

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

นเรศ พันธนาธร. 2544. พฤติกรรมของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงแผ่นดินไหว.

เอกสารประกอบสัมมนา เรื่องการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหว ครั้งที่ 4.

ภัทรายุส ไวจรรยา. 2542. ความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ปราศจาก  
ความเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรพงษ์ จินข้าง. 2541. พฤติกรรมของเหล็กเสริมภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### ภาษาอังกฤษ

Chopra, A.K. and Goel, R.K. 2001. A modal pushover analysis procedure for  
estimating seismic demands for building. Earthquake Engineering Structural  
Dynamic. ASCE 31 : 561-582.

Gomes, A. and Appleton, J. 1997. Nonlinear cyclic stress-strain relation of reinforcing  
bars including buckling. Elsevier Engineering Structural Division. 10(9) : 822-826.

Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K. and Taylor, A. W. 1997. Stress-strain model  
for confined reinforced concrete in bridge piers. Journal of Structural Engineering.  
ASCE 123(5) : 624-633.

Kent, D.C. and Park, R. 1971. Flexural members with confined concrete. Journal of  
Structural Engineering. ASCE 97(7) : 1969-1990.

Krawinkler, H. 1998. Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance  
evaluation. Engineering Structure. 20 : 452-464.

Maekawa, K. and Okamura, H. 1991. Nonlinear analysis and constitutive model of  
reinforced concrete. Gihodo-Shuppan. Tokyo Japan.

Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R. 1988. Theoretical stress-strain model for  
confined concrete. Journal of Structural Engineering. ASCE 114(8) : 1804-1826.

Monti, G., and Nuti, C. 1992. Nonlinear cyclic behavior of reinforcing bars including  
buckling bars. Journal of Structural Engineering. ASCE 118(12) : 3268-3284.

- Nubutaka Nakazawa, Kazuhiko Kawashima, and Junichi Sakai. 2002. Nonlinear seismic response analysis of a reinforced concrete bridge pier by the fiber element. Journal of Structural Engineering. JSCE Japan.
- Papia, P. and Russo, G. 1989. Instability of longitudinal bars in RC columns. Journal of Structural Engineering. ASCE 114(2) : 445-461.
- Sakai, J. and Kawashima, K. 2000. Effect of varying axial loads including a constant tension on seismic performance of reinforced concrete bridge columns. Journal of Structural Engineering. JSCE Japan.
- Serbpong Kiatthivisanchai. 2000. Evaluation of seismic performance of an existing medium - rise reinforced concrete frame building in Bangkok. Thesis ST-0111(AIT).
- Sheikh, S. A. and Uzumeri, S. M. 1982. Analytical model for concrete confinement in tied columns. Journal of Structural Engineering. ASCE 108(12) : 2703- 2722.
- Sheikh, S. A. and Yez, C. C. 1992. Analytical moment-curvature relations for tie concrete columns. Journal of Structural Engineering. ASCE 118(2) : 529-544.
- Spacone, E., Filippou, F. C., and Taucer, F. F. 1991. A fiber beam-column element for seismic response analysis of reinforced concrete structures. Report No. UCB/EERC-91/17. University of California Berkeley.
- Spacone, E., Filippou, F. C., and Taucer, F. F. 1996b. Fiber beam-column model for nonlinear analysis of R/C frames. Part I: Formulation. Earthquake Engineering and Structural Dynamic. 25 : 711-725.
- Spacone, E., Filippou, F. C., and Taucer, F. F. 1996b. Fiber beam-column model for nonlinear analysis of R/C frames. Part I: Application. Earthquake Engineering and Structural Dynamic. 25 : 727-747.
- Suda, K., Murayama, Y., Ichinomiya, T., and Shimbo, H. 1996. Buckling behavior of longitudinal reinforcing bars in concrete column subjected to reverse lateral loading. Proceeding 11<sup>th</sup> World Conference On Earthquake Engineering. Paper No.1753.
- Takeda, T., Sozen, M. A., and Nielsen, N. N. 1970. Reinforced concrete response to simulated earthquakes. Journal of Structural Engineering. ASCE 96(12) : 2557-2573

Valles R.E., Reinhorn A.M., Kunnath S.K., Li C., and Madan A. 1996. IDARC2D version 4.0 : A computer program for the inelastic damage analysis of buildings. Report No. NCEER-96-0010, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of Newyork at Buffalo.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### ผลของพารามิเตอร์ในแบบจำลองต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้มีการนำแบบจำลองไฟเบอร์ (Fiber model) มาใช้ในการจำลองพฤติกรรมไม่เชิงเส้นขององค์อาคาร โดยวิธีแบ่งหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กออกเป็นส่วยย่อย และใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด คอนกรีตที่มีการโอบรัด และเหล็กเสริมในการคำนวณ ดังนั้นในส่วนแรกของงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในแบบจำลองวัสดุ และพารามิเตอร์อื่นๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ ที่มีต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา จากนั้นจะทำการสอบเทียบค่าพารามิเตอร์โดยการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ กับ ผลการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร โดยเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากในขั้นตอนแรกมาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบก่อนที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างจริงต่อไป

สำหรับการศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่มีต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสาในครั้งนี้ จะทำการศึกษาพารามิเตอร์ในแบบจำลองวัสดุของคอนกรีตและเหล็กเสริม และพารามิเตอร์อื่นๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งได้แก่

1. ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดในแบบจำลองคอนกรีตที่มีการโอบรัด
2. ค่า  $R_0$ ,  $a_1$  และ  $a_2$  ในแบบจำลองเหล็กเสริมของ Menegotto และ Pinto
3. ลักษณะพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตที่ถูกโอบรัดโดยเหล็กปลอก ที่ใช้ในการแบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็นส่วยย่อย พิจารณาเป็นหน้าตัดเต็มรูปสี่เหลี่ยม และหน้าตัดบางส่วนรูปสามเหลี่ยม
4. ความยาวของจุดหมุนพลาสติก (plastic hinge length)
5. จำนวนระยะเวลาในแต่ละขั้นของการอินทิเกรท (NDTB)
6. ผลของชิ้นส่วนสปริงที่รอยต่อระหว่างเสากับฐานราก

ส่วนตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นผลการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 1 ตัวอย่าง ที่ทำการทดสอบโดย Sakai และ Kawashima (2001) โดยในกรณีเสาที่ทำการทดสอบโดย Sakai และ Kawashima จะได้รับแรงในแนวแกนไม่คงที่ และแรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร โดยควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่งที่ระดับความสูง 1,350 mm จากฐาน สำหรับตัวอย่างทดสอบที่ใช้จะมีขนาด 400 mm x 400 mm ใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 mm จำนวน 20 เส้น เป็นเหล็กเสริมตามยาว ส่วนเหล็กเสริมทางขวางใช้เหล็กเส้นกลมขนาด 6 mm ใช้ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมทางขวางเท่ากับ 50 mm รายละเอียดของหน้าตัดเสาและการเสริม

เหล็กของตัวอย่างทดสอบ แสดงได้ดังตารางที่ ผ.ก.1 ส่วนในการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองไฟเบอร์ (Fiber model) โดยวิธีแบ่งหน้าตัดออกเป็นส่วยย่อย จะใช้แบบจำลองคอนกรีตที่ไม่มี การโอบรัดของ Kent และ Park (1971) แบบจำลองคอนกรีตที่มีการโอบรัดของ Sakai และ Kawashima (2001) และแบบจำลองเหล็กเสริมของ Menegotto และ Pinto (1997)

ผลการศึกษาพารามิเตอร์ในแบบจำลองวัสดุและพารามิเตอร์อื่นๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ ที่มี ต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา แสดงได้ในรูปที่ ผ.ก.1 - ผ.ก.6 ซึ่งสรุปผลการศึกษา พารามิเตอร์ได้ดังนี้

1. ความชันขาลง (descending branch) ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับ ความเครียดในแบบจำลองคอนกรีตที่มีการโอบรัด ที่มีต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสาแสดง ได้ในรูปที่ ผ.ก.1 พบว่า เมื่อเพิ่มความชันขาลงให้สูงขึ้น ( $E_{des} = 4136$  MPa) จากความชันขาลง ( $E_{des} = 1034$  MPa) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามสมการที่ 1 ในบทที่ 2 โดยที่พารามิเตอร์อื่น ๆ มีค่าคงที่ จะทำให้วงรอบฮิสเทอริติกของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ ด้านข้างที่ปลายบนและล่างมีการลดลงของแรงกระทำด้านข้างอย่างไม่สม่ำเสมอ และทำให้หน่วย แรงและความเครียดในเหล็กเสริมมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มความชันขาลงให้สูงขึ้น จะ ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อยู่ภายในเหล็กปลอกมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบ เทียบกับความชันขาลงอื่นๆ ดังนั้นจึงทำให้เสามีกำลังรับแรงที่น้อยกว่าซึ่งทำให้เกิดการลดลงของแรง อย่างไม่สม่ำเสมอ และในทางตรงกันข้ามเมื่อลดความชันขาลงให้น้อยลง ( $E_{des} = 258.5$  MPa) จะ ทำให้วงรอบฮิสเทอริติกของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนที่ ด้านข้างที่ปลายบนและล่างมีการเพิ่มขึ้นของแรงกระทำด้านข้างค่อนข้างสม่ำเสมอ และทำให้ หน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริมมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการลดความชันขาลงให้น้อยลง จะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อยู่ภายในเหล็กปลอกมีค่าลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบ เทียบกับความชันขาลงอื่นๆ ดังนั้นจึงทำให้เสามีกำลังรับแรงที่ดีกว่าซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรง อย่างสม่ำเสมอ

2. ค่าพารามิเตอร์  $R_0$  ,  $a_1$  และ  $a_2$  ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับ ความเครียดในแบบจำลองเหล็กเสริม ที่มีต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา ตามสมการที่ 2.32 ในบทที่ 2 (เมื่อ  $R_0 = 20$ ,  $a_1 = 18.5$  และ  $a_2 = 0.5$ ) แสดงได้ในรูปที่ ผ.ก.2 - ผ.ก.4 พบว่า พารามิเตอร์  $R_0$  ,  $a_1$  และ  $a_2$  จะมีผลต่อส่วนโค้งของเส้นกราฟ (Baushinger effect) โดยเมื่อ เพิ่มค่าพารามิเตอร์  $R_0$  ให้สูงขึ้น ( $R_0 = 30$ ) จาก  $R_0 = 20$  โดยที่พารามิเตอร์  $a_1$  และ  $a_2$  มีค่าคงที่ จะทำให้วงรอบฮิสเทอริติกของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างและการเคลื่อนที่

ด้านข้าง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง และ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริมมีลักษณะเป็นเหลี่ยมและคมขึ้น แต่เมื่อลดค่าพารามิเตอร์  $R_0$  ให้น้อยลง ( $R_0=19$ ) จะทำให้กราฟทั้ง 3 มีลักษณะส่วนโค้งของเส้นกราฟที่น้อยลง และเมื่อลดค่าพารามิเตอร์  $R_0$  ให้น้อยลงมากกว่านี้ จะทำให้ได้ลักษณะของกราฟสเปสปะไม่เป็นวงรอบฮีสเทอเรติก ส่วนในกรณีพารามิเตอร์  $a_1$  พบว่าเมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์  $a_1$  ( $a_1=30$ ) ให้สูงขึ้นจาก  $a_1=18.5$  โดยที่พารามิเตอร์  $R_0$  และ  $a_2$  มีค่าคงที่ จะทำให้กราฟความสัมพันธ์ทั้ง 3 มีลักษณะสเปสปะไม่เป็นวงรอบฮีสเทอเรติก แต่เมื่อลดค่าพารามิเตอร์  $a_1$  ให้น้อยลง ( $a_1=10$ ) จะทำให้วงรอบฮีสเทอเรติกของกราฟทั้ง 3 มีลักษณะเป็นเหลี่ยมและคมขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อลดและเพิ่มค่าพารามิเตอร์  $R_0$  ตามลำดับ และในส่วนของพารามิเตอร์  $a_2$  พบว่า ไม่ว่าจะเพิ่มหรือลดค่าพารามิเตอร์  $a_2$  ( $a_2=0.30$  และ  $a_2=0.0$ ) จะทำให้ได้วงรอบฮีสเทอเรติกของกราฟมีลักษณะใกล้เคียงกัน

3. จำนวนระยะเวลาแต่ละขั้นของการอินทิเกรต ที่มีต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา แสดงได้ในรูปที่ ผ.ก.5 พบว่า เมื่อเพิ่มหรือลดจำนวน step time ในการอินทิเกรต (NTDB=100 และ NTDB=10) จากค่า NTDB=50 จะทำให้วงรอบวงรอบฮีสเทอเรติกของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ด้านข้าง และ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของคอนกรีตและเหล็กเสริม มีลักษณะใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากการวิเคราะห์องค์อาคารเดี่ยว หรือการวิเคราะห์เสาคอนกรีตเสริมเหล็กให้รับแรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร เป็นการวิเคราะห์ที่ไม่มีความซับซ้อน และมีพฤติกรรมไม่เชิงเส้น (nonlinear behavior) ที่ทำให้เกิดความเสียหายในเสาไม่มาก ดังนั้นจึงทำให้ผลของจำนวนระยะเวลาแต่ละขั้นที่ใช้ในการอินทิเกรตที่มีต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสามีค่าไม่แตกต่างกัน

4. ความยาวของจุดหมุนพลาสติก (plastic hinge length) ที่มีต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา แสดงได้ในรูปที่ ผ.ก.6 โดยกำหนดให้ความยาวของจุดหมุนพลาสติก มีค่าเท่ากับ  $0.5D$  เมื่อ  $D$  เป็นความลึกของหน้าตัดเสา พบว่า เมื่อเพิ่มความยาวของจุดหมุนพลาสติกให้สูงขึ้น ( $L_p=400$  มม.) จาก  $L_p=200$  มม. จะทำให้วงรอบวงรอบฮีสเทอเรติกของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ด้านข้างมีลักษณะแคบและยาวขึ้น และทำให้ความเครียดในคอนกรีตและเหล็กเสริมมีค่าลดลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อลดความยาวของจุดหมุนพลาสติกให้น้อยลง ( $L_p=50$  มม.) จะทำให้วงรอบฮีสเทอเรติกของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ด้านข้างมีลักษณะกว้างและสั้นลง และทำให้ความเครียดในคอนกรีตและเหล็กเสริมมีค่าเพิ่มขึ้น

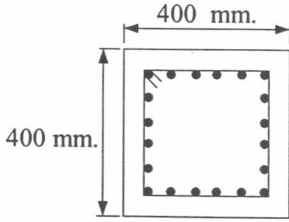
5. ลักษณะพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดโดยเหล็กปลอก พิจารณาเป็นหน้าตัดเต็มรูปสี่เหลี่ยม และหน้าตัดบางส่วนรูปสามเหลี่ยม ที่มีต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา แสดงได้ดังรูปที่ ผ.ก.7 พบว่า การใช้พื้นที่คอนกรีตที่ถูกโอบรัดโดยเหล็กปลอกเป็นรูปสี่เหลี่ยมหน้าตัดเต็ม ในการแบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็นส่วนย่อย จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบมากกว่า การใช้พื้นที่คอนกรีตรูปสามเหลี่ยมหน้าตัดบางส่วน ทั้งนี้เนื่องมาจาก พื้นที่คอนกรีตที่ถูกโอบรัดโดยเหล็กปลอกรูปสี่เหลี่ยมหน้าตัดเต็ม จะมีพื้นที่ของ confined concrete มากกว่า unconfined concrete ซึ่งทำให้เสามีกำลังรับแรงที่ดีและสม่ำเสมอมากกว่าพื้นที่คอนกรีตที่ถูกโอบรัดโดยเหล็กปลอกรูปสามเหลี่ยมหน้าตัดบางส่วน ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของ confined concrete น้อยกว่า unconfined concrete

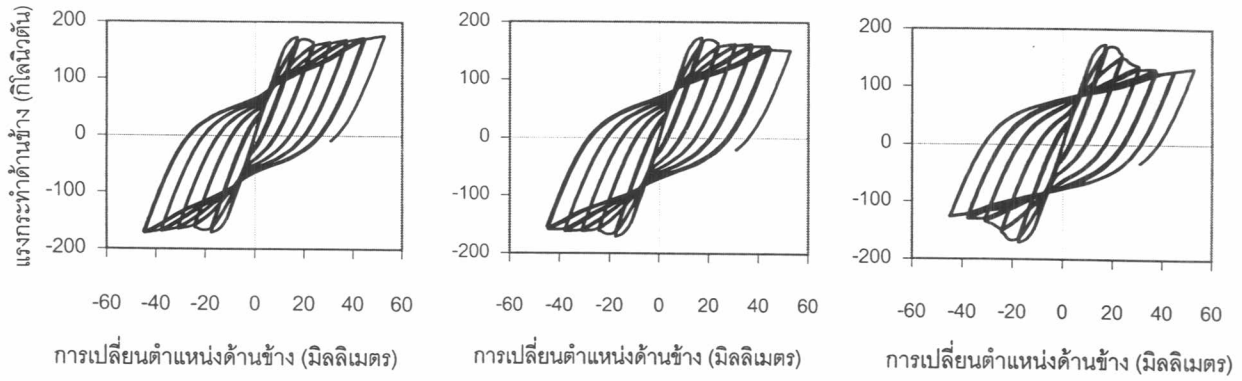
6. ผลของชั้นส่วนสปริงที่รอยต่อระหว่างเสากับฐานรากในแบบจำลองต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา แสดงได้ในรูปที่ ผ.ก.8 พบว่า เมื่อมีชั้นส่วนสปริงซึ่งแทนการเปลี่ยนรูปเฉพาะที่ของการดึงออกของเหล็กเสริมด้านรับแรงดึงที่รอยต่อระหว่างเสากับฐานรากในแบบจำลอง จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบมากกว่าเมื่อไม่มีชั้นส่วนสปริง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปเฉพาะที่ของการดึงออกของเหล็กเสริมด้านรับแรงดึงที่เกิดขึ้น ทำให้เสามีสติเฟ้นส์ที่ลดลง ดังนั้นจึงทำให้ความชันในช่วงการให้แรงเพิ่มขึ้นของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ด้านข้างมีค่าลดลง ซึ่งมีผลทำให้วงรอบฮีสเทอเรติกมีขนาดเล็กและแคบกว่าเมื่อไม่มีชั้นส่วนสปริง

ผลการสอบเทียบค่าพารามิเตอร์โดยการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงกระทำแบบเป็นวัฏจักร ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างกับการเคลื่อนที่ด้านข้างของตัวอย่างทดสอบที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ ผ.ก.8(ข) โดยเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการศึกษาที่ผ่านมาคือ 1) ความชันขาลงของแบบจำลองคอนกรีตที่มีการโอบรัด 2) ค่าพารามิเตอร์  $R_0 = 20$ ,  $a_1 = 18.5$  และ  $a_2 = 0.5$  3) ความยาวของจุดหมุนพลาสติก เท่ากับ  $0.5D$  เมื่อ  $D$  เป็นความลึกของหน้าตัดเสา 4) จำนวนระยะเวลาแต่ละขั้นของการอินทิเกรต เท่ากับ 10 5) พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดโดยเหล็กปลอกเป็นหน้าตัดเต็มรูปสี่เหลี่ยม และ 6) มีชั้นส่วนสปริงที่รอยต่อระหว่างเสากับฐานราก พบว่า ผลการวิเคราะห์ที่ใช้แบบจำลองไฟเบอร์ของตัวอย่างทดสอบที่ 1 ให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดสอบในระดับหนึ่ง

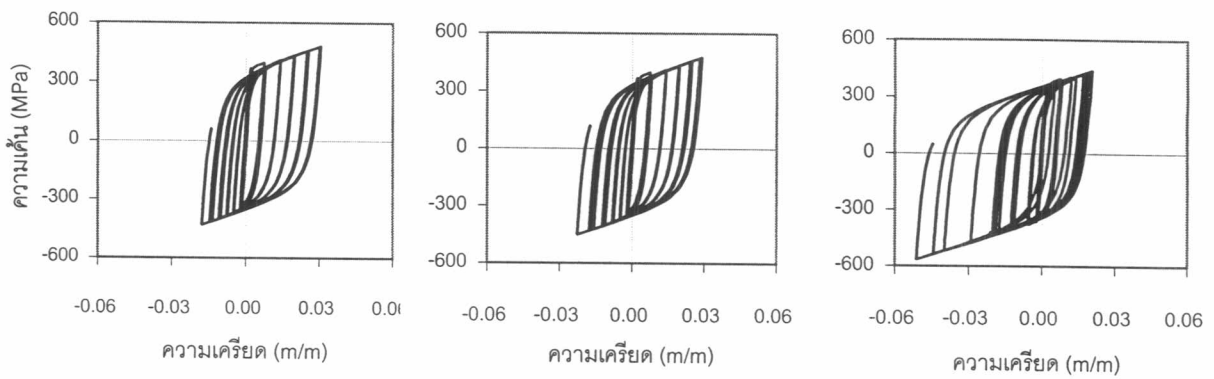


ตารางที่ ผ.ก.1 รายละเอียดหน้าตัดและการเสริมเหล็กของเสาที่ใช้สอบเทียบค่าพารามิเตอร์

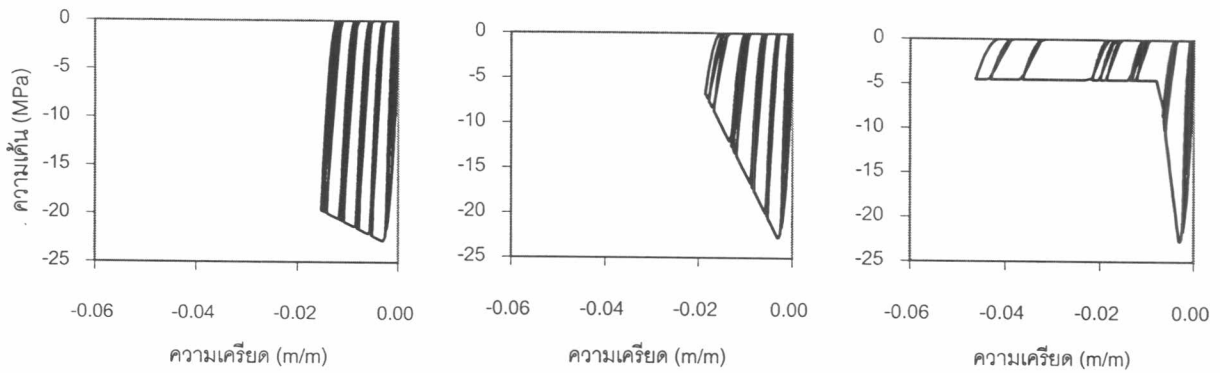
ตัวอย่าง	ลักษณะหน้าตัด	รายละเอียดหน้าตัด
1. Sakai และ Kawashima		เหล็กยื่น: 20DB13mm เหล็กปลอก: 6mm@50mm $f'_c = 229 \text{ ksc}$ , $f_y = 3740 \text{ ksc}$ , $f_{yh} = 3630 \text{ ksc}$ , $\rho_s = 0.67\%$



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างกับแรงกระทำด้านข้าง



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริม



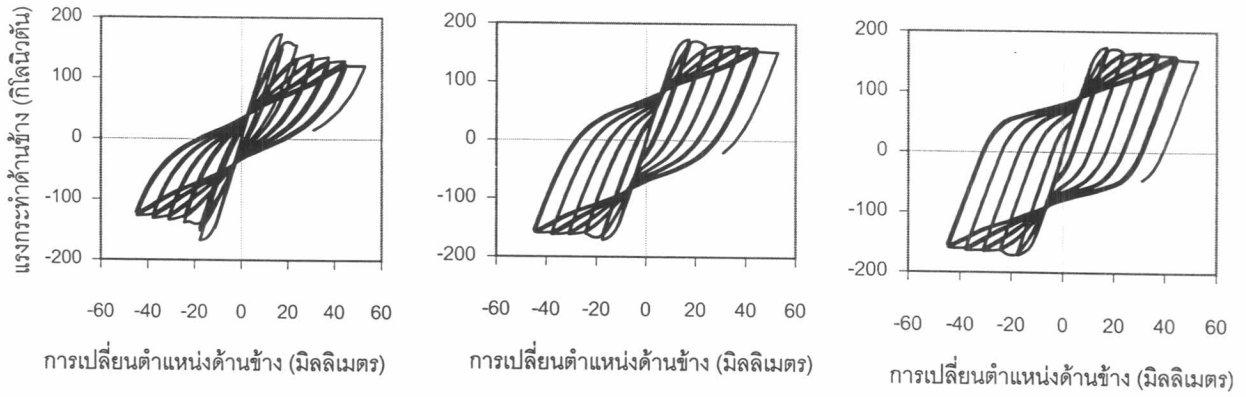
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ confined concrete

(1)  $E_{des}=258.5 \text{ MPa}$

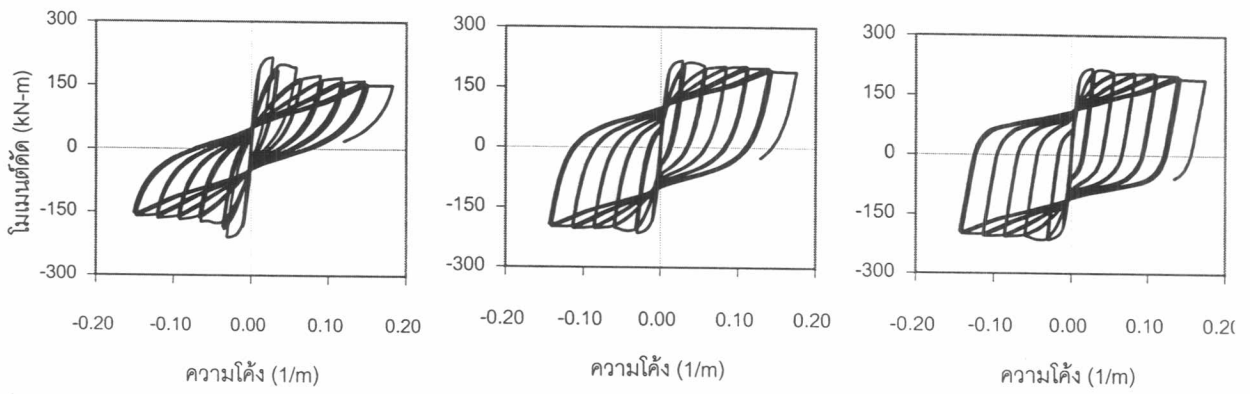
(2)  $E_{des}=1034 \text{ MPa}$

(3)  $E_{des}=4136 \text{ MPa}$

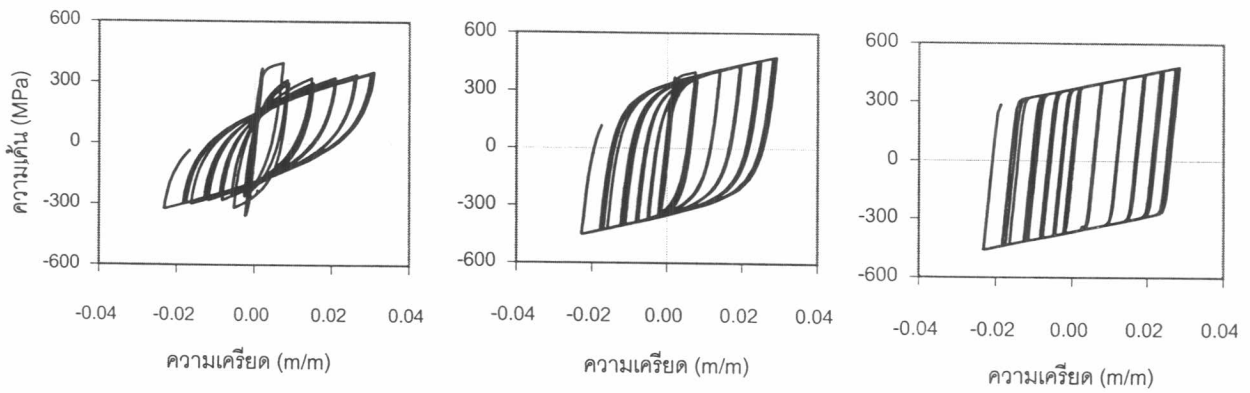
รูปที่ ผ.ก.1 ผลของความชันขาลงต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างกับแรงกระทำด้านข้าง



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง



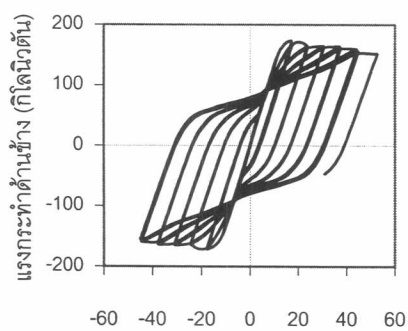
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริม

(1)  $R_o=19$

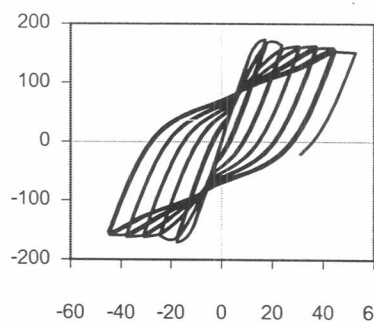
(2)  $R_o=20$

(3)  $R_o=30$

รูปที่ ผ.ก.2 ผลของพารามิเตอร์  $R_o$  ต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา

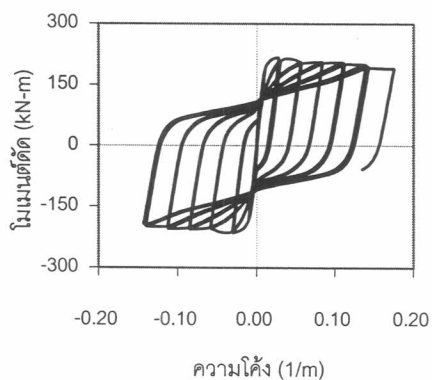


การเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้าง (มิลลิเมตร)

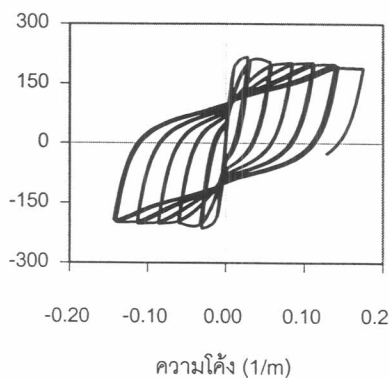


การเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้าง (มิลลิเมตร)

(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างกับแรงกระทำด้านข้าง

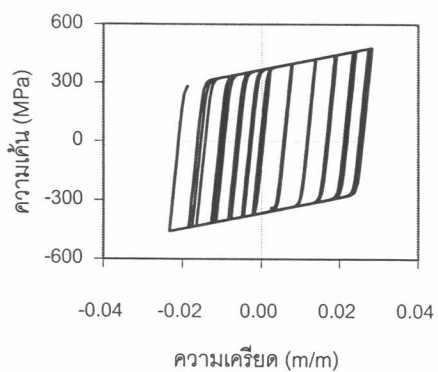


ความโค้ง (1/m)

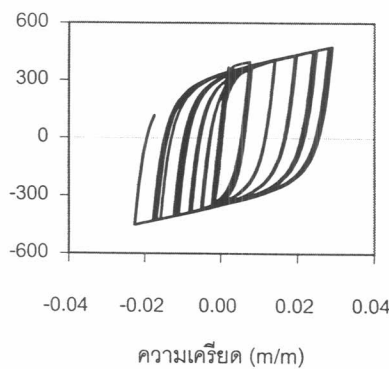


ความโค้ง (1/m)

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง



ความเครียด (m/m)



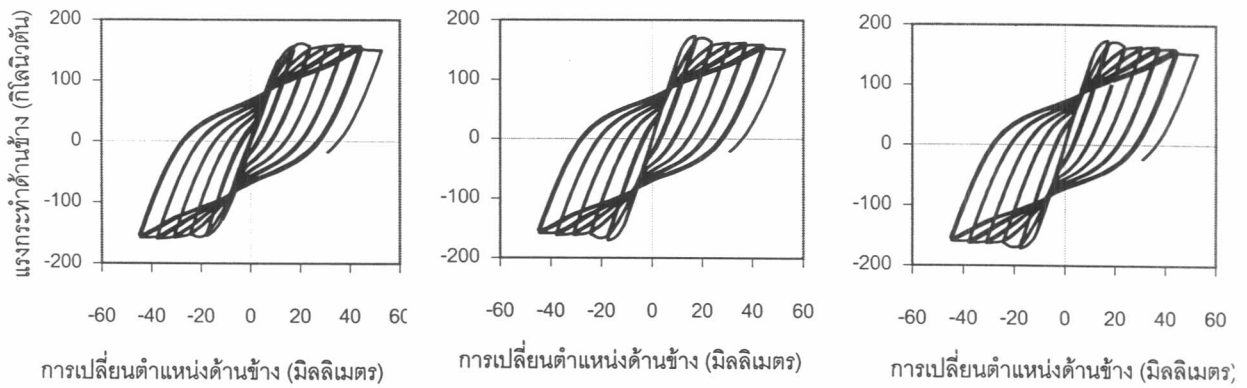
ความเครียด (m/m)

(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริม

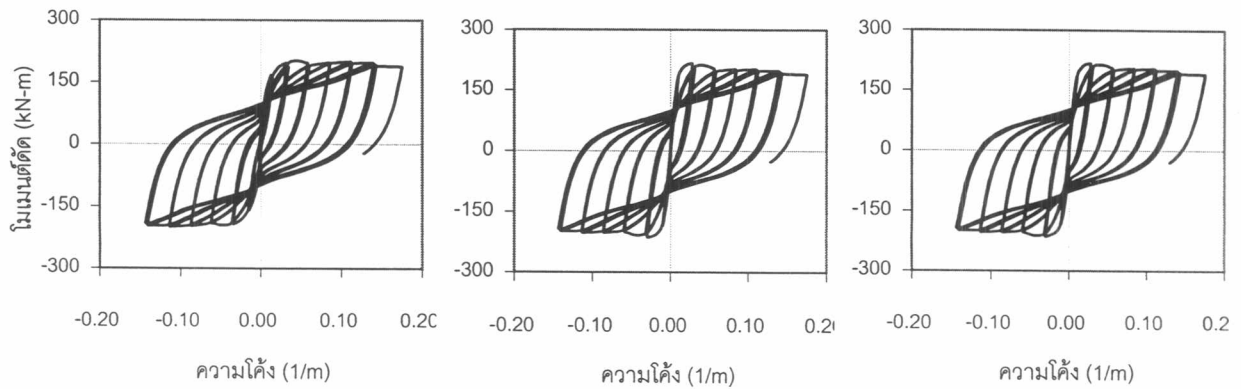
(1)  $a_1=10$

(2)  $a_1=18.5$

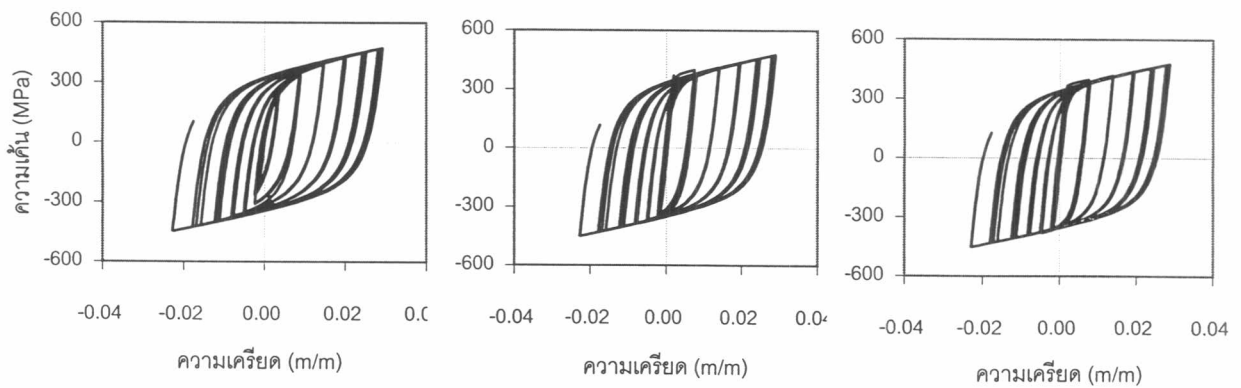
รูปที่ ผ.ก.3 ผลของพารามิเตอร์  $a_1$  ต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างกับแรงกระทำด้านข้าง



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความไค้ง



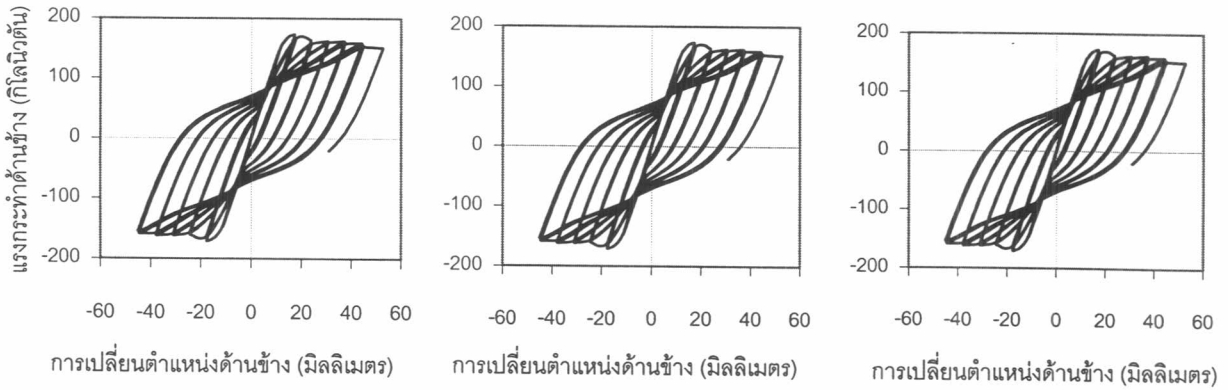
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริม

(1)  $a_2=0.0$

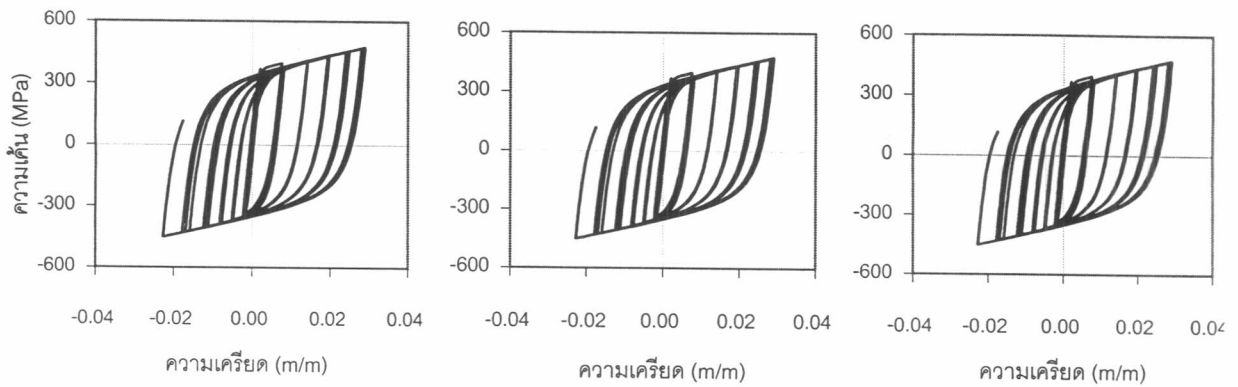
(2)  $a_2=0.15$

(3)  $a_2=0.30$

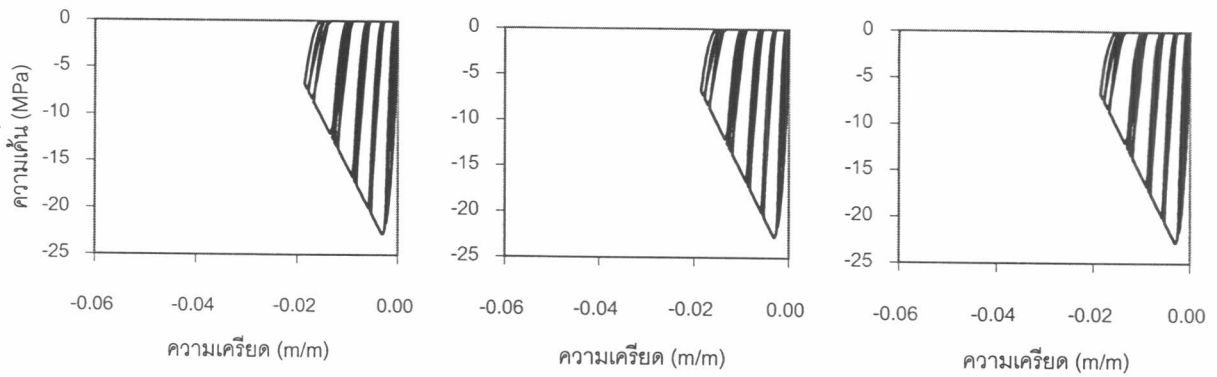
รูปที่ ผ.ก.4 ผลของพารามิเตอร์  $a_2$  ต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างกับแรงกระทำด้านข้าง



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริม



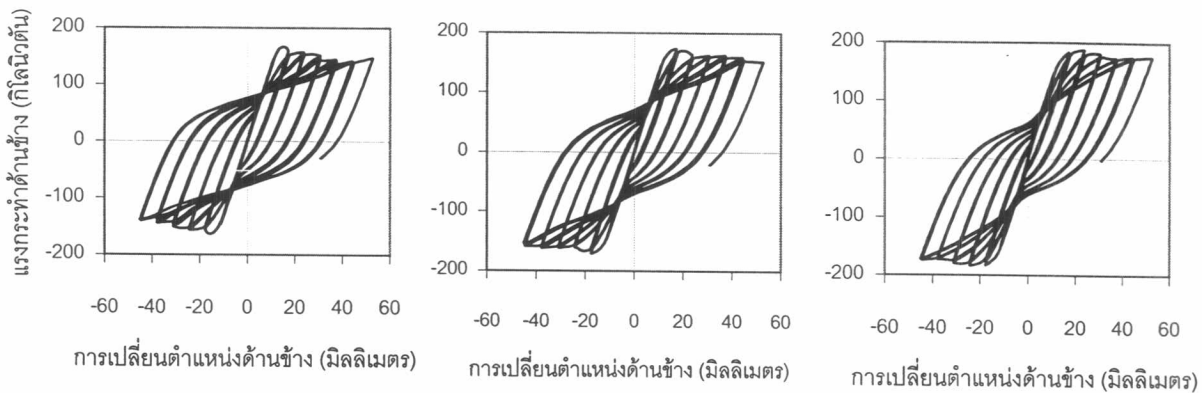
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ confined concrete

(1) NDTB=10

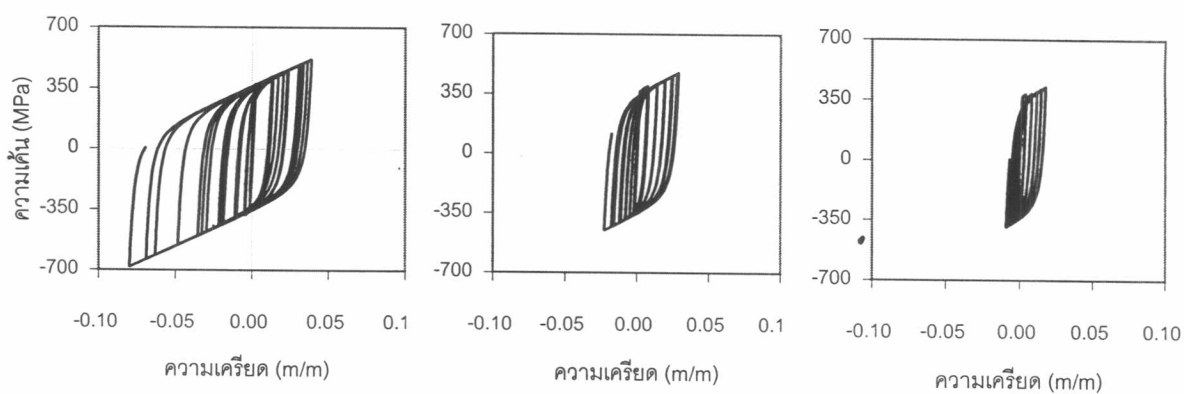
(2) NDTB=50

(3) NDTB=100

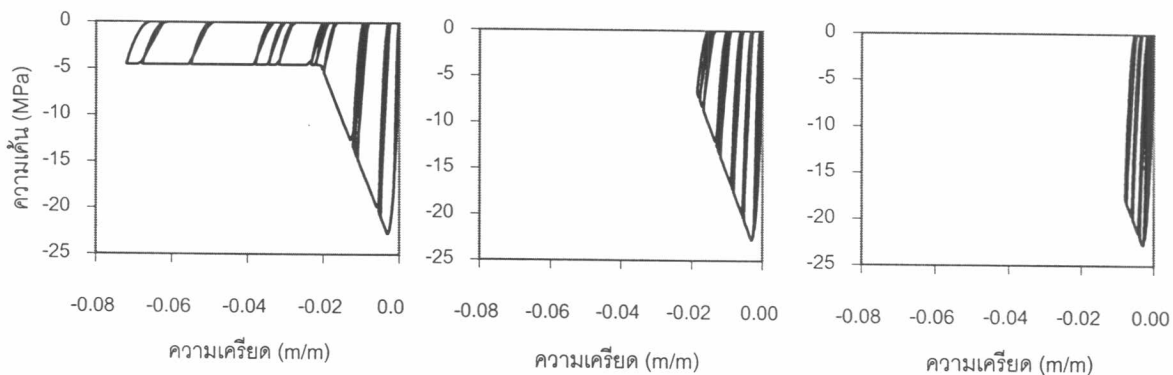
รูปที่ ผ.ก.5 ผลของจำนวนระยะเวลาแต่ละชั้นของการอินทริเกตต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งด้านข้างกับแรงกระทำด้านข้าง



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของเหล็กเสริม



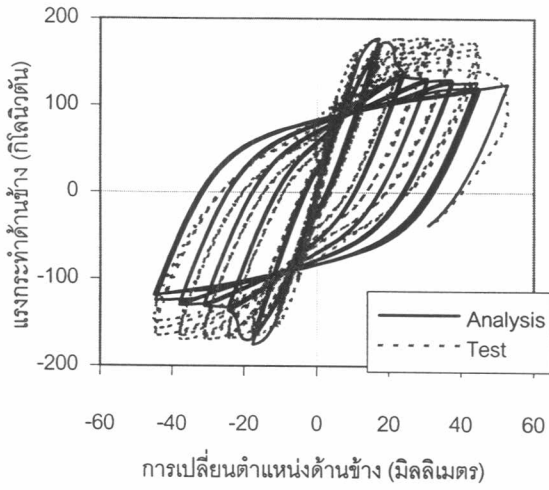
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ confined concrete

(1)  $L_p=100$

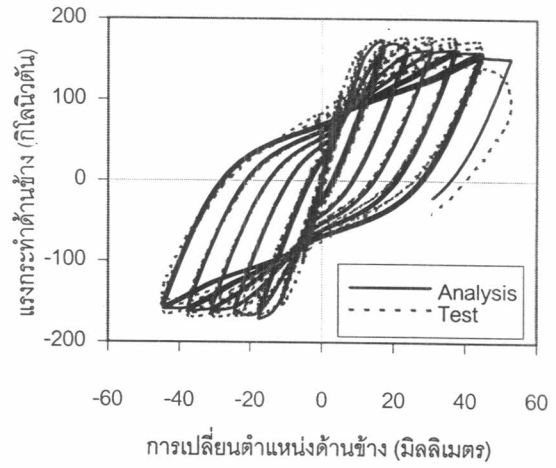
(2)  $L_p=200$

(3)  $L_p=400$

รูปที่ ผ.ก.6 ผลของความยาวจุดหมุนพลาสติกต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา

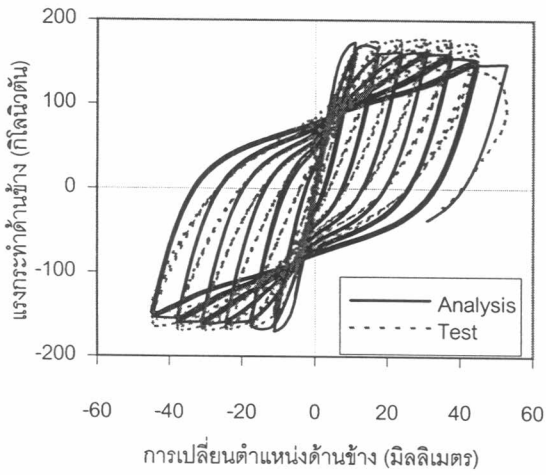


(ก) หน้าตัดรูปสามเหลี่ยม

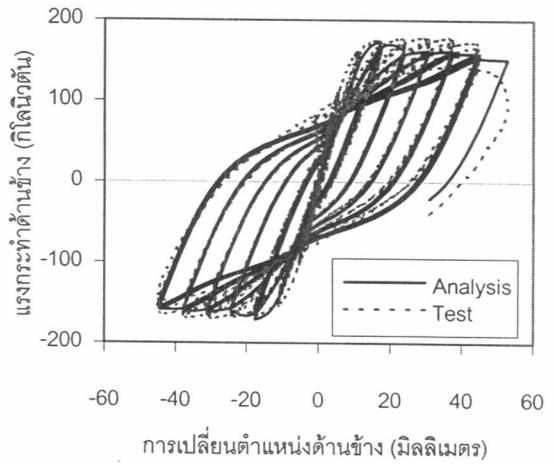


(ข) หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม

รูปที่ ๘.๗ ผลของพื้นที่หน้าตัดคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยเหล็กปลอก ต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา



(ก) ไม่มี spring element



(ข) มี spring element

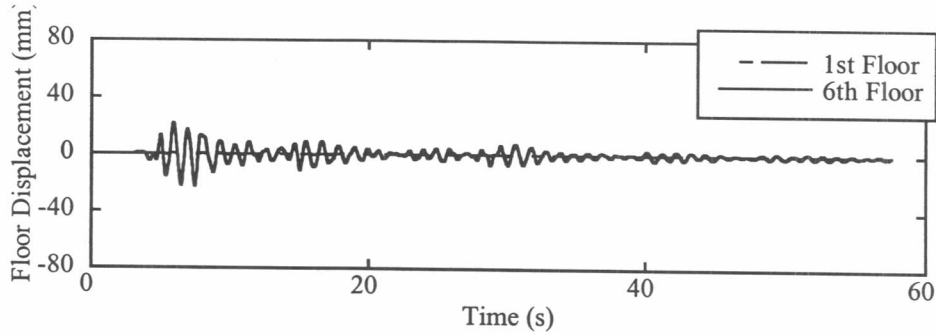
รูปที่ ๘.๘ ผลของชิ้นส่วนสปริงต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักรของเสา



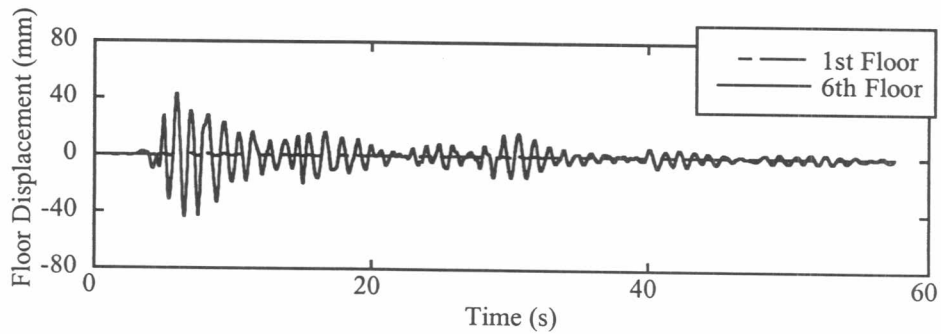
## ภาคผนวก ข

## พฤติกรรมการตอบสนองของโครงสร้างภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว

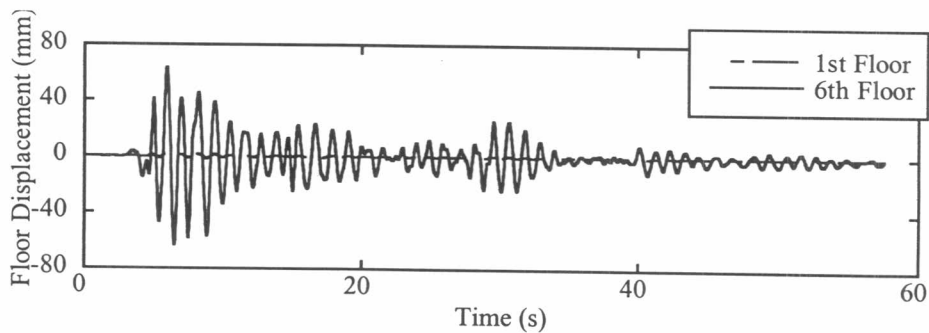
## 1. คลื่นแผ่นดินไหว El Centro (1940)



(ก) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g

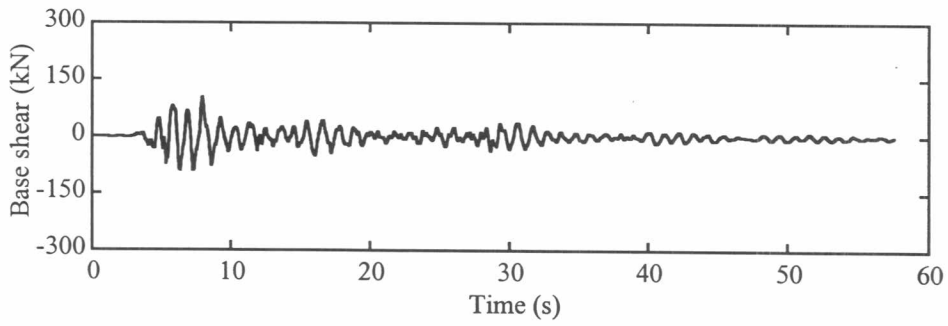


(ข) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g

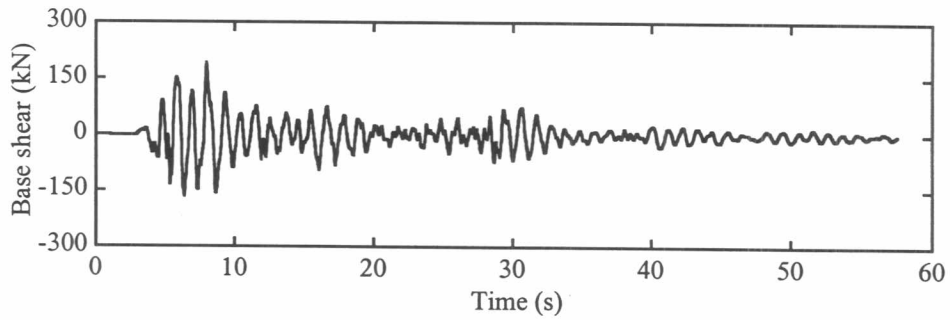


(ค) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g

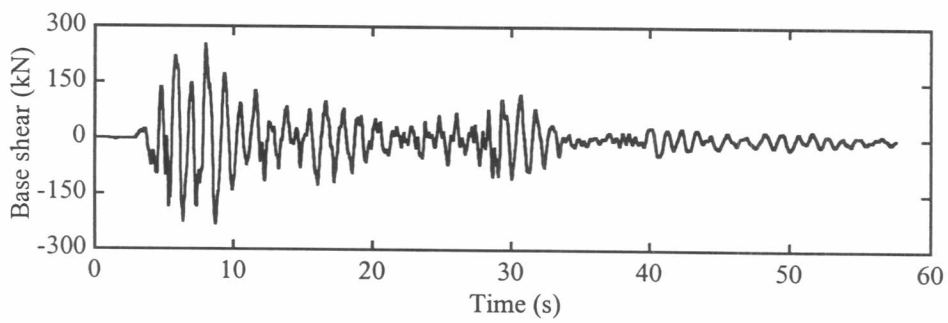
รูปที่ ผ.ข.1 การเปลี่ยนตำแหน่งและความเร่งที่พื้นชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g



(ก) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g

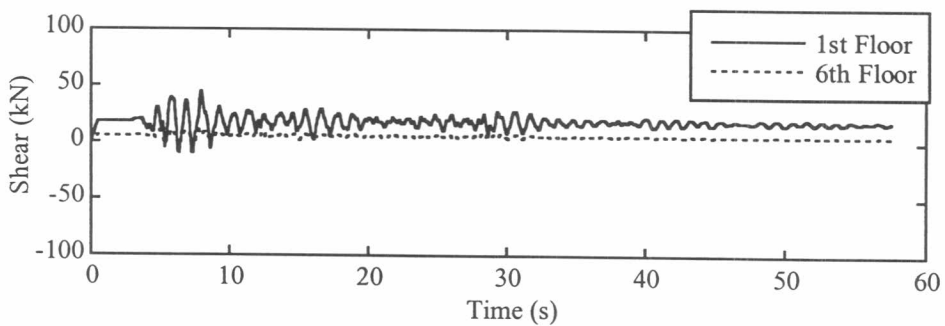


(ข) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g

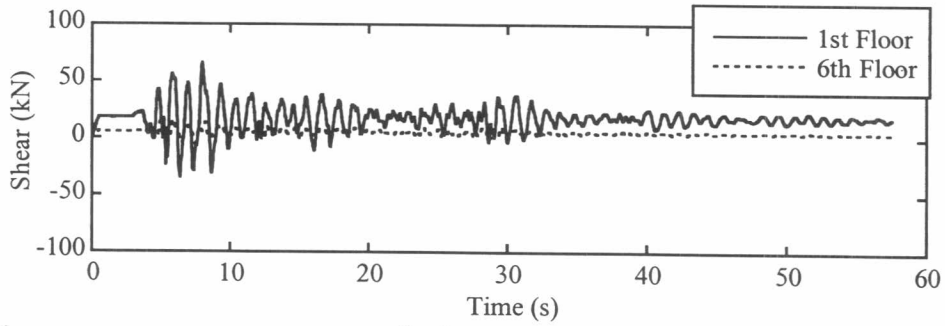


(ค) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g

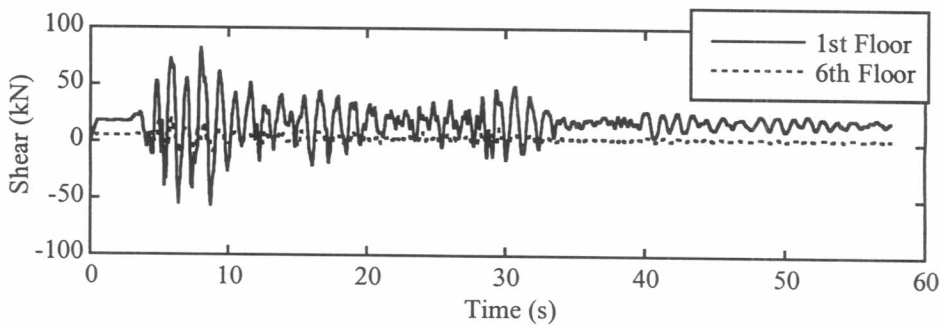
รูปที่ ผ.ข.2 แรงเฉือนที่ฐานอาคารตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g



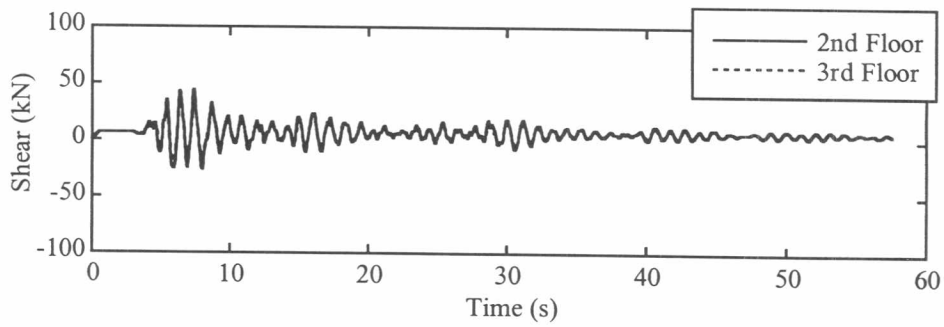
รูปที่ ผ.ข.3(ก) แรงเฉือนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาของแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g



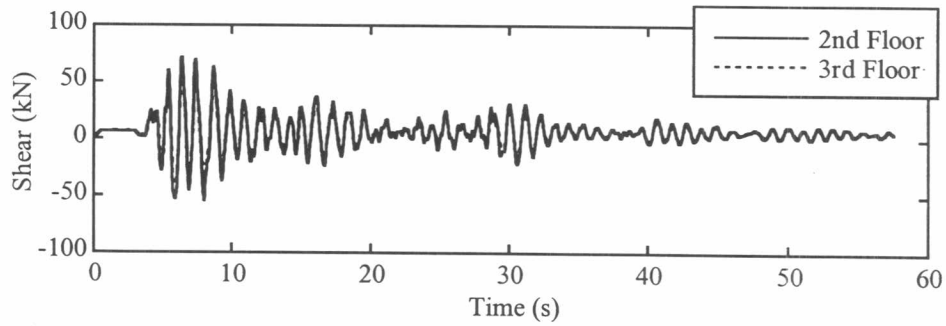
รูปที่ ผ.ข.3(ข) แรงเฉือนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาของแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g



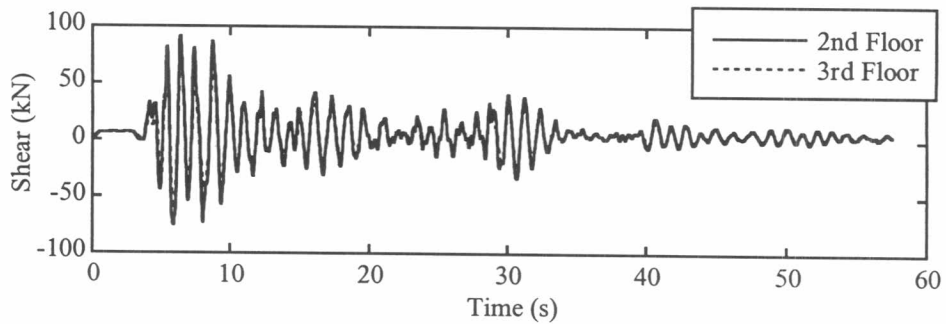
รูปที่ ผ.ข.3(ค) แรงเฉือนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาของแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g



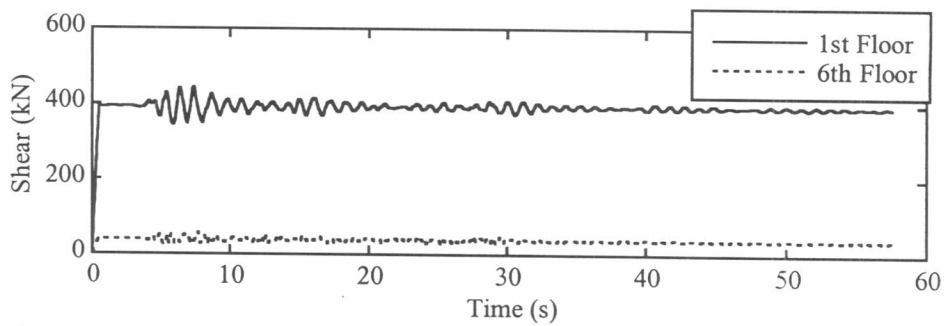
รูปที่ ผ.ข.4(ก) แรงเฉือนของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 ตามเวลาของแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g



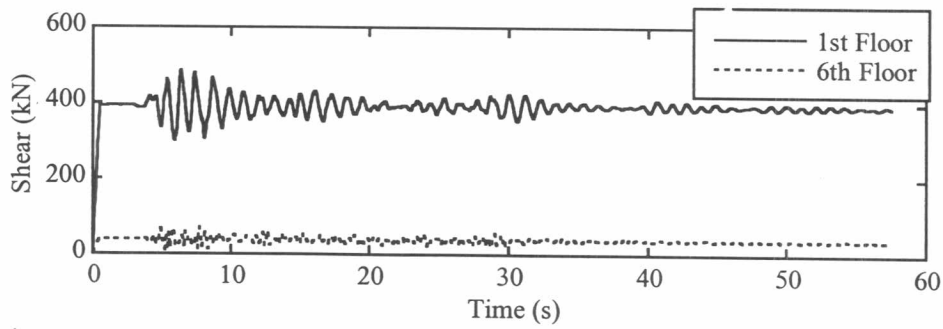
รูปที่ ผ.ข.4(ข) แรงเฉือนของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 ตามเวลาของแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g



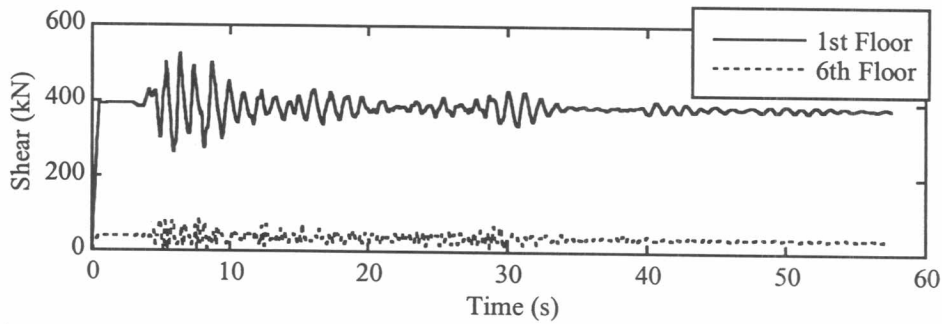
รูปที่ ผ.ข.4(ค) แรงเฉือนของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 ตามเวลาของแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g



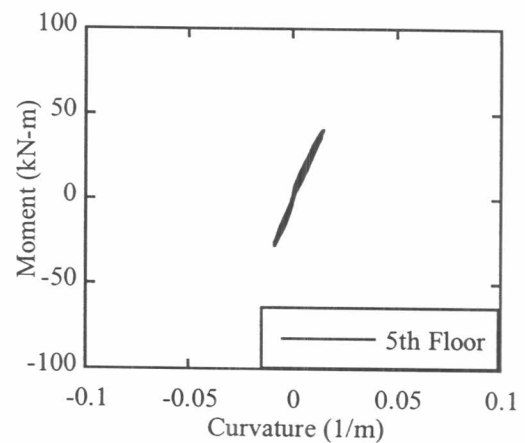
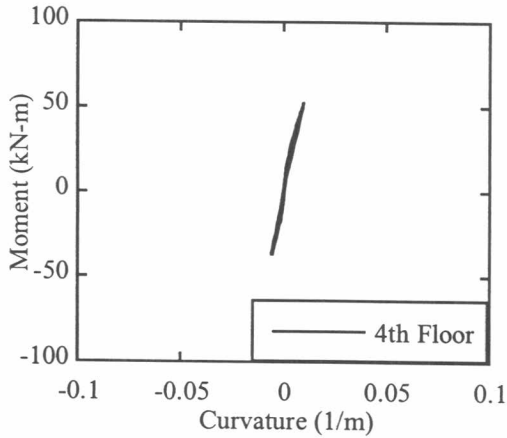
รูปที่ ผ.ข.5(ก) แรงตามแนวแกนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g



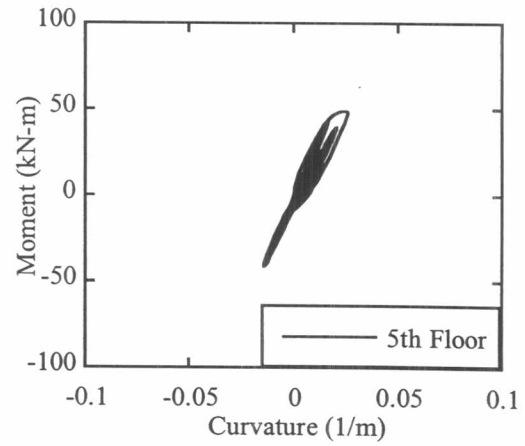
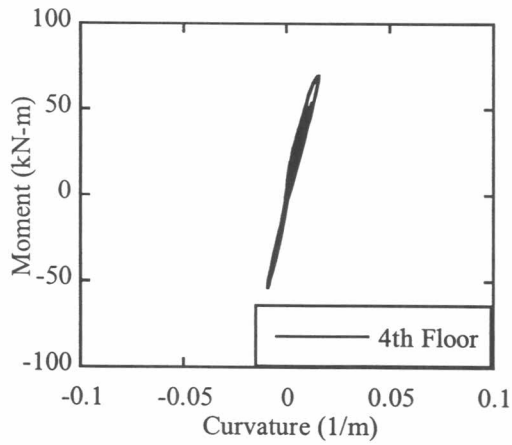
รูปที่ ๕.๕(๕) แรงตามแนวแกนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g



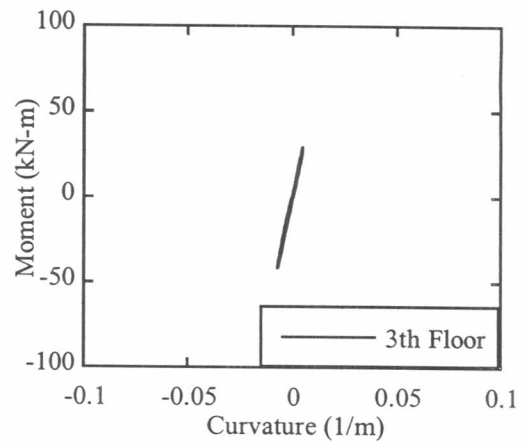
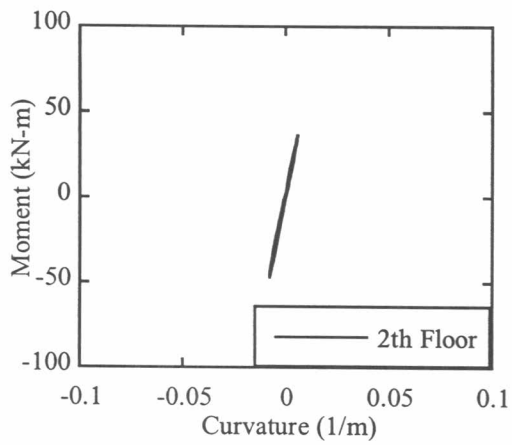
รูปที่ ๕.๕(ค) แรงตามแนวแกนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g



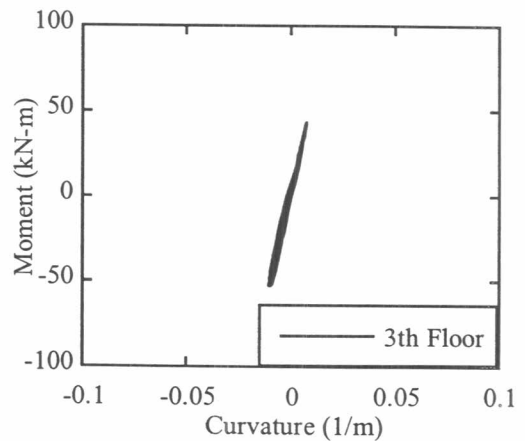
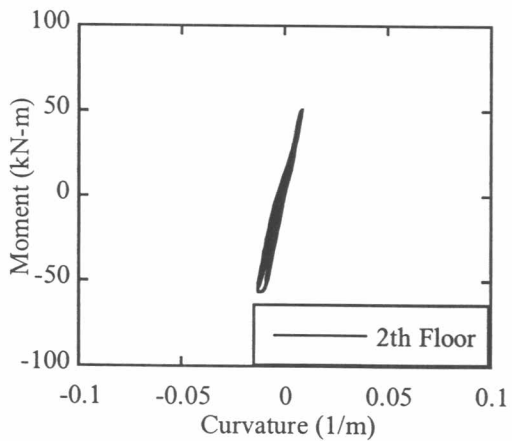
รูปที่ ๕.๖(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของเสาปลายบนชั้นที่ 4 และ 5 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g



รูปที่ ๘.๖(๒) ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของเสาปลายบนชั้นที่ 4 และ 5 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g



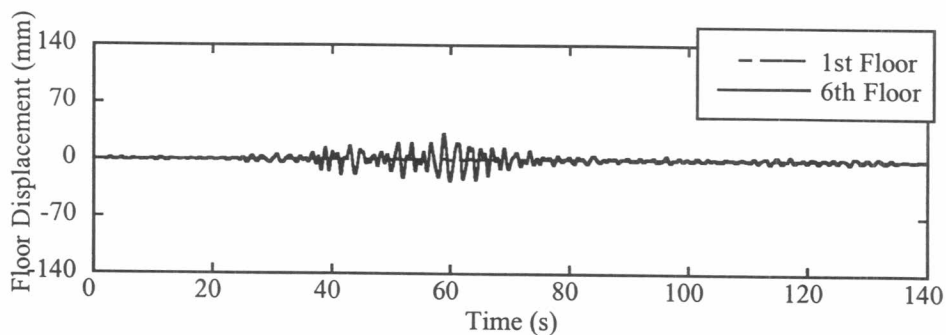
(ก) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g



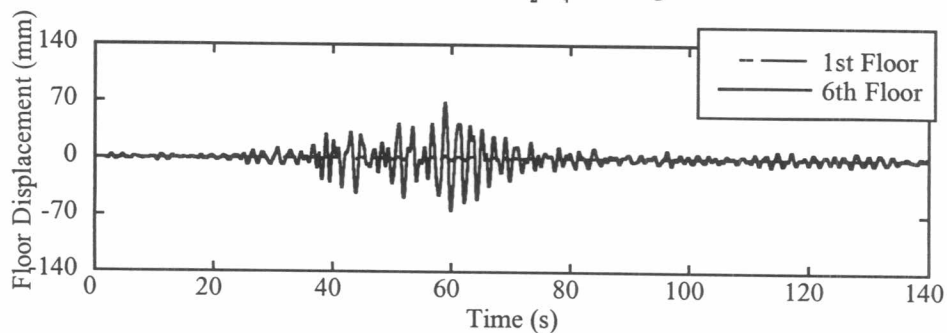
(ข) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g

รูปที่ ๘.๗ ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g

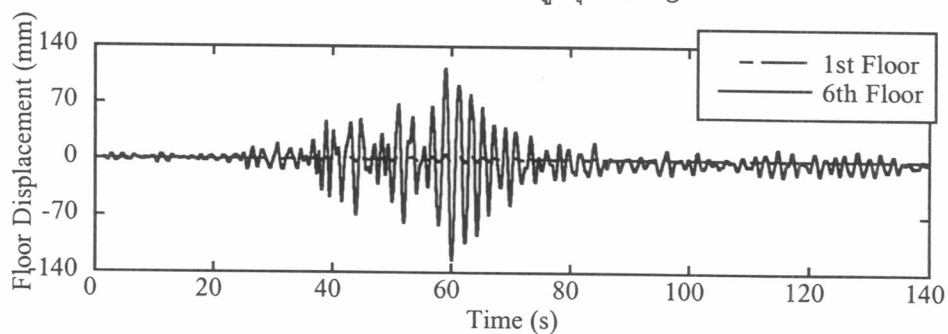
## 2. คลื่นแผ่นดินไหว Mexico (SCT-85)



(ก) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g

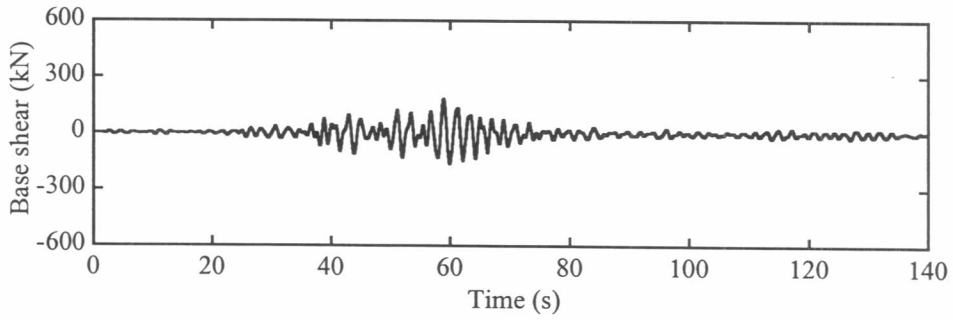


(ข) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g

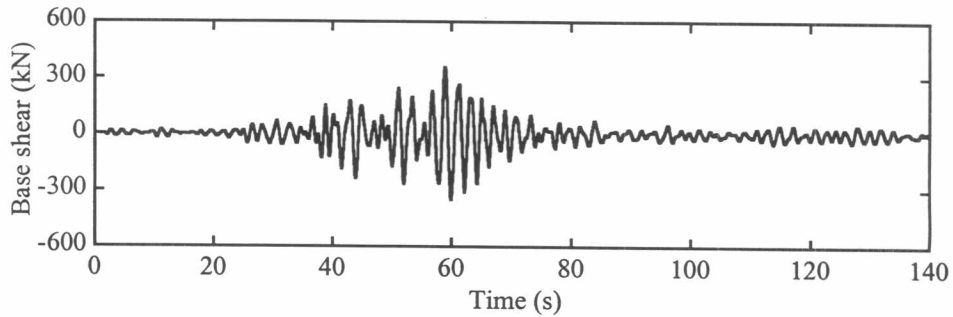


(ค) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g

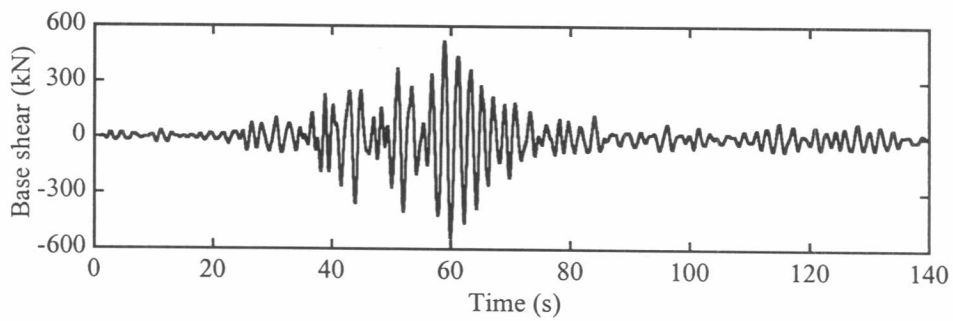
รูปที่ ผ.ข.8 การเปลี่ยนตำแหน่งและความเร่งที่พื้นชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g



(ก) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g

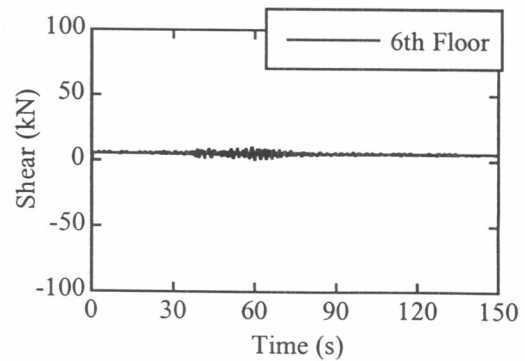
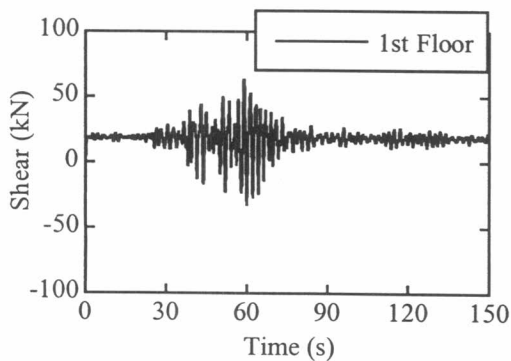


(ข) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g



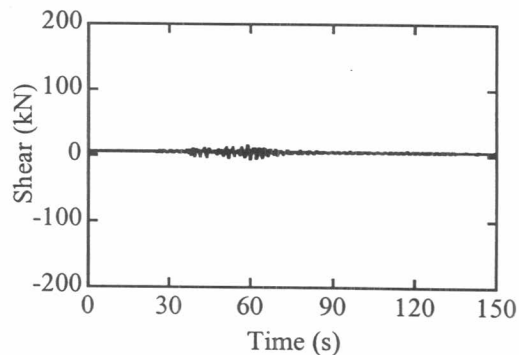
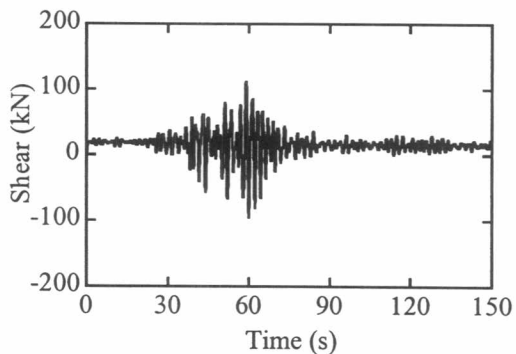
(ค) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g

รูปที่ ผ.ข.9 แรงเฉือนที่ฐานอาคารตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g

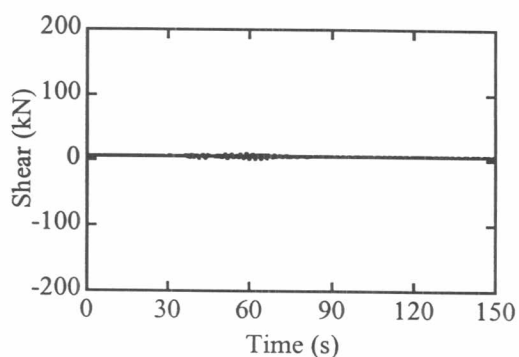
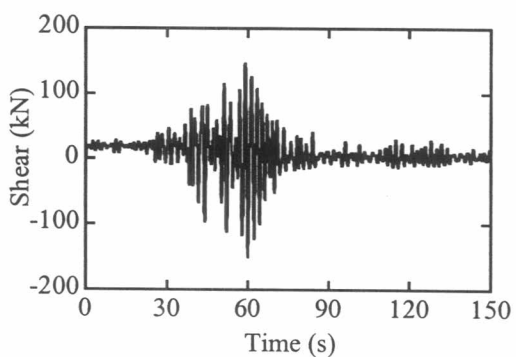


รูปที่ ผ.ข.10(ก) แรงเฉือนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g

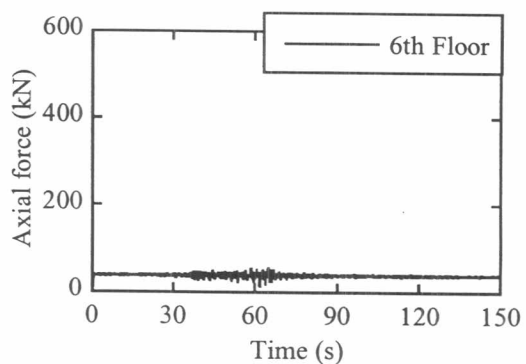
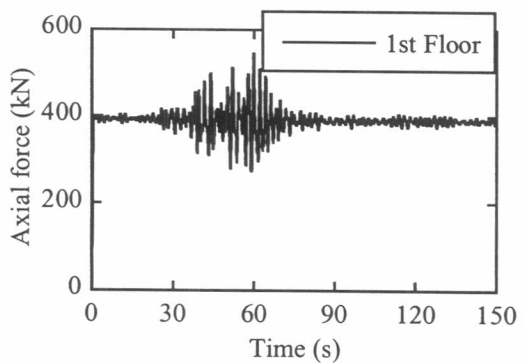




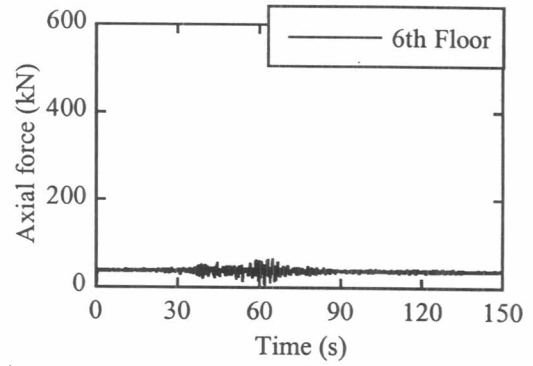
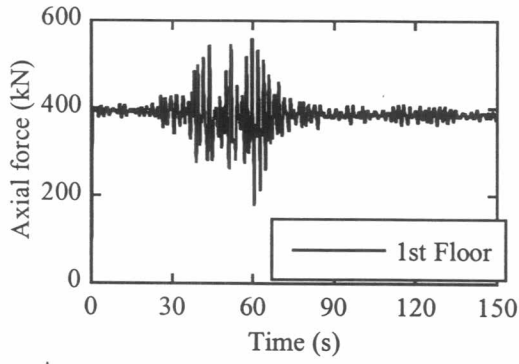
รูปที่ ผ.ข.10(ข) แรงเฉือนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g



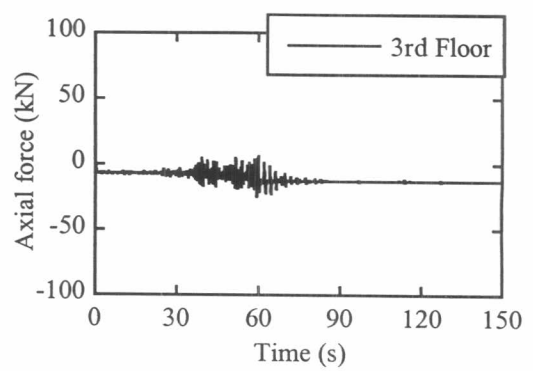
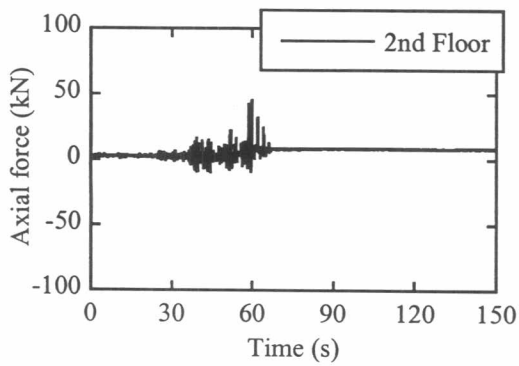
รูปที่ ผ.ข.10(ค) แรงเฉือนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g



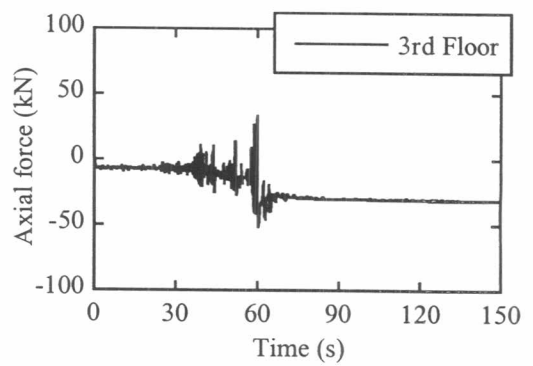
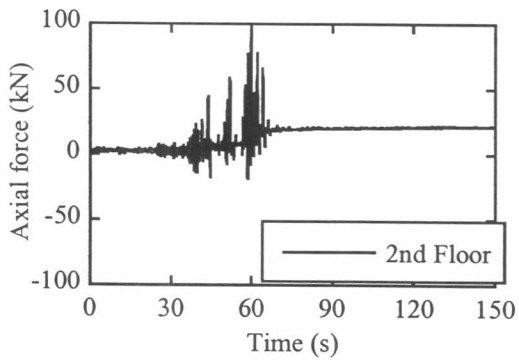
รูปที่ ผ.ข.11(ก) แรงตามแนวแกนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว EI Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g



รูปที่ ผ.ข.11(ข) แรงตามแนวแกนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว EI Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g

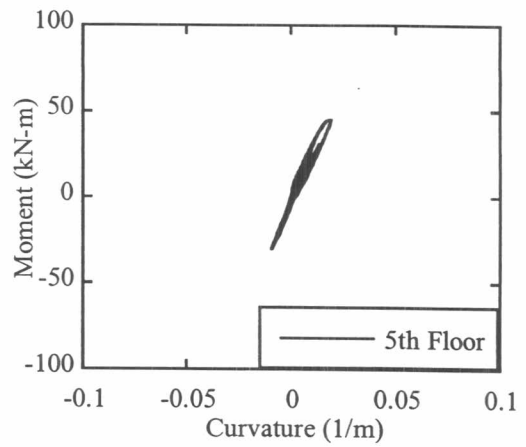
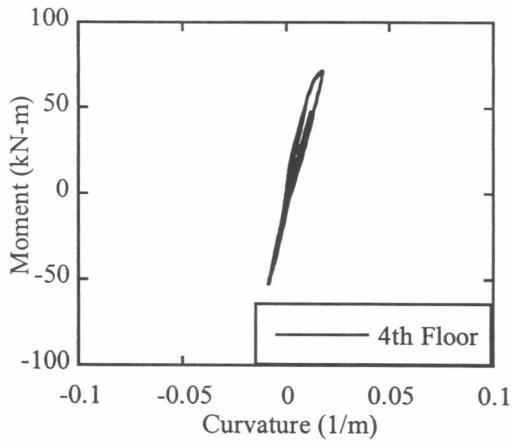


(ก) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g

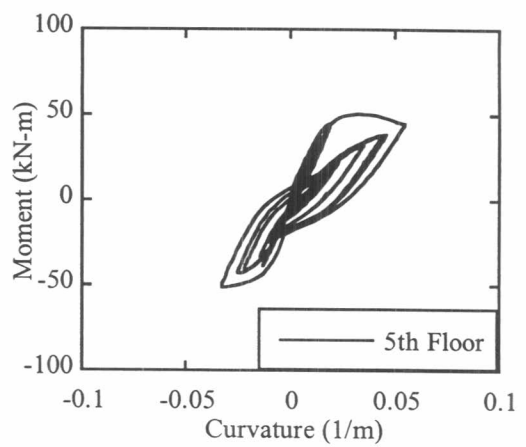
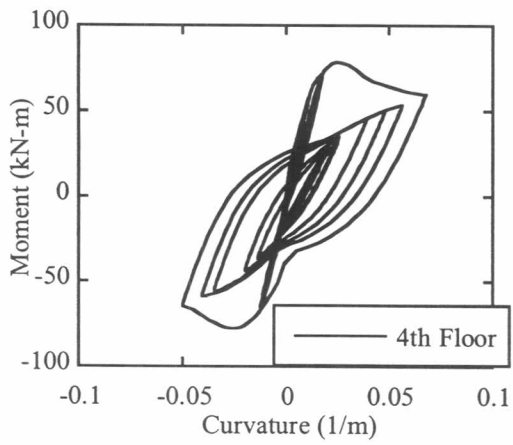


(ข) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g

รูปที่ ผ.ข.12 แรงตามแนวแกนของคานภายในชั้น 2 และ 3 ตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว SCT 0.10g, 0.15g

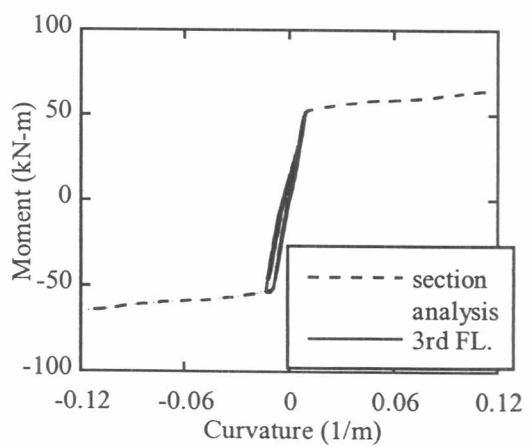
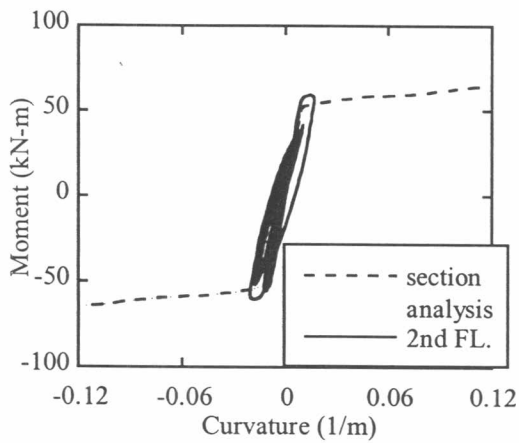


(ก) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g

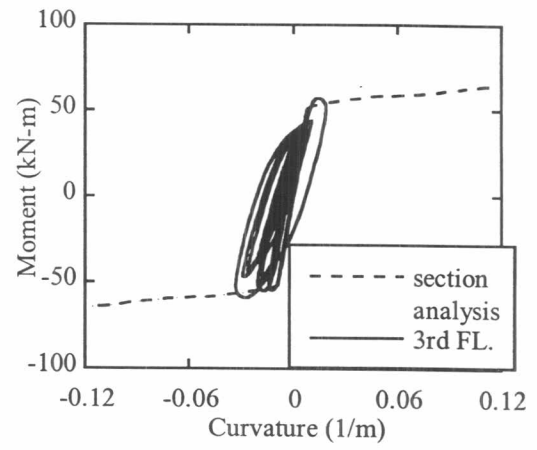
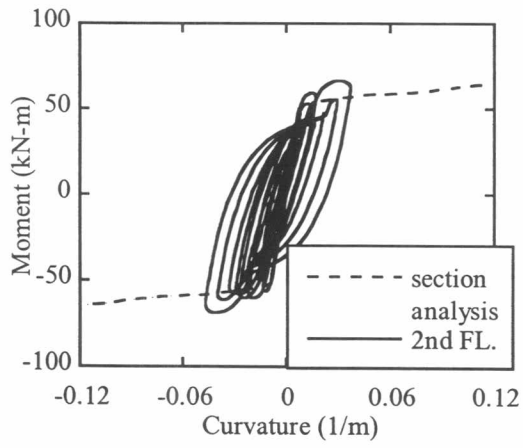


(ข) ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g

รูปที่ ผ.ข.13 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของเสาปลายบนชั้นที่ 4 และ 5 ของคานพื้นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g



รูปที่ ผ.ข.14(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 ของคานพื้นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g



รูปที่ ผ.ข.14(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 ของ  
 คลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g

## ภาคผนวก ค

## การเปรียบเทียบผลการตอบสนองของอาคารจากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ และ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

ตารางที่ ผ.ค.1 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ และ อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ และ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Dynamic analysis Pushover analysis	0.05g			0.10g			0.15g		
	BYK	ELC	SCT	BYK	ELC	SCT	BYK	ELC	SCT
1. IFPA	*	*	*	*	*	*	-	-	-
2. MFPA	*	*	*	*	*	*	-	-	-
3. MDPA	*	*	*	*	*	*	-	-	-
4. CDPA1	*	*	*	*	*	*	-	-	-
5. CDPA2	*	*	*	*	*	*	-	-	-

## หมายเหตุ

- \* ใช้ในการเปรียบเทียบ
- ไม่ใช้ในการเปรียบเทียบ

ตารางที่ ผ.ค.2 ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (mm)					
	BYK	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	1.50	1.45	1.45	1.47	1.43	1.65
2	9.68	9.23	9.23	9.41	8.32	9.56
3	18.58	18.01	18.01	18.17	15.88	18.24
4	30.27	29.55	29.55	29.99	26.09	29.84
5	41.30	40.86	40.86	41.37	37.01	41.01
6	46.93	46.17	46.17	46.80	46.94	47.00

ตารางที่ ผ.ค.3 ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (mm)					
	ELC	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	0.72	0.69	0.69	0.70	0.70	0.77
2	4.04	4.46	4.46	4.50	4.04	4.47
3	8.17	8.69	8.69	8.70	7.79	8.63
4	13.95	14.26	14.26	14.35	12.77	14.10
5	19.47	19.61	19.61	19.80	18.08	19.39
6	22.41	22.29	22.29	22.40	22.41	22.40

ตารางที่ ผ.ค.4 ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (mm)					
	SCT	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	1.39	0.99	0.99	1.00	0.98	1.09
2	7.71	6.37	6.37	6.39	5.74	6.41
3	14.07	12.42	12.42	12.35	11.01	12.33
4	21.68	20.38	20.38	20.38	18.10	20.19
5	28.40	28.02	28.02	28.11	25.66	27.77
6	31.93	31.84	31.84	31.80	31.93	31.90

ตารางที่ ผ.ค.5 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%)					
	BYK	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
2	0.23	0.22	0.22	0.23	0.20	0.23
3	0.30	0.29	0.29	0.29	0.25	0.29
4	0.39	0.38	0.38	0.39	0.34	0.39
5	0.37	0.38	0.38	0.38	0.36	0.37
6	0.19	0.18	0.18	0.18	0.33	0.20

ตารางที่ ผ.ค.6 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%)					
	ELC	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04
2	0.09	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11
3	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12	0.14
4	0.19	0.19	0.19	0.19	0.17	0.18
5	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
6	0.10	0.09	0.09	0.09	0.14	0.10

ตารางที่ ผ.ค.7 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%)					
	SCT	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.18	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15
3	0.21	0.20	0.20	0.20	0.18	0.20
4	0.25	0.27	0.27	0.27	0.24	0.26
5	0.22	0.25	0.25	0.26	0.25	0.25
6	0.12	0.13	0.13	0.12	0.21	0.14



ตารางที่ ผ.ค.8 ความแตกต่างของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (%error)					
	BYK	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	3.26	3.26	2.16	4.86	-9.45
2	-	4.58	4.58	2.79	14.01	1.23
3	-	3.11	3.11	2.23	14.56	1.84
4	-	2.40	2.40	0.95	13.83	1.44
5	-	1.06	1.06	0.17	10.38	0.70
6	-	1.63	1.63	0.29	0.00	0.13

ตารางที่ ผ.ค.9 ความแตกต่างของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (%error)					
	ELC	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	4.52	4.52	2.71	3.34	5.86
2	-	10.21	10.21	11.32	0.10	10.45
3	-	6.38	6.38	6.43	4.70	5.57
4	-	2.22	2.22	2.85	8.52	1.03
5	-	0.73	0.73	1.68	7.16	0.44
6	-	0.53	0.53	0.03	0.02	0.00

ตารางที่ ผ.ค.10 ความแตกต่างของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	ความแตกต่างของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (%error)					
	SCT	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	28.76	28.76	27.86	29.34	21.39
2	-	17.38	17.38	17.07	25.56	16.78
3	-	11.75	11.75	12.26	21.74	12.37
4	-	5.99	5.99	6.00	16.51	6.85
5	-	1.34	1.34	1.03	9.66	2.22
6	-	0.29	0.29	0.41	-0.01	0.09

ตารางที่ ผ.ค.11 ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%error)					
	BYK	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	3.26	3.26	2.16	4.86	9.45
2	-	4.82	4.82	2.90	15.69	3.20
3	-	1.51	1.51	1.62	15.16	2.51
4	-	1.28	1.28	1.08	12.68	0.80
5	-	2.62	2.62	3.24	0.92	1.33
6	-	5.83	5.83	3.62	76.08	6.23

ตารางที่ ผ.ค.12 ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของ คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%error)					
	ELC	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	4.52	4.52	2.71	3.34	5.87
2	-	13.42	13.42	14.38	0.60	11.45
3	-	2.63	2.63	1.63	9.20	0.79
4	-	3.66	3.66	2.20	13.92	5.38
5	-	3.04	3.04	1.27	3.72	4.15
6	-	8.86	8.86	11.37	47.63	2.86

ตารางที่ ผ.ค.13 ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%error)					
	SCT	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	28.76	28.76	27.86	29.34	21.39
2	-	14.89	14.89	14.71	24.73	15.77
3	-	4.92	4.92	6.44	17.12	7.04
4	-	4.67	4.67	5.59	6.84	3.37
5	-	13.62	13.62	14.97	12.43	12.69
6	-	8.20	8.20	4.56	77.72	17.05

ตารางที่ ผ.ค.14 ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (mm)					
	BYK	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	3.34	3.14	3.14	3.15	2.13	3.20
2	20.91	20.06	20.06	20.14	12.23	18.28
3	40.00	38.78	38.78	38.90	23.10	34.56
4	65.63	64.19	64.19	64.20	37.88	59.08
5	88.96	88.59	88.59	88.57	54.07	86.61
6	100.35	100.30	100.30	100.20	81.54	99.12

ตารางที่ ผ.ค.15 ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว EI Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (mm)					
	ELC	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	1.44	1.40	1.40	1.36	1.32	1.51
2	7.91	8.92	8.92	8.68	7.68	8.78
3	15.16	17.38	17.38	16.77	14.68	16.79
4	26.04	28.53	28.53	27.68	24.12	27.48
5	37.09	39.45	39.45	38.18	34.22	37.77
6	43.21	44.58	44.58	43.20	43.21	43.28

ตารางที่ ผ.ค.16 ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (mm)					
	SCT	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	3.29	2.16	2.16	2.14	1.99	2.43
2	17.59	13.69	13.69	13.71	11.42	13.96
3	31.17	26.70	26.70	26.48	21.62	26.36
4	47.26	43.81	43.81	43.70	35.44	43.09
5	61.23	60.58	60.58	60.28	50.48	59.32
6	68.24	68.46	68.46	68.20	68.23	68.30

ตารางที่ ผ.ค.17 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%)					
	BYK	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	0.17	0.16	0.16	0.16	0.11	0.16
2	0.50	0.48	0.48	0.49	0.29	0.43
3	0.64	0.62	0.62	0.63	0.36	0.54
4	0.85	0.85	0.85	0.84	0.49	0.82
5	0.78	0.81	0.81	0.81	0.54	0.92
6	0.38	0.39	0.39	0.39	0.92	0.42

ตารางที่ ผ.ค.18 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%)					
	ELC	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
2	0.18	0.21	0.21	0.21	0.18	0.21
3	0.24	0.28	0.28	0.27	0.23	0.27
4	0.36	0.37	0.37	0.36	0.31	0.36
5	0.37	0.36	0.36	0.35	0.34	0.34
6	0.20	0.17	0.17	0.17	0.30	0.18

ตารางที่ ผ.ค.19 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	อัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%)					
	SCT	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	0.16	0.11	0.11	0.11	0.10	0.12
2	0.41	0.33	0.33	0.33	0.27	0.33
3	0.45	0.43	0.43	0.43	0.34	0.41
4	0.54	0.57	0.57	0.57	0.46	0.56
5	0.47	0.56	0.56	0.55	0.50	0.54
6	0.23	0.26	0.26	0.26	0.59	0.30

ตารางที่ ผ.ค.20 ความแตกต่างการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	ความแตกต่างของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (%error)					
	BYK	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	5.91	5.91	5.71	36.17	4.33
2	-	4.07	4.07	3.68	41.53	12.59
3	-	3.04	3.04	2.74	42.25	13.59
4	-	2.20	2.20	2.18	42.28	9.98
5	-	0.41	0.41	0.44	39.22	2.64
6	-	0.06	0.06	0.15	18.75	1.23

ตารางที่ ผ.ค.21 ความแตกต่างของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	ความแตกต่างของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (%error)					
	ELC	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	2.37	2.37	5.59	8.49	4.71
2	-	12.70	12.70	9.76	2.90	10.99
3	-	14.65	14.65	10.60	3.20	10.72
4	-	9.54	9.54	6.28	7.38	5.50
5	-	6.36	6.36	2.94	7.75	1.82
6	-	3.17	3.17	0.02	0.00	0.17

ตารางที่ ผ.ค.22 ความแตกต่างของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	ความแตกต่างของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ (%error)					
	SCT	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	34.37	34.37	34.77	39.47	26.15
2	-	22.16	22.16	22.06	35.05	20.63
3	-	14.35	14.35	15.06	30.63	15.43
4	-	7.30	7.30	7.54	25.01	8.84
5	-	1.05	1.05	1.54	17.56	3.12
6	-	0.32	0.32	0.06	0.02	0.09

ตารางที่ ผ.ค.23 ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%error)					
	BYK	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	5.91	5.91	5.71	36.17	4.33
2	-	4.07	4.07	3.68	41.53	12.59
3	-	3.04	3.04	2.74	42.25	13.59
4	-	2.20	2.20	2.18	42.28	9.98
5	-	0.41	0.41	0.44	39.22	2.64
6	-	0.06	0.06	0.15	18.75	1.23



ตารางที่ ผ.ค.24 ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%error)					
	ELC	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	2.37	2.37	5.59	8.49	4.71
2	-	16.04	16.04	13.18	1.65	12.39
3	-	16.78	16.78	11.52	3.53	10.42
4	-	2.42	2.42	0.26	13.20	1.77
5	-	1.15	1.15	4.92	8.61	6.84
6	-	16.16	16.16	17.97	46.98	9.87

ตารางที่ ผ.ค.25 ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น ของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g กับ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

Story	ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (%error)					
	SCT	CDPA1	CDPA2	MDPA	IFPA	MFPA
1	-	34.37	34.37	34.77	39.47	26.15
2	-	19.35	19.35	19.14	34.04	19.36
3	-	4.25	4.25	6.01	24.90	8.71
4	-	6.36	6.36	7.03	14.11	3.95
5	-	20.11	20.11	18.76	7.66	16.22
6	-	12.23	12.23	12.90	153.07	28.11

ตารางที่ ผ.ค.26 ความแตกต่างของการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุด ของการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ กับ การวิเคราะห์หลักด้านข้างวิธีต่างๆ

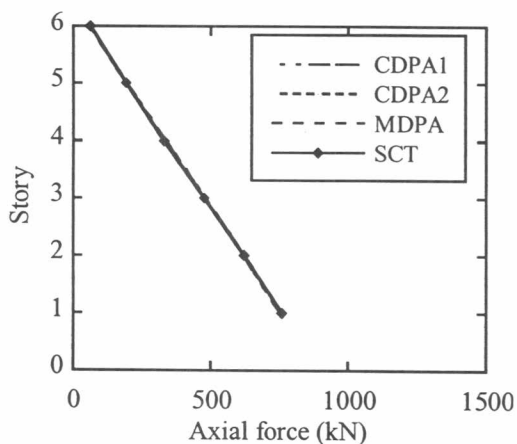
การวิเคราะห์หลัก ด้านข้าง	BYK		El Centro		SCT	
	% error		% error		% error	
	0.05g	0.10g	0.05g	0.10g	0.05g	0.10g
1. CDPA1	4.58	5.91	10.21	14.65	28.76	34.37
2. CDPA2	4.58	5.91	10.21	14.65	28.76	34.37
3. MDPA	2.79	5.71	11.32	10.60	27.86	34.77
4. IFPA	14.56	42.28	8.52	8.49	29.34	39.47
5. MFPA	9.45	13.59	10.45	11.00	21.39	26.15

ตารางที่ ผ.ค.27 ความแตกต่างของอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดของการ วิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ กับ การวิเคราะห์หลักด้านข้างวิธีต่างๆ

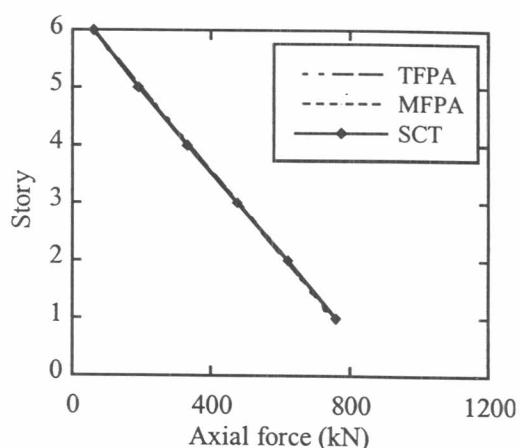
การวิเคราะห์หลัก ด้านข้าง	BYK		El Centro		SCT	
	% error		% error		% error	
	0.05g	0.10g	0.05g	0.10g	0.05g	0.10g
1. CDPA1	4.82	5.91	13.42	16.04	28.76	34.37
2. CDPA2	4.82	5.91	13.42	16.04	28.76	34.37
3. MDPA	3.62	5.71	14.38	13.18	27.86	34.77
4. IFPA	76.10	141.10	47.63	46.98	77.72	153.07
5. MFPA	9.45	18.01	11.45	12.39	21.39	28.11





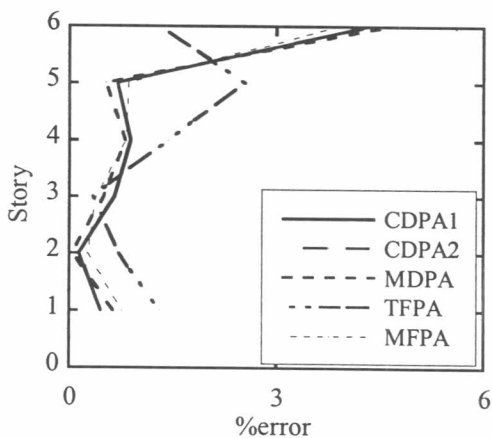


(ก) วิธีควบคุมการเคลื่อนที่

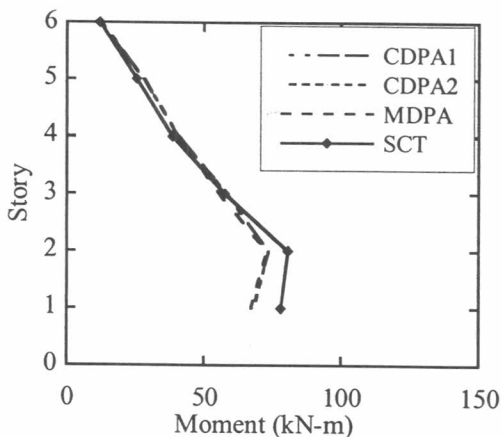


(ข) วิธีควบคุมแรงกระทำ

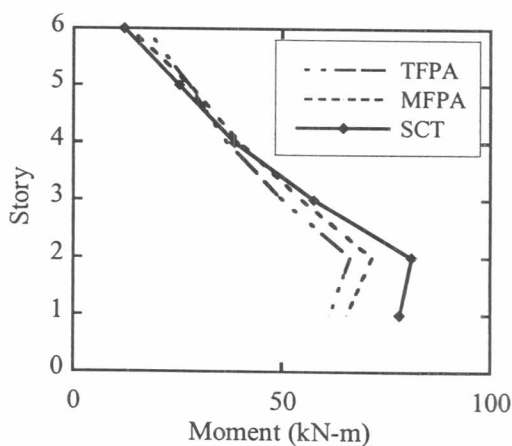
รูปที่ ผ.ค.1 การเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนของเสากายนอก ของคานพื้นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g และ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ



รูปที่ ผ.ค.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงตามแนวแกนของเสากายนอก เปรียบเทียบกับคานพื้นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g ของการวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

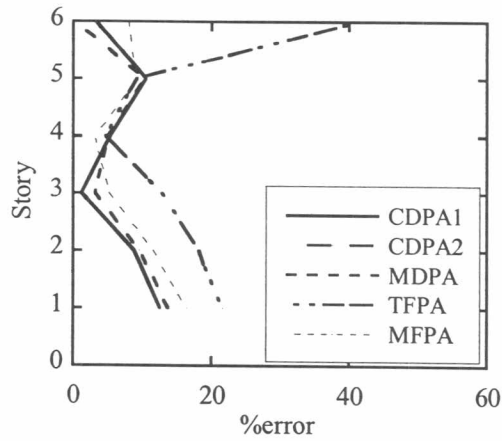


(ก) วิธีควบคุมการเคลื่อนที่

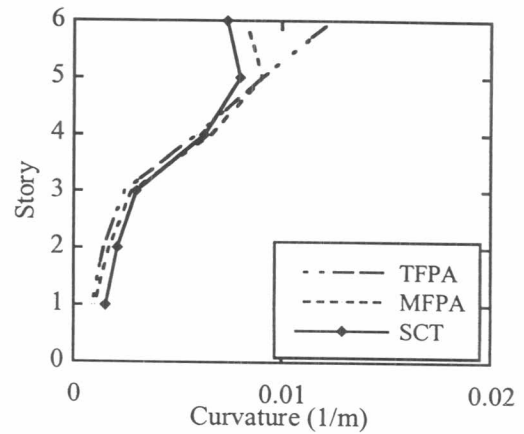
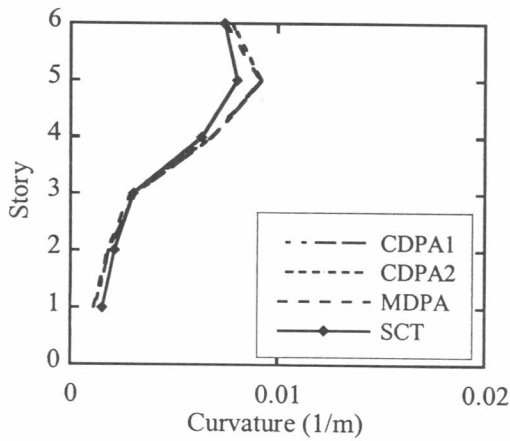


(ข) วิธีควบคุมแรงกระทำ

รูปที่ ผ.ค.3 การเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดของเสากายใน ของคานพื้นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g และ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ



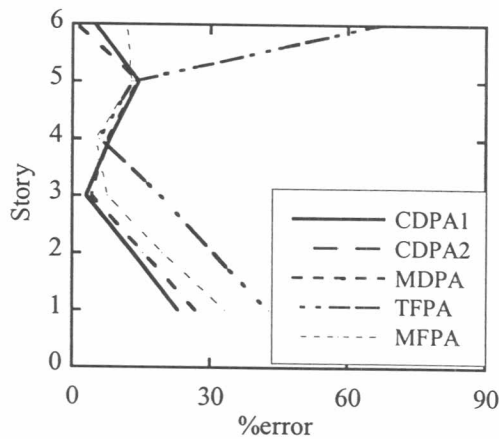
รูปที่ ผ.ค.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของโมเมนต์ดัดของเสาภายใน เปรียบเทียบกับค้ลื่น แผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g ของการวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ



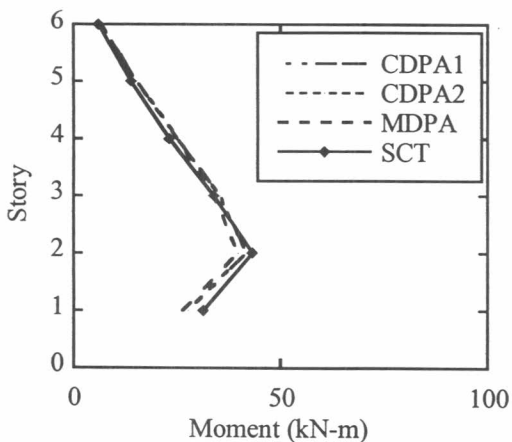
(ก) วิธีควบคุมการเคลื่อนที่

(ข) วิธีควบคุมแรงกระทำ

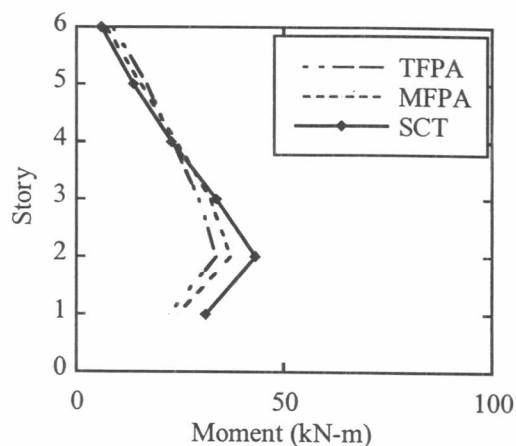
รูปที่ ผ.ค.5 การเปรียบเทียบความโค้งของเสาภายใน ของค้ลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่ง สูงสุด 0.05g และ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ



รูปที่ ผ.ค.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความโค้งของเสาภายใน เปรียบเทียบกับค้ลื่น แผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g ของการวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

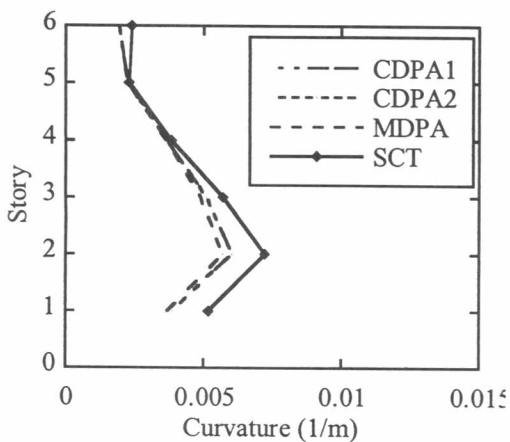


(ก) วิธีควบคุมการเคลื่อนที่

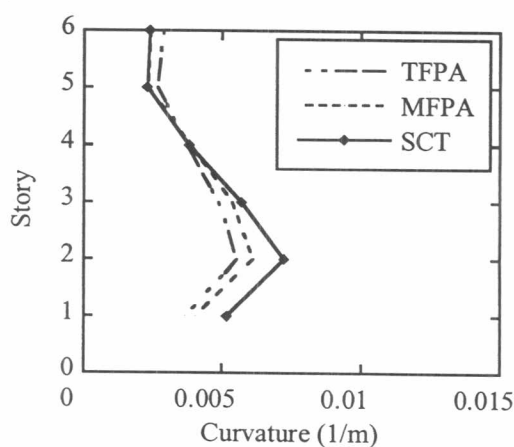


(ข) วิธีควบคุมแรงกระทำ

รูปที่ ผ.ค.7 การเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดของคานภายใน ของคานแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g และ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ



(ก) วิธีควบคุมการเคลื่อนที่



(ข) วิธีควบคุมแรงกระทำ

รูปที่ ผ.ค.8 การเปรียบเทียบความโค้งของคานภายในด้านซ้ายและขวา ของคานแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g และ การวิเคราะห์ผลักด้านข้างวิธีต่างๆ

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนันทสม อินทรกำแหง เกิดเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2521 ที่  
กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรม  
โยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อใน  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544