แนวทางการออกแบบ ก่อสร้าง และเสริมกำลังอาคาร เพื่อรองรับแผ่นดินไหว

สภาวิศวกร

รศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
King Mongkut's University of Technology Thonburi

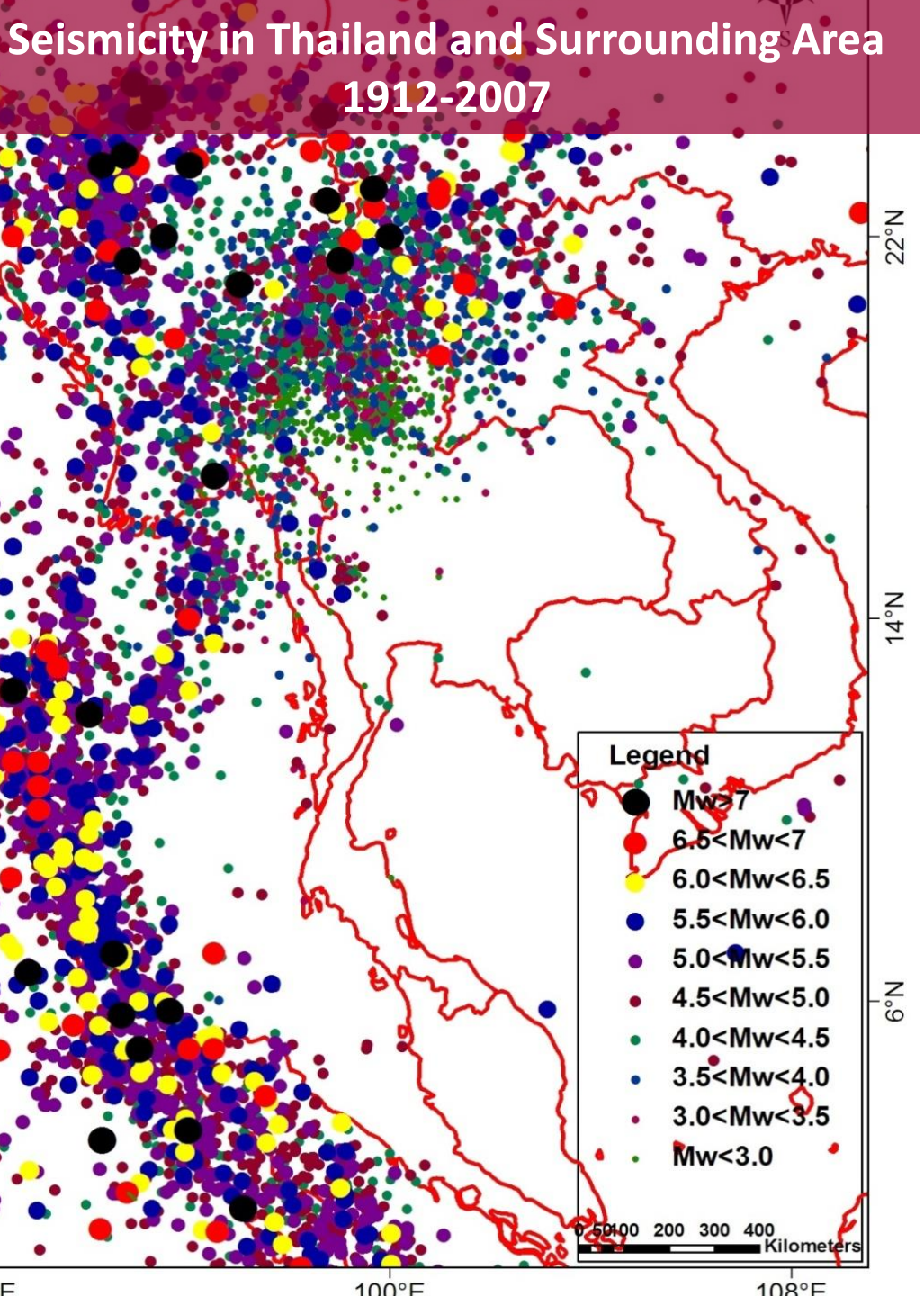
วัตถุประสงค์และหัวข้อการบรรยาย

วัตถุประสงค์ แนวทางการออกแบบ ก่อสร้าง และเสริมกำลังอาคาร เพื่อรองรับแผ่นดินไหว

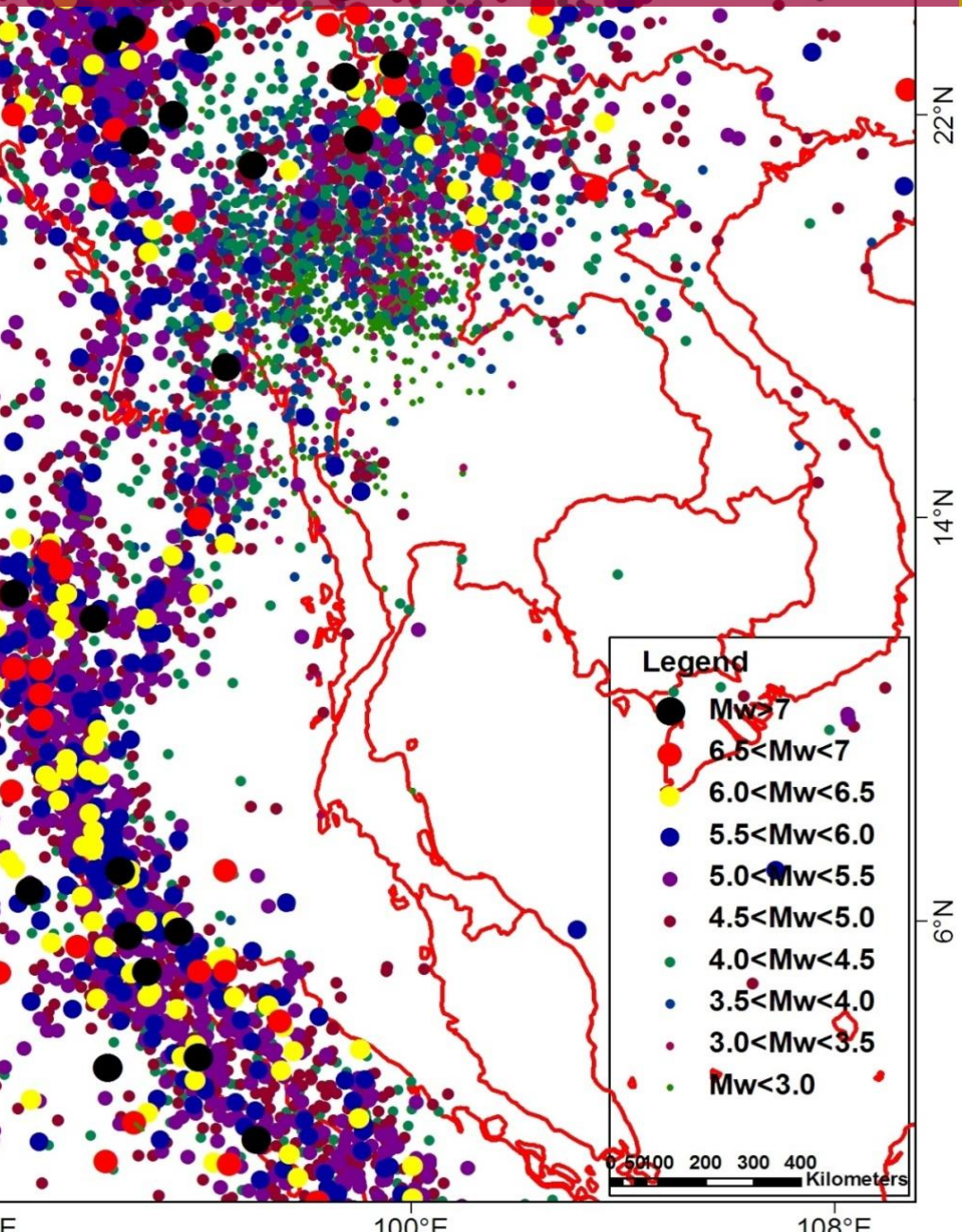
- ภัยแผ่นดินไหวในประเทศไทย
- กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
- แนวทางการออกแบบและก่อสร้างอาคาร
- แนวทางการเสริมกำลังอาคาร

พระธาตุเจดีย์หลวง จ.เชียงใหม่ เสียหายจากแผ่นดินไหว
ครั้งใหญ่ ในปีพ.ศ. 2088 ในรัชสมัยพระนางเจ้า
มหาเทวีจิรประภา ยอดพระเจดีย์หลวงก็พังทลายลงมา

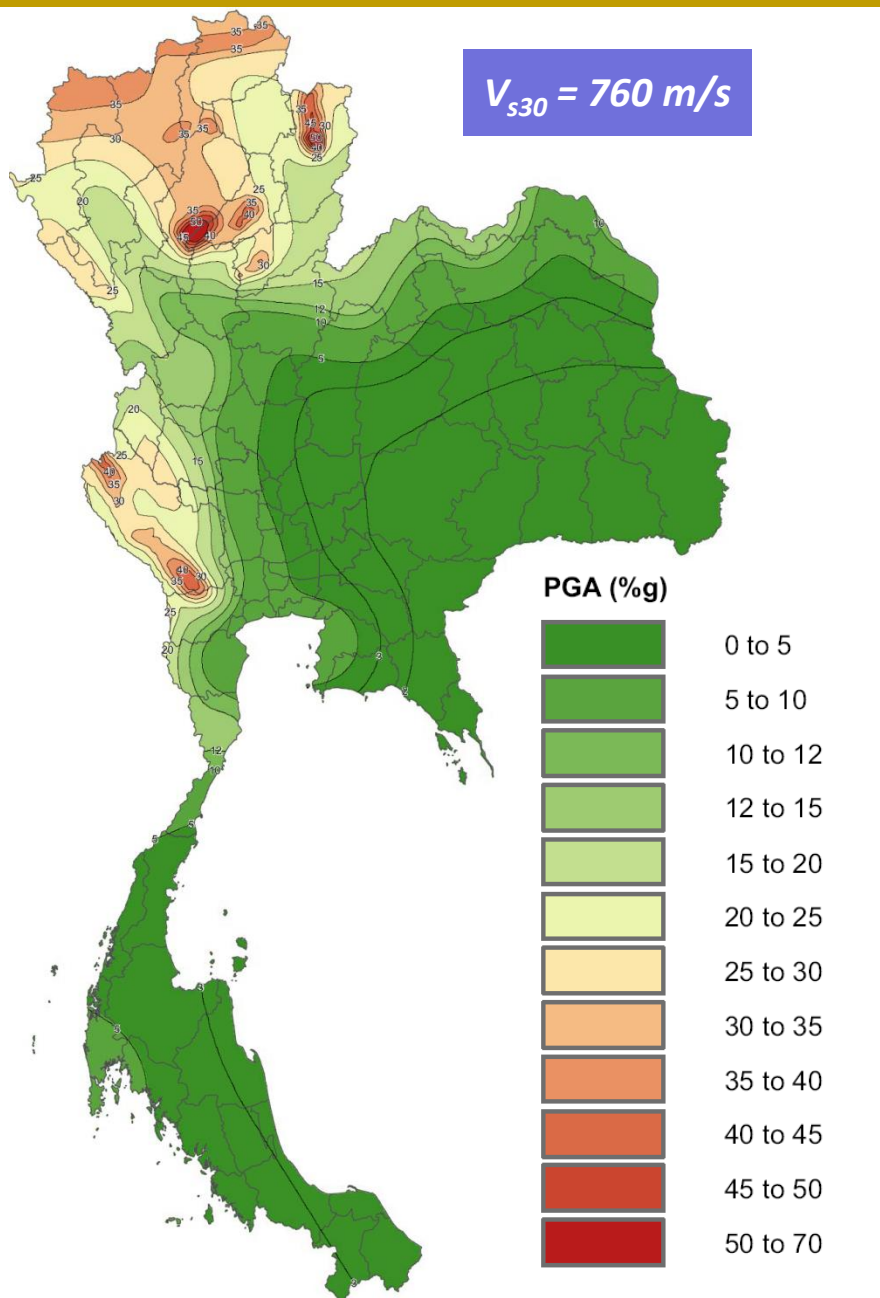
Seismicity in Thailand and Surrounding Area 1912-2007



Seismicity in Thailand and Surrounding Area 1912-2007



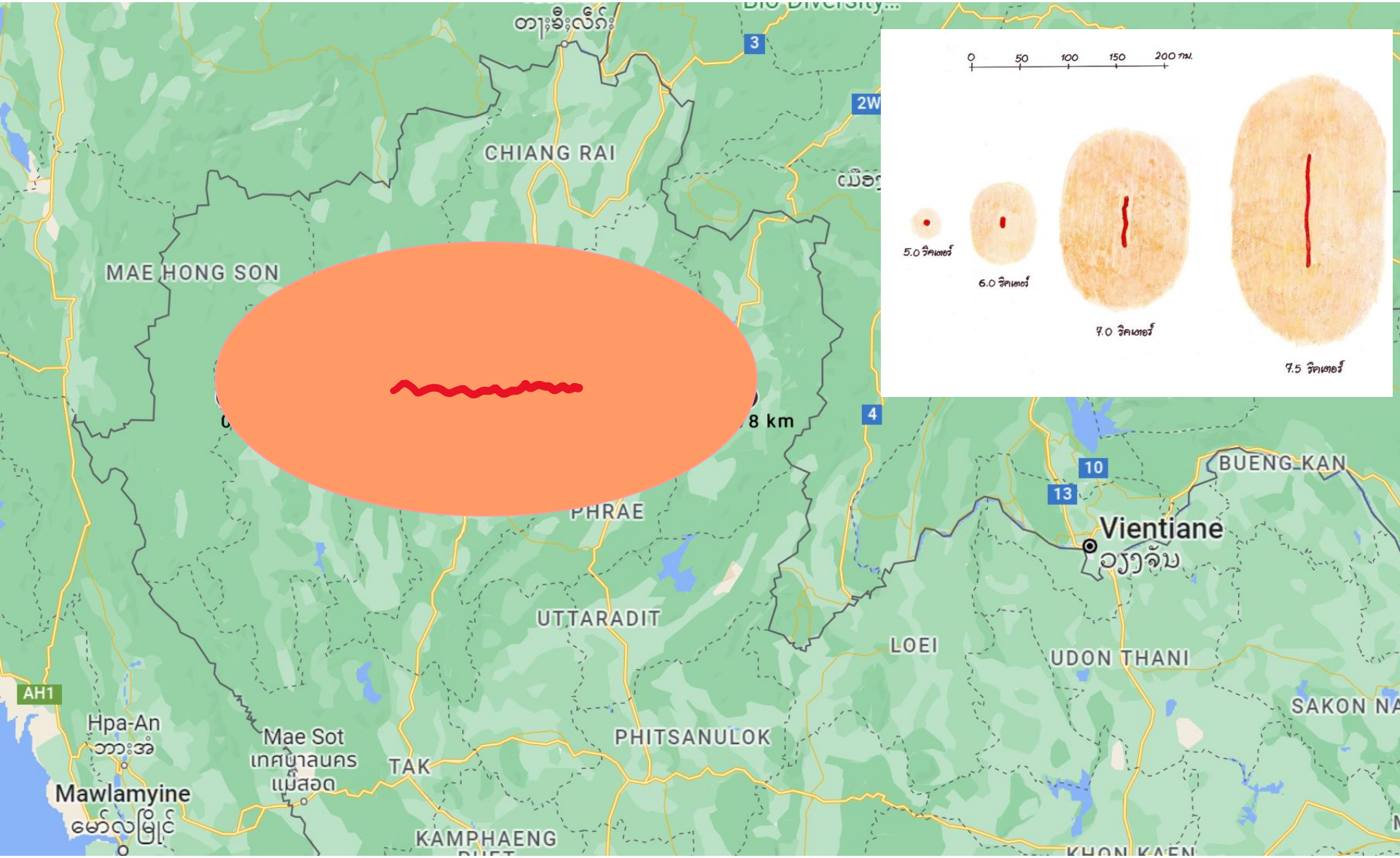
Peak Ground Acceleration with 2% Probability of Exceedance in 50 years



<u>แผ่นดินไหวขนาดเล็ก 3 - 4 ริคเตอร์</u>
ไม่เป็นอันตราย

<u>แผ่นดินไหวขนาดกลาง 5 - 6 ริคเตอร์</u>
จัดเป็นแผ่นดินไหวที่อันตราย สามารถก่อให้เกิดภัยพิบัติรุนแรงได้ถ้าเกิดขึ้นตรงกับตำแหน่งเมืองใหญ่

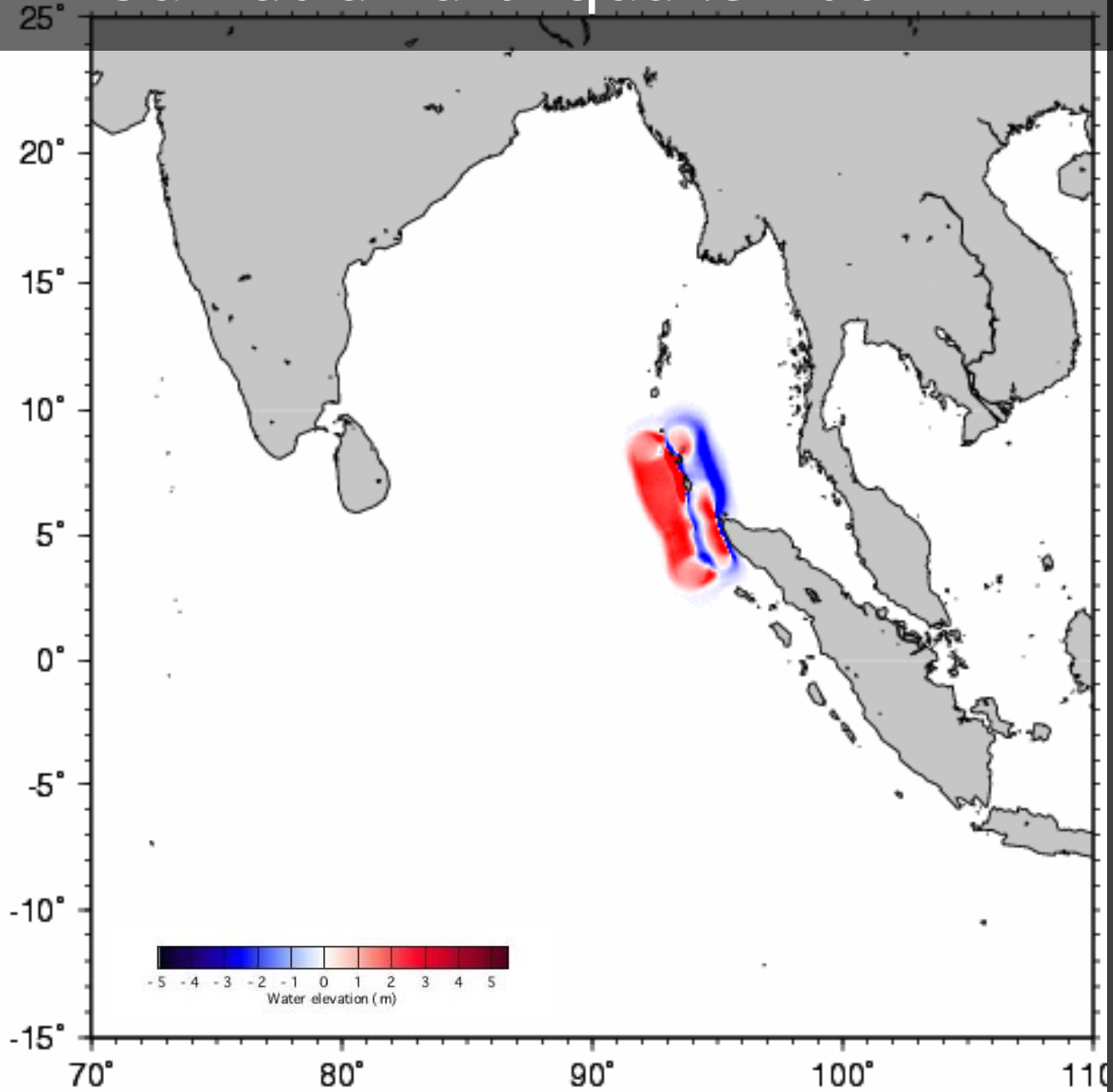
<u>แผ่นดินไหวขนาดใหญ่ 7 – 8 ริคเตอร์</u>
อันตรายมาก
สามารถทำลายอาคารบ้านเรือนในพื้นที่กว้างหลายร้อยตารางกิโลเมตร มักก่อให้เกิดภัยพิบัติที่รุนแรง


CHIANG RAI
MAE HONG SON
PHRAE
UTTARADIT
LOEI
UDON THANI
BUENG KAN
Vientiane
PHITSANULOK
TAK
KAMPHAENG
Hpa-An
Mawlamyine
Mae Sot
8 km
0 50 100 150 200 กม.
5.0 ริคเตอร์
6.0 ริคเตอร์
7.0 ริคเตอร์
7.5 ริคเตอร์

แผ่นดินไหวขนาดตั้งแต่ 5 ริคเตอร์ขึ้นไป ที่เคยตรวจวัดได้ในประเทศไทย

วัน-เดือน-ปี	สถานที่เกิด	ขนาด (ริคเตอร์)
13 พ.ค.2478	จ. น่าน	6.5
17 ก.พ. 2518	อ. ท่าสองยาง จ. ตาก	5.6
15-22 เม.ย. 2526	อ.ศรีสวัสดิ์ จ. กาญจนบุรี	5.3, 5.9, 5.2 (3 ครั้ง)
11 ก.ย. 2537	อ. พาน จ. เชียงราย	5.1
9 ธ.ค. 2538	อ. ร้องกวาง จ. แพร่	5.1
21 ธ.ค. 2538	อ. พร้าว จ. เชียงราย	5.2
22 ธ.ค. 2539	พรมแดนไทย-ลาว-พม่า (ใกล้ อ.ดอยหลวง จ.เชียงราย)	5.5
16 พ.ค. 2550	ประเทศลาว ใกล้ จ. เชียงราย	6.3
24 มี.ค. 2554	ประเทศพม่า ใกล้ จ. เชียงราย	6.8

Sumatra Earthquake 2004



http://staff.aist.go.jp/kenji.satake/Sumatra-E.html

2004 Tsunami, Kamala Beach, Phuket

Kao Luk, Phang Nga

2007 Ministerial Regulation Requires Seismic Design for Public Buildings and Buildings 15 m or Higher

กฎกระทรวง

กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
พ.ศ. ๒๕๕๐

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ และมาตรา ๙ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๓๓ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๕ ประกอบกับมาตรา ๓๒ มาตรา ๓๓ มาตรา ๓๙ มาตรา ๔๒ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำ

กฎกระทรวง (UBC 1976-1985)

$$V = ZIKCSW$$

$$C = \frac{1}{15T^{0.5}}$$

ประเภทของอาคาร	ค่าสัมประสิทธิ์แรงตามแนวราบ K
ระบบกำแพงรับแรง	1.33
ระบบโครงสร้างอื่นๆที่ไม่ได้ถูกจำแนกประเภท	1.00
ระบบผสม	0.80
ระบบโครงข้อแข็งที่มีความเหนียว	0.67

ภาพความเสียหายจากเหตุแผ่นดินไหวภาคเหนือ น.7 / "เคลลี่-ธนพัฒน์" รอ "กรีน-อัษฎาพร" พาไปไหว้แม่ที่อเมริกา น.35

หัวหินเหลืองอร่ามร่วมรับเสด็จ

ในงานวันฉัตรมงคลทรงพระเจริญกึกก้อง

มวลพสกนิกรสุดปลื้มปีติในวัน "ฉัตรมงคล" พร้อมใจกันใส่เสื้อเหลืองเฝ้ารอรับเสด็จและชื่นชมพระบารมีพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวหน้าวัง ★ มีต่อหน้า 17

ไทยรัฐ
นสพ.จำหน่ายมากที่สุดของประเทศ
ปีที่ 65 ฉบับที่ 20559 วันอังคารที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ.2557 ราคา 10.00 บาท
www.thairath.co.th ไทยรัฐ TV

ป่วนทั้งภาคเหนือ! ดินไหว6.3 ผู้คนหนีตายอุตลุด

มีอาฟเตอร์ช็อกถึง3ครั้ง เชียงราย-เชียงใหม่หนัก อาคารร้าวถนนพังเพิบ

ระทึก แผ่นดินไหวเขย่าภาคเหนือรุนแรง ขนาด 6.3 ริกเตอร์ ศูนย์กลางอยู่ อ.พาน จ.เชียงราย ล่ำกลงไปในพื้นดิน 10 กม. และเกิดอาฟเตอร์ช็อกตามมาอีก 3 ครั้ง ห้างร้านอาคารบ้านช่องใน ★ มีต่อหน้า 11

บีบบู ให้ตัดสิ พรฎ.-พิมพ์เขี

ทางออกของประเทศ ให้เลือกเอาอย่างหนึ่ง

"มาร์ค" วอนทุกฝ่ายน้อมนำพระราชดำริแก้ปัญหาบ้านเมืองขัดโรคแก้ปช่อนมัดปฏิวัติเงียบ วอนรัฐ-กปปส.ตอบรับนำชาติสงบ บีบ "ปู" ฝืนตรา พ.ร.ฎ. เท่ากับฉีกพิมพ์เขียวทางออก "ชวนหนี" ขอคุณ"จิต-น้ำใจผู้นำหญิง "ชัยเกษม" ★ มีต่อหน้า 16

จับสาวใหญ่แส

เช่ารถเต็มที่ทั่วภูเก็ต เชิดขาย-จำนำ52คัน

เจ้าของเต็นท์รถเช่าแห่ขี้ตัวยันสาวแสบหลอกเช่ารถราคาแพง แล้วเชิดรถส่งขายต่อทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งนำไปจำนำในฮ่องกง ★ มีต่อหน้า 15

มาเฟียจตุจักร บีบ'ร้านเหล้า'

ร.ต.ท.เจ็บ2-ส.ต.อ.อีก1 สงสัยเรียกค่าคุ้มครอง

ปาบีมร้านเหล้าย่านจตุจักรกลางดึก คนร้ายสวมหมวกกันน็อกจุดระเบิดทำลายโครมลงโดะลูกค้าเสียงดังสนั่น ★ มีต่อหน้า 19

ฆ่าซุปเปอร์เม 'นักแข่ง'รถคา

มือปืนประกบยิงที่

ประกบยิงดิ้งดับ "ซุปเปอร์เนต" นักแข่งรถแชมป์ถ้วยพระราชทานดั่งสยองตายกุนกลางเมือ จยย.พาแฟนสาวนั่งซ้อนท้ายไปทำพิธีขาย

bangkokbiznews.com
กรุงเทพธุรกิจ
วันอังคารที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ.2557 ปีที่ 27 ฉบับที่ 9357 ราคา 20 บาท

ศาลรธน.ไต่สวนคดี'ถวิล' -'ยิ่งลักษณ์'เข้าชี้แจงเอง 16
'เอสซีจี'ลดเฮดจิ้งค่าเงิน-'บาท'อ่อนหนุนส่งออก 17

GEOX
grand slams

'รร.-ห้าง'ป่วนแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหว : เกิดเหตุแผ่นดินไหว 6.3 ริกเตอร์ ศูนย์กลางอยู่บริเวณ อ.พาน จ.เชียงราย รู้สึกได้หลายจังหวัดในพื้นที่ทั้งภาคเหนือ พบอาคารบ้านเรือน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม และถนนได้รับความเสียหาย

› เชียงรายระทึก 6.3 ริกเตอร์
› ประธานหอฯชี้หนักสุด 100 ปี

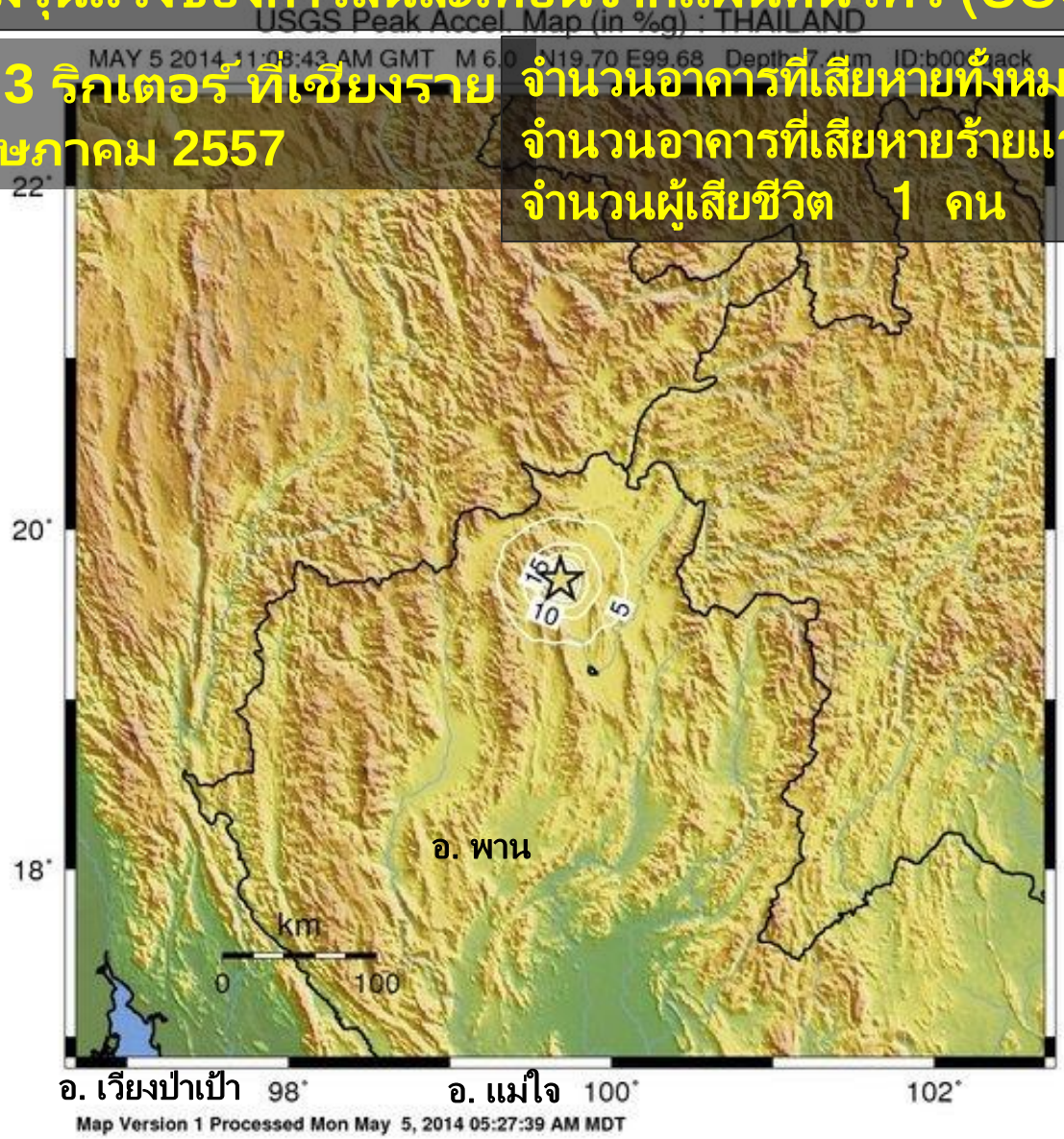
ยอดมณฑปวัดร่องขุ่น ศาลาพระอุโบสถพัง

จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว อ.พาน
เชียงราย
เชียงใหม่
ลำพูน
ลำปาง
น่าน
พะเยา
แพร่
อุตรดิตถ์
ตาก
ลพบุรี
สิงห์บุรี
อ่างทอง
ชัยนาท
นครสวรรค์
อุทัยธานี
กำแพงเพชร
พิจิตร
พิษณุโลก
เพชรบูรณ์
ขอนแก่น
ชัยภูมิ
เลย
อุดรธานี
หนองคาย
บึงกาฬ
นครพนม
มุกดาหาร
สกลนคร
ยโสธร
อำนาจเจริญ
อุบลราชธานี
ศรีสะเกษ
สุรินทร์
บุรีรัมย์
ร้อยเอ็ด
มหาสารคาม
กาฬสินธุ์
ชัยภูมิ
นครราชสีมา
ขอนแก่น
อุดรธานี
เลย
หนองคาย

แผนที่แสดงความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (USGS)

แผ่นดินไหว 6.3 ริกเตอร์ ที่เชียงราย
5 พฤษภาคม 2557

จำนวนอาคารที่เสียหายทั้งหมด > 10000 หลัง
จำนวนอาคารที่เสียหายร้ายแรง > 400 หลัง
จำนวนผู้เสียชีวิต 1 คน



PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Worden et al. (2011)

กฎกระทรวง

กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. ๒๕๖๔

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ มาตรา ๘ (๑) (๓) (๑๑) และ (๑๒) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๔๓ และมาตรา ๘ วรรคสอง แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๕) พ.ศ. ๒๕๕๘ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคาร ออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

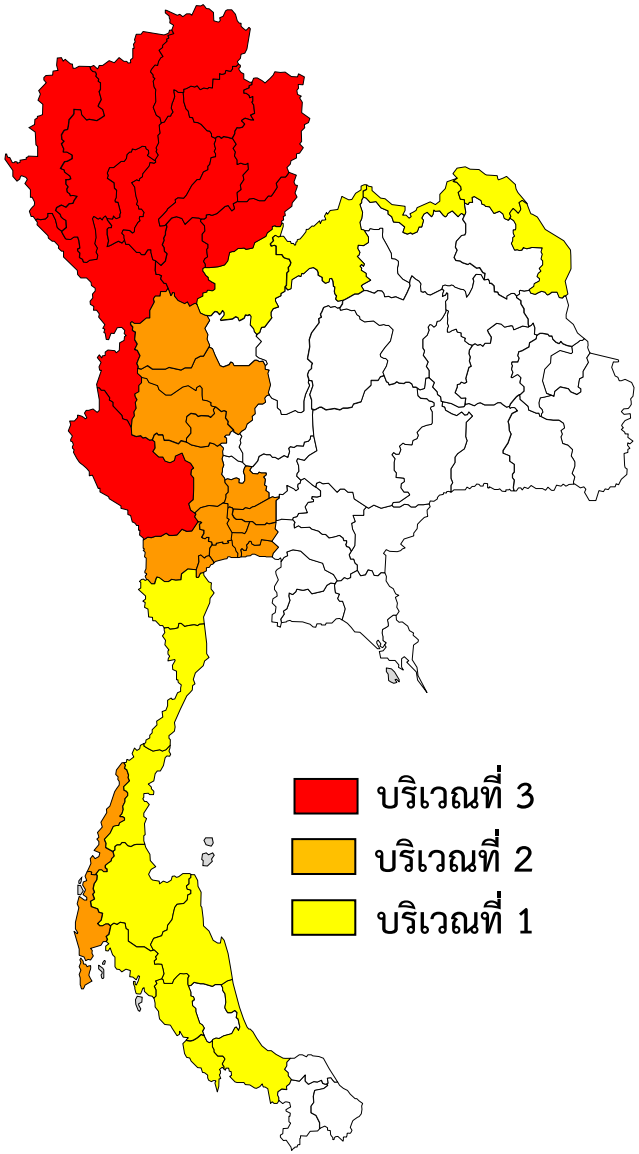
ข้อ ๑ กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๒ ให้ยกเลิกกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. ๒๕๕๐

“บริเวณที่ ๑” หมายความว่า บริเวณหรือพื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังเนื่องจากมีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพร จังหวัดตรัง จังหวัดนครพนม จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดบึงกาฬ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดเลย จังหวัดสงขลา จังหวัดสตูล จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดหนองคาย

“บริเวณที่ ๒” หมายความว่า บริเวณหรือพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพในระดับปานกลางเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดชัยนาท จังหวัดนครปฐม จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดราชบุรี จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดอุทัยธานี

“บริเวณที่ ๓” หมายความว่า บริเวณหรือพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพในระดับสูงเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน จังหวัดสุโขทัย และจังหวัดอุตรดิตถ์



พื้นที่บังคับใช้ ตามกฎกระทรวงฯ

"บริเวณที่ ๑" หมายความว่า บริเวณหรือพื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังเนื่องจากมีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพร จังหวัดตรัง จังหวัดนครพนม จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดบึงกาฬ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดเลย จังหวัดสงขลา จังหวัดสตูล จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดหนองคาย

"บริเวณที่ ๒" หมายความว่า บริเวณหรือพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพในระดับปานกลางเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดชัยนาท จังหวัดนครปฐม จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดราชบุรี จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดอุทัยธานี

"บริเวณที่ ๓" หมายความว่า บริเวณหรือพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ว่าอาคารอาจได้รับผลกระทบทางด้านความมั่นคงแข็งแรงและเสถียรภาพในระดับสูงเมื่อมีแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน จังหวัดสุโขทัย และจังหวัดอุตรดิตถ์

(๑) บริเวณที่ ๑ และบริเวณที่ ๒

(ก) อาคารที่จำเป็นต่อการช่วยเหลือและบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้แก่ สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า หรือโรงผลิตและเก็บน้ำประปา

(ข) คลังสินค้าที่ใช้เป็นสถานที่เก็บรักษาวัตถุอันตรายตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตราย ประเภทวัตถุระเบิดได้ วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ หรือวัตถุกัมมันตรังสี

(ค) โรงมหรสพ หอประชุม ศาสนสถาน สนามกีฬา อัฒจันทร์ สถานีขนส่ง สถานบริการ หรือท่าจอดเรือ ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่ ๖๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(ง) หอศิลป์ พิพิธภัณฑสถาน หรือสถานศึกษา ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่ ๑,๐๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(จ) หอสมุดที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่ ๒,๐๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(ฉ) ตลาด ห้างสรรพสินค้า หรือศูนย์การค้า ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่ ๑,๕๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(ช) โรงแรม อาคารอยู่อาศัยรวม อาคารชุด หรือหอพัก ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่ ๔,๐๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(ซ) อาคารจอดรถที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่ ๔,๐๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(ฌ) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน สถานให้บริการดูแลผู้สูงอายุ หรือสถานสงเคราะห์ผู้สูงอายุ ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่ ๓๐๐ ตารางเมตรขึ้นไป

(ญ) เรือนจำตามกฎหมายว่าด้วยราชทัณฑ์

(ฎ) อาคารขนาดใหญ่พิเศษ

(ฏ) อาคารที่มีความสูงตั้งแต่ ๑๕ เมตร หรือ ๕ ชั้นขึ้นไป

(ฐ) สะพานหรือทางยกระดับที่มีช่วงระหว่างศูนย์กลางตอม่อยาวตั้งแต่ ๑๐ เมตรขึ้นไป รวมถึงอาคารที่ใช้ในการควบคุมการจราจรของสะพานหรือทางยกระดับดังกล่าว

(ฑ) อุโมงค์ที่ใช้เป็นเส้นทางคมนาคมขนส่ง

(ฒ) เขื่อนเก็บกักน้ำ เขื่อนทดน้ำ หรือฝายทดน้ำ ที่ตัวเขื่อนหรือตัวฝายมีความสูงตั้งแต่ ๑๐ เมตรขึ้นไป รวมถึงอาคารประกอบที่ใช้ในการบังคับหรือควบคุมน้ำของเขื่อนหรือของฝายดังกล่าว

(ณ) อาคารที่ทำการของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือหน่วยงานของรัฐ ที่จัดตั้งขึ้นตามกฎหมาย

(ด) เครื่องเล่นตามกฎกระทรวงว่าด้วยการควบคุมเครื่องเล่น ที่โครงสร้างมีความสูงตั้งแต่ ๑๕ เมตรขึ้นไป

(๒) บริเวณที่ ๓

(ก) อาคารที่จำเป็นต่อการช่วยเหลือและบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้แก่ สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า หรือโรงผลิตและเก็บน้ำประปา

(ข) คลังสินค้าที่ใช้เป็นสถานที่เก็บรักษาวัตถุอันตรายตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตรายประเภทวัตถุระเบิดได้ วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ หรือวัตถุกัมมันตรังสี

(ค) อาคารสาธารณะ

(ง) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน สถานให้บริการดูแลผู้สูงอายุ หรือสถานสงเคราะห์ผู้สูงอายุ

(จ) เรือนจำตามกฎหมายว่าด้วยราชทัณฑ์

(ฉ) อาคารขนาดใหญ่พิเศษ

(ช) อาคารที่มีความสูงตั้งแต่ ๑๐ เมตร หรือ ๓ ชั้นขึ้นไป

(ซ) สะพานหรือทางยกระดับที่มีช่วงระหว่างศูนย์กลางตอม่อยาวตั้งแต่ ๕ เมตรขึ้นไป รวมถึงอาคารที่ใช้ในการควบคุมการจราจรของสะพานหรือทางยกระดับดังกล่าว

(ฌ) อุโมงค์ที่ใช้เป็นเส้นทางคมนาคมขนส่ง

(ญ) เขื่อนเก็บกักน้ำ เขื่อนทดน้ำ หรือฝายทดน้ำ ที่ตัวเขื่อนหรือตัวฝายมีความสูงตั้งแต่ ๑๐ เมตรขึ้นไป รวมถึงอาคารประกอบที่ใช้ในการบังคับหรือควบคุมน้ำของเขื่อน หรือของฝายดังกล่าว

(ฎ) อาคารที่ทำการของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือหน่วยงานของรัฐ ที่จัดตั้งขึ้นตามกฎหมาย

(ฏ) อาคารอยู่อาศัยและอาคารพาณิชย์ที่ดำเนินการตามกฎหมายว่าด้วยการจัดสรรที่ดิน

(ฐ) เครื่องเล่นตามกฎกระทรวงว่าด้วยการควบคุมเครื่องเล่น ที่โครงสร้างมีความสูงตั้งแต่ ๑๐ เมตรขึ้นไป

การคำนวณพื้นที่อาคารตามวรรคหนึ่ง ให้นำพื้นที่ทางเดิน ห้องน้ำ ห้องส้วม หรือพื้นที่ที่เกี่ยวเนื่องกับกิจการและอยู่ภายในอาคารนั้นมารวมคำนวณด้วย สำหรับการคำนวณพื้นที่อาคารที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ ๑ หรือบริเวณที่ ๒ ซึ่งใช้เป็นที่ประกอบกิจการหลายประเภทในอาคารหลังเดียวกัน หากนำพื้นที่ทุกกิจการมารวมกันแล้วเท่ากับหรือมากกว่าพื้นที่ที่กำหนดของกิจการหนึ่งกิจการใดในอาคารหลังนั้นตาม (๑) (ค) (ง) (จ) (ฉ) (ช) (ซ) หรือ (ฌ) ให้ถือว่าอาคารหลังดังกล่าวอยู่ภายใต้บังคับแห่งกฎกระทรวงนี้ด้วย

การวัดความสูงของอาคารให้วัดจากระดับพื้นดินที่ก่อสร้างถึงส่วนที่สูงที่สุดของอาคาร

ข้อ ๕ การออกแบบอาคารตามข้อ ๔ ให้ผู้ออกแบบคำนึงถึงการจัดรูปแบบเรขาคณิตของโครงสร้างอาคารให้มีเสถียรภาพในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว สำหรับอาคารที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ ๒ ซึ่งเป็นอาคารสูง และบริเวณที่ ๓ ให้ผู้ออกแบบคำนึงถึงส่วนประกอบของอาคารด้านสถาปัตยกรรมให้มีความมั่นคง ไม่พังทลาย หรือไม่ร่วงหล่นได้โดยง่ายด้วย

ข้อ ๖ การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารตามข้อ ๔ ให้ผู้ออกแบบและคำนวณจัดโครงสร้างทั้งระบบ กำหนดรายละเอียดปลีกย่อยของชิ้นส่วนโครงสร้างและบริเวณรอยต่อระหว่างปลายชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ อย่างน้อยให้มีความเหนียวเป็นไปตามที่รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา หรือหลักเกณฑ์ในเรื่องดังกล่าวที่จัดทำโดยส่วนราชการอื่นที่มีหน้าที่และอำนาจในเรื่องนั้น

การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารตามข้อ ๔ ที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ ๒ หรือบริเวณที่ ๓ ให้ผู้ออกแบบและคำนวณคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้ด้วย โดยการคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวต้องไม่ต่ำกว่าที่รัฐมนตรีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา

ผู้ออกแบบและคำนวณต้องเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร

หน้า ๑๓
เล่ม ๑๓๘ ตอนที่ ๑๖ ก ราชกิจจานุเบกษา ๔ มีนาคม ๒๕๖๔

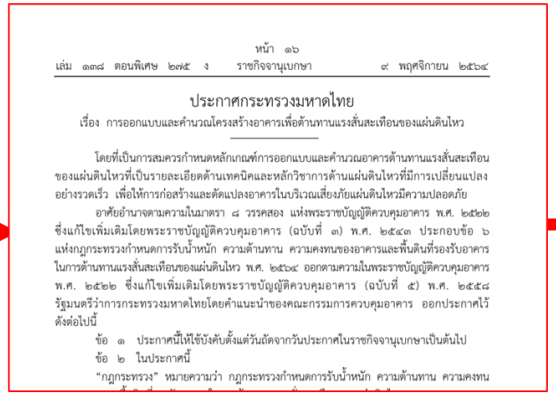
กฎกระทรวง
กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
พ.ศ. ๒๕๖๔

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ มาตรา ๘ (๑) (๓) (๑๑) และ (๑๒) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๔๓ และมาตรา ๘ วรรคสอง แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๕) พ.ศ. ๒๕๕๘ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคาร ออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๒ ให้ยกเลิกกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. ๒๕๕๐

กฎกระทรวงฯ


หน้า ๑๖
เล่ม ๑๓๘ ตอนพิเศษ ๒๗๕ ง ราชกิจจานุเบกษา ๙ พฤศจิกายน ๒๕๖๔

ประกาศกระทรวงมหาดไทย
เรื่อง การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบและคำนวณอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่เป็นรายละเอียดด้านเทคนิคและหลักวิชาการด้านแผ่นดินไหวที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพื่อให้การก่อสร้างและดัดแปลงอาคารในบริเวณเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวมีความปลอดภัย

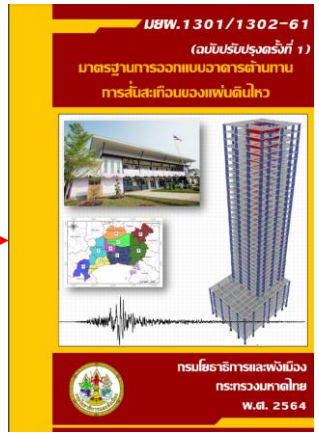
อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๘ วรรคสอง แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๔๓ ประกอบข้อ ๖ แห่งกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. ๒๕๖๔ ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๕) พ.ศ. ๒๕๕๘ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคาร ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๒ ในประกาศนี้

"กฎกระทรวง" หมายความว่า กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทน

ประกาศกระทรวงมหาดไทย

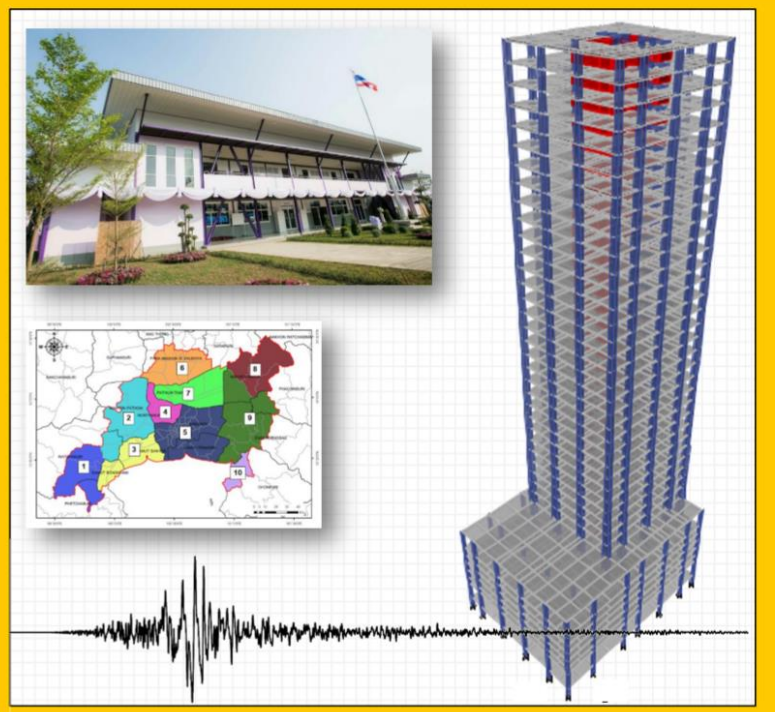


มาตรฐาน มยผ

มยผ.1301/1302-61

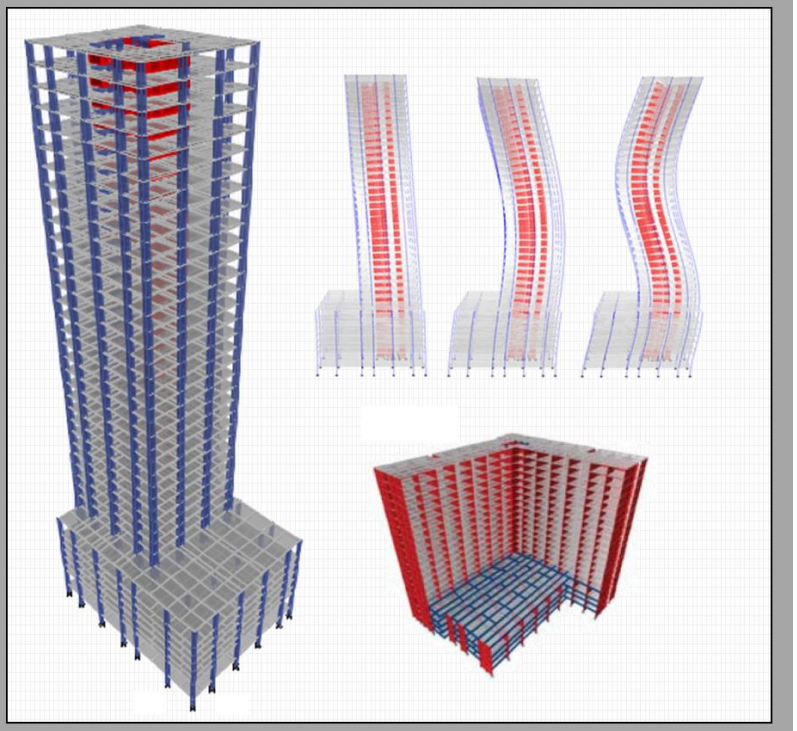
(ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1)

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2564

คู่มือการปฏิบัติประกอบมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2561

ประกาศกระทรวงมหาดไทย

เรื่อง การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบและคำนวณอาคารต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่เป็นรายละเอียดด้านเทคนิคและหลักวิชาการด้านแผ่นดินไหวที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เพื่อให้การก่อสร้างและดัดแปลงอาคารในบริเวณเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวมีความปลอดภัย

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๘ วรรคสอง แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๔๓ ประกอบข้อ ๖ แห่งกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. ๒๕๖๔ ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๕) พ.ศ. ๒๕๕๘ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคาร ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๒ ในประกาศนี้

“กฎกระทรวง” หมายความว่า กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทน

ข้อ ๙ การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวในบริเวณที่ ๒ และบริเวณที่ ๓ ให้ใช้วิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

(๑) วิธีแรงสถิตเทียบเท่า

(๒) วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด

(๓) วิธีวิเคราะห์การตอบสนองแบบประวัติเวลา

โดยการคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าตาม (๑) ให้เป็นไปตามหมวด ๕ และให้ใช้ได้กับกรณีใดกรณีหนึ่งตามข้อ ๑๑ ส่วนการคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวโดยวิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมดและวิธีวิเคราะห์การตอบสนองแบบประวัติเวลาตาม (๒) และ (๓) ให้เป็นไปตามมาตรฐานอื่นที่ได้รับการยอมรับทั่วไปและกรมโยธาธิการและผังเมืองเห็นชอบ

ข้อ ๑๐ กรณีใช้วิธีอื่นในการคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวนอกเหนือจากที่กำหนดในข้อ ๙ ต้องกระทำโดยนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมหรือได้รับการรับรองโดยนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม และนิติบุคคลนั้นต้องมีวิศวกรระดับวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำแนะนำและลงลายมือชื่อรับรองวิธีการคำนวณนั้นด้วย และต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขตามที่กำหนดไว้ในข้อ ๕ (๒) และ (๓)

ข้อ ๑๑ การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบให้ใช้ได้กับกรณีใดกรณีหนึ่ง ดังต่อไปนี้

(๑) สำหรับการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวประเภท ข และประเภท ค ตามข้อ ๗ สามารถใช้ได้กับอาคารทุกประเภทและทุกขนาด

(๒) สำหรับการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวประเภท ง ตามข้อ ๗ สามารถใช้ได้ภายใต้เงื่อนไข ดังต่อไปนี้

(ก) อาคารที่มีความสูงไม่เกินสามชั้น และมีประเภทความสำคัญของอาคาร I (น้อย) หรือ II (ปกติ)

(ข) อาคารที่มีความสูงไม่เกินห้าสิบเมตร และมีรูปทรงโครงสร้างสม่ำเสมอ

(ค) อาคารที่มีความสูงไม่เกินห้าสิบเมตร และมีรูปทรงโครงสร้างไม่สม่ำเสมอในแนวระนาบแบบ ๒ แบบ ๓ แบบ ๔ หรือแบบ ๕ หรือในแนวดิ่งแบบ ๔ แบบ ๕ก หรือ ๕ข ตามผนวก ข ท้ายประกาศนี้

(ง) อาคารนอกแอ่งกรุงเทพมหานครที่มีรูปทรงโครงสร้างสม่ำเสมอที่สูงเกินห้าสิบเมตร และมีคาบการสั่นพื้นฐานน้อยกว่า ๓.๕T_S

ข้อ ๕ การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารตามกฎกระทรวง ซึ่งไม่ใช่อาคารที่กำหนดตามข้อ ๔ อาจใช้หลักเกณฑ์อื่นนอกเหนือจากที่กำหนดในประกาศนี้ได้ แต่ต้องกระทำโดยนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมหรือได้รับการรับรองโดยนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม โดยนิติบุคคลนั้นต้องมีวิศวกรระดับวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธาตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำแนะนำและลงลายมือชื่อรับรองวิธีการออกแบบและคำนวณตามหลักเกณฑ์นั้นด้วย และต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข ดังต่อไปนี้

(๑) การจัดโครงสร้างทั้งระบบ การกำหนดรายละเอียดปลีกย่อยของชิ้นส่วนโครงสร้างและบริเวณรอยต่อระหว่างปลายชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ ให้มีความเหนียวต้องไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในหมวด ๖

(๒) ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบและคำนวณ ต้องไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในหมวด ๒

(๓) ค่าแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่เป็นแรงเฉือนที่ฐานอาคารที่คำนวณได้ต้องไม่น้อยกว่าค่าแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่เป็นแรงเฉือนที่ฐานอาคาร ตามที่คำนวณได้จากวิธีใดวิธีหนึ่งตามข้อ ๙ (๑) หรือ (๒) หรือ (๓) ที่เหมาะสมตามเงื่อนไขที่กำหนดในประกาศนี้

วิธีการคำนวณออกแบบ

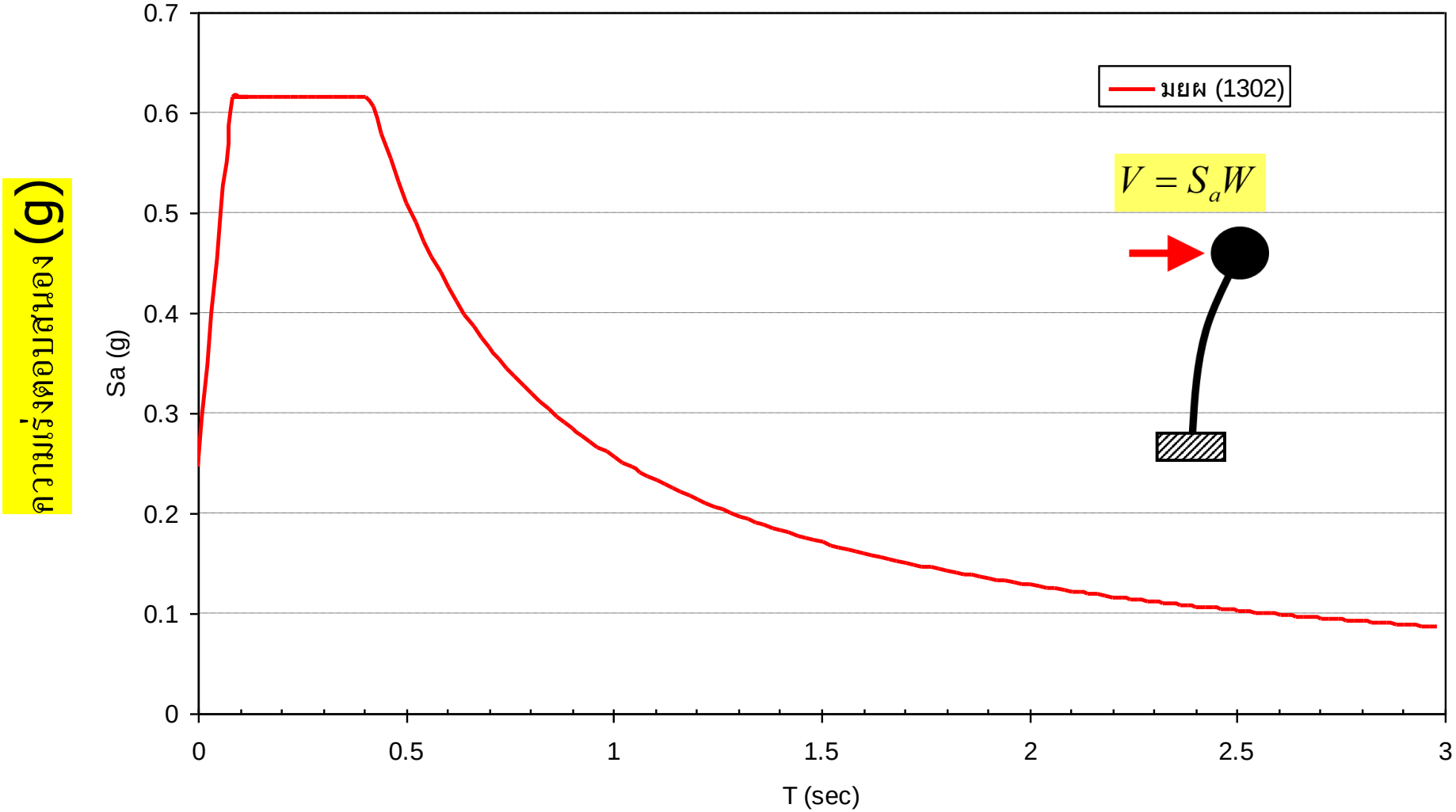
- **วิธีแรงสถิตเทียบเท่า**
  - สำหรับพื้นที่แผ่นดินไหวรุนแรงปานกลาง (ประเภทการออกแบบ ข หรือ ค สามารถใช้ได้กับอาคารทุกประเภท)
  - สำหรับพื้นที่แผ่นดินไหวรุนแรง (ประเภทการออกแบบ ง ใช้ได้โดยมีข้อจำกัดด้านความสูง และรูปร่างรูปทรงอาคาร)
- **วิธีสเปกตรัมการตอบสนองแบบโหมด**
- **วิธีการตอบสนองแบบประวัติเวลา**

มาตรฐาน มยผ

การออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว

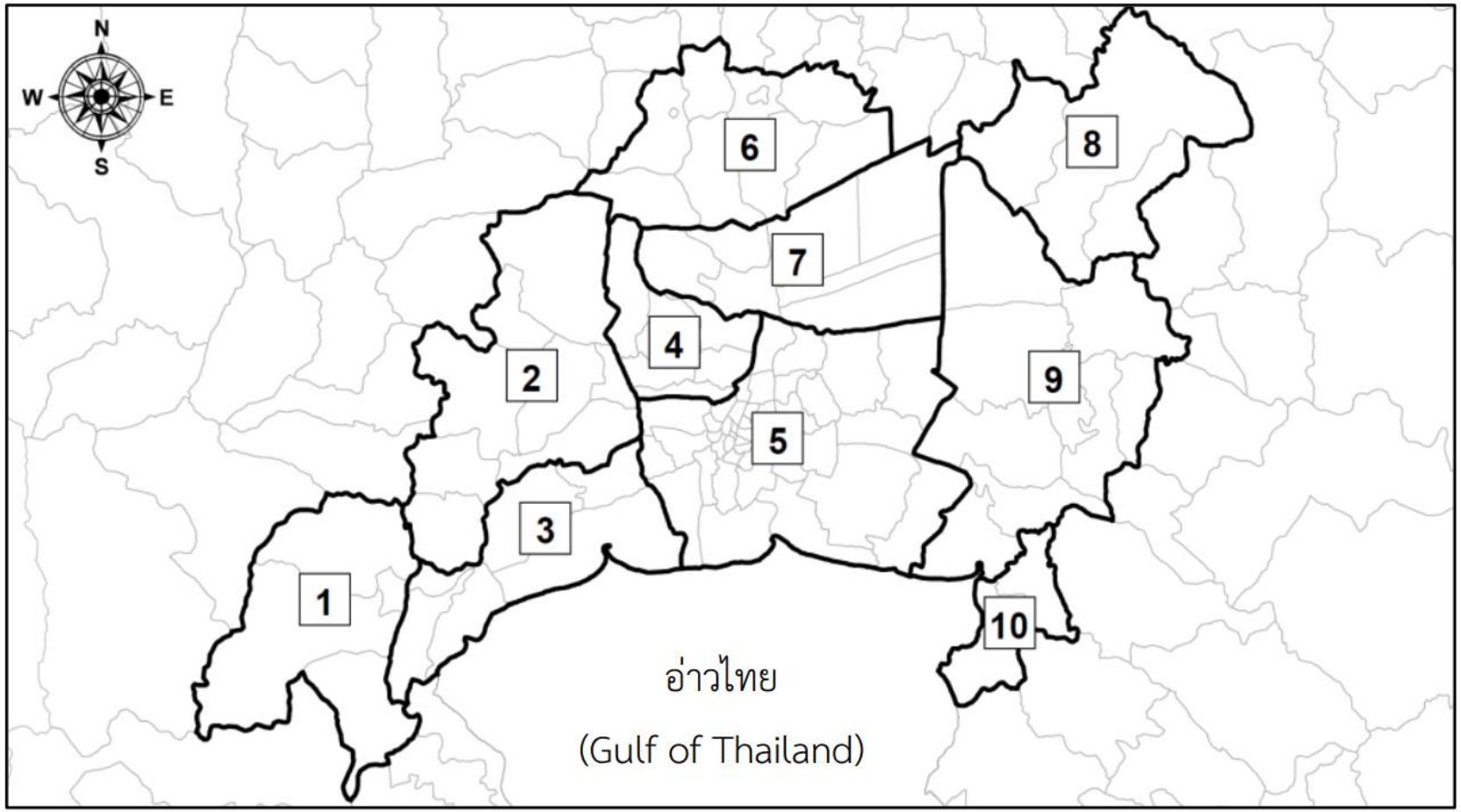
- ภัยแผ่นดินไหวในแต่พื้นที่
- มีการกำหนดแรงในการออกแบบในรูปแบบของ สเปกตรัมผลตอบสนอง
- วิธีคำนวณออกแบบ
- กำหนดการให้รายละเอียดโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และมาตรฐานอ้างอิงด้านการให้รายละเอียดอื่นๆ

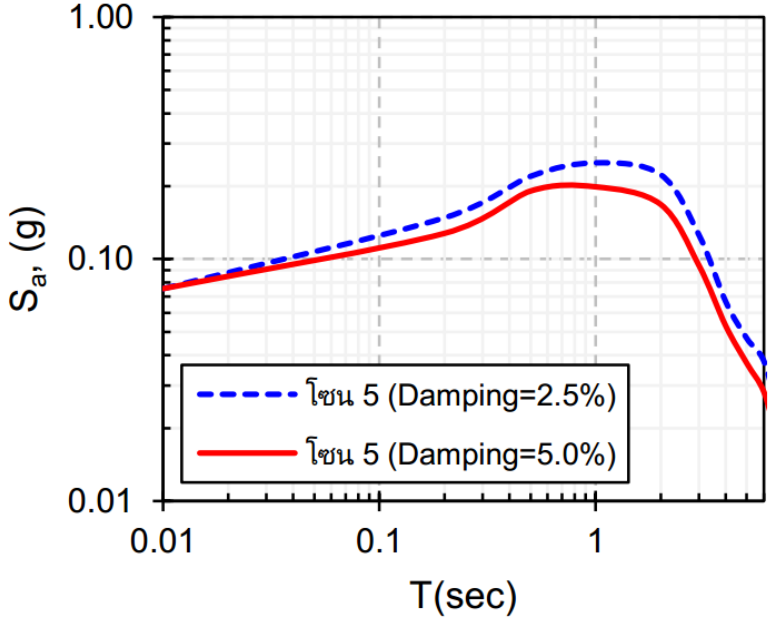
ตัวอย่างกราฟสเปกตรัมผลตอบสนอง
(Elastic Design Spectrum)

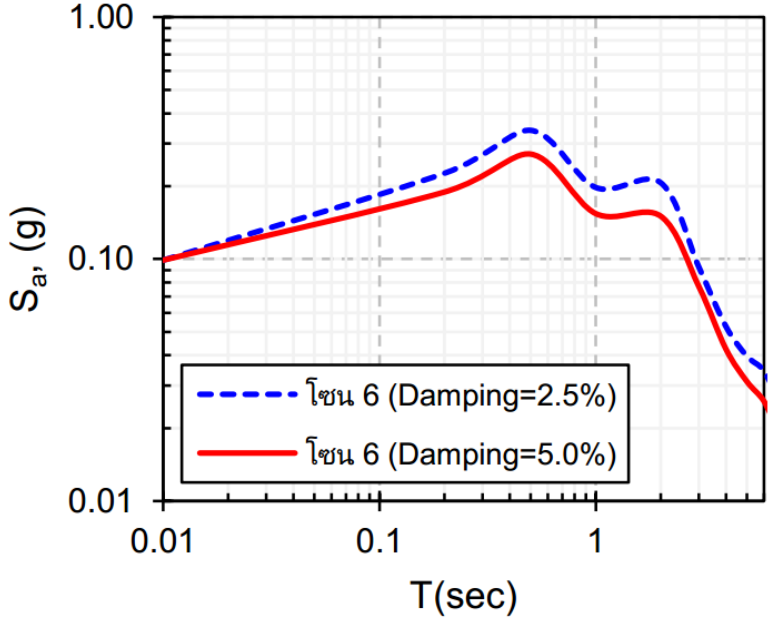


คาบการสั่นพื้นฐานของอาคาร (วินาที)

พื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ





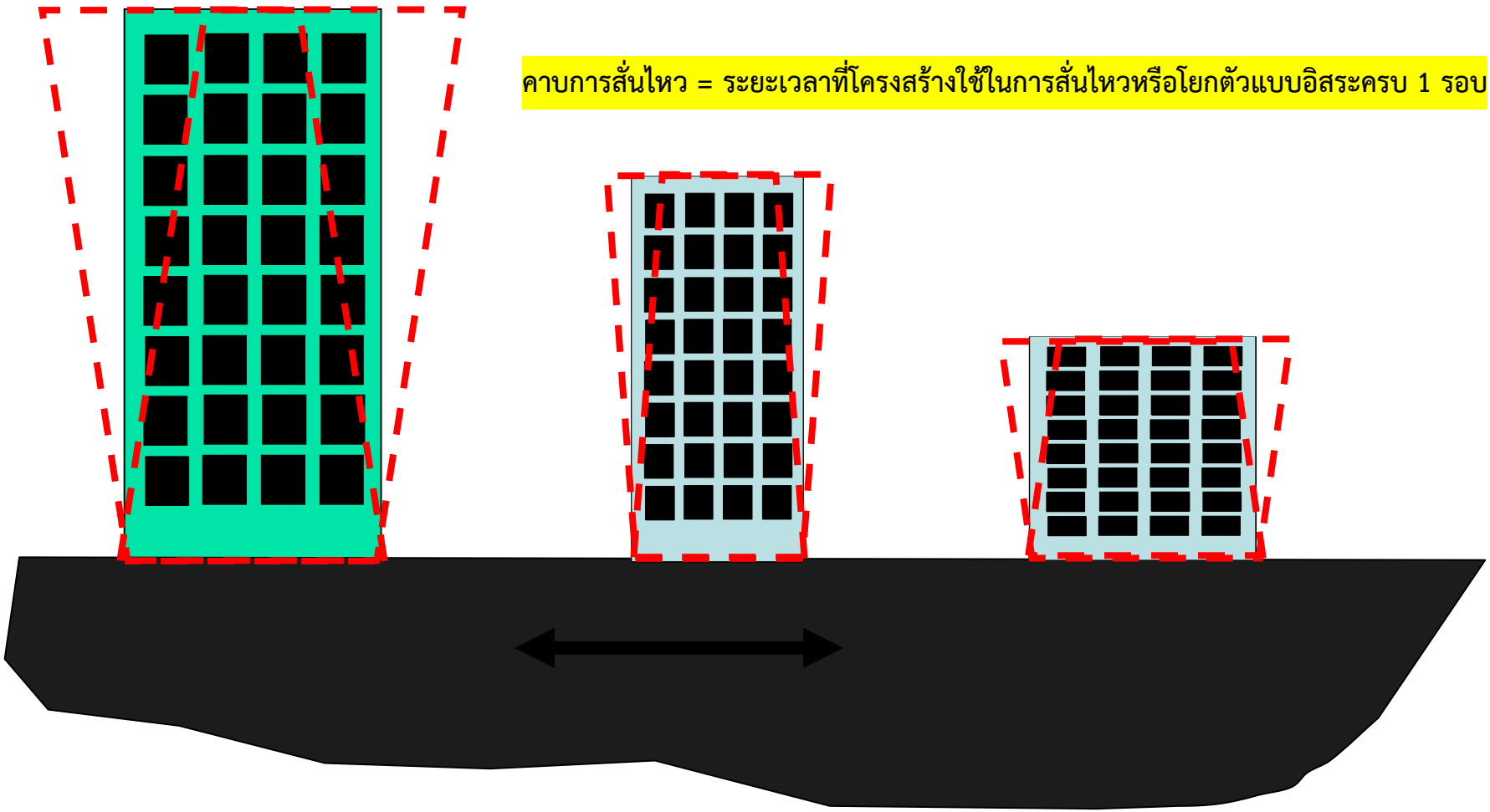


ตารางที่ 1.4-5 ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมสำหรับการออกแบบ ด้วยวิธีแรงสถิตเทียบเท่าสำหรับพื้นที่ในโซนต่าง ๆ (อัตราส่วนความหน่วง 5.0%) ของพื้นที่ในแอ่งกรุงเทพ

S_a / โซน	S_a (0.01s)	S_{DS} (0.2 s)	S_a (0.5 s)	S_{D1} (1.0s)	S_a (2.0 s)	S_a (3.0 s)	S_a (4.0 s)	S_a (5.0 s)	S_a (6.0 s)
1	0.360	0.360	0.360	0.181	0.085	0.041	0.034	0.024	0.022
2	0.352	0.352	0.352	0.193	0.151	0.084	0.047	0.030	0.024
3	0.262	0.262	0.262	0.265	0.166	0.085	0.052	0.035	0.026
4	0.287	0.287	0.287	0.207	0.163	0.078	0.032	0.023	0.020
5	0.191	0.191	0.191	0.199	0.168	0.094	0.053	0.037	0.028
6	0.272	0.272	0.272	0.154	0.150	0.077	0.042	0.031	0.026
7	0.246	0.246	0.246	0.181	0.132	0.084	0.051	0.036	0.030
8	0.162	0.162	0.162	0.075	0.041	0.025	0.015	0.010	0.008
9	0.214	0.214	0.214	0.156	0.107	0.048	0.022	0.014	0.011
10	0.179	0.179	0.179	0.049	0.035	0.023	0.014	0.010	0.008

คาบการสั่นไหว (Vibration Period)

คาบการสั่นไหว = ระยะเวลาที่โครงสร้างใช้ในการสั่นไหวหรือโยกตัวแบบอิสระครบ 1 รอบ



การคำนวณค่าคาบการสั่น ตามมาตรฐาน มยผ

วิธี ก

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากสูตรการประมาณค่าดังนี้

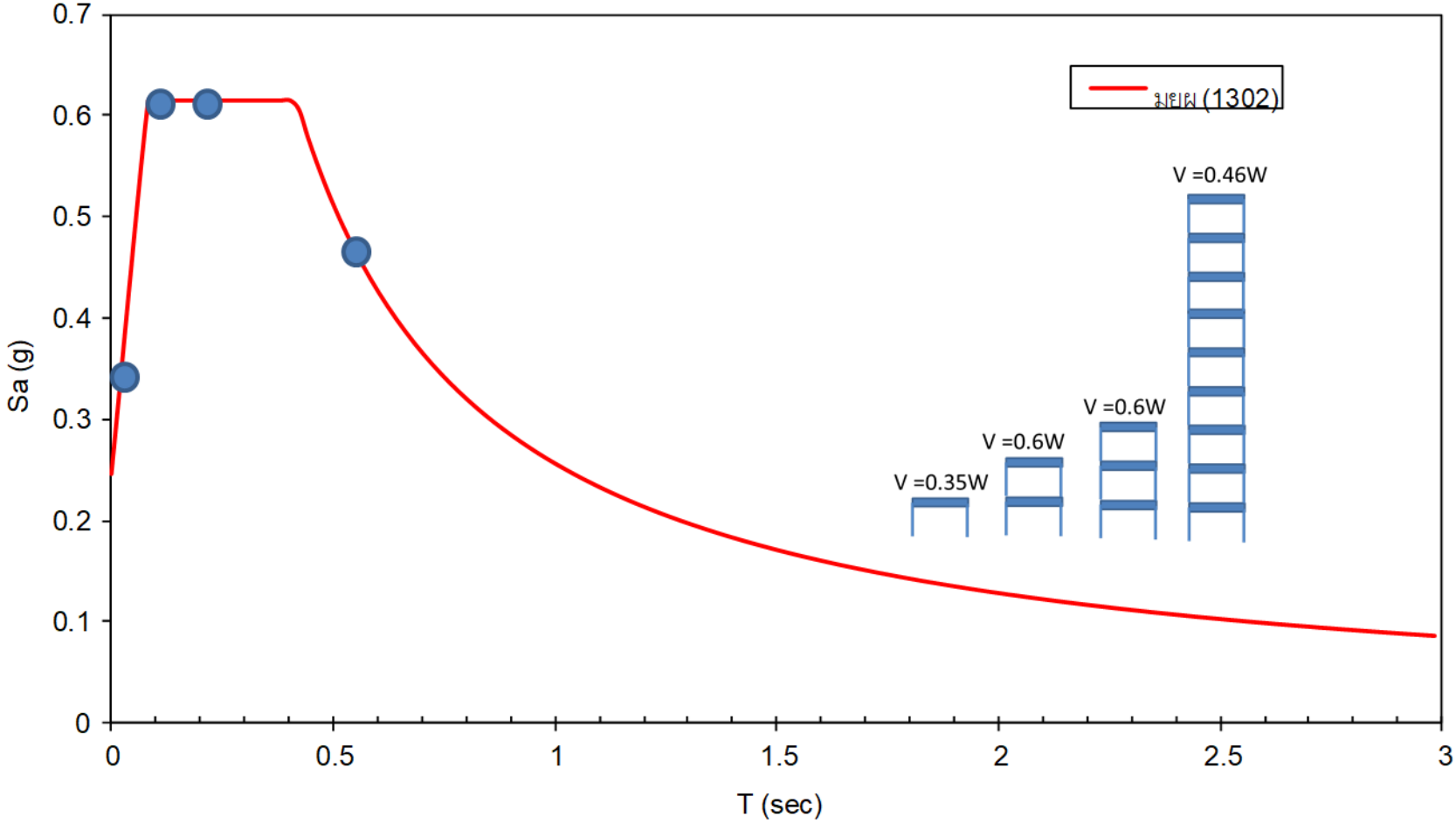
อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก	$T = 0.02H$	(3.3-1)
อาคารโครงสร้างเหล็ก	$T = 0.03H$	(3.3-2)

โดยที่ H คือความสูงของอาคารวัดจากพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร

วิธี ข

คาบการสั่นพื้นฐาน (หน่วยเป็นวินาที) สามารถคำนวณจากลักษณะการกระจายมวล (หรือน้ำหนัก) ภายในอาคาร และสติฟเนสของระบบโครงสร้างต้านแรงด้านข้างของอาคาร ด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม และค่าคาบการสั่นพื้นฐานที่คำนวณได้จากวิธี ข. จะต้องไม่เกิน 1.5 เท่าของค่าที่คำนวณได้จากวิธี ก.

V/W


0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Sa (g)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
T (sec)
(1302)
V =0.46W
V =0.6W
V =0.6W
V =0.35W

T = 0.02H

แนวคิดในการคำนวณแรงแผ่นดินไหว

Magnitude of EQ Forces

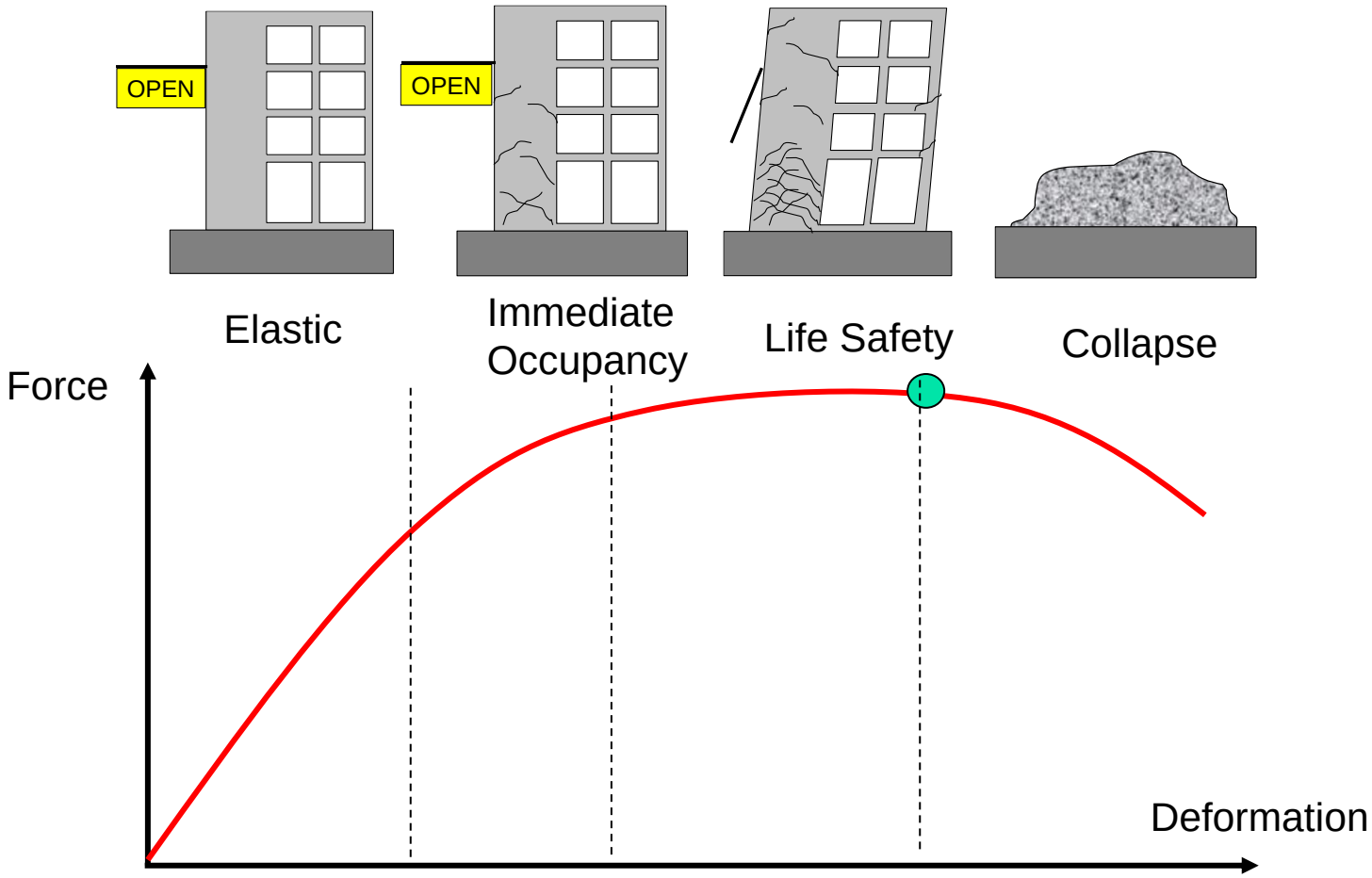
- ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่พิจารณา

ประเทศ	ระดับความรุนแรงแผ่นดินไหว
สหรัฐอมริกา	2475 ปี และลดทอนลง 2/3 สำหรับการออกแบบ
แคนาดา	2475 ปี และลดทอนลง 2/3 สำหรับการออกแบบ
สหภาพยุโรป	500 ปี
จีน	Frequent 50 ปี Moderate 500 ปี Rare 1640-2500 ปี
ญี่ปุ่น	Frequent 50 ปี Moderate 500 ปี

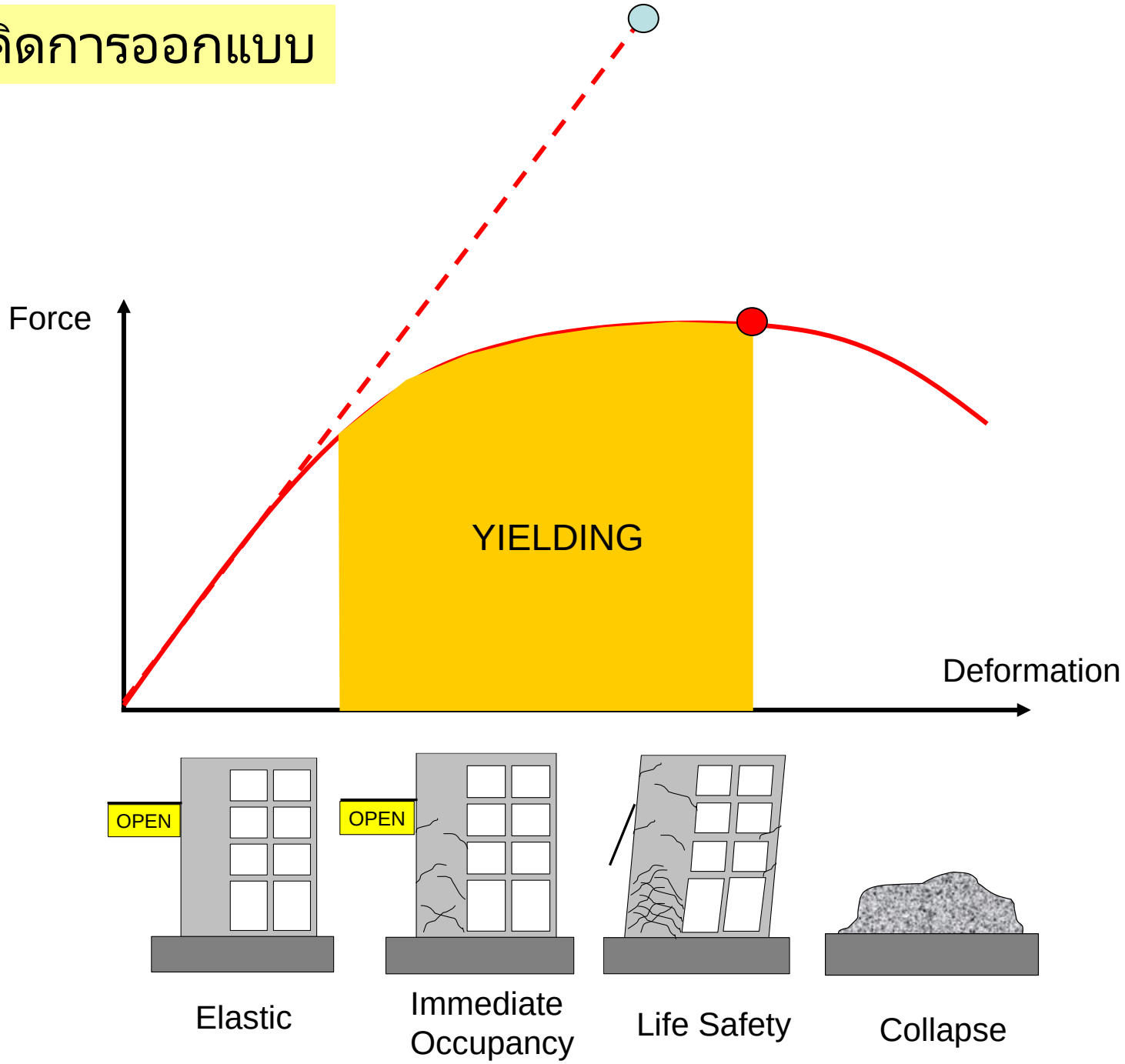
<u>มาตรฐาน มยผ1302 ใช้คาบการเกิด 2475 ปีและลดทอน 2/3</u>

แรงสำหรับการออกแบบ

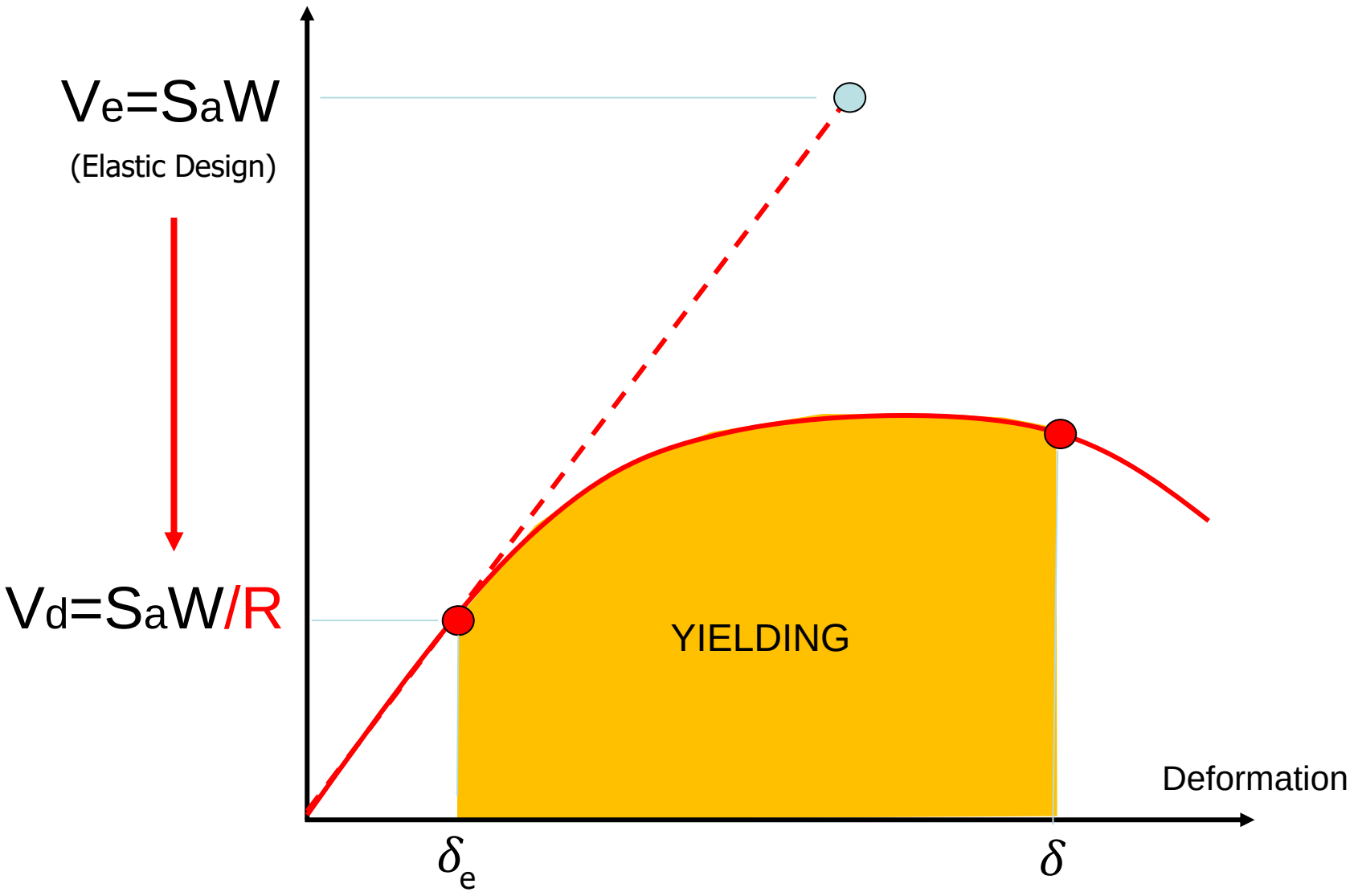
การออกแบบอาคารจะยอมให้อาคาร เกิดการเสียรูปเกินพิกัดยืดหยุ่น เมื่อเกิดแผ่นดินไหวระดับที่ออกแบบไว้ และจะอาศัยความสามารถในการสลายพลังงานของโครงสร้างในช่วงอินอีลาสติก



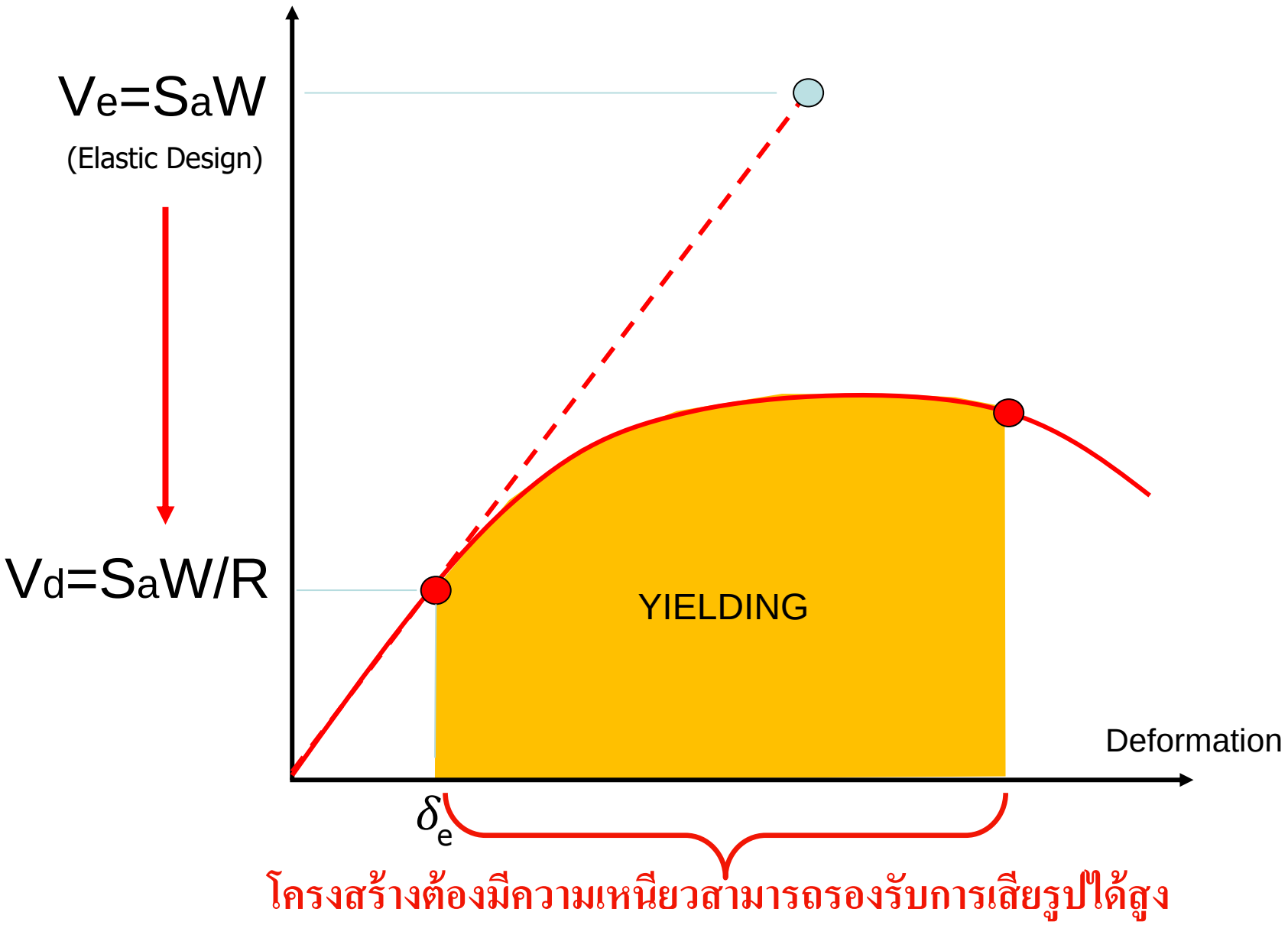
แนวคิดการออกแบบ



แนวคิดการออกแบบ



แนวคิดการออกแบบ



Design Stregnth

Spectral Acceleration

Importance Factor (=1 -1.5)

$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$

Design Base Shear

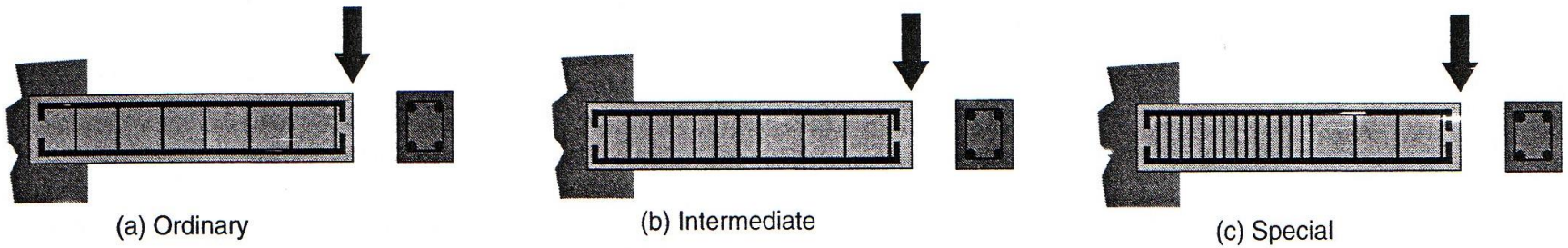
Response Modification Factor (=3-8)

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ	ตัวประกอบความสำคัญ
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น - อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร - อาคารชั่วคราว - อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ	I (น้อย)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภท ความสำคัญ น้อย มาก และสูงมาก	II (ปกติ)	1.0
อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น - อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คน - โรงเรียนประถมหรือมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า 250 คน - มหาวิทยาลัยหรือวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า 500 คน - สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า 50 คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ	III (มาก)	1.25
อาคารและโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน หรือ อาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุ เช่น - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่าง ๆ - โรงไฟฟ้า - โรงผลิตน้ำประปา ถังเก็บน้ำ และสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีความดันสูงสำหรับการดับเพลิง - อาคารศูนย์สื่อสาร - อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - ท่าอากาศยาน ศูนย์บังคับการบิน และโรงเก็บเครื่องบิน ที่ต้องใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉิน - อาคารศูนย์บัญชาการแห่งชาติ อาคารและโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เชื้อเพลิง หรือสารเคมีอันอาจก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้	IV (สูงมาก)	1.5

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ
(๑) อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อย เมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้น ๆ เช่น อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร อาคารชั่วคราว อาคารเก็บของเล็ก ๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ เป็นต้น	I (น้อย)
(๑) อาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภทความสำคัญ I (น้อย) III (มาก) และ IV (สูงมาก)	II (ปกติ)
(๑) โรงมหรสพ หอประชุม ศาสนสถาน สนามกีฬา อัฒจันทร์ สถานีขนส่ง สถานบริการ หรือท่าจอดเรือ ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หกร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๒) หอศิลป์ พิพิธภัณฑสถาน หรือสถานศึกษา ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หนึ่งพันตารางเมตรขึ้นไป (๓) หอสมุด ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่สองพันตารางเมตรขึ้นไป (๔) ตลาด ห้างสรรพสินค้า หรือศูนย์การค้า ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่หนึ่งพันห้าร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๕) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน สถานให้บริการดูแลผู้สูงอายุ หรือสถานสงเคราะห์ผู้สูงอายุ ที่มีพื้นที่อาคารตั้งแต่สามร้อยตารางเมตรขึ้นไป (๖) สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืนที่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ (๗) เรือนจำตามกฎหมายว่าด้วยราชทัณฑ์ (๘) อาคารที่ทำการของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือหน่วยงานของรัฐ ที่จัดตั้งขึ้นตามกฎหมาย ที่มีพื้นที่สาธารณะตั้งแต่หนึ่งพันตารางเมตรขึ้นไป (๙) อาคารที่เป็นที่ชุมนุมในพื้นที่หนึ่ง ๆ ได้ตั้งแต่สามร้อยคนขึ้นไป (๑๐) อาคารประเภทอื่น ๆ ที่สามารถรองรับผู้มาใช้สอยอาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป	III (มาก)
(๑) อาคารที่จำเป็นต่อการช่วยเหลือและบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้แก่ สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืนที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า หรือโรงผลิตและเก็บน้ำประปา (๒) คลังสินค้าที่ใช้เป็นสถานที่เก็บรักษาวัตถุอันตรายตามกฎหมายว่าด้วยวัตถุอันตราย ประเภทวัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ หรือวัตถุกัมมันตรังสี	IV (สูงมาก)

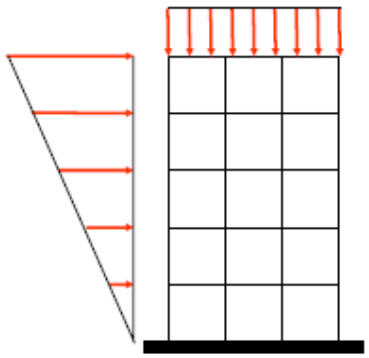
การกำหนดค่า R

1. ค่า R จะขึ้นกับระบบโครงสร้างและระดับความเหนียวของโครงสร้าง โดยจะขึ้นกับลักษณะการให้รายละเอียด แบ่งได้เป็นความเหนียวธรรมดา ความเหนียวปานกลาง และ ความเหนียวพิเศษ

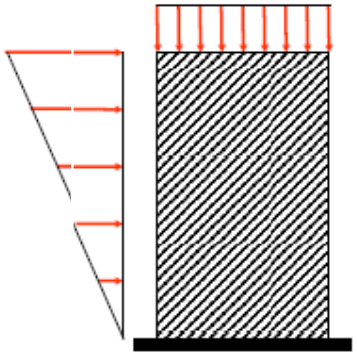


2. ระบบโครงสร้างที่ใช้ได้ จะขึ้นกับระดับความรุนแรงแผ่นดินไหว เรียกว่า ประเภทการออกแบบ แบ่งเป็น ประเภทการออกแบบ ก ข ค และ ง
   - แบบ ก รุนแรงน้อย (ไม่ต้องคำนวณแรงออกแบบ)
   - แบบ ข และ ค รุนแรงปานกลาง ใช้แบบ Intermediate หรือ Special
   - แบบ ง รุนแรงมาก ใช้แบบ Special หรือแบบ Intermediate แต่มีเงื่อนไข

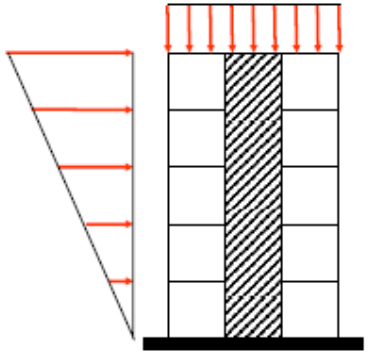
ระบบโครงสร้างสำหรับต้านทานแรงแผ่นดินไหว



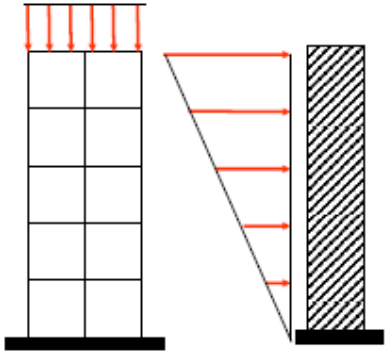
โครงต้านแรงดัด



กำแพงรับแรง



ระบบผสม

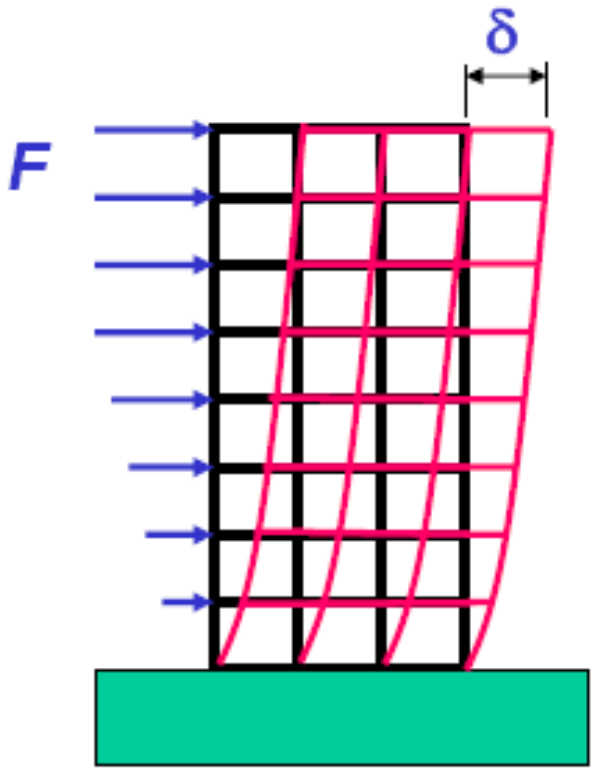


ระบบโครงอาคาร

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
1. ระบบกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่ง (Bearing Wall System)	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	4	2.5	4	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ++	3	2.5	3	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precaset Shear Wall)++	4	2.5	4	√	√	X
2. ระบบโครงอาคาร (Building Frame System)	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงดัดได้ (Steel Eccentrically Braced Frame with Moment-Resisting Connections)	8	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ที่ใช้จุดต่อแบบรับแรงเฉือน (Steel Eccentrically Braced Frame with Non-Moment-Resisting Connections)	7	2	4	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบให้รายละเอียดพิเศษ (Special Steel Concentric Braced Frame)	6	2	5	√	√	√
	โครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบธรรมดา (Ordinary Steel Concentric Braced Frame)	3.5	2	3.5	√	√	X
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	√
	กำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5	2.5	4.5	√	√	*
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบธรรมดา (Ordinary Precast Shear Wall) ++	4	2.5	4	√	X	X
	กำแพงรับแรงเฉือนหล่อสำเร็จแบบที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวปานกลาง (Intermediate Precast Shear Wall) ++	5	2.5	4.5	√	√	X

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (Ductile/Special Steel Moment-Resisting Frame)	8	3	5.5	√	√	√
	โครงถักต้านแรงดัดที่มีการให้รายละเอียดความเหนียวเป็นพิเศษ (Special Truss Moment Frame)	7	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดเหล็กที่มีความเหนียวปานกลาง (Intermediate Steel Moment Resisting Frame)	4.5	3	4	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดเหล็กธรรมดา (Ordinary Steel Moment Resisting Frame)	3.5	3	3	√	√	X
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวพิเศษ (แบบหล่อในที่ หรือ แบบหล่อสำเร็จ) (Precast or Cast-in-Place Ductile/Special Reinforced Concrete Moment Resisting Frame) ++	8	3	5.5	√	√	√
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	*
	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Moment Resisting Frame)	3	3	2.5	√	X	X
4. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Ductile/Special Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ (Special Steel Concentrically Braced Frame)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบเยื้องศูนย์ (Steel Eccentrically Braced Frame)	8	2.5	4	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	7	2.5	5.5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	6	2.5	5	√	√	*

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
5. ระบบโครงสร้างแบบผสมที่มีโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัดที่สามารถต้านทานแรงด้านข้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงที่กระทำกับอาคารทั้งหมด (Dual System with Moment Resisting Frame with Limited Ductility / Dual System with Intermediate Moment Resisting Frame)	ร่วมกับโครงแกงแนงเหล็กแบบตรงศูนย์แบบพิเศษ(Special Steel Concentrically Braced Frame)	6	2.5	5	√	√	X
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบที่มีการให้รายละเอียดพิเศษ (Special Reinforced Concrete Shear Wall)	6.5	2.5	5	√	√	√
	ร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนแบบธรรมดา (Ordinary Reinforced Concrete Shear Wall)	5.5	2.5	4.5	√	√	*
6. ระบบปฏิสัมพันธ์ (Shear Wall Frame Interactive System)	ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกำแพงรับแรงเฉือนและโครงต้านแรงดัดแบบธรรมดาที่ไม่มีการให้รายละเอียดความเหนียว (Shear Wall Frame Interactive System with Ordinary Reinforced Concrete Moment Frame and Ordinary Concrete Shear Wall)	4.5	2.5	4	√	X	X
7. ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว (Steel Systems Not Specifically Detailed for Seismic Resistance)	ระบบโครงสร้างเหล็กที่ไม่มีการให้รายละเอียดสำหรับรับแรงแผ่นดินไหว	3	3	3	√	√	X



$$F_x = C_{vx} V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k}$$

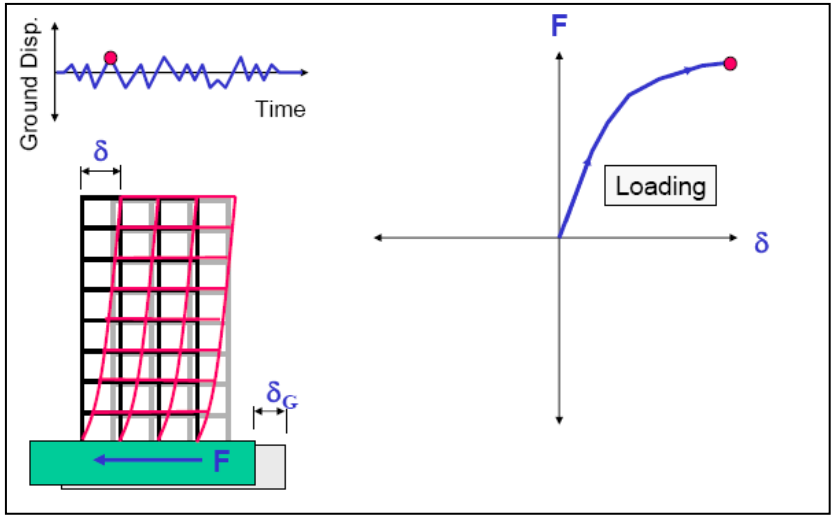
k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดรูปแบบการกระจายแรง ซึ่งมีค่าดังนี้

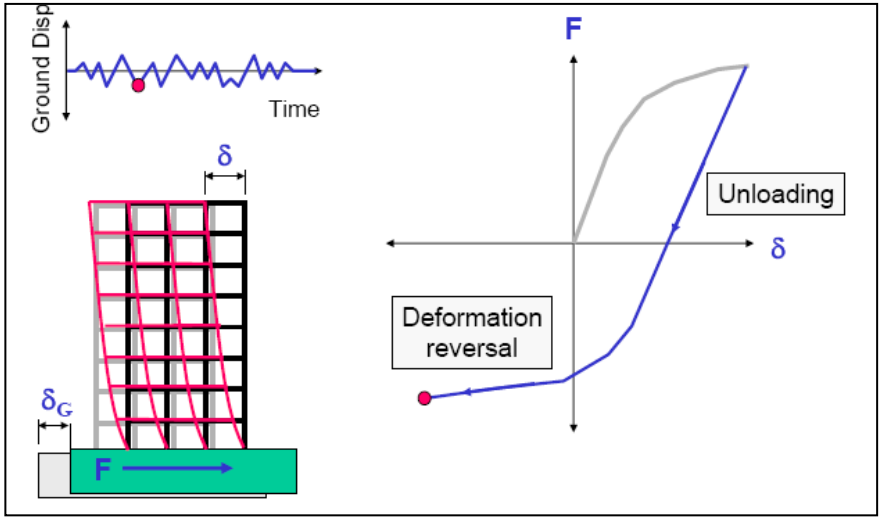
$k = 1.0$ เมื่อ $T \le 0.5$ วินาที

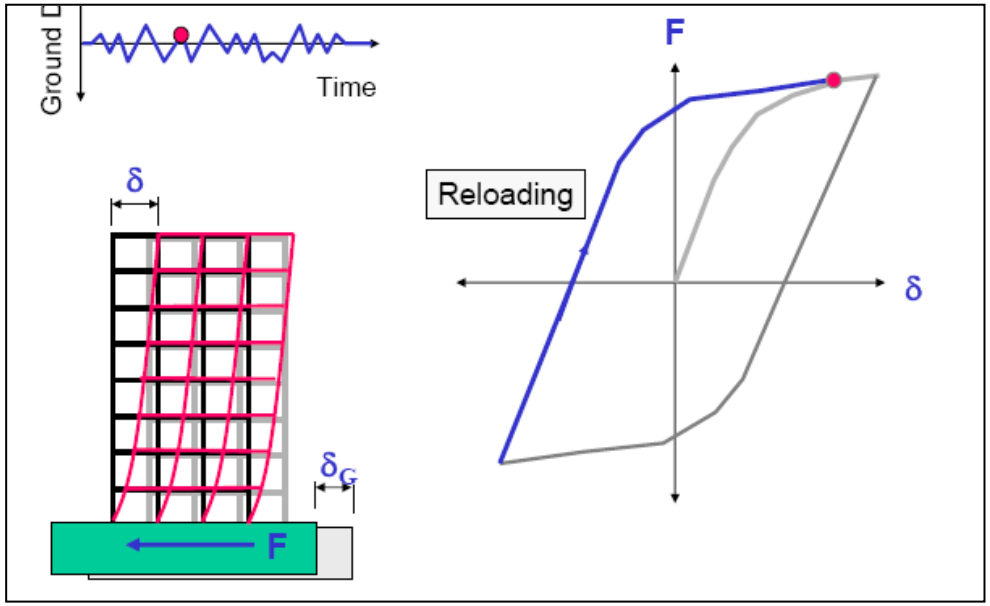
$k = 1 + \frac{T - 0.5}{2}$ เมื่อ 0.5 วินาที $< T <$ 2.5 วินาที

$k = 2.0$ เมื่อ $T \ge 2.5$ วินาที

Earthquake Design and Expected Response





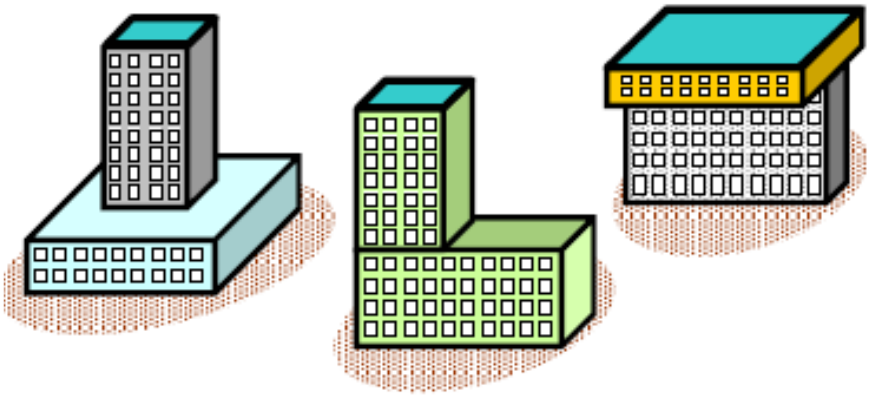


แนวทางการออกแบบอาคาร

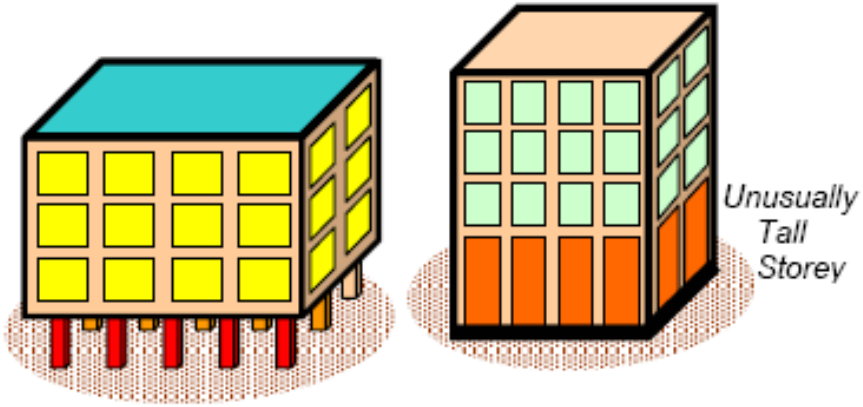
ในบริเวณที่มีแผ่นดินไหว

อาคารต้องมีระบบโครงสร้างที่มีความเหนียวและมี
รูปร่างรูปทรงที่เหมาะสม

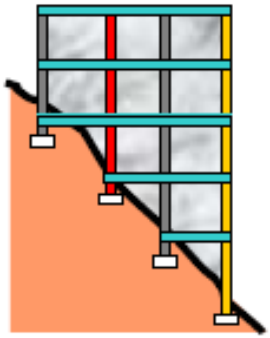
รูปร่างรูปทรงอาคาร



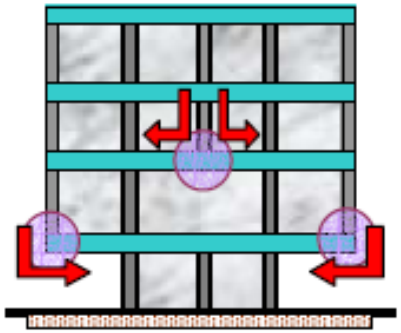
(a) Setbacks



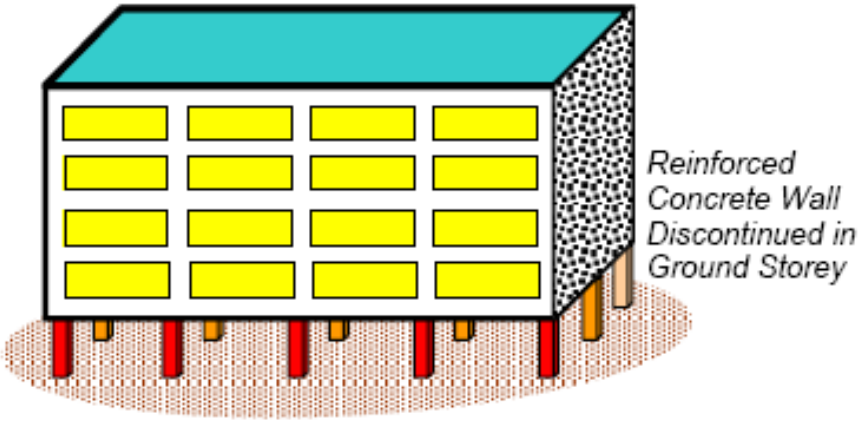
(b) Weak or Flexible Storey



(c) Slopy Ground



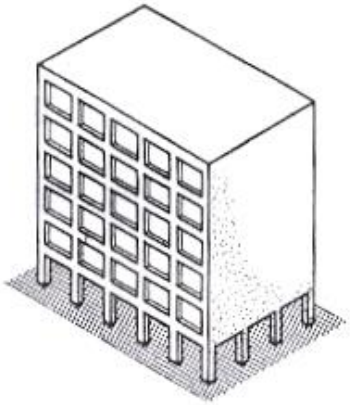
(d) Hanging or Floating Columns



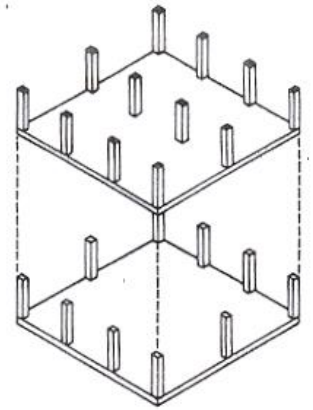
(e) Discontinuing Structural Members

Picture Credit: C.V.R. Murty, IIT Kanpur, Earthquake Tip Series

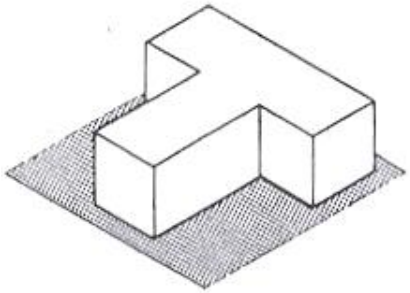
Poor Configuration



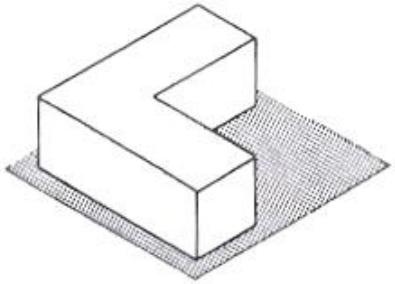
Soft/Weak Story



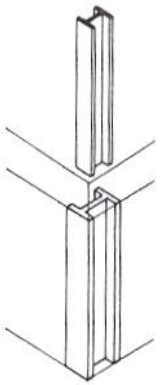
Interruption of Columns



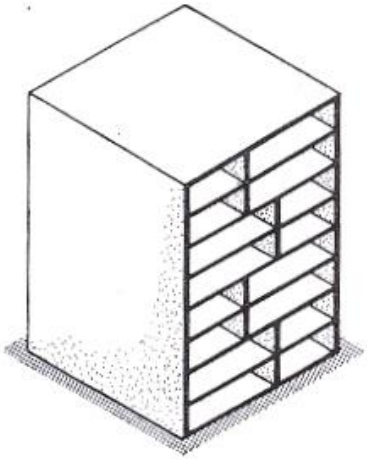
T-shaped Plan



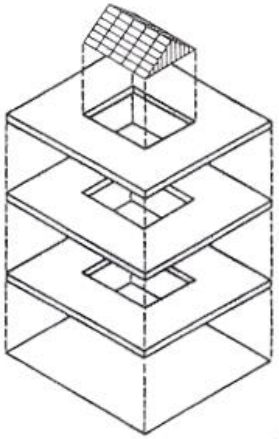
L-shaped Plan



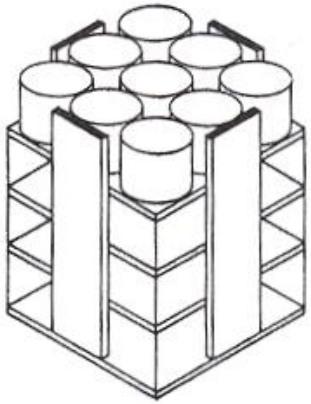
Abrupt Changes in Size of Members



Interruption of Vertical-Resisting Elements (walls)



Large Openings in Diaphragm (Floor)



Drastic Changes in Mass/Stiffness Ratio

Good Configuration

อาคารที่มีการจัดวางรูปร่างรูปทรงอาคารที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่จะมีพฤติกรรมที่ดีด้วย

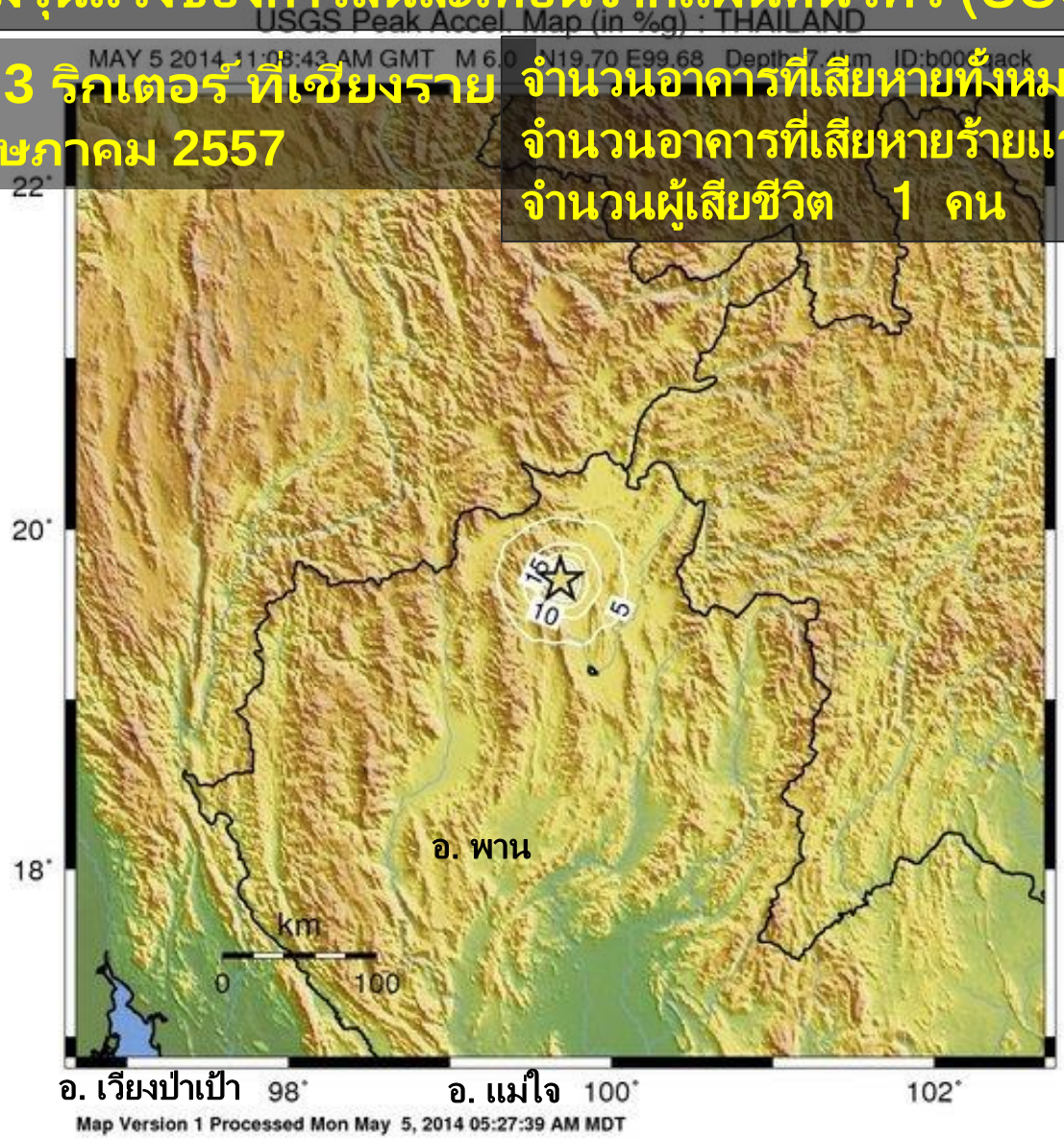
"If we have a poor configuration to start with, all the engineer can do is to provide a band-aid - improve a basically poor solution as best as he can. Conversely, if we start-off with a good configuration and reasonable framing system, even a poor engineer cannot harm its ultimate performance too much."

Henry Degenkolb

แผนที่แสดงความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (USGS)

แผ่นดินไหว 6.3 ริกเตอร์ ที่เชียงราย
5 พฤษภาคม 2557

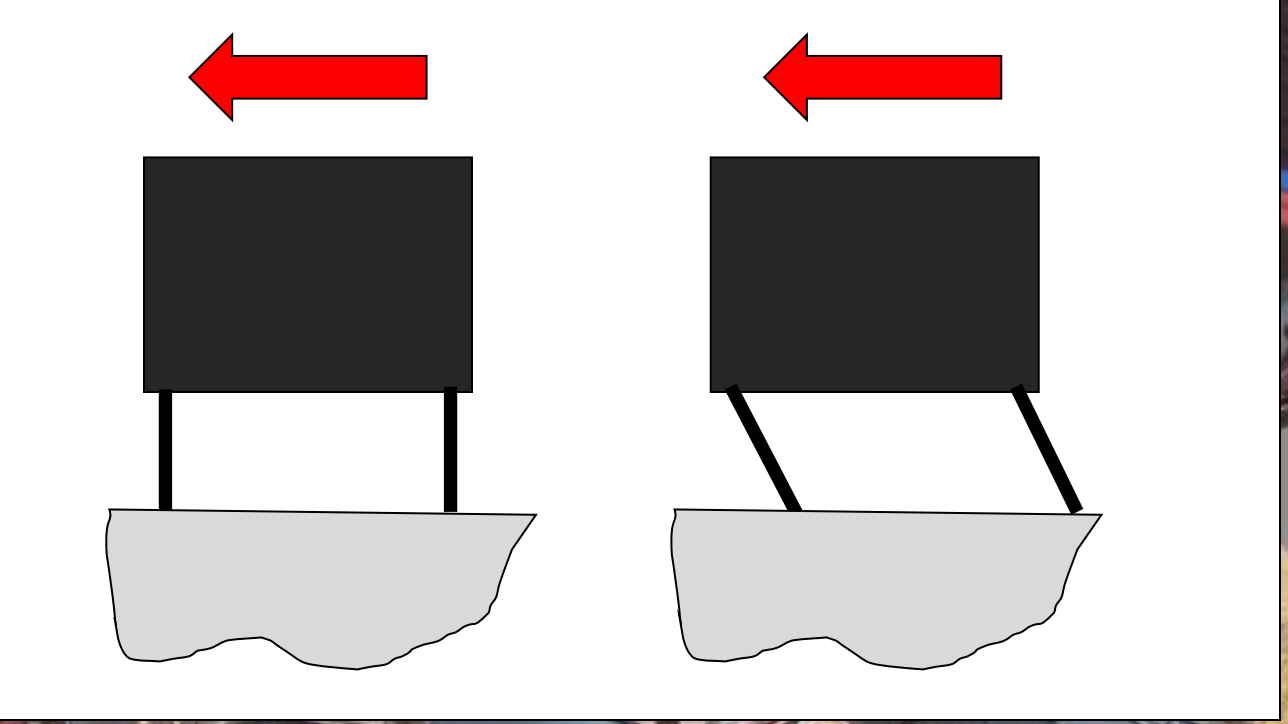
จำนวนอาคารที่เสียหายทั้งหมด > 10000 หลัง
จำนวนอาคารที่เสียหายร้ายแรง > 400 หลัง
จำนวนผู้เสียชีวิต 1 คน



PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Worden et al. (2011)

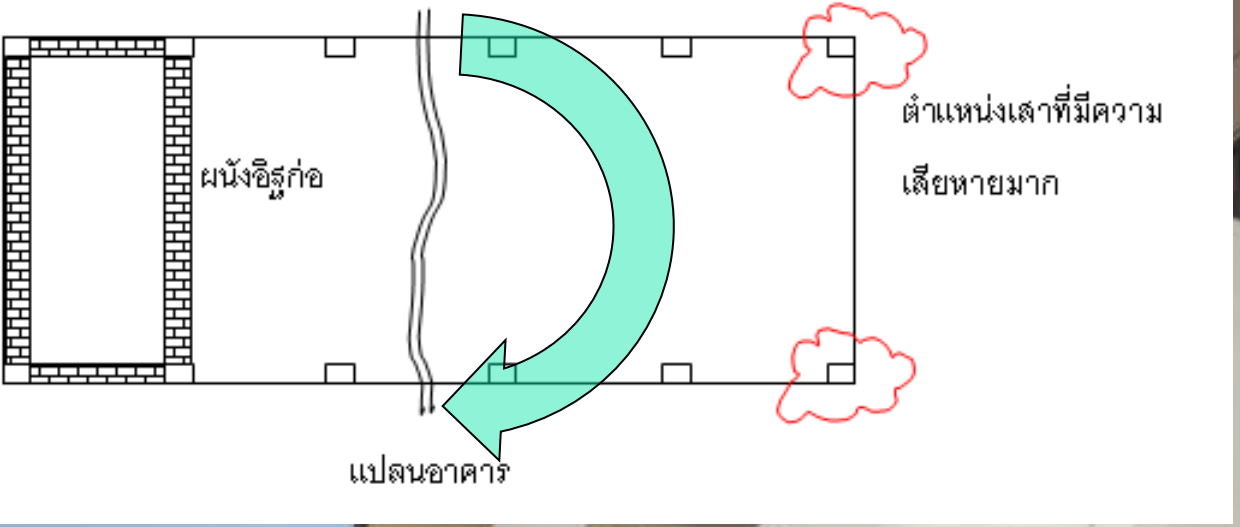
ช่วยผมด้วย !
ผมกู้มาสร้าง ไม่มีเงินช่
17/05/2014



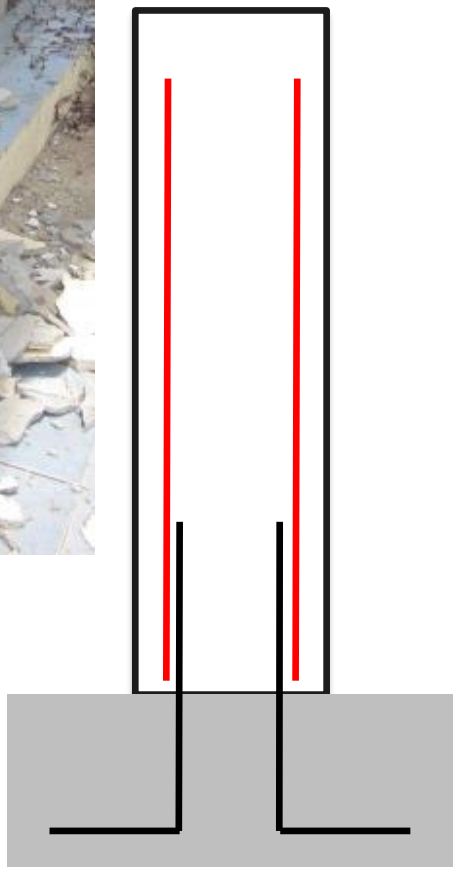
17/05/2014

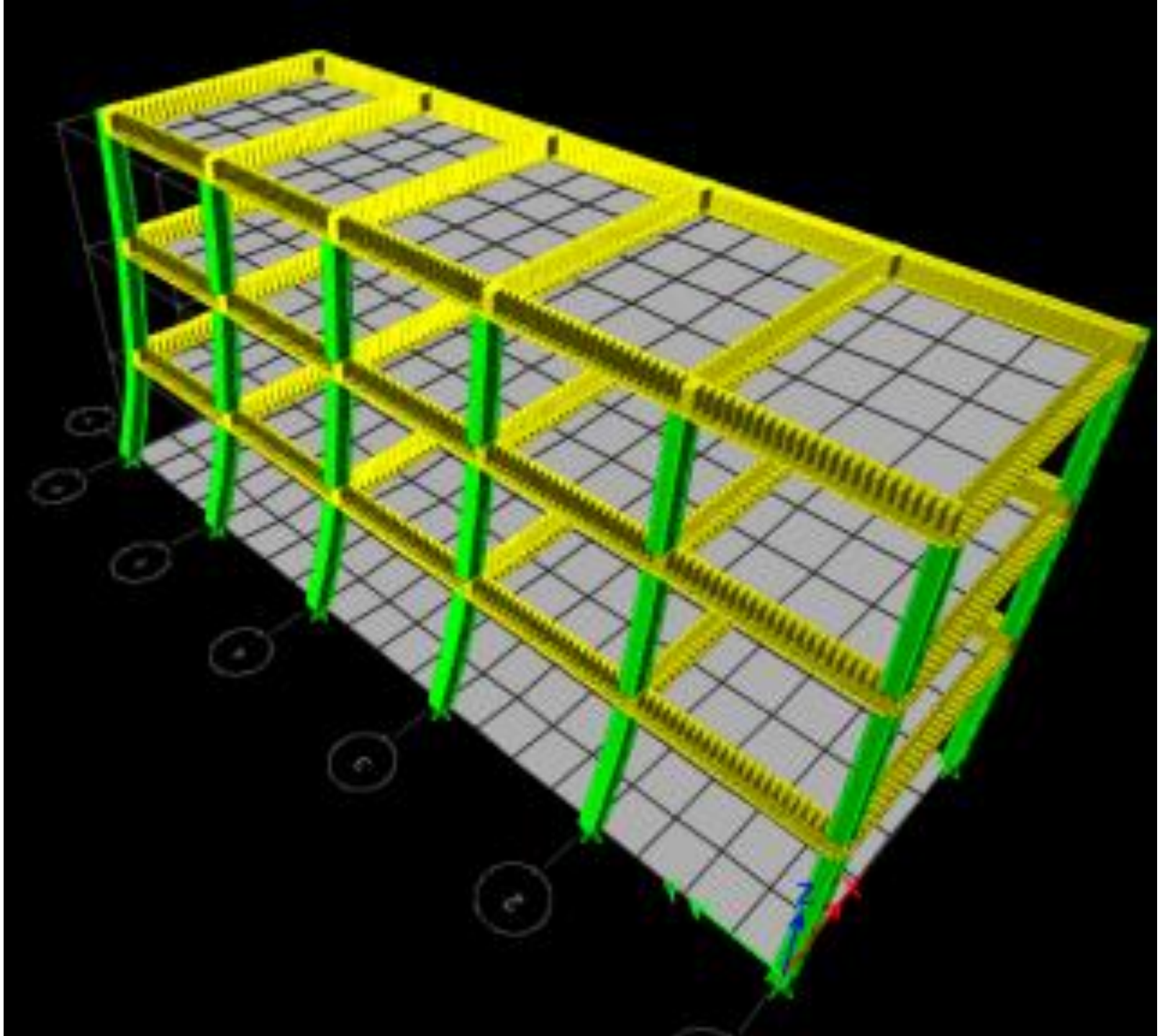
Collapse & Failure by Soft Story + Torsional Irregularity

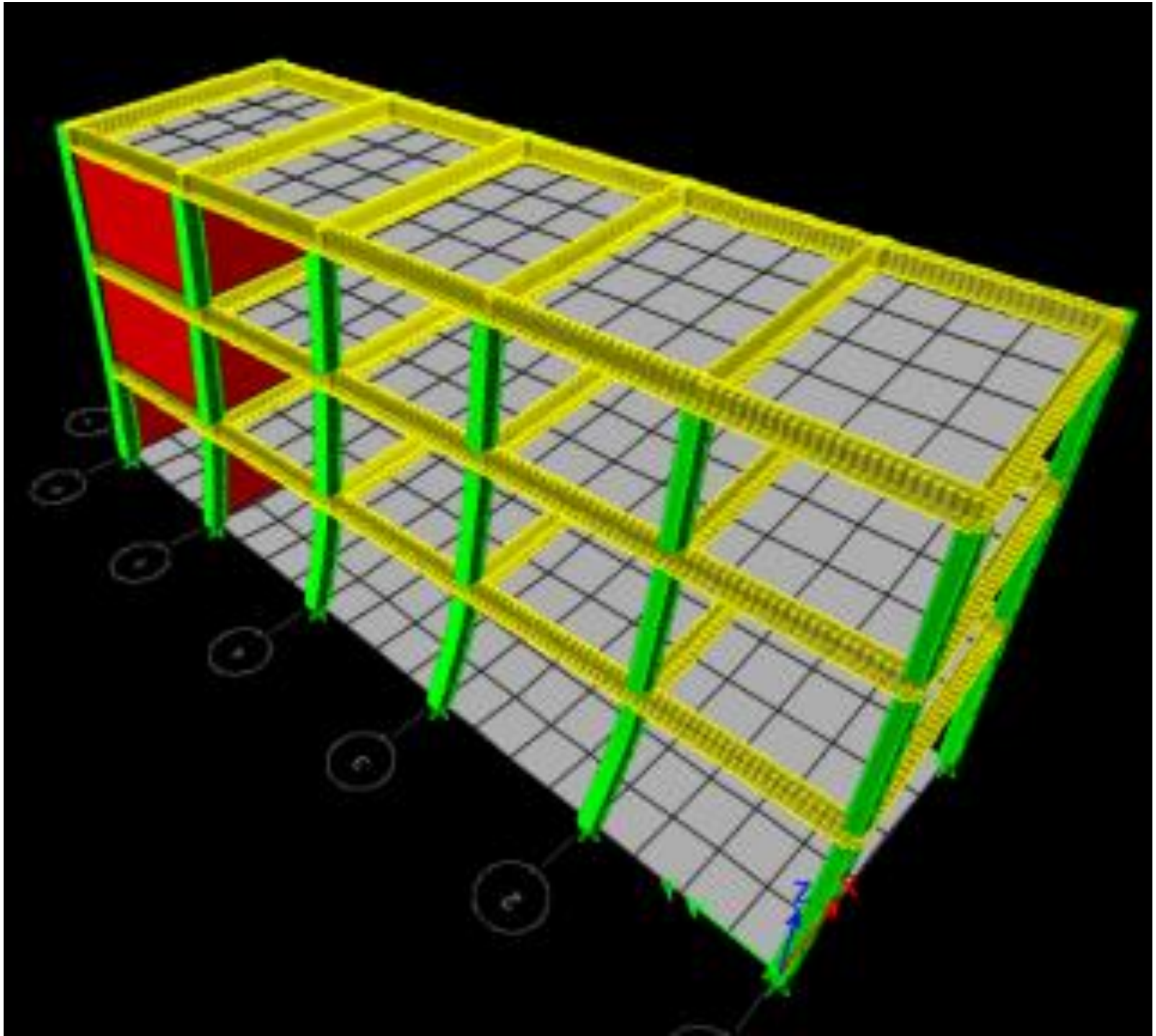
17/05/2014

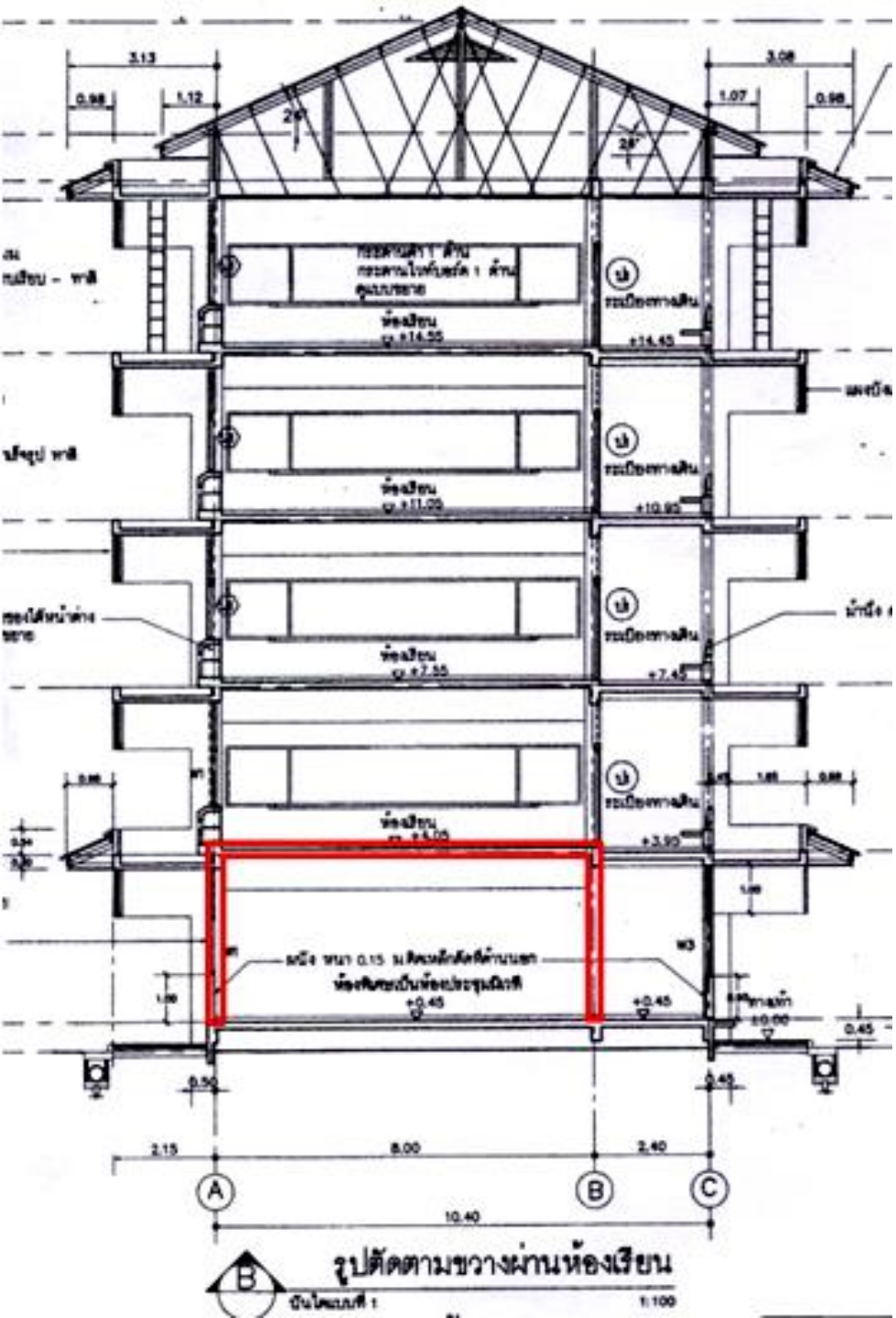

ผนังอิฐก่อ
ตำแหน่งเสาที่มีความ
เสียหายมาก
แปลนอาคาร

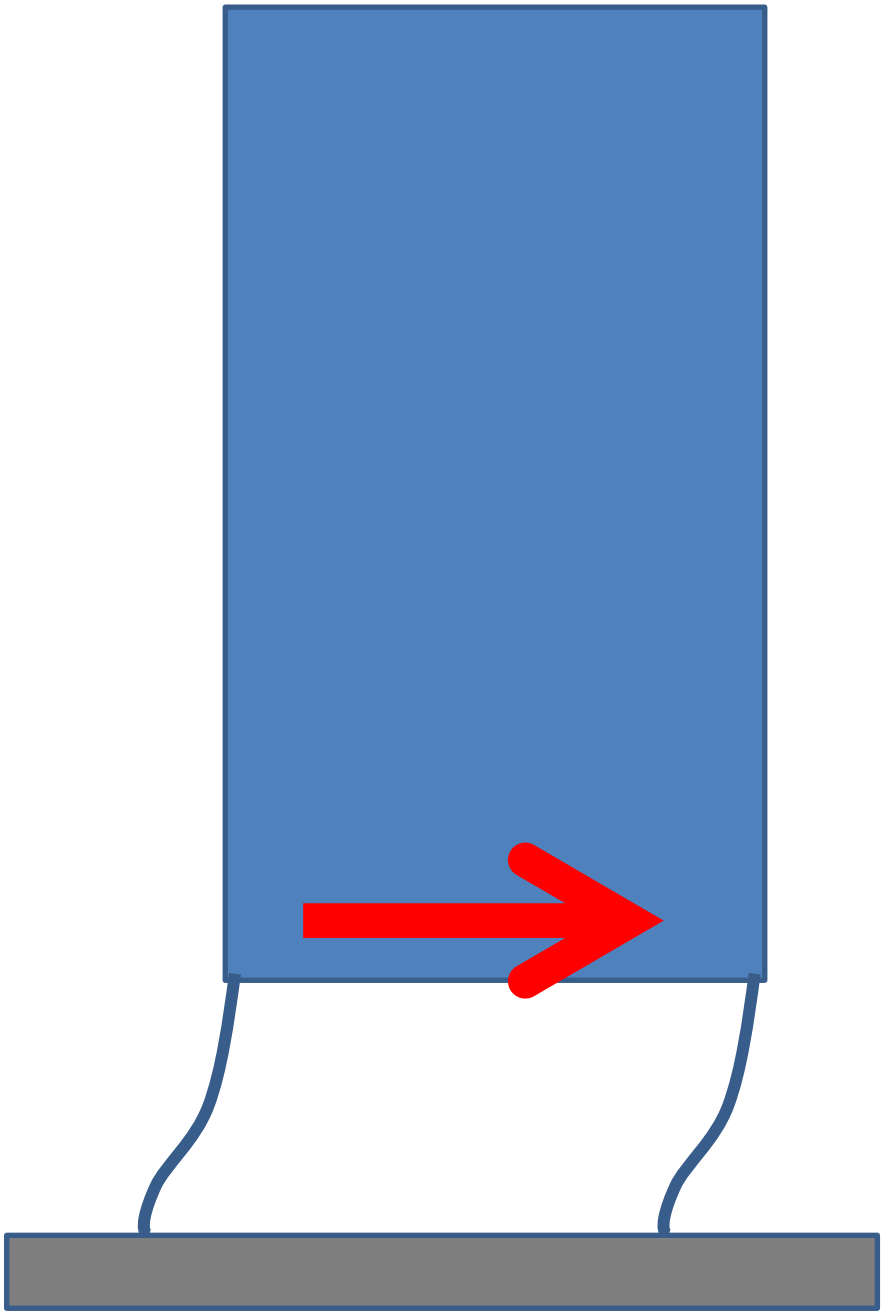
17/05/2014

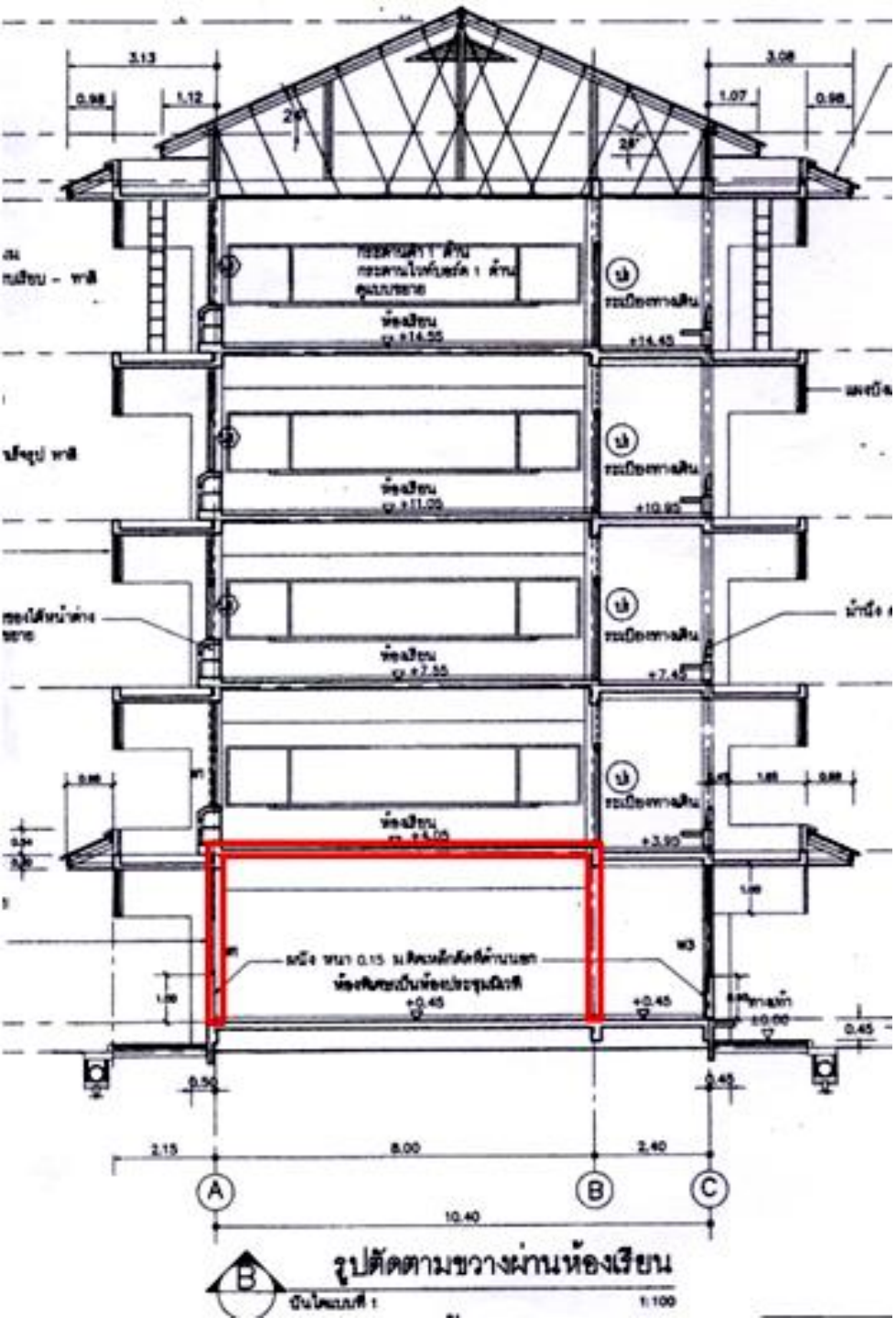


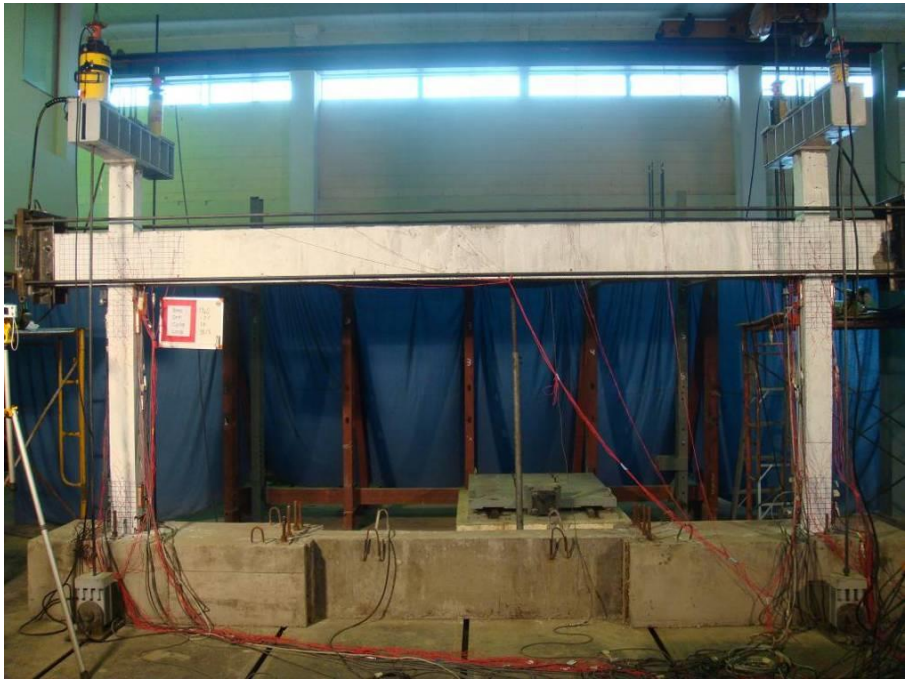




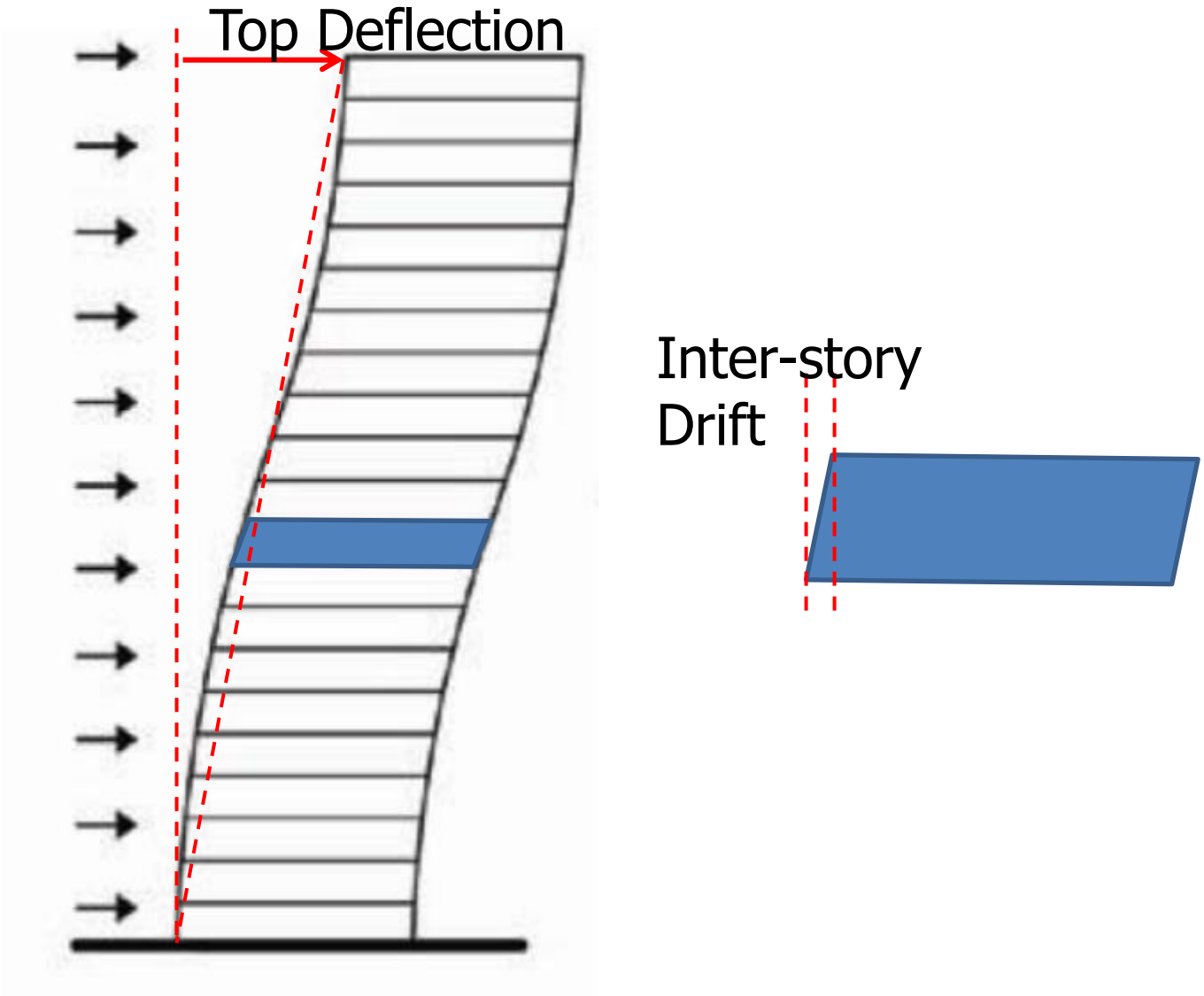

3.13
0.98
1.12
3.08
1.07
0.98
2.15
8.00
2.40
10.40
A
B
C
รูปตัดตามขวางผ่านห้องเรียน
1:100

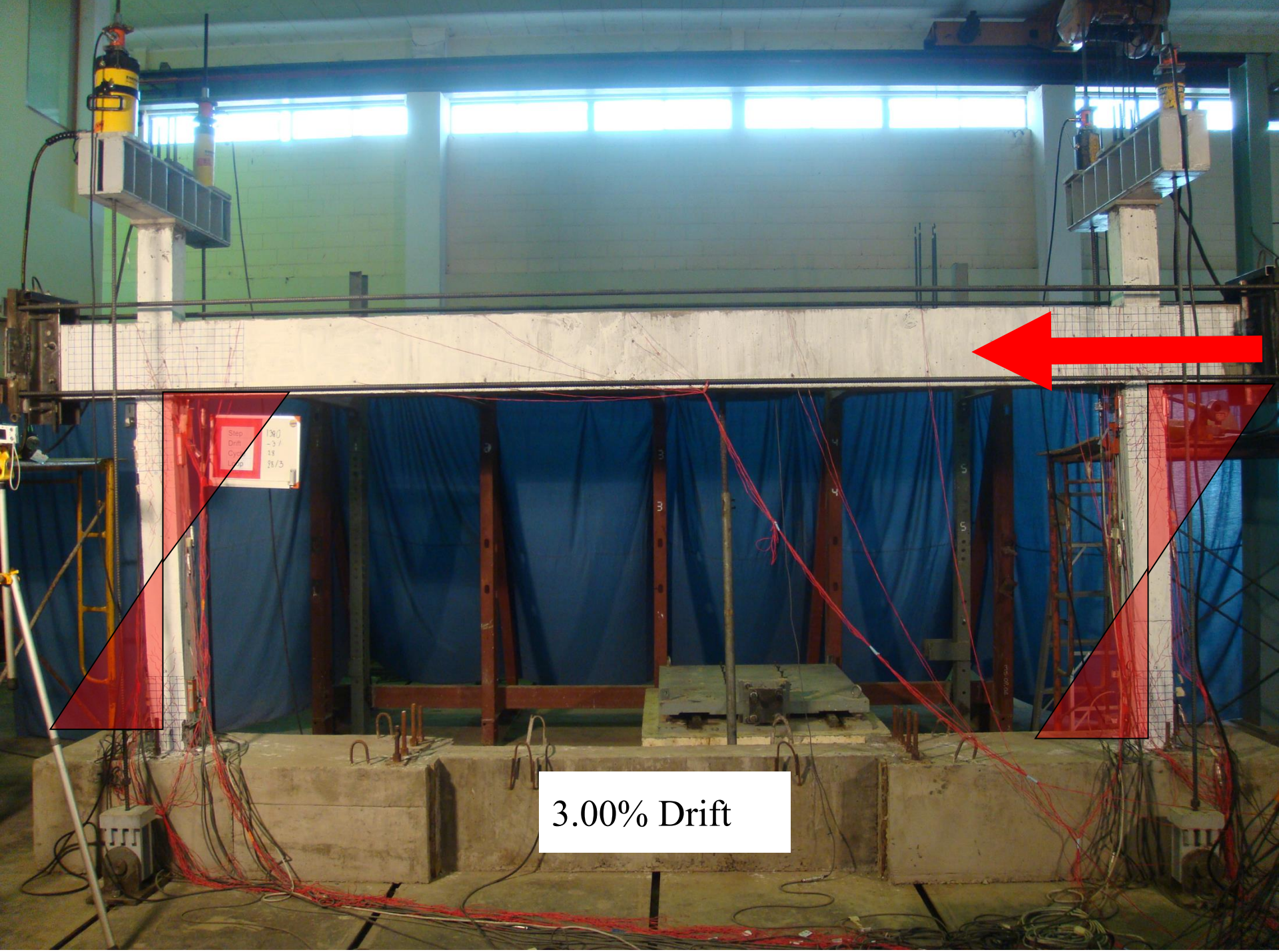


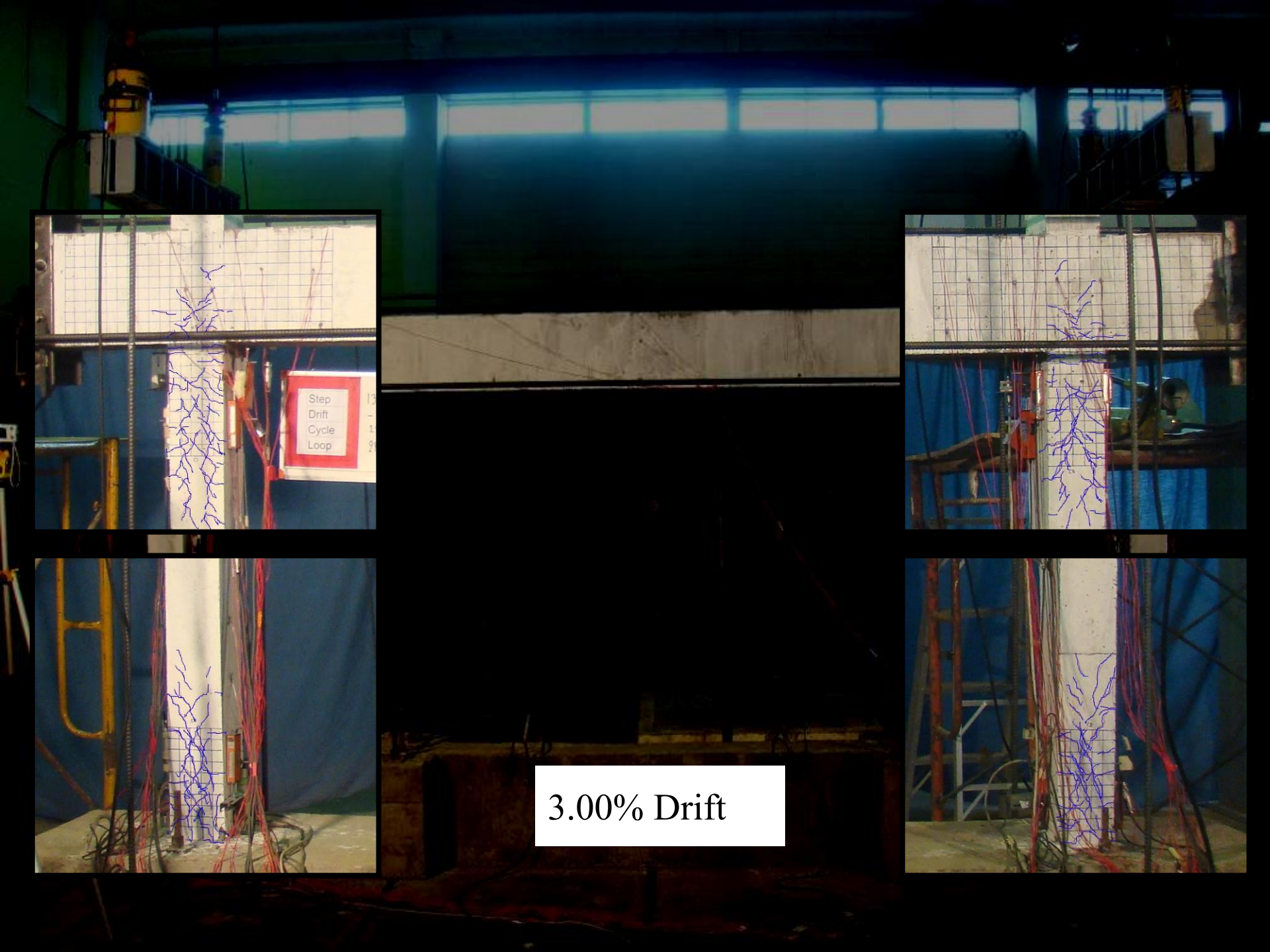

3.13
3.08
0.98
1.12
1.07
0.98
28°
28°
ห้องเรียน
ห้องเรียน
ห้องเรียน
ห้องเรียน
+14.55
+11.00
+7.55
+3.90
+0.45
±0.00
2.15
8.00
2.40
10.40
A
B
C
รูปตัดตามขวางผ่านห้องเรียน
1:100

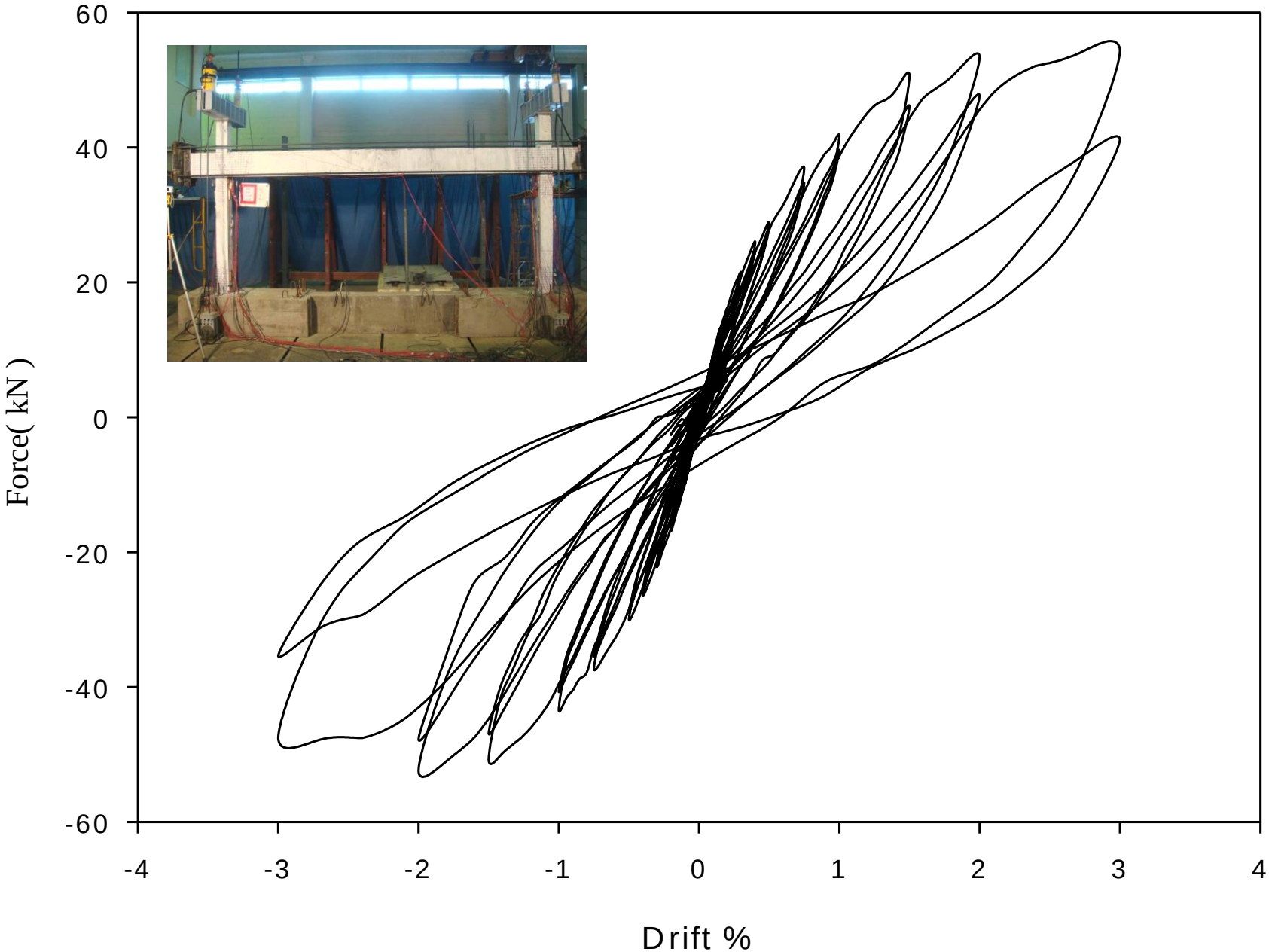


การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Inter-Story Drift)




3.00% Drift


Step
Drift
Cycle
Loop
3.00% Drift

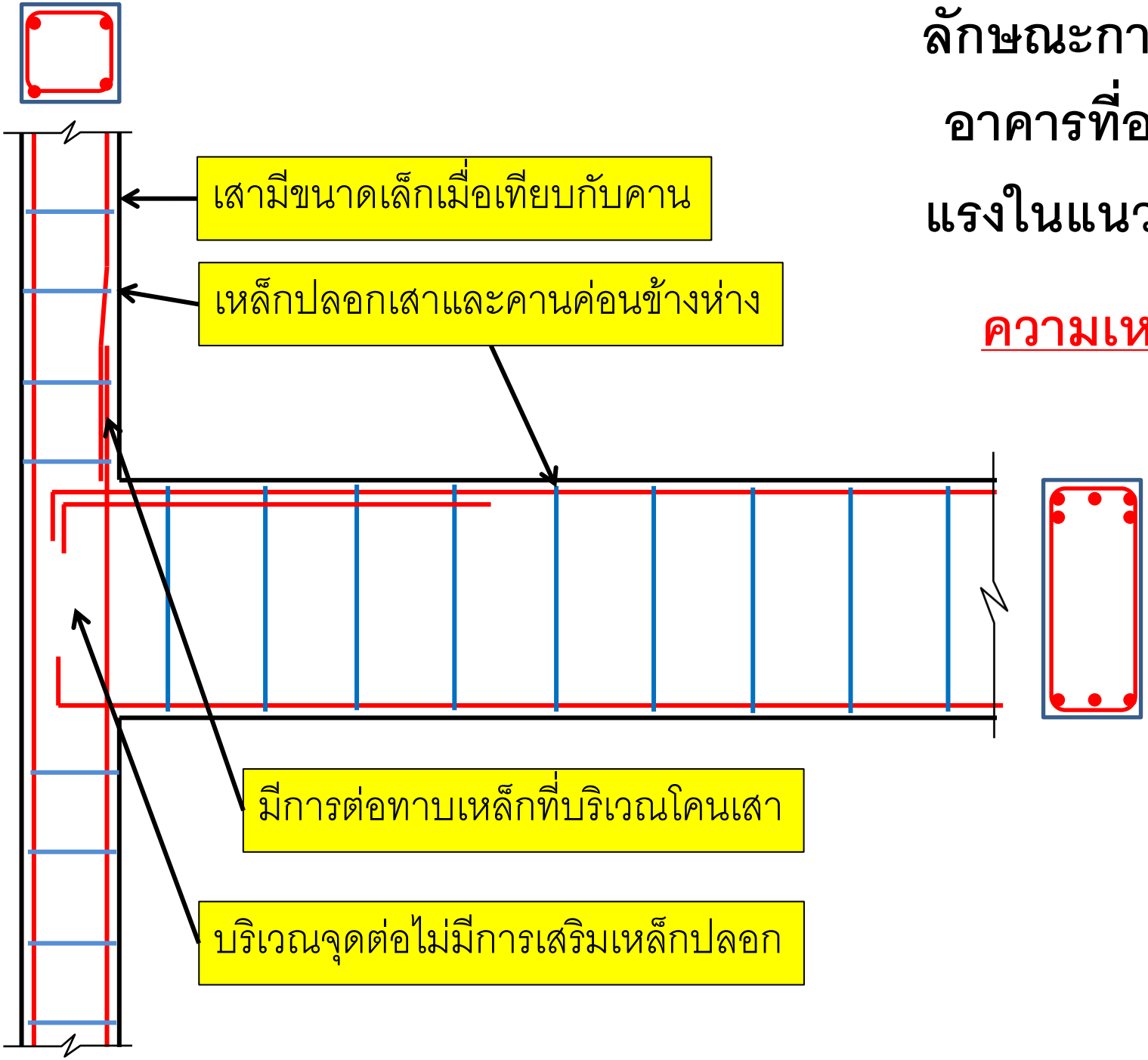

60
40
20
0
-20
-40
-60
Force(kN)
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
Drift %

ข้อสังเกต

- ความเสียหายที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับค่าการเสียรูปสัมพัทธ์
- ที่ค่าการเสียรูปสัมพัทธ์ 0.25%-0.35% ผนังเริ่มแตกร้าว
- ที่ค่าการเสียรูปสัมพัทธ์ 0.75%-1% เสาและคานเริ่มแตกร้าว เหล็กเสริมตามยาวเริ่มเกิดการคราก
- โครงต้านแรงดัดธรรมดา สามารถรองรับค่าการเสียรูปสัมพัทธ์ ได้ 1.5-2% หรือต่ำกว่า ก่อนที่จะวิบัติ
- โครงต้านแรงดัดที่ออกแบบให้มีความเหนียว สามารถรองรับค่าการเสียรูปสัมพัทธ์ 3-4%

ลักษณะการเสริมเหล็ก อาคารที่ออกแบบรับแรงในแนวดิ่งเป็นหลัก

ความเหนียวน้อย



แนวทางการออกแบบอาคาร

ในบริเวณที่มีแผ่นดินไหว

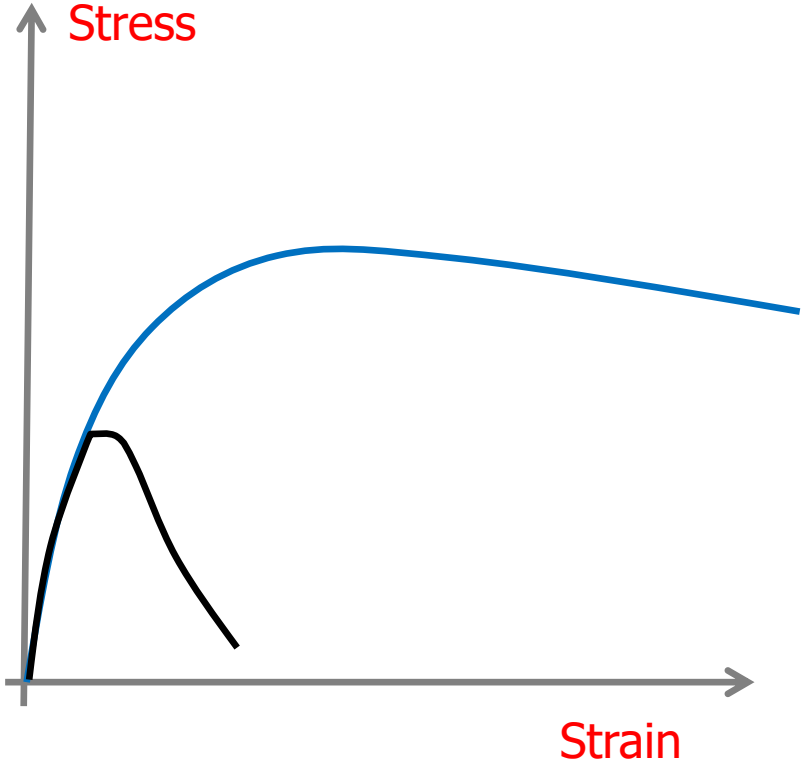
อาคารต้องมีระบบโครงสร้างที่มีความเหนียวและมีรูปร่างรูปทรงที่เหมาะสม

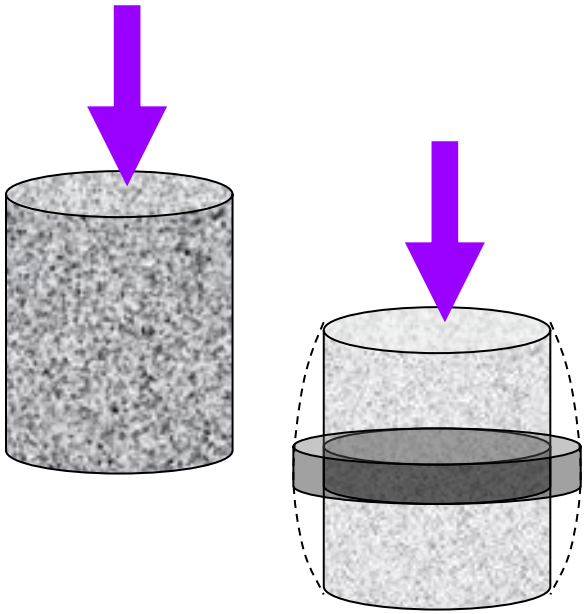
“Ductility” ความเหนียว

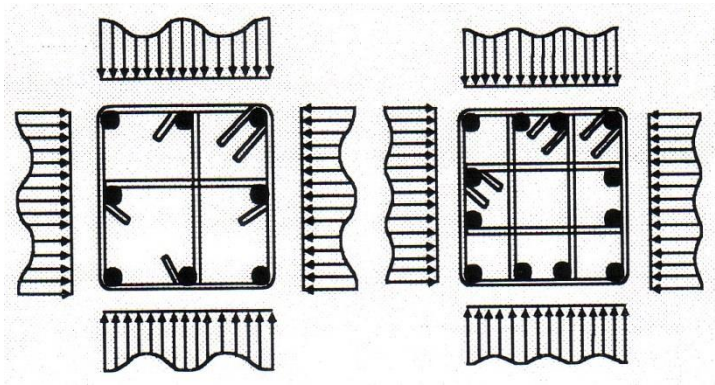
ความเหนียวสำคัญอย่างไร?

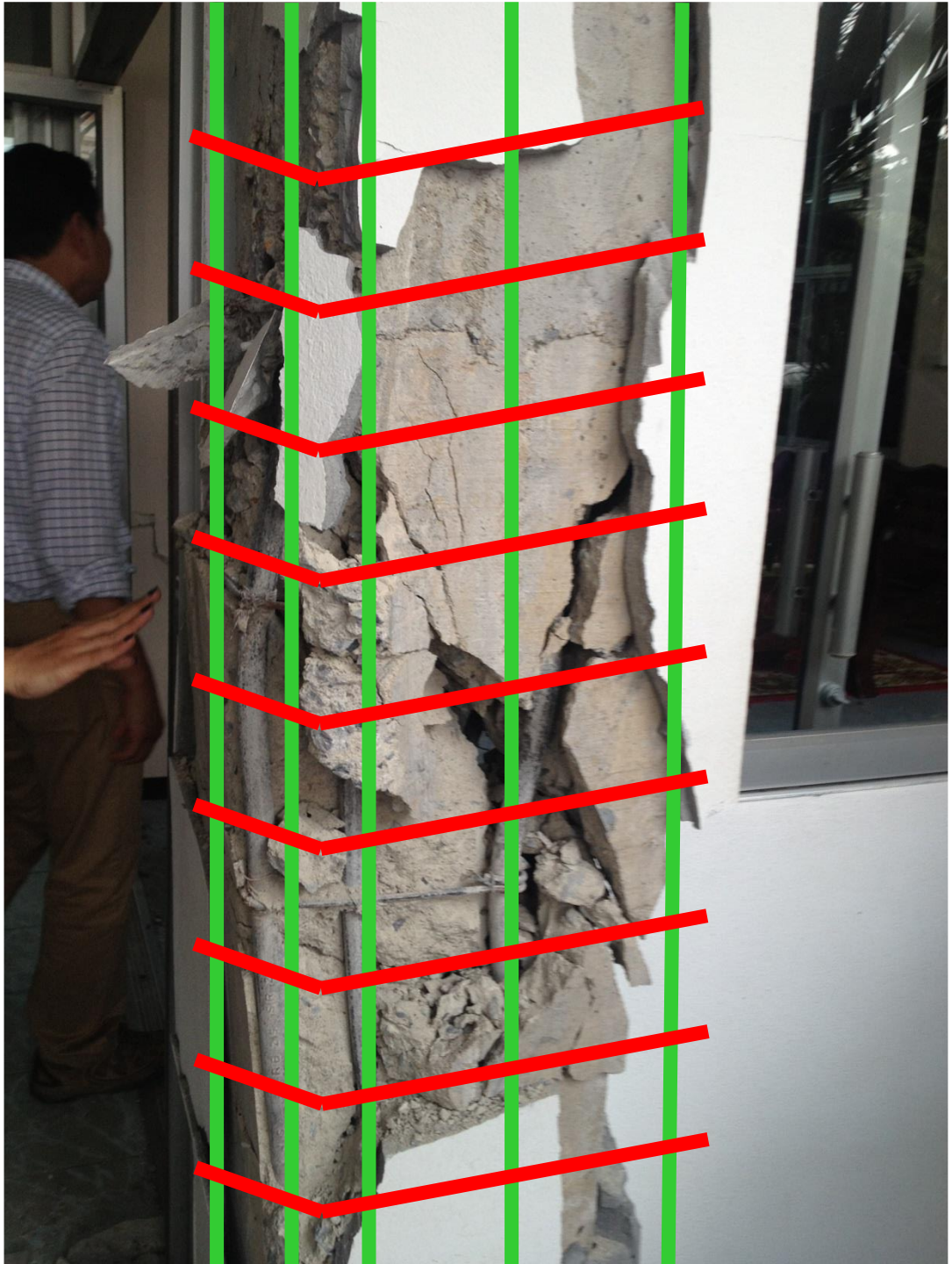
- ทำให้โครงสร้างโดยรวมมีกำลังสำรองสูงขึ้นและมีความมั่นคง (Robust)
- สลายพลังงานจาก Extreme Event
- การเตือนก่อนการพังทลาย (Warning)

Confinement







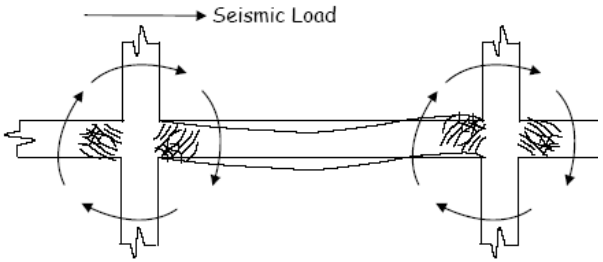


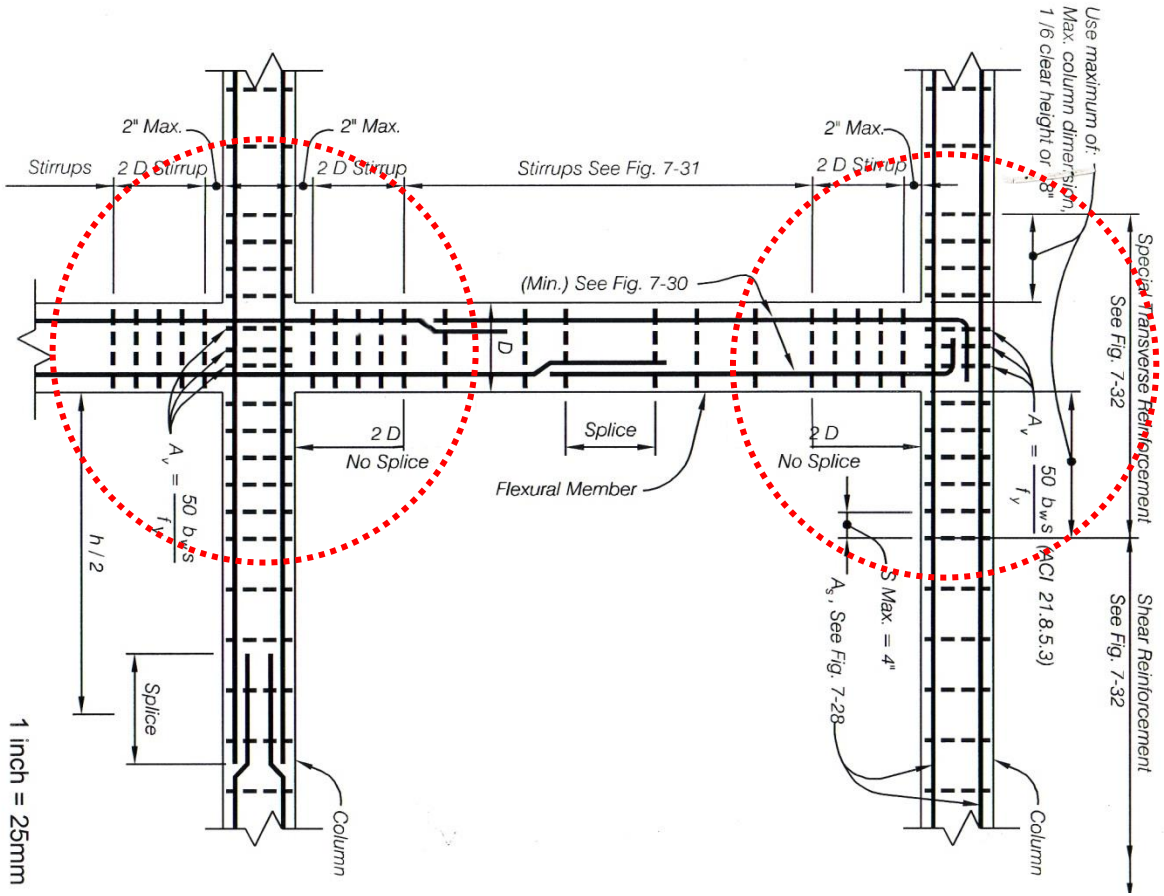
Ductility: Material Level

- Confined Concrete Show Significant Ductility
- Design of Ductile RC Buildings Relies on Confinement as a Key to Ductility

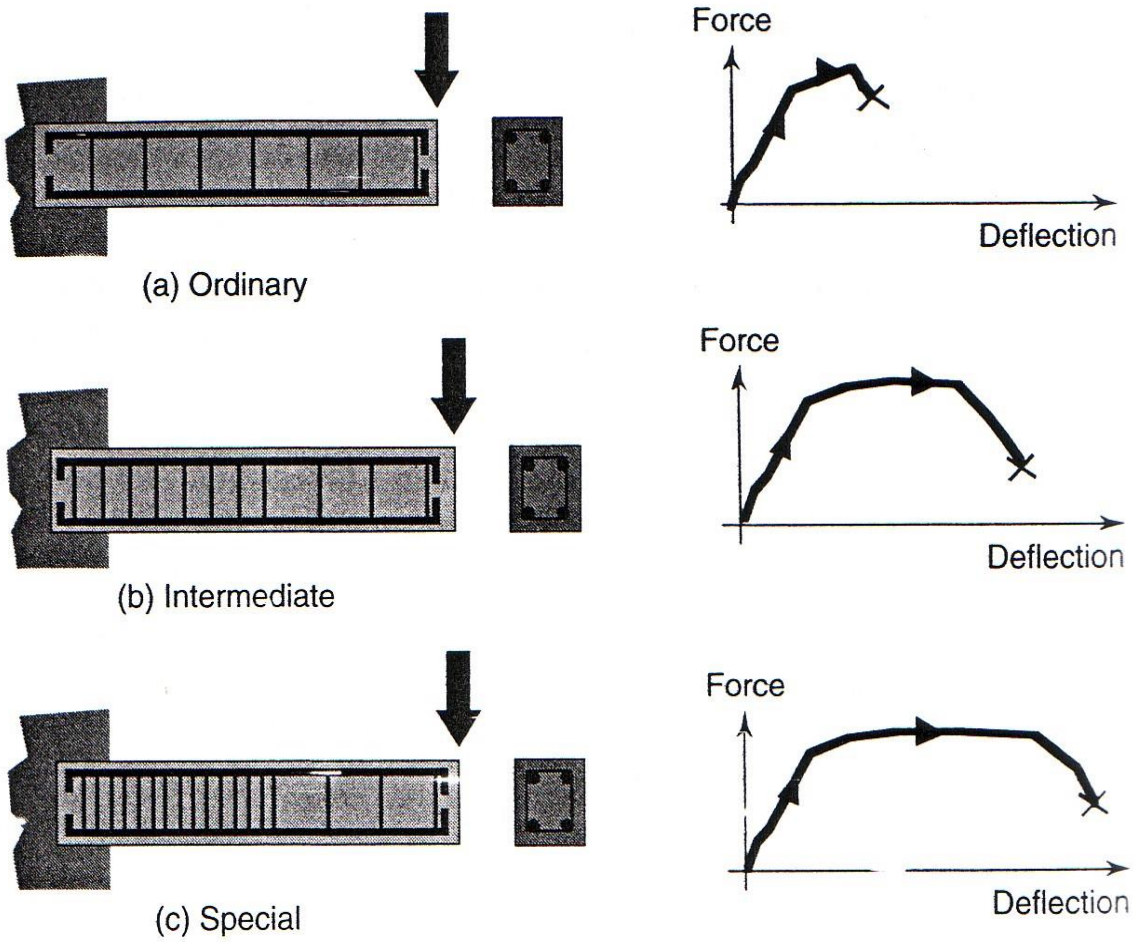
Ductility

การออกแบบโครงสร้างตาม Code กำหนดให้มี Confinement เป็นพิเศษบริเวณที่น่าจะเกิดการเสียรูปในช่วง Inelastic



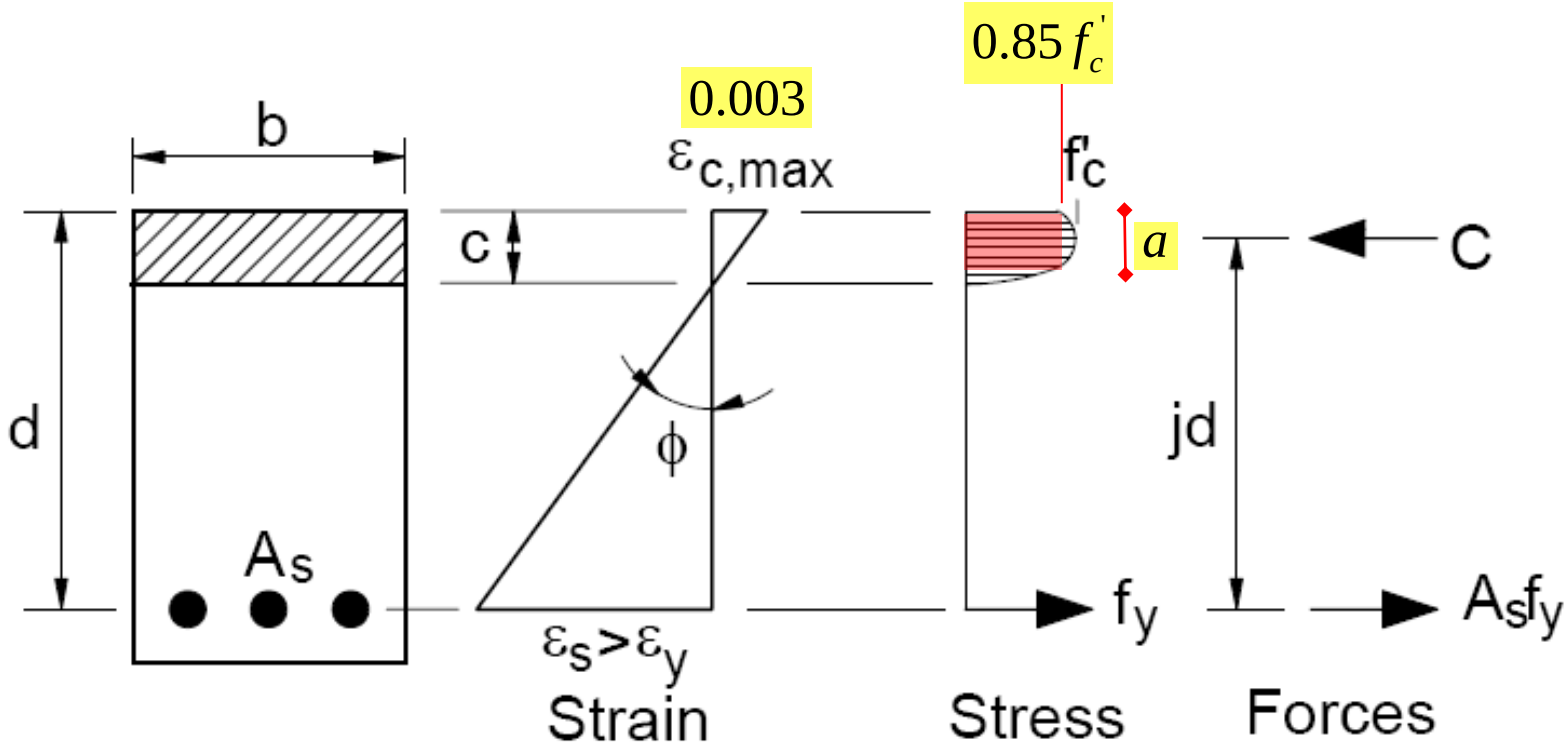


Ductility in Flexural Elements



ระดับการออกแบบที่ต้องการสำหรับประเภทการออกแบบ ข หรือ ค รายละเอียดตามประกาศกระทรวงฯ หรือ มาตรฐาน มยผ

ระดับการออกแบบที่ต้องการสำหรับประเภทการออกแบบ ง รายละเอียดมาตรฐาน มยผ

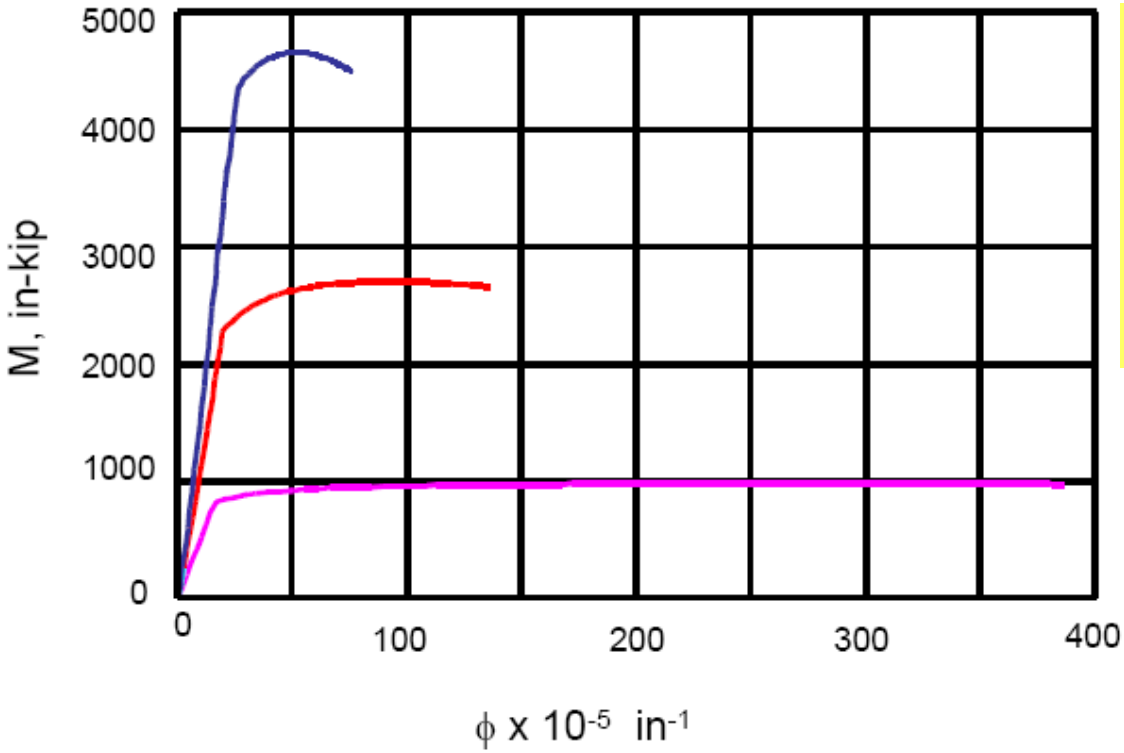


$$A_s F_y = 0.85 f_c' b a$$

$$a = \frac{A_s F_y}{0.85 f_c' b}$$

$$M_n = A_s F_y (d - a/2) = A_s F_y \left(d - \frac{A_s F_y}{0.85 f_c' b} / 2\right)$$

Influence of Reinforcement Ratio



$f_c' = 280\ ksc$

$f_y = 4000\ ksc$

$b = 25\ cm$

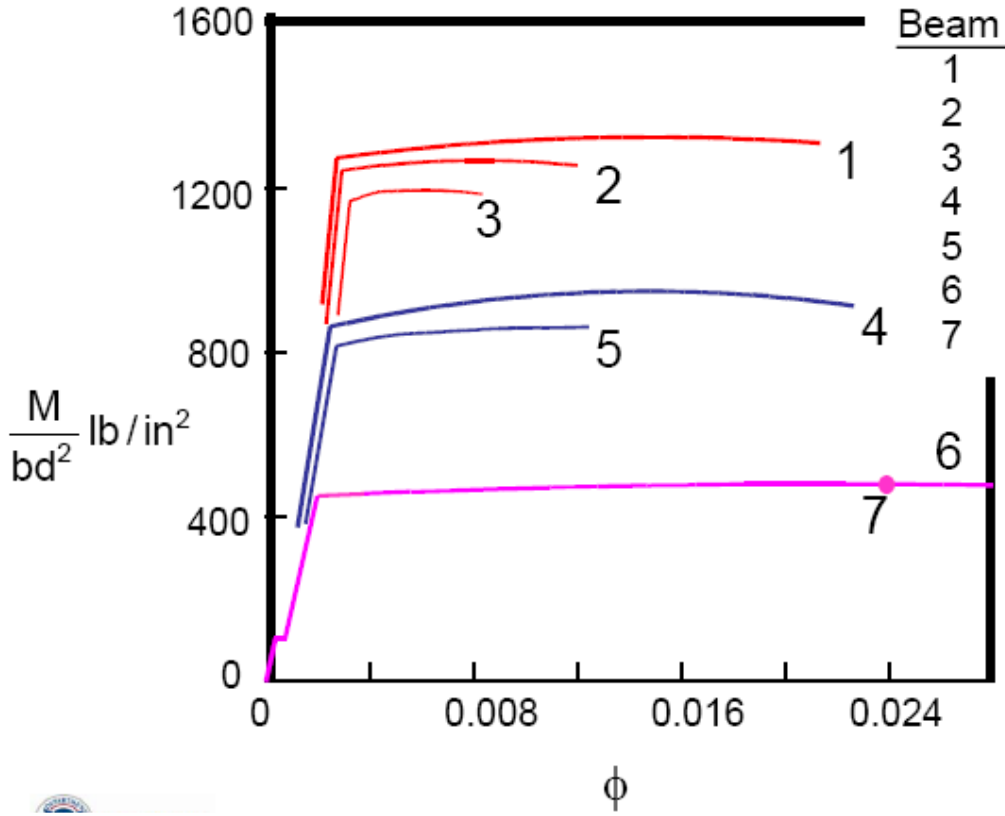
$d = 45\ cm$

ρ = 2.5%
ρ = 1.5%
ρ = 0.5%

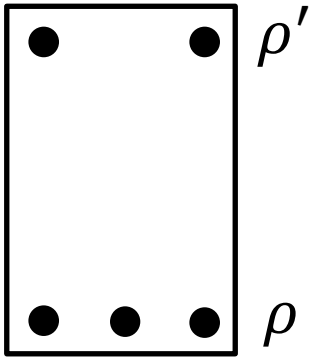
$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

- กำลังรับแรงดัดแปรผันตามปริมาณเหล็กรับแรงดึง
- กำลังรับแรงสูงขึ้น (เสริมเหล็กมากขึ้น) ความเหนียวน้อยลง

Influence of Compression Reinforcement



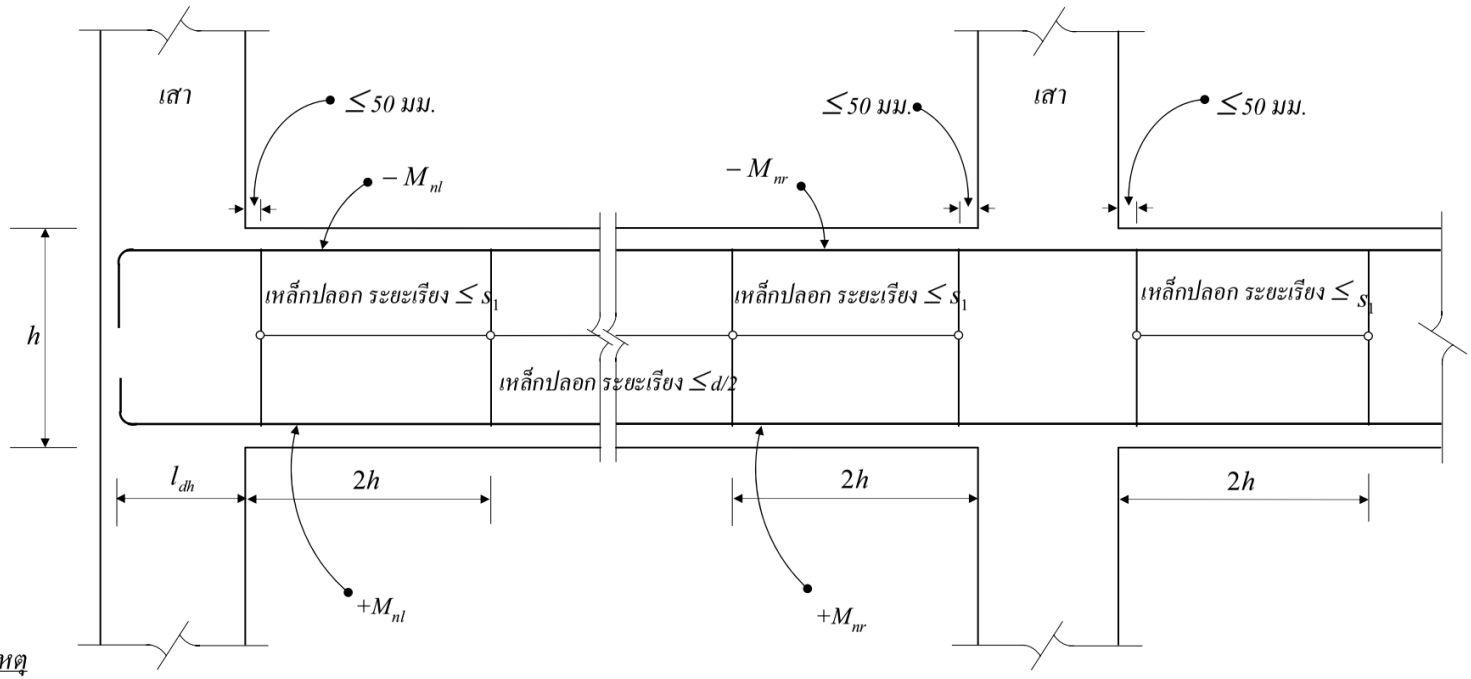
Beam	ρ	ρ'
1	0.0375	0.0250
2	0.0375	0.0125
3	0.0375	0
4	0.0250	0.0125
5	0.0250	0
6	0.0125	0.0125
7	0.0125	0



- เหล็กรับแรงอัดมีผลน้อยมากต่อกำลังรับแรง
- เหล็กรับแรงอัดทำให้มีความเหนียวมากขึ้น

ตัวอย่าง

ระบบโครงสร้างโดยรวม	ระบบต้านแรงด้านข้าง	ค่าตัวประกอบ			ประเภทการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว		
		R	Ω_0	C_d	ข	ค	ง
3. ระบบโครงต้านแรงดัด (Moment Resisting Frame)	โครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวปานกลางหรือความเหนียวจำกัด (Ductile RC Moment-Resisting Frame with Limited Ductility/ Intermediate RC Moment-Resisting Frame)	5	3	4.5	√	√	*



หมายเหตุ

ก) ระยะเรียงของเหล็กปลอก s_1 ต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยสุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิผล

(2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามความยาวที่มีขนาดเล็กสุด

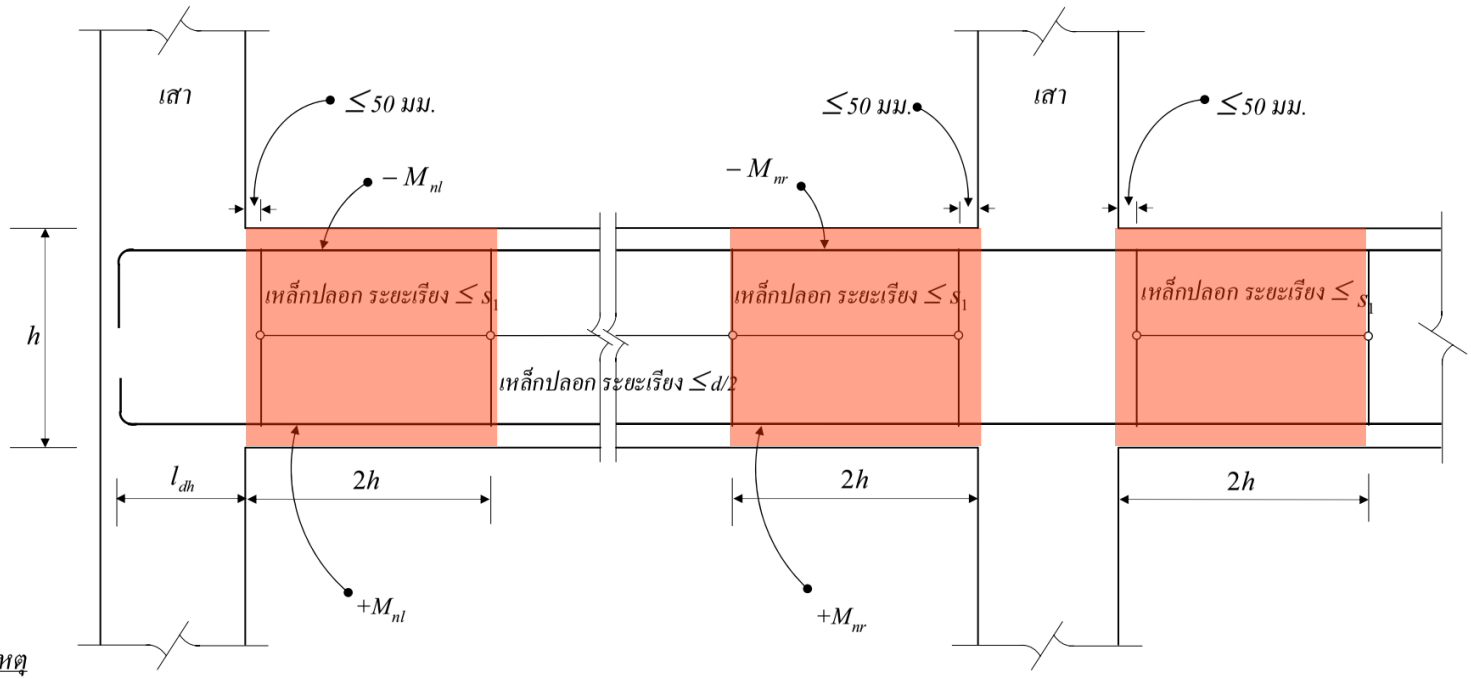
(3) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก และ

(4) 300 มิลลิเมตร

ข) กำลังต้านโมเมนต์ของคานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) $+M_{nl} \geq (1/3)(-M_{nl})$ (2) $+M_{nr} \geq (1/3)(-M_{nr})$ และ

(3) $+M_n$ และ $-M_n$ ที่หน้าตัดใดๆ $\geq (1/5)$ ของค่าสูงสุดระหว่าง $-M_{nl}$ และ $-M_{nr}$



<u>หมายเหตุ</u>

ก) ระยะเรียงของเหล็กปลอก s_1 ต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยสุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิผล

(2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามความยาวที่มีขนาดเล็กสุด

(3) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก และ

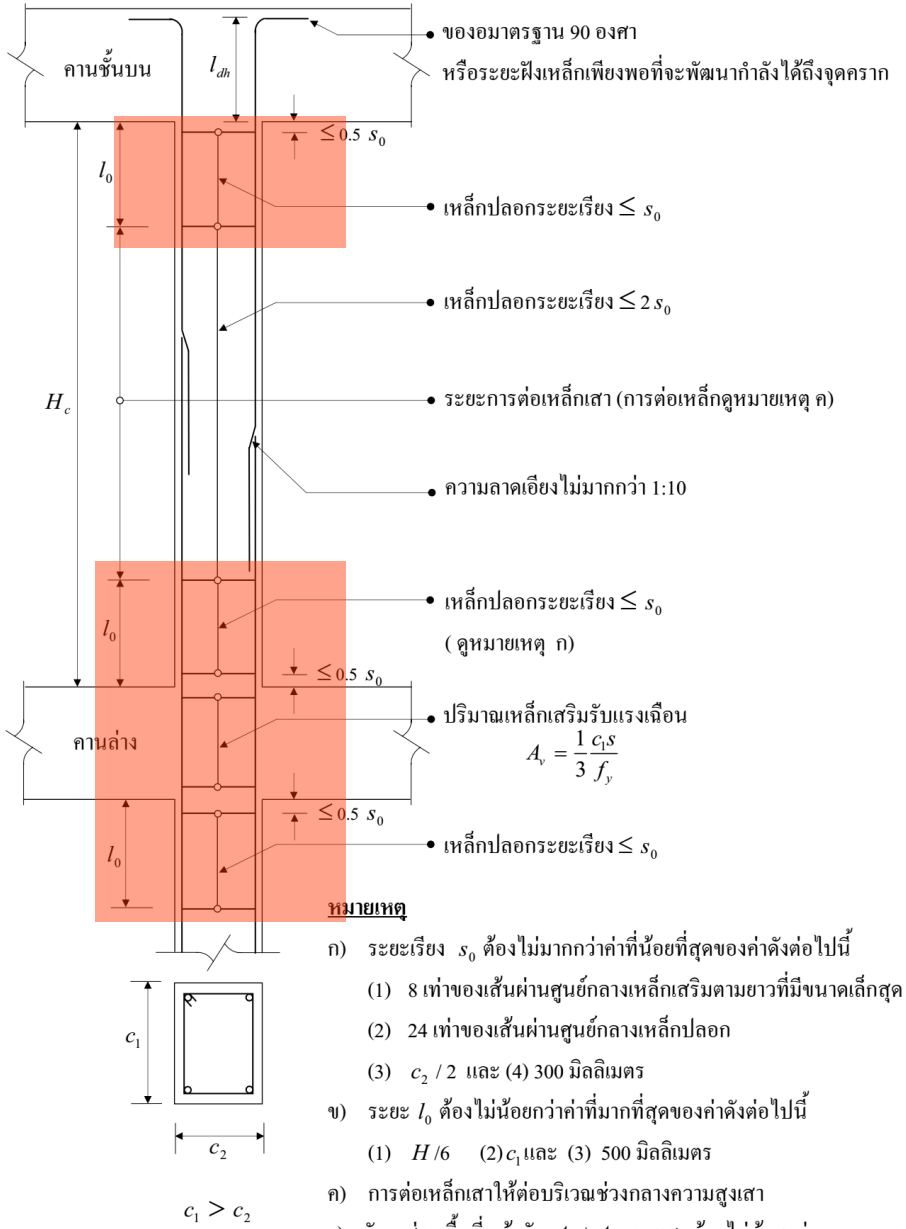
(4) 300 มิลลิเมตร

ข) กำลังต้านโมเมนต์ของคานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) $+M_{nl} \geq (1/3)(-M_{nl})$

(2) $+M_{nr} \geq (1/3)(-M_{nr})$ และ

(3) $+M_n$ และ $-M_n$ ที่หน้าตัดใดๆ $\geq (1/5)$ ของค่าสูงสุดระหว่าง $-M_{nl}$ และ $-M_{nr}$



หมายเหตุ

ก) ระยะเรียง s_0 ต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด

(2) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก

(3) c_2 / 2 และ (4) 300 มิลลิเมตร

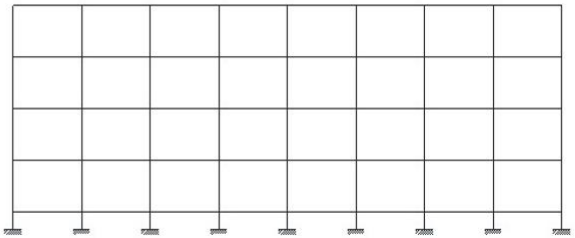
ข) ระยะ l_0 ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

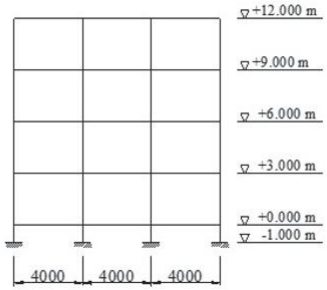
(1) $H/6$ (2) c_1 และ (3) 500 มิลลิเมตร

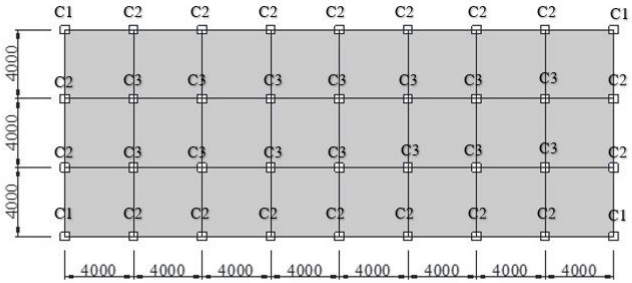
ค) การต่อเหล็กเสาให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา

ง) อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด A_s / A_g ของเสา ต้องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 1 และไม่ควรมากกว่าร้อยละ 6

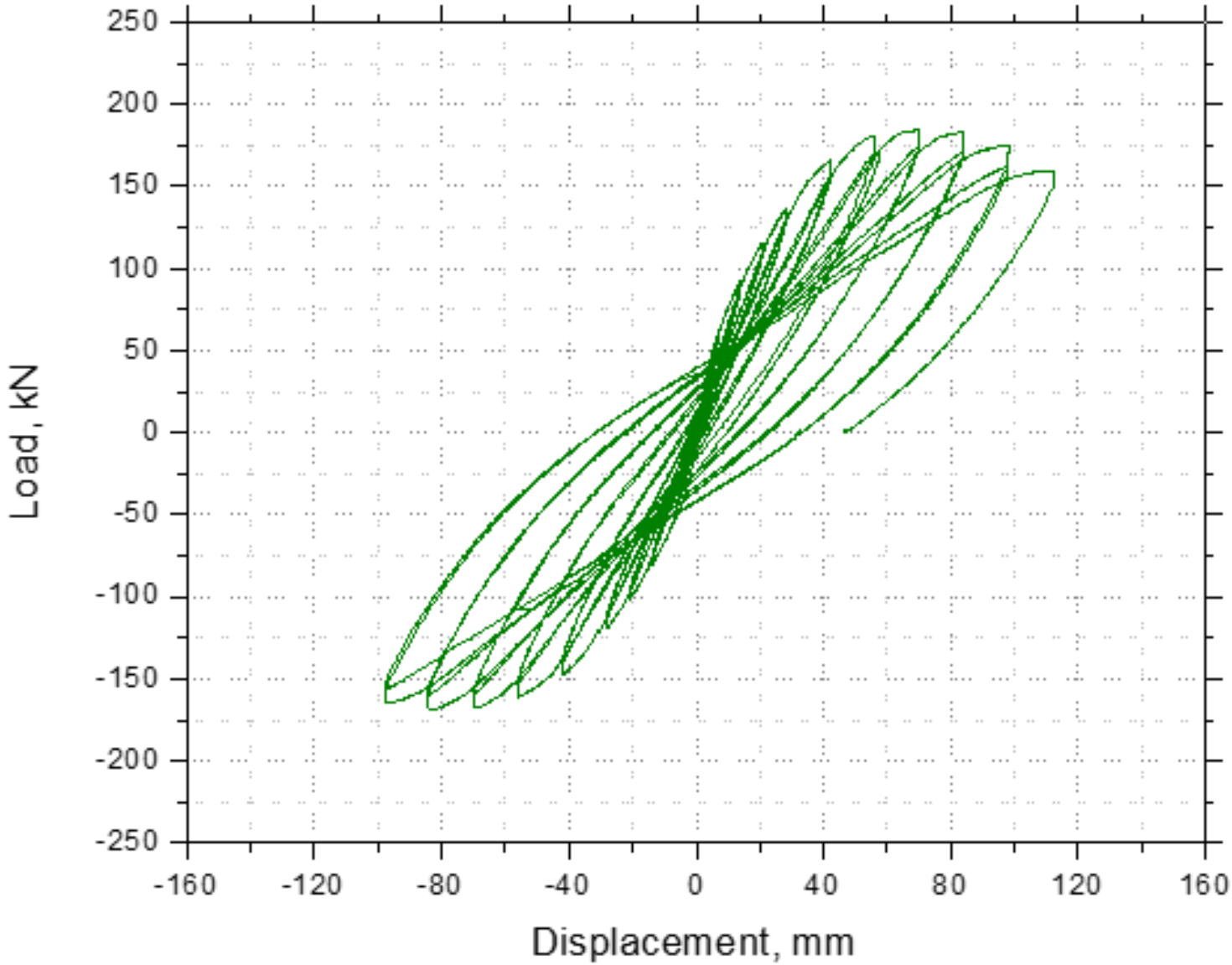
IMRF Frame Example





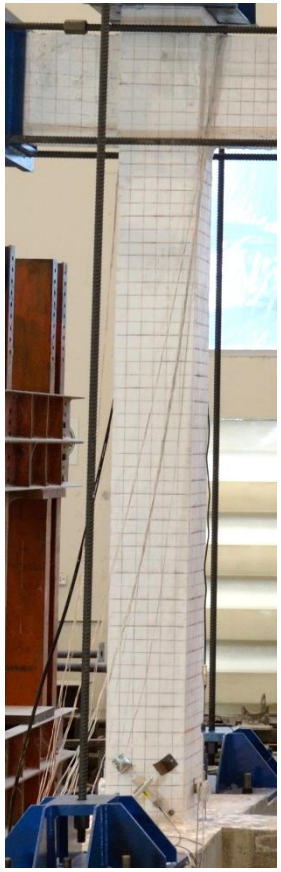


Preload 35 ton
Lateral brace frame
Preload 35 ton
Actuator


250
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
Load, kN
-160
-120
-80
-40
0
40
80
120
160
Displacement, mm

-0.00%

-0.25%

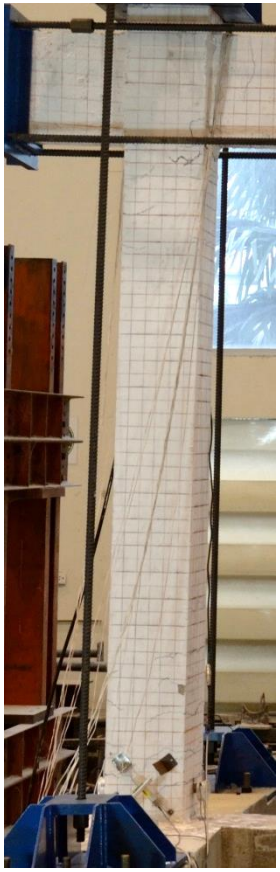


-0.50%

-0.75%

-1.00%

Yielding of longitudinal bars

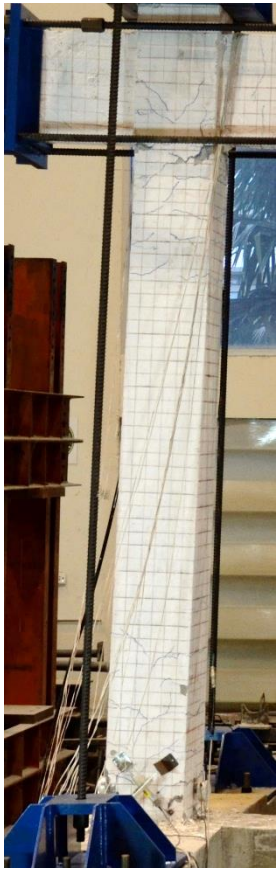


-1.50%

-2.00%

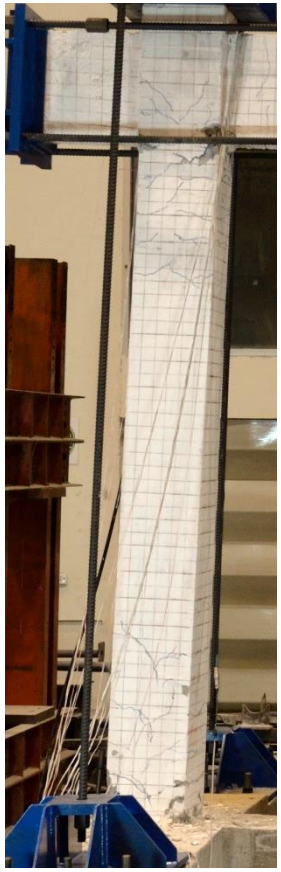
Peak load

-2.50%



-3.00%

Crushing



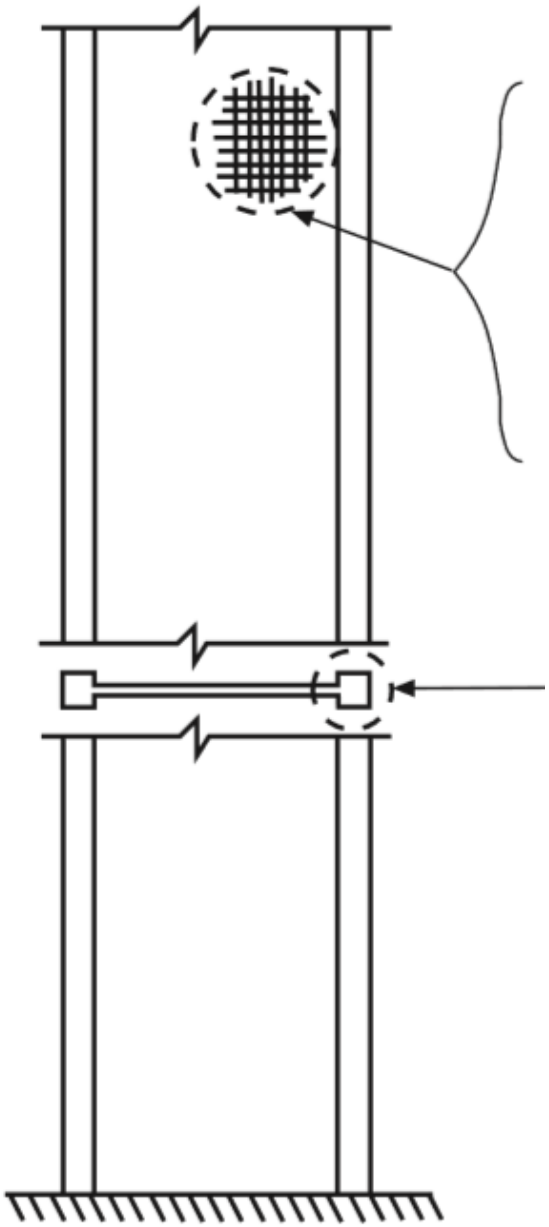
-4.00%

Shear Wall Failure in Past Earthquakes

http://alert.air-worldwide.com/

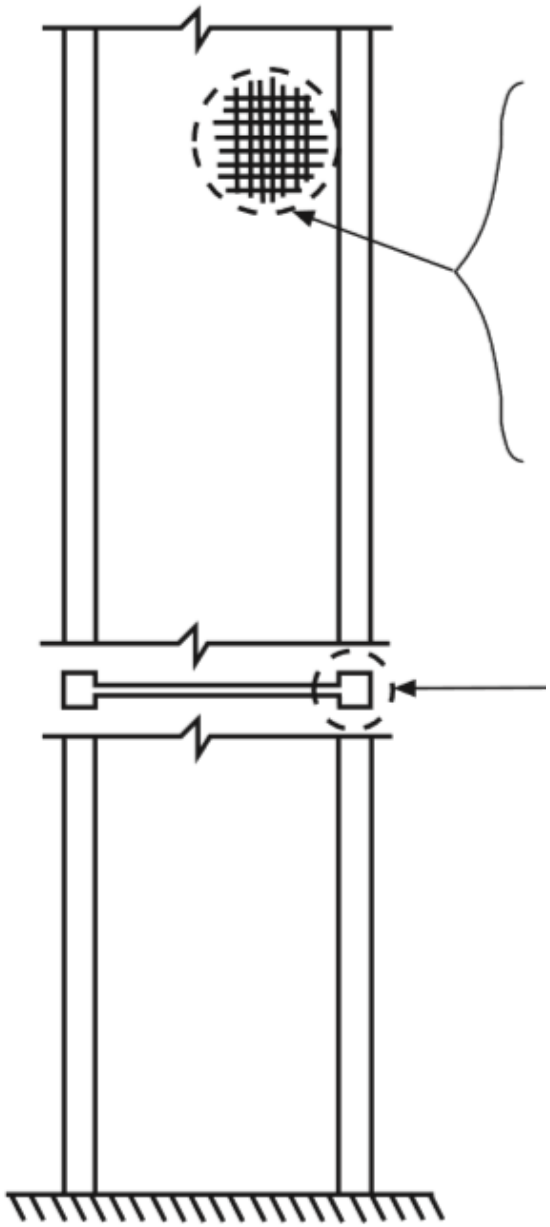
Shear Wall Failure in Past Earthquakes

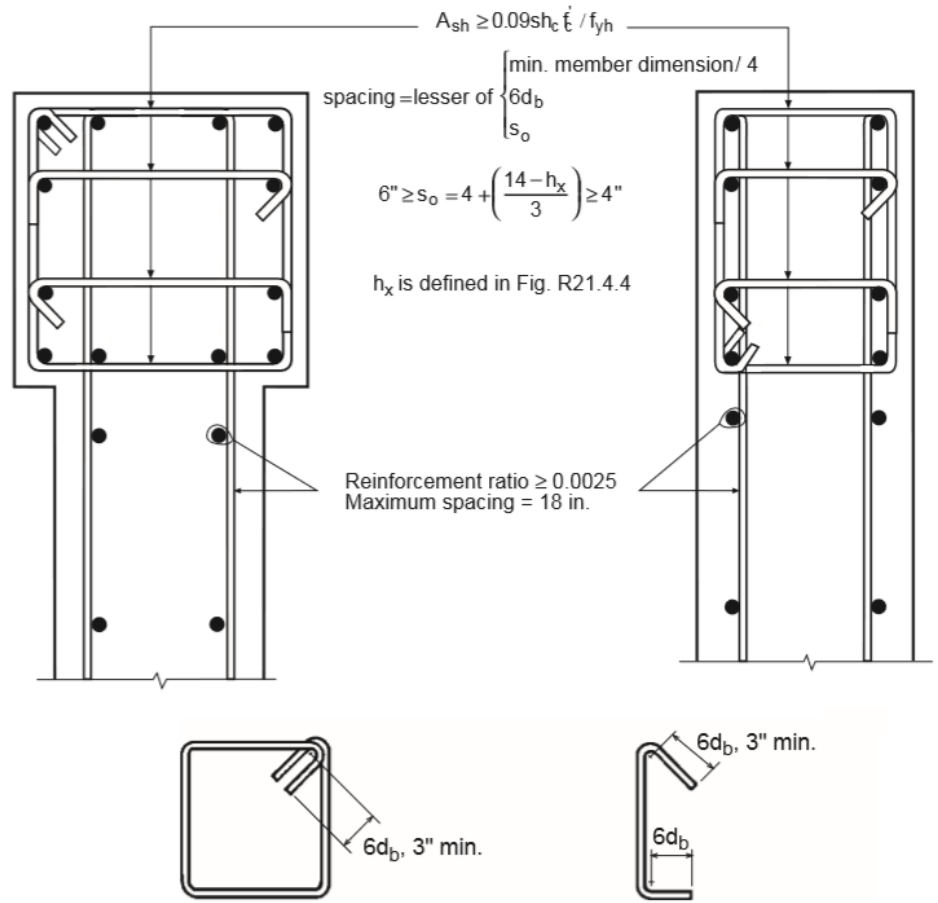
Special Reinforced Concrete Walls



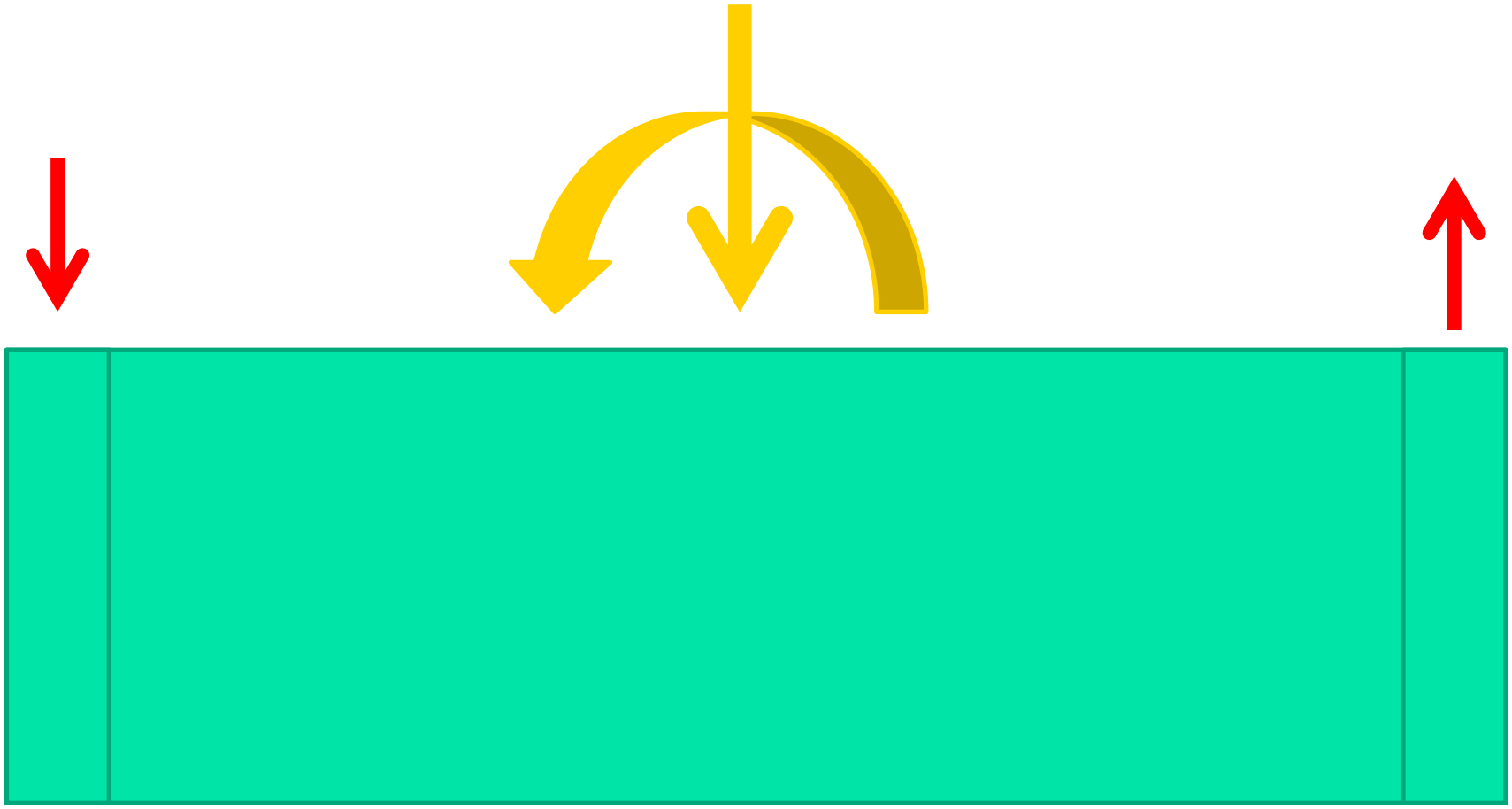
- USE IN HIGH SEISMIC AREAS
- ใช้สำหรับ ประเภทการออกแบบ ง ตามมาตรฐาน มยผ1302
- USE OF WELL CONFINED “BOUNDARY ELEMENTS”

Special Reinforced Concrete Walls

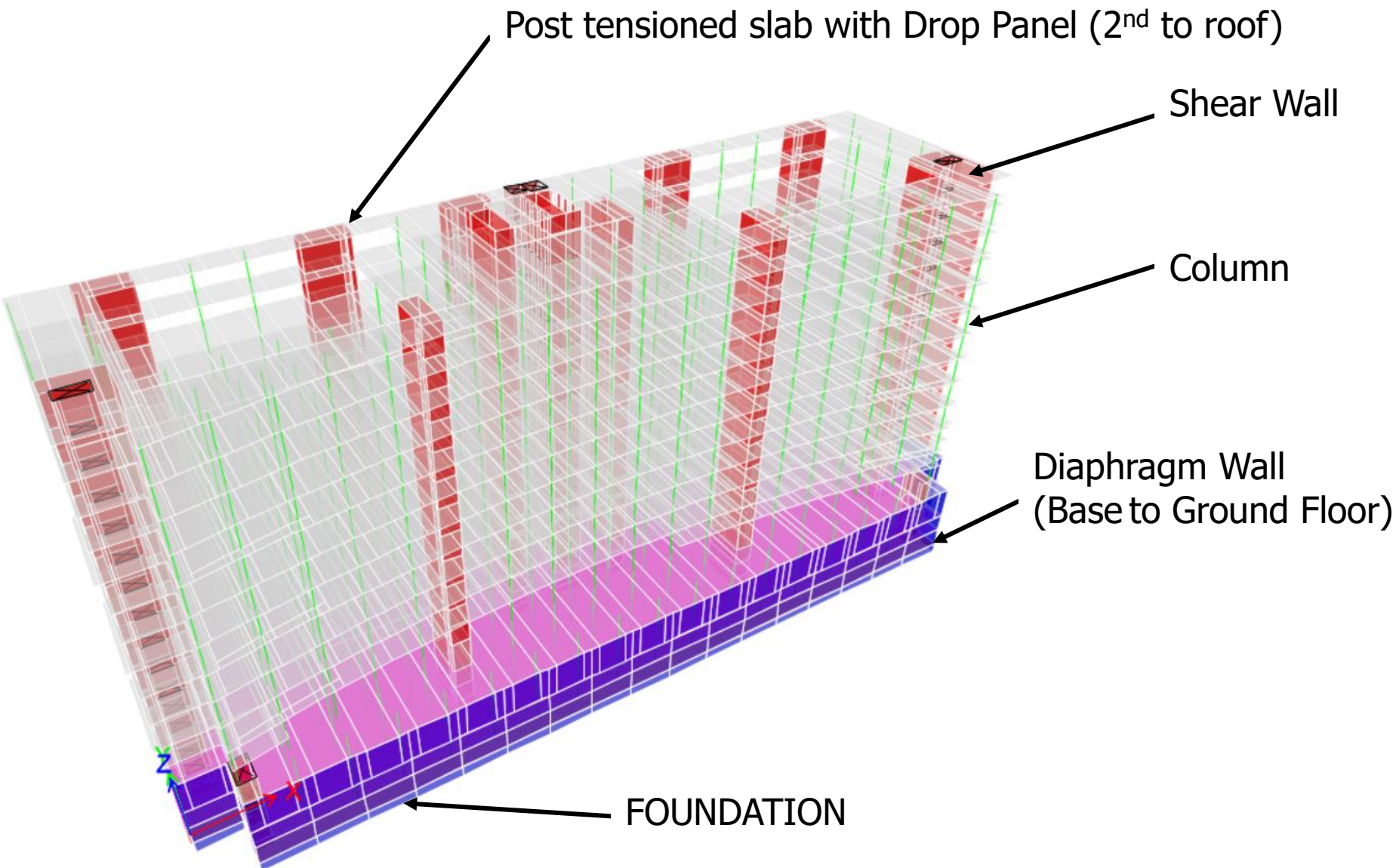




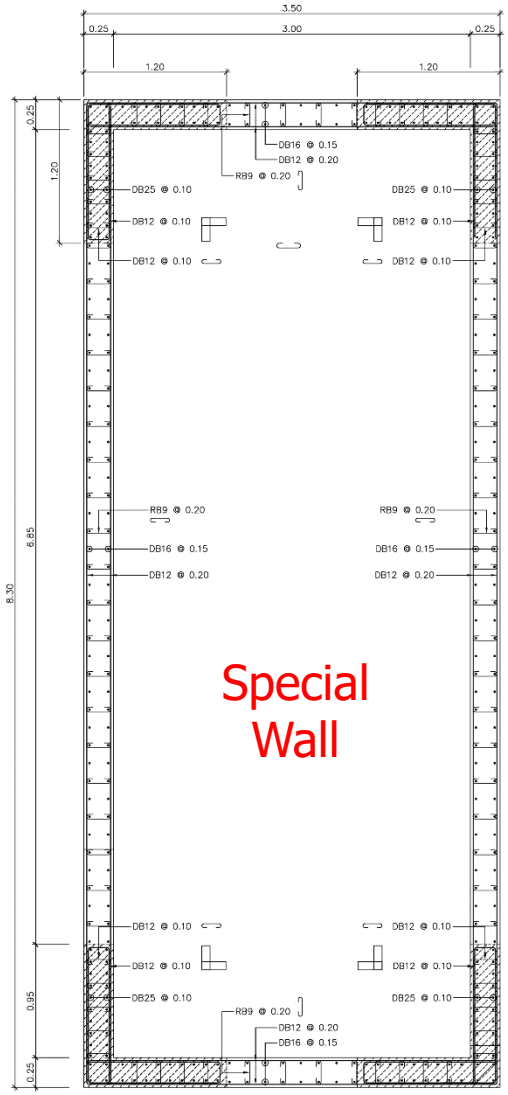
Boundary Element Requirements



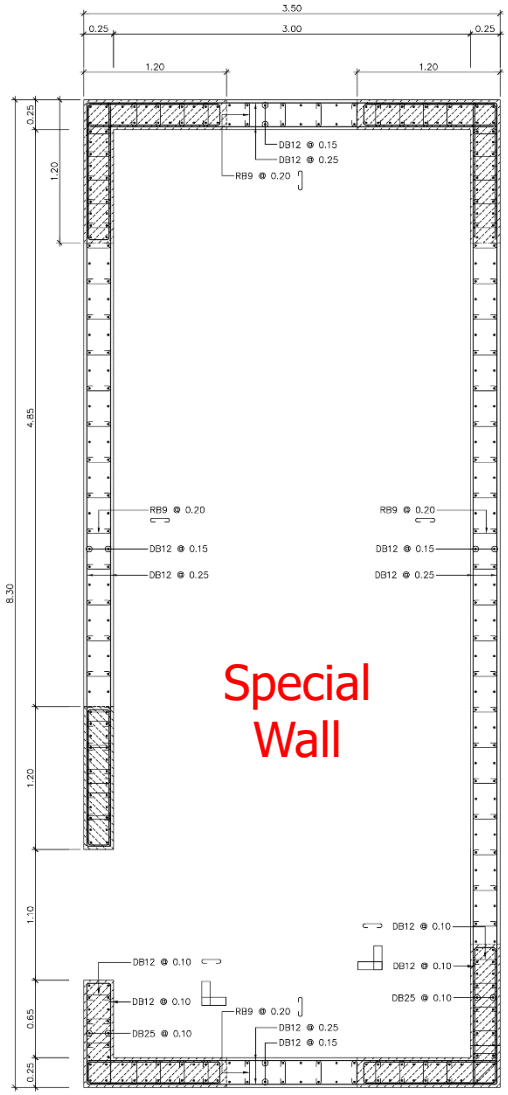
Shear Wall System



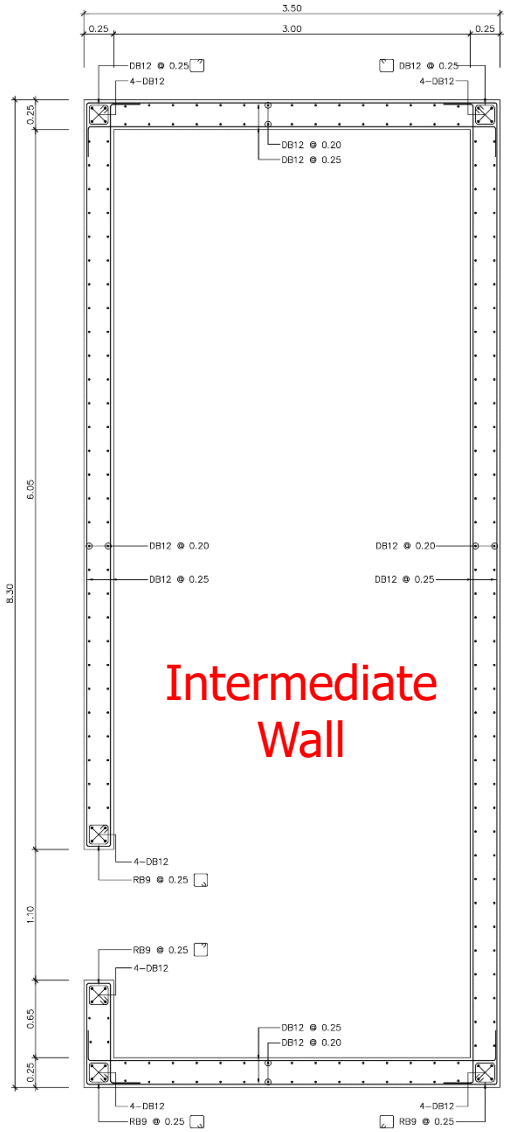
Typical Section Core-Wall



ฐานราก - พื้นชั้นที่ 1



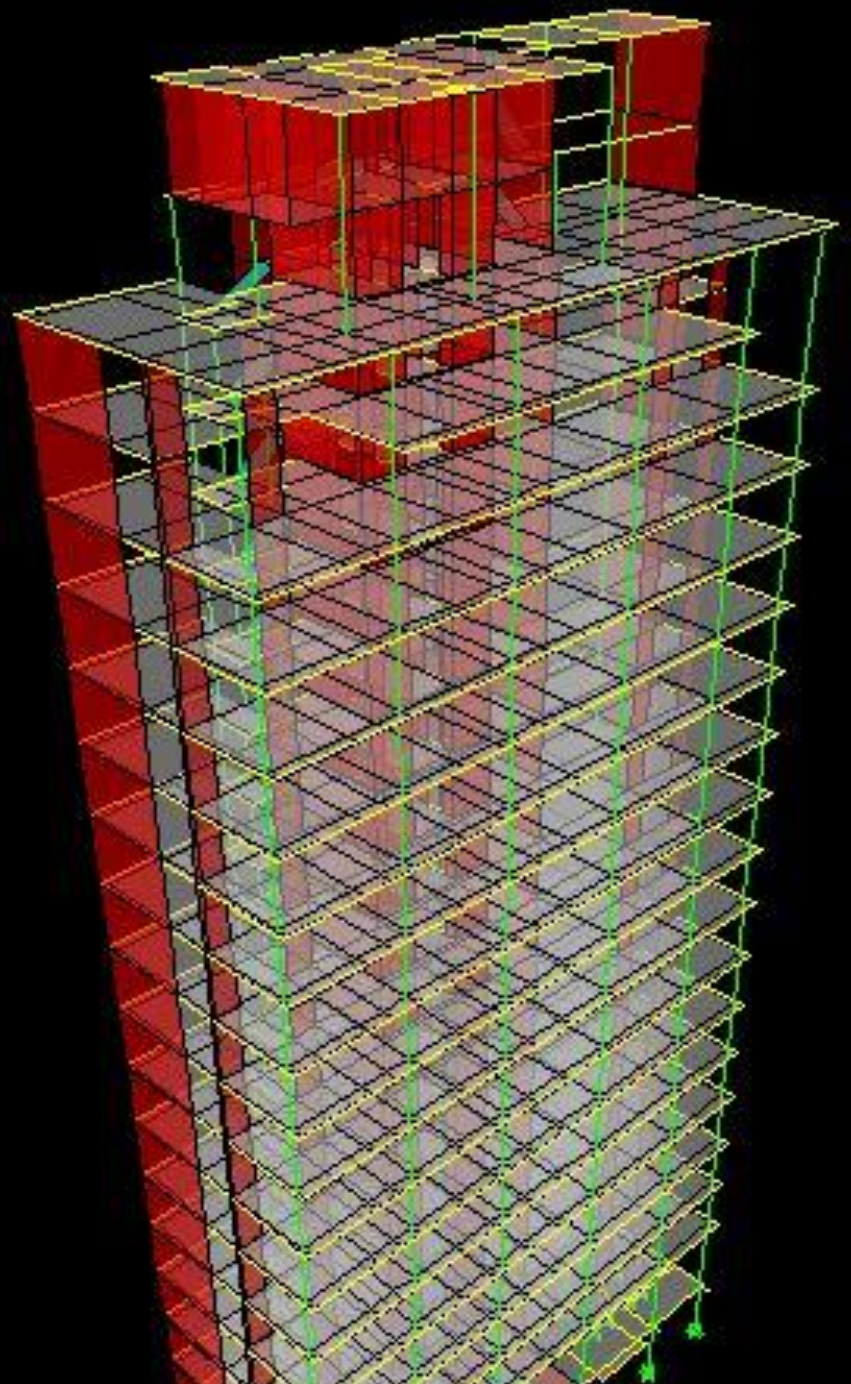
พื้นชั้นที่ 1 - พื้นชั้นที่ 3



พื้นชั้นที่ 3 - หลังคา

WALL "W4"

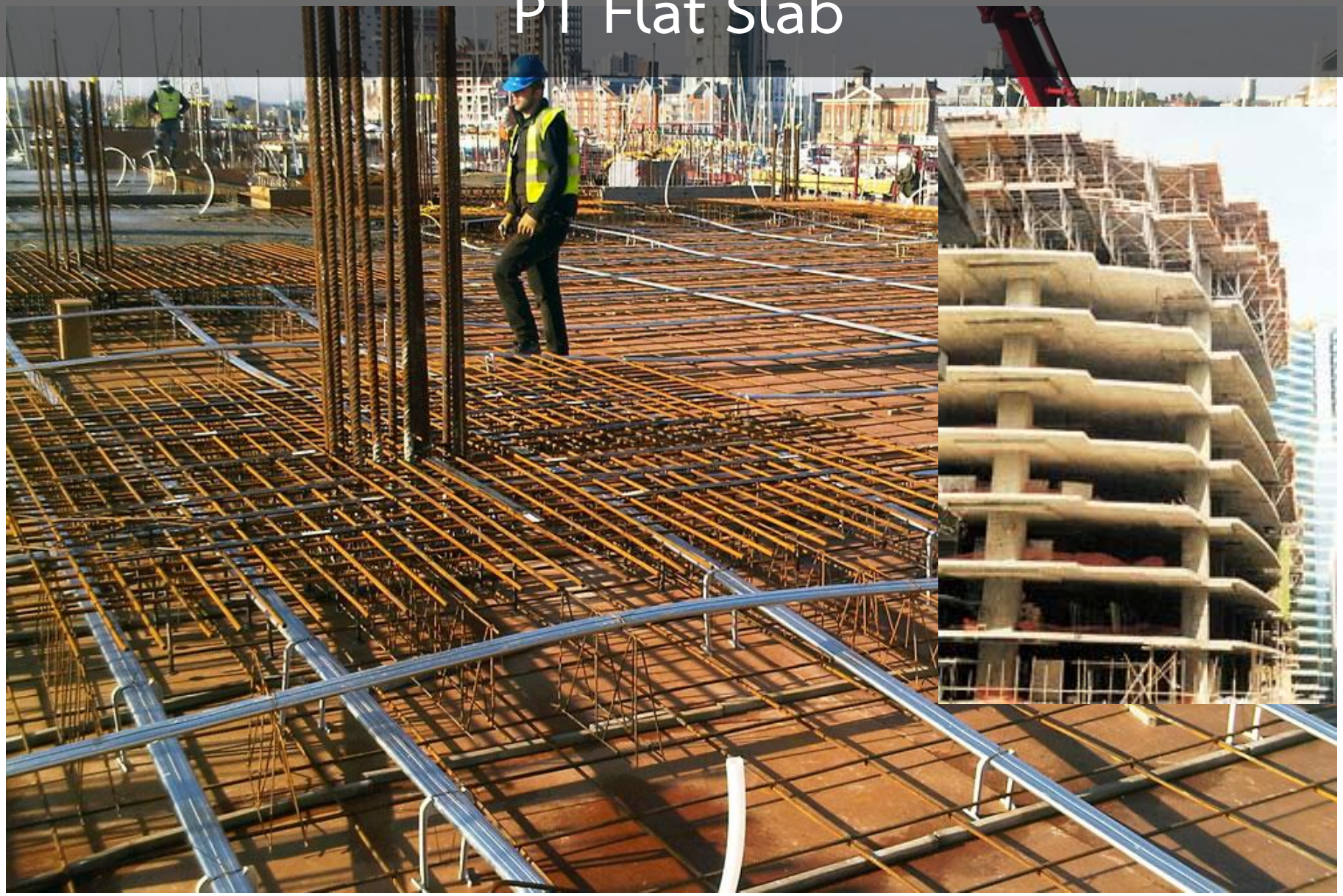
มาตราส่วน 1:20

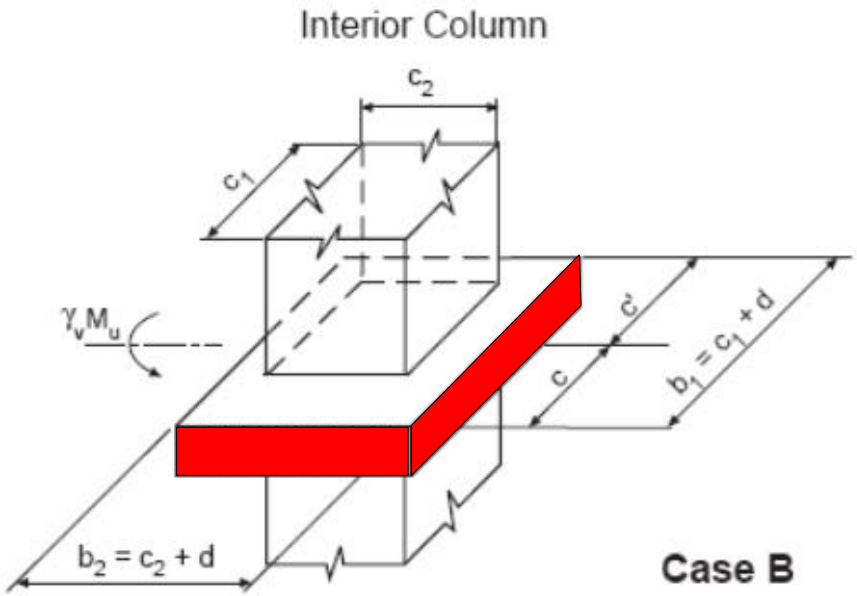


Common Structural System for Tall Buildings in Bangkok

RC Shear Wall + PT Slab

PT Flat Slab





$$V_c = (1.06\sqrt{f_c^{'}})b_o d$$

Tests of Older RC Slab-Column

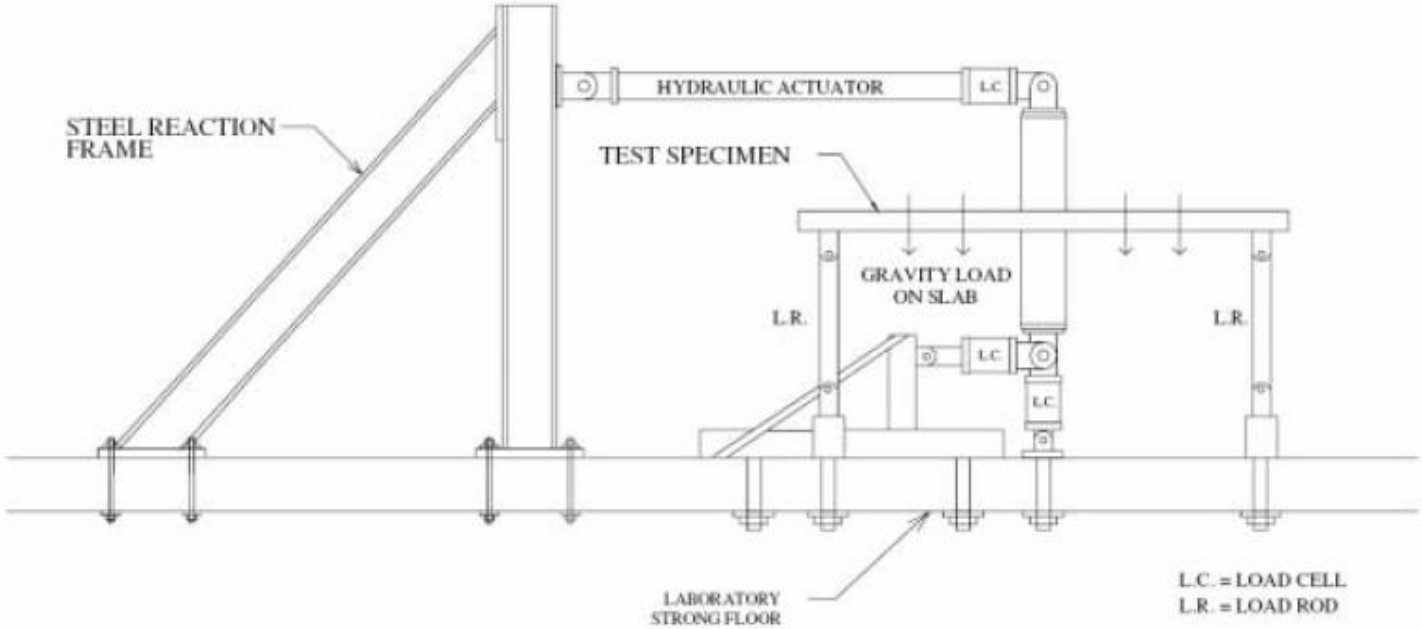
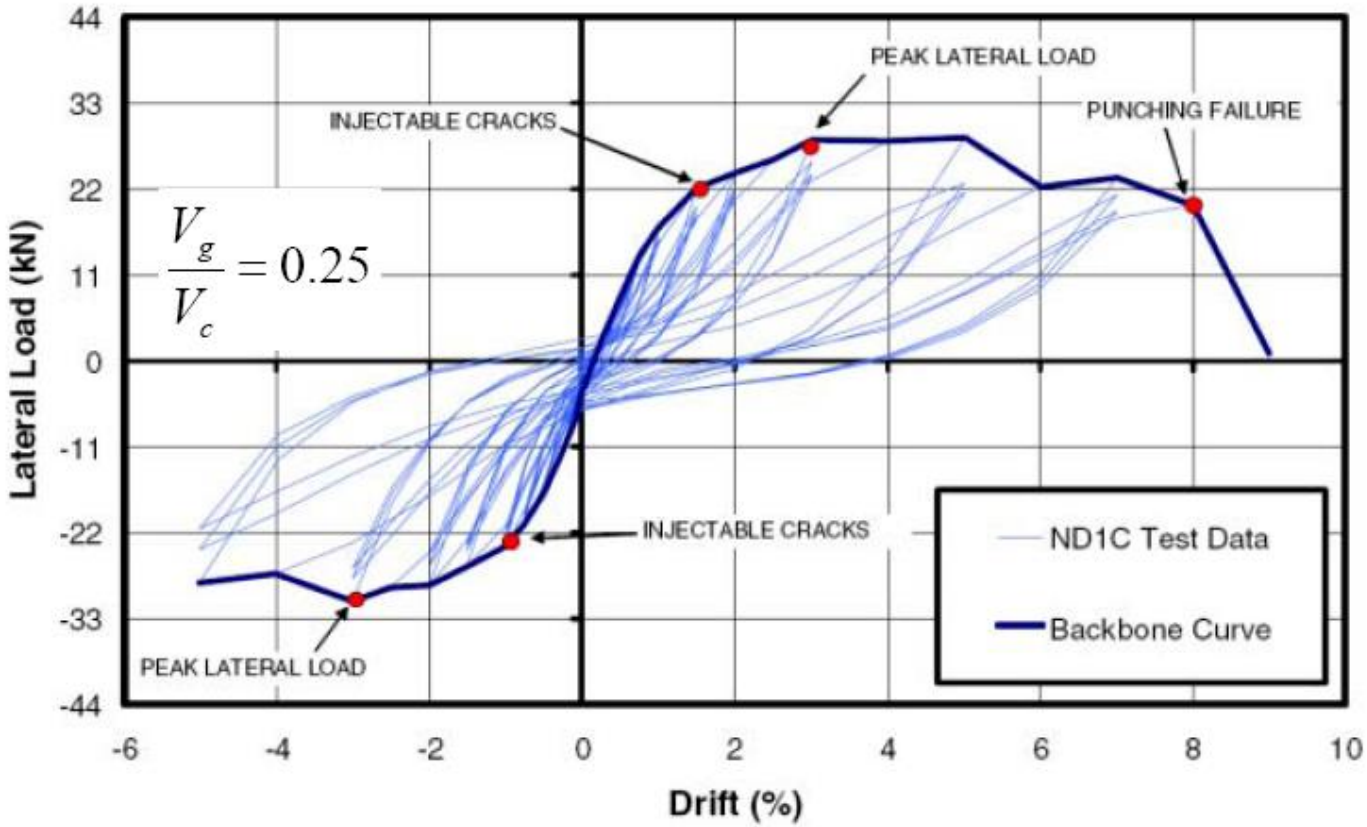


Figure 7-Test Frame Configuration.

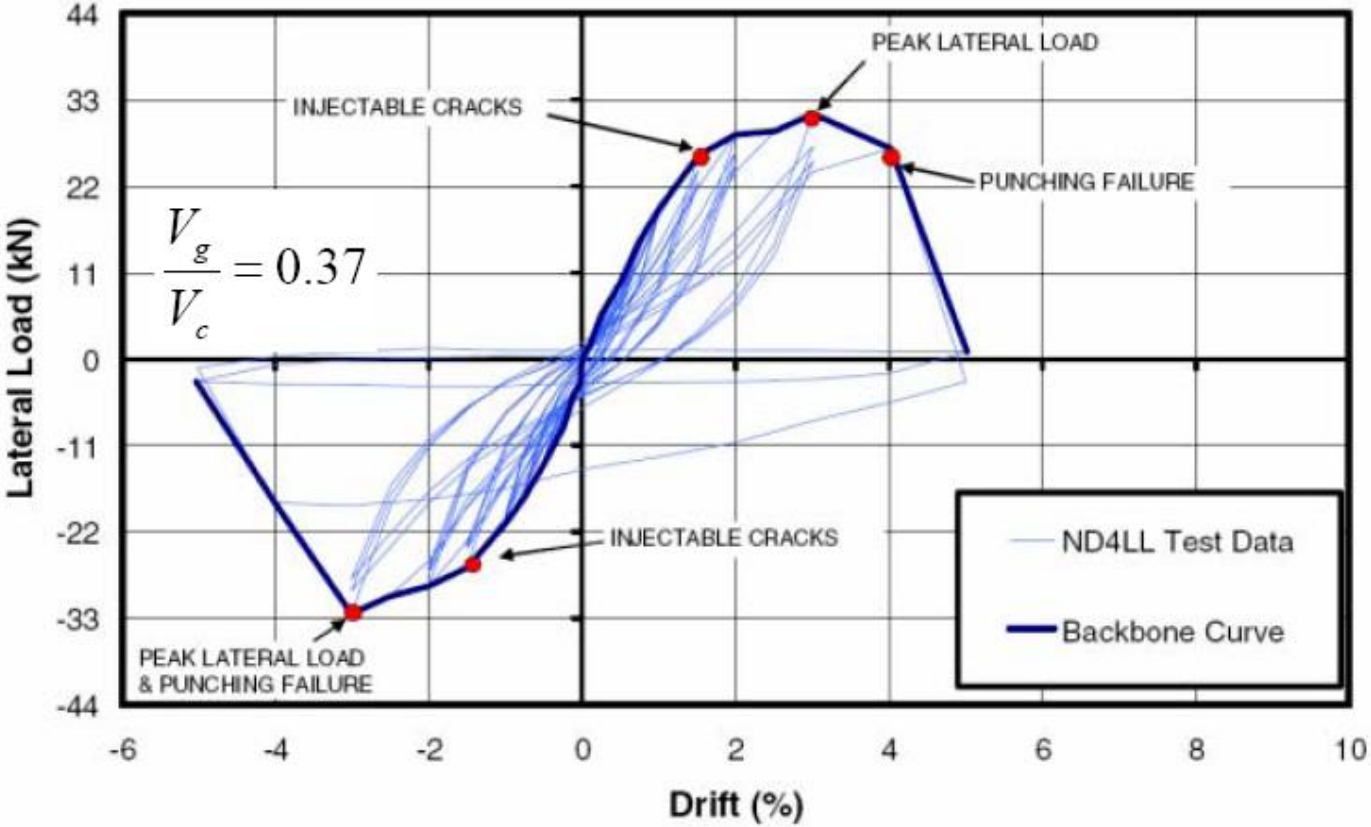
Robertson & Johnson, 13WCEE, August 2004, Paper 143

Test Results – Control Specimen



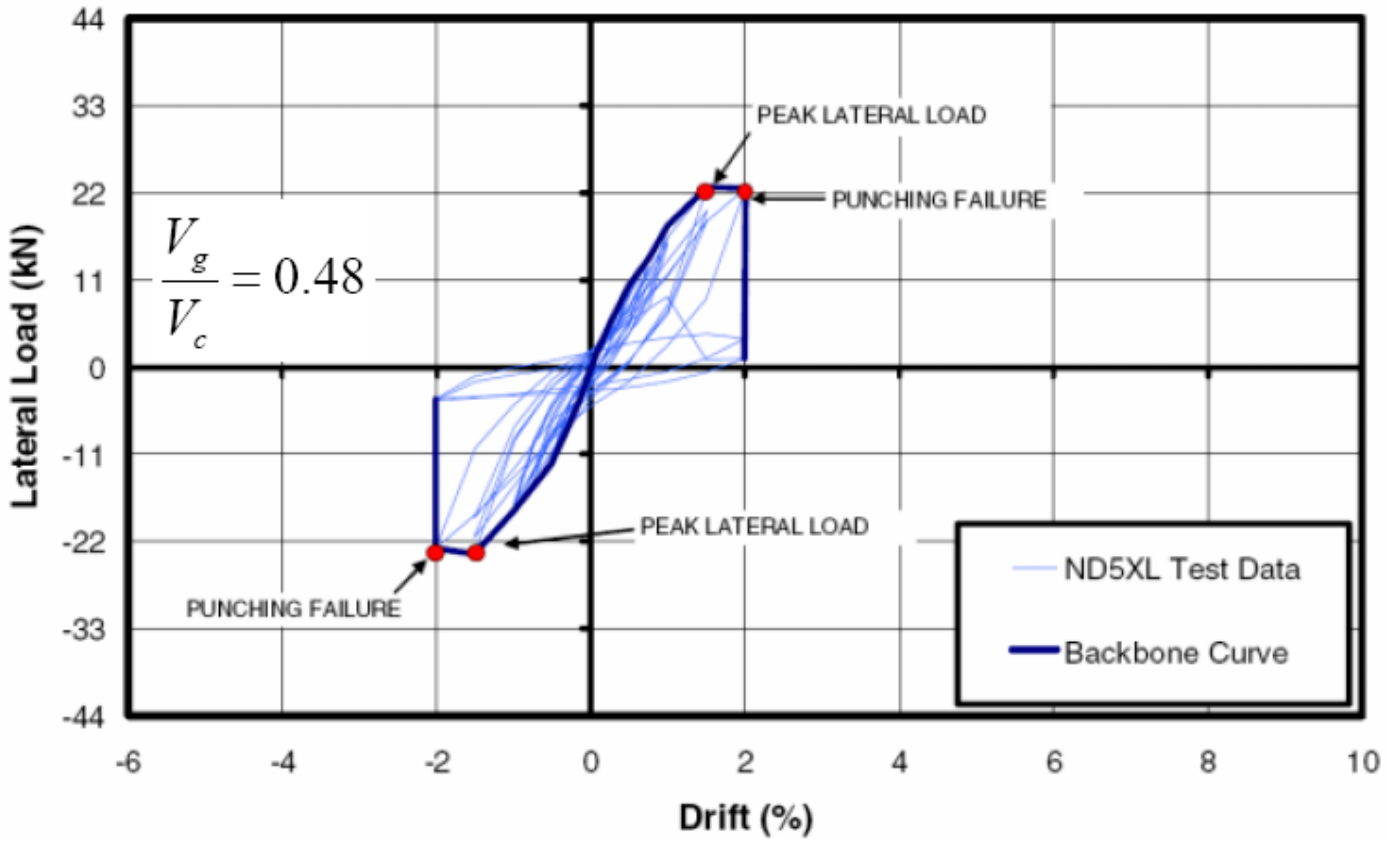
Robertson & Johnson, 13WCEE, August 2004, Paper 143

Test Results



Robertson & Johnson, 13WCEE, August 2004, Paper 143

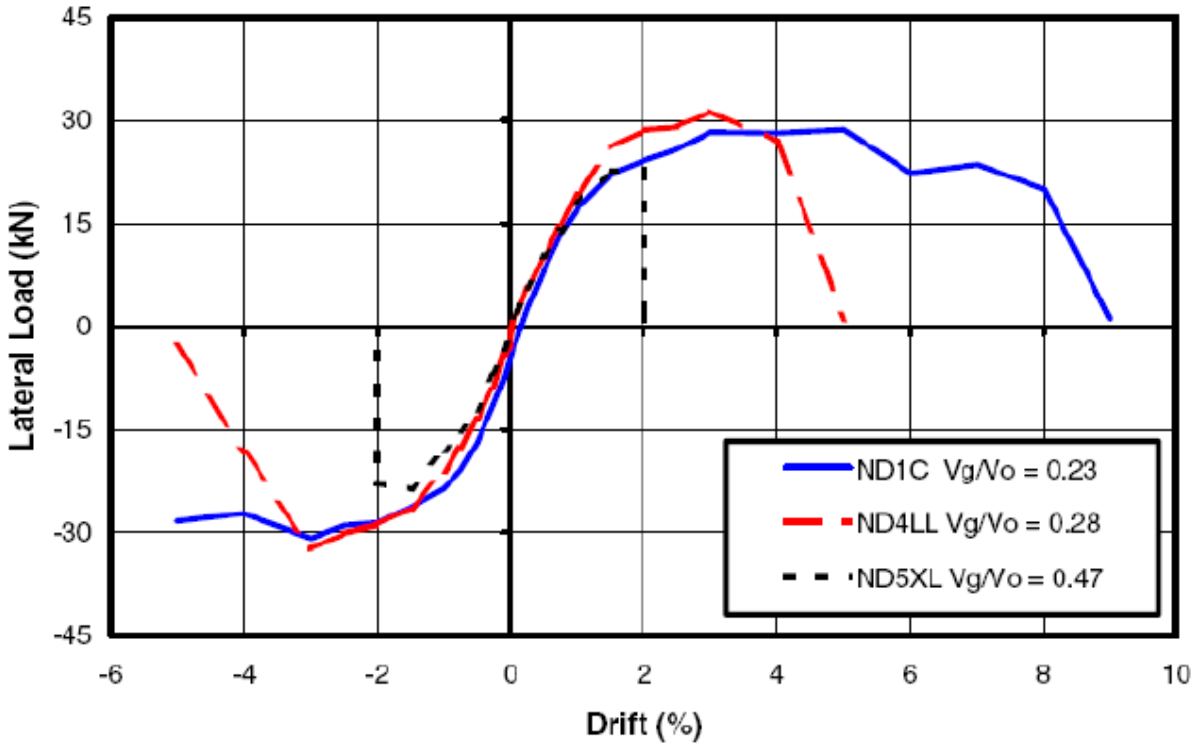
Test Results



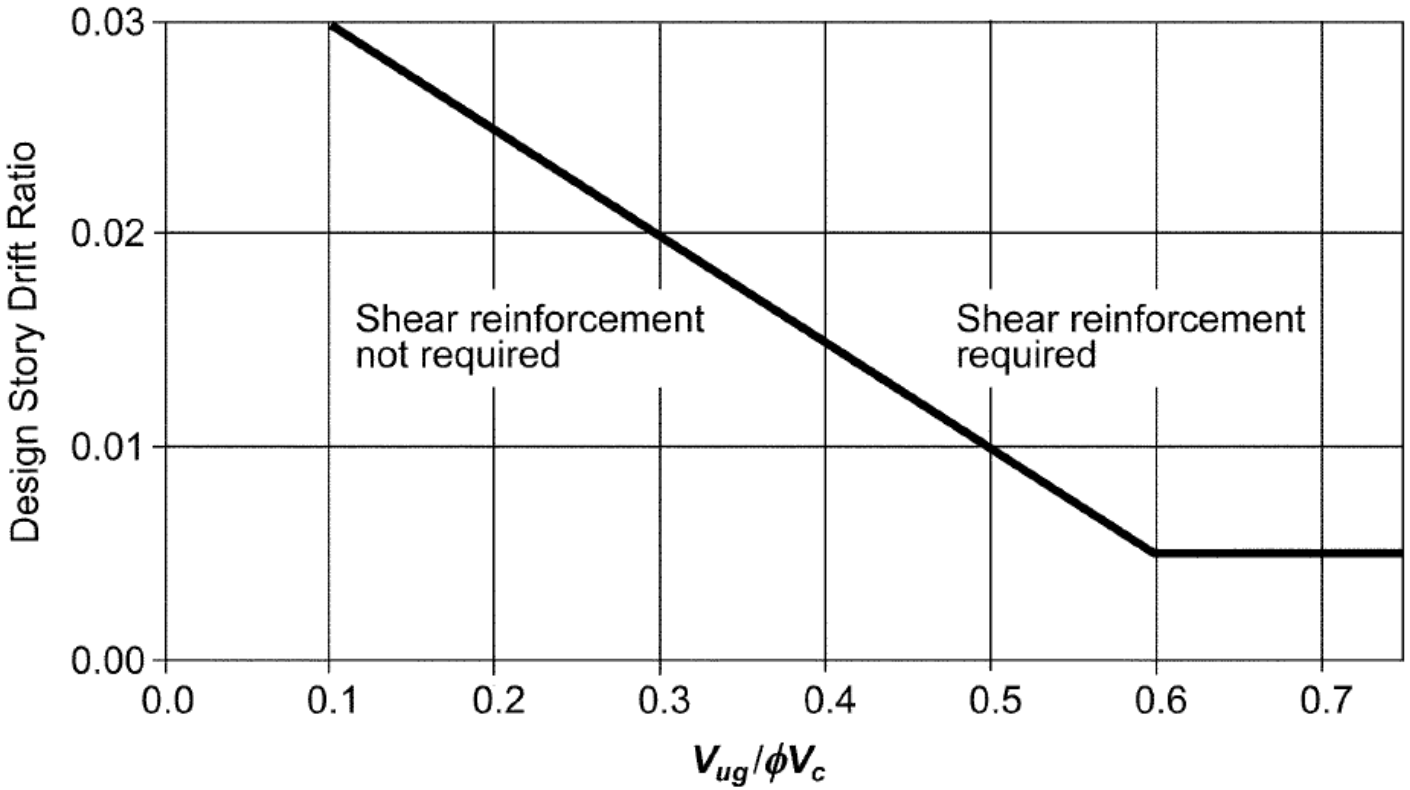
Robertson & Johnson, 13WCEE, August 2004, Paper 143

Test Results - Summary

- Punching failure leads to collapse



ACI2008 Design Model

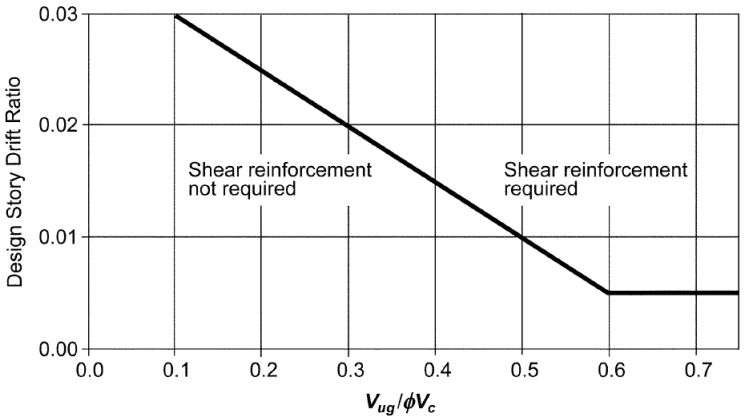


CASE 1: SLAB NOT PART OF SEISMIC RESISTING FRAME: GIVEN FRAME DEFORMATION

5.2.12.1.4 สำหรับข้อต่อพื้นเสาในระบบแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คานที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบรับแรงด้านข้าง จะต้องจัดให้มีเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนในแผ่นพื้นโดยที่กำลังต้านแรงเฉือนของเหล็กเสริม (V_s) จะต้องไม่น้อยกว่า $0.3\sqrt{f_c^{'}}b_0d$ (หรือไม่น้อยกว่า $0.93\sqrt{f_c^{'}}b_0d$ ในหน่วยเมตริก) และต้องวางเหล็กเสริมดังกล่าวออกไปจากขอบของที่รองรับเป็นระยะไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนาแผ่นพื้น แต่ข้อกำหนดข้างต้นอาจยกเว้นได้ หากการออกแบบเป็นไปตามข้อ (1) หรือข้อ (2) เพียงข้อหนึ่งข้อใด

(1) หน่วยแรงเฉือนเจาะทะลุบนหน้าตัดวิกฤตรอบเสาที่เกิดจากแรงเฉือนปรับค่า V_u ร่วมกับหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจากโมเมนต์ไม่สมดุลที่ส่งถ่ายระหว่างเสาและพื้นภายใต้การเคลื่อนตัวด้านข้างออกแบบจะต้องไม่เกินกำลังต้านแรงเฉือนที่กำหนดไว้ในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

(2) ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นออกแบบ (Design Story Drift) จะต้องไม่เกินกว่าค่าที่มากกว่าระหว่าง 0.005 ของความสูงระหว่างชั้น และ $\left[0.035-0.05\left(V_u/\phi V_c\right)\right]$

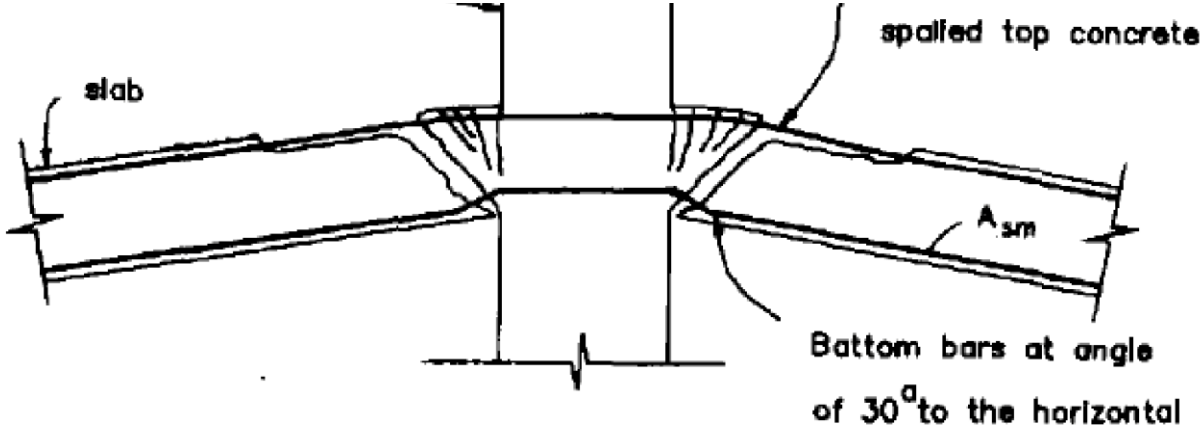


มยผ1301-54

5.2.12.2 **การป้องกันการวิบัติอย่างต่อเนื่อง** (Progressive Collapse)

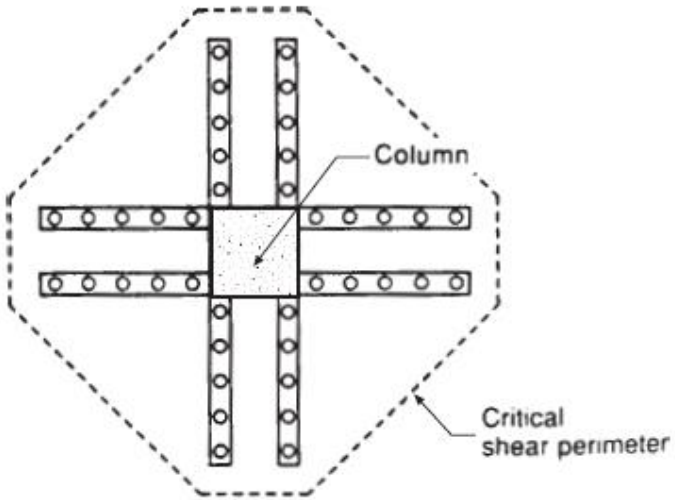
สำหรับแผ่นพื้นไร้คานจุดรองรับภายในจะต้องมีเหล็กเสริมล่างวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสาในแต่ละทิศทางเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_{sm} = \frac{0.5 w_u L_1 L_2}{0.9 f_y} \tag{5.2-27}$$



SHEAR REINFORCEMENT AT COLUMN

Common Shear Reinforcement at Column



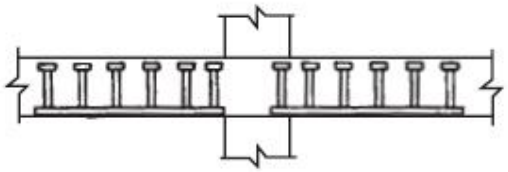
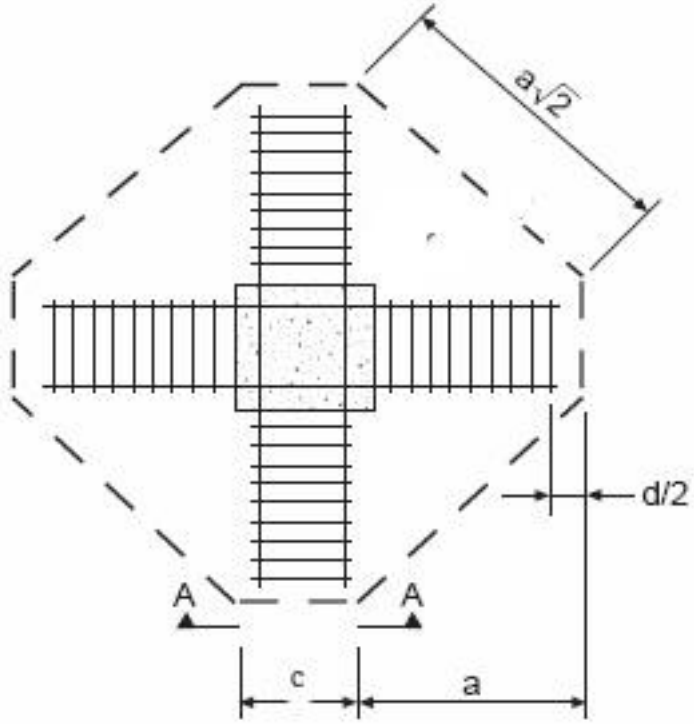
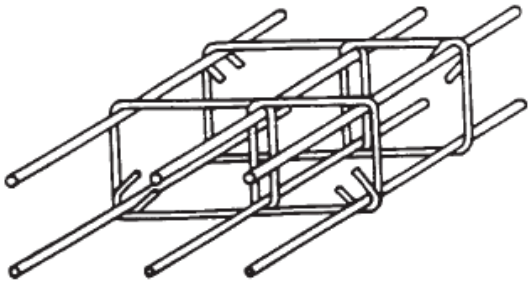


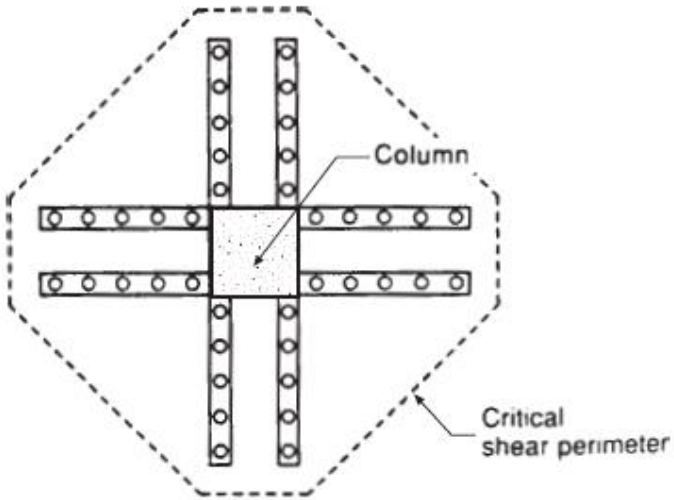
Figure 18-5 Shear Stud Reinforcement





SHEAR REINFORCEMENT AT COLUMN

Common Shear Reinforcement at Column



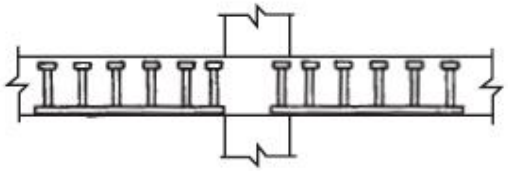


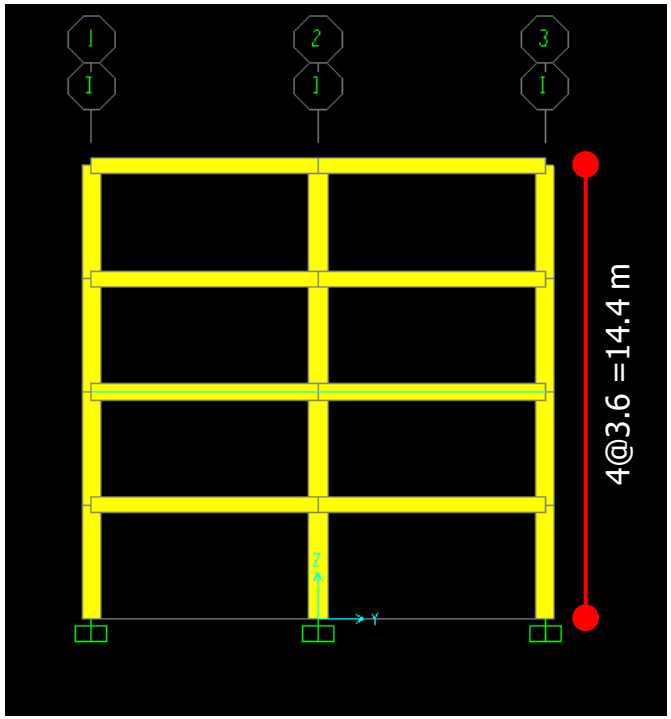
Figure 18-5 Shear Stud Reinforcement

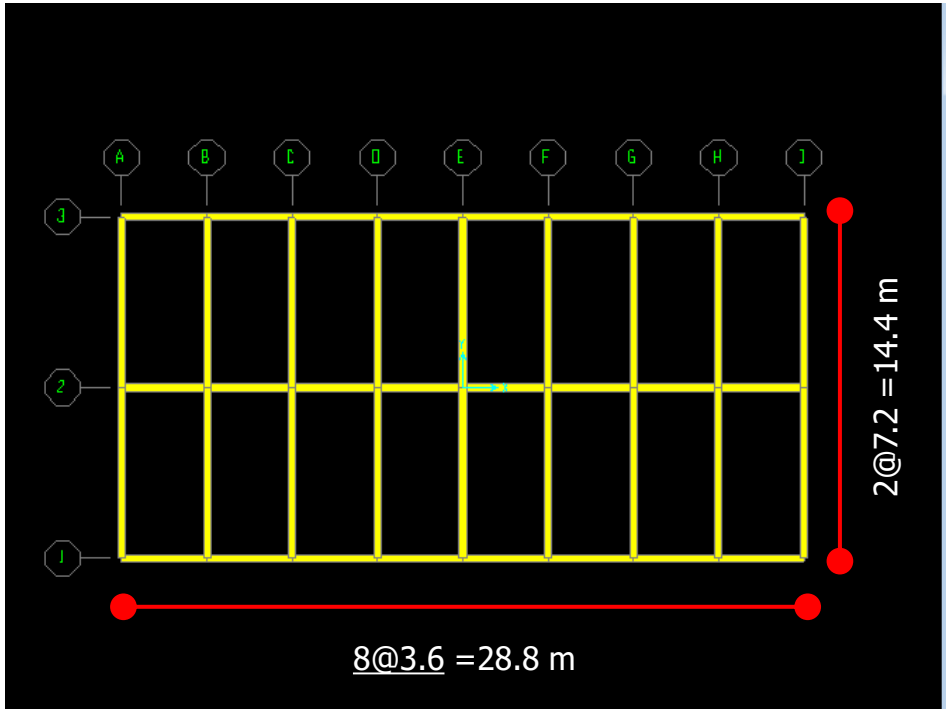
แนวทางการออกแบบอาคาร

ในบริเวณที่มีแผ่นดินไหว

ตัวอย่างอาคารออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว

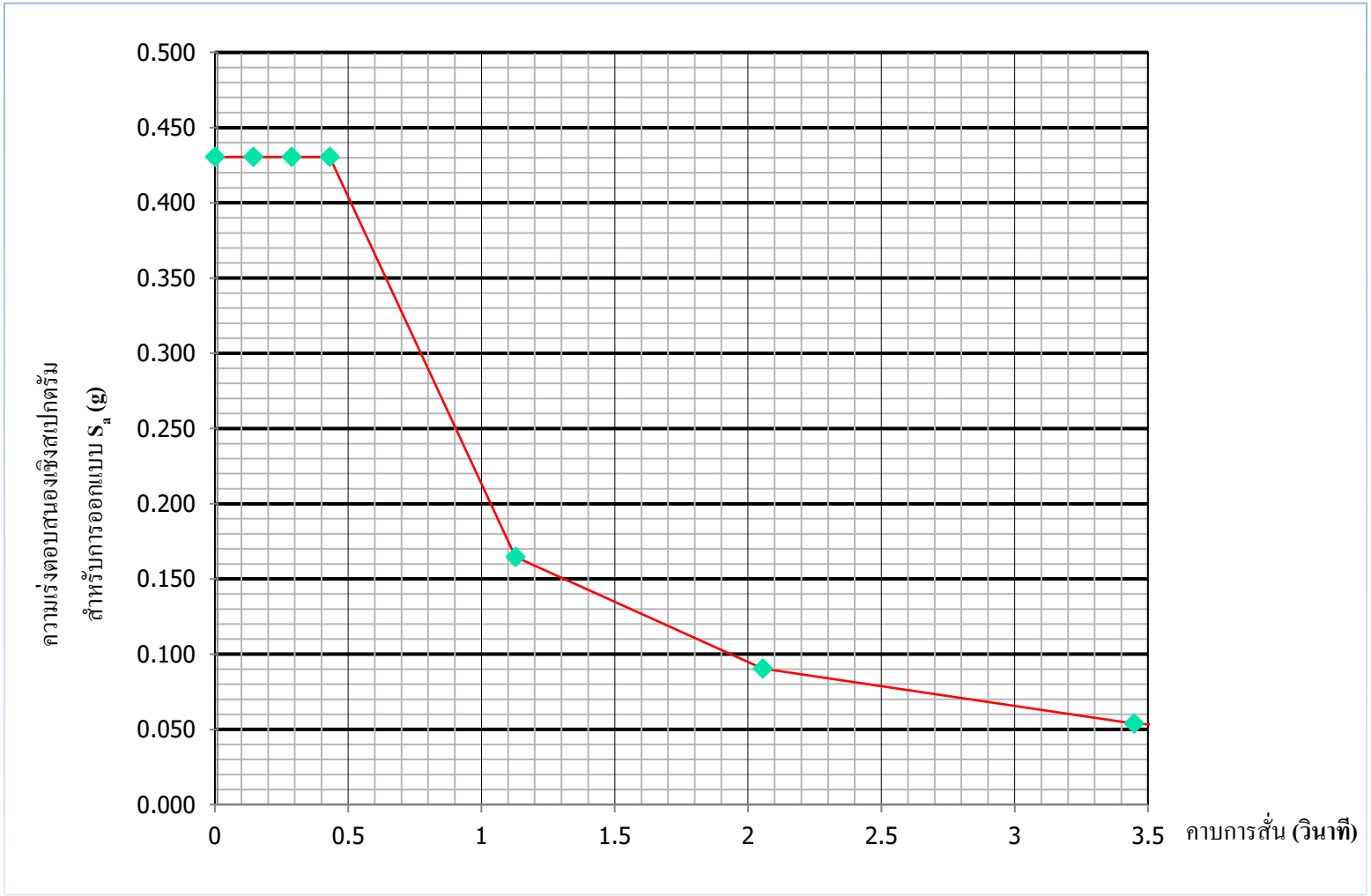
ตัวอย่างการคำนวณแรงด้วยวิธีสถิตเทียบเท่า สำหรับบริเวณแผ่นดินไหวรุนแรงปานกลาง





- เสา ขนาด 0.6x0.6
- คาน ขนาด 0.3x0.5
- น้ำหนักสำหรับการออกแบบแผ่นดินไหว 5 kN/sq.m.
- กำหนดให้เป็นโครงต้านแรงดัดความเหนียวปานกลาง R = 5

สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบอาคารตัวอย่าง



* ขั้นตอนการกำหนดสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบอาคารตัวอย่าง สามาถดูได้จากมาตรฐาน มยผ หรือในประกาศกระทรวงฯ

กำหนดค่า $R = 5$

คำนวณหาค่าคาบการสั่นตามธรรมชาติของโครงสร้าง

$T = 0.02H = 0.02 \times 14.4 = 0.288$ วินาที

คำนวณหาน้ำหนักของอาคาร W

$W = (5.0 \times 14.4 \times 28.8) \times 4 = (2,073.6) \times 4 = 8,294.4$ กิโลนิวตัน

V = (0.43x1.0/5)W = 0.086W

$$V = \frac{S_a(T) \cdot I}{R} W$$

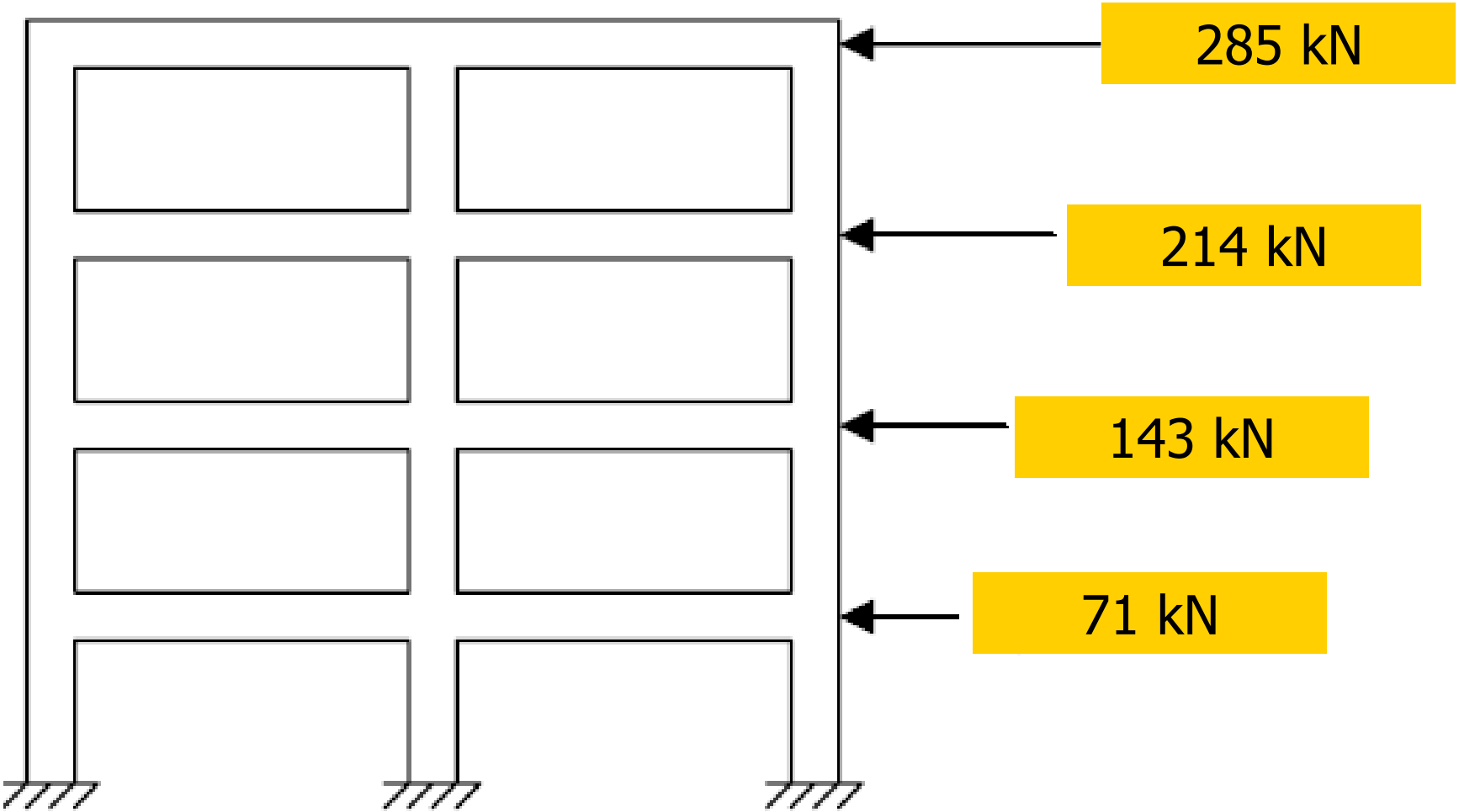
V = 0.086W = 713.3 kN

กระจายแรงเฉือนที่ฐานเป็นแรงกระทำด้านข้างในแต่ละชั้นอาคาร จาก

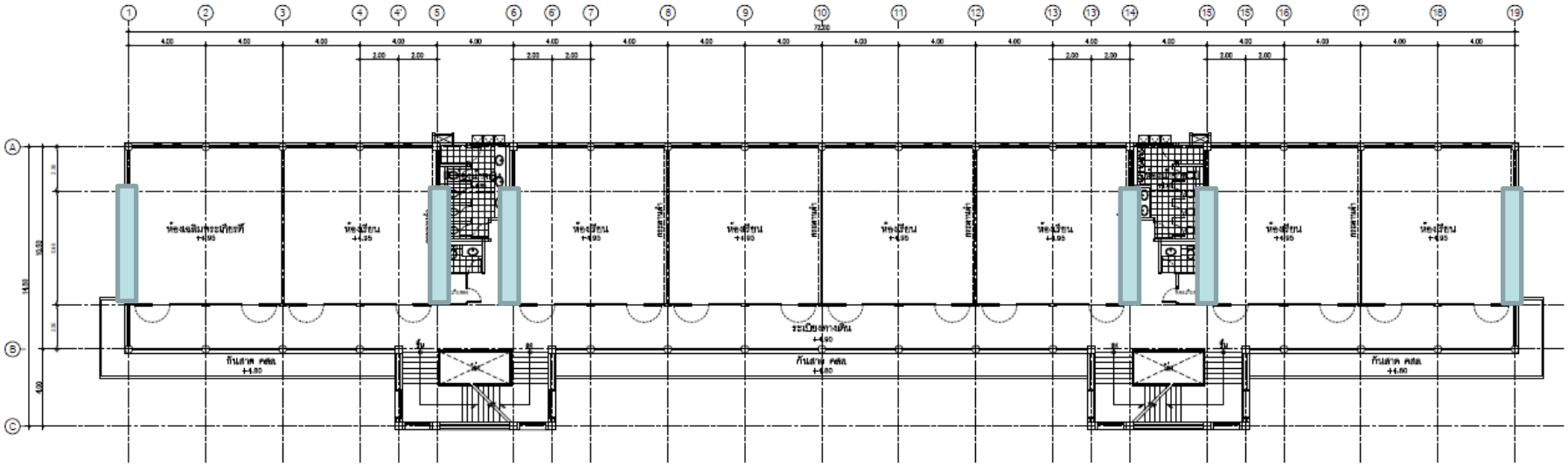
$$F_x = C_{vx}V = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i} V$$

เนื่องจากค่า T น้อยกว่า 0.5 วินาที $k = 1.0$

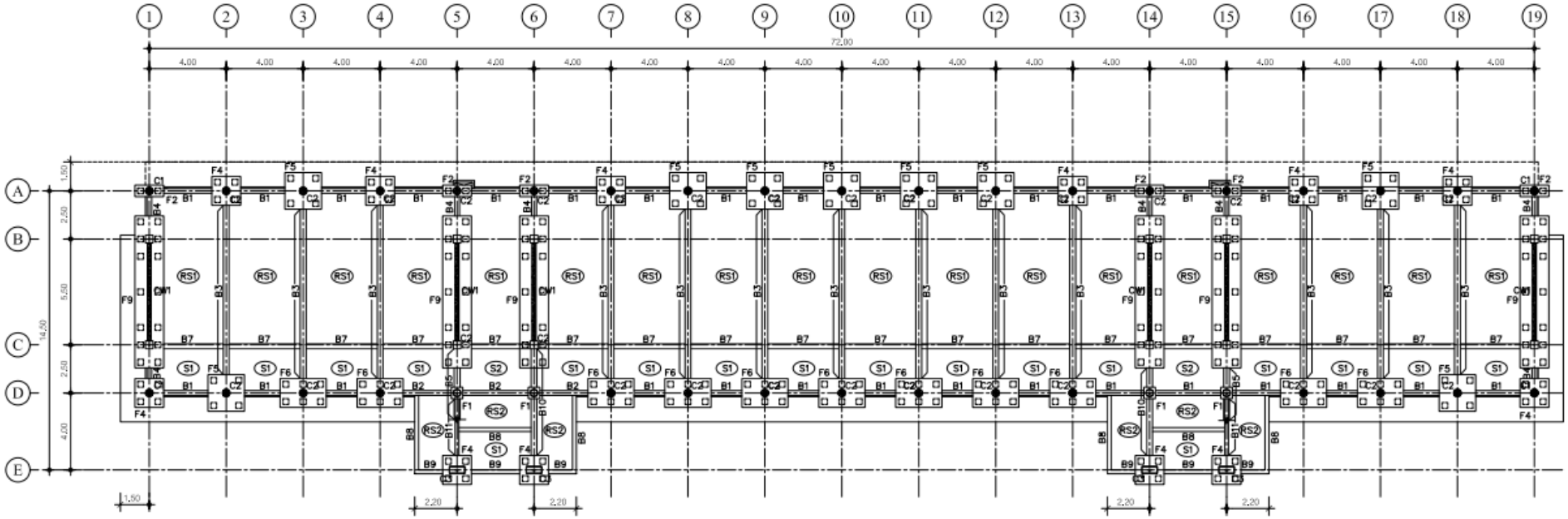
ชั้น	Wx (kN)	hx (m)	Wxhx	Fx (kN)
หลังคา	2073.6	14.4	29859.84	285.32
4	2073.6	10.8	22394.88	213.99
3	2073.6	7.2	14929.92	142.66
2	2073.6	3.6	7464.96	71.33
Sum			74649.6	



หมายเหตุ: รูปแสดงแรงกระทำต่อทั้งอาคาร

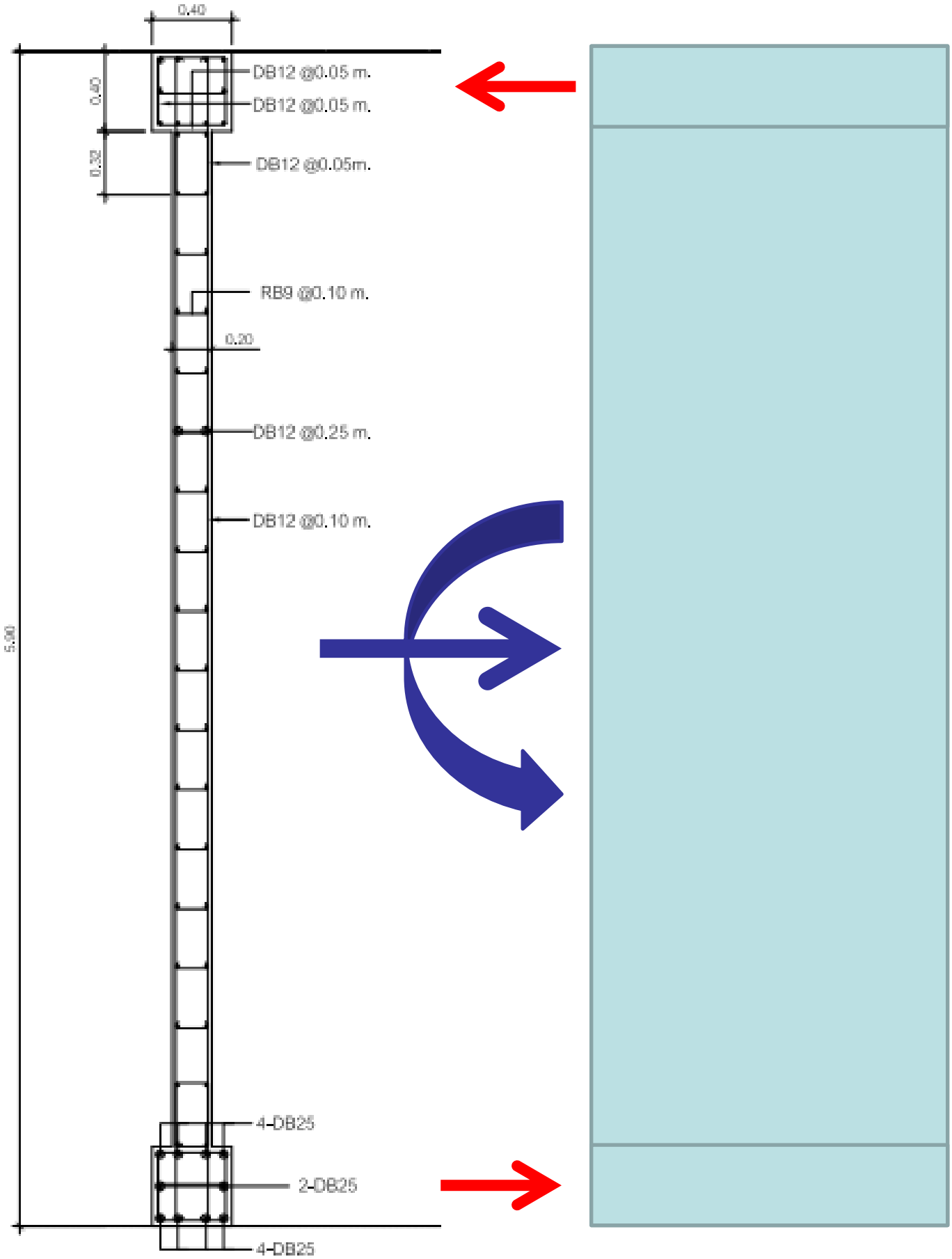


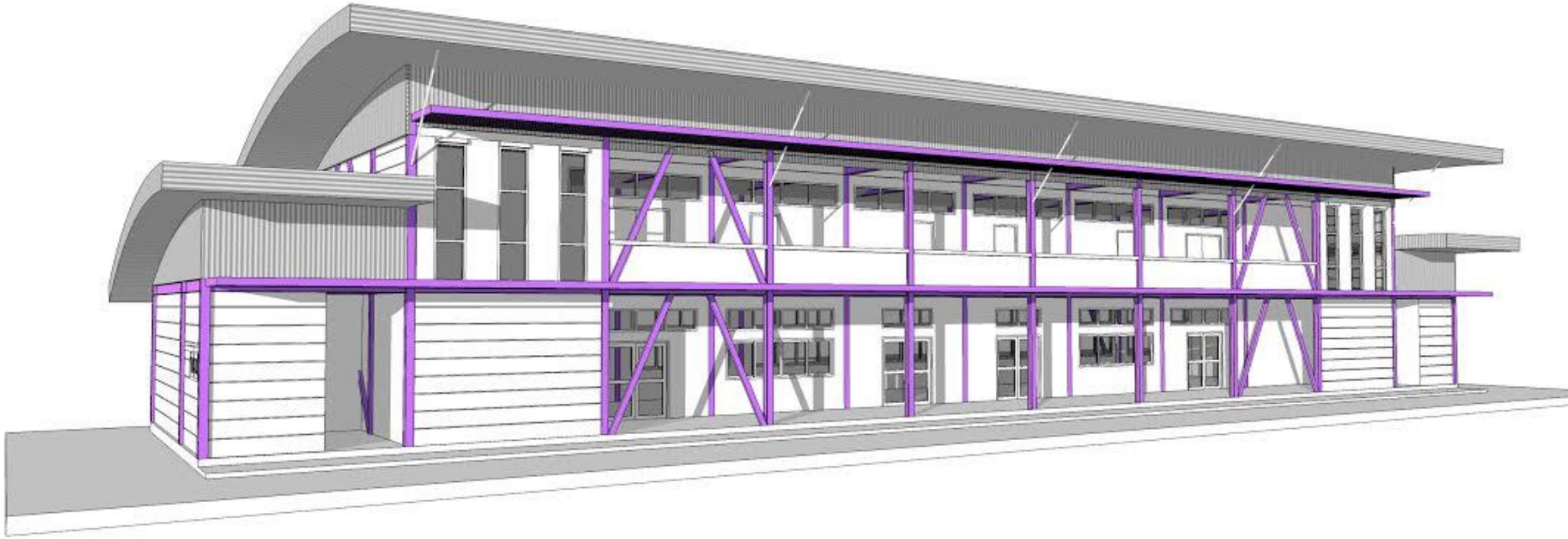
แปลนพื้นชั้นที่ 2

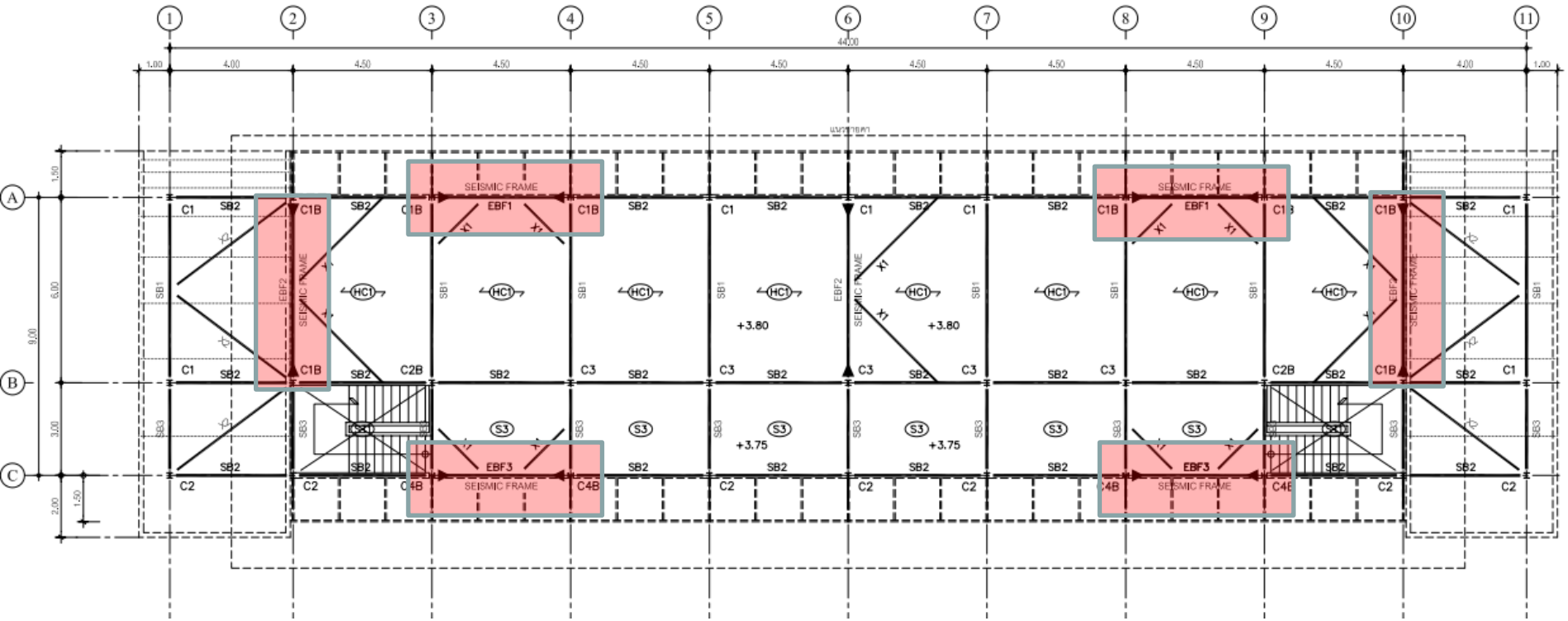


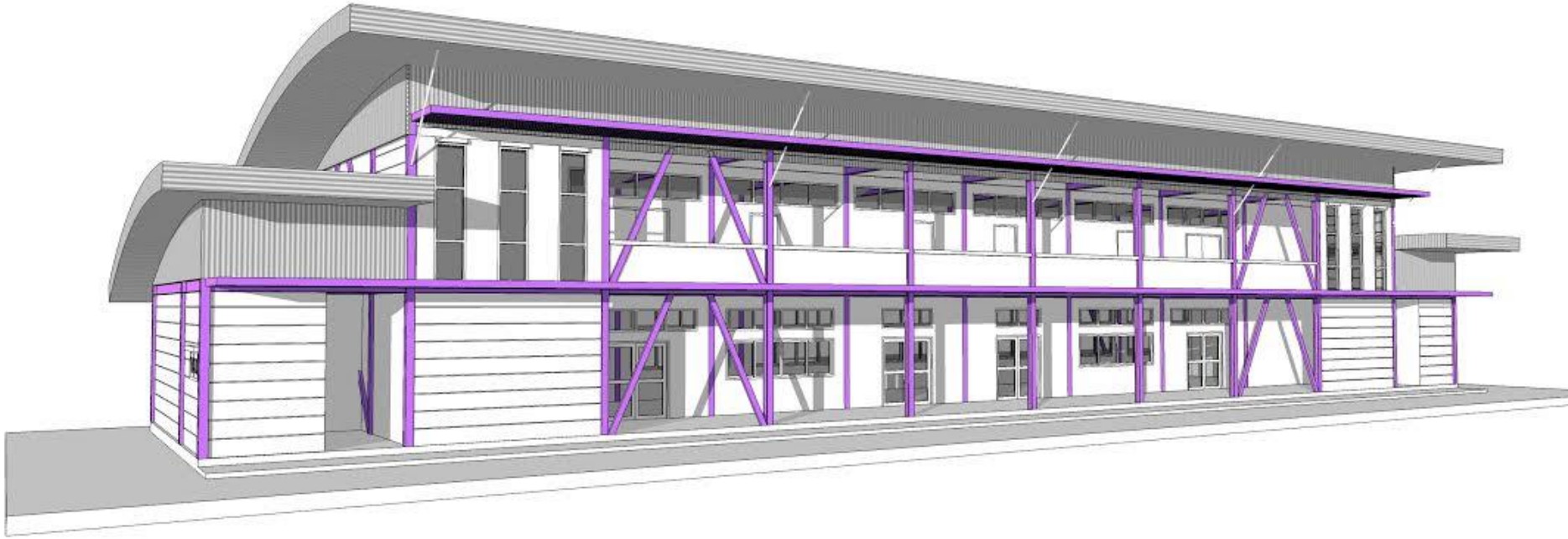
แปลนฐานราก, เสาและพื้นชั้นล่าง

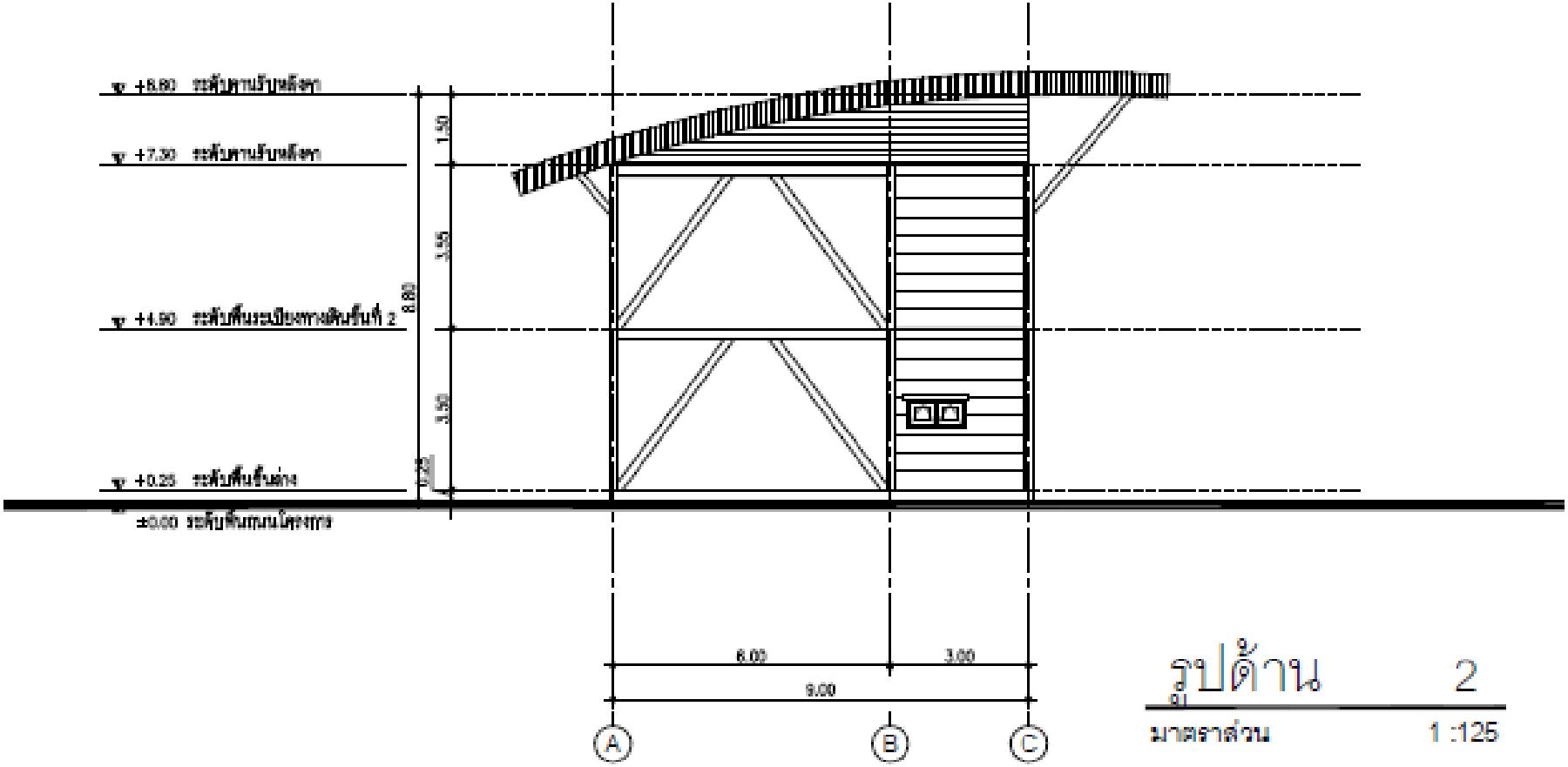
มาตราส่วน 1 :200


0.40
0.40
0.32
DB12 @0.05 m.
DB12 @0.05 m.
DB12 @0.05m.
RB9 @0.10 m.
0.20
DB12 @0.25 m.
DB12 @0.10 m.
5.90
4-DB25
2-DB25
4-DB25




1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
44.00
1.00
4.00
4.50
4.50
4.50
4.50
4.50
4.50
4.50
4.50
4.00
1.00
A
B
C
1.50
6.00
9.00
3.00
2.00
1.50
SEISMIC FRAME
EBF1
EBF2
EBF3
C1
C1B
C2
C2B
C3
C4B
SB1
SB2
SB3
HC1
S3
+3.80
+3.75





รูปด้าน 2

มาตราส่วน 1 :125

อาคารตัวอย่าง

การสำรวจลักษณะอาคาร

	จำนวนชั้น	BAY-X		BAY-Y		ความสูงชั้น	อัตราส่วนส่วนเสาต้นกลาง cm			อัตราส่วนเสาต้นริม cm			รูปแบบหลังคา		พท.ช่องเปิดด้านหน้า%	ผนังก่ออิฐกั้นห้อง	ฐานราก		ประเภทอาคาร
		No.	span	No.	span	cm	กว้าง a	ยาว h	a/h	กว้าง a	ยาว h	a/h	โครงเหล็ก	พื้น คสล.			เสาเข็ม	แผ่	
D1	4	5	3.00	1	4.00	300	25	30	0.83	25	30	0.83	1	-	75 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D2	4.5	4	4.00	3	4.00	300	20	45	0.44	20	30	0.67	1	-	75 %	ครึ่งแผ่น	1	-	อาคารพาณิชย์
D3	4	9	3.50	3	4.00	300	30	40	0.75	25	40	0.63	1	-	50 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D4	4	5	3.80	3	5.50	270	20	40	0.50	20	40	0.50	-	1	50 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D5	4	5	3.50	6	3.00	270	20	30	0.67	20	30	0.67	1	-	75 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D6	5	5	3.50	6	3.00	280	20	40	0.50	20	40	0.50	1	-	25 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D7	4	3	3.50	3	3.00	280	35	35	1.00	20	35	0.57	1	-	50 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D9	4	3	5.00	2	5.00	300	30	30	1.00	30	30	1.00	-	1	75 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพาณิชย์
D10	3.5	7	4.00	3	4.00	300	20	30	0.67	20	30	0.67	1	-	75 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D12	4	6	3.00	3	3.00	300	30	40	0.75	20	40	0.50	1	-	25 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D13	4	8	4.00	3	4.80	350	20	30	0.67	20	30	0.67	1	-	75 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D14	4	8	4.00	3	4.80	395	20	40	0.50	20	40	0.50	-	1	75 %	ครึ่งแผ่น	1	-	อาคารพักอาศัย
D16	4.5	4	4.00	2	4.40	270	25	40	0.63	25	40	0.63	-	1	50 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพาณิชย์
D20	4	4	4.00	2	4.40	300	35	35	1.00	30	30	1.00	1	-	25 %	ครึ่งแผ่น	1	-	อาคารพักอาศัย
D21	4	5	4.00	3	6.00	280	30	40	0.75	25	40	0.63	1	-	50 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D22	4	6	3.00	3	3.50	280	20	30	0.67	20	30	0.67	1	-	50 %	ครึ่งแผ่น	-	1	อาคารพักอาศัย
D23	4	5	3.50	3	5.00	300	30	30	1.00	25	25	1.00	1	-	25 %	ครึ่งแผ่น	1	-	อาคารพักอาศัย
MEAN	4	5	3.72	3	4.20	299	25	36	0.72	23	34	0.68	13	4	75 %		4	13	
D2	4.5	4	4.00	3	4.00	300			0.44			0.67	76 %	24 %	75 %		24 %	76 %	

ตำแหน่งที่ตั้งอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว

■ **รุนแรงสูงถึงสูงมาก**

อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่

(Sa = 0.743)

▲ **รุนแรงปานกลางถึงสูง**

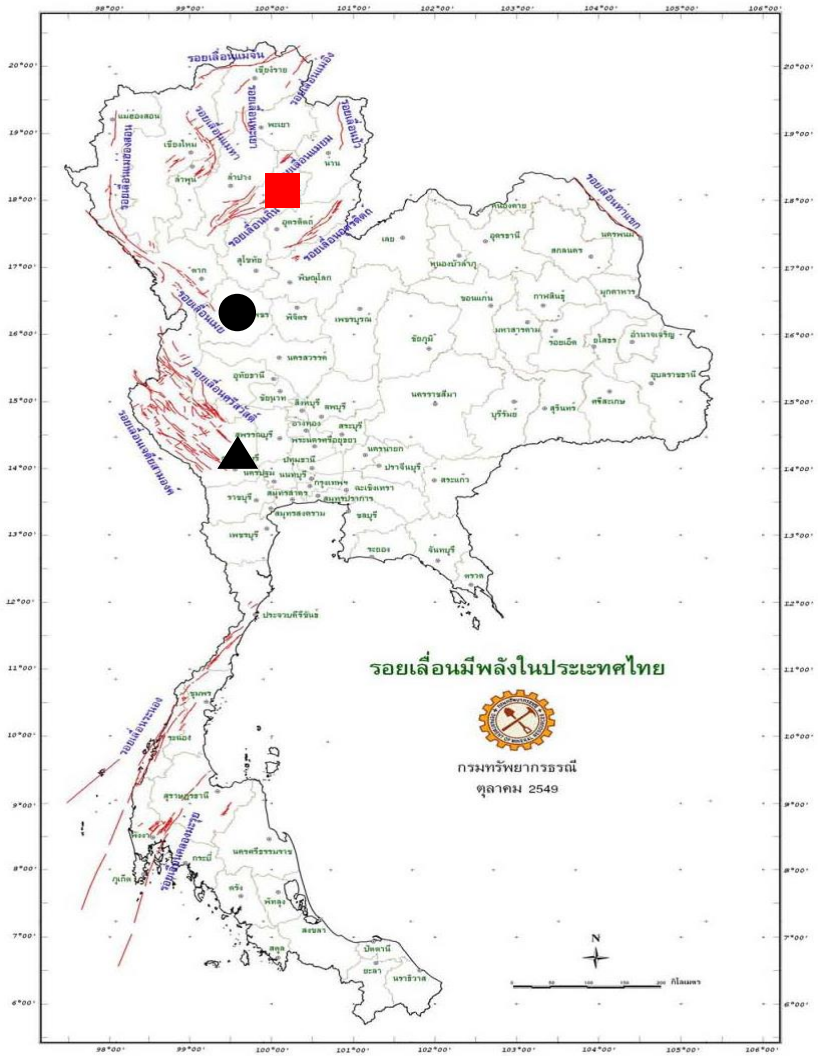
อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

(Sa = 0.580)

● **รุนแรงน้อยถึงปานกลาง**

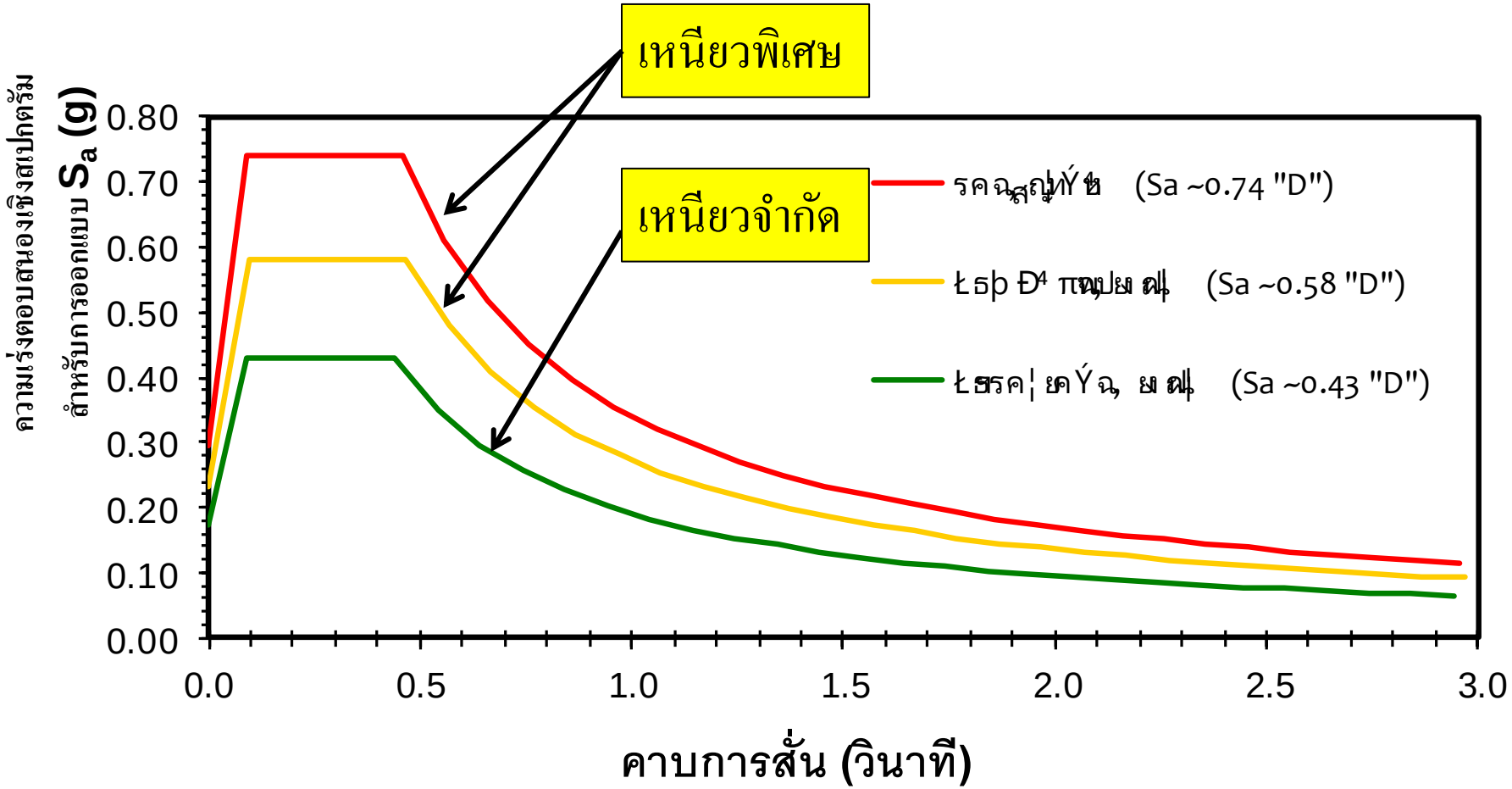
อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร

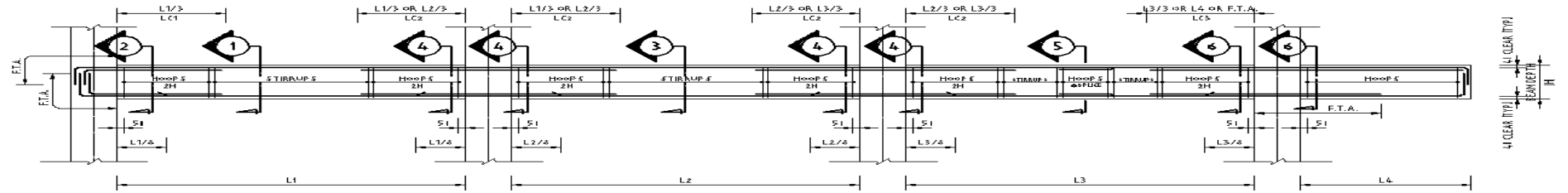
(Sa = 0.431)

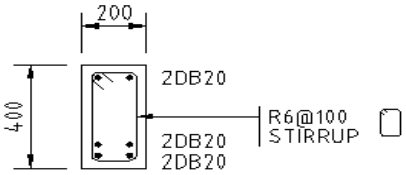


(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2549)

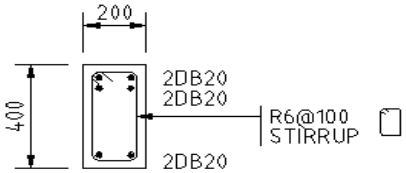
ตำแหน่งที่ตั้งอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหว



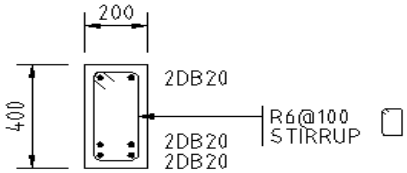




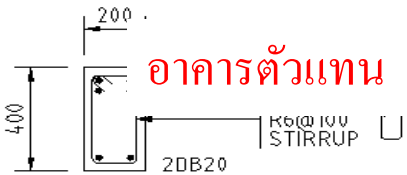
SECTION 1



SECTION 2

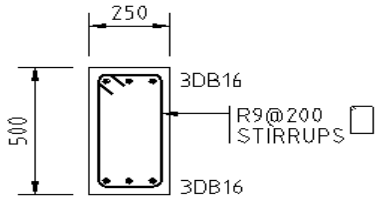


SECTION 3

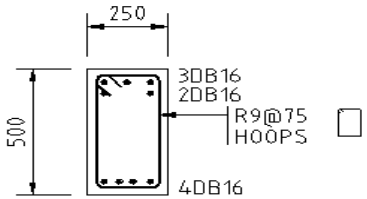


อาคารตัวแทน

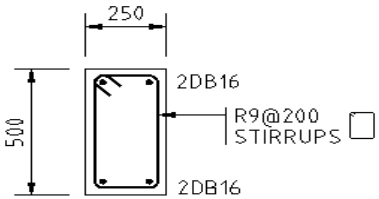
SECTION 4



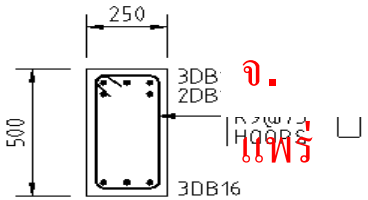
SECTION 1



SECTION 2

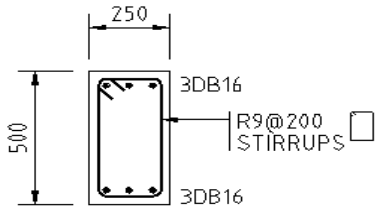


SECTION 3

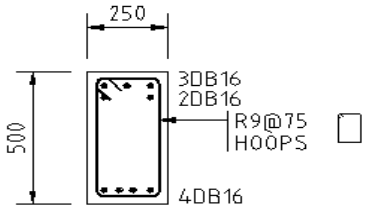


จ. แพร่

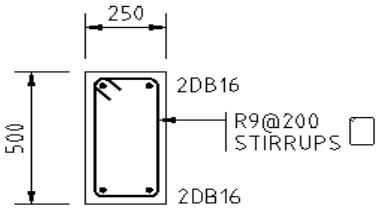
SECTION 4



SECTION 1



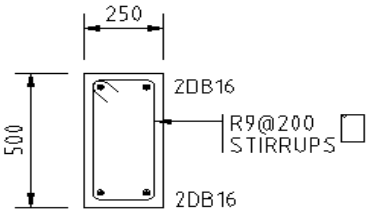
SECTION 2



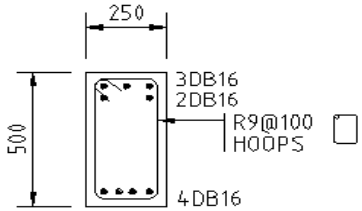
SECTION 3

จ. กาญจนบุรี

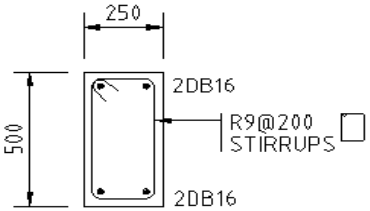
SECTION 4



SECTION 1

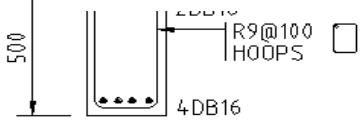


SECTION 2

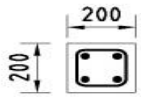
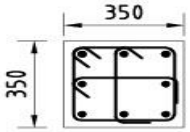
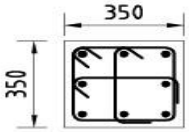
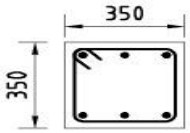
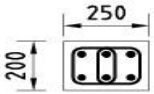
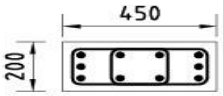
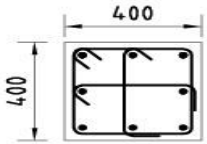
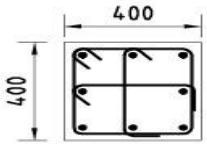
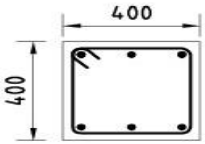
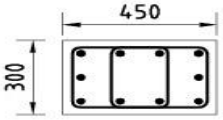
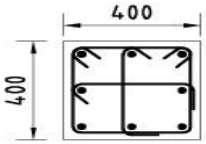
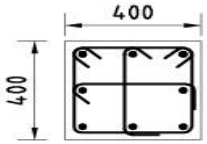
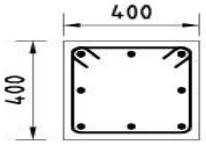


SECTION 3

จ. กำแพงเพชร



SECTION 4

FLR \ COL	อาคารตัวแทน	อ.วังชิ้น จ.แพร่	อ.เมือง จ.กาญจนบุรี	อ.เมือง จ.กำแพงเพชร
ROOF LEVEL 4				
LEVEL 3	 4DB20 MAIN RB6@200 TIES	 8DB20MAIN 1.5DB12@75 HOOPS, So 1.5DB12@120 TIES, St	 8DB20MAIN 1.5DB12@75 HOOPS, So 1.5DB12@120 TIES, St	 6DB20 MAIN RB9@150 HOOPS, So R9@300 TIES, St
LEVEL 2	 6DB20 MAIN 2RB6@200 TIES			
LEVEL 1	 10DB20 MAIN 2RB6@200 TIES	 8DB20 MAIN 1.5DB12@75 HOOPS, So 1.5DB12@120 TIES, St	 8DB20 MAIN 1.5DB12@75 HOOPS, So 1.5DB12@120 TIES, St	 6DB20 MAIN RB9@150 HOOPS, So R9@300 TIES, St
FOUNDATION	 10DB20 MAIN 2RB6@300 TIES	 8DB20 MAIN 2.5DB12@75 HOOPS, So	 8DB20 MAIN 2.5DB12@75 HOOPS, So	 8DB20 MAIN 2DB12@75 HOOPS, So

การเสริมกำลังอาคาร

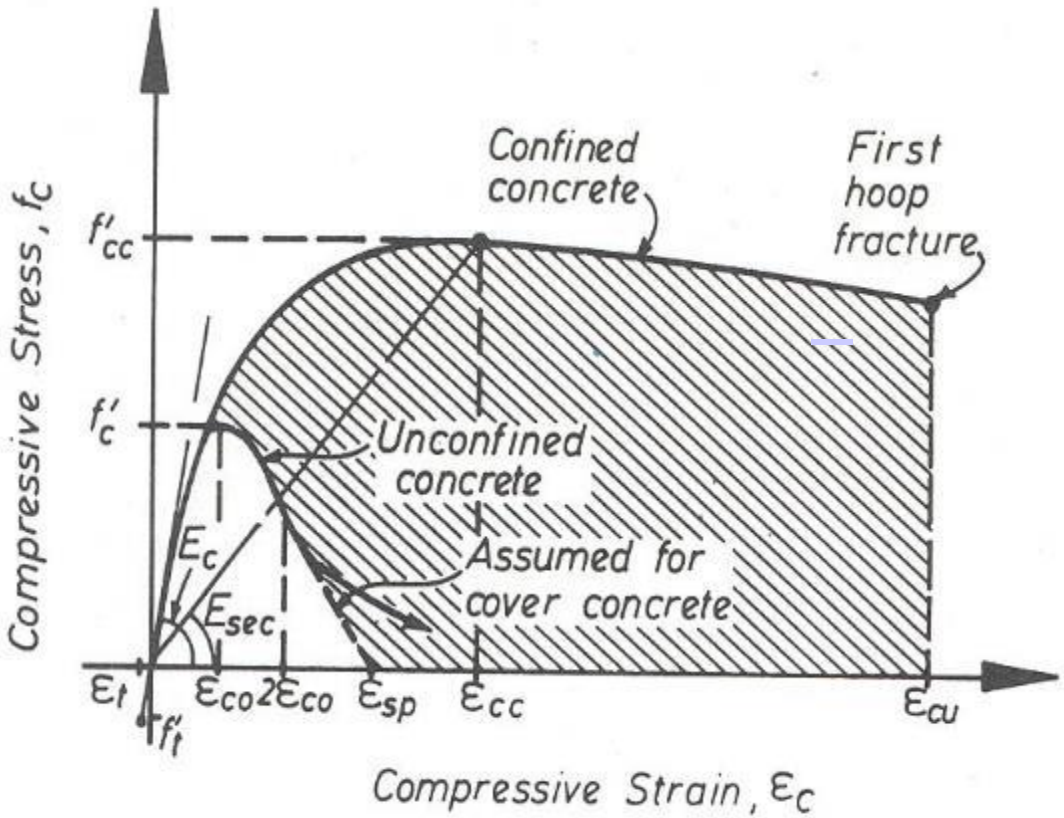
การเสริมกำลังของอาคาร

- ประเภทการเสริมกำลัง
  - การเสริมกำลังเฉพาะที่ เพื่อให้องค์อาคารมีกำลังและความเหนียวเพียงพอ
  - การการเสริมกำลังโดยรวมของโครงอาคาร (Structure Level) เพื่อให้มีผลตอบสนองลดลงภายใต้แรงแผ่นดินไหว
  - การติดตั้งอุปกรณ์สลายพลังงาน

Strengthening Applications

- การเสริมกำลังอาคารเฉพาะที่
  - เพิ่มการโอบรัด Confinement เพื่อเพิ่มความสามารถในการเสียรูป
  - เพิ่มกำลังรับแรงเฉือน
  - ลดปัญหาบริเวณต่อทาบเหล็ก Lap Splice
  - เพิ่มกำลังโดยรวมทั้งอาคาร (ในกรณีที่เสริมจำนวนองค์อาคารมากพอ)

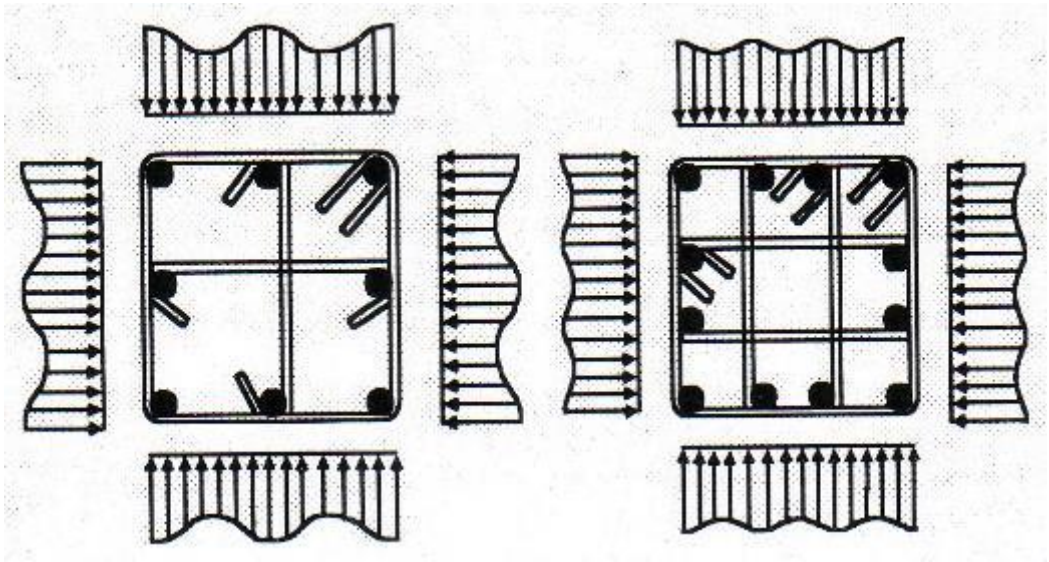
Materials: Concrete



- Confined Concrete Show Significant Ductility

- Design of Ductile RC Buildings Rely on Confinement as a Key to Ductility

Materials: Concrete



- Confined Concrete Show Significant Ductility

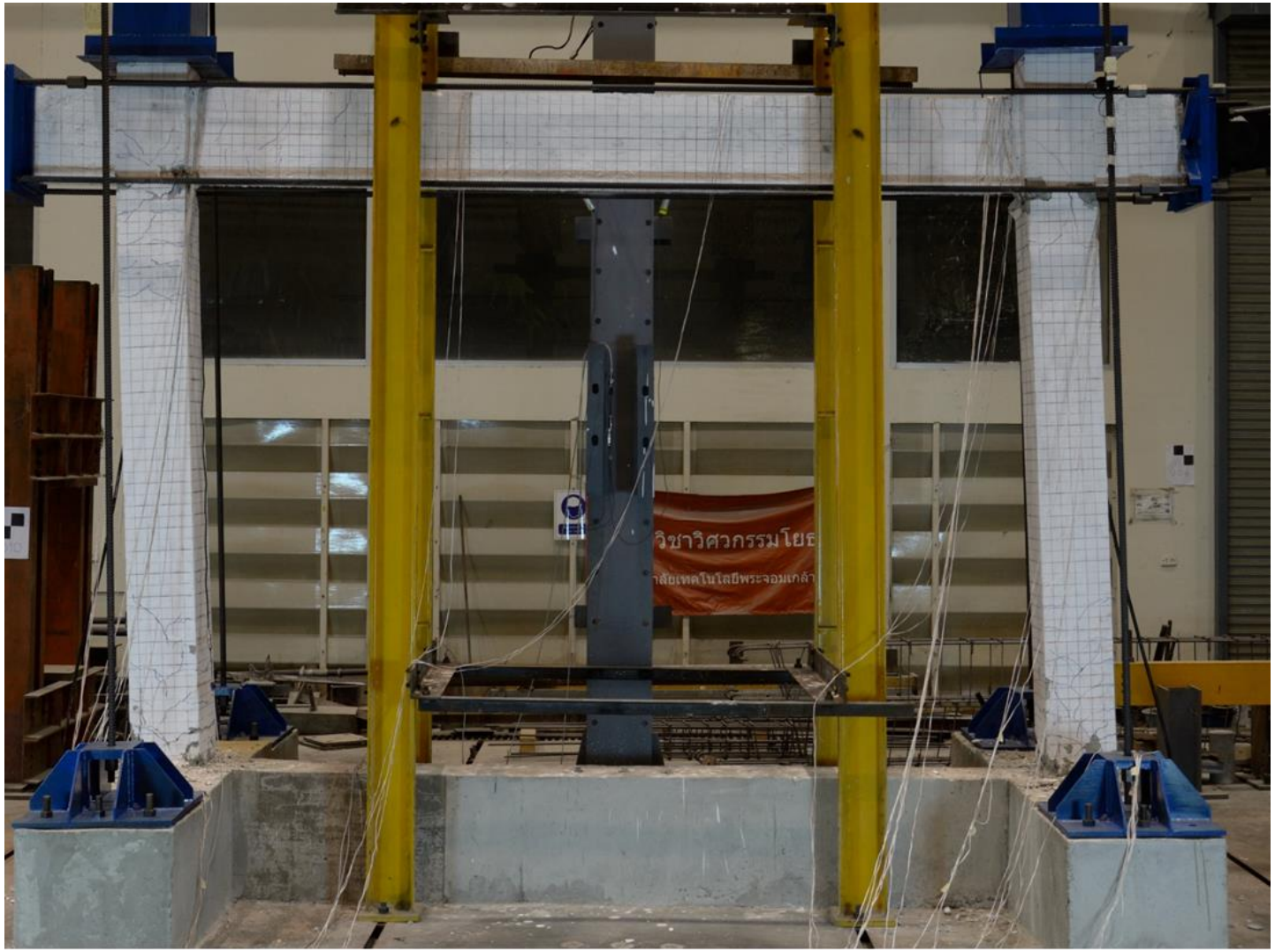
- Design of Ductile RC Buildings Rely on Confinement as a Key to Ductility

Concrete Jacketing

- Can be carried out by most local contractors
- Versatile
- Suitable for making into Standard Drawing

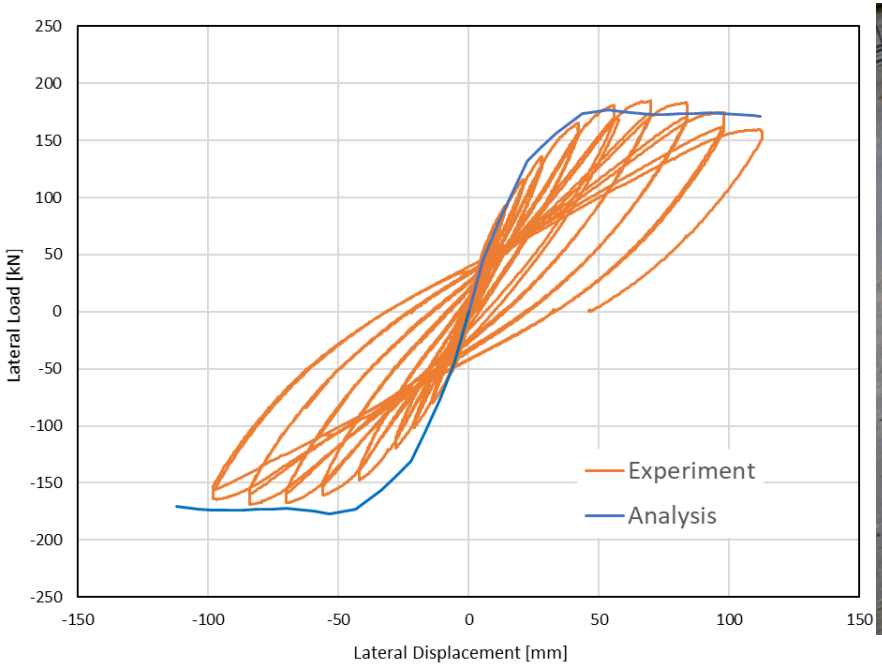
Concrete Jacketing

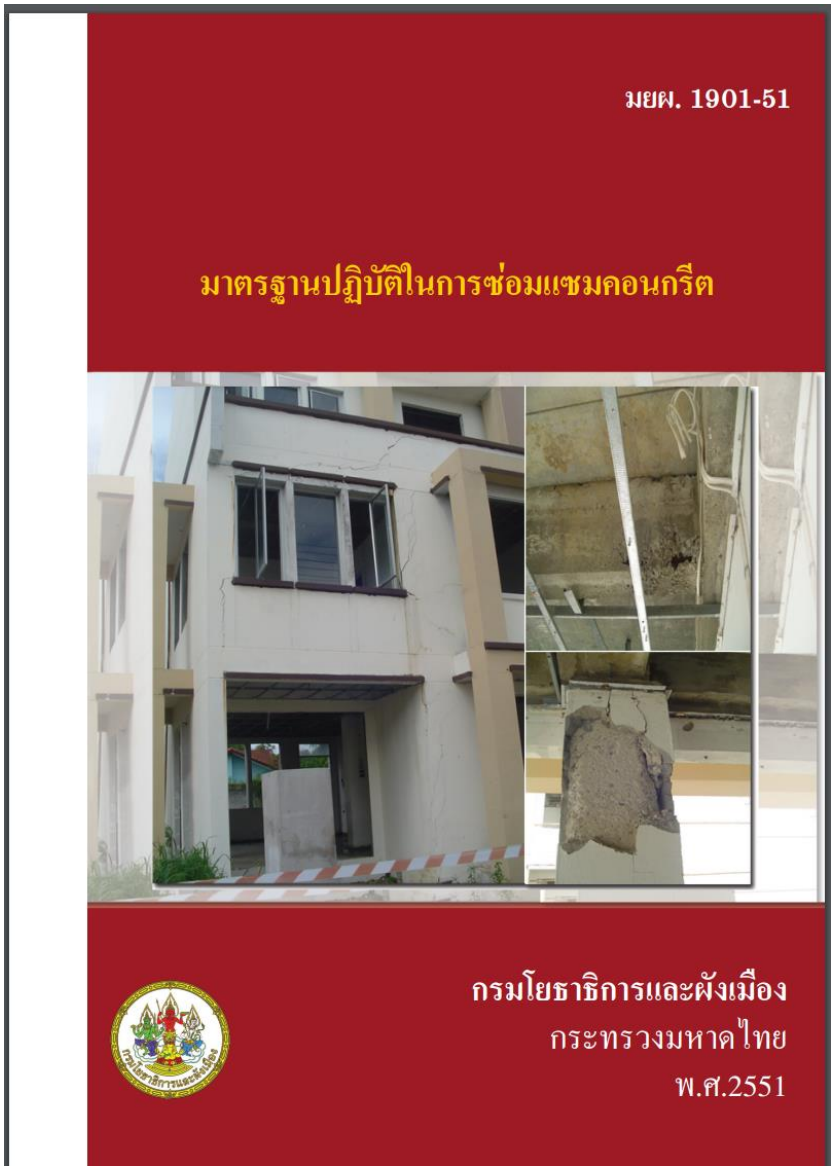
Original Frame



The bare fame during the test at +4.00% drift

Original Frame





(2) ความหนาของคอนกรีตใหม่ที่นำมาพอก

ความหนาของคอนกรีตใหม่ที่นำมาพอกดาดทับชั้นเหล็กเสริมต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตรสำหรับการพอกหล่อในที่และไม่น้อยกว่า 40 มิลลิเมตรสำหรับการพอกด้วยวิธีการพ่น การพอกด้วยคอนกรีตใหม่ให้ทำโดยรอบเสาทั้งสี่ด้านเพื่อให้เกิดพฤติกรรมร่วมระหว่างคอนกรีตเก่าและวัสดุที่พอกโดยการพอกควรเว้นระยะห่างเล็กน้อยช่วงจุดต่อระหว่างโครงสร้างข้างเคียงบริเวณเสาที่พอกเพื่อป้องกันการแตกร้าวเมื่อโครงสร้างให้ตัวขณะรับแรงดัด

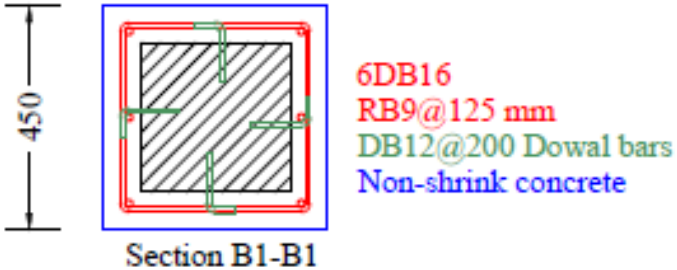
(3) พื้นที่หน้าตัดเหล็กยืนขั้นต่ำบริเวณที่ทำการพอก

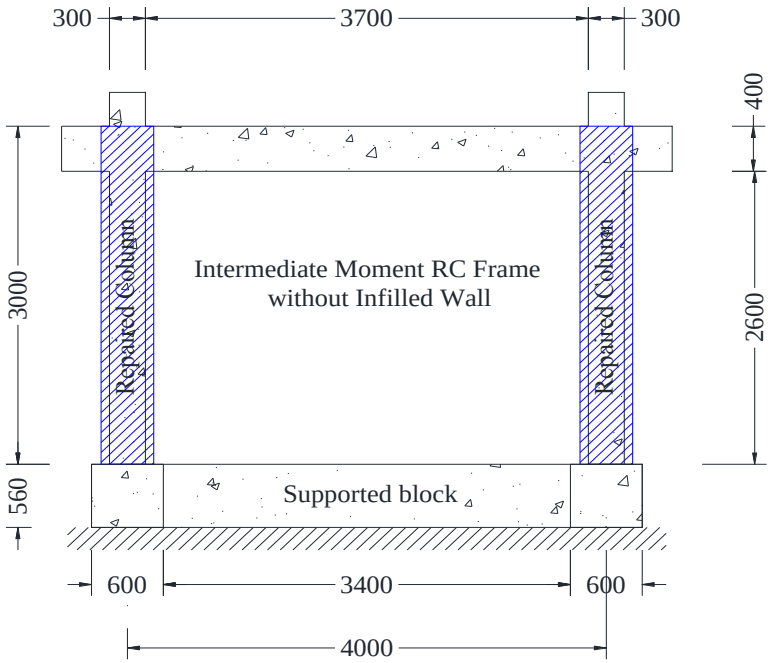
การเพิ่มเหล็กเสริมเพิ่มเติมก่อนการดาดด้วยคอนกรีตใหม่ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมยผ.1901-51 [15] และให้เป็นไปตามหลักการออกแบบที่ให้เสาสามารถต้านทานแผ่นดินไหว โดยพื้นที่หน้าตัดเหล็กยืนของเหล็กเสริมควรอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.04 ของพื้นที่ทั้งหมดที่พอก ยกเว้นกรณีที่พอกคอนกรีตใหม่เพื่อการโอบรัดหรือเพื่อการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนเท่านั้น กำหนดให้ใช้เหล็กเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12 มิลลิเมตรขึ้นไปบริเวณมุมเสา และควรเจาะเหล็กยืนให้ทะลุผ่านโครงสร้างข้างเคียง เช่น พื้น คาน ตลอดแนวความสูงของเสาทุกชั้นก่อนการดาดพอกด้วยคอนกรีตใหม่

(4) พื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอกขั้นต่ำบริเวณที่ทำการพอก

ในการเสริมเหล็กปลอกเพิ่มเติมบริเวณที่มีการดาดทับด้วยคอนกรีตใหม่ เหล็กปลอกที่ใช้ต้องมีขนาดผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตรขึ้นไป หรือหนึ่งในสามของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กยืนที่ใหญ่ที่สุดของหน้าตัดเสา ยกเว้นกรณีใช้ลวดตาข่าย (wire mesh) ควรมีของอทำมุม 135 องศากรณีมีเหล็กปลอกประกอบกันมากกว่าหนึ่งชิ้น ทั้งนี้การออกแบบพื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอกขั้นต่ำหรือลวดตาข่ายให้เป็นไปตามหลักการออกแบบเสา เพื่อให้มีความเหนียวเพียงพอ

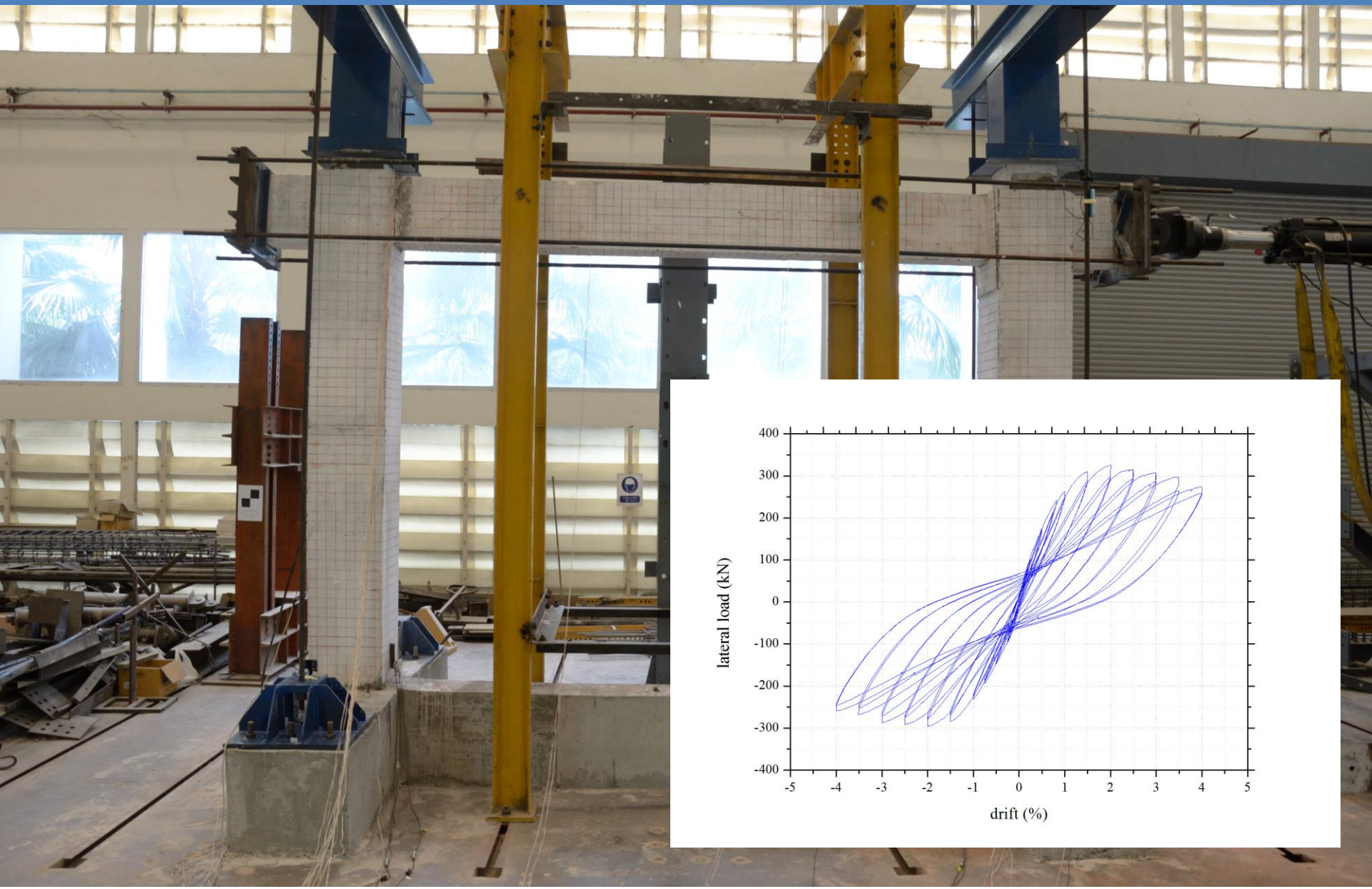
Original Frame



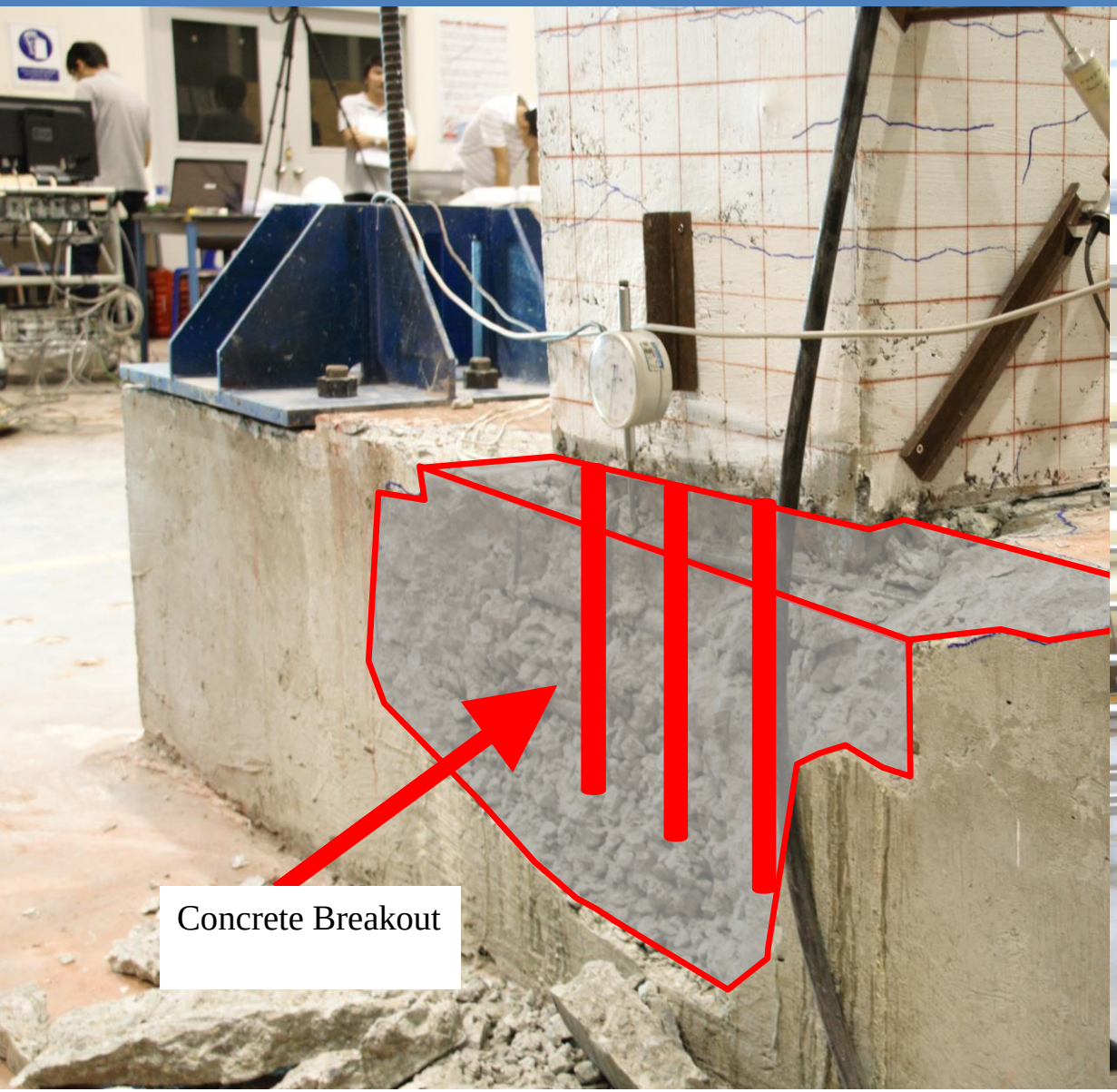


Concrete Jacketing

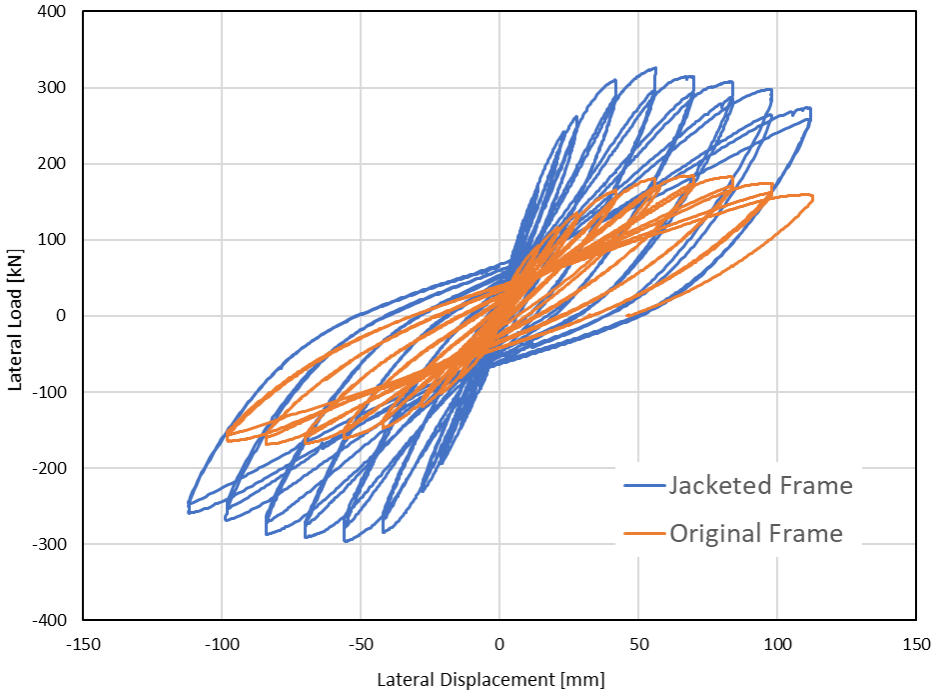
Concrete Jacketing

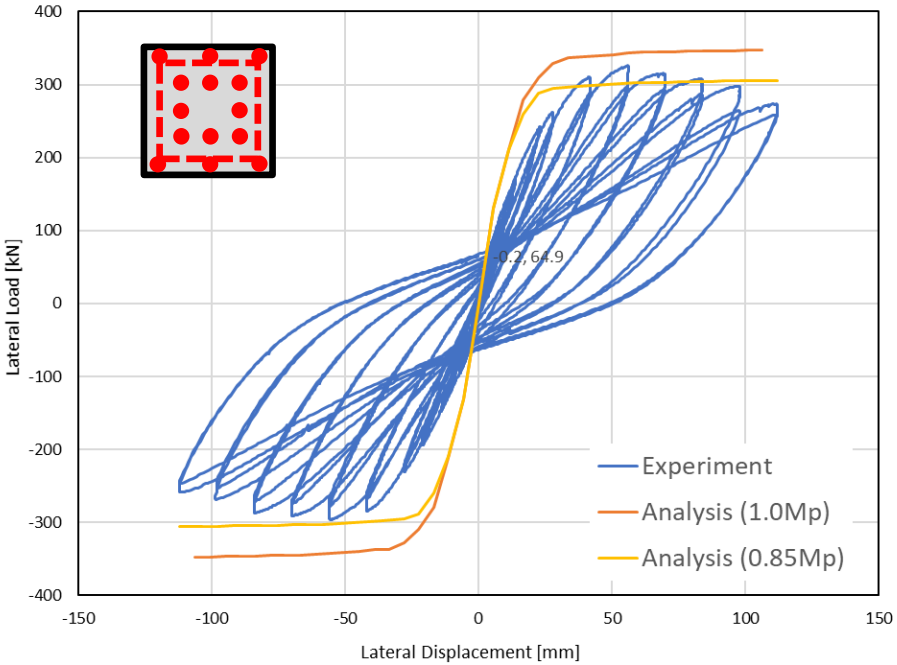


Concrete Jacketing

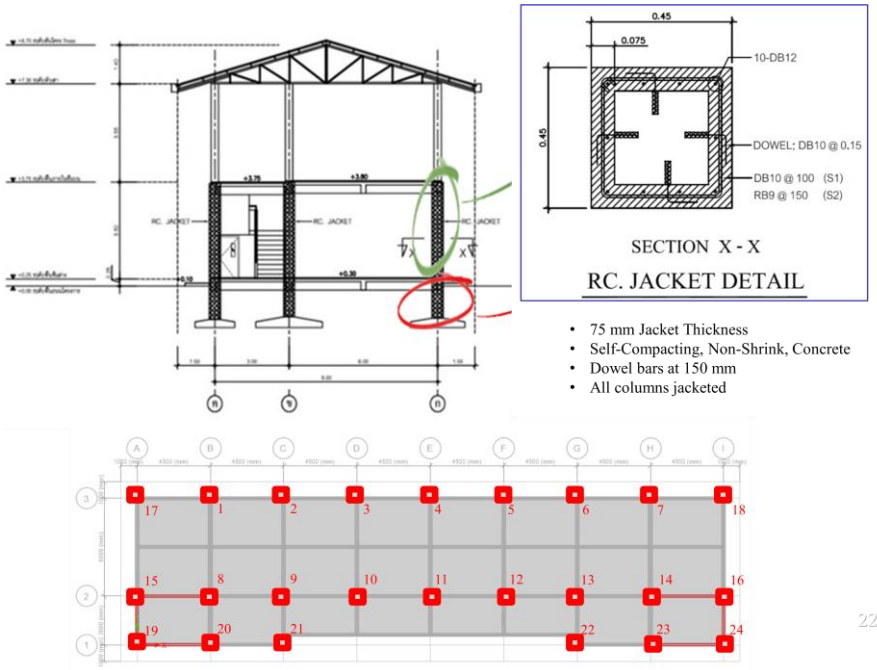


Concrete Jacketing

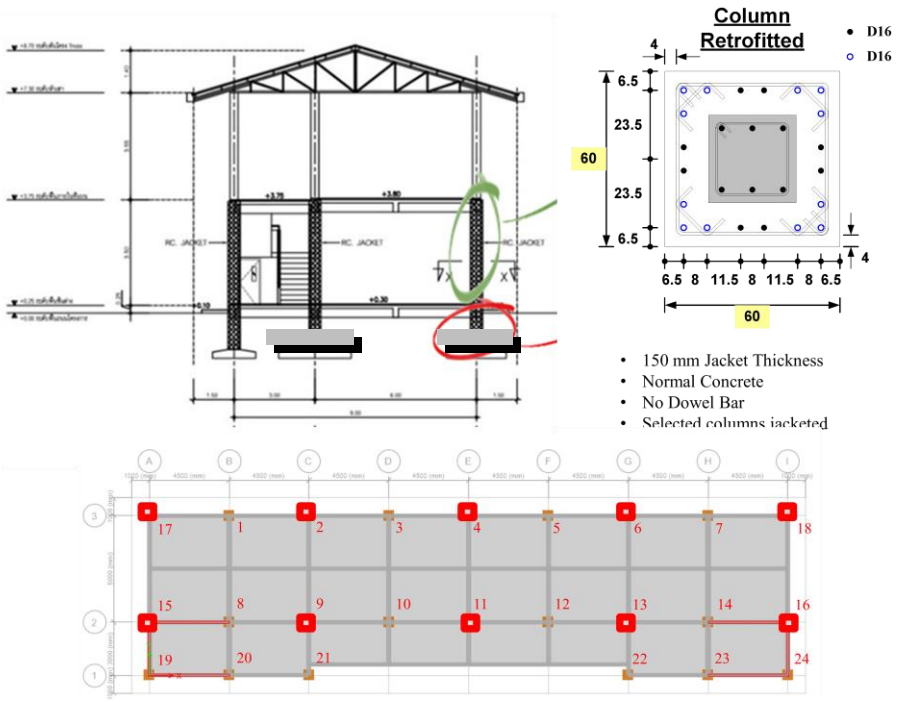




Concrete Jacketing



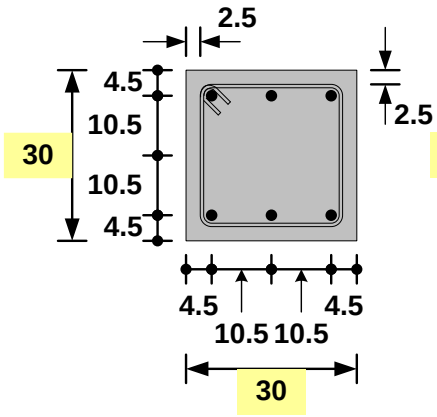
Design A



Design B

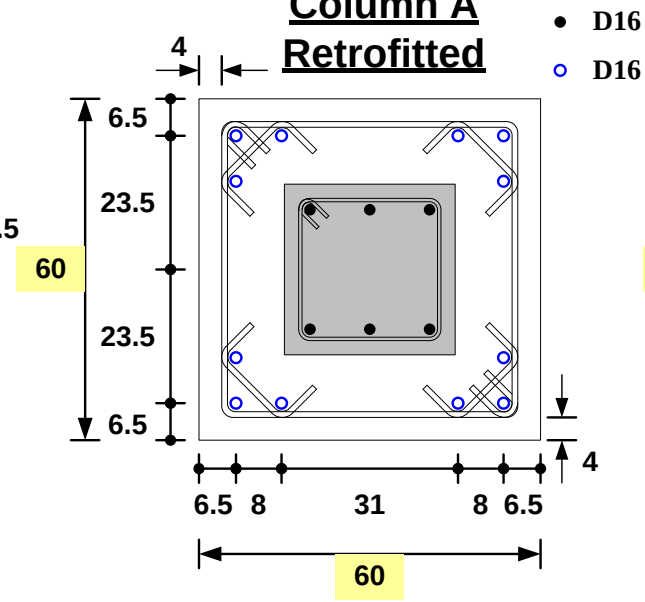
Specimen Column Section

Before retrofit



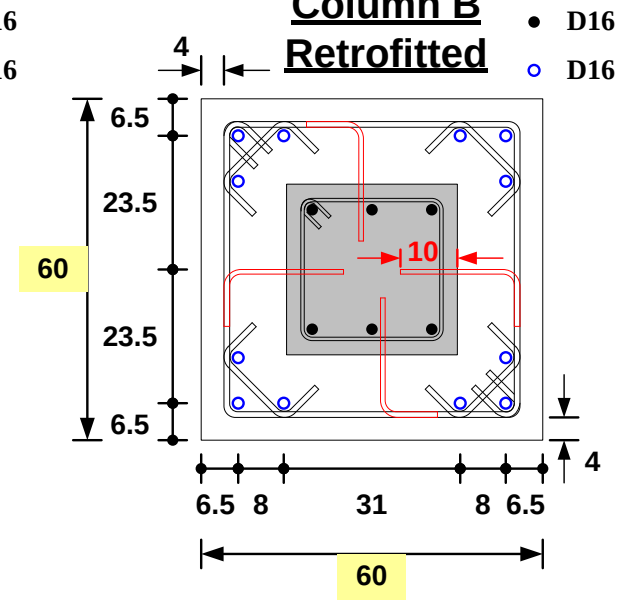
Longi. bar (SD420W)□ 6-D16
Trans. bar (SD350)□ D6@15
Use 135˚ hook.
Clear cover 2.5 *cm.*

Column A Retrofitted



Longi. bar (SD420W)□ 12-D16
Trans. bar (SD280W)□ D10@15
Tie bar (SD280W)□ D10@15
Trans. bar : use 2 L shape steel with 135˚-135˚ hooks to assembly a hoop.
Tie bar : use 90˚-90˚ hooks.
Clear cover 4 *cm*

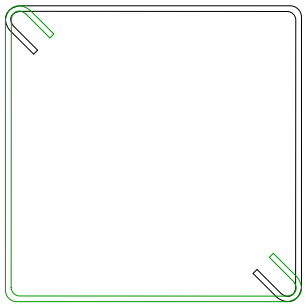
Column B Retrofitted

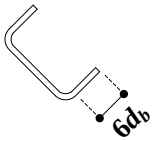


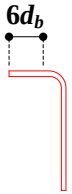
Longi. bar (SD420W)□ 12-D16
Trans. bar (SD280W)□ D10@15
Tie bar (SD280W)□ D10@15
Dowel anchor (SD280W)□ D10@15
Trans. bar : use 2 L shape steel with 135˚-135˚ hooks to assembly a hoop.
Tie bar : use 90˚-90˚ hooks.
Clear cover 4 *cm*

Material Information□
D6□ 3500 *kgf/cm²*
D10□ 2800 *kgf/cm²*
D16 or large□ 4200 *kgf/cm²*
Concrete Strength□
Before retrofit 210 *kgf/cm²*
Retrofit 280 *kgf/cm²*

Unit : cm



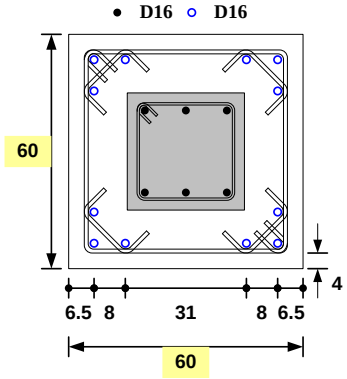




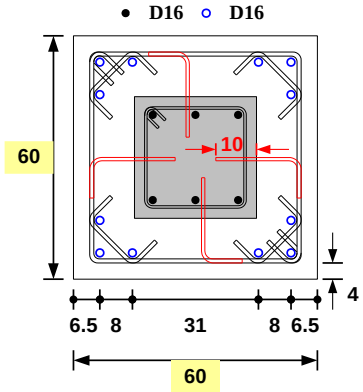
Courtesy of Prof. Fu-Pei Hsiao, Pu-Wen Weng, et al., NCREE

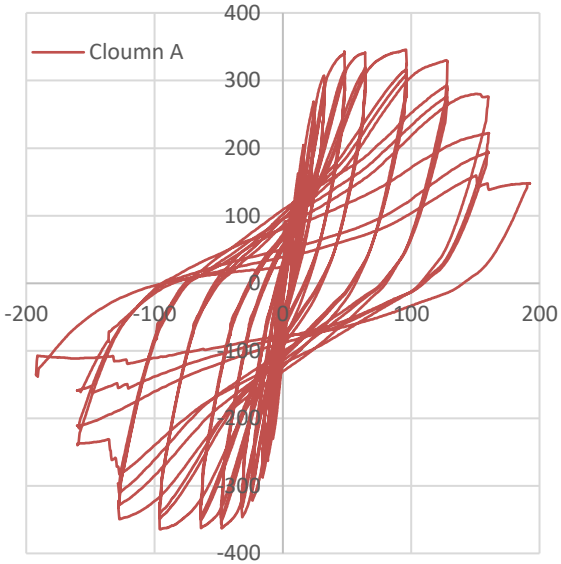
Test Result

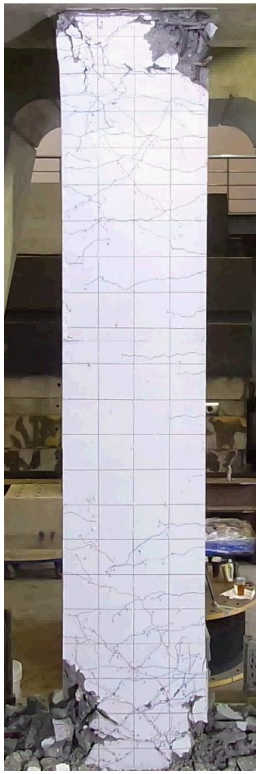
Column A
(w/o dowel anchor)

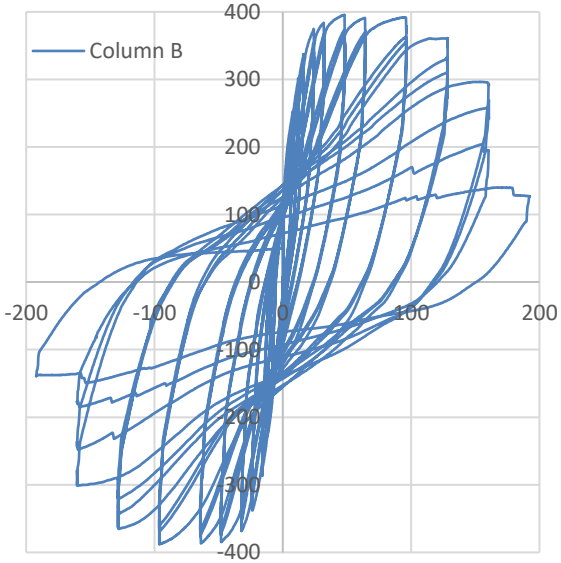


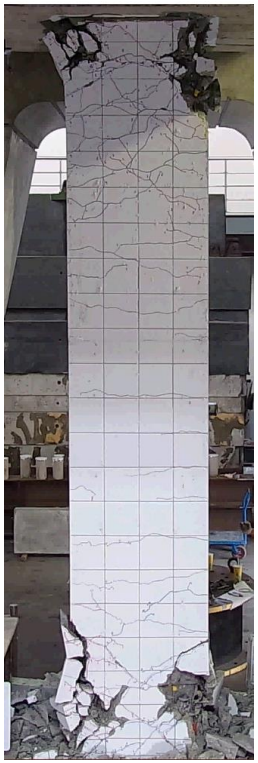
Column B
(with dowel anchor)







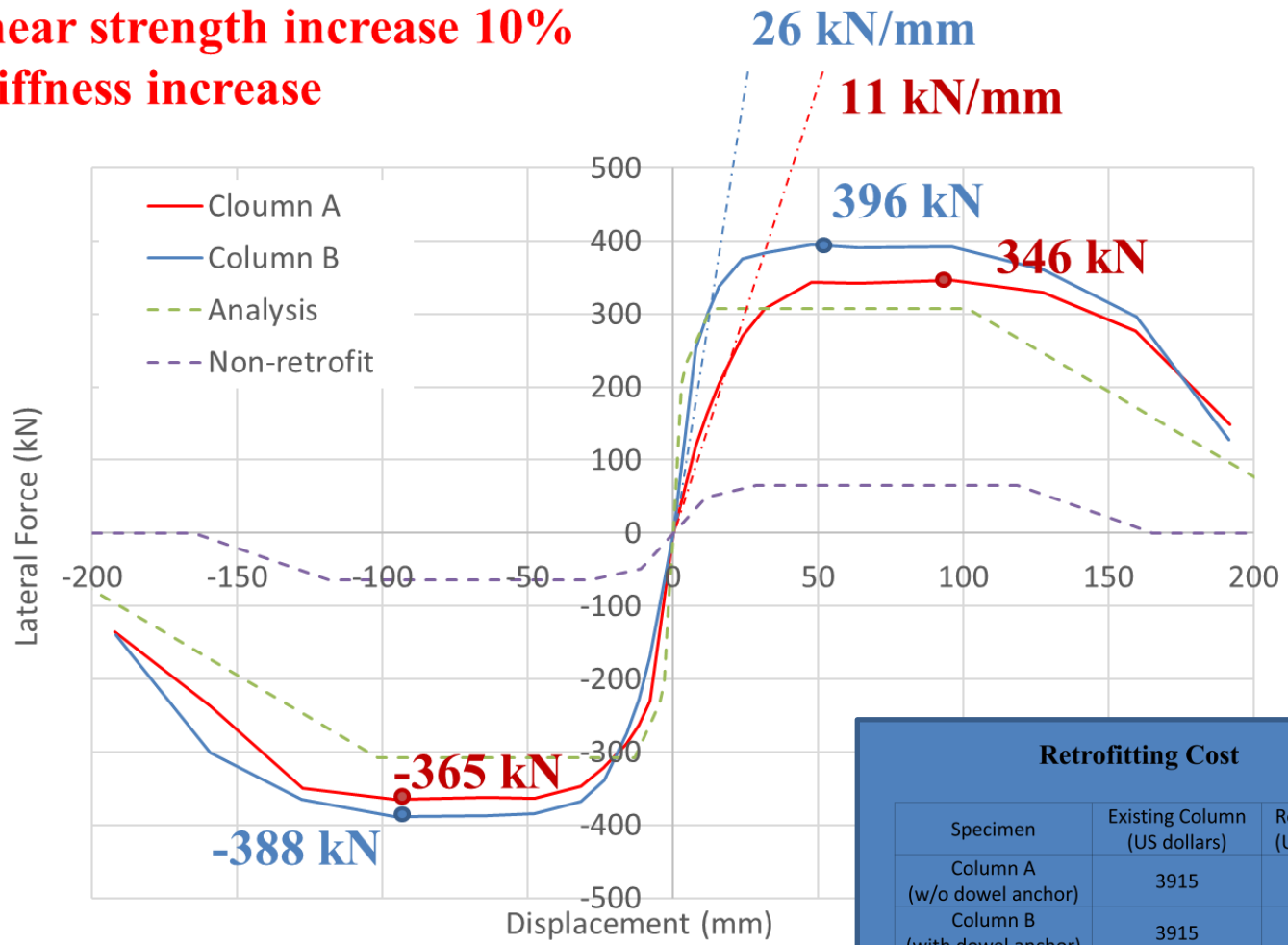




Courtesy of Prof. Fu-Pei Hsiao, Pu-Wen Weng, et al., NCREE

Test Result

Shear strength increase 10%
Stiffness increase



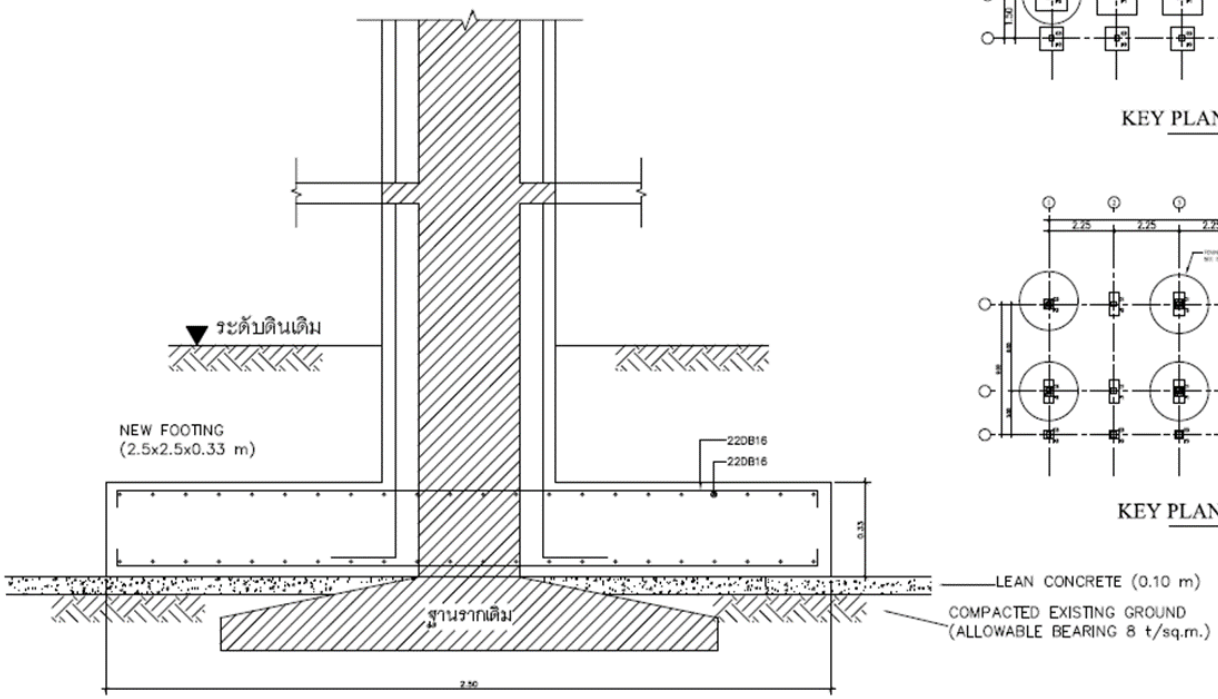
Retrofitting Cost

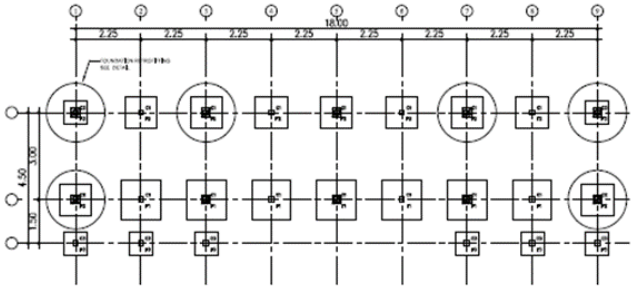
Specimen	Existing Column (US dollars)	Retrofitting (US dollars)
Column A (w/o dowel anchor)	3915	2727
Column B (with dowel anchor)	3915	3149

3149/2727= 1.15
Retrofitting cost increase 15%

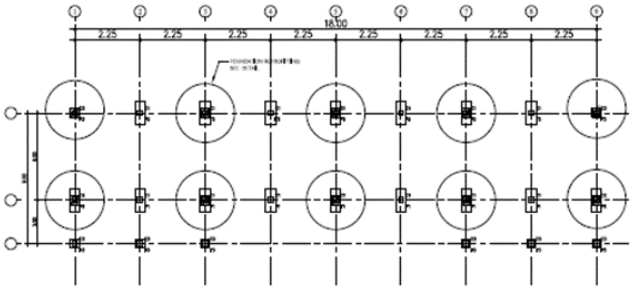
Courtesy of Prof. Fu-Pei Hsiao, Pu-Wen Weng, et al., NCREE

Foundation Retrofitting





KEY PLAN (SPREAD FOOTING)



KEY PLAN (PILE FOUNDATION)

07/04/2560
ใส่เหล็กแล้วเสร็จ
ตำแหน่ง -ก-3

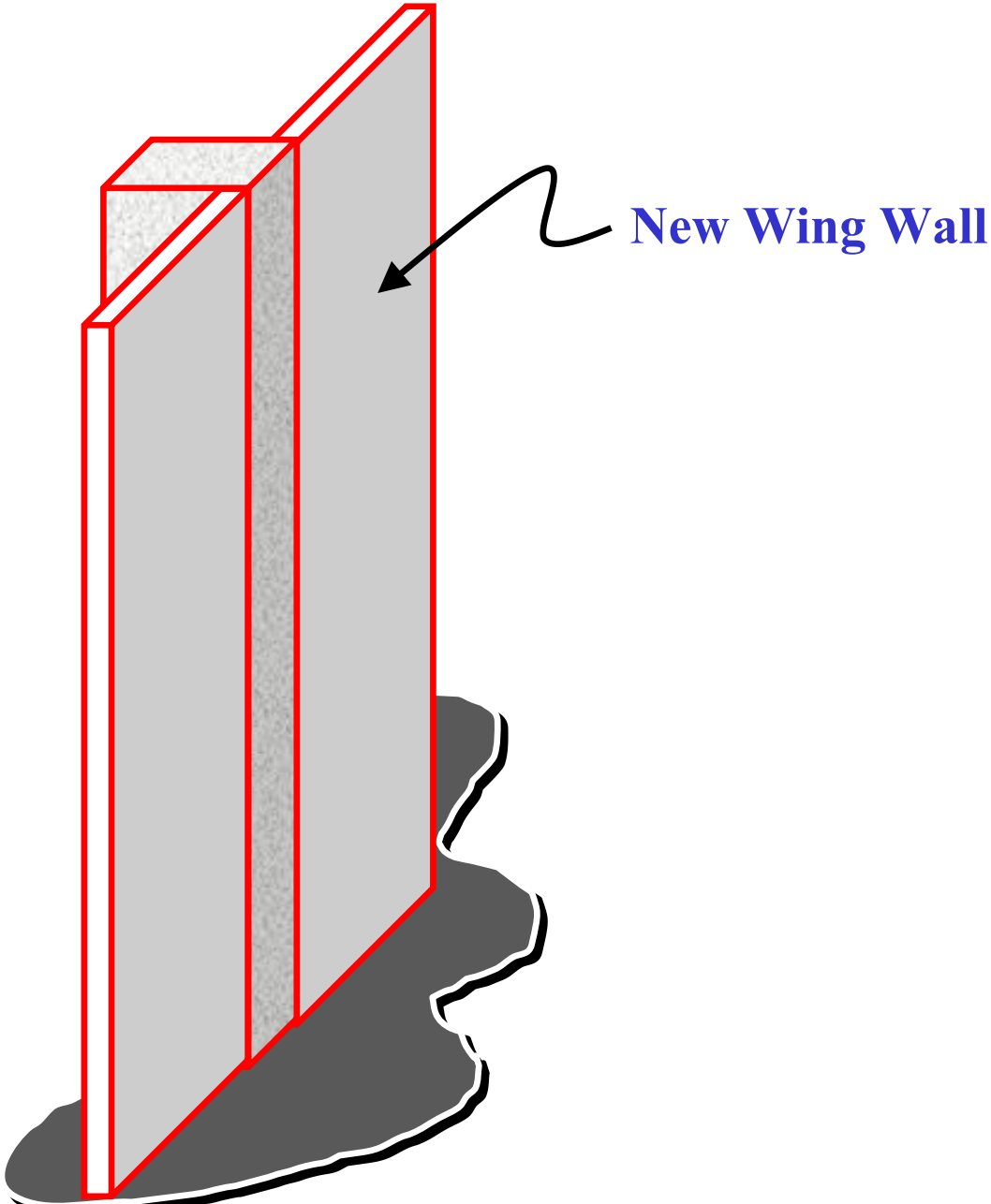
Training of Local Contractors

Chiangmai, Thailand

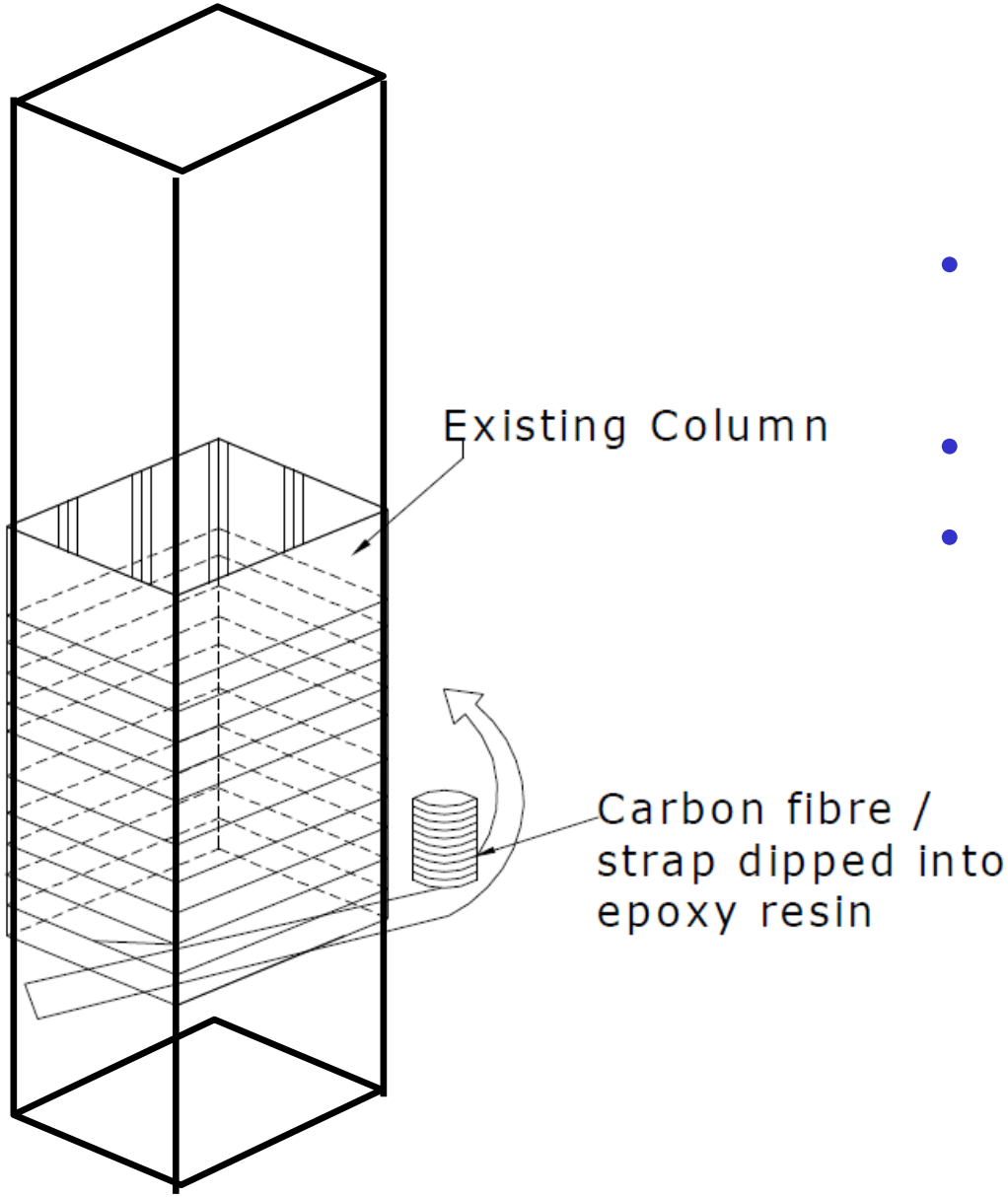
Chiang mai, Thailand

การเสริมกำลังเฉพาะด้วยปีกคอนกรีต

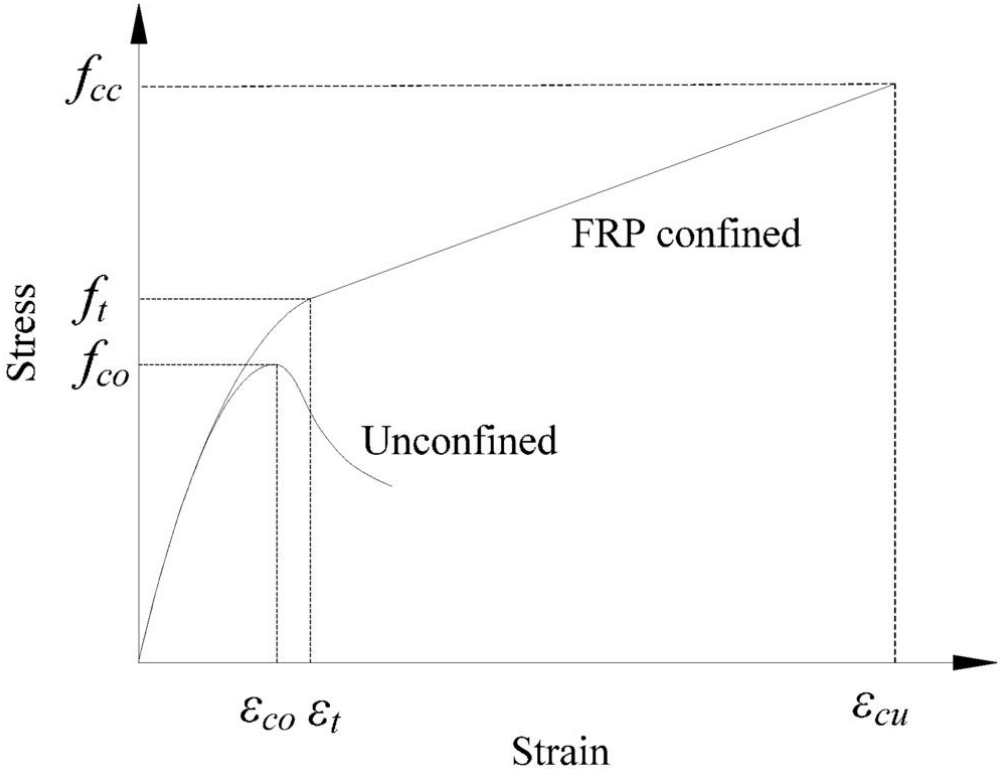
(RC Wing Wall)

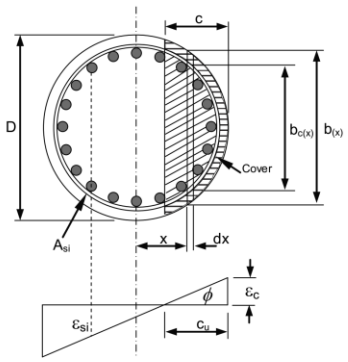


การเสริมกำลังเฉพาะที่ด้วยวัสดุ composite

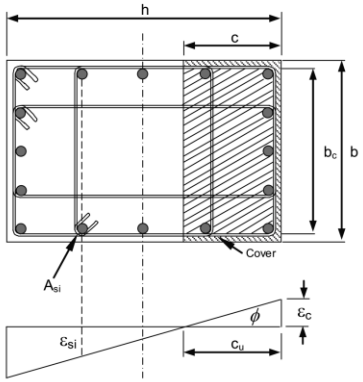


- **High Strength & Stiffness Material**
- **Light Weight**
- **Minimal Disruption**





ก) เสาหน้าตัดวงกลม

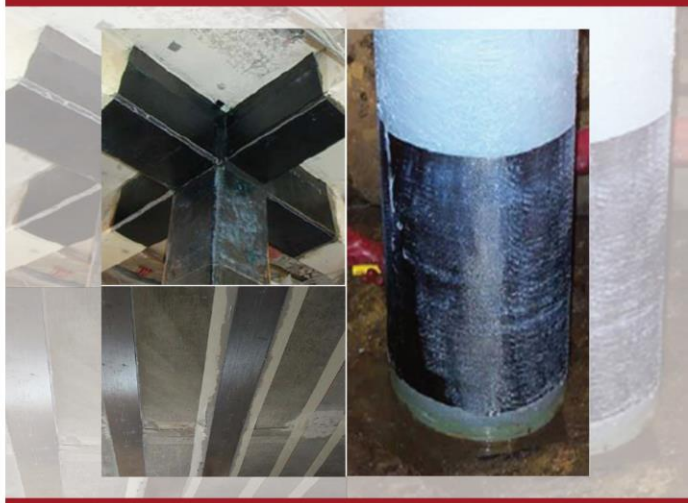


ข) เสาหน้าตัดสี่เหลี่ยม

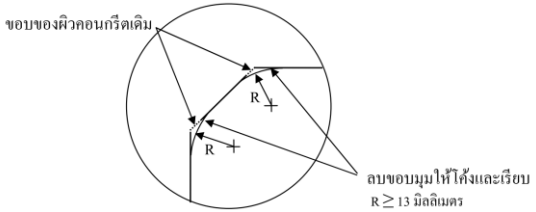
$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{2.8\rho_j f_{ju}\varepsilon_{ju}}{f'_{cc}} = \Phi_u c_u \qquad \text{(ข.3-16)}$$

มยผ. 1508-51

มาตรฐานการเสริมกำลังโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย

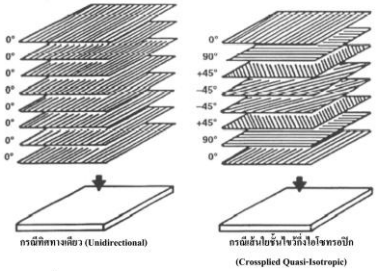


กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ.2551



รูปที่ 1 การลบมุมให้โค้งและเรียบ

(ข้อ 5.4.2)



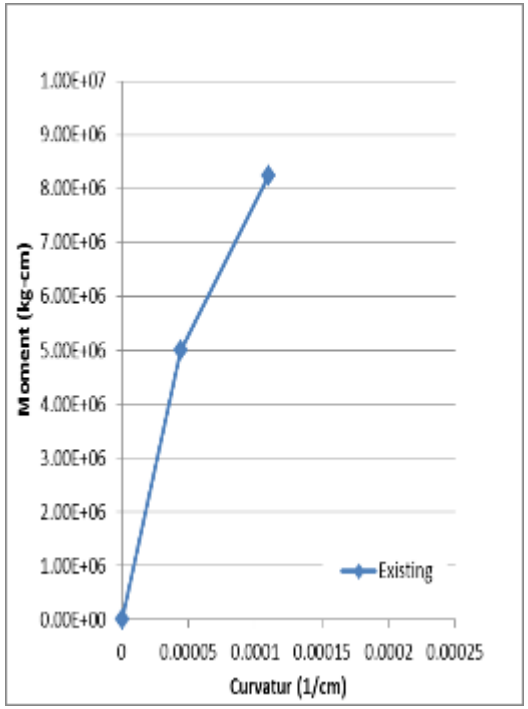
รูปที่ ค4 การเรียงตัวของเส้นใยแบบต่างๆ ในการสร้างแผ่นเส้นใยเสริมกำลัง

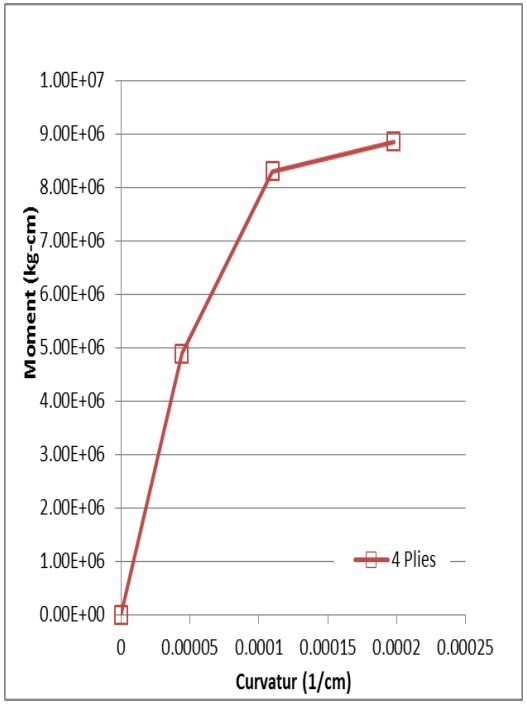
โครงการ_____ สถานที่ตั้ง_____ _____ วัน/เดือน/ปี_____ เวลาเริ่มงาน_____ เวลาเลิกงาน_____ แผ่นที่_____	**บฟ. มยผ. 1508 -3**	ทะเบียนทดสอบ _____	
	(หน่วยงานที่ตรวจสอบ) **บัญชีตรวจสอบการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย**	ผู้ตรวจสอบ	
		อนุมัติ	

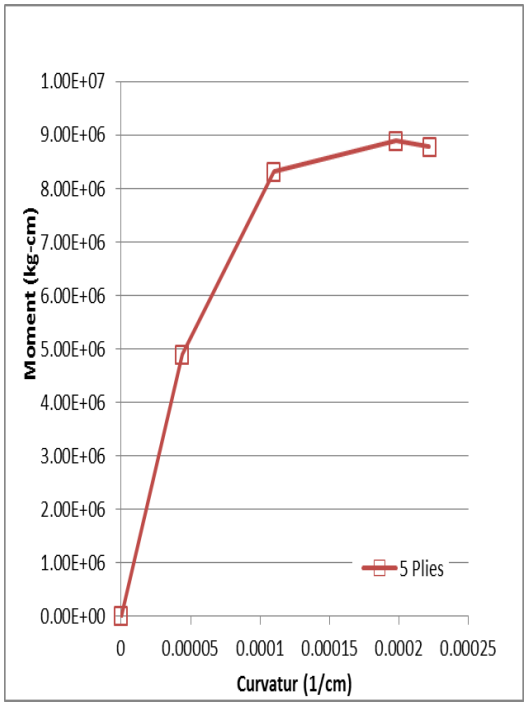
หมวดการเตรียมผิว	
• ผิวที่ซ่อมเสร็จเรียบ สม่ำเสมอ และเข้ารูปกับชิ้นส่วนเดิม	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่ ( ) ไม่เกี่ยว
• มีส่วนที่ยื่นเกินจากผิวไม่เกิน 1 มิลลิเมตร	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่ ( ) ไม่เกี่ยว
• ลบแนวแบบหล่อคอนกรีต ขอบที่แหลมหรือขรุขระด้วยการขัดหรือฉาบ	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่ ( ) ไม่เกี่ยว
• ลบมุม ทั้งมุมนอก มุมใน และขอบที่คม ให้มีรัศมีอย่างน้อย 13 มิลลิเมตร	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่ ( ) ไม่เกี่ยว
• มีบริเวณที่เป็นรู หรือเป็นรอยบุ๋ม ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 13 มิลลิเมตร หรือลึกกว่า 3 มิลลิเมตร เมื่อวัดจากสันแนวตรงยาว 300 มิลลิเมตร (เช่น ใช้ไม้บรรทัดยาว 1 ฟุต) ที่วางบนผิวคอนกรีต	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่ ( ) ไม่เกี่ยว
• ได้อุดรูหรือรอยบุ๋มดังกล่าวตามข้อกำหนด	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่ ( ) ไม่เกี่ยว
• อุดรอยร้าวทั้งหมดที่ผิวและในเนื้อคอนกรีต ที่กว้างเกินกว่า 0.25 มิลลิเมตร ด้วยการอัดฉีดอีพอกซี	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่ ( ) ไม่เกี่ยว
• แก้ไขความขรุขระที่ผิว ซึ่งเกิดจากการอัดฉีดรอยร้าว	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่ ( ) ไม่เกี่ยว
• ตรวจสอบผิว และกำจัดฝุ่น คราบน้ำปูน จารบี น้ำมันสารบ่มคอนกรีต รอยเปื้อน ราหรือตะไคร่น้ำ สีทา ขี้ผึ้ง สิ่งแปลกปลอมและวัสดุอื่นๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการยึดเหนี่ยว	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่ ( ) ไม่เกี่ยว
• เตรียมผิวทั้งหมด ตามข้อกำหนดของโครงการ/ผู้ผลิต	( ) ใช่ ( ) ไม่ใช่ ( ) ไม่เกี่ยว

หมายเหตุ: .....

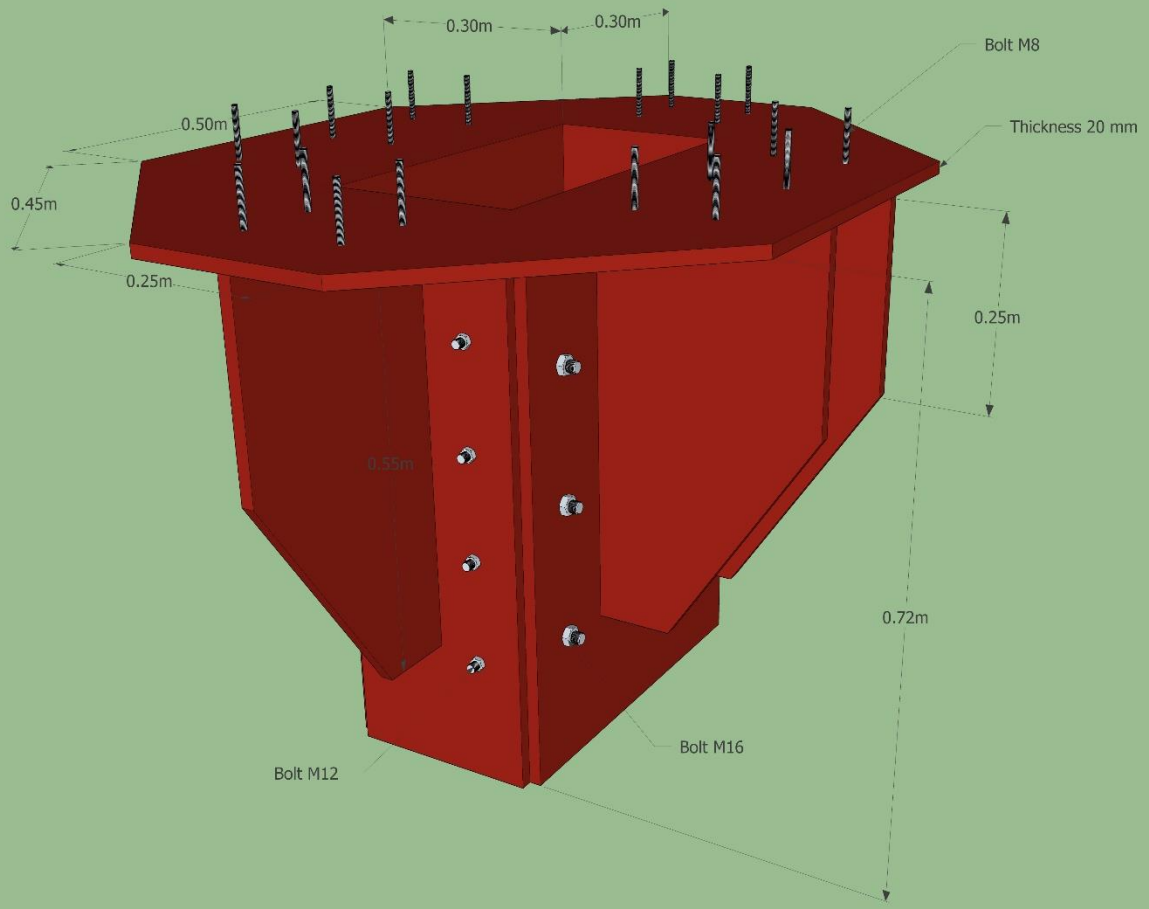
ตัวอย่างผลการเสริมกำลังเสาขนาด 0.5X0.5 (25DB25) ก่อนและหลังการโอบรัดด้วย FRP





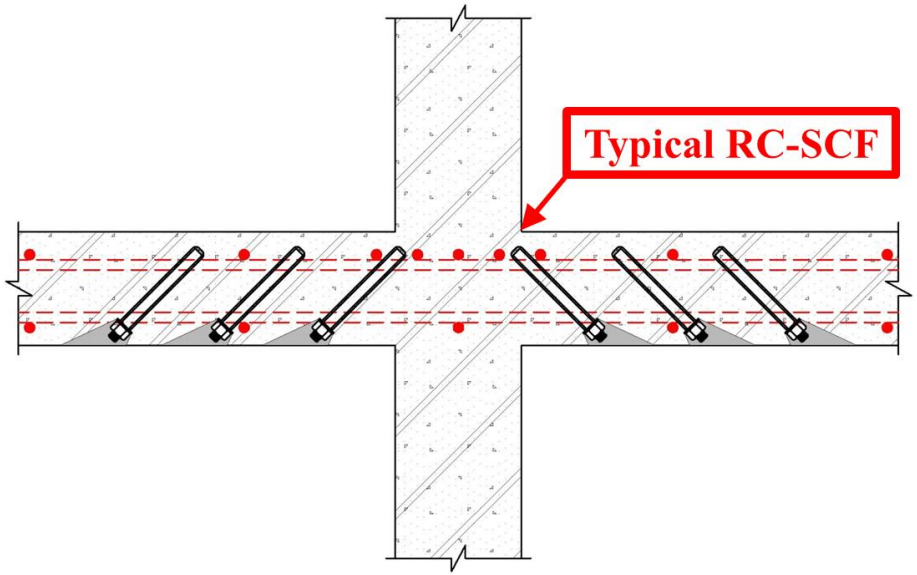


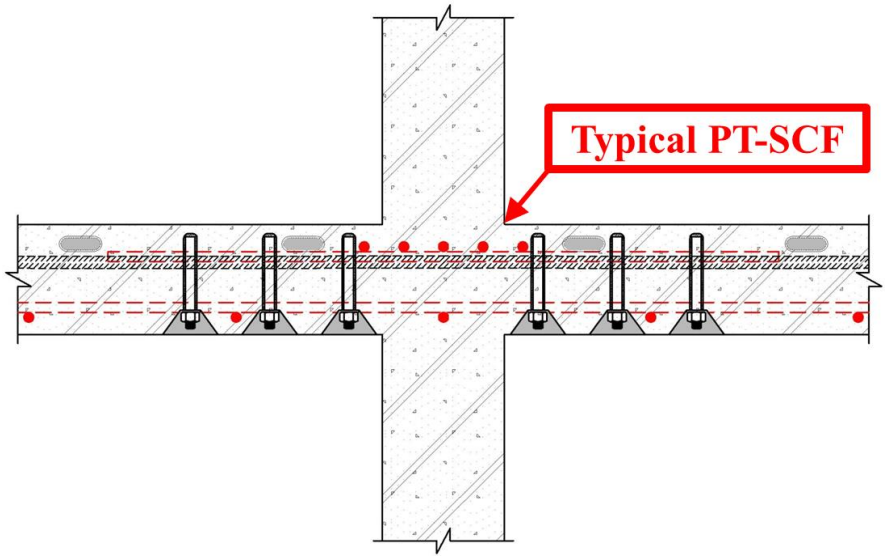
Repairing (By Injection Grouting)


0.30m
0.30m
Bolt M8
Thickness 20 mm
0.50m
0.45m
0.25m
0.25m
0.55m
0.72m
Bolt M16
Bolt M12

Strengthening (By Post-installed Anchor)

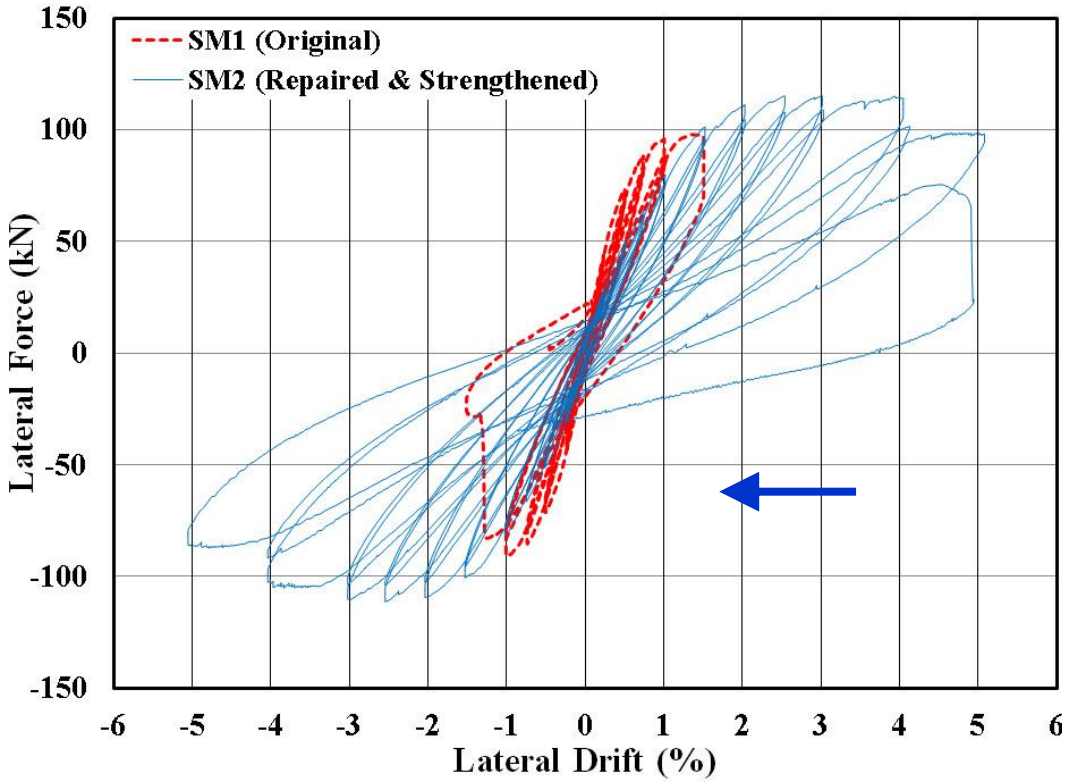
Strengthening with post-installed anchors



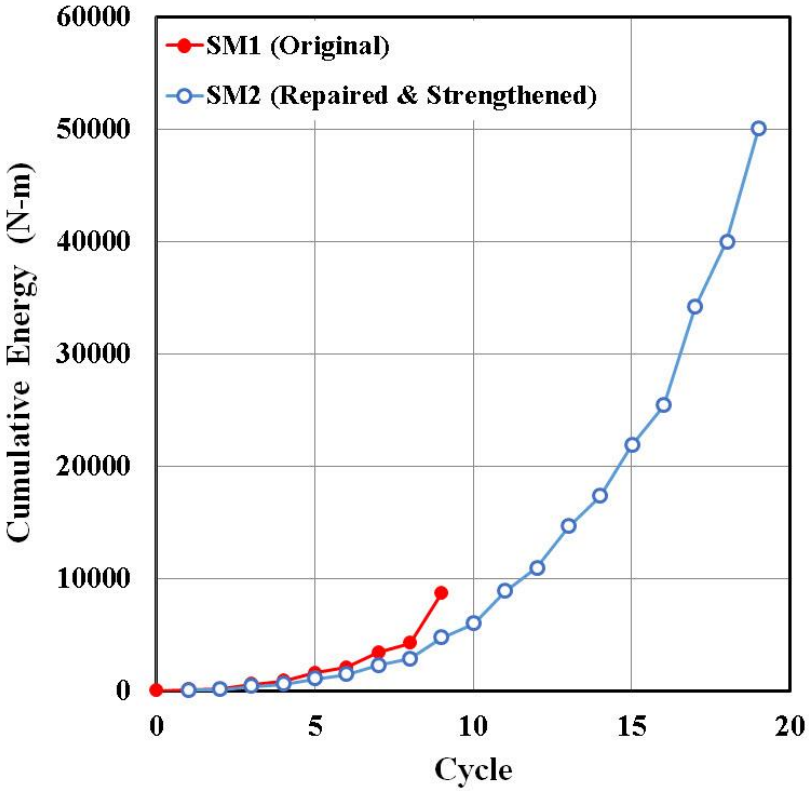


Test Results After Repaired

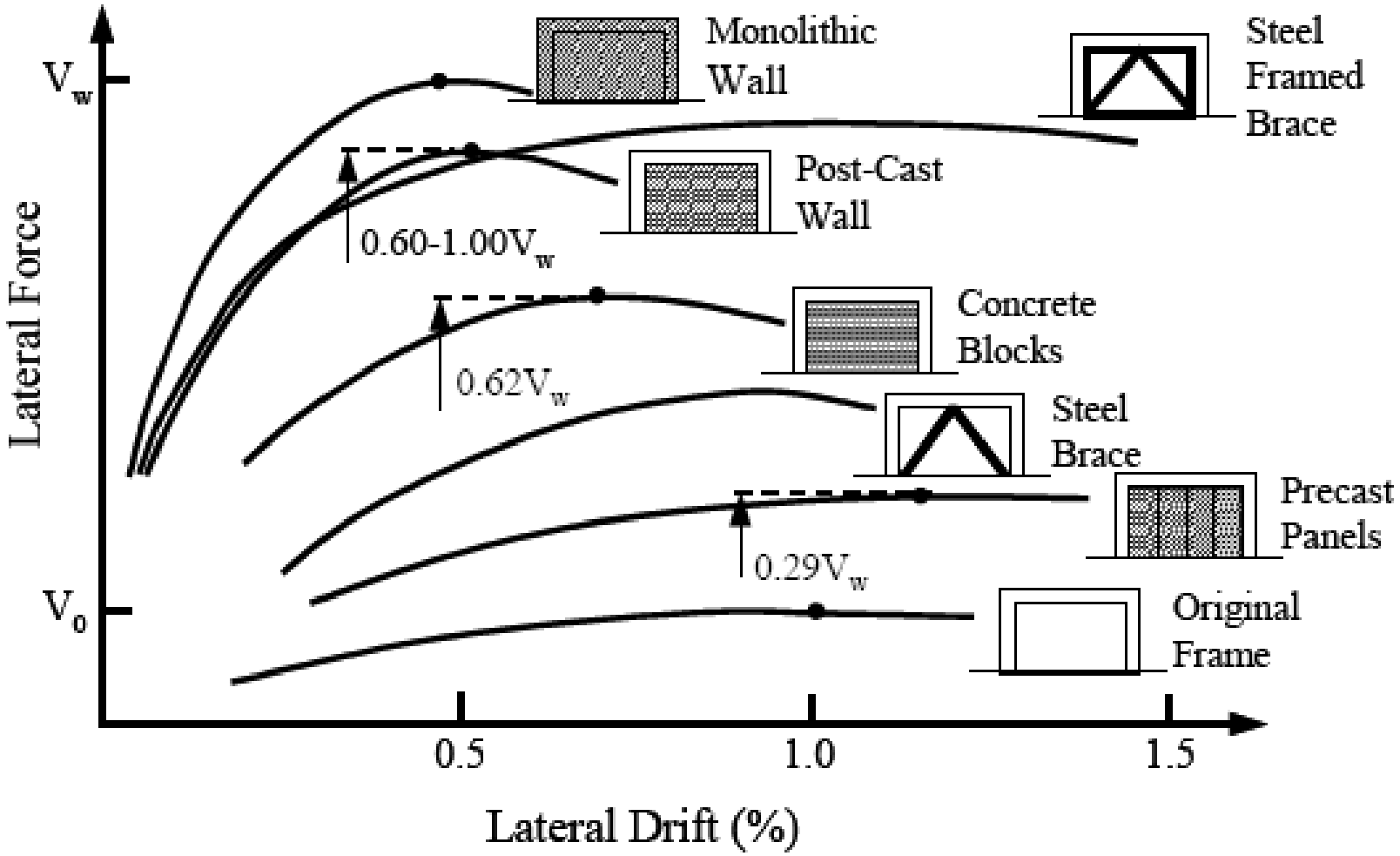
Hysteresis Curve



Energy Dissipation Curve

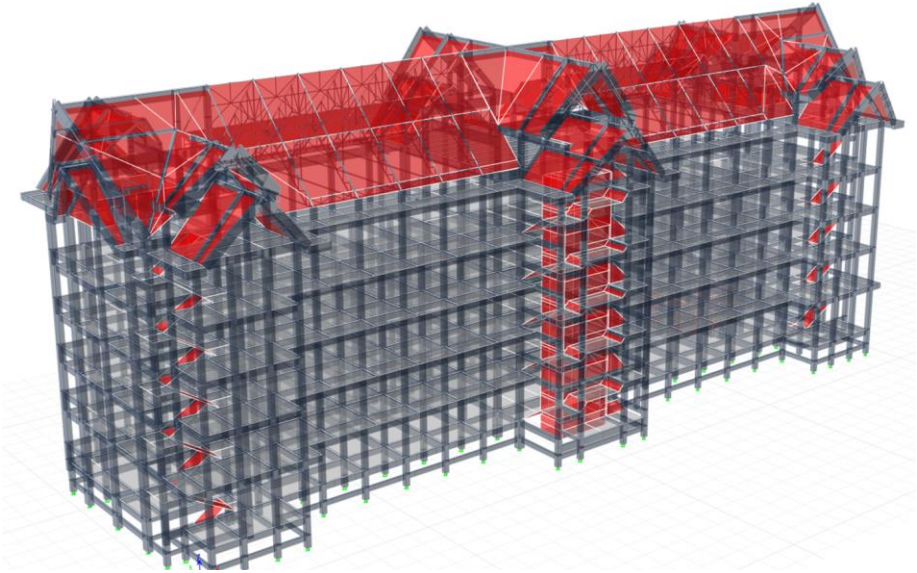


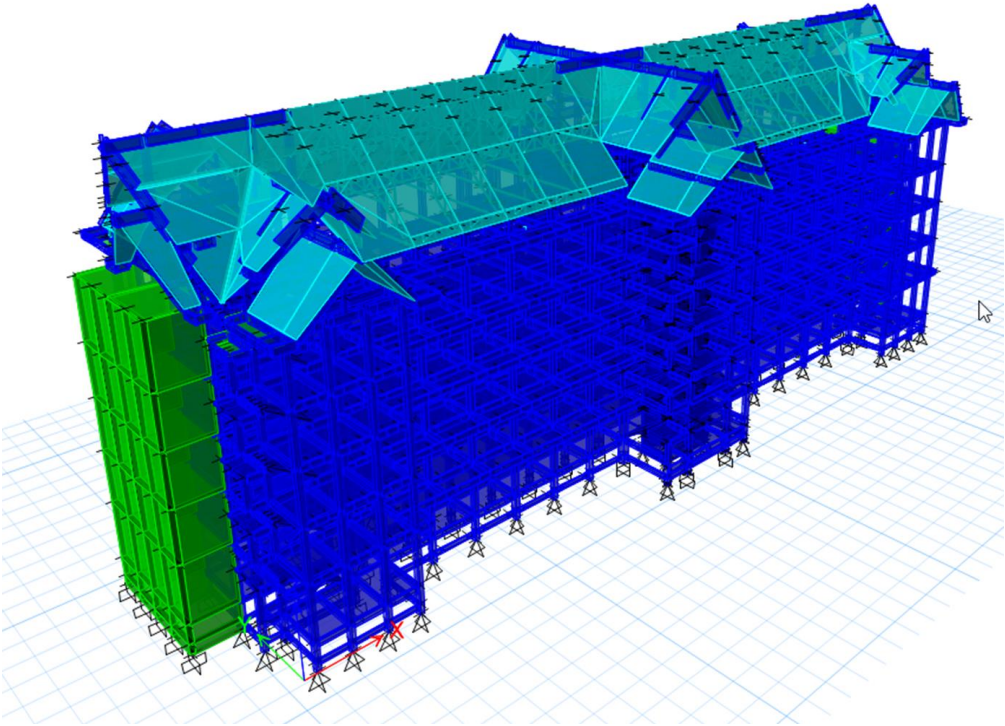
การเสริมกำลังของอาคารโดยรวม



Kitamura et al. (2004)

(FOEN 2008)





การเสริมกำลังด้วย Steel Bracing

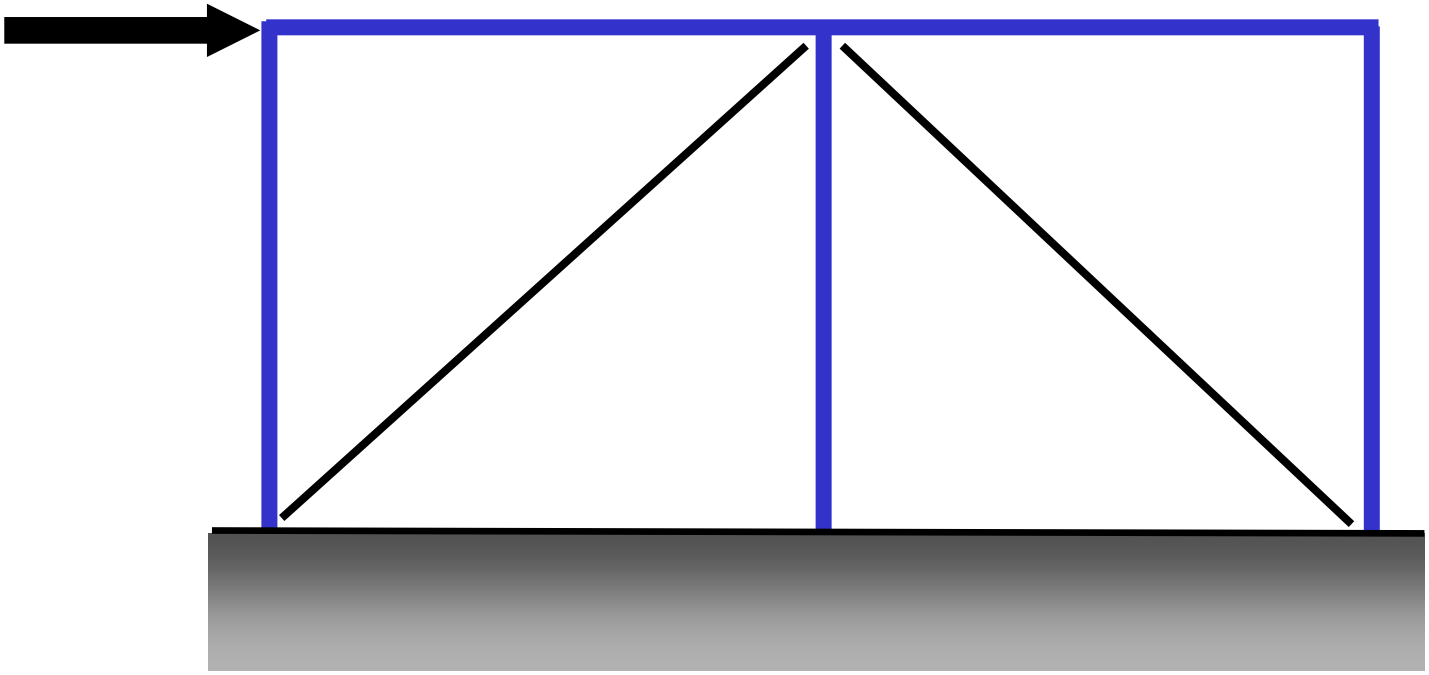
การเสริมกำลังของอาคารโดยรวม

ค้ำยันที่ไม่โก่งเดาะ

(Buckling Restrained Brace, BRB)

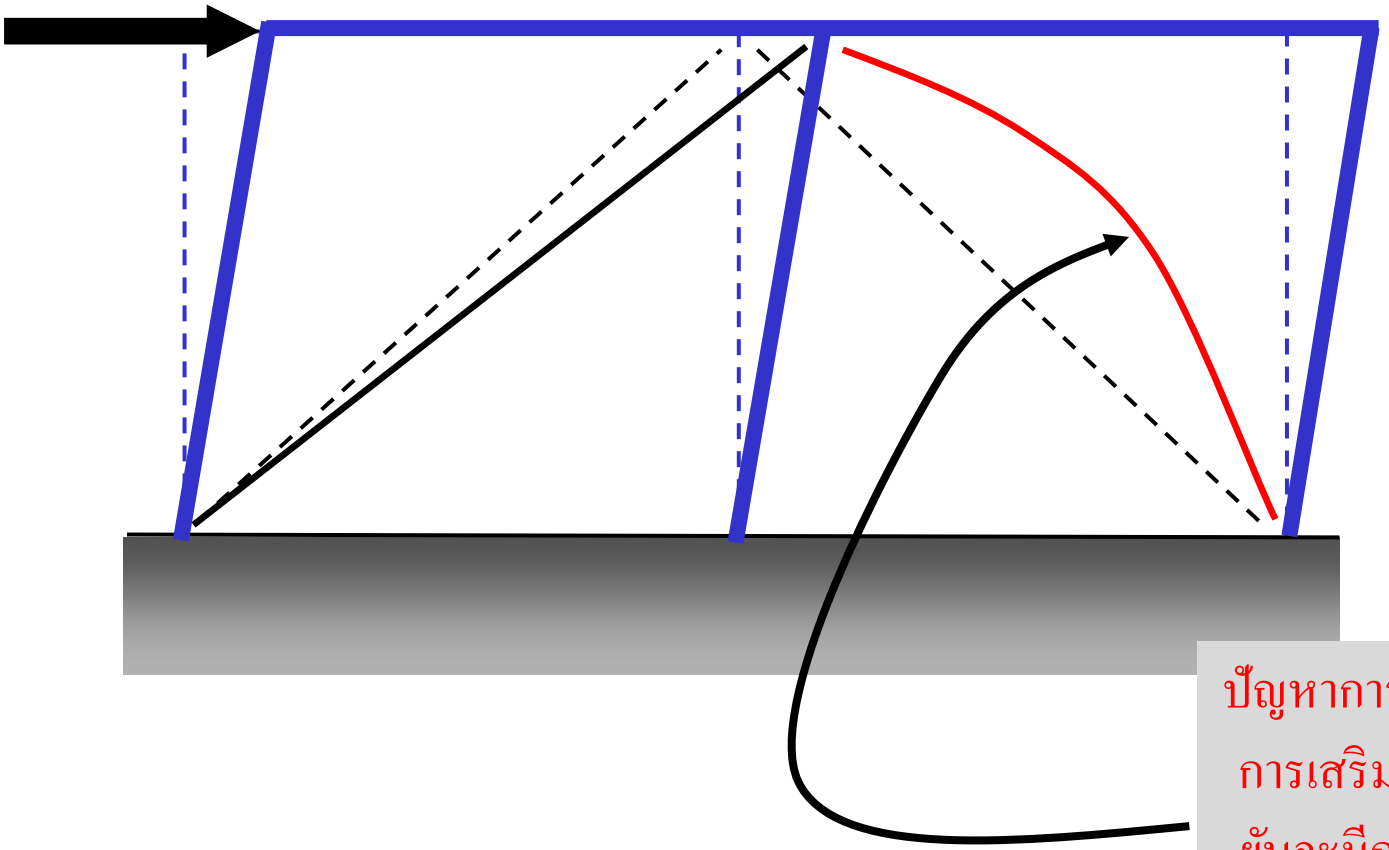
ค้ำยันแบบธรรมดา

Earthquake Force



Brace Buckling

Earthquake Force



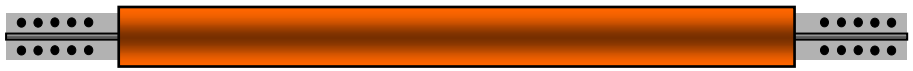
ปัญหาการใช้ค้ำยันในการเสริมกำลังคือค้ำยันจะมีการโก่งเดาะเมื่อรับแรงอัด

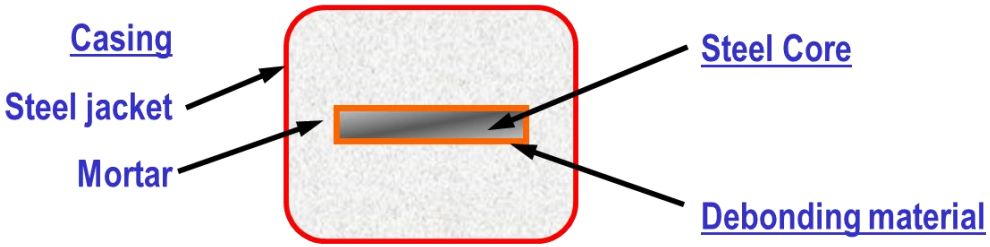
การโก่งเดาะ (Buckling)

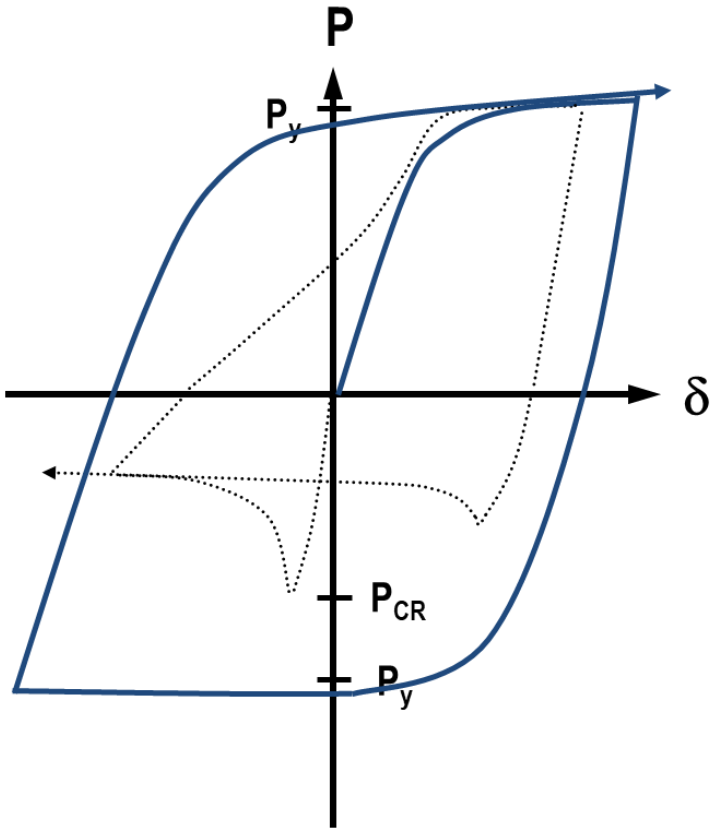
Source: AISC

Concept of BRB

Buckling Restrained Brace





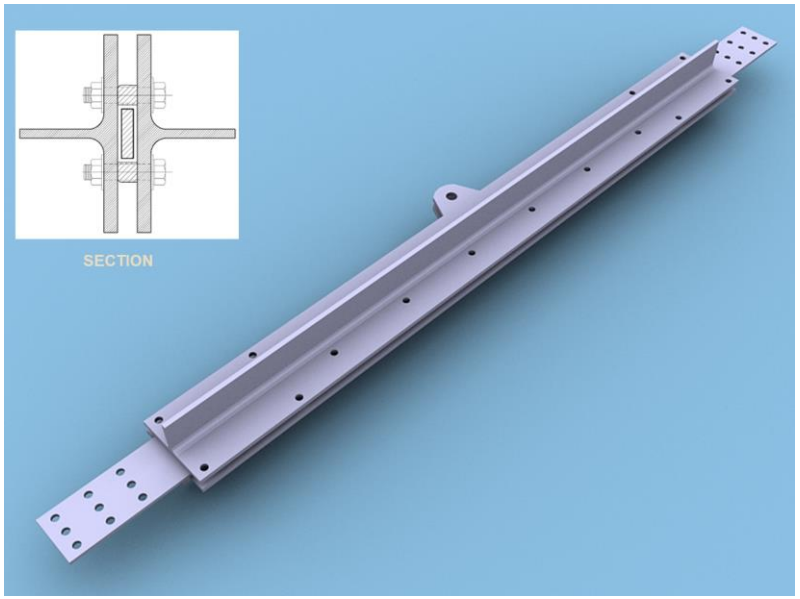


EARTHQUAKE LOAD → RESISTS BY STEEL CORE
MORTAR AND CASING → PREVENT BUCKLING
DEBONDING MATERIAL → ALLOW CORE TO SLIDE INSIDE CASING

Engelhardt and Fahnestock (2019)
AISC

BRB Variation

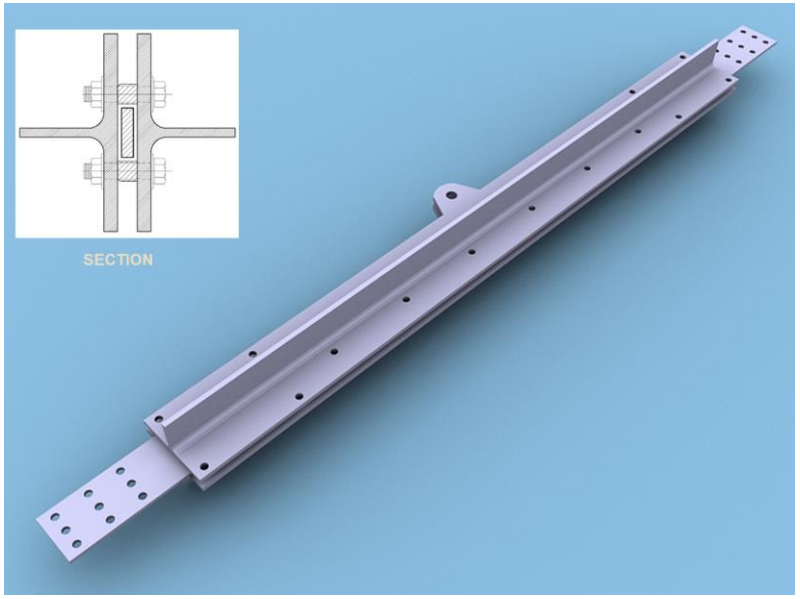
(a) CoreBrace



(b) Nippon Steel

(c) Star Seismic

BRB Variation

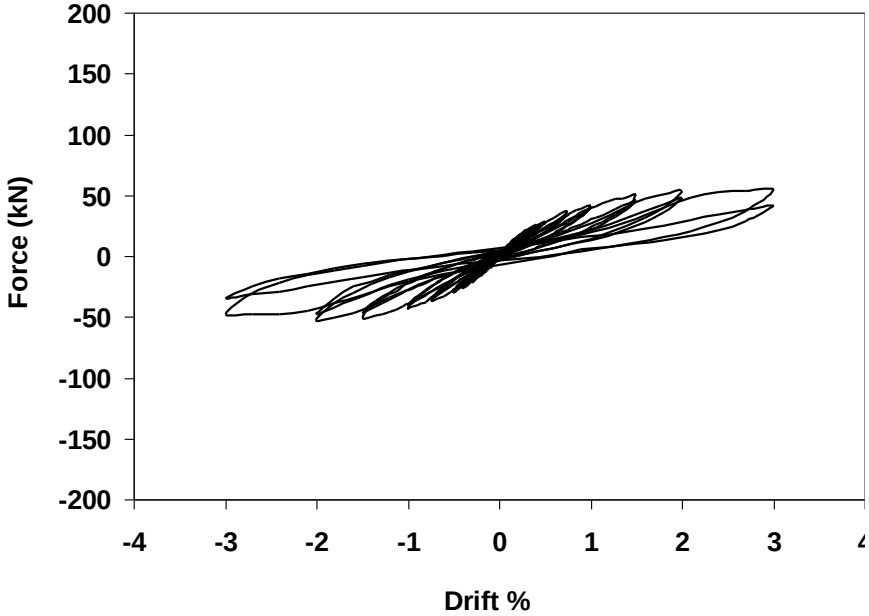


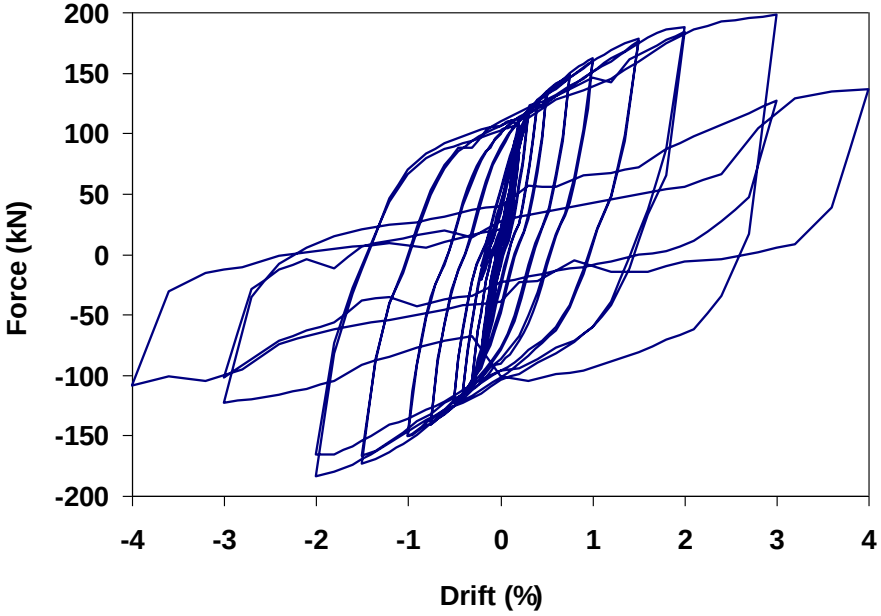
การเสริมกำลังด้วย BRB

4.0% DRIFT

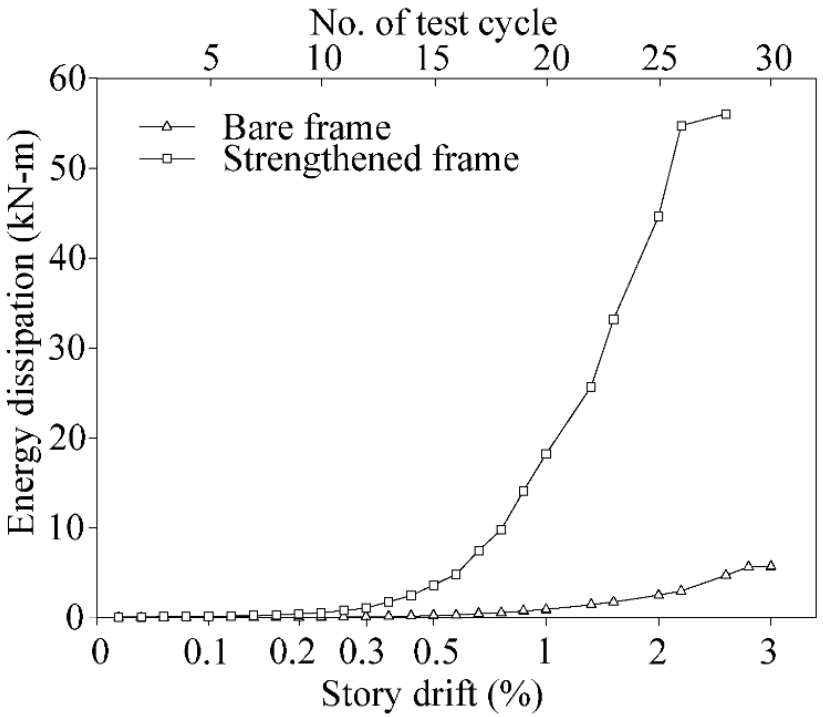
Bare Frame

BRB-RC Frame





Combined RC-BRB System



Khampanit et al. 2014

Zero waste zone

ขอบคุณ