

กำลังอัดและพฤติกรรมของวัสดุก่อบล็อกจากประสานภายใต้แรงเอียงศูนย์

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 เพื่อศึกษากำลังอัดและพฤติกรรมของวัสดุก่อบล็อกจากประสานภายใต้แรงเอียงศูนย์ ปริซึมบล็อกจากประสานถูกทดสอบภายใต้แรงอัดเอียงศูนย์ที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างระยะเอียงศูนย์ต่อความยาวหน้าตัด (e/h) เท่ากับ 0, 0.18, 0.27, 0.36 และ 0.45 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะเอียงศูนย์มีค่าเพิ่มขึ้นกำลังอัดของวัสดุก่อบล็อกจากประสานมีค่าลดลง โดยความสัมพันธ์ของกำลังอัดของวัสดุก่อบล็อกจากประสาน (f'_m) ภายใต้แรงเอียงศูนย์พบว่าเป็นดังนี้ $(f'_m)_{e/h=0.18} = 0.815(f'_m)_{e/h=0}$, $(f'_m)_{e/h=0.27} = 0.632(f'_m)_{e/h=0}$, $(f'_m)_{e/h=0.36} = 0.545(f'_m)_{e/h=0}$ และ $(f'_m)_{e/h=0.45} = 0.319(f'_m)_{e/h=0}$ นอกจากนี้พฤติกรรมของวัสดุก่อบล็อกจากประสานภายใต้แรงอัดเอียงศูนย์ก็ถูกอธิบาย ประกอบด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด 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

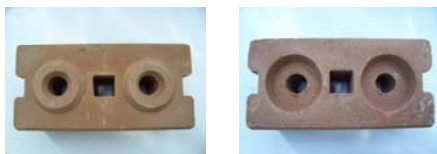
บล็อกจากประสาน (interlocking block) ได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ก่อเป็นผนังรับน้ำหนัก (load bearing wall) หรือโครงสร้างวัสดุก่อ (masonry structure) โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ในช่วงปี 2540-2543 [1] บล็อกจากประสานมีข้อดีหลายประการคือ ลดราคาและเวลาในการก่อสร้าง มีความสวยงาม ผลผลิตโดยใช้วัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่น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

บล็อก และมอร์ตาร์จะถูกหยอดลงในรูของบล็อกแทนเพื่อให้เข้าใจถึงกำลังและพฤติกรรมการรับน้ำหนักของวัสดุ ก่อบล็อกประสาน งานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุก่อบล็อกประสานยังคงถูกต้องการอยู่อีกมาก งานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะศึกษากำลังและพฤติกรรมของวัสดุก่อบล็อกประสานภายใต้แรงอัดเชิงศูนย์ที่สามารถเกิดขึ้นได้เสมอจากการใช้งาน และจากการก่อสร้าง

2. วัสดุและปริซึม

2.1 บล็อกประสาน

บล็อกที่ใช้เป็นบล็อกตรงทรงสี่เหลี่ยมชนิดดอกกลมมีรูสำหรับหยอดมอร์ตาร์ มีขนาดประมาณ $12.5 \times 25 \times 10$ ซม.³ ดังแสดงในรูปที่ 1



(ก) รูปด้านบน

(ข) รูปด้านล่าง

รูปที่ 1 บล็อกประสานที่ใช้ในการศึกษา

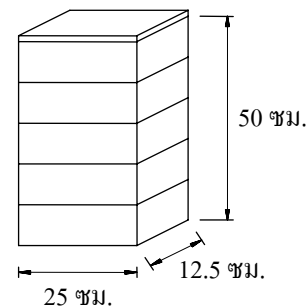
2.2 มอร์ตาร์สำหรับหยอด

มอร์ตาร์ที่ใช้ในการหยอดในรูของบล็อกประสานมีอัตราส่วนผสมตามที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารที่ก่อสร้างด้วยบล็อกประสาน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่หนึ่ง : ทราย = 1 : 2 โดยน้ำหนัก และผสมน้ำให้มีความสามารถในการเทได้ที่เหมาะสม

2.3 ปริซึม

ปริซึมที่ใช้ในการทดสอบเป็นปริซึมที่ได้จากการเรียงบล็อกประสาน 5 ก้อนในแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นปริซึมชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในงานวิจัยวัสดุก่อในต่างประเทศ [4] เนื่องจากสะดวกในการเตรียมและมีราคาประหยัดกว่าชนิดอื่นๆ อิทธิพลของชนิดปริซึมต่อการประเมินกำลังอัดของวัสดุก่อบล็อกประสานถูกศึกษาและรายงานใน [5]

ปริซึมทั้งหมดถูกก่อในห้องปฏิบัติการในช่วงเวลาเดียวกัน และเพื่อให้สามารถทำการทดสอบแรงอัดได้สะดวก ผิวด้านบนของปริซึมทั้งหมดถูกปรับให้เรียบโดยใช้มอร์ตาร์ซึ่งถูกหล่อหลังการก่อปริซึม ขึ้นตัวอย่างทดสอบทั้งหมดถูกบ่มในสภาพเดียวกันคือ ทิ้งไว้ในห้องปฏิบัติการและรดน้ำสม่ำเสมอเป็นเวลา 28 วัน



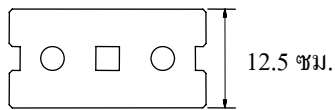
รูปที่ 2 ขนาดและรูปร่างของปริซึมที่ใช้ในการศึกษา

3. การทดสอบและผลการทดสอบ

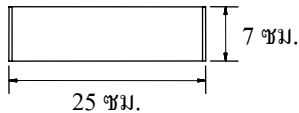
การทดสอบทั้งหมดถูกทำโดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ขนาด 100 ตัน โดยแรงค่อยๆ ถูกเพิ่มขึ้นจนกระทั่งขึ้นตัวอย่างวิบัติ

3.1 กำลังอัดของบล็อกประสานและมอร์ตาร์

ในการหาลำดับกำลังอัดของบล็อกประสาน วว. ได้แนะนำให้ทำการทดสอบโดยใช้ก้อนลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม.³ ที่ถูกเตรียมโดยการตัดจากบล็อกขนาดจริง แต่ก้อนตัวอย่างทดสอบขนาดดังกล่าวไม่สามารถตัดจากบล็อกชนิดที่ใช้ศึกษาได้เนื่องจากบล็อกมีรูจำนวนมาก การศึกษานี้จึงเลือกใช้ขนาดอื่นแทน ขนาดของชิ้นตัวอย่างทดสอบที่ใช้แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งได้จากการตัดดอกกลมบนด้านบนและร่องด้านล่างของบล็อกออก ให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบมีพื้นผิวเรียบทั้งสองด้านซึ่งเป็นวิธีการที่สอดคล้องกับมาตรฐาน AS/NZS 4456.4 [6] รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการทดสอบหาลำดับกำลังอัดของบล็อกประสาน



(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

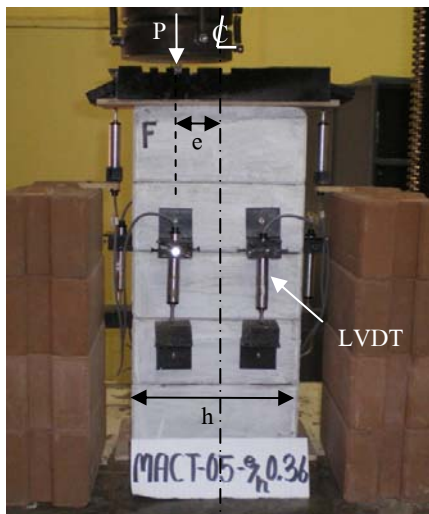
คุณสมบัติ	บล็อกประสาน		มอร์ตาร์
	ก่อนปรับแก้	หลังปรับแก้ ^(ข)	
f'_c , ksc	184.12 (16.79) ^(ก)	106.79 (9.74)	440.10 (49.42)

หมายเหตุ : (ก) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(ข) ค่าปรับแก้ตามมาตรฐาน AS/NZS 4456.4 [6]

3.2 ค่าลึงอัดของปริซึม

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



รูปที่ 6 ตัวอย่างการทดสอบกำลังอัดปรีซึมบล็อกประสาน และการติดตั้งอุปกรณ์

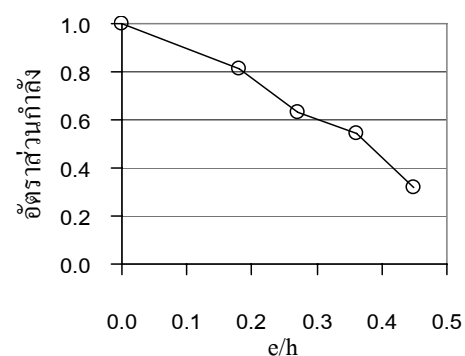
ตารางที่ 2 แสดงกำลังอัดเฉลี่ยของวัสดุคอนกรีตปรีซึม (f'_m) ซึ่งได้จากการเฉลี่ยจากตัวอย่างทั้ง 6 ที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่างๆ โดยอัตราส่วนกำลังซึ่งได้จากการเทียบกับกำลังอัดภายใต้แรงตรงศูนย์กลาง ($e/h = 0$) ถูกคำนวณและแสดงไว้ในตารางด้วย และรูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนกำลังต่อระยะเยื้องศูนย์กลางในรูปของอัตราส่วน e/h ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดลงของกำลังอัดของวัสดุคอนกรีตปรีซึมอย่างชัดเจนเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่ามากขึ้นตามคาด เนื่องจากระยะเยื้องศูนย์กลางมีค่ามากกว่าระยะเกิน (kern distance) ซึ่งเป็นระยะจากแนวศูนย์กลางของหน้าตัดถึงจุดไกลสุดที่ผลของแรงดัดพริ้มยังไม่ทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในหน้าตัด ซึ่งในที่นี้เท่ากับ $h/6$ จึงทำให้เกิดแรงดึงขึ้น ด้วยผลของแรงดัดที่มากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเยื้องศูนย์กลางจึงทำให้กำลังอัดลดลงอย่างมาก จากผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดเฉลี่ยของปรีซึมภายใต้แรงเยื้องศูนย์กลางยังคงมีค่าเกินกว่าร้อยละ 80 ของกำลังอัดเฉลี่ยตรงศูนย์กลาง ถ้าอัตราส่วน e/h มีไม่เกิน 0.18 แต่จะมีค่าเหลือเพียงประมาณร้อยละ 30 ที่อัตราส่วน $e/h = 0.45$

ตารางที่ 2 กำลังอัดเฉลี่ยของปรีซึมที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่างๆ

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 $e/h = 0$

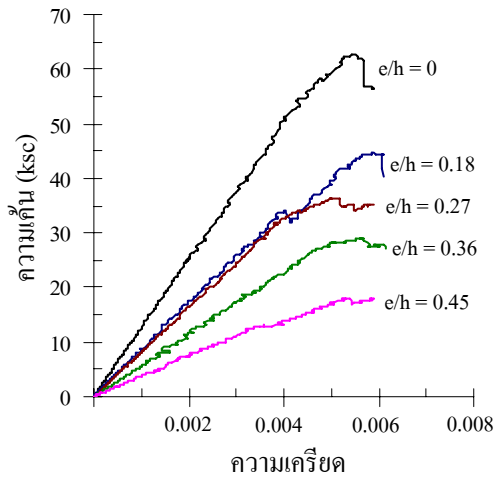


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังกับอัตราส่วน e/h

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปรีซึม

แรงอัดและการยุบตัวทั้งหมดของปรีซึม ณ ตำแหน่งที่แรงกระทำที่ได้จากเครื่องทดสอบถูกเปลี่ยนเป็นความเค้นและความเครียดเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในปรีซึม 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 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของปรีซึมที่ระยะเชิงศูนย์กลางต่างๆ

3.4 โมดูลัสยืดหยุ่นของปรีซึม

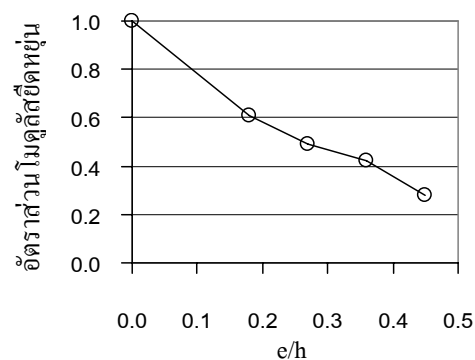
จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด โมดูลัสยืดหยุ่นถูกประมาณ ตารางที่ 3 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของปรีซึมที่ระยะเชิงศูนย์กลางต่างๆ และรูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นกับอัตราส่วน e/h ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อระยะเชิงศูนย์กลางมีค่าเพิ่มขึ้น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

ตารางที่ 3 โมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของปรีซึมที่ระยะเชิงศูนย์กลางต่างๆ

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

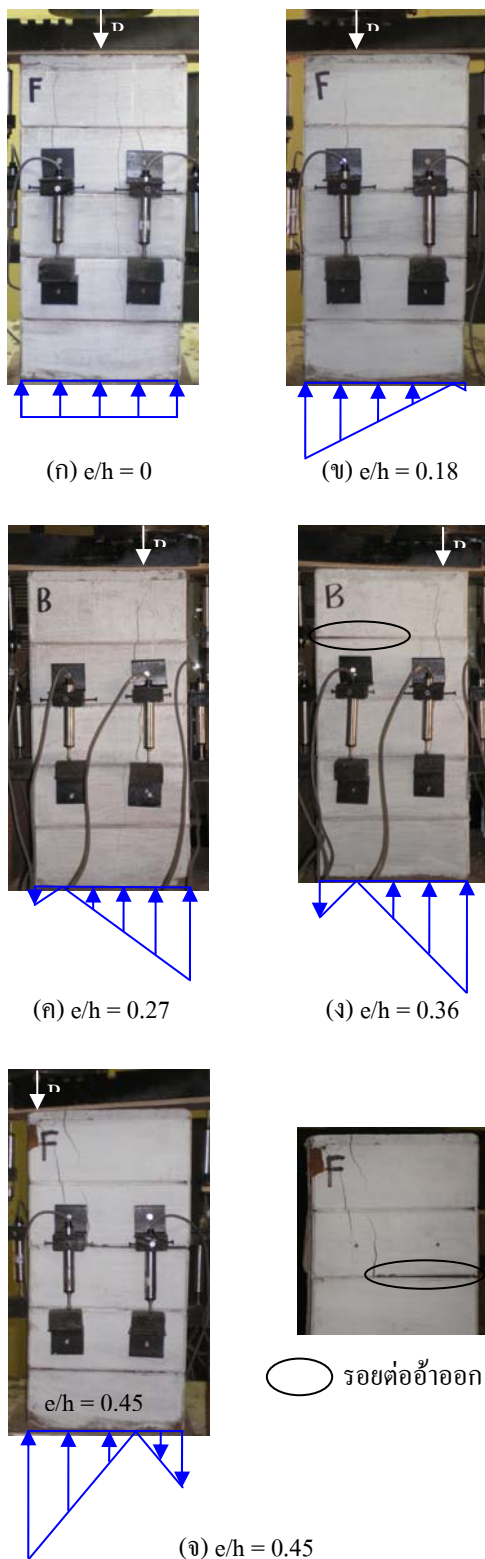
(ข) โดยเทียบกับค่า E ที่ระยะเชิงศูนย์กลาง $e/h = 0$



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นกับอัตราส่วน e/h

3.5 ลักษณะการวิบัติของปรีซึม

ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของปรีซึมที่ระยะเชิงศูนย์กลางต่างๆ พร้อมแผนภาพอย่างง่ายแสดงลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นตามทฤษฎีถูกแสดงในรูปที่ 10



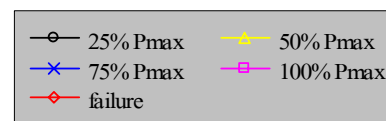
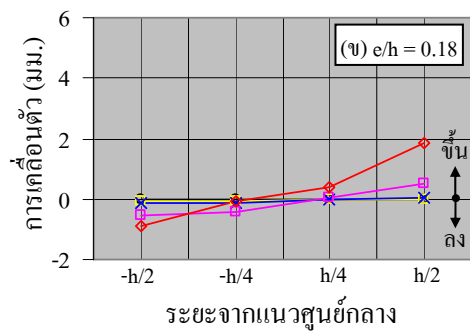
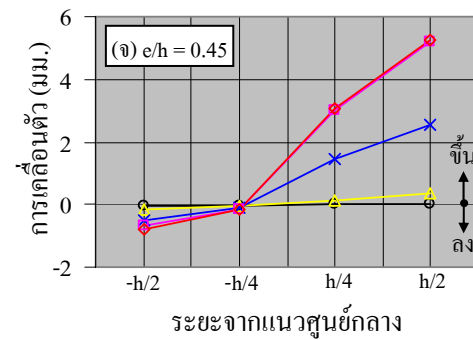
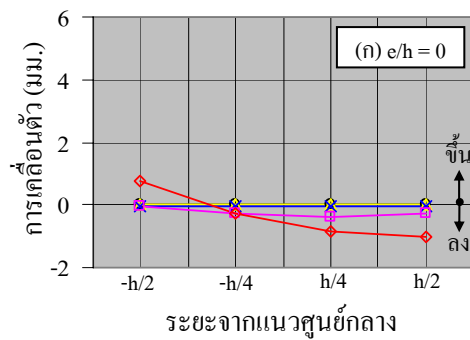
รูปที่ 10 ตัวอย่างลักษณะการวิบัติที่ระยะเยื้องศูนย์กลางต่างๆ พร้อมแผนภาพแสดงลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี

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 โดยรอยต่อระหว่างบล็อกประสานที่อ่อนแอที่สุดจะเด้งออก อย่างไรก็ตามความยาวของรอยต่อที่เด้งออกมีระยะมากกว่าทฤษฎี เนื่องจากในความเป็นจริงบล็อกแต่ละก้อนถูกยึดเอาไว้ด้วยมอร์ตาร์ที่อยู่ในรูของบล็อกเท่านั้น เมื่อมอร์ตาร์ในรูขาดออกจากกันรอยต่อระหว่างรูจึงเด้งออกได้อย่างอิสระ

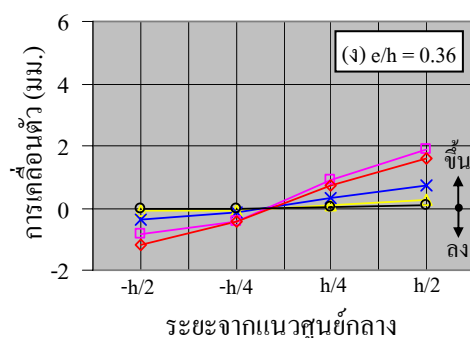
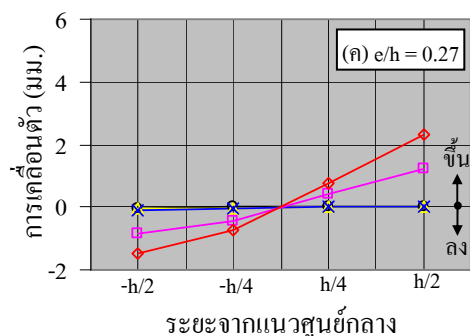
3.6 ลักษณะการเคลื่อนตัวในช่วงกลางของปริซึม

ข้อมูลที่ได้จาก LVDTs ที่ติดตั้งในช่วงกลางของปริซึมขณะทำการทดสอบได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาลักษณะการเคลื่อนตัวในช่วงกลางของปริซึมภายใต้แรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง 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 การยุบตัวก็ยังค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดแม้ค่าแรงที่กระทำจะมีค่ามากถึงร้อยละ 75 ของค่าแรงอัดสูงสุดแล้วก็ตาม และการหมุนตัวของหน้าตัดเนื่องจากผลของการเยื้องศูนย์กลางแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนเมื่อแรงกระทำมีค่าเฉลี่ยจุดสูงสุด 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 ของวัสดุกล่องล็อก
ประสานตามคาบอย่างชัดเจน โดยเฉพาะต่อค่าโมดูลัส
ยืดหยุ่น ทั้งนี้สามารถสรุปผลเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

(1) กำลังอัดของวัสดุกล่องล็อกประสานมีค่าลดลงเมื่อ
ระยะเยื้องศูนย์เพิ่มขึ้น โดยกำลังอัดของวัสดุกล่องล็อก

ประสาน (f'_m) ที่ระยะเยื้องศูนย์ต่างๆ มีความสัมพันธ์กัน

$$\text{ดังนี้ } (f'_m)_{e/h=0.18} = 0.815 (f'_m)_{e/h=0}$$

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

$$(f'_m)_{e/h=0.45} = 0.319 (f'_m)_{e/h=0}$$

(2) ที่ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0, 0.18$ และ 0.27
ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุกล่อง
ล็อกประสาน ก่อนข้างเป็นเส้นตรงในช่วงแรกจนถึงที่ค่า
ความเค้นเกินกว่าร้อยละ 50 ของความเค้นสูงสุด ในขณะที่ที่
ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0.36$ และ 0.45 ความสัมพันธ์ดังกล่าว
ไม่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ความเค้นยังไม่เกินร้อยละ 50 ของ
ความเค้นสูงสุด

(3) ผลของแรงกระทำเยื้องศูนย์กระทบต่อค่าโมดูลัส
ยืดหยุ่นมากกว่าต่อค่ากำลังอัดมาก โดยค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมี
ค่าเหลือแค่ประมาณร้อยละ 60 ของค่าที่แรงกระทำตรงศูนย์
เมื่ออัตราส่วน e/h มีค่าเพียง 0.18 (ที่ระยะเยื้องศูนย์เดียวกัน
กำลังอัดมีค่าเหลือประมาณร้อยละ 80) และมีค่าน้อย
กว่าร้อยละ 30 เมื่ออัตราส่วน e/h มีค่าเท่ากับ 0.45

(4) ลักษณะการวิบัติของวัสดุกล่องล็อกประสาน
เปลี่ยนไปเมื่อระยะเยื้องศูนย์เพิ่มขึ้น โดยการวิบัติภายใต้
แรงอัดเยื้องศูนย์มีลักษณะทั่วไปคือ รอยแตกร้าวก่อนข้าง
กระจุกตัวอยู่ใกล้กับแนวที่แรงกระทำ รอยต่อระหว่างบล็อก
ประสานที่อ่อนแอที่สุดจะฉีกออกเนื่องจากผลของแรงดึงที่
เกิดขึ้นจากการเยื้องศูนย์ โดยเฉพาะที่ระยะเยื้องศูนย์ $e/h =$
 0.36 และ 0.45 การฉีกออกของรอยต่อเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด
กว่าที่ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0.18$ และ 0.27

(5) ที่ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0.18$ และ 0.27 การยุบตัว
ในช่วงกลางของปริซึมยังค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดแม้
แรงที่กระทำจะมีค่ามากถึงร้อยละ 75 ของแรงอัดสูงสุด แต่ที่
ระยะเยื้องศูนย์ $e/h = 0.36$ และ 0.45 การหมุนตัวของหน้าตัด
เกิดขึ้นตั้งแต่แรงกระทำมีค่าน้อยๆ

(6) ระยะเยื้องศูนย์อาจแบ่งตามผลที่มีต่อพฤติกรรม
ของวัสดุกล่องล็อกประสานออกได้เป็น 2 ระดับคือ ระดับที่มี
ผลปานกลางคือ ระยะเยื้องศูนย์ที่มี $e/h \leq 0.36$ และระดับที่มี
ผลมากคือ ระยะเยื้องศูนย์ที่มี $e/h > 0.36$

ผลจากการศึกษานี้ทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการรับ
แรงอัดเยื้องศูนย์ของวัสดุกล่องล็อกประสานได้ดีขึ้น และ
สามารถใช้เป็นแนวทางในการประมาณกำลังอัดของวัสดุกล่อง
ล็อกประสานภายใต้แรงเยื้องศูนย์ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการ
วิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2552 มหาวิทยาลัย
มหาสารคาม และขอขอบคุณ นายราชัน ก้านจันทร์ และนาย
อำนาจ แสนคาน นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่มีส่วนช่วยใน
การทำการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ไทย เทคโนโลยีบล็อกประสาน.
<<http://www.technologyblockprasan.com>> ธันวาคม 2550
(สืบค้น).
- [2] วิทยา วุฒิจำนงค์ และพิชิต เจนบรรจง. 2543. การ
ออกแบบและการคำนวณโครงสร้างอาคารที่ก่อสร้างด้วย
บล็อกประสาน วท. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งประเทศไทย : กรุงเทพฯ.
- [3] มาตรฐานสำหรับอาคารวัสดุก่อ. 2535. วิศวกรรมสถาน
แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ : พิมพ์ครั้งที่ 3
กรุงเทพฯ.
- [4] Lourenco, P. B. 1996. Computational strategies for
masonry structures. PhD Thesis, Delft University of
Technology, The Netherlands.
- [5] กริสน์ ชัยมูล. อิทธิพลของชนิดปริซึมต่อการประเมิน
กำลังอัดของวัสดุกล่องล็อกประสาน. วิศวกรรมสารฉบับวิจัย
และพัฒนา (รอกการตีพิมพ์).

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

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