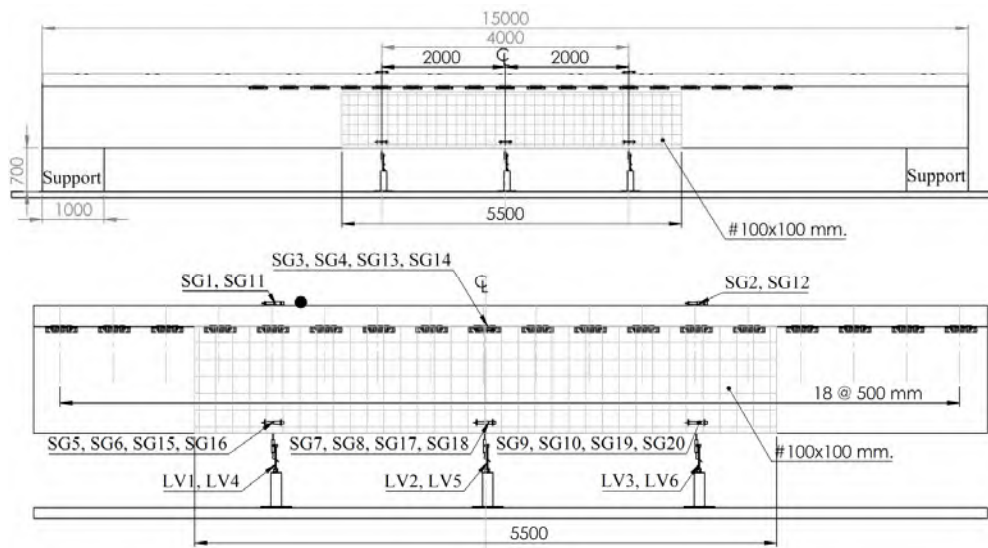
ขั้นตอนที่ 5

กำหนดระยะการเสริมกำลังที่เหมาะสม หรือระยะการติดตั้งแฉกยางพาราอัดแรง (L_{str})

เนื่องจากแฉกยางพารามีความกว้าง 20 เซนติเมตร และอุปกรณ์จับยึดมีความกว้าง ไม่เกิน 30 เซนติเมตร

ดังนั้น กำหนดให้แฉกยางพาราวางที่ระยะห่างกัน (Spacing) เท่ากับ 50 เซนติเมตร แบบจำลองการติดตั้ง

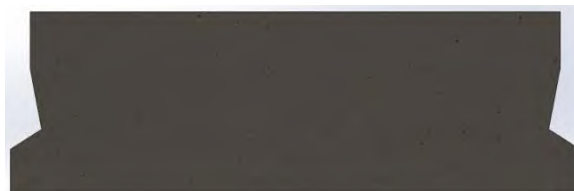
แฉกยางพาราแสดงใน



รูปที่ 2.8-8 แบบจำลองการติดตั้งแฉกยางพาราจำนวน 18 แผ่น

จากรูปที่ 2.8-8 แนวคอนกรีตที่ถูกอัดจากแฉกยางพาราอัดแรง หรือระยะการติดตั้งแฉกยางพาราอัดแรง (L_{str}) จะมีค่าเท่ากับ $8.5 + 0.15 \times 2 = 8.80$ เมตร

2.9 วิธีการติดตั้งแฉกยางพาราอัดแรงเพื่อเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัดของคานสะพาน PC Plank Girder

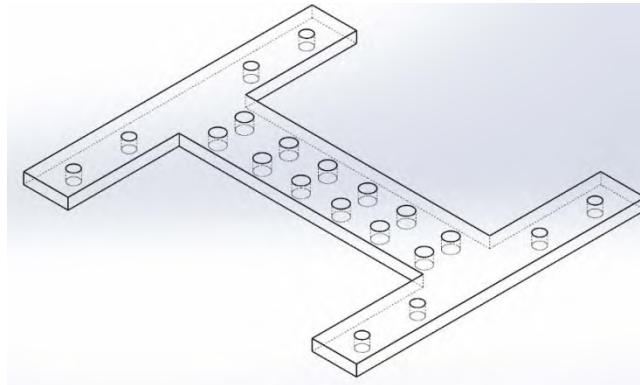


รูปที่ 2.9-1 รูปแบบสะพานแบบแผ่นพื้น (Plank Girder)

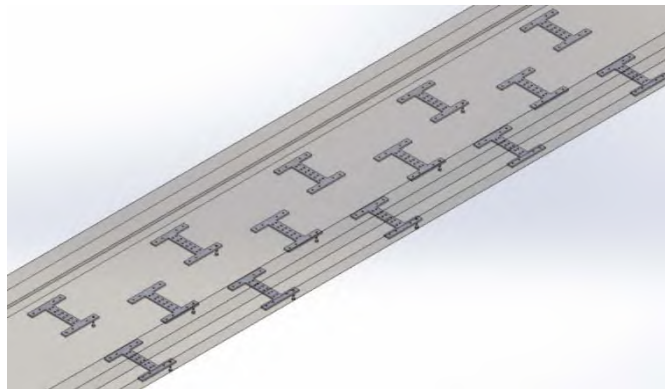
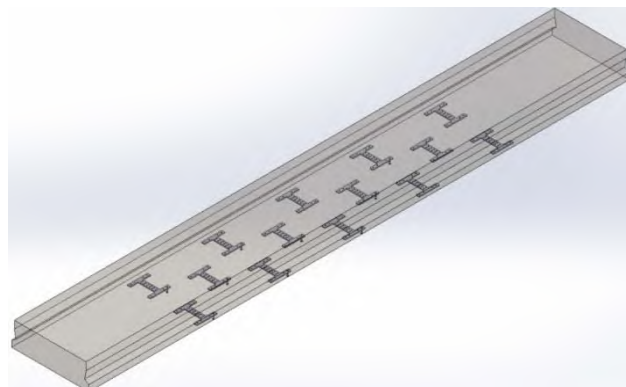
ขั้นตอนการเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัดของสะพานแบบแผ่นพื้น (Plank Girder)

ขั้นตอนที่ 1

นำ H-Plate มาติดตั้งใต้แผ่นพื้น (Plank Girder) โดยใช้วิธีเจาะรูผูกยึดเหล็กยึดแผ่น H-plate ให้เรียบร้อย



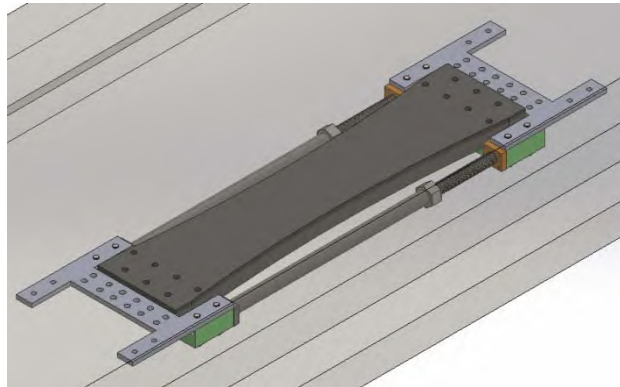
รูปที่ 2.9-2 แผ่น H-Plate สำหรับยึดติดใต้ท้องแผ่นพื้น (Plank Girder)



รูปที่ 2.9-3 รูปแบบการติดตั้งแผ่น H-Plate บริเวณใต้ท้องแผ่นพื้น (Plank Girder)

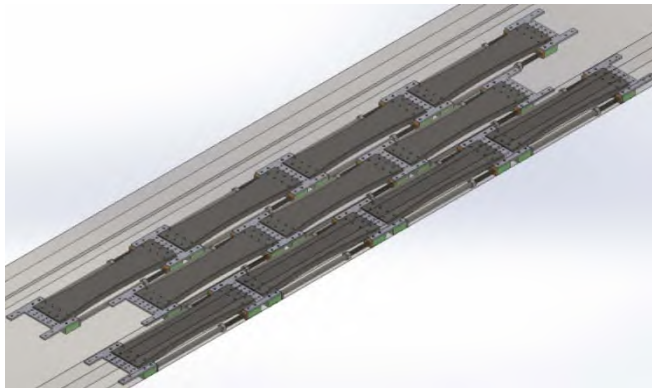
ขั้นตอนที่ 2

นำชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip) มายึดติดกับแผ่น H-Plate โดยการใช้สกรูเป็นตัวยึด ให้เรียบร้อย



รูปที่ 2.9-4 การติดตั้งชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip)

บริเวณใต้ท้องแผ่นพื้น (Plank Girder)

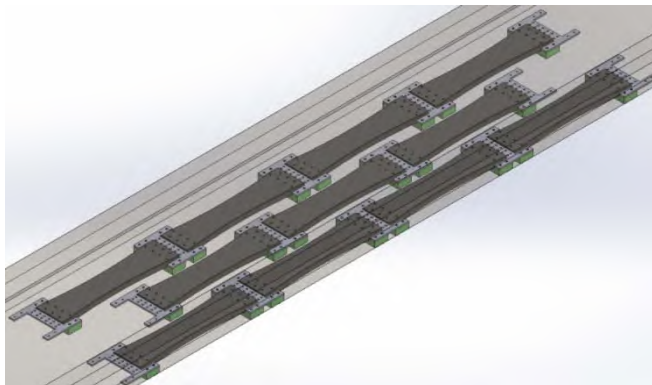


รูปที่ 2.9-5 รูปแบบการติดตั้งชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip)

บริเวณใต้ท้องแผ่นพื้น (Plank Girder) ทั้งระบบ

ขั้นตอนที่ 3

ปลดตัวค้ำยัน (Bracing set) ระบบดึงยางออก เพื่อให้ยางถ่ายแรงไปยังแผ่นพื้น (Plank Girder)



รูปที่ 2.9-6 รูปแบบการติดตั้งชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip)

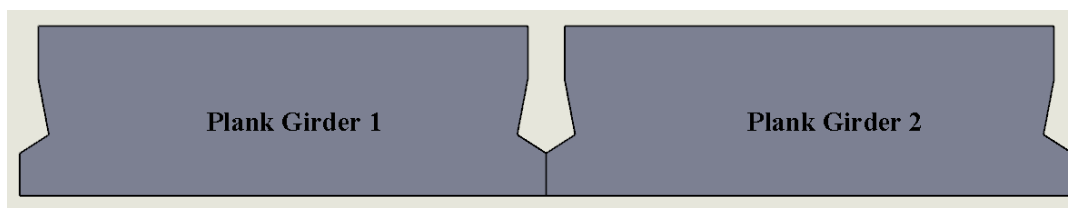
บริเวณใต้ท้องแผ่นพื้น (Plank Girder) หลังจากปลดตัวค้ำยัน



รูปที่ 2.9-7 หน้าตัดแผ่นพื้นหลังจากการติดตั้งชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา

(System Rubber Grip) บริเวณใต้ท้องแผ่นพื้น (Plank Girder)

2.10 วิธีการติดตั้งแบบยางพาราอัดแรงเพื่อเสริมกำลังถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างคานสะพาน PC Plank Girder

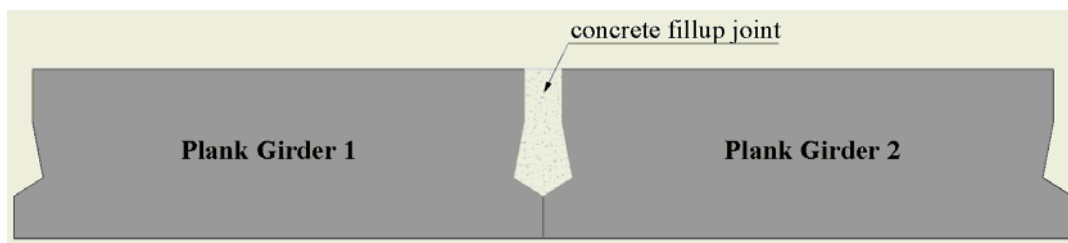


รูปที่ 2.10-1 รูปแบบสะพานแบบแผ่นพื้น (Plank Girder) แบบคู่

ขั้นตอนการเสริมกำลังแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนของสะพานแบบแผ่นพื้น (Plank Girder)

ขั้นตอนที่ 1

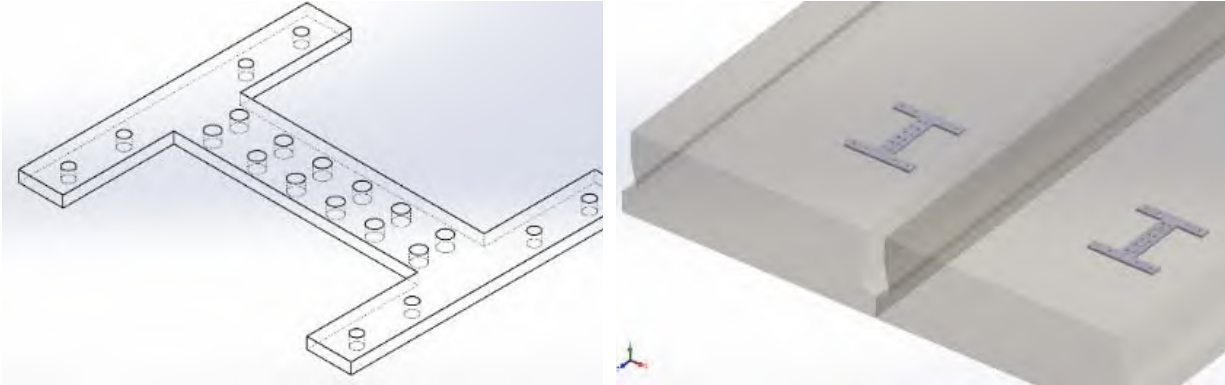
เชื่อมรอยต่อระหว่างแผ่นพื้นด้วยคอนกรีต



รูปที่ 2.10-2 เชื่อมรอยต่อระหว่างแผ่นพื้นด้วยคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 2

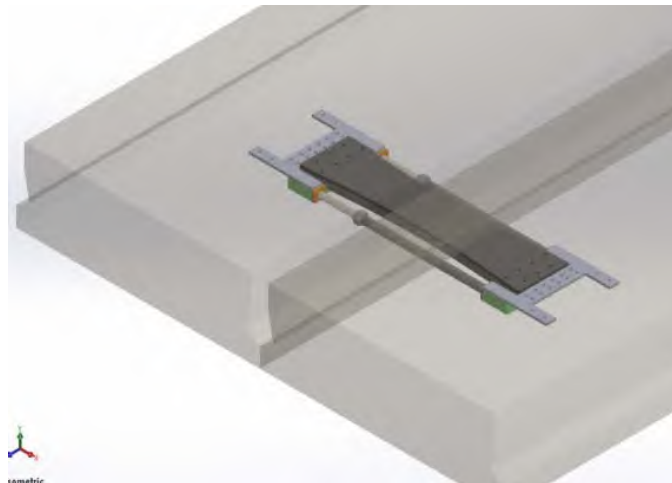
นำ H-Plate มาติดตั้งใต้แผ่นพื้น (Plank Girder) โดยใช้วิธีเจาะรูฝักกุกยึดเหล็กยึดแผ่น H-Plate ให้เรียบร้อย



รูปที่ 2.10-3 ยึดแผ่นH-Plate ติดใต้ท้องแผ่นพื้น

ขั้นตอนที่ 3

นำชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip) มายึดติดกับแผ่นH-Plate โดยใช้สกรูเป็นตัวยึด ให้เรียบร้อย

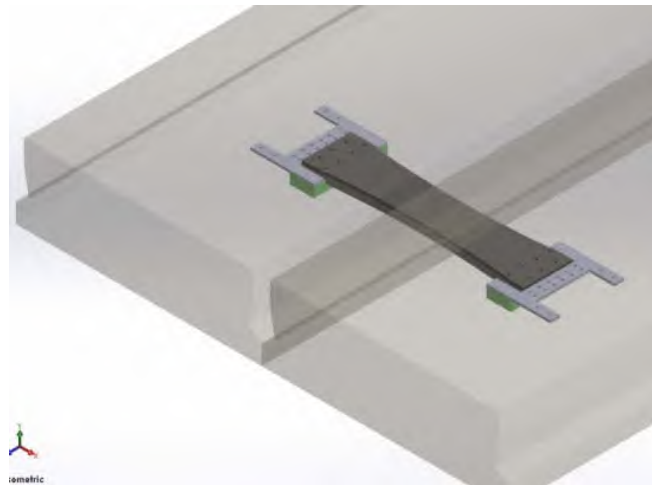


รูปที่ 2.10-4 การติดตั้งชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip)

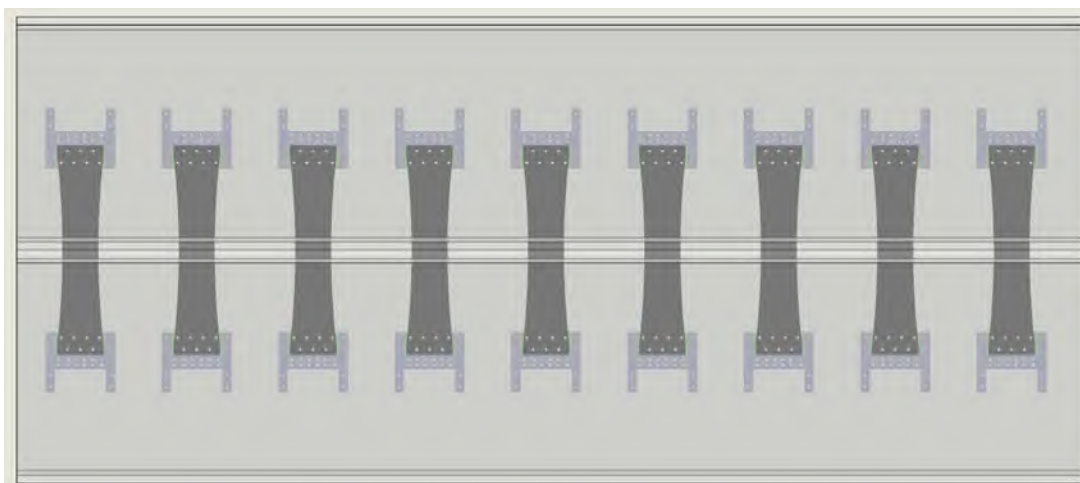
บริเวณใต้ท้องแผ่นพื้น (Plank Girder)

ขั้นตอนที่ 4

ปลดตัวค้ำยัน (Bracing Set) ระบบดิงยางออก เพื่อให้ยางถ่ายแรงไปยังแผ่นพื้น (Plank Girder)

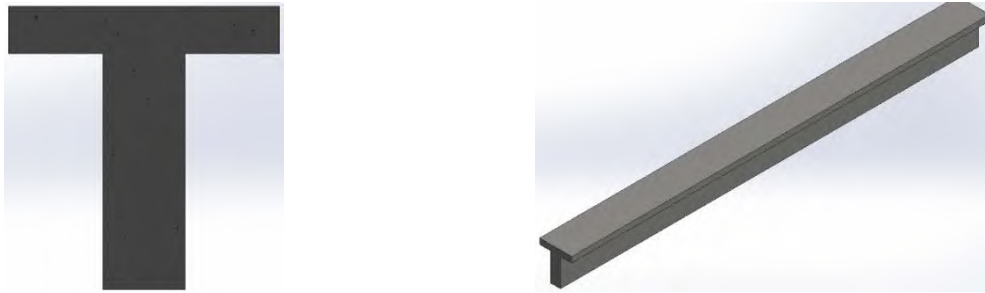


รูปที่ 2.10-5 ปลดตัวค้ำยัน (Bracing set) ของระบบดิงยางออก



รูปที่ 2.10-6 รูปแบบการติดตั้งระบบดิงยางเสริมกำลังในการถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนของสะพานแบบแผ่นพื้น (Plank Girder)

2.11 วิธีการติดตั้งแฉกยางพาราอัดแรงเพื่อเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัดของคานสะพาน RC T-girder

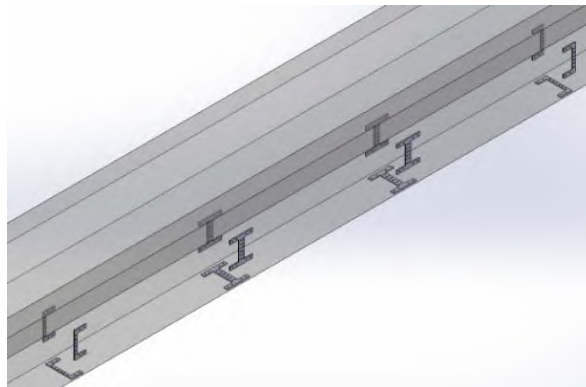
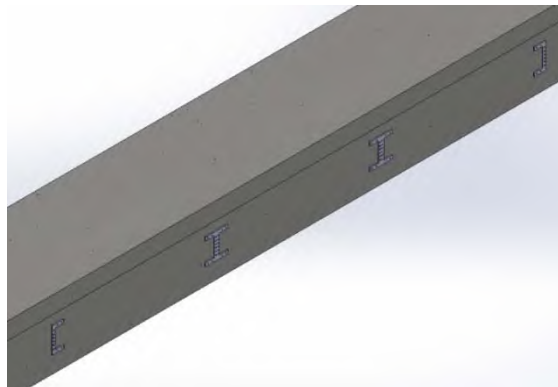


รูปที่ 2.11-1 รูปแบบคาน T-girder สำหรับเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัด

ขั้นตอนการเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัดของสะพานแบบตัวที (T-girder)

ขั้นตอนที่ 1

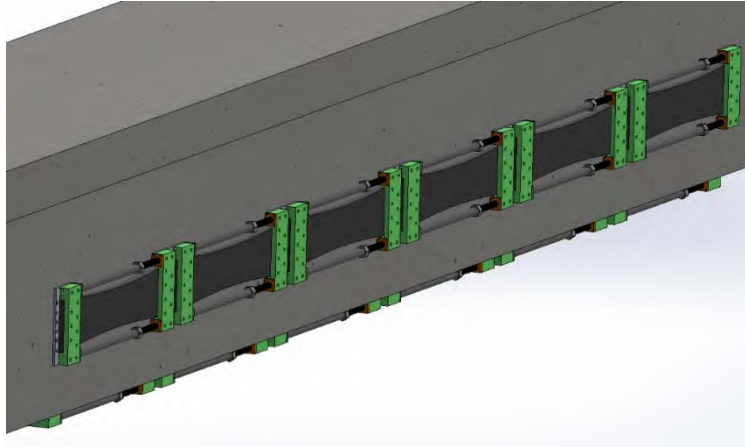
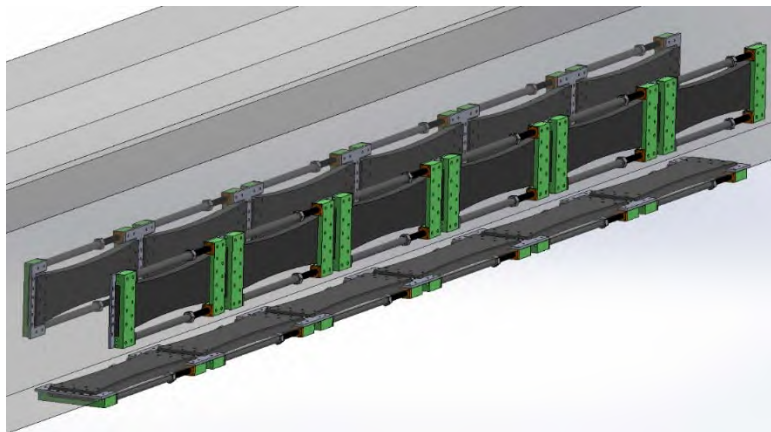
เจาะรูฝังทุกเหล็กยึดแผ่น H-Plate โดยติดใต้ท้องคานและข้างคาน



รูปที่ 2.11-2 ยึดแผ่น H-Plate โดยติดได้ทั้งคานและข้างคาน

ขั้นตอนที่ 2

นำชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip) มายึดติดกับแผ่น H-Plate โดยการใช้สกรูเป็นตัวยึด ให้เรียบร้อย

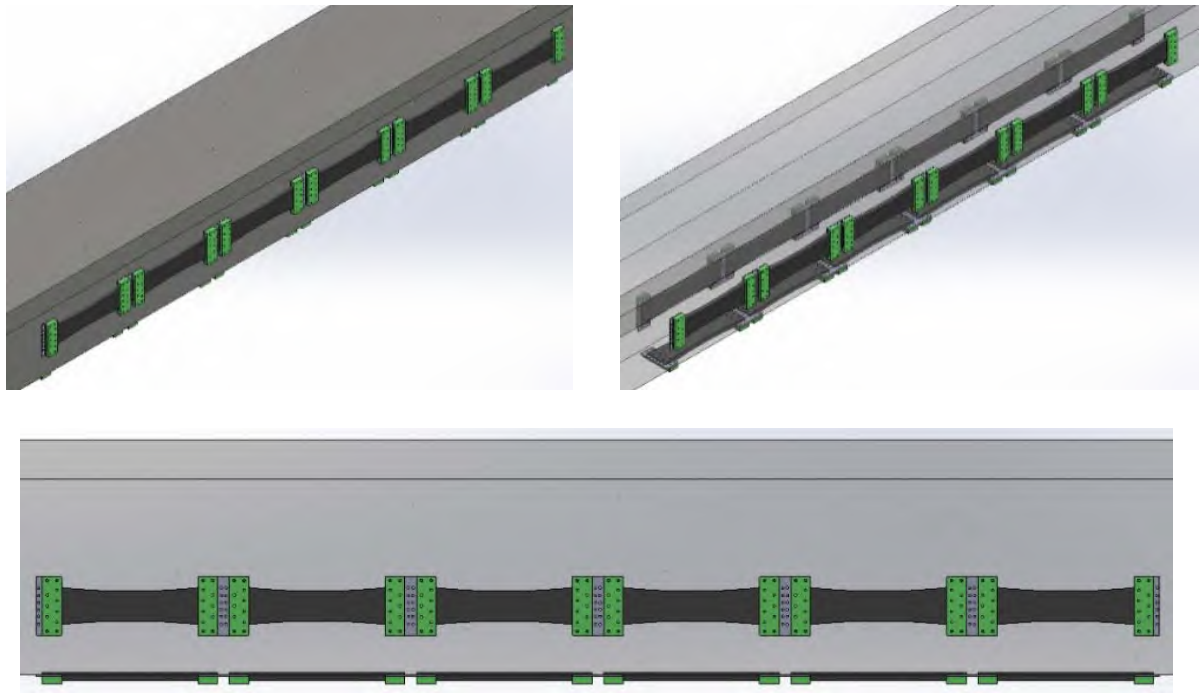


รูปที่ 2.11-3 การติดตั้งชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip)

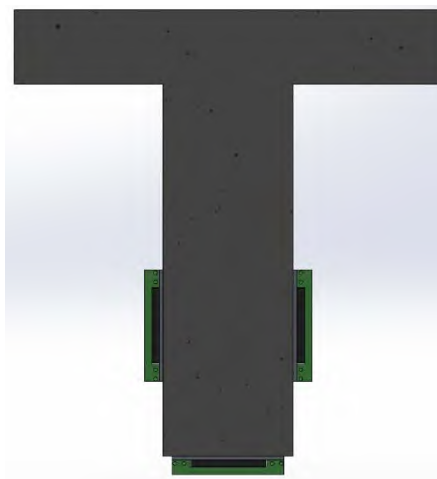
บริเวณใต้ท้องและด้านข้างของคานสะพานแบบตัวที (T-girder)

ขั้นตอนที่ 3

ปลดตัวค้ำยัน (Bracing Set) ระบบดิงยางออก เพื่อให้ยางถ่ายแรงไปยังแผ่นพื้น (T-girder)



รูปที่ 2.11-4 ปลดตัวค้ำยัน (Bracing Set) ของระบบดิงยางออก



รูปที่ 2.11-5 หน้าตัดแบบการติดตั้งระบบดิงยางเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัด
ของสะพานแบบตัวที (T-girder)

2.12 วิธีการติดตั้งแฉกยางพาราอัดแรงเพื่อเสริมกำลังถ่ายเทแรงเฉือนระหว่างคานสะพาน RC T-girder

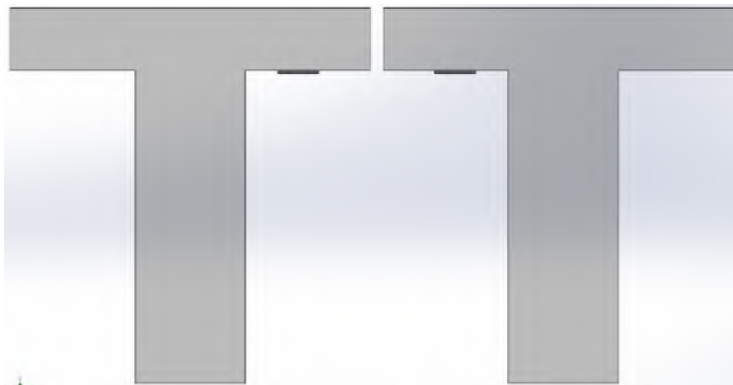
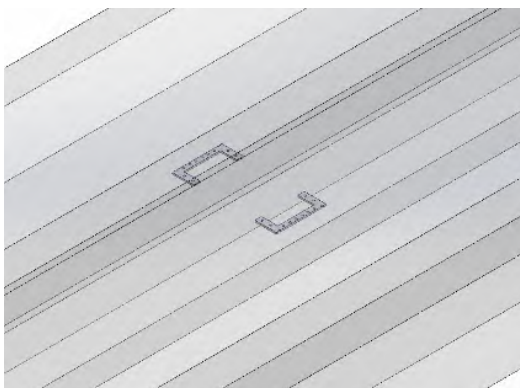
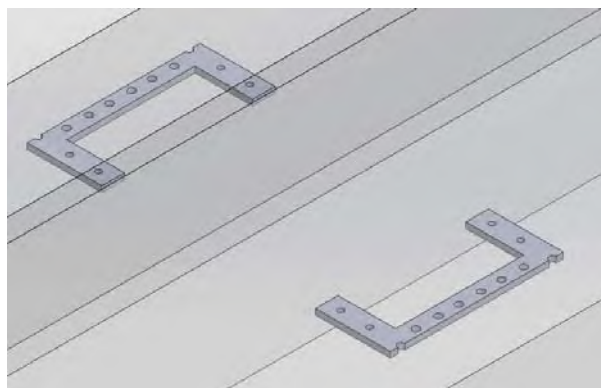


รูปที่ 2.12-1 รูปแบบคาน T-girder สำหรับเสริมกำลังในการถ่ายเทแรงเฉือน

ขั้นตอนการเสริมกำลังรับแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนของสะพานแบบแผ่นพื้น (T-girder)

ขั้นตอนที่ 1

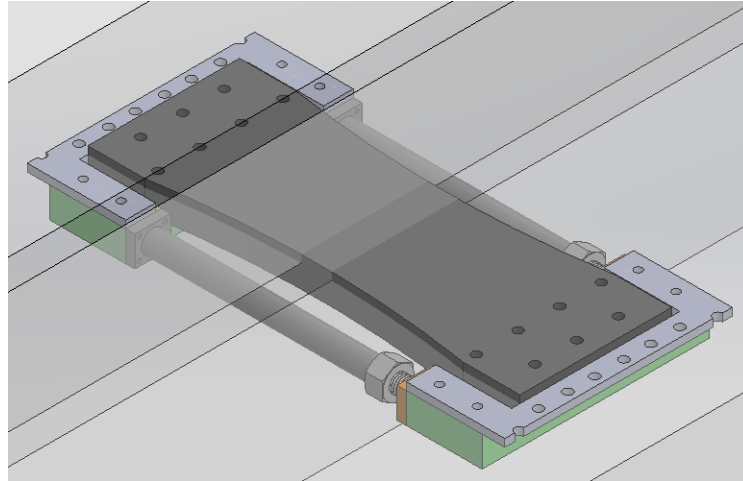
เจาะรูฝังทุกเหล็กยึดแผ่น H-Plate โดยติดใต้ปีกคาน



รูปที่ 2.12-2 ยึดแผ่น H-Plate บริเวณใต้ปีกคาน

ขั้นตอนที่ 2

นำชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip) มายึดติดกับแผ่น H-Plate โดยการใช้สกรูเป็นตัวยึด ให้เรียบร้อย

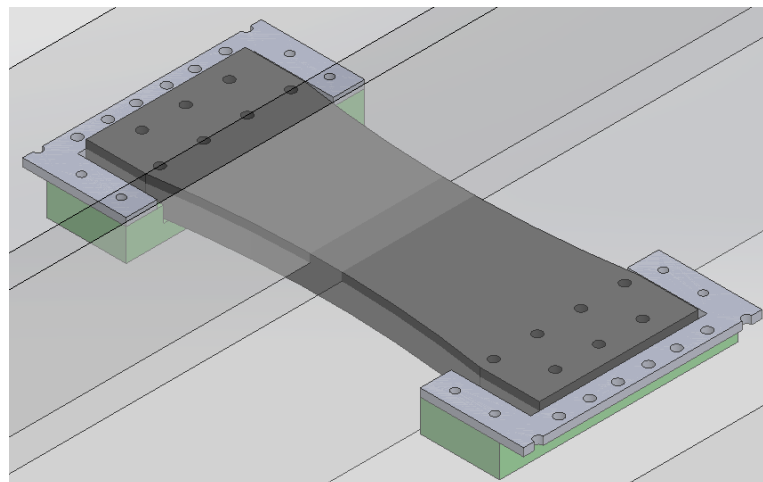


รูปที่ 2.12-3 การติดตั้งชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip)

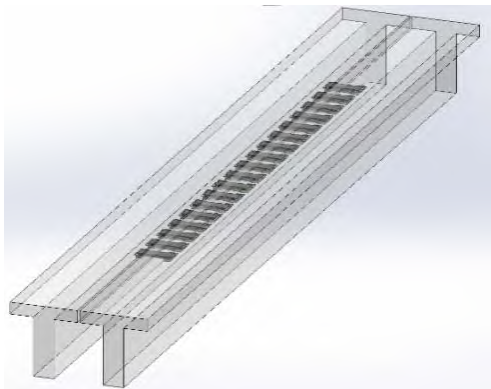
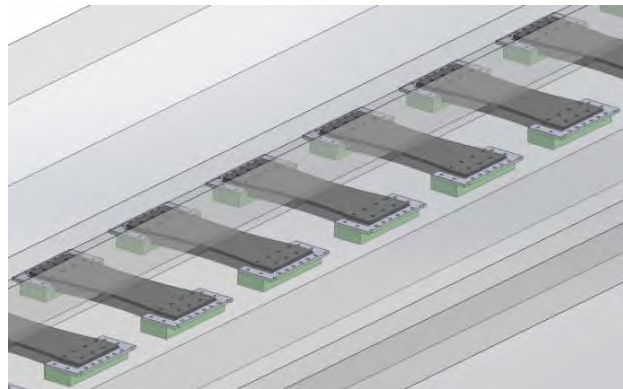
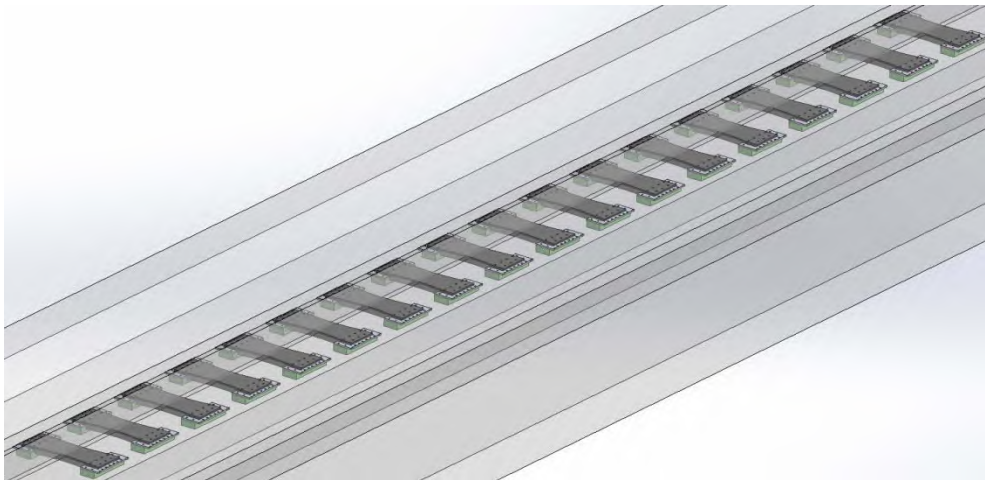
บริเวณใต้ปีกคานสะพานแบบตัวที (T-girder)

ขั้นตอนที่ 3

ปลดตัวค้ำยัน (Bracing Set) ระบบดึงยางออก เพื่อให้ยางถ่ายแรงไปยังแผ่นพื้น (T- girder)



รูปที่ 2.12-4 ปลดตัวค้ำยัน (Bracing Set) ของระบบดึงยางออก



รูปที่ 2.12-5 รูปแบบการติดตั้งชุดระบบเสริมแรงดึงในยางพารา (System Rubber Grip)

บริเวณใต้ปีกคาน (T-girder) หลังจากปลดตัวค้ำยัน

บทที่ 3 การผลิตและการทดสอบคุณสมบัติยางพาราอัดแรง

3.1 การทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของยางพาราอัดแรง

ในการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของยางพาราอัดแรง ได้ทำการทดสอบยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ (ยางพารา) Hardness 50 ซึ่งเป็นชนิดเดียวกันกับที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 2 โดยได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานแผ่นยางรองสะพาน (มอก.951-2533) ที่ห้องปฏิบัติการของสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง 5 รายการดังนี้

- ความแข็ง (Hardness)
- ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)
- ความยืดเมื่อขาด (Elongation at Break)
- ความทนทานต่อความร้อน (Heat Resistance)
- ความทนทานต่อโอโซน (Ozone Resistance)

รายละเอียดการทดสอบและมาตรฐานแสดงไว้ในภาคผนวก ก และ ข ตามลำดับ ผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปแสดงไว้ในตารางที่ 3.1-1

ตารางที่ 3.1-1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไป

คุณลักษณะ	วิธีทดสอบ	ตัวอย่าง				เกณฑ์ผ่าน
		No. 1	No. 2	No. 3	Avg.	
1. ความแข็ง (Hardness)	ISO 7619	46.6	46.3	45.5	46.1	50±5
2. ความต้านทานต่อแรงดึง (N/mm ²)	ISO 37	24.4	24.2	24.7	24.4	≥ 17
3. ร้อยละการยืดตัวจนขาด (%)	ISO 37	578.2	596.4	607.1	593.9	≥ 450
4. ความทนทานต่อความร้อน ที่อุณหภูมิ 70 องศา เป็นเวลา 72 ชั่วโมง	ISO 188					
4.1 ความแข็ง Hardness (% Change)	ISO 7619	47.9 (2.8%)	47.9 (3.5%)	47 (3.3%)	47.6 (3.3%)	เพิ่มขึ้นไม่เกิน 10 %
4.2 ความต้านทานต่อแรงดึง (N/mm ² , % Change)	ISO 37	23.2 (-4.9%)	22.3 (-7.9%)	22.9 (-7.3%)	22.8 (-6.6%)	ลดลงไม่เกิน 25 %

4.3 ร้อยละการยืดตัวจนขาด (% Change)	ISO 37	526.8 (-8.9%)	533.1 (-10.6%)	536.0 (-11.7%)	532 (-10.4%)	ลดลงไม่เกิน 25 %
5. ความต้านทานต่อโอโซน ความ เข้มข้นโอโซน 50 pphm อุณหภูมิ 40 องศา เวลา 72 ชั่วโมง การดึงยืด 20%	ISO 1431	No Cracks	No Cracks	No Cracks	No Cracks	No Cracks

จากตารางที่ 3.1-1 ยางรองคานสะพานที่นำมาใช้ผลิตแถบยางพาราอัดแรงมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานแผ่นยางรองสะพาน (มอก.951-2533) คุณสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงและร้อยละการยืดตัวจนขาดได้ถูกนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบแถบยางพาราอัดแรงในบทที่ 2

3.2 การผลิตแถบยางพาราอัดแรง

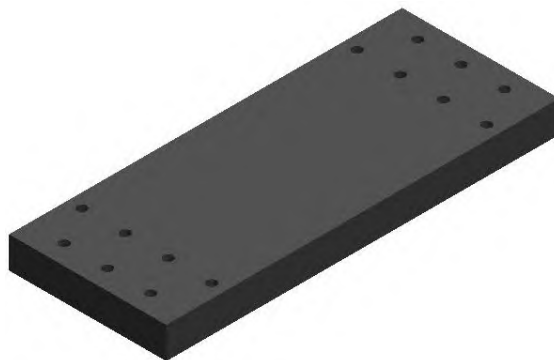
การผลิตแถบยางพาราอัดแรงตามที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 2 ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

นำแผ่นยาง ขนาดตามตารางที่ 3.2-1 มาเจาะรูให้ตรงตามระยะรูของ Rubber Grip

ตารางที่ 3.2-1 ขนาดของแผ่นยางพาราในการเสริมกำลัง

วัสดุ	มิติ (มิลลิเมตร)		
	กว้าง	ยาว	หนา
แผ่นยางรองคานสะพานชนิดยางธรรมชาติ Hardness 50 (มอก. 951-2533)	200	500	40



รูปที่ 3.2-1 แผ่นยางพาราที่เจาะรู

ขั้นตอนที่ 2

นำแผ่นยางที่เจาะรูประกอบโดยการขันนอตยึดติดกับ Rubber Grip



รูปที่ 3.2-2 แผ่นยางพาราที่เจาะรูและประกอบโดยการขันน็อตยึดติดกับ Rubber Grip

ขั้นตอนที่ 3

นำแผ่นยางที่เจาะรูและประกอบโดยการขันน็อตยึดติดกับ Rubber Grip แล้วเสร็จ มาประกอบเข้ากับเครื่องดึงยาง เพื่อให้ยางมีแรงดึงภายในคงค้าง



รูปที่ 3.2-3 แผ่นยางพาราประกอบเข้ากับเครื่องดึงยางเพื่อให้ยางมีแรงดึงภายในคงค้าง

ขั้นตอนที่ 4

ดึงแผ่นยางให้ยืดออกตามระยะที่ต้องการ



รูปที่ 3.2-4 ดึงแผ่นยางพารา

ขั้นตอนที่ 5

นำตัวค้ำยันมาประกอบยึดติดกับชุดดึงยาง เพื่อเตรียมติดตั้งในการเสริมกำลังโครงสร้าง



รูปที่ 3.2-5 ประกอบชุดค้ำยันในชุดดึงยาง



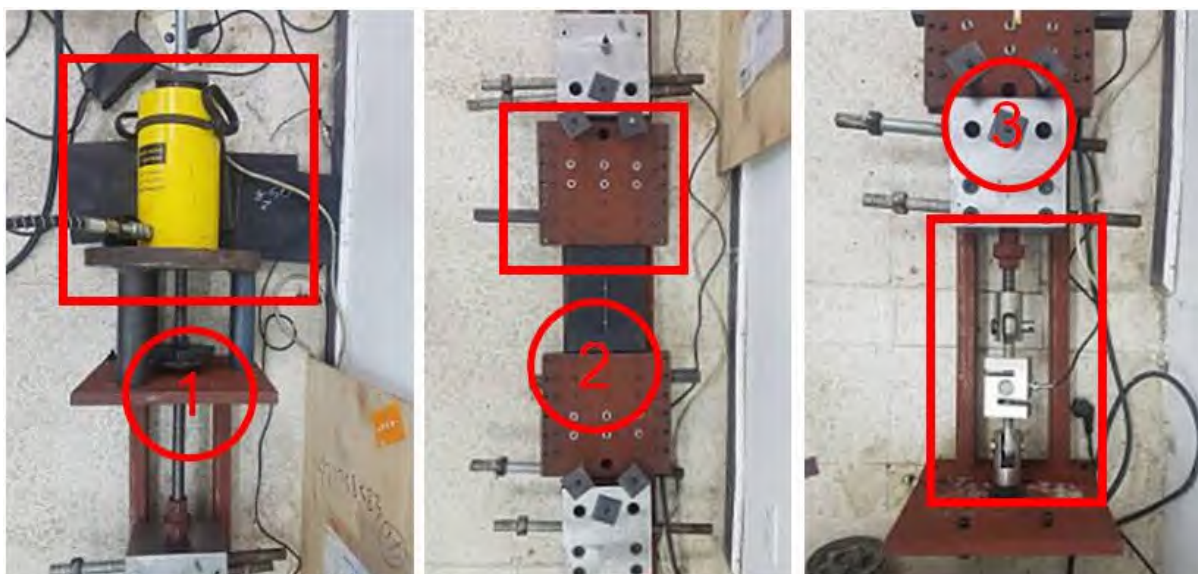
รูปที่ 3.2-5 ประกอบชุดค้ำยันในชุดดึงยาง (ต่อ)

3.3 การทดสอบการคลายตัวของแรงดึง (Relaxation Test)

แถบยางพาราอัดแรงที่ได้ผลิตตามหัวข้อที่ 3.2 ได้ถูกนำมาทดสอบการคลายตัวเพื่อหาแรงคงค้าง โดยแรงดังกล่าวจะเป็นแรงคงค้างที่ใช้ในการเสริมกำลังโครงสร้าง การทดสอบจะทำการยึดแถบยางพารา 3 ระดับ คือ 25 %, 50 % และ 100 % ของความยาวแถบยางพารา โดยจะคงค้างแรงดึงไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน และทำการบันทึกค่าตลอดช่วงเวลาทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

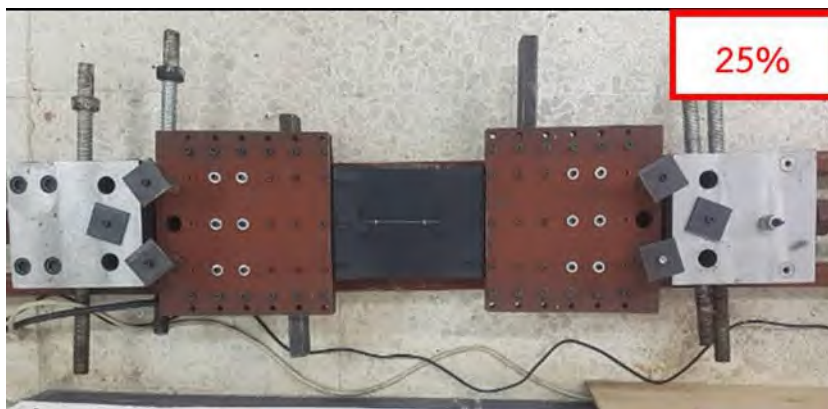
- 1) แม่แรงแบบดึง
- 2) อุปกรณ์จับยึด
- 3) อุปกรณ์ตรวจวัดแรง (Load cell)
- 4) อุปกรณ์บันทึกข้อมูลการตรวจวัด (Data logger)



รูปที่ 3.3-1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติแรงดึง

วิธีการทดสอบดำเนินการดังนี้

- 1) เตรียมแถบยางพารา ขนาด กว้าง x หนา x ยาว เท่ากับ 20 x 3 x 50 cm
- 2) ติดตั้งอุปกรณ์จับยึดที่ปลายทั้งสองข้างของแถบยางพารา
- 3) วัดระยะและทำเครื่องหมายบนแถบยางพารา
- 4) ให้แรงดึงกับแถบยางพาราในระดับความเครียด 25 %, 50 % และ 100 %
- 5) บันทึกผลแรงต้านเทียบกับเวลา



(ก) ระดับการยืด 25 %



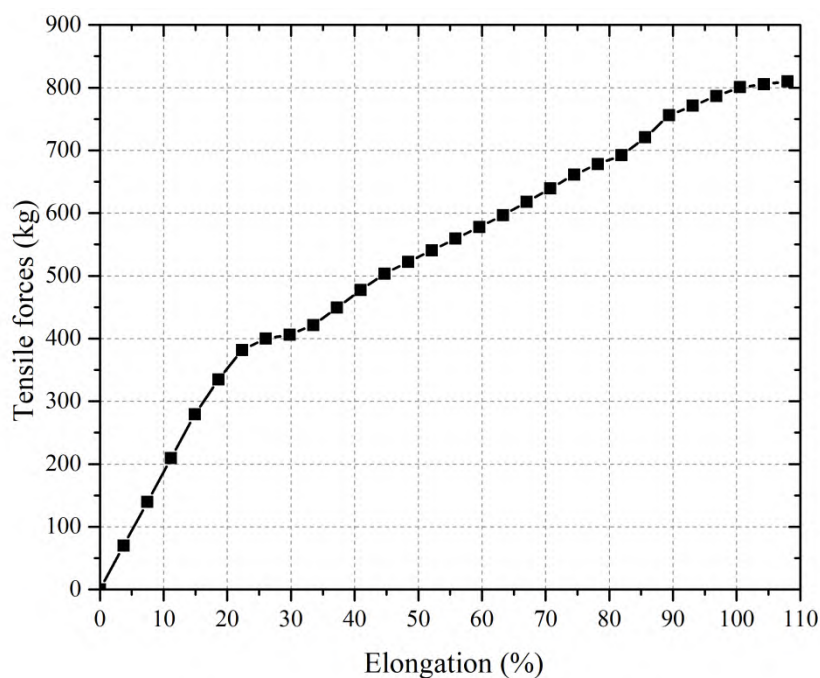
(ข) ระดับการยืด 50 %



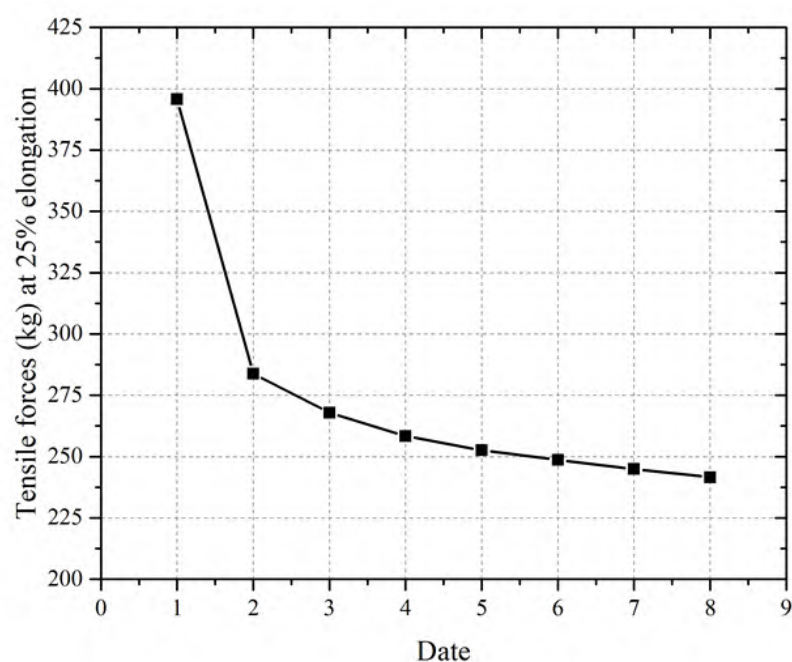
(ค) ระดับการยืด 100 %

รูปที่ 3.3-2 ภาพการทดสอบคุณสมบัติแรงดึง

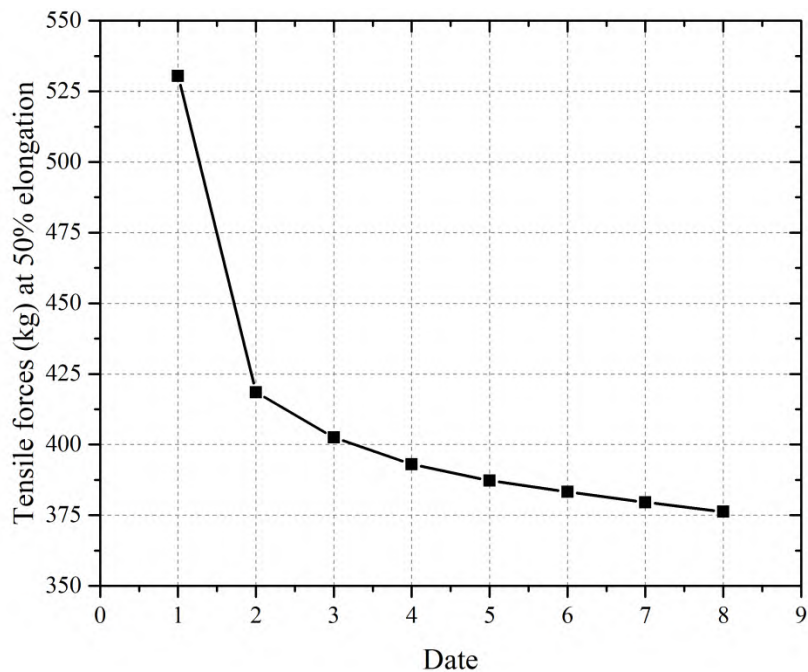
จากรูปที่ 3.3-2 ที่ปรึกษาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติแรงดึง ซึ่งได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระดับการดึงของแถบยางพารา ตั้งแต่ 25 %, 50 % และ 100 % ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.3-3 ถึงรูปที่ 3.3-6



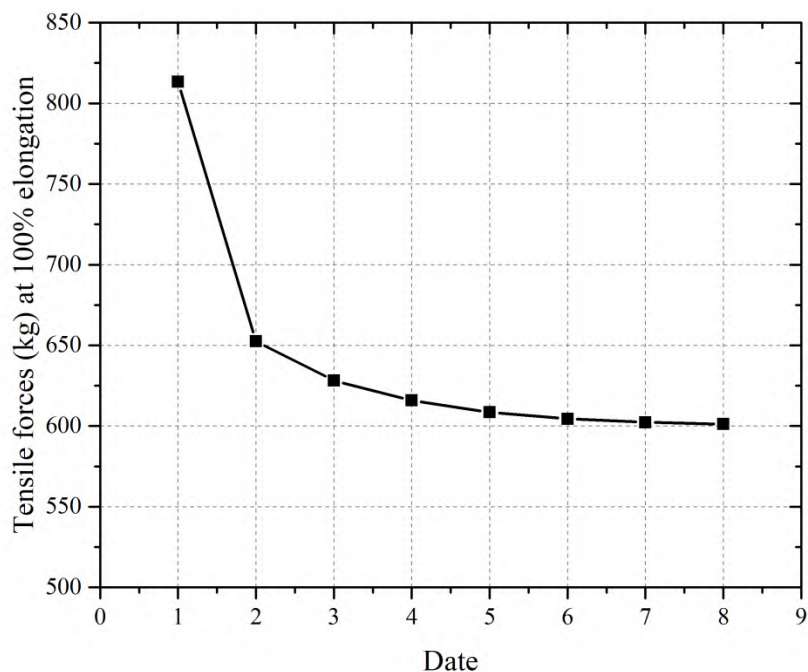
รูปที่ 3.3-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงร้อยละการยืดของแถบยางพารา



รูปที่ 3.3-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับร้อยละการยืดของแถบยางพาราที่ 25 %



รูปที่ 3.3-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับร้อยละการยืดของแถบยางพาราที่ 50 %



รูปที่ 3.3-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับร้อยละการยืดของแถบยางพาราที่ 100 %

จากการทดสอบสรุปได้ว่าในช่วงแรยางพารามีการต้านแรงที่ดีและจะมีการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงสองวันแรกและจะมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 5 วัน โดยค่าแรงดึงหลังจาก 5 วัน ไม่มีความแตกต่างจาก 7 วัน มากนัก แรงดึงที่คงเหลืออยู่จากการดึง 100% จะมีค่าประมาณ 600 กิโลกรัม โดยค่าดังกล่าวจะเป็นค่าที่นำไปใช้ในการ

ออกแบบเพื่อคำนวณความสามารถในการรับแรงของคานเสริมยางพาราต่อไป โดยแรงที่ใช้สำหรับการคำนวณจะสามารถคำนวณเป็นหน่วยแรงได้เท่ากับ 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

บทที่ 4 การก่อสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดคานสะพานทดสอบ

ในการศึกษาครั้งนี้ คานสะพานที่จะนำมาทดสอบการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง มี 2 ประเภท ได้แก่ คาน PC Plank Girder ความยาวช่วง 7 เมตร และคาน RC T-girder ความยาวช่วง 15 เมตร แบบและรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ง และ จ ตามลำดับ ซึ่งได้มีการก่อสร้างคานสะพานทั้งสองประเภทใน 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบคานเดี่ยว (Single Component) และรูปแบบระบบคาน (Girder System) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การก่อสร้างคานเดี่ยว PC Plank Girder

ในการก่อสร้างคานเดี่ยว PC Plank Girder – ประกอบด้วยคาน PC Plank Girder ความยาว 7 เมตร จำนวน 1 คาน และเทพื้นด้านบนของคานด้วยคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร เพื่อเป็นพื้นสะพาน (รายละเอียดตามภาคผนวก ง) แสดงดังรูปที่ 4.1-1



รูปที่ 4.1-1 แสดงการก่อสร้างคานเดี่ยว PC Plank Girder



รูปที่ 4.1-1 แสดงการก่อสร้างคานเดี่ยว PC Plank Girder (ต่อ)

4.2 การก่อสร้างระบบคาน PC Plank Girder

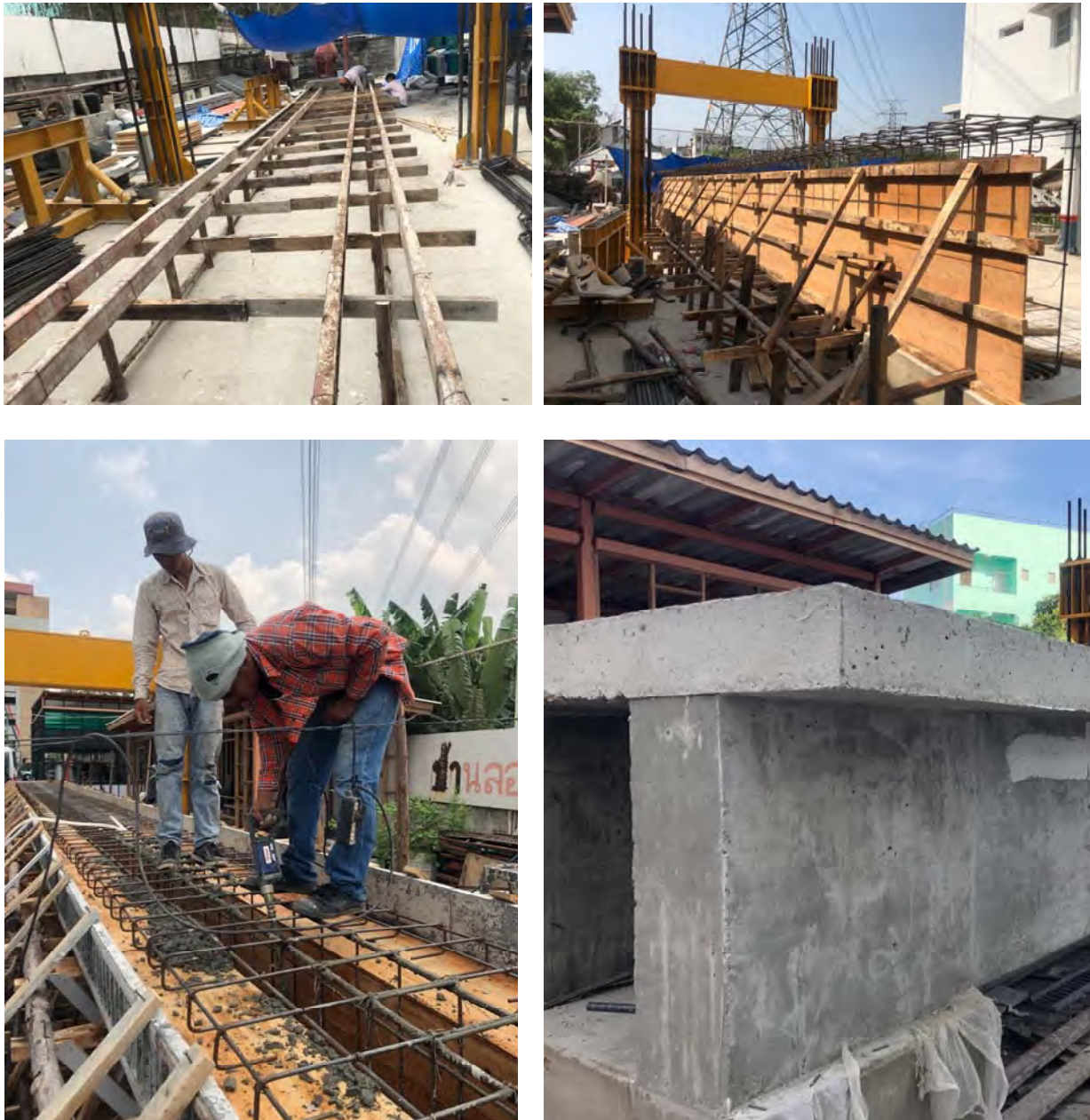
ระบบคาน PC Plank Girder – ประกอบด้วยคาน PC Plank Girder ความยาวช่วง 7 เมตร จำนวน 2 คาน วางเรียงชิดกันและเททับด้านบนของคานทั้งสองด้วยคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร เพื่อเป็นพื้นสะพาน (รายละเอียดตามภาคผนวก ง) แสดงดังรูปที่ 4.2-1



รูปที่ 4.2-1 แสดงการก่อสร้างระบบคาน PC Plank Girder

4.3 การก่อสร้างคานเดี่ยว RC T-girder

คานเดี่ยว RC T-girder – ประกอบด้วยคาน RC T-girder ความยาวช่วง 15 เมตร จำนวน 1 คาน ปีกบนของคานกว้าง 1 เมตร หนา 18 เซนติเมตร ทำหน้าที่เป็นพื้นสะพาน (รายละเอียดตามภาคผนวก จ) แสดงดังรูปที่ 4.3-1



รูปที่ 4.3-1 แสดงการก่อสร้างคานเดี่ยว RC T-girder

4.4 การก่อสร้างระบบคาน RC T-girder

ระบบคาน RC T-girder – ประกอบด้วยคาน RC T-girder ความยาวช่วง 15 เมตร จำนวน 2 คาน ระยะห่างระหว่างคาน 1 เมตร ปีกบนของระบบคานกว้าง 2 เมตรหนา 18 เซนติเมตร ทำหน้าที่เป็นพื้นสะพาน (รายละเอียดตามภาคผนวก จ) แสดงรูปที่ 4.4-1



รูปที่ 4.4-1 แสดงการก่อสร้างระบบคาน RC T-girder

4.5 การติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบ่งการทดสอบเป็น 2 ประเภทหลัก ดังนี้

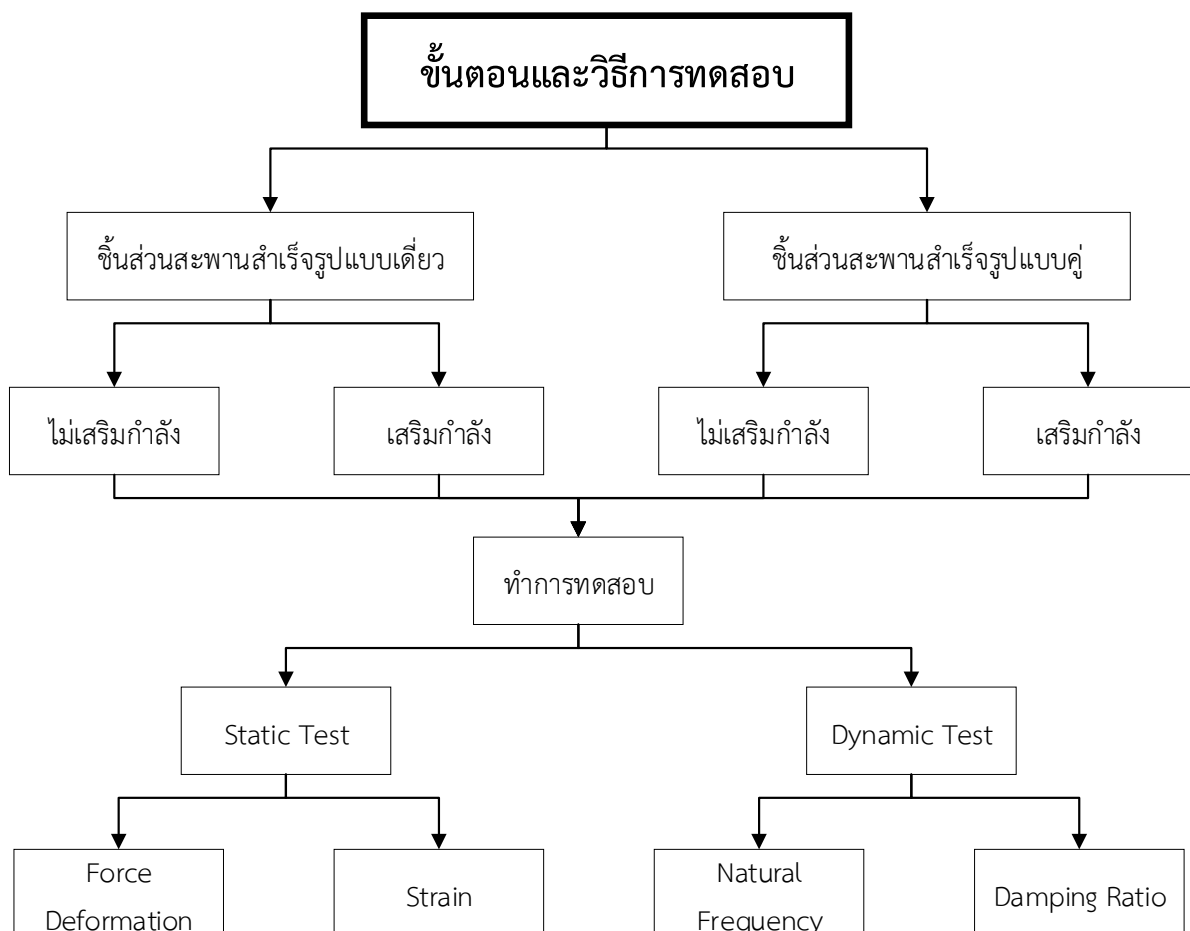
ประเภทที่ 1 คือ การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบชิ้นเดียว โดยทำการทดสอบแบบไม่เสริมกำลังด้วยวัสดุยางพาราและแบบเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพาราตามแนวยาวของชิ้นส่วนสะพานเพื่อเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัดของชิ้นส่วน

ประเภทที่ 2 คือ การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบชิ้นคู่ โดยทำการทดสอบแบบไม่เสริมกำลังจนรอยต่อเกิดการแตกร้าว โดยจำลองเหตุการณ์ว่าไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วน (Shear Key) และทดสอบแบบเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพาราในแนวขวางของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มแรงอัดระหว่าง 2 ชิ้นส่วน

โดยการทดสอบทั้ง 2 ประเภทนี้จะทำการทดสอบทั้งหมด 2 รูปแบบ เพื่อพิจารณาข้อมูลผลการทดสอบการรับแรงที่เกิดขึ้นดังแผนผังแสดงการทดสอบดังรูปที่ 4.5-1

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) คือ การทดสอบน้ำหนักบรรทุกคงที่ เพื่อหาค่าของการรับแรงสูงสุดของสะพาน และระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นก่อนการแตกร้าวของสะพาน

การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) คือ การทดสอบการสั่นไหวของสะพาน เพื่อดูพฤติกรรมการเกิดขึ้นเมื่อสะพานมีการสั่นไหว



รูปที่ 4.5-1 แผนผังประเภทการทดสอบ รูปแบบการทดสอบ และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ

วิธีการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

การเสริมกำลังชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปต้องมีการออกแบบวิธีการเสริมกำลัง รวมถึงการออกแบบอุปกรณ์ที่จะนำมาช่วยในการยึดแถบยางพาราอัดแรง เพื่อนำมาติดตั้งกับชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปให้สามารถใช้งานง่ายและปลอดภัยในการติดตั้ง ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและทดสอบการใช้งานอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน จนได้มาซึ่งเทคนิควิธีการ และอุปกรณ์การจับยึดแถบยางพาราอัดแรงตัวล่าสุด โดยจะมีอุปกรณ์ในการติดตั้ง และวิธีการติดตั้งตามขั้นตอน ดังนี้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเสริมกำลังชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปด้วยวัสดุยางพารา

- 1) แถบยางพาราอัดแรงขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร หนา 4 เซนติเมตร และยาว 50 เซนติเมตร
- 2) ชุดอุปกรณ์จับยึดแถบยางพาราอัดแรง
- 3) ปัมไฮดรอลิก Jack และ โครงข้อแข็งสำหรับใช้ดึงแถบยางพาราอัดแรง
- 4) อุปกรณ์จับยึดแถบยางพาราอัดแรงกับชิ้นส่วนทดสอบ

วิธีการเสริมกำลังชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปด้วยวัสดุยางพารา

- ขั้นตอนที่ 1 นำแถบยางพาราอัดแรงขนาด 20 x 4 x 50 เซนติเมตร มาติดตั้งกับชุดอุปกรณ์จับยึดแถบยางพาราอัดแรง
- ขั้นตอนที่ 2 ใช้ปัมไฮดรอลิกดึงแถบยางพาราอัดแรงให้มีการยึดเป็น 100% และล็อกอุปกรณ์จับยึดแถบยางพาราอัดแรง ให้ยางพารามีการยึดตัวค้างไว้
- ขั้นตอนที่ 3 ติดตั้งอุปกรณ์จับยึดแถบยางพาราอัดแรงที่บริเวณท้องของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปตามแนวยาว
- ขั้นตอนที่ 4 ติดแถบยางพาราอัดแรงเข้ากับชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปตามแนวยาว
- ขั้นตอนที่ 5 ปลดล็อกอุปกรณ์จับยึดแถบยางพาราอัดแรงให้ยางพารามีการดึงตัวกลับ แรงจะถ่ายเข้าสู่ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป

รูปที่ 4.5-2 แสดงขั้นตอนการใช้ปัมไฮดรอลิกดึงแถบยางพาราอัดแรงให้มีการยึดตัวค้างไว้ โดยดึงแถบยางพาราอัดแรงที่ระดับความเครียดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และล็อกอุปกรณ์จับยึดแถบยางพาราอัดแรง



รูปที่ 4.5-2 ขั้นตอนการดึงแถบยางพาราอัดแรงที่ระดับความเครียดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ก่อนการนำยางพาราอัดแรงมาเสริมกำลังชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป จำเป็นที่จะต้องนำยางพาราอัดแรงมายืดออกก่อนการติดตั้ง โดยจะใช้อุปกรณ์ไฮดรอลิกและอุปกรณ์จับยึดยางพาราอัดแรงตามรูปที่ 4.5-3 ซึ่งแสดงชิ้นส่วนยางพาราที่ถูกยึดแล้วที่ระยะยึดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.5-3 ชิ้นส่วนยางพาราที่ถูกยึดแล้วที่ระยะยึดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อทำการยึดยางพาราอัดแรงเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ในการจับยึดยางพาราอัดแรงเข้ากับชิ้นส่วนของสะพานสำเร็จรูป โดยก่อนการติดตั้งต้องออกแบบจำนวนยางพาราอัดแรงที่ใช้รวมถึงตำแหน่งของการติดตั้งให้ถูกต้องก่อน จากนั้นนำอุปกรณ์จับยึดมาติดตั้งโดยฝังพุกเหล็กให้ตรงกับตำแหน่งของอุปกรณ์รูปที่ 4.5-4 แสดงอุปกรณ์จับยึดยางพาราอัดแรงที่ยึดติดกับชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป โดยการยึดพุกเหล็กตามรูปที่กำหนดไว้บนอุปกรณ์

เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ในการจับยึดยางพาราอัดแรงเข้ากับตัวชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแล้วเสร็จ ให้นำยางพาราอัดแรงที่ยึดแล้วด้วยอุปกรณ์ที่ช่วยในการยึดแผ่นยาง มาติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์ยึดแผ่นยางดังกล่าวตามตำแหน่งให้ครบถ้วน ตามรูปที่ 4.5-5



รูปที่ 4.5-4 อุปกรณ์จับยึดแถบยางพาราอัดแรงยึดติดกับชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป



รูปที่ 4.5-5 ขั้นตอนการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงเข้ากับชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป

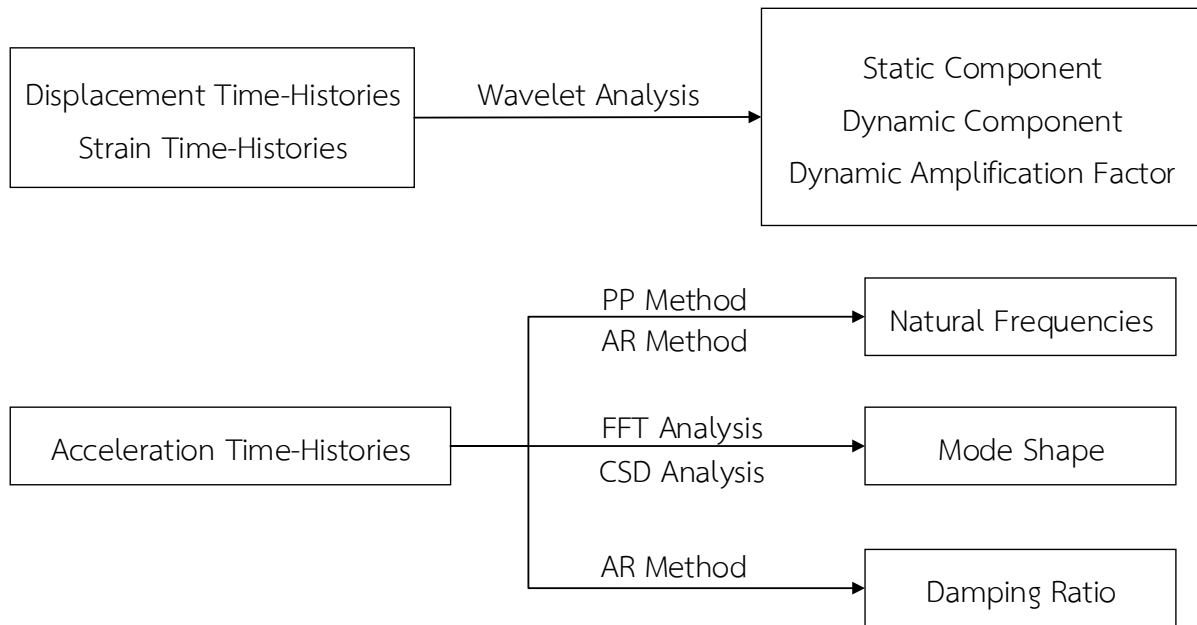
เมื่อนำแถบยางพาราอัดแรงที่ยึดแล้วติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแผ่นยางกับชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป ให้ทำการปลดอุปกรณ์ในการช่วยยึดแผ่นออก แถบยางพาราอัดแรงจะถูกรั้งด้วยอุปกรณ์ในการจับยึดเพื่อให้ยางพาราถ่ายแรงเข้าสู่ชิ้นส่วนสะพานรูปที่ 4.5-6 แสดงขั้นตอนการปลดล๊อคอุปกรณ์จับยึดแถบยางพาราอัดแรงเพื่อให้ยางพาราถ่ายแรงเข้าสู่ชิ้นส่วน



รูปที่ 4.5-6 ขั้นตอนการปลดล๊อคอุปกรณ์จับยึดแฉวยางพาราอัดแรงเพื่อให้ยางพาราถ่ายแรงเข้าสู่ชิ้นส่วน

4.6 กระบวนการวิเคราะห์การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป

การทดสอบและตรวจวัดพฤติกรรมของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป RC T-girder ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกมีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินความสามารถในการรับแรงทดสอบระหว่างการเสริมกำลังและไม่เสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา โดยการทดสอบที่เกิดขึ้นจะทดสอบจนถึงการแตกร้าวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปหรือมีการแอ่นตัวไม่เกิน 10 มิลลิเมตร โดยการตรวจวัดพฤติกรรมชิ้นส่วนสะพานจะดำเนินการในลักษณะของ Diagnostic Load Test การทดสอบแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ การทดสอบแบบสถิต (Static Test) และการทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) โดยวิธีการประมวลผลการทดสอบแบบสถิตจะพิจารณาเปรียบเทียบแรงกดทดสอบกับระยะแอ่นตัวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป เพื่อจะได้ทราบถึงค่าความแข็งของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป (Stiffness) ส่วนวิธีการประมวลผลการทดสอบแบบพลวัตนั้น จะนำค่าความเร่งจากการสั่นไหวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป RC T-girder ที่ได้จากการตรวจวัดมาหาค่าความถี่ธรรมชาติโดยใช้กระบวนการ PP ร่วมกับ FFT, PSD, CSD และ AR โดยทำการแปลงข้อมูลค่าความเร่งจากพิสัยเวลาให้อยู่ในพิสัยความถี่ ส่วนรูปแบบการสั่นไหวจะพิจารณาจากอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่ได้จากการประมวลผลผ่าน FFT และ CSD นอกจากนี้อัตราส่วนความหน่วงการสั่นไหวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปสามารถวิเคราะห์ได้จาก AR โดยวิธีการ Logarithmic Decrement Method โดยมีแผนผังแสดงการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.6-1



รูปที่ 4.6-1 แผนผังการประมวลผลผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ

4.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องมือวัดค่าต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลของพฤติกรรมชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปที่เกิดขึ้นในตัวอย่าง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีอยู่ 4 ชนิด ดังนี้

- 1) Accelerometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร่งการสั่นไหวของโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.7-1 โดยกำหนดให้ทิศทางตามแนวแกน Z เครื่องหมาย (+) มีทิศทางขึ้นบน และเครื่องหมาย (-) มีทิศทางลง



รูปที่ 4.7-1 Accelerometer

- 2) Linear variable differential transformer (LVDT) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่าการยุบตัวของโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.7-2 โดยวัดในรูปแบบระยะแอนตัวของโครงสร้าง โดยกำหนดให้ เครื่องหมาย (+) เป็นระยะแอนตัวลงและเครื่องหมาย (-) เป็นระยะแอนตัวขึ้นในแนวแกน Z ของโครงสร้าง



รูปที่ 4.7-2 Linear variable differential transformer (LVDT)

3) Surface-mounting type strain Transducer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการยืดหรือหดตัวของพื้นผิวโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.7-3 โดยกำหนดให้ทิศทางตามแนวการติดตั้ง เครื่องหมาย (+) หมายถึงโครงสร้างมีการยืดตัว และเครื่องหมาย (-) หมายถึงโครงสร้างมีการหดตัว



รูปที่ 4.7-3 Surface-mounting type strain Transducer (SSG or SG)

4) อุปกรณ์ Data Logger สำหรับบันทึกข้อมูล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บและแปลงข้อมูลจาก Accelerometer, LVDT และ Strain gate ซึ่งส่งข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์เข้ามาในรูปแบบของสัญญาณ analog และทำการแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณ digital ซึ่งสามารถส่งต่อไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลและประมวลผล Data logger ดังแสดงในรูปที่ 4.7-4



รูปที่ 4.7-4 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ A to D (Data Logger)

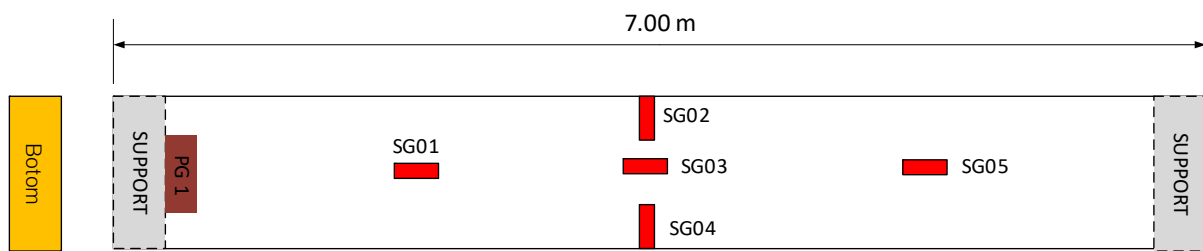
4.8 การก่อสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดคานสะพานทดสอบของ Plank Girder

4.8.1. แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์

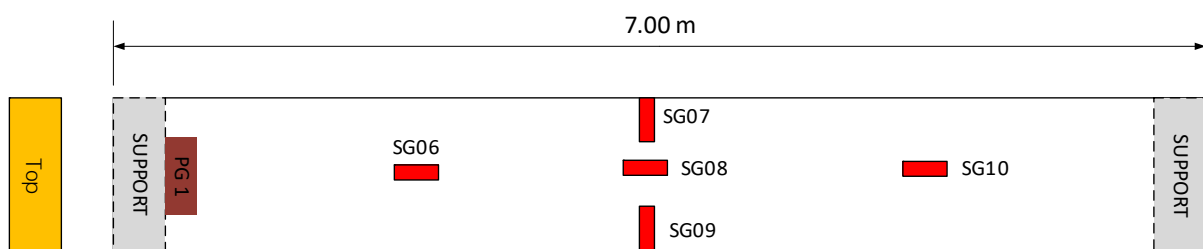
ก่อนทำการทดสอบต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดบนชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป ซึ่งในการทดสอบแบบภาวะสถิตของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดียวจะทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว (Linear Variable Differential Transformer ,LVDT) ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง และอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปทั้งหมด 10 ตำแหน่ง แต่ในการทดสอบแบบสถิตของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่ จะทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว (Linear Variable Differential Transformer ,LVDT) ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปทั้งหมด 6 ตำแหน่ง และอุปกรณ์วัดค่าความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปทั้งหมด 20 ตำแหน่ง และบันทึกภาพการทดสอบในแต่ละขั้นตอนของการทดสอบแล้วบันทึกค่าผลทดสอบ

4.8.2. แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดบนชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดียว

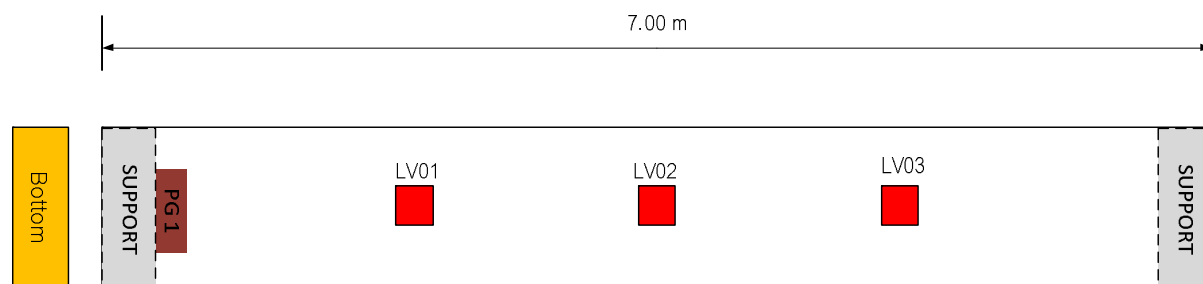
ในการทดสอบแบบสถิตของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบขึ้นเดียวจะทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป (LVDT) ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง และอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปทั้งหมด 10 ตำแหน่ง ในส่วนการทดสอบแบบพลวัตจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของสะพานทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ดังตารางที่ 4.8-1



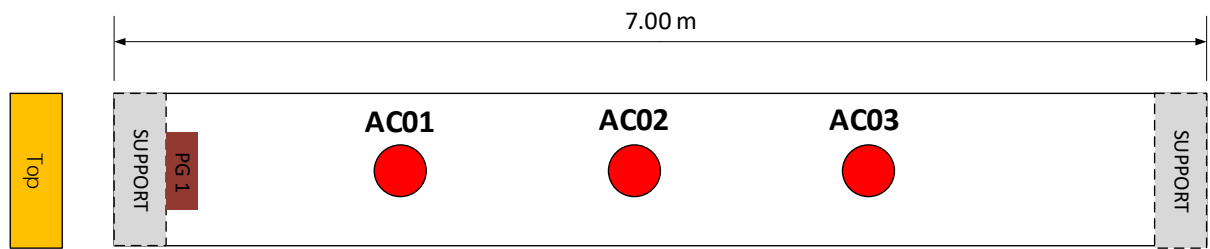
รูปที่ 4.8-1 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนก่อนเสริมกำลัง ด้านล่าง



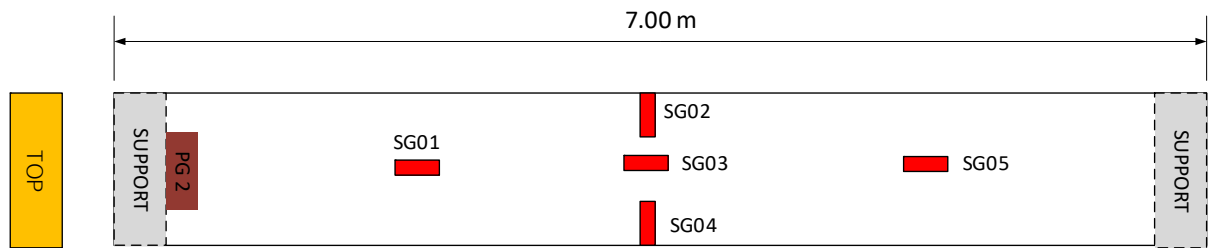
รูปที่ 4.8-2 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนก่อนเสริมกำลัง ด้านบน



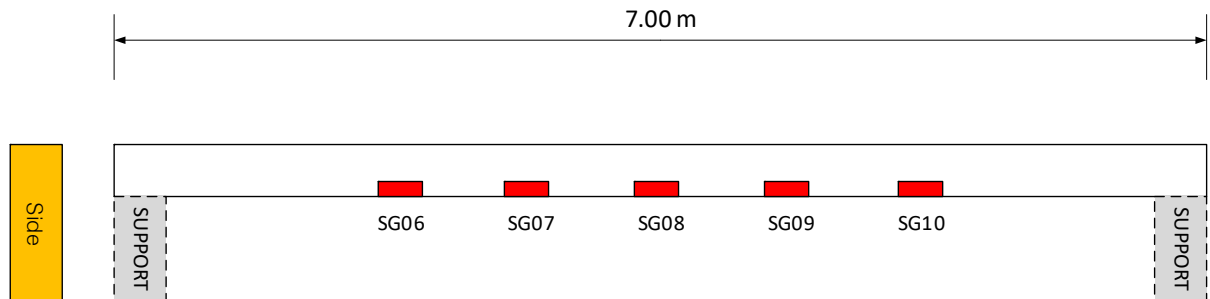
รูปที่ 4.8-3 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการแอ่นตัวของชิ้นส่วนทดสอบ (LVDT)



รูปที่ 4.8-4 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นไหวของชิ้นส่วนทดสอบ (Accelerometer)



รูปที่ 4.8-5 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนเสริมกำลัง ด้านบน



รูปที่ 4.8-6 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนเสริมกำลัง ด้านข้าง

รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยว ถูกออกแบบให้ตรงตำแหน่งที่ต้องการวัดค่าที่เกิดขึ้น เช่น วัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนทดสอบ วัดค่าความเร่งการสั่นไหวของชิ้นส่วนทดสอบ วัดความเครียดของชิ้นส่วนทดสอบ เป็นต้น รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวทั้งก่อนเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง และหลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง ดังแสดงในตารางที่ 4.8-1 และตารางที่ 4.8-2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8-1 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวก่อนเสริม

อุปกรณ์	ตำแหน่ง	Remark
LV01	ใต้ท้องบริเวณ 1L/4 ของความยาวช่วง	O อุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนทดสอบ (LVDT) เพื่อวัดค่าการแอ่นตัวตำแหน่ง
LV02	ใต้ท้องบริเวณ 2L/4 ของความยาวช่วง	
LV03	ใต้ท้องบริเวณ 3L/4 ของความยาวช่วง	
AC01	ด้านบนบริเวณ 1L/4 ของความยาวช่วง	O อุปกรณ์วัดค่าความเร่งการสั่นไหวของชิ้นส่วนทดสอบ(Accelerometer)
AC02	ด้านบนบริเวณ 2L/4 ของความยาวช่วง	
AC03	ด้านบนบริเวณ 3L/4 ของความยาวช่วง	

อุปกรณ์	ตำแหน่ง	Remark
SG01	ด้านบนบริเวณ 1L/4 ในแนวตามยาว	O อุปกรณ์วัดความเครียดของชิ้นส่วนทดสอบ (Strain Gage) ที่ตำแหน่งต่างๆ
SG02	ด้านบนบริเวณ 2L/4 ในแนวตามขวาง	
SG03	ด้านบนบริเวณ 2L/4 ในแนวตามยาว	
SG04	ด้านบนบริเวณ 2L/4 ในแนวตามขวาง	
SG05	ด้านบนบริเวณ 3L/4 ในแนวตามยาว	
SG06	ใต้ท้องบริเวณ 1L/4 ในแนวตามยาว	
SG07	ใต้ท้องบริเวณ 2L/4 ในแนวตามขวาง	
SG08	ใต้ท้องบริเวณ 2L/4 ในแนวตามยาว	
SG09	ใต้ท้องบริเวณ 2L/4 ในแนวตามขวาง	
SG10	ใต้ท้องบริเวณ 3L/4 ในแนวตามยาว	

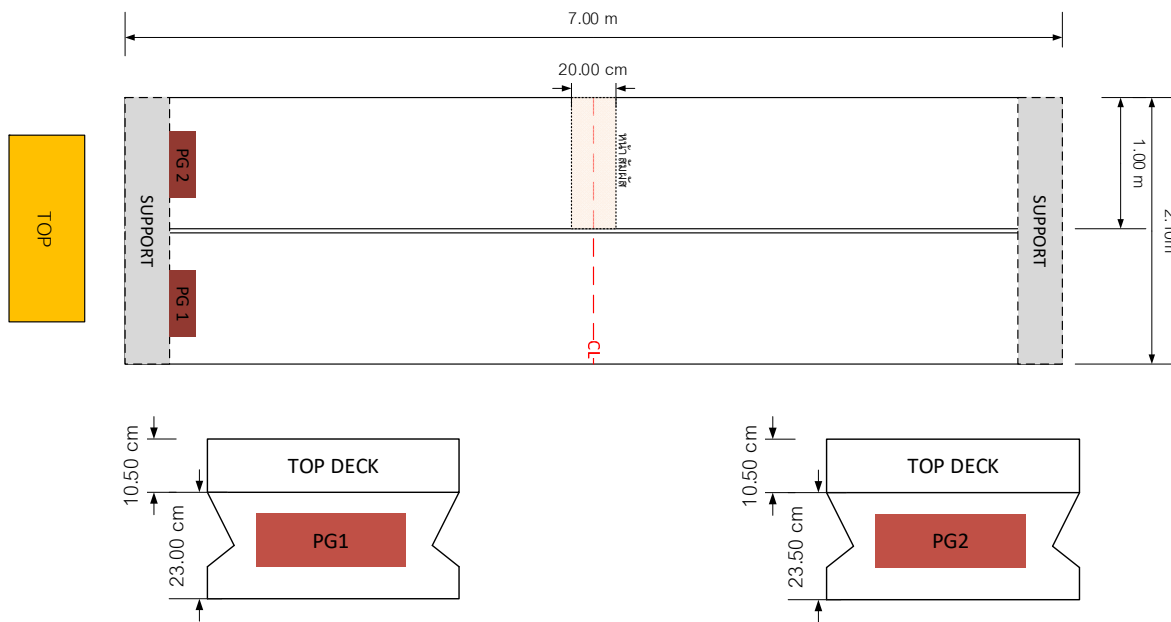
ตารางที่ 4.8-2 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวหลังเสริม

อุปกรณ์	ตำแหน่ง	Remark
LV01	ใต้ท้องบริเวณ 1L/4 ของความยาวช่วง	O อุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนทดสอบ (LVDT) เพื่อวัดค่าการแอ่นตัวที่ตำแหน่งต่างๆ
LV02	ใต้ท้องบริเวณ 2L/4 ของความยาวช่วง	
LV03	ใต้ท้องบริเวณ 3L/4 ของความยาวช่วง	
AC01	ด้านบนบริเวณ 1L/4 ของความยาวช่วง	O อุปกรณ์วัดค่าความเร่งการสั่นไหวของชิ้นส่วนทดสอบ (Accelerometer)
AC02	ด้านบนบริเวณ 2L/4 ของความยาวช่วง	
AC03	ด้านบนบริเวณ 3L/4 ของความยาวช่วง	
SG01	ด้านบนบริเวณ 1L/4 ในแนวตามยาว	O อุปกรณ์วัดค่าความเครียดของชิ้นส่วนทดสอบ (Strain Gage) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ
SG02	ด้านบนบริเวณ 2L/4 ในแนวตามขวาง	
SG03	ด้านบนบริเวณ 2L/4 ในแนวตามยาว	
SG04	ด้านบนบริเวณ 2L/4 ในแนวตามขวาง	
SG05	ด้านบนบริเวณ 3L/4 ในแนวตามยาว	
SG06	ด้านข้างบริเวณ 2L/8 ในแนวตามยาว	
SG07	ด้านข้างบริเวณ 3L/8 ในแนวตามยาว	

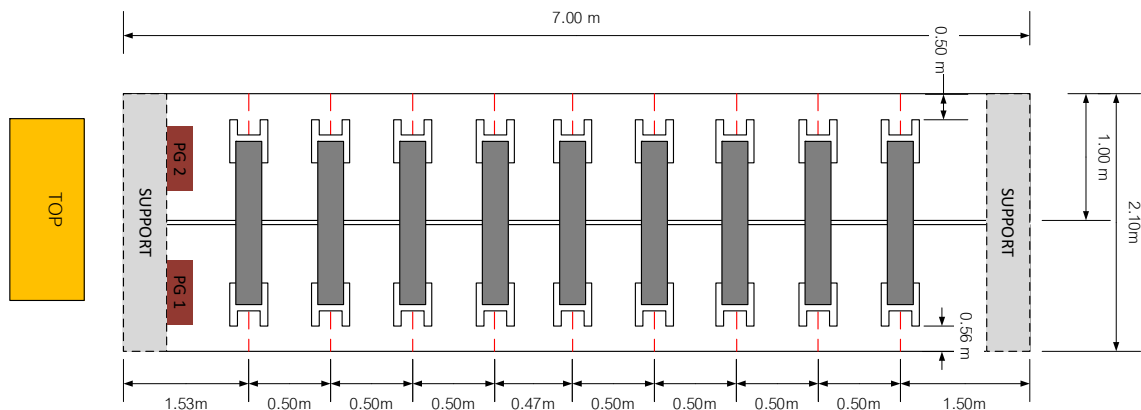
SG08	ด้านข้างบริเวณ 4L/8 ในแนวตามยาว	
SG09	ด้านข้างบริเวณ 5L/8 ในแนวตามยาว	
SG10	ด้านข้างบริเวณ 6L/8 ในแนวตามยาว	

4.8.3. แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์บนชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่

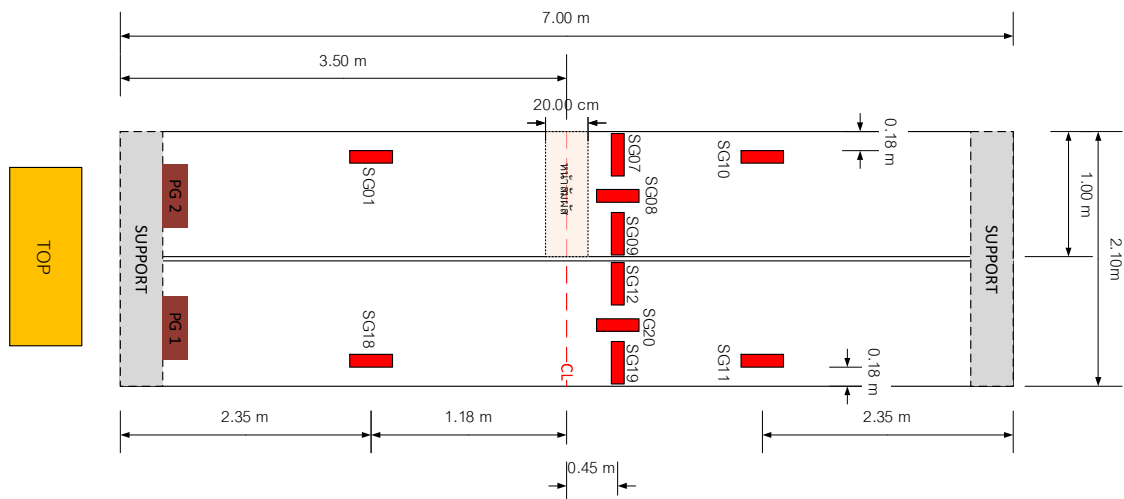
ในการทดสอบแบบสถิตของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่จะติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป (LVDT) ทั้งหมด 6 ตำแหน่ง และอุปกรณ์วัดค่าความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปทั้งหมด 20 ตำแหน่ง และในส่วนการทดสอบแบบพลวัตจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเร่งการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปทั้งหมด 3 ตำแหน่งดังตารางที่ 4.8-3



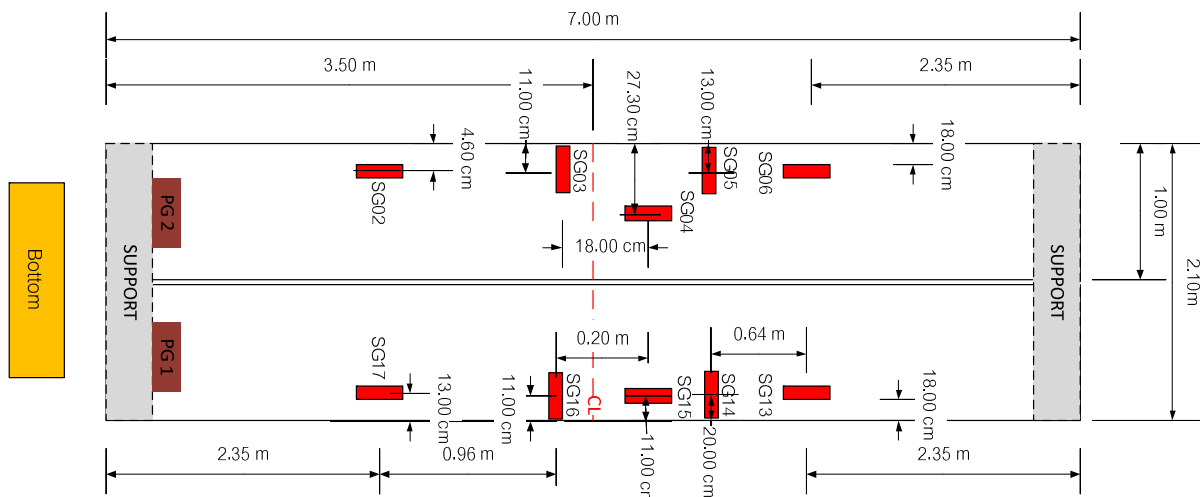
รูปที่ 4.8-7 ตำแหน่งการวางจุดให้แรงทดสอบกับชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป



รูปที่ 4.8-8 แบบการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพาราในแนวขวางของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่



รูปที่ 4.8-9 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่ ด้านบน



รูปที่ 4.8-10 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่ ด้านล่าง

รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่ ถูกออกแบบให้ตรงตำแหน่งที่ต้องการวัดค่าที่เกิดขึ้นเพื่อผลการทดสอบการแตกร้าวระหว่างชิ้นส่วนของสะพานที่เกิดขึ้น รวมถึงผลการทดสอบอื่นๆ เช่น วัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนทดสอบ วัดค่าความเร่งการสั่นไหวของชิ้นส่วนทดสอบ วัดความเครียดของชิ้นส่วนทดสอบ เป็นต้น รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่ทั้งก่อนเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง และหลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงแสดงในตารางที่ 4.8-3 และตารางที่ 4.8-4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8-3 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่

อุปกรณ์	ตำแหน่ง	Remark
LV01	PG 1 ได้ห้องบริเวณ 1L/4 ของความยาวช่วง	O อุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนทดสอบ (LVDT) เพื่อวัดค่าการแอ่นตัวตำแหน่งต่างๆ
LV02	PG 1 ได้ห้องบริเวณ 2L/4 ของความยาวช่วง	
LV03	PG 1 ได้ห้องบริเวณ 3L/4 ของความยาวช่วง	
LV04	PG 2 ได้ห้องบริเวณ 1L/4 ของความยาวช่วง	
LV05	PG 2 ได้ห้องบริเวณ 2L/4 ของความยาวช่วง	
LV06	PG 2 ได้ห้องบริเวณ 3L/4 ของความยาวช่วง	
AC01	ด้านบนบริเวณ 1L/4 ของความยาวช่วง	O อุปกรณ์วัดค่าความเร่งของการสั่นไหวของชิ้นส่วนทดสอบ (Accelerometer)
AC02	ด้านบนบริเวณ 2L/4 ของความยาวช่วง	
AC03	ด้านบนบริเวณ 3L/4 ของความยาวช่วง	

ตารางที่ 4.8-4 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่

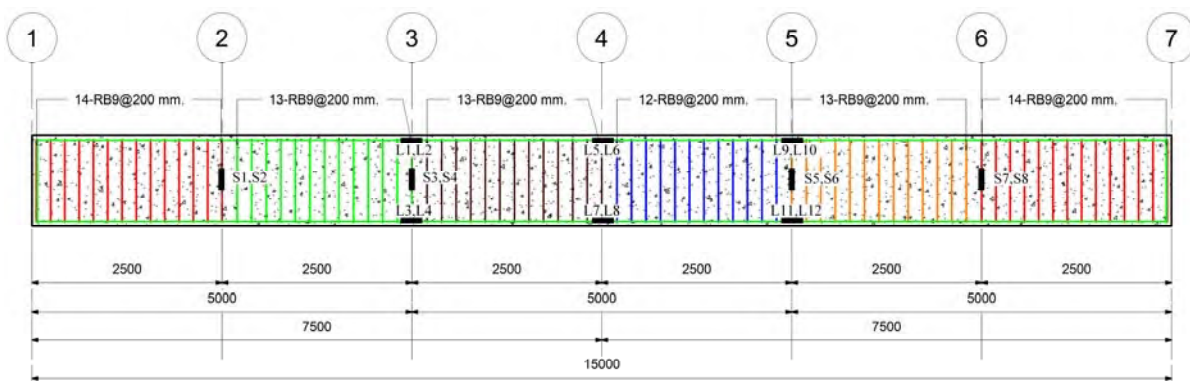
แผ่นทดสอบ	ตำแหน่ง	ระยะติดตั้ง	แนวการติดตั้ง	อุปกรณ์
PG 1	ด้านบน	1L/4	ตามยาว	SG01
		2L/4	ตามขวาง	SG07
		2L/4	ตามยาว	SG08
		2L/4	ตามขวาง	SG09
		3L/4	ตามยาว	SG10
	ใต้ห้อง	2L/8	ตามยาว	SG02
		3L/8	ตามขวาง	SG03
		4L/8	ตามยาว	SG04
		5L/8	ตามขวาง	SG05
		6L/8	ตามยาว	SG06
PG 2	ด้านบน	1L/4	ตามยาว	SG08
		2L/4	ตามขวาง	SG19
		2L/4	ตามยาว	SG20
		2L/4	ตามขวาง	SG12
		3L/4	ตามยาว	SG11
	ใต้ห้อง	2L/8	ตามยาว	SG17
		3L/8	ตามขวาง	SG16
		4L/8	ตามยาว	SG15
		5L/8	ตามขวาง	SG14
		6L/8	ตามยาว	SG13

4.9 การก่อสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดคานสะพานทดสอบของ RC T-girder

4.9.1. แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์

แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์บนชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบ RC T-girder แบบคานเดี่ยว และ แบบระบบคาน

ในการทดสอบแบบสถิตของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบ RC T-girder แบบคานเดี่ยวและแบบระบบคาน ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเครียดในเหล็กเสริม โดยตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเครียดในเหล็กเสริม แสดงในรูปที่ 4.9-1 โดยติดตั้งเหมือนกันทั้ง RC T-girder แบบคานเดี่ยวและแบบระบบคาน



รูปที่ 4.9-1 ตำแหน่งติดตั้ง Strain Gauge ในคานรูปตัวที (RC_T-girder) แบบคานเดี่ยวและแบบระบบคาน

กำหนดสัญลักษณ์ป้ายชื่ออุปกรณ์ตรวจวัดการยืดหดตัวในเหล็กเสริม (Strain gauge label)

T1-L1 และ T1-S1 มีความหมายดังนี้

T1 หมายถึง คานทดสอบรูปตัวที (T-beam) ตัวอย่างที่ 1

L1 หมายถึง อุปกรณ์ตรวจวัดการยืดหดตัวในเหล็กเสริมตามยาว (Longitudinal rebar) ตัวที่ 1

S1 หมายถึง อุปกรณ์ตรวจวัดการยืดหดตัวในเหล็กเสริมตามขวางหรือเหล็กปลอก (Transverse rebar) ตัวที่ 1

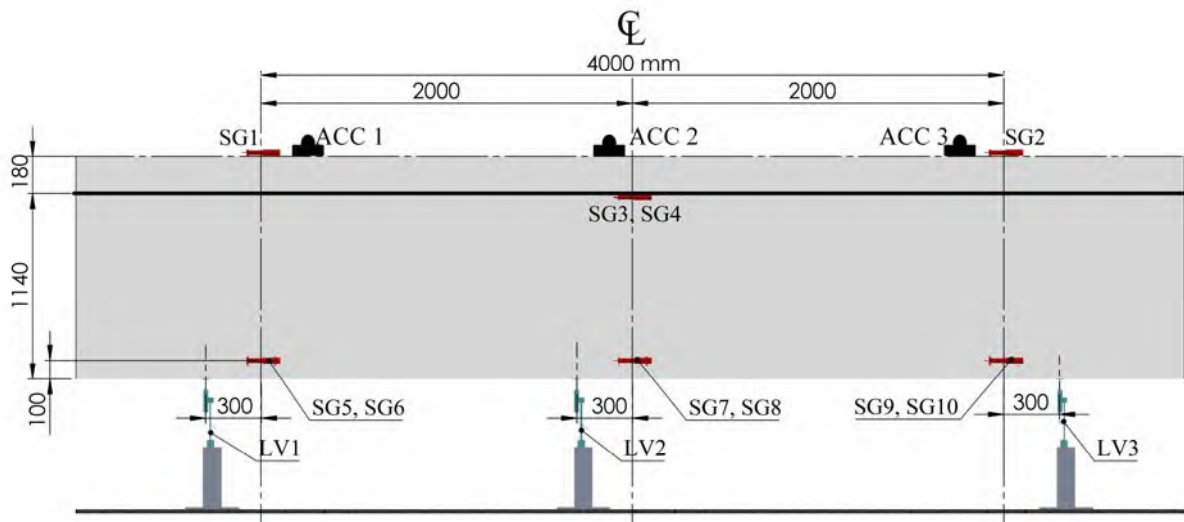
ในการทดสอบครั้งนี้ได้ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดการยืดหดตัวในเหล็กเสริม แยกเป็นเหล็กเสริมตามยาวจำนวน 12 ตัว และเหล็กเสริมตามขวางจำนวน 8 ตัว รวมทั้งหมด 20 ตัว โดยได้กำหนดป้ายชื่อ Strain gauge label ดังนี้

Longitudinal rebar	Transverse rebar
T1-L1	T1-S1
T1-L2	T1-S2
T1-L3	T1-S3
T1-L4	T1-S4
T1-L5	T1-S5
T1-L6	T1-S6
T1-L7	T1-S7
T1-L8	T1-S8
T1-L9	

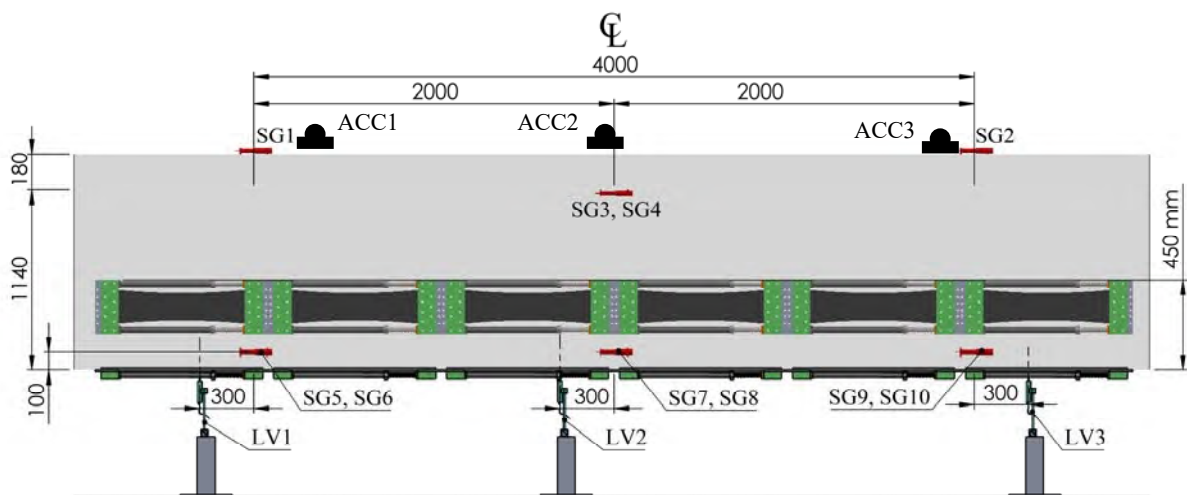
T1-L10	
T1-L11	
T1-L12	

4.9.1. การทดสอบแบบสถิตของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบ RC T-girder แบบคานเดี่ยว

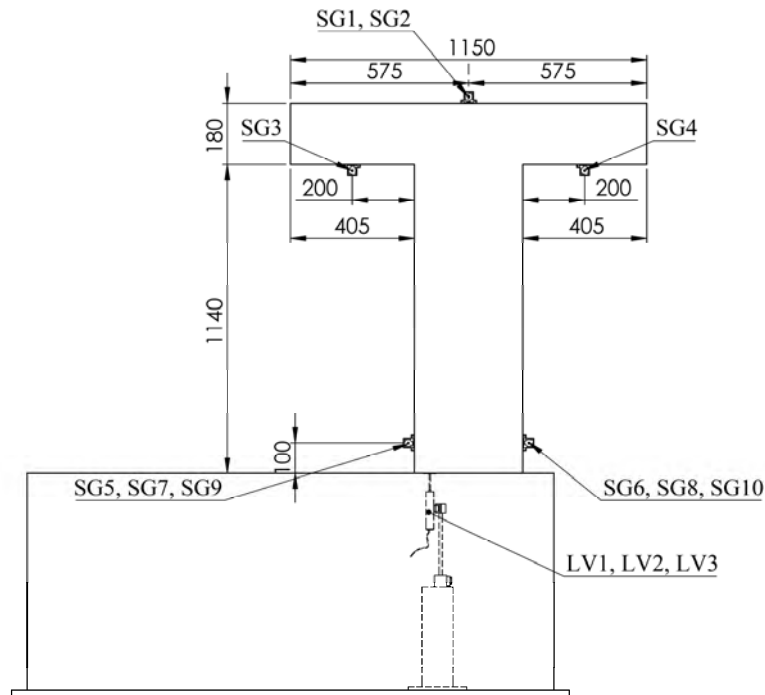
ในการทดสอบคาน RC_T-girder แบบคานเดี่ยว ได้ทำการวัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป (LVDT) จำนวน 3 ตำแหน่ง และอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเครียดของพื้นผิวโครงสร้าง (SG) จำนวน 10 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.9-2 และในส่วนการทดสอบแบบพลวัตจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเร่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปทั้งหมด 3 ตำแหน่ง



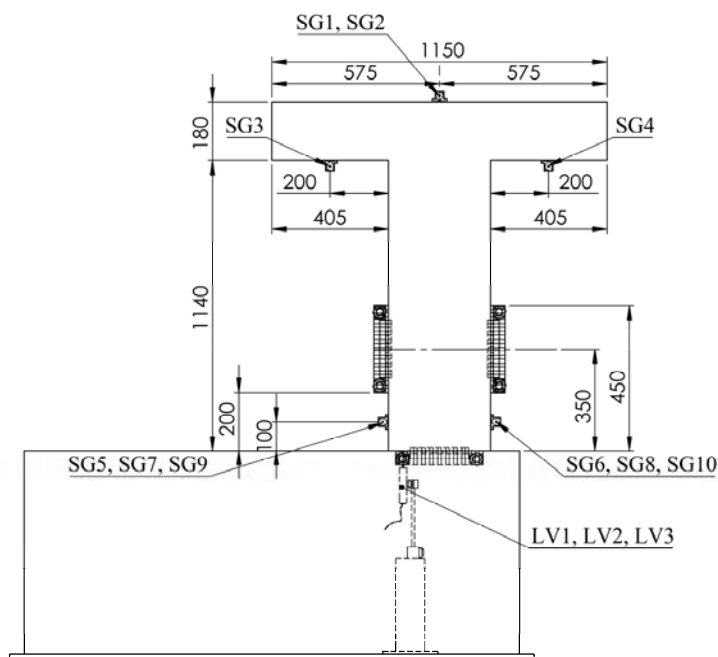
รูปที่ 4.9-2 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและระยะการแอ่นตัวและค่าความเร่ง
ในคานรูปตัวที (RC T-girder) แบบคานเดี่ยว ก่อนเสริมกำลัง



รูปที่ 4.9-3 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและระยะการแอ่นตัวและค่าความเร่ง
ในคานรูปตัวที (RC T-girder) แบบคานเดี่ยว หลังก่อนเสริมกำลัง



รูปที่ 4.9-4 มุมมองด้านหน้าการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและระยะการแอ่นตัวในคานรูปตัวที (RC T-girder) แบบคานเดี่ยว ก่อนเสริมกำลัง

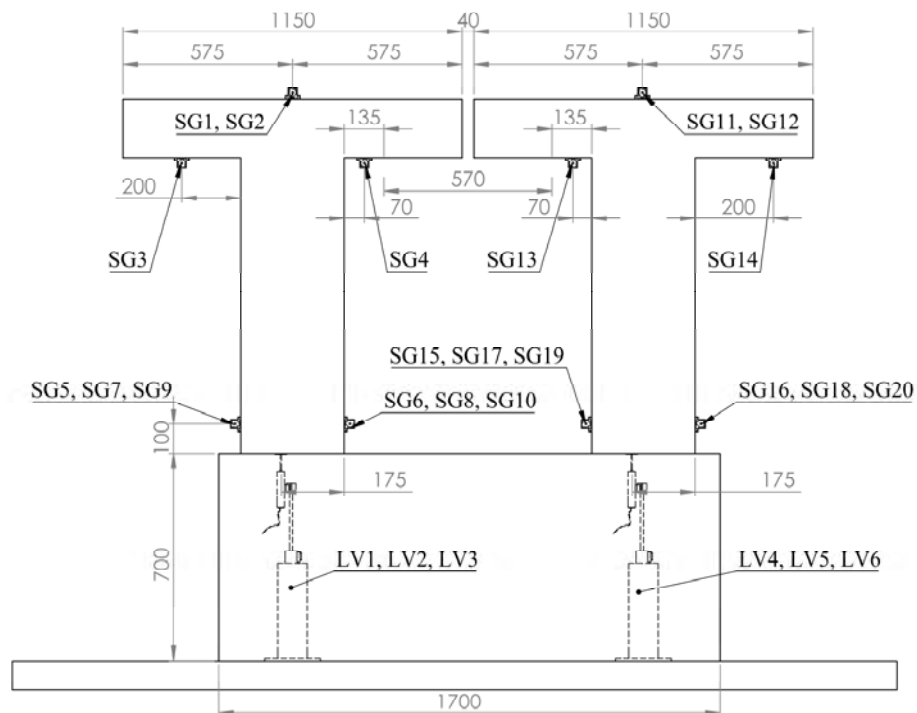


รูปที่ 4.9-5 มุมมองด้านหน้าการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและระยะการแอ่นตัวในคานรูปตัวที (RC T-girder) แบบคานเดี่ยว หลังเสริมกำลัง

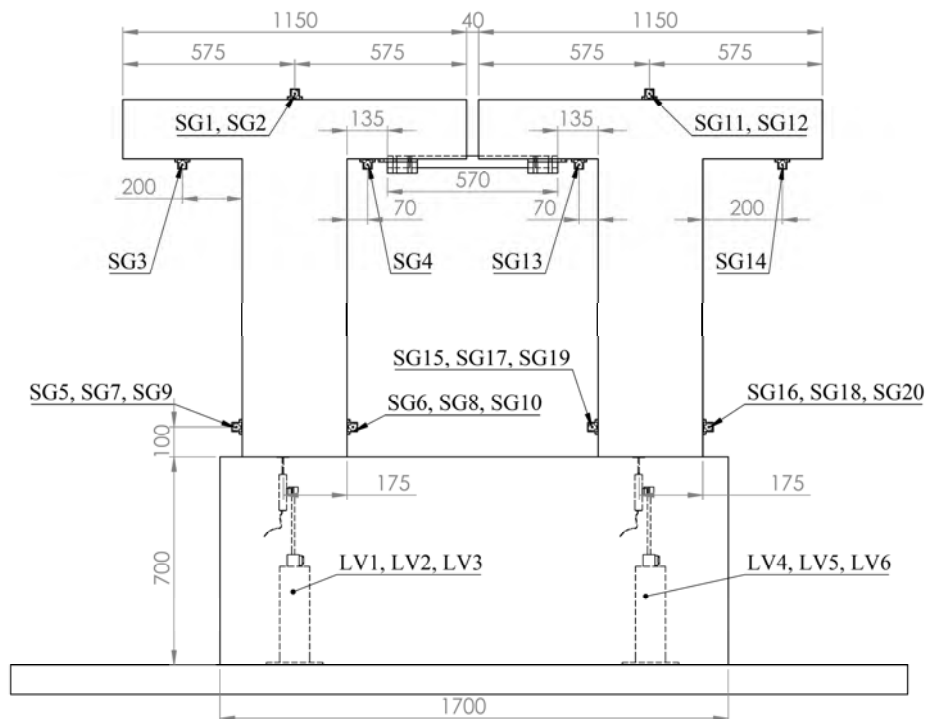
4.9.2. แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดบนชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป RC T-girder แบบระบบคาน

ในการทดสอบแบบสถิติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่จะติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป (LVDT) ทั้งหมด 6 ตำแหน่ง และอุปกรณ์วัดค่าความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป

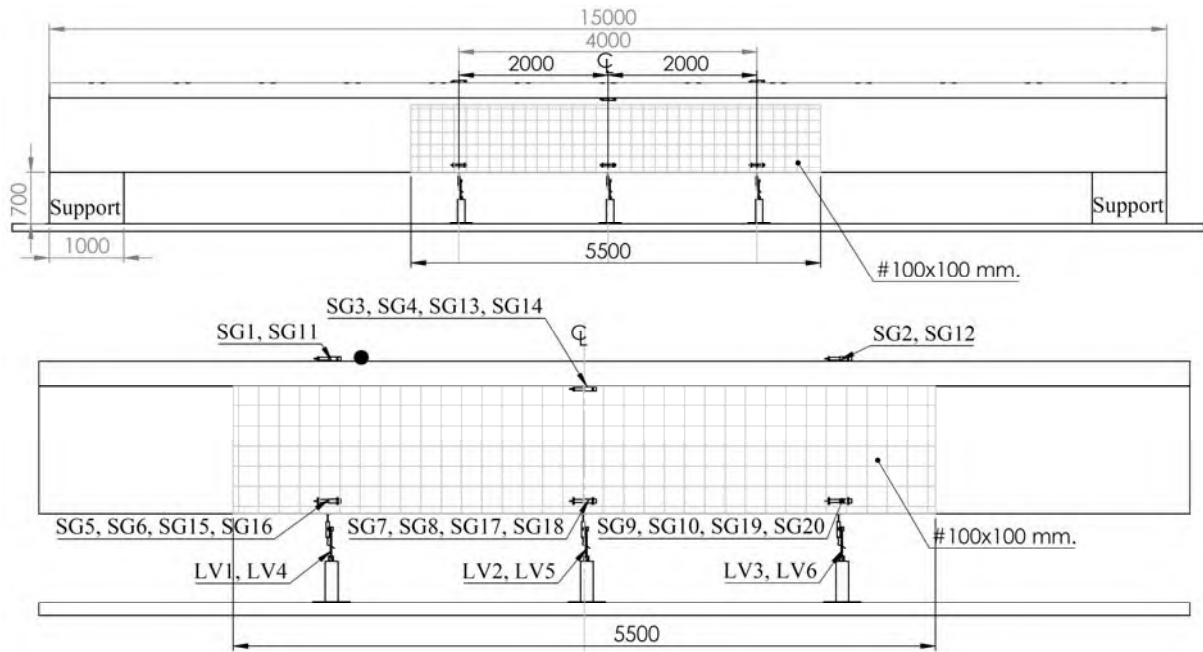
ทั้งหมด 20 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.9-6 และในส่วนการทดสอบแบบพลวัตจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเร่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปทั้งหมด 3 ตำแหน่ง



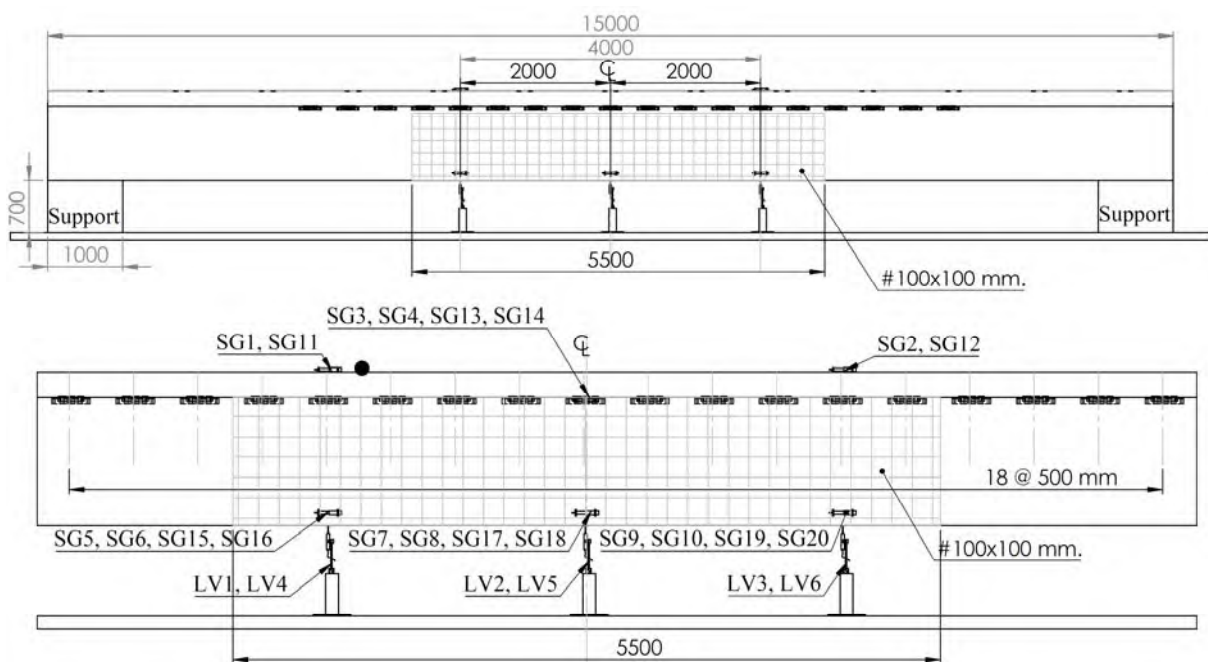
รูปที่ 4.9-6 มุมมองด้านหน้าการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและระยะการแอ่นตัวใน
คานรูปตัวที (RC T-girder) แบบระบบคาน ก่อนเสริมกำลัง



รูปที่ 4.9-7 มุมมองด้านหน้าการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและระยะการแอ่นตัวใน
คานรูปตัวที (RC T-girder) แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง



รูปที่ 4.9-8 มุมมองด้านข้างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและระยะการแอ่นตัวในคานรูปตัวที (RC T-girder) แบบระบบคาน ก่อนเสริมกำลัง



รูปที่ 4.9-9 มุมมองด้านข้างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและระยะการแอ่นตัวในคานรูปตัวที (RC T-girder) แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง

บทที่ 5 การทดสอบการเสริมกำลังคานสะพาน

ในบทนี้จะนำคานสะพาน ที่ได้ก่อสร้างตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 4 ทั้งรูปแบบเดี่ยวและรูปแบบคู่ ทั้งเสริมกำลัง และไม่เสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง มาทดสอบแบบสถิต (Static) และแบบพลวัต (Dynamic)

- แบบสถิต – ให้แรงกระทำแบบสถิต (Static Load) 1 จุด ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานสะพาน ตรวจสอบพฤติกรรมการรับแรงและลักษณะความเสียหาย
- แบบพลวัต – ให้แรงกระทำอย่างฉับพลัน (Transient Load) 1 จุด ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานสะพาน วิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequencies) และค่าการหน่วงของคานสะพาน (Damping Ratios)

ขั้นตอนและหลักการทดสอบ

การประเมินกำลังรับน้ำหนักของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยว ก่อนและหลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง มี 2 วัตถุประสงค์ คือ การเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิต และการเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบพลวัต

5.1 การทดสอบคานสะพาน PC Plank Girder แบบเดี่ยว

การทดสอบเพื่อประเมินการเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิตจะเปรียบเทียบแรงกดทดสอบระหว่างก่อนและหลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด
- 2) ให้แรงกดทดสอบกับชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยว โดยจะใช้ระยะแอนตัวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวเป็นตัวควบคุม โดยจะหยุดแรงกดทดสอบค้างไว้ ทุก ๆ ระยะการแอนตัว 1 มิลลิเมตร
- 3) สังเกตรอยแตกร้าวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยว
- 4) บันทึกภาพการทดสอบในแต่ละขั้นตอน
- 5) บันทึกผลการทดสอบเพื่อนำไปประเมินการเพิ่มประสิทธิภาพ



รูปที่ 5.1-1 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

การทดสอบแบบสถิติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว(Linear Variable Differential Transformer ,LVDT) ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง และอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปทั้งหมด 10 ตำแหน่ง และบันทึกภาพการทดสอบในแต่ละขั้นตอนของการทดสอบแล้วบันทึกค่าผลทดสอบ

5.1.1. ก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

จากรูปที่ 5.1-2 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวยแบบสถิติก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 1 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 1.00 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในชิ้นส่วนของสะพาน



รูปที่ 5.1-2 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวยแบบสถิติก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 1 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-3 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 1.41 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในชิ้นส่วนของสะพาน



รูปที่ 5.1-3 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-4 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 1.94 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในชิ้นส่วนของสะพาน



รูปที่ 5.1-4 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3 มิลลิเมตร

ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-5 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 2.55 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในชิ้นส่วนของสะพาน



รูปที่ 5.1-5 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-6 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 2.87 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเริ่มมีการแตกร้าวเล็กน้อยบริเวณกลางแผ่นพื้น



รูปที่ 5.1-6 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-7 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 3.32 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปมีการแตกร้าวเล็กน้อยบริเวณกลางแผ่นพื้นตำแหน่งเดิมยาวขึ้น



รูปที่ 5.1-7 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-8 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 3.62 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปมีการแตกร้าวบริเวณกลางแผ่นพื้นตำแหน่งเดิมยาวขึ้น



รูปที่ 5.1-8 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-9 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 4.07 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้น ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปมีการแตกร้าวบริเวณกลางแผ่นพื้นตำแหน่งเดิมยาวขึ้น



รูปที่ 5.1-9 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-10 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 4.47 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้น ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปมีการแตกร้าวบริเวณกลางแผ่นพื้นตำแหน่งเดิมยาวขึ้น และมีรอยอื่นๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย



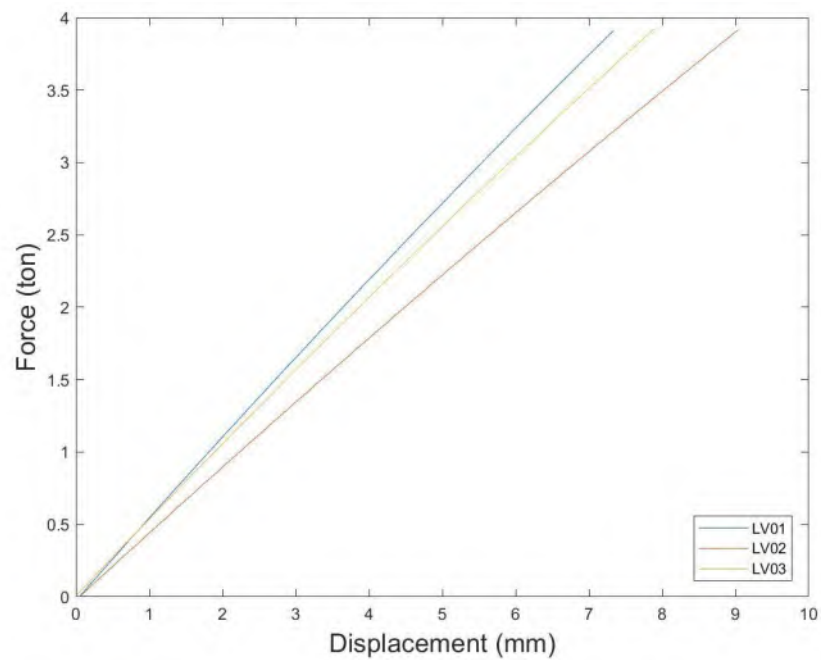
รูปที่ 5.1-10 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-11 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 10 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 4.91 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้น ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปมีการแตกร้าวบริเวณกลางแผ่นพื้นตำแหน่งเดิมยาวขึ้น แล้วทำการหยุดทดสอบขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.1-11 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 10 มิลลิเมตร

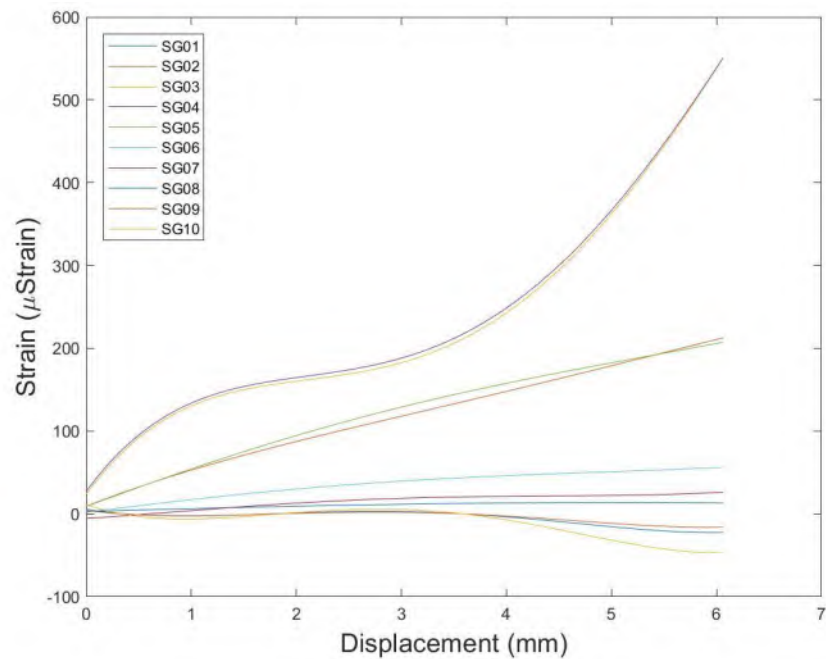
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะการแอ่นตัวของชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวก่อนเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงได้แสดงดังรูปที่ 5.1-12 โดยการติดตั้งเซนเซอร์วัดการแอ่นตัวจะติดตั้งทั้งหมด 3 ตำแหน่งซึ่งรายละเอียดจะอยู่ในบทที่ 4 เซนเซอร์วัดการแอ่นตัว LV01 และ LV03 จะติดตั้งห่างจากจุดรองรับเป็นระยะ $L/4$ ส่วน LV02 จะติดตั้งที่บริเวณกึ่งกลางคาน จากการทดสอบพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับระยะการแอ่นตัวแอ่นตัว มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 5.1-13 การรับแรงของคานในช่วงนี้มีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear elastic)



รูปที่ 5.1-12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะแอ่นตัวของชิ้นส่วนคานสำเร็จรูป

ก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานได้แสดงใน รูปที่ 5.1-13 จากรูปพบว่า เงามัดความเครียดที่ติดด้านล่างของคานเกิดการยืดออก อย่างสังเกตเห็นได้ชัดเจน ส่วนเงามัดความเครียดที่ติดด้านบนมีการรับความเครียดอัด



รูปที่ 5.1-13 กราฟแสดงค่าตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป

ก่อนการเสริมกำลังในขณะทดสอบ

5.1.2. ภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

รูปที่ 5.1-14 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงเริ่มต้นการทดสอบที่ 0 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.1-14 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 0 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-15 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 1 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 1.15 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในชิ้นส่วนของสะพาน



รูปที่ 5.1-15 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 1 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-16 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 2.39 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในชิ้นส่วนของสะพาน



รูปที่ 5.1-16 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-17 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 2.35 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในชิ้นส่วนของสะพาน แต่การรับแรงกดเริ่มคงที่



รูปที่ 5.1-17 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-18 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 3.07 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในชิ้นส่วนของสะพาน แต่การรับแรงกดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.1-18 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-19 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 3.78 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในชิ้นส่วนของสะพาน และการรับแรงกดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 5.1-19 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-20 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 4.46 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในชิ้นส่วนของสะพาน และการรับแรงกดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 5.1-20 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-21 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 5.00 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นเริ่มพบรอยแตกร้าวในชิ้นส่วนของสะพานเล็กน้อย และการรับแรงกดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 5.1-21 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-22 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 5.60 ตัน ซึ่งจากการสังเกตพบรอยแตกร้าวในชิ้นส่วนของสะพานเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย และการรับแรงกดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



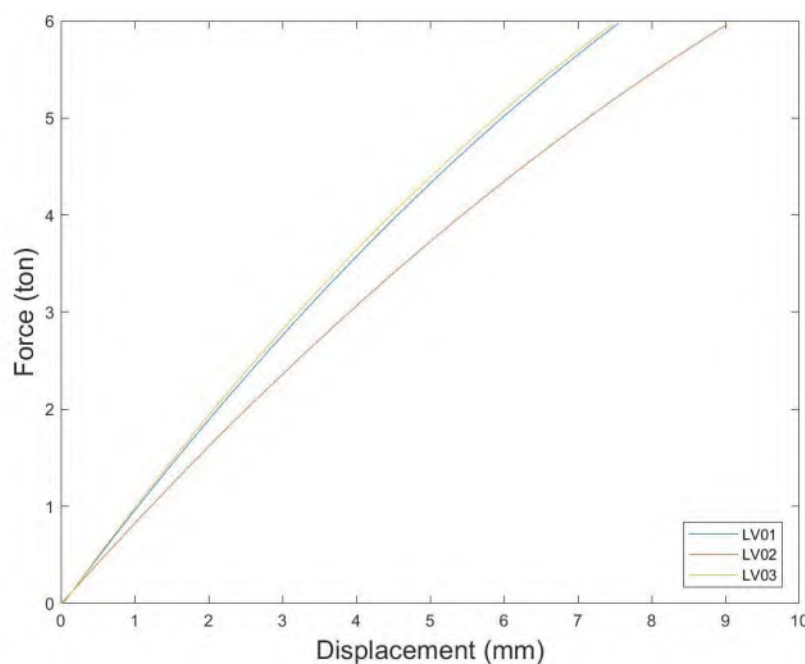
รูปที่ 5.1-22 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1-23 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 6.01 ตัน ซึ่งจากการสังเกตพบรอยแตกร้าวในชิ้นส่วนของสะพานเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ทำการหยุดทดสอบ



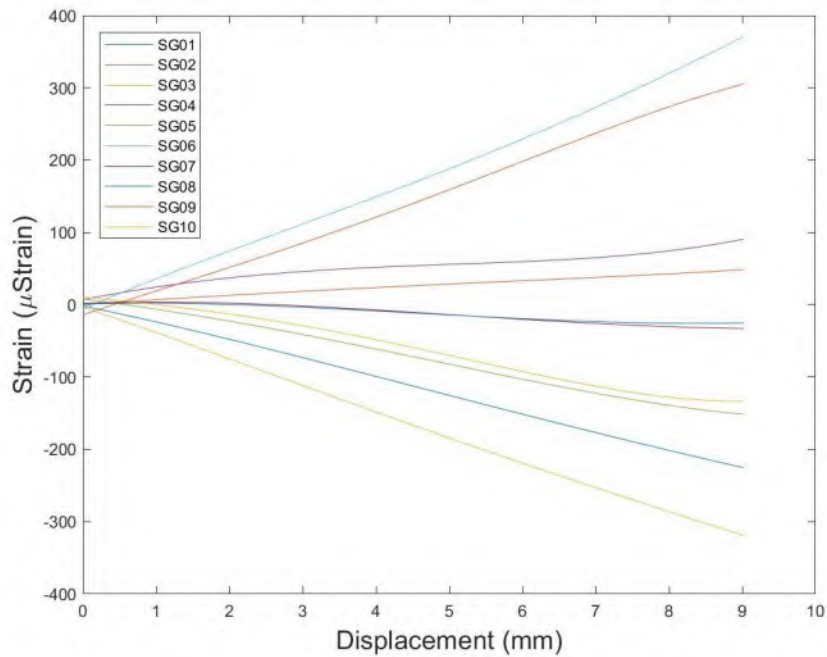
รูปที่ 5.1-23 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9 มิลลิเมตร

ภายหลังการเสริมกำลัง ได้มีการตรวจวัดแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของคานเช่นเดียวกับการทดสอบก่อนการเสริมกำลัง โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการแอ่นตัวของชิ้นส่วนสะพานแบบแผ่นพื้นได้แสดงในรูปที่ 5.1-24 จากรูปพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักกระทำกับคาน ระยะการแอ่นตัวของคานได้เพิ่มมากขึ้นตามแรงกระทำ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการแอ่นตัวเป็นเส้นตรงในช่วงที่ระยะการแอ่นตัวน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร และเริ่มเป็นเส้นโค้งที่ระยะการแอ่นตัวเกินกว่า 3 มิลลิเมตร การทดสอบได้ดำเนินการจนถึงระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานเท่ากับ 9 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.1-24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะแอ่นตัวของชิ้นส่วนคานสำเร็จรูป
ภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานได้แสดงในรูปที่ 5.1-25 โดยगेจวัดความเครียดที่ติดตั้งบนแผ่นพื้น (SG1-5) จะติดตั้งที่ตำแหน่งเดิมกับกรณีก่อนการเสริมกำลังแต่गेจ SG6 - 10 จะติดตั้งลงในแนวตามยาวบริเวณขอบคานเท่านั้น เนื่องจากมีการติดตั้งยางเพื่อเสริมกำลังจึงไม่สามารถติดตั้งบริเวณกลางคานด้านล่างได้ จากรูปพบว่า เกจวัดความเครียดที่ติดตั้งล่างของคานเกิดการยืดออก อย่างสังเกตเห็นชัดเจน ส่วนगेจวัดความเครียดที่ติดตั้งบนมีการรับความเครียดอัด โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับระยะการแอ่นตัวมีลักษณะเป็นเส้นค่อนข้างตรงตลอดช่วงการทดสอบ



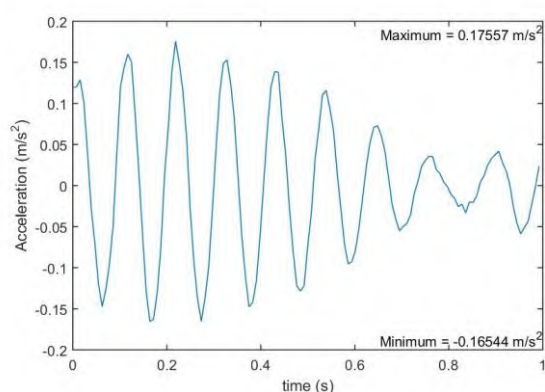
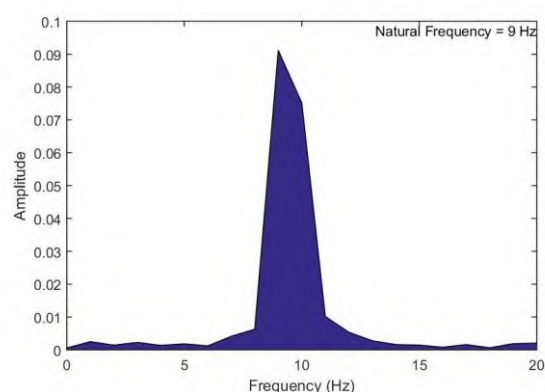
รูปที่ 5.1-25 กราฟแสดงค่าตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูป
ภายหลังการเสริมกำลังในขณะทดสอบ และ Strain Profile

5.1.3. การทดสอบแบบ Dynamic ของชิ้นส่วนแบบเดี่ยว เสริมและไม่เสริมกำลัง

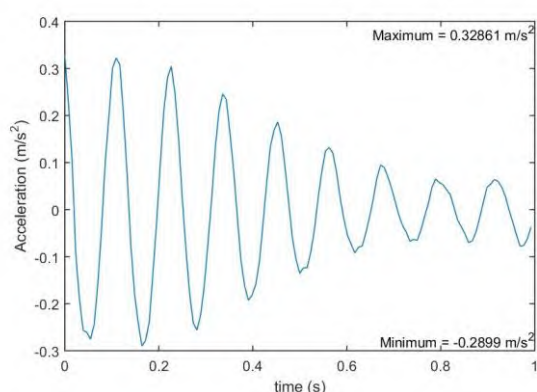
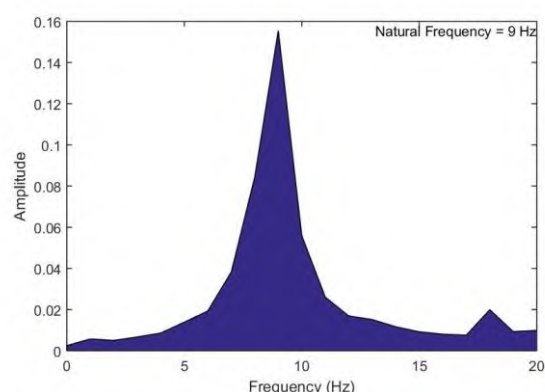
การทดสอบแบบ Dynamic ของชิ้นส่วนแบบเดี่ยวทั้งก่อนและหลังเสริมกำลัง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน และเปรียบเทียบอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) ระหว่างแผ่นพื้นก่อนและหลังเสริมกำลัง โดยมีสมมติฐานว่าแผ่นยางที่ใช้ในการเสริมกำลังในทิศทางตามยาวมีความสามารถในการดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับคานได้ โดยหลังจากการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรง แถบยางพาราจะช่วยเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงของสะพานได้ ในการทดสอบจะทำการติดเซนเซอร์วัดความเร่งบนสะพานทดสอบจำนวน 3 จุด คือ จุดกึ่งกลางคาน (AC02) และที่ระยะห่างจากปลายคานทั้งสองข้าง 2.0 เมตร จำนวน 2 จุด AC01 และ AC03

โดยก่อนการเสริมกำลัง การทดสอบจะทำได้โดยให้แรงกระทำกระทำ ณ จุดกึ่งกลางคาน เมื่อให้แรงกระทำแล้วจะทำการตรวจวัดความเร่งจากเซนเซอร์วัดความเร่งทั้งสามจุดในทันที ความเร่งที่ตรวจวัดได้ของแผ่นพื้นแบบเดี่ยวที่ไม่มีการเสริมกำลังทั้งสามจุดได้แสดงดังรูปที่ 5.1-26 ถึงรูปที่ 5.1-28

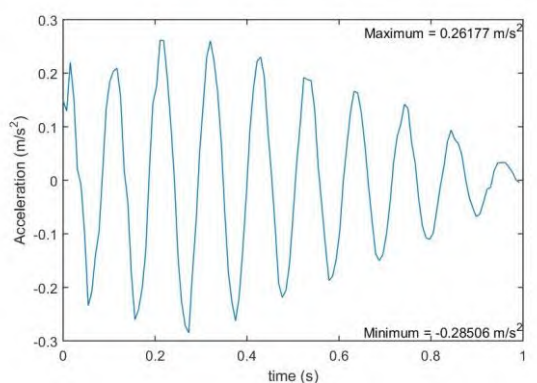
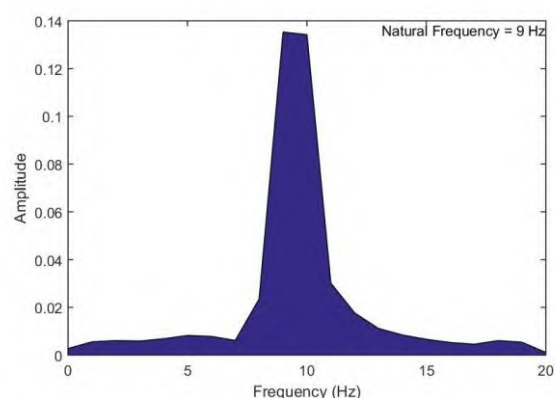
จากผลการตรวจวัดพบว่า สะพานแบบแผ่นพื้นมีความถี่ธรรมชาติประมาณ 9 เฮิรตซ์ และสะพานมีอัตราส่วนความหน่วงอยู่ในช่วงประมาณ 2 – 3 % ดังแสดงในรูปที่ 5.1-26 ถึงรูปที่ 5.1-28



รูปที่ 5.1-26 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวก่อนการเสริมกำลัง (AC01) Damping Ratio = 2%

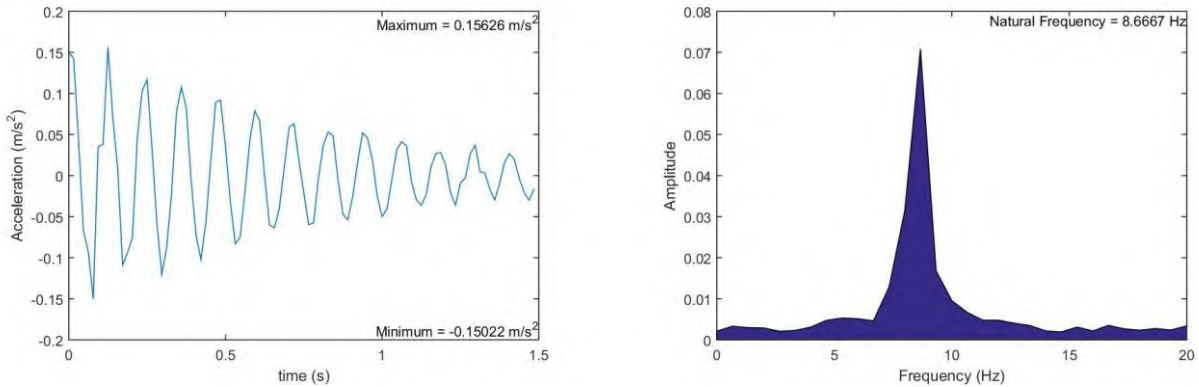


รูปที่ 5.1-27 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติ ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวก่อนการเสริมกำลัง (AC02) Damping Ratio = 3%

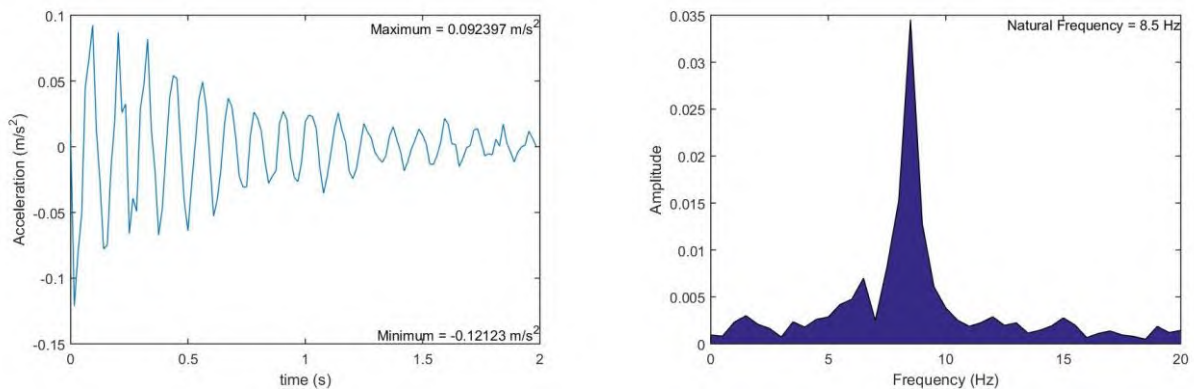


รูปที่ 5.1-28 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวก่อนการเสริมกำลัง (AC03) Damping Ratio = 2%

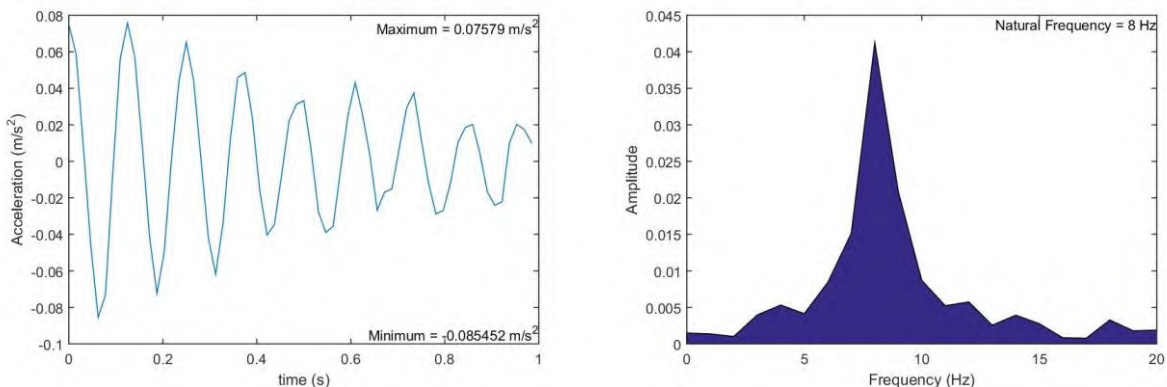
ภายหลังการเสริมกำลังด้วยยางพาราแล้วพบว่า ความถี่ธรรมชาติของสะพานไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จากเดิมความถี่ 9 เฮิรตซ์ ลดลงเป็น 8.5 Hz ภายหลังการเสริมกำลังพบว่าอัตราส่วนความหน่วงของสะพานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมอัตราส่วนความหน่วง 2-3% เพิ่มขึ้นเป็น 3-5% ดังแสดงในรูปที่ 5.1-29 ถึงรูปที่ 5.1-31



รูปที่ 5.1-29 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวหลังการเสริมกำลัง (AC01) Damping Ratio = 4.33%



รูปที่ 5.1-30 การตรวจวัดการสั่นสะเทือนและประมวลผลค่าความถี่ธรรมชาติ ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยว หลังการเสริมกำลัง (AC02) Damping Ratio = 4.5%



รูปที่ 5.1-31 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและประมวลผลค่าความถี่ธรรมชาติ ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบ

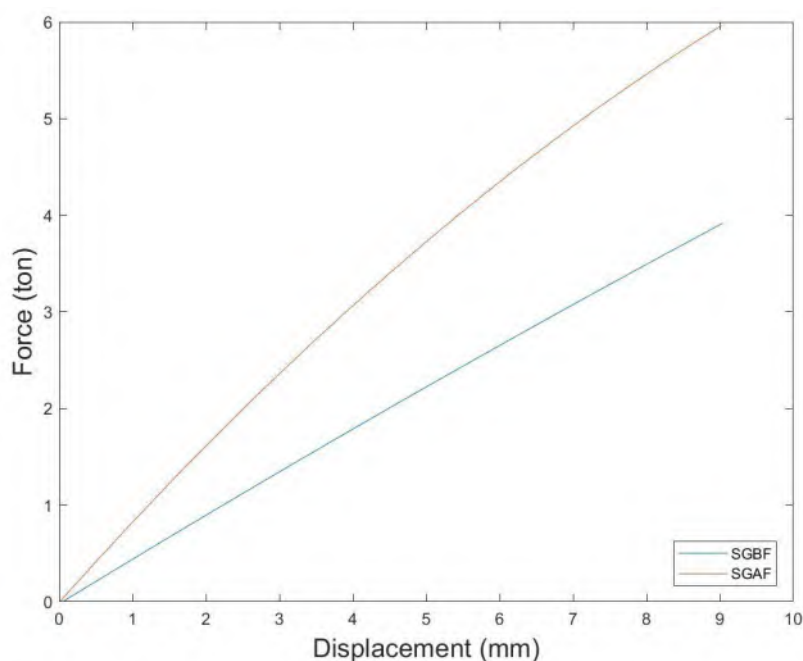
เดี่ยวหลังการเสริมกำลัง (AC03) Damping Ratio = 3%

จากผลการทดสอบแบบ Dynamic ของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบเดี่ยวยเสริมและไม่เสริมกำลังด้วยยางพาราอัดแรงสรุปได้ว่า โดยรวมค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปก่อนเสริมกำลังด้วยยางพาราอัดแรงมีค่าเท่ากับ 9 Hz หลังจากเสริมกำลังด้วยยางพาราอัดแรงค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปมีค่าโดยเฉลี่ยลดลงเหลือ 8.5 Hz ส่วนค่าอัตราส่วนความหน่วง (damping ratio) ของชิ้นส่วนสะพานก่อนเสริมกำลังมีค่า 2-3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเสริมกำลังแล้วชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปมีค่าอัตราส่วนความหน่วงเพิ่มขึ้นเป็น 3-5% ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มขึ้นของค่าอัตราส่วนประมาณ 1 % จะทำให้ความถี่ธรรมชาติลดลงตามสมการ

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (5.1-1)$$

5.1.4. อภิปรายและเปรียบเทียบผลการทดสอบของคานสะพานแบบเดี่ยว (PC Plank Girder)

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะการแอ่นตัวก่อนและหลังการเสริมกำลังพบว่า ที่ระยะแอ่นตัวที่เท่ากัน ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปที่เสริมกำลังด้วยยางพาราอัดแรงสามารถรับแรงกดทดสอบได้เพิ่มมากขึ้นกว่าชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปที่ไม่ได้เสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 5.1-32



รูปที่ 5.1-32 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะแอ่นตัวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปก่อนและหลังเสริมกำลังด้วยยางพาราอัดแรง

ประสิทธิภาพในการใช้แถบยางพาราอัดแรงในการเสริมกำลังแผ่นพื้นคอนกรีต (Plank) ก่อนและหลังการเสริมกำลัง ทั้งแบบเดี่ยวและแบบคู่ได้แสดงในตารางที่ 5.1-1 จากตารางพบว่า แถบยางพาราช่วยเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงสำหรับคานเดี่ยวได้อย่างมีนัยสำคัญ การเสริมแถบยางพาราตามแนวยาวมีส่วนสำคัญในการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของคาน และการเสริมแถบยางพาราบริเวณรอยต่อของแผ่นพื้น จะทำให้การถ่ายแรงเฉือนของแผ่นพื้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5.1-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมกำลังคานและระบบคานด้วยแถบยางพาราอัดแรง

ประเด็นที่สนใจ	ก่อนเสริม	ภายหลังเสริม
ความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนทดสอบแบบเดี่ยว	9 Hz	8.5 Hz
อัตราส่วนความหน่วงของชิ้นส่วนทดสอบแบบเดี่ยว	3 %	4 %
แรงกดทดสอบที่เกิดการแอ่นตัวเท่ากับ 9 mm ของชิ้นส่วนเดี่ยว	4.5 Ton	6 Ton
แรงกดทดสอบที่เกิดการแตกร้าวที่ท้องของชิ้นส่วนเดี่ยว	3.78 Ton	5 Ton
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดการแตกร้าวที่ท้องของชิ้นส่วนเดี่ยว	5 mm	7 mm
รูปแบบการแตกร้าวที่ท้องของชิ้นส่วนเดี่ยว	ร้าวตรงกลาง ชิ้นส่วนทดสอบ	ร้าวแบบกระจาย

5.2 การทดสอบคานสะพาน PC Plank Girder แบบระบบคาน

5.2.1. ก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

การทดสอบเพื่อประเมินการเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติ จะเปรียบเทียบแรงกดทดสอบระหว่างก่อนและหลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง โดยพิจารณาการแตกร้าวระหว่างรอยต่อของแผ่นพื้นทั้งสอง โดยมีขั้นตอนการทดสอบเหมือนกันกับแบบเดี่ยว



รูปที่ 5.2-1 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 1 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-2 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 3.57 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน



รูปที่ 5.2-2 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-3 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 3.68 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.2-3 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-4 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 4.68 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.2-4 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-5 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 5.46 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.2-5 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-6 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 5.92 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังเริ่มพบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.2-6 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-7 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 6.64 ตัน ซึ่งจากการสังเกตพบรอยร้าวในรอยต่อของสะพานยาวขึ้นตลอดแนว และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.2-7 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-8 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 6.96 ตัน ซึ่งจากการสังเกตพบรอยร้าวในรอยต่อของสะพานยาวขึ้นตลอดแนว และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



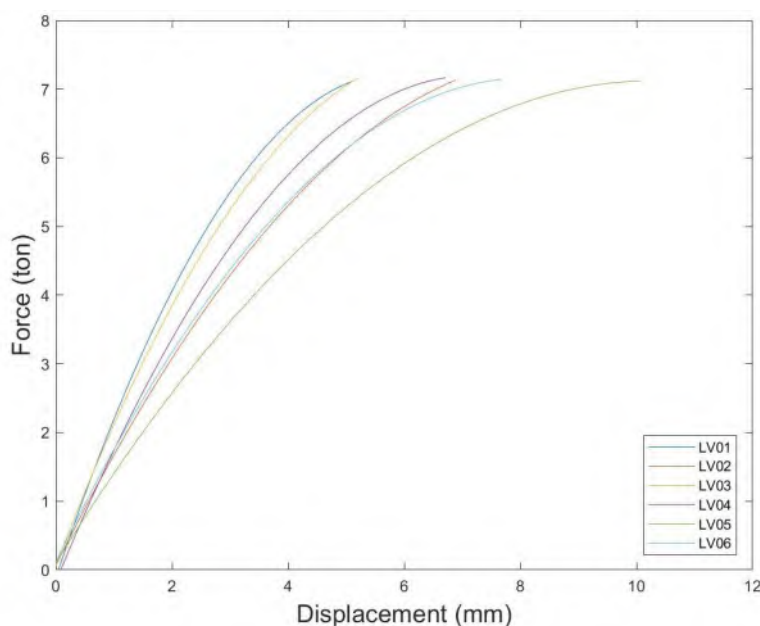
รูปที่ 5.2-8 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-9 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 7.21 ตัน ซึ่งจากการสังเกตพบรอยร้าวในรอยต่อของสะพานยาวขึ้นตลอดแนว และกว้างขึ้น จึงหยุดทดสอบ



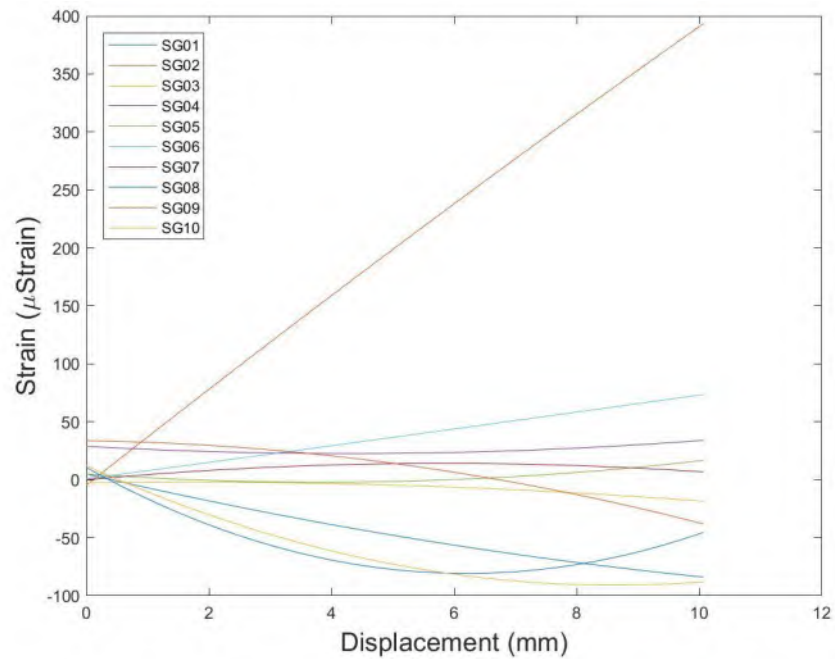
รูปที่ 5.2-9 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9 มิลลิเมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบและระยะการแอ่นตัวของคานสำเร็จรูปคู่ ก่อนการเสริมกำลังได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.2-10 ตำแหน่ง การติดตั้ง LVDT อย่างละเอียด ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 โดย LV5 เป็น LVDT ที่ติดตั้งกึ่งกลางคานที่ทำการกีดน้ำหนักทดสอบ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า ในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการแอ่นตัวจะเป็นเส้นตรง และจะเป็นเส้นโค้งหลังจากแรงกดมีค่ามากกว่า 6 ตัน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อแรงกดมีค่ามากกว่า 7 ตัน เมื่อแรงเกินระดับ 7 ตัน แผ่นพื้นทั้งสองแผ่นมีการแยกตัวและมีการถ่ายแรงสู่แผ่นพื้นที่เกิดน้ำหนักทดสอบเพียงแผ่นเดียว ที่ระดับแรงกดดังกล่าว แผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบคู่เกิดการวิบัติที่รอยต่ออย่างชัดเจน

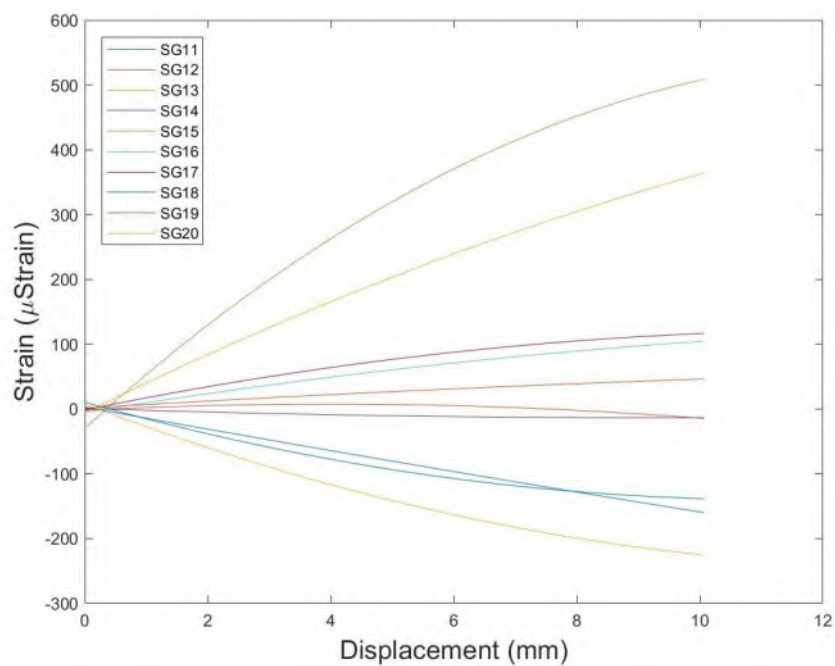


รูปที่ 5.2-10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะแอ่นตัวของชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปคู่
ก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานสำหรับแผ่นพื้นตัวที่ 1 (PG1) ได้แสดงในรูปที่ 5.2-11 และตัวที่ 2 (PG2) ได้แสดงในรูปที่ 5.2-12 โดยเกจวัดความเครียดหมายเลข SG1-10 จะติดบนที่ติดแผ่นพื้น PG1 และ เกจวัดความเครียดหมายเลข SG11-20 จะติดบนแผ่นพื้น PG2 พบว่าเกจวัดความเครียดที่ติดตั้งด้านล่างของคานเกิดการยืดออก อย่างสังเกตได้ชัดเจน ส่วนเกจวัดความเครียดที่ติดตั้งด้านบนเกิดการหดตัวหรือรับความเครียดอัด โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับระยะการแอ่นตัวได้แสดงในรูปที่ 5.2-11 และรูปที่ 5.2-12



รูปที่ 5.2-11 กราฟแสดงค่าตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่
ก่อนการเสริมกำลังในขณะทดสอบบน PG1



รูปที่ 5.2-12 กราฟแสดงค่าตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่
ก่อนการเสริมกำลังในขณะทดสอบบน PG2

5.2.2. ภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

รูปที่ 5.2-13 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงเมื่อเริ่มการทดสอบที่ระยะการแอนตัว 0 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.2-13 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 0 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-14 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 2.23 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน



รูปที่ 5.2-14 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-15 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 3.26 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.2-15 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-16 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 4.25 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.2-16 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-17 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 5.37 ตัน และ 6.42 ตัน ตามลำดับ ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.2-17 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5 และ 6 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-18 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 7.58 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.2-18 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-19 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 8.40 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.2-19 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-20 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 9.23 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 5.2-20 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

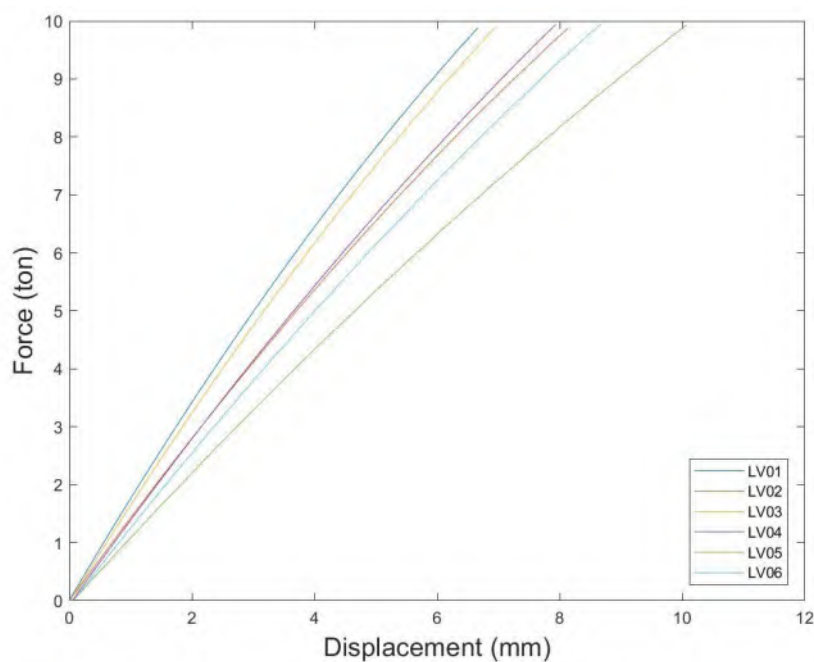
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2-21 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 10 มิลลิเมตร สามารถรับแรงกระทำได้ 9.80 ตัน ซึ่งจากการสังเกตเบื้องต้นยังไม่พบรอยร้าวในรอยต่อของสะพาน และแรงกระทำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จึงทำการหยุดทดสอบ



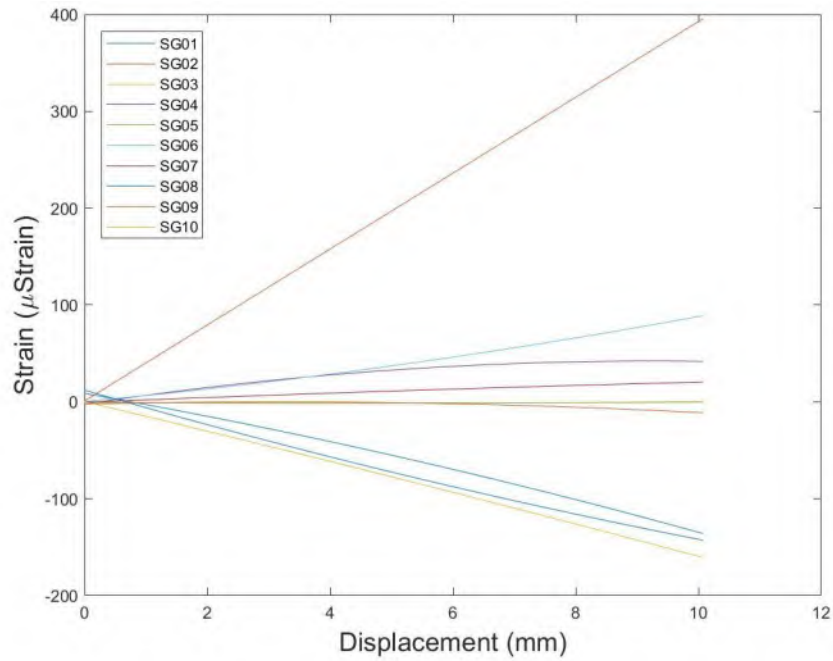
รูปที่ 5.2-21 การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่แบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 10 มิลลิเมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบและระยะการแอ่นตัวของคานสำเร็จรูปคู่ หลังการเสริมกำลังได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.2-22 การติดตั้งตำแหน่ง LVDT อย่างละเอียด ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 โดย LV5 เป็น LVDT ที่ติดตั้งกึ่งกลางคานที่ทำการกั้นน้ำหนักทดสอบ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการแอ่นตัวเกือบเป็นเส้นตรงตลอดช่วงการทดสอบ และจะเป็นเส้นโค้งเพียงเล็กน้อยจากแรงกดมีค่ามากกว่า 6 ตัน จากการทดสอบพบว่า แผ่นไม่มีการแยกตัวอย่างชัดเจนและมีการถ่ายแรงสู่แผ่นพื้นที่ไม่ได้รับน้ำหนักอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อน้ำหนักกดมากขึ้นจะพบรอยแตกระหว่างแผ่นพื้น แต่การถ่ายแรงระหว่างแผ่นพื้นยังเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเสริมยางพาราอัดแรง เป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการเสริมกำลังการถ่ายแรงเฉือนระหว่างแผ่นพื้น

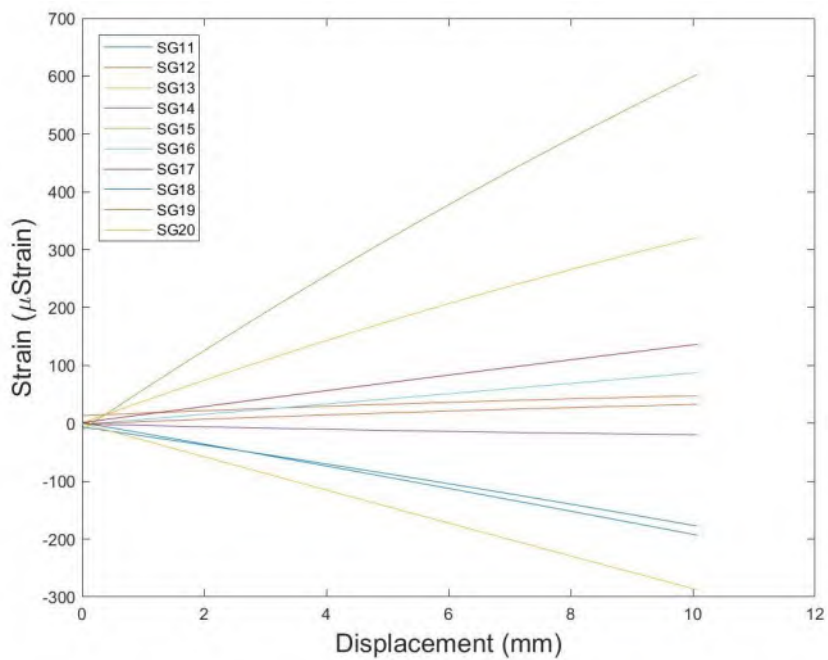


รูปที่ 5.2-22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะแอนตัวของชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปคู้
ภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะการแอนรูปที่กึ่งกลางคานหลังการเสริมกำลังชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปแบบคู้ สำหรับแผ่นพื้นตัวที่ 1 (PG1) ได้แสดงในรูปที่ 5.2-23 และตัวที่ 2 (PG2) ได้แสดงในรูปที่ 5.2-24 โดยเกจวัดความเครียดหมายเลข SG1-10 จะติดบนที่ติดแผ่นพื้น PG1 และ เกจวัดความเครียดหมายเลข SG11-20 จะติดบนแผ่นพื้น PG2 จากกราฟจะเห็นได้ว่าเกจวัดความเครียดที่ติดด้านล่างของคานเกิดการยืดออกอย่างสังเกตเห็นได้ชัดเจน ส่วนเกจวัดความเครียดที่ติดด้านบนเกิดการหดตัวหรือรับความเครียดอัด โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับระยะการแอนตัวจะเป็นเส้นตรง แสดงถึงการถ่ายแรงระหว่างแผ่นพื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5.2-23 กราฟแสดงค่าตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่
ภายหลังการเสริมกำลังในขณะทดสอบบน PG1



รูปที่ 5.2-24 กราฟแสดงค่าตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่
ภายหลังการเสริมกำลังในขณะทดสอบบน PG2

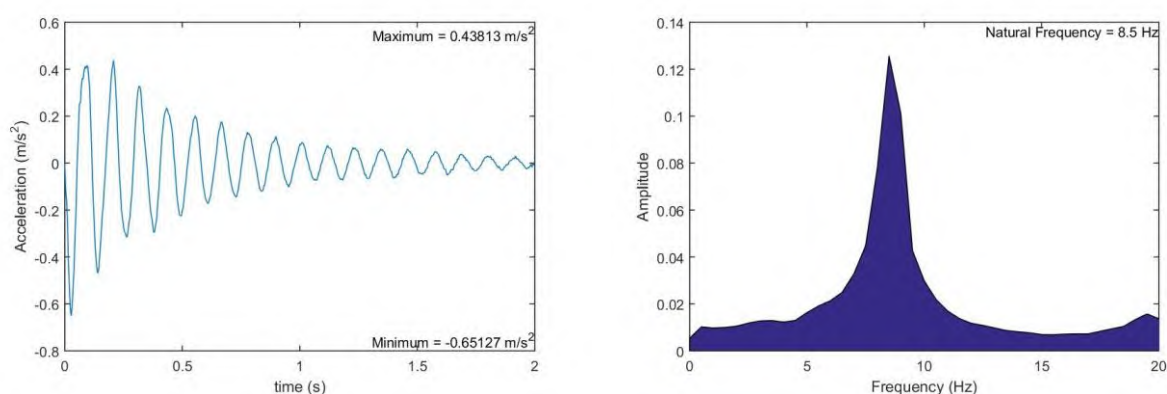
5.2.3. การทดสอบแบบ Dynamic ของชิ้นส่วนแบบคู่ เสริมและไม่เสริมกำลัง

การทดสอบแบบ Dynamic ของชิ้นส่วนแบบคู่ทั้งก่อนและหลังเสริมกำลัง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน และเปรียบเทียบอัตราส่วนความหน่วงระหว่างแผ่นพื้นก่อนและหลังเสริมกำลัง โดยมีสมมติฐานว่าแผ่นยางที่ใช้ในการเสริมกำลังในทิศทางตามขวางมีความสามารถในการดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับคานได้ โดยหลังจากการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรง แถบยางพาราจะช่วยเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงของสะพานได้ ในการทดสอบจะทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร่งบนสะพานทดสอบจำนวน 3 จุด คือ จุดกึ่งกลางคาน (AC02) และที่ระยะห่างจากปลายคานทั้งสองข้าง 2.0 เมตร จำนวน 2 จุด AC01 และ AC03

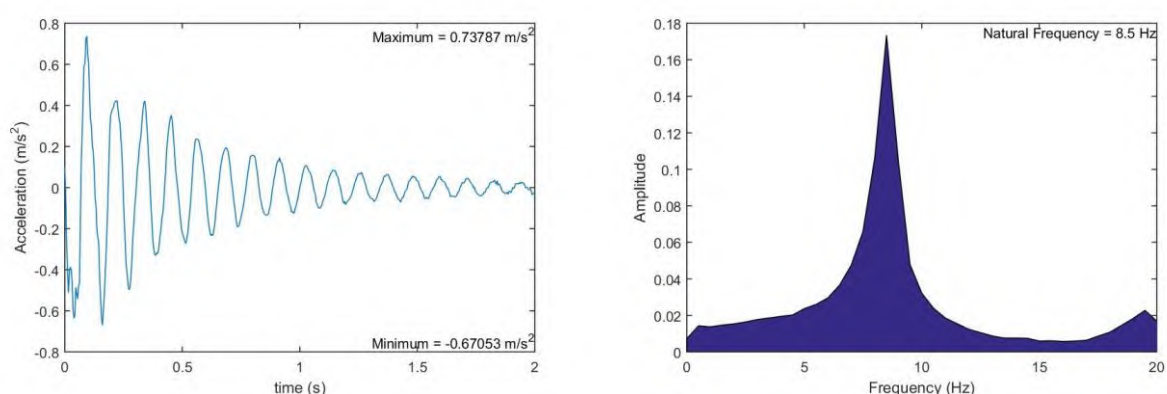
ผลการทดสอบแบบ Dynamic มีค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนทดสอบและการประมวลผลค่าความถี่ธรรมชาติและความหน่วงของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปดังรูปที่ 5.2-25 ถึงรูปที่ 5.2-30

โดยก่อนการเสริมกำลัง การทดสอบจะทำได้โดยให้แรงกระแทกกระทำ ณ จุดกึ่งกลางคาน เมื่อให้แรงกระแทกแล้วจะทำการตรวจวัดความเร่งจากเซนเซอร์วัดความเร่งทั้งสามจุดในทันที ความเร่งที่ตรวจวัดได้ของแผ่นพื้นแบบเดี่ยวที่ไม่มีการเสริมกำลังทั้งสามจุดได้แสดงดังรูปที่ 5.2-25 ถึงรูปที่ 5.2-27

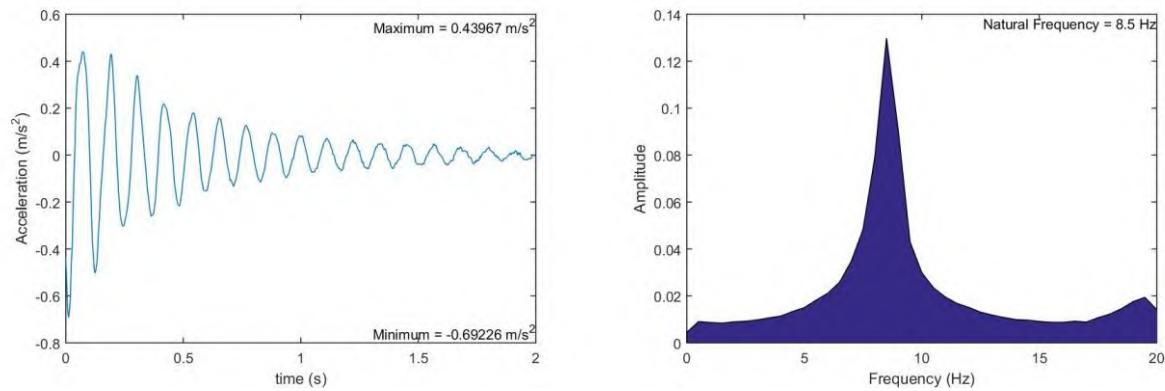
จากผลการตรวจวัดพบว่า สะพานแบบแผ่นพื้นคู่มีความถี่ธรรมชาติประมาณ 8.5 เฮิรตซ์ และสะพานมีอัตราส่วนความหน่วงอยู่ในช่วงประมาณ 3.2-3.6 % ดังแสดงในรูปที่ 5.2-25 ถึงรูปที่ 5.2-27



รูปที่ 5.2-25 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคู่ก่อนการเสริมกำลัง (AC01) Damping Ratio = 3.4%

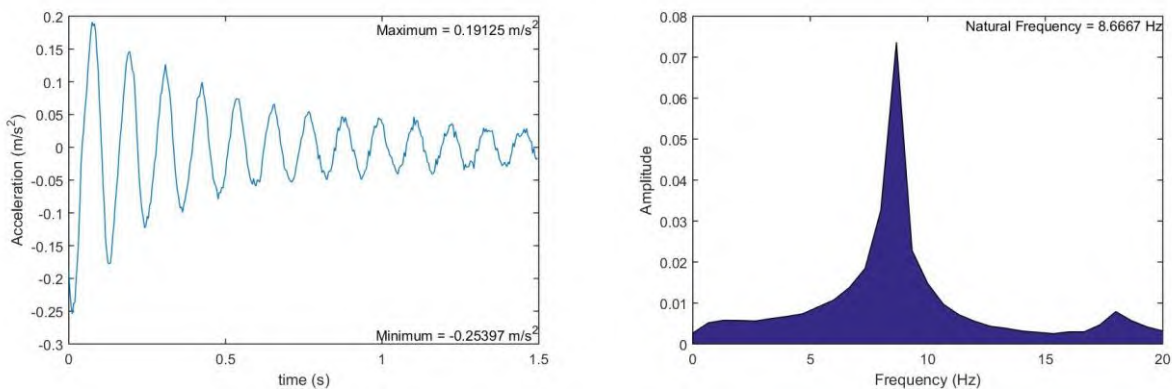


รูปที่ 5.2-26 การตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคูก่อนการเสริมกำลัง (AC02) Damping Ratio = 3.6%

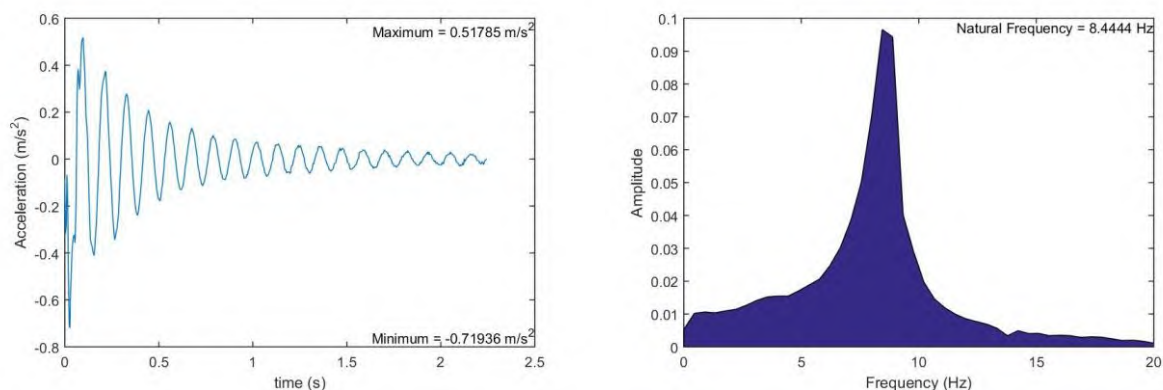


รูปที่ 5.2-27 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคูก่อนการเสริมกำลัง (AC03) Damping Ratio = 3.2%

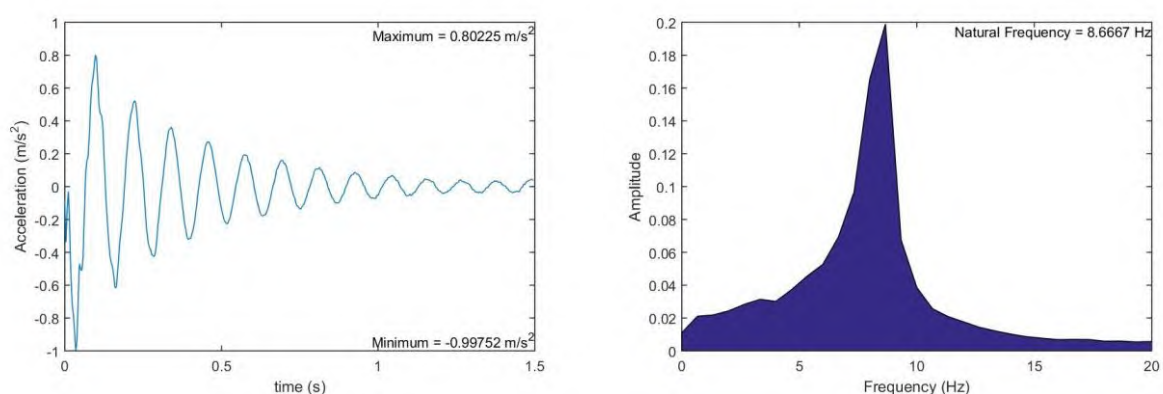
ภายหลังการเสริมกำลังด้วยยางพาราแล้วพบว่า ความถี่ธรรมชาติของสะพานไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยอยู่ที่ระดับประมาณ 8.4-8.6 เฮิรท์ ดังแสดงในรูปที่ 5.2-28 ถึง รูปที่ 5.2-30 ภายหลังการเสริมกำลังพบว่า อัตราส่วนความหน่วงของสะพานไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง คือยังคงอยู่ในระดับ 3.2-3.6% ดังแสดงในรูปที่ 5.2-28 ถึง รูปที่ 5.2-30



รูปที่ 5.2-28 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคูก่ภายหลังการเสริมกำลัง (AC01) Damping Ratio = 3.3%



รูปที่ 5.2-29 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคูกายหลังการเสริมกำลัง (AC02) Damping Ratio = 3.6%

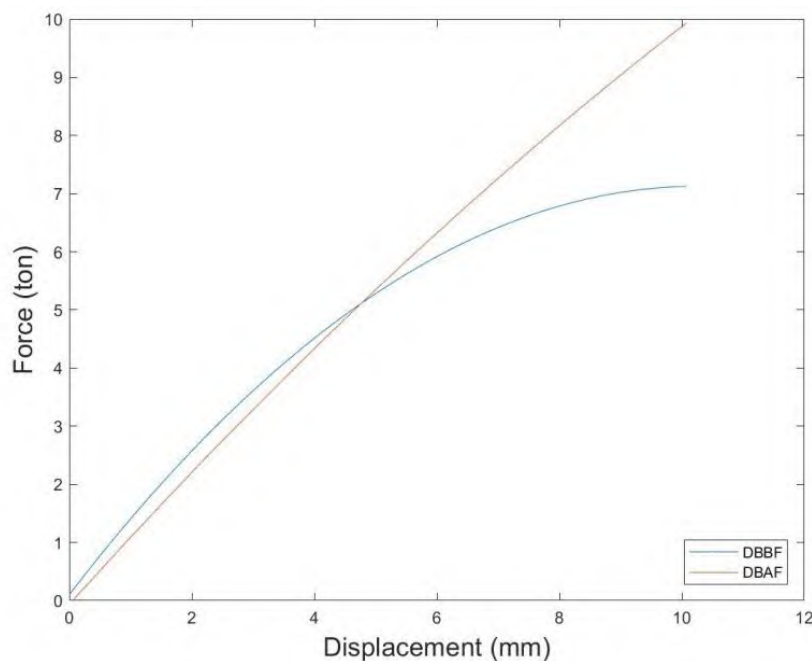


รูปที่ 5.2-30 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคูกายหลังการเสริมกำลัง (AC03) Damping Ratio = 3.2%

สรุปได้ว่าการทดสอบแบบ Dynamic ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคูกูเสริมและไม่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางพาราพบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานภายหลังการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพาราอัดแรงไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ด้านอัตราส่วนความหน่วงพบว่า การเสริมกำลังคานคูกูด้วยแผ่นยางพาราทางด้านขวางไม่ทำให้อัตราส่วนความหน่วง (Damping ratio) เพิ่มขึ้น

5.2.4. อภิปรายและเปรียบเทียบผลการทดสอบของคานสะพานแบบคูกู (PC Plank Girder)

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะการแอ่นตัวก่อนและหลังการเสริมกำลังชิ้นส่วนสะพานแบบคานคูกูได้แสดงในรูปที่ 5.2-31 จากรูปพบว่าที่ระยะแอ่นตัวที่เท่ากัน ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคูกูที่เสริมกำลังด้วยวัสดุยางพาราสามารถรับแรงกดทดสอบได้เพิ่มมากขึ้นกว่าชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบคูกูที่ไม่ได้เสริมกำลัง จากรูปที่ 5.2-31 พบว่า สะพานสำเร็จรูปแบบคูกูสามารถถ่ายแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับคานที่ไม่เสริมกำลัง ซึ่งจะสามารถถ่ายแรงได้ที่ระดับแรงกด 7 ตันเท่านั้น



รูปที่ 5.2-31 การเปรียบเทียบความสัมพันธระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะแอนตัวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปคู่ก่อนและหลังเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

ประสิทธิภาพในการใช้แถบยางพาราอัดแรงในการเสริมกำลังแผ่นพื้นคอนกรีต (Plank) ก่อนและหลังการเสริมกำลัง ทั้งแบบเดี่ยวและแบบคู่ได้แสดงในตารางที่ 5.2-1 จากตารางพบว่า แถบยางพาราช่วยเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงสำหรับคานเดี่ยวได้อย่างมีนัยสำคัญ การเสริมแถบยางพาราตามแนวยาวมีส่วนสำคัญในการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของคาน และการเสริมแถบยางพาราบริเวณรอยต่อของแผ่นพื้น จะทำให้การถ่ายแรงเฉือนของแผ่นพื้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5.2-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมกำลังคานและระบบคานด้วยแถบยางพาราอัดแรง

ประเด็นที่สนใจ	ก่อนเสริม	ภายหลังเสริม
ความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนทดสอบแบบคู่	8.5 Hz	8.5 Hz
ค่าความหน่วงของชิ้นส่วนทดสอบแบบคู่	3.4 %	3.4 %
แรงกดทดสอบที่เกิดการแอนตัวเท่ากับ 10 mm ของชิ้นส่วนคู่	6.5 Ton	10 Ton
แรงกดทดสอบที่เกิดการแตกร้าวที่รอยต่อของชิ้นส่วนคู่	5.29 Ton	10 mm ยังไม่เกิด การแตกร้าว
ค่าการแอนตัวที่เกิดการแตกร้าวที่รอยต่อของชิ้นส่วนคู่	6 mm	
รูปแบบการแตกร้าวที่ท้องของชิ้นส่วนเดี่ยว	ร้าวเป็นแนวยาว บริเวณรอยต่อ	

5.3 การทดสอบคานสะพาน RC T-girder แบบเดี่ยว

การทดสอบเพื่อประเมินการเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสลิตจะเปรียบเทียบแรงกดทดสอบระหว่างก่อนและหลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง โดยมีขั้นตอนดังนี้

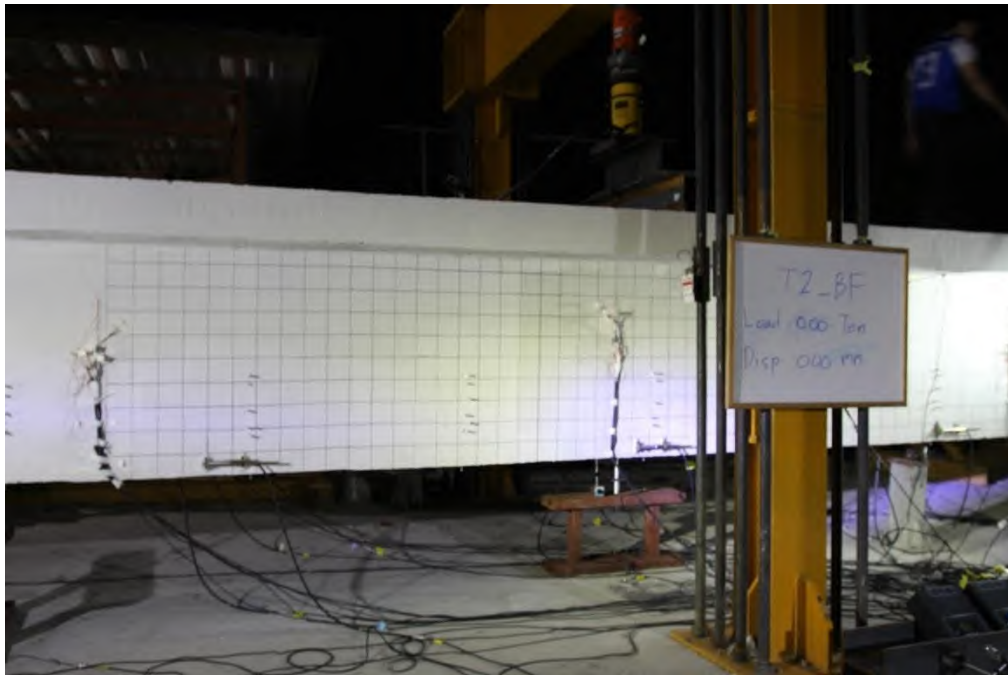
- 1) ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด
- 2) ให้แรงกดทดสอบกับชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยว โดยจะใช้ระยะแอนตัวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวเป็นตัวควบคุม โดยจะหยุดแรงกดทดสอบค้างไว้ ทุก ๆ ระยะแอนตัว 1 มิลลิเมตร
- 3) สังเกตรอยแตกร้าวของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยว
- 4) บันทึกภาพการทดสอบในแต่ละขั้นตอน
- 5) บันทึกผลการทดสอบเพื่อนำไปประเมินการเพิ่มประสิทธิภาพ



รูปที่ 5.3-1 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

5.3.1. ก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

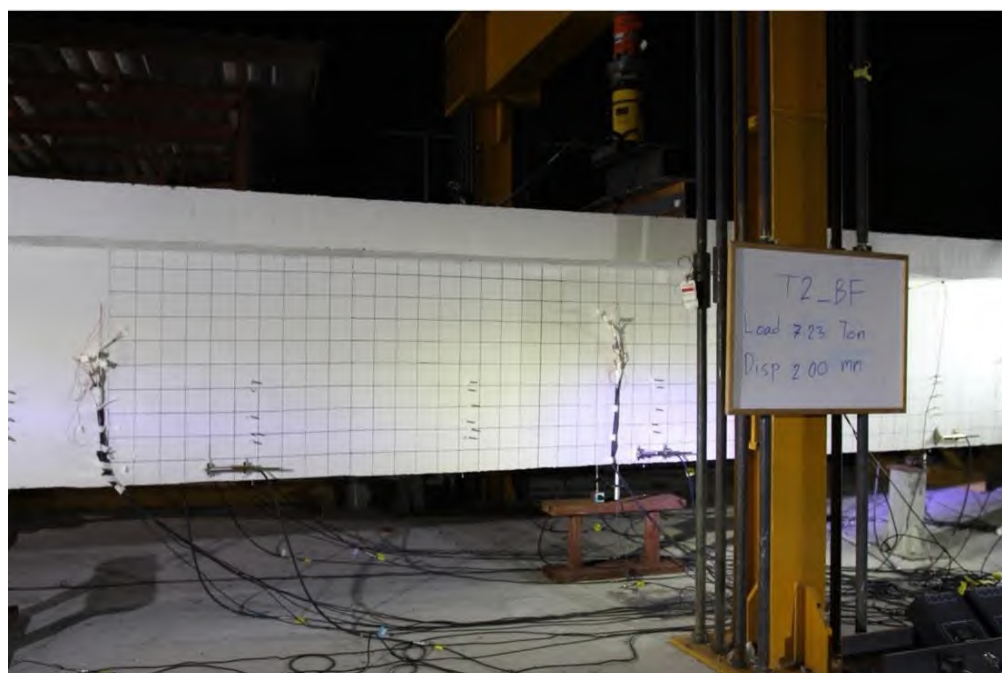
จากรูปที่ 5.3-2 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงเริ่มต้นการทดสอบการแอนตัวที่ 0 มิลลิเมตร จนถึงรูปที่ 5.3-16 ขณะแอนตัวที่ 16 มิลลิเมตร



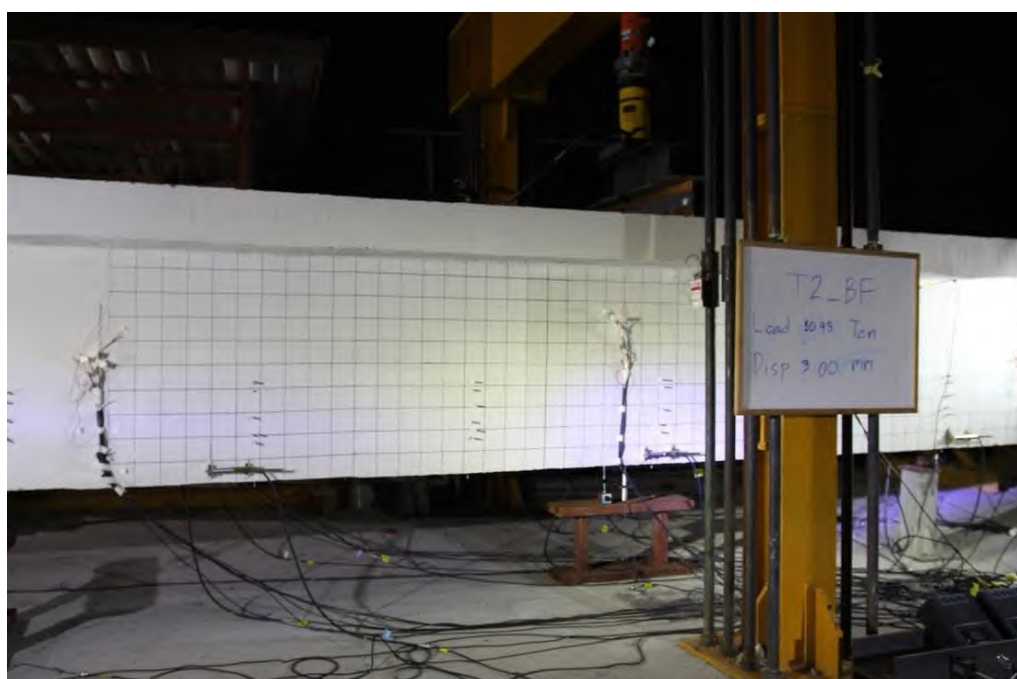
รูปที่ 5.3-2 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอนตัวที่ 0.00 มิลลิเมตร



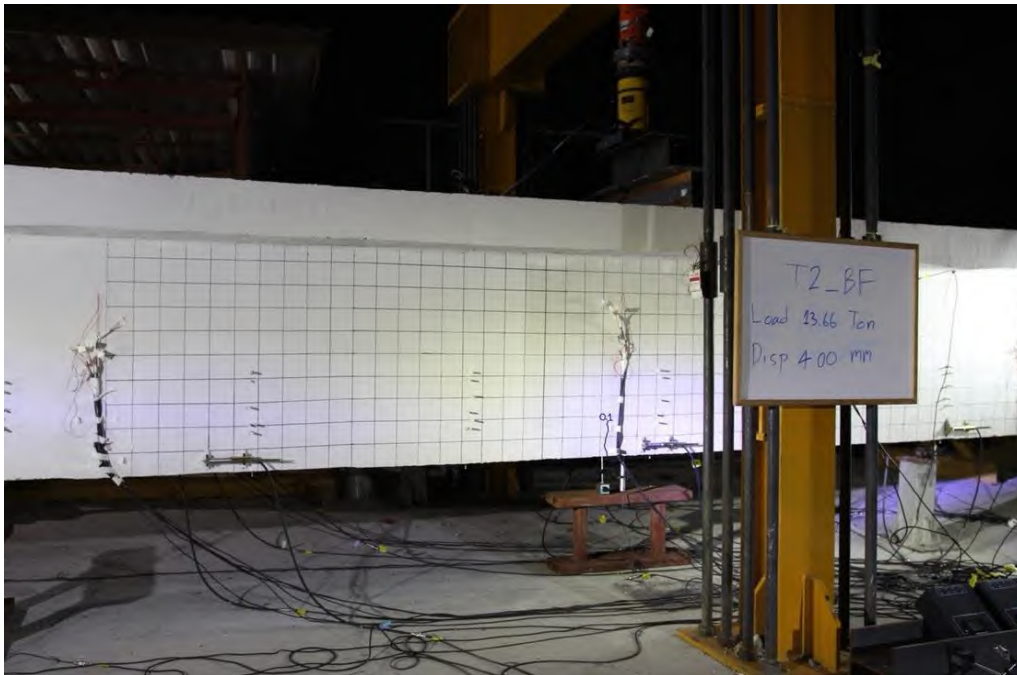
รูปที่ 5.3-3 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอนตัวที่ 1.00 มิลลิเมตร



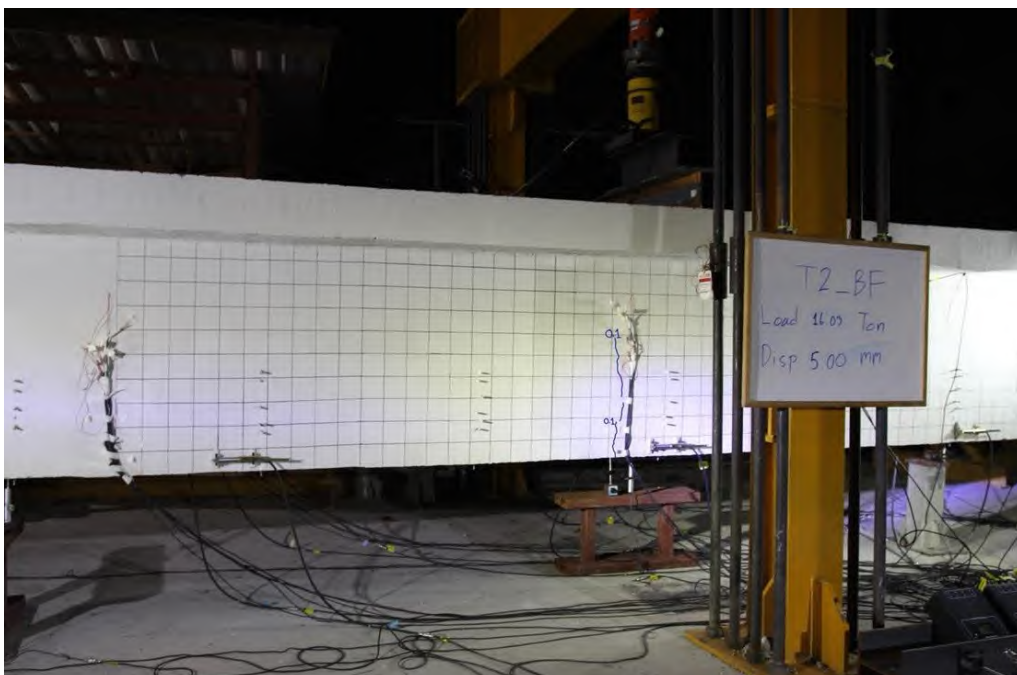
รูปที่ 5.3-4 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2.00 มิลลิเมตร



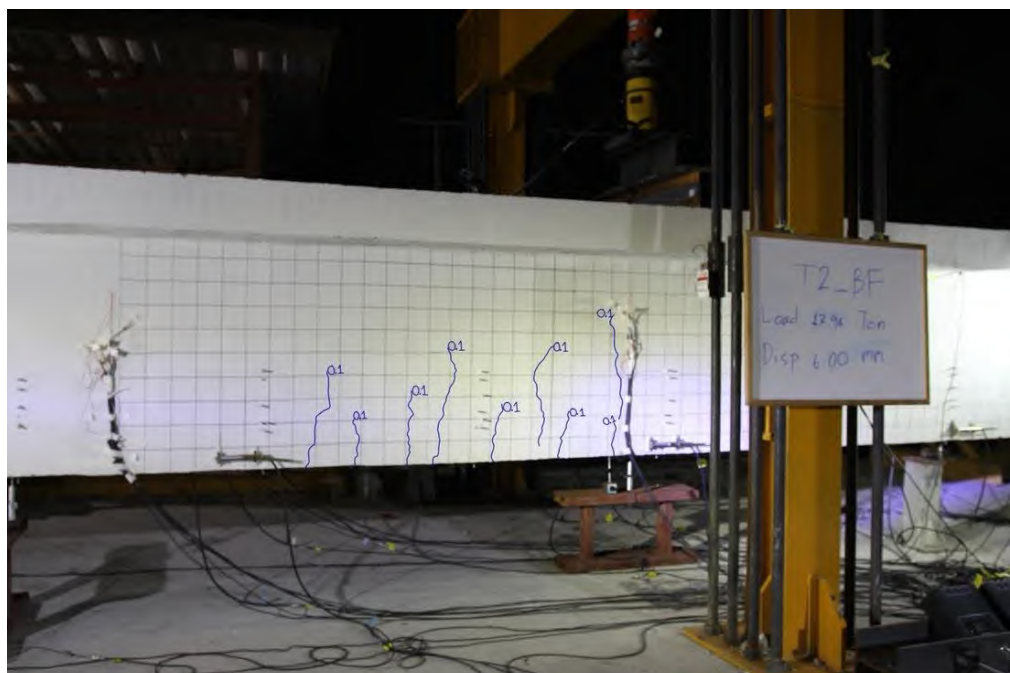
รูปที่ 5.3-5 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3.00 มิลลิเมตร



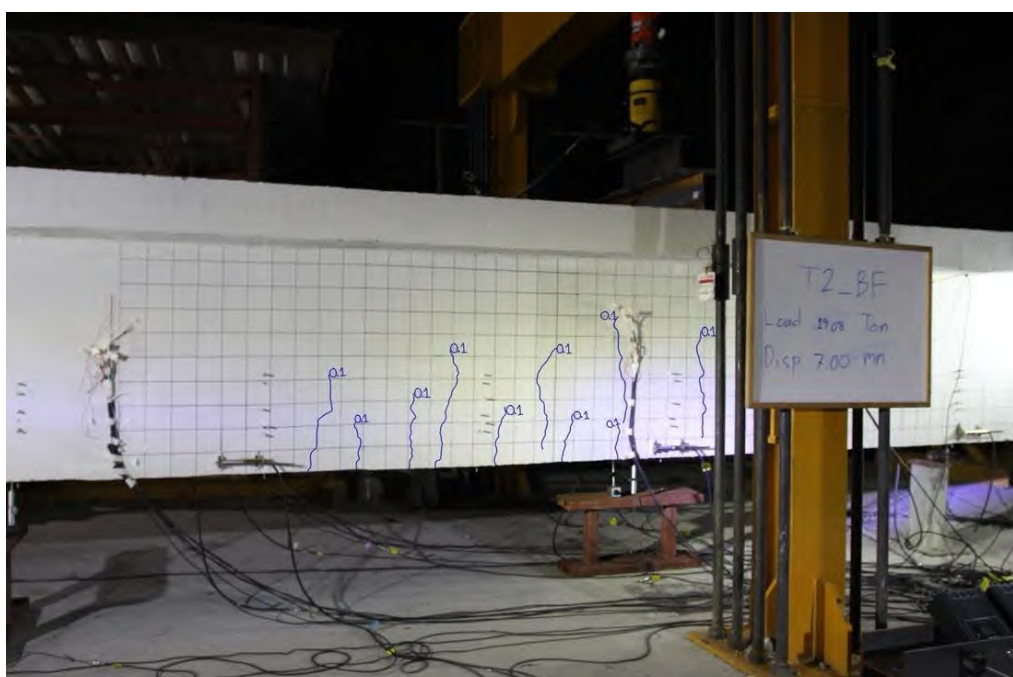
รูปที่ 5.3-6 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4.00 มิลลิเมตร



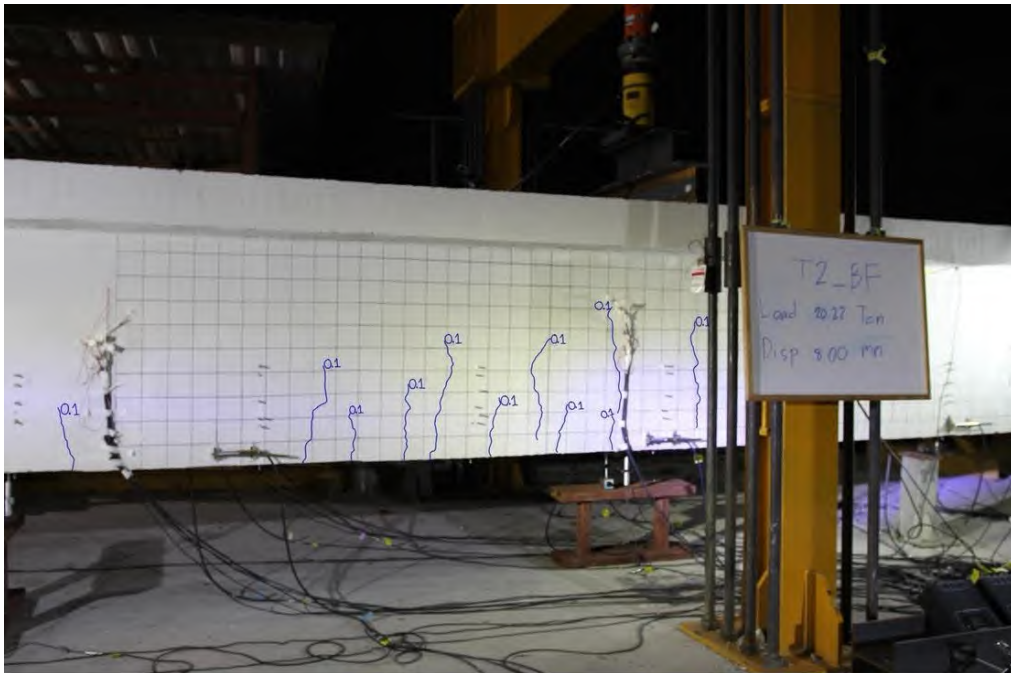
รูปที่ 5.3-7 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3-8 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสถิติก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3-9 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสถิติก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7.00 มิลลิเมตร



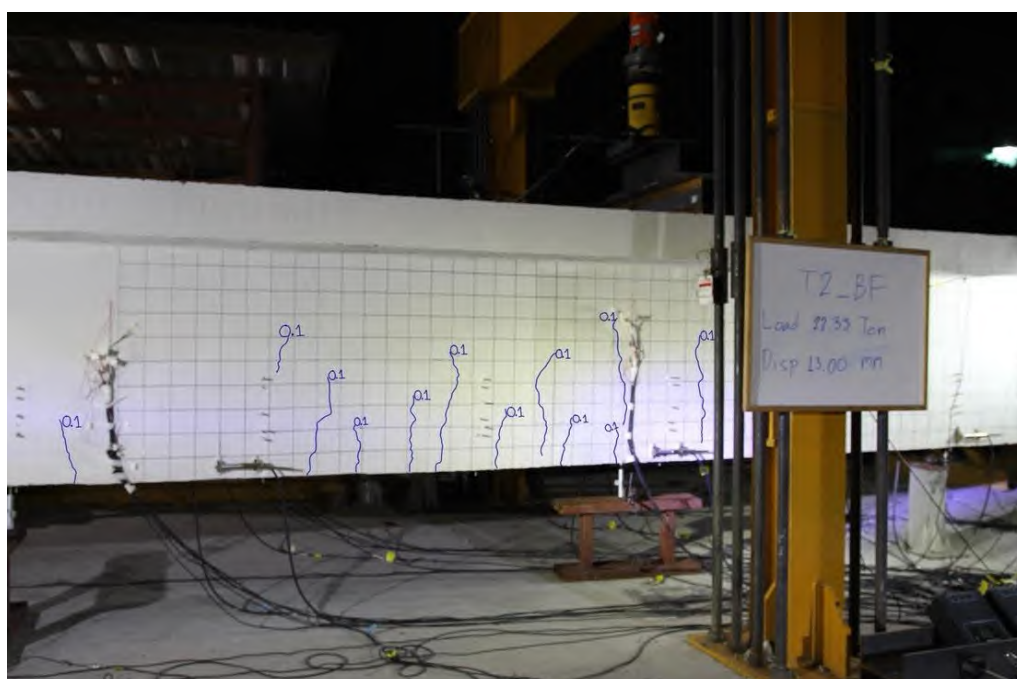
รูปที่ 5.3-10 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8.00 มิลลิเมตร



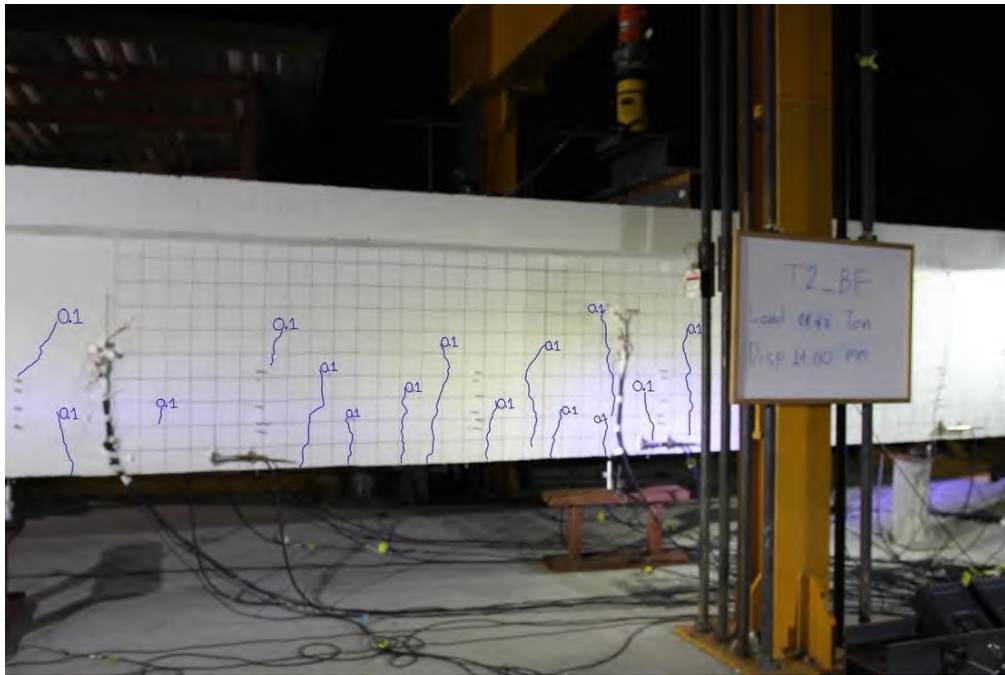
รูปที่ 5.3-11 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9.00 มิลลิเมตร



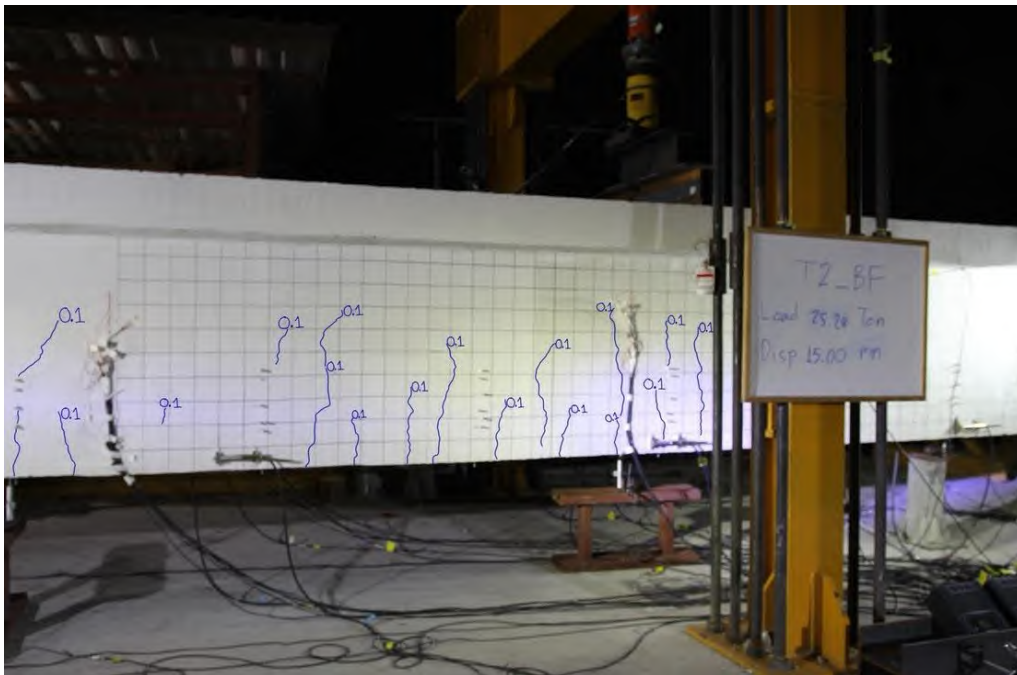
รูปที่ 5.3-12 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 10.00 มิลลิเมตร



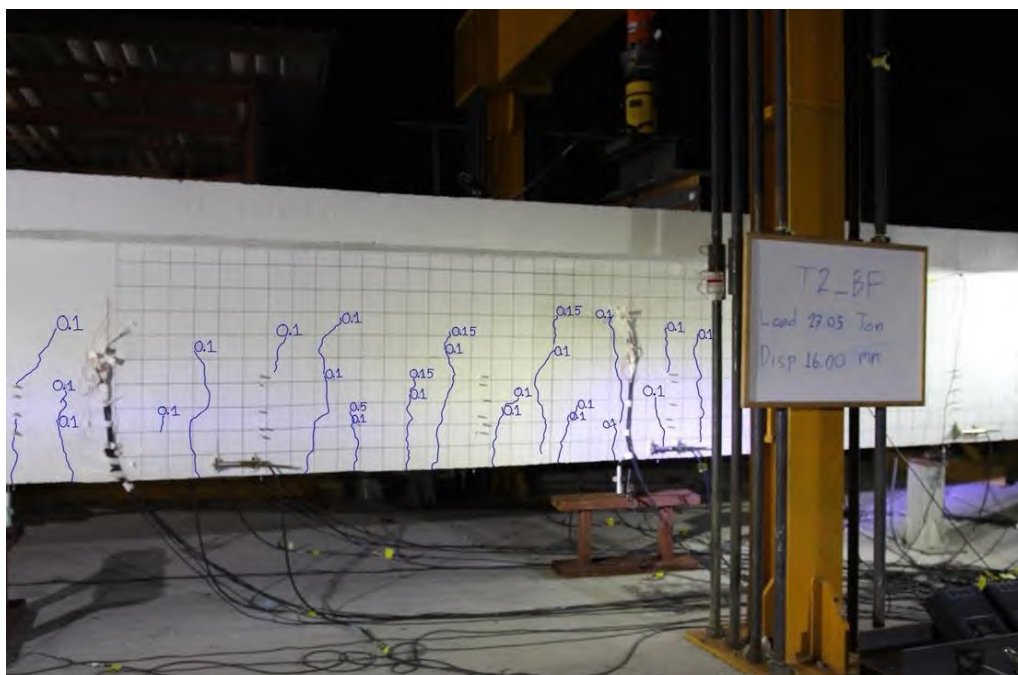
รูปที่ 5.3-13 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 13.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3-14 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 14.00 มิลลิเมตร

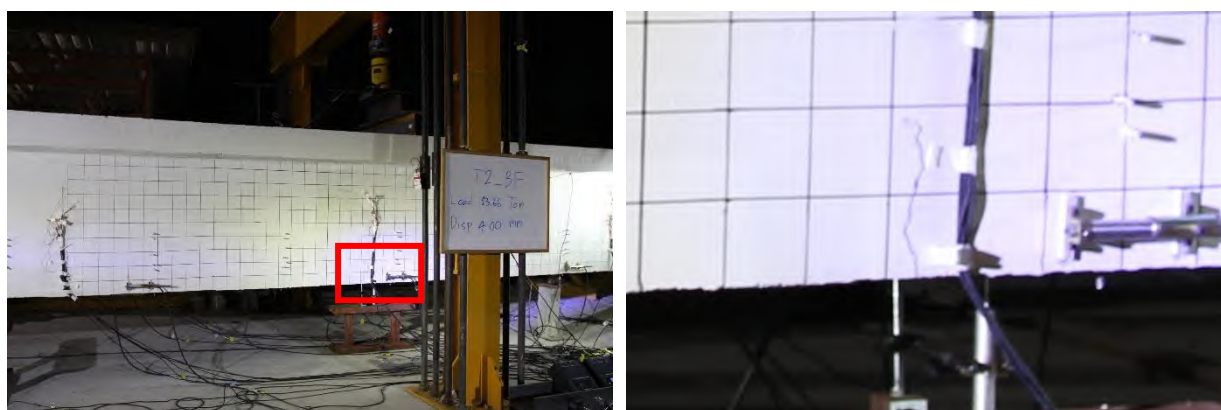


รูปที่ 5.3-15 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 15.00 มิลลิเมตร

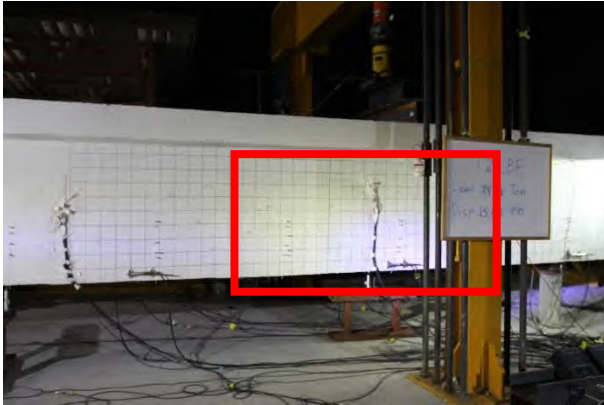


รูปที่ 5.3-16 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดียวแบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 16.00 มิลลิเมตร

RC T-girder ที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงเมื่อถูกแรงกดทดสอบขนาด 13.66 ตัน จะเกิดระยะแอ่นตัวเท่ากับ 4 มิลลิเมตร และ RC T-girder เริ่มมีการแตกร้าวดังแสดงในรูปที่ 5.3-17 เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ พบว่าขนาดของแรงทดสอบ 25.28 ตัน จะทำให้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีการแอ่นตัวเท่ากับ 15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.3-18

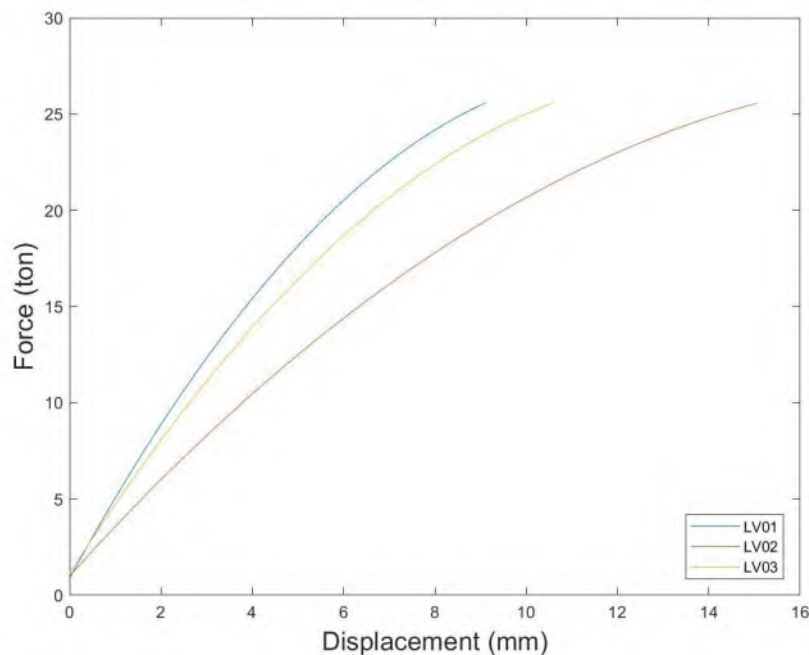


รูปที่ 5.3-17 การทดสอบขณะ RC T-girder เกิดการแอ่นตัวเท่ากับ 4 มิลลิเมตร
(เกิดการแตกร้าวที่ระยะแอ่นตัวเท่ากับ 4 มิลลิเมตร)



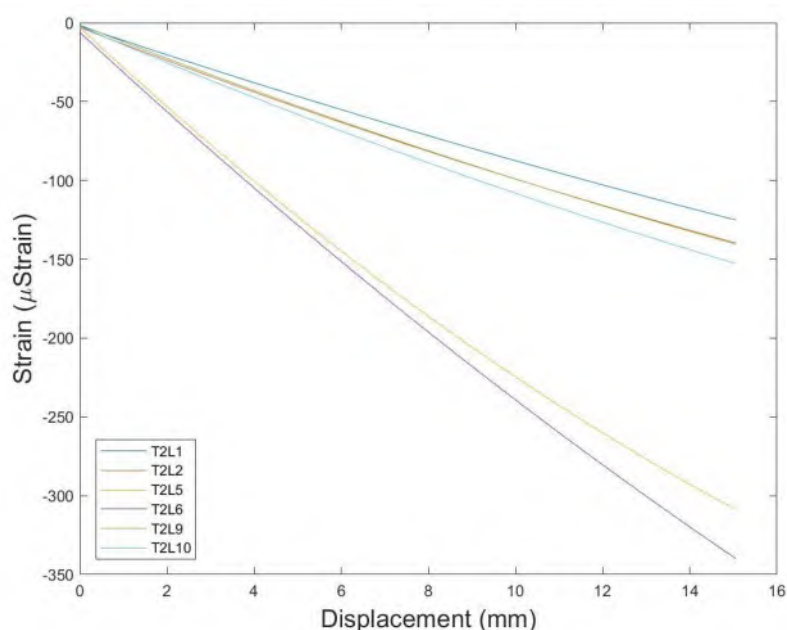
รูปที่ 5.3-18 การทดสอบขณะ RC T-girder เกิดการแตกร้าวเท่ากับ 15 มิลลิเมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะการแอ่นตัวของชิ้นส่วนคาน RC T-girder แบบเดี่ยวก่อนเสริมกำลังด้วยยางพาราอัดแรงได้แสดงดังรูปที่ 5.3-19 โดยการติดตั้งเซนเซอร์วัดการแอ่นตัว จะติดตั้งทั้งหมด 3 ตำแหน่งซึ่งรายละเอียดจะอยู่ในบทที่ 4 เซนเซอร์วัดการแอ่นตัว LV01 และ LV03 จะติดตั้งห่างจากจุดรองรับเป็นระยะ $L/4$ ส่วน LV02 จะติดตั้งที่บริเวณกึ่งกลางคาน จากการทดสอบพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับระยะการแอ่นตัว มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเส้นตรงในช่วงที่ระยะการแอ่นตัวต่ำกว่า 4 มิลลิเมตร และเริ่มเป็นเส้นโค้งตั้งแต่ระยะการแอ่นตัว 4 มิลลิเมตร จนถึงสิ้นสุดการทดสอบที่ระยะ 15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.3-19 โดยระยะการแอ่นตัวของคานแปรผันโดยตรงกับแรงกด ซึ่งพฤติกรรมของคานในช่วงแรกจะมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic) และมีพฤติกรรมแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic) เมื่อระยะการแอ่นตัวมากขึ้น

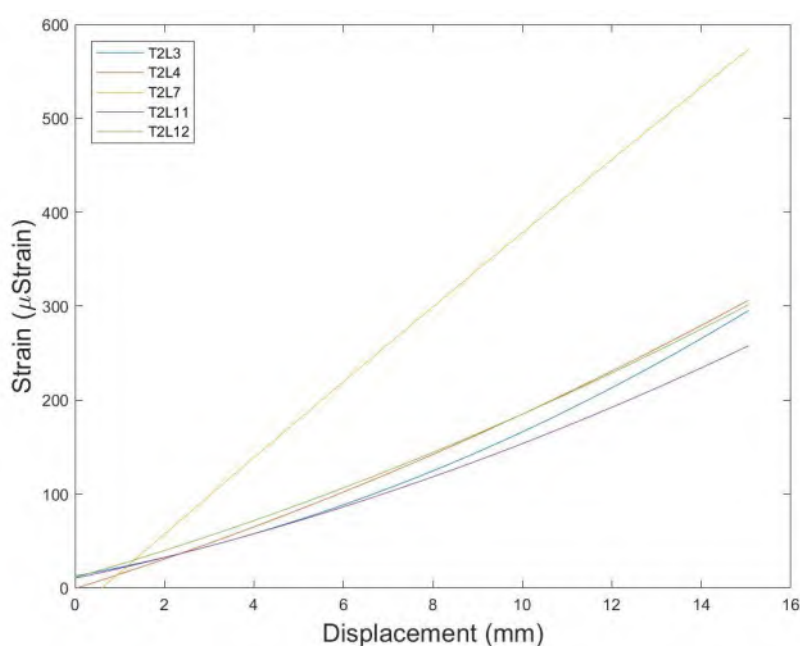


รูปที่ 5.3-19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะแอ่นตัวของ RC T-girder แบบคานเดี่ยว ก่อนการเสริมกำลังด้วยยางพาราอัดแรง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในเหล็กเสริมตามยาวด้านบน และเหล็กเสริมตามยาวด้านล่างระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานได้แสดงในรูปที่ 5.3-20 และรูปที่ 5.3-21 ตามลำดับ โดยเกจวัดความเครียดหมายเลข T2L1, T2L2, T2L5, T2L6, T2L9 และ T2L10 จะติดตั้งบริเวณเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กบน จากรูปที่ 5.3-20 พบว่า เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นระยะการแอ่นตัวของคานเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กเสริมบนตามยาวมีความเครียดอัดเพิ่มขึ้นตามระยะการแอ่นตัวที่มากขึ้น ส่วนเกจวัดความเครียดหมายเลข T2L3, T2L4, T2L7, T2L11 และ T2L12 จะติดตั้งบริเวณด้านล่างของเหล็กเสริมตามยาว จากรูปที่ 5.3-21 พบว่า เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นระยะการแอ่นตัวของคานเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กเสริมล่างตามยาวมีความเครียดดึงเพิ่มขึ้นตามระยะการแอ่นตัวของคานที่เพิ่มขึ้น

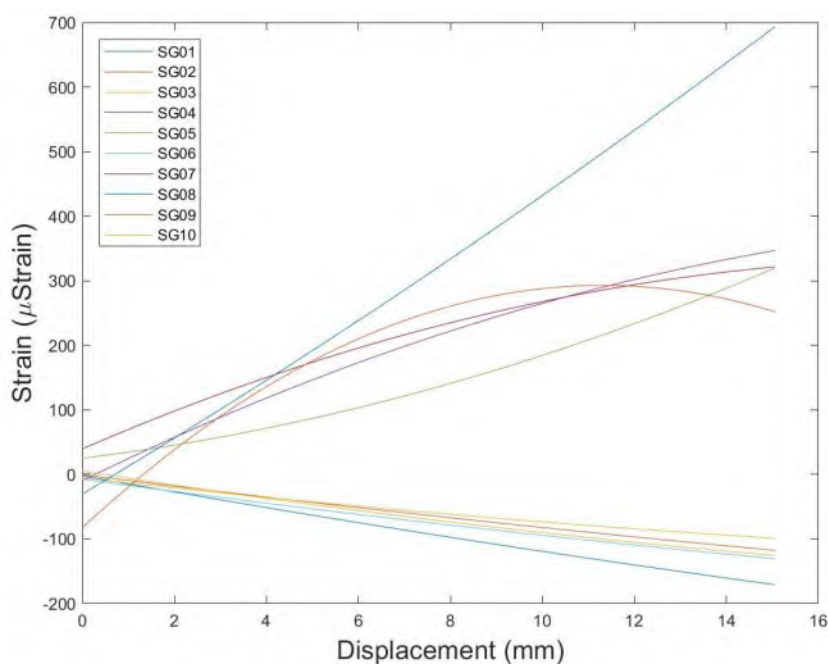


รูปที่ 5.3-20 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดของเหล็กเสริมรับแรงอัดกับระยะแอ่นตัวของ RC T-girder แบบคานเดี่ยวก่อนการเสริมกำลัง



รูปที่ 5.3-21 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดของเหล็กเสริมรับแรงดึงกับระยะแอ่นตัว
ของ RC T-girder แบบคานเดี่ยวก่อนการเสริมกำลัง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานได้แสดงในรูปที่ 5.3-22 โดยเกจวัดความเครียดที่ติดตั้งบนแผ่นพื้น SG1 SG2 SG3 และ SG4 ส่วน เกจ SG6 - 10 จะติดตั้งลงในแนวตามยาวบริเวณเอวคานด้านล่าง รายละเอียดของตำแหน่งการติดตั้งจะอยู่ในบทที่ 4 จากผลการทดสอบพบว่า มีเกจบางส่วนเช่น SG09 เกิดความเสียหายระหว่างการทดสอบ เกจที่ติดตั้งบนแผ่นพื้นจะวัดได้ค่าหน่วยความเครียดอัด และเกจที่ติดตั้งด้านล่างจะวัดได้หน่วยความเครียดดึง ซึ่งเป็นไปตามพฤติกรรมการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น และโดยรวมความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและระยะการแอ่นตัวจะเป็นเส้นตรง ผลการตรวจวัดดังแสดงในรูปที่ 5.3-22



รูปที่ 5.3-22 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดบนผิวคอนกรีตกับระยะแอ่นตัว
ของ RC T-girder แบบคานเดี่ยวก่อนการเสริมกำลัง

5.3.2. ภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

รูปที่ 5.3-23 แสดงการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปเดี่ยวแบบสถิติหลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง เริ่มต้นการทดสอบการแ่นตัวที่ 0 มิลลิเมตร จนไปถึงรูปที่ 5.3-40 ที่ระยะการแ่นตัว 15 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3-23 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแ่นตัวที่ 0.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3-24 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

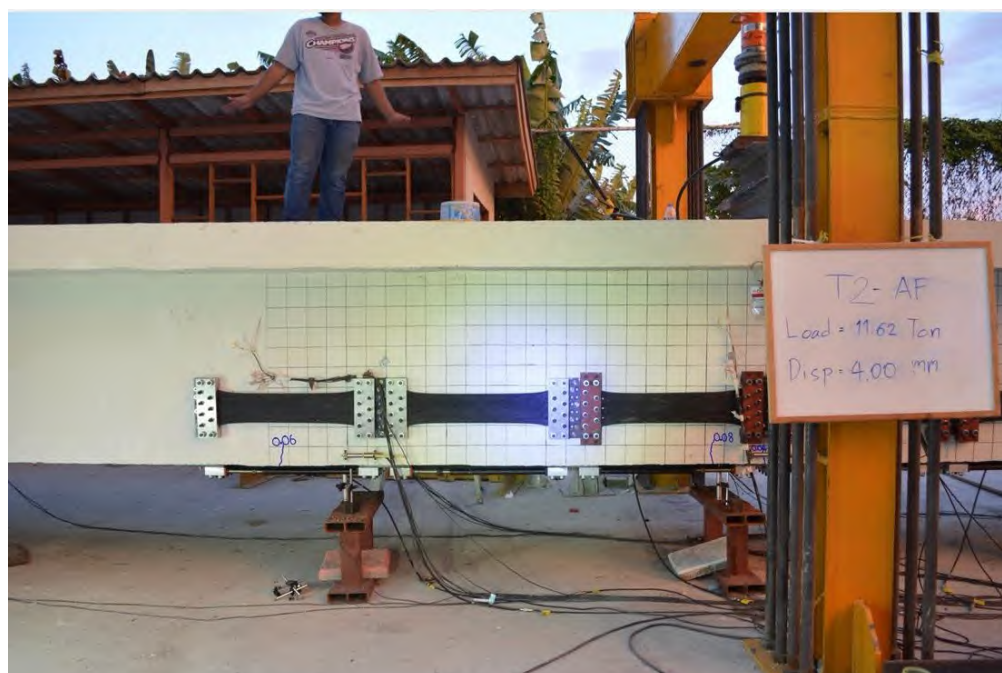
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 1.00 มิลลิเมตร



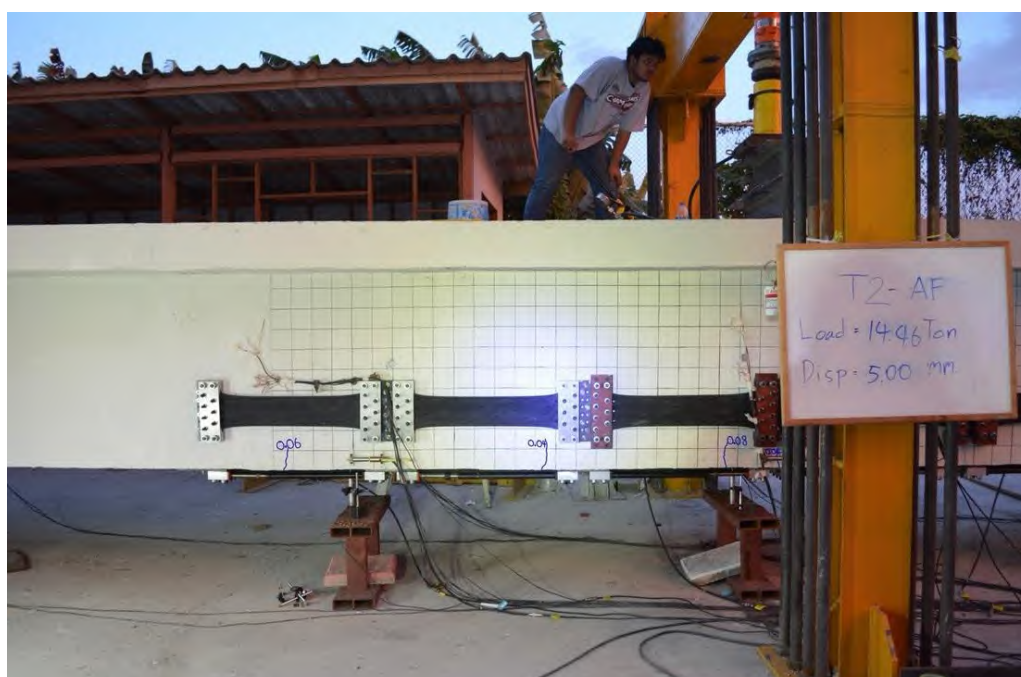
รูปที่ 5.3-25 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตภายใต้การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3-26 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตภายใต้การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3.00 มิลลิเมตร



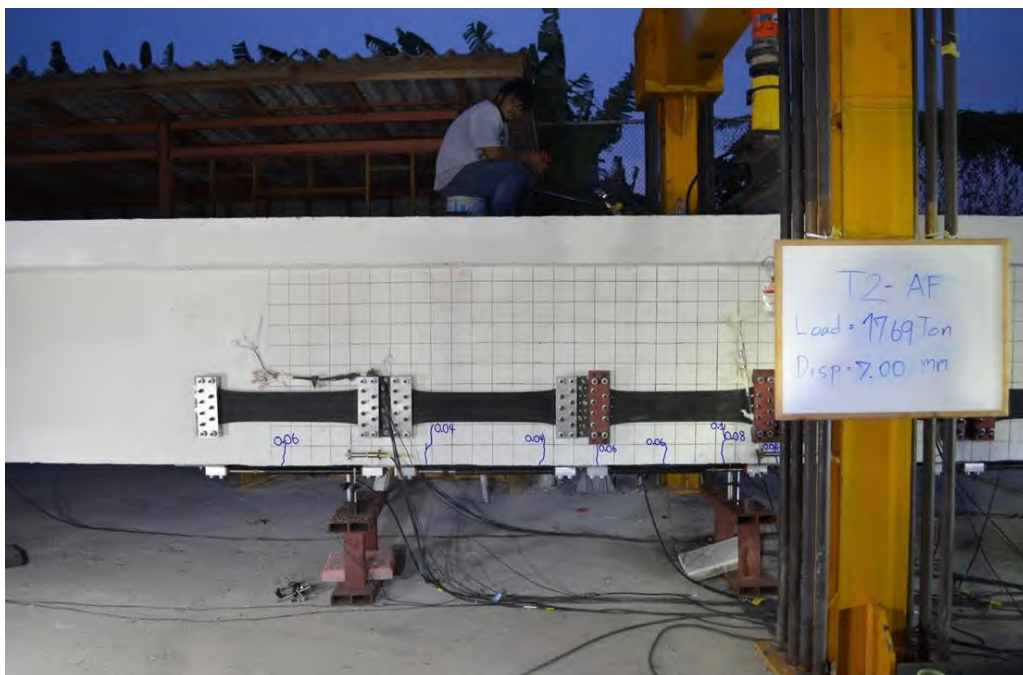
รูปที่ 5.3-27 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4.00 มิลลิเมตร



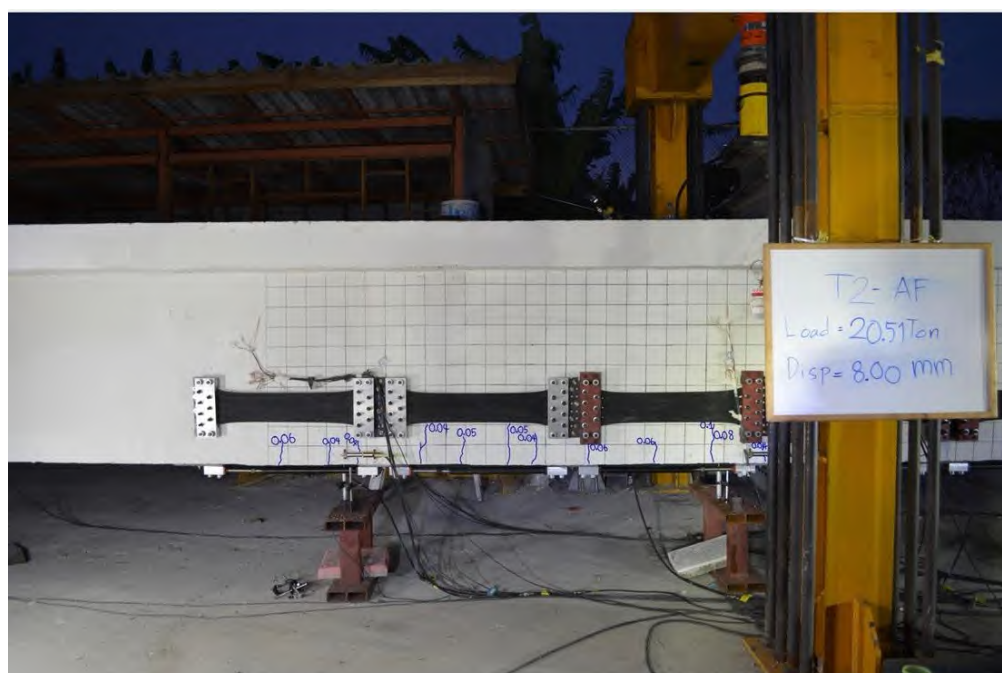
รูปที่ 5.3-28 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5.00 มิลลิเมตร



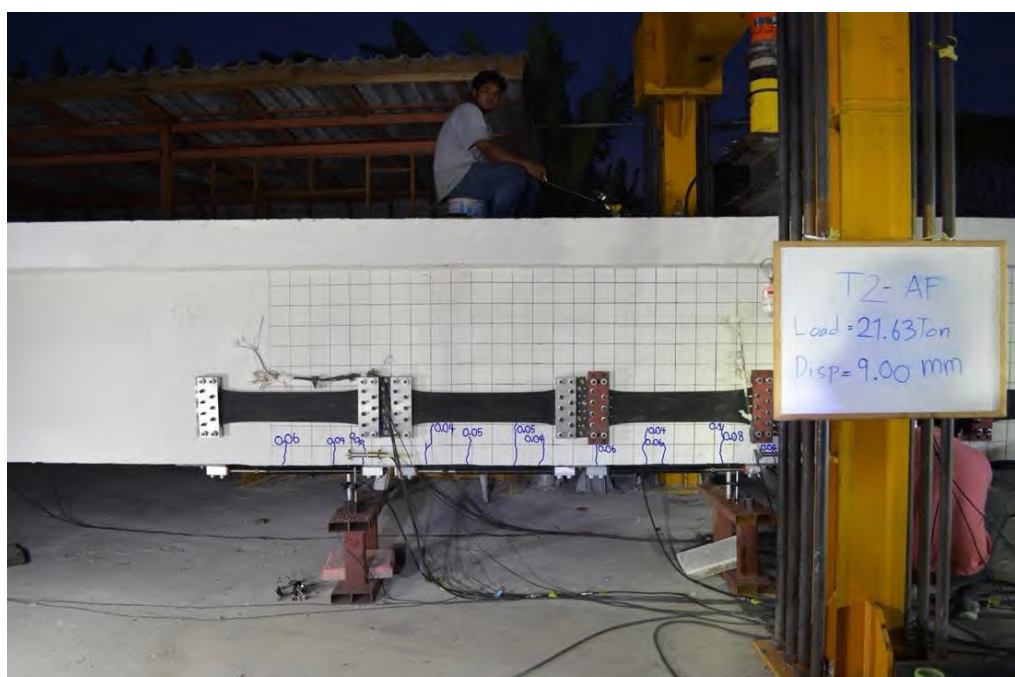
รูปที่ 5.3-29 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตภายใต้การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6.00 มิลลิเมตร



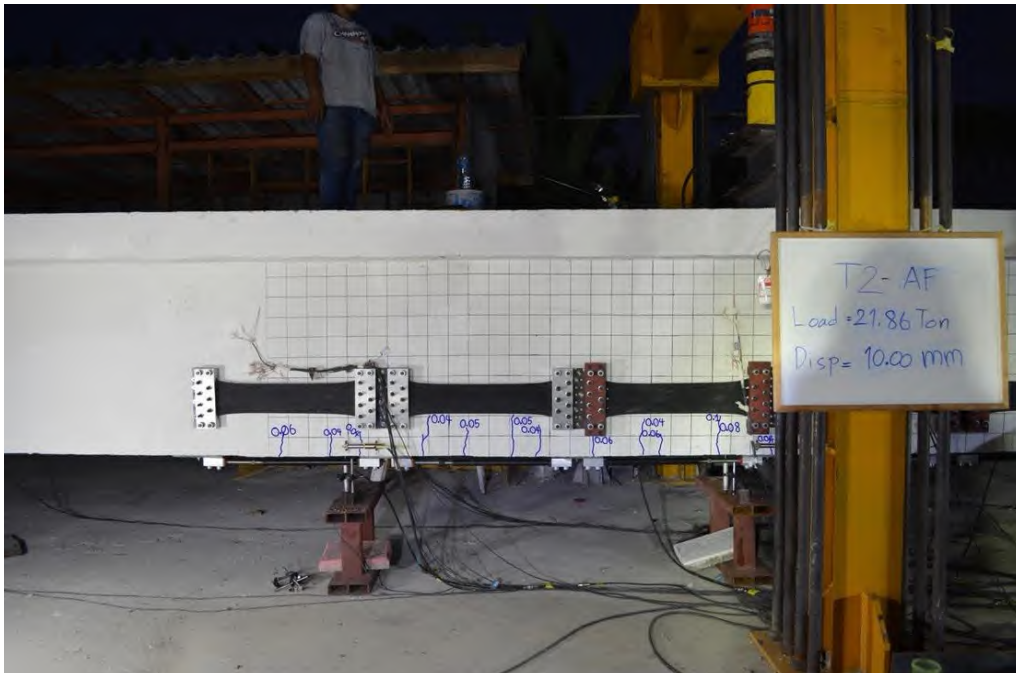
รูปที่ 5.3-30 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตภายใต้การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7.00 มิลลิเมตร



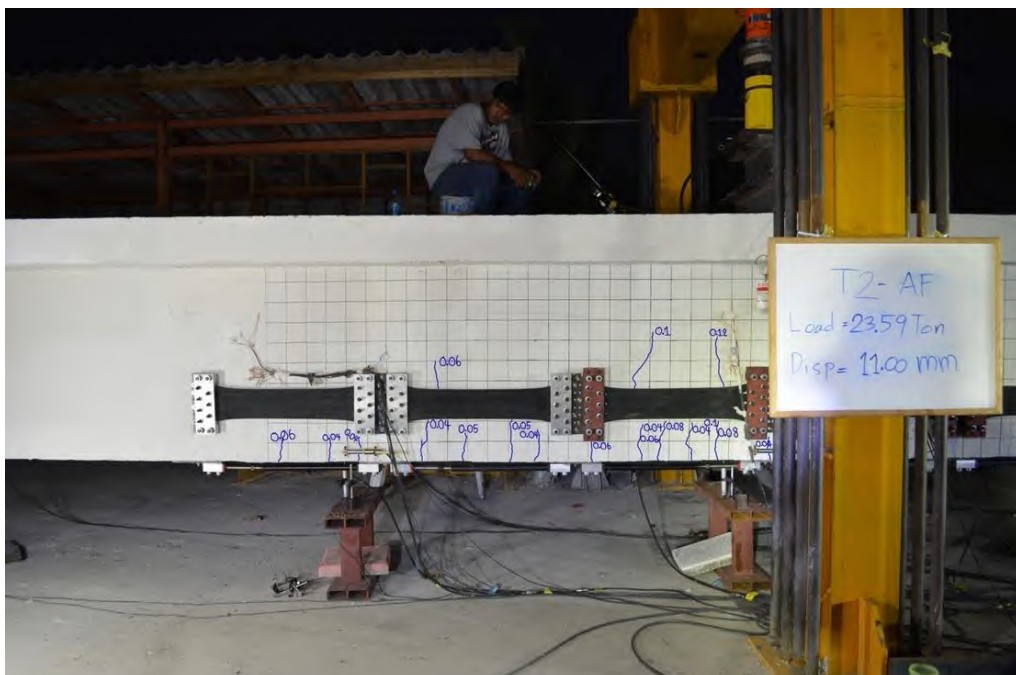
รูปที่ 5.3-31 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8.00 มิลลิเมตร



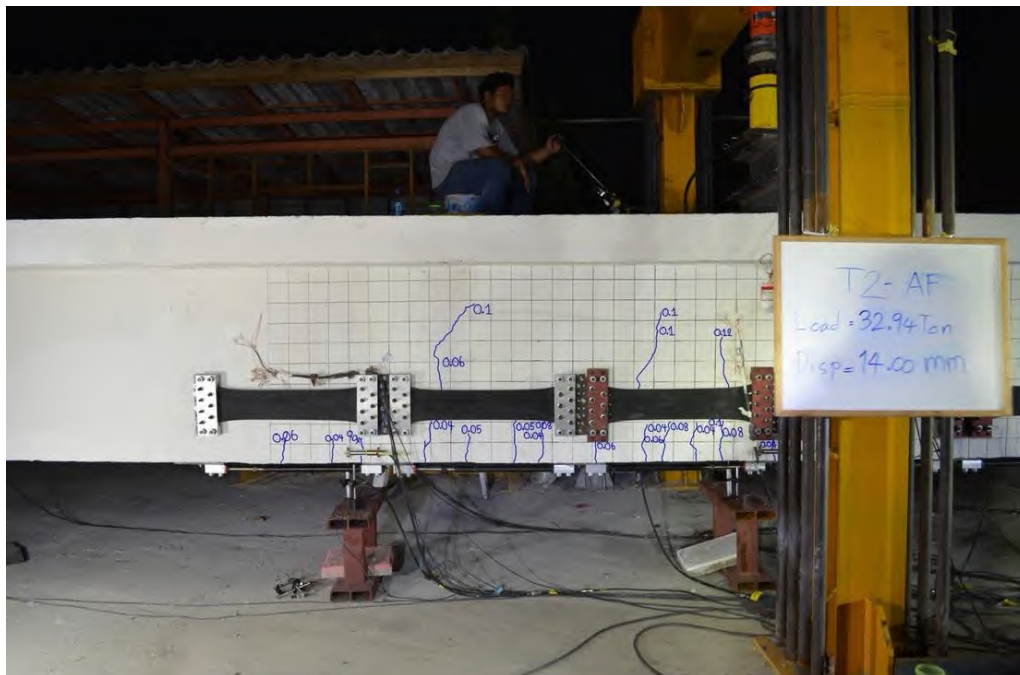
รูปที่ 5.3-32 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9.00 มิลลิเมตร



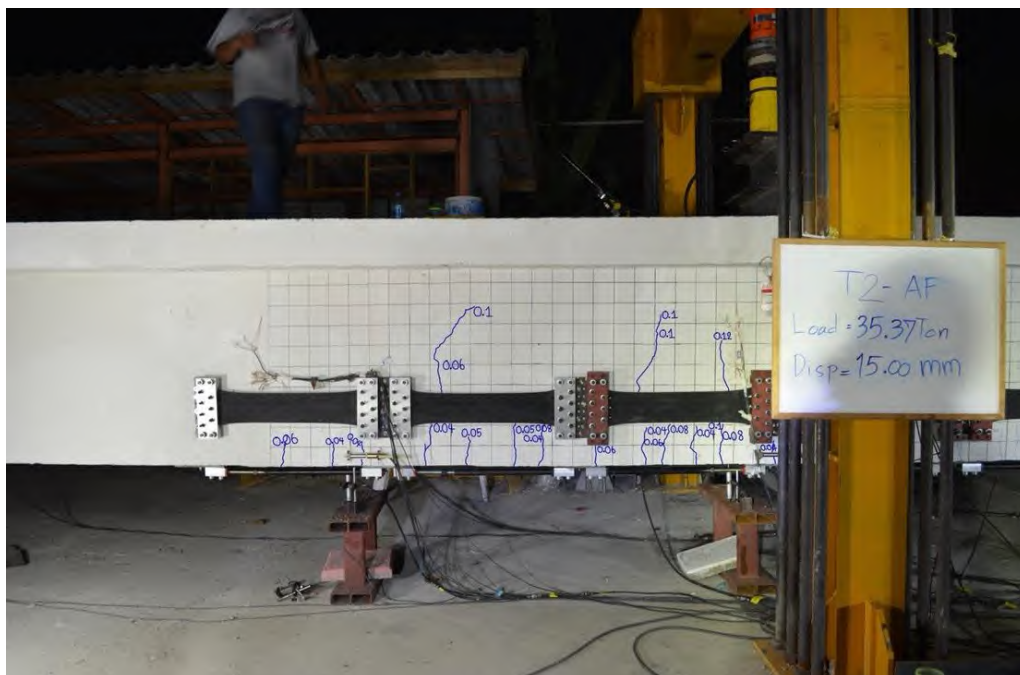
รูปที่ 5.3-33 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตภายใต้การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 10.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3-34 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตภายใต้การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 11.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3-37 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตภายใต้การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 14.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3-38 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder เดี่ยวแบบสลิตภายใต้การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 15.00 มิลลิเมตร

เมื่อถูกแรงกดทดสอบขนาด 11.62 ตัน จะเกิดระยะแอ่นตัวเท่ากับ 4 มิลลิเมตร และ RC T-Girder เริ่มมีการแตกร้าวดังแสดงในรูปที่ 3-1 เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ พบว่าขนาดของแรงทดสอบ 35.37 ตัน จะทำให้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีการแอ่นตัวเท่ากับ 15 มิลลิเมตร



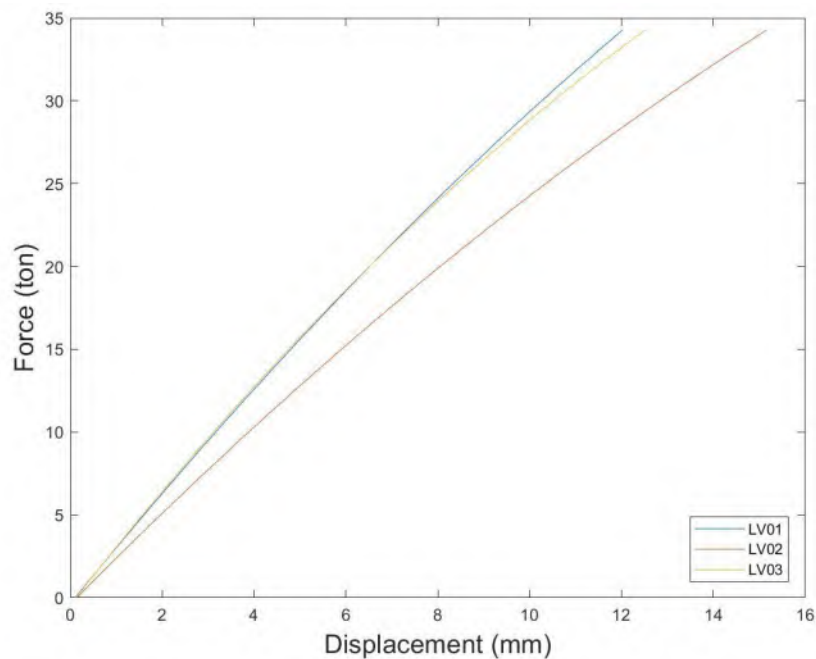
รูปที่ 5.3-39 การทดสอบ RC T-Girder เดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4 มิลลิเมตร (ไม่เกิดการแตกร้าว)



รูปที่ 5.3-40 การทดสอบ RC T-Girder เดี่ยวแบบสถิติภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา
ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 15 มิลลิเมตร

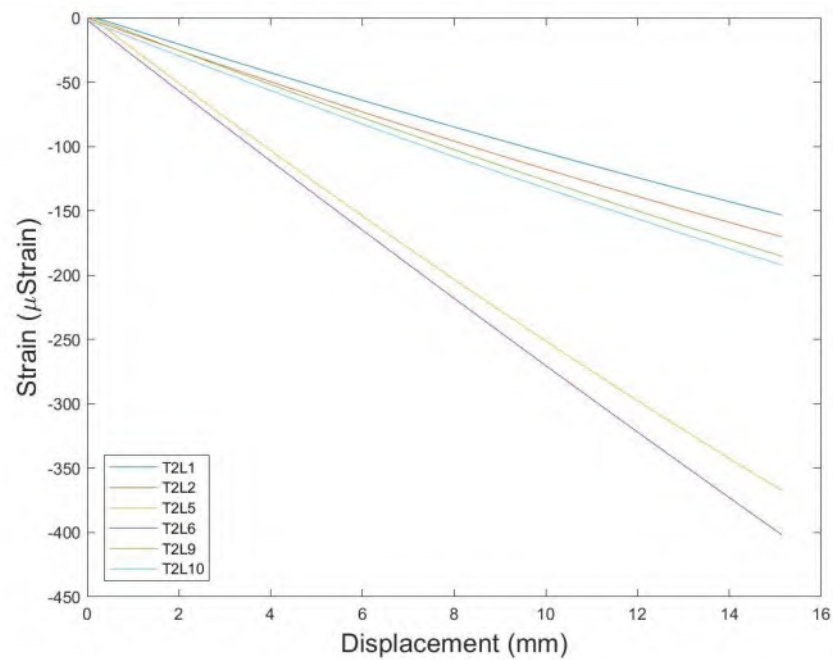
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะการแอ่นตัวของชิ้นส่วนคาน RC T-Girder แบบเดี่ยว หลังเสริมกำลังด้วยยางพาราอัดแรงได้แสดงดังรูปที่ 5.3-41 โดยการติดตั้งเซนเซอร์วัดการแอ่นตัว จะติดตั้งทั้งหมด 3 ตำแหน่งซึ่งรายละเอียดจะอยู่ในบทที่ 4 เซนเซอร์วัดการแอ่นตัว LV01 และ LV03 จะติดตั้งห่างจากจุดรองรับเป็นระยะ $L/4$ ส่วน LV02 จะติดตั้งที่บริเวณกึ่งกลางคาน จากการทดสอบพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับระยะการแอ่นตัว มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเส้นตรงในช่วงที่ระยะการแอ่นตัวต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร และเริ่มเป็นเส้นโค้งตั้งแต่

ระยะการแอ่นตัว 6 มิลลิเมตร จนถึงสิ้นสุดการทดสอบที่ระยะ 15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.3-41 โดยระยะการแอ่นตัวของคานแปรผันโดยตรงกับแรงกด ซึ่งพฤติกรรมของคานในช่วงแรกจะมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear elastic) และมีพฤติกรรมแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic) เมื่อระยะการแอ่นตัวมากขึ้น

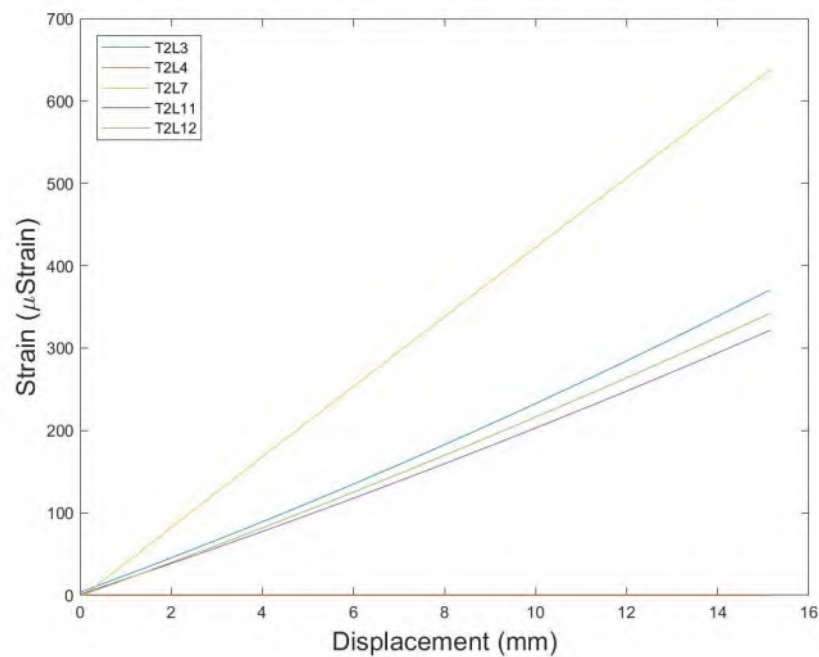


รูปที่ 5.3-41 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบคานเดี่ยว
ภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในเหล็กเสริมตามยาวด้านบน และเหล็กเสริมตามยาวด้านล่าง ระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานได้แสดงในรูปที่ 5.3-42 รูปที่ 5.3-43 ตามลำดับ โดยगेจวัดความเครียดหมายเลข T2L1, T2L2, T2L5, T2L6, T2L9 และ T2L10 จะติดตั้งบริเวณเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กบน จากรูปที่ 5.3-42 พบว่าเมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นระยะการแอ่นตัวของคานเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กเสริมบนตามยาวมีความเครียดอัดเพิ่มขึ้นตามระยะการแอ่นตัวที่มากขึ้น ส่วนगेจวัดความเครียดหมายเลข T2L3, T2L4, T2L7, T2L11 และ T2L12 จะติดตั้งบริเวณด้านล่างของเหล็กเสริมตามยาว จากรูปที่ 5.3-43 พบว่า เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นระยะการแอ่นตัวของคานเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กเสริมล่างตามยาวมีความเครียดดึงเพิ่มขึ้นตามระยะการแอ่นตัวของคานที่เพิ่มขึ้น



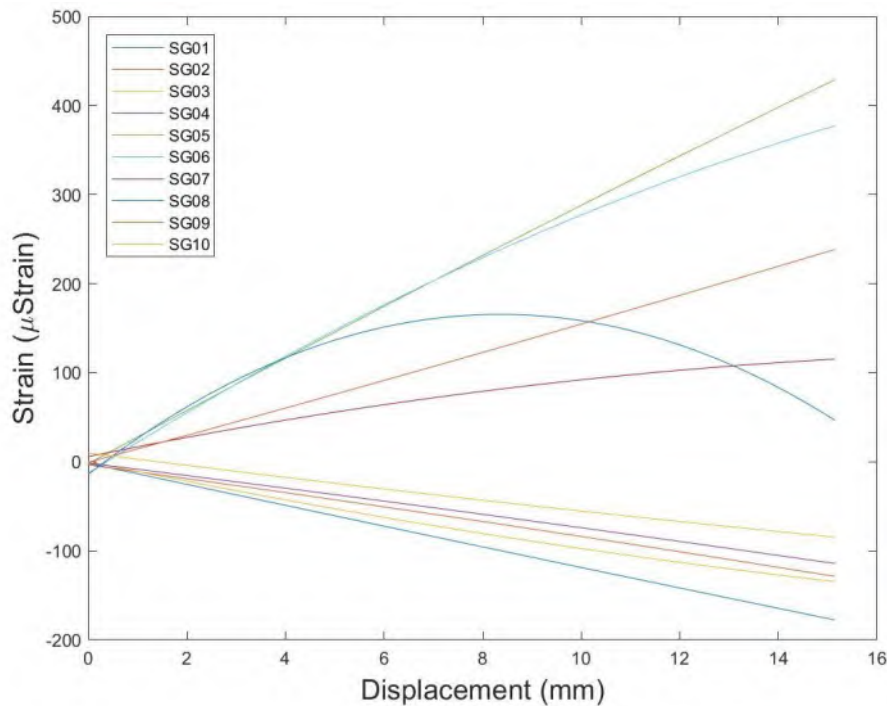
รูปที่ 5.3-42 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดของเหล็กเสริมรับแรงอัดกับระยะแอนตัวของ RC T-Girder แบบคานเดี่ยวภายหลังการเสริมกำลัง



รูปที่ 5.3-43 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดของเหล็กเสริมรับแรงดึงกับระยะแอนตัวของ RC T-Girder แบบคานเดี่ยวภายหลังการเสริมกำลัง

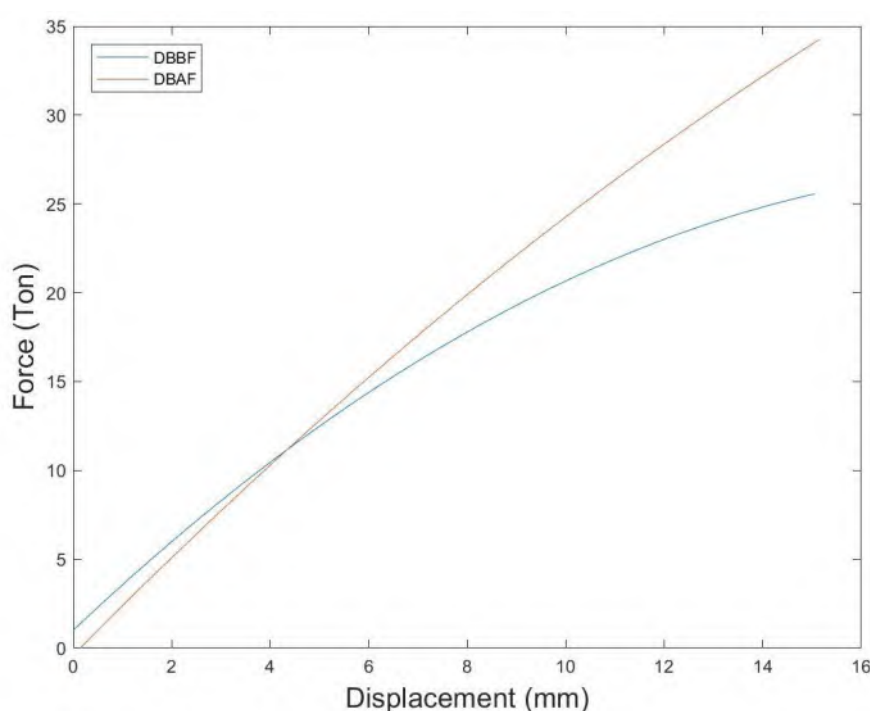
ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะการแอนตัวที่กึ่งกลางคานได้แสดงในรูปที่ 5.3-44 โดยเกจวัดความเครียดที่ติดตั้งบนแผ่นพื้น SG1 SG2 SG3 และ SG4 ส่วน เกจ SG6 -10 จะติดตั้งล่างในแนว

ตามยาวบริเวณเอวคานด้านล่าง รายละเอียดของตำแหน่งการติดตั้งจะอยู่ในบทที่ 4 จากผลการทดสอบพบว่า มีเกจบางส่วนเช่น SG08 เกิดความเสียหายระหว่างการทดสอบ เกจที่ติดตั้งบนแผ่นพื้นจะวัดได้ค่าหน่วยความเครียดอัด และเกจที่ติดตั้งด้านล่างจะวัดได้หน่วยความเครียดดึง ซึ่งเป็นไปตามพฤติกรรมกรรมการรับน้ำหนักของแผ่นพื้น และโดยรวมความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและระยะการแอ่นตัวจะเป็นเส้นตรง ผลการตรวจวัดดังแสดงในรูปที่ 5.3-44



รูปที่ 5.3-44 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดบนผิวคอนกรีตกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบคานเดี่ยวภายหลังการเสริมกำลัง

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะการแอ่นตัวก่อนและหลังการเสริมกำลังคาน RC T-Girder พบว่า ที่ระยะแอ่นตัวที่เท่ากัน ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปที่เสริมกำลังด้วยวัสดุยางพาราสามารถรับแรงกดทดสอบได้เพิ่มมากขึ้นกว่าชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปที่ไม่ได้เสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 5.3-45 จากรูปดังกล่าวจะพบว่า ที่ระยะการแอ่นตัวสุดท้ายที่ทดสอบ คาน RC T-Girder ที่เสริมกำลังด้วยยางพารา ยังสามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกดทดสอบ ขณะที่คานที่ไม่ได้เสริมกำลังมีความสามารถในการรับแรงที่น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับคานที่เสริมกำลัง



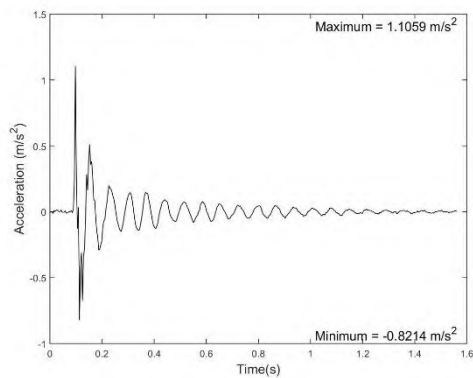
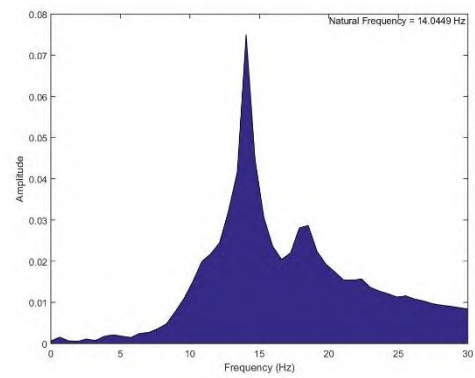
รูปที่ 5.3-45 การเปรียบเทียบระหว่างไม่เสริมกำลังและเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา ของ RC T-Girder

5.3.3. การทดสอบแบบ Dynamic ของชิ้นส่วนแบบคานเดี่ยว เสริมและไม่เสริมกำลัง

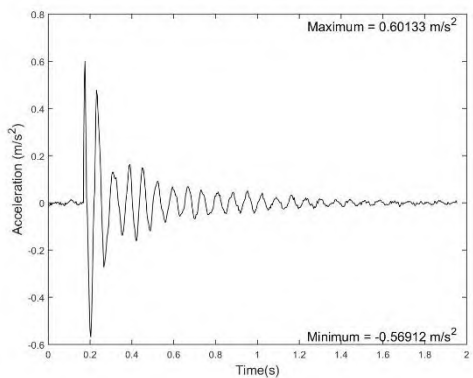
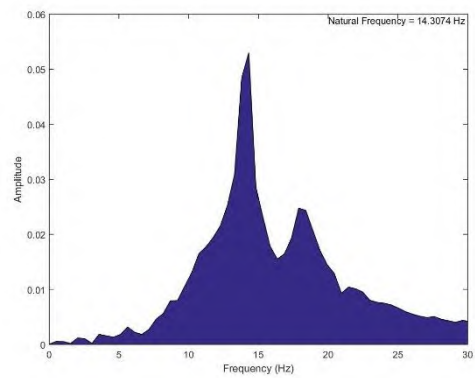
การทดสอบแบบ Dynamic ของชิ้นส่วนคานแบบเดี่ยวทั้งก่อนและหลังเสริมกำลัง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพาน และเปรียบเทียบอัตราส่วนความหน่วงระหว่างคานรูปตัวทีก่อนและหลังเสริมกำลัง โดยมีสมมติฐานว่าแผ่นยางที่ใช้ในการเสริมกำลังในทิศทางตามยาวมีความสามารถในการดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับคานได้ โดยหลังจากการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรง แถบยางพาราจะช่วยเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงของสะพานได้ ในการทดสอบจะทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร่งบนสะพานทดสอบจำนวน 3 จุด คือ จุดกึ่งกลางคาน (AC02) และที่ระยะห่างจากปลายคานทั้งสองข้าง 2.0 เมตร จำนวน 2 จุด AC01 และ AC03 ผลการทดสอบแบบ Dynamic มีค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนทดสอบและผลการวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติและอัตราส่วนความหน่วงของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแสดงดังรูปที่ 5.3-46 ถึงรูปที่ 5.3-51

โดยก่อนการเสริมกำลัง การทดสอบจะทำได้โดยให้แรงกระแทกกระทำ ณ จุดกึ่งกลางคาน เมื่อให้แรงกระแทกแล้วจะทำการตรวจวัดความเร่งจากเซนเซอร์วัดความเร่งทั้งสามจุดในทันที ความเร่งที่ตรวจวัดได้ของแผ่นพื้นแบบเดี่ยวที่ไม่มีการเสริมกำลังทั้งสามจุดได้แสดงดังรูปที่ 5.3-46 ถึงรูปที่ 5.3-48

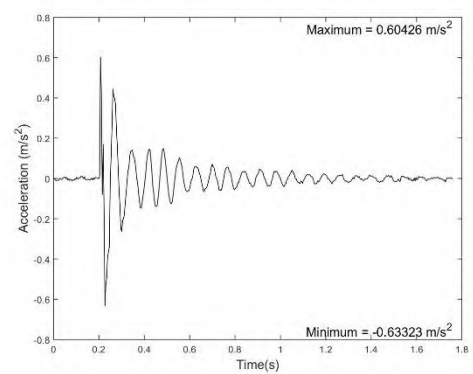
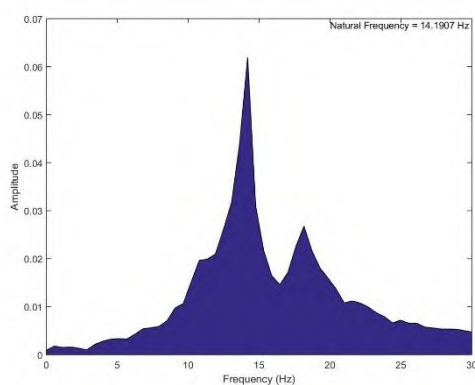
จากผลการวิเคราะห์พบว่า สะพานแบบ RC T-Girder มีความถี่ธรรมชาติประมาณ 14 เฮิรตซ์ และสะพานมีอัตราส่วนความหน่วงอยู่ในช่วงประมาณ 2 - 3 % ดังแสดงในรูปที่ 5.3-46 ถึงรูปที่ 5.3-48



รูปที่ 5.3-46 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder แบบคานเดี่ยวก่อนการเสริมกำลัง (AC01) Damping Ratio = 2%

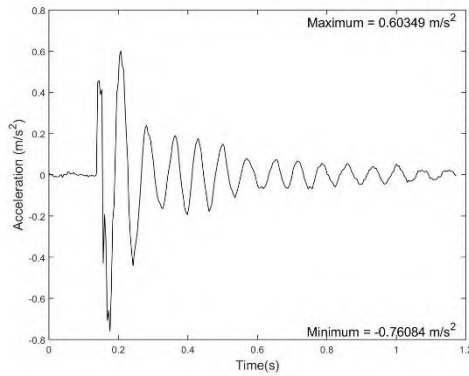
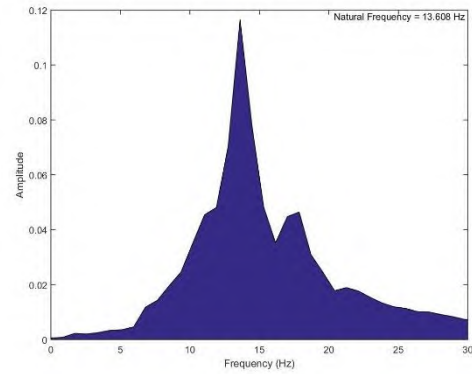


รูปที่ 5.3-47 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติ ของ RC T-Girder แบบคานเดี่ยวก่อนการเสริมกำลัง (AC02) Damping Ratio = 3%

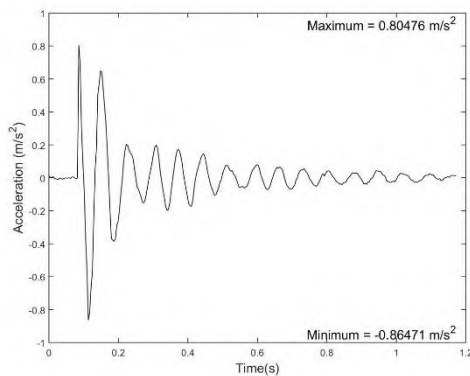
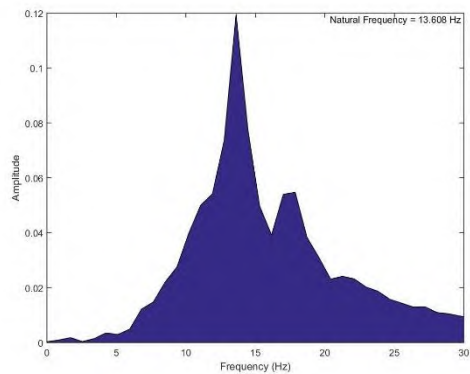


รูปที่ 5.3-48 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder แบบคานเดี่ยวก่อนการเสริมกำลัง (AC03) Damping Ratio = 2%

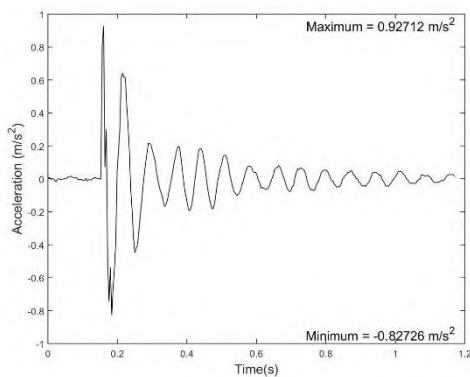
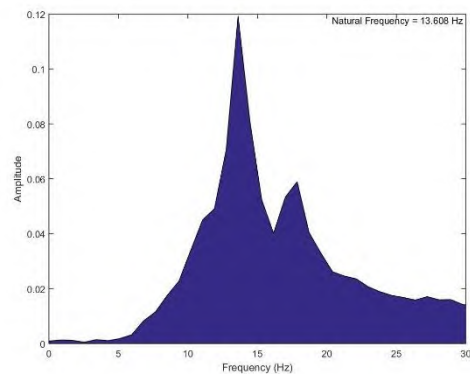
ภายหลังการเสริมกำลังด้วยยางพาราแล้วพบว่า ความถี่ธรรมชาติของสะพานไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จากเดิมความถี่ 14 เฮิรท์ ลดลงเป็น 13.6 Hz ดังแสดงในรูปที่ 5.3-49 ถึงรูปที่ 5.3-51 ภายหลังการเสริมกำลังพบว่าอัตราส่วนความหน่วงของสะพานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมอัตราส่วนความหน่วง 2-3% เพิ่มขึ้นเป็น 3-4.5% ดังแสดงในรูปที่ 5.3-49 ถึงรูปที่ 5.3-51



รูปที่ 5.3-49 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder แบบคานเดี่ยวหลังการเสริมกำลัง (AC01) Damping Ratio = 4.33%



รูปที่ 5.3-50 การตรวจวัดการสั่นสะเทือนและประมวลผลค่าความถี่ธรรมชาติ ของ RC T-Girder แบบคานเดี่ยวหลังการเสริมกำลัง (AC02) Damping Ratio = 4.5%



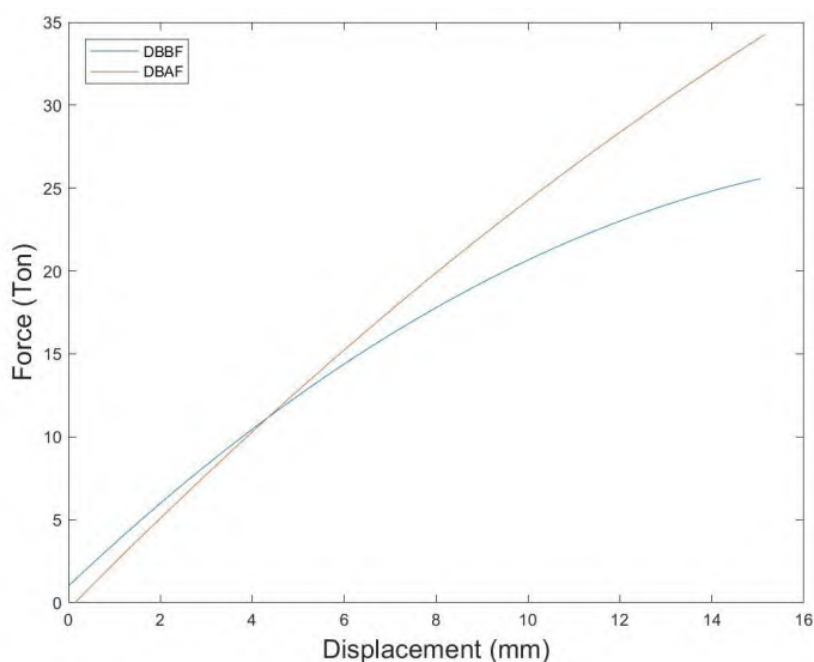
รูปที่ 5.3-51 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและประมวลผลค่าความถี่ธรรมชาติ ของ RC T-Girder แบบคานเดี่ยวหลังการเสริมกำลัง (AC03) Damping Ratio = 3%

จากผลการทดสอบแบบ Dynamic ของ RC T-girder แบบคานเดี่ยวเสริมและไม่เสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา โดยรวมค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder ก่อนเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารามีค่าเท่ากับ 14 Hz หลังจากเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพาราค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder มีค่าโดยเฉลี่ยลดลงเหลือ 13.6 Hz ส่วนค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) ของชิ้นส่วนสะพานก่อนเสริมกำลังมีค่า 2-3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเสริมกำลังแล้ว RC T-Girder มีค่าความหน่วงเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 1% ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีดังกล่าว 5.3.1 เมื่ออัตราส่วนความหน่วงเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติลดลง

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (5.3-1)$$

5.3.4. อภิปรายและเปรียบเทียบผลการทดสอบ

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะการแอ่นตัวก่อนและหลังการเสริมกำลังของคาน RC T-Girder พบว่า ที่ระยะแอ่นตัวที่เท่ากัน ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปที่เสริมกำลังด้วยวัสดุยางพาราสามารถรับแรงกดทดสอบได้เพิ่มมากขึ้นกว่าชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปที่ไม่ได้เสริมกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 5.3-52 จากรูปดังกล่าวจะพบว่า ที่ระยะการแอ่นตัวสุดท้ายที่ทดสอบคาน RC T-Girder ที่เสริมกำลังด้วยยางพารา ยังสามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกดทดสอบ ขณะที่คานที่ไม่ได้เสริมกำลังมีความสามารถในการรับแรงที่น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับคานที่เสริมกำลัง



รูปที่ 5.3-52 การเปรียบเทียบระหว่างไม่เสริมกำลังและเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา ของ RC T-Girder

ประสิทธิภาพในการใช้แถบยางพาราอัดแรงในการเสริมกำลังคานคอนกรีต RC T-Girder ก่อนและหลังการเสริมกำลัง ทั้งแบบเดี่ยวและแบบคู่ได้แสดงในตารางที่ 5.3-1 จากตารางพบว่า แถบยางพาราช่วยเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงสำหรับคานเดี่ยวได้อย่างมีนัยสำคัญ การเสริมแถบยางพาราตามแนวยาวมีส่วนสำคัญในการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของคาน และการเสริมแถบยางพาราบริเวณรอยต่อของคาน RC T-Girder จะทำให้การถ่ายแรงเฉือนของคานทั้งสองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5.3-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมกำลังคานและระบบคาน RC T-Girder ด้วยแถบยางพาราอัดแรง

ประเด็นที่สนใจ	ก่อนเสริม	ภายหลังเสริม
ความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนทดสอบแบบคานเดี่ยว	14.3 Hz	13.6 Hz
ค่าความหน่วงของชิ้นส่วนทดสอบแบบคานเดี่ยว	3 %	4 %
แรงกดทดสอบที่เกิดการแตกร้าวที่ท้องของชิ้นส่วนเดี่ยว	13.66 Ton	11.62 Ton
แรงกดทดสอบที่เกิดการแอ่นตัวที่ 15 มิลลิเมตร	25.28 Ton	35.37 Ton
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดการแตกร้าวที่ท้องของชิ้นส่วนเดี่ยว	4 mm	4 mm

5.4 การทดสอบคานสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน

5.4.1 ก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

รูปที่ 5.4-1 ถึงรูปที่ 5.4-14 แสดงผลการทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบ RC T-girder แบบระบบคานก่อนเสริมกำลัง ตั้งแต่ระยะการแอ่นตัว 0 มิลลิเมตร ถึง 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-1 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา
อัตราแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 0.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-2 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา
อัตราแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 1.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-3 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา
อัตราแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-4 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา
อัตราแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-5 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา
อัตราแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-6 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา
อัตราแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-7 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสถิตก่อนการเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา
อัตราแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6.00 มิลลิเมตร

บริเวณผิวพื้นคาน RC T-girder

การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบ RC T-Girder แบบระบบคาน พบรอยแตกร้าวบนผิวพื้นคาน RC T-Girder โดยวิธีแบบสถิต ก่อนการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา แสดงดังรูปรูปที่ 5.4-8 ถึงรูปที่ 5.4-14



รูปที่ 5.4-8 RC T-Girder แบบระบบคานก่อนเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 0.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-9 RC T-Girder แบบระบบคานก่อนเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 1.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-10 RC T-Girder แบบระบบคานก่อนเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-11 RC T-Girder แบบระบบคานก่อนเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-12 RC T-Girder แบบระบบคานก่อนเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4.00 มิลลิเมตร

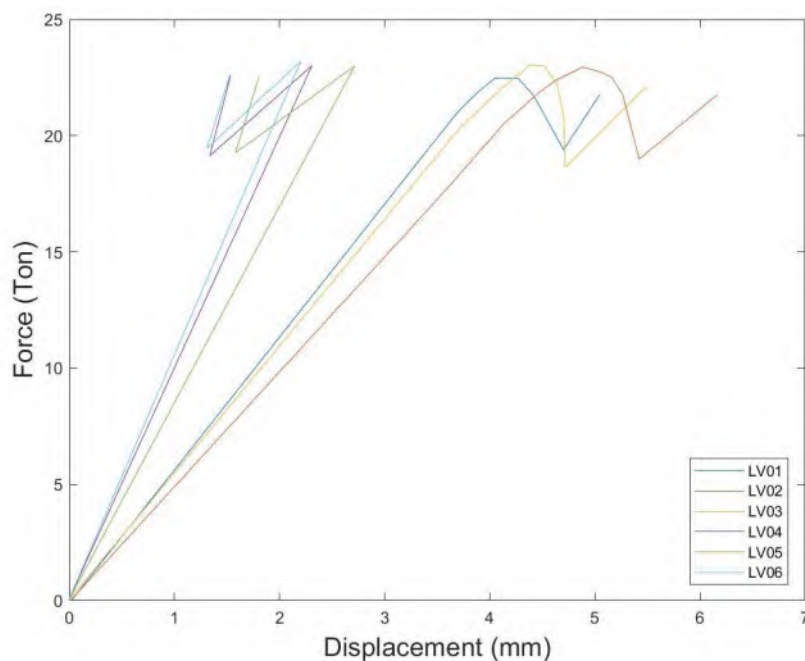


รูปที่ 5.4-13 RC T-Girder แบบระบบคานก่อนเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-14 RC T-Girder แบบระบบคานก่อนเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6.00 มิลลิเมตร

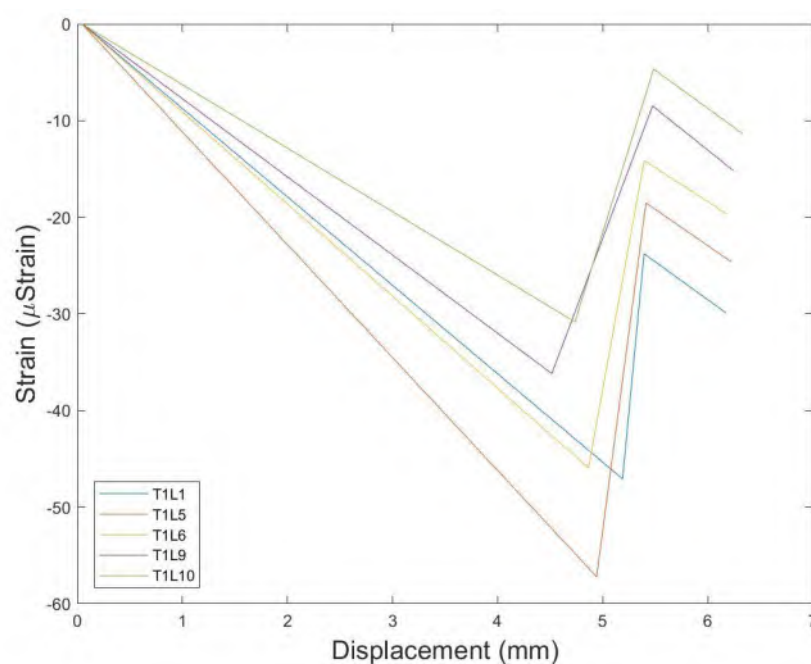
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบและระยะการแอ่นตัวของคานสำเร็จรูปคู่ก่อนการเสริมกำลังได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.4-15 ตำแหน่งการติดตั้ง LVDT อย่างละเอียด ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 โดยมี LV01 LV02 และ LV03 เป็น LVDT ที่ติดตั้งกับคานตัวที่ทำการกदन้าหนัก ส่วน LV04 LV05 และ LV06 เป็น LVDT ที่ติดกับคานตัวที่ไม่ได้น้าหนัก โดยที่ LV02 จะเป็น LVDT ที่ติดที่กึ่งกลางคานที่รับน้าหนัก จากรูปที่ 5.4-15 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของคานเป็นเส้นตรงตลอดการทดสอบ โดยแรงจะถ่ายไปยังคานที่รับน้าหนักโดยตรง ทำให้การแอ่นตัวของคานที่รับน้าหนักมีมากกว่าจนถึงระยะการแอ่นตัวของ LV02 เท่ากับ 5 mm กำลังรับน้าหนักของคานจะลดลงอย่างทันทีทันใด เนื่องจากเกิดการแตกของจุดต่อระหว่างคานทั้งสอง ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการแอ่นตัวจะไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันและกำลังรับน้าหนักของคานตัวที่จะลดลงสู่พฤติกรรมการรับน้าหนักของคานเดี่ยวทันที ดังแสดงในรูปที่ 5.3-15 ณ จุดนี้จะมีรอยแตกบริเวณจุดต่อคานทั้งสองอย่างชัดเจน ณ จุดการทดสอบนี้จะเป็นจุดที่จุดต่อระหว่างคาน RC T-Girder เกิดการวิบัติจนไม่สามารถถ่ายแรงเฉือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



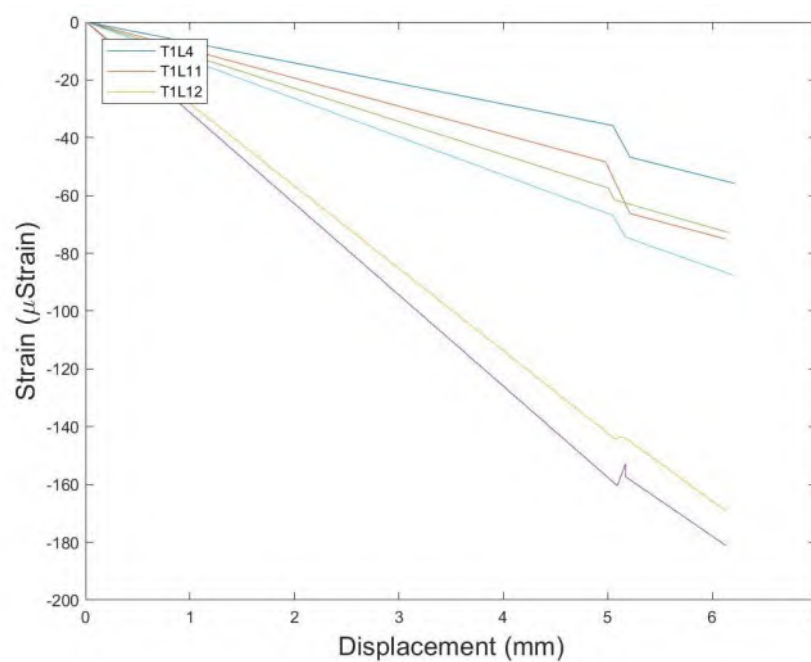
รูปที่ 5.4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน
ก่อนการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในเหล็กเสริมตามยาวด้านบน และเหล็กเสริมตามยาวด้านล่างระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานได้แสดงในรูปที่ 5.4-16 ดังรูปที่ 5.4-19 ตามลำดับ โดยगेจวัดความเครียดในรูปที่ 5.4-16 และรูปที่ 5.4-17 จะติดตั้งบริเวณเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กบน จากรูปพบว่า เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นระยะการแอ่นตัวของคานเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กเสริมบนตามยาวมีความเครียดอัดเพิ่มขึ้นตามระยะการแอ่นตัวที่มากขึ้น และเมื่อถึงจุดที่รอยต่อเกิดการแตกร้าว แรงกระทำจะลดลงเนื่องจากแรงกระทำไม่สามารถถ่ายไปยังแผ่นพื้นอีกแผ่นได้ ดังแสดงให้เห็นเป็นรอยหยักในกราฟ

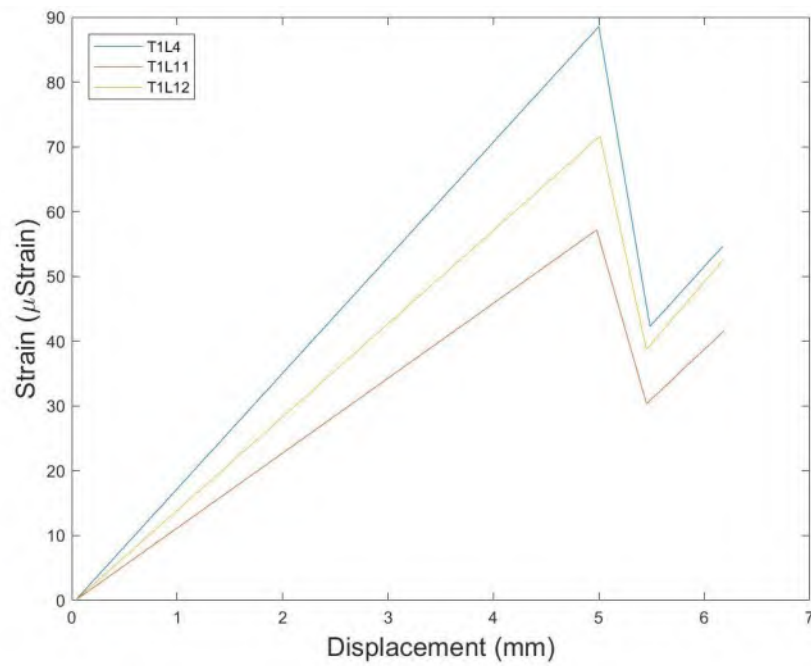
गेจวัดความเครียดในรูปที่ 5.4-18 และรูปที่ 5.4-19 จะติดตั้งบริเวณเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กบน จากรูปพบว่า เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นระยะการแอ่นตัวของคานเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กเสริมบนตามยาวมีความเครียดอัดเพิ่มขึ้นตามระยะการแอ่นตัวที่มากขึ้น และเมื่อถึงจุดที่รอยต่อเกิดการแตกร้าว แรงกระทำจะลดลงเนื่องจากแรงกระทำไม่สามารถถ่ายไปยังแผ่นพื้นอีกแผ่นได้ ดังแสดงให้เห็นเป็นรอยหยักในกราฟ



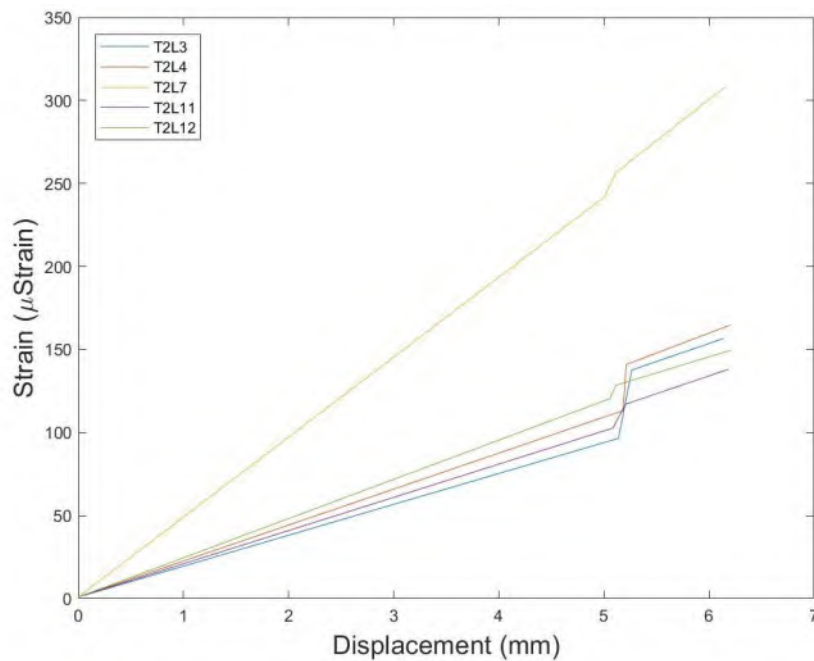
รูปที่ 5.4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงอัดกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 1 ก่อนการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา



รูปที่ 5.4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงอัดกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 2 ก่อนการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

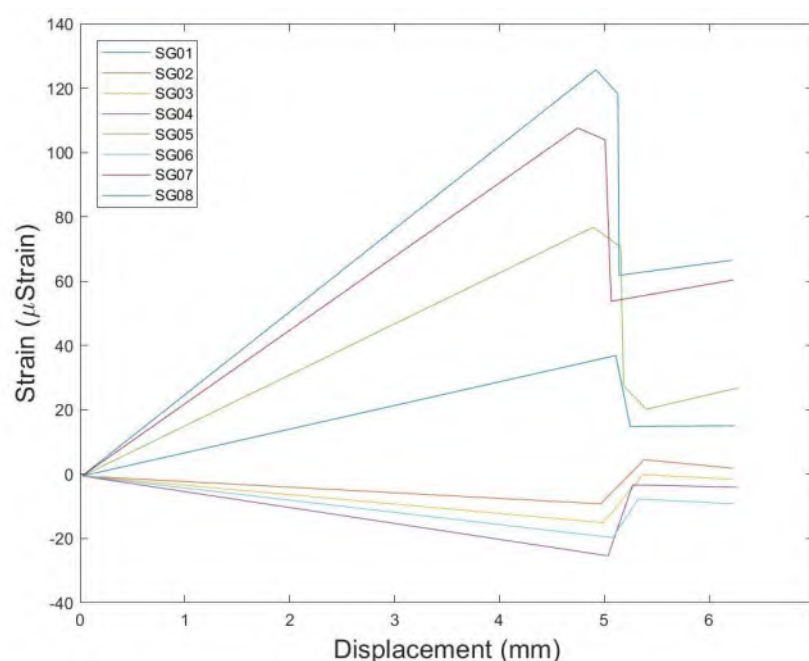


รูปที่ 5.4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงดิ่งกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 1 ก่อนการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

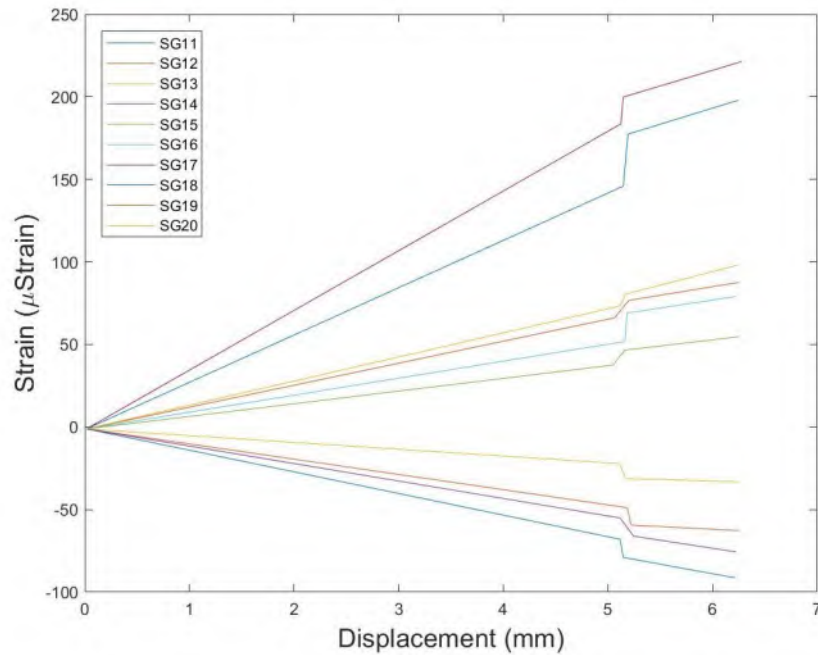


รูปที่ 5.4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงดิ่งกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 2 ก่อนการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคาน RC T-Girder ตัวที่ 1 (T1) ได้แสดงในรูปที่ 5.4-20 และตัวที่ 2 (T2) ได้แสดงในรูปที่ 5.4-21 โดยगेจวัดความเครียดที่ติดตั้งด้านบนเกิดการหดตัวทำให้เกิดความเครียดอัด และगेจที่ติดตั้งด้านล่างเกิดการหดตัวทำให้เกิดแรงดึง ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะการรับแรงของคานจากการทดสอบ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการแอ่นตัวมีลักษณะเป็นเส้นตรงจนถึงจุดที่รอยต่อระหว่างคานเกิดการแตกร้าวที่ระยะ 5 มิลลิเมตร จากรูปที่ระยะดังกล่าว จะพบการหักของความสัมพันธ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการถ่ายแรงอย่างฉับพลันมายังคาน RC T-Girder ตัวที่รับแรงกด และเกิดการวิบัติของรอยต่อระหว่างคาน ทำให้ไม่สามารถถ่ายแรงเฉือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5.4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน
ตัวที่ 1 ก่อนการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา



รูปที่ 5.4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะแอนตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 2 ก่อนการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

5.4.2. ภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

รูปที่ 5.4-22 ถึงรูปที่ 5.4-31 แสดงผลการทดสอบแบบสถิตของชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบ RC T-girder แบบระบบคาน ตั้งแต่ระยะการแอนตัว 0 มิลลิเมตร ถึง 9 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-22 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสถิต หลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัด

แรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 0.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-23 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสลิต หลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัด แรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 1.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-24 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสลิต หลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัด แรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-25 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสถิต หลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัด แรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-26 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสถิต หลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัด แรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-29 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสลิต หลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัด แรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-30 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสลิต หลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัด แรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-31 การทดสอบชิ้นส่วนสะพาน RC T-girder แบบระบบคาน แบบสลิต หลังเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9.00 มิลลิเมตร

บริเวณผิวพื้นคาน RC T-girder

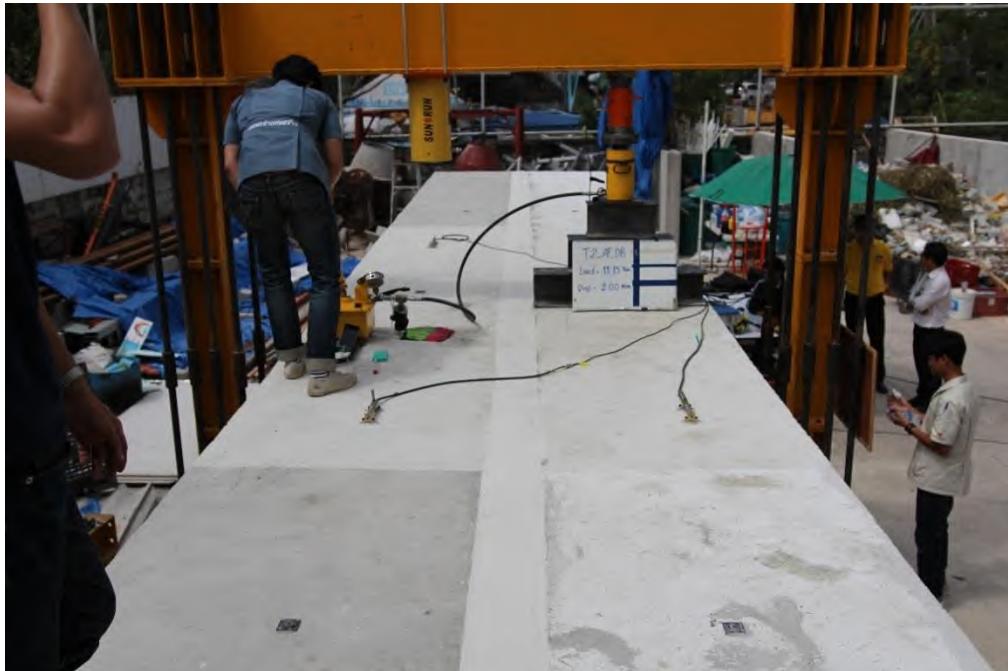
การทดสอบชิ้นส่วนสะพานสำเร็จรูปแบบ RC T-Girder แบบระบบคาน พบรอยแตกร้าวบนผิวพื้นคาน RC T-Girder โดยวิธีแบบสลิต หลังเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา ดังแสดงในรูปที่ 5.4-32 ถึงรูปที่ 5.4-41



รูปที่ 5.4-32 RC T-Girder แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 0.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-33 RC T-Girder แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 1.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-34 RC T-Girder แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 2.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-35 RC T-Girder แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 3.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-36 RC T-Girder แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 4.00 มิลลิเมตร



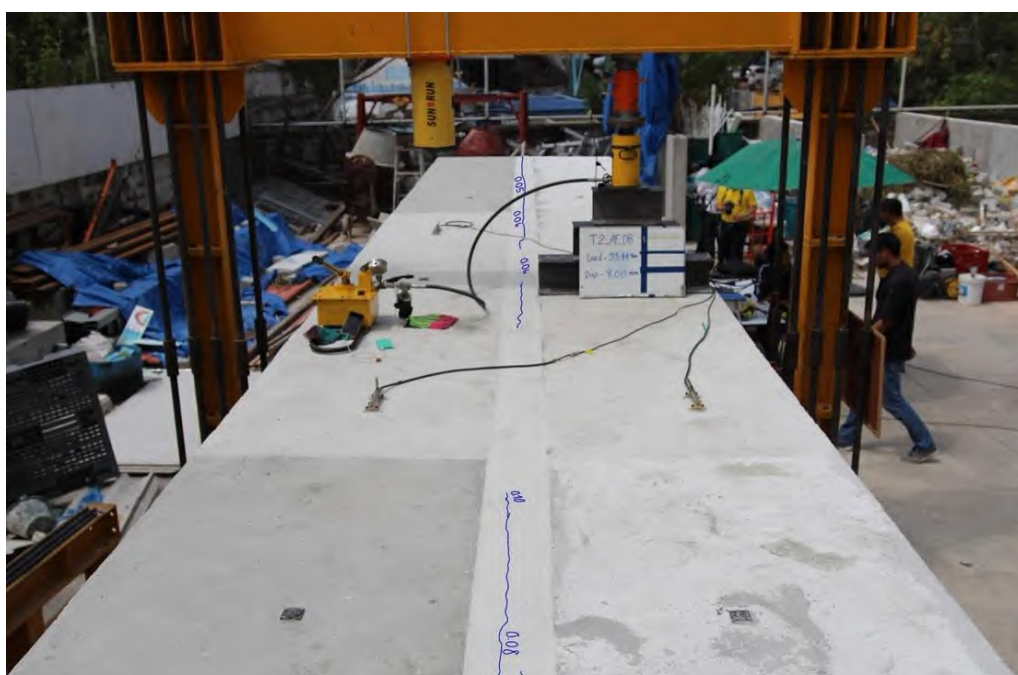
รูปที่ 5.4-37 RC T-Girder แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 5.00 มิลลิเมตร



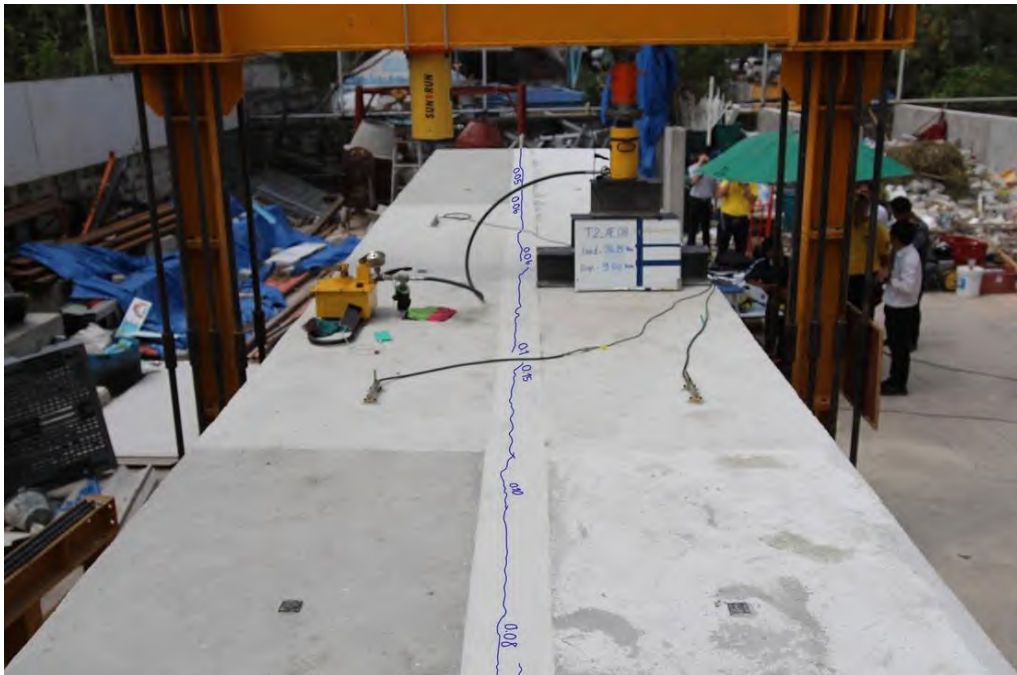
รูปที่ 5.4-38 RC T-Girder แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 6.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-39 RC T-Girder แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 7.00 มิลลิเมตร

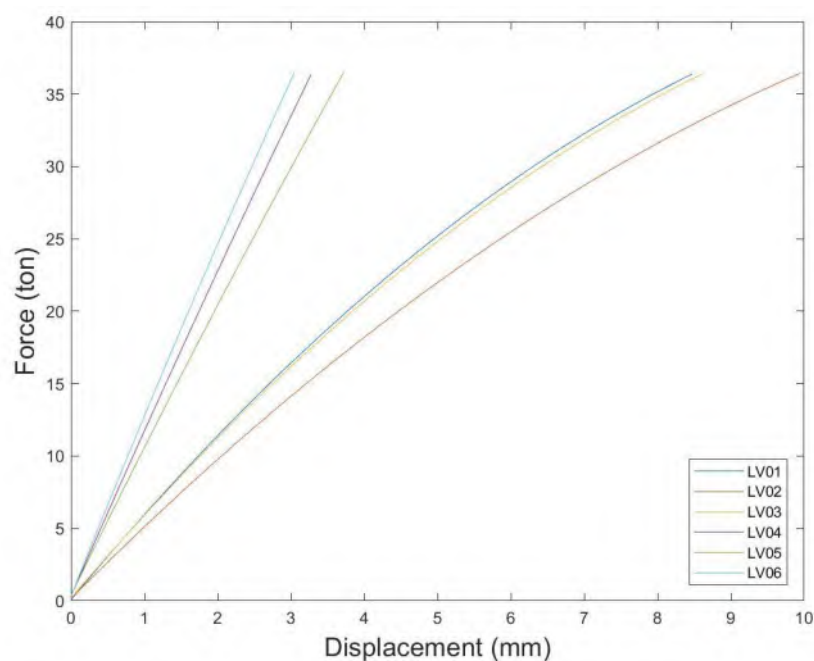


รูปที่ 5.4-40 RC T-Girder แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 8.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4-41 RC T-Girder แบบระบบคาน หลังเสริมกำลัง ขณะเกิดการแอ่นตัวที่ 9.00 มิลลิเมตร

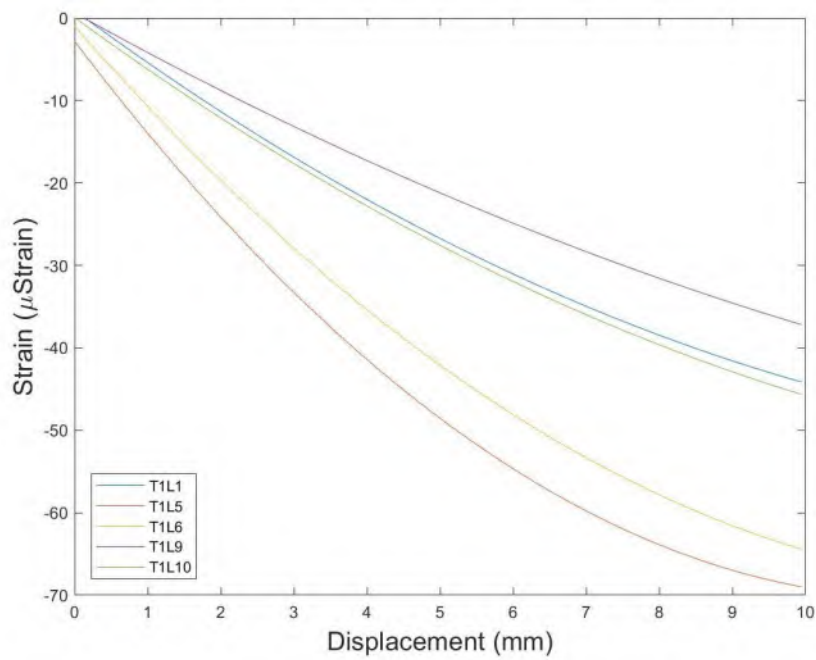
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบและระยะการแอ่นตัวของคานสำเร็จรูปคู่ หลังการเสริมกำลังได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.4-42 ตำแหน่งการติดตั้ง LVDT อย่างละเอียด ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 โดยมี LV01 LV02 และ LV03 เป็น LVDT ที่ติดตั้ง กับคานตัวที่ทำการกदन้าหนัก ส่วน LV04 LV05 และ LV06 เป็น LVDT ที่ติดกับคานตัวที่ไม่ได้น้าหนัก โดยที่ LV02 จะเป็น LVDT ที่ติดที่กึ่งกลางคานที่รับน้าหนัก จากรูปที่ 5.4-42 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของคานเป็นเส้นตรงตลอดการทดสอบ โดยแรงจะถ่ายไปยังคานที่รับน้าหนักโดยตรง ทำให้การแอ่นตัวของคานที่รับน้าหนักมีมากกว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการแอ่นตัวจะเกือบจะเป็นเส้นตรงตลอดการทดสอบ สำหรับคานที่ไม่ได้น้าหนัก ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการแอ่นตัวจะเป็นเส้นตรงตลอดการทดสอบ สำหรับคานที่รับน้าหนักทดสอบโดยตรงจะมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการแอ่นตัวในช่วงท้ายที่ระยะการแอ่นตัวมากกว่า 4 มิลลิเมตร เริ่มเป็นเส้นโค้ง ตลอดการทดสอบจะพบรอยแตกระหว่างคานทั้งสอง รอยแตกจะค่อยๆ เพิ่มขนาด แต่ไม่พบการวิบัติของรอยต่ออย่างฉับพลันเช่นเดียวกับกรณีก่อนการเสริมกำลัง การทดสอบพบว่ารอยต่อสามารถถ่ายแรงเฉือนได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพจนสิ้นสุดการทดสอบที่ระยะการแอ่นตัวประมาณ 8 มิลลิเมตร



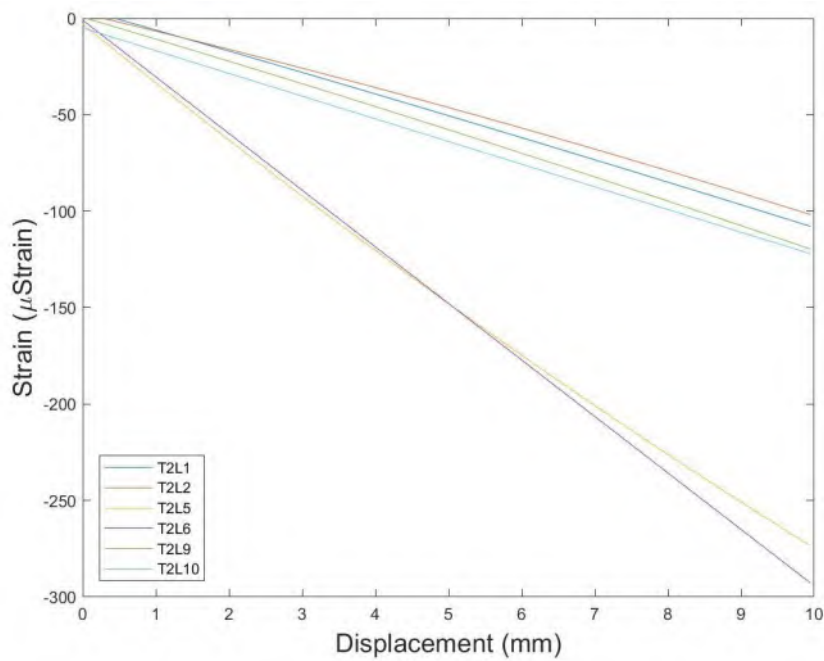
รูปที่ 5.4-42 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงทดสอบกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder
แบบระบบคานภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในเหล็กเสริมตามยาวด้านบน และเหล็กเสริมตามยาวด้านล่างระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานได้แสดงในรูปที่ 5.4-43 ถึงรูปที่ 5.4-46 ตามลำดับ โดยगेจวัดความเครียดในรูปที่ 5.4-43 และรูปที่ 5.4-44 จะติดตั้งบริเวณเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กบน จากรูปพบว่า เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นระยะการแอ่นตัวของคานเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กเสริมบนตามยาวมีความเครียดอัดเพิ่มขึ้นตามระยะการแอ่นตัวที่มากขึ้น ตลอดการทดสอบพบว่ารอยต่อระหว่างคานมีการถ่ายแรงกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดการทดสอบ

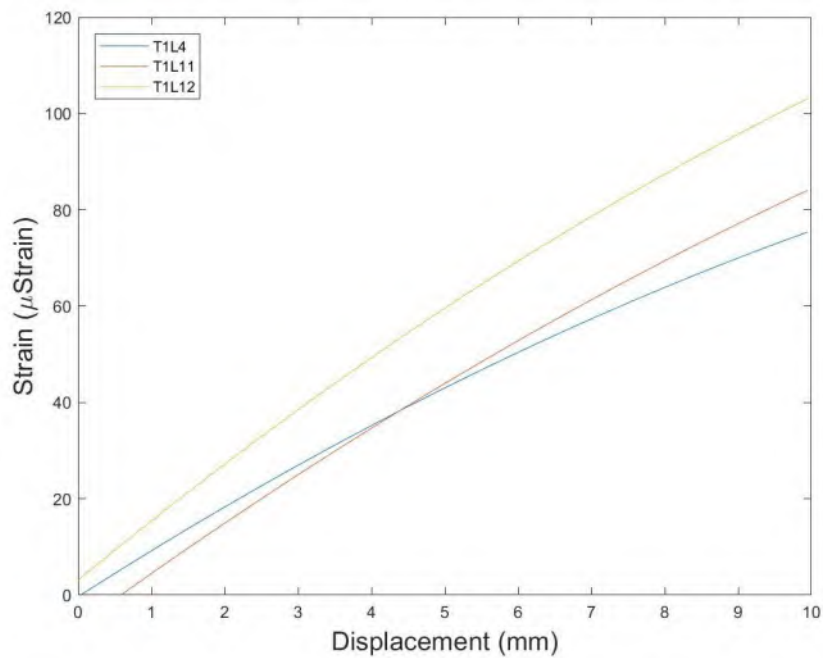
गेจวัดความเครียดในรูปที่ 5.4-45 และรูปที่ 5.4-46 จะติดตั้งบริเวณเหล็กเสริมตามยาวที่เป็นเหล็กล่าง จากรูปพบว่า เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นระยะการแอ่นตัวของคานเพิ่มขึ้นทำให้เหล็กเสริมล่างตามยาวมีความเครียดดึงเพิ่มขึ้นตามระยะการแอ่นตัวที่มากขึ้น ตลอดการทดสอบพบว่ารอยต่อระหว่างคานมีการถ่ายแรงกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดการทดสอบ



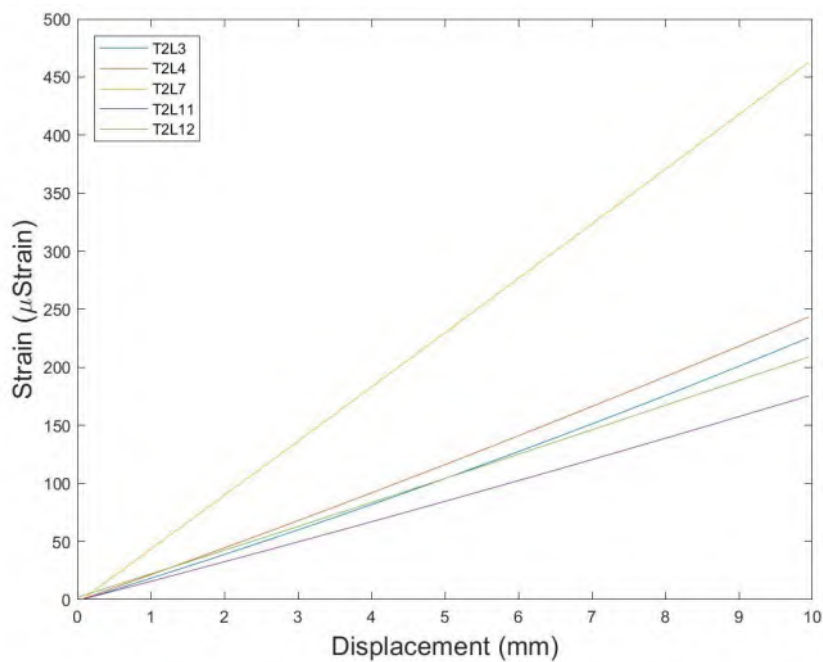
รูปที่ 5.4-43 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงอัดกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 1 ภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา



รูปที่ 5.4-44 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงอัดกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 2 ภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา



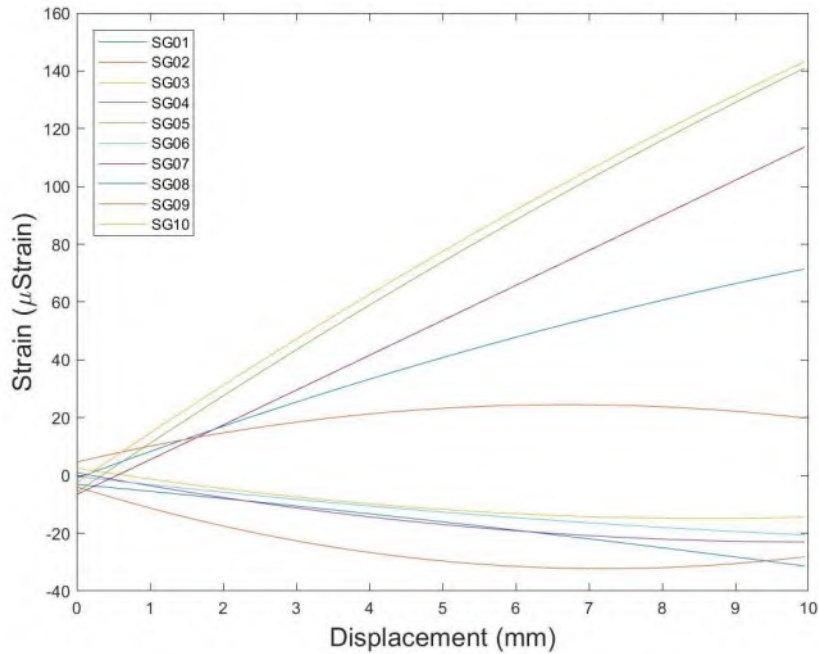
รูปที่ 5.4-45 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงดึงกับระยะแอนตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 1 ภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา



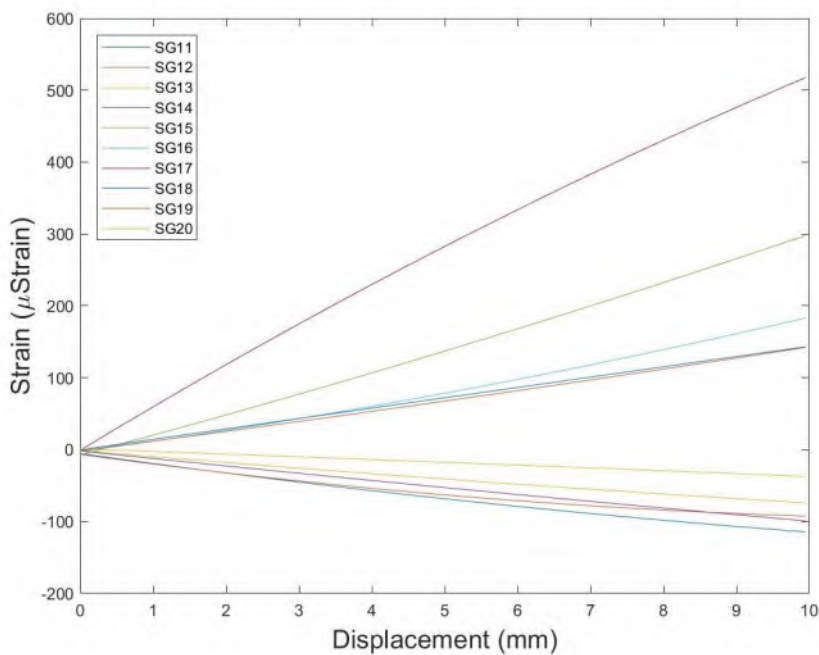
รูปที่ 5.4-46 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดในเหล็กเสริมรับแรงดึงกับระยะแอนตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 2 ภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะการแอนตัวที่กึ่งกลางคาน RC T-Girder ตัวที่ 1 (T1) ได้แสดงในรูปที่ 5.4-47 และตัวที่ 2 (T2) ได้แสดงในรูปที่ 5.4-48 โดยแถววัดความเครียดที่ติดตั้ง

ด้านบนเกิดการหดตัวทำให้เกิดความเครียดอัด และเกจที่ติดด้านล่างเกิดการหดตัวทำให้เกิดแรงดึง ซึ่งมีความสอดคล้องกับลักษณะการรับแรงของคานจากการทดสอบ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการแอ่นตัวมีลักษณะเป็นเส้นตรงในช่วงแรก และเป็นเส้นโค้งในช่วงปลายของการทดสอบ ตลอดการทดสอบพบว่า การถ่ายแรงเนื่องระหว่างแผ่นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5.4-47 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะแอ่นตัวของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 1 ภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา



รูปที่ 5.4-48 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเครียดที่ผิวคอนกรีตกับระยะแอ่นตัว

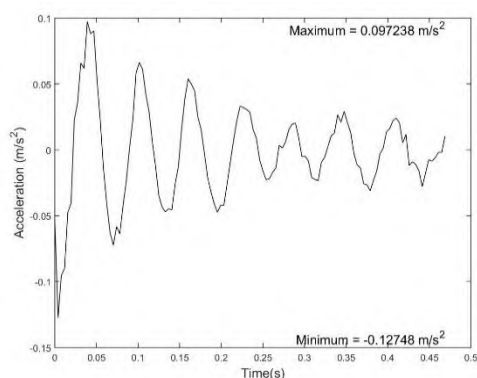
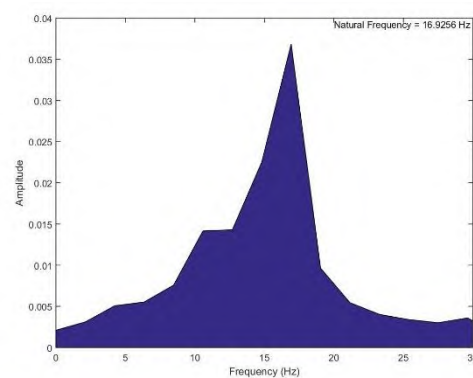
ของ RC T-Girder แบบระบบคาน ตัวที่ 2 ภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพารา

5.4.3. การทดสอบแบบ Dynamic Test ของชิ้นส่วนแบบระบบคาน เสริมและไม่เสริมกำลัง

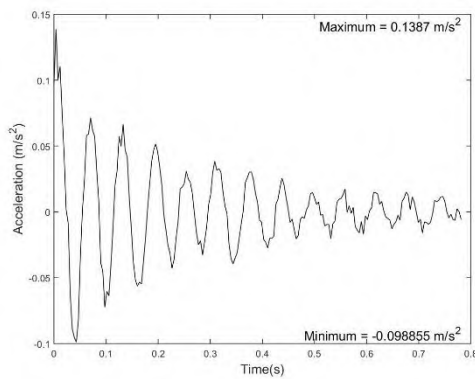
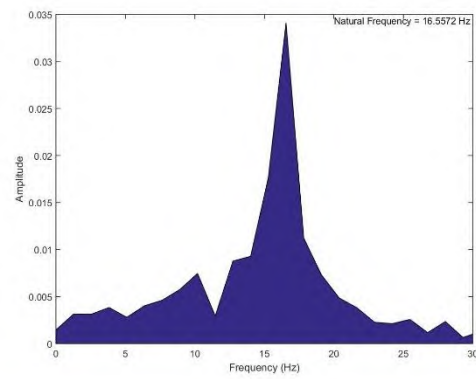
การทดสอบแบบ Dynamic Test ของคาน RC T-Girder แบบระบบคานทั้งก่อนและหลังเสริมกำลัง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อค่าหาความถี่ธรรมชาติของสะพาน และเปรียบเทียบอัตราส่วนความหน่วงระหว่างแผ่นพื้นก่อนและหลังเสริมกำลัง โดยมีสมมติฐานว่าแผ่นยางที่ใช้ในการเสริมกำลังในทิศทางตามขวางมีความสามารถในการดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับคานได้ โดยหลังจากการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรง แถบยางพาราจะช่วยเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงของสะพานได้ ในการทดสอบจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร่งบนสะพานทดสอบจำนวน 3 จุด คือ จุดกึ่งกลางคาน (AC02) และที่ระยะห่างจากปลายคานทั้งสองข้าง 2.0 เมตร จำนวน 2 จุด AC01 และ AC03 ผลการทดสอบแบบ Dynamic มีค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนทดสอบและผลการวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติและอัตราส่วนความหน่วงของ RC T-Girder แสดงดังรูปที่ 5.4-49 ถึงรูปที่ 5.4-54

โดยก่อนการเสริมกำลัง การทดสอบจะทำโดยให้แรงกระทำกระทำ ณ จุดกึ่งกลางคาน เมื่อให้แรงกระทำแล้วจะทำการตรวจวัดความเร่งจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งทั้งสามจุดในทันที ความเร่งที่ตรวจวัดได้ของแผ่นพื้นแบบเดี่ยวที่ไม่มีการเสริมกำลังทั้งสามจุดได้แสดงดังรูปที่ 5.4-49 ถึงรูปที่ 5.4-51

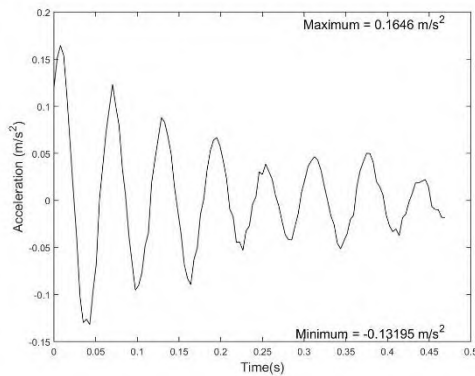
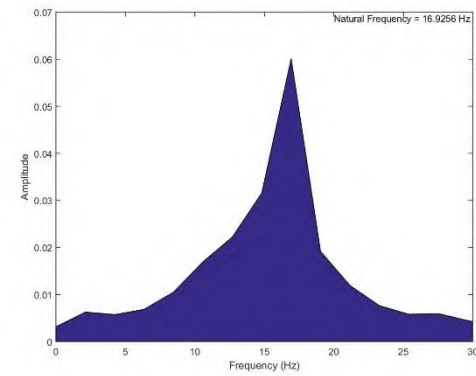
จากผลการตรวจวัดพบว่า สะพาน RC T-Girder แบบระบบคานมีความถี่ธรรมชาติประมาณ 17 เฮิรท์ และสะพานมีอัตราส่วนความหน่วงอยู่ในช่วงประมาณ 3.2-3.6 % ดังแสดงในรูปที่ 5.4-49 ถึงรูปที่ 5.4-51



รูปที่ 5.4-49 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder แบบระบบคานก่อนการเสริมกำลัง (AC01) Damping Ratio = 3.4%

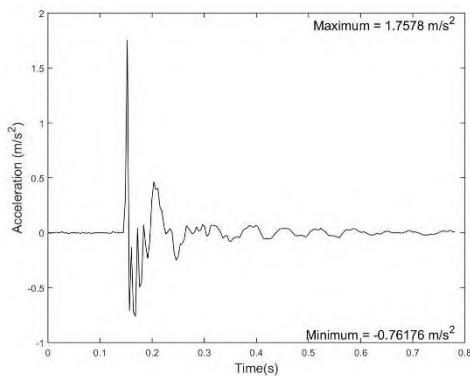
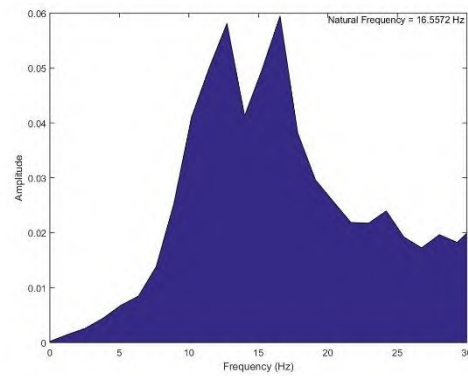


รูปที่ 5.4-50 การตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder แบบระบบคานก่อนการเสริมกำลัง (AC02) Damping Ratio = 3.6%

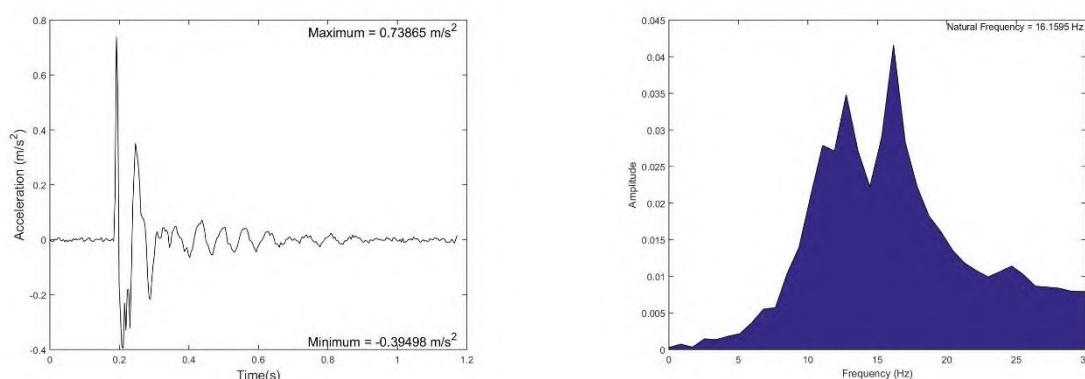


รูปที่ 5.4-51 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder แบบระบบคานก่อนการเสริมกำลัง (AC03) Damping Ratio = 3.2%

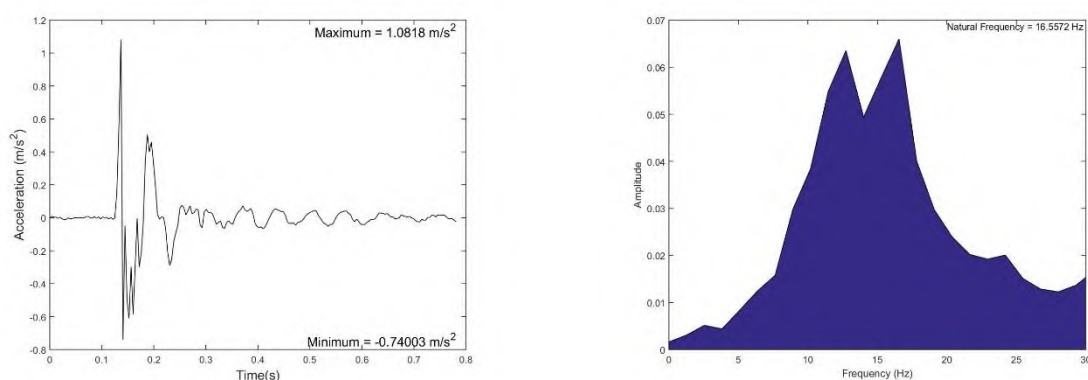
ภายหลังการเสริมกำลังด้วยยางพาราแล้วพบว่า ความถี่ธรรมชาติของสะพานไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยอยู่ที่ระดับประมาณ 17 เฮิรท์ ดังแสดงในรูปที่ 5.4-52 ถึงรูปที่ 5.4-54 ภายหลังการเสริมกำลังพบว่า อัตราส่วนความหน่วงของสะพานไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง คือยังคงอยู่ในระดับ 3.2-3.6% ดังแสดงในรูปที่ 5.4-52 ถึงรูปที่ 5.4-54



รูปที่ 5.4-52 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder แบบระบบคานภายหลังการเสริมกำลัง (AC01) Damping Ratio = 3.3%



รูปที่ 5.4-53 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder แบบระบบคานภายหลังการเสริมกำลัง (AC02) Damping Ratio = 3.6%



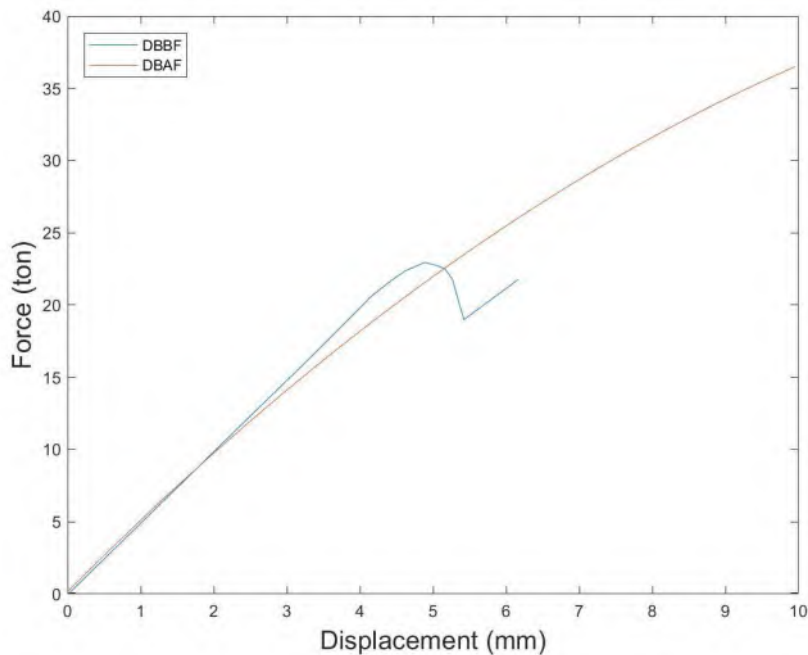
รูปที่ 5.4-54 ผลการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและค่าความถี่ธรรมชาติของ RC T-Girder แบบระบบคานภายหลังการเสริมกำลัง (AC03) Damping Ratio = 3.2%

ผลการทดสอบแบบ Dynamic RC T-girder แบบระบบคานเสริมและไม่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางพาราตามแนวขวางพบว่า ค่าความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนสะพานภายหลังการเสริมกำลังด้วยวัสดุยางพาราไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ด้านการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความหน่วงพบว่า การเสริมกำลังคานด้วยแผ่นยางพาราทางด้านขวางไม่ทำให้อัตราส่วนความหน่วง (Damping ratio) เพิ่มขึ้น

5.4.4. อภิปรายและเปรียบเทียบผลการทดสอบของคานสะพาน RC T-girder

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะการแอ่นตัวก่อนและหลังการเสริมกำลังชิ้นส่วนสะพานแบบคานคู่ได้แสดงในรูปที่ 5.4-55 จากรูปพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทดสอบกับระยะการแอ่นตัวของคานก่อนและหลังการเสริมกำลังเกือบเป็นเส้นเดียวกันในช่วงแรก ที่ระยะการแอ่นตัวต่ำกว่า 5 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มแรงกดทดสอบ คานคู่ที่ไม่ได้เสริมกำลังจะเกิดการวิบัติที่จุดต่อและไม่สามารถรับน้ำหนักได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในขณะที่คานคู่หลังเสริมกำลังสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากกว่ากรณีไม่เสริมกำลัง เนื่องจากรอยต่อระหว่างคานสามารถถ่ายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพถึงแม้จะมีรอยแตกร้าวบริเวณรอยต่อระหว่างคาน สรุปได้ว่า สะพานสำเร็จรูปคู่สามารถถ่ายแรงเฉือนระหว่างชิ้นส่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับคานที่ไม่เสริมกำลัง ซึ่งจะสามารถถ่ายแรงกดได้ 23 ตันเท่านั้น เทียบกับคานคู่ที่ได้รับการเสริมกำลังสามารถรับแรงกดได้มากกว่า 35 ตัน



รูปที่ 5.4-55 ความสัมพันธ์เปรียบเทียบแรงกดทดสอบและระยะแอ่นตัว
ของ RC T-girder แบบระบบคานเสริมและไม่เสริมยาง

ประสิทธิภาพในการใช้แถบยางพาราอัดแรงในการเสริมกำลังคานคอนกรีต RC T-girder ก่อนและหลังการเสริมกำลัง ทั้งแบบเดี่ยวและแบบคู่ได้แสดงในตารางที่ 5.4-1 จากตารางพบว่า แถบยางพาราช่วยเพิ่มอัตราส่วนความหน่วงสำหรับคานเดี่ยวได้อย่างมีนัยสำคัญ การเสริมแถบยางพาราตามแนวยาวมีส่วนสำคัญในการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของคาน และการเสริมแถบยางพาราบริเวณรอยต่อของคาน RC T-girder จะทำให้การถ่ายแรงเฉือนของคานทั้งสองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5.4-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเสริมกำลังคานและระบบคาน RC T-girder ด้วยแถบยางพาราอัดแรง

ประเด็นที่สนใจ	ก่อนเสริม	ภายหลังเสริม
ความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนทดสอบแบบระบบคาน	16.9 Hz	16.5 Hz
ค่าความหน่วงของชิ้นส่วนทดสอบแบบระบบคาน	3.4 %	3.4 %

ประเด็นที่สนใจ	ก่อนเสริม	ภายหลังเสริม
แรงกดทดสอบที่เกิดการแอ่นตัวที่ 15 มิลลิเมตร	25.28 Ton	35.37 Ton
แรงกดทดสอบที่เกิดการแตกร้าวที่รอยต่อของชิ้นส่วนคู้	21.82 ตัน	33.44 ตัน
ค่าการแอ่นตัวที่เกิดการแตกร้าวที่รอยต่อของชิ้นส่วนคู้	6 mm	8 mm
รูปแบบการแตกร้าวที่ท้องของชิ้นส่วนเดียว	ร้าวเป็นแนวยาว บริเวณรอยต่อ	ร้าวเป็นแนวยาว บริเวณรอยต่อ

5.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานสะพานสำเร็จรูป (PC Plank Girder)

การทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ เป็นการจำลองพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้าง ตั้งแต่เริ่มให้แรงกระทำบนบริเวณกึ่งกลางของพื้นสะพานจนถึงหลังเกิดรอยร้าวบนโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวและความเครียดภายในโครงสร้างของชิ้นส่วนคานสะพานเมื่อมีแรงมากระทำ โดยตำแหน่งที่พิจารณาจะอยู่กึ่งกลางโครงสร้างบริเวณใต้ชิ้นส่วนคานสะพาน

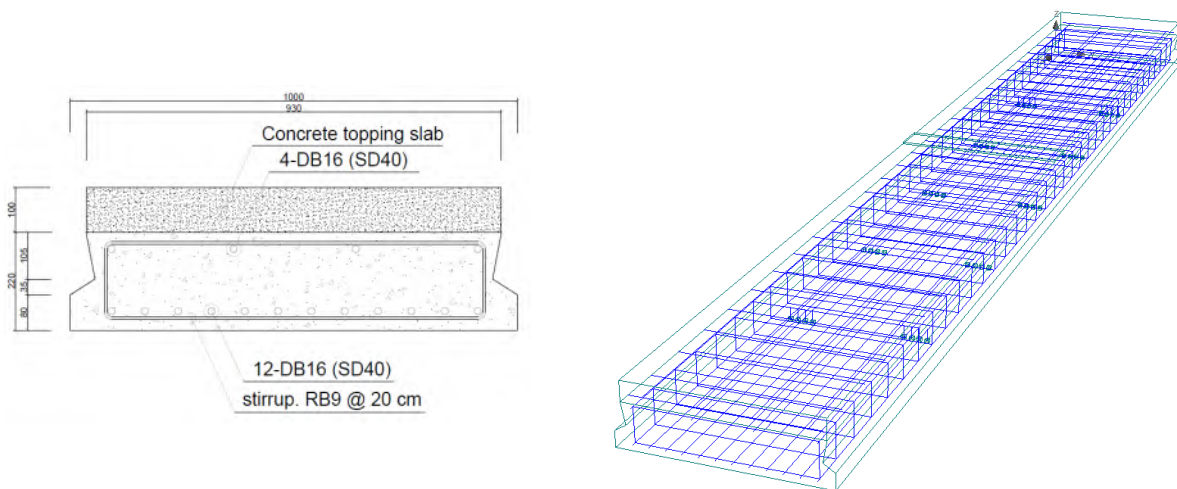
การสร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของชิ้นส่วนคานสะพานสำเร็จรูป ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม ATENA ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้างได้หลายรูปแบบ ทั้งในรูปแบบ 2 มิติและ 3 มิติ และยังสามารถวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่าง ๆ จากแบบจำลองทั้งก่อนและหลังการรับแรง ไปจนถึงก่อนที่โครงสร้างจะวิบัติ โปรแกรม ATENA ยังถูกใช้ในงานวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรงอย่างแพร่หลาย

5.5.1. แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานสะพานสำเร็จรูป

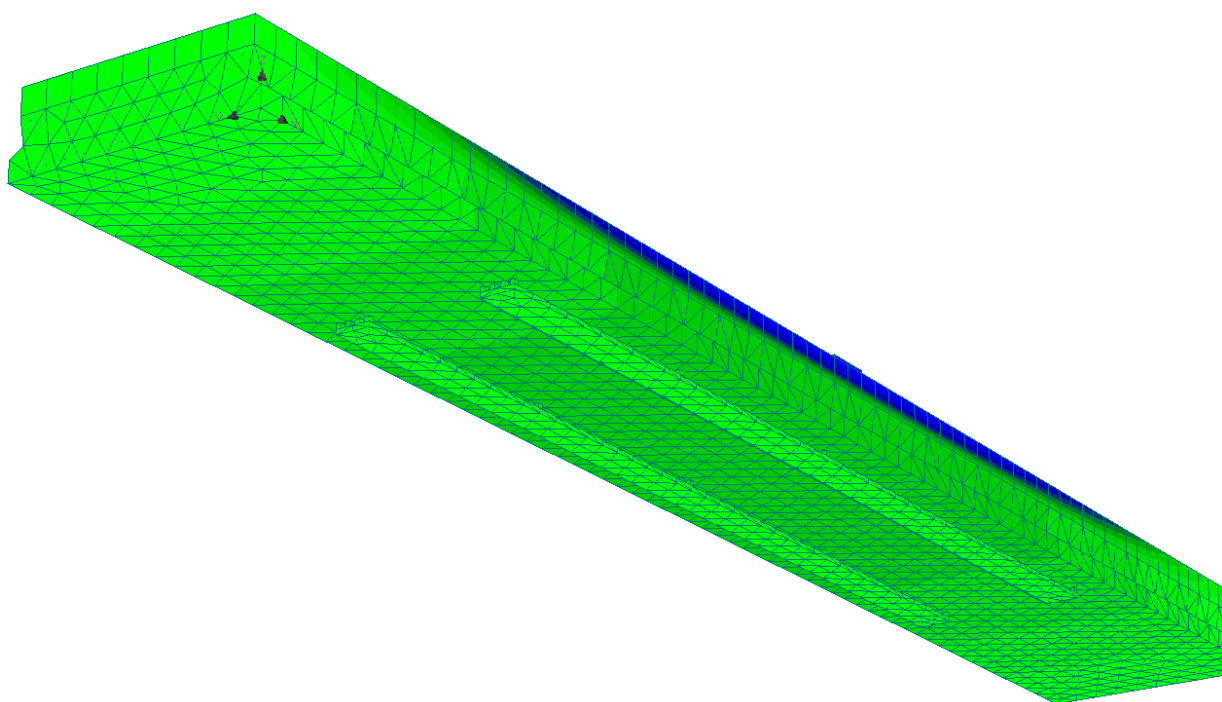
การทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานสะพานสำเร็จรูป แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีคานเดี่ยวและกรณีคานคู่ โดยทั้งสองกรณีจะมีการทดสอบและรูปแบบการเสริมกำลังที่แตกต่างกัน ในกรณีคานเดี่ยวจะมีชิ้นส่วนของพื้นสะพานและคานสะพานและมีแรงกระทำบริเวณกึ่งกลางคานสะพานเพื่อวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวและความเครียดในโครงสร้างของคานสะพานเมื่อมีแรงมากระทำ ส่วนในกรณีคานคู่ ชิ้นส่วนของพื้นสะพานและคานสะพานจะถูกนำมาวางชิดกันและบริเวณรอยต่อช่วงบนของคานและพื้นสะพานจะเป็นวัสดุคอนกรีตกำลังต่ำเพิ่มขึ้นมาซึ่งกำลังของชิ้นส่วนคอนกรีตแต่ละส่วนเป็นไปตามตารางที่ 5.5-1 ส่วนเหล็กเสริมกำลังในคอนกรีตประกอบด้วยเหล็กชนิด RB9 (SR24) และ DB16 (SD40) โดยในชิ้นส่วนคานสะพานสำเร็จรูปจะมีเหล็กแนวยาวเป็นชนิด DB16 กับเหล็กปลอกเป็นชนิด RB9 และชิ้นส่วนพื้นสะพานจะเป็นเหล็กชนิด RB9 ทั้งแนวยาวและแนวขวาง ดังรูปที่ 5.5-1 สำหรับรูปแบบการเสริมกำลังกรณีคานเดี่ยวจะใช้แผ่นยางเสริมติดชิ้นส่วนคานสะพานสำเร็จรูปบริเวณท้องคาน ดังรูปที่ 5.5-2

ตารางที่ 5.5-1 กำลังรับแรงอัดคอนกรีตรูปลูกบาศก์ของแต่ละชั้นส่วนในแบบจำลอง

ชั้นส่วนคอนกรีต	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (ขนาด 15x15x15 cm ³) (ksc)
คานสะพานสำเร็จรูป	420
พื้นสะพาน	300
รอยต่อช่วงบนของคานและพื้นสะพาน (ในกรณีคานคู่)	100

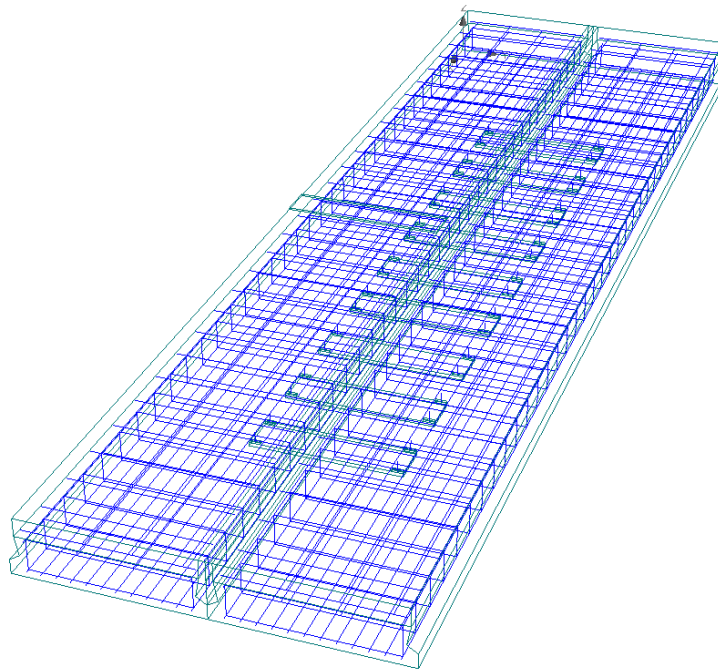


รูปที่ 5.5-1 รูปแบบการวางเหล็กเสริมในคานสะพานสำเร็จรูปและพื้นสะพานในแบบจำลอง กรณีคานเดี่ยว

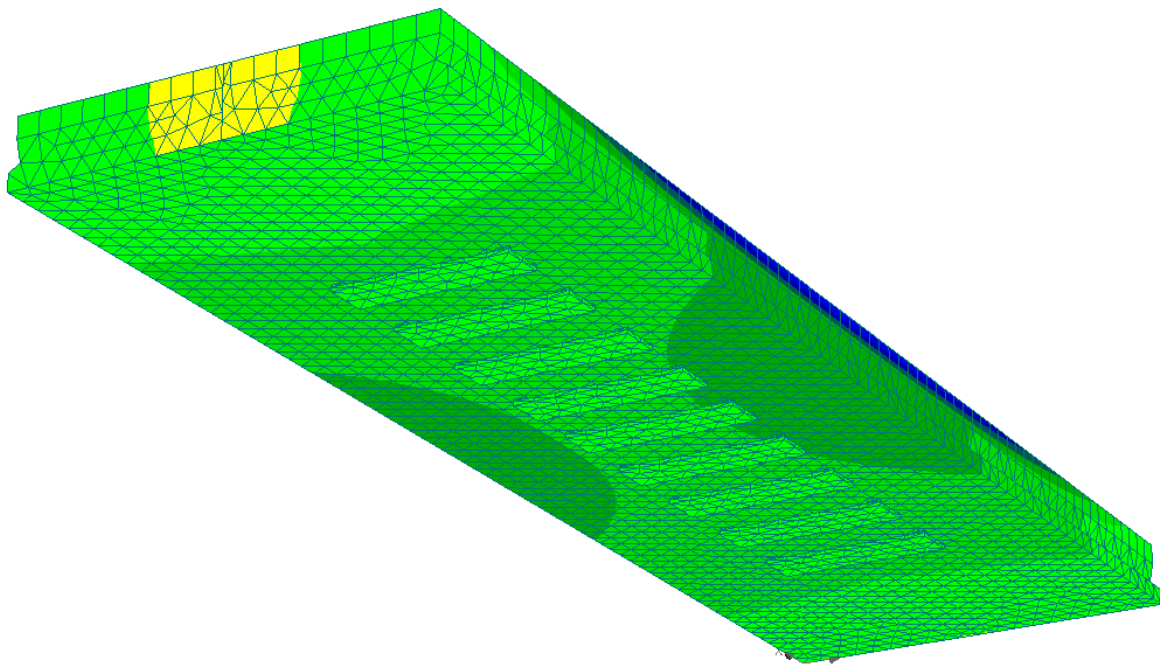


รูปที่ 5.5-2 การเสริมกำลังคานสะพานใน กรณีคานเดี่ยว

ในกรณีคานคู่ จะมีชิ้นส่วนรอยต่อระหว่างคานและพื้นสะพาน ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องหล่อขึ้นมาใหม่ หลังจากนำคานเดี่ยวมาวางชิดกัน ซึ่งในชิ้นส่วนนี้จะไม่มีการเสริม มีเพียงแต่วัสดุคอนกรีตกำลังต่ำเพียงชนิดเดียว และรูปแบบการเสริมกำลังจะมีการเสริมกำลังในแนวขวาง รายละเอียดดังรูปที่ 5.5-3 และรูปที่ 5.5-4



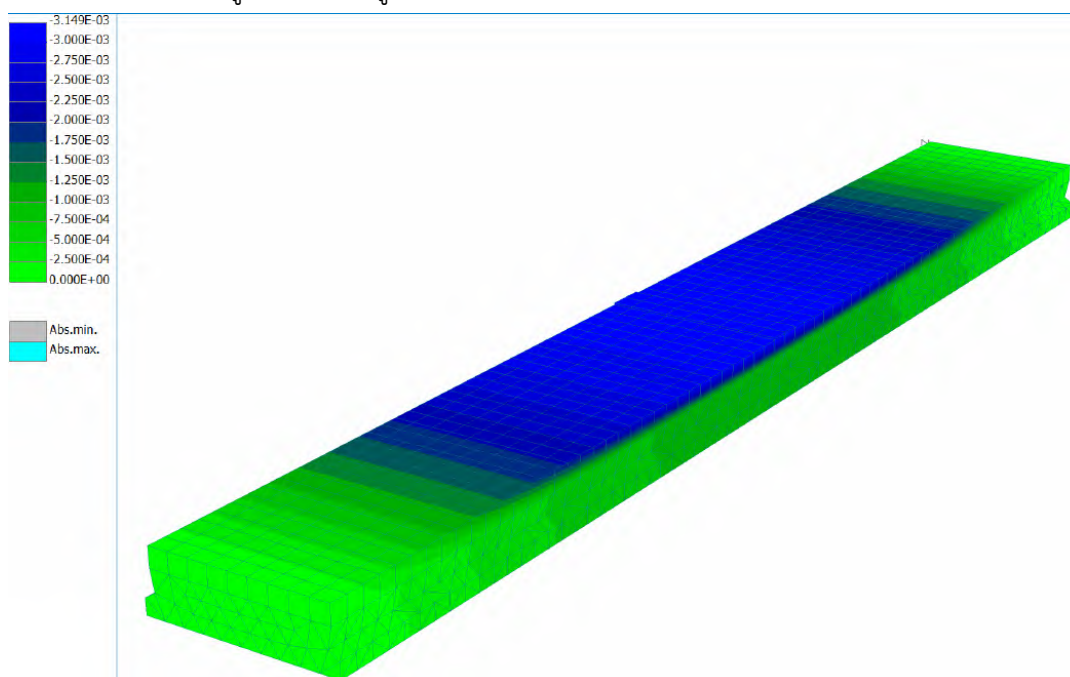
รูปที่ 5.5-3 รูปแบบการวางเหล็กเสริมในคานสะพานสำเร็จรูปและพื้นสะพานในแบบจำลอง กรณีคานคู่



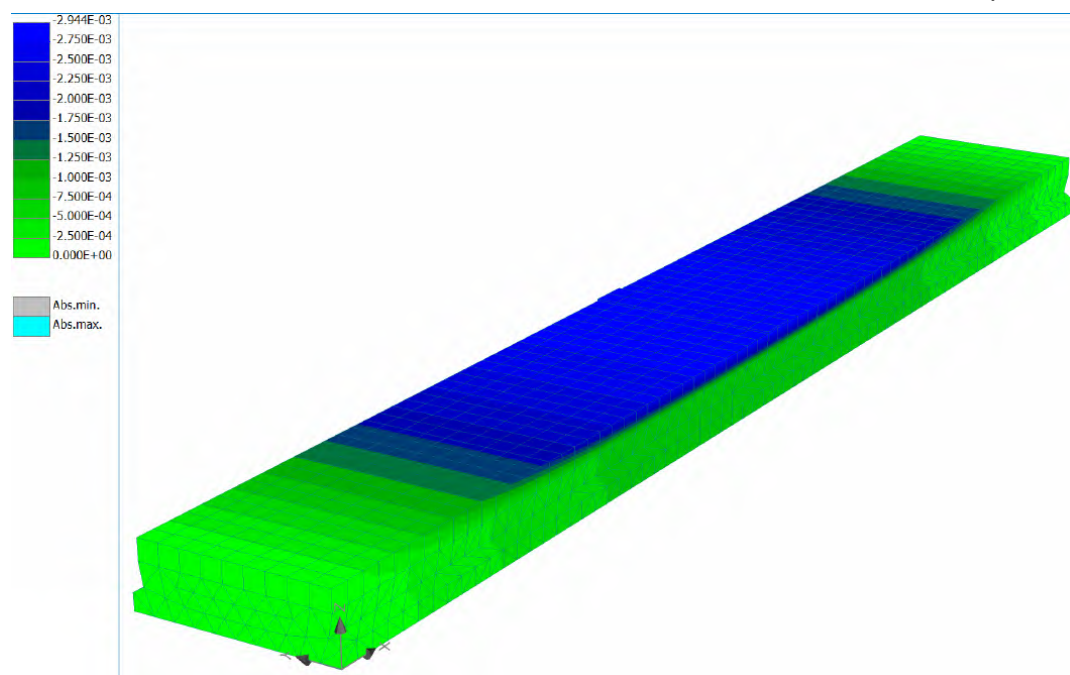
รูปที่ 5.5-4 การเสริมกำลังคานสะพานใน กรณีคานคู่

5.5.2. ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ กรณีคานเดี่ยว

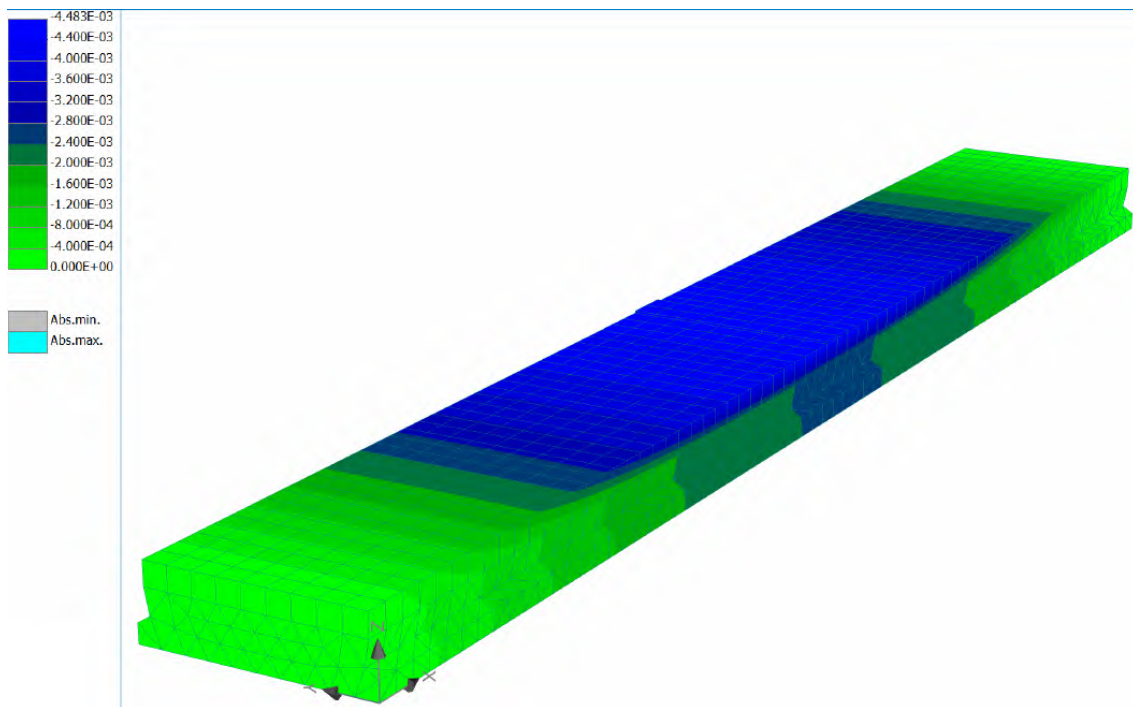
ในแบบจำลองกรณีคานเดี่ยว จะใช้แรงกระทำเป็นพื้นที่บริเวณกึ่งกลางและเพิ่มขนาดแรงไปอย่างต่อเนื่อง โดยอัตราการเพิ่มของแรงจะคงที่ เพื่อวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวบริเวณกึ่งกลางของคานสะพาน ซึ่งในแบบจำลองนี้จะใช้อัตราการเพิ่มแรงกระทำเท่ากับ $20,000 \text{ N/m}^2$ กระทำบนกึ่งกลางคานพื้นที่ $20 \text{ cm} \times 93 \text{ cm}$ ซึ่งจะได้ค่าแรงเท่ากับ $3,720 \text{ N}$ หรือประมาณ 372 กิโลกรัม ซึ่งจุดที่ใช้พิจารณาการแอ่นตัวจะอยู่ที่กึ่งกลางคานสะพานบริเวณที่มีแรงมากระทำ แล้วนำค่าการแอ่นตัวมาวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกรณีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงและกรณีไม่เสริมกำลัง ผลจากการทำแบบจำลองแสดงในรูปที่ 5.5-5 ถึงรูปที่ 5.5-12



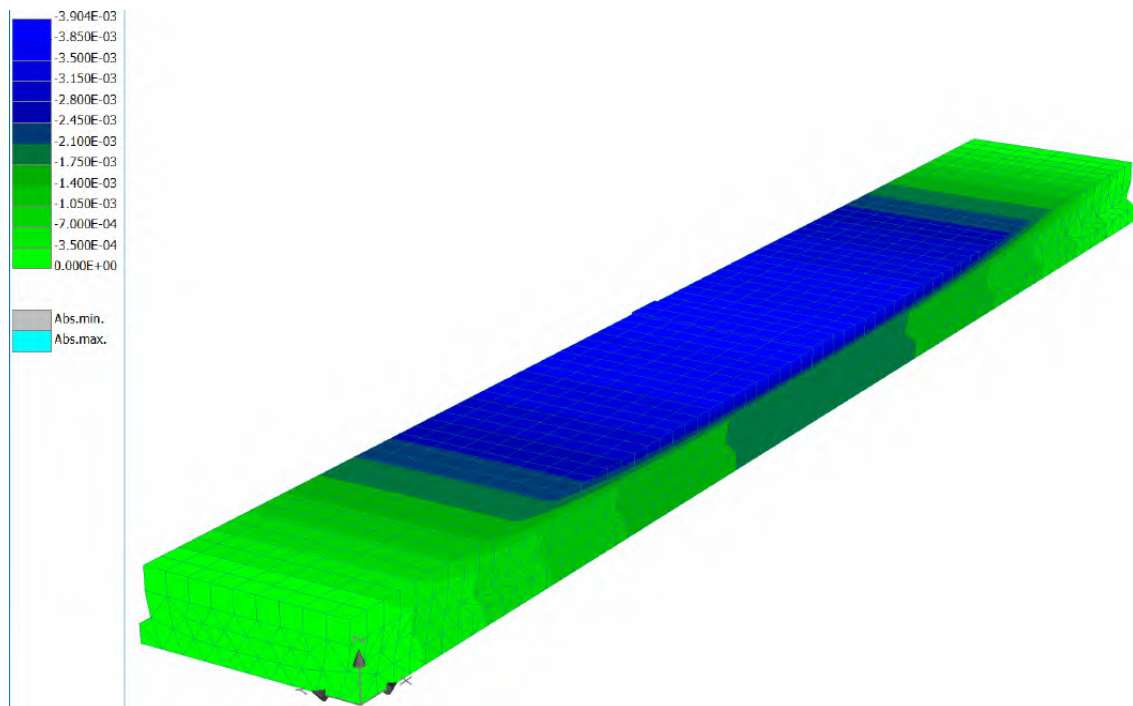
รูปที่ 5.5-5 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงมากระทำ $3,720 \text{ N}$ (Step1)



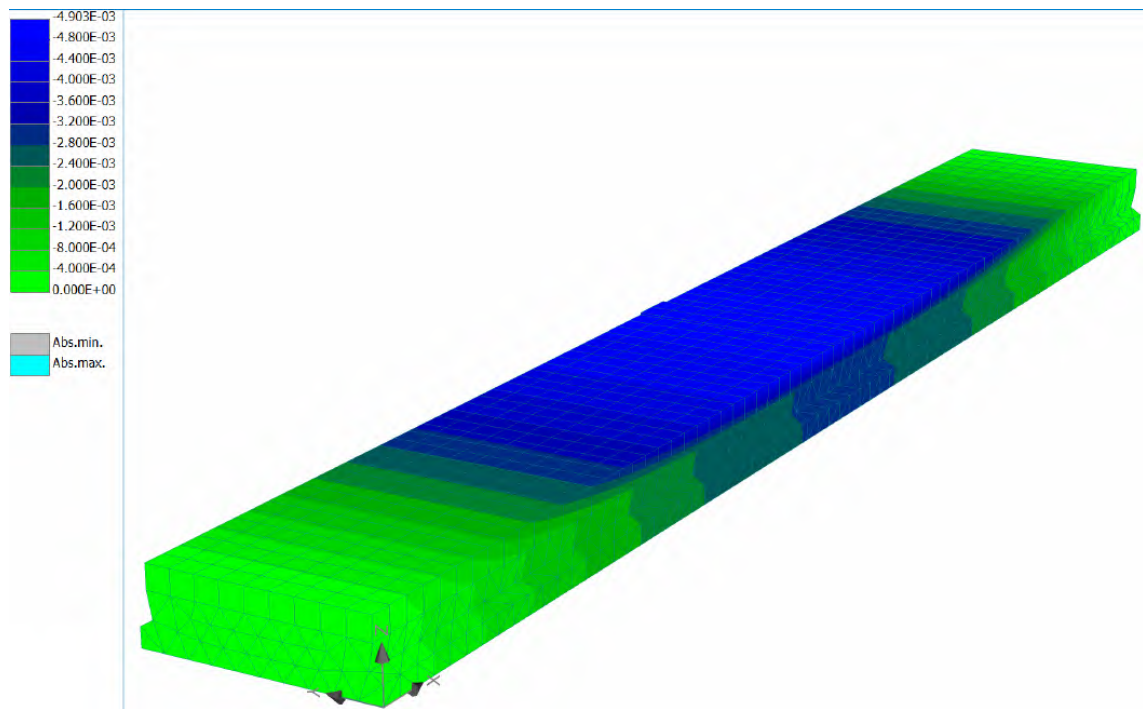
รูปที่ 5.5-6 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง เมื่อมีแรงมากระทำ $3,720 \text{ N}$ (Step1)



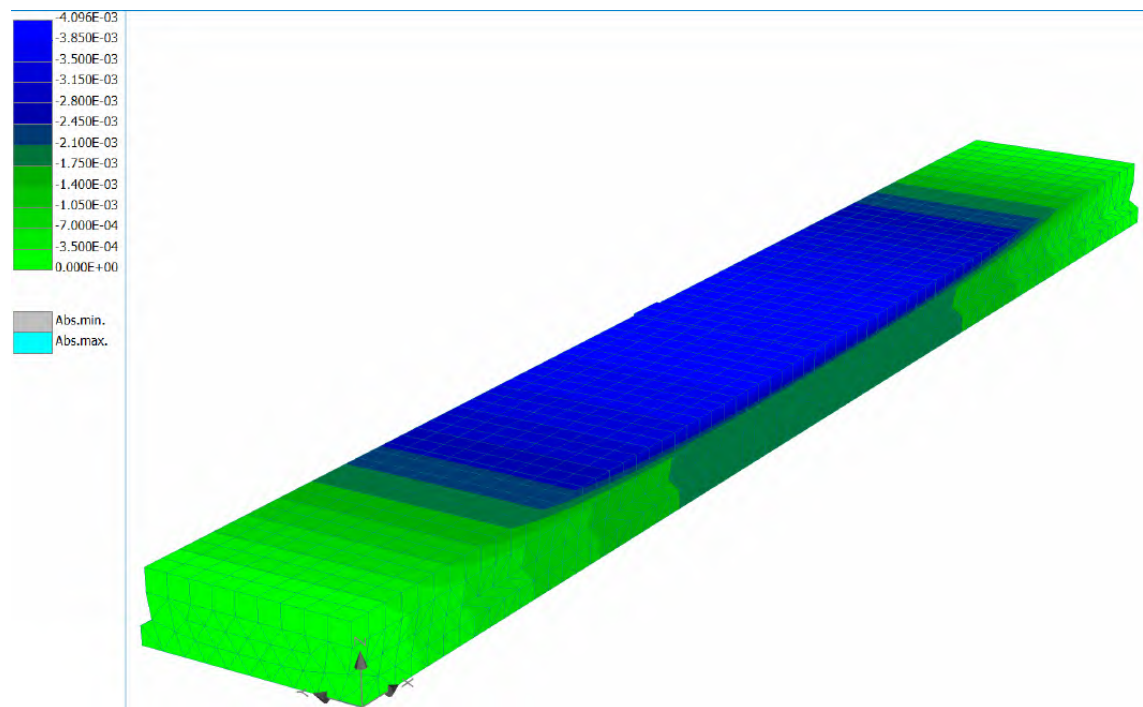
รูปที่ 5.5-7 แสดงการแฉกตัวของคานสะพานที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 22,320 N (Step6)
เริ่มเกิดการแตกร้าวบริเวณกึ่งกลาง



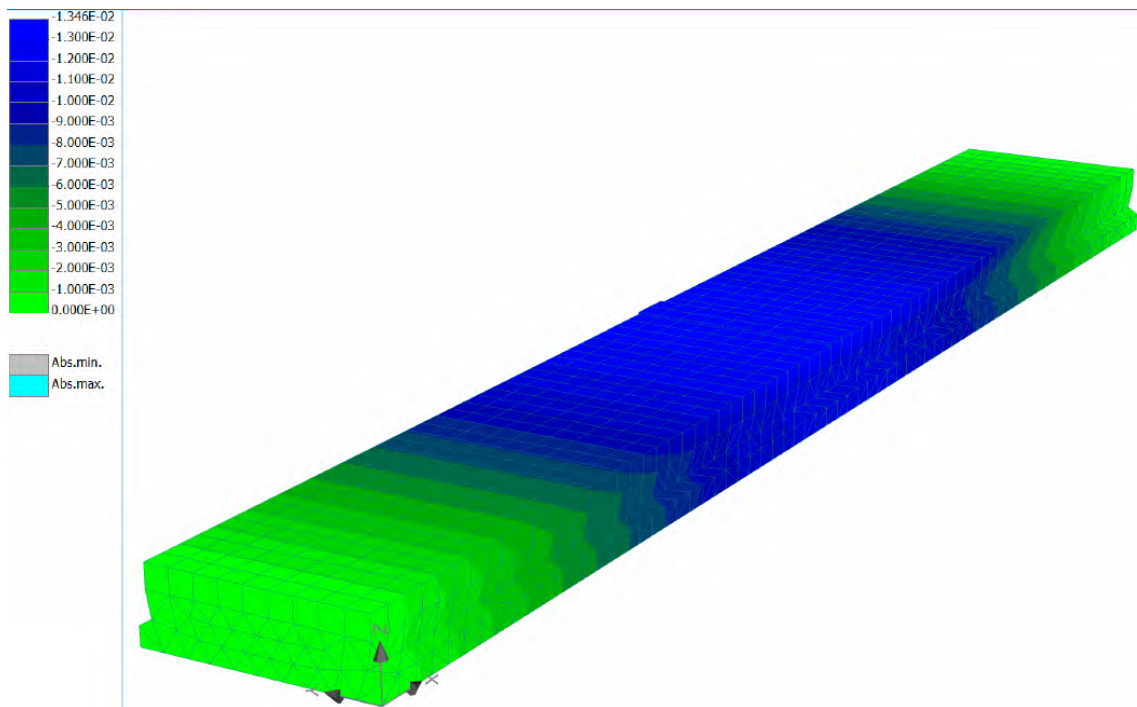
รูปที่ 5.5-8 แสดงการแฉกตัวของคานสะพานที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
เมื่อมีแรงกระทำ 22,320 N (Step6)



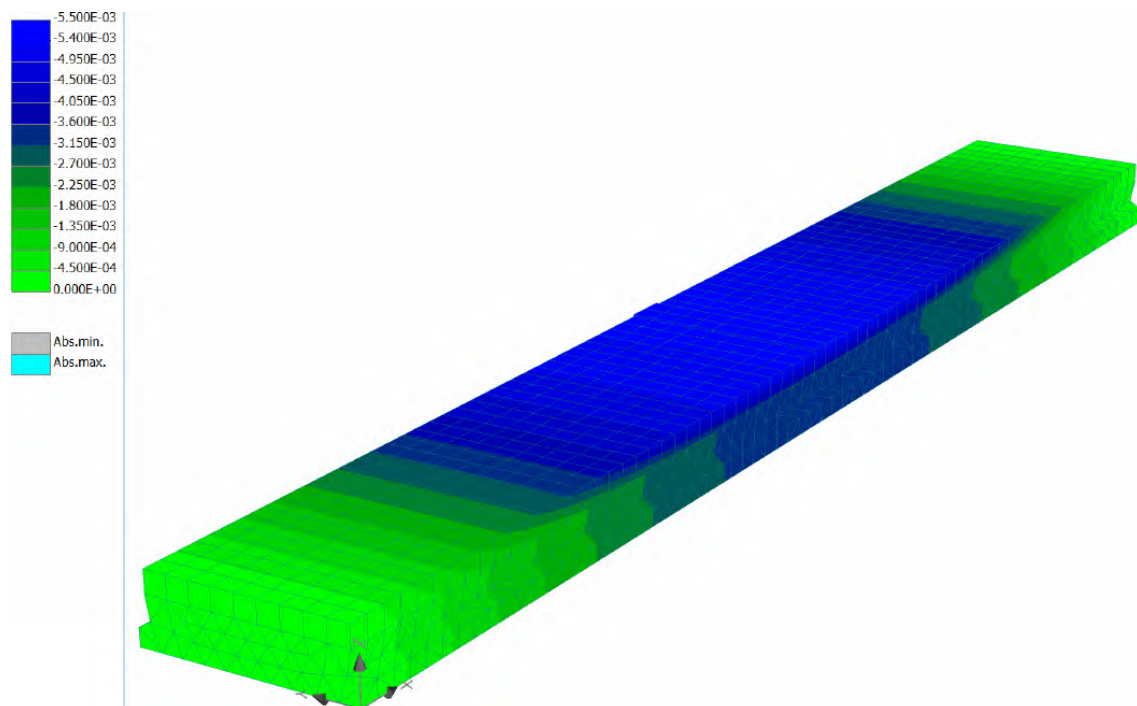
รูปที่ 5.5-9 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 26,040 N (Step7)



รูปที่ 5.5-10 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
เมื่อมีแรงกระทำ 26,040 N (Step7) เริ่มเกิดการแตกร้าวบริเวณกึ่งกลาง

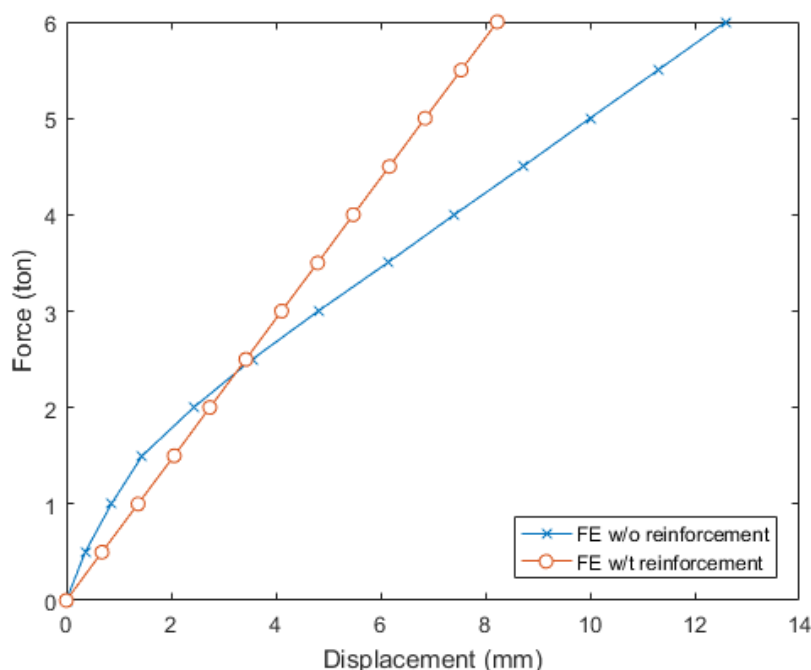


รูปที่ 5.5-11 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 48,360 N (Step13)

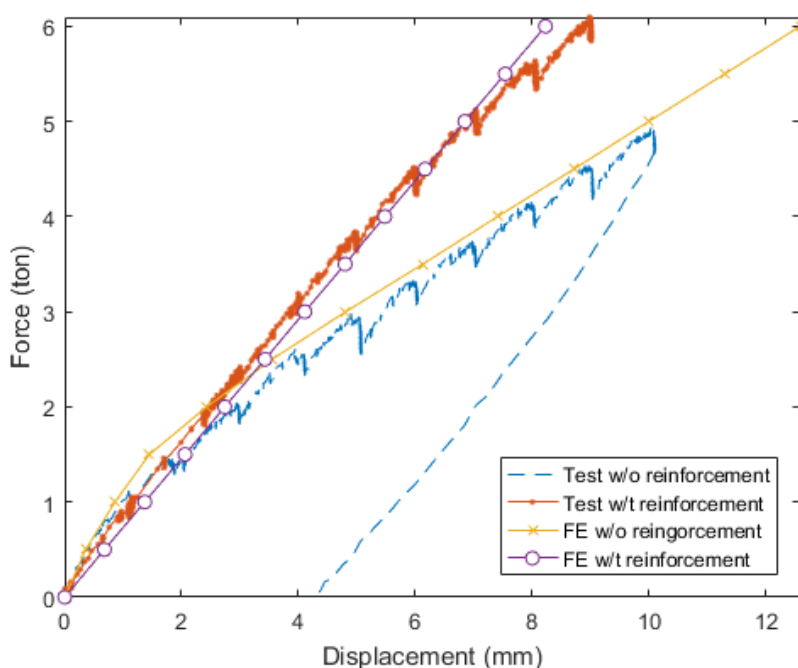


รูปที่ 5.5-12 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
เมื่อมีแรงกระทำ 48,360 N (Step13)

แบบจำลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงส่งผลให้คานสะพานมีค่าการแอ่นตัวจากแรงกระทำแบบสถิตลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ไม่มีการเสริมกำลัง ในรูปที่ 5.5-13 แสดงค่าการแอ่นตัวของทั้งสองกรณีเมื่อมีแรงกระทำต่าง ๆ กัน



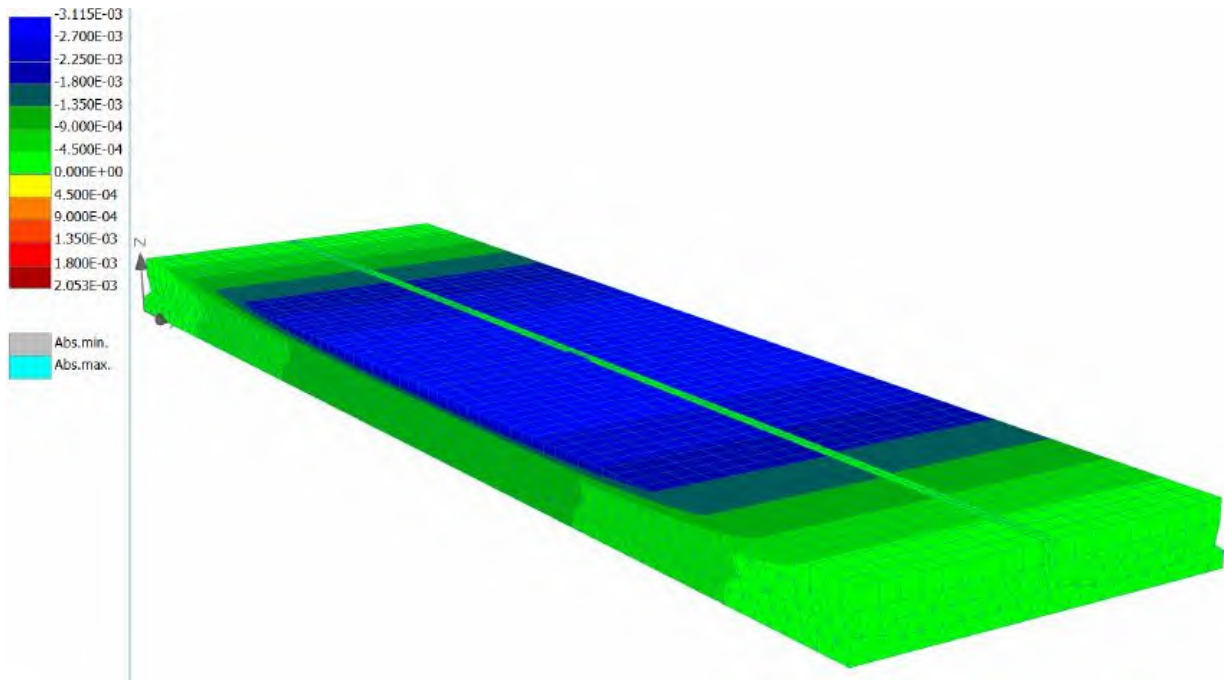
รูปที่ 5.5-13 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองคานสะพานในกรณีที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราและกรณีปกติ



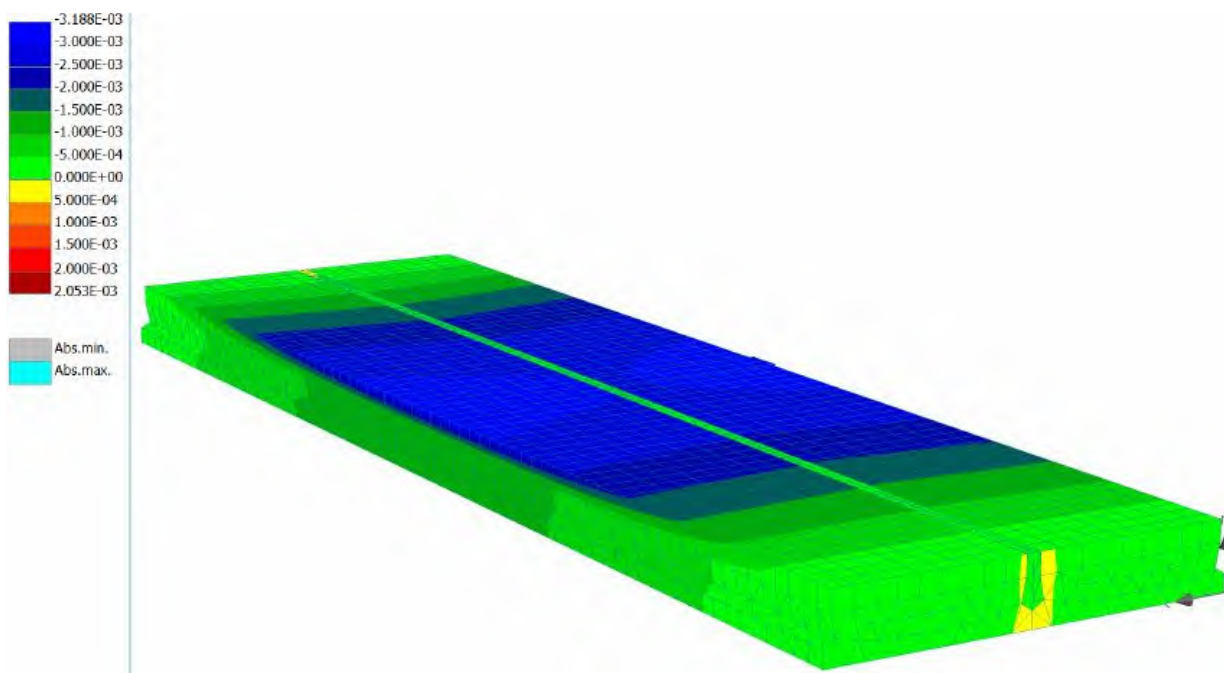
รูปที่ 5.5-14 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองคานสะพานในกรณีที่ไม่มีการเสริมกำลัง เสริมกำลังด้วยแถบยางพารา การทดสอบจริงกรณีไม่มีการเสริมกำลัง และการทดสอบจริงกรณีเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา

5.5.3. ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ กรณีคานคู่

ในแบบจำลองกรณีคานคู่ การให้แรงกระทำจะทำบนคานด้านเดียวเพื่อวิเคราะห์ถึงการถ่ายแรงระหว่างคานสะพานทั้งสองชั้น สำหรับกรณีมีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง จะเสริมด้วยการติดแถบยางพาราไว้ด้านล่างของชั้นส่วนคานสะพานสำเร็จรูปทั้งสองด้าน เพื่อให้เกิดการถ่ายแรงระหว่างกัน โดยแรงกระทำจะมีอัตราเพิ่มขึ้นเดียวกับในกรณีคานเดี่ยวและจุดที่ใช้พิจารณาค่าการแอ่นตัวจะอยู่ที่กึ่งกลางคานสะพานชั้นที่รับแรงกระทำโดยตรง ผลจากการทำแบบจำลองแสดงในรูปที่ 5.5-15 ถึงรูปที่ 5.5-22

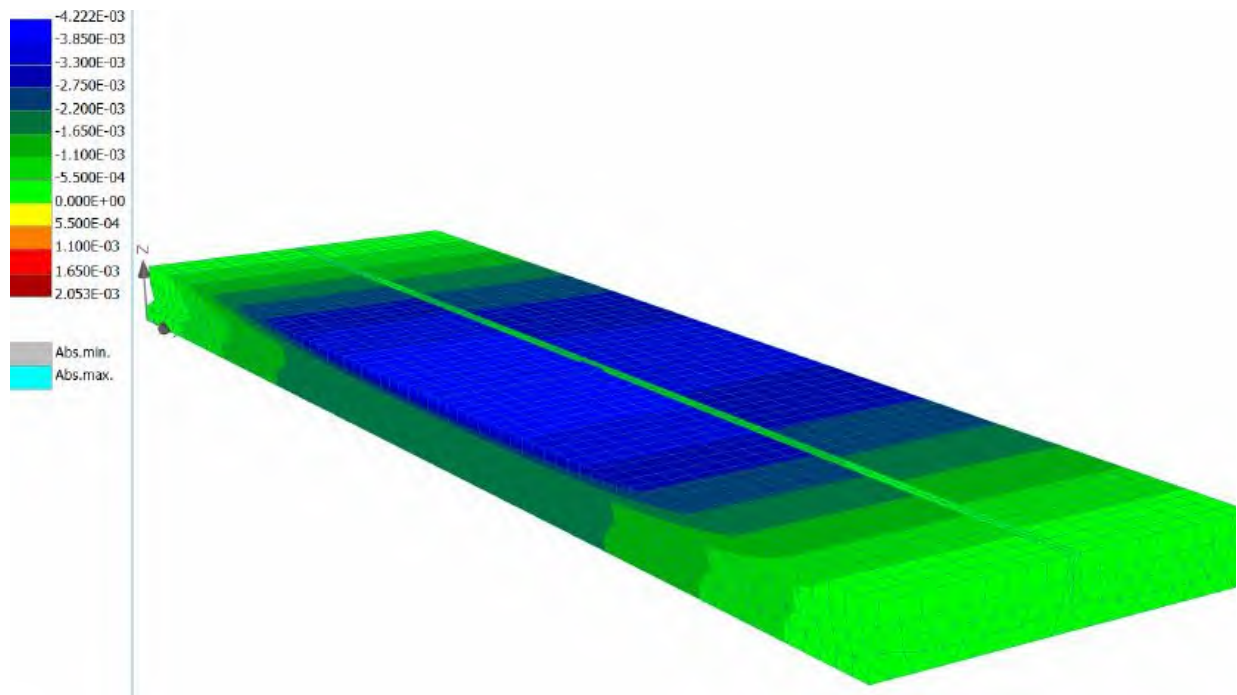


รูปที่ 5.5-15 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานกรณีคานคู่ที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงมากระทำ 3,720 N (Step1)

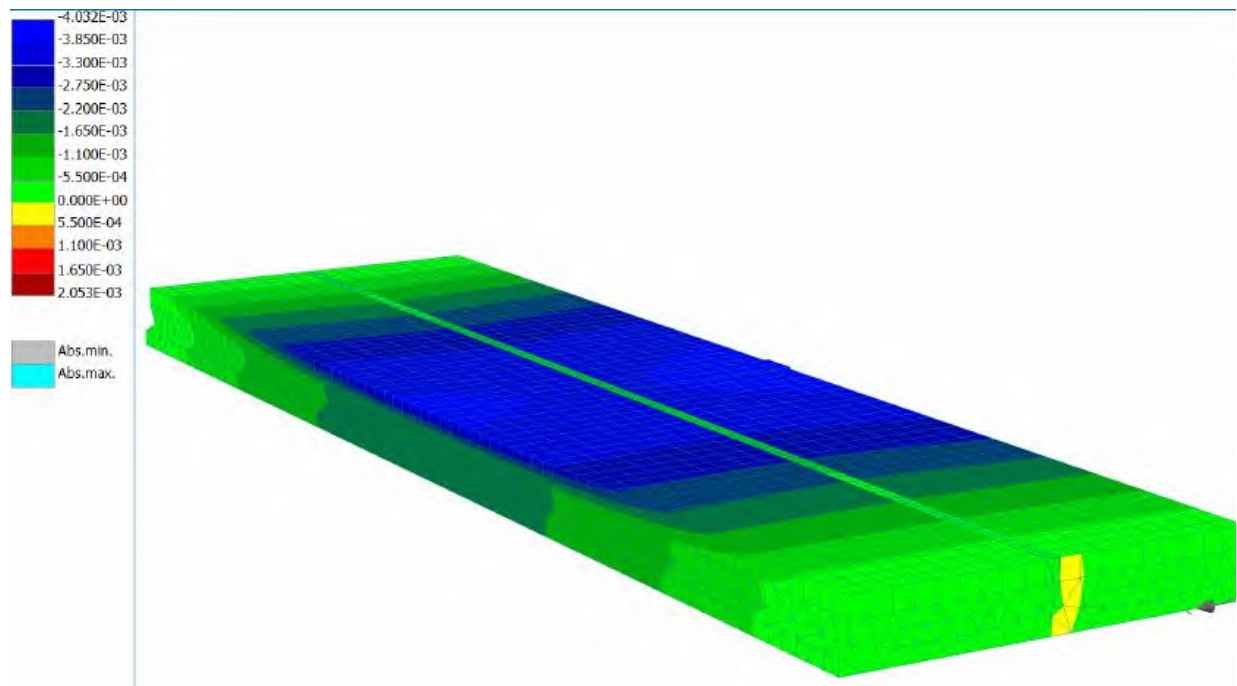


รูปที่ 5.5-16 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานกรณีคานคู่ที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง

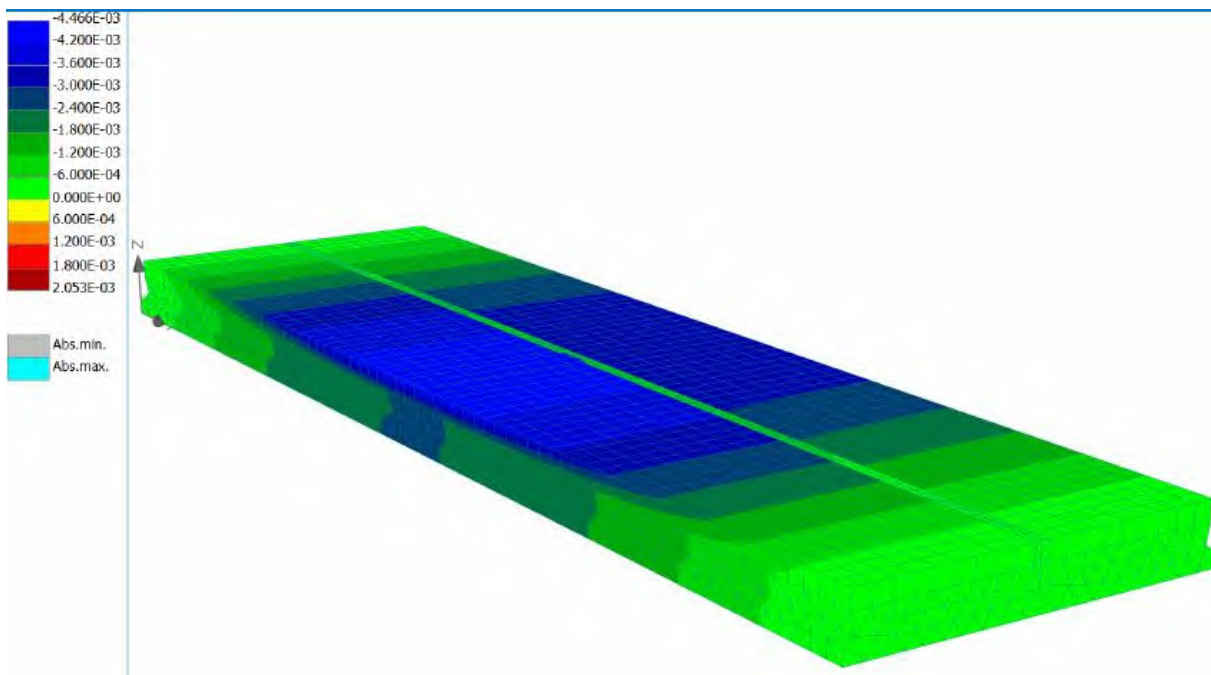
เมื่อมีแรงกระทำ 3,720 N (Step1)



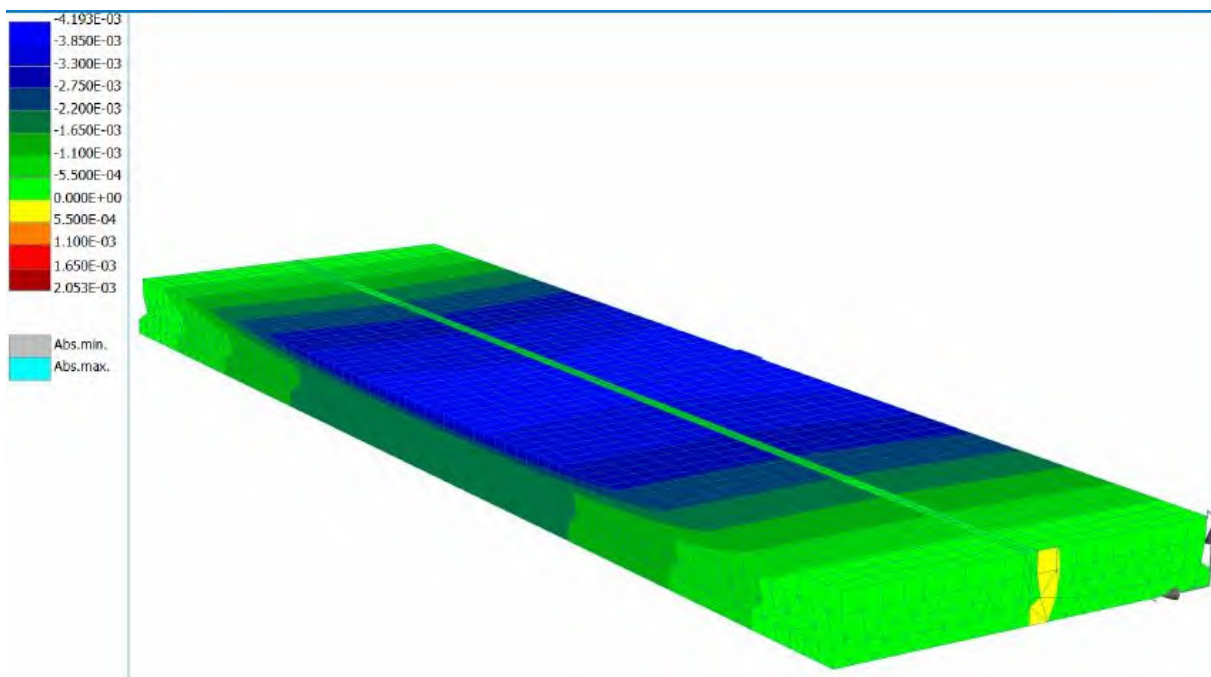
รูปที่ 5.5-17 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานกรณีคานคู่ที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 26,040 N (Step7)



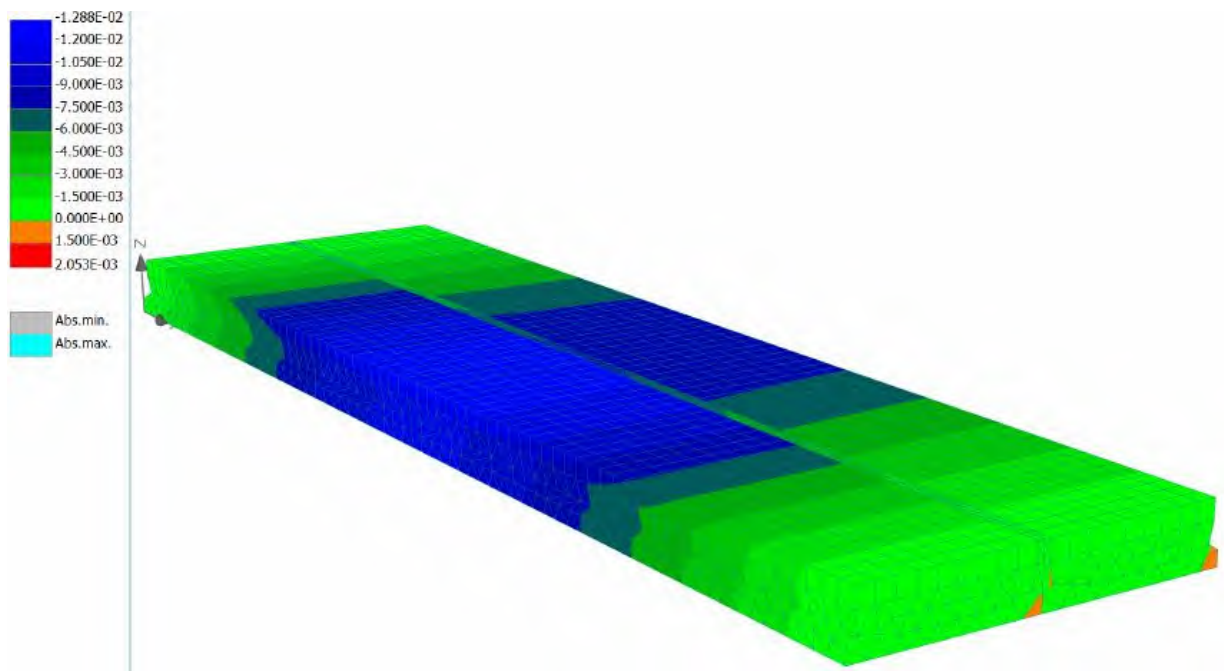
รูปที่ 5.5-18 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานกรณีคานคู่ที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
เมื่อมีแรงกระทำ 26,040 N (Step7)



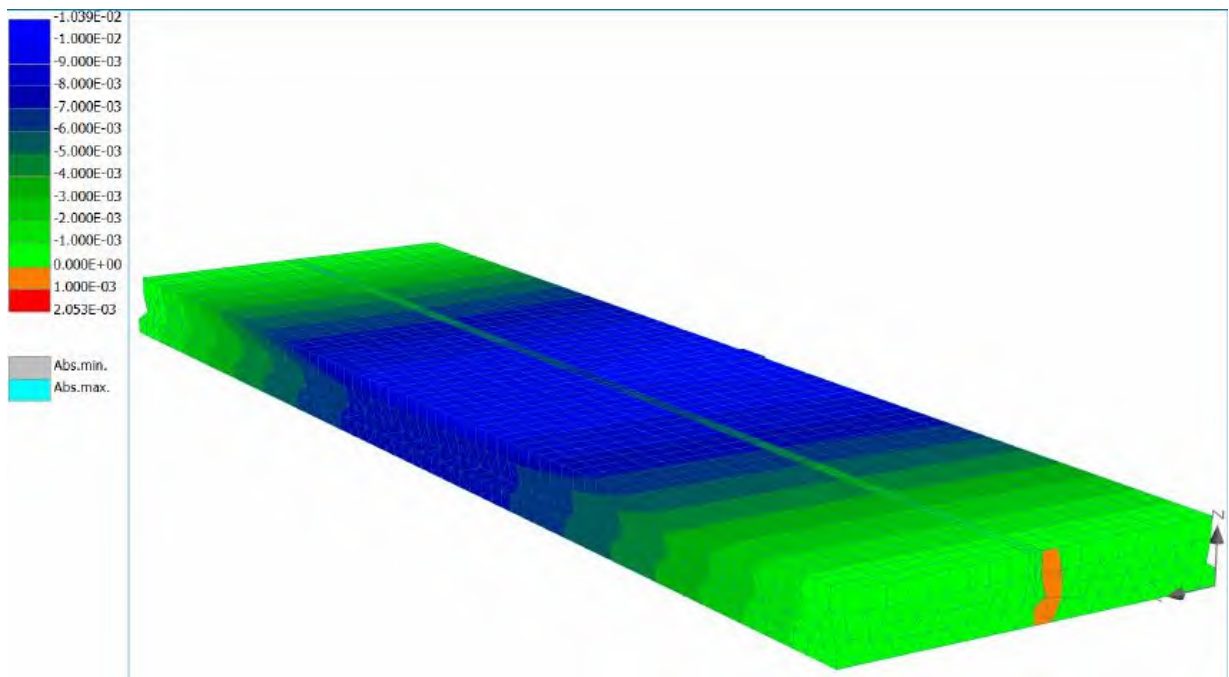
รูปที่ 5.5-19 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานกรณีคานคู่ที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 29,760 N (Step8) เริ่มเกิดการแตกร้าบริเวณกึ่งกลาง



รูปที่ 5.5-20 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานกรณีคานคู่ที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง เมื่อมีแรงกระทำ 29,760 N (Step8) เริ่มเกิดการแตกร้าบริเวณกึ่งกลาง

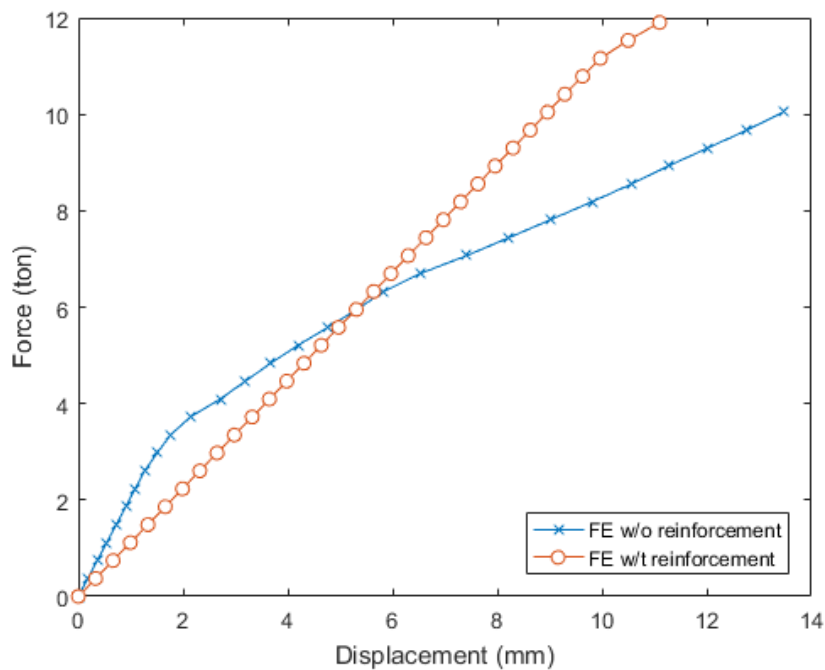


รูปที่ 5.5-21 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานกรณีคานคู่ที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 81,840 N (Step22)

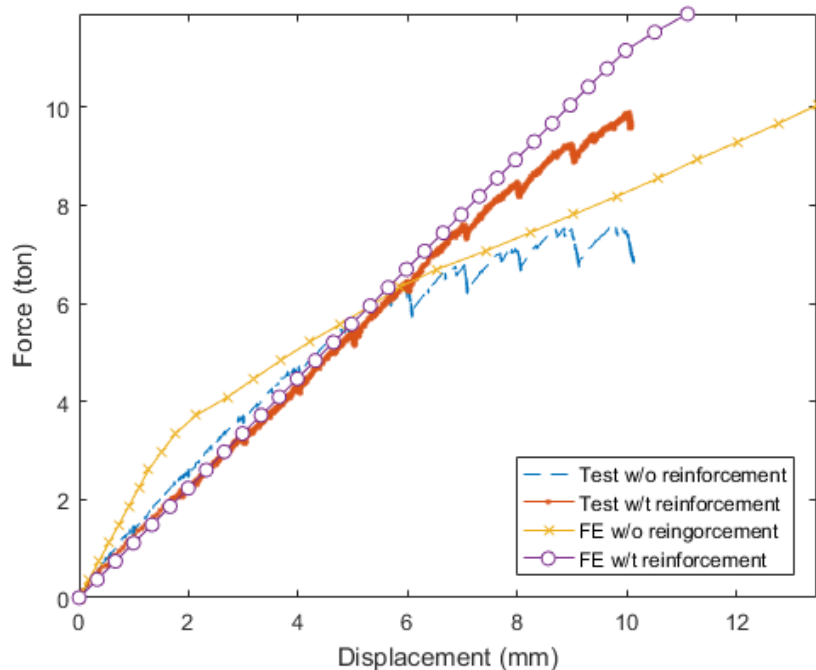


รูปที่ 5.5-22 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานกรณีคานคู่ที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง เมื่อมีแรงกระทำ 81,840 N (Step22)

แบบจำลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการติดแถบยางพาราอัดแรงจะทำให้เกิดการถ่ายแรงระหว่างคานสะพานมากกว่าในกรณีที่ไม่มีการเสริมกำลังและทำให้ค่าการแอ่นตัวมีค่าน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 5.5-23



รูปที่ 5.5-23 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองคานสะพานแบบคานคู่
ในกรณีที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราและกรณีปกติ



รูปที่ 5.5-24 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองคานสะพานในกรณีที่ไม่มีการเสริมกำลัง เสริมกำลังด้วยแถบยางพารา
การทดสอบจริงกรณีไม่มีการเสริมกำลัง และการทดสอบจริงกรณีเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา

สรุปผลการวิเคราะห์จากการทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานสะพานสำเร็จรูป และการเปรียบเทียบกับทดสอบจริง

ผลจากแบบจำลองคานสะพานสำเร็จรูป กรณีคานเดี่ยวแสดงให้เห็นว่าการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราส่งผลให้คานสะพานสำเร็จรูปสามารถรับแรงดัดได้มากยิ่งขึ้น โดยเมื่อสังเกตจากความชันของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวและค่าแรงดัดที่กระทำลงบนคานสะพาน จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่มีการเสริมกำลังจะมีค่าความชันที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในช่วงที่ทำการทดสอบ แตกต่างจากโครงสร้างที่ไม่ได้รับการเสริมกำลัง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นน่าจะมาจากรูปแบบของรอยร้าวบนคานสะพานในขณะที่มีแรงมากระทำ โดยรอยร้าวในโครงสร้างที่ไม่ได้รับการเสริมกำลังจะค่อยๆ ขยายจากตำแหน่งที่รับแรงกระทำ ในขณะที่รอยร้าวของโครงสร้างที่ได้รับการเสริมกำลังจะมีรูปแบบกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบบริเวณที่ได้รับการเสริมกำลัง ซึ่งมีความสอดคล้องกับการทดสอบจริง ในส่วนของค่าความชันเริ่มต้นที่มีความแตกต่างกันของทั้งสองโครงสร้าง คาดว่ามาจากการจำลองรูปแบบการเกิดรอยร้าวจากการเสริมกำลังในช่วงก่อนการทดสอบ

สำหรับในกรณีระบบคานหรือคานคู่ การทำแบบจำลองจะมีส่วนของคุณสมบัติวัสดุของรอยต่อเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้การจำลองมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากในการทดสอบจริง ไม่ได้มีการทดสอบคุณสมบัติของรอยต่อระหว่างโครงสร้างเดิมกับโครงสร้างใหม่และเป็นการยากที่จะทดสอบเนื่องมาจากการกระจายตัวของวัสดุมวลรวมและปัจจัยต่างๆ ดังนั้นการจำลองจึงต้องมีการเพิ่มสมมติฐานว่ารอยต่อมีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ในเบื้องต้น อย่างไรก็ตาม ผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นได้ว่าการถ่ายแรงในระบบคานสะพานสำเร็จรูปที่มีการเสริมกำลังมีประสิทธิภาพกว่าการไม่เสริมกำลัง โดยจากกราฟจะมีความคล้ายคลึงกับกรณีคานเดี่ยว

5.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานสะพานสำเร็จรูป (RC T-girder)

การทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ เป็นการจำลองพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้าง ตั้งแต่เริ่มให้แรงกระทำบนบริเวณกึ่งกลางของพื้นสะพานจนถึงหลังเกิดรอยร้าวบนโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวและความเครียดภายในโครงสร้างของชิ้นส่วนคานสะพานเมื่อมีแรงมากระทำ โดยตำแหน่งที่พิจารณาจะอยู่กึ่งกลางโครงสร้างบริเวณใต้ชิ้นส่วนคานสะพาน

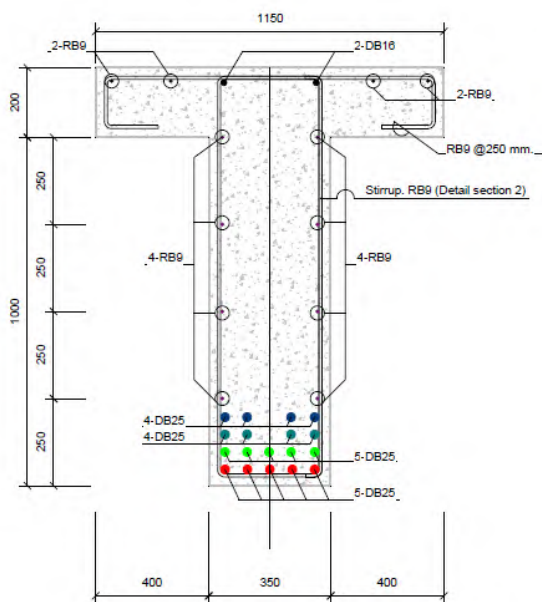
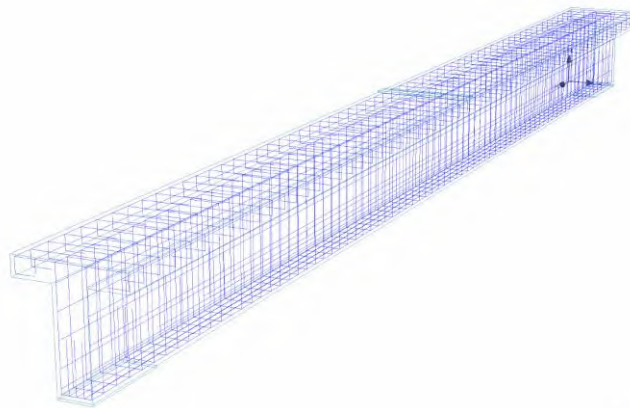
การสร้างแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของชิ้นส่วนคานสะพานสำเร็จรูป ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม ATENA ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองพฤติกรรมการรับแรงของโครงสร้างได้หลายรูปแบบ ทั้งในรูปแบบ 2 มิติและ 3 มิติ และยังสามารถวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่างๆ จากแบบจำลองทั้งก่อนและหลังการรับแรง ไปจนถึงก่อนที่โครงสร้างจะวิบัติ โปรแกรม ATENA ยังถูกใช้ในงานวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรงอย่างแพร่หลาย

5.6.1. แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานรูปตัวที (T-Beam)

การทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานรูปตัวทีจะคล้ายกับในกรณีของคานสะพานสำเร็จรูป โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีเช่นเดียวกัน คือ กรณีคานเดี่ยวและคานคู่ การทดสอบจะมีทั้งแบบเสริมกำลังและไม่มีการเสริมกำลังจากแถบยางพารา ในแบบจำลองของคานรูปตัวทีนี้จะไม่มีองค์ประกอบของพื้นสะพานเหมือนในกรณีคานสะพานสำเร็จรูป เนื่องจากส่วนบนของคานรูปตัวทีจะทำหน้าที่เป็นพื้นของสะพาน ดังนั้นแรงกระทำในแบบจำลองจะกระทำกับส่วนบนของคานรูปตัวที กำลังวัสดุคอนกรีตในแบบจำลองเป็นไปตามตารางที่ 5.6-1 สำหรับเหล็กเสริมในคานรูปตัวทีประกอบด้วยเหล็กชนิด RB9 (SR24) DB16 และ DB25 (SD40) โดยมีตำแหน่งการวางเหล็กตามรูปที่ 5.6-1

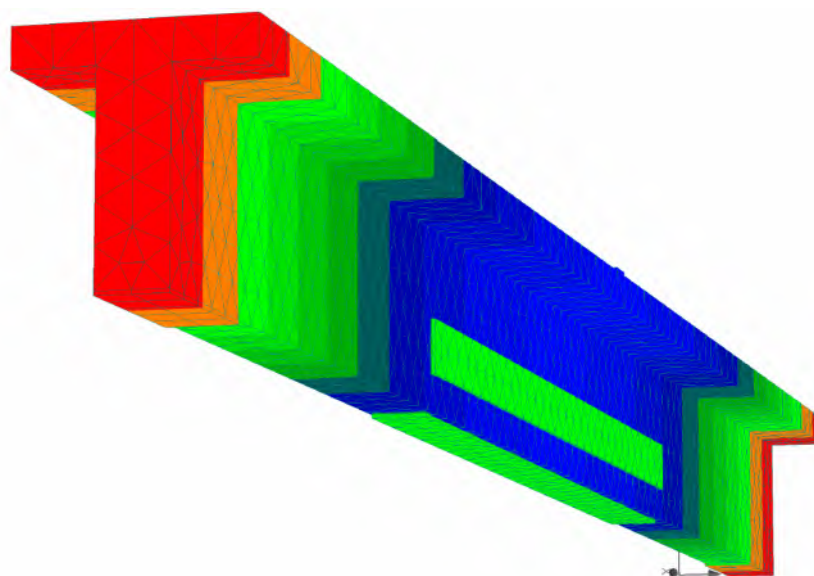
ตารางที่ 5.6-1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์ของแต่ละชั้นส่วนในแบบจำลองของคานรูปตัวที

ชั้นส่วนคอนกรีต	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์ (ขนาด 15x15x15 cm ³) (ksc)
คานรูปตัวที	210
รอยต่อช่วงบนของคาน (ในกรณีคานคู่)	100



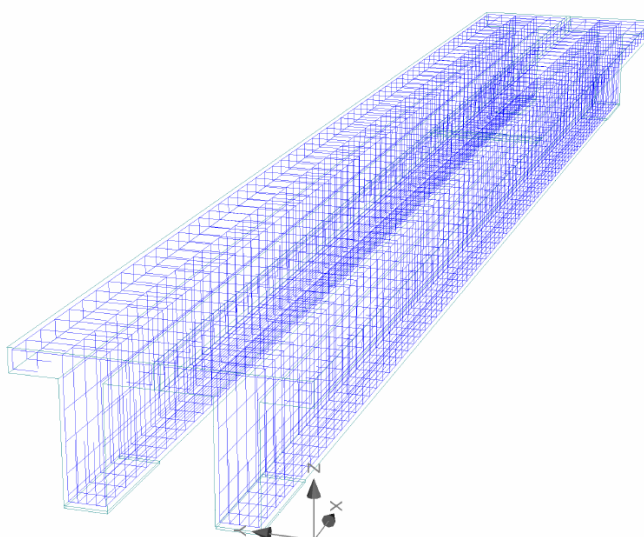
รูปที่ 5.6-1 รูปแบบการวางเหล็กเสริมของคานรูปตัวทีในแบบจำลอง กรณีคานเดี่ยว

ในกรณีการเสริมกำลังคานรูปตัวที สำหรับกรณีคานเดี่ยวจะเป็นการเสริมกำลังบริเวณท้องคานรูปตัวทีทั้งสามด้าน บริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวของคาน โดยใช้แบบจำลองของแผ่นยางติดไว้บริเวณดังกล่าว และระหว่างแผ่นยางกับคานสะพานจะเป็นแบบจำลองของแผ่นเหล็ก เพื่อให้เป็นการถ่ายแรงระหว่างยางไปสู่คานผ่านแผ่นเหล็กเหมือนกับแบบจำลองของคานสะพานสำเร็จรูป ดังรูปที่ 5.6-2



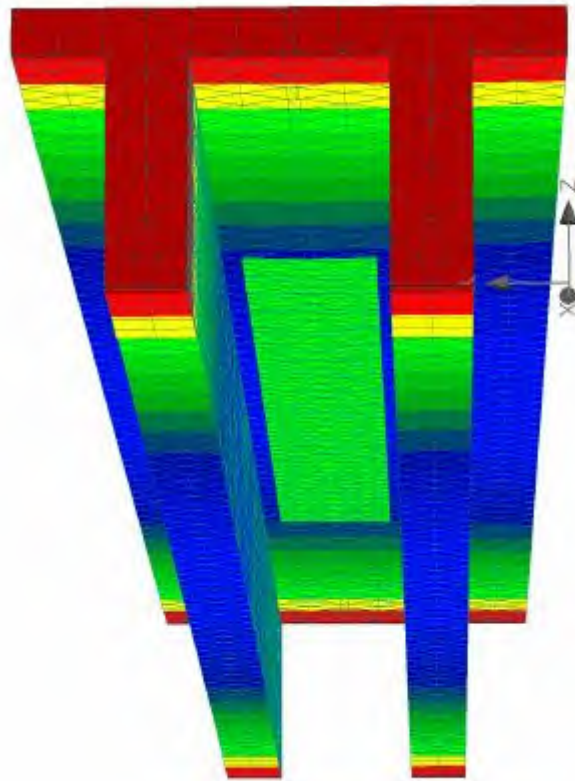
รูปที่ 5.6-2 การเสริมกำลังคานรูปตัวทีในกรณีคานเดี่ยว

สำหรับกรณีคานคู่ จะเป็นการนำแบบจำลองคานเดี่ยวสองชิ้นนำมาวางใกล้กันโดยบริเวณปีกคานจะห่างกัน 5 เซนติเมตร และจะมีชั้นส่วนรอยต่อคานเพิ่มขึ้นมาเชื่อมบริเวณปีกคานทั้งสอง โดยกำลังรับแรงอัดของชั้นส่วนรอยต่อจะเป็นไปตามตารางที่ 5.6-1 และไม่มีเหล็กเสริมในชั้นส่วนนี้ รายละเอียดดังรูปที่ 5.6-3



รูปที่ 5.6-3 รูปแบบการวางเหล็กเสริมของคานรูปตัวทีในแบบจำลอง กรณีคานคู่

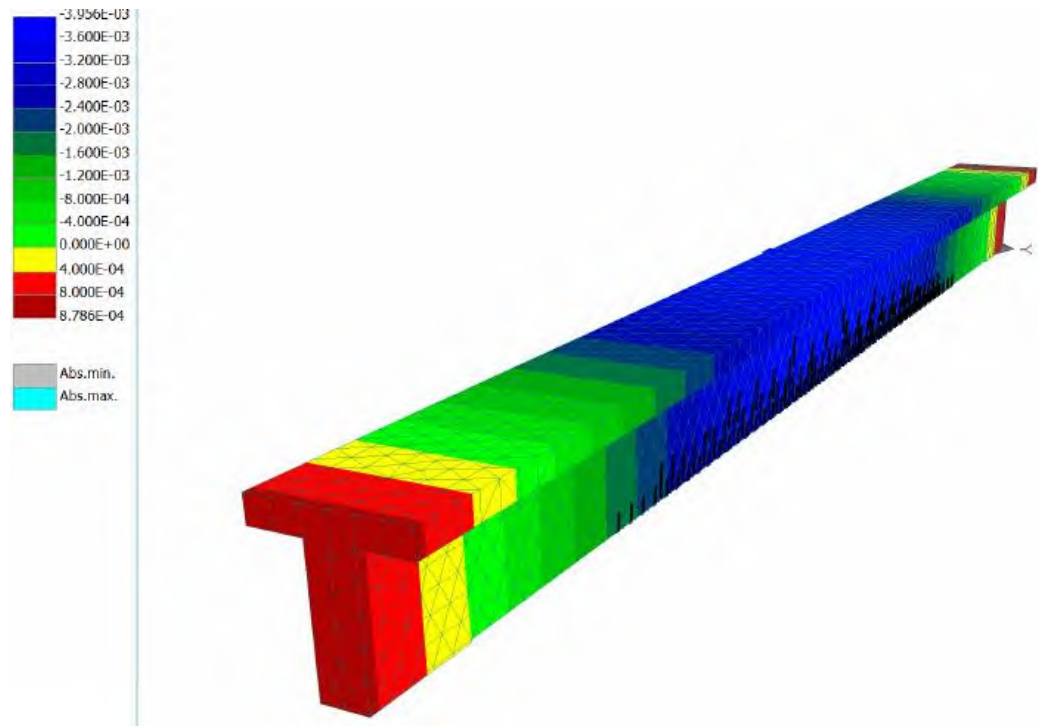
รูปแบบการเสริมกำลังในกรณีคานคู่ จะเป็นการติดแถบยางพาราบริเวณปีกคานทั้งสอง ตามแนวรอยต่อ ซึ่งจะติดบริเวณกึ่งกลางคานตามแนวยาว เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายแรงระหว่างคานทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 5.6-4



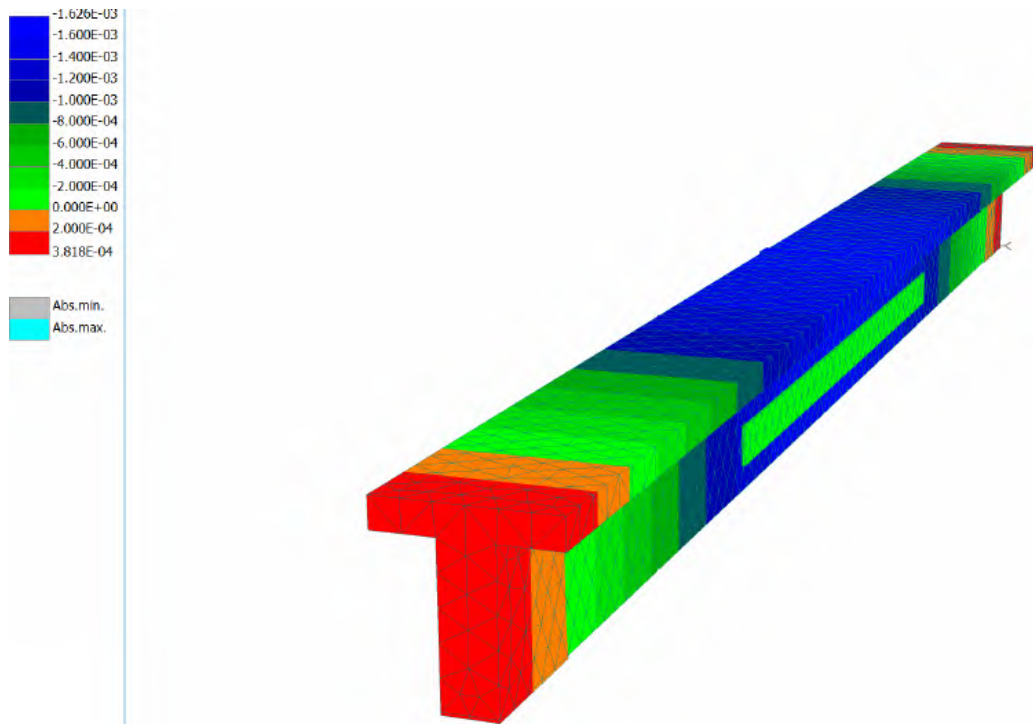
รูปที่ 5.6-4 การเสริมกำลังคานรูปตัวทีในกรณีคานคู่

5.6.2. ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานรูปตัวที กรณีคานเดี่ยว

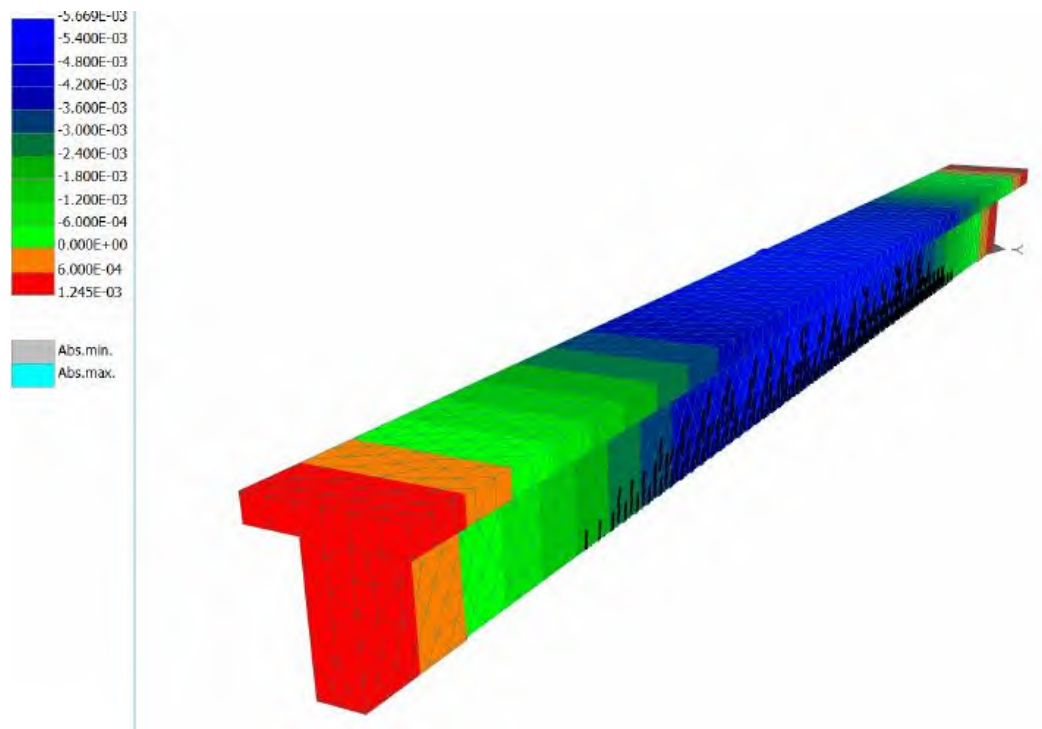
ในแบบจำลองสำหรับคานรูปตัวที กรณีคานเดี่ยว จะมีแรงกระทำเป็นพื้นที่บริเวณกึ่งกลางของคาน และเพิ่มขนาดแรงลงไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวบริเวณกึ่งกลางของคาน อัตราการเพิ่มของแรงเท่ากับ $43,500 \text{ N/m}^2$ กระทำบนกึ่งกลางคานพื้นที่ $20 \text{ cm} \times 115 \text{ cm}$ ซึ่งจะได้ค่าแรงโดยประมาณเท่ากับ $10,000 \text{ N}$ หรือประมาณ $1,000$ กิโลกรัม ซึ่งจุดที่ใช้พิจารณาการแอ่นตัวจะอยู่ใต้กึ่งกลางคานรูปตัวทีบริเวณที่มีแรงมากระทำ แล้วนำค่าการแอ่นตัวมาวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกรณีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงและกรณีไม่เสริมกำลัง ผลจากการทำแบบจำลองแสดงในรูปที่ 5.6-5 ถึงรูปที่ 5.6-10



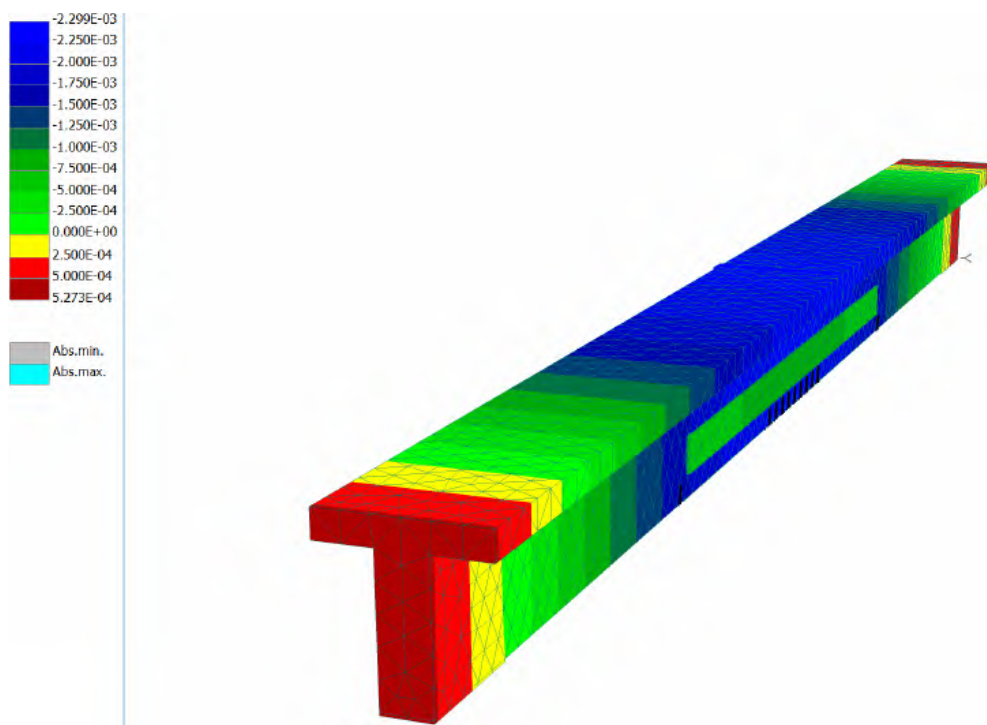
รูปที่ 5.6-5 แสดงการแฉ่งตัวของคานสะพานรูปตัวทีที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 10,000



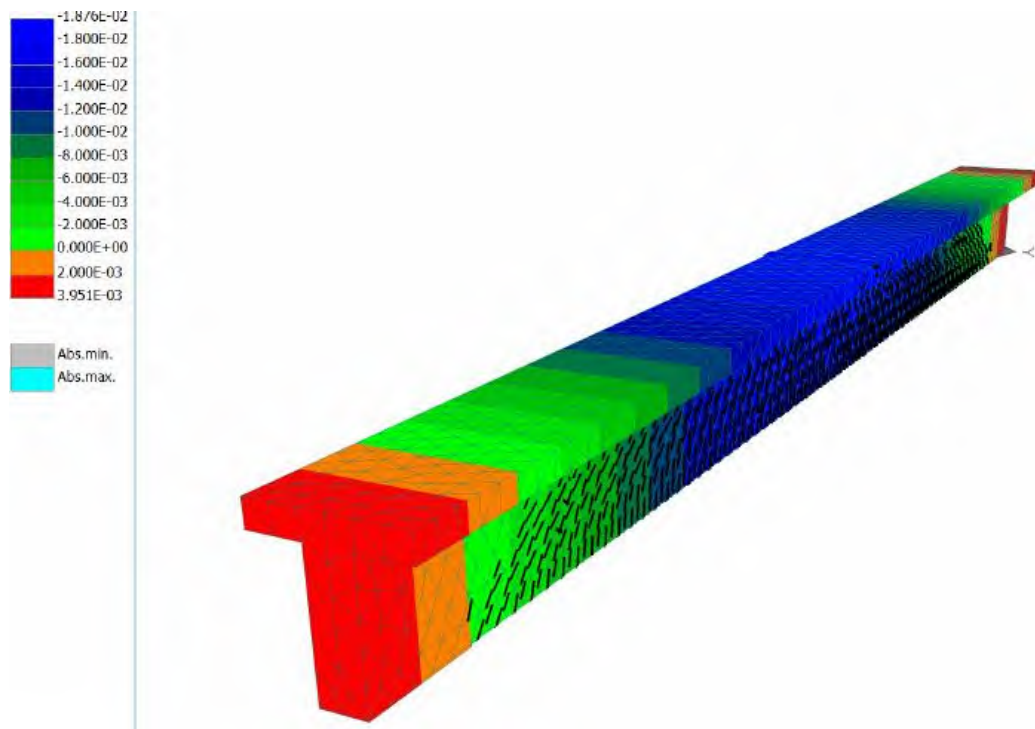
รูปที่ 5.6-6 แสดงการแฉ่งตัวของคานสะพานรูปตัวทีที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
เมื่อมีแรงกระทำ 10,000 N



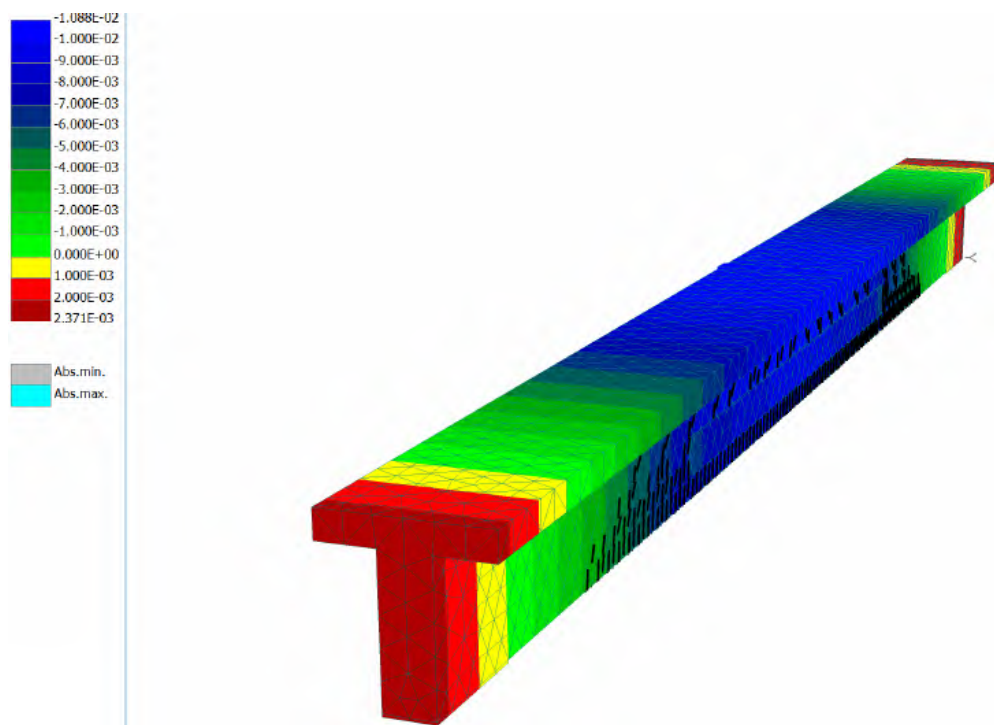
รูปที่ 5.6-7 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานรูปตัวทีที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 50,000 N



รูปที่ 5.6-8 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานรูปตัวทีที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
เมื่อมีแรงกระทำ 50,000 N

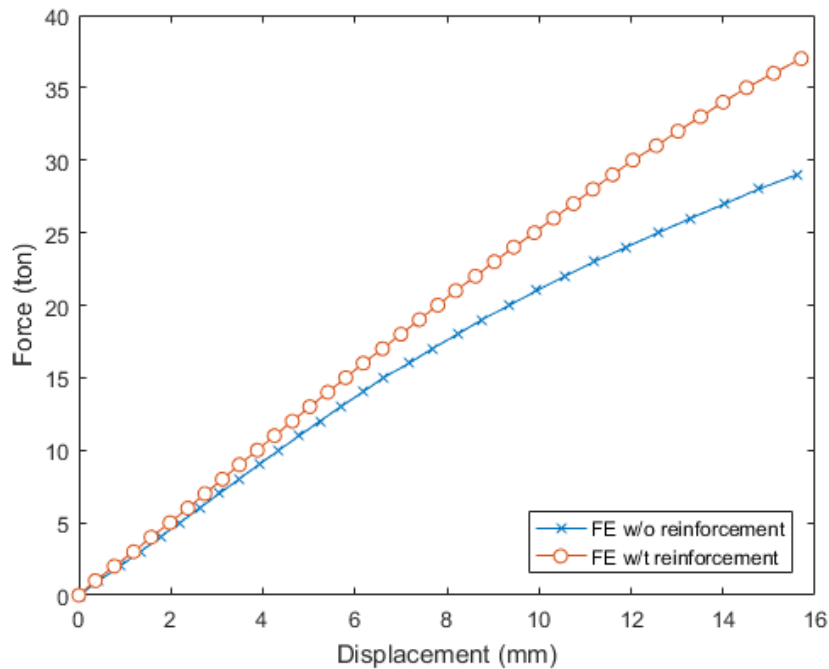


รูปที่ 5.6-9 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานรูปตัวทีที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 300,000 N

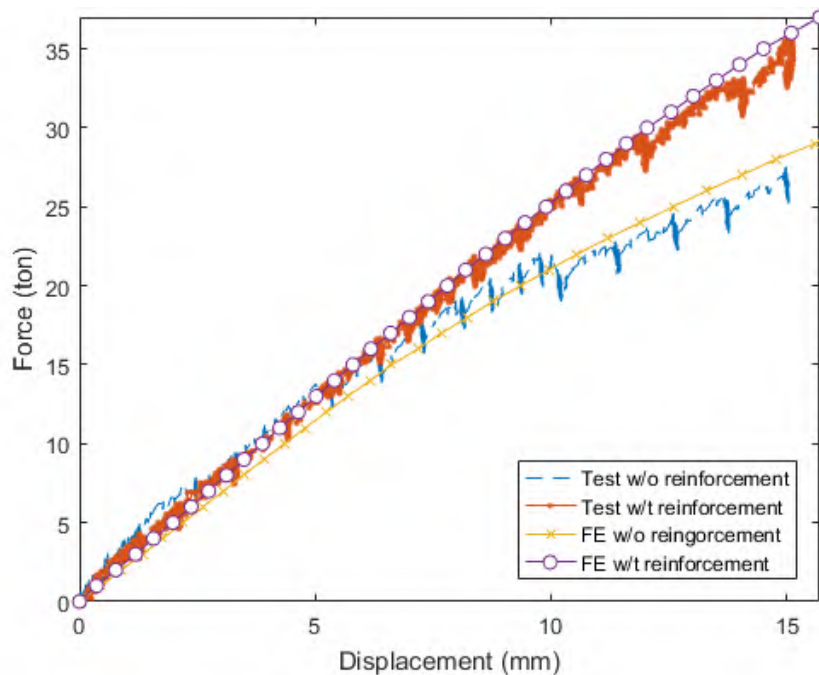


รูปที่ 5.6-10 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานรูปตัวทีที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง
เมื่อมีแรงกระทำ 300,000 N

ผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงสามารถลดค่าการแอ่นตัวจากแรงกระทำแบบสถิตได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เสริมกำลังในโครงสร้างคานสะพานรูปตัวที รูปที่ 5.6-11 แสดงค่าการแอ่นตัวของคานรูปตัวทีทั้งสองรูปแบบ



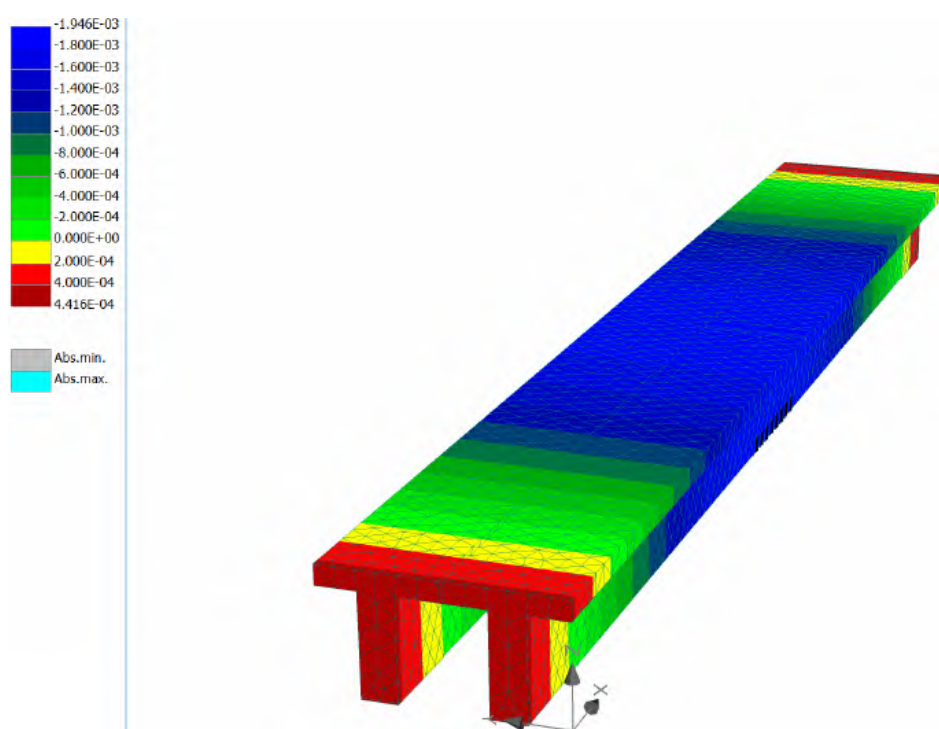
รูปที่ 5.6-11 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองคานสะพานรูปตัวทีในกรณีที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราและกรณีปกติ



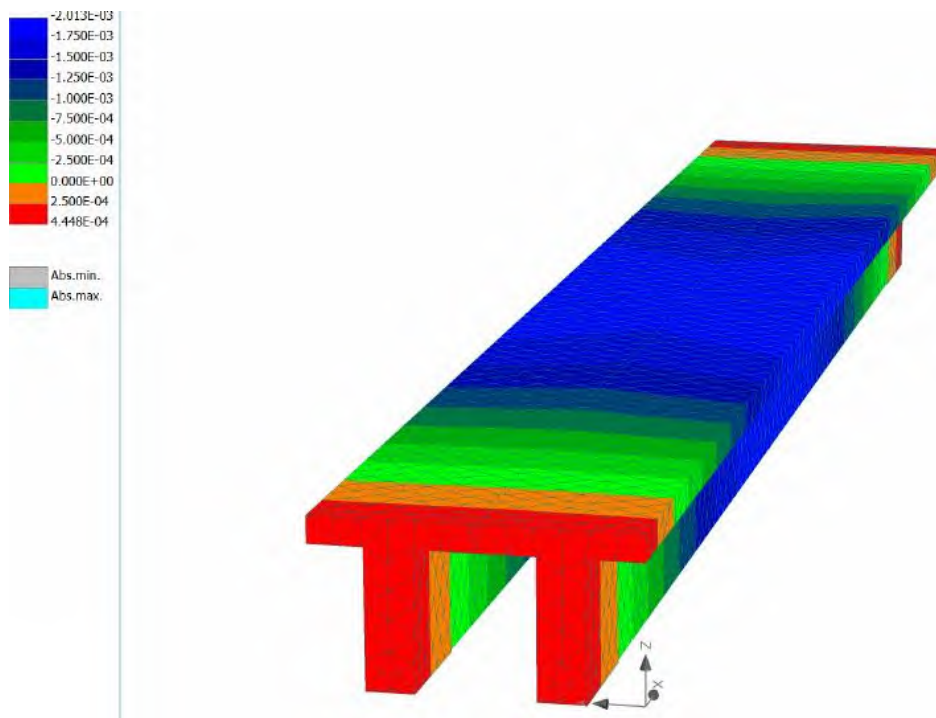
รูปที่ 5.6-12 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองคานสะพานในกรณีที่ไม่มีการเสริมกำลัง เสริมกำลังด้วยแถบยางพารา การทดสอบจริงกรณีไม่มีการเสริมกำลัง และการทดสอบจริงกรณีเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา

5.6.3. ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานรูปตัวที กรณีคานคู่

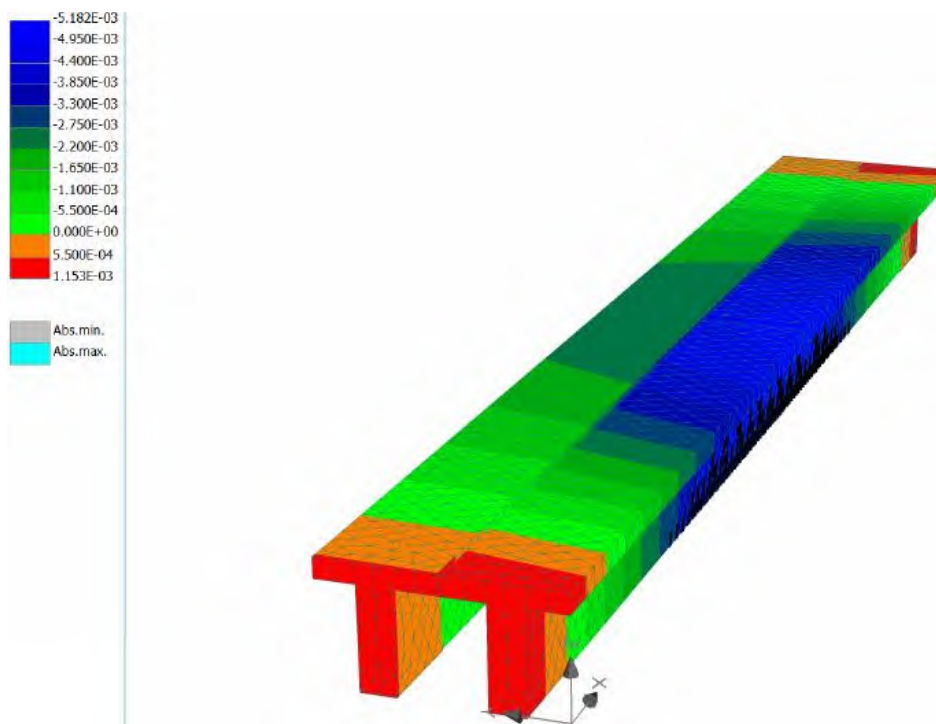
แบบจำลองคานรูปตัวที กรณีคานคู่ จะประกอบด้วยแบบจำลองคาน 2 ชิ้น เชื่อมกันด้วยวัสดุคอนกรีต กำลังต่ำบริเวณปีกคาน ความกว้าง 5 เซนติเมตร และให้แรงกระทำกับคานเพียงตัวเดียวเหมือนกับในแบบจำลองคาน สะพานสำเร็จรูป เพื่อประเมินพฤติกรรมการถ่ายแรงระหว่างคานทั้งสองจากค่าการแอ่นตัวของคานที่รับแรงกระทำ โดยแรงกระทำจะมีอัตราเพิ่มขึ้นเดียวกับในกรณีคานเดี่ยวและจุดที่ใช้พิจารณาค่าการแอ่นตัวจะอยู่ได้กึ่งกลางคานที่รับแรงกระทำโดยตรง ผลจากการทำแบบจำลองแสดงในรูปที่ 5.6-13 ถึงรูปที่ 5.6-18



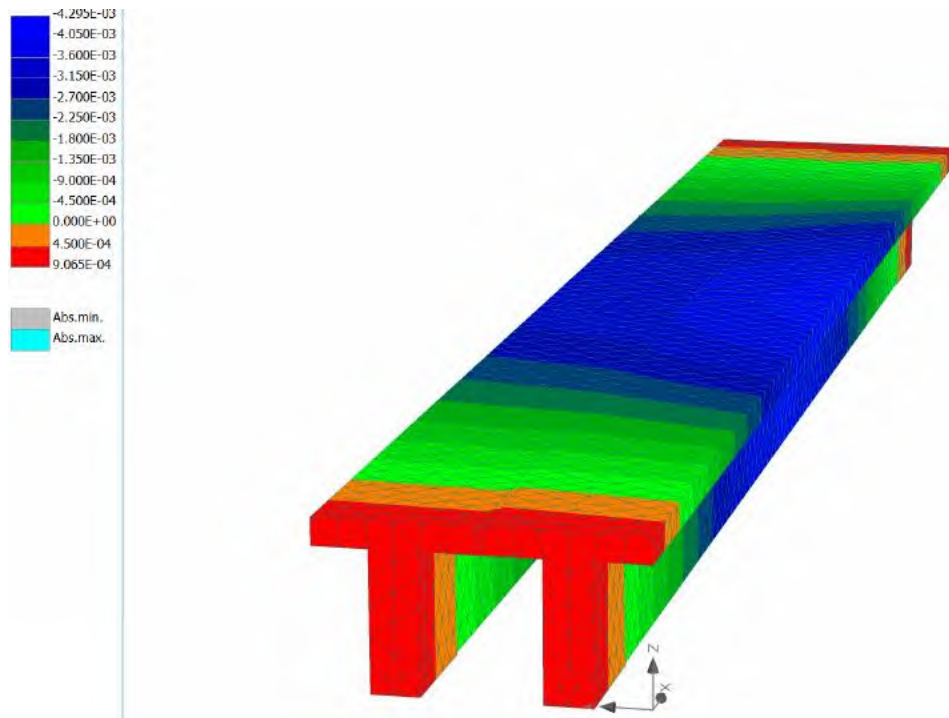
รูปที่ 5.6-13 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานรูปตัวที กรณีคานคู่ ที่ไม่มีการเสริมกำลัง
เมื่อมีแรงมากระทำ 10,000 N



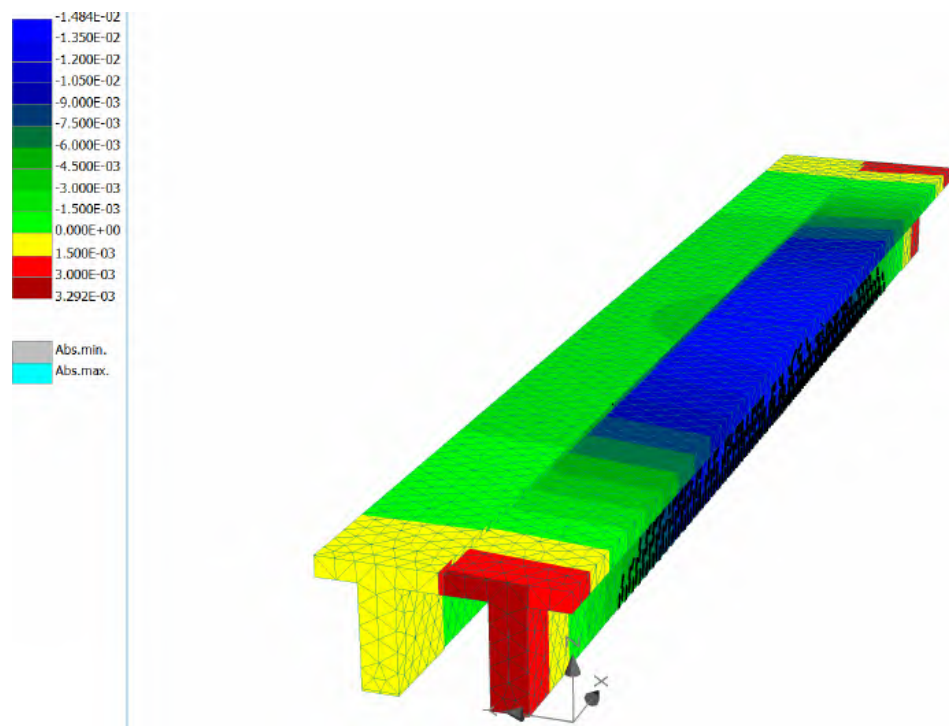
รูปที่ 5.6-14 แสดงการเอนตัวของคานสะพานรูปตัวที กรณีคานคู่ ที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงเมื่อมีแรงกระทำ 10,000 N



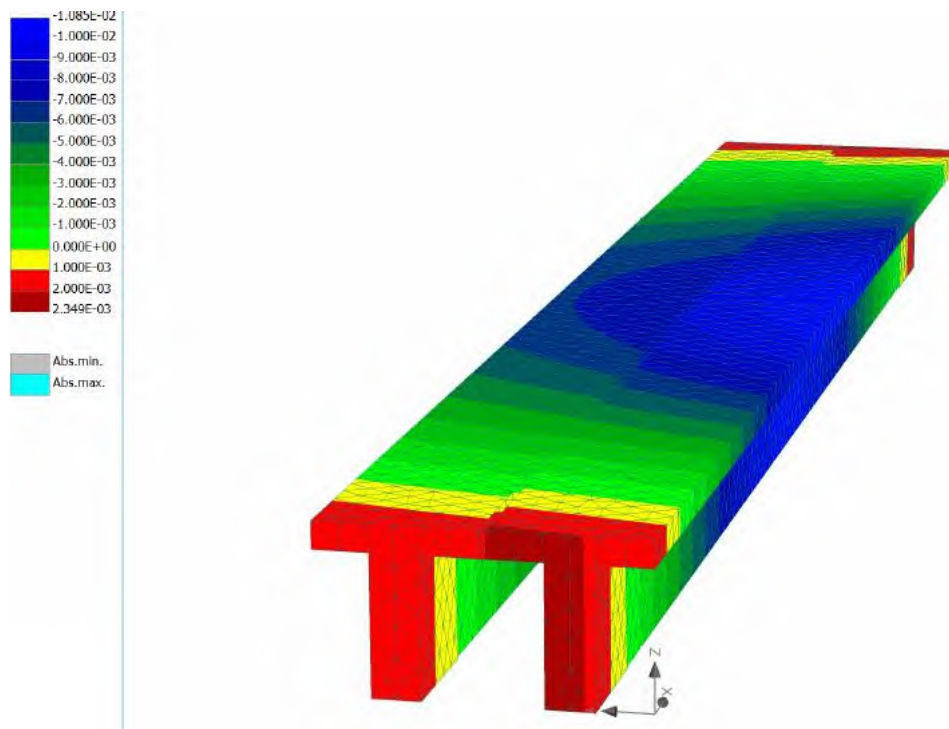
รูปที่ 5.6-15 แสดงการเอนตัวของคานสะพานรูปตัวที กรณีคานคู่ ที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 130,000 N



รูปที่ 5.6-16 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานรูปตัวที กรณีคานคู่ ที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง เมื่อมีแรงกระทำ 130,000 N

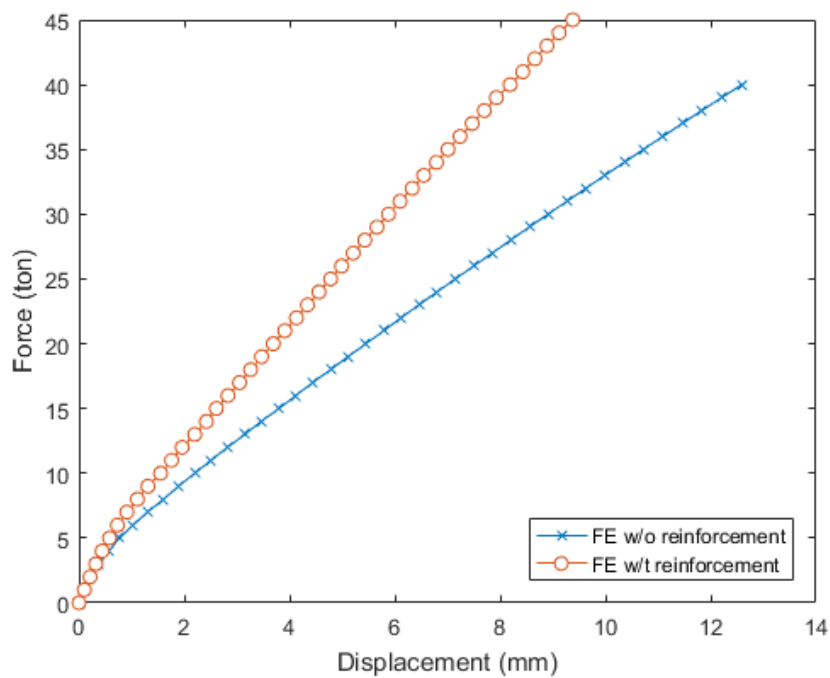


รูปที่ 5.6-17 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานรูปตัวที กรณีคานคู่ ที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อมีแรงกระทำ 400,000 N

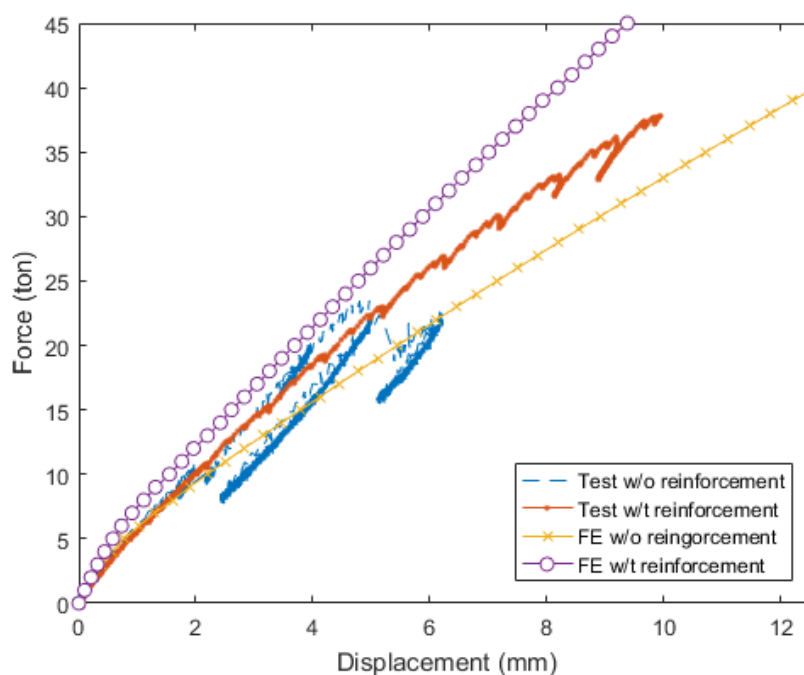


รูปที่ 5.6-18 แสดงการแอ่นตัวของคานสะพานรูปตัวที กรณีคานคู่ ที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง เมื่อมีแรงมากระทำ 400,000 N

ผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า การเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรงในด้านขวางบริเวณรอยต่อของคานรูปตัวทีทั้งสอง ช่วยให้การถ่ายแรงมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เมื่อดูจากค่าการแอ่นตัวของคานที่ถูกแรงมากระทำ ในรูปที่ 5.6-19



รูปที่ 5.6-19 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองคานสะพานรูปตัวที รูปแบบคานคู่ ในกรณีที่มีการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราและกรณีปกติ



รูปที่ 5.6-20 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองคานสะพานในกรณีที่ไม่มีการเสริมกำลัง เสริมกำลังด้วยแถบยางพารา การทดสอบจริงกรณีไม่มีการเสริมกำลัง และการทดสอบจริงกรณีเสริมกำลังด้วยแถบยางพารา

สรุปผลการวิเคราะห์จากการทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของคานรูปตัวที และการเปรียบเทียบกับ การทดสอบจริง

ผลจากแบบจำลองคานรูปตัวที ในกรณีคานเดี่ยว แสดงให้เห็นความแตกต่างของความชันของกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับแรงกระทำของทั้งสองโครงสร้างอย่างชัดเจน โดยโครงสร้างที่ได้รับการเสริมกำลังมีความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวและแรงกระทำที่สูงกว่าในกรณีที่ไม่ได้รับการเสริมกำลัง สำหรับรอยร้าวที่เกิดขึ้นก็มีลักษณะการกระจายตัวคล้ายกับในกรณีของคานสะพานสำเร็จรูป แต่เมื่อดูจากแบบจำลองคานรูปตัวทีจะเริ่มเกิดรอยร้าวที่เร็วกว่าคานสะพานสำเร็จรูปเนื่องมาจากการแอ่นตัวที่มากกว่าน้ำหนักของคานเองและระยะความยาวของคาน

ในกรณีระบบคานหรือคานคู่ แบบจำลองก็ยังคงมีความซับซ้อนเนื่องมาจากคุณสมบัติของวัสดุรอยต่อ เช่นเดียวกับแบบจำลองของคานสะพานสำเร็จรูป อย่างไรก็ตาม รอยต่อระหว่างคานรูปตัวทีที่มีลักษณะที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถจำลองสภาพรอยต่อได้ง่ายกว่าในกรณีของคานสะพานสำเร็จรูป แต่ในเบื้องต้นยังใช้สมมติฐานเดิมในการกำหนดคุณสมบัติรอยต่อ โดยให้รอยต่อมีการยึดติดกับโครงสร้างอย่างสมบูรณ์ ซึ่งผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมกำลังส่งผลให้การถ่ายแรงระหว่างคานมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลทดสอบจริง จะเห็นได้ถึงความแตกต่างของค่าการแอ่นตัว โดยในการทดสอบจริง ในกรณีที่ไม่มีการเสริมกำลัง พบว่ารอยต่อมีการ

แตกอย่างสมบูรณ์จนไม่สามารถถ่ายแรงได้และเกิดการกระดกขึ้นของคานที่ไม่ได้รับแรงกระทำ แต่ในแบบจำลอง รอยต่อยังคงสามารถถ่ายแรงได้อยู่ ซึ่งอาจมาจากการกำหนดคุณสมบัติรอยต่อของแบบจำลองที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง

บทที่ 6 บทสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้ได้พัฒนาต้นแบบแถบยางพาราอัดแรง เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์เสริมกำลังคานสะพานประเภท PC Plank Girder ประเภท PC Box Beam และประเภท RC T-girder ของกรมทางหลวง การดำเนินงานเริ่มตั้งแต่การออกแบบ การผลิต และการติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงให้กับคานสะพานทดสอบขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการ โดยได้ทำการทดสอบและประเมินความสามารถในการเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือนและกำลังรับโมเมนต์ดัดของคานสะพานประเภท PC Plank Girder และประเภท RC T-girder รายละเอียดของการดำเนินงานต่างๆ สรุปได้ ดังนี้

1) การออกแบบแถบยางพาราอัดแรง เป็นการประยุกต์หลักการเสริมกำลังแบบอัดแรงจากภายนอก โดยนำเอาแผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ (ยางพารา) มาติดตั้งตามแนวยาวของแผ่นให้ยืดออกเพื่อให้เกิดแรงดึงตามที่ยึดติดกับคานสะพานเพื่อย้ายแรงไปช่วยเสริมกำลัง ซึ่งแนะนำให้ใช้แผ่นยางรองคานสะพานชนิดที่ทำจากยางธรรมชาติ Hardness 50 ตามมาตรฐาน มอก.951-2533 ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ความหนา 4 เซนติเมตร ความยาว 25 ถึง 50 เซนติเมตร ดึงให้เกิดระยะยืดตามแนวความยาวแผ่น 100% Strain แผ่นยางเมื่อถูกยึดค้างไว้ทำให้เกิดการคลายตัวของแรงดึงประมาณ 20% หน่วยแรงดึงออกแบบใช้งานของแถบยางพาราอัดแรง แนะนำให้ใช้ 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2) การผลิตแถบยางพาราอัดแรง เน้นไปที่ความสะดวกในการติดตั้ง จึงได้ทำการออกแบบและผลิตระบบเสริมแรงดึงในแผ่นยาง เพื่อให้สามารถดึงแผ่นยางและรั้งแรงดึงไว้ก่อน ซึ่งสามารถปลดอุปกรณ์รั้งแรงดึงภายหลังเพื่อย้ายแรงเข้าไปเสริมกำลังคานสะพาน โดยที่ไม่ต้องดึงแผ่นยางหน้างาน

3) การติดตั้งแถบยางพาราอัดแรง ได้ทำการออกแบบเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือนและกำลังรับโมเมนต์ดัดของคานสะพานประเภท PC Plank Girder ประเภท PC Box Beam และประเภท RC T-girder ของกรมทางหลวง โดยมีข้อแนะนำในการติดตั้ง ดังนี้

- 3.1) การเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือน ให้ติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงขนาดความยาว 50 เซนติเมตร (ความยาวของแผ่นยางก่อนดึง 25 เซนติเมตร) ตามที่ได้แนะนำการออกแบบไว้ในข้อที่ 1) บริเวณท้องคานในทิศทางตั้งฉากกับแนวรอยต่อรับแรงเฉือนที่ได้รับความเสียหาย โดยมีระยะห่างระหว่างแถบยางพาราอัดแรงแต่ละแผ่นไม่เกิน 1 เมตร
- 3.2) การเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัด ให้ติดตั้งแถบยางพาราอัดแรงขนาดความยาว 100 เซนติเมตร (ความยาวของแผ่นยางก่อนดึง 50 เซนติเมตร) ตามที่ได้แนะนำการออกแบบไว้ในข้อที่ 1) บริเวณท้องคานในทิศทางตามแนวกาน โดยนำแถบยางพาราอัดแรงมายึดต่อกันเป็นแถว ให้ได้ระยะวัดจากกึ่งกลางคานออกไปในแต่ละด้าน ไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของความยาวช่วงคาน (ความยาวของแถวแถบยางพาราอัดแรงไม่น้อยกว่า 1 ใน 2 ของความยาวช่วงคาน)

4) การทดสอบการเสริมกำลัง ได้ทำการทดสอบคานสะพานประเภท PC Plank Girder ความยาวช่วง 7 เมตร และประเภท RC T-girder ความยาวช่วง 15 เมตร ทั้งก่อนและหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง โดยให้แรงกระทำสถิตแบบจุดที่กึ่งกลางคาน และแรงกระทำฉับพลัน ผลการทดสอบและการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ สรุปได้ดังนี้

- 4.1) การเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือน ภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง คานสะพานทดสอบสามารถถ่ายเทแรงเฉือนได้ตามที่ออกแบบ
- 4.2) การเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัด ภายหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง คานสะพานทดสอบมีความแข็งแรงสามารถต้านทานแรงกระทำสถิตแบบจุดที่กึ่งกลางคาน ในช่วงยืดหยุ่น เพิ่มขึ้นได้ถึง 40%
- 4.3) การเสริมกำลังคานสะพานด้วยแถบยางพาราอัดแรงในทิศทางตามแนวนอน สามารถเพิ่มความหน่วงให้กับสะพานได้ถึง 5% ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สามารถช่วยลดการสั่นไหว (รูปแบบปกติ) ของคานสะพานจากการจราจรของรถบรรทุกได้

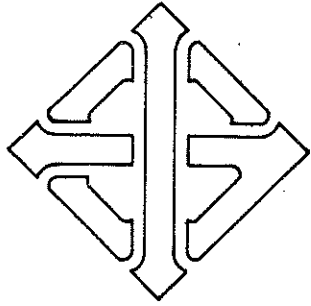
5) การจัดทำคู่มือการออกแบบ ได้จัดทำคู่มือการออกแบบแถบยางพาราอัดแรงสำหรับเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือนและคานสะพาน โดยมีข้อเสนอแนะในการออกแบบที่ง่ายและสะดวกในการนำไปปฏิบัติ รวมถึงมีส่วนที่แสดงการออกแบบโดยละเอียดไว้ เพื่อให้วิศวกรของกรมทางหลวงสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเองได้สำหรับการออกแบบที่นอกเหนือจากข้อเสนอแนะ

6) การใช้งานแถบยางพาราอัดแรง เนื่องจากแถบยางพาราอัดแรงมีการคลายตัวของแรงดึงที่ค่อนข้างสูงในช่วงต้น ถึงแม้ว่าอัตราการคลายตัวจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป การนำแถบยางพาราอัดแรงไปใช้เสริมกำลังคานสะพาน แนะนำให้เป็นการเสริมกำลังชั่วคราวเพื่อรอการซ่อมใหญ่ หรือเป็นการเสริมกำลังในกรณีพิเศษเพื่อให้รถบรรทุกหนักเกินพิกัดที่ได้รับอนุญาตวิ่งผ่านสะพาน โดยไม่ควรใช้งานแถบยางพาราอัดแรงในการเสริมกำลังคานสะพานเป็นเวลานานเกินกว่า 3 เดือน การจราจรของรถบรรทุกบนสะพานที่เสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง แนะนำให้เป็นดังนี้

- 6.1) กรณีเสริมกำลังรอยต่อรับแรงเฉือน
 - รอยต่อรับแรงเฉือนเสียหายไม่เกิน 50% รถบรรทุกพิกัดน้ำหนัก 25 ตัน วิ่งผ่านสะพานได้ตามปกติ
 - รอยต่อรับแรงเฉือนเสียหายมากกว่า 50% แต่ไม่เกิน 75% รถบรรทุกพิกัดน้ำหนัก 15 ตัน วิ่งผ่านสะพานได้ตามปกติ หรือ รถบรรทุกพิกัดน้ำหนัก 25 ตัน วิ่งผ่านสะพานความเร็วไม่เกิน 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
 - รอยต่อรับแรงเฉือนเสียหายมากกว่า 75% รถบรรทุกพิกัดน้ำหนัก 15 ตัน วิ่งผ่านสะพานได้ตามปกติ หรือ รถบรรทุกพิกัดน้ำหนัก 21 ตัน วิ่งผ่านสะพานความเร็วไม่เกิน 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- 6.2) กรณีเสริมกำลังรับโมเมนต์ดัด รอยต่อรับแรงเฉือนหรือระบบการกระจายแรงทางข้างของสะพานจะต้องอยู่ในสภาพดีไม่เสียหาย และพิกัดน้ำหนักรถบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพานให้ได้ 32 ตัน

ข้อเสนอแนะ

- 1) กรมทางหลวงควรทำการประเมินประสิทธิภาพของแบริ่งยางพาราอัดแรงเพิ่มเติม โดยติดตั้งแบริ่งยางพาราอัดแรงเสริมกำลังคานสะพานที่ใช้งานจริง ตรวจสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานทุกๆ 3 เดือน เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ปี
- 2) กรมทางหลวงควรพัฒนาสูตรส่วนผสมยางพาราขึ้นมาเฉพาะสำหรับผลิตแบริ่งยางพาราอัดแรง ซึ่งควรเป็นสูตรส่วนผสมที่ช่วยให้เกิดแรงดึงสูงที่ระยะยืดต่ำ เพื่อช่วยลดการคลายตัวของแรงดึงในแบริ่งยางพาราอัดแรง



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มอก. 951-2533

แผ่นยางรองสะพาน

STANDARD FOR RUBBER BRIDGE BEARINGS

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

UDC 62-219.1:656.11:678-41

ISBN 974-606-080-5

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นยางรองสะพาน

มอก. 951-2533

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 2461175

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 107 ตอนที่ 123
วันที่ 17 กรกฎาคม พุทธศักราช 2533

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 582
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางรองกอสะพาน

ประธานกรรมการ

นายจิตติ วิจิตรณา

ผู้แทนวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

กรรมการ

นายชวน คล้ายปาน

ผู้แทนกรมวิทยาศาสตร์บริการ

นายอนุรักษ์ ศรีสมศักดิ์

นางรสสุคนธ์ นุญมี

ผู้แทนกรมทางหลวง

นายจะนะ ทองงามขำ

ผู้แทนกรมโยธาธิการ

นายอุตรา อมาตยกุล

นายสุวิชัย วิวัฒน์ชนชาติ

ผู้แทนสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท

นายปริญญา จาคีเสถียร

นายสรศักดิ์ เลิศปัญญา

ผู้แทนกรุงเทพมหานคร

นายนพพล ศัลยสารักษ์

ผู้แทนการทางพิเศษแห่งประเทศไทย

นางพุลพร แสงบางปลา

ผู้แทนสมาคมมาตรฐานไทย

นางสาวยุพา พวงทองคำ

ผู้แทนบริษัท ย่งไทยรับเบอร์อุตสาหกรรม จำกัด

นายเสน่ห์ ส่องเมือง

ผู้แทนบริษัท เอ็น.ซี.อาร์.รับเบอร์อินดัสตรี จำกัด

นายสมศักดิ์ เตชะพลาเลิศ

ผู้แทนบริษัท อินเตอร์เนชั่นแนลรับเบอร์พาสส์ จำกัด

กรรมการและเลขานุการ

นายสายเมธ ธารนพงษ์

ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เนื่องจากแผ่นยางรองสะพานเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการรองรับน้ำหนัก ปัจจุบันได้มีการใช้แผ่นยางรองสะพานกันเป็นจำนวนมาก หากแผ่นยางรองสะพานมีคุณภาพไม่ดีก็จะทำให้สะพานชำรุด ก่อให้เกิดความเสียหายในทางเศรษฐกิจแก่ประเทศ ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการทำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นยางรองสะพาน ขึ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ASTM D 4014-87

Plain and Steel -Laminated Elastomeric Bearings
for Bridges

The American Association
of State Highway and

Transportation Officials

(AASHTO), 12th Ed, 1977

Standard Specifications for Highway Bridges

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตาม
มาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1631 (พ.ศ. 2533)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ.2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นยางรองสะพาน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นยางรองสะพาน
มาตรฐานเลขที่ มอก.951-2533 ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ.2533

พลตำรวจเอก ประमाण อติเรกสาร

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นยางรองสะพาน

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภท ชนิดและแบบ มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน การทำคุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบแผ่นยางรองสะพาน

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 แผ่นยางรองสะพาน ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "แผ่นยาง" หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นทำจากยางโดยอาจมีวัสดุเสริมแรงด้วยก็ได้ ใช้ติดตั้งบนตอม่อสะพานเพื่อรองรับน้ำหนักโครงสร้างส่วนบนและน้ำหนักบรรทุก
- 2.2 วัสดุเสริมแรง หมายถึง แผ่นเหล็กกล้าอะลูมิเนียมที่ใช้เสริมระหว่างชั้นยาง หรือเสริมผิวของแผ่นยาง

3. ประเภท ชนิดและแบบ

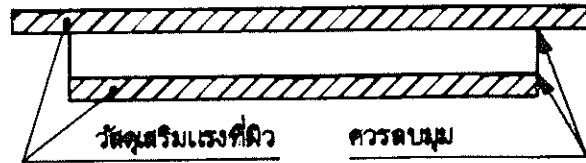
- 3.1 แผ่นยาง แบ่งตามชนิดของยางที่ใช้ทำออกเป็น 2 ประเภท คือ
- 3.1.1 ประเภท CR ทำจากยางสังเคราะห์ชนิดคลอโรพรีน
- 3.1.2 ประเภท NR ทำจากยางธรรมชาติ
- 3.2 แผ่นยางแต่ละประเภท แบ่งตามความแข็งออกเป็น 3 ชนิด คือ
- 3.2.1 ชนิด 50
- 3.2.2 ชนิด 60
- 3.2.3 ชนิด 70
- 3.3 แผ่นยางแต่ละชนิด แบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ
- 3.3.1 แบบไม่มีวัสดุเสริมแรง ดังตัวอย่างในรูปที่ 1
- 3.3.2 แบบมีวัสดุเสริมแรงที่ผิวด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้ง 2 ด้าน ดังตัวอย่างในรูปที่ 2

3.3.3 แบบมีวัสดุเสริมแรงระหว่างชั้นยาง ดังตัวอย่างในรูปที่ 3

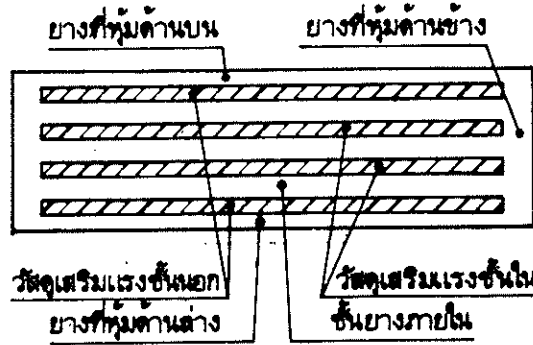
3.3.4 แบบมีวัสดุเสริมแรงระหว่างชั้นยาง และที่ผิวด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้ง 2 ด้าน ดังตัวอย่างในรูปที่ 4



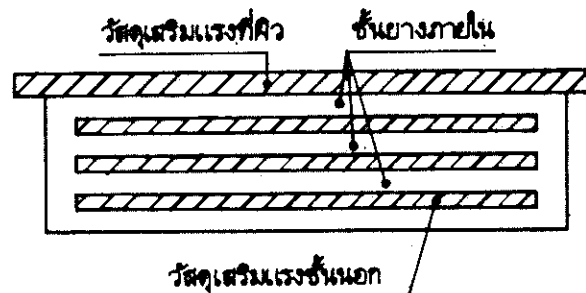
รูปที่ 1 ตัวอย่างแผ่นยางแบบไม่มีวัสดุเสริมแรง
(ข้อ 3.3.1)



รูปที่ 2 ตัวอย่างแผ่นยางแบบมีวัสดุเสริมแรงที่ผิว
(ข้อ 3.3.2 และข้อ 5.3)



รูปที่ 3 ตัวอย่างแผ่นยางแบบมีวัสดุเสริมแรงระหว่างชั้นยาง
(ข้อ 3.3.3)



รูปที่ 4 ตัวอย่างแผ่นยางแบบมีวัสดุเสริมแรงระหว่างชั้นยางและที่ผิว
(ข้อ 3.3.4)

4. มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ความกว้างและความยาว หรือเส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนา

ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2 และข้อ 9.3

ตารางที่ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมิติ

(ข้อ 4.1 ข้อ 4.3 และข้อ 6.4.3)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

มิติ	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้างและความยาว หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นยาง(D)	+ 5 + 0.005 D 0
ความหนารวมของแผ่นยาง (T)	+ 2 + 0.04 T 0
ความหนาของยางที่หุ้มด้านบน ด้านล่างและด้านข้าง	+ 3 0
ความหนาของชั้นยางภายใน	± ร้อยละ 20
ขนาดของรู ร่อง และรางลื่น (ถ้ามี)	+ 2 0
ตำแหน่งรู ร่อง และรางลื่น (ถ้ามี)	± 3

4.2 ความหนาของวัสดุเสริมแรง

วัสดุเสริมแรงระหว่างชั้นยางต้องหนาไม่น้อยกว่า 2.0 มิลลิเมตร นอกจากแผ่นยางที่มีความยาวหรือเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 450 มิลลิเมตร วัสดุเสริมแรงระหว่างชั้นยางต้องหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร การทดสอบให้ทำโดยการวัดด้วยเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

4.3 ความหนาของชั้นยาง

ความหนาของชั้นยางภายใน ความหนาของยางที่หุ้มด้านบน ด้านล่าง และด้านข้าง ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ในแบบ(drawing) ซึ่งไม่น้อยกว่า 4.5 มิลลิเมตร โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

การทดสอบให้ทำโดยการวัดด้วยเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

4.4 ความลาดเอียง

ผิวระนาบบนและล่างจะมีความลาดเอียงเฉลี่ยจากระนาบได้ไม่เกิน 0.005

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.4

5. การทำ

- 5.1 แผ่นยางแบบไม่มีวัสดุเสริมแรงอาจหล่อขึ้นรูป หรือตัดให้ได้ขนาดตามต้องการจากยางที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปหรือการอัดรีด การตัดไม่ควรใช้ความร้อน และผิวที่เกิดจากการตัดควรเรียบ
- 5.2 แผ่นยางแบบมีวัสดุเสริมแรงทุกแบบควรหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นเดียวกัน โดยใช้ความร้อนและแรงอัด
- 5.3 การยึดติดของยางและวัสดุเสริมแรงควรกระทำในระหว่างการหล่อขึ้นรูป ขอบนอกของยางที่ยึดติดกับวัสดุเสริมแรงภายนอกควรมีรูปร่างที่ไม่ก่อให้เกิดการรวมตัวของความเค้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2
- 5.4 ขอบวัสดุเสริมแรงระหว่างชั้นยางควรกลมมน

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ลักษณะทั่วไป

ผิวต้องเรียบ ปราศจากข้อบกพร่องที่อาจเป็นผลเสียหายต่อการใช้งาน เช่น รอยแตก รุพ รุน ฟองอากาศ รอยตำหนิเนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอม แบบมีวัสดุเสริมแรงที่ผิวต้องมีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันสนิม การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

6.2 สมบัติทางฟิสิกส์

สมบัติทางฟิสิกส์ของส่วนที่เป็นเนื้อยาง ไม่รวมวัสดุเสริมแรงของแผ่นยาง ต้องเป็นดังนี้

6.2.1 ประเภท CR เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 2

6.2.2 ประเภท NR เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 สมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นยางประเภท CR

(ข้อ 6.2.1)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด			วิธีทดสอบ ตาม
		ชนิด 50	ชนิด 60	ชนิด 70	
1	ความแข็ง IRHD	50 ± 5	60 ± 5	70 ± 5	ข้อ 9.5
2	ความต้านแรงดึง เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	17.0	17.0	17.0	ข้อ 9.6
3	ความยืดเมื่อขาด ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	400	350	300	ข้อ 9.6
4	ความทนออกซิเดชันสูง				ข้อ 9.7
	- ความแข็ง เพิ่มขึ้น IRHD ไม่เกิน	15	15	15	
	- ความต้านแรงดึง ลดลง ร้อยละ ไม่เกิน	15	15	15	
	- ความยืดเมื่อขาด ลดลง ร้อยละ ไม่เกิน	40	40	40	
5	การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด ร้อยละ ไม่เกิน	35	35	35	ข้อ 9.8

ตารางที่ 3 สมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นยางประเภท NR

(ข้อ 6.2.2)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด			วิธีทดสอบ ตาม
		ชนิด 50	ชนิด 60	ชนิด 70	
1	ความแข็ง IRHD	50 ± 5	60 ± 5	70 ± 5	ข้อ 9.5
2	ความต้านแรงดึง เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	17.0	17.0	17.0	ข้อ 9.6
3	ความยืดเมื่อขาด ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	450	400	300	ข้อ 9.6
4	ความทนออกซิเดชันสูง				ข้อ 9.7
	- ความแข็ง เพิ่มขึ้น IRHD ไม่เกิน	10	10	10	
	- ความต้านแรงดึง ลดลง ร้อยละ ไม่เกิน	25	25	25	
	- ความยืดเมื่อขาด ลดลง ร้อยละ ไม่เกิน	25	25	25	
5	การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด ร้อยละ ไม่เกิน	25	25	25	ข้อ 9.8

6.3 ความทนโอโซน

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.9 แล้ว ต้องไม่มีรอยแตก

6.4 ความทนแรงกด (เฉพาะแผ่นยางแบบมีวัสดุเสริมแรง)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.10 แล้ว ต้องเป็นดังนี้

6.4.1 ค่าความแข็งตึงการอัด (compression stiffness) ของแผ่นยางแต่ละแผ่นแตกต่างจากค่ามัธยฐาน (median) ไม่เกินร้อยละ 10

6.4.2 ภายหลังจากทดสอบตามข้อ 9.10.2 แล้ว ไม่เกิดการล่อนหลุดระหว่างยางกับวัสดุเสริมแรง และไม่มีรอยแตกขนาดกว้างและลึกเกิน 2 มิลลิเมตร มากกว่า 2 รอยขึ้นไป

6.4.3 ความหนาของชั้นยางคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1

6.5 ความต้านแรงยึดเหนี่ยว (เฉพาะแผ่นยางแบบมีวัสดุเสริมแรง)

ความต้านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างยางกับวัสดุเสริมแรง ต้องไม่น้อยกว่า 7.0 นิวตันต่อความกว้าง 1 มิลลิเมตร

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม ISO 813

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่แผ่นยางทุกแผ่น อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- (1) ประเภท ชนิดและแบบ
- (2) ขนาด เป็นมิลลิเมตร
- (3) น้ำหนักกดที่ออกแบบ (เฉพาะแบบมีวัสดุเสริมแรง)
- (4) เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ
- (5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
- (6) ประเทศที่ทำ

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

- 7.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 8.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง แผ่นยางประเภท ชนิด แบบและขนาดเดียวกัน รูปร่างเหมือนกัน มีส่วนประกอบและการทำอย่างเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน
- 8.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

8.2.1 การชักตัวอย่าง

ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 4

8.2.2 เกณฑ์ตัดสิน

จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 4. ข้อ 6. และข้อ 7. ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ 4 จึงจะถือว่าแผ่นยางรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ตารางที่ 4 แผนการชักตัวอย่าง

(ข้อ 8.2.1 และข้อ 8.2.2)

ขนาดรุ่น แผ่น	ขนาดตัวอย่าง แผ่น	เลขจำนวน ที่ยอมรับ
ไม่เกิน 150	3	0
151 ขึ้นไป	13	1

9. การทดสอบ

9.1 ภาวะทดสอบ

หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ให้ทดสอบที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 65 ± 5 ภายหลังจากเก็บชิ้นทดสอบไว้ที่ภาวะดังกล่าวเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง

หมายเหตุ ถ้าทดสอบในภาวะที่กำหนดไม่ได้ ให้ทดสอบทันทีที่นำชิ้นทดสอบออกจากภาวะดังกล่าว

9.2 ความกว้างและความยาว หรือเส้นผ่านศูนย์กลาง

ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร วัดความกว้างและความยาว หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นยาง ไม่น้อยกว่า 3 แห่ง และรายงานผลทุกค่า

9.3 ความหนา

ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดความหนาของแผ่นยางไม่น้อยกว่า 3 แห่ง แล้วรายงานผลทุกค่า

9.4 ความลาดเอียง

9.4.1 เครื่องมือ

9.4.1.1 โต๊ะระดับ

9.4.1.2 เครื่องวัดแบบมีหน้าปัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.001 มิลลิเมตร พร้อมขาตั้งซึ่งสามารถเคลื่อนที่บนโต๊ะระดับได้

9.4.2 วิธีทดสอบ

9.4.2.1 วัดความลาดเอียงของผิวระนาบบนและล่าง โดยวางตัวอย่างบนโต๊ะระดับให้ผิวด้านใดด้านหนึ่งอยู่ด้านบน

9.4.2.2 ใช้เครื่องวัดแบบมีหน้าปัดวัดค่าเบี่ยงเบนที่ผิวด้านบนตามแนวความยาวและแนวความกว้างของตัวอย่าง หากตัวอย่างเป็นแผ่นกลมให้วัดตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวน 2 แนวตั้งฉากกัน โดยให้วัดแต่ละจุดห่างกันไม่เกิน 100 มิลลิเมตร และแต่ละแนวต้องไม่น้อยกว่า 3 จุด

9.4.2.3 นำค่าเบี่ยงเบนที่วัดได้ทุกค่ามาคำนวณหาค่าความลาดเอียงเฉลี่ย ตามวิธีกำลังสองน้อยสุด (least squares method)

9.4.2.4 กลับตัวอย่างให้ผิวอีกด้านหนึ่งอยู่ด้านบน แล้วปฏิบัติตามข้อ 9.4.2.2 และข้อ 9.4.2.3

9.4.3 วิธีคำนวณ

$$\text{ความลาดเอียงเฉลี่ย} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

เมื่อ n คือ จำนวนจุดที่วัด

x_i คือ ระยะของจุดแต่ละจุดที่วัดจากจุดตั้งต้นตามแนวระนาบ เป็นมิลลิเมตร

y_i คือ ค่าเบี่ยงเบนแต่ละจุดที่วัดตามแนวตั้ง เป็นมิลลิเมตร

9.5 ความแข็ง

ให้ปฏิบัติตาม ISO 48 โดยใช้ชิ้นทดสอบซึ่งเตรียมจากส่วนหัวด้านนอกของแผ่นยาง

9.6 ความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด

ให้ปฏิบัติตาม ISO 37 โดยใช้ชิ้นทดสอบรูปคัมป์เบลล์ ชนิดที่ 1 ซึ่งเตรียมจากส่วนหัวด้านนอกของแผ่นยาง

9.7 ความทนอุณหภูมิสูง

ใช้ชิ้นทดสอบตามข้อ 9.5 และข้อ 9.6 นำไปอบตาม ISO 188 air-oven method โดยใช้อุณหภูมิและเวลาตามตารางที่ 5 แล้วนำชิ้นทดสอบไปทดสอบความแข็ง และความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาด แล้วคำนวณเปรียบเทียบกับค่าก่อนอบตามข้อ 9.5 และข้อ 9.6

ตารางที่ 5 อุณหภูมิและเวลาในการอบ

(ข้อ 9.7 และข้อ 9.8)

ประเภท	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	เวลา ชั่วโมง
CR	100 ± 1	70
NR	70 ± 1	168

9.8 การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด

ให้ปฏิบัติตาม ISO 815 โดยใช้ชิ้นทดสอบชนิดใหญ่ ทดสอบที่อุณหภูมิตามที่กำหนดในตารางที่ 5 เป็นเวลา 22 ชั่วโมง

9.9 ความทนโอโซน

ให้ปฏิบัติตาม ISO 1431/1 procedure A โดยใช้ชิ้นทดสอบซึ่งเตรียมจากส่วนหัวด้านนอกของแผ่นยาง คึงให้ยืดร้อยละ 20 ทดสอบที่อุณหภูมิ 40 ± 2 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเข้มข้นของโอโซนและเวลาตามตารางที่ 6 แล้วตรวจรอยแตกด้วยแว่นขยายที่มีกำลังขยาย 7 เท่า

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของโอโซนและเวลาในการทดสอบความทนโอโซน

(ข้อ 9.9)

ประเภท	ความเข้มข้นของโอโซน ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ 100 ลูกบาศก์เมตร	เวลา ชั่วโมง
CR	100 ± 10	96
NR	25 ± 5	48

9.10 ความทนแรงกด

9.10.1 ใช้น้ำหนักดลงบนแผ่นยาง โดยเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 0.2 เท่าของน้ำหนักกดที่ออกแบบ ภายในเวลา 84 ถึง 156 วินาที เมื่อเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วินาที แล้วบันทึกค่าของน้ำหนักกด และระยะยุบตัว(deflection) เพิ่มน้ำหนักจนเท่ากับน้ำหนักกดที่ออกแบบ แล้วนำค่าที่บันทึกไว้มาคำนวณหาความแข็งดิ่งการอัด

9.10.2 เพิ่มน้ำหนักดลงบนแผ่นยางให้มีค่า 1.5 เท่าของน้ำหนักกดที่ออกแบบ ทิ้งไว้จนกระทั่งน้ำหนักกดหรือการยุบตัวมีค่าคงที่ แล้วตรวจหิจ

9.10.3 ปล่อน้ำหนักกดออก แล้ววัดความหนาของชั้นยาง

พิมพ์ที่
หจก. พี.เอ็น. การพิมพ์
150-152 ถนนริมคลองประปา
บางซื่อ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10800
โทร. 587-6453, 587-6454

11/11/11

11/11/11

11/11/11



สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์ (66) 0 2354 6693 โทรสาร (66) 0 2354 4332

อันดับทดลองที่ B-75/2562

หน่วยงาน บริษัท ไอเอ็มเอ็ม เอส จำกัด

หนังสือ บริษัท ไอเอ็มเอ็ม เอส จำกัด ที่ IMMS 61-003/05 ลงวันที่ 12 ธันวาคม 2561 วันที่รับหนังสือ 13 ธันวาคม 2561

สัญญาจ้างเลขที่ สจ.1/2562 ลงวันที่ 16 ตุลาคม 2561

ผู้รับจ้าง บริษัท ไอเอ็มเอ็ม เอส จำกัด

ผู้ผลิต บริษัท วัฒนาสุข อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

เจ้าหน้าที่ส่งตัวอย่าง นายธวัชพงษ์ อัมพันสุข ตำแหน่ง วิศวกร วันที่เก็บ/ส่งตัวอย่าง 14 ธันวาคม 2561

เจ้าหน้าที่ทดลอง 1. นางวรรณีส สุภวิเศษ ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ วันที่ทดลอง 17-21 ธันวาคม 2561

2. นายไววิทย์ สิริประภาวัฒน์ ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ แผ่นที่ 1/1

ผลการทดสอบ

แถบยางพาราอัดแรง

ประเภทยางธรรมชาติ ความแข็ง 50

ภาวะทดสอบ 25 องศา ความชื้นสัมพัทธ์ 55 %

คุณลักษณะ	วิธีทดสอบตาม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. ความแข็ง , Shore A	ISO 7619	46.6	46.3	45.5
2. ความต้านทานต่อแรงดึง , N/mm ²	ISO 37	24.4	24.2	24.7
3. เปอร์เซ็นต์การยืดตัวจนขาด , %	ISO 37	578.2	596.4	607.1
4. ความทนทานต่อความร้อน ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง	ISO 188			
4.1 ความแข็ง , Shore A	ISO 7619	47.9	47.9	47.0
4.2 ความต้านทานต่อแรงดึง , N/mm ²	ISO 37	23.2	22.3	22.9
4.3 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวจนขาด , %	ISO 37	526.8	533.1	536.0
5. ความต้านทานต่อโอโซน ความเข้มข้นโอโซน 50 pphm, อุณหภูมิ 40 °C เวลา 72 ชั่วโมง การดึงยืด 20 %	ISO 1431	No Cracks	No Cracks	No Cracks

ผู้ตรวจสอบ
(นางวรรณีส สุภวิเศษ)
ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ

21 ธ.ค. 61

ผู้รับรอง 21 ธ.ค. 2561

(นางหรรษา มีประดิษฐ์)
ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ

รักษาการในตำแหน่งผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์วัสดุทางวิทยาศาสตร์

ค่าธรรมเนียมการวิเคราะห์เป็นเงิน 8,700.- บาท

ผลการวิเคราะห์นี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบได้รับเท่านั้น
ผลการวิเคราะห์นี้ห้ามนำไปประกาศโฆษณาและต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน

พิมพ์/ตรวจ 21 ธ.ค. 61
เสนอเซ็น

รายละเอียดการทดสอบวัสดุยาง

วัสดุยาง

ยางที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์ยางประเภทต่าง ๆ อาจจำแนกไปเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) และยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubbers)

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)

ยางธรรมชาติ ส่วนมากเป็นยางที่ได้จากต้นยางพารา ซึ่งน้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) ประมาณ 30% (โดยน้ำหนัก) แขนงลอยอยู่ในน้ำ ทั้งนี้ ปริมาณของเนื้อยางแห้งขึ้นอยู่กับ ชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล ซึ่งโดยทั่วไปยางธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำยาง และยางแห้ง

น้ำยาง: เนื่องจากน้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางมีปริมาณน้ำมากเกินไป ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ยาง อีกทั้งยังทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำน้ำยางดิบที่ได้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) เพื่อลดปริมาณน้ำในน้ำยางสดจนกระทั่งได้ปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30 % เป็น 60 % โดยน้ำหนัก และเรียกน้ำยางที่ได้ใหม่น้ำยางข้น (Concentrated Latex) แต่เนื่องจากน้ำยางมีสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น โปรตีน และ ฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งสารเหล่านี้สามารถย่อยสลายได้ด้วยเชื้อจุลินทรีย์ หรือเชื้อแบคทีเรีย กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน หรือสารประกอบไนโตรเจน ดังนั้นน้ำยางจึงสามารถบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็นได้ จึงต้องมีการเติมสารแอมโมเนียหรืออาจใช้แอมโมเนียร่วมกับสารอื่น ๆ เพื่อช่วยรักษาสภาพน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน

ยางแห้ง: ได้จากการนำน้ำยางสดที่กรีตได้มาเติมกรด (นิยมใช้กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือกรดซัลฟูริก) เพื่อให้อนุภาคของยางจับตัวเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็ทำการไล่ความชื้นออกจากเนื้อยางเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา

ยางดิบตามลำพังจะมีข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกลต่ำและมีลักษณะทางกายภาพที่ไม่เสถียร โดยคุณสมบัติต่าง ๆ จะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างมาก กล่าวคือ ยางจะอ่อนตัวและเหนียวเยิ้มเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การที่จะใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่าง ๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ซึ่งยางที่ได้รับการผสมสารเคมีเหล่านี้จะเรียกว่ายางคอมพาวด์ (Rubber Compound) และจะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการคงรูปยางหรือกระบวนการวัลคาไนส์เซชัน (Vulcanization) โดยยางที่ผ่านกระบวนการนี้จะเรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป (Vulcanizate) ซึ่งคุณสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนักและมีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น

ยางธรรมชาติเป็นของแข็งที่มีความเหนียวและความหนืดสูงมาก การผสมสารเคมีให้เข้ากับยางจึงเป็นไปได้ยาก ด้วยเหตุนี้ ก่อนการผสมสารเคมีจึงต้องทำการบดยางหรือลดความหนืดของยางโดยการตัดโมเลกุลของยาง (ลดน้ำหนักโมเลกุล) ด้วยกระบวนการเชิงกลโดยอาศัยแรงเฉือนในเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) หรือในเครื่องผสมระบบปิด (Internal Mixer) ซึ่งขั้นตอนการบดยางเพื่อลดความหนืดยางก่อนผสมสารเคมีนี้เรียกว่า “มาสติเคชัน (Mastication)”

ยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubbers)

การผลิตยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนการผลิตมอนอเมอร์ (Monomer) ซึ่งมอนอเมอร์ที่ใช้สังเคราะห์ยางส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และ 2) ขั้นตอนการนำมอนอเมอร์หลาย ๆ อันมาต่อกันให้ได้เป็นพอลิเมอร์ ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน” ซึ่งโดยทั่วไปแล้วยางสังเคราะห์ที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ และชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ประกอบกันเป็นพอลิเมอร์

สำหรับยางสังเคราะห์ที่มีการนำมาผลิตเพื่อใช้เป็นแผ่นยางรองสะพานนั้นจะเป็นยางที่มีชื่อเรียกว่ายางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber, CR) ซึ่งเป็นยางที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ของคลอโรพรีน (Chloroprene Monomer) โดยโมเลกุลของยาง CR สามารถจัดเรียงตัวได้อย่างเป็นระเบียบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ยางชนิดนี้จึงสามารถทนทานได้เช่นเดียวกับยางธรรมชาติ ดังนั้นยาง CR นอกจากจะมีความทนทานต่อแรงดึงสูง (โดยที่ไม่ใส่สารตัวเสริมแรง) ยังมีความทนทานต่อการฉีกขาดและมีความต้านทานต่อการขีดข่วนอีกด้วย

การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแผ่นยางรองสะพาน

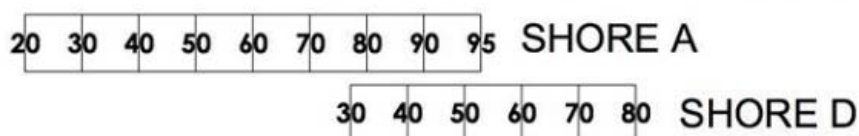
การทดสอบวัดความแข็ง (Hardness Test)

ความแข็ง (Hardness) เป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของยางซึ่งมักจะใช้ร่วมกับคุณสมบัติแรงดึงในการกำหนดคุณภาพของยาง ความแข็งจะแตกต่างจากความแข็งเกร็ง (Stiffness) เพราะความแข็งเป็นการวัดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเฉพาะที่บริเวณพื้นผิวเท่านั้น แต่ความแข็งเกร็งเป็นการวัดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางทั้งก้อน หลักการพื้นฐานของการวัดค่าความแข็ง คือ จะนำหัวกด (Indenter) ไปกดลงบนชิ้นทดสอบภายใต้สภาวะที่กำหนด ความลึกของการกด (Depth of Penetration) จะสะท้อนถึงค่าความแข็งของยาง เพราะยางที่มีความแข็งสูงก็就会有ความลึกของการกดต่ำ

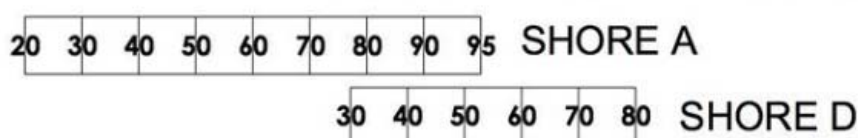
เครื่องวัดความแข็งที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมี 2 แบบ คือ เครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer) ซึ่งมีหลายแบบ เช่น แบบชอร์ เอ (Shore A) แบบชอร์ ดี (Shore D) และเครื่องวัดความแข็งในหน่วยของ IRHD (International Rubber Hardness Degree) เนื่องจากเครื่องดูโรมิเตอร์ส่วนใหญ่ใช้แรงกดจากสปริง จึงมีความแม่นยำต่ำกว่า

เครื่องวัดความแข็งในหน่วย IRHD ซึ่งใช้น้ำหนักที่คงที่เป็นตัวกด อย่างไรก็ตาม เครื่องดูโรมิเตอร์ก็ยังเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเครื่องมือมีราคาค่อนข้างต่ำ

เครื่องดูโรมิเตอร์แบบชอร์ เอ นิยมใช้วัดความแข็งสำหรับยางทั่วไปที่มีความแข็งต่ำกว่า 90 ชอร์ เอ แต่สำหรับยางที่มีความแข็งสูงกว่านี้ก็จะนิยมใช้เครื่องวัดแบบชอร์ ดี



แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งระหว่างชอร์ เอ และชอร์ ดี อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบควรตระหนักไว้เสมอว่าค่า 100 ชอร์ เอ ไม่เท่ากับค่า 100 ชอร์ ดี ดังนั้น สเกลจาก 95-100 ของชอร์ เอ จึงไม่เทียบเท่ากับสเกลจาก 50-100 ของชอร์ ดี



การเปรียบเทียบความแข็งของชอร์ เอ และชอร์ ดี

ปัจจุบัน การวัดค่าความแข็งสามารถทำได้โดยใช้วิธีตามมาตรฐานต่างๆ มากมายดังแสดงในตารางที่ 1 แม้ว่ามาตรฐาน ISO จะไม่ได้กำหนดวิธีการวัดค่าความแข็งของยางด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ แต่มาตรฐาน ISO 868 ที่ออกแบบสำหรับทดสอบพลาสติกและยางแข็งอีโบนิต์ (Ebonite) ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติความแข็งของยางทั่วไป

ตารางที่ 1 มาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติความแข็ง

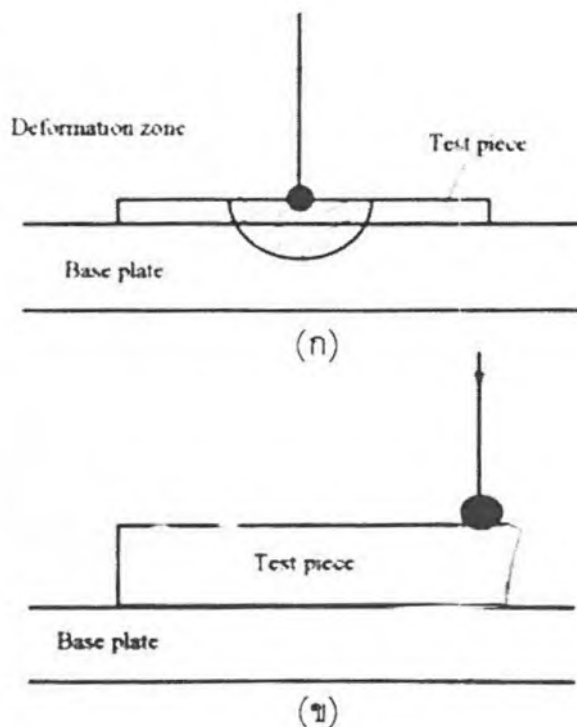
มาตรฐาน ISO	การทดสอบ	มาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
868	Plastics and ebonite-Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness)	ASTM D 2240, BS 2719, DIN 53505
48	Vulcanized rubber-Determination of hardness (hardness between 10 and 100 IRHD)	ASTM D 1415, BS 903, Part A26, DIN 53519
7619-1	Rubbers, vulcanized or thermoplastic- Determination of indentation hardness-Part 1:	ASTM D 2240, BS 2719, DIN 53505

	Durometer method (Shore hardness)	
--	-----------------------------------	--

แสดงตัวอย่างเครื่องวัดความแข็งแบบตั้งโต๊ะพร้อมทั้งลักษณะของหัวกดชนิดต่าง ๆ ขึ้นทดสอบที่นำมาทดสอบควรมีผิวแบนเรียบทั้งด้านบนและด้านล่างและพื้นที่ทั้งสองต้องขนานกัน ค่าความแข็งที่อ่านได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของขึ้นทดสอบโดยเฉพาะความหนา เพราะถ้าขึ้นทดสอบบางมากเกินไปจะทำให้ผลการวัดที่ได้มีความผิดพลาดสูง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อกดหัวกดลงบนขึ้นทดสอบ ยางที่อยู่ในบริเวณรอบ ๆ จุดที่ถูกกดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพื่อตอบสนองต่อแรงกด เป็นรัศมีรูปครึ่งวงกลม หากขึ้นทดสอบบางมากเกินไป การตอบสนองต่อแรงกดจะไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะจากยางเท่านั้น แต่จะรวมการตอบสนองที่เกิดจากฐานกด ซึ่งเป็นโลหะที่มีความแข็งมาก ๆ เข้าไปด้วย ในกรณีเช่นนี้ค่าความแข็งที่วัดได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริง ในทำนองกลับกัน การวัดค่าความแข็ง ณ บริเวณที่ชิดขอบขึ้นงานมากเกินไปก็จะส่งผลให้ความแข็งที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงเพราะยางสามารถยุบตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย ณ บริเวณขอบ



เครื่องวัดความแข็งและลักษณะของหัวกดแบบต่างๆ



ลักษณะการตอบสนองต่อแรงกดของชิ้นทดสอบในกรณี (ก) ชิ้นทดสอบบางมากเกินไป

(ข) ทำการวัดขีดขอบของชิ้นทดสอบมากเกินไป

สำหรับการวัดค่าความแข็งแรงด้วยเครื่องคูโรมิเตอร์ (ในหน่วยชอร์) มาตรฐาน ASTM D 2240 ได้กำหนดไว้ว่าชิ้นทดสอบควรมีความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบอาจเตรียมจากการนำยางแผ่นเรียบหลายๆ แผ่นมาวางซ้อนกันจนได้ความหนาตามต้องการ อย่างไรก็ตาม การเตรียมชิ้นทดสอบแบบนี้จะใช้ได้เฉพาะในกรณีที่แผ่นยางทั้งหมดสามารถแนบกันได้สนิทเท่านั้น และชิ้นทดสอบควรมีขนาดทางด้านข้าง (Lateral Dimensions) ที่สูงเพียงพอที่ทำให้ผู้ทดสอบสามารถวัดความแข็งแรงของยางในบริเวณที่ห่างจากขอบอย่างน้อย 12 มิลลิเมตรได้ การกดหัวกดลงบนชิ้นทดสอบควรกระทำด้วยความรวดเร็วและต้องออกแรงกดที่มากพอที่จะทำให้ฐานของหัวกดแนบสนิทกับชิ้นทดสอบแล้วจึงอ่านค่าความแข็งแรงภายใน 1 วินาที โดยทั่วไป ผู้ทดสอบควรทำการวัดความแข็งแรงอย่างน้อย 5 จุดบนชิ้นทดสอบและรายงานค่าเฉลี่ยที่วัดได้ อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบควรตระหนักไว้ว่าผลการทดสอบอาจมีความแปรปรวนได้เนื่องจากค่าความแข็งแรงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องชนิดนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเร็วของการกดหัวกดลงบนชิ้นทดสอบ ระยะเวลาที่อ่านค่าความแข็งแรง และแรงที่ใช้กดหัวกด เป็นต้น การเพิ่มความเร็วของการกดหัวกดจะให้ความแข็งแรงของยางที่วัดได้จากเครื่องมือค่าสูงขึ้น (เช่นเดียวกับการกระโดดลงน้ำจากแผ่นกระดานซึ่งผู้กระโดดจะรู้สึกว่ามีน้ำมีความแข็งแรงมากขึ้นหากกระโดดจากที่สูงเพราะความเร็วของผู้กระโดดขณะที่สัมผัสน้ำกับน้ำจะสูงขึ้นตามระดับความสูง) ส่วนระยะเวลาที่อ่านค่าความแข็งแรงก็มีผลอย่างมากต่อค่าที่วัดได้เช่นกันเพราะโดยทั่วไปแล้ว การอ่านค่าทันทีหลังจากที่ฐานของหัวกดแนบสนิทกับชิ้นทดสอบก็อาจทำให้ค่าที่ได้สูงกว่าการอ่านค่าหลังจากนั้น 2-3 วินาที การลดลงของค่าความแข็งแรงตามเวลาจะเกิดขึ้นได้เร็วหรือช้าเพียงใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติวิสโคอิลาสติกของยาง สำหรับยางที่มีความ

ยืดหยุ่นสูง (มีองค์ประกอบที่เป็นของแข็งยืดหยุ่นสูง) ค่าความแข็งที่วัดได้ก็จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากตามเวลาที่ผ่านมา แต่สำหรับยางที่มีความยืดหยุ่นต่ำก็จะพบว่าค่าความแข็งที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตามเวลาที่ผ่านมา ส่วนปัจจัยสุดท้ายที่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งที่อ่านได้ คือ แรงที่ใช้ในการกดหัวกด ในเชิงทฤษฎีแล้ว มาตรฐานได้ระบุว่าแรงที่ใช้ในการกดควรมีค่าสูงเพียงพอที่จะทำให้ฐานของหัวกดแนบกันสนิทกับชิ้นทดสอบ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ผู้ทดสอบแต่ละคนก็จะออกแรงกดที่แตกต่างกันทำให้เกิดความแปรปรวนของค่าที่อ่านได้เพราะแรงกดที่สูงก็อาจทำให้ค่าที่อ่านได้สูงตามไปด้วย ดังนั้น มาตรฐาน ASTM จึงได้เสนอแนะให้นำน้ำหนักมาตรฐานไปวางไว้ที่ตรงกลางของแกนหัวกดเพื่อลดความแปรปรวนของผลการทดสอบที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งน้ำหนักมาตรฐานที่แนะนำคือ 1 กิโลกรัมสำหรับการทดสอบในหน่วยชอร์ เอ และ 5 กิโลกรัมสำหรับการทดสอบในหน่วยชอร์ ดี

สำหรับการวัดความแข็งในหน่วย IRHD มาตรฐาน ASTM D1415 ได้กำหนดไว้ว่าชิ้นทดสอบควรมีขนาดทางด้านข้างไม่น้อยกว่า 20 มิลลิเมตร และมีความหนาไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิเมตร (นิยมเตรียมชิ้นทดสอบที่มีความหนาประมาณ 8-10 มิลลิเมตร) ในบางกรณีผู้ทดสอบอาจนำยางผิวเรียบ 2 ชิ้นมาวางประกบกันเพื่อทำให้ได้ชิ้นทดสอบที่มีความหนาตามต้องการได้ อย่างไรก็ดี หากจำเป็นต้องวัดความแข็งของชิ้นทดสอบที่บางมาก ๆ หรือชิ้นทดสอบที่มีความหนาสูงกว่า 4 มิลลิเมตร แต่มีขนาดทางด้านข้างต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดหรือชิ้นทดสอบที่ไม่มีผิวแบนราบ เช่น ยางโอริง ผู้ทดสอบควรใช้เครื่องวัดขนาดเล็กที่เรียกว่า micro IRHD instrument แทน โดยทั่วไป การวัดความแข็งในหน่วย IRHD จะทำการวัด 3 หรือ 5 จุดบนชิ้นทดสอบและรายงานค่ากลาง

การวัดค่าความแข็งควรทำที่อุณหภูมิห้อง (ในช่วง $23 \pm 2^\circ\text{C}$) และในการรายงานผลการทดสอบนั้น ควรมีการระบุขนาดของชิ้นทดสอบ ชนิดของเครื่องมือที่ใช้ อุณหภูมิ และลักษณะของพื้นผิว (เช่น ได้จากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ หรือได้จากการขัดผิวให้เรียบ) เป็นต้น สำหรับค่าความแข็งที่วัดได้จากชิ้นทดสอบที่ไม่ได้มาตรฐานเรียกว่าค่าความแข็งปรากฏ (Apparent Hardness) ส่วนค่าความแข็งที่วัดได้จากชิ้นทดสอบมาตรฐานเรียกว่าค่าความแข็งมาตรฐาน (Standard Hardness) ค่าความแข็งปรากฏของยางชนิดเดียวกันอาจมีค่าต่างกันขึ้นอยู่กับรูปร่างและความหนา ส่วนค่าความแข็งที่วัดได้พื้นผิวโค้ง เช่น ยางโอริง จะเป็นค่าเฉพาะที่ใช้กับชิ้นส่วนนั้น ๆ เท่านั้น ซึ่งค่าที่ได้อาจจะแตกต่างจากค่าความแข็งมาตรฐานมากถึง 10 IRHD หรืออาจมากกว่านั้น

การทดสอบคุณสมบัติแรงดึง (Testing of Tensile Properties)

คุณสมบัติแรงดึงที่นิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพของยางได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) และโมดูลัส (Modulus) มาตรฐานที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติแรงดึงมีหลายแบบ อาทิเช่น มาตรฐาน ASTM D 412 มาตรฐาน ISO 37 มาตรฐาน BS 903 Part A2 และมาตรฐาน DIN 53504

คุณสมบัติแรงดึงของยางสามารถวัดได้โดยการดึงชิ้นทดสอบมาตรฐานจนขาดด้วยอัตราเร็วคงที่ (มาตรฐาน ASTM D 412 ได้กำหนดอัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 500 ± 50 มิลลิเมตร/นาที) เครื่องที่ใช้ทดสอบส่วนใหญ่เป็นเครื่อง Universal Testing Machine หรือ Tensile Testing Machine (Error! Reference source not found.) ในระหว่างการดึง เครื่องจะทำการวัดแรงดึงและบันทึกค่าที่เปลี่ยนไปตามระยะการยืดตัวของยาง แล้วนำค่าที่วัดได้ไป

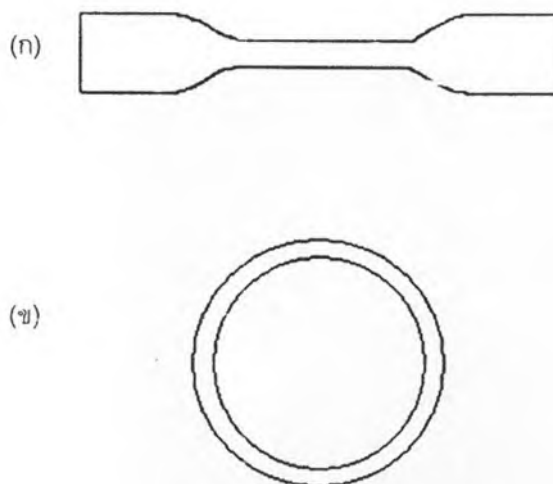
คำนวณและพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด พร้อมทั้งคำนวณหาค่าความทนทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัสที่ความเครียดต่าง ๆ



เครื่อง Universal Testing Machine

โดยทั่วไป ชิ้นทดสอบที่จะนำมาทดสอบควรได้รับการคงรูปมาแล้วไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นทดสอบนั้นได้รับการคงรูปอย่างสมบูรณ์แล้ว อย่างไรก็ตาม ไม่ควรเก็บชิ้นทดสอบไว้นานเกิน 28 วันหลังการคงรูป (ยกเว้นในกรณีที่เตรียมชิ้นทดสอบจากผลิตภัณฑ์) สำหรับรูปร่างของชิ้นทดสอบมาตรฐานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ รูปดัมเบลล์ และรูปวงแหวน

ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ควรได้จากการขึ้นรูปด้วยการฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ หรือจากการตัดจากยางแผ่นเรียบที่มีความหนาในช่วง 1.3 ถึง 3.3 มิลลิเมตร โดยยางแผ่นเรียบนี้อาจได้มาจากการเตรียมโดยตรงจากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ หรืออาจได้จากการนำผลิตภัณฑ์ยางมาตัดให้เป็นแผ่นและขัดผิวให้เรียบ ซึ่งในกรณีหลังนี้ ผู้ทดสอบต้องแน่ใจว่าชิ้นทดสอบที่เตรียมได้ต้องมีพื้นผิวที่เรียบและไม่มีชั้นผ้าใบอยู่ภายใน หากทำการเตรียมยางแผ่นเรียบโดยวิธีตามมาตรฐาน ASTM Practice D3182 ชิ้นทดสอบควรมีความหนาอยู่ในช่วง 2 ± 0.2 มิลลิเมตร และในระหว่างทำการตัดชิ้นทดสอบด้วยดรัมเบลล์ ผู้ทดสอบควรตัดยางให้ขาดด้วยการกดตายเพียงครั้งเดียว (Single Impact Stroke) ทั้งนี้ เพื่อให้พื้นที่ผิวที่เกิดจากการตัดเรียบปราศจากรอยตำหนิ พื้นผิวที่ไม่เรียบหรือมีรอยขีดข่วนเพียงเล็กน้อยจะทำให้ความทนทานต่อแรงดึงที่วัดค่าได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้ ผู้ทดสอบต้องแน่ใจว่าได้ทำการตัดชิ้นทดสอบตามแนวความยาวในทิศที่ขนานกับทิศที่ออกมาจากเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง เพราะการตัดชิ้นทดสอบในแนวที่ตั้งฉากกับทิศทางที่ยางไหลออกมาจากลูกกลิ้งจะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ส่วนการวัดความหนาของชิ้นทดสอบนั้น มาตรฐาน ASTM D 412 ได้กำหนดให้ทำการวัดความหนา 3 จุด คือ ที่บริเวณกึ่งกลาง และที่บริเวณปลายทั้งสองด้านของคอดัมเบลล์ จากนั้นก็นำค่ากลางไปใช้ในการคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบไม่ควรนำชิ้นทดสอบที่มีค่าความหนาต่ำสุดและสูงสุดต่างกันเกิน 0.08 มิลลิเมตร มาใช้ในการทดสอบ

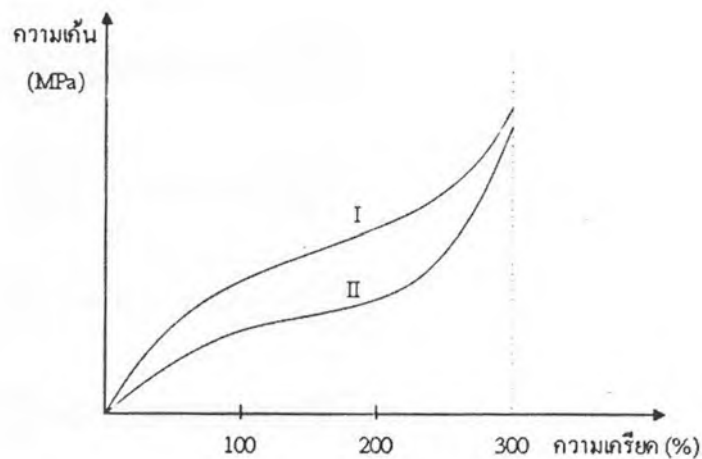


รูปร่างของชิ้นทดสอบคุณสมบัติแรงดึง (ก) รูปดัมเบลล์ และ (ข) รูปวงแหวน

สำหรับการควบคุมคุณภาพนั้น โดยทั่วไปควรทำการทดสอบ 3 ถึง 5 ครั้ง และรายงานค่ากลาง (Median) แต่สำหรับการวิจัยแล้ว นิยมทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ครั้ง และรายงานค่าเฉลี่ย (Mean) พร้อมทั้งค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

อัตราเร็วในการดึงยางก็เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อค่าที่วัดได้ โดยทั่วไป การเพิ่มอัตราเร็วในการดึงจะส่งผลทำให้ยางมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง มีค่าโมดูลัสสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความทนทานต่อแรงดึงอาจสูงขึ้นหรือลดลงก็ได้ นอกจากนี้ ทิศทางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลยางที่เกิดขึ้นในขณะที่ยางถูกรีดผ่านเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง ก็มีผลต่อคุณสมบัติแรงดึงของยางด้วยเช่นกัน โดยพบว่า ถ้าทำการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงในทิศทางตามแนวการจัดเรียงโมเลกุลยาง (ขนานกับทิศทางการรีดผ่านลูกกลิ้ง) จะพบว่าความทนทานต่อแรงดึงที่วัดได้จะมีค่าสูงกว่าการทดสอบในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ด้วยเหตุนี้ ในการเตรียมชิ้นทดสอบควรมีการระบุทิศทางของยางที่ผ่านออกมาจากลูกกลิ้งด้วย เพราะมาตรฐานส่วนใหญ่ได้กำหนดให้ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงในทิศทางตามแนวการจัดเรียงของสายโซ่โมเลกุลยาง

ข้อควรระวังของการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงก็คือ ชิ้นทดสอบที่นำมาทดสอบเป็นชิ้นทดสอบที่ไม่เคยได้รับแรงหรือความเค้นจากภายนอกมาก่อน ผู้ทดสอบต้องหลีกเลี่ยงการนำชิ้นทดสอบที่เคยได้รับการดึงมาก่อนมาทำการทดสอบ เพราะการดึงในครั้งแรก (I) และในครั้งที่ถัดไป (II) จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่แตกต่างกัน พฤติกรรมการลดลงของค่าความเค้นเมื่อดึงในครั้งหลังเรียกว่า “Stress Softening”



ตัวอย่างของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของยาง

คุณสมบัติแรงดึงเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมการผลิต เนื่องจากเป็นค่าความต้านทานแรงดึงเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงตามปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนสูตรการผสมเคมี หรือการเปลี่ยนแปลงทางกระบวนการผลิต นอกจากนี้ ค่าความต้านทานแรงดึงยังนิยมใช้เป็นตัวชี้วัดความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากสิ่งเร้าต่าง ๆ เช่น ความร้อน ของเหลว ก๊าซ สารเคมี โอโซน สภาพอากาศ ฯลฯ โดยทั่วไป การทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพสามารถกระทำได้โดยการวัดคุณสมบัติแรงดึงของยางทั้งก่อนและหลังการสัมผัสสิ่งเร้าดังกล่าว ซึ่งถ้าคุณสมบัติแรงดึงเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็แสดงว่ายางมีความทนทานต่อสิ่งเร้าได้ดี และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานภายใต้สิ่งเร้าดังกล่าว

การทดสอบการเสียรูปหลังการกด (Compression Set)

การเสียรูปหลังการกดเป็นการวัดระดับการได้กลับคืนมา (Degree of Recovery) ของยาง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำหมดไป หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือการวัดค่าการเสียรูปหลังการกดเป็นการวัดความสามารถของยางในการรักษาคุณสมบัติความยืดหยุ่นภายหลังจากที่ยางได้รับแรงกดเป็นระยะเวลาหนึ่ง แม้ว่าค่าการเสียรูปหลังการกดจะไม่สัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพในการอุดรอยรั่วเหมือนค่าการคลายตัวของความเค้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากค่าการเสียรูปหลังการกดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการคลายตัวของความเค้น ดังนั้น ผู้ทดสอบส่วนใหญ่จึงนิยมใช้ค่าการเสียรูปหลังการกดในการทำนายประสิทธิภาพในการอุดรอยรั่วมากกว่าการใช้ค่าการคลายตัวของความเค้น เพราะการวัดค่าการเสียรูปหลังการกดสามารถทำได้โดยง่ายและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบก็มีราคาถูก ตารางที่ 2 แสดงวิธีการมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบวัดค่าการเสียรูปหลังการกดของยาง

ตารางที่ 2 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติการเสียรูปหลังการกด

มาตรฐาน ISO	การทดสอบ	มาตรฐานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
815	Vulcanized rubbers-Determination of compression set under constant deflection at normal and high temperatures	ASTM D 395, BS 903 : Part A6, DIN 53517
1653	Vulcanized rubbers-Determination of compression set under constant deflection at low temperatures	ASTM D 1229, BS 903 : Part A39, DIN 53517

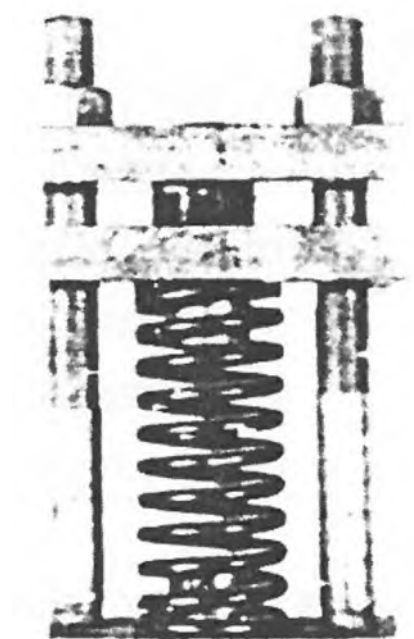
มาตรฐาน ASTM ได้แบ่งวิธีการทดสอบหาค่าการเสียรูปหลังการกดเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ 1 การทดสอบภายใต้แรงกดคงที่ในอากาศ (Constant Force in Air) และแบบที่ 2 การทดสอบภายใต้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างคงที่ในอากาศ (Constant Deflection in Air) ซึ่งการเลือกใช้วิธีทดสอบแบบใดขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของยางนั้น ๆ แต่โดยทั่วไป วิธีการทดสอบแบบหลังจะได้รับความนิยมมากกว่าแบบแรก อย่างไรก็ตาม วิธีการทดสอบแบบหลังนี้ก็ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทดสอบยางที่มีค่าความแข็งสูงกว่า 90 IRHD

ขั้นตอนทดสอบมาตรฐานสำหรับการวัดค่าการเสียรูปหลังการกดมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งอาจมีขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางและความหนา 29 ± 0.5 และ 12.5 ± 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ หรือขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางและความหนา 13 ± 0.2 และ 6 ± 0.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการทดสอบ โดยขั้นตอนทดสอบขนาดใหญ่สามารถนำไปใช้ได้กับการทดสอบทั้งแบบที่ 1 และแบบที่ 2 แต่ขั้นตอนทดสอบขนาดเล็กสามารถนำไปใช้ได้เฉพาะกับการทดสอบในแบบที่ 2 เท่านั้น ส่วนการรายงานผลการทดสอบก็อาจรายงานในรูปของค่าเฉลี่ยที่ได้จากขั้นตอนทดสอบจำนวน 2 ขั้น หรืออาจรายงานผลในรูปของค่ากลางที่วัดได้จากขั้นตอนทดสอบจำนวน 3 ขั้น

สำหรับการทดสอบในแบบที่ 1 เมื่อทำการวัดความหนาของขั้นตอนทดสอบแล้ว ขั้นตอนทดสอบก็จะถูกกดด้วยแรงคงที่ประมาณ 1.8 kN โดยใช้เครื่องกด จากนั้นก็นำชุดทดสอบไปปรับสภาวะภายใต้อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด (เช่น ไว้ในเตาอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง หรือ 100°C เป็นระยะเวลา 70 ชั่วโมง เป็นต้น) หลังจากนั้นก็นำขั้นตอนทดสอบออกจากเครื่องกดและนำไปวางทิ้งไว้ให้เย็นบนพื้นผิวที่เป็นฉนวน เช่น ไม้ นานประมาณ 30 นาที ก่อนที่จะทำการวัดค่าความหนาสุดท้ายและทำการคำนวณค่าการเสียรูปหลังการกด (C) เป็นร้อยละเมื่อเทียบกับความหนาตั้งต้นโดยใช้สมการ 2.2-1

$$C = \frac{t_0 - t_f}{t_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ t_0 คือความหนาตั้งต้น
 t_f คือความหนาสุดท้าย



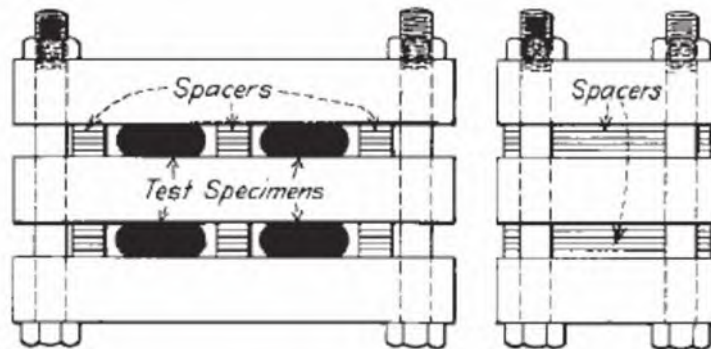
รูปที่ 0-1 ตัวอย่างเครื่องมือสำหรับการวัดค่าการเสียรูปหลังการกดภายใต้แรงกดคงที่ (ASTM D395)

สำหรับการทดสอบในแบบที่ 2 ชิ้นทดสอบที่ได้รับการวัดค่าความหนาเรียบร้อยแล้วจะถูกนำไปกดให้ยุบตัวด้วยเครื่องกด จากรูปจะเห็นว่าระยะที่ย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะถูกกำหนดโดยความหนาของแท่งโลหะ (Spacer Bars) ที่วางคั่นอยู่ระหว่างแผ่นกดแต่ละแผ่น สำหรับชิ้นทดสอบขนาดใหญ่ ผู้ทดสอบต้องใช้แท่งโลหะที่มีความหนาเท่ากับ 9.5 ± 0.02 มิลลิเมตร แต่สำหรับชิ้นทดสอบขนาดเล็ก ผู้ทดสอบต้องใช้แท่งโลหะที่มีความหนาเท่ากับ 4.5 ± 0.01 มิลลิเมตร การใช้แท่งโลหะวางคั่นกลางระหว่างแผ่นกดดังกล่าวจะทำให้ชิ้นทดสอบที่ได้รับแรงกดมีความหนาสุดท้ายเท่ากับความหนาของแท่งโลหะหรืออาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างประมาณ 25 % เมื่อเทียบกับความหนาตั้งต้นของชิ้นทดสอบ จากนั้นก็นำชุดทดสอบไปปรับสภาวะภายใต้อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดเช่นเดียวกับในกรณีของการทดสอบในแบบที่ 1 เมื่อทำการปรับสภาวะเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องกดและนำไปวางทิ้งไว้ให้เย็นบนพื้นผิวที่เป็นฉนวนนานประมาณ 30 นาที ก่อนที่จะทำการวัดค่าความหนาสุดท้ายและคำนวณการเสียรูปหลังการกด (C) เป็นร้อยละเมื่อเทียบกับระยะยุบตัวตั้งต้นโดยใช้สมการ

$$C = \frac{t_0 - t_f}{t_0 - t_n} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ t_n คือความหนาของแท่งโลหะที่ใช้ในการทดสอบ

t_0 คือความหนาตั้งต้น
 t_f คือความหนาสุดท้าย



ตัวอย่างเครื่องมือสำหรับการวัดค่าการเสียรูปหลังการกดภายใต้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างคงที่

อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบควรตระหนักไว้เสมอว่าค่าการเสียรูปทรงหลังการกดที่วัดได้อาจไม่สัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพในการใช้งานจริงของผลิตภัณฑ์ เพราะประสิทธิภาพในการใช้งานจริงของผลิตภัณฑ์ยางนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น ถ้ายางสัมผัสกับของเหลวก็อาจทำให้เกิดการบวมพองจนทำให้คุณสมบัติการเสียรูปหลังการกดมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง หรือในบางครั้งถ้ายางมีค่าการเสียรูปหลังการกดสูงและเกิดการหดตัวของยางควบคู่ไปด้วยก็จะทำให้ประสิทธิภาพในอุตรอยรั่วสูญเสียไป

การทดสอบความทนทานต่อความร้อน (Testing of Heat Resistance)

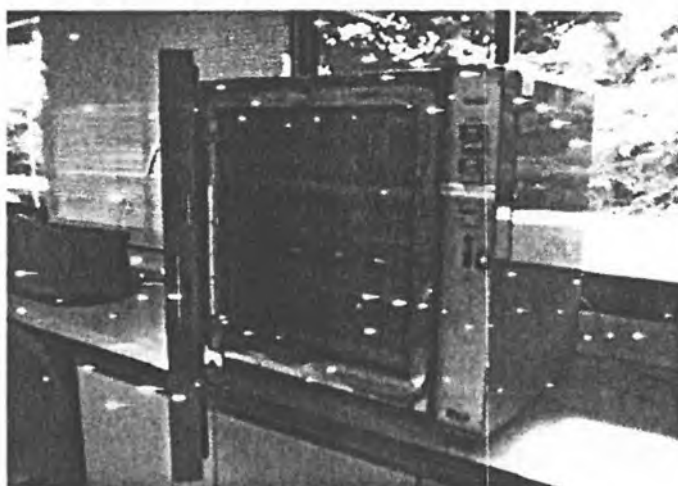
การทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพจากความร้อนของยางเพียงอย่างเดียวสามารถทำได้โดยดำเนินการทดสอบในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน เช่น ทดสอบภายใต้สุญญากาศ หรือภายใต้ก๊าซเฉื่อย อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานจริงนั้น ยางต้องสัมผัสกับทั้งออกซิเจนและความร้อน ซึ่งความร้อนจะเป็นตัวเร่งให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับยางได้เร็วยิ่งขึ้น ทำให้ยางเสื่อมสภาพได้เร็วกว่าการทดสอบภายใต้สภาวะที่มีความร้อนเพียงอย่างเดียว ด้วยเหตุนี้ การทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพจากความร้อนของยางจึงนิยมทำภายใต้บรรยากาศปกติหรือภายใต้ออกซิเจน ผลทดสอบที่ได้จึงเป็นผลอันเนื่องมาจากทั้งความร้อนและออกซิเจน

วิธีการทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อความร้อนของยางได้แสดงไว้ในมาตรฐาน ISO 188 BS903: Part A16, DIN 53508 และ ASTM D 572, D 573 และ D 865 แม้ว่าจะมีวิธีการทดสอบอยู่หลายวิธี แต่ในภาพรวมแล้ว การทดสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ การทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อความร้อนภายใต้บรรยากาศปกติ (ทดสอบโดยใช้เตาอบธรรมดา) และการทดสอบคุณสมบัติความทนทานต่อความร้อนภายใต้แรงดันของออกซิเจน (เรียกว่า Oxygen Bomb)

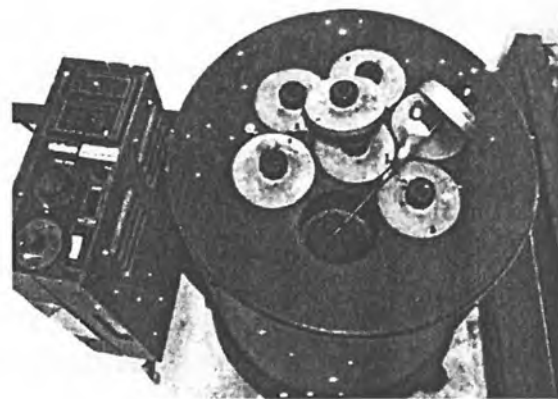
สำหรับวิธีการทดสอบแบบใช้เตาอบธรรมดา (ตามมาตรฐาน ASTM D573 และ ASTM D865) ชิ้นทดสอบจะถูกอบหรือถูกบ่มแรงที่อุณหภูมิสูงภายใต้บรรยากาศปกติและภายในระยะเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของยางก่อนทำการอบ การบ่มแรงเพื่อให้ยางเกิด

การเสื่อมสภาพด้วยความร้อนนี้สามารถทำได้โดยใช้เตาอบแบบที่มีช่องอบเดียว (Single Chamber) หรือใช้เตาอบแบบที่มีหลายช่อง (Multi-Cell Oven) ก็ได้ ทั้งนี้การเลือกใช้ชนิดของเตาอบจะขึ้นอยู่กับชนิดของยางที่ทดสอบ กล่าวคือ หากต้องการบ่มเร่งยางที่มีสูตรการผสมเคมีคล้าย ๆ กัน ก็สามารถใช้เตาอบแบบที่มีช่องอบเดียวได้โดยนำตัวอย่างยางทั้งหมดไปอบพร้อมกัน แต่หากต้องการบ่มเร่งยางที่มีสูตรการผสมเคมีแตกต่างกันมาก เช่น หากต้องการทดสอบคุณสมบัติของยางที่มีปริมาณกำมะถันสูงเปรียบเทียบกับสูตรที่มีปริมาณกำมะถันต่ำ หรือหากต้องการทดสอบคุณสมบัติของยางสูตรที่มีปริมาณสารป้องกันการเสื่อมสภาพสูงเปรียบเทียบกับสูตรที่มีปริมาณสารป้องกันการเสื่อมสภาพต่ำ การทดสอบในกรณีนี้ควรใช้เตาอบแบบที่มีหลายช่องอบ (ใส่ยาง 1 สูตรต่อ 1 ช่องอบ) ทั้งนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนอันเกิดจากการแพร่ผ่าน (Migration) ของสารเคมีต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในยาง เช่น กำมะถัน สารป้องกันการเสื่อมสภาพ ฯลฯ โดยทั่วไป เตาอบทั้ง 2 แบบ ควรมีอัตราการหมุนเวียนของอากาศคงที่ และที่สำคัญ คือ ขึ้นทดสอบต้องสัมผัสกับอากาศร้อนในทุกทิศทาง ภายหลังการบ่มเร่งเสร็จสิ้น ขึ้นทดสอบจะถูกนำออกมาจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของขึ้นทดสอบดังกล่าวหลังจากที่นำขึ้นทดสอบออกจากตู้อบอย่างน้อย 16 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 96 ชั่วโมง โดยทั่วไป ผู้ทดสอบมักทำการทดสอบขึ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น และรายงานค่ากลางที่ได้จากการทดสอบและนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากขึ้นทดสอบที่ไม่ได้รับการบ่มเร่ง

สำหรับการทดสอบความทนทานต่อความร้อนภายใต้แรงดันของออกซิเจน (ตามมาตรฐาน ASTM D572) หรือที่เรียกว่า Oxygen Bomb นั้น ขึ้นทดสอบจะถูกอบภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิและความดันสูงตามระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นก็นำขึ้นทดสอบไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ก่อนการบ่มเร่ง โดยทั่วไปนิยมทำการทดสอบที่อุณหภูมิ $70 \pm 1^\circ\text{C}$ และที่ความดันของออกซิเจนเท่ากับ $2,100 \pm 100 \text{ kPa}$



เตาอบแบบที่มีช่องอบเดียว



เตาอบแบบที่มีหลายช่อง

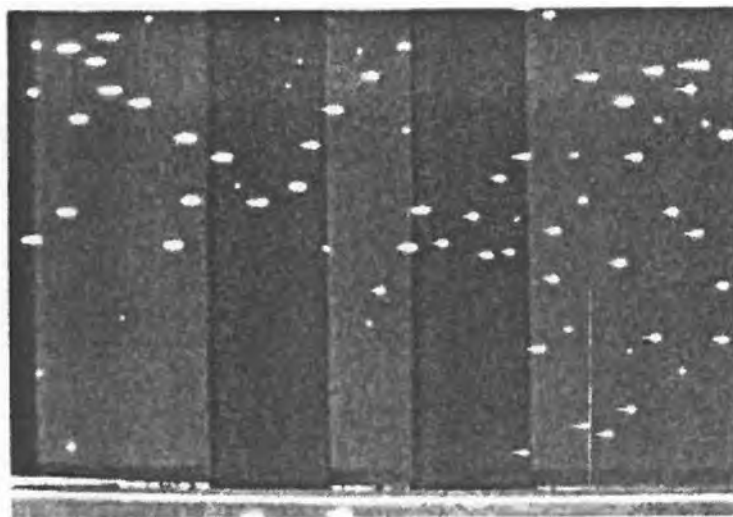
นอกจากการทดสอบทั้งสองแบบที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีการทดสอบอีกแบบหนึ่งซึ่งอยู่ระหว่างการทดสอบทั้งสอง เรียกว่า Air Bomb (ตามมาตรฐาน ASTM D454) ในกรณีนี้ ชิ้นทดสอบจะถูกอบที่อุณหภูมิ 125°C ภายใต้ความดันอากาศเท่ากับ $550 \pm 14 \text{ kPa}$ เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมก่อนที่จะนำชิ้นทดสอบที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่อไป

อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบต้องตระหนักไว้ว่าผลการทดสอบที่ได้อาจไม่สัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพการใช้งานจริงของผลิตภัณฑ์ เพราะชิ้นทดสอบที่นำมาใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้นมีขนาดที่ค่อนข้างบาง (มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง) ทำให้ออกซิเจนสามารถแพร่เข้าไปในยางได้ง่าย การเสื่อมสภาพจึงเกิดได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จริงอาจมีขนาดใหญ่ การเสื่อมสภาพของยางที่บริเวณพื้นผิวด้านนอกจึงเกิดอย่างรุนแรงกว่ายางที่อยู่บริเวณด้านใน นอกจากนี้ ผลการทดสอบที่ได้จากการเร่งการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนและออกซิเจนนี้ไม่ควรนำไปใช้ในการทำนายการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นจริงในระหว่างการใช้งาน เนื่องจากในระหว่างการใช้งานจริงนั้น ยางไม่เพียงแต่ได้รับความร้อนและออกซิเจนเท่านั้น แต่ยางยังได้รับความชื้น แสงแดด และโอโซนอีกด้วย

การทดสอบความต้านทานต่อโอโซน (Testing of Resistance to Ozone)

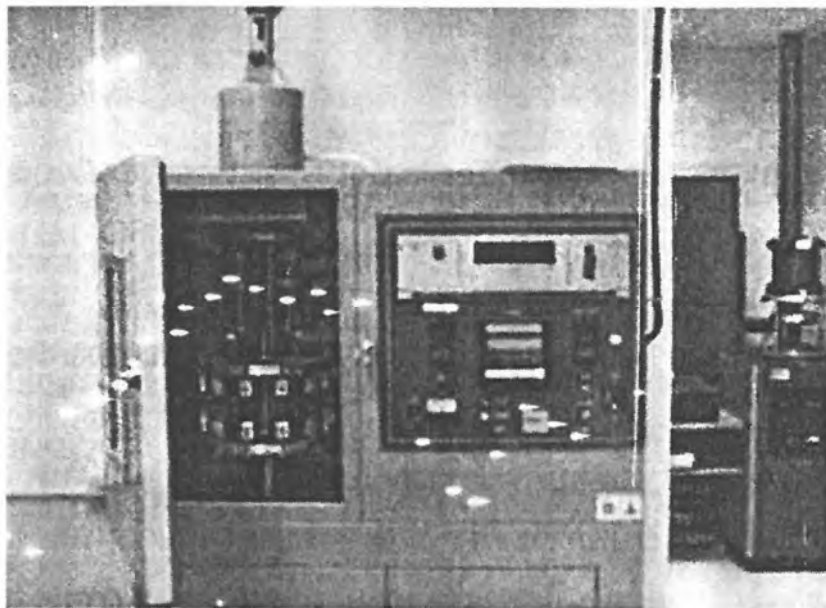
วิธีการทดสอบความต้านทานต่อโอโซนได้ระบุไว้ในมาตรฐาน ISO 1431/1 และ 1431/2 สำหรับการทดสอบที่ชิ้นทดสอบได้รับความเครียดแบบสถิต (Static Strain Test) และแบบพลวัต (Dynamic Strain Test) ตามลำดับ มาตรฐานการทดสอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ BS 903: Part A 23 DIN 53509 และ ASTM D1149

หลักการเบื้องต้นของการทดสอบ คือการนำชิ้นทดสอบที่ได้รับความเครียด (มีการยืดตัว) ไปสัมผัสกับอากาศที่มีปริมาณโอโซนสูงและปรับสภาวะต่าง ๆ ตามมาตรฐานกำหนด จากนั้นก็สังเกตรอยแตกที่เกิดขึ้น (เป็นรอยแตกขนาดเล็กที่เกิดขึ้นในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของความเครียด ความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ในการทดสอบมักสูงกว่าระดับความเข้มข้นปกติที่พบในธรรมชาติ ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ ได้แก่ ความเข้มข้นของโอโซน ระดับของความเครียด อุณหภูมิ และระดับของการบวมของสารเคมีในยาง



ตัวอย่างลักษณะของรอยแตกที่เกิดจากโอโซน

มาตรฐาน ASTM D1149 ได้ระบุว่าตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบควรจะได้รับ การคงรูปโดยมีแผ่นอลูมิเนียม ฟอยล์หรือแผ่นฟิล์มพอลิเอสเตอร์ (ไมลาร์) ประกบอยู่ทั้ง 2 ด้าน ซึ่งแผ่นฟอยล์หรือฟิล์มดังกล่าวจะเกาะติดอยู่บน พื้นผิวของยางแผ่นเพื่อป้องกันไม่ให้ยางแผ่นสัมผัสกับโอโซนในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเริ่มการทดลอง ผู้ทดสอบก็จะ นำแผ่นยางที่เตรียมไว้มาตัดเป็นชิ้นทดสอบมาตรฐาน ซึ่งมีรูปร่างเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 25×150 มิลลิเมตรและหนา ประมาณ 1.9-2.5 มิลลิเมตร (2 ชิ้น/ตัวอย่าง) จากนั้นก็จะนำชิ้นทดสอบไปปรับสภาวะที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำชิ้นทดสอบออกมาแล้วทำการแกะฟอยล์หรือแผ่นฟิล์มออกและทำการจับยึดชิ้นทดสอบกับอุปกรณ์ ทดสอบพร้อมทั้งดึงชิ้นทดสอบให้เกิดการยืดตัว 20% เมื่อดึงยางเรียบร้อยแล้วก็นำชุดทดสอบไปปรับสภาวะที่อุณหภูมิ 40°C ภายใต้บรรยากาศที่ไม่มีโอโซนเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะย้ายชุดทดสอบไปไว้ในห้องทดสอบโอโซน ซึ่ง ตามมาตรฐานแล้วมักจะทำการตั้งค่าอุณหภูมิของห้องทดสอบโอโซนไว้ที่ 40°C และตั้งค่าความเข้มข้นของโอโซนไว้ที่ 25, 50, 100 หรือ 200 ส่วนในร้อยล้านส่วน (parts per hundred million, pphm) สำหรับการรายงานผลการ ทดสอบนั้น ผู้ทดสอบอาจรายงานผลในรูปของระยะเวลาที่ทำให้เกิดรอยแตกบนพื้นผิวของยาง หรืออาจรายงาน ลักษณะของพื้นผิวของชิ้นทดสอบหลังจากที่ชิ้นทดสอบได้รับโอโซนตามระยะเวลาที่กำหนดไว้

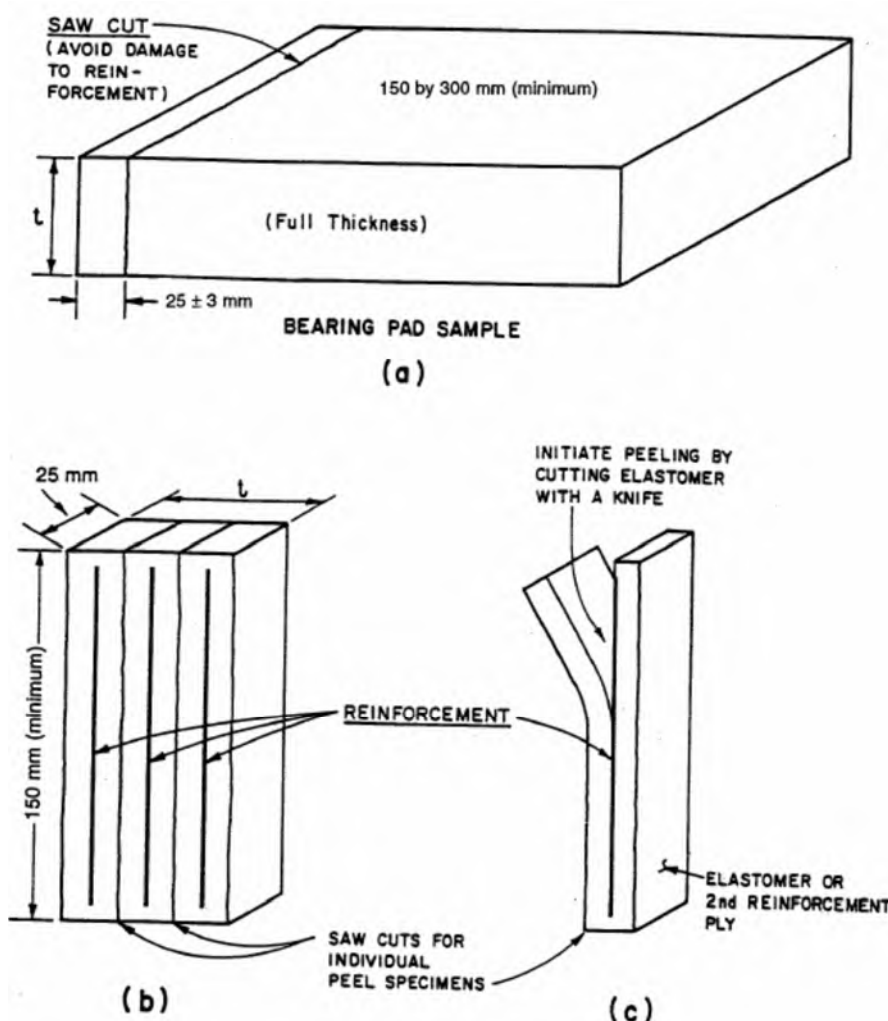


เครื่องทดสอบคุณสมบัติความต้านทานต่อโอโซน

โดยทั่วไป ผลการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานของโอโซนที่ได้จากห้องปฏิบัติการไม่สามารถนำไปใช้ในการทำนายประสิทธิภาพการใช้งานจริงของผลิตภัณฑ์ยางได้ เนื่องจากในการใช้งานจริงนั้น ความเข้มข้นของโอโซนและอุณหภูมิจะเปลี่ยนไปตามฤดูและสถานที่ นอกจากนี้ในการใช้งานกลางแจ้งนั้น ยังมีอิทธิพลอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความเข้มของแสงแดด และความชื้นในอากาศอีกด้วย (แสงแดดทำให้ยางเกิดรอยแตกที่เรียกว่า Crazing ได้เช่นกัน) ด้วยเหตุนี้ การทดสอบวัดความต้านทานต่อโอโซนของยางจึงเหมาะสำหรับการพัฒนาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของยางคอมพาวด์แต่ละชนิดเท่านั้น

การทดสอบความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวในช่วงยางแข็งตัว (Bond of Elastomer During Vulcanization)

ความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวในช่วงยางแข็งตัวสามารถทดสอบได้ตามมาตรฐาน ASTM D429 (Method B) โดยการทดสอบต้องใช้เครื่องมือที่สามารถให้ค่าแรงดึงได้อย่างน้อย 0.5 ตัน และค่าอัตราการเสียรูปของตัวอย่างทดสอบอยู่ที่ 50 ± 5 มิลลิเมตรต่อนาที และตัวอย่างต้องมีขนาดความกว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร เป็นอย่างน้อย ทั้งนี้ต้องดำเนินการตัดชิ้นส่วนตัวอย่างทดสอบที่มีความหนา 25 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างยางและแผ่นเหล็กโดยทำการทดสอบจนกระทั่งยางและแผ่นเหล็กแยกตัวออกจากกัน 50 มิลลิเมตร ซึ่งค่าแรงยึดเหนี่ยวนี้หาคได้จากค่าแรงดึงเฉลี่ยที่ได้ทำการบันทึกค่าไว้ตลอดช่วงการทดสอบหารด้วยระยะทางที่เหล็กและยางแยกออกจากกัน ทั้งนี้ค่าที่ได้ต้องไม่ต่ำกว่า 7 นิวตัน/มิลลิเมตร



การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบความต้านทานแรงยึดเหนี่ยว

ความทนแรงกดของผลิตภัณฑ์ยาง (Compression Resistance)

นอกจากการทดสอบคุณสมบัติวัสดุแล้ว มอก.951-2533 (แผ่นยางรองสะพาน) ข้อ 9.10 ได้กำหนดให้ผลิตภัณฑ์แผ่นยางรองสะพานจะต้องทดสอบความสามารถการต้านทานแรงกดตามระดับน้ำหนักที่ออกแบบ โดยเครื่องมือที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย เครื่องให้น้ำหนักที่สามารถให้แรงกดได้มากกว่าน้ำหนักสูงสุดออกแบบ (Maximum Design Load) ประมาณ 1.5-2 เท่า และ Dial Gauge ที่สามารถอ่านค่าการยุบตัวได้ละเอียดถึง 0.01 โดยการทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. ให้น้ำหนักกดลงบนแผ่นยางรองสะพาน โดยเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 0.2 เท่าของน้ำหนักกดที่ออกแบบ ภายในเวลา 84 ถึง 156 วินาที เมื่อเพิ่มน้ำหนักกดแต่ละครั้ง ให้ทิ้งน้ำหนักค้างไว้เป็นเวลา 30 วินาที แล้วบันทึกค่าของน้ำหนักกดและระยะยุบตัว ทำการเพิ่มน้ำหนักกดจนเท่าน้ำหนักที่ออกแบบ แล้วนำค่าที่บันทึกไว้มาคำนวณค่าโมดูลัสแรงอัด (Compression Stiffness)

2. เพิ่มน้ำหนักกดลงบนแผ่นยางให้มีค่า 1.5 เท่าของน้ำหนักกดที่ออกแบบ จากนั้นทิ้งน้ำหนักค้างไว้จนกระทั่งน้ำหนักกดหรือการยุบตัวมีค่าคงที่ แล้วตรวจสอบตัวอย่างที่ทดสอบ โดยถ้าตรวจสอบแล้วพบว่าไม่เกิดการล่อนหลุดระหว่างยางกับวัสดุเสริมแรง และไม่มีรอยแตกขนาดใหญ่และลึกเกิน 2 มิลลิเมตร มากกว่า 2 รอยขึ้นไปถือว่าการทดสอบ
3. ปล่อน้ำหนักออกและวัดความหนาของชั้นยาง



เครื่องทดสอบการกด (Compression Test Machine) (จิตพันธ์, 2547)

จากกระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น การที่จะนำแผ่นยางรองสะพานที่ได้จากยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) หรือ ยางสังเคราะห์ประเภท Chloroprene Rubber (CR) ไปใช้งานจริง จำเป็นต้องพิจารณาถึงค่าที่ได้จากการทดสอบดังกล่าวว่าผ่านเกณฑ์การพิจารณาตามมาตรฐานที่นำมาใช้งานหรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมาตรฐานที่ใช้ในการพิจารณาการใช้งานแผ่นยางรองคอสสะพานในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกัน 3 มาตรฐาน คือ มาตรฐาน BS 5400 มาตรฐาน AASHTO และมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย (มอก.951-2533) ดังแสดงในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 3

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่น Elastomeric Bearings ตามมาตรฐาน BS 5400 (1983)

BS 5400 : Section 9.1		
Physical	Natural Rubber (NR)	Chloroprene Rubber (CR)

Tensile Strength Minimum (see 3.7.3.2)	15.5 N/mm ²	15.5 N/mm ²
Elongation at Break, Minimum (see 3.7.3.2)		
45 IRHD TO 55 IRHD	450%	400%
56 IRHD TO 65 IRHD	400%	350%
66 IRHD TO 75 IRHD	300%	300%
Aging Resistance (see 3.7.3.3)		
Maximum change from initial value:		
Hardness	10 IRHD	15 IRHD
Tensile Strength	15%	15%
Elongation at Break	20%	40%
Compression Set Maximum (see 3.7.3.4)	30%	35%
Ozone Resistance (see 3.7.3.8)		
25 ppm, 20% Elongation, 30±1°C, 96 hours	No Cracks	No Cracks
Bonding of Elastomer		
Minimum	7 N/mm ²	7 N/mm ²

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่น Elastomeric Bearings ตามมาตรฐาน AASHTO

AASHTO Standard Specification for Highway Bridge					
ASTM Standard	Physical Properties	Natural Rubber (NR)		Chloroprene Rubber (CR)	
D2240	Hardness (Shore A Durometer)	50+/-5	60+/-5	50+/-5	60+/-5
D412	Tensile Strength, Min psi. Ultimate Elongation Min%	2250 450	2250 400	2250 400	2250 350
D573	Heat Resistance NR 70 hours at 158 °F CR 70 hours at 212 °F Change in Durometer Hardness, Max Point Change in Tensile Strength, Max% Change in Ultimate Elongation, Max%	10 -25 -25	10 -25 -25	15 -15 -40	15 -15 -40
D395 Method B	Compression Set NR 22 hours at 158 °F CR 70 hours at 212 °F	25	25	35	35
D1149 Mounting Procedure D518 Procedure A	Ozone Resistance NR 25 ppm, 20% strain, 100+/-2 ° F 48 hours CR 100 ppm, 20% strain, 100+/-2 ° F 100 hours	No Cracks	No Cracks	No Cracks	No Cracks
D429	Adhesion Bond Made During Vulcanization lbs/inch.	40	40	40	40

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่น Elastomeric Bearings ตามมาตรฐาน มอก.951-2533

ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบ
		แผ่นยางชนิดยางธรรมชาติ		แผ่นยางชนิดยางสังเคราะห์		ตามที่ระบุใน มอก.951-2533
		ชนิด 50	ชนิด 60	ชนิด 50	ชนิด 60	
1	ความแข็ง IRHD	50+/-5	60+5	50+/-5	60+/-5	ข้อ 9.5
2	ความต้านทานแรงดึง เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	17	17	17	17	ข้อ 9.6
3	ความยืดเมื่อขาด ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	450	400	400	350	ข้อ 9.6
4	ความทนอุณหภูมิสูง					
	- ความแข็ง เพิ่มขึ้น IRHD ไม่เกิน	10	10	15	15	
	- ความต้านทานแรงดึง ลดลง ร้อยละ ไม่เกิน	25	25	15	15	
	- ความยืดเมื่อขาด ลดลง ร้อยละ ไม่เกิน	25	25	40	40	
5	การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด ร้อยละไม่เกิน	25	25	35	35	ข้อ 9.8
6	ความทนทานโอโซน	ไม่มีรอยแตก	ไม่มีรอยแตก	ไม่มีรอยแตก	ไม่มีรอยแตก	ข้อ 9.9
7	ความต้านทานแรงยึดเหนี่ยวระหว่างยางกับวัสดุเสริมแรงไม่น้อยกว่า (ต่อความกว้าง 1 มม.)	7 นิวตัน	7 นิวตัน	7 นิวตัน	7 นิวตัน	ข้อ 6.5

การทดสอบการคลายตัวของแรงดึง (Relaxation Test)

การคลายตัว (Relaxation) เป็นพฤติกรรมของยางในระยะยาว โดยเมื่อยืดยางออกและค้างระดับการยืดให้คงที่ แรงดึงในยางจะค่อยๆ ลดลงตามเวลา กลไกการคลายตัว (Relaxation Mechanism) โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ การคลายตัวทางกายภาพ (Physical Relaxation) และ การคลายตัวทางเคมี (Chemical Relaxation)

การคลายตัวทางกายภาพ (Physical Relaxation) เกี่ยวข้องกับการแยกตัวและจัดเรียงตัวกันใหม่ของโครงข่ายโมเลกุลภายใต้ความเครียด กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะช้าลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยทั่วไปการคลายตัวทางกายภาพจะลดลงแบบเส้นตรงเมื่อพล็อตในลอกลิสเกล (Log-linear)

$$\frac{\sigma_0 - \sigma_t}{\sigma_0} = A * \log\left(\frac{t}{t_0}\right) \quad (3)$$

โดยที่ σ_0 คือ ความเค้นเริ่มต้น

σ_t คือ ความเค้นที่เวลา t

A คือ ร้อยละการคลายตัวทางกายภาพต่อสิบเท่าของเวลา (stress relaxation rate in percent per decade of time, ppd)

t คือ เวลา t

t_0 คือ เวลาเริ่มต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการคลายตัวทางกายภาพได้แก่ Glass Transition Temperature (T_g), Cross Link วัสดุแทรก (Filler) การแทรกซึมของของเหลว โดยการคลายตัวทางกายภาพจะเกิดขึ้นมากเมื่ออุณหภูมิใช้งานมีค่าเข้าใกล้ (Glass Transition Temperature, T_g) และการคลายตัวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากโมเลกุลสามารถขยับตัวได้มากขึ้น กรณีที่ Cross Link ของวัสดุมีความหนาแน่นมาก ร้อยละการคลายตัวจะลดลง ยางที่มีวัสดุแทรก (Filler) มากจะมีอัตราการคลายตัวสูง นอกจากนี้การคลายตัวทางกายภาพยังได้รับผลกระทบจากความชื้น เช่น วัสดุยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการ Vulcanization ที่ระดับความชื้น 88 % จะมีน้ำภายในเนื้อยางน้อยกว่า 1 % แต่การคลายตัวจะสูงกว่าวัสดุประเภทเดียวกันที่สภาพแห้งถึง 60% โดยทั่วไปแล้วอัตราการคลายตัวทางกายภาพจะไม่ขึ้นกับระดับของความเครียด หรือรูปแบบของแรงกระทำ (แรงอัด แรงดึง หรือ แรงเฉือน) หรือระดับของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบสลับไปมาขณะที่วัสดุยางอยู่ภายใต้แรงกระทำจะมีผลต่อการคลายตัวเป็นอย่างมาก

การคลายตัวทางเคมี (Chemical Relaxation) จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน โดยอัตราการเกิดในช่วงแรกจะมีความสัมพันธ์กับเวลาแบบเส้นตรง การคลายตัวทางเคมีเกี่ยวข้องกับการตัดขาดของพันธะเคมี (Scission of Chemical Bond) ทั้งในส่วนของโพลิเมอร์และ Cross Link การตัดขาดส่วนใหญ่เกิดจาก Oxidation โดยที่ความหนาของวัสดุมีผลอย่างมากต่อการเสื่อมสภาพทางเคมี วัสดุที่มีความหนามากกว่า 0.25 มม. ออกซิเจนไม่สามารถแทรกซึมได้เร็วพอที่จะทำให้อัตราการคลายตัวทางเคมีเกิดขึ้นได้เร็วสุดเท่าที่เป็นไปได้ การคลายตัวทางเคมีจะ

ได้รับผลกระทบมากที่สุดที่อุณหภูมิสูง เช่น ที่อุณหภูมิ 110 °C แผ่นยางที่หนา 7 มม. จะเกิดอัตราการคลายตัวทางเคมีน้อยลง 50 % เมื่อเทียบกับแผ่นยางที่หนา 0.25 มม.

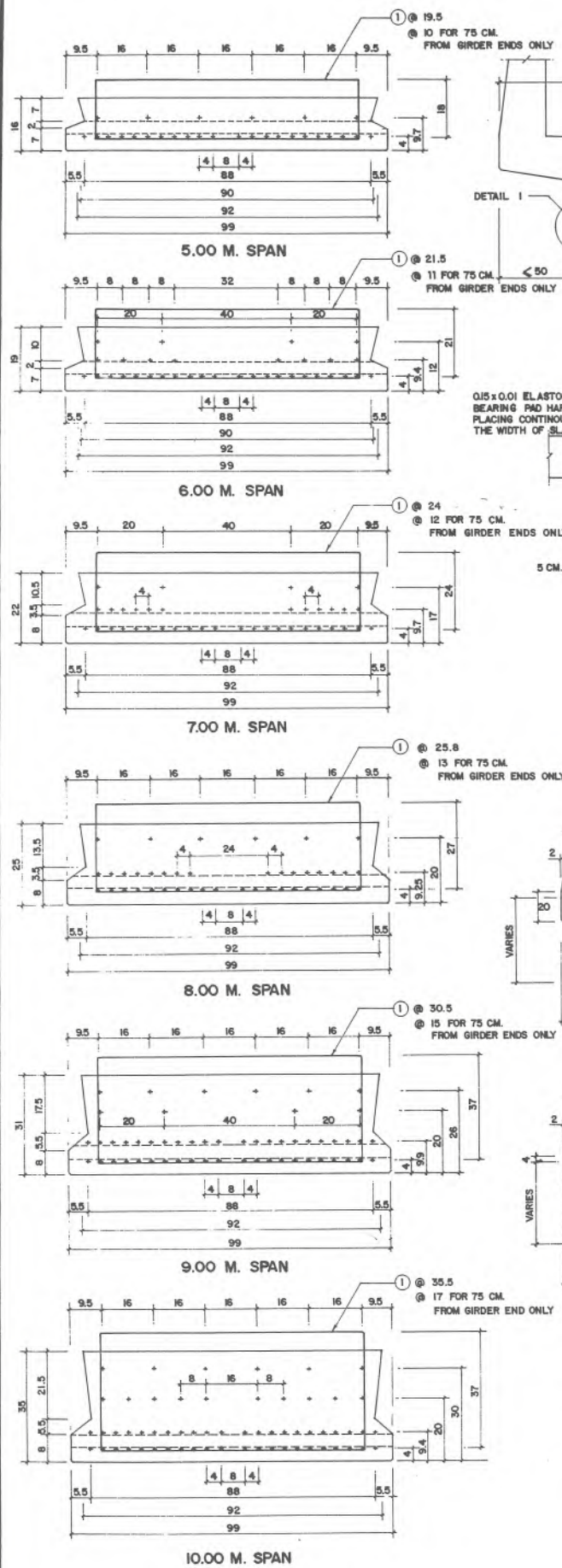
ดังนั้นการคลายตัวในระยะสั้นและระยะยาวจึงขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุยาง ดังนี้

$$\frac{\sigma_0 - \sigma_t}{\sigma_0} = A * \log\left(\frac{t}{t_0}\right) + B * (t - t_0) \quad (0-1)$$

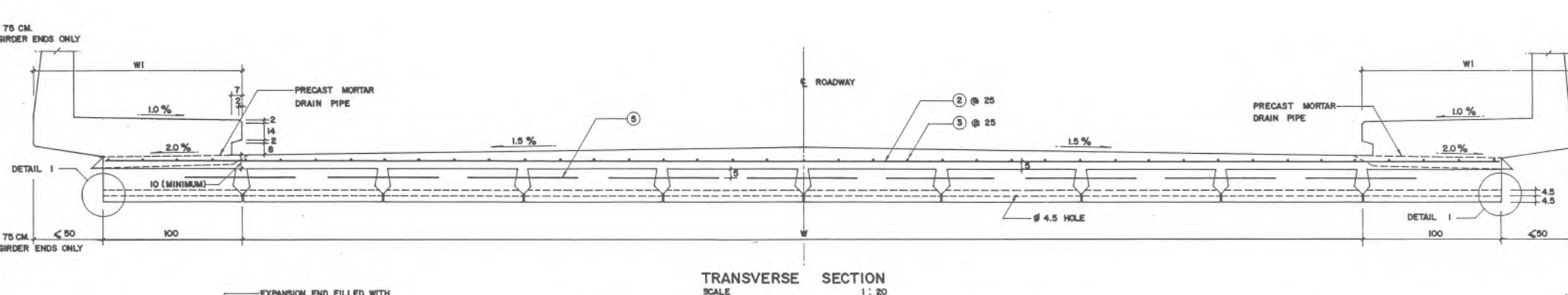
โดยที่ B คือ ร้อยละการคลายตัวทางเคมี

เอกสารอ้างอิง

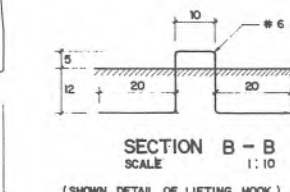
- AASHTO M 251-06, “Standard Specification for Plain and Laminated Elastomeric Bridge Bearing”, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- BS 5400-9.2:1983 “Steel, Concrete and Composite Bridges - Part 9: Bridge Bearings - Section 9.2 Specification for Materials, Manufacture and Installation of Bridge Bearings”, British Standard Institution, London
- มอก. 951-2533 “แผ่นยางรองสะพาน (Standard for Rubber Bridge Bearings)” สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ



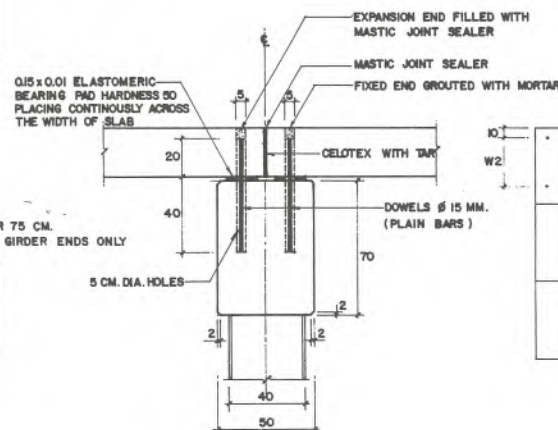
GIRDER CROSS SECTIONS
SCALE 1:10



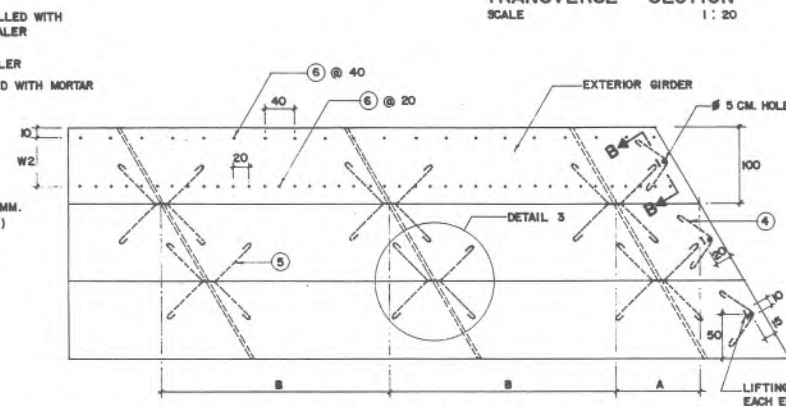
TRANSVERSE SECTION
SCALE 1:20



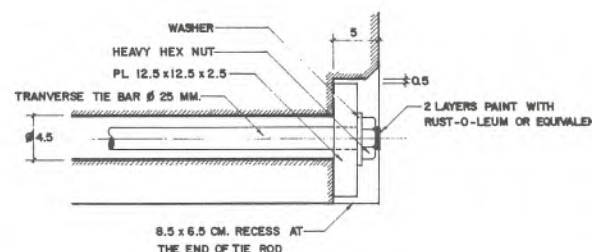
SECTION B-B
SCALE 1:10
(SHOWN DETAIL OF LIFTING HOOK)



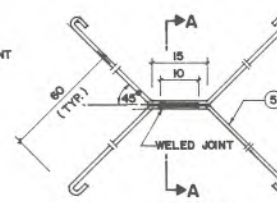
CAP BEAM DETAIL
SCALE 1:20



GIRDER ARRANGEMENT DETAIL
SCALE 1:50

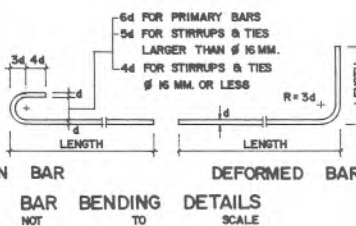


DETAIL 1
SCALE 1:4

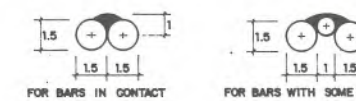


DETAIL 3
SCALE 1:10

DRAIN PIPE LOCATIONS
SCALE 1:50



PLAIN BAR
BAR BENDING DETAILS
SCALE 1:20



SECTION A-A
SCALE 1:2

NOTES:

- ALL PRESTRESSING TENDONS ARE $\phi 7$ MM. STRESS-RELIEVED WIRES HAVING A MINIMUM ULTIMATE STRENGTH OF 16,000 KG/CM² AND CONFORM TO TIS 95.
- INITIAL STRESSES IN PRESTRESSING TENDONS SHALL BE 11,200 KG/CM².
- OTHER TYPES OF PRESTRESSING TENDONS MAY BE USED UNDER THE APPROVAL OF THE ENGINEER.
- TRANSVERSE TIE BARS SHALL BE MADE FROM TIS 24 GRADE SD 30 DEFORMED BARS WITH 2 LAYERS OF RUST PROOF PAINT SUCH AS RUST-O-LIUM OR EQUIVALENT QUALITY PAINT. THREADED ENDS SHALL BE STANDARD THREAD WITH NUTS AND BEARING WASHERS. NUTS SHALL BE TURNED WITH A TORQUE OF 2,000 KG.-CM.
- MIX DESIGN OF CONCRETE WITH A MINIMUM CEMENT CONTENT OF 350 KG/M³ FOR PRESTRESSED GIRDERS SHALL BE SUBMITTED FOR THE APPROVAL OF THE ENGINEER. CONCRETE SHALL HAVE A MINIMUM ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH OF 420 KG/CM² FOR A 0.15x0.15x0.15 M.CUBE AT 28 DAYS. PRESTRESSING TENDONS MAY BE RELEASED WHEN CONCRETE STRENGTH REACHES 80 % OF THE SPECIFIED STRENGTH.
- REBARS SMALLER THAN $\phi 3$ SHALL BE TIS 20 GRADE SR24 PLAIN BARS OTHERS SHALL BE TIS 24 GRADE SD 30 DEFORMED BARS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
- ALL MATERIALS SHALL BE USED UNDER THE APPROVAL OF THE ENGINEER.
- GIRDER SHALL BE LIFTED AT BOTH ENDS ONLY; MIDSPAN LIFTING IS PROHIBITED.
- THIS TYPE OF GIRDERS MAY BE USED WITH PIERS FOR SLAB BRIDGE HAVING THE SAME SPAN LENGTH.
- DOWELS FOR HOLDING GIRDERS TO PIERS SHALL BE PROVIDED AT EVERY ALTERNATE GIRDER.
- CASTING LENGTH OF A GIRDER SHALL BE 1 CM. SHORTER THAN THE SPECIFIED SPAN LENGTH.
- FOR SIDEWALK AND RAILING DETAILS SEE DWG. NO. MS-01.
- ALL DIMENSIONS SHOWN ARE IN CENTIMETERS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
- IF PIER FALL WITHIN THE TRANSITION OF HORIZONTAL CURVE, THE TOP OF CAP BEAM SHALL BE SUPERELEVATED IN ACCORDANCE WITH THE ROADWAY SUPERELEVATION, SO THAT THE GIRDERS SHALL BE ON A SMOOTHED PLANE. ELEVATION OF FINISHED SURFACE SHALL BE ATTAINED BY ADJUSTING THE CONCRETE TOPPING. THIS SHALL BE DONE WITH THE APPROVAL OF THE ENGINEER.
- THIS DRAWING IS ADAPTED FROM DOH DWG. NO. 3APD5-106-14/1a.

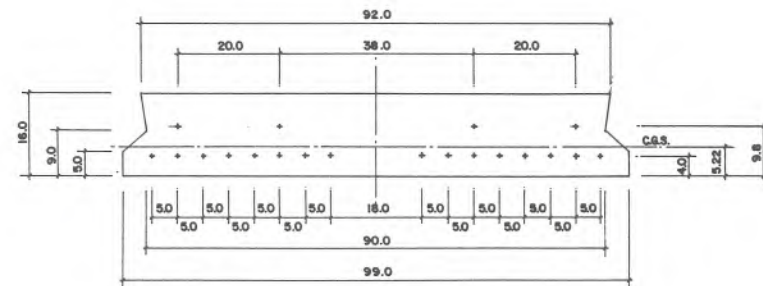
TABLE OF BRIDGE REINFORCEMENT (PER 1.0 M. WIDTH, 0° SKEW)												
BAR BENDING DIAGRAMS			SPAN 5.00 M.		SPAN 6.00 M.		SPAN 7.00 M.		SPAN 8.00 M.		SPAN 9.00 M.	
BAR MARK	#	NO.	LENGTH CM.	TOTAL LENGTH CM.	BAR MARK	#	NO.	LENGTH CM.	TOTAL LENGTH CM.	BAR MARK	#	NO.
1	RB 2	34	211	7174	RB 2	36	217	7812	RB 2	35	223	7802
2	RB 3	20	100	2000	RB 3	24	100	2400	RB 3	32	100	3200
3	RB 3	4	900	2000	RB 3	4	600	2400	RB 3	4	800	3200
4	DB 4	4	100	400	DB 4	4	100	400	DB 4	4	100	400
5	DB 5	4	172.5	690	DB 5	6	172.5	1035	DB 5	6	172.5	1035
RB = ROUND BARS			$\phi 2 = \phi 1/4"$ OR 6 MM.			$\phi 3 = \phi 3/8"$ OR 9 MM.			NO. = TOTAL AMOUNT OF BARS			
DB = DEFORMED BARS			$\phi 4 = \phi 1/2"$ OR 12 MM.			$\phi 5 = \phi 5/8"$ OR 16 MM.			L = TOTAL LENGTH OF EACH BAR			

* LENGTH OF BAR MARK (2) FOLLOWS THE WIDTH OF BRIDGE DECK.

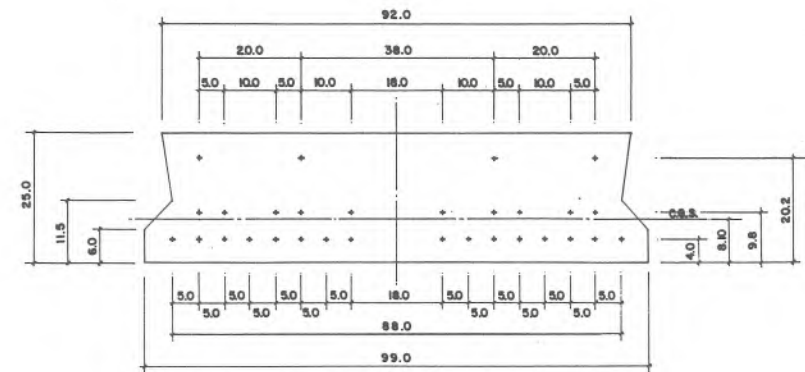
TABLE OF SIDEWALK REINFORCEMENT (0° SKEW)												
BAR BENDING DIAGRAMS			SPAN 5.00 M.		SPAN 6.00 M.		SPAN 7.00 M.		SPAN 8.00 M.		SPAN 9.00 M.	
BAR MARK	#	NO.	LENGTH CM.	TOTAL LENGTH CM.	BAR MARK	#	NO.	LENGTH CM.	TOTAL LENGTH CM.	BAR MARK	#	NO.
6	DB 4	37	62.5	2312.5	6	35	62.5	2187.5	6	35	62.5	2187.5
7	RB 3	25	90.6	2265	7	30	90.6	2718	7	30	90.6	2718
8	RB 3	3	500	1500	8	3	600	1800	8	3	800	2400
9	DB 4	37	62.5	2312.5	9	35	62.5	2187.5	9	35	62.5	2187.5
10	RB 3	25	150.6	3765	10	30	150.6	4518	10	30	150.6	4518
11	RB 3	5	500	2500	11	5	600	3000	11	5	800	4000
12	DB 4	37	62.5	2312.5	12	35	62.5	2187.5	12	35	62.5	2187.5
13	RB 3	25	200.6	5015	13	30	200.6	6018	13	30	200.6	6018
14	RB 3	8	500	4000	14	8	600	4800	14	8	800	6400
RB = ROUND BARS			$\phi 3 = \phi 3/8"$ OR 9 MM.			NO. = TOTAL AMOUNT OF BARS			L = TOTAL LENGTH OF EACH BAR			
DB = DEFORMED BAR			$\phi 4 = \phi 1/2"$ OR 12 MM.									

TABLE OF SHEAR CONNECTOR			
SPAN M.	A M.	B M.	TOTAL AMOUNT FOR ONE GIRDER
5	1	3	4
6	1	2	3
7	1	2.5	3.5
8	1	3	4
9	1.5	3	4.5
10	0.5	3	3.5

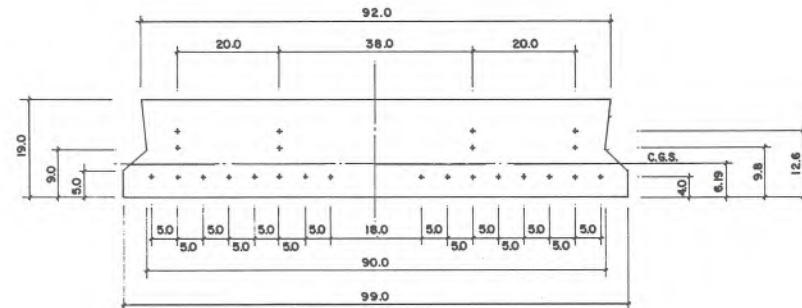
KINGDOM OF THAILAND MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS DEPARTMENT OF HIGHWAYS		
STANDARD DRAWING 0°-30° SKEW PC. PLANK GIRDER BRIDGE GIRDER ARRANGEMENT AND DETAILS		
DESIGNED: DOH & CONSULTANTS	CHECKED: <i>[Signature]</i>	DATE: JULY 1994
SUBMITTED: <i>P. Burirung</i>	SCALE: AS SHOWN	
APPROVED: <i>[Signature]</i> (DIRECTOR OF LOCATION & DESIGN DIVISION)		DWG. NO. PT-01
		SHEET NO. 171



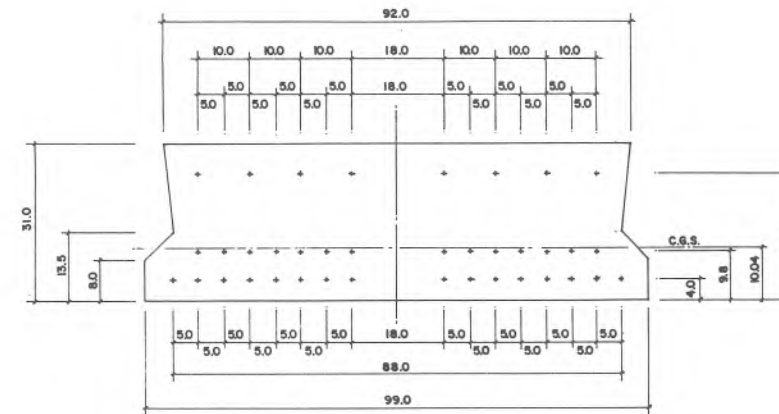
5.00 M. SPAN



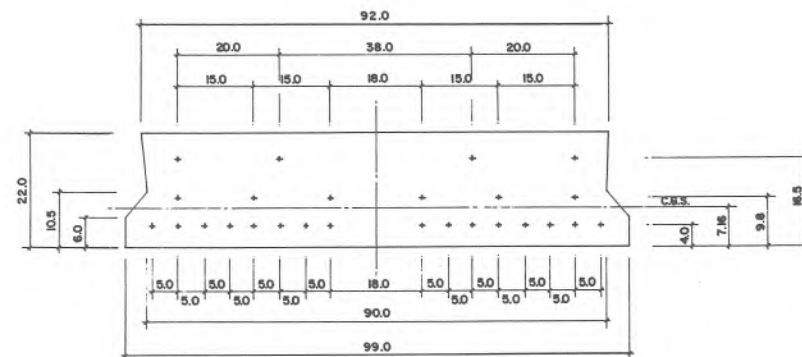
8.00 M. SPAN



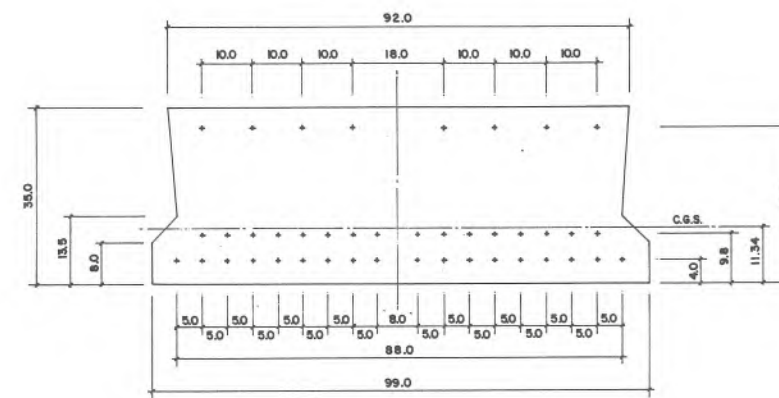
6.00 M. SPAN



9.00 M. SPAN



7.00 M. SPAN



10.00 M. SPAN

TENDON ARRANGEMENTS
SCALE 1: 7.5

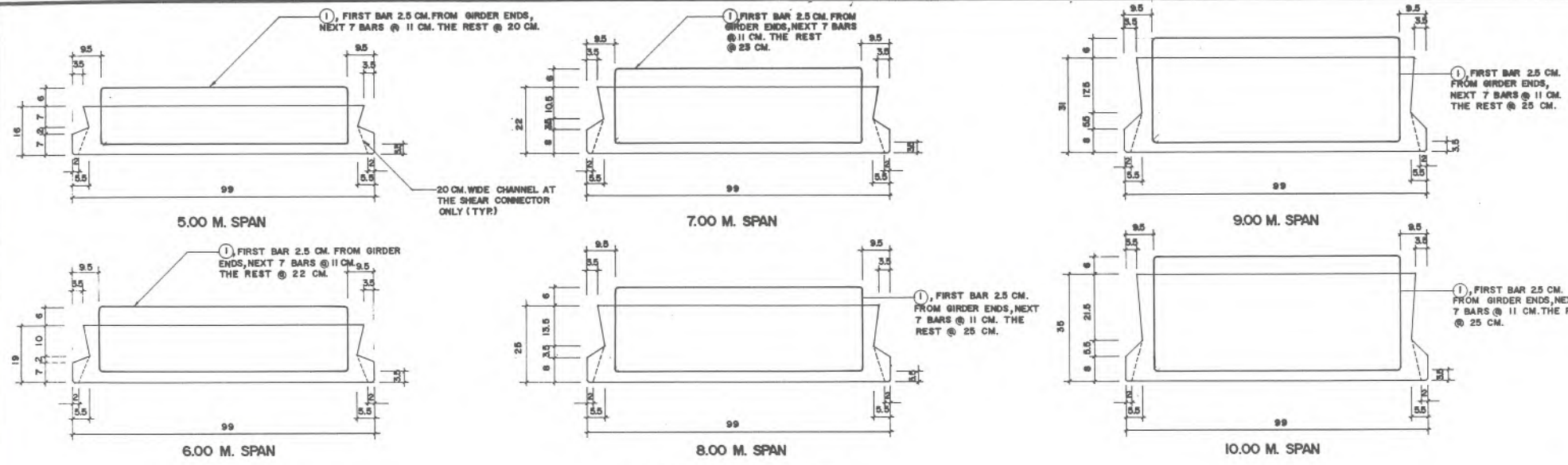
NOTES:

1. THIS DRAWING SHALL BE USED IN CONJUNCTION WITH DWG. NO. PT-01. IT SHOWS ALTERNATIVE ARRANGEMENTS OF THE PRESTRESSING TENDONS WHEN THE $\phi 3/8"$ STRANDS ARE USED INSTEAD OF THE $\phi 7$ M.M. WIRES AS SHOWN ON DWG. NO. PT-01.
2. ALL PRESTRESSING TENDONS SHALL BE $\phi 3/8"$ (9.53 MM.) STRESS-RELIEVED 7-WIRE STRANDS CONFORMING TO TIS.420 GRADE 1,725 OR APPROVED EQUAL WITH THE MINIMUM ULTIMATE TENSILE LOAD OF 9,078 KG.
3. THE INITIAL PRESTRESSING FORCE PER TENDON AFTER ANCHORING SHALL BE 6,330 KG. WITH THE CORRESPONDING ELONGATION OF 0.615 CM. PER 1 METER OF TENDON LENGTH. AN ADDITIONAL ELONGATION OF 1.0 CM. SHALL BE PROVIDED TO ALLOW FOR TENDON SLIPPAGE AT ANCHORING.
4. ALL DIMENSIONS ARE IN CENTIMETERS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
5. THIS DRAWING IS ADAPTED FROM DOH DWG. NO. 3APD5-106-14/1b.

KINGDOM OF THAILAND MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS DEPARTMENT OF HIGHWAYS

STANDARD DRAWING
PRESTRESSED CONCRETE PLANK GIRDER
 $\phi 3/8"$ WIRE STRAND ARRANGEMENTS

DESIGNED : DOH & CONSULTANTS	CHECKED : <i>[Signature]</i>	DATE JULY 1994
SUBMITTED : <i>P. B...</i> (DIRECTOR OF LOCATION & DESIGN DIVISION)		SCALE AS SHOWN
APPROVED : <i>[Signature]</i> LMU (DIRECTOR GENERAL)		DWG. NO. PT-02
		SHEET NO. 172



BAR BENDING DIAGRAMS	BAR MARK	#	SPAN 5.00 M.		SPAN 6.00 M.		SPAN 7.00 M.		SPAN 8.00 M.		SPAN 9.00 M.		SPAN 10.00 M.	
			NO	LENGTH CM.	NO	LENGTH CM.	NO	LENGTH CM.	NO	LENGTH CM.	NO	LENGTH CM.	NO	LENGTH CM.
VARIES	1	RB 2	32	211	6752	36	217	7812	38	223	8474	40	229	9160
	2	RB 3	20	100	2000	24	100	2400	28	100	2800	36	100	3600
	3	RB 3	4	500	2000	4	600	2400	4	700	2800	4	800	3200
	4	DB 4	4	100	400	4	100	400	4	100	400	4	100	400
	5	DB 5	12	172.5	2070	16	172.5	2760	16	172.5	2760	20	172.5	3450

RB = ROUND BARS
 DB = DEFORMED BARS * 2 = $\phi 1/4"$ OR $\phi 6$ MM. * 4 = $\phi 1/2"$ OR $\phi 12$ MM. * 5 = $\phi 5/8"$ OR $\phi 16$ MM.

NO = TOTAL AMOUNT OF BARS
 L = TOTAL LENGTH OF EACH BAR

BAR BENDING DIAGRAMS	SIDE WALK WIDTH CM.	BAR MARK	#	SPAN 5.00 M.		SPAN 6.00 M.		SPAN 7.00 M.		SPAN 8.00 M.		SPAN 9.00 M.		SPAN 10.00 M.	
				NO	LENGTH CM.	NO	LENGTH CM.	NO	LENGTH CM.	NO	LENGTH CM.	NO	LENGTH CM.	NO	LENGTH CM.
VARIES	40	6	DB 4	37	62.5	2312.5	45	65.5	2947.5	53	68.5	3630.5	60	71.5	4290.5
		7	RB 3	25	90.6	2265.0	30	90.6	2718.0	35	90.6	3171.0	40	90.6	3624.0
		8	RB 3	3	500	1500	3	600	1800	3	700	2100	3	800	2400
		9	DB 4	37	62.5	2312.5	45	65.5	2947.5	53	68.5	3630.5	60	71.5	4290.5
		10	RB 3	25	150.6	3765	30	150.6	4518	35	150.6	5271	40	150.6	6024

RB = ROUND BARS * 3 = $\phi 3/8"$ OR $\phi 9$ MM. * 4 = $\phi 1/2"$ OR $\phi 12$ MM.

NO = TOTAL AMOUNT OF BARS
 L = TOTAL LENGTH OF EACH BARS

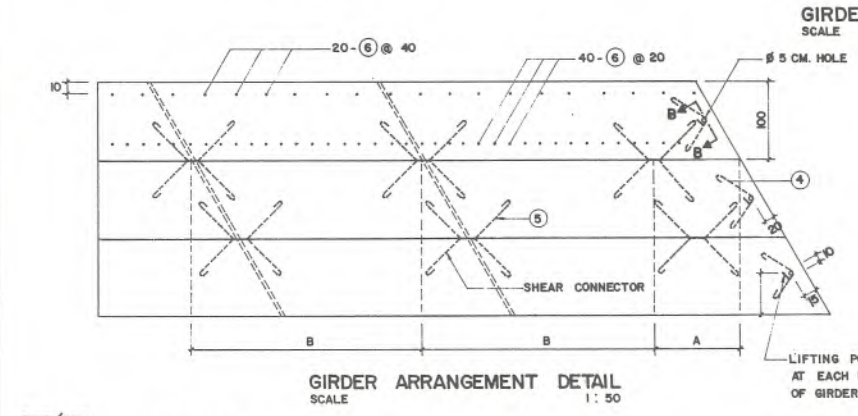
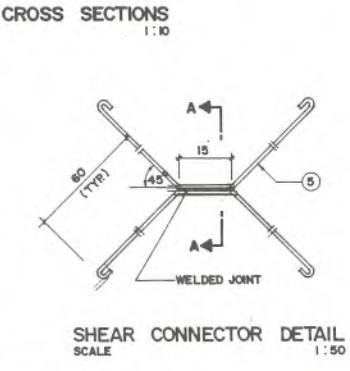
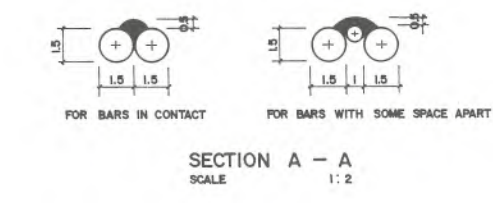
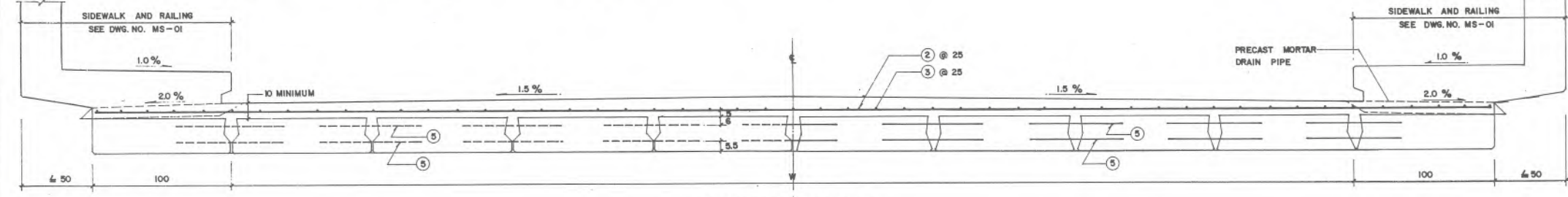
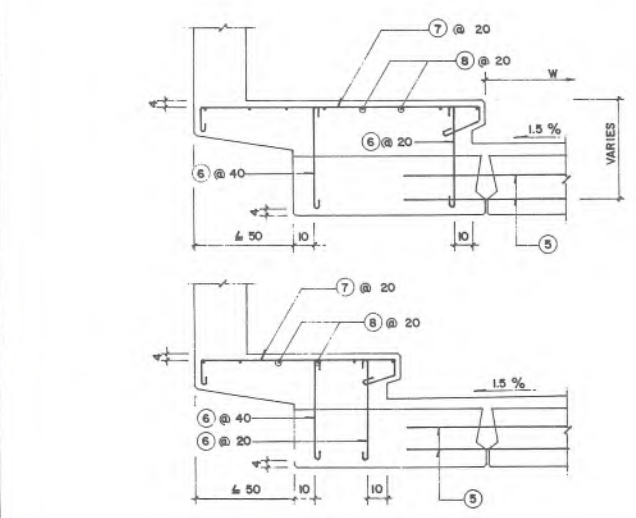
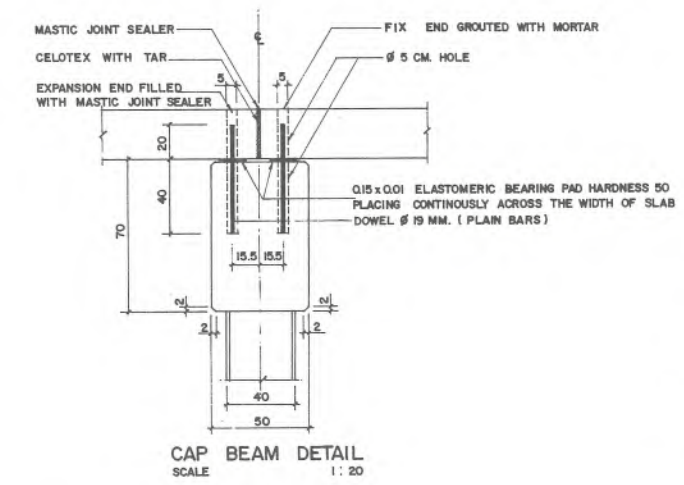
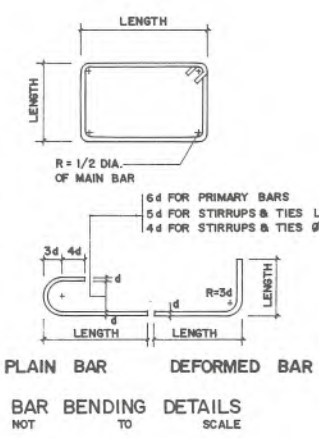
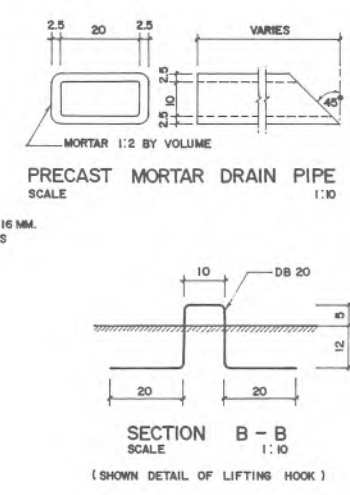
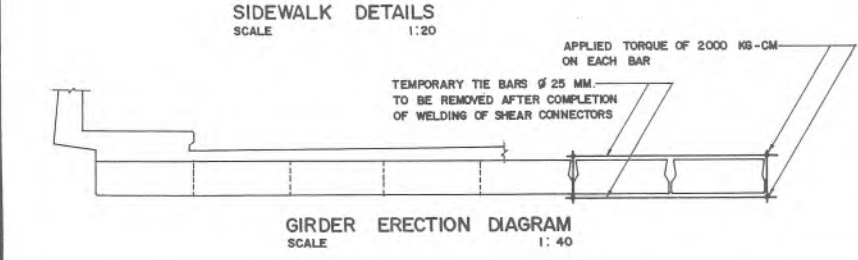
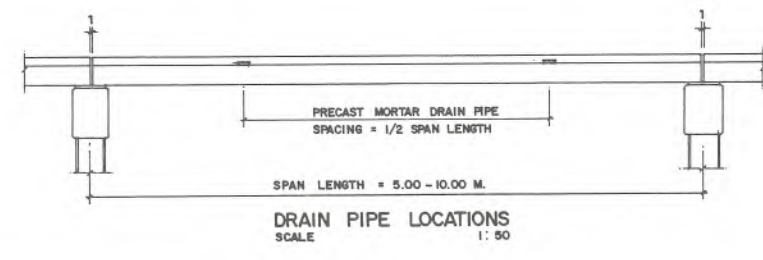


TABLE OF SHEAR CONNECTOR			
SPAN (M)	TOTAL AMOUNT FOR ONE GIRDER	A (CM)	B (CM)
5	12	70	179.50
6	16	70	153.00
7	16	70	186.56
8	20	70	164.75
9	24	50	159.80
10	24	50	178.00

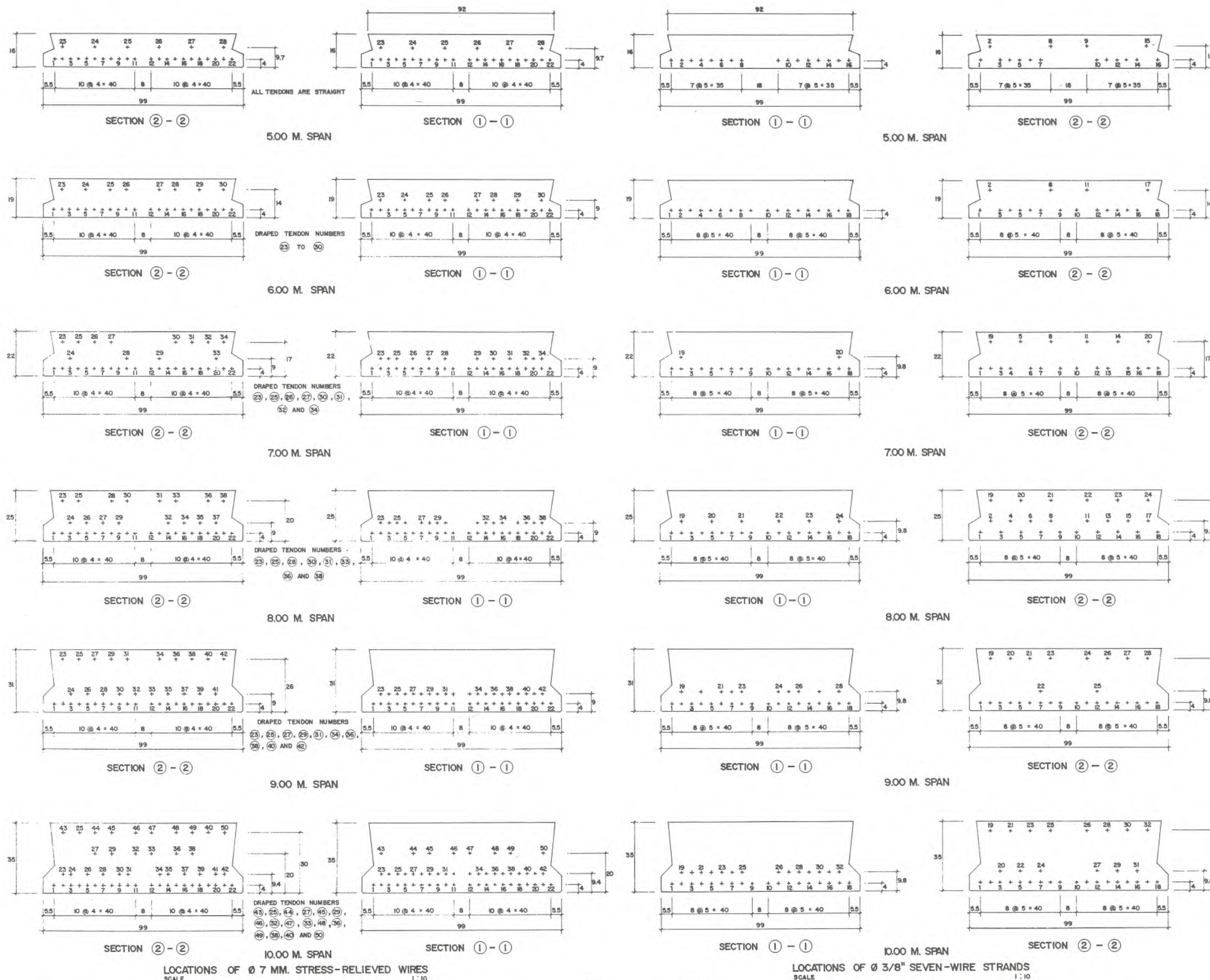
- NOTES:
- WORK THIS DRAWING WITH DWG. NO. PT-04
 - CASTING LENGTH OF A GIRDER SHALL BE 1 CM. SHORTER THAN THE SPAN LENGTH.
 - UNLESS OTHERWISE APPROVED, CEMENT USED IN THE CONCRETE MIX SHALL BE PORTLAND CEMENT TYPE I CONFORMING TO TIS 15.
 - MIX DESIGN OF CONCRETE FOR PRESTRESSED GIRDERS, BRIDGE TOPPING, SIDEWALK AND RAILING SHALL BE SUBMITTED FOR THE APPROVAL OF THE ENGINEER. CONCRETE SHALL HAVE A MINIMUM CEMENT CONTENT OF 350 KG/M³ AND A MINIMUM ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH FOR A 15x15x15 M. CUBE AT 28 DAYS AS FOLLOWS:-
 - A) FOR PRESTRESSED GIRDER 420 KG/CM²
 - B) FOR BRIDGE TOPPING 300 KG/CM²
 - C) FOR SIDEWALK AND RAILING 210 KG/CM²
 - PRESTRESSING TENDONS MAY BE RELEASED AFTER CONCRETE HAS ATTAINED A MINIMUM ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH OF 340 KG/CM² FOR THE STANDARD CUBE.
 - REBARS SMALLER THAN # 3 SHALL BE TIS 20 GRADE SR 24 PLAIN ROUND BARS, OTHERS SHALL BE TIS 24 GRADE SD 30 DEFORMED BARS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
 - ALL MATERIALS SHALL BE USED UNDER THE APPROVAL OF THE ENGINEER.
 - GIRDER SHALL BE LIFTED AT BOTH ENDS, MIDSPAN LIFTING IS PROHIBITED.
 - THIS TYPE OF GIRDERS MAY BE USES WITH PIERS FOR SLAB BRIDGE HAVING THE SAME SPAN LENGTH.
 - DOWELS FOR HOLDING GIRDERS TO PIERS SHALL BE PROVIDED AT EVERY ALTERNATE GIRDER.
 - TOP AND BOTTOM SHEAR CONNECTORS SHALL BE WELDED SIMULTANEOUSLY.
 - TIGHTENING OF THE NEXT ADJACENT GIRDER TO THE PREVIOUS ONE SHALL BE DONE IN SUCCESSION.
 - ALL DIMENSIONS SHOWN ARE IN CENTIMETERS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
 - IF PIERS FALL WITHIN THE TRANSITION OF HORIZONTAL CURVE, THE TOP OF CAP BEAM SHALL BE SUPERELEVATED IN ACCORDANCE WITH THE ROADWAY SUPERELEVATION SO THAT THE GIRDERS SHALL BE ON A SMOOTH PLANE. ELEVATION OF FINISHED SURFACE SHALL BE ATTAINED BY ADJUSTING THE CONCRETE TOPPING. THIS SHALL BE DONE WITH THE APPROVAL OF THE ENGINEER.
 - THIS DRAWING IS ADAPTED FROM DOH DWG. NO. 3APD 5-106-14/1C.



KINGDOM OF THAILAND
MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS
DEPARTMENT OF HIGHWAYS

STANDARD DRAWING
 0° - 30° SKEW PC. GIRDER BRIDGE
 GIRDER ARRANGEMENT AND DETAILS

DESIGNED : DOH & CONSULTANTS	CHECKED : <i>[Signature]</i>	DATE : JULY 1994
SUBMITTED : <i>[Signature]</i> (DIRECTOR OF LOCATION & DESIGN DIVISION)	SCALE : AS SHOWN	
APPROVED : <i>[Signature]</i> 1/114 (DIRECTOR GENERAL)	DWG. NO. PT-03 SHEET NO. 173	

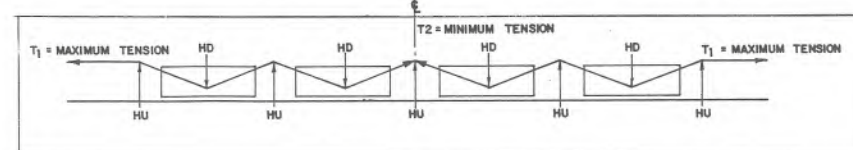
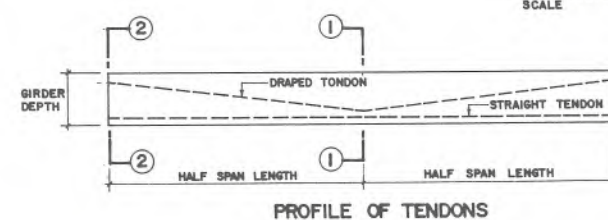


NOTES:

1. WORK THIS DRAWING WITH DWG. NO. PT-03.
 2. PRESTRESSING TENDONS SHALL BE AS FOLLOWS:-
 - A) ϕ 7 MM. STRESS-RELIEVED WIRE SHALL HAVE A MINIMUM ULTIMATE STRENGTH OF 16,500 KG/CM² AND CONFORM TO TIS 95 OR APPROVED EQUAL.
 - B) ϕ 3/8" SEVEN-WIRE STRAND SHALL HAVE A MINIMUM ULTIMATE LOAD OF 9,078 KG. AND CONFORM TO TIS 420 OR APPROVED EQUAL.
 3. PRESTRESSING OF STRAIGHT TENDON SHALL BE AS FOLLOWS:-
 - A) ϕ 7 MM. STRESS-RELIEVED WIRE SHALL HAVE AN INITIAL PRESTRESSING FORCE OF 4,320 KG/TENDON AFTER ANCHORING.
 - B) ϕ 3/8" SEVEN-WIRE STRAND SHALL HAVE AN INITIAL PRESTRESSING FORCE OF 6,330 KG/TENDON AFTER ANCHORING.
 4. PRESTRESSING OF DRAPED TENDON SHALL BE AS FOLLOWS:-
 - A) TWO METHODS OF PRESTRESSING MAY BE USED:
 - FIRST METHOD: APPLY FORCE TO A HORIZONTAL TENDON AT LEVEL HD OR HU IN SUCH A WAY THAT WHEN HOLD-DOWN DEVICE (HD) AND HOLD-UP DEVICE (HU) ARE APPLIED TO HOLD THE TENDON IN POSITION THE PRESTRESSING FORCE IN THE TENDON AT MIDSPAN OF EACH GIRDER IS EQUAL TO THE CORRESPONDING FORCE SPECIFIED IN NOTE 3.
 - SECOND METHOD: FIX THE HD AND HU DEVICE IN SUCH A WAY THAT WHEN APPLYING A FORCE TO THE DRAPED PRESTRESSING TENDON IT WILL BE IN THE DESIRED POSITION, JACK THE TENDON UNTIL THE MAXIMUM TENSION IS EQUAL TO THE CORRESPONDING FORCE SPECIFIED IN NOTE 3.
 - THE MINIMUM TENSION IN THE TENDON SHALL BE AS FOLLOWS:-

FOR ϕ 7 MM. STRESS-RELIEVED WIRE	= 10,500 KG/CM ²
OR	= 4,050 KG/TENDON
FOR ϕ 3/8" SEVEN-WIRE STRAND	= 11,500 KG/CM ²
	= 6,000 KG/TENDON
 - B) THE SURFACES OF HD AND HU DEVICES WHICH CONTACT THE TENDONS SHALL HAVE A SMOOTH CIRCULAR SHAPE HAVING A RADIUS NOT LESS THAN 5 CM.
- THE NUMBERS OF HD AND HU DEVICE SHALL BE ARRANGED IN SUCH A WAY THAT THE LIMITS OF FORCES AS SPECIFIED IN THE ABOVE PARAGRAPH A CAN BE ACHIEVED.

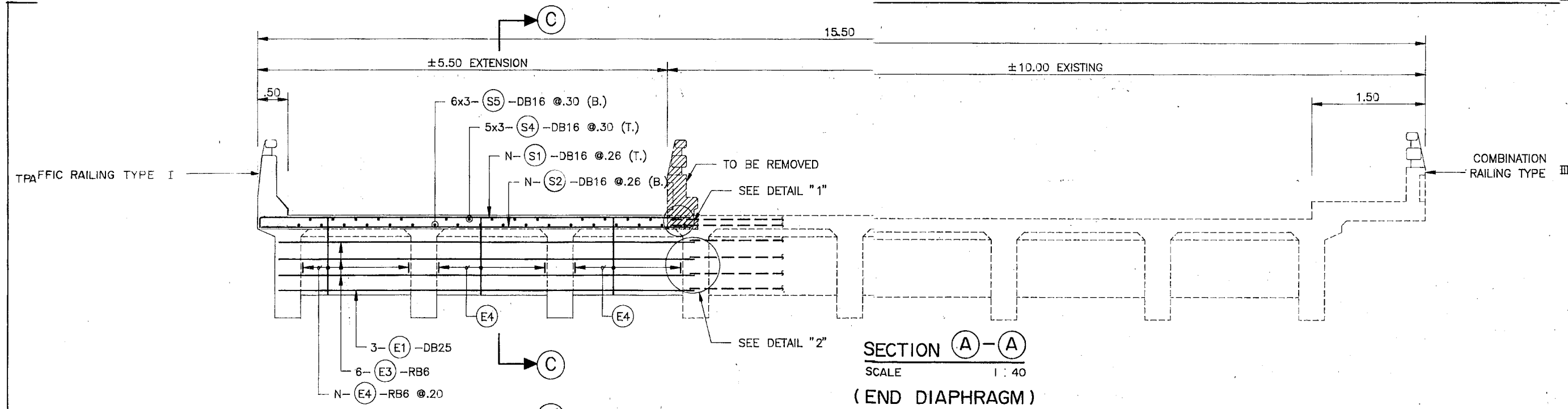
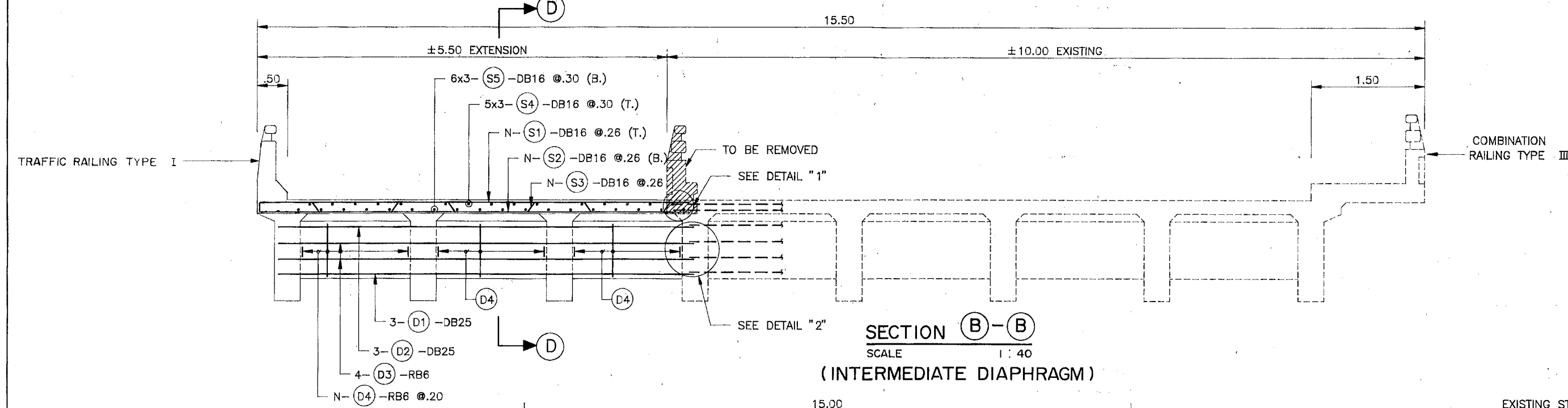
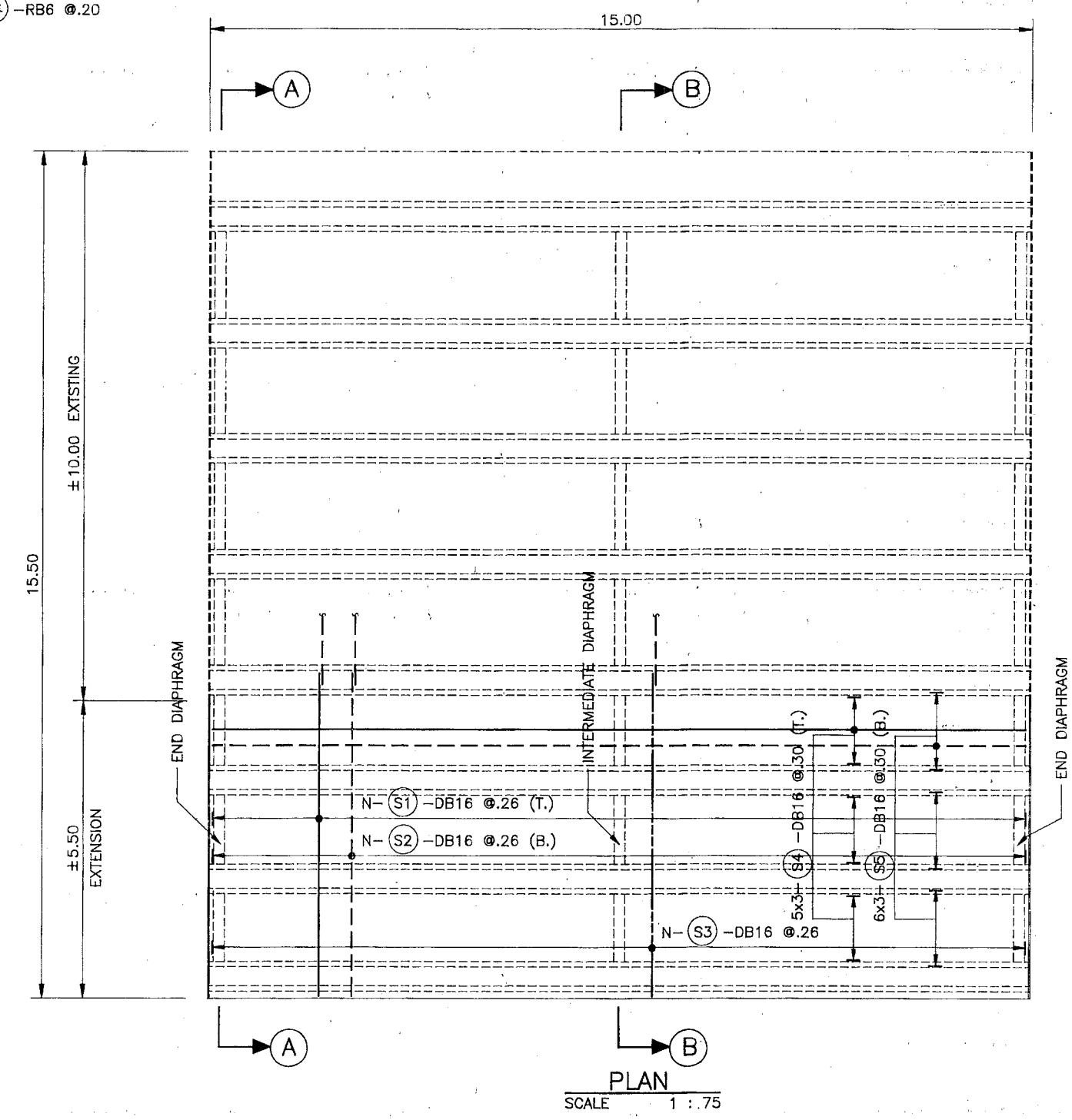
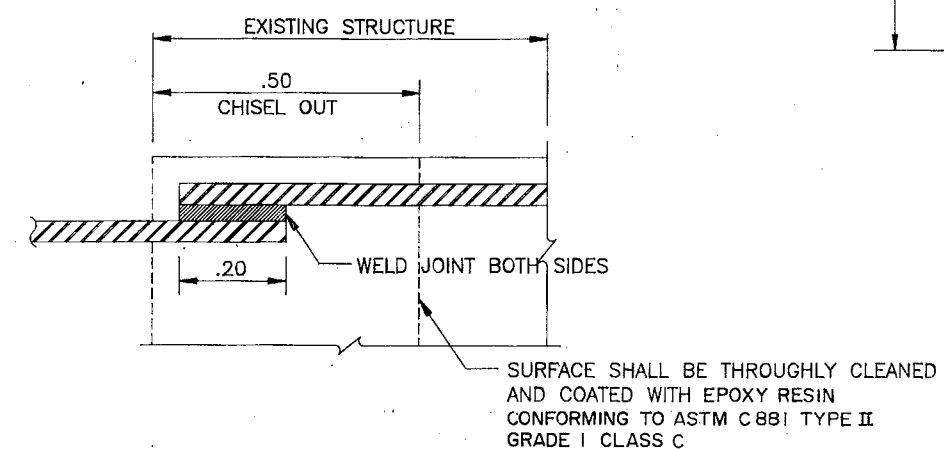
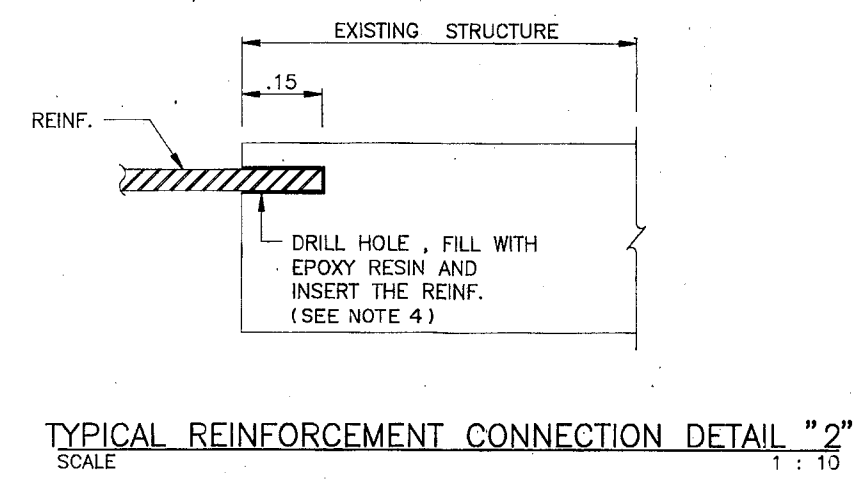
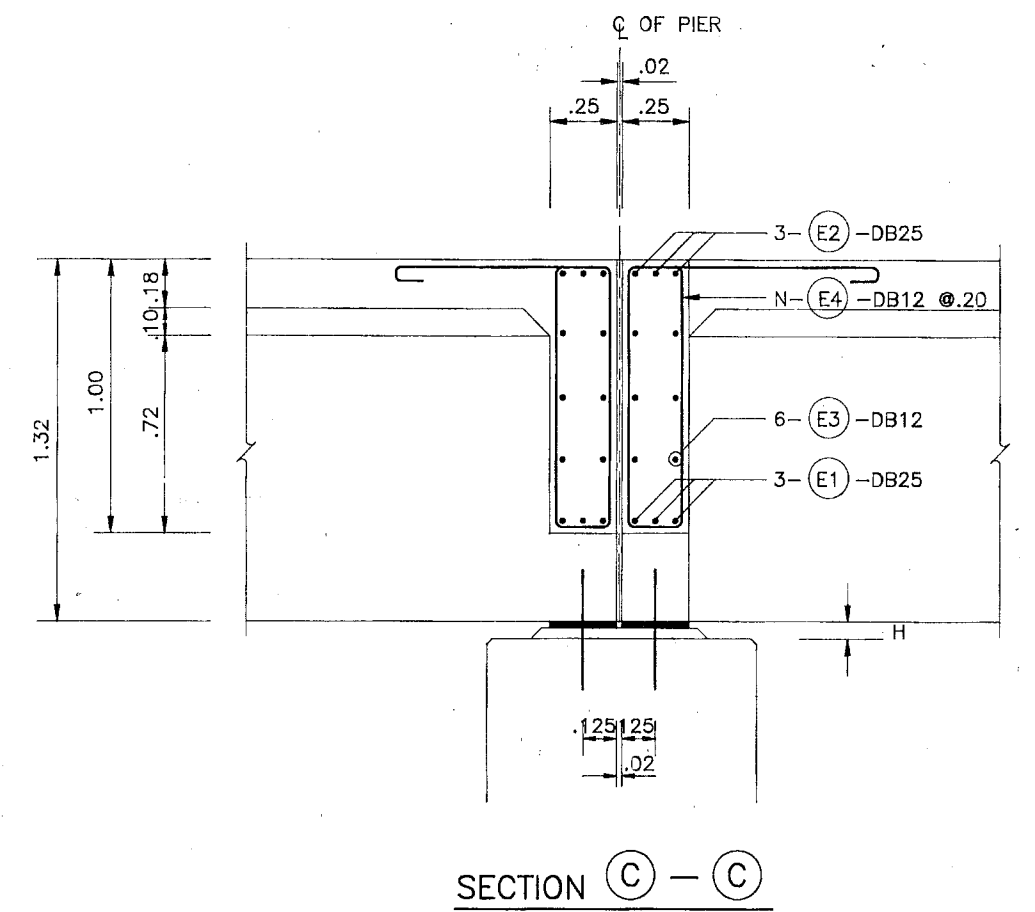
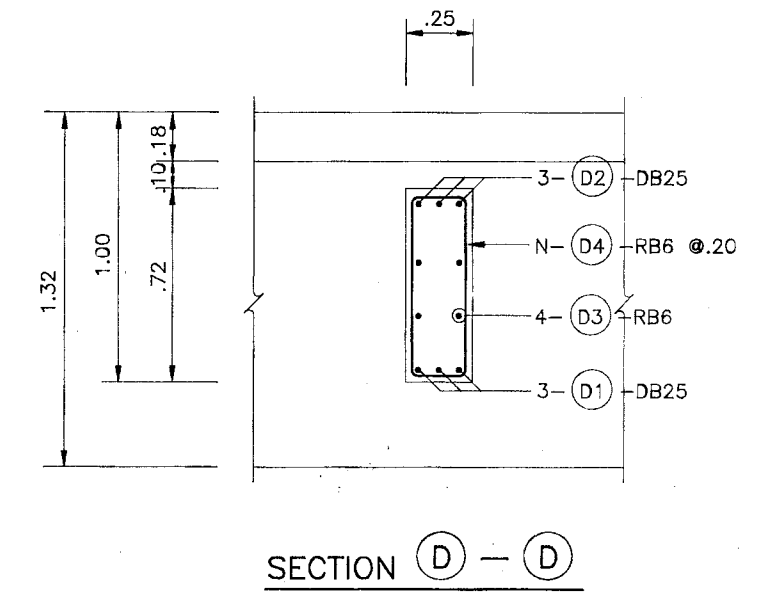
5. ALL DIMENSIONS SHOWN ARE IN CENTIMETERS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
6. THIS DRAWING IS ADAPTED FROM DOH DWG. NO. 3APD 5-106-14/14.



KINGDOM OF THAILAND MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS DEPARTMENT OF HIGHWAYS

STANDARD DRAWING PRESTRESSED CONCRETE GIRDER DRAPED TENDON ARRANGEMENT

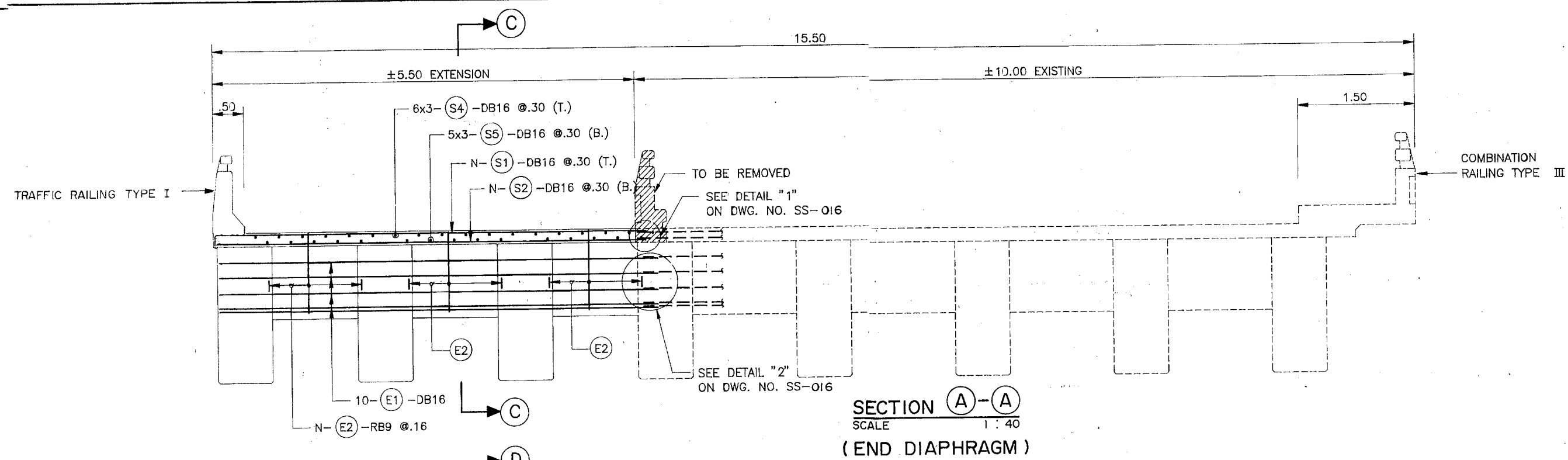
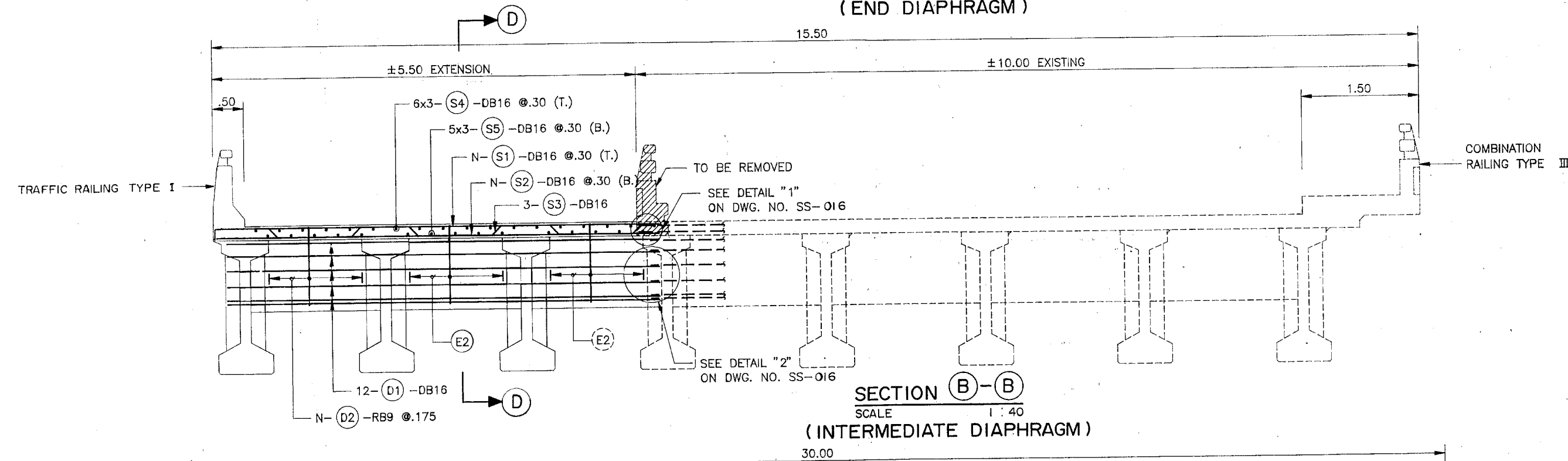
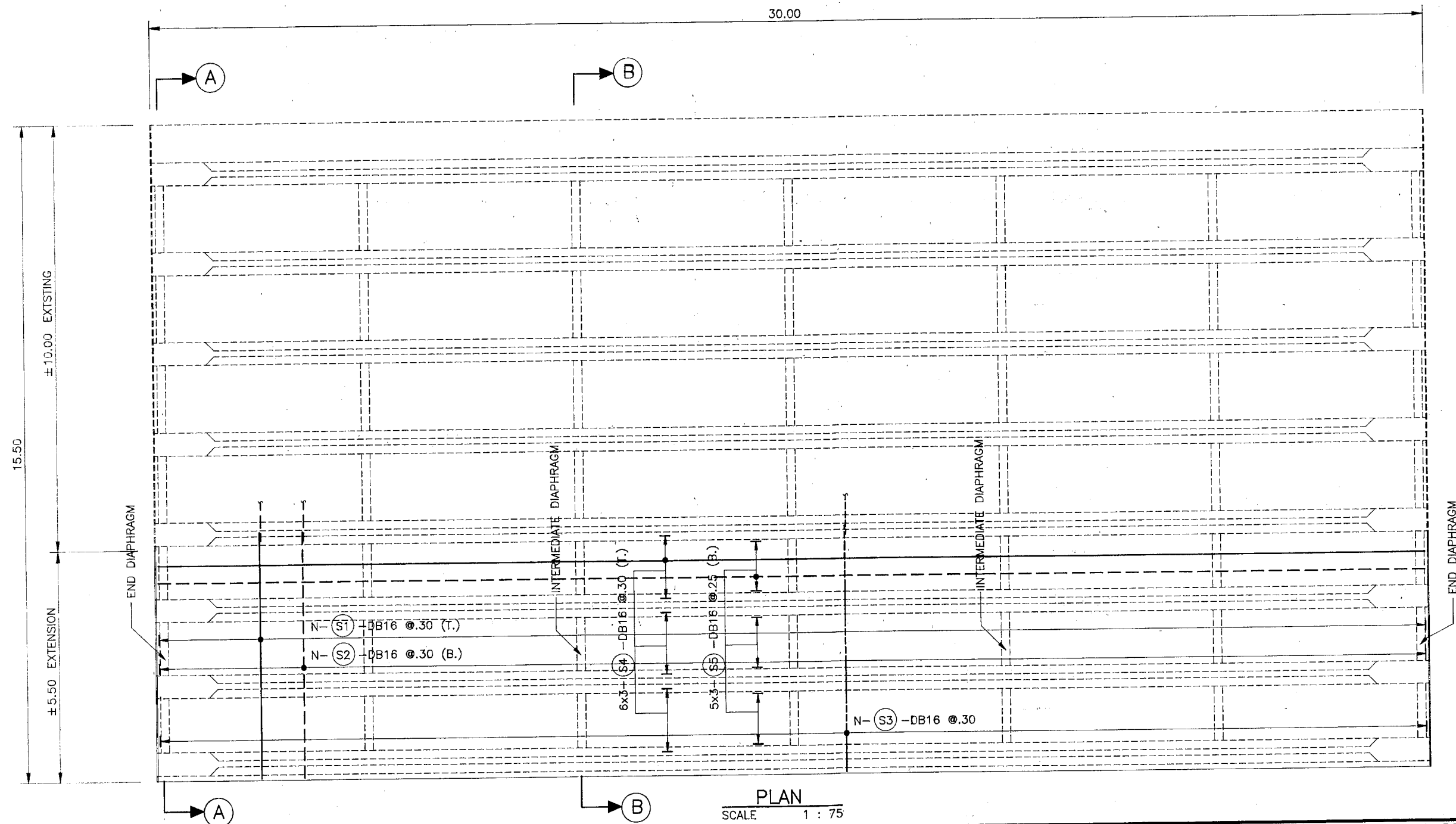
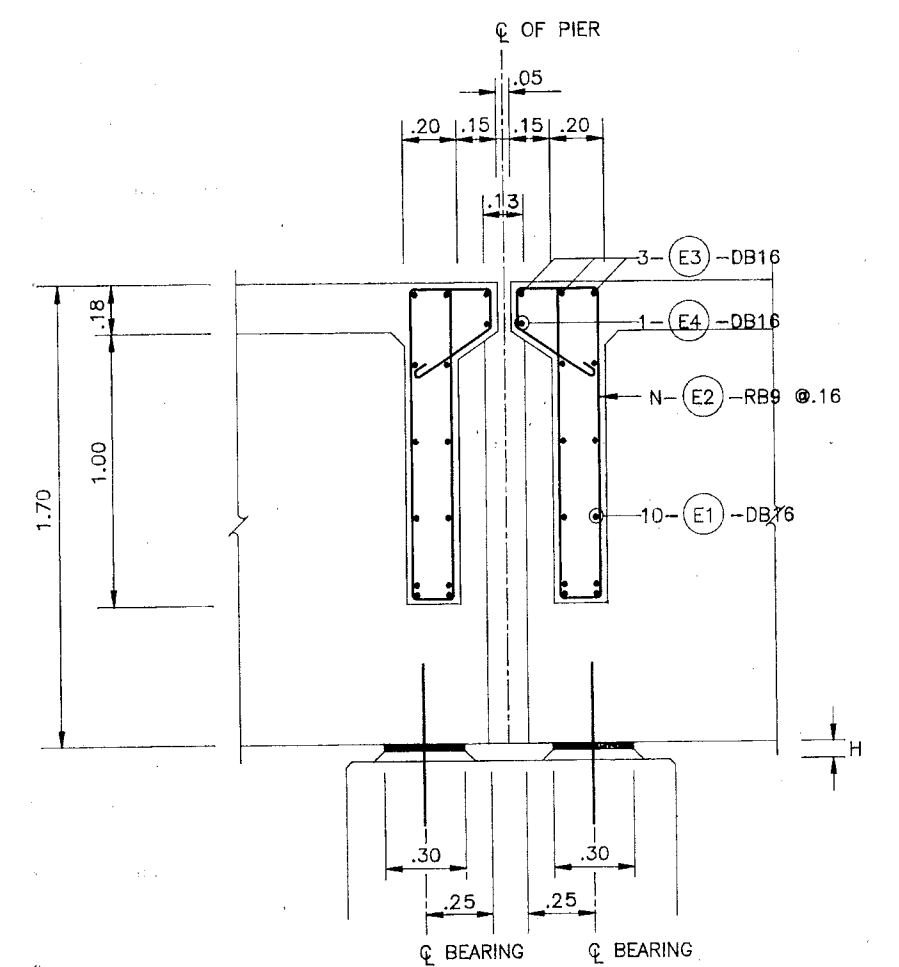
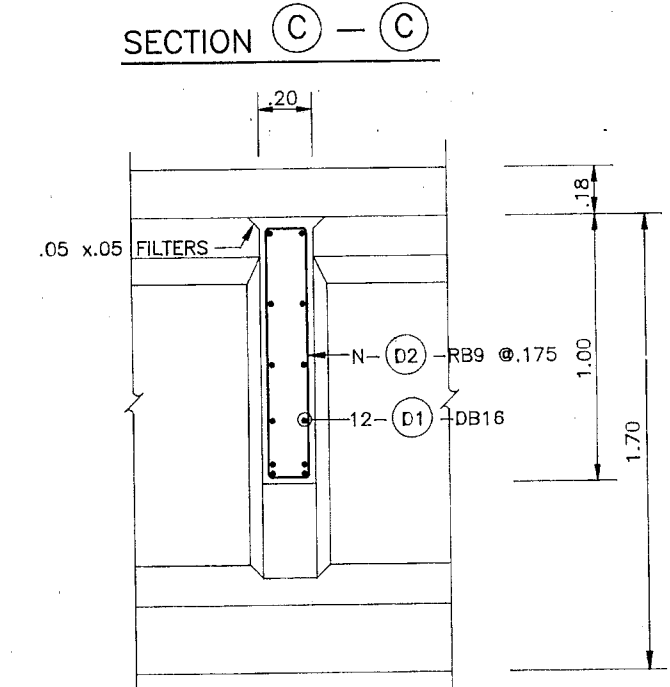
DESIGNED : DOH & CONSULTANTS	CHECKED : <i>[Signature]</i>	DATE JULY 1994
SUBMITTED : <i>[Signature]</i> (DIRECTOR OF LOCATION & DESIGN DIVISION)	SCALE AS SHOWN	
APPROVED : <i>[Signature]</i> HNV (DIRECTOR GENERAL)	DWG. NO. PT-04	
	SHEET NO. 174	



DIAPHRAGM SECTION REINF. DETAILS
SCALE 1 : 20

TABLE OF REINFORCEMENT						
MEMBER	BAR MARK	DESCRIPTION	BAR DIAMETER	NO. OF BAR (S)	SPACING M.	REMARKS
SLAB	S1	VARIES	16	N	.26	
	S2	VARIES	16	N	.26	
	S3	VARIES	16	N	.26	
	S4	VARIES	16	5x3	.30	
	S5	VARIES	16	6x3	.30	
END DIAPHRAGM	E1	VARIES	25	3	-	
	E2	VARIES	25	3	-	
	E3	VARIES	12	6	-	
	E4	.90	12	N	.20	
INTERMEDIATE DIAPHRAGM	D1	1.30	25	3	-	
	D2	1.60	25	3	-	
	D3	1.60	6	4	-	
	D4	.62	6	N	.20	

- NOTES:
- SEE NOTES ON DWG. NO. SS-001 & 002
 - THE EXTENSION STRUCTURE SHALL BE ADJUSTED TO SUIT THE EXISTING STRUCTURE
 - THE EXTENSION STRUCTURE SHALL FOLLOW THE DETAILS SHOWN ON THIS DRAWING AND/OR THE RELATED D.O.H. STANDARD DRAWINGS
 - EPOXY RESIN SHALL CONFORM TO ASTM C 881 TYPE I GRADE 2 CLASS C



DIAPHRAGM SECTION REINF. DETAILS
SCALE 1:20

TABLE OF REINFORCEMENT

MEMBER	BAR MARK	DESCRIPTION	BAR DIAMETER	NO. OF BAR (S)	SPACING M.	REMARKS
SLAB	S1	VARIES	16	N	.30	
	S2	VARIES	16	N	.30	
	S3	VARIES	16	N	.30	
	S4	VARIES	16	6x3	.30	
	S5	VARIES	16	5x3	.30	
END DIAPHRAGM	E1	VARIES	16	14	-	
	E2	VARIES	9	N	.16	
	E3	VARIES	16	N	-	
	E4	VARIES	16	N	-	
INTERMEDIATE DIAPHRAGM	D1	VARIES	16	N	-	
	D2	VARIES	9	N	.175	

NOTES:

- SEE NOTES ON DWG. NO. SS-001 & 002
- THE EXTENSION STRUCTURE SHALL BE ADJUSTED TO SUIT THE EXISTING STRUCTURE
- THE EXTENSION STRUCTURE SHALL FOLLOW THE DETAILS SHOWN ON THIS DRAWING AND/OR THE RELATED D.O.H. STANDARD DRAWINGS.

REV. NO.	DESCRIPTION	ENGINEER	DOH	REV. NO.	DESCRIPTION	ENGINEER	DOH
CHECKED	DATE	CHECKED	DATE	CHECKED	DATE	CHECKED	DATE

KINGDOM OF THAILAND

MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS

DEPARTMENT OF HIGHWAYS

R.C. DECK SLAB SPAN 30 M. DETAILS (EXTENSION)

IBRD - FOURTH HIGHWAY SECTOR PROJECT PACKAGE II - WIDENING ROUTE NO.2 KHONKEAN-NAMPHONG

STA. 31+248.054

THAI ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

In association with

UPHAM INTERNATIONAL CORPORATION

SUBMITTED

BY: PRASITTHIPORN C. PROJECT MANAGER

DATE: NOV. 22, 1996

DESIGNED: KOBCHAI S.

DRAWN: CHATRI D.

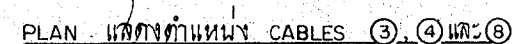
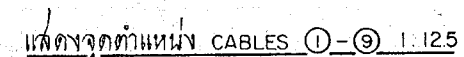
CHECKED: VITAYA K.

DATE: JULY, 1996

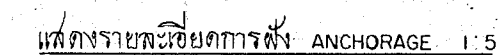
DWG. NO. SS - 017

SCALE: AS SHOWN

SHEET NO. 134

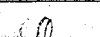


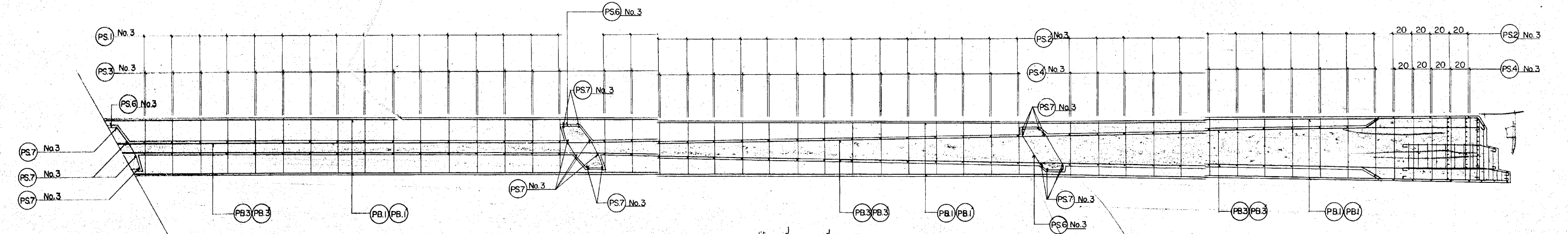
y; เป็นระบบที่จุดปลายสุดของ CABLE แต่ละเส้นซึ่งอาจกระโดดผ่านความ



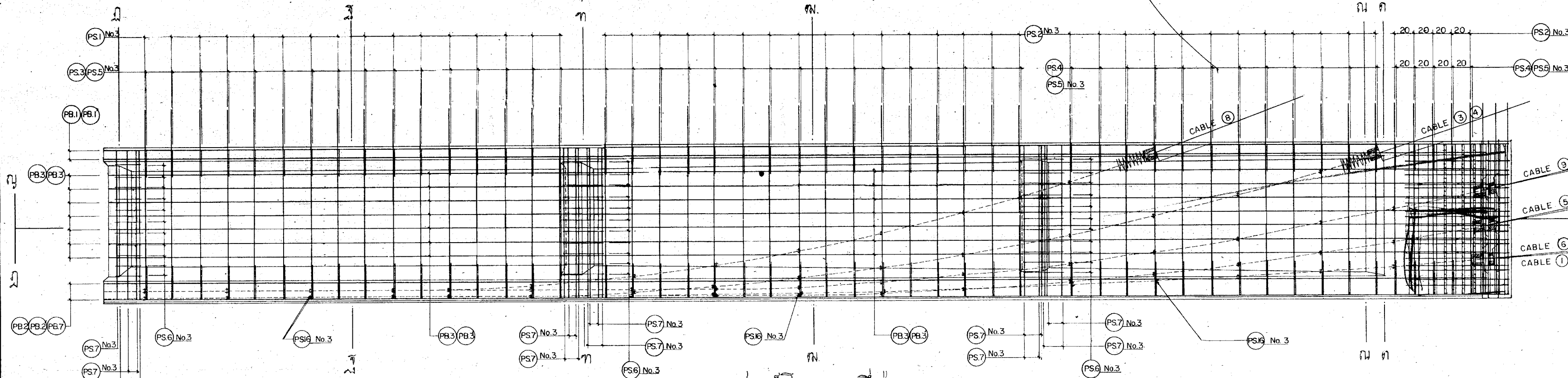
<div> <div>  </div> <div> Министарство Образовања, Научног и Спортског Организација </div> </div> <div> А₁ - А₅ и Б₁ - Б₃ </div>											
Категорија	Углови (SKEW ANGLE θ)										
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
A₁ (ЧН)	130	126	122	118	114	110	105	101	100	100	100
A₂ (ЧН)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.5	2.9	3.0	3.0	3.0
A₃ (ЧН)	240	237	233	230	226	222	218	212	205	200	200
A₄ (ЧН)	0	0.3	0.7	1.0	1.4	1.8	2.2	2.8	3.5	4.0	4.0
B₁ (ЧН)	0	11	23	35	47	60	75	91	110	130	150
B₂ (ЧН)	0	1.7	3.7	5.8	7.9	10.2	12.9	16.0	19.8	23.7	22.2
B₃ (ЧН)	0	2.1	4.3	6.5	8.9	11.2	14.1	16.5	17.0	17.0	17.0

- 1 Δx ; และ Δy ; เป็น INCREMENT ทางแนวราบและตั้งของความลาด (SLOPE) ของ CABLE แต่ละเส้น
- 2 พัดต่างๆเป็นเซกเมนต์ นอกจากระเบียงอย่างอื่น

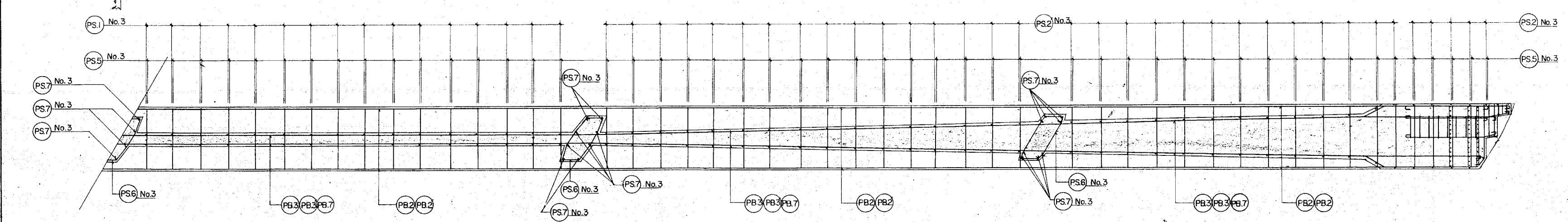
กรมทางหลวง			
เขียน <i>สมชาย</i>	คิด <i>สมชาย</i>	ทวน <i>สมชาย</i>	
ออกแบบ <i>สมชาย</i>	ตรวจสอบ <i>สมชาย</i>	ทราจ <i>สมชาย</i>	
เห็นชอบ	ผู้อำนวยการกองทางหลวงและออกแบบ		26 / 10 / 61
อนุญาต	 นายอธิปัต		27 / 10 / 61



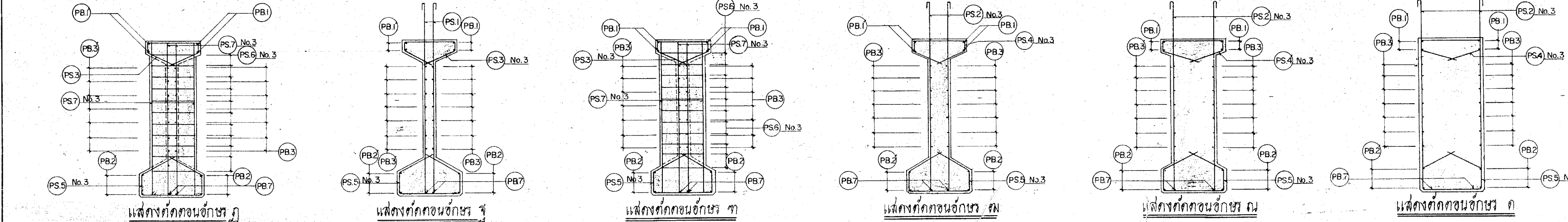
แสดงเหล็กเสริมท่อน้ำ 1 : 25



แสดงเหล็กเสริมโครงคานยาวครึ่งทาง 1 : 25



แสดงเหล็กเสริมท่อน้ำ 1 : 25

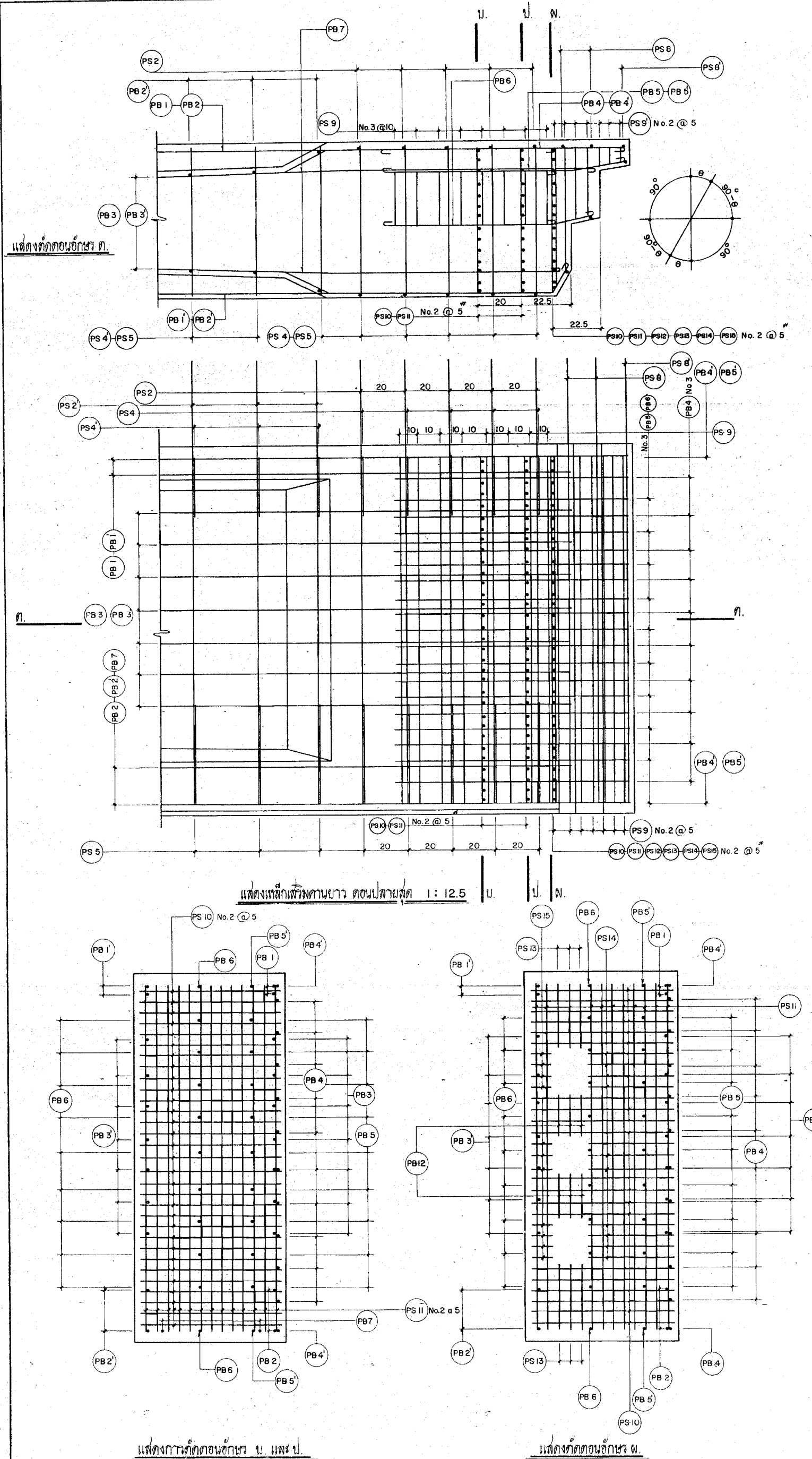


- รายการ
- เหล็กเสริม
 - เหล็กเสริมขนาดท่อน้ำ No. 4 ขึ้นไป ให้ใช้เหล็ก INTERMEDIATE GRADE - DEFORMED BAR
 - เหล็กเสริมขนาดท่อน้ำ No. 4 ให้ใช้เหล็ก STRUCTURAL GRADE โดยที่ GRADES ของเหล็กให้เป็นไปตาม AASHTO SPECIFICATION.
 - การตัดของเหล็กเสริมขนาดคานยาวเหล็กให้เป็นไปตามที่เหล็กไว้ในหน้า ในกรณีที่มีความยาวเหล็กไม่เพียงพอ ให้ทำการต่อเหล็ก (SPLICING) โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรควบคุมงานเสียก่อน
 - ความยาวของเหล็กที่ซ้อนกันการรอยต่อ (LAPPING) ให้เป็นดังนี้ -
 - ในกรณีที่เหล็ก INTERMEDIATE GRADE - DEFORMED BAR จะใช้ไม่น้อยกว่า 24 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น
 - ในกรณีที่เหล็ก STRUCTURAL GRADE จะใช้ไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น
 - เหล็กท่อน้ำ (PB1, PB2, PB3, PB4, PB5, PB6, PB7, PB8, PB9, PB10, PB11, PB12, PB13, PB14, PB15, PB16, PB17, PB18, PB19, PB20, PB21, PB22, PB23, PB24, PB25, PB26, PB27, PB28, PB29, PB30, PB31, PB32, PB33, PB34, PB35, PB36, PB37, PB38, PB39, PB40, PB41, PB42, PB43, PB44, PB45, PB46, PB47, PB48, PB49, PB50, PB51, PB52, PB53, PB54, PB55, PB56, PB57, PB58, PB59, PB60, PB61, PB62, PB63, PB64, PB65, PB66, PB67, PB68, PB69, PB70, PB71, PB72, PB73, PB74, PB75, PB76, PB77, PB78, PB79, PB80, PB81, PB82, PB83, PB84, PB85, PB86, PB87, PB88, PB89, PB90, PB91, PB92, PB93, PB94, PB95, PB96, PB97, PB98, PB99, PB100) ถ้าเป็นเหล็กท่อน้ำขนาดท่อน้ำ No. 4 ขึ้นไป ให้ทำงอปลาย (HOOKS)
 - เหล็กท่อน้ำ (PS1, PS2, PS3, PS4, PS5, PS6, PS7, PS8, PS9, PS10, PS11, PS12, PS13, PS14, PS15, PS16, PS17, PS18, PS19, PS20, PS21, PS22, PS23, PS24, PS25, PS26, PS27, PS28, PS29, PS30, PS31, PS32, PS33, PS34, PS35, PS36, PS37, PS38, PS39, PS40, PS41, PS42, PS43, PS44, PS45, PS46, PS47, PS48, PS49, PS50, PS51, PS52, PS53, PS54, PS55, PS56, PS57, PS58, PS59, PS60, PS61, PS62, PS63, PS64, PS65, PS66, PS67, PS68, PS69, PS70, PS71, PS72, PS73, PS74, PS75, PS76, PS77, PS78, PS79, PS80, PS81, PS82, PS83, PS84, PS85, PS86, PS87, PS88, PS89, PS90, PS91, PS92, PS93, PS94, PS95, PS96, PS97, PS98, PS99, PS100) ให้ตัดกับที่ข้อค้ำ
 - เหล็กท่อน้ำ (PB1, PB2, PB3, PB4, PB5, PB6, PB7, PB8, PB9, PB10, PB11, PB12, PB13, PB14, PB15, PB16, PB17, PB18, PB19, PB20, PB21, PB22, PB23, PB24, PB25, PB26, PB27, PB28, PB29, PB30, PB31, PB32, PB33, PB34, PB35, PB36, PB37, PB38, PB39, PB40, PB41, PB42, PB43, PB44, PB45, PB46, PB47, PB48, PB49, PB50, PB51, PB52, PB53, PB54, PB55, PB56, PB57, PB58, PB59, PB60, PB61, PB62, PB63, PB64, PB65, PB66, PB67, PB68, PB69, PB70, PB71, PB72, PB73, PB74, PB75, PB76, PB77, PB78, PB79, PB80, PB81, PB82, PB83, PB84, PB85, PB86, PB87, PB88, PB89, PB90, PB91, PB92, PB93, PB94, PB95, PB96, PB97, PB98, PB99, PB100) ให้ตัดกับที่ข้อค้ำเพื่อให้งานกับวิศวกรควบคุมงานที่สอบและนาย

หมายเหตุ

- พิกัดทางเป็นเส้นทแยงมุม นอกจากรูปเป็นข้อข้างต้น

การทางหลวง		
เขียน ประกอบ ส.	ตัด ประกอบ ส.	งาน อดิษฐ์
ออกแบบ อดิษฐ์	ตรวจสอบ อดิษฐ์	ตรวจ อดิษฐ์
เห็นชอบ	ผู้อำนวยการกองสำรวจและออกแบบ	26/10/11
อนุญาต	ผู้อำนวยการกองสำรวจและออกแบบ	27/10/11



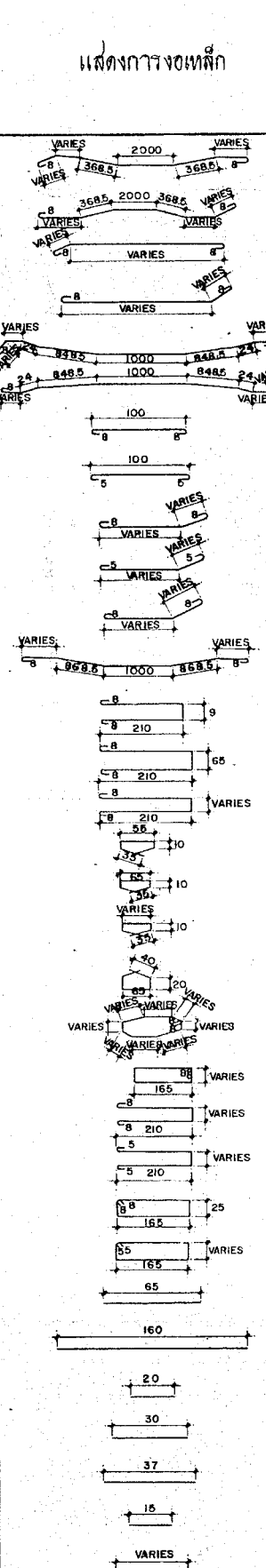
รายการ

- เหล็กเส้น (PS8) และ (PS8) ให้ใช้กับที่อื่นก็ได้
- ในกรณีที่มีมุมเอียง (SKEW ANGLE) ตั้งแต่ 0° - 5° ให้ยกเลิกเหล็กเส้นตาม No. 2 (a) 5 ในรูปที่แสดง ยกเว้น ส่วนเหล็กเส้นในรูปที่แสดง ยกเว้น และ

หมายเหตุ

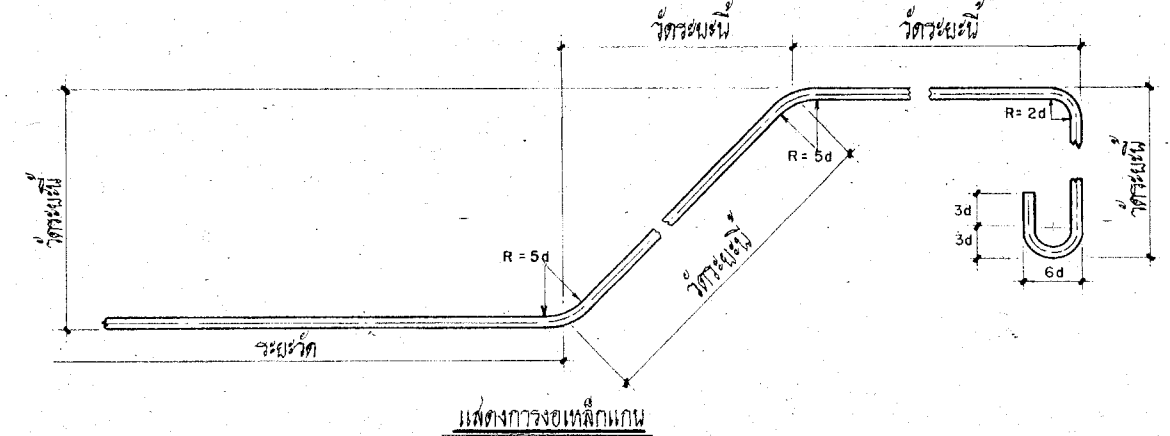
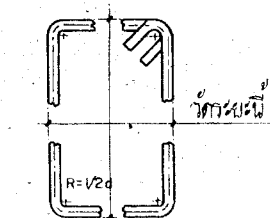
- เหล็กเส้น เป็นเส้นเหล็ก นอกจากรูปเป็นอื่น

บัญชีเหล็กเสริมคานยาว (จำนวนชิ้นงาน)

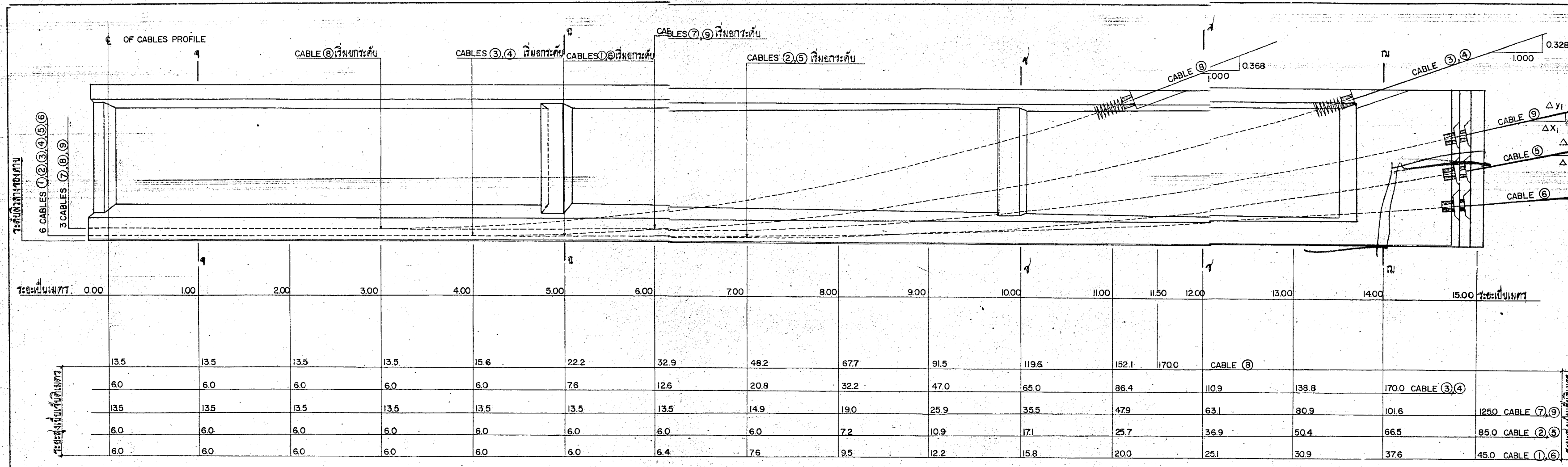
แสดงการวางเหล็ก	หมายเลขเหล็ก	มุมเอียง (SKEW ANGLE)																																															
		0°		5°		10°		15°		20°		25°		30°		35°		40°		45°		50°																											
		No.	Q	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	No.	Q	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	No.	Q	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	No.	Q	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	No.	Q	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	No.	Q	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)																								
	(PB1)	3	-	2	29.99	3	-	2	30.08	3	-	2	30.07	3	-	2	30.06	4	-	2	29.89	4	-	2	29.88	5	-	2	29.87	5	-	2	29.86	6	-	2	29.84	6	-	2	29.83	6	-	2	29.74				
	(PB1)	3	-	2	29.99	3	-	2	30.08	3	-	2	30.07	3	-	2	30.06	4	-	2	29.89	4	-	2	29.88	5	-	2	29.87	5	-	2	29.86	6	-	2	29.84	6	-	2	29.83	6	-	2	29.74				
	(PB2)	3	-	2	29.98	3	-	2	30.07	3	-	2	30.06	3	-	2	30.05	4	-	2	29.86	4	-	2	29.87	5	-	2	29.86	5	-	2	29.85	6	-	2	29.83	6	-	2	29.82	6	-	2	29.73				
	(PB2)	3	-	2	29.98	3	-	2	30.07	3	-	2	30.06	3	-	2	30.05	4	-	2	29.86	4	-	2	29.87	5	-	2	29.86	5	-	2	29.85	6	-	2	29.83	6	-	2	29.82	6	-	2	29.73				
	(PS3)	3	-	7	30.06	3	-	7	30.10	3	-	7	29.99	3	-	7	29.97	4	-	7	29.75	4	-	7	29.75	5	-	7	29.69	5	-	7	29.61	5	-	7	29.54	6	-	7	29.46	6	-	7	29.39	6	-	7	29.27
	(PB3)	3	-	7	30.06	3	-	7	30.10	3	-	7	29.99	3	-	7	29.97	4	-	7	29.75	4	-	7	29.75	5	-	7	29.69	5	-	7	29.61	5	-	7	29.54	6	-	7	29.46	6	-	7	29.39	6	-	7	29.27
	(PB4)	3	-	20	1.16	3	-	20	1.16	3	-	20	1.16	3	-	20	1.16	3	-	20	1.16	3	-	20	1.16	3	-	20	1.16	3	-	20	1.16	3	-	20	1.16	3	-	20	1.16	3	-	20	1.16				
	(PB4)	2	-	4	1.10	2	-	4	1.10	2	-	4	1.10	2	-	4	1.10	2	-	4	1.10	2	-	4	1.10	2	-	4	1.10	2	-	4	1.10	2	-	4	1.10	2	-	4	1.10	2	-	4	1.10				
	(PB5)	3	-	18	1.16	3	-	18	1.18	3	-	18	1.19	3	-	18	1.20	3	-	18	1.20	3	-	18	1.21	3	-	18	1.22	3	-	18	1.22	3	-	18	1.22	3	-	18	1.23	3	-	18	1.24				
	(PB5)	2	-	4	1.10	2	-	4	1.12	2	-	4	1.13	2	-	4	1.14	2	-	4	1.14	2	-	4	1.14	2	-	4	1.14	2	-	4	1.14	2	-	4	1.14	2	-	4	1.15	2	-	4	1.16				
	(PB6)	3	-	22	1.16	3	-	22	1.16	3	-	22	1.15	3	-	22	1.13	3	-	22	1.12	3	-	22	1.10	3	-	22	1.10	3	-	22	1.09	3	-	22	1.09	3	-	22	1.08	3	-	22	1.08				
	(PB7)	3	-	2	29.98	3	-	2	29.92	3	-	2	29.86	3	-	2	29.79	4	-	2	29.56	4	-	2	29.49	5	-	2	29.41	5	-	2	29.33	6	-	2	29.23	6	-	2	29.14	6	-	2	29.04	6	-	2	28.99
	(PS1)	3	35	28	4.45	3	325	30	4.45	3	30	32	4.45	3	30	32	4.45	3	30	32	4.45	3	30	32	4.45	3	30	32	4.45	3	30	32	4.45	3	30	32	4.45	3	30	32	4.45	3	30	32	4.45				
	(PS2)	3	20	12	5.01	3	20	12	5.01	3	20	10	5.01	3	20	10	5.01	3	20	10	5.01	3	20	10	5.01	3	20	10	5.01	3	20	10	5.01	3	20	10	5.01	3	20	10	5.01	3	20	10	5.01				
	(PS2)	3	35	50	-	3	325	54	-	3	30	58	-	3	30	58	-	3	30	58	-	3	30	58	-	3	30	58	-	3	30	58	-	3	30	58	-	3	30	58	-	3	30	58	-				
	(PS3)	3	35	56	1.45	3	325	60	1.45	3	30	64	1.45	3	30	64	1.45	3	30	64	1.45	3	30	64	1.45	3	30	64	1.45	3	30	64	1.45	3	30	64	1.45	3	30	64	1.45	3	30	64	1.45				
(PS4)	3	20	12	1.55	3	20	12	1.55	3	20	10	1.55	3	20	10	1.55	3	20	10	1.55	3	20	10	1.55	3	20	10	1.55	3	20	10	1.55	3	20	10	1.55	3	20	10	1.55	3	20	10	1.55					
(PS4)	3	35	22	-	3	325	24	-	3	30	25	-	3	30	25	-	3	30	25	-	3	30	25	-	3	30	25	-	3	30	25	-	3	30	25	-	3	30	25	-	3	30	25	-					
(PS5)	3	(20)	90	1.85	3	(20)	96	1.85	3	(20)	99	1.85	3	(20)	110	1.85	3	(20)	99	1.85	3	(20)	110	1.85	3	(20)	99	1.85	3	(20)	110	1.85	3	(20)	99	1.85	3	(20)	110	1.85	3	(20)	99	1.85					
(PS6)	3	-	55	-	3	-	55	-	3	-	55	-	3	-	55	-	3	-	55	-	3	-	55	-	3	-	55	-	3	-	55	-	3	-	55	-	3	-	55	-	3	-	55	-					
(PS7)	3	-	20	-	3	-	20	-	3	-	20	-	3	-	20	-	3	-	20	-	3	-	20	-	3	-	20	-	3	-	20	-	3	-	20	-	3	-	20	-	3	-	20	-					
(PS8)	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	4	-	3	-	4	-	3	-	4	-	3	-	4	-	3	-	4	-	3	-	4	-	3	-	4	-	3	-	4	-	3	-	4	-					
(PS8)	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	4.43	2	-	2	4.43	2	-	2	4.42	2	-	2	4.42	2	-	2	4.42	2	-	2	4.41	2	-	2	4.41	2	-	2	4.41	2	-	2	4.41	2	-	2	4.41	
(PS9)	3	10	16	2.96	3	10	16	2.96	3	10	16	2.96	3	10	16	2.96	3	10	16	2.96	3	10	16	2.96	3	10	16	2.96	3	10	16	2.96	3	10	16	2.96	3	10	16	2.96	3	10	16	2.96					
(PS9)	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5	6	-	2	5	8	-	2	5	10	-	2	5	12	-	2	5	14	-	2	5	16	-	2	5	18	-	2	5	20	-	2	5	22	-					
(PS10)	2	5	124	0.65	2	5	124	0.65	2	5	164	0.65	2	5	164	0.65	2	5	164	0.65	2	5	164	0.65	2	5	164	0.65	2	5	164	0.65	2	5	164	0.65	2	5	164	0.65	2	5	164	0.65					
(PS11)	2	5	52	1.60	2	5	52	1.60	2	5	72	1.60	2	5	72	1.60	2	5	72	1.60	2	5	72	1.60	2	5	72	1.60	2	5	72	1.60	2	5	72	1.60	2	5	72	1.60	2	5	72	1.60					
(PS12)	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5	12	0.20	2	5	12	0.20	2	5	12	0.20	2	5	12	0.20	2	5	12	0.20	2	5	12	0.20	2	5	12	0.20	2	5	12	0.20	2	5	12	0.20					
(PS13)	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5	12	0.30	2	5	12	0.30	2	5	12	0.30	2	5	12	0.30	2	5	12	0.30	2	5	12	0.30	2	5	12	0.30	2	5	12	0.30	2	5	12	0.30					
(PS14)	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5	22	0.37	2	5	22	0.37	2	5	22	0.37	2	5	22	0.37	2	5	22	0.37	2	5	22	0.37	2	5	22	0.37	2	5	22	0.37	2	5	22	0.37					
(PS15)	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5	22	0.13	2	5	22	0.13	2	5	22	0.13	2	5	22	0.13	2	5	22	0.13	2	5	22	0.13	2	5	22	0.13	2	5	22	0.13	2	5	22	0.13					
(PS16)	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-					
No.2 = 0 1/4" 770 06 NN, No.3 = 0 3/8" 770 09 NN, No.4 = 0 1/2" 770 012 NN, No.5 = 0 5/8" 770 015 NN, No.6 = 0 3/4" 770 019 NN.																																																	

No. 2 = 0 1/4" หรือ 06 มม., No. 3 = 0 3/8" หรือ 09 มม., No. 4 = 0 1/2" หรือ 12 มม., No. 5 = 0 5/8" หรือ 15 มม., No. 6 = 0 3/4" หรือ 19 มม.

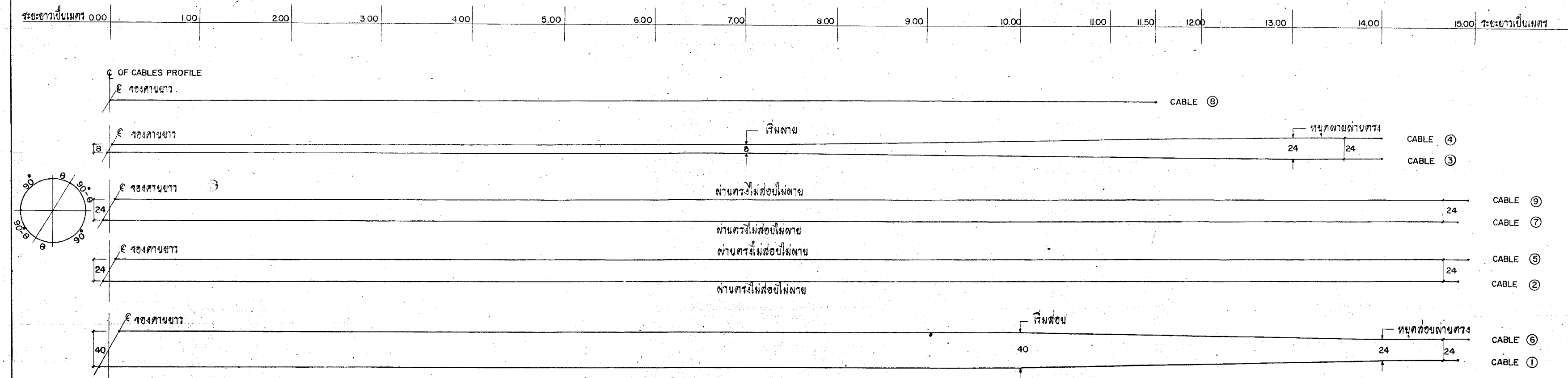
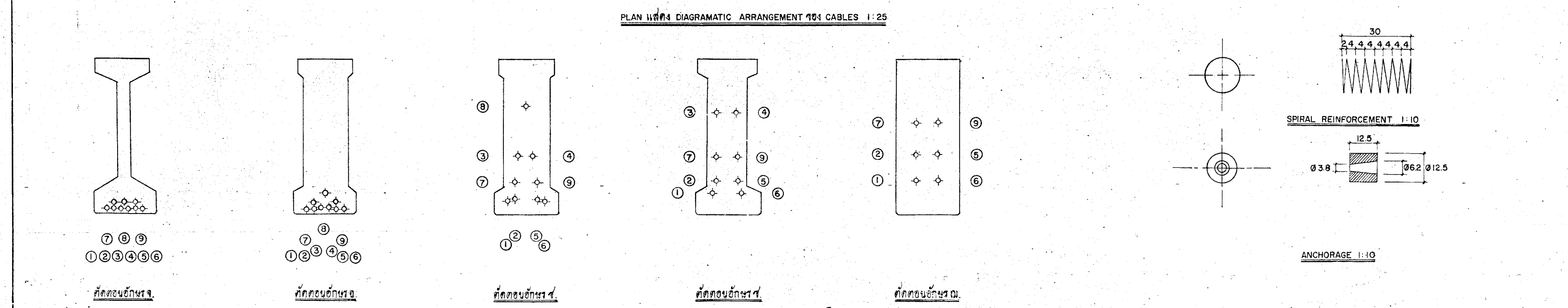
* ตัวเลขแสดงในวงเล็บ เป็นขนาดของเหล็กตามแบบ (PS5) ที่มีส่วนปลายคานยาว



การทบทวน		
เขียน	นำโดย	ทวน
ออกแบบ	นำโดย	ทวน
เห็นชอบ	ผู้ควบคุมการก่อสร้างและออกแบบ	26/11/11
อนุญาต	ผู้ควบคุม	27/11/11



แสดงระดับเรียง CABLES ตามยาวตามคอนกรีตอัดแรง 1:25



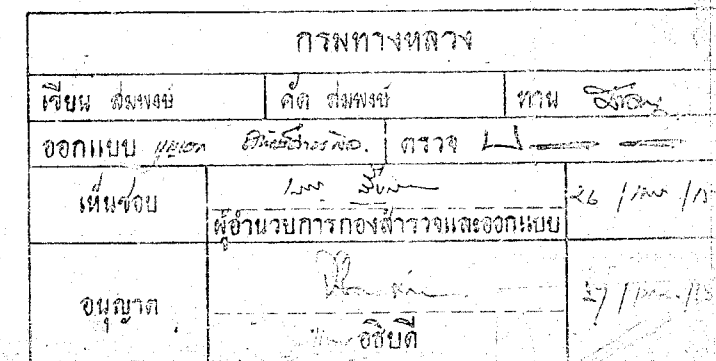
กองสำรวจและออกแบบ	
แบบสำรวจ	รหัสควบคุม
50306-14/3	
แบบมาตรฐานสะพานคอนกรีตอัดแรง	
ช่วงยาว 29.97 เมตร	ทางรถกว้าง 6.05 - 14.00 เมตร
เอียง 0° - 50°	น้ำหนักบรรทุก H2Q - S16 - 44
แสดง CABLES ของงานคอนกรีตอัดแรง	

- รายการ**
เหล็กอัดแรงทั้งหมด 9 CABLES CABLE หนึ่งเส้นประกอบด้วยลวดขนาด 7 มม จำนวน 12 เส้น ลวดนี้มีแรงดึงสูงสุด (ULTIMATE STRENGTH) ไม่ต่ำกว่า 16,000 กก./ฟุต
2. การดึง CABLES ให้ตึงพร้อมกับทั้งสองปลายของลวด และดึงตามลำดับดังนี้:-
ภายหลังเพื่อทดสอบการคายแรงของลวดที่มีแรงอัดสูงสุด (ULTIMATE STRENGTH) ไม่ต่ำกว่า 360 กก./ฟุต จากการทดสอบแห่งคอนกรีต 15x15x15 ฟุต ให้ทำการดึง CABLES หมายเลข ②, ⑤, ①, ⑥, ⑦, ⑨, ③, ④ และ ⑧ ตามลำดับ
3. ดึงให้ CABLE เส้นหนึ่งๆ มีแรงอัด 59,000 กก หรือมี INITIAL PRESTRESSING เท่ากับ 12,700 กก./ฟุต
4. หากการวัดขนาดของแรง ตามข้อ 3 ทำให้เกิดโพรงลวด แต่จะเพิ่มใน CABLES ตามส่วนยึดต่อไป:-
CABLE ② และ ⑤ ดึงให้ยึดต่อด้วยความยาวของลวด = 8.61 ฟุต
CABLE ① และ ⑥ ดึงให้ยึดต่อด้วยความยาวของลวด = 8.51 ฟุต
CABLE ⑦ และ ⑨ ดึงให้ยึดต่อด้วยความยาวของลวด = 8.71 ฟุต
CABLE ③ และ ④ ดึงให้ยึดต่อด้วยความยาวของลวด = 8.15 ฟุต
CABLE ⑧ ดึงให้ยึดต่อด้วยความยาวของลวด = 6.66 ฟุต
- คำนวณจากค่า MODULUS OF ELASTICITY = 2,000,000 กก./ฟุต การดึงให้เหลือ SLIP อีกด้วย 1.0 ± 0.5 มม นอกเหนือไปจากรายการที่แสดงไว้ข้างบนนี้
5. เหล็กเสริมอื่นๆ ให้มีคุณภาพเช่นเดียวกับเหล็กเสริมหลัก, ทางเท้า, ขาและเสาสำหรับ
6. คอนกรีตสำหรับคานยาว ให้มีค่าความล้นและรับความเค้นจากกองเจ้าของงาน และแรงอัดสูงสุด (ULTIMATE STRENGTH) ไม่ต่ำกว่า 430 กก./ฟุต จากการอัดแห่งคอนกรีตขนาด 15x15x15 ฟุต เมื่อทดสอบแล้ว 28 วัน SLUMP ไม่มากกว่า 10 ซม. และทำ CUBE ทดลองอย่างน้อยที่สุด 6 ก้อน
7. วิธีต่างๆ ที่ใช้จะต้องผ่านการทดสอบ และเห็นชอบจากกองเจ้าของงาน
- ลำดับการก่อสร้าง**
- ก่อนทำการดึงเหล็ก ให้แม่แรงดึง CABLE ทุกลูกไปมาเสียก่อน เพื่อที่จะลดความผิดเพี้ยนเกิดขึ้นจากน้ำหนักของเหล็กเส้นที่วางไว้ในท่อ
 - ให้ดึง CABLE ต่างๆ ทั้งหมด เพื่อคอนกรีตคานยาวมีแรงอัดสูงสุด (ULTIMATE STRENGTH) ไม่ต่ำกว่า 360 กก./ฟุต จากการอัดแห่งคอนกรีต ขนาด 15x15x15 ฟุต
 - ภายหลังการดึง CABLES ทั้งหมดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ GROUT ช่องว่างใน CABLES ด้วยปูนซีเมนต์ แล้วอัดปูนให้เรียบ
 - เพื่อเห็นจากการดึง CABLES ของคานยาวคานทุกตัวแล้ว จึงหล่อคอนกรีต คานวาง และพื้นคานลัดกับ

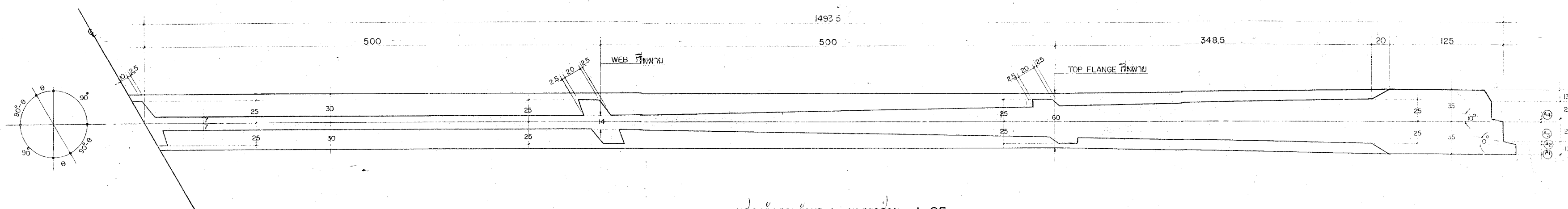
หมายเหตุ

1. มิติต่างๆ เป็นเส้นดินทราย นอกจากระบุเป็นอย่างอื่น

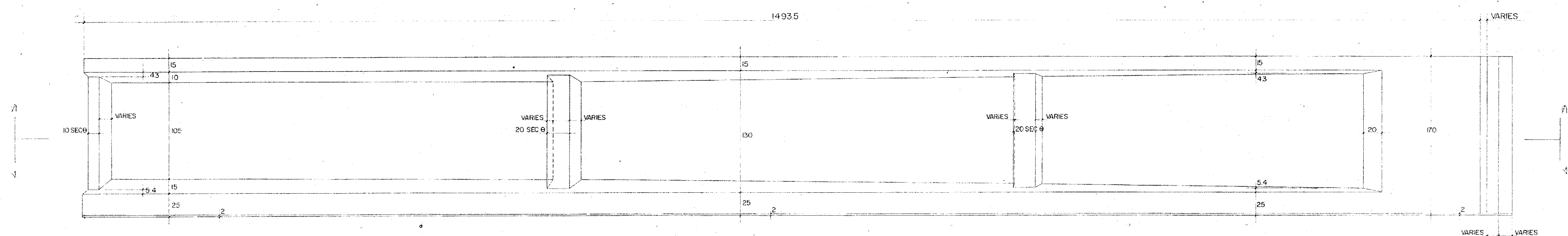
กรมทางหลวง		
เขียน สมพงษ์	คิด สมพงษ์	ทวน อธิษฐ์
ออกแบบ ยศธร วัฒนวิมล	การ L	
เห็นชอบ	ผู้อำนวยการกองสำรวจและออกแบบ	26 / 11 / 11
อนุญาต		



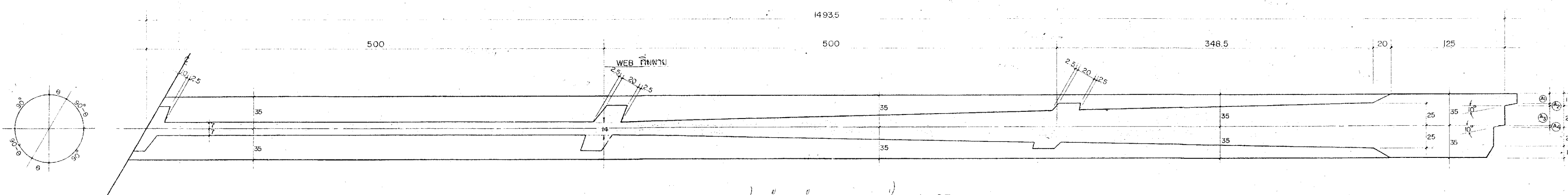
กองตำรวจและออกหมาย	
แบบเลขที่ SD 306-4/2	รหัสคดีคุณ
แบบมาตรฐาน หนังสือขอหมายจับคดีประจำ วันที่ 2997 สภ. ทางหลวง 600-1400 สภ.ท. เรื่อง 0-0 ยื่นฟ้องอาญา H20-SIG-44 แจ้งพนักงานสอบสวนคดีอาญา	



แสดงคำตอบยักยว ค. พาดกรลำน 1:25



แสดงทรงพระกรุณาฯ ตั้งขึ้น มาตราส่วน 1:25



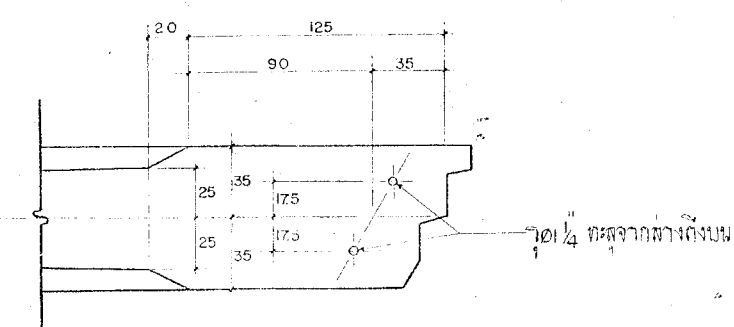
แสดงติดต่ออักษร ง. นาทาถำน 1:25

රැකව

1. คำนวณหา f_{yk} ยกเว้นค่าของ f_{yk} ที่แรก f_{yk} หรือ f_{yk}^{ult} (ULTIMATE STRENGTH) ของแท่งคอนกรีต
ทดสอบขนาด $15 \times 15 \times 28$ ซม. เป็นค่าเฉลี่ย 290 กก./ซม.²
2. คำนวณหาของคอนกรีตทุกแท่งเป็นดังนี้
จากผิวบนของ SLAB ถึงเหล็ก 30 ซม.
ส่วนอื่น 25 ซม.
3. ต้องมี 2 ซม. ทุกแท่งของแท่งนี้ นอกจากจะเป็นอย่างอื่น
4. วัสดุจะนำมากใช้ได้ในรูปที่วิศวกรเจ้าของงานพอ

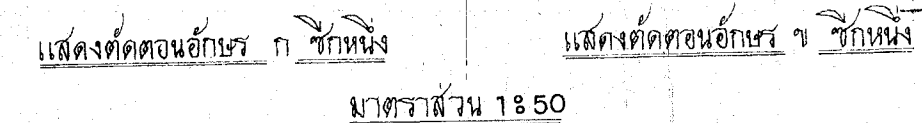
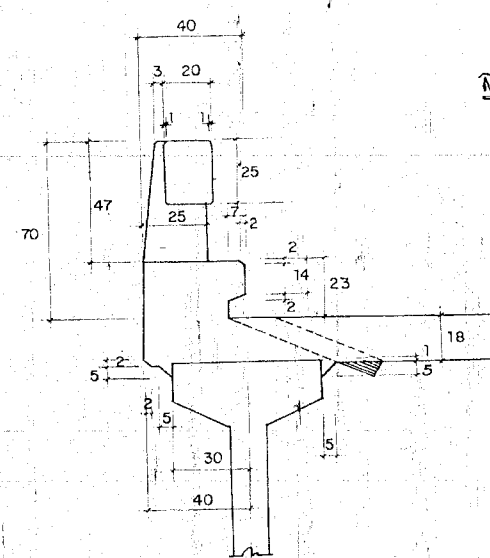
บทนำ

1. ทิศทางของทรงทางหน้า ที่แสดงในแบบแปลน เป็นทิศทางกว้างขวาง (TYPE A) ในกรณีนี้ต้องมีการวางหน้ากว้างขนาด 1.00 เมตร และ 0.40 เมตร ที่ปลายลิ้นแบริกของทรงทางหน้าเป็นแบบ TYPE B และ C ตามลำดับ ดังแสดงในแบบแปลน SD306-14/1
2. θ (SKEW ANGLE) คือมุมที่เส้นหน้ากับเส้นตั้งฉากของแนวทางในเขี้ยว
3. ลำดับหน้า (A_1) , (A_2) , (A_3) และ (A_4) แสดงในแบบแปลน SD306-14/4



11/11/77 FIXED BEARINGS 1:25

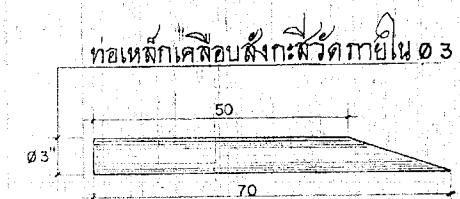
กรมทางหลวง			
รถยนต์	น้ำมัน	อัตรา	น้ำมัน
ออกหน่วย	ยก	อัตรา	1
เห็นชอบ	โดย	ผู้อำนวยการกองการวางแผนออกแบบ	26/10/10
อนุมัติ	โดย	อธิบดี	27/10/10



TYPE C

แสดงรายละเอียดทางเท้า TYPE A, B และ C มาตรฐาน 1820

ลพเหลี่ยมคานคอนกรีตอัดแรง : ลพเหลี่ยมคานวาง
มาตราส่วน 1:2.5



แสดงพระยานาฬ มาตราต้น 1810

บัญชีการจัดกระแสรายของเสารัก

มุมเงย	มุมเอียง (SKEW ANGLE)										
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
S ₁ (N)	1.85	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83
S ₂ (N)	0.20	0.30	0.31	0.33	0.34	0.36	0.46	0.48	0.51	0.54	0.65
S ₃ (N)	0.20	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.26	0.24	0.21	0.20	0.23

ผลการจัดการขยะทางสวนคอนกรีตอัดแรง									
ตัวอักษร.	ทางรถกว้าง (ม)								
	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
จำนวนคน(น) (ตัว)	4	4	5	5	6	6	7	7	7
ระยะทาง (S) (ม)	200	2.33	2.00	2.25	2.00	2.20	2.00	2.17	2.33

บทเรียน

1. การจัดวางคานาข้างทางต้องวางให้สมมาตร (SYMMETRY) กับเส้นศูนย์กลางถนน
(C OF ROADWAY).
2. มิติต่างเป็นชนิดคี่เมตร นอกจากจะระบุเป็นอย่างอื่น

กรมการทหาร :			
ไทย <i>ไทย</i>	กับ <i>กับ</i>	ทาง <i>ทาง</i>	
ออกโดย <i>ออก</i>	โดย <i>โดย</i>	ที่ <i>ที่</i>	
หน้า <i>หน้า</i>	จำนวนการส่ง <i>จำนวนการส่ง</i>		26/11/11
๑๔๓๓	๑๔๓๓		๑๔/๑๑/๑๑

กองสำรวจและออกแบบ

แบบสำรวจ

รหัสควบคุม

G.T.-156-14/4

แบบมาตรฐานฉบับแก้ไขเพิ่มเติม

พื้นทางรถ, พื้นทางเท้า, เสารั้ว และรางระบายน้ำ

วัสดุทาง GIRDER TYPE รหัส 15.00 เมตร เหนือ 0°-50°

ขนาดกว้าง 6.00-14.00 เมตร

บัญชีเหล็กเสริมพื้นทางรถ, พื้นทางเท้า, เสารั้วและรางระบายน้ำ

เหล็กการวางเหล็ก (ม.)	หมายเลขเหล็ก	ทางรถกว้าง 6.00 ม.				ทางรถกว้าง 7.00 ม.				ทางรถกว้าง 8.00 ม.				ทางรถกว้าง 9.00 ม.				ทางรถกว้าง 10.00 ม.				ทางรถกว้าง 11.00 ม.				ทางรถกว้าง 12.00 ม.				ทางรถกว้าง 13.00 ม.				ทางรถกว้าง 14.00 ม.			
		NO.	@	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	NO.	@	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	NO.	@	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	NO.	@	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	NO.	@	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	NO.	@	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	NO.	@	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)	NO.	@	จำนวน	ยาวเส้น (ม.)				
	(P1)	4	—	36	1.46	4	—	36	1.46	4	—	36	1.46	4	—	36	1.46	4	—	36	1.46	4	—	36	1.46	4	—	36	1.46	4	—	36	1.46				
	(P2)	4	—	36	1.97	4	—	36	1.97	4	—	36	1.97	4	—	36	1.97	4	—	36	1.97	4	—	36	1.97	4	—	36	1.97	4	—	36	1.97				
	(P3)	4	—	36	1.08	4	—	36	1.08	4	—	36	1.08	4	—	36	1.08	4	—	36	1.08	4	—	36	1.08	4	—	36	1.08	4	—	36	1.08				
	(P4)	4	—	36	1.73	4	—	36	1.73	4	—	36	1.73	4	—	36	1.73	4	—	36	1.73	4	—	36	1.73	4	—	36	1.73	4	—	36	1.73				
	(R1)	4	—	8	14.88	4	—	8	14.88	4	—	8	14.88	4	—	8	14.88	4	—	8	14.88	4	—	8	14.88	4	—	8	14.88	4	—	8	14.88				
	(S1)	5	0.26	—	6.70	5	0.26	—	7.70	5	0.26	—	8.70	5	0.26	—	9.70	5	0.26	—	10.70	5	0.26	—	11.70	5	0.26	—	12.70	5	0.26	—	13.70	5	0.26	—	14.70
	(S2)	5	0.26	—	2.80	5	0.26	—	3.13	5	0.26	—	2.80	5	0.26	—	3.05	5	0.26	—	2.80	5	0.26	—	3.00	5	0.26	—	2.80	5	0.26	—	2.97	5	0.26	—	3.13
	(S3)	5	0.26	—	6.70	5	0.26	—	7.70	5	0.26	—	8.70	5	0.26	—	9.70	5	0.26	—	10.70	5	0.26	—	11.70	5	0.26	—	12.70	5	0.26	—	13.70	5	0.26	—	14.70
	(S1')	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—
	(S3')	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—	5	0.13	—	—
	(ST1)	2	0.20	140	1.00	2	0.20	140	1.00	2	0.20	140	1.00	2	0.20	140	1.00	2	0.20	140	1.00	2	0.20	140	1.00	2	0.20	140	1.00	2	0.20	140	1.00	2	0.20	140	1.00
	(ST2)	2	0.20	70	—	2	0.20	70	—	2	0.20	70	—	2	0.20	70	—	2	0.20	70	—	2	0.20	70	—	2	0.20	70	—	2	0.20	70	—	2	0.20	70	—
	(ST3)	2	0.20	20	—	2	0.20	20	—	2	0.20	20	—	2	0.20	20	—	2	0.20	20	—	2	0.20	20	—	2	0.20	20	—	2	0.20	20	—	2	0.20	20	—
	(ST4)	2	0.20	140	0.80	2	0.20	140	0.80	2	0.20	140	0.80	2	0.20	140	0.80	2	0.20	140	0.80	2	0.20	140	0.80	2	0.20	140	0.80	2	0.20	140	0.80	2	0.20	140	0.80
	(SW1)	5	0.24	—	2.62	5	0.24	—	2.62	5	0.24	—	2.62	5	0.24	—	2.62	5	0.24	—	2.62	5	0.24	—	2.62	5	0.24	—	2.62	5	0.24	—	2.62	5	0.24	—	2.62
	(SW2)	5	0.24	—	1.71	5	0.24	—	1.71	5	0.24	—	1.71	5	0.24	—	1.71	5	0.24	—	1.71	5	0.24	—	1.71	5	0.24	—	1.71	5	0.24	—	1.71	5	0.24	—	1.71
	(SW3)	4	—	10	14.88	4	—	10	14.88	4	—	10	14.88	4	—	10	14.88	4	—	10	14.88	4	—	10	14.88	4	—	10	14.88	4	—	10	14.88	4	—	10	14.88
	(SW4)	3	0.20	—	1.40	3	0.20	—	1.40	3	0.20	—	1.40	3	0.20	—	1.40	3	0.20	—	1.40	3	0.20	—	1.40	3	0.20	—	1.40	3	0.20	—	1.40	3	0.20	—	1.40
	(SW1)	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—
	(SW2)	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—	5	0.24	—	—
	(T1)	5	0.30	39	14.88	5	0.30	39	14.88	5	0.30	39	14.88	5	0.30	39	14.88	5	0.30	39	14.88	5	0.30	39	14.88	5	0.30	39	14.88	5	0.30	39	14.88	5	0.30	39	14.88
	(T2)	3	0.15	20	14.88	3	0.15	20	14.88	3	0.15	20	14.88	3	0.15	20	14.88	3	0.15	20	14.88	3	0.15	20	14.88	3	0.15	20	14.88	3	0.15	20	14.88	3	0.15	20	14.88
NO. 2 = Ø 1/4" หรือ 6 มม., NO. 3 = Ø 3/8" หรือ 9 มม., NO. 4 = Ø 1/2" หรือ 12 มม., NO. 5 = Ø 5/8" หรือ 15 มม.																																					

- รายการ
- เหล็กเสริมขนาดตั้งแต่ NO.4 ขึ้นไป ใช้ชนิด INTERMEDIATE GRADE - DEFORMED BAR ขนาดเล็กกว่า NO.4 ใช้ชนิด STRUCTURAL GRADE โดย GRADES ของเหล็กให้เป็นไปตาม A.A.S.H.O SPECIFICATION
 - การติดตั้งเหล็กเสริมจะวางตามยาวเหล็กให้เป็นไปตามแบบ ในกรณีที่มีความยาวเหล็กไม่เพียงพอ ให้มีการต่อเหล็ก (SPlicing) ได้โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากวิศวกรก่อน และควมยาวของเหล็กที่ซ้อนกันควรน้อยกว่า (LAPPING) จะต้องเป็นไปตามที่กำหนด
 - สำหรับ PLAIN BAR จะต้องมีไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น
 - สำหรับ DEFORMED BAR จะต้องมีไม่น้อยกว่า 24 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

- หมายเหตุ
- ความยาวของเหล็กหมายเลข (S1') (S3') (SW1) (SW2) (SW1') และ (SW2) บริเวณริมตัดของช่วงสะพาน ให้พิจารณาหรือสังเกตตามลักษณะของสะพาน
 - ในกรณีสะพานทางเท้ากว้าง 100 ม. ให้ลดจำนวนเหล็กหมายเลข (T2) ลงข้างละ 3 เส้น และลดความยาวของเหล็กหมายเลข (SW1) (SW2) (SW1') และ (SW2) ลงเส้นละ 0.50 ม.
 - ในกรณีสะพานทางเท้ากว้าง 0.40 ม. ให้ใช้เหล็กตามแบบเหล็กเสริมสำหรับทางเท้า 0.40 ม. ที่แนบไว้
 - มิติที่ให้เป็นขั้นบันไดเหล็ก นอกจากจะระบุเป็นอย่างอื่น
 - แบบนี้ใช้ได้ประกอบกับแบบเลขที่ GT-156-14/1, GT-156-14/2, GT-156-14/3

บัญชีเหล็กตัว A และ B สำหรับทางเท้า 1.50 เมตร

ตัวอักษร	θ	ทางรถกว้าง (ม.)								
		6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
A (ม.)	0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5°	0.53	0.61	0.70	0.79	0.88	0.96	1.05	1.14	1.23
	10°	1.06	1.23	1.41	1.58	1.76	1.94	2.12	2.30	2.47
	15°	1.61	1.88	2.14	2.41	2.68	2.95	3.22	3.49	3.76
	20°	2.18	2.55	2.91	3.28	3.64	4.00	4.36	4.74	5.10
	25°	2.80	3.27	3.74	4.20	4.66	5.14	5.60	6.06	6.53
	30°	3.47	4.05	4.62	5.20	5.77	6.35	6.93	7.50	8.09
	35°	4.20	4.90	5.60	6.30	7.00	7.70	8.40	9.10	9.80
	40°	5.04	5.86	6.71	7.55	8.39	9.21	10.05	10.90	11.72
	45°	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
B (ม.)	50°	7.16	8.35	9.55	10.72	11.92	13.11	14.31	15.50	16.70
	0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5°	0.26	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44
	10°	0.53	0.57	0.62	0.66	0.71	0.75	0.79	0.84	0.88
	15°	0.81	0.87	0.94	1.01	1.07	1.14	1.21	1.27	1.34
	20°	1.09	1.19	1.28	1.37	1.46	1.55	1.64	1.73	1.82
	25°	1.40	1.52	1.64	1.75	1.87	1.99	2.10	2.22	2.34
	30°	1.73	1.88	2.02	2.17	2.31	2.46	2.60	2.74	2.89
	35°	2.10	2.28	2.45	2.63	2.80	2.98	3.16	3.33	3.50
	40°	2.52	2.72	2.93	3.14	3.35	3.56	3.76	3.98	4.19
	45°	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00
	50°	3.58	3.88	4.17	4.46	4.76	5.06	5.36	5.66	5.95

บัญชีเหล็กตัว tan θ

θ	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
tan θ	0	0.0875	0.1763	0.2679	0.3640	0.4663	0.5774	0.7002	0.8391	1.0000	1.1918

สำหรับทางเท้ากว้าง 100 ม. และ 0.40 ม.
ค่า B = $\left[\frac{\text{ความกว้างทางรถ} + 100}{4} \right] \tan \theta$ และ $\left[\frac{\text{ความกว้างทางรถ} + 40}{4} \right] \tan \theta$ ตามลำดับ

การทางหลวง

เขียน สัมพร

คัต สัมพร

ทวน

ออกแบบ

ภาพ ทดสอบ

ตรวจ

เห็นชอบ

ผู้อำนวยการกองสำรวจและออกแบบ

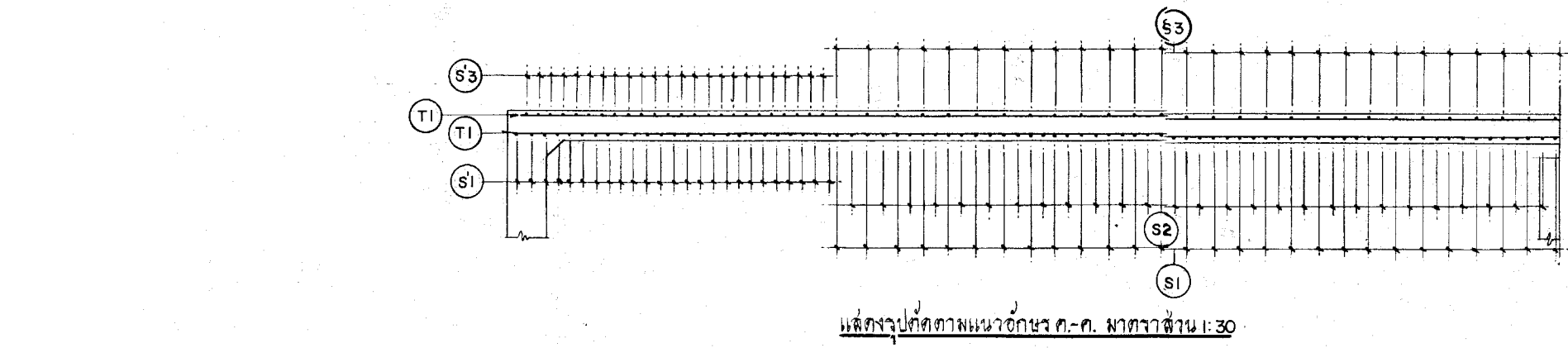
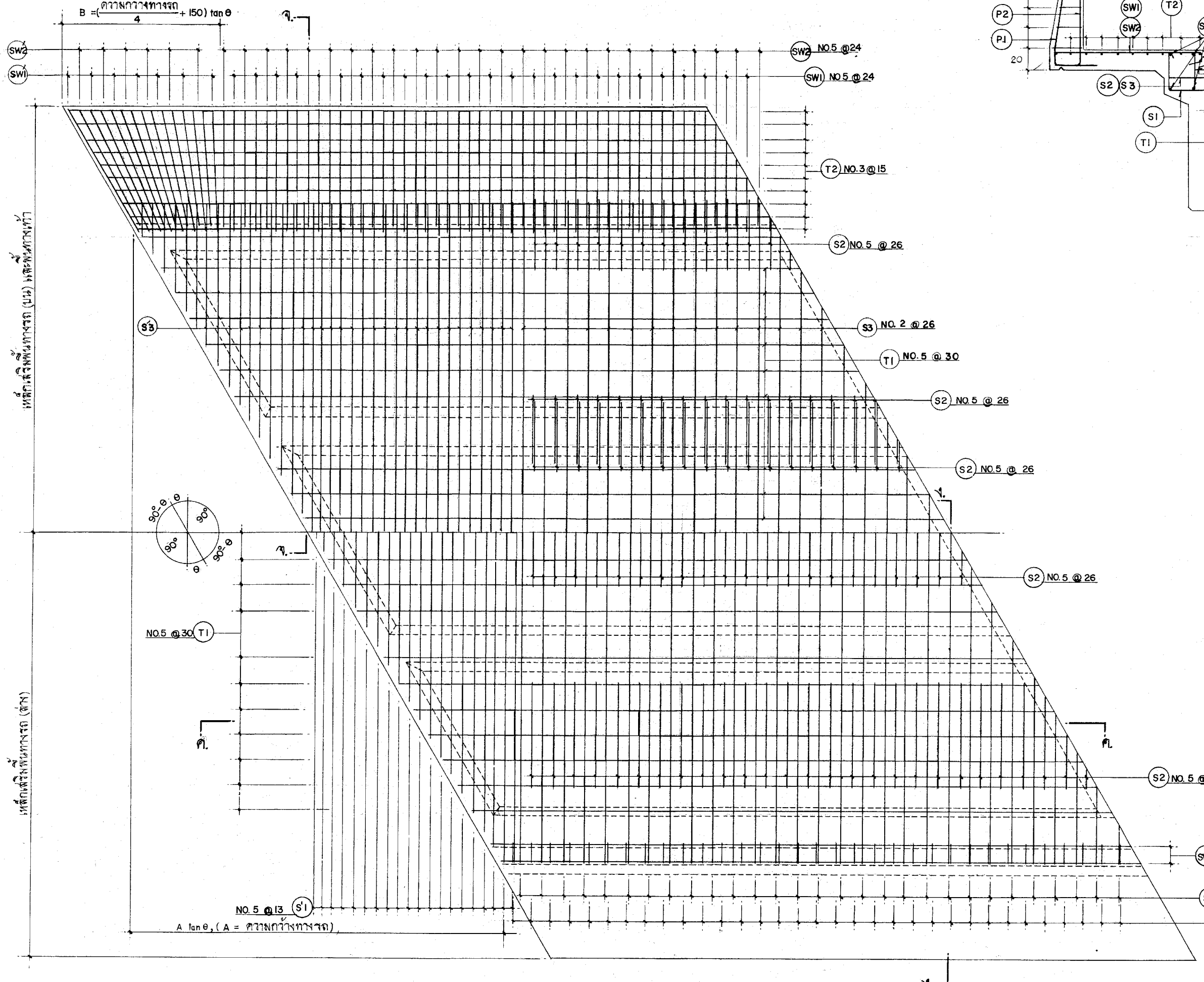
23 ก.ค./1

อนุญาต

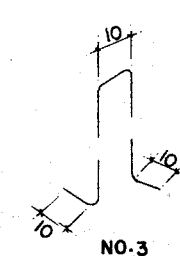
นาย อธิปัต

24 ก.ค./1

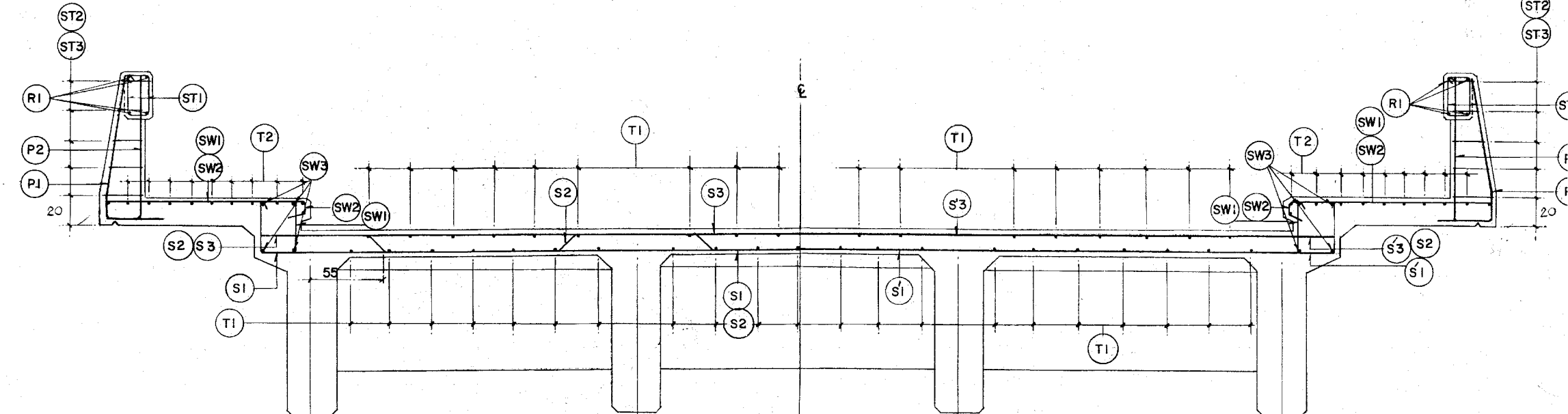
กองสำรวจและออกแบบ	
แบบสำรวจ	รหัสควบคุม
G.T.-156-14/2	
แบบสำรวจสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก GIRDER TYPE	
กว้าง 15.00 เมตร, กางรถกว้าง 6.00-14.00 เมตร,	
เชิง 0°-50° น้ำหนักบรรทุกทุก H20-S16-44	
แสดงเหล็กเสริมพื้นสะพานและพื้นทางเท้า	



แสดงเหล็กเสริมทางลาดและพื้นทางเท้าครึ่งข้าง มาตราส่วน 1:30
 หมายเหตุ บัญชีเหล็กเสริม บัญชีค่า A, B, tone และรายละเอียดให้ดูตามแบบเลขที่ G.T.-156-14/4

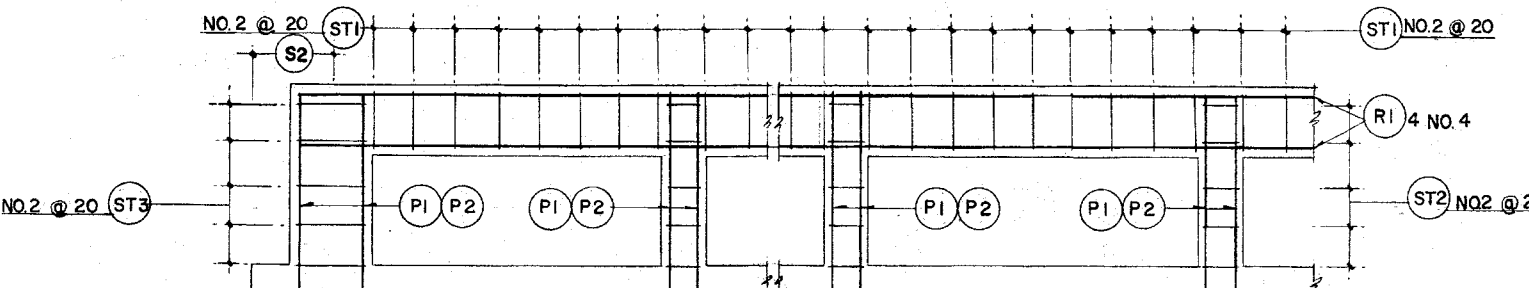


แสดงเหล็กเสริมรอบเหล็กดัดแรงขึ้นบน มาตราส่วน 1:10



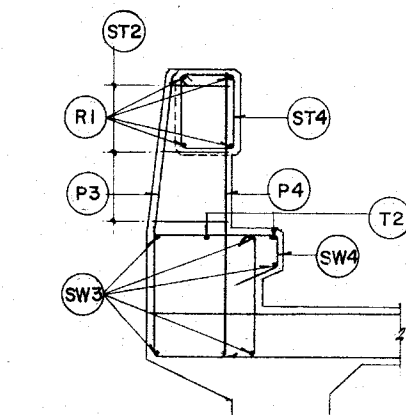
แสดงรูปตัดตามแนวถนน ก-ค. มาตราส่วน 1:25

แสดงรูปตัดตามแนวถนน ก-ค. มาตราส่วน 1:25

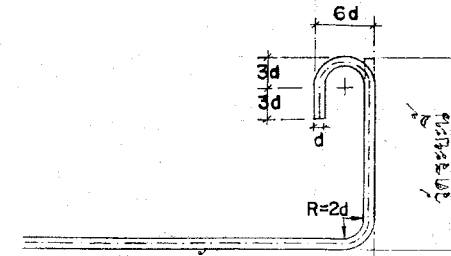


แสดงเหล็กเสริมตัววางและวางสะพานช่วงรังวัด มาตราส่วน 1:25

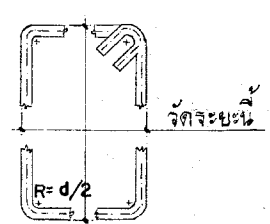
แสดงเหล็กเสริมตัววางและวางสะพานช่วงกลาง มาตราส่วน 1:25



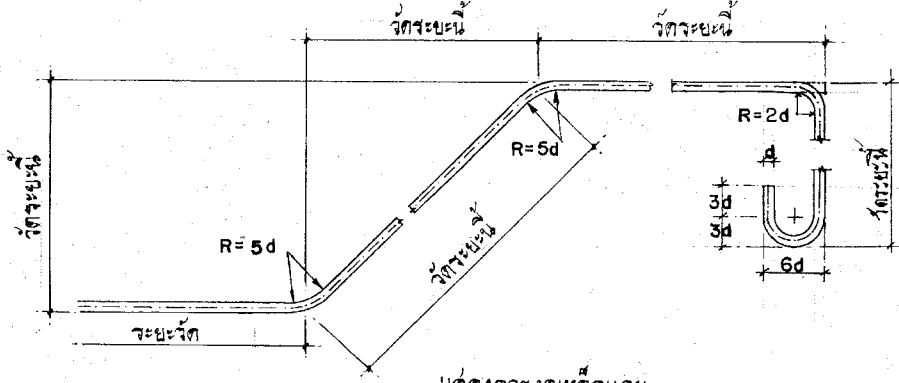
แสดงเหล็กเสริมทางเท้ากว้าง 0.40 ม. มาตราส่วน 1:15



แสดงการวางเหล็กบนถนน



แสดงการวางเหล็กบนสะพาน



แสดงการวางเหล็กบนถนน

การทางหลวง		
เขียน	ตรวจ	ทำ
ออกแบบ	นำท	ทำ
เห็นชอบ	ทำ	ทำ
อนุญาต	ทำ	ทำ

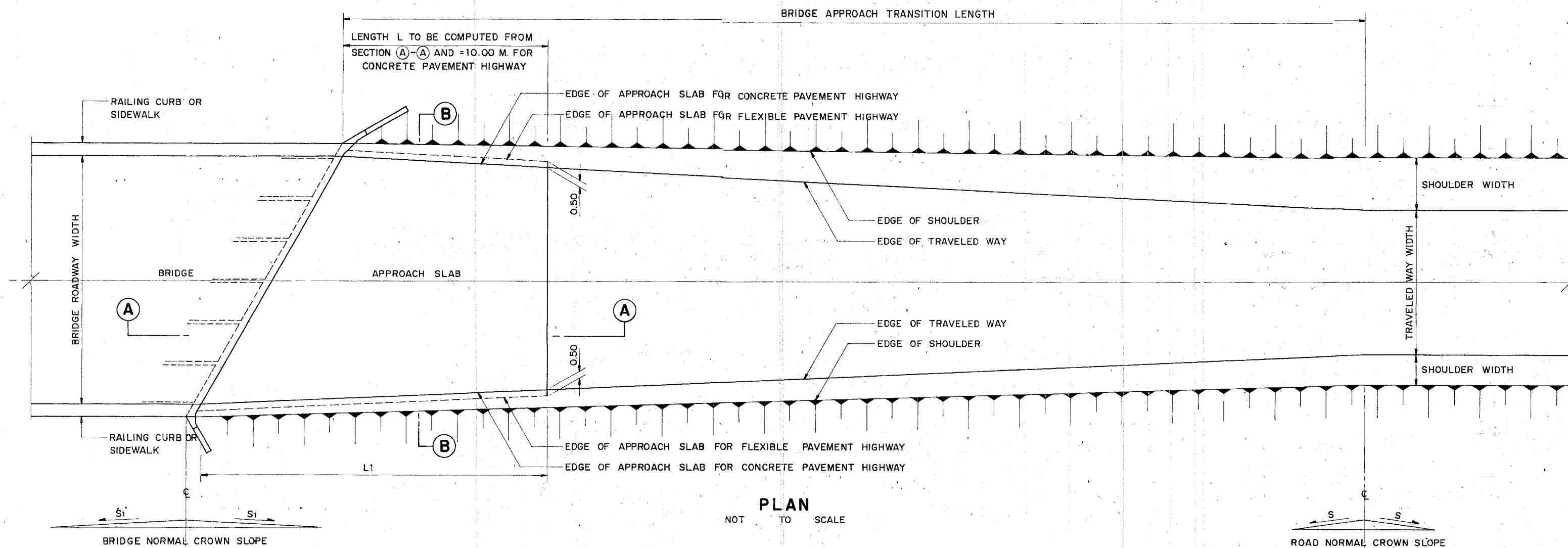
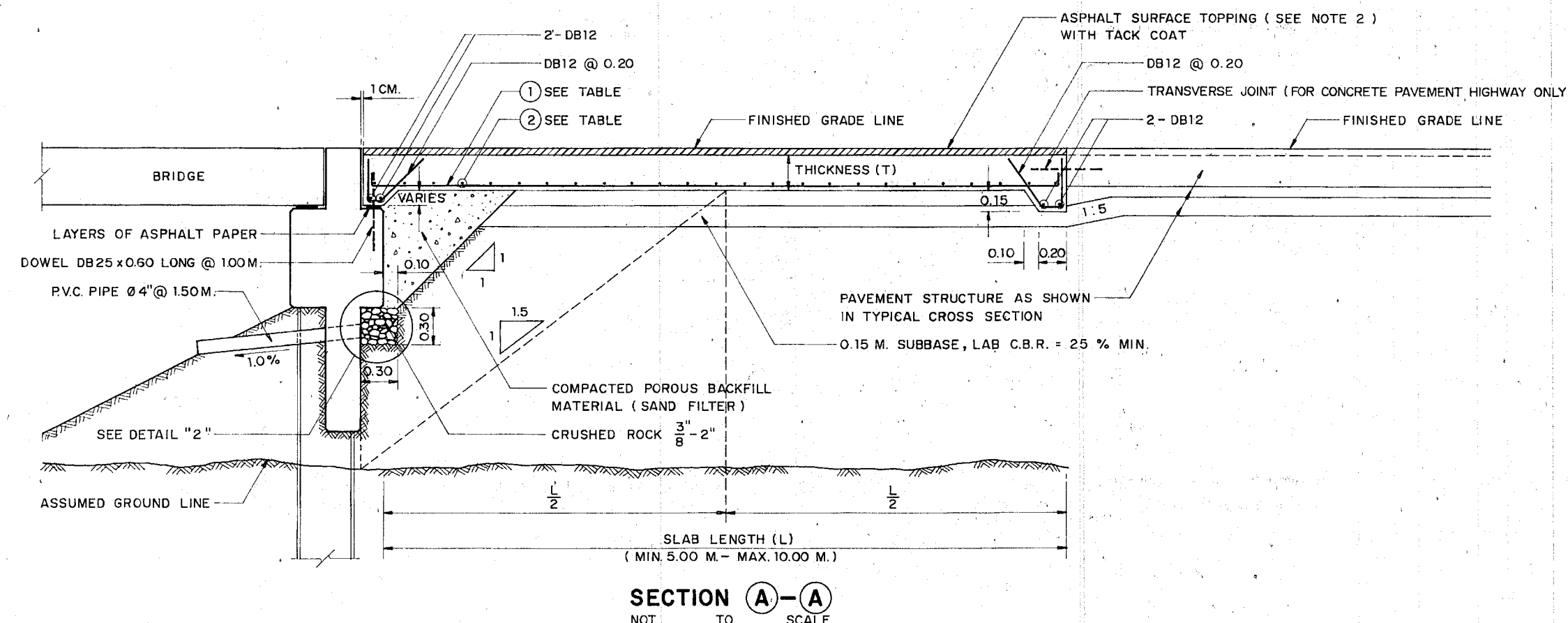
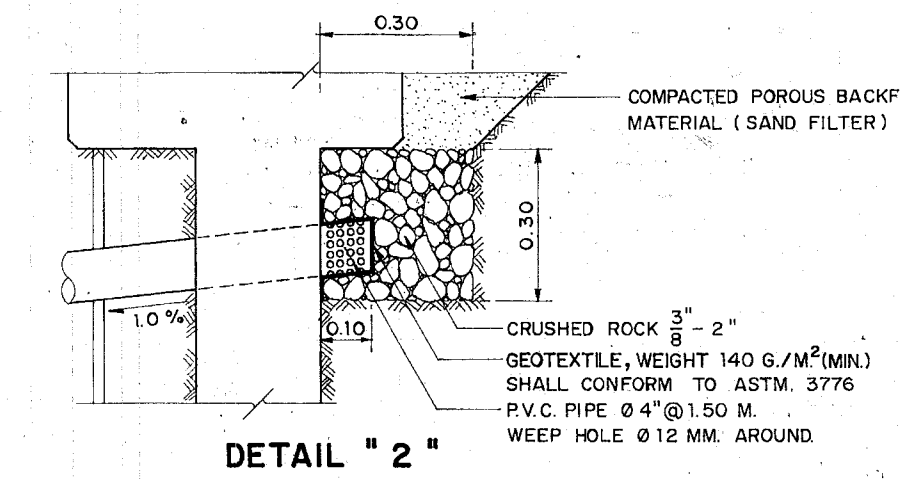
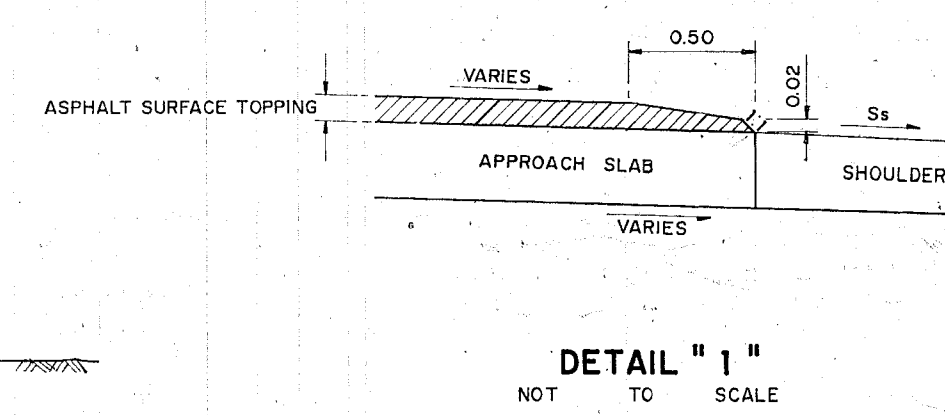
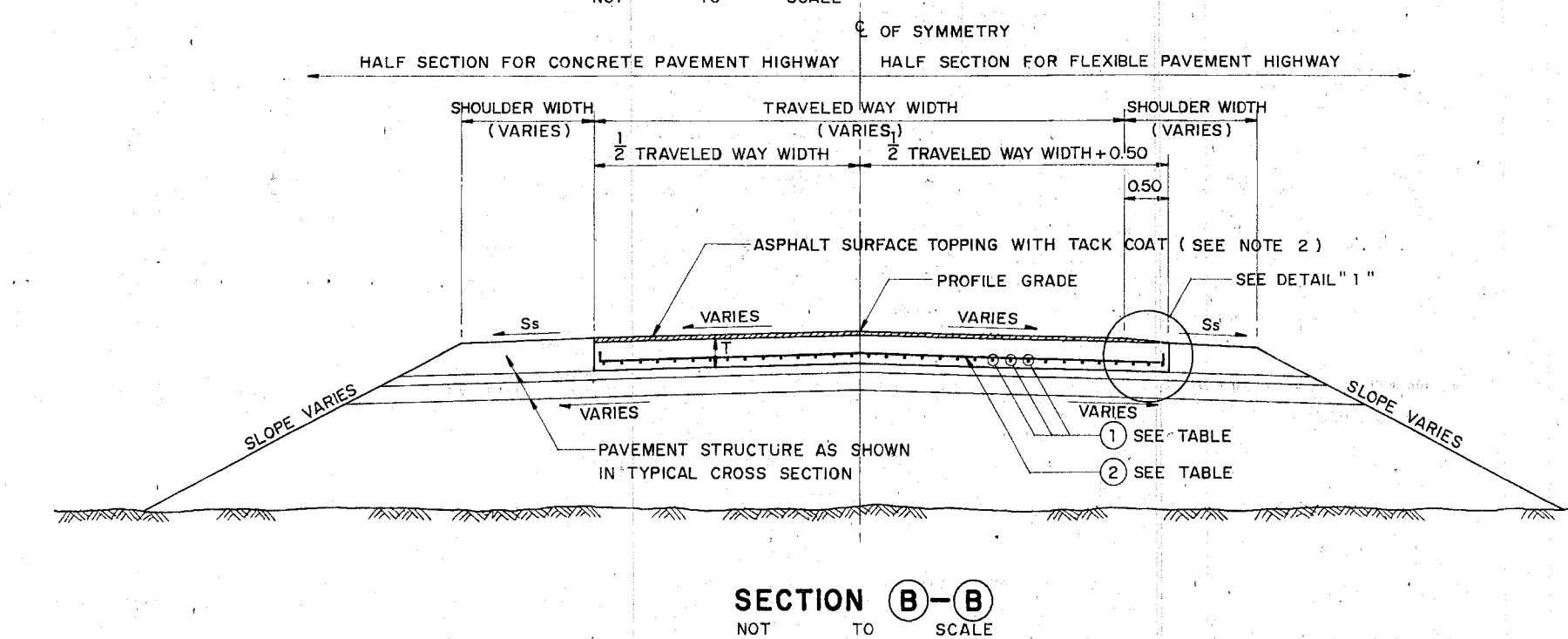


TABLE: THICKNESS AND REINFORCEMENT

SLAB LENGTH (L) M.	THICKNESS (T) CM.	REINFORCEMENT	
		BAR MARK ①	BAR MARK ②
5.00	20	DB20 @ 0.20	DB12 @ 0.20
6.00	22	DB20 @ 0.15	DB12 @ 0.20
7.00	24	DB20 @ 0.20	DB12 @ 0.20
8.00	26	DB20 @ 0.15	DB12 @ 0.15
9.00	28	DB25 @ 0.20	DB16 @ 0.20
10.00	30	DB25 @ 0.15	DB16 @ 0.15



- NOTES:**
- DIMENSIONS ARE IN METERS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
 - TYPE AND THICKNESS OF SURFACE TOPPING ON THE APPROACH SLAB SHALL BE AS FOLLOWS.
 - FOR CONCRETE PAVEMENT HIGHWAY ON SOFT FOUNDATION WITH ASPHALTIC CONCRETE TREATED SHOULDER, 5 CM. OF HOT MIXED ASPHALTIC CONCRETE SHALL BE USED.
 - FOR CONCRETE PAVEMENT HIGHWAY ON SOFT FOUNDATION WITH BITUMINOUS SURFACE TREATMENT TREATED SHOULDER OR NONTREATED SHOULDER, EITHER 5 CM. OF COLD MIX ASPHALTIC CONCRETE OR 5 CM. OF HOT MIXED ASPHALTIC CONCRETE SHALL BE USED.
 - FOR CONCRETE PAVEMENT HIGHWAY ON NORMAL SOIL FOUNDATION NO ASPHALT SURFACE TOPPING SHALL BE REQUIRED AND THE APPROACH SLAB SHALL BE RAISED TO FINISHED GRADE LINE.
 - FOR FLEXIBLE PAVEMENT HIGHWAY WITH ASPHALTIC CONCRETE SURFACE THE SAME THICKNESS (5 CM. MIN.) OF ASPHALTIC CONCRETE TOPPING SHALL BE USED.
 - FOR FLEXIBLE PAVEMENT HIGHWAY WITH BITUMINOUS SURFACE TREATMENT SURFACE, EITHER 5 CM. OF COLD MIX ASPHALTIC CONCRETE OR 5 CM. OF HOT MIXED ASPHALTIC CONCRETE SHALL BE USED.
 - CONCRETE SHALL HAVE A MINIMUM ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH OF 325 KSC. FOR 15x15x15 CM. CUBE AT 28 DAYS. AN APPROXIMATE MIX DESIGN PER CUBIC METER IS SUGGESTED AS FOLLOWS:

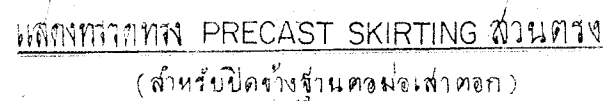
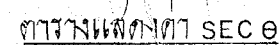
PORTLAND CEMENT TYPE 1	350 KG. (MIN.)
SAND	0.43 M. ³
CRUSHED ROCK OR GRAVEL	0.86 M. ³
CONCRETE SLUMP	7 CM. (MAX.)
 - NORMAL CLEAR CONCRETE COVER SHALL BE 3 CM. BUT FOR SALINE PROTECTION, CLEAR CONCRETE COVER SHALL BE 5 CM.
 - REINFORCING STEEL SHALL CONFORM TO TIS. 20 GRADE SR24 FOR ROUND BARS AND TIS. 24 GRADE SD30 FOR DEFORMED BARS.
 - POROUS BACKFILL MATERIAL SHALL BE HARD DURABLE AND CLEAN IT SHALL BE GRAVEL OR CRUSHED ROCK OR SAND AND SHALL FREE FROM ORGANIC MATERIAL, CLAY BALLS AND OTHER DELETERIOUS SUBSTANCES. LATERITE OR CONCRETIONARY MATERIAL SHALL NOT BE USED. SAND USED FOR POROUS BACKFILL MATERIAL SHALL CONFORM TO THE FOLLOWING GRADING REQUIREMENTS.

SIEVE DESIGNATION	PERCENT BY WEIGHT PASSING
3/8"	100
NO. 4	95 - 100
NO. 16	45 - 80
NO. 50	10 - 30
NO. 100	2 - 10
 - THE COST OF APPROACH SLAB SHALL INCLUDE THE COST OF POROUS MATERIAL.
 - S₁ = BRIDGE NORMAL CROWN SLOPE

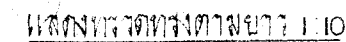
S = ROAD NORMAL CROWN SLOPE

S_s = SHOULDER CROSS SLOPE

KINGDOM OF THAILAND MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS DEPARTMENT OF HIGHWAYS		
STANDARD DRAWING BRIDGE APPROACH SLAB AND POROUS BACKFILL MATERIALS		
DESIGNED : D.O.H. & CONSULTANTS	CHECKED : <i>[Signature]</i>	DATE JULY 1994
SUBMITTED : <i>[Signature]</i> (DIRECTOR OF LOCATION & DESIGN DIVISION)		SCALE NONE
APPROVED : <i>[Signature]</i> (DIRECTOR GENERAL)		DWG. NO. TS-403
		SHEET NO. 13



ตัวคูณ	SKEW ANGLE (θ)										
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
SEC θ	1.000	1.0038	1.0154	1.0353	1.0642	1.1034	1.1547	1.2208	1.3054	1.4142	1.5557



รวมการ

I. ส่วนประกอบของหมอน FIXED BEARINGS	๑. ชิ้นที่ ๑
- ๑. ชิ้นที่ ๑	90 %
- ๒. ชิ้นที่ ๒	10 %

2. **หลักเกณฑ์ :-**

21. เหล็กท่อนกลม NO.4 ชนิดเหล็กตีเกลียวขนาด INTERMEDIATE
GRADE DEFORMED BAR

2.2 พวกลูกเหล็ก NO.4 ที่ใช้เหล็กชนิด STRUCTURAL GRADE
 GRADES ของเหล็กนั้นเป็นไปตาม AASHTO SPECIFICATIONS

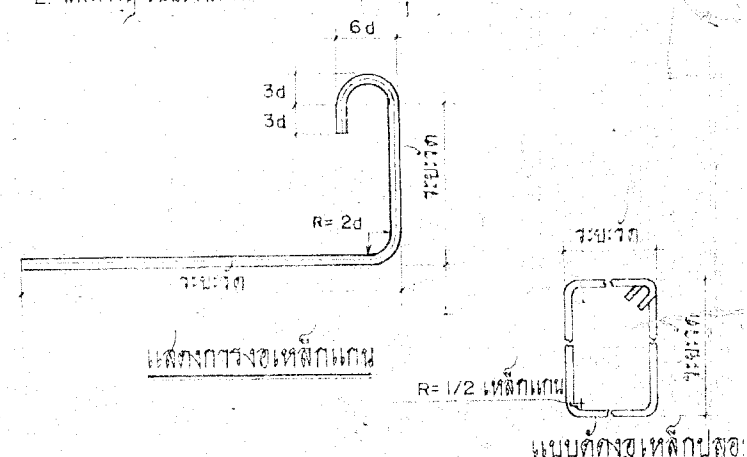
3. การตัดของยีน และการควบคุมการยีนที่ถูกเปลี่ยนเป็นรูปแบบใหม่เรียกว่า การควบคุมการตัดของยีนหรือการตัดของยีน (SPLICING) ที่เกิดขึ้นภายใต้การเหนี่ยวนำจากปัจจัยควบคุมภายนอก และการควบคุมการตัดของยีนที่ควบคุมการตัดของยีน (LAPPING) จะเกิดขึ้นภายใต้การควบคุมภายใน

3.1 วัสดุแบบ PLAIN BARS ที่ใช้ในโครงคาน 40 เมตรของเส้นผ่าศูนย์กลาง
เหล็กคาน

3.2 การวัด DEFORMED BARS ให้นำขนาด 24 นิ้วของเหล็กดัดมาวัด

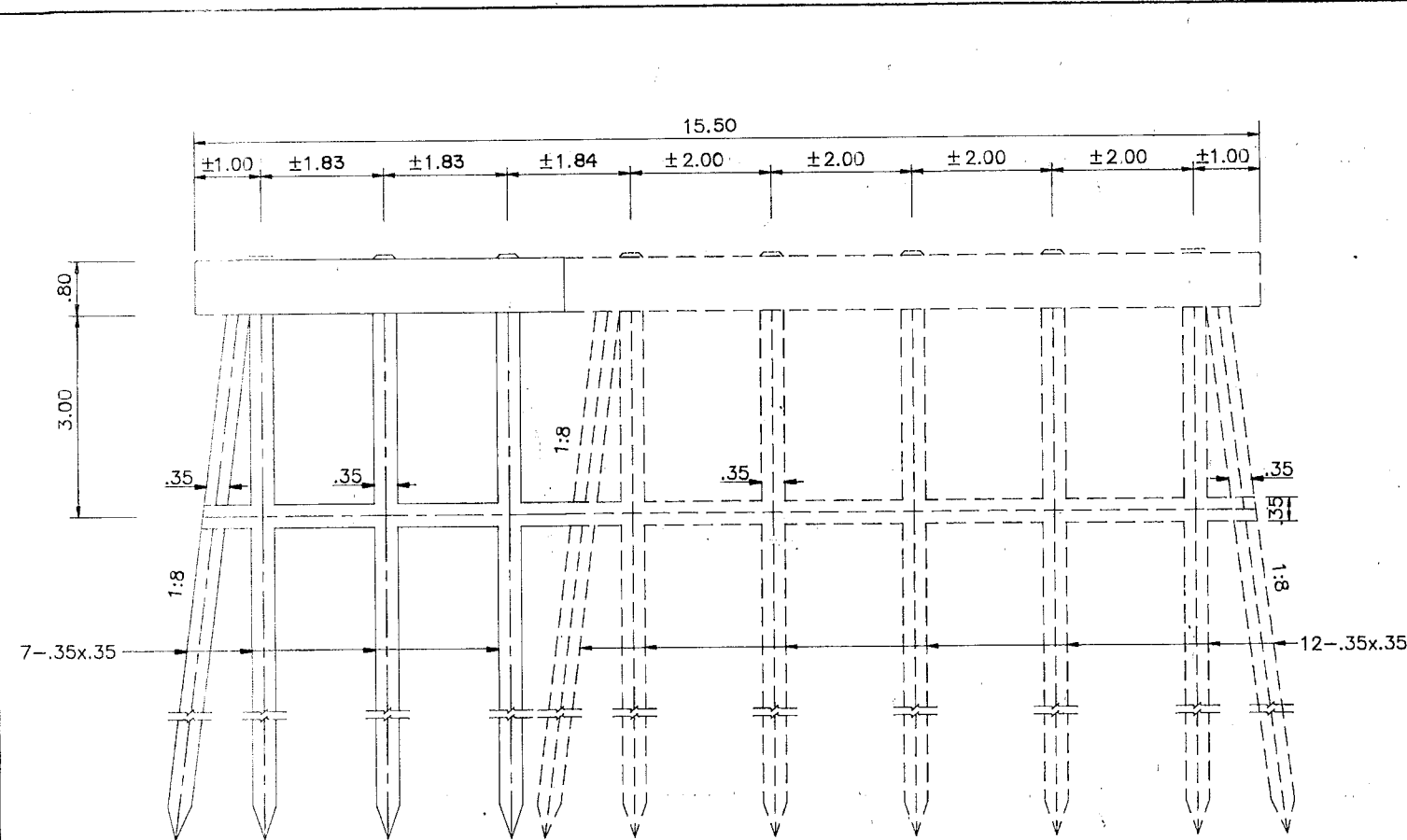
ทนายเบ๊ท

1. θ (ANGLE SKEW) เป็นมุมที่ล้นาทำกับเส้นตรงฉากของแนวทาง เป็นองศา
2. มัดต่าง เป็นเส้นค้ำเหล็ก ผูกจากกรบเป็นของแข็ง

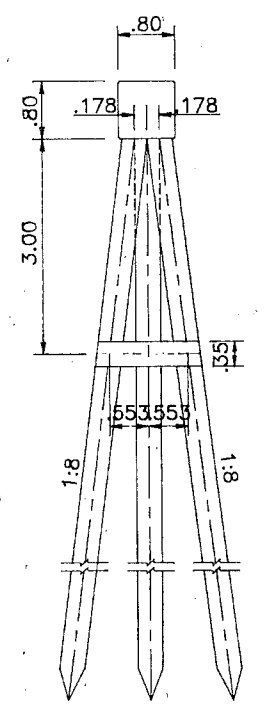


กรมทางหลวง		
วิทยณ อภัย	ลัด อภัย	กรม ๒๒๘๐
ออกแบบ	๒๒๘๐	๒๒๘๐
เห็นชอบ	ผู้อำนวยการกองการช่าง	๒๗/๒-๑/๒
อนุมัติ	นาย อภัย	๑/๒๒๘๐

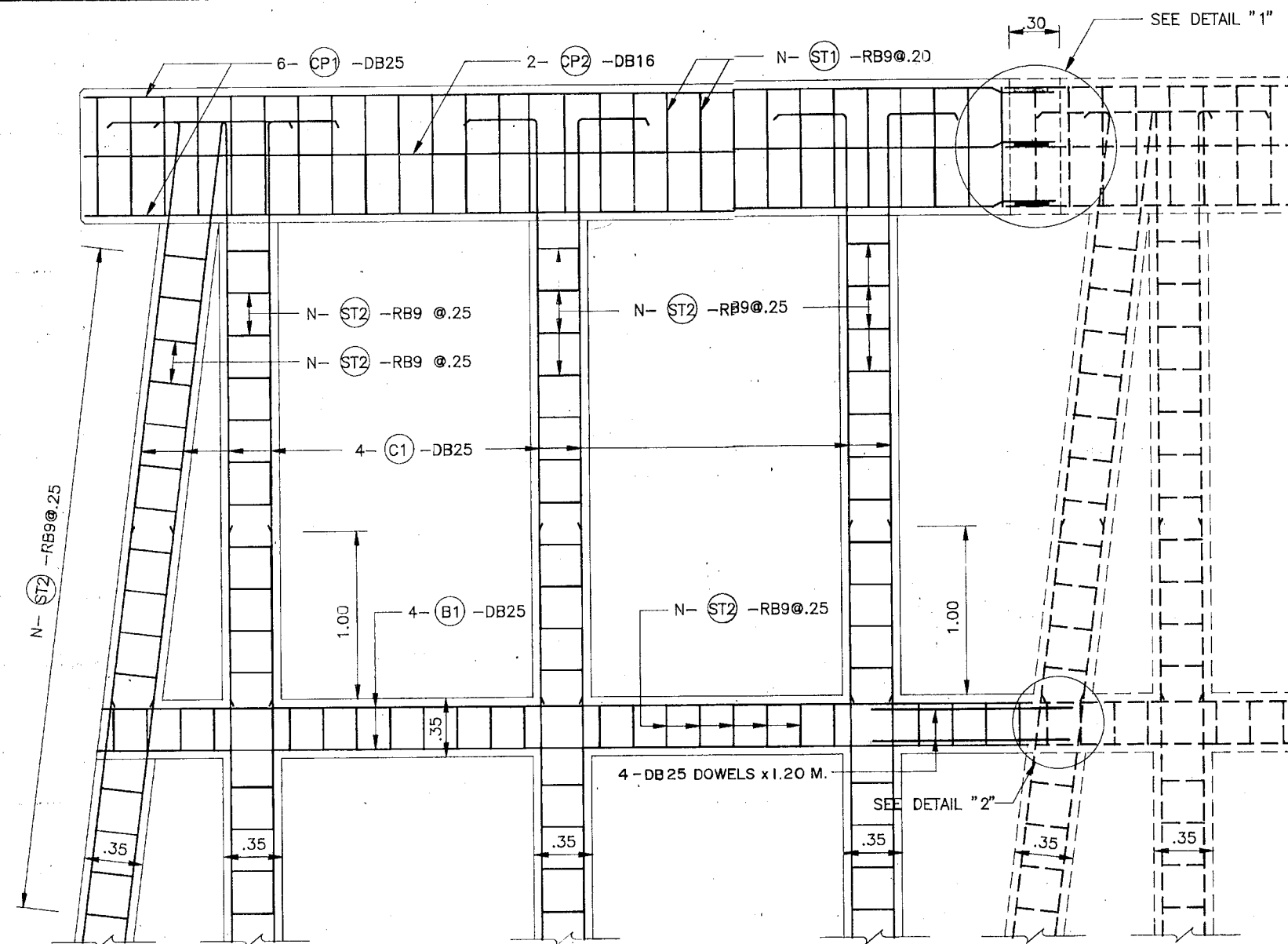
* การกระทำดังกล่าวนี้จะมีผลเป็นจำนวนและความยาวของเหล็กที่รับน้ำหนักต่อจำนวน



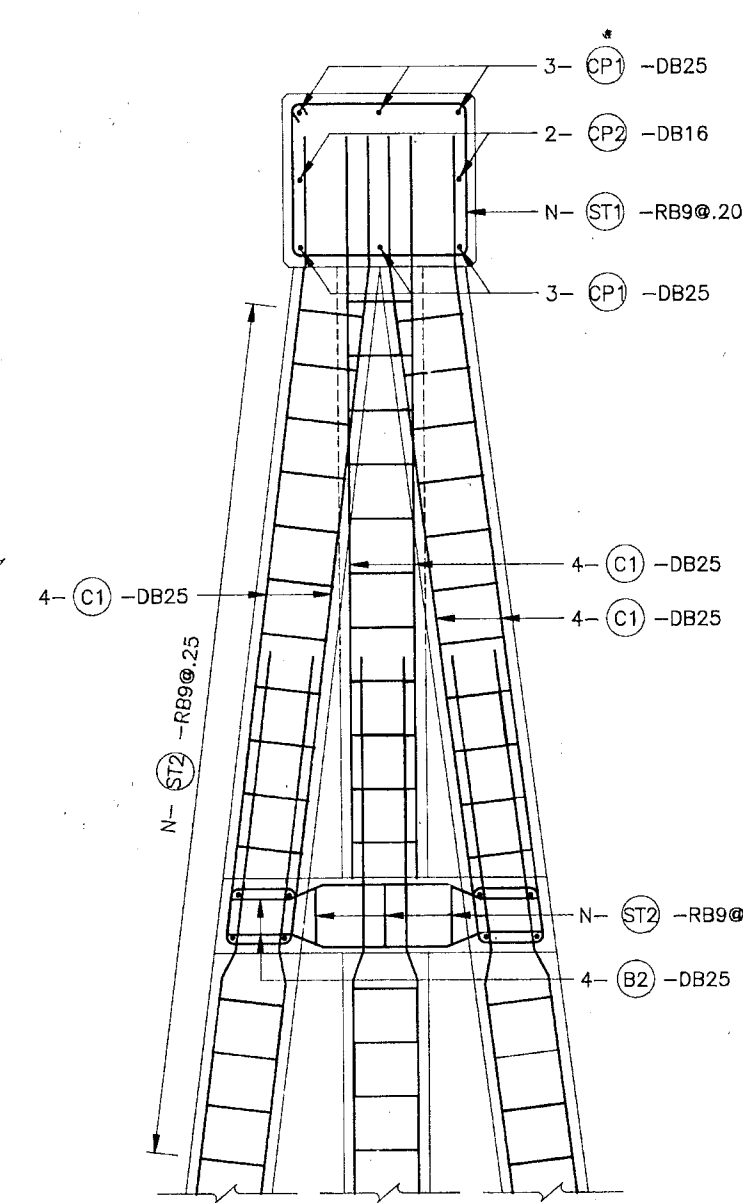
ELEVATION
SCALE 1 : 75



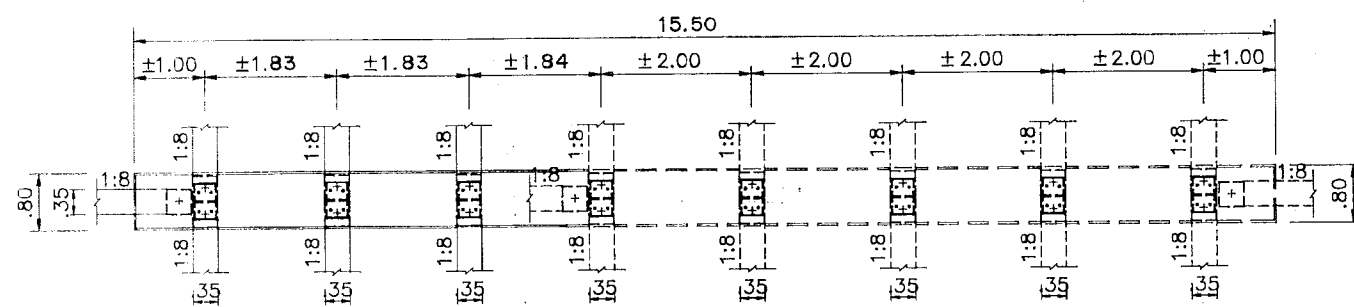
CROSS SECTION
SCALE 1 : 75



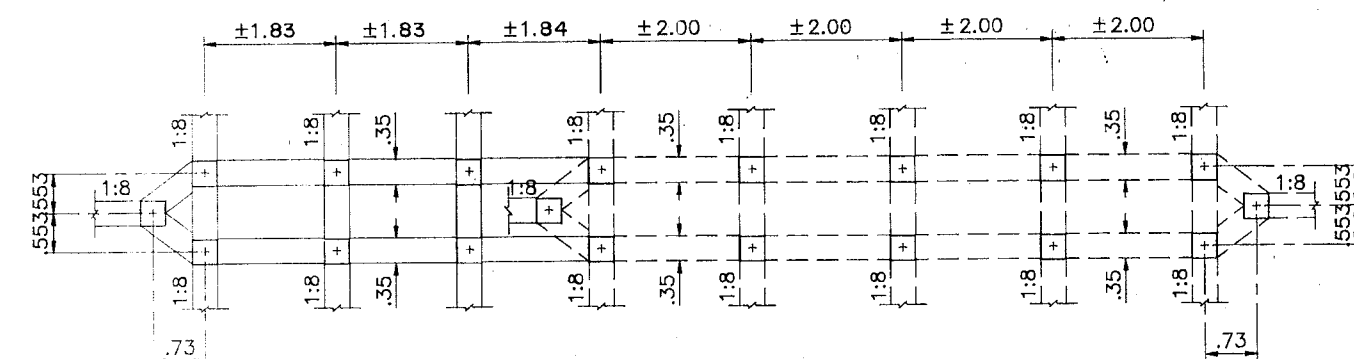
ELEVATION REINFORCEMENT DETAIL
SCALE 1 : 25



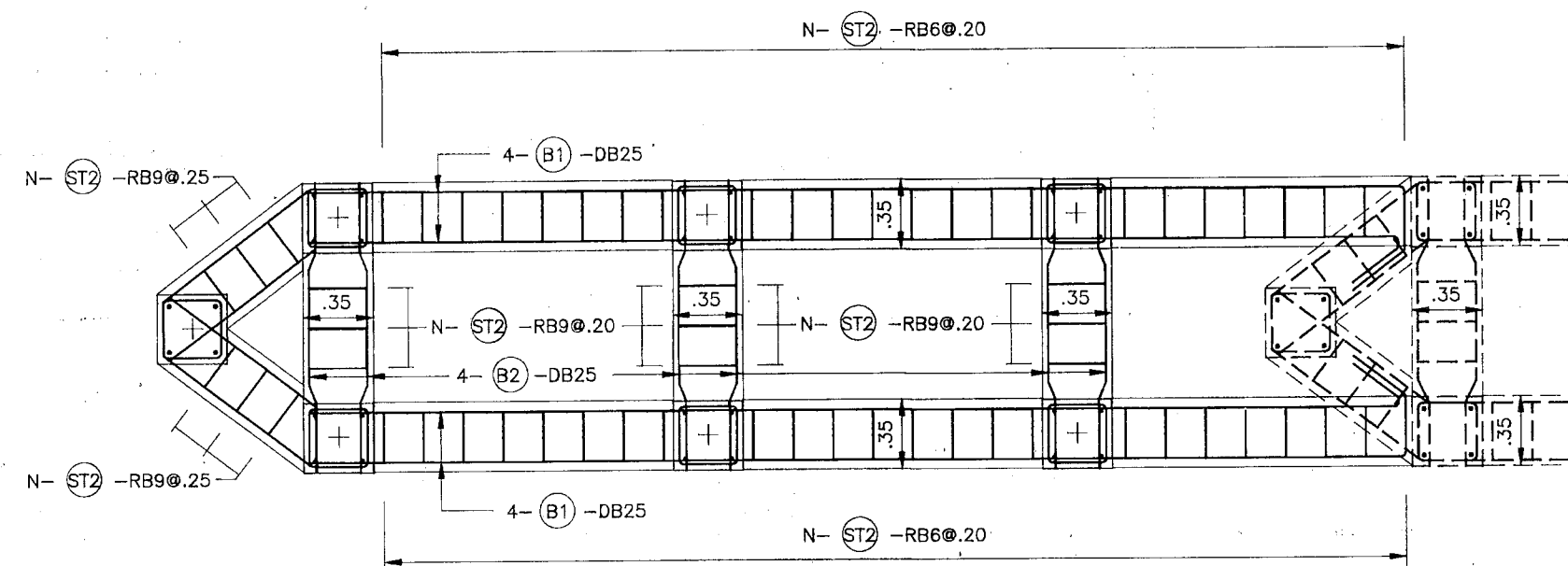
CROSS SECTION REINFORCEMENT DETAIL
SCALE 1 : 25



PILING PLAN
SCALE 1 : 75



PLAN OF BRACING
SCALE 1 : 75



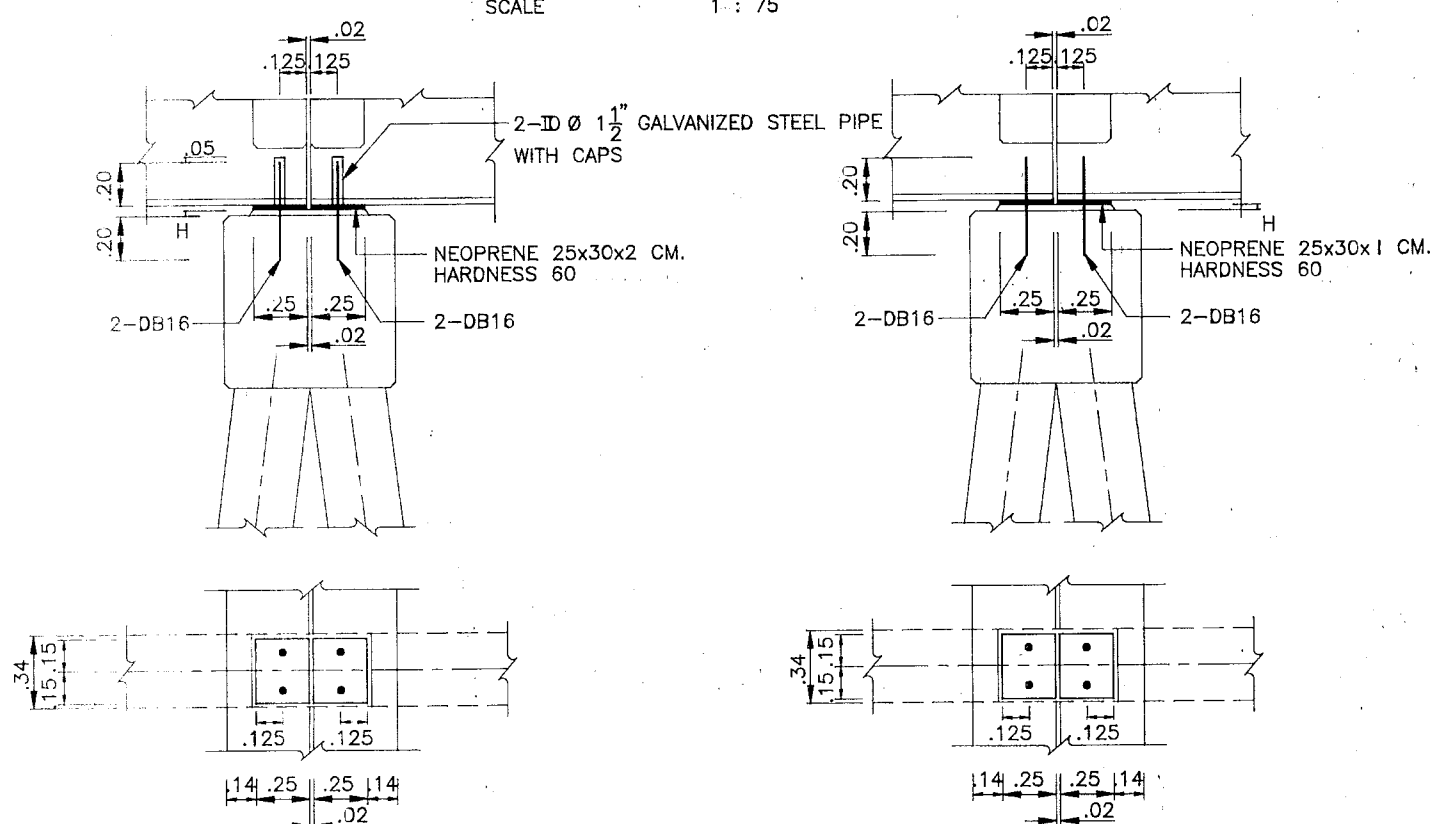
BRACING REINFORCEMENT DETAIL
SCALE 1 : 25

TABLE OF REINFORCEMENT

MEMBER	BAR MARK	DESCRIPTION	BAR DIAMETER	NO. OF BAR (S)	SPACING M.	REMARKS
	CP1	VARIABLE	25	6	—	
	CP2	VARIABLE	16	2	—	
	C1	VARIABLE	25	N	—	
	B1	VARIABLE	25	N	—	
	B2	VARIABLE	25	N	—	
	ST1	VARIABLE	9	N	.20	
	ST2	VARIABLE	9	N	.25	

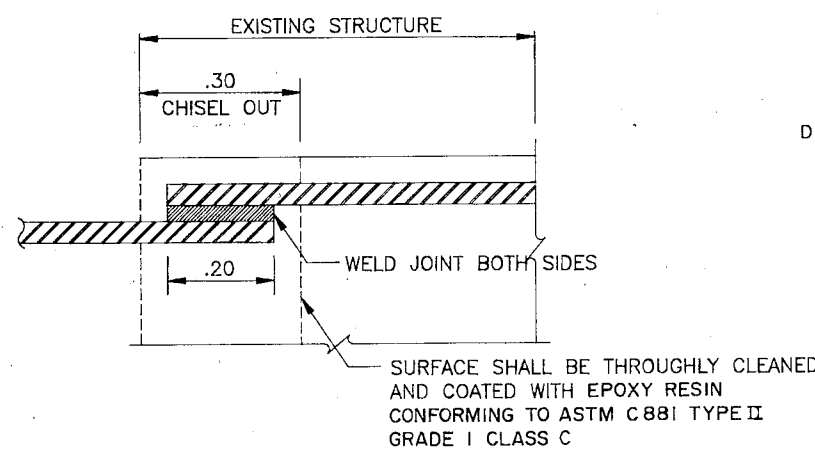
NOTES:

- SEE NOTES ON STANDARD DWG. NO. SS-001 & 002
- THE EXTENSION STRUCTURE SHALL BE ADJUSTED TO SUIT THE EXISTING STRURE
- THE EXTENSION STRUCTURE SHALL FOLLOW THE DETAILS SHOWN ON THIS DRAWING AND/OR THE RELATED D.O.H. STANDARD DRAWINGS
- EPOXY RESIN SHALL CONFORM TO ASTM C 881 TYPE I GRADE 2 CLASS C

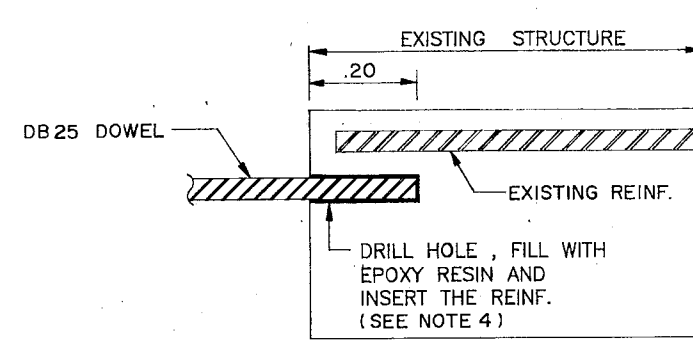


FREE BEARING DETAILS
SCALE 1 : 25

FIXED BEARING DETAILS
SCALE 1 : 25



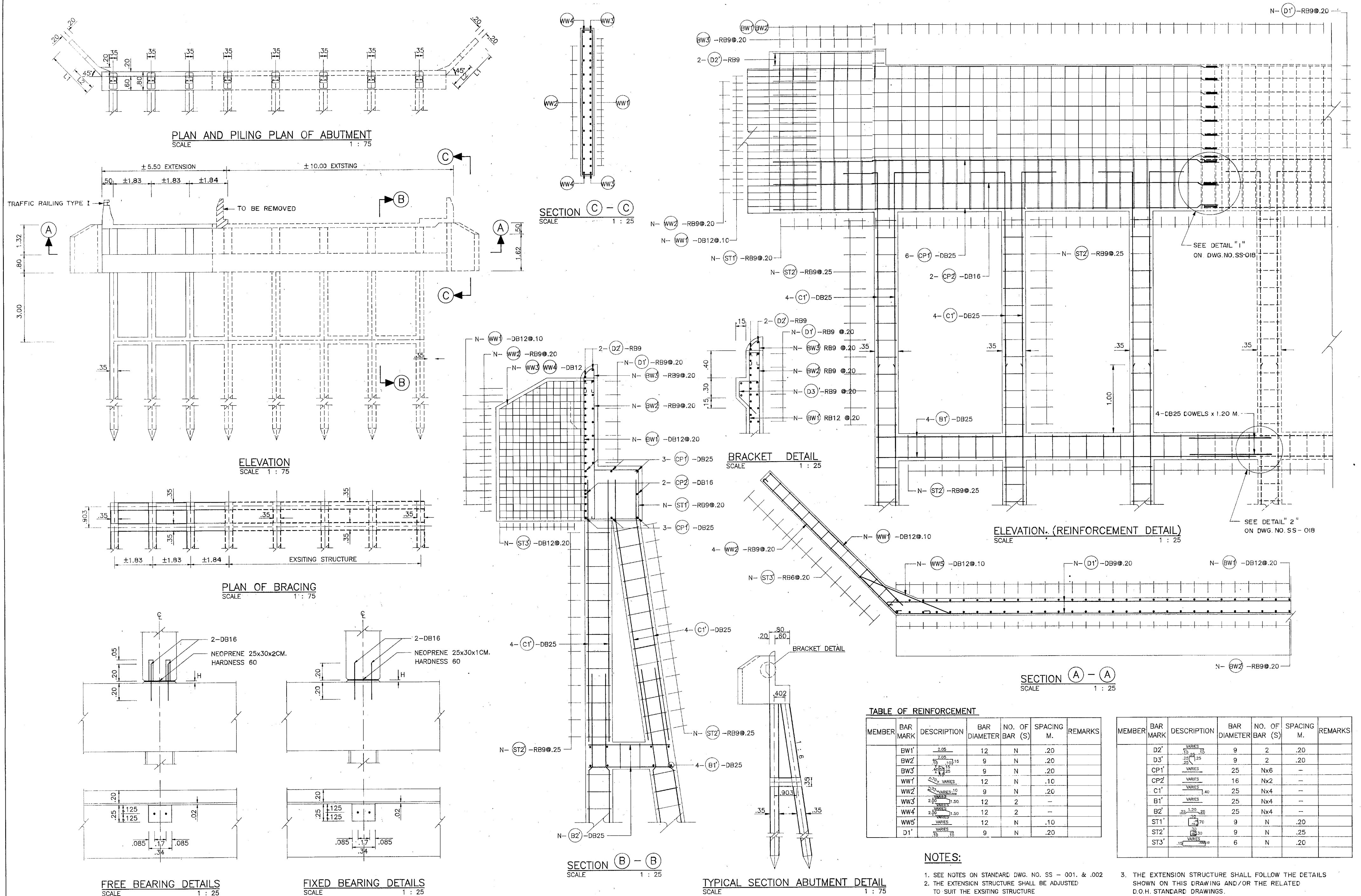
TYPICAL REINFORCEMENT CONNECTION DETAIL "1"
SCALE 1 : 10

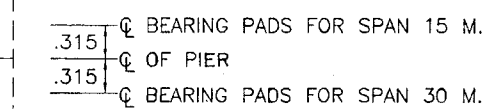


TYPICAL REINFORCEMENT CONNECTION DETAIL "2"
SCALE 1 : 10

REV. NO.	DESCRIPTION	ENGINEER CHECKED DATE	DOH CHECKED DATE	REV. NO.	DESCRIPTION	ENGINEER CHECKED DATE	DOH CHECKED DATE

KINGDOM OF THAILAND MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS DEPARTMENT OF HIGHWAYS	PIER FOR SPAN 15+15 M. DETAILS (EXTENSION) IBRD - FOURTH HIGHWAY SECTOR PROJECT PACKAGE II - WIDENING ROUTE NO.2 KHONKAEN - NAMPHONG STA.31+248.C54	THAI ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD. In association with UPHAM INTERNATIONAL CORPORATION	SUBMITTED BY PRASITTHIPORN C. PROJECT MANAGER DATE NOV. 22, 1996	DESIGNED : AUKARAPOL K. DRAWN : RONNACHAI S. CHECKED : VITTAYA K.	DATE : JULY, 1996 DWG. NO. SS - 018 SHEET NO. 135
---	--	--	---	---	---



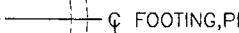


PLAN

SCALE 1 : 50



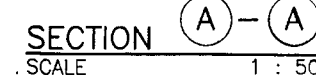
TYPICAL SECTION REINF. DETAIL
SCALE 1 : 50



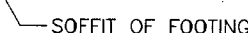
FOOTING PLAN
SCALE 1 : 50



FOR PIER SPAN 30+15 M.
SCALE 1 : 50



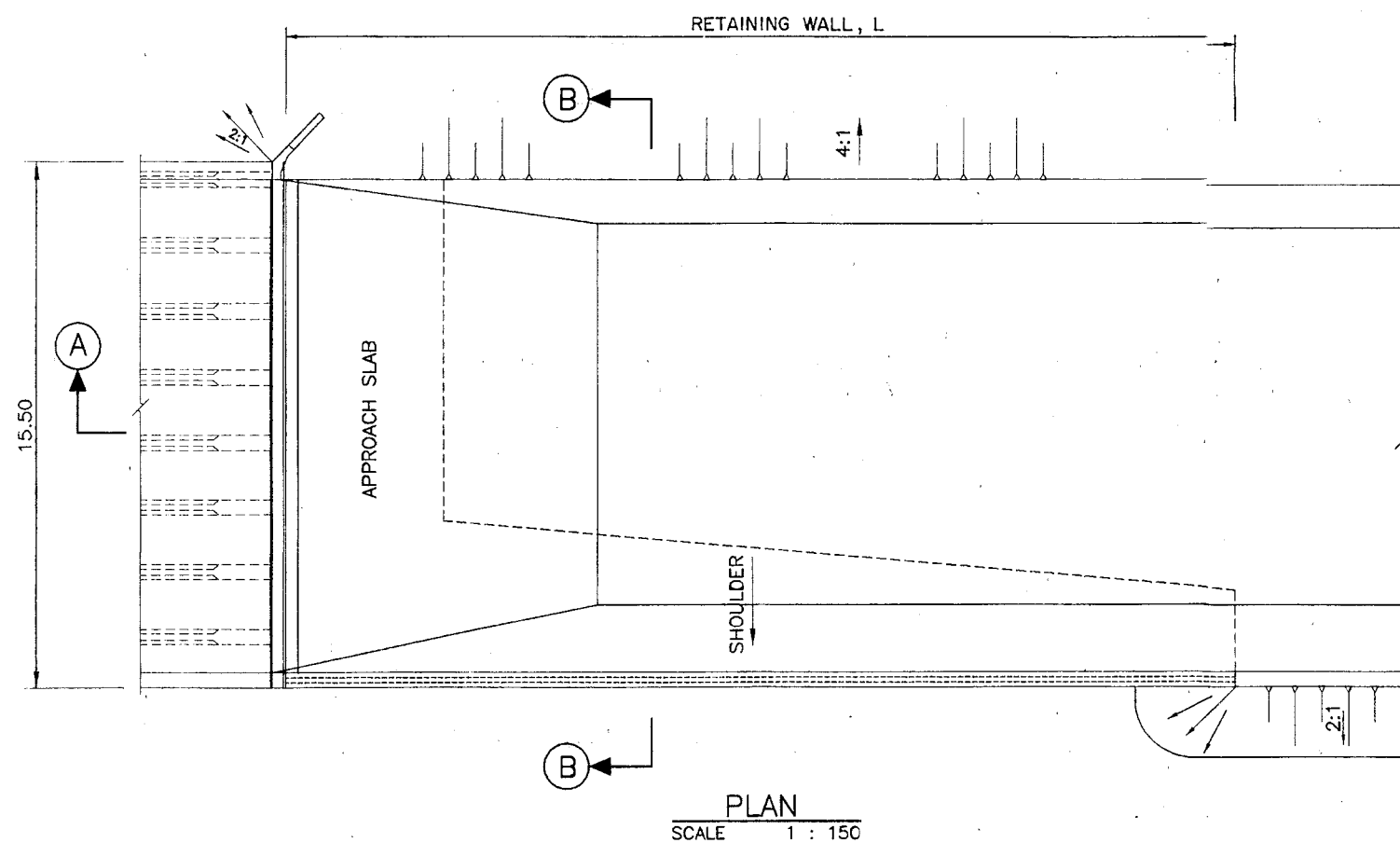
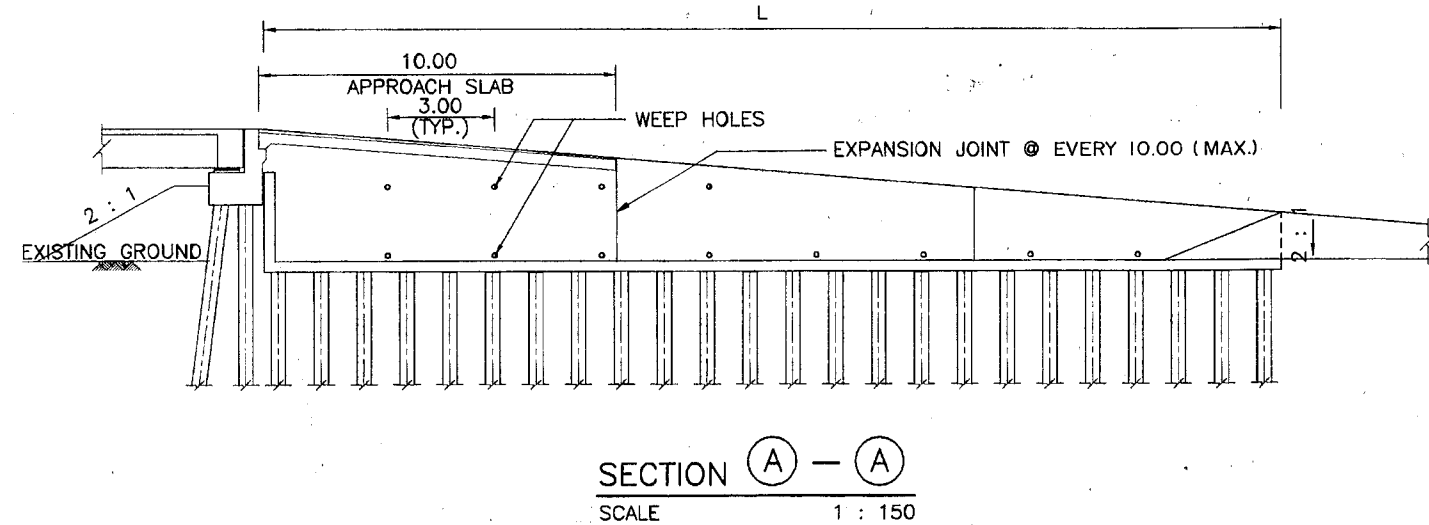
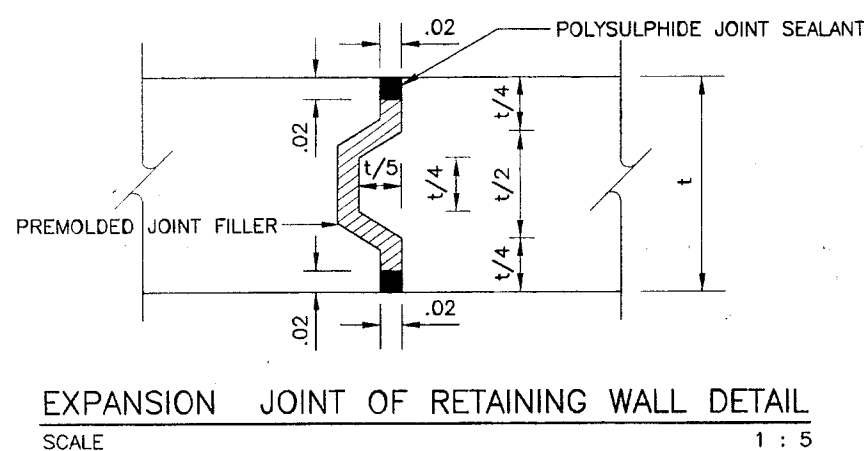
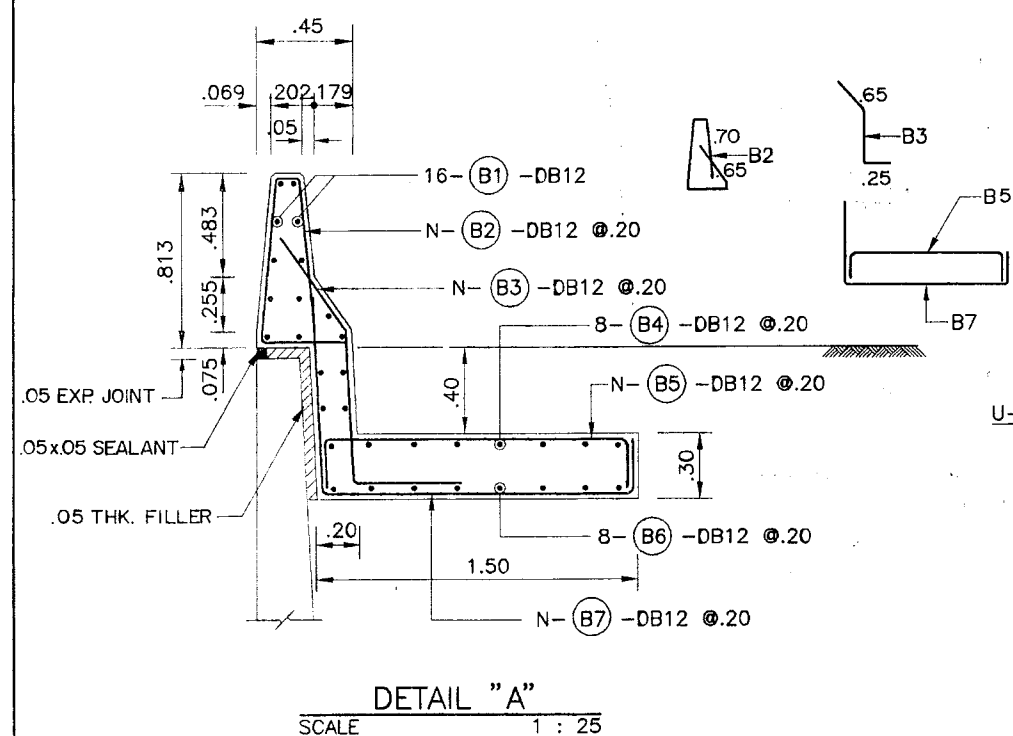
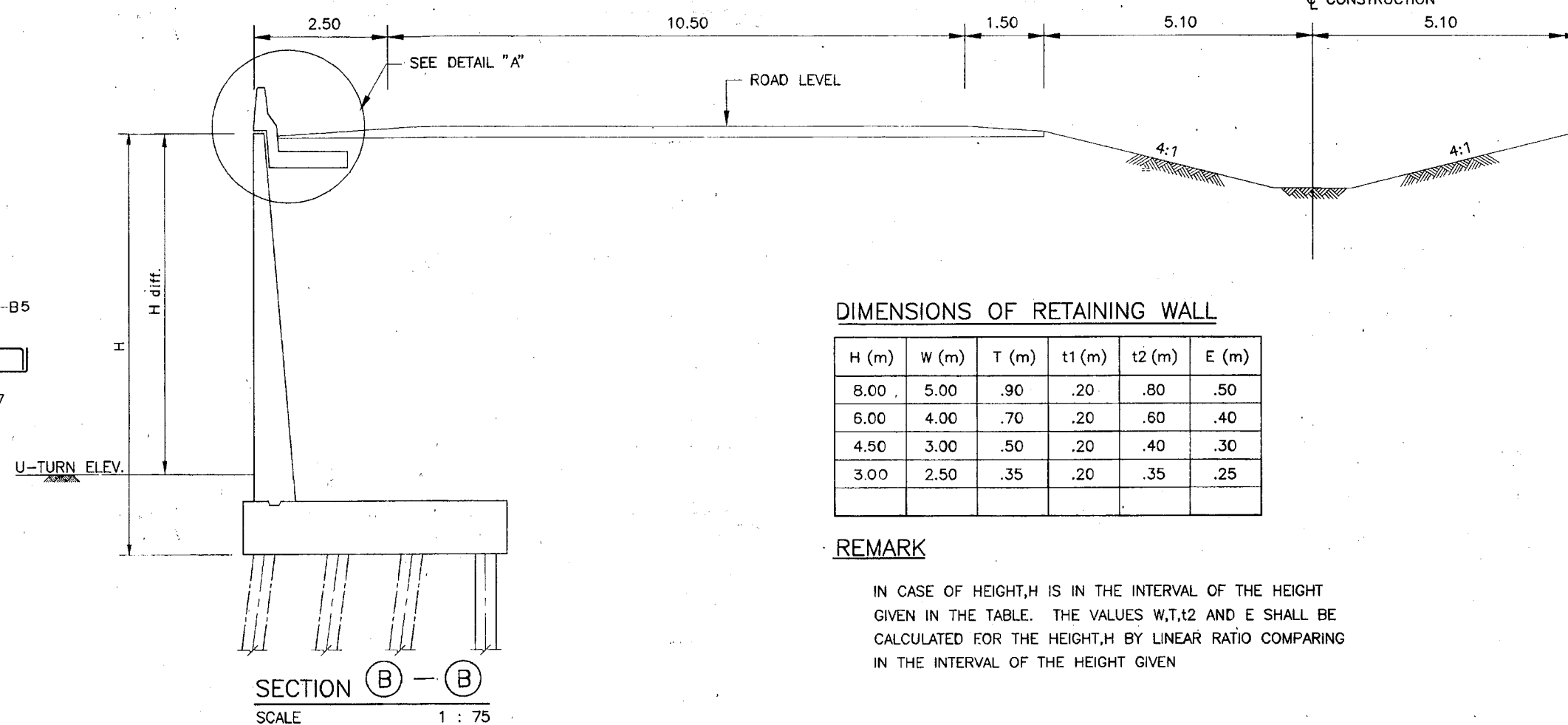
SECTION (B) - (B)
SCALE 1 : 50



TYPICAL PILE CUT-OFF REINF. DETAIL

SCALE 1 : 25

REV. NO.	DESCRIPTION	ENGINEER CHECKED DATE	DOH CHECKED DATE	REV. NO.	DESCRIPTION	ENGINEER CHECKED DATE	DOH CHECKED DATE	KINGDOM OF THAILAND MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS DEPARTMENT OF HIGHWAYS	PIER FOR SPAN 30 + 30 M. AND 30 + 15 M. DETAILS (EXTENSION) IBRD - FOURTH HIGHWAY SECTOR PROJECT PACKAGE II - WIDENING ROUTE NO.2 KHONKEAN - NAMPHONG STA.31+248.054	THAI ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD. in association with UPHAM INTERNATIONAL CORPORATION	SUBMITTED BY PRASITTHIPORN C. PROJECT MANAGER DATE NOV. 22, 1996	DESIGNED : AUKARAPOL K. DRAWN : RONNACHAI S. CHECKED : VITTAYA K.	DATE : JULY, 1996 DWG. NO. SS - 020	SCALE : AS SHOWN SHEET NO. 137
-------------	-------------	--------------------------	---------------------	-------------	-------------	--------------------------	---------------------	---	---	--	---	---	---	--



DIMENSIONS OF RETAINING WALL

H (m)	W (m)	T (m)	t1 (m)	t2 (m)	E (m)
8.00	5.00	.90	.20	.80	.50
6.00	4.00	.70	.20	.60	.40
4.50	3.00	.50	.20	.40	.30
3.00	2.50	.35	.20	.35	.25

REMARK

IN CASE OF HEIGHT, H IS IN THE INTERVAL OF THE HEIGHT GIVEN IN THE TABLE. THE VALUES W, T, t2 AND E SHALL BE CALCULATED FOR THE HEIGHT, H BY LINEAR RATIO COMPARING IN THE INTERVAL OF THE HEIGHT GIVEN

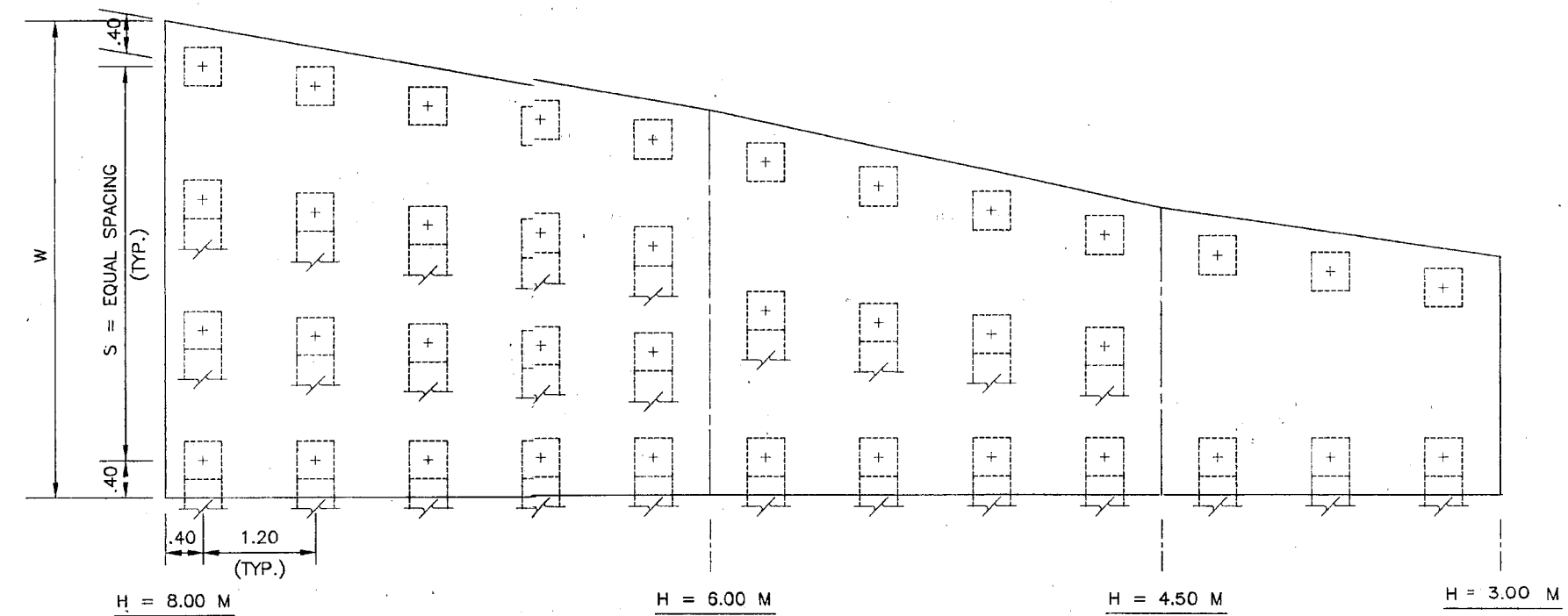
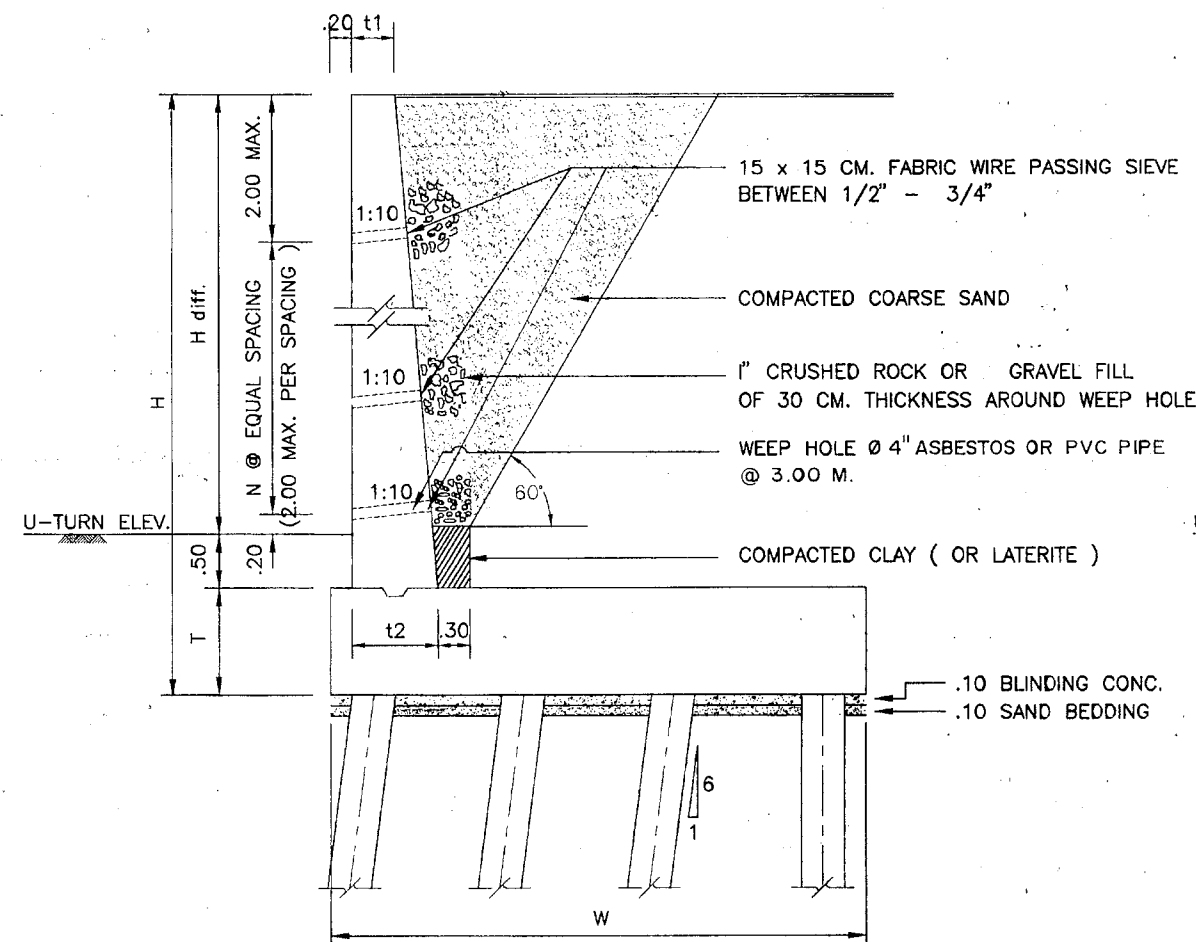
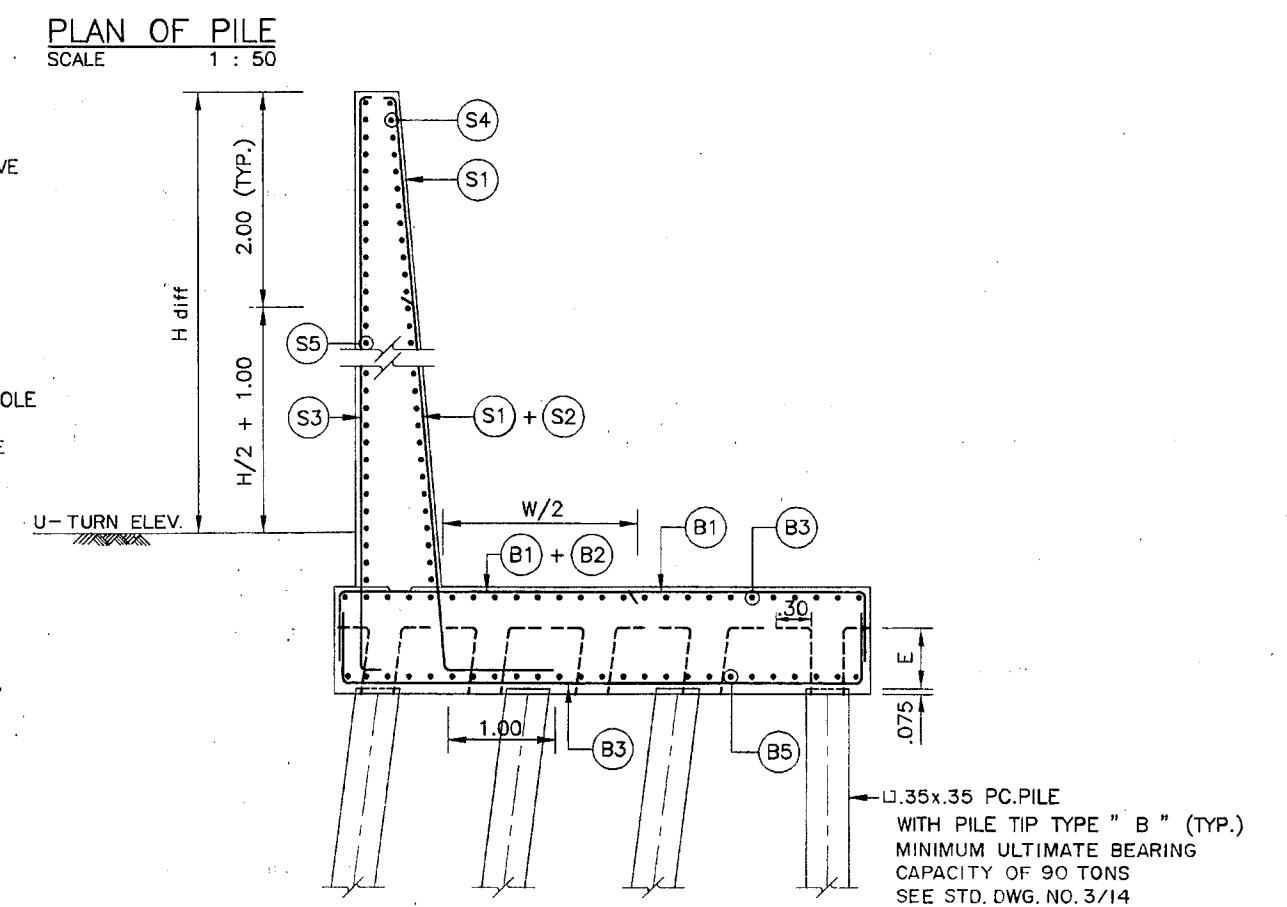


TABLE OF REINFORCEMENT

MEMBER	BAR MARK	H=6.01-8.00 M			H=4.51-6.00 M			H=3.01-4.50 M			H ≤ 3.00 M		
		NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.	NO.
WALL	S1	25	N	.15	25	N	.25	20	N	.25	16	N	.25
	S2	25	N	.15	25	N	.25	16	N	.25	-	-	-
	S3	16	N	.25	16	N	.30	12	N	.25	12	N	.30
	S4	16	N	.25	16	N	.30	12	N	.25	12	N	.30
	S5	16	N	.25	16	N	.30	12	N	.25	12	N	.30
FOOTING	B1	25	N	.15	25	N	.25	20	N	.25	16	N	.25
	B2	25	N	.15	25	N	.25	16	N	.25	-	-	-
	B3	16	N	.25	16	N	.30	12	N	.25	12	N	.30
	B4	16	N	.25	16	N	.30	12	N	.25	12	N	.30
	B5	16	N	.25	16	N	.30	12	N	.25	12	N	.30

NOTES:

- THIS DRAWING SHALL BE READ IN CONJUNCTION WITH THE STANDARD NOTES DWG. NOS. SS - 001 & 002
- CONCRETE SHALL BE CLASS A
- CLEAR CONCRETE COVER OF BOTTOM REINFORCEMENT IN PILE CAP SHALL BE 7.5 CM. ELSEWHERE SHALL BE 5.0 CM.
- REINFORCEMENT SHALL BE DEFORMED BARS GRADE SD-40 (TIS-24) MINIMUM YIELD STRENGTH (Fy) SHALL BE 390 MPa.
- FOR RETAINING WALL, H ≤ 3.00 M. SEE DETAILS ON STD. DWG. NO. RS-702
- ALL DIMENSIONS SHOWN ARE IN METERS UNLESS OTHERWISE NOTED

REV. NO.	DESCRIPTION	ENGINEER	DOH	REV. NO.	DESCRIPTION	ENGINEER	DOH
		CHECKED	DATE	CHECKED	DATE	CHECKED	DATE

KINGDOM OF THAILAND

MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS

DEPARTMENT OF HIGHWAYS

RETAINING WALL DETAILS

IBRD - FOURTH HIGHWAY SECTOR PROJECT

PACKAGE E - WIDENING

ROUTE NO.2 KHONKAEN-NAMPHONG

STA. 31+248.054

THAI ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

In association with

UPHAM INTERNATIONAL CORPORATION

SUBMITTED

DESIGNED : AUKARAPOL K.

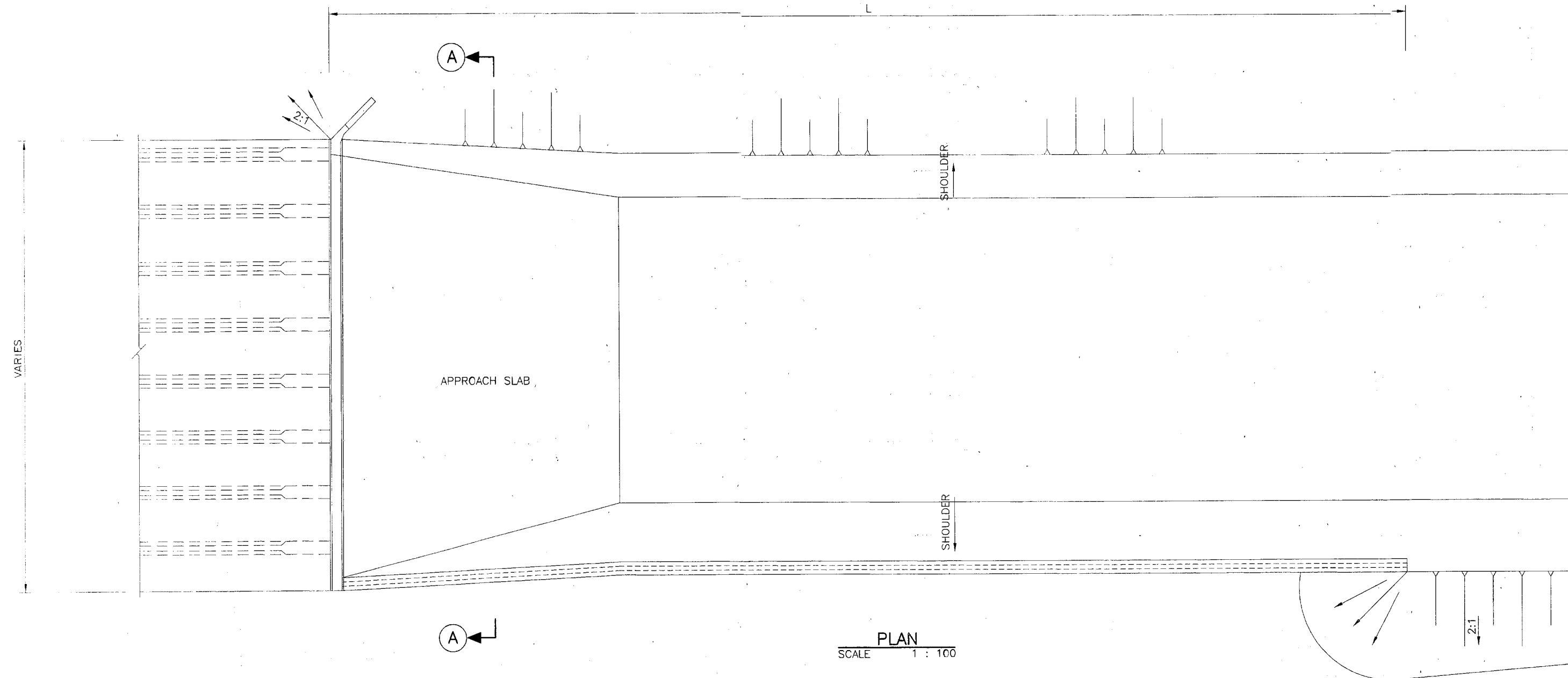
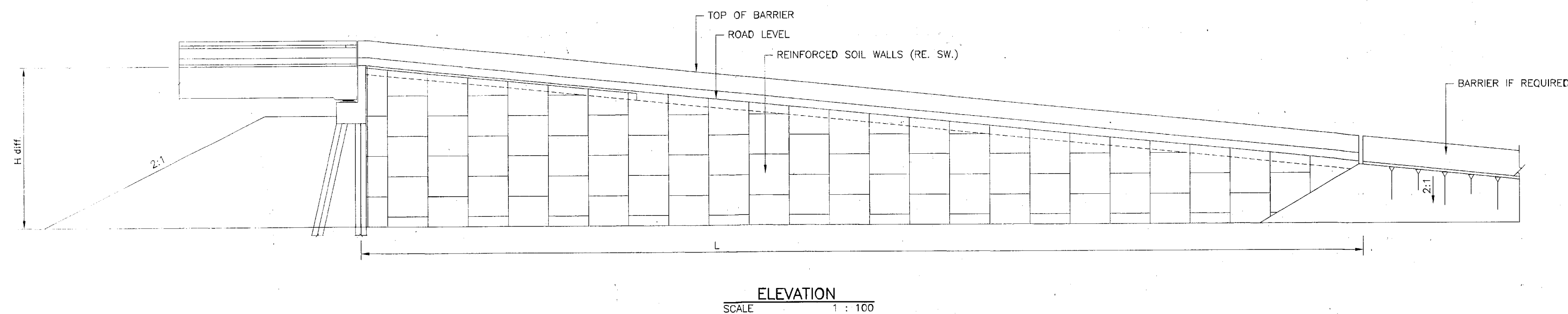
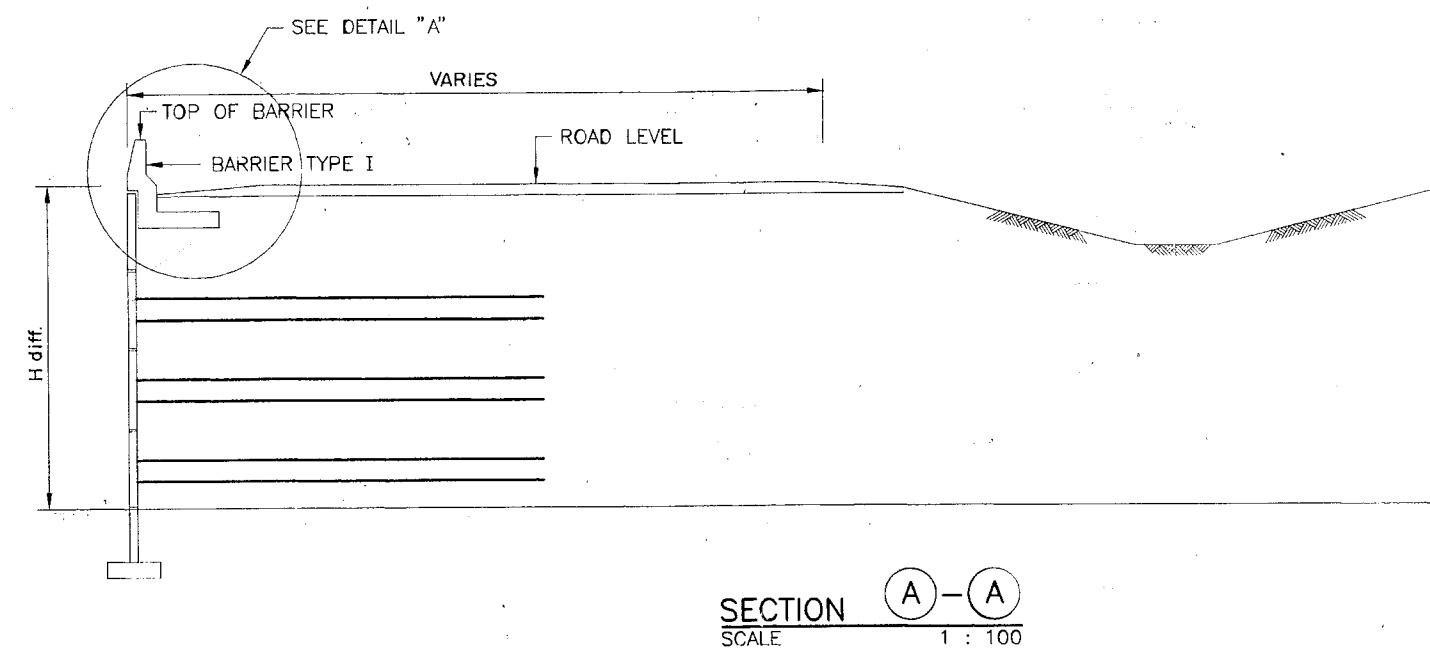
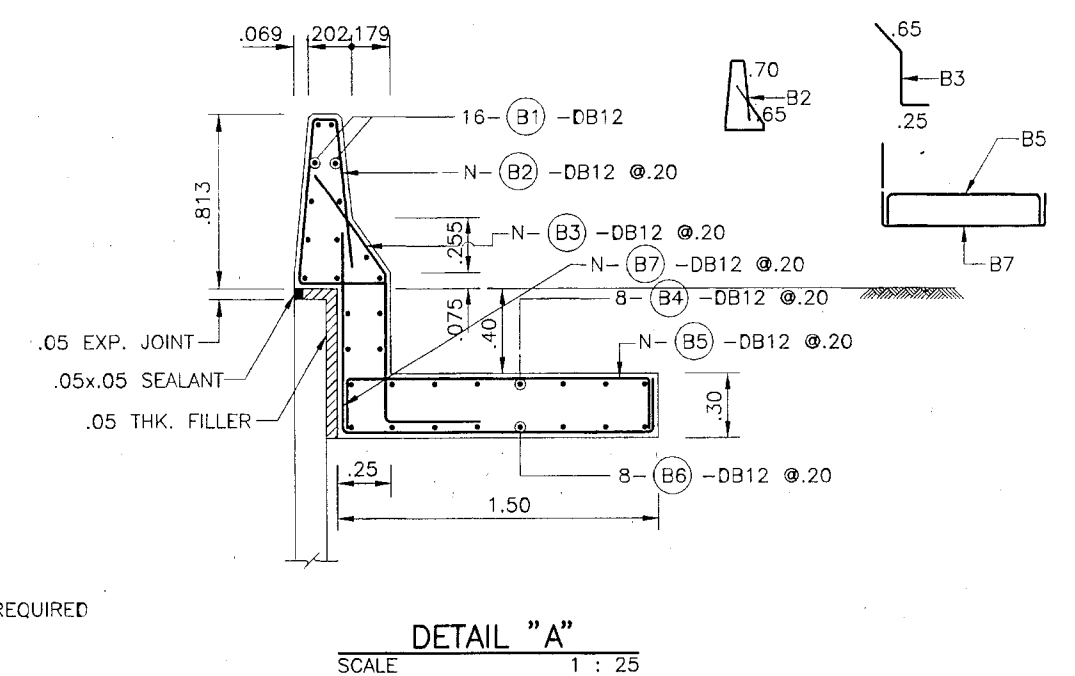
DRAWN : CHATRI D.

CHECKED : VITAYA K.

DATE : JULY, 1996

DWG. NO. SS - 021

SHEET NO. 138



NOTES:

- THIS DRAWING SHALL BE READ IN CONJUNCTION WITH THE STANDARD NOTES DWG. NOS. SS-001 & SS-002
- ALL DIMENSIONS ARE IN METERS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
- SELECTED GRANULAR BACKFILL FOR REINFORCED BLOCK SHALL CONFORM TO THE SPECIAL PROVISIONS.
- LOOSE AND / OR SOFT SOIL ENCOUNTERED ALONG THE REINFORCED SOIL WALL SHALL BE REMOVED TO APPROVED LEVEL AND BACKFILL WITH SAND EMBANKMENT OR GROUT AS DIRECTED AND APPROVED BY THE ENGINEER.
- PRECAST CONCRETE STRENGTH SHALL BE CLASS B(3/4).
- GALVANIZED STEEL REINFORCEMENT, FASTENER POLYMER GRIDS AND OTHER ESSENTIAL HARDWARES SHALL BE DESIGNED FOR MINIMUM SERVICE LIFE OF 100 YEARS.
- THIS DRAWING IS FOR GUIDANCE ONLY THE CONTRACTOR SHALL PROPOSE THE ALTERNATIVE TYPES OF REINFORCED SOIL WALL WITH FULL DETAILS AND BACK UP CALCULATION SHEET FOR THE ENGINEER'S APPROVAL AT THE CONTRACTOR'S EXPENSES.
- SPECIAL PROVISIONS FOR REINFORCED SOIL WALLS IN DWG. NO. SS-023 IS FOR REINFORCED SOIL WALL WITH STEEL STRIP REINFORCEMENT. THE CONTRACTOR CAN PROPOSE REINFORCED SOIL WALL WITH OTHER EQUIVALENT TYPES OF REINFORCEMENT WITH ITS SPECIAL PROVISIONS FOR THE ENGINEER'S APPROVAL.

REV. NO.	DESCRIPTION	ENGINEER	DOH	REV. NO.	DESCRIPTION	ENGINEER	DOH	KINGDOM OF THAILAND	REINFORCED SOIL WALLS DETAILS	THAI ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.	SUBMITTED	DESIGNED : KITTI A.	DATE : NOV.1996	SCALE :AS SHOWN
		CHECKED	DATE	CHECKED	DATE	CHECKED	DATE	MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS	IBRD-FOURTH HIGHWAY SECTOR PROJECT PACKAGE II - WIDENING ROUTE NO.2 KHONKAEN - NAMPHONG	in association with UPHAM INTERNATIONAL CORPORATION	BY PRASITTHIPORN C. PROJECT MANAGER	DRAWN : JUAN M.	DWG. NO. SS - 022	SHEET NO. 139
								DEPARTMENT OF HIGHWAYS			DATE 20 NOV. 1996	CHECKED : THOSSAWAN N.		

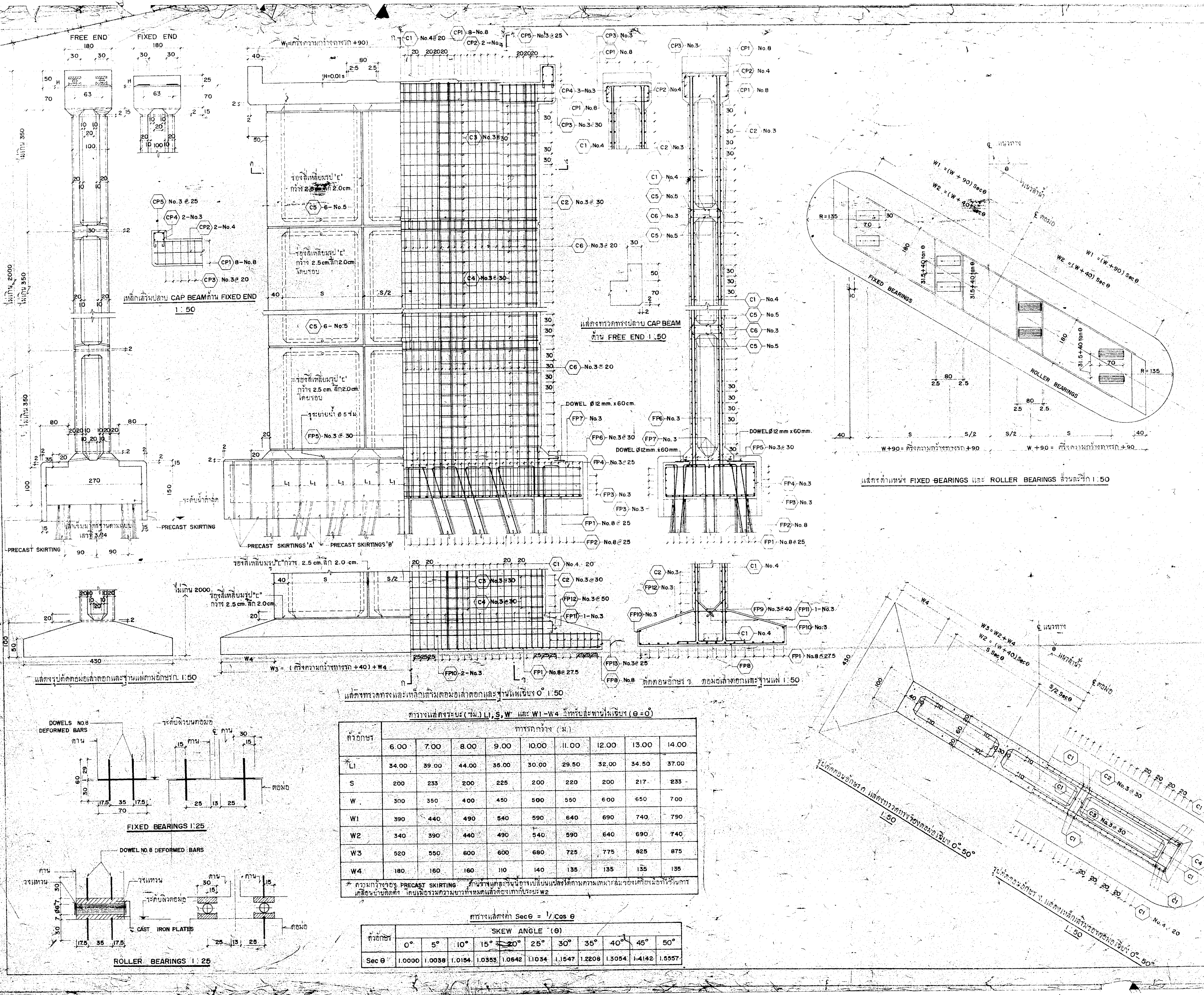
50-306-14/15

แบบพิมพ์มาตรฐาน กรมทางหลวง
ใช้สำหรับพิมพ์แบบพิมพ์ GIRDER TYPE
ขนาด 30+30 เมตร 0°-50° ขนาดหน้า H20-
และขนาดหน้า H20-30

NOTES

1. ข้อควรระวัง
 - 1.1 ความถี่ของเหล็กเสริม (ULTIMATE STRENGTH) ให้ใช้ตามตารางที่ 1 และ 2
 - 1.2 ใช้เหล็กเสริม 15x15x15 ซม. ขนาดหน้าเหล็กเสริม 290 มม. และ SLUMP ไม่ต่ำกว่า 10 ซม.
 2. เหล็กเสริม
 - 2.1 ขนาดของเหล็กเสริม No. 4 ให้ใช้เหล็กเสริมชนิด INTERMEDIATE GRADE DEF BAR
 - 2.2 ขนาดของเหล็กเสริม No. 4 ให้ใช้เหล็กเสริมชนิด STRUCTURAL GRADE DEF BAR ตามข้อกำหนด AASHTO SPECIFICATIONS
 3. การติดตั้งเหล็กเสริมและขนาดความยาวเหล็กเสริม ให้ใช้ตามข้อกำหนด AASHTO SPECIFICATIONS ไม่จำเป็นต้องใช้เหล็กเสริม (SPlicing) แต่หากจำเป็นต้องใช้ความยาวต่อเนื่องกัน ควรใช้การเชื่อม (LAPPING) เป็นไปตามข้อกำหนด AASHTO SPECIFICATIONS
 - 3.1 สำหรับ PLAIN BARS ให้ใช้ความยาว 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง
 - 3.2 สำหรับ DEFORMED BARS ให้ใช้ความยาว 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง
4. ข้อควรระวังในการใช้เหล็กเสริม No. 4 ให้ใช้เหล็กเสริมชนิด INTERMEDIATE GRADE DEF BAR
 5. ความถี่ของเหล็กเสริมและขนาดความยาวเหล็กเสริม ให้ใช้ตามข้อกำหนด AASHTO SPECIFICATIONS ไม่จำเป็นต้องใช้เหล็กเสริม (SPlicing) แต่หากจำเป็นต้องใช้ความยาวต่อเนื่องกัน ควรใช้การเชื่อม (LAPPING) เป็นไปตามข้อกำหนด AASHTO SPECIFICATIONS
 6. ขนาดของเหล็กเสริม No. 4 ให้ใช้เหล็กเสริมชนิด INTERMEDIATE GRADE DEF BAR
 7. ข้อควรระวังในการใช้เหล็กเสริม No. 4 ให้ใช้เหล็กเสริมชนิด INTERMEDIATE GRADE DEF BAR
 8. ข้อควรระวังในการใช้เหล็กเสริม No. 4 ให้ใช้เหล็กเสริมชนิด INTERMEDIATE GRADE DEF BAR
 9. ข้อควรระวังในการใช้เหล็กเสริม No. 4 ให้ใช้เหล็กเสริมชนิด INTERMEDIATE GRADE DEF BAR
 10. ข้อควรระวังในการใช้เหล็กเสริม No. 4 ให้ใช้เหล็กเสริมชนิด INTERMEDIATE GRADE DEF BAR

ภาพทางหลวง			
เขียน	ตรวจสอบ	คิด	คำนวณ
ออกแบบ	ตรวจสอบ	คำนวณ	คำนวณ
เห็นชอบ	ผู้ควบคุมการก่อสร้าง	ผู้ควบคุมการก่อสร้าง	27/12/61
อนุญาต	ผู้ควบคุมการก่อสร้าง	ผู้ควบคุมการก่อสร้าง	1/12/61

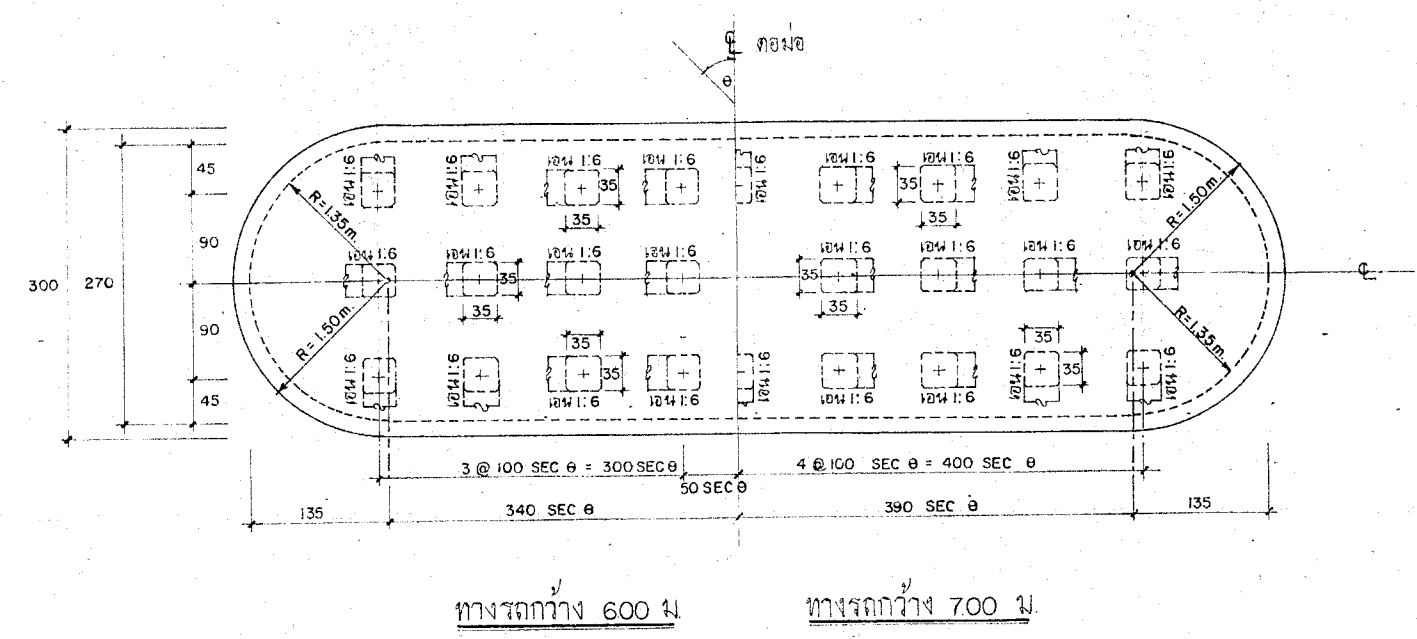
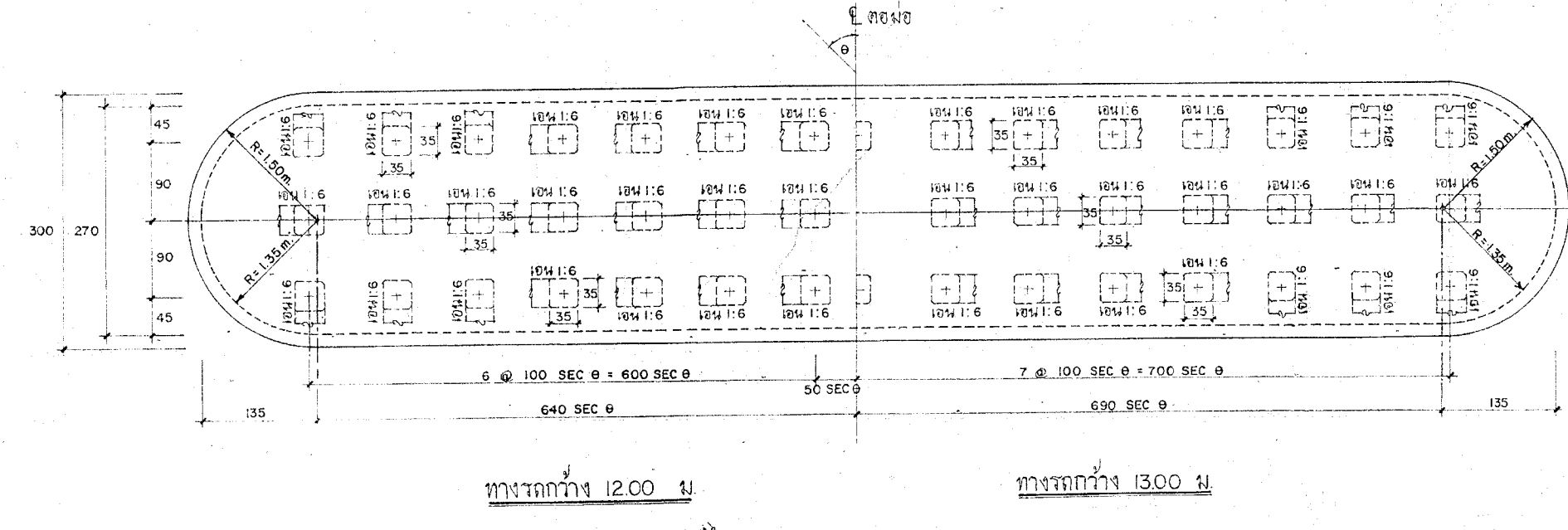
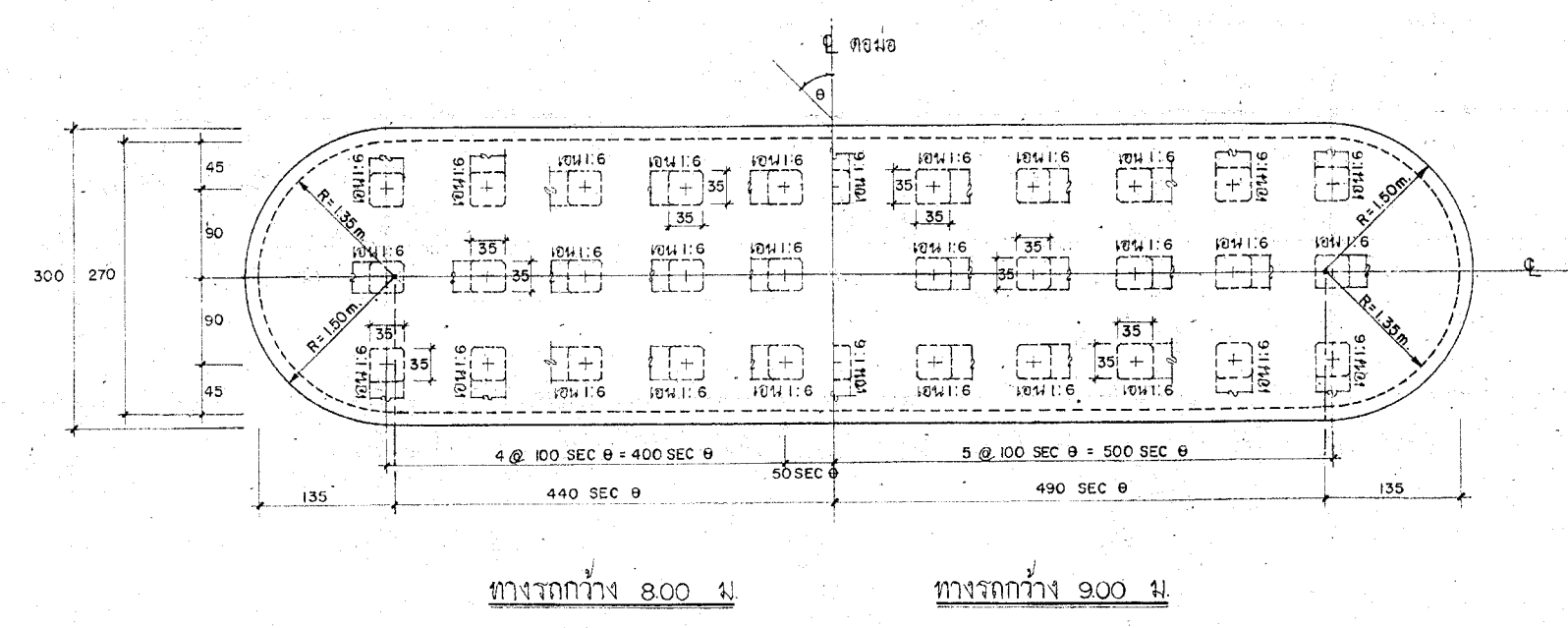
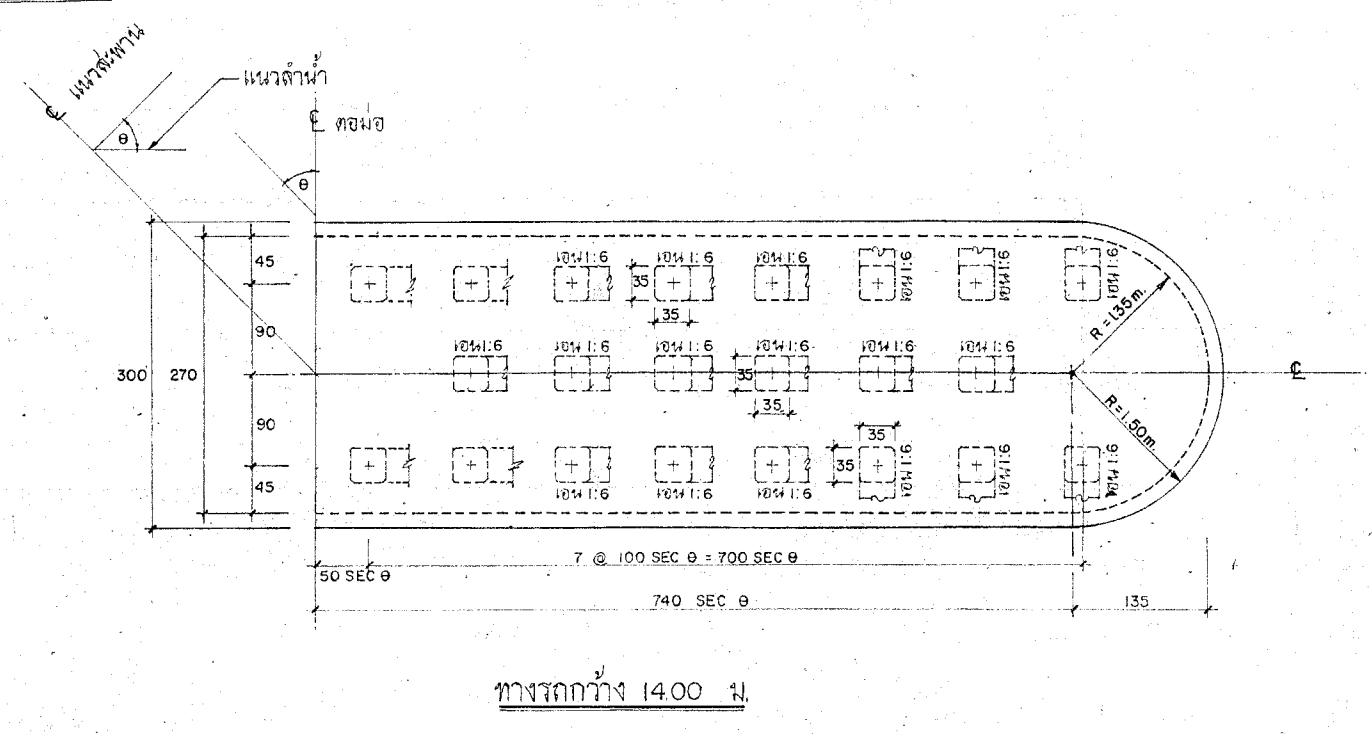
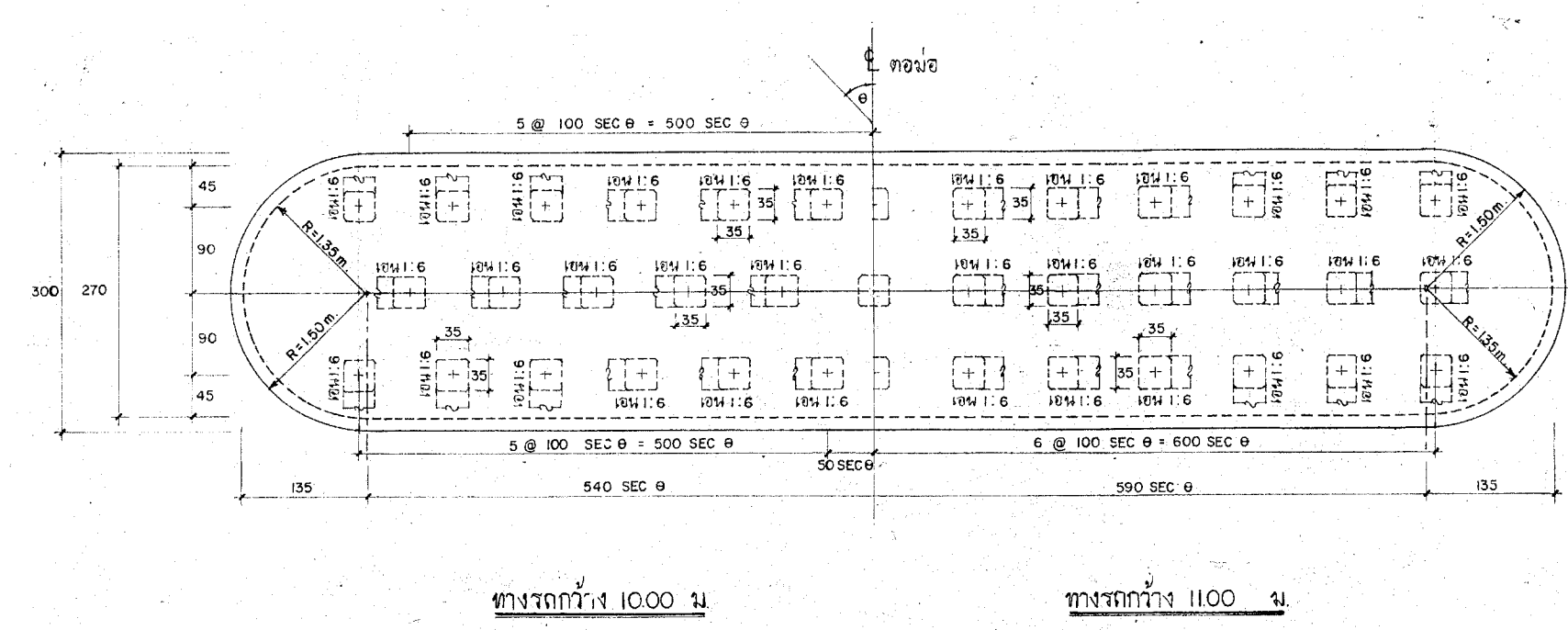


ตารางแสดงขนาด (ม.) L, S, W และ W1-W4 สำหรับสะพานแบบ (θ=0°)		ความกว้างทาง (ม.)									
ตัวอักษร		6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	
L		34.00	39.00	44.00	49.00	54.00	59.00	64.00	69.00	74.00	37.00
S		200	233	266	299	332	365	398	431	464	233
W		300	350	400	450	500	550	600	650	700	
W1		390	440	490	540	590	640	690	740	790	
W2		340	390	440	490	540	590	640	690	740	
W3		520	550	580	610	640	670	700	730	760	
W4		180	160	140	120	100	80	60	40	20	

ตารางแสดงค่า Sec θ = 1/Cos θ		SKEW ANGLE (θ)									
ตัวอักษร		0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	50°
Sec θ		1.0000	1.0038	1.0154	1.0353	1.0642	1.1034	1.1547	1.2208	1.3054	1.5557

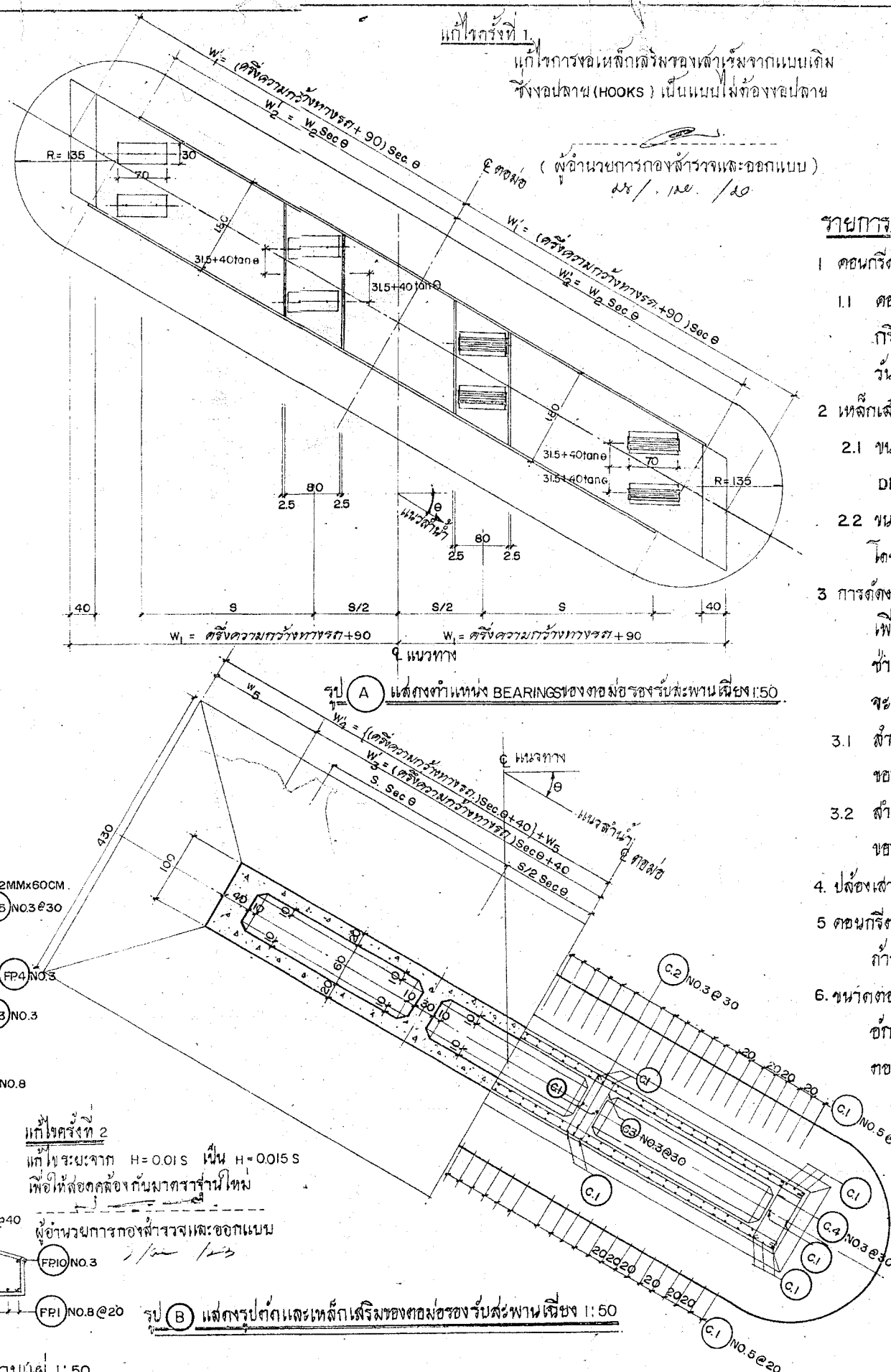
กองตำรวจ	
แบบเลขที่	5D306-14/14
แบบผังเค้าพิมพ์ของตอมอกกลางนำแบบเสาตอก	
สูง 12.00-20.00 ม. รับสะพานคอนกรีตอัดแรง I-BEAM TYPE	
ขนาดกว้าง 600-1400 มม. ช่วง 3000+3000 มม. เติมน้ำ 0-50 ซม. ขนาด H20-S16	

ผังเค้าพิมพ์สำหรับตอมอกแบบเสาตอก 1 & 50
(แสดงเพียงครึ่งหนึ่งของความกว้าง)



- หมายเหตุ
- ๑ เป็นมุมที่ตำแหน่งที่ขึ้นตั้งจากของแนวทางเป็นองศา
 - ๒ เสาเข็มที่ให้เป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงขนาด 35x35 ซม. ตามแบบเลขที่ 3/14 หรือเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงขนาด 35 x 35 ซม. ที่ใช้ตามแบบที่เห็นเท่า
 - ๓ มิติต่างๆ เป็นเว้นที่เมตร นอกจากจะระบุเป็นอย่างอื่น

การทางหลวง			
เขียน	ดัด	ตาม	300
ออกแบบ	ตรวจ	การ	
เห็นชอบ	ผู้อำนวยการกองตำรวจและออกแบบ		27/10/2
อนุญาต	นาย ชัยยศ		1/11/2



ตัวอักษร	หาพหุคูณ (N)								
	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
L ₁ (N)	74.00	78.00	53.25	53.25	54.75	59.25	64.25	69.25	74.25
S. (N)	2.00	2.33	2.00	2.25	2.00	2.20	2.00	2.17	2.33
W. (N)	2.00	1.75	2.00	1.80	2.00	1.85	2.00	1.86	2.00
W ₁ (N)	3.90	4.40	4.90	5.40	5.90	6.40	6.90	7.40	7.90
W ₂ (N)	370.0	390.0	532.5	532.5	547.5	592.5	642.5	692.5	742.5
W ₃ (N)	3.40	3.90	4.40	4.90	5.40	5.90	6.40	6.90	7.40
W ₄ (N)	5.20	5.50	6.00	6.00	6.80	7.25	7.75	8.25	8.75
W ₅ (N)	1.80	1.60	1.60	1.10	1.40	1.35	1.35	1.35	1.35

ตารางแสดงค่า Sec θ

ตัวอักษร	SKEW ANGLE (θ)										
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Sec θ	1.0000	1.0038	1.0154	1.0353	1.0642	1.1034	1.1547	1.2208	1.3054	1.4142	1.5555

กองสำรวจ	
หมายเลข	รหัสควบคุม
SD 306 - 14 / 10	
แบบต่อเติม หน้าเสาตอกและฐานแผ่นฟ้าแพ่งบน รับสะพานคอนกรีตอัดแรง GIRDER TYPE 1 ใหญ่กว้าง 6.00-14.00 ช่วง 30 + 30 น. เชียง 0° - 50° รับน้ำหนัก H20-S16-44. แสดงทรูทกรกจริงไปและเหล็กเสริม	

ภาพการ

1. คอนกรีต.

1.1 คอนกรีตจะประกอบด้วยมวลรวมสูงสุด (ULTIMATE STRENGTH) จากการออกแบบก่อสร้าง
 กว้าง 15x15 ซม. อัตราส่วนผสมน้ำน้อยกว่า 290 กก./ลบ.ม. หรืออัตราส่วน 2
 ส่วนปูน 1 ส่วนทราย 3 ส่วน และมวลรวม SLUMP ไม่มากกว่า 10 ซม.

2 เหล็กเส้น

2.1 ขนาดของเหล็ก NO.4 ขนาด 10 มม. เหล็กชนิด INTERMEDIATE GRADE
DEFORMED BAR.

2.2 ขนาดเล็กกว่า NO.4 ที่พบเหล็กชนิด STRUCTURAL GRADE.
โดยที่ GRADES เหล็กชนิดนี้ไปตาม AASHO SPECIFICATION

3. การตัดต่อหลัก และนำความยาวหลัก ผสมเป็นตามแบบ ในการนำความยาวหลัก
เพียงพอเพื่อการต่อหลัก (SPLICING) ได้ โดยต้องได้ความสั้นขอบจาก
ข้างความคงมาก่อน และความยาวของหลัก ที่ซ้อนกันตรงข้อต่อ (LAPPI)
จะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้

3.1 สำหรับ PLAIN BARS จะต้องเหล็มน้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

3.2 สำหรับ DEFORMED BARS จะต้องไม่น้อยกว่า 24 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

4. ปัดช่องเส้าต้องมีการระมัดระวังสูงไม่เกิน 3.40 เมตร

5 คมนกสีเทามิชอบรอบ โครงเหล็กของเสา, คาน จากยวคมนกสีเทามิชอบเหล็กขลุ่ย 2.5 ซม.
การบ่งชี้ให้เห็นถึงพื้นที่ 5 ซม. โดยไม่เปลี่ยนแปลงขนาดของท่อ

6. ขนาดของข้อรับสะพานไม้เชิงโทษ ในลักษณะตามที่แสดงในรูป (A), (B) และรูปที่
ข้อ ๗. ส่วนเหล็กเสริมเหล็ก ขนาดและระยะห่างกัน (SPACING) เหล็ก
ของข้อรับสะพานไม้เชิง (แต่จำนวนและความยาวเพิ่มขึ้น)

7. ตอนจบ 2 ต.ล. ทบทวนเนื้อหาได้ - พอสมควร - เป็นที่น่าพอใจ
 2/2 9/1 ✓ 1 ✓ 2 ✓ 2 ✓

[illegible]

9. สำหรับตัวกลางแผ่นกันสั่นจากของมี SAFE BEARING.
CAPACITY มีค่าเท่ากับ 20 ตัน/ม.2 ของพื้นที่รองรับน้ำหนัก

เพราะทรงพระเมตตาให้พระปรีชาญาณจากใต้พระเศียรของพระองค์แล้วให้ศาสตราจารย์

จากอย่างน้อย 10 ปี โดยระบุ ส่วนผสมของดนตรี 1:3:6 โดยมี

น้ำหล่อให้รับน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่าตันละ 90 ตัน (ULTIMATE CAPAC

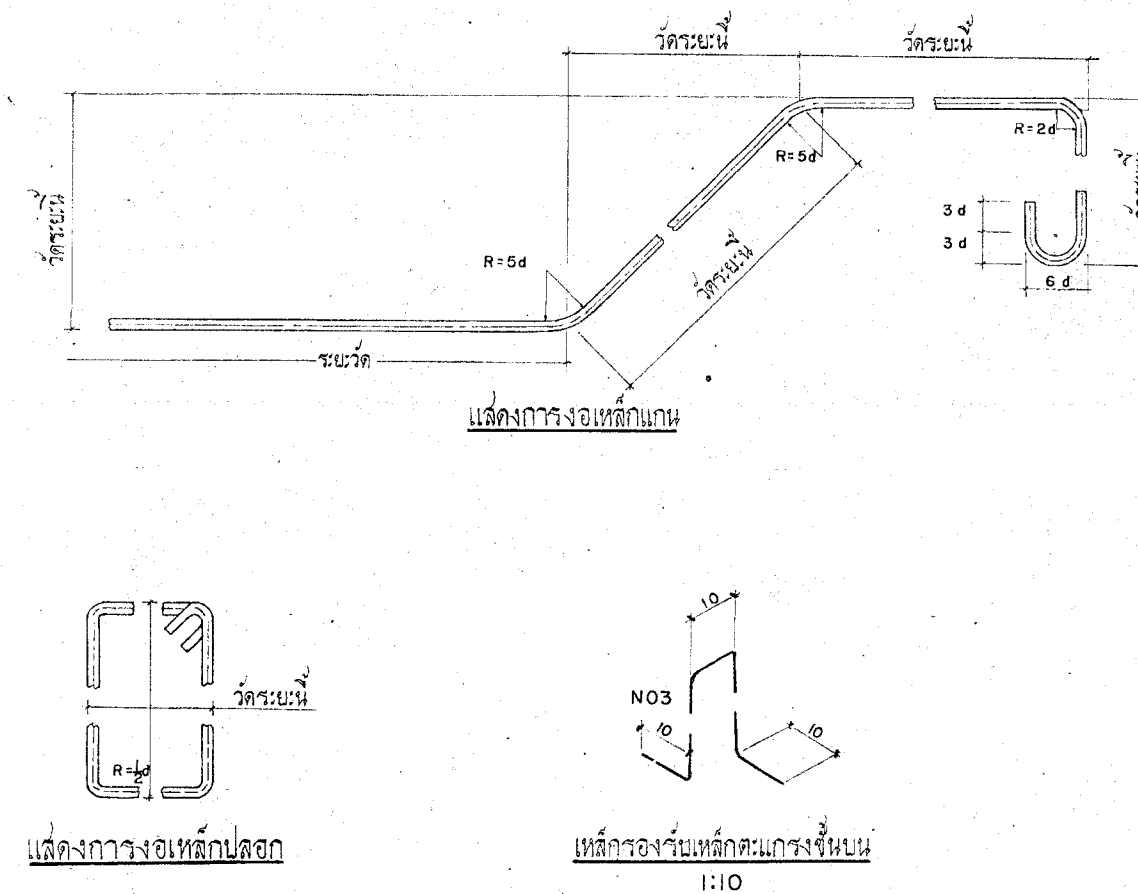
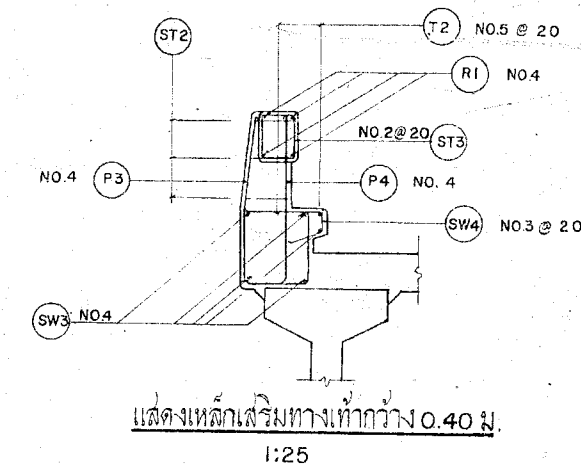
9275147

1. θ (ANGLE OF SKEW) เป็นมุมที่เส้นทำกับเส้นตรง
ของแนวทางเป็นองศา

2. ระบุความสูงของฐานคอนกรีตรองรับคานฮักแรง 'H' ให้ยกตามล่าง
ในทางรถ (ตามขวาง)

3. มิติต่างๆ เป็นเส้นทแยงมุม นอกจากจะระบุไปอย่างอื่น

กรมทางหลวง			
วิเศษ ถวัลย์	ศักดิ์ ถวัลย์	ทาง	
ออกแบบ	ย.ว.ต. ธีรรัตน์	ตรวจ	2
เห็นชอบ	ผู้อำนวยการกองสำรวจและออกแบบ		26 / 12 / 61
อนุมัติ	อธิบดี		27 / 12 / 61



รายการ

[illegible]

- 1- เหล็กเส้น -
- 1.1. เหล็กเส้นขนาดตั้งแต่ NO.4 ขึ้นไป ให้ใช้เหล็ก INTERMEDIATE GRADE-DEFORMED BAR
- 1.2. เหล็กเส้นที่เล็กกว่า NO.4 ให้ใช้เหล็ก STRUCTURAL GRADE โดยที่ GRADES ของเหล็กให้เป็นไปตาม AASO SPECIFICATION
2. การดัดงอเหล็กและขนาดความยาวเหล็กให้เป็นไปตามที่แสดงไว้ในแบบนั้น ในกรณีที่มีความยาวของไม้เพียงพอให้ทำการต่อเหล็ก (SPLICING) ได้โดยไม่ต้องเสริมความแข็งแรงจากจำนวนความยาวซ้อนกัน
3. ความยาวของเหล็กที่ซ้อนกันตรงรอยต่อ (LAPPING) เป็นดังนี้
- 3.1. ในกรณีที่เป็นเหล็ก INTERMEDIATE GRADE - DEFORMED BAR คือไม่น้อยกว่า 24 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น
- 3.2. ในกรณีที่เป็นเหล็ก STRUCTURAL GRADE ต้องไม่น้อยกว่า 40 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น
4. ความยาวเหล็กหลายเสง (S₁) (S₃) (SW₁) (SW₁) (SW₂) และ (SW₂) บริเวณริมตัดของข้างความยาวคานายาว ให้ VARIES ตามลักษณะเรียงของสะพาน

หมายเหตุ

- 1 ไนโตรเจนเป็นสารพิษที่มีงานต่ำกว่าข้างละ 1.00 ม. ให้ลดจำนวนเหล็กหลายลง (T2) ลงข้างละ 2 เส้น และลดความยาวของเหล็กหลายลง (SW1) (SW2) (SW1) และ (SW2) ดังตามลิ้น
- 2 ไนโตรเจนเป็นสารพิษที่มีงานต่ำกว่าข้างละ 0.40 ม. ให้ใช้เหล็กเสริมตามที่แสดงไว้ในแบบ
- 3 มีค่าง เป็นเซเมนต์ค่าง ออกจากรูปเป็นอย่าอื่น

กรมทางหลวง			
เรียน <i>สอ</i>	คดี <i>สอ</i>	ทราบ	<i>สอ</i>
ออกแบบ <i>กย</i>	<i>อ.อ.อ.อ.</i>	การ	<i>สอ</i>
เห็นชอบ	<i>สอ</i> <i>สอ</i> ๒๒/๒๕๖๖		<i>สอ</i> ๒๒/๒๕๖๖
อนุญาต	<i>สอ</i> <i>สอ</i> ๒๒/๒๕๖๖		<i>สอ</i> ๒๒/๒๕๖๖

* ค่าแรงที่แสดงไว้ในวงเล็บเป็นจำนวนของหลักเสริมหมายเลข (ST2) สำหรับทางเท้ากว้าง 0.40 เมตร

กองสำรวจและออกแบบ

แบบสำรวจ

50306-14/8

ชนิดการบันทึก

แบบสำรวจทางหลวงชนบท

ช่วงยาว 29.97 เมตร ทางรถไฟกว้าง 600-14.00 เมตร

เชิง 0°-50° น้ำหนักบรรทุก H.20-S16-44

แสดงเหล็กเสริมพื้นสะพานและทางเท้า

บัญชีแสดงค่า F_1 และ F_2 (ทางเท้ากว้าง 1.50 ม.)

ตัวอักษร	θ	ทางรถไฟกว้าง (ม.)								
		6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
F_1 (ม.)	0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5°	0.53	0.61	0.70	0.79	0.88	0.96	1.05	1.14	1.23
	10°	1.06	1.23	1.41	1.58	1.76	1.94	2.12	2.30	2.47
	15°	1.61	1.88	2.14	2.41	2.68	2.95	3.22	3.49	3.76
	20°	2.18	2.55	2.91	3.28	3.64	4.00	4.36	4.74	5.10
	25°	2.80	3.27	3.74	4.20	4.66	5.14	5.60	6.05	6.53
	30°	3.47	4.05	4.62	5.20	5.77	6.35	6.93	7.50	8.09
	35°	4.20	4.90	5.60	6.30	7.00	7.70	8.40	9.10	9.80
	40°	5.04	5.86	6.71	7.55	8.39	9.21	10.05	10.90	11.72
	45°	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
	50°	7.16	8.35	9.54	10.72	11.92	13.11	14.31	15.50	16.70
F_2 (ม.)	0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5°	0.26	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44
	10°	0.53	0.57	0.62	0.66	0.71	0.75	0.79	0.84	0.88
	15°	0.81	0.87	0.94	1.01	1.07	1.14	1.21	1.27	1.34
	20°	1.09	1.19	1.28	1.37	1.46	1.55	1.64	1.73	1.82
	25°	1.40	1.52	1.64	1.75	1.87	1.99	2.10	2.22	2.34
	30°	1.73	1.88	2.02	2.17	2.31	2.46	2.60	2.74	2.89
	35°	2.10	2.28	2.45	2.63	2.80	2.98	3.16	3.33	3.50
	40°	2.52	2.72	2.93	3.14	3.35	3.56	3.76	3.98	4.19
	45°	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00
	50°	3.56	3.88	4.17	4.46	4.76	5.06	5.35	5.66	5.95

ในกรณีทางเท้ากว้าง 1.00 ม. และ 0.40 ม. ค่า $F_2 = \left(\frac{\text{ทางรถไฟกว้าง} \times 1.00}{4} \right) \tan \theta$ และ $\left(\frac{\text{ทางรถไฟกว้าง} \times 0.40}{4} \right) \tan \theta$ ตามลำดับ

บัญชีแสดงค่า $\tan \theta$

θ	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
$\tan \theta$	0	0.0875	0.1763	0.2680	0.3640	0.4663	0.5774	0.7002	0.8391	1.0000	1.1918

หมายเหตุ
1. พิกัดต่างๆ เป็นเส้นตั้งฉาก นอกจากกรณีเป็นอย่างอื่น

การทางหลวง

เขียน วิศวกร

คำนวณ วิศวกร

ออกแบบ วิศวกร

หน้า 1

หน้า 2

หน้า 3

หน้า 4

หน้า 5

หน้า 6

หน้า 7

หน้า 8

หน้า 9

หน้า 10

หน้า 11

หน้า 12

หน้า 13

หน้า 14

หน้า 15

หน้า 16

หน้า 17

หน้า 18

หน้า 19

หน้า 20

หน้า 21

หน้า 22

หน้า 23

หน้า 24

หน้า 25

หน้า 26

หน้า 27

หน้า 28

หน้า 29

หน้า 30

หน้า 31

หน้า 32

หน้า 33

หน้า 34

หน้า 35

หน้า 36

หน้า 37

หน้า 38

หน้า 39

หน้า 40

หน้า 41

หน้า 42

หน้า 43

หน้า 44

หน้า 45

หน้า 46

หน้า 47

หน้า 48

หน้า 49

หน้า 50

หน้า 51

หน้า 52

หน้า 53

หน้า 54

หน้า 55

หน้า 56

หน้า 57

หน้า 58

หน้า 59

หน้า 60

หน้า 61

หน้า 62

หน้า 63

หน้า 64

หน้า 65

หน้า 66

หน้า 67

หน้า 68

หน้า 69

หน้า 70

หน้า 71

หน้า 72

หน้า 73

หน้า 74

หน้า 75

หน้า 76

หน้า 77

หน้า 78

หน้า 79

หน้า 80

หน้า 81

หน้า 82

หน้า 83

หน้า 84

หน้า 85

หน้า 86

หน้า 87

หน้า 88

หน้า 89

หน้า 90

หน้า 91

หน้า 92

หน้า 93

หน้า 94

หน้า 95

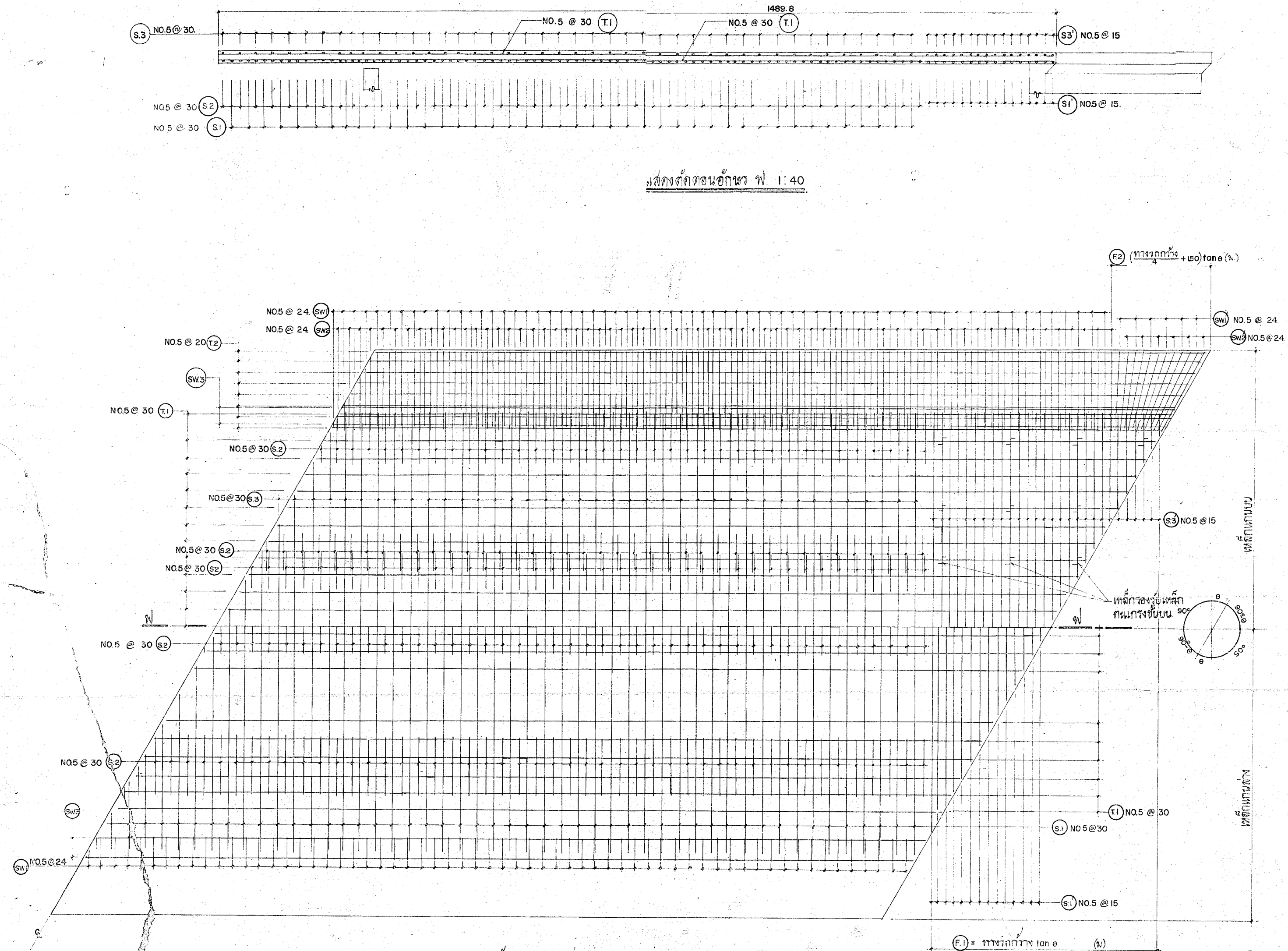
หน้า 96

หน้า 97

หน้า 98

หน้า 99

หน้า 100



แสดงเหล็กเสริมพื้นทางรถไฟและทางเท้า 1:40

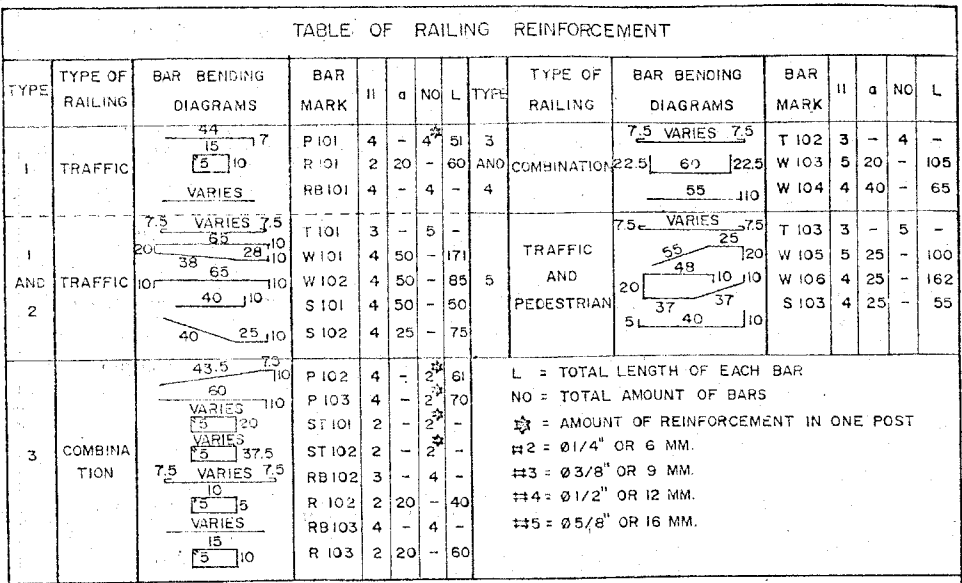
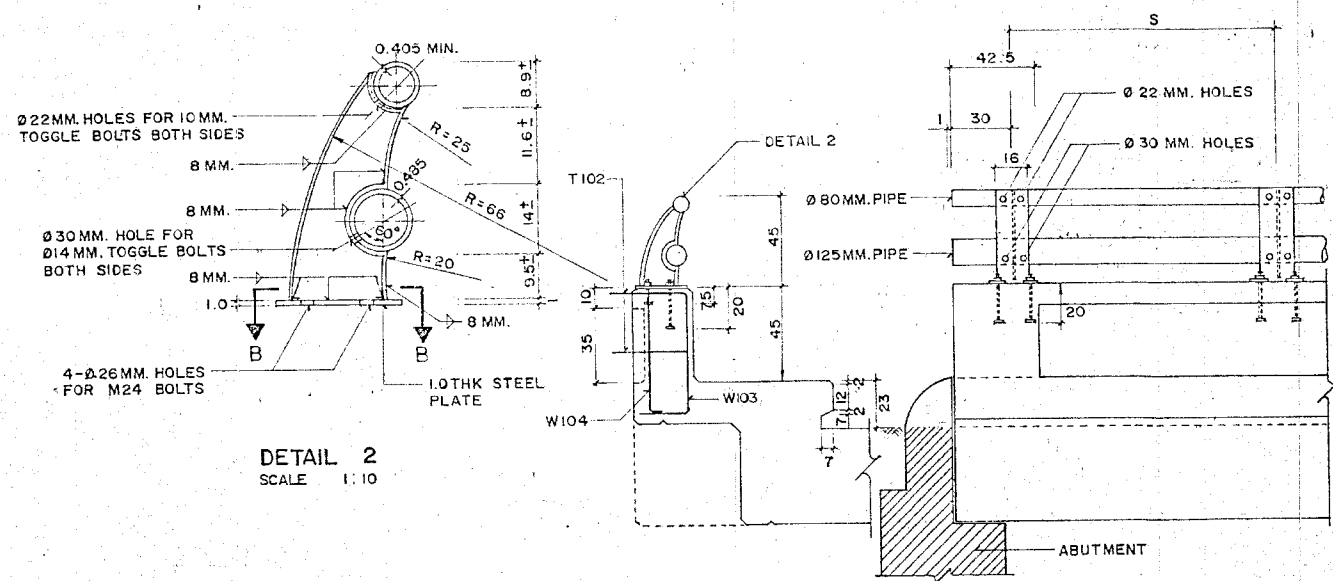


TABLE OF RAILING POST SPACING

SPAN (M)	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	15.00	20.00	29.97
SPACING, S (M)	1.46	1.80	1.60	1.95	1.68	1.88	1.82	1.96	1.85
SPACING, S1 (M)	0.1460	0.1800	0.1451	0.1540	0.1529	0.1563	0.1517	0.1509	0.1541

NOTES :

- SCOPES OF APPLICATION OF RAILING ARE AS FOLLOWS :-
- TYPE 1, FOR SHORT BRIDGES OR BRIDGES WITHOUT SIDE WALK IN GENERAL.
- TYPE 2, FOR BRIDGES WITHOUT SIDEWALK WHICH HAVE A TOTAL LENGTH OF MORE THAN 80.00 M OR FOR BRIDGES IN URBAN AREA OR WHEN STEEL RAILINGS ARE REQUIRED FOR AESTHETIC PURPOSES, IT SHALL BE SHOWN ON THE DRAWINGS BY THE ENGINEER.
- TYPE 3, FOR BRIDGES WITH 50.0 M SIDEWALKS OR WIDER IN GENERAL.
- TYPE 4, FOR BRIDGES WITH 50.0 M SIDEWALKS OR WIDER AND HAVING A TOTAL LENGTH OF MORE THAN 80.00 M OR WHEN STEEL RAILINGS ARE REQUIRED FOR AESTHETIC PURPOSES, IT SHALL BE SHOWN ON THE DRAWING BY THE ENGINEER.
- TYPE 5, FOR BRIDGES WITH HEAVY TRAFFIC AND DENSE PEDESTRIAN IN ORDER TO SEPARATE THE VEHICLES FROM PEDESTRIAN FOR THE SAKE OF SAFETY, IT SHALL BE SHOWN ON THE DRAWINGS BY THE ENGINEER.
2. ANY SPECIAL RAILINGS, IF DIFFERENT FROM THE ABOVE-MENTIONED MAY BE USED UNDER THE APPROVAL OF THE ENGINEER.
3. DESIGN STRESSES:
- CONCRETE $f_c = 70 \text{ KG/CM}^2$
REBAR $f_s = 1200 \text{ KG/CM}^2$ FOR PLAIN BARS.
 $f_s = 1400 \text{ KG/CM}^2$ FOR DEFORMED BARS.
4. CONCRETE SHALL HAVE A MINIMUM CEMENT CONTENT OF 350 KG/M^3 AND A MINIMUM 28-DAYS $0.15 \times 0.15 \times 0.15 \text{ M}$ CUBE STRENGTH OF 210 KG/CM^2 CEMENT SHALL BE TIS. IS TYPE 1 PORTLAND CEMENT UNLESS SALINE PROTECTION IS SPECIFIED WHEN TYPE 5 PORTLAND CEMENT SHALL BE USED INSTEAD.
5. REBARS # 4 OR LARGER SHALL BE TIS 24 GRADE SD30 DEFORMED BARS, OTHERS SHALL BE TIS 20 GRADE SR24 PLAIN BARS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
6. CLEAR CONCRETE COVER SHALL BE 2.5 CM.
7. ALL EXPOSED CORNERS SHALL HAVE 2 CM. CHAMFERS UNLESS OTHER WISE INDICATED.
8. RAILING POST SPACINGS FOR ALL TYPES OF RAILING ARE AS SHOWN IN THE TABLE ABOVE.
- IN SOME CASE, TRAFFIC RAILING TYPE 1 MAY BE SUBSTITUTED BY GUARD RAILS FASTENED ON CONCRETE RAILING POSTS IF APPROVED BY THE ENGINEER.
10. DIAMETERS OF GALVANIZED STEEL PIPES SHOWN ARE NOMINAL DIAMETERS.
11. ALL STRUCTURAL STEEL FOR RAILING POSTS, RAILINGS AND ALL ACCESSORIES SHALL BE GALVANIZED WITH MINIMUM OF 376 G/M^2 (1.25 OUNCE/FT²). THE FABRICATOR SHALL SUBMIT THE SAMPLES FOR TESTING AS FOLLOWS.
- | QUANTITY | OF PRODUCT | NUMBER OF SAMPLES |
|-----------|------------|-------------------|
| LESS THAN | 500 | 2 |
| 500 | - 820 | 3 |
| 820 | - 1,200 | 4 |
| 1,200 | - 1,500 | 5 |
| 1,500 | - 2,000 | 6 |
12. AT RAILING JOINT, A PIECE OF PIPE OF 600 MM LONG HAVING AN OUTER DIAMETER SLIGHTLY SMALLER THAN THE INNER DIAMETER OF THE RAILING PIPES SHALL BE INSERTED AND FASTENED TO BOTH RAILING PIPES BY 2 - $\phi 10 \text{ MM}$ SET SCREWS AT 0.5 M FROM EACH SIDE OF THE JOINT.
13. EXPANSION JOINTS SHALL BE PROVIDED FOR STEEL PIPE RAILING AT THE INTERVAL NOT MORE THAN 15.0 M. BOTH ENDS OF THE RAILING PIPES SHALL BE CLOSED BY WELDING TO THE PIPES A CIRCULAR PLATE HAVING THE SAME SIZE AND THICKNESS OF THE PIPE.
14. QUANTITIES OF REBARS SHOWN ARE FOR RAILING AND POSTS ONLY. QUANTITIES OF REBARS IN SIDEWALKS AND CURBS ARE SHOWN ON SLAB BRIDGE DRAWINGS IN CONSTRUCTION OF BRIDGE DECK AND SIDEWALKS. DOWELS FOR RAILING POST SHALL BE PROVIDED IN ACCORDANCE WITH THIS DRAWING.
15. WELDED JOINTS OF PEDESTRIAN RAILING POSTS SHALL BE PAINTED BY 2 LAYERS OF ALUMINUM PAINT.
16. ALL DIMENSIONS SHOWN ARE IN CENTIMETERS UNLESS OTHERWISE INDICATED.
17. PAINTING AT THE END FACES OF RAILING POSTS AND SIDEWALKS WHICH EXPOSED TO TRAFFIC (IF ANY) SHALL BE PROVIDED BY APPLYING ALTERNATE STRIPES OF BLACK AND WHITE COLOUR OF 10.0 MM WIDE EACH AND 45 TO THE HORIZONTAL PLANE. WHITE PAINT SHALL BE LIGHT REFLECTED ONE DETAILS OF THE PAINTING ARE SHOWN ON DWG NO. ST-01 CR ST-25.
18. THIS DRAWING IS ADAPTED FROM OCH DWG. NO. 3A05-106-14/26.

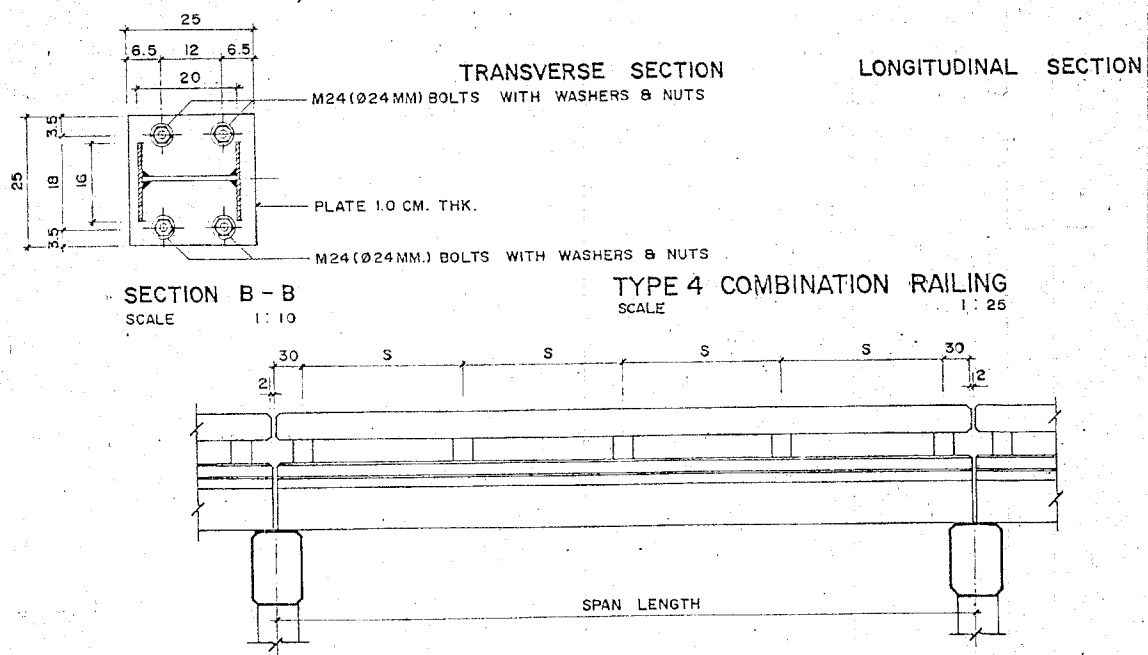


TRANSVERSE SECTION

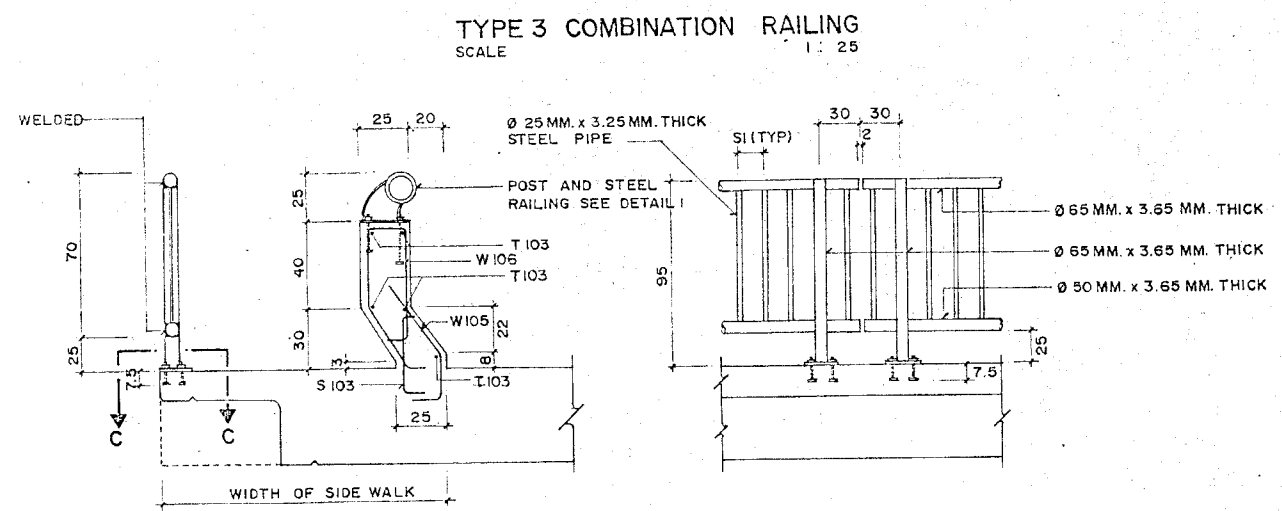
LONGITUDINAL SECTION

TRANSVERSE SECTION

LONGITUDINAL SECTION

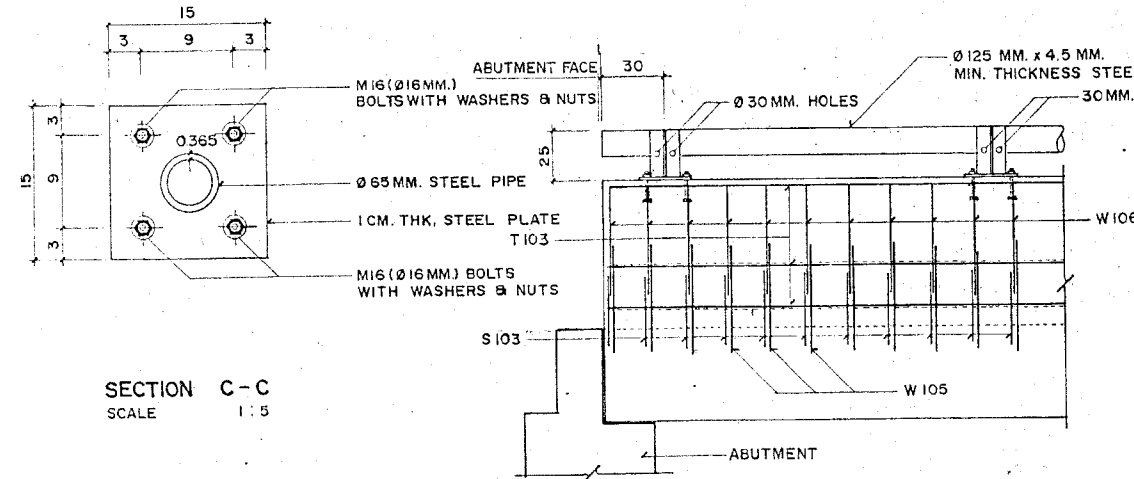


TYPICAL RAILING POST SPACING
SCALE 1:50



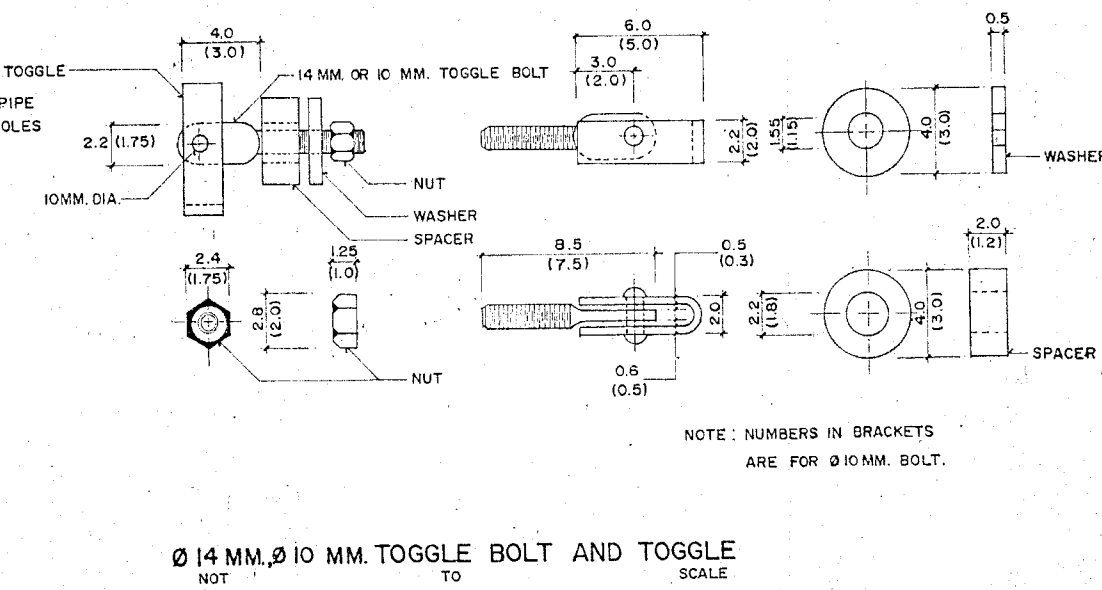
TRANSVERSE SECTION

PEDESTRIAN RAILING EXPANSION JOINT



SECTION C - C
SCALE 1 : 5

LONGITUDINAL SECTION



NOTE: NUMBERS IN BRACKETS
ARE FOR Ø10MM. BOLT.

KINGDOM OF THAILAND
ISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS
DEPARTMENT OF HIGHWAYS

STANDARD DRAWING

RAILING POST AND RAILING DETAILS

DESIGNED: DOH & CONSULTANTS

CHECKED : *[Signature]* DATE : JULY 1994

SUBMITTED: *F. Bureau*

SCALE AS SHOWN

APPROVED: *[Signature]*

7/17/44 (DIRECTOR GENERAL

SHEET NO. 181

၃၇၈၈၈၈

1. ค่าเหล็กต่อตารางฟุตจากการกดทับของแผ่นเสริม แผ่นหน้าหนักไม่เกินกว่า 90 ตันต่อ 1 ตารางฟุต
2. คาน้ำค้ำระหว่างเสา (BRACING) ของท่อจะต้องใช้กันกรณีต่อไปนี้ การรับน้ำหนักพื้นดินถึงระดับฐานคาน้ำค้ำเกินกว่า 3.00 เมตร จะต้องใช้โดยปริยายจากทั้งฐานคาน้ำค้ำและระดับชั้นกลางคาน้ำค้ำเกิน 3.00 เมตร ถ้าใช้คาน้ำค้ำทุกระยะไม่เกิน 3.00 เมตร
3. ความสูงของท่อจากพื้นของคลองถึงระดับชั้นกลางคาน้ำค้ำไม่เกิน 12.00 เมตร ถ้าสูงเกินกว่านี้ ให้ส่งให้กองสำรวจและออกแบบพิจารณาเป็นรายกรณีไป
4. คอนกรีตที่หล่อวางผิวงานหนักรวม 2.5 เซนติเมตร งานรองพื้นน้ำลึกมี 5.0 เซนติเมตร.
5. ล้วนผลลัพท์การคำนวณน้ำหนักปริมาณ ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร
 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดปาน้อย 350 กิโลกรัม
 หินขนาด 430 ลิตร
 หินอ่อนหรือกรวด 360 ลิตร
 ส่วนเหลือของคอนกรีต (SLUMP) ไม่เกิน 10 เซนติเมตร หรือข้อพิสูจน์ (ULTIMATE STRENGTH) ของแท่งคอนกรีตทดลองขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร เมื่ออายุครบ 28 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 210 กก./ซ.ก.²
6. เหล็กเส้นมาตรฐาน No. 4 ขึ้นใหม่หรือ INTERMEDIATE GRADE - DEFORMED BAR แทนเหล็ก No. 4 หรือ STRUCTURAL GRADE STEEL GRADES ของเหล็กที่มีในภาค AASHTO SPECIFICATION
7. การตัดของเหล็กและขนาดความยาวเหล็กขึ้นใหม่ตามแบบ ในการติดตั้งความยาวเหล็กขึ้นใหม่เพื่อให้เกิดรอยต่อเหล็ก SPLICING โดยใช้ข้อบังคับความหนาแน่นจากสูตรคูณก่อน และความยาวของเหล็กขึ้นใหม่ตรงรอยต่อ (LAPPING) จะต้องเป็นไปตามกำหนดดังนี้
 สำหรับ PLAIN BAR ระยะไม่น้อยกว่า 40 เท่าของพื้นที่ด้านหน้าของเหล็กขึ้นใหม่
 สำหรับ DEFORMED BAR ระยะไม่น้อยกว่า 24 เท่าของพื้นที่ด้านหน้าของเหล็กขึ้นใหม่

๓๗๗๒๓

1. $\angle$ (ANGLE OF SKEW) เป็นมุมที่คำนวณหาจากเส้นกึ่งกลางของแนวทางเดินซึ่งค่า
2. หากมุมเบี่ยงเบนที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ 1.00 เมตร ก็ให้ลดความยาวของ CAP BEAM ของตอของสะพาน และความยาวของ CAP BEAM และ BACK WALL ของตอหรือหัวคัน จากปลายเขาค้างชำระ 0.50 Sec @ เมตร ส่วนอื่นให้คงเดิม และให้ลดความยาวหรือจำนวนของเหล็กเสริมใน CAP BEAM และ BACK WALL ลงตามปริมาณดังนี้
3. หากมุมเบี่ยงเบนที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ 0.40 เมตร ก็ให้ลดความยาวของ CAP BEAM และ BACK WALL ของตอหรือหัวคัน จากปลายเขาค้างชำระ 1.10 Sec @ เมตร ส่วนอื่นให้คงเดิม และให้ลดความยาวหรือจำนวนของเหล็กเสริมใน CAP BEAM และ BACK WALL ลงตามปริมาณดังนี้
4. ความยาวสูงของงานคอนกรีตฐานคัน ให้ผูกตามความลาดของพื้นทางลาดตามขวาง
5. ทิศเป็นพื้นที่นอกถนนจากกรณีอื่นข้างขึ้น
6. สำหรับสะพานที่ข้ามสิ่งกีดขวาง (θ) เกิน 30 องศา ให้คิดค่าของ SEC (45 + θ/2) แทนค่า SEC 60° (ใช้เท่ากับ 2.000)
7. แบบที่ใช้ประกอบกันแบบเสริมที่ G.T.-156-14/5, G.T.-156-14/6.

สูตรการหา Δ ของการพหุคูณ (N)												
L1 =	1.414	Sec	$(45^\circ - \frac{\theta}{2})$,	L3 =	1.414	Sec	$(45^\circ + \frac{\theta}{2})$					
L2 =	0.50	Sec	$(45^\circ - \frac{\theta}{2})$,	L4 =	0.50	Sec	$(45^\circ + \frac{\theta}{2})$					

กรมทางหลวง			
เขียน <i>Pa</i>	คัด <i>Pa</i>	แทน <i>Pa</i>	
ออกแบบ	ภาพ	การสำรวจ	
เห็นชอบ	/ <i>Mr. N</i> /		23 / Jan /
	ผู้อำนวยการกองสำรวจและออกแบบ		
อนุญาต	/ <i>Mr. N</i> / / <i>Mr. N</i> /		24 / Jan /

การถ่ายทอดความรู้

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการถ่ายทอดความรู้ที่ได้จากโครงการประเมินศักยภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราในการนำมาซ่อมรอยต่อพื้นสะพานกรมทางหลวงช่วงสั้นให้กับบุคลากรของกรมทางหลวง โดยมีผู้เข้าร่วมงานสัมมนาจำนวนทั้งสิ้น 41 ท่าน

กำหนดการถ่ายทอดความรู้

โครงการประเมินศักยภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา

ในการนำมาซ่อมรอยต่อพื้นสะพานกรมทางหลวงช่วงสั้น

วันศุกร์ ที่ 21 มิถุนายน 2562 เวลา 8.30 น. ถึง 16.00 น.

ณ ห้องกษัตริย์ศึก 1 ชั้น 4 โรงแรมวินทาวเวอร์

เลขที่ 88 ถนนพระราม 6 แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร. 02-618-6688

วัน/เวลา	รายการกำหนด	วิทยากร
8.30-9.00 น.	ลงทะเบียน	-สำนักวิจัยและพัฒนาทาง -บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด
9.00-9.15 น.	พิธีเปิดโครงการ	นายเศกชัย อนุเวชศิริเกียรติ รองผู้อำนวยการสำนักวิจัยและ พัฒนาทาง
9.15-9.30 น.	Section 1 : นวัตกรรมแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมกำลังคานสะพาน	ดร.ราชวัลลภ กัมพูพงศ์ วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนาทาง
9.30-9.50 น.	Section 2 : คุณสมบัติแผ่นยางรองสะพาน	ดร.โชติ สรณาคมน์ บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด
9.50-10.30 น.	Section 3 : การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตเสริมกำลังคานสะพาน	ดร.ชิษณุสส์ บุญมี บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด
10.30-10.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง	
10.45-12.00 น.	Section 4 : การก่อสร้าง การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด	ดร.ชิษณุสส์ บุญมี บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด
12.00-13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน	

วัน/เวลา	รายการกำหนด	วิทยากร
13.00-14.00 น.	Section 5 : การทดสอบคานสะพานก่อนและหลังการเสริมกำลังด้วยแถบยางพาราอัดแรง	รศ.ดร.กิตติภูมิ รอดสิน บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด
14.00-15.15 น.	Section 6 : การประเมินความสามารถของแถบยางพาราอัดแรงในการเสริมกำลังคานสะพาน	รศ.ดร.กิตติภูมิ รอดสิน บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด
15.15-15.30 น.	พักรับประทานอาหารว่าง	
15.30-16.00 น.	Section 7 : คู่มือการออกแบบแถบยางพาราอัดแรงสำหรับเสริมกำลังคานสะพาน การตอบคำถามและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น	-ดร.ราชวัลลภ กัมพูพงศ์ วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนาทาง -รศ.ดร.กิตติภูมิ รอดสิน บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด
16.00-16.30 น.	การประเมินผลโครงการ	สำนักวิจัยและพัฒนาทาง



นายเศกชัย อนุเวชศิริเกียรติ
(รองผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาทาง)



ดร.ราชวัลลภ กัมพูพงศ์
(วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนาทาง)



ดร.โชติ สรณาคมน
(บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด)



ดร.ชิษณุสส์ บุญมี
(บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด)



รศ.ดร.กิตติภูมิ รอดสิน

(บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด)

ภาพบรรยากาศผู้เข้าร่วมสัมมนาจำนวน



