

บทที่ 3

อาคารตัวอย่างและคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบความเสียหายของอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ในการออกแบบไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบจากแผ่นดินไหว ซึ่งอาคารดังกล่าวเป็นอาคารส่วนมากที่ก่อสร้างในประเทศไทย สำหรับบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับรูปร่างของอาคารตัวอย่าง การจำลองโครงสร้างในการวิเคราะห์ ตัวแปรต่างๆ และคลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในการศึกษา

3.1 อาคารตัวอย่าง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่างานวิจัยนี้ต้องการศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบความเสียหายของอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ในการออกแบบไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบจากแผ่นดินไหว อาคารตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาแสดงในรูปที่ 3.1 เป็นอาคารพักอาศัย 5 ชั้น โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความสูงจากฐานรากถึงชั้นดาดฟ้าเท่ากับ 17.50 m รูปแปลนและรูปด้านข้างของอาคารตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.2 จากรูปแปลนของอาคาร พบว่าอาคารค่อนข้างสมมาตรทั้งสองแกน โดยมีความยาว 20 m และความกว้าง 16 m ในการศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบความเสียหายของอาคารได้ใช้โครงข้อแข็ง A1 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โครง A1 เป็นโครงข้อแข็งที่มี 3 ช่วงคานและมีส่วนยื่นออกมาเพื่อรับน้ำหนักกระเบื้องอาคาร ความยาว 1.50 m ในแต่ละด้าน คานในชั้นที่ 1-5 จะมีขนาดเท่ากัน และมีขนาดแตกต่างกันในชั้นดาดฟ้า ส่วนเสาจะมีขนาดแตกต่างกันในแต่ละชั้น โดยเสาชั้นบนสุดมีขนาด 0.25 m x 0.25 m และเสาชั้นล่างสุดมีขนาด 0.45 m x 0.50 m ปริมาณเหล็กเสริมตามยาวมีค่าแตกต่างกัน และเสาในแต่ละชั้นจะใช้เหล็กปลอกเดี่ยวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm ระยะห่างระหว่างเหล็กปลอกเท่ากับ 20 cm แผ่นพื้นหนา 8 และ 10 cm รายละเอียดหน้าตัดคาน เสา และพื้น แสดงได้ดังรูปที่ 3.4

การออกแบบใช้น้ำหนักบรรทุกของหลังคาเท่ากับ 100 kg/m^2 น้ำหนักบรรทุกของพื้นเท่ากับ 200 kg/m^2 คอนกรีตที่ใช้มีกำลังรับแรงอัดประลัย (f'_c) เท่ากับ 200 kg/cm^2 เหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางมีกำลังที่จุดครากที่ใช้ในการออกแบบ (f_y) เท่ากับ 2400 kg/cm^2 ในการวิเคราะห์ได้คำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกที่อาจเกิดขึ้นขณะเกิดแผ่นดินไหวโดยมีค่าเท่ากับ 45% ของน้ำหนักบรรทุกในการออกแบบ และคำนึงถึงการที่เหล็กเสริมมีกำลังครากจริงสูงกว่ากำลังครากปกติอีก 45% ซึ่งทำให้ เหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมตามขวางมีกำลังที่จุดครากที่ใช้ในการวิเคราะห์ (f_y) เท่ากับ 3480 kg/cm^2

3.2 การจำลองอาคารตัวอย่างในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์โครงสร้างในงานวิจัยนี้จะจำลองอาคารตัวอย่างเป็นโครงสร้าง 2 มิติ โดยให้คลื่นแผ่นดินไหวกระทำตั้งฉากกับด้านยาวของอาคาร และวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม TDAP version3 รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองโครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในการคิดมวลของโครงสร้าง จะพิจารณาน้ำหนักบรรทุกคงที่ของอาคารและน้ำหนักบรรทุกจรที่อาจเกิดขึ้นขณะเกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 45% ของน้ำหนักบรรทุกจรในการออกแบบ โดยรวมน้ำหนักของครึ่งชั้นบนและชั้นล่างไว้ที่ชั้นนั้น และใช้ค่า Rayleigh damping โดยมีค่าอัตราส่วนความหน่วงของโหมดที่ 1 และ 2 เท่ากับ 5% ในการวิเคราะห์จะไม่ได้คิดผลของ P-delta effect ในการคำนวณ

องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับแรงดัดเกินแรงดัดแตกร้าวจะทำให้โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดลดลง แบบจำลองนี้ได้ใช้โมเมนต์อันดับสองของพื้นที่ (EI) เท่ากับ 50% และ 70% ของหน้าตัดเต็มสำหรับคานและเสา โครงสร้างเมื่อรับแผ่นดินไหวมักจะเกิดความเสียหายที่บริเวณปลายขององค์อาคาร ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงได้จำลองข้อต่อและชิ้นส่วนขององค์อาคารดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดย rigid zone จะแสดงการเพิ่มขึ้นของสติฟเนสในบริเวณที่เสาและคานมาต่อกัน ความยาวของ rigid zone ได้สมมติเท่ากับครึ่งหนึ่งของความลึกของคานหรือเสา ส่วนการจำลององค์อาคารเช่น คาน และเสา จะแบ่งการจำลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกถูกจำลองเป็นชิ้นส่วนย่อยที่มีพฤติกรรมอยู่ในช่วงยืดหยุ่น (linear elastic) และส่วนที่สองถูกจำลองเป็นชิ้นส่วนย่อยที่มีพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่นเมื่อรับแรงดัดที่จุดหมุนพลาสติก (plastic hinge) ความยาวของจุดหมุนพลาสติกมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความลึกของคานหรือเสา ($L_p = 0.5D$) โดยการแบ่งหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กขององค์อาคารออกเป็นไฟเบอร์ย่อยๆ และจำลองพฤติกรรมทางวัสดุของคอนกรีตที่ไม่มีกรโอบรัด (unconfined concrete), คอนกรีตที่มีการโอบรัด (confined concrete) และเหล็กเสริมตามยาว (reinforcement) โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดในการคำนวณ สำหรับแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดทางวัสดุของคอนกรีตที่ไม่มีกรโอบรัด คอนกรีตที่มีการโอบรัด และเหล็กเสริมตามยาว ในการจำลองพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่นจะใช้แบบจำลองที่เสนอโดย Kent และ Park (1994), Sakai และ Kawashima (2000) และ Menegotto และ Pinto (1997) ตามลำดับ สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแสดงได้ในบทที่ 2 ค่าตัวแปรของเสาที่ใช้ในแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดทางวัสดุของคอนกรีตที่มีการโอบรัด คอนกรีตที่ไม่มีกรโอบรัด และเหล็กเสริมตามยาว แสดงได้ดังตารางที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ ส่วนคานเนื่องจากไม่พิจารณาการเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเนื่องจากเหล็กปลอก ดังนั้นจึงใช้แบบจำลองของคอนกรีตที่มีการโอบรัดเหมือนกับคอนกรีตที่ไม่มีกรโอบรัด โดยค่าตัวแปรของคานที่ใช้ใน

แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดทางวัสดุของคอนกรีตที่มีการโอบรัด คอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด และเหล็กเสริมตามยาว แสดงได้ดังตารางที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

3.3 คลื่นแผ่นดินไหวที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เนื่องจากการศึกษาอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีในประเทศ ดังนั้นคลื่นแผ่นดินไหวที่นำมาใช้ในการวิจัย จะต้องเป็นคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในประเทศ และเนื่องจากชั้นดินของกรุงเทพมหานครเป็นดินอ่อนเช่นเดียวกับกรุงเม็กซิโก ที่เกิดแผ่นดินไหวในปี 1985 ดังนั้นจึงนำคลื่นแผ่นดินไหว Mexico (SCT-85) มาใช้ในงานวิจัย นอกจากนี้ยังได้ใช้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro (1940) และ Baiyoke (BYK-95) ซึ่งเป็นคลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดในประเทศไทย โดยคลื่นทั้งสามมีความถี่เด่นชัดที่แตกต่างกัน และได้ทำการปรับค่าความเร่งสูงสุดที่ฐาน 3 ค่า ได้แก่ 0.05g, 0.10g และ 0.15g ดังแสดงได้ในตารางที่ 3.6 รูปที่ 3.6(ก), 3.7(ก) และ 3.8(ก) แสดงลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro, BYK และ SCT ข้อมูลของคลื่นแผ่นดินไหวทั้งสามแสดงได้ดังนี้

1. คลื่นแผ่นดินไหว El Centro วัดได้ที่สถานี Imperial Valley Irrigation District ในมลรัฐ California เมือง El Centro ในวันที่ 18 May ค.ศ. 1940 วัดได้ในทิศทาง N-S มี Peak ground acceleration = 0.34g
2. คลื่นแผ่นดินไหว Baiyoke (BYK) วัดได้ที่สถานี Bangkok เกิดที่ประเทศพม่า ในวันที่ 12 July ค.ศ. 1995 ขนาด 7.2 ริคเตอร์ มี Peak ground acceleration = 0.45g
3. คลื่นแผ่นดินไหว Mexico (SCT) วัดได้ที่สถานี Secretaria Comunicacion & Tran ที่กรุงเม็กซิโก ในวันที่ 19 September ค.ศ. 1985 วัดได้ในทิศทาง N-W มี Peak ground acceleration = 0.17g

จากการวิเคราะห์หาค่าความถี่เด่นชัด (Predominant frequency) ของคลื่นแผ่นดินไหวทั้งสาม ดังแสดงได้ในรูปที่ 3.6, 3.7 และ 3.8 พบว่า คลื่นแผ่นดินไหว El Centro มีความถี่เด่นชัดประมาณ 4.00 Hz, คลื่นแผ่นดินไหว BYK มีค่าประมาณ 1.19 Hz และ คลื่นแผ่นดินไหว SCT มีค่าประมาณ 0.49 Hz

สำหรับความถี่ธรรมชาติ (Fundamental frequency) และ รูปร่าง mode shape ของอาคารตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ eigenvalue analysis แสดงได้ในรูปที่ 3.9 ตามลำดับ พบว่า

อาคารตัวอย่างจะมีความถี่ในโหมดที่ 1 เท่ากับ 1.04 Hz ซึ่งเป็นความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง และความถี่ในโหมดที่ 2 และ 3 เท่ากับ 2.62 และ 4.27 Hz ตามลำดับ

3.4 การวิเคราะห์ความเสียหาย

สำหรับการวิเคราะห์ความเสียหายและกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดขององค์อาคาร จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับความโค้งที่ได้จากการวิเคราะห์หน้าตัด (section analysis) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 โดยการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัดและความโค้งขององค์อาคารที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง กับ กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดและความโค้งขององค์อาคารที่ได้จากการวิเคราะห์หน้าตัดที่สภาวะต่างๆกัน ดังแสดงได้ในรูปที่ 3.10 ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 สภาวะคือ

1. ในสภาวะที่เหล็กเสริมด้านรับแรงดึงมีค่าความเค้นถึงจุดคราก หรือเมื่อ ณ จุดที่ผิวนอกสุดของคอนกรีตด้านรับแรงอัด มีค่าความเครียดเท่ากับ 0.002 ซึ่งแทนด้วยค่าโมเมนต์ดัดที่จุดคราก M_y (yielding moment) และความโค้งที่จุดคราก c_y (yielding curvature)
2. ในสภาวะที่คอนกรีตที่ผิวนอกของแกนคอนกรีตด้านรับแรงอัดมีค่าความเค้นเท่ากับ 20% ของกำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต ซึ่งแทนด้วยค่าโมเมนต์ดัดที่จุดประลัย M_u (ultimate moment) และความโค้งที่จุดประลัย c_u (ultimate curvature)

กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดและความโค้ง (moment and curvature capacity) และแรงเฉือน (shear capacity) ของคานและเสา แสดงได้ดังตารางที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ พบว่าในส่วนของกำลังต้านทานแรงเฉือนขององค์อาคารจะมีค่าสูงกว่ากำลังต้านทานโมเมนต์ดัด ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบโมเมนต์ดัดที่จุดครากกับโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นถ้าแรงเฉือนมีค่าเท่ากับกำลังรับแรงเฉือน โดยสมมติว่าเกิดจุดดัดกลับที่กึ่งกลางขององค์อาคาร

สำหรับตัวอย่างการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของคานและเสา โดยใช้โปรแกรม XTRACT แสดงได้ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 แสดงการหาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของเสา C5 ซึ่งมีหน้าตัดแสดงได้ดังรูปที่ 3.4(ข) สำหรับแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดทางวัสดุของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด คอนกรีตที่มีการโอบรัด และเหล็กเสริมตามยาว จะใช้แบบจำลองของ Kent และ Park (1994), Sakai และ Kawashima (2000) และ bilinear model

ผลการวิเคราะห์จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง แสดงได้ดังรูปที่ 3.11(ก) โดยมีค่า

- โมเมนต์ดัดที่จุดคราก M_y (yielding moment) เท่ากับ 192.80 kN-m
- ความโค้งที่จุดคราก c_y (yielding curvature) เท่ากับ 0.00573 1/m
- โมเมนต์ดัดที่จุดประลัย M_u (ultimate moment) เท่ากับ 432 kN-m
- ความโค้งที่จุดประลัย c_u (ultimate curvature) เท่ากับ 0.103 1/m

ตัวอย่างที่ 2 แสดงการหาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของคาน B4 ซึ่งมีหน้าตัดแสดงได้ดังรูปที่ 3.4(ก) สำหรับแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดทางวัสดุของคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัด และเหล็กเสริมตามยาว จะใช้แบบจำลองของ Kent และ Park (1994), และ bilinear model ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง แสดงได้ดังรูปที่ 3.11(ข) โดยมีค่า

- โมเมนต์ดัดที่จุดคราก M_y (yielding moment) เท่ากับ 432 kN-m
- ความโค้งที่จุดคราก c_y (yielding curvature) เท่ากับ 0.103 1/m
- โมเมนต์ดัดที่จุดประลัย M_u (ultimate moment) เท่ากับ 432 kN-m
- ความโค้งที่จุดประลัย c_u (ultimate curvature) เท่ากับ 0.103 1/m

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองคอนกรีตที่มีการโอบรัดของเสา

Column	Confined concrete			
	E_c (kN/m ²)	f_{cc} (kN/m ²)	ε_{cc}	E_{des} (kN/m ²)
C1	23.00E+6	20.25E+3	0.00222	1.00E+7
C2	23.00E+6	20.30E+3	0.00226	1.00E+7
C3	23.00E+6	20.38E+3	0.00233	8.94E+6
C4	23.00E+6	20.51E+3	0.00244	6.66E+6
C5	23.00E+6	20.57E+3	0.00249	5.94E+6
C6	23.00E+6	20.57E+3	0.00249	5.94E+6

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองคอนกรีตที่ไม่มีการโอบรัดของเสา

Column	Confined concrete			
	E_c (kN/m ²)	f_{cc} (kN/m ²)	ε_{cc}	E_{des} (kN/m ²)
C1-C6	23.00E+6	20.00E+3	0.002	1.00E+7

ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองเหล็กเสริมตามยาวของเสา

Column	Reinforcement					
	E_s (kN/m ²)	f_y (kN/m ²)	Strain hardening	R_0	a_1	a_2
C1 - C6	200.0E+6	348.0E+3	0.02	20.0	18.50	0.15

หมายเหตุ E_c = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต, f_{cc} = กำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต, ε_{cc} = ความเครียดที่กำลังรับแรงอัดสูงสุด, E_{des} = อัตราการลดลงของกราฟขาลง, E_s = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม, f_y = กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม, R_0, a_1, a_2 = ค่าคงที่ของวัสดุ

ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองคอนกรีตที่มีการโอบรัดและไม่มีการโอบรัดของคาน

Beam	Confined concrete and unconfined concrete			
	E_c (kN/m ²)	f_{cc} (kN/m ²)	ε_{cc}	E_{des} (kN/m ²)
B4	23.00E+6	20.00E+3	0.002	1.00E+7
B8	23.00E+6	20.00E+3	0.002	1.00E+7
RB4	23.00E+6	20.00E+3	0.002	1.00E+7
RB6	23.00E+6	20.00E+3	0.002	1.00E+7

ตารางที่ 3.5 ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองเหล็กเสริมตามยาวของคาน

Beam	Reinforcement					
	E_s (kN/m ²)	f_y (kN/m ²)	Strain hardening	R_0	a_1	a_2
B4	200.0E+6	348.0E+3	0.02	20.0	18.50	0.15
B8	200.0E+6	348.0E+3	0.02	20.0	18.50	0.15
RB4	200.0E+6	348.0E+3	0.02	20.0	18.50	0.15
RB6	200.0E+6	348.0E+3	0.02	20.0	18.50	0.15

หมายเหตุ E_c = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต, f_{cc} = กำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีต, ε_{cc} = ความเครียดที่กำลังรับแรงอัดสูงสุด, E_{des} = อัตราการลดลงของกราฟขาลง, E_s = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม, f_y = กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม, R_0, a_1, a_2 = ค่าคงที่ของวัสดุ

ตารางที่ 3.6 คลื่นแผ่นดินไหวและการปรับค่าความเร่งสูงสุดที่ฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์

คลื่นแผ่นดินไหว	ขนาดความเร่งสูงสุดที่กระทำที่ฐาน		
	0.05g	0.10g	0.15g
El Centro	*	*	*
SCT	*	*	*
BYK	*	*	*

ตารางที่ 3.7 กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของเสา

Column	Axial Load (kN)	Width (m)	Depth (m)	M_y (kN-m)	M_u (kN-m)	c_y (1/m)	c_u (1/m)	Shear strength (kN)	Moment to reach shear strength (kN-m)
C1	63	0.25	0.25	19.47	20.00	0.0132	0.1850	128	192
C1	52	0.25	0.25	19.07	19.19	0.0131	0.1892	127	190
C2	204	0.25	0.25	36.75	39.19	0.0119	0.0673	141	211
C2	161	0.25	0.25	37.04	38.93	0.0127	0.0735	137	205
C3	345	0.25	0.30	53.48	62.62	0.0085	0.0441	178	268
C3	271	0.25	0.30	54.17	62.45	0.0094	0.0498	172	257
C4	490	0.30	0.40	115.50	133.1	0.0067	0.0296	267	400
C4	384	0.30	0.40	117.00	129.6	0.0074	0.0346	257	385
C5	641	0.35	0.50	192.80	205.0	0.0057	0.0245	368	644
C5	503	0.35	0.50	193.80	197.1	0.0064	0.0286	355	622
C6	788	0.45	0.50	229.60	229.8	0.0060	0.0253	447	447
C6	619	0.45	0.50	225.30	220.4	0.0066	0.0298	431	431

หมายเหตุ

M_y = yielding moment, c_y = yielding curvature, M_u = ultimate moment, c_u = ultimate curvature

ตารางที่ 3.8 กำลังต้านโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคาน

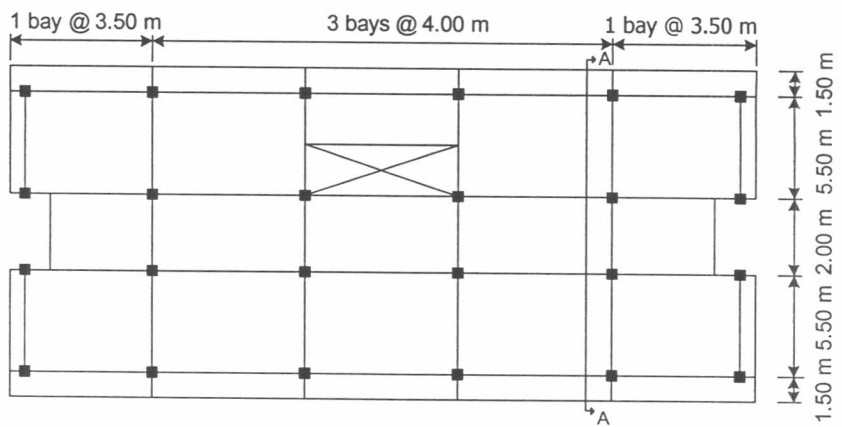
Beam	Width (m)	Depth (m)	Positive Bending				Negative Bending				Shear strength (kN)	Moment to reach shear strength (kN-m)
			M_y (kN-m)	c_y (1/m)	M_u (kN-m)	c_u (1/m)	M_y (kN-m)	c_y (1/m)	M_u (kN-m)	c_u (1/m)		
B4	0.25	0.50	205.6	0.0064	236.7	0.0366	130.2	0.0054	168.5	0.0566	179	492
B8	0.15	0.35	50.9	0.0089	60.0	0.0777	50.9	0.0089	60.0	0.0777	76	76
B9	0.25	0.50	108.8	0.0038	168.5	0.0566	130.8	0.0041	236.7	0.0366	156	428
RB4	0.20	0.40	93.3	0.0083	111.3	0.0397	57.4	0.0069	71.1	0.0572	128	351
RB6	0.15	0.30	26.6	0.0103	29.7	0.0892	26.6	0.0103	29.7	0.0892	59	59

หมายเหตุ

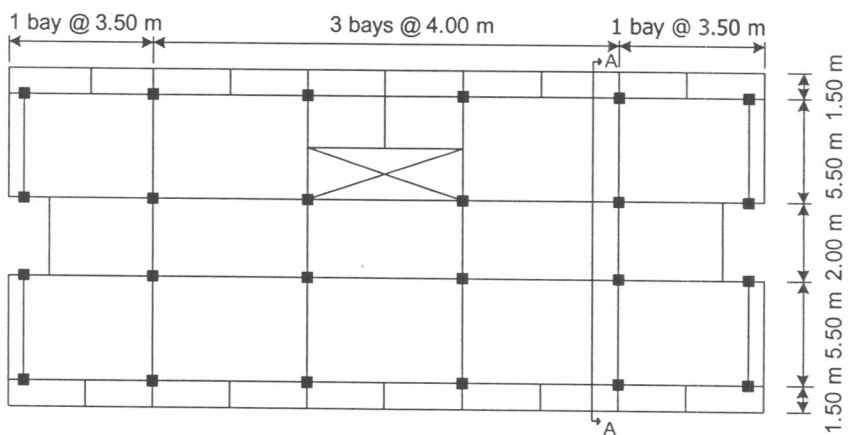
M_y = yielding moment, c_y = yielding curvature, M_u = ultimate moment, c_u = ultimate curvature



รูปที่ 3.1 อาคารตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

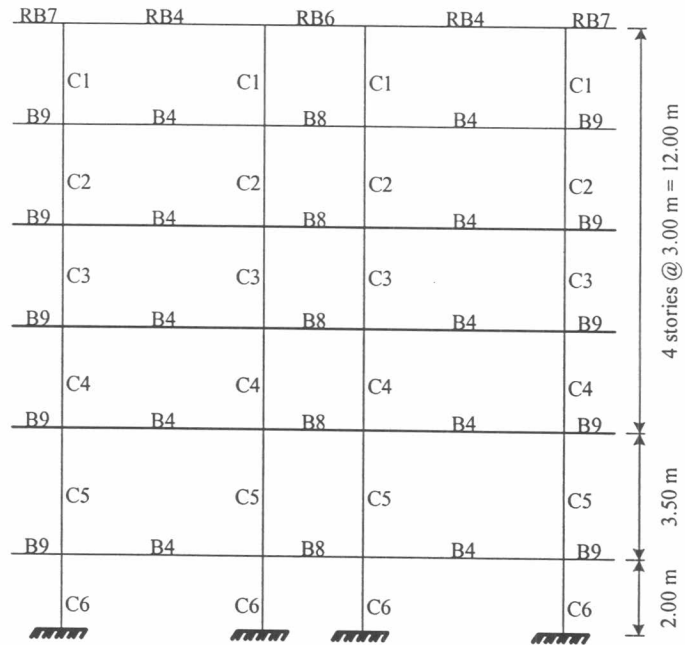


แปลนพื้นที่ชั้นหลังคา



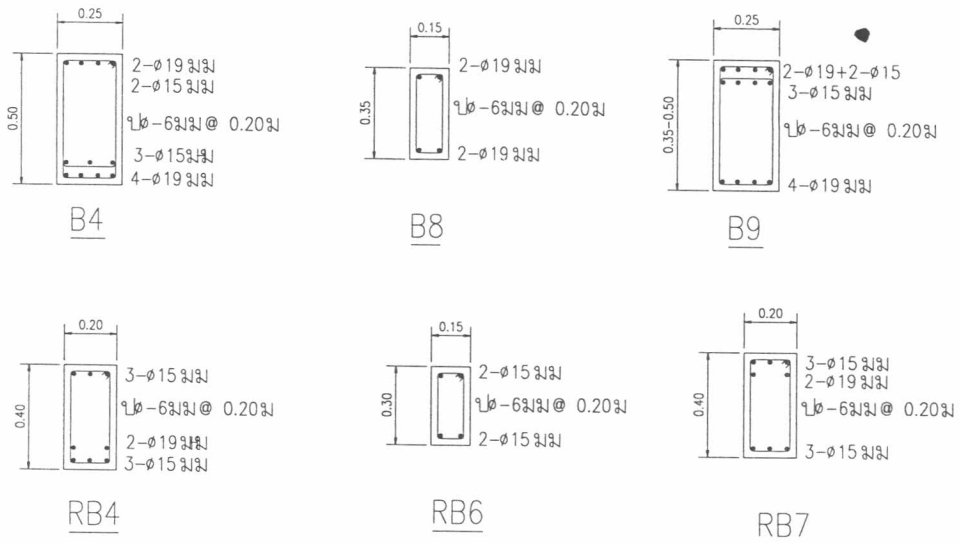
แปลนพื้นที่ชั้น 1-5

รูปที่ 3.2 รูปแปลนของอาคารพักอาศัย 5 ชั้น

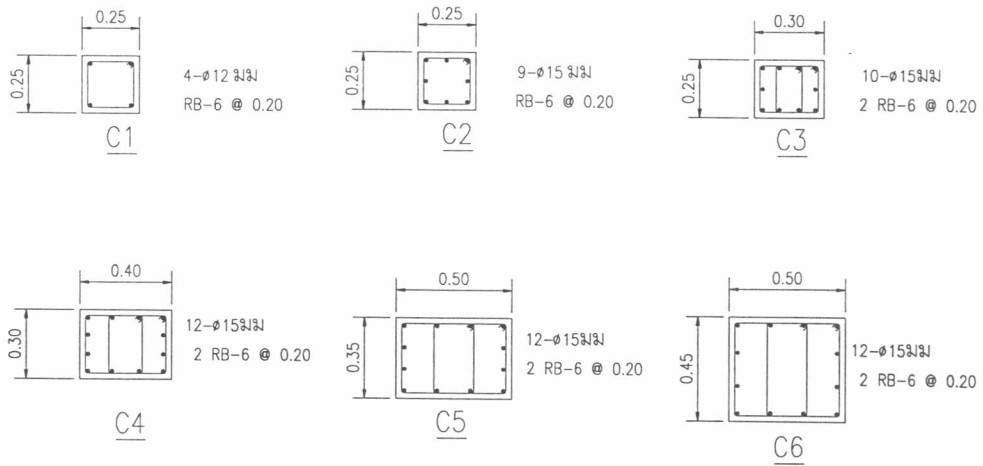


A-A (โครง A1)

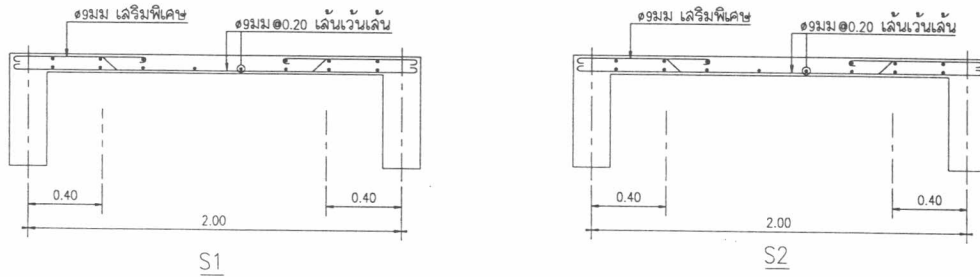
รูปที่ 3.3 รูปตัดด้านข้างและแบบจำลองโครงสร้างในการวิเคราะห์



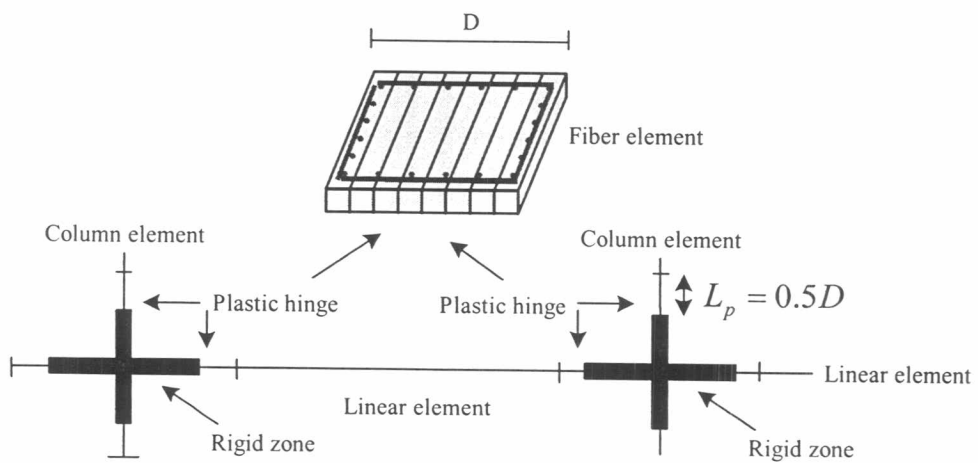
รูปที่ 3.4(ก) รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน



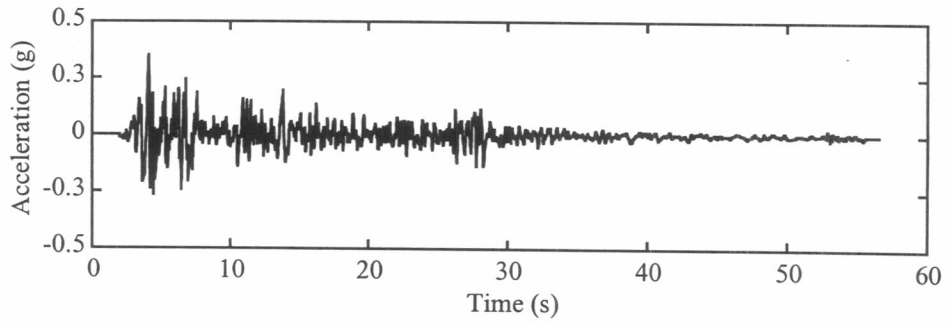
รูปที่ 3.4(ข) รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา



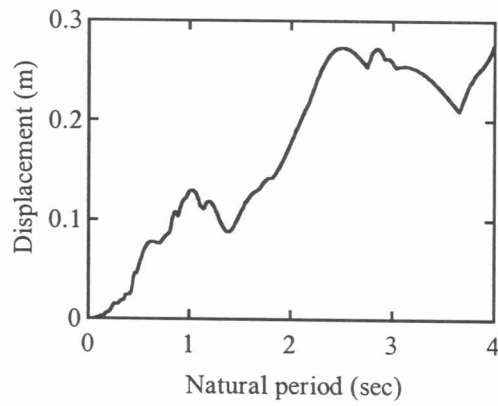
รูปที่ 3.4(ค) รายละเอียดการเสริมเหล็กในพื้นที่ของอาคารตัวอย่าง



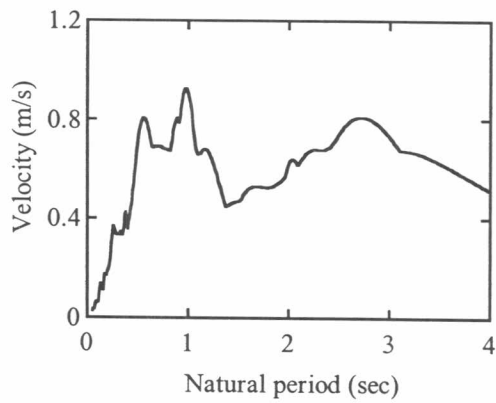
รูปที่ 3.5 การจำลองข้อต่อและองค์อาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์



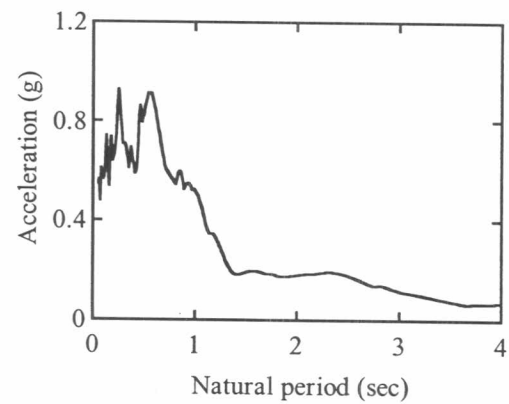
(ก) คลื่นแผ่นดินไหว El Centro



(ข) สเปกตรัมของการเปลี่ยนตำแหน่ง

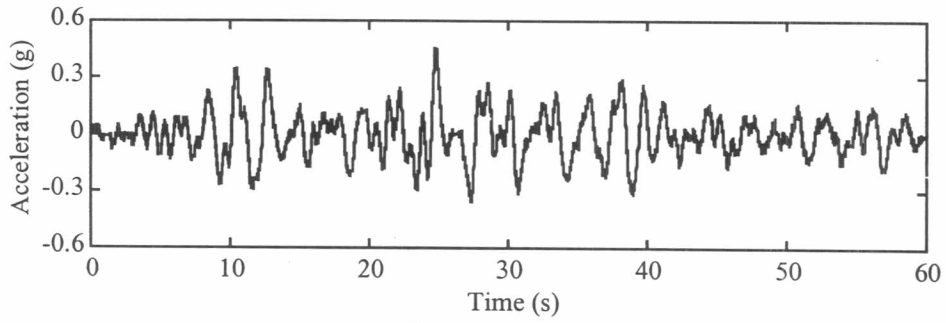


(ค) สเปกตรัมของความเร็ว

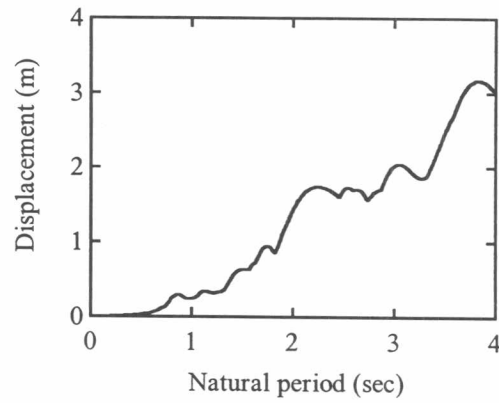


(ง) สเปกตรัมของความเร่ง

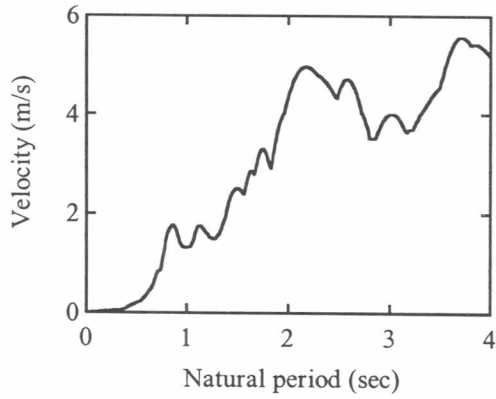
รูปที่ 3.6 ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ปี 1940 ที่ใช้ในการวิเคราะห์



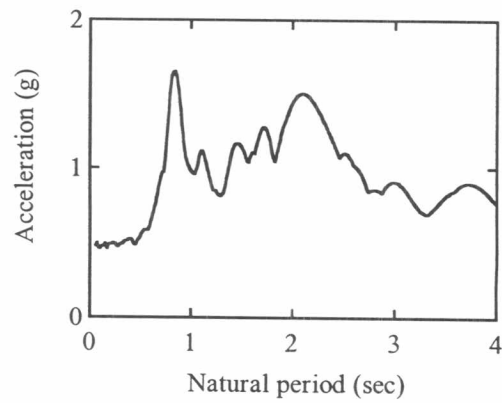
(ก) คลื่นแผ่นดินไหว BYK



(ข) สเปกตรัมการเปลี่ยนตำแหน่ง

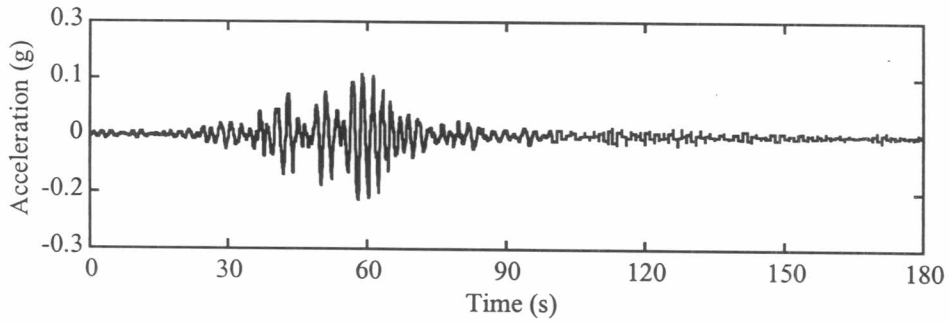


(ค) สเปกตรัมความเร็ว

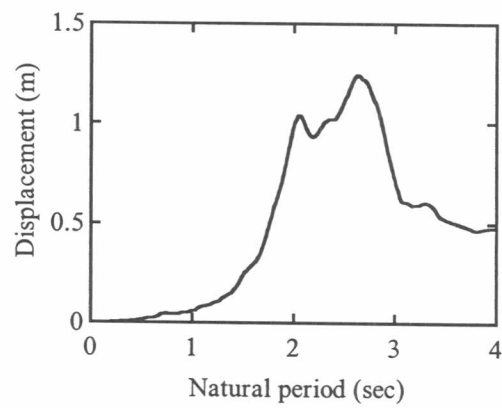


(ง) สเปกตรัมความเร่ง

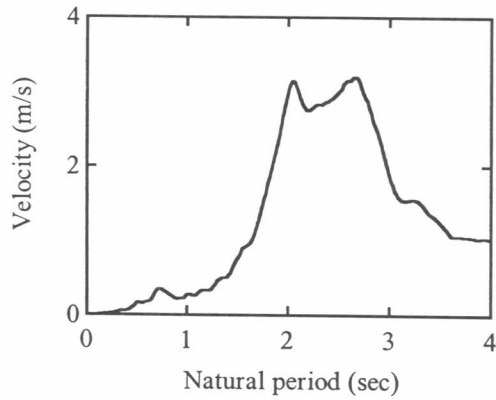
รูปที่ 3.7 ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหว Baiyoke ปี 1995 ที่ใช้ในการวิเคราะห์



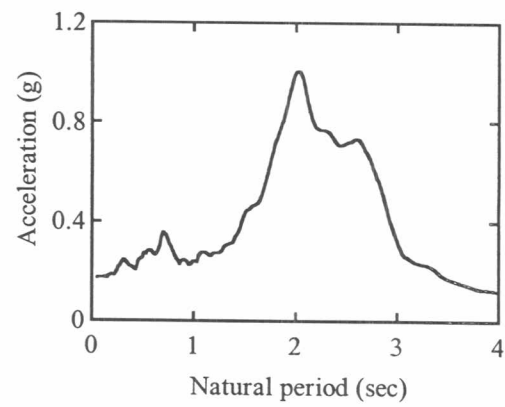
(ก) คลื่นแผ่นดินไหว SCT



(ข) สเปกตรัมการเปลี่ยนตำแหน่ง

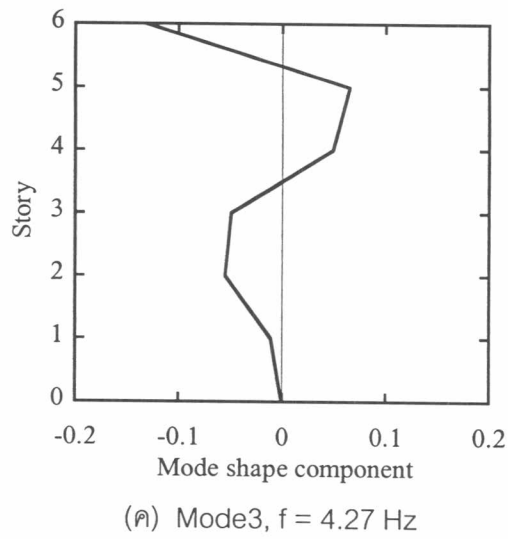
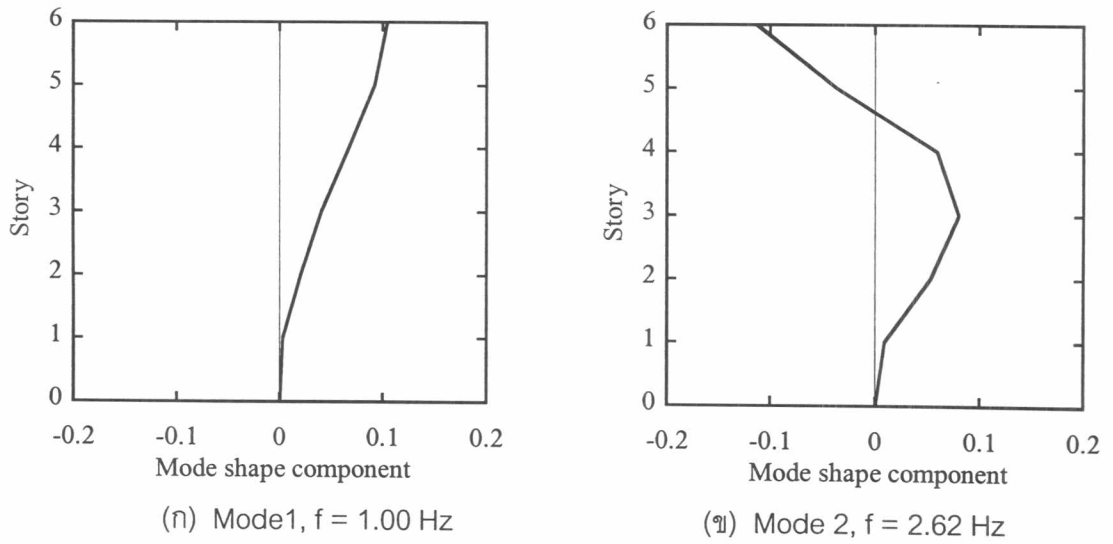


(ค) สเปกตรัมความเร็ว

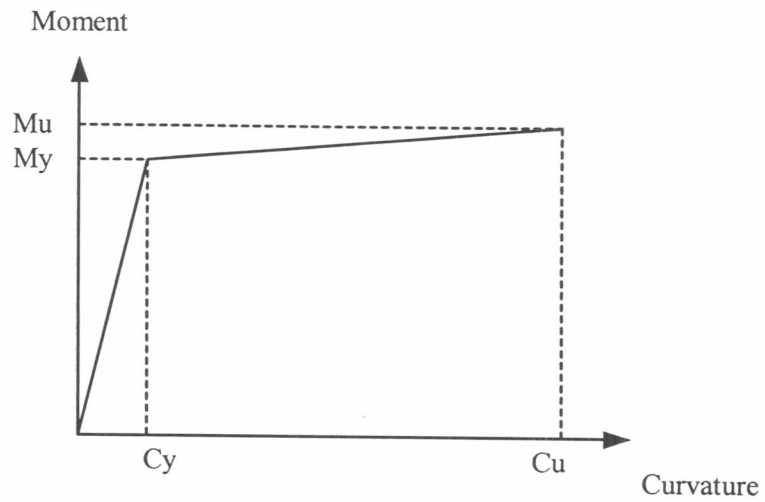


(ง) สเปกตรัมความเร่ง

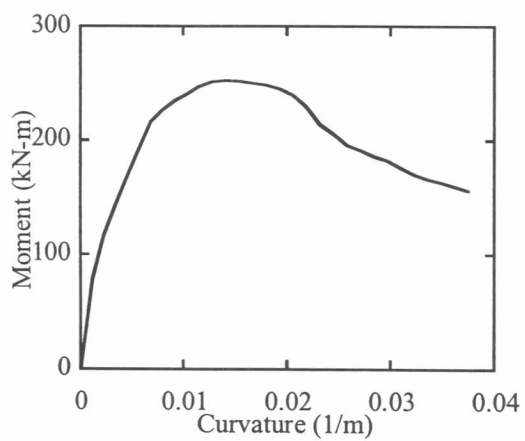
รูปที่ 3.8 ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหว Mexico ปี 1985 ที่ใช้ในการวิเคราะห์



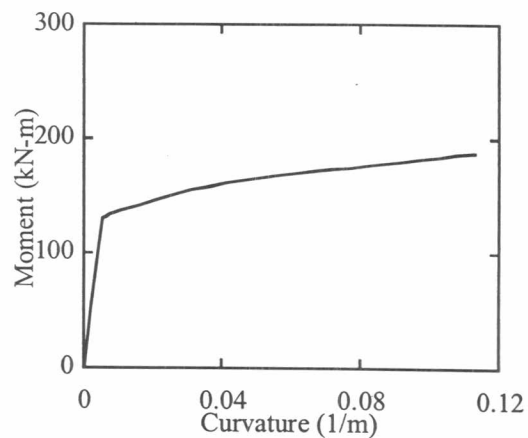
รูปที่ 3.9 การเคลื่อนที่ทางด้านข้างในแต่ละโหมดของอาคารตัวอย่าง



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง



(ก) เสา C5



(ข) คาน B4

รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์โมเมนต์ตัดและความโค้งงอของเสา C5, คาน B4 ของโปรแกรม XTRACT