บทที่ 2
วิธีการวิจัย

2.1 สรุปประเด็นที่ต้องการศึกษา

ในการวิจัยนี้ จะสร้างแบบจำลองของกำแพงคอนกรีตบล็อกในเงื่อนไขต่างๆ เพื่อศึกษาผลของคานเอ็นต่อพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตบล็อก โดยใช้วิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์ โดยในการวิจัยนี้สามารถแยกเป็นที่ต้องการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

- อิทธิพลของการเสริมคานเอ็นต่อพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตบล็อก
- ผลของการยึดที่ฐานต่อพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตบล็อก
- อิทธิพลของอัตราส่วนระยะห่างระหว่างคานเอ็น กับความกว้างของกำแพงต่อพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตบล็อก
- การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระยะระหว่างคานเอ็นต่อความกว้างของกำแพง และอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของกำแพง
- อิทธิพลของการยึดการขยายตัวด้านข้างของกำแพงต่อพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตบล็อก

2.2 สมมุติฐานและข้อกำหนดที่ใช้ในการวิจัย

- การจำลองคอนกรีตบล็อก จะสมมุติให้มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม โดยจะตัดส่วนโค้ง ส่วนเว้าของคอนกรีตบล็อกออกทั้งหมด และจะพิจารณาลักษณะการเรียวลงของคอนกรีตบล็อก ดังนั้นด้านบนจะมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าด้านล่าง
- ลักษณะการก่อปูนจะก่อเฉพาะเปลือกบล็อกเท่านั้น
- ผิวสัมผัสระหว่างบล็อกและปูนก่อถือว่ายึดกันแบบสมบูรณ์ จะไม่มีการลื่นไถลระหว่างผิวสัมผัส
- เพื่อให้ผิวบนของกำแพงมีการเคลื่อนที่ลงเท่ากันทั้งหน้าตัดเหมือนการทดสอบและกำจัดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผิวบน เนื่องจากการใส่แรง ดังนั้นจะเพิ่มความเค้นให้แก่กำแพง โดยการเพิ่มการทรุดตัวที่ผิวบนของกำแพงให้ทรุดลงเท่ากันทั้งหน้าตัด

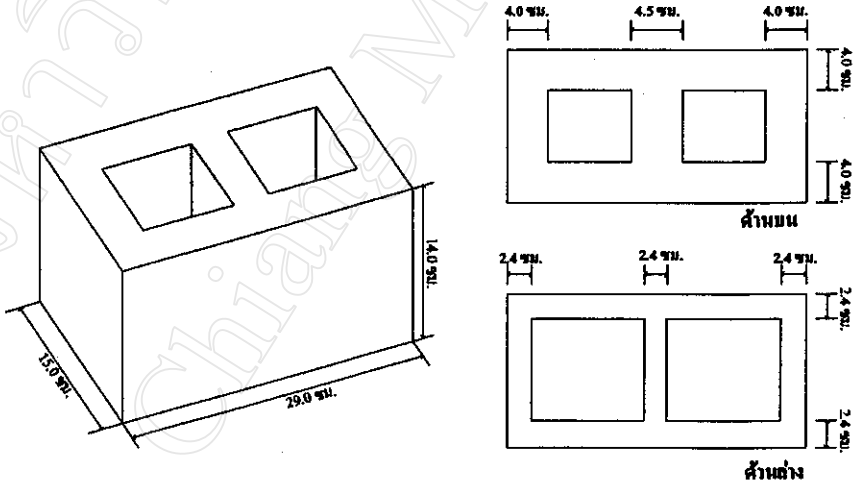
- การยึดที่ฐานของกำแพง จะถือว่าเป็นการยึดจับเฉพาะแนวดิ่ง (Only Vertical Restraint) เมื่อมีการกันการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งเท่านั้น และจะถือว่าเป็นการยึดจับ แบบยึดแน่น (Fix-end) เมื่อมีการกันการเคลื่อนที่ในทุกทิศทาง (แกน X, Y และ Z)

2.3 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

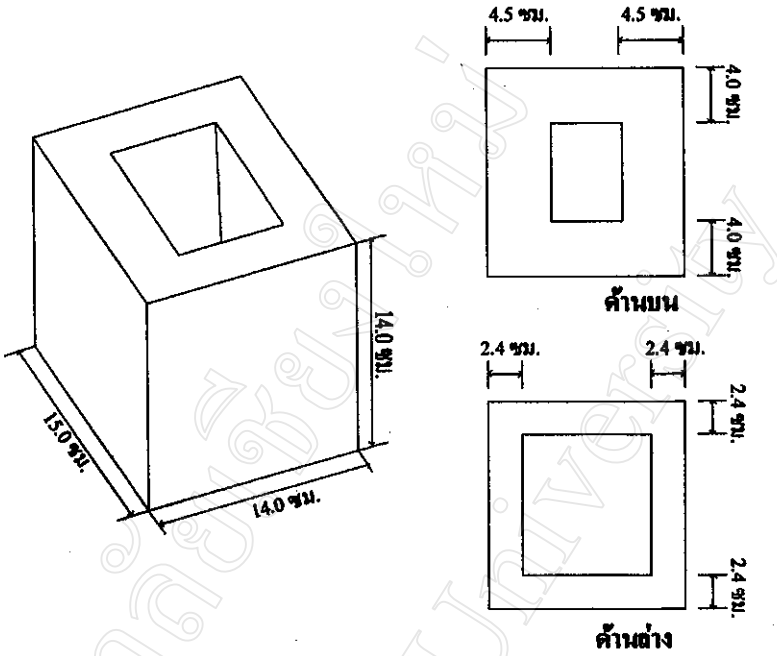
การวิจัยนี้จะเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้วิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์ กับการทดสอบของ วัจน์วงศ์ (2542) ดังนั้นคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ จะนำมาจากการทดสอบดังกล่าว

2.3.1 คอนกรีตบล็อก

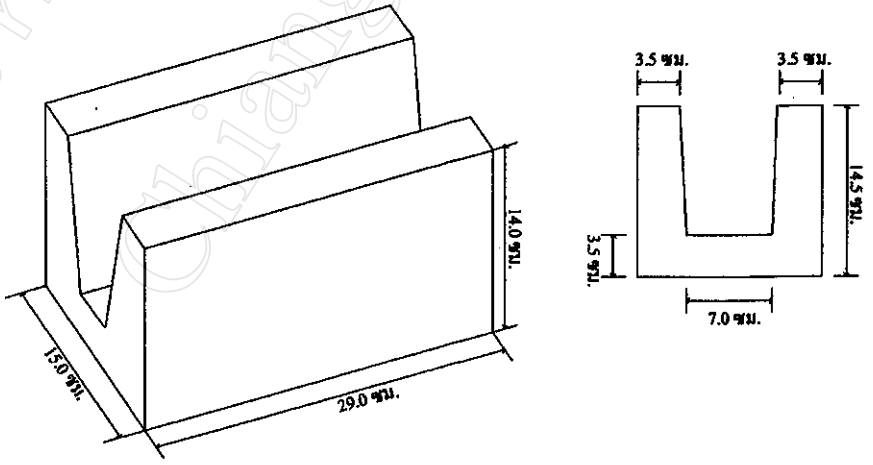
คอนกรีตบล็อกที่ใช้จะมีทั้งชนิดกลวง ชนิดครึ่งก้อน และชนิดราง ซึ่งชนิดรางจะใช้สำหรับก่อเป็นคานเอ็น คอนกรีตบล็อกนี้ผลิตโดย บริษัทซีรีนบล็อก อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ รูปร่างและขนาดของคอนกรีตบล็อกที่จะนำไปสร้างแบบจำลอง ซึ่งหักส่วนโค้ง ส่วนเว้าออกแล้ว จะเป็นดังรูปที่ 2.1 รูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 ลักษณะของคอนกรีตบล็อกชนิดกลวง



รูปที่ 2.2 ลักษณะของคอนกรีตบล็อกชนิดครึ่งก้อน



รูปที่ 2.3 ลักษณะของคอนกรีตบล็อกชนิดราง

คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก ที่จำเป็นต้องใช้ในการวิจัยมีดังนี้

ก. กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจะหาจากคอนกรีตบล็อกชนิดกลวง โดยจะถือว่าวัสดุที่นำมาผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดครึ่งก้อน และชนิดราง มีคุณสมบัติเหมือนชนิดกลวง กำลังอัดที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตบล็อกของ วัจน์วงศ์ (2542) เป็นค่ากำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกทั้งก้อน ในความเป็นจริงค่ากำลังรับแรงอัดของเนื้อคอนกรีตในส่วนต่างๆ จะไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับรูปร่างของบล็อกและวิธีการอัดบล็อก ในการวิเคราะห์โดยใช้วิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์ จะต้องนำค่ากำลังอัด (Uniaxial Compressive Stress)ของเนื้อวัสดุมาใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงต้องนำค่าที่ได้จากการทดสอบ ไปปรับค่า (Calibrate) เพื่อหากำลังอัดของเนื้อวัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อก แล้วจึงนำไปวิเคราะห์กำแพงต่อไป ซึ่งเป็นวิธีที่ Fahmy and Ghoneim (1995) ใช้มาแล้วเช่นกัน การปรับค่าจะทำโดยใช้วิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์ วิเคราะห์ตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ซึ่งในการวิเคราะห์จะเปลี่ยนค่ากำลังอัดของเนื้อวัสดุ ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ค่ากำลังอัดที่ทำให้ ผลการวิเคราะห์มีค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตบล็อกเท่ากับค่าที่ได้จากการทดสอบของ วัจน์วงศ์ (2542)

วัจน์วงศ์ (2542) ได้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 167 กก./ซม.^{2} เมื่อคิดจากพื้นที่หน้าตัดสุทธิด้านล่างของคอนกรีตบล็อก เมื่อนำไปปรับค่าจะได้กำลังอัดของเนื้อวัสดุเท่ากับ 260 กก./ซม.^{2} ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของบล็อกที่ปรับค่าแล้วดูได้จากรูป ข-1

ข. โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตบล็อก

คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้น และในการวิจัยจะกำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นแบบไบลิเนีย (Bilinear) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะถูกประมาณด้วยเส้นความชันสองเส้นคือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเริ่มต้น (Initial Modulus of Elasticity, E_{c1}) และ โมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนท์ (E_{c2}) ค่าทั้งสองนี้สามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด แต่เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ทดสอบไม่ละเอียดพอ ทำให้กราฟที่ได้ไม่สามารถแสดง ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนท์ จึงประมาณค่านี้จากสมการที่ (2.1) (Fahmy and Ghoneim, 1995)

$$E_{c2} = 0.667E_{c1} \qquad (2.1)$$

จากการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเริ่มต้นของ วัจน์วงศ์ (2542) มีค่าเท่ากับ 47,200 กก./ซม.^{2} และ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนท์มีค่าเท่ากับ 31,000 กก./ซม.^{2}

ค. กำลังดึงของคอนกรีตบล็อก

ความสามารถในการรับแรงดึงของคอนกรีตบล็อก โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 10–16 % ของกำลังอัด ในการวิจัยนี้จะกำหนดให้กำลังดึงของคอนกรีตบล็อกมีค่าเท่ากับ 15 % ของกำลังอัด ดังนั้นกำลังดึงที่ใช้มีค่าเท่ากับ 39 กก./ซม.^{2}

เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของกำลังดึงที่ใช้ จึงได้หาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงกำลังดึง กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก และปริซึม ได้ผลดังรูป ง-1 และรูป ง-4 (ในภาคผนวก ง) จากรูปแสดงให้เห็นว่าในคอนกรีตบล็อก เมื่อเพิ่มกำลังดึงของคอนกรีตบล็อกมากกว่า 15 % ค่ากำลังอัดจะลดลง เนื่องจากรูปแบบการวิบัติของคอนกรีตบล็อก จะเปลี่ยนจากวิบัติเนื่องจากความเค้นดึง ไปเป็นการวิบัติเนื่องจากความเค้นกด ส่วนในปริซึม พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังดึงของคอนกรีตบล็อก กำลังอัดของปริซึมจะเพิ่มขึ้นประมาณ 18 % จากผลที่ได้แสดงว่าในการเลือกใช้กำลังดึงของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 15 % จึงเป็นค่าที่ยอมรับได้ในกรณีที่ไม่สามารถทดสอบหาค่าที่แท้จริงได้

ง. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนแรงเฉือนของคอนกรีตบล็อก

เนื่องจากยังไม่มีการวิจัยศึกษา เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนแรงเฉือนของคอนกรีตบล็อก ปูนก่อ และปูนกรอก ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ใช้ค่าที่แนะนำโดย Fahmy and Ghoneim (1995) ดังนี้

- ถ้าการแตกร้าวเป็นแบบเปิดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.1
- ถ้าการแตกร้าวเป็นแบบปิดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.8

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองนี้ไปตรวจสอบความเหมาะสม โดยการวิเคราะห์คอนกรีตบล็อกและปริซึม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนแรงเฉือน กับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกและปริซึม ซึ่งได้ผลดังรูป ง-2 , รูป ง-3, รูป ง-5 และรูป ง-6 (ในภาคผนวก ง) จากรูปแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก และปริซึมมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อมีการเปลี่ยนค่า β_t และ β_c ดังนั้นในการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนแรงเฉือนที่ Fahmy and Ghoneim (1995) แนะนำไว้จึงมีความเหมาะสม กับตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ส่วนค่า β_t และ β_c สำหรับปูนก่อและปูนกรอก ใช้ค่าเดียวกับคอนกรีตบล็อก

จ. อัตราส่วนปัวซองของคอนกรีตบล็อก

อัตราส่วนปัวซองของคอนกรีตโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.15 – 0.2 ในการวิจัยนี้จะกำหนดให้อัตราส่วนปัวซองของคอนกรีตบล็อกมีค่าเท่ากับ 0.18 (Fahmy and Ghoneim, 1995)

2.3.2 คุณสมบัติของปูนก่อ

ปูนก่อจะใช้สำหรับเป็นตัวยึดประสานคอนกรีตบล็อกที่นำมาเรียงซ้อนกัน ซึ่งปูนก่อที่ใช้ ในการวิจัยจะใช้ตาม มาตรฐาน ASTM C 270 Type S

ก. กำลังอัดของปูนก่อ

กำลังอัดของปูนก่อจะใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่าง รูปทรงกระบอกขนาด 10 x 20 ซม. ซึ่งกำลังอัดของปูนก่อของ วัจน์วงศ์ (2542) มีค่าเท่ากับ 184 กก./ซม.^{2}

ข. โมดูลัสยืดหยุ่นของปูนก่อ

การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของปูนก่อ จะทำเช่นเดียวกับคอนกรีตบล็อก แต่สมการที่ใช้ประมาณค่าโมดูลัสซีแคนท์ จะใช้สมการที่ (2.2)

$$E_{m2} = 0.5E_{m1} \qquad (2.2)$$

จากการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเริ่มต้นของ วัจน์วงศ์ (2542) มีค่าเท่ากับ 60,500 กก./ซม.^{2} และ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนท์มีค่าเท่ากับ 30,250 กก./ซม.^{2}

ค. กำลังดึงของปูนก่อ

ความสามารถในการรับแรงดึงของปูนก่อจะกำหนดให้มีค่าประมาณ 15 % ของกำลังอัด เช่นเดียวกับคอนกรีตบล็อก ดังนั้นกำลังดึงของปูนก่อมีค่าเท่ากับ 27.6 กก./ซม.^{2}

ง. อัตราส่วนปัวซองของปูนก่อ

อัตราส่วนปัวซองของปูนก่อจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.2 (Fahmy and Ghoneim, 1995)

2.3.3 คุณสมบัติของปูนกรอก

ปูนกรอกจะใช้สำหรับกรอกลงในช่องว่างของคอนกรีตบล็อกชนิดราง สำหรับทำคานเอ็น ซึ่งปูนกรอกที่ใช้ ในการวิจัยจะใช้ตาม มาตรฐาน ASTM C 476

ก. กำลังอัดของปูนกรอก

กำลังอัดของปูนกรอกจะใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาด 10 x 20 ซม. ซึ่งกำลังอัดของปูนกรอกของวัจน์วงศ์ (2542) มีค่าเท่ากับ 204 กก./ซม.^{2}

ข. โมดูลัสยืดหยุ่นของปูนกรอก

การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของปูนกรอก จะทำเช่นเดียวกับคอนกรีตบล็อก แต่สมการที่ใช้ประมาณค่าโมดูลัสซีแคนท์ จะใช้สมการที่ (2.3)

$$E_{g2} = 0.5E_{g1} \qquad (2.3)$$

จากการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเริ่มต้นของ วัจน์วงศ์ (2542) มีค่าเท่ากับ 23,700 กก./ซม.^{2} และ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนท์มีค่าเท่ากับ 11,800 กก./ซม.^{2}

ค. กำลังดึงของปูนกรอก

ความสามารถในการรับแรงดึงของปูนกรอก จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 15 % ของกำลังอัด เช่นเดียวกับคอนกรีตบล็อก ดังนั้นกำลังดึงของปูนกรอกมีค่าเท่ากับ 30.6 กก./ซม.^{2}

ง. อัตราส่วนปัวซองของปูนกรอก

อัตราส่วนปัวซองของปูนกรอกจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.2 (Fahmy and Ghoneim, 1995)

2.3.4 คุณสมบัติของเหล็กเสริม

เหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็ก SD30 เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. มีค่ากำลังดึงครากเท่ากับ 3,000 กก./ซม.^{2} มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเริ่มต้นเท่ากับ 2,000,000 กก./ซม.^{2} และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นซีแคนท์จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ เหล็กจะถูกนำไปเสริมในคานเอ็น โดยจะใช้จำนวน 2 เส้นตลอดความยาวของคานเอ็น

อัตราส่วนปัวซองของเหล็กเสริม จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.3 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้โดยทั่วไป

2.4 แผนการวิเคราะห์และการวิเคราะห์พฤติกรรม

2.4.1 แผนการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์จะสร้างแบบจำลองของกำแพงคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ชุด โดยแต่ละชุดจะมี คานเอ็น ความสูง อัตราส่วนระยะระหว่างคานเอ็นต่อความกว้างของกำแพง (h/w) และอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของกำแพง (H/w) เป็นตัวแปร นอกจากนี้ในแต่ละชุดจะแยกเป็น กรณีที่มีการยึดที่ฐานเฉพาะแนวดิ่ง และกรณีที่มีการยึดที่ฐานแบบยึดแน่น ส่วนด้านบนของกำแพงจะมีการยึดแบบปลายอิสระเหมือนกันทุกกำแพง ขนาดและเงื่อนไขของกำแพงที่นำมาสร้างแบบจำลองแสดงไว้ในตาราง 2.1

2.4.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมของกำแพงจากชุดทดสอบ

ก. พฤติกรรมของกำแพงเมื่อมีคานเอ็นเสริมเข้ามาในกำแพง สามารถพิจารณาเปรียบเทียบจากชุดทดสอบ SN และชุดทดสอบ S

ข. อิทธิพลของคานเอ็น เมื่อมีระยะระหว่างคานเอ็นต่างกัน สามารถพิจารณาเปรียบเทียบได้จาก ชุดทดสอบ S ชุดทดสอบ M และชุดทดสอบ C

ค. อิทธิพลของคานเอ็นที่มีอัตราส่วน h/w เท่ากัน สามารถพิจารณาเปรียบเทียบจากชุดทดสอบ S และชุดทดสอบ T

ง. อิทธิพลของการยึดที่ปลายล่างของกำแพง กับอัตราส่วน h/w ที่ต่างกันของกำแพง สามารถพิจารณาเปรียบเทียบจาก ชุดทดสอบ S ชุดทดสอบ M และชุดทดสอบ C

จ. การประยุกต์โปรแกรมเพื่อใช้กับกำแพงลักษณะอื่นนอกเหนือจาก การศึกษาผลของคานเอ็น จะพิจารณาชุดทดสอบ SN3 เป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมของกำแพงที่มีการยึดการขยายตัวด้านข้างของกำแพงทั้งสองด้าน ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นกำแพงที่มีความกว้างมากๆ

2.5 การสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการวิจัย

2.5.1 แบบจำลองของคอนกรีตบล็อก

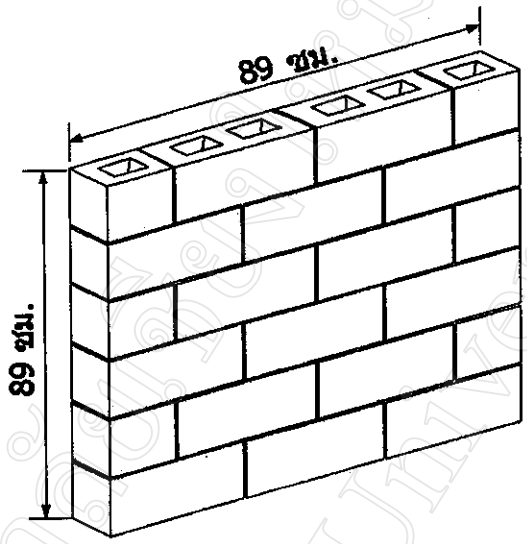
คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุหลักของกำแพง ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองและการแบ่งชิ้นส่วนของคอนกรีตบล็อกจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อความถูกต้องและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ การแบ่งชิ้นส่วนจึงต้องให้ได้จำนวนชิ้นส่วนน้อยที่สุดเพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณ และต้องให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องเช่นเดียวกับการแบ่งชิ้นส่วนจำนวนมาก จึงต้องมีการหาจำนวน

ตาราง 2.1 ขนาดและเงื่อนไขต่างๆ ของกำแพงที่ใช้สร้างแบบจำลอง

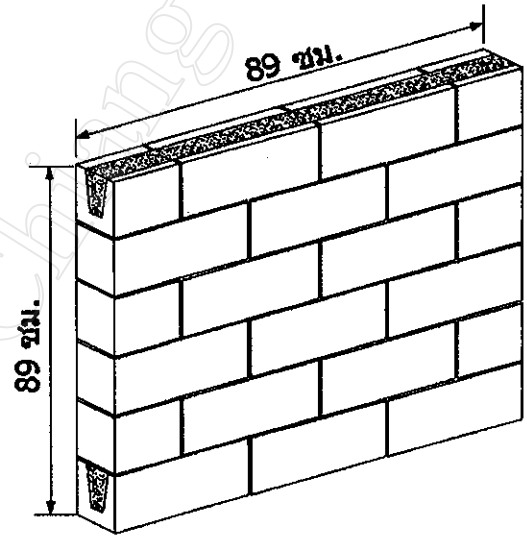
ชุดทดสอบ	ความกว้าง (ม.)	ความสูง (ม.)	ตำแหน่งของคานเอ็นในกำแพง	เงื่อนไขการยึดที่ฐาน	อัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของกำแพง	อัตราส่วนความห่างของคานเอ็นต่อความกว้างของกำแพง	แสดงในรูปที่
SN1	0.89	0.89	ไม่มีคานเอ็น	ยึดเฉพาะแนวดิ่ง	1	-	2.4
SN2	0.89	0.89	ไม่มีคานเอ็น	ยึดทั้งสามแกน	1	-	2.4
SN3*	0.89	0.89	ไม่มีคานเอ็น	ยึดเฉพาะแนวดิ่ง	1	-	2.4
S1	0.89	0.89	ด้านบนและล่าง	ยึดเฉพาะแนวดิ่ง	1	0.69	2.5
S2	0.89	0.89	ด้านบนและล่าง	ยึดทั้งสามแกน	1	0.69	2.5
M1	0.89	1.19	ด้านบนและล่าง	ยึดเฉพาะแนวดิ่ง	1.34	1.02	2.6
M2	0.89	1.19	ด้านบนและล่าง	ยึดทั้งสามแกน	1.34	1.02	2.6
T1	0.89	1.64	ด้านบน, กลาง และล่าง	ยึดเฉพาะแนวดิ่ง	1.84	0.69	2.7
T2	0.89	1.64	ด้านบน, กลาง และล่าง	ยึดทั้งสามแกน	1.84	0.69	2.7
C1	0.89	1.64	ด้านบนและล่าง	ยึดเฉพาะแนวดิ่ง	1.84	1.53	2.8
C2	0.89	1.64	ด้านบนและล่าง	ยึดทั้งสามแกน	1.84	1.53	2.8

* กำแพง SN3 มีการยึดการขยายตัวด้านข้างทั้งสองร่วมด้วย

หมายเหตุ : ความสูงของกำแพง (H) ระยะระหว่างคานเอ็น (h) และ ความกว้างของกำแพง (w) ดูจากรูป ข-2

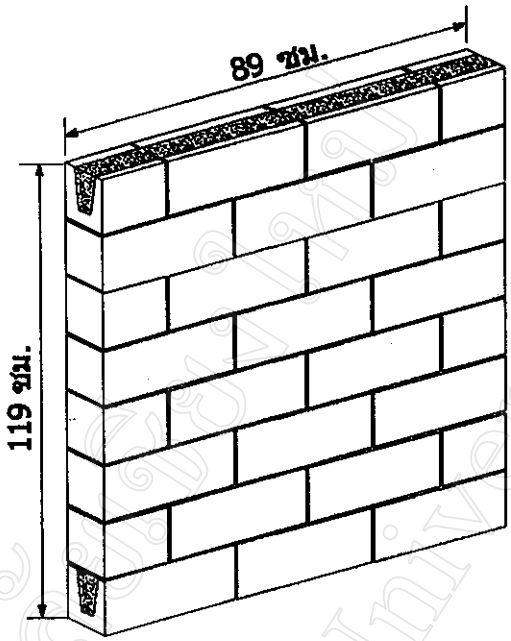


รูปที่ 2.4 ลักษณะของกำแพงชุดทดสอบ SN

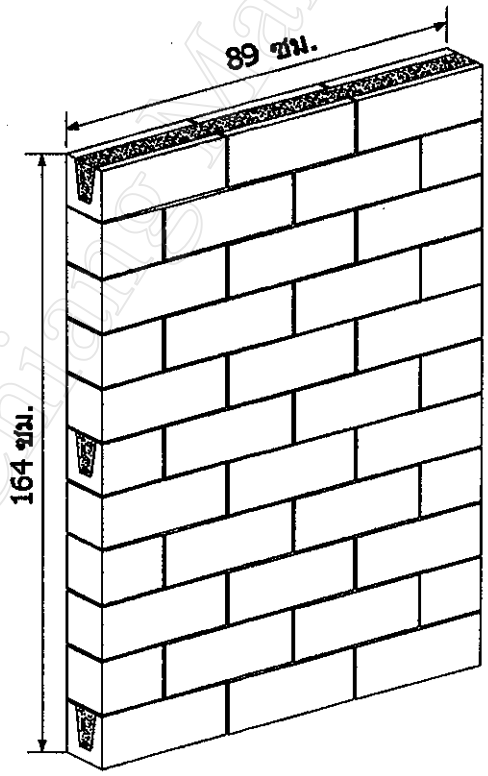


รูปที่ 2.5 ลักษณะของกำแพงชุดทดสอบ S

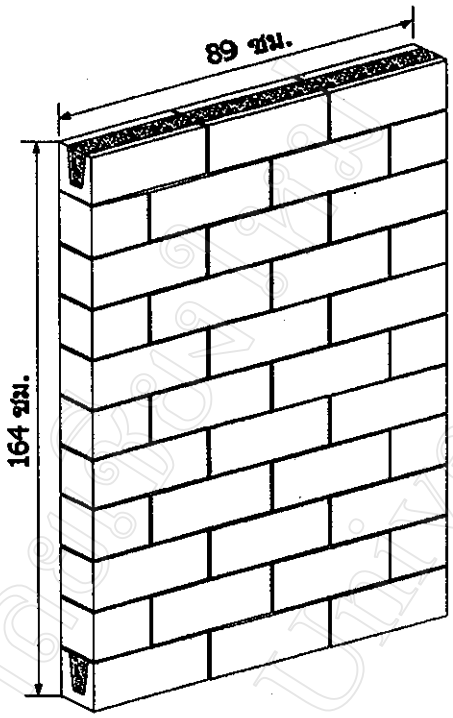
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูปที่ 2.6 ลักษณะของกำแพงชุดทดสอบ M



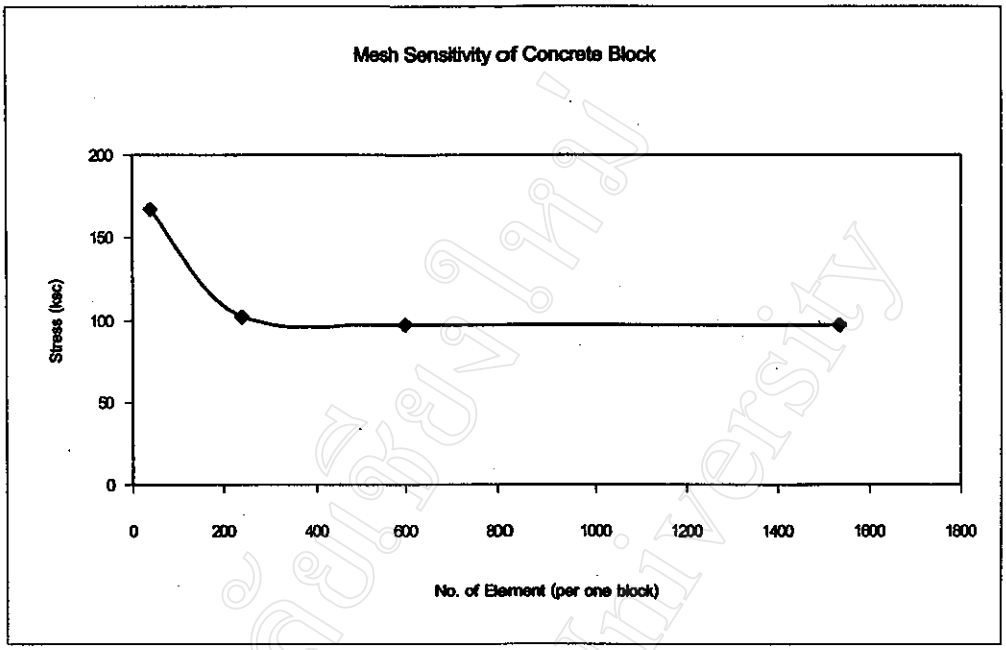
รูปที่ 2.7 ลักษณะของกำแพงชุดทดสอบ T



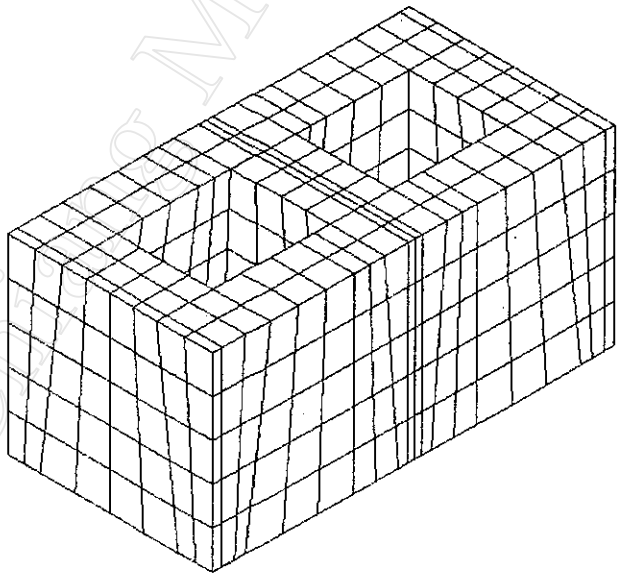
รูปที่ 2.8 ลักษณะของกำแพงชุดทดสอบ C

ชิ้นส่วนที่เหมาะสม ซึ่งหาได้จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลง ต่อจำนวนชิ้นส่วน (Mesh Sensitivity Curve) ในการสร้างกราฟดังกล่าว จะใช้คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกดังนี้ กำลังอัดมีค่าเท่ากับ 167 กก./ซม.^{2} โมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 47,200 กก./ซม.^{2} และโมดูลัสซีแคนท์มีค่าเท่ากับ 31,000 กก./ซม.^{2} แล้ววิเคราะห์หาค่ากำลังอัดประลัยโดยใช้โปรแกรม ANSYS การวิเคราะห์จะเริ่มจาก การสร้างแบบจำลองของคอนกรีตบล็อก ให้มีจำนวนชิ้นส่วนน้อย แล้วหาค่ากำลังอัดประลัย หลังจากนั้นเพิ่มจำนวนชิ้นส่วนของแบบจำลองขึ้นเรื่อยๆ จนค่ากำลังอัดที่ได้คงที่ ซึ่งจากการวิเคราะห์จะได้ค่าดังรูปที่ 2.9

จากกราฟจะพบว่ากำลังของคอนกรีตบล็อกจะเริ่มคงที่ เมื่อมีจำนวนชิ้นส่วนมากกว่า 600 ชิ้น ดังนั้นการวิจัยนี้จะแบ่งชิ้นส่วนของคอนกรีตบล็อกใน 1 ก้อนเป็น 600 ชิ้น ซึ่งจะมีจำนวนจุด (Node) ทั้งหมด 534 จุด ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 แสดง Mesh Sensitivity Curve ของคอนกรีตบล็อก

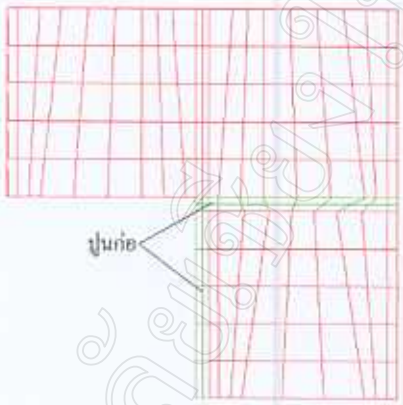


รูปที่ 2.10 แบบจำลองของคอนกรีตบล็อก

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

2.5.2 แบบจำลองของปูนก่อ

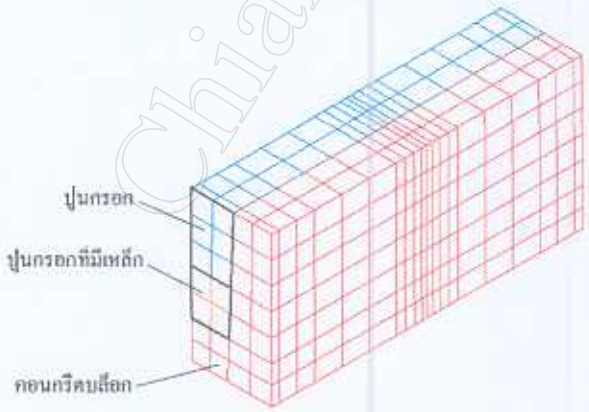
ปูนก่อเป็นตัวยึดประสานระหว่างคอนกรีตบล็อก ในการวิจัยนี้กำหนดความหนาปูนก่อเท่ากับ 1 ซม. การแบ่งชิ้นส่วนจะแบ่งปูนก่อในแนวราบเป็นสองชั้น และแบ่งปูนก่อในแนวดิ่งเป็นสองคอลัมน์ ส่วนการแบ่งในด้านที่ติดกับคอนกรีตบล็อก จะขึ้นอยู่กับลักษณะของคอนกรีตบล็อกเป็นหลัก ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แบบจำลองของปูนก่อ

2.5.3 แบบจำลองของคานเอ็น

คานเอ็นจะประกอบไปด้วย คอนกรีตบล็อกชนิดราง เหล็กเสริม และปูนกรอก แบบจำลองจะแยกปูนกรอกเป็นสองส่วน คือส่วนบนและส่วนล่าง โดยส่วนบนจะเป็นปูนกรอกล้วน ส่วนชั้นล่างจะเป็นปูนกรอกที่มีเหล็กเสริมกระจายอยู่ การแบ่งชิ้นส่วนของคานเอ็นจะแบ่งตามการวางตัวของคอนกรีตบล็อกที่อยู่ติดกับคานเอ็น แบบจำลองของคานเอ็นจะเป็นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แบบจำลองของคานเอ็น (แสดงครึ่งก้อน)

2.5.4 แบบจำลองของกำแพงชุดทดสอบต่างๆ

เนื่องจากแบบจำลองของกำแพงมีขนาดใหญ่ ทำให้จำนวนชิ้นส่วนมีจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณนานมาก ดังนั้นจึงจะใช้การวิเคราะห์เพียง หนึ่งในสี่ของกำแพง โดยจะใช้คุณสมบัติการสมมาตรของกำแพง โดยระนาบสมมาตรคือ ระนาบกึ่งกลางความหนา (ระนาน YZ) และระนาบกึ่งกลางความกว้างของกำแพง (ระนาบ XY)

ก. แบบจำลองของชุดทดสอบ SN

แบบจำลองของชุดทดสอบ SN จะประกอบด้วยจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 3,740 ชิ้นและมีจำนวนจุด 5,812 จุด ดังรูปที่ 2.13

ข. แบบจำลองของชุดทดสอบ S

แบบจำลองของชุดทดสอบ S จะประกอบด้วยจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 4,532 ชิ้น และมีจำนวนจุด 6,770 จุด ดังรูปที่ 2.14

ค. แบบจำลองของชุดทดสอบ M

แบบจำลองของชุดทดสอบ M จะประกอบด้วยจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 5,828 ชิ้นและมีจำนวนจุด 8,716 จุด ดังรูปที่ 2.15

ง. แบบจำลองของชุดทดสอบ T

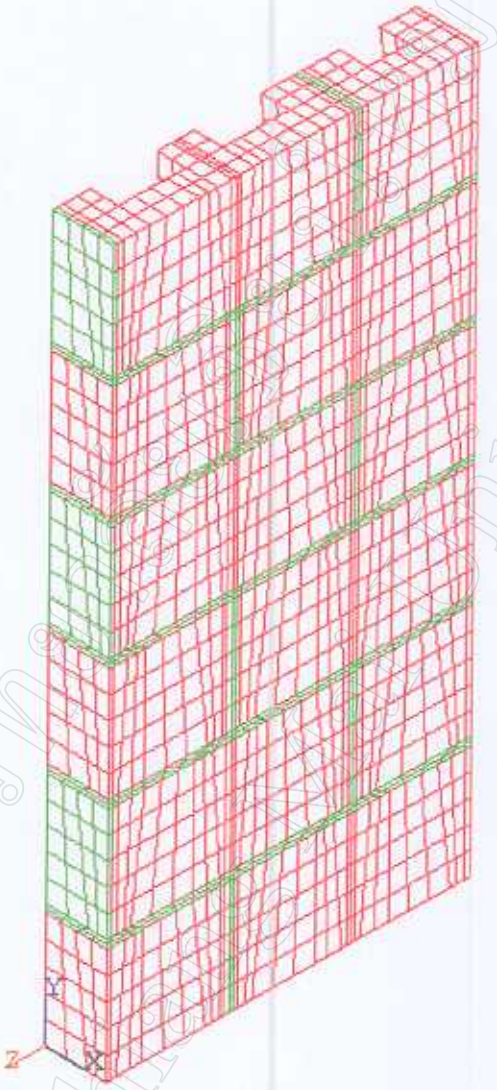
แบบจำลองของชุดทดสอบ T จะประกอบด้วยจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 8,168 ชิ้นและมีจำนวนจุด 12,097 จุด ดังรูปที่ 2.16

จ. แบบจำลองของชุดทดสอบ C

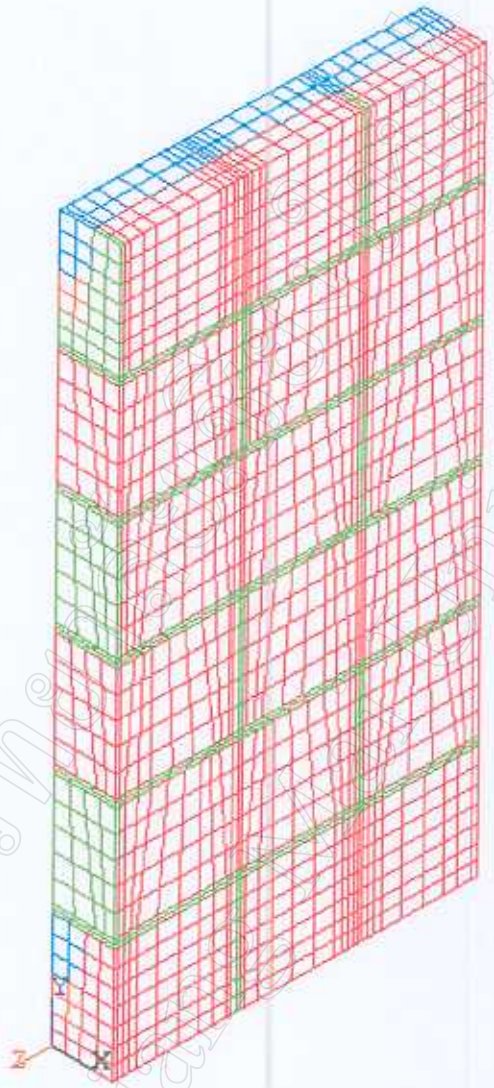
แบบจำลองของชุดทดสอบ C จะประกอบด้วยจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 7,782 ชิ้นและมีจำนวนจุด 11,613 จุด ดังรูปที่ 2.17

ตาราง 2.2 เปรียบเทียบจำนวนชิ้นส่วนของชุดทดสอบ

ชุดทดสอบ	จำนวนชิ้นส่วน	จำนวนจุด
SN	3,740	5,812
S	4,532	6,770
M	5,828	8,716
T	8,168	12,097
C	7,782	11,613

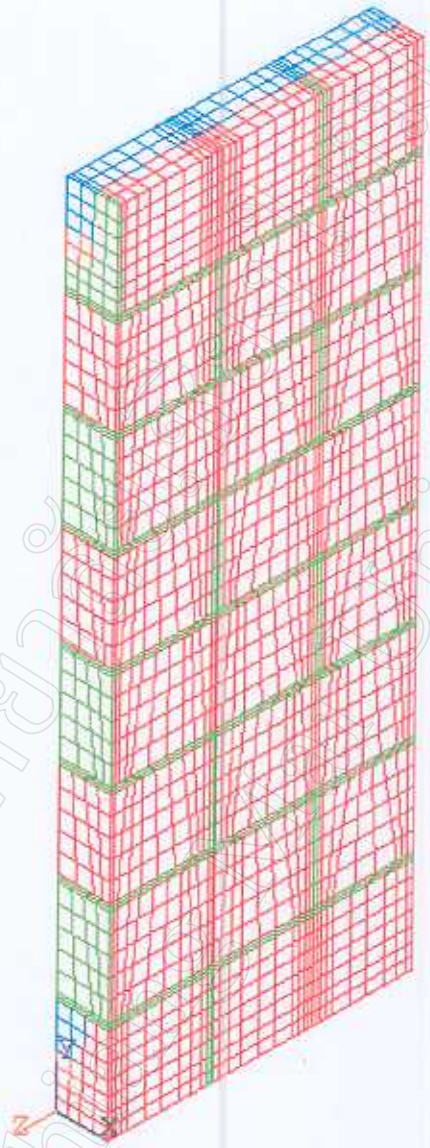


รูปที่ 2.13 แบบจำลองของชุดทมดสอบ SN (ระนาบสมมาตรคือ ระนาบ XY และ YZ)



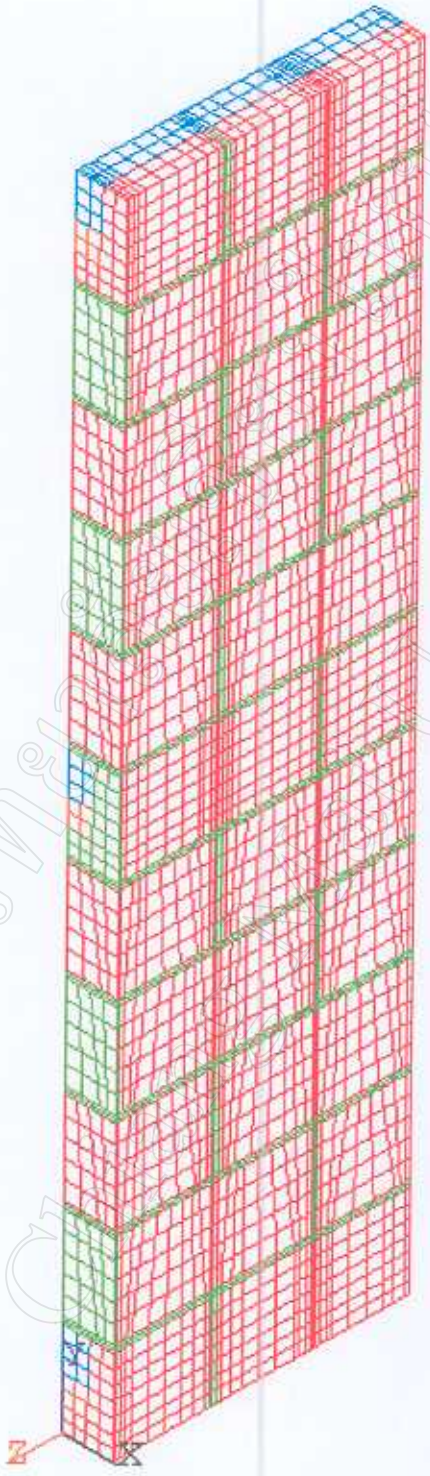
รูปที่ 2.14 แบบจำลองของชุดทดสอบ S (ระนาบสมมาตรคือ ระนาบ XY และ YZ)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



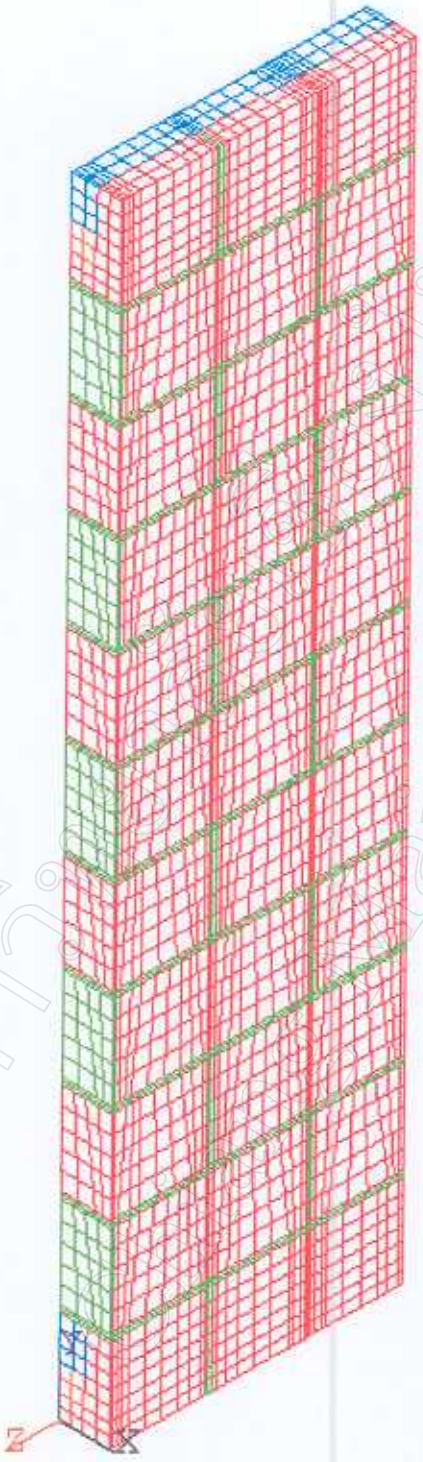
รูปที่ 2.15 แบบจำลองของชุดทดสอบ M
(ระนาบสมมาตรคือ ระนาบ XY และ YZ)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูปที่ 2.16 แบบจำลองของชุดทดสอบ T
(ระนาบสมมาตรคือ ระนาบ XY และ YZ)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

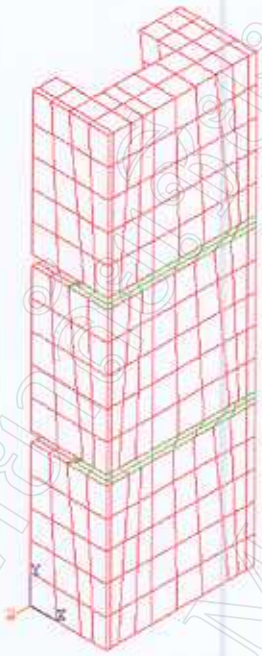


รูปที่ 2.17 แบบจำลองของชุดทดสอบ C
(ระนาบสมมาตรคือ ระนาบ XY และ YZ)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

2.6 การวิเคราะห์ปริซึมคอนกรีตบล็อก

เพื่อตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ และแบบจำลองของคอนกรีตบล็อก และปูนกรอกที่ใช้ในการวิเคราะห์ ว่าเหมาะสมหรือไม่ จึงทำการวิเคราะห์ปริซึมคอนกรีตบล็อกที่มีการเรียงซ้อนกันสามก้อน ในการวิเคราะห์จะใช้คุณสมบัติการสมมาตรของปริซึม ดังนั้นจะสร้างแบบจำลองเพียงหนึ่งในสี่ของปริซึม ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แบบจำลองของปริซึมคอนกรีตบล็อก

ผลการวิเคราะห์พบว่า กำลังอัดของปริซึมมีค่าเท่ากับ 32 กก/ซม.^{2} พฤติกรรมของปริซึมดูได้จากรูป ง-7 (ในภาคผนวก ง) ซึ่งมีค่าประมาณ 70 % เมื่อเทียบกับการทดลองของวัจน์วงศ์ (2542) อย่างไรก็ตามจากรูป ง-4 พบว่าหากต้องการเพิ่มกำลังอัดของปริซึมให้สูงขึ้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มกำลังดึงของคอนกรีตบล็อก แต่เนื่องจากยังไม่มีการทดสอบเพื่อหาค่าที่ถูกต้องของกำลังดึงของตัวอย่างที่นำมาวิจัย จึงใช้ค่าที่ใช้โดยทั่วไปคือ 15 % ของกำลังอัด

การวิบัติของปริซึม เกิดจากการแยกตัวกลางระนาบ และมีการแตกหลุดของปูนก่อร่วมด้วย ซึ่งเป็นการวิบัติในลักษณะเดียวกับการทดสอบ ปริซึมของวัจน์วงศ์ (2542) จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ และแบบจำลองที่ใช้มีความเหมาะสม กับตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University