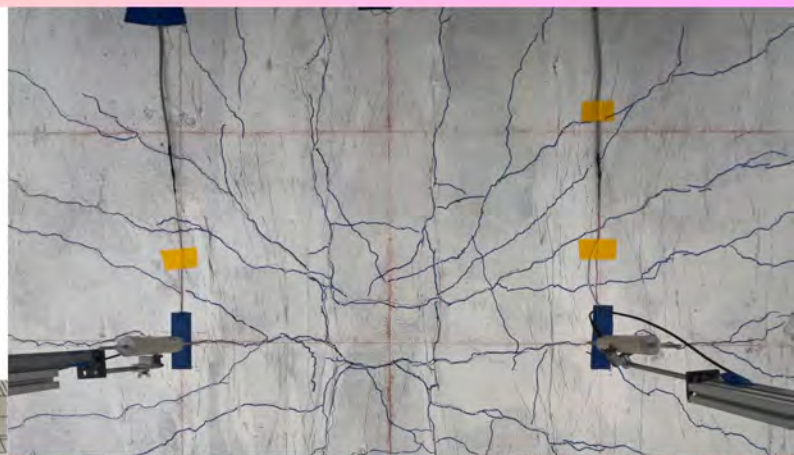
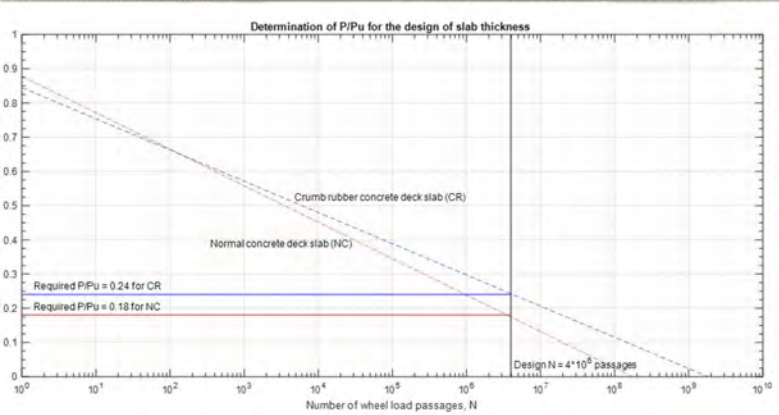




สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง

โครงการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาพื้นสะพานแตกร้าวเนื่องจากความล้า
จากการจราจรของรถบรรทุกหนัก
โดยใช้คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด



รายงานขั้นสุดท้าย

FINAL REPORT



บริษัท ชิตาเดล จำกัด

มีนาคม 2568

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการประเมินความสามารถของคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในการลดการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนัก โดยได้ทำการทดสอบพื้นสะพานจำลองขนาดเท่าจริงที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตที่มีการแทนที่ทรายด้วยยางรถยนต์เก่าบดละเอียดร้อยละ 25 โดยปริมาตร เทียบกับพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ ทั้งกำลังรับแรงและกำลังต้านทานความล้าในห้องปฏิบัติการ ผลของการใส่ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในส่วนผสมคอนกรีตทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตปกติมีค่าต่ำลง ส่งผลให้กำลังรับแรงของพื้นสะพานมีค่าต่ำลงด้วย แต่ยังคงสูงเพียงพอที่สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐานการออกแบบปัจจุบันได้อย่างปลอดภัย ข้อดีของการใส่ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในส่วนผสมคอนกรีต คือ คอนกรีตมีความเหนียวขึ้น ส่งผลดีต่อกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพาน พื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดสามารถลดการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนักได้อย่างมีนัยสำคัญ เส้นโค้งความล้าจำลองกำลังต้านทานความล้าและแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์จำลองกำลังรับแรงของพื้นสะพานได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบมาตรฐานการออกแบบในการวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพานที่เหมาะสมตามระยะห่างระหว่างคาน พร้อมทั้งจัดทำแบบรายละเอียดพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด

Abstract

Evaluation of crumb rubber in mitigating fatigue cracks in bridge deck slabs due to heavy truck traffic was conducted. Full-scale models of concrete deck slab with the crumb rubber replacement of sand 25% by volume were tested under both static and cyclic loadings and compared with the normal ones. Adding crumb rubber in the concrete mixing reduces the concrete strength which results in a drop of failure load (static strength) of the deck slab. However, the dropped failure load is still well above the maximum design wheel load; and causes no concern about the load carrying capacity. The benefit of adding crumb rubber in the concrete mixing is the ductility gained which results in better performance of the deck slab under cyclic loads (fatigue strength). The crumb rubber deck slab can substantially mitigate truck-induced fatigue cracks. Fatigue curves were developed; and in combination with Finite-element models and code recommendations, the recommended thicknesses of the crumb rubber deck slab for practical ranges of girder spacing were proposed.



บทสรุปผู้บริหาร

สะพานประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้าง เช่น พื้นสะพาน คานสะพาน ตอม่อสะพาน และฐานรากสะพาน ทำหน้าที่ร่วมกันในการถ่ายน้ำหนักจราจรลงสู่ดินฐานราก เนื่องจากพื้นสะพานเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างสะพานที่รองรับแรงกระแทกและการขัดสีจากการจราจรโดยตรง จึงเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างสะพานที่ได้รับความเสียหายมากที่สุด ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพื้นสะพานเนื่องจากการจราจรอยู่ในรูปของการแตกร้าวของคอนกรีต การแตกร้าวเริ่มต้นจากบริเวณกึ่งกลางท้องพื้นสะพาน จากนั้นจะขยายวงกว้างและลุกลามขึ้นไปด้านบน การแตกร้าวจะยิ่งลุกลามอย่างรวดเร็วเมื่อมีรถบรรทุกหนักวิ่งผ่าน การแตกร้าวของพื้นสะพานส่งผลกระทบต่อความมั่นคงแข็งแรงโดยรวมของสะพาน เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทาง

การแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากการจราจรมีสาเหตุมาจากพื้นสะพานเกิดความล้า ซึ่งเป็นกระบวนการเสื่อมสภาพของโครงสร้างจากน้ำหนักหรือแรงที่มากกระทำซ้ำ ๆ ต่อโครงสร้างจนกระทั่งโครงสร้างเกิดความเสียหายเมื่อรอบของแรงกระทำซ้ำมีจำนวนมากพอถึงแม้ว่าขนาดของแรงกระทำนั้นจะมีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงของโครงสร้างก็ตาม โดยทั่วไปแล้ว โครงสร้างจะต้านทานความล้าได้ดีขึ้นเมื่อกำลังรับแรงของโครงสร้างเพิ่มขึ้น ดังนั้น ในการแก้ปัญหาการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้า จึงนิยมทำการเพิ่มกำลังรับแรงของพื้นสะพานโดยการเพิ่มความหนาพื้นสะพาน หรือไม่ก็เพิ่มจำนวนคานรองรับพื้นสะพานเพื่อลดความกว้างของพื้นสะพาน แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวเป็นการเพิ่มน้ำหนักตายตัวให้กับสะพานทำให้ตอม่อและฐานรากสะพานต้องรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองเนื่องจากกำลังรับแรงของพื้นสะพานที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกบรรทุกที่หนักที่สุดที่คาดว่าจะวิ่งผ่านสะพานมากจนเกินความจำเป็น การแก้ปัญหาพื้นสะพานแตกร้าวเนื่องจากความล้าโดยวิธีการที่เหมาะสมกว่าจึงควรทำการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างพื้นสะพานให้มีความต้านทานความล้าที่สูงขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มความหนาพื้นสะพาน

โครงการนี้ได้ทดลองนำยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาเป็นส่วนผสมคอนกรีตพื้นสะพานในสัดส่วนร้อยละ 25 โดยปริมาตรแทนที่ปริมาตรทราย ซึ่งเป็นสัดส่วนตามคำแนะนำของงานวิจัยในต่างประเทศ และได้ทำการประเมินความสามารถของคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในการลดการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนัก โดยได้ทำการทดสอบพื้นสะพานจำลองขนาดเท่าจริงที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเทียบกับพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ ทั้งกำลังรับแรงและกำลังต้านทานความล้าในห้องปฏิบัติการ ผลของการใส่ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในส่วนผสมคอนกรีตทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตปกติมีค่าต่ำลง ส่งผลให้กำลังรับแรงของพื้นสะพานมีค่าต่ำลงด้วย แต่ยังคงสูงเพียงพอที่สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกบรรทุกตามมาตรฐานการออกแบบปัจจุบันได้อย่างปลอดภัย ข้อดีของการใส่ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในส่วนผสมคอนกรีต คือ คอนกรีตมีความเหนียวขึ้น ส่งผลดีต่อกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพาน พื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดสามารถลดการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนักได้อย่างมีนัยสำคัญ



เส้นโค้งความล้าจำลองกำลังต้านทานความล้าและแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์จำลองกำลังรับแรงของพื้นสะพานได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบมาตรฐานการออกแบบในการวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพานที่เหมาะสมตามระยะห่างระหว่างคาน ผลการวิเคราะห์โดยใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นค่ากำลังรับแรงอัดออกแบบของคอนกรีตพื้นสะพานของสะพานระบบพื้นคานของกรมทางหลวง เท่ากันทั้งพื้นสะพานคอนกรีตปกติและพื้นสะพานสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดที่มีกำลังรับแรงอัดประลัยเท่ากับคอนกรีตปกติ มีศักยภาพที่ดีกว่าคอนกรีตปกติในการนำมาก่อสร้างเป็นพื้นสะพานเพื่อต้านทานความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนัก โดยดูได้จากความหนาขั้นต่ำของพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดที่ต้องการมีค่าน้อยกว่าความหนาขั้นต่ำที่ต้องการในกรณีของพื้นสะพานคอนกรีตปกติ และระยะห่างระหว่างคานสูงสุดที่ยอมให้มีค่ามากกว่า เมื่อพิจารณาจากความหนาพื้นสะพานเท่ากัน เช่น ในกรณีระยะห่างระหว่างคาน 2.00 เมตรเท่ากัน พื้นสะพานคอนกรีตปกติต้องมีความหนาขั้นต่ำ 0.22 เมตร โดยหากก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ความหนาพื้นที่ต้องการจะลดลง เหลือเพียง 0.17 เมตร หรือในกรณีที่ความหนาพื้นสะพาน 0.20 เมตรเท่ากัน ระยะห่างระหว่างคานที่มากที่สุดที่ยอมให้สำหรับพื้นสะพานคอนกรีตปกติ มีค่าเท่ากับ 1.79 เมตร โดยหากก่อสร้างพื้นสะพานด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ระยะห่างระหว่างคานที่มากที่สุดที่ยอมให้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2.35 เมตร

ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเป็นวัสดุที่หาได้ในประเทศ ราคาไม่แพง (17 บาทต่อกิโลกรัม) สัดส่วนยางรถยนต์เก่าบดละเอียดร้อยละ 25 โดยปริมาตรทรายไม่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการผสมคอนกรีตสามารถลดการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนักได้อย่างเป็นรูปธรรม ในทางอ้อม พื้นสะพานที่บางลงจากการใช้คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดช่วยลดน้ำหนักโดยรวมของโครงสร้างสะพาน ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างสะพาน อีกทั้ง การใช้ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเป็นการลดปริมาณขยะที่เป็นมลพิษ ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จึงควรส่งเสริมให้มีการนำยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาใช้เป็นส่วนผสมของงานคอนกรีตพื้นสะพานของกรมทางหลวง



Executive Summary

A typical bridge comprises typical elements such as deck slab, girder, pier, and footing functioning together in resisting traffic loads. Due its direct contact to traffic loads, deck slab is the element that is most vulnerable to damage.

Truck-induced fatigue crack is the typical damage of the deck slab. Basically, fatigue strength of a structure is increased with an increasing in its static strength. Therefore, in mitigating the fatigue cracks of the deck slab, its static strength has to be increased. This is typically done by increasing slab thickness or reducing girder spacing. However, both remedies have two drawbacks. First, increasing slab thickness or reducing girder spacing causes an unnecessary increased in static strength of the deck slab; since due to the effect of membrane action inherent in the slab-on-girder system, the static strength of the deck slab is already increased well above the maximum design wheel load. Second, increasing slab thickness or reducing girder spacing puts more dead weight to the structure; results in unnecessary higher construction cost of a bridge as a whole. More appropriate method in increasing fatigue strength of the deck slab is required. This can be accomplished by direct enhanced fatigue strength of the deck slab i.e., replacement of sand with crumb rubber 25% by volume in this study. This mix proportion is used as recommended by previous research in China in increasing fatigue strength of normal concrete by utilizing crumb rubber replacement of sand.

Evaluation of crumb rubber in mitigating truck-induced fatigue cracks in the deck slabs was conducted. Full-scale models of concrete deck slab with the crumb rubber replacement of sand 25% by volume were tested under both static and cyclic loadings and compared with the normal ones. Adding crumb rubber in the concrete mixing reduces the concrete strength which results in a drop of failure load (static strength) of the deck slab. However, the dropped failure load is still well above the maximum design wheel load; and causes no concern about the load carrying capacity. The benefit of adding crumb rubber in the concrete mixing is the ductility gained which results in better performance of the deck slab under cyclic loads (fatigue strength). The crumb rubber deck slab can substantially mitigate truck-induced fatigue cracks.



Fatigue curves were developed; and in combination with Finite-element models and code recommendations, the recommended thicknesses of the crumb rubber deck slab (concrete compressive strength of 300 kg/cm² or 30 MPa) for practical ranges of girder spacing were analyzed. The analyses showed the potential of utilizing crumb rubber concrete for deck slab construction. For example, in the case of girder spacing of 2.00 m, the required minimum thickness of the crumb rubber concrete deck slab is 0.17 m as compared with 0.22 m for the normal concrete deck slab; and for the same thickness of 0.20 m, the maximum possible girder spacing when utilizing crumb rubber concrete deck slab can be extended to 2.35 m while for the normal one the maximum possible girder spacing is only 1.79 m.

Crumb rubber is an inexpensive locally available material (17 Baht / kg). The proportion of 25% by volume of sand causes no difficulty in the mixing process. Crumb rubber concrete explicitly enhances fatigue strength of the deck slab. Implicitly, crumb rubber concrete deck slab can reduce bridge construction cost due to its lower minimum required thickness or its greater maximum possible girder spacing. Additionally, utilizing crumb rubber promotes the reduction of toxic waste. It is therefore recommended as construction material for DOH deck slab.



สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
บทสรุปผู้บริหาร	ค
Executive Summary Report	จ
สารบัญ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-2
1.3 ขอบเขตการทำงาน	1-2
บทที่ 2 พื้นสะพานจำลอง	2-1
2.1 รายการพื้นสะพานจำลอง	2-1
2.2 การทดสอบหาชนิดเม็ดยางบดละเอียดที่เหมาะสม	2-1
2.2.1 พื้นสะพานจำลอง	2-5
2.2.2 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีต	2-5
บทที่ 3 การทดสอบกำลังพื้นสะพาน	3-17
3.1 รายละเอียดการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน	3-17
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด	3-18
3.2.1 LVDT	3-18
3.2.2 Strain Gates	3-19
3.3 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัด	3-21
3.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดในเหล็กเสริมและคอนกรีต	3-21
3.3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูป	3-22
3.4 วิธีการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง	3-28
3.5 สรุปวิธีการดำเนินงานและขั้นตอน	3-28



บทที่ 4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง	4-30
4.1 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง ชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)	4-30
4.1.1 การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (ST-NC20-1)	4-30
4.1.2 ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (ST-NC20-1)	4-39
4.1.3 การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (ST-NC20-2)	4-44
4.1.4 ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (ST-NC20-2)	4-49
4.1.5 การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (ST-NC20-3)	4-53
4.1.6 ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (ST-NC20-3)	4-56
4.1.7 การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-CRC20-1)	4-60
4.1.8 ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-CRC20-1)	4-64
4.1.9 การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-CRC20-2)	4-68
4.1.10 ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-CRC20-2)	4-72
4.1.11 การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-CRC20-3)	4-76
4.1.12 ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-CRC20-3)	4-80
4.2 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง ชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)	4-84
4.2.1 การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (ST-NC15-1)	4-84
4.2.2 ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (ST-NC15-1)	4-88
4.2.3 การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (ST-NC15-2)	4-92
4.2.4 ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (ST-NC15-2)	4-96
4.2.5 การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (ST-NC15-3)	4-100
4.2.6 ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (ST-NC15-3)	4-103
4.2.7 การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-CRC15-1)	4-107
4.2.8 ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-CRC15-1)	4-110
4.2.9 การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-CRC15-2)	4-114
4.2.10 ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-CRC15-2)	4-117
4.2.11 การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-CRC15-3)	4-121
4.2.12 ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-CRC15-3)	4-124
4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรง	4-128



4.3.1	เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)	4-128
4.3.2	เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)	4-132
4.4	สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง	4-135
4.4.1	สรุปผลการทดสอบของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)	4-135
4.4.2	สรุปผลการทดสอบของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)	4-135
4.5	การทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของพื้นสะพาน	4-137
4.5.1	ผลการวิเคราะห์แบบจำลองพื้นสะพาน	4-137
4.5.2	สรุปผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและผลการวิเคราะห์	4-144
4.6	สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง	4-145
บทที่ 5	การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพาน	5-1
5.1	การทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนักกระทำ 40% ของกำลังรับแรงสูงสุด	5-2
5.1.1	การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (FT-NC20-1)	5-2
5.1.2	ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (FT-NC20-1)	5-4
5.1.3	การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (FT-CRC20-1)	5-7
5.1.4	ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (FT-CRC20-1)	5-9
5.1.5	การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (FT-NC15-1)	5-12
5.1.6	ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (FT-NC15-1)	5-14
5.1.7	การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (FT-CRC15-1)	5-16
5.1.8	ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (FT-CRC15-1)	5-19
5.2	เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนักกระทำ 40%	5-21
5.2.1	เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)	5-21
5.2.2	เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)	5-24
5.3	การทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนักกระทำ 55% ของกำลังรับแรงสูงสุด	5-26
5.3.1	การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (FT-NC20-2)	5-26
5.3.2	ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (FT-NC20-2)	5-28
5.3.3	การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (FT-CRC20-2)	5-30
5.3.4	ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (FT-CRC20-2)	5-32
5.3.5	การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (FT-NC15-2)	5-34

5.3.6 ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (FT-NC15-2)	5-36
5.3.7 การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (FT-CRC15-2)	5-37
5.3.8 ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (FT-CRC15-2)	5-40
5.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนักกระทำ 55%	5-42
5.4.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)	5-42
5.4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)	5-44
5.5 การทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนักกระทำ 70% ของกำลังรับแรงสูงสุด	5-46
5.5.1 การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (FT-NC20-3)	5-46
5.5.2 ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (FT-NC20-3)	5-48
5.5.3 การทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (FT-CRC20-3)	5-49
5.5.4 ผลการทดสอบชุดที่ 1 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (FT-CRC20-3)	5-52
5.5.5 การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (FT-NC15-3)	5-53
5.5.6 ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (FT-NC15-3)	5-56
5.5.7 การทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (FT-CRC15-3)	5-58
5.5.8 ผลการทดสอบชุดที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (FT-CRC15-3)	5-61
5.6 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนักกระทำ 70%	5-63
5.6.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)	5-63
5.6.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)	5-65
5.7 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง	5-68
5.7.1 สรุปผลการทดสอบตามความหนาของแผ่นพื้นสะพาน	5-68
5.7.2 สรุปผลการทดสอบตามระดับความเสียหาย	5-69
บทที่ 6 การวิเคราะห์ความหนาพื้นสะพานออกแบบใช้งาน	6-1
6.1 น้ำหนักและจำนวนเที่ยวของล้อรถบรรทุกออกแบบใช้งาน	6-1
6.2 เส้นโค้งความล้าของพื้นสะพาน	6-2
6.3 การวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพาน	6-4
6.4 เอกสารอ้างอิง	6-8
บทที่ 7 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	7-1



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

สะพานประกอบไปด้วยส่วนของโครงสร้างต่าง ๆ เช่น พื้นสะพาน คานสะพาน ตอม่อสะพาน และฐานรากสะพาน ซึ่งทำหน้าที่ร่วมกันในการถ่ายน้ำหนักการจราจรลงสู่ดินฐานราก โดยในบรรดาส่วนของโครงสร้างทั้งหมด พื้นสะพานเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ได้รับความเสียหายมากที่สุดเนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่รองรับแรงกระแทกและการขัดสีจากการจราจรโดยตรง ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับพื้นสะพานเนื่องจากการจราจรอยู่ในรูปของการแตกร้าวของคอนกรีต การแตกร้าวเริ่มต้นจากบริเวณกึ่งกลางท้องพื้นสะพาน จากนั้นจะขยายวงกว้างและลุกลามขึ้นไปด้านบน การแตกร้าวจะยิ่งลุกลามอย่างรวดเร็วเมื่อมีรถบรรทุกหนักวิ่งผ่าน การแตกร้าวของพื้นสะพานทำให้การถ่ายน้ำหนักการจราจรลงสู่ดินฐานรากไม่สมบูรณ์ ทำให้คานสะพานต้องรับน้ำหนักเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบโดยรวมต่อกำลังรับน้ำหนักของสะพาน การซ่อมรอยแตกร้าวของคอนกรีตพื้นสะพานจำเป็นต้องปิดการจราจรบนสะพาน ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง อีกทั้งรอยแตกร้าวของพื้นสะพานยังเป็นช่องทางให้น้ำบนสะพานซึมลงสู่โครงสร้างส่วนล่าง ส่งผลต่อความคงทนของคอนกรีตเนื้อสะพาน เป็นปัญหาในการบำรุงรักษา

อนึ่ง การแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากการจราจรมีสาเหตุมาจากพื้นสะพานเกิดความล้า ซึ่งความล้าเป็นกระบวนการเสื่อมสภาพของโครงสร้างจากน้ำหนักหรือแรงที่มากระทำซ้ำ ๆ ต่อโครงสร้างจนกระทั่งโครงสร้างเกิดความเสียหายเมื่อรอบของแรงกระทำซ้ำมีจำนวนมากพอถึงแม้ว่าขนาดของแรงกระทำนั้นจะมีค่าต่ำกว่ากำลังรับแรงของโครงสร้างก็ตาม โดยทั่วไปแล้ว โครงสร้างจะต้านทานความล้าได้ดีขึ้นเมื่อกำลังรับแรงของโครงสร้างเพิ่มขึ้น ดังนั้น ในการแก้ปัญหาการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้าจึงนิยมทำการเพิ่มกำลังรับแรงของพื้นสะพานโดยการเพิ่มความหนาพื้นสะพานหรือไม่ก็เพิ่มจำนวนคานรองรับพื้นสะพาน แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวเป็นการเพิ่มน้ำหนักตายตัวให้กับสะพานทำให้ตอม่อและฐานรากสะพานต้องรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองเนื่องจากการกำลังรับแรงของพื้นสะพานที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกทุกที่หนักที่สุดที่คาดว่าจะวิ่งผ่านสะพานมากจนเกินความจำเป็น การแก้ปัญหาพื้นสะพานแตกร้าวเนื่องจากความล้าโดยวิธีการที่เหมาะสมกว่าจึงควรทำการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างพื้นสะพานให้มีความต้านทานความล้าที่สูงขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มความหนาพื้นสะพาน

โครงการนี้ มุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนักโดยใช้ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเป็นส่วนผสมในคอนกรีตก่อสร้างพื้นสะพาน การนำยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตให้มีความต้านทานความล้าที่สูงขึ้นมีความเป็นไปได้ด้วยเหตุผล ประการแรก มีงานวิจัยในต่างประเทศรับรองว่า การนำยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาแทนที่ทรายในส่วนผสมคอนกรีตในสัดส่วนร้อยละ 25 ของปริมาตรทรายจะทำให้คอนกรีตที่ได้มีความต้านทานความล้าสูงขึ้นเป็นอย่างมาก โดยที่คอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัดและแรงดัดลดลงเพียงเล็กน้อย ประการที่

สอง ยางรถยนต์บดละเอียดเป็นวัสดุที่หาได้ทั่วไปและมีราคาไม่สูง ประการสุดท้าย เป็นผลพลอยได้ การใช้ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเป็นการลดปริมาณขยะที่เป็นมลพิษ ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการนำคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาก่อสร้างพื้นสะพานถือเป็นแนวทางใหม่ในการแก้ปัญหาพื้นสะพานแตกร้าวเนื่องจากความล้า จึงมีความจำเป็นต้องทำการศึกษาโดยการทดสอบพื้นสะพานจำลองขนาดเท่าจริง วิเคราะห์และประเมินความสามารถในการลดการแตกร้าว รวมถึงวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบผลการทดสอบเพื่อลดความหนาพื้นสะพานให้ได้ขนาดที่เหมาะสมก่อนนำไปก่อสร้างใช้งานจริง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ทดสอบและประเมินผลการลดการแตกร้าวของพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด
- 2) จัดทำแบบรายละเอียดการก่อสร้างพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด

1.3 ขอบเขตการทำงาน

งานวิจัยนี้กรมทางหลวงเป็นผู้วิจัยหลัก การดำเนินงานของที่ปรึกษาจะเป็นไปในลักษณะร่วมกับสำนักวิจัยและพัฒนาทาง เพื่อให้งานออกมามีคุณภาพและตรงกับวัตถุประสงค์ในการศึกษา โดยมีขอบเขตของงานดังต่อไปนี้

1.3.1 การก่อสร้างพื้นสะพานจำลอง

งานในข้อนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1) ที่ปรึกษาจะต้องก่อสร้างพื้นสะพานจำลองขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร จำนวน 2 ชุด ชุดที่ 1 พื้นหนา 0.20 เมตร ชุดที่ 2 พื้นหนา 0.15 เมตร ในแต่ละชุดให้ก่อสร้างพื้นสะพานโดยใช้คอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดประเภทละอย่างน้อย 6 แผ่นพื้น รวมพื้นสะพานที่จะต้องก่อสร้างทั้งหมดอย่างน้อย 24 แผ่นพื้น

ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำแบบรายละเอียดการก่อสร้างพื้นสะพานจำลอง รวมถึงรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดต่าง ๆ ได้แก่ อุปกรณ์การตรวจวัดความเครียดในเนื้อคอนกรีต จำนวนอย่างน้อย 20 ตัวต่อพื้นสะพาน และ อุปกรณ์ตรวจวัดระยะการเคลื่อนที่ จำนวนอย่างน้อย 5 ตัวต่อพื้นสะพาน เสนอต่คณะกรรมการบริหารโครงการก่อนทำการก่อสร้างการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน

1.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน

งานในข้อนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1) ที่ปรึกษาจะต้องทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานตามที่ได้ก่อสร้างในข้อที่ 1.3.1 โดยการให้แรงแบบสถิต (Static) ที่กึ่งกลางแผ่นพื้น ในแต่ละประเภทคอนกรีตพื้นสะพานของชุดพื้นสะพานแต่ละความหนา ให้ทำการทดสอบกำลังรับแรง จำนวนอย่างน้อย 3 แผ่นพื้น รวมพื้นสะพานที่ต้องทำการทดสอบกำลังรับแรง ทั้งหมดอย่างน้อย 12 แผ่นพื้น ที่ปรึกษา

จะต้องเป็นผู้จัดเตรียม สถานที่ทดสอบ รวมถึงอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น โครงเหล็กถ้ำแรง โครงเหล็กยึดพื้นสะพาน รถเครนเคลื่อนย้ายพื้นสะพาน และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็นเองทั้งหมด

ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำแผนและรายละเอียดการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน เสนอต่อคณะกรรมการบริหารโครงการก่อนทำการทดสอบ และจะต้องรายงานผลการทดสอบ พร้อมทั้งจัดทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ประกอบผลการทดสอบ

1.3.3 การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพาน

งานในข้อนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1) ที่ปรึกษาจะต้องทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานตามที่ได้ก่อสร้างในข้อที่ 1.3.1 โดยการให้แรงแบบวัฏจักร (Cyclic) ที่กึ่งกลางแผ่นพื้น ในแต่ละประเภทคอนกรีตพื้นสะพานของชุดพื้นสะพานแต่ละความหนา ให้ทำการทดสอบกำลังต้านทานความล้า จำนวนอย่างน้อย 3 แผ่นพื้น รวมพื้นสะพานที่ต้องทำการทดสอบกำลังต้านทานความล้า ทั้งหมดอย่างน้อย 12 แผ่นพื้น ที่ปรึกษาจะต้องเป็นผู้จัดเตรียม สถานที่ทดสอบ รวมถึงอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น โครงเหล็กถ้ำแรง โครงเหล็กยึดพื้นสะพาน รถเครนเคลื่อนย้ายพื้นสะพาน และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็นเองทั้งหมด

ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำแผนและรายละเอียดการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพาน เสนอต่อคณะกรรมการบริหารโครงการก่อนทำการทดสอบ และจะต้องรายงานผลการทดสอบ

1.3.4 การประเมินผลการลดการแตกร้าวของพื้นสะพาน

งานในข้อนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1) ที่ปรึกษาจะต้องประเมินผลการลดการแตกร้าวของพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดโดยอาศัยผลการทดสอบในข้อที่ 1.3.2 และ 1.3.3 พร้อมทั้งวิเคราะห์หาความหนาของพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง

1.3.5 การจัดทำแบบรายละเอียดพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด

งานในข้อนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 2) ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำแบบรายละเอียดพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดตามผลการวิเคราะห์ในข้อที่ 1.3.4 โดยแสดงรายละเอียดโครงสร้าง รวมถึงรายการข้อกำหนดต่าง ๆ ประกอบแบบ

บทที่ 2 พื้นสะพานจำลอง

2.1 รายการพื้นสะพานจำลอง

การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร จำนวน 2 ชุด ชุดที่ 1หนา 0.20 เมตร ชุดที่ 2 หนา 0.15 เมตร ในแต่ละชุดจะทำการก่อสร้างพื้นสะพานโดยใช้คอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดประเภทละอย่างน้อย 6 แผ่นพื้น รวมพื้นสะพานที่จะต้องก่อสร้างทั้งหมดจำนวน 24 แผ่นพื้น

2.2 การทดสอบหาชนิดเม็ดยางบดละเอียดที่เหมาะสม

การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองที่มีส่วนผสมของเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดนั้นจะต้องมีการคัดเลือกขนาดและปริมาณที่เหมาะสมมาใช้กับพื้นสะพานจำลอง โดยวิธีการคัดเลือกหาปริมาณที่เหมาะสมนั้นจะทำการหล่อคอนกรีต (Cylinder) ขนาด 15 x 30 เซนติเมตรดังแสดงในรูปที่ 2-1 แบบที่ 1 คอนกรีตปกติจำนวน 3 ลูก แบบที่ 2 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดขนาด 2-3 มิลลิเมตร (Coarse Crumb Rubber, CCR) แทนที่ทรายสัดส่วนร้อยละ 25 ของปริมาตรทรายจำนวน 3 ลูก แบบที่ 3 คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดขนาด 0.840 - 0.425 มิลลิเมตร (Fine Crumb Rubber, FCR) แทนที่ทรายสัดส่วนร้อยละ 25 ของปริมาตรทรายจำนวน 3 ลูก จากนั้นจะนำมาทดสอบกำลังรับแรงหรือกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งจะสนใจพฤติกรรมการพังทลายของตัวอย่างคอนกรีต กำลังรับแรงอัดสูงสุด กำลังรับแรง ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น เพื่อนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาส่วนผสมที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ก่อสร้างพื้นสะพานจำลอง



รูปที่ 2-1 คอนกรีต (Cylinder) ขนาด 15 x 30 เซนติเมตร



รูปที่ 2-2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

ตารางที่ 2-1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

No. of Specimens	Test Specimens	Crumb Rubber (percent by volume)	Compressive Strength (ksc)
1	NC	0%	321
2	NC	0%	318
3	NC	0%	308
4	FCR	25%	188
5	FCR	25%	185
6	FCR	25%	187
7	CCR	25%	243
8	CCR	25%	237
9	CCR	25%	247

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดขนาด 2-3 มิลลิเมตร (Coarse Crumb Rubber, CCR) ทำให้ได้กำลังรับแรงอัดได้สูงกว่าคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดขนาด 0.840 - 0.425 มิลลิเมตร (Fine Crumb Rubber, FCR) ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดขนาด 2-3 มิลลิเมตร (Coarse Crumb Rubber, CCR) เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้จริง โดยรายละเอียดส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ส่วนผสมคอนกรีต

Test Specimens	Material (kg/m ³)					
	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	Water	Fine Crumb Rubber	Coarse Crumb Rubber
Normal concrete (NC)	457	599	1303	286	-	-
Crumb Rubber Concrete (CRC)	457	450	1303	286	-	42

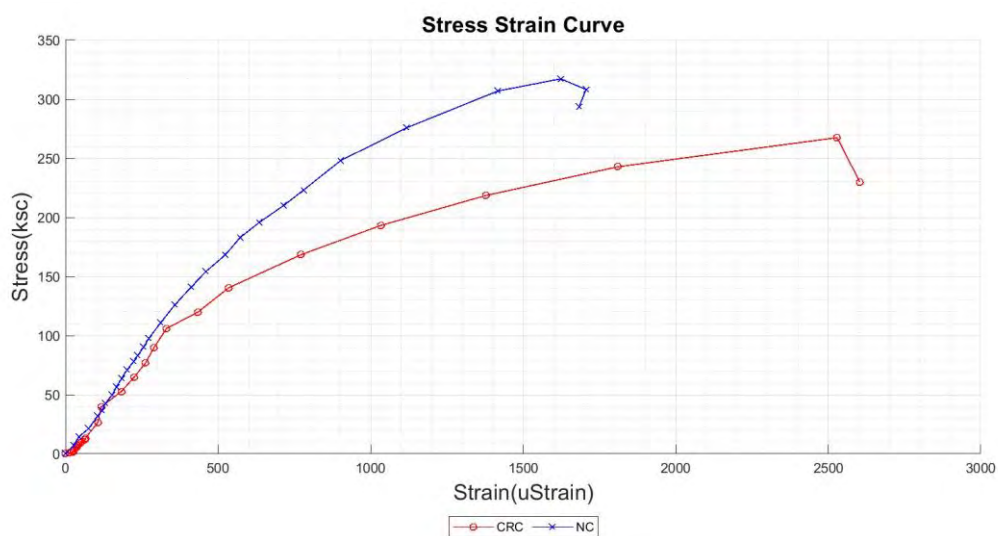
เมื่อได้ส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมกับการนำไปก่อสร้างพื้นสะพานจำลองแล้ว จะทำการหล่อคอนกรีต (Cylinder) ด้วยคอนกรีตปกติจำนวน 1 ลูก และคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดจำนวน 1 ลูก ทำการบ่มเป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างคอนกรีตมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตตัวอย่างละ 3 ตัว และนำข้อมูลที่ได้มาจัดทำเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Curve) แสดงดังรูปที่ 2-4

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตมีดังนี้

1. เครื่องทดสอบแรงกดมาตรฐานแบบไฮดรอลิก
2. อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดภายในโครงสร้าง
3. อุปกรณ์สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Logger)



รูปที่ 2-3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 2-4 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Curve)

2.2.1 พื้นสะพานจำลอง

พื้นสะพานจำลองทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 พื้นสะพานจำลองที่มีความหนา 0.20 เมตรจำนวน 12 แผ่นพื้น และชุดที่ 2 พื้นสะพานจำลองที่มีความหนา 0.15 เมตรจำนวน 12 แผ่นพื้น โดยแต่ละชุดจะถูกแบ่งย่อยอีก 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 พื้นสะพานจำลองส่วนผสมคอนกรีตปกติจำนวน 6 แผ่นพื้น ประเภทที่ 2 พื้นสะพานจำลองผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดจำนวน 6 แผ่นพื้น รวมพื้นสะพานจำลองทั้งสิ้น 24 แผ่นพื้น ซึ่งพื้นสะพานจำลองทั้งหมดจะถูกแบ่งไปทดสอบเพื่อหากล้ารับแรงจำนวน 12 แผ่นพื้น และทดสอบกำลังต้านทานความล้าจำนวน 12 แผ่นพื้น รายละเอียดแผ่นพื้นทั้งหมดแสดงดังตาราง

2.2.2 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีต

ระหว่างการก่อสร้างพื้นคอนกรีตจะมีการเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) กำลังรับแรงดึงจากการกด (Splitting Tensile Strength) และบันทึกข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์

2.2.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

ทำได้โดยนำคอนกรีตที่ได้จากการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองทั้ง 16 แผ่นพื้น มาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength ,ksc) แสดงดังตารางที่ 2-3



รูปที่ 2-5 การทดสอบกำลังรับแรงอัด(Compressive Strength)

ตารางที่ 2-3 รายละเอียดการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

No. of Specimen	Specimen	Compressive Strength (ksc)
1	ST-NC20-1	332
2	ST-NC20-2	335
3	ST-NC20-3	330
4	ST-CRC20-1	281
5	ST-CRC20-2	279
6	ST-CRC20-3	284
7	ST-NC15-1	321
8	ST-NC15-2	325
9	ST-NC15-3	311
10	ST-CRC15-1	280
11	ST-CRC15-2	271
12	ST-CRC15-3	283
13	FT-NC20-1	333
14	FT-NC20-2	342
15	FT-NC20-3	329
16	FT-CRC20-1	275
17	FT-CRC20-2	272
18	FT-CRC20-3	282
19	FT-NC15-1	338
20	FT-NC15-2	328
21	FT-NC15-3	334
22	FT-CRC15-1	269
23	FT-CRC15-2	299
24	FT-CRC15-3	250

2.2.2.2 กำลังรับแรงดึงจากการกด (Splitting Tensile Strength)

ทำได้โดยคัดเลือกตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองทั้ง 8 แผ่นพื้น มาทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงจากการกด (Splitting Tensile Strength ,ksc) แสดงดังตารางที่ 2-4



รูปที่ 2-6 การทดสอบกำลังรับแรงดึงจากการกด (Splitting Tensile Strength)

ตารางที่ 2-4 รายละเอียดการทดสอบกำลังรับแรงดึงจากการกด (Splitting Tensile Strength)

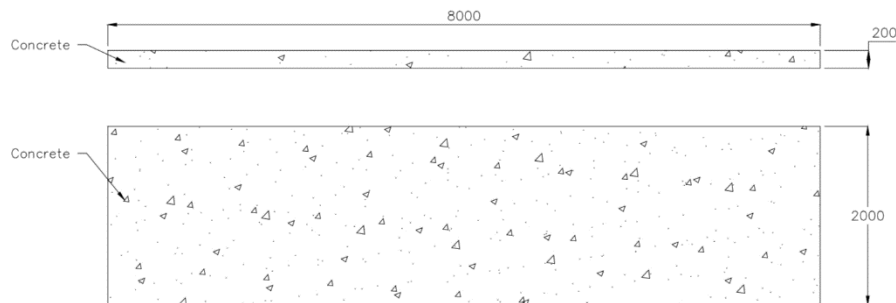
No. of Specimen	Specimen	Tensile Strength (ksc)
1	ST-NC20-1	32
2	ST-CRC20-1	29
3	ST-NC15-1	30
4	ST-CRC15-1	28
5	FT-NC20-1	33
6	FT-CRC20-1	21
7	FT-NC15-1	29
8	FT-CRC15-1	24

ตารางที่ 2-5 รายละเอียดการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน

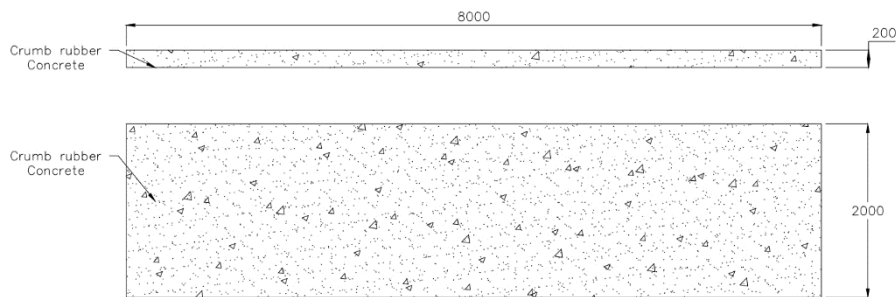
No. of Specimens	Test Specimens	Thickness (m)	Description	Crumb Rubber (percent by volume)	Types of testing
1	ST-NC20-1	0.20	NC	-	Static
2	ST-NC20-2	0.20	NC	-	Static
3	ST-NC20-3	0.20	NC	-	Static
4	ST-CRC20-1	0.20	CRC	25%	Static
5	ST-CRC20-2	0.20	CRC	25%	Static
6	ST-CRC20-3	0.20	CRC	25%	Static
7	ST-NC15-1	0.15	NC	-	Static
8	ST-NC15-2	0.15	NC	-	Static
9	ST-NC15-3	0.15	NC	-	Static
10	ST-CRC15-1	0.15	CRC	25%	Static
11	ST-CRC15-2	0.15	CRC	25%	Static
12	ST-CRC15-3	0.15	CRC	25%	Static
13	FT-NC20-1	0.20	NC	-	Cyclic
14	FT-NC20-2	0.20	NC	-	Cyclic
15	FT-NC20-3	0.20	NC	-	Cyclic
16	FT-CRC20-1	0.20	CRC	25%	Cyclic
17	FT-CRC20-2	0.20	CRC	25%	Cyclic
18	FT-CRC20-3	0.20	CRC	25%	Cyclic
19	FT-NC15-1	0.15	NC	-	Cyclic
20	FT-NC15-2	0.15	NC	-	Cyclic
21	FT-NC15-3	0.15	NC	-	Cyclic
22	FT-CRC15-1	0.15	CRC	25%	Cyclic
23	FT-CRC15-2	0.15	CRC	25%	Cyclic
24	FT-CRC15-3	0.15	CRC	25%	Cyclic

2.2.2.3 พื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)

การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร โดยพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 มีความหนา 0.20 เมตร จะนำส่วนผสมคอนกรีตที่ออกแบบจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบมาทำการก่อสร้างแผ่นพื้นสะพานจำลองคอนกรีตปกติจำนวน 6 แผ่นพื้น และก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดจำนวน 6 แผ่นพื้น รวมทั้งสิ้น 12 แผ่นพื้น



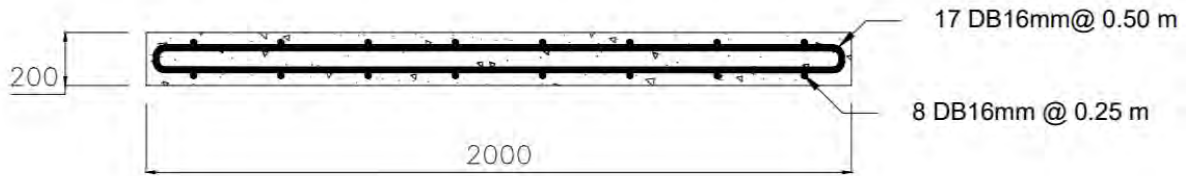
รูปที่ 2-7 รายละเอียดพื้นสะพานจำลองก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)



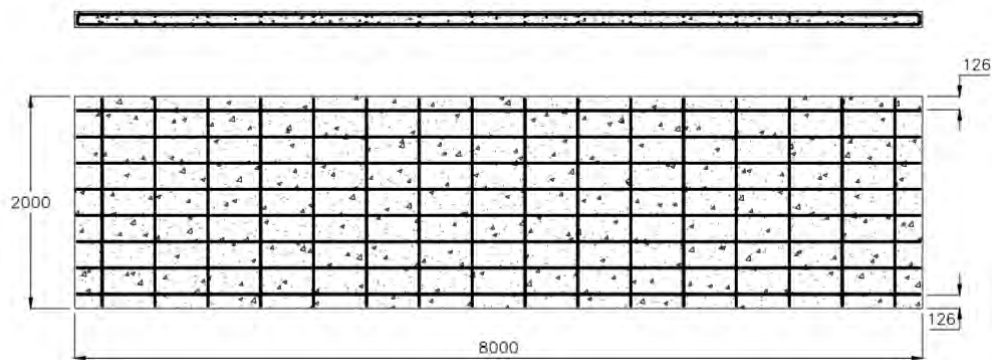
รูปที่ 2-8 รายละเอียดพื้นสะพานจำลองก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

1. รายละเอียดการเสริมเหล็กชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)

การก่อสร้างพื้นสะพานจำเป็นต้องมีเหล็กเสริมเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงดึงของโครงสร้าง จึงได้มีการเสริมเหล็กตามแนวยาวทั้งหมด 8 เส้น และเสริมเหล็กตามแนวขวางทั้งหมด 17 เส้นดังแสดงในรูปที่ 2-9 และรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-9 รายละเอียดพื้นสะพานจำลอง (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)



รูปที่ 2-10 รายละเอียดการเสริมเหล็กของพื้นสะพานจำลองความหนา 0.20 เมตร

2. รายละเอียดการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)

การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองจะก่อสร้างด้วยวิธีการหล่อในที่ โดยก่อนที่จะมีการทดสอบหรือหล่อพื้นคอนกรีต ได้มีการจัดเตรียมพื้นที่เพื่อพร้อมสำหรับการก่อสร้างและทดสอบพื้นสะพานจำลองดังแสดงในรูปที่ 2-11 รายละเอียดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองนั้นแสดงในตารางที่ 2-6



รูปที่ 2-11 การเตรียมพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 2-6 ส่วนผสมคอนกรีต

Test Specimens	Material (kg/m ³)					
	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	Water	Fine Crumb Rubber	Coarse Crumb Rubber
Normal concrete (NC)	457	599	1303	286	-	-
Crumb Rubber Concrete (CRC)	457	450	1303	286	-	42

3. การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)

ภายหลังจากการออกแบบส่วนผสมและเหล็กเสริม จึงได้มีการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร โดยขั้นตอนการก่อสร้างมีดังนี้

1. ติดตั้งแบบเหล็กและผูกเหล็กเสริมตามมาตรฐาน



รูปที่ 2-12 รายละเอียดการเสริมเหล็กของพื้นสะพานจำลองความหนา 0.20 เมตร

2. ปูแผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีตก่อนเทคอนกรีตพื้นสะพานจำลอง



รูปที่ 2-13 รายละเอียดการเสริมเหล็กของพื้นสะพานจำลองความหนา 0.20 เมตร

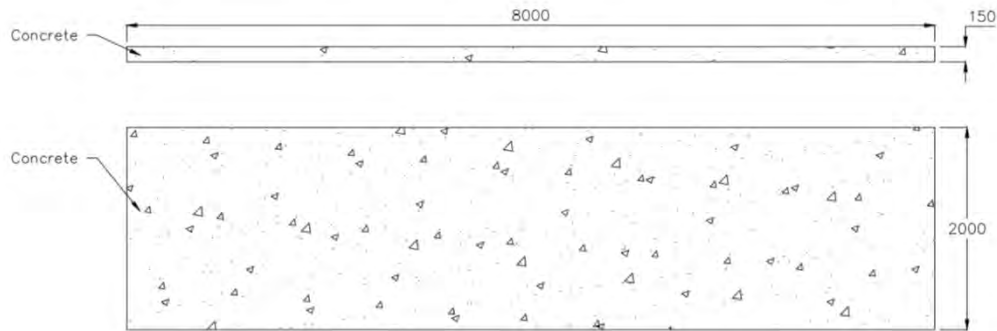
3. เทคอนกรีตเพื่อก่อสร้างพื้นสะพานจำลอง



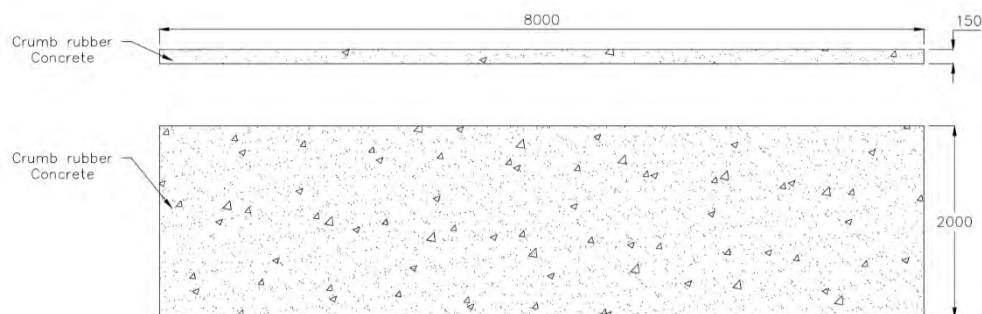
รูปที่ 2-14 รายละเอียดการเสริมเหล็กของพื้นสะพานจำลองความหนา 0.20 เมตร

2.2.2.4 พื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร โดยพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 มีความหนา 0.15 เมตร จะนำส่วนผสมคอนกรีตที่ออกแบบจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบมาทำการก่อสร้างแผ่นพื้นสะพานจำลองคอนกรีตปกติจำนวน 6 แผ่นพื้น และก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดจำนวน 6 แผ่นพื้น รวมทั้งสิ้น 12 แผ่นพื้น



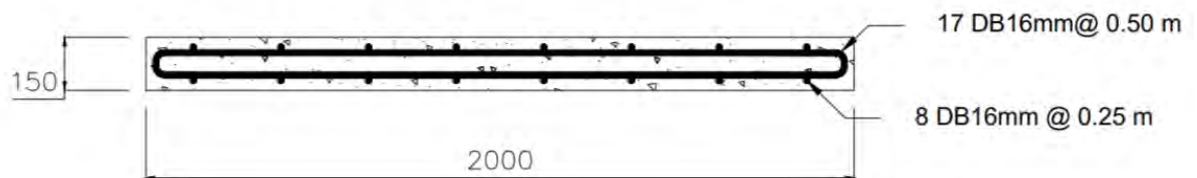
รูปที่ 2-15 รายละเอียดพื้นสะพานจำลองก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)



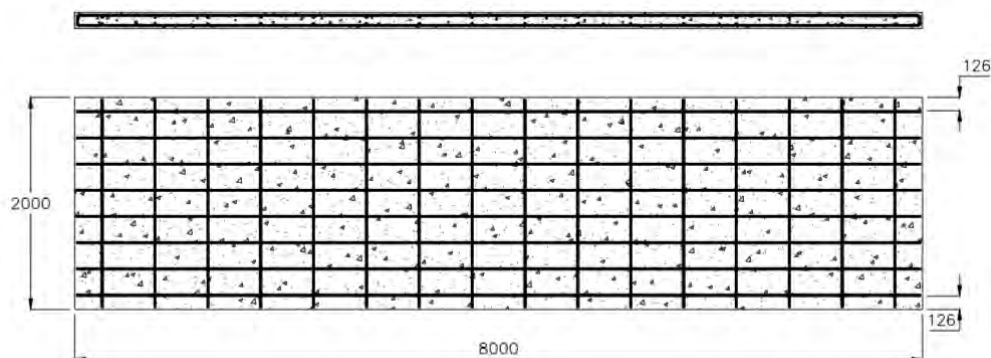
รูปที่ 2-16 รายละเอียดพื้นสะพานจำลองก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด
(หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

1. รายละเอียดการเสริมเหล็กชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

การก่อสร้างพื้นสะพานจำเป็นต้องมีเหล็กเสริมเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงดึงของโครงสร้าง จึงได้มีการเสริมเหล็กตามแนวยาวทั้งหมด 8 เส้น และเสริมเหล็กตามแนวขวางทั้งหมด 17 เส้นดังแสดงในรูปที่ 2-17 รูปที่ 2-9 และ รูปที่ 2-18 รูปที่ 2-10



รูปที่ 2-17 รายละเอียดพื้นสะพานจำลอง (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)



รูปที่ 2-18 รายละเอียดการเสริมเหล็กของพื้นสะพานจำลองความหนา 0.15 เมตร

2. รายละเอียดการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองจะก่อสร้างด้วยวิธีการหล่อในที่ โดยที่ปริมามีการจัดเตรียมพื้นที่เพื่อพร้อมสำหรับการก่อสร้างและทดสอบพื้นสะพานจำลองดังแสดงในรูปที่ 2-11 รายละเอียดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดนั้นแสดงในตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 ส่วนผสมคอนกรีต

Test Specimens	Material (kg/m ³)					
	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	Water	Fine Crumb Rubber	Coarse Crumb Rubber
Normal concrete (NC)	457	599	1303	165	-	-
Crumb Rubber Concrete (CRC)	457	450	1303	165	-	42

3. การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

ภายหลังจากการออกแบบส่วนผสมและเหล็กเสริม จึงได้มีการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร โดยขั้นตอนการก่อสร้างมีดังนี้

1) ติดตั้งแบบเหล็กและผูกเหล็กเสริมตามมาตรฐาน



รูปที่ 2-19 รายละเอียดการเสริมเหล็กของพื้นสะพานจำลองความหนา 0.15 เมตร

1. ปูแผ่นพลาสติกรองพื้นคอนกรีตก่อนเทคอนกรีตพื้นสะพานจำลอง



รูปที่ 2-20 รายละเอียดการเสริมเหล็กของพื้นสะพานจำลองความหนา 0.15 เมตร

2. เทคอนกรีตเพื่อก่อสร้างพื้นสะพานจำลอง



รูปที่ 2-21 รายละเอียดการเสริมเหล็กของพื้นสะพานจำลองความหนา 0.15 เมตร

บทที่ 3 การทดสอบกำลังพื้นสะพาน

3.1 รายละเอียดการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน

การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน ทดสอบเพื่อต้องการทราบถึงความสามารถในการรับแรงของพื้นสะพานจำลองเพื่อนำไปวิเคราะห์หา กำลังรับแรง พฤติกรรมการรับแรง การเสียรูปของพื้นสะพานจำลองขณะรับแรงกระทำ รูปแบบการวิบัติของพื้นสะพานจำลอง ความหนาพื้นที่เหมาะสม และการประเมินการลดรอยแตกร้าว โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้จะใส่แรงกระทำเสมือนจริงเพื่อให้พื้นสะพานจำลองแสดงพฤติกรรมการรับแรงเมื่อรับแรงกระทำ ระหว่างการทดสอบได้มีการตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูล หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการนำไปใช้จริงเพื่อแก้ปัญหาพื้นสะพานแตกร้าว ตัวอย่างการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 ตัวอย่างการทดสอบกำลังรับแรงในห้องปฏิบัติการ

ในการทดสอบกำลังรับแรงของสะพานจำลองจะทำการนำพื้นสะพานจำลองที่ได้ทำการก่อสร้างจากหัวข้อที่ 2.1 มาทำการทดสอบทั้งหมด 12 แผ่นพื้น ประกอบไปด้วย พื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร) ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (NC) 3 แผ่นพื้น และพื้นสะพานจำลองก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด (CRC) 3 แผ่นพื้น พื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร) ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (NC) 3 แผ่นพื้น และพื้นสะพานจำลองก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด (CRC) 3 แผ่นพื้น รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน

No. of Specimens	Test Specimens	Thickness (m)	Description	Crumb Rubber (percent by volume)	Types of testing
1	ST-NC20-1	0.20	NC	-	Static
2	ST-NC20-2	0.20	NC	-	Static
3	ST-NC20-3	0.20	NC	-	Static
4	ST-CRC20-1	0.20	CRC	25%	Static
5	ST-CRC20-2	0.20	CRC	25%	Static
6	ST-CRC20-3	0.20	CRC	25%	Static
7	ST-NC15-1	0.15	NC	-	Static
8	ST-NC15-2	0.15	NC	-	Static
9	ST-NC15-3	0.15	NC	-	Static
10	ST-CRC15-1	0.15	CRC	25%	Static
11	ST-CRC15-2	0.15	CRC	25%	Static
12	ST-CRC15-3	0.15	CRC	25%	Static

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

3.2.1 LVDT

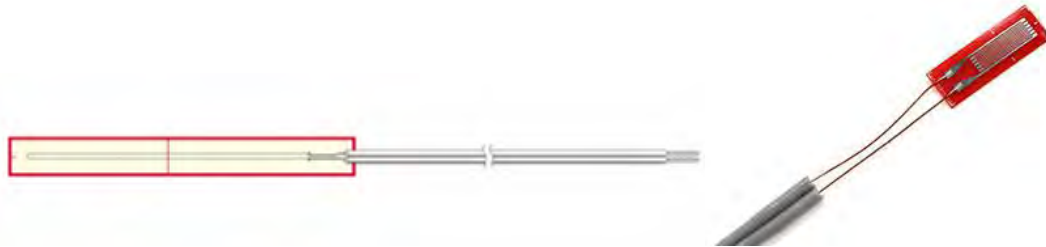
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดการเสียรูปของโครงสร้าง โดยตรวจวัดในรูปแบบระยะแอนตัวของโครงสร้าง กำหนดให้เครื่องหมาย – เป็นการแอนตัวลงตามแนวพื้นสะพานเครื่องหมาย + เป็นระยะแอนตัวขึ้นตามแนวพื้นสะพานจำลองดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 อุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของโครงสร้าง

3.2.2 Strain Gates

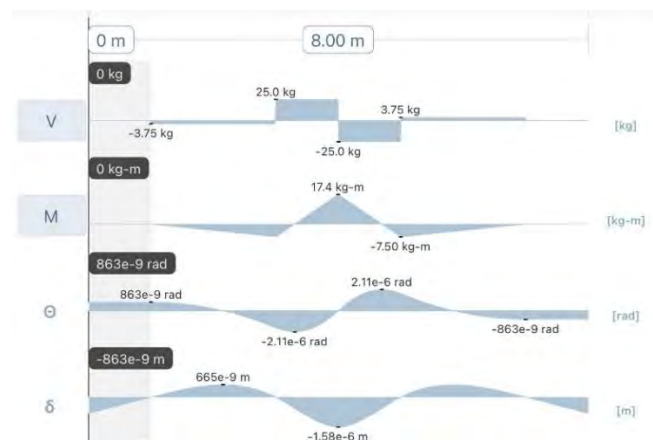
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดการเสียรูปของโครงสร้าง โดยตรวจวัดการยืดหดตัวของ
โครงสร้าง กำหนดให้ เครื่องหมาย - เป็นการหดตัวของพื้นสะพาน และเครื่องหมาย + เป็นการยืดตัว
ของพื้นสะพานจำลองดังแสดงในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด (Strain Gauge)

ตำแหน่งและจำนวนของอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดและอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปได้สรุปไว้ใน
ตารางที่ 3-2 ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างจำนวน 4 ตัว ติดตั้ง
อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่พื้นผิวคอนกรีตด้านบนจำนวน 4 ตัว ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่
บริเวณเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวของพื้นสะพานจำลองจำนวน 6 ตัว และติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด
ความเครียดที่บริเวณเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวของพื้นสะพานจำลองจำนวน 6 ตัว รวมทั้งสิ้น 20
ตัว การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างรวมทั้งสิ้น 6 ตัว

โดยตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวคาดการณ์จากพฤติกรรมการรับแรงที่เกิดขึ้นหากพื้น
สะพานจำลองได้รับน้ำหนักกระทำบริเวณกึ่งกลางสะพานดังแสดงในรูปที่ 3-4 ซึ่งจะมีการติดตั้งอุปกรณ์
ตรวจวัดบริเวณที่เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุดหรือระยะการเคลื่อนตัวสูงสุด



รูปที่ 3-4 เส้นแสดงพฤติกรรมการรับแรงของพื้นสะพาน

ตารางที่ 3-2 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

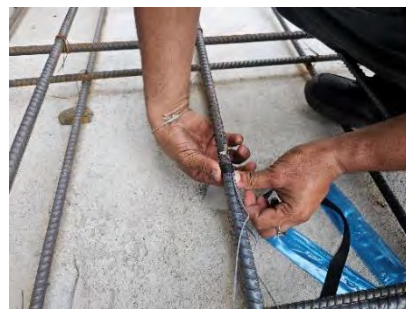
Sensors	Type of sensor	Location (From Left Corner)	Installation details
SG01	Strain gauge	3L/8	Bottom Longitudinal Concrete
SG02	Strain gauge	L/2	Bottom Longitudinal Concrete
SG03	Strain gauge	L/2	Bottom Longitudinal Concrete
SG04	Strain gauge	5L/8	Bottom Longitudinal Concrete
SG05	Strain gauge	3L/8	Top Longitudinal Concrete
SG06	Strain gauge	3L/8	Top Longitudinal Concrete
SG07	Strain gauge	5L/8	Top Longitudinal Concrete
SG08	Strain gauge	5L/8	Top Longitudinal Concrete
SG09	Strain gauge	3L/8	Bottom Longitudinal steel bars
SG10	Strain gauge	3L/8	Bottom Longitudinal steel bars
SG11	Strain gauge	L/2	Bottom Longitudinal steel bars
SG12	Strain gauge	L/2	Bottom Longitudinal steel bars
SG13	Strain gauge	5L/8	Bottom Longitudinal steel bars
SG14	Strain gauge	5L/8	Bottom Longitudinal steel bars
SG15	Strain gauge	3L/8	Top Longitudinal steel bars
SG16	Strain gauge	3L/8	Top Longitudinal steel bars
SG17	Strain gauge	L/2	Top Longitudinal steel bars
SG18	Strain gauge	L/2	Top Longitudinal steel bars
SG19	Strain gauge	5L/8	Top Longitudinal steel bars
SG20	Strain gauge	5L/8	Top Longitudinal steel bars
LVDT01	Transducer	L/4	Outside Concrete Deck
LVDT02	Transducer	L/4	Outside Concrete Deck
LVDT03	Transducer	L/2	Outside Concrete Deck
LVDT04	Transducer	L/2	Outside Concrete Deck
LVDT05	Transducer	3L/4	Outside Concrete Deck
LVDT06	Transducer	3L/4	Outside Concrete Deck

3.3 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัด

การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานแบบสถิติจะกระทำภายใต้โครงเหล็กทดสอบ พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด และอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บข้อมูลการทดสอบ โดยการทดสอบโครงสร้างจะดำเนินการในสามส่วนหลักคือการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดในเหล็กเสริมและผิวคอนกรีต การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปพร้อมอุปกรณ์ตรวจวัดแรงกระทำ และทำการทดสอบ รายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดในเหล็กเสริมและคอนกรีต

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด(Strain Gauge) ที่เหล็กเสริมตามแนวยาวตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในแบบติดตั้ง จะต้องทำการเจียร์ ผิวเหล็กให้เรียบ และทำความสะอาดก่อนติดอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดลงบนผิวเหล็ก ด้วยกาวไซยาโนอะครีเลต และหุ้มด้วยเทปกั้นน้ำและกันกระแทกก่อนการเทคอนกรีตเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ตรวจวัดซึ่งจะส่งผลกระทบต่อข้อมูลจากการทดสอบ ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดได้แสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดในเหล็กเสริม

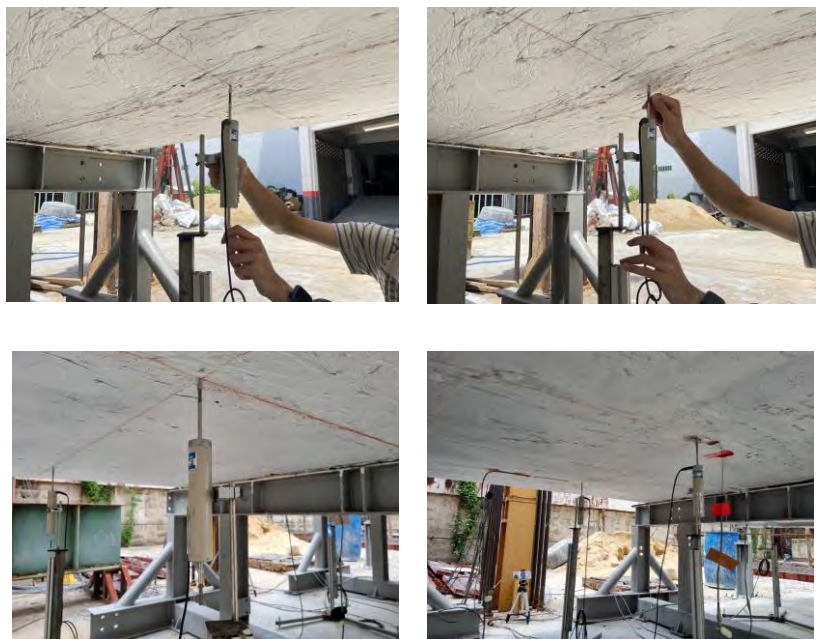
การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตจะทำคล้ายกับการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดในเหล็กเสริม โดยเริ่มจากการเตรียมผิวคอนกรีตให้เรียบ และทำความสะอาดผิวคอนกรีตก่อนทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ผิวคอนกรีต ทั้งนี้การติดตั้งจะต้องมีการจัดวางระบบการเดินสายส่งข้อมูลรวมไปถึงการจัดเก็บสายส่งข้อมูลเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุและข้อมูลเสียหาย ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่ผิวคอนกรีตได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดบนผิวคอนกรีต

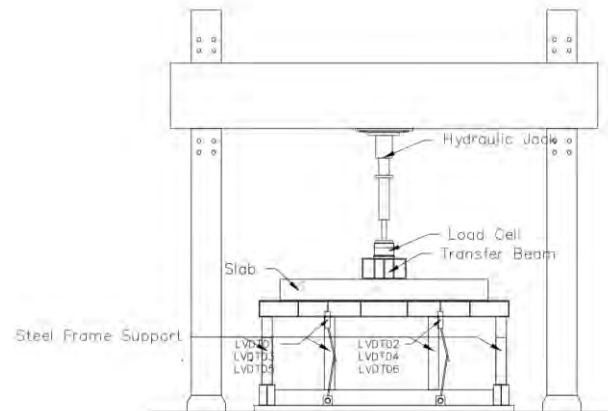
3.3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูป

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของโครงสร้างบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างนั้นจะใช้
อุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูป(Displacement Transducer) โดยการติดตั้งจะต้องทำการจับยึดอุปกรณ์
ดังกล่าวเข้ากับจุดอ้างอิง และนำส่วนปลายของอุปกรณ์ตรวจวัดสัมผัสกับตำแหน่งของโครงสร้างที่
ต้องการตรวจวัดการเสียรูป หรือการเคลื่อนที่ของแผ่นพื้น โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปได้
แสดงไว้ดังรูปที่ 3-7

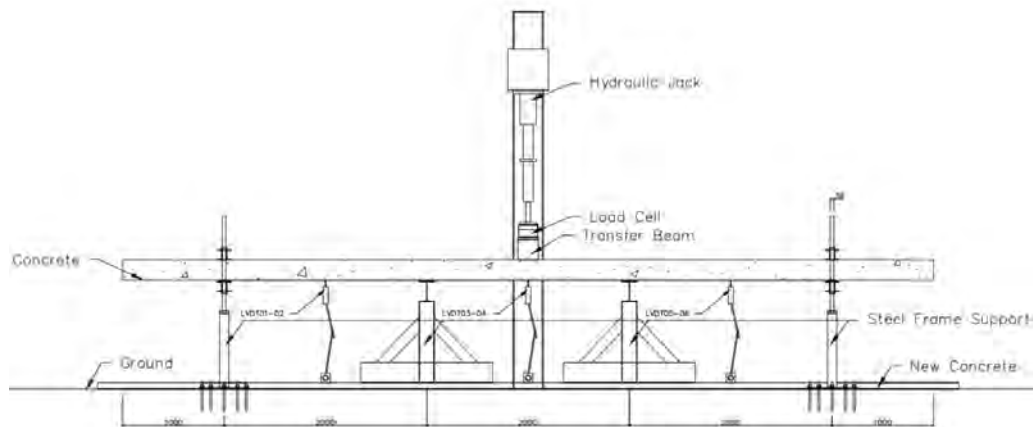


รูปที่ 3-7 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง

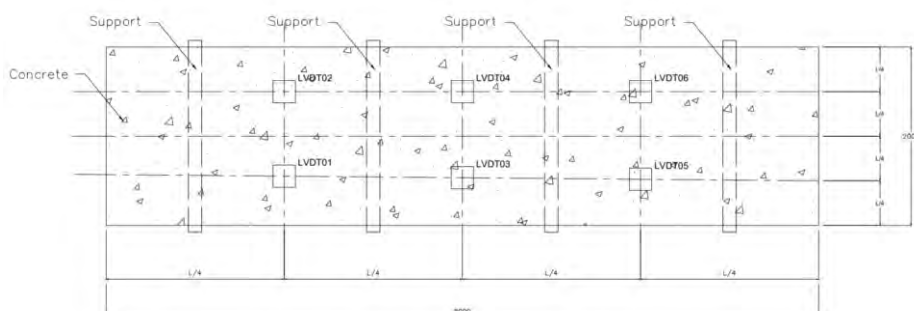
โดยการทดสอบนี้ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของโครงสร้าง (LVDT) จำนวน 6 ตัว เพื่อตรวจวัดการเคลื่อนตัวของพื้นสะพานขณะรับแรง ดังแสดงในรูปที่ 3-8 และ รูปที่ 3-9 และได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดในเหล็กเสริมและพื้นผิวคอนกรีตโดยมีจำนวน 20 ตัว แบบการติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3-11 ถึง รูปที่ 3-14



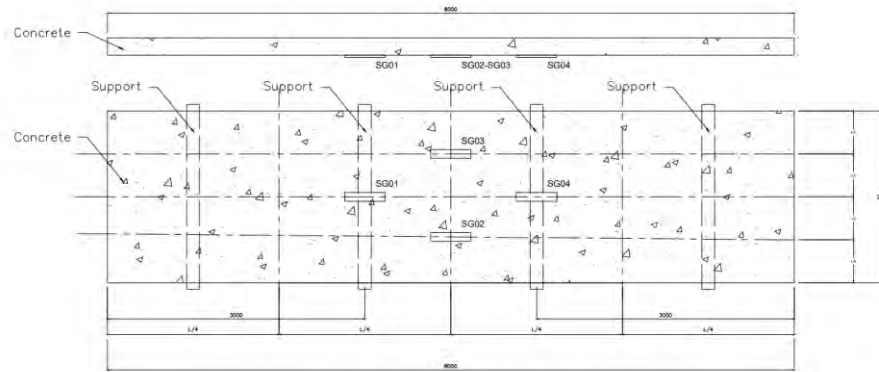
รูปที่ 3-8 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง



รูปที่ 3-9 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (ต่อ)

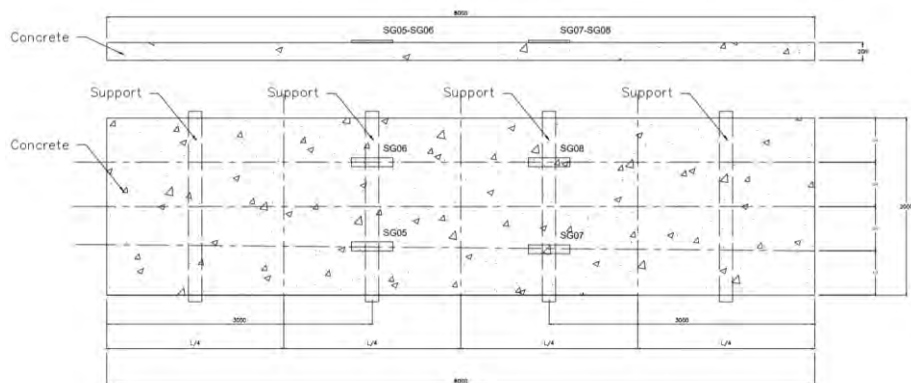


รูปที่ 3-10 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (ต่อ)



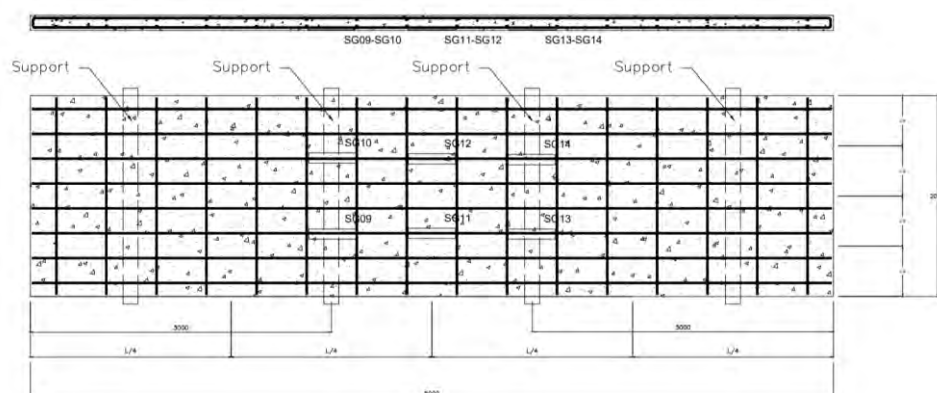
Bottom

รูปที่ 3-11 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดของพื้นสะพานจำลอง



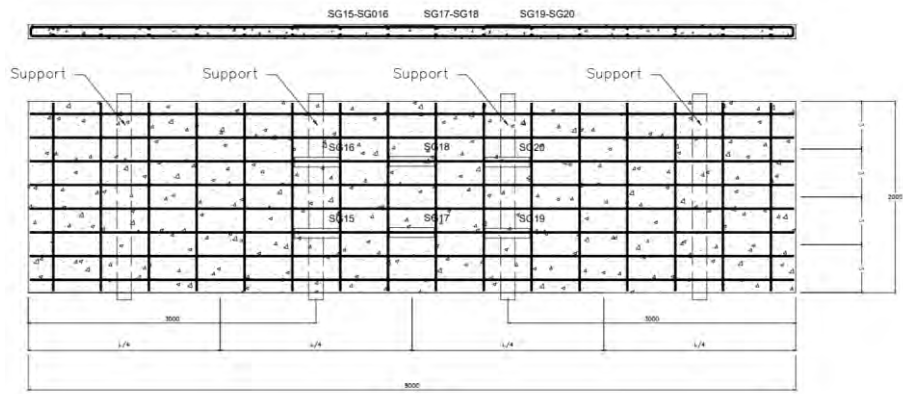
TOP

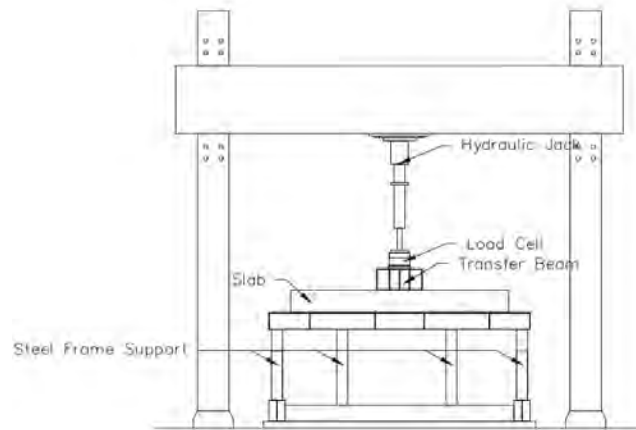
รูปที่ 3-12 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดของพื้นสะพานจำลอง (ต่อ)



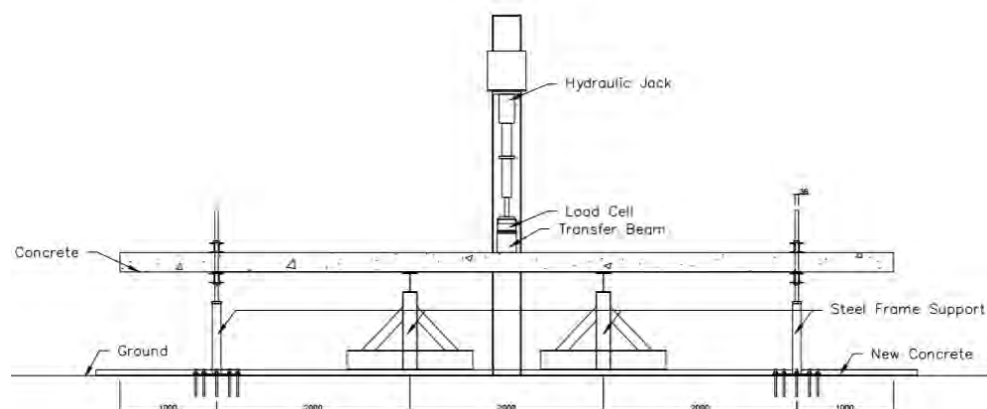
Tention Steel Bar

รูปที่ 3-13 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดของพื้นสะพานจำลอง (ต่อ)

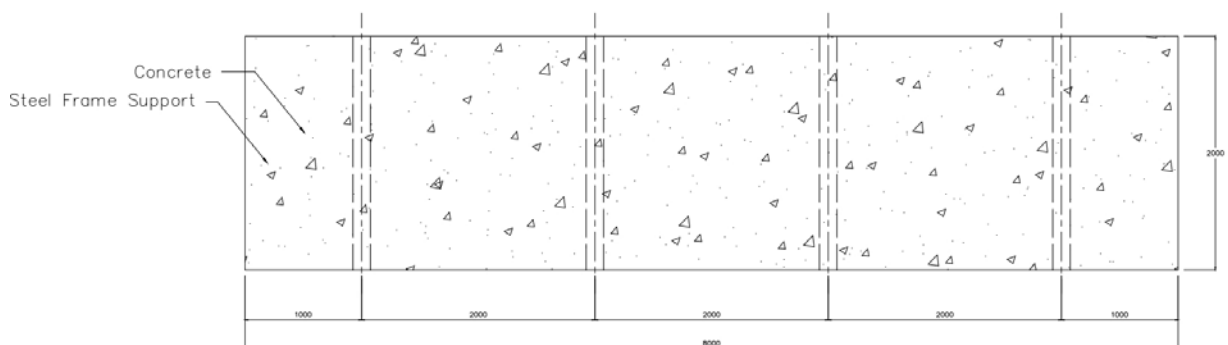




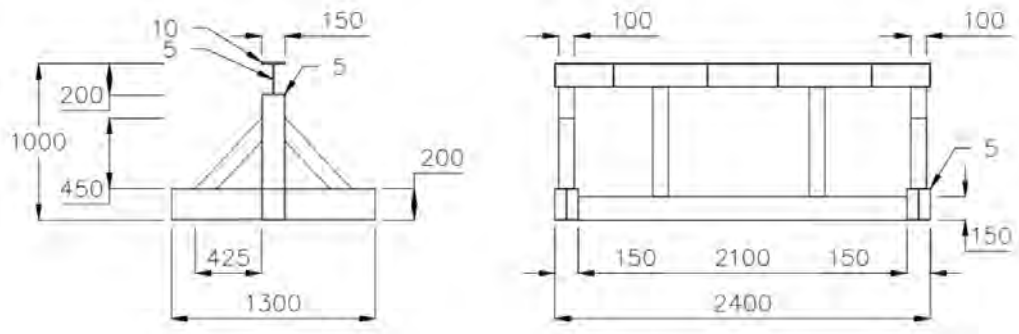
รูปที่ 3-16 โครงเหล็กทดสอบและการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ



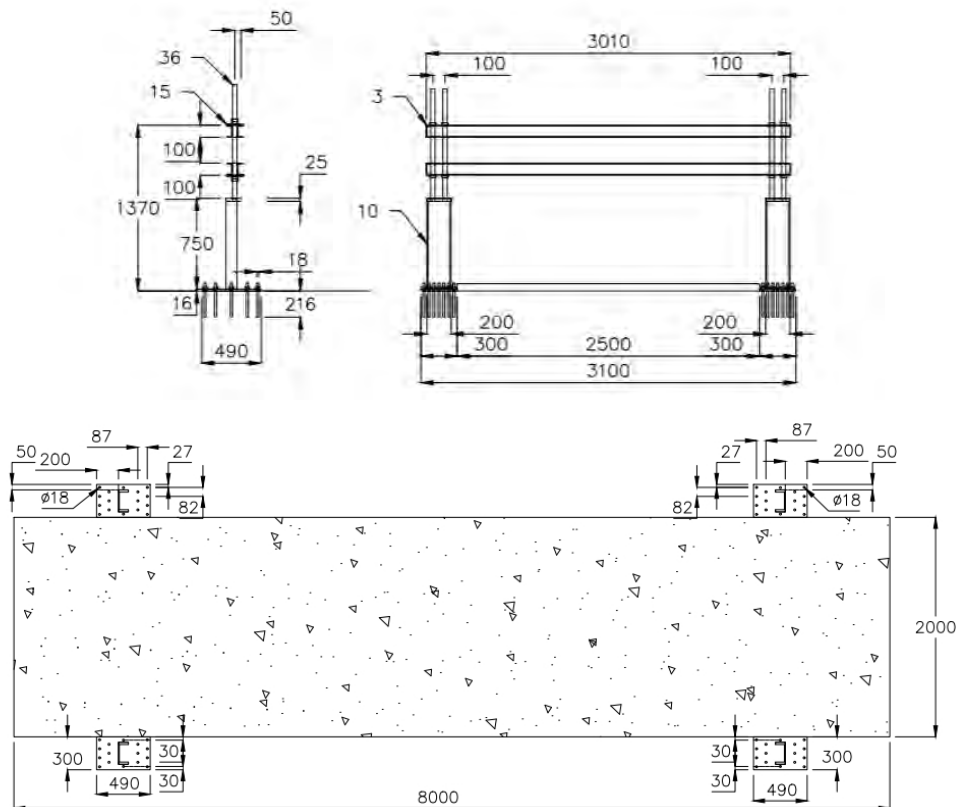
รูปที่ 3-17 โครงเหล็กทดสอบและการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ (ต่อ)



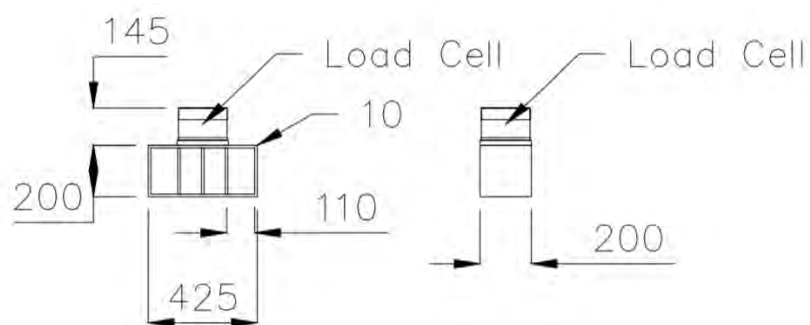
รูปที่ 3-18 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบและโครงเหล็กรองรับพื้นสะพานจำลอง (ต่อ)



รูปที่ 3-19 รายละเอียดโครงเหล็กรองรับพื้นสะพานจำลอง



รูปที่ 3-20 รายละเอียดโครงเหล็กรองรับพื้นสะพานจำลอง (ต่อ)



รูปที่ 3-21 รายละเอียดคานถ่ายแรง (Transfer Beam)

3.4 วิธีการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง

การทดสอบพื้นสะพานจำลองมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ทราบความสามารถในการรับแรงกระทำ รวมถึงรูปแบบการวิบัติของพื้นสะพานจำลองที่มีส่วนผสมคอนกรีตที่แตกต่างกันรวมถึงความหนาที่แตกต่างกัน ดังนั้นการทดสอบพื้นสะพานจำลองจะเน้นหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง โดยขั้นตอนการทดสอบพอสังเขปมีดังนี้

1. ติดตั้งพื้นสะพานจำลองเข้ากับฐานรองรับพื้นสะพานจำลองและโครงเหล็กสำหรับการทดสอบ
2. ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรง (Load Cell) คานเหล็กกระจายแรง และ กระจุกไฮดรอลิกเข้ากับโครงเหล็กทดสอบ
3. ทำการทาสีและสร้างตารางที่พื้นสะพานจำลองเพื่อช่วยให้สามารถสังเกตเห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจนขึ้น
4. ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูป รวมถึงอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งหมด และทำการเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บรวบรวมข้อมูล (Data Logger)
5. เริ่มการทดสอบในรูปแบบของการควบคุมแรง (Force Controlled Test Scheme) โดยจะทำการใส่แรงทีละน้อย และเพิ่มแรงกระทำขึ้นไปเรื่อย ๆ โดยทุกครั้งที่เพิ่มแรง จะบันทึกภาพ วาดรอยแตกร้าววัดขนาดรอยแตกร้าว และบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัดทุกตำแหน่ง ก่อนที่จะเพิ่มแรงในครั้งต่อไป ทำการทดสอบไปจนกว่าพื้นสะพานจำลองจะไม่สามารถรับแรงกระทำได้อีกหรือวิบัติ
6. หลังจากพื้นสะพานจำลองเกิดความเสียหาย จนวิบัติ ให้ทำการบันทึกภาพการวิบัติ และสรุปผลรูปแบบการวิบัติเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบต่อไป

3.5 สรุปวิธีการดำเนินงานและขั้นตอน

ในการศึกษานี้ได้ทำการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร จำนวน 2 ชุด ชุดที่ 1 หนา 0.20 เมตร ชุดที่ 2 หนา 0.15 เมตร ในแต่ละชุดจะทำการก่อสร้างพื้นสะพานโดยใช้คอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดประเภทละ 6 แผ่นพื้น รวมพื้นสะพานที่ก่อสร้างทั้งหมดจำนวน 24 แผ่นพื้น ดังแสดงสรุปในตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-3 รายละเอียดพื้นสะพานจำลอง

ลำดับ	รหัสทดสอบ	ความหนาพื้น (เมตร)	ชนิดคอนกรีต	ประเภทการทดสอบ
1	ST-NC20-1	0.20	ปกติ	กำลังรับแรง
2	ST-NC20-2	0.20	ปกติ	กำลังรับแรง
3	ST-NC20-3	0.20	ปกติ	กำลังรับแรง
4	ST-CRC20-1	0.20	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังรับแรง
5	ST-CRC20-2	0.20	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังรับแรง
6	ST-CRC20-3	0.20	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังรับแรง
7	ST-NC15-1	0.15	ปกติ	กำลังรับแรง
8	ST-NC15-2	0.15	ปกติ	กำลังรับแรง
9	ST-NC15-3	0.15	ปกติ	กำลังรับแรง
10	ST-CRC15-1	0.15	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังรับแรง
11	ST-CRC15-2	0.15	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังรับแรง
12	ST-CRC15-3	0.15	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังรับแรง
13	FT-NC20-1	0.20	ปกติ	กำลังต้านทานความล้า
14	FT-NC20-2	0.20	ปกติ	กำลังต้านทานความล้า
15	FT-NC20-3	0.20	ปกติ	กำลังต้านทานความล้า
16	FT-CRC20-1	0.20	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังต้านทานความล้า
17	FT-CRC20-2	0.20	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังต้านทานความล้า
18	FT-CRC20-3	0.20	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังต้านทานความล้า
19	FT-NC15-1	0.15	ปกติ	กำลังต้านทานความล้า
20	FT-NC15-2	0.15	ปกติ	กำลังต้านทานความล้า
21	FT-NC15-3	0.15	ปกติ	กำลังต้านทานความล้า
22	FT-CRC15-1	0.15	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังต้านทานความล้า
23	FT-CRC15-2	0.15	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังต้านทานความล้า
24	FT-CRC15-3	0.15	ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	กำลังต้านทานความล้า

การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดใช้ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดขนาด 2-3 มิลลิเมตร แทนที่ทรายสัดส่วนร้อยละ 25 ของปริมาตรทราย

ในการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างจำนวน 6 ตัว และอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดในเหล็กเสริมและพื้นผิวคอนกรีต จำนวน 20 ตัว ต่อแผ่นพื้นเพื่อตรวจวัดพฤติกรรมรับแรงระหว่างการทดสอบ รายละเอียดและผลการทดสอบแสดงในบทถัดไป

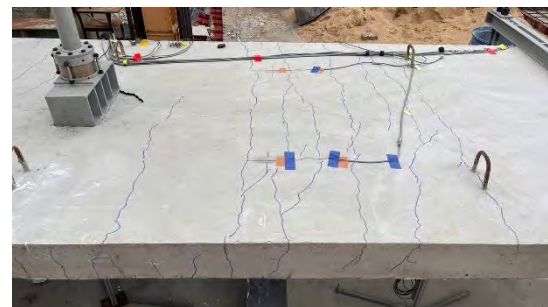
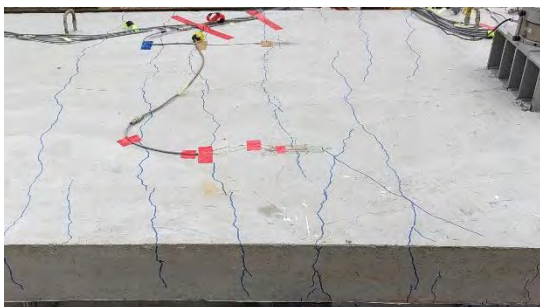
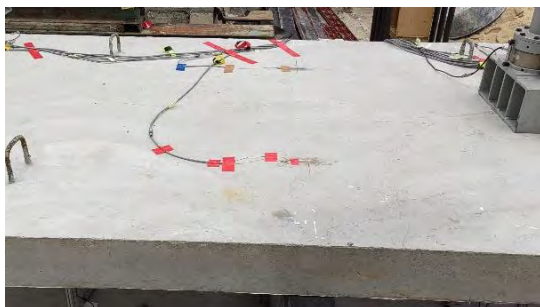
บทที่ 4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงของ พื้นสะพานจำลอง

จากการทดสอบกำลังรับแรงจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาสร้างเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการเสียรูป รวมถึงเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าความเครียด และจัดทำตารางสรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงสูงสุด

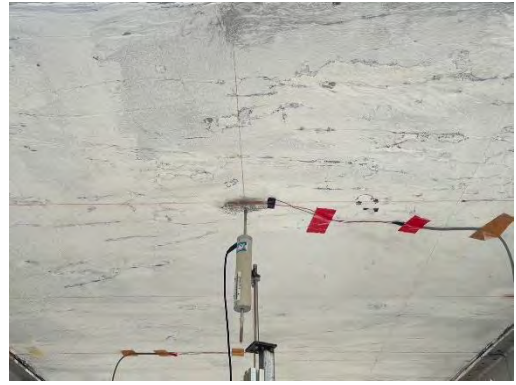
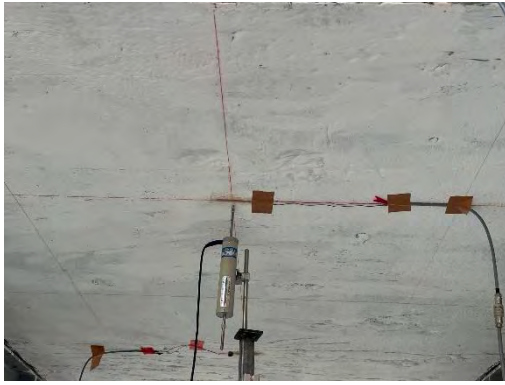
4.1 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง ชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)

การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 มีขนาดความกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร หนา 0.20 เมตร ทั้งหมด 6 แผ่นพื้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ จำนวน 3 แผ่นพื้น และประเภทที่ 2 พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด จำนวน 3 แผ่นพื้น

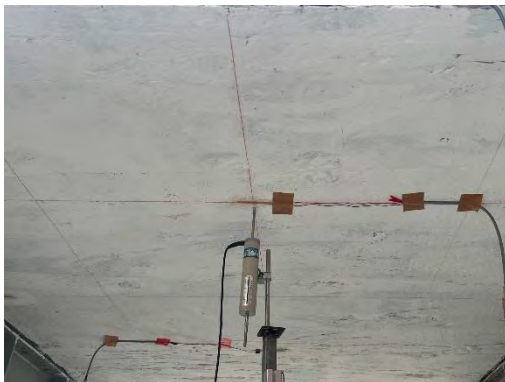
4.1.1 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (ST-NC20-1)



รูปที่ 4-1 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-1)



Load 0.00 Tons



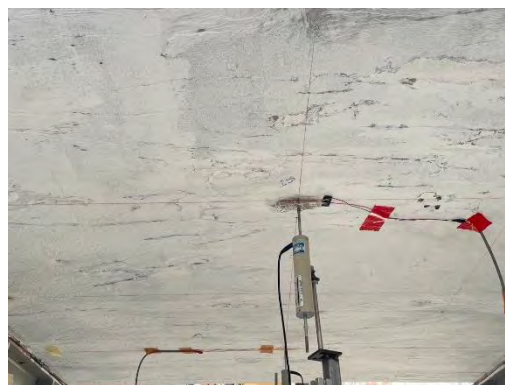
Load 1.43 Tons



Load 3.55 Tons



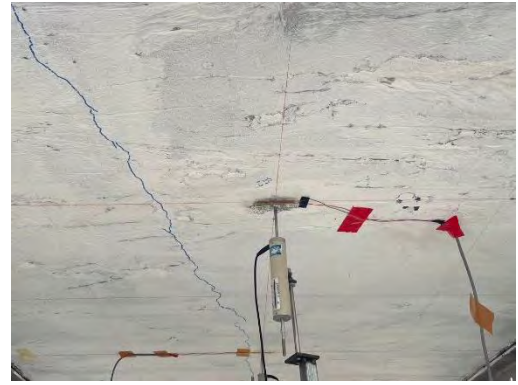
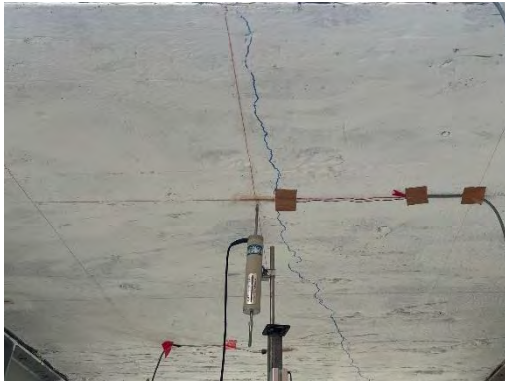
Load 7.46 Tons



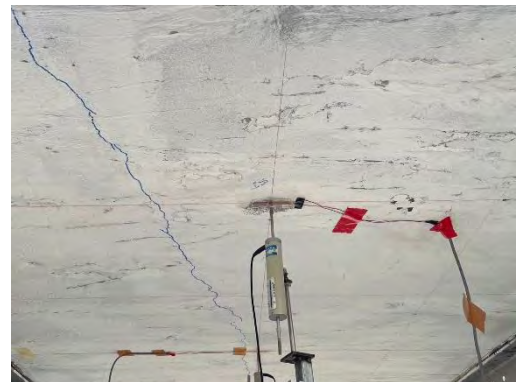
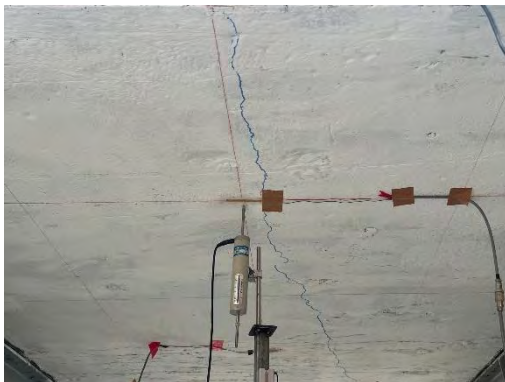
Load 9.33 Tons



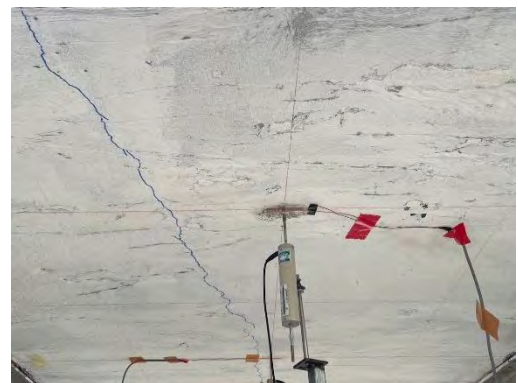
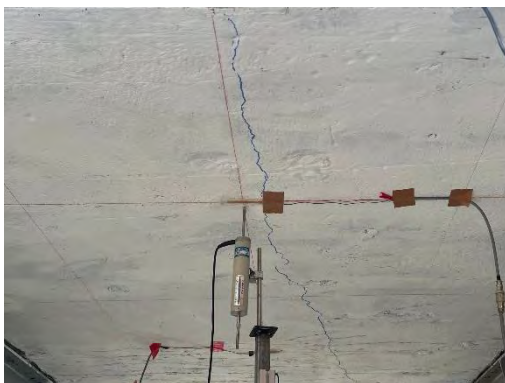
Load 13.05 Tons



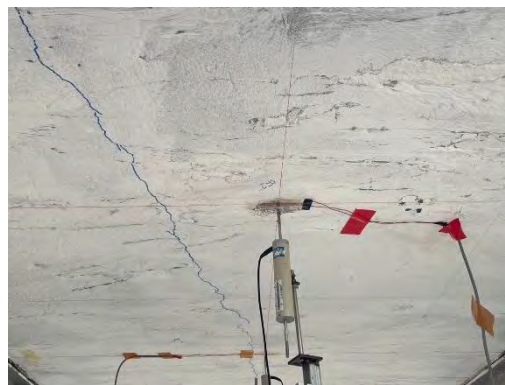
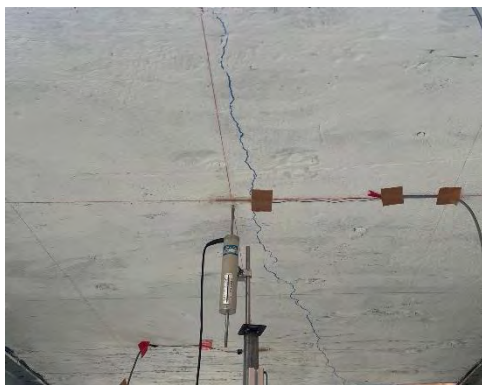
Load 14.20 Tons



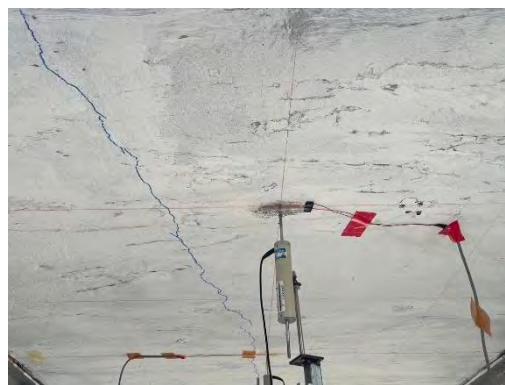
Load 16.63 Tons



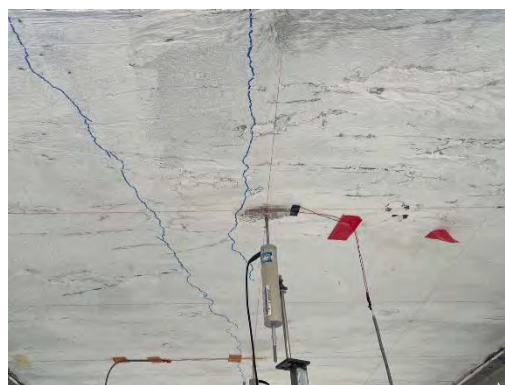
Load 18.56 Tons



Load 20.76 Tons



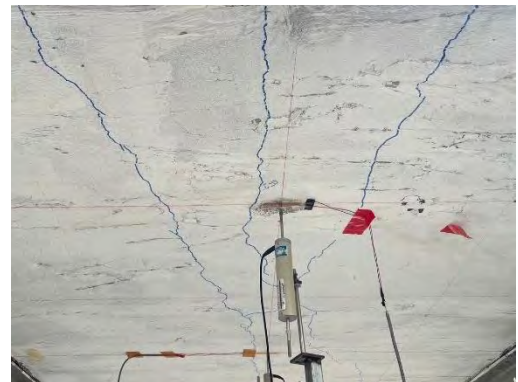
Load 23.40 Tons



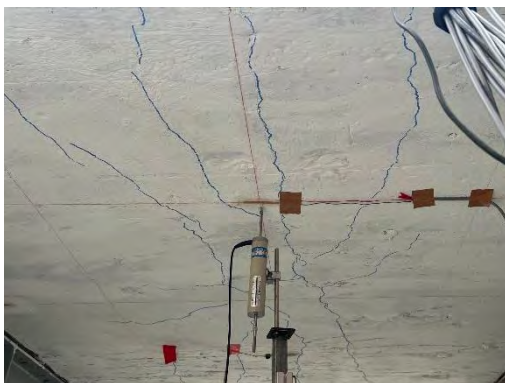
Load 24.56 Tons



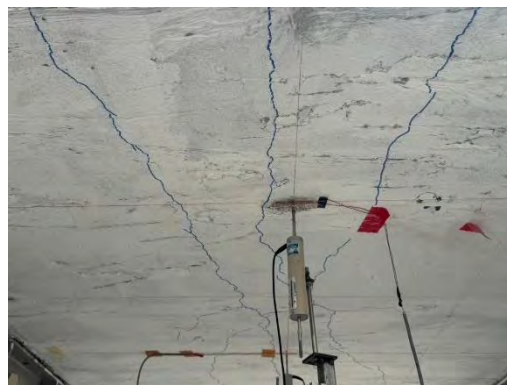
Load 26.21 Tons



Load 27.06 Tons



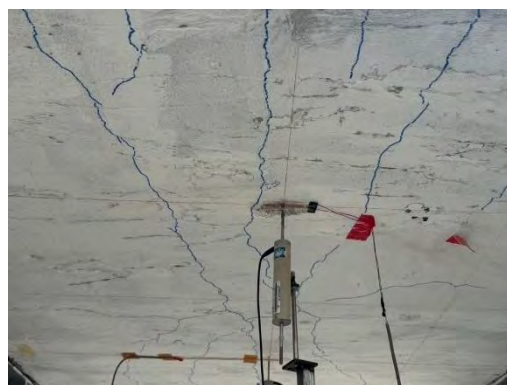
Load 30.42 Tons



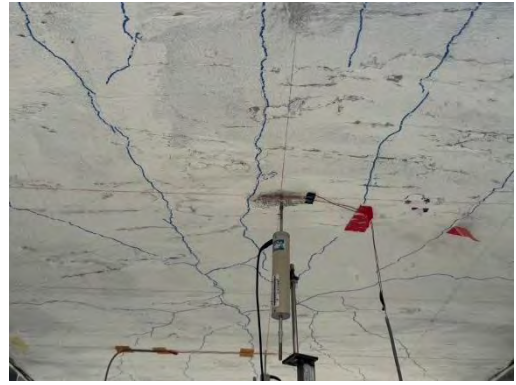
Load 32.18 Tons



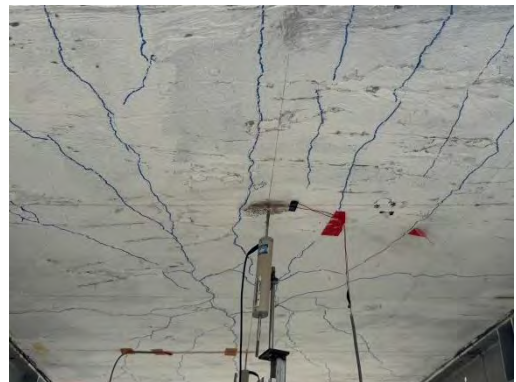
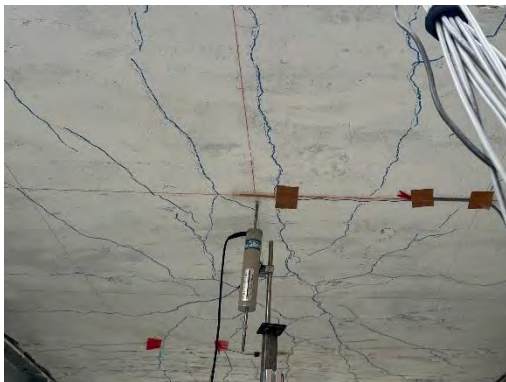
Load 34.72 Tons



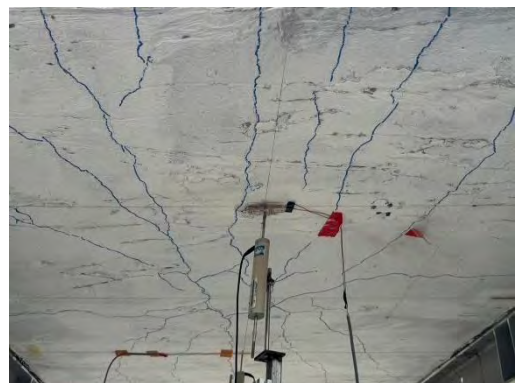
Load 36.08 Tons



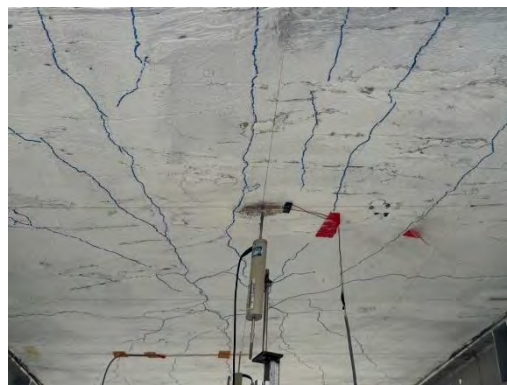
Load 38.02 Tons



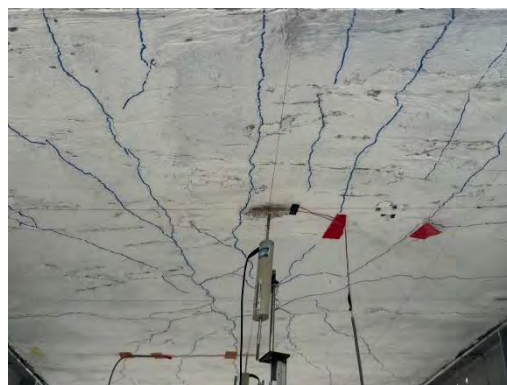
Load 40.09 Tons



Load 42.32 Tons



Load 44.07 Tons



Load 46.87 Tons



Load 48.24 Tons

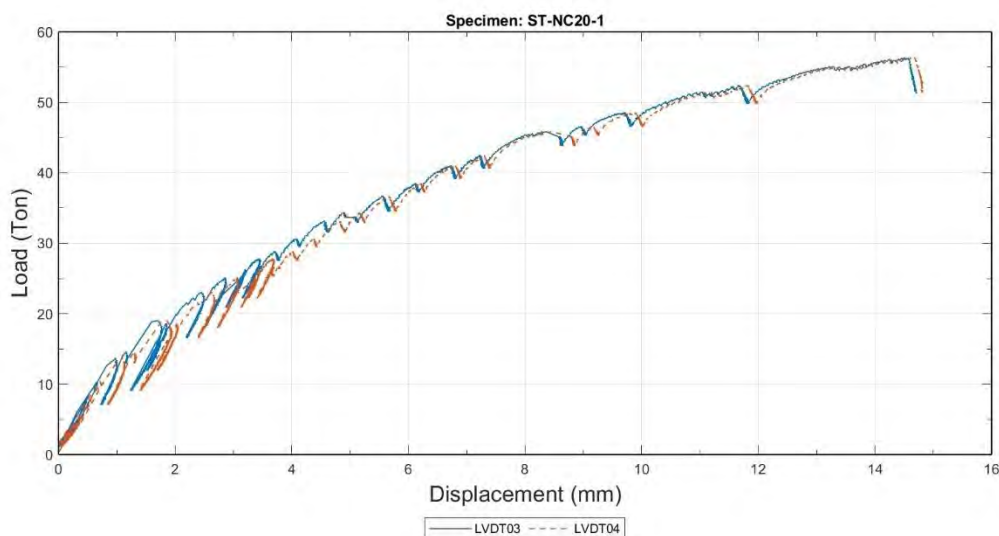


Load 56.38 Tons

รูปที่ 4-2 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-1)

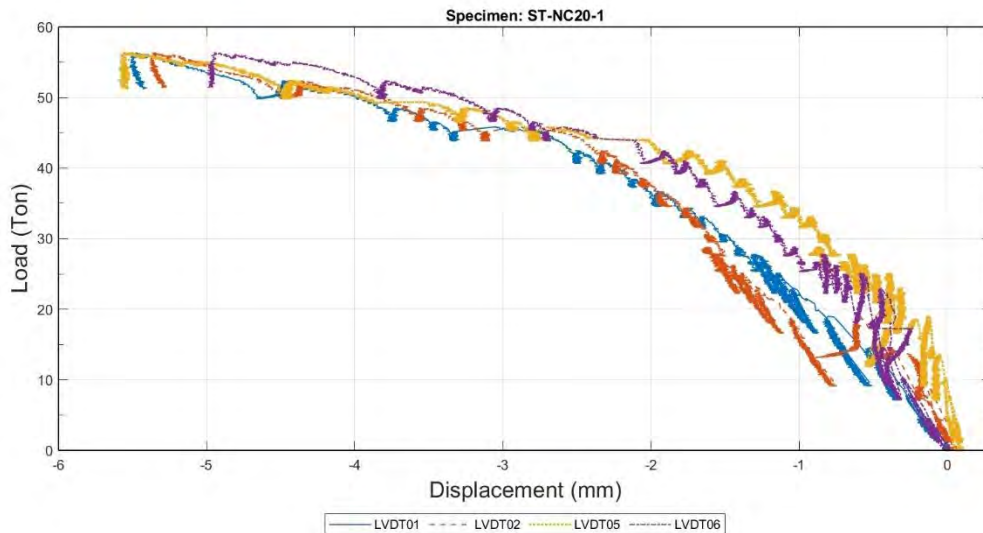
4.1.2 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (ST-NC20-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-3 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงเข้ากระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 14 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 35 ตัน และค่าการเสียรูปอยู่ที่ประมาณ 4.8 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพาน เท่ากับ 15.01 มิลลิเมตร และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 56.38 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



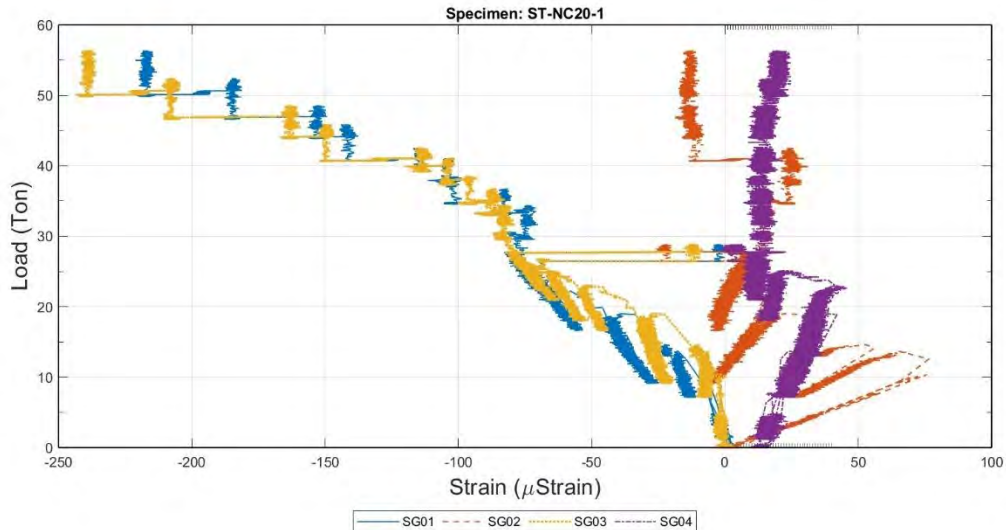
รูปที่ 4-3 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-4 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสียรูปของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบคงที่ มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ $L/4$ มีการโก่งตัวขึ้น เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 14 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 56.38 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมากขึ้น และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ระยะ 5.78 มิลลิเมตร



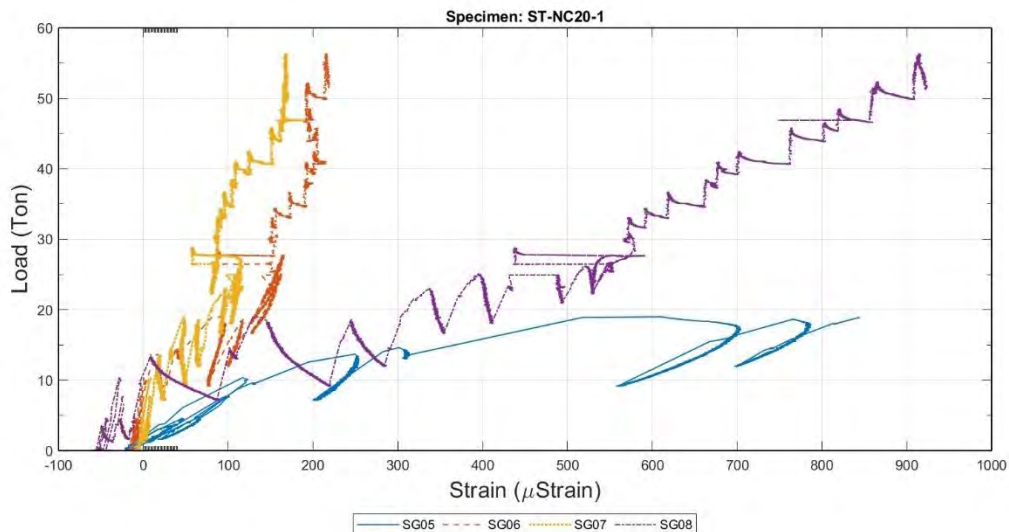
รูปที่ 4-4 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ $L/4$ ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-5 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG01 ,SG02 ,SG03 และSG04 เท่ากับ 219, 77, 241 และ 46 ไมโครสตรน ตามลำดับ



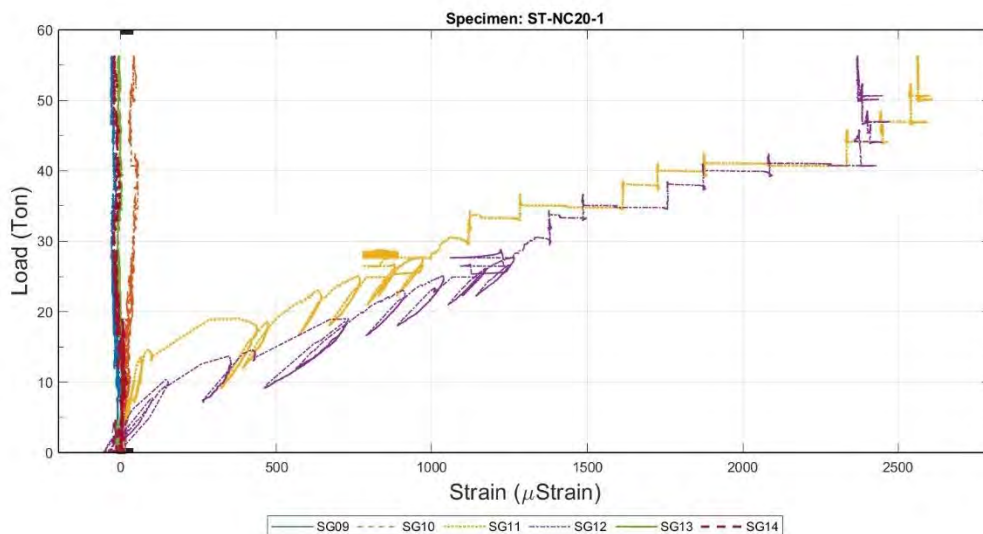
รูปที่ 4-5 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้น
บริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-6 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำประมาณ 14 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ SG05, SG06, SG07 และ SG08 เท่ากับ 845, 273, 191 และ 925 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



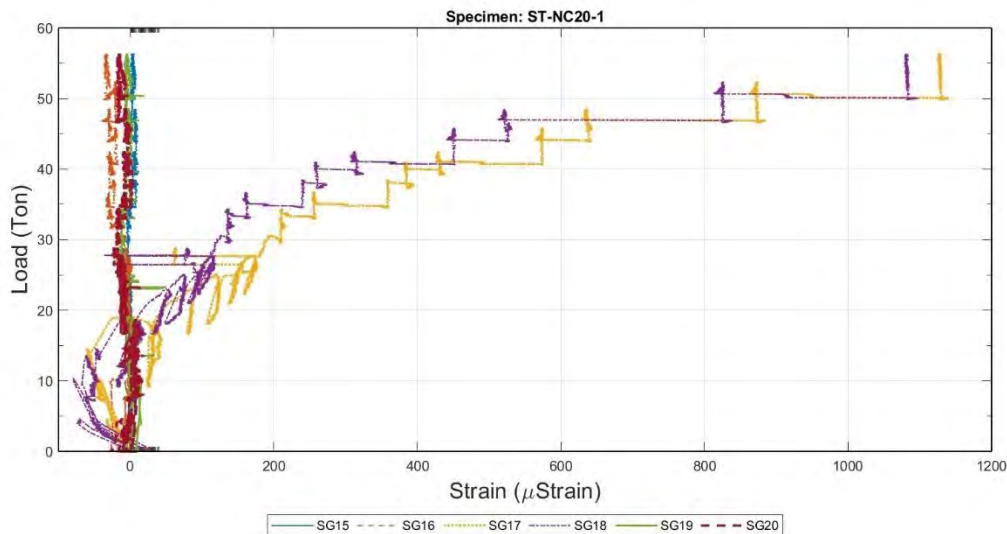
รูปที่ 4-6 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-7 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG09 ,SG10 ,SG11 ,SG12 ,SG13 และSG14 เท่ากับ 34 ,60 ,2610 ,2473 ,16 และ 28 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



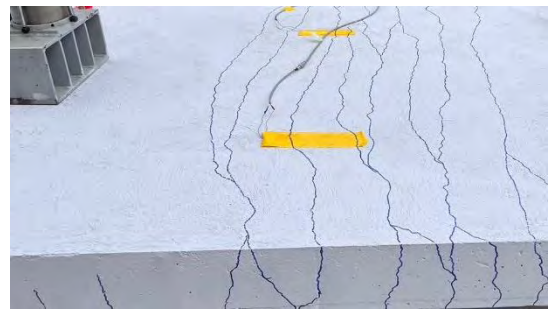
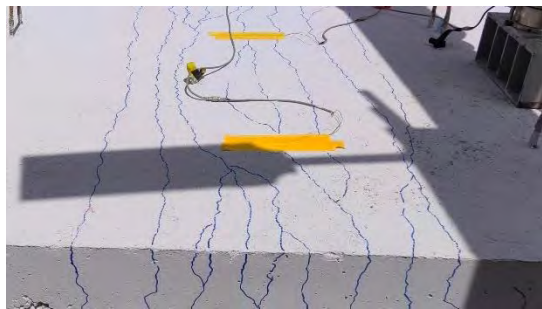
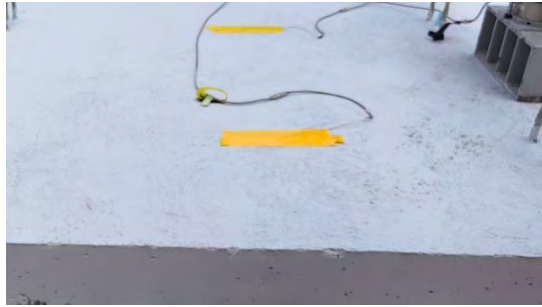
รูปที่ 4-7 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-8 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมที่สูงสุดเกิดขึ้นที่ SG15 ,SG16 ,SG17 ,SG18 ,SG19 และSG20 เท่ากับ 17.27 ,39.97 ,1140.49 ,1097.51 ,49.64 และ 27.31 ไมโครสเตรน ตามลำดับ

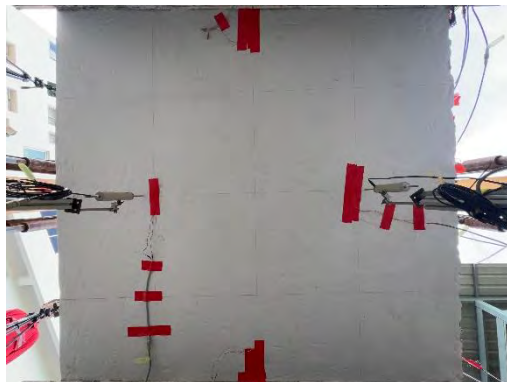


รูปที่ 4-8 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-1)

4.1.3 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (ST-NC20-2)



รูปที่ 4-9 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-2)



Load 0.00 Tons



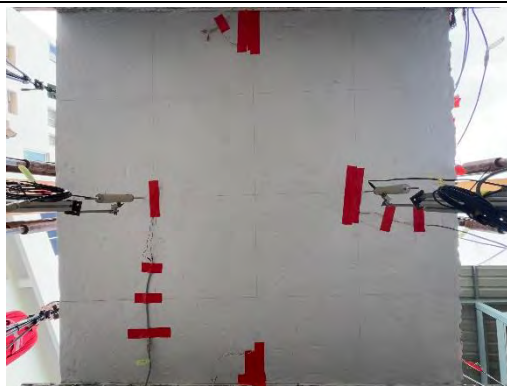
Load 2.15 Tons



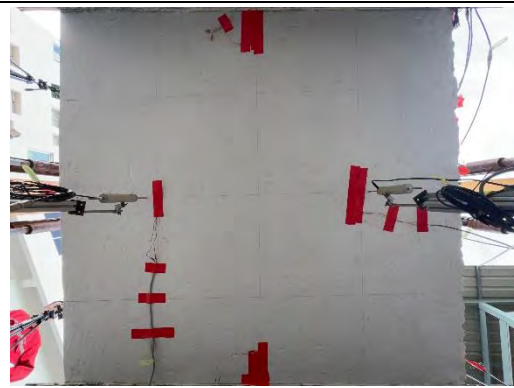
Load 4.14 Tons



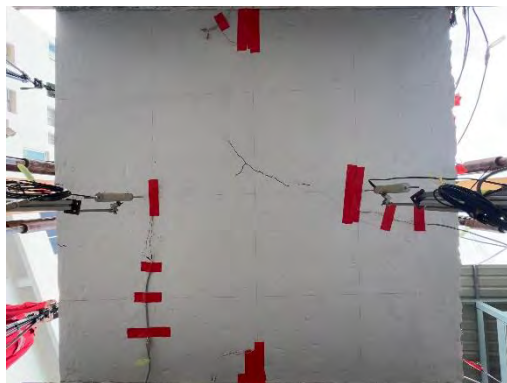
Load 6.09 Tons



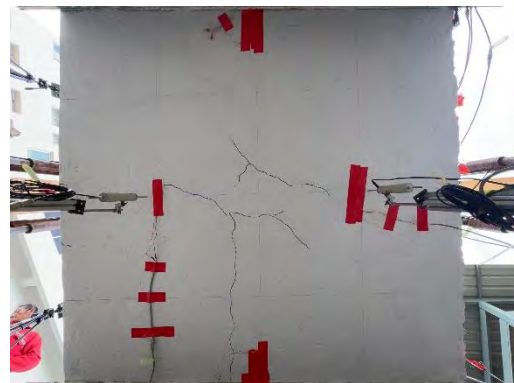
Load 8.06 Tons



Load 10.09 Tons



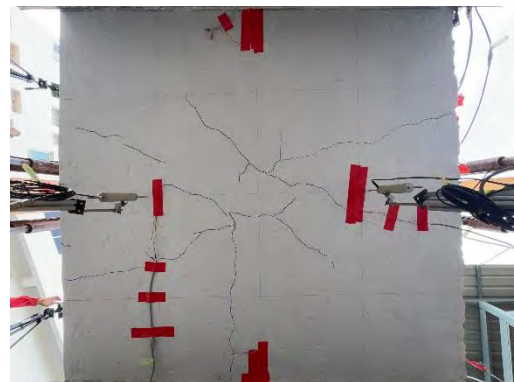
Load 12.02 Tons



Load 14.14 Tons



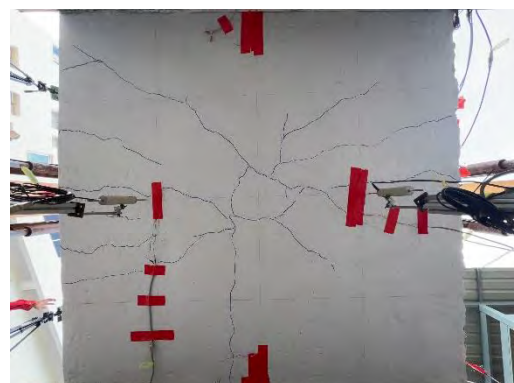
Load 16.09 Tons



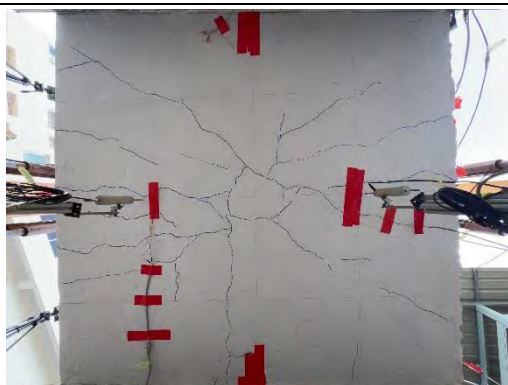
Load 18.06 Tons



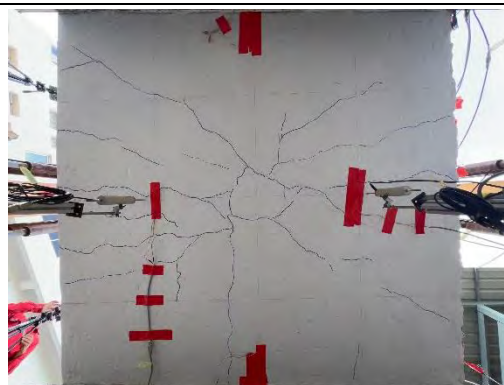
Load 20.01 Tons



Load 22.04 Tons



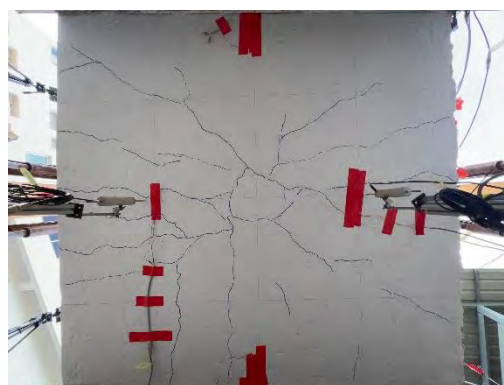
Load 24.07 Tons



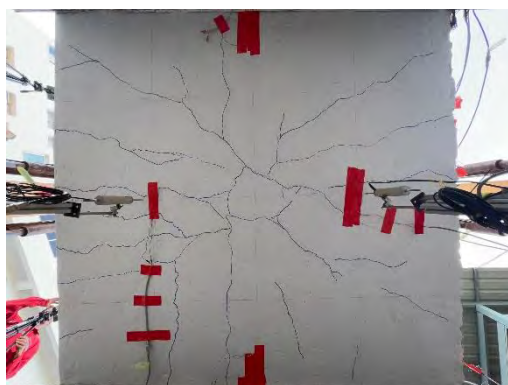
Load 26.02 Tons



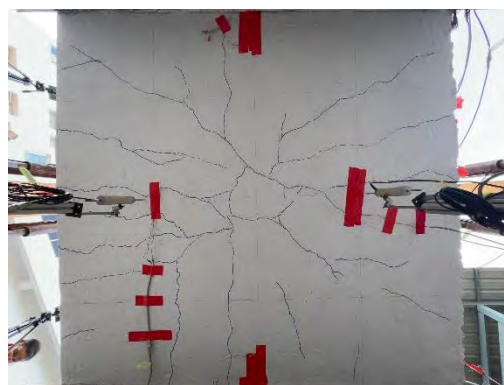
Load 28.07 Tons



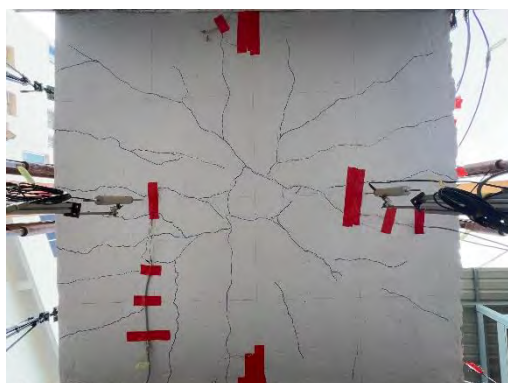
Load 30.02 Tons



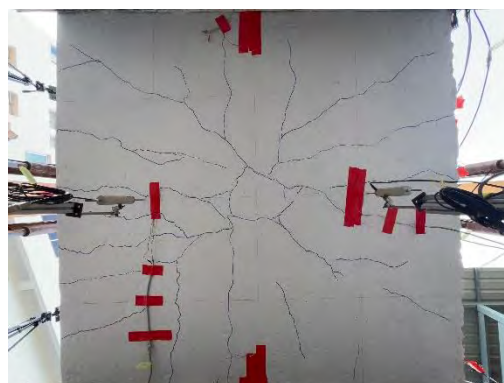
Load 32.05 Tons



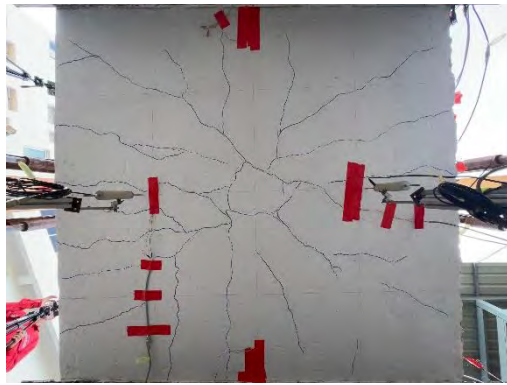
Load 34.08 Tons



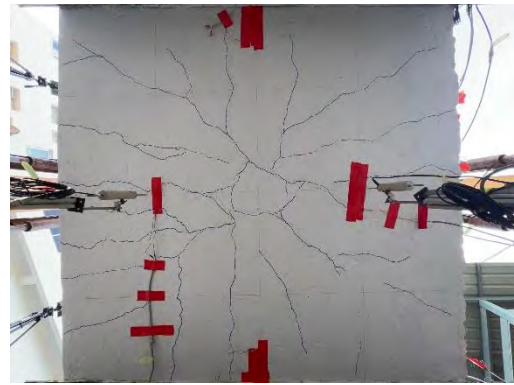
Load 36.01 Tons



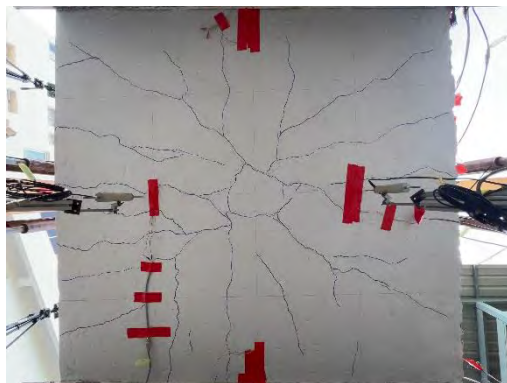
Load 38.00 Tons



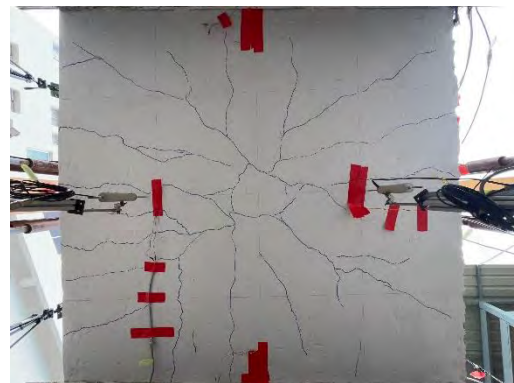
Load 40.09 Tons



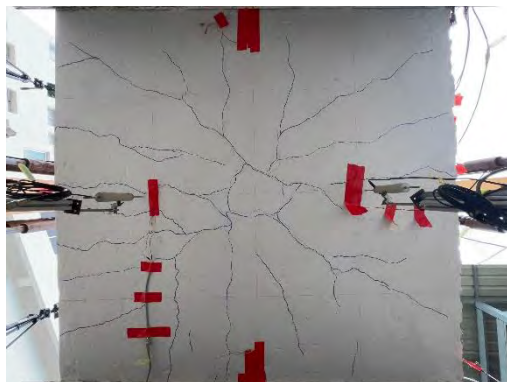
Load 42.00 Tons



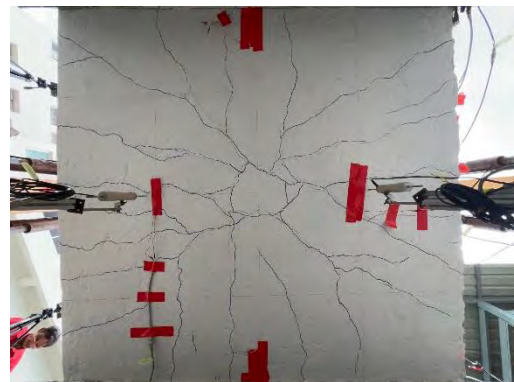
Load 44.05 Tons



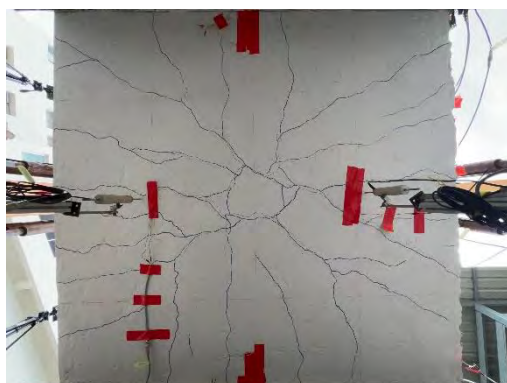
Load 46.02 Tons



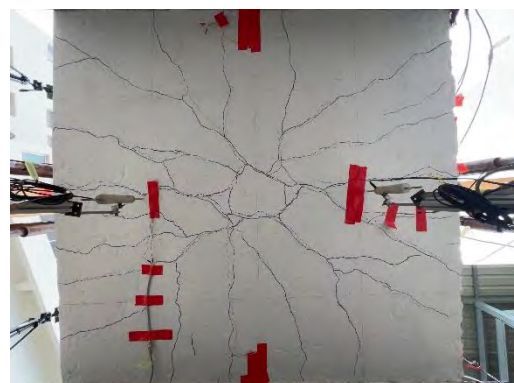
Load 48.01 Tons



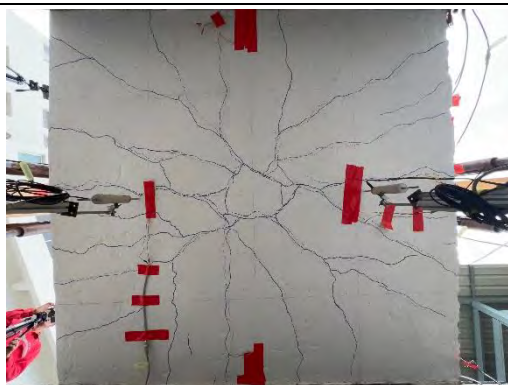
Load 50.31 Tons



Load 52.03 Tons



Load 53.84 Tons

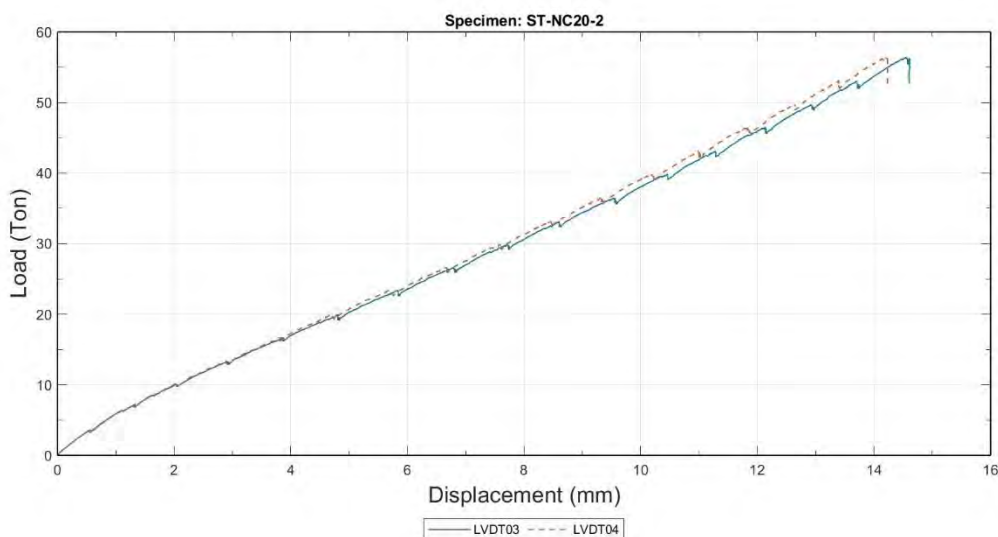


Load 56.42 Tons

รูปที่ 4-10 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-2)

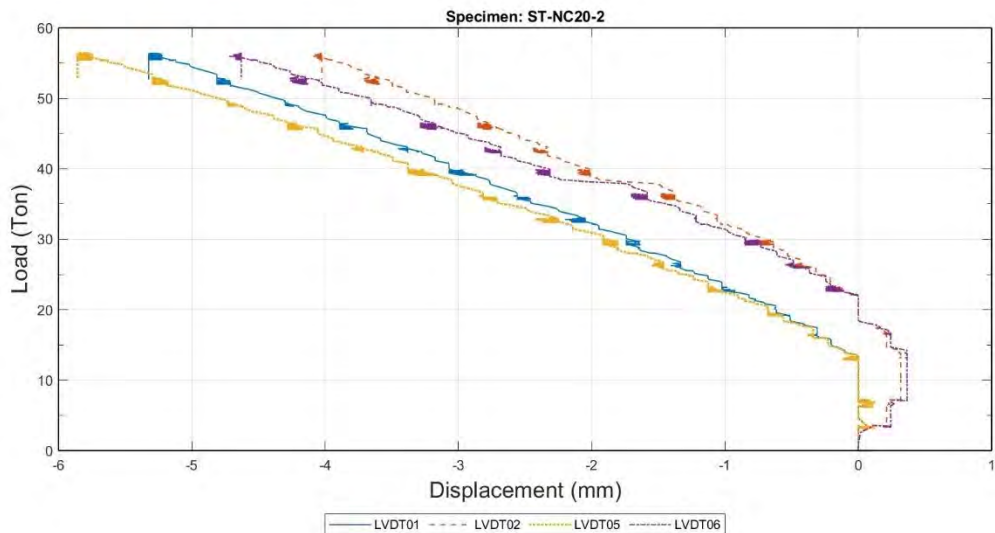
4.1.4 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (ST-NC20-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-11 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงกระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 12 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 20 ตัน และค่าการเสียรูปอยู่ที่ประมาณ 4.5 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพาน เท่ากับ 14.60 มิลลิเมตร และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 56.42 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



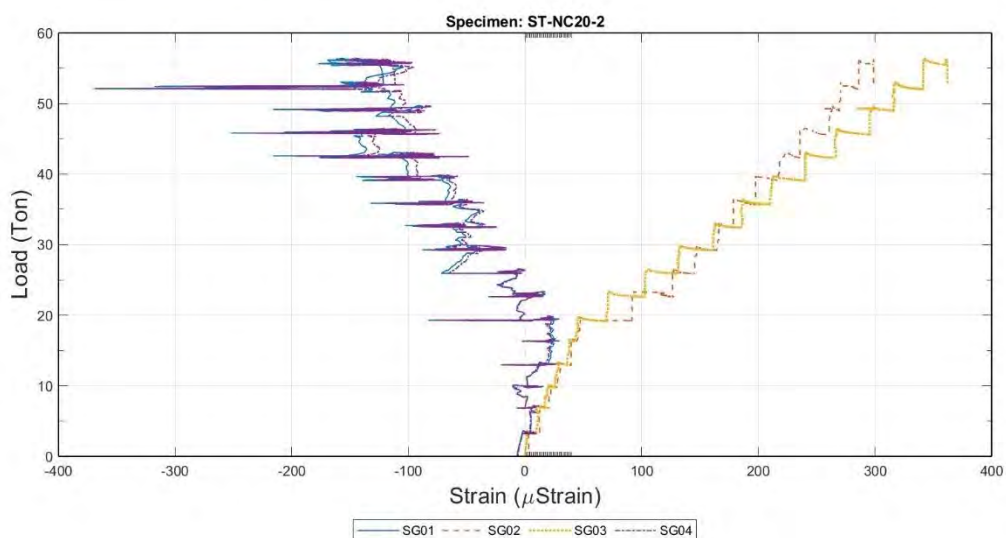
รูปที่ 4-11 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2
ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-12 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสียรูปของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบคงที่ มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 12 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 56.42 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมากขึ้น และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ระยะ 5.86 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-12 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-2)

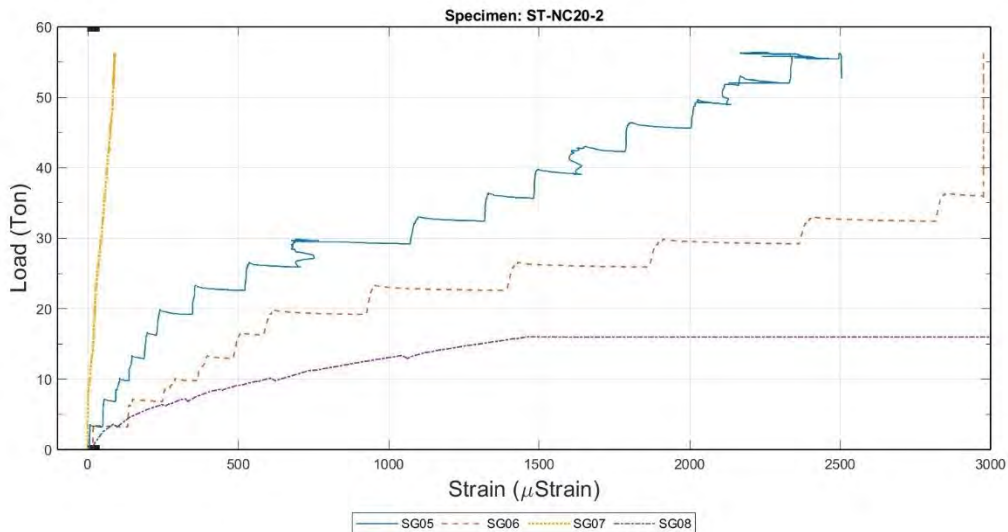
จากการทดสอบรูปที่ 4-13 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG01 ,SG02 ,SG03 และSG04 เท่ากับ 385 ,299 ,362 และ 339 ไมโครเสตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-13 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-2)

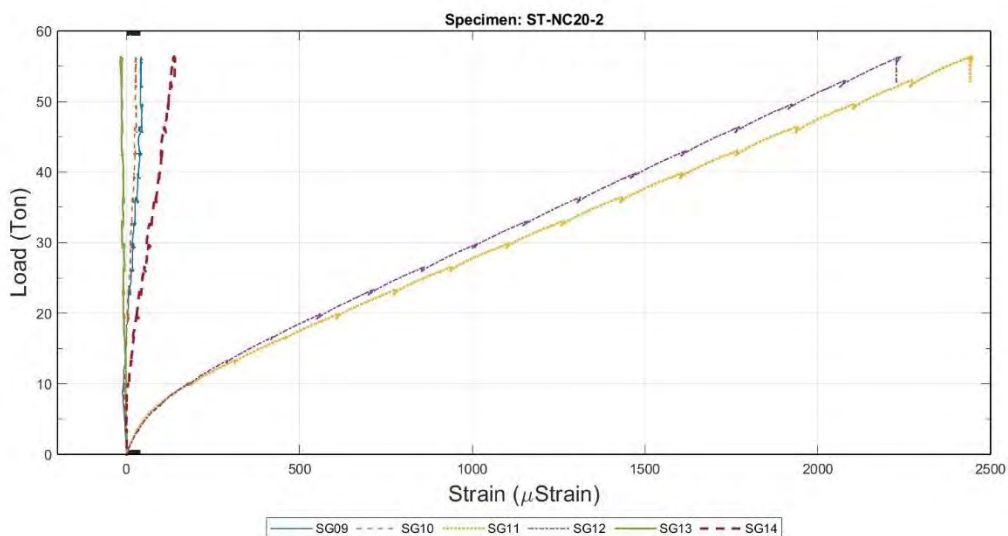
จากการทดสอบรูปที่ 4-14 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำ

ประมาณ 12 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์ได้
เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG05 ,SG06 ,SG07 และSG08 เท่ากับ ,2250
,2976 และ 92 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



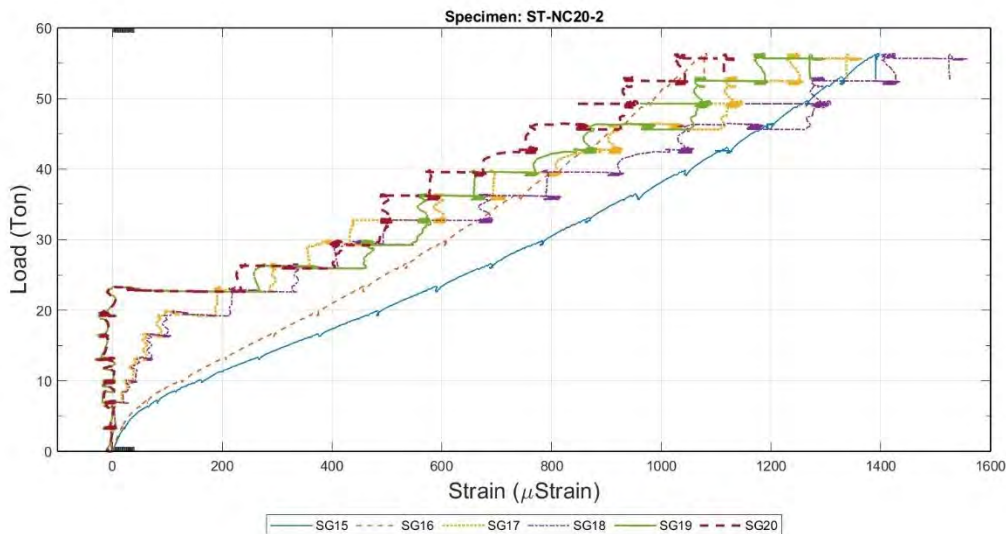
รูปที่ 4-14 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวคอนกรีตด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-15 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่
เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่า
ความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG09 ,SG10 ,SG11 ,SG12 ,SG13 และSG14
เท่ากับ 47 ,30 ,2447 ,2241 ,19 และ 142 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



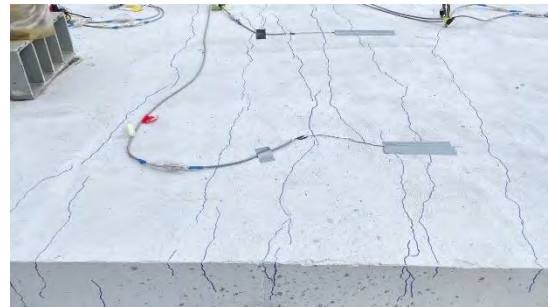
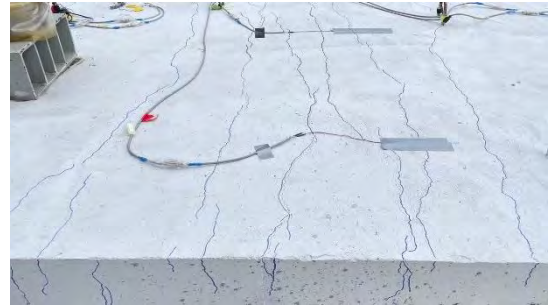
รูปที่ 4-15 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-8 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG15 ,SG16 ,SG17 ,SG18 ,SG19 และSG20 เท่ากับ 1397 ,1083 ,1367 ,1558 ,1298 และ 1139 ไมโครสเตรน ตามลำดับ

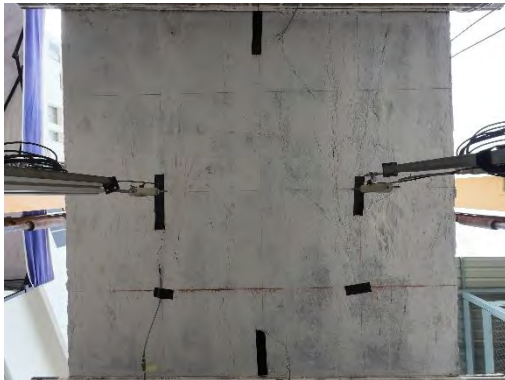


รูปที่ 4-16 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-2)

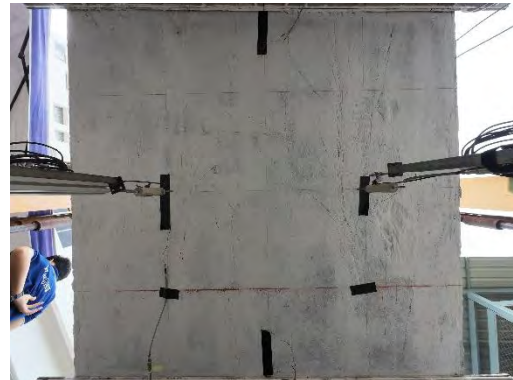
4.1.5 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (ST-NC20-3)



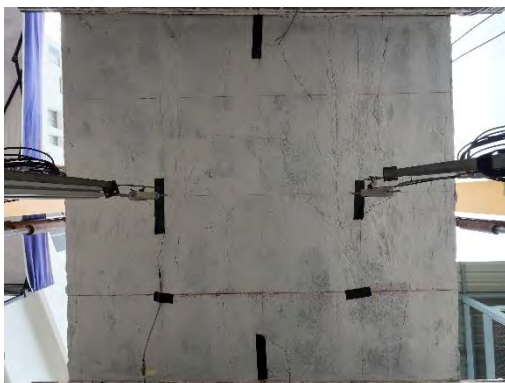
รูปที่ 4-17 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-3)



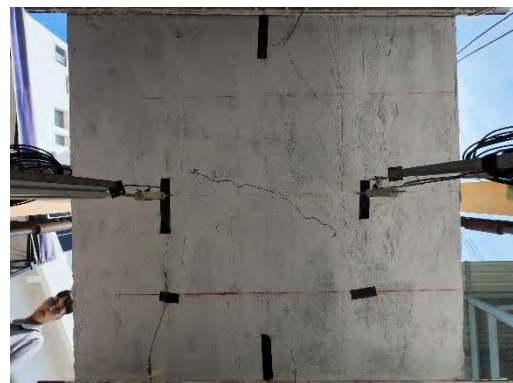
Load 0.00 Tons



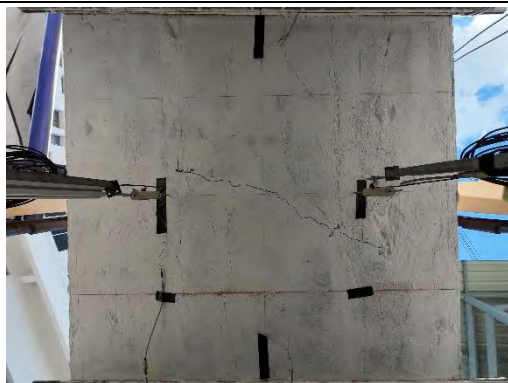
Load 5.10 Tons



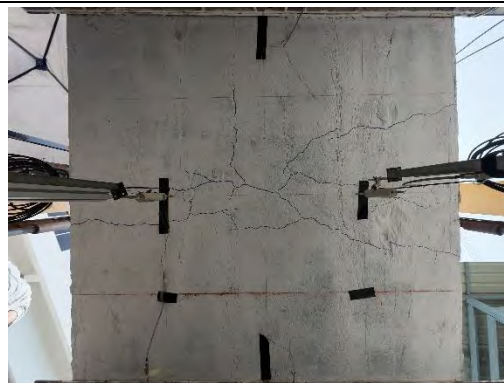
Load 10.03 Tons



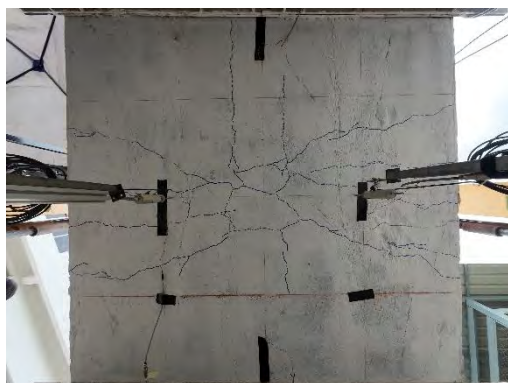
Load 12.03 Tons



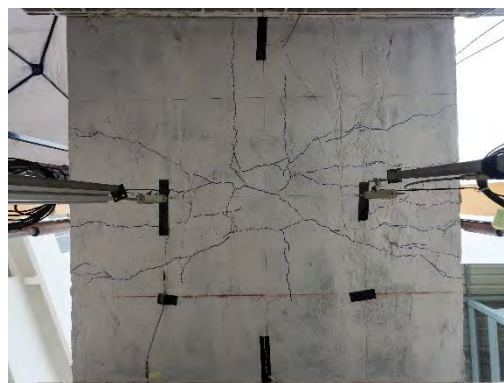
Load 15.10 Tons



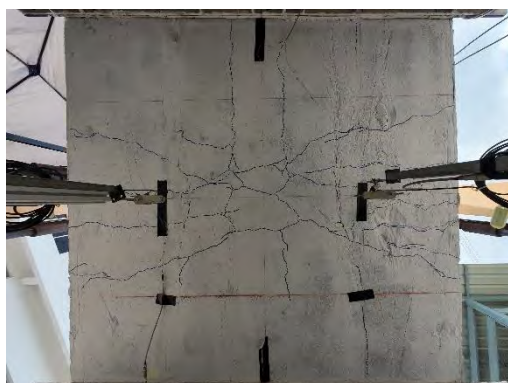
Load 20.02 Tons



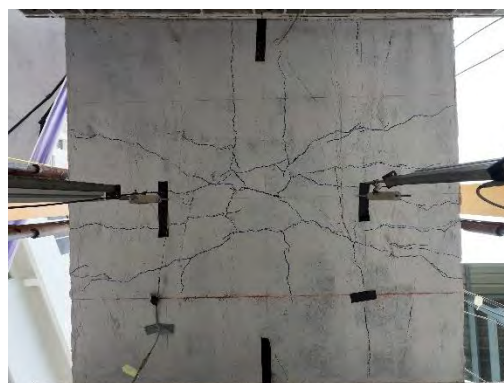
Load 24.06 Tons



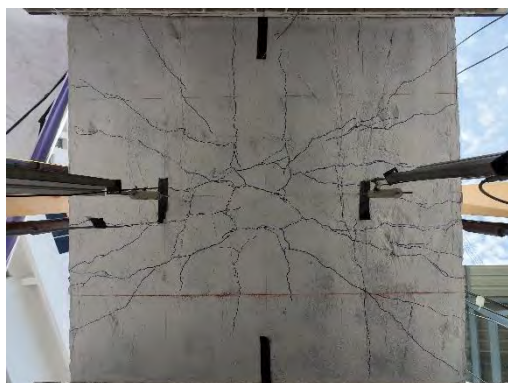
Load 30.11 Tons



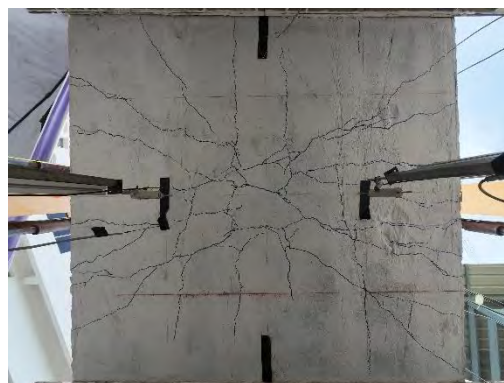
Load 35.12 Tons



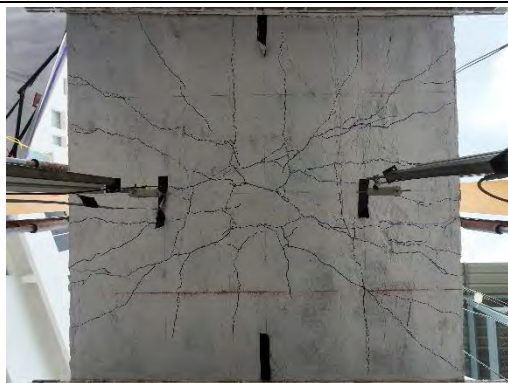
Load 40.01 Tons



Load 45.03 Tons



Load 50.02 Tons

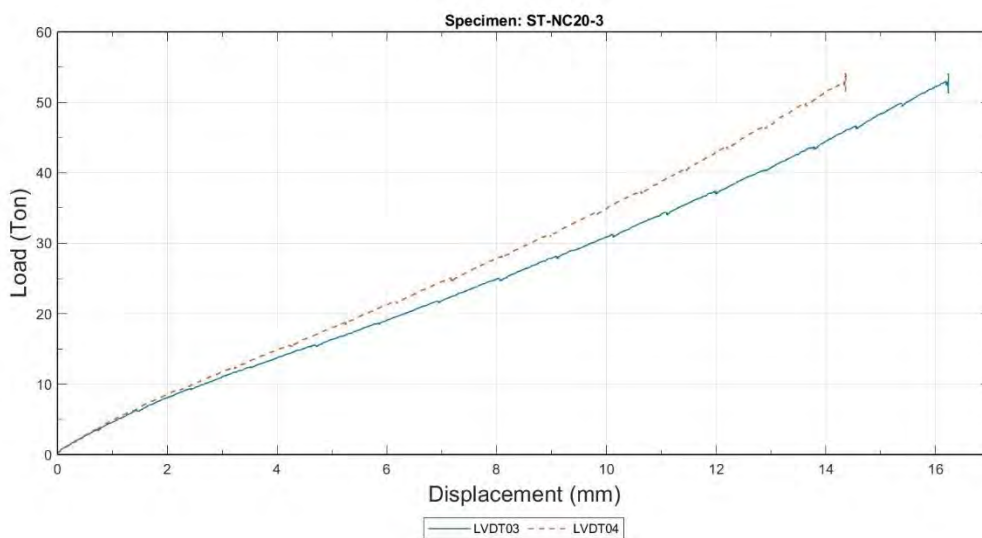


Load 54.08 Tons

รูปที่ 4-18 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-3)

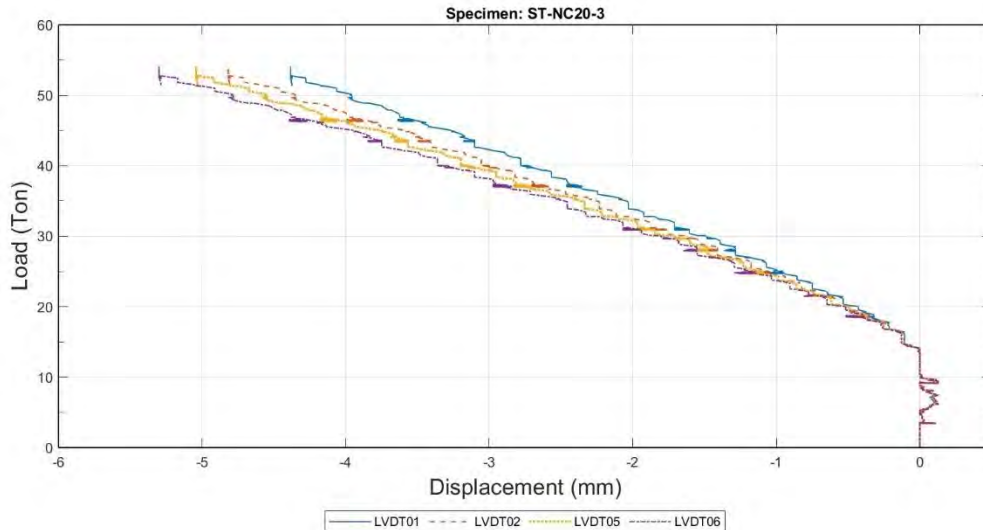
4.1.6 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (ST-NC20-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-19 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงเข้ากระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 12.03 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 24 ตัน และค่าการเสียรูปอยู่ที่ประมาณ 7.50 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้น สะพานเท่ากับ 16.23 มิลลิเมตร และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 54.08 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



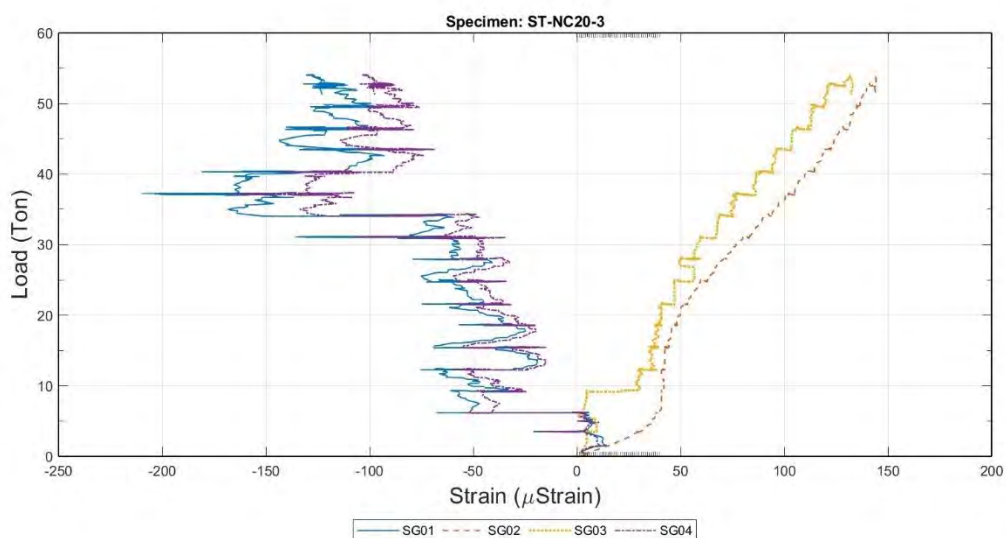
รูปที่ 4-19 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2
ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-20 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสียรูปของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบคงที่ มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 12.03 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 54.08 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมากขึ้น และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ระยะ 5.30 มิลลิเมตร



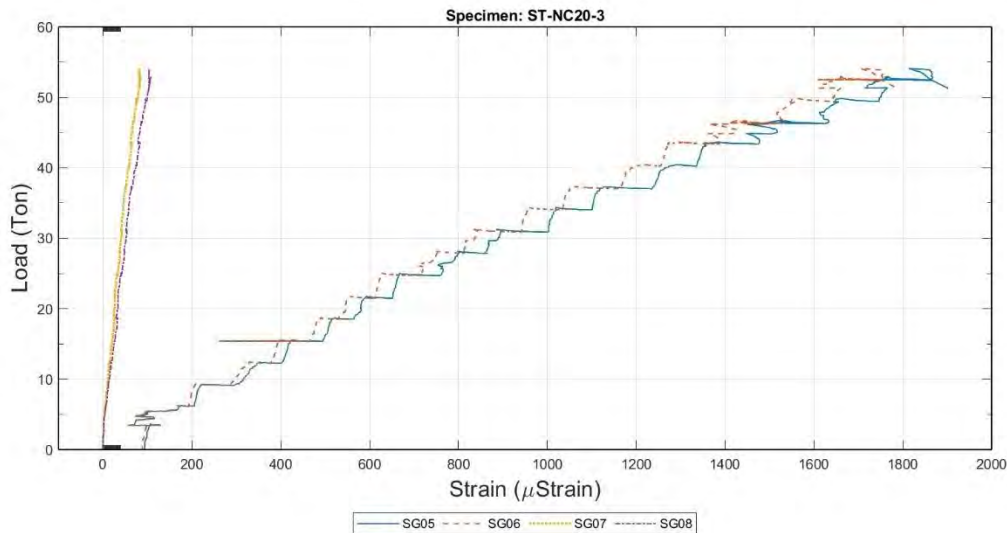
รูปที่ 4-20 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-21 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG01 ,SG02 ,SG03 และ SG04 เท่ากับ 210 ,144 ,133 และ 167 ไมโครเสตรน ตามลำดับ



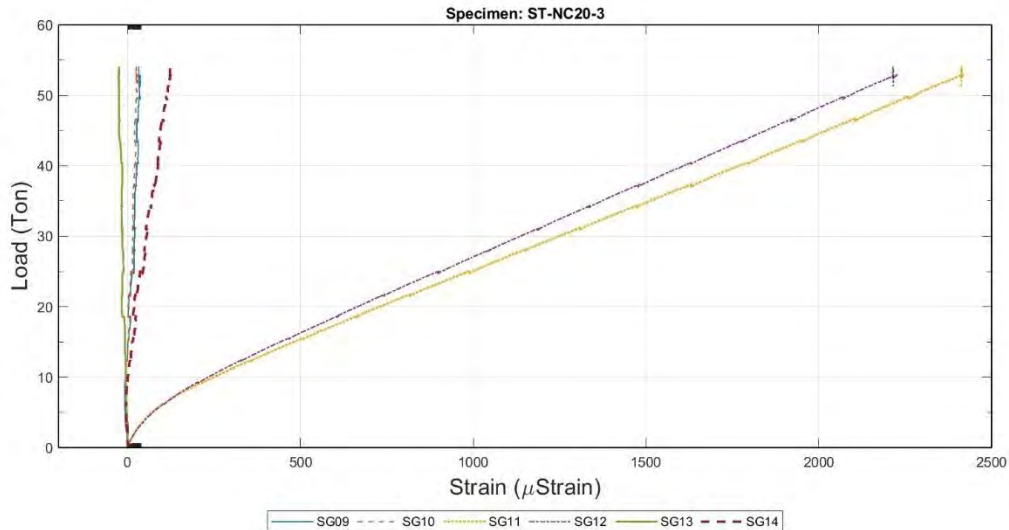
รูปที่ 4-21 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-22 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำประมาณ 12.03 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG05 ,SG06 ,SG07 และSG08 เท่ากับ 1902 ,1788 ,86 และ 110 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



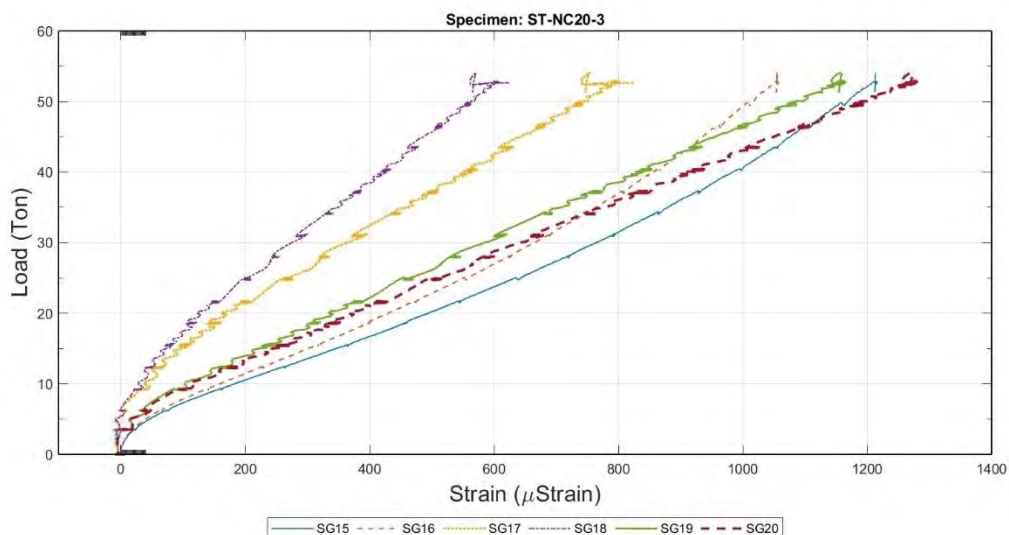
รูปที่ 4-22 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-23 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG09 ,SG10 ,SG11 ,SG12 ,SG13 และSG14 เท่ากับ 37 ,28 ,2418 ,2226 ,27 และ 124 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



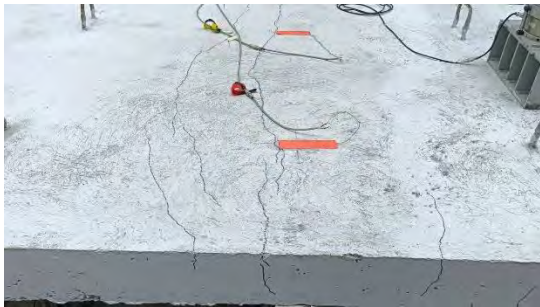
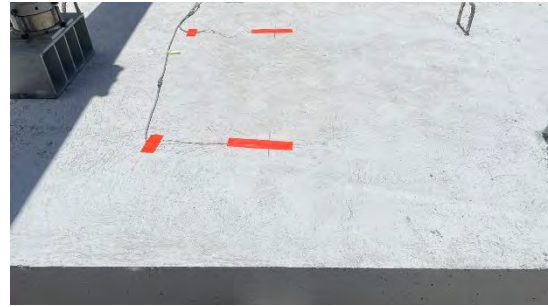
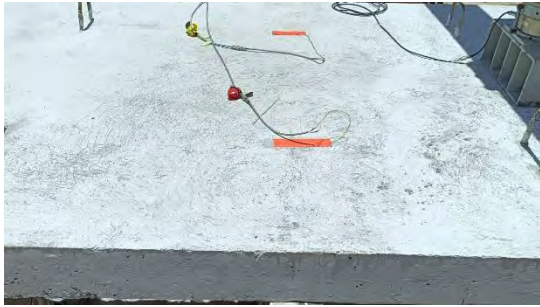
รูปที่ 4-23 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-24 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG15 ,SG16 ,SG17 ,SG18 ,SG19 และSG20 เท่ากับ 1217 ,1058 ,825 ,625 ,1166 และ 1282 ไมโครสเตรน ตามลำดับ

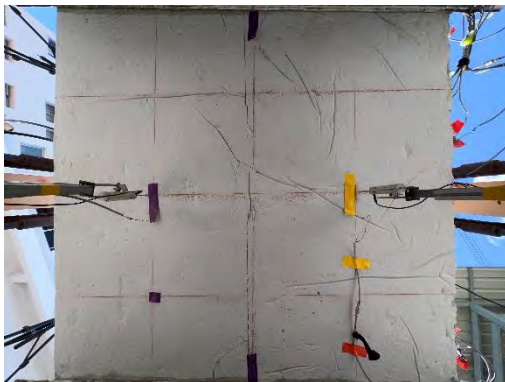


รูปที่ 4-24 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC20-3)

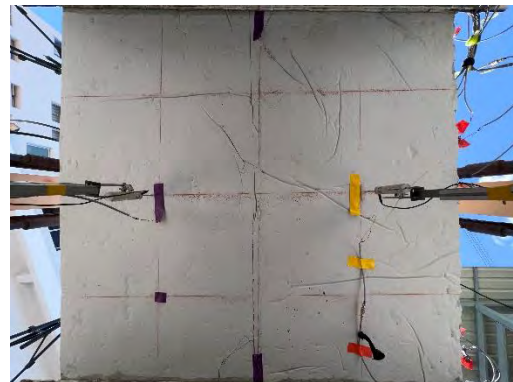
4.1.7 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-CRC20-1)



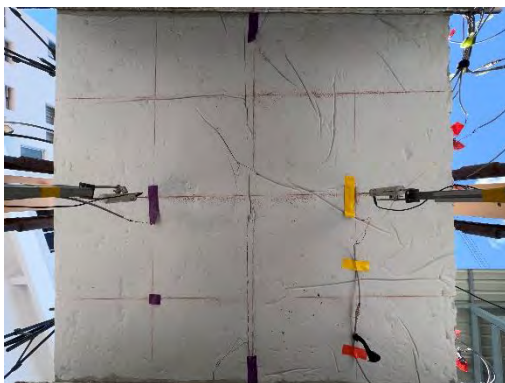
รูปที่ 4-25 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-1)



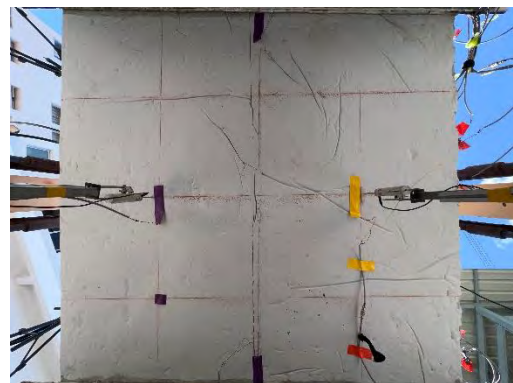
Load 0.00 Tons



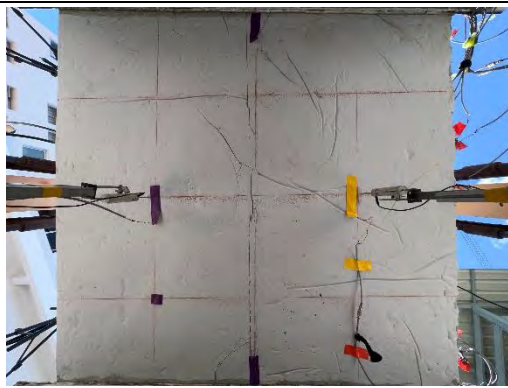
Load 2.34 Tons



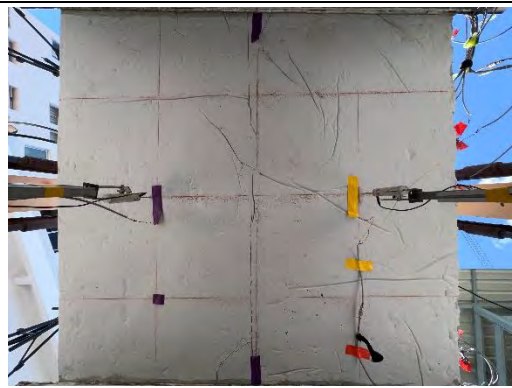
Load 4.04 Tons



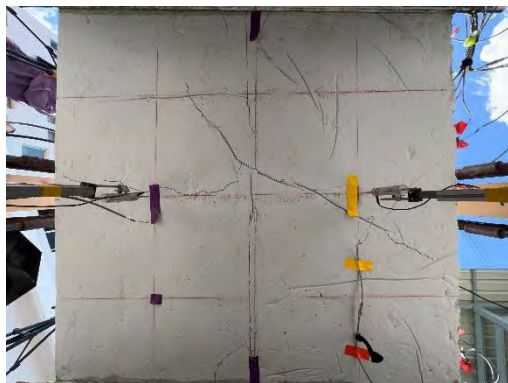
Load 6.24 Tons



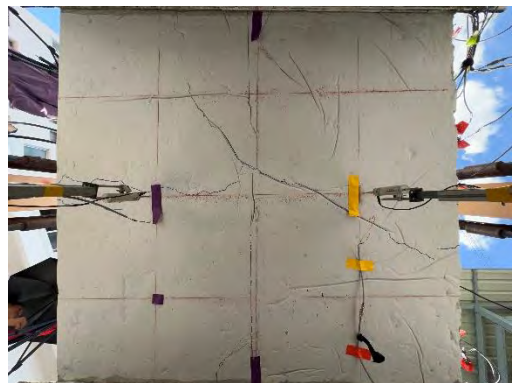
Load 8.08 Tons



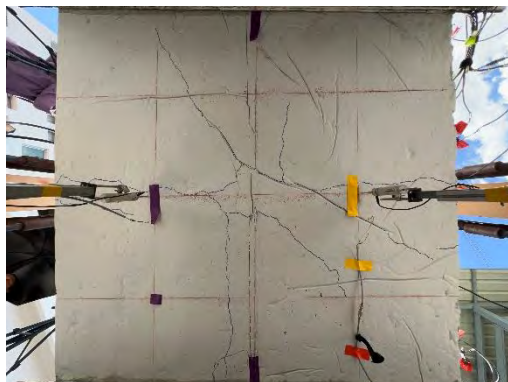
Load 10.05 Tons



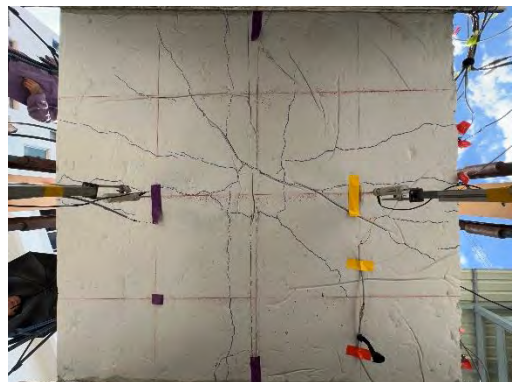
Load 12.06 Tons



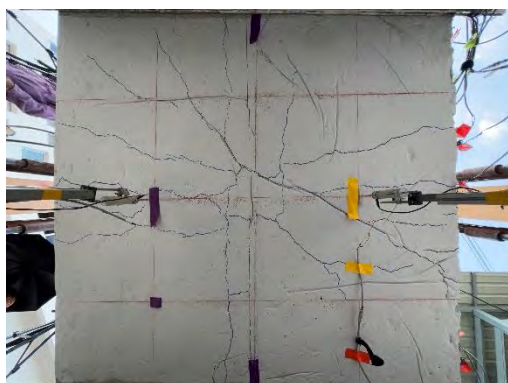
Load 14.03 Tons



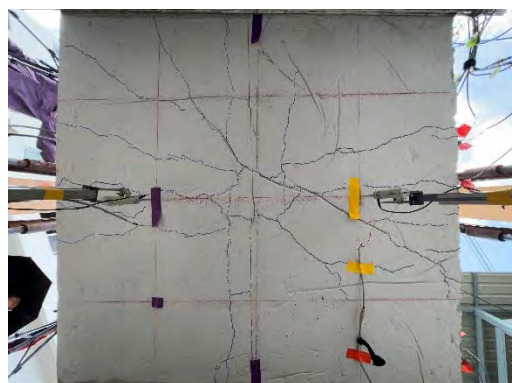
Load 16.00 Tons



Load 18.04 Tons



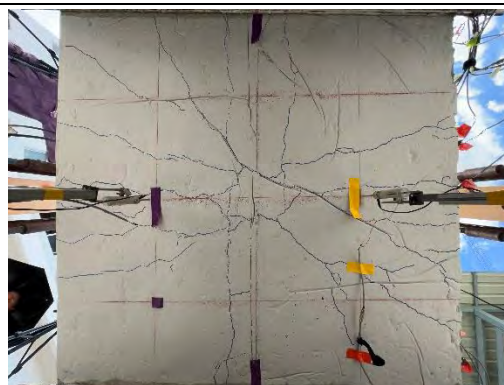
Load 20.07 Tons



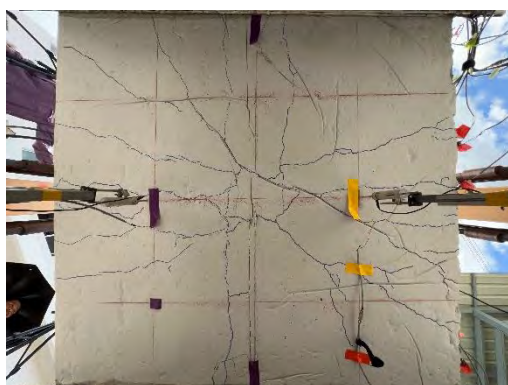
Load 24.03 Tons



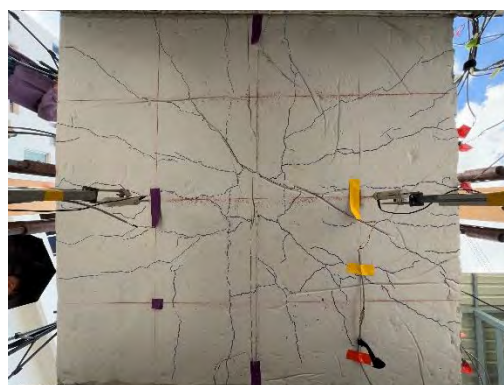
Load 28.04 Tons



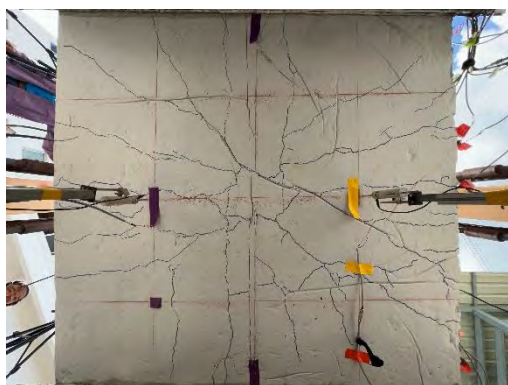
Load 30.00 Tons



Load 32.03 Tons



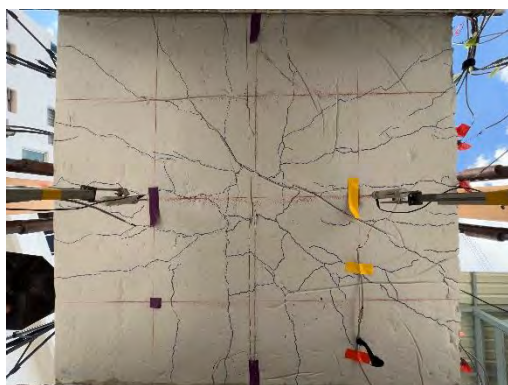
Load 34.02 Tons



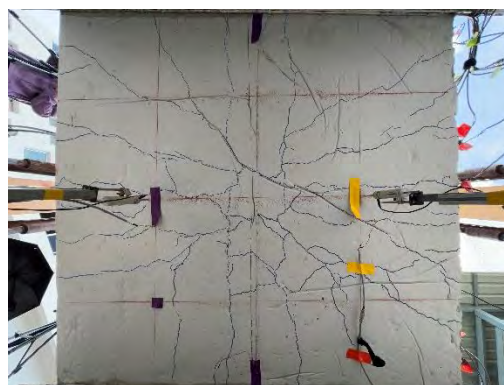
Load 36.05 Tons



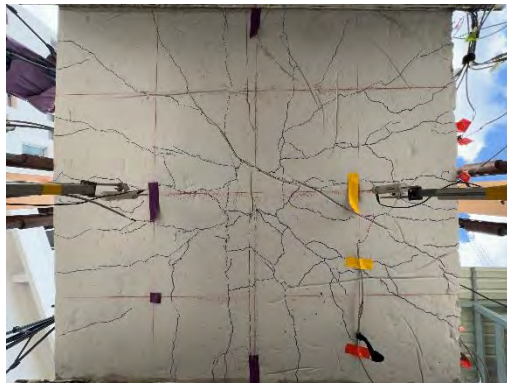
Load 38.02 Tons



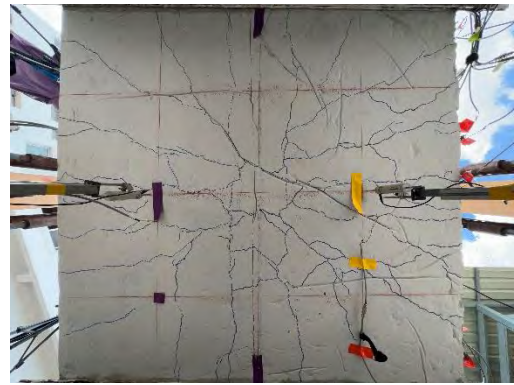
Load 40.05 Tons



Load 42.02 Tons



Load 44.00 Tons

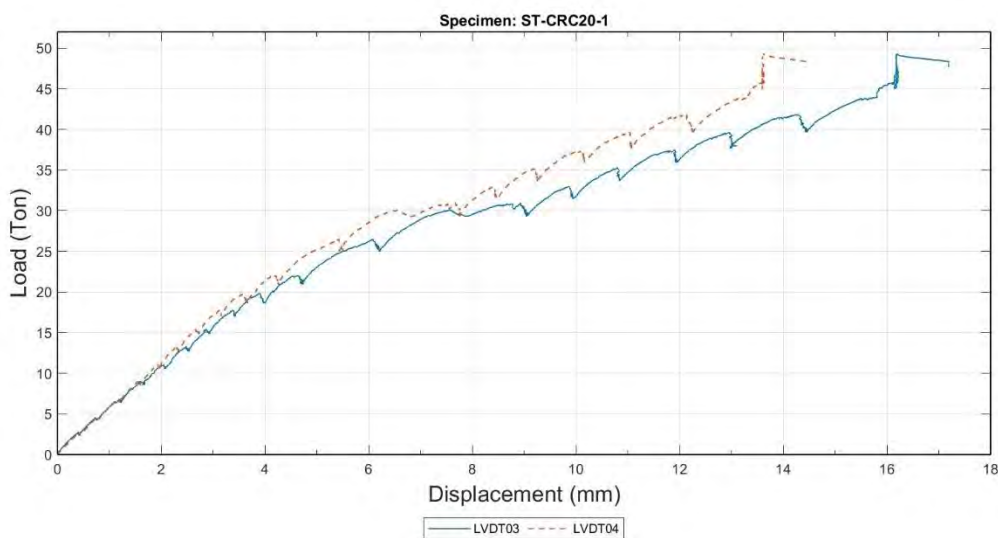


Load 49.46 Tons

รูปที่ 4-26 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-1)

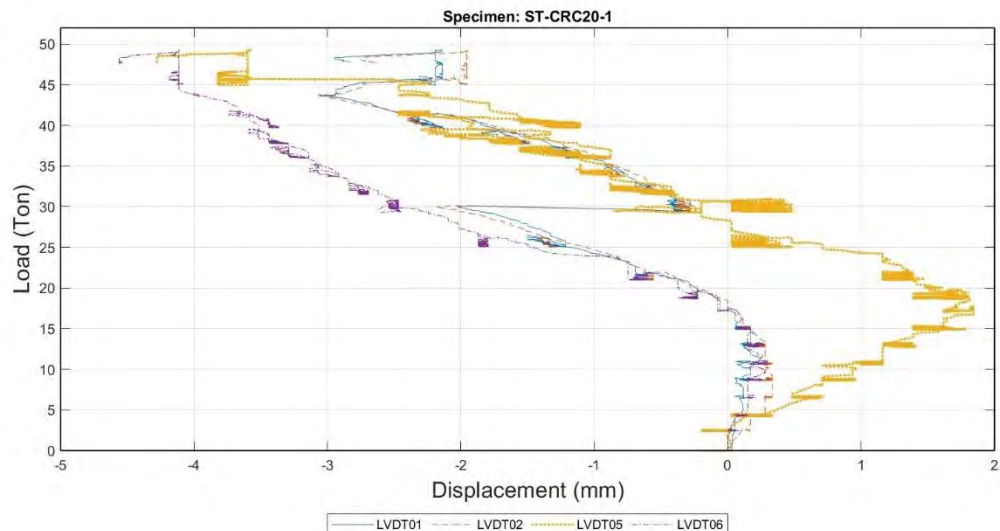
4.1.8 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-CRC20-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-27 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงเข้ากระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 14.03 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 30.00 ตัน และค่าการเสียรูปอยู่ที่ประมาณ 7.75 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพาน (16.22 มิลลิเมตร) และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 49.46 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



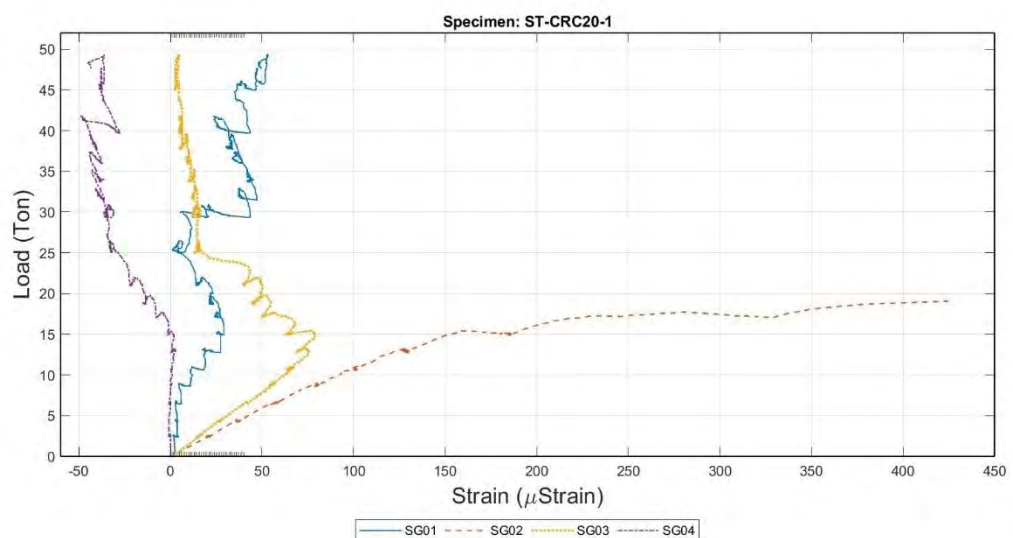
รูปที่ 4-27 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-28 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสียรูปของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบคงที่ มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 14.03 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 49.46 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมากขึ้น และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ระยะ 4.49 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-28 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-1)

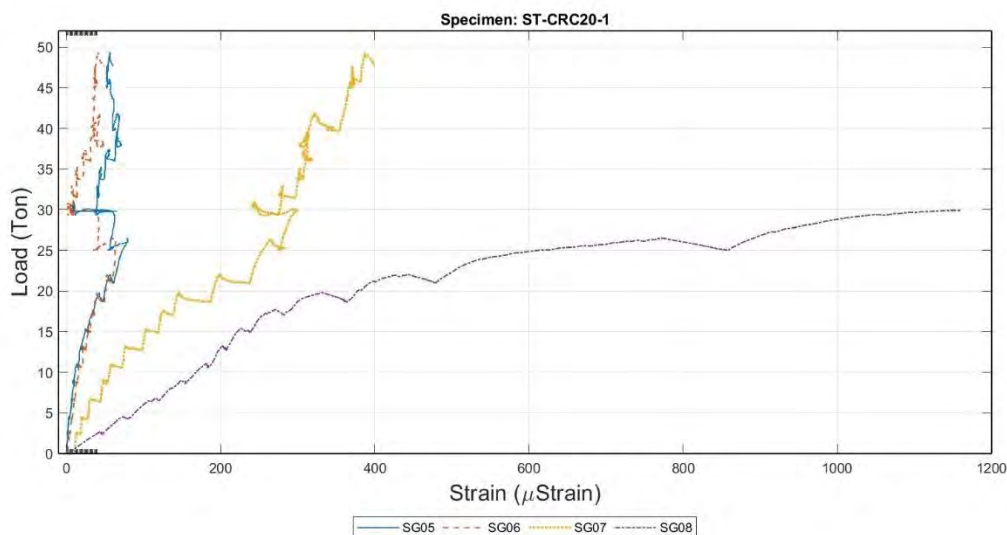
จากการทดสอบรูปที่ 4-29 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG01 ,SG02 ,SG03 และSG04 เท่ากับ 59, 431 ,80 และ 49 ไมโครสเตรนตามลำดับ



รูปที่ 4-29 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-1)

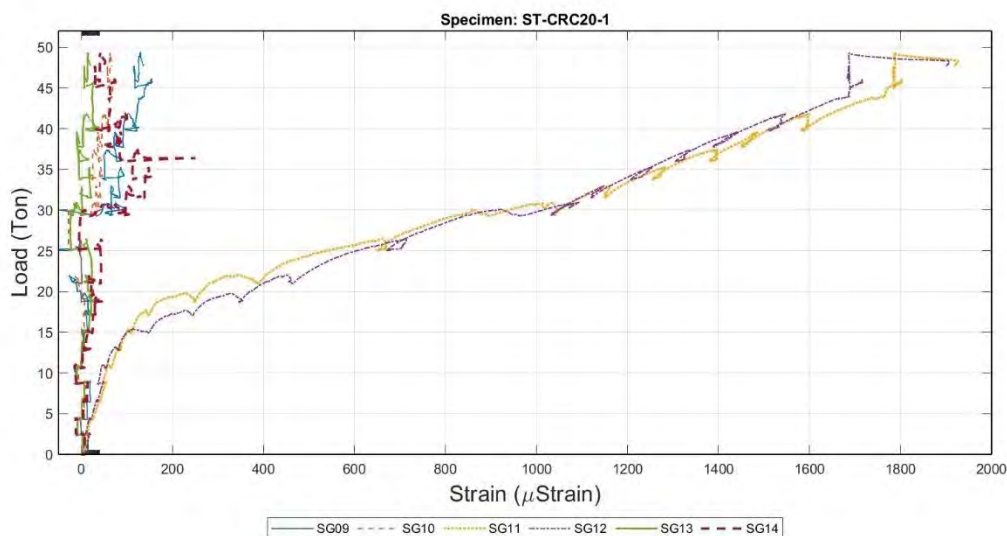
จากการทดสอบรูปที่ 4-30 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำ

ประมาณ 14.03 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์
ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG05 ,SG06 ,SG07 และSG08 เท่ากับ 170 ,65
,400 และ 1176 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



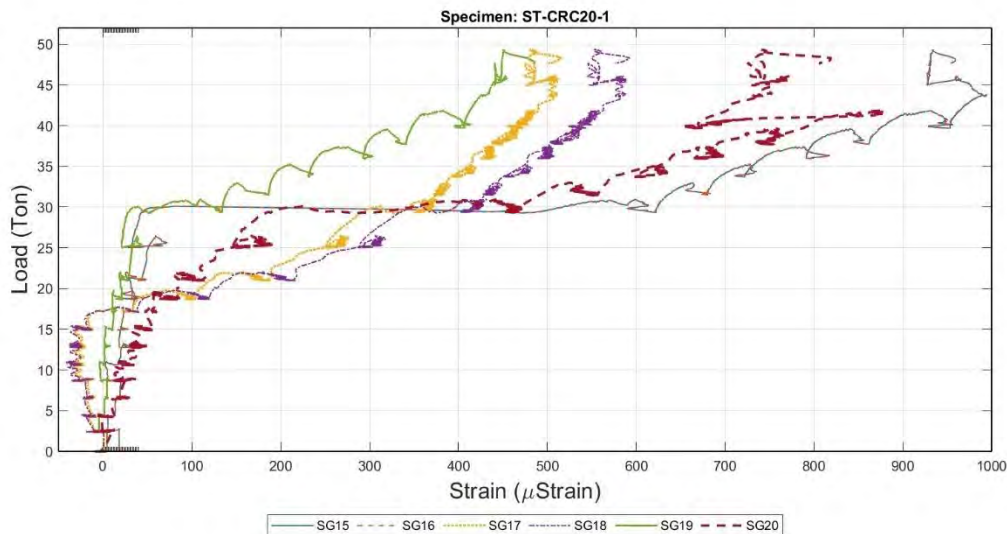
รูปที่ 4-30 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-31 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่
เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่า
ความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG09 ,SG10 ,SG11 ,SG12 ,SG13 และSG14
เท่ากับ 156 ,77 ,1928 ,1907 ,40 และ 254 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



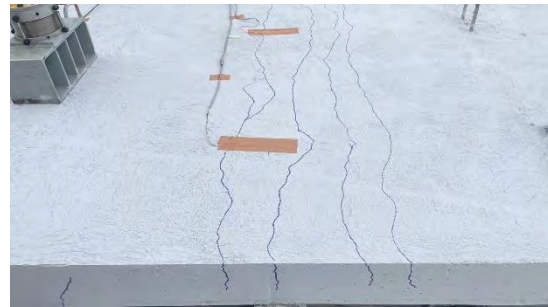
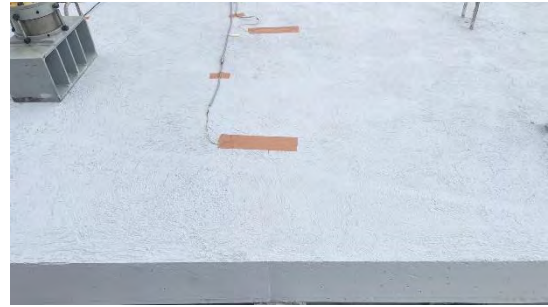
รูปที่ 4-31 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-32 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG15 ,SG16 ,SG17 ,SG18 ,SG19 และSG20 เท่ากับ 996 ,995 ,517 ,594 ,498 และ 881 ไมโครสเตรน ตามลำดับ

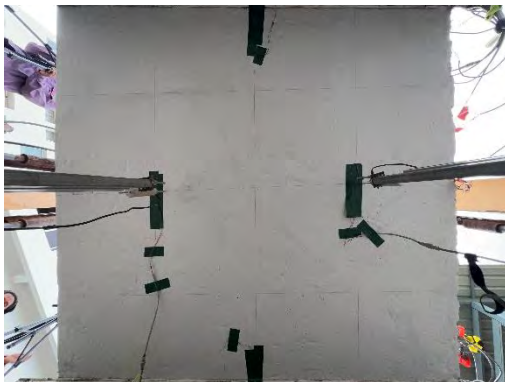


รูปที่ 4-32 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-1)

4.1.9 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่า บดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-CRC20-2)



รูปที่ 4-33 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-2)



Load 0.00 Tons



Load 2.02 Tons



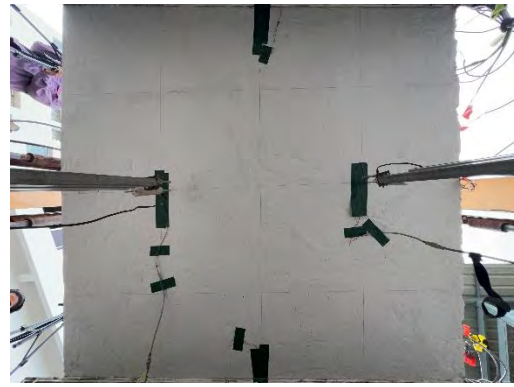
Load 4.07 Tons



Load 6.01 Tons



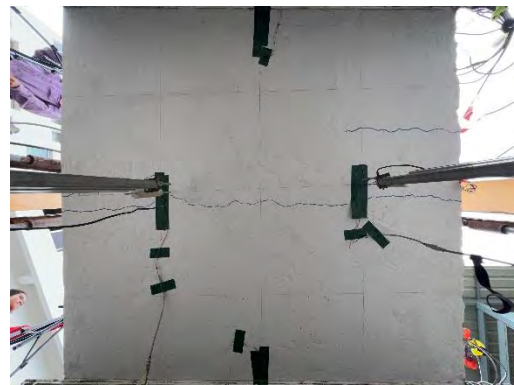
Load 8.12 Tons



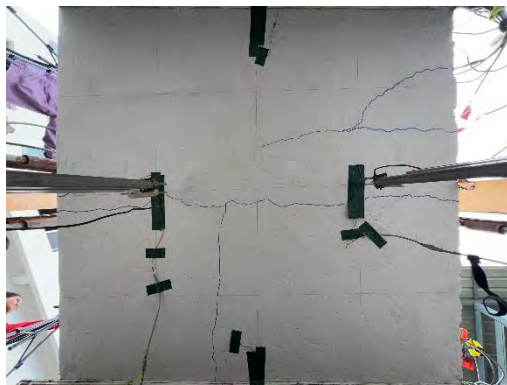
Load 10.03 Tons



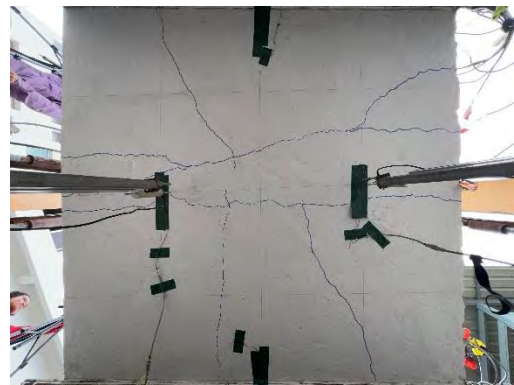
Load 12.06 Tons



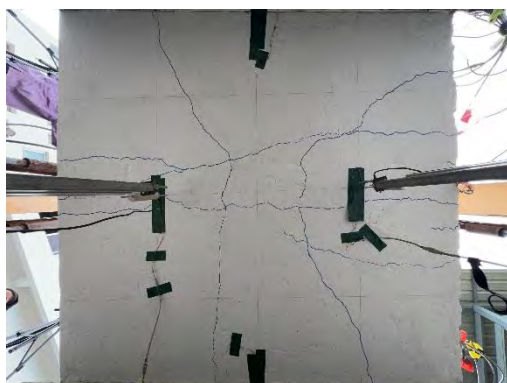
Load 14.02 Tons



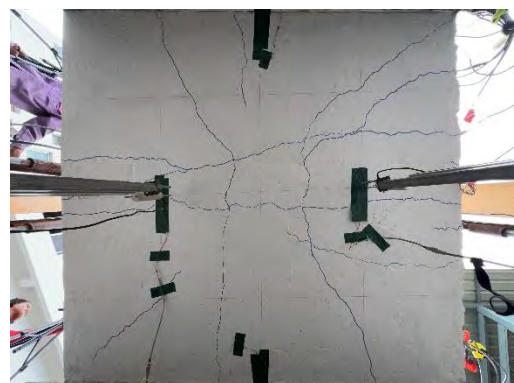
Load 16.20 Tons



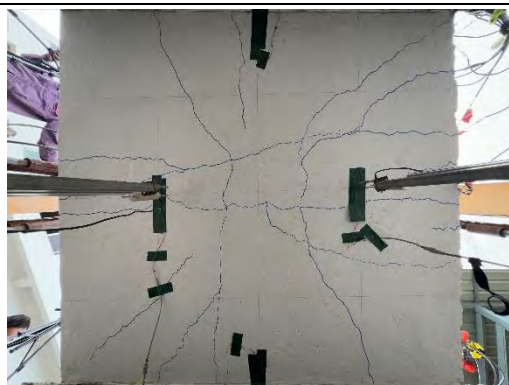
Load 18.12 Tons



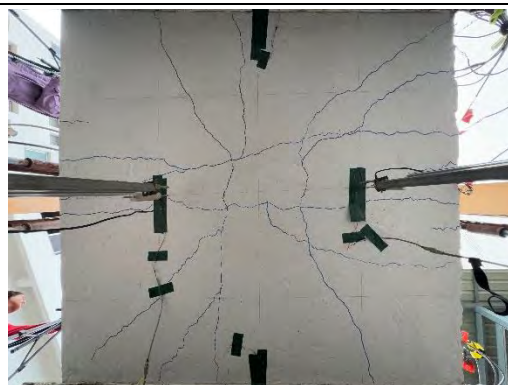
Load 20.01 Tons



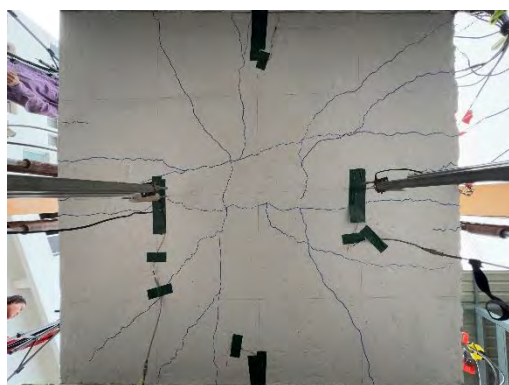
Load 22.05 Tons



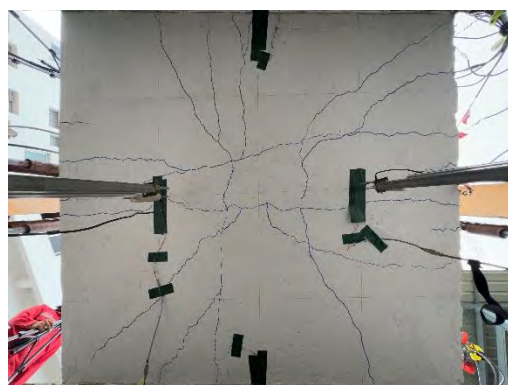
Load 24.10 Tons



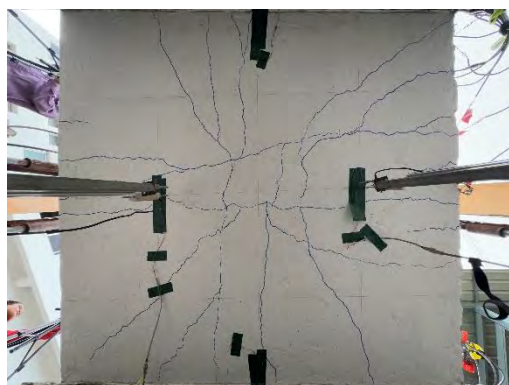
Load 26.03 Tons



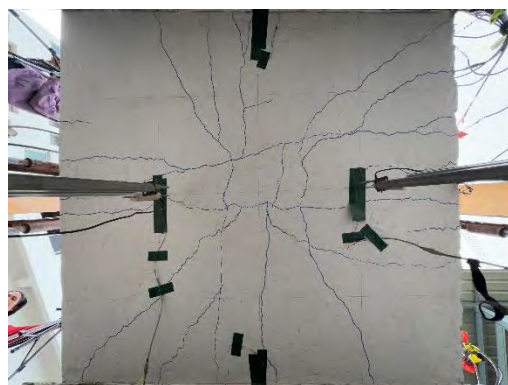
Load 28.00 Tons



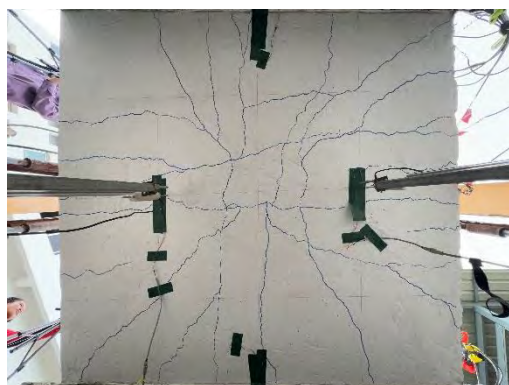
Load 30.14 Tons



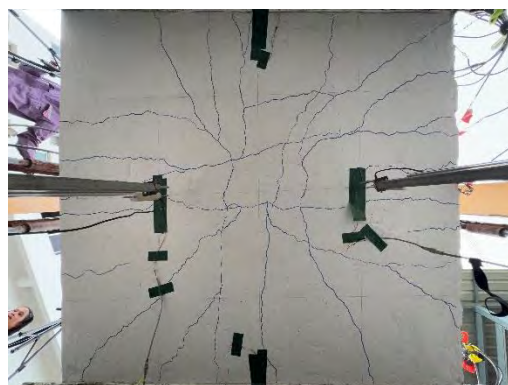
Load 32.02 Tons



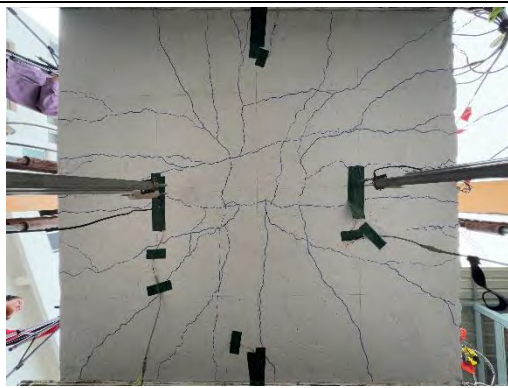
Load 34.07 Tons



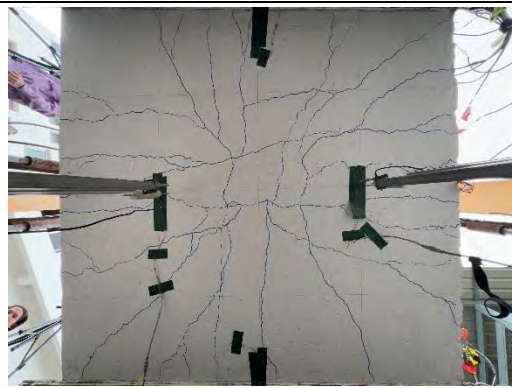
Load 36.01 Tons



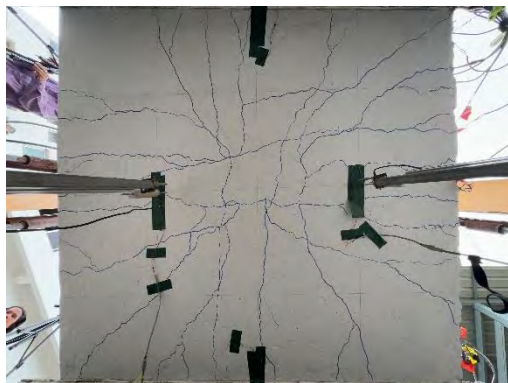
Load 38.13 Tons



Load 40.21 Tons



Load 42.01 Tons

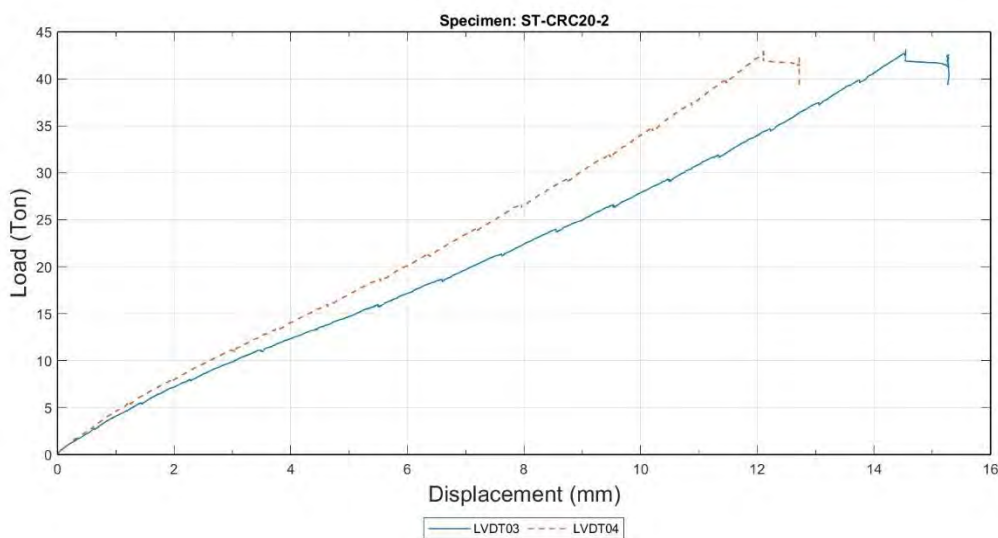


Load 43.16 Tons

รูปที่ 4-34 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-2)

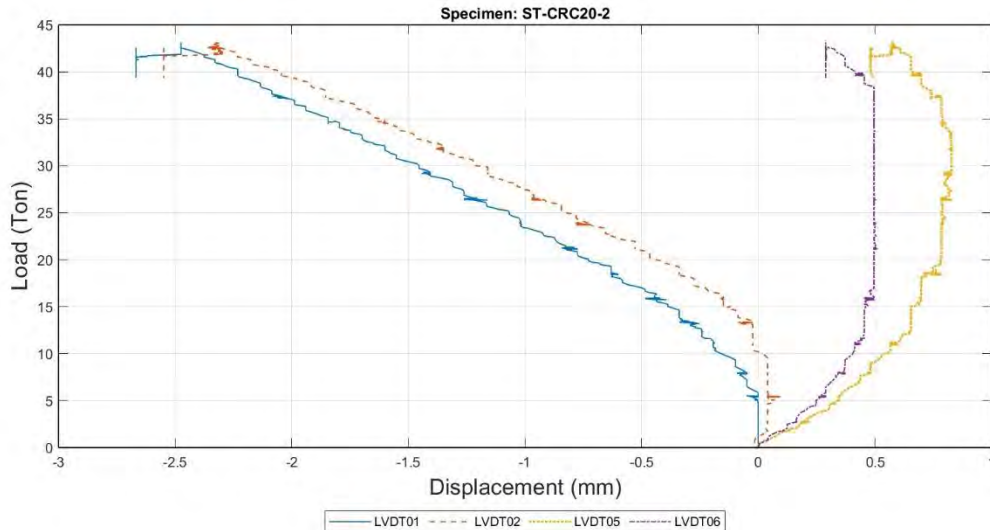
4.1.10 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-CRC20-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-35 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงกระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 14.02 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 22.31 ตัน และค่าการเสีรูปอยู่ที่ประมาณ 6.35 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสีรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพาน (14.54 มิลลิเมตร) และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 43.16 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



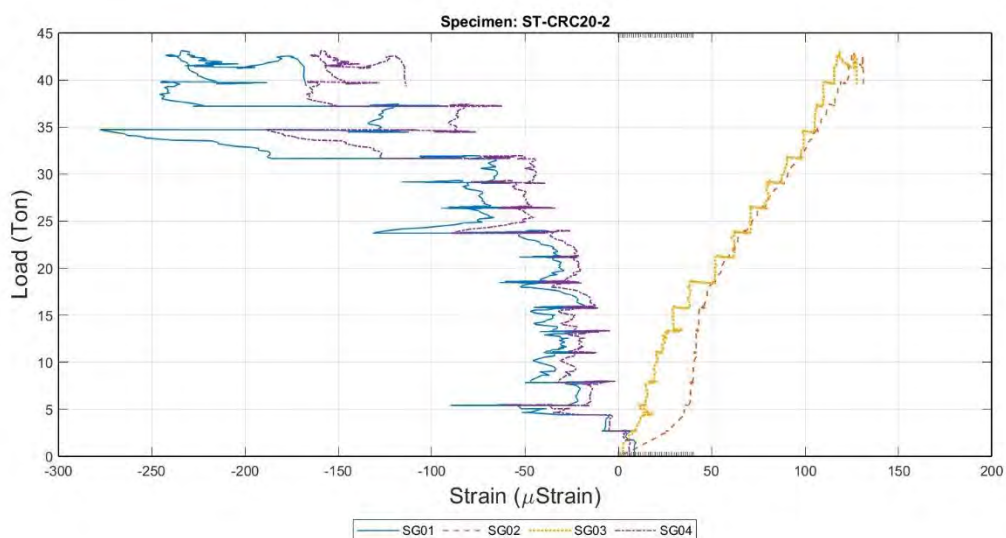
รูปที่ 4-35 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสีรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-36 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสีรูปของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบคงที่ มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 14.02 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 43.16 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมากขึ้น และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ระยะ 2.68 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-36 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-2)

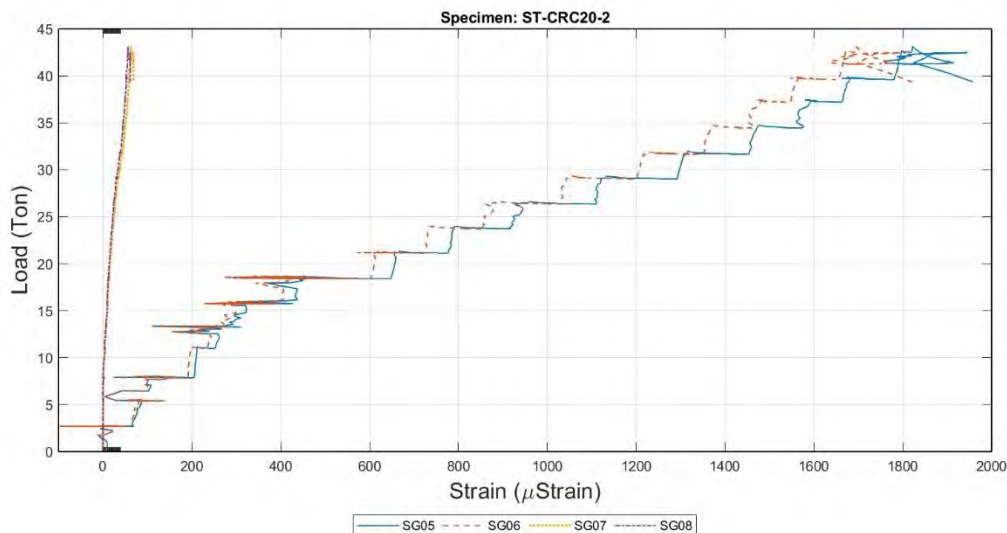
จากการทดสอบรูปที่ 4-37 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG01 ,SG02 ,SG03 และSG04 เท่ากับ 276 ,132 ,129 และ 187 ไมโครเสตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-37 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-2)

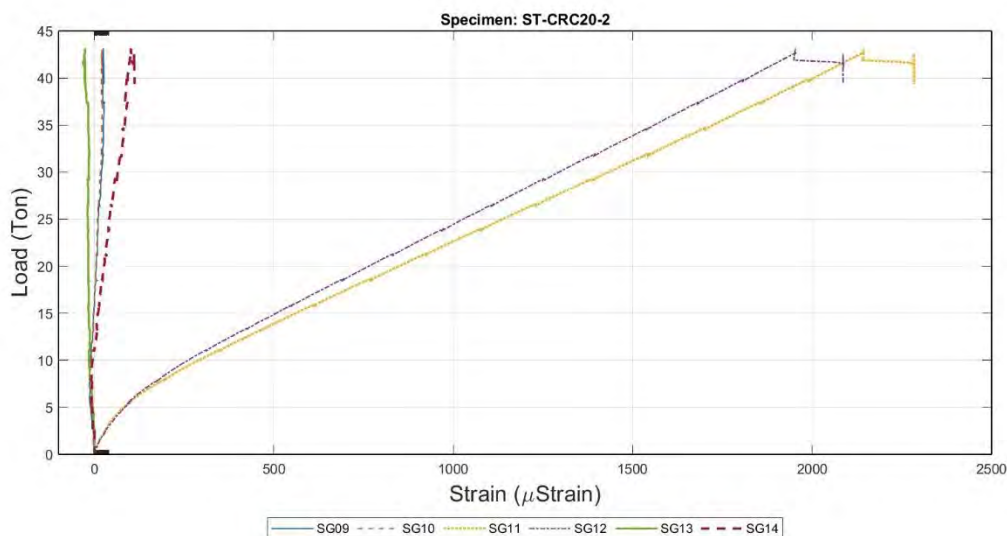
จากการทดสอบรูปที่ 4-38 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำ

ประมาณ 14.02 ตัน แผ่นพื้นด้านบนบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์
ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG05 ,SG06 ,SG07 และSG08 เท่ากับ 1977,
1833 ,68 และ 62 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



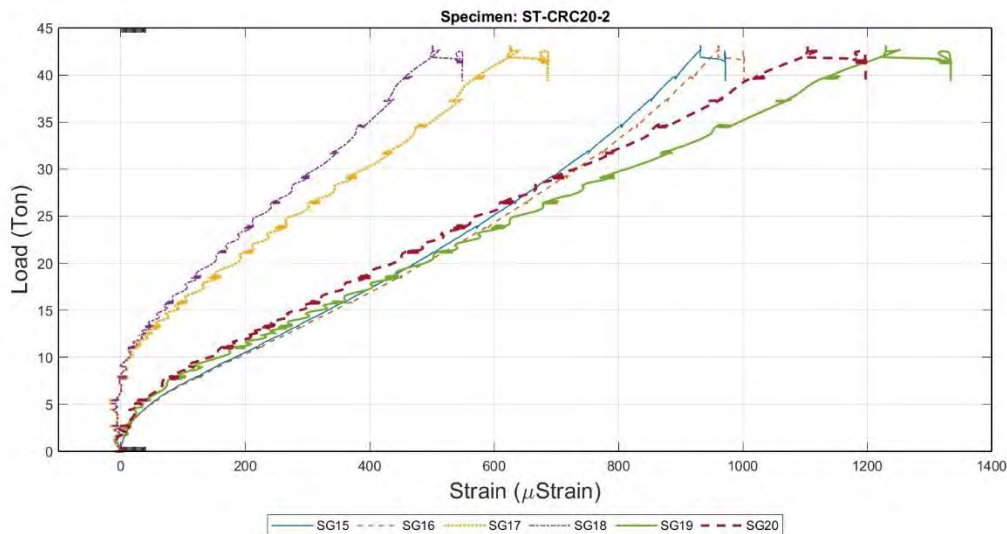
รูปที่ 4-38 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวคอนกรีตด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-39 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่
เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่า
ความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG09 ,SG10 ,SG11 ,SG12 ,SG13 และSG14
เท่ากับ 29 ,24 ,2282 ,2090 ,36 และ 112 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



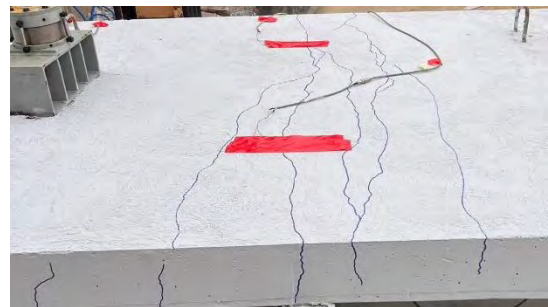
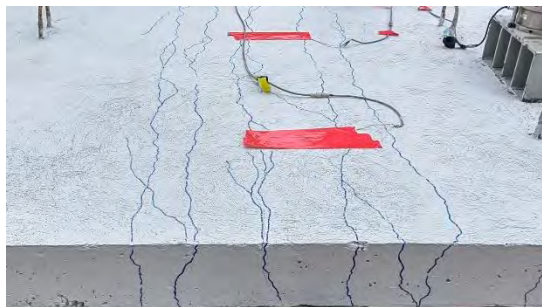
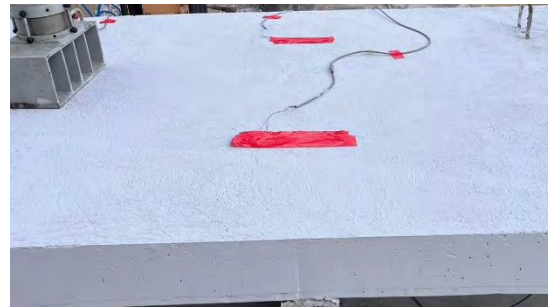
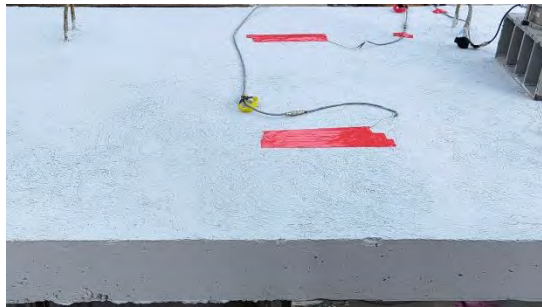
รูปที่ 4-39 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-40 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG15 ,SG16 ,SG17 ,SG18 ,SG19 และSG20 เท่ากับ 971,1001 ,694 ,555 ,1336 และ 1199 ไมโครสเตรน ตามลำดับ

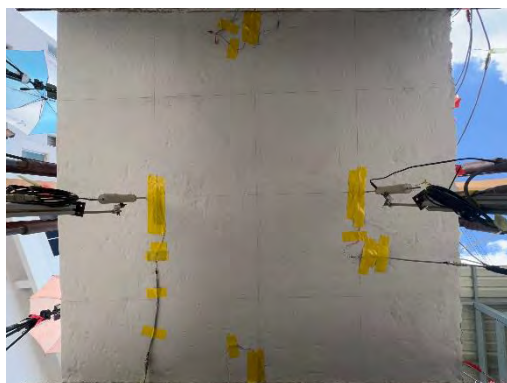


รูปที่ 4-40 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-2)

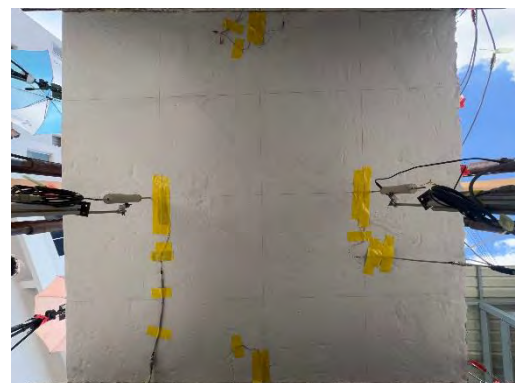
4.1.11 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-CRC20-3)



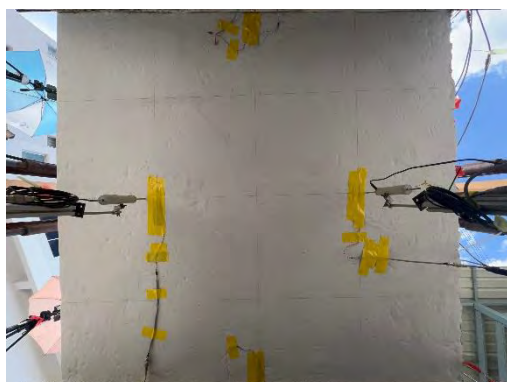
รูปที่ 4-41 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-3)



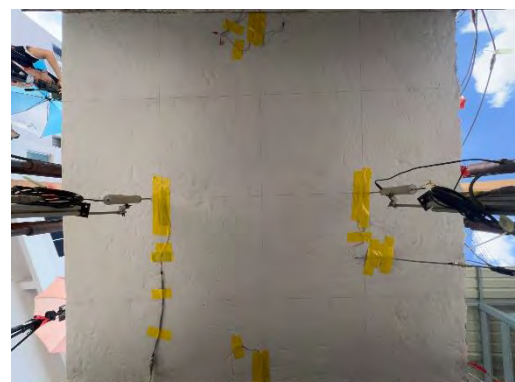
Load 0.00 Tons



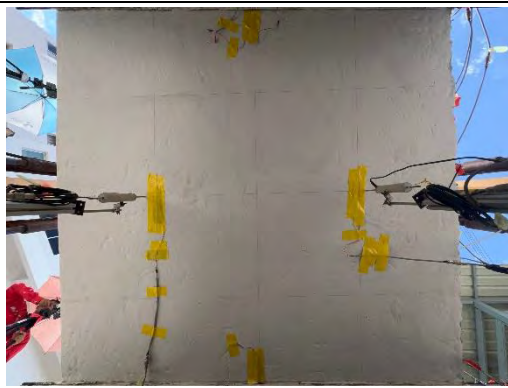
Load 2.15 Tons



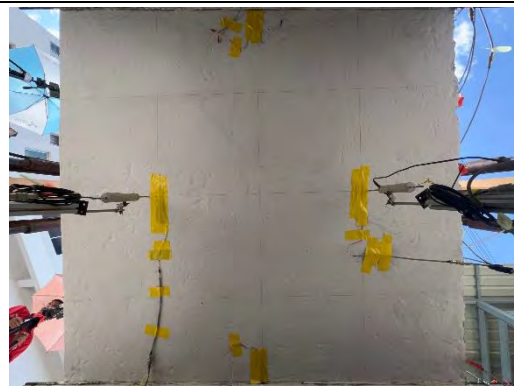
Load 4.14 Tons



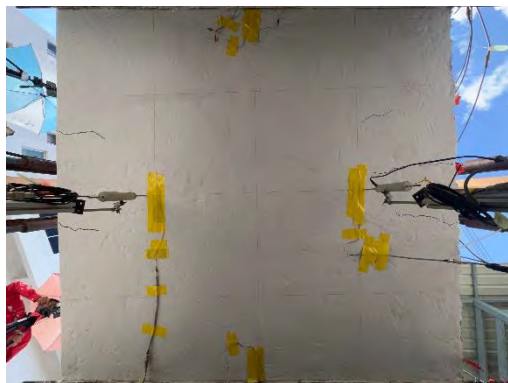
Load 6.09 Tons



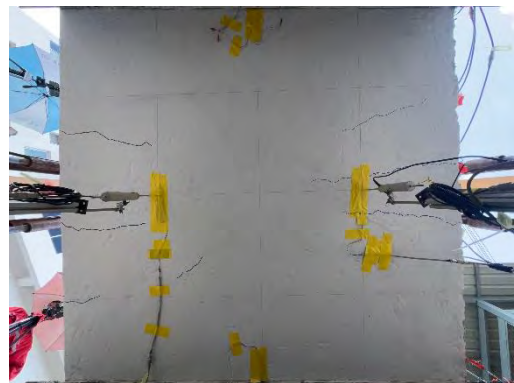
Load 8.06 Tons



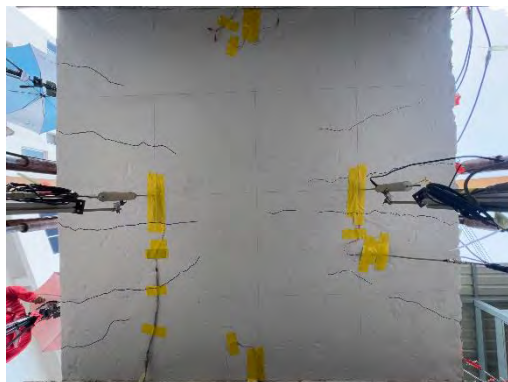
Load 10.09 Tons



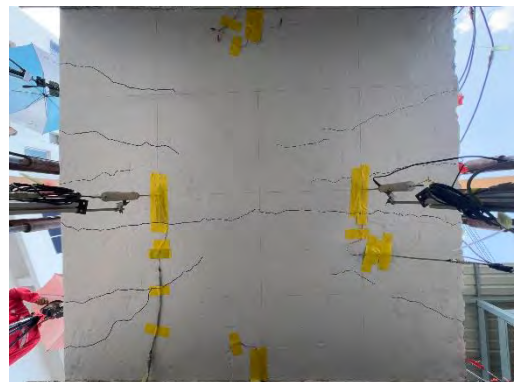
Load 12.02 Tons



Load 14.14 Tons



Load 16.09 Tons



Load 18.06 Tons



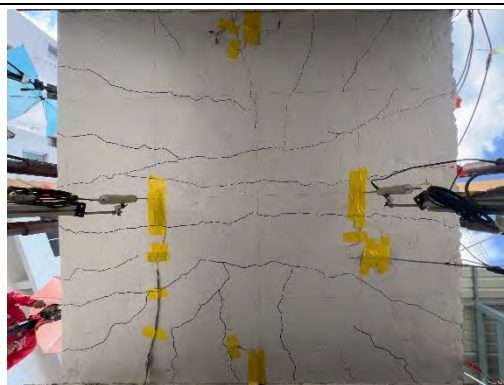
Load 20.01 Tons



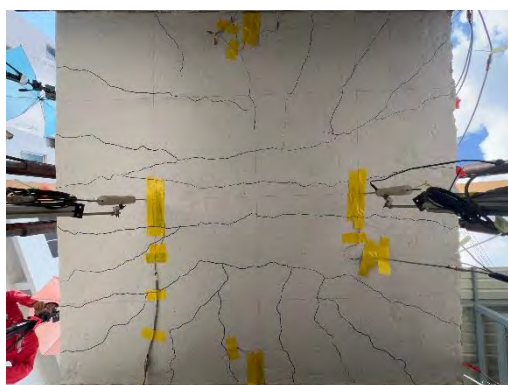
Load 22.04 Tons



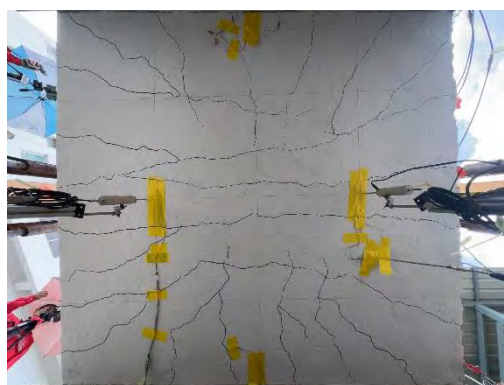
Load 24.07 Tons



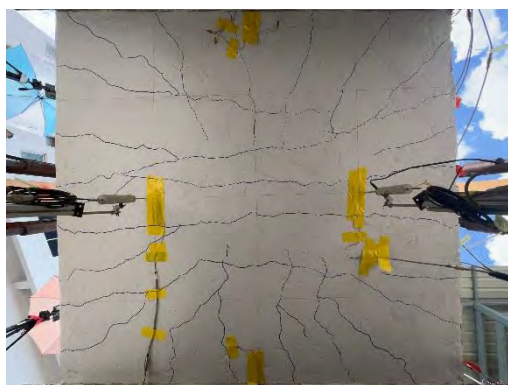
Load 26.02 Tons



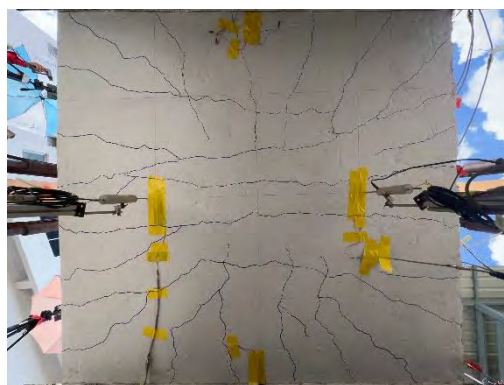
Load 28.07 Tons



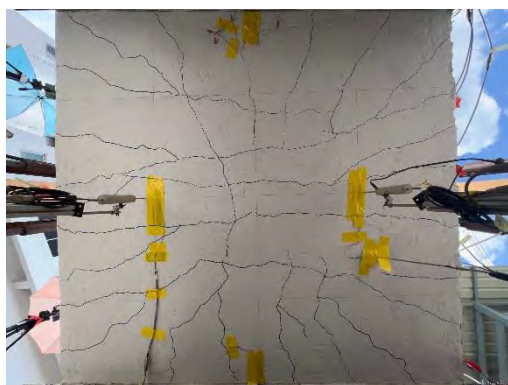
Load 30.02 Tons



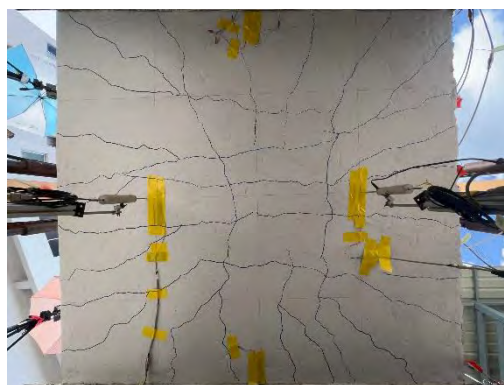
Load 32.05 Tons



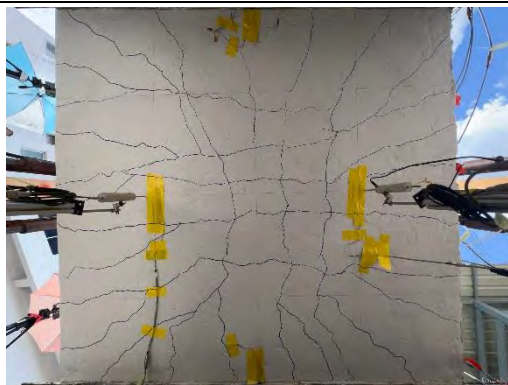
Load 34.08 Tons



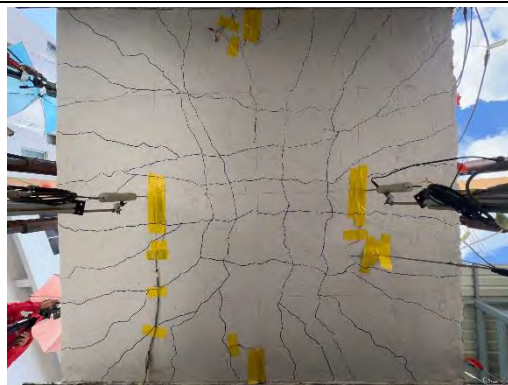
Load 36.01 Tons



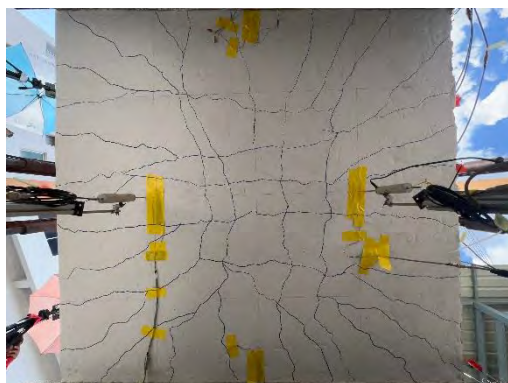
Load 38.00 Tons



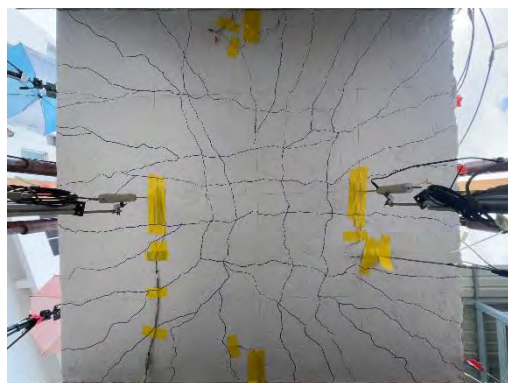
Load 40.09 Tons



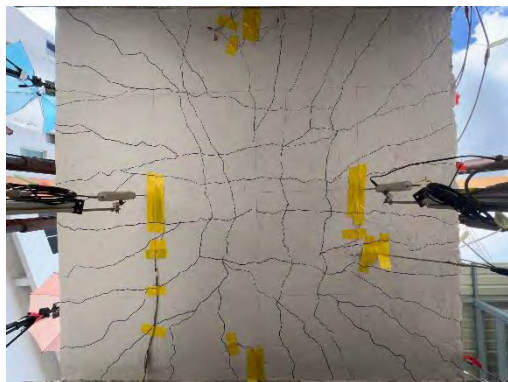
Load 42.00 Tons



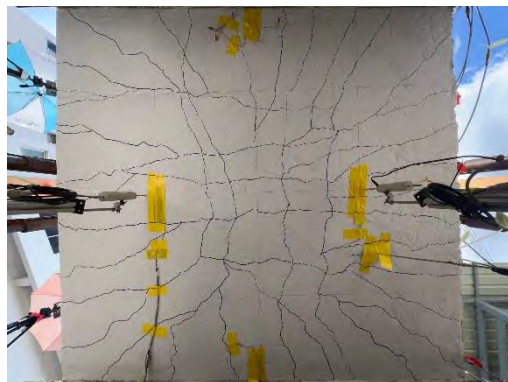
Load 44.05 Tons



Load 46.02 Tons



Load 48.01 Tons

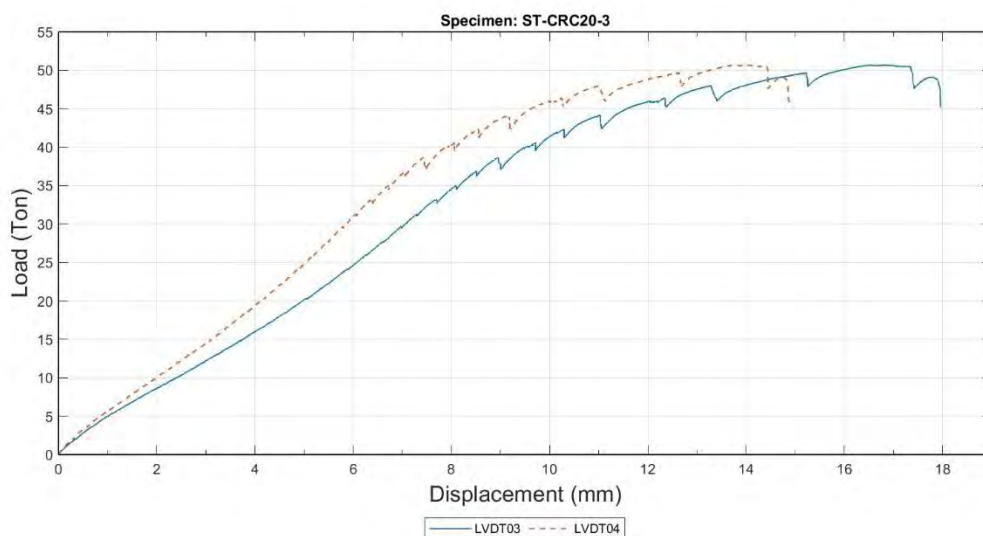


Load 50.77 Tons

รูปที่ 4-42 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-3)

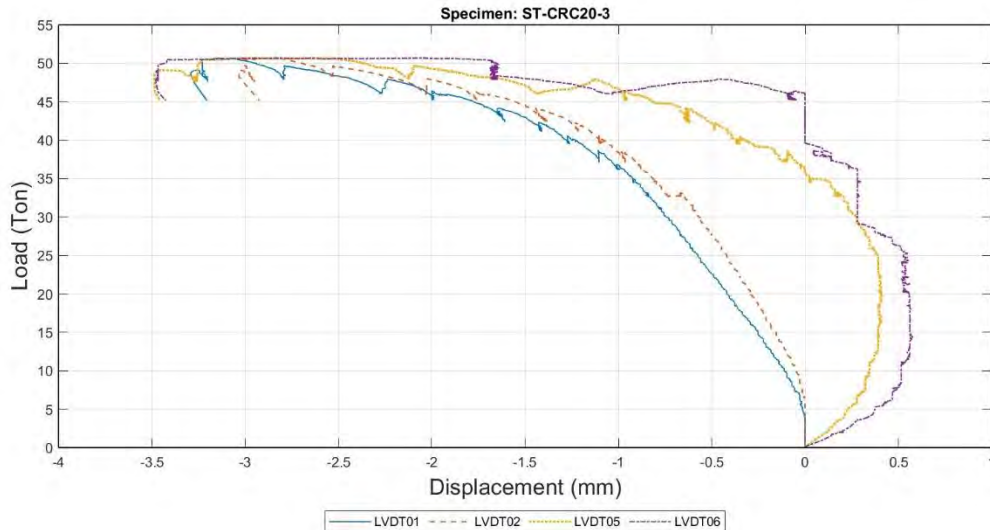
4.1.12 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-CRC20-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-43 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงเข้ากระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 12.02 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 38.60 ตัน และค่าการเสียรูปอยู่ที่ประมาณ 7.45 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพาน (16.82 มิลลิเมตร) และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 50.77 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



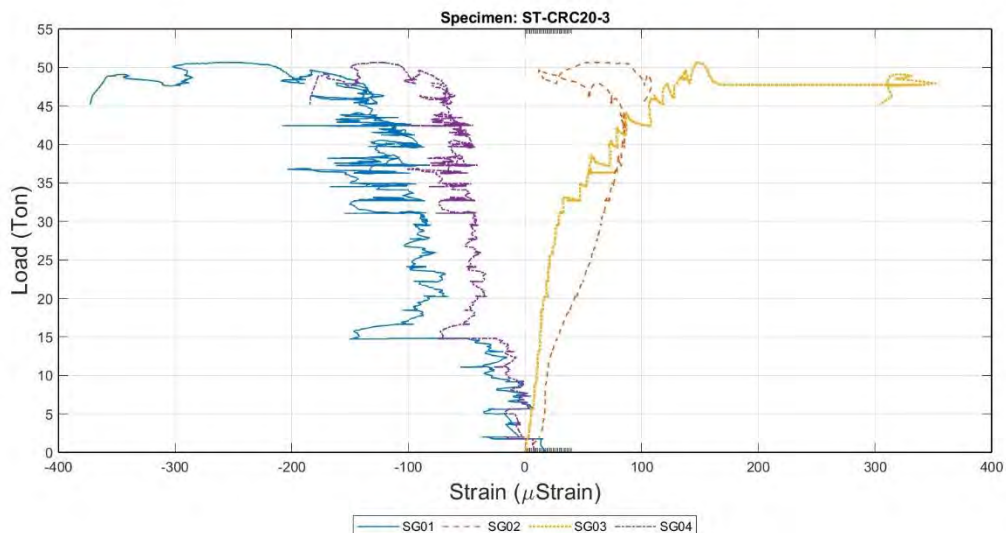
รูปที่ 4-43 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2
ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-4 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสียรูปของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบคงที่ มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 12.02 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 50.77 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมากขึ้น และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ระยะ 3.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-44 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-3)

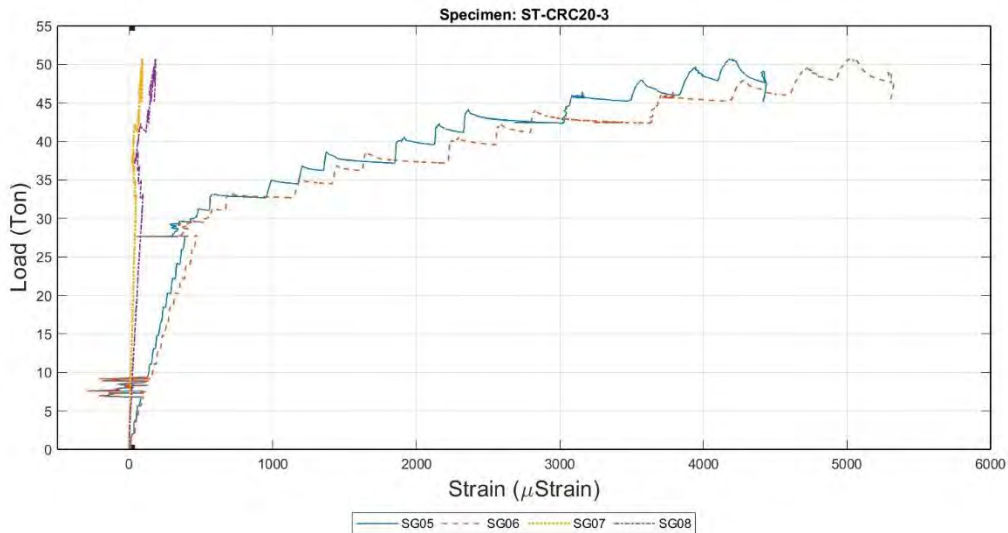
จากการทดสอบรูปที่ 4-5 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG01 ,SG02 ,SG03 และSG04 เท่ากับ 379 ,109 ,358 และ 188 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-45 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-3)

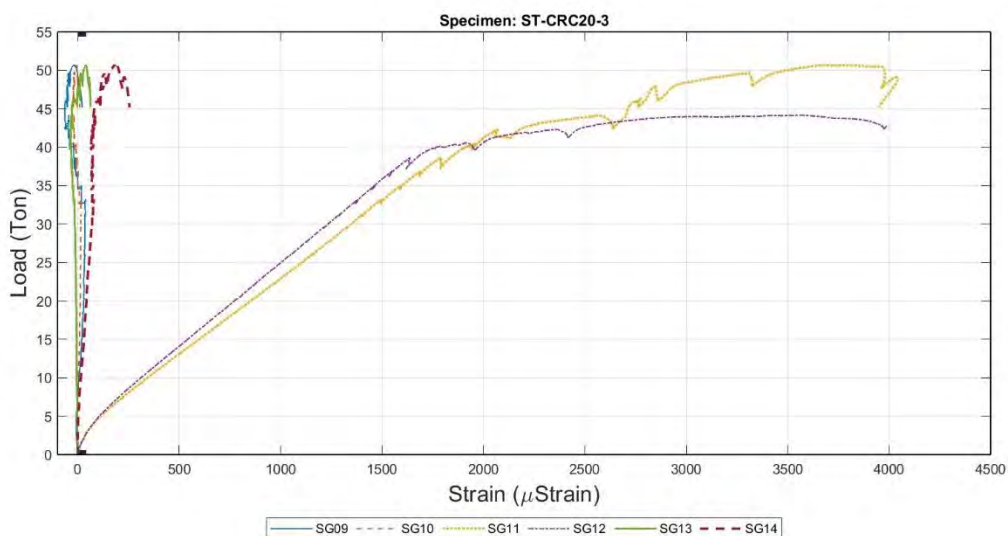
จากการทดสอบรูปที่ 4-6 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำประมาณ 12.02 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์

ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG05 ,SG06 ,SG07 และSG08 เท่ากับ 4461 ,5353 ,92 และ 185 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



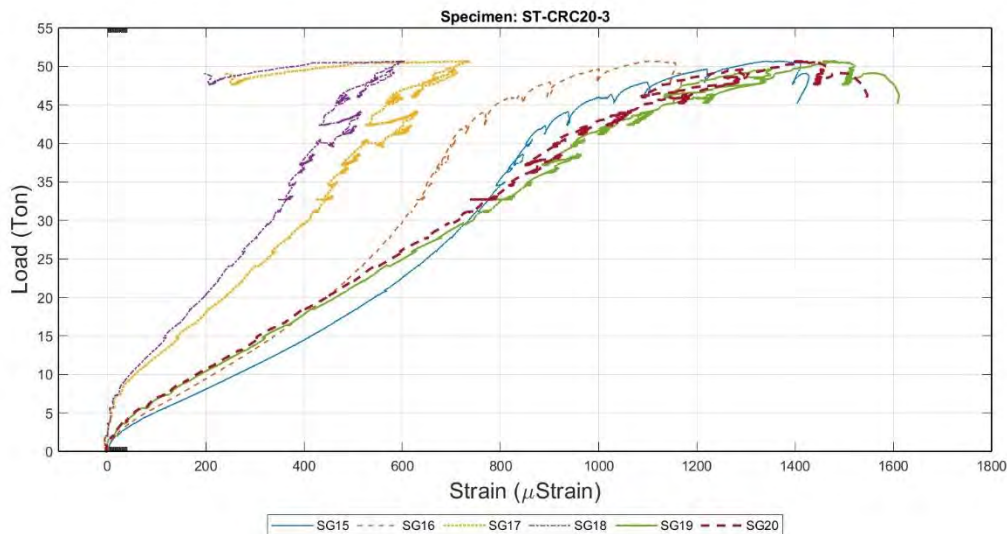
รูปที่ 4-46 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวคอนกรีตด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-7 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG09 ,SG10 ,SG11 ,SG12 ,SG13 และSG14 เท่ากับ 66 ,27 ,4044 ,4001 ,64 และ 255 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-47 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-8 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG15 ,SG16 ,SG17 ,SG18 ,SG19 และSG20 เท่ากับ 1429 ,1171 ,737 ,604 ,1609 และ 1545 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-48 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC20-3)

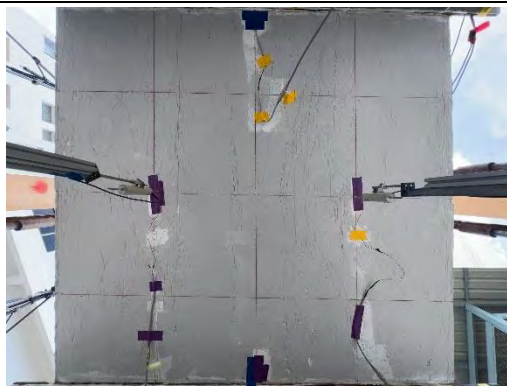
4.2 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง ชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 มีขนาดความกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร หนา 0.15 เมตร ทั้งหมด 6 แผ่นพื้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ จำนวน 3 แผ่นพื้น และประเภทที่ 2 พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด จำนวน 3 แผ่นพื้น

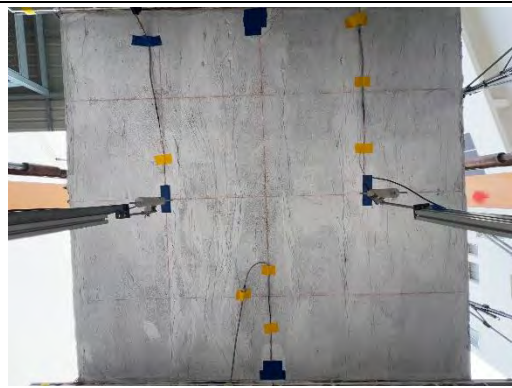
4.2.1 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (ST-NC15-1)



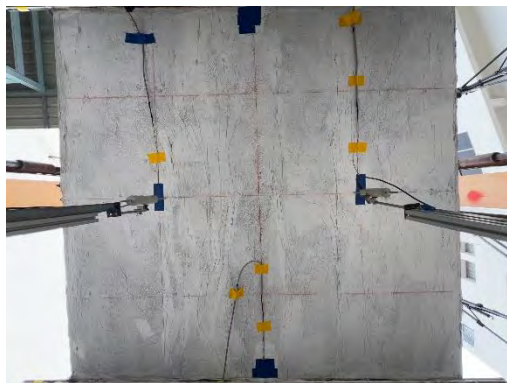
รูปที่ 4-49 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-1)



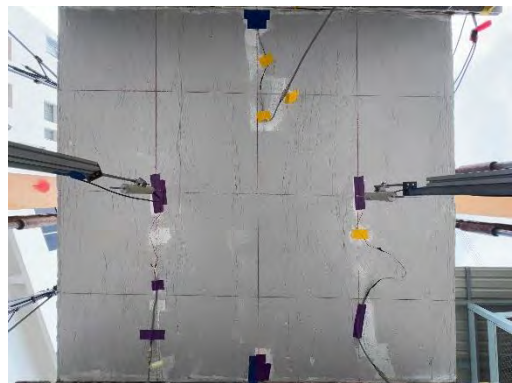
Load 0.00 Tons



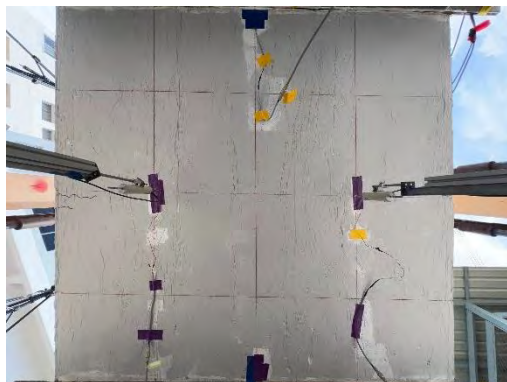
Load 2.06 Tons



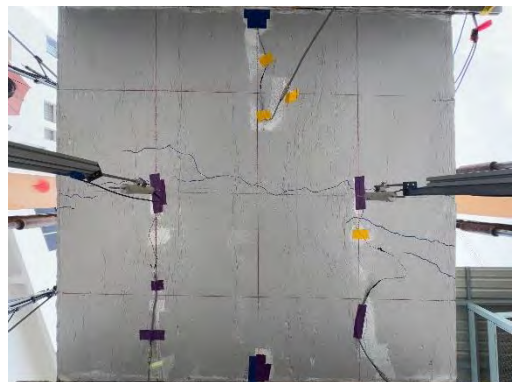
Load 4.10 Tons



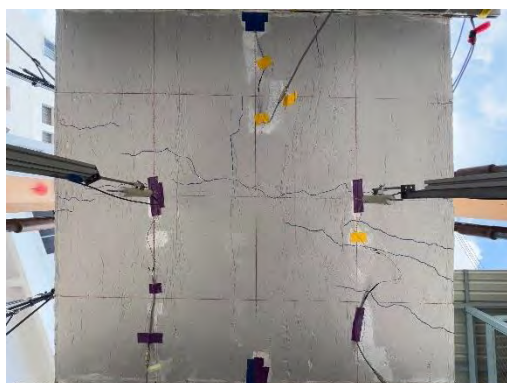
Load 6.03 Tons



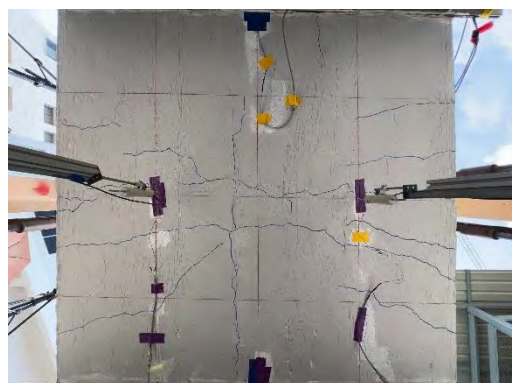
Load 8.17 Tons



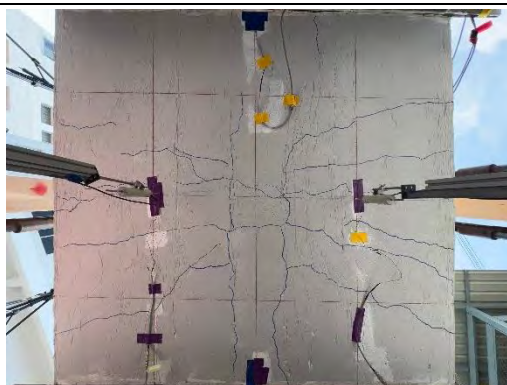
Load 10.10 Tons



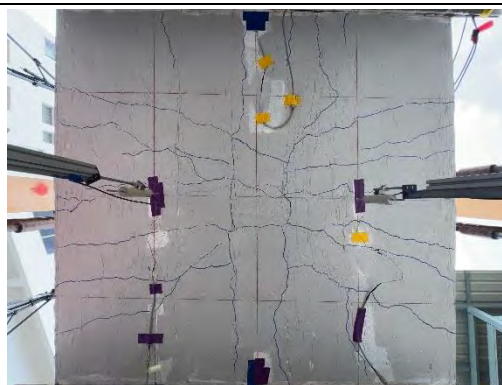
Load 12.16 Tons



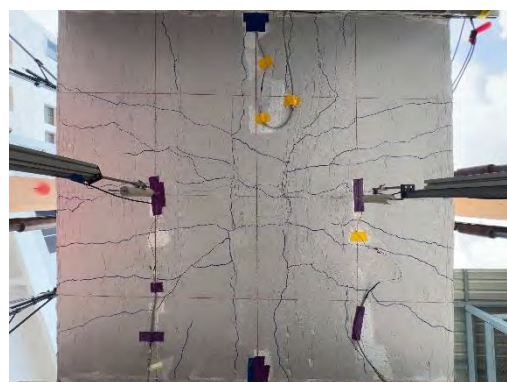
Load 14.01 Tons



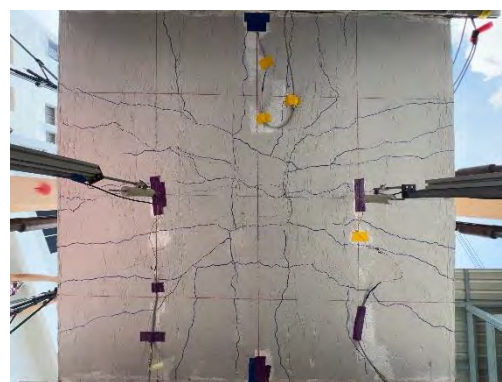
Load 16.02 Tons



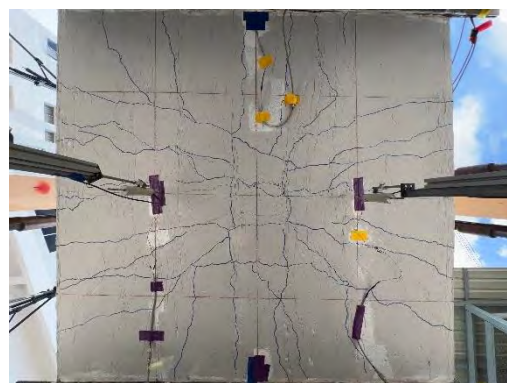
Load 18.06 Tons



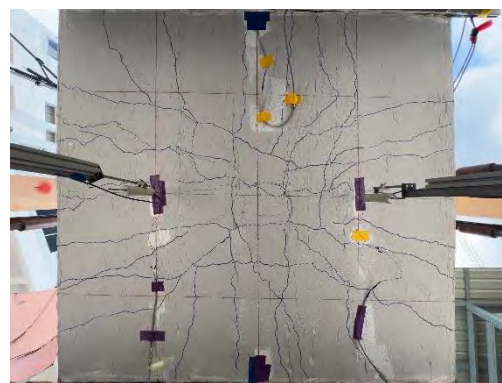
Load 20.31 Tons



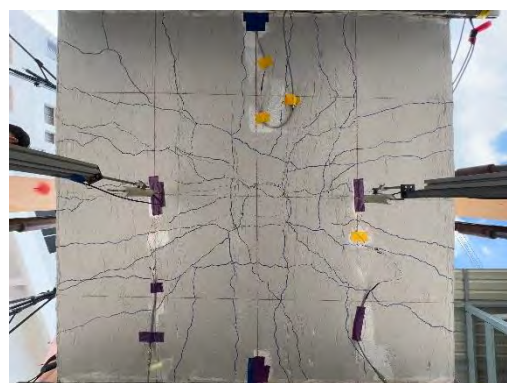
Load 22.05 Tons



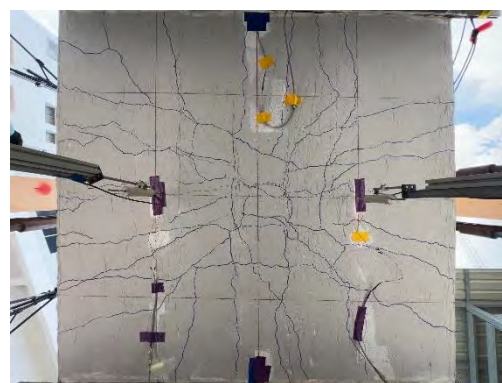
Load 24.00 Tons



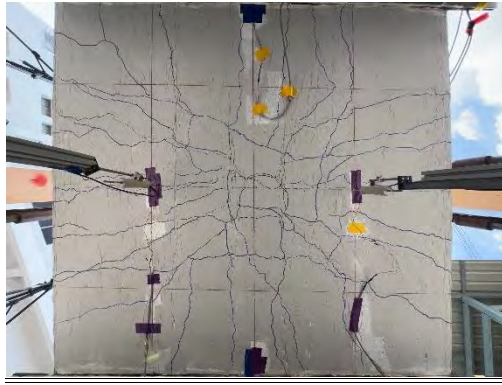
Load 26.09 Tons



Load 30.20 Tons



Load 32.15 Tons

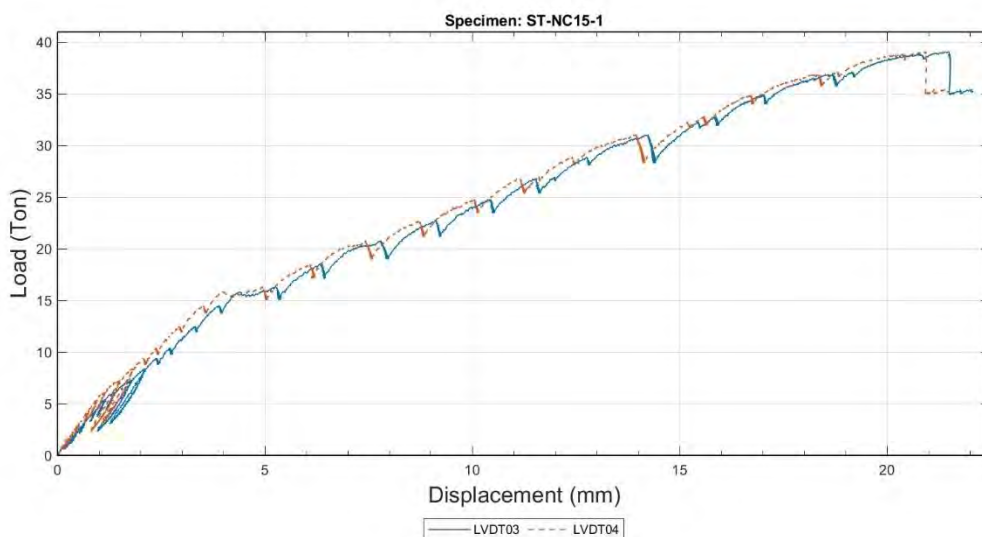


Load 39.08 Tons

รูปที่ 4-50 ยรายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-1)

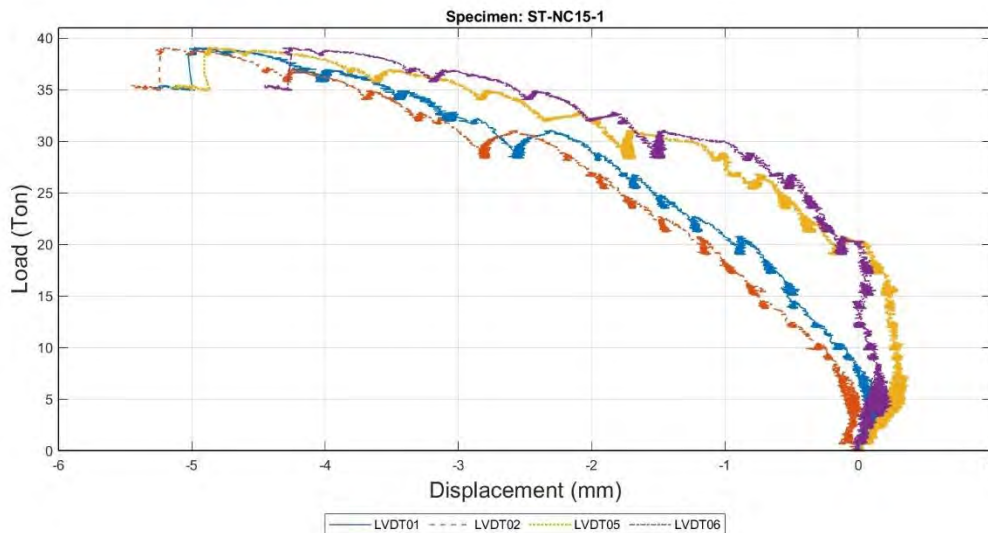
4.2.2 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (ST-NC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-51 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงเข้ากระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 10.10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 15.53 ตัน และค่าการเสีรูปอยู่ที่ประมาณ 4.28 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสีรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพาน 21.48 มิลลิเมตร และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 39.08 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



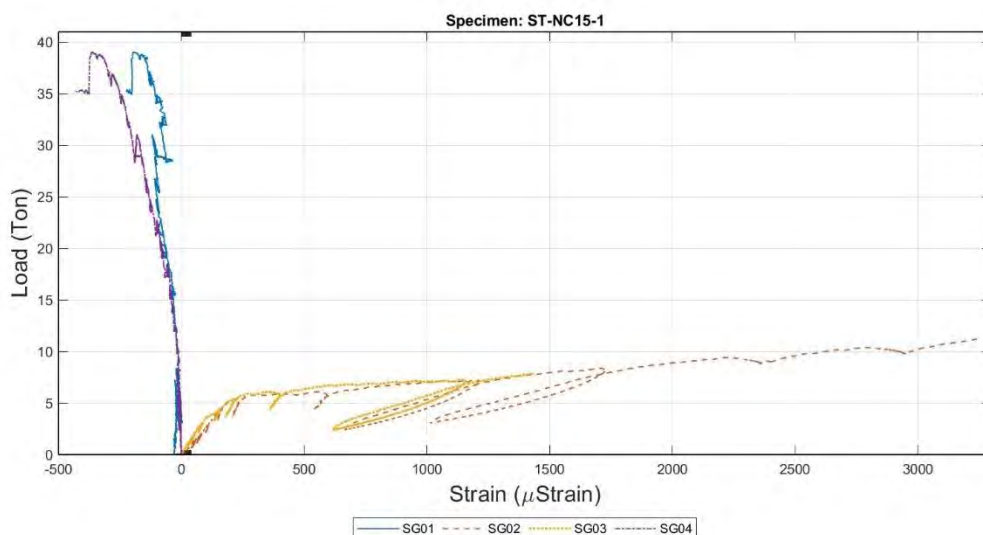
รูปที่ 4-51 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสีรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2
ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-52 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการแอ่นตัวของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 20 ตัน มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 39.08 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและความกว้างมาก และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ -5.19 มิลลิเมตร



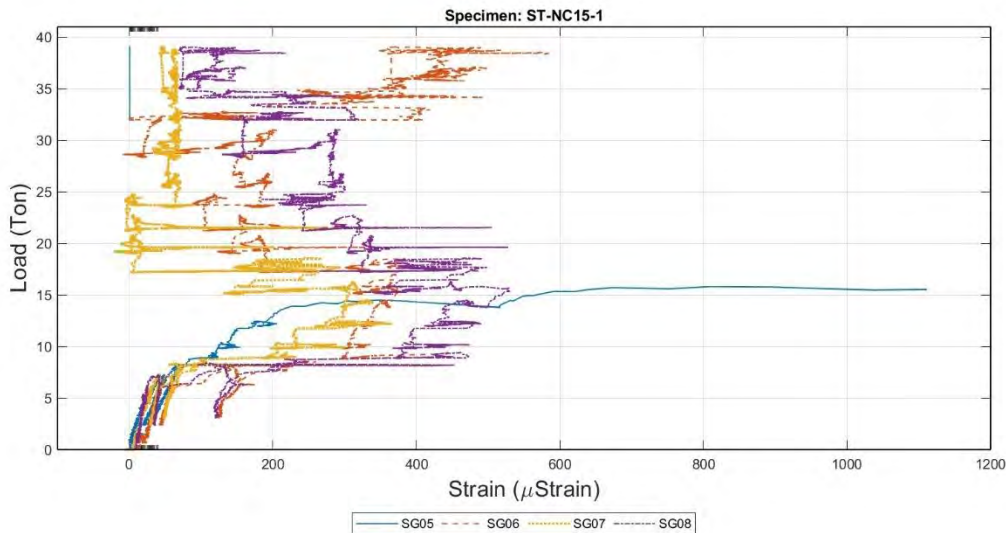
รูปที่ 4-52 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-53 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ SG01, SG02, SG03 และ SG04 คือ -229, 3243, 1440 และ -429 ไมโครเซตรน ตามลำดับ



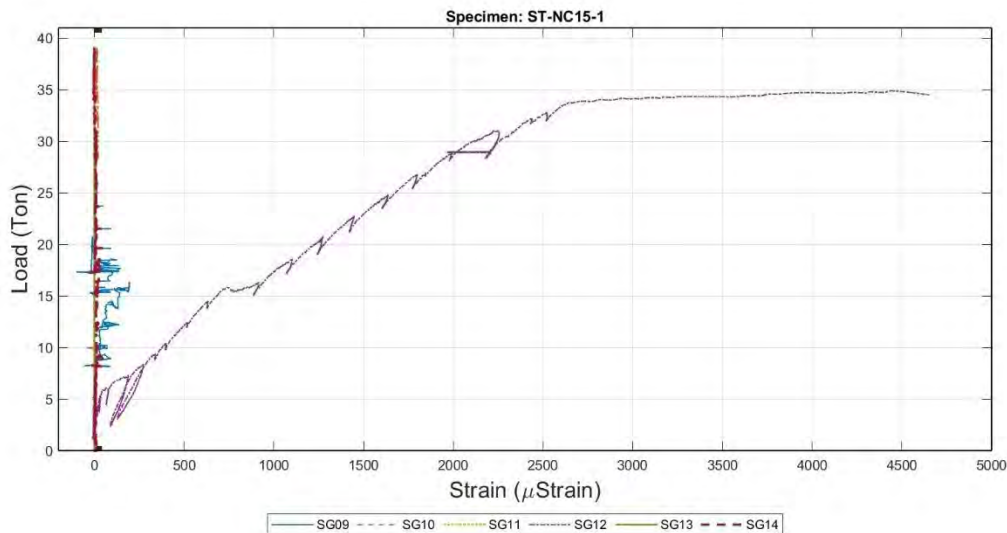
รูปที่ 4-53 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-54 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำประมาณ 8.10 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ SG05, SG06, SG07 และ SG08 คือ 1112, 584, 366 และ 530 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



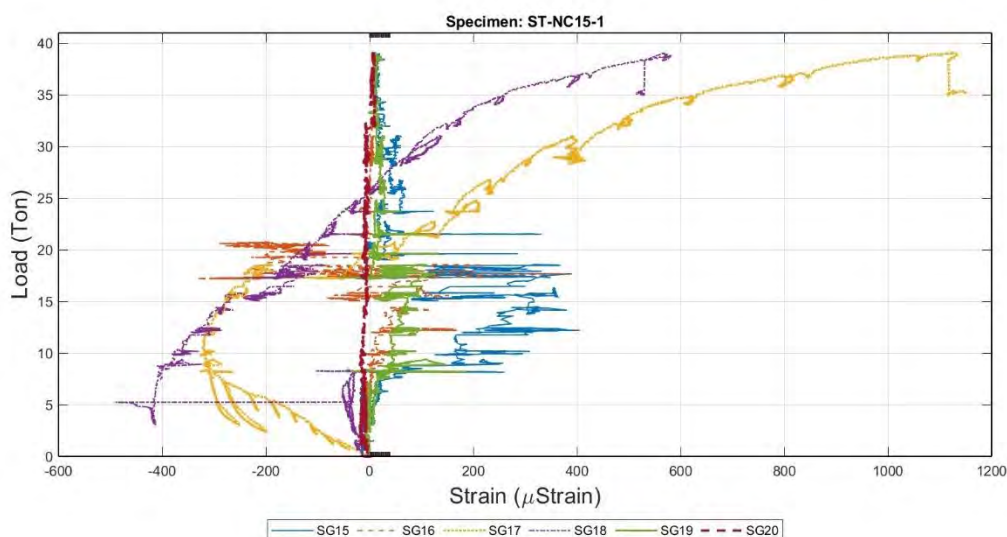
รูปที่ 4-54 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-55 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมที่สูงที่สุดที่ SG09, SG10, SG11, SG12, SG13 และ SG14 คือ 196, -54, 0, 4652, 0 และ 56 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



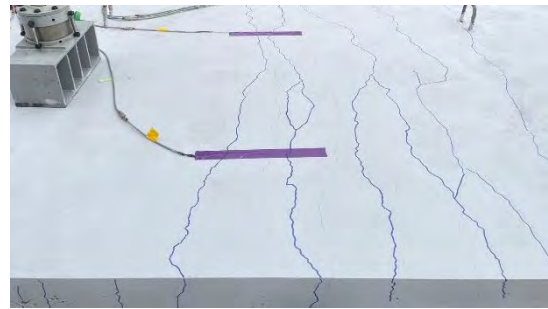
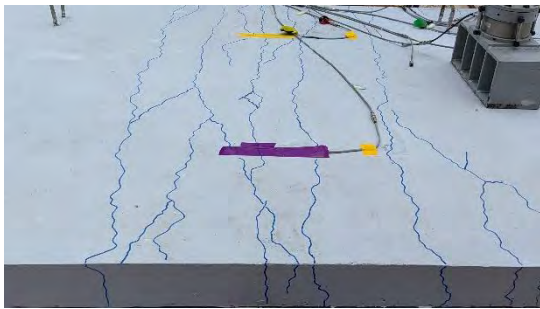
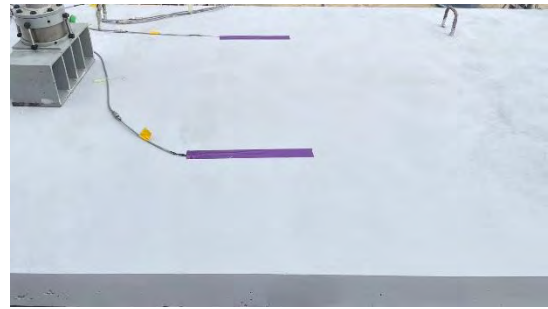
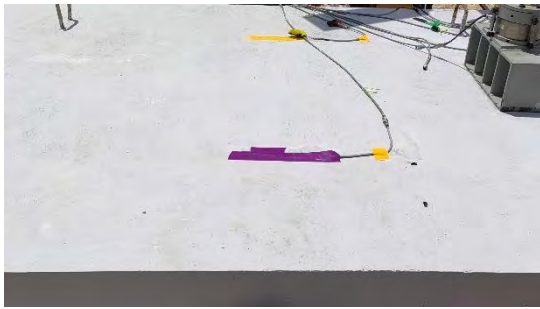
รูปที่ 4-55 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-56 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมที่สูงที่สุดที่ SG15, SG16, SG17, SG18, SG19 และ SG20 คือ 406, 381, 1152 , 582, 187 และ -21 ไมโครสเตรน ตามลำดับ

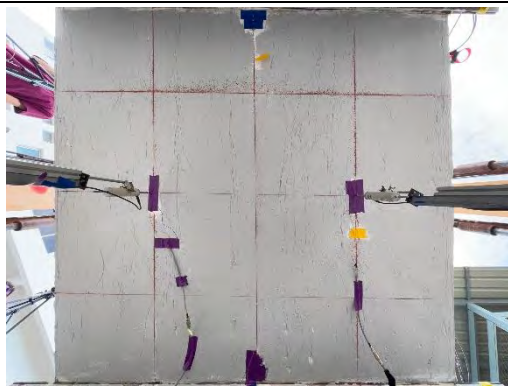


รูปที่ 4-56 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-1)

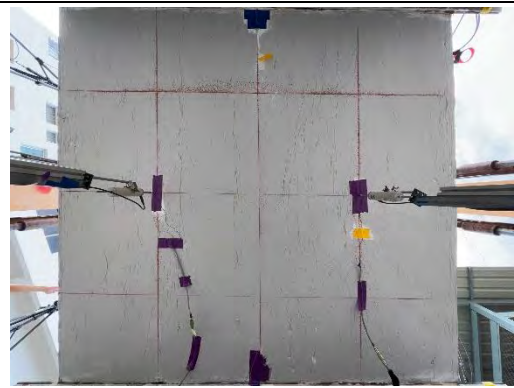
4.2.3 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (ST-NC15-2)



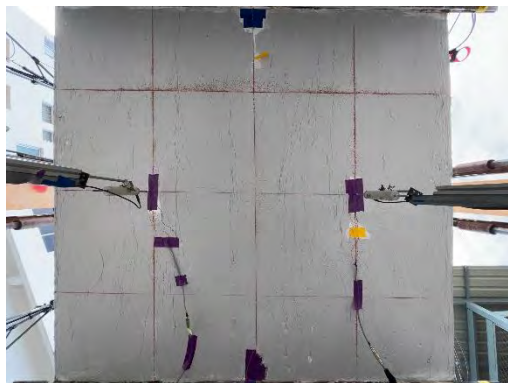
รูปที่ 4-57 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-2)



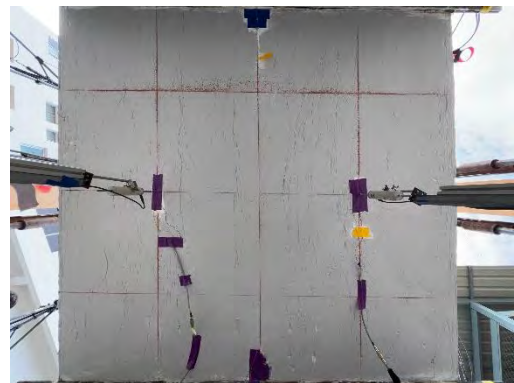
Load 0.00 Tons



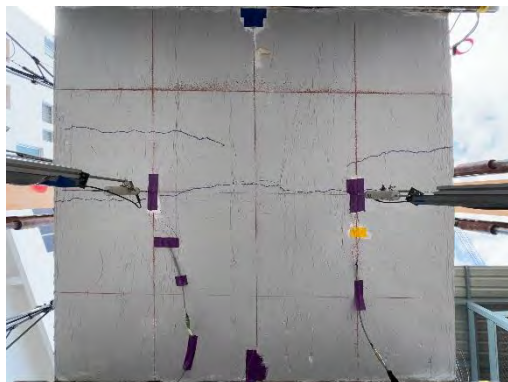
Load 2.03 Tons



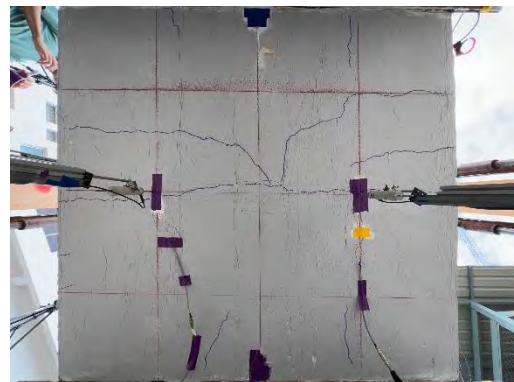
Load 4.05 Tons



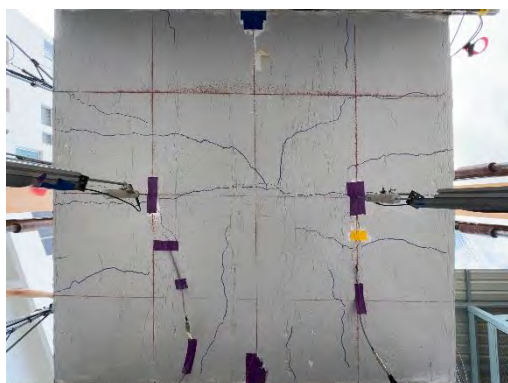
Load 6.00 Tons



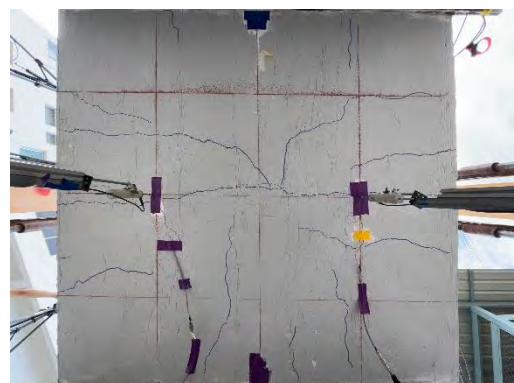
Load 8.06 Tons



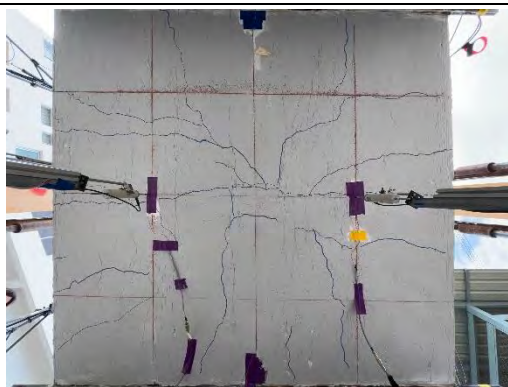
Load 10.05 Tons



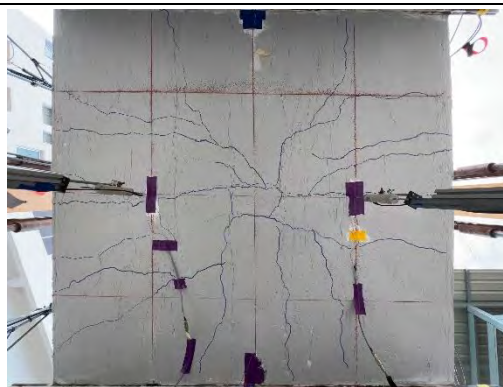
Load 12.00 Tons



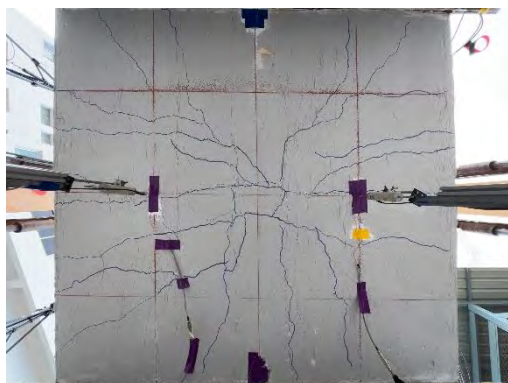
Load 14.09 Tons



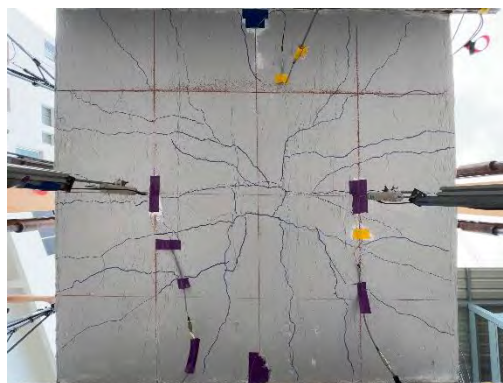
Load 16.10 Tons



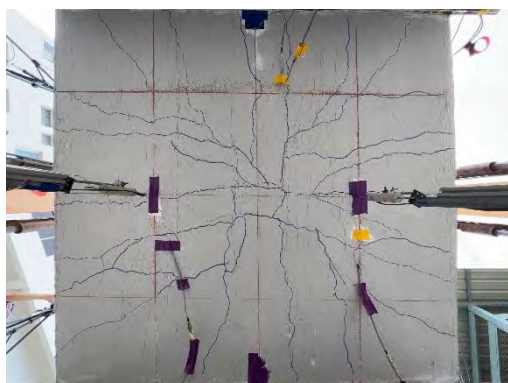
Load 18.00 Tons



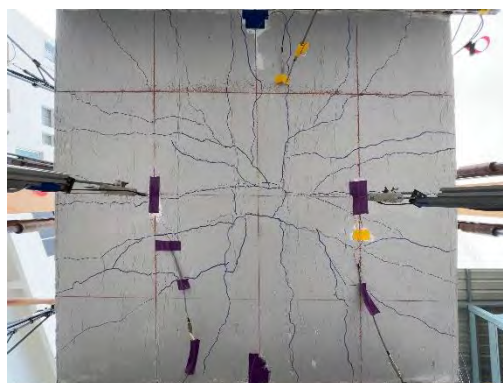
Load 20.01 Tons



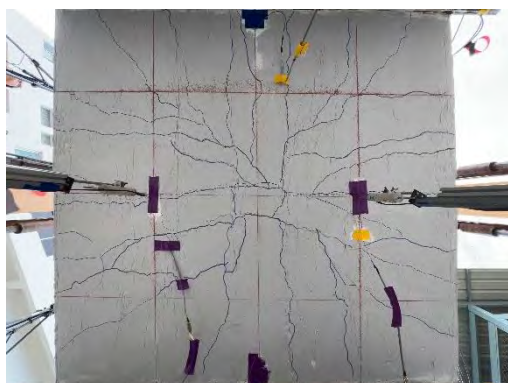
Load 22.10 Tons



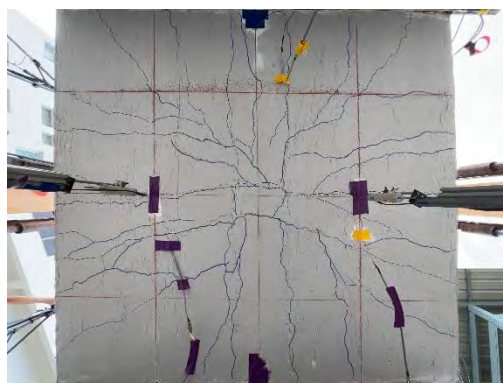
Load 24.13 Tons



Load 26.04 Tons



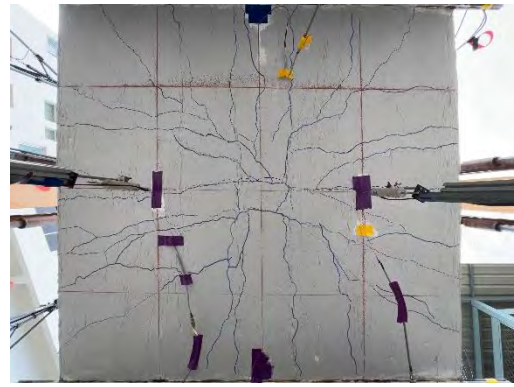
Load 28.05 Tons



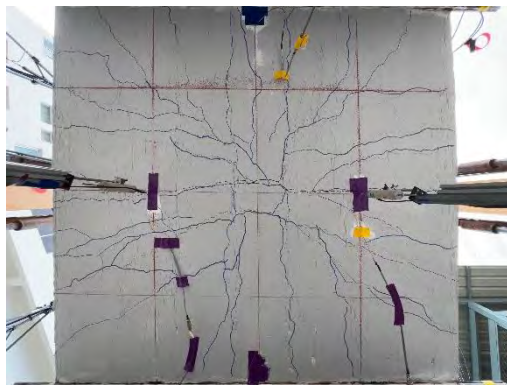
Load 30.00 Tons



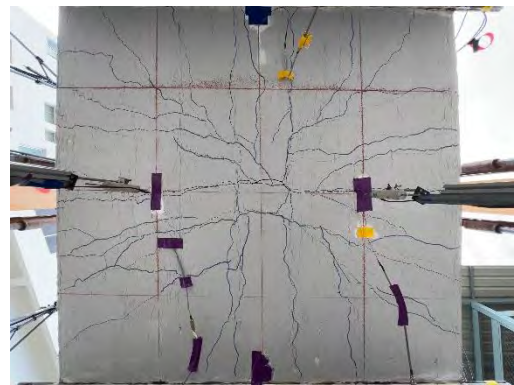
Load 32.01 Tons



Load 34.13 Tons



Load 36.01 Tons

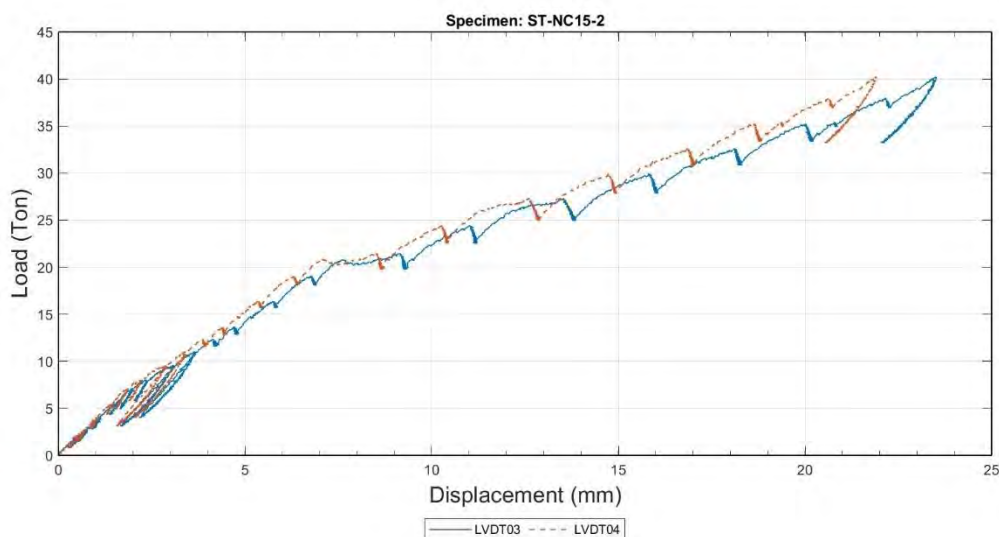


Load 40.21 Tons

รูปที่ 4-58 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-2)

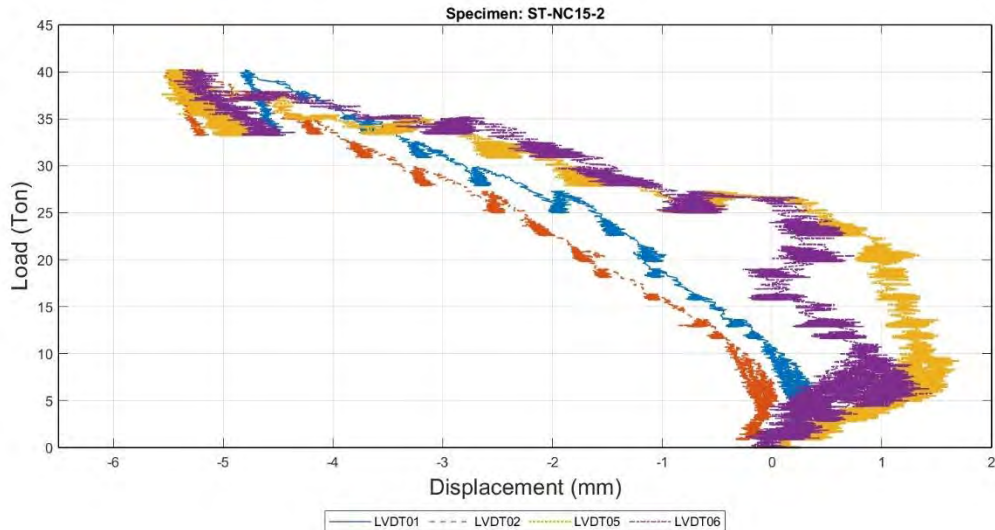
4.2.4 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (ST-NC15-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-59 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงเข้ากระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 8.06 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 20.52 ตัน และค่าการเสียรูปอยู่ที่ประมาณ 7.62 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพาน 23.51 มิลลิเมตร และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 40.21 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



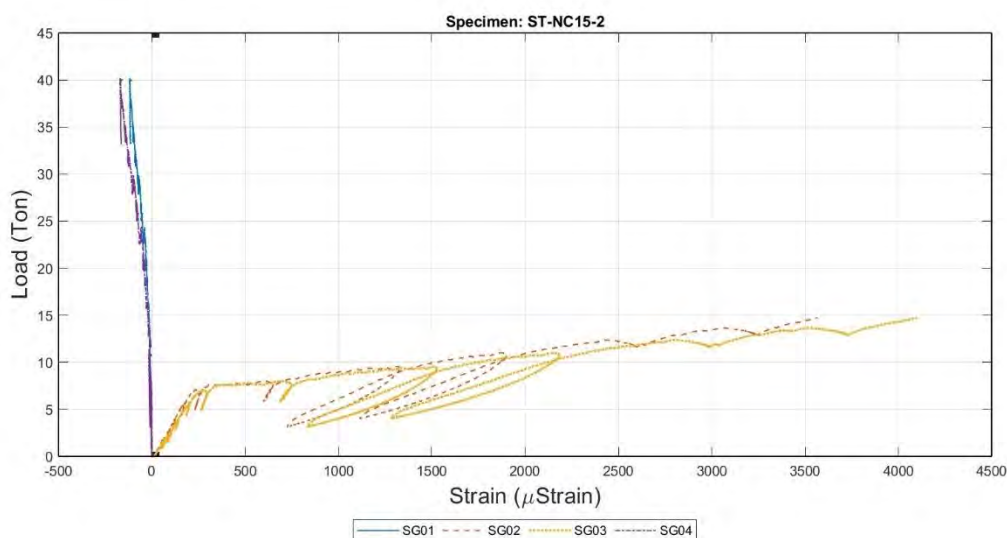
รูปที่ 4-59 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-60 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการแอ่นตัวของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 25 ตัน มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 40.21 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมาก และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ -5.49 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-60 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-2)

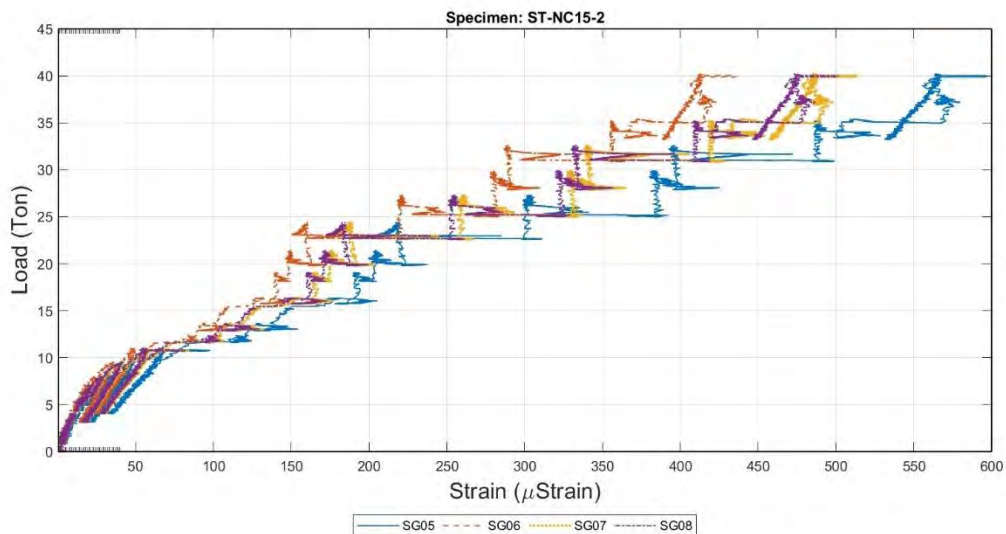
จากการทดสอบรูปที่ 4-61 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ SG01, SG02, SG03 และ SG04 คือ -120, 3567, 4103 และ -171 ไมโครเสตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-61 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-62 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำ

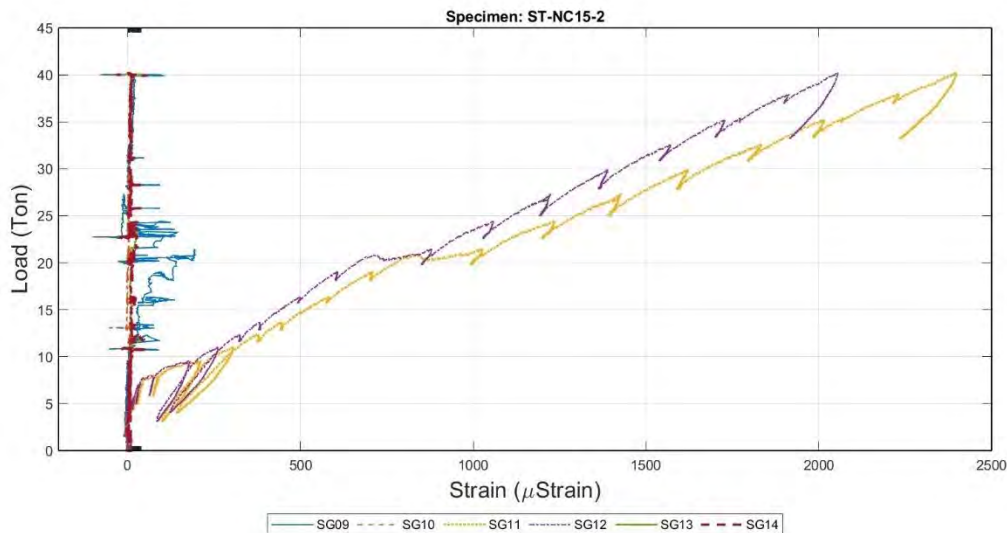
ประมาณ 8.10 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์
ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ SG05, SG06, SG07 และ SG08 คือ 597, 436,
513 และ 501 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-62 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวคอนกรีตด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-2)

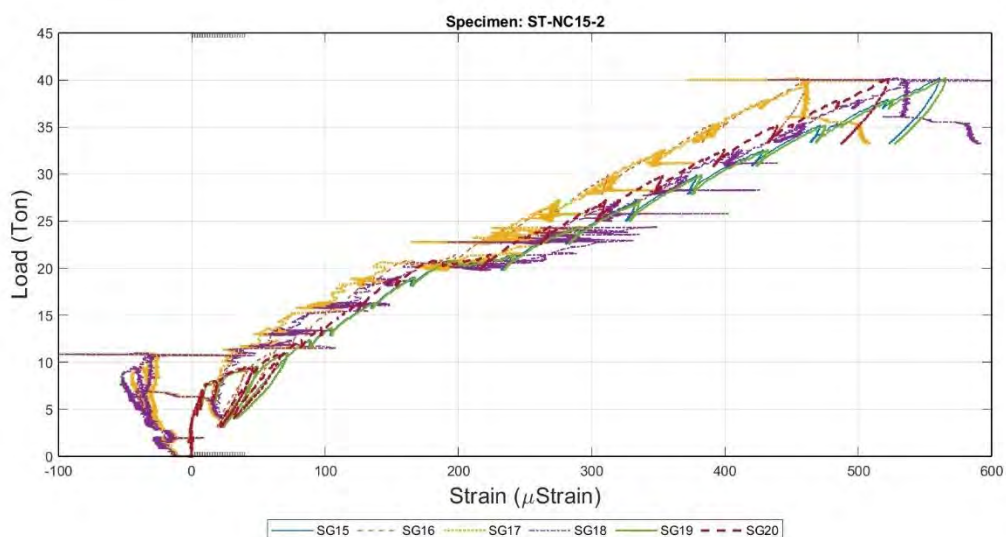
จากการทดสอบรูปที่ 4-63 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่
เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่า
ความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมที่สูงที่สุดที่ SG09, SG10, SG11, SG12, SG13 และ SG14 คือ 196,
-54, 2400 และ 2057 ไมโครสเตรน ตามลำดับ





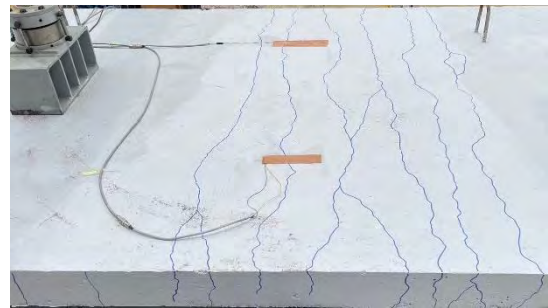
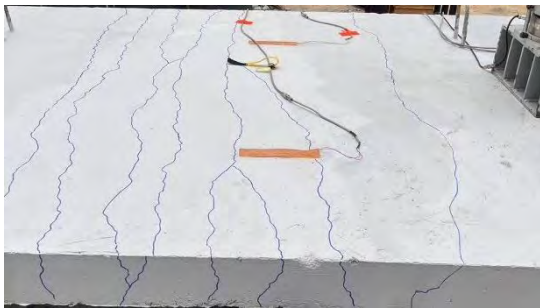
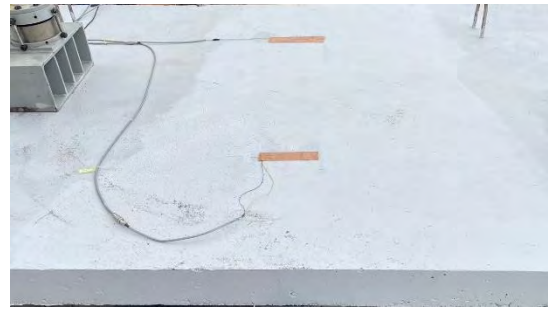
รูปที่ 4-63 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-64 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมที่สูงที่สุดที่ SG15, SG16, SG17, SG18, SG19 และ SG20 คือ 561, 463, 518, 602, 566 และ 523 ไมโครสเตรน ตามลำดับ

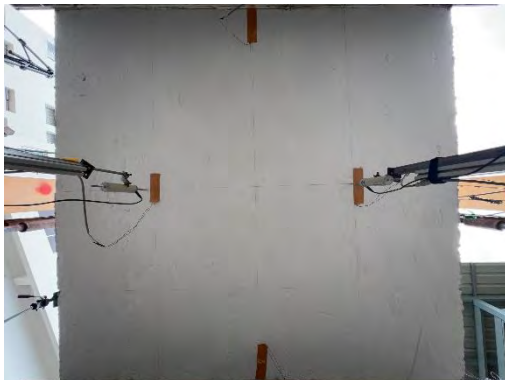


รูปที่ 4-64 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-2)

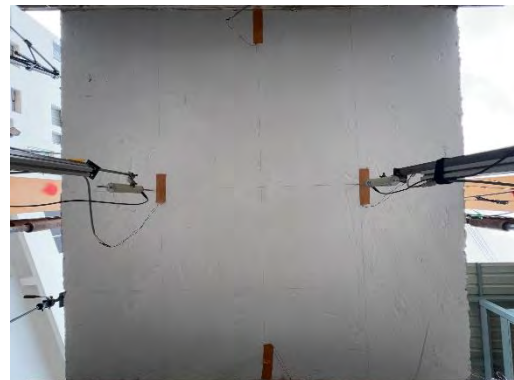
4.2.5 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (ST-NC15-3)



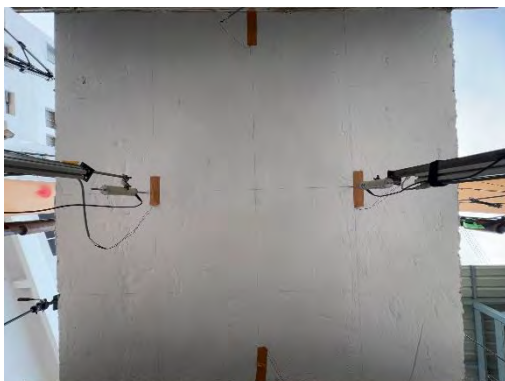
รูปที่ 4-65 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-3)



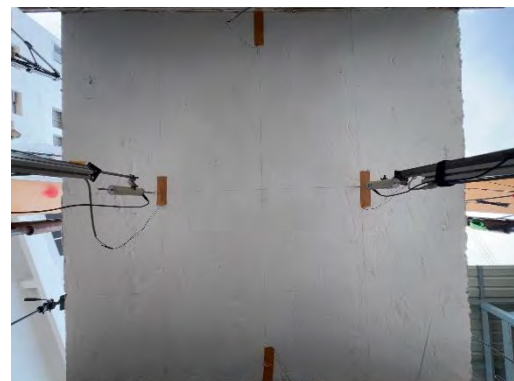
Load 0.00 Tons



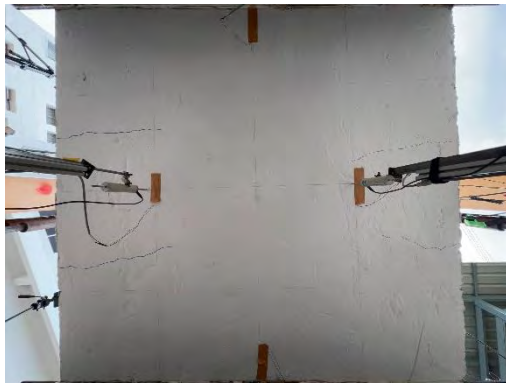
Load 2.02 Tons



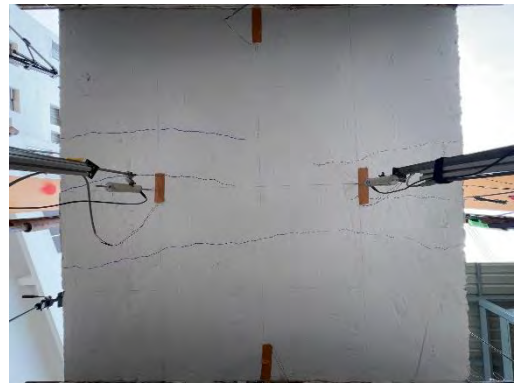
Load 4.05 Tons



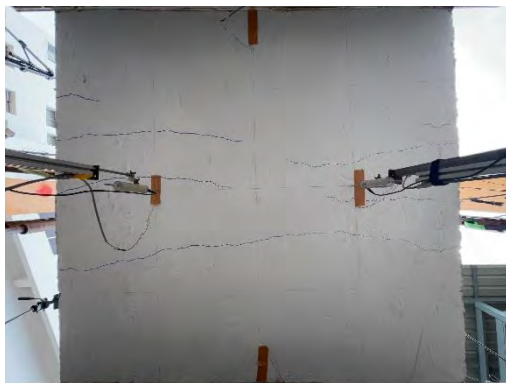
Load 6.03 Tons



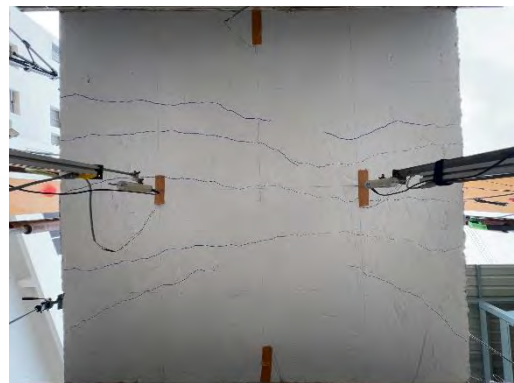
Load 8.00 Tons



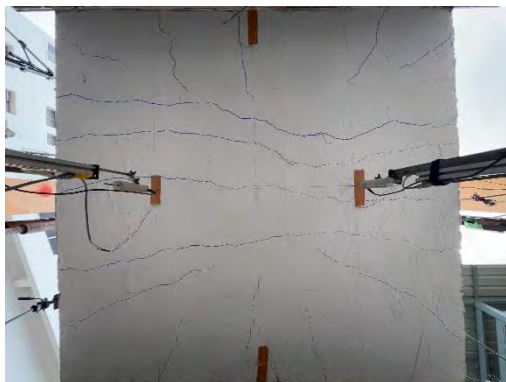
Load 10.08 Tons



Load 12.01 Tons



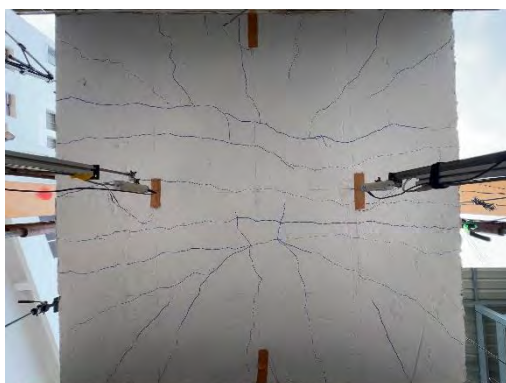
Load 14.06 Tons



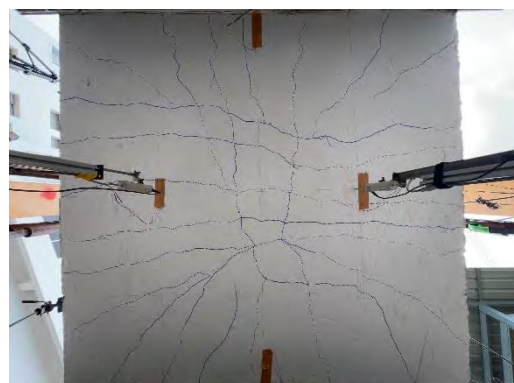
Load 16.02 Tons



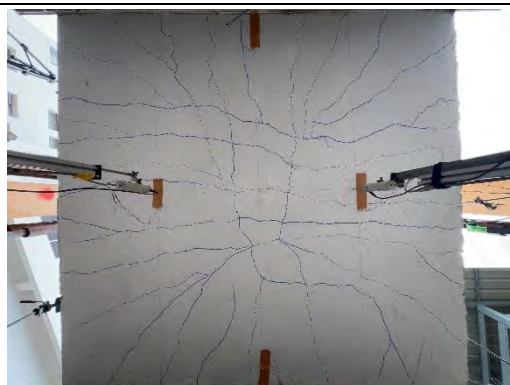
Load 18.11 Tons



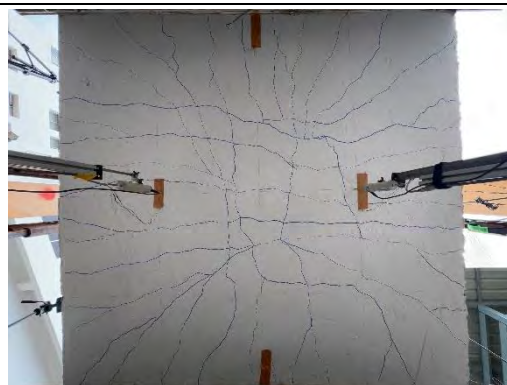
Load 20.07 Tons



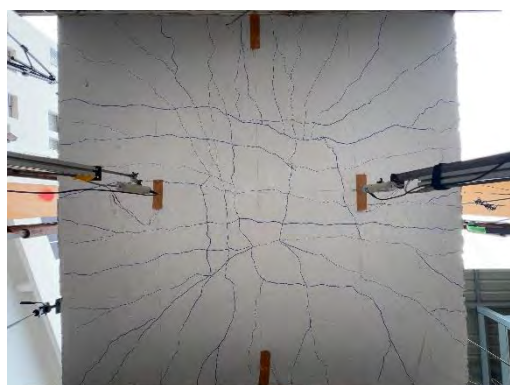
Load 22.16 Tons



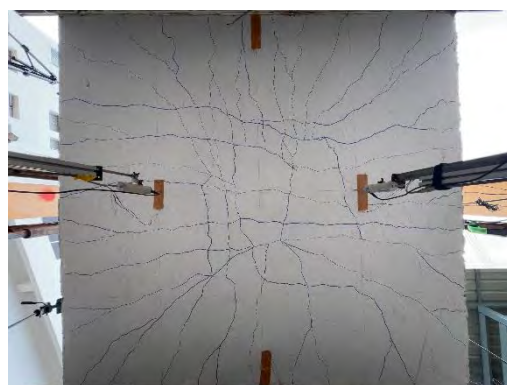
Load 24.07 Tons



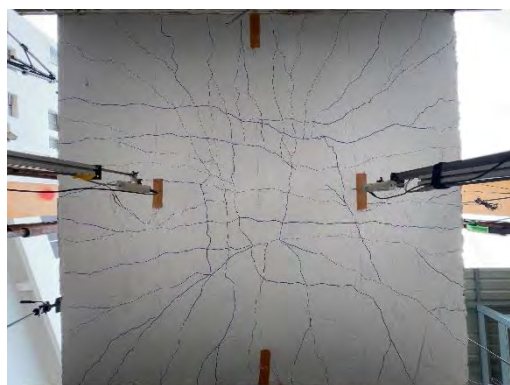
Load 26.19 Tons



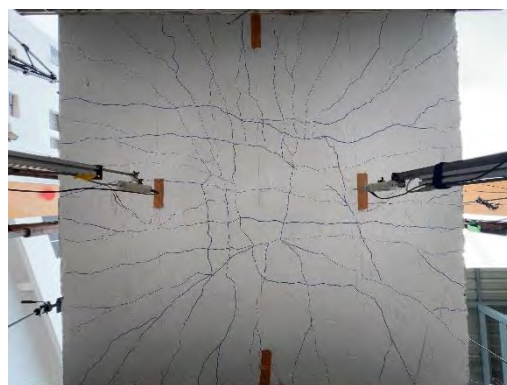
Load 28.03 Tons



Load 30.09 Tons



Load 32.01 Tons

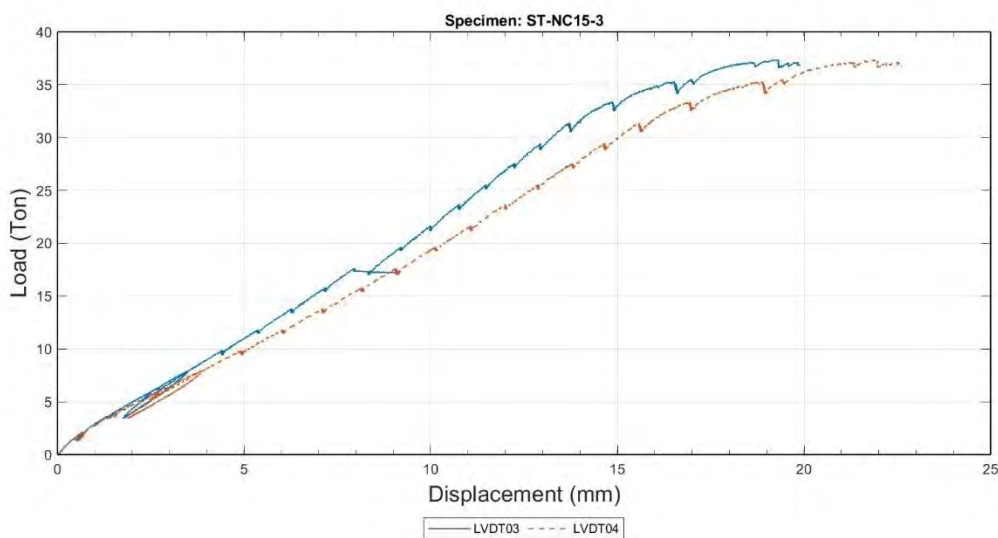


Load 37.36 Tons

รูปที่ 4-66 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-3)

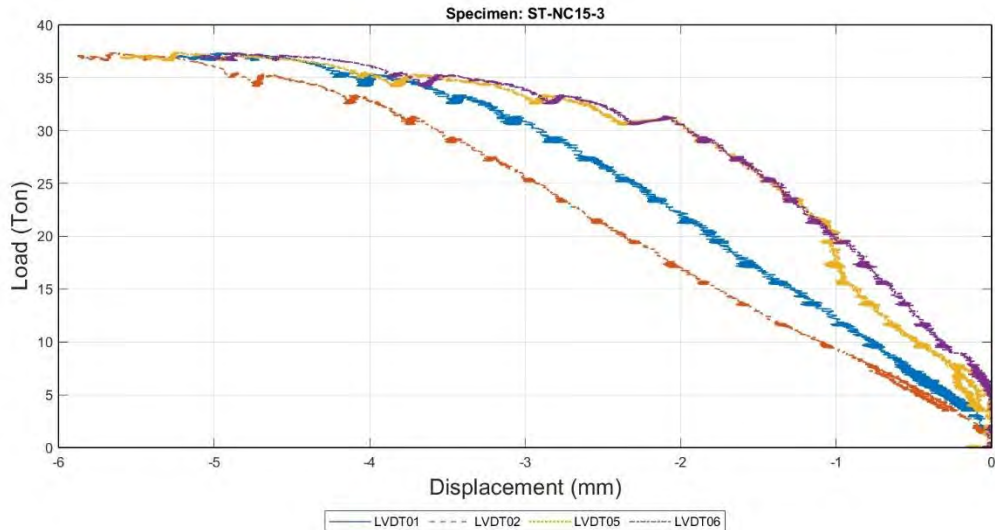
4.2.6 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (ST-NC15-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-67 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงกระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 8.00 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 17.86 ตัน และค่าการเสียรูปอยู่ที่ประมาณ 8.65 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพาน 21.93 มิลลิเมตร และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 37.36 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



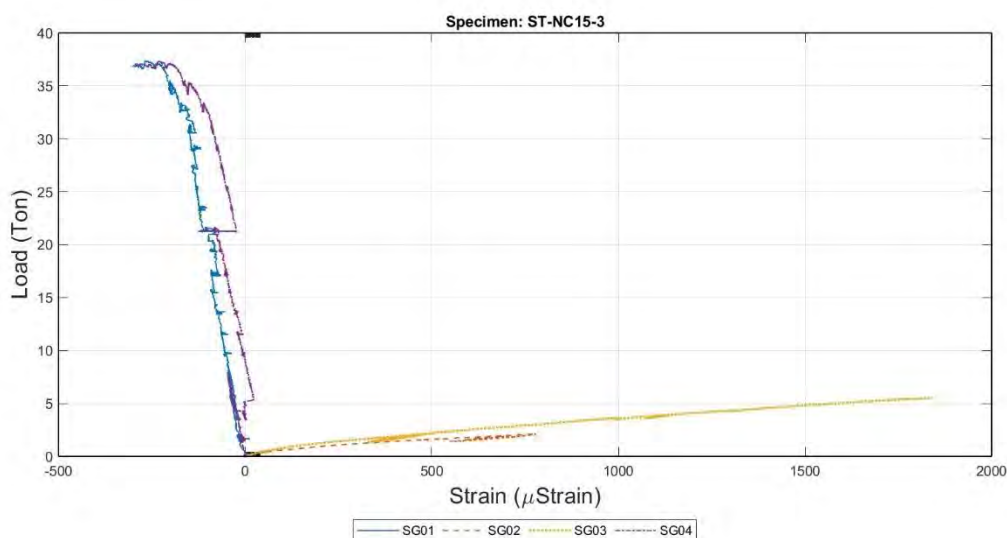
รูปที่ 4-67 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-68 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการแอ่นตัวของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 8.00 ตัน มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 37.36 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมาก และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ 5.27 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-68 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-3)

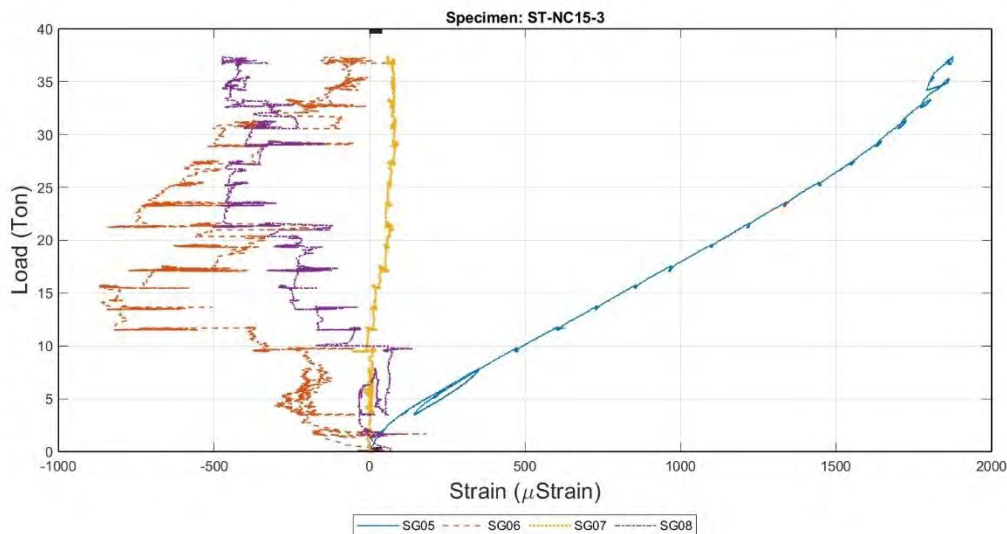
จากการทดสอบรูปที่ 4-69 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ SG01, SG02, SG03 และ SG04 คือ 301, 779, 1843 และ 297 ไมโครเสตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-69 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-3)

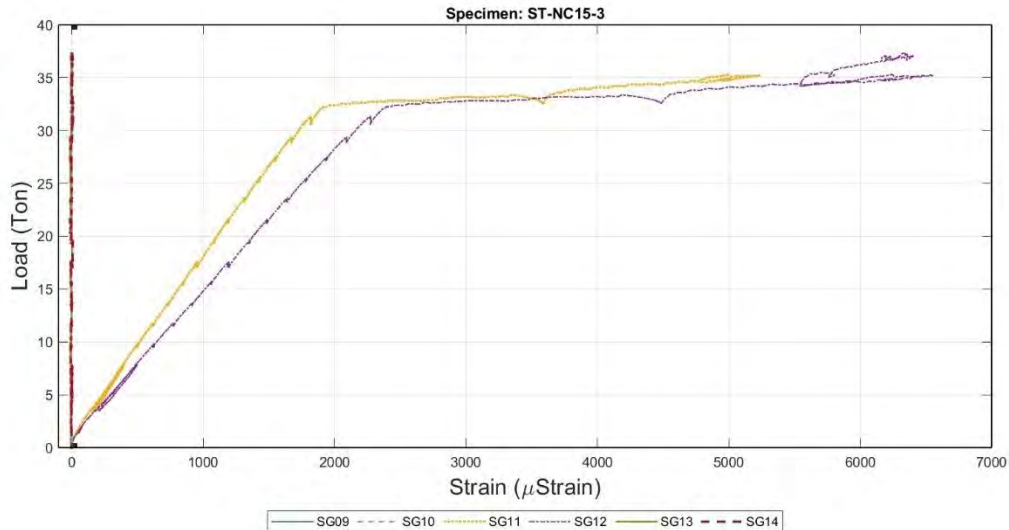
จากการทดสอบรูปที่ 4-70 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำ

ประมาณ 8.10 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์
ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ SG05, SG06, SG07 และ SG08 คือ 1876,
870, 93 และ 506 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



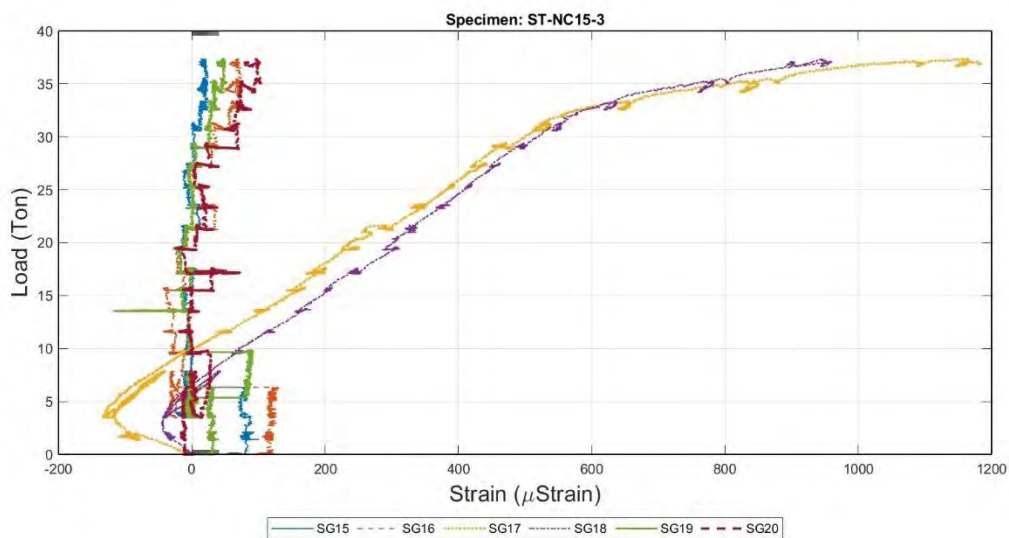
รูปที่ 4-70 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวคอนกรีตด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-71 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่
เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่า
ความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมที่สูงที่สุดที่ SG09, SG10, SG11, SG12, SG13 และ SG14 คือ 25,
21, 5242, 6552, 12 และ 14 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



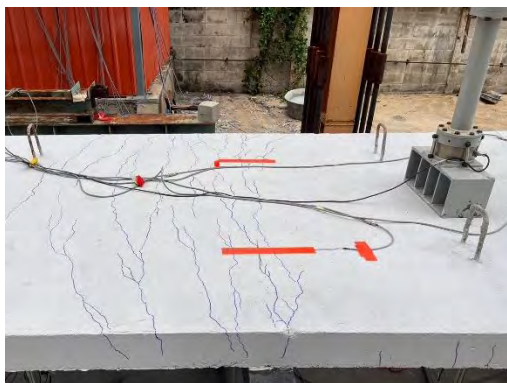
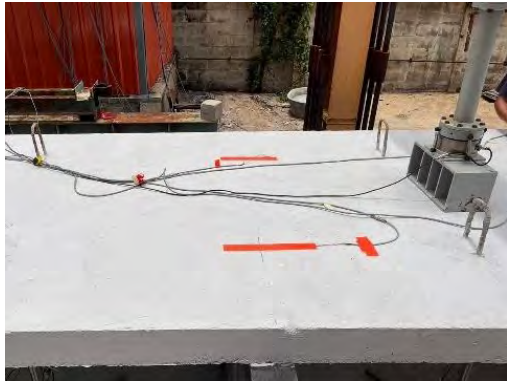
รูปที่ 4-71 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-72 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมที่สูงที่สุดที่ SG15, SG16, SG17, SG18, SG19 และ SG20 คือ 156, 131, 1184, 961, 117 และ 109 ไมโครสเตรน ตามลำดับ

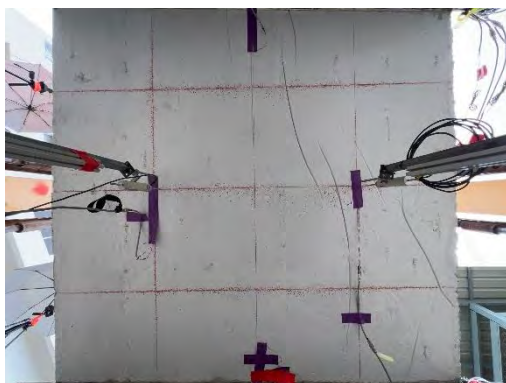


รูปที่ 4-72 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-NC15-3)

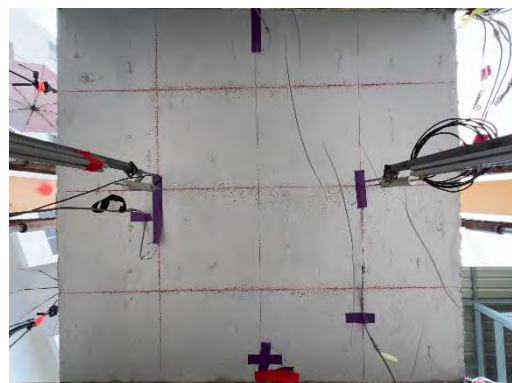
4.2.7 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่า บดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-CRC15-1)



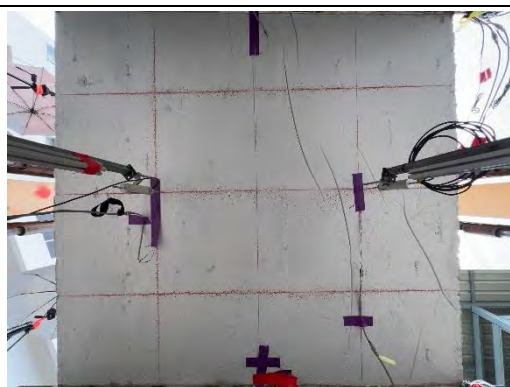
รูปที่ 4-73 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-1)



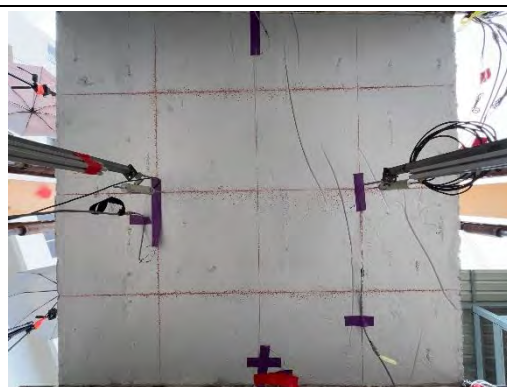
Load 0.00 Tons



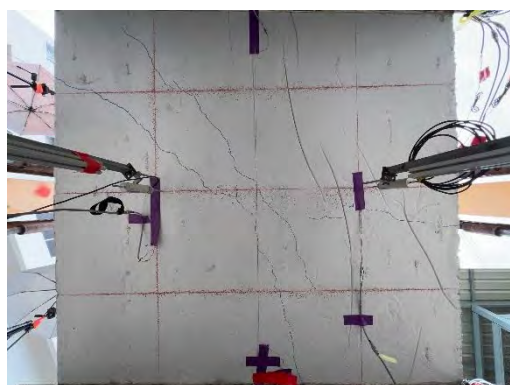
Load 2.05 Tons



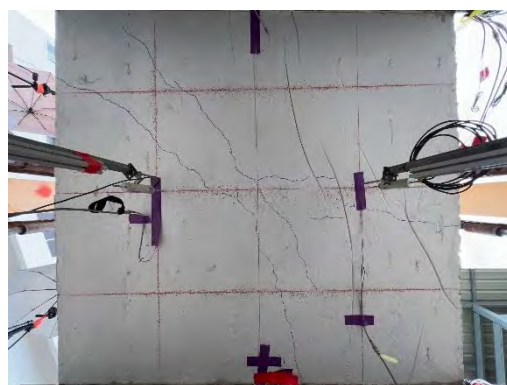
Load 4.14 Tons



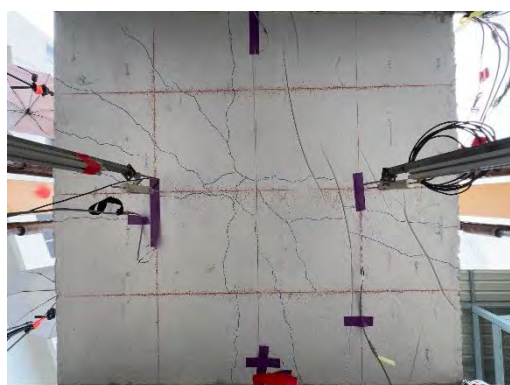
Load 6.01 Tons



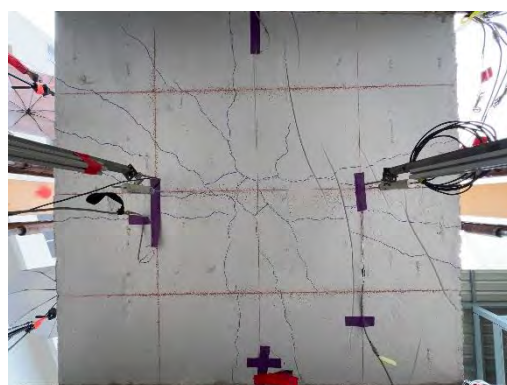
Load 8.02 Tons



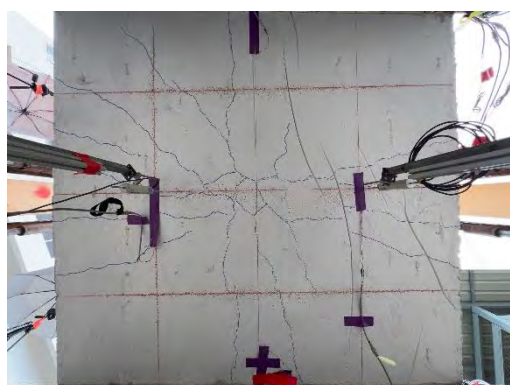
Load 10.01 Tons



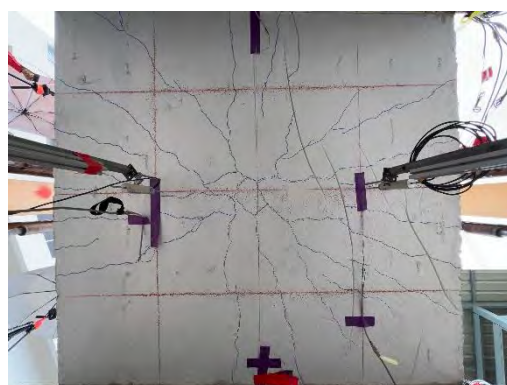
Load 12.00 Tons



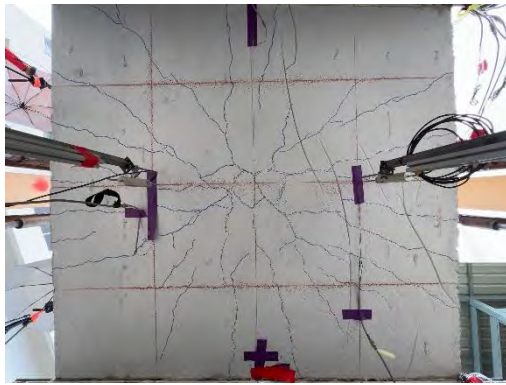
Load 14.15 Tons



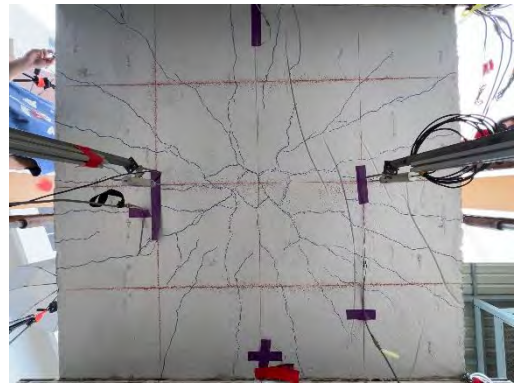
Load 16.02 Tons



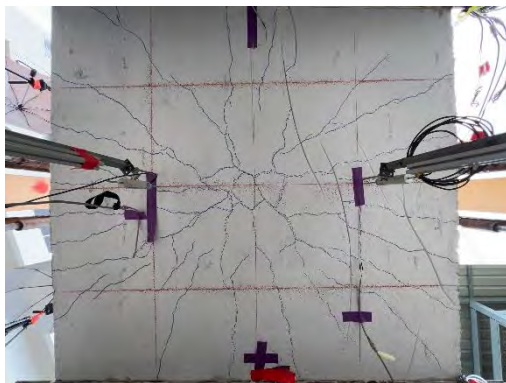
Load 18.01 Tons



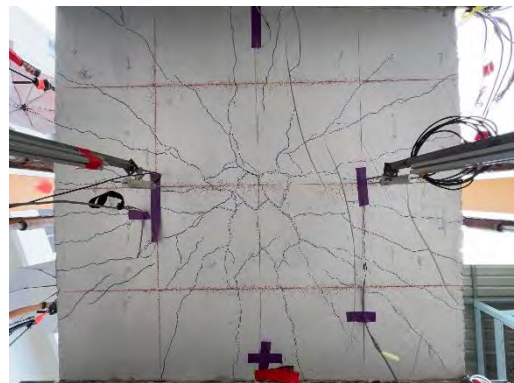
Load 20.01 Tons



Load 22.02 Tons



Load 24.05 Tons

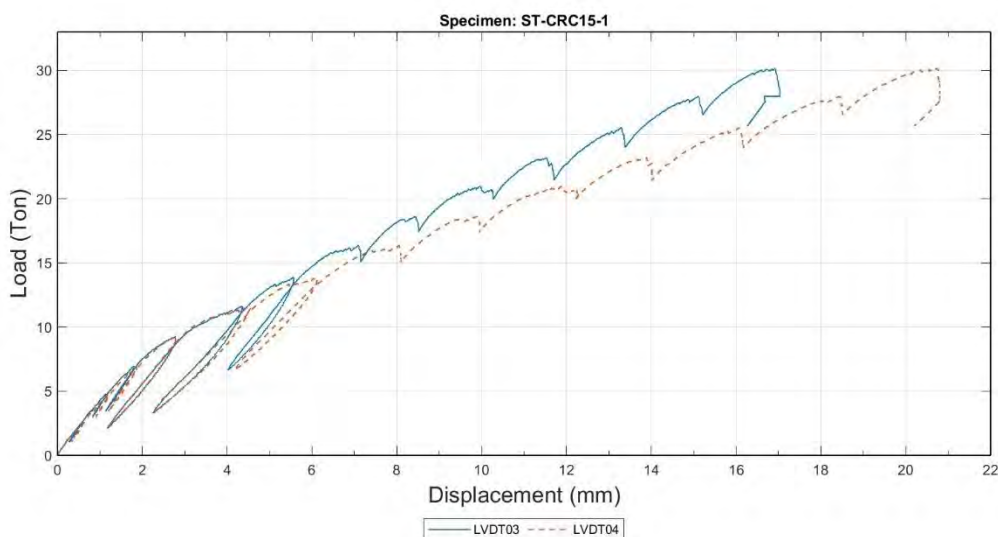


Load 30.15 Tons

รูปที่ 4-74 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-1)

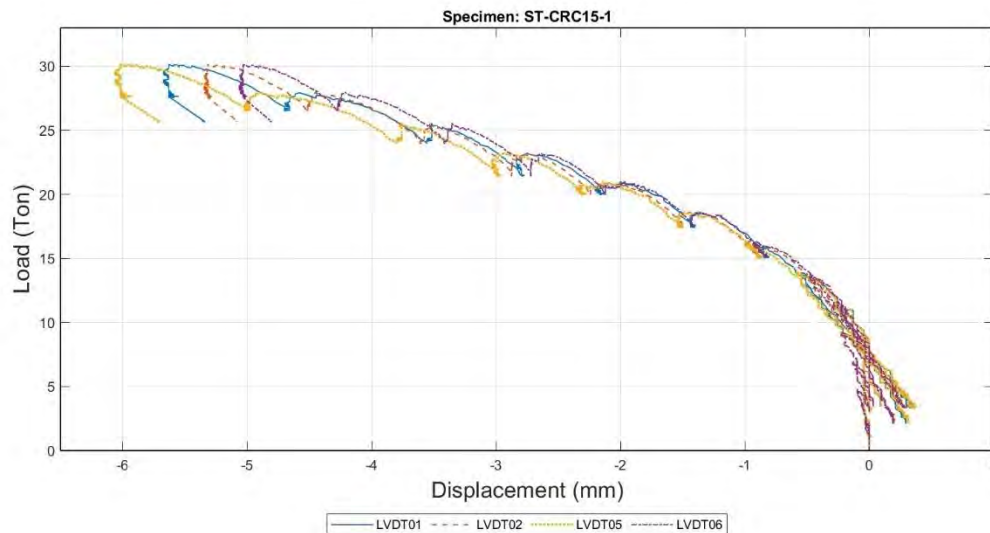
4.2.8 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-CRC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-75 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงกระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 8.02 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 9.06 ตัน และค่าการเสียรูปอยู่ที่ประมาณ 2.77 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพานเท่ากับ 20.73 มิลลิเมตร และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 30.15 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



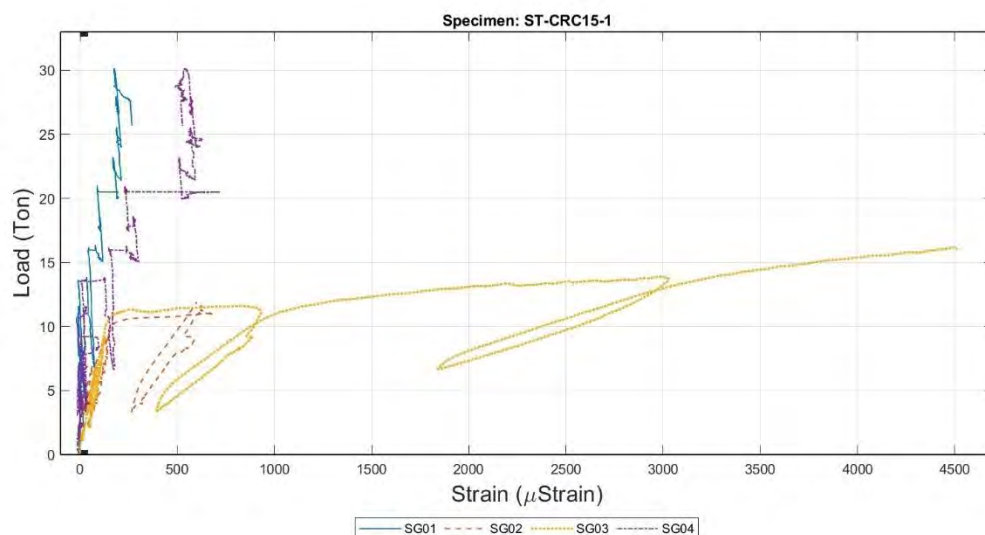
รูปที่ 4-75 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-76 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสียรูปของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบคงที่ มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 8.02 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 30.15 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมากขึ้น และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ระยะ 6.06 มิลลิเมตร



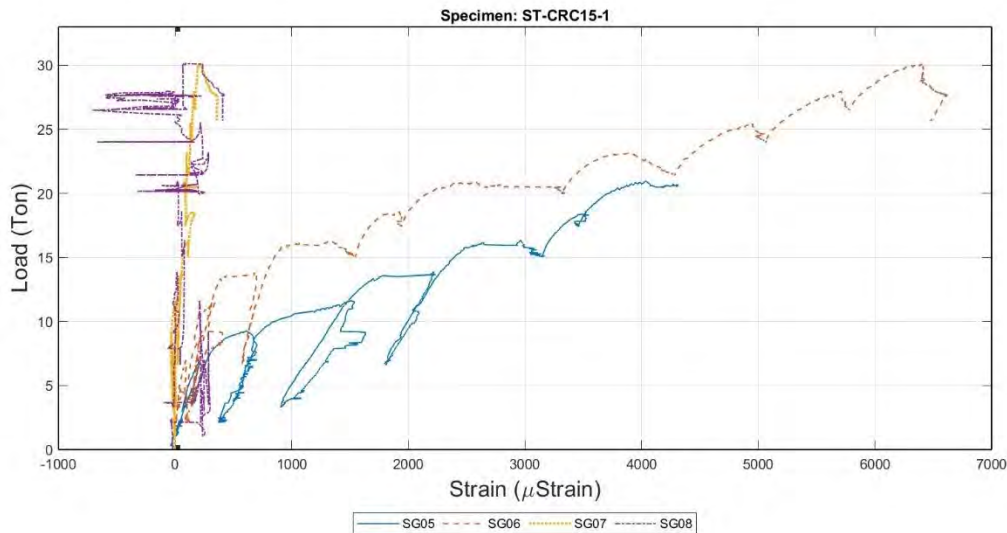
รูปที่ 4-76 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-77 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG01 ,SG02 ,SG03 และSG04 เท่ากับ 286 , 686 , 4517 และ 721 ไมโครเสตรน



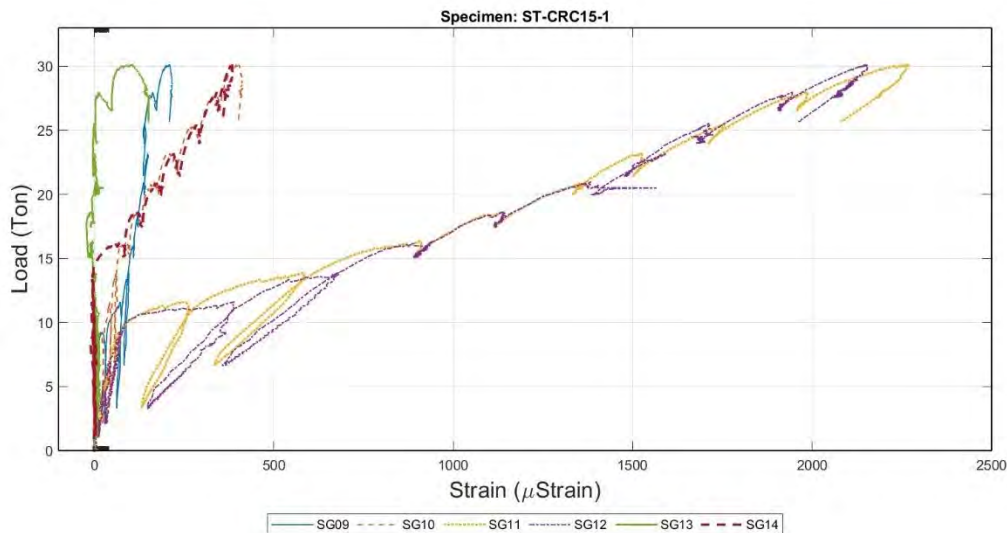
รูปที่ 4-77 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-78 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำประมาณ 8.02 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG05 ,SG06 ,SG07 และSG08 เท่ากับ 4312 , 6621 , 366 และ 707 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



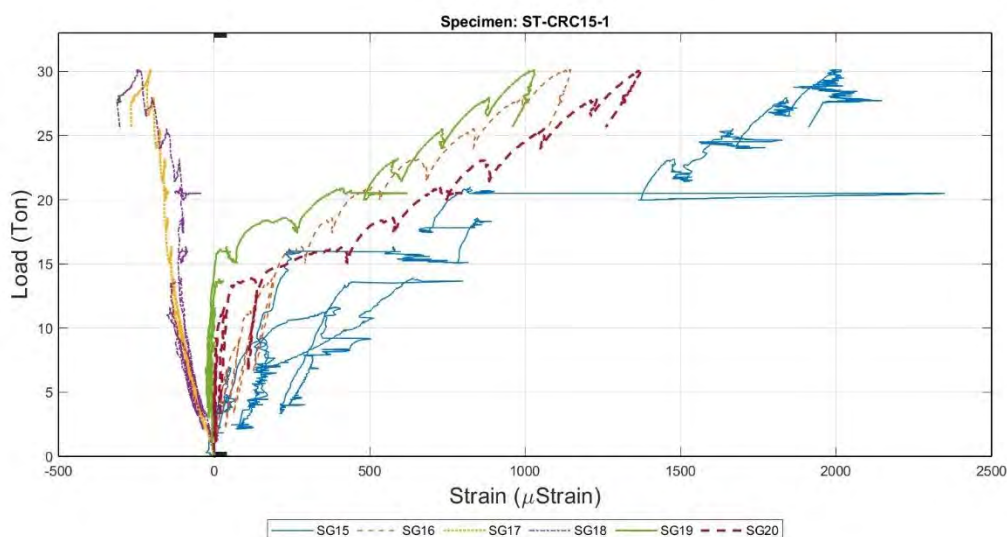
รูปที่ 4-78 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-79 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG09 ,SG10 ,SG11 ,SG12 ,SG13 และSG14 เท่ากับ 216 , 412 , 2267 , 2154 , 157 และ 384 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



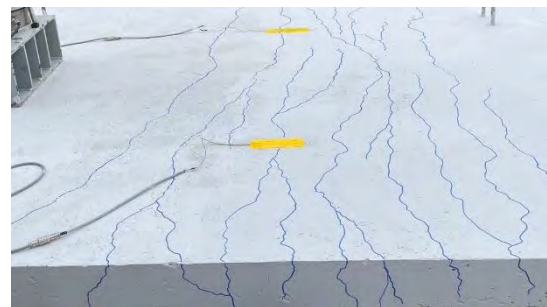
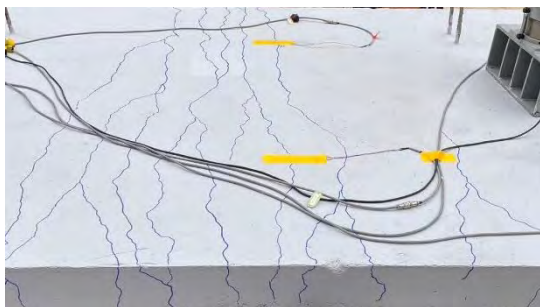
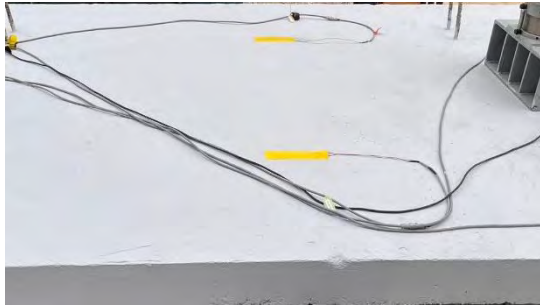
รูปที่ 4-79 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-1)

จากการทดสอบรูปที่ 4-80 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG15 ,SG16 ,SG17 ,SG18 ,SG19 และSG20 เท่ากับ 2349 , 1144 , 269 , 313 , 1030 และ 1371 ไมโครสเตรน ตามลำดับ ที่



รูปที่ 4-80 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-1)

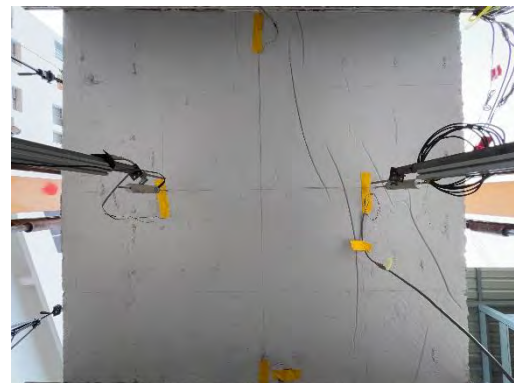
4.2.9 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-CRC15-2)



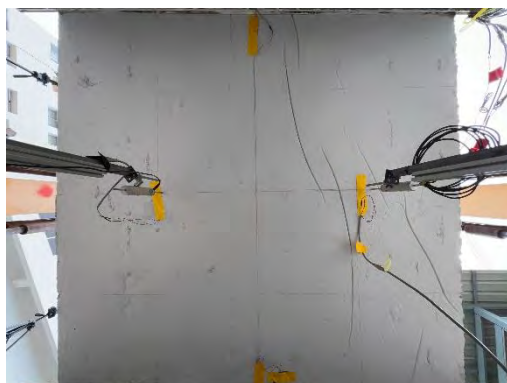
รูปที่ 4-81 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-2)



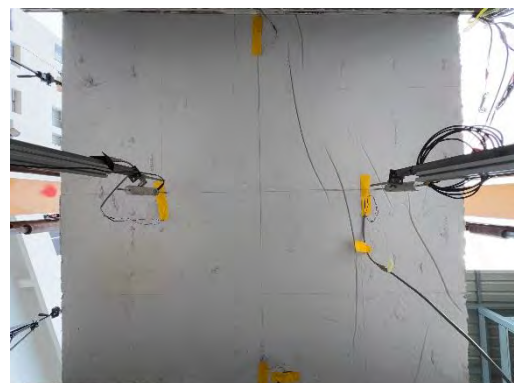
Load 0.00 Tons



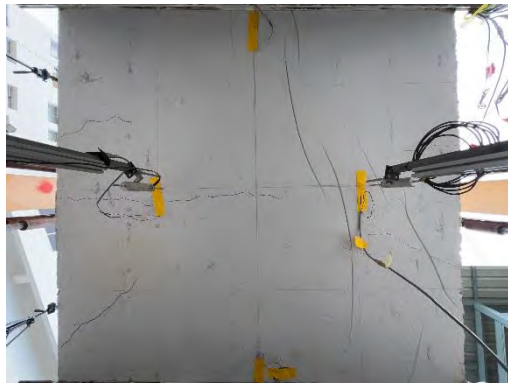
Load 2.01 Tons



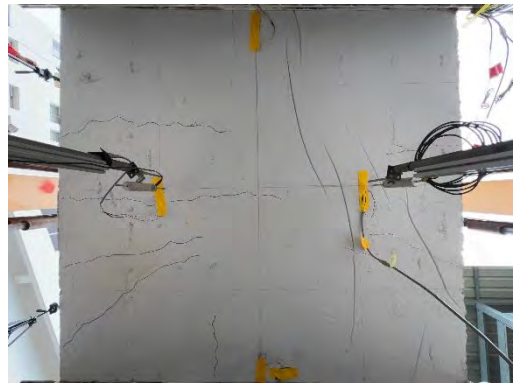
Load 4.02 Tons



Load 6.05 Tons



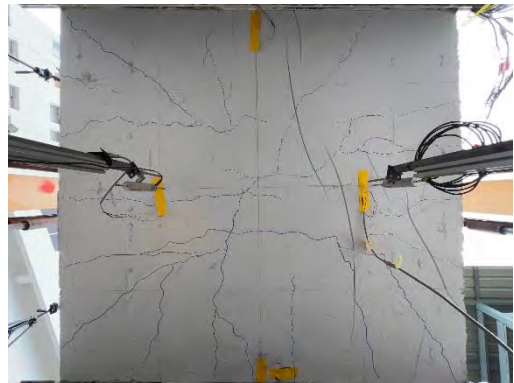
Load 8.10 Tons



Load 10.03 Tons



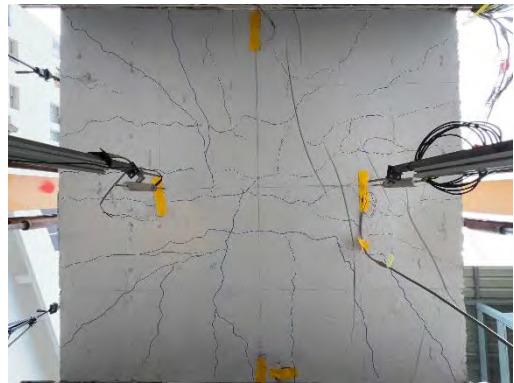
Load 12.06 Tons



Load 14.07 Tons



Load 16.00 Tons



Load 18.03 Tons



Load 20.01 Tons



Load 22.10 Tons



Load 24.07 Tons



Load 26.06 Tons

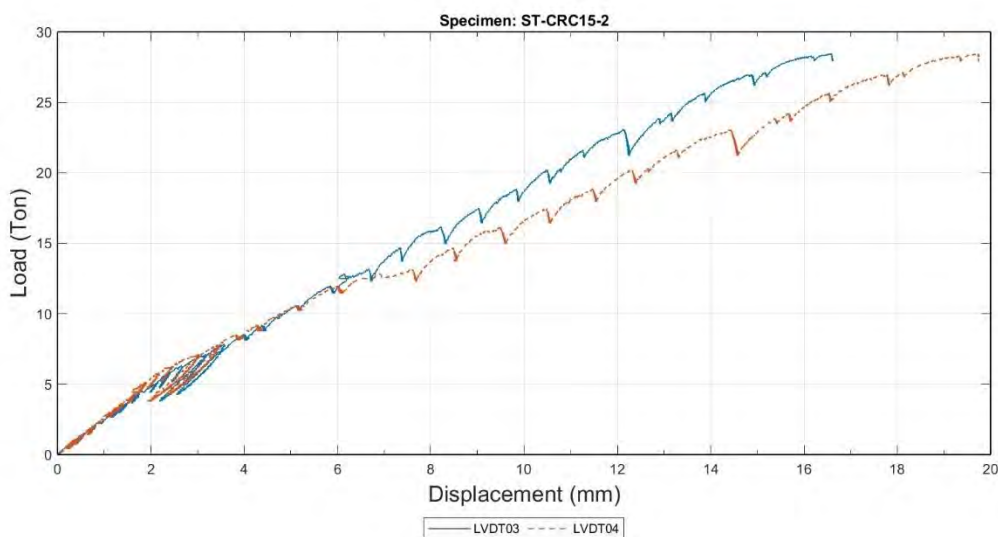


Load 28.26 Tons

รูปที่ 4-82 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-2)

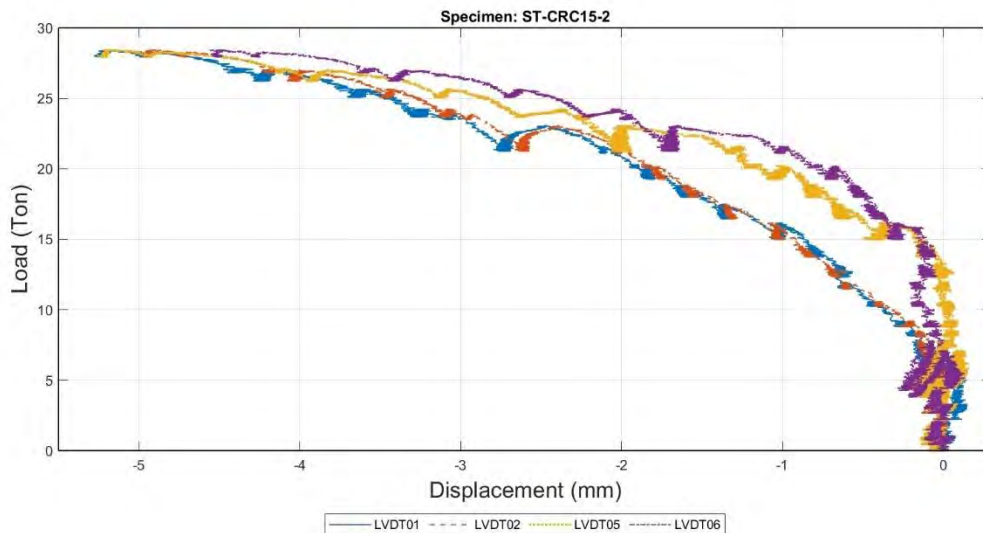
4.2.10 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-CRC15-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-83 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงกระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 8.10 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 13.17 ตัน และค่าการเสียรูปอยู่ที่ประมาณ 6.67 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพานเท่ากับ 19.71 มิลลิเมตร และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 28.26 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



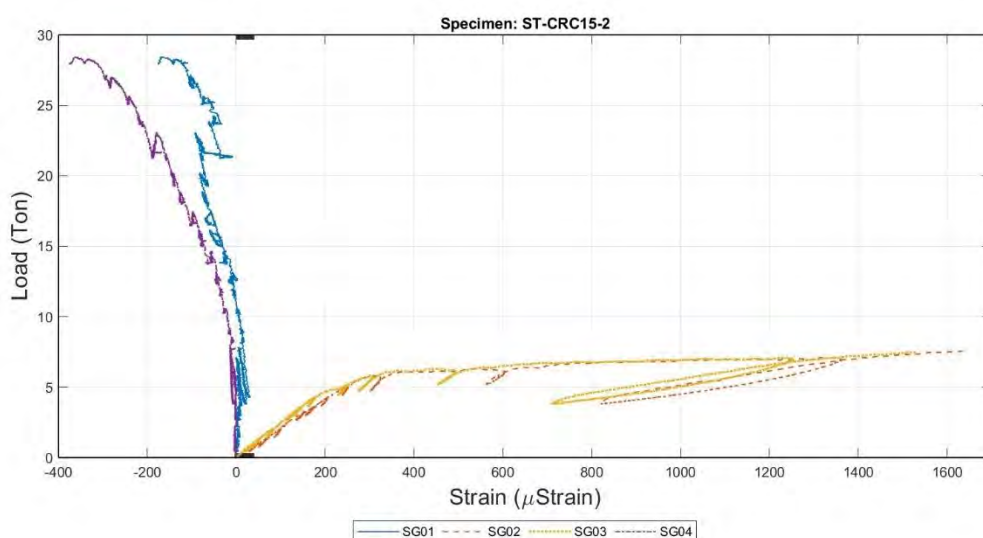
รูปที่ 4-83 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-84 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสียรูปของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบคงที่ มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 8.10 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 28.26 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมากขึ้น และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ระยะ 5.37 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-84 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-2)

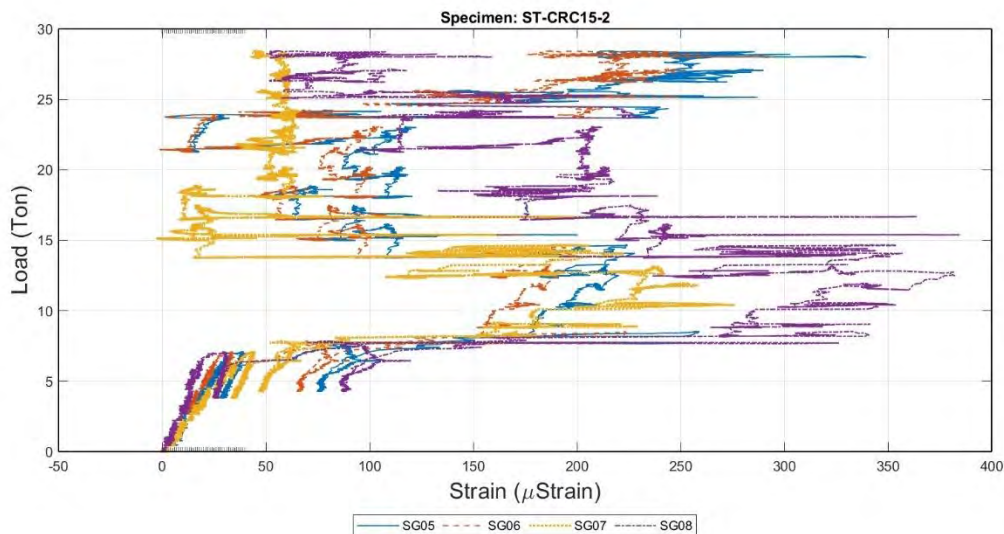
จากการทดสอบรูปที่ 4-85 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG01 ,SG02 ,SG03 และSG04 เท่ากับ 177 , 1637 , 1532 และ 376 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-85 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-2)

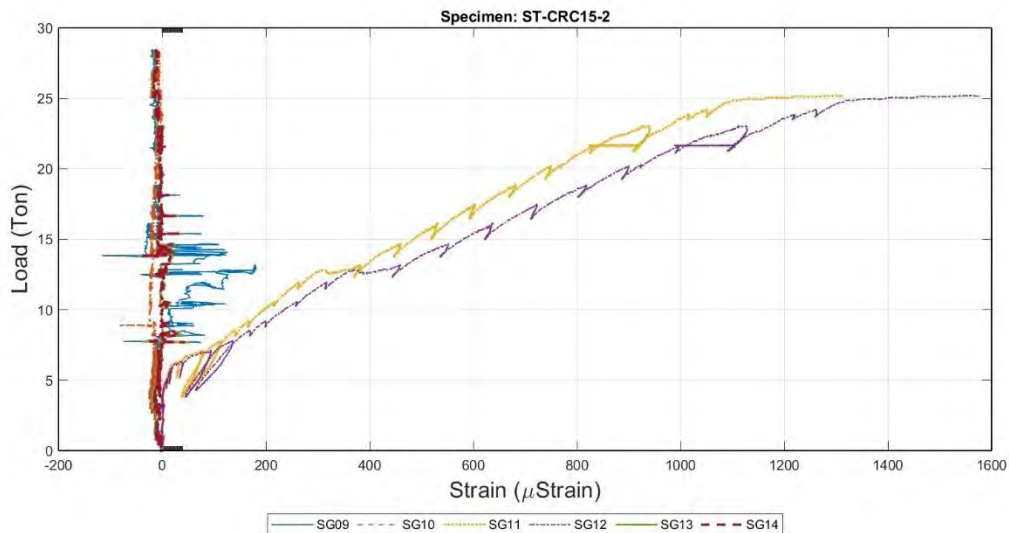
จากการทดสอบรูปที่ 4-86 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำ

ประมาณ 8.10 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์
ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG05 ,SG06 ,SG07 และSG08 เท่ากับ 339 ,
259 , 276 และ 384 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



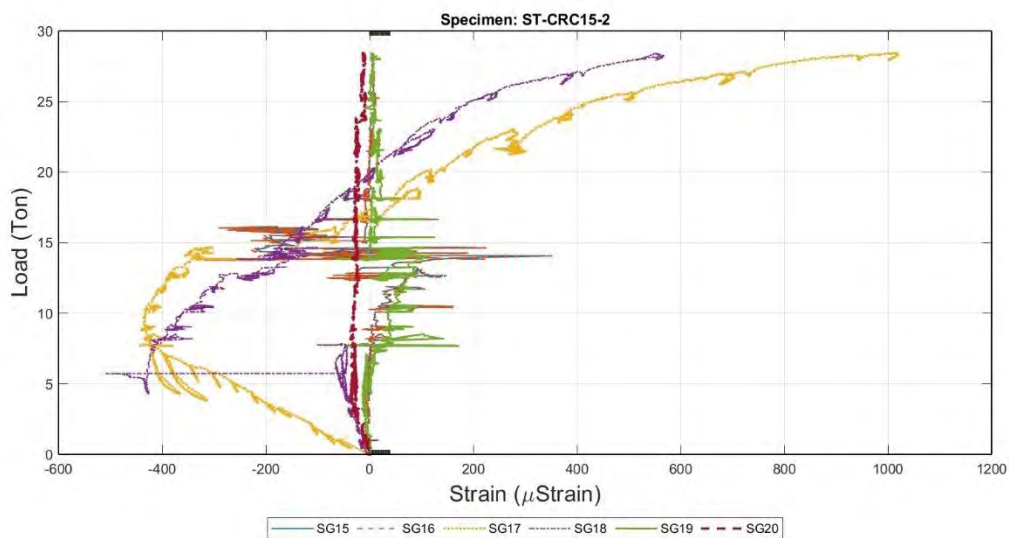
รูปที่ 4-86 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวคอนกรีตด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-87 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่
เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่า
ความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG09 ,SG10 ,SG11 ,SG12 ,SG13 และSG14
เท่ากับ 181 , 82 , 1314 , 1577 ,87 และ 72 ไมโครสเตรน



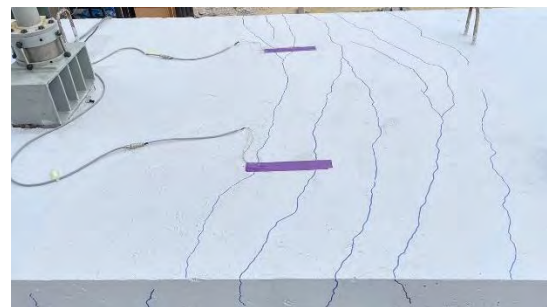
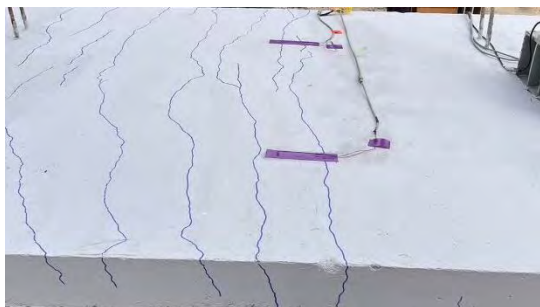
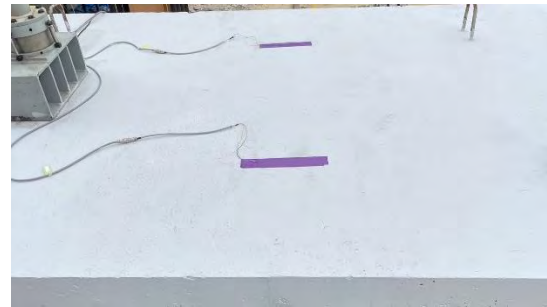
รูปที่ 4-87 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-2)

จากการทดสอบรูปที่ 4-88 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG15 ,SG16 ,SG17 ,SG18 ,SG19 และSG20 เท่ากับ 339 , 356 , 1021 , 568 , 173 และ 39 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-88 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณ
พื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-2)

4.2.11 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-CRC15-3)



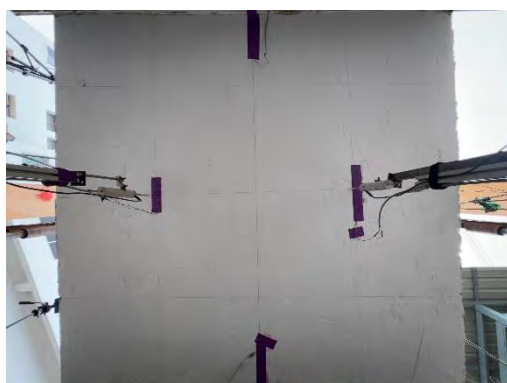
รูปที่ 4-89 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-3)



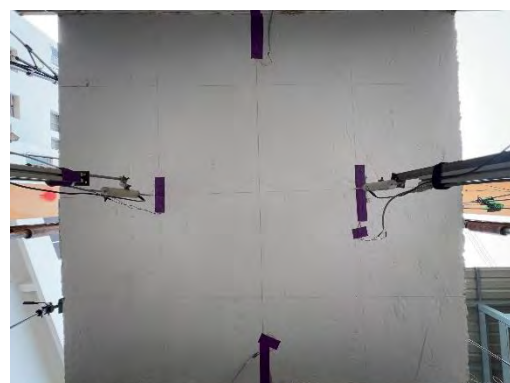
Load 0.00 Tons



Load 2.66 Tons



Load 4.08 Tons



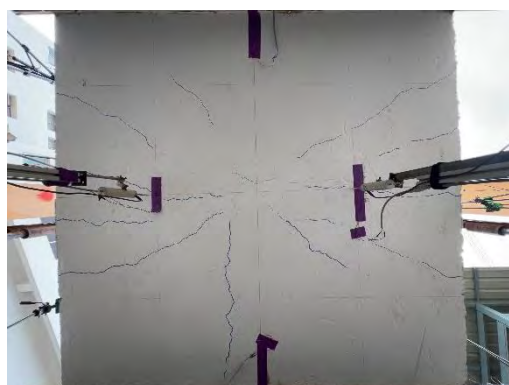
Load 6.01 Tons



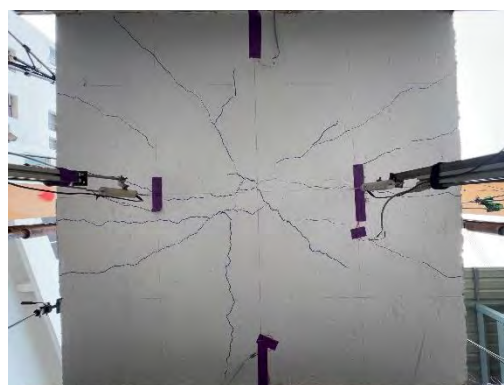
Load 8.00 Tons



Load 10.00 Tons



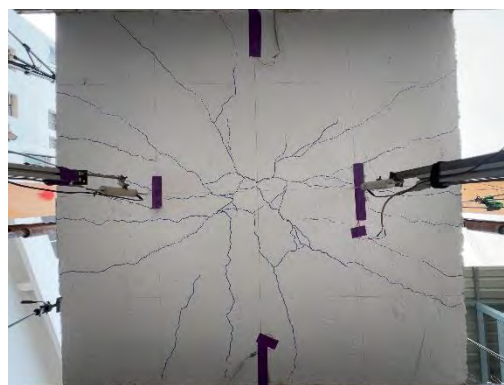
Load 12.00 Tons



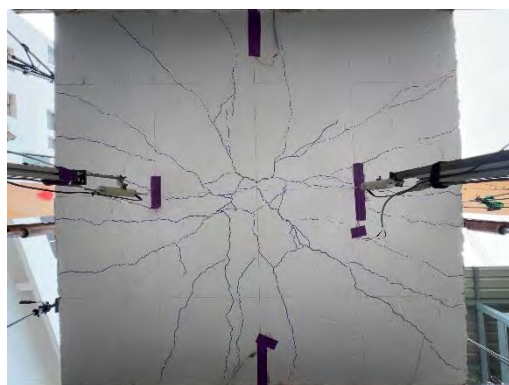
Load 14.07 Tons



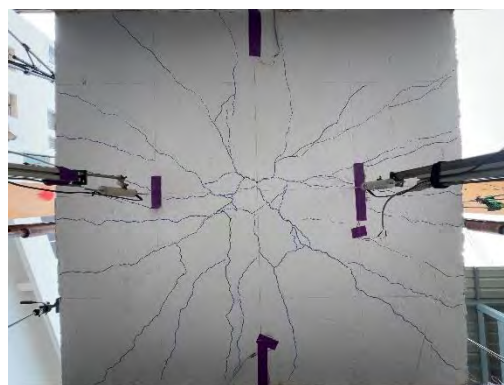
Load 16.02 Tons



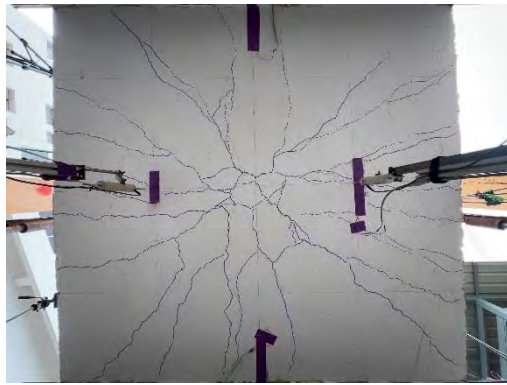
Load 18.01 Tons



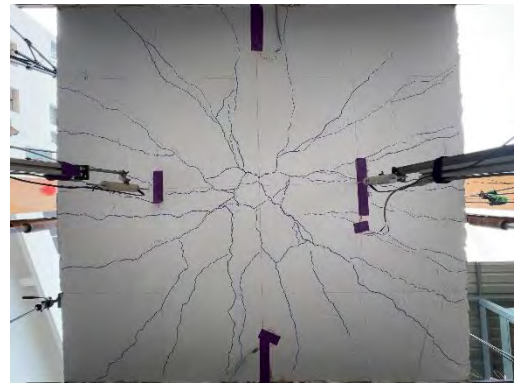
Load 20.01 Tons



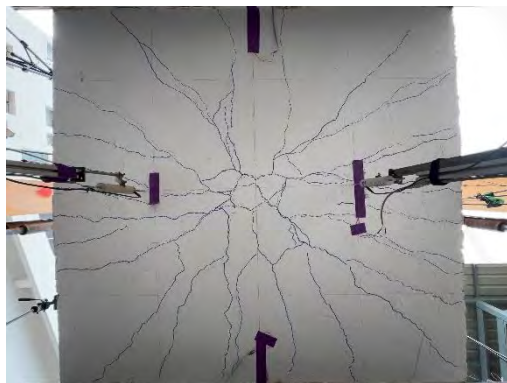
Load 22.02 Tons



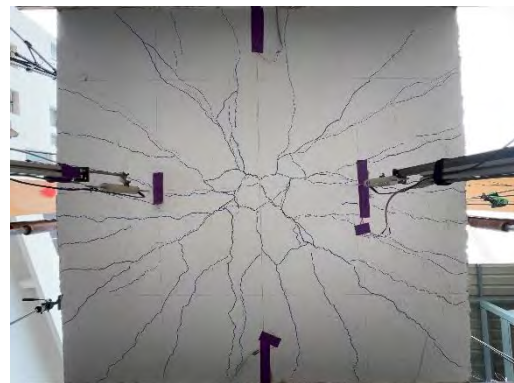
Load 24.03 Tons



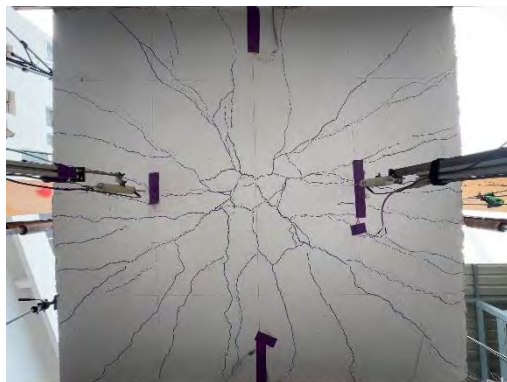
Load 26.05 Tons



Load 28.03 Tons



Load 30.00 Tons

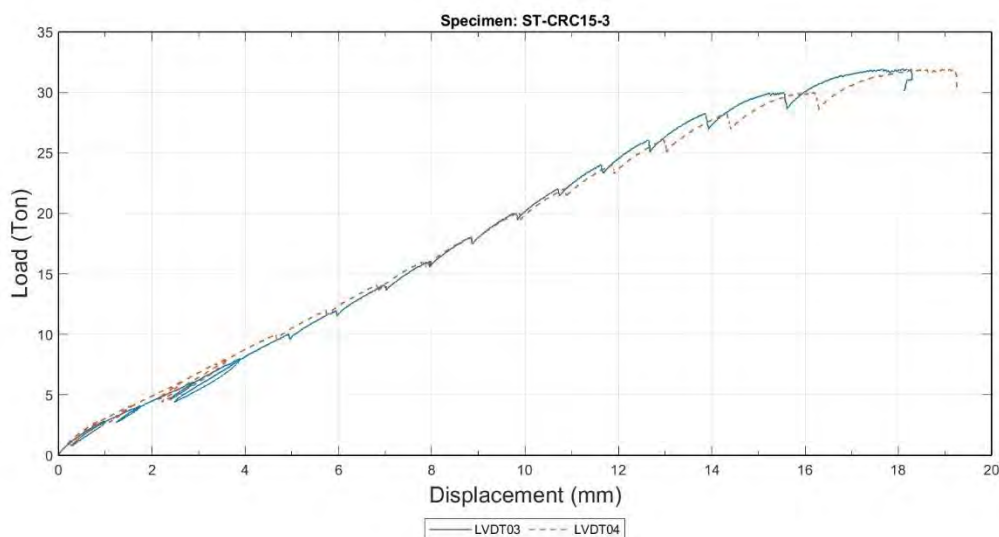


Load 31.98 Tons

รูปที่ 4-90 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-3)

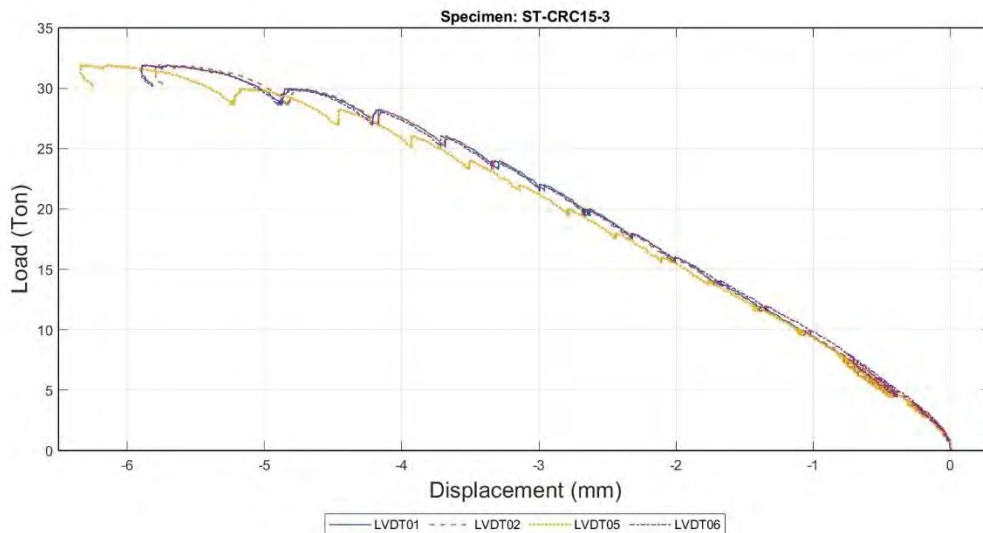
4.2.12 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-CRC15-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-91 พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลอง เมื่อเริ่มมีแรงกระทำสู่แผ่นพื้น สะพานจำลองระดับการแอ่นตัวของพื้นตรงกลางสะพานมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกจะเป็นเส้นตรง และเมื่อเกิดการแตกร้าวของแผ่นพื้นที่ระดับแรงกดประมาณ 8.00 ตัน ความชันของความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเริ่มลดลงเล็กน้อย และพื้นสะพานจำลองมีจุดครากอยู่ที่แรงกระทำประมาณ 28.17 ตัน และค่าการเสียรูปอยู่ที่ประมาณ 13.88 มิลลิเมตร โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพานเท่ากับ 15.01 มิลลิเมตร และมีค่าแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 31.97 ตัน และได้หยุดการทดสอบลง เนื่องจากถึงขีดจำกัดของแผ่นพื้นจำลองสำหรับการทดสอบ



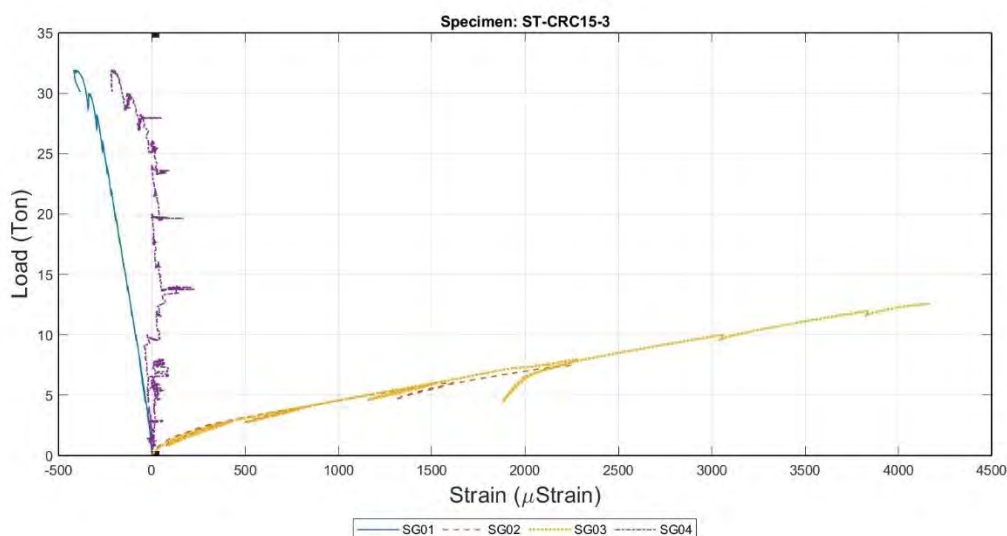
รูปที่ 4-91 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-92 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและการเสียรูปของแผ่นพื้นสะพานโดยรวมจะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบคงที่ มีค่าการแอ่นตัวไปทางลบซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นพื้นที่ระยะ L/4 มีการโก่งตัวขึ้น เมื่อมีแรงกระทำประมาณ 8.00 ตัน พบว่าความชันของความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นพื้นด้านบนเกิดการแตกร้าวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกระทำถึงระดับสูงสุดที่ 31.97 ตัน รอยร้าวมีการขยายขนาดและมีความกว้างมากขึ้น และแผ่นพื้นเกิดการโก่งตัวได้สูงสุดที่ระยะ 6.37 มิลลิเมตร



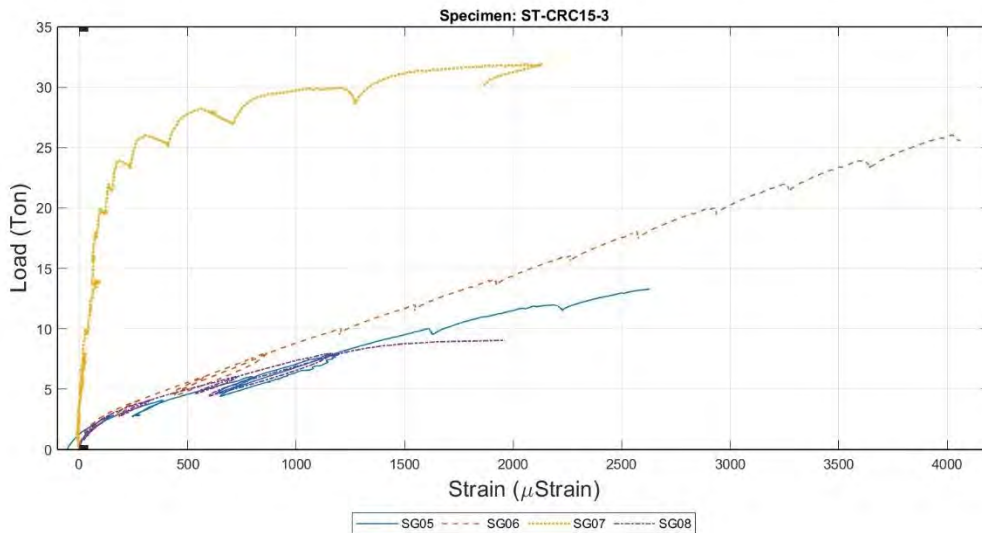
รูปที่ 4-92 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/4 ของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-93 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวคอนกรีตด้านล่างโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG01 ,SG02 ,SG03 และSG04 เท่ากับ 417 , 2260 , 4169 และ 230 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



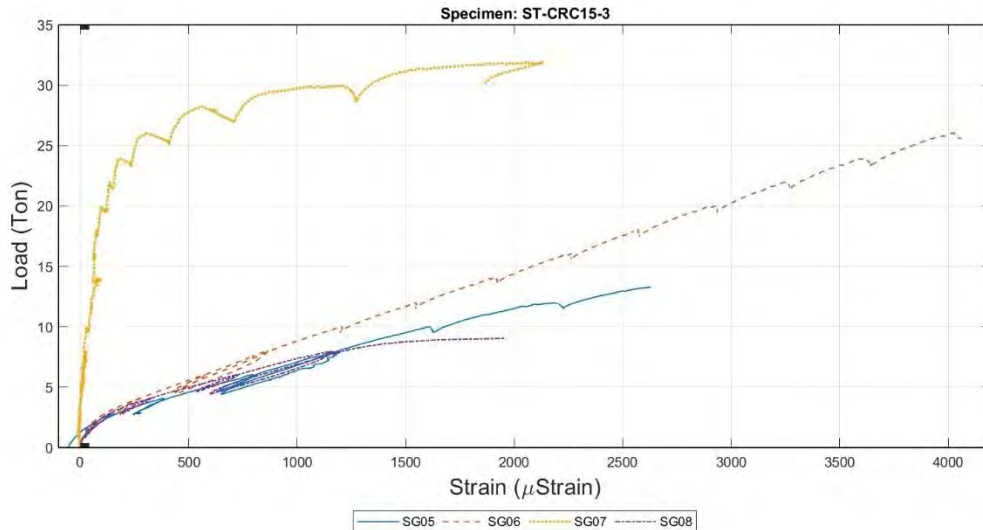
รูปที่ 4-93 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-94 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงและพบว่าเมื่อมีแรงกระทำประมาณ 8.00 ตัน แผ่นพื้นด้านบนเกิดรอยแตกร้าว สังเกตได้จากความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์ได้เปลี่ยนไป และพบว่าค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG05 ,SG06 ,SG07 และSG08 เท่ากับ 2630 , 4060 , 2132 และ 1960 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



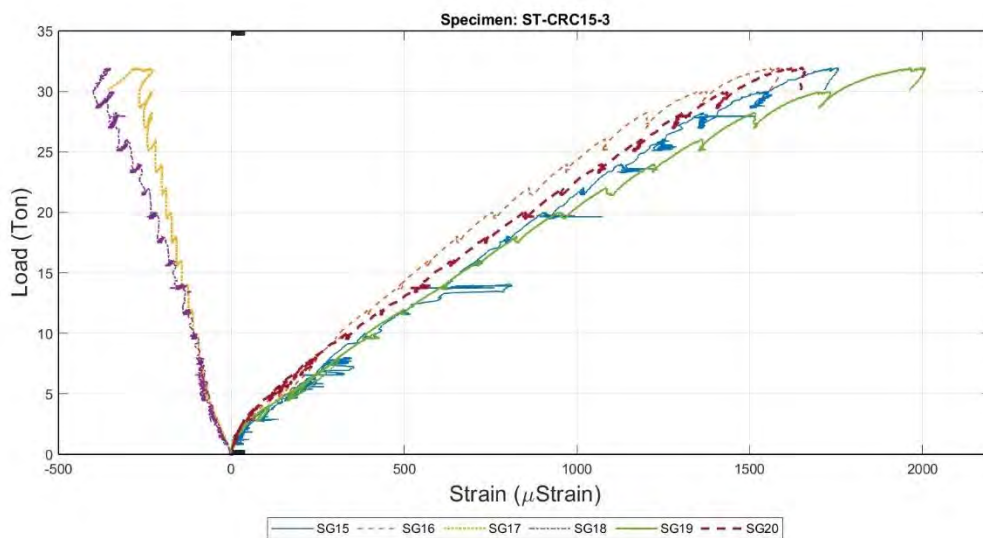
รูปที่ 4-94 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-95 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านล่างตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมที่สูงสุดเกิดขึ้นที่ SG09 ,SG10 ,SG11 ,SG12 ,SG13 และSG14 เท่ากับ 319 ,572 ,4331 ,4684 ,324 และ 409 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



รูปที่ 4-95 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวเหล็กเสริมด้านล่างของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-3)

จากการทดสอบรูปที่ 4-96 พบว่าในช่วงแรกความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมด้านบนตามแนวยาวโดยรวมจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และพบว่าค่าความเครียดแรงดึงของเหล็กเสริมสูงสุดเกิดขึ้นที่ SG15 ,SG16 ,SG17 ,SG18 ,SG19 และSG20 เท่ากับ 1756 ,1593 ,356 ,399 , 2007 และ 1663 ไมโครสเตรน ตามลำดับ



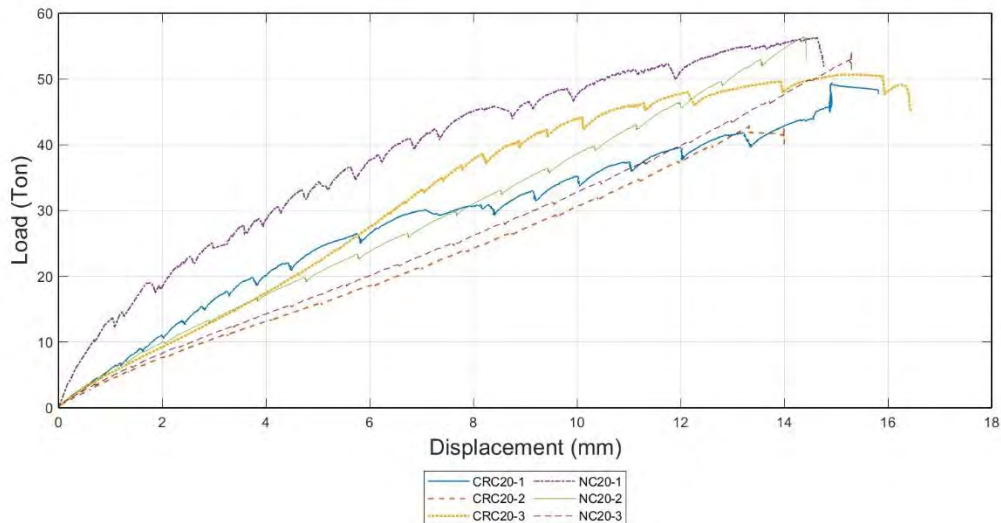
รูปที่ 4-96 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวเหล็กเสริมด้านบนของพื้นสะพานจำลอง (ST-CRC15-3)

4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงระหว่างพื้นสะพานจำลองที่ ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติและก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด

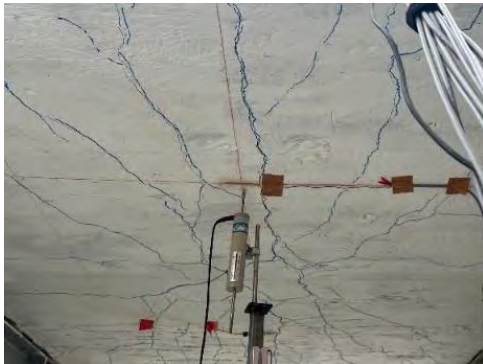
เมื่อการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานสิ้นสุดลง จะนำข้อมูลและรูปถ่ายความเสียหายมา
วิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการรับน้ำหนักรวมถึงความสามารถในการรับ
น้ำหนักสูงสุด

4.3.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความ หนา 0.20 เมตร)

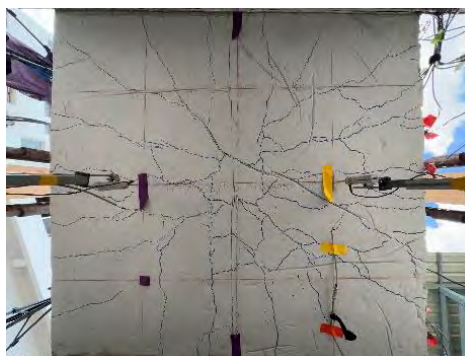
เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง สรุปได้ว่าพื้นสะพานจำลองชุดที่
1 (ความหนา 0.20 เมตร) ที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติทั้ง 3 แผ่นพื้น สามารถรับน้ำหนักกระทำเฉื่อย
สูงสุดได้ 55.62 ตัน และค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองเฉื่อยสูงสุดเท่ากับ 14.76 มิลลิเมตร ซึ่งพื้น
สะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดทั้ง 3 แผ่นพื้น สามารถรับน้ำหนัก
กระทำเฉื่อยสูงสุดได้ 47.61 ตัน และค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองเฉื่อยสูงสุดเท่ากับ 14.56
มิลลิเมตรแสดงดังรูปที่ 4-97 ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อพื้นสะพานจำลองเกิดการวิบัติ โดย
พฤติกรรมการวิบัติที่เกิดขึ้นเมื่อให้น้ำหนักกระทำบริเวณกึ่งกลางพื้นสะพานจำลองเกิดขึ้นเป็นแบบแรง
เฉือนทะลุ จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกร้าวดังกล่าวพบว่า พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วย
คอนกรีตปกติได้มีรอยร้าวแรกเกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ ประมาณ 13 ตัน ซึ่งรอยแตกร้าวได้เกิดเพิ่มมาก
ขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีความยาวมากขึ้นเมื่อน้ำหนักกระทำถูกเพิ่มขึ้นทีละ 2 ตัน ในขณะที่พื้นสะพาน
จำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดได้มีรอยร้าวแรกเกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ
ประมาณ 12 ตัน ซึ่งรอยแตกร้าวได้เกิดเพิ่มมากขึ้นอย่างช้า ๆ และมีความยาวเพิ่มมากขึ้นค่อนข้างช้า
เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ



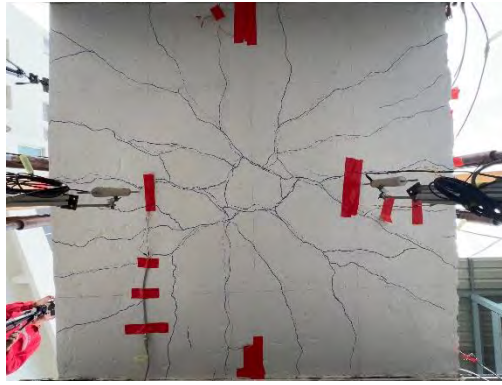
รูปที่ 4-97 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2 ของพื้นสะพานจำลอง ชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)



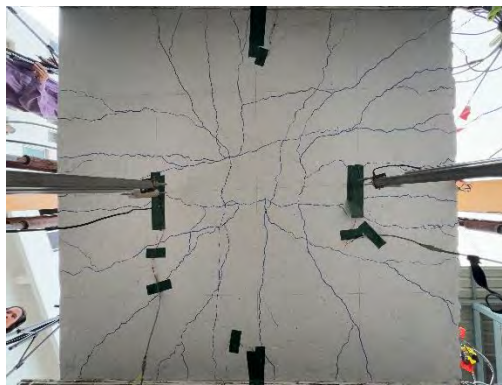
รูปที่ 4-98 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (ST-NC20-1)



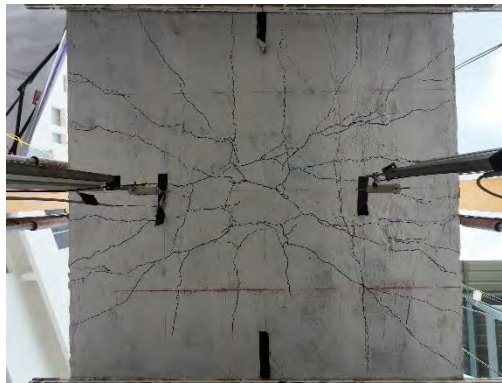
รูปที่ 4-99 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-CRC20-1)



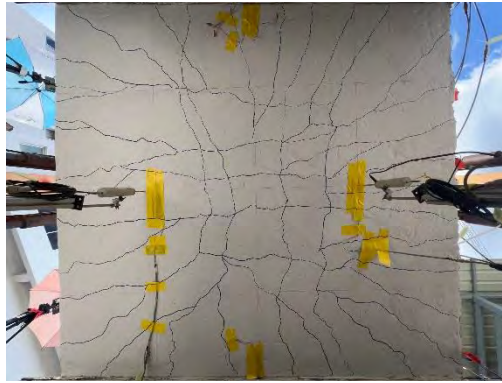
รูปที่ 4-100 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีต
ปกติ แผ่นที่ 2 (ST-NC20-2)



รูปที่ 4-101 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีต
ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-CRC20-2)



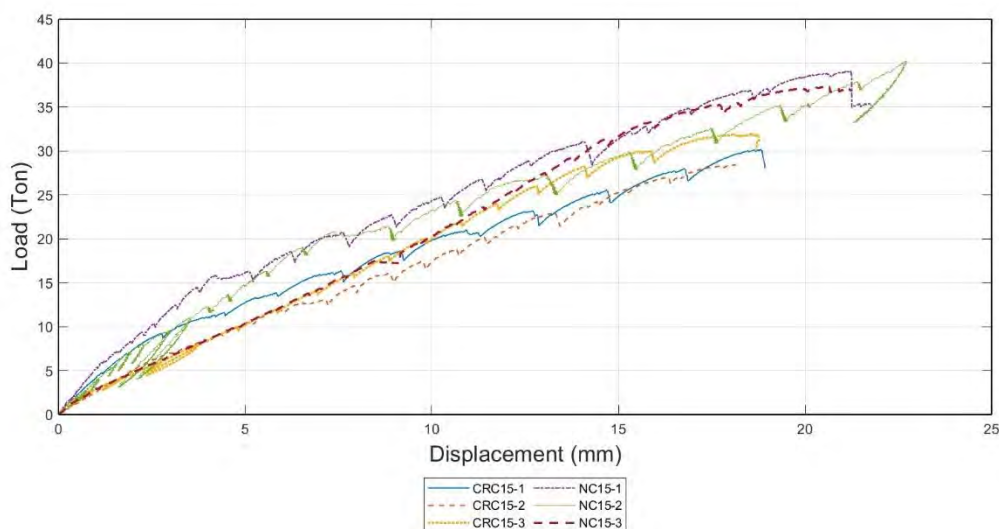
รูปที่ 4-102 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีต
ปกติ แผ่นที่ 3 (ST-NC20-3)



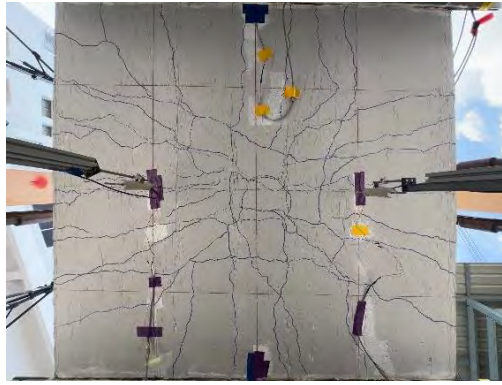
รูปที่ 4-103 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีต
ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-CRC20-3)

4.3.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

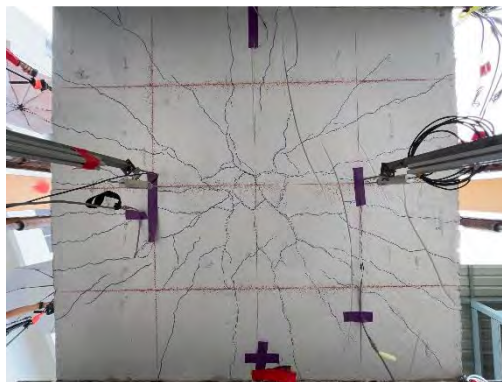
เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง สรุปได้ว่าพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร) ที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติทั้ง 3 แผ่นพื้น สามารถรับน้ำหนักกระทำเฉลี่ยสูงสุดได้ 38.88 ตัน และค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 21.47 มิลลิเมตร ซึ่งพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดทั้ง 3 แผ่นพื้น สามารถรับน้ำหนักกระทำเฉลี่ยสูงสุดได้ 30.13 ตัน และค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 18.30 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4-104 ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อพื้นสะพานจำลองเกิดการวิบัติ โดยพฤติกรรมการวิบัติที่เกิดขึ้นเมื่อให้น้ำหนักกระทำบริเวณกึ่งกลางพื้นสะพานจำลองเกิดขึ้นเป็นแบบแรงเฉือนทะลุ จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกร้าวดังกล่าวพบว่า พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติได้มีรอยร้าวแรกเกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำประมาณ 8 ตัน ซึ่งรอยแตกร้าวได้เกิดเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีความยาวมากขึ้นเมื่อน้ำหนักกระทำถูกเพิ่มขึ้นทีละ 2 ตัน ในขณะที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดได้มีรอยร้าวแรกเกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำประมาณ 8 ตัน ซึ่งรอยแตกร้าวได้เกิดเพิ่มมากขึ้นอย่างช้า ๆ และมีความยาวเพิ่มมากขึ้นค่อนข้างช้าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ



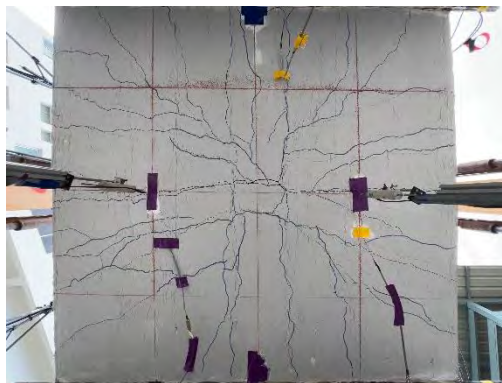
รูปที่ 4-104 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบริเวณ L/2 ของพื้นสะพานจำลอง ชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)



รูปที่ 4-105 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีต
ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-NC15-1)



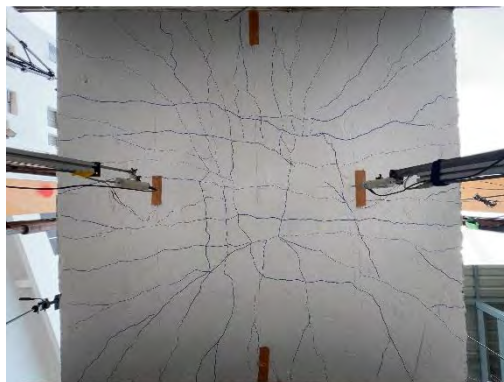
รูปที่ 4-106 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีต
ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (ST-CRC15-1)



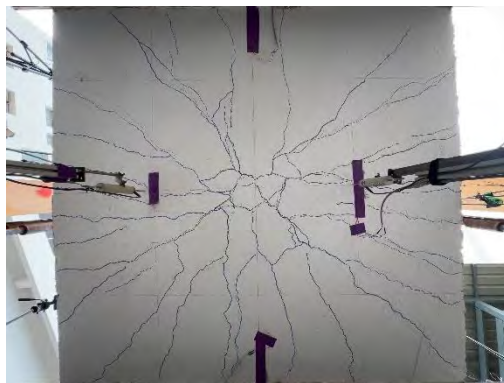
รูปที่ 4-107 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีต
ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-NC15-2)



รูปที่ 4-108 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (ST-CRC15-2)



รูปที่ 4-109 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-NC15-3)



รูปที่ 4-110 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (ST-CRC15-3)

4.4 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลองทั้ง 2 ชุดความหนาที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีต
ปกติและคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดสรุปได้ดังนี้

4.4.1 สรุปผลการทดสอบของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)

จากตารางที่ 4-1 พบว่ากำลังรับแรงของพื้นสะพานคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติมีกำลัง
รับแรงที่สูงกว่าพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดประมาณ 15%
เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง สรุปได้ว่าพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1
(ความหนา 0.20 เมตร) ที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติทั้ง 3 แผ่นพื้น สามารถรับน้ำหนักกระทำเฉลี่ย
สูงสุดได้ 55.62 ตัน และค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 14.76 มิลลิเมตร ซึ่งพื้น
สะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดทั้ง 3 แผ่นพื้น สามารถรับน้ำหนัก
กระทำเฉลี่ยสูงสุดได้ 47.61 ตัน และค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 14.56
มิลลิเมตร โดยพฤติกรรมการวิบัติที่เกิดขึ้นเมื่อให้น้ำหนักกระทำบริเวณกึ่งกลางพื้นสะพานจำลอง
เกิดขึ้นเป็นแบบแรงเฉือนทะลุ จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกร้าวดังกล่าวพบว่า พื้นสะพาน
จำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติได้มีรอยร้าวแรกเกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำ ประมาณ 13 ตัน ซึ่งรอย
แตกร้าวได้เกิดเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีความยาวมากขึ้นเมื่อน้ำหนักกระทำถูกเพิ่มขึ้นที่ละ 2
ตัน ในขณะที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดได้มีรอยร้าวแรก
เกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำประมาณ 12 ตัน ซึ่งรอยแตกร้าวได้เกิดเพิ่มมากขึ้นอย่างช้า ๆ และมีความยาว
เพิ่มมากขึ้นค่อนข้างช้าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ

ตารางที่ 4-1 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1

No. of Specimen	Specimen	Ultimate strength (Ton)	Average strength capacity (Ton)
1	ST-NC20-1	56.38	55.62
2	ST-NC20-2	56.42	
3	ST-NC20-3	54.08	
4	ST-CRC20-1	49.46	47.61
5	ST-CRC20-2	43.16	
6	ST-CRC20-3	50.77	

4.4.2 สรุปผลการทดสอบของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

จากตารางที่ 4-2 พบว่ากำลังรับแรงของพื้นสะพานคอนกรีตที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติมีกำลัง
รับแรงที่สูงกว่าพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดประมาณ 13%

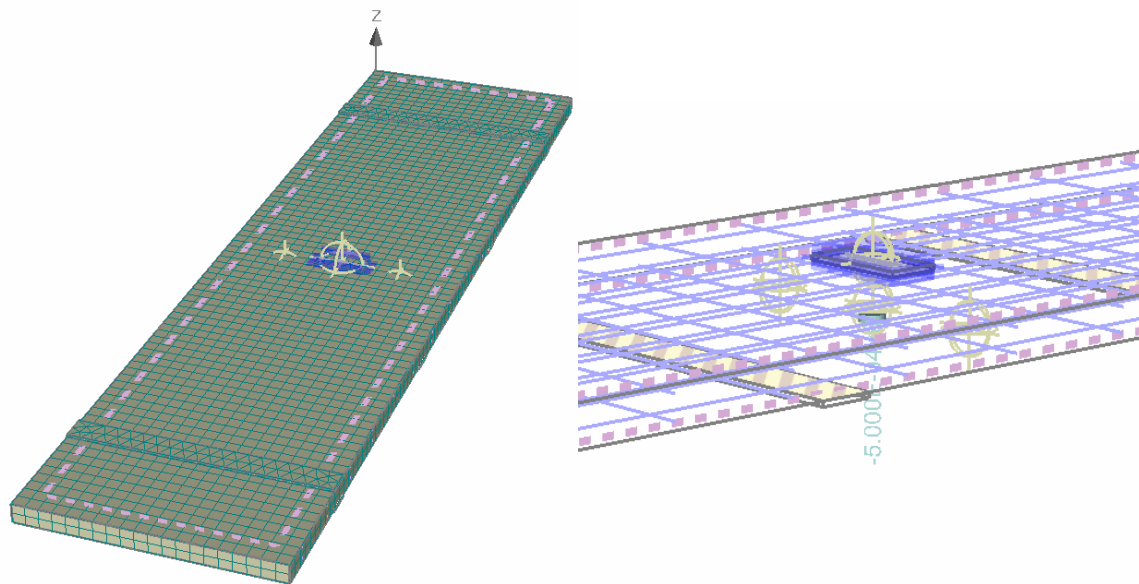
เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง สรุปได้ว่าพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร) ที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติทั้ง 3 แผ่นพื้น สามารถรับน้ำหนักกระทำเฉลี่ยสูงสุดได้ 38.88 ตัน และค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 21.47 มิลลิเมตร ซึ่งพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดทั้ง 3 แผ่นพื้น สามารถรับน้ำหนักกระทำเฉลี่ยสูงสุดได้ 30.13 ตัน และค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 18.30 มิลลิเมตร โดยพฤติกรรมการวิบัติที่เกิดขึ้นเมื่อให้น้ำหนักกระทำบริเวณกึ่งกลางพื้นสะพานจำลอง เกิดขึ้นเป็นแบบแรงเฉือนทะลุ จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกร้าวดังกล่าวพบว่า พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติได้มีรอยร้าวแรกเกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำประมาณ 8 ตัน ซึ่งรอยแตกร้าวได้เกิดเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีความยาวมากขึ้นเมื่อน้ำหนักกระทำถูกเพิ่มขึ้นทีละ 2 ตัน ในขณะที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดได้มีรอยร้าวแรกเกิดขึ้นที่น้ำหนักกระทำประมาณ 8 ตัน ซึ่งรอยแตกร้าวได้เกิดเพิ่มมากขึ้นอย่างช้า ๆ และมีความยาวเพิ่มมากขึ้นค่อนข้างช้าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ

ตารางที่ 4-2 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2

No. of Specimen	Specimen	Ultimate strength (Ton)	Average strength capacity (Ton)
1	ST-NC15-1	39.08	38.88
2	ST-NC15-2	40.21	
3	ST-NC15-3	37.36	
4	ST-CRC15-1	30.15	30.13
5	ST-CRC15-2	28.26	
6	ST-CRC15-3	31.97	

4.5 การทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของพื้นสะพาน

การทำแบบจำลองพื้นสะพานในการศึกษานี้ ใช้โปรแกรม ATENA โดยทำแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์เป็นรูปแบบ 3D มีแรงกระทำตรงกึ่งกลางแผ่นพื้นรูปแบบเดียวกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยการใส่แรงในแบบจำลองจะใช้รูปแบบ displacement control โดยการกดไปที่แผ่นเหล็กด้านบนทีละ 0.5 มิลลิเมตร แล้วทำการตรวจสอบแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในบริเวณดังกล่าว จะสามารถหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่พื้นสะพานเสียรูปกับแรงกระทำบริเวณกึ่งกลางได้ แบบจำลองแผ่นพื้นสะพานมีขนาดความหนา 15 เซนติเมตรและ 20 เซนติเมตร ในแต่ละแบบจำลองจะมีการปรับคุณสมบัติวัสดุคอนกรีต เพื่อให้สอดคล้องกับการทดสอบจริง แสดงในรูปที่ 4-111

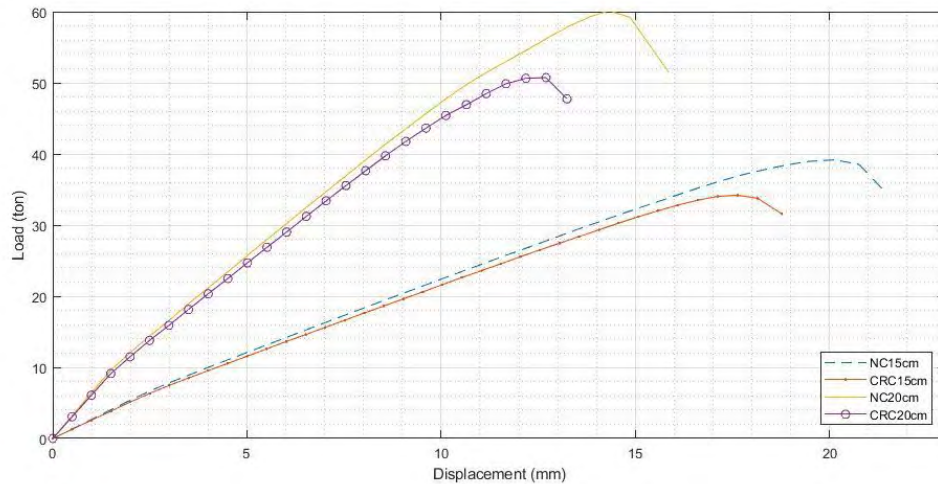


รูปที่ 4-111 ตัวอย่างแบบจำลองพื้นสะพานและแรงกระทำ

เนื่องจากในการทดสอบจริงจุดรองรับของแผ่นพื้นสะพานจำลอง (support) ไม่ได้ยึดตรึงไว้สมบูรณ์เหมือนในแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ จึงต้องมีการปรับแก้เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับการทดสอบจริง

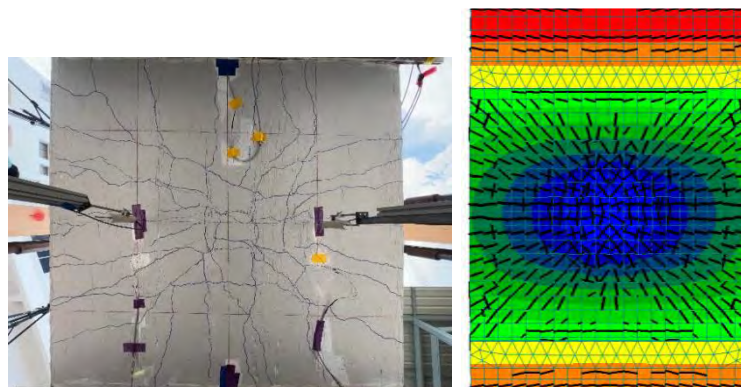
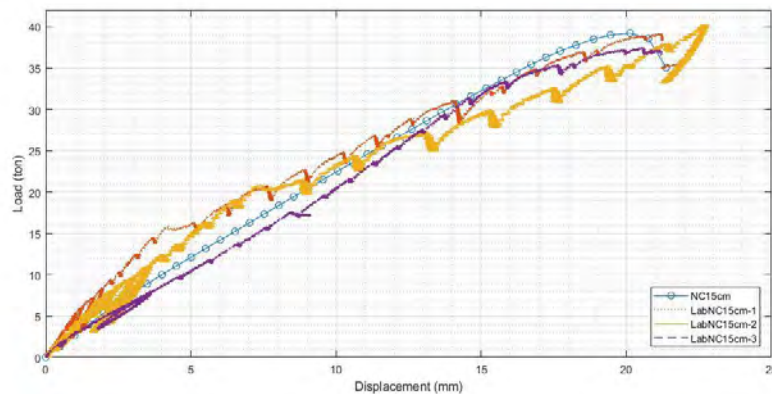
4.5.1 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองพื้นสะพาน

แบบจำลองพื้นสะพานในโครงการนี้มีทั้งหมด 4 แบบจำลอง ประกอบด้วย ขนาดความหนา 15 เซนติเมตรและ 20 เซนติเมตร แต่ละความหนาจะใช้วัสดุคอนกรีตที่มีค่ากำลังรับแรงอัดแตกต่างกันตามผลการทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างพื้นสะพานคอนกรีตธรรมดา กับพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองทั้ง 4 รูปแบบเป็นไปตามรูปที่ 4-112

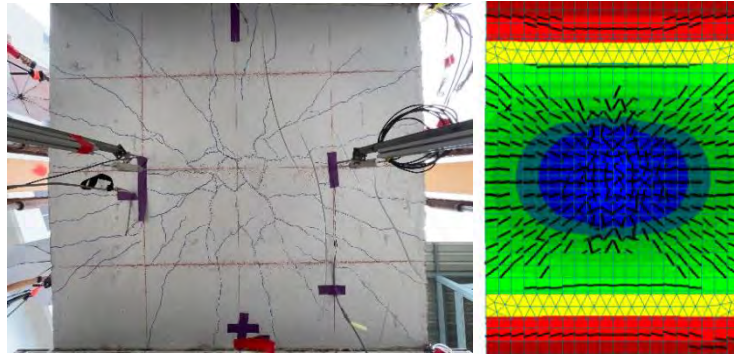
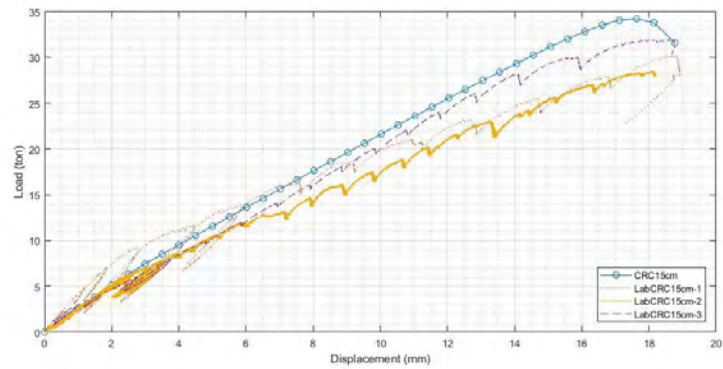


รูปที่ 4-112 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองทั้ง 4 รูปแบบ

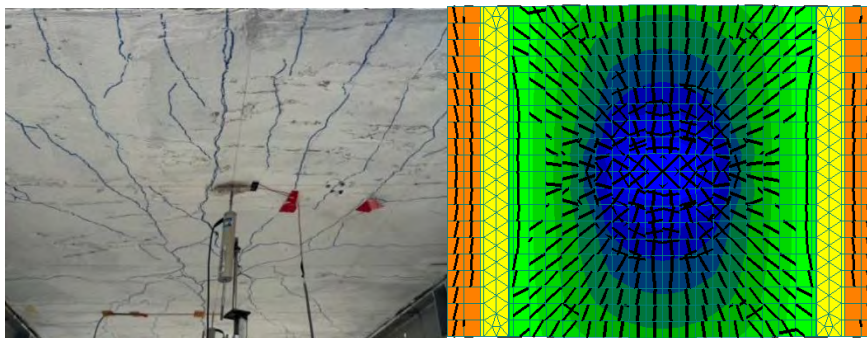
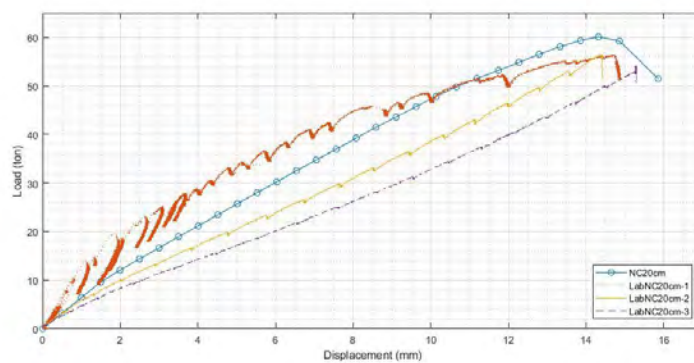
จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองที่ปรับแก้มาแล้ว พบว่า แผ่นพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดรับน้ำหนักได้น้อยกว่าแผ่นพื้นสะพานคอนกรีตธรรมดา เนื่องมาจากการกำหนดคุณสมบัติวัสดุที่ให้ค่าความแข็งแรงน้อยกว่า ผลการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงในรูปที่ 4-113 ถึงรูปที่ 4-116



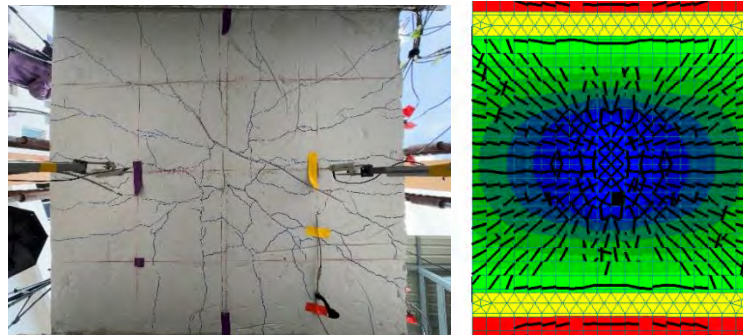
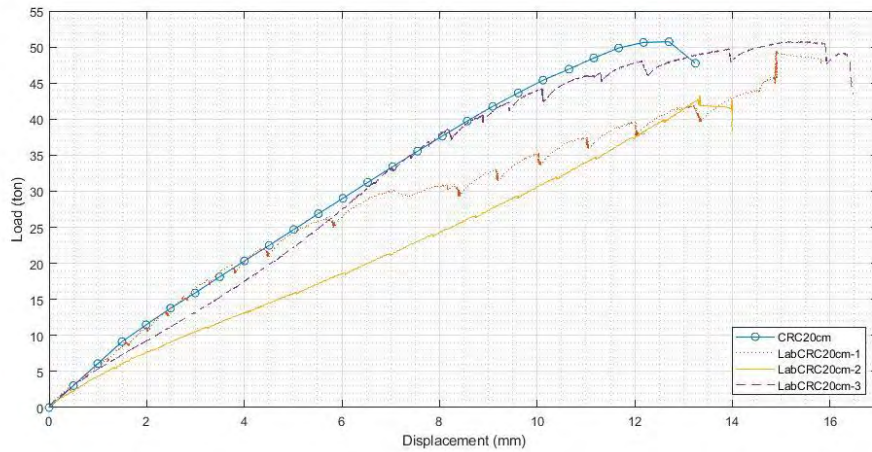
รูปที่ 4-113 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และรูปแบบของรอยร้าวได้แผ่นพื้น กรณีแผ่นพื้นคอนกรีตธรรมดาหนา 15 ซม.



รูปที่ 4-114 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
และรูปแบบของรอยร้าวใต้แผ่นพื้น กรณีแผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดหนา
15 ซม.

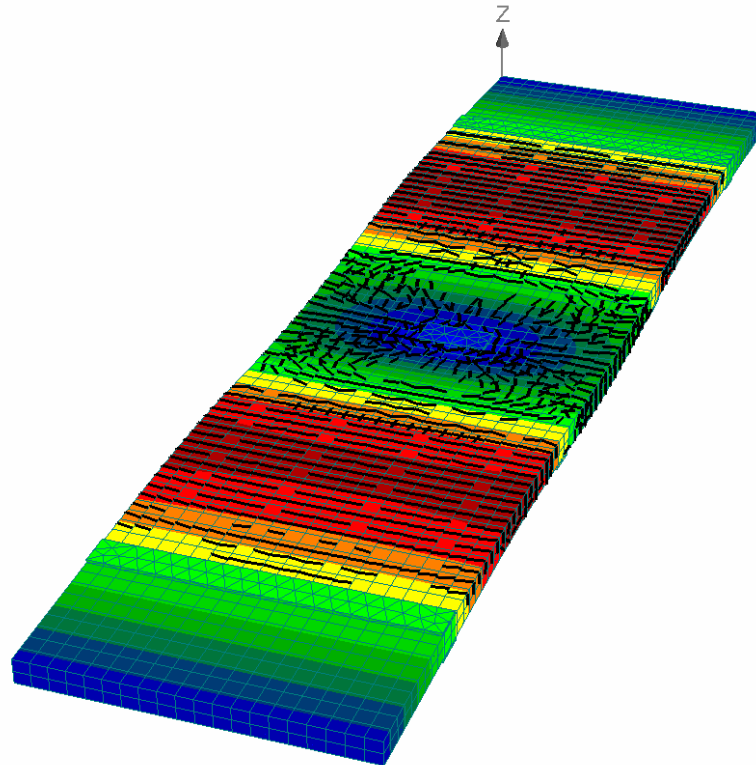


รูปที่ 4-115 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
และรูปแบบของรอยร้าวใต้แผ่นพื้น กรณีแผ่นพื้นคอนกรีตธรรมดาหนา 20 ซม.

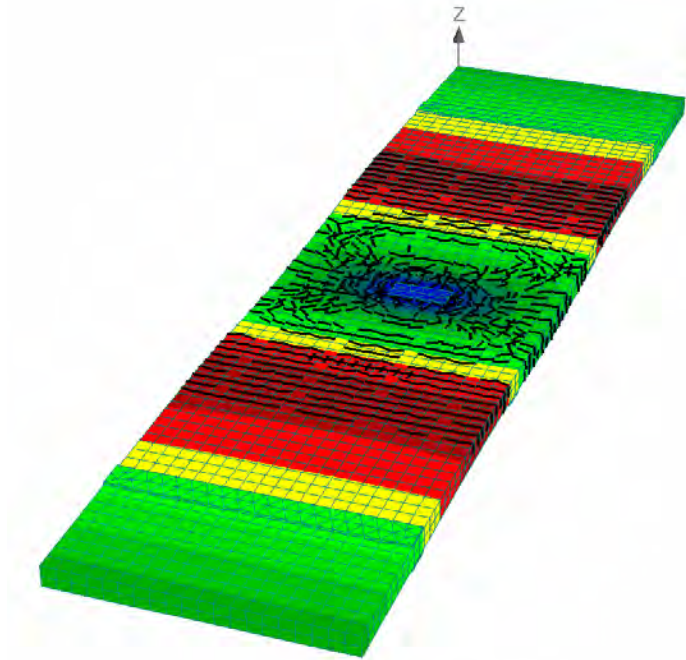


รูปที่ 4-116 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
และรูปแบบของรอยร้าวใต้แผ่นพื้น กรณีแผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดหนา
20 ซม.

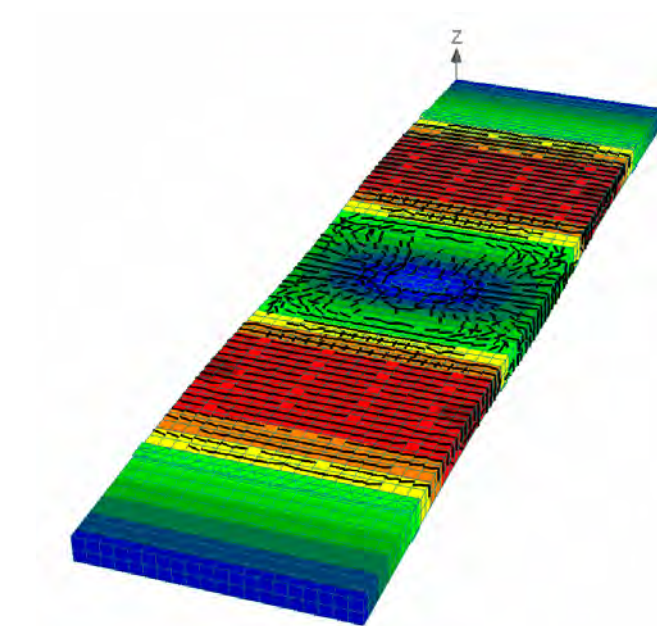
จากรูปที่ 4-117 ถึงรูปที่ 4-120 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการวิบัติของโครงสร้างจากแรงกระทำสถิต (Static Load) ทำให้เห็นถึงการโก่งตัวของชิ้นส่วนพื้นสะพานเมื่อถึงจุดวิบัติ ซึ่งเป็นการวิบัติแบบแรงเฉือนทะลุ (Punching Shear Failure) โดยแผ่นพื้นความหนา 15 เซนติเมตรจะโก่งตัวได้มากกว่าแผ่นพื้นความหนา 20 เซนติเมตร ขณะที่แผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางพารามีการโก่งตัวที่มากกว่าก่อนถึงจุดวิบัติ



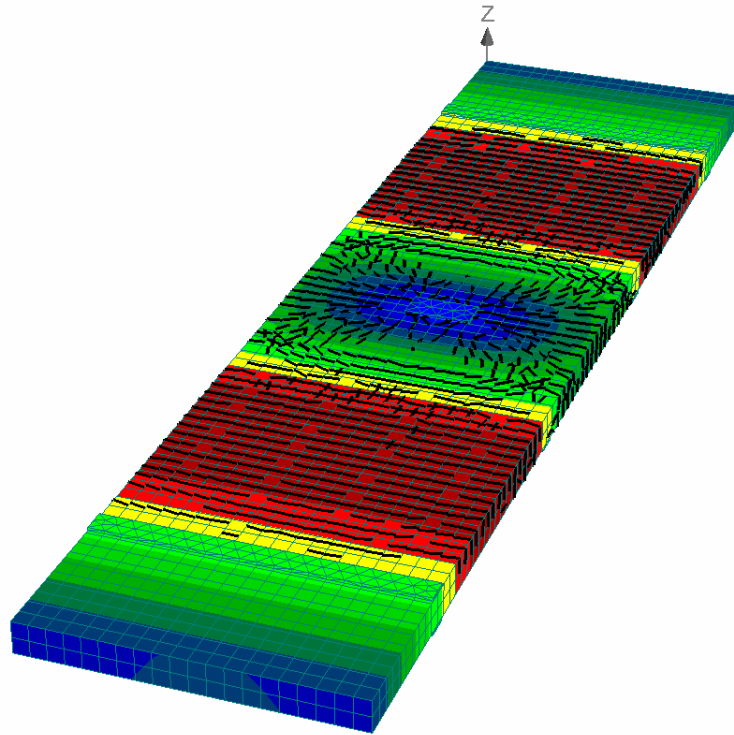
รูปที่ 4-117 แบบจำลองแผ่นพื้นคอนกรีตธรรมดา ความหนา 15 เซนติเมตร ที่จุดวิบัติ



รูปที่ 4-118 แบบจำลองแผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ความหนา 15 เซนติเมตร
ที่จุดวิบัติ



รูปที่ 4-119 แบบจำลองแผ่นพื้นคอนกรีตธรรมดา ความหนา 20 เซนติเมตร ที่จุดวิบัติ



รูปที่ 4-120 แบบจำลองแผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ความหนา 20 เซนติเมตร
ที่จุดวิบัติ

4.5.2 สรุปผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและผลการวิเคราะห์ จากแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์

จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการและผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ สามารถ
นำมาเปรียบเทียบกันดังตารางถัดไป

ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและผลการวิเคราะห์จาก
แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ด้านกำลังรับแรงและการเสียรูป

Thickness (cm)	Ultimate Strength (tons)					
	Lab Test			FE Model		
	NC	CRC	% reduction	NC	CRC	% reduction
15	38.88	30.13	22.51%	39.17	34.20	12.69%
20	55.62	47.61	14.40%	60.12	50.73	15.62%

Thickness (cm)	Ultimate Displacement (mm)					
	Lab Test			FE Model		
	NC	CRC	% reduction	NC	CRC	% reduction
15	21.47	18.3	14.76%	20.13	17.63	12.42%
20	14.76	14.56	1.36%	14.32	12.70	11.31%

ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ สามารถนำมาใช้ในการทำนาย
รูปแบบการแตกร้าว รวมถึงกำลังและการเสียรูปของแผ่นพื้นคอนกรีตปกติ และแผ่นพื้นคอนกรีตผสม
ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดได้ โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนั้นมีความสามารถในการทำนายพฤติกรรม
ของแผ่นพื้นได้ใกล้เคียงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4.6 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง

ผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลองคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด สรุปดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 สรุปผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง

ประเภทพื้นสะพาน	ความหนาพื้น (เมตร)	กำลังรับแรงเฉลี่ย (ตัน)	ลักษณะการวิบัติ
คอนกรีตปกติ	0.20	55.62	เปราะ รอยแตกลุกลามอย่างรวดเร็ว ก่อนวิบัติ
	0.15	38.88	
คอนกรีต ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	0.20	47.61	ค่อนข้างเหนียว รอยแตกลุกลามอย่างช้า ๆ และ กระจายตัวก่อนวิบัติ
	0.15	30.13	

พื้นสะพานคอนกรีตปกติมีกำลังรับแรงที่สูงกว่าพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเนื่องจากการใส่ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดแทนที่ทรายร้อยละ 25 โดยปริมาตร ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำลง (ดูบทที่ 6 ผ่านมา กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตปกติและของคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด เท่ากับ 300 และ 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ) ส่งผลให้กำลังรับแรงของพื้นสะพานต่ำลงด้วย โดยที่พื้นสะพานความหนา 0.20 เมตร มีกำลังรับแรงต่ำลงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 15 และที่ความหนา 0.15 เมตร พื้นสะพานมีกำลังรับแรงต่ำลง เฉลี่ยประมาณร้อยละ 23 กำลังรับแรงของพื้นสะพานที่ต่ำลงนี้ โดยเฉพาะในกรณีของพื้นสะพานหนา 0.15 เมตร ถือว่าค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตาม กำลังรับแรง 30.13 ตันของพื้นสะพานหนา 0.15 เมตร ยังคงสูงกว่าน้ำหนักล้อ 12.5 ตันตามมาตรฐานการออกแบบ AASHTO LRFD (ดูบทที่ 6) ถึงร้อยละ 141 แสดงให้เห็นว่า การนำยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาเป็นส่วนผสมคอนกรีตพื้นสะพานในปริมาณร้อยละ 25 โดยปริมาตรทราย พื้นสะพานยังคงรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยตามมาตรฐานการออกแบบ

การผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในคอนกรีตพื้นสะพาน ถึงแม้ว่าจะทำให้กำลังรับแรงของพื้นสะพานต่ำลง แต่อย่างไรก็ตาม พื้นสะพานคอนกรีตที่มียางรถยนต์เก่าบดละเอียดผสมอยู่มีความเหนียวกว่าพื้นสะพานคอนกรีตปกติ สังเกตได้จากรอยแตกที่ลุกลามอย่างช้า ๆ และกระจายตัว ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการต้านทานความล้าเนื่องจากแรงกระทำซ้ำของน้ำหนักล้อรถบรรทุก รายละเอียดการทดสอบความล้าของพื้นสะพานคอนกรีตปกติและพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดแสดงในบทถัดไป

แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของพื้นสะพานได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกำลังรับแรงของพื้นสะพานกับผลการทดสอบ เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองในการนำไปวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพานออกแบบที่เหมาะสมในบทที่ 6

โครงการนี้ใช้โปรแกรม ATENA ซึ่งเป็นโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์เฉพาะด้านการวิเคราะห์โครงสร้างคอนกรีตในการทำแบบจำลองพื้นสะพาน โดยจำลองพื้นสะพานในรูปแบบ 3 มิติ ใส่ข้อมูลความเค้น-ความเครียดของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตามผลการทดสอบจริงในบทที่ 3 การให้แรงเป็นแบบ Displacement Control ผลการวิเคราะห์ สรุปดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของพื้นสะพาน

ประเภทพื้นสะพาน	ความหนาพื้น (เมตร)	กำลังรับแรง (ตัน)		ระยะแอนตัวที่จุดวิบัติ (มม.)	
		แบบจำลอง	ผลทดสอบ	แบบจำลอง	ผลทดสอบ
คอนกรีตปกติ	0.20	60.12	55.62	14.32	14.76
	0.15	39.17	38.88	20.13	21.47
คอนกรีต ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	0.20	50.73	47.61	12.70	14.56
	0.15	34.20	30.13	17.63	18.30

กำลังรับแรงของพื้นสะพานทั้งสองประเภทจากการวิเคราะห์แบบจำลองมีค่าสูงกว่าจากผลการทดสอบประมาณร้อยละ 7 ในขณะที่ระยะแอนตัวที่จุดวิบัติของพื้นสะพานจากการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าจากผลการทดสอบประมาณร้อยละ 6 ลักษณะรอยแตกของพื้นสะพานจากแบบจำลองสอดคล้องกับรอยแตกที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ แสดงถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ในการนำไปวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพานออกแบบที่เหมาะสม ผลการวิเคราะห์แสดงในบทที่ 6

บทที่ 5 การทดสอบกำลังต้านทาน ความล้าของพื้นสะพาน

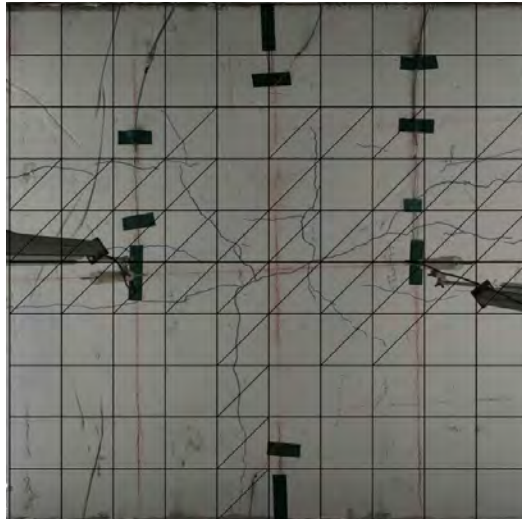
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานดำเนินการโดยให้แรงกระทำแบบวัฏจักร (Cyclic) ความถี่ประมาณ 0.67 – 1.70 รอบต่อวินาที (Hz) ที่กึ่งกลางแผ่นพื้นสะพานจำลอง ขนาดของแรงกระทำมี 3 ระดับ ได้แก่ 40% 55% และ 70% ของกำลังรับแรงสูงสุดของแผ่นพื้น (Pu) (ดูกำลังรับแรงสูงสุดของแผ่นพื้นแต่ละประเภทในบทที่ 4 การทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานจำลอง) ดังแสดงสรุปไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แรงกระทำแบบวัฏจักรที่ใช้ในการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพาน

ระดับแรงกระทำ	พื้นสะพาน คอนกรีตปกติ		พื้นสะพาน คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด	
	หนา 0.20 เมตร	หนา 0.15 เมตร	หนา 0.20 เมตร	หนา 0.15 เมตร
0.40Pu	22.25 ตัน ความถี่ 1.08 Hz	15.55 ตัน ความถี่ 1.36 Hz	19.04 ตัน ความถี่ 1.19 Hz	12.05 ตัน ความถี่ 1.48 Hz
0.55Pu	30.59 ตัน ความถี่ 0.82 Hz	21.38 ตัน ความถี่ 1.15 Hz	26.18 ตัน ความถี่ 0.93 Hz	16.57 ตัน ความถี่ 1.27 Hz
0.70Pu	38.93 ตัน ความถี่ 0.70 Hz	27.21 ตัน ความถี่ 1.09 Hz	33.32 ตัน ความถี่ 0.82 Hz	21.09 ตัน ความถี่ 1.11 Hz

โดยระหว่างการทดสอบได้ทำการบันทึกข้อมูลและภาพถ่ายท้องพื้นสะพานเพื่อนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวด้วยการสร้างตารางจำนวน 100 ช่อง ดังแสดงใน รูปที่ 5-1 เทียบกับจำนวนรอบของแรงกระทำ กำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพาน คือ จำนวนรอบของแรงกระทำที่ทำให้พื้นสะพานเกิดความเสียหายตามที่ระบุ เช่น ที่เปอร์เซ็นต์การแตกร้าว 50% ของพื้นที่ท้องพื้นสะพาน

รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2 นี้ นำเสนอผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานคอนกรีตปกติและพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดทั้งความหนา 0.20 เมตร และ 0.15 เมตร ที่ระดับแรงกระทำ 0.40Pu รวม 4 แผ่นพื้น



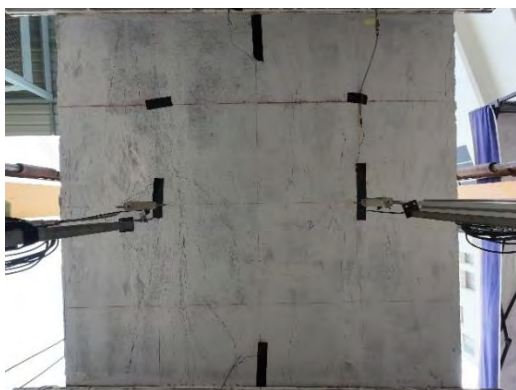
รูปที่ 5-1 ตัวอย่างการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว

5.1 การทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนักกระทำ 40% ของกำลังรับแรงสูงสุด

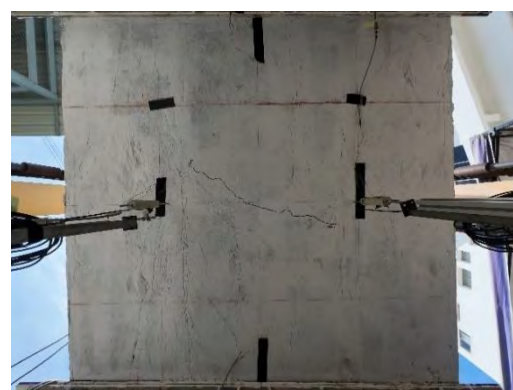
การทดสอบต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง ที่มีขนาดความกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร หนา 0.20 เมตร ในชุดที่ 1 และ ความหนา 0.15 เมตร ในชุดที่ 2 ทั้งหมด 4 แผ่นพื้น โดยแต่ละชุดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ จำนวน 2 แผ่นพื้น และประเภทที่ 2 พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด จำนวน 2 แผ่นพื้น

5.1.1 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (FT-NC20-1)

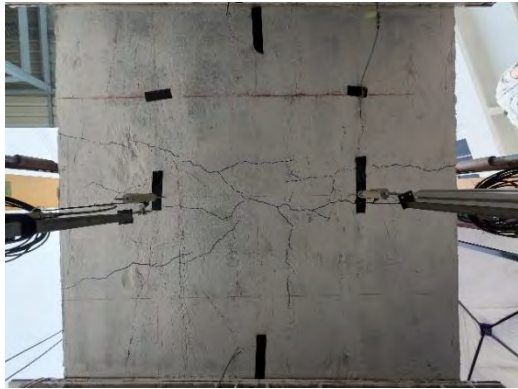
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-NC20-1 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 22.25 ตัน ซึ่งคิดเป็น 40% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-NC20) สามารถรับได้



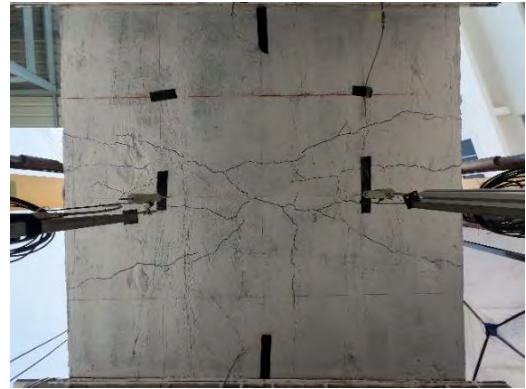
0 Cycles (Crack 0%)



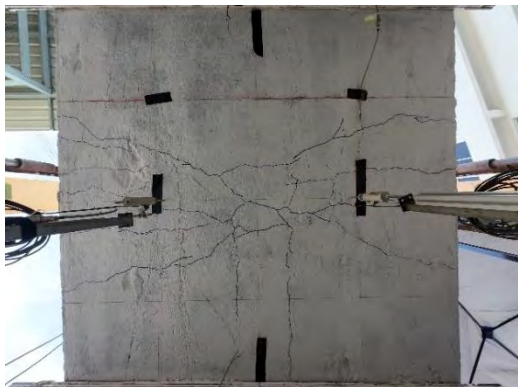
100 Cycles (Crack 5%)



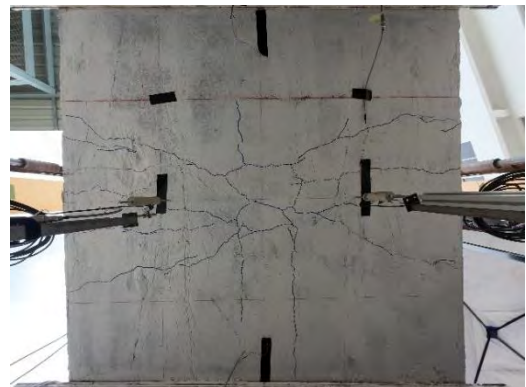
500 Cycles (Crack 29%)



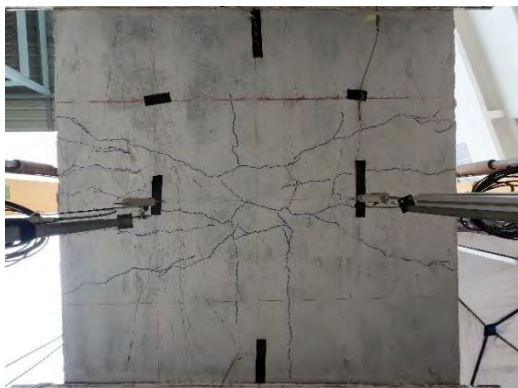
1,000 Cycles (Crack 35%)



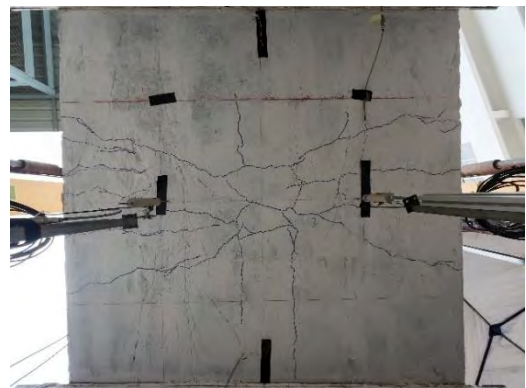
3,000 Cycles (Crack 45%)



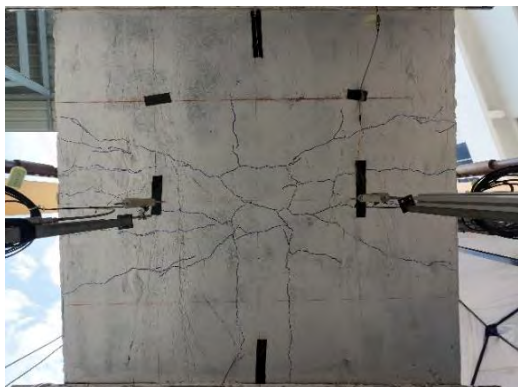
5,000 Cycles (Crack 48%)



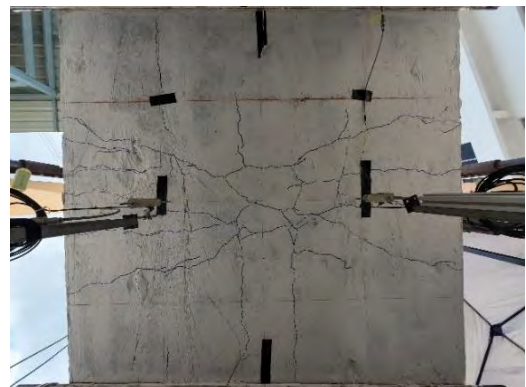
10,000 Cycles (Crack 48%)



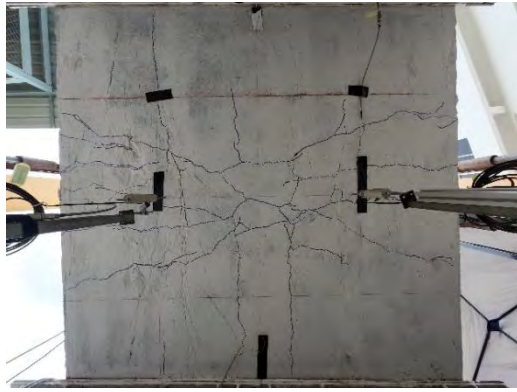
15,000 Cycles (Crack 48%)



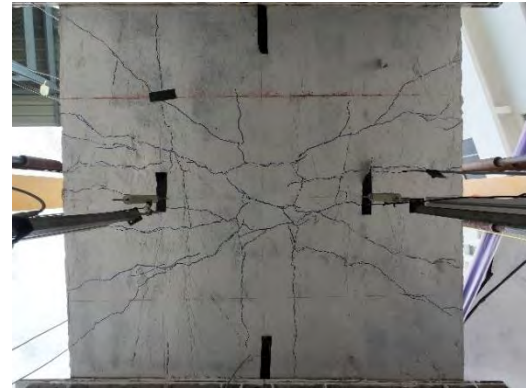
20,000 Cycles (Crack 50%)



25,000 Cycles (Crack 52%)



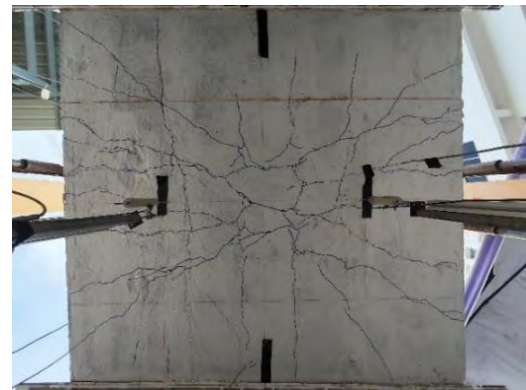
30,000 Cycles (Crack 55%)



40,000 Cycles (Crack 56%)



50,000 Cycles (Crack 59%)

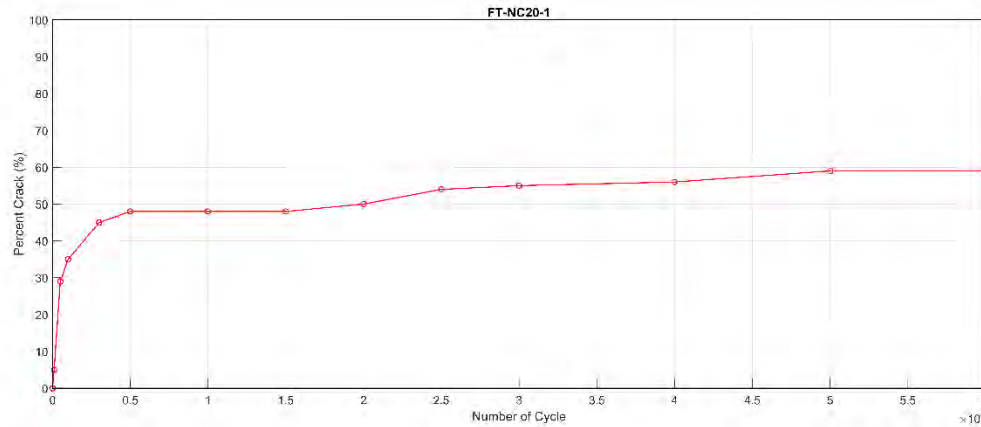


60,000 Cycles (Crack 59%)

รูปที่ 5-2 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC20-1)

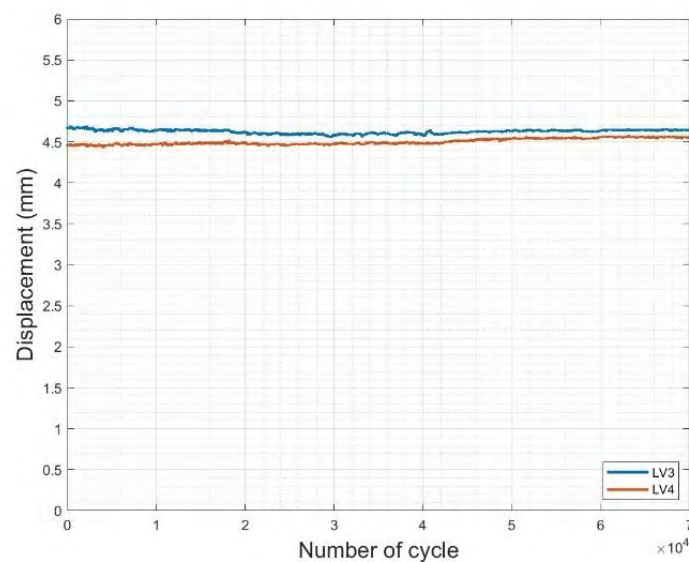
5.1.2 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (FT-NC20-1)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-3 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 5,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 5,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยลงเรื่อย ๆ และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 59% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 60,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ

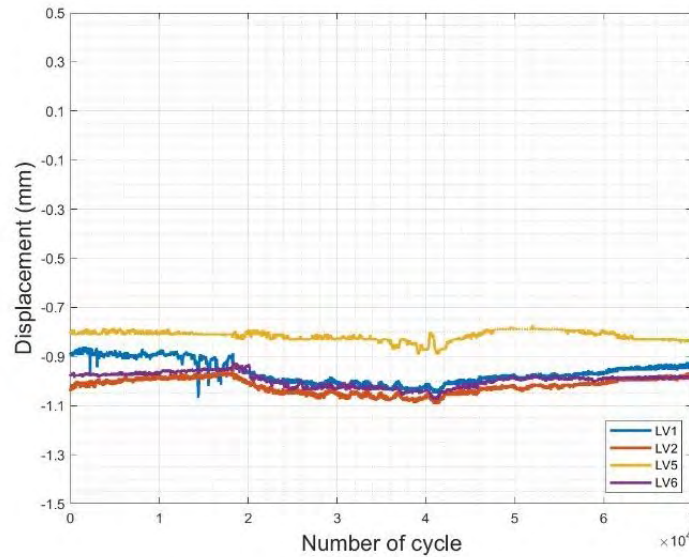


รูปที่ 5-3 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้นสะพาน
จำลอง (FT-NC20-1)

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC20-1) แสดงดังรูปที่ 5-4 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 4,000 รอบ และหลังจากนั้นมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดสอบ ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าการเสียรูปในส่วนที่รับโมเมนต์ลบ แสดงดังรูปที่ 5-5



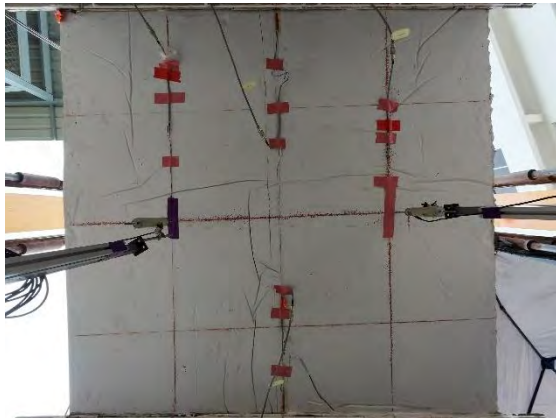
รูปที่ 5-4 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-NC20-1)



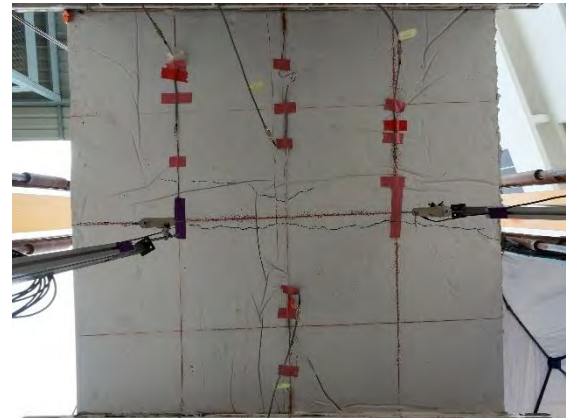
รูปที่ 5-5 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-NC20-1) (ต่อ)

5.1.3 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (FT-CRC20-1)

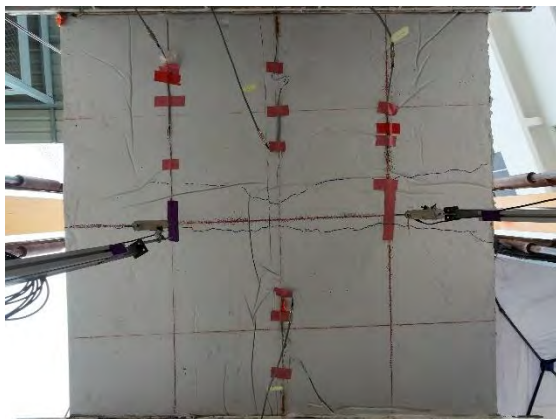
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-CRC20-1 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 19.04 ตัน ซึ่งคิดเป็น 40% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-CRC20) สามารถรับได้



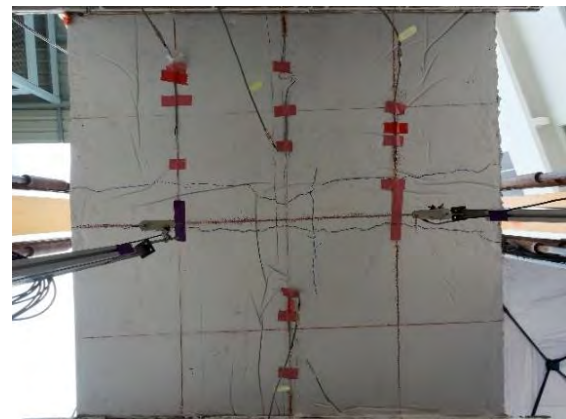
0 Cycles (Crack 0%)



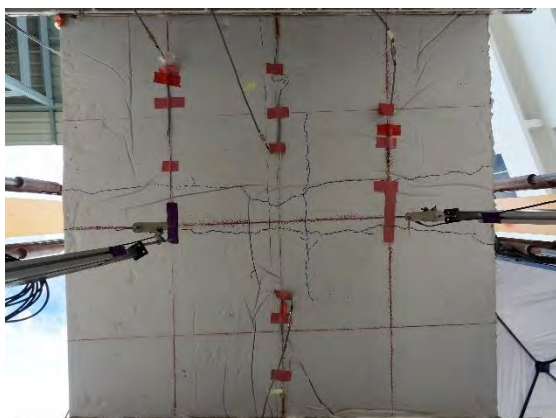
100 Cycles (Crack 14%)



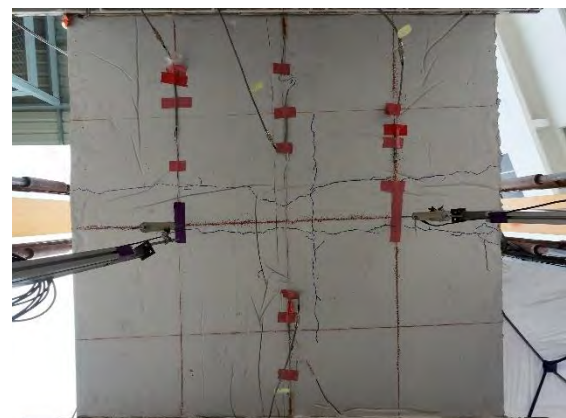
500 Cycles (Crack 19%)



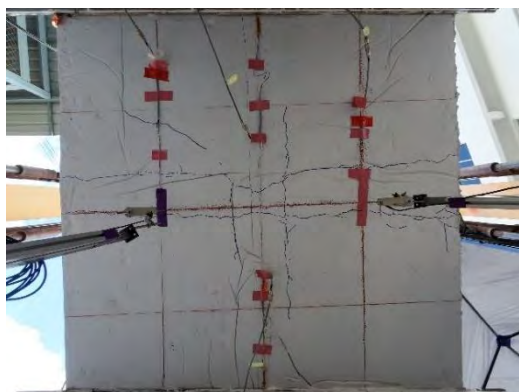
1,000 Cycles (Crack 23%)



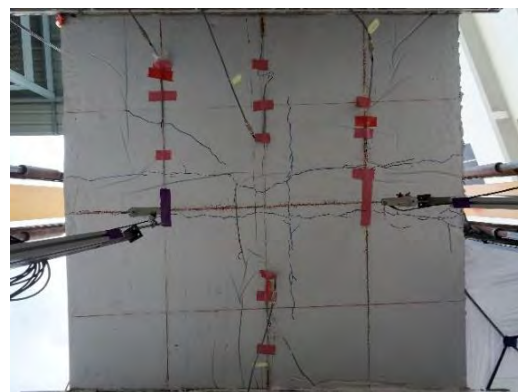
3,000 Cycles (Crack 26%)



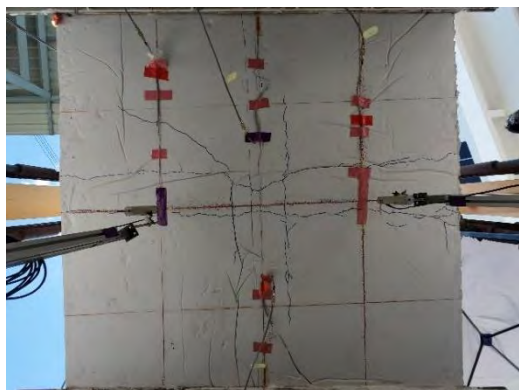
5,000 Cycles (Crack 28%)



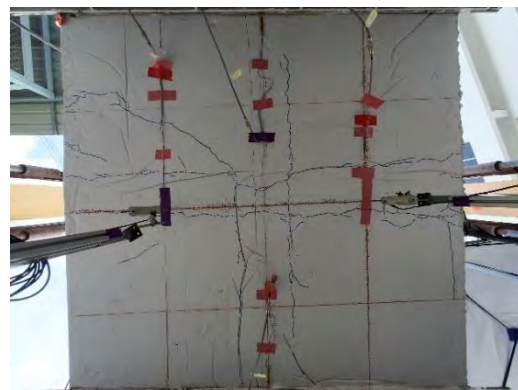
10,000 Cycles (Crack 32%)



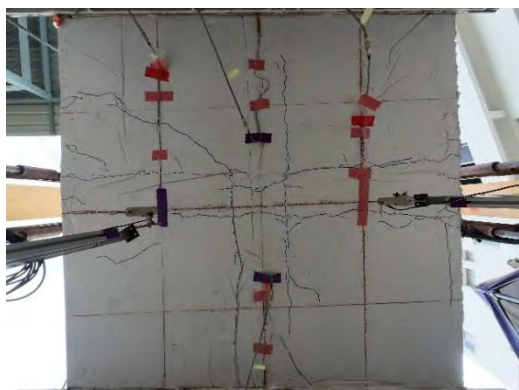
15,000 Cycles (Crack 33%)



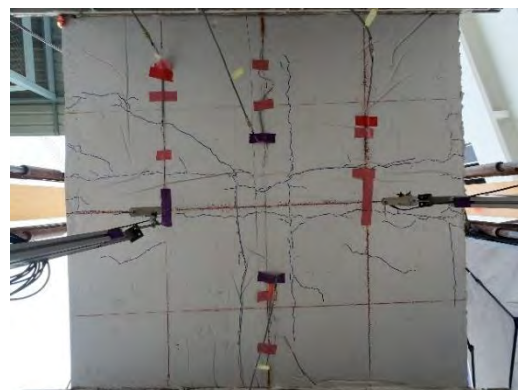
20,000 Cycles (Crack 33%)



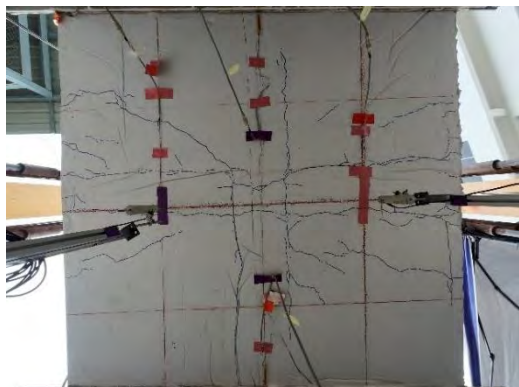
25,000 Cycles (Crack 40%)



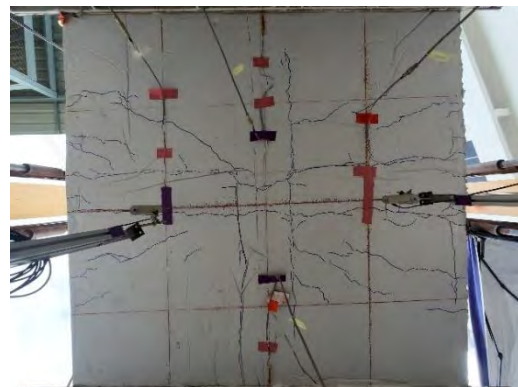
30,000 Cycles (Crack 45%)



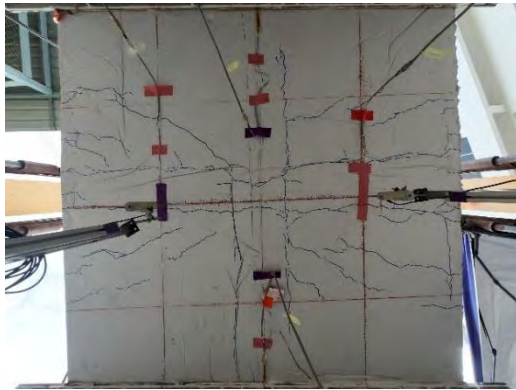
40,000 Cycles (Crack 47%)



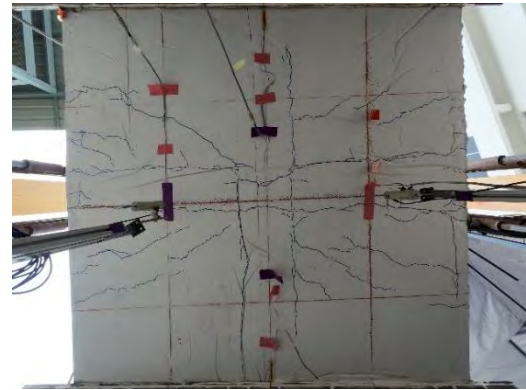
50,000 Cycles (Crack 53%)



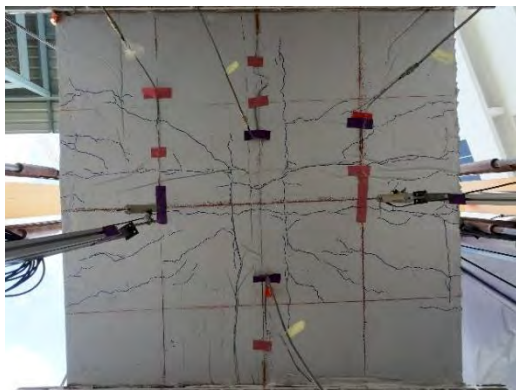
60,000 Cycles (Crack 56%)



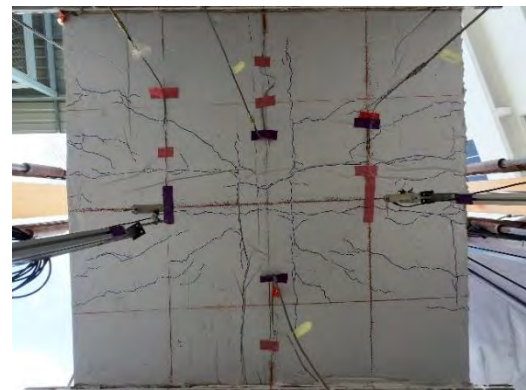
70,000 Cycles (Crack 57%)



80,000 Cycles (Crack 59%)



90,000 Cycles (Crack 59%)

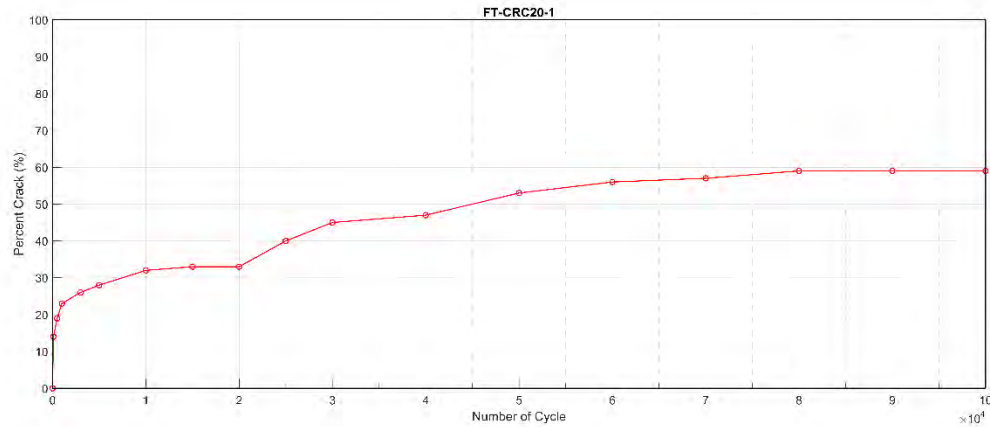


100,000 Cycles (Crack 59%)

รูปที่ 5-6 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC20-1)

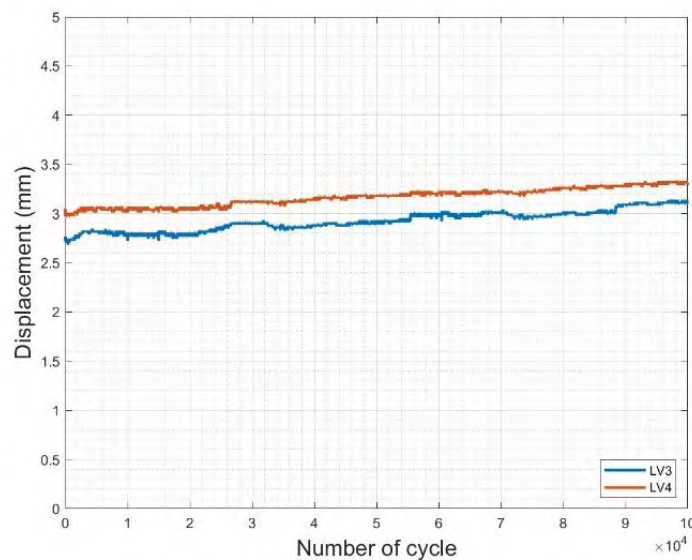
5.1.4 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (FT-CRC20-1)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-7 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 30,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 30,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยลง เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำสูงกว่า 50,000 รอบ และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 59% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 100,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ

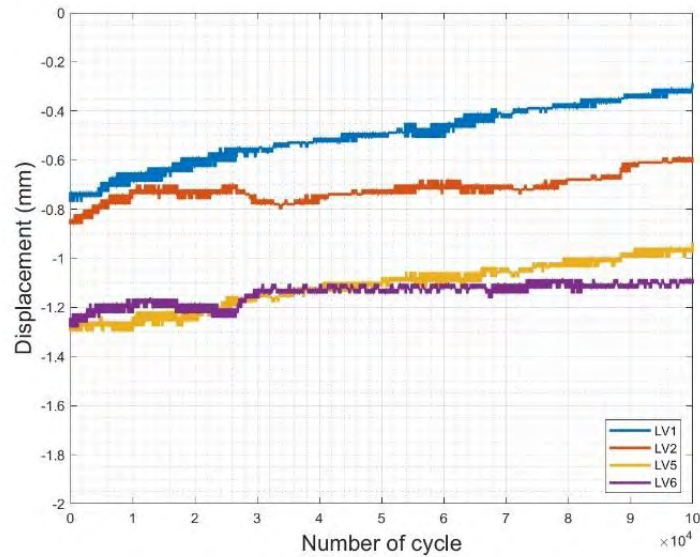


รูปที่ 5-7 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้นสะพาน
จำลอง (FT-CRC20-1)

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC20-1) แสดง
ดังรูปที่ 5-8 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น
อย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 5,000 รอบ และหลังจากนั้นมีแนวโน้มคงที่ตลอด
การทดสอบ ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าการเสียรูปในส่วนที่รับโมเมนต์ลบ แสดงดังรูปที่ 5-9



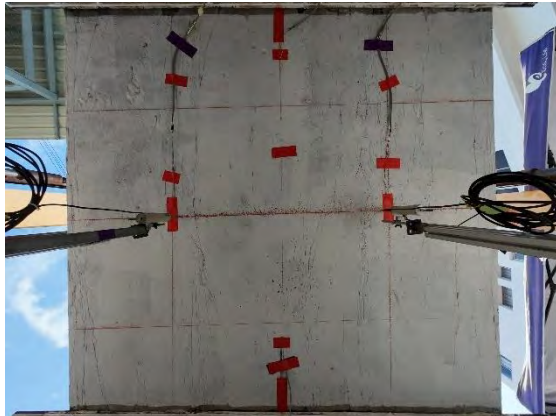
รูปที่ 5-8 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-CRC20-1)



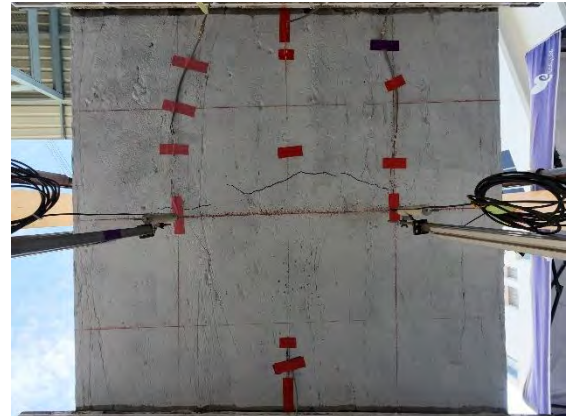
รูปที่ 5-9 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-CRC20-1) (ต่อ)

5.1.5 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (FT-NC15-1)

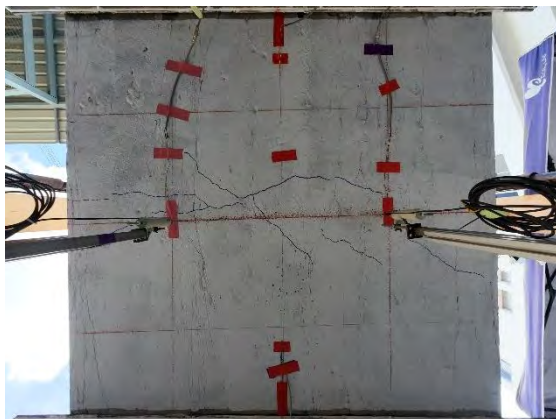
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-NC15-1 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 15.55 ตัน ซึ่งคิดเป็น 40% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-NC15) สามารถรับได้



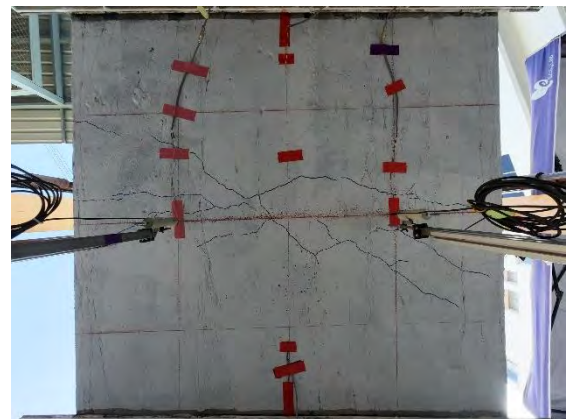
0 Cycles (Crack 0%)



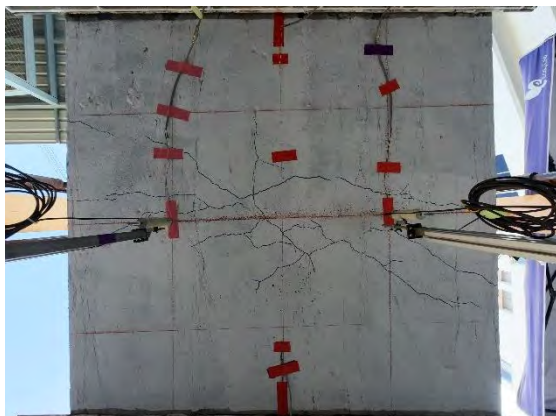
100 Cycles (Crack 6%)



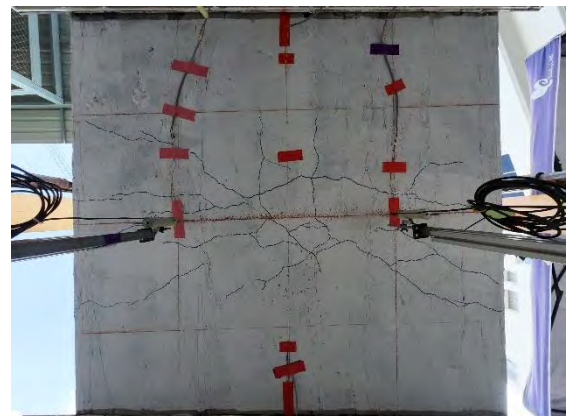
500 Cycles (Crack 18%)



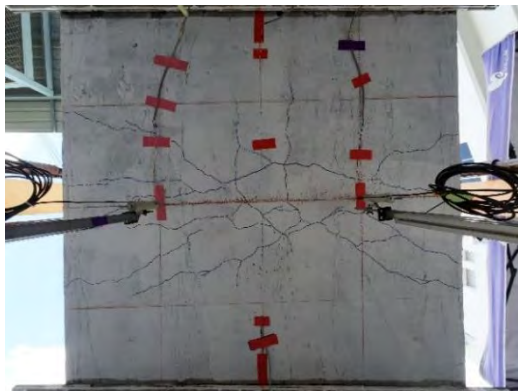
1,000 Cycles (Crack 20%)



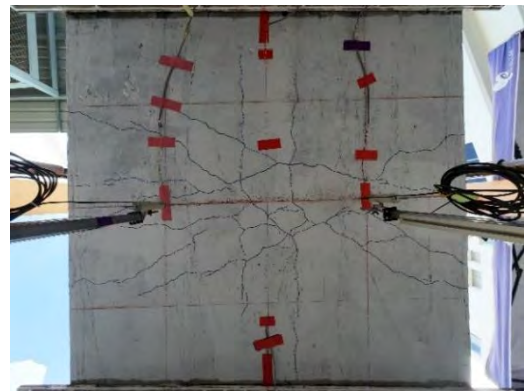
3,000 Cycles (Crack 29%)



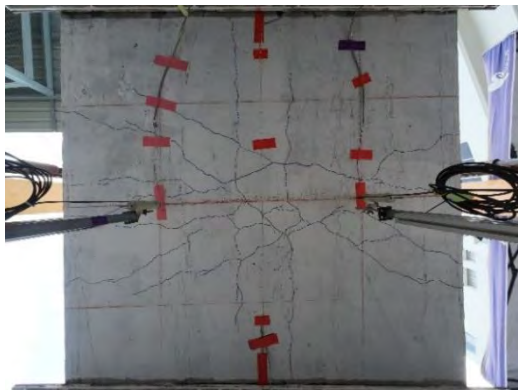
5,000 Cycles (Crack 40%)



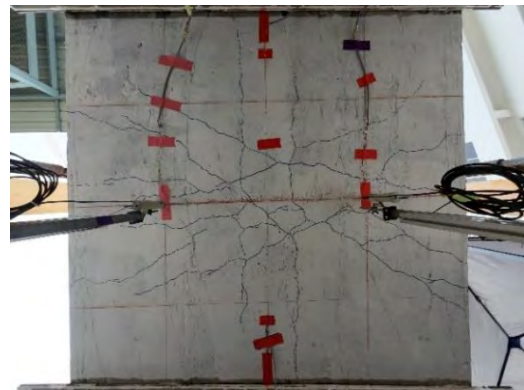
10,000 Cycles (Crack 44%)



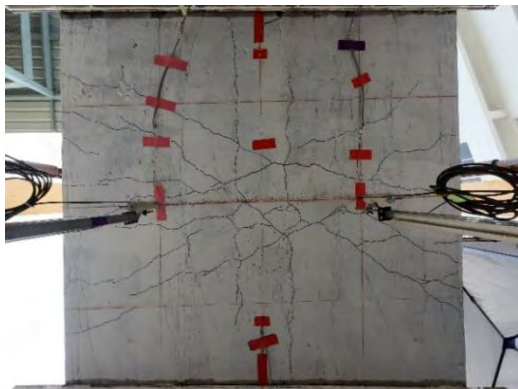
15,000 Cycles (Crack 54%)



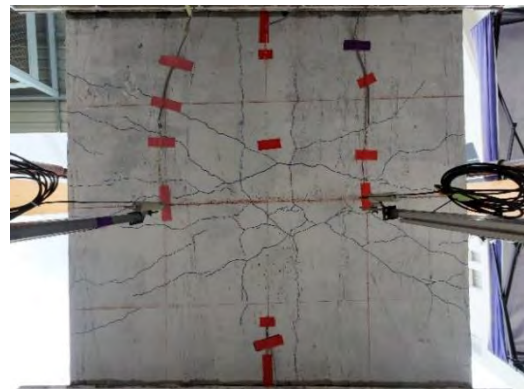
20,000 Cycles (Crack 55%)



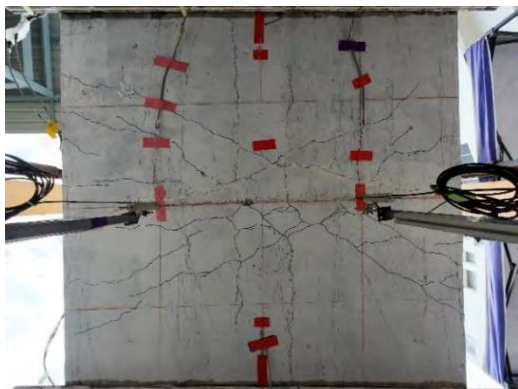
25,000 Cycles (Crack 60%)



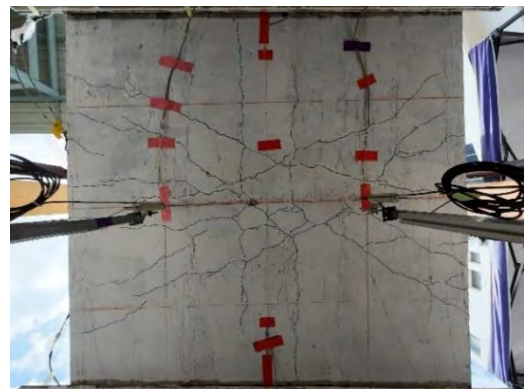
30,000 Cycles (Crack %)



40,000 Cycles (Crack %)



50,000 Cycles (Crack %)

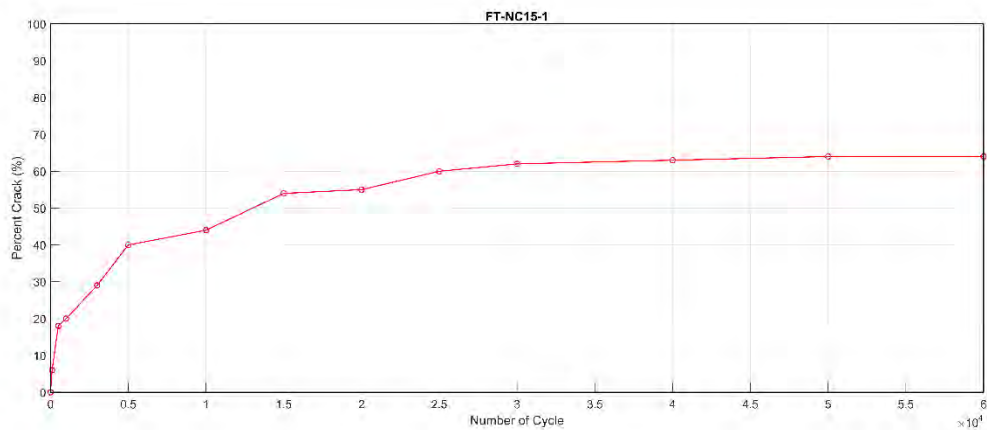


60,000 Cycles (Crack %)

รูปที่ 5-10 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC15-1)

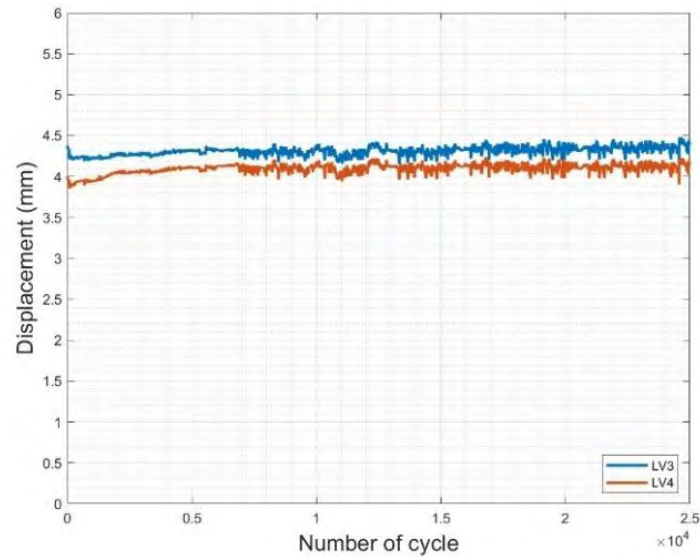
5.1.6 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 1 (FT-NC15-1)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-11 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 1,500 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 2,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยลง เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำสูงกว่า 2,500 รอบ และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 64% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 60,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ

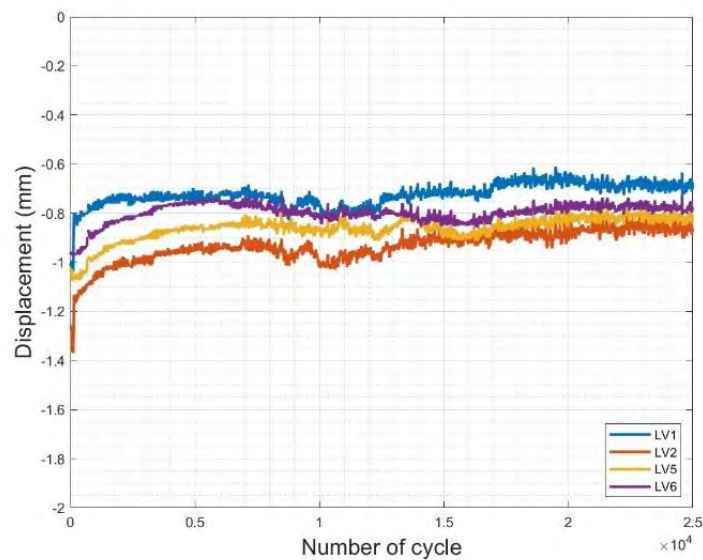


รูปที่ 5-11 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น
สะพานจำลอง (FT-NC15-1)

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC15-1) แสดงดังรูปที่ 5-12 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 5,000 รอบ และหลังจากนั้นมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดสอบ ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าการเสียรูปในส่วนที่รับโมเมนต์ลบ แสดงดังรูปที่ 5-13



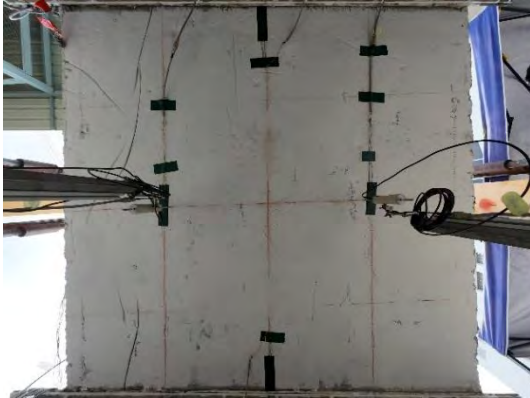
รูปที่ 5-12 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-NC15-1)



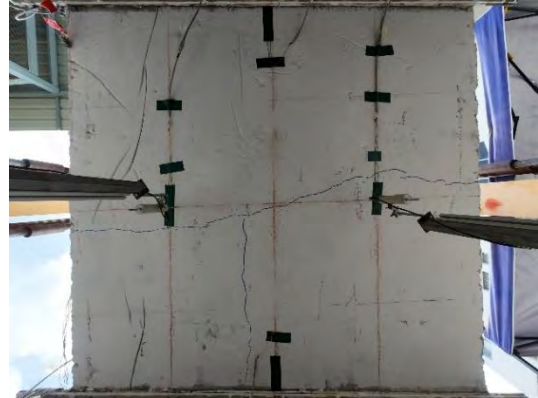
รูปที่ 5-13 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-NC15-1) (ต่อ)

5.1.7 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (FT-CRC15-1)

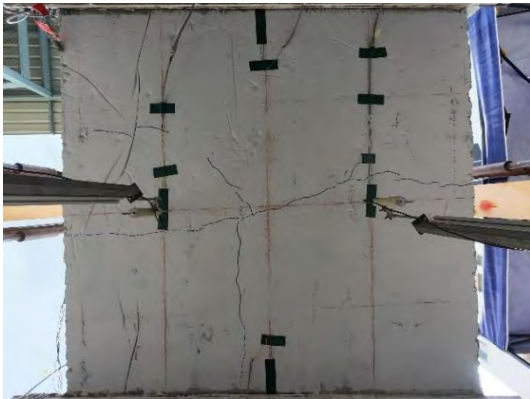
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-CRC15-1 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 12.05 ตัน ซึ่งคิดเป็น 40% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-CRC15) สามารถรับได้



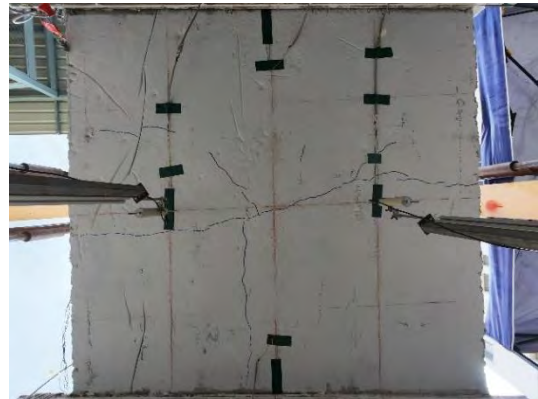
0 Cycles (Crack 0%)



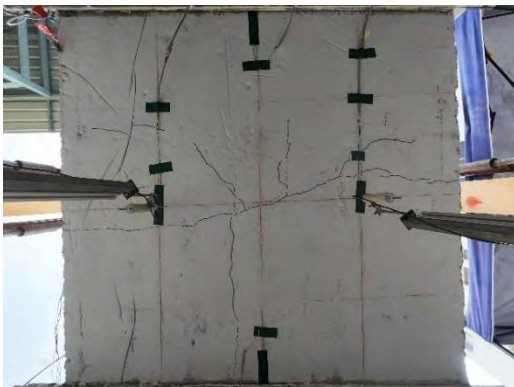
100 Cycles (Crack 15%)



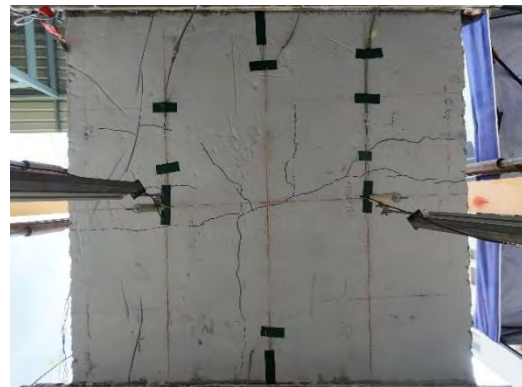
500 Cycles (Crack 21%)



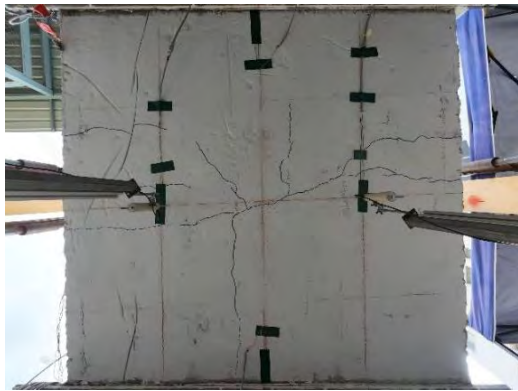
1,000 Cycles (Crack 24%)



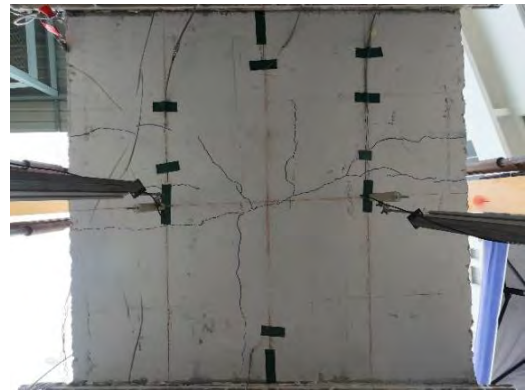
3,000 Cycles (Crack 27%)



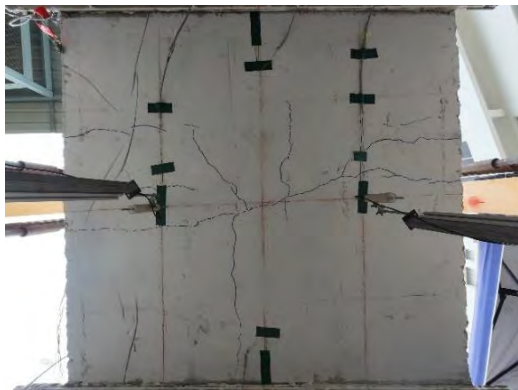
5,000 Cycles (Crack 28%)



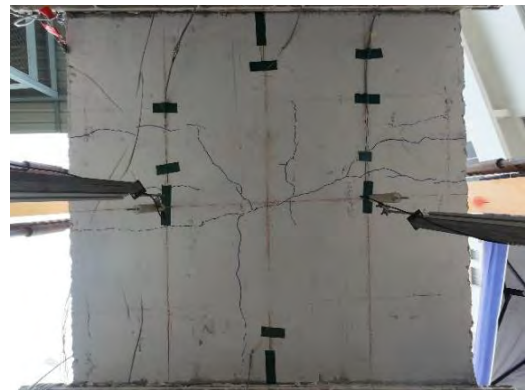
10,000 Cycles (Crack 28%)



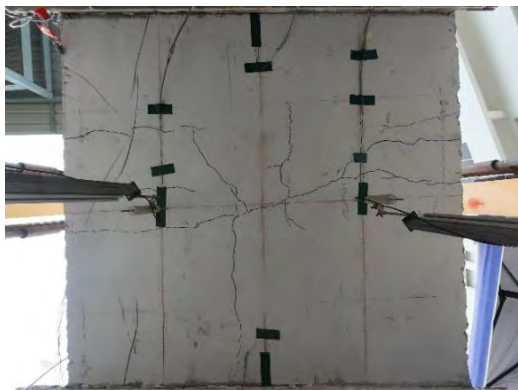
15,000 Cycles (Crack 29%)



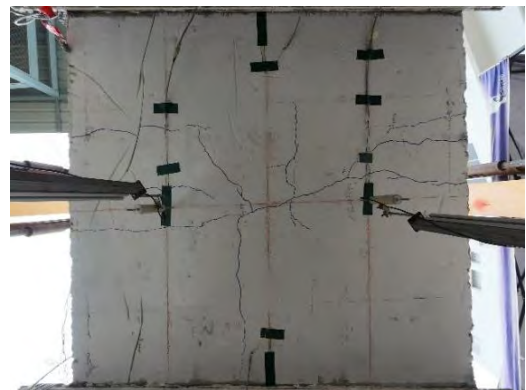
20,000 Cycles (Crack 30%)



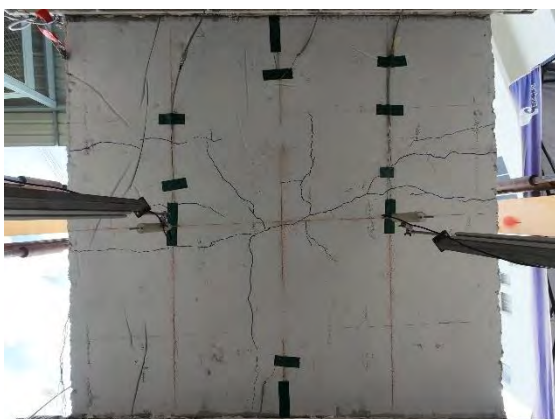
25,000 Cycles (Crack 30%)



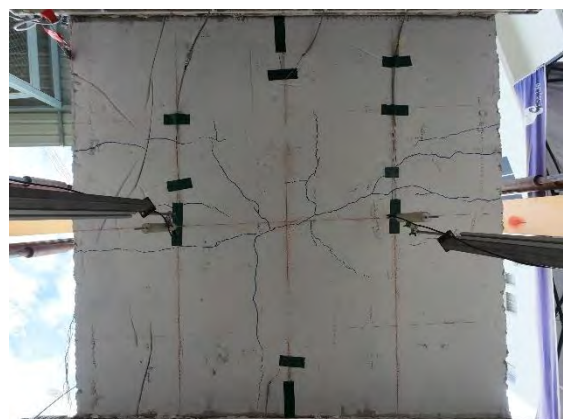
30,000 Cycles (Crack 31%)



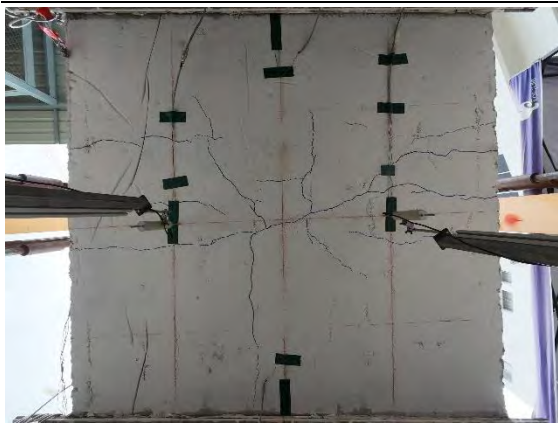
40,000 Cycles (Crack 31%)



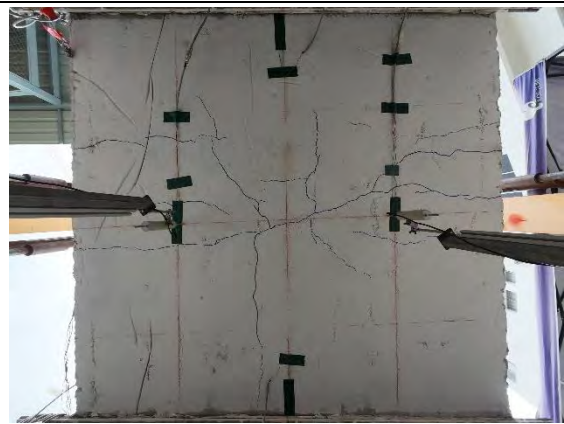
50,000 Cycles (Crack 33%)



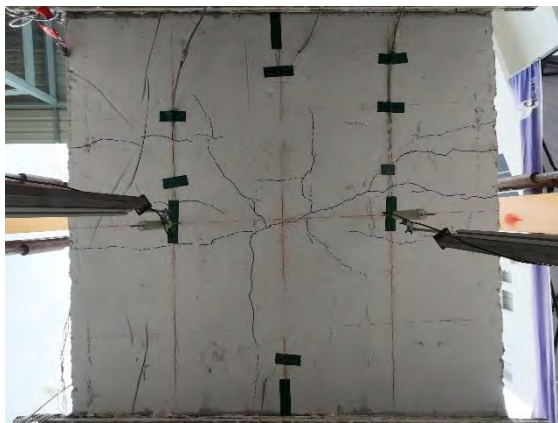
60,000 Cycles (Crack 36%)



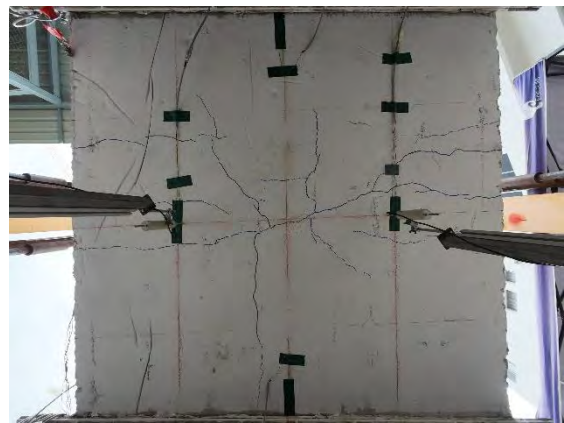
70,000 Cycles (Crack 40%)



80,000 Cycles (Crack 40%)



90,000 Cycles (Crack 41%)

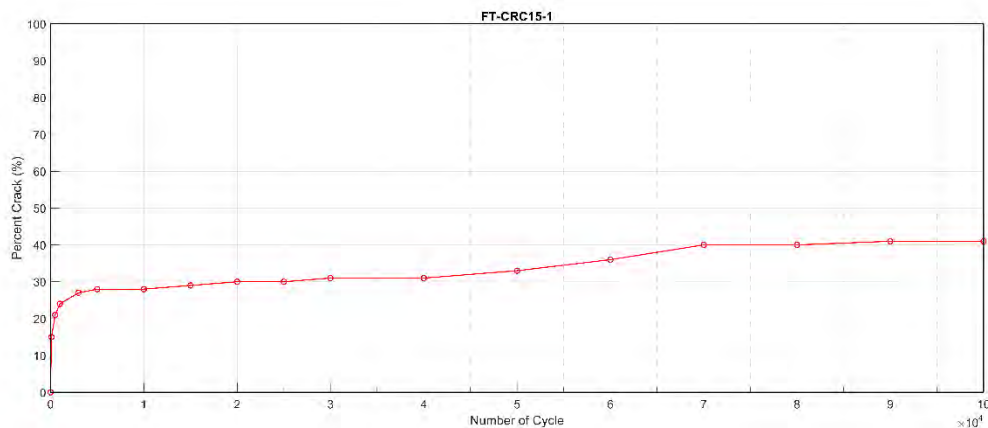


100,000 Cycles (Crack 41%)

รูปที่ 5-14 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC15-1)

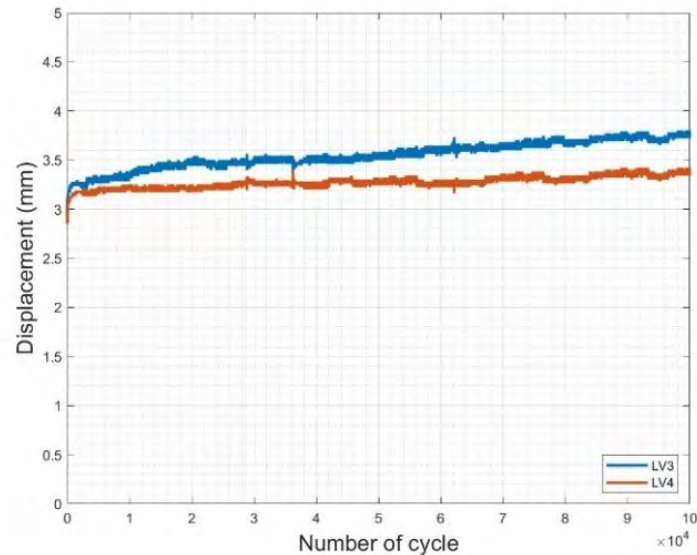
5.1.8 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 1 (FT-CRC15-1)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-15 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 5,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 5,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยลง เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำสูงกว่า 10,000 รอบ และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 41% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 100,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ

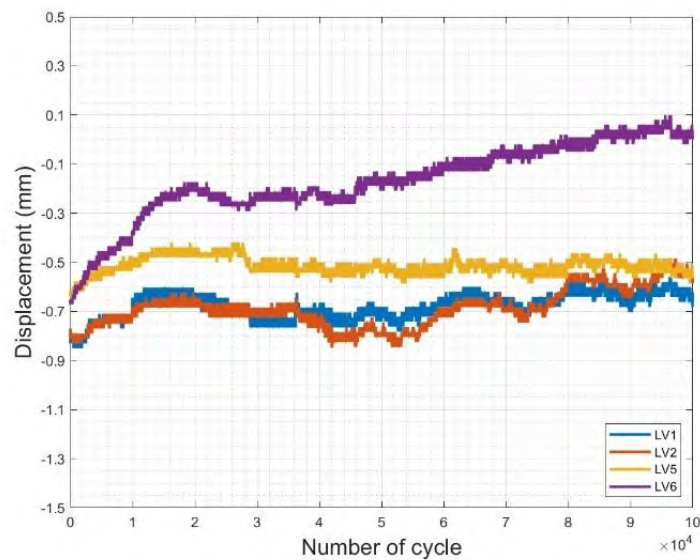


รูปที่ 5-15 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น สะพานจำลอง (FT-CRC15-1)

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC15-1) แสดงดังรูปที่ 5-16 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 2,000 รอบ และหลังจากนั้นมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดสอบ ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าการเสียรูปในส่วนที่รับโมเมนต์ลบ แสดงดังรูปที่ 5-17



รูปที่ 5-16 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-CRC15-1)



รูปที่ 5-17 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-CRC15-1) (ต่อ)

5.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนัก กระทำ 40% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด

ภายหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานความล้า จะนำข้อมูลที่และรูปถ่ายความเสียหายมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการลดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติเมื่อได้รับแรงกระทำซ้ำ

5.2.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)

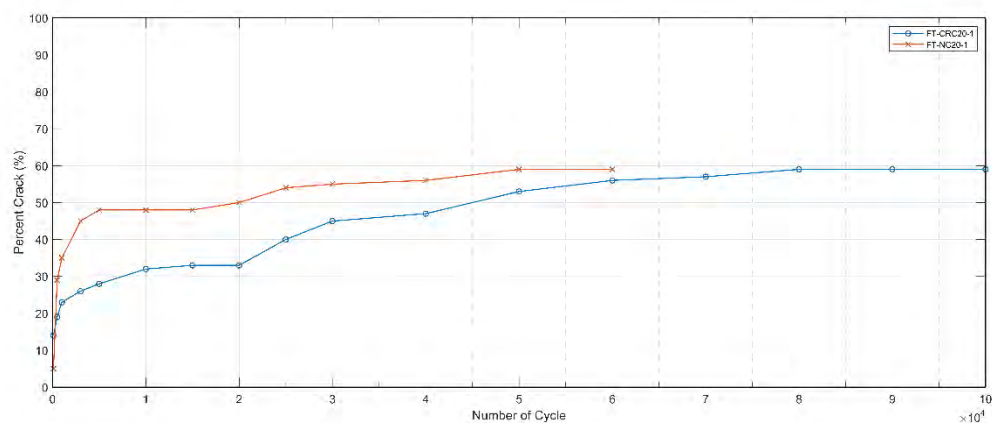
จากผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5.2 ถึงตารางที่ 5.3 พบว่าพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างสูงในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำไม่มากและเมื่อจำนวนรอบถึง 60,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 59% เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างต่ำในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำสูงและเมื่อจำนวนรอบถึง 100,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 59% แสดงดังรูปที่ 5-18

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-NC20-1)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-NC20-1	0	0
		100	5
		500	29
		1000	35
		3000	45
		5000	48
		10000	48
		15000	48
		20000	50
		25000	54
		30000	55
		40000	56
		50000	59
		60000	59

ตารางที่ 5.3 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-CRC20-1)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-CRC20-1	0	0
		100	14
		500	19
		1000	23
		3000	26
		5000	28
		10000	32
		15000	33
		20000	33
		25000	40
		30000	45
		40000	47
		50000	53
		60000	56
		70000	57
		80000	59
		90000	59
		100000	59



รูปที่ 5-18 เส้นเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว
ของพื้นสะพานจำลอง ชุดที่ 1

5.2.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

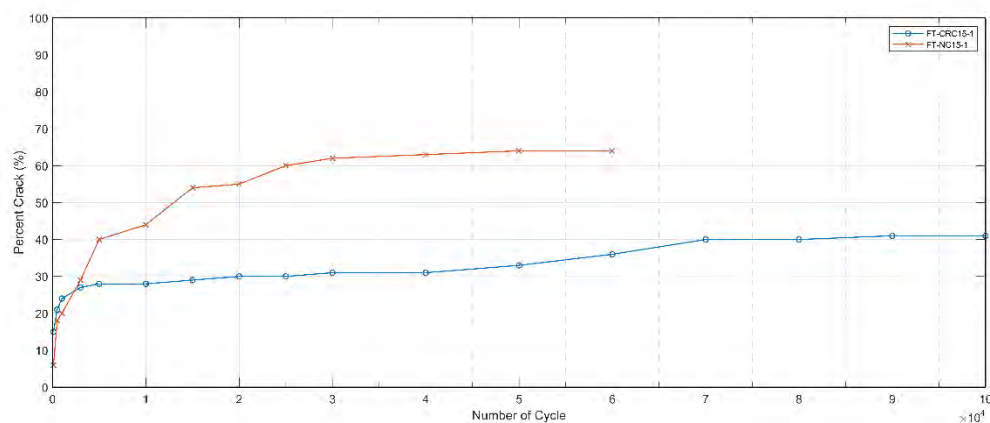
จากผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5.4 ถึงตารางที่ 5.5 พบว่าพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างสูงในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำไม่มากและเมื่อจำนวนรอบถึง 60,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 64% เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างต่ำในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำสูงและเมื่อจำนวนรอบถึง 100,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 41% แสดงดังรูปที่ 5-19

ตารางที่ 5.4 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-NC15-1)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-NC15-1	0	0
		100	6
		500	18
		1000	20
		3000	29
		5000	40
		10000	44
		15000	54
		20000	55
		25000	60
		30000	62
		40000	63
		50000	64
		60000	64

ตารางที่ 5.5 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-CRC15-1)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-CRC15-1	0	0
		100	15
		500	21
		1000	24
		3000	27
		5000	28
		10000	28
		15000	29
		20000	30
		25000	30
		30000	31
		40000	31
		50000	33
		60000	36
		70000	40
		80000	40
		90000	41
		100000	41



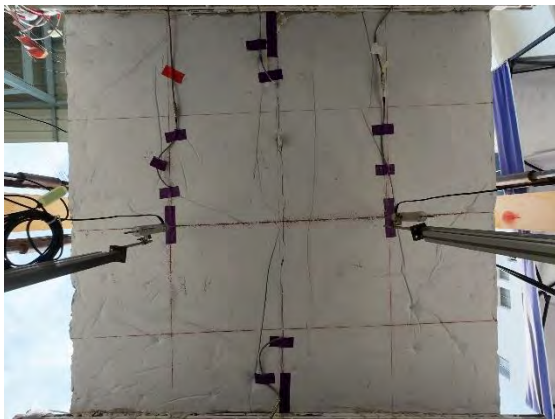
รูปที่ 5-19 เส้นเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น
สะพานจำลอง ชุดที่ 2

5.3 การทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนักกระทำ 55% ของกำลังรับแรงสูงสุด

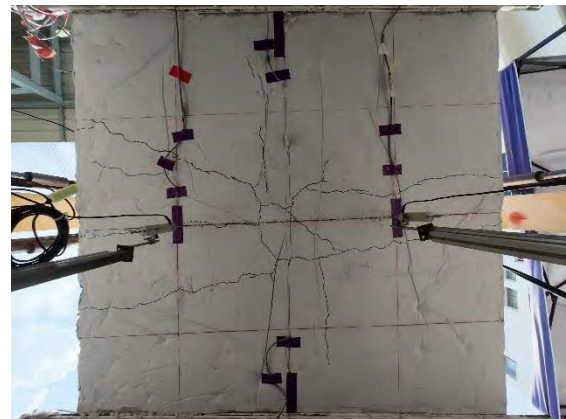
การทดสอบต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง ที่มีขนาดความกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร หนา 0.20 เมตร ในชุดที่ 1 และ ความหนา 0.15 เมตร ในชุดที่ 2 ทั้งหมด 4 แผ่นพื้น โดยแต่ละชุดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ จำนวน 2 แผ่นพื้น และประเภทที่ 2 พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด จำนวน 2 แผ่นพื้น

5.3.1 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (FT-NC20-2)

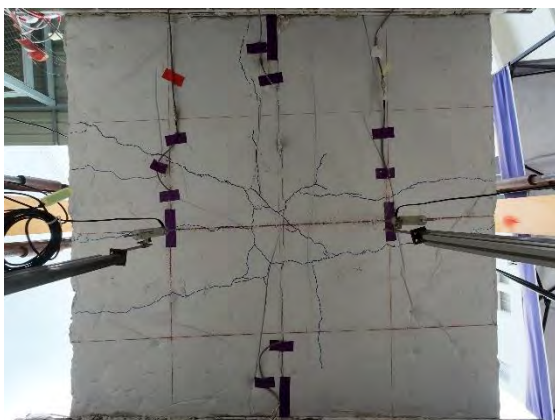
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-NC20-2 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 30.59 ตัน ซึ่งคิดเป็น 55% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-NC20) สามารถรับได้



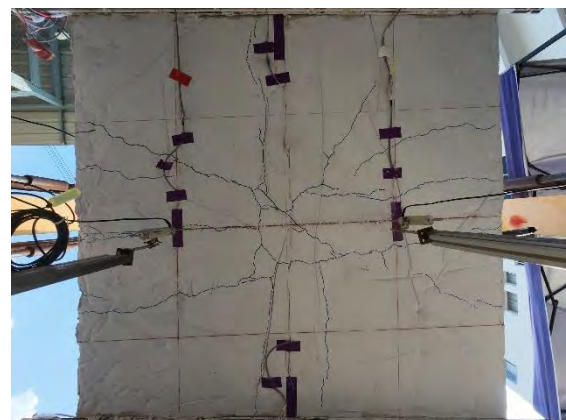
0 Cycles (Crack 0%)



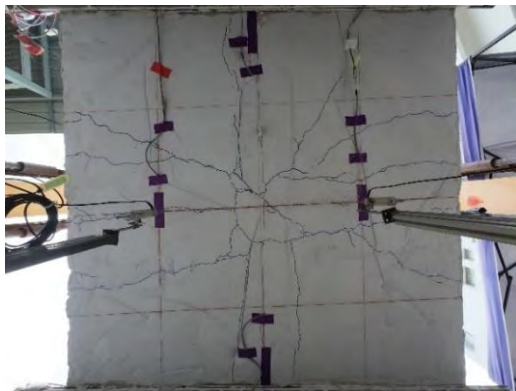
100 Cycles (Crack 38%)



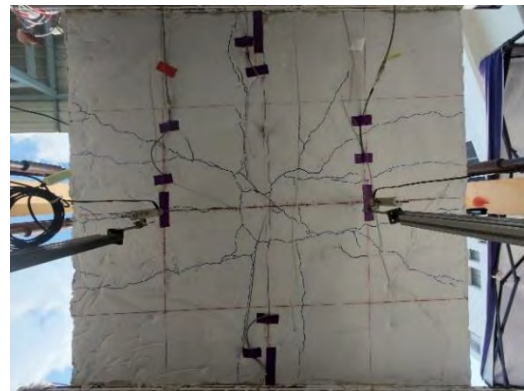
500 Cycles (Crack 41%)



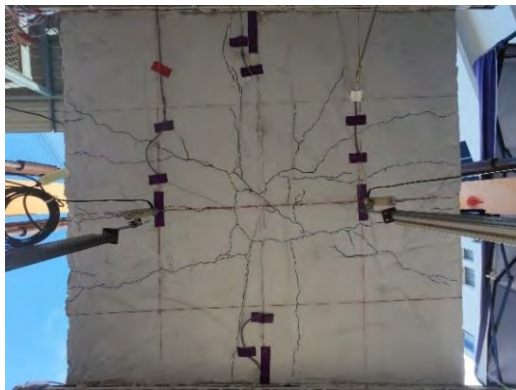
1,000 Cycles (Crack 41%)



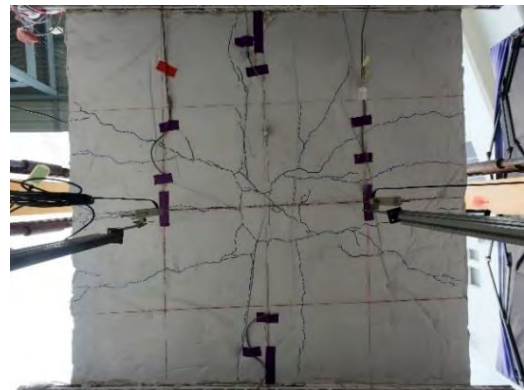
3,000 Cycles (Crack 41%)



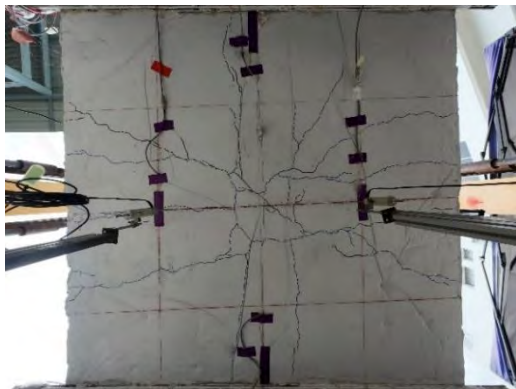
5,000 Cycles (Crack 42%)



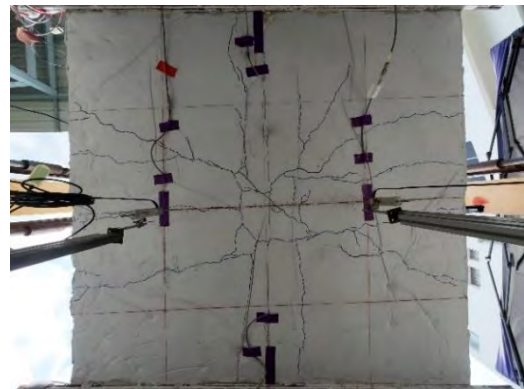
10,000 Cycles (Crack 57%)



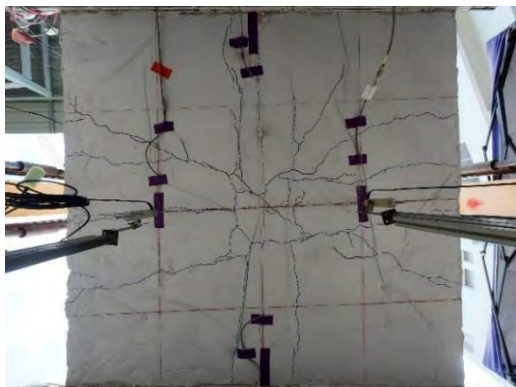
15,000 Cycles (Crack 57%)



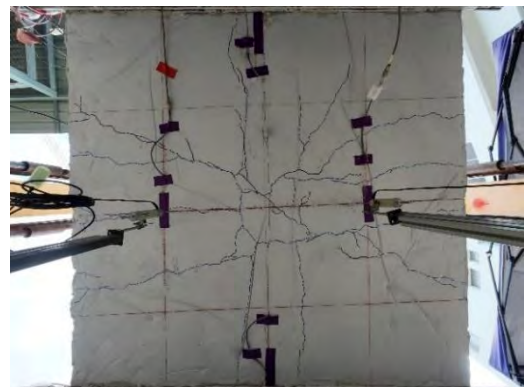
20,000 Cycles (Crack 57%)



25,000 Cycles (Crack 58%)



30,000 Cycles (Crack 58%)

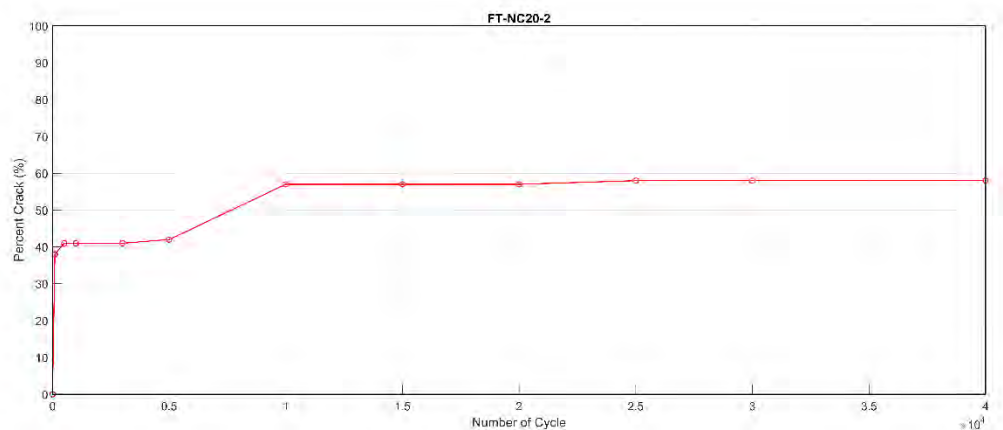


40,000 Cycles (Crack 58%)

รูปที่ 5-20 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC20-2)

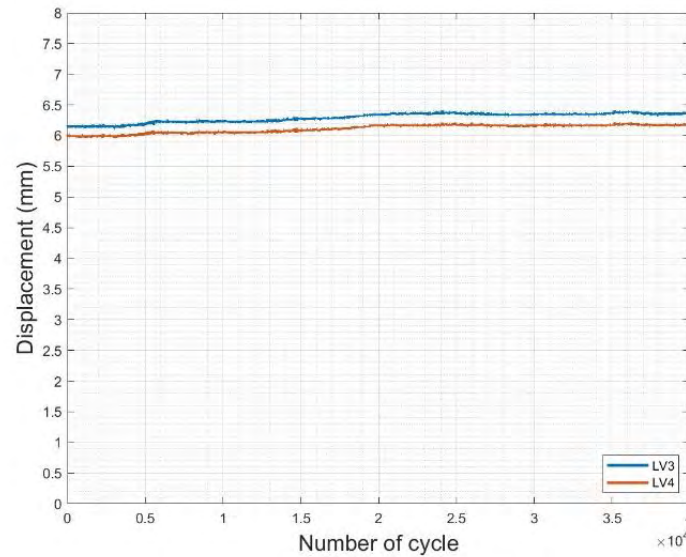
5.3.2 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (FT-NC20-2)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-21 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 1,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 1,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยลง เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำสูงกว่า 10,000 รอบ และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 58% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 40,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ



รูปที่ 5-21 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น
สะพานจำลอง (FT-NC20-2)

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC20-2) แสดงดัง
รูปที่ 5-22 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่าง
รวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 500 รอบ จากนั้นมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดสอบ



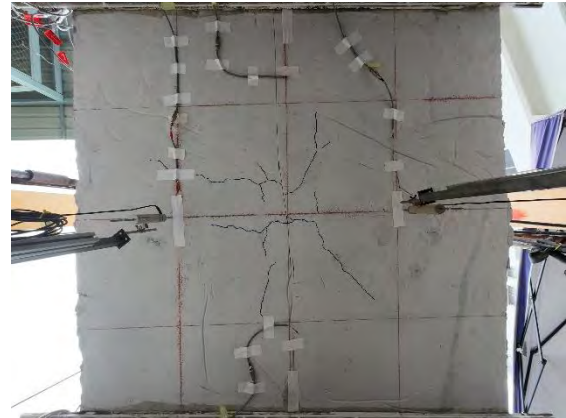
รูปที่ 5-22 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-NC20-2)

5.3.3 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (FT-CRC20-2)

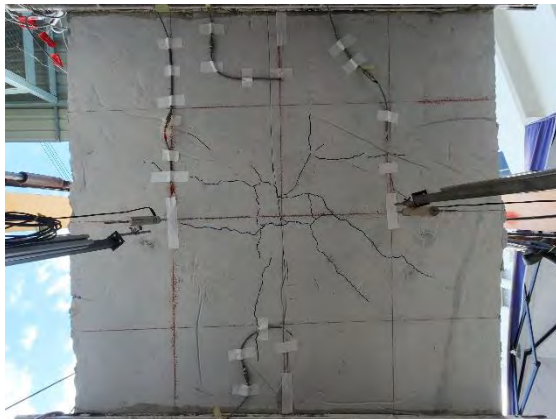
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-CRC20-2 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 26.19 ตัน ซึ่งคิดเป็น 55% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-CRC20) สามารถรับได้



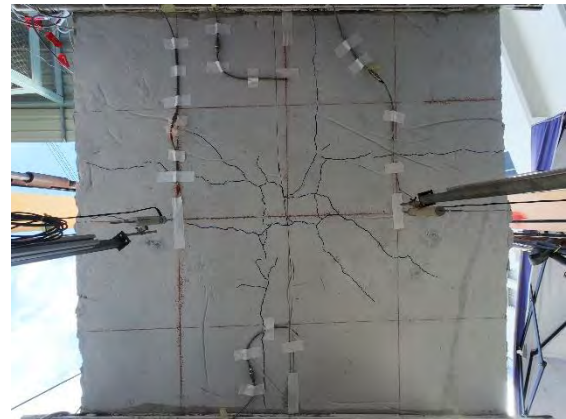
0 Cycles (Crack 0%)



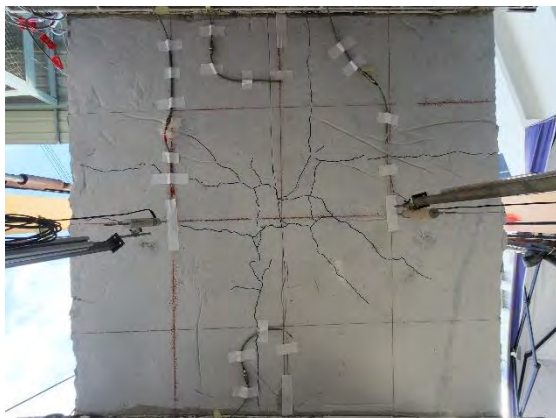
100 Cycles (Crack 12%)



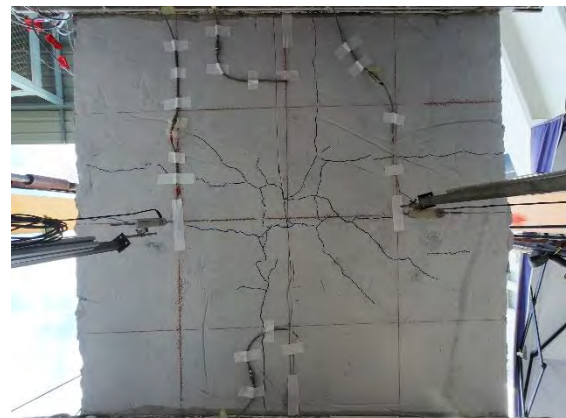
500 Cycles (Crack 26%)



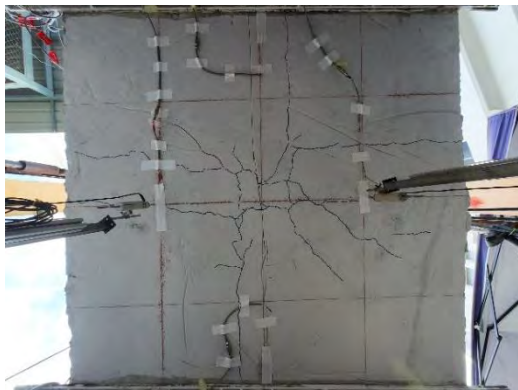
1,000 Cycles (Crack 27%)



3,000 Cycles (Crack 27%)



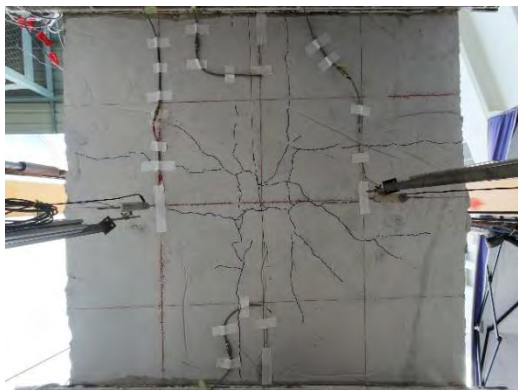
5,000 Cycles (Crack 32%)



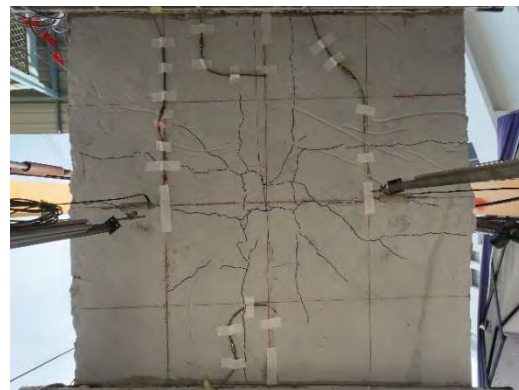
10,000 Cycles (Crack 32%)



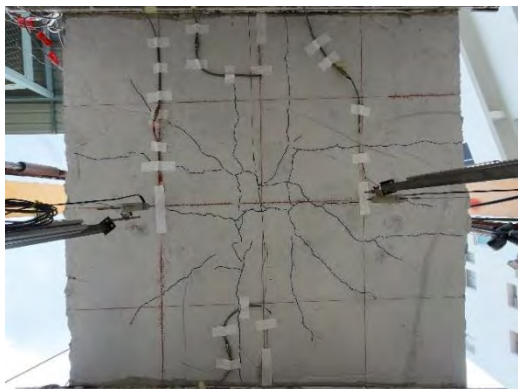
15,000 Cycles (Crack 33%)



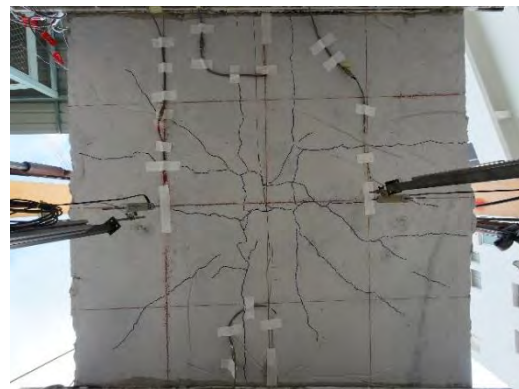
20,000 Cycles (Crack 43%)



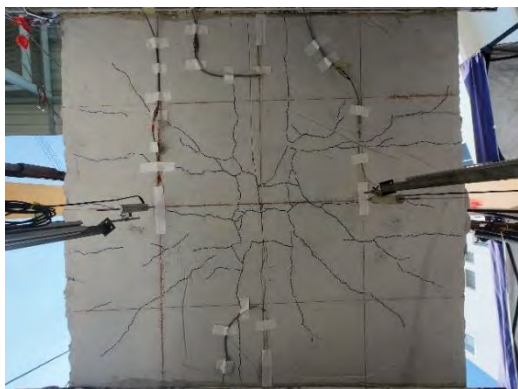
25,000 Cycles (Crack 43%)



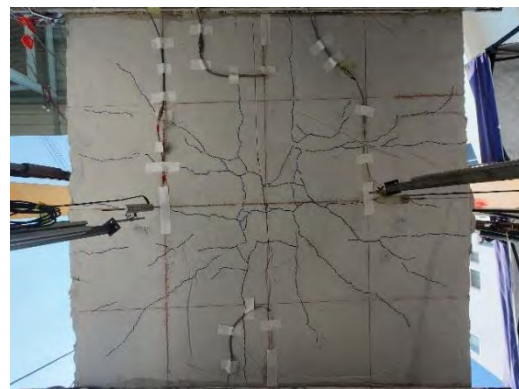
30,000 Cycles (Crack 45%)



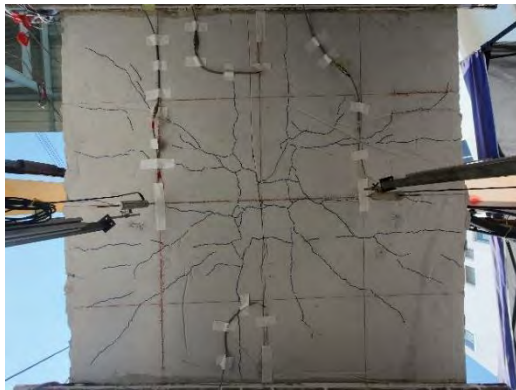
40,000 Cycles (Crack 55%)



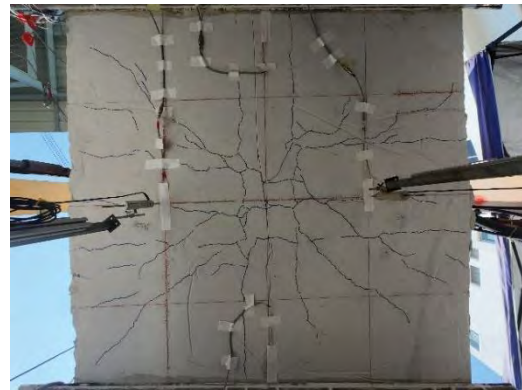
50,000 Cycles (Crack 56%)



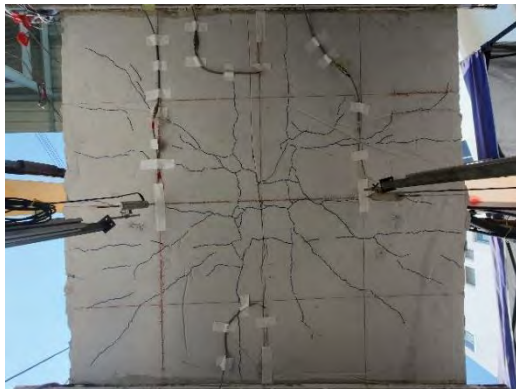
60,000 Cycles (Crack 56%)



70,000 Cycles (Crack 58%)



80,000 Cycles (Crack 58%)

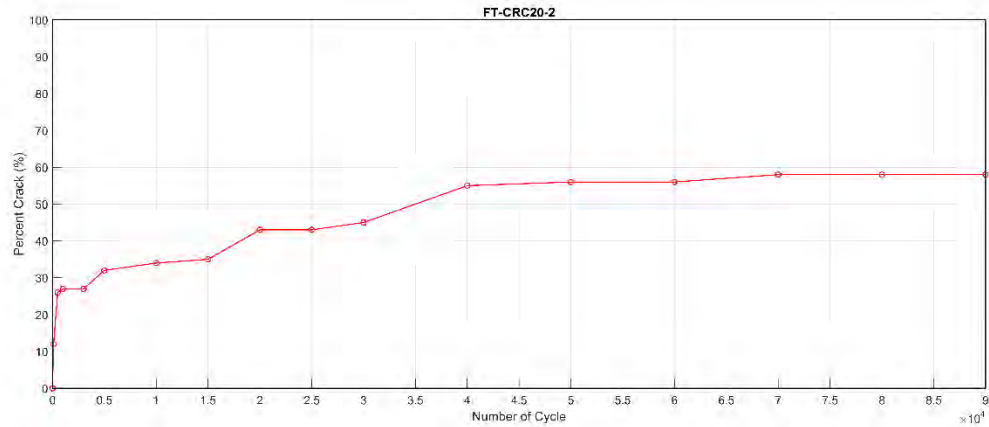


90,000 Cycles (Crack 58%)

รูปที่ 5-23 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC20-2)

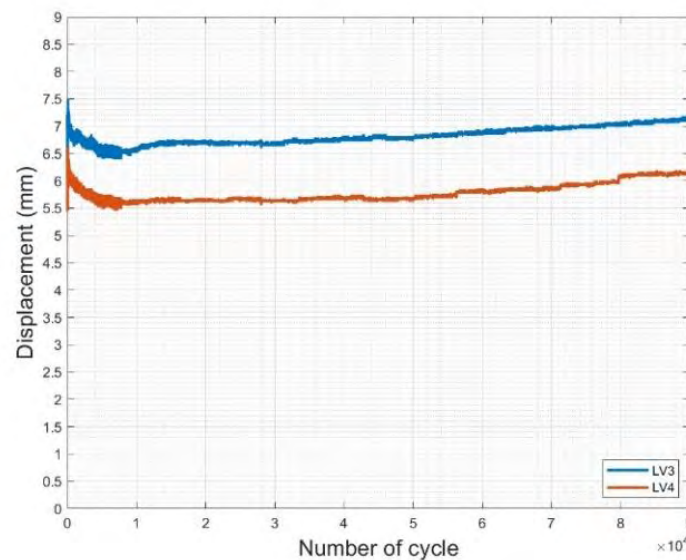
5.3.4 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (FT-CRC20-2)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-24 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 5,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 5,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยลง เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำสูงกว่า 40,000 รอบ และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 58% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 90,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ



รูปที่ 5-24 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น
สะพานจำลอง (FT-CRC20-2)

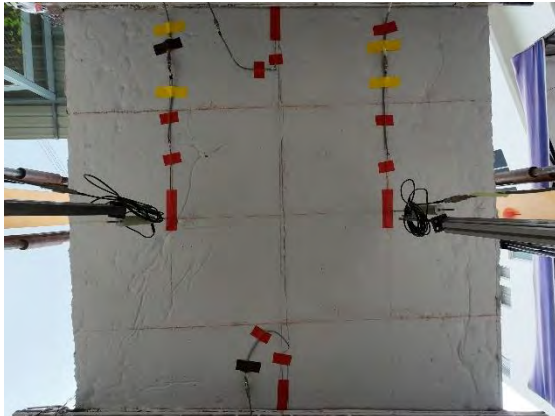
ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC20-2) แสดง
ดังรูปที่ 5-25 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น
อย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 1,000 รอบ และหลังจากนั้นมีแนวโน้มคงที่ตลอด
การทดสอบ



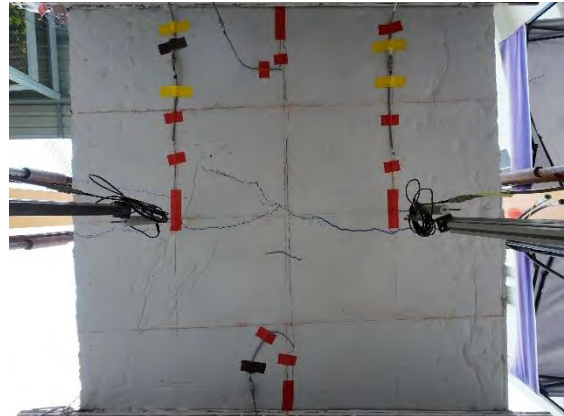
รูปที่ 5-25 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-CRC20-2)

5.3.5 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (FT-NC15-2)

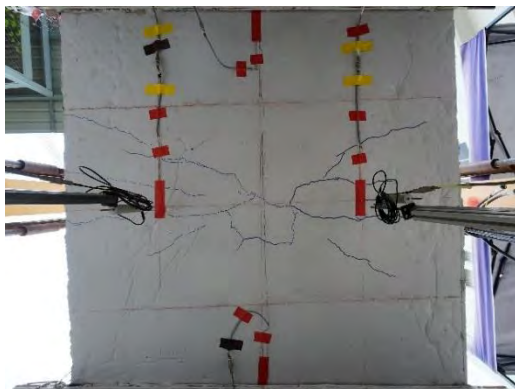
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-NC15-2 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 21.38 ตัน ซึ่งคิดเป็น 55% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-NC15) สามารถรับได้



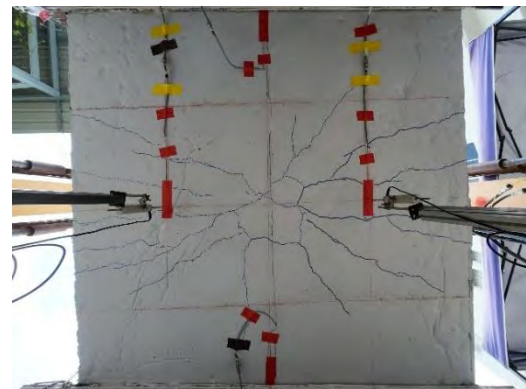
0 Cycles (Crack 0%)



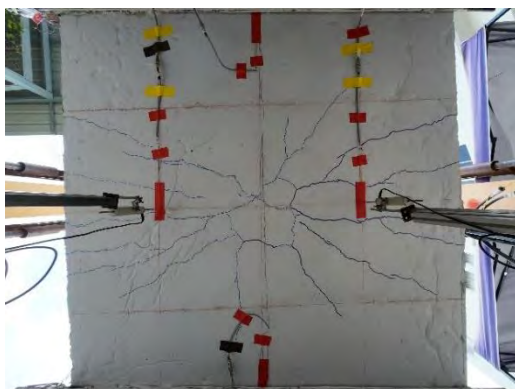
100 Cycles (Crack 19%)



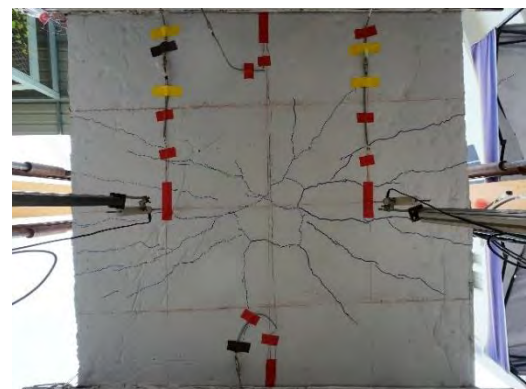
500 Cycles (Crack 32%)



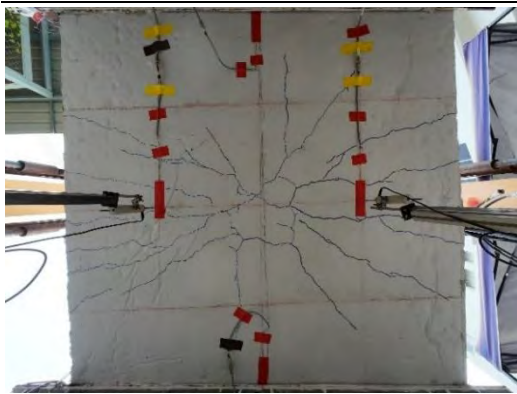
1,000 Cycles (Crack 49%)



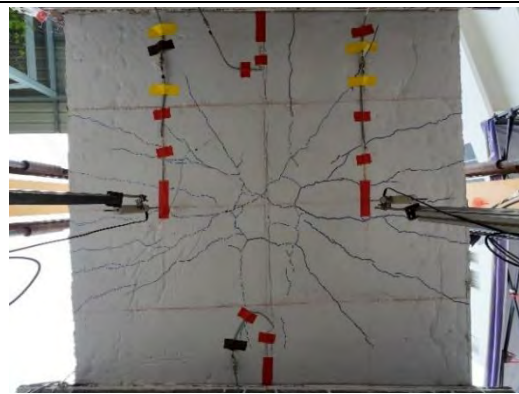
3,000 Cycles (Crack 51%)



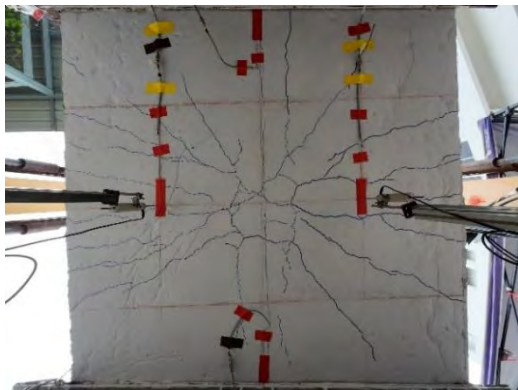
5,000 Cycles (Crack 54%)



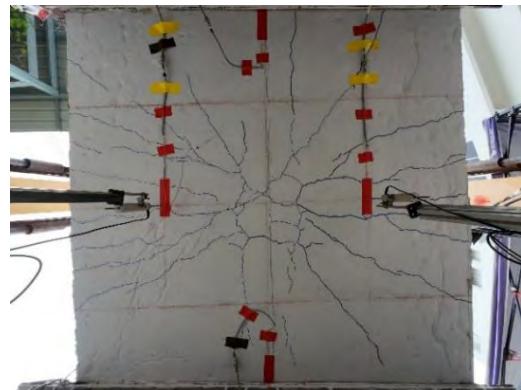
10,000 Cycles (Crack 57%)



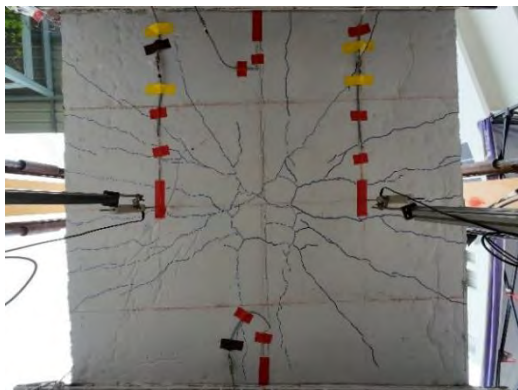
15,000 Cycles (Crack 63%)



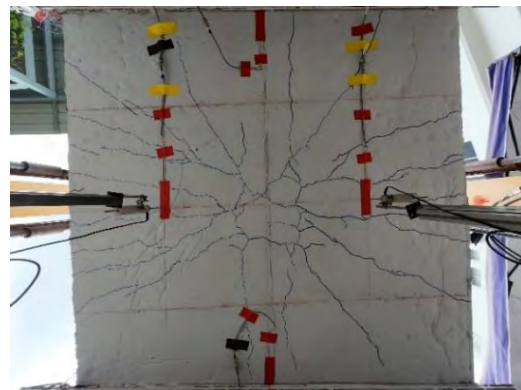
20,000 Cycles (Crack 69%)



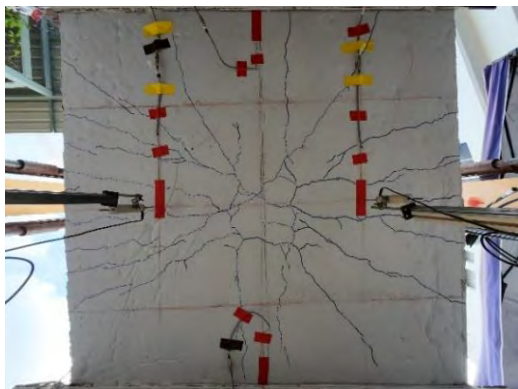
25,000 Cycles (Crack 69%)



30,000 Cycles (Crack 71%)



40,000 Cycles (Crack 74%)

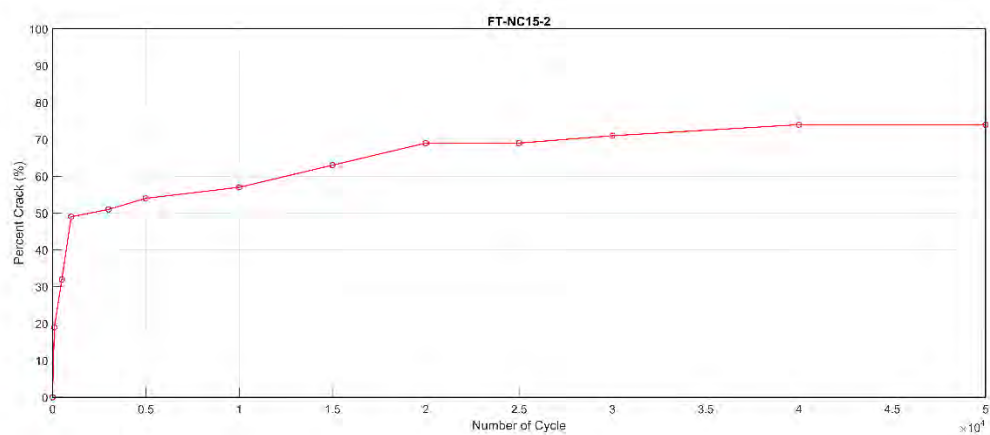


50,000 Cycles (Crack 74%)

รูปที่ 5-26 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC15-2)

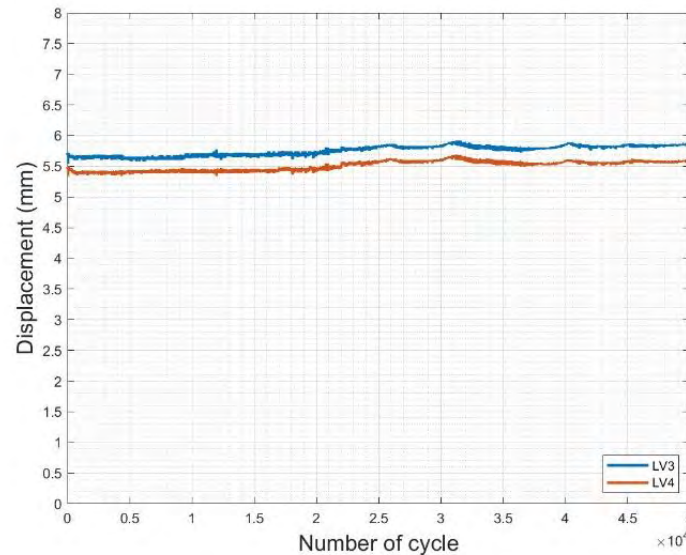
5.3.6 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 2 (FT-NC15-2)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-27 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 5,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 10,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยลง เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำสูงกว่า 20,000 รอบ และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 74% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 50,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ



รูปที่ 5-27 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น
สะพานจำลอง (FT-NC15-2)

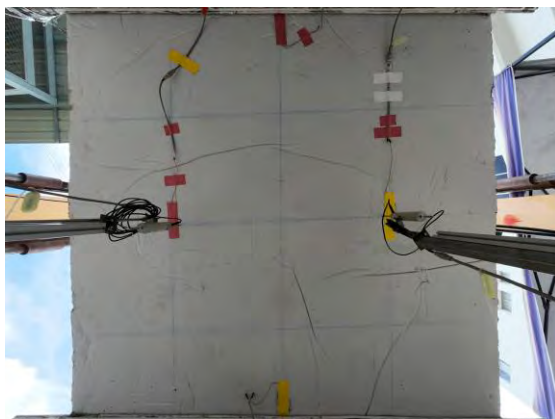
ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC15-2) แสดงดัง
รูปที่ 5-28 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่าง
รวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 5,000 รอบ จากนั้นมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดสอบ



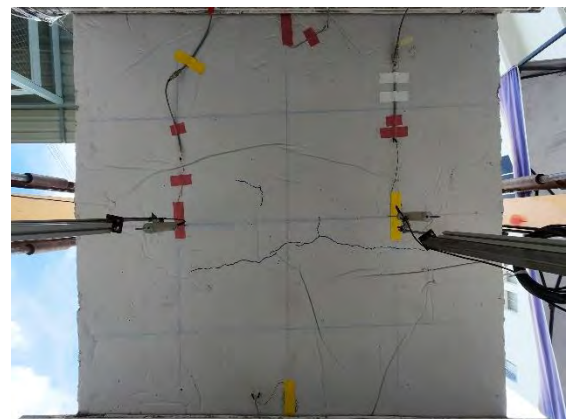
รูปที่ 5-28 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-NC15-2)

5.3.7 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่า บดละเอียด แผ่นที่ 2 (FT-CRC15-2)

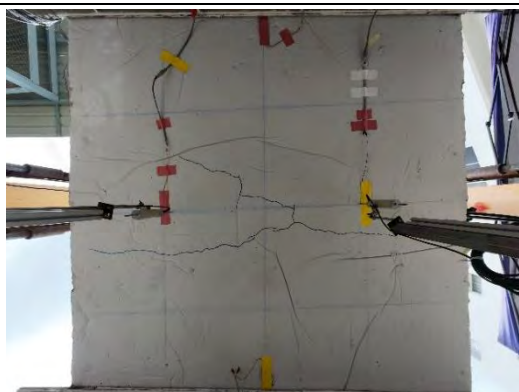
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-CRC15-2 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 16.57 ตัน ซึ่งคิดเป็น 55% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-CRC15) สามารถรับได้



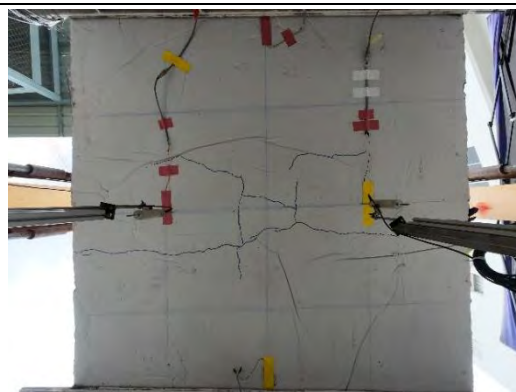
0 Cycles (Crack 0%)



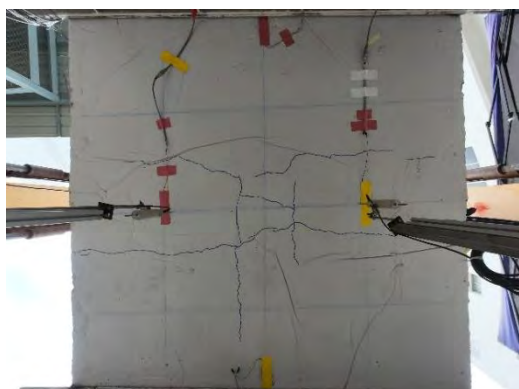
100 Cycles (Crack 10%)



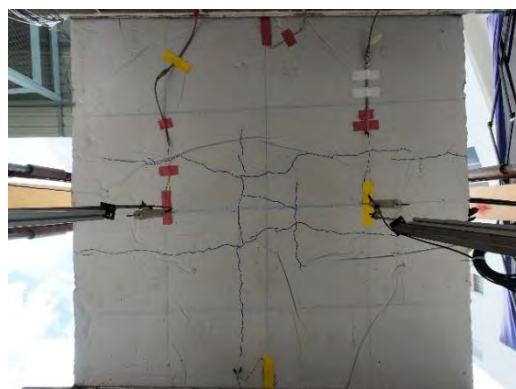
500 Cycles (Crack 15%)



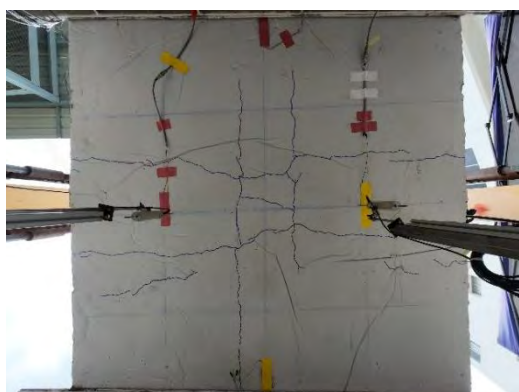
1,000 Cycles (Crack 19%)



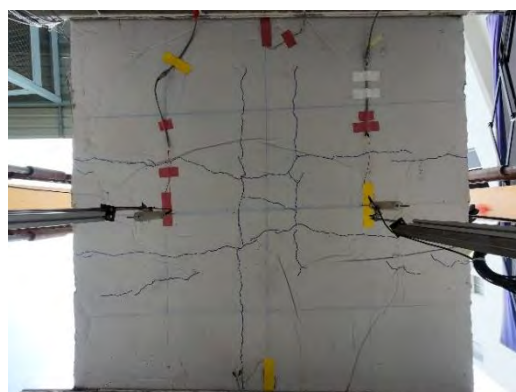
3,000 Cycles (Crack 25%)



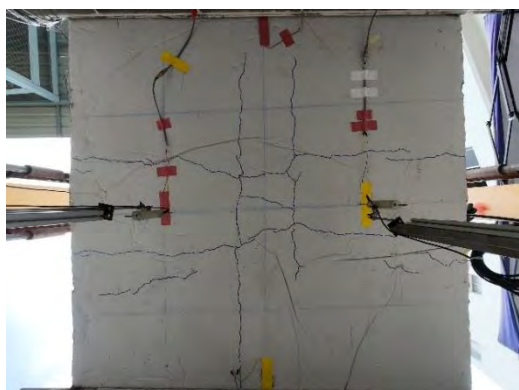
5,000 Cycles (Crack 28%)



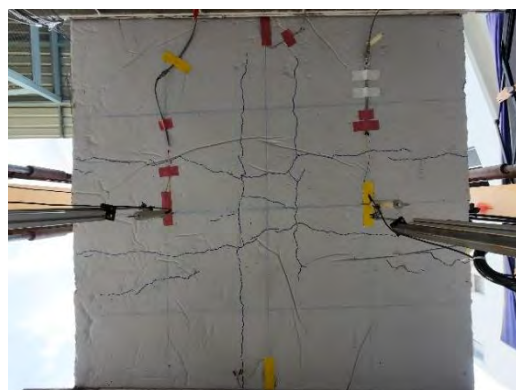
10,000 Cycles (Crack 37%)



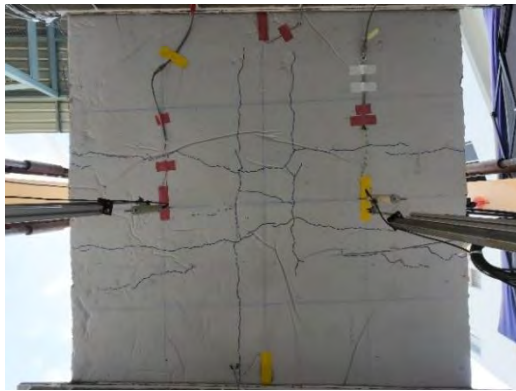
15,000 Cycles (Crack 39%)



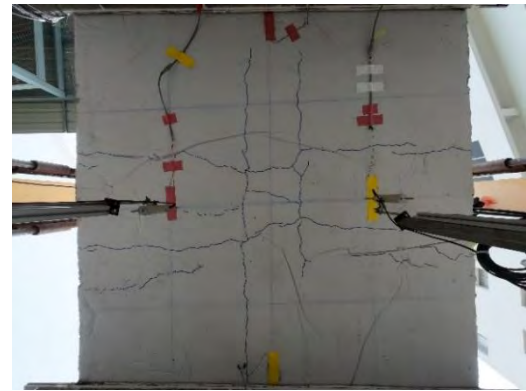
20,000 Cycles (Crack 41%)



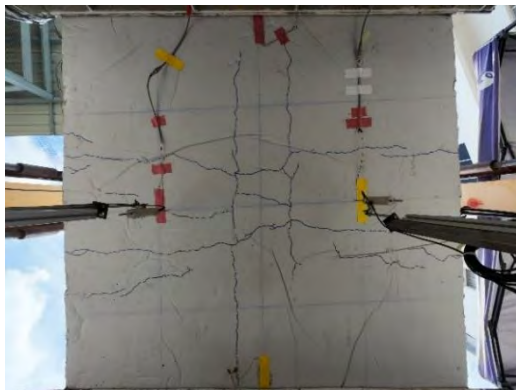
25,000 Cycles (Crack 43%)



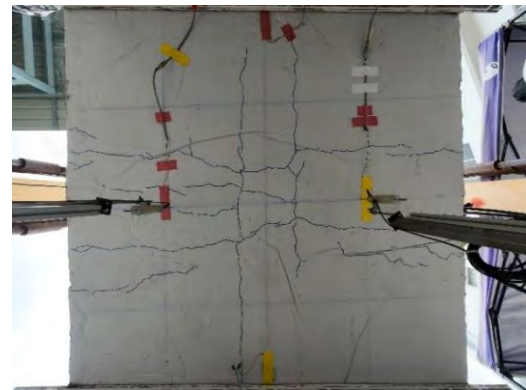
30,000 Cycles (Crack 45%)



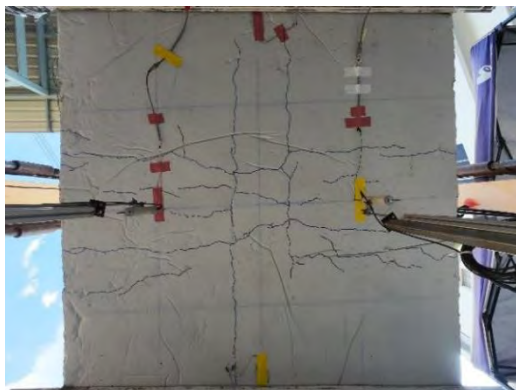
40,000 Cycles (Crack 47%)



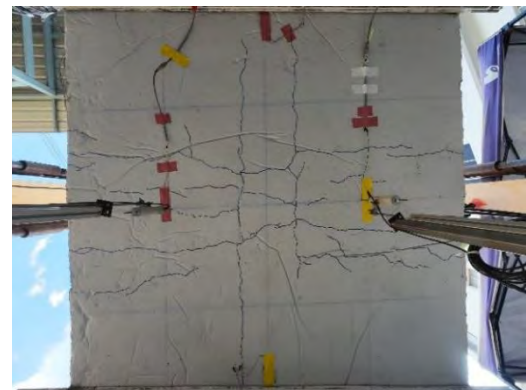
50,000 Cycles (Crack 49%)



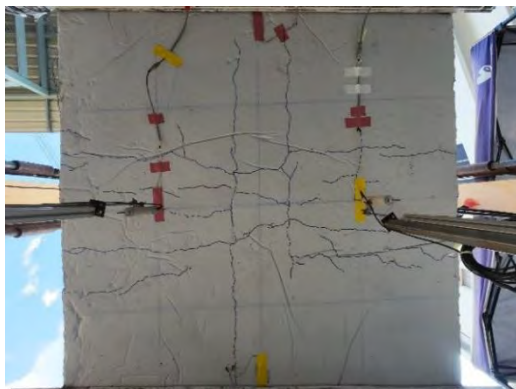
60,000 Cycles (Crack 49%)



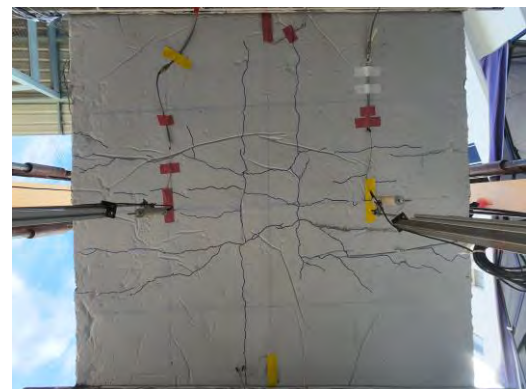
70,000 Cycles (Crack 51%)



80,000 Cycles (Crack 51%)



90,000 Cycles (Crack 52%)

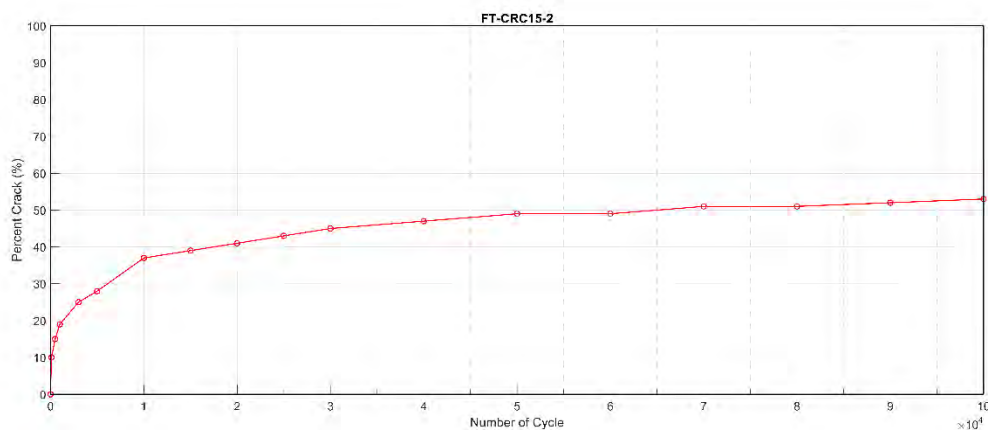


100,000 Cycles (Crack 53%)

รูปที่ 5-29 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC15-2)

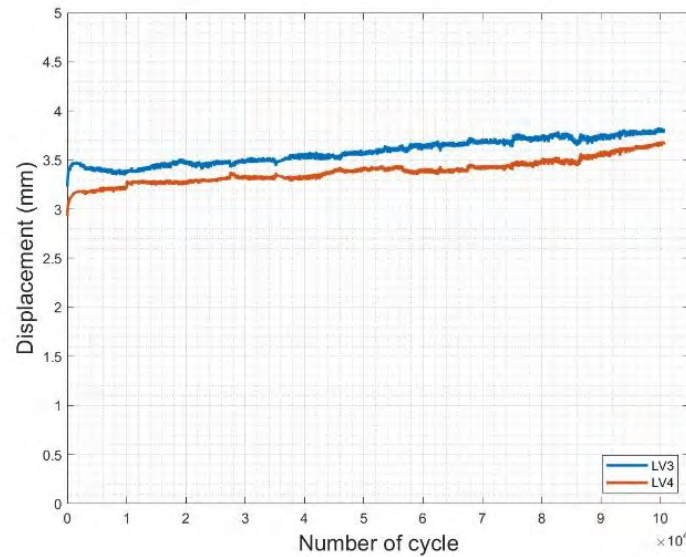
5.3.8 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 2 (FT-CRC15-2)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-30 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 10,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 10,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยลง เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดเมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำสูงกว่า 40,000 รอบ และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 53% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 100,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ



รูปที่ 5-30 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น
สะพานจำลอง (FT-CRC15-2)

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC15-2) แสดง
ดังรูปที่ 5-31 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น
อย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 20,000 รอบ และหลังจากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น
ค่อนข้างช้าตลอดการทดสอบ



รูปที่ 5-31 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-CRC15-2)

5.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนัก กระทำ 55% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด

ภายหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานความล้า จะนำข้อมูลที่และรูปถ่ายความเสียหายมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการลดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติเมื่อได้รับแรงกระทำซ้ำ

5.4.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)

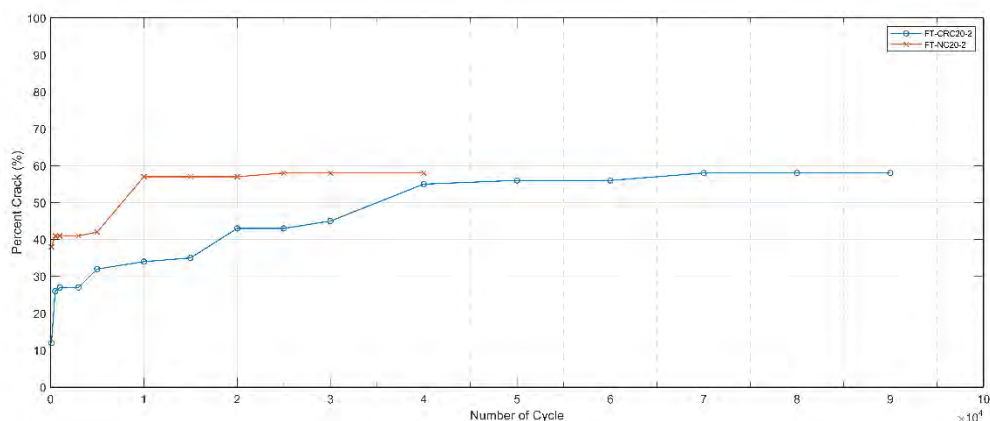
จากผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ 5.6 ถึง ตารางที่ 5.7 พบว่าพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างสูงในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำไม่มากและเมื่อจำนวนรอบถึง 40,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 58% เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างต่ำในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำสูงและเมื่อจำนวนรอบถึง 90,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 58% แสดงดังรูปที่ 5-32

ตารางที่ 5.6 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-NC20-2)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-NC20-2	0	0
		100	38
		500	41
		1000	41
		3000	41
		5000	42
		10000	57
		15000	57
		20000	57
		25000	58
		30000	58
		40000	58

ตารางที่ 5.7 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-CRC20-2)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-CRC20-2	0	0
		100	12
		500	26
		1000	27
		3000	27
		5000	32
		10000	34
		15000	35
		20000	43
		25000	43
		30000	45
		40000	55
		50000	56
		60000	56
		70000	58
		80000	58
		90000	58



รูปที่ 5-32 เส้นเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว
ของพื้นสะพานจำลอง ชุดที่ 1

5.4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

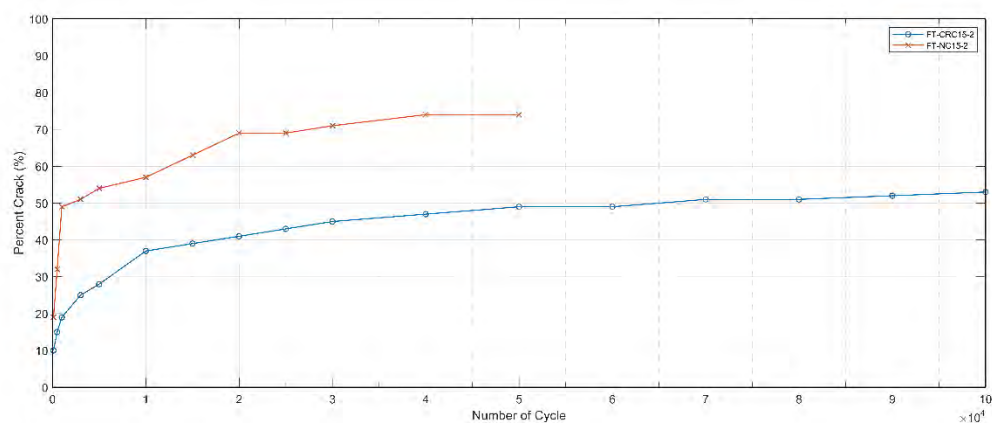
จากผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ 5.8 ถึงตารางที่ 5.9 พบว่าพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างสูงในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำไม่มากและเมื่อจำนวนรอบถึง 15,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 63% เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างต่ำในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำสูงและเมื่อจำนวนรอบถึง 100,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 53% แสดงดังรูปที่ 5-33

ตารางที่ 5.8 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-NC15-2)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-NC15-2	0	0
		100	19
		500	32
		1000	49
		3000	51
		5000	54
		10000	57
		15000	63
		20000	69
		25000	69
		30000	71
		40000	74
		50000	74

ตารางที่ 5.9 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-CRC15-2)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-CRC15-2	0	0
		100	10
		500	15
		1000	19
		3000	25
		5000	28
		10000	37
		15000	39
		20000	41
		25000	43
		30000	45
		40000	47
		50000	49
		60000	49
		70000	51
		80000	51
		90000	52
		100000	53



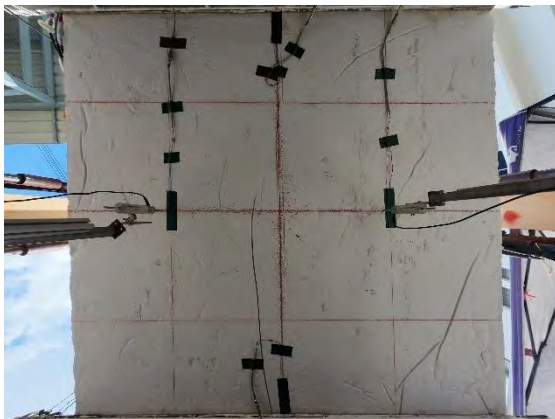
รูปที่ 5-33 เส้นเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว
ของพื้นสะพานจำลอง ชุดที่ 2

5.5 การทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนักกระทำ 70% ของกำลังรับแรงสูงสุด

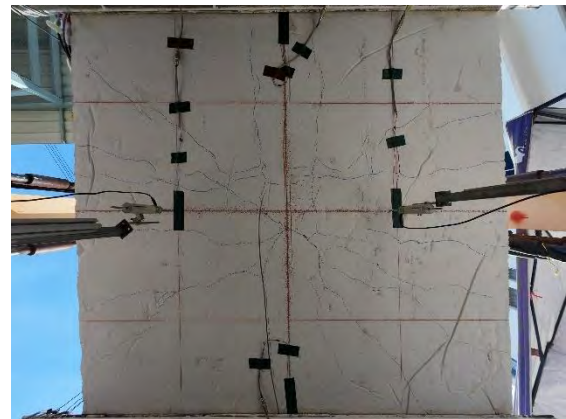
การทดสอบต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง ที่มีขนาดความกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร หนา 0.20 เมตร ในชุดที่ 1 และ ความหนา 0.15 เมตร ในชุดที่ 2 ทั้งหมด 4 แผ่นพื้น โดยแต่ละชุดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ จำนวน 2 แผ่นพื้น และประเภทที่ 2 พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด จำนวน 2 แผ่นพื้น

5.5.1 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (FT-NC20-3)

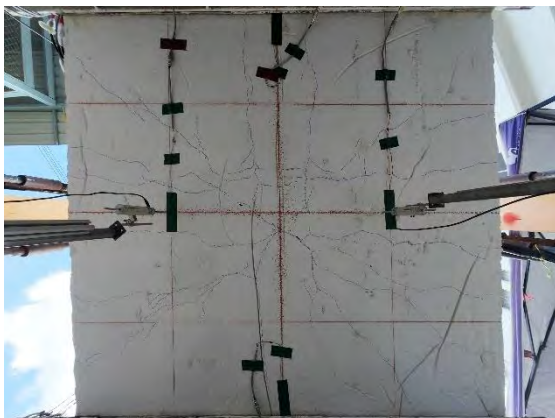
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-NC20-3 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 38.93 ตัน ซึ่งคิดเป็น 70% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-NC20) สามารถรับได้



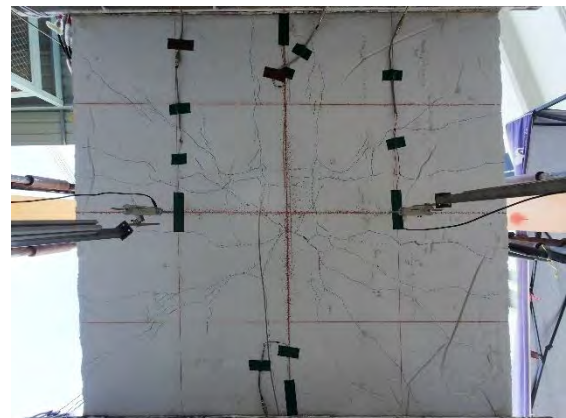
0 Cycles (Crack 0%)



100 Cycles (Crack 86%)



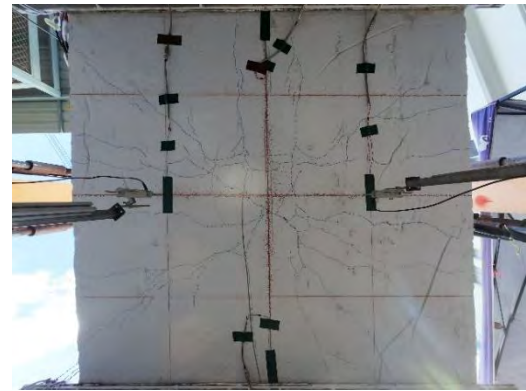
200 Cycles (Crack 87%)



300 Cycles (Crack 87%)



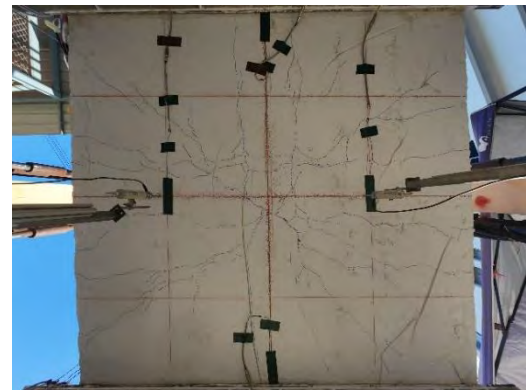
400 Cycles (Crack 87%)



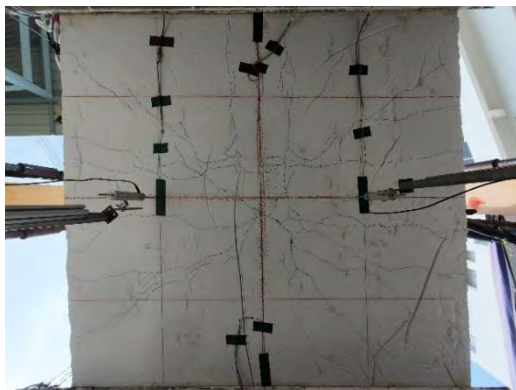
500 Cycles (Crack 88%)



1,000 Cycles (Crack 89%)



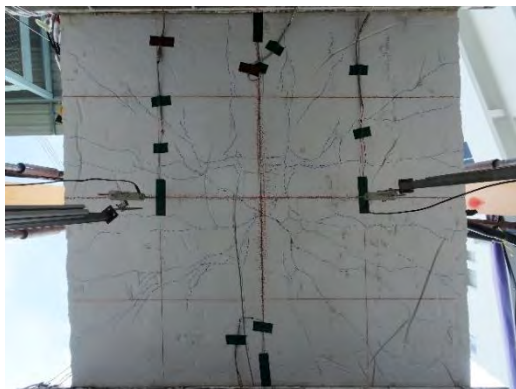
1,500 Cycles (Crack 90%)



2,000 Cycles (Crack 93%)



3,000 Cycles (Crack 95%)



4,000 Cycles (Crack 96%)



5,000 Cycles (Crack 96%)

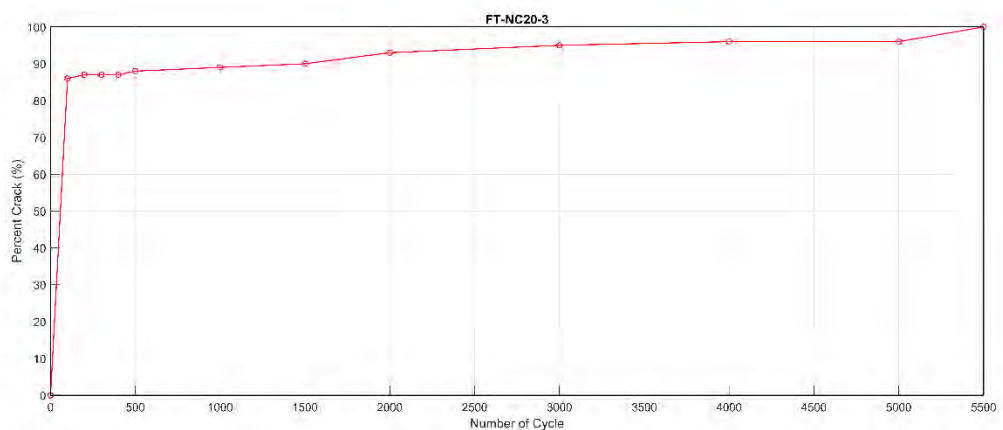


5,500 Cycles (Crack 100%)

รูปที่ 5-34 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC20-3)

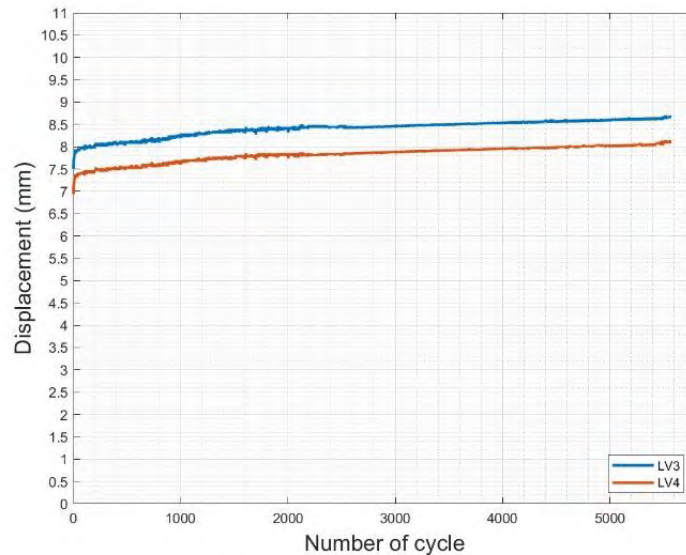
5.5.2 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (FT-NC20-3)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-21 พบว่าในช่วงเริ่มการทดสอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของแรงกระทำรอยแตกร้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่อนข้างช้า และเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้นถึง 5,500 รอบ พื้นสะพานจำลองเกิดการวิบัติจึงหยุดการทดสอบ



รูปที่ 5-35 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC20-3)

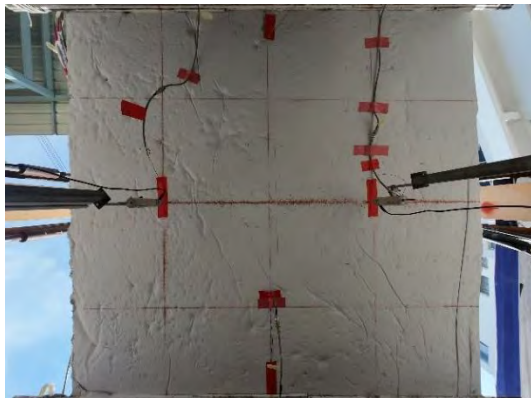
ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC20-3) แสดงดังรูปที่ 5-36 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 500 รอบ จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่อนข้างช้าตลอดการทดสอบ ภายหลังเมื่อพื้นสะพานจำลองเกิดการวิบัติที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 5,500 รอบ จึงทำให้อุปกรณ์ตรวจวัดไม่สามารถระบุค่าได้



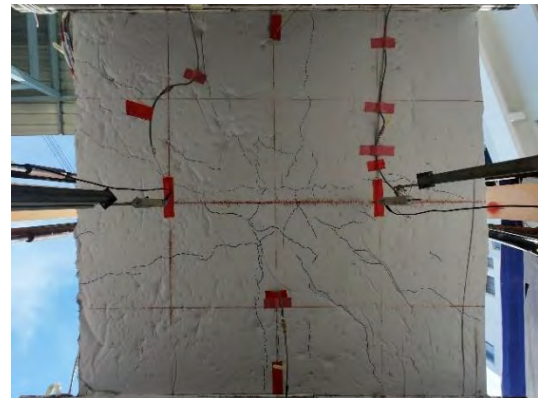
รูปที่ 5-36 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-NC20-3)

5.5.3 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่า บดละเอียด แผ่นที่ 3 (FT-CRC20-3)

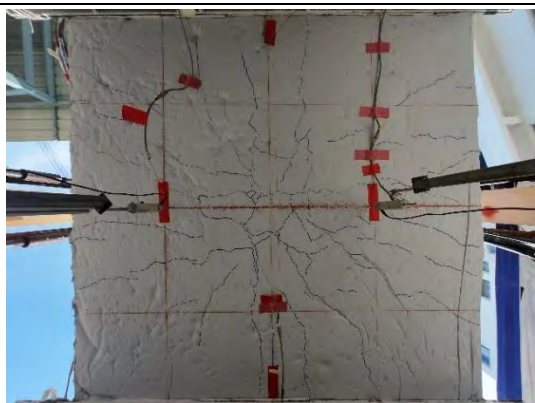
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-CRC20-3 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 33.33 ตัน ซึ่งคิดเป็น 70% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-CRC20) สามารถรับได้



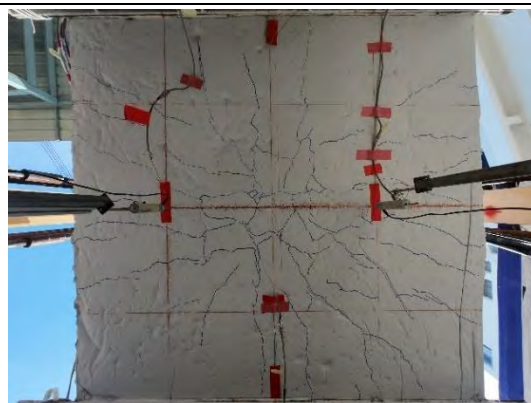
0 Cycles (Crack 0%)



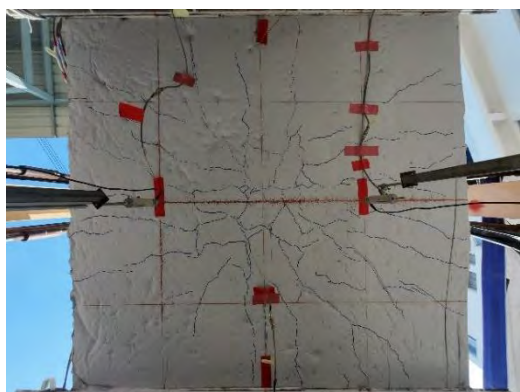
100 Cycles (Crack 57%)



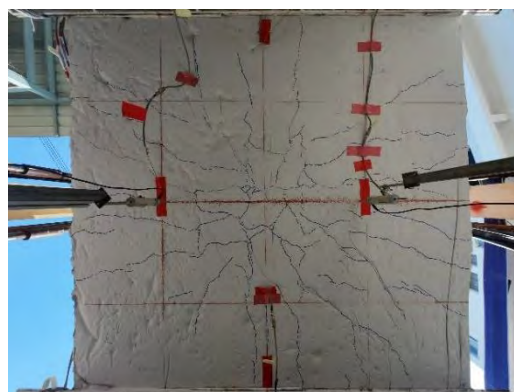
200 Cycles (Crack 72%)



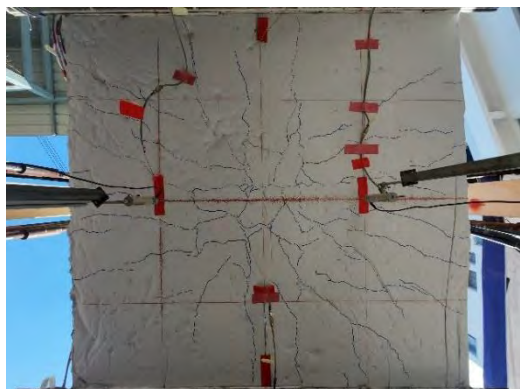
300 Cycles (Crack 76%)



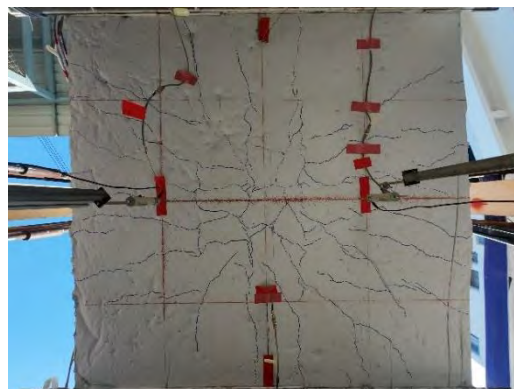
400 Cycles (Crack 77%)



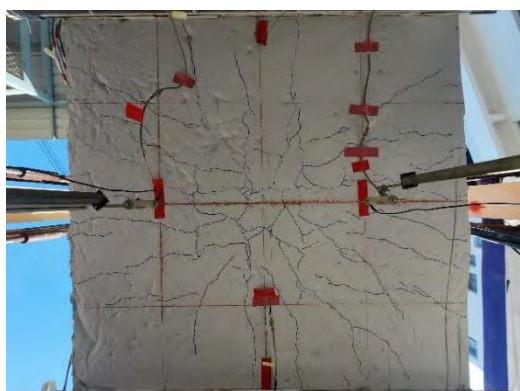
500 Cycles (Crack 78%)



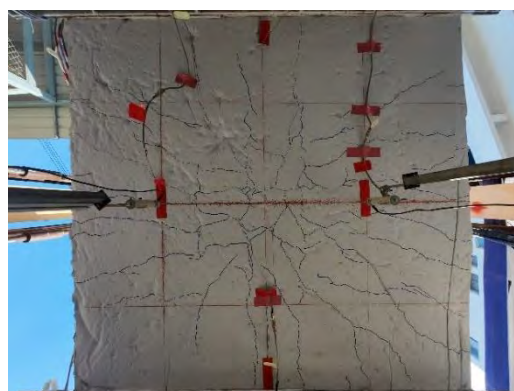
1,000 Cycles (Crack 80%)



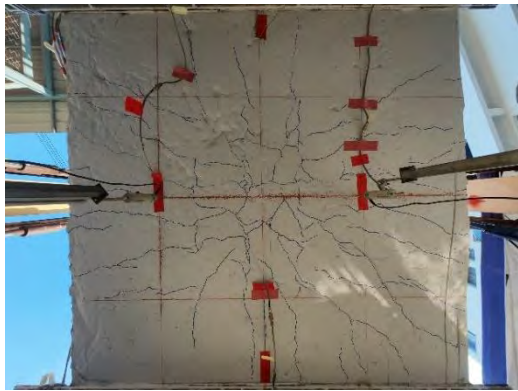
1,500 Cycles (Crack 81%)



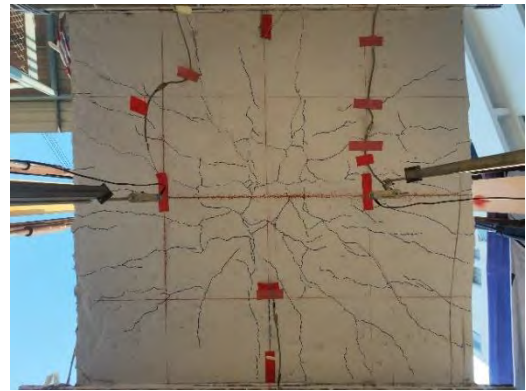
2,000 Cycles (Crack 82%)



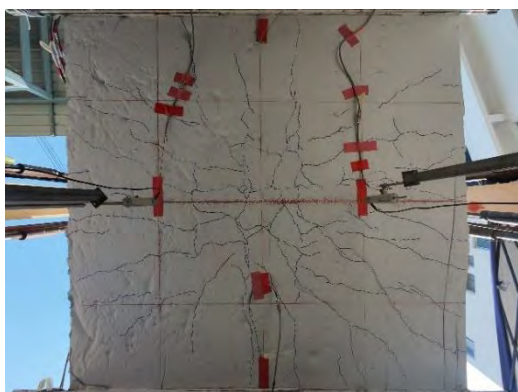
3,000 Cycles (Crack 82%)



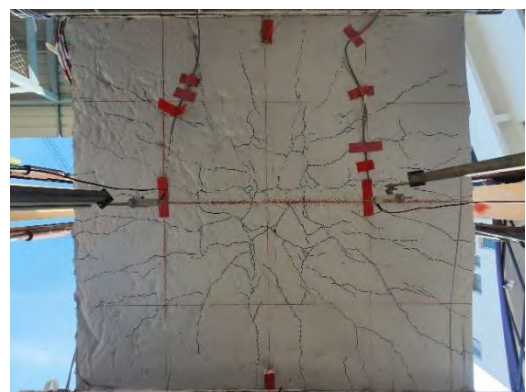
4,000 Cycles (Crack 83%)



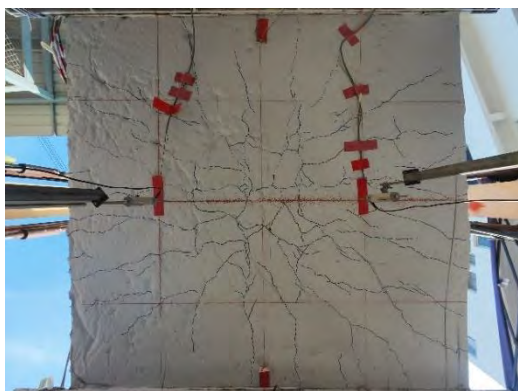
5,000 Cycles (Crack 84%)



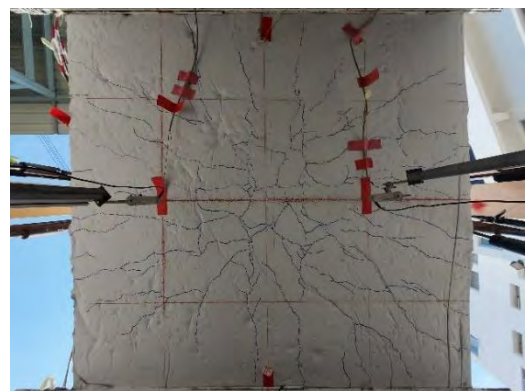
6,000 Cycles (Crack 84%)



7,000 Cycles (Crack 85%)



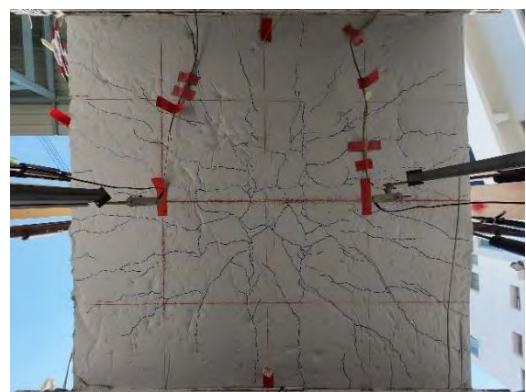
8,000 Cycles (Crack 85%)



9,000 Cycles (Crack 86%)



10,000 Cycles (Crack 86%)

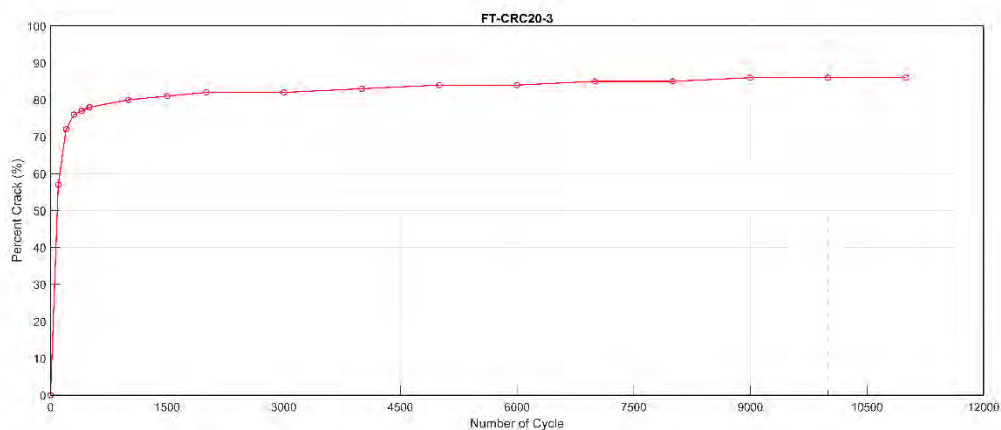


11,000 Cycles (Crack 86%)

รูปที่ 5-37 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC20-3)

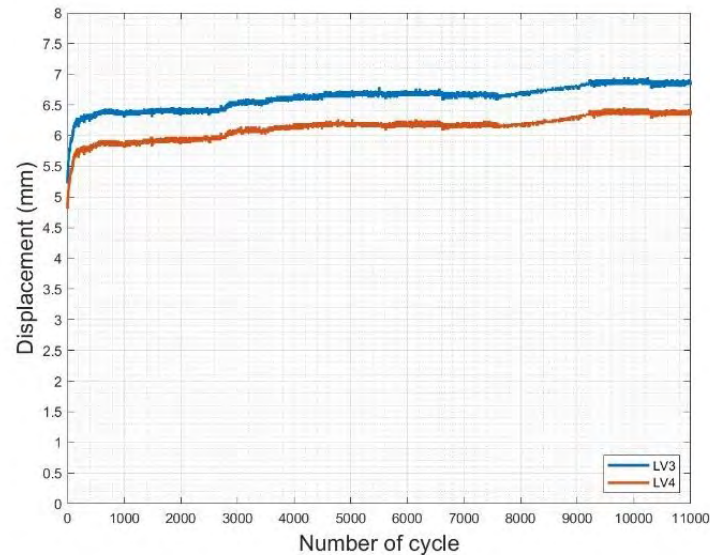
5.5.4 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์
เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (FT-CRC20-3)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-24 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 1,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 1,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นช้าลง และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 86% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 11,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ



รูปที่ 5-38 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น
สะพานจำลอง (FT-CRC20-3)

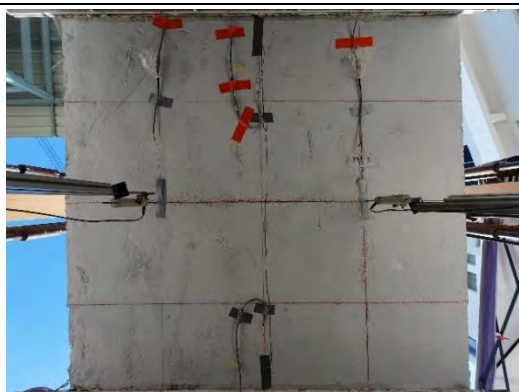
ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC20-3) แสดง
ดังรูปที่ 5-39 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น
อย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 1,000 รอบ จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการ
ทดสอบ



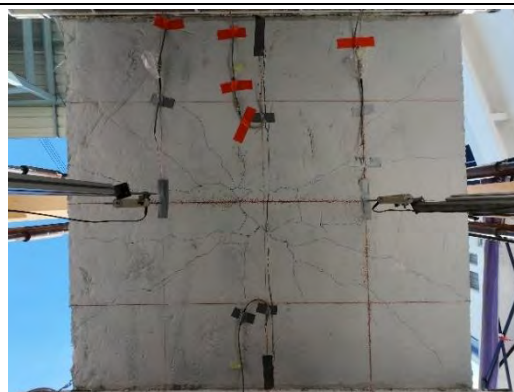
รูปที่ 5-39 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-CRC20-3)

5.5.5 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (FT-NC15-3)

การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-NC15-3 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 27.22 ตัน ซึ่งคิดเป็น 70% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-NC15) สามารถรับได้



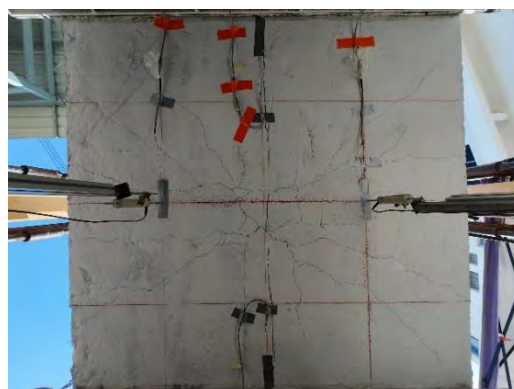
0 Cycles (Crack 0%)



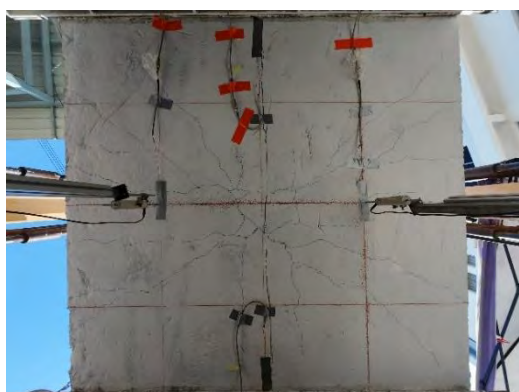
100 Cycles (Crack 47%)



200 Cycles (Crack 51%)



300 Cycles (Crack 55%)



400 Cycles (Crack 59%)



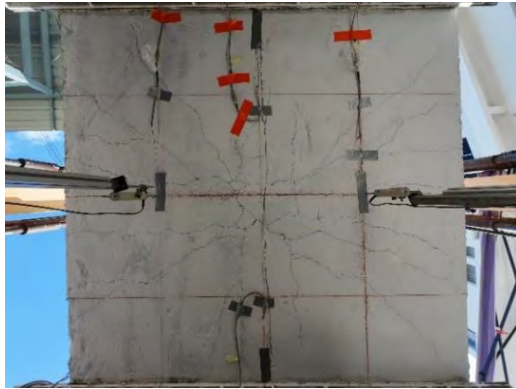
500 Cycles (Crack 59%)



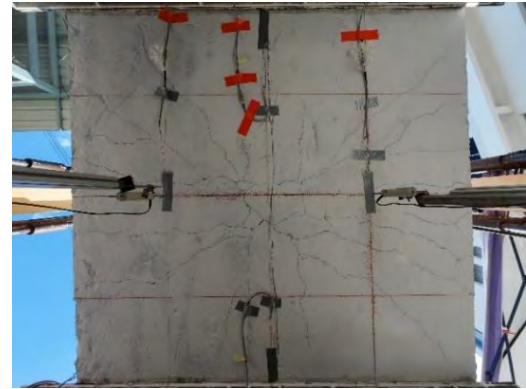
1,000 Cycles (Crack 64%)



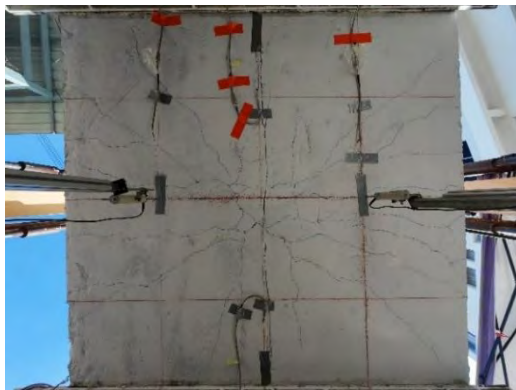
1,500 Cycles (Crack 67%)



2,000 Cycles (Crack 69%)



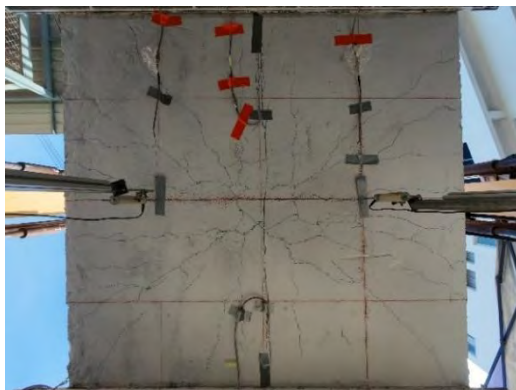
3,000 Cycles (Crack 71%)



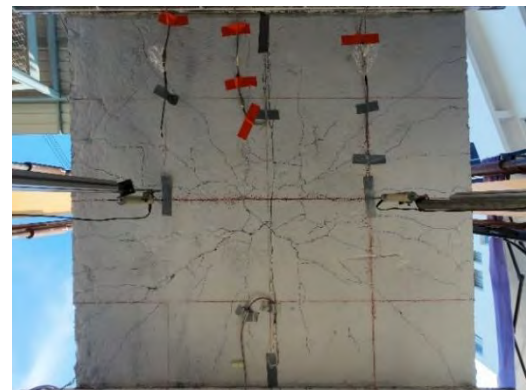
4,000 Cycles (Crack 72%)



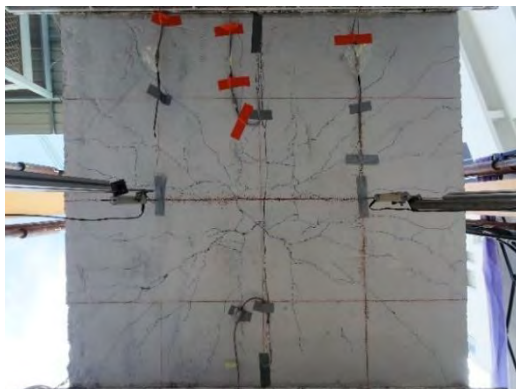
5,000 Cycles (Crack 72%)



6,000 Cycles (Crack 74%)



7,000 Cycles (Crack 74%)



8,000 Cycles (Crack 78%)

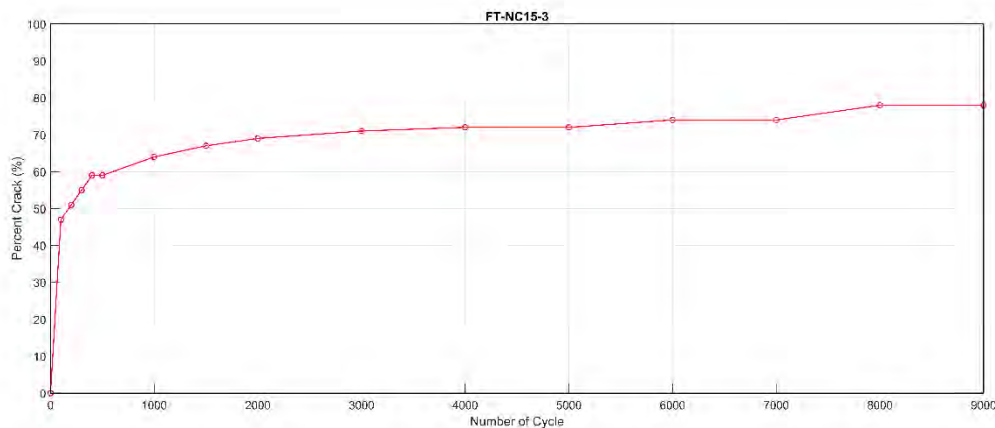


9,000 Cycles (Crack 78 %)

รูปที่ 5-40 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC15-3)

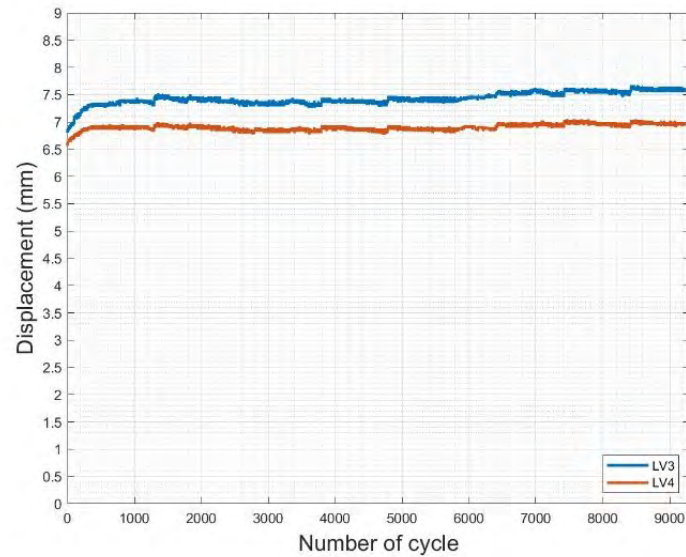
5.5.6 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ แผ่นที่ 3 (FT-NC15-3)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-27 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 2,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 2,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นช้าลง และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 78% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 9,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ



รูปที่ 5-41 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น
สะพานจำลอง (FT-NC15-3)

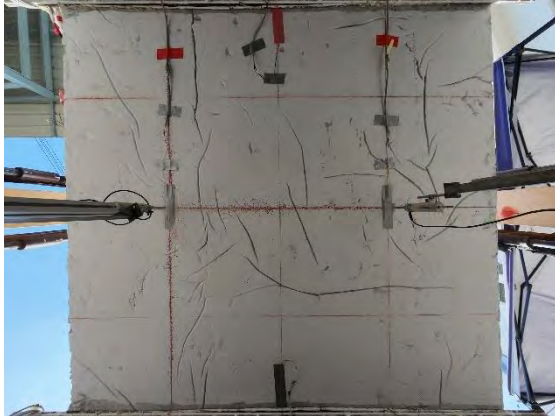
ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-NC15-3) แสดงดังรูปที่ 5-42 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 500 รอบ จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่อนข้างช้าตลอดการทดสอบ



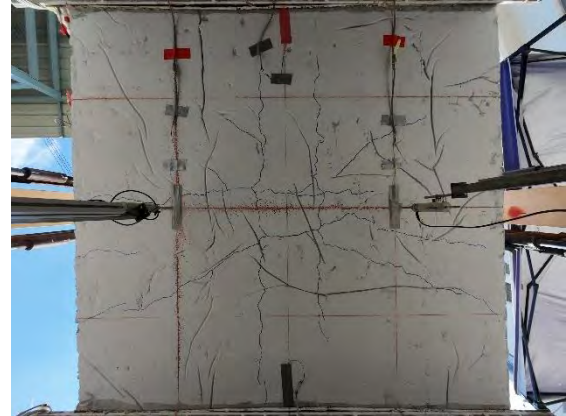
รูปที่ 5-42 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-NC15-3)

5.5.7 การทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (FT-CRC15-3)

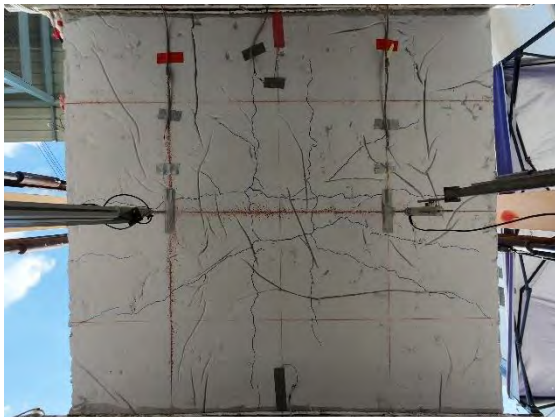
การทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง FT-CRC15-3 ใช้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 21.09 ตัน ซึ่งคิดเป็น 70% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด ที่พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (ST-CRC15) สามารถรับได้



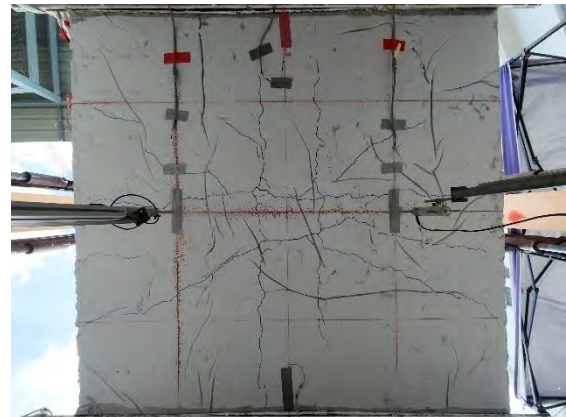
0 Cycles (Crack 0%)



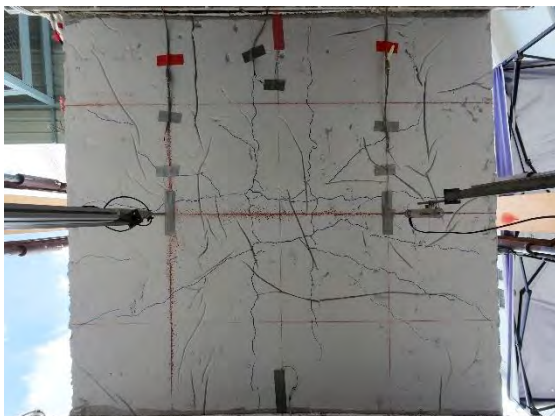
100 Cycles (Crack 46%)



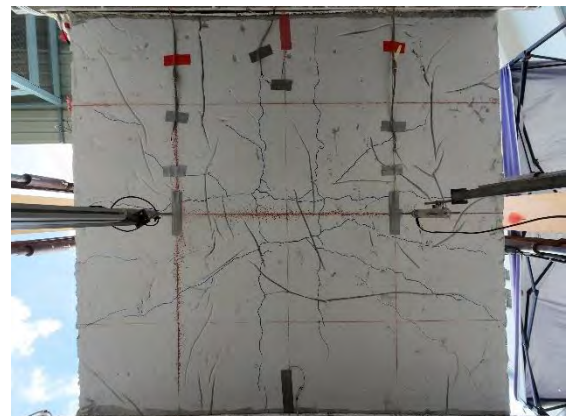
200 Cycles (Crack 49%)



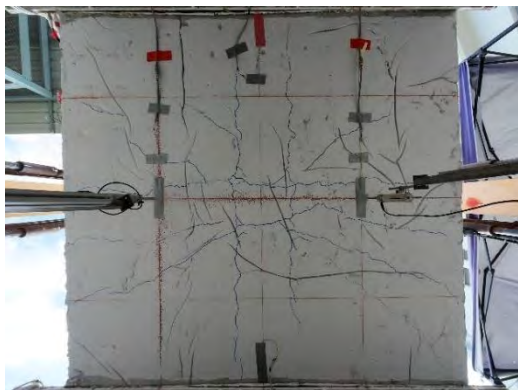
300 Cycles (Crack 51%)



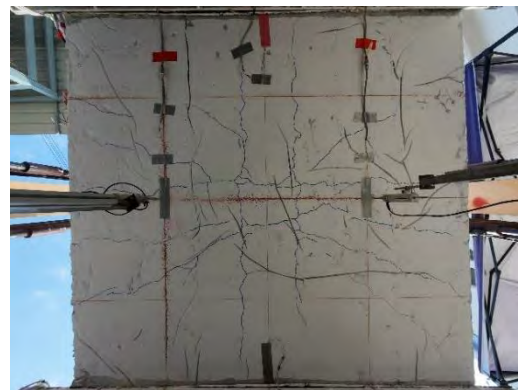
400 Cycles (Crack 53%)



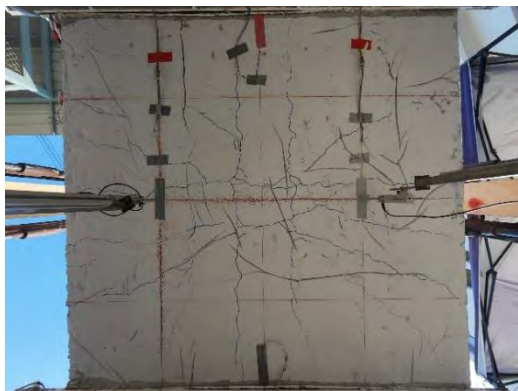
500 Cycles (Crack 57%)



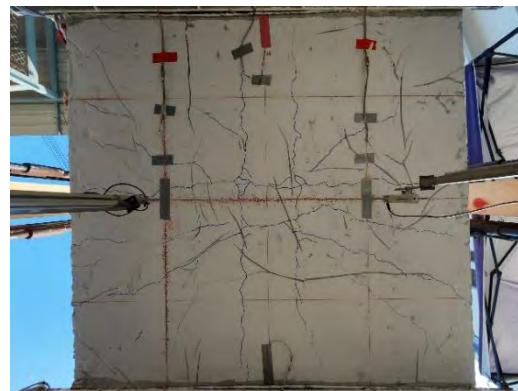
1,000 Cycles (Crack 58%)



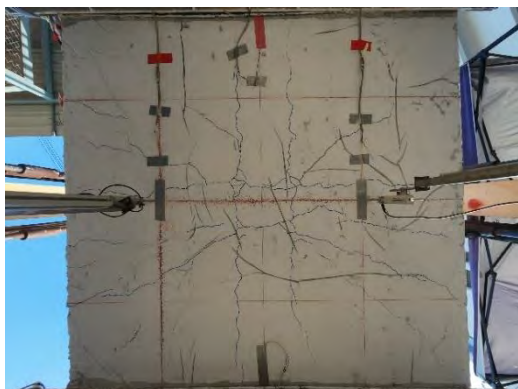
1,500 Cycles (Crack 60%)



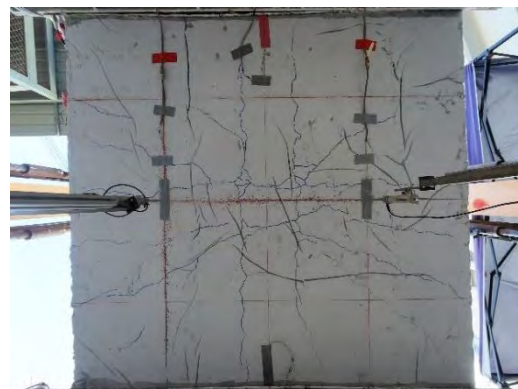
2,000 Cycles (Crack 60%)



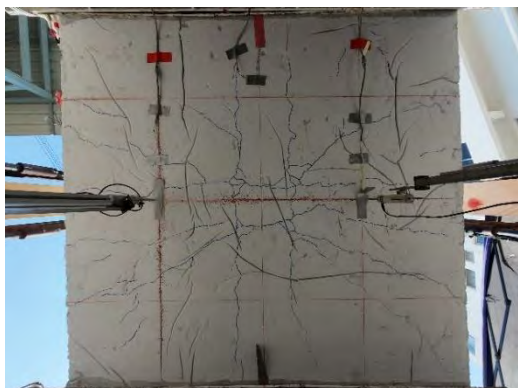
3,000 Cycles (Crack 62%)



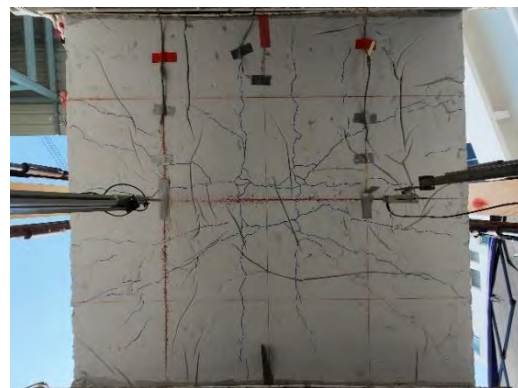
4,000 Cycles (Crack 63 %)



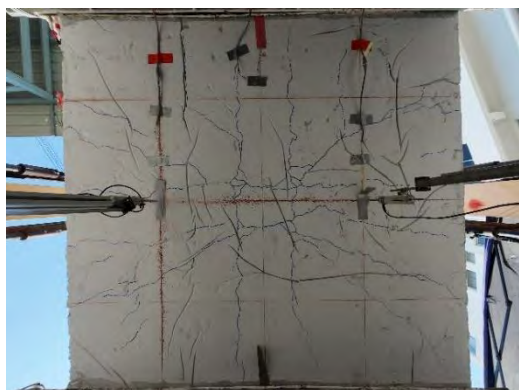
5,000 Cycles (Crack 64%)



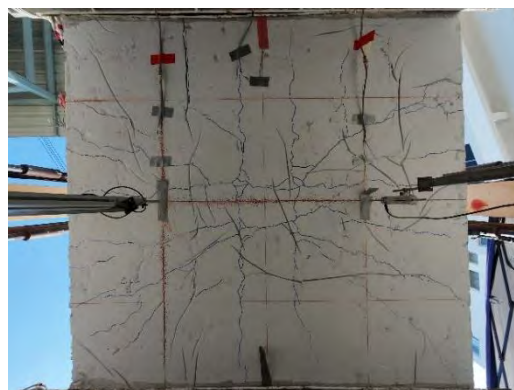
6,000 Cycles (Crack 67%)



7,000 Cycles (Crack 69%)



8,000 Cycles (Crack 71%)



9,000 Cycles (Crack 72%)



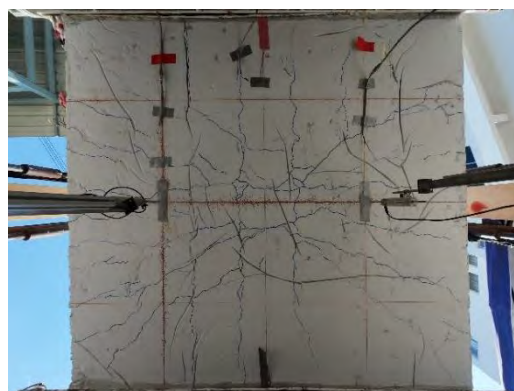
10,000 Cycles (Crack 73%)



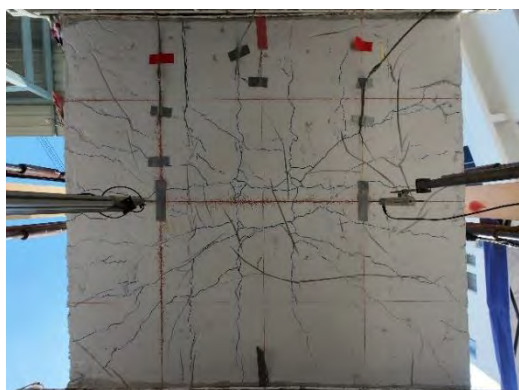
12,000 Cycles (Crack 74%)



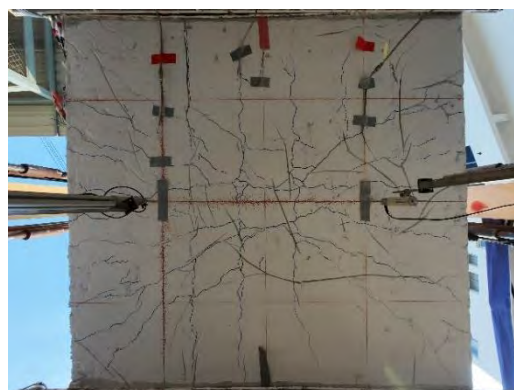
14,000 Cycles (Crack 76%)



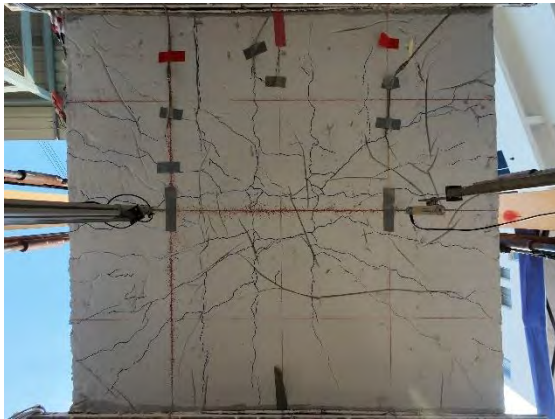
16,000 Cycles (Crack 77%)



18,000 Cycles (Crack 80%)



20,000 Cycles (Crack 81%)

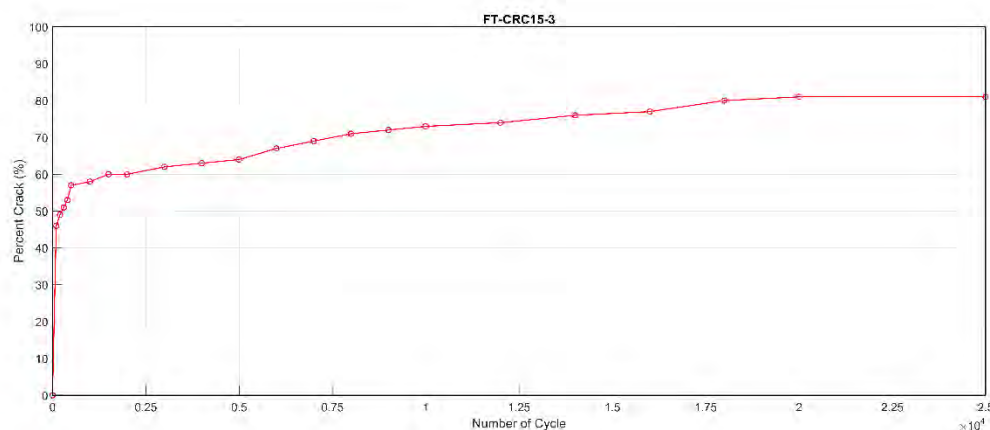


25,000 Cycles (Crack 81%)

รูปที่ 5-43 รายละเอียดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC15-3)

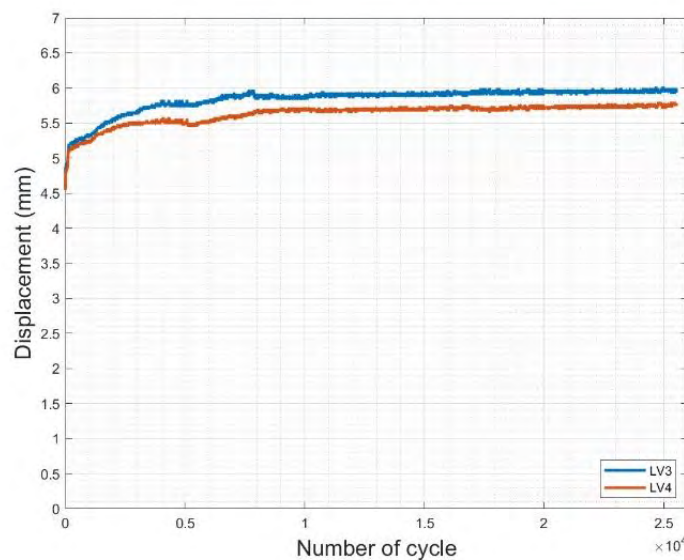
5.5.8 ผลการทดสอบพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์ เก่าบดละเอียด แผ่นที่ 3 (FT-CRC15-3)

จากการทดสอบ รูปที่ 5-30 พบว่าในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 5,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนรอบของแรงกระทำมากกว่า 5,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวจะเพิ่มขึ้นช้าลง และเมื่อเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวเพิ่มขึ้นถึง 81% ที่จำนวนรอบของแรงกระทำเท่ากับ 25,000 รอบ เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดสอบ



รูปที่ 5-44 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น
สะพานจำลอง (FT-CRC15-3)

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง (FT-CRC15-3) แสดงดังรูปที่ 5-45 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลองมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงจำนวนรอบของแรงกระทำที่ต่ำกว่า 10,000 รอบ จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่อนข้างช้าตลอดการทดสอบ



รูปที่ 5-45 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและค่าการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง
(FT-CRC15-3)

5.6 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าโดยการใช้น้ำหนัก กระทำ 70% ของกำลังรับแรงเฉื่อยสูงสุด

ภายหลังจากการทดสอบกำลังต้านทานความล้า จะนำข้อมูลที่และรูปถ่ายความเสียหายมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการลดการแตกร้าวของพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติเมื่อได้รับแรงกระทำซ้ำ

5.6.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)

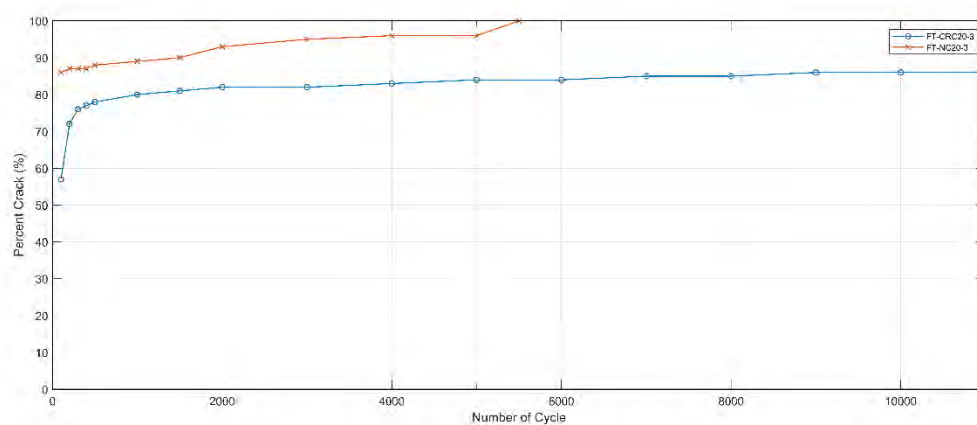
จากผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ 5.10 ถึง ตารางที่ 5.11พบว่าพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างสูงในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำไม่มากและเมื่อจำนวนรอบถึง 5,500 รอบ จึงเกิดการวิบัติ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างต่ำในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำสูงและเมื่อจำนวนรอบถึง 11,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 86% แสดงดังรูปที่ 5-46

ตารางที่ 5.10 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-NC20-3)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-NC20-3	0	0
		100	86
		200	87
		300	87
		400	87
		500	88
		1000	89
		1500	90
		2000	93
		3000	95
		4000	96
		5000	96
		5500	100

ตารางที่ 5.11 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-CRC20-3)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-CRC20-3	0	0
		100	57
		200	72
		300	76
		400	77
		500	78
		1000	80
		1500	81
		2000	82
		3000	82
		4000	83
		5000	84
		6000	84
		7000	85
		8000	85
		9000	86
		10000	86
		11000	86



รูปที่ 5-46 เส้นเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว
ของพื้นสะพานจำลอง ชุดที่ 1

5.6.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

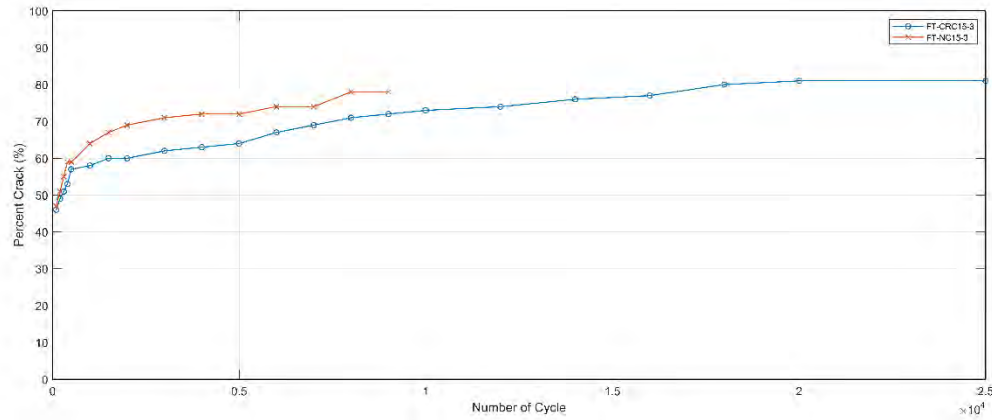
จากผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5.12 ถึงตารางที่ 5.13 พบว่าพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างสูงในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำไม่มากและเมื่อจำนวนรอบถึง 9,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 78% เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวค่อนข้างต่ำในขณะที่จำนวนรอบของแรงกระทำสูงและเมื่อจำนวนรอบถึง 25,000 รอบ รอยแตกร้าวเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 81% แสดงดังรูปที่ 5-47

ตารางที่ 5.12 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-NC15-3)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-NC15-3	0	0
		100	47
		200	51
		300	55
		400	59
		500	59
		1000	64
		1500	67
		2000	69
		3000	71
		4000	72
		5000	72
		6000	74
		7000	74
		8000	78
		9000	78

ตารางที่ 5.13 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้า (FT-CRC15-3)

No. of Specimen	Specimen	Fatigue test	
		Cycles	Percent of Crack (%)
1	FT-CRC15-3	0	0
		100	46
		200	49
		300	51
		400	53
		500	57
		1000	58
		1500	60
		2000	60
		3000	62
		4000	63
		5000	64
		6000	67
		7000	69
		8000	71
		9000	72
		10000	73
		12000	74
		14000	76
		16000	77
		18000	80
		20000	81
		25000	81



รูปที่ 5-47 เส้นเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวของพื้น
สะพานจำลอง ชุดที่ 2

5.7 สรุปผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลอง

จากผลการทดสอบกำลังกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานจำลองทั้ง 2 ชุดความหนาที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ได้สรุปผลกำลังต้านทานความล้าจากการทดสอบตามความหนาของแต่ละชุดไว้ในหัวข้อที่ 5.7.1 และ สรุปผลกำลังต้านทานความล้าตามระดับความเสียหาย ในหัวข้อที่ 5.7.2

5.7.1 สรุปผลการทดสอบตามความหนาของแผ่นพื้นสะพาน

5.7.1.1 สรุปผลการทดสอบของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 1 (ความหนา 0.20 เมตร)

เมื่อพื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติรับแรงกระทำซ้ำที่ 40% ของแรงกระทำเฉลี่ยสูงสุด จะมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 40% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 3,000 รอบ และมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 60% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 60,000 รอบ ในขณะที่ แผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีปริมาณรอยร้าวประมาณ 40% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 25,000 รอบ และมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 60% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 100,000 รอบ

พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติรับแรงกระทำซ้ำที่ 55% ของแรงกระทำเฉลี่ยสูงสุด จะมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 40% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 500 รอบ และมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 60% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 40,000 รอบ ในขณะที่ แผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีปริมาณรอยร้าวประมาณ 40% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 20,000 รอบ และมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 60% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 90,000 รอบ

พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติรับแรงกระทำซ้ำที่ 70% ของแรงกระทำเฉลี่ยสูงสุด จะมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 86% ที่จำนวนรอบแรงกระทำซ้ำ 100 รอบ และเกิดการวิบัติแบบแรงเฉือนทะลุ ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 5,500 รอบ ในขณะที่ แผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีปริมาณรอยร้าวประมาณ 86% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 11,000 รอบ และปริมาณรอยร้าวไม่เพิ่มขึ้นจนจบการทดสอบ

5.7.1.2 สรุปผลการทดสอบของพื้นสะพานจำลองชุดที่ 2 (ความหนา 0.15 เมตร)

พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติรับแรงกระทำซ้ำที่ 40% ของแรงกระทำเฉลี่ยสูงสุด จะมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 40% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 5,000 รอบ และมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 60% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 25,000 รอบ ในขณะที่ แผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีปริมาณรอยร้าวประมาณ 40% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 80,000 รอบ และมีปริมาณรอยร้าวเพิ่มขึ้นถึงเพียง 41% จนจบการทดสอบที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 100,000 รอบ

พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติรับแรงกระทำซ้ำที่ 55% ของแรงกระทำเฉลี่ยสูงสุด จะมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 40% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 1,000 รอบ และมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 60% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 15,000 รอบ ในขณะที่ แผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีปริมาณรอยร้าวประมาณ 40% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 20,000 รอบ และมีปริมาณรอยร้าวเพิ่มขึ้นถึงเพียง 53% จนจบการทดสอบที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 100,000 รอบ

พื้นสะพานจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติรับแรงกระทำซ้ำที่ 70% ของแรงกระทำเฉลี่ยสูงสุด จะมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 40% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 100 รอบ และมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 60% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 1,000 รอบ ในขณะที่ แผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด มีปริมาณรอยร้าวประมาณ 40% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 100 รอบ และมีปริมาณรอยร้าวประมาณ 60% ที่จำนวนแรงกระทำซ้ำ 2,000 รอบ

จากผลการทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำเปรียบเทียบระหว่างแผ่นพื้นไม่ผสมและผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดพบว่า การผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดลงในแผ่นพื้นจะสามารถช่วยลดรอยแตกร้าวจากแรงกระทำซ้ำในแผ่นพื้นได้ แต่จะสามารถลดรอยแตกร้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพในกรณีแผ่นพื้นที่มีความหนา 15 เซนติเมตร ได้มีประสิทธิภาพกว่าพื้นที่มีความหนา 20 เซนติเมตร

5.7.2 สรุปผลการทดสอบตามระดับความเสียหาย

สรุปผลการทดสอบจำนวนรอบที่ทำให้เกิดระดับความเสียหายจากแรงกระทำซ้ำ ที่ระดับความเสียหายที่ 40% 50% และ 60% ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.14 ถึง 5.16 ระดับความเสียหาย 40-60% นี้เป็นระดับความเสียหายที่พื้นสะพานใกล้เกิดการวิบัติ แรงกระทำและจำนวนรอบของแรงกระทำซ้ำที่ทำให้พื้นสะพานเกิดความเสียหายที่ระดับดังกล่าวได้ถูกนำไปสร้างเส้นโค้งความล้าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพานออกแบบที่เหมาะสม รายละเอียดแสดงในบทที่ 6

ระดับความเสียหายของแผ่นพื้นสะพานที่ 40%

จำนวนรอบของแรงกระทำซ้ำที่ทำให้แผ่นพื้นเกิดความเสียหายที่ระดับ 40% ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 จำนวนรอบของแรงกระทำซ้ำที่ทำให้แผ่นพื้นเกิดความเสียหาย 40%

ระดับแรงกระทำ	จำนวนรอบของแรงกระทำ* (Cycle) (คอนกรีตปกติ)		จำนวนรอบของแรงกระทำ* (Cycle) (คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด)	
	FT-NC20 หนา 0.20 เมตร	FT-NC15 หนา 0.15 เมตร	FT-CRC20 หนา 0.20 เมตร	FT-CRC15 หนา 0.15 เมตร
0.40Pu	1,738	5,012	25,119	70,795
0.55Pu	295	692	17,783	17,378
0.70Pu	16	50	25	55

*ได้มาจากการเทียบบัญญัติไตรยางค์ของจำนวนรอบที่ได้มาจากการทดสอบ

ระดับความเสียหายของแผ่นพื้นสะพานที่ 50%

จำนวนรอบของแรงกระทำซ้ำที่ทำให้แผ่นพื้นเกิดความเสียหายที่ระดับ 50% ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 จำนวนรอบของแรงกระทำซ้ำที่ทำให้แผ่นพื้นเกิดความเสียหาย 50%

ระดับแรงกระทำ	จำนวนรอบของแรงกระทำ* (Cycle) (คอนกรีตปกติ)		จำนวนรอบของแรงกระทำ* (Cycle) (คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด)	
	FT-NC20 หนา 0.20 เมตร	FT-NC15 หนา 0.15 เมตร	FT-CRC20 หนา 0.20 เมตร	FT-CRC15 หนา 0.15 เมตร
0.40Pu	19,953	12,882	44,668	>100,000
0.55Pu	7,244	1,738	34,674	54,954
0.70Pu	33	170	56	245

*ได้มาจากการเทียบบัญญัติไตรยางค์ของจำนวนรอบที่ได้มาจากการทดสอบ

ระดับความเสียหายของแผ่นพื้นสะพานที่ 60%

จำนวนรอบของแรงกระทำซ้ำที่ทำให้แผ่นพื้นเกิดความเสียหายที่ระดับ 60% ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 จำนวนรอบของแรงกระทำซ้ำที่ทำให้แผ่นพื้นเกิดความเสียหาย 60%

ระดับแรงกระทำ	จำนวนรอบของแรงกระทำ* (Cycle) (คอนกรีตปกติ)		จำนวนรอบของแรงกระทำ* (Cycle) (คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด)	
	FT-NC20 หนา 0.20 เมตร	FT-NC15 หนา 0.15 เมตร	FT-CRC20 หนา 0.20 เมตร	FT-CRC15 หนา 0.15 เมตร
0.40Pu	60,256	25,119	>100,000	>100,000
0.55Pu	39,811	12,303	>100,000	>100,000
0.70Pu	66	575	115	1,514

*ได้มาจากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ของจำนวนรอบที่ได้มาจากการทดสอบ

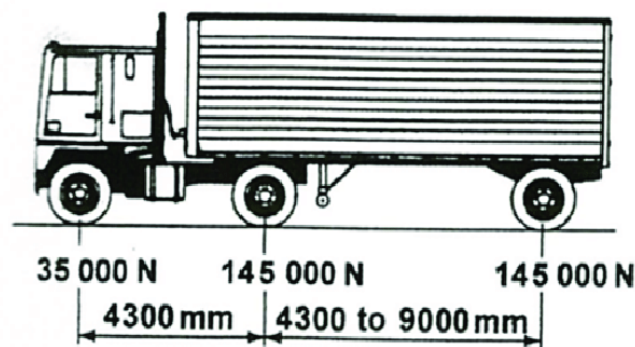
บทที่ 6 การวิเคราะห์ความหนาพื้น สะพานออกแบบใช้งาน

การวิเคราะห์ความหนาพื้นสะพานออกแบบใช้งานเป็นการวิเคราะห์ทางด้านความล้าเพื่อหาความหนาขั้นต่ำของพื้นสะพานที่สามารถรองรับทั้งน้ำหนักและจำนวนเที่ยวของล้อรถบรรทุกได้ตามที่กำหนด โดยอ้างอิงมาตรฐานการออกแบบสะพาน AASHTO LRFD ซึ่งกรมทางหลวงใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบสะพาน ได้กำหนดให้ส่วนของโครงสร้างสะพานที่ต้องพิจารณาความล้าเนื่องจากการจราจรของรถบรรทุกต้องรองรับรถบรรทุกออกแบบ AASHTO HS20-44 น้ำหนัก 32.5 ตัน จำนวน 2 ล้อหน้า

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอการวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพานออกแบบใช้งานของสะพานระบบพื้นคานของกรมทางหลวง พิจารณาทั้งพื้นสะพานคอนกรีตปกติและพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด โดยอาศัยผลการทดสอบกำลังรับแรงและกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานในบทที่ผ่านมา พิจารณาร่วมกับข้อกำหนดการออกแบบต่าง ๆ ตามมาตรฐาน AASHTO และข้อกำหนดของกรมทางหลวง

6.1 น้ำหนักและจำนวนเที่ยวของล้อรถบรรทุกออกแบบใช้งาน

มาตรฐานการออกแบบสะพาน AASHTO LRFD (2020) กำหนดให้ส่วนของโครงสร้างสะพานที่ต้องพิจารณาความล้าเนื่องจากการจราจรของรถบรรทุกต้องรองรับรถบรรทุกออกแบบ AASHTO HS20-44 น้ำหนัก 32.5 ตัน จำนวน 2 ล้อหน้า รูปที่ 6-1 แสดงรถบรรทุกออกแบบ AASHTO HS20-44



รูปที่ 6-1 รถบรรทุกออกแบบ AASHTO HS20-44

รถบรรทุกออกแบบ AASHTO HS20-44 เป็นรถบรรทุกจำลองขนาด 3 เพลา น้ำหนักรวม 32.5 ตัน น้ำหนักลงเพลาน้ำ 3.5 ตัน น้ำหนักลงสองเพลาลัง เพลาละ 14.5 ตัน เนื่องจากการวิเคราะห์พื้นสะพาน พิจารณารถบรรทุกครั้งคัน ดังนั้น แรงที่ใช้ในการวิเคราะห์จึงเป็นน้ำหนักล้อ- น้ำหนักล้อหน้า 1.75 ตัน น้ำหนักสองล้อหลัง ล้อละ 7.25 ตัน แต่อย่างไรก็ตาม น้ำหนักล้อหน้ามีค่าต่ำกว่าน้ำหนักสองล้อหลังค่อนข้างมาก เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จึงพิจารณาเฉพาะน้ำหนักของสองล้อหลัง ทั้งนี้

ตามมาตรฐาน AASHTO กำหนดให้ปรับเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างจากการเผื่อน้ำหนัก 30% และจากแรงกระแทกขณะรถวิ่ง ซึ่งในกรณีของพื้นสะพาน ให้เพิ่มน้ำหนักจากแรงกระแทก 33% ดังนั้น น้ำหนักของสองล้อหลังจึงมีค่าล้อละ $1.3 \times 1.33 \times 7.25 = 12.5$ ตัน

กล่าวโดยสรุป ใช้น้ำหนักล้อ 12.5 ตัน จำนวน 4×10^6 เทียว ในการวิเคราะห์ความล้าเพื่อหาความหนาขั้นต่ำของพื้นสะพาน

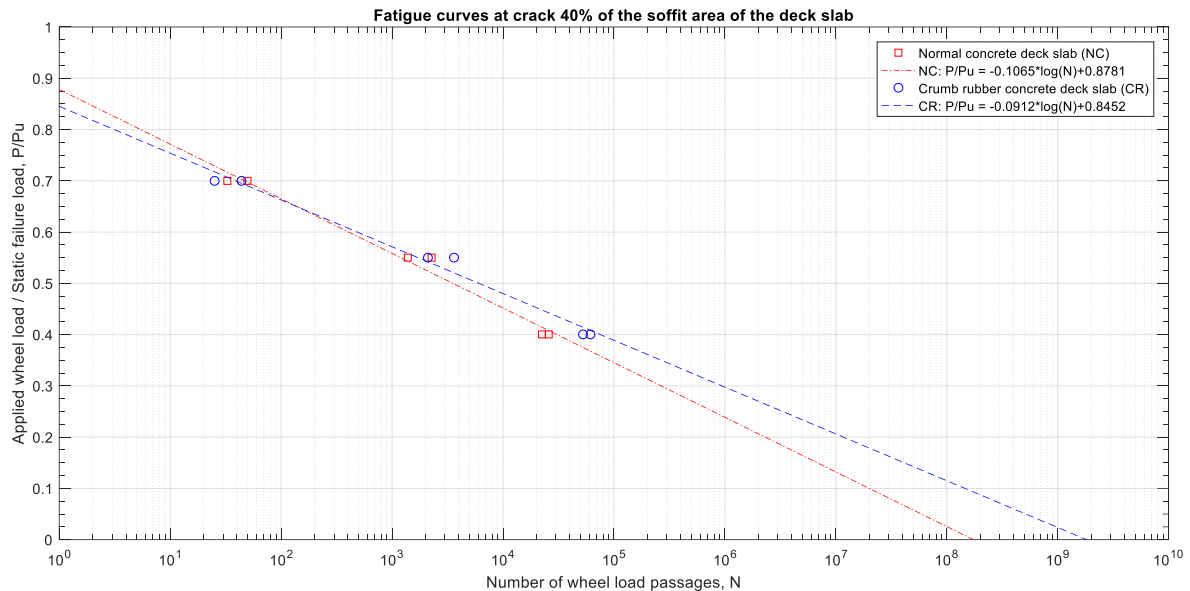
6.2 เส้นโค้งความล้าของพื้นสะพาน

ในการวิเคราะห์ความล้าของโครงสร้างจำเป็นต้องมีเส้นโค้งความล้า (Fatigue curve) ของโครงสร้างนั้น ๆ เส้นโค้งความล้าเป็นเส้นโค้งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำซ้ำ (P) กับจำนวนรอบที่ทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหายตามที่กำหนด (N) ซึ่งโดยทั่วไป เส้นโค้งความล้าสร้างมาจากการทดสอบโครงสร้างภายใต้แรงกระทำซ้ำขนาดคงที่ ที่ระดับแรงกระทำต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ

เส้นโค้งความล้าสามารถนำมาใช้ในการประเมินกำลังต้านทานความล้า (Fatigue strength) ของโครงสร้างได้โดยอาศัยหลักเกณฑ์การสะสมความล้าเชิงเส้น (Palmgren-Miner linear criterion of cumulative damage) ซึ่งกล่าวว่า แรงกระทำซ้ำ P_i ใด ๆ 1 รอบทำให้โครงสร้างเกิดความล้าหรือเสื่อมสภาพไปเท่ากับ $1/N_i$ และโครงสร้างจะหมดกำลังต้านทานความล้าหรือเกิดความเสียหายตามที่กำหนดเมื่อ $\sum \frac{n_i}{N_i} = 1$ โดยที่ n_i คือ จำนวนรอบการกระทำซ้ำของแรง P_i

ในกรณีของพื้นสะพาน Petrou et al. (1994) และ Kumpoopong (2010) แสดงให้เห็นว่า กำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงประลัยของพื้นสะพาน (Static strength, P_u) กล่าวคือ ที่แรงกระทำซ้ำ P เดียวกัน พื้นสะพานที่มีกำลังรับแรงประลัยสูงกว่าจะมีกำลังต้านทานความล้าสูงกว่า แต่หากพิจารณาในรูปของอัตราส่วนของแรงกระทำซ้ำต่อกำลังรับแรงประลัย P/P_u พบว่า ที่ P/P_u เดียวกัน พื้นสะพานจะมีกำลังต้านทานความล้าเท่ากัน โดยพื้นสะพานจะเกิดการวิบัติเนื่องจากความล้าเมื่อรอยแตกร้าวของคอนกรีตท้องพื้นลุกลามครอบคลุมพื้นที่ท้องพื้นประมาณ 40-60%

ในการศึกษาครั้งนี้ ผลการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานคอนกรีตปกติ (Normal concrete deck slab) และพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด (Crumb rubber concrete deck slab) ในบทที่ผ่านมาได้ถูกนำมาใช้สร้างเส้นโค้งความล้าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพานออกแบบใช้งานที่เหมาะสมต่อไป โดยเพื่อเป็นการเผื่อความปลอดภัย จึงได้ทำการสร้างเส้นโค้งความล้าของพื้นสะพานคอนกรีตปกติ และพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ที่พื้นที่รอยแตกร้าวของคอนกรีตท้องพื้น 40% และเพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์ เส้นโค้งความล้าได้แสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของแรงกระทำซ้ำต่อกำลังรับแรงประลัย P/P_u กับ จำนวนรอบของแรงกระทำ N ดังแสดงในรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 เส้นโค้งความล้าของพื้นสะพานคอนกรีตปกติและพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดที่คอนกรีตท้องพื้นแตกร้าว 40%

เส้นโค้งความล้าของพื้นสะพานคอนกรีตปกติและพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง P/P_u กับ $\log(N)$ ดังนี้

พื้นสะพานคอนกรีตปกติ

$$P/P_u = -0.1065 \log N + 0.8781$$

(6-1)

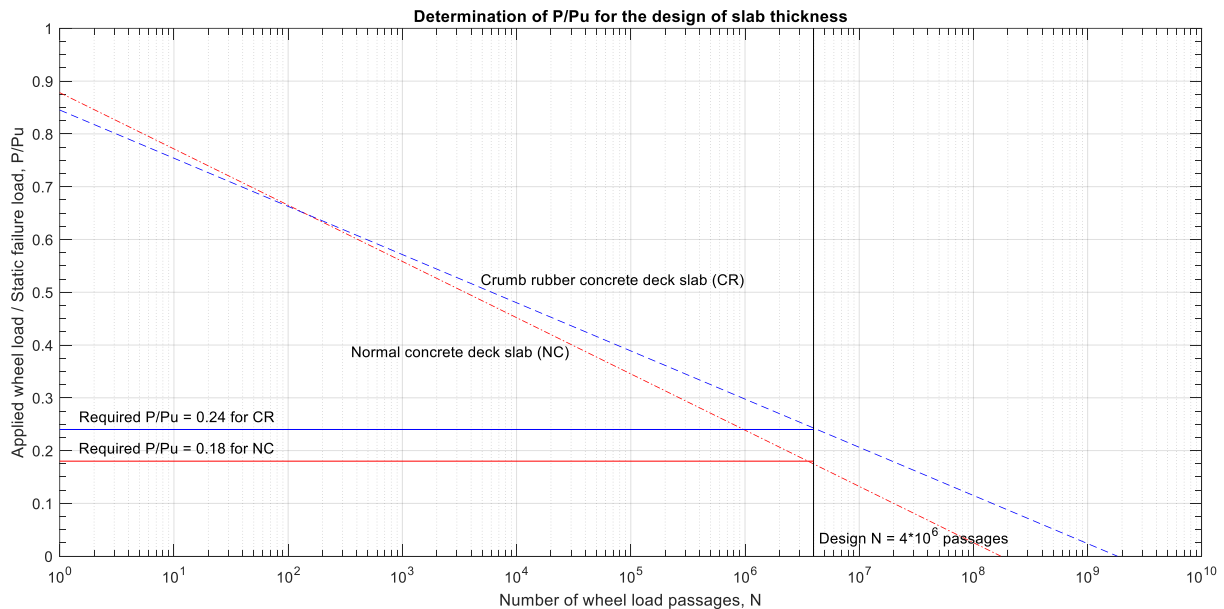
พื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด

$$P/P_u = -0.0912 \log N + 0.8452 \quad (6-2)$$

จากรูปที่ 6-2 จะเห็นได้ว่า ในช่วงแรงกระทำระดับสูง หรือ P/P_u มากกว่า 0.65 พื้นสะพานคอนกรีตปกติมีกำลังต้านทานความล้าสูงกว่าพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แต่อย่างไรก็ตาม ในช่วงแรงกระทำระดับต่ำ หรือ P/P_u น้อยกว่า 0.65 ซึ่งเป็นช่วงที่ครอบคลุม $N = 4 \times 10^6$ รอบ พื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมีกำลังต้านทานความล้าสูงกว่าพื้นสะพานคอนกรีตปกติ ดังนั้น จึงสามารถออกแบบพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดให้มีกำลังรับแรงอัดประลัย (ความหนาพื้น) ต่ำกว่าพื้นสะพานคอนกรีตปกติได้

6.3 การวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพาน

เส้นโค้งความล้าของพื้นสะพานคอนกรีตปกติและพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในรูปที่ 6-2 ได้นำมาแสดงอีกครั้งในรูปที่ 6-3 เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์หาความหนาขั้นต่ำของพื้นสะพานเพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักล้อ 12.5 ตัน จำนวน 4×10^6 เที่ยวตามมาตรฐานการออกแบบ AASHTO LRFD ได้ ดังนี้



รูปที่ 6-3 การใช้เส้นโค้งความล้าในการวิเคราะห์หาความหนาขั้นต่ำของพื้นสะพาน

- 1) ลากเส้นแนวตั้งที่ $N = 4 \times 10^6$ ไปตัดเส้นโค้งความล้า
- 2) ที่จุดเส้นแนวตั้งที่ $N = 4 \times 10^6$ ตัดกับเส้นโค้งความล้า ลากเส้นแนวนอนไปตัดแกนตั้ง อ่านค่า P/P_u ซึ่งในกรณีพื้นสะพานคอนกรีตปกติได้ค่า $P/P_u = 0.18$ และในกรณีพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดได้ค่า $P/P_u = 0.24$
- 3) คำนวณค่ากำลังรับแรงประลัย P_u ที่ต้องการจาก $P_u = P/0.18$ และ $P_u = P/0.24$ ในกรณีของพื้นสะพานคอนกรีตปกติและพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดตามลำดับ โดยแทนค่า $P = 12.5$ ตัน จะได้ค่า $P_u = 69.4$ ตัน สำหรับพื้นสะพานคอนกรีตปกติ และ $P_u = 52.1$ ตัน สำหรับพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด
- 4) จัดทำแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของพื้นสะพาน (รายละเอียดดูในบทการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน) ที่แต่ละระยะห่างระหว่างคาน ปรับเปลี่ยนความหนาพื้นสะพาน เพื่อให้ได้ P_u ตามที่ต้องการในข้อที่ 3)

ตารางที่ 6-1 และ 6-2 แสดงค่ากำลังรับแรงประลัยของพื้นสะพานคอนกรีตปกติและพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดตามลำดับ จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ของพื้นสะพาน ที่ความหนาพื้น 0.15-0.20 เมตร และระยะห่างระหว่างคาน 1.50-2.00 เมตร โดยพิจารณาำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$

ความหนาพื้น 0.15-0.20 เมตร และระยะห่างระหว่างคาน 1.50-2.00 เมตร ครอบคลุมความหนาพื้น และระยะห่างระหว่างคานของสะพานระบบพื้นคานของกรมทางหลวง โดยที่ความหนาพื้น 0.15 เมตร เป็นความหนาขั้นต่ำตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

$f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ เป็นค่ากำลังรับแรงอัดประลัยออกแบบของคอนกรีตพื้นสะพานของสะพานระบบพื้นคานของกรมทางหลวง

ตารางที่ 6-1 กำลังรับแรงอัดประลัย P_u (ตัน) ของพื้นสะพานคอนกรีตปกติ

$$f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$$

		ระยะห่างระหว่างคาน (เมตร)					
		1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
ความหนาพื้นสะพาน (เมตร)	0.15	65.9	59.7	54.5	46.7	44.2	40.7
	0.16	70.7	64.5	59.3	51.4	49.1	45.7
	0.17	74.9	68.8	64.0	55.8	54.4	51.6
	0.18	80.8	74.4	69.2	61.0	58.7	55.3
	0.19	83.1	77.1	72.5	64.5	63.1	60.4
	0.20	86.2	80.4	75.8	68.4	66.4	63.3

ตารางที่ 6-2 กำลังรับแรงอัดประลัย P_u (ตัน) ของพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่า
บดละเอียด $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$

		ระยะห่างระหว่างคาน (เมตร)					
		1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
ความหนาพื้นสะพาน (เมตร)	0.15	69.6	63.4	58.4	50.6	48.2	44.8
	0.16	75.8	69.5	64.4	56.1	54.4	51.4
	0.17	81.2	74.7	69.6	61.0	59.5	56.6
	0.18	88.5	81.7	76.6	67.3	66.3	63.7
	0.19	92.0	85.3	80.4	70.9	70.7	68.6
	0.20	96.3	89.5	84.5	75.0	74.5	72.2

จากตารางที่ 6-1 และ 6-2 สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ที่กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตพื้นสะพาน $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ เท่ากัน พื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมีค่ากำลังรับแรงประลัย P_u สูงกว่าพื้นสะพานคอนกรีตปกติเนื่องจากยางรถยนต์เก่าบดละเอียดทำให้คอนกรีตมีความเหนียวขึ้น ผลของความเหนียวของคอนกรีตทำให้พื้นสะพานยืดหยุ่นขึ้นและสามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้นก่อนวิบัติ (ดูบททดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน)
- 2) บริเวณที่แรงแท่งเป็นบริเวณที่กำลังรับแรงอัดประลัยของพื้นสะพาน P_u มีค่าสูงกว่า P_u ที่ต้องการของพื้นที่แต่ละประเภทเพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักและจำนวนล้อของรถบรรทุกออกแบบ AASHTO HS20-44 บริเวณที่แรงแท่งในตารางที่ 6-1 มีค่า P_u มีค่าสูงกว่า 69.4 ตัน ซึ่งเป็นค่า P_u ที่ต้องการสำหรับพื้นสะพานคอนกรีตปกติ ส่วนบริเวณที่แรงแท่งในตารางที่ 6-2 มีค่า P_u มีค่าสูงกว่า 52.1 ตัน ซึ่งเป็นค่า P_u ที่ต้องการสำหรับพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด จะเห็นได้ว่าบริเวณที่แรงแท่งในตารางที่ 6-2 ครอบคลุมความหนาพื้นสะพาน และระยะห่างระหว่างคานมากกว่าบริเวณที่แรงแท่งในตารางที่ 6-1 แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดที่มีกำลังรับแรงอัดประลัยเท่ากับคอนกรีตปกติ มีศักยภาพที่ดีกว่าคอนกรีตปกติในการนำมาก่อสร้างเป็นพื้นสะพานเพื่อต้านทานความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนัก ซึ่งสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนจากความหนาขั้นต่ำของพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดที่ต้องการมีค่าน้อยกว่าความหนาขั้นต่ำที่ต้องการในกรณีของพื้นสะพานคอนกรีตปกติ และระยะห่างระหว่างคานสูงสุดที่ยอมให้มีค่า

มากกว่า เมื่อพิจารณาที่ความหนาพื้นสะพานเท่ากัน ดังแสดงสรุปในตารางที่ 6-3 และ 6-4
ตามลำดับ

ตารางที่ 6-3 ความหนาขั้นต่ำของพื้นสะพาน (เมตร)

		คอนกรีตปกติ	คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด
ระยะห่างระหว่างคาน (เมตร)	1.50	0.16	0.15
	1.60	0.18	0.15
	1.70	0.19	0.15
	1.80	0.21*	0.16
	1.90	0.21*	0.16
	2.00	0.22*	0.17

*ได้มาจากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์เพิ่มเติม

ตารางที่ 6-4 ระยะห่างระหว่างคานสะพานสูงสุด (เมตร)

		คอนกรีตปกติ	คอนกรีตผสมยาง รถยนต์เก่าบดละเอียด
ความหนาพื้นสะพาน (เมตร)	0.15	-	1.78**
	0.16	1.52*	1.98**
	0.17	1.59*	2.05***
	0.18	1.69*	2.18***
	0.19	1.74*	2.28***
	0.20	1.79*	2.35***

*ได้มาจากการเทียบบัญญัติไตรยางค์ในตารางที่ 6-1

**ได้มาจากการเทียบบัญญัติไตรยางค์ในตารางที่ 6-2

***ได้มาจากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์เพิ่มเติม

จากผล การวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพาน ที่ปรึกษาได้จัดทำแบบรายละเอียดพื้นสะพาน
คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แนบมาพร้อมรายงานฉบับนี้

6.4 เอกสารอ้างอิง

AASHTO LRFD (2020), *Standard Specifications for Highway Bridges*, 9th ed., American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

Kumpoopong, R. (2010), "A Hybrid Stochastic/Mechanistic Model for Determining Bridge Condition Rating", *Doctoral Dissertation No. CM-10-03*, Asian Institute of Technology.

Petrou, M. F., Perdikaris, P. C., and Wang, A. (1994), "Fatigue Behavior of Noncomposite Reinforced Concrete Bridge Deck Models", *Transport Research Record 1460*, pp. 73-80.

บทที่ 7 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้ได้ทำการประเมินความสามารถของคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในการลดการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนัก โดยได้ทำการทดสอบพื้นสะพานจำลองขนาดเท่าจริงที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตที่มีการแทนที่ทรายด้วยยางรถยนต์เก่าบดละเอียดร้อยละ 25 โดยปริมาตร เทียบกับพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ ทั้งกำลังรับแรงและกำลังต้านทานความล้าในห้องปฏิบัติการ

พื้นสะพานจำลองมี 2 ชุด แต่ละชุดมีขนาดกว้าง 2.00 เมตร ยาว 8.00 เมตร ชุดที่ 1 พื้นหนา 0.20 เมตร ชุดที่ 2 พื้นหนา 0.15 เมตร ในแต่ละชุดความหนาได้ก่อสร้างพื้นสะพานโดยใช้คอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดอย่างละ 6 แผ่น รวมพื้นสะพานที่ก่อสร้างทั้งหมดจำนวน 24 แผ่น โดยในแต่ละความหนาของพื้นคอนกรีตแต่ละประเภทได้แบ่งพื้นสะพานเพื่อทดสอบกำลังรับแรงและกำลังต้านทานความล้าอย่างละ 3 แผ่น ในการทดสอบได้ทำการยึดรั้งพื้นสะพานกับคานเหล็กที่ระยะ 3.00 เมตรจากปลายทั้งสองของด้านยาว เพื่อจำลองพฤติกรรมของสะพานระบบพื้น-คาน จากนั้นให้แรงกระทำที่กลางพื้นสะพาน โดยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง จำนวน 6 ตัว และอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดในเหล็กเสริมและพื้นผิวคอนกรีต จำนวน 20 ตัว ต่อพื้นสะพานเพื่อตรวจวัดพฤติกรรมการรับแรงระหว่างการทดสอบ

การทดสอบใช้คอนกรีตปกติที่มีกำลังรับแรงอัด 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลของการใส่ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในส่วนผสมคอนกรีตทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตปกติมีค่าต่ำลง โดยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมีกำลังรับแรงอัดอยู่ที่ 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่งผลให้กำลังรับแรงของพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมีค่าต่ำลงด้วย แต่ยังคงสูงเพียงพอที่สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐานการออกแบบปัจจุบันได้อย่างปลอดภัย ข้อดีของการใส่ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดในส่วนผสมคอนกรีต คือ คอนกรีตมีความเหนียวขึ้น ส่งผลดีต่อกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพาน พื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดสามารถลดการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนักได้อย่างมีนัยสำคัญ

เส้นโค้งความล้าจำลองกำลังต้านทานความล้าและแบบจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์จำลองกำลังรับแรงของพื้นสะพานได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบมาตรฐานการออกแบบในการวิเคราะห์หาความหนาพื้นสะพานที่เหมาะสมตามระยะห่างระหว่างคาน ผลการวิเคราะห์โดยใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นค่ากำลังรับแรงอัดออกแบบของคอนกรีตพื้นสะพานของสะพานระบบพื้นคานของกรมทางหลวง เท่ากันทั้งพื้นสะพานคอนกรีตปกติและพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดที่มีกำลังรับแรงอัดเท่ากับคอนกรีตปกติ มีศักยภาพที่ดีกว่าคอนกรีตปกติในการนำมาก่อสร้างเป็นพื้นสะพานเพื่อต้านทานความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนัก โดยดูได้จากความหนาขั้นต่ำของพื้นสะพาน

คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดที่ต้องการมีค่าน้อยกว่าความหนาขั้นต่ำที่ต้องการในกรณีของ
พื้นสะพานคอนกรีตปกติ และระยะห่างระหว่างคานสูงสุดที่ยอมให้มีค่ามากกว่า เมื่อพิจารณาที่ความ
หนาพื้นสะพานเท่ากัน เช่น ในกรณีระยะห่างระหว่างคาน 2.00 เมตรเท่ากัน พื้นสะพานคอนกรีตปกติ
ต้องมีความหนาขั้นต่ำ 0.22 เมตร โดยหากก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ความ
หนาพื้นที่ต้องการจะลดลง เหลือเพียง 0.17 เมตร หรือในกรณีที่ความหนาพื้นสะพาน 0.20 เมตรเท่ากัน
ระยะห่างระหว่างคานที่มากที่สุดที่ยอมให้สำหรับพื้นสะพานคอนกรีตปกติ มีค่าเท่ากับ 1.79 เมตร โดย
หากก่อสร้างพื้นสะพานด้วยคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ระยะห่างระหว่างคานที่มากที่สุดที่
ยอมให้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2.35 เมตร

ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเป็นวัสดุที่หาได้ในประเทศ ราคาไม่แพง (17 บาทต่อกิโลกรัม) สัดส่วน
ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดร้อยละ 25 โดยปริมาตรทรายไม่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการผสมคอนกรีต
สามารถลดการแตกร้าวของพื้นสะพานเนื่องจากความล้าจากการจราจรของรถบรรทุกหนักได้อย่างเป็น
รูปธรรม ในทางอ้อม พื้นสะพานที่บางลงจากการใช้คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดช่วยลด
น้ำหนักโดยรวมของโครงสร้างสะพาน ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างสะพาน อีกทั้ง การใช้ยางรถยนต์เก่า
บดละเอียดเป็นการลดปริมาณขยะที่เป็นมลพิษ ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จึงควรส่งเสริมให้มีการนำยาง
รถยนต์เก่าบดละเอียดมาใช้เป็นส่วนผสมของงานคอนกรีตพื้นสะพานของกรมทางหลวง