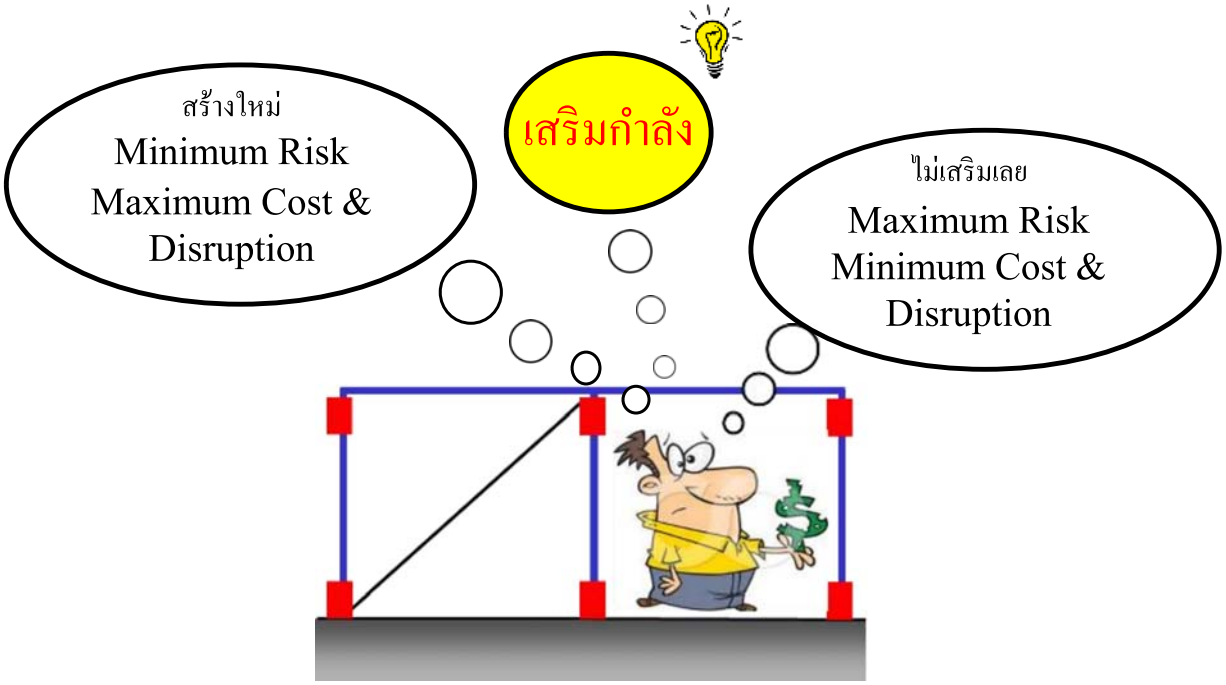
ความรู้เบื้องต้นและข้อพิจารณา

รศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวีวัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อการบรรยาย

- ข้อควรพิจารณา
- ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการเสริมกำลังอาคาร



ความเสี่ยงจากอาคารพังถล่ม

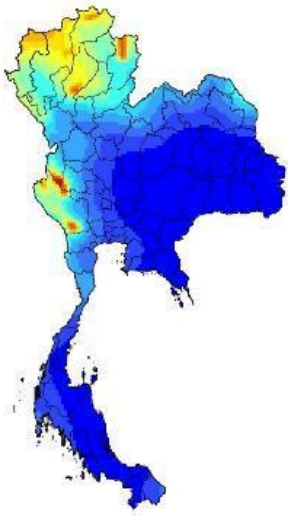
- การพังถล่มของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก นครกาฐมาณฑุ

ความเสี่ยงจากการหยุดใช้อาคาร

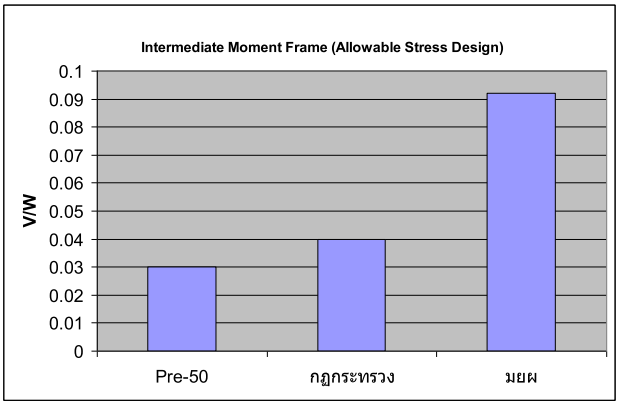
อาคารที่ห้ามการใช้หลังแผ่นดินไหว

ข้อพิจารณา

- ภัยแผ่นดินไหวของพื้นที่ตั้งอาคาร
- ความอ่อนแอของอาคาร
- วิธีการในการลดความเสี่ยง



ประเด็นในการพิจารณา



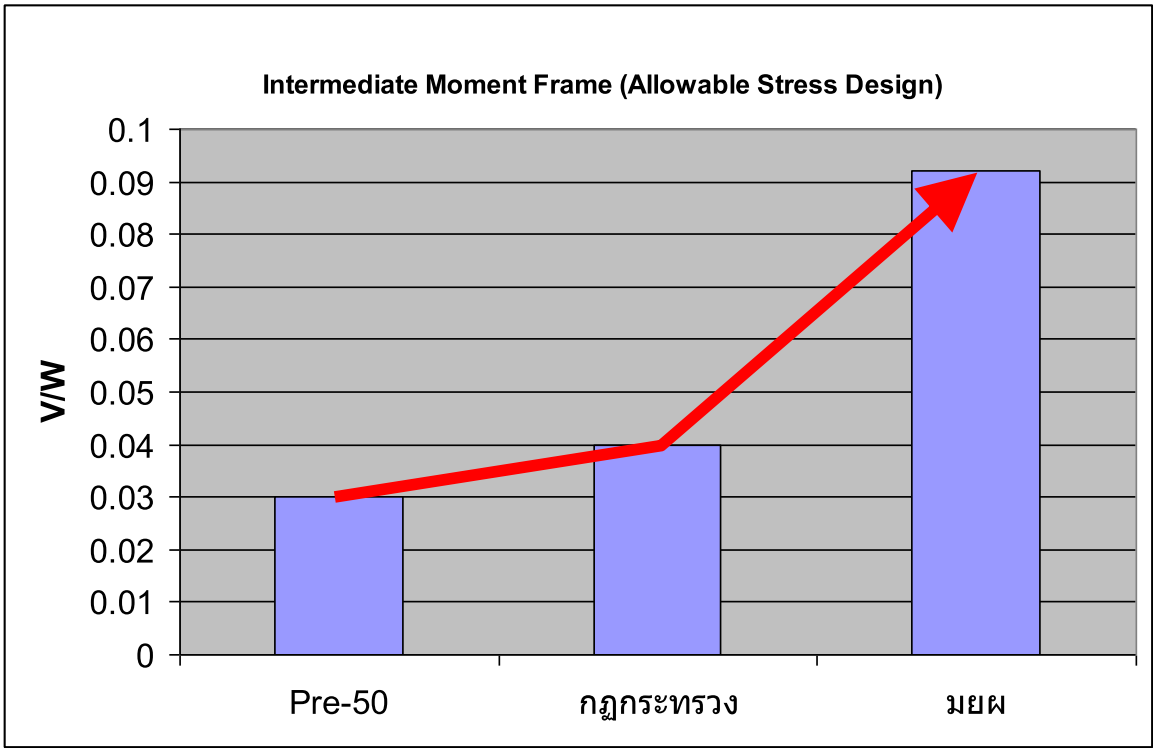
ขนาดโดยประมาณ 10 m x 54 m

นน บรรทุกคงที่โดยประมาณ 700 กก/ตรม

นน หลังคา 60 กก/ตรม

ที่ตั้ง จ.เชียงใหม่ ชั้นดินแข็ง

ประเด็นในการพิจารณา



หน้า ๑๗
เล่ม ๑๒๔ ตอนที่ ๘๖ ก ราชกิจจานุเบกษา ๓๐ พฤศจิกายน ๒๕๕๐

กฎกระทรวง

กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
พ.ศ. ๒๕๕๐

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ และมาตรา ๘ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๔๓ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๕ ประกอบกับมาตรา ๓๒ มาตรา ๓๓ มาตรา ๔๐ มาตรา ๔๒ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

หน้า ๑๗
เล่ม ๑๒๔ ตอนที่ ๘๖ ก ราชกิจจานุเบกษา ๓๐ พฤศจิกายน ๒๕๕๐

กฎกระทรวง

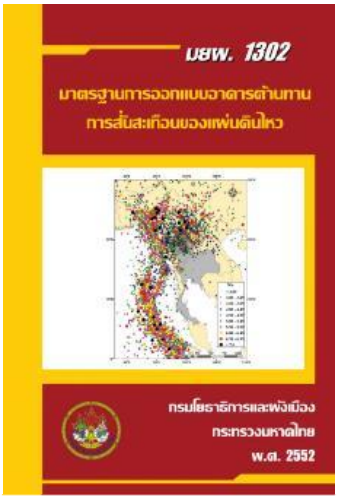
กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
พ.ศ. ๒๕๕๐

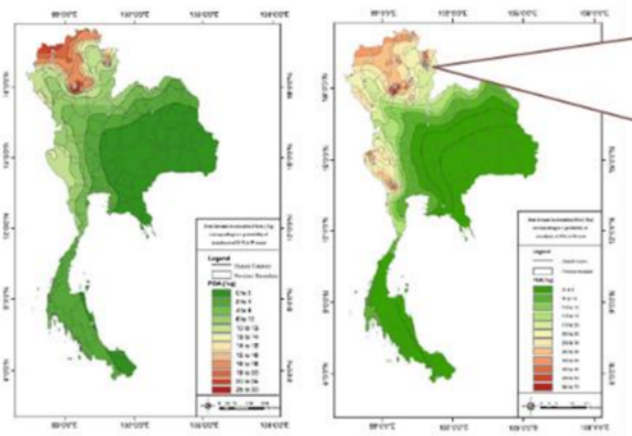
อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ และมาตรา ๘ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๔๓ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๕ ประกอบกับมาตรา ๓๒ มาตรา ๓๓ มาตรา ๔๐ มาตรา ๔๒ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

“บริเวณเฝ้าระวัง” หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพร จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดสงขลา และจังหวัดสุราษฎร์ธานี

“บริเวณที่ ๑” หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนมากที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกล ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร

“บริเวณที่ ๒” หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง และจังหวัดลำพูน

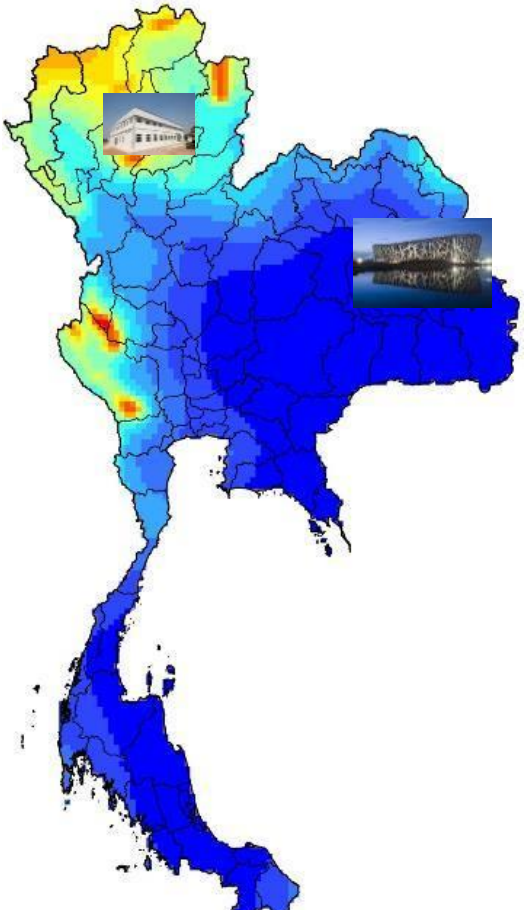




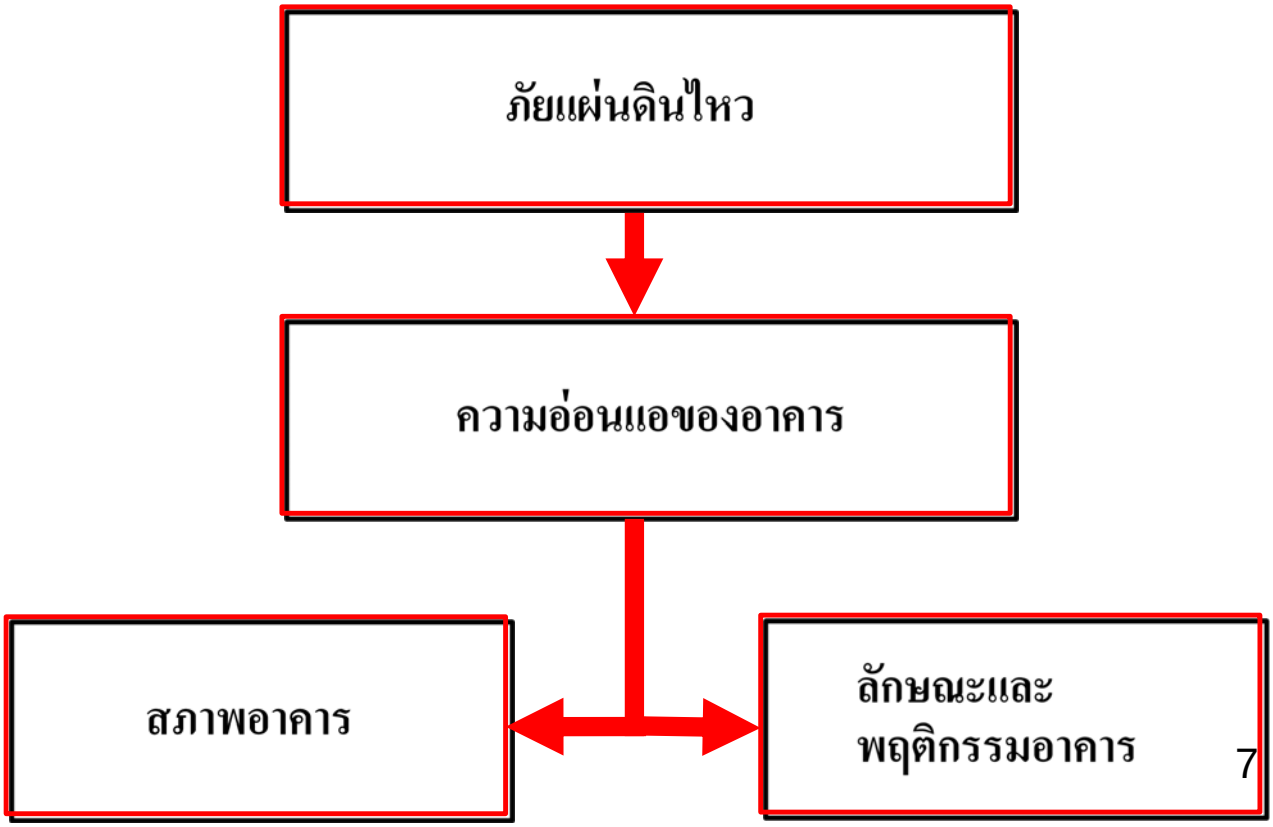
แผนที่เสี่ยงภัยที่แสดงถึงความเร่งผิวดินสูงสุด (peak ground acceleration) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในประเทศไทยสำหรับความน่าจะเป็นที่รุนแรงเกิน (probability of exceedance) เท่ากับ 10% และ 2% ในระยะเวลา 50 ปี

ประเภทการออกแบบ

- ประเภทการออกแบบเป็นตัวกำหนดระดับภัยแผ่นดินไหว
  - ก ภัยแผ่นดินไหวต่ำ
  - ข ค ภัยแผ่นดินไหวรุนแรงน้อยถึงปานกลาง
  - ง ภัยแผ่นดินไหวรุนแรง



ข้อพิจารณาในการเสริมกำลัง

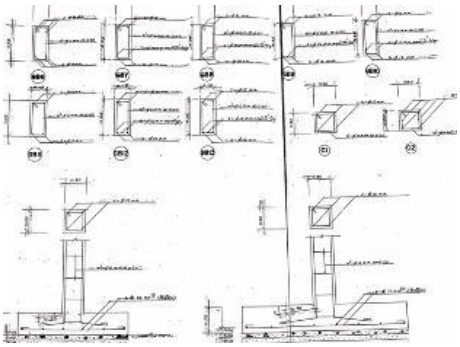


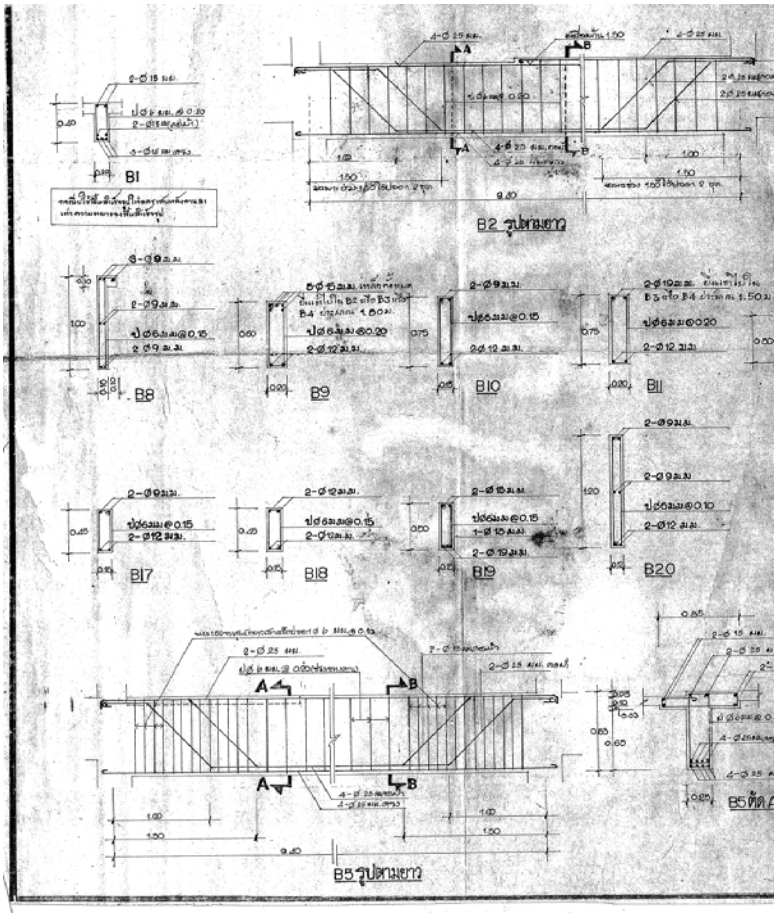
สภาพอาคารและการรวบรวมข้อมูลอาคาร

- แบบก่อสร้างอาคาร
- ประวัติการก่อสร้างอาคาร
- การตรวจสอบข้อมูลจากหน้างาน
- การสำรวจด้วยวิธีพินิจ (Visual Inspection)

สภาพอาคารและการรวบรวมข้อมูลอาคาร

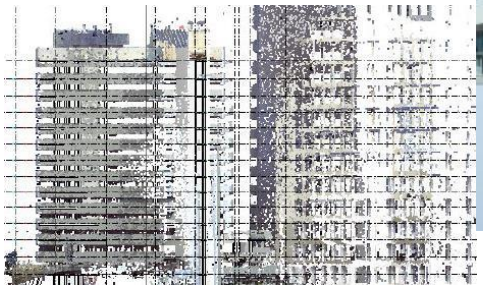
- แบบก่อสร้างอาคาร





การรวบรวมข้อมูลอาคาร

การตรวจสอบข้อมูลจากหน้างานด้วยเทคโนโลยี Laser Scanning



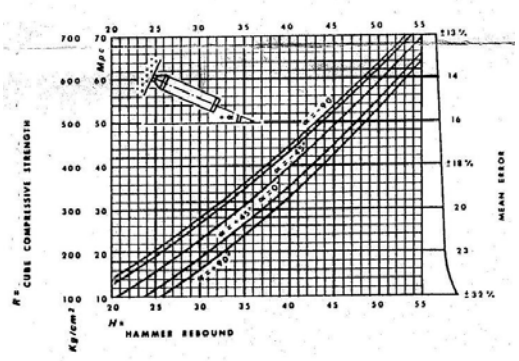
การรวบรวมข้อมูลอาคาร

การตรวจสอบสภาพด้วยวิธีพินิจ

การทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตด้วย REBOUND HAMMER

เป็นการตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายที่อยู่ในองค์อาคารจริง การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแบบไม่ทำลายที่ใช้คือ การทดสอบ rebound hammer test

ในการสำรวจนี้จะสุ่มเลือกตำแหน่งทดสอบโครงสร้างคาน เสา และผนังคอนกรีต ในแต่ละตำแหน่งที่ทดสอบจะทดสอบอย่างน้อย 10 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของคอนกรีต ค่าสะท้อนที่ได้ในการทดสอบที่มุมต่างกันค่าจะสามารถนำมาหาค่ากำลังอัดจากตาราง

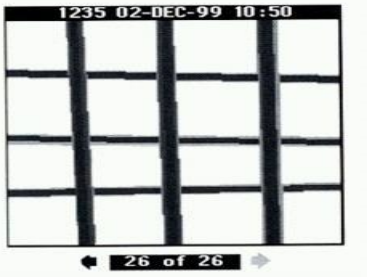


การทดสอบแบบ Core Drilling

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตโดยการเจาะแก่นของคอนกรีต (Core Test) จะทำการเจาะแก่นคอนกรีตด้วยเครื่องมือกลโดยจะทำการสุ่มเจาะก้อนตัวอย่างจากบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ ก้อนตัวอย่างที่ได้นั้นจะถูกนำไปทดสอบแรงกดในห้องปฏิบัติการ

การสำรวจเหล็กเสริมด้วยวิธี FERROSCAN

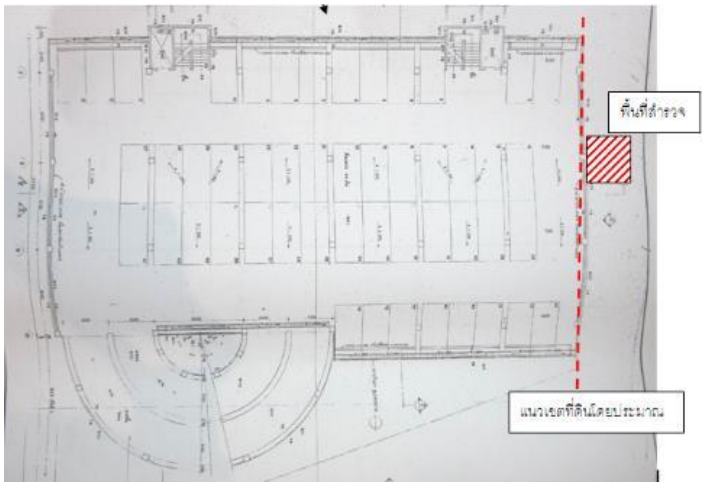
การตรวจสอบด้วยเครื่องมือแบบ ferroscan เป็นตรวจสอบเพื่อหาตำแหน่ง ขนาด และจำนวนเหล็กเสริม ของโครงสร้าง การตรวจสอบวิธีนี้เป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (non-destructive test) และไม่มีผลเสียหายต่อโครงสร้าง สามารถทำการตรวจสอบได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ได้ผลการทดสอบค่อนข้างชัดเจนโดยเฉพาะตำแหน่งและจำนวนของเหล็กเสริม



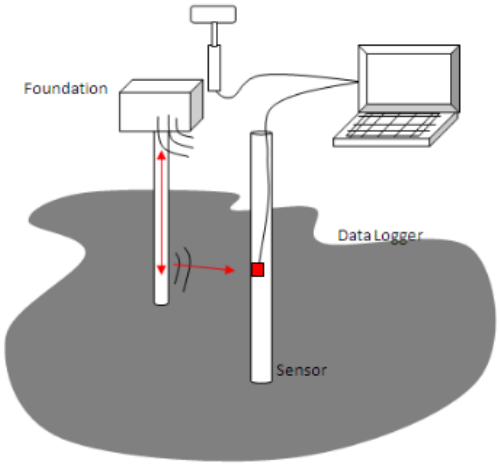
การเจาะสำรวจดิน

การเจาะสำรวจดินส่วนจะใช้วิธี Boring คือใช้แท่งเหล็กที่เป็นสว่านหรือตัวกระทุ้งกวนดินและใช้น้ำเป็นตัวพาเอาดินขึ้นมาจากหลุมเจาะ

เมื่อได้ดินตัวอย่างแล้วจะนำเข้าห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน เช่น ความชื้นของดิน (water content), ขีดจำกัดเหลว (liquid limit), ขีดจำกัดพลาสติก (plastic limit), หน่วยน้ำหนัก (unit weight) จำแนกชนิดของดิน และหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน



การตรวจสอบความยาวเสาเข็มด้วยวิธี PARALLEL SEISMIC TEST

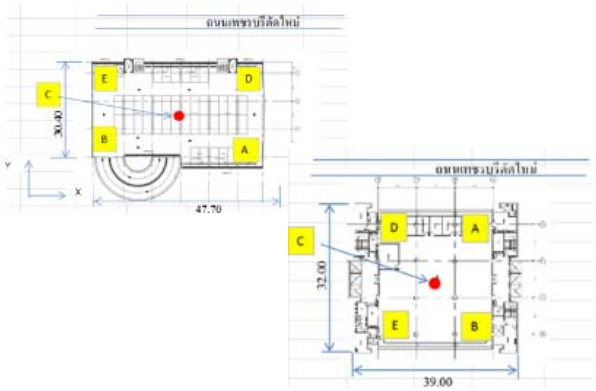


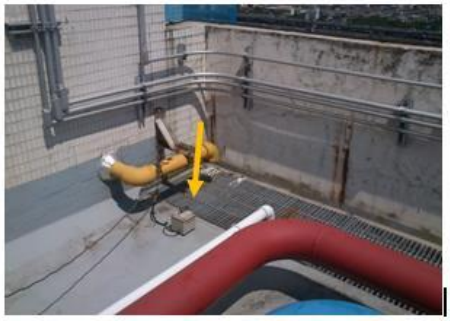
การทดสอบ Parallel Seismic Test เป็นการทดสอบหาความยาวเสาเข็ม ด้วยการส่งผ่านคลื่นลงไปในฐานรากและเสาเข็มโดยใช้ค้อนกระแทกที่ด้านบนของฐานรากเพื่อให้กำเนิดคลื่น คลื่นที่เคลื่อนไปจะถูกส่งผ่านไปยังตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะถูกหย่อนลงไปภายในท่อที่ถูกทิ้งไว้ข้างเสาเข็มที่ทดสอบ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปประกอบกับข้อมูลการเจาะสำรวจสภาพของชั้นดินที่อยู่ในบริเวณฐานรากร่วมกับการขุดสำรวจฐานราก การทดสอบ Parallel Seismic Test เป็นการทดสอบหาความยาวเสาเข็ม ด้วยการส่งผ่านคลื่นลงไปในฐานรากและเสาเข็มโดยใช้ค้อนกระแทกที่ด้านบนของฐานรากเพื่อให้กำเนิดคลื่น คลื่นที่เคลื่อนไปจะถูกส่งผ่านไปยังตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะถูกหย่อนลงไปภายในท่อที่ถูกทิ้งไว้ข้างเสาเข็มที่ทดสอบ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปประกอบกับข้อมูลการเจาะสำรวจสภาพของชั้นดินที่อยู่ในบริเวณฐานรากร่วมกับการขุดสำรวจฐานราก

การสำรวจขอบเขตฐานรากด้วยวิธี GROUND PENETRATING RADAR

คลื่นเรดาร์ Radar เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง ซึ่งมีความสามารถในการเคลื่อนที่ผ่านวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงได้ดี เมื่อคลื่นเรดาร์เคลื่อนที่ในวัสดุและผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุ พลังงานบางส่วนของคลื่นจะเกินการสะท้องกลับไปยัง sensor ขนาดของพลังงานที่สะท้อนกลับขึ้นอยู่กับความแตกต่างของค่า “Dielectric” ของวัสดุโดยหากค่า Dielectric ของวัสดุแตกต่างกันมากขนาดของสัญญาณสะท้อนจะมากเช่นกัน จึงสามารถใช้งานในการสำรวจหาตำแหน่งของเหล็กเสริมในคอนกรีต และข้อบกพร่องในองค์อาคาร

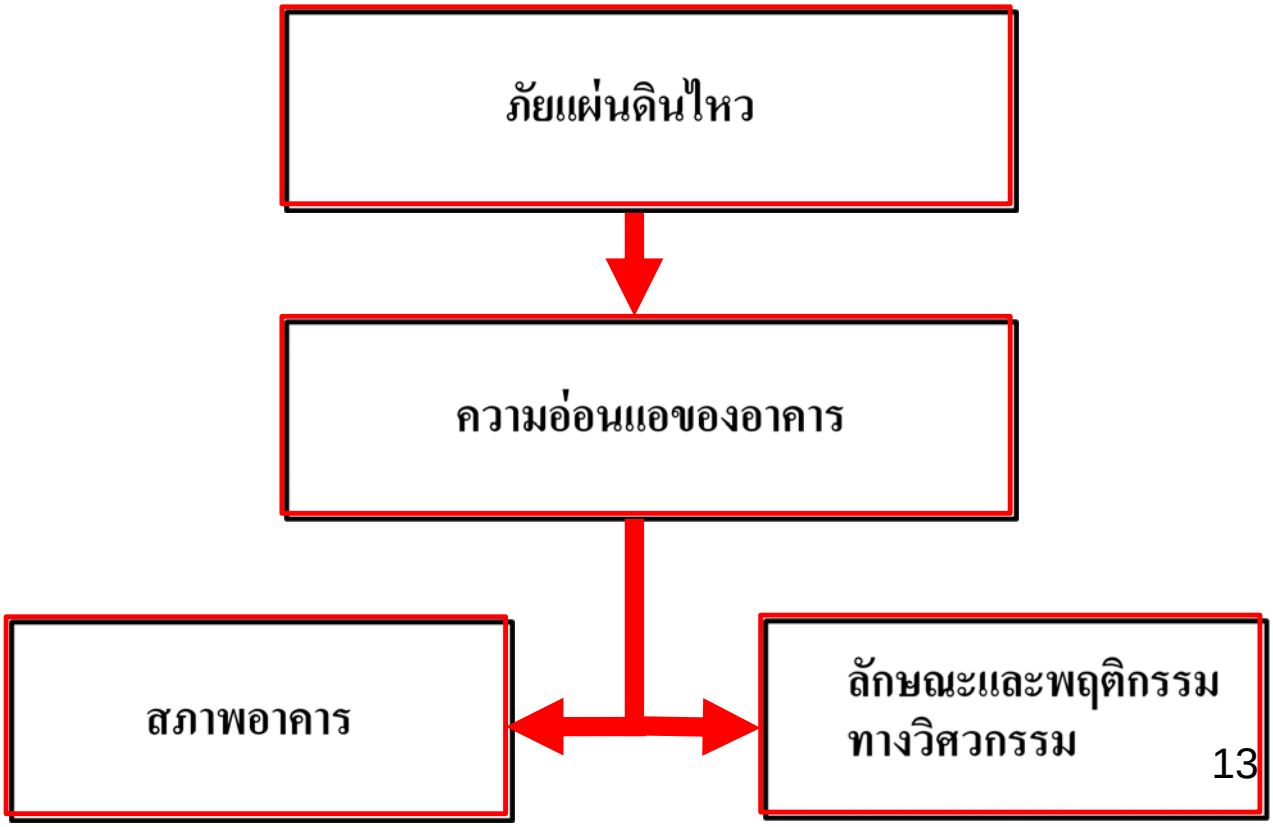
การตรวจสอบความถี่ธรรมชาติของการสั่นไหวของอาคาร ด้วยการตรวจวัด





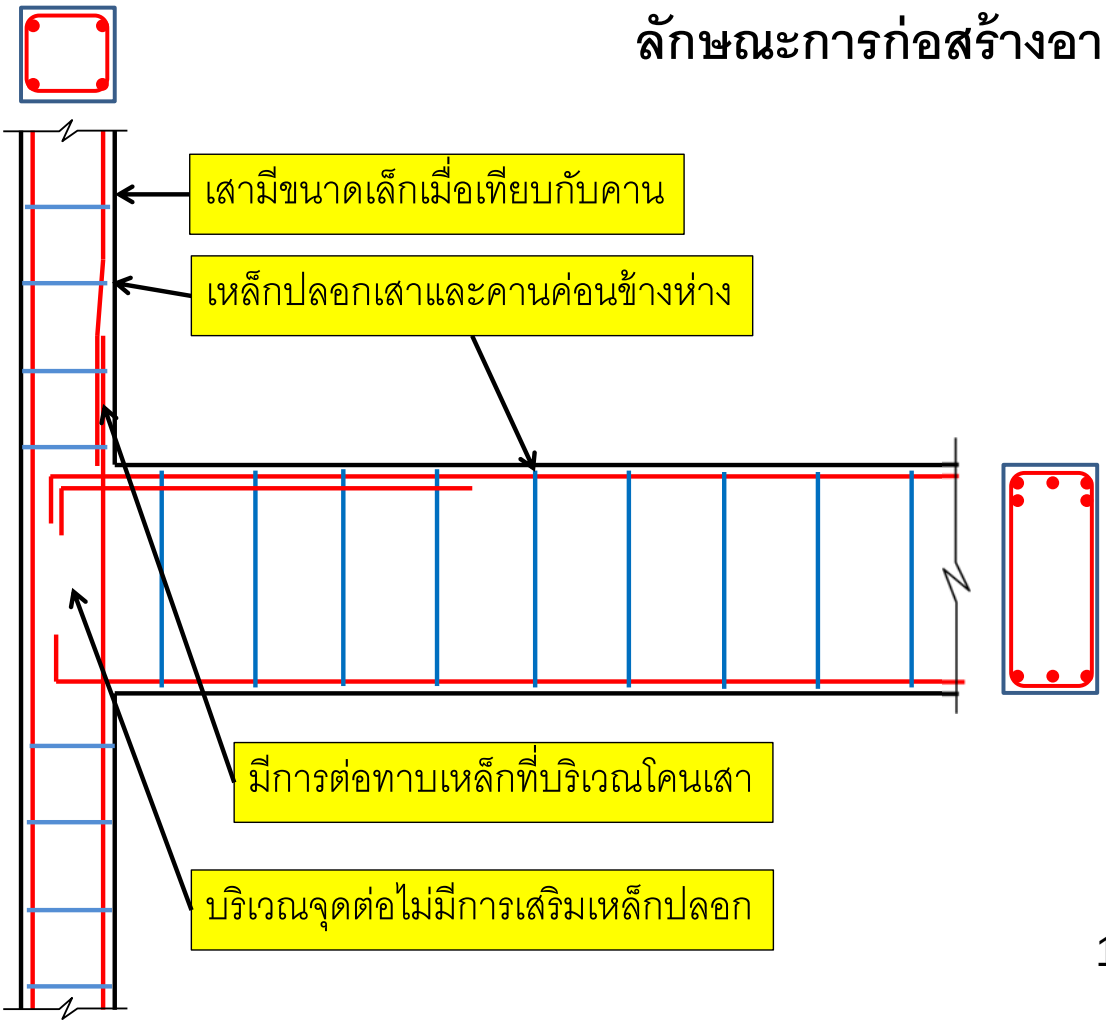
ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) และรูปแบบการสั่นไหว (Mode Shape)ของอาคาร เป็นคุณสมบัติทางพลศาสตร์ที่สำคัญของอาคารที่ส่งผลกับผลตอบสนองของอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหวในการตรวจวัดค่า ความถี่ธรรมชาติ และการหารูปแบบการสั่นไหว (Mode Shape) ของอาคาร จะทำการวางหัววัด ที่จุดสูงสุดของอาคาร โดยแต่ละหัววัดสามารถวัดค่าความเร็วได้ทั้งทิศทาง x และ y จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปทำการคำนวณเป็นค่าความถี่ในการสั่นไหว ค่าความถี่ในการสั่นไหวที่เด่นที่สุดจากสัญญาณการสั่นไหวที่บันทึกได้จะเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ

ข้อพิจารณาในการเสริมกำลัง



- รูปร่างรูปทรงไม่เหมาะสม
- การก่อสร้างและเสริมเหล็กมีลักษณะเพื่อรับแรงในแนวดิ่ง (Gravity Load Designed)
- อัตราส่วนแรงด้านข้างจากแผ่นดินไหวต่อน้ำหนักอาคาร มีค่าสูง โดยเฉพาะในบริเวณที่อยู่ใกล้รอยเลื่อน
- การออกแบบจะพิจารณาเฉพาะส่วนที่เป็นโครงสร้าง โดยไม่พิจารณาถึงอิทธิพลของผนังก่อ

ลักษณะการก่อสร้างอาคาร



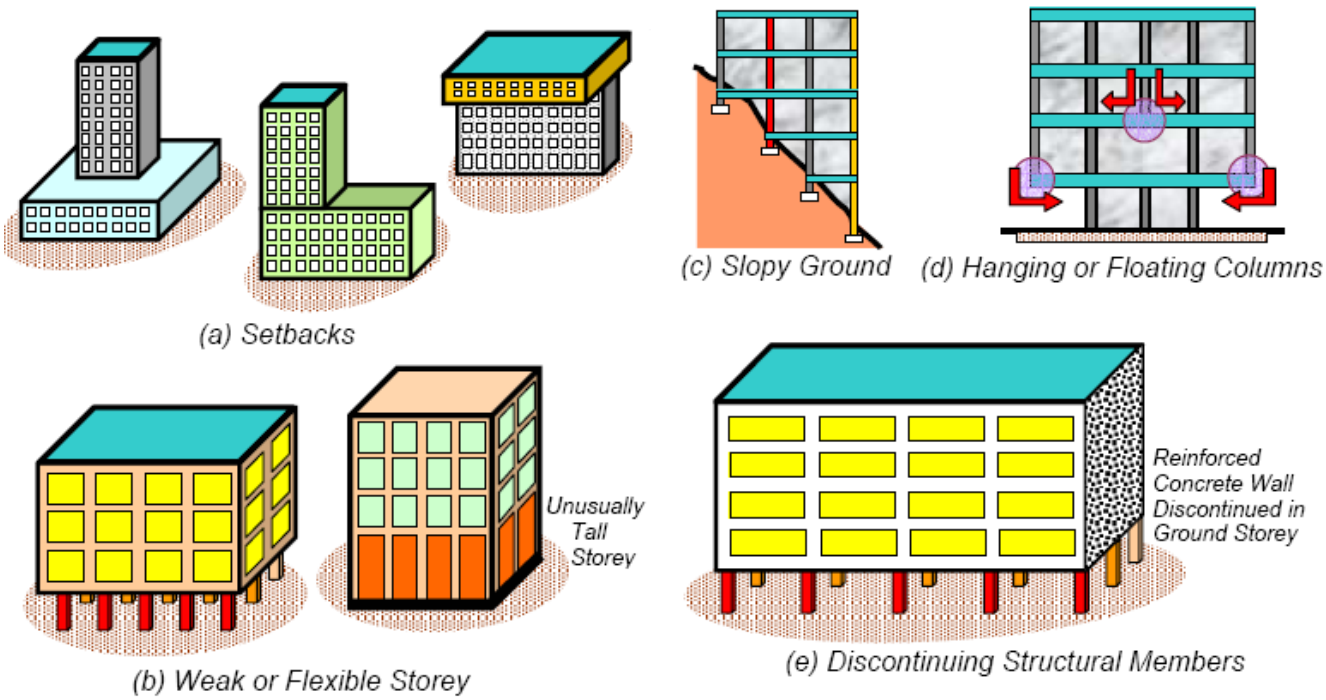
Good Configuration

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."

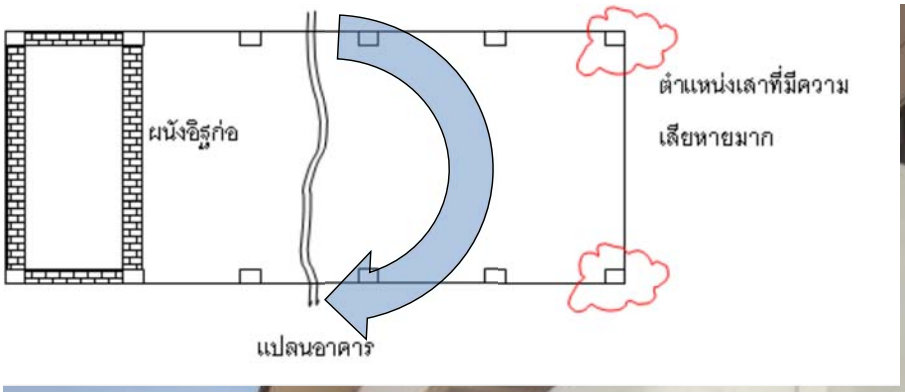
Henry Degenkolb

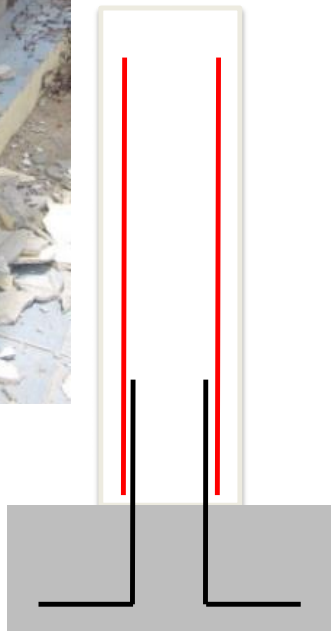
รูปร่างรูปทรงที่ไม่เหมาะสม

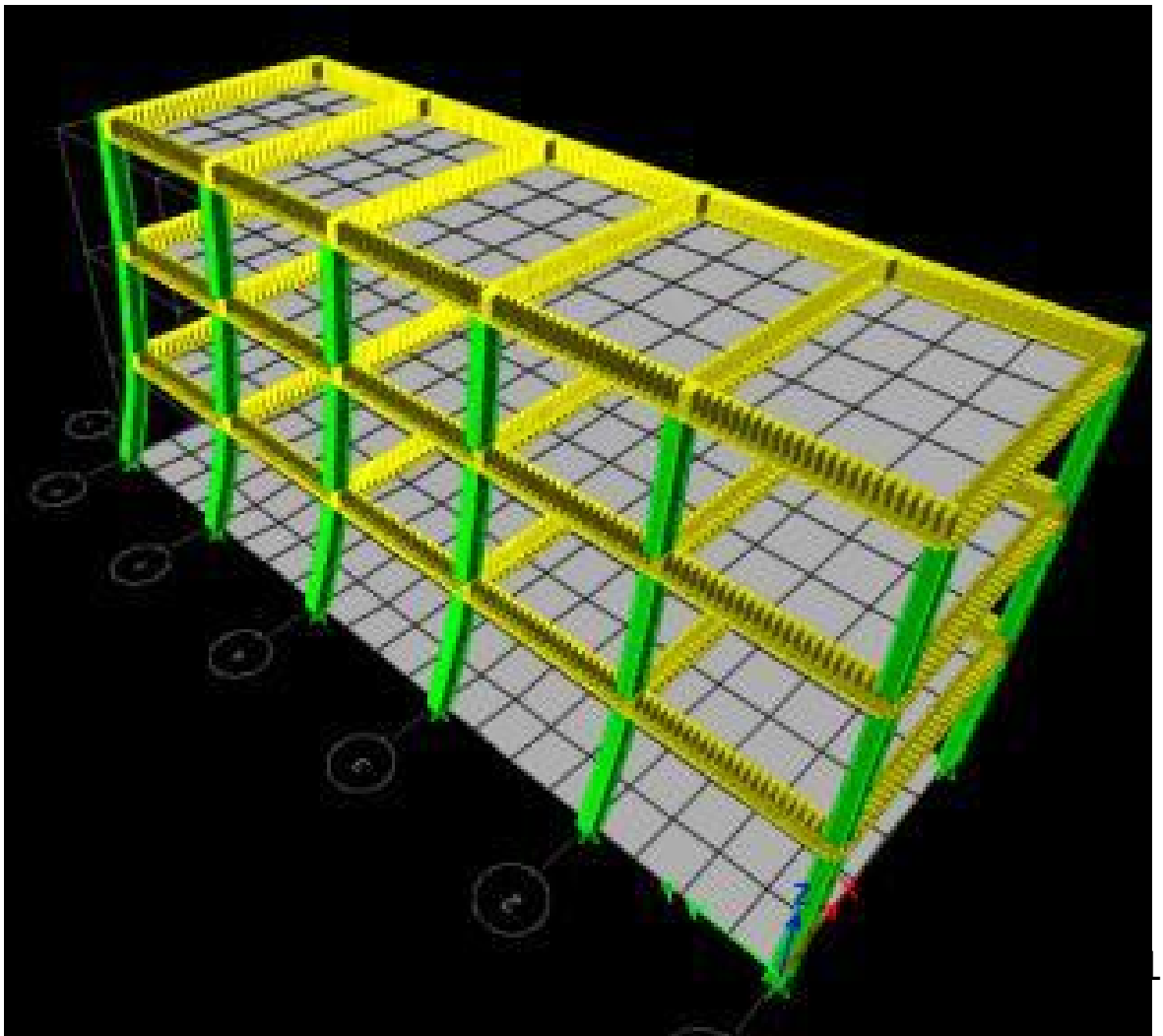


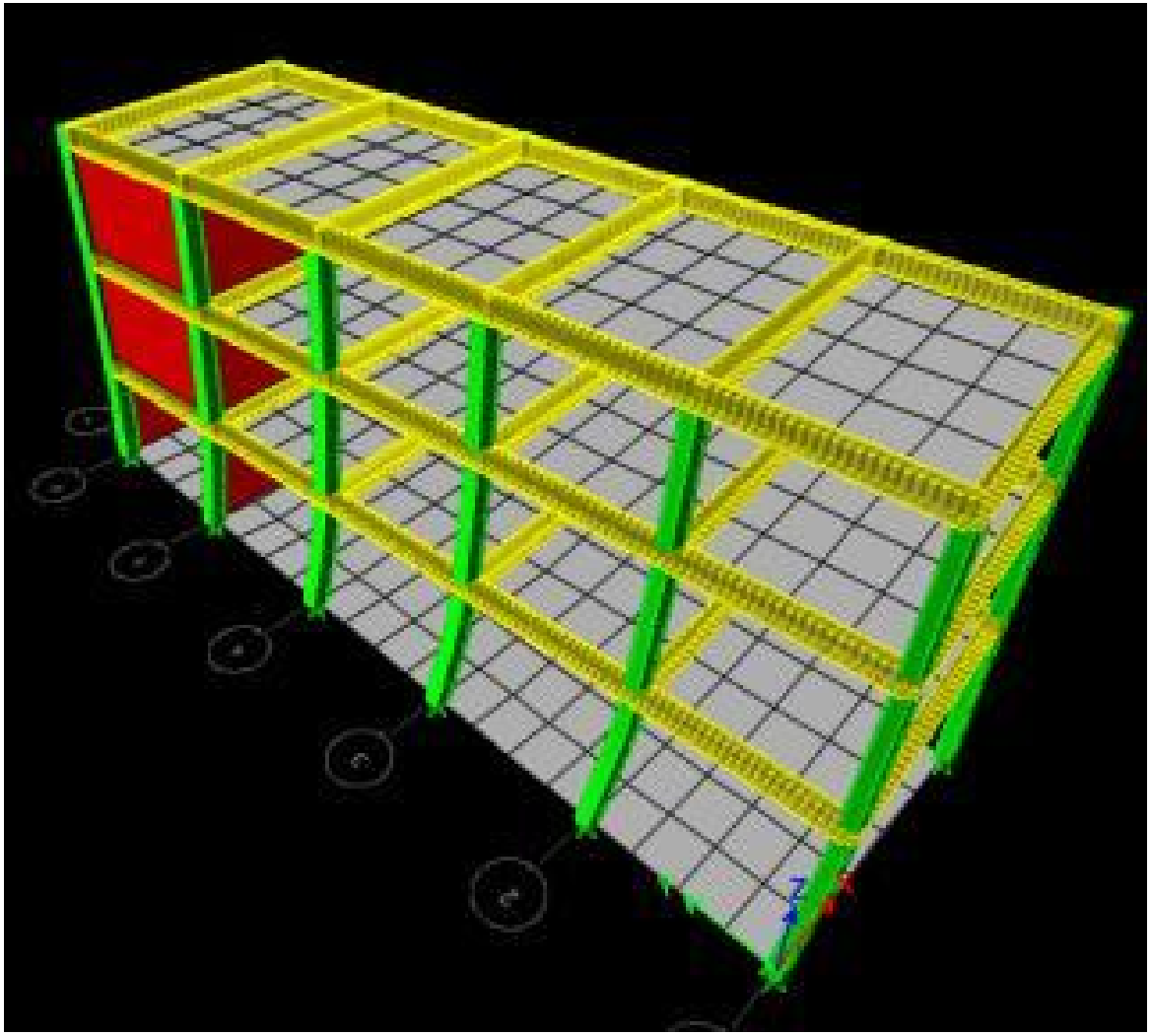
Picture Credit: C.V.R. Murty, IIT Kanpur, Earthquake Tip Series

อาคารตัวอย่างที่ 1



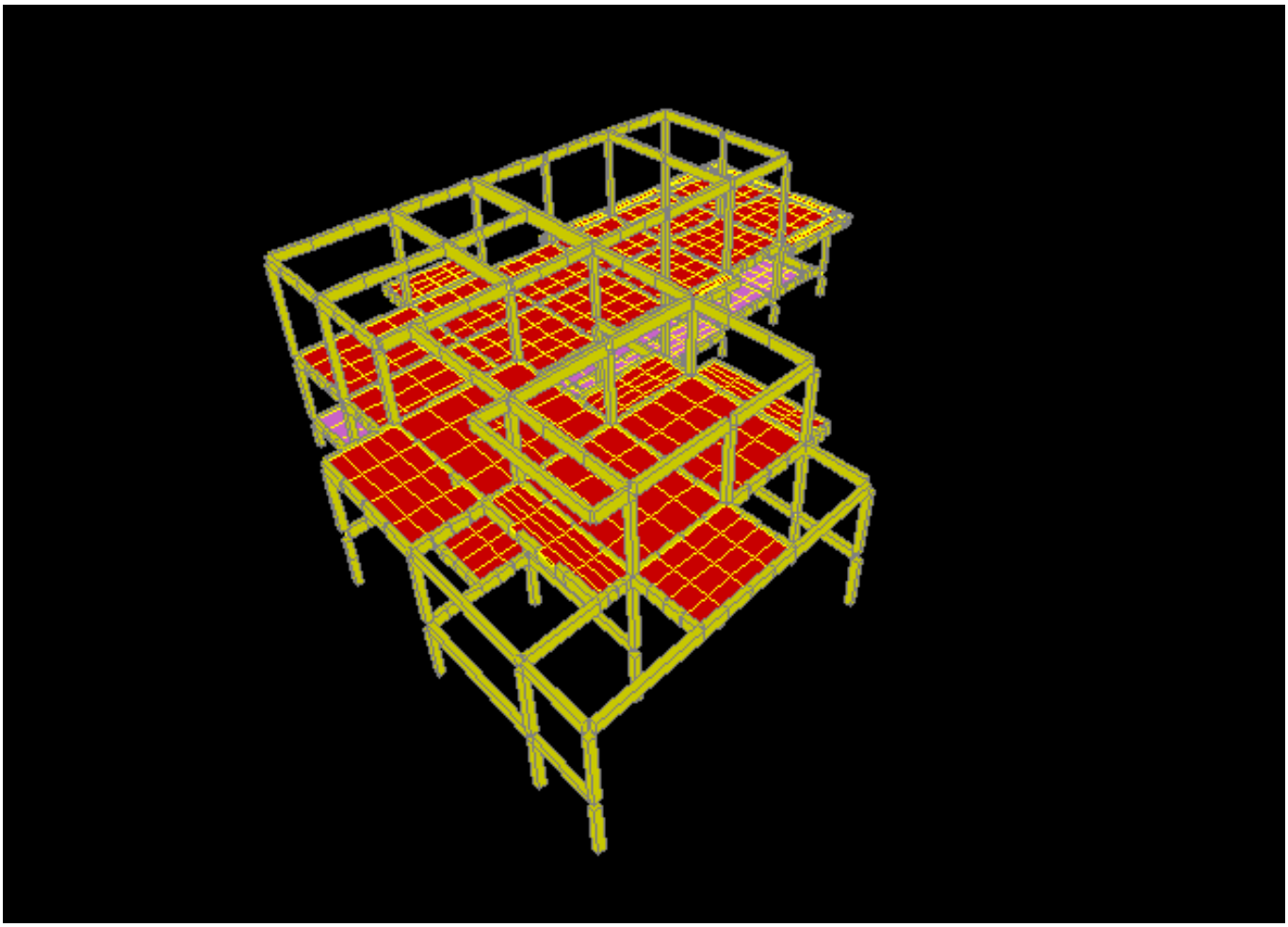






อาคารตัวอย่างที่ 2
17/05/2014

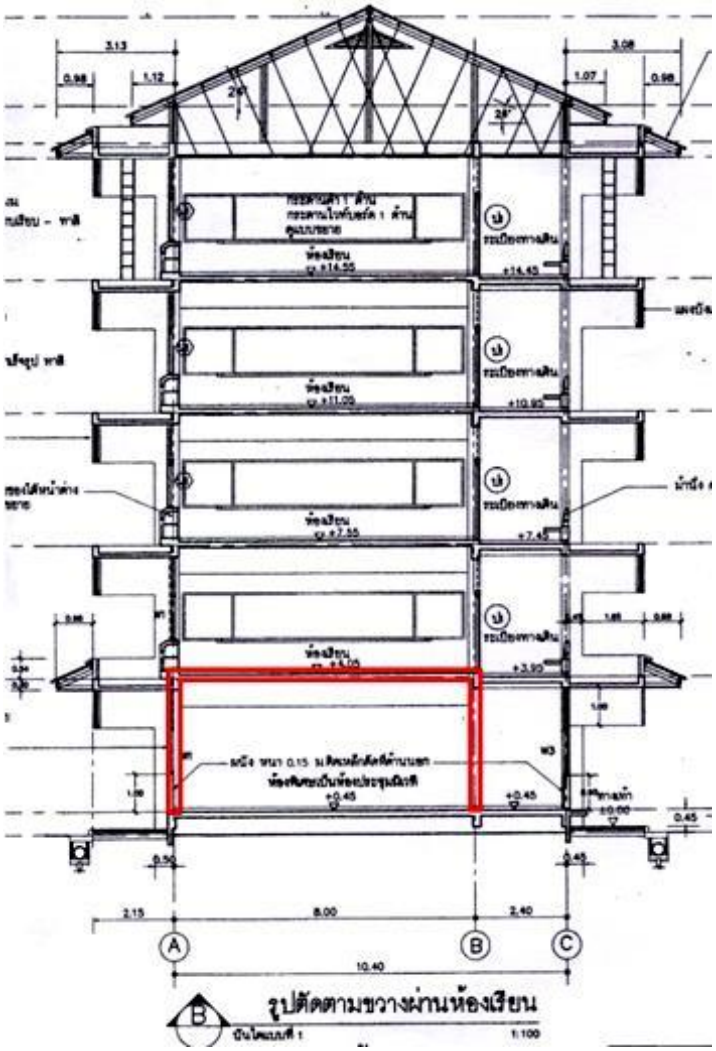
17/05/2014

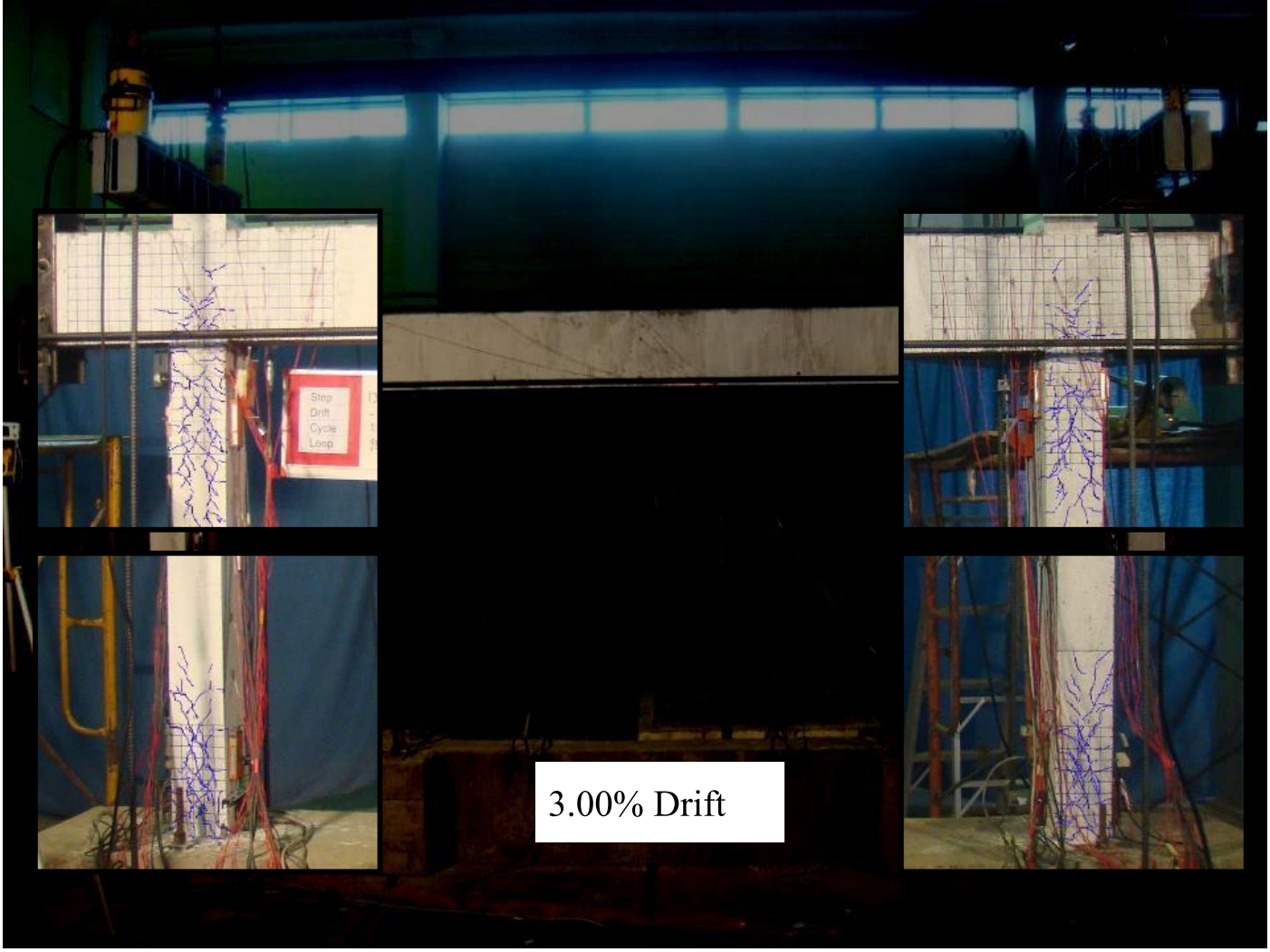


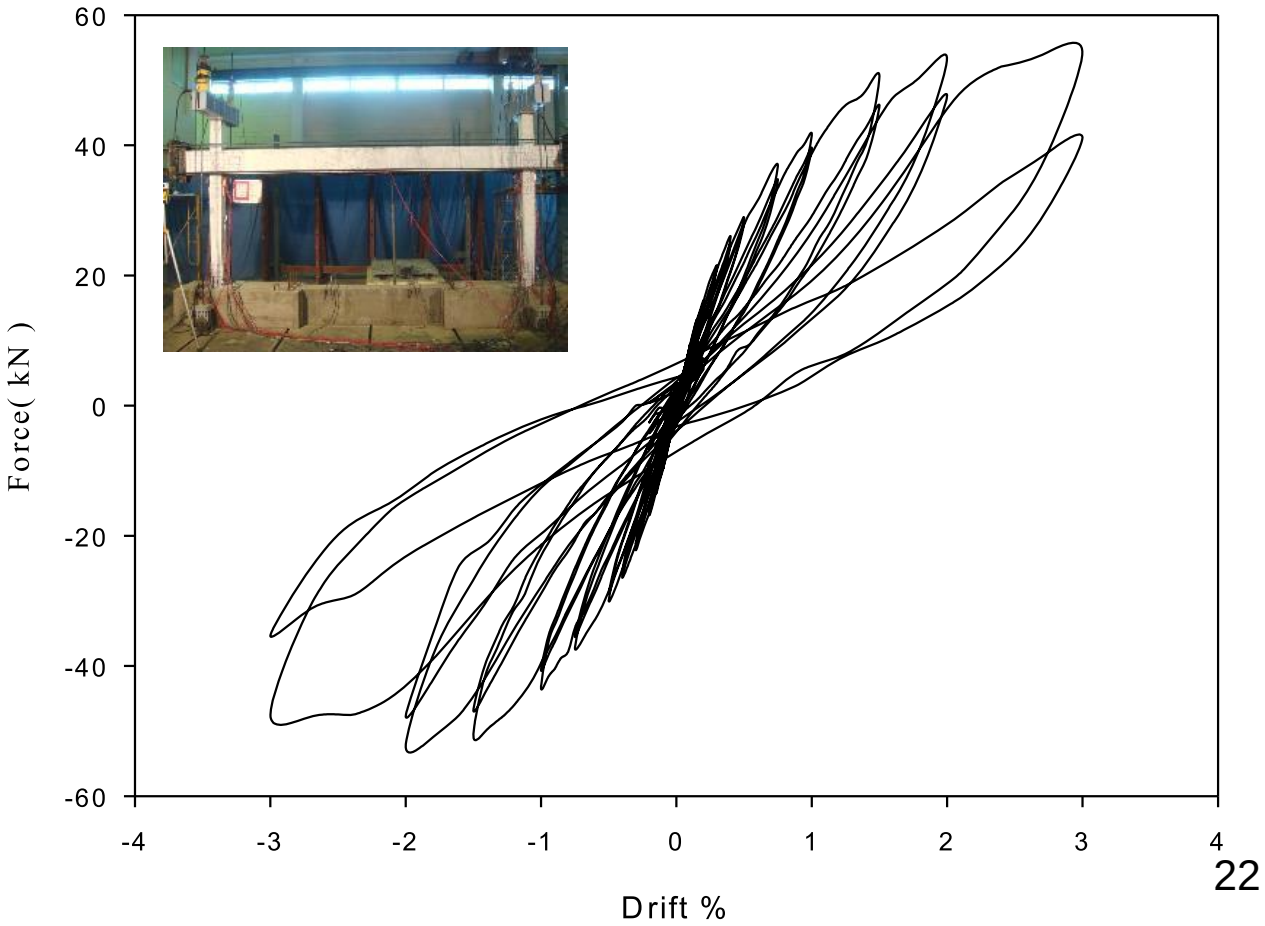
17/05/2014

17/05/2014

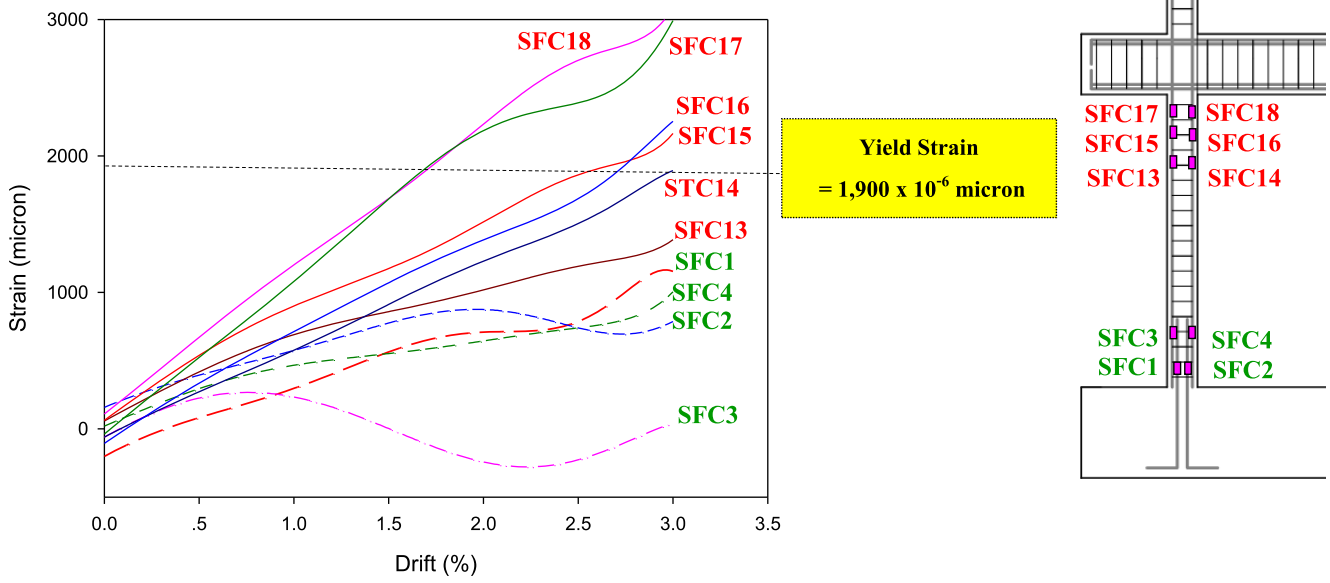
อาคารตัวอย่างที่ 3



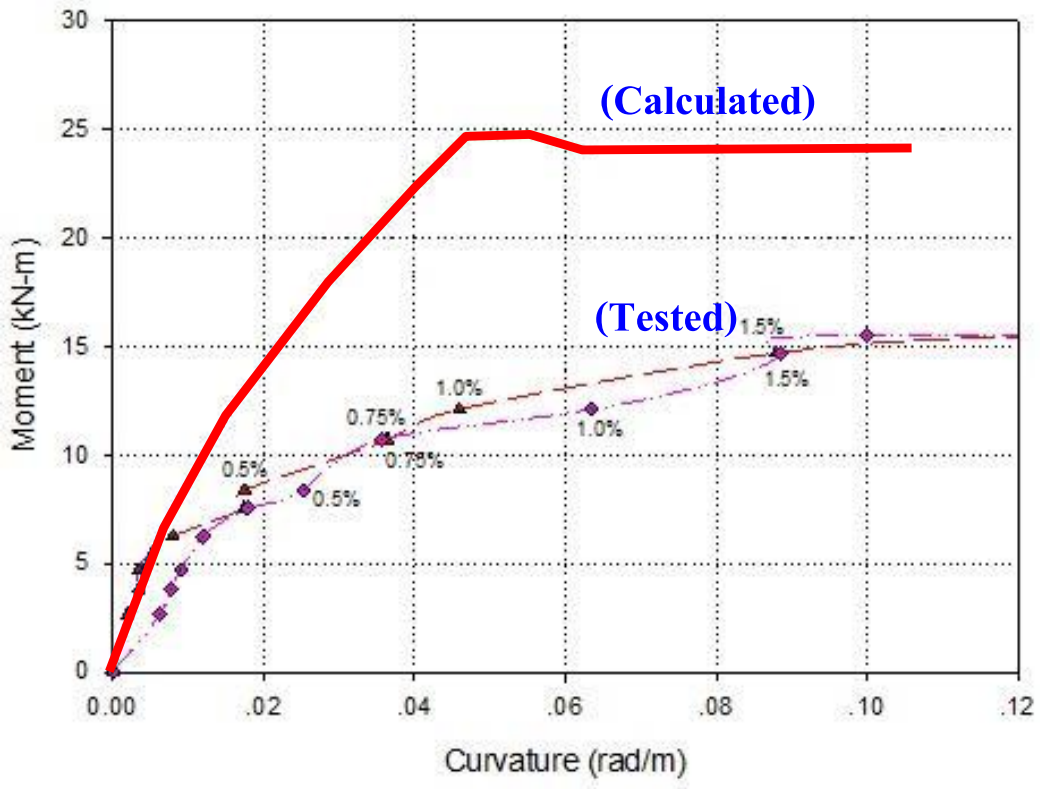

3.00% Drift

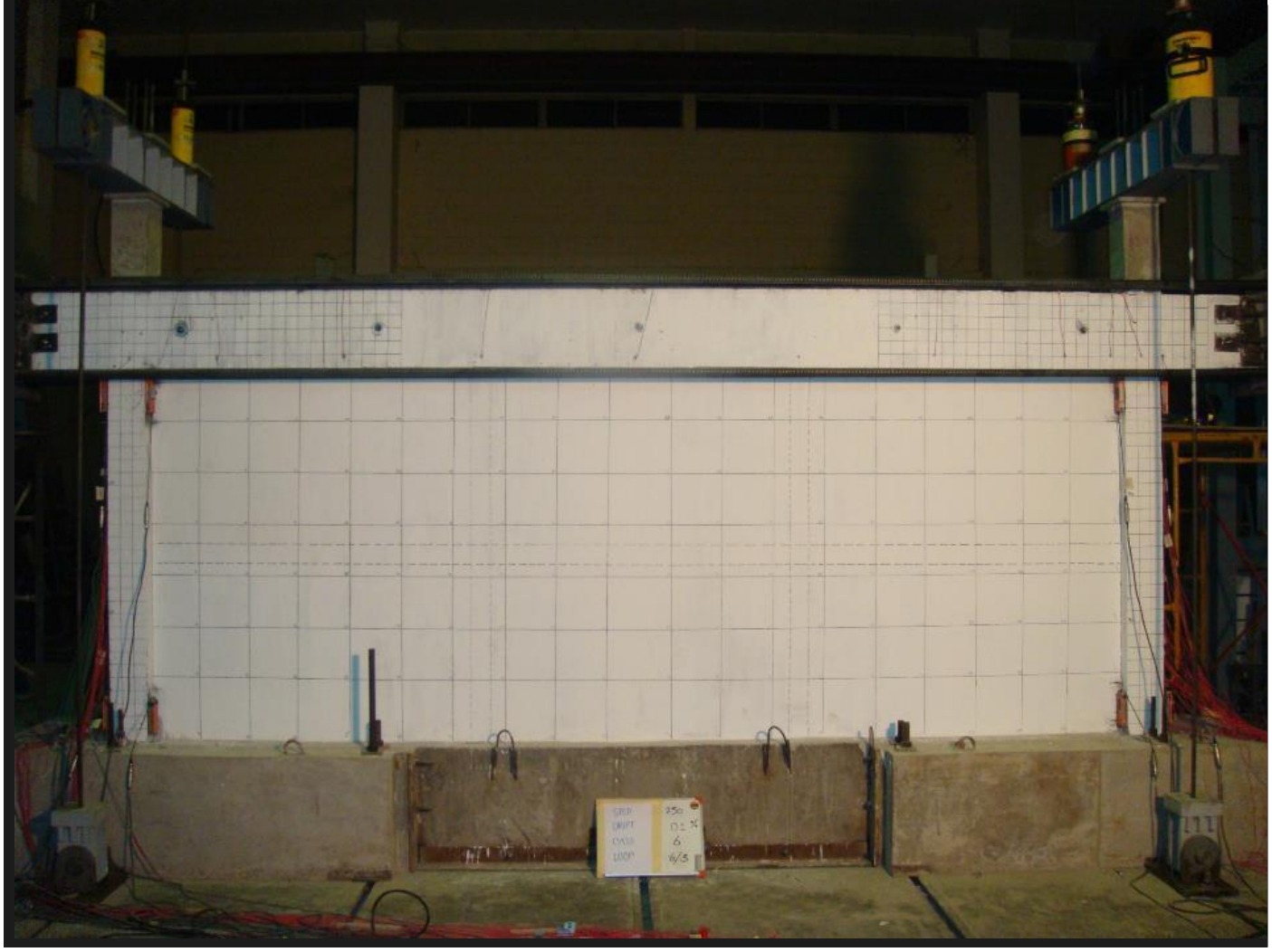

60
40
20
0
-20
-40
-60
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
Force(kN)
Drift %

พฤติกรรมของเหล็กเสริมตามยาว

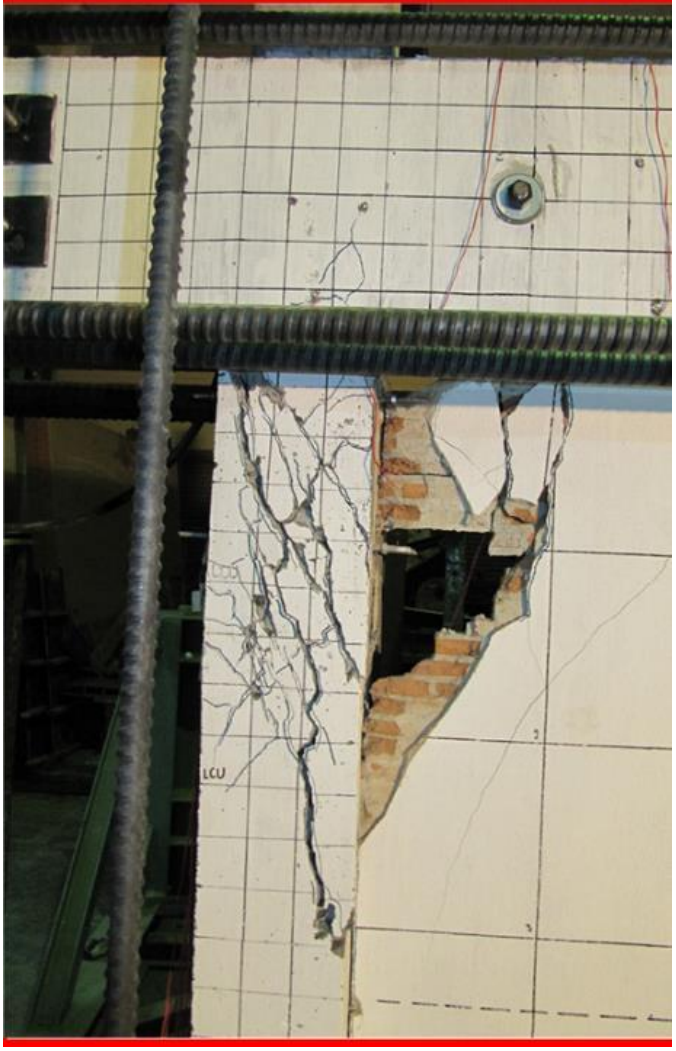


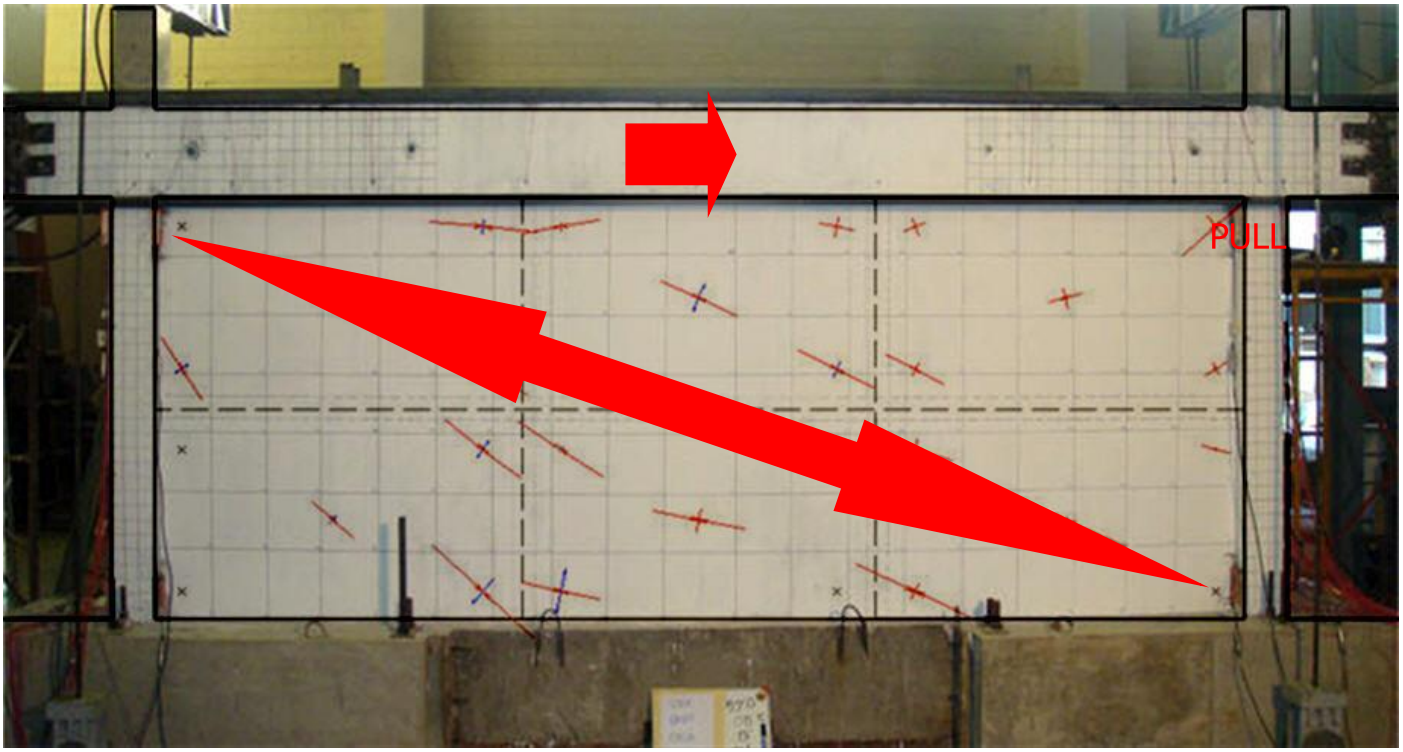
พฤติกรรมการดัดตัวของเสา (Moment-Curvature)



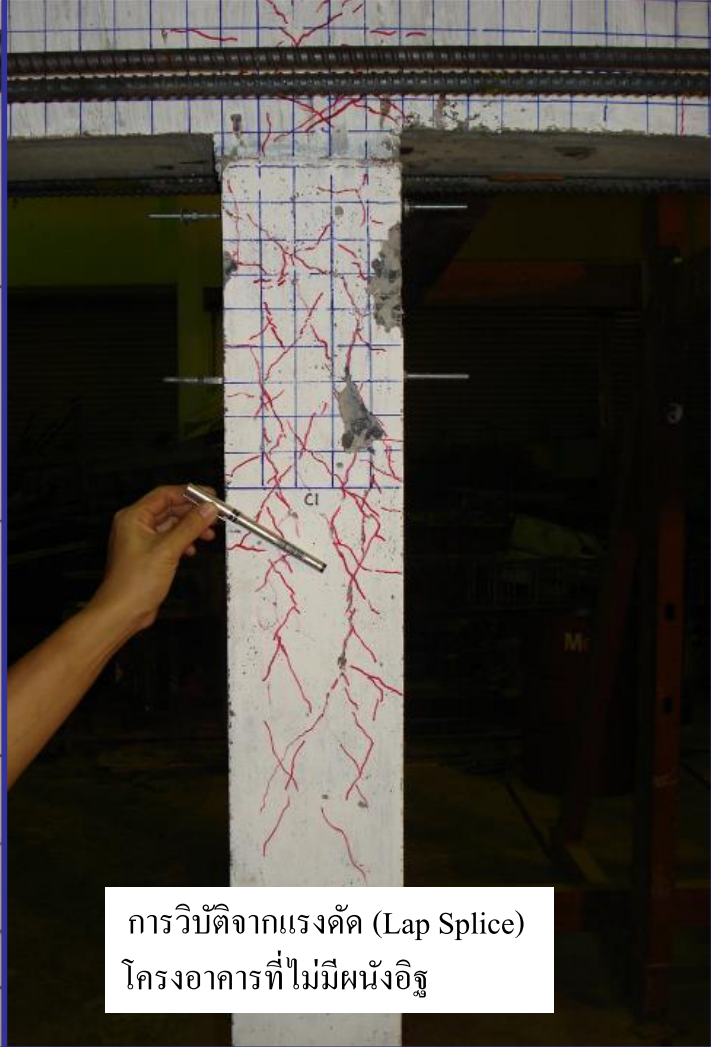


2.0% DRIFT

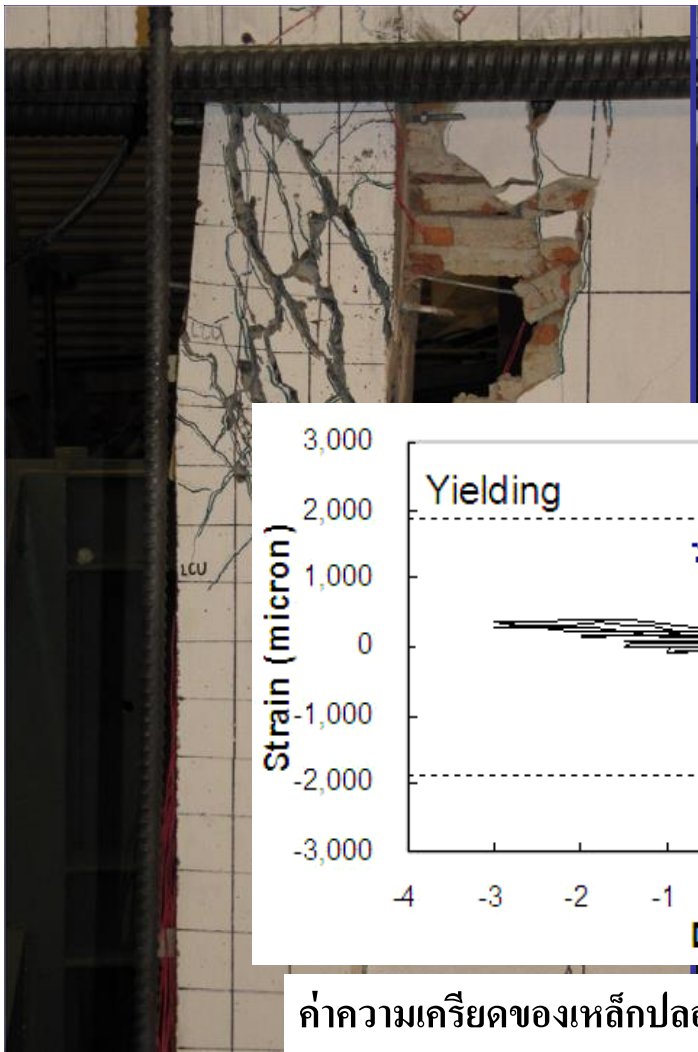


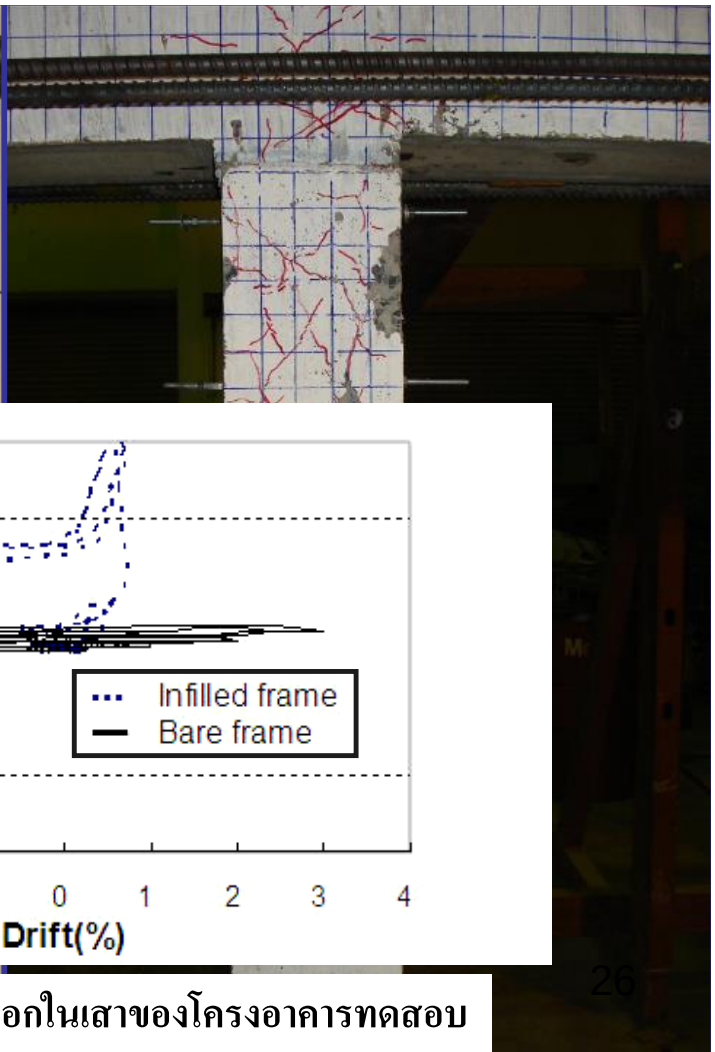

PULL

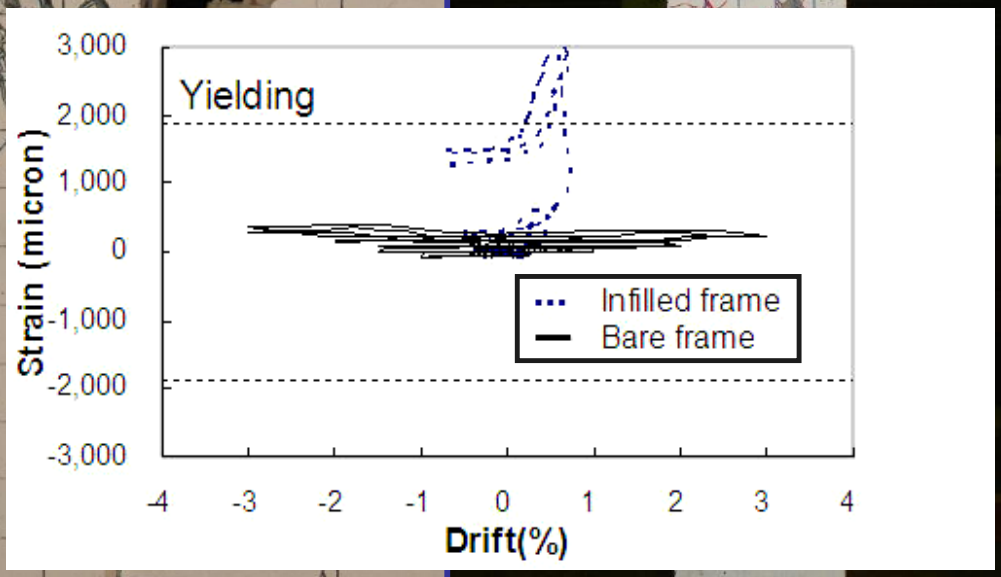
การวิบัติจากแรงเฉือนโครงอาคารที่มีผนังอิฐ



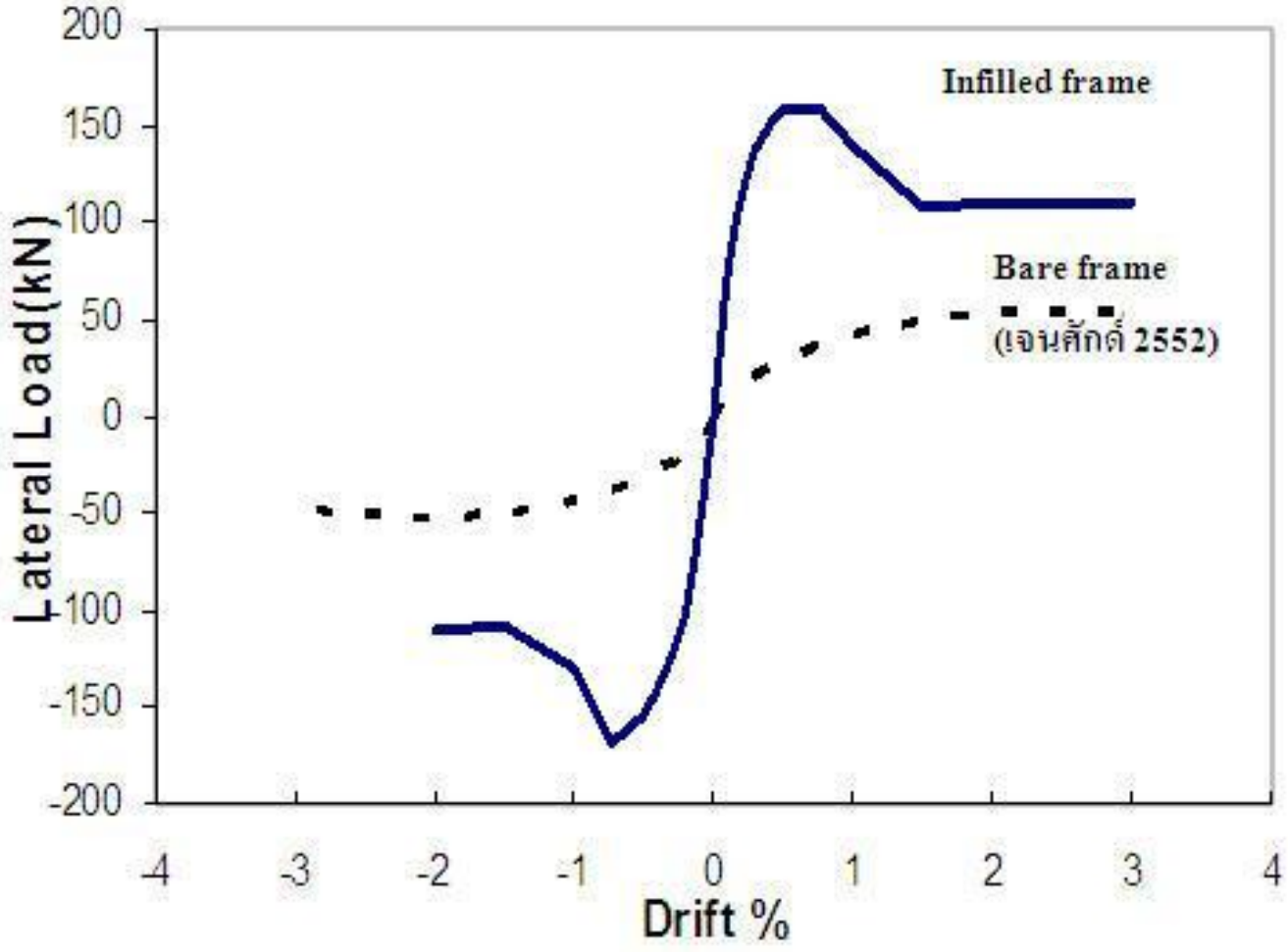
การวิบัติจากแรงดัด (Lap Splice) โครงอาคารที่ไม่มีผนังอิฐ

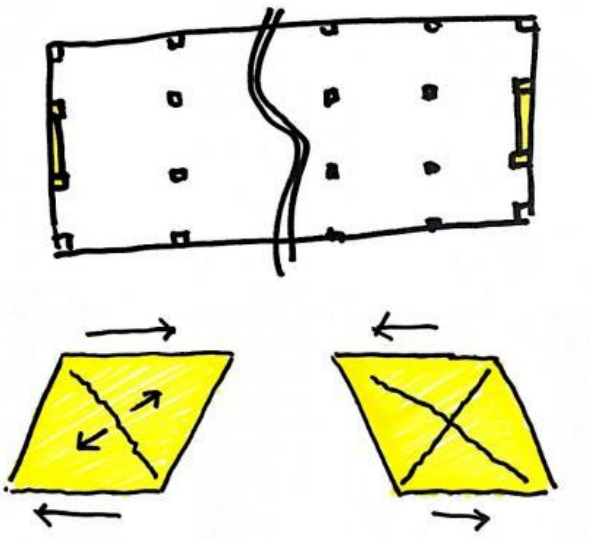




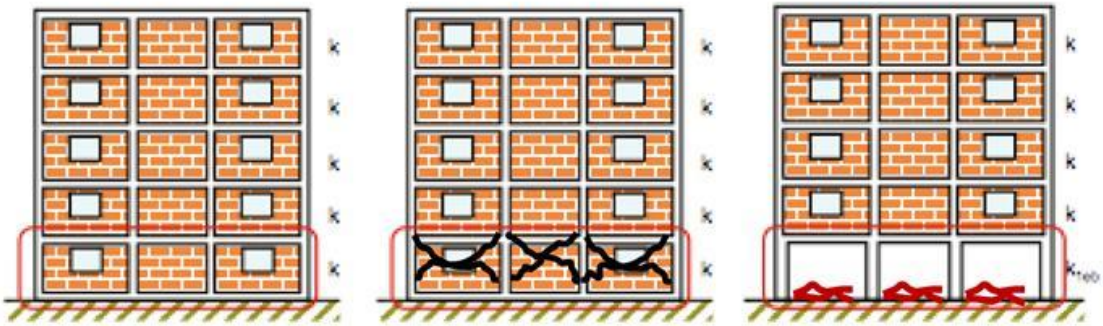


ค่าความเครียดของเหล็กปลอกในเสาของโครงอาคารทดสอบ

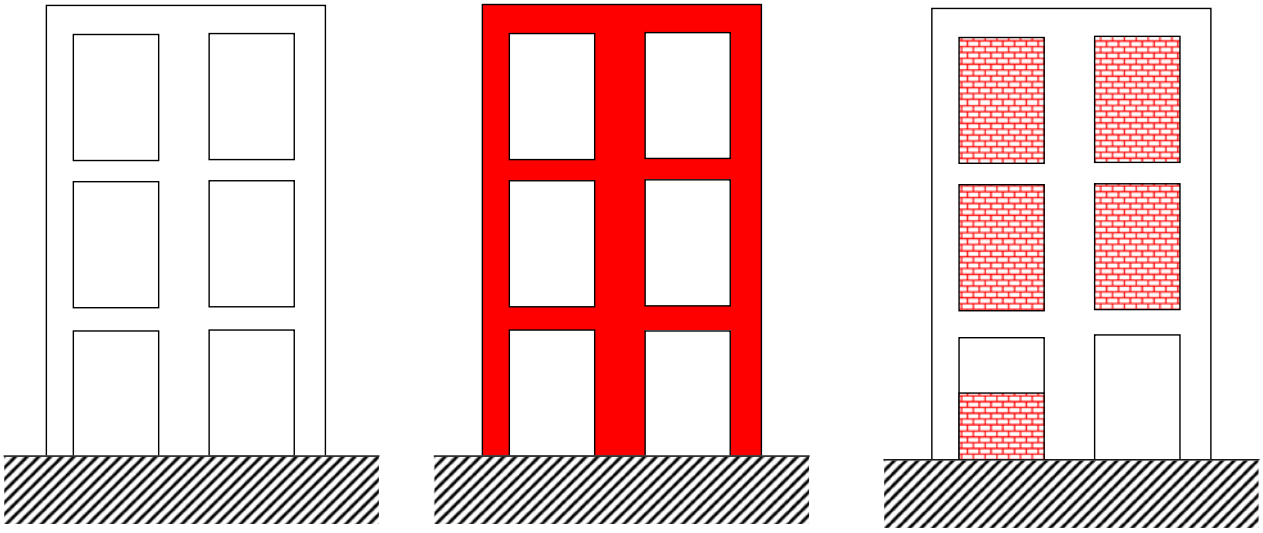

Infilled frame
Bare frame
(เจนศักดิ์ 2552)
Lateral Load(kN)
Drift %
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4



Irregularity



Semnani et al. 2014



แบบในการวิเคราะห์ ส่วนที่วิศวกรออกแบบ สร้างจริง

Seismic Resistance (ต้าน)
Seismic Control (คุม)
Seismic Isolation (แยก)

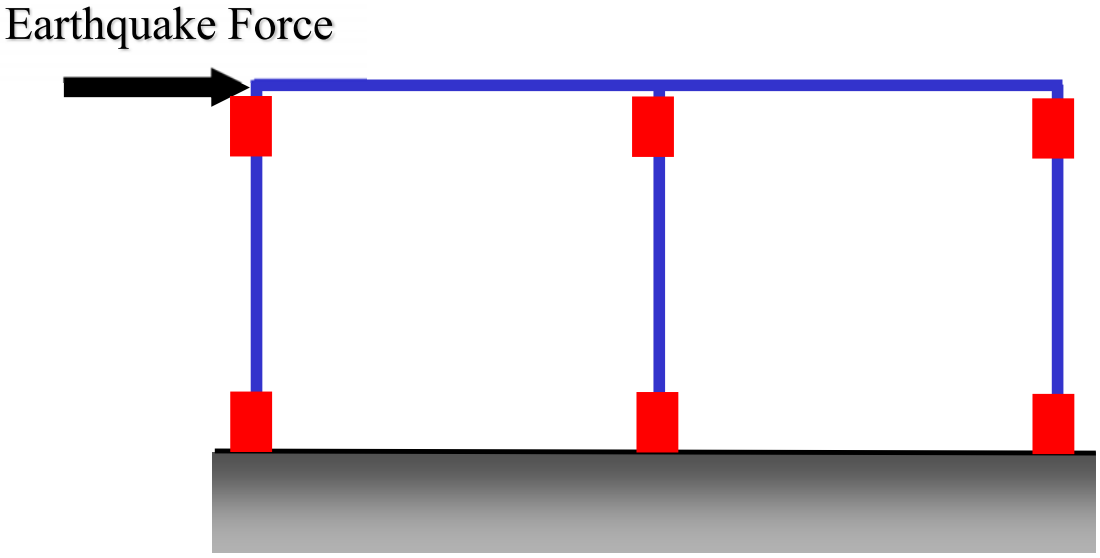
การเสริมกำลังของอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว

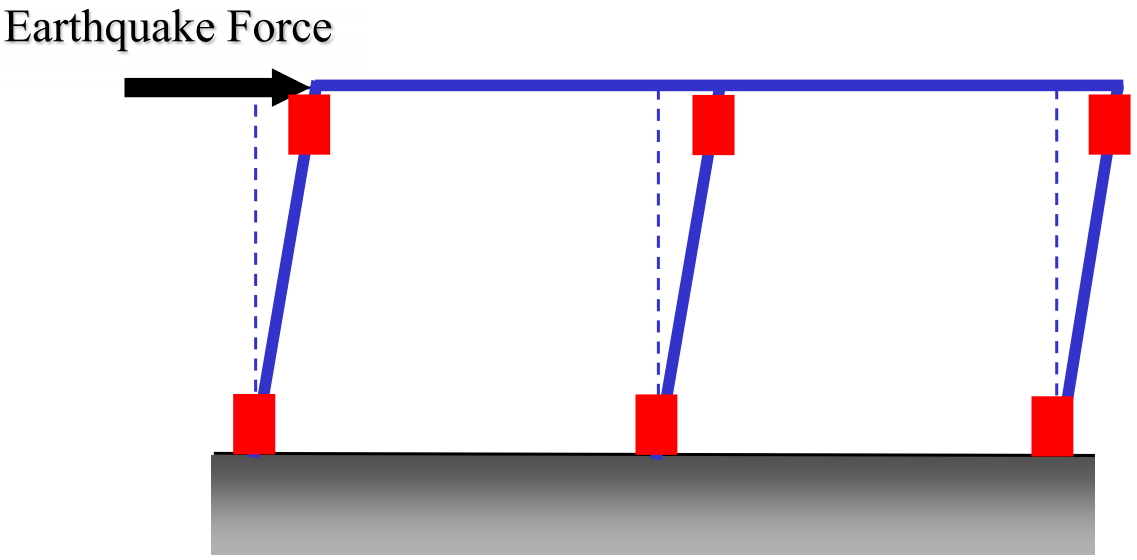
- การเสริมกำลังอาคารเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวสามารถจำแนกได้เป็นสองประเภท
  - การเสริมกำลังตามจุดอ่อนที่พบ
  - การการเสริมกำลังอย่างเป็นระบบ (Systematic Approach)
    - Seismic Evaluation
    - Strengthening Design

การเสริมกำลังของอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว

- เทคนิคและวิธีการในการเสริมกำลังอาคารเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว สามารถจำแนกได้เป็นสองประเภท
  - การเสริมกำลังเฉพาะที่ เพื่อให้องค์อาคารมีกำลังและความเหนียวเพียงพอ
  - การการเสริมกำลังโดยรวมของโครงอาคาร (Structure Level) เพื่อให้มีผลตอบสนองลดลงภายใต้แรงแผ่นดินไหว หรือลดความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง

การเสริมกำลังเฉพาะที่

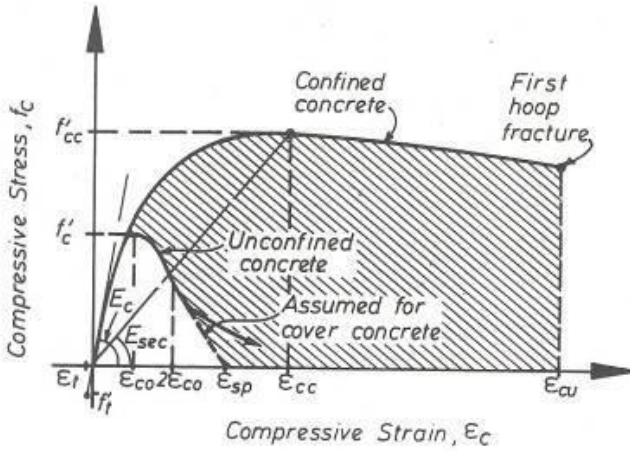


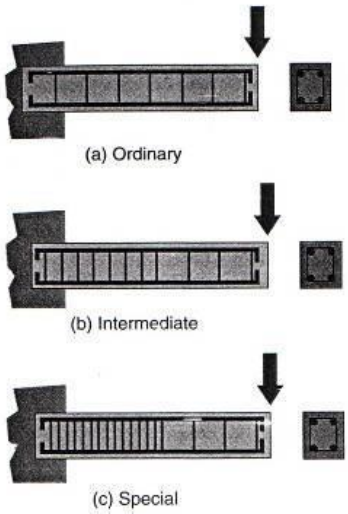


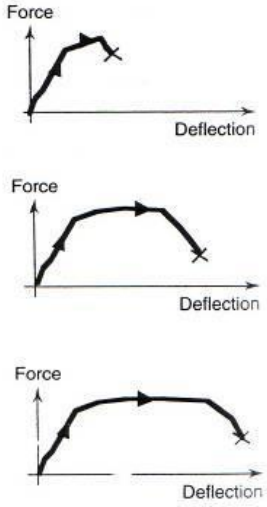
Strengthening Applications

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

Importance of Confinement







Confinement

Source: National Information Service for Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Center, University of California Berkeley

การเสริมกำลังเฉพาะที่

- เทคนิคและวิธีการการเสริมกำลังเฉพาะที่ที่นิยมใช้
  - การพอกด้วยคอนกรีต (Concrete Jacketing)
  - การพันด้วยปลอกเหล็ก (Steel Jacketing)
  - การพันด้วยวัสดุ composite

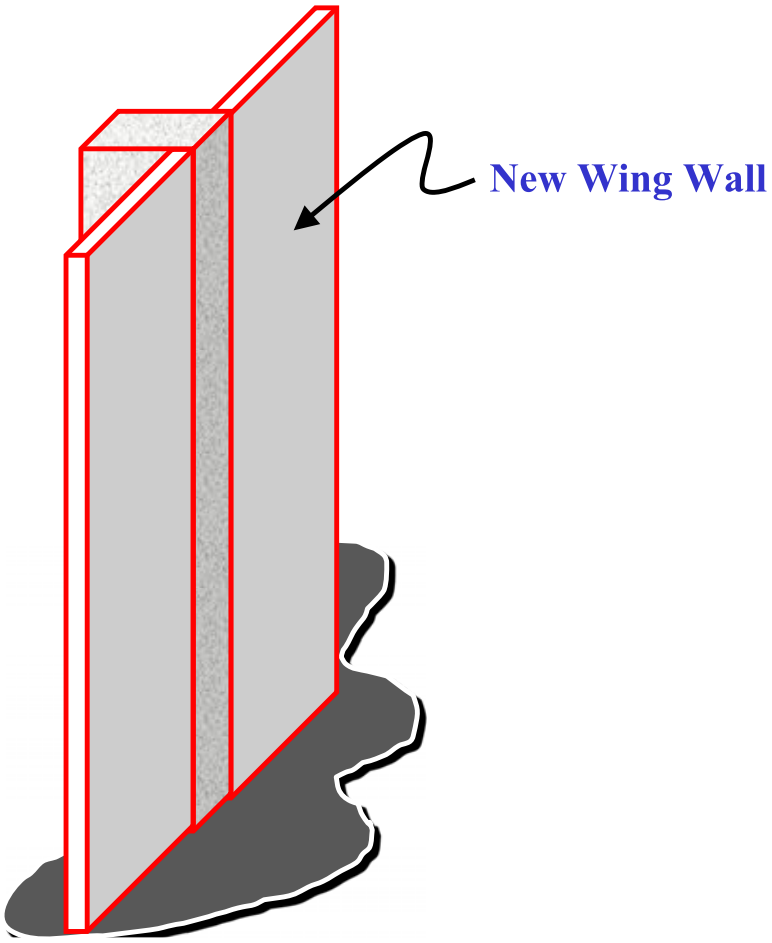
การเสริมกำลังเฉพาะที่ด้วยการหุ้มด้วยคอนกรีต (Concrete Jacket)

- ไม่ใช้เทคนิคสูง
- สามารถเพิ่มกำลัง และความเหนียวโครงสร้างได้ในทั้งสองทิศทาง
- ระหว่างการเสริมกำลังอาจกระทบกับการใช้งานอาคาร

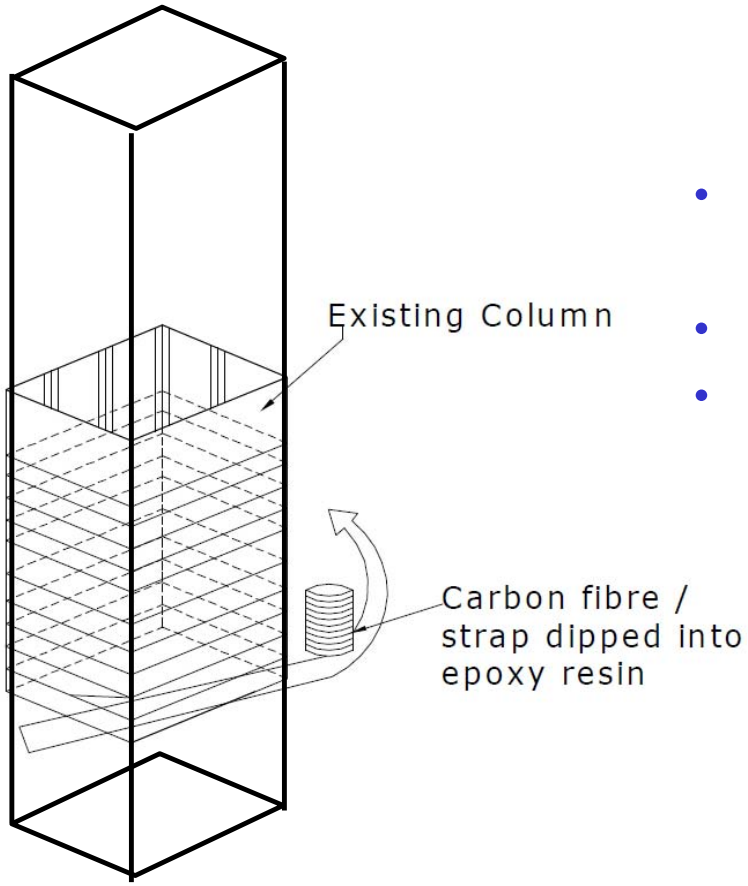
- **Average Retrofitting Cost 10% of Rebuilding Cost (Taiwan Case)**

การเสริมกำลังเฉพาะด้วยปีกคอนกรีต

(RC Wing Wall)



การเสริมกำลังเฉพาะที่ด้วยวัสดุ composite



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

Nikko Hotel (Beverly Hills)

Robinson-May Department Store (West Los Angeles)

Steel Jacketing Applications

- เพิ่ม Confinement

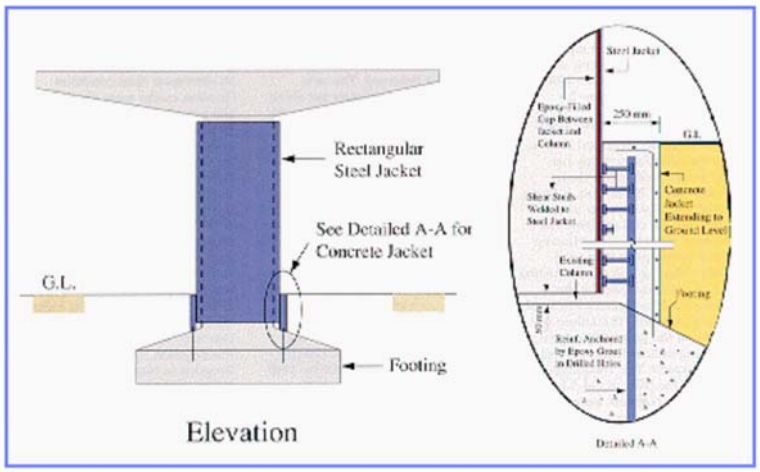


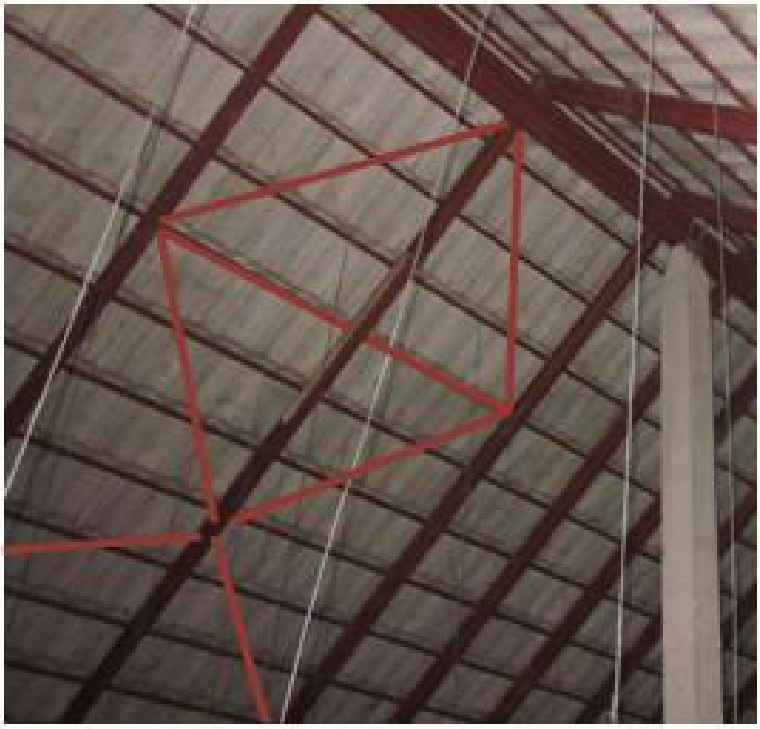
Figure 3 - Diagram of the full-height circular steel jacket used to retrofit the reinforced concrete bridge columns on the Hanshin Expressway in Kobe.

การเสริมกำลังเฉพาะที่รูปแบบอื่นๆ

ฝ้าแขวน และอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่นโคมไฟ เครื่องปรับอากาศ อาพังและหล่นใส่ผู้ใช้อาคาร ทำให้เกิดการบาดเจ็บถึงขั้นสาหัสได้ แต่สามารถปรับปรุงให้มีความปลอดภัยมากขึ้น โดยใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น safety wire เหล็กกันตก ค้ำยันข้าง ฯลฯ

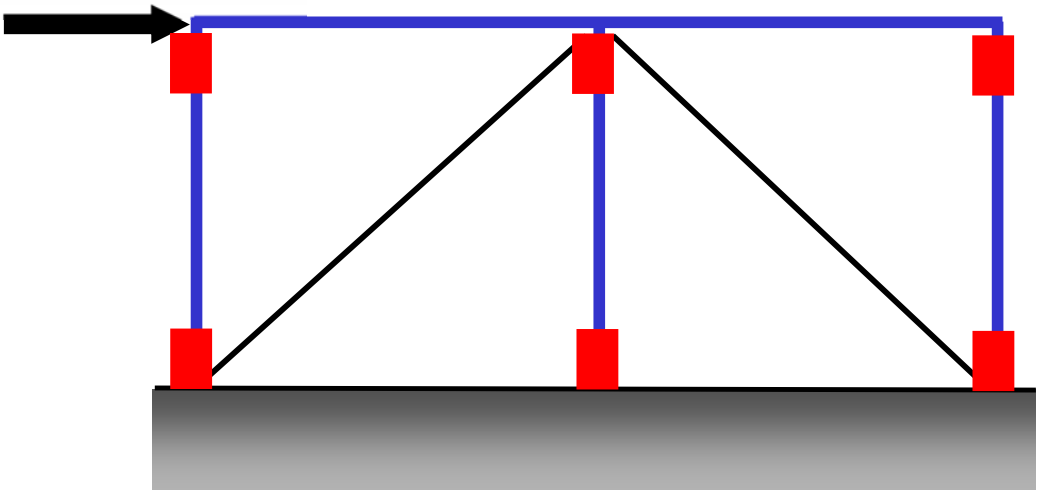
เพิ่มความแข็งแรงให้กับฝ้าแขวน โดยใช้ค้ำยันข้าง

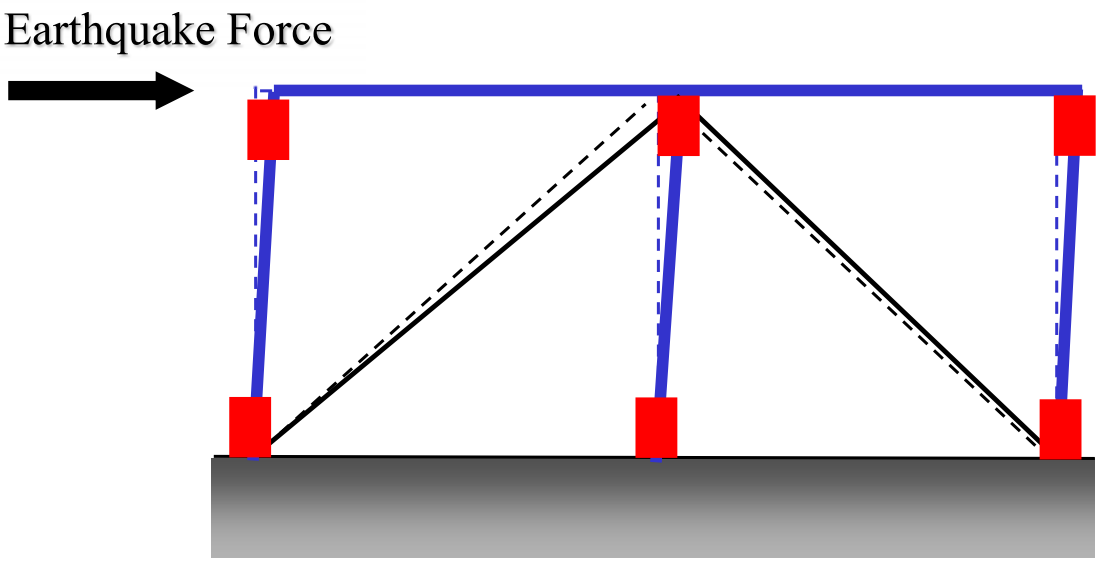
การเสริมกำลังเฉพาะที่รูปแบบอื่นๆ



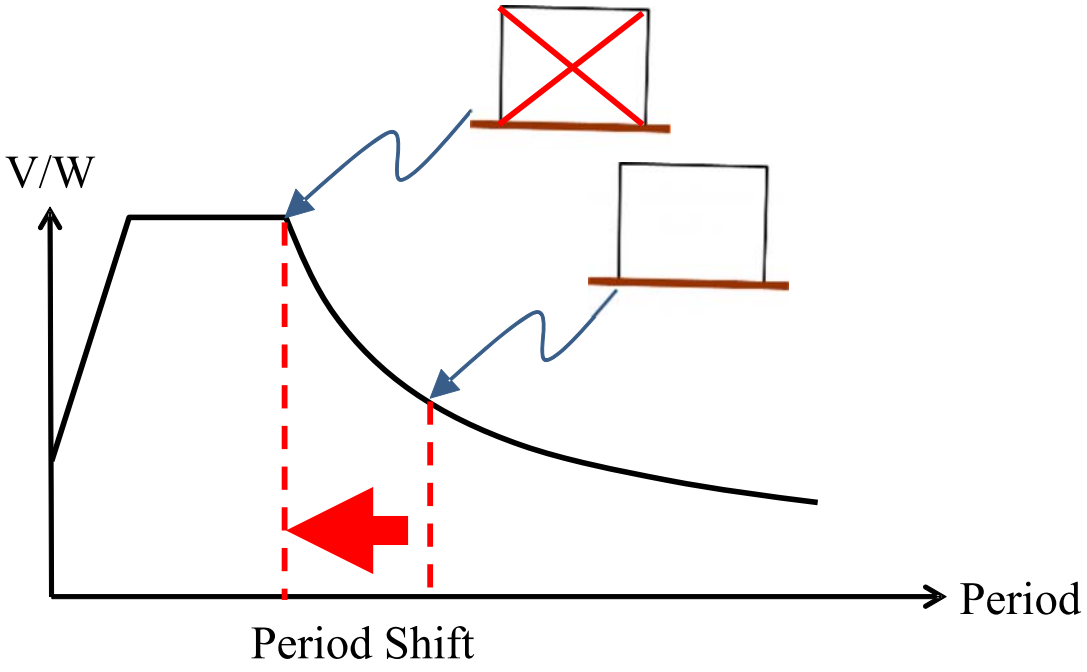
การเสริมกำลังโดยรวม

Earthquake Force

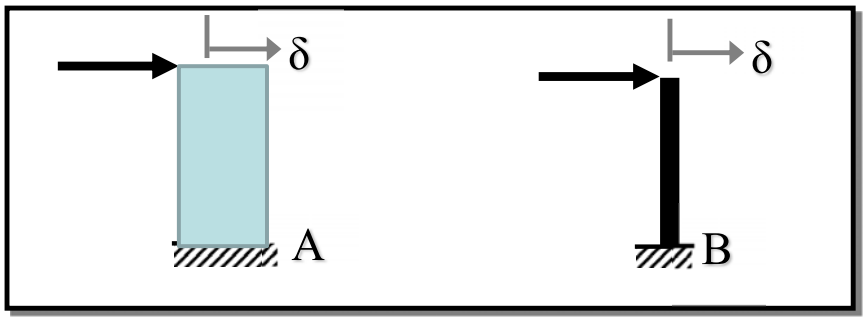


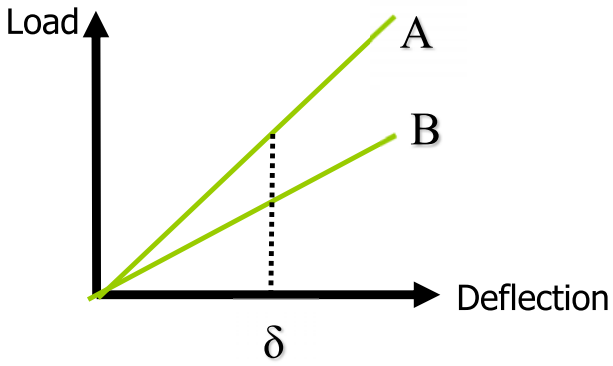


ข้อพิจารณาในการเสริมกำลังโดยรวม



ข้อพิจารณาด้านฐานราก





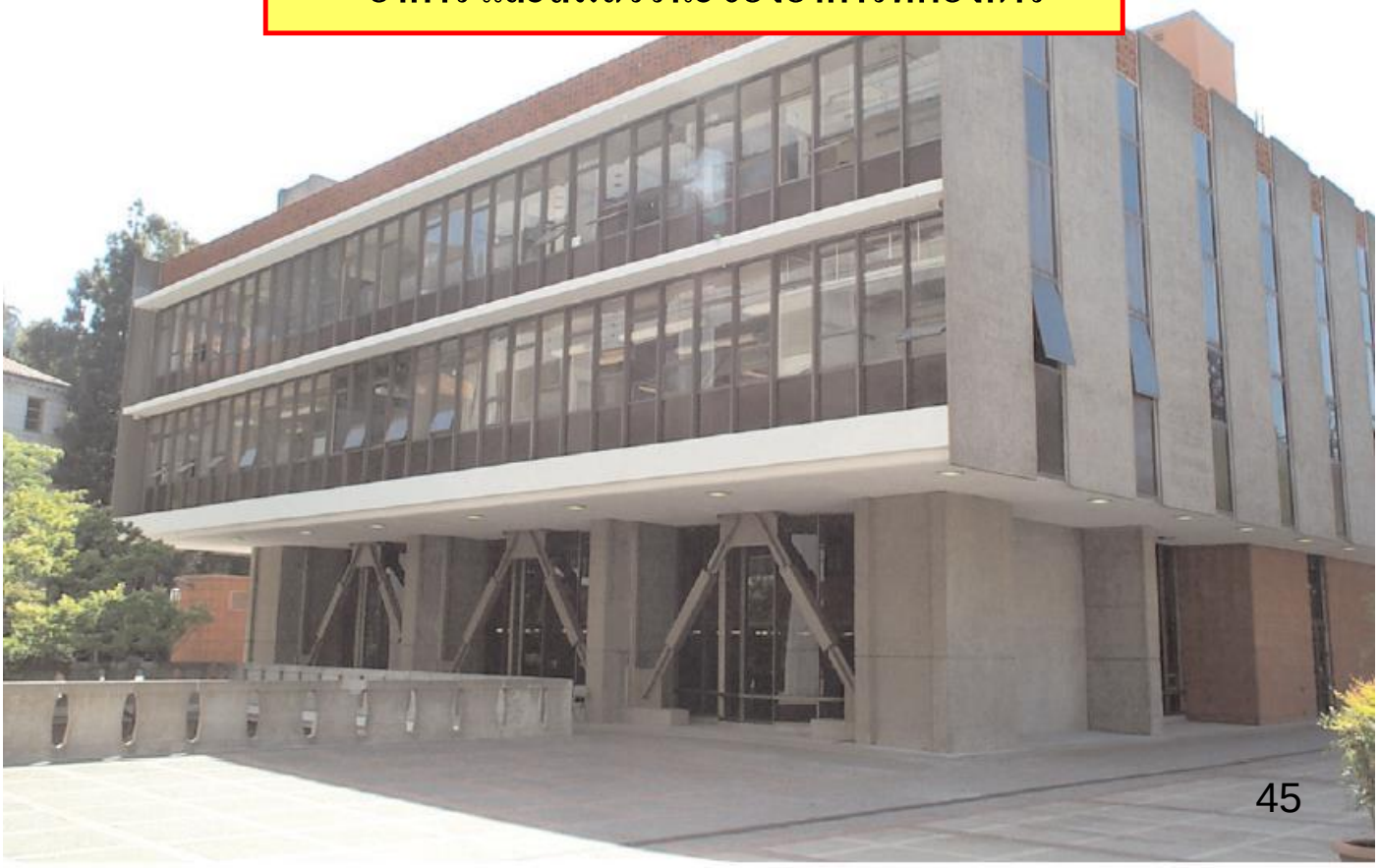
Load Sharing ตาม Stiffness ของระบบโครงสร้าง

New eccentric steel framework constructed between two existing reinforced concrete columns.

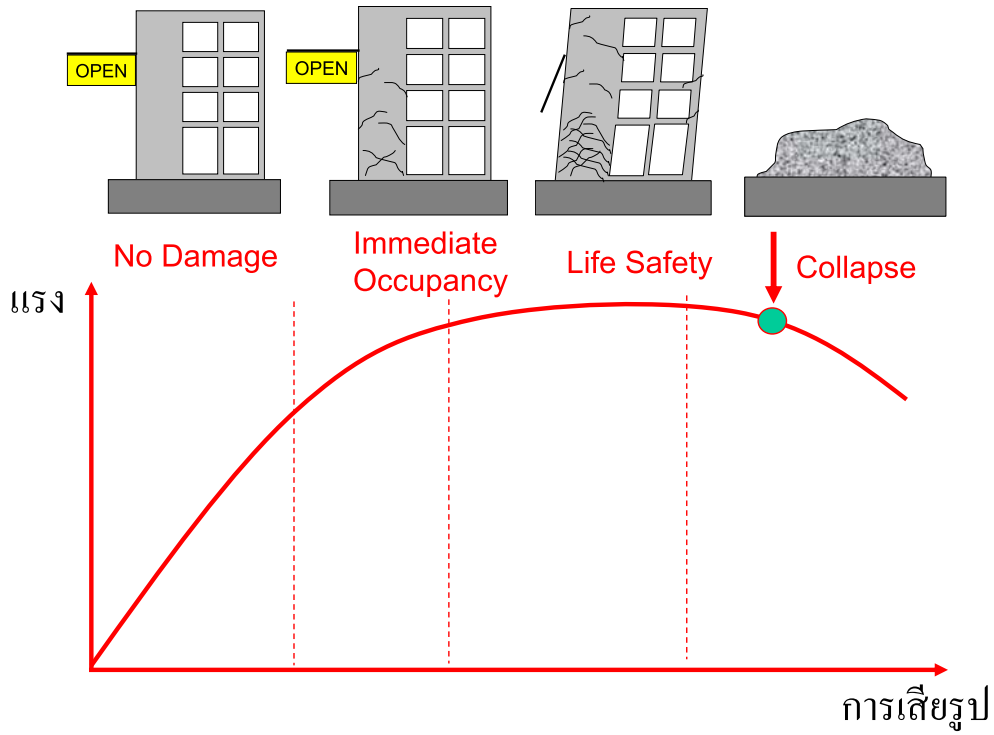
New eccentric steel framework with a column disguise.

การเสริมกำลังของอาคารโดยรวม

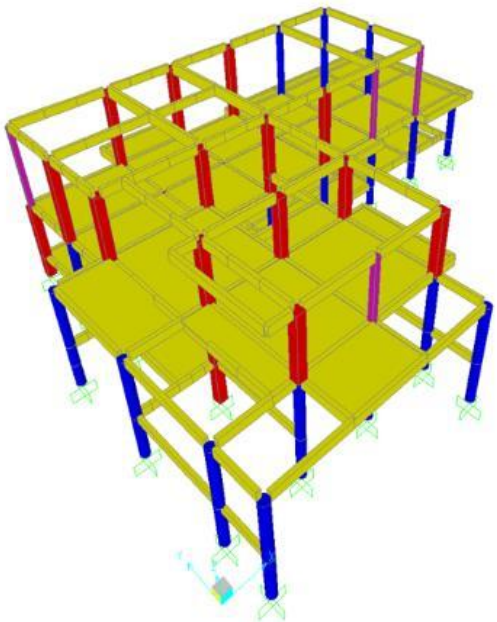
วิธีการเสริมกำลังอาคาร ต้องขึ้นกับลักษณะการใช้อาคาร และสมรรถนะของอาคารที่ต้องการ



สมรรถนะเป้าหมายของการเสริมกำลัง

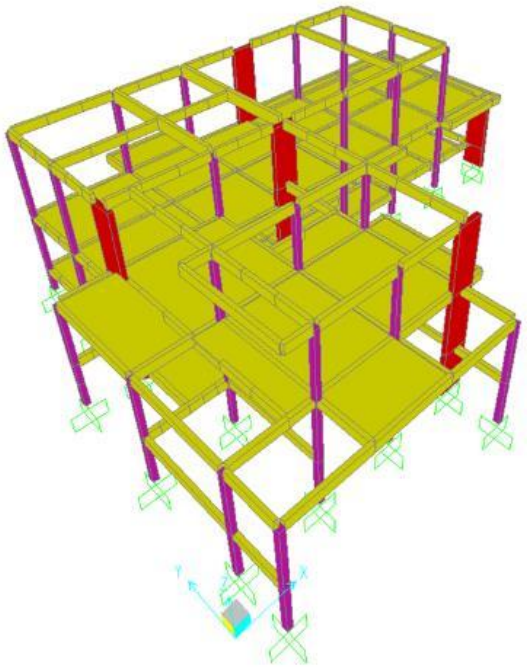


ตัวอย่างเปรียบเทียบการเสริมกำลังของโครงสร้างโดยวิธีการเสริมกำลังด้วยการพอกโครงสร้างกับการเสริมกำลังโดยรวม



- ไม่กระทบกับฐานรากอาคาร
- โครงสร้างอาคารมีค่าสติฟเนสทางด้านข้างที่สูงขึ้นพอประมาณ
- ลักษณะการเสียรูปอาคารยังคงคล้ายกับก่อนที่มีการเสริมกำลัง นั่นคือ มีการเสียรูปทางด้านข้างพร้อมทั้งการบิดตัวของอาคาร เนื่องจากการขยายขนาดเสาไม่ส่งผลต่อการลดความไม่สม่ำเสมอทางรูปร่างของอาคาร
- ผลกระทบกับงานสถาปัตยกรรม ผนังและหน้าต่าง

ตัวอย่างเปรียบเทียบการเสริมกำลังของโครงสร้างโดยวิธีการเสริมกำลังด้วยการพอกโครงสร้างกับการเสริมกำลังโดยรวม

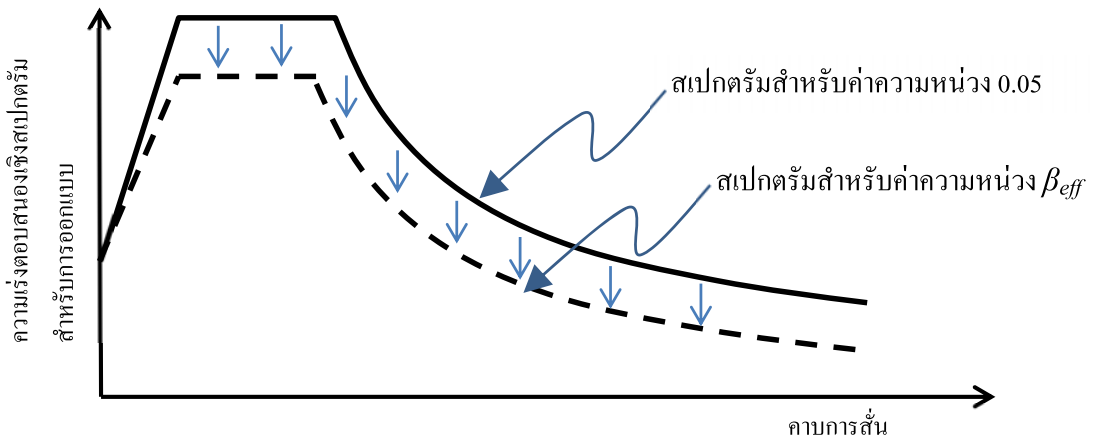


- มีการขยายฐานรากอาคาร
- โครงสร้างอาคารมีค่าสติฟเนสทางด้านข้างที่สูง
- ลักษณะการเสียรูปอาคารมีการบิดตัวลดลง
- ผลกระทบกับรูปลักษณะภายนอกของอาคาร

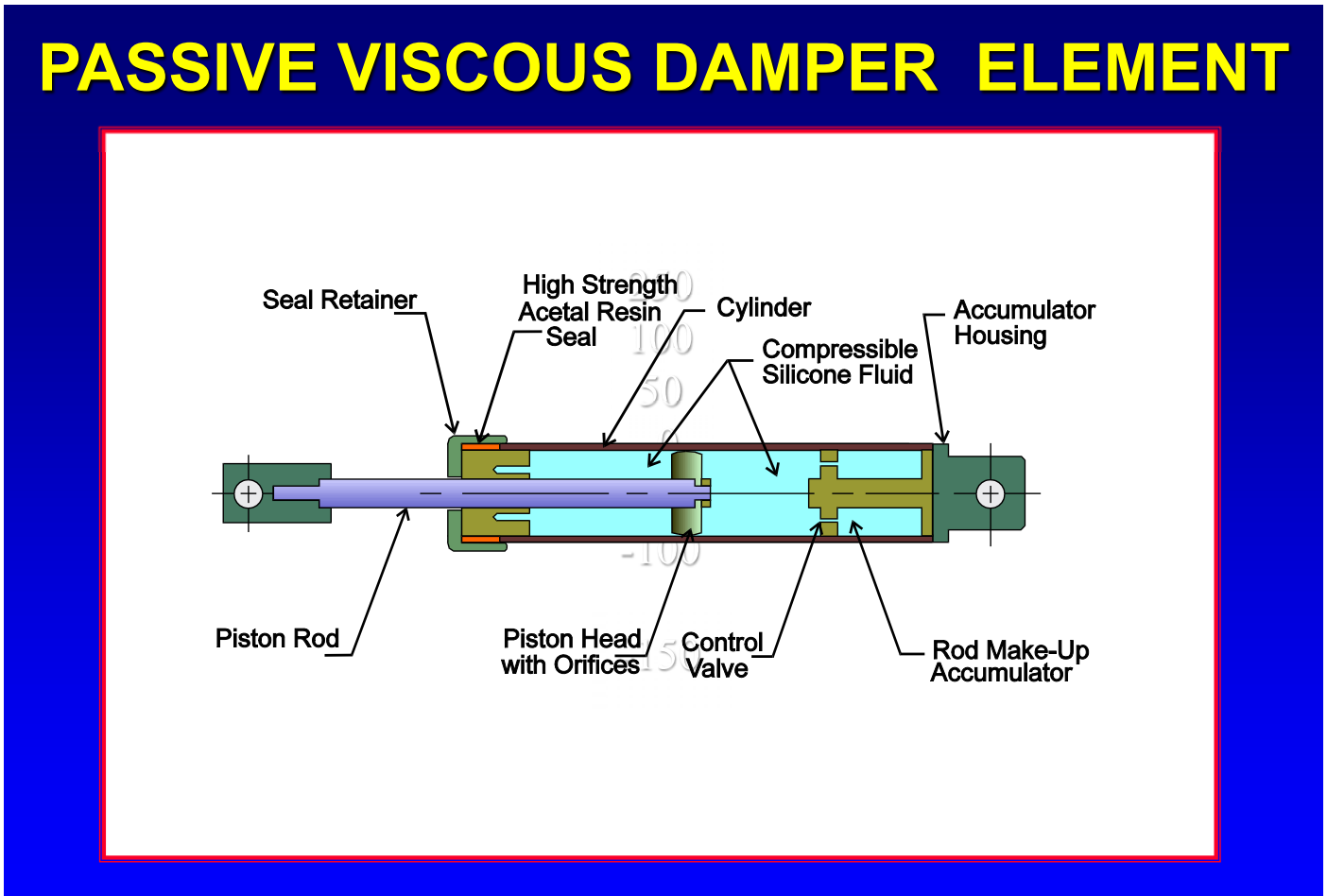
ภาพจำลอง ตัวอย่างการเพิ่มกำแพงรับแรงเฉือน

ภาพจำลอง ตัวอย่างการเพิ่มกำแพงรับแรงเฉือน

ภาพจำลองตัวอย่างการเพิ่มกำแพงรับแรงเฉือน

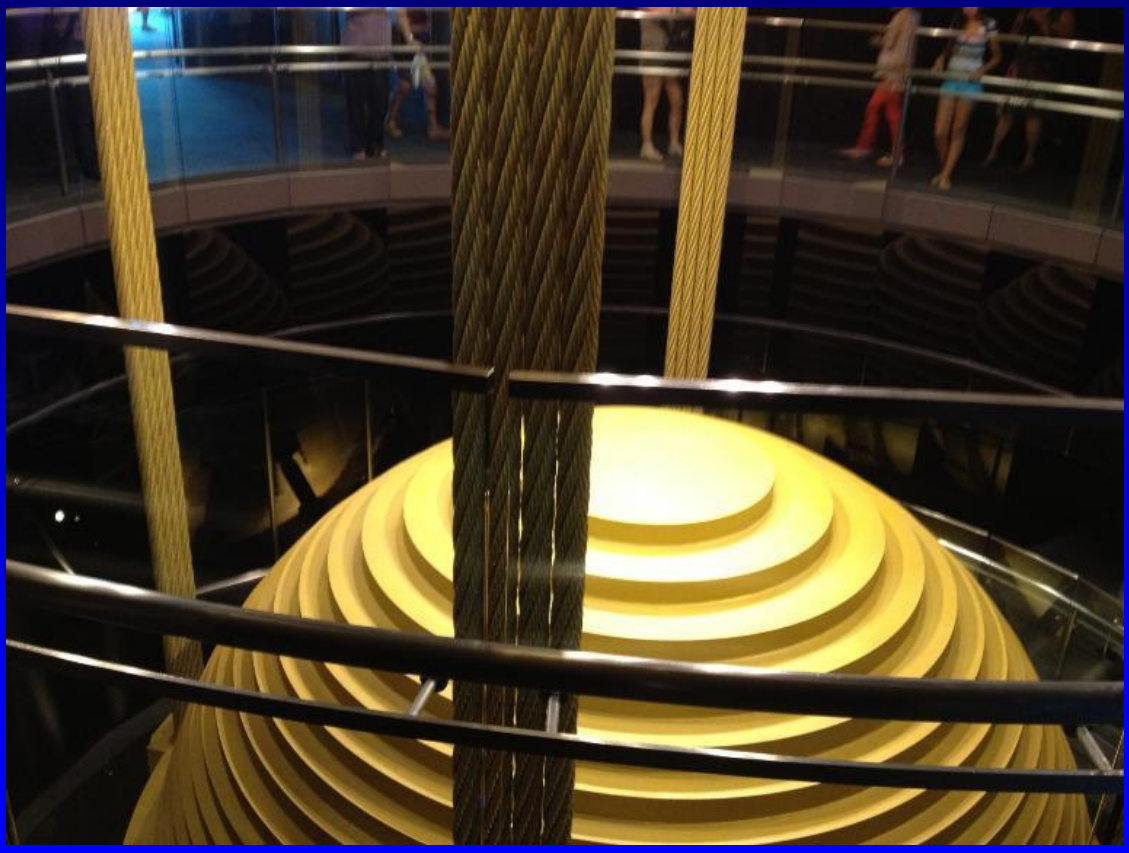


รูปที่ 2 การปรับลดค่าสเปกตัมผลตอบสนองสำหรับการออกแบบ โดยการใช้อัตราส่วนความหน่วงประสิทธิผล



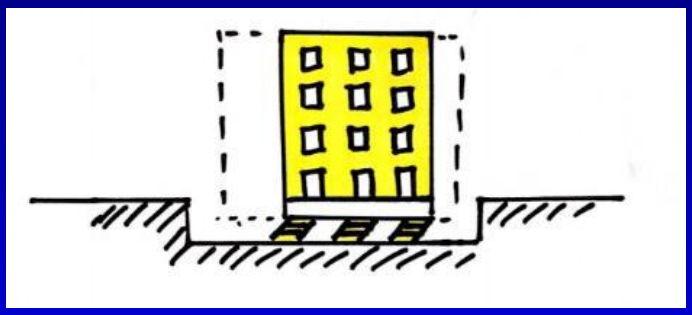
Source: Daiwa House, Japan

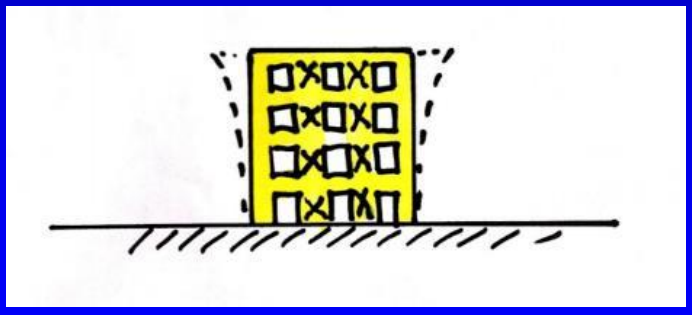
TAIPEI 101
重量達660公噸
直徑5.5公尺
為世界最大被動式
風阻尼器



BASE ISOLATION

梁
Beam
梁
柱
Column
柱
梁
Beam
梁
上承台
Top Pedestal
上の台
鉛心積層ゴム支承
Lead Rubber Bearing
鉛プラグ入り積層ゴム支承





ขอบคุณ