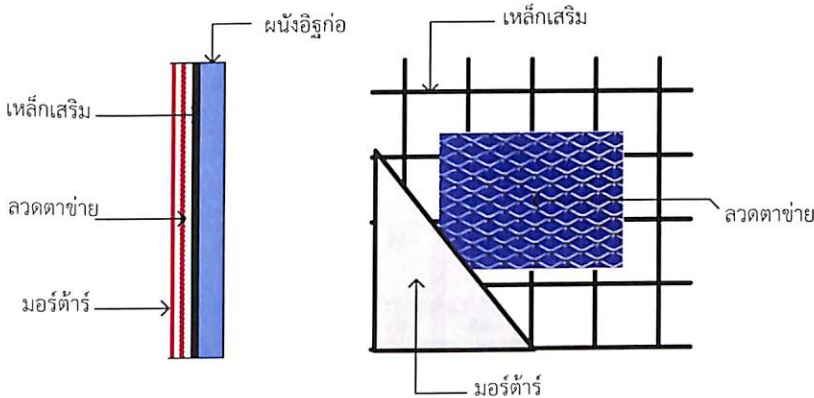


บทที่ 4

การทดสอบโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.1 เทคนิคในการเสริมกำลังผนังอิฐก่อโดยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์ (Ferrocement)

เทคนิคในการเสริมกำลังผนังอิฐก่อจะใช้การเสริมกำลังด้วยวิธี เฟอร์โรซีเมนต์ (Ferrocement) ซึ่งเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยระหว่างมอร์ตาร์กับเหล็กเสริม โดยธรรมชาติซีเมนต์เป็นวัสดุที่แข็งเปราะ เมื่อนำมาใช้กับวัสดุที่มีการกระจายแรง เช่น ลวดตาข่าย จะทำให้คุณสมบัติดีขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของแรงจึงทำให้ ต้านทานการแตกร้าว กำลังรับแรงดึง แรงดัด ต้านทานแรงกระแทกและการล้าได้ดี โดยมีลักษณะการเสริมดังแสดงในรูปที่ 4.1

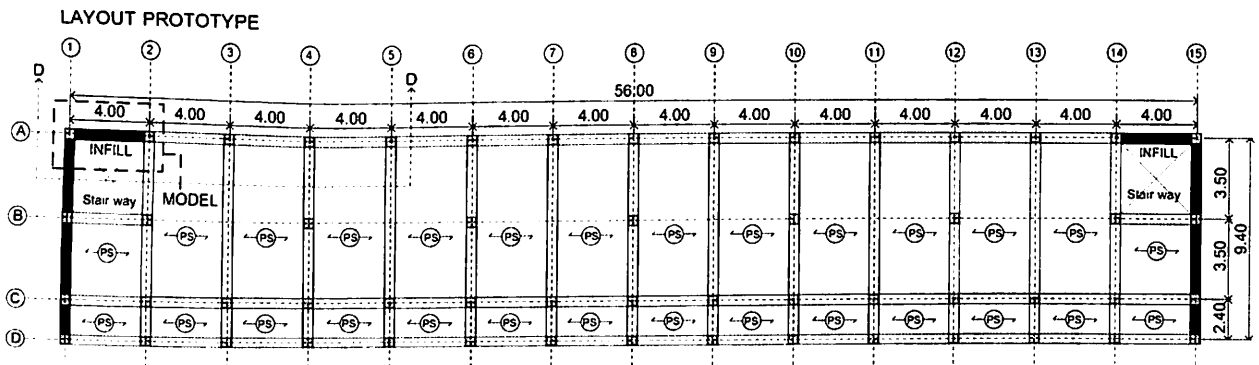


รูปที่ 4.1 รูปแบบการเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์

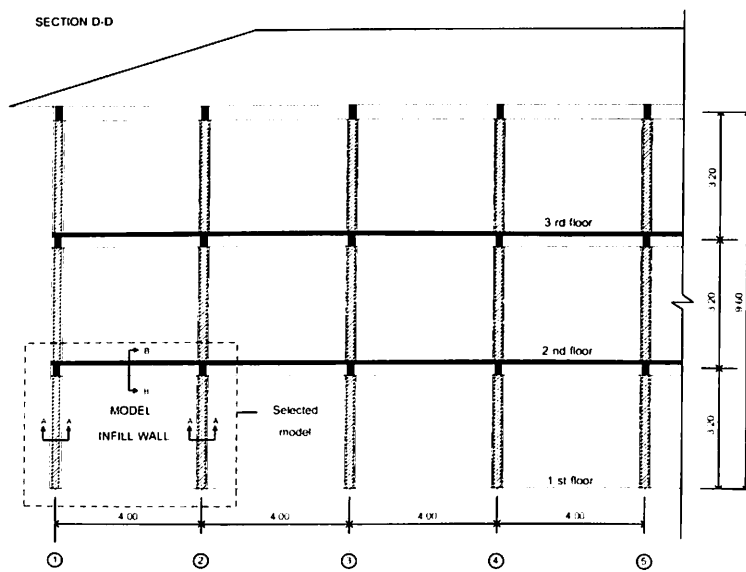
4.2 ลักษณะต้นแบบของโครงสร้าง

การศึกษาในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้นซึ่งเป็นอาคารเรียนในสังกัดกระทรวงศึกษาธิการเพื่อเป็นต้นแบบในการสร้างตัวอย่างการทดสอบ โดยโครงสร้างเป็นอาคารที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว เป็นเพียงการออกแบบเพื่อรับน้ำหนักตามแนวแกนเท่านั้น โดยใช้มาตรฐานการออกแบบของ EIT 1007-34 ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกับ ACI 318-63 โครงสร้างอาคารในงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 สำหรับโครงสร้างจะมีความสมมาตรซึ่งดูได้จากแบบแปลนพื้นและรูปด้านของอาคาร ซึ่งอาคารมีขนาดความกว้าง 9.40 เมตร ความยาวของอาคาร 56.00 เมตร และมีความสูงของอาคารจากพื้นถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของคานชั้นบนสุดเท่ากับ 9.60 เมตร ส่วนของผนังอิฐก่อจะอยู่บริเวณแกน A, C, 1, 15 ของแบบแปลนพื้น และโครงสร้างข้อแข็งจะอยู่ในตำแหน่งของแกน 1, 15, A/1-2, A/14-15, C/1-2, C/14-15 ซึ่งก่อด้วยอิฐมอญเต็มผนัง ส่วนของผนังที่เป็นช่องเปิดซึ่งเป็นส่วนของหน้าต่างและประตูอยู่ในตำแหน่งของแกน A/2-3 ถึง A/13-14, และ C/2-3 ถึง C/13-14 สำหรับพื้นของอาคารเป็นพื้นสำเร็จรูปวางบนคานคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับคานและเสาเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยมีค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากับ 21 MPa และมีกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมเท่ากับ 24.0 MPa น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบในส่วนของพื้นของอาคารใช้น้ำหนักบรรทุกจรขนาด 2.0 kN/m² ในส่วนหลังคาใช้น้ำหนักบรรทุกจรขนาด 0.3 kN/m² และหน่วยน้ำหนักของผนังอิฐก่อเท่ากับ 1.8 kN/m²

รูปที่ 4.2 อาคารเรียนคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการสร้างต้นแบบ



รูปแบบแปลน

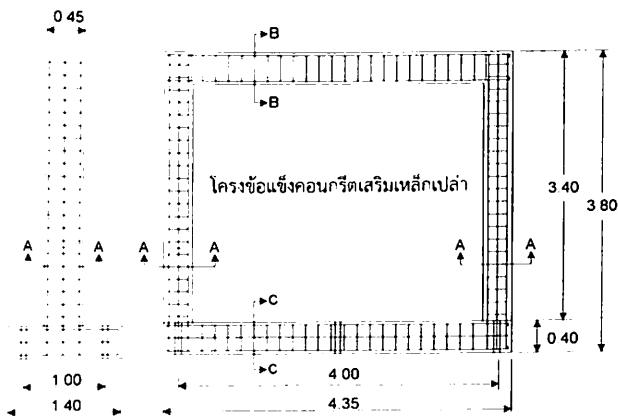


รูปตัด D-D

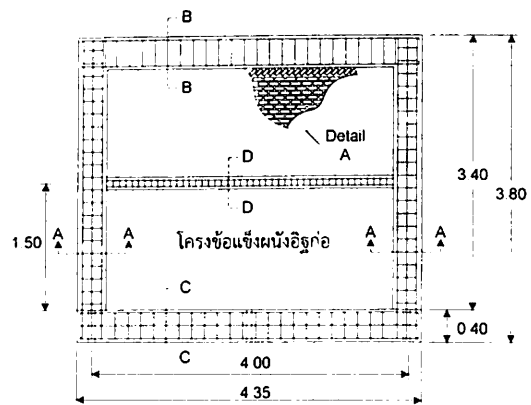
รูปที่ 4.3 แปลนพื้นและแปลนรูปตัด ของอาคารต้นแบบ

4.3 ลักษณะโมเดลต้นแบบ

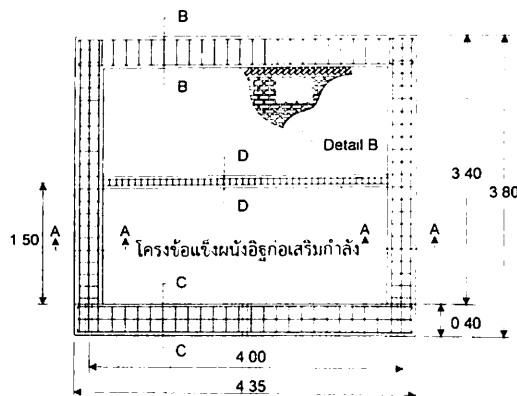
สำหรับการสร้างโครงข้อแข็งต้นแบบคอนกรีตเสริมเหล็กในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้ทำการเลือกที่ตำแหน่งของแกน A/1-2, A/14-15, C/1-2, C/14-15 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งโครงข้อแข็งมีขนาดความกว้าง 4.35 เมตร และความสูง 3.8 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.35×0.45 เมตร ซึ่งมีอัตราส่วนของการเสริมเหล็ก ρ_g เท่ากับ 2.49% (ρ_g คืออัตราส่วนของพื้นที่เหล็กเสริมต่อพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต) คานคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.20×0.40 เมตร ซึ่งมีอัตราส่วนของการเสริมเหล็ก ρ_g เท่ากับ 1.10% และฐานของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาดความกว้าง 1.40 เมตร และมีความหนา 0.4 เมตร ซึ่งมีอัตราส่วนของการเสริมเหล็ก ρ_g เท่ากับ 0.85% ตัวอย่างต้นแบบที่ใช้ในการทดสอบเป็นโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 1 ชั้น โดยทำการสร้างขนาดเท่าของจริงในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งประกอบด้วย ตัวอย่างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีผนังอิฐก่อ (BF) ตัวอย่างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ (W) และตัวอย่างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีก (W-SR) ดังแสดงในรูปที่ 4.4ก ,4.4ข และ4.4ค ตามลำดับ



ก) โครงข้อแข็งเปล่า (BF)



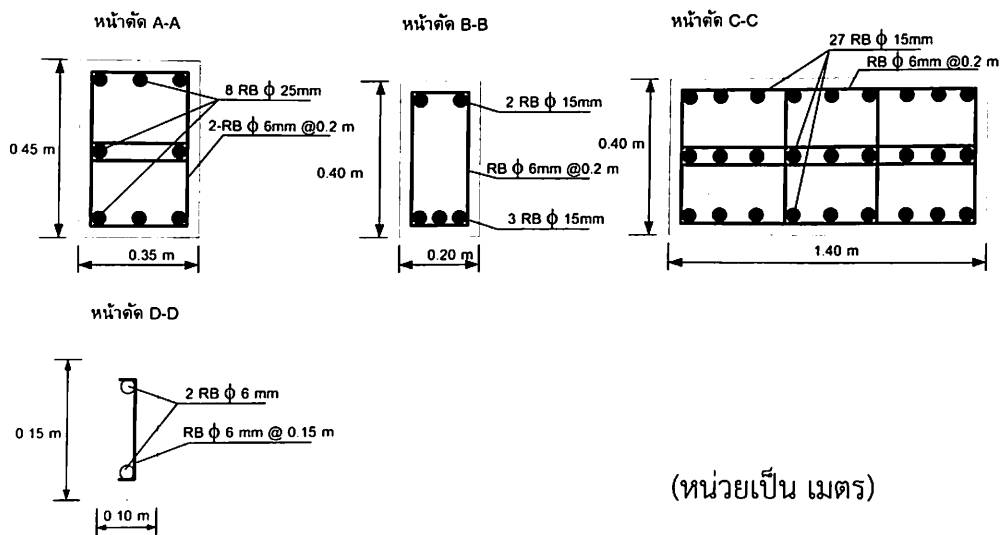
ข) โครงข้อแข็งผนังอิฐก่อ (W)



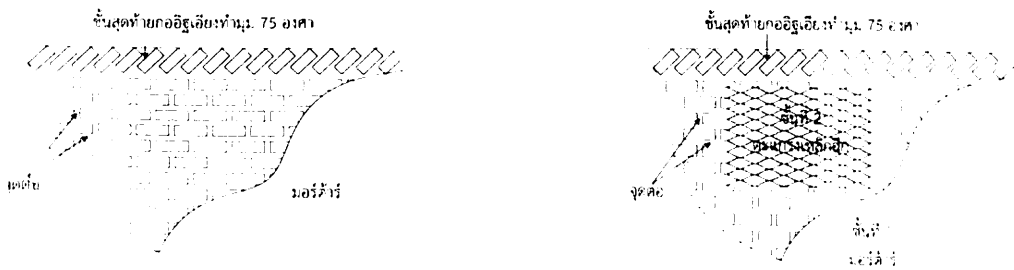
ค) โครงข้อแข็งผนังอิฐก่อเสริมกำลัง (W-SR)

รูปที่ 4.4 โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กต้นแบบ

สำหรับตัวอย่างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีผนังอิฐก่อ (BF) จะมีลักษณะของเสาแข็งแรงและคานอ่อน (strong column and weak beam) โดยมีรายละเอียดของการเสริมเหล็กดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งโครงข้อแข็งไม่สามารถรับกำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ เนื่องจากเสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีระยะของเหล็กปลอกที่ห่างจนเกินไปรวมถึงการที่ไม่ทำการดัดงอเหล็กปลอกให้เป็นไปตามมาตรฐาน สำหรับตัวอย่างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ (W) จะใช้การก่ออิฐแบบครึ่งแผ่น โดยก่อตามแนวนอนตลอดความสูงของผนังไปจนถึงได้คานด้านบนของโครงข้อแข็ง ที่บริเวณแนวก่อระหว่างผนังชั้นสุดท้ายและคานจะก่อปิดด้วยการก่ออิฐเอียงทำมุม 75 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และมีการเทคานเอนทับหลังที่ตำแหน่งบริเวณส่วนกลางของผนังอิฐก่อเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับโครงสร้าง สำหรับตัวอย่างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีก (W-SR) ผนังอิฐก่อจะทำการก่อเหมือนตัวอย่างที่ไม่มีการเสริมกำลังและทำการฉาบด้วยปูนฉาบ หลังจากปูนฉาบเกิดการแข็งตัวจะทำการเตรียมผิวของผนังให้มีความขรุขระ และใช้แผ่นตะแกรงเหล็กฉีกในการเสริมกำลังยึดติดกับผนังโดยใช้น็อตในการยึดติดกับผนังเดิม หลังจากนั้นทำการฉาบปิดด้วยปูนฉาบอีกครั้ง ตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างจะทดสอบภายใต้แรงกระทำทางด้านข้างแบบวัฏจักรดังแสดงในรูปที่ 4.7 ,4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 หน้าตัดการเสริมเหล็กของ เสาเอน เสา คานและฐาน คอนกรีตเสริมเหล็ก



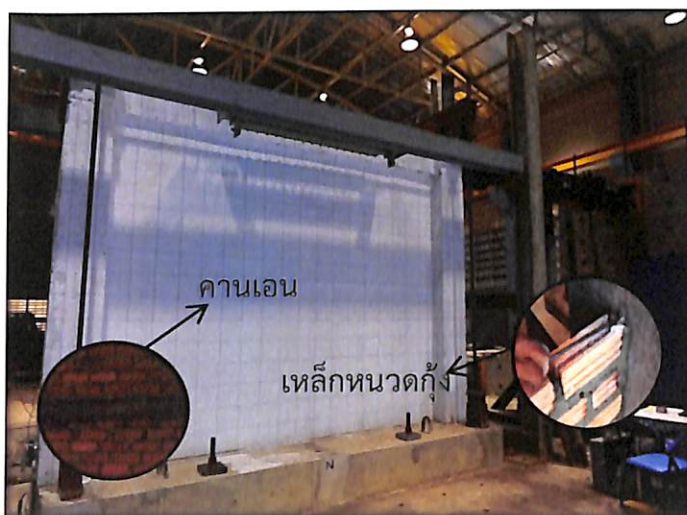
ก) แบบ A - รูปแบบผนังในตัวอย่าง W

ข) แบบ B - รูปแบบผนังในตัวอย่าง W-SR

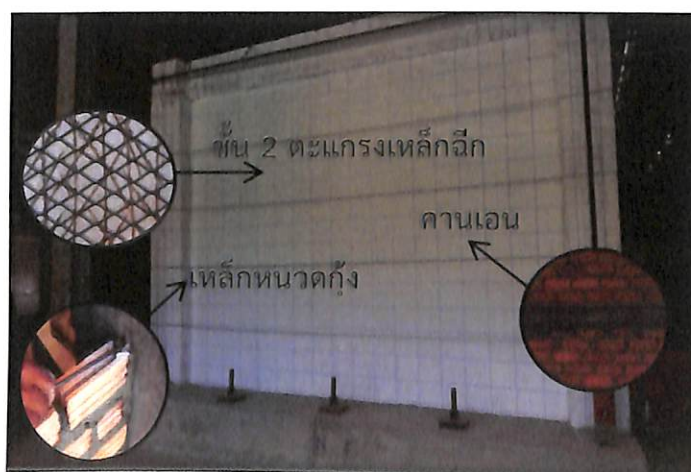
รูปที่ 4.6 รูปแบบผนังอิฐก่อของตัวอย่าง W และ W-SR



รูปที่ 4.7 โครงข้อแข็งเปล้า (BF)



รูปที่ 4.8 โครงข้อแข็งผนังอิฐก่อ (W)



รูปที่ 4.9 โครงข้อแข็งผนังอิฐก่อเสริมกำลัง (W-SR)

โดยมีขั้นตอนการสร้างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กจากแบบแปลนก่อสร้างดังแสดงใน รูปที่ 4.4 ได้ทำการก่อสร้างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีขั้นตอนดำเนินการก่อสร้างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมตามอาคารต้นแบบ ดังนี้

- 1) ทำการผูกเหล็กเสริมฐานโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.10



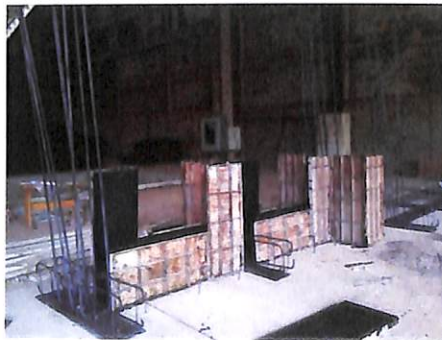
รูปที่ 4.10 การผูกเหล็กเสริมฐานโครงข้อแข็ง

- 2) ผูกเหล็กเสาโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การผูกเหล็กเสาโครงข้อแข็ง

- 3) ตั้งแบบหล่อฐานโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ตั้งแบบหล่อฐานโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

4) เทคอนกรีตทำฐานโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และทำการจี้
 เขย่าในคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 4.14

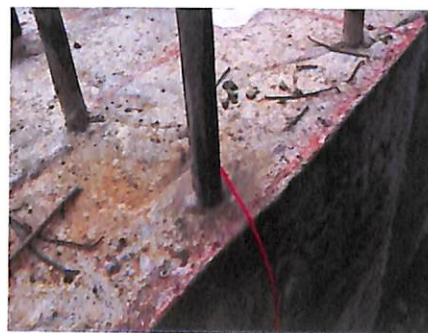


รูปที่ 4.13 เทคอนกรีตทำฐานโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 4.14 การจี้เขย่าในคอนกรีตฐานโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

5) ติดตั้ง Strain gage ในเหล็กเสาโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ติดตั้ง Strain gage ในเหล็กเสาโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

6) ทำการตั้งแบบเสาโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ตั้งแบบเสาโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

7) เทเสาคอนกรีตเสริมเหล็กทิ้งไว้ ให้คอนกรีตเซ็ตตัว ทำการถอดแบบเสาโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 เสาโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

8) ตั้งแบบคานโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก พร้อมเทคานคอนกรีตเสริมเหล็กทิ้งไว้ให้คอนกรีตเซตตัว ทำการถอดแบบคานโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก จะได้โครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.18

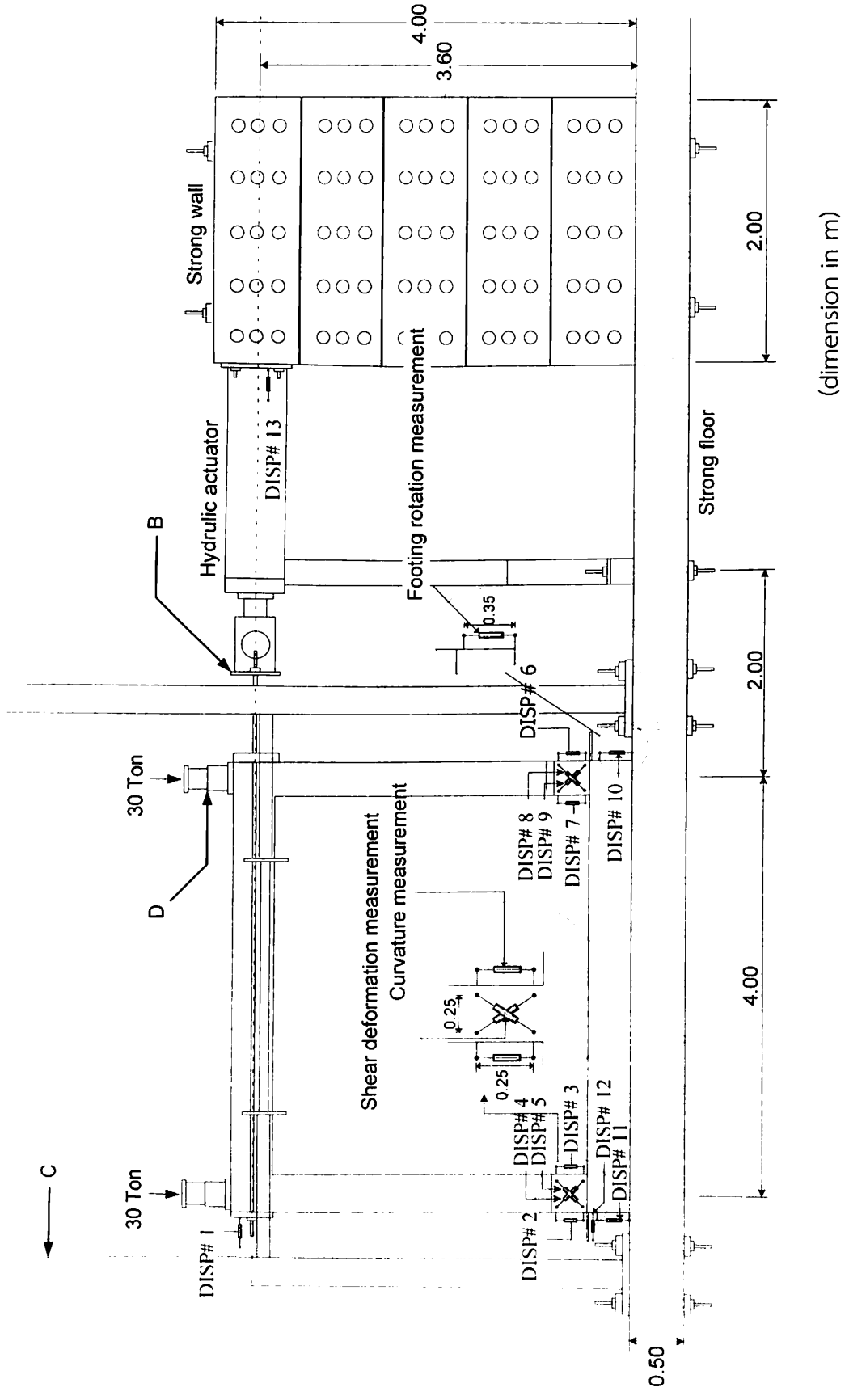


รูปที่ 4.18 โครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.4 การติดตั้งระบบการให้แรงและอุปกรณ์ตรวจวัดในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

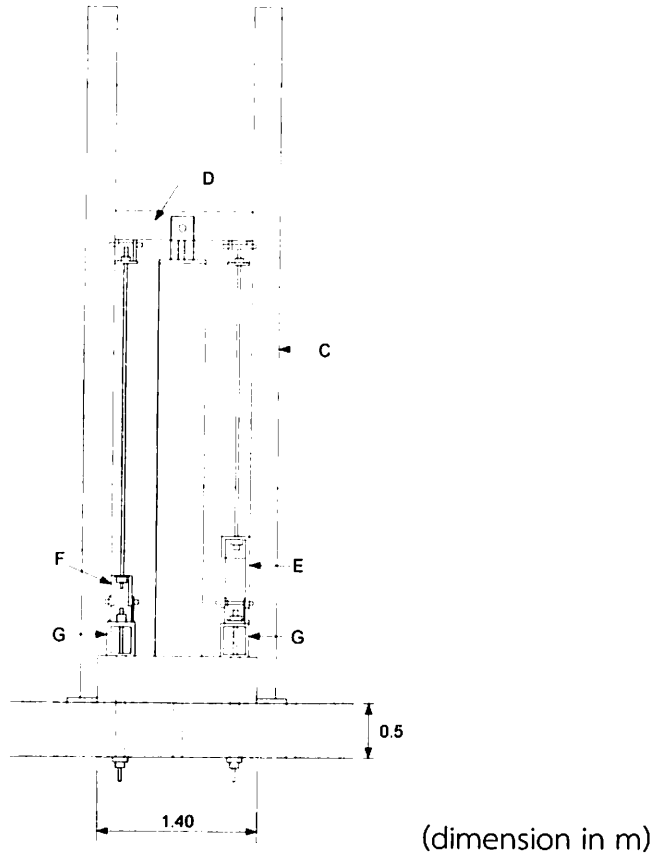
สำหรับตัวอย่างโครงข้อแข็งได้ทำการยึดติดกับพื้นคอนกรีตกำลังสูงซึ่งมีความหนา 50 เซนติเมตร โดยยึดติดกับฐานตัวอย่างการทดสอบและเชื่อมต่อด้วยเครื่องไฮดรอลิกส์ (Hydraulic actuator) รุ่น MTS ขนาด 1500 kN ตามแนวราบโดยยึดติดกับผนังรับกำลังดังแสดงในรูปที่ 4.19 สำหรับการให้แรงในทิศทางบวก (loading) จะผลักด้วยเครื่องไฮดรอลิกส์ (Hydraulic actuator) ส่วนการให้แรงในทิศทางลบ (reloading) ตัวอย่างการทดสอบจะดึงกลับด้วยเหล็กกำลังสูง (high-strength steel rods) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 32 มิลลิเมตร และตัวอย่างโครงข้อแข็งจะมีน้ำหนักกดลงที่หัวเสาทั้ง 2 ต้น ขนาดต้นละ 300 kN โดยใช้เครื่องไฮดรอลิกส์ชนิดมือโยก (Hydraulic jacks) ในการควบคุมแรงกดที่หัวเสา

เครื่องไฮดรอลิกส์ (Hydraulic actuator) จะให้แรงกระทำที่บริเวณกึ่งกลางของคานด้านบนที่ระยะความสูง 3.6 เมตร จากระดับพื้นล่างที่ทำการทดสอบ สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวราบที่บริเวณปลายคานของตัวอย่างทดสอบ ทั้งการเคลื่อนตัวในแนวตั้งและแนวราบของเสาบ้นที่ค่าด้วยอุปกรณ์การตรวจวัดการเคลื่อนตัวโดยใช้ strain-type displacement transducers ตัววัดการเคลื่อนตัวติดตั้งที่ด้านบนของโครงสร้างเพื่อวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างของตัวอย่างทดสอบ สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแบบคู่ที่ตำแหน่งด้านล่างของฐานเสาเพื่อทำการวัดค่าการดัดโค้ง (Curvature) ทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของเสา และมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแบบคู่ที่ตำแหน่งเสาจากฐานขึ้นมาเพื่อใช้ในการวัดการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือน (shear deformation) ของเสาด้านซ้ายและด้านขวา รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดที่เกิดจากแรงกระทำต่างๆที่ฐานของตัวอย่างทดสอบได้แก่ การวัดค่าการเลื่อนไหลระหว่างผนังและฐานของตัวอย่างทดสอบ การวัดค่าการหมุนของฐานราก โดยแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจวัดและรายละเอียดของการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2



(dimension in m)

รูปที่ 4.19 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและการให้แรงในตัวอย่างการทดสอบ



รูปที่ 4.19 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและการให้แรงในตัวอย่างการทดสอบ(ต่อ)

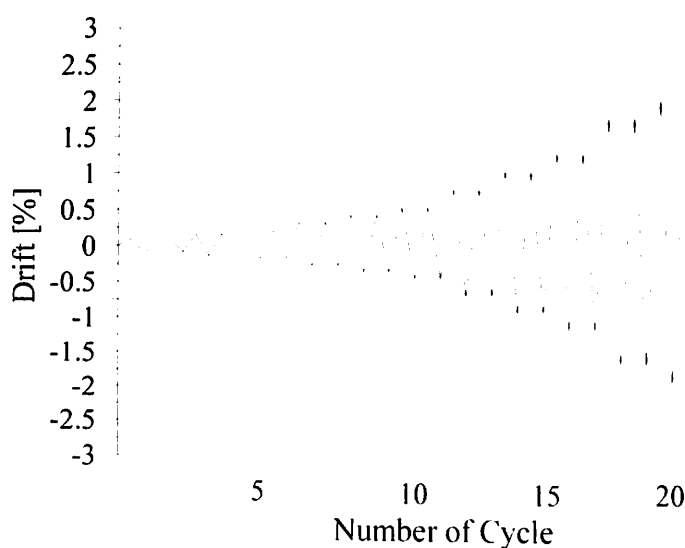
ตารางที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์วัดค่าการเคลื่อนตัว strain-type displacement transducers

สัญลักษณ์	ชื่ออุปกรณ์	ชนิดของ LVDT	Factor ของ LVDT
DISP#1	Col Displ.	LVDT KYOWA S500	4.997×10^{-2}
DISP#2	CL1	LVDT KYOWA No.31	5.000×10^{-3}
DISP#3	CL2	LVDT KYOWA No.24	4.999×10^{-3}
DISP#4	CL3	LVDT KYOWA No.25	5.000×10^{-3}
DISP#5	CL4	LVDT KYOWA No.28	5.001×10^{-3}
DISP#6	CR1	LVDT KYOWA No.30	4.999×10^{-3}
DISP#7	CR2	LVDT KYOWA No.27	4.999×10^{-3}
DISP#8	CR3	LVDT KYOWA No.26	4.999×10^{-3}
DISP#9	CR4	LVDT KYOWA No.22	5.001×10^{-3}
DISP#10	FR-L	LVDT Voltage No.6	2.05
DISP#11	FR-R	LVDT Voltage No.10	2.06
DISP#12	FS	LVDT Voltage No.21	0.59
DISP#13	Wall	LVDT KYOWA No.23	5.003×10^{-3}

ตารางที่ 4.2 สรุปการวัดค่าของอุปกรณ์วัดค่าการเคลื่อนตัว

อุปกรณ์ตรวจวัด	รายละเอียดการวัด
DISP#1	วัดการเคลื่อนตัวด้านบนของตัวอย่างการทดสอบ
DISP#2 , DISP#3	วัดค่าความโค้งของเสาต้นซ้าย
DISP#4 , DISP#5	วัดการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนของเสาต้นขวา
DISP#6 , DISP#7	วัดความโค้งของเสาต้นขวา
DISP#8 , DISP#9	วัดการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนของเสาต้นซ้าย
DISP#10 , DISP#11	วัดค่าการหมุนของฐานราก
DISP#12	วัดค่าการเลื่อนไถลของฐานราก
DISP#13	วัดค่าการเลื่อนไถลของผนังรับแรง

วิธีการทดสอบตัวอย่างผนังอิฐก่อจะใช้วิธีการผลักแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis) โดยการเคลื่อนที่ของผนังอิฐก่อจะมีการกำหนดให้มีการเคลื่อนที่ไป - กลับแบบวัฏจักร ตามระยะการเคลื่อนที่ที่กำหนดไว้ เมื่อผนังอิฐก่อถูกผลักให้เคลื่อนที่ไปจนระยะที่กำหนด ก็จะถูกผลักให้เคลื่อนที่กลับในทิศทางตรงกันข้ามย้อนกลับครบรอบ ที่ทุกๆระยะเคลื่อนตัว จะควบคุมการเคลื่อนที่ (Displacement Controlled) ที่ค่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัวระหว่างขั้นแนะนำโดย FEMA 461 เท่ากับ $\pm 0.1\%$, $\pm 0.15\%$, $\pm 0.2\%$, $\pm 0.3\%$, $\pm 0.4\%$, $\pm 0.5\%$, $\pm 0.75\%$, $\pm 1.0\%$, $\pm 1.25\%$, $\pm 1.75\%$, และ $\pm 2.0\%$ โดยมีการให้แรงทางด้านข้างในห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การให้แรงกระทำทางด้านข้างในห้องปฏิบัติการ

จากรูปที่ 4.19 สำหรับอุปกรณ์ในการติดตั้งตัวอย่างทดสอบและชุดอุปกรณ์ในการให้แรงกระทำของตัวอย่างทดสอบโดยมีอุปกรณ์หลักๆที่ใช้ในงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 รายการสรุพอุปกรณ์สำหรับการทดสอบตัวอย่าง

รูปแสดงอุปกรณ์ต่างๆ	รายการ
	ชุดอุปกรณ์ป้องกันผนังล้ม ตำแหน่ง A
	ชุดอุปกรณ์แผ่นเหล็กยึดติดหน้าไฮดรอลิกส์ ตำแหน่ง B
	โครงข้อแข็งเหล็กใช้ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์ค้ำยันทางด้านข้างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ตำแหน่ง C

ตารางที่ 4.3 รายการสรุปอุปกรณ์สำหรับการทดสอบตัวอย่าง (ต่อ)

รูปแสดงอุปกรณ์ต่างๆ	รายการ
	<p>ชุดอุปกรณ์ให้แรงบนหัวเสา ตำแหน่ง D</p>
	<p>ชุดอุปกรณ์ให้แรงบนหัวเสา ตำแหน่ง G และ F</p>
	<p>ชุดอุปกรณ์ให้แรงบนหัวเสา ตำแหน่ง G และ E</p>

ตารางที่ 4.3 รายการอุปกรณ์สำหรับการทดสอบตัวอย่าง (ต่อ)

รูปแสดงอุปกรณ์ต่างๆ	รายการ
	<p>เครื่องไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Actuator) ขนาด 1500 kN</p>
	<p>ชุดอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์แบบมือโยก (Hydraulic jacks) ให้แรงหัวเสา 2 ชุด</p>
	<p>เครื่องบันทึกข้อมูล Kyowa UCAM-60 A (30ช่อง)</p>
	<p>ชุดอุปกรณ์ ต่อ LVDT ชนิด Voltage</p>

ตารางที่ 4.3 รายการอุปกรณ์สำหรับการทดสอบตัวอย่าง (ต่อ)

รูปแสดงอุปกรณ์ต่างๆ	รายการ
	<p>ชุดอุปกรณ์มิเตอร์วัดค่า สำหรับใช้วัดชุดอุปกรณ์ ต่อ LVDT ชนิด Voltage</p>
	<p>เครื่องมือตรวจวัด LVDT KYOWA</p>
	<p>เครื่องมือตรวจวัด LVDT Voltage</p>

โดยมีขั้นตอนการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบและการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดสำหรับอ่านค่าดังต่อไปนี้

1) หลังจากขั้นตอนการสร้างตัวอย่างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กทำการย้ายตัวอย่างขนส่งเข้าห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

2) นำตัวอย่างโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเข้าติดตั้งในตำแหน่งที่ทำการทดสอบดังแสดงในรูปที่

4.22

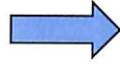


รูปที่ 4.22 เคลื่อนย้ายโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเข้าตำแหน่งทดสอบ

3) แต่เนื่องจากฐานโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กจะต้องได้รับการเสริมฐานเพื่อให้สามารถต้านทานการยกตัวของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กระหว่างการทดสอบ จึงทำการออกแบบและเสริมฐานดังแสดงในรูปที่ 4.23



ผูกเหล็กเสริมฐานโครงข้อแข็ง



ประกอบเหล็กเสริมฐานโครงข้อแข็ง



ติดตั้งตำแหน่งเหล็กยกฐานโครงข้อแข็ง



ตั้งแบบเหล็กฐานพร้อมเทคอนกรีต



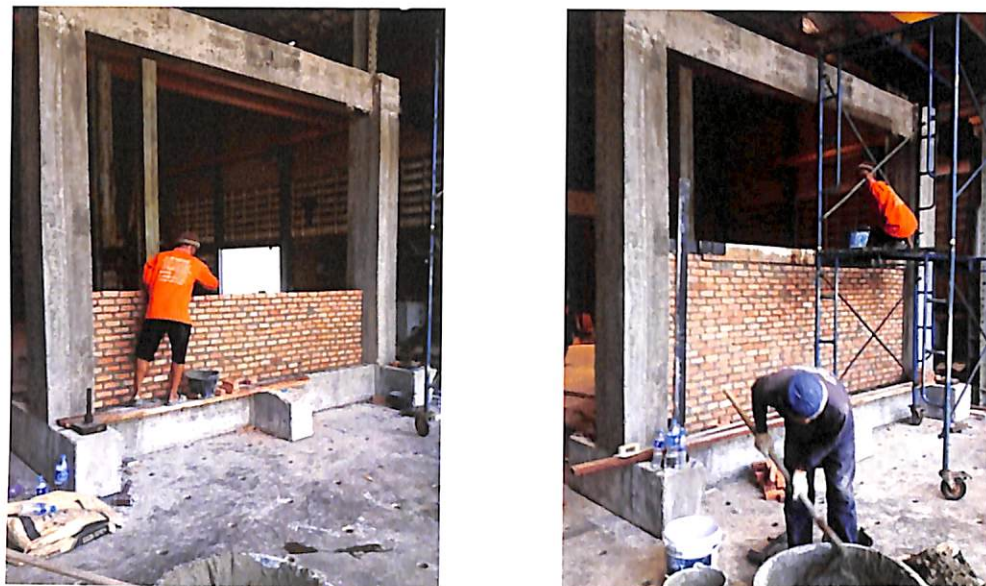
เทคอนกรีตเสริมฐานโครงข้อแข็ง



ถอดแบบเหล็กฐานโครงข้อแข็ง

รูปที่ 4.23 แสดงขั้นตอนการเสริมฐานโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

4) สำหรับการเสริมกำลังฐานโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำการสร้างตัวอย่างการทดสอบ W และ W-SR โดยการก่อตัวอย่างควบคู่กับการเสริมเหล็กฐานของเสา และทำการเทคานทับหลังตามแบบ ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ก่ออิฐมอดูในโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

5) หลังจากทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง ทำการก่ออิฐจนเต็มโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก ทิ้งตัวอย่างไว้อีก 24 ชั่วโมงเพื่อให้ปูนก่อแข็งตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.25



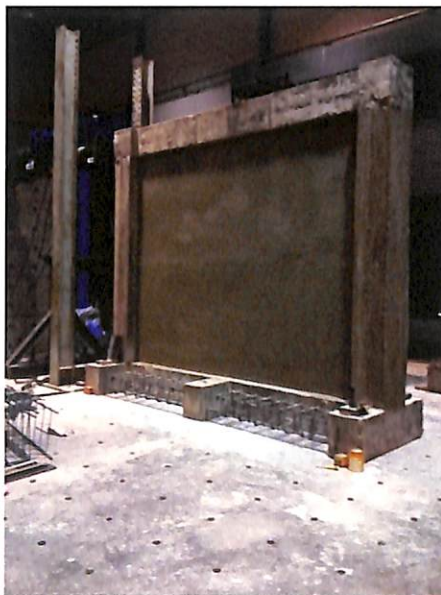
รูปที่ 4.25 ผนังอิฐก่อในโครงสร้างข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

6) หลังจากทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมง ทำการฉาบผนังด้วยปูนมอร์ตาร์ที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มฉาบจากข้างบนแล้วไล่ลงด้านล่างทิ้งตัวอย่างไว้ให้ได้อายุ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ผนังอิฐก่อที่ทำการฉาบในโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็ก

7) สำหรับตัวอย่าง W ซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเสริมกำลังทิ้งตัวอย่างไว้ 28 วันก่อนทำการทดสอบ สำหรับตัวอย่าง W-SR ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีการเสริมกำลังด้วยตะแกรงที่ดีที่สุดจากขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของผนังอิฐก่อทำการเสริมกำลังด้วยตะแกรงทั้ง 2 ด้านดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ตัวอย่างทดสอบ W-SR ที่ทำการเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์

8) จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างการทดสอบ BF ,W และ W-SR ทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบโดยเริ่มจากการโพสเทนฐานเสาด้วยเหล็กกำลังสูงขนาด 32 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 การยัดฐานโครงข้อแข็งเข้ากับพื้นที่ทดสอบด้วยการโพสเทนชั่น

9) ติดตั้งชุดอุปกรณ์ให้แรงในแนวแกนที่เสาและทำการติดตั้งชุดป้องกันการล้มนโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กพร้อมชุดไฮดรอลิกส์แบบมือโยกให้แรงหัวเสา 2 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 4.29



ชุดอุปกรณ์ให้แรงบนหัวเสาดำแหน่ง G และ E

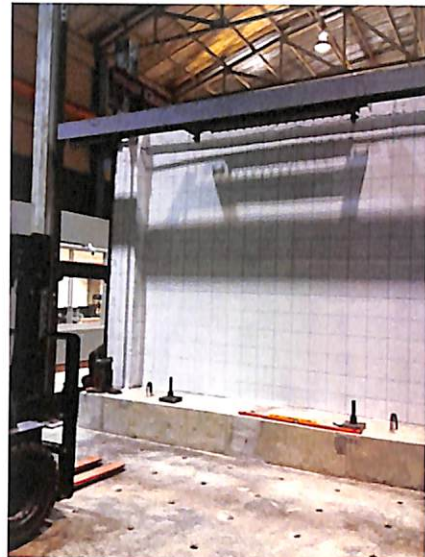


ชุดอุปกรณ์ให้แรงบนหัวเสาดำแหน่ง G และ F

รูปที่ 4.29 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ให้แรงในแนวแกนและชุดอุปกรณ์ป้องกันการล้มน



ชุดอุปกรณ์ให้แรงบนหัวเสาตำแหน่ง D



ติดตั้งชุดอุปกรณ์ป้องกันการล้ม

รูปที่ 4.29 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ให้แรงในแนวแกนและชุดอุปกรณ์ป้องกันการล้ม (ต่อ)

10) ติดตั้งชุดอุปกรณ์ให้แรงกระทำทางด้านข้างของเสาด้วยการใช้เหล็กกำลังสูงส่งผ่านจากด้านหัวเสาไปยังด้านท้ายเสาแล้วทำการเลื่อนเครื่องไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Actuator) เข้าประกบขันยึดไว้แบบหลวมๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.30



ชุดอุปกรณ์ให้แรงด้านข้างฝั่งด้านหน้าเสา



ชุดอุปกรณ์ให้แรงด้านข้างฝั่งด้านท้ายเสา

รูปที่ 4.30 การติดตั้งเครื่องไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Actuator) เข้ากับโครงข้อแข็งทดสอบ

11) ติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัด LVDT ตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.31



LVDT ฝั่งเสาด้านซ้าย



LVDT ฝั่งเสาด้านซ้าย



LVDT ฝั่งเสาด้านขวา



LVDT ฝั่งเสาด้านขวา



LVDT ฝั่งเสาด้านซ้ายล่าง



LVDT ฝั่งเสาด้านขวาล่าง

รูปที่ 4.31 ตำแหน่งการติดตั้ง LVDT ในโครงข้อแข็งทดสอบ

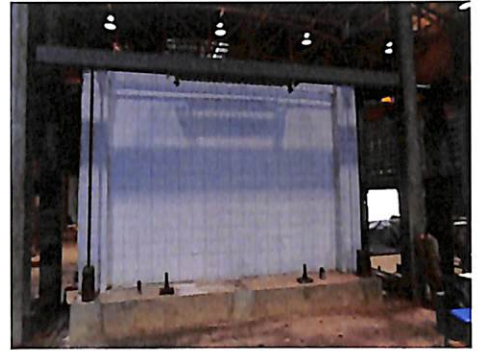
12) ติดตั้งชุดอุปกรณ์เครื่องบันทึกข้อมูล Kyowa UCAM-60 A และต่อสายสัญญาณเครื่อง LVDT ทุกจุดทำการตรวจสอบก่อนทำการทดสอบ และทำการทาสีตัวอย่างทดสอบพร้อมตีตารางกริดดังแสดงในรูปที่ 4.32



ชุดอุปกรณ์ตรวจวัด



เครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุม



ทาสีตัวอย่างทดสอบและตีตารางกริด

รูปที่ 4.32 ติดตั้งชุดอุปกรณ์เครื่องบันทึกข้อมูลและตัวอย่างโครงข้อแข็งทดสอบ

4.5 ผลการทดสอบโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กของตัวอย่าง BF, W และ W-SR ภายใต้แรงกระทำแบบวิถัจกร

4.5.1 ลักษณะการวิบัติของตัวอย่าง BF, W และ W-SR

4.5.1.1 การวิบัติของตัวอย่างการทดสอบ BF

การวิบัติของตัวอย่างการทดสอบ BF ที่การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.5%, 1.0% และ 1.5% ดังแสดงในรูปที่ 4.33ก-ค ตามลำดับ สำหรับการทดสอบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.1-0.5% ไม่พบรอยแยกที่ตัวอย่างการทดสอบ สำหรับการทดสอบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.5-1.0% เริ่มเห็นรอยแยกที่ตัวอย่างการทดสอบบริเวณจุดต่อระหว่างเสากับคานรวมถึงจุดต่อระหว่างเสากับฐานราก การแยกตัวระหว่างจุดต่อของคานกับเสาเนื่องจากผลของโมเมนต์ดัดที่เกิดบริเวณดังกล่าว สำหรับการทดสอบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.5-1.0% เกิดรอยแยกขึ้นทั้ง 2 ด้านของจุดต่อระหว่างคานกับเสาและเกิดรอยแยกที่ปลายของคานเนื่องจากการวิบัติแบบแรงเฉือน (shear failure) สำหรับการทดสอบช่วงสุดท้ายของการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 2.0% ตัวอย่างการทดสอบได้รับความเสียหายเป็นอย่างมากซึ่งเกิดบริเวณทั้ง 2 ด้านของจุดต่อระหว่างคานกับเสาดังแสดงในรูปที่ 4.33ง

การวิบัติที่เกิดขึ้นของตัวอย่างการทดสอบ BF จากผลของโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคานที่มากกว่าเสา เนื่องจากผลการทดสอบให้ค่ากำลังรับแรงดัดข้างสูงสุด 72.46 kN ซึ่งทำให้เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุดเท่ากับ 61.6 kN-m แต่คานสามารถรับโมเมนต์ดัดได้เพียง 54.0 kN-m เท่านั้น ส่วนเสาสามารถรับโมเมนต์ดัดได้เท่ากับ 130.2 kN-m ซึ่งมากกว่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นโดยไม่มีผลต่อเสาแต่อย่างใด สำหรับผลการทดสอบได้แรงเฉือนที่ปลายของคานขนาด 30.80 kN ซึ่งทำให้เกิดแรงเฉือนมากกว่าแรงเฉือนของคานที่สามารถรับได้เท่ากับ 27.0 kN และผลการทดสอบได้แรงเฉือนในเสาขนาด 36.23 kN ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแรงเฉือนของเสาที่รับได้เท่ากับ 76.59 kN ดังนั้นผลจากเสาแข็งแรงและคานอ่อน (strong column and weak beam) ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคานมากกว่าเสาอย่างเห็นได้ชัด



(ก)



(ข)



(ค)



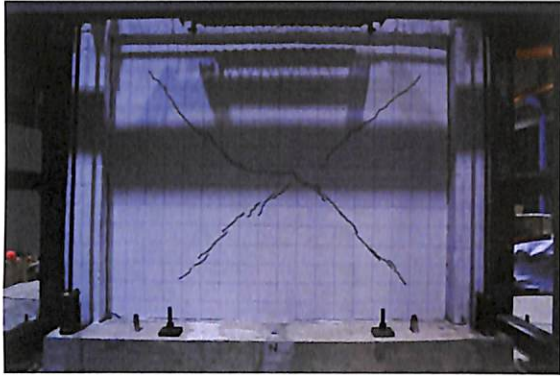
(ง)

รูปที่ 4.33 การวิบัติของตัวอย่าง BF (ก) การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +0.5%
 (ข) การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.0% (ค) การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.5%
 (ง) กลไกการวิบัติบริเวณพลาสติกฮิงค์ในโครงข้อแข็ง BF

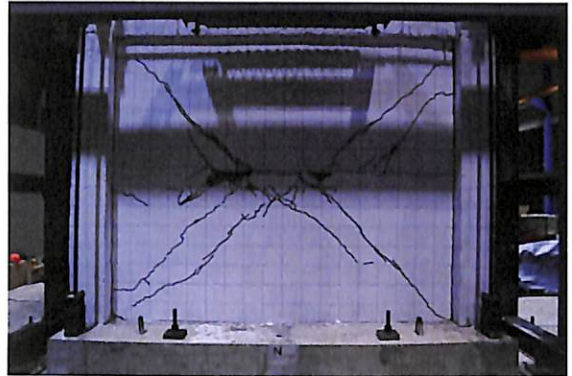
4.5.1.2 การวิบัติของตัวอย่างการทดสอบ W

การวิบัติของตัวอย่างการทดสอบ W ที่การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.5%, 1.0% และ 1.5% ดังแสดงในรูปที่ 4.34ก-ค ตามลำดับ สำหรับการทดสอบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.1-0.5% พบรอยแยกของปูนฉาบในผนังอิฐก่อตามแนวทแยงเข้าสู่มุมของตัวอย่างการทดสอบ รอยแยกมีลักษณะรูปแบบกากบาท (X-shaped) และพบรอยแยกขนาดเล็กในแนวนอนที่บริเวณของคานเอนทับหลัง ซึ่งอยู่ในตำแหน่งจุดกึ่งกลางของโครงข้อแข็งที่ระยะ 1.5 เมตร สำหรับการทดสอบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.5-1.0% พบรอยแยกของปูนฉาบไปตามแนวทแยงเข้าสู่มุมของตัวอย่างการทดสอบและมีรอยแยกตามแนวนอนขนานกับคานเอนทับหลังเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการวิบัติแบบแรงอัดในแนวทแยง (diagonal compression failure) และการวิบัติด้วยแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (sliding shear failure) สำหรับการทดสอบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 1.0-1.5% การวิบัติยังคงเป็นรูปแบบเดียวกัน และเกิดรอยแยกที่มุมของผนังอิฐก่อเนื่องจากเกิดความเค้นที่มุมของผนังอิฐก่อสูง ทำให้เกิดการวิบัติแบบกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนัง (corner compression failure) สำหรับการทดสอบช่วงสุดท้ายคานเอนทับหลังเกิดการแตกหัก

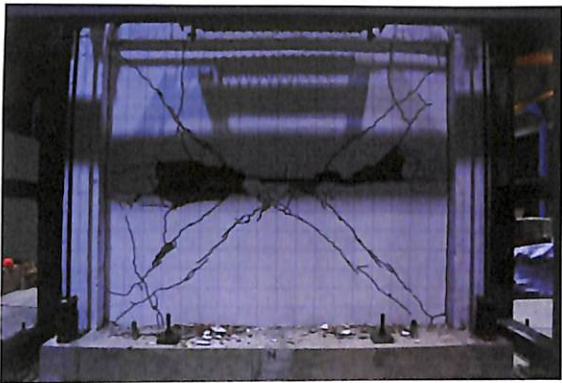
เสียหายและเกิดการแยกตัวของปูนฉาบกับคานเอนทับหลังเนื่องจากการวิบัติด้วยแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (sliding shear failure) ที่การทดสอบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 1.5% ดังแสดงในรูปที่ 4.34



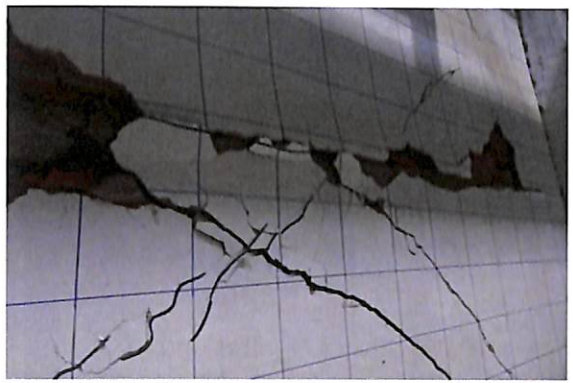
(ก)



(ข)



(ค)



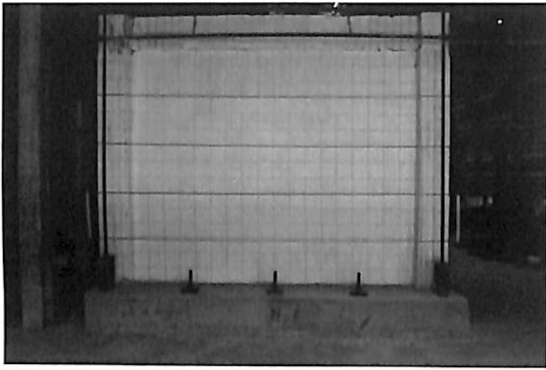
(ง)

รูปที่ 4.34 การวิบัติของตัวอย่างผนังอิฐก่อ W (ก) การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +0.5%
 (ข) การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.0% (ค) การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.5%
 (ง) การวิบัติด้วยแรงเฉือนแบบเลื่อนไถลในผนังอิฐก่อ

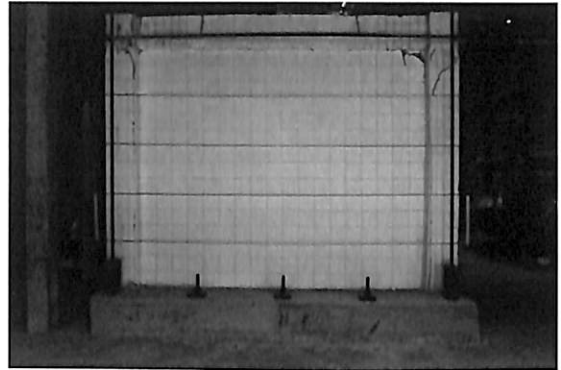
4.5.1.3 การวิบัติของตัวอย่างการทดสอบ W-SR

การวิบัติของตัวอย่างการทดสอบผนังเสริมกำลัง W-SR ที่การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.5%, 1.0% และ 1.5% ดังแสดงในรูปที่ 4.35ก-ค ตามลำดับ สำหรับการทดสอบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.1-0.5% ไม่พบรอยแยกในตัวอย่างการทดสอบ สำหรับการทดสอบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.5-1.0% พบรอยแยกที่มุมบนขวาของผนังอิฐก่อเนื่องจากเกิดความเค้นที่มุมของผนังอิฐก่อสูงทำให้เกิดการวิบัติด้วยแรงกดอัดที่มุมของผนังอิฐก่อ (corner compression failure) และเกิดการวิบัติที่เสาด้วยแรงเฉือนที่ตำแหน่งพลาสติกฮิงค์ สำหรับการทดสอบการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 1.0-1.5% พบความเสียหายมากขึ้นที่มุมของผนังอิฐก่อตามด้วยเกิดความเสียหายที่เสาเนื่องจากการวิบัติด้วยแรงเฉือน และเกิดการรอยแยกของปูนฉาบไปตามแนวทแยงซึ่งทำให้เกิดการวิบัติด้วยแรงอัดในแนวทแยง (diagonal compression failure) ดังแสดงในรูปที่ 4.35ค สำหรับการทดสอบช่วงสุดท้ายเกิดแรงอัดสูงสุดที่มุมผนังอิฐก่อ พบความเสียหายทำให้เกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือนที่บริเวณด้านบนขวาของเสาดังแสดงในรูปที่ 4.35ง สำหรับการให้

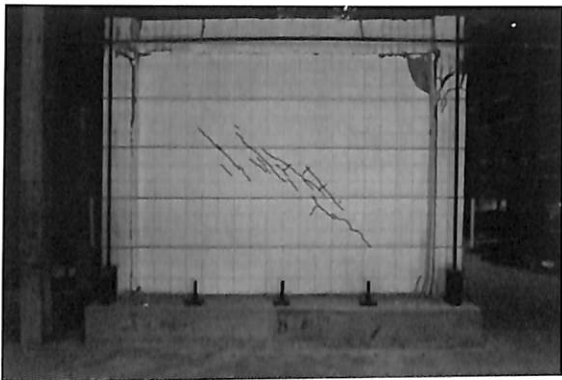
แรงกระทำในทิศทางตรงกันข้าม พบรอยแยกขนาดเล็กเนื่องจากการวิบัติด้วยแรงกดอัดในแนวทแยง (diagonal compression failure) ซึ่งพบบริเวณส่วนกลางของผนังอิฐก่อ ตัวอย่างการทดสอบไม่เกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือนแบบเลื่อนไถล (sliding shear failure) เนื่องจากผลของการเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีกทำให้เพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนแบบเลื่อนไถลของผนังอิฐก่อได้เป็นอย่างดี



(ก)



(ข)



(ค)

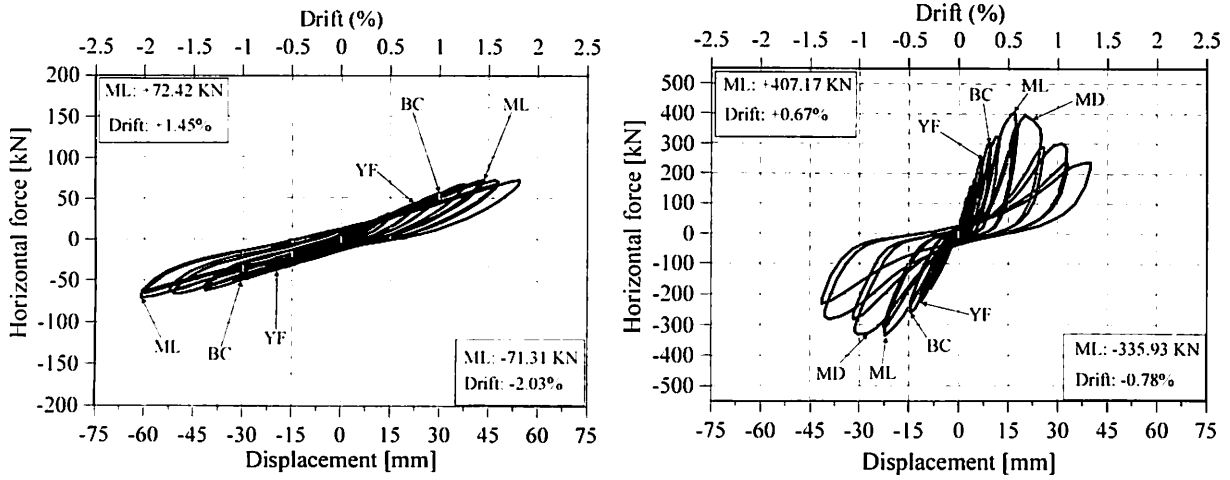


(ง)

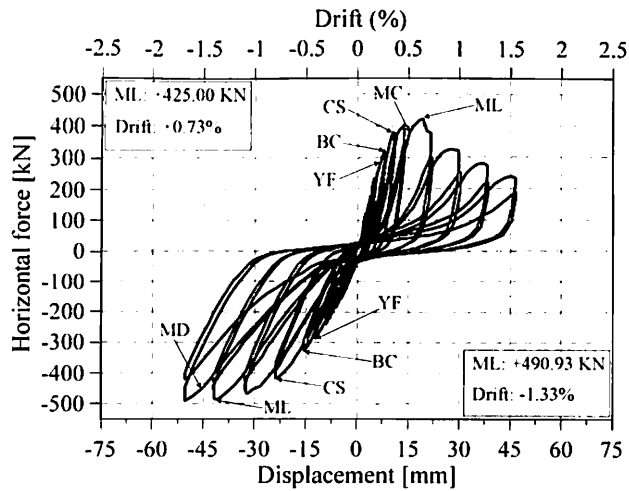
รูปที่ 4.35 การวิบัติของตัวอย่างเสริมกำลังผนังอิฐก่อ W-SR (ก) การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +0.5%
 (ข) การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.0% (ค) การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น +1.5%
 (ง) การวิบัติด้วยแรงกดอัดที่มุมผนังอิฐก่อและการวิบัติด้วยแรงเฉือนในเสา

4.5.2 พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักร (hysteretic) ของตัวอย่าง BF, W และ W-SR

สำหรับพฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักร (hysteretic) แสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำทางด้านข้างกับการเคลื่อนตัวของตัวอย่างการทดสอบ BF, W และ W-SR ดังแสดงในรูปที่ 4.36ก-ค ตามลำดับ กราฟแสดงแรงกระทำทางด้านข้างกับการเคลื่อนตัวของตัวอย่างการทดสอบ (Envelope) ดังแสดงในรูปที่ 4.37 สำหรับตัวอย่าง BF ให้ค่าสติฟเนสและการสลายพลังงานที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างการทดสอบ W และ W-SR สำหรับตัวอย่างการทดสอบ W และ W-SR จะให้ค่าสติฟเนสและการสลายพลังงานที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง BF โดยตัวอย่าง W-SR ให้ค่าการสลายพลังงานสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทั้งหมด



(ก) พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักรของตัวอย่าง BF (ข) พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักรของตัวอย่าง W



(ค) พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักรของตัวอย่าง W-SR

เมื่อ

ML คือ แรงกระทำทางด้านข้างสูงสุด

MC คือ การวิบัติด้วยแรงอัดในแนวทแยงของผนังอิฐก่อ

MD คือ เกิดการวิบัติด้วยแรงกดอัดที่มุมของผนังอิฐก่อ

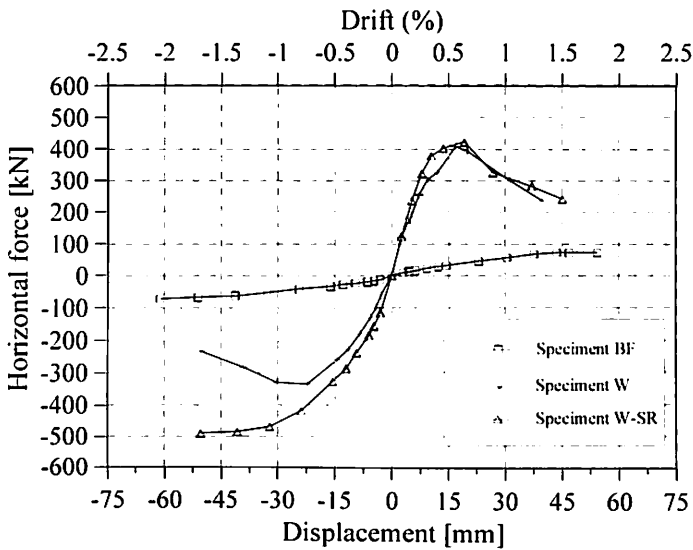
YF คือ แรงกระทำที่จุดคราก

BC คือ การวิบัติของคานด้วยแรงเฉือน

CS คือ การวิบัติของเสาด้วยแรงเฉือน

รูปที่ 4.36 พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักร (hysteretic) ของตัวอย่าง BF, W และ W-SR

สำหรับตัวอย่างการทดสอบ W ซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม การรับแรงแบบวัฏจักร (hysteretic) เป็นพฤติกรรมแบบเชิงเส้นจนถึงการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นประมาณ 0.15% หลังจากนั้นพฤติกรรมจะไม่เป็นแบบเชิงเส้น ตัวอย่างการทดสอบ W สามารถรับแรงกระทำทางด้านข้างได้จนถึงการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นประมาณ 0.56% หลังจากนั้นความสามารถในการรับแรงกระทำทางด้านข้างค่อยๆ ลดลงจนการทดสอบได้สิ้นสุดลง



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงแนวแรงกระทำทางด้านข้างกับการเคลื่อนตัวของตัวอย่างการทดสอบของตัวอย่าง BF, W และ W-SR

สำหรับตัวอย่างการทดสอบ W-SR ซึ่งเป็นตัวอย่างโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีก ค่าสติเฟนสมิความชันของกราฟมากกว่าตัวอย่างการทดสอบ W ซึ่งแสดงผลเปรียบเทียบในรูปความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนตัวของตัวอย่างการทดสอบ (Envelope) ดังแสดงในรูปที่ 4.37 พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักร (hysteretic) ของตัวอย่างการทดสอบ W-SR เป็นพฤติกรรมแบบเชิงเส้นจนถึงการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นประมาณ 0.16% หลังจากนั้นพฤติกรรมจะไม่เป็นแบบเชิงเส้น สำหรับการให้แรงในทิศทางบวก (loading) การวิบัติเกิดจากแรงกดอัดที่มุมของผนังอิฐก่อ ตัวอย่างการทดสอบสามารถรับแรงกระทำทางด้านข้างได้จนถึงการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นประมาณ 0.67% หลังจากนั้นความสามารถรับแรงกระทำทางด้านข้างค่อยๆ ลดลงจนถึงการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นที่ 1.5% ส่วนการให้แรงในทิศทางลบ (reloading) การวิบัติเกิดจากแรงอัดในแนวทแยงของผนังอิฐก่อ ตัวอย่างการทดสอบสามารถรับแรงกระทำทางด้านข้างได้จนถึงการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นประมาณ 1.68% การทดสอบได้สิ้นสุดลงเนื่องจากเสาและมุมขวาบนของผนังอิฐก่อในโครงข้อแข็งเกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก

4.5.3 กำลังรับแรงกระทำด้านข้างของตัวอย่าง BF, W และ W-SR

สำหรับแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบที่ตำแหน่งจุดคราก (yield point) ของตัวอย่างการทดสอบ BF, W และ W-SR ดังแสดงในตารางที่ 4.4 สำหรับตัวอย่างการทดสอบ BF พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักร (hysteretic) จะมีความสมมาตรทั้งในทิศทางการให้แรงกระทำเป็นบวก (loading) และทิศทางแรงกระทำเป็นลบ (reloading) ดังนั้นจึงเลือกทิศทางการให้แรงเป็นบวกในการอธิบายผลการทดสอบ ซึ่งกำลังรับแรงต้านทานด้านข้างของโครงข้อแข็งเปล่าที่จุดครากซึ่งมีขนาดเท่ากับ 1.0 โดยความสามารถในการรับกำลังต้านทานโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อของตัวอย่าง W และ W-SR หาได้จากอัตราส่วนของแรงกระทำทางด้านข้างในตำแหน่งจุดครากของโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อต่อแรงกระทำทางด้านข้างในตำแหน่งจุดครากของโครงข้อแข็งเปล่า จากการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงทางด้านข้างของตัวอย่างการทดสอบ W และ W-SR ที่การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.23% ในทิศทางการให้แรงเป็นบวกมีค่าเท่ากับ 5.10 และ 6.12 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง BF สำหรับตัวอย่าง W-SR ให้ค่ากำลังรับแรง

ทางด้านข้างสูงกว่าตัวอย่าง W ซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม เนื่องจากผลของการเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์ โดยใช้แผ่นตะแกรงเหล็กฉีกเสริมกำลัง

ตารางที่ 4.4 แรงต้านข้างที่จุดครากและการเคลื่อนตัวของตัวอย่างการทดสอบ BF, W และ W-SR

ตัวอย่างทดสอบ	ทิศทางการให้แรง	การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น (%)	แรงกระทำที่จุดคราก (V_y , kN)	การเคลื่อนตัวที่จุดคราก (Δ_y , mm.)	ความสามารถในการรับกำลัง
BF	ทิศทางบวก	0.67	49	20.0	1.0
W	ทิศทางบวก	0.23	250	7.0	5.10
	ทิศทางลบ	-0.33	-250	-10.0	5.10
W-SR	ทิศทางบวก	0.23	300	7.0	6.12
	ทิศทางลบ	-0.35	-350	-10.5	7.14

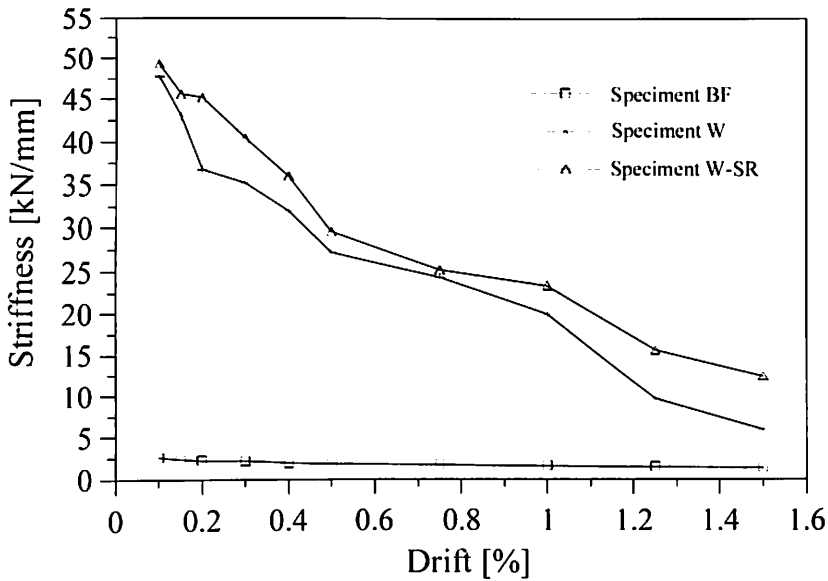
สำหรับแรงกระทำทางด้านข้างและการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบ ณ ตำแหน่งของแรงกระทำสูงสุด โดยแสดงความสามารถในการรับกำลังของตัวอย่างการทดสอบ W และ W-SR ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งความสามารถรับแรงต้านทานด้านข้างของตัวอย่างโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อหาได้จากอัตราส่วนของแรงกระทำทางด้านข้างสูงสุดของโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อต่อแรงกระทำทางด้านข้างสูงสุดของโครงข้อแข็งเปล่า จากการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงทางด้านข้างของตัวอย่างการทดสอบ W และ W-SR ที่การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 0.67% และ 0.73% ในทิศทางการให้แรงเป็นบวก (loading) มีค่าเท่ากับ 5.62 และ 5.87 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง BF ส่วนการให้แรงกระทำในทิศทางบวก (loading) ผลของการเสริมกำลังในผนังอิฐก่อมีส่วนทำให้กำลังรับแรงด้านข้างลดลงเนื่องจากผลของการวิบัติแบบกำลังต้านทานแรงกดอัดที่มุมผนังและการวิบัติด้วยแรงเฉือนของเสา สำหรับกำลังรับแรงกระทำทางด้านข้างของตัวอย่าง W และ W-SR ที่การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น -0.78% และ -1.33% ในทิศทางการให้แรงที่เป็นลบ (reloading) มีค่าเท่ากับ 4.63 และ 6.77 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง BF ตัวอย่างการทดสอบ W-SR ให้ค่ากำลังรับแรงทางด้านข้างสูงกว่าตัวอย่าง W ซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุมเนื่องจากผนังอิฐก่อเกิดแรงอัดในแนวทแยงในทิศทางการให้แรงกระทำที่เป็นลบ(reloading) ดังนั้นกำลังรับแรงอัดในแนวทแยงของผนังอิฐก่อเสริมกำลังมีความสามารถรับแรงกระทำทางด้านข้างเพิ่มขึ้นร้อยละ 40% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง W

ตารางที่ 4.5 กำลังรับแรงทางด้านข้างและการเคลื่อนตัวของตัวอย่างการทดสอบ BF, W และ W-SR

ตัวอย่างทดสอบ	ทิศทางการให้แรง	การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น (%)	แรงกระทำทางด้านข้างสูงสุด (V_m , kN)	การเคลื่อนตัวสูงสุด (Δ_m , mm.)	ความสามารถในการรับกำลัง
BF	ทิศทางบวก	1.45	72.46	43.51	1.0
W	ทิศทางบวก	0.67	407.17	20.00	5.62
	ทิศทางลบ	-0.78	-335.93	-23.50	4.63
W SR	ทิศทางบวก	0.73	425.00	20.00	5.87
	ทิศทางลบ	1.33	490.93	40.00	6.77

4.5.4 ค่าสติฟเนสทางด้านข้างของตัวอย่าง BF, W และ W-SR

สำหรับค่าซีแคนซ์สติฟเนส (secant stiffness) ของตัวอย่างการทดสอบ BF, W และ W-SR ดังแสดงในรูปที่ 4.38 ค่าสติฟเนสของตัวอย่างทั้ง 3 เป็นค่าเฉลี่ยทั้งการให้แรงในทิศทางบวก (loading) และการให้แรงในทิศทางลบ (reloading) จากการศึกษพบว่าค่าสติฟเนสของตัวอย่างการทดสอบ W และ W-SR ลดลงตามการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น ค่าสติฟเนสช่วงแรก (initial stiffness) ของโครงข้อแข็งผนังอิฐก่อ W มีค่ามากกว่าโครงข้อแข็งเปล่า BF จึงทำให้เกิดค่าสติฟเนสลดลงมากเมื่อการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นเพิ่มขึ้น สำหรับตัวอย่างการทดสอบ W-SR ให้ค่าสติฟเนสสูงกว่าตัวอย่างการทดสอบ W เนื่องจากผลของการเสริมกำลังของผนังอิฐก่อ



รูปที่ 4.38 ค่าสติฟเนสของตัวอย่าง BF, W และ W-SR

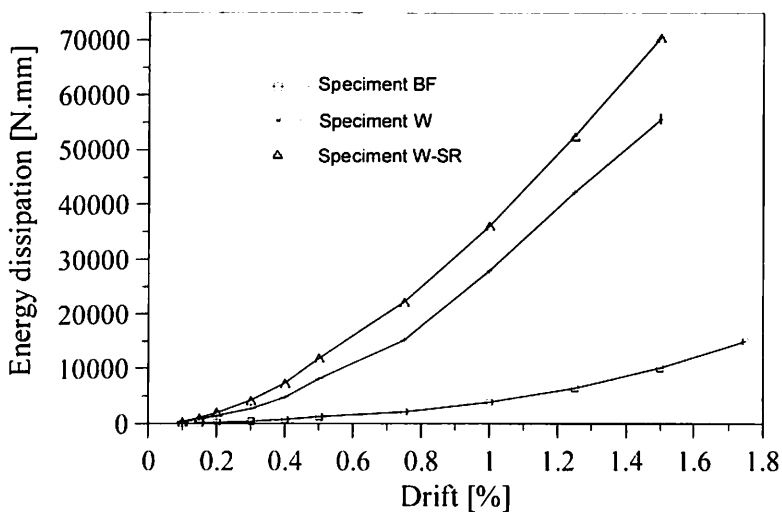
ค่าสติฟเนสช่วงแรก (initial stiffness) และ ค่าซีแคนซ์สติฟเนส (secant stiffness) ของตัวอย่างการทดสอบ BF, W และ W-SR ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ค่าสติฟเนสช่วงแรก (initial stiffness) และ ค่าซีแคนซ์สติฟเนส (secant stiffness) สามารถคำนวณได้จากตำแหน่งการเคลื่อนตัวระหว่างชั้นที่ตำแหน่งแรงกระทำทางด้านข้างที่จุดครากและแรงกระทำทางด้านข้างสูงสุดตามลำดับ ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของค่าสติฟเนสช่วงแรก (initial stiffness) และ ค่าซีแคนซ์สติฟเนส (secant stiffness) มีความแตกต่างกันในช่วง 1.75 ถึง 2.72 ซึ่งจากข้อสมมุติฐานที่กล่าวว่าค่าสติฟเนสช่วงแรกจะมีค่าเป็นสองเท่าของค่าซีแคนซ์สติฟเนส ซึ่งใช้เป็นค่าสมมุติเบื้องต้นในการสร้างแบบจำลอง แต่ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองสอบเทียบเพราะจะทำให้พฤติกรรมที่ได้มีความไม่สมจริง การเสริมกำลังในผนังอิฐก่อทำให้กำลังรับแรงทางด้านข้างและค่าสติฟเนสเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากผลของเฟอร์โรซีเมนต์ สำหรับการหาค่าสติฟเนสของตัวอย่างผนังอิฐก่อในการศึกษานี้ โดยใช้ผลจากการทดสอบกำลังปรีซึมอิฐก่อในห้องปฏิบัติการจะใช้ในการสร้างแบบจำลองผนังอิฐก่อสำหรับการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นต่อไป

ตารางที่ 4.6 ค่าสติฟเนสช่วงแรกและค่าซีแคนซ์สติฟเนสของตัวอย่างการทดสอบ BF, W และ W-SR

ตัวอย่างทดสอบ	ทิศทางการให้แรง	การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น (%)	ค่าสติฟเนสช่วงแรก (k_o , kN/mm)	การเคลื่อนตัวระหว่างชั้น (%)	ค่าซีแคนซ์สติฟเนส (k_{sec} , kN/mm)	k_o/k_{sec}
BF	ทิศทางบวก	0.67	2.45	1.45	1.67	1.47
W	ทิศทางบวก	0.23	35.71	0.67	20.36	1.75
	ทิศทางลบ	-0.33	25.00	-0.78	14.29	1.75
W-SR	ทิศทางบวก	0.23	42.85	0.73	21.25	2.02
	ทิศทางลบ	-0.35	33.33	-1.33	12.25	2.72

4.5.5 การสลายพลังงาน (Energy dissipation) ของตัวอย่าง BF, W และ W-SR

การสลายพลังงานของตัวอย่างการทดสอบ BF, W และ W-SR ดังแสดงในรูปที่ 4.39 ตัวอย่างการทดสอบ BF, W และ W-SR ให้ค่าการสลายพลังงานเท่ากับ 10911.17, 55505.63 และ 70490.44 N-mm ตามลำดับ สำหรับการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น 1.5% การสลายพลังงานของตัวอย่างการทดสอบ W และ W-SR มีค่าเท่ากับ 5.09 และ 6.46 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างการทดสอบ BF สำหรับตัวอย่างการทดสอบ W-SR มีการสลายพลังงานมากกว่าตัวอย่างการทดสอบ W ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 27% เนื่องจากผลของการเสริมกำลังผนังอิฐก่อ



รูปที่ 4.39 ค่าการสลายพลังงานของตัวอย่าง BF, W และ W-SR