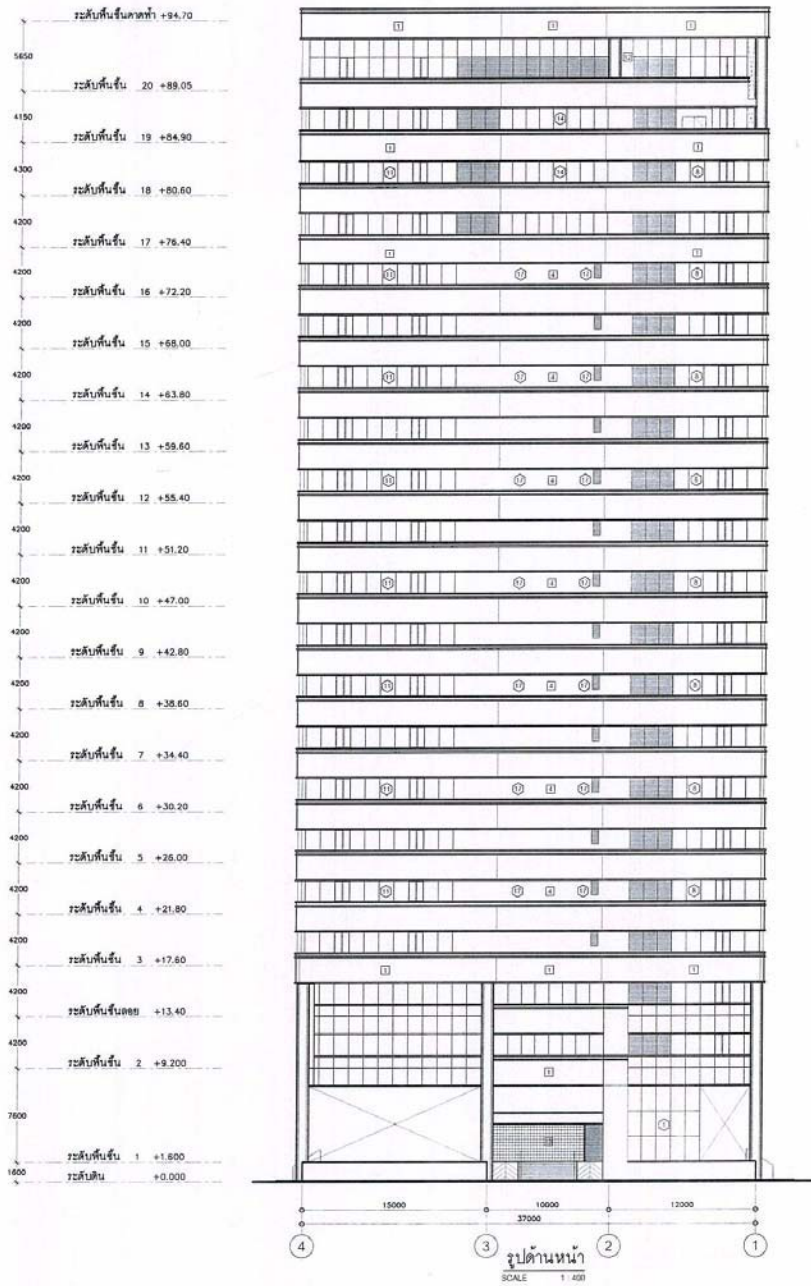
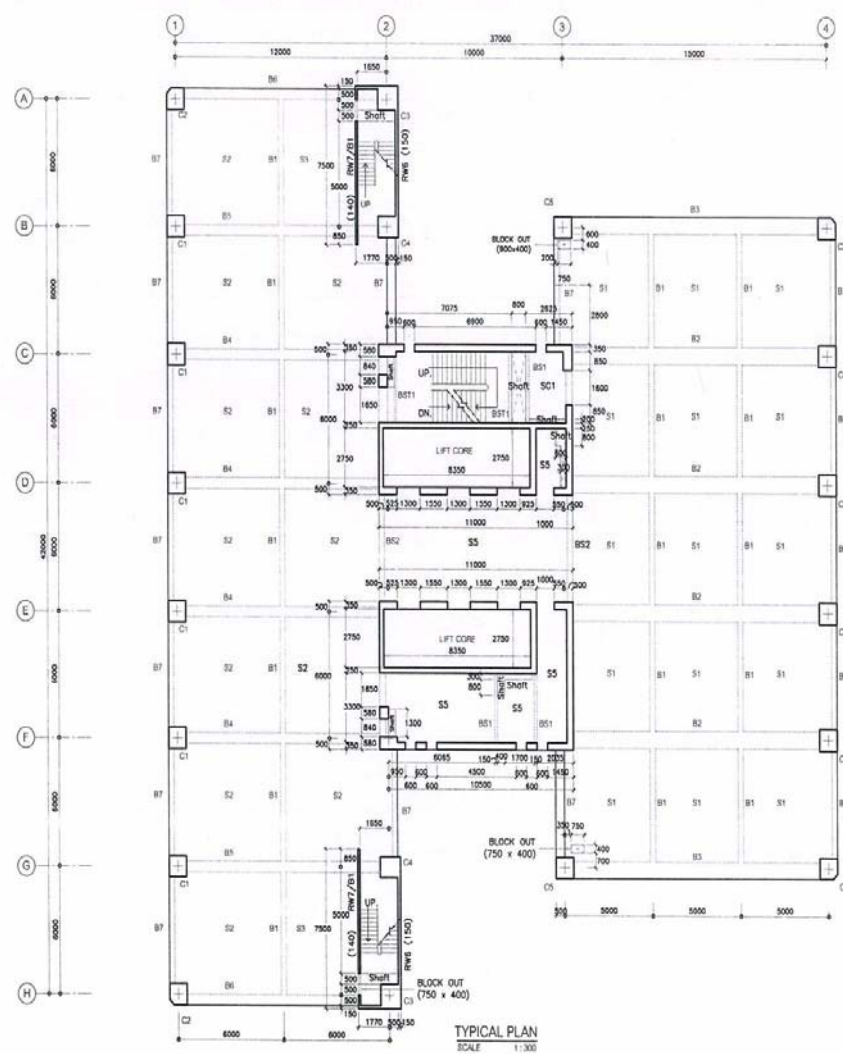


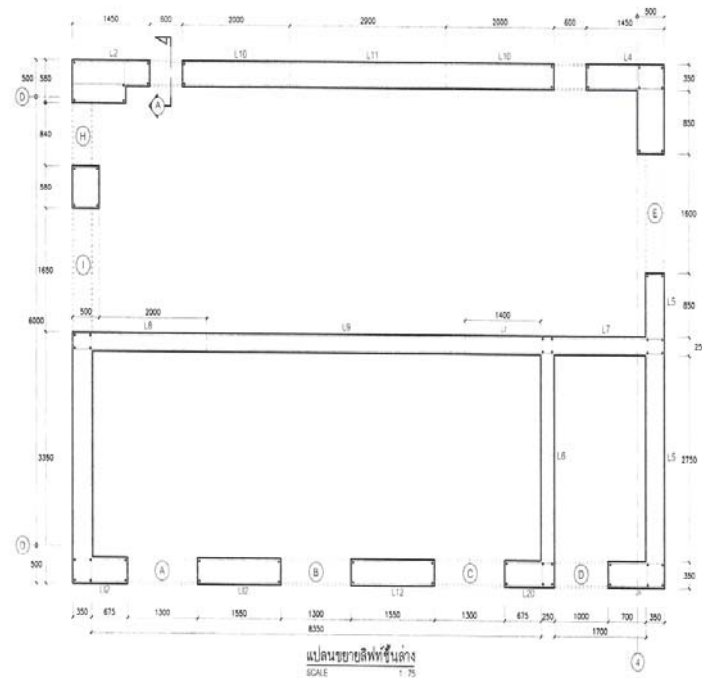




COLUMN SCHEDULE							
COLUMN FL. TH.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
ROOF ↑ 20 TH.		—	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 25mm.	 40-Ø8 25mm.	 40-Ø8 25mm.	 40-Ø8 25mm.
20 TH. ↑ 19 TH.	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 25mm.	 40-Ø8 25mm.	 40-Ø8 25mm.	 40-Ø8 25mm.
19 TH. ↑ 18 TH.	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 25mm.	 18-Ø8 28mm. (+) 18-Ø8 25mm. (-)	 32-Ø8 25mm.
18 TH. ↑ 14 TH.	 16-Ø8 28mm. (+) 16-Ø8 25mm. (-)	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 25mm.	 18-Ø8 28mm. (+) 18-Ø8 25mm. (-)	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 28mm.	 32-Ø8 25mm.
14 TH. ↑ 10 TH.	 32-Ø8 28mm.	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 25mm.	 32-Ø8 28mm.	 16-Ø8 28mm. (+) 16-Ø8 25mm. (-)	 48-Ø8 28mm.	 16-Ø8 28mm. (+) 16-Ø8 25mm. (-)

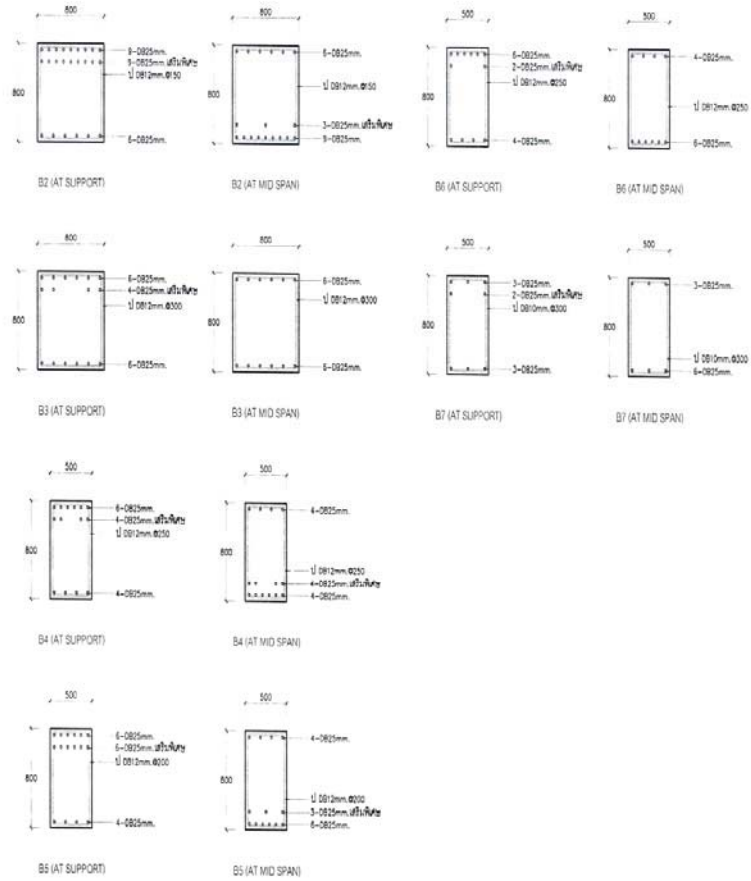
- ឆ្នាំ ២០២០ ទំហំ ១០០០x១០០០ របស់ ក្រុមហ៊ុន ប្រតិបត្តិការ ៨-០៨១០mm. © ០.២៥០m. ក្រុមហ៊ុន

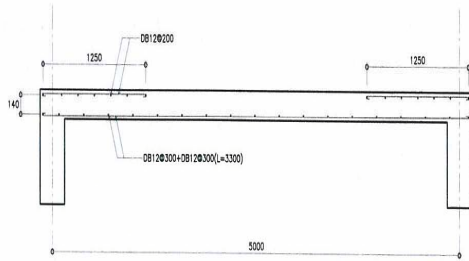
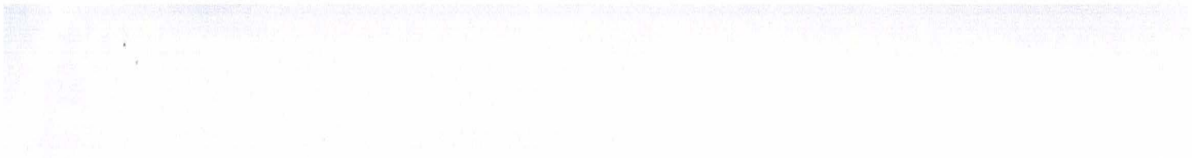
COLUMN SCHEDULE							
COLUMN FL. FL.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
10 TH. ↑ 6 TH.	 48-Ø8 28mm.	 16-Ø8 28mm. (+) 16-Ø8 28mm. (-)	 16-Ø8 28mm. (+) 16-Ø8 28mm. (-)	 48-Ø8 28mm.	 32-Ø8 28mm.	 80-Ø8 28mm.	 31-Ø8 28mm.
6 TH. ↑ 4 TH.	 64-Ø8 28mm.	 32-Ø8 28mm.	 32-Ø8 28mm.	 64-Ø8 28mm.	 48-Ø8 28mm.	 96-Ø8 28mm.	 52-Ø8 28mm.
4 TH. ↑ 2 TH.	 80-Ø8 28mm.	 48-Ø8 28mm.	 32-Ø8 28mm.	 80-Ø8 28mm.	 64-Ø8 28mm.	 116-Ø8 28mm.	 48-Ø8 28mm.
2 TH. ↑ FOOTING	 116-Ø8 28mm.	 64-Ø8 28mm.	 48-Ø8 28mm.	 96-Ø8 28mm.	 80-Ø8 28mm.	 16-Ø8 32mm. (+) 108-Ø8 28mm. (-)	 64-Ø8 28mm.
BASEMENT ↑ FOOTING	 116-Ø8 28mm.	 64-Ø8 28mm.	 48-Ø8 28mm.	 96-Ø8 28mm.	 80-Ø8 28mm.	 16-Ø8 32mm. (+) 108-Ø8 28mm. (-)	 64-Ø8 28mm.



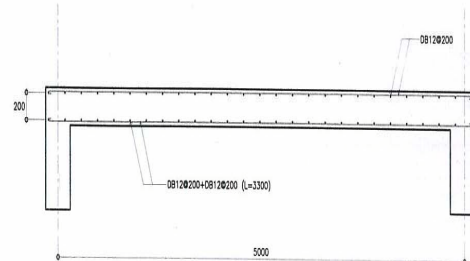
ตารางรายละเอียด

FL-PL	FOOTING-2nd	2nd-BR	BR-10th	10th-14th	14th-18th	18th-FOOT FL	REMARK
L1	2-0820mm Ø30 B.HOLE	0820mm Ø100	0820mm Ø200	0820mm Ø200	0820mm Ø200	0820mm Ø200	
L2	16-0820mm (713)	16-0820mm (712)	16-0820mm (712)	16-0820mm (713)	16-0820mm (713)	16-0820mm (713)	
L3	16-0820mm (77)	16-0820mm (78)	16-0820mm (78)	16-0820mm (78)	16-0820mm (78)	16-0820mm (78)	
L4	122-0820mm (714)	122-0820mm (714)	122-0820mm (714)	122-0820mm (714)	122-0820mm (714)	122-0820mm (714)	
L5	2-0820mm Ø30 B.HOLE	0820mm Ø100	0820mm Ø200	0820mm Ø200	0820mm Ø200	0820mm Ø200	
L6	0820mm Ø25	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	
L7	0820mm Ø25	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	
L8	0820mm Ø25	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	
L9	0820mm Ø25	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	
L10	0820mm Ø25	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	0820mm Ø250	

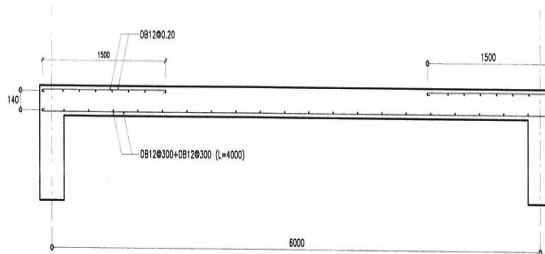




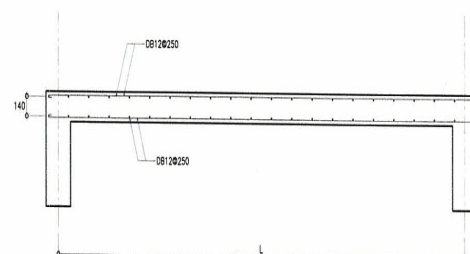
S1



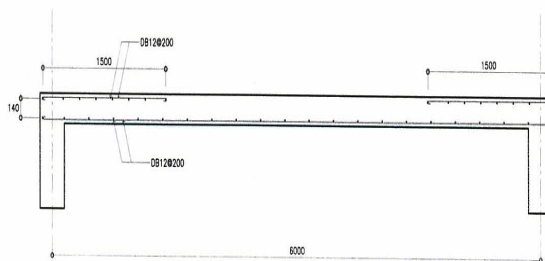
S4



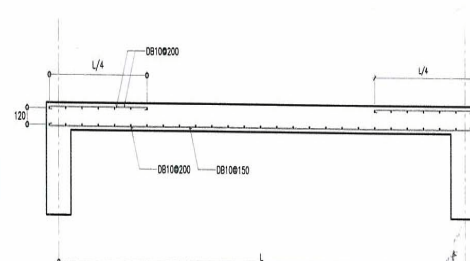
S2



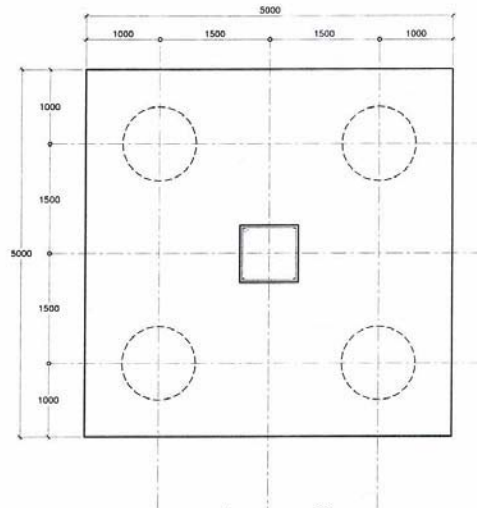
S5



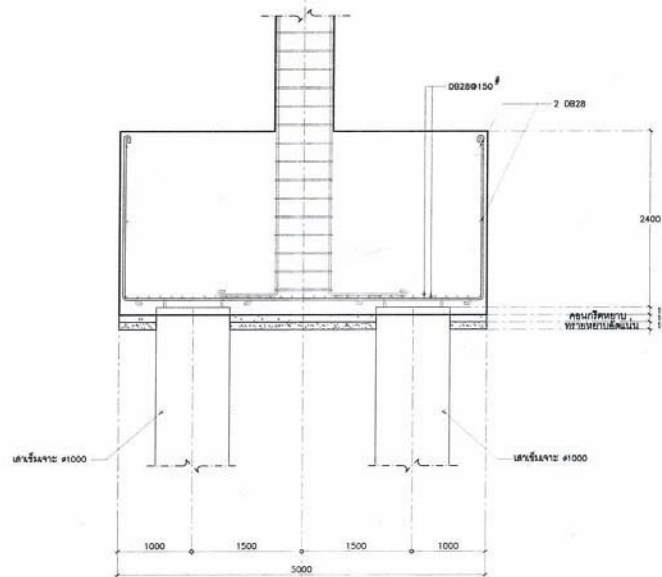
S3



S6



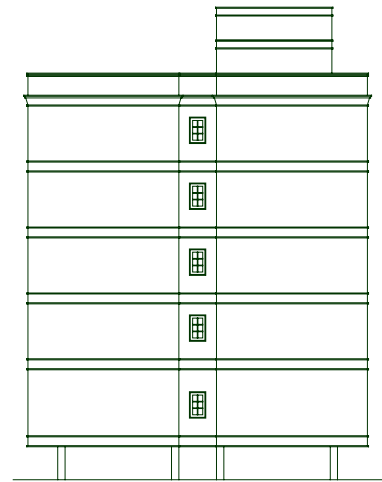
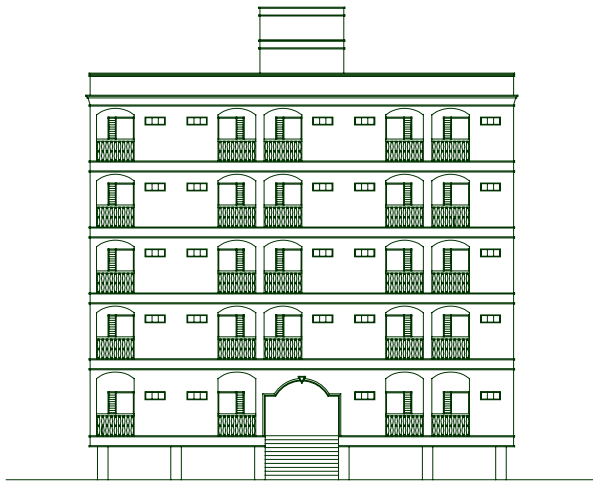
แปลนฐานราก (F4)
SCALE 1 : 75



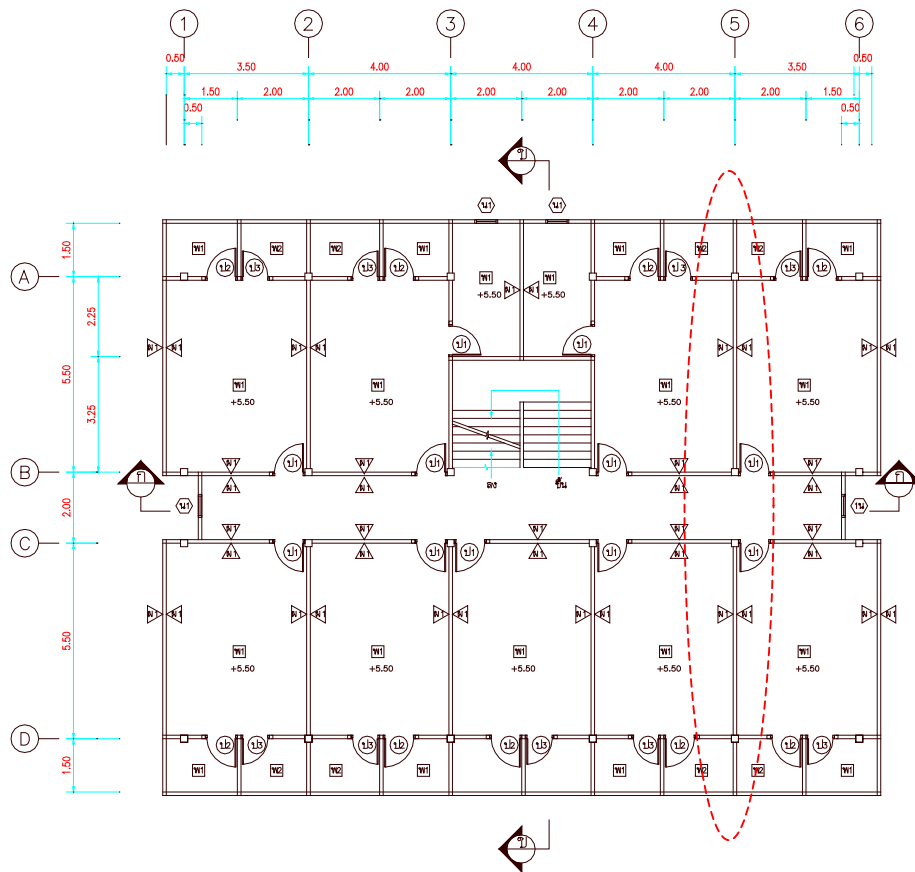
รูปตัดฐานราก (F4)
SCALE 1 : 75

ภาคผนวก ก.3

รายละเอียดโครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบคาน-เสา 5 ชั้น



รูปด้าน



แปลน

ภาคผนวก ก.4

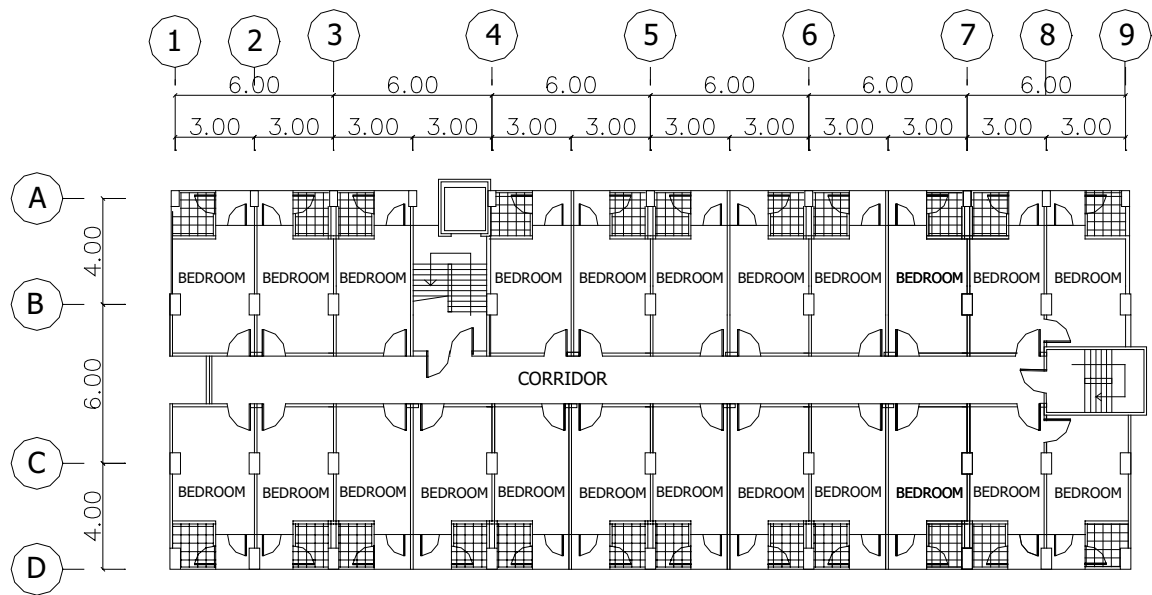
รายละเอียดโครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน 20 ชั้น



ภาพถ่ายอาคาร

ภาคผนวก ก.5

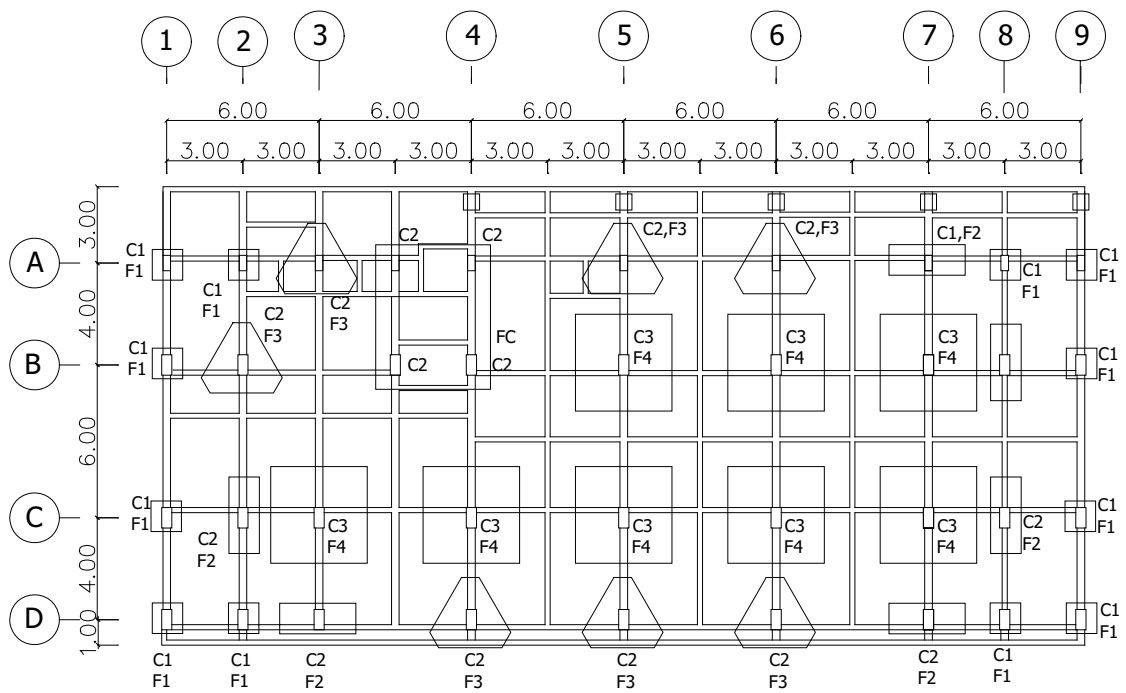
รายละเอียดโครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบพื้น-เสา 9 ชั้น



TYPICAL FLOOR PLAN

SCALE

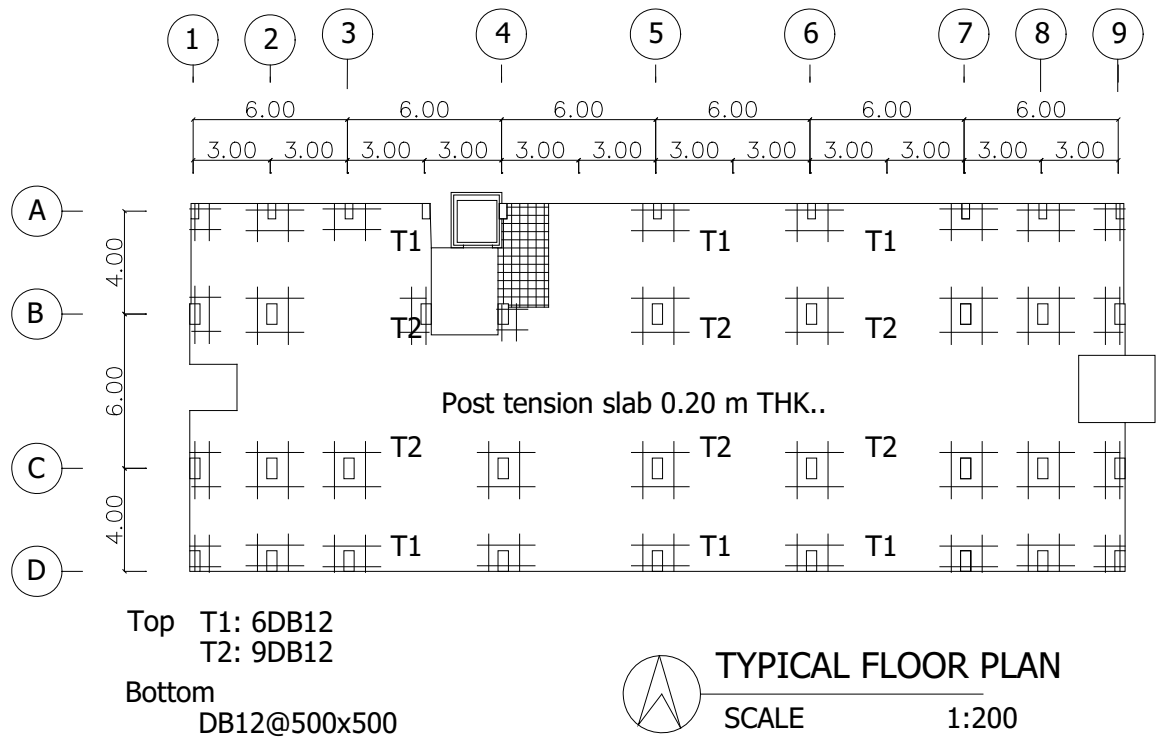
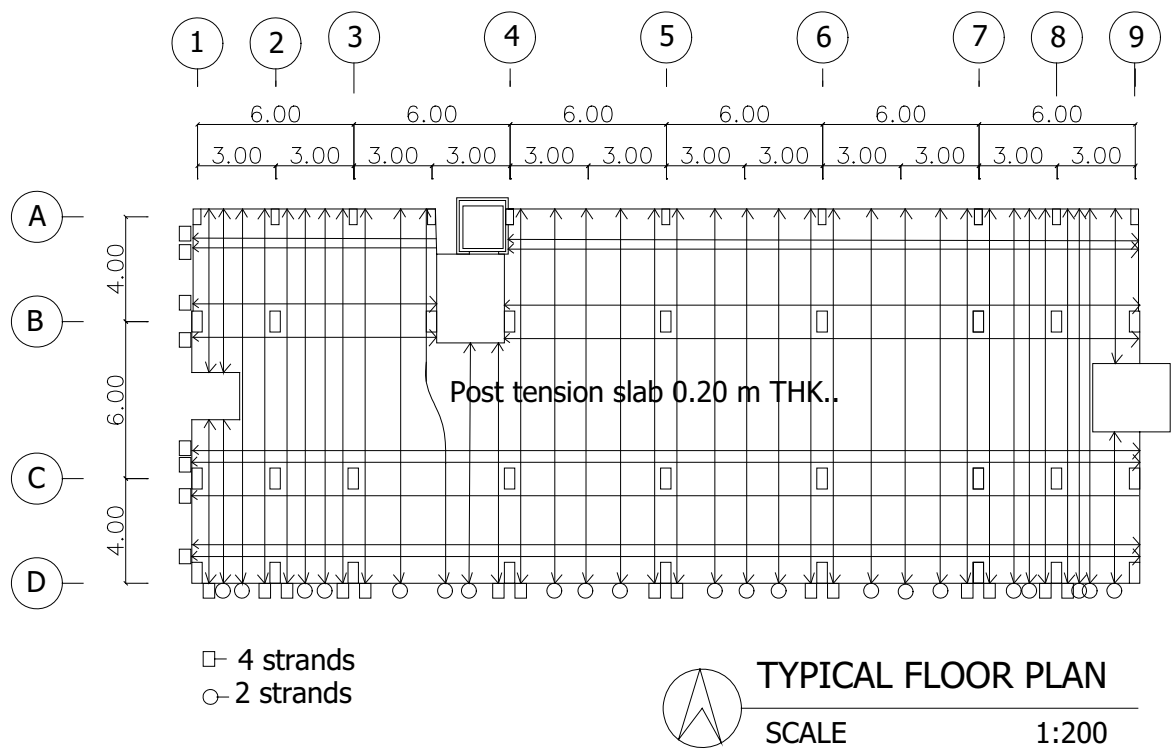
1:200

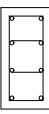
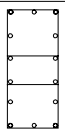
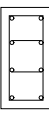
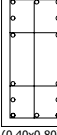
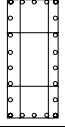
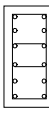
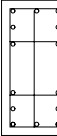
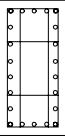
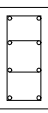
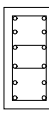
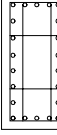
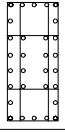


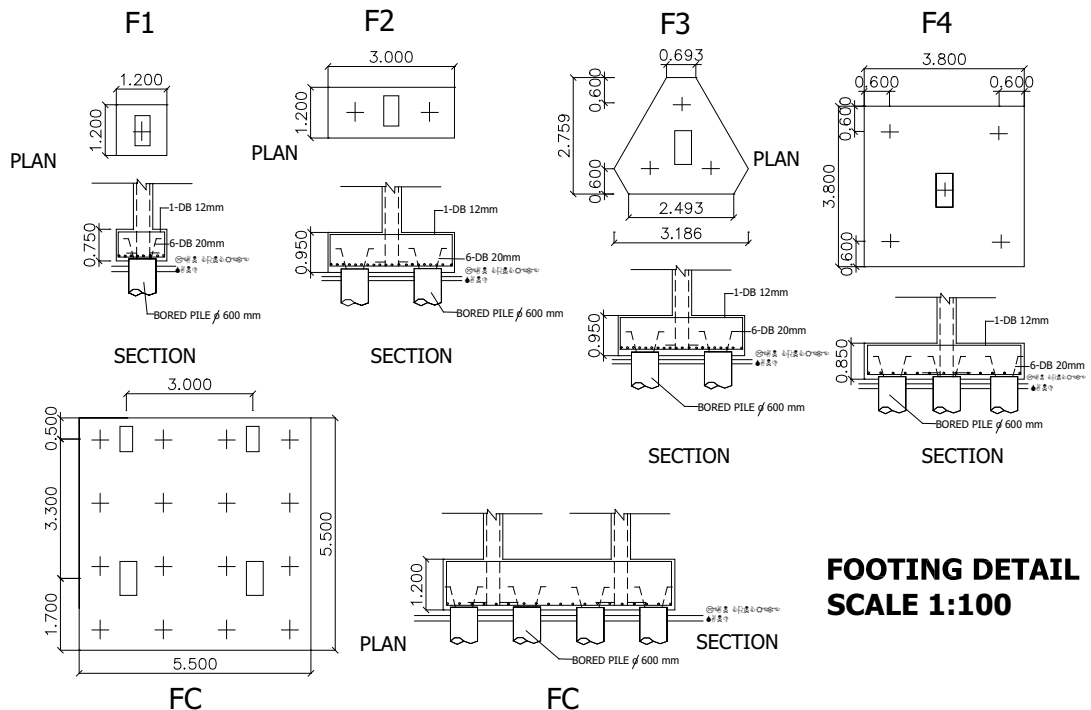
FOUNDATION PLAN

SCALE

1:200

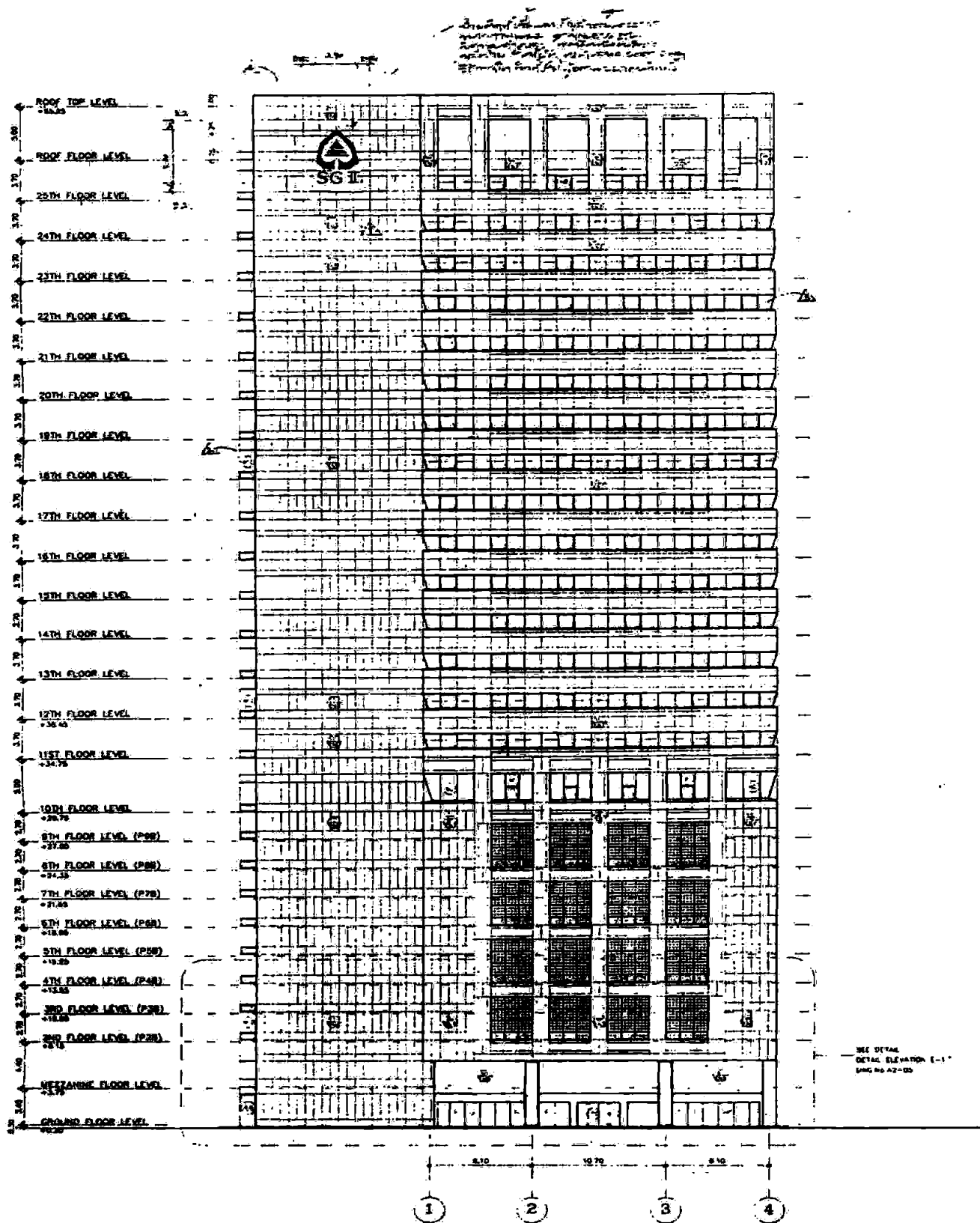


FLOOR	C1	C2	C3	C4
ROOF 8th FLOOR ↑	↑	↑	↑	↑
8th FLOOR ↑ 6th FLOOR	↑	 8-DB 20 mm 25T-RB9mm @0.20 (0.30x0.60)	 10-DB 20 25T-RB9 @0.25	 14-DB 20 35T-RB9 @0.25
6th FLOOR ↑ 4th FLOOR	↑	 10-DB 20 mm 25T-RB9mm @0.20 (0.30x0.60)	 14-DB 20 35T-RB9 @0.25 (0.40x0.80)	 20-DB 20 45T-RB9 @0.25
4th FLOOR ↑ 2nd FLOOR	↑	 14-DB 20 mm 25T-RB9mm @0.20 (0.30x0.60)	 14-DB 25 35T-RB9 @0.25	 22-DB 20 45T-RB9 @0.25
2nd FLOOR ↑ FOUNDATION	 8-DB 20 mm 25T-RB9mm @0.20 (0.30x0.60)	 14-DB 25 mm 25T-RB9mm @0.20 (0.30x0.60)	 22-DB 25 45T-RB9 @0.25	 30-DB 20 45T-RB9 @0.25



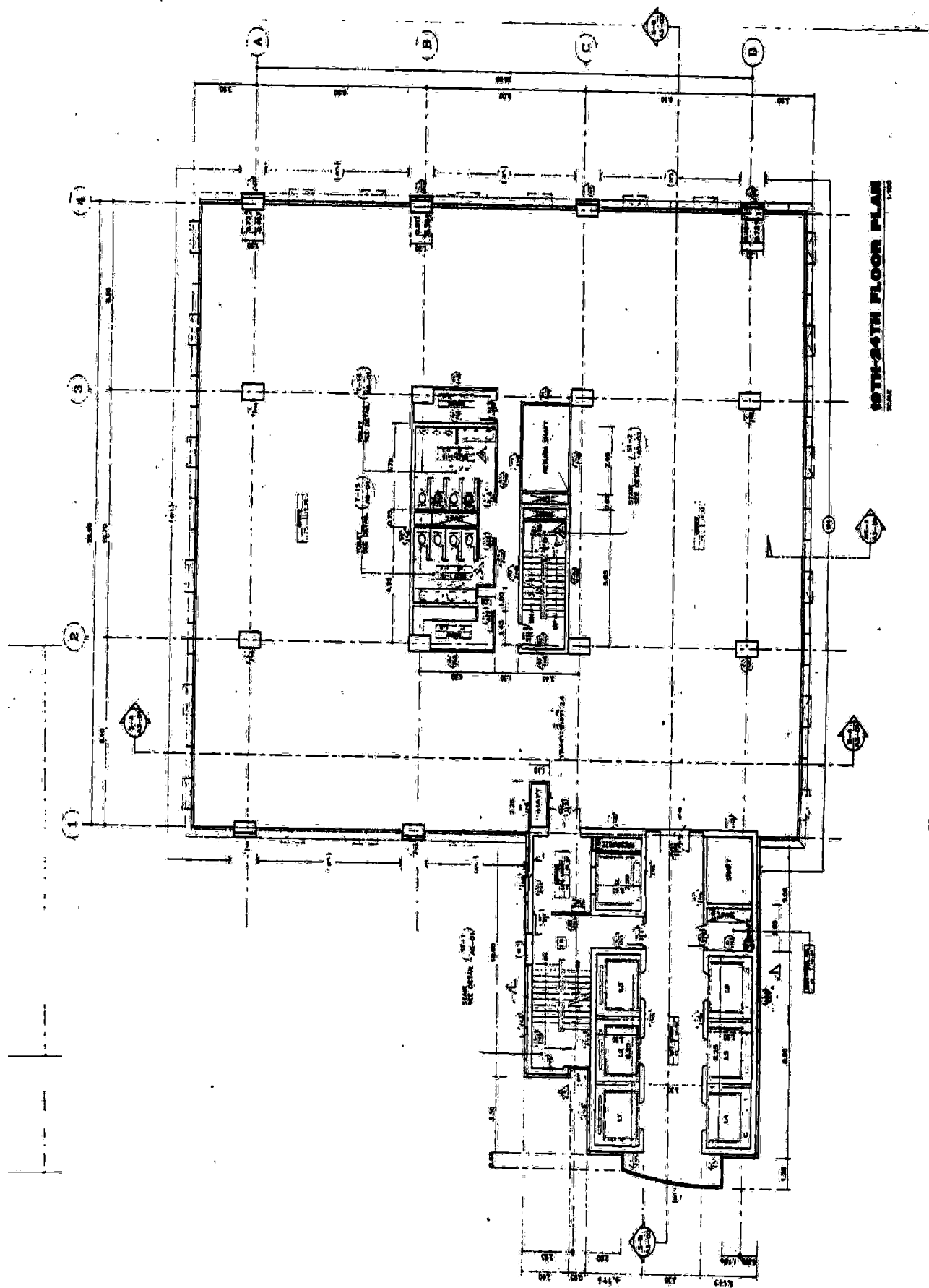
ภาคผนวก ก.6

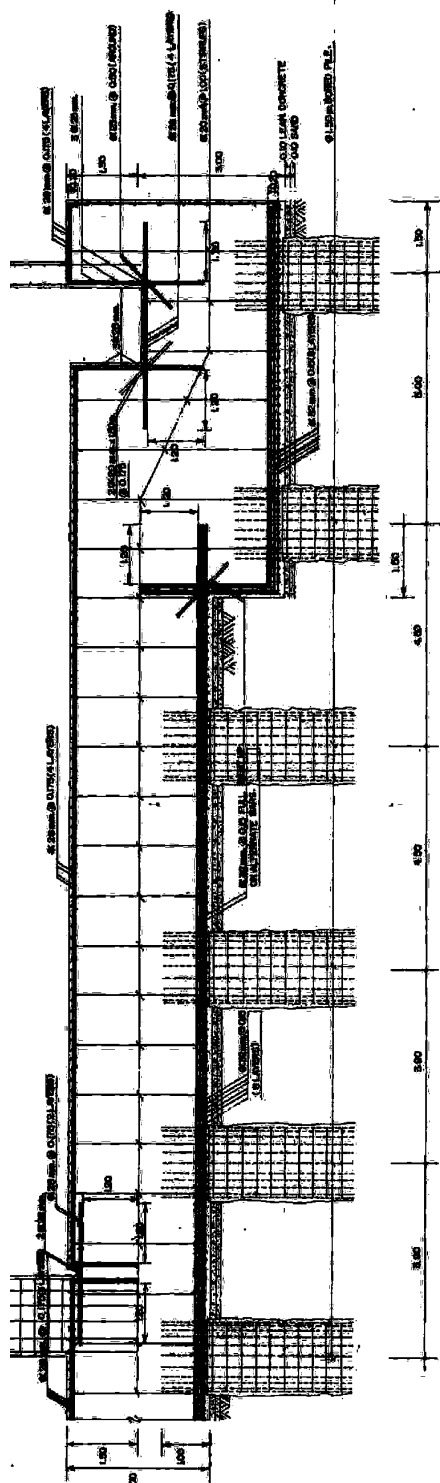
รายละเอียดโครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบพื้น-เสา-ผนัง-แรงเฉือน 30 ชั้น



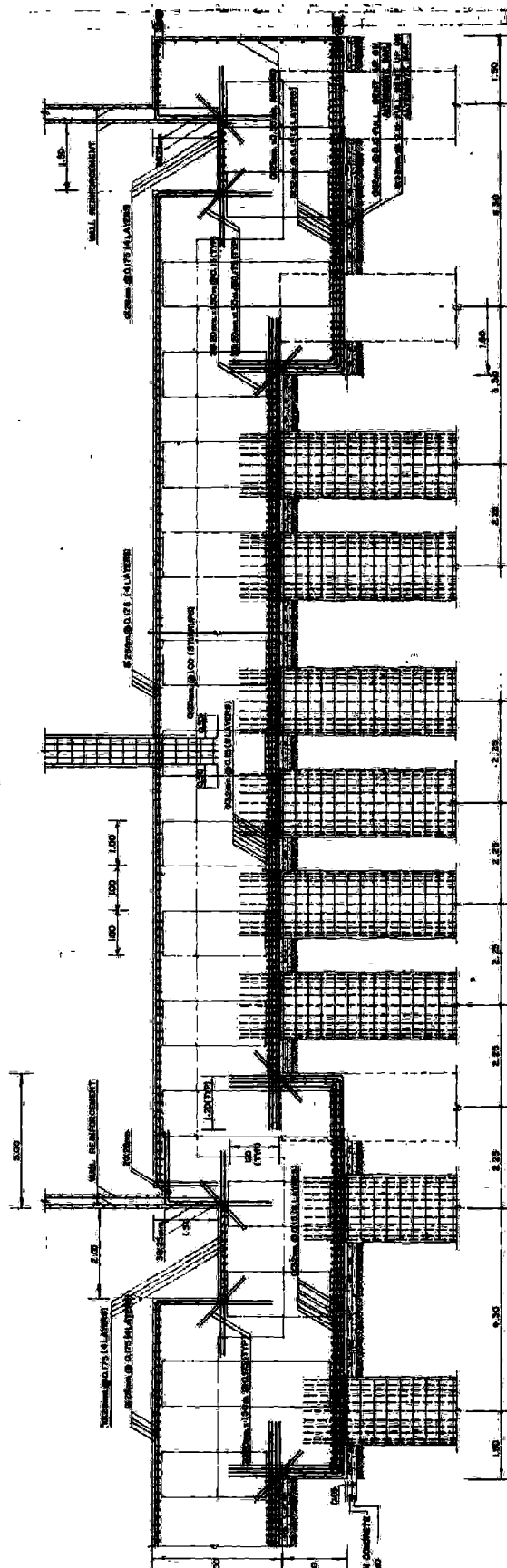
ELEVATION

SCALE 1:200

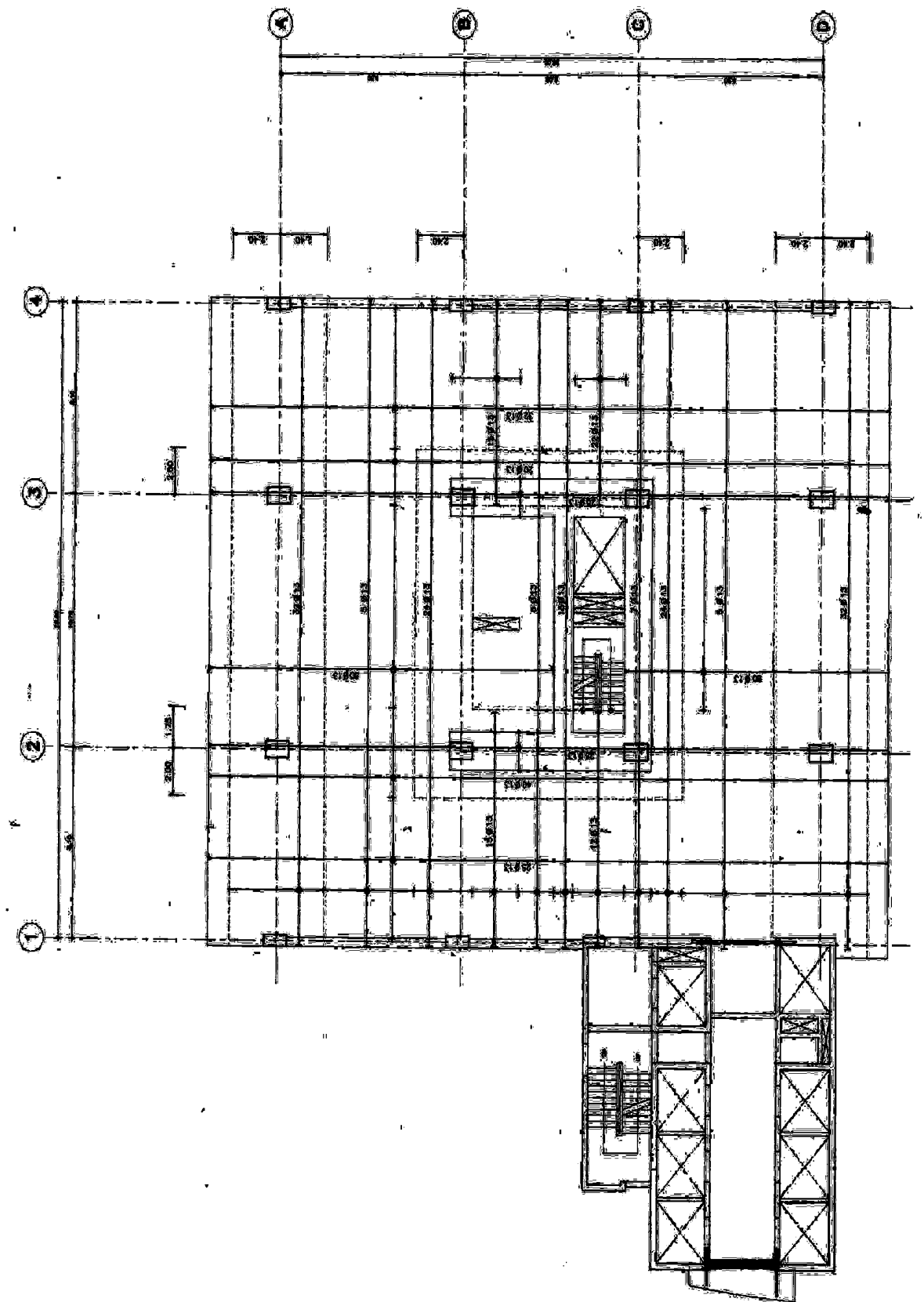




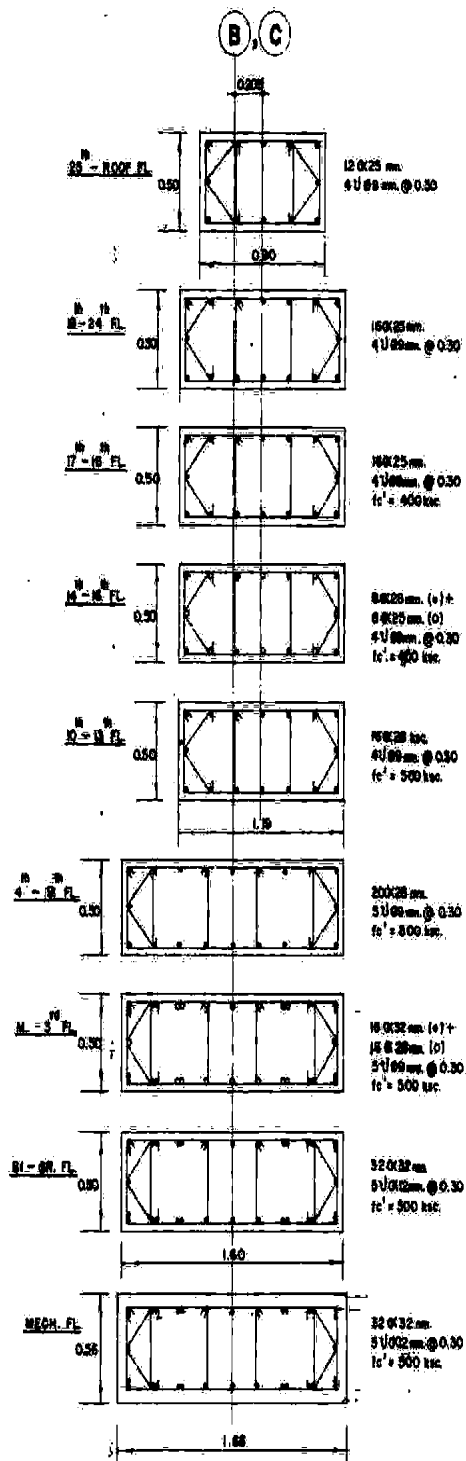
SECTION F2-F2
1:10



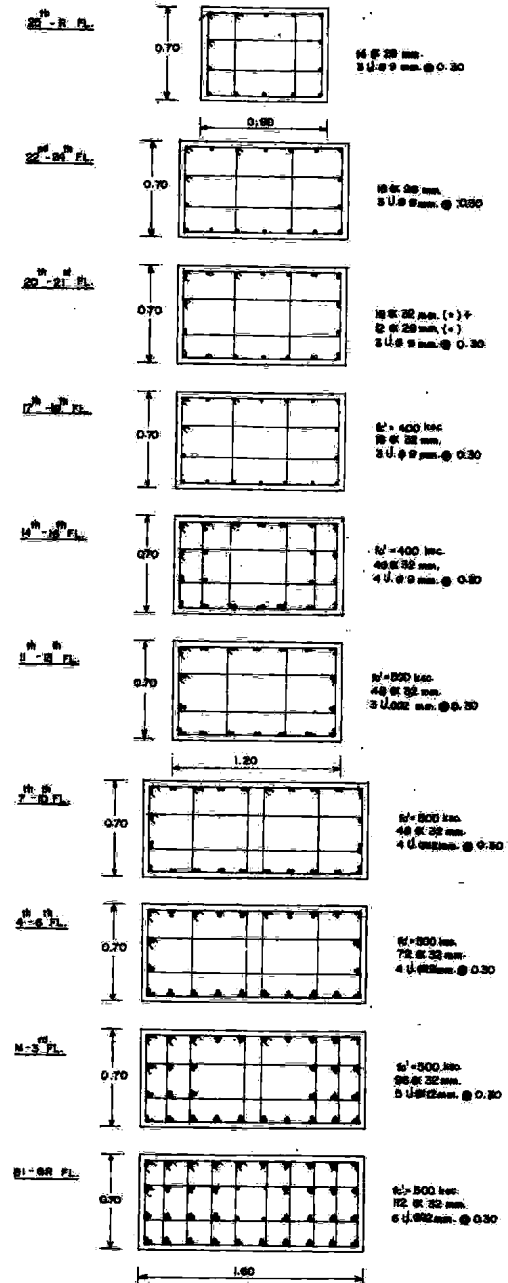
SECTION F3-F3
1:10



COLUMN C2



COLUMN C4



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการลดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย(ระยะที่1)

งานวิจัยย่อยที่4 การประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร
ในกรุงเทพมหานครและศึกษาหาวิธีปรับปรุงอาคารที่อ่อนแอ
ให้มีความต้านทานแผ่นดินไหว ในระดับที่เหมาะสม

ส่วนที่ 2 เรื่องการประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีต
เสริมเหล็ก และการปรับปรุงอาคารให้มีความต้านทานแผ่นดินไหวในระดับที่เหมาะสม

คณะผู้วิจัย

1. รศ.ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย
2. รศ.ดร. วิโรจน์ บุญญภิญโญ
3. รศ.ดร. อมร พิมาณมาศ
4. ผศ.ดร. อาณัติ เรืองรัมย์
5. รศ.ดร. นพดล เพียรเวช
6. ผศ. อนุก ตีรพานิชกร

สังกัด

- สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

โครงการย่อยที่ 4

การประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารในกรุงเทพมหานคร
และศึกษาหาวิธีปรับปรุงอาคารที่อ่อนแอให้มีความต้านทานแผ่นดินไหว
ในระดับที่เหมาะสม

ส่วนที่ 2 เรื่องการประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหวของ
อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและการปรับปรุงอาคารให้มีความต้านทานแผ่นดินไหว
ในระดับที่เหมาะสม

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2 การประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหวโดยวิธี Capacity-Demand-Diagram Method	4
2.1 แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหว	4
2.2 Demand Spectrum	8
2.3 Acceleration-Displacement Response Spectral (ADRS)	11
3 ตัวอย่างการประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหว ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน	14
3.1 การประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหวอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ระบบคาน-เสา 9 ชั้น	14
3.1.1 ผลของอัตราส่วนความหนืดของอาคารต่อการตอบสนอง	14
3.1.2 ผลของคาบการเกิดซ้ำต่อการตอบสนอง	17

3.2	การประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหวอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ระบบคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน 20 ชั้น	28
3.2.1	ผลของอัตราส่วนความเหนียวของอาคารต่อการตอบสนอง	28
3.2.2	ผลของคาบการเกิดซ้ำต่อการตอบสนอง	30
4	ตัวอย่างการประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดพื้น-เสา-ผนังแรงเฉือน	39
4.1	อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดแผ่นพื้นไร้คานสูง 9 ชั้น	39
4.1.1	ผลของอัตราส่วนความเหนียวของอาคารต่อการตอบสนอง	39
4.1.2	ผลของคาบการเกิดซ้ำต่อการตอบสนอง	40
4.2	อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดแผ่นพื้นไร้คานสูง 30 ชั้น	43
5	ตัวอย่างการปรับปรุงอาคารเสริมเหล็กชนิดคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน ให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น	45
5.1	การปรับปรุงโครงสร้างอาคาร 9 ชั้น	45
5.1.1	การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีเพิ่มกำแพงรับแรงเฉือน	45
5.1.2	การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีขยายหน้าตัดของเสา	51
5.1.3	การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีจัดเรียงระยะเหล็กปลอกคานน้อยกว่า $d/3$	55
5.1.4	การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีขยายหน้าตัดเสา และจัดเรียงระยะ เหล็กปลอกคานน้อยกว่า $d/3$	60
5.2	การปรับปรุงโครงสร้างอาคาร 20 ชั้น	65
5.2.1	การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีจัดเรียงระยะเหล็กปลอกน้อยกว่า $d/3$	65
6	ตัวอย่างการปรับปรุงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดพื้น-เสา ให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น	69
6.1	การปรับปรุงโครงสร้างอาคาร 9 ชั้น	69
6.1.1	การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีเพิ่มความแข็งแรงบริเวณหัวเสา (Drop panel)	69
6.1.2	การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีเพิ่มกำแพงรับแรง	70
6.1.3	การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีเพิ่มเหล็กเสริมหลักในเสา ให้เท่ากันทุกชั้น	72

7	สรุปผลการวิจัย	74
7.1	อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน	74
7.1.1	การประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหวอาคาร	74
7.1.2	การปรับปรุงอาคารให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น	76
7.2	อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบพื้น-เสา-ผนังแรงเฉือน	77
7.2.1	การประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหวอาคาร	77
7.2.2	การปรับปรุงอาคารให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น	78
	เอกสารอ้างอิง	80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

งานวิจัยในส่วนที่ 1 การวิเคราะห์หาความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของ อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธี Pushover analysis ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์หาความต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารโดยวิธี Pushover ซึ่งแสดงผลในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานอาคารกับการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารหรือเรียกว่า Capacity curve และสำหรับงานวิจัยในส่วนที่ 2 การประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและการปรับปรุงอาคารให้มีความต้านทานแผ่นดินไหวในระดับที่เหมาะสม จะนำเสนอตัวอย่างการประเมินอาคารโดยวิธี Capacity –Demand-Diagram Method พร้อมทั้งเสนอแนวทางปรับปรุงอาคารให้มีความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวให้เพิ่มขึ้นด้วยวิธีต่างๆ

การวิเคราะห์หา Seismic demand สามารถทำได้หลายวิธี [FEMA273 1997; ATC-40 1996] วิธีที่นิยมใช้กันมาก คือ วิธี Capacity spectrum ซึ่งพัฒนาขึ้นมาโดย Freeman และคณะในปี ค.ศ. 1975 [Freeman et al. 1975; ATC-40 1996] อย่างไรก็ตามในปี ค.ศ. 1999 Chopra และ Goel [1999] พบว่าวิธี Capacity spectrum และวิธีอื่นๆ ที่มีอยู่ในขณะนั้นให้ผลที่คลาดเคลื่อนในบางกรณี จึงได้พัฒนาวิธีคำนวณหา Seismic demand ขึ้นมาใหม่ที่มีความถูกต้องสมบูรณ์ขึ้น Seismic demand ที่คำนวณได้แสดงในรูปของเส้นกราฟ Demand curve ซึ่งสามารถนำไปเปรียบเทียบกับ Capacity curve ของโครงสร้างได้โดยตรง รูปร่างลักษณะของ Demand curve ขึ้นกับหลายปัจจัย ที่สำคัญได้แก่ ระดับความรุนแรง (Intensity) และส่วนผสมความถี่ (Frequency contents) ของแผ่นดินไหว

การประเมินความสามารถด้านทานแรงกระทำด้านข้างเนื่องจากแผ่นดินไหวของอาคารในกรุงเทพมหานครจำเป็นต้องมีคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่พื้นดิน (Free field) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่พื้นดินในกรุงเทพมหานคร ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวหลายๆแบบ และที่ระดับความรุนแรงของการสั่นไหวต่างๆ โดยใช้ข้อมูลการสั่นไหวของ 1) El Centro earthquake, California, 1940 2) แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร 7 คลื่น (Kiattivisanchai, 2001) และ 3) ข้อมูลการสั่นไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก 1 สำหรับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อ 22 กันยายน 2546

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การวิเคราะห์หาความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธี Pushover analysis
2. การประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก และการปรับปรุงอาคารให้มีความต้านทานแผ่นดินไหวในระดับที่เหมาะสม
3. ศึกษาพฤติกรรมวิบัติของชิ้นส่วนย่อยคอนกรีตเสริมเหล็กในตำแหน่งที่สำคัญของอาคาร

งานวิจัยส่วนที่ 2 การประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก และการปรับปรุงอาคารให้มีความต้านทานแผ่นดินไหวในระดับที่เหมาะสมมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. ประเมินระดับความเสียหายและรูปแบบความเสียหายของอาคารประเภทต่างๆ เนื่องจากแผ่นดินไหวลักษณะพิเศษที่คาดว่าจะเกิดขึ้นที่กรุงเทพฯ ในอนาคต
2. ศึกษาหาวิธีที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงหรือเสริมกำลังอาคารที่มีอยู่และวิธีการออกแบบก่อสร้างอาคารใหม่ในกรุงเทพฯ ให้ปลอดภัยจากแผ่นดินไหว

งานวิจัยส่วนที่ 2 นี้จึงได้เลือกตัวแทนอาคารที่ก่อสร้างแล้ว จำนวน 4 อาคาร ชนิดคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน และพื้น-เสา-ผนังแรงเฉือน ที่มีความสูงตั้งแต่ 9-30 ชั้น เป็นตัวอย่างการคำนวณการประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหวและการปรับปรุงอาคาร

1.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ตามแนวทาง Nonlinear Static Procedure (NSP) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆดังต่อไปนี้ (1) วิเคราะห์หาความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหว (Seismic Capacity) ของอาคาร, (2) วิเคราะห์หาระดับของความต้านทานที่อาคารจำเป็นต้องมี (Seismic Demand) เพื่อให้สามารถทนต่อแผ่นดินไหวในระดับความรุนแรงต่างๆที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้, และ (3) เปรียบเทียบระหว่าง Seismic Capacity กับ Seismic Demand เพื่อประเมินว่าอาคารจะสามารถทนต่อแผ่นดินไหวได้ถึงระดับใด จะมีความเสียหายเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด รายละเอียดของวิธีการดังกล่าวแสดงไว้ในเอกสารสำคัญ 2 ชิ้น คือ รายงานของ Applied Technology Council ชื่อ “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings” ซึ่งมักเรียกกันสั้นๆว่า ATC-40 (ATC 1996) และรายงานของ Federal Emergency Management Agency (FEMA) ชื่อ “NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings” ซึ่งมักเรียกกันสั้นๆว่า FEMA 273/274 (FEMA 1997)

การวิเคราะห์หา Seismic Demand สามารถทำได้หลายวิธี [FEMA 1997; ATC 1996] วิธีที่นิยมใช้กันมาก คือ วิธี Capacity Spectrum ซึ่งพัฒนาขึ้นมาโดย Freeman และคณะในปี ค.ศ. 1975 (Freeman et al. 1975; ATC 1996) อย่างไรก็ตาม ในปี ค.ศ. 1999 Chopra และ Goel พบว่าวิธี Capacity Spectrum และวิธีอื่นๆที่มีอยู่ในขณะนั้นให้ผลที่คลาดเคลื่อนในบางกรณี จึงได้พัฒนาวิธีคำนวณหา Seismic Demand ขึ้นมาใหม่ที่มีความถูกต้องสมบูรณ์ขึ้น (Chopra and Goel 1999) Seismic Demand ที่คำนวณได้แสดงในรูปของเส้นกราฟ Demand Curve ซึ่งสามารถนำไปเปรียบเทียบกับ Capacity Curve ของอาคารได้โดยตรง รูปร่างลักษณะของ Demand Curve ขึ้นกับหลายปัจจัย ที่สำคัญได้แก่ ระดับความรุนแรง (Intensity) และส่วนผสมความถี่ (Frequency Contents) ของแผ่นดินไหว

บทที่ 2

การประเมินระดับความต้านทานแผ่นดินไหว โดยวิธี Capacity-Demand-Diagram Method

การวิเคราะห์หา Seismic Capacity สามารถทำได้โดยการนำแรงสถิตในแนวด้านข้าง (Static Lateral Force) มากระทำต่อแบบจำลองอาคาร โดยกำหนดให้รูปแบบการกระจายตัวของแรงคล้ายคลึงกับรูปแบบการกระจายตัวของแรงเฉื่อยของมวลอาคารเมื่อเกิดการโยกไหวในขณะที่เกิดแผ่นดินไหว ระดับของแรงสถิตจะค่อยๆถูกปรับเปลี่ยนเป็นขั้นๆจากน้อยไปมาก โดยในแต่ละขั้น จะทำการวิเคราะห์หาการเปลี่ยนรูปด้านข้าง (Lateral Deformation) และความเสียหาย (Damage) ภายในอาคาร การวิเคราะห์ในลักษณะนี้จะดำเนินไปเรื่อยๆจนกว่าแรงสถิตจะสามารถผลักให้อาคารเกิดการวิบัติ (Collapse) การวิเคราะห์ดังกล่าวนี้เรียกว่า Pushover Analysis ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉื่อยที่ฐานอาคาร (Base Shear) กับการเคลื่อนตำแหน่งด้านข้างที่ยอดอาคาร (Roof Lateral Displacement) เส้นกราฟนี้ถือเป็น Capacity Curve ของอาคาร เพราะแสดงให้เห็นถึง “กำลังต้านทานแรงด้านข้าง” (Lateral Strength) และ “ความเหนียว” (Ductility) ของอาคาร ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร

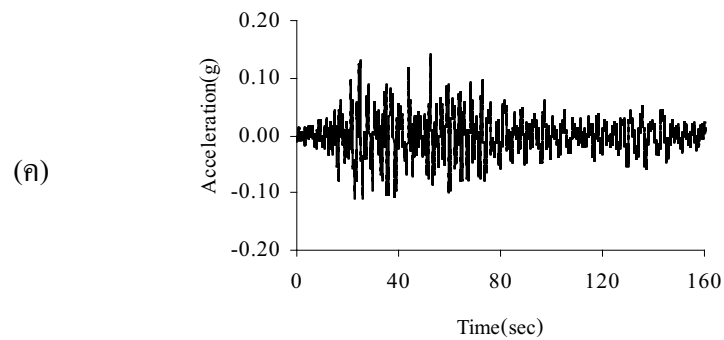
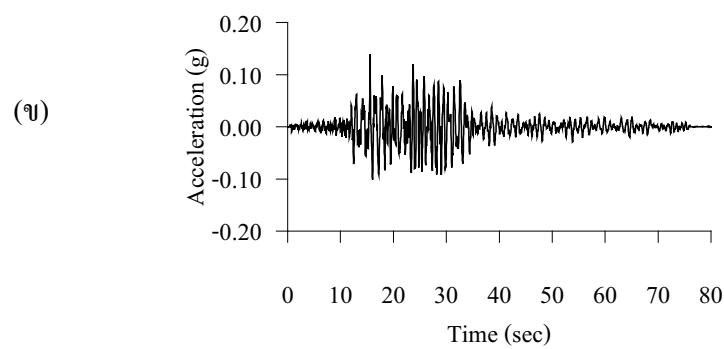
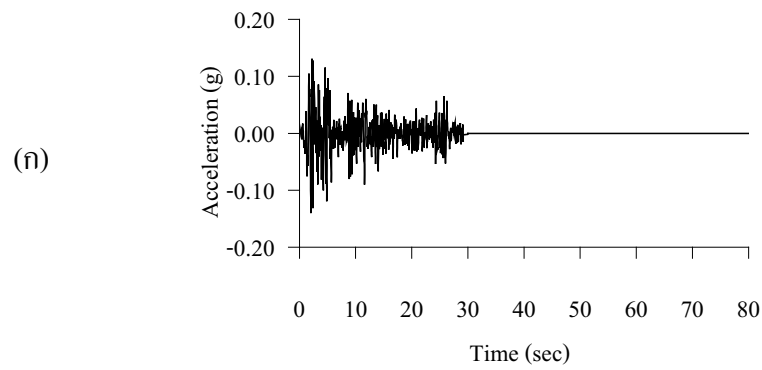
Capacity –Demand –Diagram Method เป็นวิธีที่ใช้หาประสิทธิภาพ (performance) ของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำจากแผ่นดินไหว โดยอาศัย Capacity curve ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉื่อยที่ฐานอาคารกับการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารที่จะแสดงถึงกำลังต้านทานแรงกระทำด้านข้างของอาคารและความสามารถต้านทานการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคาร ร่วมกับ Demand spectrum ที่จะแสดงผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของโครงสร้างและในการศึกษานี้จะใช้ Constant ductility inelastic response spectrum ซึ่งทั้ง Capacity curve และ Demand spectrum จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของ Spectral acceleration (S_a) และ spectral displacement (S_d) เพื่อที่จะสามารถนำมาเปรียบเทียบและหาตำแหน่งของแรงกระทำด้านข้างสูงสุดและการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารสูงสุดที่โครงสร้างสามารถรับได้ก่อนเกิดการพังทลายภายใต้แรงแผ่นดินไหว (Performance point)

2.1 แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหว

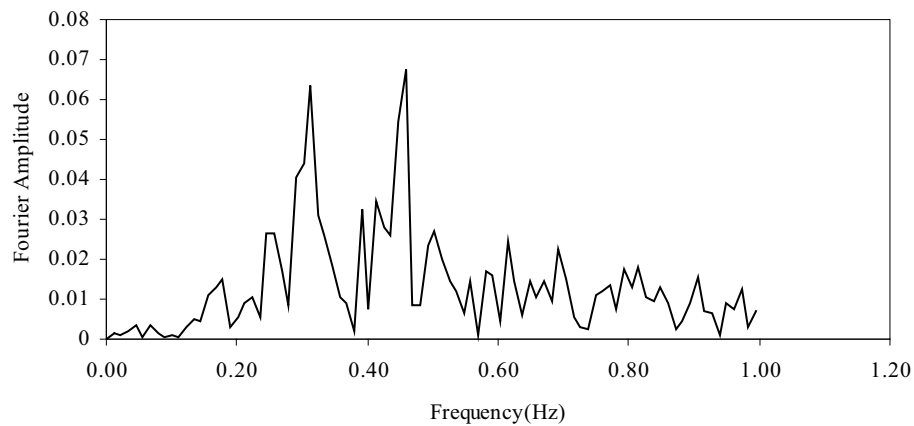
การประเมินความสามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างเนื่องจากแผ่นดินไหวของโครงสร้างที่ระดับความรุนแรงของการสั่นไหวต่าง ๆ ใช้ 1) ข้อมูลการสั่นไหวของ El Centro earthquake, California, 1940 2) แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร 7

คลื่น (Kiattivisanchai, 2001) และ 3) ข้อมูลการสั่นไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึก ไบหยก1 สำหรับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อ 22 กันยายน 2546 แสดงดังรูปที่ 2.1ก ซึ่งข้อมูลการสั่นไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกไบหยก1 เมื่อนำไปแปลงฟูเรียร์ พบว่าข้อมูลดังกล่าวถูกขยายโดยคาบการสั่นไหวโหมดที่ 1 และโหมดที่ 2 ของอาคาร แสดงดังรูปที่ 2.1ข

การแปลงขนาดของการสั่นไหวให้มีค่าความเร่งสูงสุดเหมาะสมกับขนาดการสั่นไหวของกรุงเทพ พบว่าค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดิน(ชั้นดินแข็ง) ของบริเวณกรุงเทพที่มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดมีค่าเกินกว่าที่ระบุ 50% 10% 5% และ 2% ในช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี หรือเทียบเท่าคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 500 1,000 และ 2,500 ปี ตามลำดับมีค่าเท่ากับ 0.019g 0.043g 0.056g และ 0.075g ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของการขยายการสั่นไหวของชั้นดินบริเวณกรุงเทพซึ่งเป็นดินอ่อนก็จะส่งผลให้ค่าความเร่งสูงสุดของชั้นดินมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.072g 0.14g 0.18g และ 0.22g ตามลำดับ ซึ่งในการวิจัยนี้พิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของชั้นดิน 4 ค่าดังกล่าว จะสังเกตได้ว่าชั้นดินอ่อนบริเวณกรุงเทพสามารถขยายคลื่นแผ่นดินไหวได้ประมาณ 3-4 เท่า

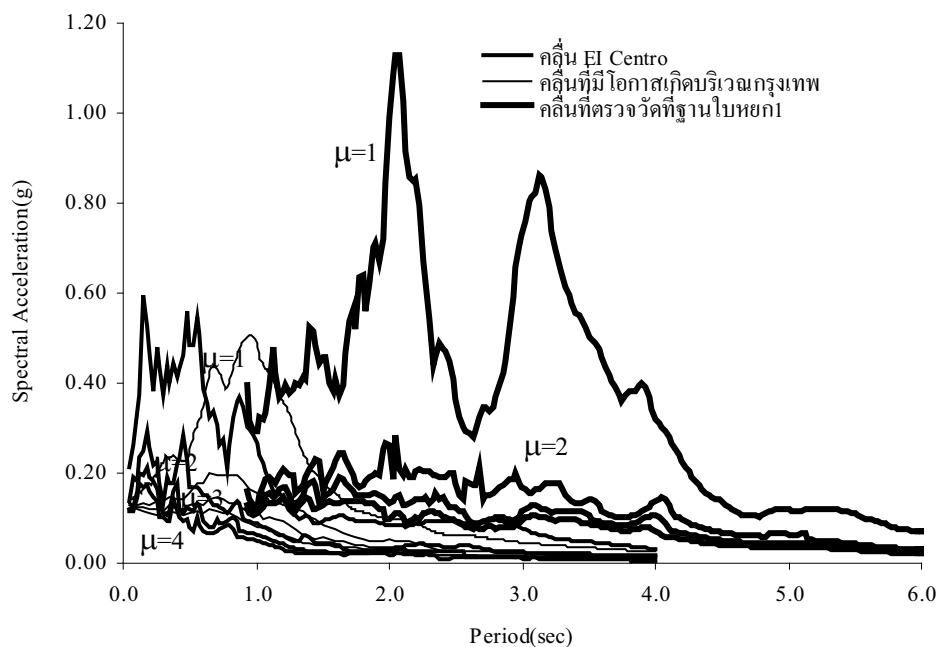


รูปที่ 2.1ก แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหวที่ผิวดินที่คาบการเกิดซ้ำ 500 ปี ที่แปลงขนาดการสั่นไหว
 (ก) คลื่น El Centro (แปลงขนาดการสั่นไหวจาก 0.319g เป็น 0.14g) (ข) คลื่นที่มีโอกาสเกิด
 บริเวณกรุงเทพ (ค) คลื่นที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก 1 (แปลงขนาดการสั่นไหวจาก 0.5%g เป็น
 0.14g)



รูปที่ 2.1 ข การแปลงฟูเรียร์ของข้อมูลการสั่นไหวตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับเหตุการณ์แผ่นดินไหวเมื่อ 22 กันยายน 2546

Elastic Response Spectrum และ Inelastic Response Spectrum ของอัตราส่วนความเหนียวต่างๆ กรณีความน่าจะเป็นของการเกิดมีค่าเกินกว่าที่ระบุ 10% หรือเทียบเท่าคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี แสดงดังรูปที่ 2.2 จากนั้นทำการแปลง Response Spectra ดังกล่าวเป็น Demand curve แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ Capacity curve เพื่อประเมินความสามารถของอาคาร



รูปที่ 2.2 Elastic and Inelastic Response Spectra ของคลื่นแผ่นดินไหว EI Centro คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก 1 กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1-4

2.2 Demand Spectrum

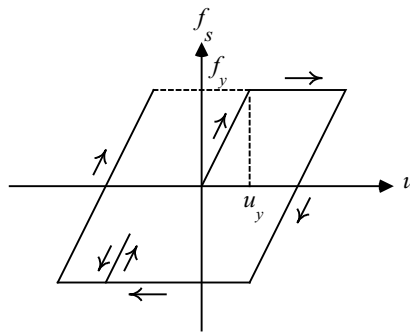
Demand spectrum สามารถหาได้จาก Constant ductility inelastic response spectrum ที่แสดงอยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์ของ Spectral acceleration (S_a) และ Spectral displacement (S_d) ซึ่ง Constant ductility inelastic response spectrum จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังครากของระบบ Single degree of freedom (SDOF) กับฟังก์ชันของคาบการสั่นไหวตามธรรมชาติ (Natural period) นอกจากนี้แบบจำลอง Hysteretic ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของระบบยังเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้าง Constant ductility inelastic response spectrum ซึ่งรูปแบบของ Hysteretic ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแบบ Elastoplastic แสดงดังรูปที่ 2.3 และข้อมูลแผ่นดินไหวที่ใช้ในการสร้าง Constant ductility inelastic response spectrum จะใช้ข้อมูลการสั่นไหวของ El Centro earthquake, California, 1940 โดยจะทำการแปลงขนาดของการสั่นไหวให้มีค่าความเร่งสูงสุด (Peak acceleration) มีความเหมาะสมกับขนาดการสั่นไหวของกรุงเทพ ซึ่งจากการศึกษาของ Warnitchai และคณะ (2000) พบว่าค่าความเร่งสูงสุดของชั้นดินของบริเวณกรุงเทพที่โอกาสการเกิดมีค่าเกิน 50% 10% 5% และ 2% ของการเกิดแผ่นดินไหวในรอบ (Exposure period) 50 ปี มีค่าเท่ากับ 0.019g 0.043g 0.056g และ 0.075g ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลของการขยายการสั่นไหวของชั้นดินบริเวณกรุงเทพ ซึ่งเป็นดินอ่อนก็จะส่งผลให้ค่าความเร่งสูงสุดของชั้นดินมีค่ามากกว่าค่าความเร่งสูงสุดของชั้นหิน สำหรับค่าความเร่งสูงสุดของชั้นดินกรณีค่าความเร่งสูงสุดของชั้นหินมีค่า 0.019g 0.043g 0.056g และ 0.075g จะมีค่าเท่ากับ 0.072g 0.14g 0.18g และ 0.22g ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งในการศึกษานี้จะพิจารณาค่าความเร่งสูงสุดของชั้นดิน 4 ค่าดังกล่าว ขั้นตอนการสร้าง Inelastic response spectrum สามารถทำได้ดังนี้

- กำหนดข้อมูลความเร่งของการสั่นไหวเนื่องจากแผ่นดินไหว, $\ddot{u}_g(t)$
- กำหนดค่า Damping ratio, ξ
- กำหนดคาบการสั่นไหวตามธรรมชาติ, T_n
- หาผลตอบสนองของระบบ $u(t)$ ในช่วงอีลาสติกที่สอดคล้องกับค่า T_n และ ξ ที่กำหนดไว้ และหาค่าการเสียรูปสูงสุด u_o พร้อมกับแรงสูงสุด $f_o = ku_o$
- กำหนดค่าอัตราส่วนของกำลังคราก $\bar{f}_y$, $\bar{f}_y = \frac{f_y}{f_o}$; $\bar{f}_y < 1$
- หาผลตอบสนองของระบบ $u(t)$ ในช่วงอินอีลาสติกสอดคล้องกับค่า T_n , ξ และแรงที่จุดคราก $f_y = \bar{f}_y \cdot f_o$ และหาค่าการเสียรูปสูงสุด u_m พร้อมทั้งค่า Ductility factor , $\mu \left(\mu = \frac{u_m}{u_o} \cdot \frac{1}{\bar{f}_y} \right)$
- ทำซ้ำ เพื่อให้มีข้อมูลระหว่าง $\bar{f}_y$ และ μ เพียงพอและครอบคลุม Ductility factor ที่สนใจ
- ทำซ้ำเพื่อให้ครอบคลุมคาบการสั่นไหวตามธรรมชาติ, T_n ที่ต้องการ

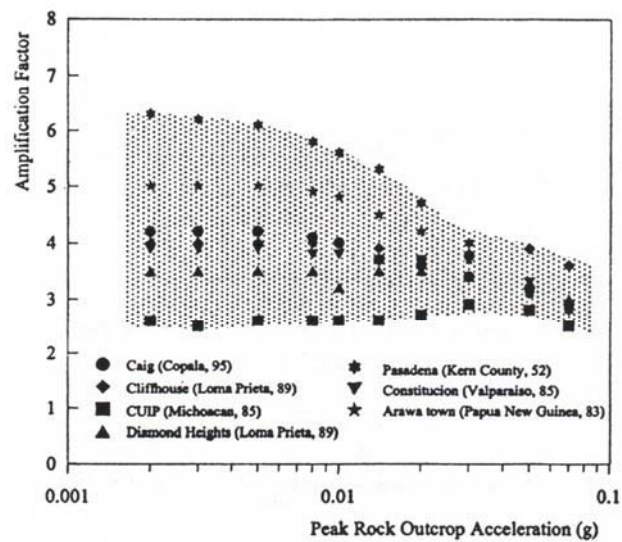
-เลือกค่า Ductility factor, μ ที่ต้องการแล้วนำไปหา $\bar{f}_y$ หากมีค่า $\bar{f}_y$ มากกว่าหนึ่งค่า ให้เลือกค่าที่มากที่สุด

-นำค่า $\bar{f}_y$ ที่ค่าการสั่นไหวตามธรรมชาติ, T_n ต่างๆ ที่สอดคล้องกับ Ductility factor, μ ที่ต้องการไปหาการเสียรูปที่จุดครากได้จาก $u_y = \bar{f}_y \cdot u_o$ และนำค่าการเสียรูปที่จุดครากไปหาค่าความเร่งที่จุดครากได้จาก $\ddot{u}_y = \omega^2 u_y$

-นำค่า u_y และ $\ddot{u}_y$ ไปสร้าง Demand spectrum



รูปที่ 2.3 Hysteretic ที่แสดงพฤติกรรมแบบ Elastoplastic



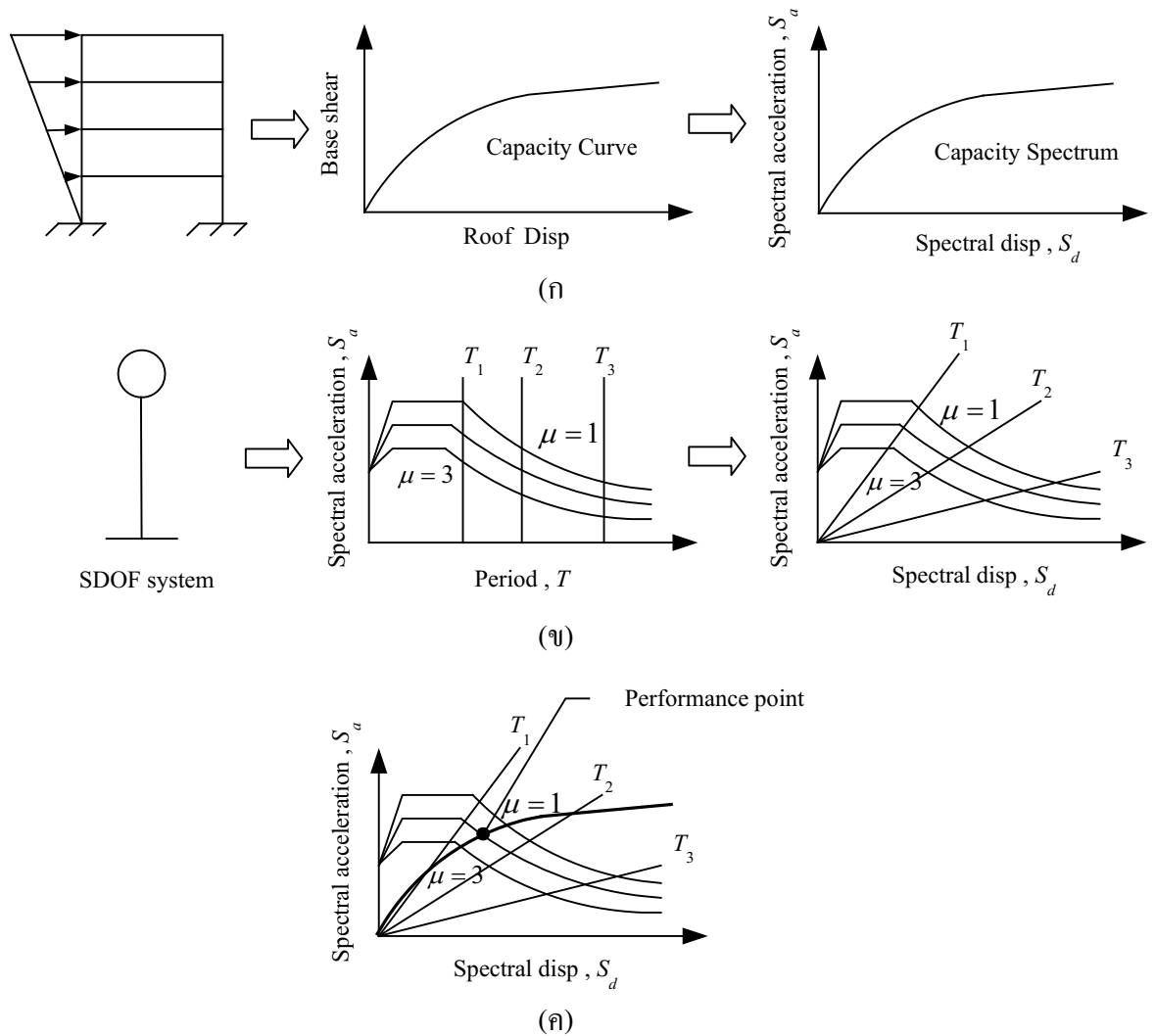
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Amplification factor กับ ค่าความเร่งสูงสุดของชั้นหิน บริเวณ
กรุงเทพฯ (Warnitchai et al., 2000)

2.3 Acceleration-Displacement Response Spectral (ADRS)

การหาตำแหน่งของแรงกระทำด้านข้างสูงสุดและการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารสูงสุดที่โครงสร้างสามารถรับได้ก่อนเกิดการพังทลายภายใต้แรงแผ่นดินไหว (Performance point) จำเป็นต้องใช้ Capacity curve และ Demand spectrum ที่อยู่ในรูปของ Spectral acceleration (S_a) และ Spectral displacement (S_d) ดังได้กล่าวในข้างต้น ซึ่งความสัมพันธ์ที่แสดงในรูปแบบของ Spectral acceleration (S_a) และ Spectral displacement (S_d) จะเรียกว่า Acceleration-Displacement Response Spectral (ADRS) การแปลง Capacity curve ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Nonlinear Static Pushover ให้อยู่ในรูปแบบดังกล่าวจะเป็นการแปลง Capacity curve ของอาคารหลายชั้นให้เป็น Capacity curve เทียบเท่าของระบบ Single degree of freedom (SDOF) แสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งค่าแรงเฉือนที่ฐานอาคารและการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารที่จุดใดๆ สามารถเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ ADRS ได้โดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1}$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{1,roof}}$$



รูปที่ 2.5 แสดงการแปลง Capacity curve และ Demand spectrum เปลี่ยนเป็นรูปแบบของ ADRS

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g}$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]}$$

โดยที่	S_a	คือ Spectral acceleration
	S_d	คือ Spectral displacement
	PF_1	คือ สัมประสิทธิ์ Modal participation สำหรับความถี่ธรรมชาติลำดับที่หนึ่งของโครงสร้าง
	α_1	คือ สัมประสิทธิ์ Modal mass สำหรับความถี่ธรรมชาติลำดับที่หนึ่งของโครงสร้าง
	w_i / g	คือ มวลของชั้น i
	ϕ_{i1}	คือ รูปแบบการเสยรูปของโครงสร้างภายใต้ความถี่ธรรมชาติลำดับที่หนึ่งของโครงสร้างของชั้น i
	N	คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคาร
	V	คือ แรงเฉือนที่ฐานของอาคาร
	W	คือ น้ำหนักโครงสร้างรวมกับน้ำหนักบรรทุกจรขณะเกิดแผ่นดินไหว
	Δ_{roof}	คือ การเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคาร

นอกจากนี้ยังต้องทำการแปลง Demand spectrum ที่อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Acceleration spectral (S_a) กับคาบ (Period) ให้อยู่ในรูปแบบของ ADRS แสดงดังรูปที่ 2.5 โดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$S_d = \left[\left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 S_a g \right] \mu$$

บทที่ 3

ตัวอย่างการประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหว ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน

3.1 การประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหวอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ระบบคาน-เสา 9 ชั้น

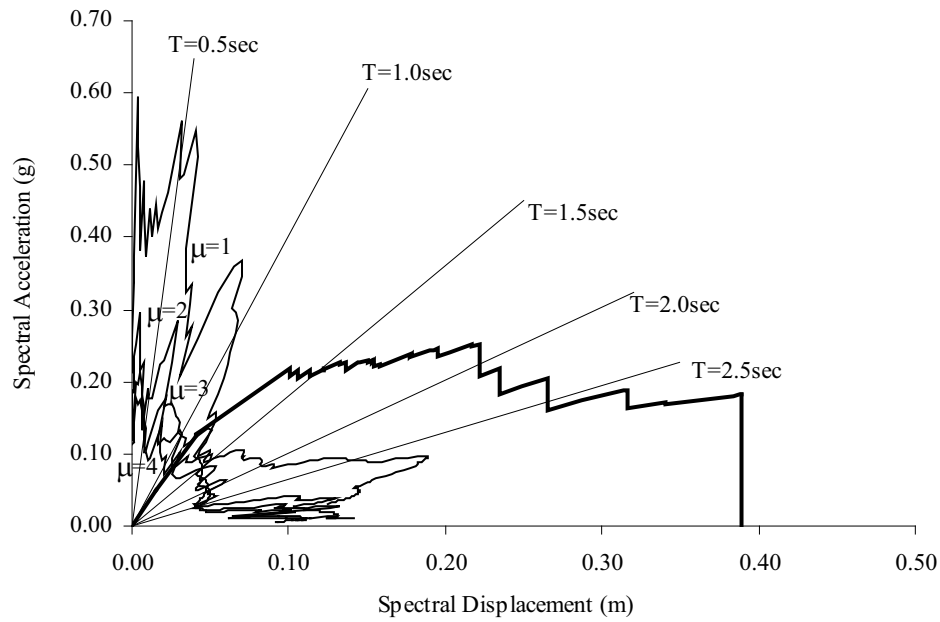
การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 9 ชั้น (ชูพล, 2547) โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง Capacity curve กับ Demand curve ที่อยู่ในรูปความสัมพันธ์ของ Spectral acceleration (S_a) และ Spectral displacement (S_d)

3.1.1 ผลของอัตราส่วนความเหนียวของอาคารต่อการตอบสนอง

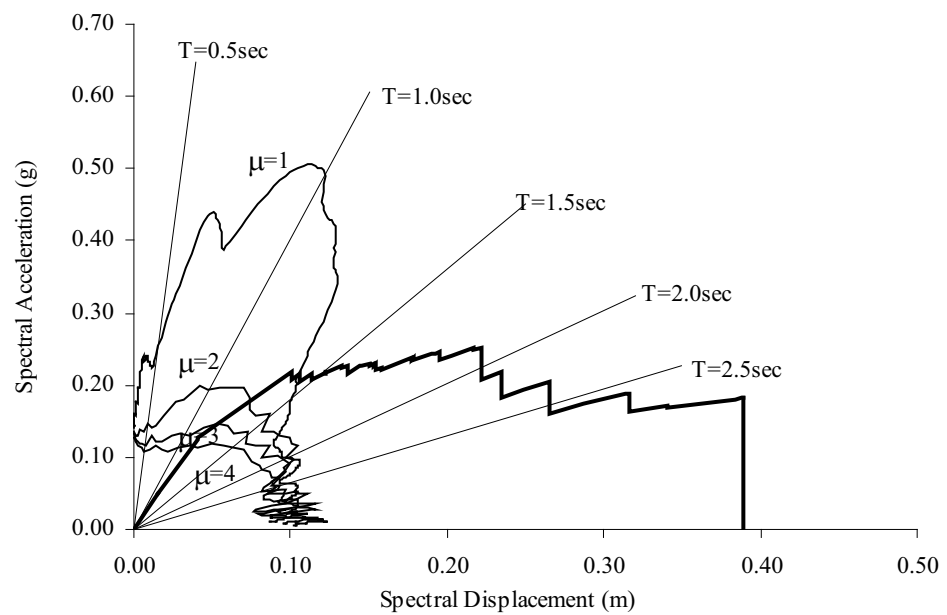
Demand curve ที่พิจารณาอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 2 3 และ 4 แสดงถึงกำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวและการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารที่อาคารจำเป็นต้องมีหากต้องการให้อาคารมีความเหนียวที่วัดในรูปของอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 2 3 และ 4 ตามลำดับ หรือยอมให้องค์อาคารเสียรูปเกินช่วงอีลาสติกได้จนถึงอัตราส่วนความเหนียวที่พิจารณา ดังนั้น Demand curve ที่มีค่าอัตราส่วนความเหนียวสูงๆ จึงมีขนาดเล็กลง

การประเมินอาคารตัวอย่าง 9 ชั้น เมื่อพิจารณาผลของ Rigid Beam-Column Joint และฐานรากชนิดเสาเข็ม ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro แสดงให้เห็นว่า Demand curve ที่มีค่าอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 2 3 และ 4 ตัดกับ Capacity curve ในบริเวณที่อาคารยังคงเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติกดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย แสดงดังรูปที่ 3.1 ส่วนการประเมินภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร แสดงให้เห็นว่า Demand curve ที่มีค่าอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 4 ตัดกับ Capacity curve ในบริเวณที่อาคารยังคงเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติกดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย และผลประเมินของอัตราส่วนความเหนียว 2 และ 3 คือเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 แสดงดังรูปที่ 3.2 สังเกตเห็นได้ว่าคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานครทำให้อาคารตัวอย่าง 9 ชั้น มีความเสียหายมากกว่าคลื่นแผ่นดินไหว El Centro ที่ระดับขนาดการสั่นไหวเท่ากัน

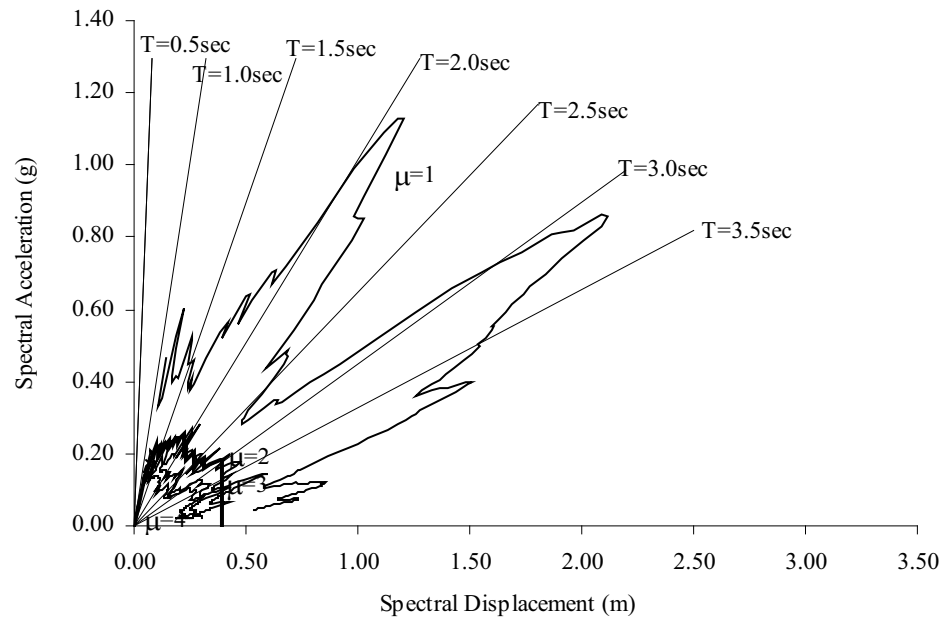
การประเมินอาคารตัวอย่าง 9 ชั้น ภายใต้อิทธิพลแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกโบสถ์1 แสดงให้เห็นว่า Demand curve ที่มีค่าอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 2 3 และ 4 อาคารเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี สำหรับอัตราส่วนความหนียวเท่ากับ 1-4



รูปที่ 3.2 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี สำหรับอัตราส่วนความหนียวเท่ากับ 1-4



รูปที่ 3.3 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1-4

3.1.2 ผลของการคาดการณ์การเกิดซ้ำต่อการตอบสนอง

การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 9 ชั้น ช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี เมื่อพิจารณารายละเอียดการเสริมเหล็กบริเวณจุดต่อเสา-คาน เช่น พิจารณาผลของเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่า 0.003 พิจารณาเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่าเท่ากับ 0 พิจารณาระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่า 24db พิจารณาระยะฝังเหล็กกลางบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่าเท่ากับ 15 ซม. กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 500 1,000 และ 2,500 ปีโดยใช้อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สำหรับทุกระดับความรุนแรงของการสั่นไหวต่างๆ ภายได้เคลื่อนแผ่นดินไหว El Centro เคลื่อนแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และเคลื่อนแผ่นดินไหวที่วัดได้ตึกใบหยก1 ได้ผลดังนี้

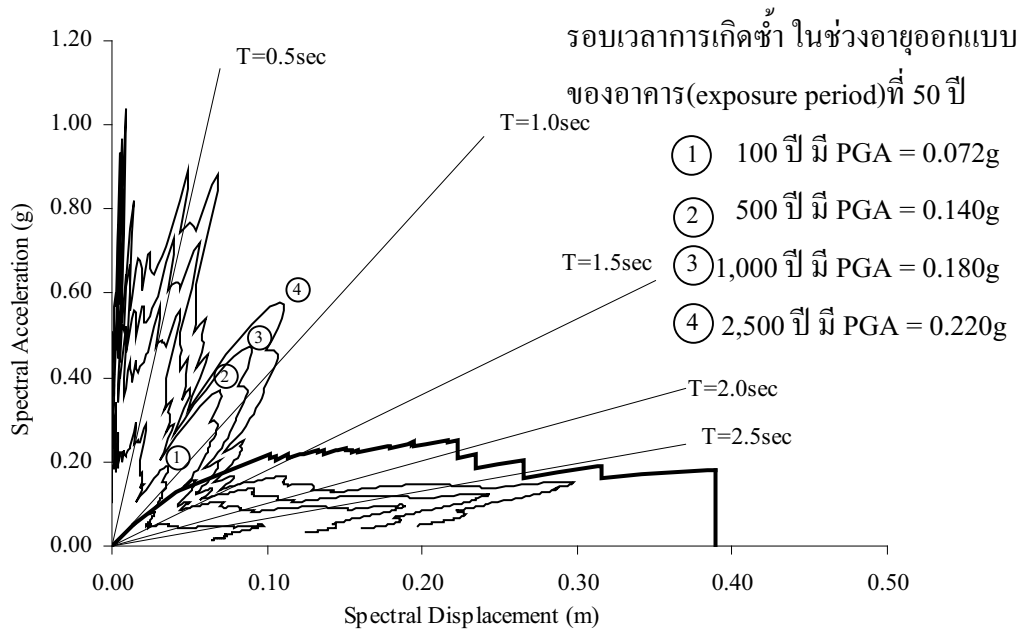
ผลของเหล็กปลอกบริเวณจุดต่อเสา-คาน

พิจารณาผลของเหล็กปลอกบริเวณจุดต่อเสา-คาน สามารถประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง ดังนี้

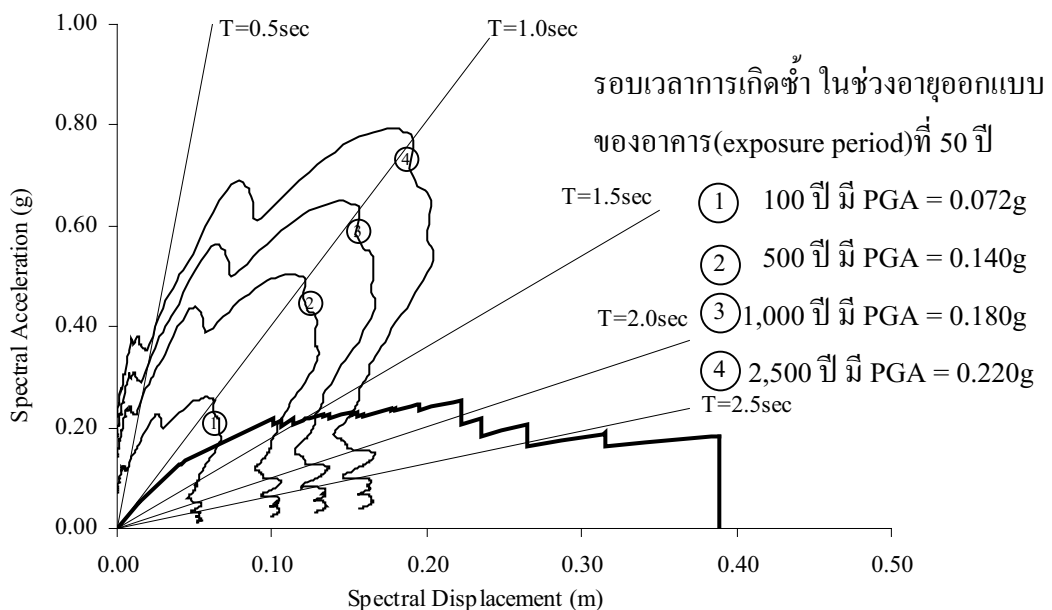
- กรณีพิจารณาอัตราส่วนเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่า 0.003

พิจารณาค้นแผ่นดินไหว El Centro โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย เนื่องจากตำแหน่งที่ Demand curve ตัดกับ Capacity curve อาคารยังคงเกิดการเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี และ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะแตกร้าวตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึง 7 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 แสดงดังรูปที่ 3.4

พิจารณาค้นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 การแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 1 และ 3 ถึง 7 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 1 และ 5 แสดงดังรูปที่ 3.5

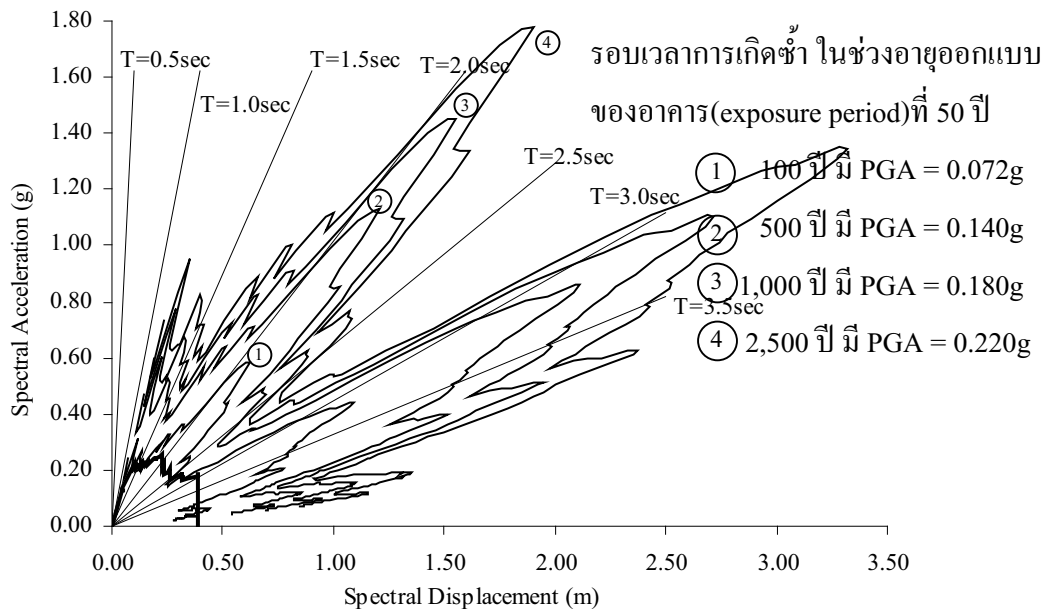


รูปที่ 3.4 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทางในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน 45 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทางในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน 45 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)

พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500, 1,000 และ 2,500 ปี โครงสร้างเกิดการวิบัติที่เสาชั้นล่างสุด แสดงดังรูปที่ 3.6

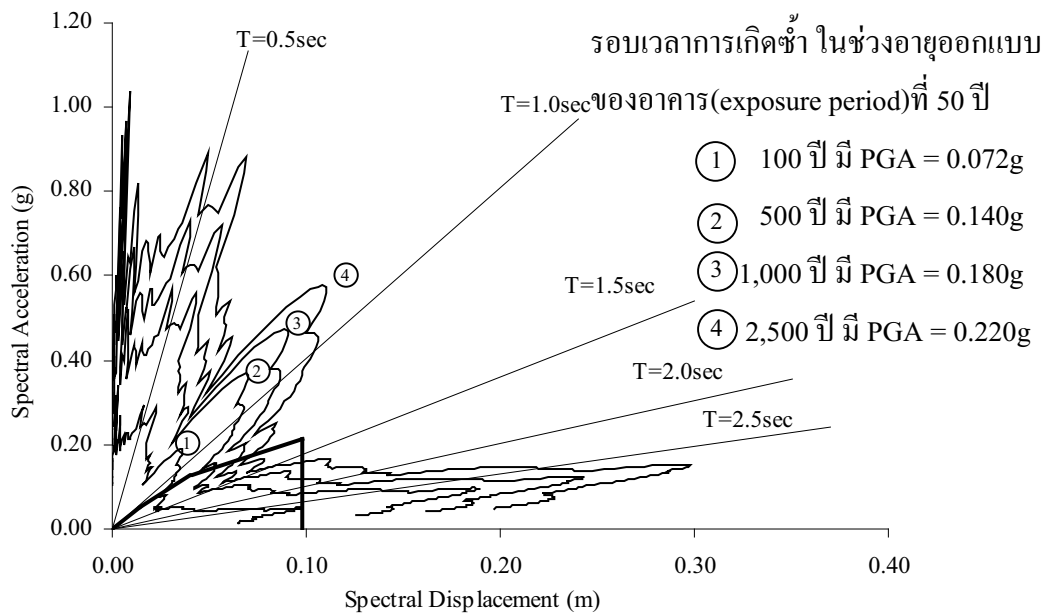


รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ คลิ้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1(ระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน 45 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)

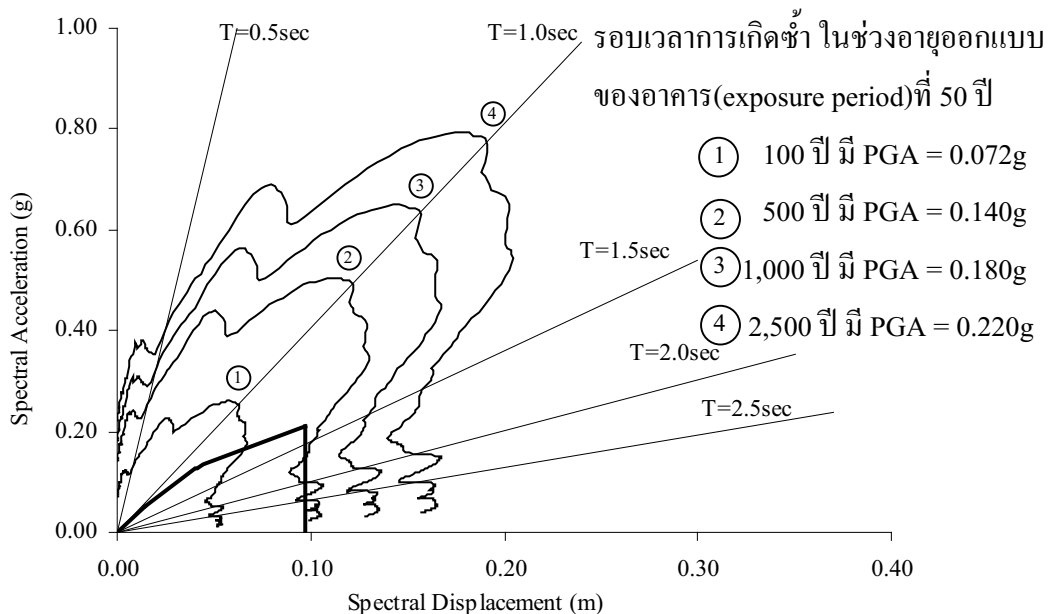
- กรณีพิจารณาอัตราส่วนเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่าเท่ากับ 0

พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหว El Centro โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี โดยรวมแล้วอาคารตัวอย่างที่ใช้ศึกษานี้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่เหมือนกับกรณีพิจารณาอัตราส่วนเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่า 0.003 แสดงดังรูปที่ 3.7

พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำมากกว่า 500 ปี โครงสร้างวิบัติที่จุดต่อเสา-คาน ชั้น3 แสดงดังรูปที่ 3.8

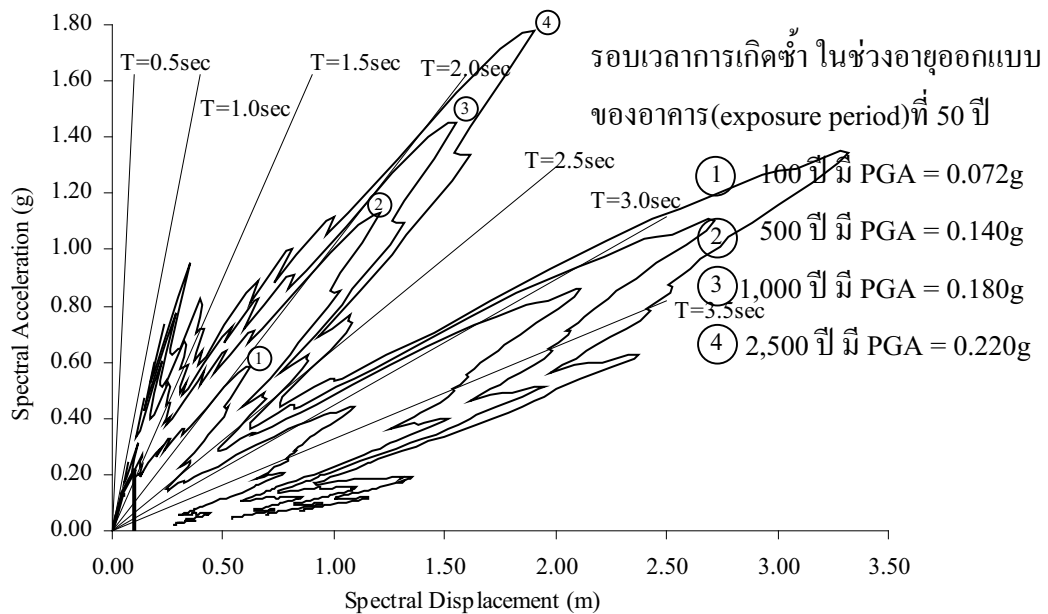


รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน 45 db ไม่มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน 45 db ไม่มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)

พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 1,000 และ 2,500 ปี โครงสร้างวิบัติที่จุดต่อเสา-คาน ชั้น3 แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลิ้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทางในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน 45 db ไม่มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)

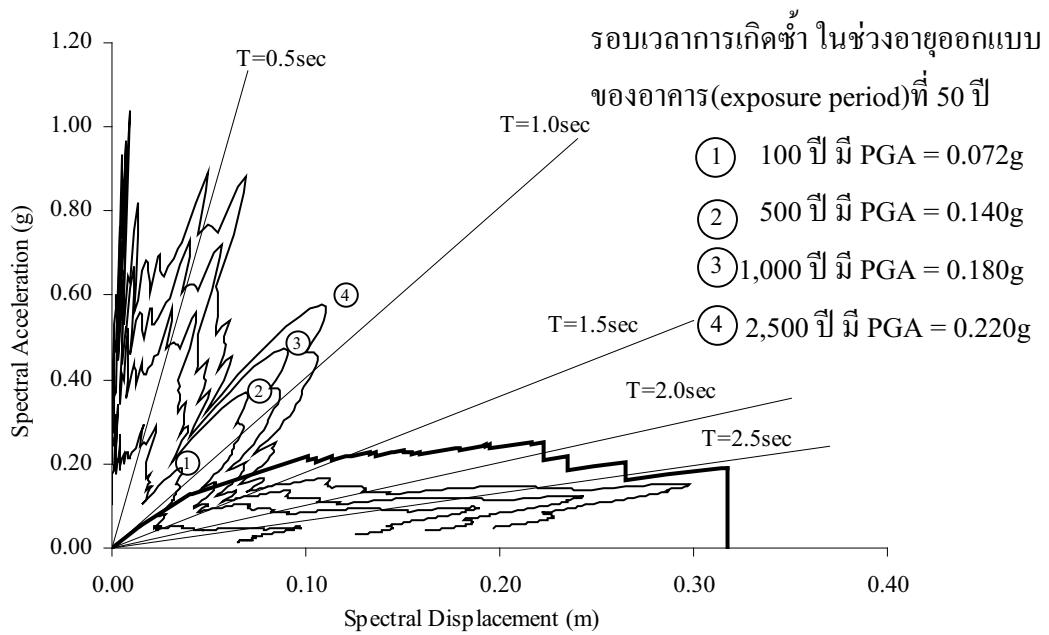
ผลของระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน

ผลของระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน เมื่อพิจารณาระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่า 24db และอัตราส่วนเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่า 0.003 การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง สำหรับคลื่นแผ่นดินไหว El Centro คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 พบว่าความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ที่ระดับเดียวกับกรณีพิจารณาระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่า 45db และอัตราส่วนเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่า 0.003 ดังนี้

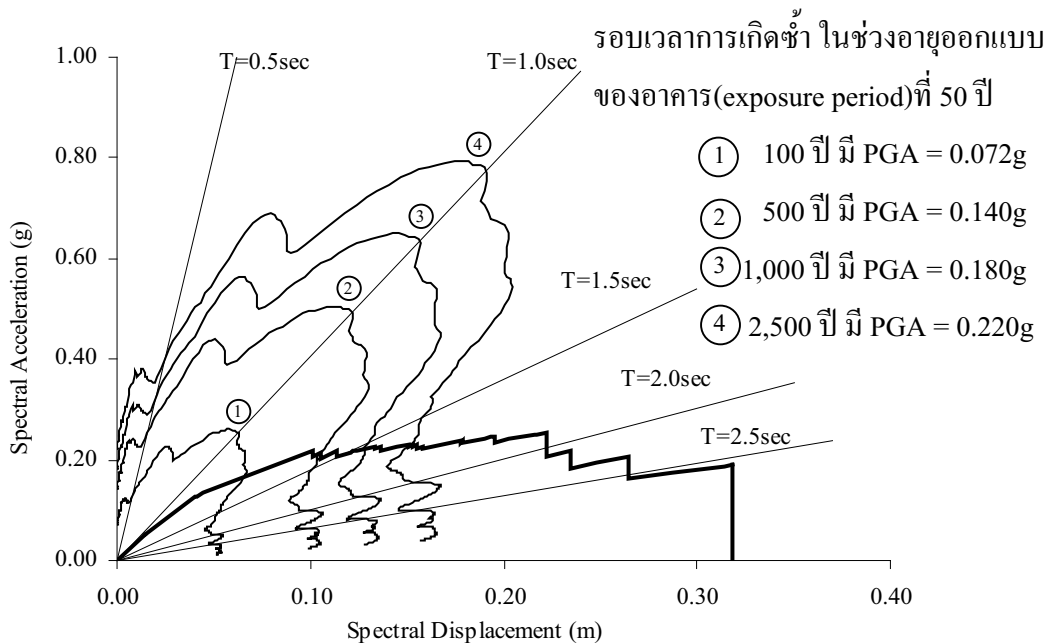
พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหว El Centro โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย เนื่องจากตำแหน่งที่ Demand curve ตัดกับ Capacity curve อาคารยังคงเกิดการเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี และ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะแตกร้าวตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึง 7 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 แสดงดังรูปที่ 3.10

พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 การแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 1 3 ถึง 7 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.11

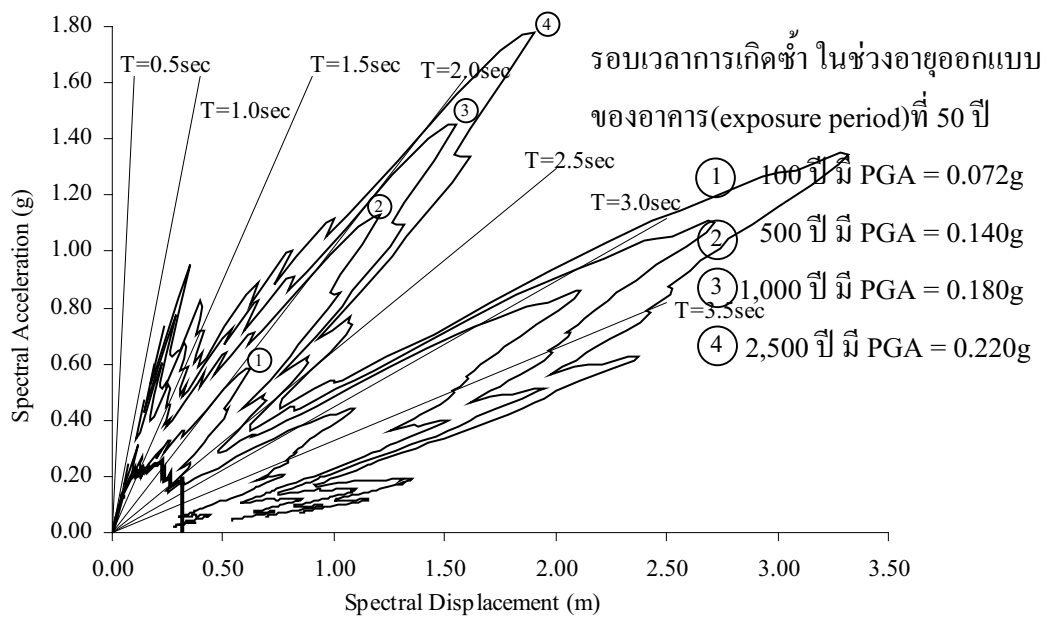
พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 1,000 และ 2,500 ปี โครงสร้างเกิดการวิบัติที่เสาชั้นล่างสุด แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทางในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน 24db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



รูปที่ 3.11 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทางในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน 24db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



รูปที่ 3.12 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทางในเสาบริเวณจุดต่อ เสา-คาน 24db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)

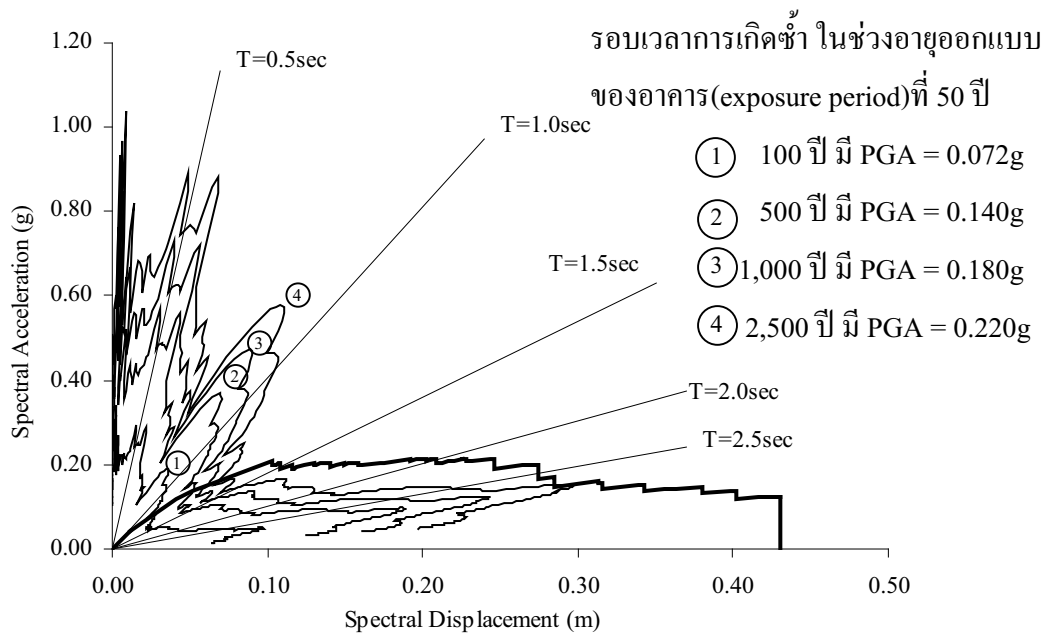
ผลของความไม่ต่อเนื่องของเหล็กกล่องบริเวณจุดต่อเสา-คาน

ผลของความไม่ต่อเนื่องบริเวณจุดต่อเสา-คาน เมื่อพิจารณาระยะฝั่งเหล็กกล่องบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่าเท่ากับ 15 ซม. ระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่า 45db และอัตราส่วนเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่า 0.003 ประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง ดังนี้

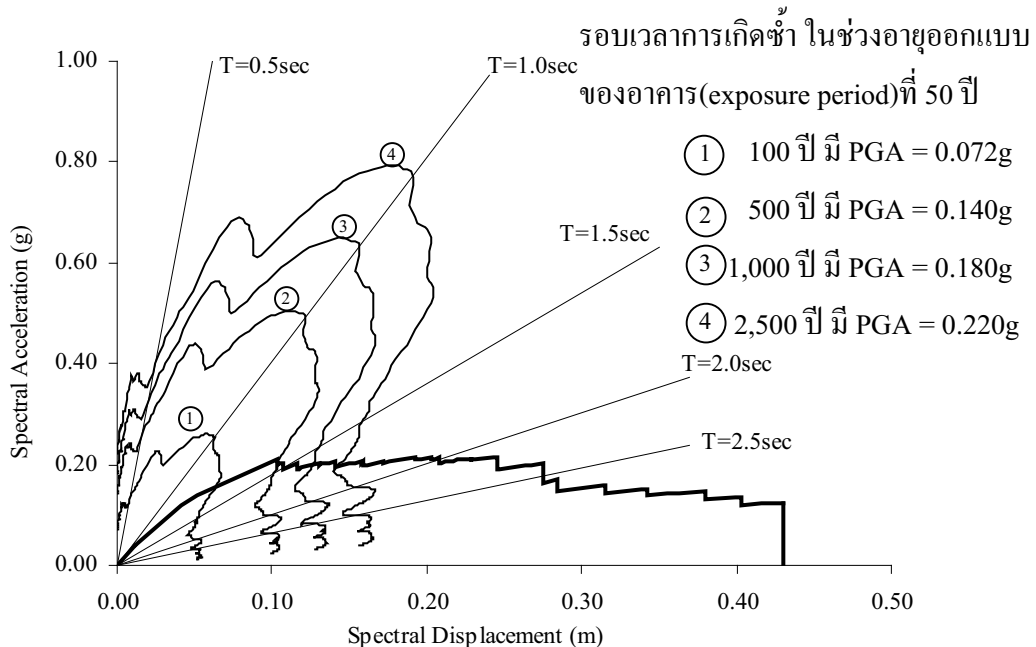
พิจารณาลิ้นแผ่นดินไหว El Centro โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย เนื่องจากตำแหน่งที่ Demand curve ตัดกับ Capacity curve อาคารยังคงเกิดการเสียรูปอยู่ในช่วงอิลาสติก เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปีกำแพงอิฐก่อจะแตกร้าวตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึง 7 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี องค์อาคารจะเกิดความเสียหายอย่างมากคือ การวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 1-7 ร่วมกับการวิบัติของคาน B4 ชั้นที่ 2-6 และคาน B3 ชั้นที่ 3 และ 4 ทำให้ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างลดลง แสดงดังรูปที่ 3.13

พิจารณาลิ้นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปีโดยรวมแล้วอาคารตัวอย่างที่ใช้ศึกษานี้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับกรณีพิจารณาพิจารณาเหล็กกล่องบริเวณจุดต่อเสา-คานมีความต่อเนื่องระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่า 45db และอัตราส่วนเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่า 0.003 ปี กล่าวคือกรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย เนื่องจากตำแหน่งที่ Demand curve ตัดกับ Capacity curve เทียบเท่ากันนั้น อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 การแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 1 3 ถึง 7 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.14

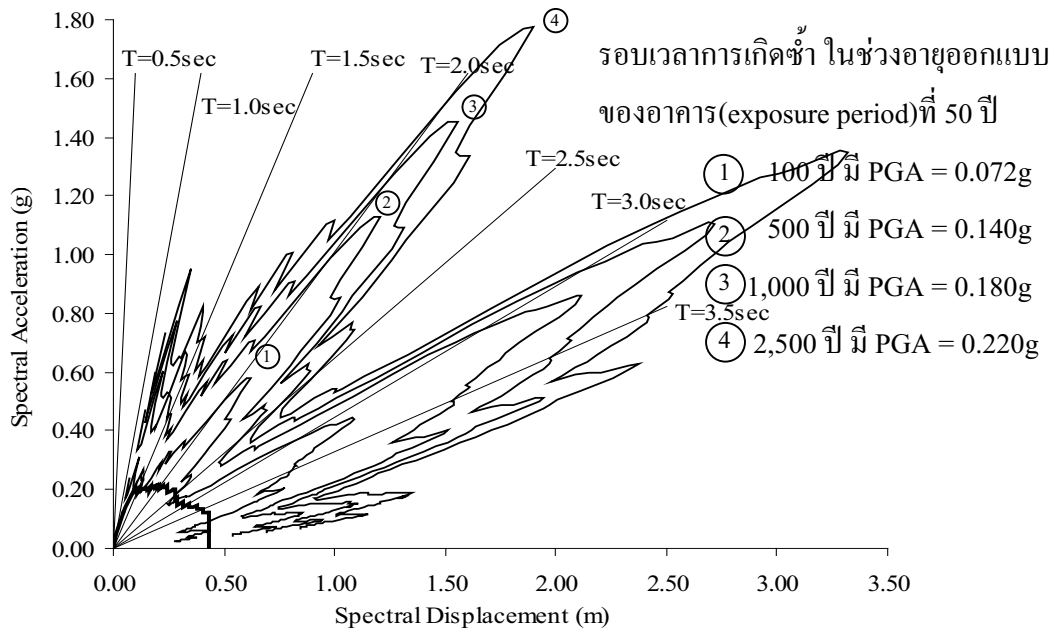
พิจารณาลิ้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 1,000 และ 2,500 ปี โครงสร้างเกิดการวิบัติที่เสาชั้นล่างสุด แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.13 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความหนึียวเท่ากับ 1 (ระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน 45 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน เหล็กกลางในคานไม่ต่อเนื่อง มีระยะฝัง 15 ซม.)



รูปที่ 3.14 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความหนึียวเท่ากับ 1 (ระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คาน 45 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน เหล็กกลางในคานไม่ต่อเนื่อง มีระยะฝัง 15 ซม.)



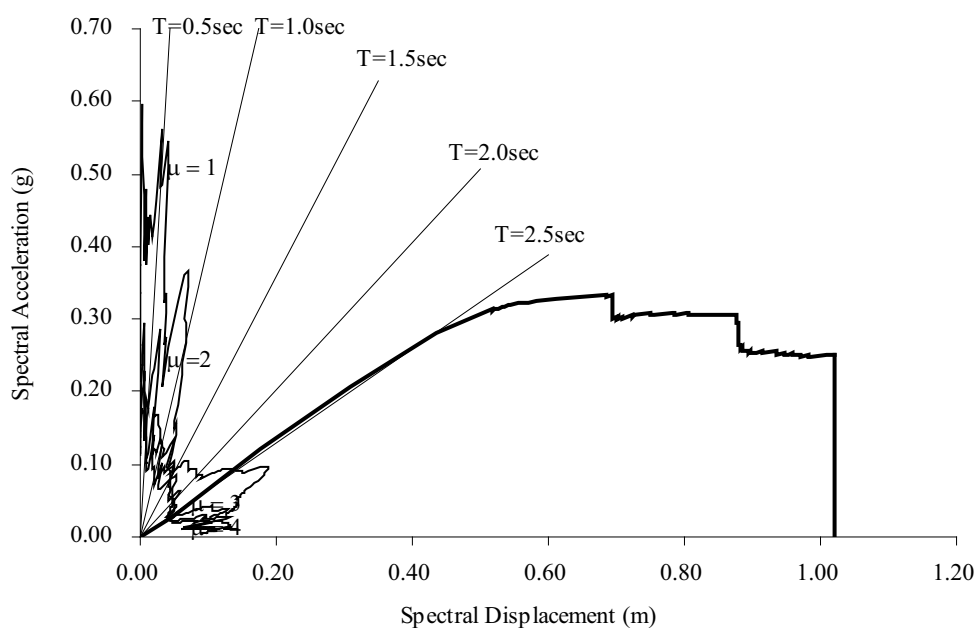
รูปที่ 3.15 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทางในเสาบริเวณจุดต่อ เสา-คาน 45 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน เหล็กกลางในคานไม่ต่อเนื่อง มีระยะฝัง 15 ซม.)

3.2 การประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหวอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ระบบคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน 20 ชั้น

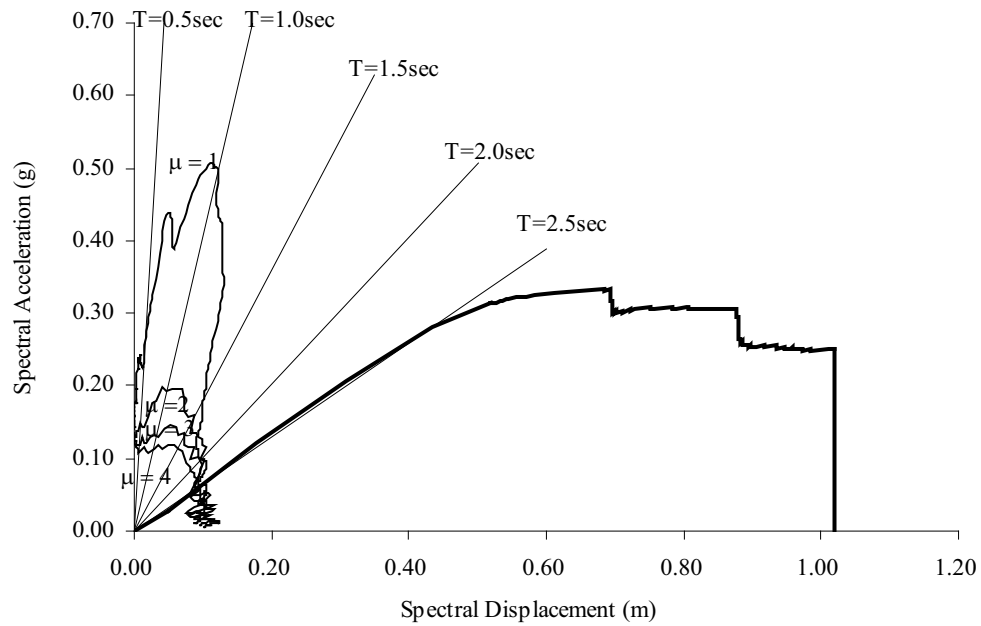
การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 20 ชั้น (ชูพล, 2547) โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง Capacity curve กับ Demand curve ที่อยู่ในรูปความสัมพันธ์ของ Spectral acceleration (S_a) และ Spectral displacement (S_d)

3.2.1 ผลของอัตราส่วนความหนืดของอาคารต่อการตอบสนอง

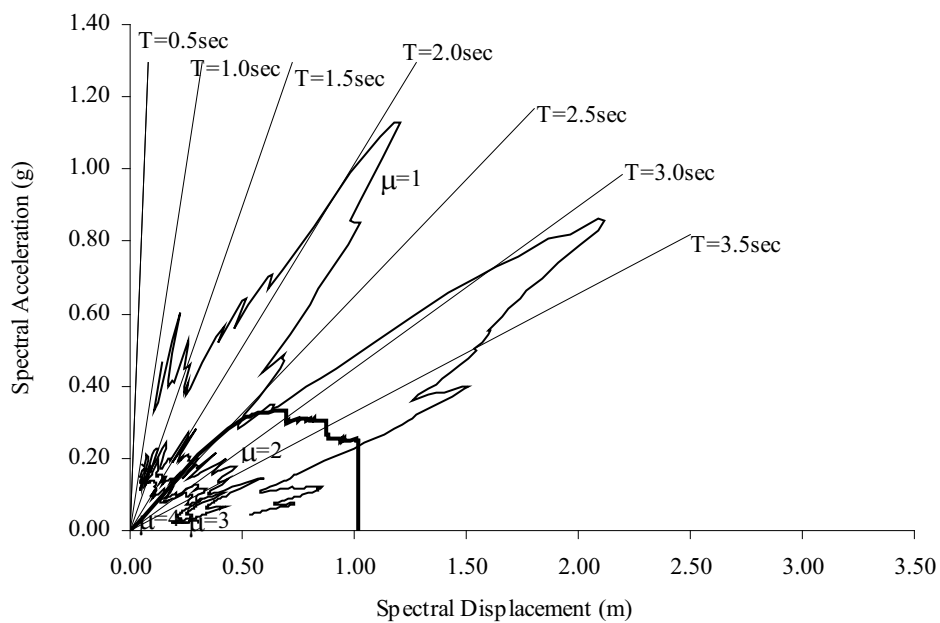
การประเมินอาคารตัวอย่าง 20 ชั้นเมื่อพิจารณาผลของ Rigid Beam-Column Joint และฐานรากชนิดเสาเข็ม ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 แสดงให้เห็นว่า Demand curve ที่มีค่าอัตราส่วนความหนืดเท่ากับ 2.3 และ 4 ตัดกับ Capacity curve ในบริเวณที่อาคารยังคงเสถียรอยู่ในช่วงฮิสเทรีติก ดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย แสดงดังรูปที่ 3.16 รูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.16 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี สำหรับอัตราส่วนความหนืดเท่ากับ 1-4



รูปที่ 3.17 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณ กรุงเทพมหานคร กรณีค่าการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1-4

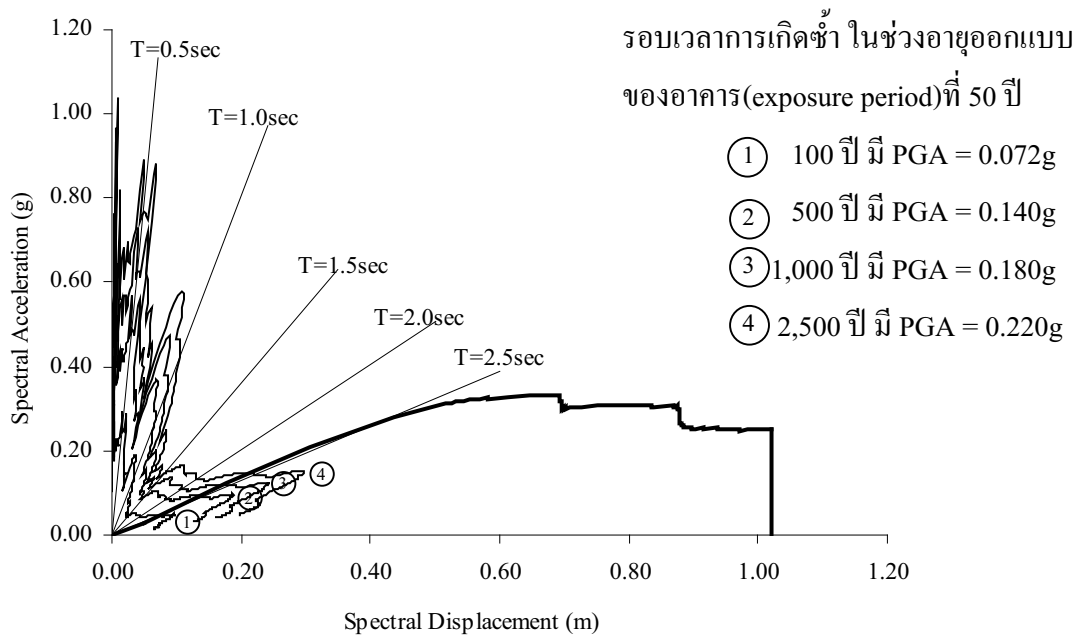


รูปที่ 3.18 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 กรณีค่าการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1-4

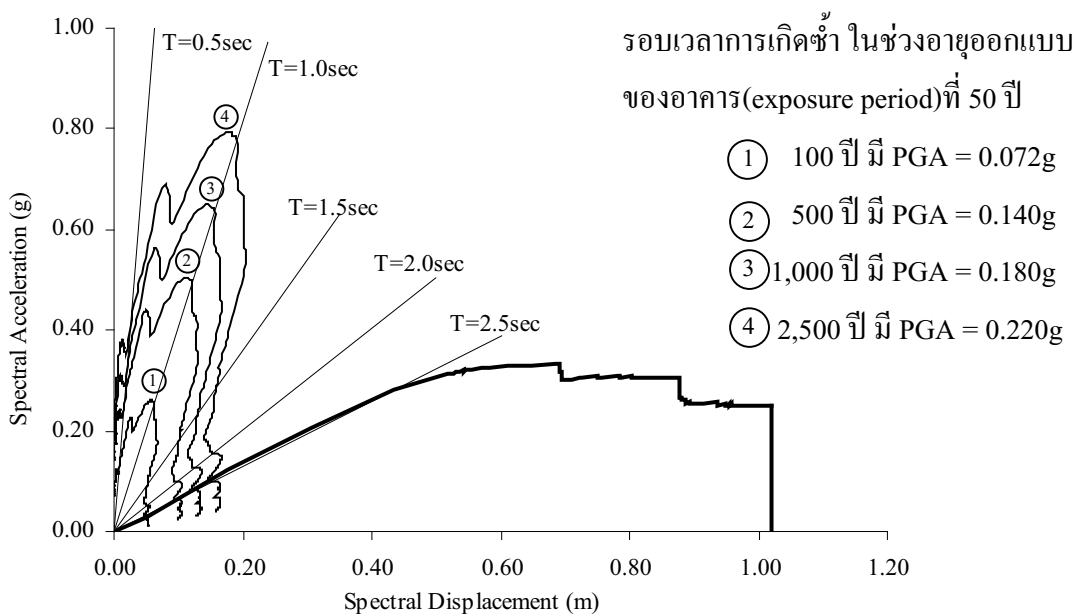
3.2.2 ผลของการเกิดซ้ำต่อการตอบสนอง

การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 20 ชั้น เมื่อพิจารณารายละเอียดการเสริมเหล็กบริเวณจุดต่อเสา-คาน ที่ช่วงอายุออกแบบ 50 ปี ใช้อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 กรณีการเกิดซ้ำประมาณ 100 500 1,000 และ 2,500 ปี ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 เมื่อพิจารณาผลของเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่า 0.003 แสดงดังรูปที่ 3.19 รูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21 เมื่อพิจารณาผลของเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่าเท่ากับ 0 แสดงดังรูปที่ 3.22 รูปที่ 3.23 และรูปที่ 3.24 เมื่อพิจารณาผลของระยะทาบในเสาบริเวณจุดต่อเสา-คานมีค่า 24db แสดงดังรูปที่ 3.25 รูปที่ 3.26 และรูปที่ 3.27 และเมื่อพิจารณาผลของความไม่ต่อเนื่องของเหล็กกลางบริเวณจุดต่อเสา-คาน โดยมีระยะฝังเท่ากับ 15 ซม. แสดงดังรูปที่ 3.28 รูปที่ 3.29 และรูปที่ 3.30 พบว่า เมื่อพิจารณาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro และคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร Demand curve ตัดกับ Capacity curve ในบริเวณที่อาคารยังคงเสถียรอยู่ในช่วง อีลาสติก ดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลยเมื่อรับแรงกระทำด้านข้างจากแรงแผ่นดินไหว ทั้งนี้เนื่องจากอาคารสูง 20 ชั้น ที่ศึกษามีความอ่อนตัว(มีคาบการสั่นไหว 2.50 วินาที) ทำให้อัตราเร่งของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหวมีค่าน้อย จึงทำให้แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารมีค่าน้อย นอกจากนี้อาคารในตัวอย่างนี้ได้ถูกออกแบบให้รับแรงกระทำทางด้านข้างจากแรงลม ซึ่งแรงกระทำทางด้านข้างจากแรงลมมีค่าแรงเฉือนที่ฐานมากกว่าแรงเฉือนที่ฐานที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวถึงประมาณ 3 เท่าและการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่ได้วิเคราะห์จากแรงลมมีค่ามากกว่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่ได้จากการวิเคราะห์จากแรงแผ่นดินไหวถึงประมาณ 3 เท่า ดังนั้นอาคารดังกล่าวสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ในระดับที่ปลอดภัย

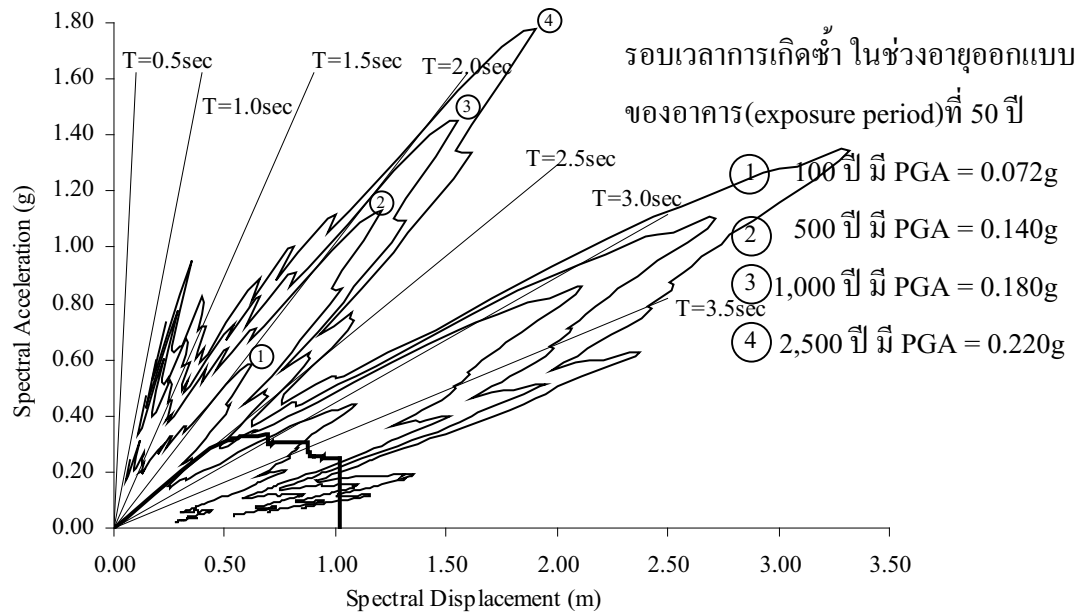
พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี Demand curve ตัดกับ Capacity curve ในบริเวณที่อาคารยังคงเสถียรอยู่ในช่วงอีลาสติก ดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย กรณีการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 20 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 4 ถึง 20 และการครากของคาน B2 ชั้นที่ 4 ถึง 20 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 และ 2,500 ปี โครงสร้างเกิดการวิบัติของกำแพงรับแรงเฉือน ชั้นที่ 9



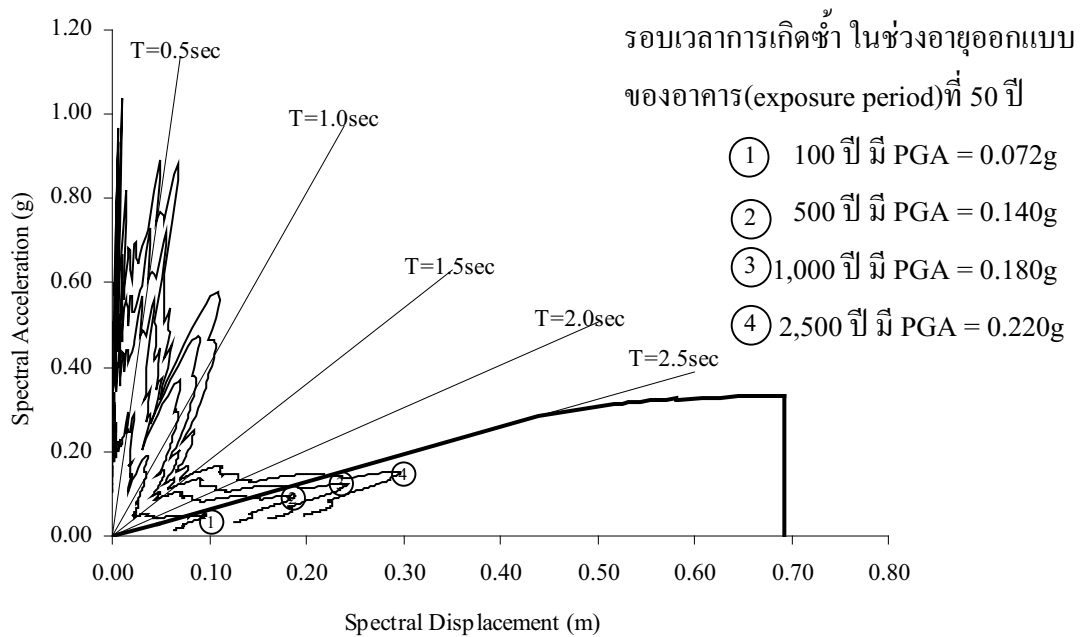
รูปที่ 3.19 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทาบในจุดต่อเสา-คาน 45 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



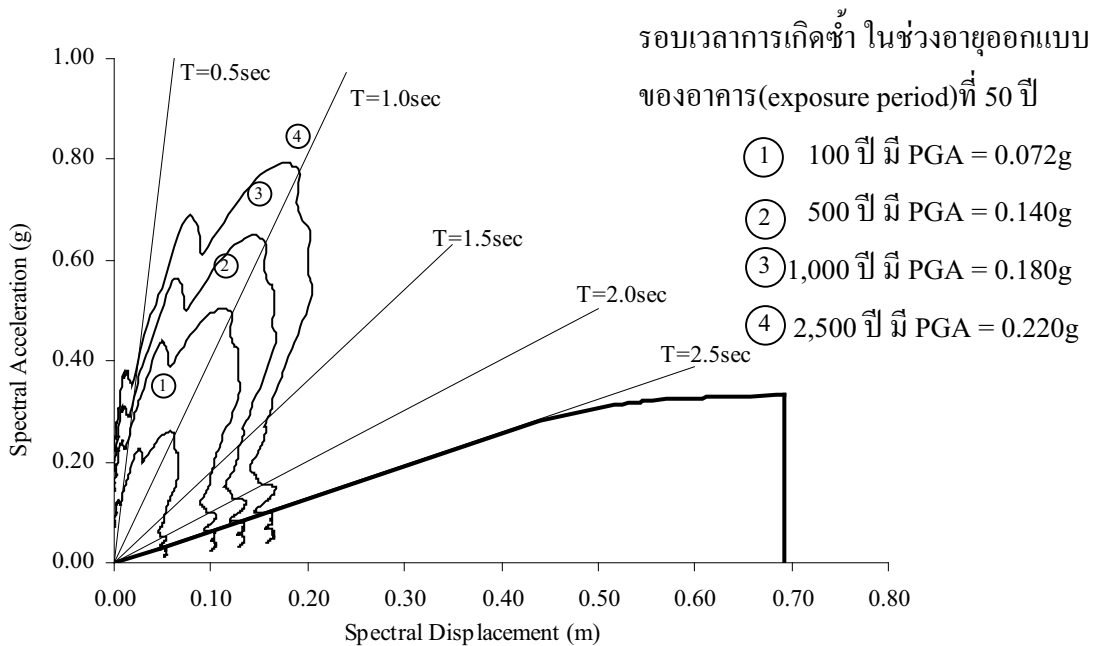
รูปที่ 3.20 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทาบในจุดต่อเสา-คาน 45 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



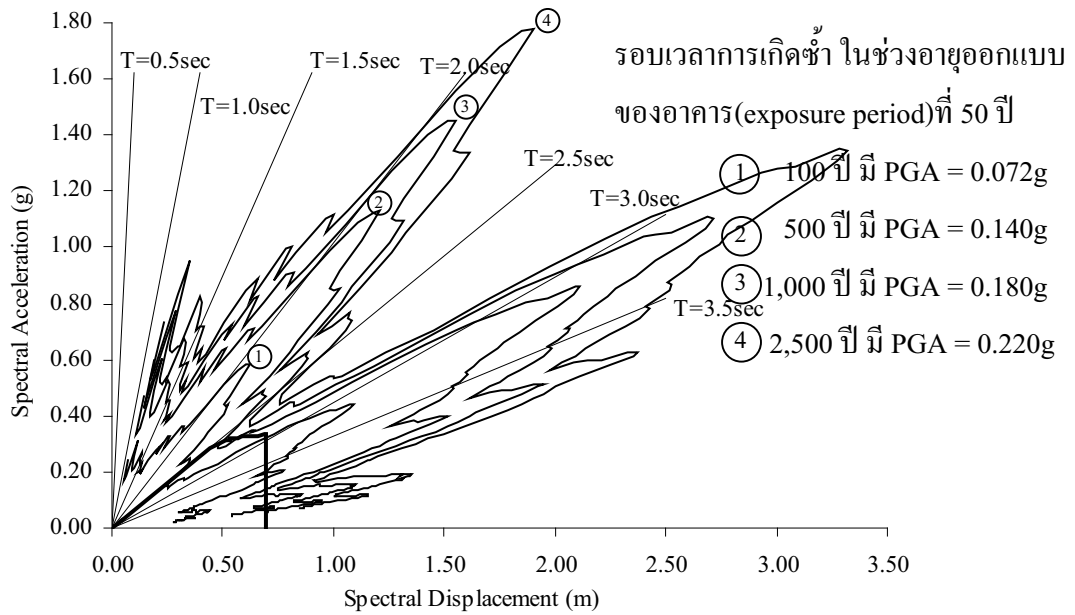
รูปที่ 3.21 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทางในจุดต่อเสา-คาน 45 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



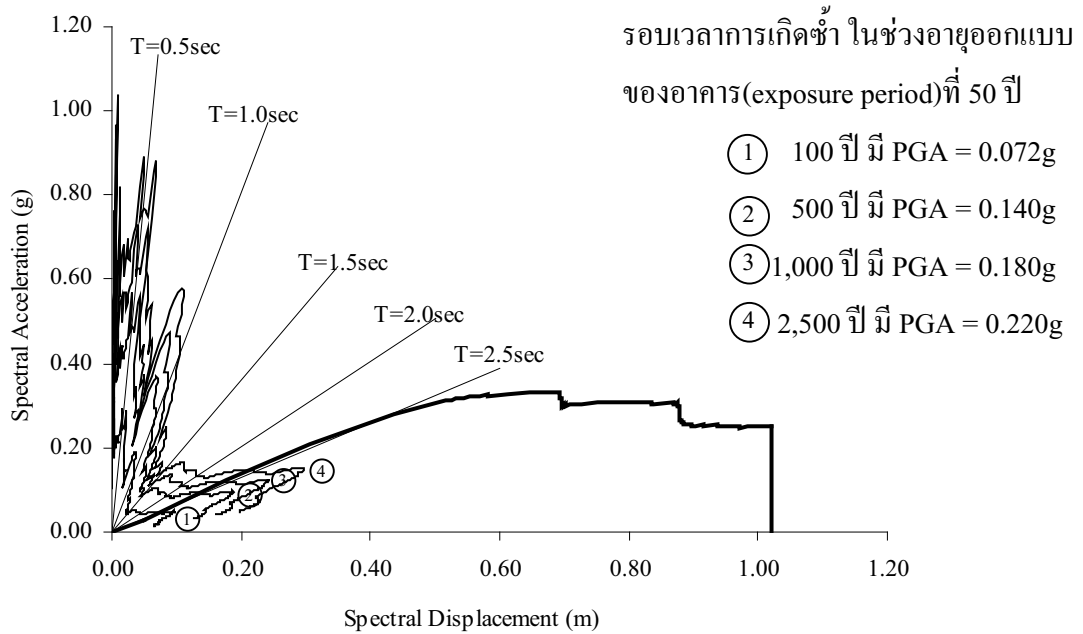
รูปที่ 3.22 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทาบในจุดต่อเสา-คาน 45 db ไม่มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



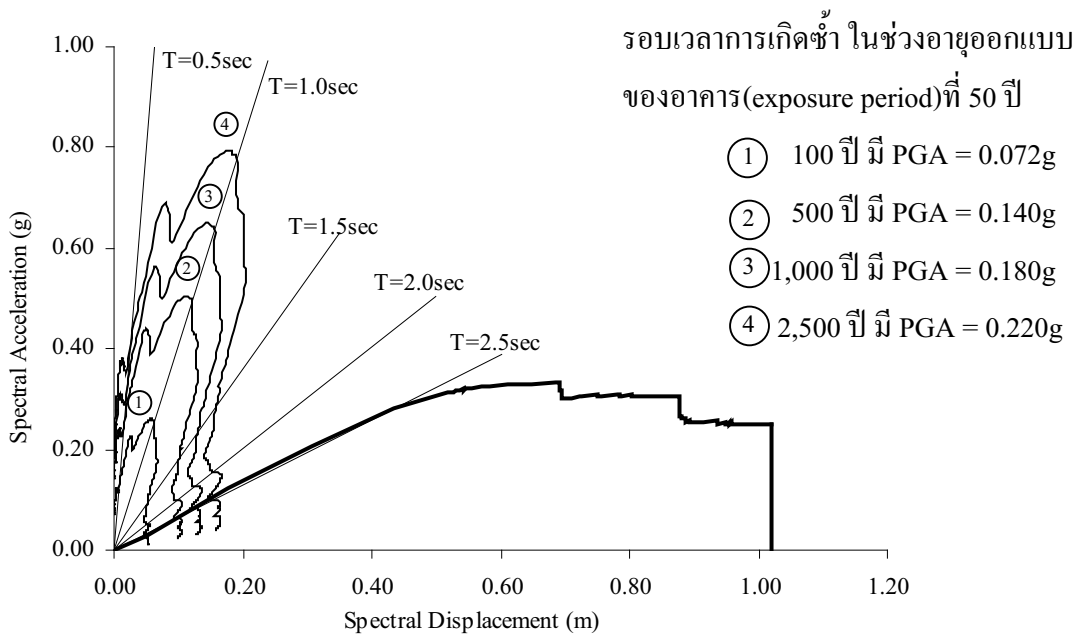
รูปที่ 3.23 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทาบในจุดต่อเสา-คาน 45 db ไม่มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



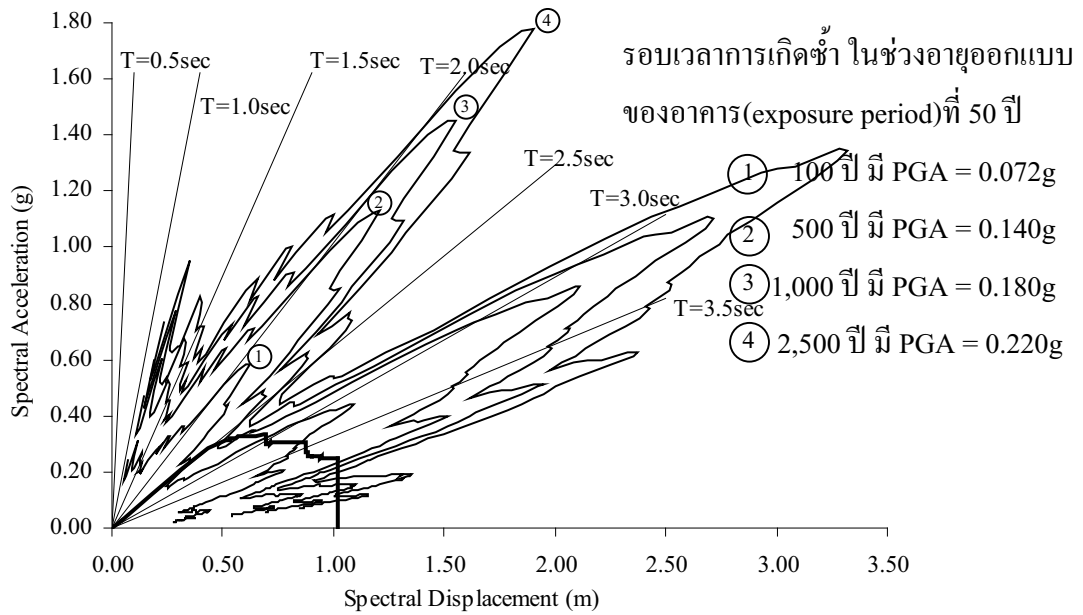
รูปที่ 3.24 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทางในจุดต่อเสา-คาน 45 db ไม่มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



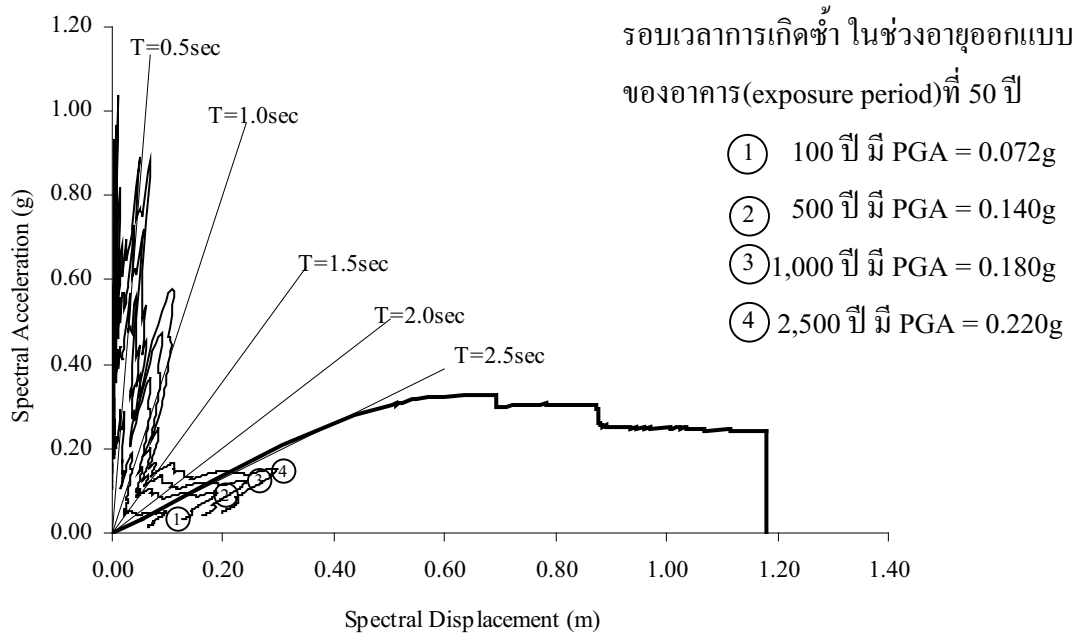
รูปที่ 3.25 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทาบในจุดต่อเสา-คาน 24 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



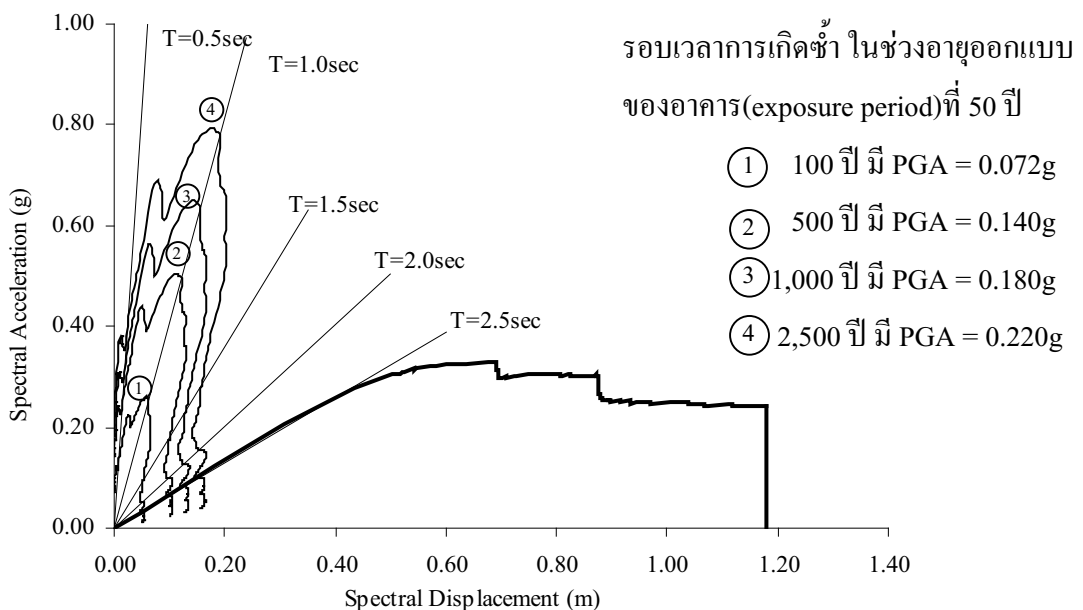
รูปที่ 3.26 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทาบในจุดต่อเสา-คาน 24 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



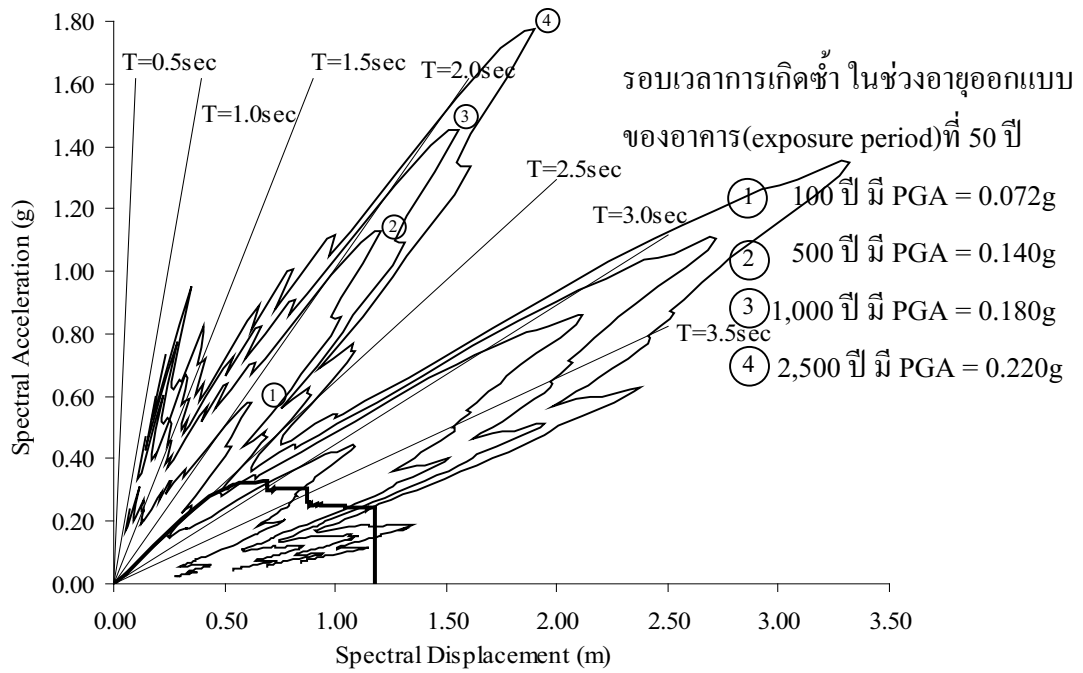
รูปที่ 3.27 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (ระยะทางในจุดต่อเสา-คาน 24 db มีเหล็กปลอกในจุดต่อเสา-คาน)



รูปที่ 3.28 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (เหล็กกล่องในคานไม่ต่อเนื่อง มีระยะฝัง 15 ซม.)



รูปที่ 3.29 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1(เหล็กกล่องในคานไม่ต่อเนื่อง มีระยะฝัง 15 ซม.)



รูปที่ 3.30 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 (เหล็กกล้าในคานไม่ต่อเนื่อง มีระยะฝัง 15 ซม.)

บทที่ 4

ตัวอย่างการประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดพื้น-เสา-ผนังแรงเฉือน

ตัวอย่างการคำนวณได้ใช้อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดแผ่นพื้นไร้คานสูง 9 ชั้น และ 30 ชั้น (อินทบุตร, 2546) ดังแสดงในงานวิจัยส่วนที่ 1. การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างที่ระดับความรุนแรงของการสั่นไหวต่างๆ ภายใต้อาคารการสั่นไหว El Centro และแบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ ทำการแปลงขนาดของการสั่นไหวตามที่กล่าวแล้ว

4.1 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดแผ่นพื้นไร้คานสูง 9 ชั้น

4.1.1 ผลของอัตราส่วนความเหนียวของอาคารต่อการตอบสนอง

Elastic Response Spectrum และ Inelastic Response Spectrum ของคลื่นที่พิจารณาที่อัตราส่วนความเหนียวต่างๆ กรณีความน่าจะเป็นของการเกิดมีค่าเกินกว่าที่ระบุ 10% หรือเทียบเท่าคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จากนั้นทำการแปลง Response Spectra ดังกล่าวเป็น demand curve แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ capacity curve เพื่อประเมินความสามารถของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2

demand curve ที่พิจารณาอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 2 3 และ 4 แสดงถึงกำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวและการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารที่จำเป็นต้องมีหากต้องการให้อาคารมีความเหนียวที่วัดในรูปของอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 2 3 และ 4 ตามลำดับ หรือยอมให้อาคารเสียรูปเกินช่วงอีลาสติกได้จนถึงอัตราส่วนความเหนียวที่พิจารณา ดังนั้น demand curve ที่มีอัตราส่วนความเหนียวสูงๆ จึงมีขนาดเล็กลง จากการประเมินภายใต้คลื่น El Centro ซึ่งแสดงให้เห็นว่า demand curve ที่มีค่าอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 2 ถึง 4 ตัดกับ capacity curve ในบริเวณที่อาคารยังคงเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก ดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย

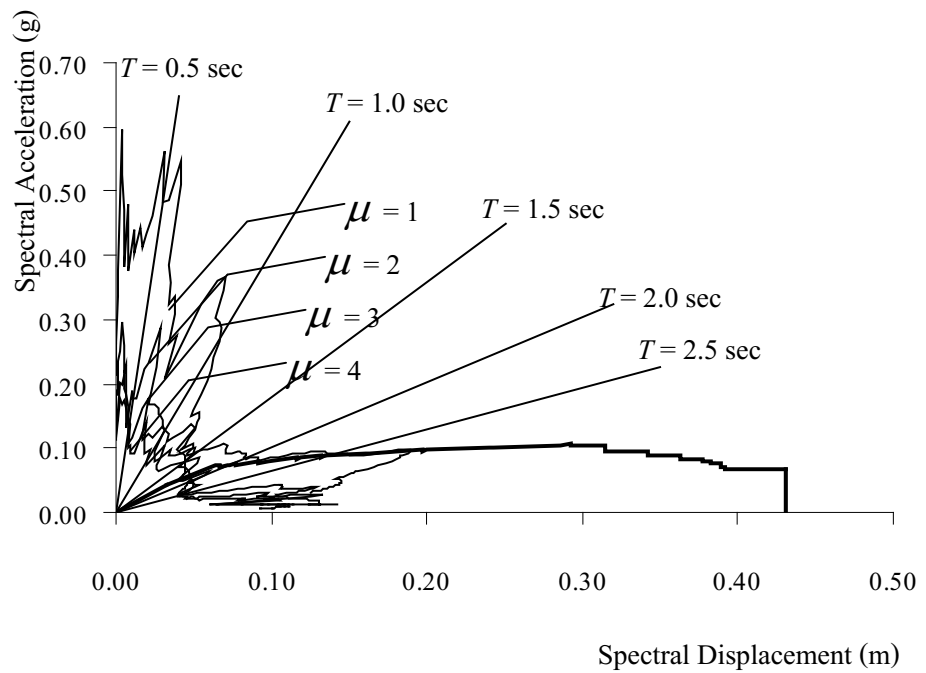
สำหรับการประเมินภายใต้แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 โดยที่ผลประเมินของอัตราส่วนความเหนียว 1 ถึง 4 ใกล้เคียงกันมาก โดยกำแพงอิฐก็จะเกิดการวิบัติชั้นที่ 2 ถึง 4 และจะเกิดการครากของจุดต่อภายในของพื้น-เสา ชั้นที่ 2 ถึง 5 รวมกับการครากของพื้นคาน ชั้นที่ 2 ถึง 7 ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าคลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพจะทำให้อาคารที่ศึกษาที่มีความเสียหายมากกว่าคลื่น El Centro ที่ระดับขนาดการสั่นไหวเท่ากัน

4.1.2 ผลของคาบการเกิดซ้ำต่อการตอบสนอง

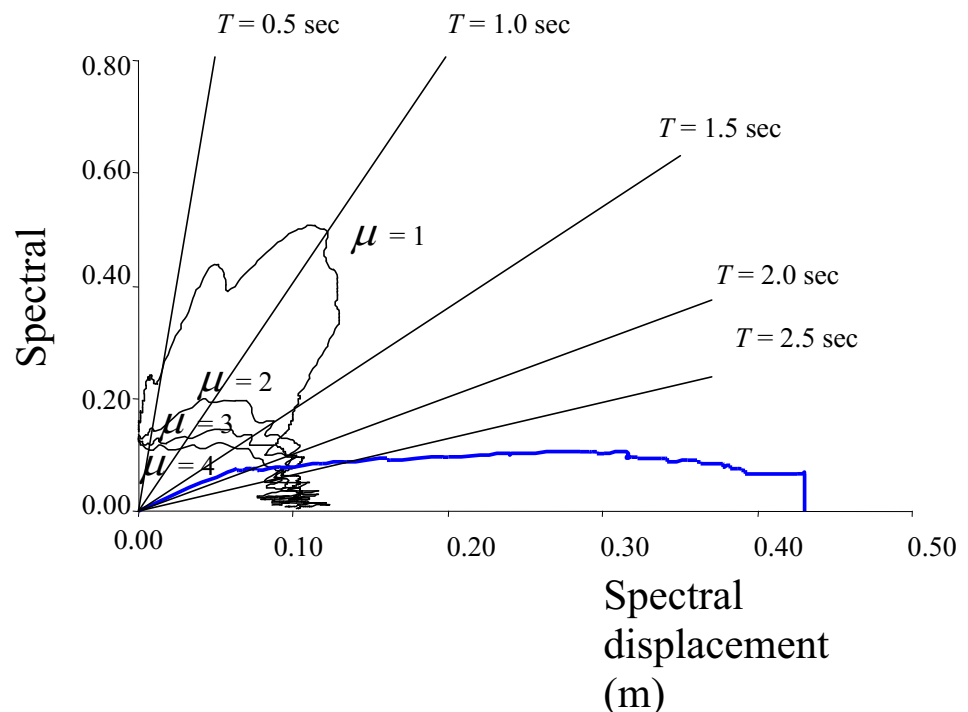
การประเมินความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารโดยใช้อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สำหรับทุกระดับความรุนแรงของการสั่นไหวต่างๆ ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro และคลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ได้ผลดังนี้

สำหรับคลื่น El Centro กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี โครงสร้างจะไม่เกิดความเสียหายเลย เนื่องจากโครงสร้างยังคงเกิดการเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก เมื่อคาบการเกิดซ้ำ ประมาณ 500 ปี โครงสร้างจะเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อที่ชั้น 2 ถึง 7 พร้อมทั้งเกิดการครากของพื้นคานที่ชั้น 2 ถึง 7 และรวมถึงเกิดการครากของจุดต่อพื้นเสาภายในที่ชั้น 2 ถึง 5 จากนั้นกำแพงอิฐก่อเกิดการวิบัติที่ชั้น 2 ถึง 4 เมื่อคาบการเกิดซ้ำ ประมาณ 1,000 ปีกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 5 ถึง 7 จะเกิดการวิบัติร่วมกับการครากของพื้นคาน ชั้นที่ 8 ถึง 9 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี จะเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อทั้งหมด ร่วมกับการการครากของจุดต่อพื้นเสาภายในที่ชั้น 6 ถึง 8

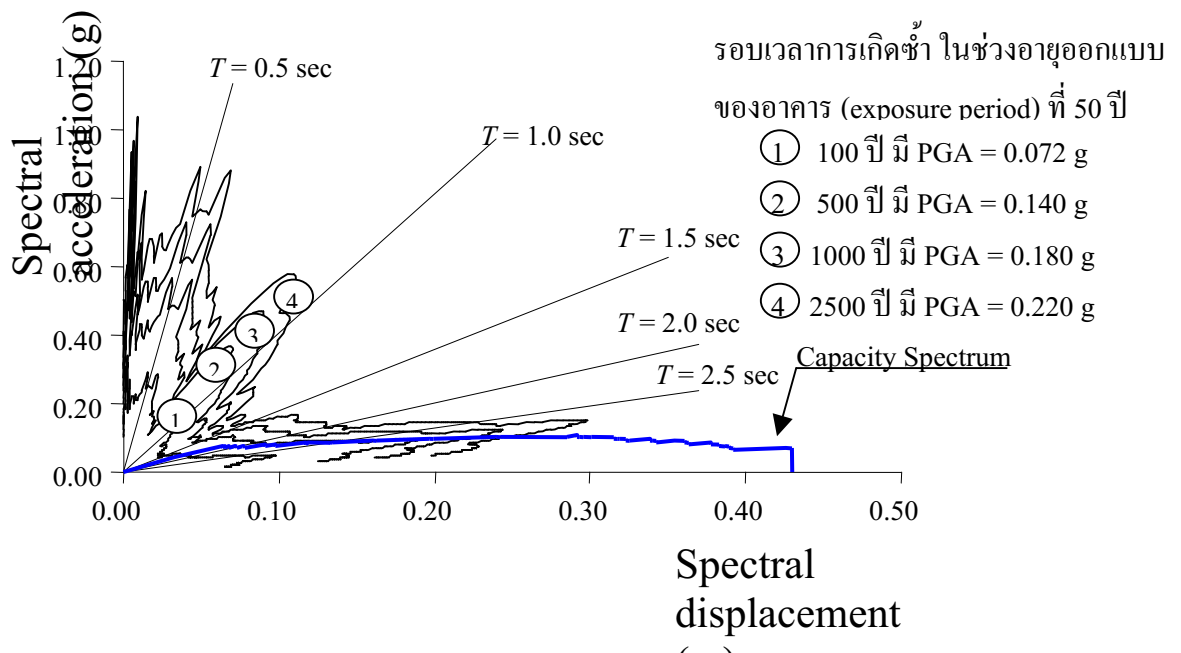
สำหรับคลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี กำแพงอิฐก่อชั้น 2 ถึง 7 จะแตกร้าวร่วมกับการครากของพื้นคาน ชั้น 2 ถึง 6 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี การแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อเกิดเพิ่มขึ้นร่วมกับการครากของพื้นคาน ชั้น 2 ถึง 7 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 จะวิบัติร่วมกับการครากของจุดต่อพื้นเสาภายในที่ชั้น 6 ถึง 8 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี จะเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้น 5 ถึง 7 ร่วมกับการการครากของพื้นคาน ชั้นที่ 8 ถึง 9 และเกิดการครากของจุดต่อพื้นเสาภายในที่ชั้น 6 ถึง 8 ด้วย



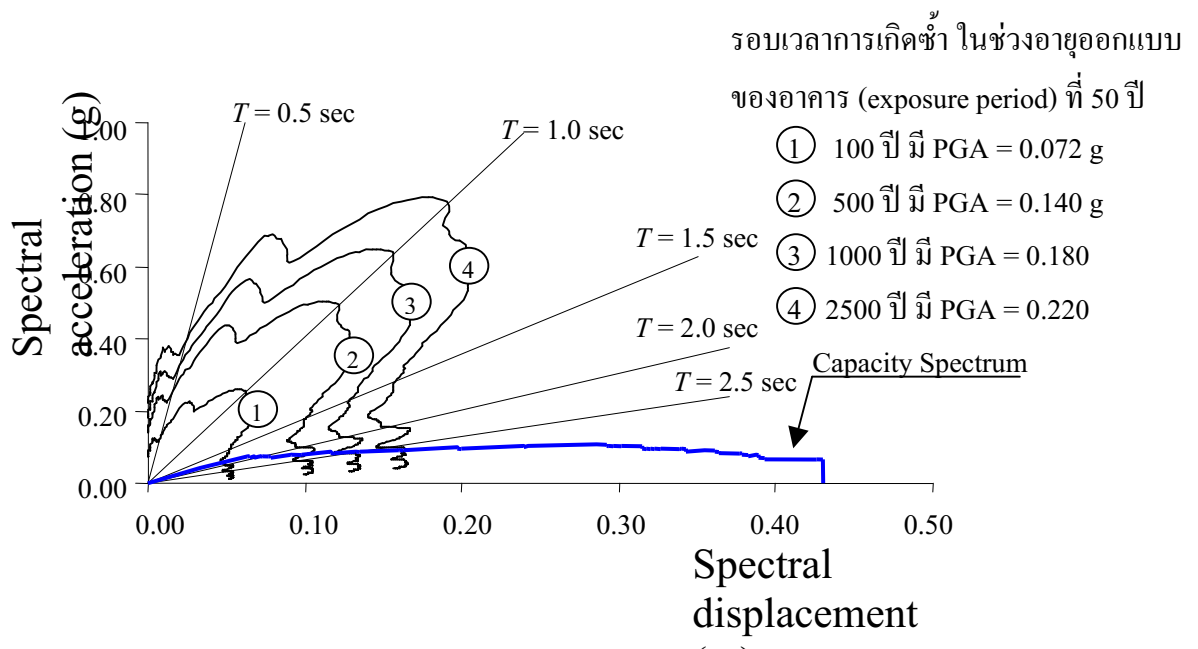
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curves สำหรับคลื่น El Centro ที่คาบการเกิดซ้ำ 500 ปี สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1-4



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curves สำหรับคลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ ที่คาบการเกิดซ้ำ 500 ปี สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1-4



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่ระดับความรุนแรงต่างๆ ที่มีโอกาสเกิดที่
กรุงเทพ สำหรับคลื่น El Centro ที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

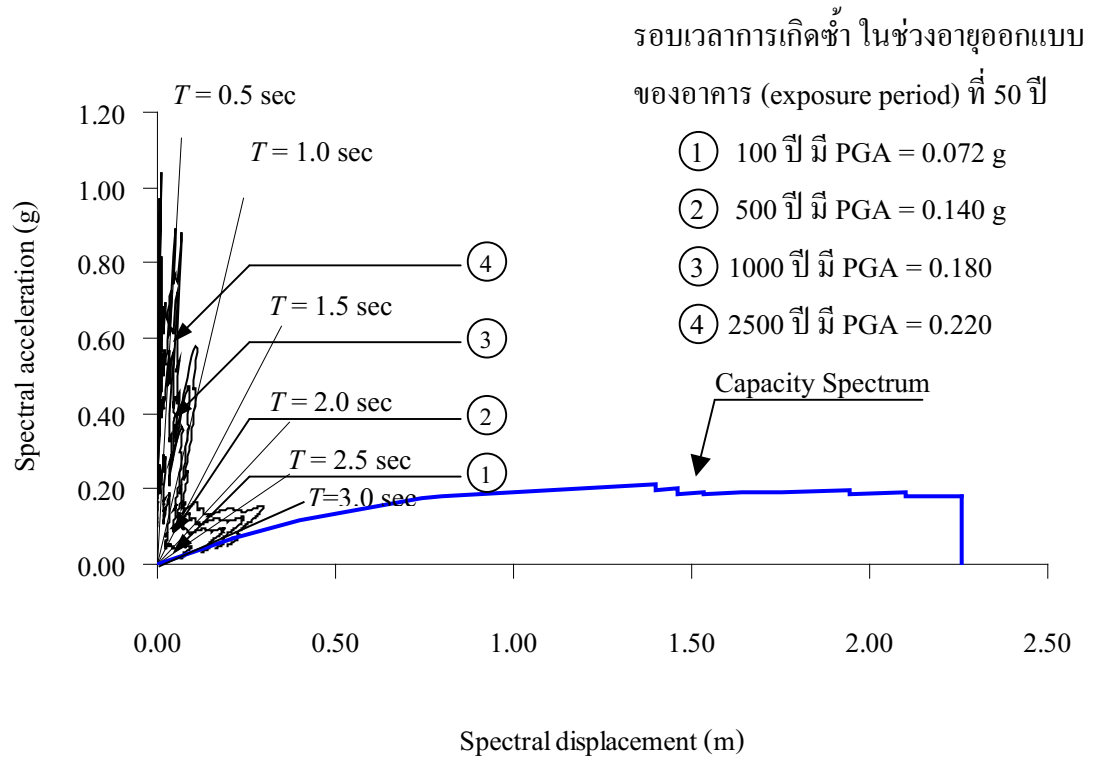


รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่ระดับความรุนแรงต่างๆ ที่มีโอกาสเกิดที่
กรุงเทพ สำหรับคลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ ที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

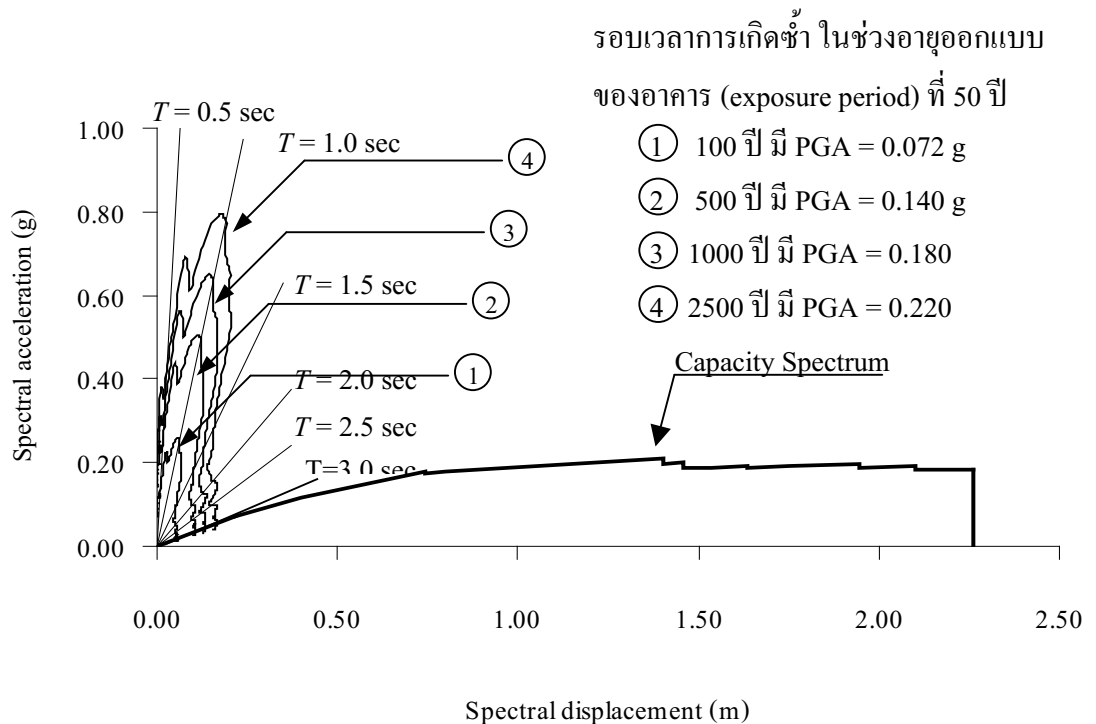
4.2 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดแผ่นพื้นไร้คานสูง 30 ชั้น

สำหรับการประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารดังกล่าวนี้จะใช้ demand curve ที่ได้จากอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สำหรับทุกระดับความรุนแรงของการสั่นไหวต่างๆ ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro และคลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ จากการประเมินได้ผลดังนี้

สำหรับคลื่นแผ่นดินไหว El Centro และคลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ ทุกระดับความรุนแรงของการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี 500 ปี 1,500 ปี และ 2,500 ปี โครงสร้างของอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลยเพราะอาคารดังกล่าวมีขนาดความสูงมาก (ประมาณ 30 ชั้น) เมื่อมีแรงกระทำทางด้านข้างจะทำให้โครงสร้างเกิดการเคลื่อนที่ทางด้านข้าง (Δ_{roof}) มากและมีคาบของโครงสร้างประมาณ 3 วินาที โดยพฤติกรรมของอาคารดังกล่าวจะทำให้แรงกระทำอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวเข้าสู่ตัวอาคารในปริมาณที่น้อย ซึ่งจะทำให้อาคารดังกล่าวสามารถต้านแรงกระทำอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหวได้เป็นอย่างดี และอาคารในตัวอย่างนี้ได้ถูกออกแบบเบื้องต้นให้รับแรงกระทำทางด้านข้างอันเนื่องมาจากแรงลมแล้ว และในการศึกษานี้ได้ทดลองทำการคำนวณวิเคราะห์หาแรงกระทำทางด้านข้างอันเนื่องมาจากแรงลมตามมาตรฐานแรงลม สำหรับการออกแบบอาคาร และจากนั้นทำการเปรียบเทียบระหว่างแรงเฉือนที่ฐานที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐานแรงลมและแรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงซึ่งจากการเปรียบเทียบดังกล่าวจะเห็นว่า แรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแรงลมจะให้แรงเฉือนที่ฐานมีค่ามากกว่าแรงเฉือนที่ฐานที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวถึงประมาณ 2 เท่าและการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่ได้วิเคราะห์จากแรงลมมีค่ามากกว่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่ได้จากการวิเคราะห์จากแรงแผ่นดินไหวถึงประมาณ 2 เท่า ดังนั้นอาคารดังกล่าวสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ในระดับที่ปลอดภัย



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว
EI Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ สำหรับคลื่นที่มี โอกาส
เกิดบริเวณกรุงเทพ สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

บทที่ 5

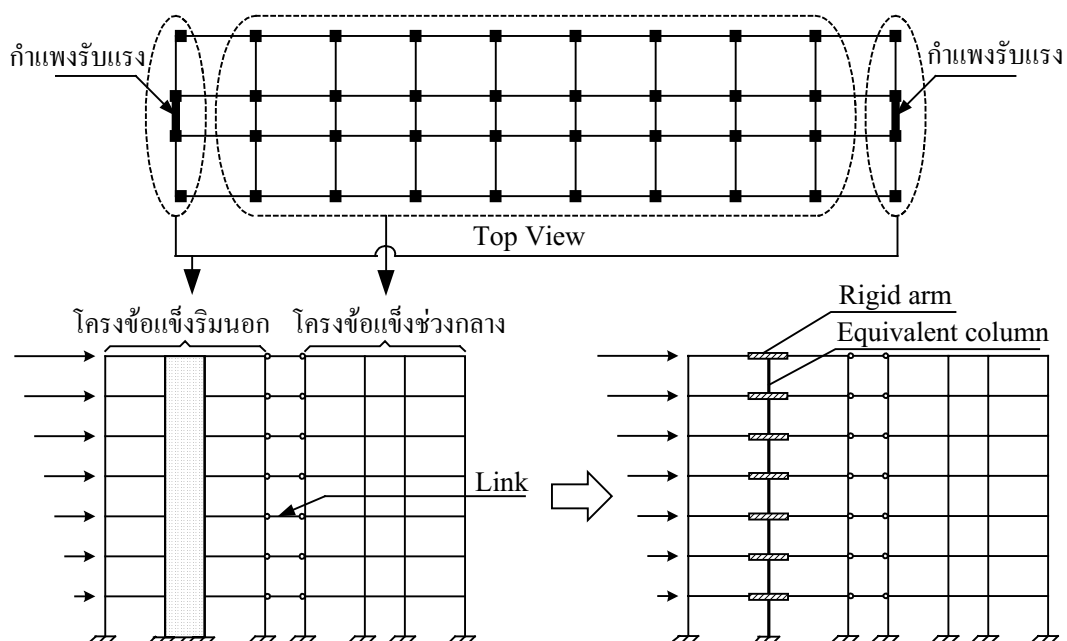
ตัวอย่างการปรับปรุงอาคารเสริมเหล็กชนิดคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน ให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น

การปรับปรุงโครงสร้างให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น สามารถทำได้โดย การเพิ่มกำลังการต้านทานแรงกระทำด้านข้าง เช่น การเพิ่มกำแพงรับแรงเฉือน การเพิ่มขนาดเสาให้เท่ากันทุกชั้น และการเพิ่มความสามารถในการเสีรูปหรือความเหนียวของโครงสร้างสามารถทำได้ จักระยะเรียงเหล็กปลอกในคานและเสาให้น้อยกว่า $d/3$ ขององค์อาคารโดยที่กำลังต้านทานแรงเฉือนขององค์อาคารต้องได้จากเหล็กปลอกอย่างน้อย $3/4$ ของแรงเฉือนออกแบบ

5.1 การปรับปรุงโครงสร้างอาคาร 9 ชั้น

5.1.1 การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีเพิ่มกำแพงรับแรงเฉือน

การออกแบบพิจารณาให้กำแพงรับแรงเฉือนหนา 0.25 เมตร รับแรงกระทำด้านข้างทั้งหมด เพื่อศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างของอาคารตัวอย่างโครงข้อแข็งช่วงกลาง ร่วมกับโครงข้อแข็งริมнок โดยกำแพงรับแรงเฉือน ถูกออกแบบเพิ่มบริเวณโครงข้อแข็งริมнокสุดทั้ง 2 ด้านของอาคาร แสดงดังรูปที่ 5.1

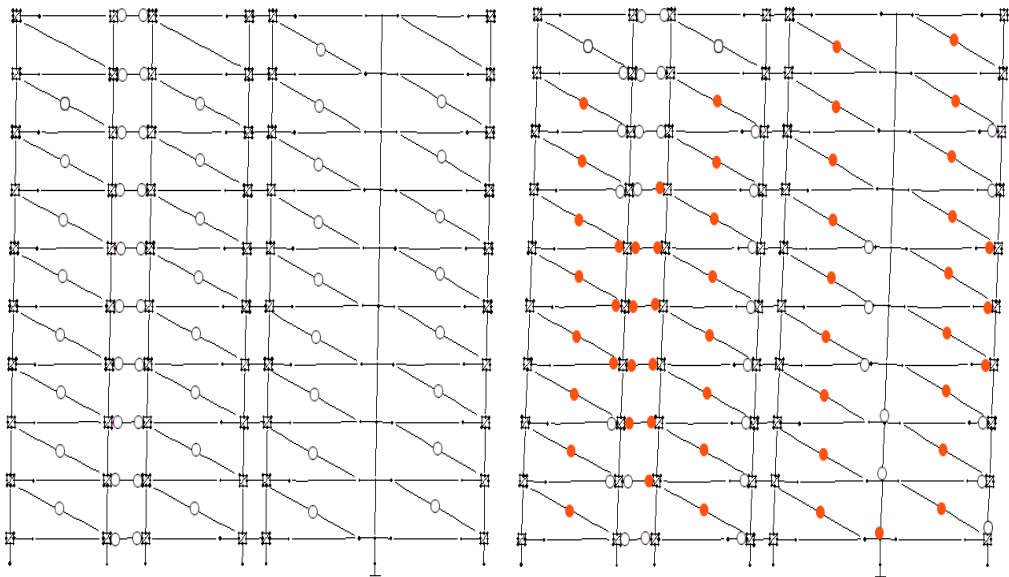
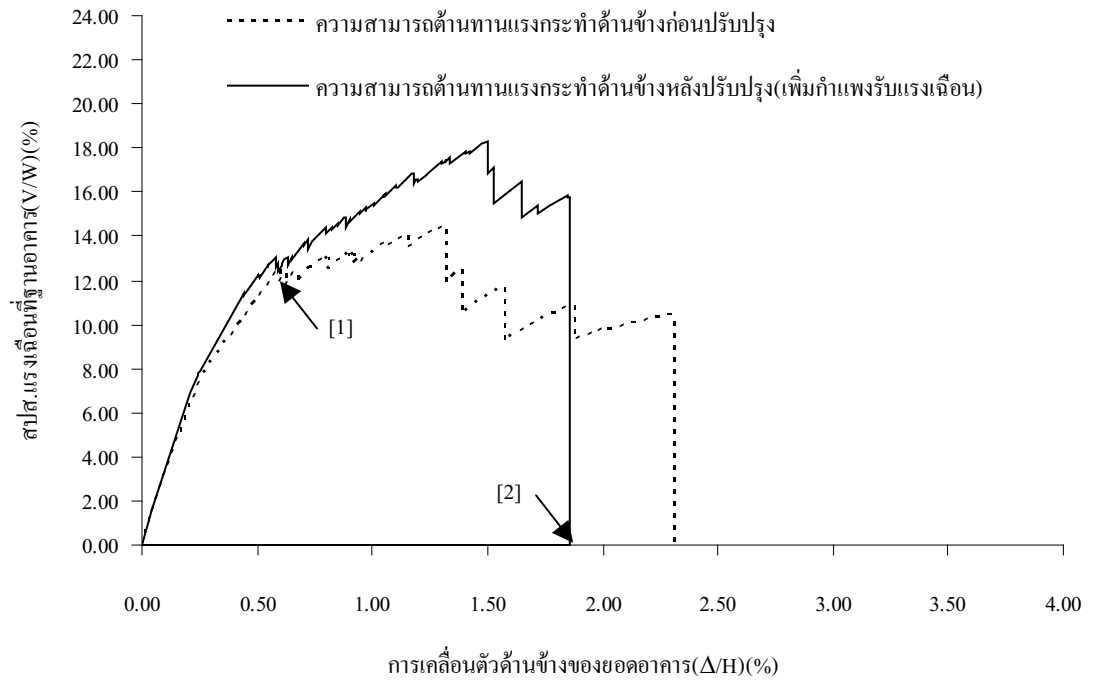


รูปที่ 5.1 แบบจำลองระบบต้านทานแรงแผ่นดินไหวด้วยกำแพงรับแรงเฉือน

เมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ผนังแรงเฉือนแล้ว พบว่าค่าความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวสูงสุดของโครงสร้างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 5.2 เนื่องจากผนังแรงเฉือนเป็นองค์อาคารที่มีความสามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างสูง ซึ่งในกรณีศึกษาพบว่ากำลังต้านทานสูงสุดของโครงสร้างมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 26.10 ของกรณีไม่มีผนังแรงเฉือน และลักษณะการวิบัติของโครงสร้างสามารถพิจารณาได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การวิบัติของโครงข้อแข็งริม นอกที่มีผนังแรงเฉือนและการวิบัติของโครงข้อแข็งช่วงกลาง

ลักษณะการวิบัติของโครงข้อแข็งริมนอกที่มีผนังแรงเฉือน เริ่มจากการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 1 -9 และวิบัติตั้งแต่ชั้น 1-9 พร้อมด้วยการครากคาน B3 ซึ่งเป็นองค์อาคารหลัก เริ่มเกิดการครากในชั้นที่ 2-8 แต่โครงสร้างยังคงสามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากในการวิบัติทั้งสองช่วงนี้โครงสร้างยังคงมีพฤติกรรมในช่วงยืดหยุ่น และเมื่อรับแรงกระทำด้านข้างเพิ่มขึ้น โครงสร้างเกิดการวิบัติของคาน B3 ชั้นที่ 4 5 และ 6 ตามลำดับ มีผลให้ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างลดลง และเมื่อผนังแรงเฉือนเริ่มเกิดการครากที่ชั้น 1-3 ของผนัง ซึ่งผนังแรงเฉือนที่เพิ่มนั้นมีลักษณะเป็น Slender wall การวิบัติเกิดเนื่องจากแรงดัด แต่เนื่องจากพฤติกรรมรับแรงร่วมกันระหว่างตัวผนังแรงเฉือนกับโครงข้อแข็ง โดยที่โครงข้อแข็งจะโก่งตัวในรูปแบบเฉือนเมื่อรับแรงกระทำด้านข้าง (Shear mode) เป็นสำคัญ ส่วนผนังแรงเฉือนที่เป็น Slender wall จะโก่งตัวในรูปแบบแรงดัด (Bending mode) คล้ายคานยื่น เมื่อผนังและโครงข้อแข็งอยู่ร่วมกันในอาคาร ระบบโครงสร้างซึ่งต่างกันนี้จะทำให้เกิดการเหนี่ยวรั้งซึ่งกันและกันเนื่องจากลักษณะการโก่งตัวที่ต่างกัน ทำให้แต่ละองค์อาคารไม่อาจโก่งตัวได้ในรูปแบบของตนโดยธรรมชาติซึ่งส่งผลต่อการปรับกระจายของแรงระหว่างระบบโครงสร้างทั้งสอง โดยที่ชั้นบนๆ โครงข้อแข็งจะดึงรั้งผนังแรงเฉือนและในชั้นล่างๆ ผนังแรงเฉือนจะดึงรั้งโครงข้อแข็งและรับแรงด้านข้างไปเกือบทั้งหมด ท้ายสุดการพังทลายของโครงสร้างเกิดเนื่องจากการวิบัติของผนังแรงเฉือนที่ชั้นล่างสุด

ลักษณะการวิบัติของโครงข้อแข็งช่วงกลางในช่วงที่ 1 เริ่มจากเกิดการแตกร้าวและวิบัติของกำแพงอิฐก่อโดยการวิบัติเกิดที่ชั้น 3-5 พร้อมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1-9 เมื่ออาคารรับแรงกระทำด้านข้างเพิ่มขึ้น กำแพงอิฐก่อวิบัติที่ชั้น 1-8 คาน B4 ชั้นที่ 2-7 วิบัติ รวมทั้งเกิดการครากของคาน B3 ชั้นที่ 2-8 หลังจากนั้นเกิดการวิบัติของคาน B3 ชั้นที่ 4 5 และ 6 ตามลำดับ มีผลให้ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างลดลง



สภาวะที่1

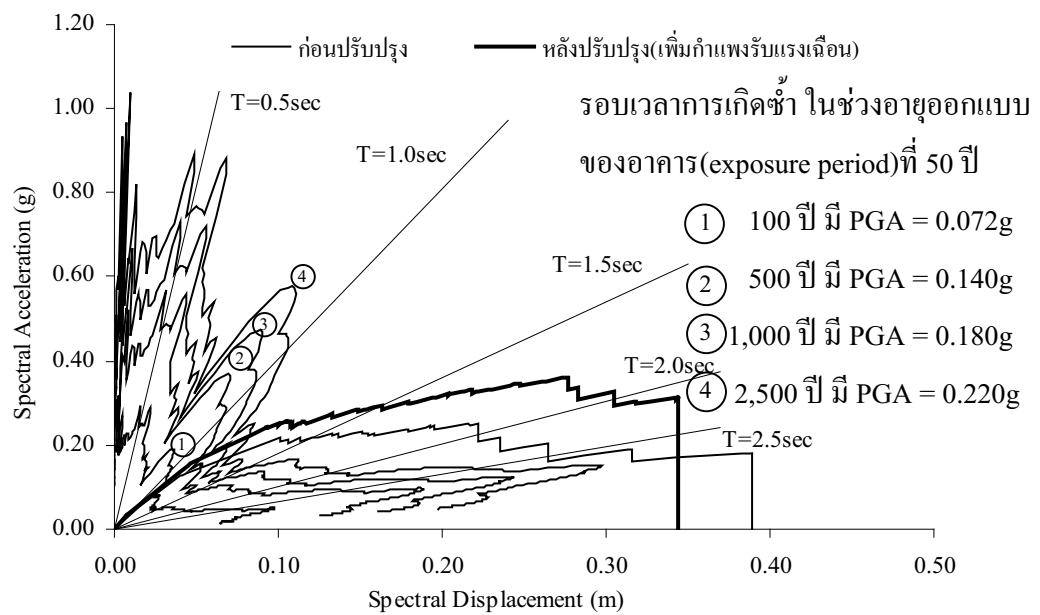
สภาวะที่2

รูปที่ 5.2 ผลการใช้วิธีเพิ่มกำแพงรับแรงเฉือนต่อความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง

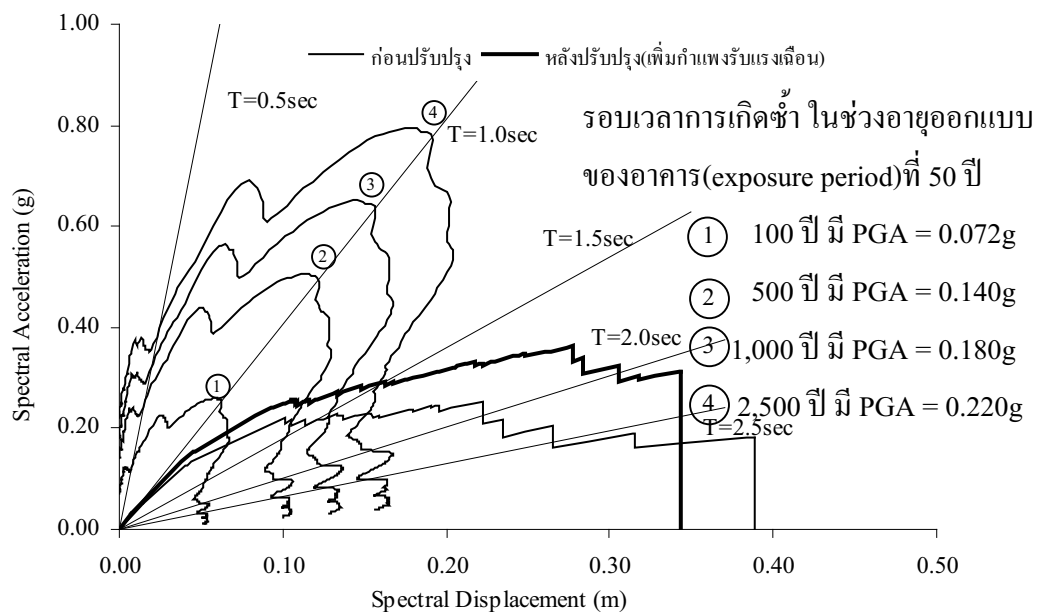
การประเมินความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 9 ชั้นใช้อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สำหรับทุกระดับความรุนแรงของการสั่นไหวต่างๆ ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว EI Centro คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 เมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ผนังแรงเฉือน พบว่าเมื่อพิจารณาคลื่นแผ่นดินไหว EI Centro โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย เนื่องจากตำแหน่งที่ Demand curve ตัดกับ Capacity curve อาคารยังคงเกิดการเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี และ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะแตกร้าวตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึง 7 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 แสดงดังรูปที่ 5.3

พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 การแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 1 และ 3 ถึง 7 ร่วมกับการแตกร้าวของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.4

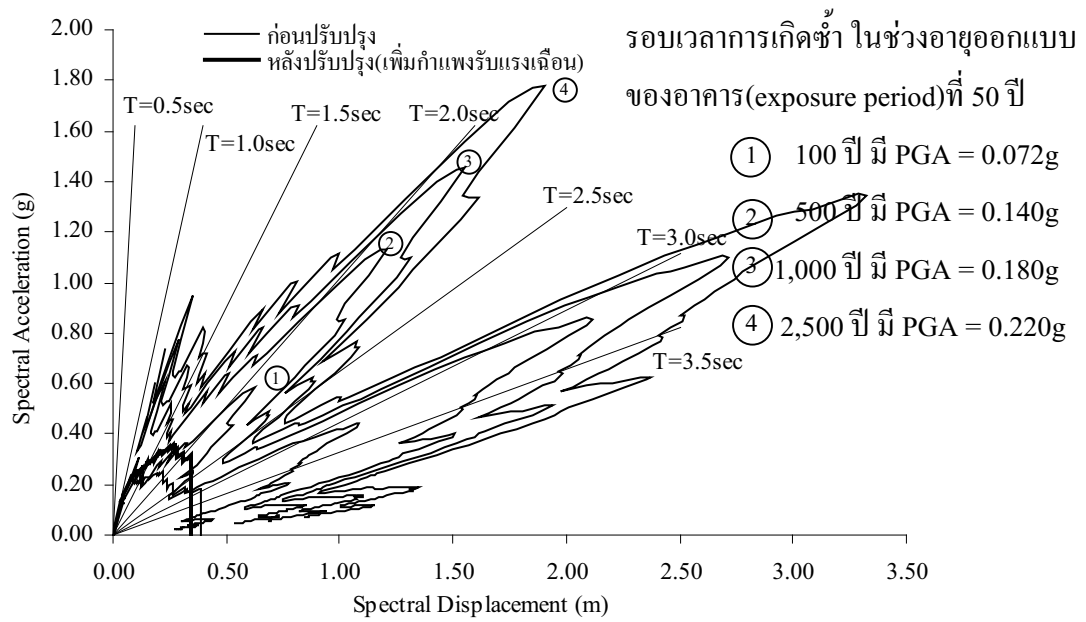
พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 1,000 และ 2,500 ปี โครงสร้างเกิดการวิบัติที่เสาชั้นล่างสุด แสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่ค่าการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่ค่าการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1



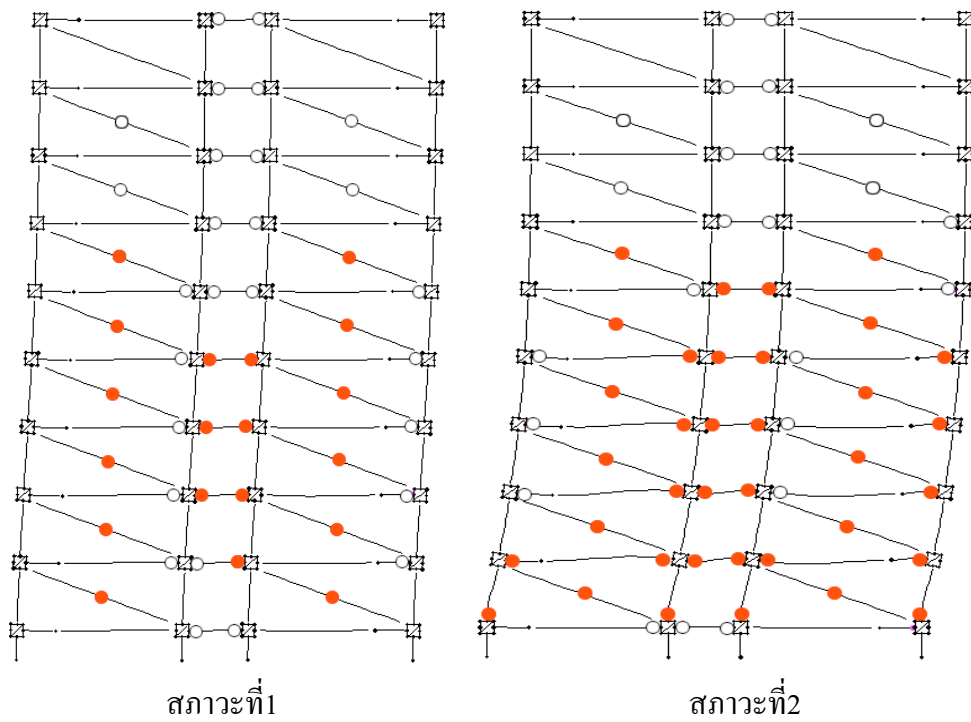
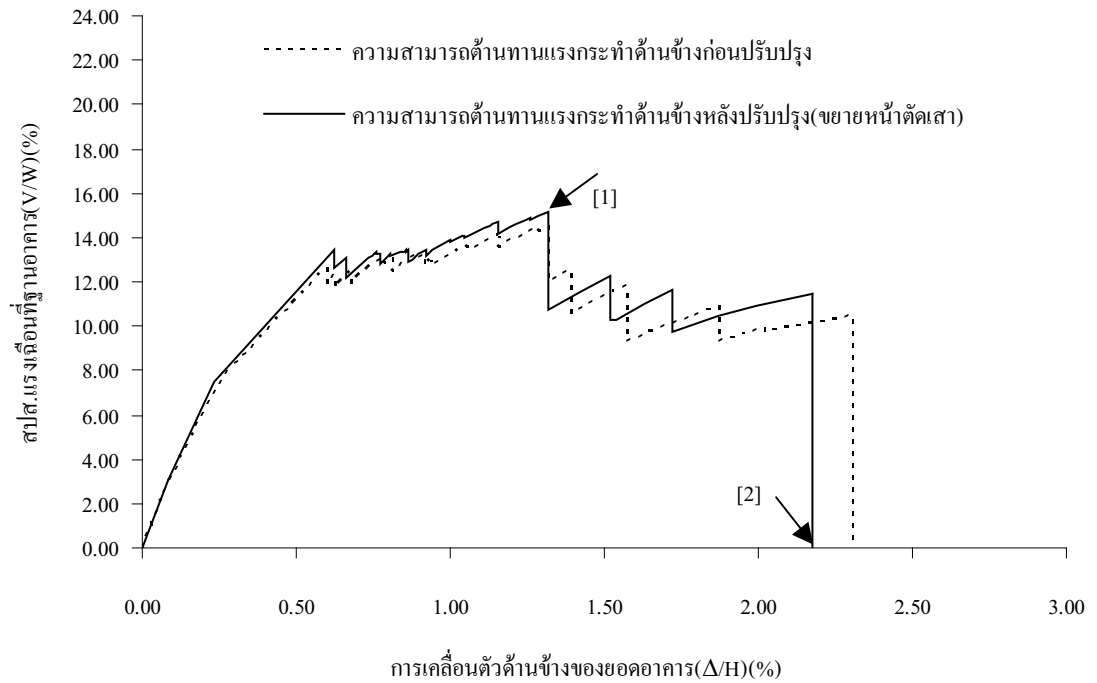
รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

5.1.2 การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีขยายหน้าตัดของเสา

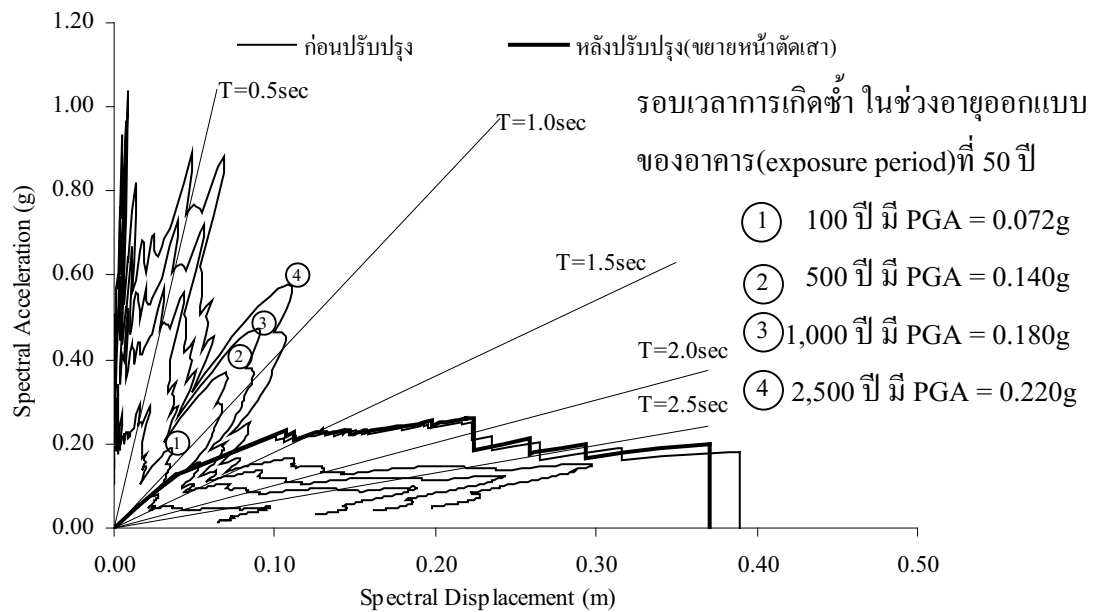
การปรับปรุงโครงสร้างโดยการเพิ่มความแข็งแรงและกำลังต้านทานโมเมนต์ให้กับเสาด้วยวิธีขยายหน้าตัดของเสา โดยเสา C2 จากชั้น 3 ถึง 5 และเสา C3 จากชั้น 6 ถึง 9 ถูกขยายหน้าตัดให้มีขนาดเท่ากับเสา C1 ซึ่งเป็นเสาที่มีขนาดหน้าตัดใหญ่สุด โดยยังคงปริมาณเหล็กเสริมหลักไว้เหมือนเดิม จากการปรับปรุงพบว่าความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวสูงสุดของโครงสร้างมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.40 ของโครงสร้างก่อนการปรับปรุง เนื่องจากเสาที่มีความสามารถต้านทานโมเมนต์เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับโครงสร้าง ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างในช่วงก่อนเกิดการวิบัติขององค์อาคารหลักมีลักษณะเหมือนกับรูปแบบการวิบัติของโครงสร้างก่อนการปรับปรุง โดยเริ่มจากการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1-9 ร่วมกับการครากของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 1-7 และเมื่อโครงสร้างถูกแรงแผ่นดินไหวกระทำอย่างต่อเนื่อง ทำให้กำแพงอิฐก่อเกิดการวิบัติในชั้นที่ 1-7 ร่วมกับการวิบัติของคาน B4 ชั้นที่ 3-5 และการครากของคาน B3 ชั้นที่ 2-6 หลังจากนั้นเกิดการวิบัติของคาน B3 ชั้นที่ 4 3 5 และ 2 ตามลำดับ มีผลให้ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างลดลงอย่างมาก และโครงสร้างเกิดการพังทลายเมื่อเกิดการวิบัติของเสา C1 ชั้นล่างสุด เช่นเดียวกับกรณีก่อนปรับปรุงแต่การเคลื่อนตัวของยอดอาคารมีค่าลดลงร้อยละ 5.60 แสดงดังรูปที่ 5.6

การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 9 ชั้นใช้อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สำหรับทุกระดับความรุนแรงของการสั่นไหวต่างๆ ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 เมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีขยายหน้าตัดของเสา พบว่าความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่เหมือนกับกรณีก่อนปรับปรุง

พิจารณาคลิ้นแผ่นดินไหว El Centro โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย เนื่องจากตำแหน่งที่ Demand curve ตัดกับ Capacity curve อาคารยังคงเกิดการเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี และ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะแตกร้าวตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึง 7 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 แสดงดังรูปที่ 5.7



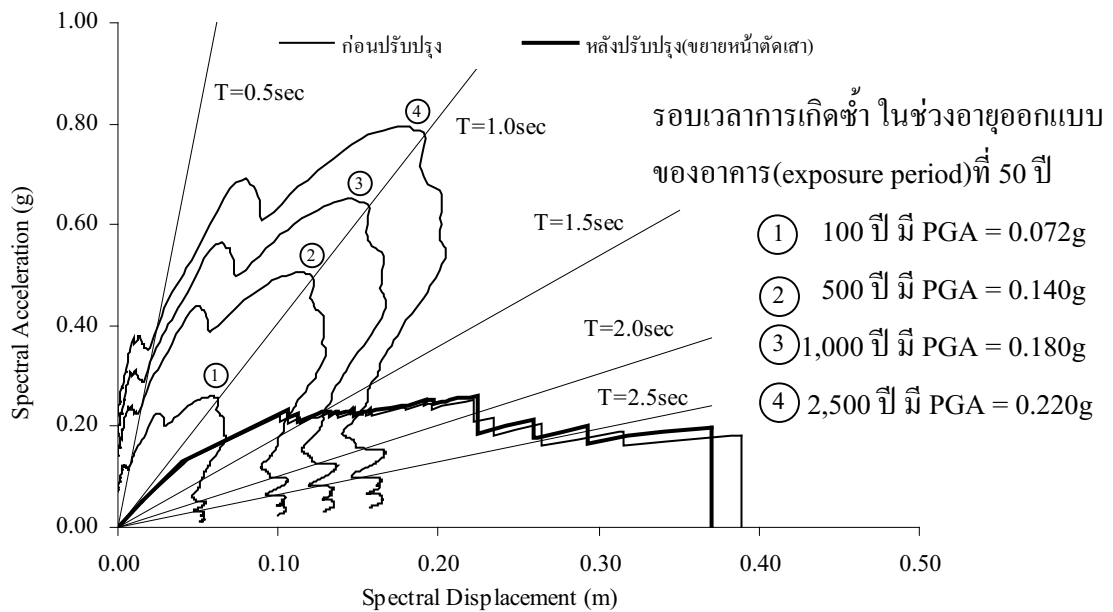
รูปที่ 5.6 ผลการใช้วิธีขยายหน้าตัดเสาต่อความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง



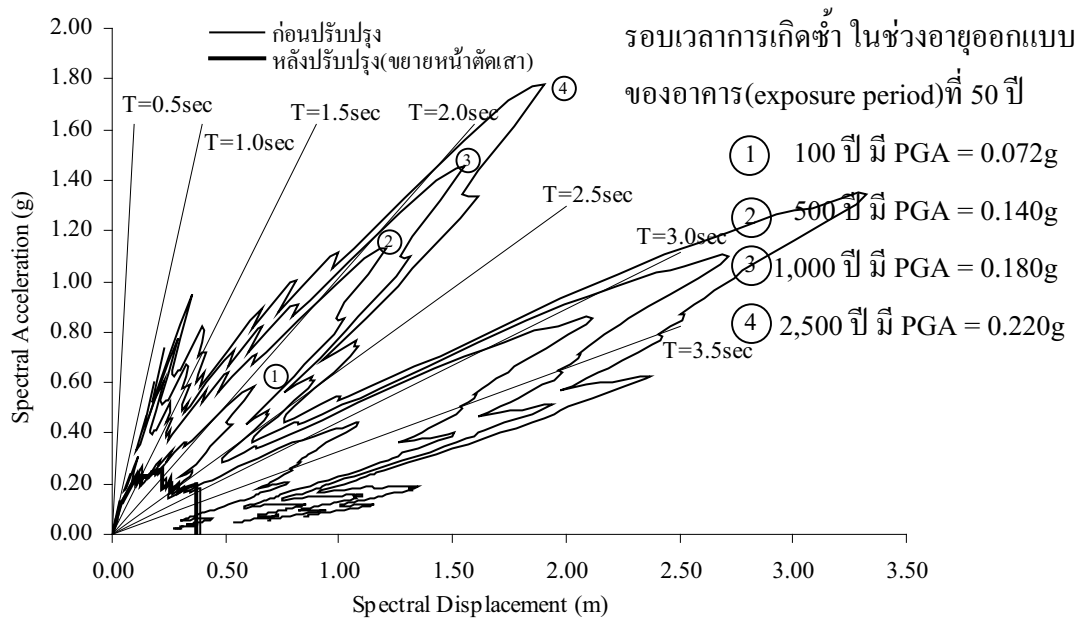
รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

พิจารณาคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 การแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 1 และ 3 ถึง 7 ร่วมกับการแตกร้าวของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.8

พิจารณาคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 1,000 และ 2,500 ปี โครงสร้างเกิดการวิบัติที่เสาชั้นล่างสุด แสดงดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

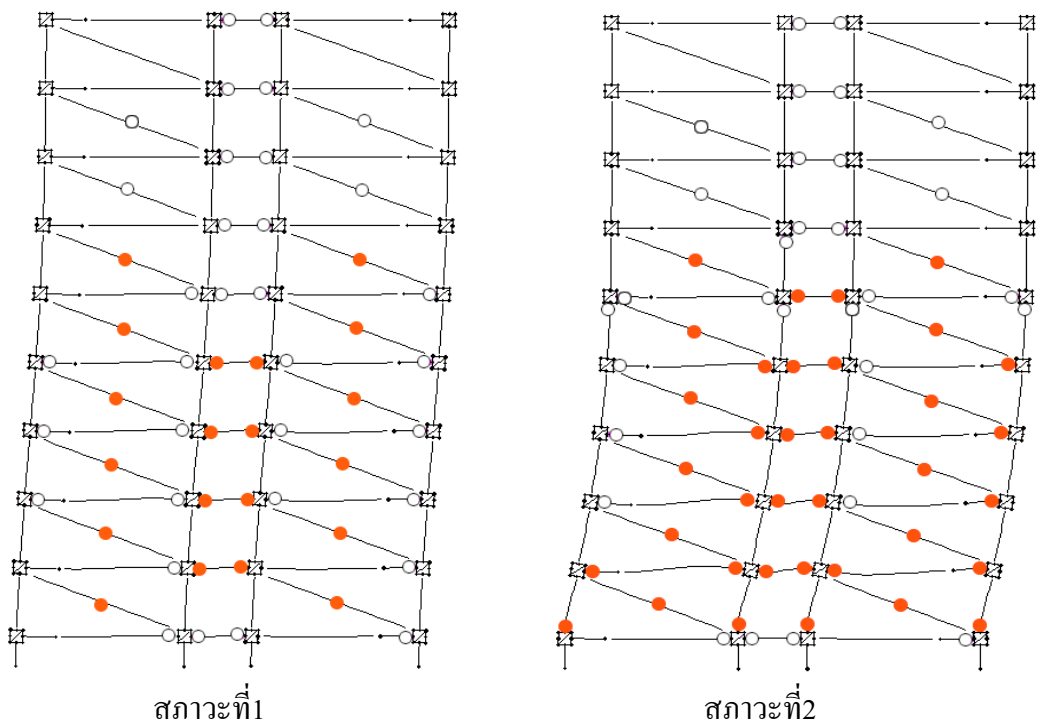
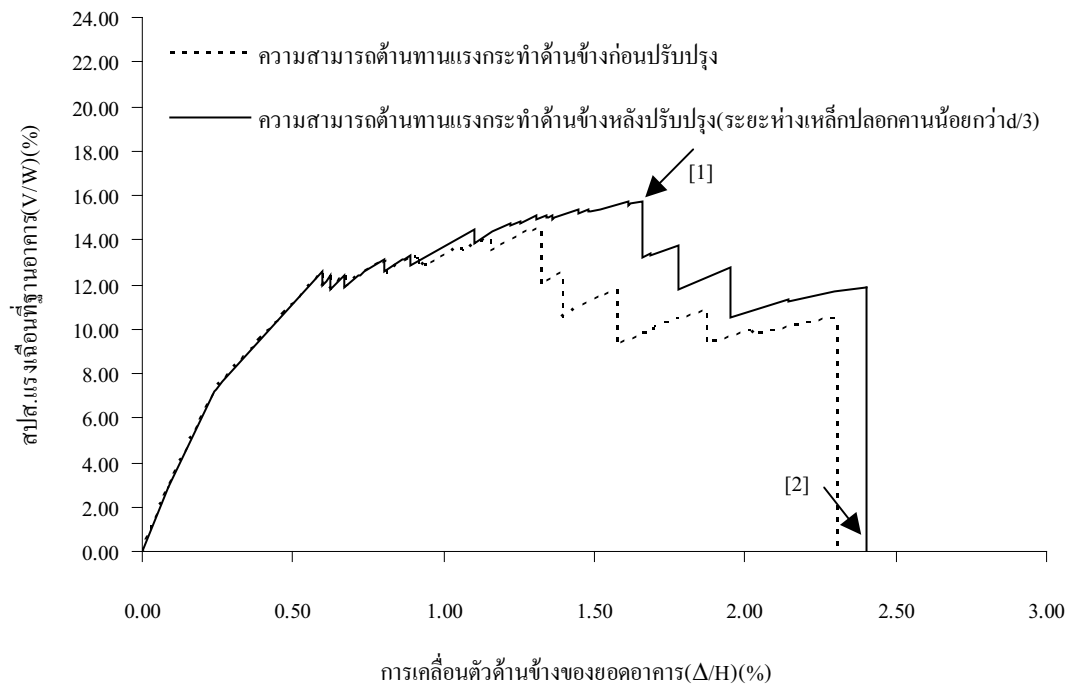


รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

5.1.3 การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีจัดเรียงระยะเหล็กปลอกคานน้อยกว่า $d/3$

การเพิ่มความเหนียวให้กับแต่ละองค์อาคารจะเป็นการเพิ่มความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับโครงสร้างวิธีหนึ่ง โดย ATC-40 แนะนำวิธีการเพิ่มความเหนียวให้กับองค์อาคารที่ถูกควบคุมการวิบัติด้วยแรงดัดด้วยการจัดระยะห่างของเหล็กปลอกขององค์อาคารให้มีระยะน้อยกว่า $d/3$ ขององค์อาคารโดยที่กำลังด้านทานแรงเฉือนขององค์อาคารต้องได้จากเหล็กปลอก (V_s) อย่างน้อย $3/4$ ของแรงเฉือนออกแบบ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับโครงสร้างตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาซึ่งระยะห่างของเหล็กปลอกขององค์อาคารทั้งคานและเสามากกว่า $d/3$ จึงพิจารณาเพิ่มค่าความสามารถในการเสีรูปขององค์อาคารโดยพิจารณาให้ระยะห่างของเหล็กปลอกทั้งในคานและเสามีค่าน้อยกว่า $d/3$ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการจัดระยะเหล็กปลอกขององค์อาคารให้มีระยะห่างน้อยกว่า $d/3$ ช่วยเพิ่มความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับโครงสร้างได้โดยเพิ่มทั้งกำลังด้านทานและความสามารถในการเสีรูปให้กับโครงสร้างสำหรับกรณีโครงสร้างที่ใช้ศึกษาพบว่ากำลังด้านทานเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.40 ของกรณีที่เหล็กปลอกมีระยะห่างมากกว่า $d/3$ ลักษณะการวิบัติจะเห็นว่าในช่วงเริ่มการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อความล้มพันระหว่างแรงเฉือนที่ฐานของอาคารกับการเคลื่อนตัวด้านข้างของยอดอาคารมีลักษณะเดียวกัน จากนั้นเกิดการครากของคาน B3 ชั้นที่ 2-6 จนเริ่มเกิดการวิบัติของคาน B3 ตัวแรกที่ชั้น 4 ในลักษณะเดียวกันกับกรณีการจัดระยะห่างเหล็กปลอกมากกว่า $d/3$ แต่ทั้งนี้ค่าการเคลื่อนตัวของยอดอาคารที่ตำแหน่งสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานอาคารมีค่าสูงสุดของกรณีการจัดระยะห่างเหล็กปลอกน้อยกว่า $d/3$ มีค่ามากกว่ากรณีการจัดระยะห่างเหล็กปลอกมากกว่า $d/3$ ประมาณร้อยละ 25.80 จนกระทั่งเกิดการพังทลายของโครงสร้างเสา C1 ชั้นที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.10

การประเมินความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 9 ชั้นใช้อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สำหรับทุกระดับความรุนแรงของการสั่นไหวต่างๆ ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 เมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีจัดเรียงระยะเหล็กปลอกคานน้อยกว่า $d/3$ พบว่าความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่เหมือนกับกรณีก่อนปรับปรุง

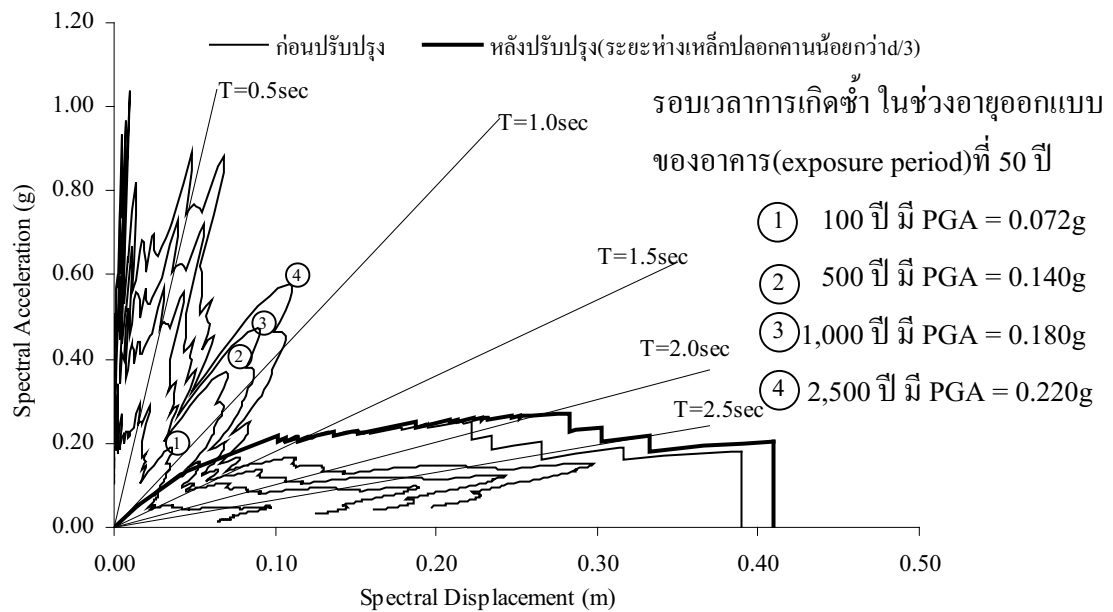


รูปที่ 5.10 ผลการใช้วิธีจัดเรียงระยะห่างเหล็กปลอกคานน้อยกว่า $d/3$ ต่อความสามารถต้านทานแรง
แผ่นดินไหวของโครงสร้าง

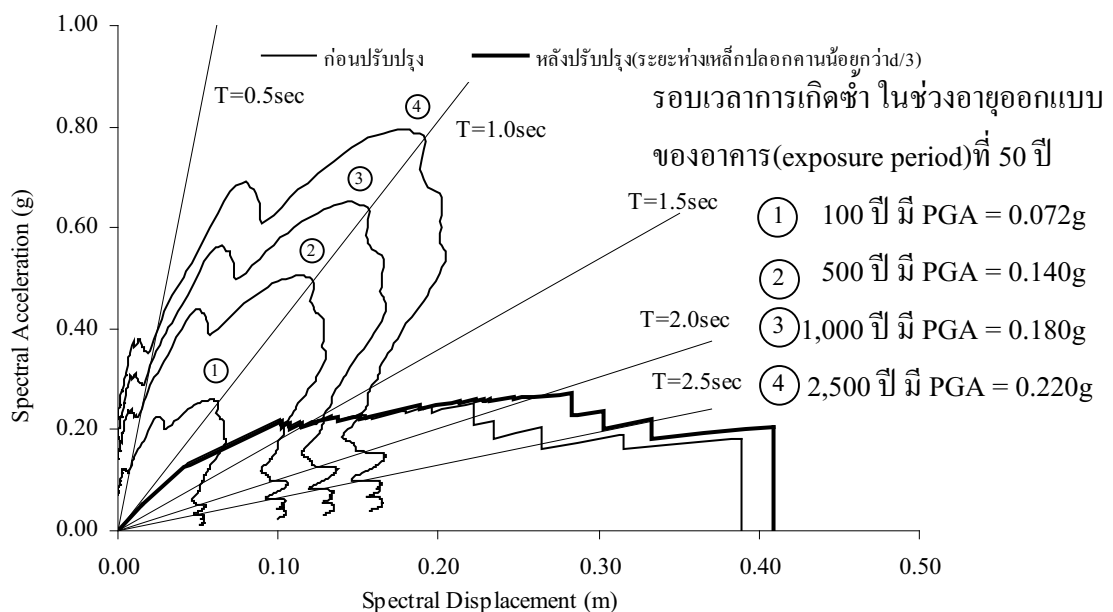
พิจารณาค้นแผ่นดินไหว El Centro โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย เนื่องจากตำแหน่งที่ Demand curve ตัดกับ Capacity curve อาคารยังคงเกิดการเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี และ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะแตกร้าวตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึง 7 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 แสดงดังรูปที่ 5.11

พิจารณาค้นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 การแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 1 และ 3 ถึง 7 ร่วมกับการแตกร้าวของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.12

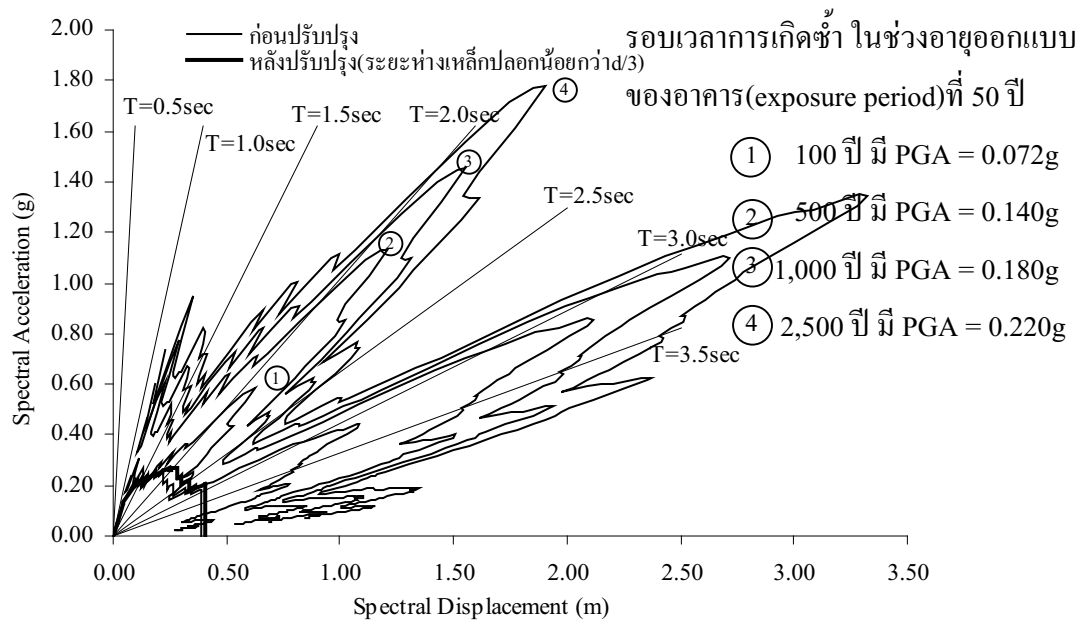
พิจารณาค้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 1,000 และ 2,500 ปี โครงสร้างเกิดการวิบัติที่เสาชั้นล่างสุด แสดงดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1



รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

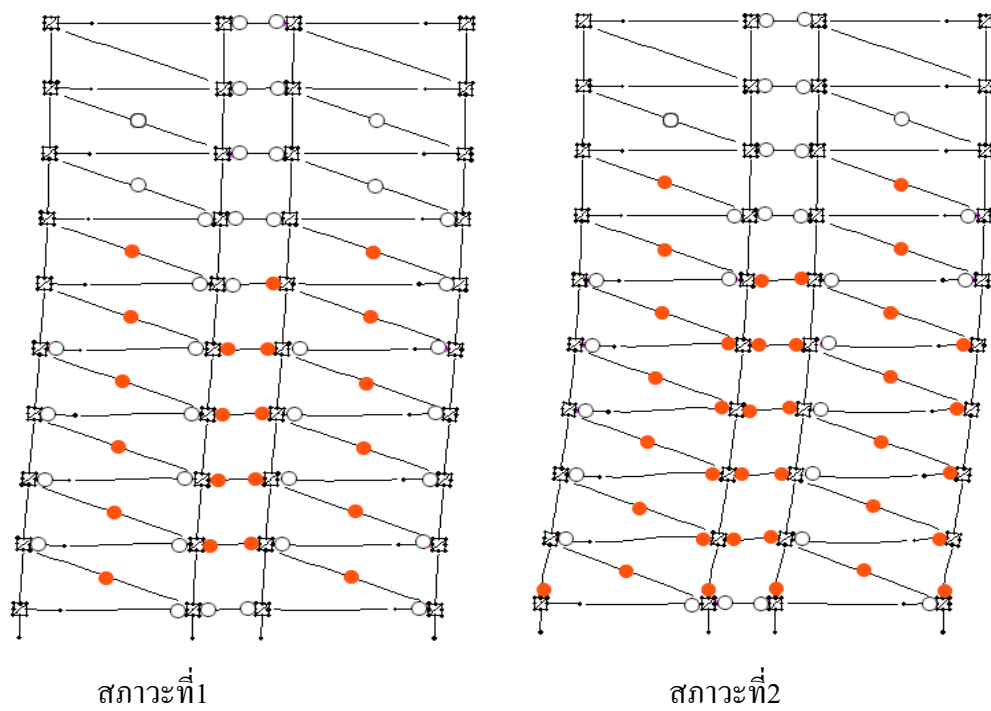
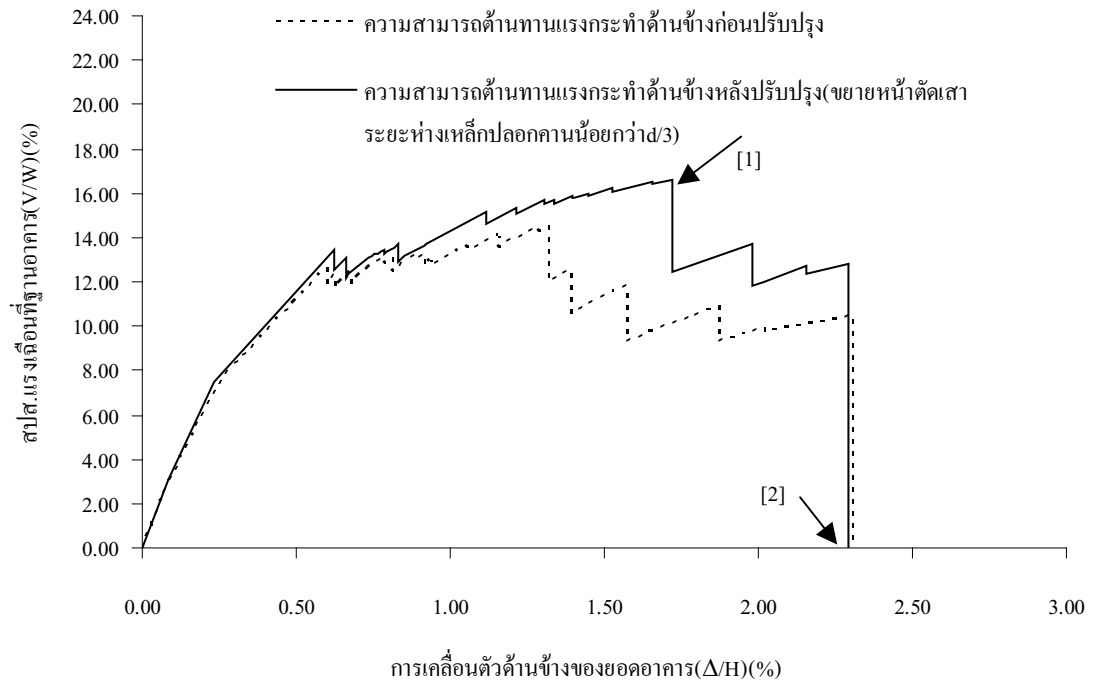


รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

5.1.4 การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีขยายหน้าตัดเสา และจัดเรียงระยะเหล็กปลอกคาน น้อยกว่า $d/3$

การขยายหน้าตัดของเสา โดยเสา C2 จากชั้น 3 ถึง 5 และเสา C3 จากชั้น 6 ถึง 9 ถูกขยายหน้าตัดให้มีขนาดเท่ากับเสา C1 ซึ่งเป็นเสาที่มีขนาดหน้าตัดใหญ่สุด โดยยังคงปริมาณเหล็กเสริมหลักไว้เหมือนเดิม เป็นการเพิ่มความแข็งแรงและกำลังต้านทานโมเมนต์ให้กับเสา ส่วนการเพิ่มความเหนียวให้กับองค์อาคารที่ถูกควบคุมการวิบัติด้วยแรงคัตด้วยการจัดระยะห่างของเหล็กปลอกขององค์อาคารให้มีระยะน้อยกว่า $d/3$ ขององค์อาคารโดยที่กำลังต้านทานแรงเฉือนขององค์อาคารต้องได้จากเหล็กปลอก (V_s) อย่างน้อย $3/4$ ของแรงเฉือนออกแบบ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการจัดระยะเหล็กปลอกขององค์อาคารให้มีระยะห่างน้อยกว่า $d/3$ และการขยายหน้าตัดของเสาช่วยเพิ่มความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับโครงสร้างได้โดยเพิ่มทั้งกำลังต้านทานและความสามารถในการเสียรูปให้กับโครงสร้าง สำหรับกรณีโครงสร้างที่ใช้ศึกษาพบว่ากำลังต้านทานเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.50 ของกรณีก่อนปรับปรุง ลักษณะการวิบัติของโครงสร้างจะเห็นว่าในช่วงเริ่มการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อนหน้านั้นเกิดการครากของคาน B3 ชั้นที่ 2-6 จนเริ่มเกิดการวิบัติของคาน B3 ตัวแรกที่ชั้น 4 ในลักษณะเดียวกันกับกรณีก่อนปรับปรุง แต่ทั้งนี้ค่าการเคลื่อนตัวของยอดอาคารที่ตำแหน่งสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานอาคารมีค่าสูงสุดของกรณีหลังปรับปรุง มีค่ามากกว่ากรณีก่อนปรับปรุงประมาณร้อยละ 30.30 เนื่องจากความสามารถในการเสียรูปและกำลังต้านทานขององค์อาคารมีค่ามากกว่าจนกระทั่งเกิดการพังทลายของโครงสร้างที่เสา C1 ชั้นที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.14

การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 9 ชั้นใช้อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สำหรับทุกระดับความรุนแรงของการสั่นไหวต่างๆ ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 เมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีขยายหน้าตัดเสา และจัดเรียงระยะเหล็กปลอกคานน้อยกว่า $d/3$ พบว่าความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่เหมือนกับกรณีก่อนปรับปรุง



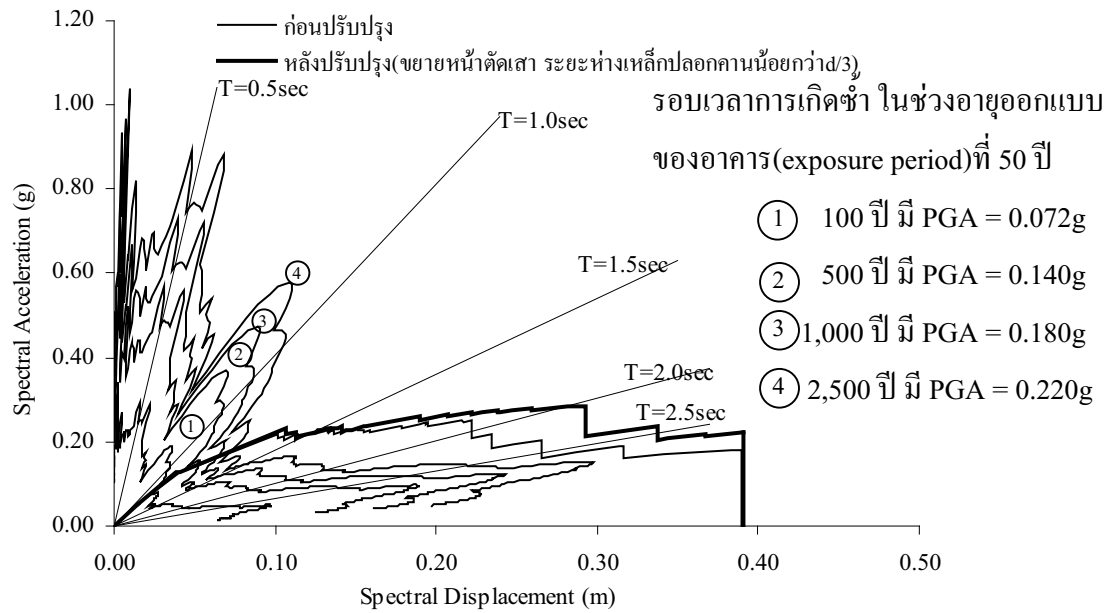
รูปที่ 5.14 ผลการใช้วิธีขยายหน้าตัดเสา และจัดเรียงระยะห่างเหล็กปลอกคานน้อยกว่า d/3 ต่อความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง

พิจารณาคลื่นแผ่นดินไหว El Centro โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย เนื่องจากตำแหน่งที่ Demand curve

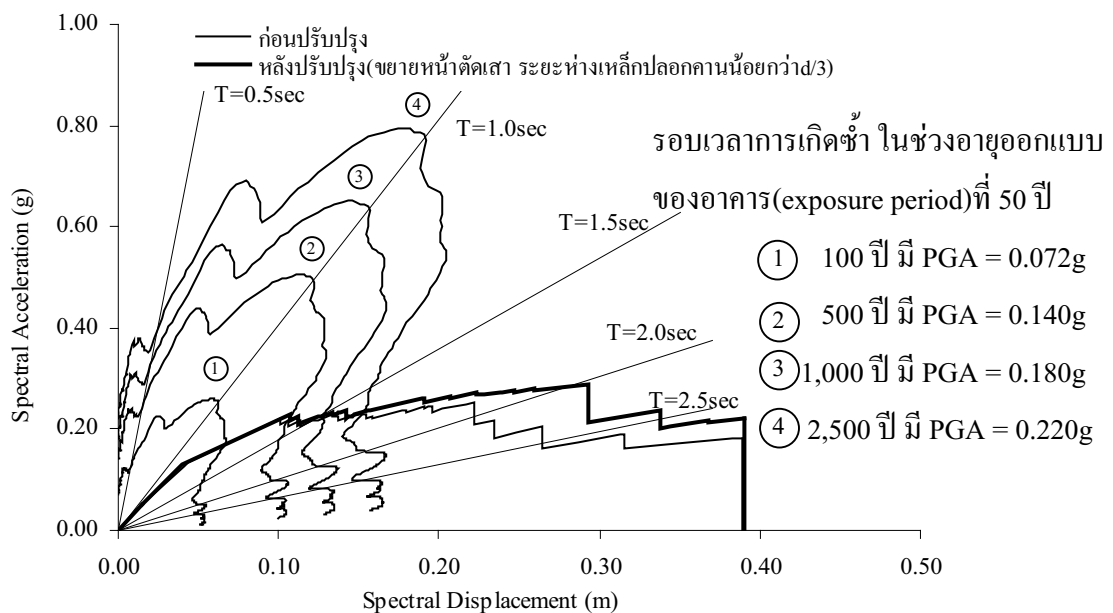
ตัดกับ Capacity curve อาคารยังคงเกิดการเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี และ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะแตกร้าวตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึง 7 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 แสดงดังรูปที่ 5.15

พิจารณาลิ้นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี จะเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 การแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 1 และ 3 ถึง 7 ร่วมกับการแตกร้าวของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 9 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี กำแพงอิฐก่อจะวิบัติชั้นที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.16

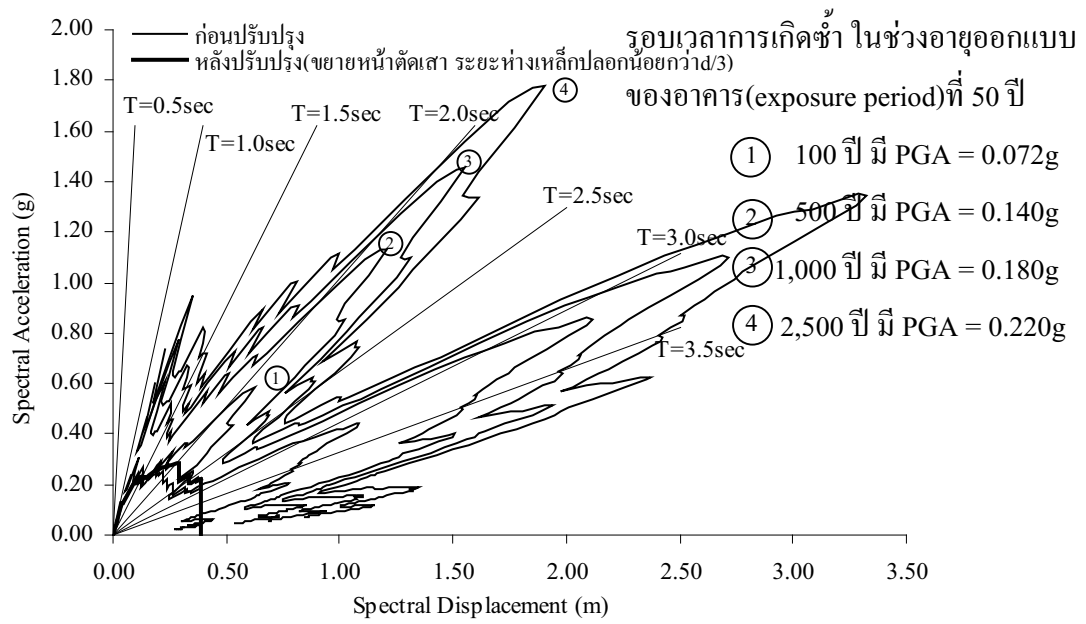
พิจารณาลิ้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 1 ถึง 5 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 1,000 และ 2,500 ปี โครงสร้างเกิดการวิบัติที่เสาชั้นล่างสุด แสดงดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1



รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1



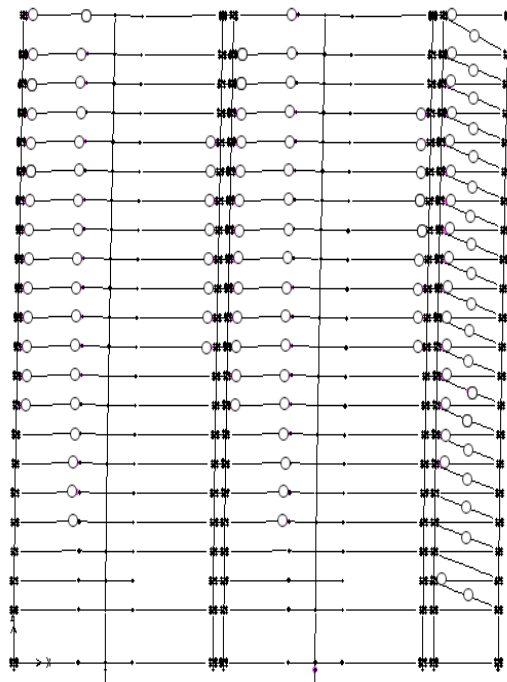
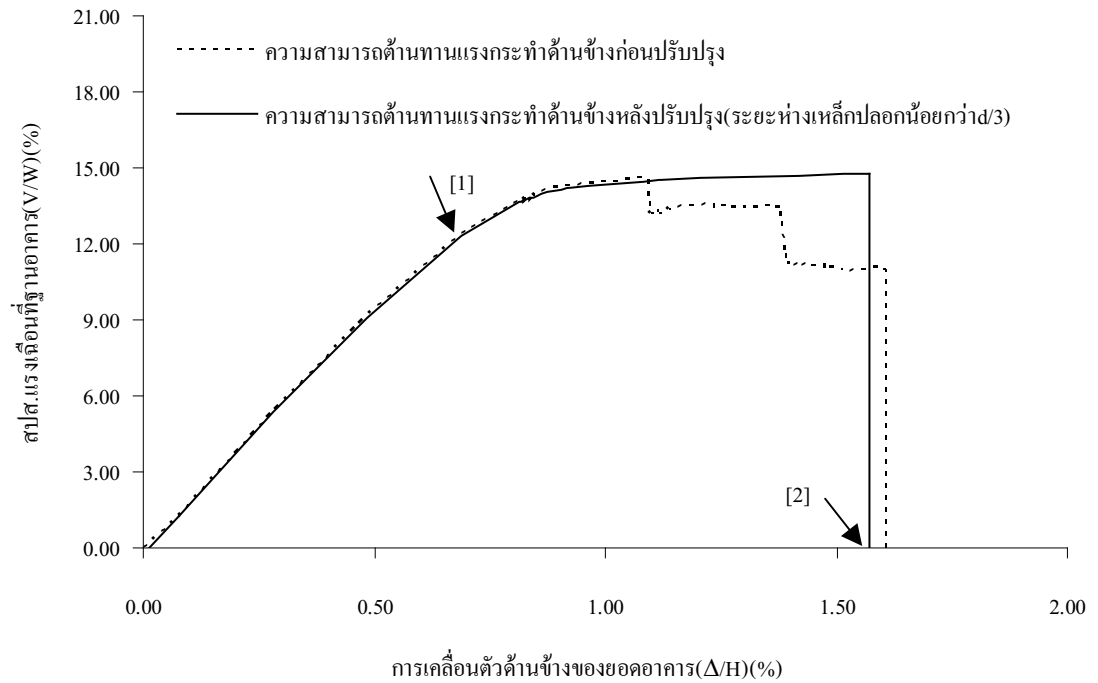
รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว
ที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

5.2 การปรับปรุงโครงสร้างอาคาร 20 ชั้น

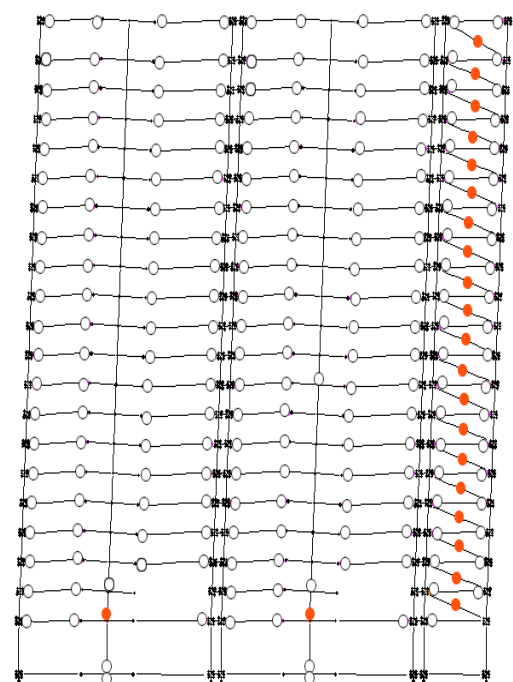
5.2.1 การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีจัดเรียงระยะเหล็กปลอกน้อยกว่า $d/3$

การเพิ่มความเหนียวให้กับแต่ละองค์อาคารจะเป็นการเพิ่มความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับโครงสร้างวิธีหนึ่ง โดย ATC-40 แนะนำวิธีการเพิ่มความเหนียวให้กับองค์อาคารที่ถูกควบคุมการวิบัติด้วยแรงคัตด้วยการจัดระยะห่างของเหล็กปลอกขององค์อาคารให้มีระยะน้อยกว่า $d/3$ ขององค์อาคาร โดยที่กำลังด้านทานแรงเฉือนขององค์อาคารต้องได้จากเหล็กปลอก (V_s) อย่างน้อย $3/4$ ของแรงเฉือนออกแบบ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับโครงสร้างตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาซึ่งระยะห่างของเหล็กปลอกขององค์อาคารทั้งคานและเสามากกว่า $d/3$ จึงพิจารณาเพิ่มค่าความสามารถในการเสีรูปขององค์อาคารโดยพิจารณาให้ระยะห่างของเหล็กปลอกทั้งในคานและเสามีค่าน้อยกว่า $d/3$ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการจัดระยะเหล็กปลอกขององค์อาคารให้มีระยะห่างน้อยกว่า $d/3$ ช่วยเพิ่มความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวให้กับโครงสร้างได้โดยเพิ่มทั้งกำลังด้านทานและความสามารถในการเสีรูปให้กับโครงสร้างสำหรับกรณีโครงสร้างที่ใช้ศึกษาพบว่าการวิบัติของโครงสร้าง เริ่มจากการครากของคาน B4 ชั้นที่ 4-20 คาน B2 ชั้นที่ 10-18 ร่วมกับการครากของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2-20 และเมื่อโครงสร้างถูกแรงแผ่นดินไหวกระทำอย่างต่อเนื่อง ทำให้กำแพงอิฐก่อเกิดการวิบัติในชั้นที่ 2-20 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 2-3 คาน B2 ชั้นที่ 2-9 และชั้นที่ 19-20 คาน B5 ชั้นที่ 2-20 และการครากของกำแพงรับแรงเฉือนชั้นที่ 1 2 9 และโครงสร้างเกิดการพังทลายเมื่อเกิดการวิบัติของกำแพงรับแรงเฉือน ชั้นที่ 2 โดยค่าความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวสูงสุดของโครงสร้างที่ตำแหน่งวิบัติหลังปรับปรุงมีค่ามากกว่ากรณีก่อนปรับปรุงประมาณร้อยละ 8.50 และค่าการเคลื่อนตัวของยอดอาคารที่ตำแหน่งสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานอาคารมีค่าสูงสุดของกรณีหลังปรับปรุง มีค่ามากกว่ากรณีก่อนปรับปรุงประมาณร้อยละ 45.40 แสดงดังรูปที่ 5.18

การประเมินความสามารถด้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 20 ชั้น ช่วงอายุออกแบบ 50 ปี ใช้อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 500 1,000 และ 2,500 ปี ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro และคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร เมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีจัดเรียงระยะเหล็กปลอกคานน้อยกว่า $d/3$ พบว่า Demand curve ตัดกับ Capacity curve ในบริเวณที่อาคารยังคงเสีรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก ดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย แสดงดังรูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20 ตามลำดับ

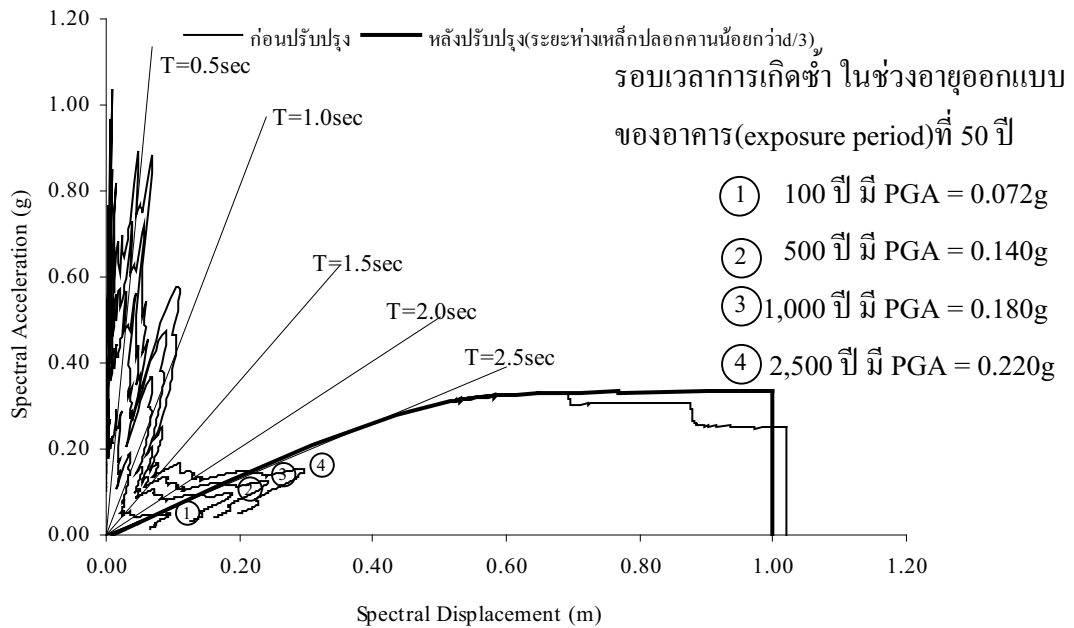


สถานะที่1

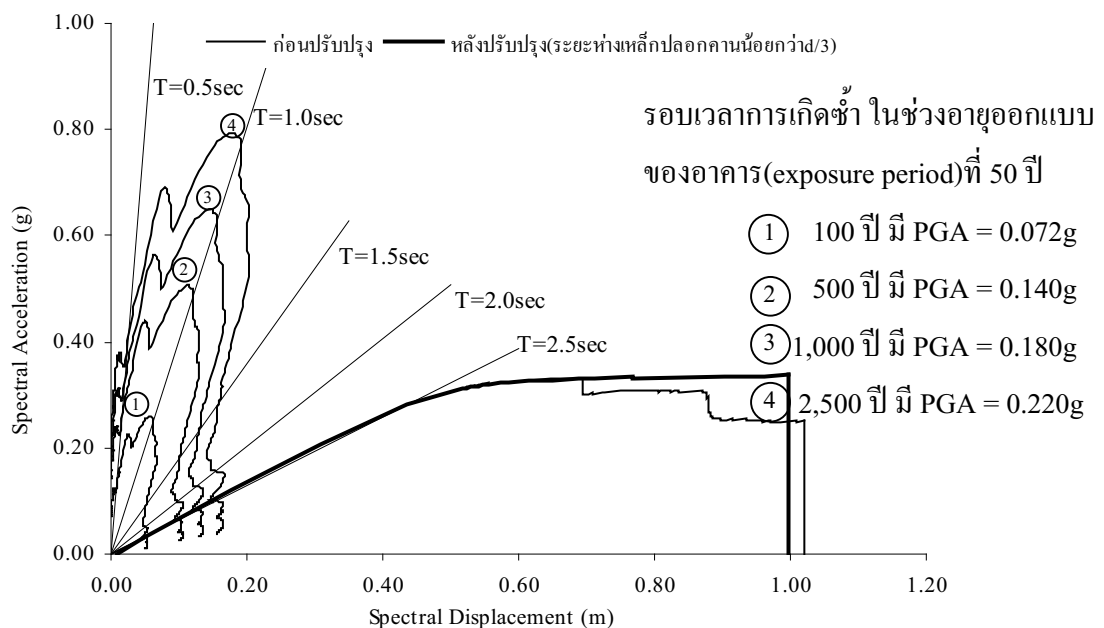


สถานะที่2

รูปที่ 5.18 ผลการใช้วิธีขยายหน้าตัดเสาต่อความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง

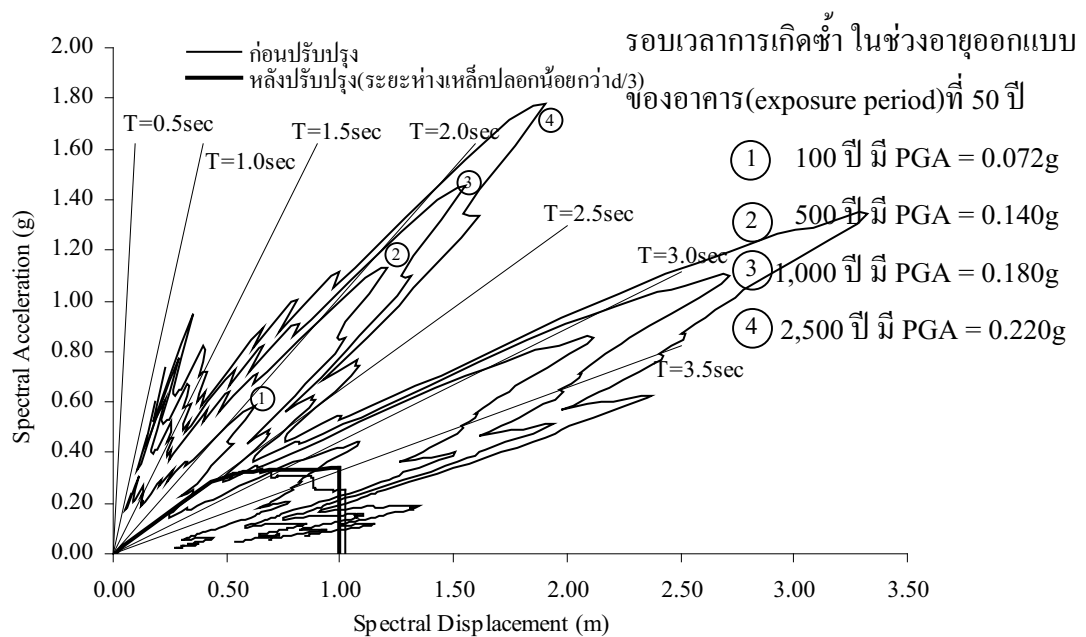


รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1



รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหว ที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

พิจารณาค้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 โดยช่วงอายุออกแบบของอาคารที่ 50 ปี ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่เหมือนกับกรณีก่อนปรับปรุง แสดงดังรูปที่ 5.21 กล่าวคือกรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี Demand curve ตัดกับ Capacity curve ในบริเวณที่อาคารยังคงเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก ดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี อาคารจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 20 ร่วมกับการครากของคาน B4 ชั้นที่ 4 ถึง 20 และการครากของคาน B2 ชั้นที่ 4 ถึง 20 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 และ 2,500 ปี โครงสร้างเกิดการวิบัติของกำแพงรับแรงเฉือน ชั้นที่ 9



รูปที่ 5.21 เปรียบเทียบ Capacity และ Demand Curve ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ของคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1

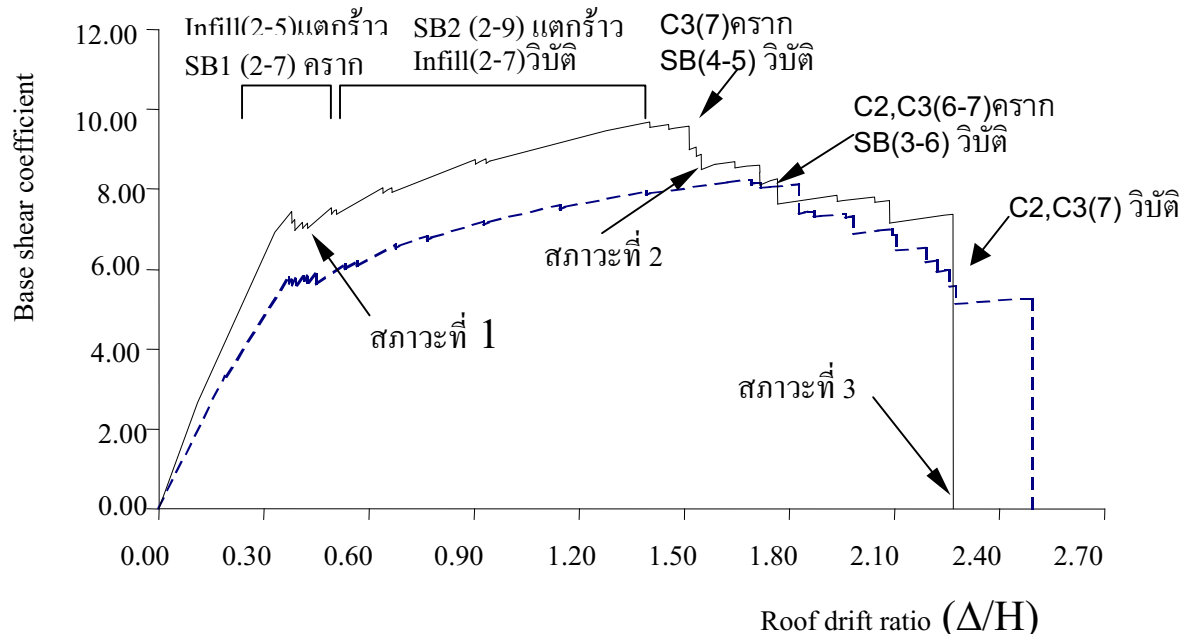
บทที่ 6

ตัวอย่างการปรับปรุงอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดพื้น-เสา ให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น

6.1 การปรับปรุงโครงสร้างอาคาร 9 ชั้น

6.1.1 การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีเพิ่มความแข็งแรงบริเวณหัวเสา (drop panel)

การเพิ่มความแข็งแรงบริเวณหัวเสา(drop panel) โดย drop panel ที่เพิ่มนี้มีขนาดความหนาเท่ากับ 15 cm บริเวณหัวเสา ซึ่งการเพิ่ม drop panel นี้เป็นการเพิ่มกำลังในการรับแรงของจุดต่อของโครงสร้างโดย drop panel จะทำให้จุดต่อระหว่างพื้น-เสา สามารถต้านทานแรงเฉือนได้เพิ่มขึ้น อันเป็นสาเหตุในกรณีวิบัติแบบเฉาะทะลุโดยจะทำให้โครงสร้างเกิดการวิบัติแบบทันทีทันใด จากการปรับปรุงพบว่าความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวสูงสุดเพิ่มขึ้น 18% เนื่องจากจุดต่อระหว่างพื้น-เสา มีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ในส่วนของพื้นและเสายังคงมีกำลังในการรับเท่าเดิม สำหรับลักษณะการวิบัติของโครงสร้าง จะมีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างก่อนที่จะได้รับการปรับปรุง โดยโครงสร้างจะเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อในชั้นที่ 2 ถึง 5 เมื่อโครงสร้างยังรับแรงต่อไปเรื่อยๆจะเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้น 2 ถึง 7 รวมถึงการแตกร้าวพื้นคานชั้นที่ 2 ถึง 9 ตามลำดับ จากนั้นจะเกิดการวิบัติในส่วนของพื้นคานรวมถึงเกิดการครากของเสา C2 และ C3 ในชั้นที่ 6 ถึง 7 และโครงสร้างจะเกิดการพังทลายเมื่อเกิดการวิบัติของเสาในชั้นที่ 7 ซึ่งลักษณะการพังทลายของโครงสร้างที่ได้รับการปรับปรุงโดยการเพิ่ม drop panel นั้นจะแตกต่างกับโครงสร้างก่อนได้รับการปรับปรุง โดยจุดต่อของพื้น-เสาที่ได้รับการปรับปรุงมีความสามารถต้านทานแรงเฉือนได้เพิ่มขึ้น ทำให้การวิบัติของโครงสร้างจะเกิดในส่วนของพื้นคานและเสาเท่านั้น ดังรูปที่ 6.1



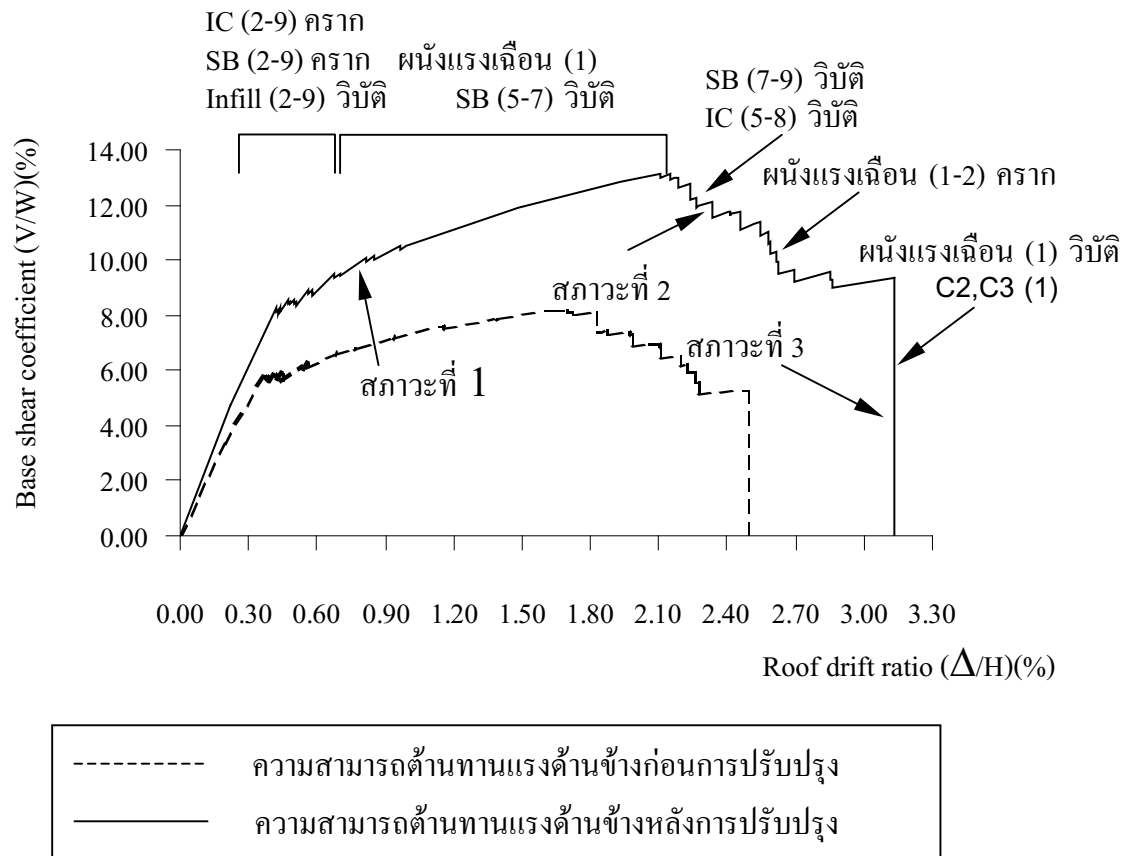
รูปที่ 6.1 ผลของการใช้วิธีเพิ่มความแข็งแรงบริเวณหัวเสา (Drop panel) ที่มีต่อความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง

6.1.2 การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีเพิ่มกำแพงรับแรง

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างระบบรวมระหว่างโครงข้อแข็งกับกำแพงต้านทานแรงด้านข้าง ดังนั้นผนังแรงเฉือน (shear wall) จึงได้รับการออกแบบเพื่อศึกษาพฤติกรรมดังกล่าว โดยในการออกแบบได้พิจารณาให้ผนังแรงเฉือนรับแรงแผ่นดินไหวไว้ทั้งหมด โดยผนังแรงเฉือนหนา 0.3 ม. กว้าง 2.5 ม. และสูง 23.4 ม. ถูกเพิ่มบริเวณโครงข้อแข็งส่วนกลางของโครงสร้างตลอดความสูง และใช้แบบจำลองการรวมโครงข้อแข็งเป็นชุด (lump model) มาใช้ในการวิเคราะห์

เมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ผนังแรงเฉือนแล้ว พบว่ากำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวสูงสุดของโครงสร้างมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 6.2 เนื่องจากผนังแรงเฉือนเป็นองค์อาคารที่มีความสามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างสูง ซึ่งในกรณีวิจัยนี้พบว่ากำลังต้านทานสูงสุดของโครงสร้างมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 60 โดยลักษณะการวิบัติของโครงสร้างเริ่มจากการวิบัติของกำแพงอิฐก่อ การทรากของพื้นคานและรวมไปถึงการทรากของจุดต่อพื้นเสาทุกชั้น จากนั้นเมื่อโครงสร้างรับแรงต่อไปอีกผนังแรงเฉือนจะเกิดการทรากในชั้นที่ 1 และเกิดการวิบัติของพื้นคานใน

ชั้นที่ 5 ถึง 7 จากนั้นการวิบัติของโครงสร้างเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเป็นผลให้จุดต่อพื้นเสาชั้นที่ 5 ถึง 8 วิบัติ พื้นคานชั้นที่ 7 ถึง 9 วิบัติ และเสถียรภาพของโครงสร้างเริ่มลดลงเมื่อผนังแรงเฉือนเกิดการครากในชั้นที่ 2 ดังนั้นโครงสร้างเกิดการพังทลายภายหลังจากผนังแรงเฉือนในชั้นที่ 1 เกิดการวิบัติ และเสา C2 และ C3 เกิดการครากในชั้นที่ 1 ด้วย

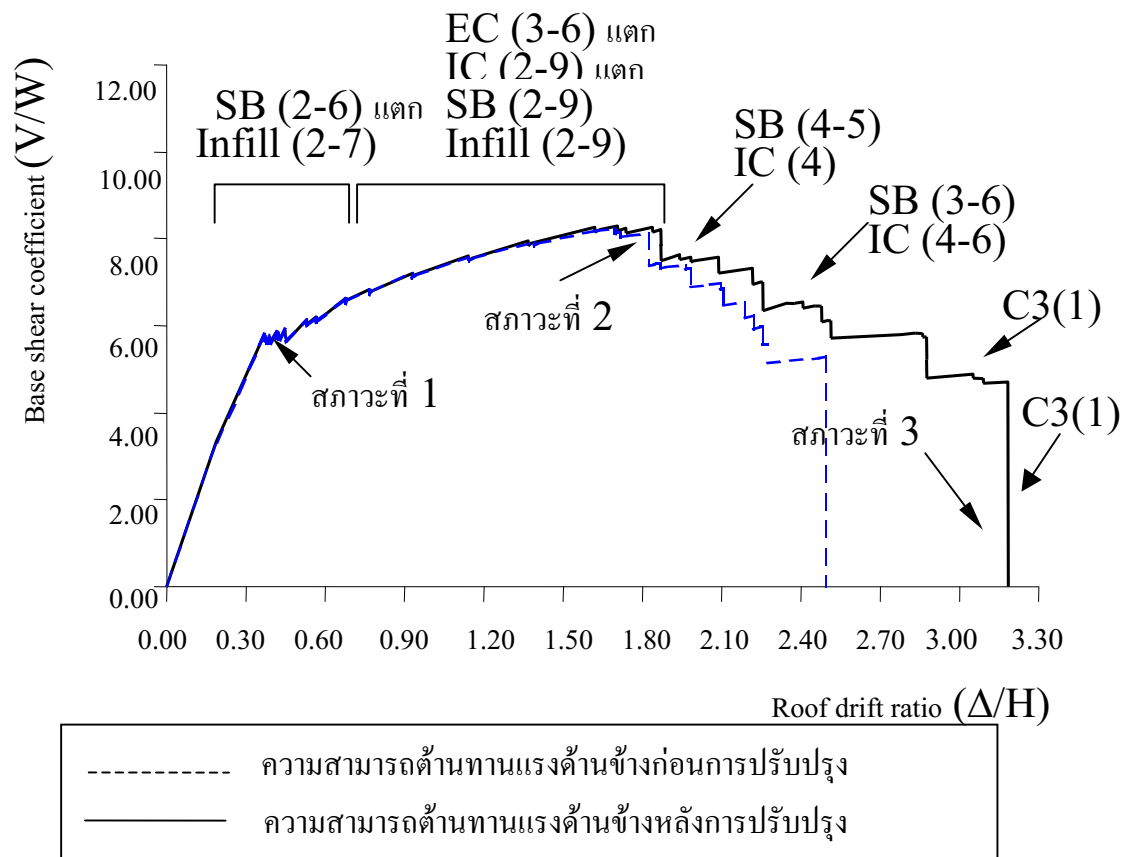


รูปที่ 6.2 ผลของการใช้วิธีค้ำยันด้านข้างด้วยผนังแรงเฉือนต่อความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว

6.1.3 การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีเพิ่มเหล็กเสริมหลักในเสาให้เท่ากันทุกชั้น

การปรับปรุงโครงสร้างโดยวิธีเพิ่มเหล็กเสริมหลักในเสาให้เท่ากันทุกชั้นเป็นการเพิ่มกำลังในการรับโมเมนต์ดัดให้กับเสาเนื่องจากโครงสร้างได้ถูกออกแบบให้หน้าตัดเสามีขนาดเท่ากันทุกชั้น แต่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กเสริมหลักทุกๆ 2 ชั้น ดังนั้นความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของเสาจะแตกต่างกันมากในระหว่างชั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็ก และจากการปรับปรุงพบว่าพฤติกรรมหรือลักษณะการวิบัติและกำลังในการต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้างในช่วงแรกๆมีค่าไม่แตกต่างจากเดิมก่อนการปรับปรุง แต่ในช่วงหลังๆพฤติกรรมดังกล่าวของโครงสร้างเกิดความแตกต่างกัน โดยโครงสร้างจะมีความสามารถในการเสียรูปเพิ่มขึ้นร้อยละ 27 จากเดิม ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าค่าความแข็งแรง(stiffness) ของโครงสร้างมีค่าเท่าเดิมไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังนั้นเมื่อกำลังของเสาเพิ่มมากขึ้นโครงสร้างจึงจำเป็นต้องมีการเสียรูปที่เพิ่มมากขึ้นด้วย

ลักษณะหรือการวิบัติของโครงสร้างในส่วนแรกเริ่มจากการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อในชั้นที่ 2 ถึง 7 และพื้นคานชั้นที่ 2 ถึง 6 จากนั้นโครงสร้างเริ่มเกิดการแตกร้าวในส่วนของจุดต่อภายในพื้น-เสาในชั้นที่ 2 ถึง 9 เกิดการแตกร้าวในส่วนของจุดต่อภายนอกพื้น-เสาในชั้นที่ 3 ถึง 6 และเกิดการครากของพื้นคานชั้นที่ 2 ถึง 9 รวมถึงการวิบัติของกำแพงอิฐก่อในชั้นที่ 2 ถึง 9 และเมื่อโครงสร้างรับแรงเพิ่มขึ้นการวิบัติจะเกิดขึ้นที่จุดต่อภายในพื้น-เสาในชั้นที่ 4 และพื้นคานชั้นที่ 4 ถึง 5 จากนั้นการวิบัติเริ่มเพิ่มมากขึ้นโดยที่จุดต่อภายในพื้น-เสาในชั้นที่ 4 ถึง 6 เกิดการวิบัติ และโครงสร้างจะเกิดการพังทลายเมื่อการวิบัติเกิดขึ้นที่บริเวณเสา C3 ในชั้นที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 ผลของการใช้วิธีเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมหลักของเสาเท่ากันทุกชั้นที่มีต่อ
ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย

การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารกระทำได้โดยใช้ Capacity curve เปรียบเทียบกับ Demand curve ซึ่งทั้ง Capacity curve และ Demand curve ถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่าง Spectral acceleration กับ Spectral displacement วิธีการนี้เรียกว่า Capacity –Demand –Diagram Method

อาคารตัวอย่างที่ศึกษา 4 อาคาร ที่ก่อสร้างแล้วในเขตกรุงเทพมหานคร และไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน จำนวน 2 อาคาร ได้แก่ อาคารพักอาศัย สูง 9 ชั้น และ อาคารเรียน สูง 20 ชั้น และอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ระบบพื้น-เสา-ผนังแรงเฉือนจำนวน 2 อาคาร ได้แก่ อาคารพักอาศัย สูง 9 ชั้น และ อาคารสำนักงาน สูง 30 ชั้น เพื่อประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 2 3 และ 4 ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่ศึกษา 3 แบบ คือ 1) คลื่นแผ่นดินไหว El Centro 2) คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และ 3) คลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก 1 โดยทำการแปลงขนาดการสั่นไหวให้เหมาะสมกับขนาดการสั่นไหวของกรุงเทพมหานคร ที่คาบการเกิดซ้ำ 100 500 1,000 และ 5,000 ปี อีกทั้งได้เสนอวิธีการปรับปรุงอาคารและข้อแนะนำในการออกแบบอาคารให้มีความสามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างให้มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

7.1 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบคาน-เสา-ผนังแรงเฉือน

7.1.1 การประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหวอาคาร

1. ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างสูง 9 ชั้น กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี แปรผันตามอัตราส่วนความเหนียว (μ) ดังนี้

ก. พิจารณาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 2 3 และ 4 อาคารยังคงเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก ดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย และที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 อาคารเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อร่วมกับการครากของคานเป็นจำนวนมาก

ข. พิจารณาภายใต้แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ ที่มีค่าอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 4 อาคารยังคงเสียรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก ดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย ส่วนที่อัตราส่วนความเหนียว 2 และ 3 อาคารเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อร่วม

กับการครากของคานเป็นจำนวนมาก และที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 อาคารเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อบริเวณชั้นล่าง และการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อร่วมกับการครากของคานเป็นจำนวนมาก

ก. พิจารณาค้นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 โครงสร้างจะเกิดการวิบัติ ส่วนที่ค่าอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 2 3 และ 4 อาคารเริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อร่วมกับการครากของคานเป็นจำนวนมาก

2. ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 9 ชั้น เมื่อพิจารณารายละเอียดการเสริมเหล็กบริเวณจุดต่อเสา-คาน ทั้งในแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร กรณีคาบการเกิดซ้ำ 500 ปี ที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สรุปได้ดังนี้

ก. กรณีพิจารณาอัตราส่วนเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่า 0.003 ระยะทาบมีค่า 45db จะเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อบริเวณชั้นล่าง และการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อร่วมกับการครากของคานเป็นจำนวนมาก

ข. กรณีพิจารณาอัตราส่วนเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่าเท่ากับ 0 ระยะทาบมีค่า 45db อาคารจะเกิดการวิบัติที่จุดต่อ

ค. กรณีพิจารณาอัตราส่วนเหล็กเสริมตามขวางภายในจุดต่อเสา-คานมีค่า 0.003 ระยะทาบมีค่า 24db จะเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อบริเวณชั้นล่าง และการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อและการครากของคานเป็นจำนวนมาก

ง. กรณีพิจารณาเหล็กล่างบริเวณจุดต่อเสา-คานไม่ต่อเนื่อง ระยะฝังมีค่าเท่ากับ 15 ซม. จะเริ่มเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อบริเวณชั้นล่าง และการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อร่วมกับการครากของคานเป็นจำนวนมาก

3. การประเมินอาคารตัวอย่างสูง 20 ชั้น เมื่อพิจารณารายละเอียดการเสริมเหล็กบริเวณจุดต่อเสา-คาน ทั้งในแบบสมมาตรและไม่สมมาตร สำหรับคลื่นแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดที่ฐานตึกใบหยก1 ที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี โครงสร้างจะเกิดการวิบัติ ส่วนที่ค่าอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 2 3 และ 4 อาคารยังคงเสถียรอยู่ในช่วงอีลาสติก ดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย ส่วนคลื่นแผ่นดินไหว El Centro และคลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ ที่อัตราส่วนความเหนียว (μ) 1 2 3 และ 4 และที่คาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี 500 ปี 1,000 ปี และ 2,500 ปี โครงสร้างของอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย ทั้งนี้เนื่องจากอาคารสูง 20 ชั้น ที่ศึกษามีความอ่อนตัว(มีคาบการสั่นไหว 2.50 วินาที) ทำให้อัตราเร่งของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหวมีค่าน้อย จึงทำให้แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารมีค่าน้อย นอกจากนี้อาคารในตัวอย่างนี้ได้ถูกออกแบบให้รับแรงกระทำทางด้านข้างจากแรงลม ซึ่งแรงกระทำทางด้านข้างจากแรงลมมีค่าแรงเฉือนที่ฐานมากกว่าแรงเฉือนที่ฐานที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวถึงประมาณ 3 เท่าและการ

เคลื่อนที่ทางด้านข้างที่ได้วิเคราะห์จากแรงลมมีค่ามากกว่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่จากการวิเคราะห์จากแรงแผ่นดินไหวถึงประมาณ 3 เท่า ดังนั้นอาคารดังกล่าวสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ในระดับที่ปลอดภัย

4. คลื่นแผ่นดินไหวที่ศึกษา 3 แบบ ที่แปลงให้มีขนาดการสั่นไหวเท่ากัน คลื่นที่ตรวจวัดที่ฐานตึกโบยอก 1 ทำให้อาคารที่ศึกษาเสียหายมากที่สุด รองลงมาคือ คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานคร และคลื่น El Centro ทำให้อาคารเสียหายน้อยที่สุด ที่ระดับขนาดการสั่นไหวเท่ากัน โดยเฉพาะอาคารที่มีคาบการสั่นไหวพื้นฐาน 0.70-1.30 วินาที จะมีการตอบสนองภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณกรุงเทพเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ผลการตอบสนองจากรูปแบบการสั่นไหวในลำดับที่ 2 และ 3 อาจทำให้การตอบสนองของอาคารมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งยังไม่ได้พิจารณาในงานวิจัยนี้

5. การประเมินความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างที่มีความสูง 20 ชั้น ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานครที่คาบการเกิดซ้ำ 500 ปี ที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 อาคารมีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่ดีและปลอดภัย สำหรับอาคารตัวอย่างที่มีความสูง 9 ชั้น ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพมหานครที่คาบการเกิดซ้ำ 500 ปี ที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 อาคารมีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวอยู่ในระดับที่ดีและปลอดภัย ยกเว้นกรณีที่ไม่มีการเสริมเหล็กปลอกภายในจุดต่อเสา-คานอาคารจะเกิดการวิบัติ

7.1.2 การปรับปรุงอาคารให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น

1. การปรับปรุงอาคารให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น สามารถทำได้โดยวิธีการเพิ่มกำแพงรับแรงซึ่งเป็นองค์อาคารที่มีความสามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างสูง มีผลให้โครงสร้างมีความสามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยแรงกระทำด้านข้างที่กระทำต่อโครงสร้างส่วนใหญ่จะถูกต้านทานโดยกำแพงรับแรง ดังนั้นพฤติกรรมการวิบัติของโครงสร้างจึงขึ้นกับพฤติกรรมร่วมระหว่างโครงข้อแข็งและกำแพงรับแรง การเพิ่มขนาดหน้าตัดเสาโดยยังคงปริมาณและลักษณะการจัดเรียงเหล็กเสริมไว้ดังเดิมโดยหลังการเพิ่มขนาดหน้าตัดเสาให้มีขนาดเท่ากับเสาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดจะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงและกำลังต้านทานโมเมนต์ให้กับเสา ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างให้กับโครงสร้างโดยรวม และการจัดเรียงระยะห่างของเหล็กปลอกขององค์อาคารให้มีความน้อยกว่าระยะ $d/3$ ขององค์อาคารตามการศึกษาของ ATC-40 จะช่วยเพิ่มความสามารถในการเสีรูปให้กับจุดหมุนพลาสติก ซึ่งทำให้โครงสร้างมีความสามารถในการเคลื่อนตัวด้านข้างเพิ่มขึ้น

2. การปรับปรุงความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 9 ชั้น ด้วยวิธีการเพิ่มกำแพงรับแรง การเพิ่มขนาดหน้าตัดเสา และการจัดเรียงระยะห่างของเหล็กปลอกของ

องค์อาคารให้มีค่าน้อยกว่าระยะ $d/3$ ขององค์อาคาร มีผลให้กำลังต้านทานแรงกระทำด้านข้างสูงสุดของโครงสร้างมีค่าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 26.10 ร้อยละ 4.40 และร้อยละ 8.40 ตามลำดับ ส่วนการเพิ่มขนาดหน้าตัดเสาโดยยังคงปริมาณและลักษณะการจัดเรียงเหล็กเสริมไว้ดังเดิม ร่วมกับการจัดเรียงระยะห่างของเหล็กปลอกขององค์อาคารให้มีค่าน้อยกว่าระยะ $d/3$ ซึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแรงและกำลังต้านทานโมเมนต์ให้กับเสา และเพิ่มความสามารถในการเสีรูป มีผลให้กำลังต้านทานแรงกระทำด้านข้างสูงสุดของโครงสร้างมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.50 และค่าการเคลื่อนตัวของยอดอาคารที่ตำแหน่งสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานอาคารมีค่าสูงสุด มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ ร้อยละ 30.30

3. การปรับปรุงความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่าง 20 ชั้น ด้วยวิธีการจัดเรียงระยะห่างของเหล็กปลอกขององค์อาคารให้มีค่าน้อยกว่าระยะ $d/3$ มีผลให้กำลังต้านทานแรงกระทำด้านข้างสูงสุดของโครงสร้างมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.50 ส่วนค่าการเคลื่อนตัวของยอดอาคารที่ตำแหน่งสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานอาคารมีค่าสูงสุด มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ ร้อยละ 45.40

7.2 อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กระบบพื้น-เสา-ผนังแรงเฉือน

7.2.1 การประเมินระดับความต้านทานแรงแผ่นดินไหวอาคาร

1. ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างสูง 9 ชั้น ของกรณีศึกษาการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี นั้นแปรผันตามอัตราส่วนความเหนียว (μ) โดยเมื่อพิจารณาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro ที่อัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 4 อาคารยังคงเสีรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก ดังนั้นอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย และที่อัตราส่วนความเหนียว 2 และ 3 เริ่มเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 และเมื่อพิจารณาภายใต้แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหวที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ โดยที่ผลประเมินของอัตราส่วนความเหนียว 1 ถึง 4 ใกล้เคียงกันมาก โดยกำแพงอิฐก่อจะเกิดการวิบัติชั้นที่ 2 ถึง 4 และจะเกิดการครากของจุดต่อภายในของพื้น-เสา ชั้นที่ 2 ถึง 5 รวมกับการครากของพื้นคาน ชั้นที่ 2 ถึง 7 ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าคลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ จะทำให้อาคารที่ศึกษามีความเสียหายมากกว่าคลื่น El Centro ที่ระดับขนาดการสั่นไหวเท่ากัน

2. ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างสูง 9 ชั้น เมื่อพิจารณาภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว El Centro สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สรุปได้ดังนี้ สำหรับคลื่น El Centro กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี โครงสร้างจะไม่เกิดความเสียหายเลย เนื่องจากโครงสร้างยังคงเกิดการเสีรูปอยู่ในช่วงอีลาสติก เมื่อคาบการเกิดซ้ำ ประมาณ 500 ปี โครงสร้างจะเกิดการแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อที่ชั้น 2 ถึง 7 พร้อมทั้งเกิดการครากของพื้น-คานที่ชั้น 2 ถึง 7 และรวมถึงเกิดการครากของจุดต่อพื้นเสากลางภายในที่ชั้น 2 ถึง 5 จากนั้นกำแพงอิฐก่อเกิดการวิบัติที่ชั้น 2 ถึง 4 เมื่อคาบการเกิดซ้ำ ประมาณ 1,000 ปีกำแพงอิฐก่อชั้นที่ 5 ถึง 7 จะเกิดการวิบัติร่วมกับการ

ครากของพื้น-คาน ชั้นที่ 8 ถึง 9 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี จะเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อทั้งหมด ร่วมกับการการครากของจุดต่อพื้นเสาภายในที่ชั้น 6 ถึง 8

3. ความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารตัวอย่างสูง 9 ชั้น เมื่อพิจารณาภายใต้คลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ สำหรับอัตราส่วนความเหนียวเท่ากับ 1 สรุปได้ดังนี้ กรณีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี กำแพงอิฐก่อชั้น 2 ถึง 7 จะแตกร้าวร่วมกับการครากของพื้นคาน ชั้น 2 ถึง 6 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 500 ปี การแตกร้าวของกำแพงอิฐก่อเกิดขึ้นร่วมกับการครากของพื้นคาน ชั้น 2 ถึง 7 เมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 1,000 ปี กำแพงอิฐก่อชั้นที่ 2 ถึง 4 จะวิบัติร่วมกับการครากของจุดต่อพื้นเสาภายในที่ชั้น 6 ถึง 8 และเมื่อคาบการเกิดซ้ำประมาณ 2,500 ปี จะเกิดการวิบัติของกำแพงอิฐก่อชั้น 5 ถึง 7 ร่วมกับการการครากของพื้นคาน ชั้นที่ 8 ถึง 9 และเกิดการครากของจุดต่อพื้นเสาภายในที่ชั้น 6 ถึง 8 ด้วย

4. คลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพจะทำให้อาคารที่ศึกษามีความเสียหายมากกว่าคลื่น El Centro ที่ระดับขนาดการสั่นไหวเท่ากัน โดยเฉพาะอาคารที่มีคาบการสั่นไหวพื้นฐาน 0.70-1.30 วินาที จะมีการตอบสนองภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวที่เกิดบริเวณกรุงเทพเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ผลการตอบสนองจากรูปแบบการสั่นไหวในลำดับที่ 2 และ 3 อาจทำให้การตอบสนองของอาคารมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งยังไม่ได้พิจารณาในงานวิจัยนี้

5. การประเมินอาคารตัวอย่างสูง 30 ชั้นสำหรับคลื่นแผ่นดินไหว El Centro และคลื่นที่มีโอกาสเกิดบริเวณกรุงเทพ ที่คาบการเกิดซ้ำประมาณ 100 ปี 500 ปี 1,000 ปี และ 2,500 ปี โครงสร้างของอาคารจะไม่เกิดความเสียหายเลย ทั้งนี้เนื่องจากอาคารสูง 30 ชั้น ที่ศึกษามีความอ่อนตัว(มีคาบการสั่นไหว 3 วินาที) ทำให้อัตราเร่งของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหวมีค่าน้อย จึงทำให้แรงแผ่นดินไหวที่กระทำกับอาคารมีค่าน้อย นอกจากนี้อาคารในตัวอย่างนี้ได้ถูกออกแบบให้รับแรงกระทำทางด้านข้างจากแรงลม ซึ่งแรงกระทำทางด้านข้างจากแรงลมมีค่าแรงเฉือนที่ฐานมากกว่าแรงเฉือนที่ฐานที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวถึงประมาณ 2 เท่าและการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่ได้วิเคราะห์จากแรงลมมีค่ามากกว่าการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่จากการวิเคราะห์จากแรงแผ่นดินไหวถึงประมาณ 2 เท่า ดังนั้นอาคารดังกล่าวสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ในระดับที่ปลอดภัย

7.2.2 การปรับปรุงอาคารให้มีความสามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น

1. การปรับปรุงอาคารตัวอย่างสูง 9 ชั้นโดยการเพิ่มความแข็งแรงบริเวณหัวเสา เพิ่มผนังแรงเฉือน ช่วยเพิ่มกำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวสูงสุดของโครงสร้างขึ้นร้อยละ 18 และ 60 ตามลำดับ และเพิ่มเหล็กเสริมหลักในเสาให้เท่ากันทุกชั้นจะเพิ่มความสามารถในการเสียรูปขึ้นร้อยละ 27

2. การปรับปรุงอาคารตัวอย่างสูง 30 ชั้นโดยการเพิ่มความแข็งแรงบริเวณหั่วเสา เพิ่มผนังแรงเฉือน และคานขอบรอบนอกของอาคาร ช่วยเพิ่มกำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวสูงสุดของโครงสร้างขึ้นร้อยละ 104, 442 และ 13 ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

- นรเทพ ชูพล (2547), “การประเมินความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก”, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ณัฐวุฒิ อินทบุตร (2546), “การประเมินการต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดแผ่นพื้นไร้คาน”, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- เป็นหนึ่งใน วาณิชชัย และสืบพงศ์ เกียรติวิศาลชัย (2544), “การประเมินความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีต”, เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง การออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว ครั้งที่ 4, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, หน้า 265-286
- พิพัฒน์ อิ่มอาบ (2545), “การประเมินความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก”, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ATC (1996), “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, ATC-40 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Chopra A. and Goel R. (1999), “Capacity-Demand-Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures: SDF Systems”, Pacific Earthquake Engineering Research Center, UC Berkley, California.
- FEMA (1997), “NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273)”, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., October.
- Freeman S. A., Nicoletti J. P. and Tyrell J. V. (1975), “Evaluation of Existing Buildings for Seismic Risk—A Case Study of Puget Sound Naval Shipyard, Bremerton, Washington”, Proceedings of the 1st U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, 1975, pp. 113-122.
- Kiattavisanchai S. (2001), “Evaluation of Seismic Performance of an Existing Medium-Rise Reinforced Concrete Frame Building in Bangkok”, M.Eng. thesis, Thesis No. ST-01-11, Asian Institute of Technology.
- SAP2000 (2000), “Integrated Finite Element Analysis and Design of Structure : Analysis Reference”, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.

Warnitchai P., Sangaranyakul C. and Ashford S.A. (2000), “Seismic Hazard in Bangkok Due to Long-distance Earthquake.”, Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Paper No. 2145.