

การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ฉีควัสดุก่อโฟม EPS Experimental Study of RC Frame with EPS infilled Wall under Lateral Force

ประกิต ขมชื่น^{1,*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: cprakit@mut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ทดสอบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเท่าจริงภายใต้แรงกระทำด้านข้างเพื่อศึกษาพฤติกรรมรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบได้แก่โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีวัสดุก่อ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่ออิฐมวล และโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่อโฟม EPS การทดสอบทำโดยเพิ่มแรงกระทำด้านข้างที่ตำแหน่งคานบนของโครงข้อแข็งขึ้นเรื่อยๆ พร้อมกับวัดการเสียรูปของโครงข้อแข็งในทิศทางเดียวกับแรงกระทำและสังเกตความเสียหายที่ปรากฏในโครงข้อแข็งภายใต้แรงกระทำระดับต่างๆ ผลการศึกษาแสดงว่าโครงข้อแข็งที่ไม่มีวัสดุก่อมีความแข็งแรงน้อยสุด เกิดการเสียรูปมากภายใต้แรงกระทำด้านข้าง วัสดุก่ออิฐมวลส่งผลต่อทั้งความแข็งแรงและความสามารถต้านทานแรงด้านข้างของโครงข้อแข็ง โครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่ออิฐมวลสามารถต้านทานแรงด้านข้างสูงสุดได้ประมาณ 2 เท่าของกรณีไม่มีวัสดุเสริม ขณะที่การเสียรูปด้านข้างน้อยกว่าอย่างมากเช่นกัน วัสดุก่อโฟม EPS ก็ส่งผลแบบเดียวกับวัสดุก่ออิฐมวล โครงข้อแข็งสามารถต้านทานแรงด้านข้างสูงสุดได้ประมาณ 2 เท่าของกรณีไม่มีวัสดุเสริม เพียงแต่โครงสร้างจะมีความแข็งแรงน้อยกว่ากรณีวัสดุก่อแบบอิฐมวล ขณะที่วัสดุก่อโฟม EPS เบากว่ามาก

คำสำคัญ: โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก, แรงด้านข้าง, แรงแผ่นดินไหว, โฟม EPS

Abstract

This study investigates the lateral load behavior of three types of full-scale reinforced concrete (RC) frames under lateral loading. The tested frames include (1) an RC frame without infill material, (2) an RC frame with masonry infill, and (3) an RC frame with expanded polystyrene (EPS) foam infill. The experimental procedure involved gradually applying lateral force at the top beam of the frame while measuring its deformation in the direction of the applied force and observing damage at different loading levels. The results indicate that the RC frame without infill material exhibited the lowest stiffness and underwent the largest deformation under lateral loading. The presence of masonry infill significantly enhanced both the stiffness and lateral load resistance of the frame. Specifically, the RC frame with masonry infill was capable of withstanding approximately twice the lateral load capacity of the frame without infill while also exhibiting significantly reduced lateral deformation. Similarly, the EPS foam infill improved the lateral load resistance to a

comparable extent, with the frame supporting approximately twice the lateral load of the non-infilled frame. However, the stiffness of the EPS-infilled frame was lower than that of the masonry-infilled frame, although the EPS material was considerably lighter.

Keywords: Reinforced concrete frames, lateral forces, seismic forces, EPS foam

1. บทนำ

การก่อสร้างมีวิวัฒนาการจากอดีตจนถึงปัจจุบันอย่างต่อเนื่องตามพัฒนาการของเทคโนโลยี ดังปรากฏหลักฐานสิ่งปลูกสร้างยุคเก่าที่ใช้วัสดุธรรมชาติเช่น หิน หรือไม้ เป็นโครงสร้าง ปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นส่งผลให้สามารถก่อสร้างโดยใช้วัสดุที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นระบบโครงสร้างที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ใช้ประโยชน์จากวัสดุ 2 ชนิดผสมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากระบบโครงสร้างแล้ว สิ่งปลูกสร้างเช่นอาคารยังจำเป็นต้องมีส่วนประกอบที่ไม่ใช่ส่วนของโครงสร้าง (Non-structural components) เช่นผนัง ที่ใช้สำหรับป้องกันผู้อยู่อาศัยจากสภาพแวดล้อมและจัดสรรพื้นที่ในการใช้งานให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์อย่างเหมาะสม ผนังอาคารในประเทศไทยแต่เดิมนิยมใช้ผนังอิฐก่อฉาบปูนเนื่องจากมีความแข็งแรงและราคาไม่แพง อิฐที่ใช้ก่อมีทั้งอิฐมวลและอิฐบล็อก ต่อเมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านวัสดุก่อ วัสดุก่อที่มีความพรุนเริ่มได้รับความนิยมและรู้จักกันในนามอิฐมวลเบา ข้อดีของอิฐมวลเบาคือน้ำหนักที่เบาส่งผลให้โครงสร้างเล็กและมีความเป็นฉนวนกว่าอิฐมวล

ปัจจุบันปรากฏการใช้โฟมชนิด Expanded Polystyrene (EPS) เป็นวัสดุก่อแทนอิฐก่อแบบดั้งเดิม ด้วยข้อดีของ EPS ที่มีน้ำหนักเบา มีขนาดมาตรฐานที่กว้างได้ถึง 1.2 เมตร และยาวได้ถึง 2.4 เมตรทำให้ใช้งานง่าย ก่อสร้างได้รวดเร็ว ใช้แรงงานน้อย และด้วย EPS ประกอบด้วย Polystyrene 2% และมีอากาศ 98% โดยปริมาตร ส่งผลให้มีความเบาอย่างมาก

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของอาคารภายใต้เหตุแผ่นดินไหวของวิศวกรและนักวิจัยพบว่า ผนังอิฐก่อส่งผลต่อพฤติกรรมของอาคารอย่างมาก[1-7] กล่าวคือเมื่อเริ่มเกิดเหตุแผ่นดินไหว อาคารจะสั่นสะเทือนโดยมีมวลของทั้งส่วนโครงสร้างและส่วนที่ไม่ใช่โครงสร้างเป็นแรงเฉื่อยกระทำกับโครงสร้าง (Seismic induced forces) ในลักษณะแรงกระทำด้านข้าง เมื่อโครงสร้างรับแรงด้านข้างจะเกิดการเสียรูปด้านข้างตามแนวแรง แต่ด้วยผนังที่มีความสามารถต้านทานการเสียรูปได้บางส่วนยังไม่ได้รับความเสียหาย ผนังจะประพฤติตัวเป็นเสมือนส่วนประกอบโครงสร้าง ส่งผลให้ระบบโครงสร้างมีความแข็งแรงอย่างมากในช่วงแรก ต่อเมื่อแรงด้านข้างทำให้

ผนังแตกร้าวและเสียความสามารถต้านทานแรงด้านข้างไป โครงสร้างก็จะอ่อนลงและต้านทานแรงด้านข้างเพียงลำพัง การศึกษาวิจัยทั้งในและต่างประเทศส่งผลให้วิศวกรสามารถคำนวณและจำลองผนังอิฐก่อในแบบจำลองโครงสร้างได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพเมื่อทราบชนิดและคุณสมบัติของอิฐก่อที่ใช้ ดังปรากฏในมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว แม้พฤติกรรมของวัสดุโฟม EPS จะเป็นที่ประจักษ์ว่าเป็นวัสดุแบบไฮเปอร์อลาสติก คือมีการเสียรูปภายใต้แรงอัดช่วงแรกสูงและสติเฟ้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเสียรูปเพิ่มขึ้น แต่พฤติกรรมและคุณสมบัติของโฟม EPS เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุก่อยังได้รับการศึกษาจำกัด รวมถึงพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้โฟม EPS เป็นวัสดุก่อแบบที่ใช้ในประเทศไทยยังไม่ได้ได้รับการศึกษา[8-11]

บทความนี้จึงทำการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้โฟม EPS เป็นวัสดุก่อขนาดเท่าจริงในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงสร้างดังกล่าวเมื่อถูกนำไปใช้งานและต้องรับผลจากแรงกระทำด้านข้างเช่นเมื่อเกิดเหตุแผ่นดินไหว รายละเอียดและผลการศึกษาดังต่อไปนี้

2. รายละเอียดการทดสอบ

การศึกษานี้ทำการทดสอบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน 3 แบบได้แก่โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีวัสดุก่อ โครงข้อแข็ง

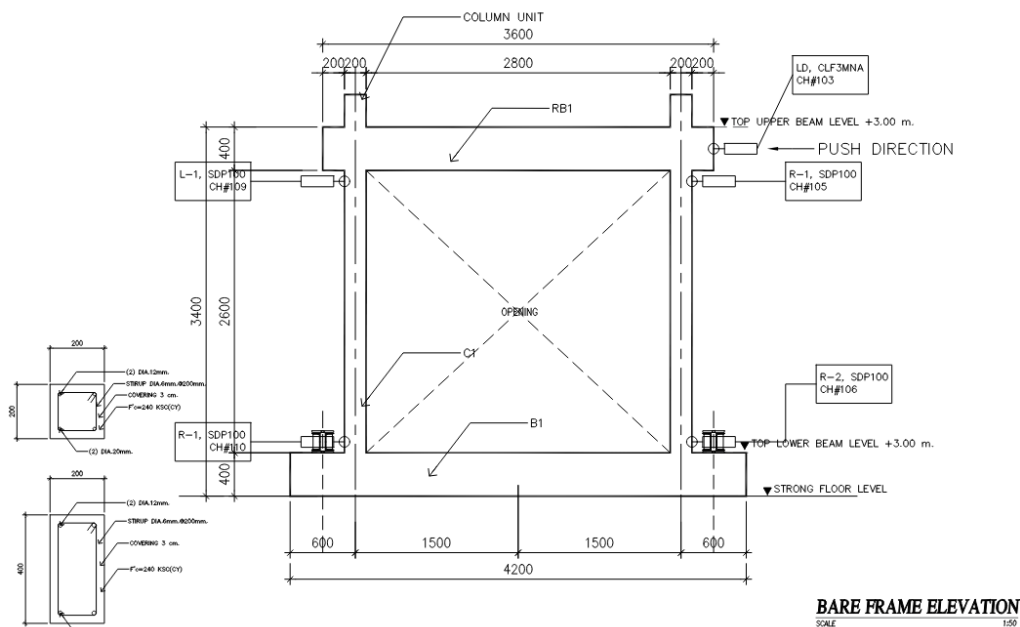
คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่ออิฐมอญ และโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่อโฟม EPS รายละเอียดแสดงดังนี้

2.1 รายละเอียดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

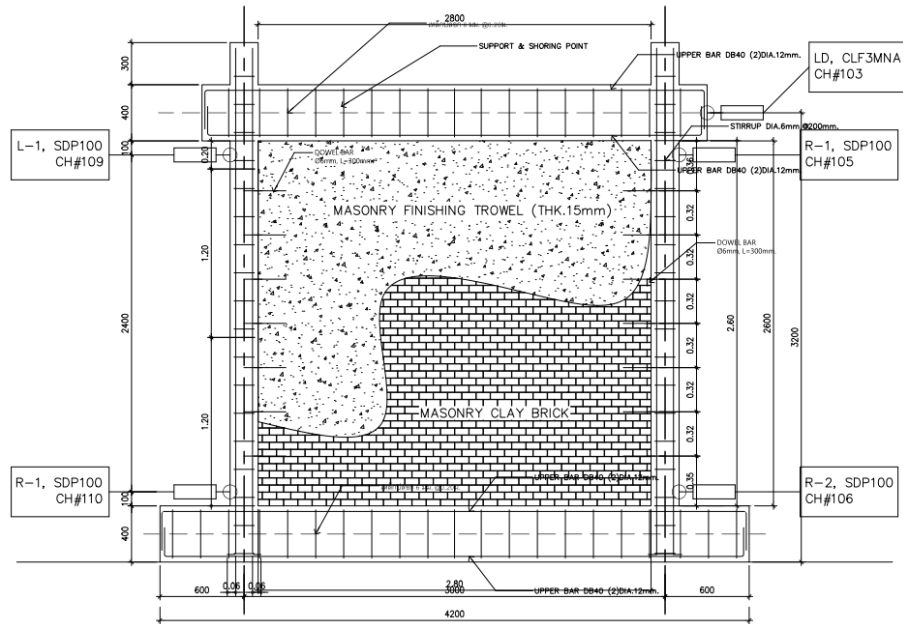
ตัวอย่างทดสอบโครงข้อแข็งทั้ง 3 แบบมีมิติขนาดที่เท่ากัน โดยมีความกว้าง 3 เมตรและสูง 3.2 เมตร แตกต่างกันเฉพาะวัสดุที่ใช้ออกภายในโครงข้อแข็ง โครงข้อแข็งประกอบด้วยเสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.2x0.2 เมตร หล่อพร้อมคานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 0.2x0.4 เมตร โครงข้อแข็งที่ใช้ทดสอบมีการก่อภายในแตกต่างกัน 3 แบบได้แก่ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีวัสดุก่อ (Bare frame, BF) โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่ออิฐมอญ (Masonry infilled frame, MF) และโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่อโฟม EPS (EPS infilled frame, EF) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1 ถึง 3 ตามลำดับ

การก่ออิฐมอญในโครงข้อแข็งมีการยึดโยงวัสดุก่อกับโครงคอนกรีตด้วยเหล็กเสริมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรทุกระยะ 30 เซนติเมตรตลอดความสูงเสาทั้ง 2 ข้าง

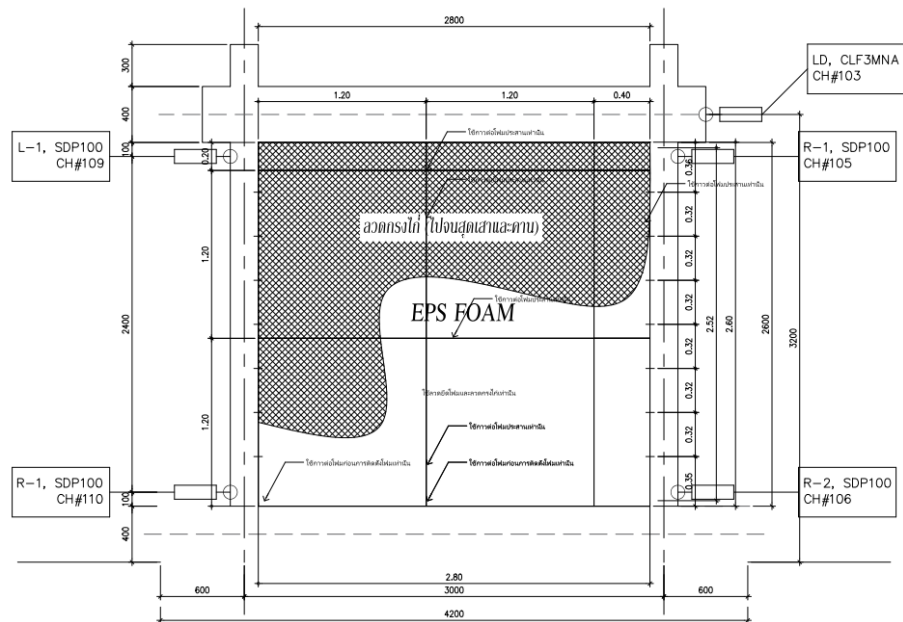
การใช้โฟม EPS เป็นวัสดุก่อจำเป็นต้องใช้ตาข่ายลวด (ลวดกรงไก่) เพื่อช่วยให้วัสดุฉนวนสามารถยึดติดกับโฟมได้ รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีวัสดุก่อ (BF)



รูปที่ 2 โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่ออิฐมอญ (MF)



รูปที่ 3 โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่อโฟม EPS (EF)

2.2 คุณสมบัติวัสดุ

2.2.1 คอนกรีตเสริมเหล็ก

คอนกรีตที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นคอนกรีตผสมเสร็จมีกำลังระบุ 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เหล็กเสริมที่ใช้ประกอบด้วยเหล็กเสริมหลักชนิดเหล็กข้ออ้อยเกรด SD40 และเหล็กปลอกชนิดเหล็กเส้นกลมเกรด SR24

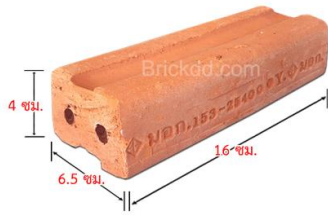
โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กจะบ่มในอากาศเป็นเวลา 7 วันก่อนการทดสอบ ก่อนทำการทดสอบการรับแรงดัดของโครงทดสอบแต่ละโครงจะทำการทดสอบหาค่าลึงัดของคอนกรีตเพื่อให้ทราบถึงค่าลึงัดของคอนกรีตที่แท้จริงขณะทดสอบ ผลค่าลึงัดของคอนกรีตจากการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปค่าลึงัดของคอนกรีตขณะทำการทดสอบ

โครงข้อแข็ง	ค่าลึงัดเฉลี่ยของคอนกรีตทรงกระบอกขณะทดสอบ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
ไม่มีวัสดุก่อ	254.16
วัสดุก่ออิฐมอญ	215.47
วัสดุก่อโฟม EPS	235.44

2.2.2 คุณสมบัติของอิฐมอญ

อิฐมอญที่ใช้ในการทดสอบเป็นอิฐมอญชนิดมีรูกลวงขนาด 4x6.5x16 เซนติเมตรดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4 อิฐที่ใช้มีความสามารถในการรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 95 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4 รูปตัวอย่างอิฐมอญที่ใช้ในการทดสอบ

2.2.3 โฟม Expanded Polystyrene (EPS)

โฟมที่ใช้ในการศึกษาเป็นโฟมชนิด Expanded Polystyrene (EPS) ที่มีความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5



รูปที่ 5 โฟมที่ใช้ในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่อโฟม EPS

การศึกษานี้ยังทำการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุก่อโฟม EPS ตามมาตรฐาน ASTM D1621 – 00 สำหรับการศึกษากฎการรับ

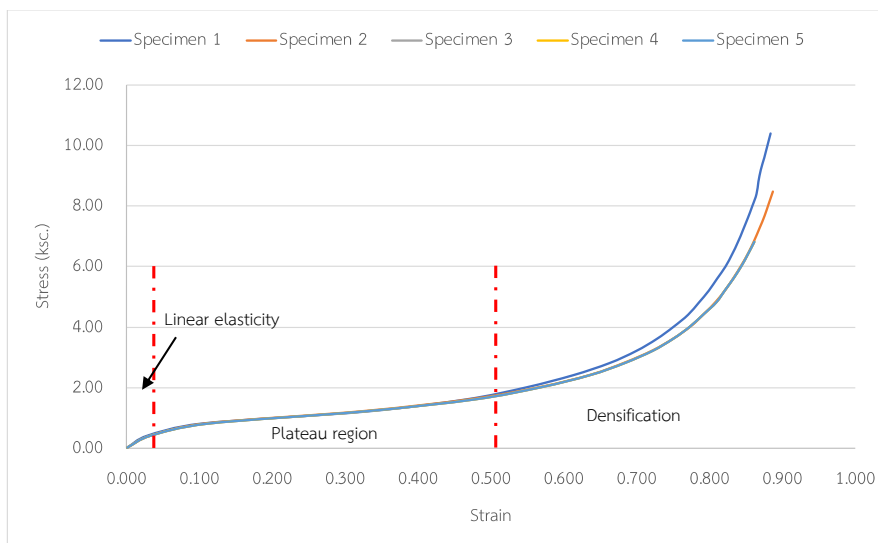
แรงอัดแบบปรีซึม และ ASTM C1314 – 14 สำหรับการศึกษากฎการรับแรงอัดแบบปรีซึมตามขนาดปรีซึมอิฐก่อ

การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดแบบปรีซึมตามมาตรฐาน ASTM D1621 – 00 ระบุว่าสามารถทำได้โดยการทดสอบชิ้นทดสอบขนาด 50 x 50 x 50 มม. ภายใต้แรงอัด ชิ้นทดสอบโฟมถูกติดตั้งในเครื่องทดสอบการอัดพร้อมกับติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงอัดและการเสียรูปดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การทดสอบโฟม EPS ภายใต้แรงอัด

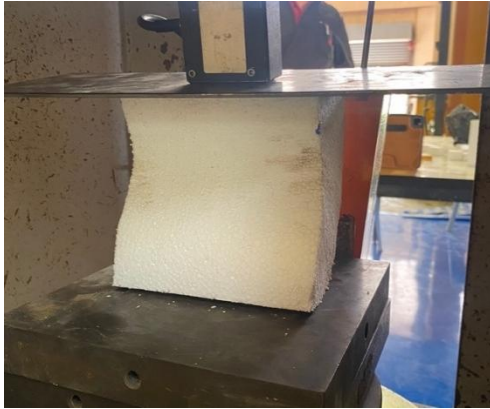
ผลการทดสอบแสดงว่าโฟม EPS มีพฤติกรรมแบบไฮเปอร์อีลาสติคดังแสดงในรูปที่ 7 กล่าวคือโฟมมีความแข็งแรงเริ่มต้นเมื่อเริ่มรับแรงกระทำ เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นโฟมจะเสียรูปอย่างมาก และเมื่อโฟมเสียรูปไปมากแล้วจึงส่งผลให้สตีเฟนของโฟมเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากโดยปราศจากความเสียหายของโฟม



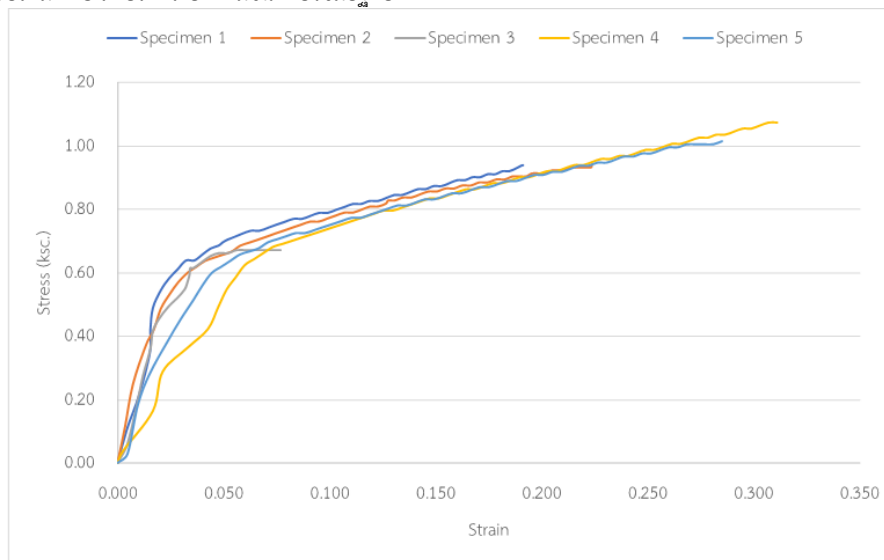
รูปที่ 7 พฤติกรรมของโฟม EPS ภายใต้แรงอัด

นอกจากการทดสอบแบบปรีซึมตามมาตรฐาน ASTM D1621 – 00 การศึกษานี้ยังทำการทดสอบโฟมแบบปรีซึมตามขนาดปรีซึมอิฐก่อตามมาตรฐาน ASTM C1314 – 14 ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยขนาดชิ้นทดสอบเท่ากับ 75 x 140 x 185 มม.

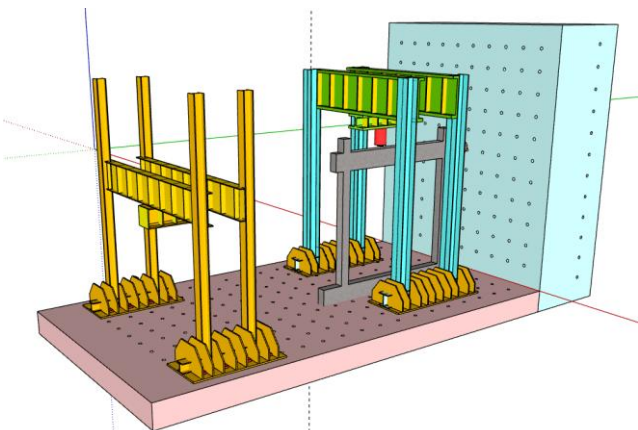
ผลการทดสอบพบว่าเมื่อโฟมที่ใช้ทดสอบสูงขึ้นจะส่งผลให้เสถียรภาพลดลง เมื่อแรงอัดเพิ่มขึ้นและโฟมเสียรูปมากขึ้นจะเกิดการโก่งด้านข้างจนส่งผลให้โฟมแตกหักก่อนจะสามารถพัฒนากำลังขึ้นได้อย่างการทดสอบปรีซึมขนาดเล็ก ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 9 ผลการทดสอบแสดงว่าโฟมมีความสามารถรับแรงอัดได้ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอิฐก่อ



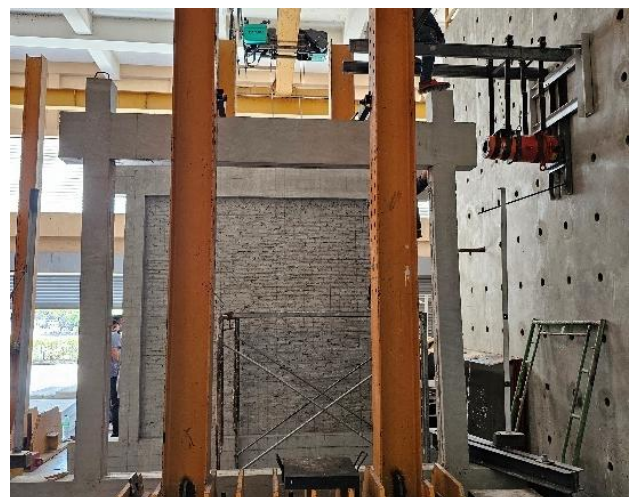
รูปที่ 8 การทดสอบโฟม EPS ภายใต้แรงอัดตามขนาดปริซึมอิฐก่อ



รูปที่ 9 พฤติกรรมของโฟม EPS ขนาดเท่าปริซึมอิฐก่อภายใต้แรงอัด



รูปที่ 10 แบบจำลองห้องปฏิบัติการทดสอบโครงสร้างขนาดใหญ่



รูปที่ 11 ตัวอย่างการติดตั้งโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กในห้องปฏิบัติการ

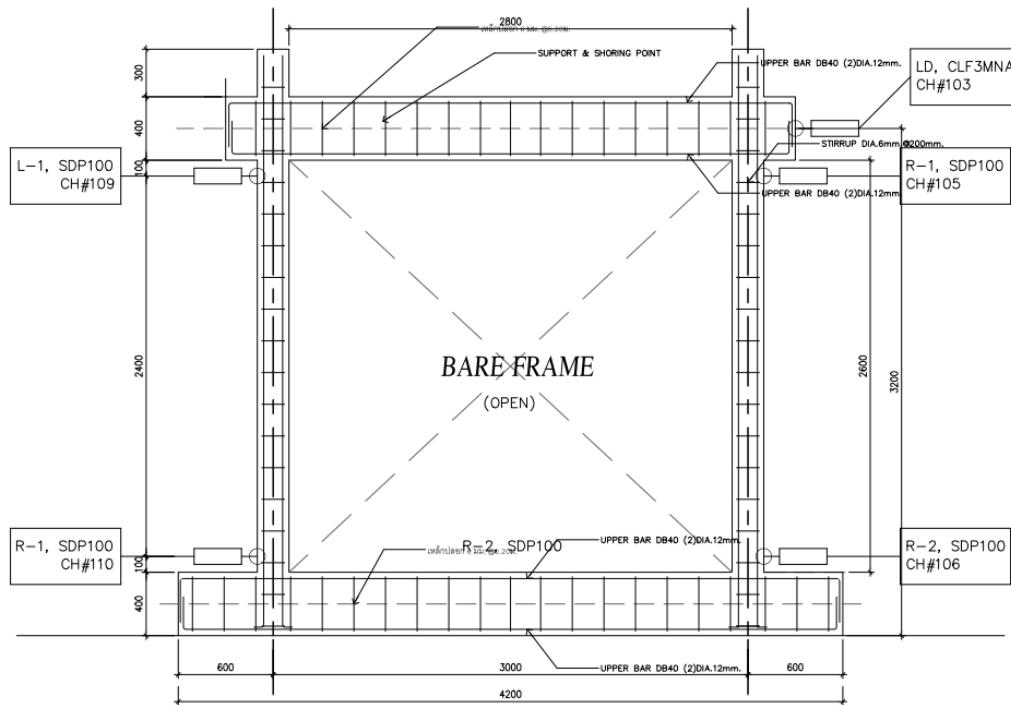
2.3 การติดตั้งและทดสอบโครงข้อแข็งในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งทำในห้องปฏิบัติการทดสอบโครงสร้างขนาดใหญ่มุ่งแสดงในรูปที่ 10 โดย

ห้องปฏิบัติการนี้มีพื้นที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ถึง 500 ตัน และมีผนังขนาดใหญ่ที่รับแรงได้ถึง 300 ตัน

โครงข้อแข็งที่ทดสอบจะถูกติดตั้งบนพื้นด้วยสลักเกลียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตรยึดคานล่างของโครงเข้ากับพื้น โดยหันด้านข้างเข้าหาผนังรับแรงดังแสดงในรูปที่ 11 เพื่อติดตั้งชุดสร้างแรงกระทำกับโครงข้อแข็ง ชุดสร้างแรงกระทำด้านข้างประกอบด้วยกระบอกไฮดรอลิกและอุปกรณ์วัดแรงกระทำ (Load cell) อุปกรณ์วัดการเสียรูปของโครงสร้างชนิด LVDT จะถูกติดตั้งที่มุมทั้งสี่ของโครงข้อแข็งดังแสดงในรูปที่ 12

การทดสอบทำโดยการให้แรงกระทำที่ตำแหน่ง CH#103 ในรูปที่ 12 แรงกระทำจะเพิ่มขึ้นตามระยะการยืดตัวของกระบอกไฮดรอลิก ขณะทำการทดสอบจะทำการบันทึกค่าแรงกระทำพร้อมกับการเสียรูปของโครงข้อแข็งที่จุดวัดการเสียรูปต่างๆของโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 12 ระหว่างการทดสอบจะทำการสำรวจลักษณะความเสียหายที่ปรากฏในโครงสร้างตลอดเวลา



รูปที่ 12 การติดตั้งอุปกรณ์วัดการเสียรูปของโครงข้อแข็ง

3. พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็ง

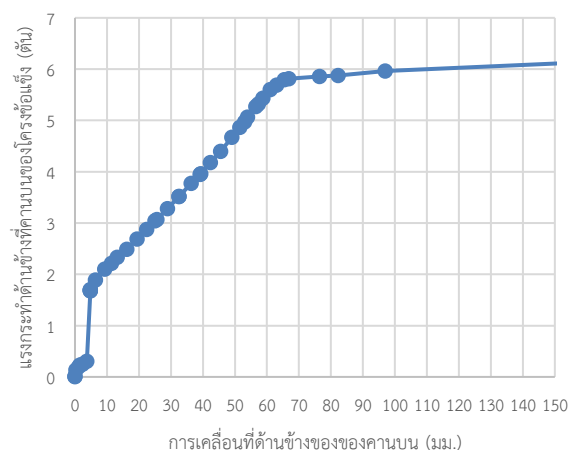
การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้การดัดงอด้วยแรงดัน ผลของการทดสอบแสดงแยกตามลักษณะของโครงข้อแข็งดังนี้

3.1 โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีวัสดุก่อ

ผลการทดสอบแสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปด้านข้างที่ตำแหน่งคานบนของโครงข้อแข็งดังรูปที่ 13 จากผลการทดสอบสามารถอธิบายได้ว่าโครงข้อแข็งสามารถรับแรงกระทำได้ถึงประมาณ 1.9 ตันโดยปราศจากความเสียหายปรากฏ เมื่อแรงด้านข้างเพิ่มถึง 1.9 ตันจะเริ่มมีรอยร้าวปรากฏขึ้นบริเวณเสาในตำแหน่งใกล้คานดังแสดงในรูปที่ 14 เนื่องจากแรงดัดที่เกิดขึ้นในคอนกรีตมากกว่าความสามารถของคอนกรีตเอง หลังจากโครงสร้างเริ่มร้าวส่งผลให้สตีฟเนสของโครงสร้างลดลงแต่เหล็กเสริมในเสายังคงทำหน้าที่รับแรงดัดได้อยู่ เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเหล็กเสริมรับแรงดัดเริ่มครากที่แรงกระทำด้านข้างประมาณ 5.8 ตัน โครงสร้างจึงสูญเสียสตีฟเนสอย่างมากอีกครั้ง การทดสอบกระทำต่อจนแน่ใจว่าไม่ปรากฏการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงด้านข้างอย่างมีนัยยะสำคัญจึงหยุดทำการทดสอบ การทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าหลังจากโครงสร้างเริ่มร้าวและสูญเสียสตีฟเนสช่วงแรกแล้วและโครงสร้างยังมีความสามารถรับกำลังได้ต่อไปอยู่ แต่ก็ปรากฏรอยร้าวเพิ่ม

มากขึ้นตามแรงด้านข้างที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะบริเวณที่เกิดหน่วยแรงดัดจากโมเมนต์ดังแสดงในรูปที่ 15

ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าโครงข้อแข็งที่ไม่มีวัสดุก่อสามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้ประมาณ 6 ตันก่อนจะเกิดการสูญเสียความสามารถในการรับแรงและเกิดการเสียรูปด้านข้างอย่างมาก



รูปที่ 13 การเสียรูปด้านข้างของโครงข้อแข็งที่ไม่มีวัสดุก่อ

3.2 โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่ออิฐมวลเบา

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปด้านข้างที่ตำแหน่งคานบนของโครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่ออิฐมวลเบาแสดงดังรูปที่ 16 จากผลการทดสอบสามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนว่าโครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่ออิฐมวลเบาสามารถต้านทานแรงด้านข้างได้สูงถึงประมาณ 11.5 ตัน ขณะที่เกิดการเสียรูปด้านข้างเพียง 1.41 มิลลิเมตรเท่านั้น อย่างไรก็ตามเมื่อแรงด้านข้างกระทำถึง 11.5 ตันส่งผลให้ผนังอิฐก่อเกิดการแตกร้าวอย่างมากที่มุมและสูญเสียความสามารถในการรับกำลังดังแสดงในรูปที่ 17 ประกอบกับโครงข้อแข็งที่เกิดรอยร้าวขึ้นก่อนที่ผนังจะแตกร้าวด้วยแล้ว ส่งผลให้โครงข้อแข็งสูญเสียสตีเฟนหลังจากรับแรงเพิ่มขึ้นได้อีกเพียง 1 ตัน จึงเกิดการเสียรูปอย่างมาก อย่างไรก็ตามการทดสอบยังดำเนินต่อไปและพบว่าโครงข้อแข็งเริ่มมีการพัฒนากำลังขึ้นได้อีกครั้ง แต่ที่สถานะดังกล่าวผนังภายในโครงข้อแข็งเกิดถล่มลงมาบางส่วนส่งผลให้ต้องหยุดการทดสอบด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัย และอาจสรุปได้ว่าอิฐก่อชนิดอิฐมวลเบาส่งผลให้โครงข้อแข็งสามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้สูงสุดประมาณ 12.7 ตัน



รูปที่ 14 ตำแหน่งเริ่มเกิดรอยร้าวในโครงข้อแข็งที่ไม่มีวัสดุก่ออิฐมวลเบา

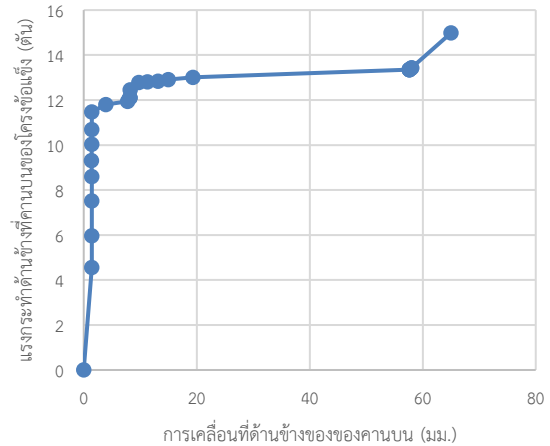


รูปที่ 15 รอยร้าวที่ปรากฏเพิ่มขึ้นในโครงข้อแข็งที่ไม่มีวัสดุก่ออิฐมวลเบาเมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้น

3.3 โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่อโฟม EPS

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเสียรูปด้านข้างที่ตำแหน่งคานบนของโครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่อโฟม EPS แสดงดังรูปที่ 18 ผลการทดสอบแสดงว่าการใช้วัสดุก่อชนิดโฟม EPS มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการรับแรง

ด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเช่นเดียวกับอิฐมวลเบา กล่าวคือ โฟม EPS ส่งผลให้ความสามารถรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีอิฐก่อ



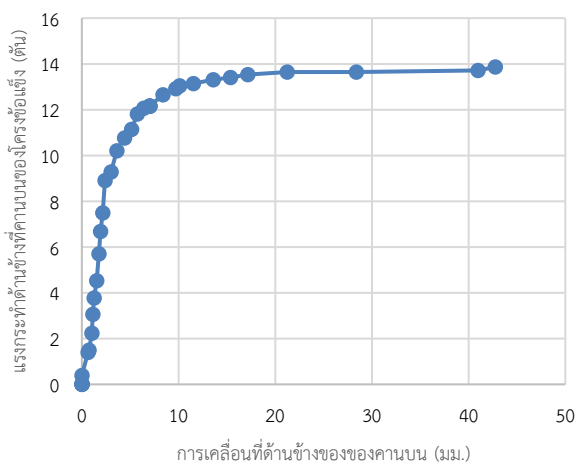
รูปที่ 16 การเสียรูปด้านข้างของโครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่ออิฐมวลเบา

อย่างไรก็ตามด้วยพฤติกรรมของโฟม EPS ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.2.3 ที่ว่าโฟมมีความสามารถรับแรงที่จำกัดและมีการเสียรูปอย่างมากภายใต้แรงอัดส่งผลให้พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งแสดงว่าเมื่อโครงสร้างเริ่มรับแรงกระทำจะมีความแข็งแรงเพียงพอต้านทานแรงด้านข้างได้ถึงประมาณ 2 ตันจึงเริ่มร้าว เมื่อโครงสร้างจะเริ่มสูญเสียสตีเฟนส ขณะเดียวกันโฟม EPS จะเริ่มแสดงอิทธิพลช่วยเสริมให้โครงสร้างไม่สูญเสียสตีเฟนอย่างมากทันที เมื่อแรงด้านข้างเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 12 ตัน ปรากฏว่าโฟมเริ่มมีรอยร้าวในผนังตามแนวกระทำส่งผลให้สตีเฟนของโครงสร้างเริ่มลดลง และลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อแรงด้านข้างเพิ่มขึ้น โครงสร้างยังสามารถรับแรงกระทำด้านข้างได้ต่อไปจนปรากฏการแตกออกของผนังดังแสดงในรูปที่ 19 จึงหยุดทำการทดสอบ



รูปที่ 17 การแตกร้าวในโครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่ออิฐมอยู

จากการแตกร้าวของผนังโพนังแสดงในรูปที่ 19 พบว่าแม้ผนังจะแตกร้าวเป็นแนวยาวตลอดความกว้างผนังแต่ไม่ปรากฏการหลุดร่วงหรือพังทลายของผนังเนื่องจากตัวผนังเองมีน้ำหนักเบาและลดแรงโก่งที่ใช้ช่วยในการฉาบผิวช่วยยึดรั้งผนังไว้ แตกต่างจากผนังอิฐมอยูที่มีการพังทลายทันทีเมื่อสูญเสียการยึดรั้ง



รูปที่ 18 การเสียรูปด้านข้างของโครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่อ EPS

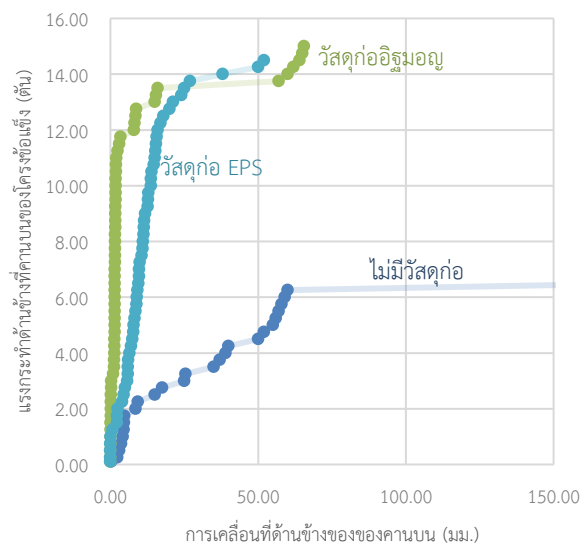


รูปที่ 19 การแตกร้าวในโครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่อ EPS

3.4 เปรียบเทียบพฤติกรรมรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งในการทดสอบ

จากการทดสอบพฤติกรรมรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่อแตกต่างกัน 3 ชนิดแสดงผลเปรียบเทียบดังรูปที่ 20 ผลการเปรียบเทียบแสดงชัดเจนว่าผนังก่อส่งผลต่อพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก กล่าวคือเมื่อมีการก่ออิฐภายในโครงข้อแข็งส่งผลให้ความสามารถรับแรงสูงสุดเพิ่มขึ้นจากกรณีไม่มีอิฐก่อนประมาณ 2 เท่า

นอกจากความสามารถในการรับแรงด้านข้างเพิ่มขึ้นด้วยอิทธิพลของวัสดุก่อแล้ว วัสดุก่อยังส่งผลต่อสตีเฟนของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กอย่างชัดเจนเช่นกัน โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กมีสตีเฟนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อมีวัสดุก่อ วัสดุก่ออิฐมอยูส่งผลให้โครงสร้างมีสตีเฟนสูงสุด ขณะที่วัสดุก่อ EPS ก็ส่งผลให้สตีเฟนของโครงสร้างเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่แข็งไม่เท่าอิฐมอยู



รูปที่ 20 เปรียบเทียบพฤติกรรมรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งที่ศึกษา

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ทำการทดสอบเพื่อศึกษาถึงผลจากการใช้วัสดุก่อโฟม EPS ที่เริ่มมีความนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยต่อพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก การศึกษาทำโดยทดสอบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเท่าจริง 3 แบบได้แก่ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีวัสดุก่อ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่ออิฐมวล และโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีวัสดุก่อโฟม EPS ภายใต้แรงกระทำด้านข้างในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

โครงข้อแข็งที่ไม่มีวัสดุก่อมีความสามารถรับแรงด้านข้างได้น้อยที่สุด และมีการเสียรูปด้านข้างมากที่สุดเนื่องจากโครงสร้างอ่อนที่สุด

โครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่ออิฐมวลมีความแข็งแรงที่สุด สามารถต้านทานแรงด้านข้างได้สูงภายใต้การเสียรูปที่ต่ำที่สุด สามารถต้านทานแรงด้านข้างได้ถึงประมาณ 2 เท่าของโครงข้อแข็งที่ไม่มีวัสดุก่อ

โครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่อโฟม EPS มีความสามารถต้านทานแรงด้านข้างได้สูงพอกับกรณีใช้วัสดุก่ออิฐมวล แต่ความแข็งแรงของโครงสร้างน้อยกว่าเล็กน้อย โครงสร้างจะเสียรูปมากกว่ากรณีวัสดุก่ออิฐมวลภายใต้แรงด้านข้างที่เท่ากัน

ความเสียหายของโครงข้อแข็งที่ไม่มีวัสดุก่อจะมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป โครงจะมีการเสียรูปมากและรอยร้าวมากก่อนจะถึงระดับความสามารถรับแรงสูงสุด

ความเสียหายของโครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่ออิฐมวลจะเป็นความเสียหายที่ปรากฏร่วมกันทั้งในโครงข้อแข็งและผนัง การแตกร้าวเริ่มต้นทั้งในโครงสร้างและผนัง แต่เมื่อแรงกระทำเพิ่มขึ้นจะปรากฏความเสียหายที่ผนังอย่างชัดเจน ผนังจะพังทลายทันทีที่ปราศจากการยึดรั้งจากส่วนอื่น

ความเสียหายของโครงข้อแข็งที่มีวัสดุก่อโฟม EPS จะปรากฏที่โครงสร้างร่วมกับผนัง โดยจะเริ่มมีการแตกร้าวและพัฒนาจนเกิดเป็นการเสียหายที่ปรากฏชัดเจน อย่างไรก็ตามด้วยน้ำหนักผนังที่เบาและลดทอนช่วยที่ใช้ช่วยในการฉาบผิวส่งผลให้ไม่เกิดการพังทลายของผนัง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Essa, A., Badr, M. and El-Zanaty, A. (2014). Effect of infill wall on the ductility and behavior of high strength reinforced concrete frames. *HBRC Journal*, 10(3), pp. 258-264.
- [2] Leeanansaksiri, A. and Phojan, W. (2020). Evaluation of seismic capacity on interlocking light weight masonry wall

in r/c frame. *Engineering Journal of Chiang Mai University*, 27(1), pp. 173-186.

- [3] Layadi, I, Messabhia, A., Plassiard, J. and Plé. O. (2020). The effect of masonry infill walls on the reinforced concrete frames behavior under lateral load. *Journal of Materials and Engineering Structures*, 7, pp.125-140.
- [4] Wang, F., Zhao, K., Zhang, J., and Yan, K. (2021). Influence of different types of infill walls on the hysteretic performance of reinforced concrete frames. *Buildings*, 11(7), pp. 310-328.
- [5] Kim, M., & Yu, E. (2021). Experimental study on lateral-load-resisting capacity of masonry-infilled reinforced concrete frames. *Applied Sciences*, 11(21), pp. 9950-9967.
- [6] Salamida, G. and Buratti, N. (2023). Fragility models for RC frames with masonry infills and analysis of the efficiency of different lms. *Procedia Structural Integrity*, 44, pp. 139-146.
- [7] Falcão Moreira, R., Varum, H., and Castro, J. M. (2023). Influence of masonry infill walls on the seismic assessment of non-seismically designed RC framed structures. *Buildings*, 13(5), pp. 1148-1182.
- [8] Rezaifar, O., Kabir, M.Z., Taribakhsh, M. and Tehranian, A. (2008). Dynamic behaviour of 3D-panel single-storey system using shaking table testing. *Engineering Structures*, 30, pp. 318-337.
- [9] Kabir, M.Z. and Shadan, P. (2011). Seismic performance of 3d-panel wall on piloti RC frame using shaking table equipment. *Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics (EURODYN 2011)*, Leuven, Belgium, 4-6 July 2011, pp. 324-330.
- [10] Hashemi, S.J., Razzaghi, J. and Moghadam, A.S. (2017). Behaviour of sandwich panel infilled steel frames with different interface conditions. *Structures and Buildings*, 171(2), pp. 166-177.
- [11] Tang, Y. and Li, H. (2024). Effects of embedded expanded polystyrene boards on the hysteretic behavior of innovative precast braced concrete shear walls. *Buildings*, 14(1), pp. 55-73.