

การประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของผนัง อิฐบล็อกประสานมวลเบาในโครงคอนกรีตเสริมเหล็ก

Evaluation of Seismic Capacity on Interlocking Light Weight Masonry Wall in R/C Frame

อนุชาติ ลื่อนันต์ศักดิ์ศิริ* และ วรวิทย์ โปธิจันทร์

Anuchat Leeanansaksiri¹ and Worawit Phojan²

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น 40000

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, North Eastern University,
Muang Khonkaen ,40000, Thailand

*E-mail:¹ anuchat.lee@neu.ac.th, ²worawit.pho@neu.ac.th

Telephone Number: 0885089985

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรม โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐบล็อกประสานมวลเบา ภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร โดยอาคารต้นแบบได้ทำการเลือกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้นที่ไม่ได้มีการออกแบบให้รับแรงต้านทานแผ่นดินไหว สำหรับการประเมินกำลังภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร 3 ตัวอย่าง คือ โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีผนังอิฐก่อ (BF) โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐบล็อกประสานมวลเบาจากดินเบา (W1) และโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐบล็อกประสานมวลเบาจากเถ้าขานอ้อย (W2) การประเมินกำลังแบบวัฏจักรของผนังอิฐก่อภายในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ลักษณะได้แก่ กำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยง กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล และกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง จากการศึกษาพบว่าผนังก่อด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาทำให้ความสามารถในการรับกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงคอนกรีตเสริมเหล็กเพิ่มมากขึ้นกว่าโครงคอนกรีตเสริมเหล็กเปล่าที่ไม่มีผนังก่อ การวิเคราะห์พฤติกรรมการรับแรงกระทำแบบวัฏจักรด้วยโปรแกรม RUAUMOKO พบว่าการประเมินกำลังแบบวัฏจักรของผนังอิฐก่อภายในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ลักษณะเป็นการวิบัติจากกำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยง และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์จากการสร้างแบบจำลองตัวอย่างโครงคอนกรีตเสริมเหล็ก W1 และ W2 ให้กำลังต้านทานแผ่นดินไหวที่ได้มีความใกล้เคียงกับการประเมินกำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยง

คำสำคัญ: อิฐบล็อกประสาน ผนังอิฐก่อ กำลังต้านทานแผ่นดินไหว แรงกระทำแบบวัฏจักร

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the behavior of interlocking lightweight infilled masonry wall in reinforced concrete frame under cyclic loading. In this study, a prototype frame was chosen from a three-story reinforced concrete building that was not designed for seismic load. The evaluation of three samples .ie., the reinforced concrete bare frame (BF), the frame with interlocking lightweight infilled masonry wall which block made from diatomite (W1) and the frame with interlocking lightweight infilled masonry wall which block made from bagasse ash (W2).

The evaluation of masonry infilled frame under cyclic loading of three types are diagonal compression resistance, sliding shear resistance and upper corner compression resistance. It was found that, the masonry infilled by interlocking lightweight cement block exhibited the higher seismic capacity than the reinforced concrete bare frame. An analytical model was under cyclic loading by the use of program, RUAUMOKO. The result revealed that, the evaluation of masonry infilled frame under cyclic loading of three types was failure for diagonal compression resistance and comparison of the samples of reinforced concrete frame W1 and W2 enhanced the seismic capacity similar on the evaluation for diagonal compression resistance.

Keywords: interlocking, masonry wall, seismic sapacity, cyclic loading

1. บทนำ

แม้ว่าในปัจจุบันนี้ ได้มีกฎหมายควบคุมอาคาร ตามประกาศกฎกระทรวงฉบับ พ.ศ. 2550 กำหนดพื้นที่ ภาคเหนือ ภาคตะวันตก รวมทั้งกรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล เป็นเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหว อาคารที่จะ ปลูกสร้างใหม่จะต้องมีการออกแบบให้สามารถต้านทาน แผ่นดินไหวได้ แต่เนื่องจากอาคารในเขตพื้นที่ดังกล่าว ส่วนใหญ่ไม่ได้มีการออกแบบให้สามารถต้านทานแรง แผ่นดินไหวได้ อาคารเหล่านี้จึงมีความเสี่ยงต่อภัยพิบัติ เนื่องจากแรงแผ่นดินไหวได้ ดังนั้น การเสริมกำลัง โครงสร้างอาคารที่มีอยู่เดิมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้ เพื่อจะได้ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอาคาร เหล่านี้ต่อไป

จากผลการวิจัยที่ผ่านมา Gates [1], Sugano [2] ซึ่งได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเสริมกำลังโครงสร้าง อาคารในด้านเทคนิค ได้แก่ ค่ากำลัง ค่าสติเฟนส ค่าความ เหนียว ตลอดจนวิธีการทำงานและราคาค่าก่อสร้าง นำมา ประมวลผลได้ว่า การใช้ผนังกำแพงเสริมกำลังโดยรวม ของอาคารเหมาะสำหรับ โครงสร้างอาคารขนาดเล็ก เนื่องจากผลของผนังอิฐก่อใน โครงคองกรีตเสริมเหล็ก เปรียบเสมือนการค้ำยันต่อ โครงอาคารทำให้โครงอาคารมี กำลังต้านทานแรงกระทำทางด้านข้างได้เพิ่มขึ้น ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ จึงนำวิธีการเสริมกำลังในผนังอิฐมาศึกษา พฤติกรรมการรับแรงแผ่นดินไหว เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ เสริมกำลังต้านทานแผ่นดินไหวสำหรับอาคารที่มีอยู่เป็น จำนวนมากในประเทศไทยและมีความสำคัญต่อสาธารณะ

นอกจากนี้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาของผนัง อิฐมอญในโครงข้อแข็งคองกรีตเสริมเหล็กเสริมกำลังด้วย

ตะแกรงเหล็กฉีก [3] รวมถึงเทคนิคการเสริมกำลังให้กับ ผนังอิฐก่อเพื่อช่วยให้ความสามารถของผนังอิฐก่อมีกำลัง และค่าสติเฟนสของ โครงสร้างที่ดีขึ้น ได้มีเทคนิคการ เสริมกำลังผนังอิฐก่อหลายรูปแบบเพื่อช่วยในการรับแรง แผ่นดินไหว เช่น การใช้เทคนิคการเสริมกำลังโดยใช้แผ่น วัสดุคาร์บอนไฟเบอร์ [4-6] การใช้เทคนิคการเสริมกำลัง โดยใช้แผ่นวัสดุไฟเบอร์ [7-8] เทคนิคการเสริมกำลังโดย ใช้แผ่นเหล็ก [9] เทคนิคการใช้เหล็กเสริมในผนังอิฐก่อ [10] การใช้วัสดุแบบทอ [11] รวมถึงการใช้เหล็กตะแกรง โดยมีมวลรวมละเอียดเป็นตัวเชื่อมระหว่าง โครงสร้างกับ วัสดุ [12] การเสริมกำลังวัสดุคอมโพสิตผสมซีเมนต์ [13] และการใช้วัสดุเสริมเหล็กพันด้วยวิธีช็อคกรีตกำลัง สูงให้กับผนังอิฐก่อ [14] ซึ่งแต่ละเทคนิคทำให้กำลังของ ผนังอิฐก่อที่ได้รับการเสริมกำลังรับแรง ค่าสติเฟนส มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นทุกวิธีการ

ดังนั้น ในการวิจัยจึงได้ศึกษากำลังต้านทาน แผ่นดินไหวของผนังอิฐบล็อกประสานมวลเบาจากเถ้า ชานอ้อยและดินเบาในโครงคองกรีตเสริมเหล็ก

2. วิธีดำเนินการศึกษา

สำหรับขั้นตอนดำเนินการศึกษาในงานวิจัยได้แบ่ง ขั้นตอนศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

2.1 ขั้นตอนการหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำ อิฐบล็อกประสานมวลเบาจากดินตะกอนประปาผสม วัสดุพอซโซลาน

ในการทำอิฐบล็อกประสานมวลเบาได้แทนซีเมนต์ ด้วยดินตะกอนประปา ในอัตราส่วนร้อยละ 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 ของมวลปูนซีเมนต์ โดยน้ำที่ใช้

ในส่วนผสมมีค่าเท่ากับปริมาณที่ทำให้ความเหลวที่มอร์ตาร์มีการไหลแผ่ 110 ± 5 วิธีการผสมทำตามมาตรฐาน ASTM C305-14 [15] วิธีทดสอบค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ การหล่อ และวิธีการทำ ตามมาตรฐาน ASTM C349-18 [16] เมื่อได้อัตราส่วนของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยดินตะกอนประปาที่เหมาะสมได้นำดินเบา เถ้าขานอ้อย และเถ้าแกลบ แทนที่ในส่วนของดินตะกอนประปาเพื่อให้อิฐบล็อกประสานมีมวลที่เบาขึ้นโดยใช้อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 10 ของดินตะกอนประปา โดยเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม พิจารณาจากกำลังรับแรงอัดที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและมวลเป็นเกณฑ์

2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานมวลเบา

สำหรับขั้นตอนนี้ได้นำส่วนผสมที่เหมาะสมมาขึ้นรูปอิฐบล็อกประสานมวลเบาโดยมีรูปแบบของอิฐบล็อกประสานดังรูปแสดงในที่ 1 ซึ่งมีขนาด $12.5 \times 25 \times 10$ cm และได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐตามมาตรฐาน ASTM C170-17 [17] และทดสอบกำลังรับแรงอัดปริซึมของอิฐก่อนตามมาตรฐาน ASTM C1314-18 [18]

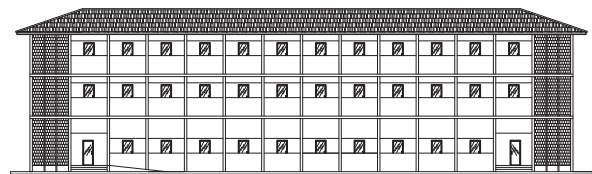


รูปที่ 1 รูปแบบอิฐบล็อกประสาน

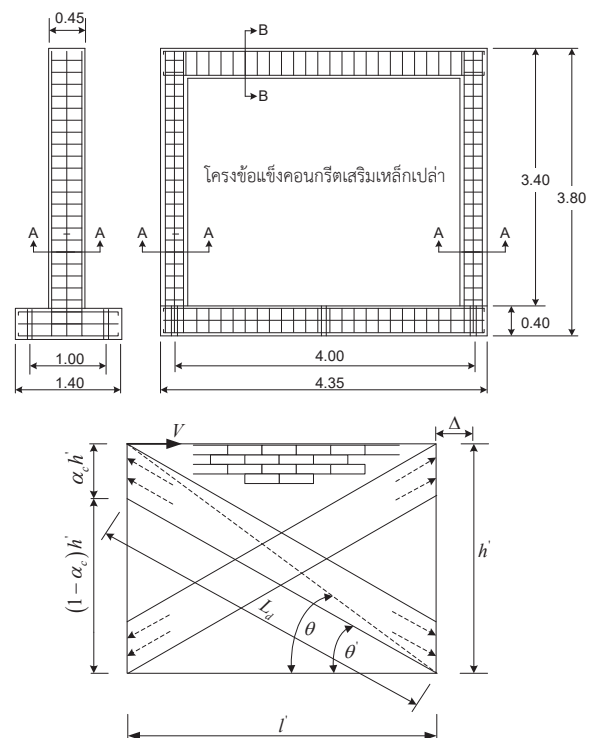
2.3 ขั้นตอนการประเมินกำลังผนังอิฐบล็อกประสานในโครงคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.3.1 อาคารในศึกษานี้เป็นอาคารเรียนคอนกรีตเสริมเหล็กในสังกัดกระทรวงศึกษาธิการสูง 3 ชั้น ที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อด้านทานแรงแผ่นดินไหวดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับการสร้างโครงข้อแข็งต้นแบบคอนกรีตเสริมเหล็กในการประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหว ได้แสดง

ในรูปที่ 3 ซึ่งโครงข้อแข็งมีขนาดความกว้าง 4.35 เมตร และความสูง 3.8 เมตร เสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.35×0.45 เมตร มีอัตราส่วนของการเสริมเหล็ก ρ_g เท่ากับ 2.49% (ρ_g คืออัตราส่วนของพื้นที่เหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต) คานคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.20×0.40 เมตร อัตราส่วนของการเสริมเหล็ก ρ_t เหล็กบนเท่ากับ 0.44% และเหล็กล่างเท่ากับ 0.66%



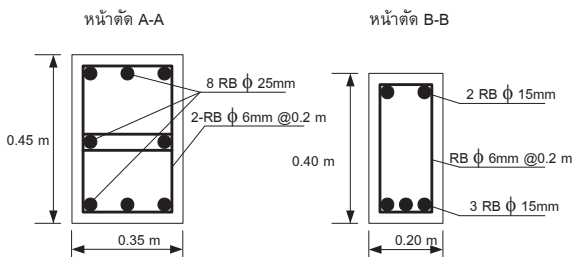
รูปที่ 2 อาคารเรียนที่ใช้ในการศึกษา [3]



รูปที่ 3 โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก [3]

สำหรับตัวอย่างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีผนังอิฐก่อ จะมีลักษณะของเสาแข็งแรงและคานอ่อน (strong column and weak beam) โดยมีรายละเอียด

ของการเสริมเหล็กดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งโครงข้อแข็งไม่สามารถรับกำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ เนื่องจากเสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีระยะของเหล็กปลอกที่ห่างจนเกินไปรวมถึงการที่ไม่ทำการตัดงอเหล็กปลอกให้ เป็นไปตามมาตรฐานและหน้าตัดคานเมื่อเทียบกับเสา มีขนาดเล็ก สำหรับกำลังรับแรงอัดของ โครงคอนกรีตเสริมเหล็ก f'_c เท่ากับ 21 Mpa และมีกำลังรับแรงดึงของเหล็ก f_y ของเหล็กเส้นกลมขนาด 25, 15 และ 6 มิลลิเมตร เท่ากับ 274, 246 และ 237 Mpa ตามลำดับ



รูปที่ 4 หน้าตัดของการเสริมเหล็กของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก [3]

2.3.2 การประเมินกำลังรับแรงด้นข้างจะใช้ทฤษฎีการวิบัติของผนังอิฐก่อภายใน โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ลักษณะ แรงค้ำยันที่ใช้ได้แก่ กำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยง (Diagonal Compression Resistance) กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (Sliding Shear Resistance) และกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง (Corner Compression Resistance)

2.3.3 การสร้างแบบจำลองผนังอิฐบล็อกจากประสานในโครงคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร โดยใช้โปรแกรม RUAUMOKO [19]

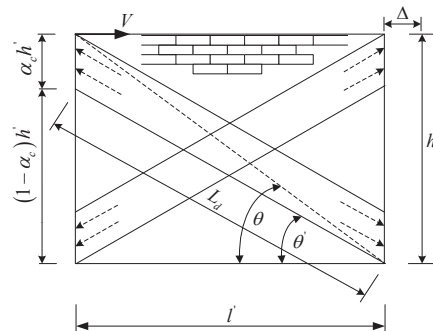
3. ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

3.1 แบบจำลองแรงค้ำยันที่ต้านทานแรงกดอัดผนังอิฐก่อในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

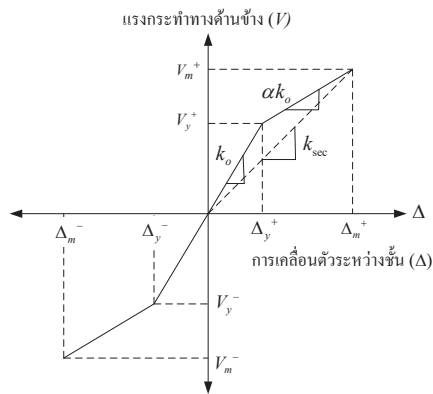
การสร้างแบบจำลองได้แรงค้ำยันแนวทแยงเทียบเท่า (Equivalent Strut) ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นการรวม

แรงด้นข้างระหว่างผนังอิฐก่อกับ โครงข้อแข็งเปล่า โดยการวิเคราะห์กำลังต้านทานรวมจะแยกกำลังต้านทานออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกกำลังต้านทานที่ได้จากการประเมินกำลังแบบวัฏจักรของผนังอิฐก่อภายใน โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ลักษณะ ได้แก่ กำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยง กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล และกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง ส่วนที่ 2 เป็นการประเมินกำลังต้านทานของโครงข้อแข็งเปล่า เมื่อได้กำลังต้านทานทั้ง 2 นำมารวมกันเพื่อเป็นกำลังต้านทานรวมที่เกิดจากกำลังต้านทานของผนังอิฐก่อและกำลังต้านทานของ โครงคอนกรีตเสริมเหล็กเปล่า

สำหรับการสร้างแบบจำลองของแรงด้นข้างและการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น ดังแสดงในรูปที่ 6 จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อเป็นพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองซึ่งประกอบด้วย ค่าสติเฟนสในช่วงแรก (initial stiffness) k_o แรงเฉือนที่จุดคราก V_y และค่าการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นที่จุดคราก Δ_y แต่เมื่อผ่านจุดครากจะทำให้เกิดแรงเฉือนสูงสุด V_m และค่าการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นสูงสุด Δ_m ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้เกิดค่าสติเฟนสหลังจุดคราก (post-yield stiffness) αk_o



รูปที่ 5 โมเดลจำลองแรงค้ำยันแนวทแยงเทียบเท่า



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์แรงด้านข้าง และการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น

การสร้างแบบจำลองในการศึกษานี้ได้ใช้ค่ากำลังรับแรงอัดปรีซึมของอิฐก่อที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (stress-strain) ซึ่งเป็นการนำค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ในรูปที่ 6 โดยแทนค่าในสมการที่เสนอโดย Saneinejad [20] ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานก่อนการสร้างแบบจำลองให้กับผนังอิฐก่อในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยกำลังรับแรงอัดปรีซึมของอิฐก่อและความเครียดจะใช้ในการคำนวณค่า V_y , V_m , Δ_y และ Δ_m ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น

สำหรับกรณีของการวิบัติที่เกิดจากการวิบัติแบบแรงกดอัดในแนวทแยง สามารถหาค่าแรงเฉือนที่จุดคราก V_y โดยการประยุกต์สมการที่เสนอโดย Saneinejad [20] มาใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์จากสมการที่ (1)

$$V_y = R_t = 2\sqrt{2}th'f_t \cos \theta \quad (1)$$

เมื่อ $f_t = 0.25\phi\sqrt{f_m'}$ (MPa), $\phi = 0.65$ (กรณีผนังก่ออิฐที่เกิดจากแรงในแนวค้ำยันเทียบเท่าแนะนำโดย Saneinejad [20]), R_t คือกำลังรับแรงเฉือนแตกร้าวในแนวทแยง, t คือ ความหนาของผนังอิฐ

ก่อ, h' คือ ความสูงของผนังอิฐก่อ และ f_m' คือกำลังรับแรงอัดปรีซึมของอิฐก่อ

สำหรับค่าแรงเฉือนสูงสุดของผนังอิฐก่อ V_m สามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของแรงอัดในแนวทแยงเทียบเท่าดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งสามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์จากสมการที่ (2)

$$V_m = R_{DC} = \frac{0.5h'tf_a}{\cos \theta} \quad (2)$$

เมื่อ $f_a = 0.6\phi f_m'$, $\phi = 0.65$, และ θ คือ มุมในแนวทแยงของผนังอิฐก่อ

สำหรับกรณีของการวิบัติที่เกิดจากการวิบัติแบบกำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (Sliding Shear Resistance) เนื่องจากแรงเฉือนในผนังอิฐก่อที่สูง ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดการเลื่อนไถลของผนังอิฐก่อ สามารถคำนวณแรงเฉือนสูงสุดในผนังอิฐก่อ V_m ได้จากสมการที่ (3)

$$V_m = R_{ss} = \frac{\gamma v t l'}{1 - 0.45 \tan \theta} \quad (3)$$

เมื่อ γ คือ ตัวคูณสำหรับกำลังแรงเฉือนประลัย, v คือ กำลังแรงเฉือนของผนังอิฐ

สำหรับกรณีของการวิบัติที่เกิดจากการวิบัติแบบกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง (Corner Compression Resistance) เนื่องจากแรงกดอัดที่มุมผนังอิฐก่อที่สูง ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดการกดอัดด้วยหน่วยแรงเข้าสู่มุมของผนังอิฐก่อที่สูง สามารถคำนวณแรงเฉือนสูงสุดในผนังอิฐก่อ V_m ได้จากสมการที่ (4)

$$V_m = R_{cc} = \frac{(1 - \alpha_c)\alpha_c th\sigma_c + \alpha_b t l \tau_b}{\cos \theta} \quad (4)$$

เมื่อ ค่าพารามิเตอร์ในสมการที่ 3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.1) – (4.5)

$$\alpha_c = \frac{1}{h} \sqrt{\frac{2M_{pj} + 2\beta_c M_{pc}}{\sigma_c t}} \quad (4.1)$$

$$\alpha_b = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{2M_{pj} + 2\beta_b M_{pb}}{\sigma_b t}} \quad (4.2)$$

$$\sigma_c = \frac{f'_m}{\sqrt{1+3\mu^2 r^4}} \quad (4.3)$$

$$\sigma_b = \frac{f'_m}{\sqrt{1+3\mu^2}} \quad (4.4)$$

$$\tau_b = \mu\sigma_b \quad (4.5)$$

M_{pj} คือ ค่าพลาสติกโมเมนต์ต่ำกว่าระหว่าง M_{pc} และ M_{pb} โดยที่ M_{pc} , M_{pb} คือ ค่าพลาสติกโมเมนต์ของเสาและคานตามลำดับ, μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของโครงข้อแข็งและหน้าสัมผัสของผนังอิฐก่อ, r คืออัตราส่วนของโครงข้อแข็ง ($r = h/l$), β_c, β_b คือ ค่าแฟกเตอร์ตัวคูณลดกำลังของเสาและคานตามลำดับ ซึ่ง Saneinejad [20] แนะนำให้ใช้ที่ 0.2, ค่าพารามิเตอร์ h, l คือ ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของความสูงและความยาวของโครงข้อแข็งตามลำดับ

สำหรับกรณีที่เกิดแรงกระทำด้านข้างสูงสุดเนื่องจากการวิบัติแบบกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง (Corner Compression Resistance) เป็นตัวควบคุมการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ การหาค่ากำลังรับแรงที่จุดครากที่เกิดจากกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง สามารถนำสมการที่ (4) มาประยุกต์โดยใช้ค่ากำลังรับแรงอัดปรีซึมของอิฐก่อในช่วงจุดครากแทนในสมการ ซึ่งทำให้ได้สมการใหม่ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$V_y = R_{ycc} = \frac{(1-\alpha_c)\alpha_c t h \sigma_{yc} + \alpha_b t l \tau_{yb}}{\cos \theta} \quad (5)$$

เมื่อ ค่าพารามิเตอร์ในสมการที่ (5) คำนวณได้จากสมการที่ (5.1) – (5.3)

$$\sigma_{yc} = \frac{f_{ym}}{\sqrt{1+3\mu^2 r^4}} \quad (5.1)$$

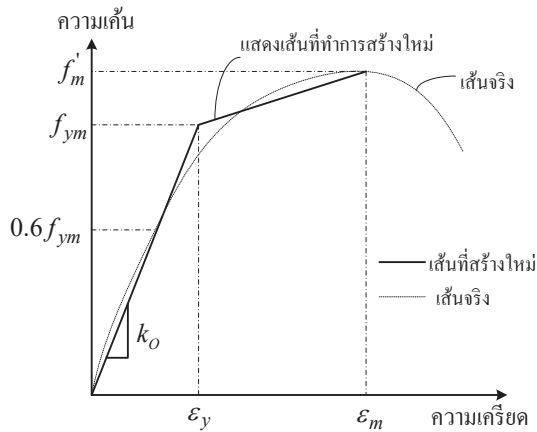
$$\tau_{yb} = \mu\sigma_{yb} \quad (5.2)$$

$$\sigma_{yb} = \frac{f_{ym}}{\sqrt{1+3\mu^2}} \quad (5.3)$$

ค่าพารามิเตอร์ σ_{yc} คือ หน่วยแรงสัมผัสตั้งฉากที่จุดครากของหน่วยแรงกดอัดที่มุมของเสา, σ_{yb} และ τ_{yb} คือ หน่วยแรงสัมผัสตั้งฉากที่จุดครากของแรงกดอัดที่คานและหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในหน้าตัดของคานตามลำดับ

ค่าพารามิเตอร์ f_{ym} คือ กำลังที่จุดครากปรีซึมของอิฐก่อ ซึ่งในการหาค่า f_{ym} หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นกับค่าความเครียดที่ได้จากการทดสอบสมบัติกำลังรับแรงอัดปรีซึมของอิฐก่อในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 7 สำหรับการหาความสัมพันธ์ของจุดครากที่เกิดขึ้นในช่วงเส้นโค้งของกราฟ หาโดยวิธีการหาแนวเส้นตรงสัมผัสกับแนวเส้นโค้งระหว่างความเค้นและความเครียด โดยใช้หลักการที่เสนอโดย Panyakapo [21] ซึ่งได้แสดงการหาแนวเส้นตรงเพื่อสัมผัสกับเส้นโค้งในช่วงของการหาค่าสติฟเนสช่วงแรก (initial stiffness) ซึ่งมีวิธีการในการสร้างความสัมพันธ์ 2 ข้อ ได้แก่ 1) ค่าสติฟเนสช่วงแรก (initial stiffness) ของเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งสามารถหาได้โดยการใช้กำลังที่ 60% ของกำลังที่จุดครากของปรีซึมอิฐก่อ 2) พื้นที่ใต้เส้นตรงสัมผัสด้านบนและด้านล่าง จะต้องมียพื้นที่ใกล้เคียงกัน

สำหรับการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นที่จุดคราก Δ_y และการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นสูงสุด Δ_m ของผนังอิฐก่อสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.1) และ (6.2)



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของปรีซีมอิฐก่อ

$$\Delta_y = \frac{\epsilon_y L_d}{\cos \theta} \quad (6.1)$$

$$\Delta_m = \frac{\epsilon_m L_d}{\cos \theta} \quad (6.2)$$

เมื่อ ϵ_y, ϵ_m คือ ค่าความเครียดที่จุดครากและค่าความเครียดสูงสุดของปรีซีมอิฐก่อ, L_d คือ ความยาวในแนวเส้นทแยงค้ำยันเทียบเท่า สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.3)

$$L_d = \sqrt{(1 - \alpha_c)^2 h^2 + l^2} \quad (6.3)$$

เนื่องจากแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นที่จุดครากและจุดสูงสุด สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่า สติฟเนสช่วงแรก (initial stiffness) k_o และค่าสติฟเนสช่วงซีแคนซ์ (secant stiffness) k_{sec} ส่วนค่าสติฟเนสหลังจุดคราก (post-yield stiffness) αk_o และแฟคเตอร์ของแนวเส้นตรง (bilinear factor) α สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในสมการที่ (7.1) – (7.4)

$$k_o = \frac{V_y}{\Delta_y} \quad (7.1)$$

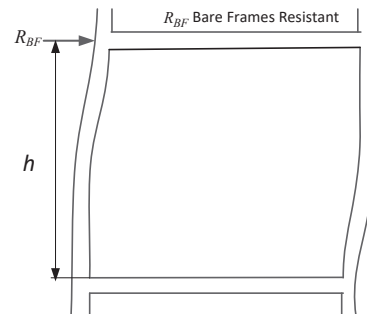
$$k_{sec} = \frac{V_m}{\Delta_m} \quad (7.2)$$

$$\alpha k_o = \frac{V_m - V_y}{\Delta_m - \Delta_y} \quad (7.3)$$

$$\alpha = \frac{V_m - V_y}{\Delta_m - \Delta_y} \cdot \frac{\Delta_y}{V_y} \quad (7.4)$$

3.2 พฤติกรรมของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเปล่า

กำลังต้านทานของโครงข้อแข็งอาคารเปล่า (bare frame) เป็นพฤติกรรมของแรงกระทำทางด้านข้างซึ่งจะไม่มีผนังเป็นตัวค้ำยันของโครงสร้าง ดังนั้น จึงไม่มีการพิจารณาผลของการวิบัติทั้ง 3 ลักษณะเข้ามาเกี่ยวข้องกับจะคำนึงถึงผลของค่าโมเมนต์พลาสติกในเสา คานและโมเมนต์ที่จุดต่อระหว่างเสาและคานดังแสดงในรูปที่ 8 สำหรับกำลังต้านทานของโครงข้อแข็งอาคารเปล่า ดังสมการที่ (8)



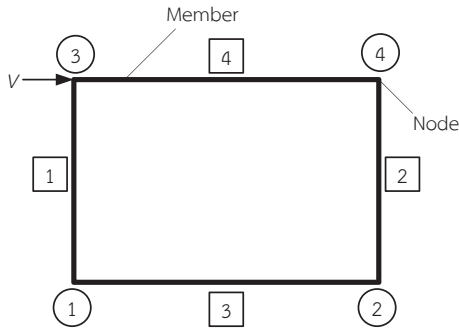
รูปที่ 8 กำลังต้านทานของโครงข้อแข็งอาคารเปล่า

$$R_{BF} = \frac{2(M_{pc} + M_{pj})}{h} \quad (8)$$

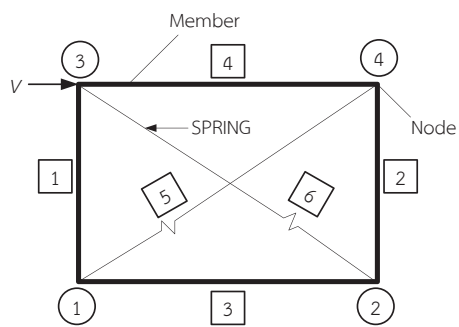
เมื่อ M_{pj} คือ ค่าโมเมนต์พลาสติกที่น้อยกว่าระหว่าง M_{pc}, M_{pb} และข้อต่อ M_{pc} คือ ค่าโมเมนต์พลาสติกของเสา และ h คือ ค่าระยะระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของความสูงของโครงข้อแข็ง

3.3 แบบจำลองโครงคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยโปรแกรม RUAUMOKO

การสร้างแบบจำลองโครงคอนกรีตเสริมเหล็กในการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม RUAUMOKO ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น สำหรับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเปล่า การสร้างแบบจำลองจะใช้การจำลองแบบ Modified Takeda ดังแสดงในรูปที่ 9 ส่วนโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อรูปแบบของสปริงแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งนำมาใช้ในการจำลองแทนแรงอัดในแนวทแยงเทียบเท่าของผนังอิฐก่อ โดยใช้รูปแบบการจำลองแบบ SINA degrading tri-linear [19] ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งการจำลองทั้ง 2 แบบเป็นพฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักร (hysteretic)



(ก) แบบจำลองโครงข้อแข็งเปล่า

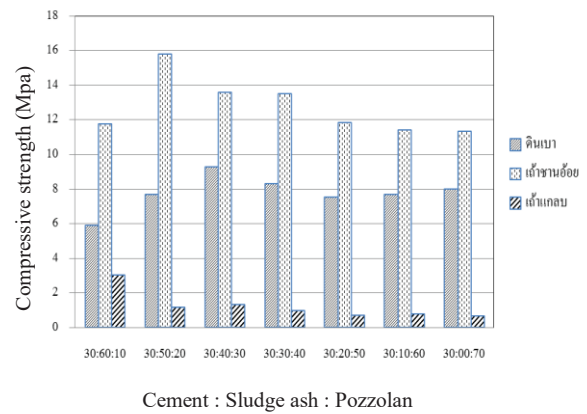


(ข) แบบจำลองโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อ
รูปที่ 9 แบบจำลองโครงข้อแข็ง

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดอิฐบล็อกประสานมวลเบาจากดินตะกอนประปาผสมวัสดุปอซโซลาน

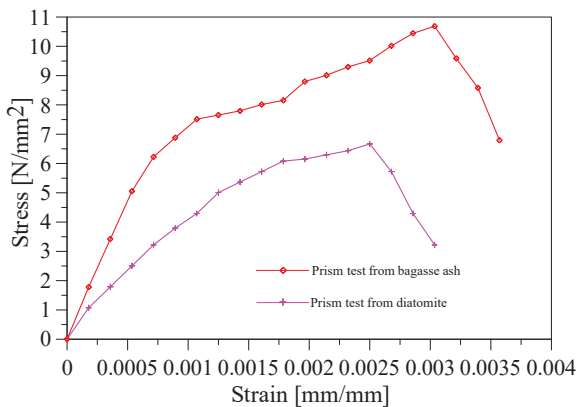
ผลการศึกษาพบว่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินตะกอนประปา ที่ใช้อัตราส่วนที่เหมาะสม 30:70 โดยได้กำลังรับแรงอัดเท่ากับ 9.88 Mpa ซึ่งผ่านมาตรฐานกำหนดอิฐบล็อกประสานชนิดรับน้ำหนักเท่ากับ 7.35 Mpa หลังจากนั้นทำการแทนที่ในส่วนของดินตะกอนประปาด้วยวัสดุปอซโซลานทั้ง 3 ชนิดได้แก่ ดินเบา เถ้าขานอ้อย และเถ้าแกลบ ครั้งละ 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปผลิตเป็นอิฐบล็อกประสานมวลเบาจากดินตะกอนประปา ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดที่ผสมวัสดุปอซโซลานทั้ง 3 ชนิด

จากการวิจัยได้พิจารณาเปรียบเทียบเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของแต่ละอัตราส่วนผสม ดังนี้ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : ดินเบา พิจารณาเลือก อัตราส่วน 30:30:40 สำหรับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : เถ้าขานอ้อย พิจารณาเลือก อัตราส่วน 30:30:40 แต่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : เถ้าแกลบ ไม่พิจารณาเลือกเนื่องจากกำลังการรับแรงอัดไม่ได้ตามมาตรฐาน ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ผลการทดสอบปริซึมของอิฐก่อได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของปริซึมอิฐก่อได้ ดังแสดงในรูปที่ 11 สำหรับความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของอิฐก่อและกำลังรับแรงอัดปริซึมของอิฐก่อในการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐก่อจะใช้การทดสอบกดก้อนตัวอย่าง 1 ก้อนเท่านั้นแต่สำหรับปริซึมของอิฐก่อจะใช้การก่ออิฐเรียงกัน 3 ก้อนพร้อมกับการใช้ปูนก่อซึ่งตัวอย่างจะมีขนาดอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างเท่ากับ 2:1 จากนั้นจะใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวทำการประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวต่อไป



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของปริซึมอิฐก่อ

4.2 ผลการประเมินกำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.2.1 ผลการประเมินกำลังรับแรงของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเปล่า

กำลังต้านทานโครงอาคารเปล่าคำนวณได้จากค่าโมเมนต์พลาสติกในเสา (M_{pc}) จากการคำนวณด้วยโปรแกรม CSI-Column ได้ค่าโมเมนต์พลาสติกเท่ากับ 101.37 kN-m และค่าโมเมนต์ของจุดต่อของเสาคาน (M_{pj}) เท่ากับ 24.93 kN-m สามารถคำนวณกำลังต้านทานโครงอาคารเปล่าซึ่งได้ค่ากำลังต้านทานโครงอาคารเปล่า R_{BF} เท่ากับ 74.29 kN

4.2.2 ผลการประเมินกำลังรับแรงของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบา

การประเมินกำลังใช้ทฤษฎีการวิบัติของผนังอิฐก่อภายในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ลักษณะ ได้แก่ กำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยง (Diagonal Compression Resistance) กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (Sliding Shear Resistance) และกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง (Corner Compression Resistance) ได้ผลสรุปการประเมินกำลังภายใต้ทฤษฎีการวิบัติของผนังอิฐก่อ 3 ลักษณะ โดยโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปะา : ฝ้าานอัย 30:30:40 (w1) ดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปะา : ฝ้าานอัย 30:30:40 (w2) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินกำลังรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปะา : ดินเบา 30:30:40 (W1)

รูปแบบการวิบัติ	แรงกระทำทางด้านข้างสูงสุดจากการประเมิน (kN)	แรงกระทำทางด้านข้างรวมกับแรงของโครงข้อแข็งเปล่า (kN)
กำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยง (สมการ (2))	478.03	552.32
กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (สมการ (3))	551.03	625.32

ตารางที่ 1 (ต่อ) สรุปผลการประเมินกำลังรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : ดินเบา 30:30:40 (W1)

รูปแบบการวิบัติ	แรงกระทำทางด้านข้างสูงสุดจากการประเมิน (kN)	แรงกระทำทางด้านข้างรวมกับแรงของโครงข้อแข็งเปล่า (kN)
กำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง (สมการ (4))	545.60	619.90

จากการประเมินกำลังของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : ดินเบา 30:30:40 กำลังต้านทานกำหนดด้วยค่ากำลังต้านทานที่น้อยที่สุดจากการวิเคราะห์ทั้งกำลังด้านทั้ง 3 แบบ คือกำลังต้านทานในแนวทแยงรวมกับโครงข้อแข็งเปล่าเท่ากับ 552.32 kN

ตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินกำลังรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : เถ้าชานอ้อย 30:30:40 (W2)

รูปแบบการวิบัติ	แรงกระทำทางด้านข้างสูงสุดจากการประเมิน (kN)	แรงกระทำทางด้านข้างรวมกับแรงของโครงข้อแข็งเปล่า (kN)
กำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยง (สมการ (2))	766.4	840.69

ตารางที่ 2 (ต่อ) สรุปผลการประเมินกำลังรับแรงด้านข้างของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : เถ้าชานอ้อย 30:30:40 (W2)

รูปแบบการวิบัติ	แรงกระทำทางด้านข้างสูงสุดจากการประเมิน (kN)	แรงกระทำทางด้านข้างรวมกับแรงของโครงข้อแข็งเปล่า (kN)
กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไกล (สมการ (3))	563.03	637.32
กำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง (สมการ (4))	419.01	493.30

จากการประเมินกำลังของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : เถ้าชานอ้อย 30:30:40 กำลังต้านทานกำหนดด้วยค่ากำลังต้านทานที่น้อยที่สุดจากการวิเคราะห์ทั้งกำลังด้านทั้ง 3 แบบ คือกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนังรวมกับโครงข้อแข็งเปล่าเท่ากับ 493.30 kN

4.2.3 ผลการประเมินกำลังรับแรงของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบา

ค่าพารามิเตอร์ของการสร้างแบบจำลองการรับแรงแบบวัฏจักร (hysteretic) ของผนังอิฐก่อคำนวณโดยใช้สมการที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น สำหรับตัวอย่างโครงข้อแข็งผนังอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : ดินเบา 30:30:40 และตัวอย่างโครงข้อแข็งผนังอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : เถ้าชานอ้อย 30:30:40 แรงด้านข้างที่จุดคราก V_y และแรงด้านข้างสูงสุด V_m ของผนังอิฐก่อ

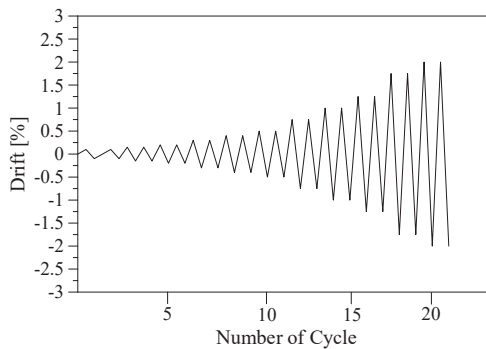
คำนวณค่าพารามิเตอร์ได้โดยใช้กำลังที่จุดครากในแนวทแยงของการวิบัติด้วยแรงอัดในแนวค้ำยัน R_t และกำลังรับแรงอัดในแนวทแยงค้ำยัน R_{DC} ตามลำดับ เนื่องจากการประเมินกำลังเป็นการวิบัติจากกำลังต้านทานแรงกดอัดในแนวทแยงสำหรับตัวอย่าง W1 และสำหรับตัวอย่าง W2 ผลวิเคราะห์เป็นการวิบัติแบบกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมดังนั้นจึงสรุปค่าพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์การรับแรงแบบวัฏจักร (hysteretic) ของผนังอิฐก่อ สำหรับการสร้างแบบจำลองโครงสร้าง

โครง ข้อ แข็ง	V_y (kN)	Δ_y (mm)	V_m (kN)	Δ_m (mm)	k_o (kN/mm)	α
W1	338.99	5.88	552.32	17.64	57.65	0.3
W2	300.79	4.90	493.30	25.61	61.38	0.2

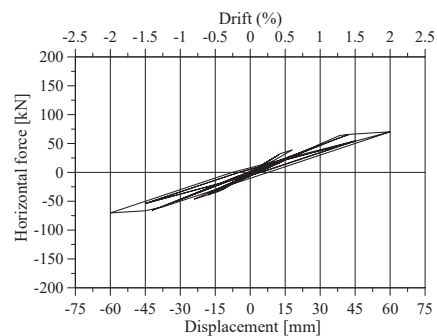
หมายเหตุ W1 คือโครงข้อแข็งก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : ดินเบา 30:30:40 / W2 คือโครงข้อแข็งก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินตะกอนประปา : ฝ้าชานอ้อย 30:30:40

ในการให้แรงกระทำของโครงข้อแข็งเปล้า (BF) โครงข้อแข็งผนังอิฐก่อ (W1) และโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อเสริมกำลัง (W2) โดยการจำลองพฤติกรรมจะใช้รูปแบบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นดังแสดงในรูปที่ 12

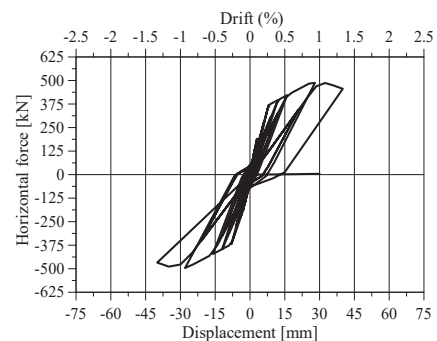


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น

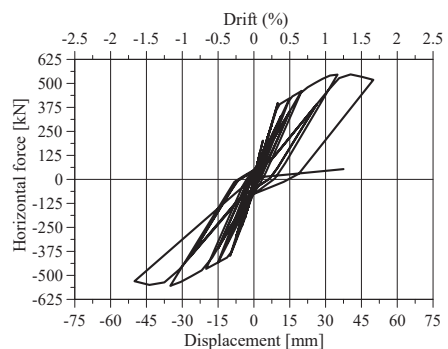
สำหรับแบบจำลองพฤติกรรมการรับแรงกระทำแบบวัฏจักร ของโครงข้อแข็งเปล้า (BF) ดังแสดงในรูปที่ 13 สำหรับแบบจำลองพฤติกรรมการรับแรงกระทำแบบวัฏจักร ของผนังอิฐก่อ (W1) ดังแสดงในรูปที่ 14 และแสดงกำลังรับแรงรวมของโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อ (W1) ที่เกิดจากกำลังรับแรงของผนังอิฐก่อกับกำลังรับแรงของโครงข้อแข็งเปล้าดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 13 ผลวิเคราะห์ของตัวอย่าง BF



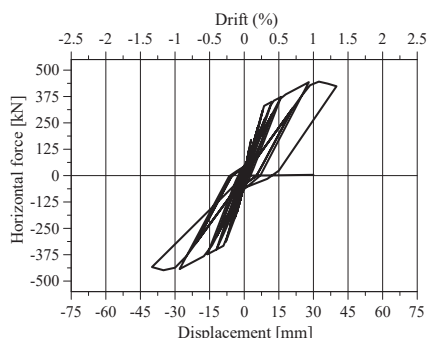
(ก) แบบจำลองของผนังอิฐก่อ (W1)



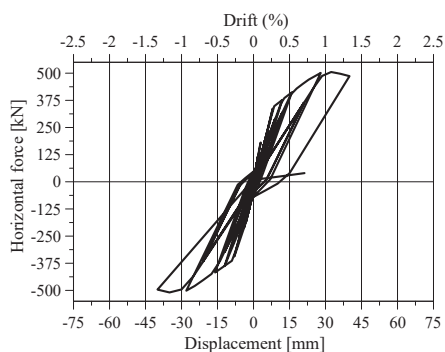
(ข) แบบจำลองของโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อ (W1)

รูปที่ 14 ผลวิเคราะห์ของโครงข้อแข็งของตัวอย่าง W1

สำหรับแบบจำลองพฤติกรรมการรับแรงกระทำแบบวัฏจักร (hysteresis loop) ของผนังอิฐก่อเสริมกำลัง (W2) ดังแสดงในรูปที่ 15 และแสดงกำลังรับแรงรวมของโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อเสริมกำลัง (W2) ที่เกิดจากกำลังรับแรงของผนังอิฐก่อกับกำลังรับแรงของโครงข้อแข็งเปล่าแสดงในรูปที่ 15



(ก) แบบจำลองของผนังอิฐก่อ (W2)



(ข) แบบจำลองของโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อ (W2)

รูปที่ 15 ผลวิเคราะห์ของโครงข้อแข็งของตัวอย่าง W2

สำหรับผลการเปรียบเทียบแบบจำลองและผลของการประเมินกำลังจากทฤษฎีการวิบัติ 3 ลักษณะ แสดงดังรูปที่ 14-15 จากการศึกษาแสดงให้เห็นพฤติกรรมการรับแรงกระทำแบบวัฏจักร (hysteresis loop) โดยจากการจำลองของตัวอย่างโครงข้อแข็ง W1 และ W2 ได้ค่ากำลังรับแรงกระทำทางด้านข้างสูงสุดเท่ากับ 505.42 kN และ 546.72 kN ซึ่งให้ค่ากำลังที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับทฤษฎีการวิบัติ 3 ลักษณะ

5. สรุป

1. การก่อผนังด้วยอิฐบล็อกประสานมวลเบาทำให้ความสามารถในการรับกำลังด้านทานแผ่นดินไหวเพิ่มมากขึ้นกว่าโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเปล่าที่ไม่มีการก่อผนัง

2. การประเมินกำลังของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก W1 กำลังด้านทานเกิดในแนวทแยงรวมกับโครงข้อแข็งเปล่าเท่ากับ 552.32 kN แสดงให้เห็นว่าลักษณะการวิบัติที่เกิดจากแนวทแยงทำให้อิฐบล็อกประสานมวลเบาจากดินเบาสามารถรับกำลังได้อย่างเต็มความสามารถ แต่สำหรับโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก W2 กำลังด้านทานแรงกดอัดที่มุมผนังร่วมกับโครงข้อแข็งเปล่าเท่ากับ 493.30 kN แสดงให้เห็นถึงการวิบัติในลักษณะของการเกิดแรงกดอัดที่มุมส่งผลให้บริเวณที่เกิดเป็นลักษณะเสาสั้นซึ่งจะทำให้เกิดการวิบัติที่โครงข้อแข็งก่อนที่จะวิบัติจากผนังอิฐบล็อกที่ผสมเข้าชานอ้อย ดังนั้นเพื่อต้องการให้เกิดการรับกำลังด้านข้างให้เต็มประสิทธิภาพจึงต้องมีการเสริมกำลังโครงข้อแข็งเพื่อให้มีกำลังรับแรงที่เพิ่มขึ้น

3. การจำลองพฤติกรรมการรับแรงกระทำแบบวัฏจักร (hysteresis loop) ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO จากการจำลองของตัวอย่างโครงข้อแข็ง W1 และ W2 ให้ค่ากำลังรับแรงกระทำทางด้านข้างที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับการประเมินกำลังจากทฤษฎีการวิบัติ 3 ลักษณะ

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยศรีปทุม และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gates, W. E., Nester, M. R. and Whitby, T. R. Managing Seismic Risk: A Case History of Seismic Retrofit for a Non-Ductile Reinforced Concrete Frame High Rise Office Building. Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, 1992.
- [2] Sugano, S. Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Japan. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 1981; 14(4): 209-222.
- [3] Leeanansaksiri, A., Panyakapo, P. and Ruangrassamee, A. Seismic Capacity of Masonry Infilled RC Frame Strengthening with Expanded Metal Ferrocement. *Engineering Structures*, 2018; 159: 110–127.
- [4] Hamid, A., Wael, W., Zeyad, H. R. and Elgaaly, M. Behavior of Composite Unreinforced Masonry-Fiber-Reinforced Polymer Wall Assemblages Under In-Plane Loading. *Journal of Composites for Construction*, 2005; 9(1): 73-83.
- [5] Altin, S., Anil, O., Emin, K. M. and Kaya, M. An Experimental Study on Strengthening of Masonry Infilled RC Frames Using Diagonal CFRP Strips. *Composites Part B: engineering*, 2008; 39(4): 680-693.
- [6] Akin, E. and Ozecebe, G. CFRP Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Masonry Infill Walls: A Numerical and Parametric Study. *Advanced Materials Research*, 2013; 747: 51-54.
- [7] Elgawady, M. A., Lestuzzi, P. and Badoux, M. A Seismic Retrofitting of Unreinforced Masonry Walls Using FRP. *Composites Part B engineering*, 2006; 37: 48-62.
- [8] Hernan, S. M., and Pablo, A. Repair of In-Plane Shear Damaged Masonry Walls with External FRP. *Construction and Building Materials*, 2011; 25(3): 1172-1180.
- [9] Taghdi, M., Bruneau, M. and Saatcioglu, M. Seismic Retrofitting of Low-Rise Masonry and Concrete Walls Using Steel Strips. *Journal of Composites for Construction*, 2000; 126(9): 1017-1025.
- [10] Ismail, N., Petersen, R., Masia, M. and Ingham, J. Diagonal Shear Behaviour of Unreinforced Masonry Wallettes Strengthened Using Twisted Steel Bars. *Construction and Building Materials*, 2011; 25(12): 4386–4393.
- [11] Harajli, M., ElKhatib, H., and Tomas San-Jose, J. Static and Cyclic Out-of-Plane Response of Masonry Walls Strengthened Using Textile-Mortar System. *Journal of Composites for Construction*, 2010; 22(11): 1171–1180.
- [12] Kazemi, M. T. and Morshed, R. Seismic Shear Strengthening of R/C Columns with Ferrocement Jacket. *Cement & Concrete Composites*, 2005; 27(7-8): 834–842.
- [13] Dehghani, A., Nateghi-Alahi, F. and Fischer, G. Engineered Cementitious Composites for Strengthening Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames. *Engineering Structures*, 2015; 105(15): 197–208.
- [14] Altoubat, S., Maalej, M., Kazad, A. S. and Eatephane, P. Rapid Strengthening of Unreinforced Masonry Walls for Out-of-Plane Actions using Fiber Reinforced Shotcrete. 3rd RN Raikar Memorial Intl. Conference & Gettu-Kodur Intl. Symposium on ADVANCES IN SCIENCE & TECHNOLOGY OF CONCRETE, 14-15 December, India, 2018; 382–389.
- [15] American Society for Testing and Materials. ASTM C305-14:2014. Standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency. U.S.:ASTM, 2014.
- [16] American Society for Testing and Materials. ASTM C349-18:2018. Standard practice for compressive strength of hydraulic-cement mortars. U.S.:ASTM, 2018.
- [17] American Society for Testing and Materials. ASTM C170-17:2017. Standard test method for compressive strength of dimension stone. U.S.:ASTM, 2017.
- [18] American Society for Testing and Materials. ASTM C1314-18:2018. Standard test method for compressive strength of masonry prisms. U.S.:ASTM, 2018.
- [19] Carr AJ. RUAUMOKO computer program. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 2006.

- [20] Saneinejad, A. and Hobbs, B. Inelastic Design of Infilled Frames. *Journal of Structural Engineering*, 1995; 121(4): 634–650.
- [21] Panyakapo, P. Cyclic Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings. *Engineering Structure*, 2014; 66: 10–23.