

กำลังอัดและพฤติกรรมของวัสดุก่อบล็อกจากประสานภายใต้แรงเอียงศูนย์กลาง

Compressive Strength and Behavior of Interlocking Block Masonry under Eccentric Loading

กริสน์ ชัยมูล

Krit Chaimoon

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

โทร. 043-754333 ต่อ 3074 โทรสาร 043-754316

E-mail: k.chaimoon@msu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของบทความวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษากำลังอัดและพฤติกรรมของวัสดุก่อบล็อกจากประสานภายใต้แรงเอียงศูนย์กลาง ปริซึมบล็อกจากประสานถูกทดสอบภายใต้แรงอัดเอียงศูนย์กลางที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างระยะเอียงศูนย์กลางต่อความยาวหน้าตัด (e/h) เท่ากับ 0, 0.18, 0.27, 0.36 และ 0.45 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะเอียงศูนย์กลางมีค่าเพิ่มขึ้นค่ากำลังอัดของวัสดุก่อบล็อกจากประสานมีค่าลดลง โดยความสัมพันธ์ของกำลังอัดของวัสดุก่อบล็อกจากประสาน (f'_m) ภายใต้แรงเอียงศูนย์กลางพบว่าเป็นดังนี้ $(f'_m)_{e/h=0.18} = 0.815(f'_m)_{e/h=0}$, $(f'_m)_{e/h=0.27} = 0.632(f'_m)_{e/h=0}$, $(f'_m)_{e/h=0.36} = 0.545(f'_m)_{e/h=0}$ และ $(f'_m)_{e/h=0.45} = 0.319(f'_m)_{e/h=0}$ นอกจากนี้พฤติกรรมของวัสดุก่อบล็อกจากประสานภายใต้แรงอัดเอียงศูนย์กลางก็ถูกอธิบาย ประกอบด้วยความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด โมดูลัสยืดหยุ่น ลักษณะการวิบัติ และลักษณะการเคลื่อนตัวในช่วงกลางของปริซึม

Abstract

The aim of this paper is to study the compressive strength and behavior of interlocking block masonry under eccentric loading. Interlocking block masonry prisms were tested under eccentric loading with the ratios of eccentric distance to sectional length $e/h = 0, 0.18, 0.27, 0.36$ and 0.45 . The test results show that as the eccentric distance increases the compressive strength decreases. The compressive strength correlations of interlocking block masonry (f'_m) under eccentric loading found in this study

were $(f'_m)_{e/h=0.18} = 0.815(f'_m)_{e/h=0}$, $(f'_m)_{e/h=0.27} = 0.632(f'_m)_{e/h=0}$, $(f'_m)_{e/h=0.36} = 0.545(f'_m)_{e/h=0}$ and $(f'_m)_{e/h=0.45} = 0.319(f'_m)_{e/h=0}$. In addition, the behavior of the interlocking block masonry under eccentric loading is also elucidated including the stress-strain relationship, the modulus of elasticity, the failure characteristic and the movement characteristic in the central part.

1. คำนำ

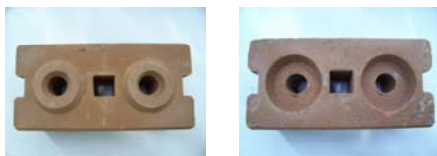
บล็อกจากประสาน (interlocking block) ได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ก่อเป็นผนังรับน้ำหนัก (load bearing wall) หรือ โครงสร้างวัสดุก่อ (masonry structure) โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ในช่วงปี 2540-2543 [1] บล็อกจากประสานมีข้อดีหลายประการคือ ลดราคาและเวลาในการก่อสร้าง มีความสวยงาม ผลิตโดยใช้วัสดุดิบที่หาได้ในท้องถิ่น และยังช่วยลดการใช้เทคโนโลยีนำเข้าแบบเบ็ดเสร็จจากต่างประเทศ อาคารที่ก่อสร้างด้วยบล็อกจากประสานถูกจัดอยู่ในอาคารประเภทอาคารก่ออิฐไม่เสริมเหล็ก ให้ปลูกสร้างได้ไม่เกิน 2 ชั้น ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง “ควบคุมการก่อสร้างอาคาร” [2] อย่างไรก็ตามมาตรฐานในการออกแบบสำหรับโครงสร้างวัสดุก่อบล็อกจากประสานยังไม่มี การคำนวณออกแบบยังคงใช้ “มาตรฐานสำหรับอาคารวัสดุก่อ” [3] เป็นแนวทาง ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับวัสดุก่อแบบดั้งเดิมที่อิฐหรือบล็อกจากจะถูกก่ออยู่ระหว่างชั้นปูนก่อหรือมอร์ตาร์ ซึ่งแตกต่างจากวัสดุก่อบล็อกจากประสาน เนื่องจากบล็อกจากประสานจะมีรูปร่างและเดือยบนตัวบล็อกจากที่สามารถก่อโดยไม่ต้องใช้ปูนก่อระหว่าง

บล็อก และมอร์ตาร์จะถูกหยอดลงในรูของบล็อกแทน เพื่อให้เข้าใจถึงกำลังและพฤติกรรมการรับน้ำหนักของวัสดุ ก่อบล็อกประสาน งานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุ ก่อบล็อกประสาน ยังคงถูกต้องการอยู่อีกมาก งานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะศึกษา กำลังและพฤติกรรมของวัสดุ ก่อบล็อกประสานภายใต้ แรงอัดเชิงศูนย์ ที่สามารถเกิดขึ้นได้เสมอจากการใช้งาน และจากการก่อสร้าง

2. วัสดุและปริซึม

2.1 บล็อกประสาน

บล็อกที่ใช้เป็นบล็อกตรงทรงสี่เหลี่ยมชนิดดอกกลมมีรู สำหรับหยอดมอร์ตาร์ มีขนาดประมาณ 12.5×25×10 ซม.³ ดังแสดงในรูปที่ 1



(ก) รูปด้านบน

(ข) รูปด้านล่าง

รูปที่ 1 บล็อกประสานที่ใช้ในการศึกษา

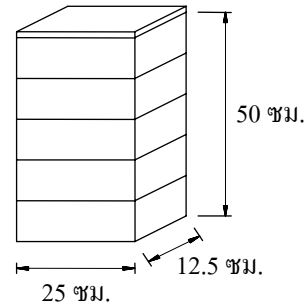
2.2 มอร์ตาร์สำหรับหยอด

มอร์ตาร์ที่ใช้ในการหยอดลงในรูของบล็อกประสานมีอัตรา ส่วนผสมตามที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารที่ก่อสร้างด้วย บล็อกประสาน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่หนึ่ง : ทราย = 1 : 2 โดยน้ำหนัก และผสมน้ำให้มีความสามารถในการเทได้ที่เหมาะสม

2.3 ปริซึม

ปริซึมที่ใช้ในการทดสอบเป็นปริซึมที่ได้จากการเรียงบล็อก ประสาน 5 ก้อนในแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นปริซึม ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในงานวิจัยวัสดุ ก่อในต่างประเทศ [4] เนื่องจากสะดวกในการเตรียมและมีราคาประหยัดกว่าชนิด อื่นๆ อิทธิพลของชนิดปริซึมต่อการประเมินกำลังอัดของ วัสดุ ก่อบล็อกประสานถูกศึกษาและรายงานใน [5]

ปริซึมทั้งหมดถูกก่อก่อในห้องปฏิบัติการในช่วงเวลา เดียวกัน และเพื่อให้สามารถทำการทดสอบแรงอัดได้ สะดวก ผิวด้านบนของปริซึมทั้งหมดถูกปรับให้เรียบโดยใช้ มอร์ตาร์ซึ่งถูกหล่อหลังการก่อปริซึม ขึ้นตัวอย่างทดสอบ ทั้งหมดถูกบ่มในสภาพเดียวกันคือ ทิ้งไว้ในห้องปฏิบัติการ และรดน้ำสม่ำเสมอเป็นเวลา 28 วัน



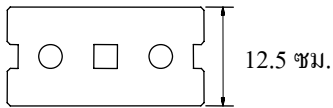
รูปที่ 2 ขนาดและรูปร่างของปริซึมที่ใช้ในการศึกษา

3. การทดสอบและผลการทดสอบ

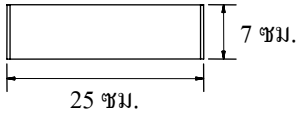
การทดสอบทั้งหมดถูกทำโดยใช้เครื่องทดสอบ เอนกประสงค์ขนาด 100 ตัน โดยแรงค่อยๆ ถูกเพิ่มขึ้น จนกระทั่งขึ้นตัวอย่างวิบัติ

3.1 กำลังอัดของบล็อกประสานและมอร์ตาร์

ในการหาลำดับกำลังอัดของบล็อกประสาน วว. ได้แนะนำให้ทำ การทดสอบโดยใช้ก้อนลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 ซม.³ ที่ถูก เตรียมโดยการตัดจากบล็อกขนาดจริง แต่ก้อนตัวอย่าง ทดสอบขนาดดังกล่าวไม่สามารถตัดจากบล็อกชนิดที่ใช้ ศึกษาได้เนื่องจากบล็อกมีรูจำนวนมาก การศึกษานี้จึง เลือกลงขนาดอื่นแทน ขนาดของชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ใช้ แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งได้จากการตัดดอกกลมบนด้านบนและ ร่องด้านล่างของบล็อกออก ให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบมีพื้นผิว เรียบทั้งสองด้านซึ่งเป็นวิธีการที่สอดคล้องกับมาตรฐาน AS/NZS 4456.4 [6] รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการทดสอบหา กำลังอัดของบล็อกประสาน



(ก) รูปด้านบนและล่าง



(ข) รูปด้านข้าง

รูปที่ 3 ขนาดก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบหาค่าลึงอัดของบล็อกประสาน



รูปที่ 4 ตัวอย่างการทดสอบค่าลึงอัดบล็อกประสาน

สำหรับการหาค่าลึงอัดของมอร์ตาร์ ก้อนตัวอย่างทดสอบที่ใช้เป็นไปตามคำแนะนำของ วว. ซึ่งมีขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม.³ ที่ได้จากการหล่อในแบบหล่อ รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการทดสอบหาค่าลึงอัดของมอร์ตาร์



รูปที่ 5 ตัวอย่างการทดสอบค่าลึงอัดมอร์ตาร์

ตารางที่ 1 แสดงค่าลึงอัดเฉลี่ยของบล็อกประสานและมอร์ตาร์ที่ได้จากการทดสอบก้อนตัวอย่างจำนวน 6 ก้อนสำหรับบล็อกประสาน เพื่อให้ได้ค่าลึงอัดที่แท้จริง ค่าที่ได้จากการทดสอบได้ถูกปรับแก้เนื่องจากผลของการยึดที่ปลาย (end restraint effect) ที่ทำให้ค่าที่ได้มีค่าสูงกว่าค่าจริง

โดยค่าหลังการปรับแก้ในตารางถูกคำนวณตามมาตรฐาน AS/NZS 4456.4 [6] ซึ่งตัวคูณปรับแก้ขึ้นกับอัตราส่วนความสูงต่อความหนาของก้อนตัวอย่างทดสอบซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ $7/12.5 = 0.56$ และค่าปรับแก้มีค่าเท่ากับ 0.58 ส่วนค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ไม่ได้ทำการปรับแก้ เนื่องจากมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบไม่ใช่ตัวแทนที่แท้จริงของมอร์ตาร์ที่อยู่ในวัสดุก่อ แต่ได้จากการหล่อในแบบและบ่มในสภาพที่แตกต่างกัน ค่ากำลังอัดที่ได้จึงใช้เพื่อการอ้างอิงเท่านั้น

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า บล็อกประสานที่ใช้ศึกษามีค่าลึงอัด (f'_c) หลังการปรับแก้เท่ากับ 106.79 ± 9.74 กก./ตร.ซม. (ksc) ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานบล็อกประสานที่กำหนดไว้ว่าบล็อกประสานจะต้องมีค่าลึงอัดเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 70 ksc [7]

ตารางที่ 1 ค่าลึงอัดเฉลี่ยของบล็อกประสานและมอร์ตาร์

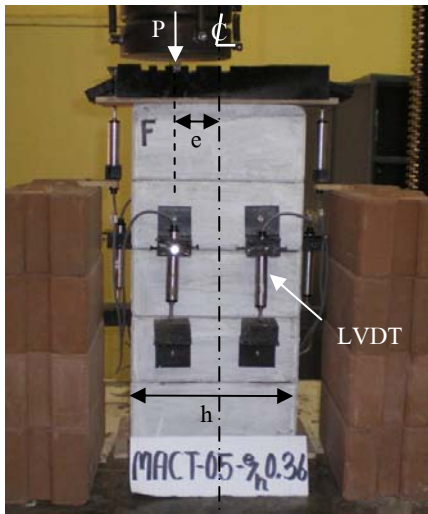
คุณสมบัติ	บล็อกประสาน		มอร์ตาร์
	ก่อนปรับแก้	หลังปรับแก้ ^(ข)	
f'_c , ksc	184.12 (16.79) ^(ก)	106.79 (9.74)	440.10 (49.42)

หมายเหตุ : (ก) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(ข) ค่าปรับแก้ตามมาตรฐาน AS/NZS 4456.4 [6]

3.2 ค่าลึงอัดของปริซึม

ในการทดสอบค่าลึงอัดวัสดุก่อบล็อกประสาน ปริซึมถูกทดสอบภายใต้แรงอัดเชิงศูนย์กลางที่ระยะต่างๆ กัน ที่มีอัตราส่วนระหว่างระยะเชิงศูนย์กลางต่อความยาวหน้าตัด $e/h = 0, 0.18, 0.27, 0.36$ และ 0.45 ($h = 25$ ซม.) โดยแต่ละระยะเชิงศูนย์กลาง 6 ตัวอย่างถูกทดสอบเพื่อหาค่าลึงอัด ที่ค่าอัตราส่วน $e/h = 0$ ทำให้ทราบค่าลึงอัดตรงศูนย์กลางของวัสดุก่อบล็อกประสานและถูกใช้เป็นตัวอ้างอิงในการศึกษาผลของแรงเชิงศูนย์กลาง รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการทดสอบและการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องวัดการเคลื่อนที่ (Linear Variable Displacement Transducer, LVDT) ถูกติดตั้งเพื่อวัดการเคลื่อนตัวในช่วงกลางของปริซึม ข้อมูลการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบถูกบันทึกโดยชุดบันทึกข้อมูล (data logger)



รูปที่ 6 ตัวอย่างการทดสอบกำลังอัดปริซึมบล็อกประสาน และการติดตั้งอุปกรณ์

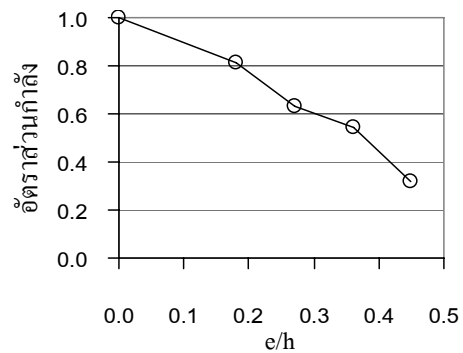
ตารางที่ 2 แสดงกำลังอัดเฉลี่ยของวัสดุก่อบล็อกประสาน (f'_m) ซึ่งได้จากการเฉลี่ยจากตัวอย่างทั้ง 6 ที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่างๆ โดยอัตราส่วนกำลังซึ่งได้จากการเทียบกับกำลังอัดภายใต้แรงตรงศูนย์กลาง ($e/h = 0$) ถูกคำนวณและแสดงไว้ในตารางด้วย และรูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนกำลังต่อระยะเยื้องศูนย์กลางในรูปของอัตราส่วน e/h ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดลงของกำลังอัดของวัสดุก่อบล็อกประสานอย่างชัดเจนเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่ามากขึ้นตามคาด เนื่องจากระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่ามากกว่าระยะเกิน (kern distance) ซึ่งเป็นระยะจากแนวศูนย์กลางของหน้าตัดถึงจุดไกลสุดที่ผลของแรงลัพธ์ยังไม่ทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในหน้าตัด ซึ่งในที่นี้เท่ากับ $h/6$ จึงทำให้เกิดแรงดึงขึ้น ด้วยผลของแรงดึงที่มากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเยื้องศูนย์กลางจึงทำให้กำลังอัดลดลงอย่างมาก จากผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดเฉลี่ยของปริซึมภายใต้แรงเยื้องศูนย์กลางยังคงมีค่าเกินกว่าร้อยละ 80 ของกำลังอัดเฉลี่ยตรงศูนย์กลาง ถ้าอัตราส่วน e/h มีไม่เกิน 0.18 แต่จะมีค่าเหลือเพียงประมาณร้อยละ 30 ที่อัตราส่วน $e/h = 0.45$

ตารางที่ 2 กำลังอัดเฉลี่ยของปริซึมที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่างๆ

e/h	f'_m , ksc	อัตราส่วนกำลัง ^(ข)
0	57.66 (11.95) ^(ก)	1
0.18	46.99 (10.37)	0.815
0.27	36.42 (7.70)	0.632
0.36	31.41 (5.96)	0.545
0.45	18.41 (3.55)	0.319

หมายเหตุ : (ก) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(ข) โดยเทียบกับกำลังอัดที่ระยะเยื้องศูนย์กลาง $e/h = 0$

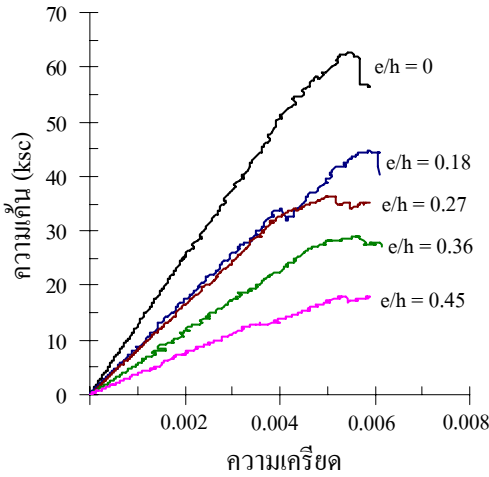


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังกับอัตราส่วน e/h

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปริซึม

แรงอัดและการยุบตัวทั้งหมดของปริซึม ณ ตำแหน่งที่แรงกระทำที่ได้จากเครื่องทดสอบถูกเปลี่ยนเป็นความเค้นและความเครียดเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในปริซึม รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างกราฟความเค้นความเครียดที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าพฤติกรรมหลังจากจุดที่มีความเค้นสูงสุด (post-peak behavior) มีข้อมูลไม่มากนักเนื่องจากการพังทลายอย่างรวดเร็วของตัวอย่างทดสอบและเนื่องจากความสามารถของเครื่องทดสอบที่ใช้ อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่าที่ระยะเยื้องศูนย์กลาง $e/h = 0, 0.18$ และ 0.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดค่อนข้างเป็นเส้นตรงในช่วงเริ่มแรกและยังคงค่อนข้างเป็นเส้นตรงแม้ค่าความเค้นเกินกว่าร้อยละ 50

ของความเค้นสูงสุดแล้วก็ตาม แต่ความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ความเค้นยังไม่เกินร้อยละ 50 ของความเค้นสูงสุด เมื่อระยะเชิงศูนย์กลาง $e/h = 0.36$ และ 0.45



รูปที่ 8 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปรีซิมที่ระยะเชิงศูนย์กลางต่างๆ

3.4 โมดูลัสยืดหยุ่นของปรีซิม

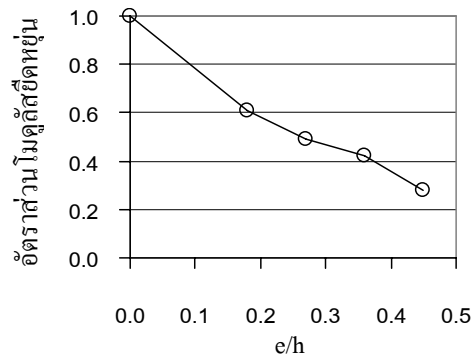
จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด โมดูลัสยืดหยุ่นถูกประมาณ ตารางที่ 3 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของปรีซิมที่ระยะเชิงศูนย์กลางต่างๆ และรูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นกับอัตราส่วน e/h ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อระยะเชิงศูนย์กลางมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งก็เป็นไปตามคาดจากผลการทดสอบพบว่า ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเหลือแค่ประมาณร้อยละ 60 ของค่าที่แรงกระทำตรงศูนย์กลาง เมื่ออัตราส่วน e/h มีค่าเพียง 0.18 และมีค่าเหลือน้อยกว่าร้อยละ 30 เมื่ออัตราส่วน e/h มีค่าเท่ากับ 0.45

ตารางที่ 3 โมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของปรีซิมที่ระยะเชิงศูนย์กลางต่างๆ

e/h	E, ksc	อัตราส่วนโมดูลัสยืดหยุ่น ^(ข)
0	14677 (4177) ^(ก)	1
0.18	8912 (2064)	0.607
0.27	7216 (2013)	0.492
0.36	6197 (1136)	0.422
0.45	4068 (451)	0.277

หมายเหตุ : (ก) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

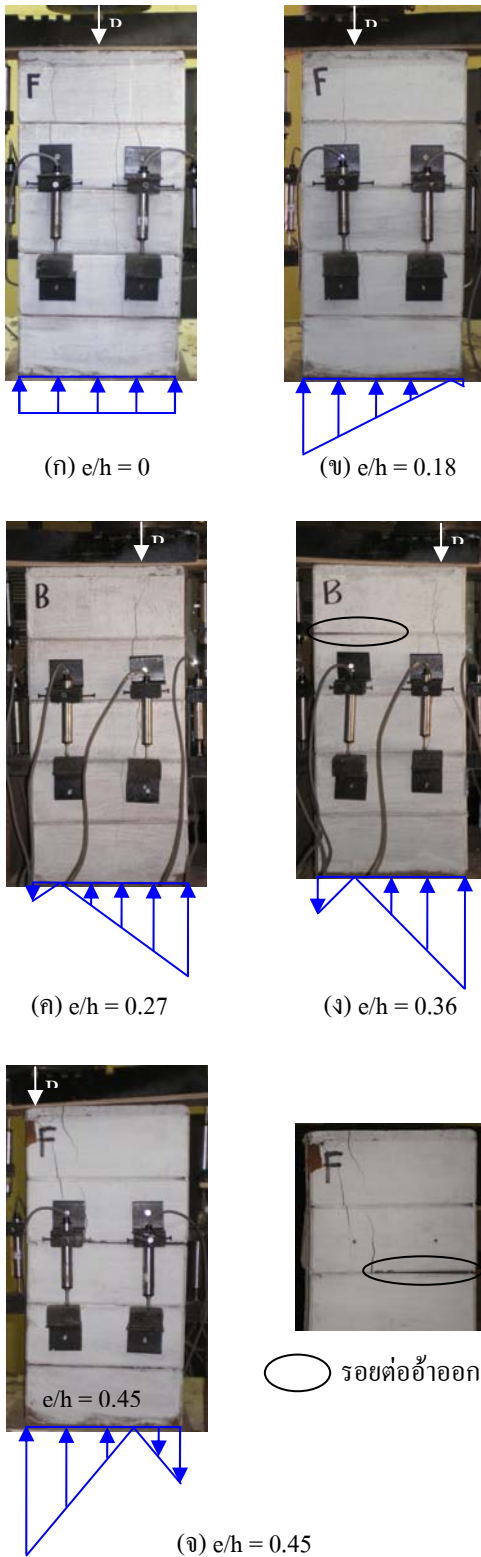
(ข) โดยเทียบกับค่า E ที่ระยะเชิงศูนย์กลาง $e/h = 0$



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นกับอัตราส่วน e/h

3.5 ลักษณะการวิบัติของปรีซิม

ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของปรีซิมที่ระยะเชิงศูนย์กลางต่างๆ พร้อมแผนภาพอย่างง่ายแสดงลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีถูกแสดงในรูปที่ 10



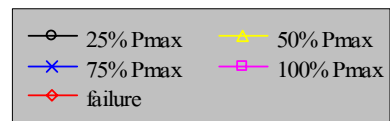
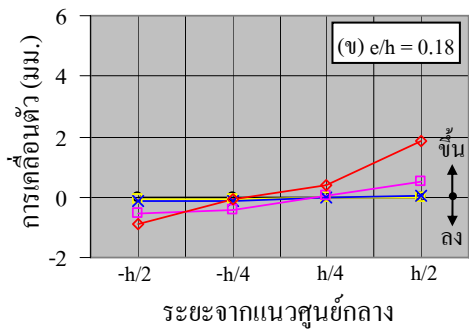
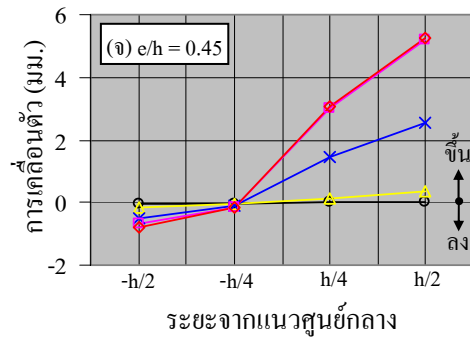
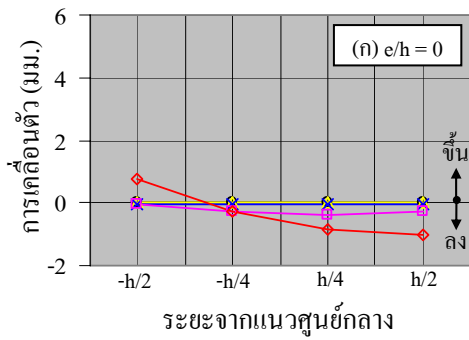
รูปที่ 10 ตัวอย่างลักษณะการวิบัติที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่างๆ พร้อมแผนภาพแสดงลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี

จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าการวิบัติของวัสดุคอนกรีตประสานมีลักษณะเปลี่ยนไปเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วน $e/h = 0$ (แรงตรงศูนย์กลาง) การวิบัติเกิดจากรอยแตกร้าวที่ค่อนข้างกระจายทั่วทั้งปริซึม เมื่อแรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง ($e/h > 0$) การวิบัติเกิดจากรอยแตกร้าวที่ค่อนข้างกระจุกตัวอยู่ใกล้กับแนวที่แรงกระทำ ถ้าวิเคราะห์ความเค้น (stress) ตามทฤษฎี โดยสมมติว่าความเค้นกระจายอย่างสม่ำเสมอ จะได้รูปการกระจายความเค้นของแต่ละกรณีดังแสดงในรูป ซึ่งจะพบว่าความเค้นดึงหรือแรงดึงจะเกิดขึ้นตั้งแต่ที่อัตราส่วน $e/h = 0.18$ (เนื่องจากระยะเยื้องศูนย์กลางมากกว่าระยะเค้น) แต่เรายังไม่สามารถสังเกตเห็นผลของแรงดึงเพราะแรงดึงยังมีค่าน้อย ผลของแรงดึงที่เกิดขึ้นเห็นได้อย่างชัดเจนที่อัตราส่วน $e/h = 0.36$ และ 0.45 โดยรอยต่อระหว่างบล็อกประสานที่อ่อนแอที่สุดจะย้ายออก อย่างไรก็ตามความยาวของรอยต่อที่ย้ายออกมีระยะมากกว่าทฤษฎี เนื่องจากในความเป็นจริงบล็อกแต่ละก้อนถูกยึดเอาไว้ด้วยมอร์ตาร์ที่อยู่ในรูของบล็อกเท่านั้น เมื่อมอร์ตาร์ในรูขาดออกจากกันรอยต่อระหว่างรูจึงย้ายออกได้อย่างอิสระ

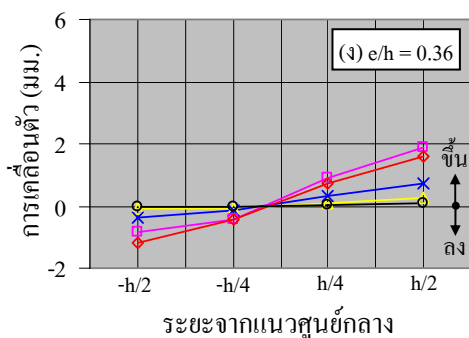
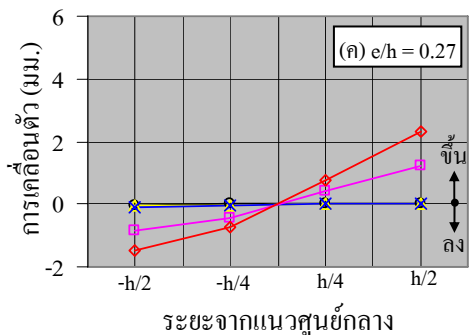
3.6 ลักษณะการเคลื่อนตัวในช่วงกลางของปริซึม

ข้อมูลที่ได้จาก LVDTs ที่ติดตั้งที่ช่วงกลางของปริซึมขณะทำการทดสอบได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาลักษณะการเคลื่อนตัวในช่วงกลางของปริซึมภายใต้แรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง รูปที่ 11 แสดงตัวอย่างลักษณะการเคลื่อนตัวในช่วงกลางของปริซึมที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่างๆ โดยตำแหน่งที่แรงกระทำ ระยะเยื้องศูนย์กลาง e และความยาวหน้าตัด h เป็นไปตามที่แสดงในรูปที่ 6

จากรูปที่ 11(ก) จะเห็นได้ว่าภายใต้แรงอัดตรงศูนย์กลาง การยุบตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดเกิดขึ้นตามคาด อย่างไรก็ตามการยุบตัวจะเริ่มไม่สม่ำเสมอทั้งหน้าตัดที่ค่าแรงกระทำค่าหนึ่งซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 75 และ 100 ของค่าแรงอัดสูงสุด ซึ่งเป็นผลจากการแตกร้าวเฉพาะแห่ง (local cracking) ที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 10 (ก) และการยุบตัวที่เกิดขึ้นก็สอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 11 ตัวอย่างลักษณะการเคลื่อนตัวในช่วงกลางของ
 ปริซึมที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่างๆ (เคลื่อนตัวขึ้นเป็น
 บวก)



เมื่อแรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง จากรูปที่ 11(ข) และ 11(ค) แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเยื้องศูนย์กลาง $e/h = 0.18$ และ 0.27 การยุบตัวก็ยังคงค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดแม้ค่าแรงที่กระทำจะมีค่ามากถึงร้อยละ 75 ของค่าแรงอัดสูงสุดแล้วก็ตาม และการหมุนตัวของหน้าตัดเนื่องจากผลของการเยื้องศูนย์กลางแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนเมื่อแรงกระทำมีค่าเลยจุดสูงสุด ในขณะที่ระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่ามากขึ้นคือ $e/h = 0.36$ และ 0.45 การหมุนตัวของหน้าตัดแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนตั้งแต่แรงกระทำมีค่าน้อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 11(ง) และ 11(จ) และที่ระยะเยื้องศูนย์กลาง $e/h = 0.45$ หน้าตัดแถบจะเคลื่อนที่ขึ้นทั้งหน้าตัด

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากำลังอัดและพฤติกรรมของวัสดุก่อบล็อกประสานภายใต้แรงเยื้องศูนย์กลาง ด้วยการทดสอบปริซึมที่ได้จากก่อก่อเรียงบล็อกประสาน 5 ก้อนในแนวตั้ง โดยบล็อกประสานและอัตราส่วนผสมของมอร์ต้าร์ที่ใช้เป็นชนิดที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ระยะเยื้องศูนย์กลางที่ศึกษามีอัตราส่วนระหว่างระยะเยื้องศูนย์กลางต่อความยาวหน้าตัด $e/h = 0, 0.18, 0.27, 0.36$ และ 0.45 จากผลการศึกษาพบว่าผลของแรงเยื้อง

ศูนย์มีผลกระทบต่อพฤติกรรมต่างๆ ของวัสดุก่อบล็อกประสานตามคาดอย่างชัดเจน โดยเฉพาะต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ทั้งนี้สามารถสรุปผลเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

(1) กำลังอัดของวัสดุก่อบล็อกประสานมีค่าลดลงเมื่อระยะเยื้องศูนย์เพิ่มขึ้น โดยกำลังอัดของวัสดุก่อบล็อก

ประสาน (f'_m) ที่ระยะเยื้องศูนย์ต่างๆ มีความสัมพันธ์กัน

$$f'_{m\ e/h=0.18} = 0.815 f'_{m\ e/h=0}$$

$$f'_{m\ e/h=0.27} = 0.632 f'_{m\ e/h=0} \quad f'_{m\ e/h=0.36} = 0.545 f'_{m\ e/h=0} \quad \text{และ}$$

$$f'_{m\ e/h=0.45} = 0.319 f'_{m\ e/h=0}$$

(2) ที่ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0, 0.18$ และ 0.27

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุก่อบล็อกประสาน ก่อนข้างเป็นเส้นตรงในช่วงแรกจนถึงที่ค่าความเค้นเกินกว่าร้อยละ 50 ของความเค้นสูงสุด ในขณะที่ที่ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0.36$ และ 0.45 ความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ความเค้นยังไม่เกินร้อยละ 50 ของความเค้นสูงสุด

(3) ผลของแรงกระทำเยื้องศูนย์กระทบต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมากกว่าต่อค่ากำลังอัดมาก โดยค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเหลือแค่ประมาณร้อยละ 60 ของค่าที่แรงกระทำตรงศูนย์เมื่ออัตราส่วน e/h มีค่าเพียง 0.18 (ที่ระยะเยื้องศูนย์เดียวกัน กำลังอัดมีค่าเหลือประมาณร้อยละ 80) และมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 30 เมื่ออัตราส่วน e/h มีค่าเท่ากับ 0.45

(4) ลักษณะการวิบัติของวัสดุก่อบล็อกประสานเปลี่ยนไปเมื่อระยะเยื้องศูนย์เพิ่มขึ้น โดยการวิบัติภายใต้แรงอัดเยื้องศูนย์มีลักษณะทั่วไปคือ รอยแตกร้าวก่อนข้างกระจุกตัวอยู่ใกล้กับแนวที่แรงกระทำ รอยต่อระหว่างบล็อกประสานที่อ่อนแอที่สุดจะอ้าออกเนื่องจากผลของแรงดึงที่เกิดขึ้นจากการเยื้องศูนย์ โดยเฉพาะที่ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0.36$ และ 0.45 การอ้าออกของรอยต่อเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดกว่าที่ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0.18$ และ 0.27

(5) ที่ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0.18$ และ 0.27 การยุบตัวในช่วงกลางของปริซึมยังค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดแม้แรงที่กระทำจะมีค่ามากถึงร้อยละ 75 ของแรงอัดสูงสุด แต่ที่ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0.36$ และ 0.45 การหมุนตัวของหน้าตัดเกิดขึ้นตั้งแต่แรงกระทำมีค่าน้อยๆ

(6) ระยะเยื้องศูนย์อาจแบ่งตามผลที่มีต่อพฤติกรรมของวัสดุก่อบล็อกประสานออกได้เป็น 2 ระดับคือ ระดับที่มีผลปานกลางคือ ระยะเยื้องศูนย์ที่มี $e/h \leq 0.36$ และระดับที่มีผลมากคือ ระยะเยื้องศูนย์ที่มี $e/h > 0.36$

ผลจากการศึกษานี้ทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการรับแรงอัดเยื้องศูนย์ของวัสดุก่อบล็อกประสานได้ดีขึ้น และสามารถใช้เป็นแนวทางในการประมาณกำลังอัดของวัสดุก่อบล็อกประสานภายใต้แรงเยื้องศูนย์ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2552 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และขอขอบคุณ นายราชัน ก้านจันทร์ และนายอำนาจ แสนکان นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่มีส่วนช่วยในการทำการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เทคโนโลยีบล็อกประสาน. <<http://www.technologyblockprasan.com>> ธันวาคม 2550 (สืบค้น).

[2] วิทยา วุฒิจำนงค์ และพิชิต เจนบรรจง. 2543. การออกแบบและการคำนวณโครงสร้างอาคารที่ก่อสร้างด้วยบล็อกประสาน วท. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย : กรุงเทพฯ.

[3] มาตรฐานสำหรับอาคารวัสดุก่อ. 2535. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ : พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ.

[4] Lourenco, P. B. 1996. Computational strategies for masonry structures. PhD Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.

[5] กริสน์ ชัยมูล. อิทธิพลของชนิดปริซึมต่อการประเมินกำลังอัดของวัสดุก่อบล็อกประสาน. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา (รอกการตีพิมพ์).

[6] AS/NZS 4456.4. 2003. Australian / New Zealand Standard: Determining Compressive Strength of Masonry Units.

[7] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: อิฐบล็อกประสาน (มผช. 602/2547). 2547. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.