



สนับสนุนโดย ส่วนพัฒนากายภาพ สำนักงานอธิการบดี มศว
ร่วมกับ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มศว

ความเสี่ยง การป้องกัน และแนวปฏิบัติ ภายใต้การสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มศว

ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายพัฒนากายภาพและสิ่งแวดล้อม มศว

ประธานสาขาคอนกรีตวัสดุและการก่อสร้าง สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

สามัญวิศวกรโยธา และผู้ชำนาญการพิเศษ สภาวิศวกร

อดีตประธานอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ฯ

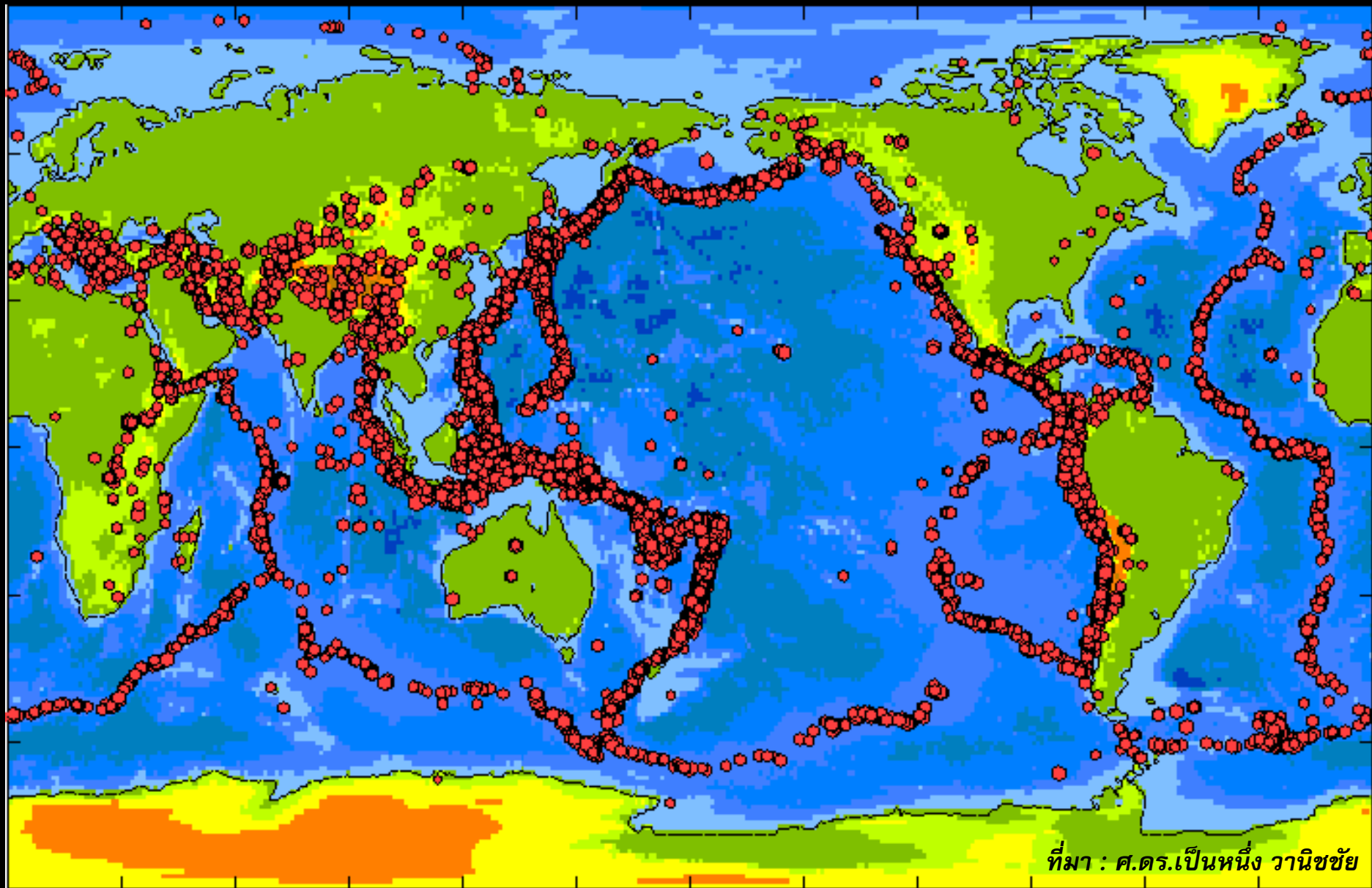
หัวข้อการบรรยาย

- ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว
- กฎหมายที่บังคับใช้ และการก่อสร้าง
- ความเสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหว
- ความเสี่ยงของอาคาร
- การประเมินกำลังต้านแผ่นดินไหว
- การเสริมกำลังต้านแผ่นดินไหว
- แนวทางปฏิบัติเมื่อเกิดแผ่นดินไหว

บทที่ 1

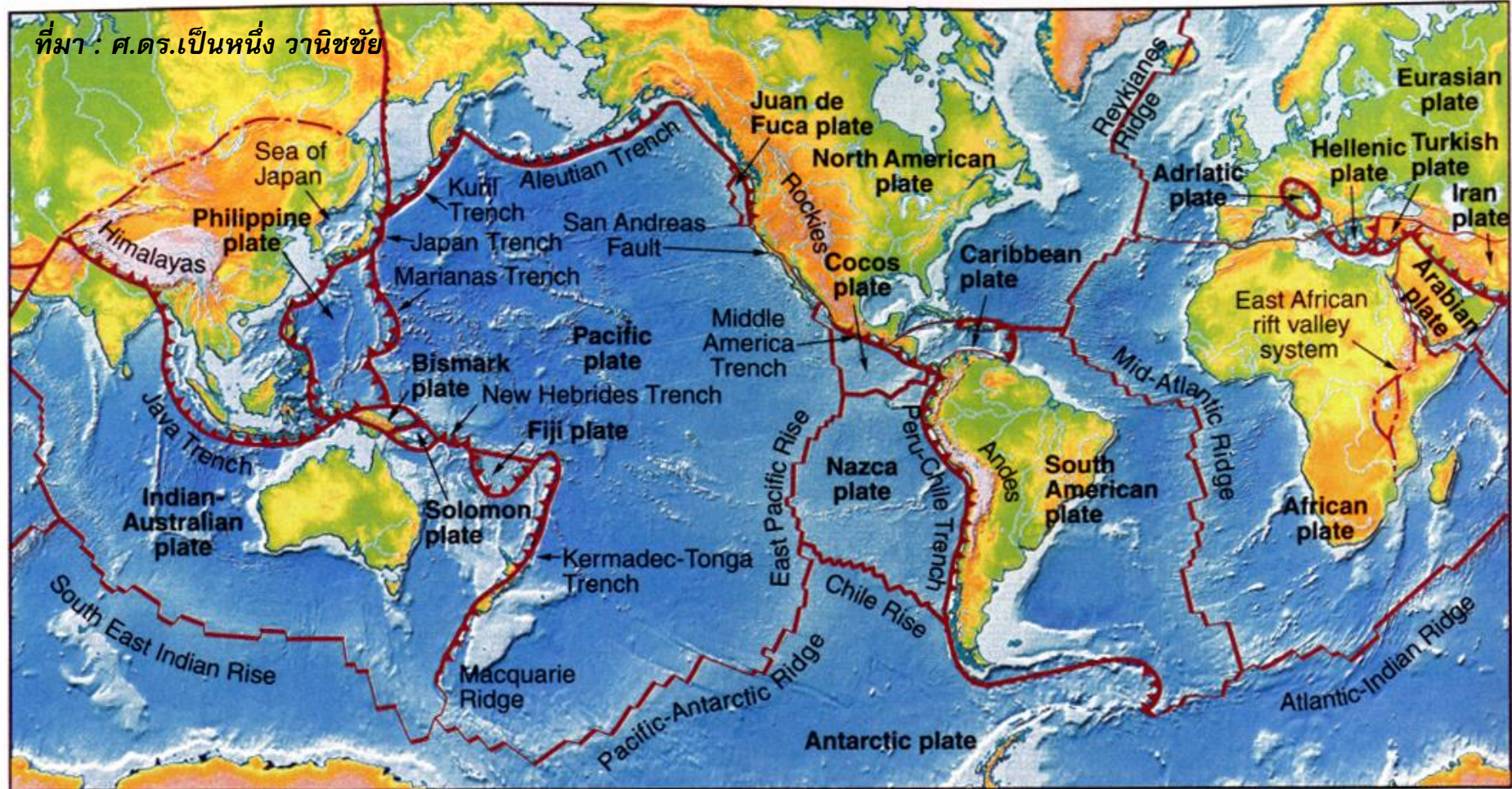
ความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวเกิดที่ใดบ้างในโลกใบนี้ ?



แผนที่แสดงแผ่นเปลือกโลก

ที่มา: ศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วาณิชชัย



Ridge axis
divergent boundary

Transform

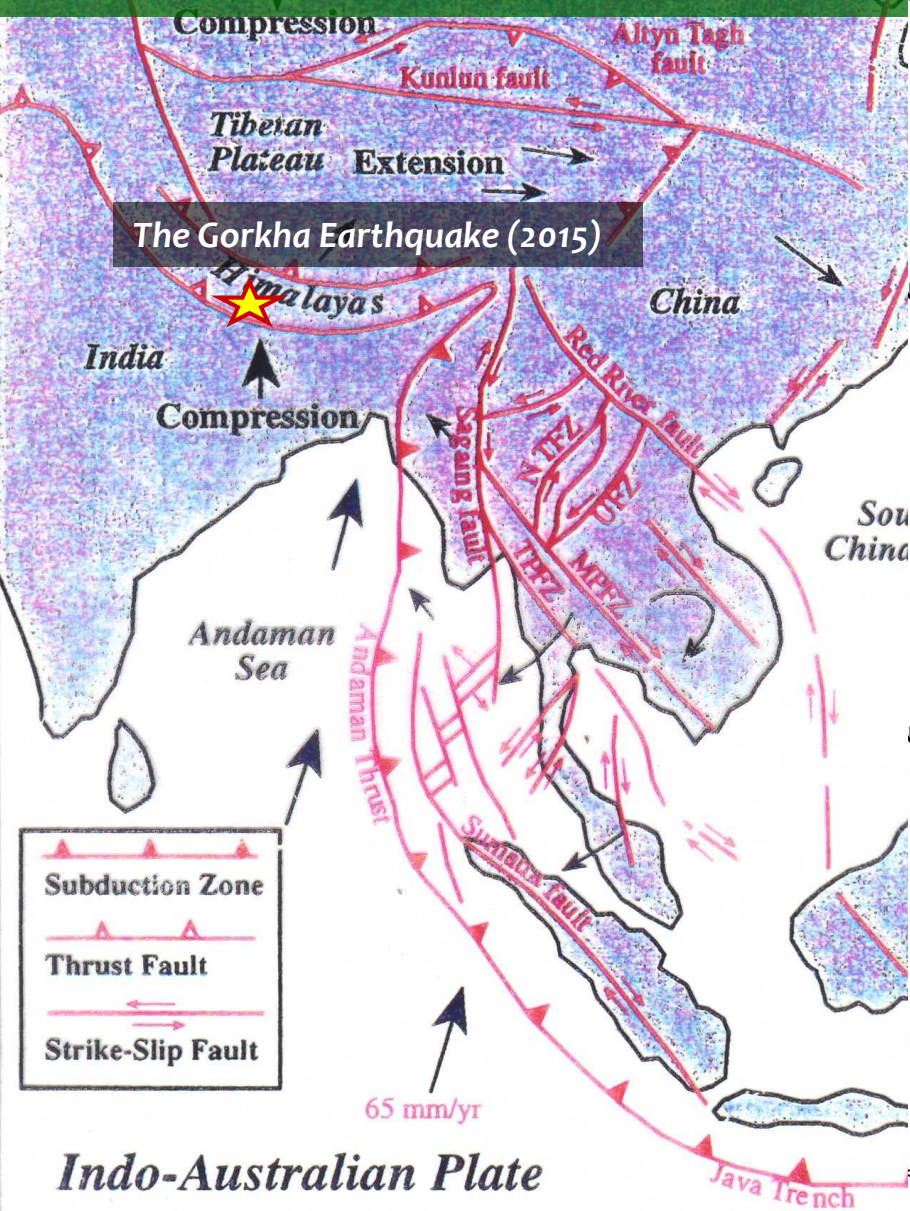
Subduction zone
Convergent boundary

Zones of Extension within continents

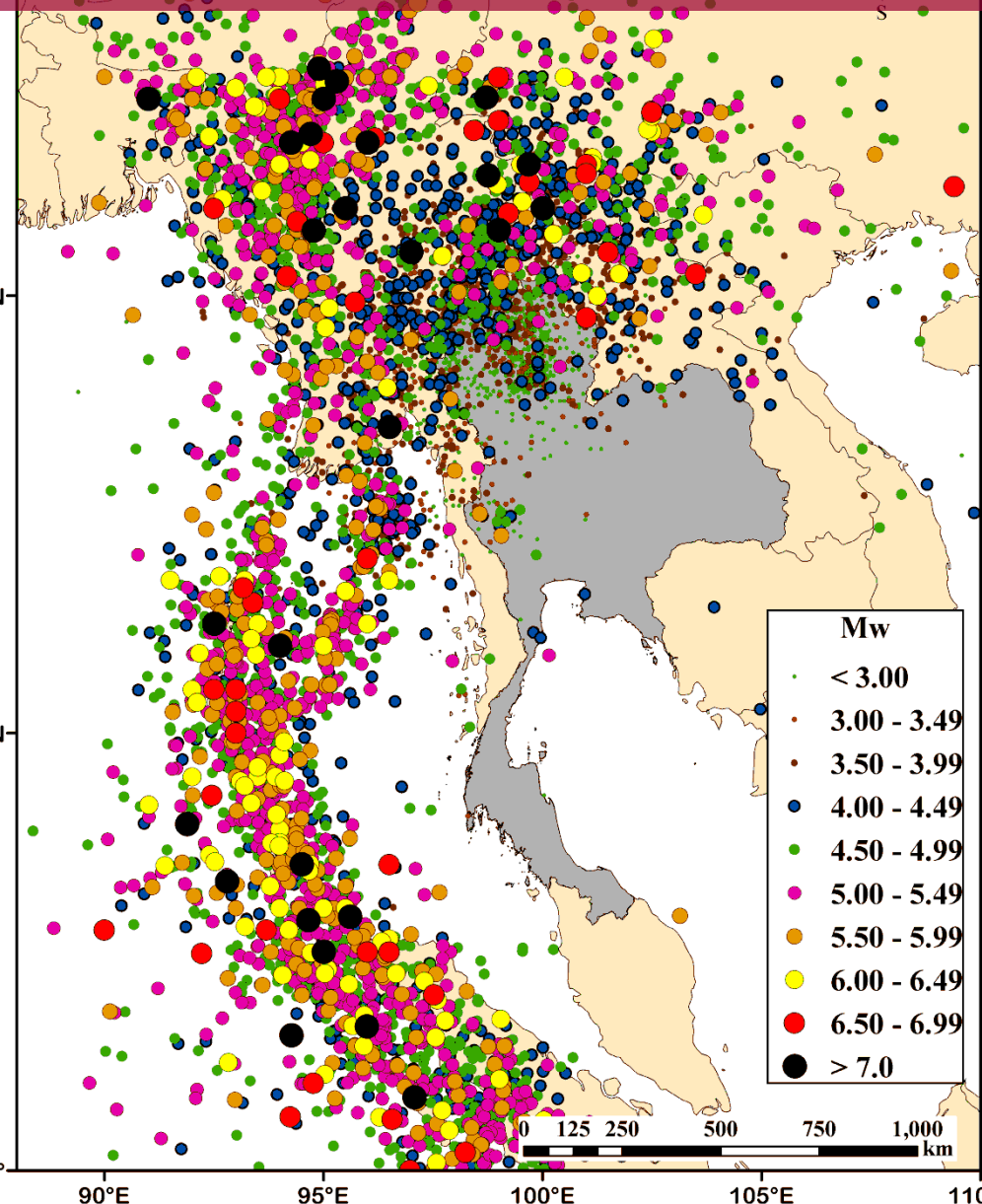
Uncertain plate
boundary

ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่ง วานิชชัย *Eurasian Plate*

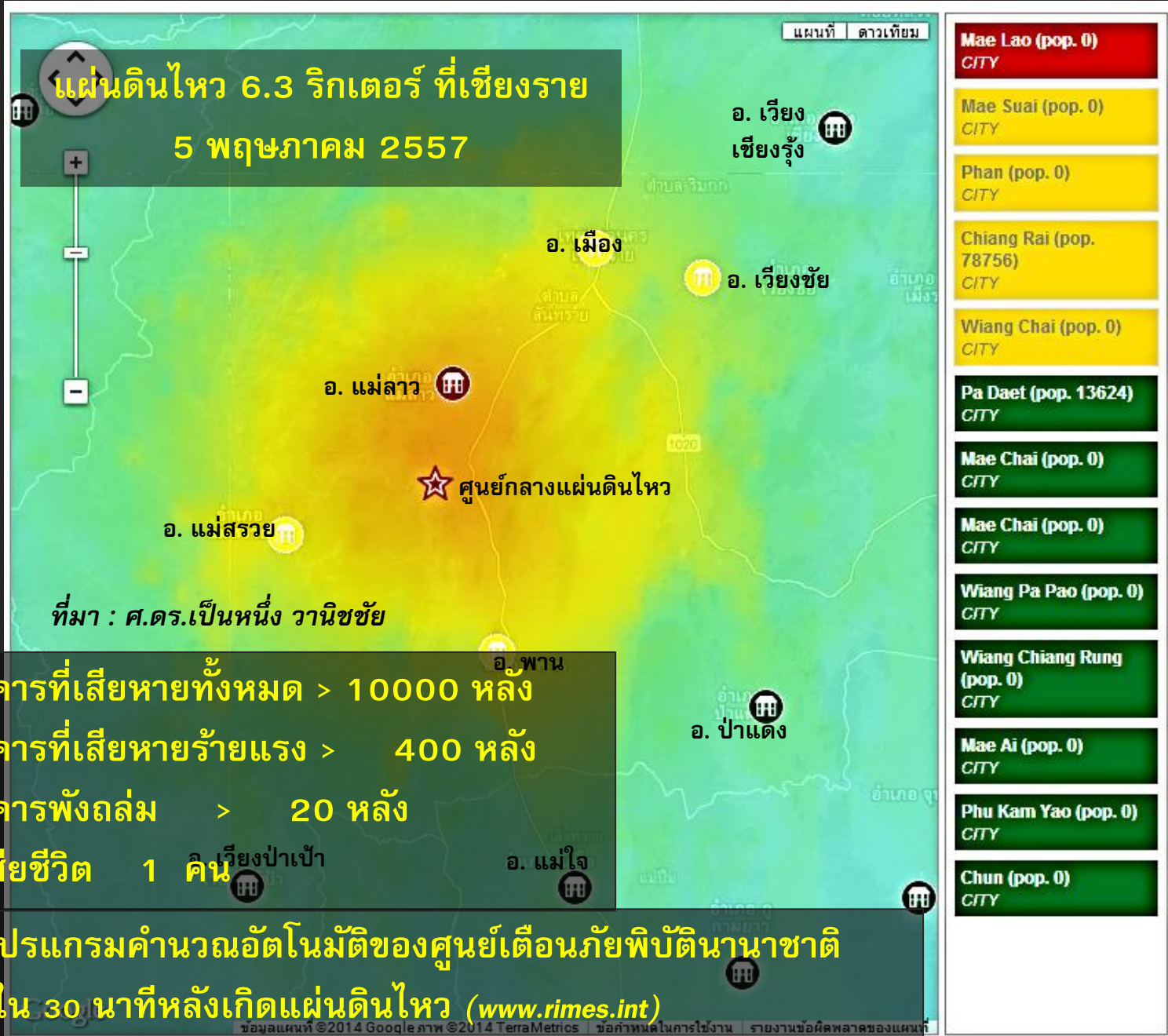
รอยเลื่อนในภูมิภาคเอเชีย



การเกิดแผ่นดินไหวจากพ.ศ. 2455
จนถึง พ.ศ. 2550



แผนที่แสดงความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (ShakeCast Map)



ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วานิชชัย

แผ่นดินไหวที่เมืองยอกยาคาร์ตา
ประเทศอินโดนีเซีย (2549)

ขนาด 6.2 ริกเตอร์
จำนวนผู้เสียชีวิต > 5,000



ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วานิชชัย



แผ่นดินไหวที่เมืองไครสต์เชิร์ช ประเทศนิวซีแลนด์
(22 กุมภาพันธ์ 2554)

ขนาด 6.3 ริคเตอร์
จำนวนผู้เสียชีวิต > 200



ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่ง วานิชชัย



แผ่นดินไหวที่เมืองโกเบ ประเทศญี่ปุ่น (2538)

ขนาด 7.2 ริคเตอร์

จำนวนผู้เสียชีวิต > 6,000



***Pancake Collapse in Gongabu, Kathmandu
(Nepal EQ, M7.8, 25 April 2015)***



ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วามิชชัย

กรุงเทพมหานครและปริมณฑล มีโอกาสเกิดภัยพิบัติเนื่องจากแผ่นดินไหว ขนาดใหญ่ในระยะไกล

ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วานิชชัย

สภาพดินอ่อนในกรุงเทพ ฯ สามารถขยายความรุนแรงของแผ่นดินไหวได้มากกว่าปกติ ถึง 3 เท่า และ อาคารสูงเป็นจำนวนมากอาจเกิดการกำทอนทำให้โยกไหวตัวรุนแรงจนเกิดความเสียหาย

99 10 31

ในปี พ.ศ. 2528 ได้เกิดมีแผ่นดินไหวขนาด 8.1 ริคเตอร์ ห่างจากกรุงเม็กซิโกซิตี ถึง 400 กม. แต่ได้ส่งผลให้อาคารในกรุงเม็กซิโกซิตี มากกว่า 600 หลัง เสียหายอย่างรุนแรง และทำให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 10,000 คน

ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วานิชชัย

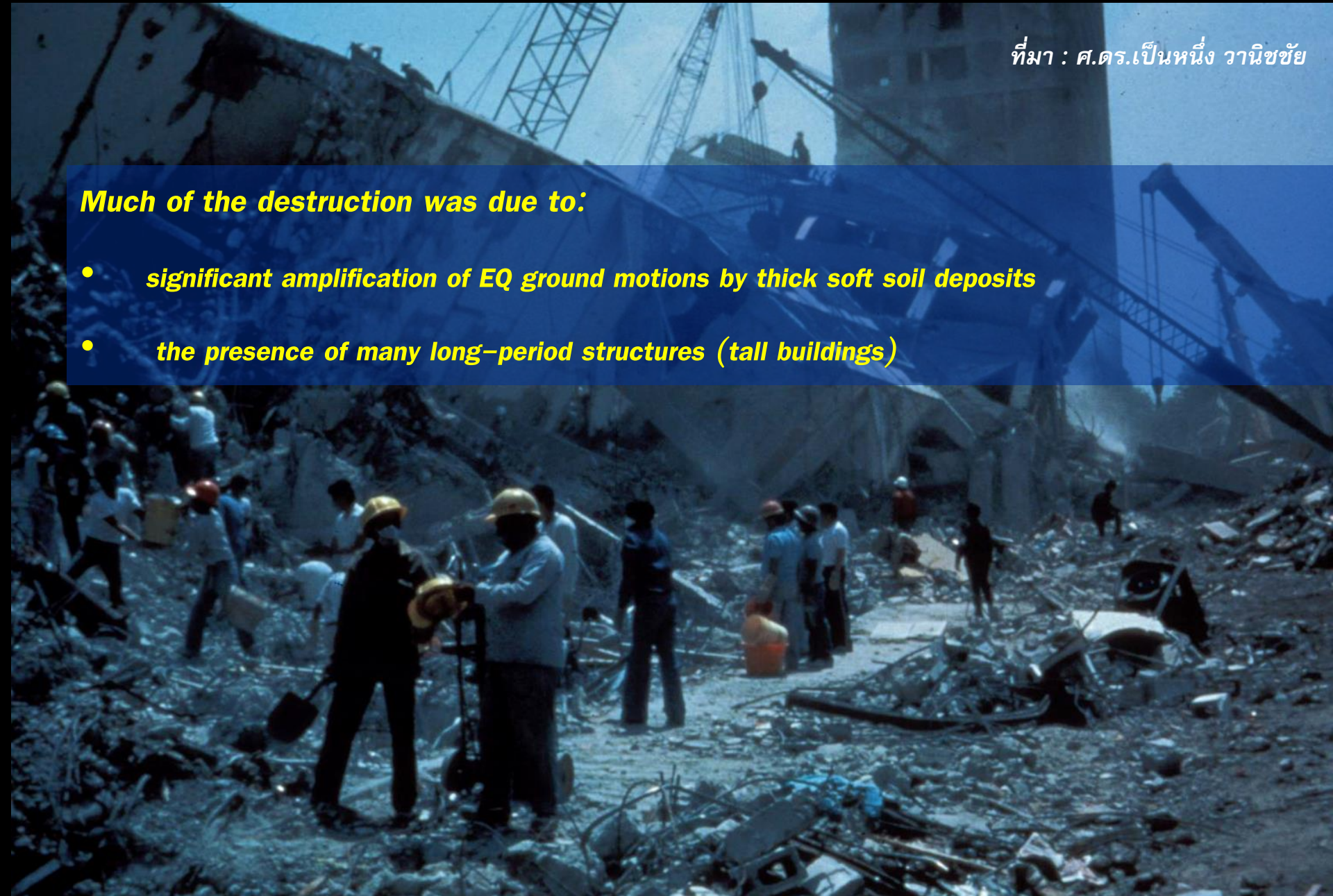


Earthquake Disaster in Mexico City (1985)

ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วาณิชชัย

Much of the destruction was due to:

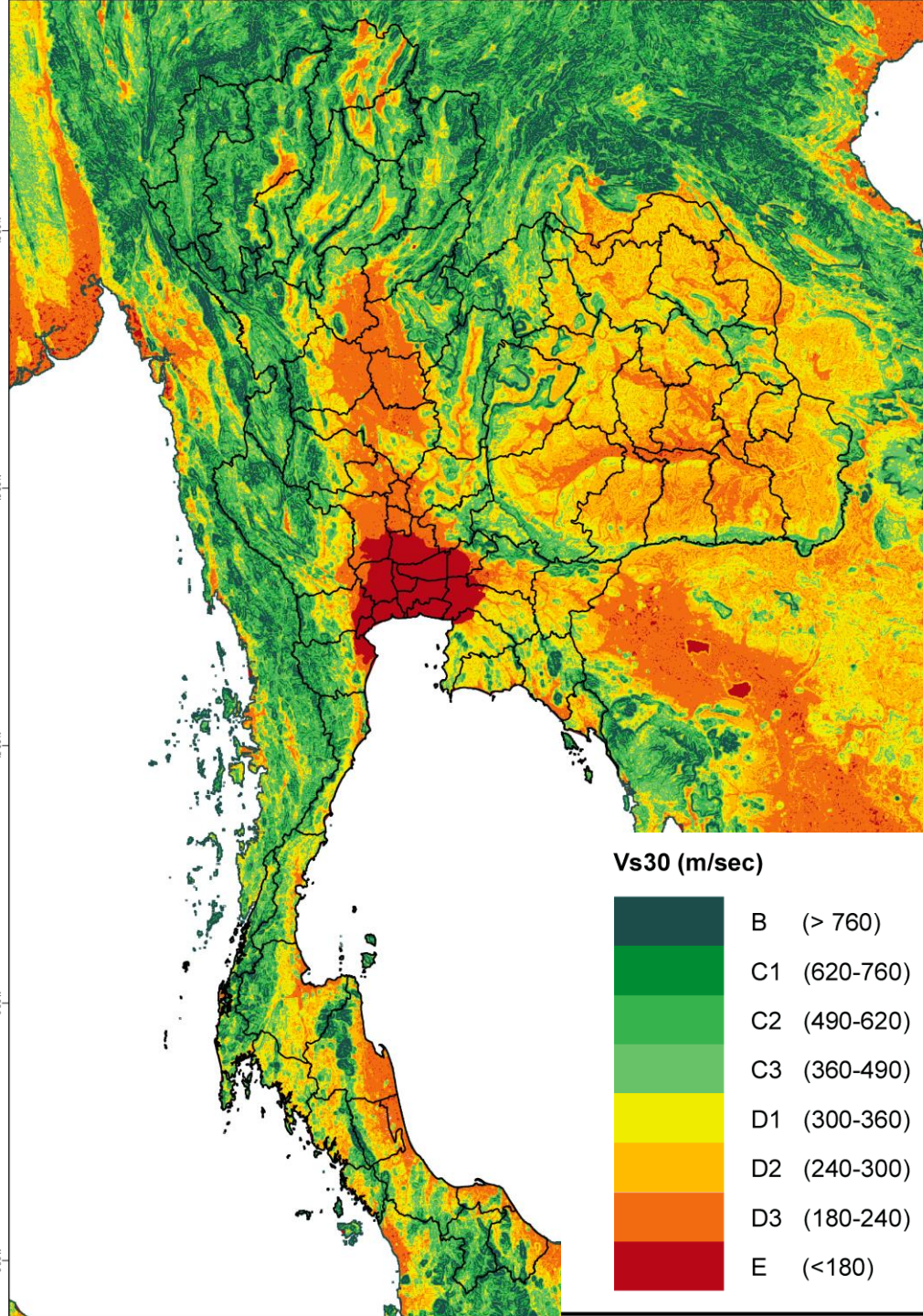
- *significant amplification of EQ ground motions by thick soft soil deposits*
- *the presence of many long-period structures (tall buildings)*



ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วาณิชชัย

Map showing Soil (Site) Conditions in Thailand

(derived from digital elevation data—SRTM30 and boreholes data)



Rock (No Amplification)

Very Stiff Soil

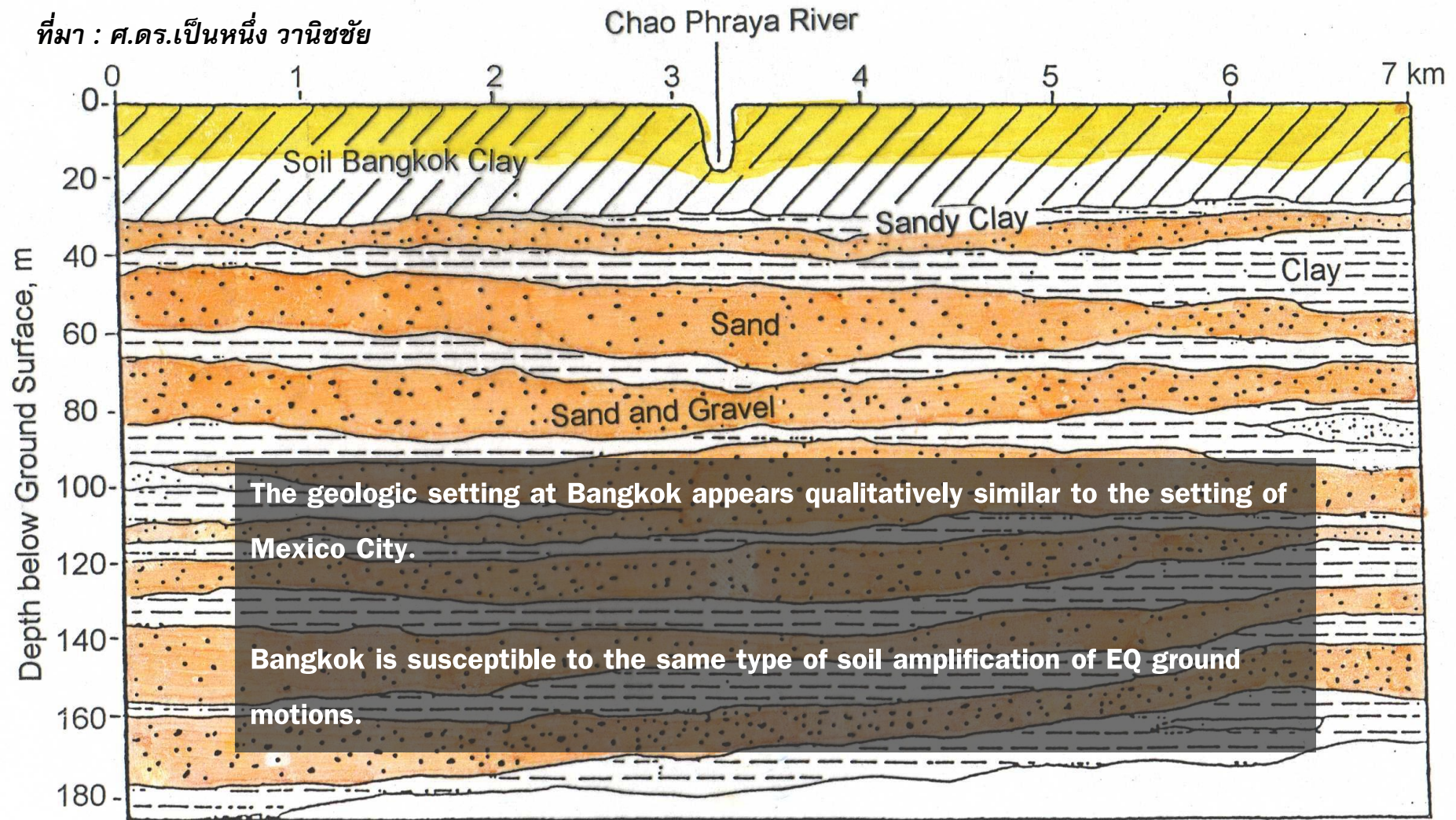
Stiff Soil (Moderate Amplification)

Moderately Soft Soil

Very Soft Soil (High Amplification)

Soil Profile in Bangkok Area

ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วานิชชัย



แผ่นดินไหวไต้หวัน

ที่มา : ศ.ดร.เป็นหนึ่งใน วานิชชัย

ชื่อ: The Meinong Earthquake, Kaohsiung, Taiwan

เวลาเกิด: 03.57 am (Local time) วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2016

ขนาด: 6.4 ริคเตอร์ จัดเป็นแผ่นดินไหวขนาดกลาง

ความลึก: 16.7 กม จัดเป็นแผ่นดินไหวตื้น (ซึ่งอันตรายกว่าแผ่นดินไหวลึก)

จุดศูนย์กลางอยู่บริเวณเทือกเขา ห่างจากเมือง Tainan ประมาณ 30-50 กม.

เมือง Tainan ได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุด มีอาคารพังถล่มหลายหลัง

จำนวนผู้เสียชีวิต 116 คน (114 คน เสียชีวิตในอาคารอพาร์ทเมนต์ Weiguan 16 ชั้น)

จำนวนผู้ได้รับบาดเจ็บมากกว่า 530 คน

The Weiguan Jinlong Building

อาคาร อพาร์ทเมนต์ มีผู้อยู่อาศัยทั้งหมด 327 คน

ภายหลังอาคารถล่ม มีผู้หนีรอดจากซากอาคารได้ทันทีจำนวน 95 คน

มีผู้เสียชีวิต 114 คน (35% ของจำนวนผู้อยู่อาศัยทั้งหมด)



จำนวนอาคารสูงในกรุงเทพฯ (12 – 88 ชั้น) 1,434 หลัง

มูลค่าโดยเฉลี่ยของอาคาร 500 – 1,700 ล้านบาทต่อหลัง

จำนวนผู้อยู่ในอาคารโดยเฉลี่ย 600 – 1,900 คน ต่อหลัง

กรณีแผ่นดินไหว 2,500 ปี

จำนวนอาคารสูงที่อาจพังถล่ม 4 – 17 หลัง

กรณีแผ่นดินไหว 500 ปี

จำนวนอาคารสูงที่อาจพังถล่ม 0 – 4 หลัง

กรณีแผ่นดินไหว 50 ปี

จำนวนอาคารสูงที่อาจพังถล่ม 0 หลัง

บทที่ 2

กฎหมายที่บังคับใช้ และการก่อสร้าง

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินไหว

เล่ม ๑๒๔ ตอนที่ ๘๖ ก

ราชกิจจานุเบกษา

๓๐ พฤศจิกายน ๒๕๕๐



กฎกระทรวง

กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

พ.ศ. ๒๕๕๐

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินไหว

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 ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๒ มาตรา ๓๓ มาตรา ๔๑ มาตรา ๔๒ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารออกกฎกระทรวงไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกกฎกระทรวง ฉบับที่ ๔๙ (พ.ศ. ๒๕๔๐) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒

พื้นที่และบริเวณเฝ้าระวัง

- **บริเวณเฝ้าระวัง** : พื้นที่หรือบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวได้แก่ จังหวัดกระบี่ ชุมพร พังงา ภูเก็ต ระนอง สงขลา และสุราษฎร์ธานี
- **บริเวณที่ 1** : พื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกล ได้แก่ จังหวัด กรุงเทพฯ นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการและสมุทรสาคร
- **บริเวณที่ 2** : พื้นที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี เชียงราย เชียงใหม่ ตาก น่าน พะเยา แพร่ ลำปาง ลำพูนและแม่ฮ่องสอน

บริเวณและอาคารที่บังคับใช้

- 1) **อาคารที่จำเป็นต่อสาธารณชน** เช่น สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า โรงผลิตและเก็บน้ำประปา
- 2) **อาคารเก็บวัตถุอันตราย** เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุกัมมันตรังสีหรือวัตถุที่ระเบิดได้
- 3) **อาคารสาธารณะ** เช่น โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์สถาน หอสมุด ศาสนสถาน อัมจันทร์ ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถและโรงแรม
- 4) **สถานที่ศึกษา**

บริเวณและอาคารที่บังคับใช้

- 5) สถานที่รับเลี้ยงเด็ก
- 6) อาคารที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป
- 7) อาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 15 ม. ขึ้นไป
- 8) สะพานหรือทางยกระดับที่มีศูนย์กลางต่อม่อตั้งแต่ 10 ม. ขึ้นไป
- 9) เขื่อนกักเก็บน้ำ เขื่อนทดน้ำหรือฝายทดน้ำ ที่ตัวเขื่อนหรือตัวฝายมีความสูงตั้งแต่ 10 ม. ขึ้นไป

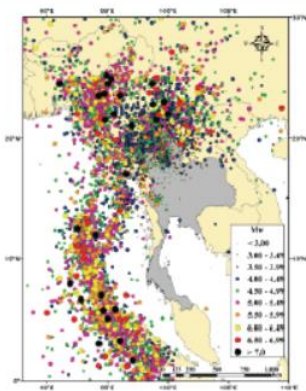
เงื่อนไขในการออกแบบ

- การจัดรูปแบบทางเรขาคณิตให้มีเสถียรภาพในการต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
- รายละเอียดปลีกย่อยขึ้นส่วนโครงสร้าง รวมทั้งบริเวณรอยต่อระหว่างปลายขึ้นส่วนโครงสร้างต่างๆต้องมีความเหนียวเทียบเท่าความเหนียวจำกัด (Limited Ductility)
- ในการออกแบบให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่มากกว่าระหว่างแรงจากแผ่นดินไหวและแรงลมตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ร.บ 2522)

เอกสารประกอบ

มยพ. 1302

มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทาน
การสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมวิชาการและพัฒน์เมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2552

มยพ. 1301-54

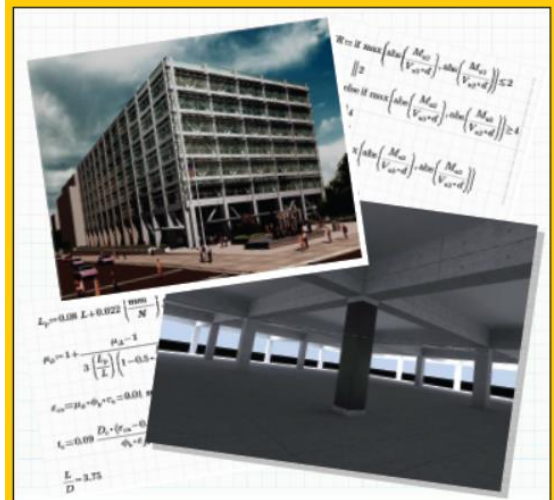
มาตรฐานประกอบกาออกแบบอาคาร
เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
(ปรับปรุงครั้งที่ 1)



กรมวิชาการและพัฒน์เมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2554

มยพ. 1303-57

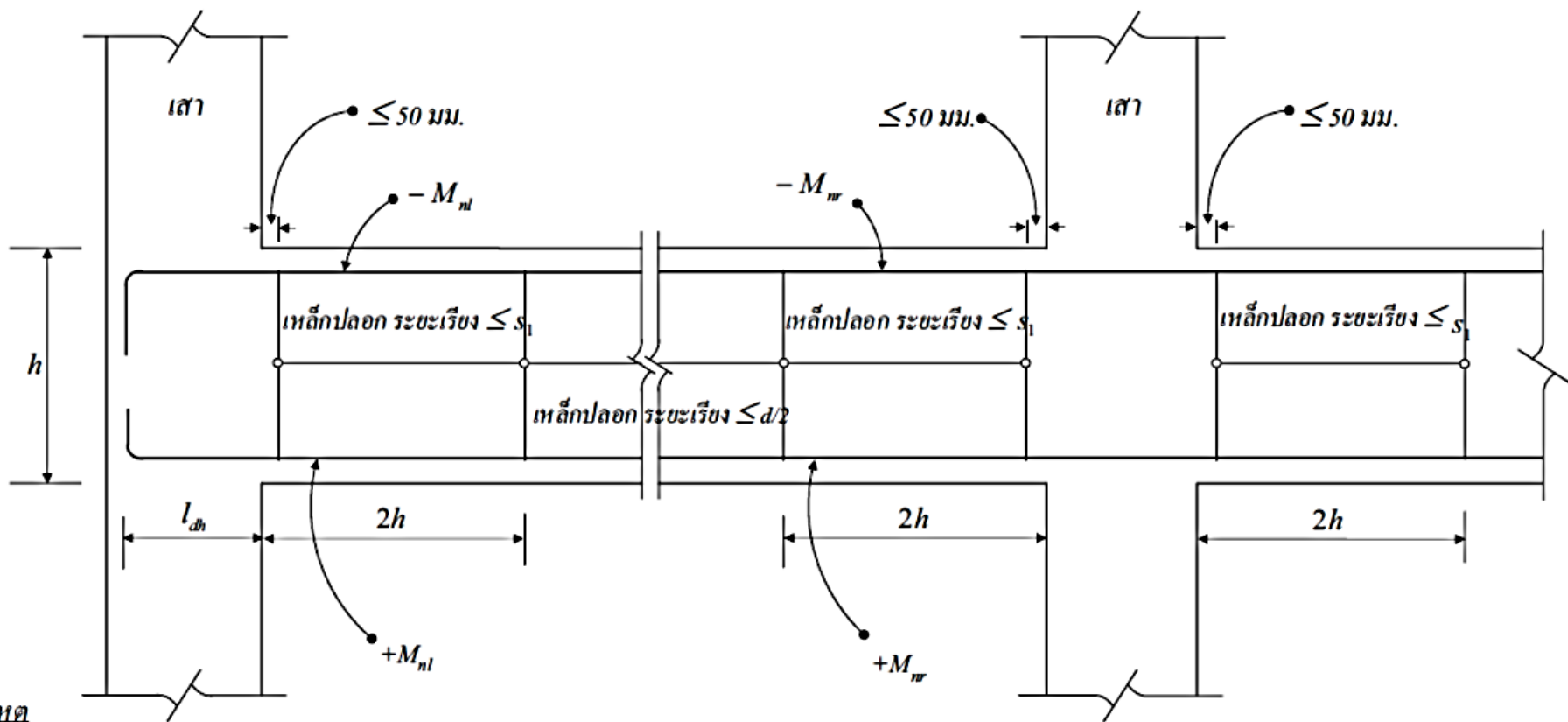
มาตรฐานการประเมินและการเสริมความมั่นคงแข็งแรง
ของโครงสร้างอาคารในเขต
ที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมวิชาการและพัฒน์เมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2557

รายละเอียดหลักเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

1. ภายในบริเวณปลายคานที่ห่างจากขอบของจุดที่รองรับเป็นระยะ 2 เท่าของความลึกคานจะต้องเสริมเหล็กปลอกที่มีระยะ ไม่มากกว่า
 - 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิภาพ
 - 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามแนวยาวที่มีขนาดเล็กสุด
 - 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
 - 300 มิลลิเมตร



หมายเหตุ

ก) ระยะเรียงของเหล็กปลอก s_1 ต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยสุดของค่าดังต่อไปนี้

- | | |
|--|--|
| (1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิภาพ | (2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามความยาวที่มีขนาดเล็กสุด |
| (3) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก และ | (4) 300 มิลลิเมตร |

ข) กำลังต้านโมเมนต์ของคานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

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

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

รายละเอียดหลักเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

■ **หลักเสริมในเสา** : มีข้อกำหนดดังนี้ (**ดูรูป-หน้าถัดไป**)

1. กรณีเหล็กปลอกเดี่ยวจะเสริมไม่มากกว่าระยะ s_0 ตลอดความยาว l_0 ที่วัดจากขอบของข้อต่อเสา โดยที่ระยะ s_0 จะต้องไม่มากกว่า

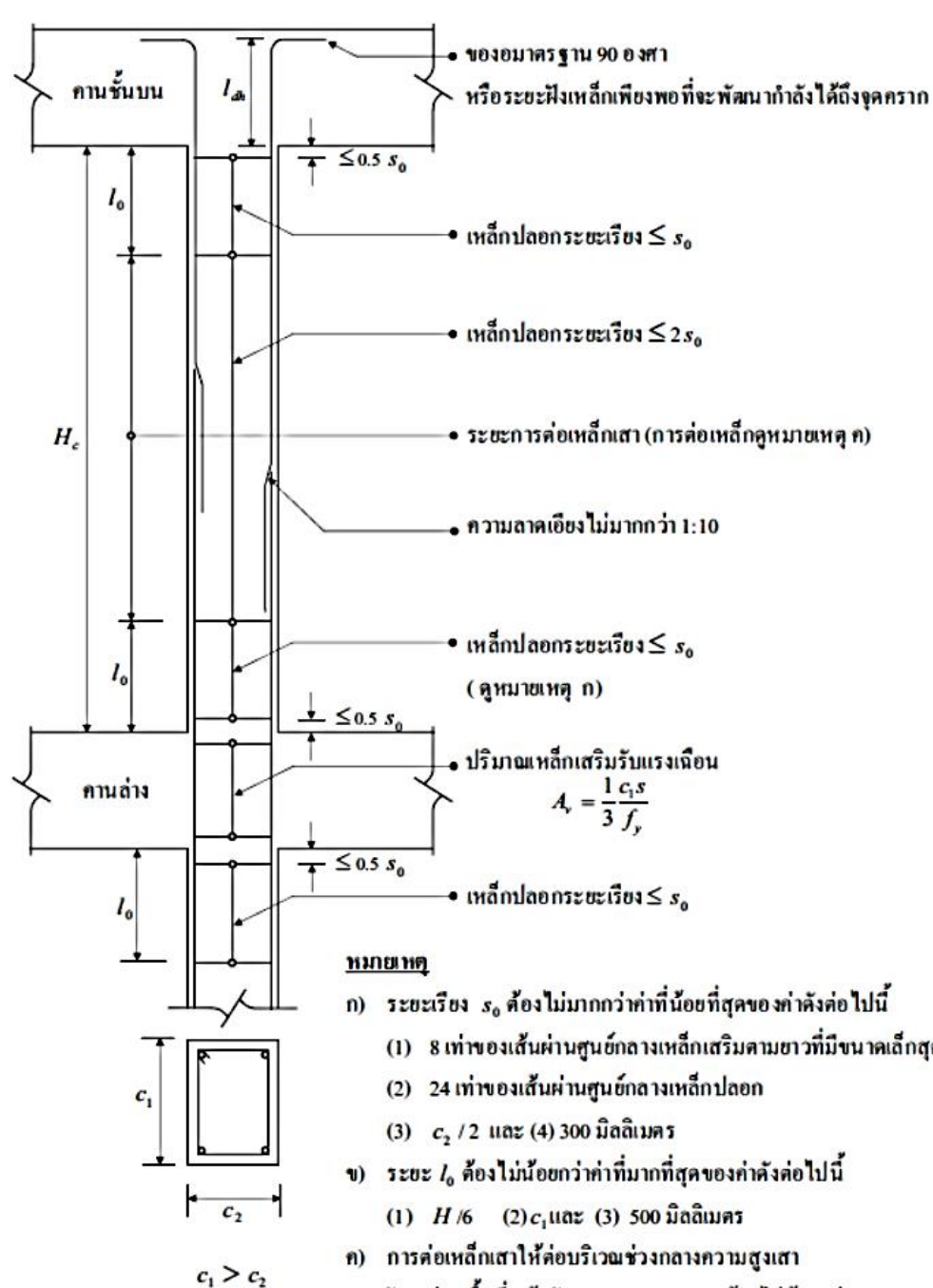
■ 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามแนวยาวที่มีขนาดเล็กที่สุด

■ 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก

■ ครึ่งหนึ่งของมิติที่เล็กที่สุดของหน้าตัดเสา

■ 300 มิลลิเมตร

และเหล็กปลอกแรกจะต้องอยู่ห่างจากขอบของข้อต่อเป็นระยะไม่มากกว่า $0.5s_0$

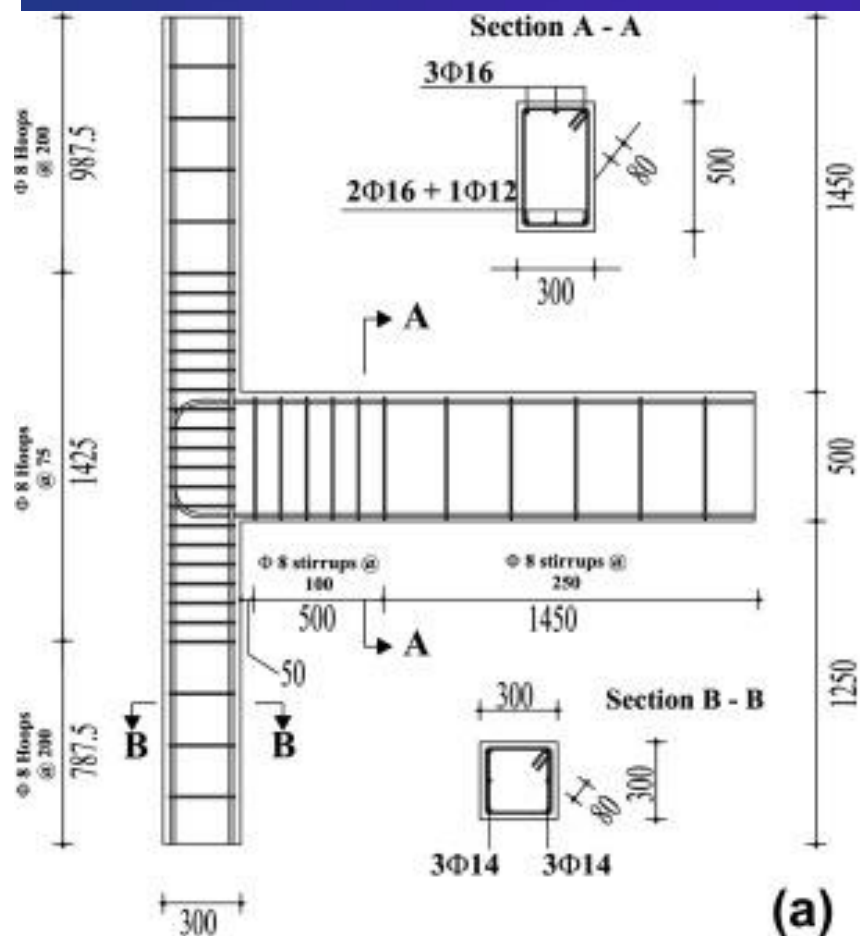


หมายเหตุ

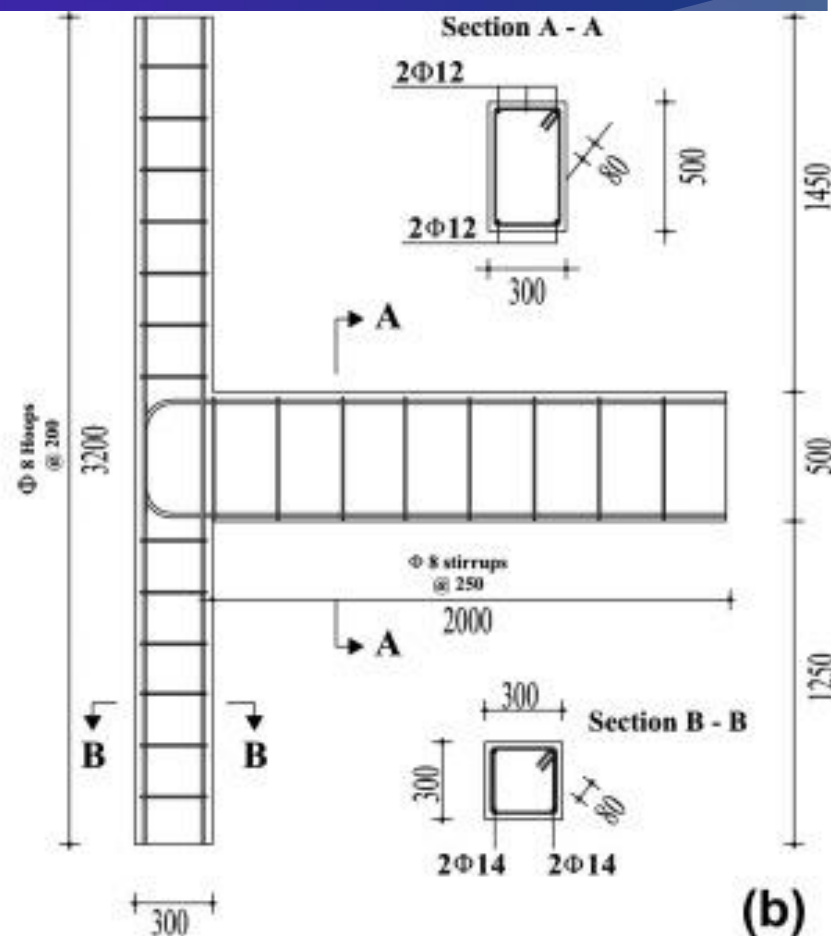
- ก) ระยะเรียง s_0 ต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้
- (1) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด
 - (2) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก
 - (3) $c_2 / 2$ และ (4) 300 มิลลิเมตร
- ข) ระยะ l_0 ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดของค่าดังต่อไปนี้
- (1) $H/6$ (2) c_1 และ (3) 500 มิลลิเมตร
- ค) การค่อเหล็กเสาให้ค่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา
- ง) อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด A_s / A_g ของเสา ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 และไม่ควรมากกว่าร้อยละ 6



รายละเอียดเหล็กเสริม



(a)



(b)

กรณีเสริมเหล็กต้านแผ่นดินไหว

กรณีไม่เสริมเหล็กต้านแผ่นดินไหว

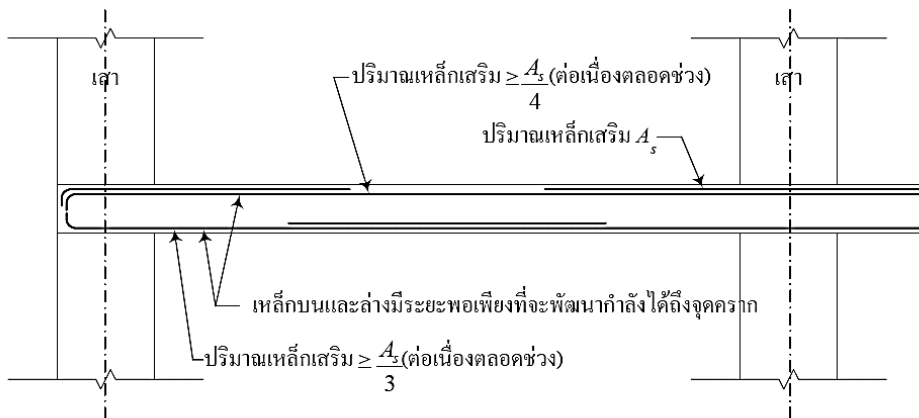
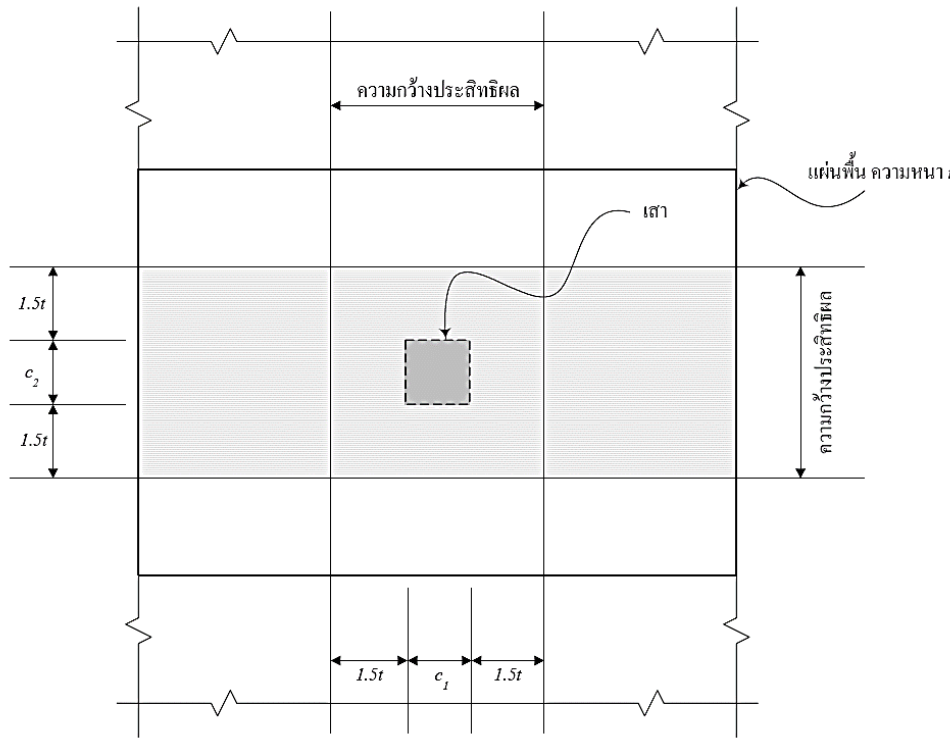
รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

■ **เหล็กเสริมในเสา** : มีข้อกำหนดดังนี้ (ต่อ)

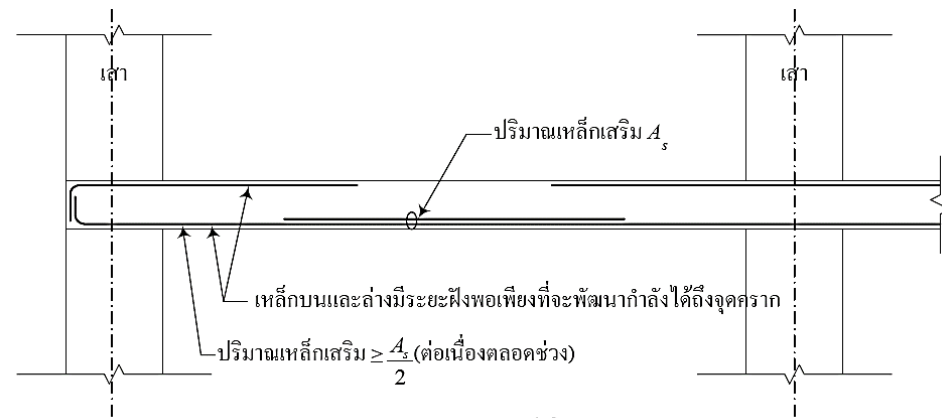
2. สำหรับความยาว l_0 ในข้อ 1 จะต้องไม่น้อยไปกว่า

- 1 ใน 6 ของความสูงจากขอบถึงขอบเสา
- มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา
- 500 มิลลิเมตร





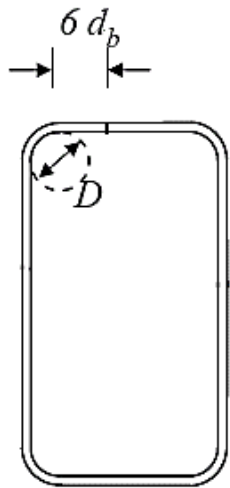
(ข) รายละเอียดการเสริมเหล็กในแถบเสา



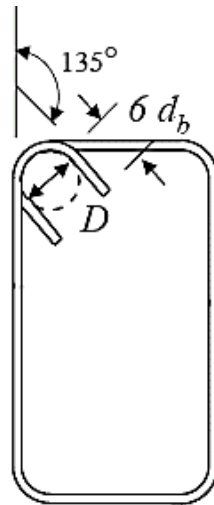
(ค) รายละเอียดการเสริมเหล็กในแถบกลาง

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

- **ของอ (Hook) :** จะต้องใช้ของอ 90 องศาและ 135 องศา สำหรับอาคารทั่วไปและอาคารสาธารณะตามลำดับ



(ก) ของอ 90 องศา
(สำหรับอาคารทั่วไป)



(ข) ของอ 135 องศา
(สำหรับอาคารสาธารณะ)



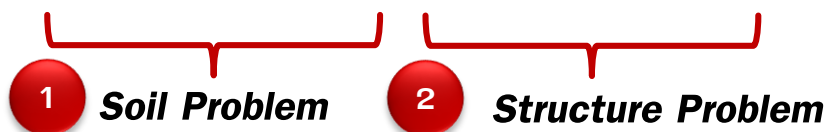
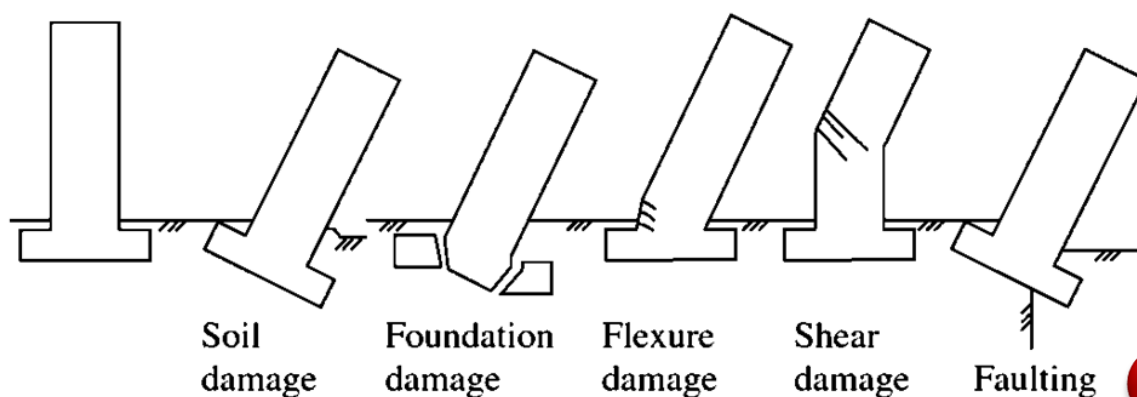
บทที่ 3

ความเสียหายเนื่องจากแผ่นดินไหว

ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

Categories of Structural Damage

Damage state	Functionality	Repairs required	Expected outage
None (preyield) (1)	No loss	None	None
Minor/slight (2)	Slight loss	Inspect, adjust, patch	<3 days
Moderate (3)	Some loss	Repair components	<3 weeks
Major/extensive (4)	Considerable loss	Rebuild components	<3 months
Complete/collapse (5)	Total loss	Rebuild structure	>3 months



ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก **แผ่นดินไหว**

1. Damage as a result of Problem Soils

Liquefaction



1955 Niigata, Japan Earthquake



1999 Turkey earthquake

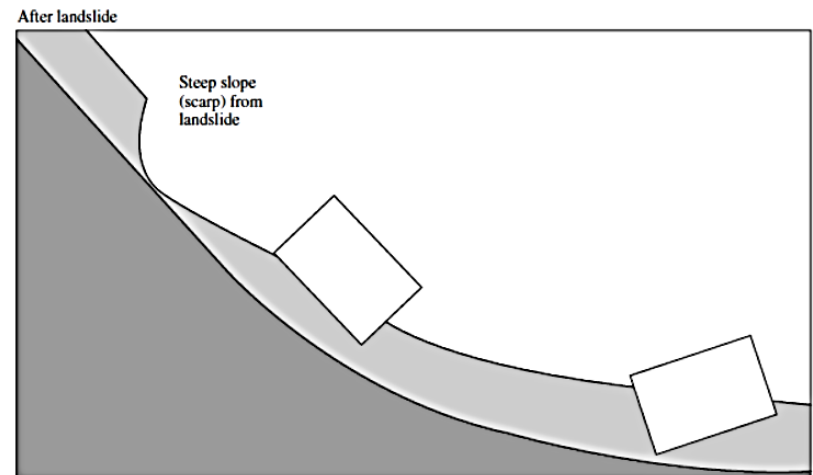
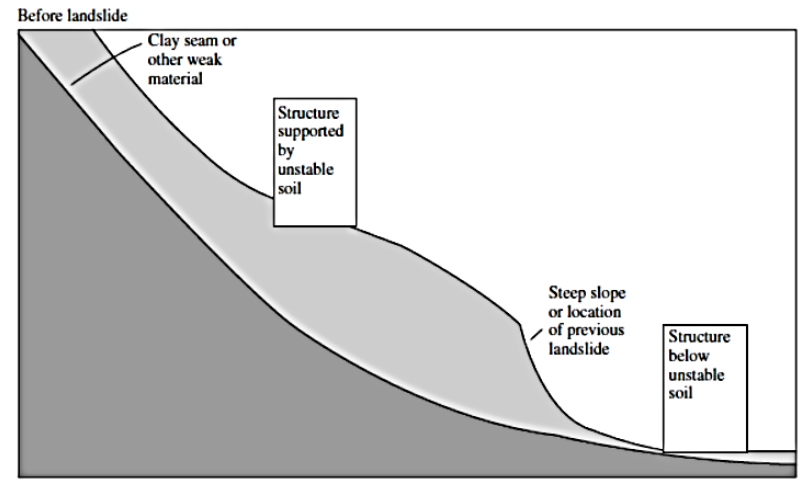
ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

1. Damage as a result of Problem Soils

Earthquake induced Landslide



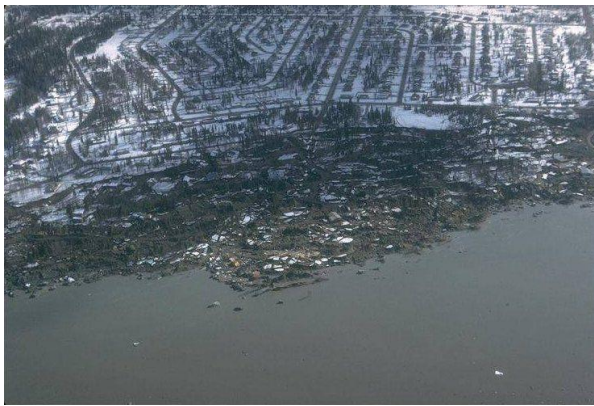
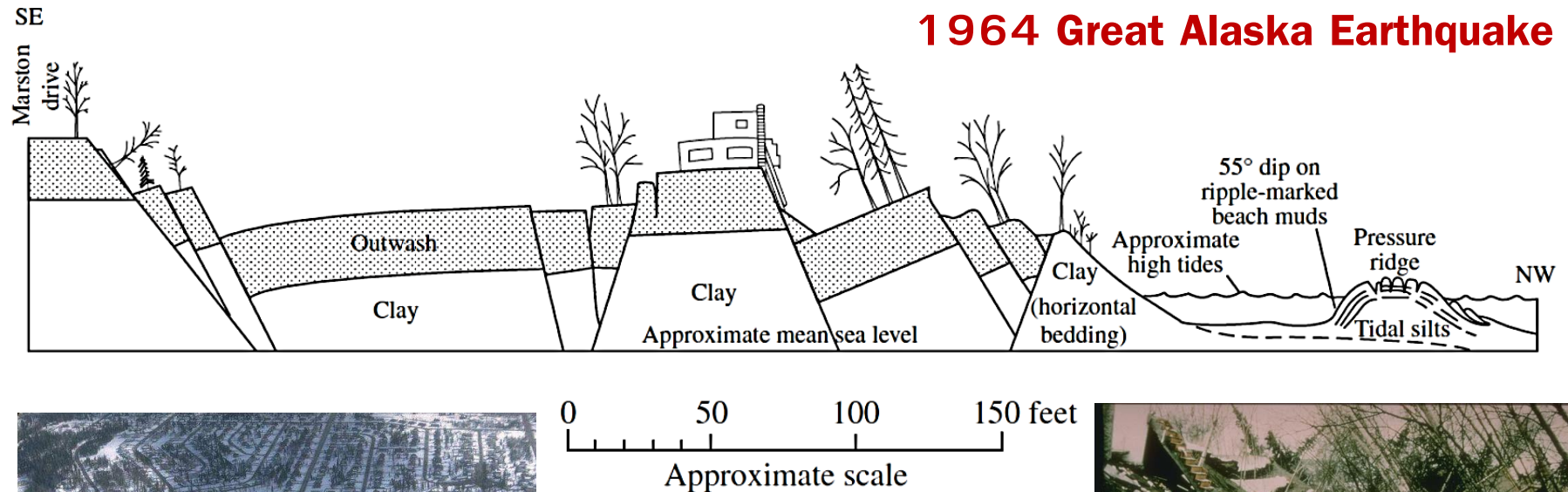
1999 Chi-Chi Earthquake, Taiwan



ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก **แผ่นดินไหว**

1. Damage as a result of Problem Soils

Landslide



@ Turnagain Hights



ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก **แผ่นดินไหว**

1. Damage as a result of Problem Soils

Earthquake induced Landslide



1999 Chi-Chi Earthquake, Taiwan

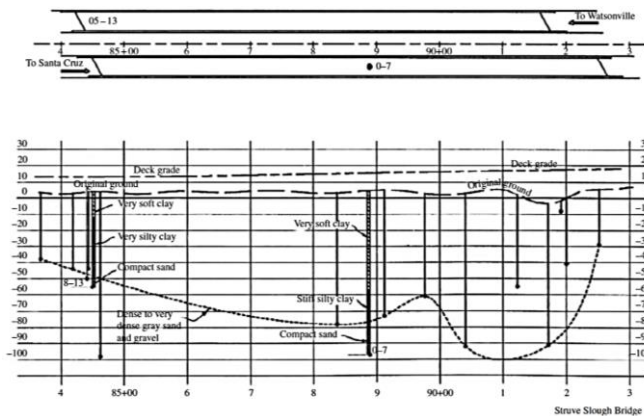


1995 Kobe earthquake, Japan

ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

1. Damage as a result of Problem Soils

Weak Clay

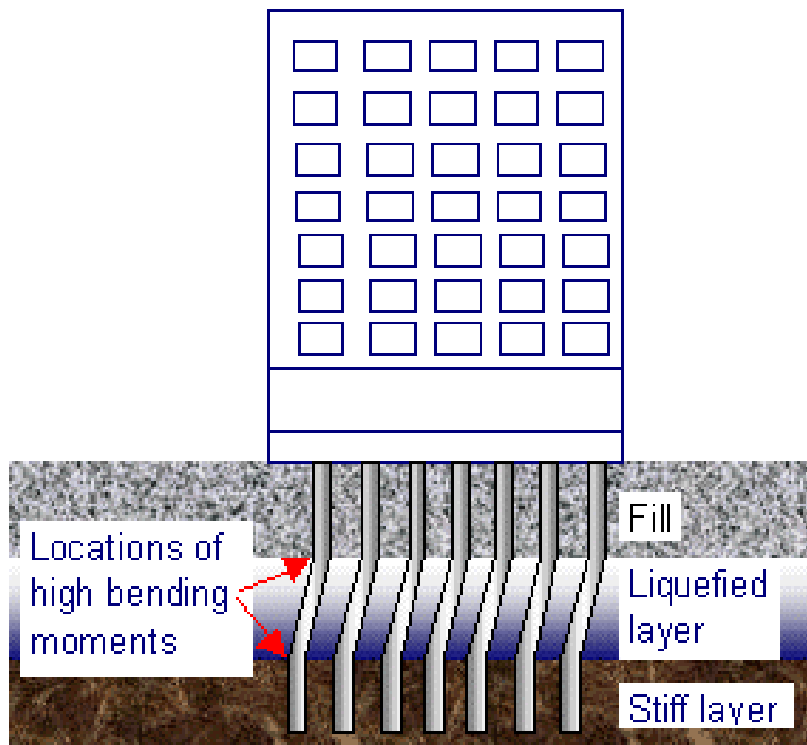


1989 Loma Prieta Earthquake

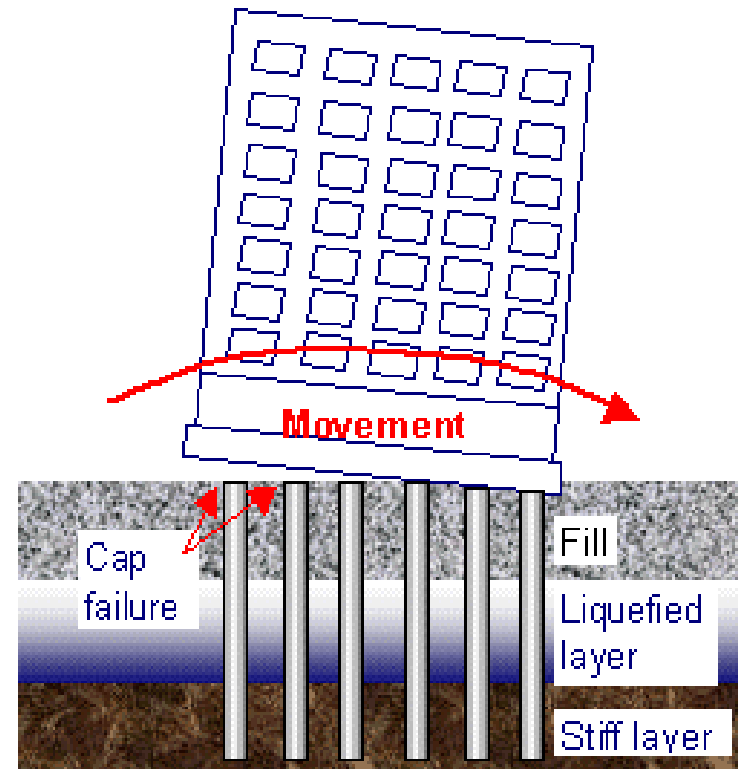
ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Foundation Failure



Crushing or Bending failures



Connecting failure

ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Foundation Failure



2011 Tohoku Earthquake

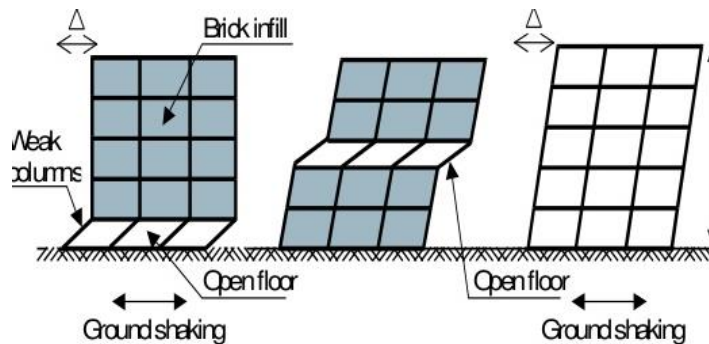
1971 San Fernando Earthquake



ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Soft Story



1999 Izmit earthquake



Loma Prieta earthquake

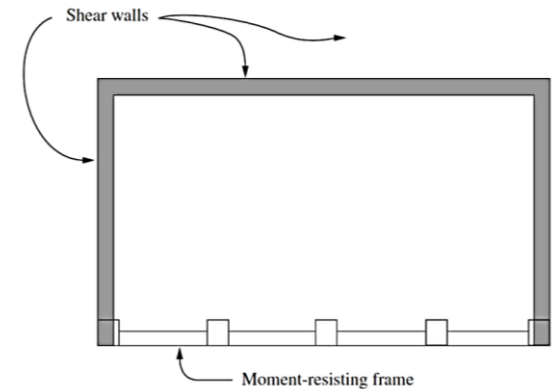
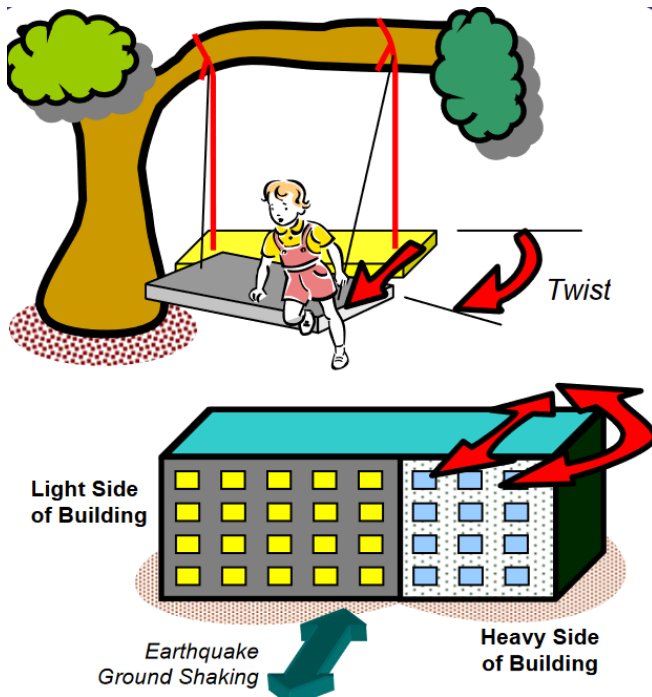


2016 Ecuador earthquake

ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Torsional Moment



1995 Kobe earthquake, Japan

ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Compression failure of column



1979 Imperial Valley Earthquake



ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Shear failure of column



ความเสียหายแบบ
การเฉือน (shear
failure) ในตอม่อของ
ทางยกระดับจำนวนมาก
เนื่องจาก **Loma
Prieta Earthquake**

ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Shear failure of column

Great Hanshin Earthquake



ปริมาณเหล็กเสริมตามขวางไม่เหมาะสม



ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Bending failure of column



การวิบัติเนื่องจากการดัดที่มีความเครียดสูง เนื่อง การให้รายละเอียดของเหล็กเสริมตามขวางที่มากเป็นพิเศษ ภายใต้ Northridge Earthquake



ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Joint shear failure



การวิบัติของจุดต่อและคาน โดย การเฉือน ภายใต้ Haiti Earthquake ก่อให้เกิดการวิบัติแบบฉับพลันของโครงสร้าง



การวิบัติแบบสิ้นเชิงของอาคารเนื่องจากการให้รายละเอียดของเหล็กเสริมในจุดต่อ ที่ไม่เหมาะสม ภายใต้ Northridge Earthquake

ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

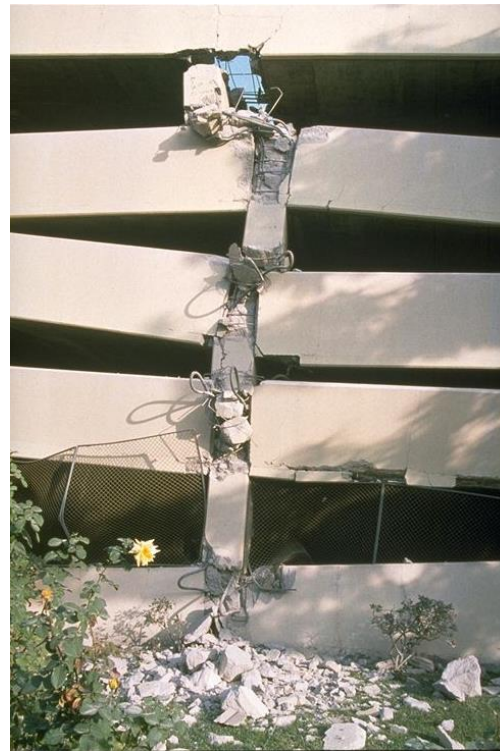
2. Damage as a result of structural Problems

Joint shear failure



การวิบัติแบบเฉือนของคานสะพาน

การวิบัติที่จุดต่อคาน-เสา (beam-column joint failure)



การวิบัติเนื่องจากการเฉือนที่เสา (column shear failure)
เนื่องจาก Northridge Earthquake



ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Shear in Beam



ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Strong Beam – Weak Column failure



การวิบัติของอาคารแบบที่เรียกว่า **เสาอ่อน-คานแข็ง** จาก Haiti Earthquake โดยเห็นจากคานหรือแผ่นพื้นขนาดใหญ่ที่ตั้งอยู่บนเสาขนาดเล็กที่เสริม เหล็กในปริมาณที่น้อยมาก

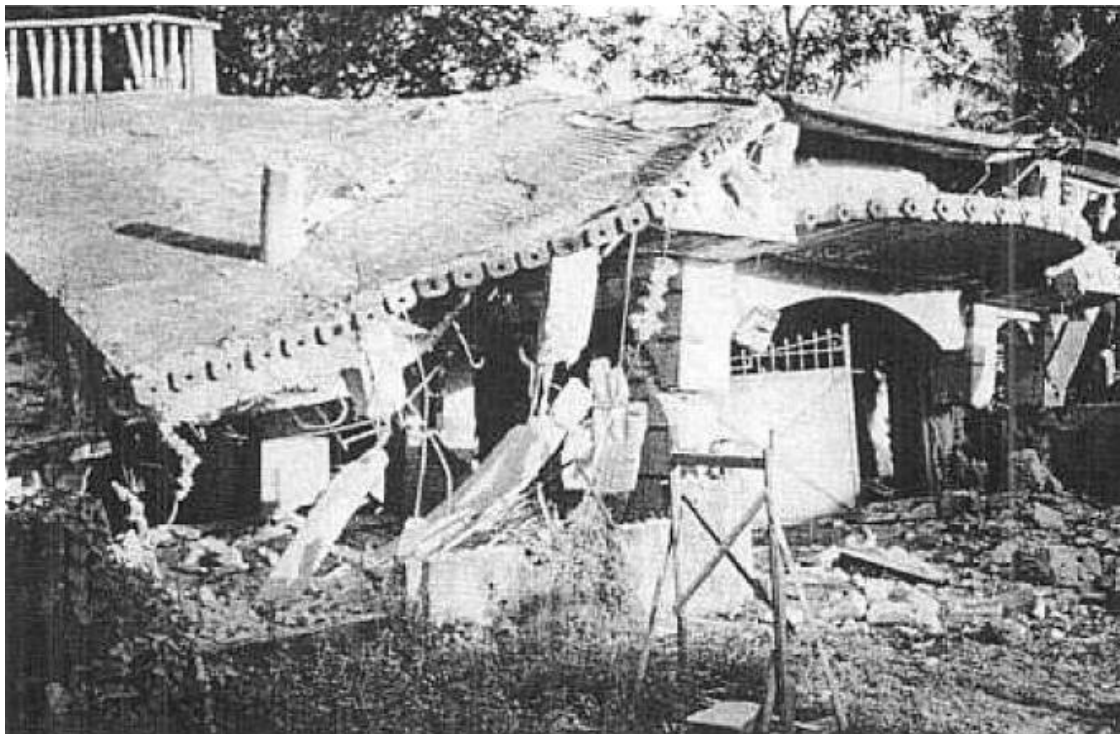


Column yielding but beams is not

Wenchuan Earthquake

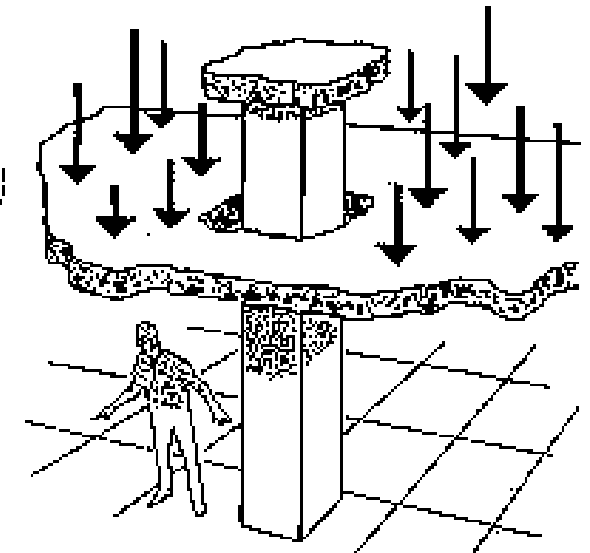
ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems



Guindulman, Bohol collapsed during the 2nd shock

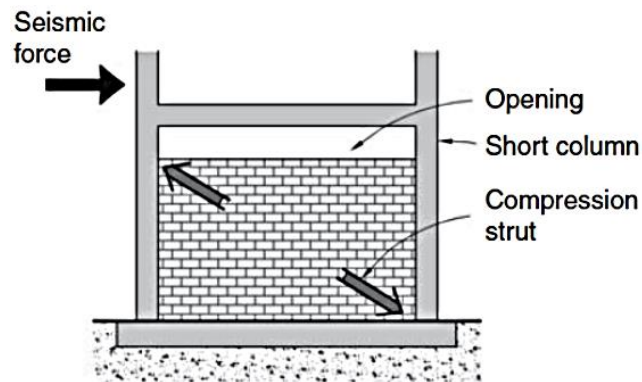
Punching shear failure



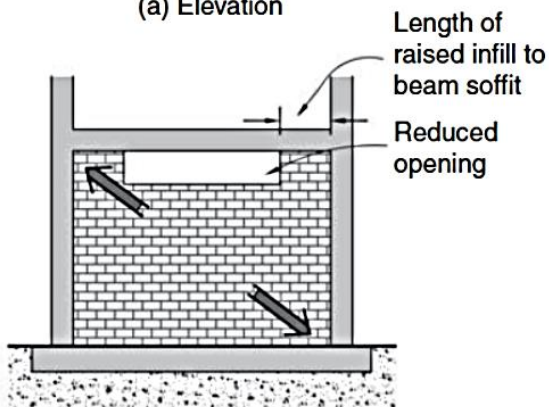
ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Short column : Shear Failure



(a) Elevation



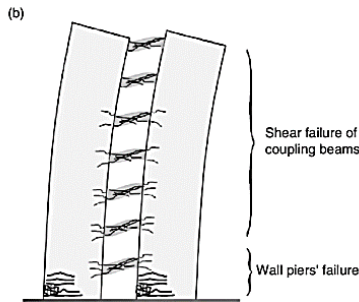
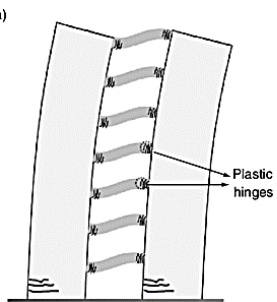
(b) Elevation



ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Short Beam : Shear Failure



Shear failure of coupling beam

ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems

Failure of Concrete wall

Shear failure



Shear failure



Bending failure

ผลกระทบต่อโครงสร้างเนื่องจาก แผ่นดินไหว

2. Damage as a result of structural Problems



Brick Fragment



ความเสียหายต่อโครงสร้างเนื่องจาก Nepal Earthquake ซึ่งพบทั้งการวิบัติของอาคาร แบบชั้นอ่อน แต่โดยมากความสูญเสียเกิดจากการพังทลายของอาคาร ที่สร้างจากอิฐก่อ

บทที่ 4

ความเสี่ยงของอาคาร

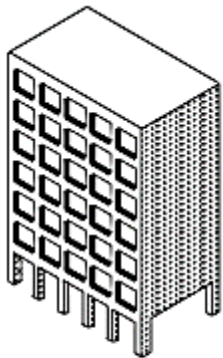
ลักษณะและรูปร่างของโครงสร้าง

- ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง (Vertical Structural Irregularities)
- ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (Plan Structural Irregularities)

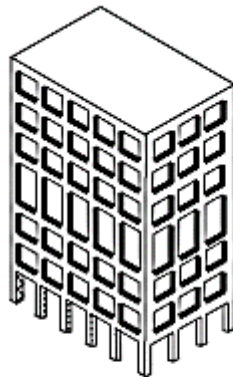


ความไม่สม่ำเสมอในแนวดิ่ง

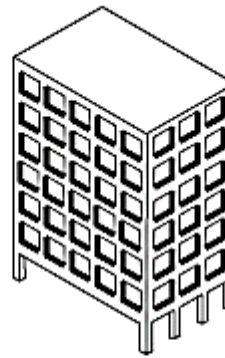
- ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส (Stiffness irregularity) หรือชั้นที่อ่อน (Soft story) : เช่น ชั้นที่มีสติฟเนสทางข้างน้อยกว่าร้อยละ 70 ของชั้นที่เหนือขึ้นไปหรือน้อยกว่าร้อยละ 80 ของสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป



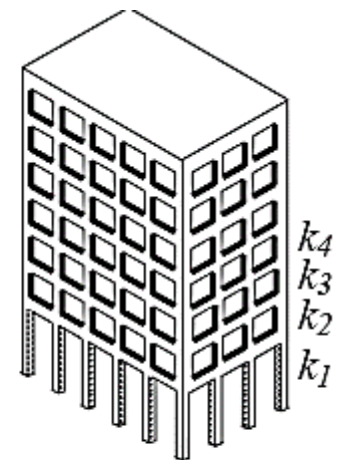
ช่องเปิดขนาดใหญ่ใน
กำแพงรับแรงเฉือน



ความสูงของชั้นไม่สม่ำเสมอ



ความไม่ต่อเนื่องของเสา

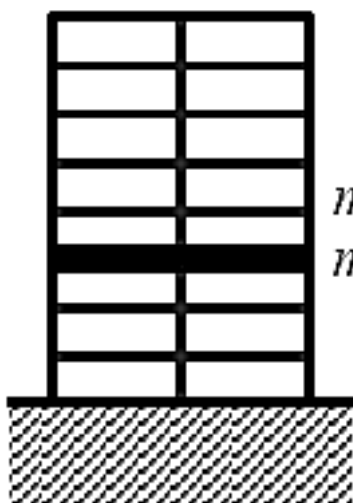


$$k_1 < 0.7 k_2 \text{ หรือ } < 0.8 (k_2 + k_3 + k_4)/3$$

(ก) ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส

ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง

- ความไม่สม่ำเสมอของมวล (Mass irregularity) : มวลประสิทธิผล (Effective mass) ของชั้นใด ๆ มีค่ามากกว่าร้อยละ 150 ของชั้นที่ติดกัน

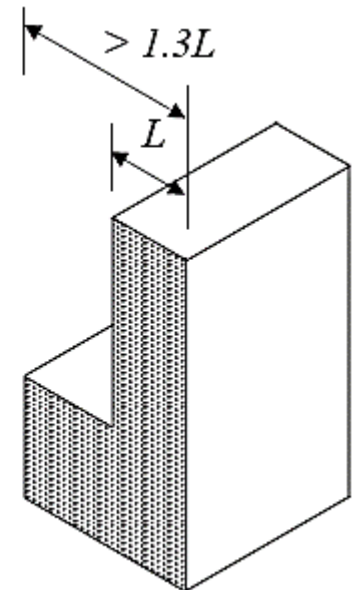
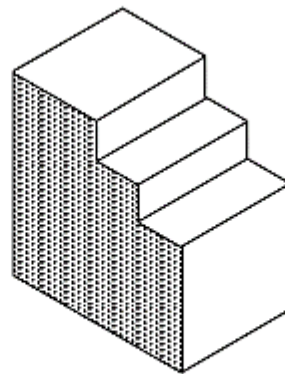
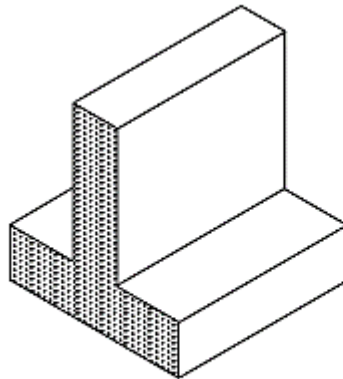
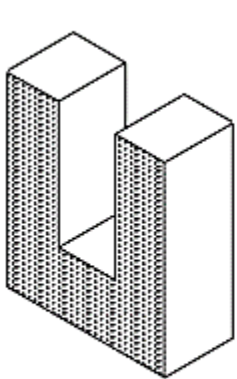


$$\frac{m_b}{m_a} > 1.5$$

(ข) ความไม่สม่ำเสมอของมวล

ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง

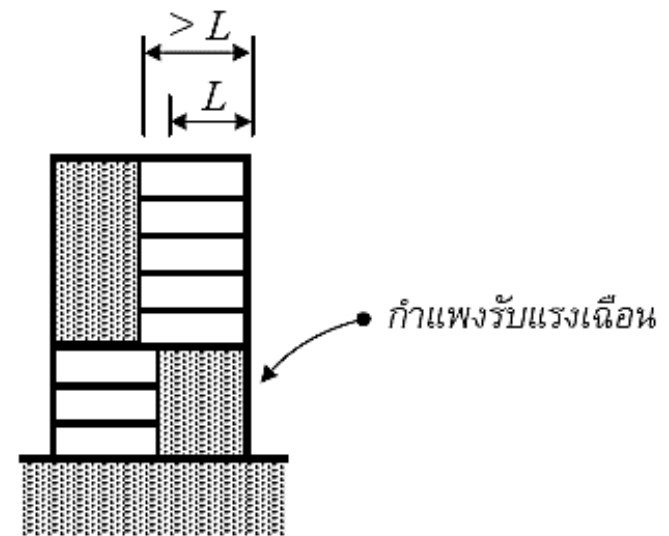
- ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวตั้ง (**Vertical Geometrical Irregularity**) : มิติในแนวราบของระบบต้านทานแรงด้านข้างของชั้นใดๆ มีค่ามากกว่าร้อยละ 130 ของชั้นที่ติดกัน



(ค) ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวตั้ง

ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง

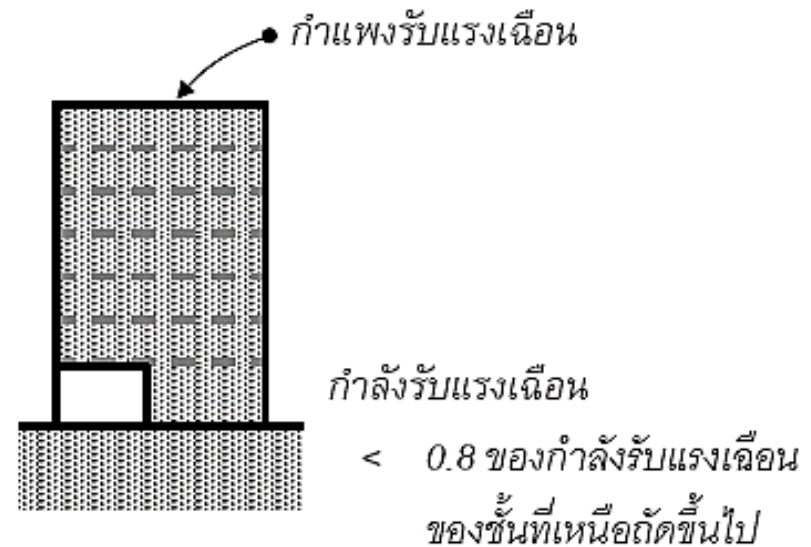
- ความไม่ต่อเนื่องในระนาบขององค์อาคารต้านทานแรงด้านข้างในแนวตั้ง (In-Plane Discontinuity in Vertical Lateral-Force-Resisting Element) : จะพิจารณาเมื่อระยะเยื้องในแนวระนาบขององค์อาคารต้านแรงทางข้างมีค่ามากกว่าความยาวขององค์อาคารนั้นๆ



(ง) ความไม่ต่อเนื่องในระนาบ

ความไม่สม่ำเสมอในแนวตั้ง

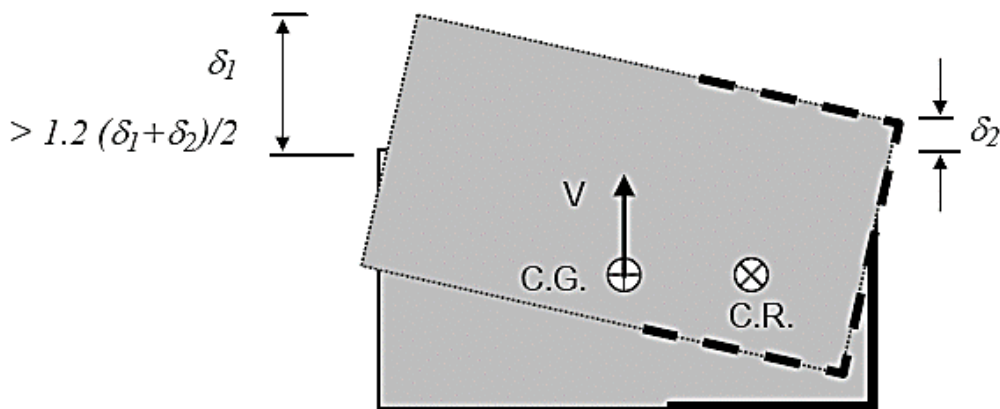
- ความไม่ต่อเนื่องของกำลัง (Discontinuity in Capacity) หรือ ชั้นที่อ่อนแอ (Weak Story): ชั้นที่มีผลรวมของกำลังของชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ร่วมกันรับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางที่พิจารณาทั้งหมด มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป



(จ) ความไม่ต่อเนื่องของกำลัง

ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง

- ความไม่สม่ำเสมอในเชิงการบิด (Torsional Irregularity) – กรณีที่ไดอะแฟรมเป็นประเภทไม่อ่อนตัว (Not Flexible) : เมื่อค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวด้านข้างระหว่างชั้นในแนวตั้งฉากกับแนวแกน ที่ปลายด้านหนึ่งมีค่ามากกว่า 1.2 เท่าของค่าเฉลี่ยที่ปลายทั้งสองด้าน



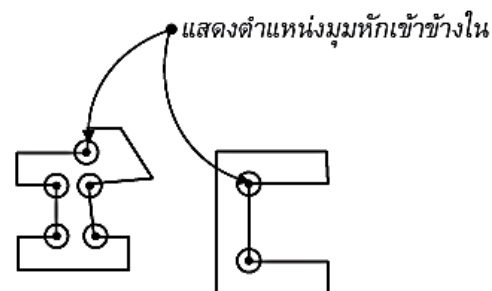
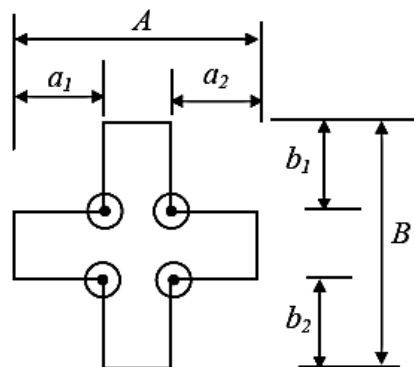
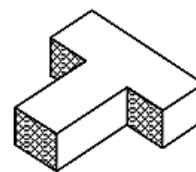
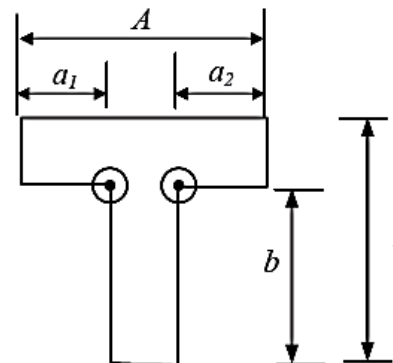
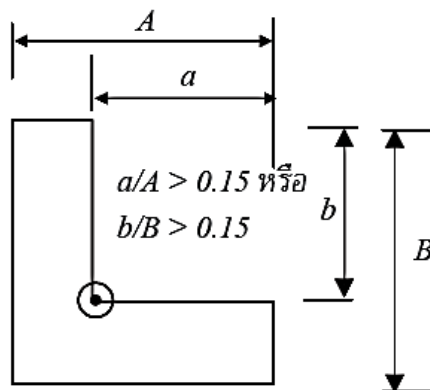
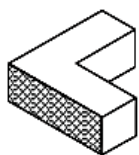
(ก) ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด

ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง

- ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน (Re-Entrant Corners) : เมื่อผังโครงสร้างและระบบต้านทานแรงด้านข้างมีลักษณะหักเข้าข้างใน ทำให้เกิดส่วนยื่น โดยที่ส่วนยื่นนั้นมีระยะฉายในแต่ละทิศทางมากกว่าร้อยละ 15 ของมิติของผังในทิศทางนั้น

(รูปหน้าถัดไป)

ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง

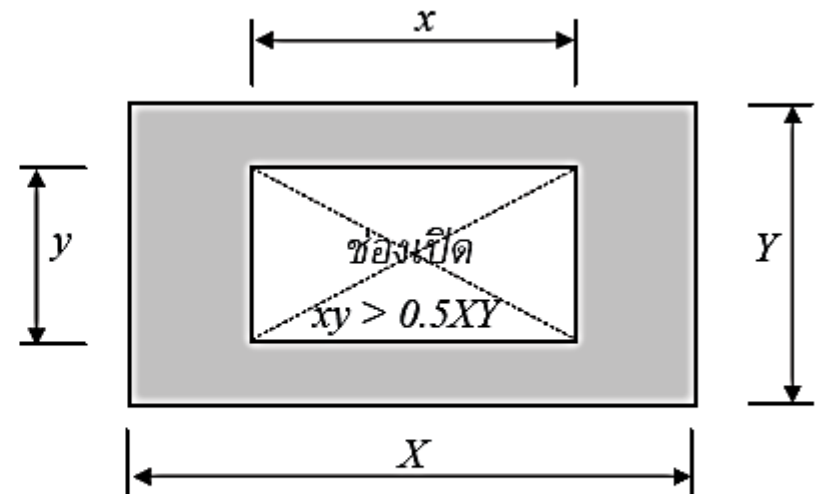
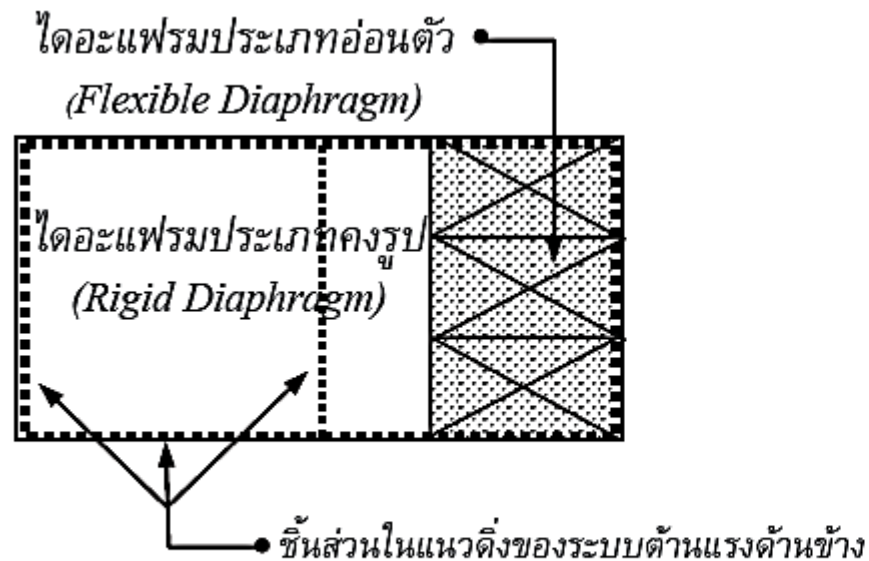


(ข) ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน

ความไม่สม่ำเสมอของผนังโครงสร้าง

- ความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม (Diaphragm Discontinuity) :
เมื่อไดอะแฟรมมีความไม่ต่อเนื่องหรือมีการเปลี่ยนแปลงสถิติ
แนวอย่างกระตั้นหัน รวมถึงการเจาะช่องเปิดมากกว่าร้อยละ 50
ของพื้นที่ไดอะแฟรมหรือสถิติผลของไดอะแฟรมของ
ชั้นใดชั้นหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับ
ชั้นถัดไป

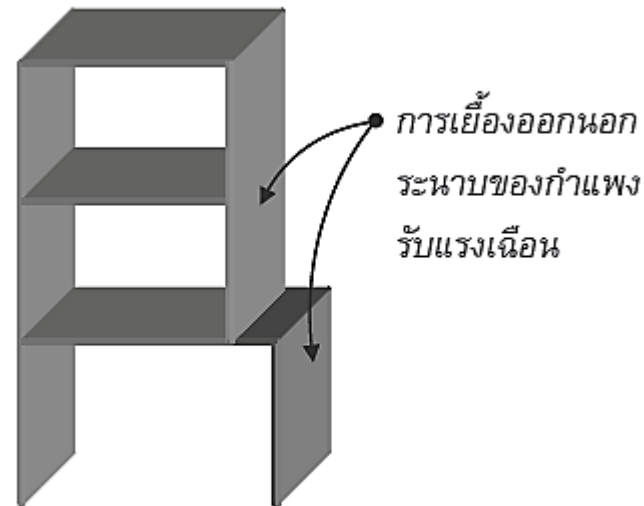
ความไม่สม่ำเสมอของผนังโครงสร้าง



(ค) ความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม

ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง

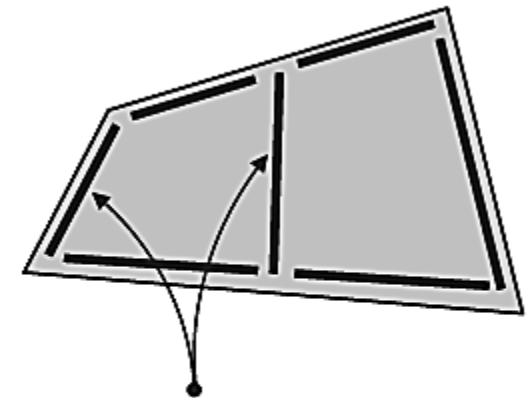
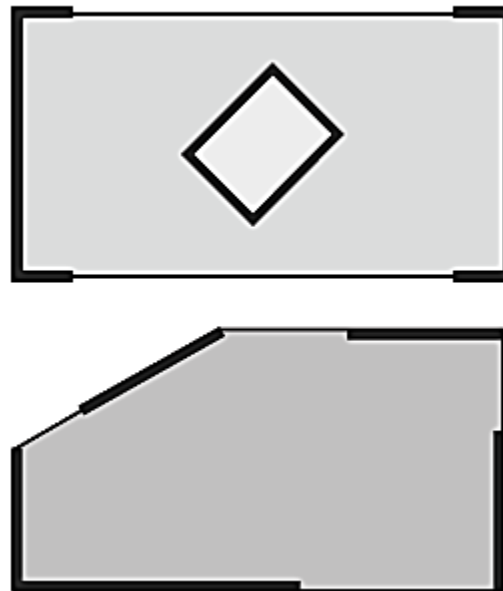
- การเยื้องออกจากระนาบ (**Out-of-Plane Offsets**) : เมื่อเส้นทางการถ่ายแรงของแรงด้านข้างมีความไม่ต่อเนื่อง เช่น การเยื้องของกำแพงรับแรงเฉือน



(ง) การเยื้องออกนอกระนาบ

ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง

- ระบบที่ไม่ขนานกัน (Nonparallel System) : ระบบที่มีชิ้นส่วนแนวตั้งที่ต้านแรงทางข้างวางตัวในแนวที่ไม่ขนานกันหรือไม่สมมาตรกัน



ชิ้นส่วนของระบบต้านแรงด้านข้าง

(จ) ระบบที่ไม่ขนานกัน

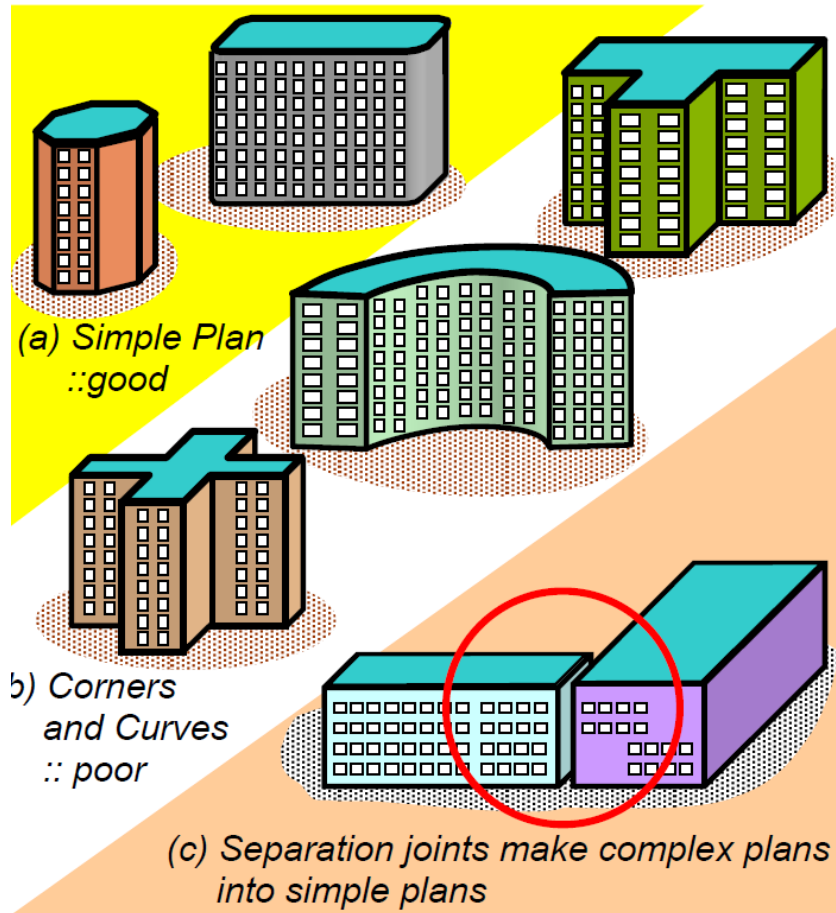
บทที่ 5

การประเมินกำลังต้านแผ่นดินไหว

แนวทางการประเมิน อย่างง่าย (Basic Methods)

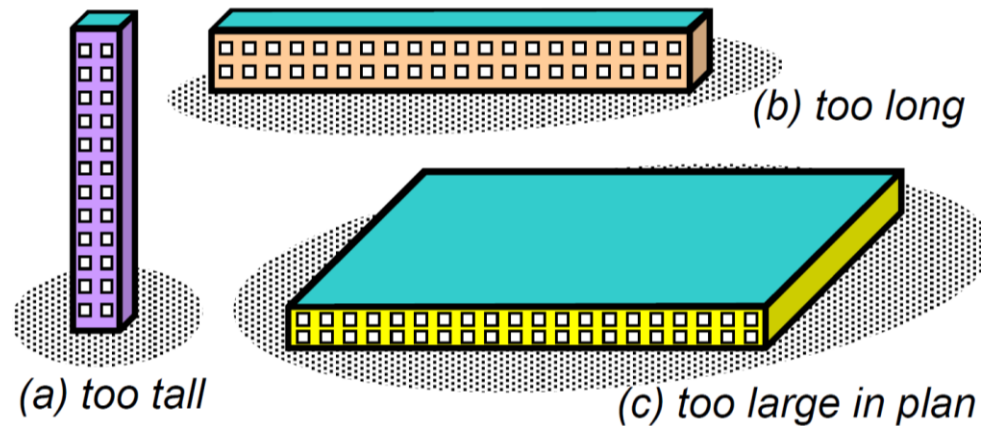
ประเมินด้วยสายตา (Visual inspection)

<http://www.nicee.org>



โครงสร้างที่มีรูปทรงแปลกๆ **มักจะ**
อ่อนแอ ในการต้านแผ่นดินไหว

เป็นการตรวจสอบอย่างง่าย โดย
พิจารณารูปทรงของโครงสร้าง หรือลักษณะ
การวางตัวของชิ้นส่วนโครงสร้าง ว่าสร้าง
ความเสี่ยงต่อการวิบัติภายใต้แรง
แผ่นดินไหวหรือไม่



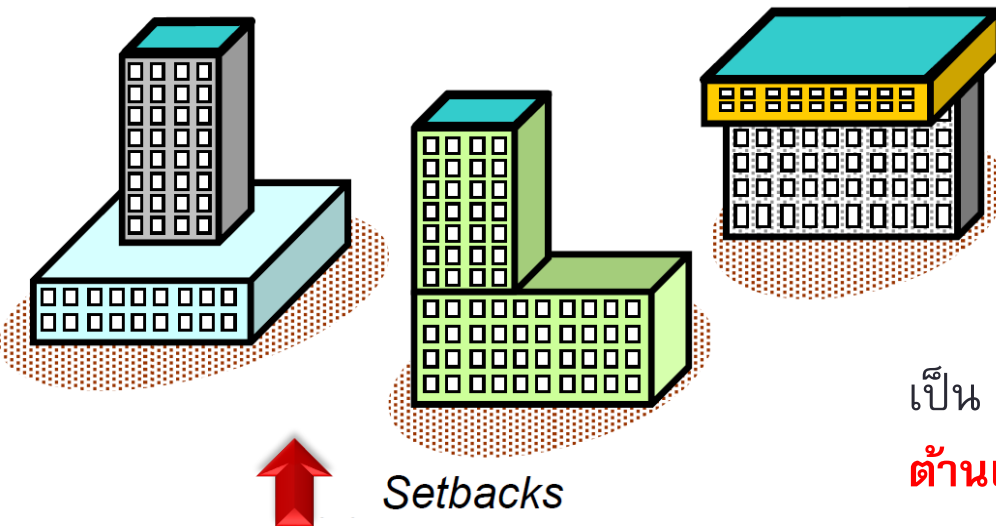
โครงสร้างที่มีด้านใดด้านหนึ่ง ยาวกว่าอีกด้าน
หนึ่งมากๆ **มักจะอ่อนแอ** ในการต้านแผ่นดินไหว

แนวทางการประเมิน อย่างง่าย (Basic Methods)

ประเมินด้วยสายตา (Visual inspection)

<http://www.nicee.org>

76

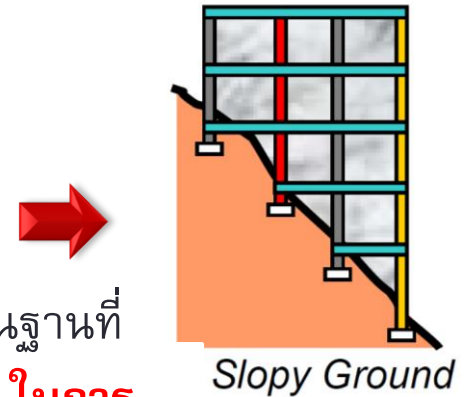


Setbacks

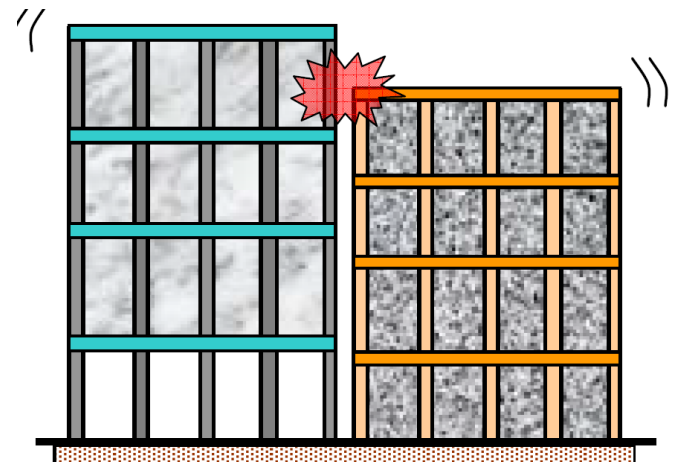
โครงสร้างที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง **มักจะอ่อนแอ**
ในการต้านแผ่นดินไหว

โครงสร้างที่วางตัวใกล้กันมาก อาจเกิด pounding
และ**มักจะอ่อนแอ** ในการต้านแผ่นดินไหว

โครงสร้างที่วางบนฐานที่เป็น slope **มักจะอ่อนแอ** ในการ
ต้านแผ่นดินไหว



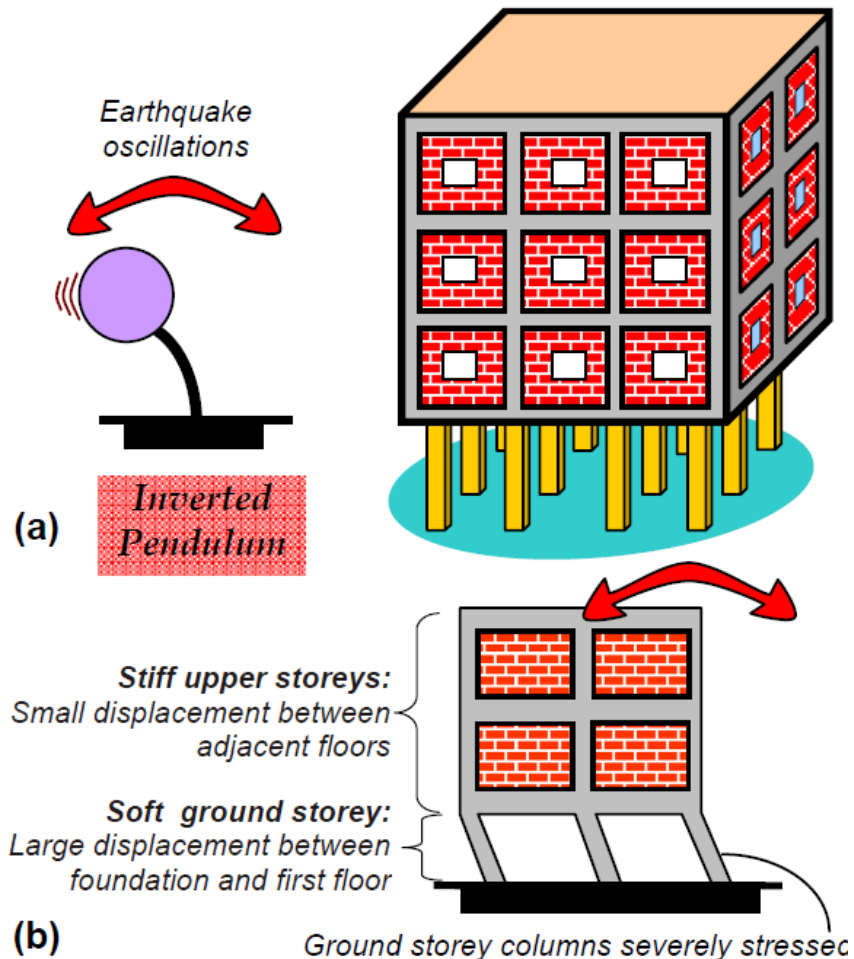
Slopy Ground



แนวทางการประเมิน อย่างง่าย (Basic Methods)

ประเมินด้วยสายตา (Visual inspection)

<http://www.nicee.org>



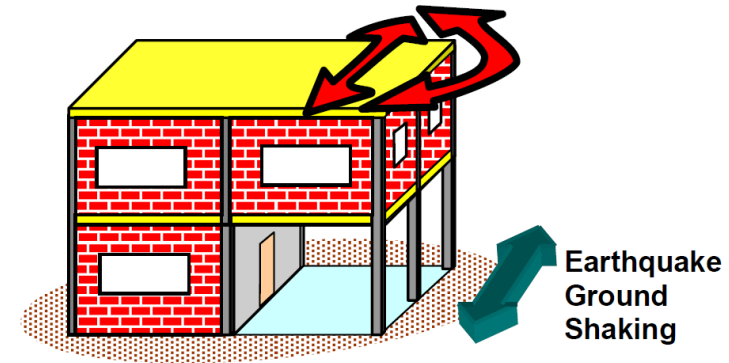
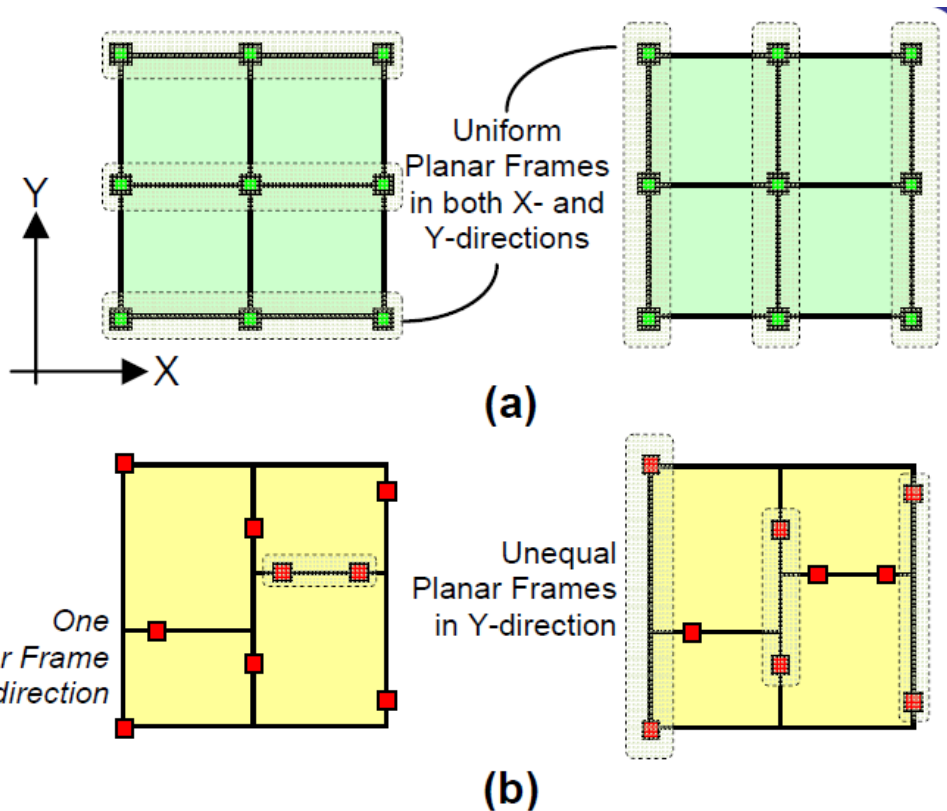
กรณี **Soft story** - ไม่ดี มากๆ

แนวทางการประเมิน อย่างง่าย (Basic Methods)

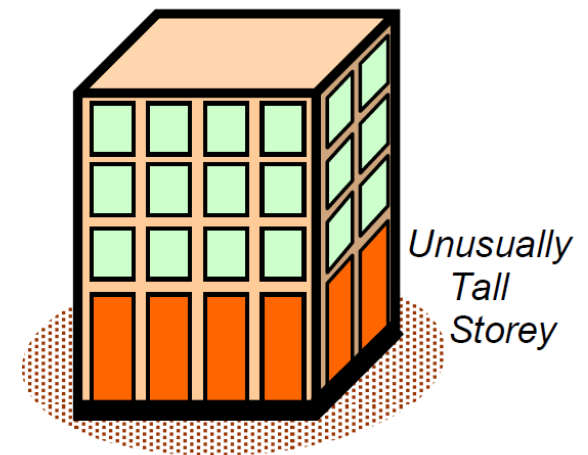
ประเมินด้วยสายตา (Visual inspection)

<http://www.nicee.org>

78



รูปทรงเช่นนี้ก็สร้าง**แรงบิดในโครงสร้างได้ง่าย**



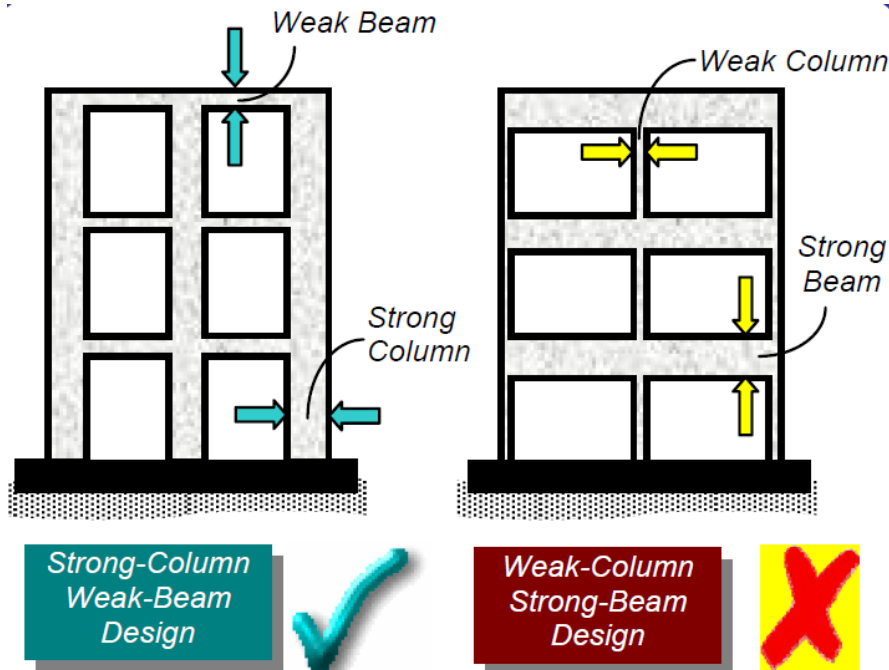
ในแนวแปลน หากมีการทำคานช้อยมากเกินไป - **ไม่ดี**

รูปแบบที่ชั้นใดชั้นหนึ่ง สูงกว่าอีกชั้นหนึ่งมากๆ **ก็ไม่ได้**

แนวทางการประเมิน อย่างง่าย (Basic Methods)

ประเมินด้วยสายตา (Visual inspection)

<http://www.nicee.org>



กรณีเสาเล็ก ๆ คานใหญ่ ๆ **ก็ไม่ได้**

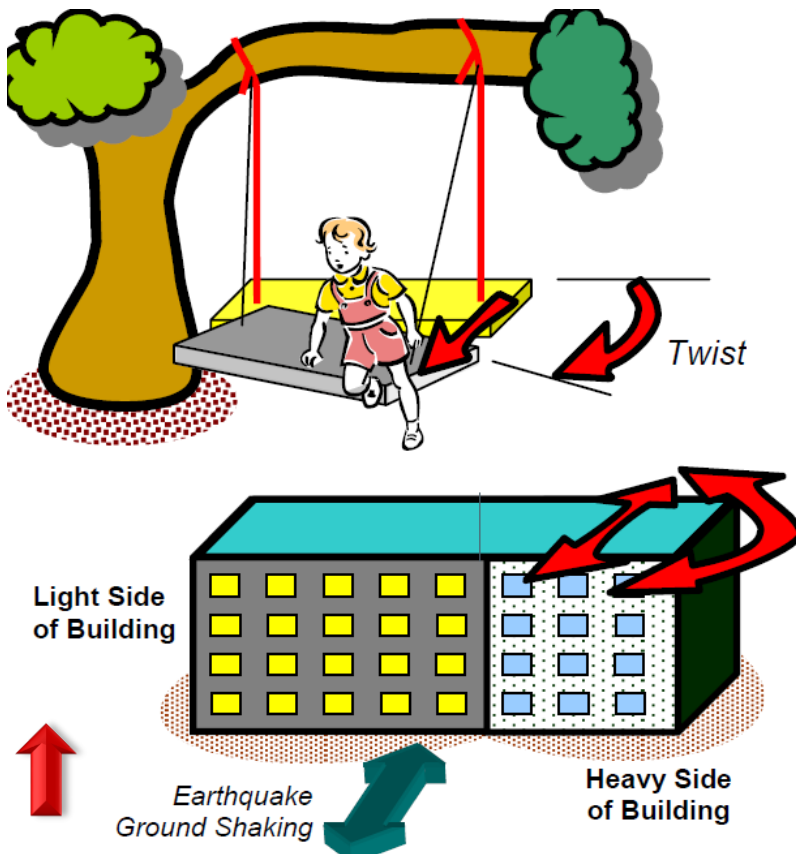


การวิบัติของอาคารแบบที่เรียกว่า **เสาอ่อน-คานแข็ง (weak column-strong beam)** เนื่องจาก Haiti Earthquake โดยเห็นจากคานหรือแผ่นพื้นขนาดใหญ่ที่ตั้งอยู่บานเสาคานเล็ก

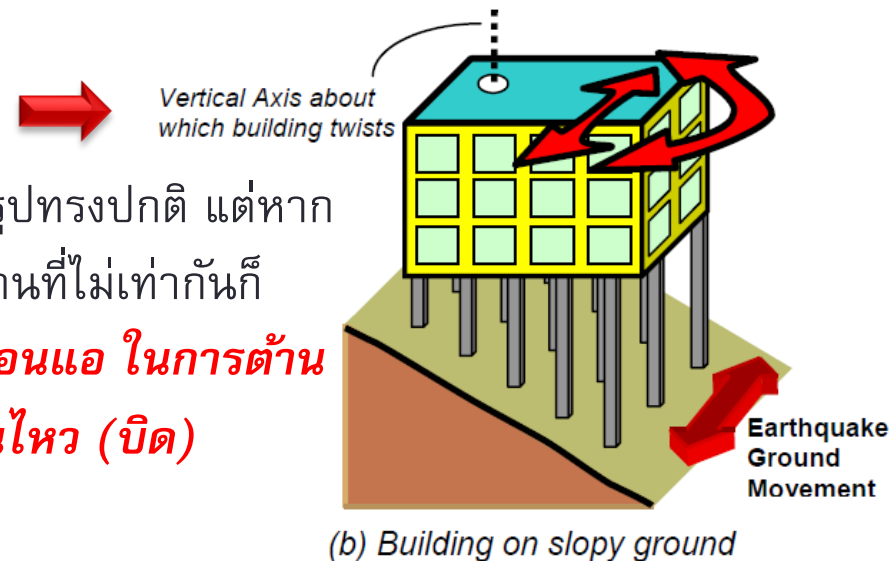
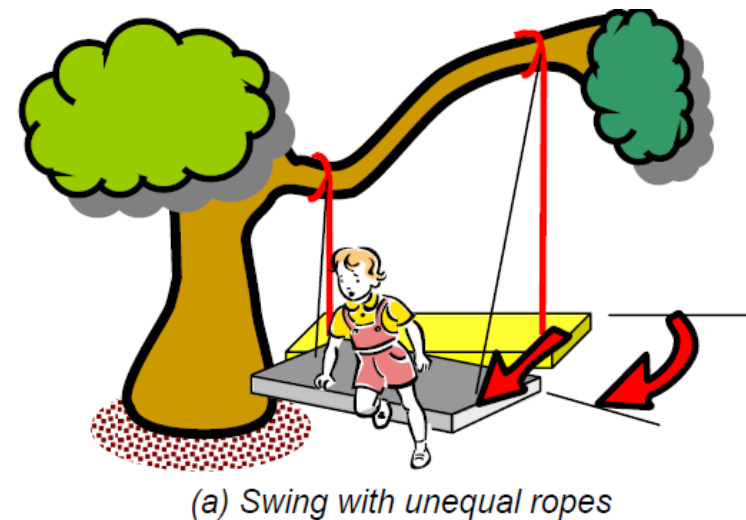
แนวทางการประเมิน อย่างง่าย (Basic Methods)

ประเมินด้วยสายตา (Visual inspection)

<http://www.nicee.org>



แม้ว่ารูปทรงปกติ แต่หากมวลของ
โครงสร้างไม่สม่ำเสมอ ก็ **มักจะอ่อนแอ**
ในการต้านแผ่นดินไหว (บิด)



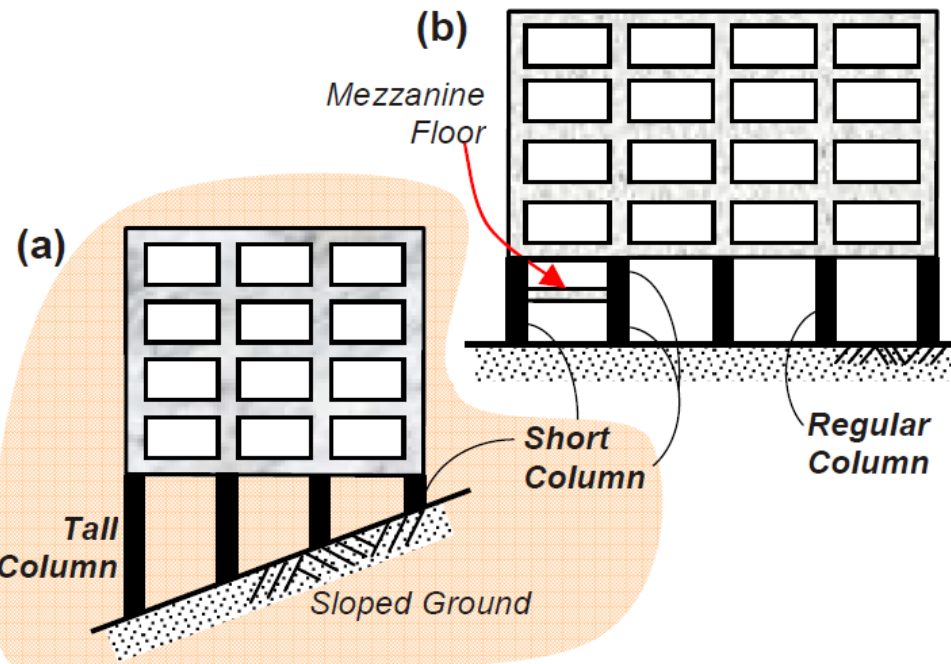
แม้ว่ารูปทรงปกติ แต่หาก
ตั้งบนฐานที่ไม่เท่ากันก็
มักจะอ่อนแอ ในการต้าน
แผ่นดินไหว (บิด)

แนวทางการประเมิน อย่างง่าย (Basic Methods)

ประเมินด้วยสายตา (Visual inspection)

<http://www.nicee.org>

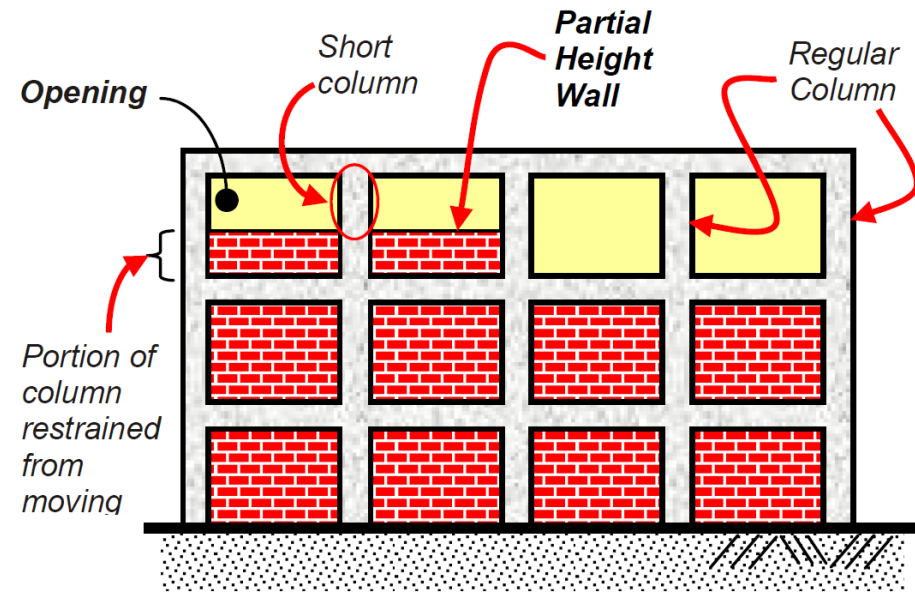
81



รูปแบบเสาสั้น มักจะอ่อนแอ ในการต้าน
แผ่นดินไหว (เฉือนพัง)



เฉือนพัง

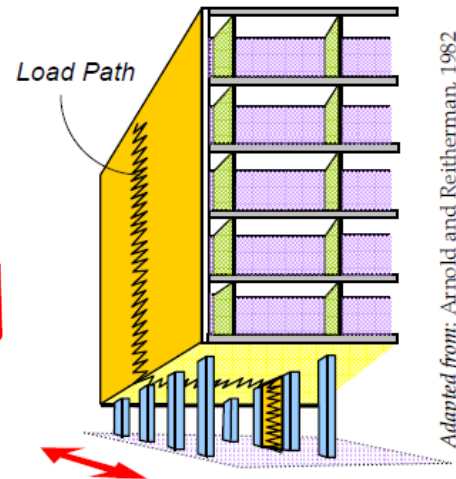
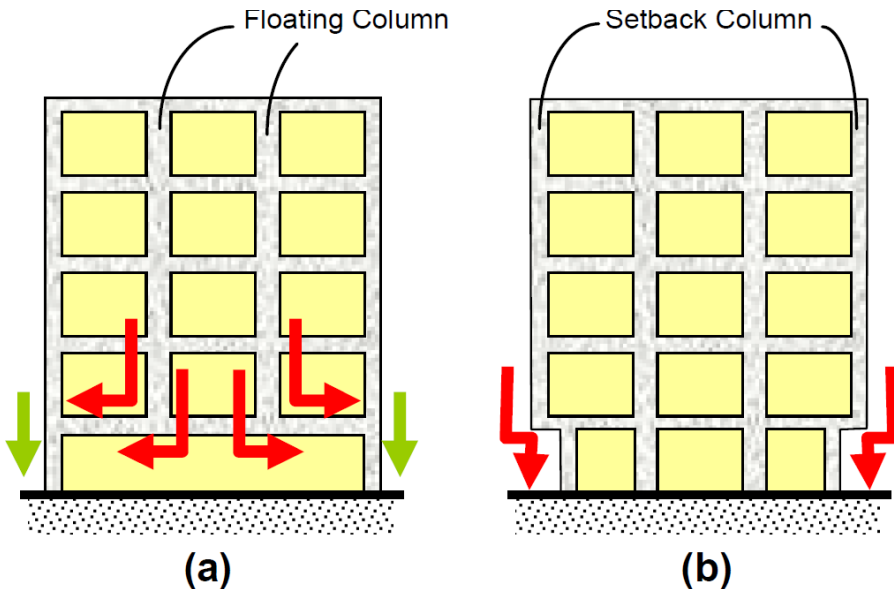


แนวทางการประเมิน อย่างง่าย (Basic Methods)

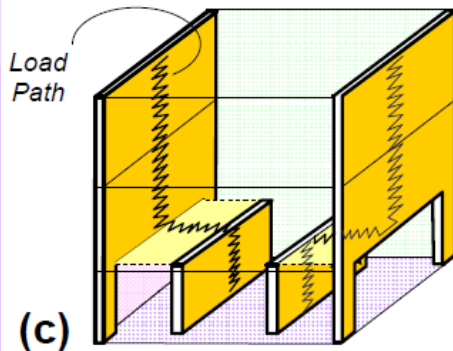
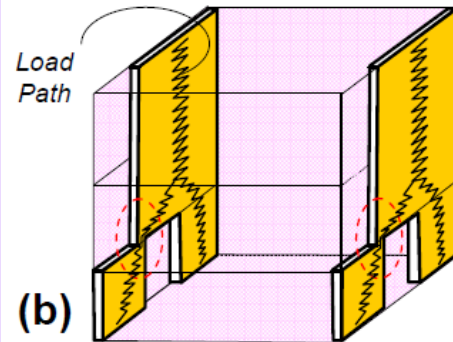
ประเมินด้วยสายตา (Visual inspection)

<http://www.nicee.org>

82



(a)



(c)

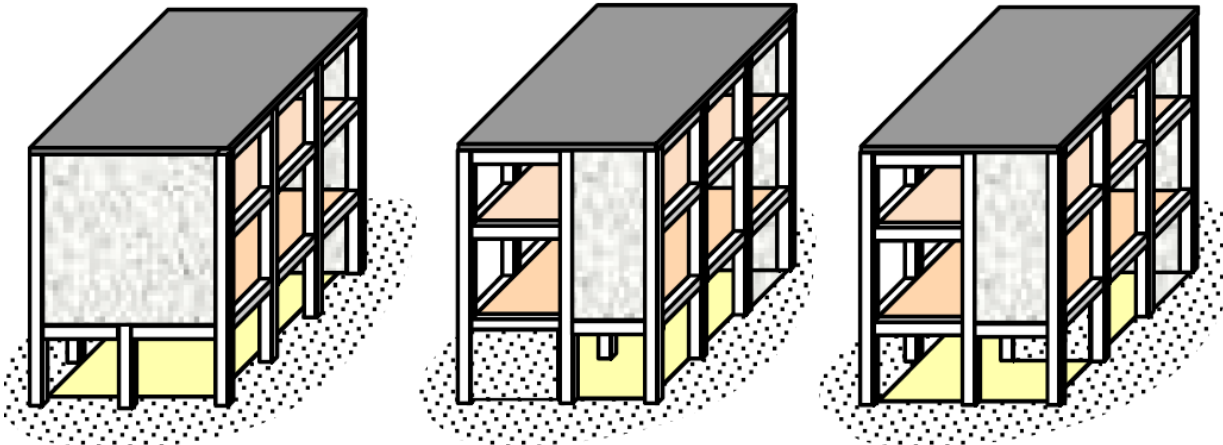
น้ำหนักจะถ่ายจากบนลงล่าง และวิ่งเข้าสู่เสาหรือกำแพงที่มีแข็งแรงก่อน ดังนั้นการเปลี่ยนตำแหน่งของ เสา/กำแพง จะทำให้การถ่ายแรงไม่ต่อเนื่อง - **ไม่ดี !!**

แนวทางการประเมิน อย่างง่าย (Basic Methods)

ประเมินด้วยสายตา (Visual inspection)

<http://www.nicee.org>

83



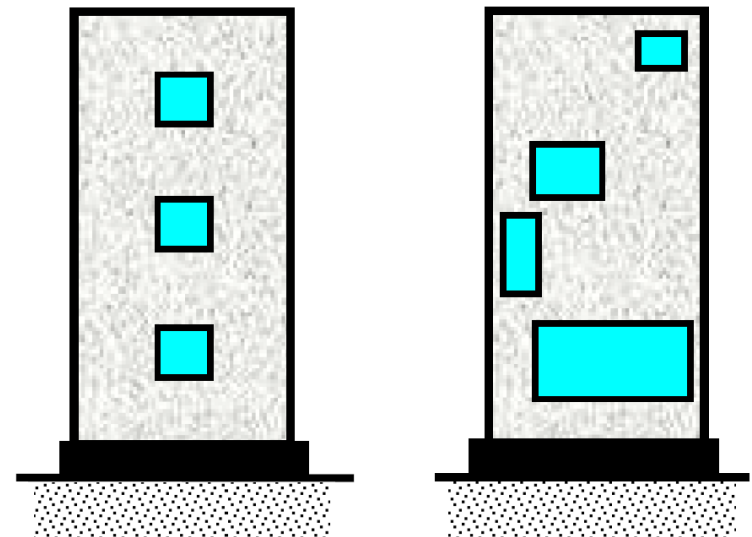
(a)

(b)

(c)

ตัวอย่างการไม่ต่อเนื่องของกำแพงใน
แนวตั้ง (ตัวรับแรงหลัก) - **ไม่ดี !!**

ช่องเปิดในกำแพง แบบไม่ต่อเนื่อง
มากๆ อย่างนี้ก็ - **ไม่ดี !!**



(a)

(b)

ดัชนีโครงสร้าง (Structural Indices)

84

a/d : shear span to depth ratio

→ Height value – **Flexural failure**

$N/[A_g f'_c]$: Normalized axial load ratio

→ Height value – **Low ductility**

aV_n/M_n : Normalized shear/flexure

→ Large value – **Flexural failure**

ρ_t : Longitudinal reinforcement ratio

→ Height value – **Compression failure**

$\rho_{s,min}$: Transverse reinforcement ratio

→ Height value – **Height ductility**

แนวทางการประเมิน **ขั้นสูง (Advanced Methods)**

แบ่งเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ ได้แก่ **การวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (linear analysis)** และ **การวิเคราะห์แบบไร้เชิงเส้น (nonlinear analysis)** โดยแต่ละวิธียังสามารถแยกเป็นการวิเคราะห์แบบ **สถิต (static)** หรือ **พลวัต (dynamic)** ได้อีกด้วย

- 1) **Linear static procedure (LSP)** เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนของแรงต่อกำลังโครงสร้าง (DCR) ซึ่งเหมาะกับโครงสร้างที่มีลักษณะสมมาตร และรูปร่างปกติ

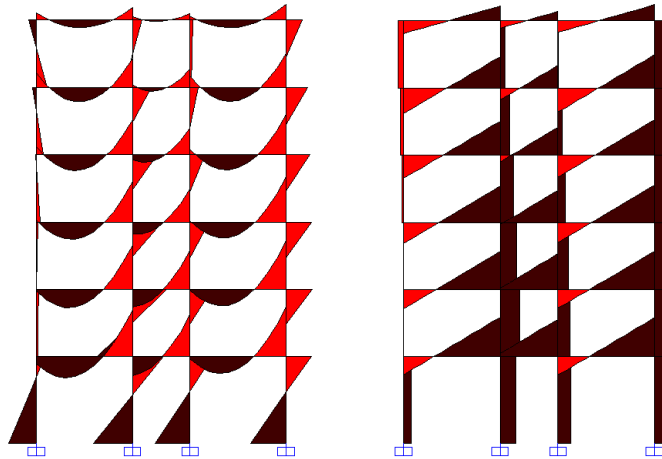
แนวทางการประเมิน **ขั้นสูง (Advanced Methods)**

- 2) **Linear dynamic procedure (LDP)** เหมาะกับโครงสร้างที่ไม่ปกติ ต้องใช้ประวัติเวลาของคลื่นแผ่นดินไหวในการวิเคราะห์
- 3) **Nonlinear static procedure (NSP)** ทำการผลักโครงสร้างให้ถึงการเคลื่อนที่เป้าหมายโดยตรวจสอบกำลังของหน้าตัดว่าสามารถเคลื่อนที่ได้ยอมให้หรือไม่
- 4) **Nonlinear dynamic procedure (NDP)** เป็นวิธีที่มีความละเอียดสูงสุด แต่ต้องใช้เวลาในการแปรผล

Linear static procedure (LSP)

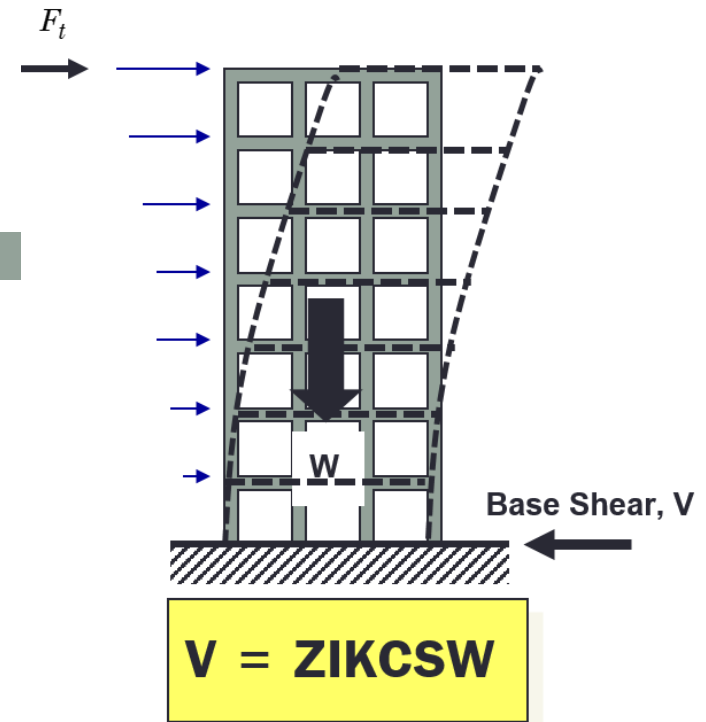
Demand (D)

(แรงภายในจาก
แผ่นดินไหว ตาม
มาตรฐาน เช่น M_u ,
 V_u หรือ P_u)



Ultimate Moment diagram

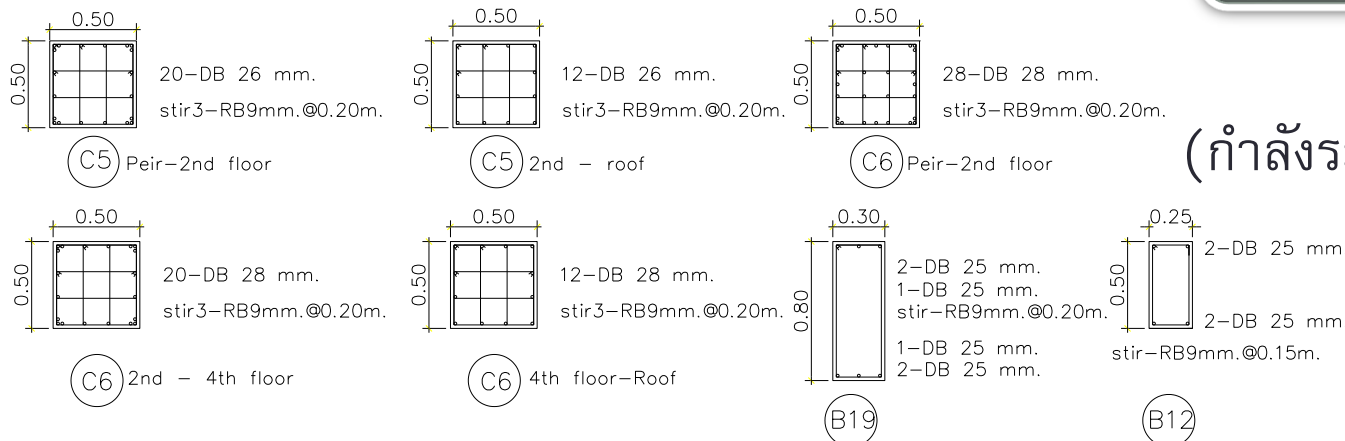
Ultimate Shear diagram



DOC > N : Failure

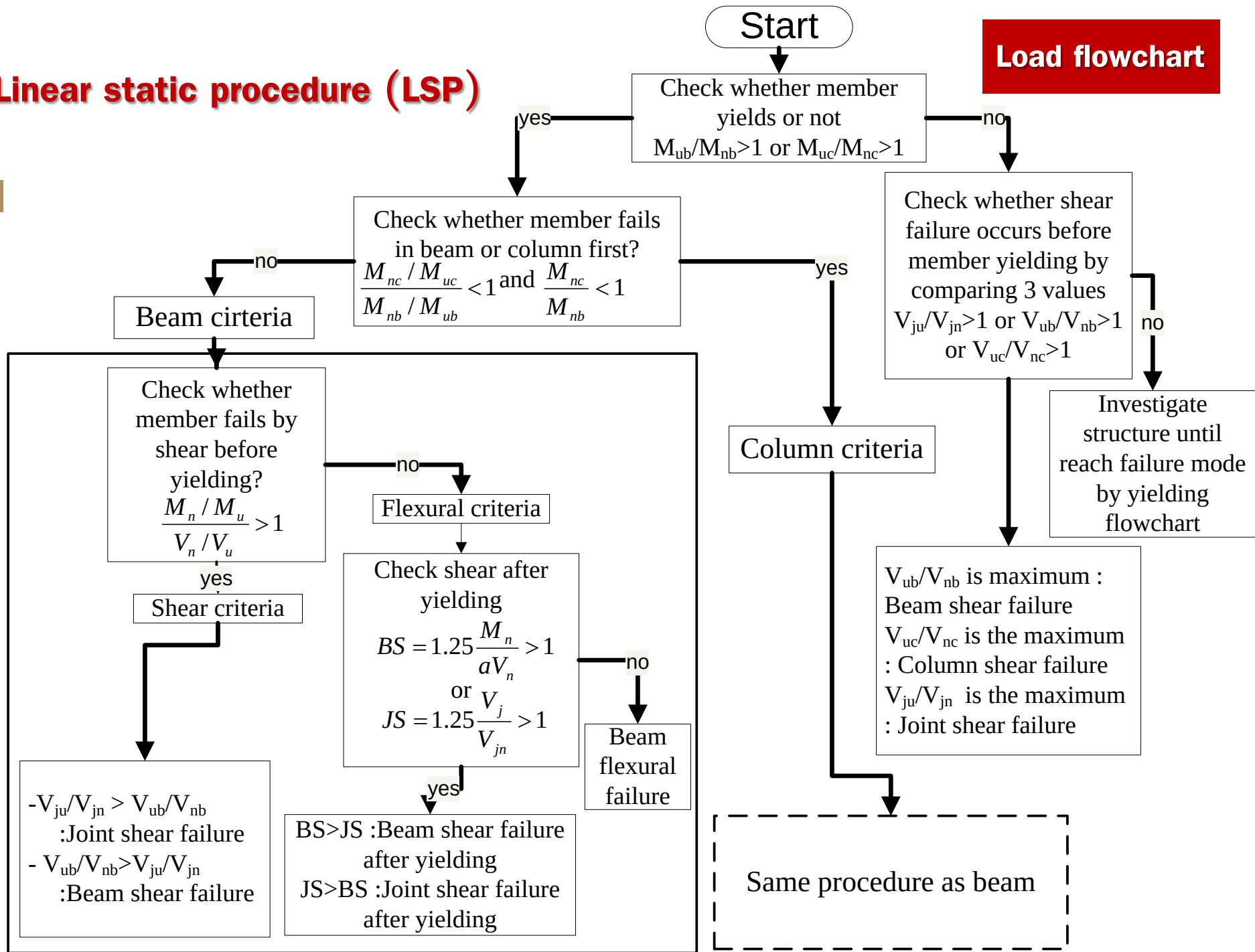
Capacity (C)

(กำลังระบุ เช่น M_n , V_n หรือ P_n)



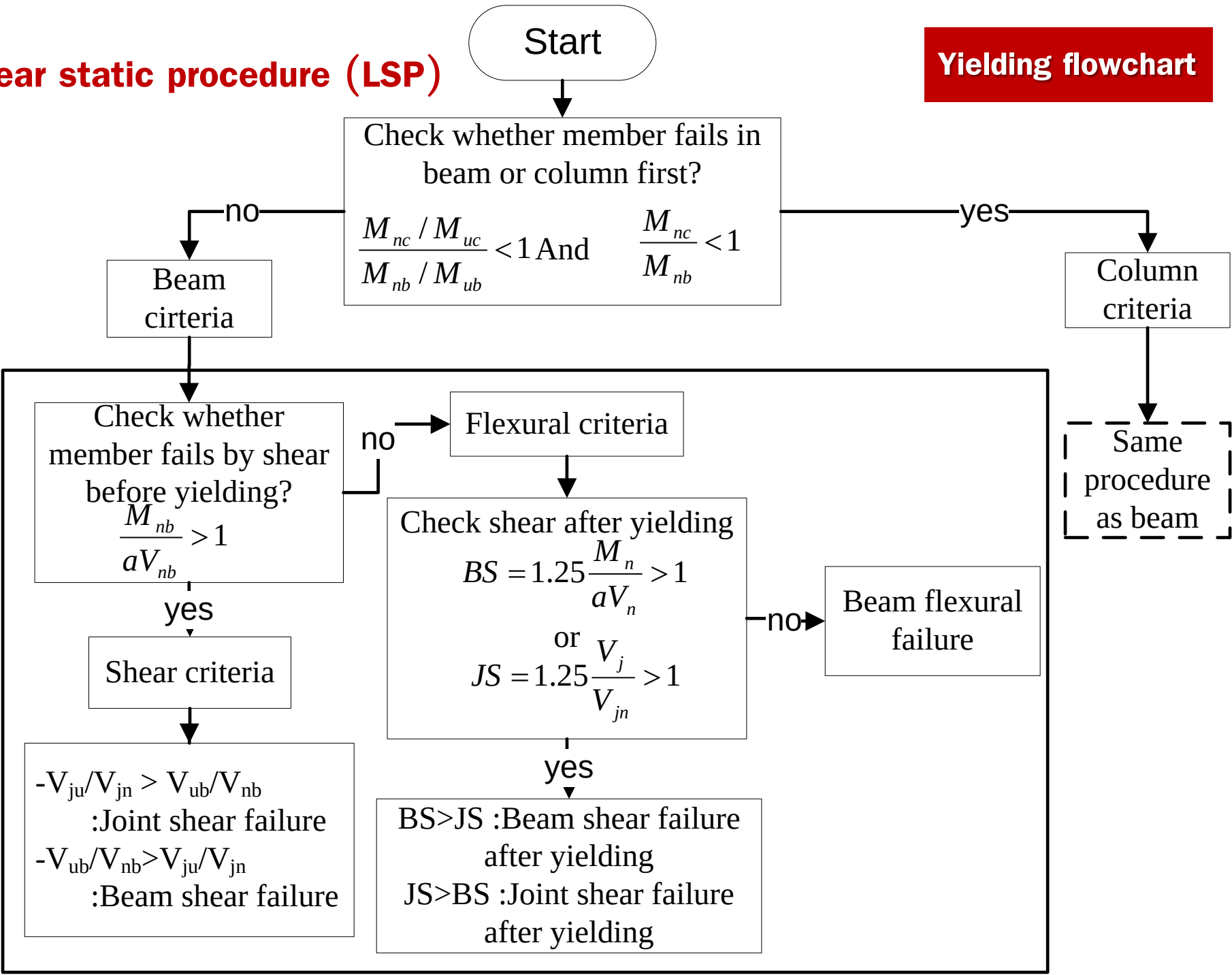
Linear static procedure (LSP)

Load flowchart



Linear static procedure (LSP)

Yielding flowchart



การประเมินกำลังโครงสร้างตาม มยผ 1303-57

90

มยพ. 1303-57

มาตรฐานการประเมินและการเสริมความมั่นคงแข็งแรง
ของโครงสร้างอาคารในเขต
ที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2557

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการ
ประเมินโดยใช้ **วิธีสถิตไม่เชิงเส้น**
(**nonlinear static pushover analysis**)

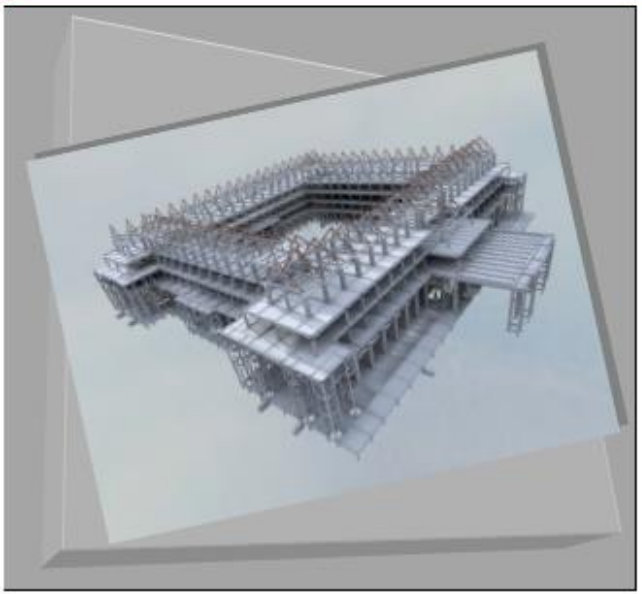
เนื่องจาก สามารถให้พฤติกรรม
ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยการป้อน
และวิเคราะห์ข้อมูลไม่ซับซ้อนจนเกินไป

และใช้แนวทางประเมินตาม ตาม
มยผ.1303-57

การประเมินกำลังโครงสร้างตาม มยผ 1303-57

91

คู่มือการปฏิบัติประกอบมาตรฐานการประเมิน
และการเสริมความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร
ในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว



กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2557

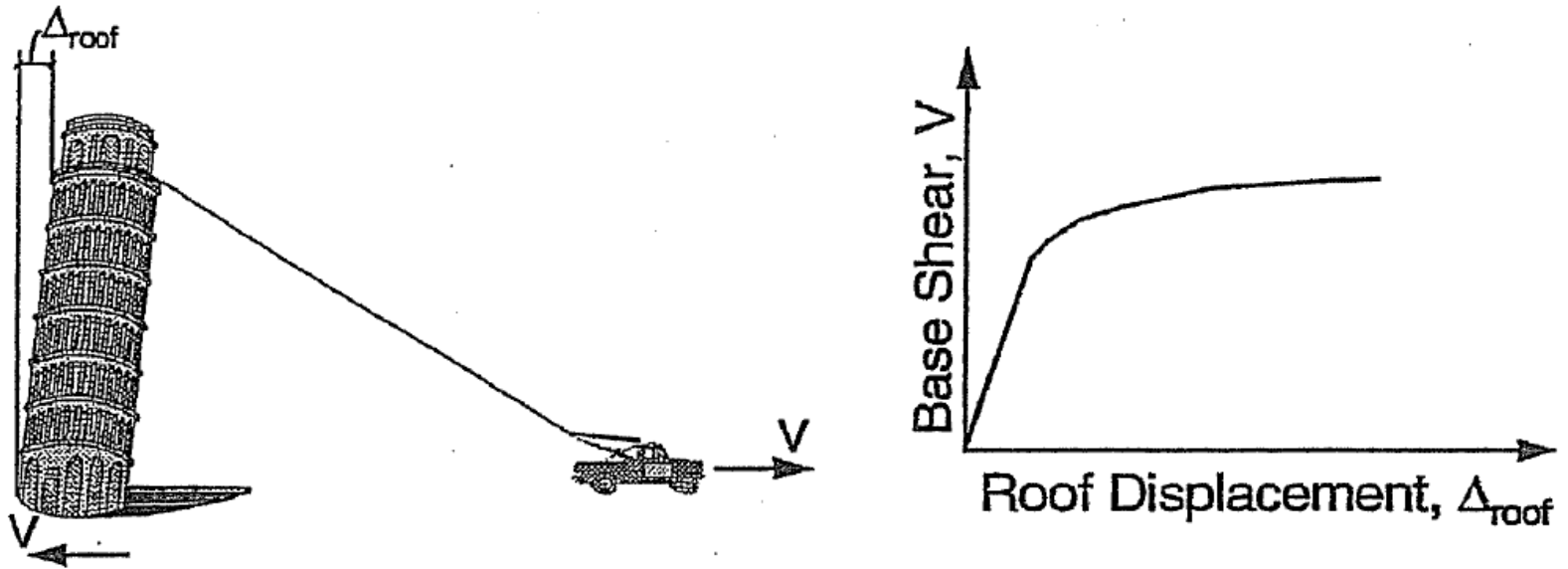
มยผ. 1303-57 จัดทำขึ้นโดย
อ้างอิงมาตรฐานจากต่างประเทศได้แก่
ASCE/SEI 41-06, Eurocode 8, part3
และ JBDA Standard for Seismic
Evaluation of Existing RC Building
2001 และมีการปรับปรุงให้เหมาะสม
กับสภาพทางเศรษฐกิจและสังคมใน
ประเทศไทย



มีคู่มือประกอบการใช้งาน

หลักพื้นฐานของการวิเคราะห์สถิตไม่เชิงเส้น

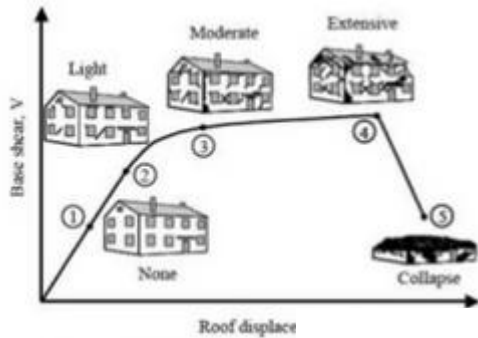
92



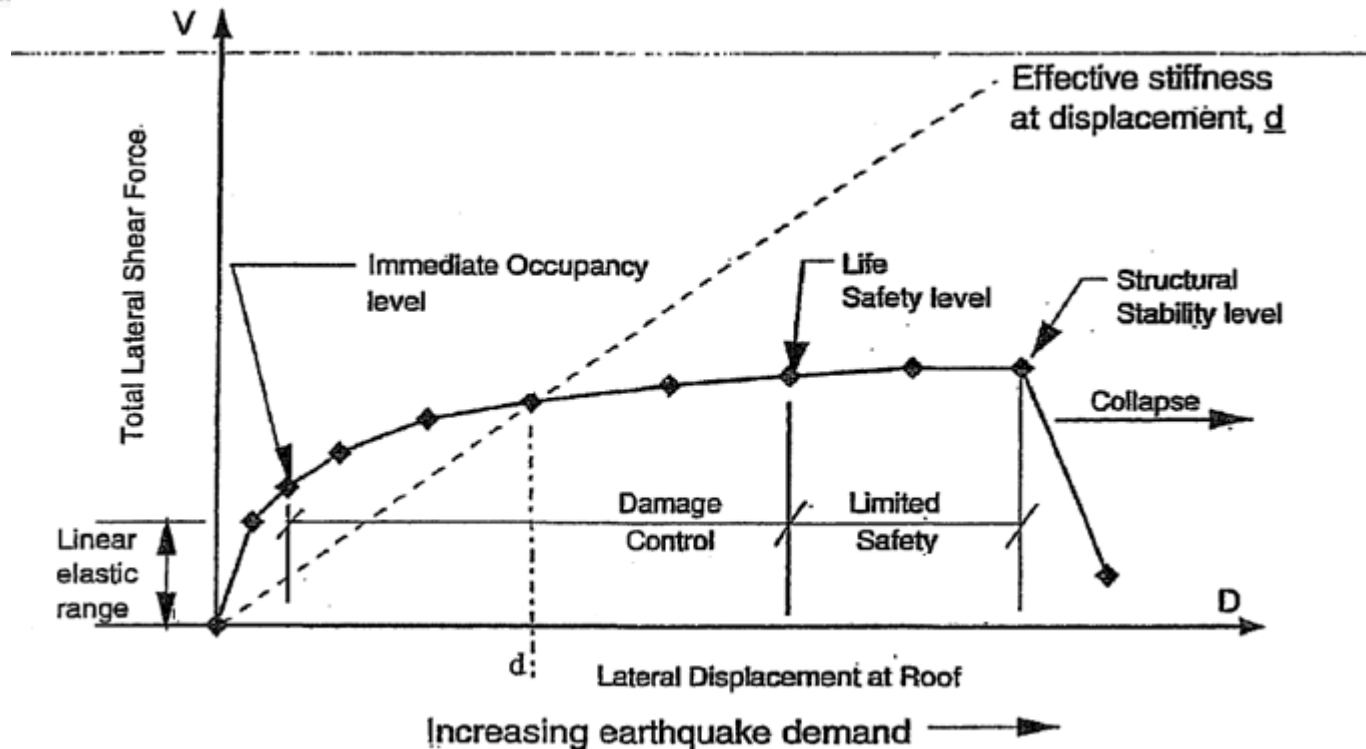
ใช้แรงต้านข้างที่เป็นตัวแทนของแรงแผ่นดินไหวกระทำต่อโครงสร้าง โดยค่อย ๆ ผลักจนกระทั่งการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร (ที่จุดควบคุม) มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่าการเคลื่อนที่เป้าหมาย หรือเรียกว่าวิธีนี้ว่า **Push over Analysis**

หลักพื้นฐานของการวิเคราะห์สถิตไม่เชิงเส้น

93



เรียกเส้นโค้งที่แสดงความสัมพันธ์
ระหว่าง แรงผลัก กับ การเคลื่อนที่ เรียกว่า
เส้นโค้งกำลัง (capacity curve)



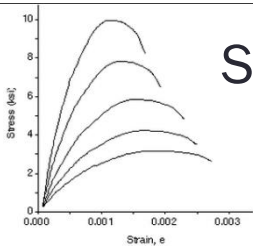
หลักพื้นฐานของการวิเคราะห์ห้สถิตไม่เชิงเส้น

94

- การวิเคราะห์โครงสร้าง นิยมใช้แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติที่สามารถกำหนดคุณสมบัติวัสดุแบบไม่เชิงเส้น
- สามารถกำหนดจุดหมุนพลาสติกให้กับโครงสร้างได้ เช่น

SAP2000, ETABS, Perform 3D

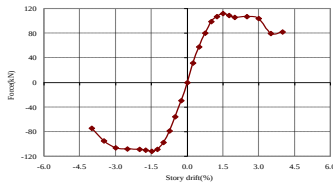
Stress – strain of concrete



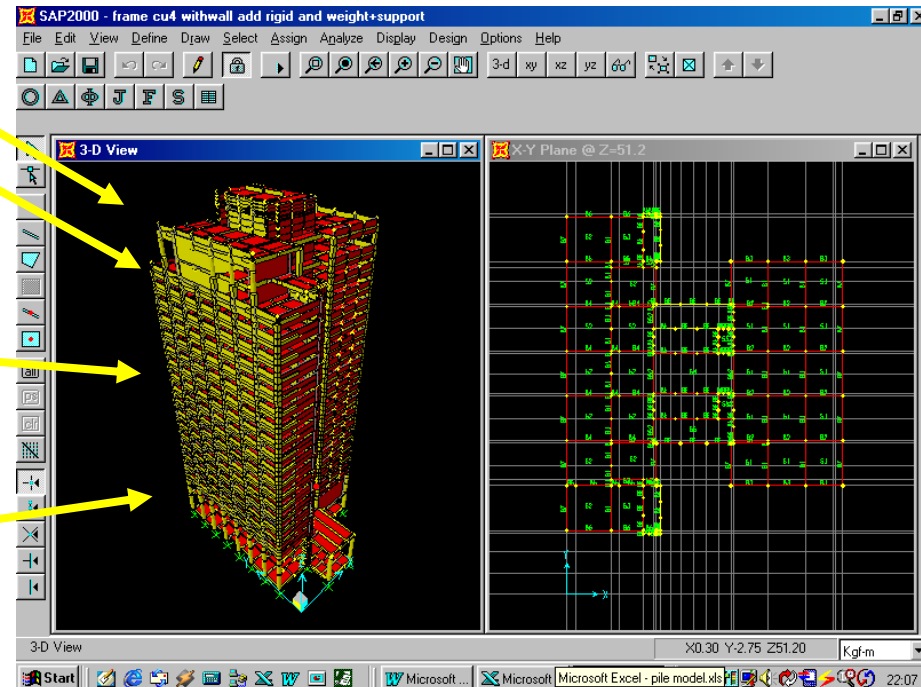
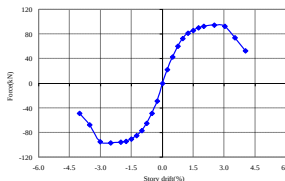
Stress – strain of steel



Backbone curves
for column

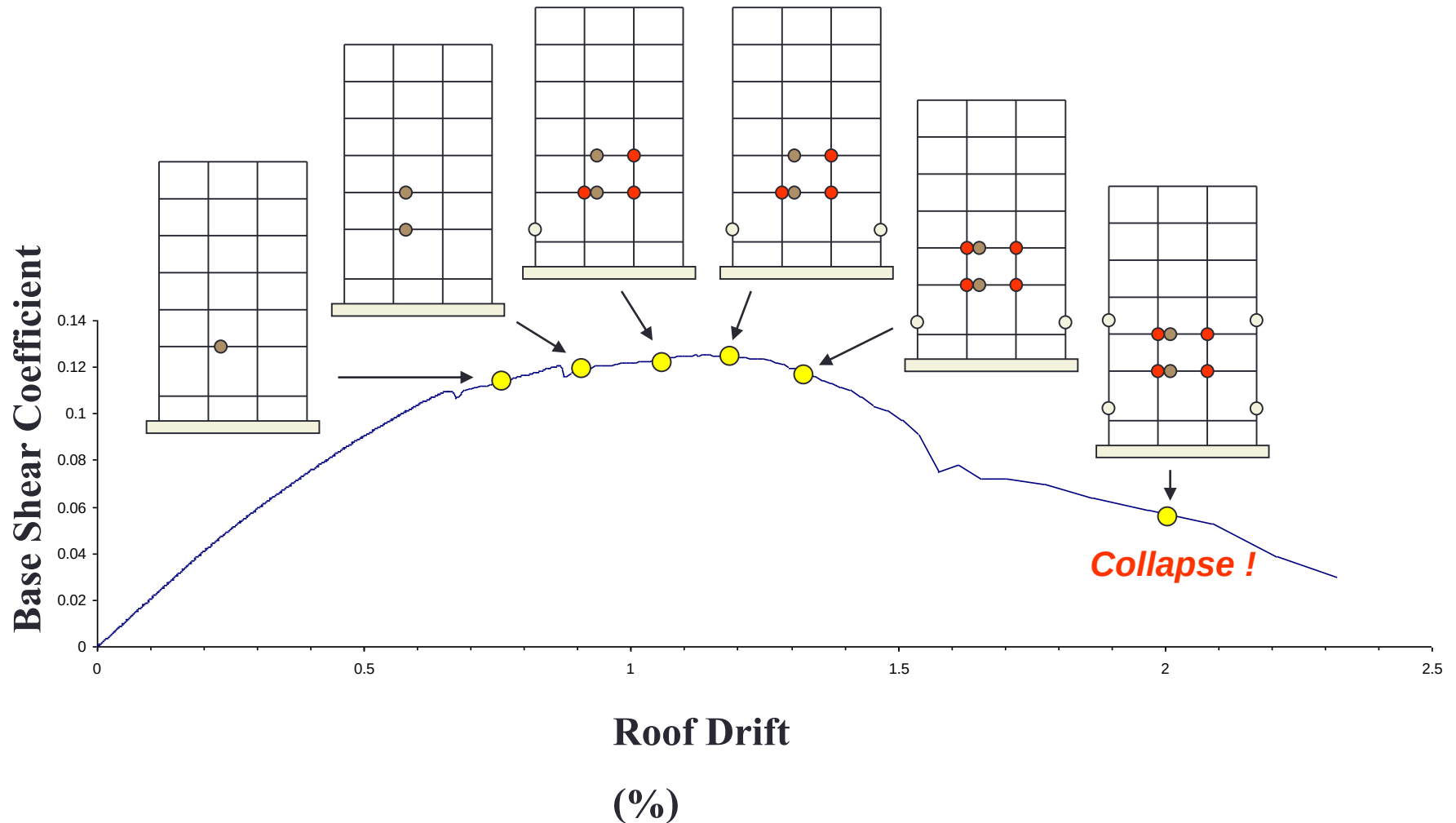


Backbone curves
for beam



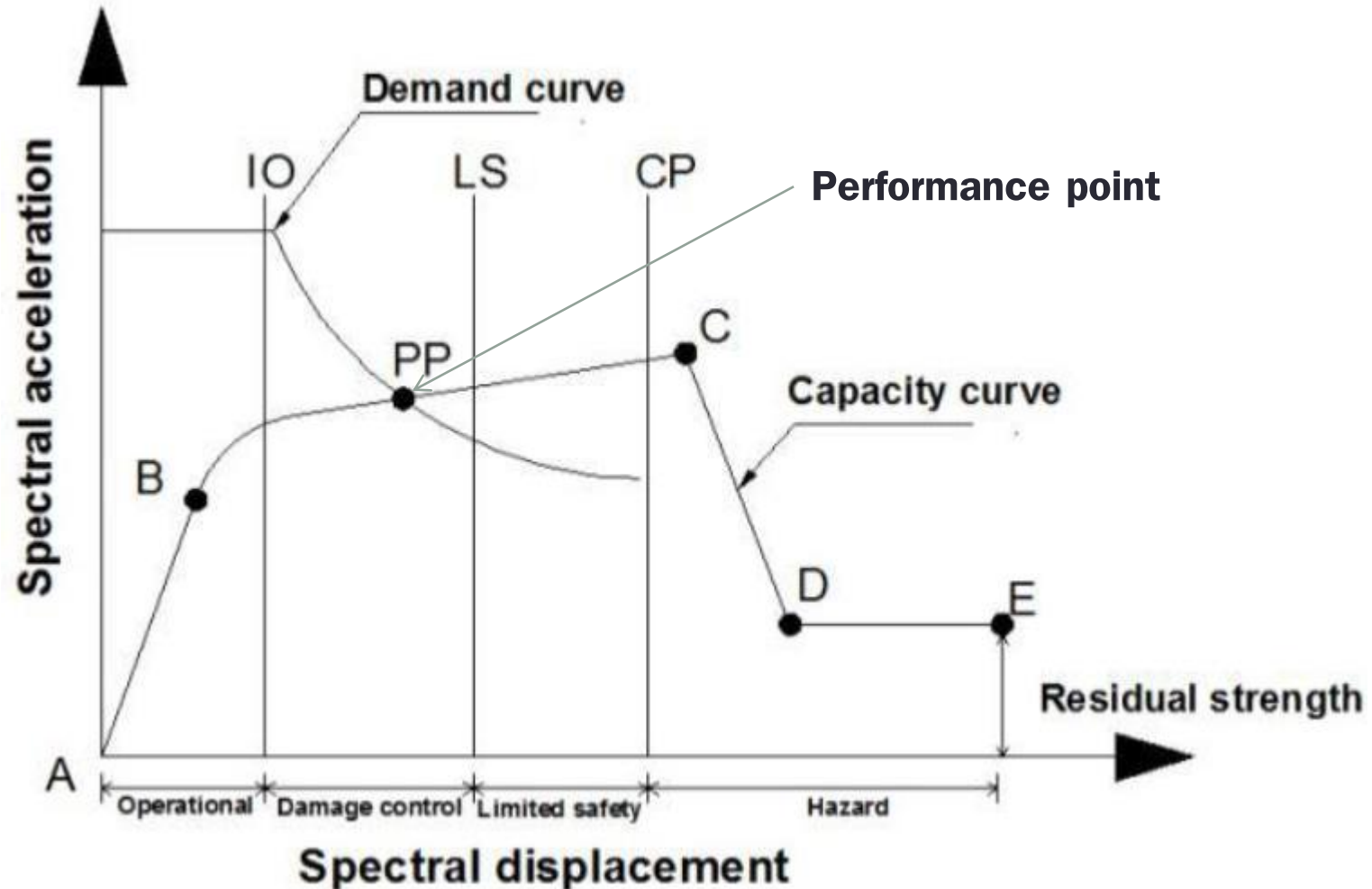
หลักพื้นฐานของการวิเคราะห์สถิตไม่เชิงเส้น

95



หลักพื้นฐานของการวิเคราะห์ภัยพิบัติไม่เชิงเส้น

96



ระดับสมรรถนะของโครงสร้าง

97

□ ระดับเข้าใช้อาคารได้ทันที (IO)

ระบบโครงสร้างยังคงรักษาสภาพใกล้เคียงกับสภาพเดิม อาจต้องซ่อมหรือไม่ซ่อม ก่อนกลับเข้าใช้งาน

□ ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (LS)

โครงสร้างเกิดความเสียหายเป็นนัยสำคัญ แต่ยังคงกำลังต้านทานเพียงพอแก่การป้องกันการพังทลาย

□ ระดับป้องกันการพังทลาย (CP)

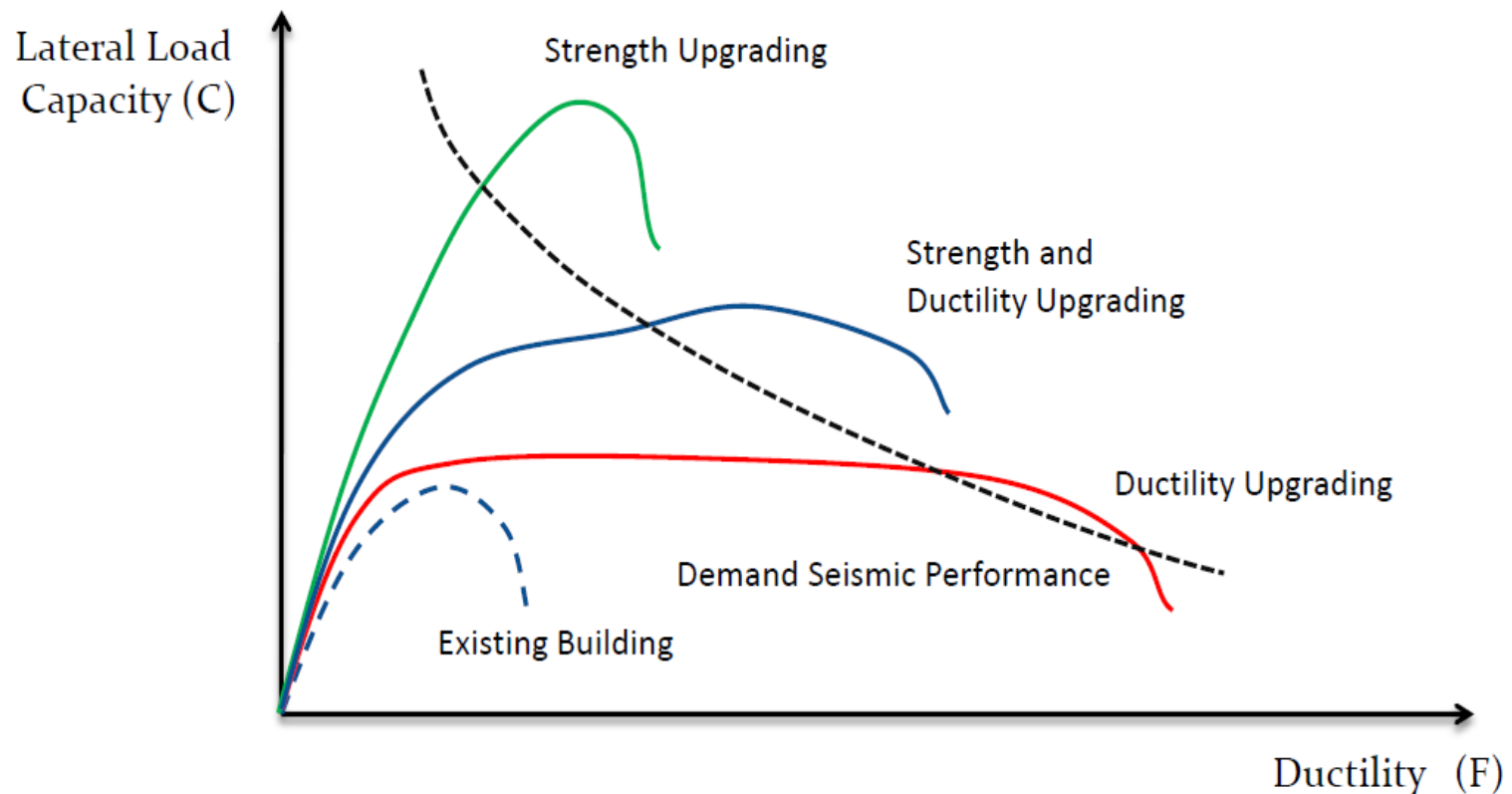
โครงสร้างสามารถแบกทานน้ำหนักบรรทุกแรงโน้มถ่วงได้ แต่มีสภาพใกล้พังทลาย บางส่วนหรือทั้งหมด ทำให้ไม่ปลอดภัยที่จะใช้งานต่อ

บทที่ 6

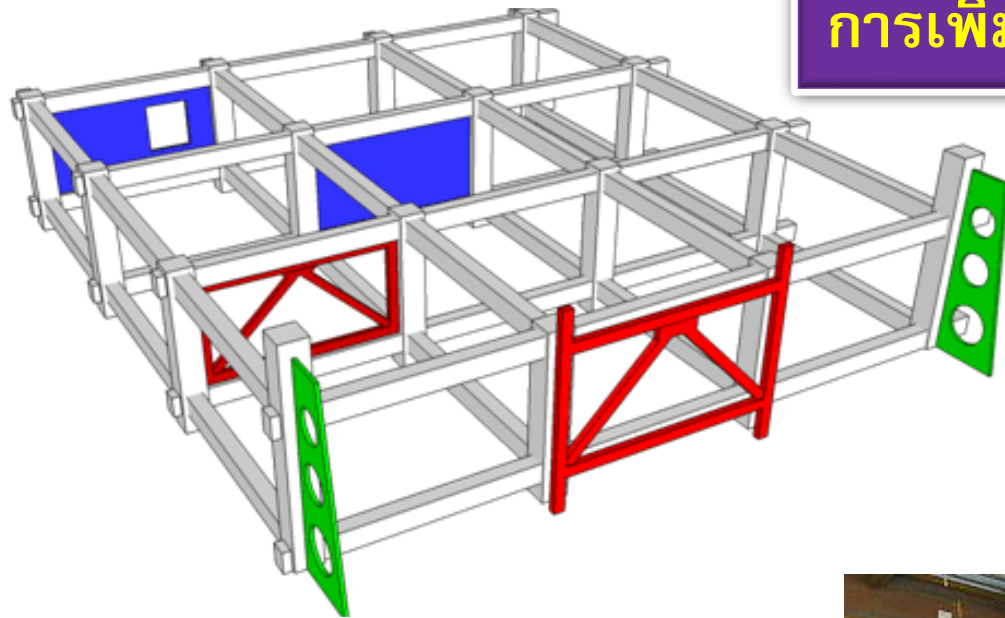
การเสริมกำลังต้านแผ่นดินไหว

การเสริมกำลังโครงสร้าง : ภาพรวม

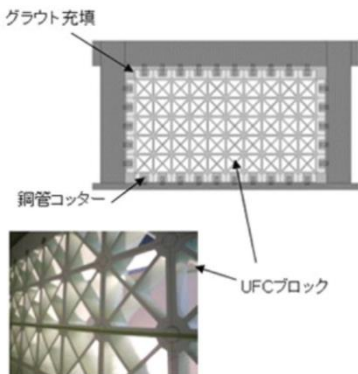
ภาพรวมการเพิ่มสมรรถนะให้กับโครงสร้างอาคารคอนกรีตเพื่อรองรับแผ่นดินไหว



การเสริมกำลังโครงสร้าง : ภาพรวม

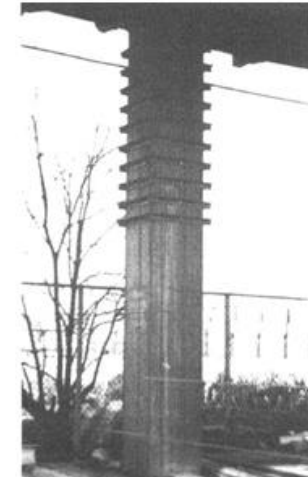
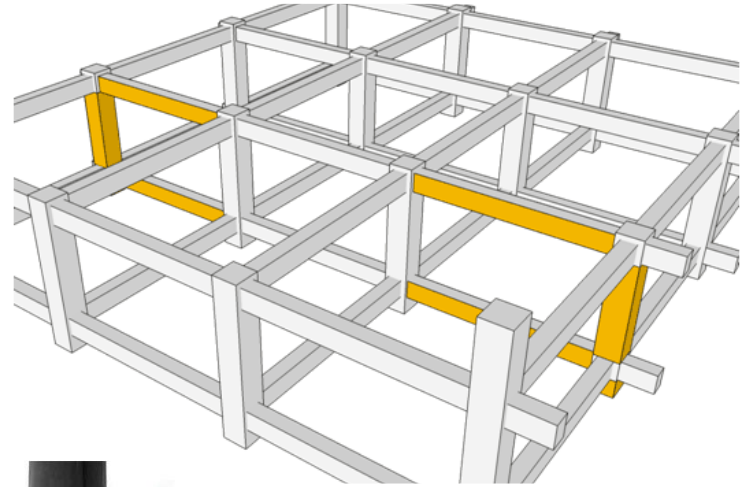


การเพิ่มกำลัง

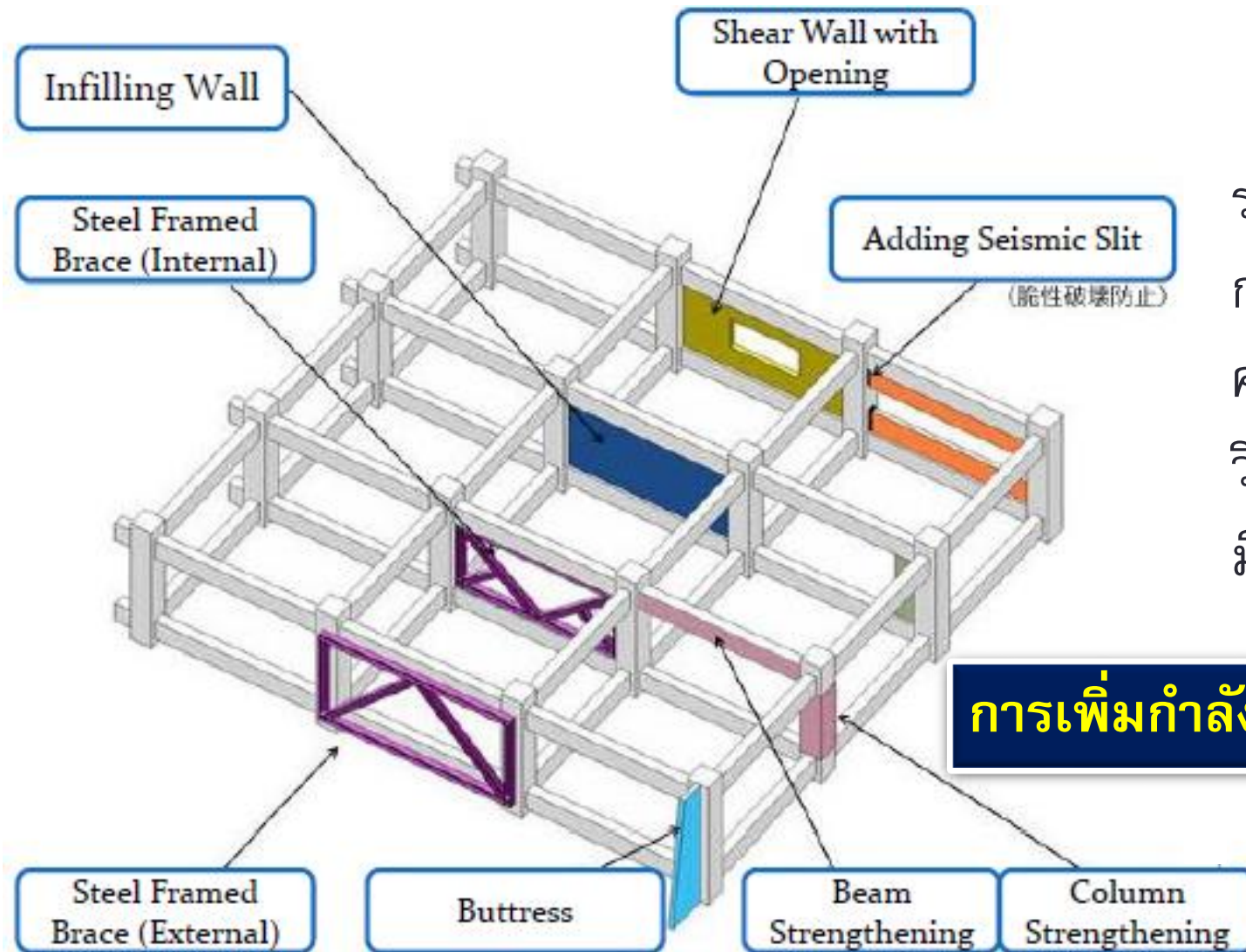


การเสริมกำลังโครงสร้าง

การเพิ่มความเหนียว



การเสริมกำลังโครงสร้าง : ภาพรวม



เป็นการผสม
ระหว่างการเสริม
กำลัง และการเสริม
ความเหนียว เป็น
วิธีที่ประหยัด และ
มีประสิทธิภาพ

การเพิ่มกำลัง และความเหนียว

การเสริมกำลังโครงสร้าง : **เทคนิคการเสริมกำลัง**

การห่ม/หุ้ม - เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก



กรณีที่ **เสริมความเหนียว** กำลังตัดของหน้าตัดจะให้กำลังของหน้าตัดเดิมเป็นหลัก ทั้งนี้ ต้องมีการบาก (silt) ที่ปลายบนและล่างของเสา เพื่อตัดการเชื่อมต่อระหว่างคอนกรีตที่โอบรัดเสา และความต่อเนื่องของเสาเดิม

กรณี **เสริมกำลังและความเหนียว** จะสร้างความต่อเนื่องระหว่างเหล็กเสริมเอกของคอนกรีตใหม่และคอนกรีตเดิม

การเสริมกำลังโครงสร้าง : **เทคนิคการเสริมกำลัง**

การห่ม/หุ้ม - เสา - ด้วยแผ่นเหล็ก



เสริมรอยต่อระหว่างแผ่นเหล็กกับโครงสร้างเดิมด้วย (ก) มอร์ต้า หรือ (2) เหล็กเดือย เข้าไประหว่างรอยต่อระหว่างเสาเดิมและแผ่นเหล็ก ซึ่งคล้ายกับการห่มด้วยคอนกรีต การเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก

เสริมได้ทั้ง (1) ความเหนียว และ (2) การเสริมความเหนียวและกำลัง

การเสริมกำลังโครงสร้าง : **เทคนิคการเสริมกำลัง**

การหุ้ม/หุ้ม - เส้า - ด้วยปลอกคอเหล็ก

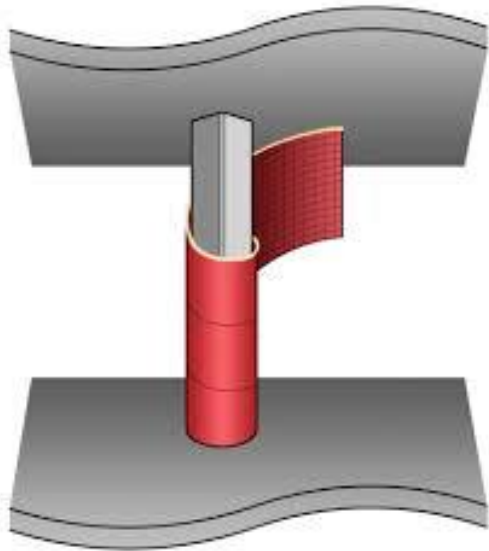


รัด เส้า
ด้วยเหล็กฉาก
ร่วมกับ แผ่นเหล็ก
สามารถเสริม
ความเหนียวได้
เหมาะสมกับเส้า
ขนาดเล็ก

การเสริมกำลังโครงสร้าง : **เทคนิคการเสริมกำลัง**

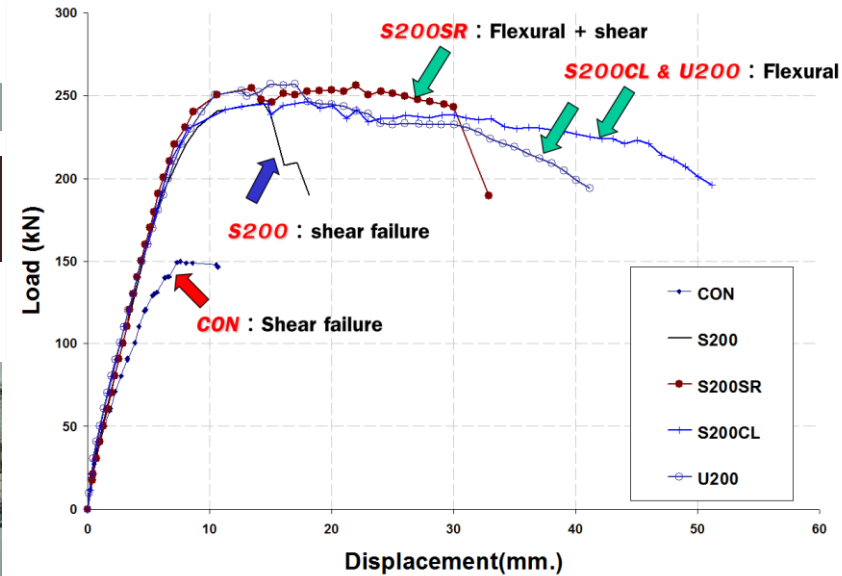
การหุ้ม/หุ้ม - เส้า - ด้วย FRP

การเสริมกำลังด้วย CFRP อาศัยความแข็งแรงของเส้นใยพอลิเมอร์ และกาวยีพอกซี ตามมาตรฐานญี่ปุ่นเน้นไปที่การเพิ่มความเหนียวและกำลังรับแรงเฉือนเป็นหลัก



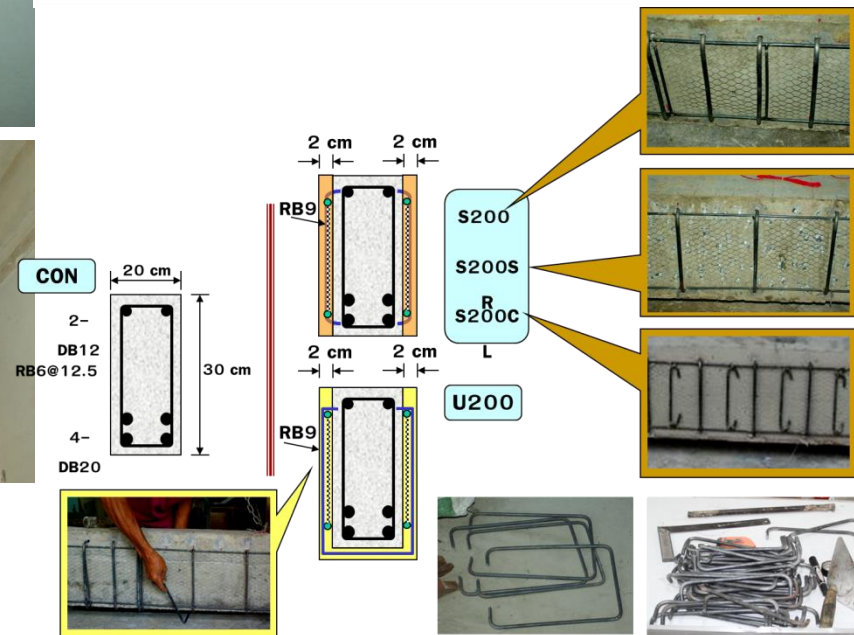
การเสริมกำลังโครงสร้าง : เทคนิคการเสริมกำลัง

การติด - คาน - ด้วยเฟอร์โรซีเมนต์



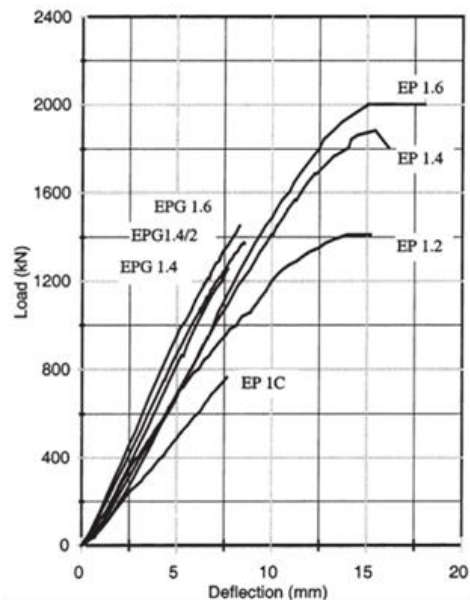
Exterior beam

Interior beam

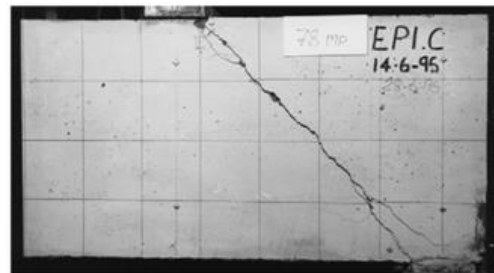


การเสริมกำลังโครงสร้าง : เทคนิคการเสริมกำลัง

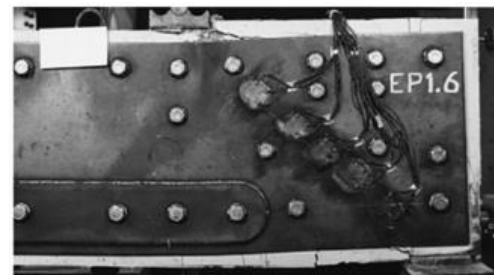
การติด - คาน - ด้วยแผ่นเหล็ก



(ข) กราฟระหว่างแรงและการเคลื่อนที่



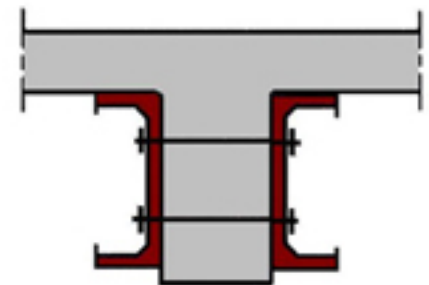
(ก1) คานควบคุม



(ก2) คานเสริมกำลัง

การเสริมแผ่นเหล็กในคาน (ข้างคาน) โดยมากจะขยายกำลังรับแรงเฉือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคานเล็ก โดยอาศัยการยึดด้วยกาวและเหล็กเดือย

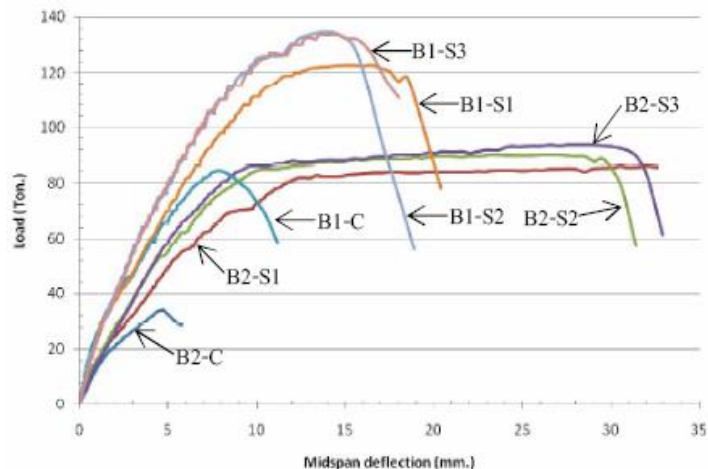
อาจใช้เหล็ก
รูปพรรณใน
การเสริมกำลัง
เฉือนได้



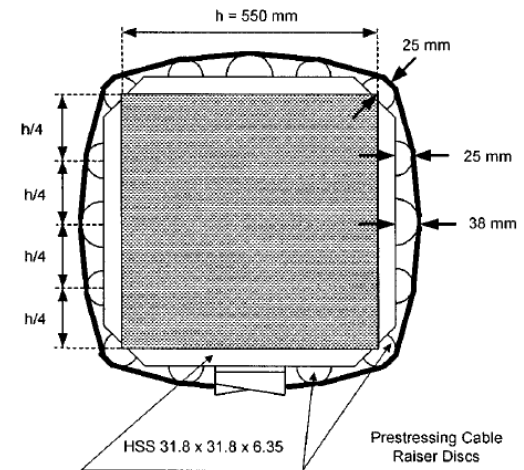
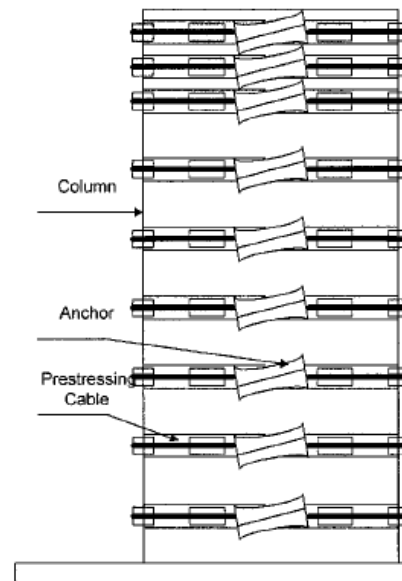
(a) Bracing with welded plate
U or C channel

การเสริมกำลังโครงสร้าง : เทคนิคการเสริมกำลัง

การติด - คาน - ด้วยการอัดแรงภายนอก



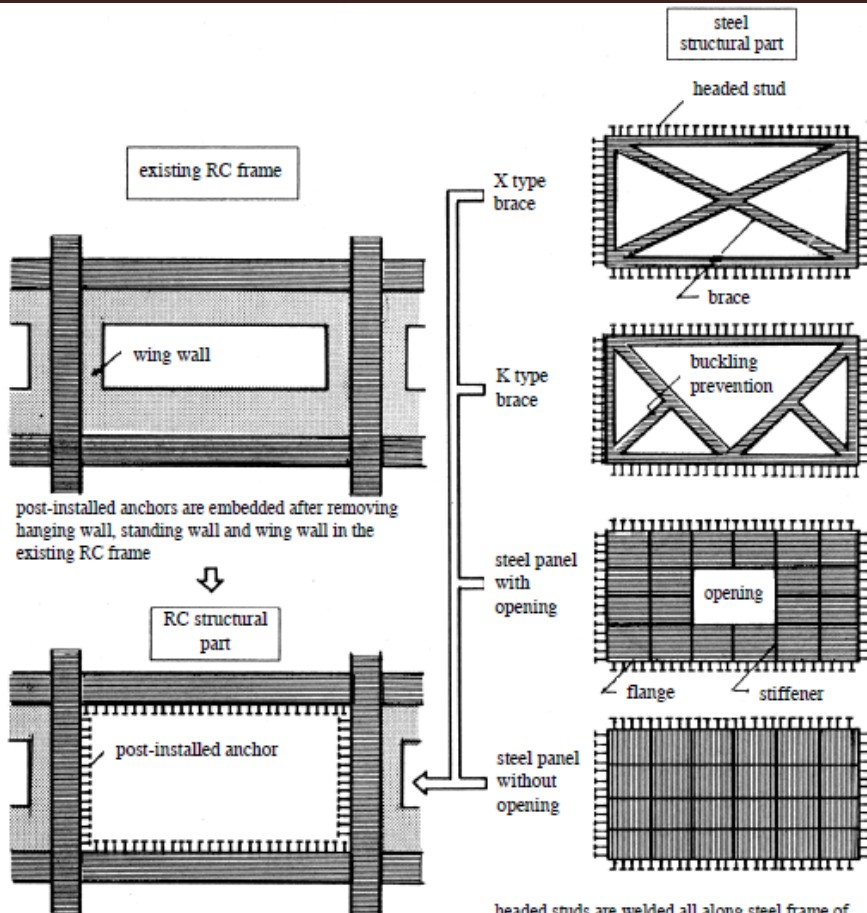
เป็นการอัดแรงเข้าไปในคาน หรือเสา เพื่อปิดการแตกร้าว (บีบ) สามารถช่วยเพิ่มกำลังเฉือน รวมถึงแรงไอบรัดได้



การเพิ่มแรงบีบในเสา
โดยการอัดแรงภายนอก

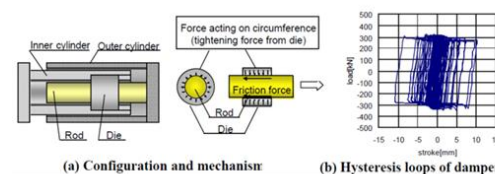
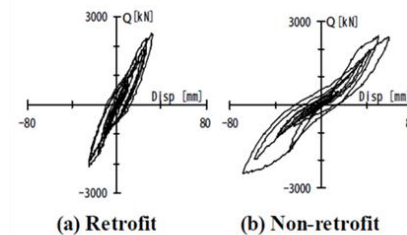
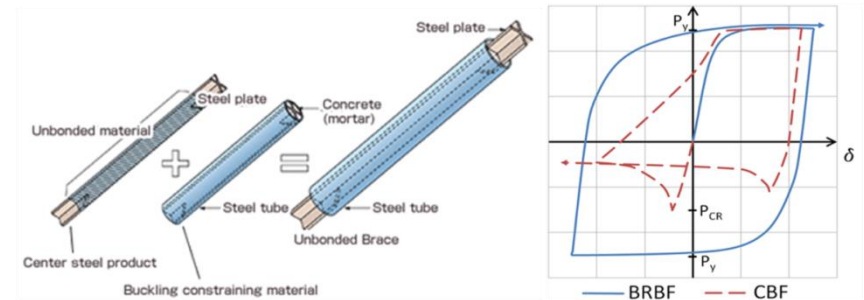
การเสริมกำลังโครงสร้าง : เทคนิคการเสริมกำลัง

การเสริม - โครงสร้าง - ด้วยโครงค้ำยัน/ แผงเหล็ก ภายใน



Steel framed component is installed in RC structure part and gaps around its four interfaces are grouted with pressurized non-shrinkage mortar.

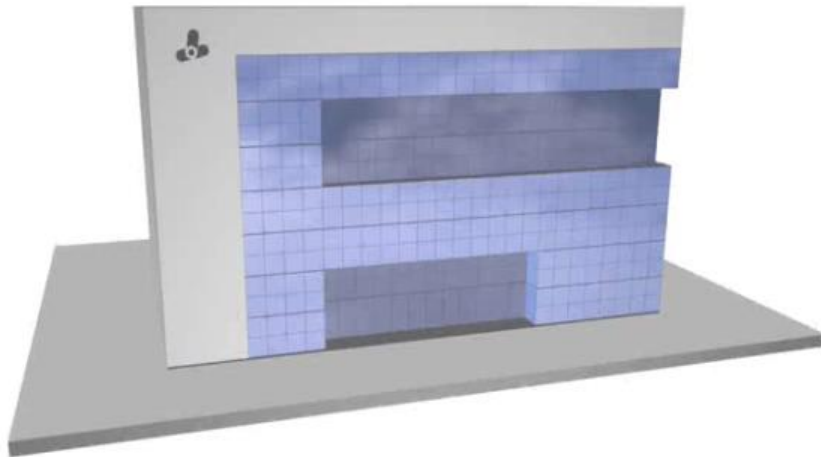
headed studs are welded all along steel frame of steel structural part



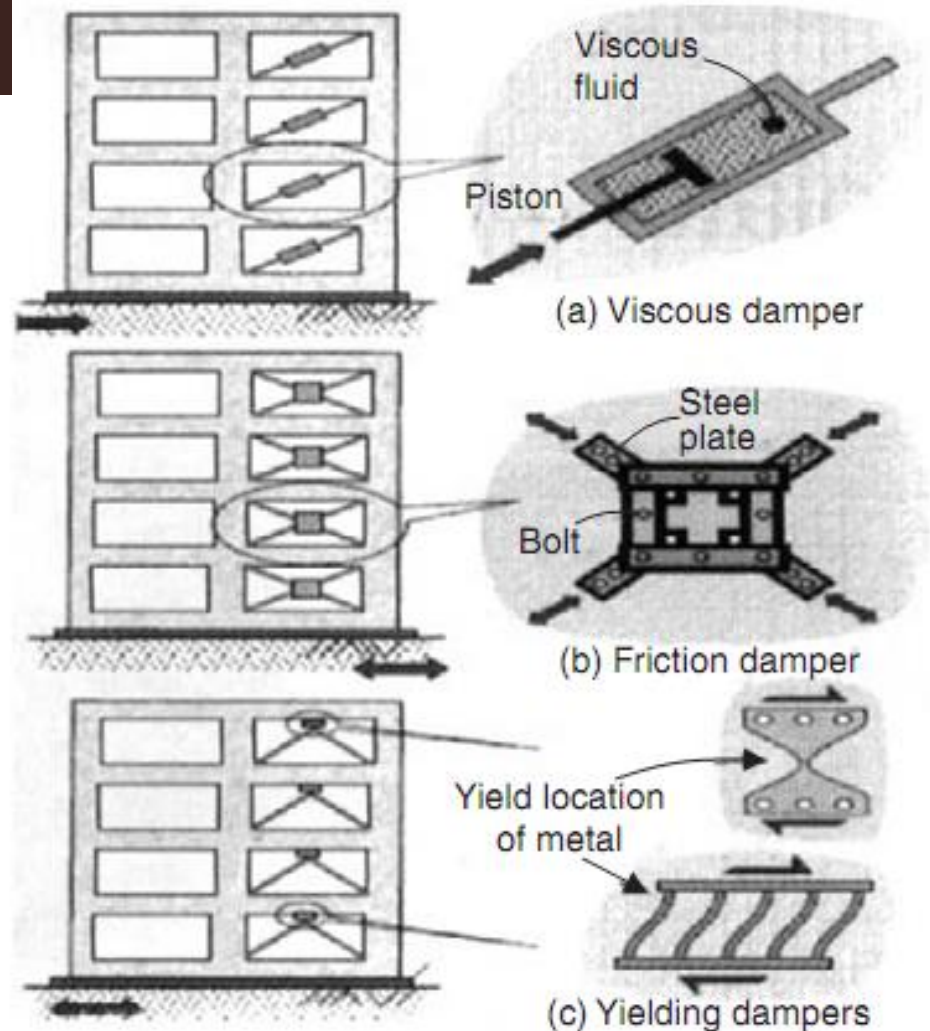
Connection with foundation: connected indirectly by post-construction anchors

การเสริมกำลังโครงสร้าง : เทคนิคการเสริมกำลัง

การเสริม – โครงสร้าง – ด้วยโครงค้ำยัน/
แผงเหล็ก ภายใน

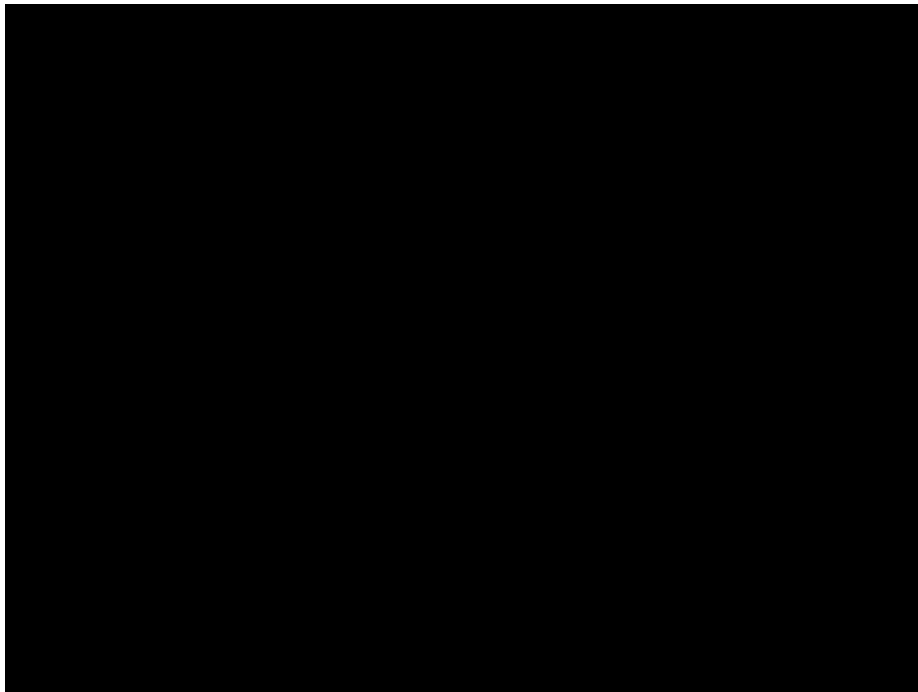


www.damptech.com



การเสริมกำลังโครงสร้าง : เทคนิคการเสริมกำลัง

การเสริม – โครงสร้าง : ด้วยโครงค้ำยัน/แผงเหล็ก ภายใน (Friction damper)



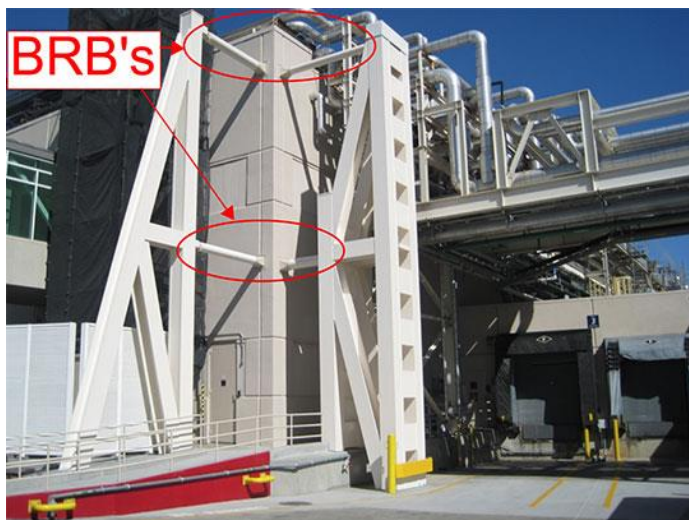
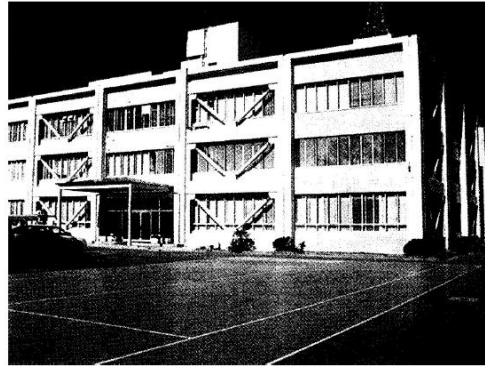
Friction damper



Abenobashi Terminal Building

การเสริมกำลังโครงสร้าง : **เทคนิคการเสริมกำลัง**

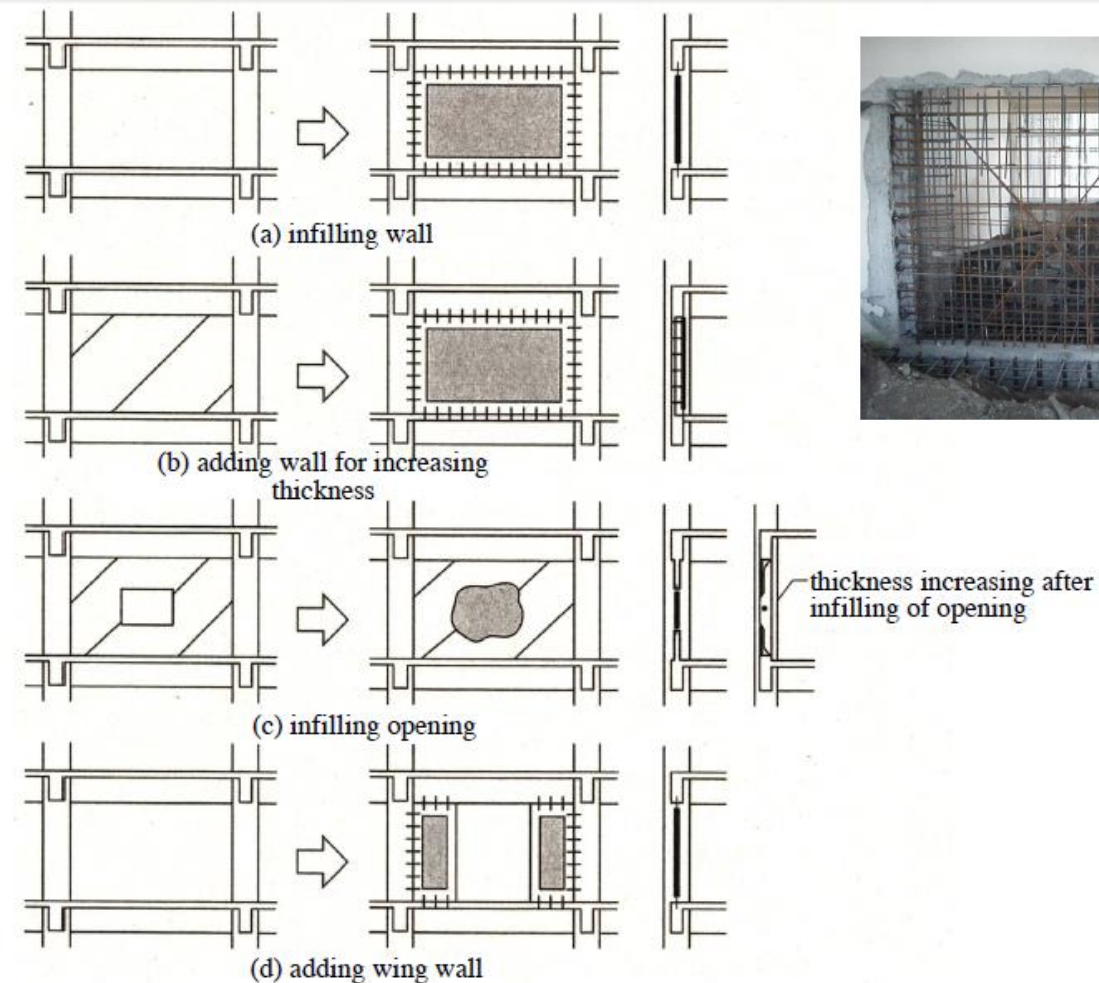
การเสริม – โครงสร้าง – ด้วยโครงสร้างค้ำยันภายนอก



เป็นการนำโครงแข็งหรือโครงสร้างหลัก ช่วยในการรับแรงทางข้าง กรณีนี้จะออกแบบให้โครงสร้างหลักดังกล่าวรับแรง และเกิดความเสียหายได้

การเสริมกำลังโครงสร้าง : **เทคนิคการเสริมกำลัง**

การเสริม – โครงสร้าง – ด้วยการเสริมกำแพง

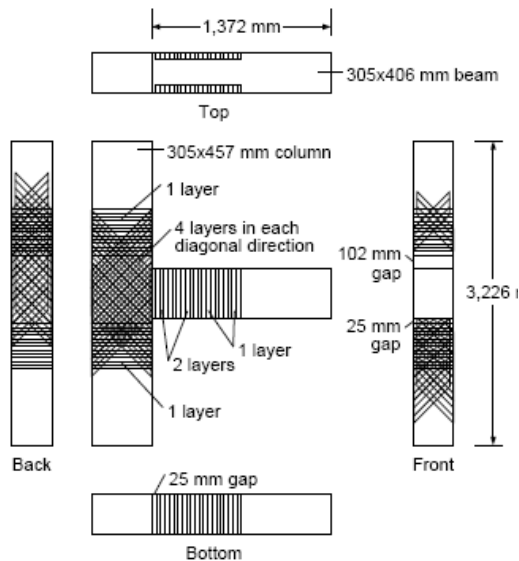


ได้ทั้งกรอกคอนกรีต อิฐก่อ
หรือวัสดุที่สามารถสลายแรง
ทางข้างเข้าไปที่ช่องว่างของ
คาน-เสา กรณีนี้อาจต้องเสริม
ฐานรากเข้าร่วม

การเสริมกำลังโครงสร้าง : เทคนิค

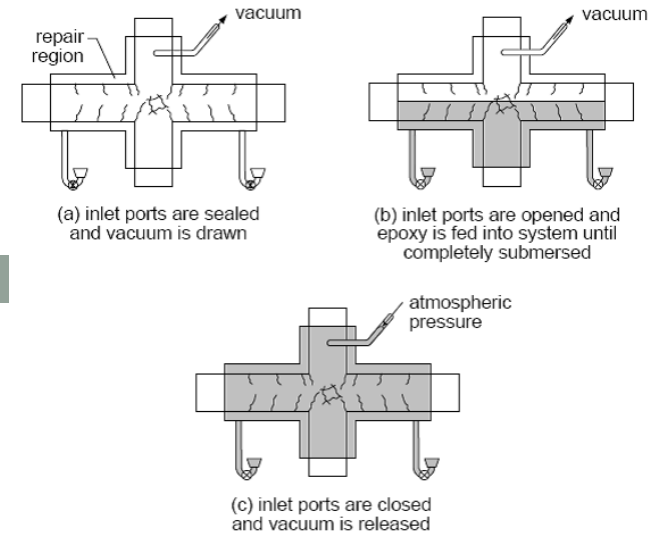
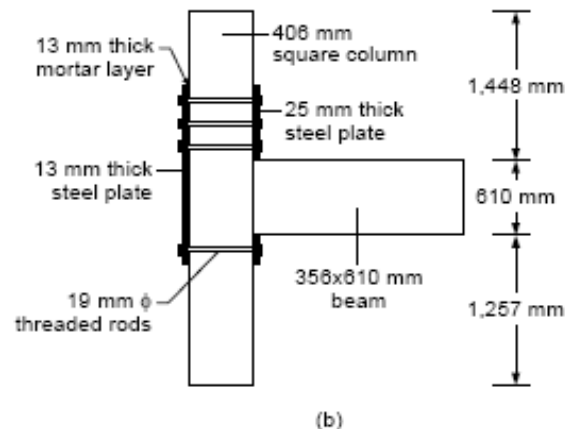
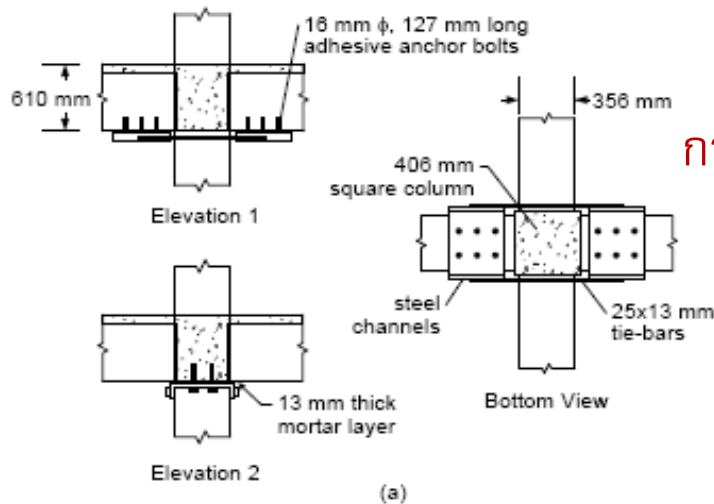
การเสริมกำลัง

การเพิ่มกำลังเฉือน – จุดต่อ-คาน-เสา – ด้วยการ
ขยายจุดต่อ

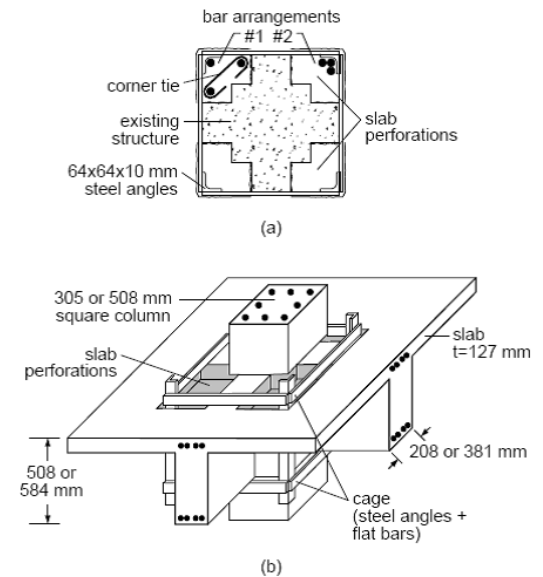


การเสริมกำลังโดยใช้วัสดุ
CFRP

ใช้แผ่นเหล็กหุ้มภายนอก



การเสริมกำลังโดยฉีดด้วย epoxy

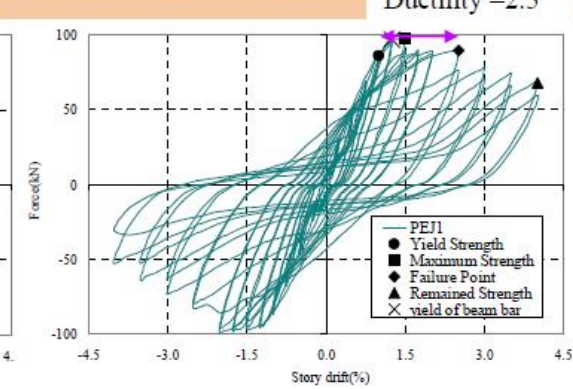
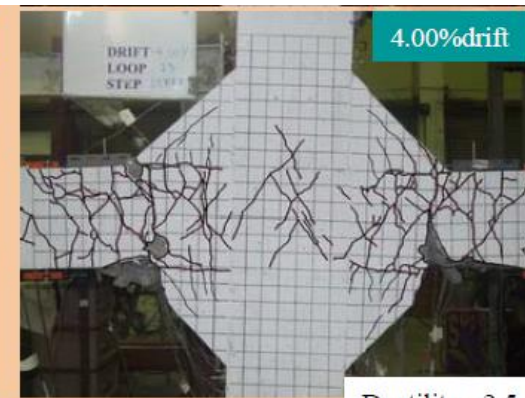
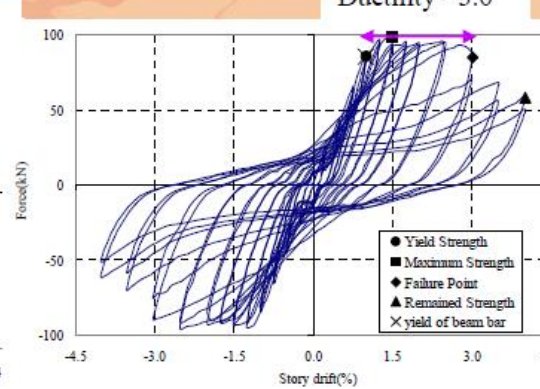
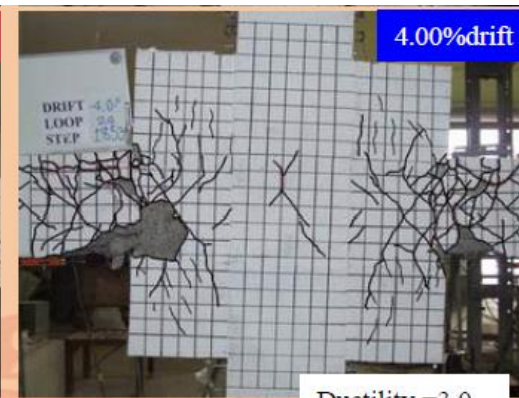
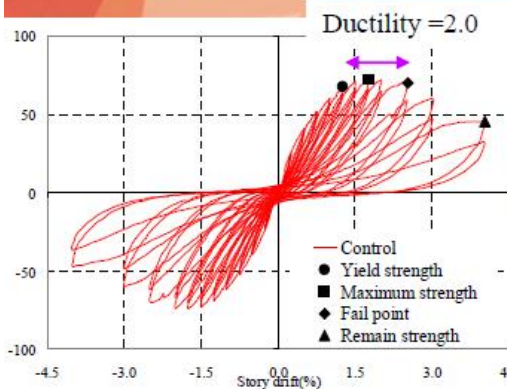
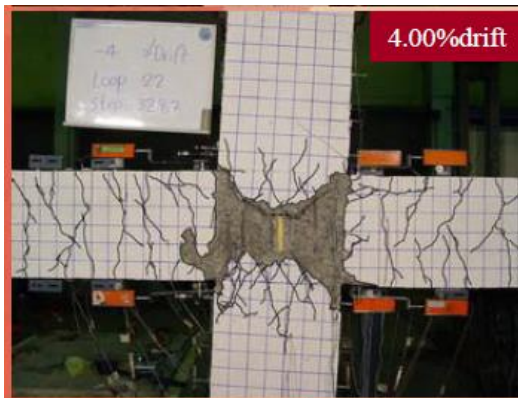


การพอกคอนกรีต



การเสริมกำลังโครงสร้าง : เทคนิคการเสริมกำลัง

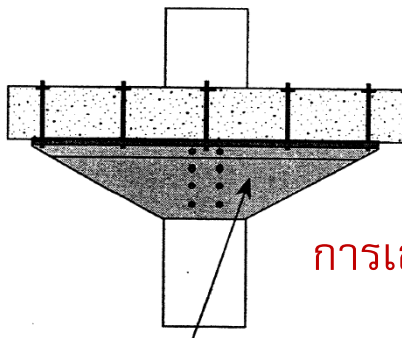
การขยาย – จุดต่อ-คาน-เสา –
ด้วยการขยายจุดต่อ



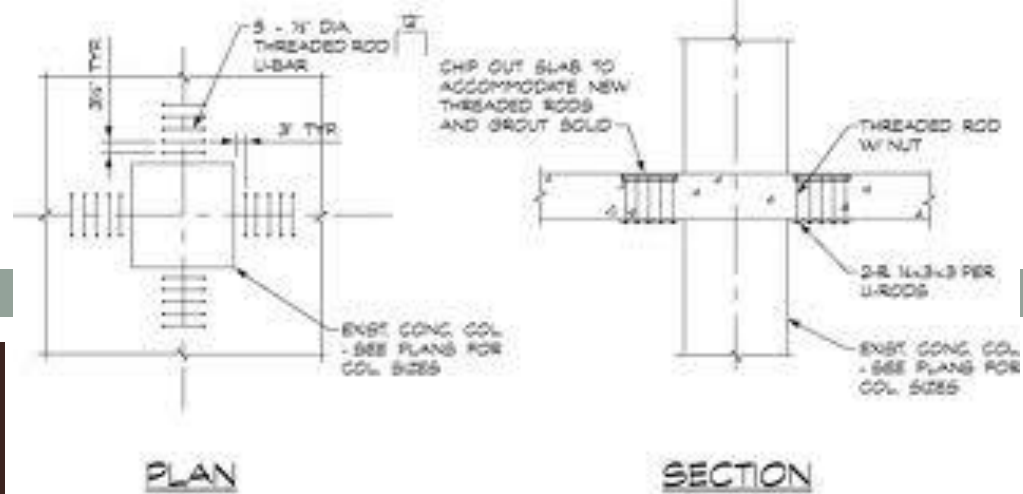
การเสริมกำลังโครงสร้าง

: เทคนิคการเสริมกำลัง

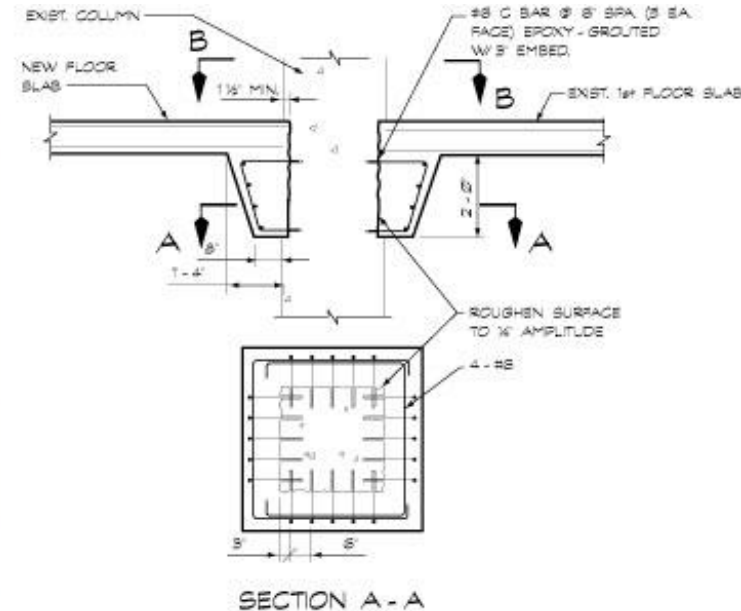
การเพิ่ม – กำลังเฉือนของแผ่นพื้น –
ด้วยวิธีต่าง ๆ



การเสริมบ่าเหล็ก



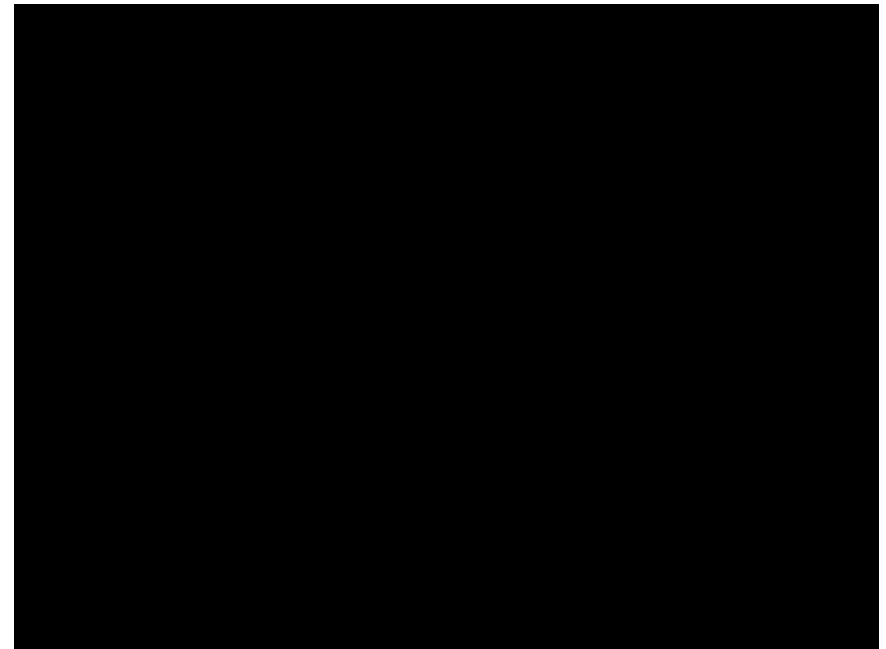
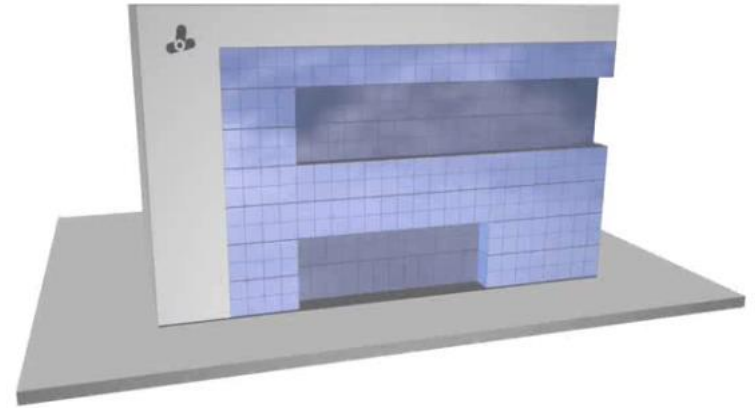
การเพิ่มเหล็กรับแรงเฉือนในแผ่นพื้น



การเพิ่มบ่าคอนกรีต

การเสริมกำลังโครงสร้าง : เทคนิค การเสริมกำลัง (พิเศษ)

การเสริม – โครงสร้าง – พิเศษ (Base Isolation)



การเสริมกำลังโครงสร้าง : เทคนิคการเสริม กำลัง (พิเศษ)

การเสริม – โครงสร้าง – อาคารอิฐก่อ (Masonry wall)



เสริม FRP PLATE (Vertical/Horizontal)



เสริมกำลังด้วย Ferrocement



เสริม FRP PLATE (Diagonal)

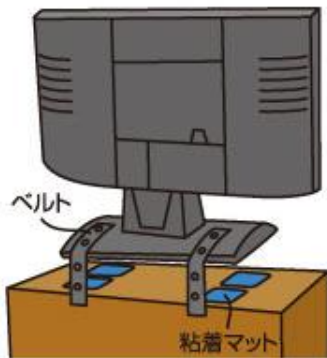


เสริม Diagonal bracing

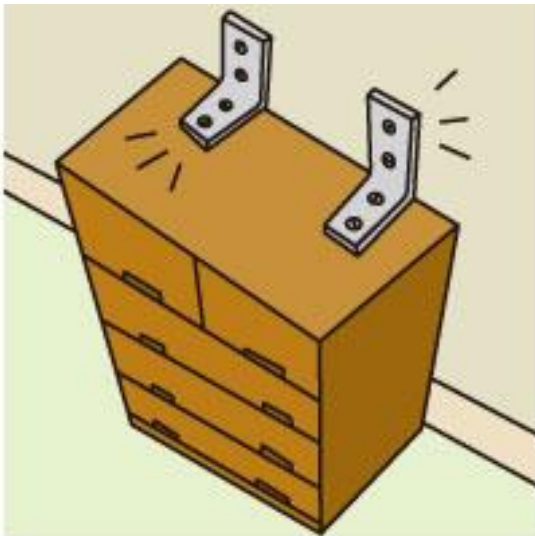
บทที่ 7

แนวทางการปฏิบัติเมื่อเกิดแผ่นดินไหว

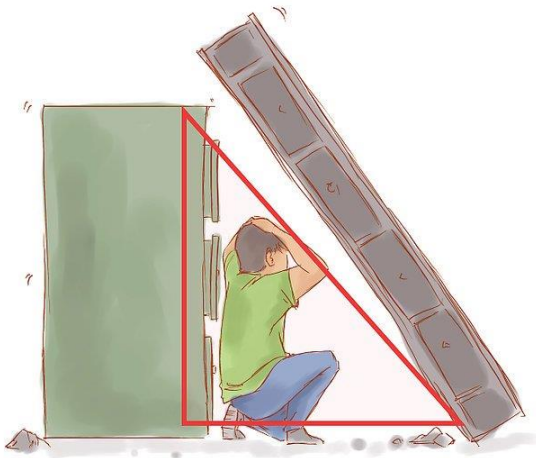
การเตรียมความพร้อม (ในอาคาร) เพื่อลด อันตรายจากแผ่นดินไหว



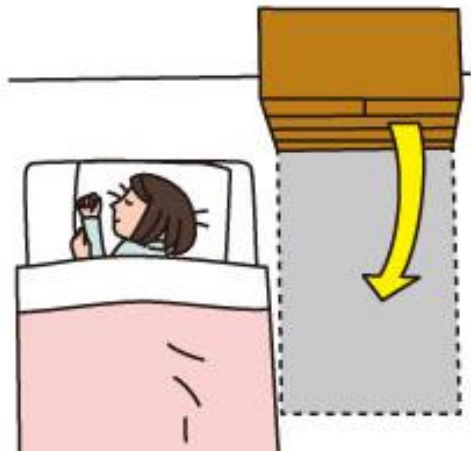
ยึดติดสิ่งของที่อาจล้ม หรือแตกหัก
หรือหล่น ภายใต้แผ่นดินไหว



การเตรียมความพร้อม (ในอาคาร) เพื่อลด อันตรายจากแผ่นดินไหว



ลดความเสี่ยง หรือสร้าง **Triangle of Life**
จากสิ่งของ (ตู้ที่ชะลุด) ที่อาจหล่นทับได้
หรือออกแบบช่องทางหนี เมื่อเกิดการหล่น
หรือล้มของสิ่งของ



การเตรียมความพร้อม (ในอาคาร) เพื่อลดอันตรายจากแผ่นดินไหว

Triangle of Life คือ พื้นที่เล็กข้างๆเครื่องใช้ที่มีความแข็งแรง ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นเครื่องป้องกันการล้มใส่ของสิ่งของขนาดใหญ่ที่มาด้วยความมั่นคง



การเตรียมความพร้อม (ใน
อาคาร) เพื่อลดอันตรายจาก
แผ่นดินไหว

เตรียมกระเป๋าสำรองที่มี
อุปกรณ์จำเป็นที่สามารถ
หยิบแล้วหนีออกนอกอาคาร
กรณีเกิดแผ่นดินไหว แนะนำ
เพิ่มเติม เรื่อง **รองเท้า**
เนื่องจากตอนฉุกเฉินอาจวิ่ง
เท้าเปล่าออกไป ในขณะที่
ภายนอกมีเศษสิ่งของ
มากมาย

72-HOUR SURVIVAL KIT

Stay alert and keep these items ready this rainy season



WHISTLE

It's bad enough that you don't have a signal on your mobile phone but worse when you run out of battery. When you're in distress and need to draw attention to yourself, having a whistle can help rescuers spot you.

CLOTHES

When it rains, it pours! When you get wet, make sure you have dry clothes to quickly change into. You can't afford to get sick and in times like these, the threat of disease spreading is extremely high.

FLASHLIGHT

When electricity is out, don't be left in the dark. A handy flashlight will be your best guide as you rummage through the darkness.

BOTTLED WATER

You can survive without food but not without water; it's the most important thing on your list and should be the first thing you pack in your survival kit. Prepare at least 3 liters of water that's good for 3 days.

IMPORTANT DOCUMENTS

When you need to thread on high waters, it's a good idea to keep your important documents in a waterproof-container or resealable plastic bag.

CELLPHONE

If you're stranded in the middle of nowhere and you need to call for help, your mobile phone will do, just make sure your battery is always full. So hold off on playing Candy Crush for now, your ticket request can wait.

BATTERY-OPERATED RADIO

Keep up-to-date with what's going on in the news. Listen for updates and monitor events following a disaster. Ignoring evacuation instructions could spell the difference between life and death.

READY-TO-EAT FOOD

Food is vital for your survival. Just make sure you pack foods that will last at least 3-7 days. Packaged non-perishable or canned food and boxed juiced are best.

EMERGENCY MONEY

ATM offline? Always make sure you have cash on hand just in case you'll need to buy extra supplies.

FIRST AID KIT

Whatever the weather is, you should have a first aid kit with you at all times. Just remember, your best defense is a good offense.

TEXT BY: RALPH ABOGADO
GRAPHICS BY: MICA CRUZ

หากเกิดแผ่นดินไหวขณะอยู่ในอาคาร

- กรณียุ่บนเตียง ให้เอาหมอนหรือถ้าห่มคลุมศีรษะ



- หากไม่มีโต๊ะในบริเวณใกล้เคียง ให้เอาเบาะรองนั่งหรือสิ่งของอื่นมาปกป้องบริเวณศีรษะไว้

หากเกิดแผ่นดินไหวขณะอยู่ในอาคาร



- เข้าไปหลบอยู่ใต้โต๊ะที่แข็งแรง และจับขาโต๊ะไว้ให้แน่นเพื่อปกป้องร่างกาย



หากเกิดแผ่นดินไหวขณะอยู่ในอาคาร

นวัตกรรม สำหรับป้องกันภัย
แผ่นดินไหว (ในอาคาร)



เตียงหลบภัย

ประตูหลบภัย

โต๊ะกันกระแทก



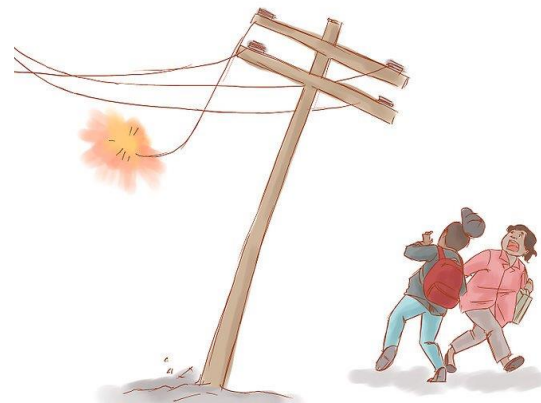
หากเกิดแผ่นดินไหวขณะอยู่อาคาร



- หากเกิดไฟไหม้ ตั้งสติและรีบดับไฟ หรือเมื่อแผ่นดินไหวหยุด (ชั่วคราว) ควรเร่งปิดวาล์วต่าง (อาจเกิด after shock)
- เมื่อแผ่นดินไหวหยุดควรรีบออกไปข้างนอกอาคาร (ไปยังที่โล่ง)

เกิดแผ่นดินไหว ขณะที่อยู่ข้างนอกอาคาร

- อยู่หนึ่ง ก้มต่ำ หาสิ่งของคลุมศีรษะ
ไม่อยู่ใกล้เสาไฟฟ้า สายไฟฟ้า
กำแพงอิฐ หรือสิ่งห้อยแขวน



เกิดแผ่นดินไหว ขณะที่อยู่ข้างนอกอาคาร



- อันตรายจากแผ่นดินไหว ต่อมุขย่นอกจากอาคารถล่มคือ สิ่งของ
ประกอบอาคาร เช่น อิฐ ป้ายโฆษณา หรือแผ่นติดอาคารตกลง
ระหว่างการสั่นสะเทือน

เมื่อรู้สึกว่เกิดแผ่นดินไหวขณะที่อยู่ในห้างสรรพสินค้า

- ห้างสรรพสินค้า (คาดว่า) จะมีความแข็งแรง และถูกออกแบบหรือเสริมกำลังให้ต้านแผ่นดินไหวได้
- สิ่งที่น่าอันตรายที่สุดคือคนที่ตื่นดังนั้น อย่าวิ่ง และให้หลบในบริเวณ Triangular Life
- หรือก้มลงหรือหมอบตัวลงต่ำให้อยู่ชิดกับพื้นให้มากที่สุด



ขณะที่อยู่ในระบบขนส่งมวลชน

รถไฟจะหยุดวิ่ง ให้อยู่ในความสงบ
รอฟังคำแนะนำจากเจ้าหน้าที่

1. อยู่บนชานชาลา : ระวังอย่าล่องไปใน track, ระวังของตกใส่



ขณะที่อยู่ในระบบขนส่งมวลชน

2. อยู่บนรถไฟ : ระวังของตกใส่, ยึดเกาะ



3. อพยพ : เมื่อแผ่นดินไหวหยุด ทอยออก (ช้าๆ) ตามคำสั่ง

ขณะอยู่ในยานพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่



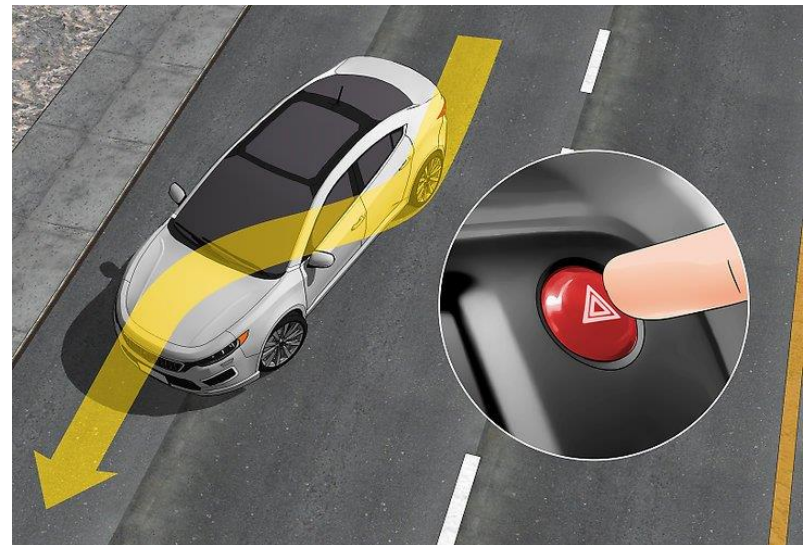
SLOW DOWN



PULL OVER

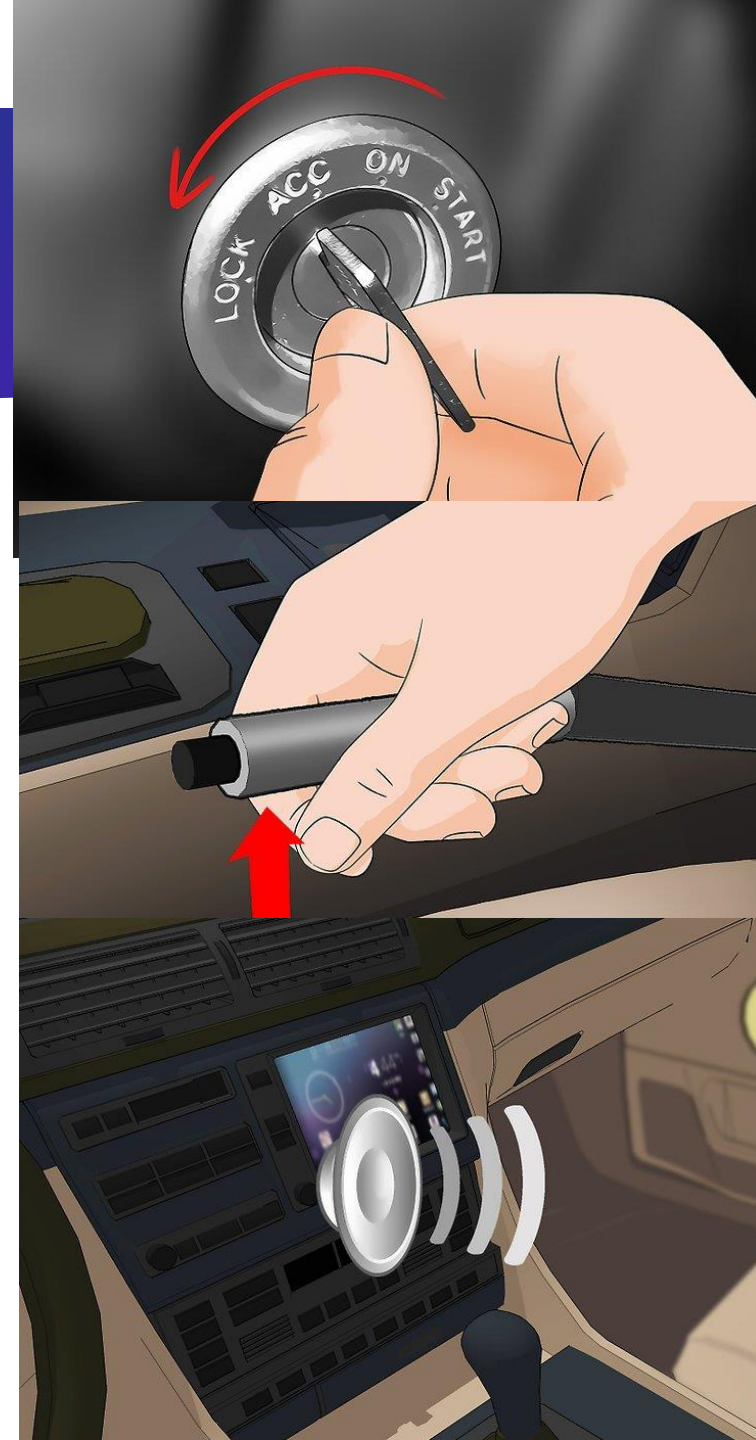
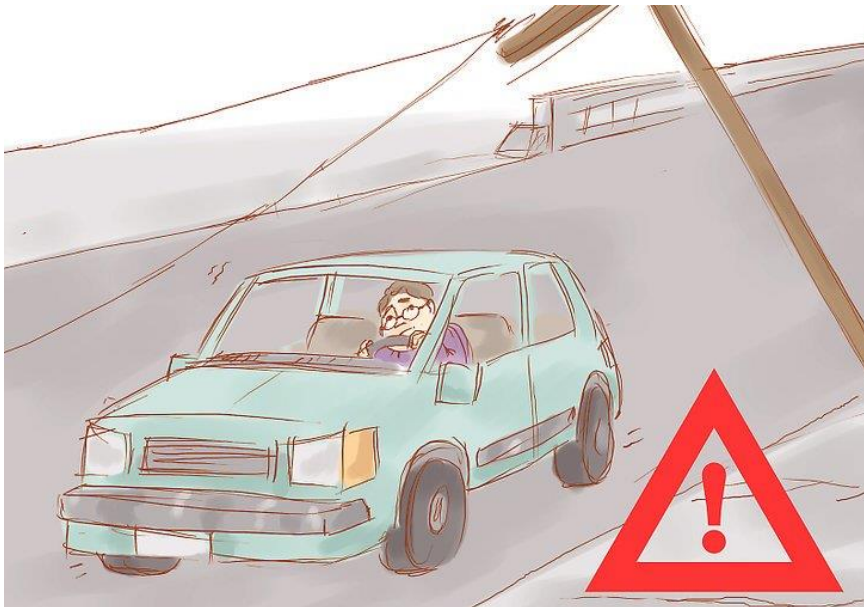


STAY INSIDE



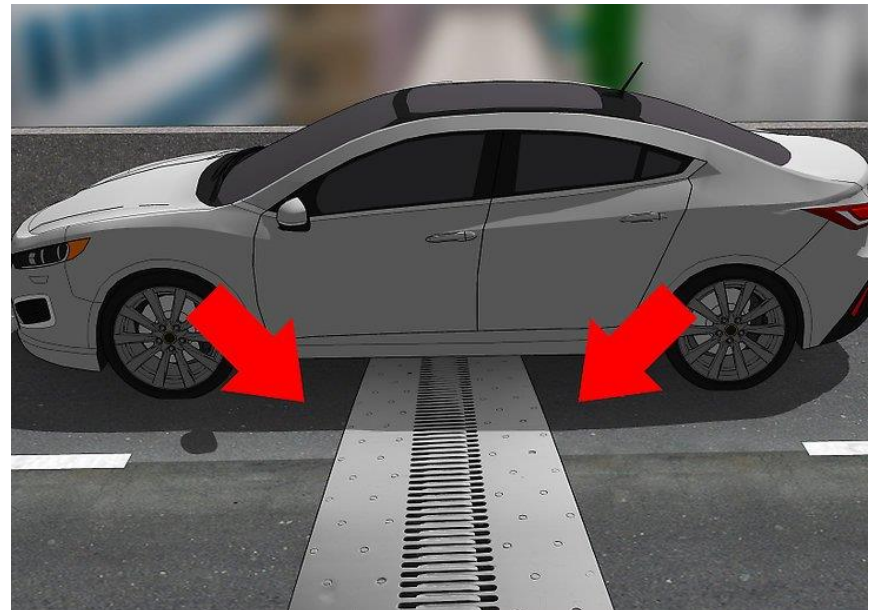
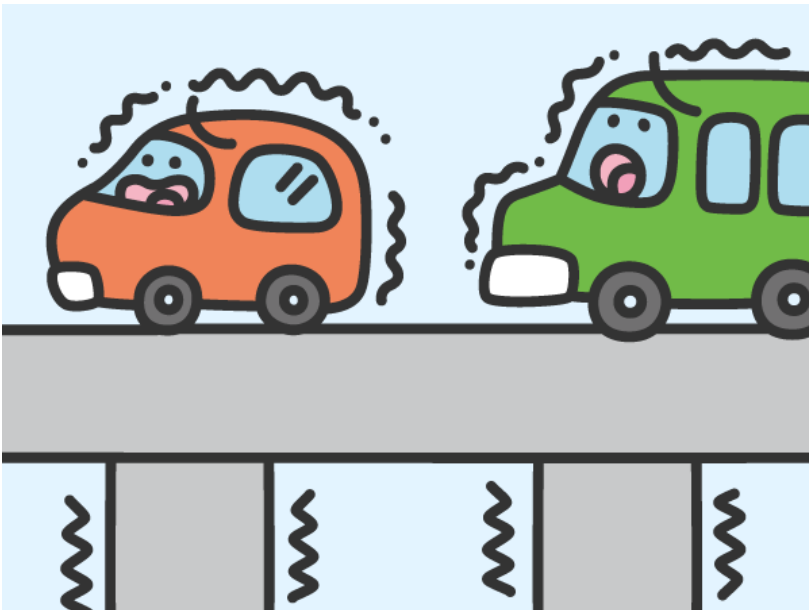
ขณะอยู่ในยานพาหนะที่ กำลังเคลื่อนที่

- ดับเครื่องยนต์ / พังข่าวสาร
- อย่างจอดรถใกล้อาคาร หรือ
สิ่งก่อสร้างที่อาจมีวัสดุหล่นใส่



ขณะอยู่ในยานพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่

- หลีกเลียงการใช้สะพานหรือทางลอด
- ถ้าอยู่บนสะพานหลีกเลียงการจอดบริเวณรอยต่อ



ขณะอยู่ชายทะเล

ระวังคลื่นยักษ์สึนามิ - ชั้นที่สูง -
ตรวจสอบเส้นทางอพยพ





*Thank
You!*