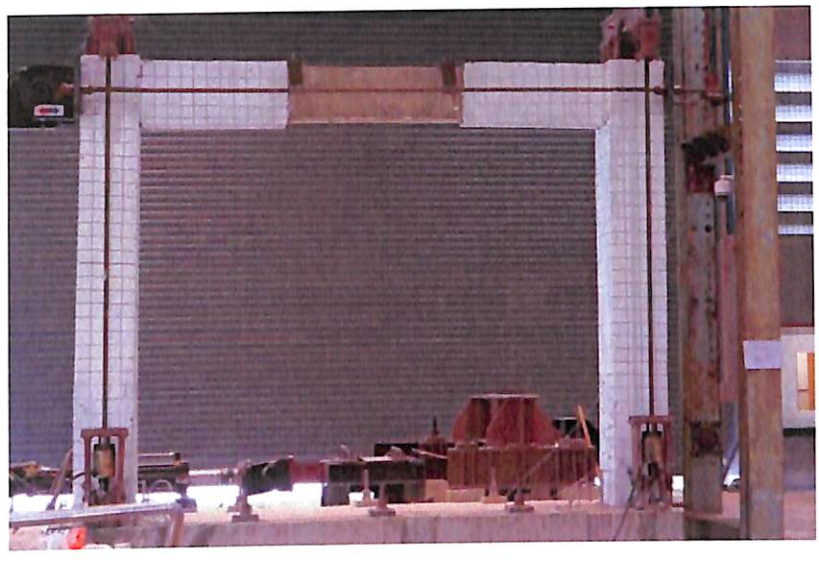
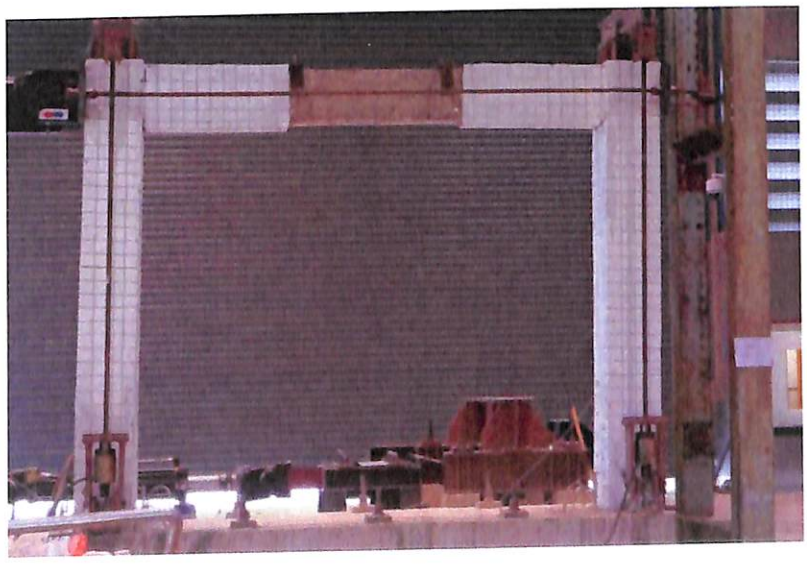
บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปราย

4.1 ผลการทดสอบ BF-SR

ผลการทดสอบที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ 0.1 ถึง ± 1.0% พบว่าเกิดรอยร้าวที่โคนเสาขวาเป็นแนวทแยงทำมุมประมาณ 45 ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ± 0.4% ดังรูปภาพที่ 4.1 ซึ่งรอยร้าวดังกล่าวเกิดจากการวิบัติแบบ Shear Failure และ Horizontal Force มีค่าอยู่ที่ 28.3kN

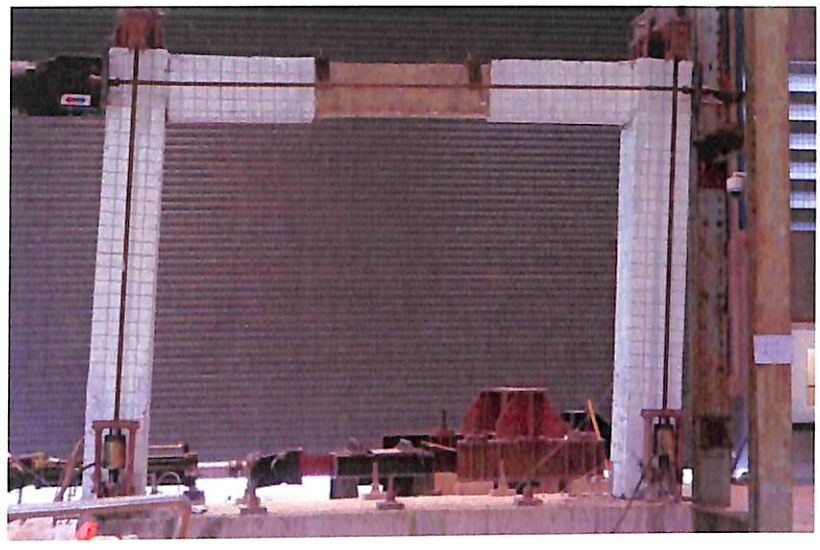


ภาพที่ 4.1 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +1.0% (BF-SR)



ภาพที่ 4.2 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +2.0% (BF-SR)

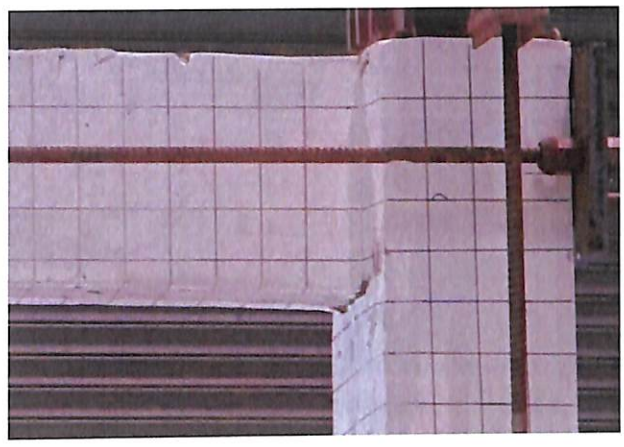
ภาพที่ 4.3 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +3.0% (BF-SR)



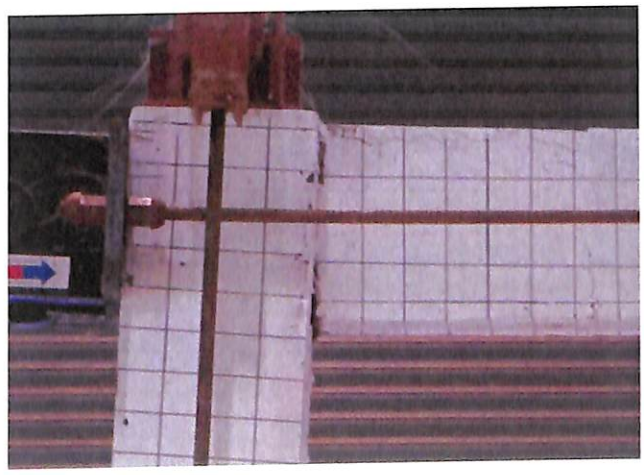
ภาพที่ 4.4 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +4.5% (BF-SR)

ผลการทดสอบที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ± 1.0% ถึง ± 2.0% พบว่าเกิดรอยร้าวที่คานมุมขวาเป็นแนวตั้งฉาก ที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ± 1.5% ดังรูปภาพที่ 4.2 ซึ่งรอยร้าวดังกล่าวเกิดจากการวิบัติแบบ Flexural Failure และ Horizontal Force มีค่าอยู่ที่ 74.4kN ผลการทดสอบที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ± 2.0 % ถึง ± 3.0% พบว่าเกิดรอยร้าวที่เสาด้านซ้ายและคอนกรีตกะเทาะทั้งสองข้าง ที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ± 2.5 % ดังรูปภาพที่ 4.3 และ Horizontal Force มีค่าอยู่ที่ 107.7kN ผลการทดสอบที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ± 3.0 % ถึง ± 4.5 % พบว่าเกิดคอนกรีตกะเทาะตามส่วนต่างๆ แต่ไม่ได้เกิดรอยร้าวขนาดใหญ่เพิ่มเติม ที่มีนัยสำคัญต่อการวิบัติดังรูปภาพที่ 4.4 และ Horizontal Force สูงสุดที่ 118 kN ที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ± 4.23 %

ภาพที่ 4.5 การวิบัติด้วยแรงเฉือนที่โคนเสาที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +0.40% (BF-SR)



ภาพที่ 4.6 การเกิดรอยแยกเพิ่มขึ้นที่บริเวณ รอยต่อ เสา-คานที่ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +1.50% (BF-SR)

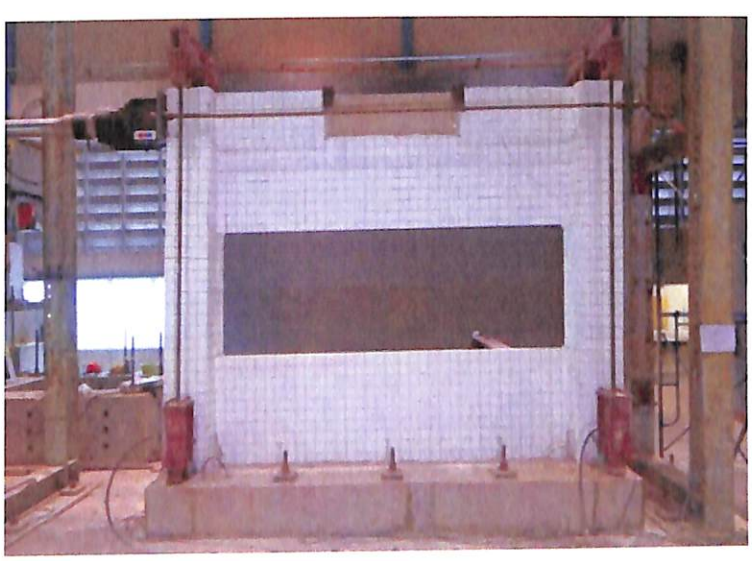


ภาพที่ 4.7 เกิดรอยแยกที่บริเวณรอยต่อเสา-คานที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ -4.23% (BF-SR)

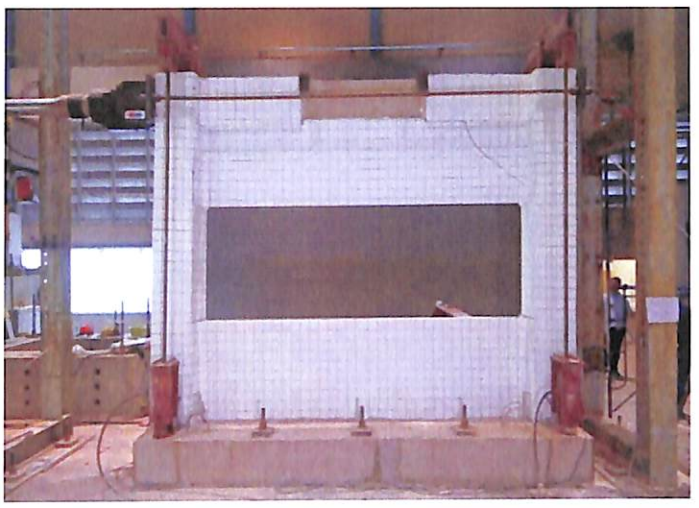
ภาพที่ 4.8 เกิดรอยแยกที่บริเวณรอยต่อเสา-คานที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +4.23% (BF-SR)

4.2 ผลการทดสอบ IFO-SR

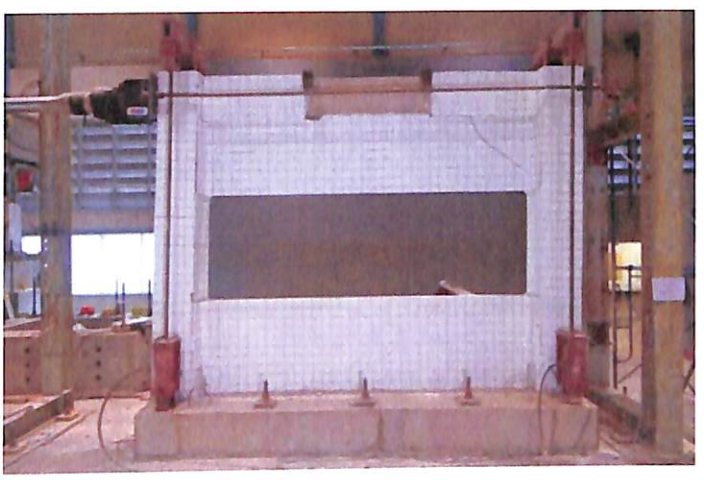
ผลการทดสอบที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ 0 ถึง $\pm$ 0.50 % พบว่าเกิดรอยร้าวเป็นแนวทแยงทำมุมประมาณ 45 องศาที่มุมบนขวาของผนังในการเคลื่อนที่รอบที่ 1 ดังรูปภาพที่ 4.9 รอยร้าวนี้เกิดจากการวิบัติในรูปแบบ Diagonal Compression ซึ่ง Horizontal Force มีค่าอยู่ที่ 171.5 kN นอกจากนี้ยังมีรอยร้าวที่เกิดจากปูนฉาบที่เสาทั้งสองและเกิดคอนกรีตกะเทาะหลุดที่โคนเสา



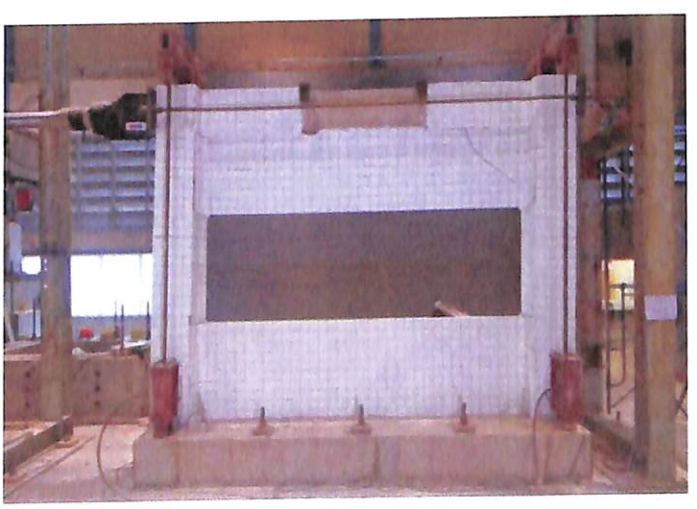
ภาพที่ 4.9 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +0.5% (IFO-SR)



ภาพที่ 4.10 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +1.0% (IFO-SR)

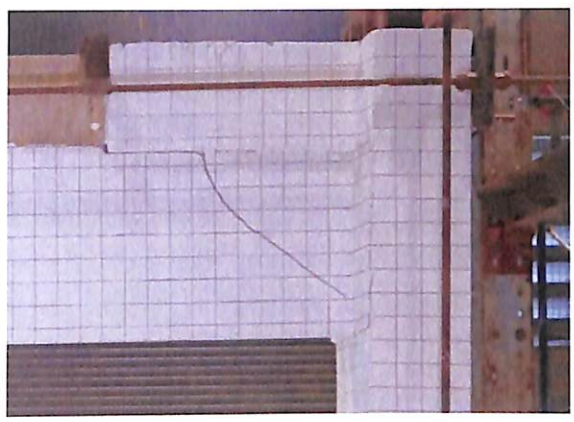


ภาพที่ 4.11 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +1.5% (IFO-SR)

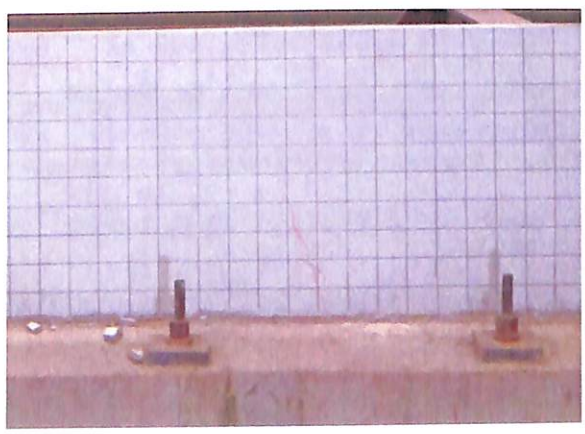


ภาพที่ 4.12 การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +2.25% (IFO-SR)

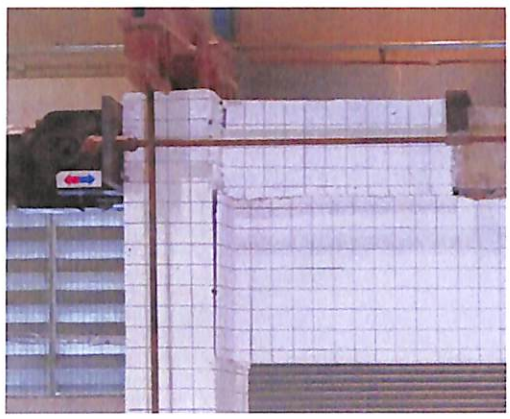
ผลการทดสอบที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ± 0.5 ถึง ± 1.0 % รอยร้าวที่เป็นแนวทแยงทำมุมที่มุมบนขวาของผนังมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น และเกิดร้อยร้าวแนวทแยงที่ตรงกลางของผนังด้านล่างที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ± 0.75 % ดังรูปภาพที่ 4.10 ซึ่ง Horizontal Force มีค่าอยู่ที่ 189kN ผลการทดสอบที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ± 1.0 ถึง ± 1.5 % เกิดความเสียในลักษณะที่ปูนฉาบกะเทาะหลุดตามส่วนต่างๆ รอยร้าวที่เกิดแล้วมีขนาดความกว้างที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่เกิดรอยร้าวที่บ่งชัดว่าจะเกิดการวิบัติที่มีนัยสำคัญเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.11 ผลการทดสอบที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ±1.5 ถึง ± 2.25 % เกิดความเสียในลักษณะที่ปูนฉาบกะเทาะหลุดตามส่วนต่างๆ รอยร้าวที่เกิดแล้วมีขนาดความกว้างที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่เกิดรอยร้าวที่บ่งชัดว่าจะเกิดการวิบัติที่มีนัยสำคัญเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.12



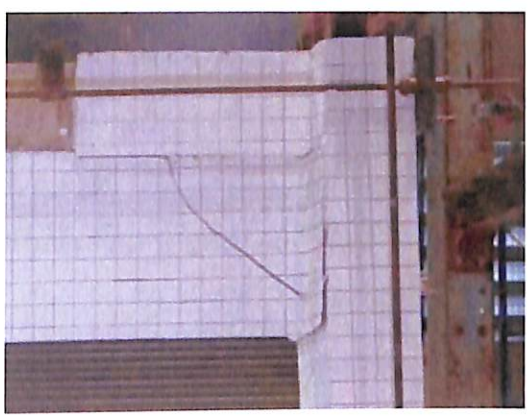
ภาพที่ 4.13 ลักษณะการวิบัติแบบ Diagonal Compressionที่ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +0.50% (IFO-SR)



ภาพที่ 4.14 ลักษณะการวิบัติแบบ Diagonal Compression ที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +0.75% (IFO-SR)



ภาพที่ 4.15 เกิดรอยแยกของเฟอร์โรซีเมนต์ที่ขอบเสาที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ -1.50% (IFO-SR)

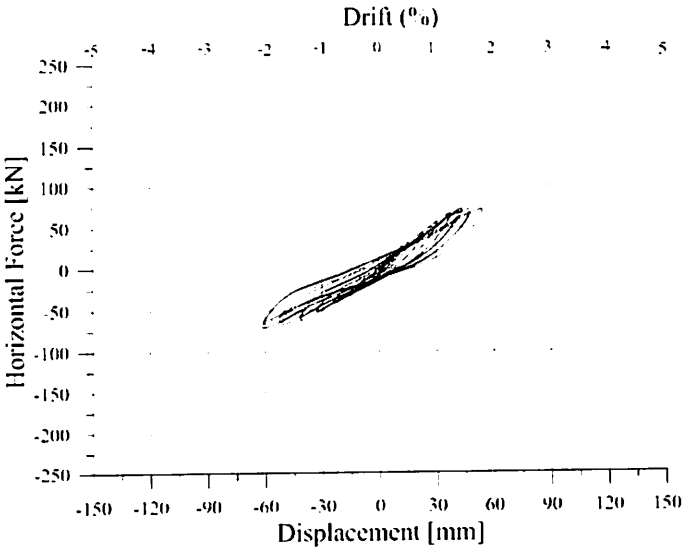


ภาพที่ 4.16 ลักษณะการวิบัติแบบ Diagonal Compression ที่การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ +1.50% (IFO-SR)

4.3 พฤติกรรมของเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิส (Hysteresis)

4.3.1 พฤติกรรมของเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิส(Hysteresis) Specimen BF

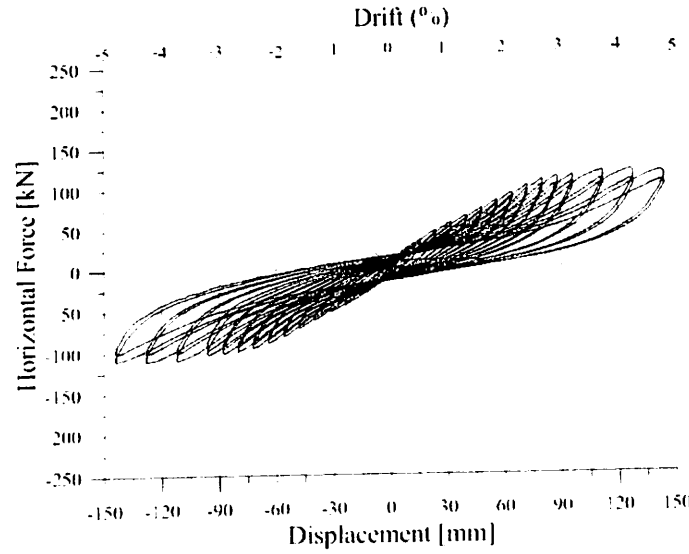
จากผลทดสอบ อนุชาติ (2558) จากรูปที่ 4.17 จะพบว่าโครงอาคาร มีพฤติกรรมการรับแรงแบบยืดหยุ่น(Elastic) จนถึงช่วงระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์(Drift Displacement) ±1.25%(40 mm) ซึ่งกำลังรับแรงด้านข้าง(Horizontal Force) มีค่าเท่ากับ 70.31 kN หลังจากนั้นจึงมีพฤติกกรมการรับแรงแบบไม่ยืดหยุ่น(Inelastic) ซึ่งค่ากำลังรับแรงด้านข้างมีค่าสูงสุดเท่ากับ72.47kN ที่ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์(Drift Displacement) ±1.37%(43.51 mm)



ภาพที่ 4.17 พฤติกรรม Hysteresis Specimen BF (อนุชาติ, 2558)

4.3.2 พฤติกรรมของเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิส(Hysteresis) BF-SR

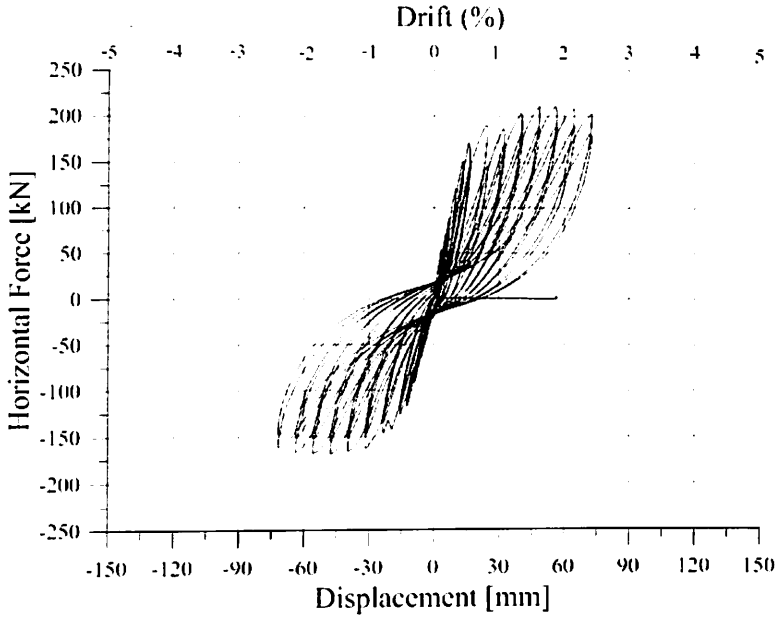
จากรูปที่ 4.18 จะพบว่าโครงอาคาร มีพฤติกรรมการรับแรงแบบยืดหยุ่น(Elastic) จนถึงช่วงระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์(Drift Displacement) ±2.70%(86.25 mm) ซึ่งกำลังรับแรงด้านข้าง (Horizontal Force) มีค่าเท่ากับ 115.63 kN หลังจากนั้นจึงมีพฤติกกรมการรับแรงแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic) ซึ่งค่ากำลังรับแรงด้านข้างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 117.97 kN ที่ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Drift Displacement) ±3.97%(126.93mm) จากนั้นทำการทดสอบต่อไป จนค่ากำลังรับแรงด้านข้างของโครงอาคารมีค่ากำลังรับแรงด้านข้าง มีค่าต่ำกว่าค่ากำลังรับแรงด้านข้างสูงสุด 20% ถือได้ว่าโครงอาคารเกิดการวิบัติ จึงได้ทำการหยุดการทดสอบ



ภาพที่ 4.18 พฤติกรรม Hysteresis Specimen BF-SR

4.3.3 พฤติกรรมของเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิส(Hysteresis) IFO-SR

จากรูปที่ 4.19 จะพบว่าโครงอาคาร มีพฤติกรรมการรับแรงแบบยืดหยุ่น(Elastic) จนถึงช่วงระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์(Drift Displacement) ±2.45%(18 mm) ซึ่งกำลังรับแรงด้านข้าง(Horizontal Force) มีค่าเท่ากับ 100.1 kN หลังจากนั้นจึงมีพฤติกกรมการรับแรงแบบไม่ยืดหยุ่น(Inelastic) ซึ่งค่ากำลังรับแรงด้านข้างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 118 kN ที่ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ (Drift Displacement) ±4.23%(64.65 mm) จากนั้นทำการทดสอบต่อไป จนค่ากำลังรับแรงด้านข้างของโครงอาคารมีค่ากำลังรับแรงด้านข้าง มีค่าต่ำกว่าค่ากำลังรับแรงด้านข้างสูงสุด 20% ถือได้ว่าโครงอาคารเกิดการวิบัติ จึงได้ทำการหยุดการทดสอบ



ภาพที่ 4.19 พฤติกรรม Hysteresis Specimen IFO-SR

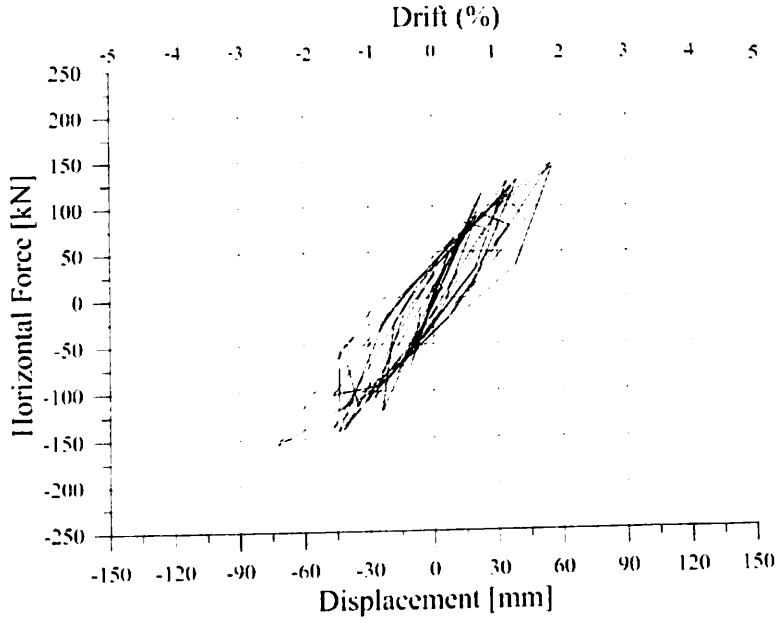
4.4 ผลการวิเคราะห์โครงข้อแข็งที่มีผนังก่อที่มีช่องเปิดเดิม(IFO)ภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักรด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (Carr, 2006)

ผลการวิเคราะห์โครงข้อแข็งที่มีผนังช่องเปิดภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักรจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงต้านทานของโครงข้อแข็งและเวลา ดังนี้ ค่าแรงต้านทานของแรงค้ำยันของผนังส่วนบน ค่าแรงต้านทานของแรงค้ำยันของผนังส่วนล่าง ค่าแรงเฉือนต้านทานของเสา และกำลังต้านทานรวมของโครงข้อแข็ง ซึ่งจะทำแสดงผลการวิเคราะห์เปรียบระหว่างโครงข้อแข็งที่มีผนังช่องเปิดเดิมและโครงข้อแข็งที่มีผนังช่องเปิดเสริมกำลังจากการคำนวณด้วยสมการที่นำเสนอและผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักแบบเป็นวัฏจักร เนื่องจากค่าแรงต้านทานของโครงข้อแข็งและผนังได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักแบบเป็นวัฏจักรจะแปรเปลี่ยนตามเวลา ดังนั้นจึงพิจารณา

ค่าแรงต้านทานสูงสุดของ ผนังส่วนบน ผนังส่วนล่างและเสา ที่ตำแหน่งเวลาเดียวกัน แล้วจึงนำแรงต้านทานที่ได้แต่ละส่วนมารวมกัน

4.4.1 พฤติกรรมของเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิส(Hysteresis) IFO

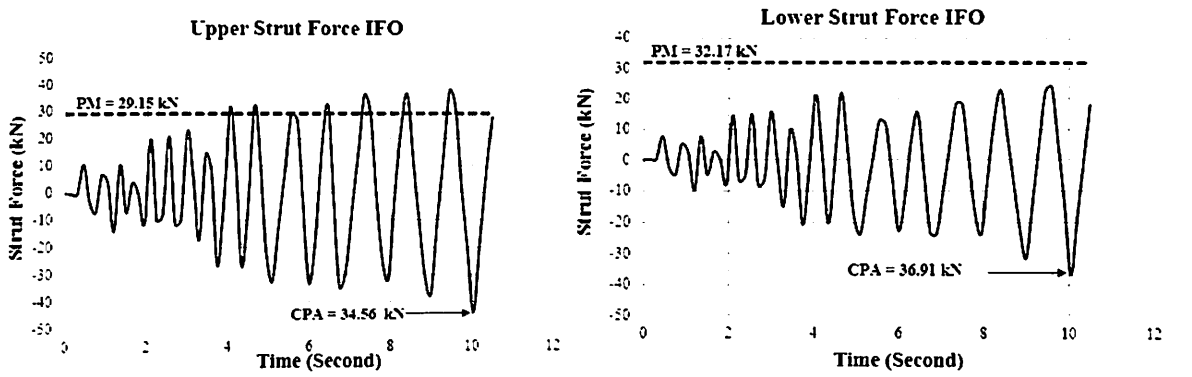
จากรูปที่ 4.20 จะพบว่าโครงอาคาร มีพฤติกรรมการรับแรงแบบยืดหยุ่น(Elastic) จนถึงช่วงระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์(Drift Displacement) ±0.72% (23.10 mm) ซึ่งกำลังรับแรงด้านข้าง(Horizontal Force) มีค่าเท่ากับ 125kN หลังจากนั้นจึงมีพฤติกกรมการรับแรงแบบไม่ยืดหยุ่น(Inelastic) ซึ่งค่ากำลังรับแรงด้านข้างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 144.71 kN ที่ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์(Drift Displacement) ±1.72% (55 mm) หลังจากช่วงนี้ไปกำลังรับแรงจะมีค่าลดลงและถือว่าโครงข้อแข็งเกิดการวิบัติแล้ว



ภาพที่ 4.20 พฤติกรรม Hysteresis Specimen IFO

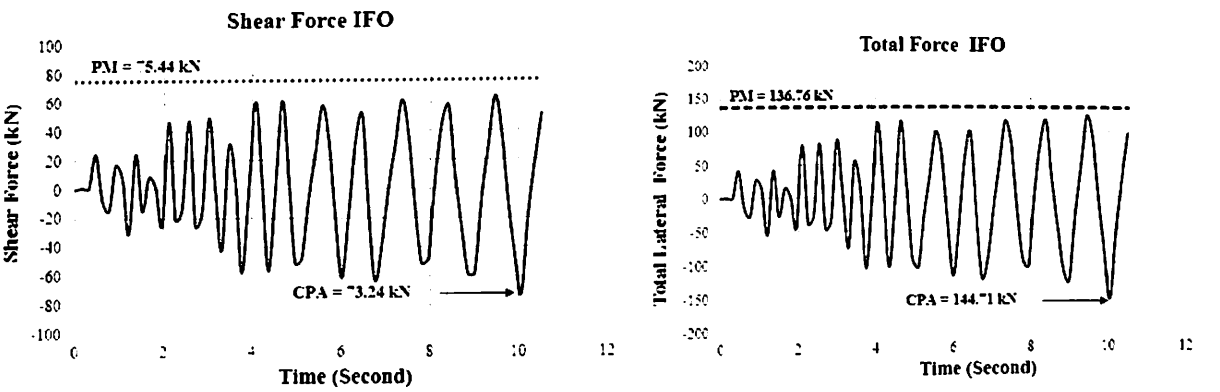
จากภาพที่ 4.21 แสดงค่ากำลังรับแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนังเสริมเดิมโดยเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ได้จากสมการคำนวณทางทฤษฎี (PM) และ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (CPA) ที่เวลา 10 วินาที โดยที่ผนังส่วนบนตามภาพที่ 4.21 (a) มีค่าเท่ากับ 20.15 kN และ 34.56 kN ตามลำดับ คิดเป็นค่าความแตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 18.56 และผนังส่วนล่างตามภาพที่ 4.21 (b) มีค่าเท่ากับ 32.17 kN และ 36.91 kN ตามลำดับคิดเป็นค่าความแตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 14.73 จากภาพที่ 4.22 (a) แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของเสาเดิมจากสมการที่คำนวณทางทฤษฎี(PM) และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (CPA) ที่เวลา 10 วินาที มีค่าเท่ากับ 75.44 kN และ 73.24 kN ตามลำดับคิดเป็นค่าความแตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 2.92 จากภาพที่

4.22 (b) แสดงค่ากำลังต้านทานแรงด้านข้างรวมระหว่างค่าที่ได้จากสมการคำนวณทางทฤษฎี (PM) และ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (CPA) ที่เวลา 10 วินาที มีค่าเท่ากับ 136.76 kNและ 144.71 kN ตามลำดับคิดเป็นค่าความแตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 5.81 หากพิจารณากำลังต้านรวมเปรียบเทียบเป็นหลัก พบว่าผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม RUAUMOKO (CPA) และผลคำนวณทางทฤษฎีมีค่าสอดคล้องกัน



(a) (b)

ภาพที่ 4.21 (a) กำลังค้ำยันของผนังส่วนบน,
(b) กำลังค้ำยันของผนังส่วนล่าง (IFO)



(a) (b)

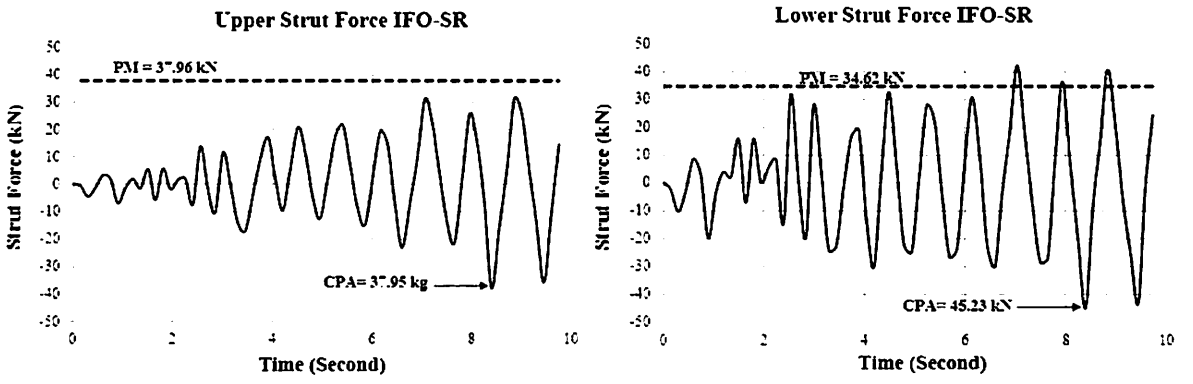
ภาพที่ 4.22 (a) กำลังรับแรงเฉือนแนวราบของเสา,
(b) กำลังรับแรงต้านทานรวม (IFO)

ตารางที่ 4.1 กำลังต้านทานของโครงข้อแข็งที่ผนังอิฐก่อแบบมีช่องเปิดเดิม (IFO)

โครงข้อแข็งมีผนังช่องเปิดเดิม	กำลังต้านทานของเสา(kN)	กำลังค้ำยันผนังอิฐก่อ		กำลังต้านทานรวม (kN)	ค่าความแตกต่าง (%)
		ผนังส่วนบน (F1) (kN)	ผนังส่วนล่าง (F2) (kN)		
แบบจำลองที่นำเสนอ (PM)	75.44	29.15	32.17	136.76	5.81
วิธีการผลักแบบวัฏจักร(CPA)	73.24	34.56	36.91	144.71	

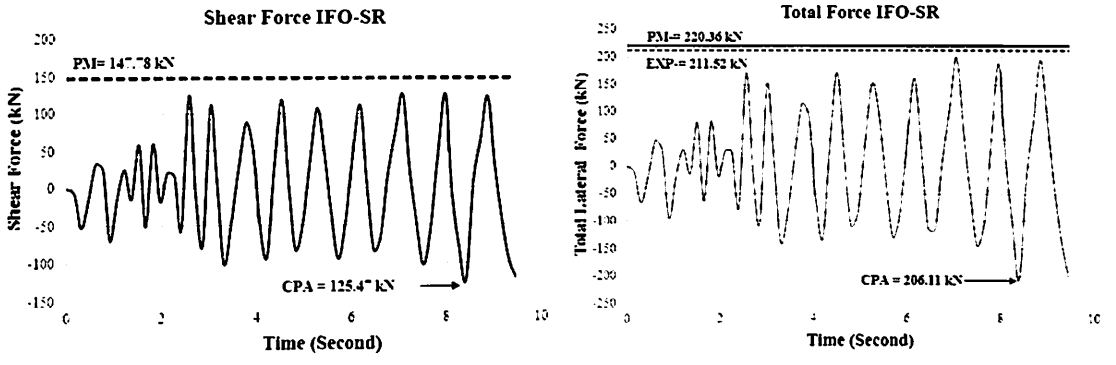
4.5 ผลการวิเคราะห์โครงข้อแข็งที่มีผนังก่อที่มีช่องเปิดเดิม (IFO-SR) ภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักรด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (Carr, 2006)

จากภาพที่ 4.23) แสดงค่ากำลังรับแรงค้ำยันเทียบเท่าของผนังเสริมกำลังโดยเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ได้จากสมการคำนวณทางทฤษฎี (PM) และ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (CPA) ที่เวลา 8.4 วินาที โดยที่ผนังส่วนบนตามภาพที่ 4.23 (a) มีค่าเท่ากับ 37.96 kN และ 37.95 kN ตามลำดับ คิดเป็นค่าความแตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 0.03 และผนังส่วนล่างตามภาพที่ 4.23 (b) มีค่าเท่ากับ 34.62 kN และ 45.23 kN ตามลำดับคิดเป็นค่าความแตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 30.65 จากภาพที่ 4.24 (a) แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือนของเสาเสริมกำลังจากสมการที่คำนวณทางทฤษฎี(PM) และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (CPA) ที่เวลา 8.4 วินาที มีค่าเท่ากับ 147.78 kN และ 125.47 kN ตามลำดับคิดเป็นค่าความแตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 15.10 จากภาพที่ 4.24 (b) แสดงค่ากำลังต้านทานแรงด้านข้างรวมระหว่างค่าที่ได้จากผลการคำนวณทางทฤษฎี (PM) ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (CPA) ที่เวลา 8.4 วินาที และค่าที่ได้จากการทดสอบ (EX) มีค่าเท่ากับ 220.36 kN 206.11 และ 211.52 kN ตามลำดับ โดยคิดเป็นค่าความแตกต่างจากผลการคำนวณทางทฤษฎี(PM) อยู่ที่ร้อยละ 6.47 และ 4.01 หากพิจารณากำลังต้านรวมเปรียบเทียบเป็นหลัก พบว่าผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม RUAUMOKO (CPA) และผลการทดสอบ (EX) มีค่าที่ได้สอดคล้องกับผลการคำนวณทางทฤษฎีถือว่ามีความน่าเชื่อถือได้



(a) (b)

ภาพที่ 4.23 (a) กำลังรับแรงค้ำยันของผนังส่วนบน,
(b) กำลังค้ำยันของผนังส่วนล่าง (IFO-SR)



(a) (b)

ภาพที่ 4.24 (a) แสดงกำลังรับแรงเฉือนแนวราบของเสา,
(b) กำลังรับแรงต้านทานรวม (IFO-SR)

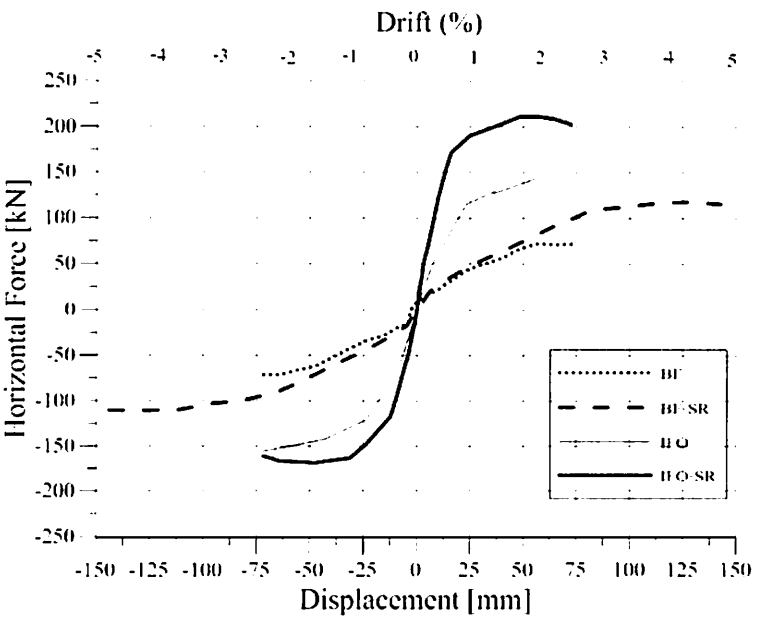
ตารางที่ 4.2 กำลังต้านทานของโครงข้อแข็งที่ผนังอิฐก่อแบบมีช่องเปิดเดิม (IFO-SR)

โครงข้อแข็งมีผนังช่องเปิดเดิม	กำลังต้านทานของเสา(kN)	กำลังค้ำยันผนังอิฐก่อ		กำลังต้านทานรวม (kN)	ค่าความแตกต่าง (%)
		ผนังส่วนบน (F1) (kN)	ผนังส่วนล่าง (F2) (kN)		
แบบจำลองที่นำเสนอ (PM)	147.78	37.96	34.62	220.36	
วิธีการผลักแบบวัฏจักร(CPA)	125.47	37.95	45.23	206.11	6.47

4.6 กำลังสูงสุดและค่าความเหนียว

จากภาพที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานสูงสุดกับระยะการเคลื่อนที่ พบว่าโครงข้อแข็งสร้าง IFO-SR มีค่ากำลังรับแรงที่สูงกว่ามากกว่าทุกตัวอย่าง รองลงมาเป็น IFO, BF-SR และ BF ตามลำดับหากเปรียบเทียบระหว่างโครงข้อแข็งเดิม (BF) และโครงข้อแข็งเสริมกำลัง (BF-SR) พบว่าโครงข้อแข็ง(BF) มีกำลังต้านทานสูงสุดเท่ากับ 72.47kN และ โครงข้อแข็งเสริมกำลัง (BF-SR) มีค่าเท่ากับ118.0 kN คิดเป็นกำลังต้านทานที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 62.83 ส่วนกำลังต้านทานสูงสุดของโครงข้อแข็งที่มีผนังก่อแบบมีช่องเปิดเดิม(IFO) และโครงข้อแข็งที่มีผนังก่อแบบมีช่องเปิดเสริมกำลัง (IFO-SR) มีค่าเท่ากับ 144.71kN และ 211.52kN ตามลำดับ คิดเป็นกำลังต้านทานที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 46.17แสดงให้เห็นว่าการเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์เสริมตะแกรงเหล็กฉีกให้กับโครงข้อแข็งเดิม(BF)และโครงข้อแข็งที่ผนังก่อแบบมีช่องเปิดเดิม(IFO) มีผลต่อกำลังรับแรงที่เพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน โดยที่เปรียบเทียบผลของแรงที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เดียวกัน

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่ากำลังรับแรงในช่วงคราก(Yield Strength, V_y) และระยะการเคลื่อนตัวที่จุดคราก(Yield Displacement, Δ_y) พบว่าโครงข้อแข็ง IFO-SR มีค่ากำลังรับแรงในช่วงคราก (Yield Force) สูงที่สุดรองลงมาเป็น IFO,BF-SR และ BF ตามลำดับ ซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างโครงข้อแข็งเดิม (BF) และโครงข้อแข็งเสริมกำลัง (BF-SR) พบว่ามีค่าเท่ากับ 70.31 kN และ 115.63 kN ตามลำดับ คิดเป็นกำลังต้านทานที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมกำลังอยู่ที่ร้อยละ 64.46 ส่วนโครงข้อแข็งที่มีผนังก่อแบบมีช่องเปิดเดิม(IFO) และโครงข้อแข็งที่มีผนังก่อแบบมีช่องเปิดเสริมกำลัง (IFO-SR) มีค่าเท่ากับ 125.0 kN และ 188.0 kN ตามลำดับ คิดเป็นกำลังต้านทานที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมกำลังอยู่ที่ร้อยละ 50.4 แสดงให้เห็นว่าการเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์เสริมตะแกรงเหล็กฉีกให้กับโครงข้อแข็งและโครงข้อแข็งที่ผนังก่อแบบมีช่องเปิดมีผลให้กำลังรับแรงที่จุดคราก มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่เปรียบเทียบผลของแรงที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เดียวกัน



ภาพที่ 4.25 แสดง Envelop curve ของ BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR

ตารางที่ 4.3 Yield Strength และ displacement ของ BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR

Specimens	Drift %	Yield Strength (V_y) kN	Yield displacement (Δ_y) mm	Load Capacity
BF	1.25	70.31	40.00	1.00
BF-SR	2.70	115.63	86.25	1.64
IFO	0.72	125.00	23.10	1.78
IFO-SR	0.53	188.00	18.00	2.67

ตารางที่ 4.4 Peak strength และ displacement ของ BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR

โครงข้อแข็ง	Drift %	Peak Strength (V_m) kN	Maximum displacement(Δ_m) mm	Load Capacity
BF	1.36	72.47	43.51	1.00
BF-SR	3.97	118.00	126.93	1.63
IFO	1.72	144.71	55.00	1.99
IFO-SR	1.90	211.52	64.65	2.92

จากตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานสูงสุดกับระยะการเคลื่อนที่ พบว่า โครงข้อแข็ง IFO-SR มีค่ากำลังรับแรงที่สูงกว่าทุกตัวอย่าง รองลงมาเป็น IFO, BF-SR และ BF ตามลำดับ หากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างโครงข้อแข็งเดิม(BF) และโครงข้อแข็งเสริมกำลัง(BF-SR) พบว่ามีกำลังต้านทานเท่ากับ 72.47kN และ 118.0 kN ตามลำดับ คิดเป็นกำลังต้านทานที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมกำลังอยู่ที่ร้อยละ 62.83 ส่วนโครงข้อแข็งที่มีผนังก่อแบบมีช่องเปิดเดิม (IFO) และโครงข้อแข็งที่มีผนังก่อแบบมีช่องเปิดเสริมกำลัง(IFO-SR) มีค่าเท่ากับ 144.71 kN และ 211.52 kN ตามลำดับคิดเป็นกำลังต้านทานที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมกำลังอยู่ที่ร้อยละ 46.17 แสดงให้เห็นว่าการเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์เสริมตะแกรงเหล็กฉีกให้กับโครงข้อแข็งและโครงข้อแข็งที่ผนังก่อแบบมีช่องเปิดมีผลต่อกำลังรับแรงที่มีค่าเพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน โดยที่เปรียบเทียบผลของแรงที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เดียวกัน

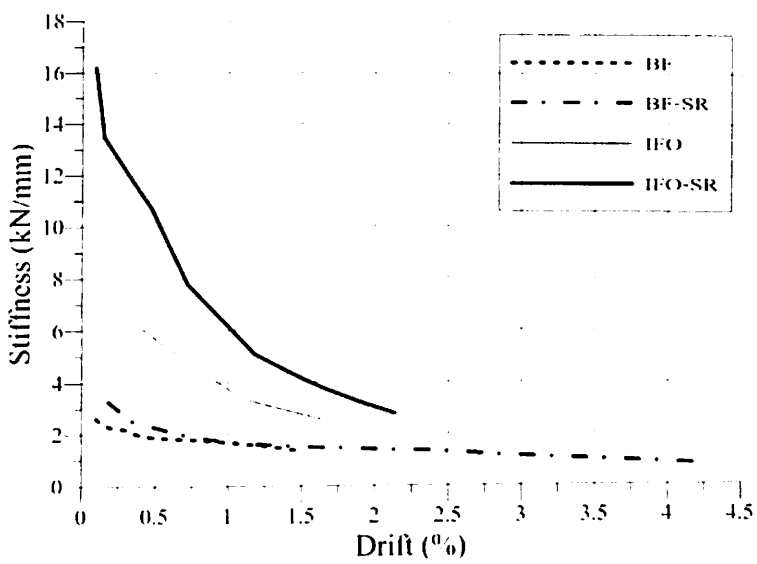
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเหนียวของ BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR

โครงข้อแข็ง	**ค่าความเหนียว** $\mu = \Delta_m/\Delta_y$
BF	1.09
BF-SR	1.47
IFO	2.38
IFO-SR	3.59

จากตาราง 4.5 แสดงค่าความเหนียวของโครงข้อแข็งสูงสุดซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างการเคลื่อนที่ของโครงข้อแข็งสูงสุด (Δ_m)และการเคลื่อนที่ที่จุดคคราก(Δ_y)พบว่าโครงข้อแข็ง IFO-SR มีค่ากำลังรับแรงที่สูงกว่ามากกว่าทุกตัวอย่าง รองลงมาเป็น IFO, BF-SR และ BF ตามลำดับหากเปรียบเทียบระหว่างโครงข้อแข็งเดิม(BF) และโครงข้อแข็งเสริมกำลัง (BF-SR) พบว่าเท่ากับ 1.09 และ 1.47 ตามลำดับคิดเป็นค่าความเหนียวที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมกำลังอยู่ที่ร้อยละ 34.86 ส่วนโครงข้อแข็งที่มีผนังก่อแบบมีช่องเปิดเดิม(IFO) และโครงข้อแข็งที่มีผนังก่อแบบมีช่องเปิดเสริมกำลัง (IFO-SR) พบว่าเท่ากับ 2.38 kN และ 3.59 kN ตามลำดับ คิดเป็นค่าความเหนียวที่พิ่มขึ้นจากการเสริมกำลังอยู่ที่ร้อยละ 50.84 แสดงให้เห็นว่าการเสริมกำลังด้วยวิธีเฟอร์โรซีเมนต์เสริมตะแกรงเหล็กฉีกมีผลต่อค่าความเหนียวที่เพิ่มขึ้นเทียบกับโครงข้อแข็งเดิมที่ไม่ได้มีการเสริมกำลัง

4.7 ค่าสติฟเนส (Stiffness Degradation)

จากภาพที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าค่าสติฟเนส (Stiffness) ของโครงข้อแข็งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ เนื่องจากแรงกระทำจะมีมากขึ้นตามระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์และกระทำซ้ำสลับไป-มา ส่งผลให้โครงข้อแข็งมีความล้า (Fatigue Failure) แม้ว่าแรงที่กระทำจะยังไม่เกินกำลังต้านทานสูงสุดของตัวโครงข้อแข็งที่รับได้ แต่นำมาซึ่งความเสียหายของโครงสร้างส่วนต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อกำลังรับแรงโดยรวมของโครงข้อแข็งมีค่าลดลงได้ ทำให้ค่าสติฟเนสจึงมีค่าลดลง การเปรียบเทียบผลจะต้องทราบค่าสติฟเนสเริ่มต้น (Initial Stiffness, K_o) ซึ่งพิจารณาจากช่วงกำลังรับแรงที่จุดคราก (V_y) เทียบกับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่จุดคราก (Δ_y) เช่นกัน ผลจากการทดสอบพบว่าโครงข้อแข็งIFO-SR มีค่าสติฟเนสสูงกว่าทุกโครงข้อแข็งเทียบที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เดียวกัน รองลงมาเป็น IFO,BF-SR และ BF ตามลำดับ

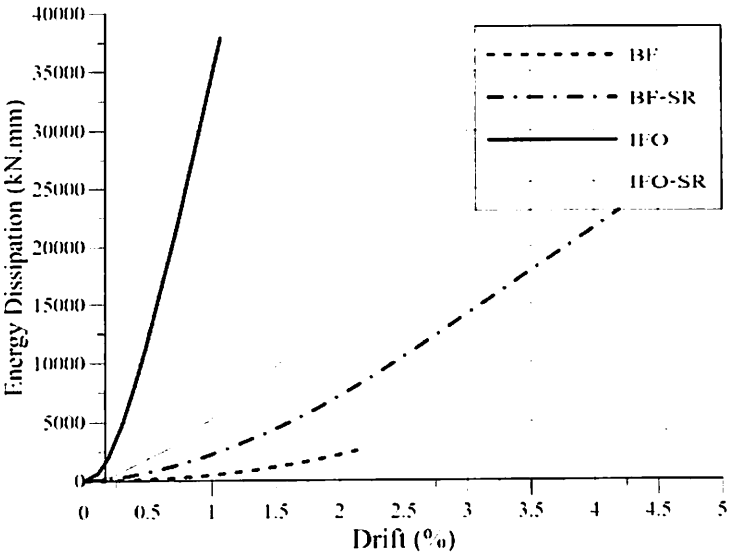


ภาพที่ 4.26 แสดงค่าสติฟเนสของ BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR

4.8 การสลายพลังงาน (Energy Dissipation)

จากภาพที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบผลของค่าการสลายพลังงานที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ต่างๆของโครงข้อแข็งภายใต้แรงกระทำแบบสลับ กลับไป-กลับมา การสลายพลังเป็นกลไกที่ใช้รักษาเสถียรภาพของโครงสร้างเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยตรง จากผลการศึกษาพบว่า โครงข้อแข็งที่มีการเสริมกำลังด้วยตะแกรงเหล็กฉีก IFO-SR มีความสามารถในการสลายพลังงานได้ดีกว่าทุกโครงข้อแข็ง รองลงมาเป็น IFO, BF-SR และBF ตามลำดับในทุกการเปรียบเทียบที่ระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์เดียวกัน เนื่องจากการเสริมกำลังแก่โครงข้อแข็งมีส่วนช่วยเพิ่มพื้นที่หน้าตัดรับแรง

และค่าสติฟเนสรวมทั้งความเฉื่อยที่สูงขึ้นทำให้แรงกระทำที่จะทำให้โครงข้อแข็งมีการเคลื่อนที่หรือเสียรูปจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้นตาม



ภาพที่ 4.27 การสลายพลังงาน BF, BF-SR, IFO และ IFO-SR