

บทที่ 4

พฤติกรรมของอาคารภายใต้แผ่นดินไหว

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม TDAP version 3 ในการวิเคราะห์อาคารตัวอย่าง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ 2 แบบ คือ การวิเคราะห์โดยใช้แรงผลักดันข้าง (Pushover analysis) และการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ (Dynamic analysis) โดยใช้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro, SCT และ BYK กระทำที่ฐานอาคาร โดยปรับค่าความเร่งสูงสุดที่ฐาน 3 ค่า ได้แก่ 0.05g, 0.10g และ 0.15g ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึง พฤติกรรมการตอบสนองและรูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างโดยการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK, SCT และ El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g ตามลำดับ โดยจะกล่าวถึงพฤติกรรมการตอบสนองโดยรวมของโครงสร้างของ การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ, การเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุด, รูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่าง และพฤติกรรมขององค์อาคาร ซึ่งได้แก่ แรงเฉือน (shear force), แรงตามแนวแกน (axial force) และ แรงดัด (bending moment) ในการวิเคราะห์จะพิจารณาผลของน้ำหนักบรรทุกคงที่ และ น้ำหนักบรรทุกจรที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงในขณะเกิดแผ่นดินไหว โดยให้คลื่นแผ่นดินไหวกระทำที่ฐานอาคารหลังจากการให้แรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะที่เกิดขึ้นจริง

4.1 พฤติกรรมของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว BYK

4.1.1 พฤติกรรมโดยรวมของโครงสร้าง (Global behavior of structure)

ในกรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g รูปที่ 4.1(ก) แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 1 และ 6 ตามเวลาของอาคาร พบว่ามีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้น 6 เท่ากับ 47.0 mm คิดเป็น 0.27% ของความสูงอาคาร รูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดตามความสูงของอาคาร เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ผลัดด้านข้างที่มีการกระจายของแรงตามแรงเฉื่อยของมวลอาคารในลักษณะการเคลื่อนที่ของโหมดที่ 1 ที่ตำแหน่งเกิดการครากในองค์อาคารเป็นครั้งแรก พบว่า การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดและการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดมีค่าใกล้เคียงการวิเคราะห์ผลัดด้านข้าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาคารตัวอย่างเริ่มมีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่น โดยมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดในชั้นที่ 4 เท่ากับ 11.7 mm คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นเท่ากับ 0.39% ของความสูงชั้น การ

เปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นจากชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 4 และมีค่าลดลงในชั้นที่ 5 และ 6 รูปที่ 4.3(ก) แสดงแรงเฉือนรวมที่ฐานอาคารตามเวลา พบว่ามีค่าแรงเฉือนที่ฐานอาคารสูงสุดเท่ากับ 213.0 kN คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 0.08

สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g รูปที่ 4.1(ข) และ 4.1(ค) แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 1 และ 6 ตามเวลาของอาคาร โดยคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g จะมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้น 6 เท่ากับ 100.0 mm คิดเป็น 0.57% ของความสูงอาคาร และ คลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g จะมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้น 6 เท่ากับ 151.0 mm คิดเป็น 0.86% ของความสูงอาคาร เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดตามความสูงของอาคาร เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ผลักด้านข้างที่ตำแหน่งเกิดการครากในองค์อาคารเป็นครั้งแรก ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.2 พบว่า คลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g อาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมในช่วงไม่ยืดหยุ่น เนื่องจากมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดมากกว่าการวิเคราะห์ผลักด้านข้าง โดยคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g จะมีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่นเกิดขึ้นมากกว่า การเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดในกรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g พบว่ามีค่ามากที่สุดที่ชั้น 4 เท่ากับ 25.6 mm และ 42.7 mm คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นเท่ากับ 0.85% และ 1.42% ของความสูงชั้น ตามลำดับ โดยทั้งคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g จะมีลักษณะการกระจายของการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดเช่นเดียวกับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g รูปที่ 4.3(ข) และ 4.3(ค) แสดงแรงเฉือนรวมที่ฐานอาคารตามเวลา ของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g พบว่ามีค่าแรงเฉือนที่ฐานอาคารสูงสุด เท่ากับ 398.0 kN และ 518.0 kN คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 0.14 และ 0.18 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานของคลื่นแผ่นดินไหวทั้งสาม พบว่าคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g จะมีค่ามากที่สุด ซึ่งทำให้มีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่นเกิดขึ้นมากกว่ากรณีอื่นๆ

รูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 โดยพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากองค์อาคารเกิดการคราก เมื่อเหล็กเสริมตามยาวด้านรับแรงดึงมีค่าความเค้นถึงจุดคราก หรือ ณ จุดที่ผิวนอกสุดของคอนกรีตด้านรับแรงอัด มีค่าความเครียดเท่ากับ 0.002 และที่จุดประลัยเมื่อคอนกรีตที่ผิวริมอกสุดในเหล็กปลอกด้านรับแรงอัดมีค่าความเค้นเท่ากับ 20% ของกำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต พบว่า อาคารตัวอย่างมีความเสียหายเกิดขึ้นมาก เนื่องจากความถี่

ธรรมชาติของอาคาร (fundamental frequency) มีค่าใกล้เคียงกับความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหว (predominant frequency) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น โดยคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g พบว่าจะเกิดการครากที่ส่วนบนและส่วนล่างของเสาภายในด้านขวาในชั้นที่ 4 และ 5 และส่วนบนของเสาภายในด้านซ้ายชั้นที่ 4 ซึ่งเป็นการครากที่ไม่รุนแรง เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นที่มากในชั้นดังกล่าว และเกิดการครากที่จุดต่อระหว่างคานกับเสาของคานภายในชั้นที่ 2 ซึ่งเป็นการครากที่ไม่รุนแรงเช่นเดียวกัน ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g พบว่า จะเกิดการครากที่ส่วนบนและส่วนล่างของเสาภายในชั้นที่ 3 และ 6 และเกิดการครากตลอดทั้งชั้นในเสาชั้นที่ 4 และ 5 โดยที่ส่วนบนของเสาภายในชั้นที่ 4 จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นที่มากในชั้นดังกล่าว ส่วนคานพบว่า จะเกิดการครากที่คานภายในชั้นที่ 1, 2, 3 และ 4 และคานภายนอกชั้นที่ 2 และ 3 ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g พบว่า จะเกิดความเสียหายในอาคารเพิ่มมากขึ้น โดยจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกที่เสาภายในและภายนอกชั้นที่ 4 และ 5 ตลอดทั้งชั้น นอกจากนี้ยังพบการครากที่ไม่รุนแรงเกิดขึ้นที่เสาภายในและภายนอกในชั้นที่ 1, 2, 3 และ 6 ส่วนคานพบว่า จะเกิดการครากขึ้น ที่จุดต่อระหว่างคานกับเสาของคานภายในและภายนอกชั้นที่ 1, 2, 3 และ 4

เมื่อวิเคราะห์ความเสียหายของอาคารตัวอย่างจากรูปแบบความเสียหายของอาคารที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น พบว่า ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g พบว่า ความเสียหายของอาคารตัวอย่างจะเริ่มเกิดจากเสาภายในและภายนอกในชั้นที่ 4 และ 5 เกิดการครากขึ้นก่อน เมื่อความเร่งของการเคลื่อนตัวที่ฐานมีค่าเพิ่มขึ้นจะเกิดการกระจายการครากไปที่เสาภายในและภายนอกชั้นที่ 6, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ความเสียหายจะเกิดมากในเสาชั้นที่ 4 และ 5 เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นที่มากในชั้นดังกล่าว รองลงมาเป็นในเสาชั้นที่ 6 เสาภายในจะเกิดความเสียหายมากกว่าเสาภายนอก เนื่องจากต้องรับแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ด้านข้างมากกว่า ดังแสดงได้จากรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่หัวเสาของเสาภายในและเสาภายนอกในชั้นต่างๆ พบว่าเสาภายในจะเกิดโมเมนต์ดัดมากกว่าเสาภายนอก ซึ่งทำให้ต้องรับแรงและมีความเสียหายเกิดขึ้นมากกว่า ส่วนเสาล่างในชั้นที่ 1, 2 และ 3 จะเกิดความเสียหายน้อยกว่าเสาชั้นบนในชั้นที่ 4, 5 และ 6 เนื่องจากการลดขนาดหน้าตัดเสาและการเสริมเหล็กให้น้อยลง จึงทำให้เสาชั้นบนมีกำลังรับโมเมนต์ดัดน้อยกว่าคาน ความเสียหายโดยส่วนใหญ่จึงเกิดในเสามากกว่าคาน ดังแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับโมเมนต์ดัดของเสาและคานได้ในรูปที่ 4.6 พบว่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของเสาชั้นบนมีค่าน้อยกว่าคานเมื่อเปรียบเทียบกับเสาล่าง และถ้าพิจารณาการออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหวตามมาตรฐานของ UBC (1997) โดยให้ผลรวมของกำลังรับโมเมนต์ดัดประลัยของเสามีค่ามากกว่าคานที่บริเวณจุดต่อ

เดียวกัน (strong column – weak beam) ดังสมการ $\sum M_c \geq \alpha \sum M_g$ เมื่อ $\alpha \geq 1$ จะได้หน้าตัดของคานและเสาที่ควรจะเป็น ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.6 โดยกำหนดให้กำลังรับโมเมนต์ดัดของคานมีค่าเท่ากันในทุกชั้นพบว่า เสาชั้นบนจะมีกำลังรับโมเมนต์ดัดน้อยกว่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของเสาที่ควรจะเป็นตามข้อกำหนด UBC (1997) ดังนั้นในการออกแบบโดยทั่วไปที่นิยมให้เสาชั้นบนมีขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็กที่น้อยกว่าเสาชั้นล่าง ควรปรับปรุงให้เสามีขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็กที่มากขึ้น เพื่อให้มีผลรวมของกำลังรับโมเมนต์ดัดมากกว่าคานในการต้านทานแผ่นดินไหวได้อย่างปลอดภัย ส่วนคานพบว่า จะเกิดการครากที่คานภายในชั้นที่ 2 ขึ้นก่อน จากนั้นเมื่อความเร่งของการเคลื่อนตัวที่ฐานมีค่าเพิ่มขึ้นจะกระจายการครากไปที่คานภายในชั้นที่ 1, 3 และ 4 พร้อมกับเกิดการครากที่คานภายนอกชั้นที่ 2, 3, 4 และ 1 ตามลำดับ ความเสียหายจะเกิดมากที่คานภายในชั้นล่าง เนื่องจากการลดขนาดหน้าตัดคานและการเสริมเหล็กให้น้อยลง ประกอบกับคานชั้นล่างมีกำลังรับโมเมนต์ดัดน้อยกว่าเสามาก ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.6 จึงทำให้ความเสียหายโดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่คานมากกว่าเสา ดังนั้นในการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวตามข้อกำหนด UBC (1997) ในรูปที่ 4.6 ควรออกแบบให้คานทุกชั้นมีขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมเท่ากัน ทั้งคานภายในและคานภายนอก เพื่อให้สามารถรับแรงกระทำและทนต่อแผ่นดินไหวได้อย่างปลอดภัย

4.1.2 พฤติกรรมขององค์อาคาร (Local behavior of structure)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตอบสนองสูงสุดขององค์อาคารของ แรงเฉือน (shear force) ของเสาภายในชั้นที่ 1, แรงตามแนว (axial force) ของเสาภายในชั้นที่ 1, โมเมนต์ดัด (bending moment) ของเสาภายในปลายบนชั้นที่ 2, ความโค้ง (curvature) ของเสาภายในปลายบนชั้นที่ 4, โมเมนต์ดัดของคานภายในปลายบนชั้นที่ 2 และ ความโค้งของคานภายในชั้นที่ 2 ของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g โดยมีรายละเอียดพฤติกรรมขององค์อาคารที่สำคัญ ดังนี้

1) รูปที่ 4.7 แสดงแรงเฉือนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลา ของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g เมื่อพิจารณาแรงเฉือนสูงสุดของเสาภายในตามความสูงของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่า มีค่าแรงเฉือนสูงสุดในเสาชั้นที่ 1 เท่ากับ 61.7 kN, 111.0 kN และ 149.7 kN ตามลำดับ และมีค่าลดลงในชั้นที่สูงขึ้น โดยคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g มีค่าแรงเฉือนน้อยที่สุด ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g มีค่าแรงเฉือนมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนที่ได้จากการวิเคราะห์กับกำลังต้านทานแรงเฉือน (shear capacity)

ของหน้าตัดเสา ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่า แรงเฉือนในเสาจะมีค่าไม่เกินกำลังต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัดเสาสำหรับคลื่นแผ่นดินไหวทั้ง 3 ซึ่งจะทำให้องค์อาคารไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

2) รูปที่ 4.9 แสดงแสดงแรงตามแนวแกนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลา ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g พบว่า เมื่อแผ่นดินไหวมีขนาดใหญ่ขึ้นแรงตามแนวแกนจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเสาชั้นที่ 1 จะมีแรงตามแนวแกนมากกว่าเสาชั้นที่ 6 เมื่อพิจารณาแรงตามแนวแกนสูงสุดในเสาตามความสูงของอาคาร ของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.10 พบว่ามีค่าแรงตามแนวแกนสูงสุดในเสาชั้นที่ 1 เท่ากับ 599.0 kN และ 1050.0 kN สำหรับเสาภายในและภายนอกตามลำดับ ในชั้นที่สูงขึ้นไปแรงตามแนวแกนจะมีค่าลดลง โดยเสาชั้นดาดฟ้าจะมีแรงตามแนวแกนน้อยที่สุด รูปที่ 4.11(ก) และ 4.11(ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงตามแนวแกนในเสาของเสาภายในและภายนอก เมื่อเปรียบเทียบกับแรงตามแนวแกนเนื่องจากแรงในแนวตั้ง พบว่าแรงตามแนวแกนในเสาจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากแรงในแนวตั้งเมื่อพิจารณาผลของแผ่นดินไหว รูปที่ 4.11(ค) แสดงอัตราส่วนแรงตามแนวแกนในเสาของแรงในแนวตั้งและแผ่นดินไหว พบว่าเสาชั้นบนในชั้นที่ 5 และ 6 มีอัตราส่วนแรงตามแนวแกนในเสามากกว่าเสาชั้นล่าง โดยมีแรงตามแนวแกนสูงสุดเพิ่มขึ้นในเสาภายในชั้นที่ 6 มีค่าเท่ากับ 78.2 kN คิดเป็น 2.0 เท่าของแรงตามแนวแกนเนื่องจากแรงในแนวตั้ง ดังนั้นในการออกแบบเสาชั้นบน ซึ่งปกติจะออกแบบให้มีขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็กที่น้อยกว่าเสาชั้นล่าง จะต้องคำนึงถึงแรงตามแนวแกนที่เพิ่มขึ้นในเสาเมื่อพิจารณาผลของแผ่นดินไหว ที่ทำให้กำลังรับโมเมนต์ดัดและความเหนียวของเสามีค่าลดลง โดยจะต้องออกแบบให้เสาชั้นบนมีขนาดหน้าตัดและการเสริมเหล็กที่เพียงพอต่อแรงกระทำที่เพิ่มขึ้นในการต้านทานแผ่นดินไหวได้อย่างปลอดภัย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในรูปแบบความเสียหายของอาคาร

3) รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของเสาภายในปลายบนชั้นที่ 4 และ 5 ของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g พบว่า กรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งจะเป็นรูปที่ค่อนข้างสมมาตร โดยมีค่าความโค้งมากที่สุด ในเสาชั้นที่ 5 เท่ากับ 0.027 คิดเป็น อัตราส่วนความเหนียวเชิงความโค้งที่ได้จากการวิเคราะห์ เท่ากับ 2.1 โดยมีค่าอัตราส่วนความเหนียวเชิงความโค้งของหน้าตัดเสา เท่ากับ 5.7 ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งจะเป็นรูปที่ใหญ่ขึ้นแต่ไม่สมมาตร โดยมีค่าความโค้งมากที่สุด ในเสาชั้นที่ 4 เท่ากับ 0.11 คิดเป็น อัตราส่วนความเหนียวเชิงความโค้งที่ได้จากการวิเคราะห์ เท่ากับ 11.6 และมีค่าอัตราส่วนความเหนียวเชิงความโค้งของหน้าตัดเสา เท่ากับ 5.3

เมื่อพิจารณาโมเมนต์ดัดและความโค้งสูงสุดของเสาภายในตามความสูงของอาคารของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.13(ก) และ 4.13(ข) พบว่าโมเมนต์ดัดมีค่ามากที่สุด ณ ชั้นที่ 2 และมีค่าลดลงในชั้นที่สูงขึ้น และชั้นที่ 1 เนื่องจากเป็นเสาสั้นจึงทำให้รับแรงได้น้อยกว่า โดยคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g จะมีค่าโมเมนต์ดัดน้อยที่สุด ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g จะมีค่าโมเมนต์ดัดมากที่สุด เท่ากับ 70.5 kN-m และ 135.8 kN-m ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับโมเมนต์ดัดที่จุดคราก (yielding moment) ของเสาที่ได้จากการวิเคราะห์หน้าตัด (section analysis) พบว่า เสาชั้นที่ 4, 5, และ 6 จะมีค่าโมเมนต์ดัดเกินกำลังรับโมเมนต์ดัดที่จุดครากของเสา สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g ส่วนความโค้งพบว่า จะมีค่ามากในเสาชั้นที่ 4 และ 5 และมีค่าน้อยในเสาชั้นล่าง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความโค้งที่จุดคราก (yielding curvature) ของเสาพบว่า ในกรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g เสาชั้นบนในชั้นที่ 4, 5 และ 6 จะมีค่าความโค้งเกินความโค้งที่จุดครากของเสา ซึ่งทำให้เสาชั้นบนเกิดการครากและความเสียหายมากกว่าเสาชั้นล่าง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในรูปแบบความเสียหายของอาคาร

4) รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 ของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g พบว่า กรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งจะเป็นรูปที่ไม่สมมาตร โดยมีค่าความโค้งมากที่สุดในคานชั้นที่ 2 เท่ากับ 0.030 คิดเป็น อัตราส่วนความเหนียวเชิงความโค้งที่ได้จากการวิเคราะห์ เท่ากับ 3.3 โดยมีค่าอัตราส่วนความเหนียวเชิงความโค้งของหน้าตัดคานเท่ากับ 8.7 ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งจะเป็นรูปที่ใหญ่ขึ้นและไม่สมมาตร โดยมีค่าความโค้งมากที่สุดในคานชั้นที่ 2 เท่ากับ 0.050 คิดเป็น อัตราส่วนความเหนียวเชิงความโค้งที่ได้จากการวิเคราะห์ เท่ากับ 5.6 และมีค่าอัตราส่วนความเหนียวเชิงความโค้งของหน้าตัดคาน เท่ากับ 8.7 เมื่อพิจารณาโมเมนต์ดัดและความโค้งสูงสุดของคานภายในตามความสูงของอาคารของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.15(ก) และ 4.15(ข) พบว่า โมเมนต์ดัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 และมีค่าลดลงในชั้นที่สูงขึ้น โดยคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g จะมีค่าโมเมนต์ดัดน้อยที่สุดเท่ากับ 53.7 kN-m ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g จะมีค่าโมเมนต์ดัดมากที่สุดเท่ากับ 71.6 kN-m เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับโมเมนต์ดัดที่จุดครากของคานที่ได้จากการวิเคราะห์หน้าตัด พบว่า คานภายในชั้นที่ 2 และ 3 กรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g จะมีค่าโมเมนต์ดัดเกินกำลัง

รับโมเมนต์ดัดที่จุดครากของคาน ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้น ส่วนความโค้งซึ่งแสดงได้ในรูปที่ 4.15(ข) พบว่าจะมีค่ามากที่สุดที่คานภายในชั้นที่ 2 และมีค่าลดลงในชั้นที่สูงขึ้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความโค้งที่จุดคราก (yielding curvature) ของหน้าตัดคาน พบว่ากรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g คานชั้นที่ 2 และ 3 จะมีค่าความโค้งเกินความโค้งที่จุดครากของหน้าตัดคาน ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบความเสียหายของอาคารที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น รูปที่ 4.16(ก) และ 4.16(ข) แสดงค่าโมเมนต์ดัดและความโค้งของคานตามความยาวของอาคาร พิจารณาจากคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g พบว่า โมเมนต์ดัดจะมีค่ามากที่สุดที่ช่วงคานภายนอกและมีค่าลดลงที่ช่วงคานภายใน เนื่องจากคานภายนอกมีความยาวในช่วงคานมากกว่า โดยจะเกิดโมเมนต์ดัดมากที่สุดที่คานภายนอกชั้นที่ 3 ส่วนค่าความโค้งพบว่าที่ช่วงคานภายในจะมีค่าความโค้งมากกว่าคานภายนอก โดยจะเกิดความโค้งมากที่สุดที่คานภายในชั้นที่ 2 ค่าความโค้งที่มากของช่วงคานภายในแสดงให้เห็นว่า คานภายในจะเกิดความเสียหายมากกว่าคานภายนอก เนื่องจากการลดขนาดหน้าตัดคานและการเสริมเหล็กให้น้อยลงดังที่ได้กล่าวมาแล้วในรูปแบบความเสียหายของอาคาร

4.2 พฤติกรรมของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro

4.2.1 พฤติกรรมโดยรวมของโครงสร้าง (Global behavior of structure)

ตารางที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมการตอบสนองสูงสุดของการเปลี่ยนตำแหน่งในชั้นที่ 6, การเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น และแรงเฉือนที่ฐานอาคาร ของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g พบว่าการตอบสนองของอาคารมีค่าน้อยกว่าคลื่นแผ่นดินไหว BYK เนื่องจากความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวมีค่าแตกต่างจากความถี่ธรรมชาติของอาคารมากกว่าคลื่นแผ่นดินไหว BYK ซึ่งมีความถี่น้อยกว่า การเปลี่ยนตำแหน่งในชั้นที่ 1 และ 6 และแรงเฉือนที่ฐานอาคารตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g แสดงได้ในภาคผนวก ข รูปที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และ การเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุด ตามความสูงของอาคาร เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ผลักด้านข้างที่มีการกระจายของแรงตามแรงเฉื่อยของมวลอาคารในลักษณะการเคลื่อนที่ของโหมดที่ 1 ที่ตำแหน่งเกิดการครากในองค์อาคารเป็นครั้งแรก พบว่ากรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g อาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมในช่วงยืดหยุ่น ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g อาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่น โดยจะเกิดมากในคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g สำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g จะมีการกระจายที่แตกต่างไปจากคลื่นแผ่นดินไหว BYK โดยมีการ

เปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดเลื่อนไปชั้นที่สูงกว่าจากคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g เนื่องจากอาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่นและมีความเสียหายเกิดขึ้นมากกว่า ทำให้การยึดรั้งการเคลื่อนที่ของโครงสร้างแข็งมีค่าลดลง

รูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g แสดงได้ดังรูปที่ 4.18 พบว่า ความเสียหายจะเกิดขึ้นน้อยกว่าคลื่นแผ่นดินไหว BYK เนื่องจากมีความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวแตกต่างจากความถี่ธรรมชาติของอาคารและมีค่ามากกว่าคลื่นแผ่นดินไหว BYK โดยกรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g ไม่พบการครากเกิดขึ้นในเสาและคานแต่อย่างใด เนื่องจากอาคารตัวอย่างยังมีพฤติกรรมในช่วงยืดหยุ่น ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g พบว่าเกิดความเสียหายในอาคารมากกว่า โดยพบการครากเกิดขึ้นที่ส่วนบนและส่วนล่างของเสาภายในชั้นที่ 4, 5 และ 6 ทั้งคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g และพบการครากที่ส่วนบนและส่วนล่างของเสาภายนอกชั้นที่ 4 และ 5 สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g โดยทั้งคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g จะไม่พบความเสียหายในเสาชั้นที่ 1, 2 และ 3 ตลอดทั้งชั้นแต่อย่างใด สำหรับคานพบว่าในกรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g จะไม่พบการครากและความเสียหายแต่อย่างใด ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g พบว่าจะเกิดการครากที่จุดต่อระหว่างคานกับเสาของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 สำหรับเสาเหตุที่ทำให้คานและเสาเกิดความเสียหายเป็นเช่นเดียวกับคลื่นแผ่นดินไหว BYK

4.2.2 พฤติกรรมขององค์อาคาร (Local behavior of structure)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตอบสนองสูงสุดขององค์อาคารของ แรงเฉือน (shear force) ของเสาภายในชั้นที่ 1 , แรงตามแนว (axial force) ของเสาภายในชั้นที่ 1 , โมเมนต์ดัด (bending moment) ของเสาภายในปลายบนชั้นที่ 2, ความโค้ง (curvature) ของเสาภายในปลายบนชั้นที่ 5, โมเมนต์ดัดของคานภายในชั้นที่ 2 และ ความโค้งของคานภายในชั้นที่ 2 ของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g พบว่ามีการตอบสนองขององค์อาคารที่น้อยกว่าคลื่นแผ่นดินไหว BYK เนื่องจากมีความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวแตกต่างจากความถี่ธรรมชาติของอาคาร สำหรับการตอบสนองตามเวลาของแรงเฉือนในเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6, แรงเฉือนของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3, แรงตามแนวแกนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 และความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของคานและเสา แสดงได้ในภาคผนวก ข โดยมีการตอบสนองสูงสุดตามความสูงอาคารของแรงเฉือนของเสาภายใน, โมเมนต์ดัด และ ความโค้งของคานภายในและเสาภายในใกล้เคียงกับคลื่นแผ่นดินไหว BYK แต่มีค่าการตอบสนองสูงสุดที่น้อย

กว่าดังแสดงได้ในรูปที่ 4.19 - 4.21

4.3 พฤติกรรมของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว SCT

4.3.1 พฤติกรรมโดยรวมของโครงสร้าง (Global behavior of structure)

ตารางที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมการตอบสนองสูงสุดของการเปลี่ยนตำแหน่งในชั้นที่ 6, การเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น และแรงเฉือนที่ฐานอาคาร ของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g พบว่าการตอบสนองของอาคารมีค่ามากกว่าคลื่นแผ่นดินไหว El Centro แต่น้อยกว่าคลื่นแผ่นดินไหว BYK เนื่องจากความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวแตกต่างจากความถี่ธรรมชาติของอาคาร แต่ใกล้เคียงมากกว่าคลื่นแผ่นดินไหว El Centro โดยมีความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวที่น้อยกว่า สำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งในชั้นที่ 1 และ 6 และแรงเฉือนที่ฐานอาคารตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g แสดงได้ในภาคผนวก ข รูปที่ 4.22 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุด ตามความสูงของอาคาร เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ผลทางด้านข้างที่มีการกระจายของแรงตามแรงเฉื่อยของมวลอาคารในลักษณะการเคลื่อนที่ของโหมดที่ 1 ที่ตำแหน่งเกิดการครากในองค์อาคารเป็นครั้งแรก พบว่าเป็นเช่นเดียวกับคลื่นแผ่นดินไหว El Centro โดยคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g อาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมในช่วงยืดหยุ่น ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g อาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่น โดยจะเกิดมากในคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g สำหรับการกระจายการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับคลื่นแผ่นดินไหว BYK

รูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g 0.10g และ 0.15g แสดงได้ดังรูปที่ 4.23 พบว่า มีความเสียหายเกิดขึ้นมากกว่าคลื่นแผ่นดินไหว El Centro แต่น้อยกว่าคลื่นแผ่นดินไหว BYK เนื่องจากมีความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวแตกต่างจากความถี่ธรรมชาติของอาคาร แต่ใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของอาคารมากกว่าคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น โดยกรณีคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g ไม่พบการครากเกิดขึ้นในเสาและคานแต่อย่างใด ส่วนคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g พบว่า เกิดการครากที่เสาภายในชั้นที่ 3, 4, 5 และ 6 และเสานอกชั้นที่ 4 และ 5 ส่วนคานพบว่าเกิดการครากที่คานภายในชั้นที่ 1, 2 และ 3 และคานภายนอกชั้นที่ 2 สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดเร่งสูงสุด 0.15g พบว่าจะเกิดการครากในเสาชั้นที่ 4 และ 5 ตลอดทั้งชั้น โดยเสภายในจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก นอกจากนี้ยังพบการครากเกิดขึ้นที่เสา

ภายในและเสากายนอกชั้นที่ 1, 2, 3 และ 6 ความเสียหายจะเกิดมากที่สุดที่เสาชั้นบนในชั้นที่ 4 และ 5 ส่วนคานพบว่าเกิดการครากขึ้นที่คานภายนอกชั้นที่ 1, 2, 3 และ 4 และคานภายในชั้นที่ 1, 2 และ 3 สำหรับสาเหตุที่ทำให้คานและเสาเกิดความเสียหายเป็นเช่นเดียวกับคลื่นแผ่นดินไหว BYK

4.3.2 พฤติกรรมขององค์อาคาร (Local behavior of structure)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตอบสนองสูงสุดขององค์อาคารของ แรงเฉือน (shear force) ของเสากายในชั้นที่ 1 , แรงตามแนว (axial force) ของเสากายในชั้นที่ 1 , โมเมนต์ดัด (bending moment) ของเสากายในปลายบนชั้นที่ 2, ความโค้ง (curvature) ของเสากายในปลายบนชั้นที่ 4, โมเมนต์ดัดของคานภายในชั้นที่ 2 และ ความโค้งของคานภายในชั้นที่ 2 ของคลื่นแผ่นดินไหว ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g พบว่ามีการตอบสนองขององค์อาคารที่มากกว่าคลื่นแผ่นดินไหว El Centro แต่น้อยกว่าคลื่นแผ่นดินไหว BYK เช่นเดียวกับรูปแบบความเสียหายของอาคาร สำหรับการตอบสนองตามเวลาของ แรงเฉือนในเสากายในชั้นที่ 1 และ 6, แรงเฉือนของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3, แรงตามแนวแกนของเสากายในชั้นที่ 1 และ 6, แรงตามแนวแกนของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 และความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของคานและเสา แสดงได้ในภาคผนวก ข โดยมีการตอบสนองสูงสุดตามความสูงอาคารของแรงเฉือน, โมเมนต์ดัด และความโค้งของคานและเสาเช่นเดียวกับคลื่นแผ่นดินไหว BYK แต่มีค่าการตอบสนองที่น้อยกว่า ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.24 - 4.26 และจากรูปที่ ผ.ข.12 ในภาคผนวก แสดงแรงตามแนวแกนของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 ตามเวลา ของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g พบว่า มีค่าแรงตามแนวแกนสูงสุดในคานชั้นที่ 2 เท่ากับ 45.34 และ 96.70 kN ตามลำดับ จากลักษณะของกราฟพบว่า มีแรงตามแนวแกนเกิดขึ้นในคาน โดยมีการเปลี่ยนแปลงแรงตามแนวแกนอย่างกะทันหันในบางช่วง จากพฤติกรรมของแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในคานจะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 ของคลื่นแผ่นดินไหว ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์หน้าตัด ดังแสดงได้ในรูปที่ ผ.ข.14 มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการจำลองพฤติกรรมไม่เชิงเส้นโดยใช้แบบจำลองไฟเบอร์ ที่คำนึงถึงการแปรเปลี่ยนของแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในองค์อาคาร จะทำให้โมเมนต์ดัดและความโค้งที่ได้จากการวิเคราะห์แตกต่างจากการวิเคราะห์หน้าตัดที่ไม่พิจารณาผลของแรงตามแนวแกนในคาน

4.4 ผลของลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว

สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g รูปที่ 4.27(ก) แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุด เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ผลักด้านข้างที่มีการกระจายของแรงตามแรงเฉื่อยของมวลอาคารในลักษณะการเคลื่อนที่ของโหมดที่ 1 เมื่อองค์อาคารเริ่มเกิดการคราก พบว่า กรณีคลื่นแผ่นดินไหว El Centro และ SCT อาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมในช่วงยืดหยุ่น เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดมีค่าน้อยกว่าการวิเคราะห์ผลักด้านข้าง ส่วนคลื่นแผ่นดินไหว BYK อาคารตัวอย่างเริ่มมีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่น โดยมีความเสียหายเกิดขึ้นบ้างแต่ไม่มาก เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์ผลักด้านข้าง และผลตอบการสนองของอาคารจะมีมากกว่าคลื่นแผ่นดินไหว El Centro และ SCT เนื่องจากความถี่ธรรมชาติของอาคารที่ได้จากการวิเคราะห์ มีค่าเท่ากับ 1.04 Hz ใกล้เคียงกับความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีค่าเท่ากับ 1.20 Hz การกระจายการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นของคลื่นแผ่นดินไหวทั้งสามจะมีค่ามากในชั้น 4 และมีค่าลดลงในชั้นล่าง

สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g รูปที่ 4.27(ข) แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุด เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ผลักด้านข้างที่มีการกระจายของแรงตามแรงเฉื่อยของมวลอาคารในลักษณะการเคลื่อนที่ของโหมดที่ 1 เมื่อองค์อาคารเริ่มเกิดการคราก พบว่า อาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่น สำหรับคลื่นแผ่นดินไหว El Centro, SCT และ BYK เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์ผลักด้านข้างเมื่อองค์อาคารเริ่มเกิดการคราก การกระจายการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ไม่เหมือนในกรณีแรก โดยจะเลื่อนขึ้นไปในชั้นที่ 5 เนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นมากทำให้การยืดหยุ่นการเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าลดลง ส่วนคลื่นแผ่นดินไหว SCT และ BYK พบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่การเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดยังเกิดขึ้นในชั้นที่ 4 โดยคลื่นแผ่นดินไหว BYK จะมีผลการตอบสนองของอาคารมากที่สุด เช่นเดียวกับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g

สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g ซึ่งเป็นความเร่งในเขตแผ่นดินไหวปานกลาง (Zone 2A) ของประเทศไทยตามข้อกำหนดของ UBC (1997) รูปที่ 4.27(ค) แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุด เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ผลักด้านข้างที่มีการกระจายของแรงตามแรงเฉื่อยของมวลอาคารในลักษณะการเคลื่อนที่

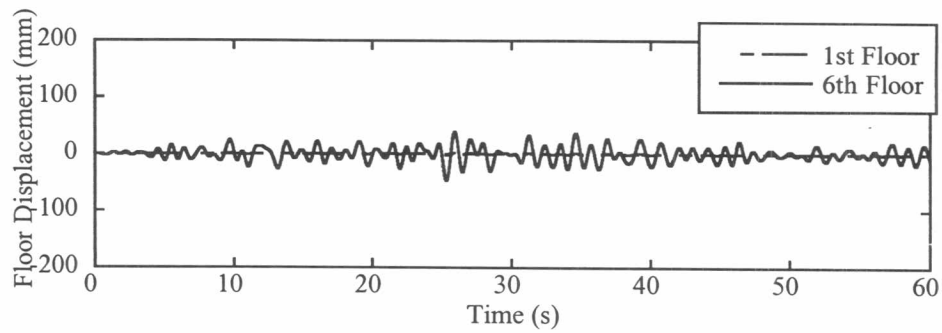
ของโหมดที่ 1 เมื่อองค์อาคารเริ่มเกิดการคราก พบว่า อาคารตัวอย่างมีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่นและมีความเสียหายเกิดขึ้นมาก คลื่นแผ่นดินไหว SCT และ BYK จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกที่เสาชั้นที่ 4 และ 5 โดยคลื่นแผ่นดินไหว BYK จะมีผลการตอบสนองของอาคารมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความถี่ธรรมชาติของอาคารมีค่าใกล้เคียงกับความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหว เช่นเดียวกับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g และ 0.10g การกระจายการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดของคลื่นแผ่นดินไหว SCT และ BYK มีลักษณะเช่นเดียวกับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g ส่วนคลื่นแผ่นดินไหว El Centro พบว่ายังไม่เกิดความเสียหายที่รุนแรงเหมือนกับคลื่นแผ่นดินไหว SCT และ BYK โดยมีการกระจายการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุดเลื่อนไปชั้นที่ 5 เช่นเดียวกับคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g

4.5 สรุปผลการวิเคราะห์

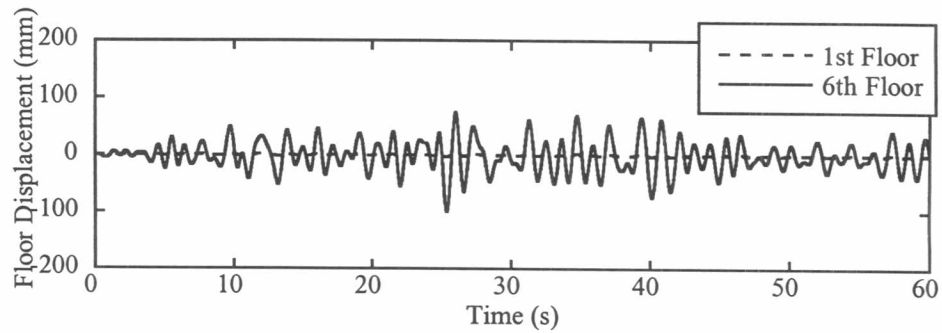
จากการวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK, El Centro และ SCT พบว่า อาคารตัวอย่างจะมีผลการตอบสนองมากที่สุด ในกรณีของคลื่นแผ่นดินไหว BYK เนื่องจากความถี่ธรรมชาติของอาคาร (fundamental frequency) มีค่าใกล้เคียงกับความถี่เด่นชัดของคลื่นแผ่นดินไหว (predominant frequency) โดยเมื่อขนาดความเร่งที่ฐานไม่มากนักเท่ากับ 0.05g อาคารตัวอย่างจะมีความเสียหายเกิดขึ้นไม่มากและมีพฤติกรรมในช่วงยืดหยุ่น แต่เมื่อขนาดความเร่งที่ฐานมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.10g และ 0.15g อาคารตัวอย่างจะเกิดความเสียหายในแบบเสาอ่อน-คานแข็ง (weak column – strong beam) โดยพบความเสียหายในเสามากกว่าคาน เสาชั้นบนในชั้นที่ 4, 5 และ 6 จะเกิดความเสียหายมากกว่าเสาชั้นล่างในชั้นที่ 1, 2 และ 3 เนื่องจากการลดขนาดหน้าตัดเสาและการเสริมเหล็กให้น้อยลง ทำให้เสามีกำลังต่ำกว่าคานมาก ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.6 ส่วนคานพบว่าจะเกิดความเสียหายที่คานชั้นล่างในชั้นที่ 1, 2 และ 3 คานภายในจะเกิดความเสียหายมากกว่าคานภายนอก เนื่องจากการลดขนาดหน้าตัดคานและการเสริมเหล็กให้น้อย ประกอบกับคานชั้นล่างมีกำลังต่ำกว่าเสามาก ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.6 จึงทำให้เกิดความเสียหายมากกว่าคานชั้นบน และในประเทศไทยซึ่งจัดอยู่ในเขตแผ่นดินไหวปานกลาง ตามมาตรฐานของ UBC โดยมีขนาดความเร่งสูงสุดของการเคลื่อนตัวที่ฐานเท่ากับ 0.15g พบว่า อาคารตัวอย่างจะเกิดความเสียหายในระดับรุนแรง โดยมีการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกเกิดขึ้นในองค์อาคาร ดังนั้นในระบบการออกแบบที่นิยมกระทำกันโดยทั่วไป เสามักมีขนาดเล็ก ทำให้มีกำลังต่ำกว่าคานควรมีการปรับปรุง เนื่องจากจะเป็นอันตรายในขณะเกิดแผ่นดินไหวดังเช่นที่เกิดขึ้นในอาคารตัวอย่าง

ตารางที่ 4.1 ผลการตอบสนองสูงสุดของอาคารตัวอย่าง ของคลื่นแผ่นดินไหว BYK, SCT และ El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g

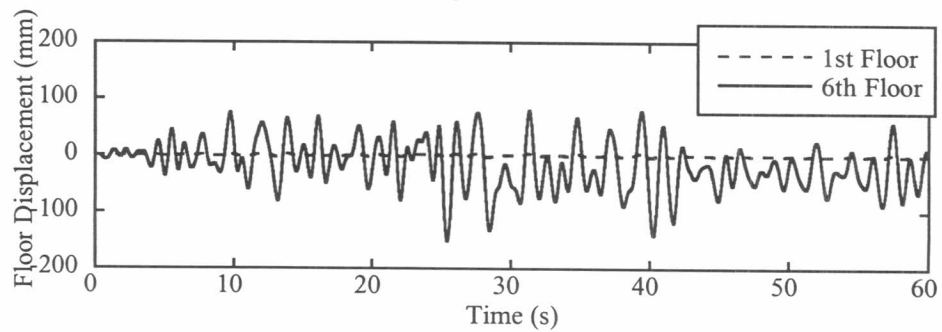
Responses of structure		BYK			El Centro			SCT		
		0.05g	0.10g	0.15g	0.05g	0.10g	0.15g	0.05g	0.10g	0.15g
Global behavior	1) การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 6 (mm)	47.0	100.0	151.0	22.40	43.2	63.6	32.0	68.2	123.6
	2) การเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้น (mm)	11.7	25.6	42.7	5.8	11.0	16.4	7.6	16.1	33.3
	inter-story drift (%)	0.39	0.85	1.42	0.18	0.37	0.55	0.25	0.54	1.11
	3) แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (kN)	213.0	398.0	518.0	103.0	191.0	252.0	182.0	360.0	537.0
	ส.ป.ส.แรงเฉือนที่ฐาน (V/W)	0.08	0.14	0.18	0.04	0.07	0.09	0.06	0.13	0.19
Local behavior	4) แรงเฉือนในเสา (kN)	61.7	111.0	146.7	45.0	66.3	82.6	63.0	111.4	149.6
	5) แรงตามแนวแกนในเสา (kN)	501.4	583.7	599.0	443.3	485.8	524.2	461.0	544.7	557.0
	6) โมเมนต์ดัดในเสา (kN-m)	70.5	110.4	135.8	51.0	72.4	112.0	69.4	114.2	151.6
	7) ความโค้งในเสา (1/m)	0.012	0.027	0.110	0.009	0.015	0.026	0.009	0.019	0.068
	8) โมเมนต์ดัดในคาน (kN-m)	53.7	66.6	71.6	28.2	46.7	56.6	38.4	60.4	68.8
	9) ความโค้งในคาน (1/m)	0.010	0.031	0.049	0.005	0.008	0.013	0.006	0.020	0.047



(ก) ความเร่งสูงสุด 0.05g

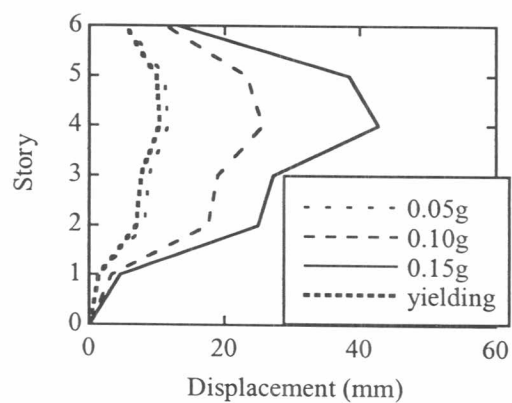
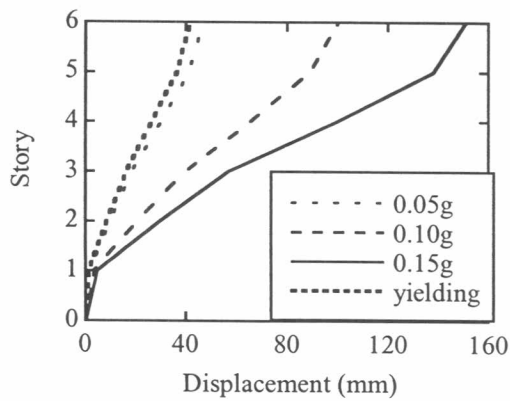


(ข) ความเร่งสูงสุด 0.10g

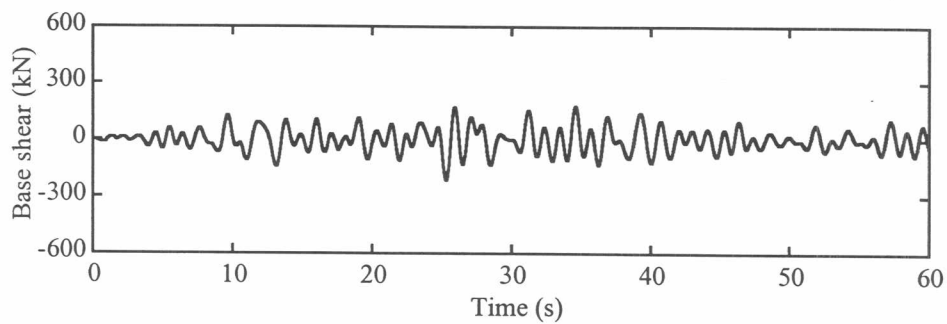


(ค) ความเร่งสูงสุด 0.15g

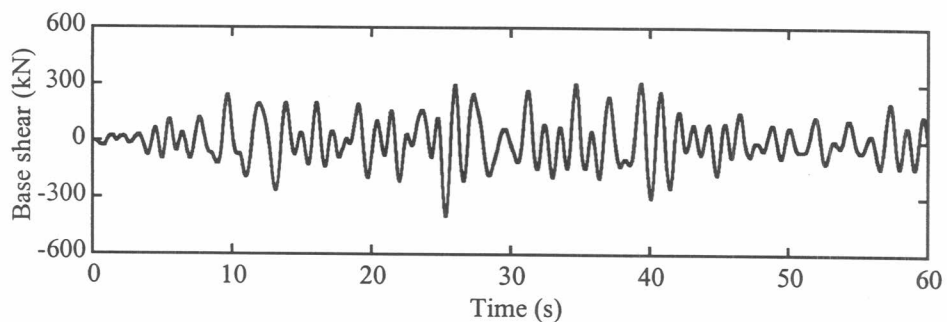
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนตำแหน่งชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g



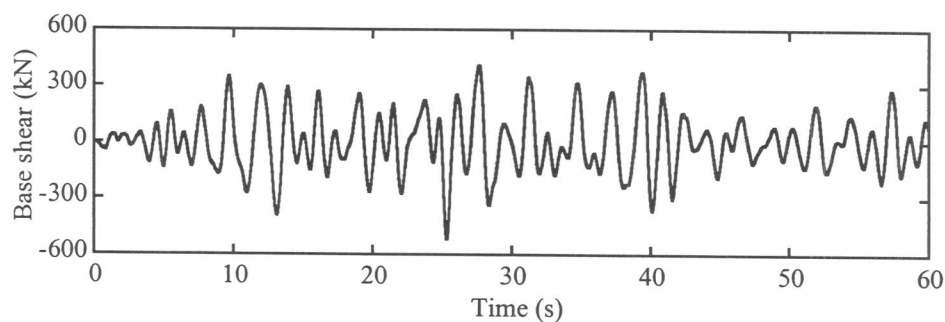
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดตามความสูงของอาคารตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหว BYK



(ก) ความเร่งสูงสุด 0.05g

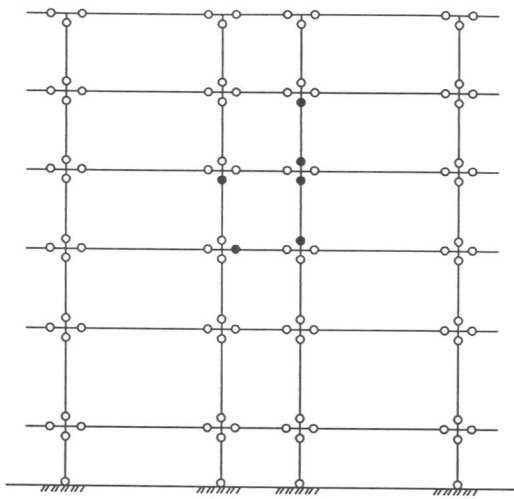


(ข) ความเร่งสูงสุด 0.10g

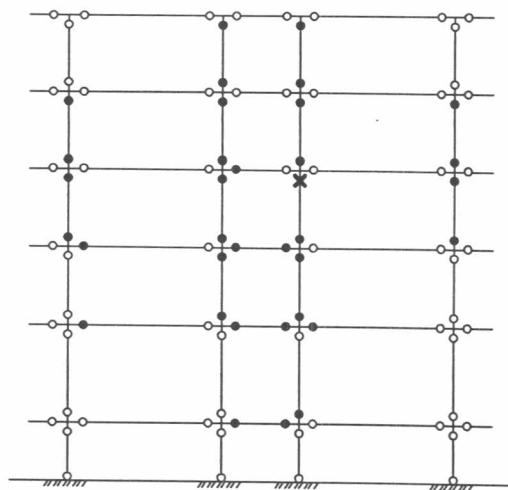


(ค) ความเร่งสูงสุด 0.15g

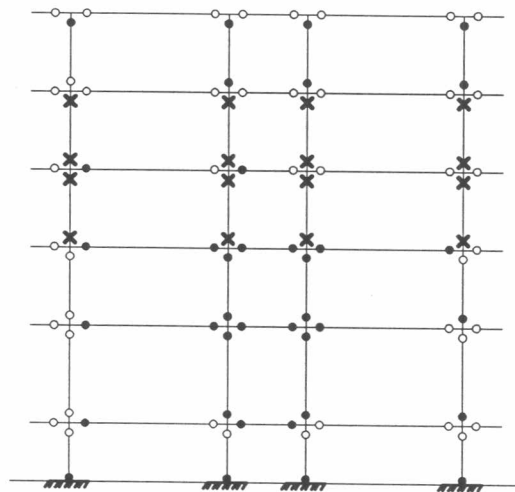
รูปที่ 4.3 แรงเฉือนที่ฐานอาคารตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g



(ก) ความเร่งสูงสุด 0.05g



(ข) ความเร่งสูงสุด 0.10g



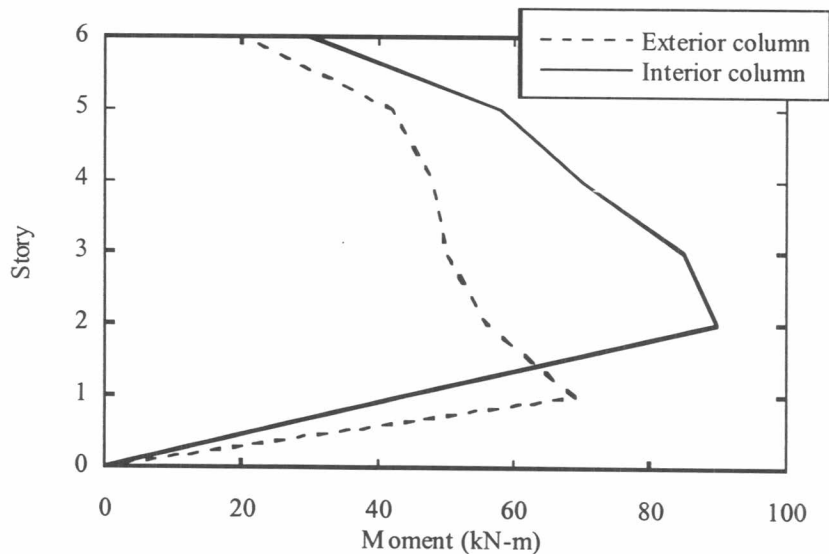
(ค) ความเร่งสูงสุด 0.15g

สัญลักษณ์รูปแบบความเสียหาย

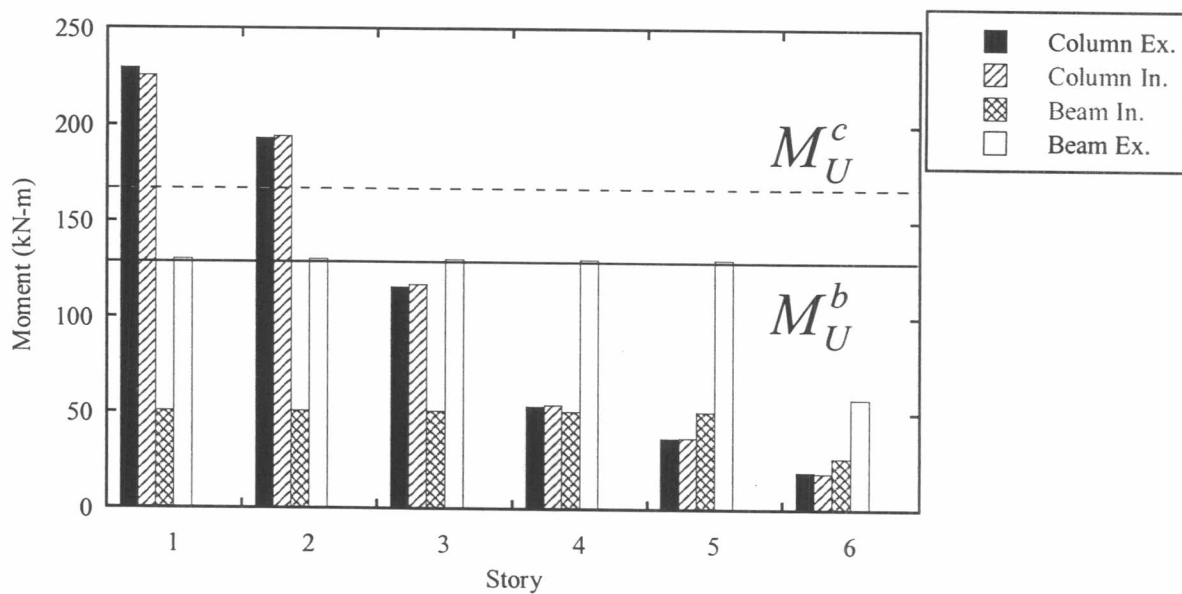
● เกิดการคราก

× ที่จุด ultimate

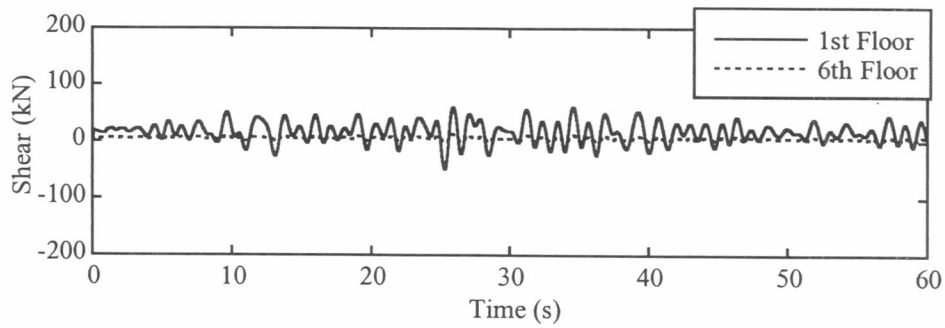
รูปที่ 4.4 รูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g



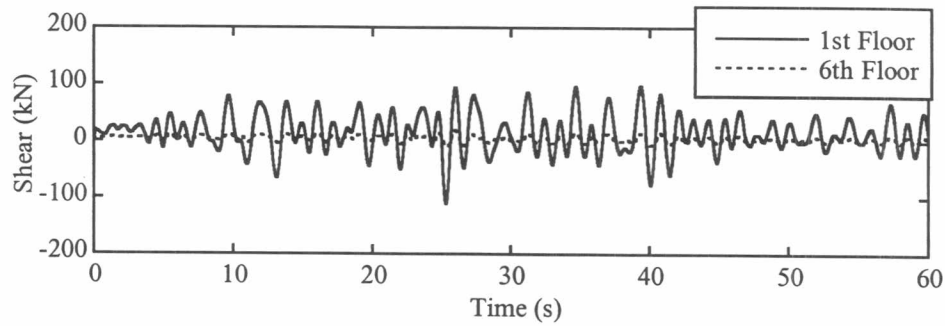
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดของเสาภายในและเสาด้านนอกของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g



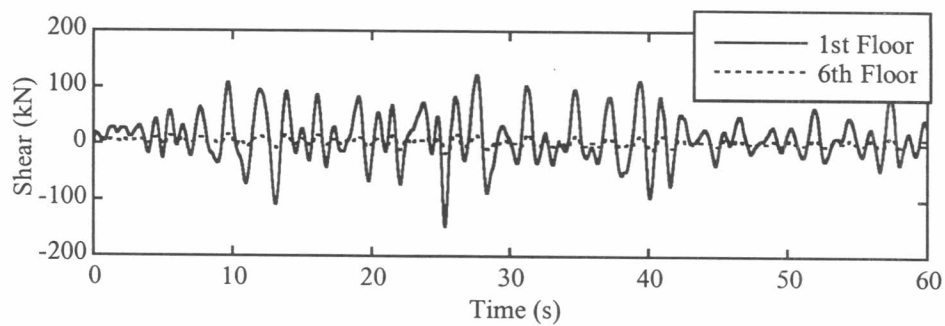
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบกำลังรับโมเมนต์ดัดในเสาและคานและกำลังรับโมเมนต์ดัดตามมาตรฐานของ UBC (1970)



(ก) ความเร่งสูงสุด 0.05g

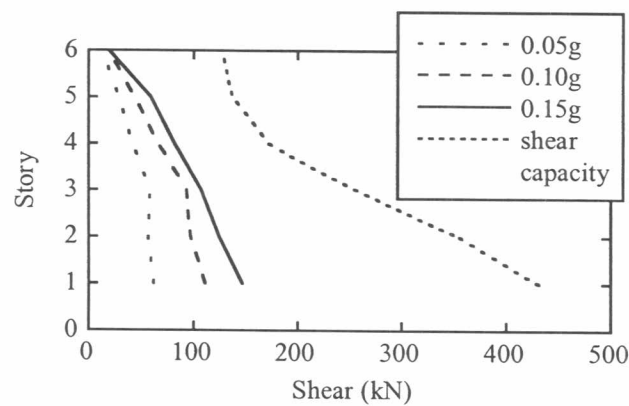


(ข) ความเร่งสูงสุด 0.10g

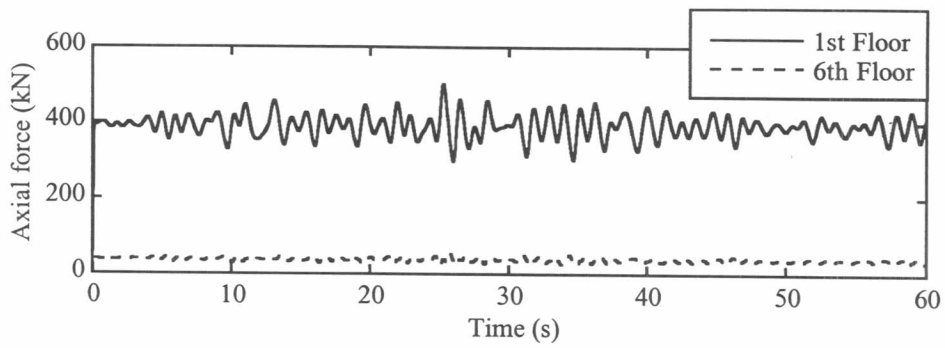


(ค) ความเร่งสูงสุด 0.15g

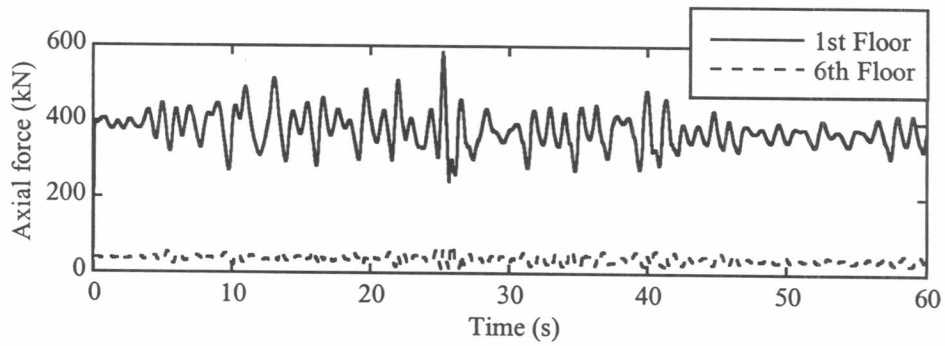
รูปที่ 4.7 แรงเฉือนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g



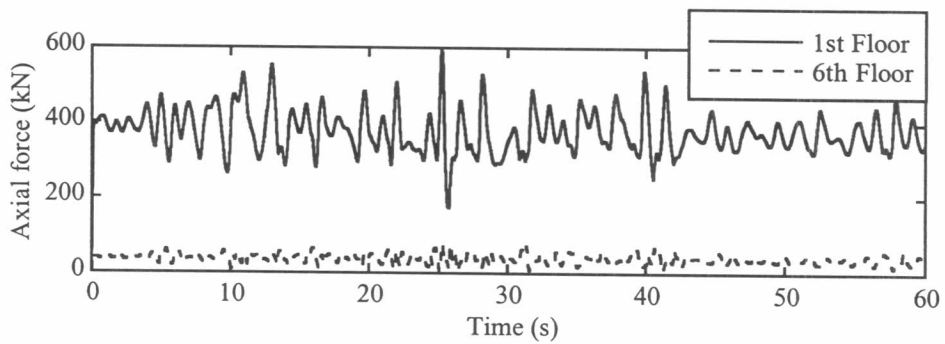
รูปที่ 4.8 แรงเฉือนของเสาภายใน และ กำลังต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัดเสา ตามความสูงของอาคารของคลื่นแผ่นดินไหว BYK



(ก) ความเร่งสูงสุด 0.05g

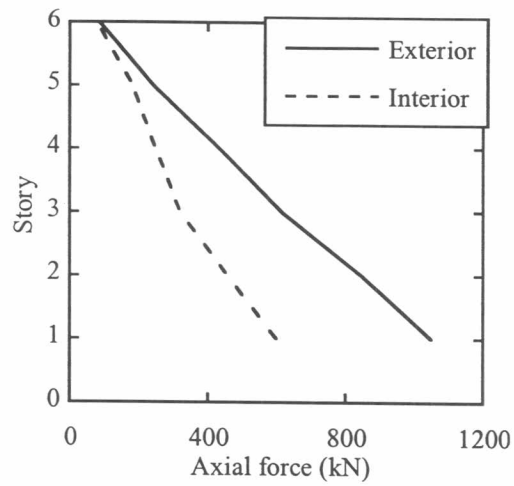


(ข) ความเร่งสูงสุด 0.10g

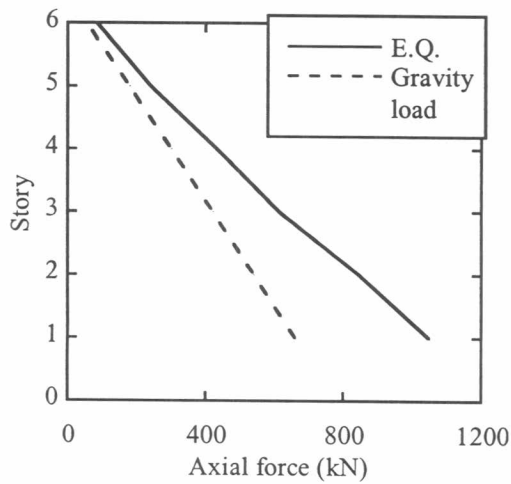


(ค) ความเร่งสูงสุด 0.15g

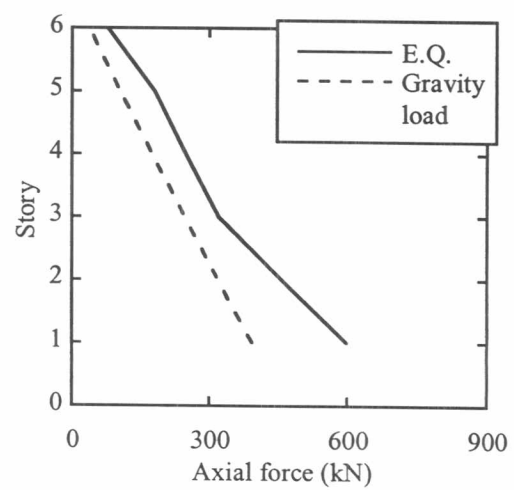
รูปที่ 4.9 แรงตามแนวแกนของเสาภายในชั้นที่ 1 และ 6 ตามเวลาของคลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g



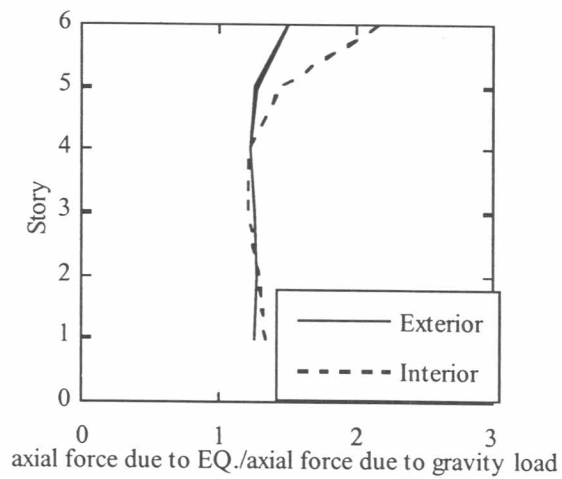
รูปที่ 4.10 แรงตามแนวแกนสูงสุดในเสาตามความสูงของอาคารของคัลินแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g



(ก) เสาภายนอก

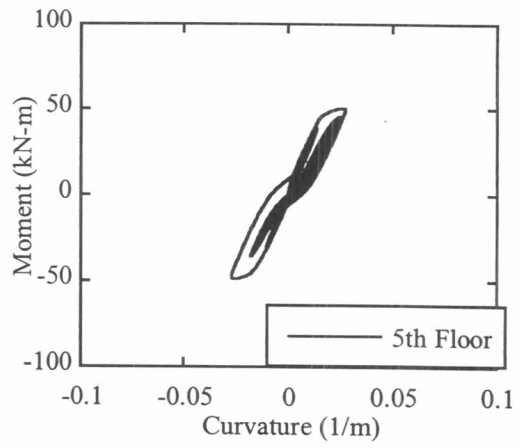
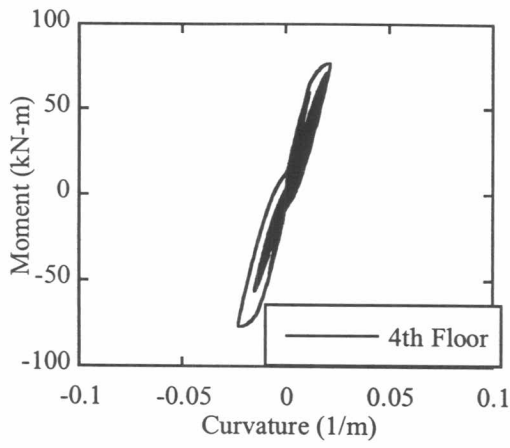


(ข) เสาภายใน

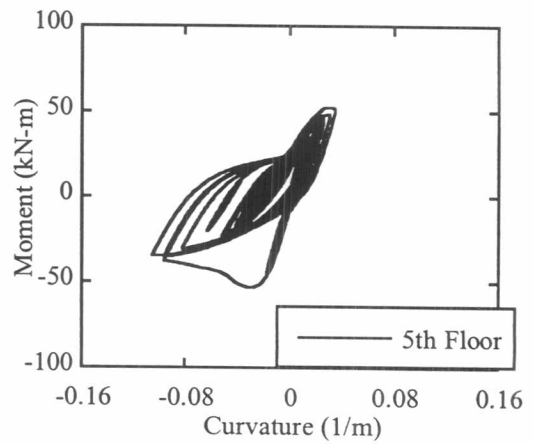
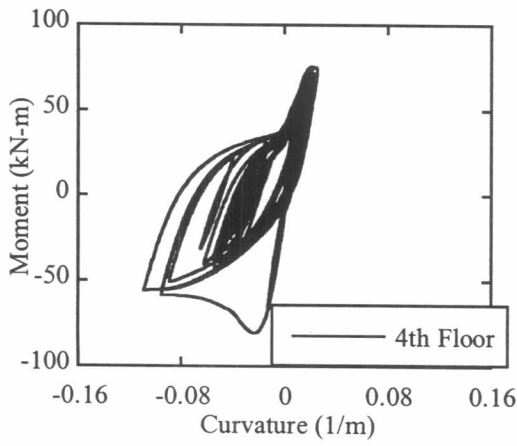


(ค) อัตราส่วนแรงตามแนวแกนในเสา

รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงแรงตามแนวแกนสูงสุดในเสาของอาคารตัวอย่างของคัลินแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g

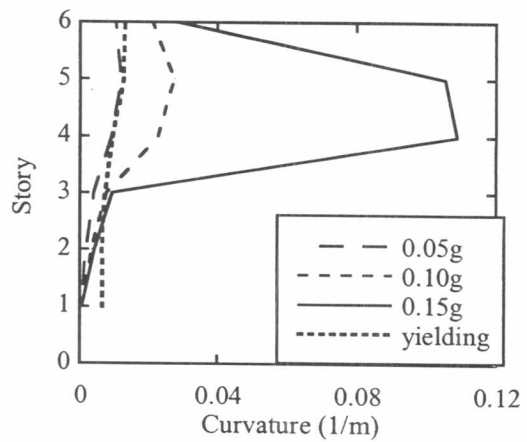
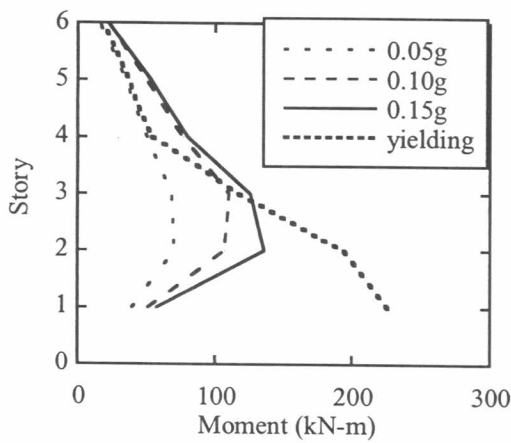


(ก) ความเร่งสูงสุด 0.10g



(ข) ความเร่งสูงสุด 0.15g

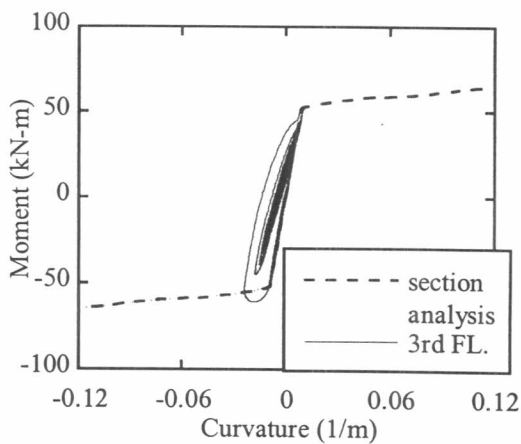
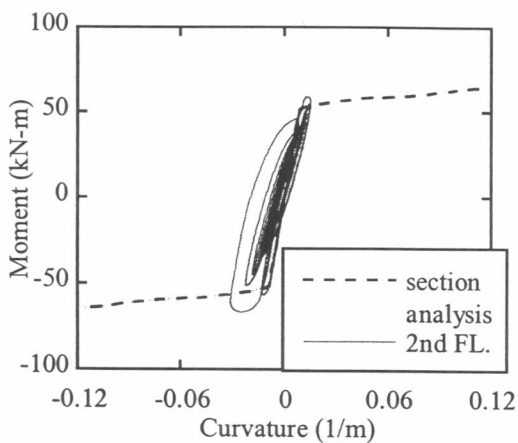
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของเสาปลายบนชั้นที่ 4 และ 5 ของคานี้น แผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g



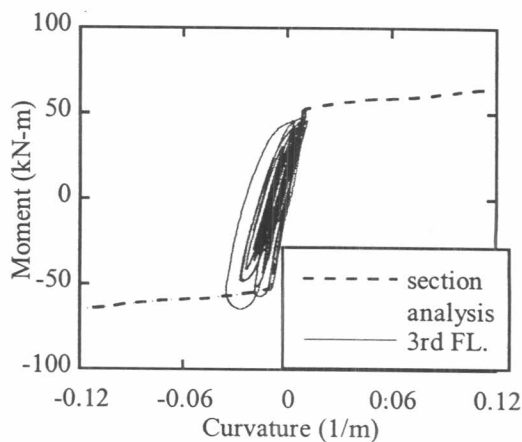
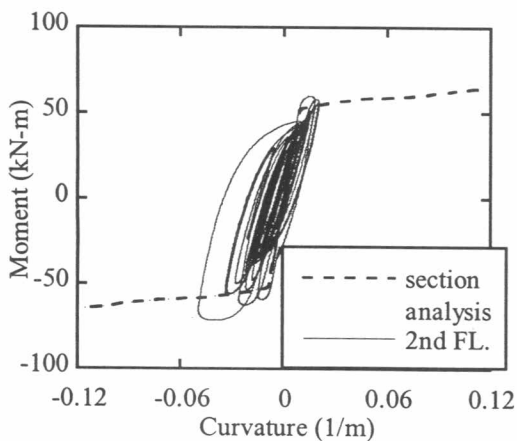
(ก) โมเมนต์ดัด

(ข) ความโค้ง

รูปที่ 4.13 โมเมนต์ดัดและความโค้งของเสาภายในตามความสูงอาคาร และกำลังต้านทาน โมเมนต์ดัดและความโค้งที่จุดครากของคานี้น แผ่นดินไหว BYK

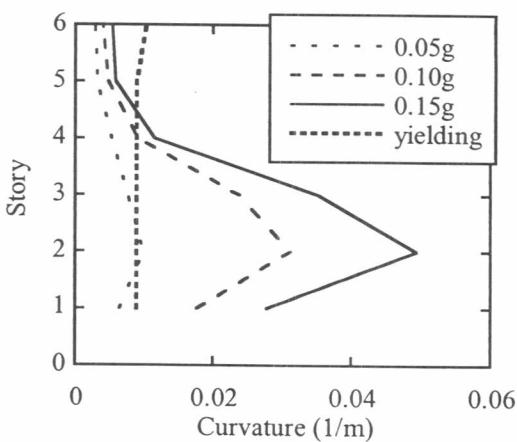
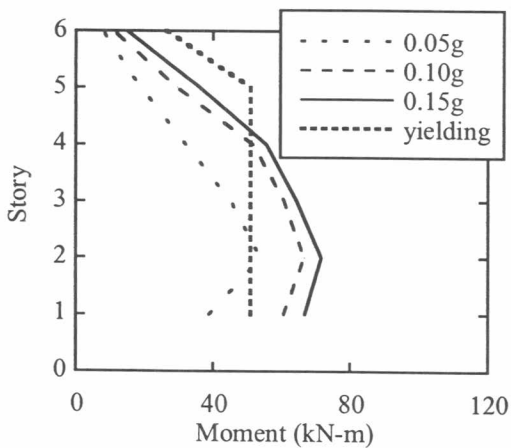


(ก) ความเร่งสูงสุด 0.10g



(ข) ความเร่งสูงสุด 0.15g

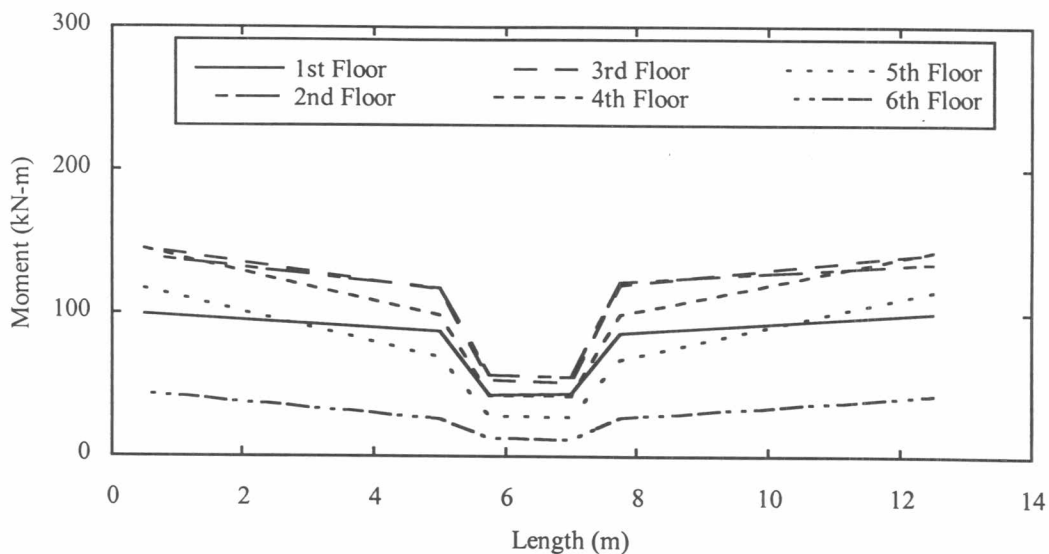
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของคานภายในชั้นที่ 2 และ 3 ของคานพื้นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.10g และ 0.15g



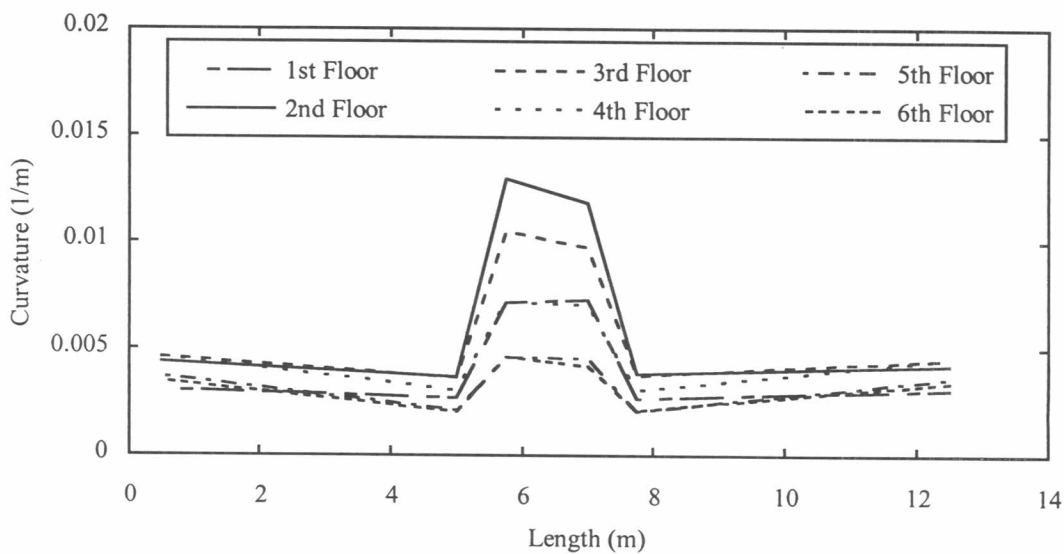
(ก) โมเมนต์ดัด

(ข) ความโค้ง

รูปที่ 4.15 โมเมนต์ดัดและความโค้งของคานภายในตามความสูงอาคาร และ กำลังต้านทาน โมเมนต์ดัดและความโค้งที่จุดครากของคานพื้นดินไหว BYK 0.05g, 0.10g และ 0.15g

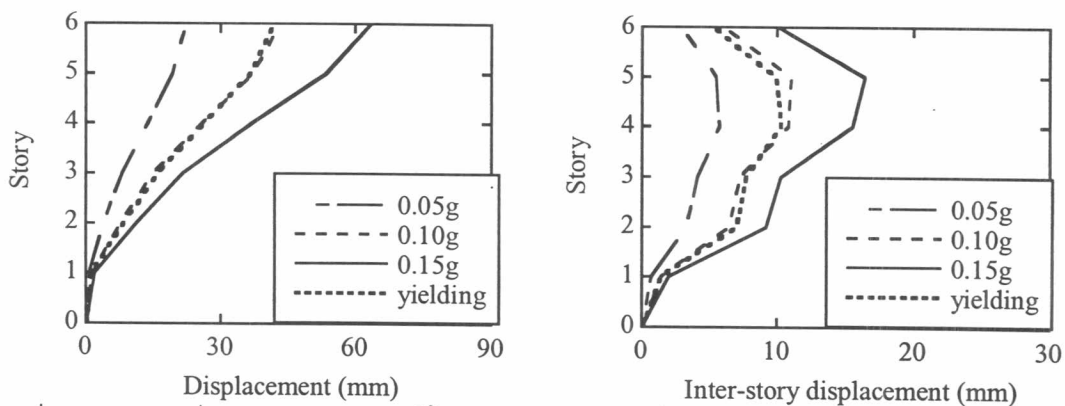


(ก) โมเมนต์ดัด

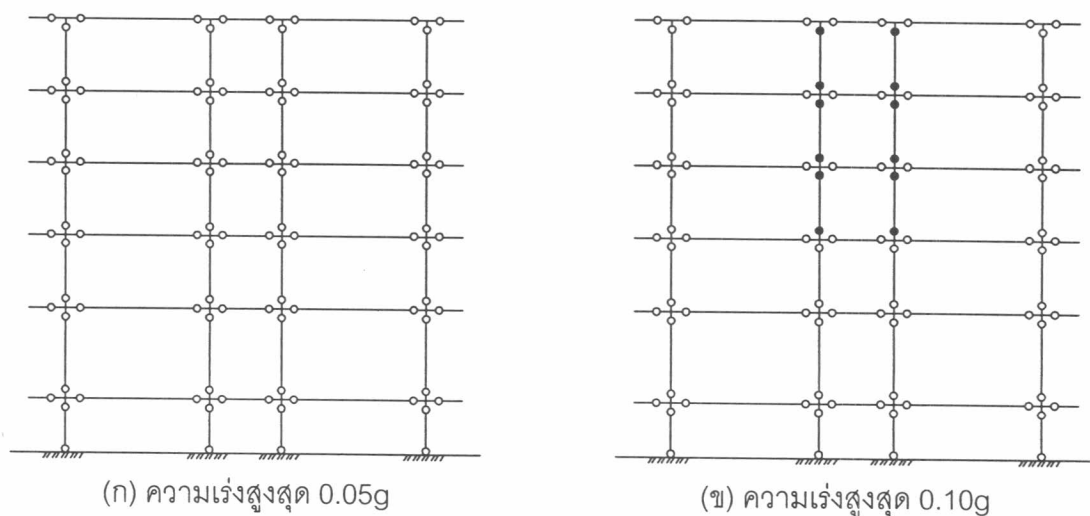


(ข) ความโค้ง

รูปที่ 4.16 โมเมนต์ดัดและความโค้งของคานตามความยาวของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว BYK ขนาดความเร่งสูงสุด 0.15g

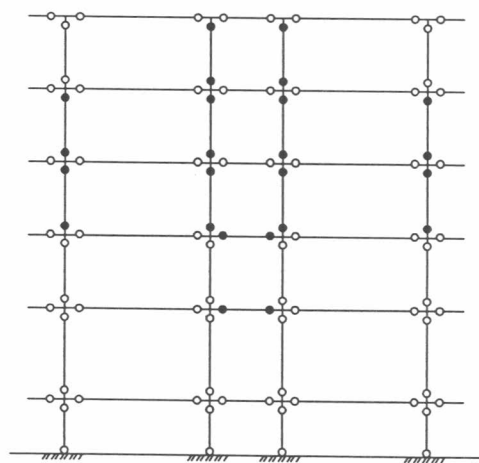


รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุด ตามความสูงอาคารของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro



(ก) ความเร่งสูงสุด 0.05g

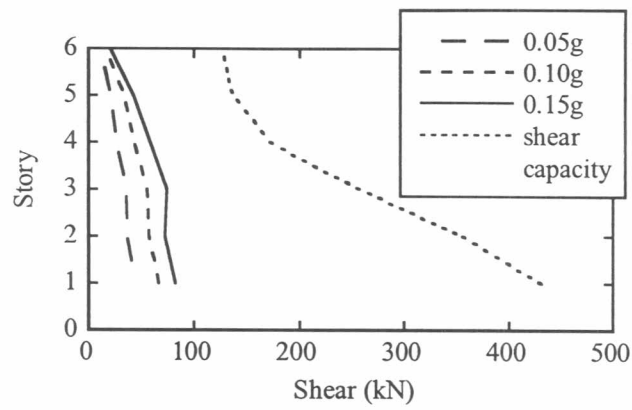
(ข) ความเร่งสูงสุด 0.10g



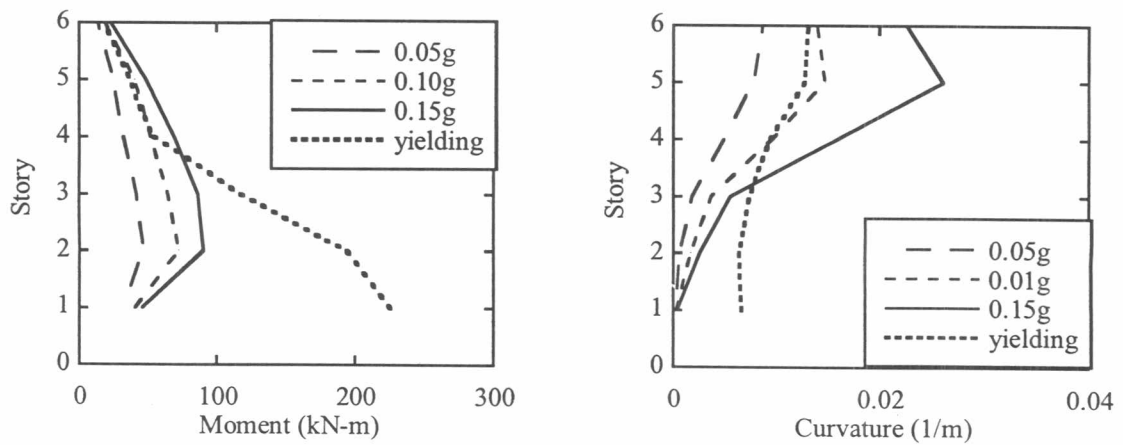
(ค) ความเร่งสูงสุด 0.15g

สัญลักษณ์รูปแบบความเสียหาย
● เกิดการร้าวในเสาหรือคาน

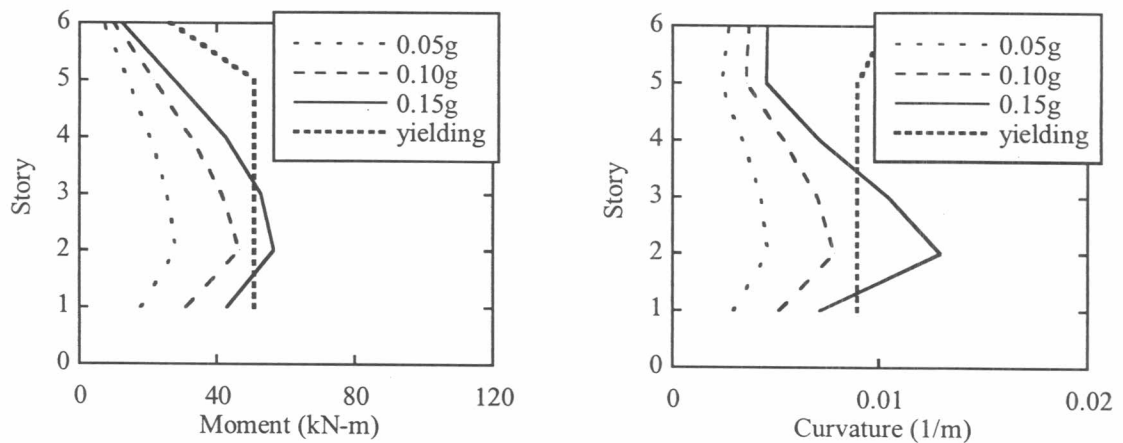
รูปที่ 4.18 รูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g



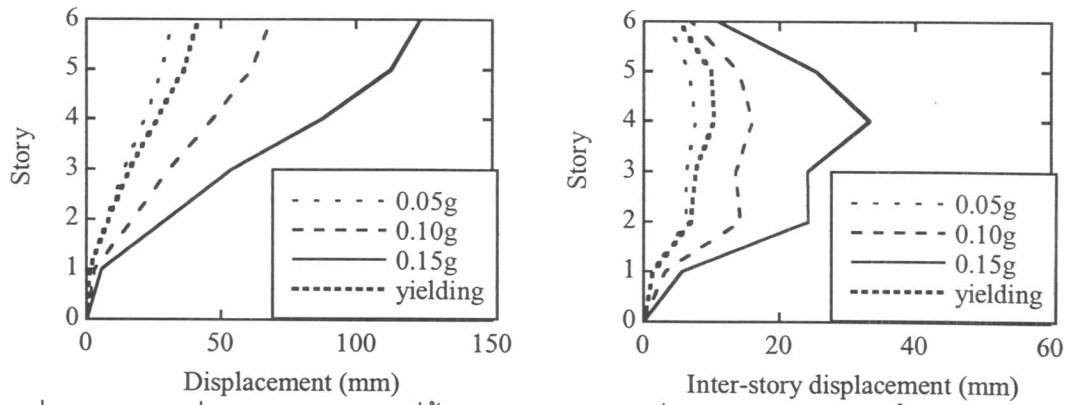
รูปที่ 4.19 แรงเฉือนของเสาภายใน และ กำลังต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัดเสา ตามความสูงของอาคารของแผ่นดินไหว El Centro



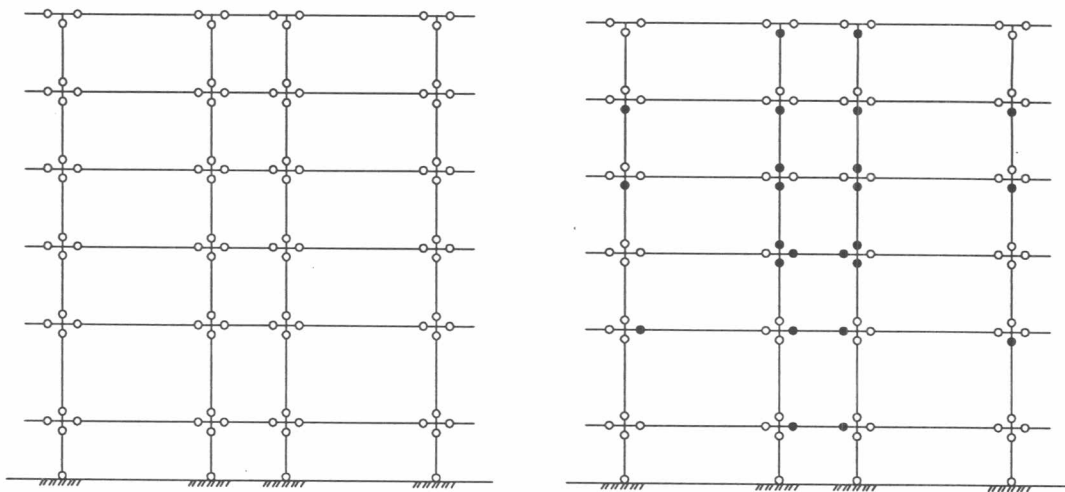
รูปที่ 4.20 โมเมนต์ดัดและความโค้งของเสาภายในตามความสูงอาคาร และกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดและความโค้งที่จุดคราก ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro



รูปที่ 4.21 โมเมนต์ดัดและความโค้งของคานภายในตามความสูงอาคาร และ กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดและความโค้งที่จุดคราก ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro 0.05g, 0.10g และ 0.15g

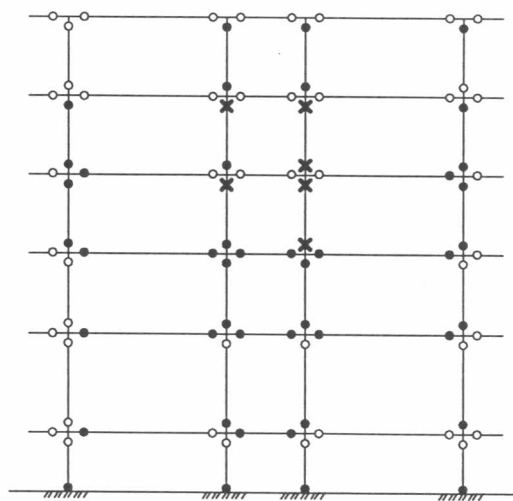


รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างชั้นสูงสุด ตามความสูงอาคารของคลื่นแผ่นดินไหว SCT



(ก) ความเร่งสูงสุด 0.05g

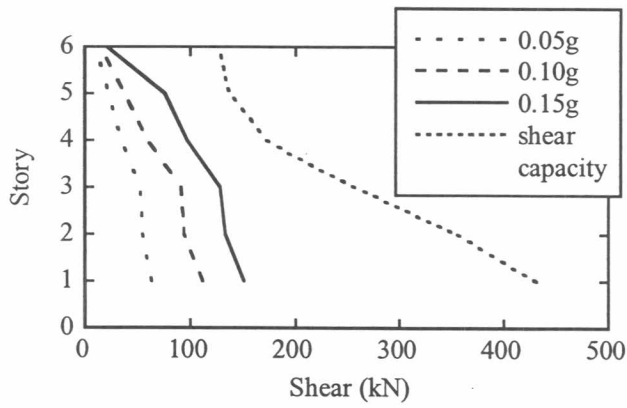
(ข) ความเร่งสูงสุด 0.10g



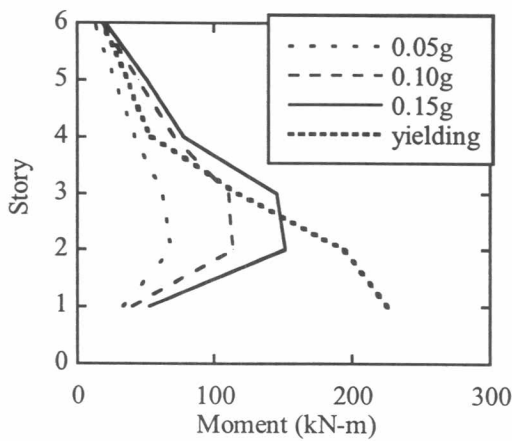
(ค) ความเร่งสูงสุด 0.15g

- สัญลักษณ์รูปแบบความเสียหาย
- เกิดการครากในเสาหรือคาน
- × ที่จุด ultimate

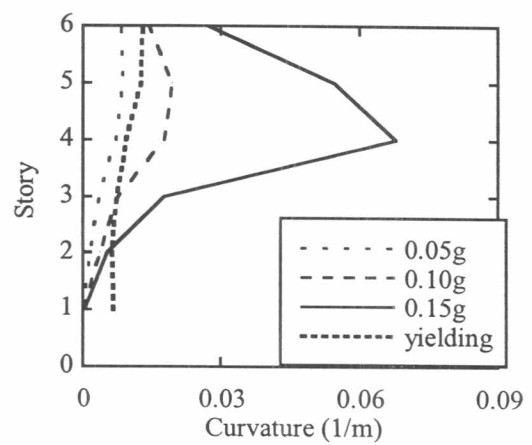
รูปที่ 4.23 รูปแบบความเสียหายของอาคารตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหว SCT ขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g



รูปที่ 4.24 แรงเฉือนของเสาภายใน และ กำลังต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัด ตามความสูงของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro

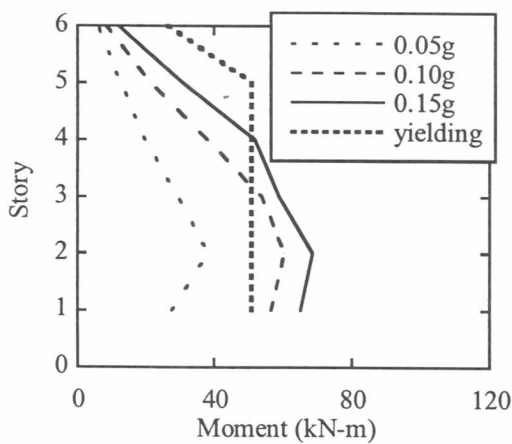


(ก) โมเมนต์ดัด

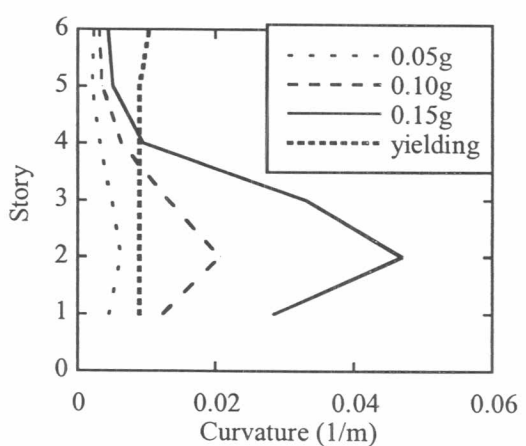


(ข) ความโค้ง

รูปที่ 4.25 โมเมนต์ดัดและความโค้งของเสาภายในส่วนบนตามความสูงอาคาร และกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดและความโค้งที่จุดครากของคลื่นแผ่นดินไหว SCT

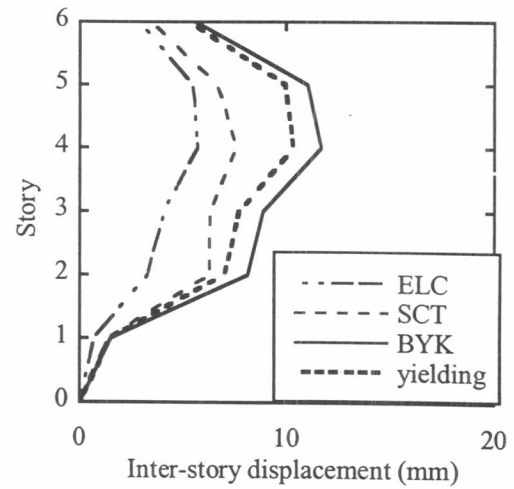
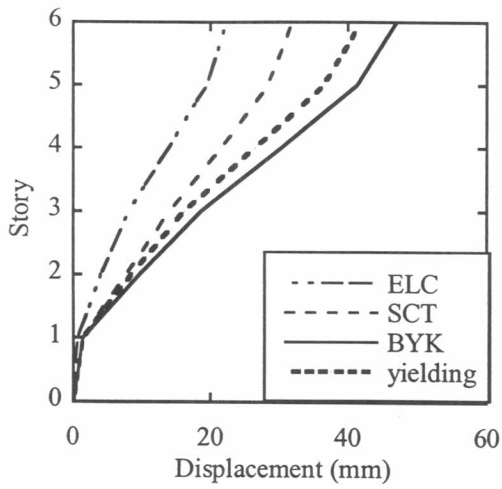


(ก) โมเมนต์ดัด

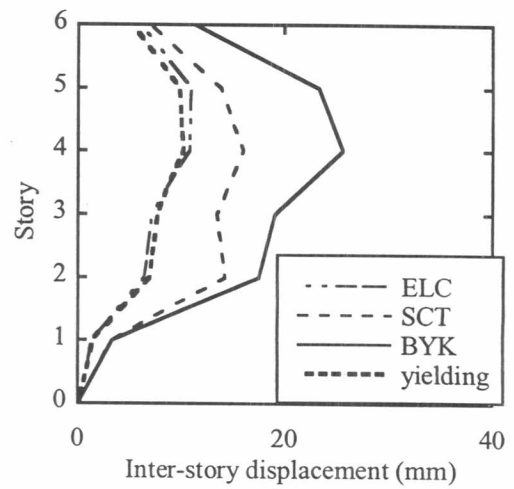
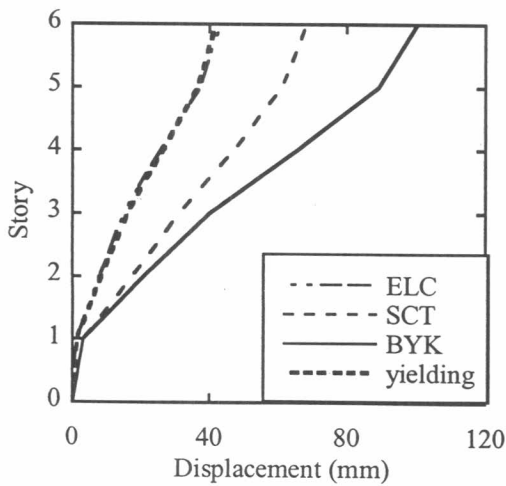


(ข) ความโค้ง

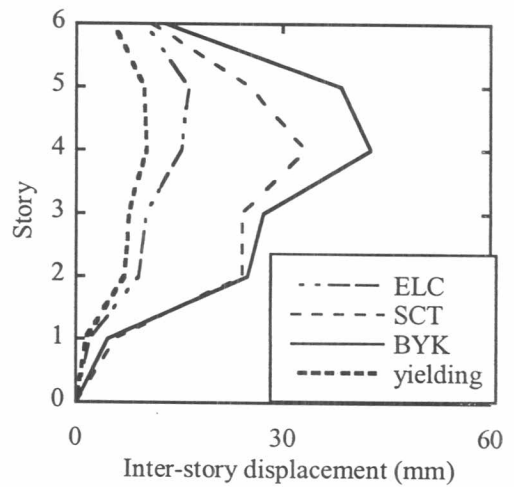
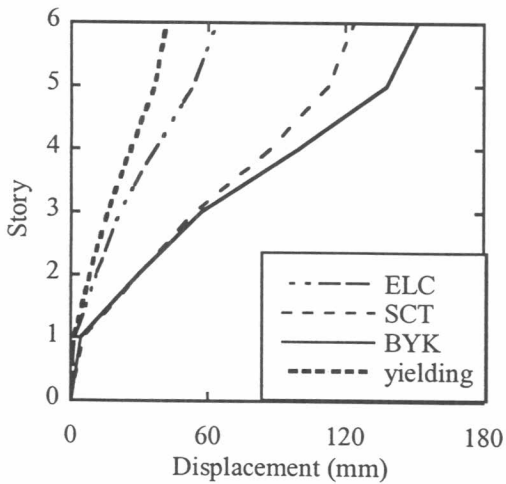
รูปที่ 4.26 โมเมนต์ดัดและความโค้งของคานภายในตามความสูงอาคาร และ กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดและความโค้งที่จุดครากของคลื่นแผ่นดินไหว SCT 0.05g, 0.10g และ 0.15g



(ก) ความเร่งสูงสุด 0.05g



(ข) ความเร่งสูงสุด 0.10g



(ค) ความเร่งสูงสุด 0.15g

รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้นต่างๆ และการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดของอาคารตัวอย่างของคลื่นแผ่นดินไหวขนาดความเร่งสูงสุด 0.05g, 0.10g และ 0.15g