# พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว

**รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ ศรีชัย**

มหาวิทยาลัยบูรพา

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วงศา วรารักษ์สัจจะ**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

โครงการพัฒนาหลักสูตรการเรียนรู้เรื่องการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พ.ศ. 2568

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## จุดมุ่งหมายของบทเรียน

- ผู้เรียนเข้าใจถึงพฤติกรรมโดยรวมของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อภายใต้แรงแผ่นดินไหว
- ผู้เรียนเข้าใจผลกระทบของแรงปฏิสัมพันธ์จากผนังอิฐก่อต่อชิ้นส่วนองค์อาคารหลัก
- ผู้เรียนสามารถคำนวณและออกแบบองค์อาคารหลักโดยพิจารณาผลกระทบของผนังอิฐก่อตามมาตรฐาน มยผ. 1301/1302 ได้

















# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## หัวข้อในการบรรยาย

- พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อในระดับโครงสร้างและระดับองค์อาคาร
- แนะนำแนวทางการออกแบบอาคารโดยพิจารณาผลของผนังอิฐก่อ ตามมาตรฐาน มยผ. 1301/1302-64
- ขั้นตอนการวิเคราะห์ ออกแบบ และตัวอย่างการออกแบบอาคารสูง 4 ชั้น



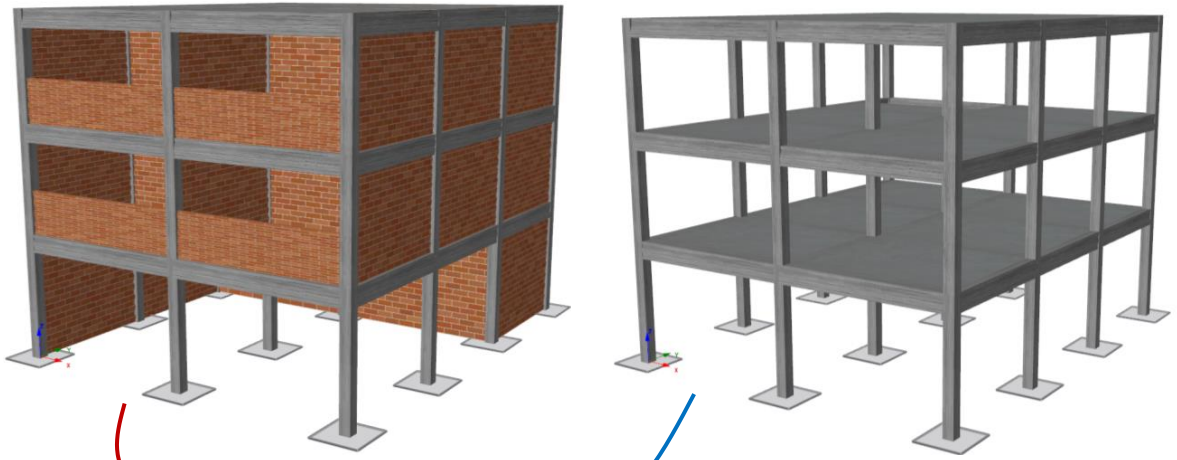


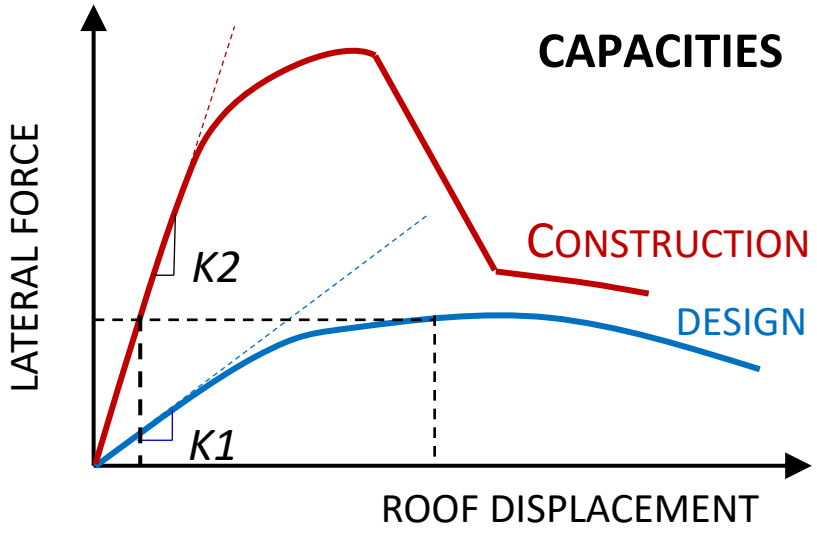


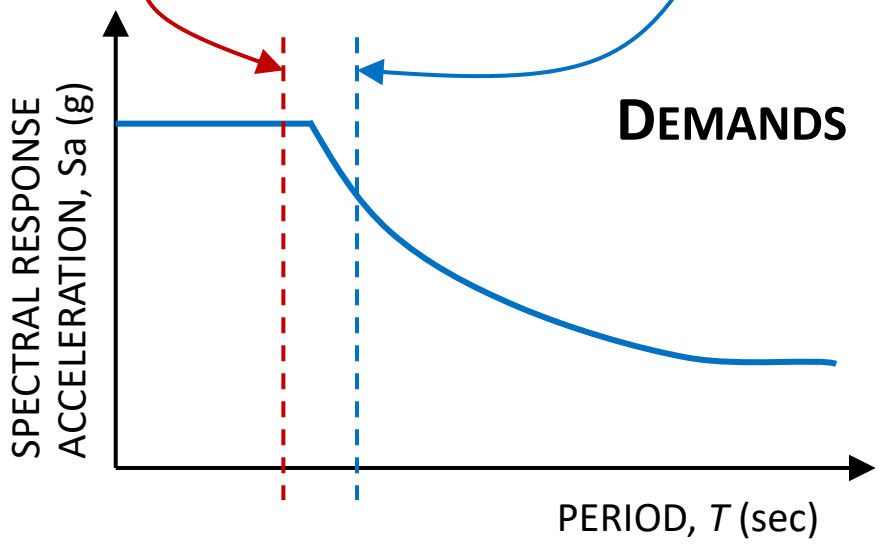
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อในระดับโครงสร้าง

- การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง vs อาคารที่ก่อสร้างจริง
- แรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น (Seismic Demands)
- กำลังต้านทานของโครงสร้าง (Structural Capacities)





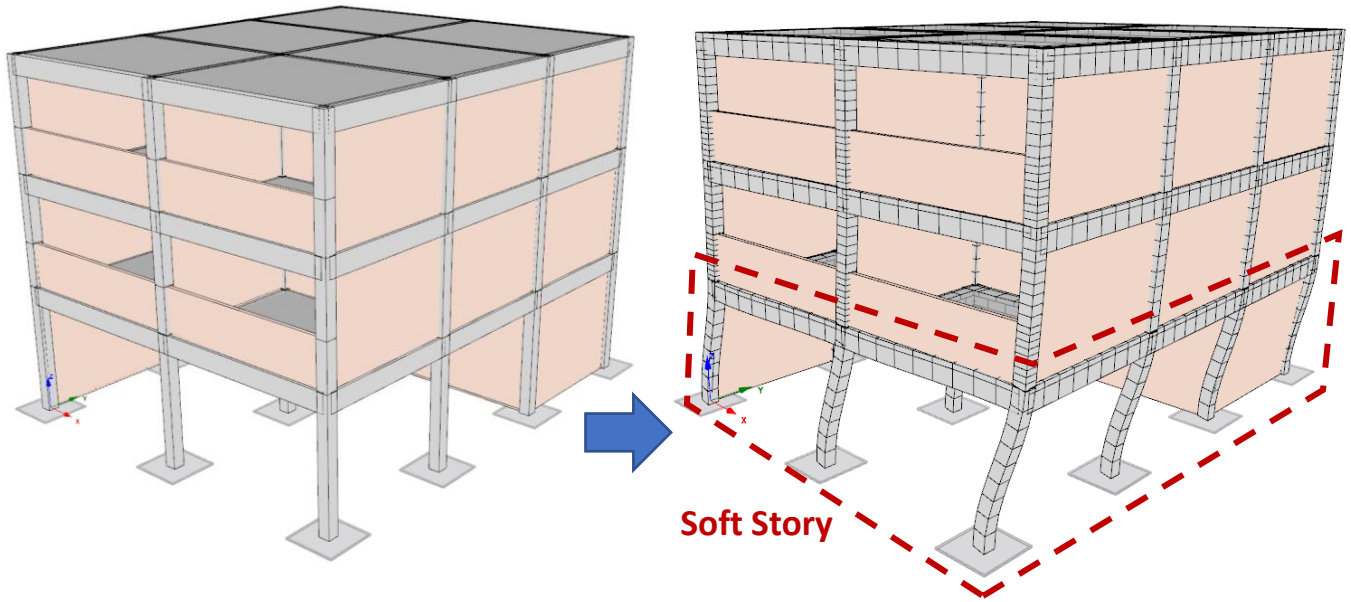



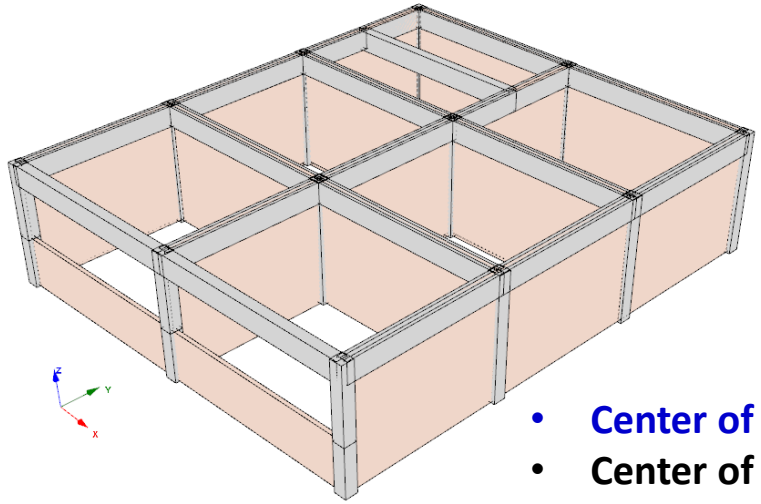
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อในระดับโครงสร้าง

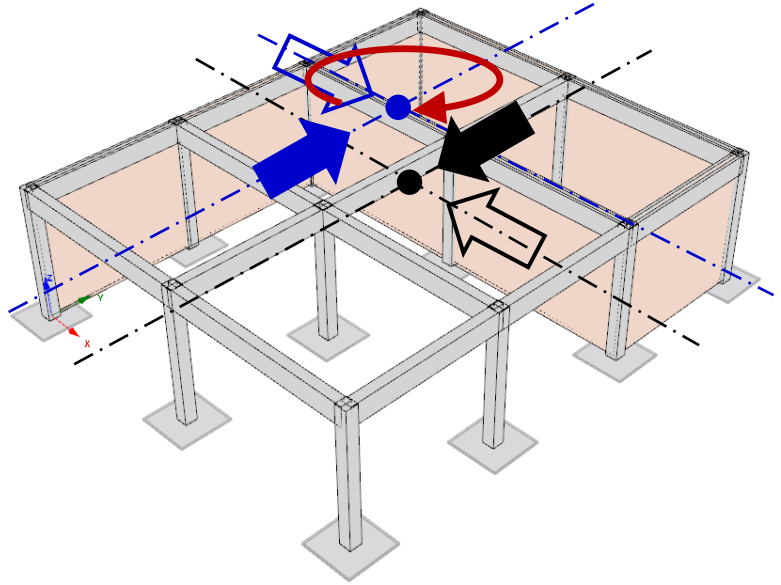
- ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวราบ (Horizontal Irregularity)
  - ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด **(Torsional Irregularity)**

- ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง (Vertical Irregularity)
  - ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส **(Soft-Story Irregularity)**



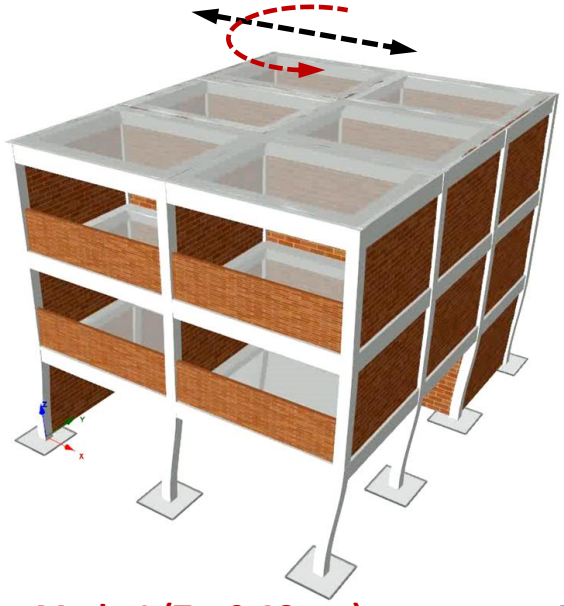
- **Center of Rigidity**
- **Center of Mass**



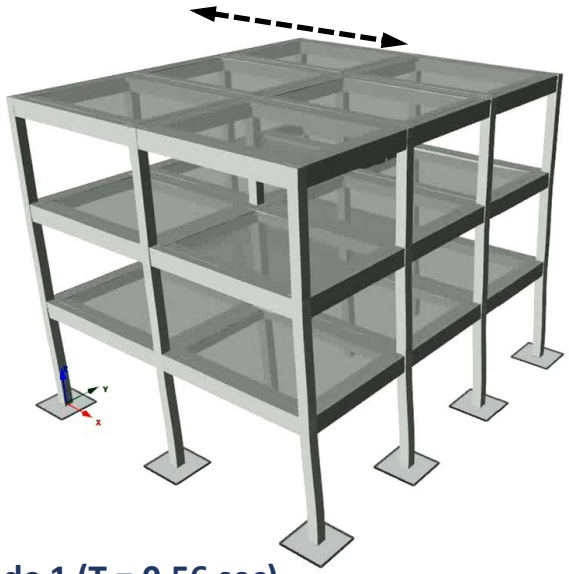
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อในระดับโครงสร้าง

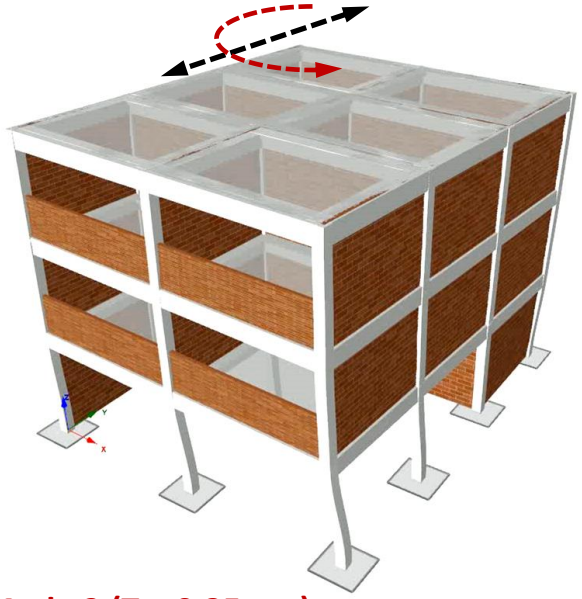
- คาบการสั่น (Period, T)
- ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด (Torsion Irregularity)
- ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส (Soft Story Irregularity)



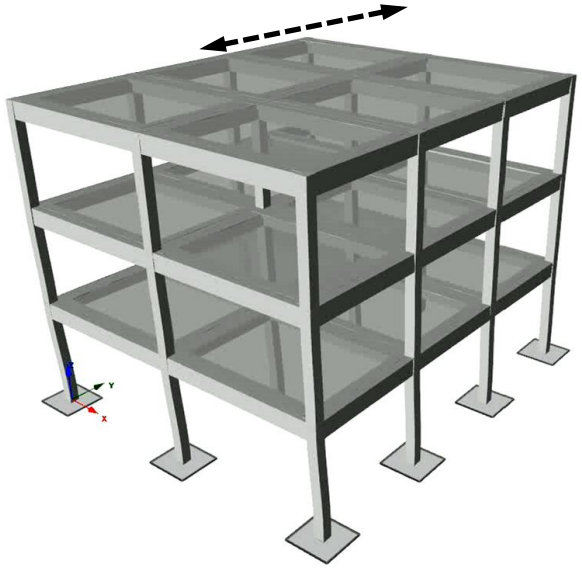
Mode 1 (T = 0.46 sec)



Mode 1 (T = 0.56 sec)



Mode 2 (T = 0.35 sec)



Mode 2 (T = 0.55 sec)

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

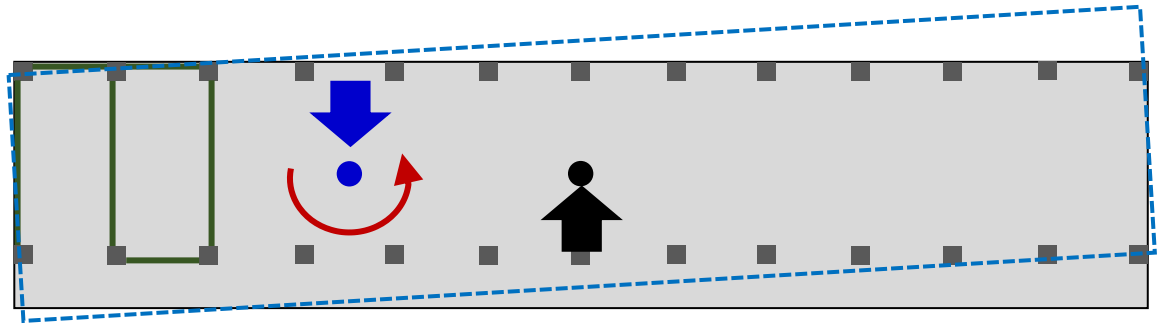
## พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อในระดับโครงสร้าง

- ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด (Torsion Irregularity)
- ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส (Soft Story Irregularity)









5 พฤษภาคม 2557 เหตุการณ์แผ่นดินไหว Mw = 6.3 อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อในระดับโครงสร้าง

- ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด (Torsion Irregularity)
- ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส (Soft Story Irregularity)



อาคารที่อยู่ติดกัน เสียหายเล็กน้อย เช่น ผนังเกิดรอยร้าว

อาคารที่เกิดความเสียหายรุนแรง



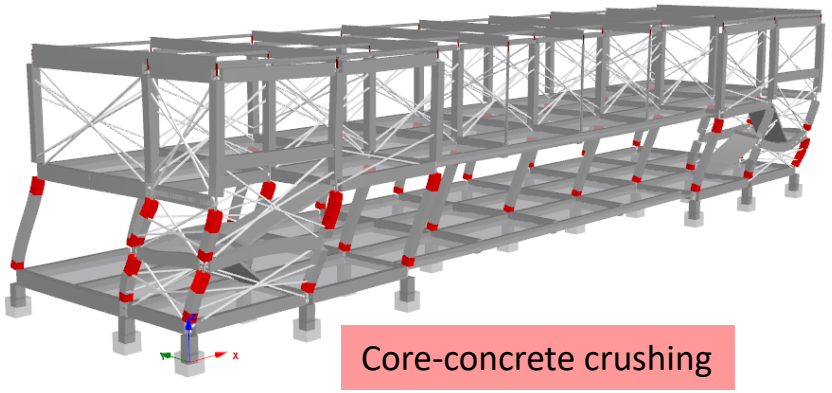
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อในระดับโครงสร้าง

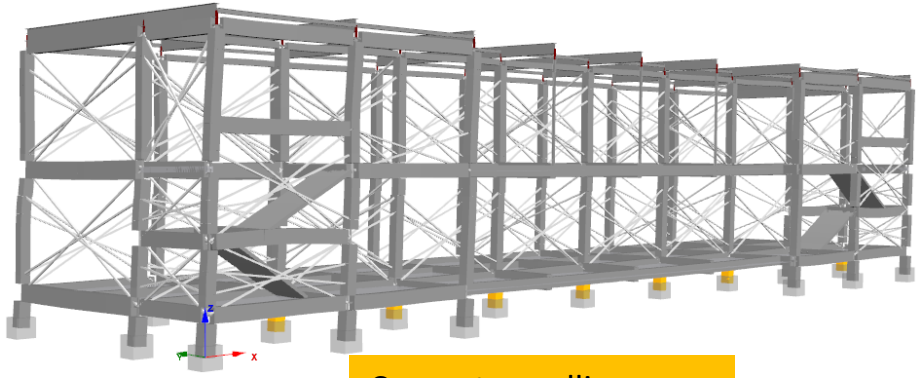




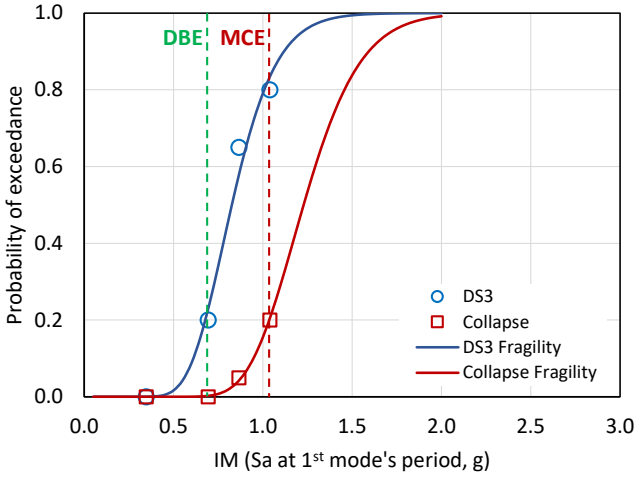


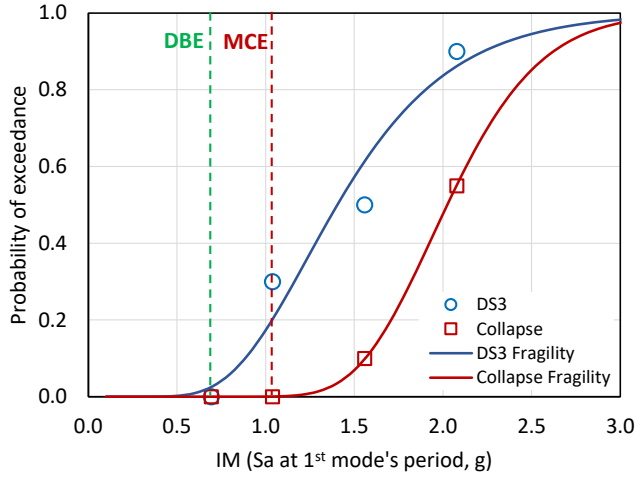


Core-concrete crushing



Concrete spalling

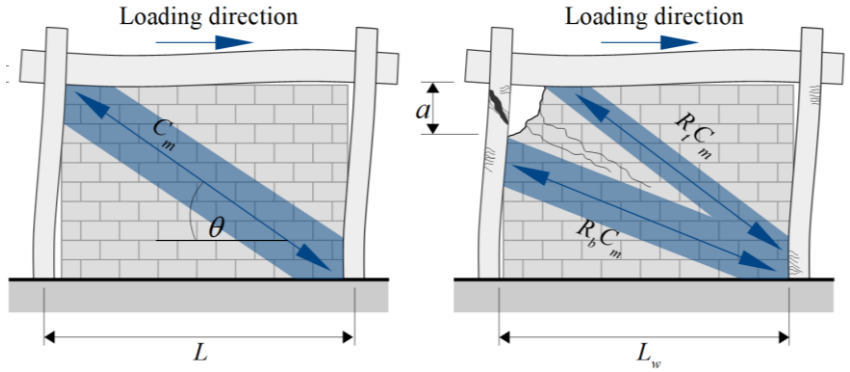


# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อในระดับองค์อาคาร

- การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน
  - เสาเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน
  - จุดต่อคานเสาเกิดการวิบัติ







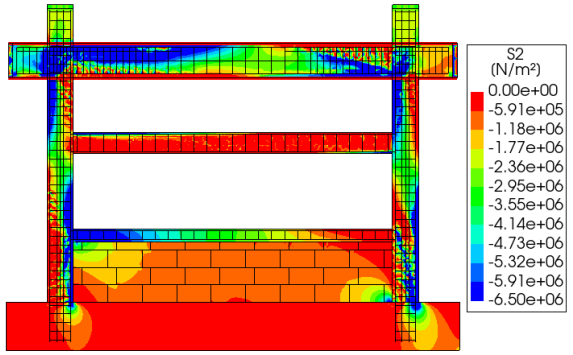


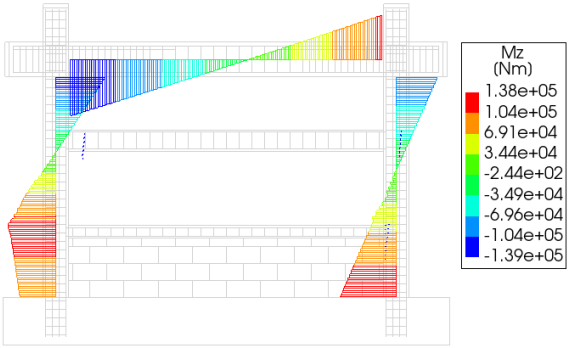

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

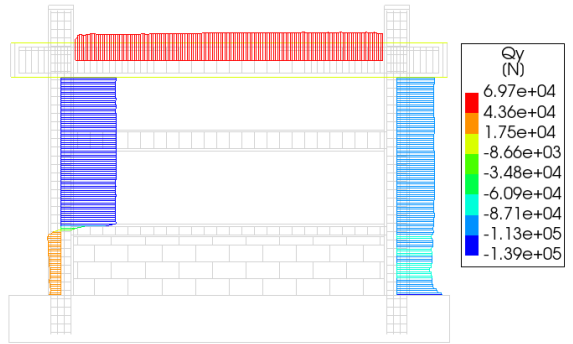
## พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อในระดับองค์อาคาร

- การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน (เสาสั้น)

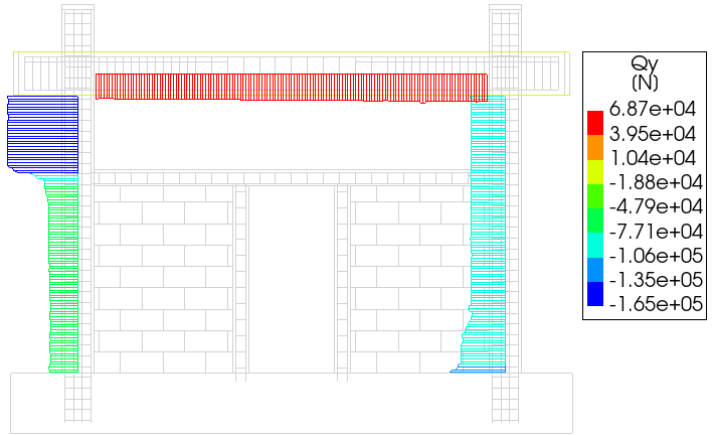




# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## พฤติกรรมและผลกระทบของผนังอิฐก่อในระดับองค์อาคาร

- การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน (เสาสั้น)

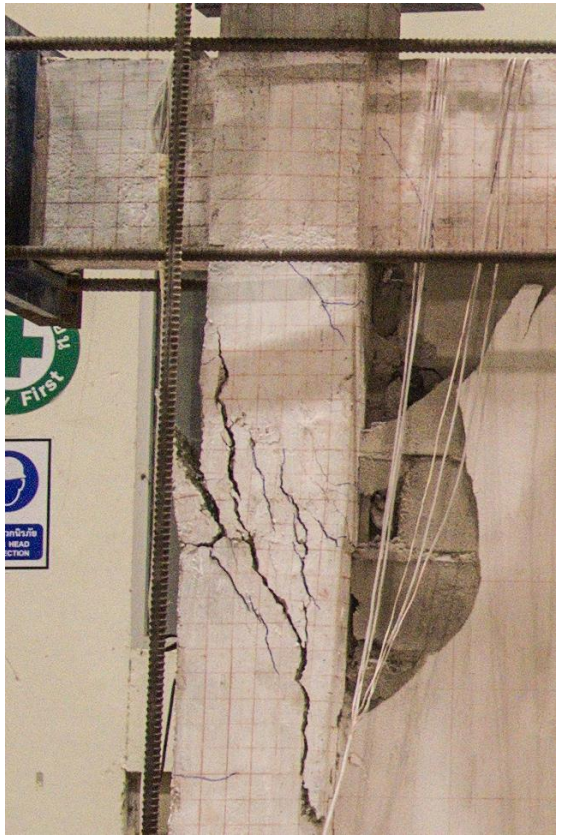
**โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียว (Ductile)**



**+2.00% DRIFT**



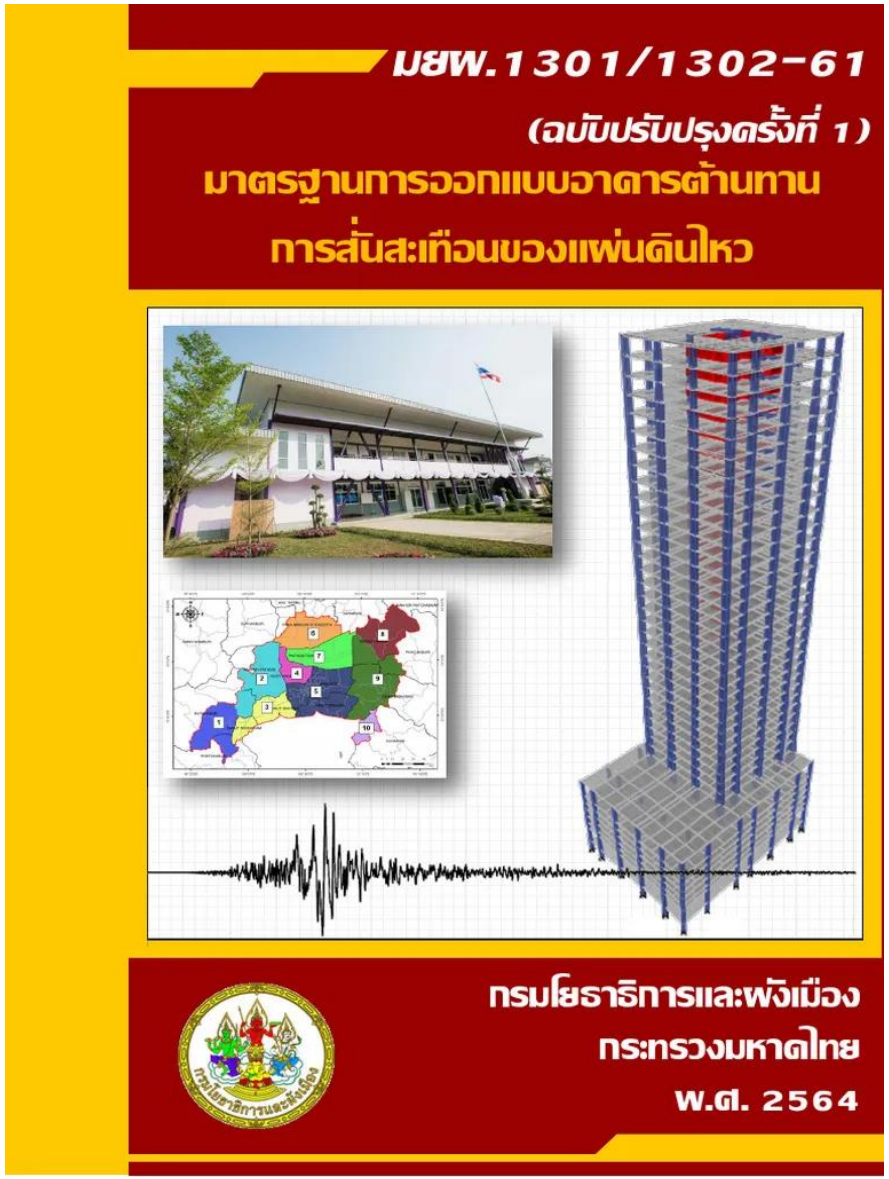
**+1.00% DRIFT**



**+2.00% DRIFT**

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## แนวทางการวิเคราะห์และออกแบบตาม มยผ. 1301/1302-64




- ไม่พิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังอิฐก่อ และให้รายละเอียดเสาที่ติดกับผนัง
- พิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังอิฐก่อ โดยใช้ Equivalent Compression Strut Model
- การป้องกันรูปแบบการวิบัติที่เป็นอันตราย (ชั้นอ่อน และ เสาวิบัติจากแรงเฉือน)

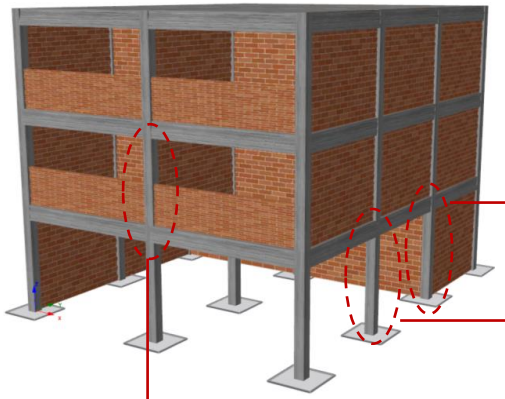
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

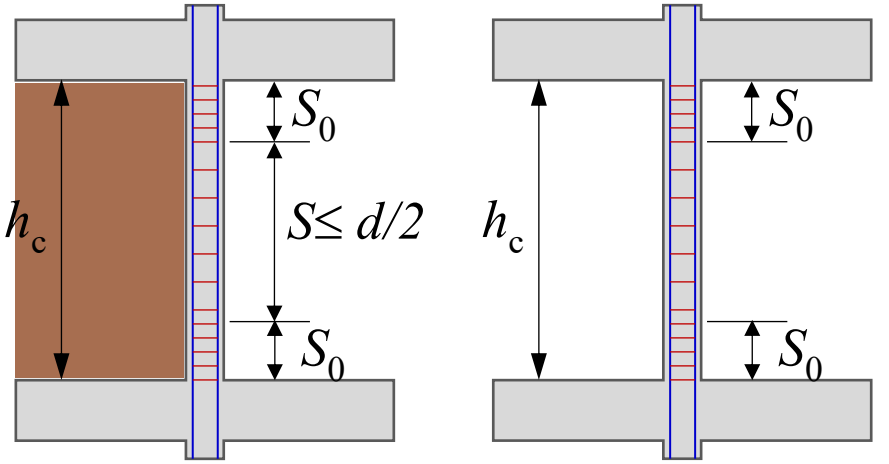
## แนวทางการวิเคราะห์และออกแบบตาม มยผ. 1301/1302-64

### กรณีไม่พิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังอิฐก่อในการคำนวณออกแบบ

(บทที่ 5: รายละเอียดโครงสร้าง)

สามารถใช้รายละเอียดต่อไปนี้สำหรับเสาที่อยู่ติดกับผนัง






- **ระยะเรียงของเหล็กเสริมตามขวางขั้นต่ำ $S_0$**

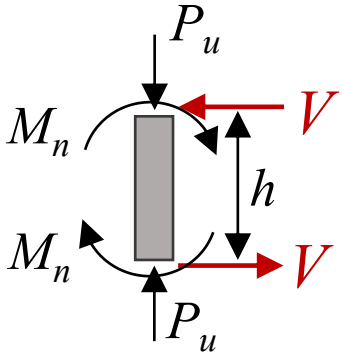
  **ตามข้อกำหนด มยผ. 1301/1302-64**

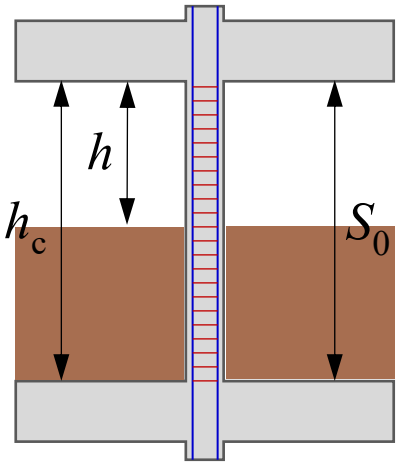
  ความเหนียวปานกลาง (5.2.7.4)

  ความเหนียวพิเศษ (5.2.9.4)

- **คำนวณแรงเฉือน ($V$) คิดผลของช่วงเสาที่ลดลง**

  เสริมเหล็กทางขวางต้านแรงเฉือนเลยลงไปเท่ากับมิติด้านยาวของหน้าตัดเสา

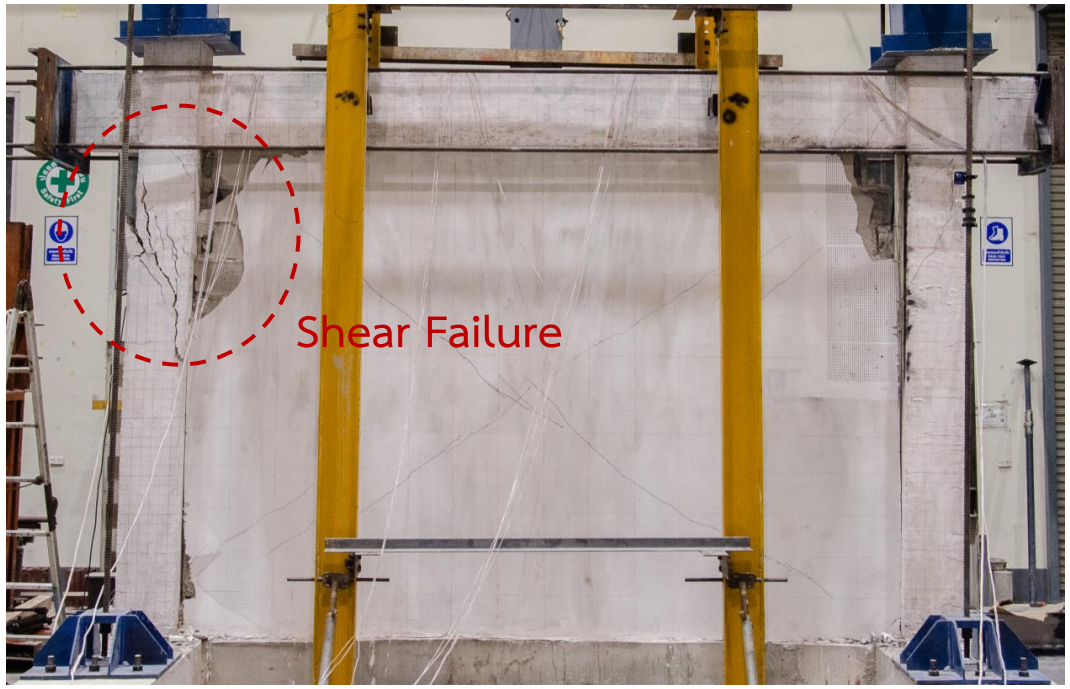


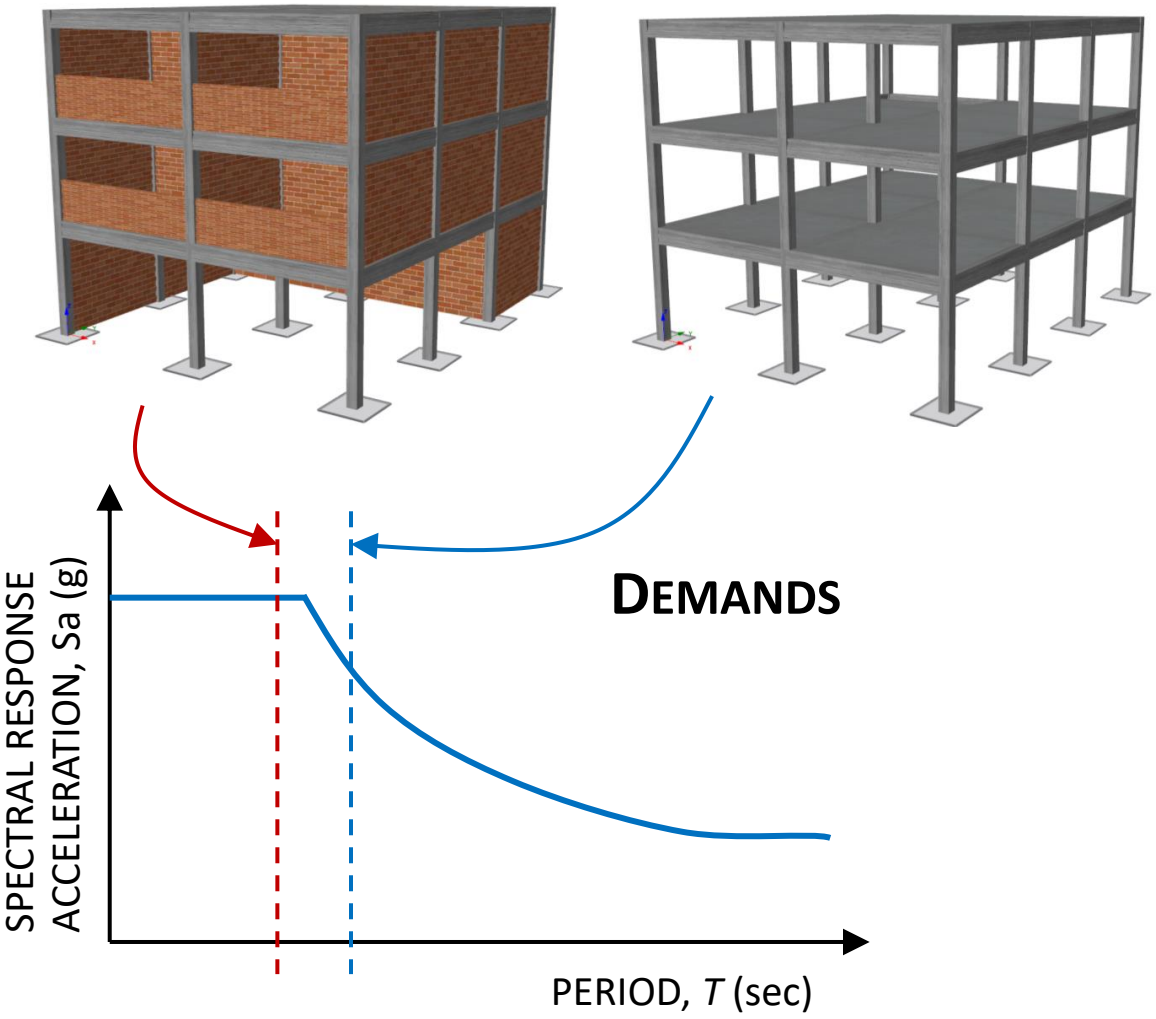



# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## แนวทางการวิเคราะห์และออกแบบตาม มยผ. 1301/1302-64

กรณีไม่พิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังอิฐก่อ
ในการคำนวณออกแบบ
(ข้อจำกัด)



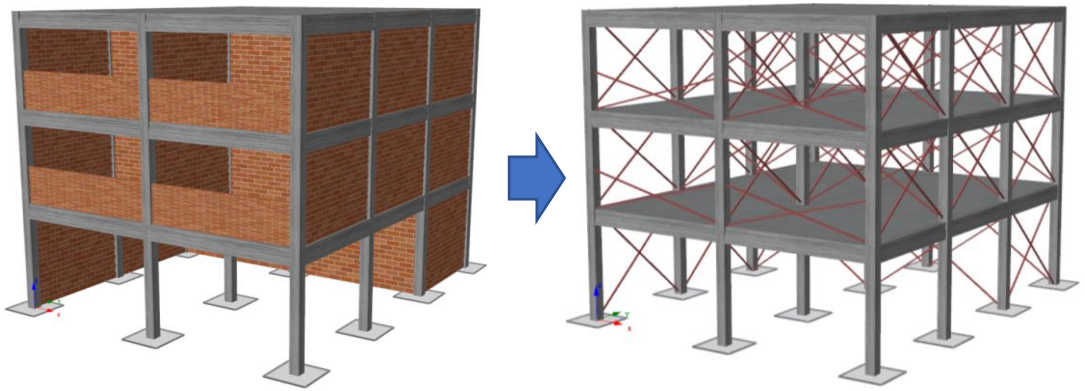
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

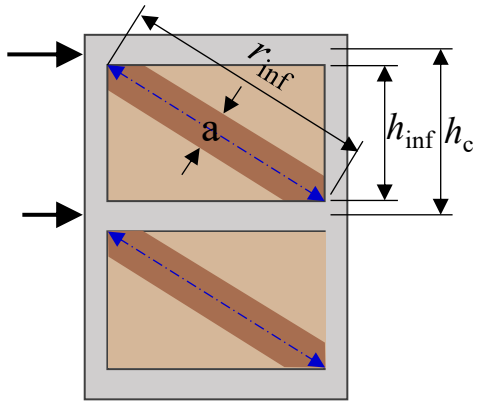
## แนวทางการวิเคราะห์และออกแบบตาม มยผ. 1301/1302-64

### กรณีพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังอิฐก่อ

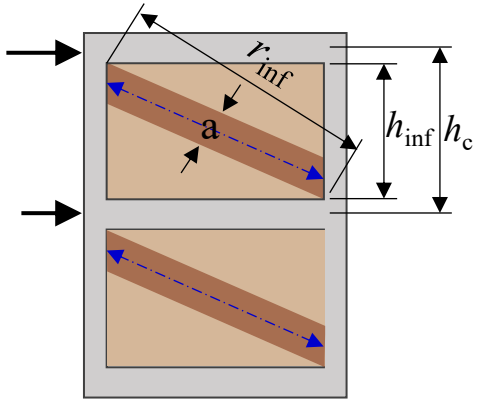
**ค่าสติฟเนสในระนาบแบบอิลาสติกของผนัง** (ผนังต้องไม่แตกร้าวภายใต้แรงที่ใช้ในการออกแบบ)

**ค่าสติฟเนสในระนาบของผนังที่มีการแตกร้าว** ต้องใช้คุณสมบัติของค้ำยันแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear)






**ค้ำยันแบบร่วมศูนย์**

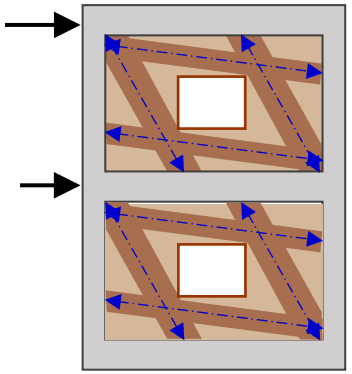



**ค้ำยันแบบเยื้องศูนย์**

ต้องทำการวิเคราะห์ระดับเฉพาะที่ (LOCAL LEVEL) เพิ่มเติม

$$a = 0.175(\lambda_1 h_c)^{-0.4} r_{inf}$$

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin(2\theta)}{4 E_{fe} I_c h_{inf}}\right]^{0.25}$$



**ผนังแบบมีช่องเปิด**

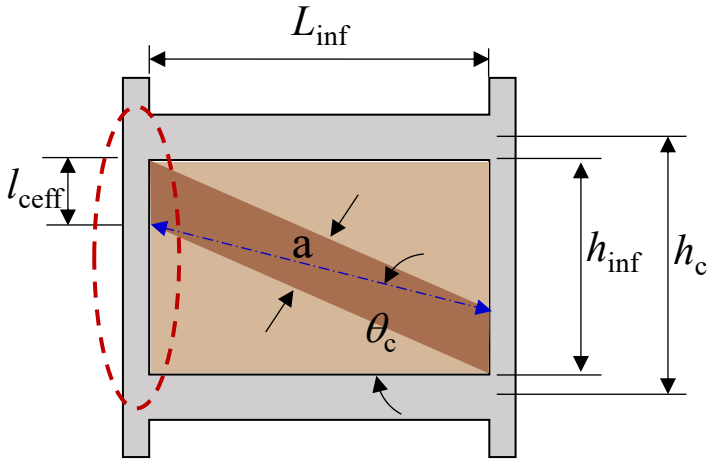
ไม่มีข้อแนะนำเกี่ยวกับการกำหนดคุณสมบัติของค้ำยันเทียบเท่าที่ชัดเจน

- ไม่มีข้อแนะนำเกี่ยวกับการประเมินกำลังต้านทานสูงสุดของผนังอิฐก่อที่ชัดเจน
- ไม่มีข้อแนะนำเกี่ยวกับค่าสติฟเนสในระนาบแบบอินอิลาสติก (ผนังแตกร้าวภายใต้แรงที่ใช้ในการออกแบบ) ที่ชัดเจน

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## แนวทางการวิเคราะห์และออกแบบตาม มยผ. 1301/1302-64

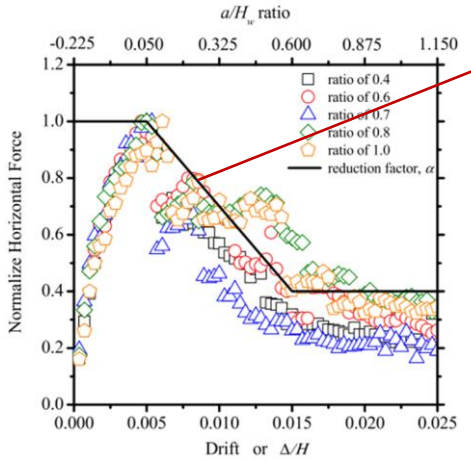
การป้องกันรูปแบบการวิบัติที่เป็นอันตราย (**การวิบัติแบบเฉือนในเสา**)




### คำนวณแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเสาเนื่องจากแรงดันของผนังอิฐ

$$V = \frac{2M_{nc} + C_{\inf}\cos(\theta_c)\left(h_{\inf} - l_{ceff}\right)}{h_{\inf}} \le \frac{2M_{nc}}{l_{ceff}}$$

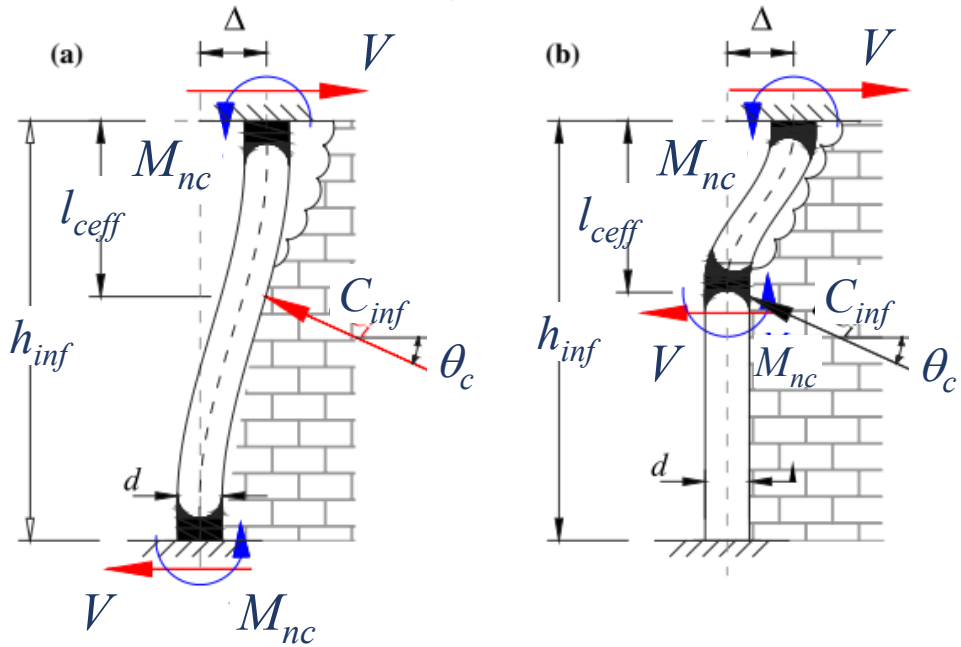
สำหรับผนังที่ไม่มีช่องเปิด → $C_{\inf} = 0.7 t_{\inf} a f_m'$




$$l_{ceff} = \frac{a}{\cos\theta_c}$$

$$a = 0.175\left(\lambda_1 h_{col}\right)^{-0.4} r_{\inf}$$

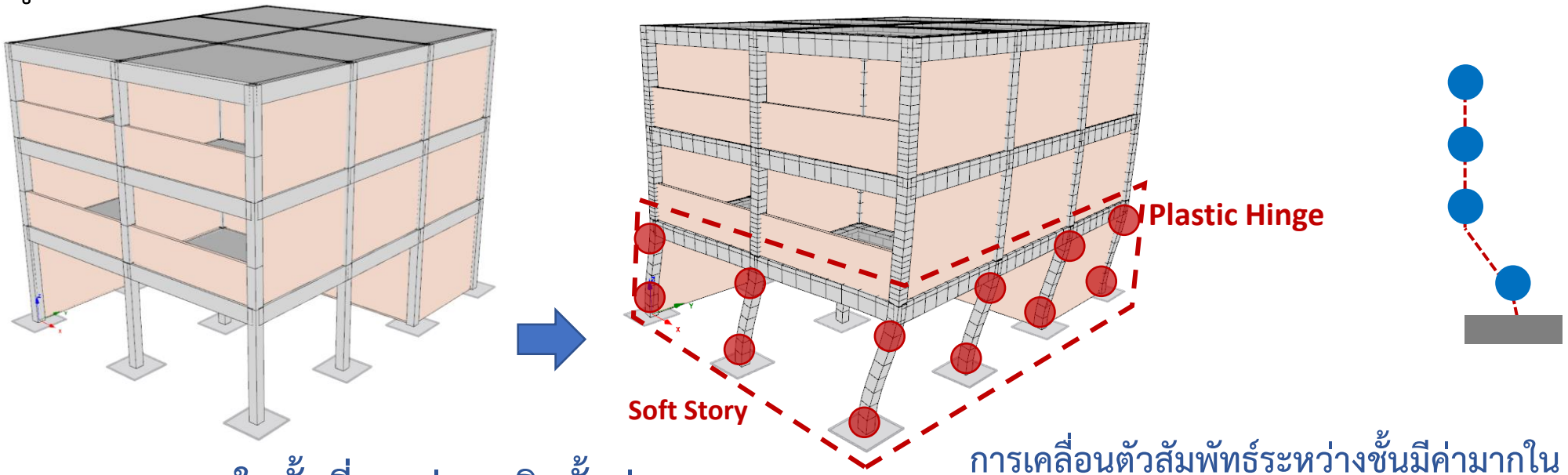
$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{\inf} \sin(2\theta_c)}{4 E_{fe} I_{col} h_{\inf}}\right]$$



# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## แนวทางการวิเคราะห์และออกแบบตาม มยผ. 1301/1302-64

การป้องกันรูปแบบการวิบัติที่เป็นอันตราย (**การวิบัติแบบชั้นอ่อน**)




**กำลังรับแรงรวมของเสาในชั้นที่คาดว่าจะเกิดชั้นอ่อน**

**การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากในชั้นใดชั้นที่ไม่มีผนัง**

$$\sum 2M_p / h_{col} \geq V_{R=2}$$

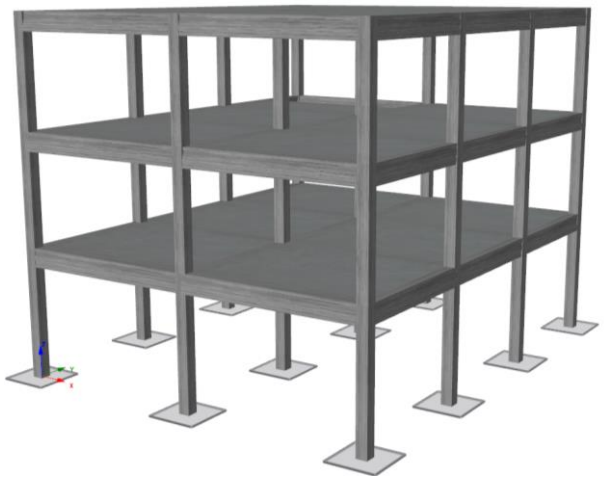
$M_p$ = กำลังต้านทานการดัดของเสา

$h_{col}$ = ความสูงของชั้นที่พิจารณา

$V_{R=2}$ = แรงเฉือนออกแบบในชั้นที่พิจารณา โดยใช้ค่า $R = 2$

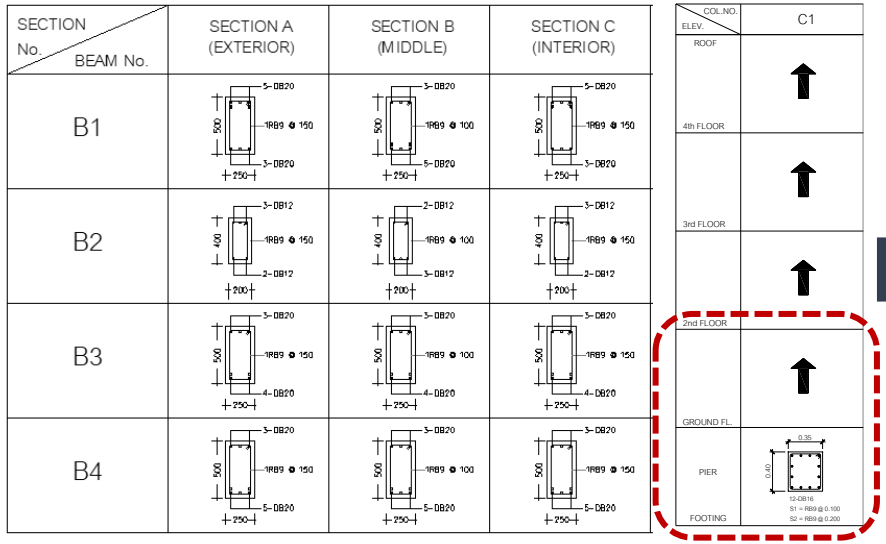
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

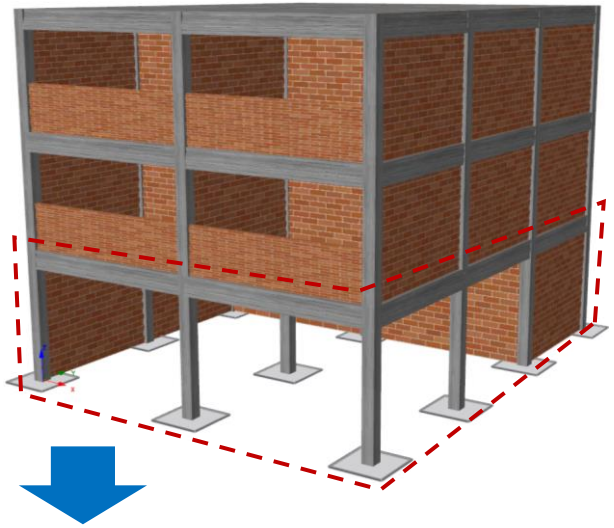
## แนวทางการออกแบบอาคารโดยพิจารณาผลของผนังอิฐก่อ (โดยวิธีการอย่างง่าย)

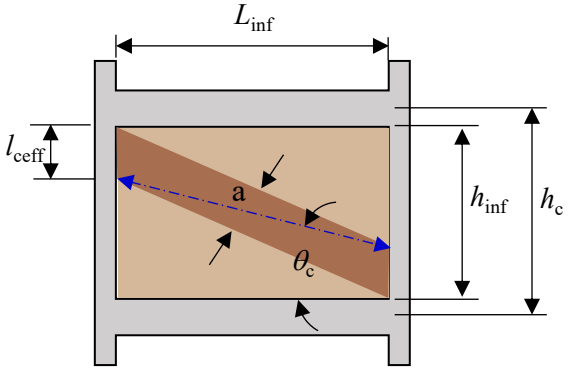


วิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้าง

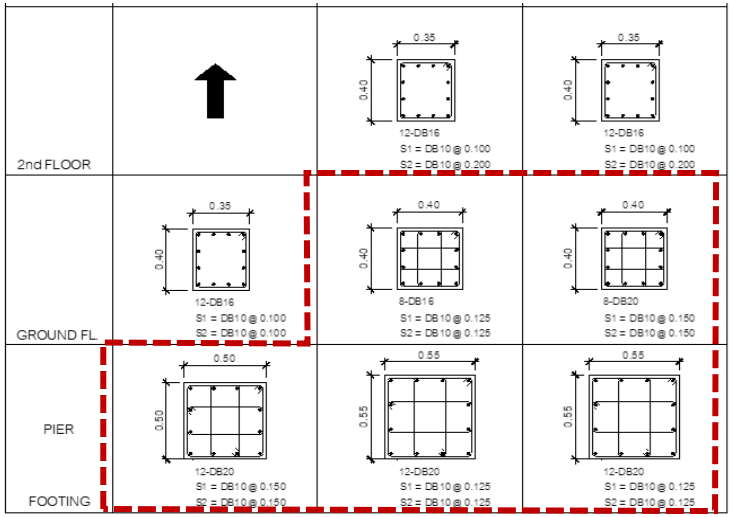
BARE FRAME ตาม มยผ. 1301/1302






ประเมินแรงเฉือนในเสาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผนังและทำการออกแบบให้มีกำลังต้านทานแรงเฉือนเพียงพอ

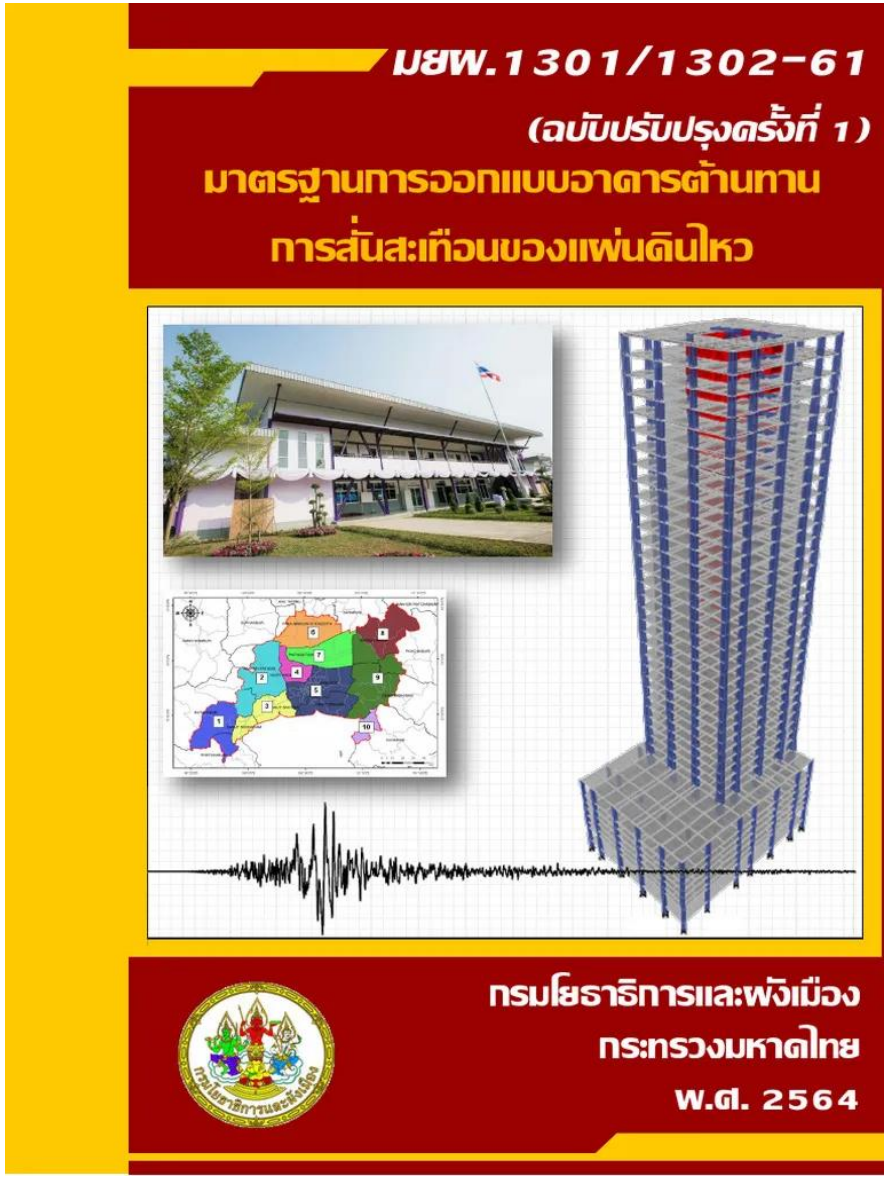



ได้ขนาดและเหล็กเสริมของเสาตอม่อและเสาชั้นที่ 1

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

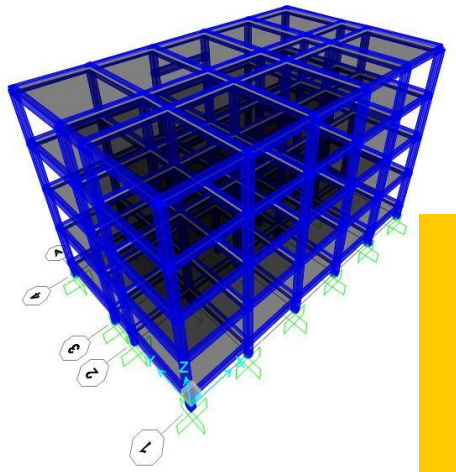
แนวทางการวิเคราะห์และออกแบบตาม มยผ. 1301/1302-64

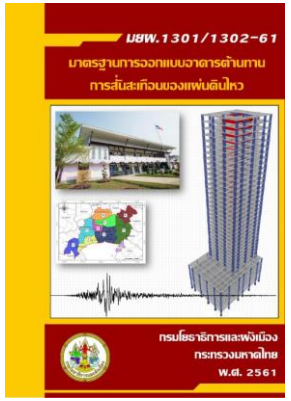
- ไม่พิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังอิฐก่อ และ ให้รายละเอียดเสาที่ติดกับผนัง
- พิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังอิฐก่อ โดยใช้ Equivalent Compression Strut Model
- การป้องกันรูปแบบการวิบัติที่เป็นอันตราย (ชั้นอ่อน และ เสาวิบัติจากแรงเฉือน)
  - วิธีการอย่างง่าย (Simplified Method)



# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

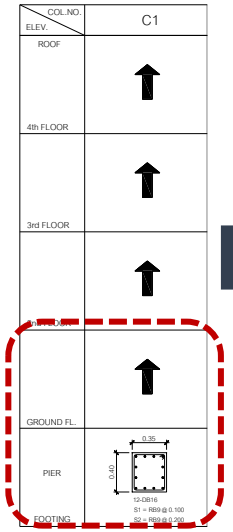
## ขั้นตอนการออกแบบอาคารโดยพิจารณาผลของผนังอิฐก่อ (โดยวิธีการอย่างง่าย)

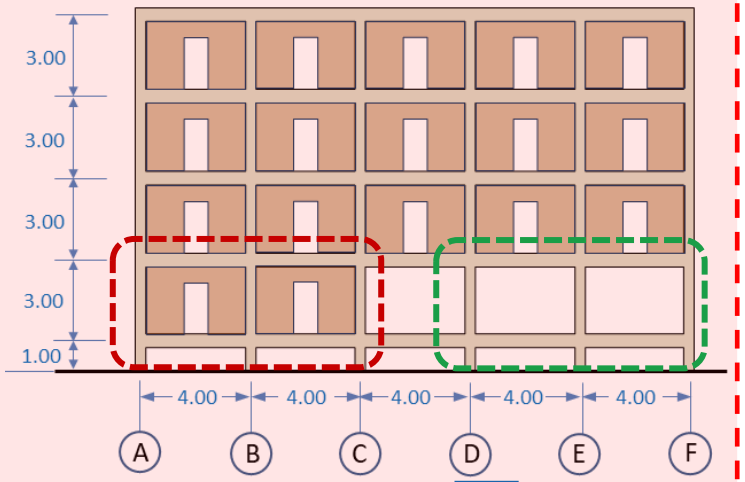




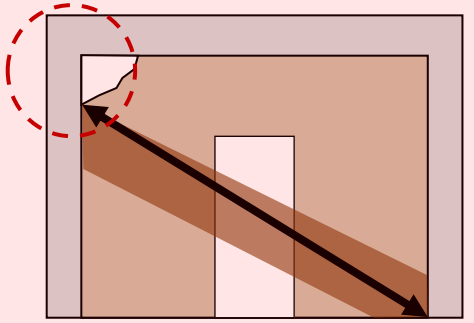

วิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้าง
BARE FRAME ตาม มยผ. 1301/1302

| SECTION No. / BEAM No. | SECTION A (EXTERIOR) | SECTION B (MIDDLE) | SECTION C (INTERIOR) |
|---|---|---|---|
| B1 | 5-DB20 / RB9 @ 150 / 3-DB20 | 3-DB20 / RB9 @ 100 / 5-DB20 | 5-DB20 / RB9 @ 150 / 5-DB20 |
| B2 | 3-DB12 / RB9 @ 150 / 2-DB12 | 2-DB12 / RB9 @ 100 / 3-DB12 | 3-DB12 / RB9 @ 150 / 3-DB12 |
| B3 | 5-DB20 / RB9 @ 150 / 4-DB20 | 5-DB20 / RB9 @ 100 / 4-DB20 | 5-DB20 / RB9 @ 150 / 4-DB20 |
| B4 | 5-DB20 / RB9 @ 150 / 5-DB20 | 5-DB20 / RB9 @ 100 / 5-DB20 | 5-DB20 / RB9 @ 150 / 5-DB20 |

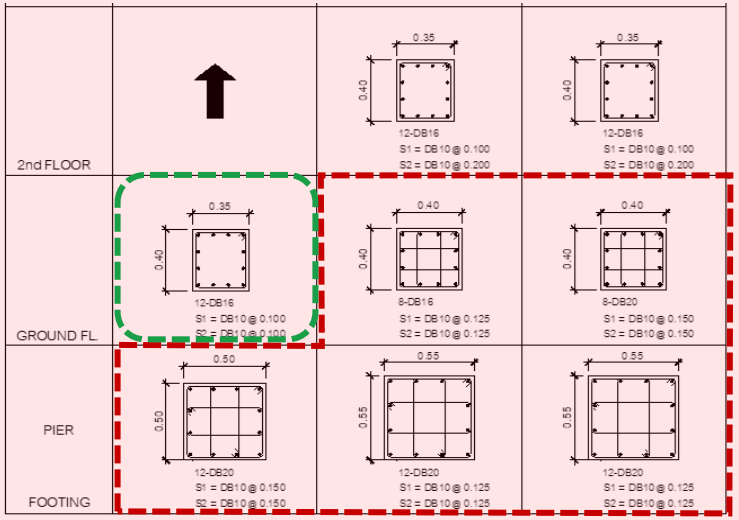



ทิศทางของแรงด้านข้าง



ประเมินแรงเฉือนในเสาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผนังและทำการออกแบบให้มีกำลังต้านทานแรงเฉือนเพียงพอ




ได้ขนาดและเหล็กเสริมของเสาตอม่อและเสาชั้นที่ 1

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## อิฐก่อในประเทศไทย

| ผนังอิฐก่อ (พร้อมฉาบ) | คุณภาพของผนังอิฐก่อ (เมกะปาสกาล) | |
|---|---|---|
| | คุณภาพดี | คุณภาพทั่วไป |
| อิฐมอญ | ตามที่ระบุในมาตรฐาน มอก แต่ไม่น้อยกว่า 8 MPa | 6 MPa |
| อิฐบล็อก | ตามที่ระบุในมาตรฐาน มอก แต่ไม่น้อยกว่า 8 MPa | 6 MPa |
| อิฐมวลเบา | ตามที่ระบุในมาตรฐาน มอก หรือตามผู้ผลิต แต่ไม่น้อยกว่า 3.5 MPa | 3 MPa |



อิฐมอญทำมือ



อิฐมอญบากร่อง มอก



อิฐมอญ 2 รู



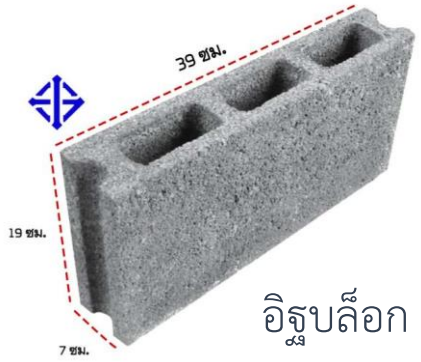
อิฐมวลเบา CLC



อิฐบล็อก 19 ซม.



อิฐบล็อกทั่วไป




อิฐบล็อก มอก 7 ซม.

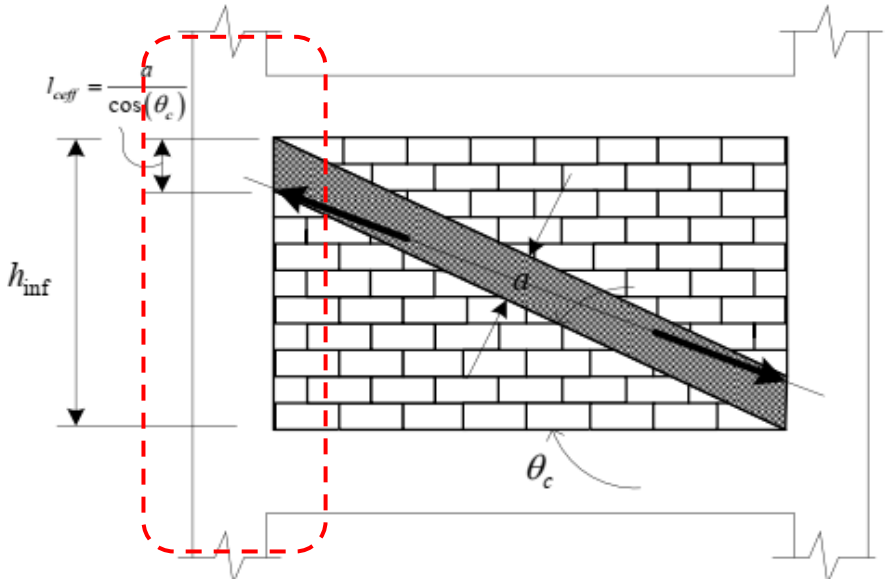


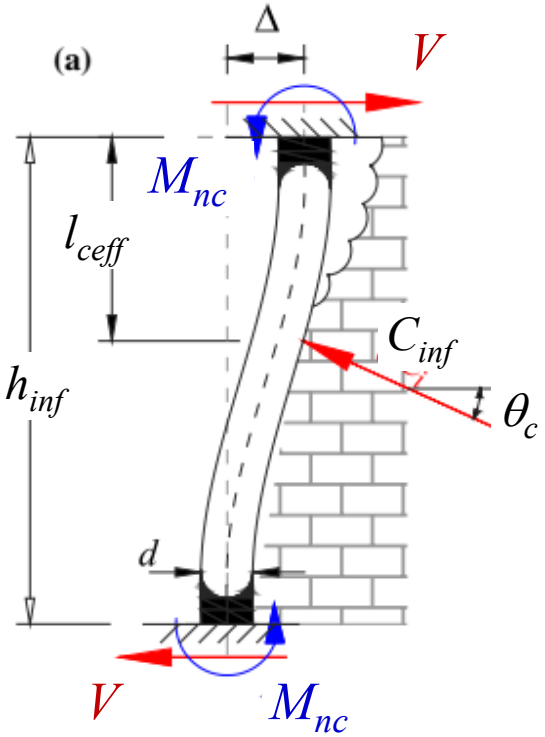
อิฐมวลเบา AAC

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

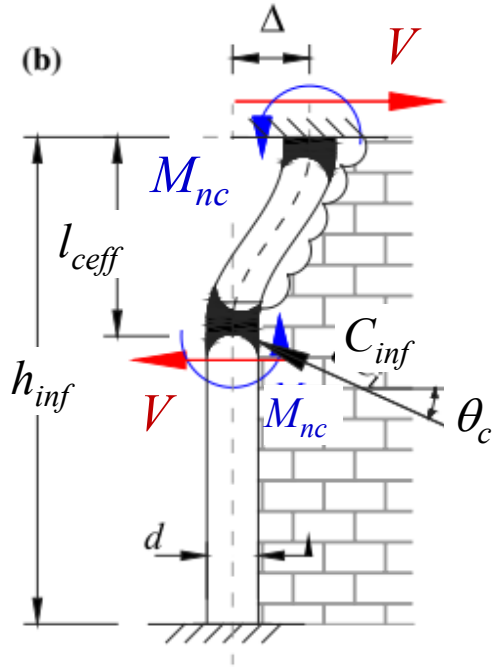
## การคำนวณแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเสาเนื่องจากแรงดันของผนังอิฐ

$$V = \frac{2M_{nc}}{h_{\inf}} + \frac{C_{\inf}\cos\theta_c\left(h_{\inf} - l_{ceff}\right)}{h_{\inf}} \le \frac{2M_{nc}}{l_{ceff}}$$




Column-Infill Mechanism



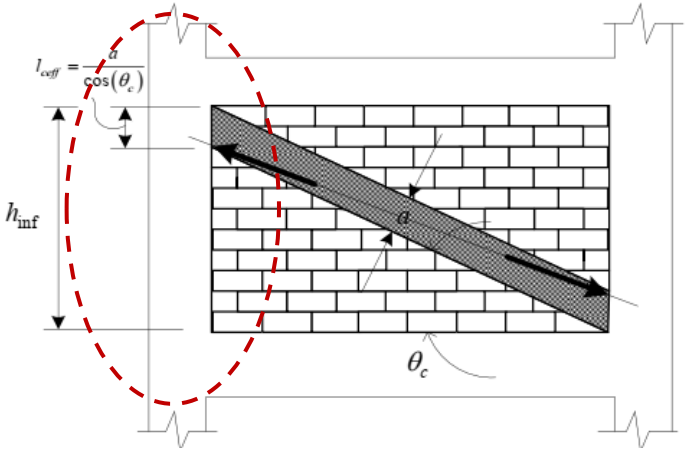

Column Mechanism

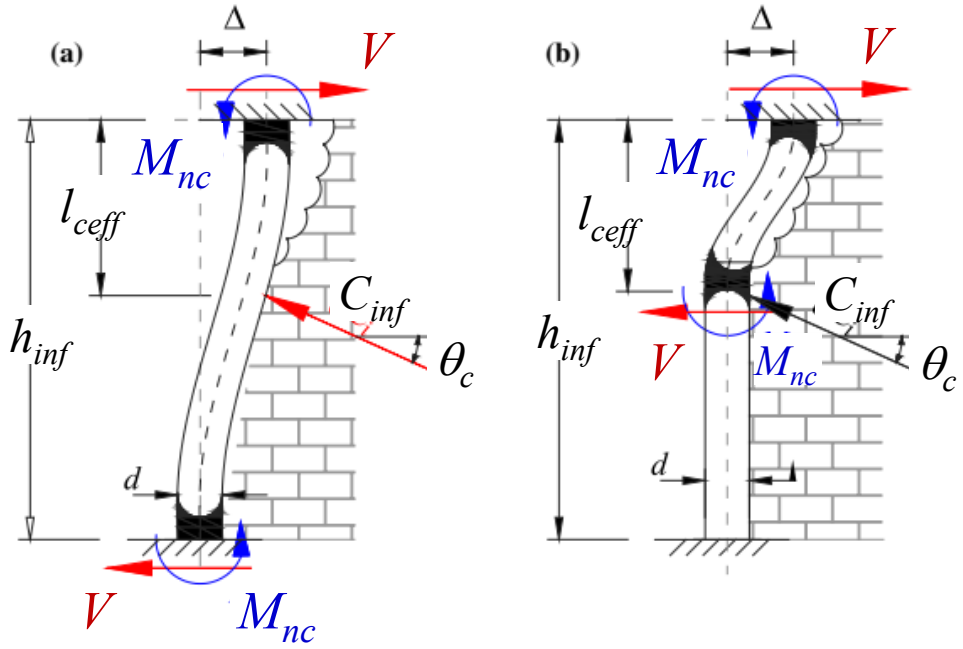
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

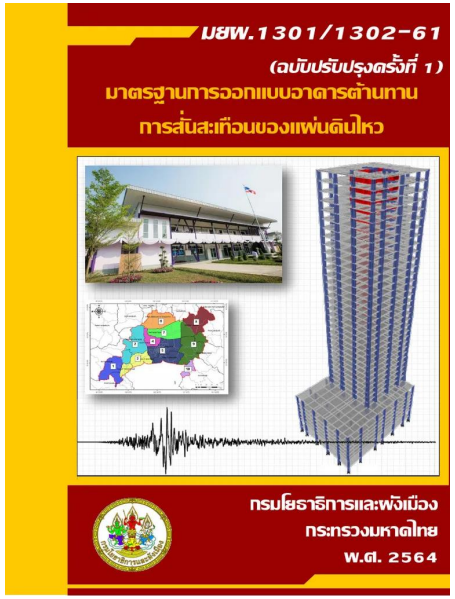
## วิธีการอย่างง่าย: simplified method

คำนวณแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเสาเนื่องจากแรงดันของผนังอิฐ

$$V = \frac{2M_{nc} + C_{\inf}\cos(\theta_c)\left(h_{\inf} - l_{ceff}\right)}{h_{\inf}} \le \frac{2M_{nc}}{l_{ceff}}$$




มยผ. 1301/1302-64

ภาคผนวก ง

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

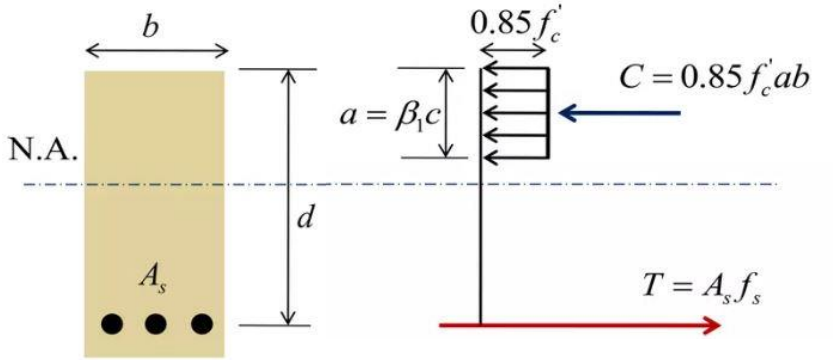
## การคำนวณค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับเสาชั้น 1

$$V = \frac{2M_n + C_{\inf}\cos(\theta_c)\left(h_{\inf} - l_{ceff}\right)}{h_{\inf}}$$

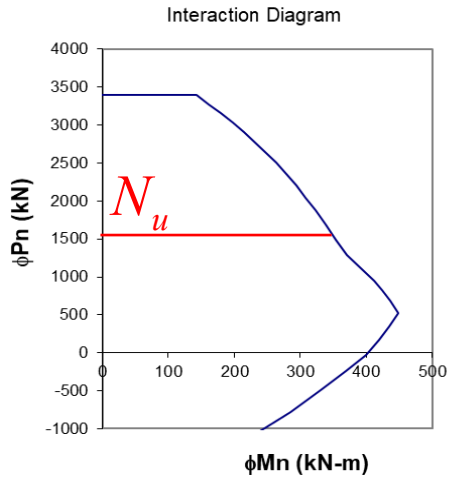
$$2M_n = M_{n,top} + M_{n,bottom}$$

$$M_{n,top} = \text{minimum}(\sum M_{n,b}, \sum M_{n,c})$$

$$M_{n,bottom} = \text{minimum}(\sum M_{n,b}, \sum M_{n,c})$$

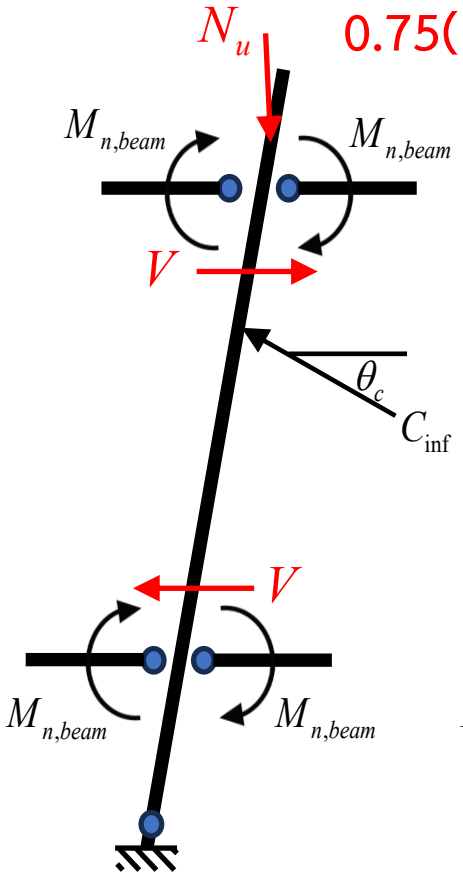



Moment of Beam

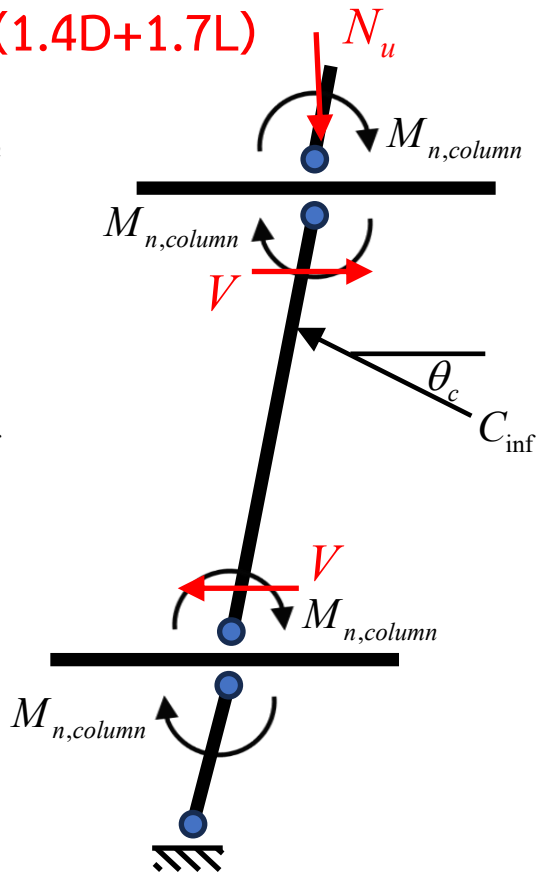



Moment of Column

มยผ.1301/1302 (2564)




Strong Column
Weak Beam

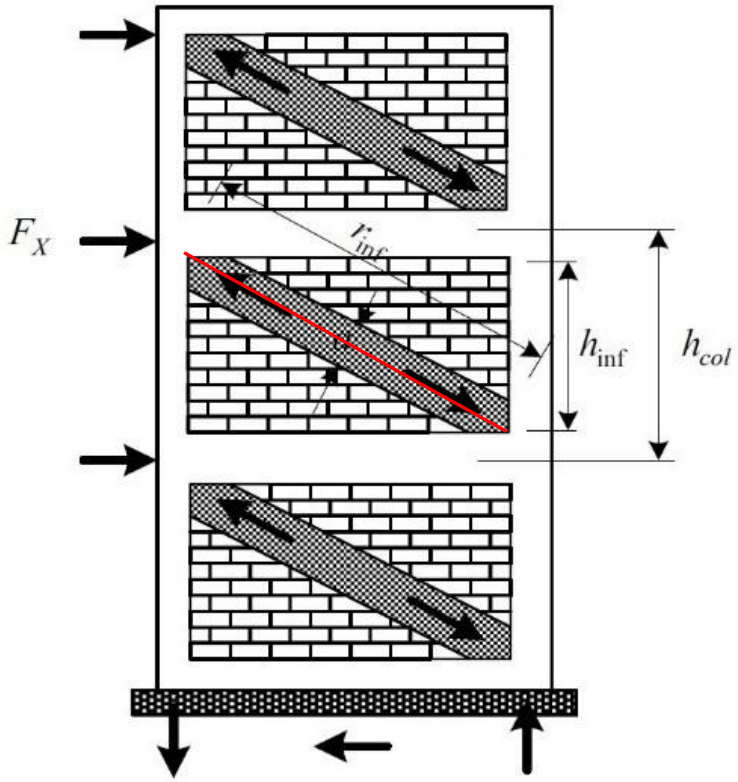


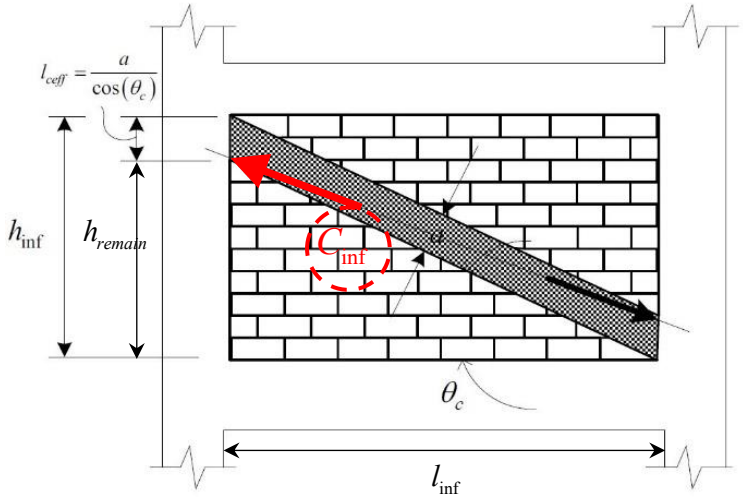

Strong Beam
Weak Column

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## การคำนวณค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับเสาชั้น 1

### พิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังอิฐก่อ




$$a = 0.175\left(\lambda_1 h_{col}\right)^{-0.4} r_{inf}$$

$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{int} \sin(2\theta_{inf})}{4 E_{fe} I_{col} h_{inf}}\right]^{1/4}$$

$$C_{inf} = 0.7 t_{inf} a f_m'$$

มยผ.1301/1302 (2564)

$$V = \frac{2M_n + C_{inf}\cos(\theta_c)\left(h_{inf} - l_{ceff}\right)}{h_{inf}}$$

$E_{me}$ = มอดูลัสของผนังอิฐก่อ $900f'_m$

$t_{inf}$ = ความหนาของผนังอิฐก่อ

$E_{fe}$ = มอดูลัสของเสา (คอนกรีต)

$I_{col}$ = โมเมนต์ความเฉื่อยของเสา $bh^3/12$

$h_{col}$ = *ความสูงระหว่างชั้นของโครงสร้าง*

$r_{inf}$ = เส้นทแยงมุมของผนังอิฐก่อ

$\theta_c$ = มุมของของสตัดค้ำยันผนังอิฐก่อ

$a$ = ความกว้างประสิทธิผลของสตัดค้ำยันผนังอิฐก่อ

$h_{inf}$ = ความสูงของผนังอิฐก่อ

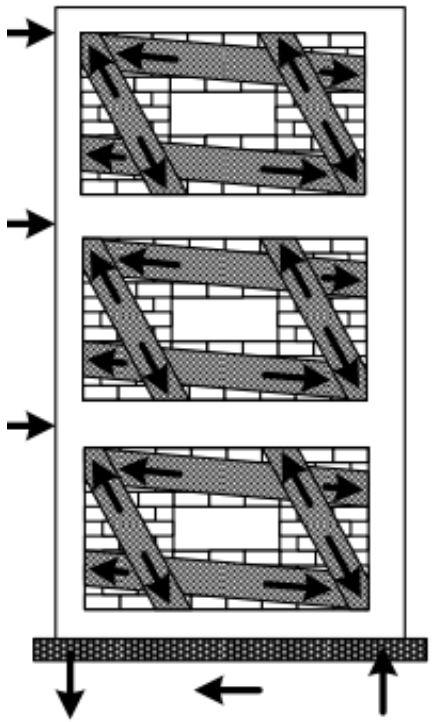
$l_{inf}$ = ความกว้างของผนังอิฐก่อ

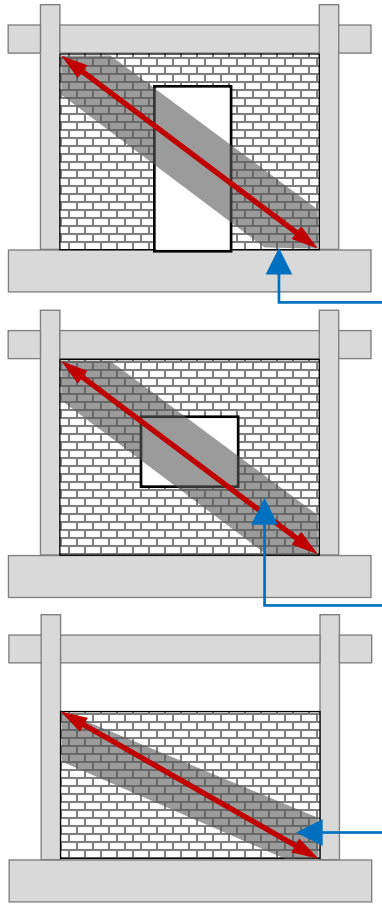
$f'_m$ = กำลังรับแรงอัดของผนังอิฐก่อ

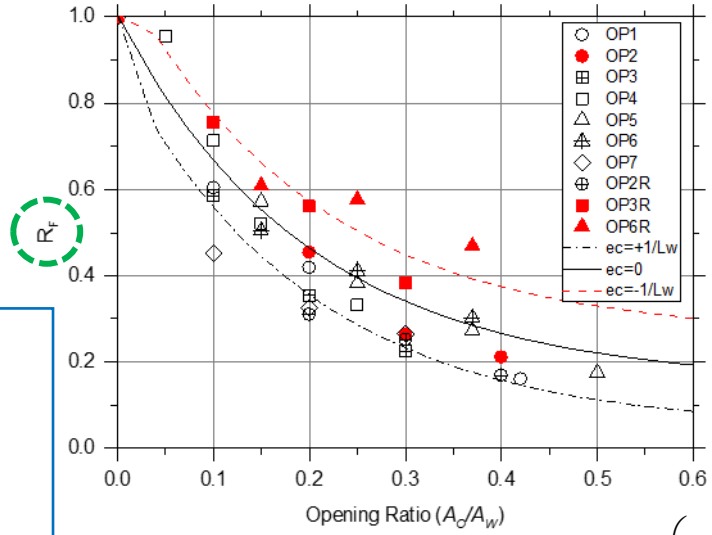
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## การคำนวณค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับเสาชั้น 1

### แรงดันของผนังอิฐก่อที่มีช่องเปิดสำหรับประเมินแรงเฉือนในเสา



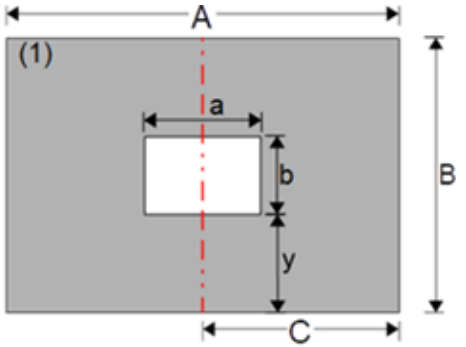




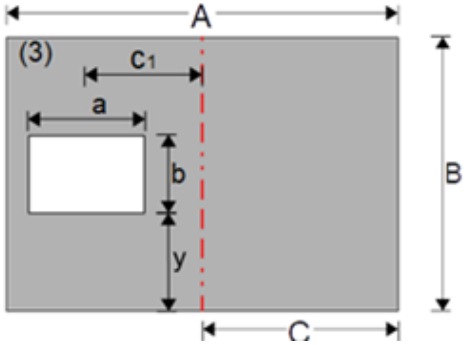

$$R_F = 0.15 - 0.4e_c + 0.85e^{\left(-5.02\left(A_o/A_w\right)\right)}$$

$$a = R_f 0.175\left(\lambda_1 h_{col}\right)^{-0.4} r_{\inf}$$

ตัวคูณลดกำลังของผนัง (REDUCTION FACTOR)




ไม่เยื้องศูนย์

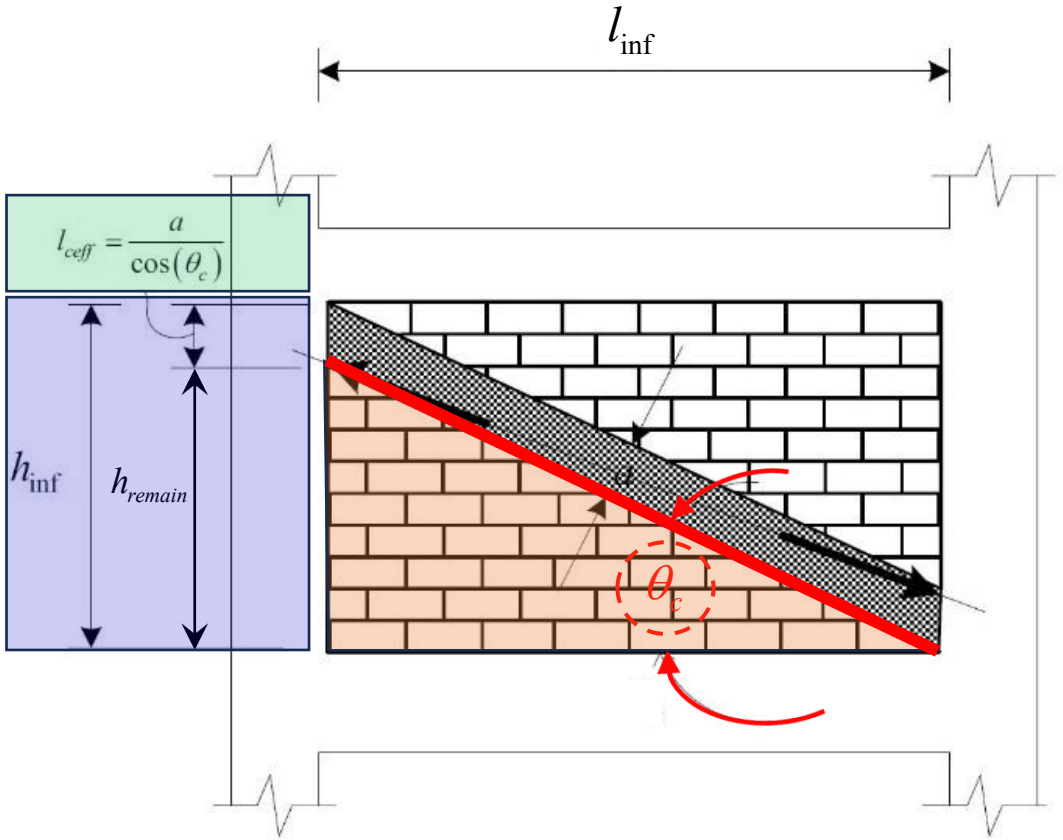



เยื้องศูนย์

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## การคำนวณค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับเสาชั้น 1

### พิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงอาคารและผนังอิฐก่อ




$$V = \frac{2M_n + C_{inf}\cos(\theta_c)\left(h_{inf} - l_{ceff}\right)}{h_{inf}}$$

ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ของผนังอิฐก่อ

$$h_{inf} = h_{remain} - l_{ceff} \qquad l_{ceff} = \frac{a}{\cos\theta_c} \qquad \tan\theta_c = \frac{h_{remain}}{l_{inf}}$$

แทนค่าและแก้สมการหาค่า $\theta_c$

$$h_{inf} = l_{inf}\tan\theta_c - \frac{a}{\cos\theta_c}$$

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## การคำนวณค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับเสาชั้น 1

### การคำนวณกำลังรับแรงเฉือนตาม วสท. และ ACI318-19

#### กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต

$$V_C = \left[ 0.17\lambda\sqrt{f_c'} + \frac{N_u}{6A_g} \right] b_w d$$

#### กำลังรับแรงเฉือนของเหล็กปลอก

$$V_S = \frac{A_s f_y d}{s}$$

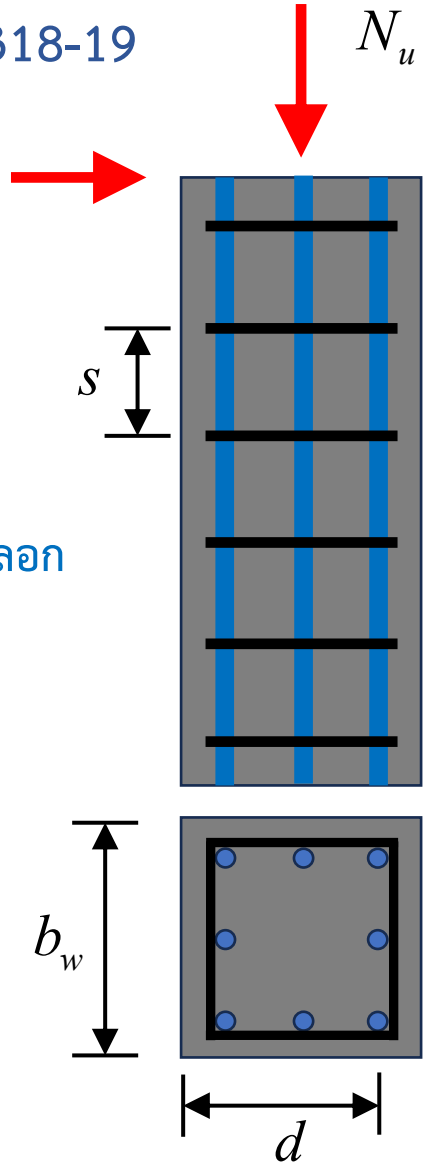
#### กำลังรับแรงเฉือนของเหล็กปลอก

$$V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

#### เงื่อนไขการใส่เหล็กปลอก

$$V_S \le 4V_C$$




หมายเหตุ

1. แรงอัดตามแนวแกนของเสา ($N_u$) ให้เป็น “บวก” แรงดึงตามแนวแกนของเสา ($N_u$) ให้เป็น “ลบ”
2. ค่า $V_c$ ไม่ติดลบ

$f'_c$ = กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

$fy$ = กำลังรับแรงดึงของเหล็ก ณ จุดคราก

$N_u$ = แรงกดตามแนวแกนของเสา

$A_g$ = พื้นที่หน้าตัดเสา

$A_s$ = พื้นที่หน้าเหล็กปลอก

$d$ = ความลึกประสิทธิผลของเสา

$b_w$ = ความกว้างเสา

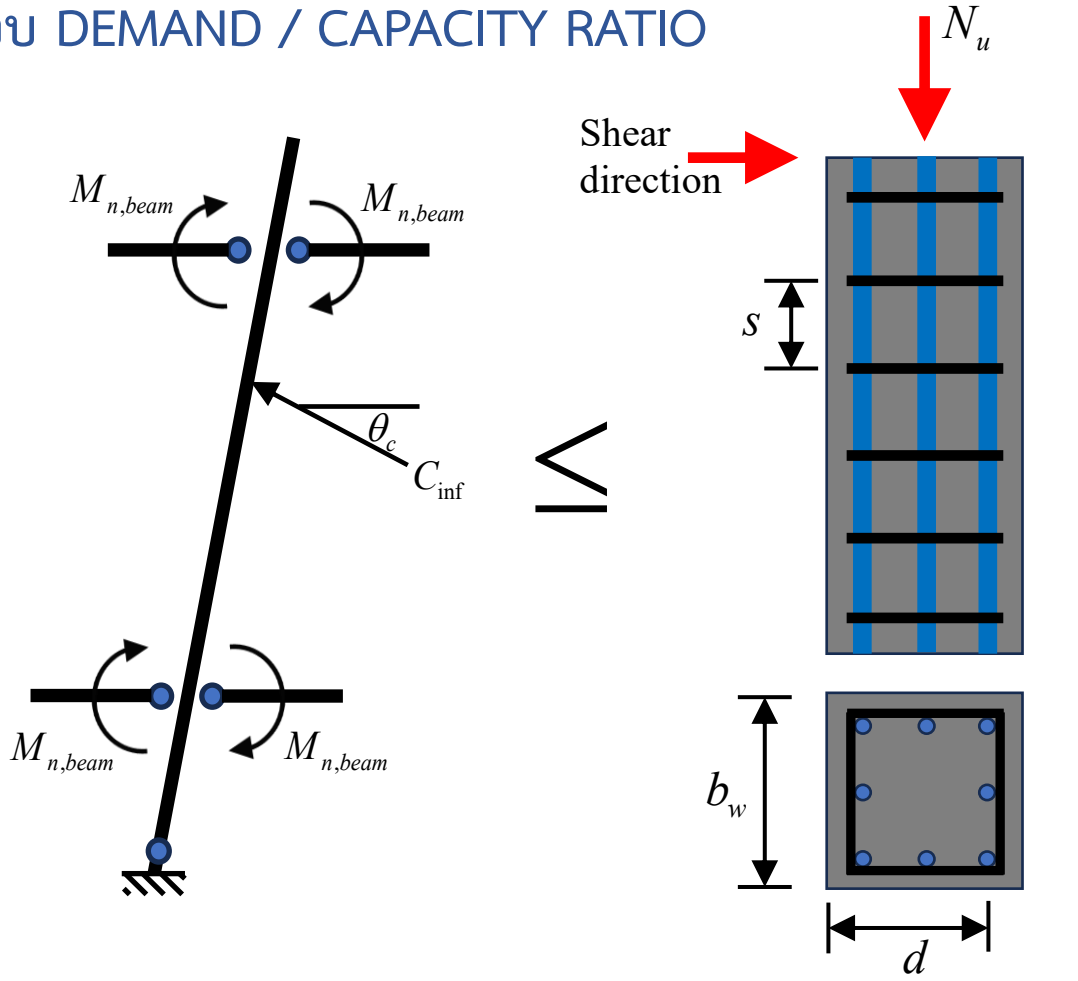
$s$ = ระยะห่างเหล็กปลอก

$\phi$ = ตัวคูณลดค่ากำลังรับแรงเฉือน 0.85

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## การคำนวณค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับเสาชั้น 1

### การตรวจสอบ DEMAND / CAPACITY RATIO




Shear Demand

Shear Capacity

| COL.NO. / ELEV. | C1 | C2 | C3 |
|---|---|---|---|
| ROOF | ↑ | ↑ | ↑ |
| 4th FLOOR | ↑ | ↑ | ↑ |
| 3rd FLOOR | ↑ | ↑ | ↑ |
| 2nd FLOOR | ↑ | 0.35 × 0.40<br>12-DB16<br>S1 = DB10 @ 0.100<br>S2 = DB10 @ 0.200 | 0.35 × 0.40<br>12-DB16<br>S1 = DB10 @ 0.100<br>S2 = DB10 @ 0.200 |
| GROUND FL | 0.35 × 0.40<br>12-DB16<br>S1 = DB10 @ 0.100<br>S2 = DB10 @ 0.100 | 0.40 × 0.40<br>8-DB16<br>S1 = DB10 @ 0.125<br>S2 = DB10 @ 0.125 | 0.40 × 0.40<br>8-DB20<br>S1 = DB10 @ 0.150<br>S2 = DB10 @ 0.150 |
| PIER<br>FOOTING | 0.50 × 0.50<br>12-DB20<br>S1 = DB10 @ 0.150<br>S2 = DB10 @ 0.150 | 0.55 × 0.55<br>12-DB20<br>S1 = DB10 @ 0.125<br>S2 = DB10 @ 0.125 | 0.55 × 0.55<br>12-DB20<br>S1 = DB10 @ 0.125<br>S2 = DB10 @ 0.125 |

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## การป้องกันรูปแบบการวิบัติที่เป็นอันตราย (การวิบัติแบบชั้นอ่อน)

กำลังรับแรงรวมของเสาในชั้นที่คาดว่าจะเกิดชั้นอ่อน

$$\sum 2M_p / h_{col} \geq V_{R=2}$$

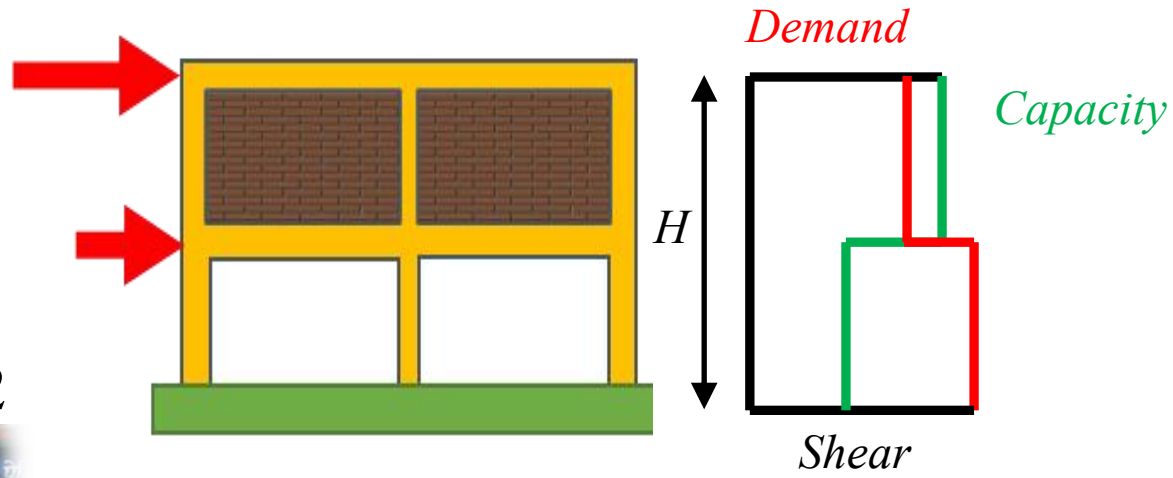
$M_p$ = กำลังต้านทานการดัดของเสา

$h_{col}$ = ความสูงของชั้นที่พิจารณา

$V_{R=2}$ = แรงเฉือนออกแบบในชั้นที่พิจารณา โดยใช้ค่า $R = 2$



ความไม่สม่ำเสมอทางโครงสร้างในแนวดิ่ง

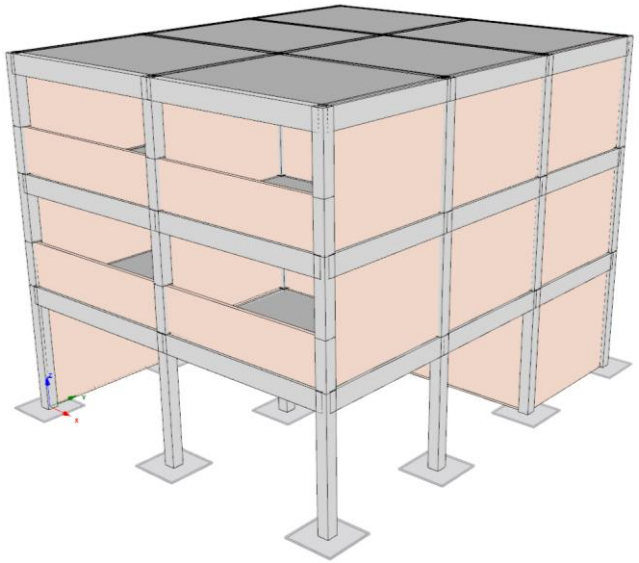


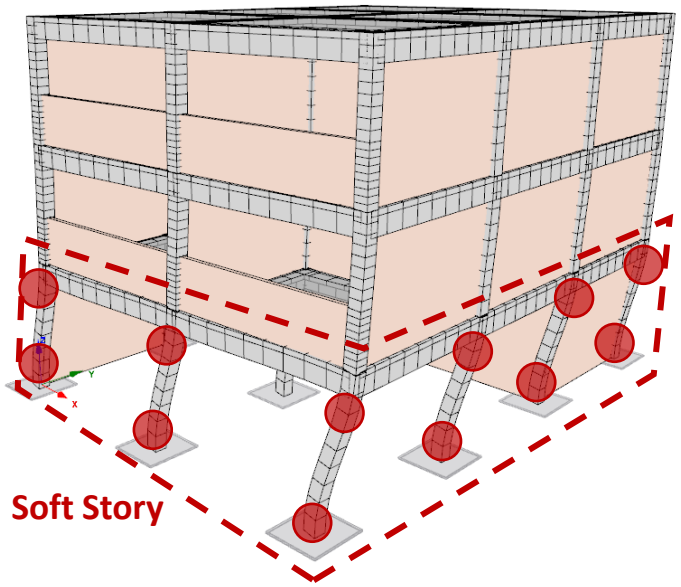


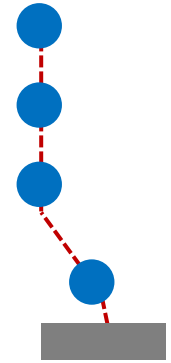

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากในชั้นใดชั้นที่ไม่มีผนัง

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## การป้องกันรูปแบบการวิบัติที่เป็นอันตราย (การวิบัติแบบชั้นอ่อน)





การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากในชั้นใดชั้นที่ไม่มีผนัง

**กำลังรับแรงรวมของเสาในชั้นที่คาดว่าจะเกิดชั้นอ่อน**

$$\sum 2M_p / h_{col} \geq V_{R=2}$$

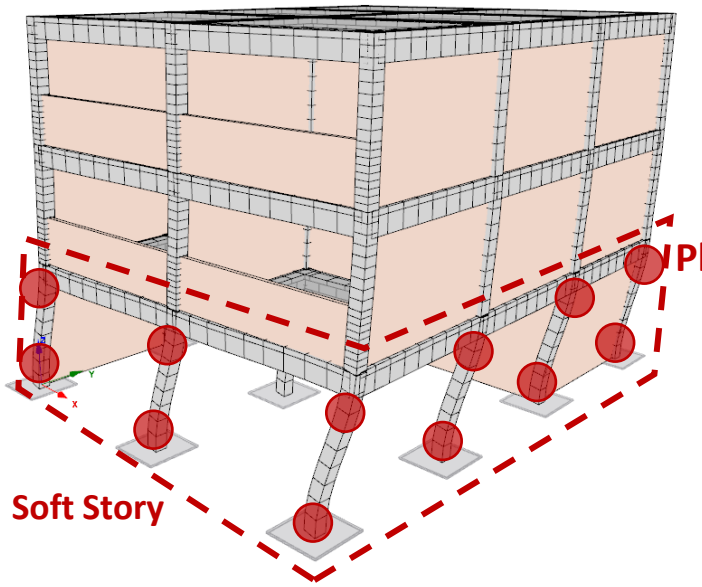
$M_p$ = กำลังต้านทานการดัดของเสา

$h_{col}$ = ความสูงของชั้นที่พิจารณา

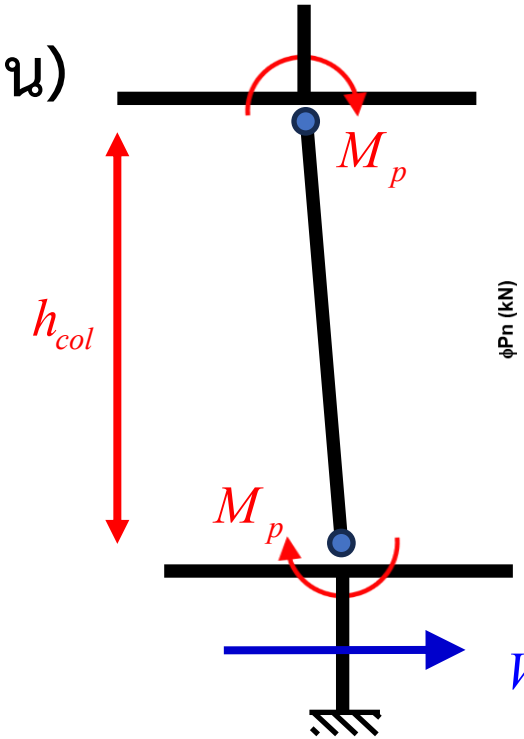
$V_{R=2}$ = แรงเฉือนออกแบบในชั้นที่พิจารณา โดยใช้ค่า $R = 2$

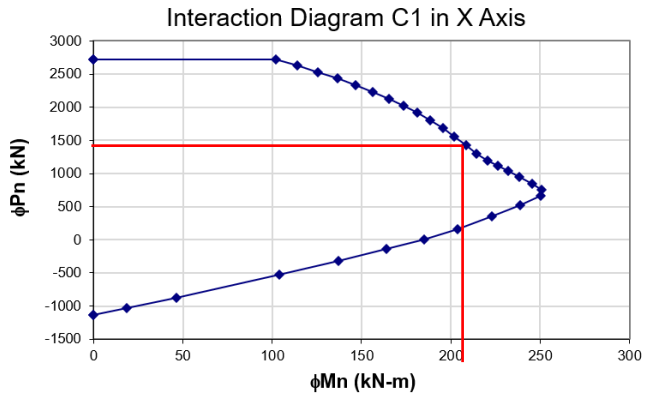
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## การป้องกันรูปแบบการวิบัติที่เป็นอันตราย (ชั้นอ่อน)




การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากในชั้นใดชั้นที่ไม่มีผนัง




กำลังรับแรงรวมของเสาในชั้นที่คาดว่าจะเกิดชั้นอ่อน

$$\sum 2M_p / h_{col} \geq V_{R=2}$$

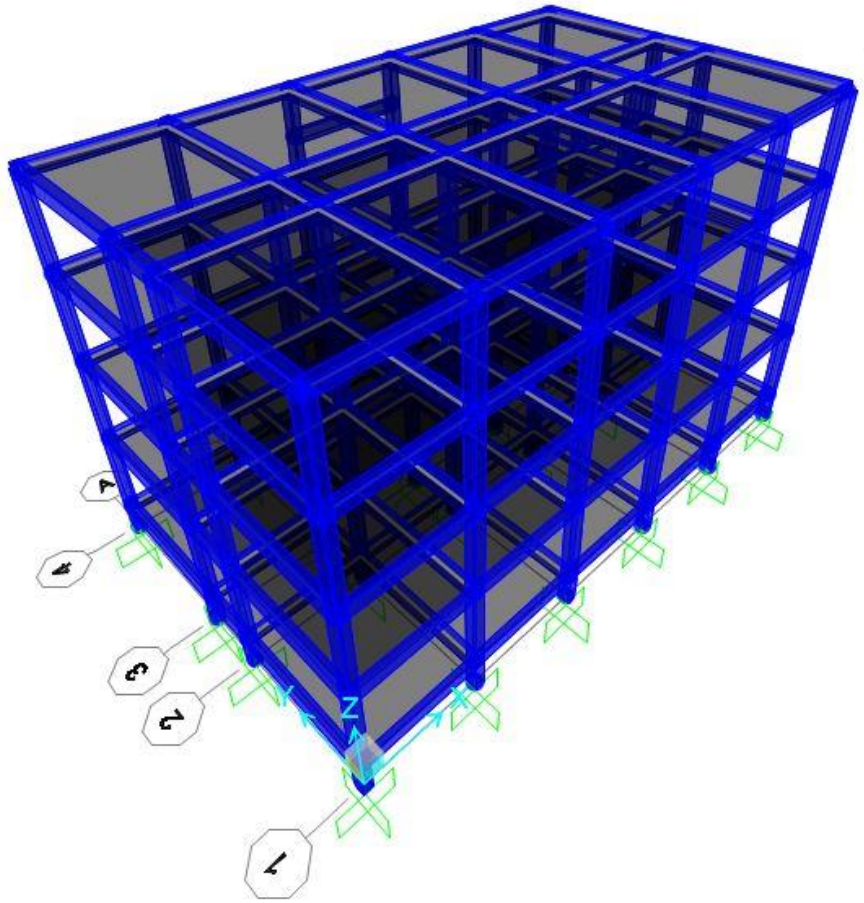
$M_p$ = กำลังต้านทานการดัดของเสา

$h_{col}$ = ความสูงของเสาชั้นที่พิจารณา

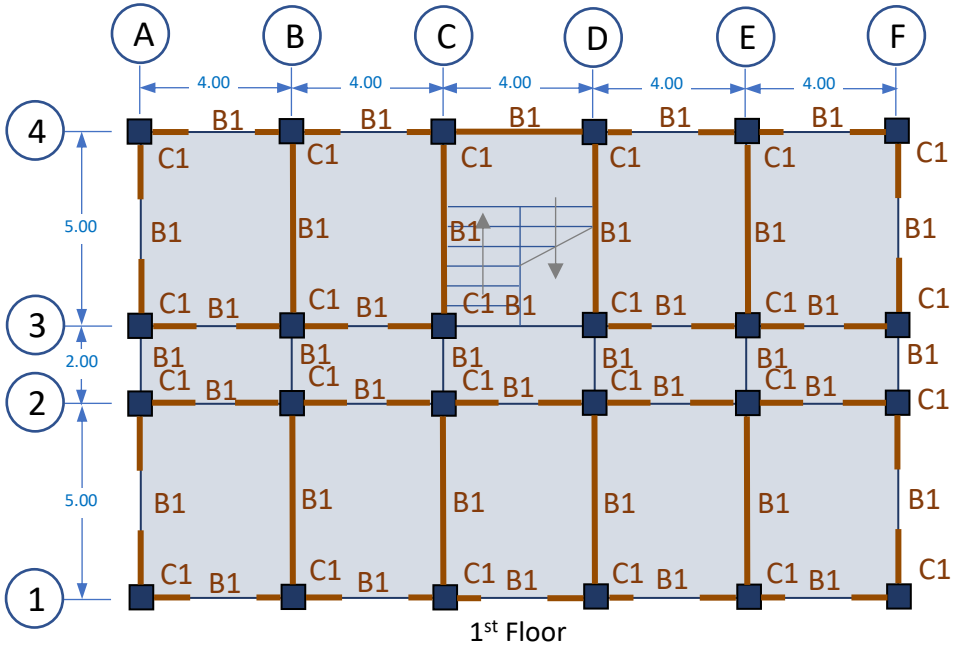
$V_{R=2}$ = แรงเฉือนออกแบบในชั้นที่พิจารณา โดยใช้ค่า $R = 2$

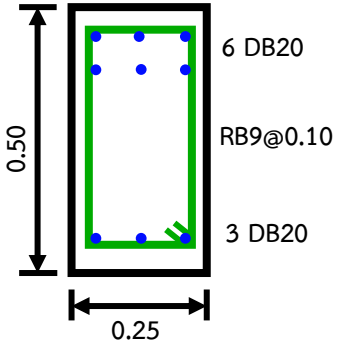
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## ตัวอย่างการออกแบบป้องกันเสาเสายหายจากแรงเฉือน ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

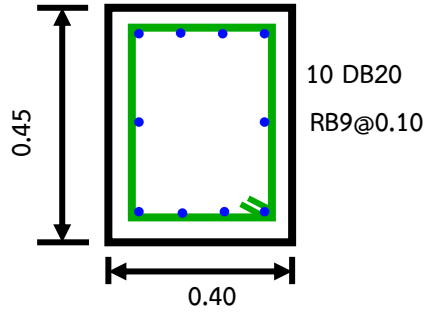


อาคารอพาร์ทเม้นท์ 4 ชั้น ออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ตามมาตรฐาน มยผ. 1301/1302 (2564) ที่เชียงใหม่



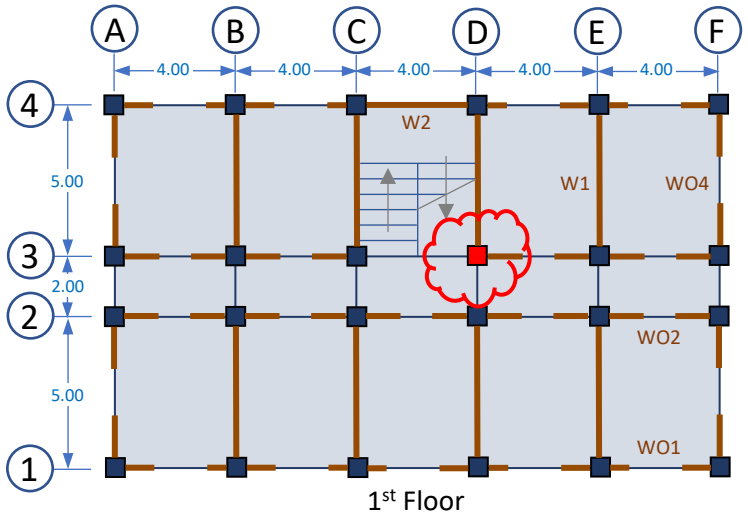

**B1**

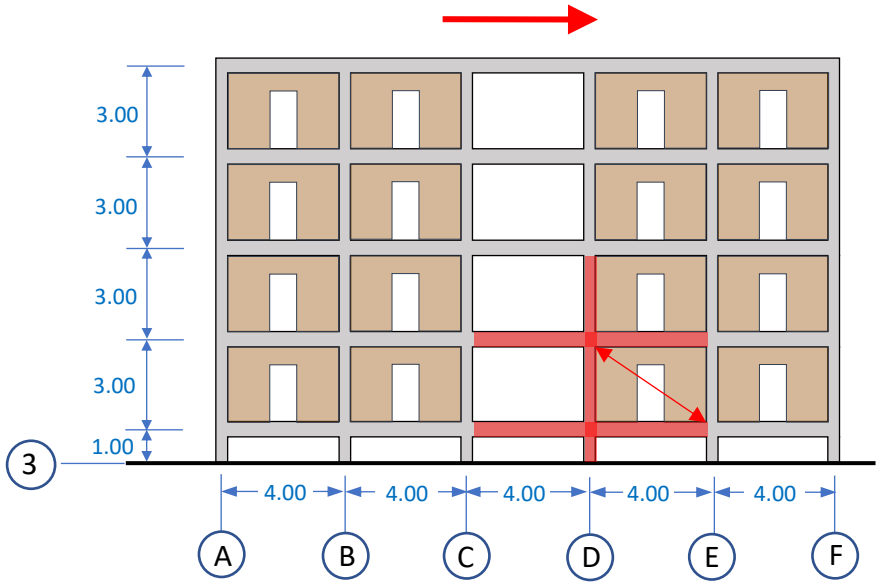



**C1**

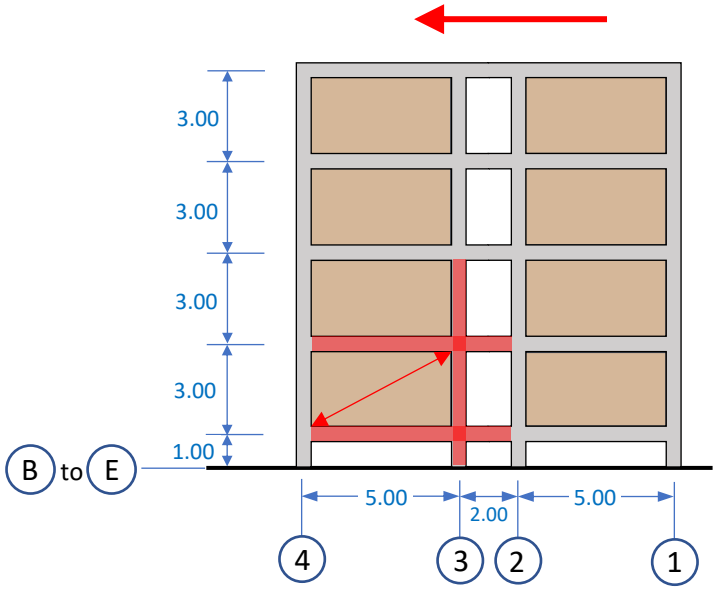
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## ออกแบบป้องกันแรงเฉือนเนื่องจากผนังอิฐก่อ เสาต้น 3 - D



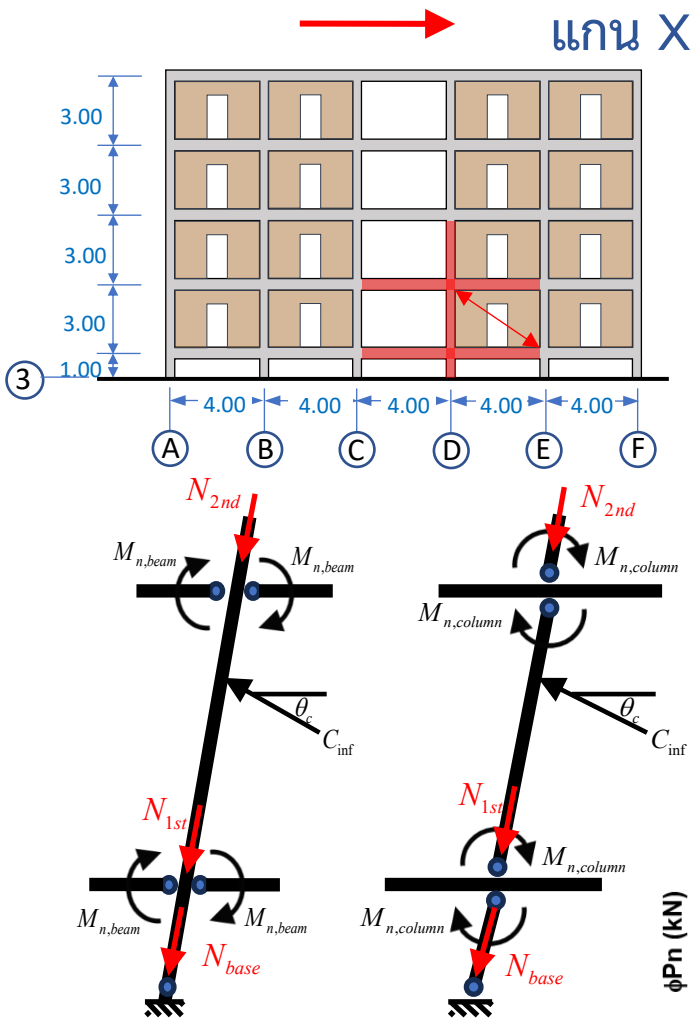




แกน X

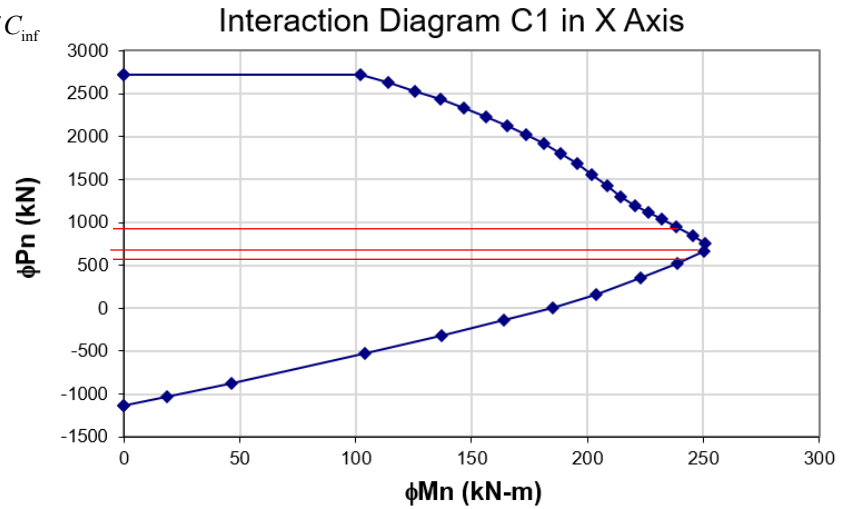


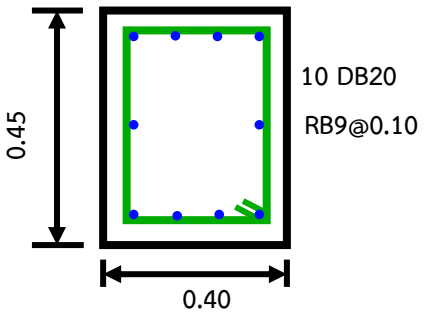

แกน Y

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

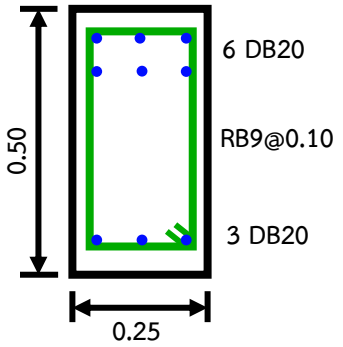



| | Axial Load (kN)<br>0.75(1.4D+1.7L) | Left Beam (kN-m)<br>-Mn<br>+Mn | Right Beam (kN-m)<br>-Mn<br>+Mn | Column Moment<br>(kN-m) |
|---|---|---|---|---|
| 2nd Floor | 520.62 | -282.71<br>+154.65 | -282.71<br>+154.65 | 240.56 |
| 1st Floor | 707.01 | -282.71<br>+154.65 | -282.71<br>+154.65 | 246.85 |
| Base | 870.76 | - | - | 235.49 |



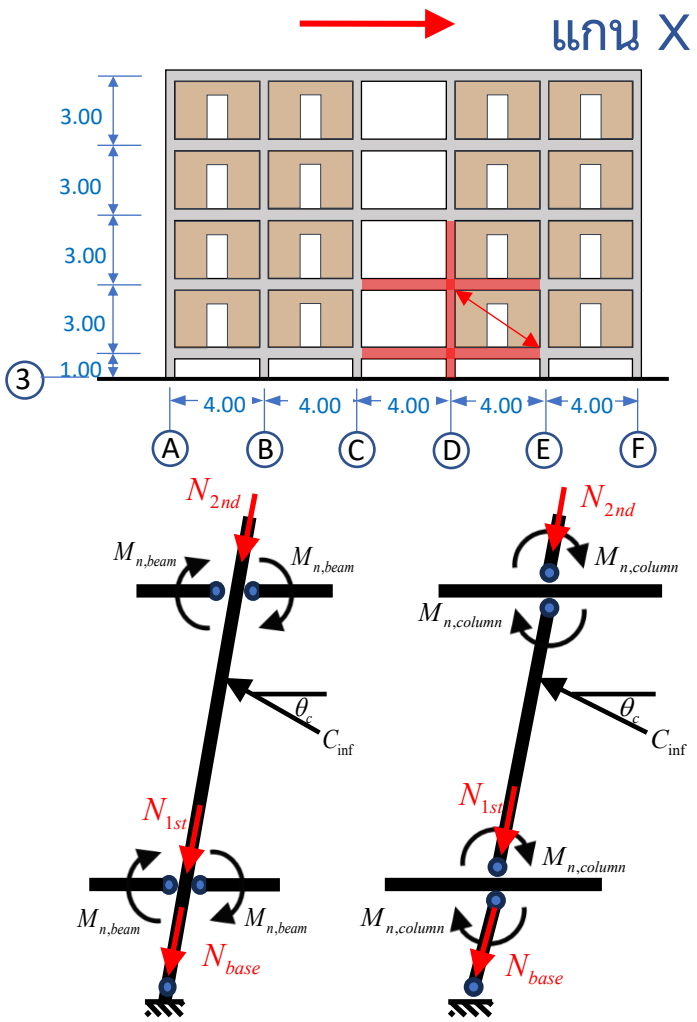




C1




B1

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ




| | Axial Load (kN)<br>0.75(1.4D+1.7L) | Left Beam (kN-m)<br>-Mn<br>+Mn | Right Beam (kN-m)<br>-Mn<br>+Mn | Column Moment<br>(kN-m) |
|---|---|---|---|---|
| 2nd Floor | 520.62 | -282.71<br>+154.65 | -282.71<br>+154.65 | 240.56 |
| 1st Floor | 707.01 | -282.71<br>+154.65 | -282.71<br>+154.65 | 246.85 |
| Base | 870.76 | - | - | 235.49 |

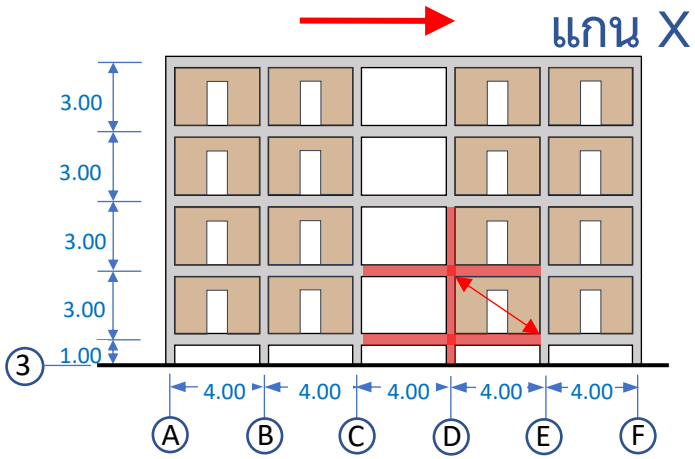
$$\sum M_{n,beam,top} = 154.65 + 282.71 = 437.36kN - m$$
$$\sum M_{n,column,top} = 240.56 + 246.85 = 487.41kN - m$$

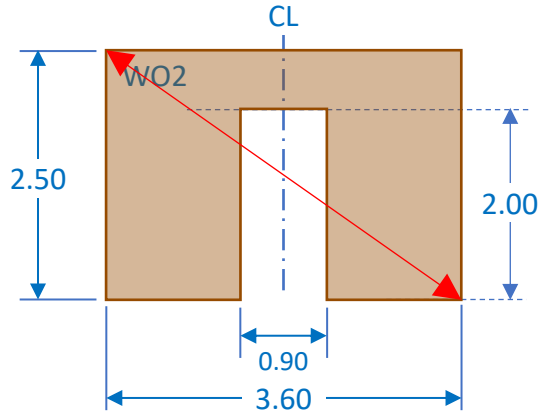
$$Average M_{n,\min} = \frac{437.36}{2} = 218.68kN - m$$

$$\sum M_{n,beam,top} = 154.65 + 282.71 = 437.36kN - m$$
$$\sum M_{n,column,top} = 246.85 + 235.49 = 482.34kN - m$$

$$Average M_{n,\min} = \frac{437.36}{2} = 218.68kN - m$$

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

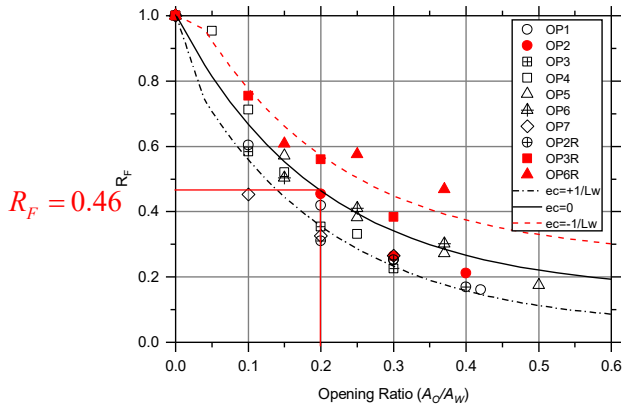



$$A_o = 2.00 \times 0.90 = 1.80 m^2$$

$$A_w = 2.50 \times 3.60 = 9 m^2$$

$$V = \frac{2M_n + C_{\inf}\cos(\theta_c)\left(h_{\inf} - l_{ceff}\right)}{h_{\inf}}$$




$R_F = 0.46$

$$A_o / A_w = 0.2$$

$$R_F = 0.15 - 0.4e_c + 0.85e^{\left(-5.02\left(A_o/A_w\right)\right)}$$

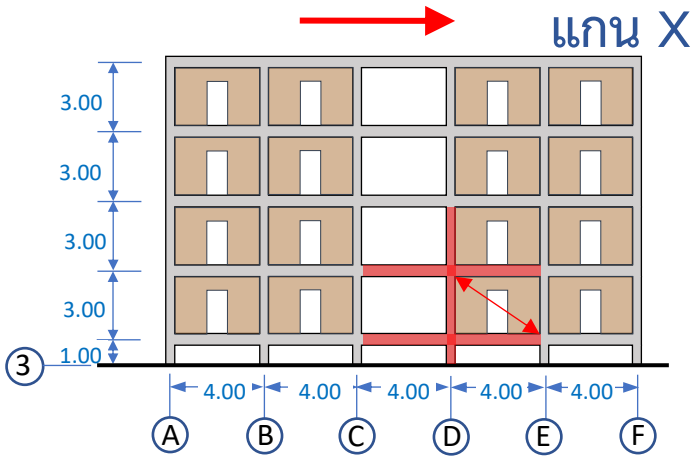
$$e_c = 0$$

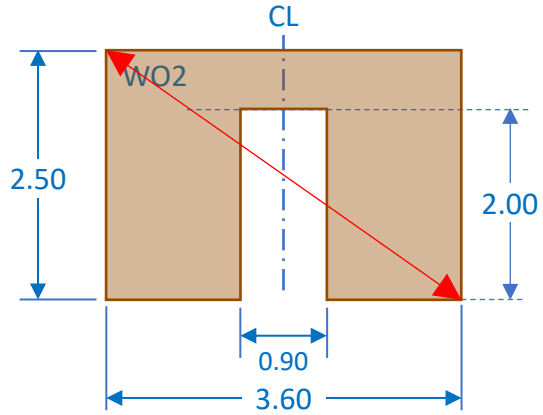
$$R_F = 0.46$$

$$\theta_{\inf} = \tan^{-1}\frac{h_{\inf}}{l_{\inf}}$$

| ตัวแปร | ผนังอิฐที่ 1 |
|---|---|
| กำลังรับแรงอัดของอิฐ (MPa), $f'_m$ | 6 |
| มอดูลัสของผนังอิฐก่อ (MPa), $E_{me}$ | 5400 |
| ความหนาผนังอิฐก่อ (mm), $t_{inf}$ | 100 |
| ความสูงโครงสร้าง (mm), $h_{col}$ | 3000 |
| ความกว้างโครงสร้าง (mm), l | 4000 |
| ความสูงผนังอิฐก่อ (mm), $h_{inf}$ | 2500 |
| ความกว้างผนังอิฐก่อ (mm), $l_{inf}$ | 3600 |
| เส้นทะแยงมุมของผนังอิฐก่อ (mm), $r_{inf}$ | 4383 |
| ค่าคูณลดกำลังผนังอิฐก่อ $R_F$ | 0.46 |
| มุมทแยงของผนังอิฐก่อ (rad) $\theta_{inf}$ | 0.62 |
| มอดูลัสของเสา (MPa), $E_{fe}$ | 23025 |
| โมเมนต์ความเฉื่อย ($mm^4$), I | 240000 |

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ




$$A_o = 2.00 \times 0.90 = 1.80 m^2$$

$$A_w = 2.50 \times 3.60 = 9 m^2$$

$$\lambda_1 = \left[ \frac{E_{me} t_{\text{int}} \sin(2\theta_{\text{inf}})}{4 E_{fe} I_{col} h_{\text{inf}}} \right]^{1/4}$$

$$a = Rf\, 0.175 \left(\lambda_1 h_{col}\right)^{-0.4} r_{\text{inf}}$$

$$C_{\text{inf}} = 0.7 t_{\text{inf}} a f_m^{'}$$

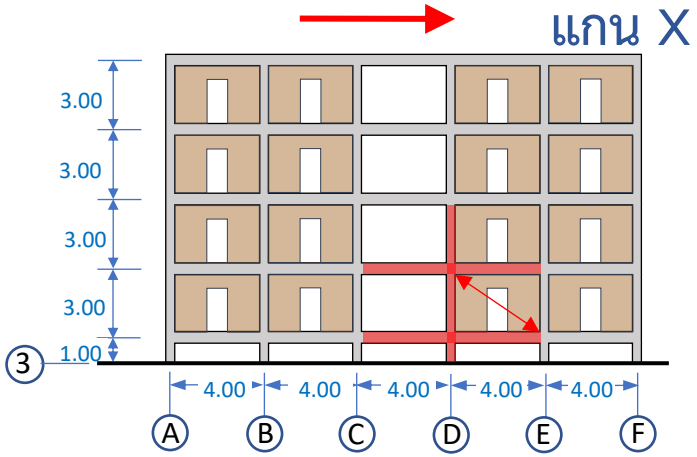
$$h_{\text{inf}} = l_{\text{inf}} \tan\theta_c - \frac{a}{\cos\theta_c}$$

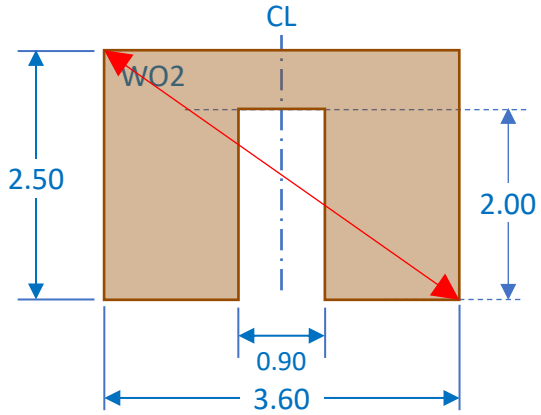
$$l_{ceff} = \frac{a}{\cos\theta_c}$$

$$V = \frac{2M_n + C_{\text{inf}} \cos(\theta_c)\left(h_{\text{inf}} - l_{ceff}\right)}{h_{\text{inf}}}$$

| ตัวแปร | ผนังอิฐที่ 1 |
|---|---|
| $\lambda_1$ (1/mm) | 0.0098 |
| $R_f$ | 0.46 |
| $a$ (mm) | 91 |
| $C_{inf}$ (mm) | 38.32 |
| $\theta_c$ (rad) | 0.628 |
| $l_{ceff}$ (mm) | 113 |

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

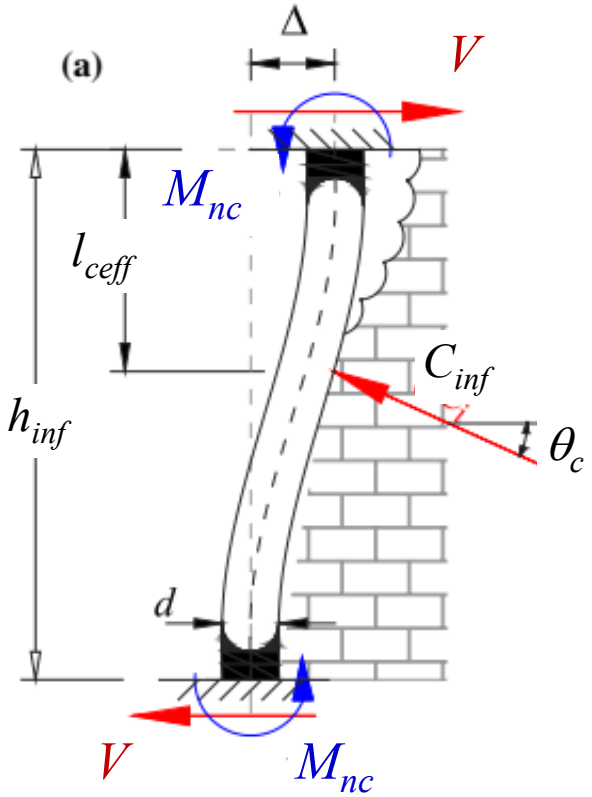



$$A_o = 2.00 \times 0.90 = 1.80 m^2$$

$$A_w = 2.50 \times 3.60 = 9 m^2$$

$$V = \frac{2M_n + C_{\inf}\cos(\theta_c)(h_{\inf} - l_{ceff})}{h_{\inf}}$$

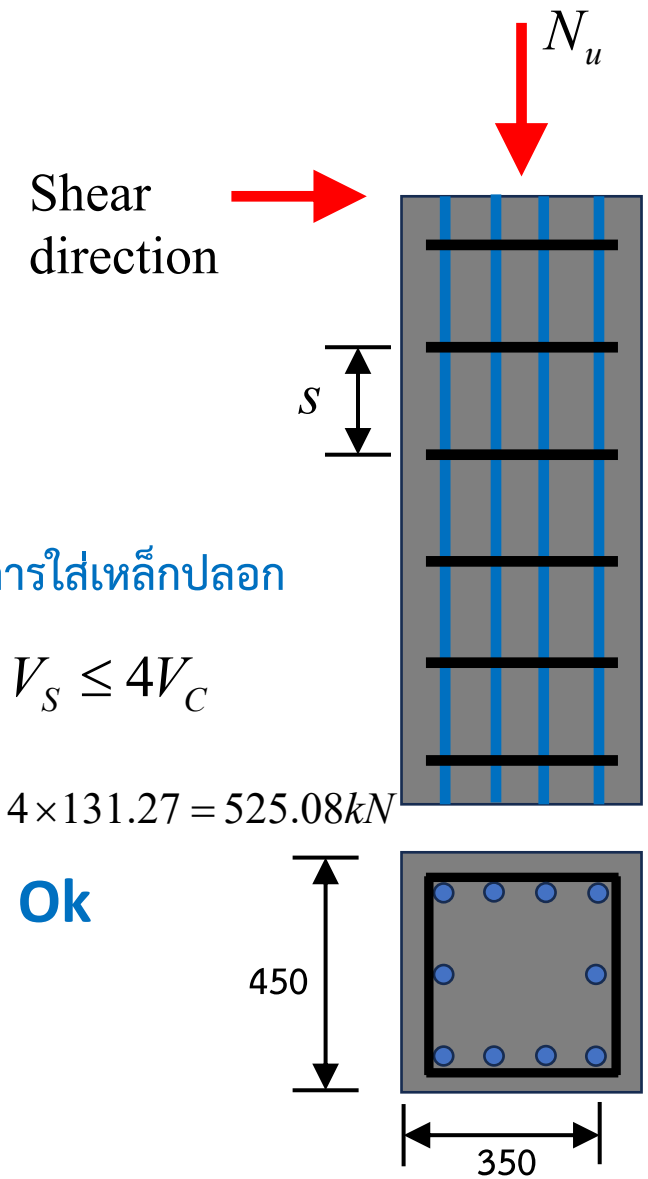



| ตัวแปร | ผนังอิฐที่ 1 |
|---|---|
| $M_n$ (kN-m) | 218.68 |
| $C_{inf}$ (kN) | 38.32 |
| $\theta_c$ (rad) | 0.628 |
| ความสูงผนังอิฐก่อ (mm), $h_{inf}$ | 2500 |
| $l_{ceff}$ (mm) | 113 |

$$V = \frac{2(218.7) + (38.32)\cos(0.628)(2.5 - 0.113)}{2.5}$$

$$V = 204.55 kN$$

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ




## เงื่อนไขการใส่เหล็กปลอก

$$V_S \le 4V_C$$

$$106.87kN \le 4 \times 131.27 = 525.08kN$$

**Ok**

## กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต

$$V_C = \left[0.17\lambda\sqrt{f_c'} + \frac{N_u}{6A_g}\right] b_w d$$

$$V_C = 131.27kN$$

## กำลังรับแรงเฉือนของเหล็กปลอก

$$V_S = \frac{A_s f_y d}{s}$$

$$V_S = 106.87kN$$

## กำลังรับแรงเฉือนของเหล็กปลอก

$$V_n = V_c + V_s$$

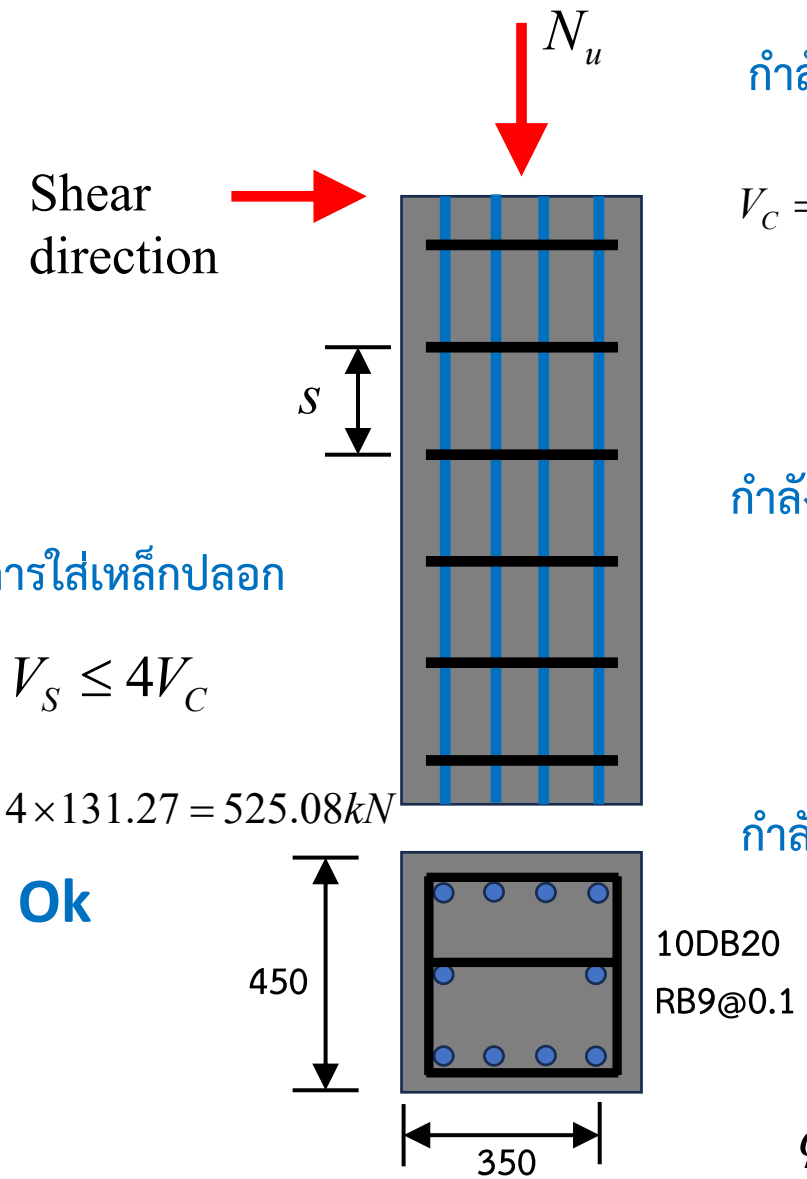
$$V_n = 131.27 + 106.87 = 238.15kN$$

$$\phi V_n = 202.43kN \quad \le \quad V_u = 204.55kN$$

**Shear failure**

| ตัวแปร | ผนังอิฐที่ 1 |
|---|---|
| ประเภทคอนกรีต (คอนกรีตธรรมดาเท่ากับ1) | 1 |
| กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต | 24 |
| กำลังรับแรงดึง ณ จุดครากของเหล็กปลอก | 240 |
| แรงกดตามแนวแกน | 707.01 |
| ความกว้างของเสา $b_w$ | 450 |
| ความลึกของเสา $H$ | 400 |
| ความลึกประสิทธิผลของเสา $d$ | 350 |
| จำนวนขาของเหล็กปลอก | 2 |
| ขนาดเหล็กปลอก | 9 |
| ระยะห่างของเหล็กปลอก | 100 |
| ตัวคูณลดกำลังรับแรงเฉือน | 0.85 |

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ




## เงื่อนไขการใส่เหล็กปลอก

$$V_S \le 4V_C$$

$$160.31kN \le 4 \times 131.27 = 525.08kN$$

**Ok**

## กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต

$$V_C = \left[0.17\lambda\sqrt{f_c'} + \frac{N_u}{6A_g}\right] b_w d$$

$$V_C = 131.27kN$$

## กำลังรับแรงเฉือนของเหล็กปลอก

$$V_S = \frac{A_s f_y d}{s}$$

$$V_S = 160.31kN$$

## กำลังรับแรงเฉือนของเหล็กปลอก

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_n = 131.27 + 160.31 = 291.59kN$$

$$\phi V_n = 247.85kN \quad \ge \quad V_u = 204.55kN$$ **Ok**

| ตัวแปร | ผนังอิฐที่ 1 |
|---|---|
| ประเภทคอนกรีต (คอนกรีตธรรมดาเท่ากับ1) | 1 |
| กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต | 24 |
| กำลังรับแรงดึง ณ จุดครากของเหล็กปลอก | 240 |
| แรงกดตามแนวแกน | 707.01 |
| ความกว้างของเสา $b_w$ | 450 |
| ความลึกของเสา $H$ | 400 |
| ความลึกประสิทธิผลของเสา $d$ | 350 |
| จำนวนขาของเหล็กปลอก | 3 |
| ขนาดเหล็กปลอก | 9 |
| ระยะห่างของเหล็กปลอก | 100 |
| ตัวคูณลดกำลังรับแรงเฉือน | 0.85 |

# แนวคิดการคำนวณค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับเสาตอม่อ

การคำนวณแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเสาตอม่อให้ใช้ค่าแรงเฉือนจากชั้นที่ 1

โดยไม่ต้องลดกำลังเนื่องจากความเสียหายของผนังอิฐก่อ

ให้คิดกำลังรับแรงของค้ำยันที่ 1.0

แรงเฉือนจากชั้นที่ 1

$$C_{\inf} = 0.7 t_{\inf} a f'_m$$

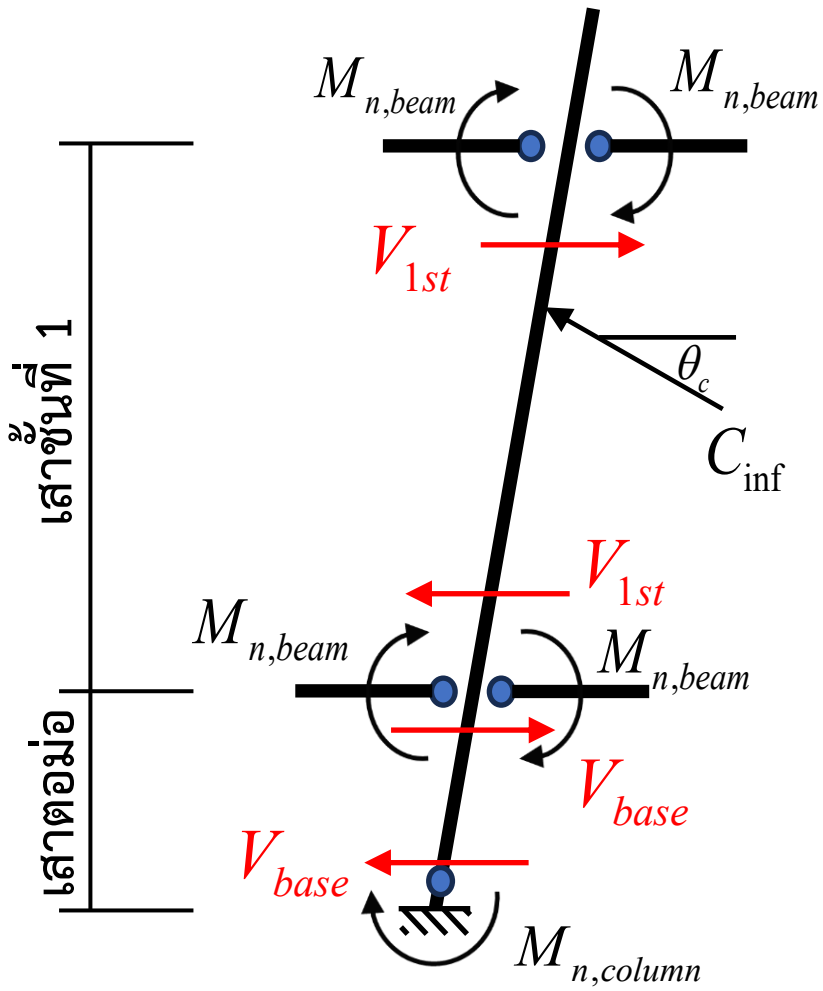
$$V_{1st} = \frac{2M_n + C_{\inf}\cos(\theta_c)\left(h_{\inf} - l_{ceff}\right)}{h_{\inf}}$$

แรงเฉือนสำหรับเสาตอม่อ

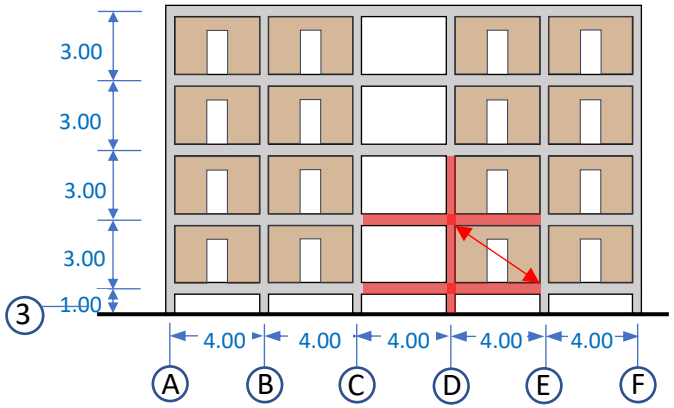
โมเมนต์เสาชั้นที่ 1

$$C_{\inf} = 1.0 t_{\inf} a f'_m$$

$$V_{base} = \frac{2M_n + C_{\inf}\cos(\theta_c)\left(h_{\inf} - l_{ceff}\right)}{h_{\inf}}$$



# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ




| ตัวแปร | ผนังอิฐที่ 1 |
|---|---|
| $\lambda_1$ (1/mm) | 0.0098 |
| $R_f\ a$ (mm) | 91 |
| $C_{inf}$ (mm) (เดิม 38.32) | 54.75 |
| $\theta_c$ (rad) | 0.628 |
| $l_{ceff}$ (mm) | 113 |

$$V = \frac{2M_n + C_{\inf}\cos(\theta_c)(h_{\inf} - l_{ceff})}{h_{\inf}}$$

$$C_{\inf} = 0.7 t_{\inf} a f_m'$$

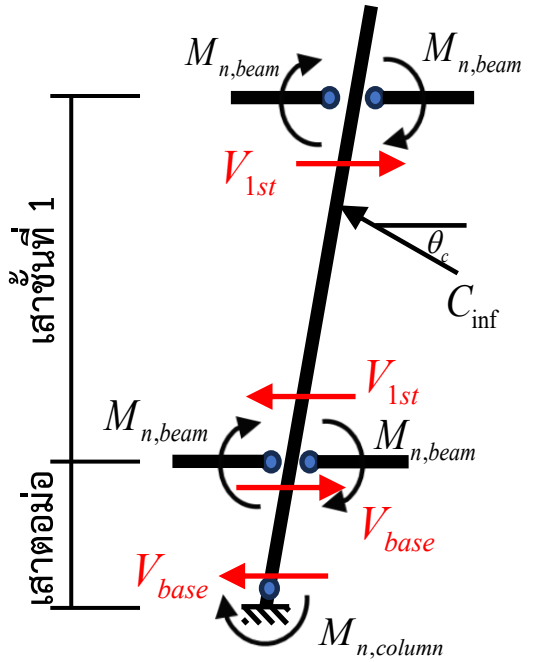
$$C_{\inf} = 1.0 t_{\inf} a f_m'$$

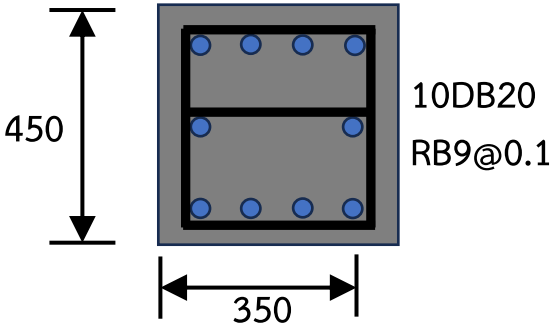
$$C_{\inf} = 1.0 \times 0.10 \times 0.9125 \times 6 \times 10^6 = 54750N$$

$$V = \frac{2(218.68) + (54.75)\cos(0.628)(2.5 - 0.113)}{2.5}$$

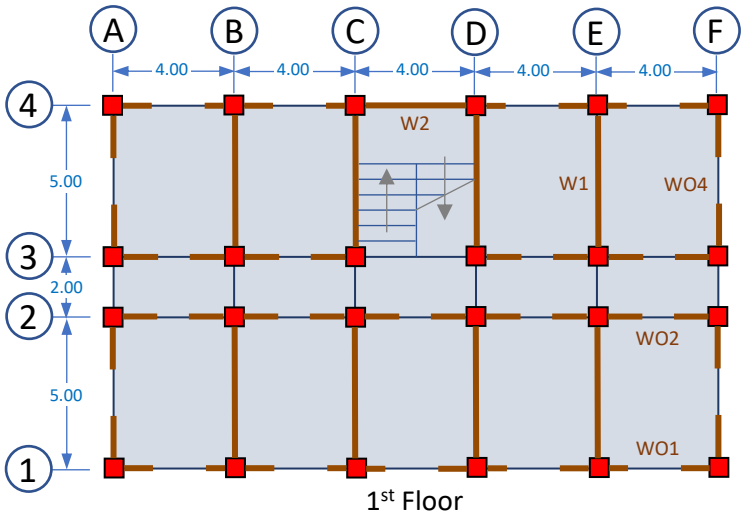
$$V_u = 217.24kN \quad \leq \quad \phi V_n = 247.85kN$$

**Ok**



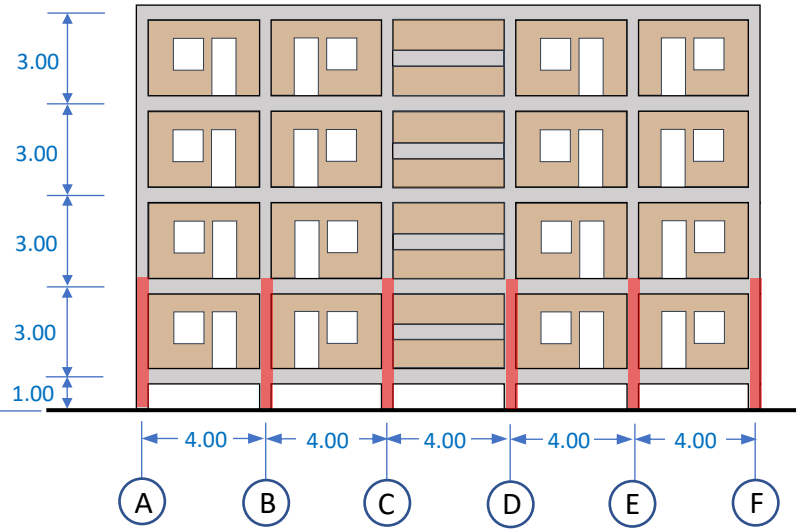
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ



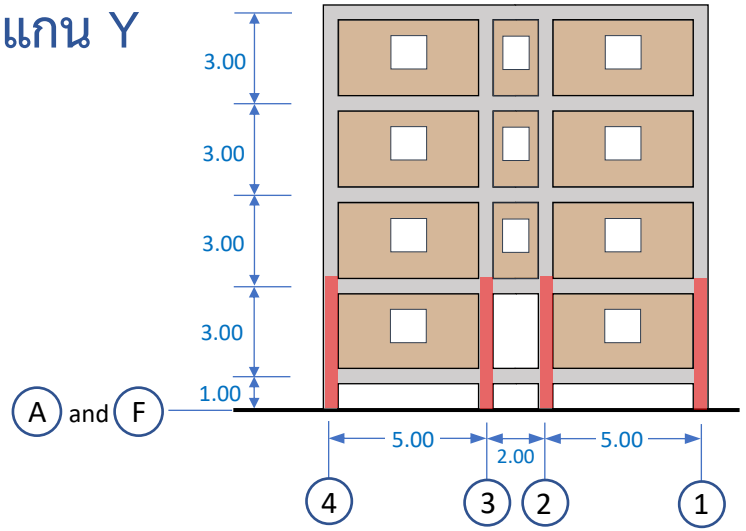
1st Floor

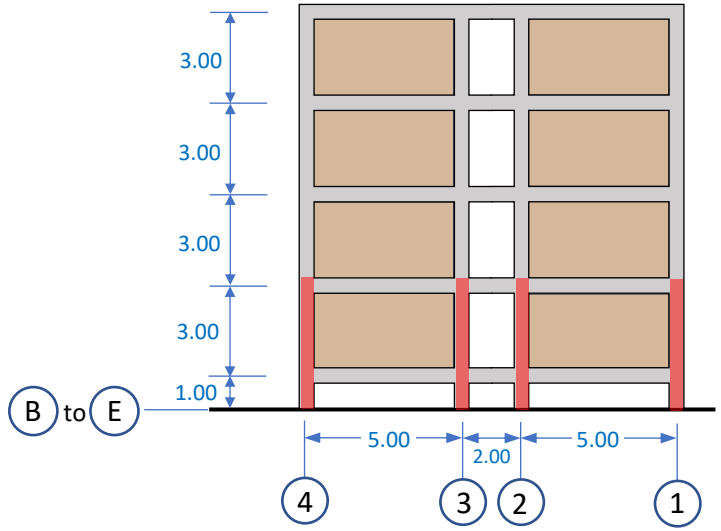
แกน X



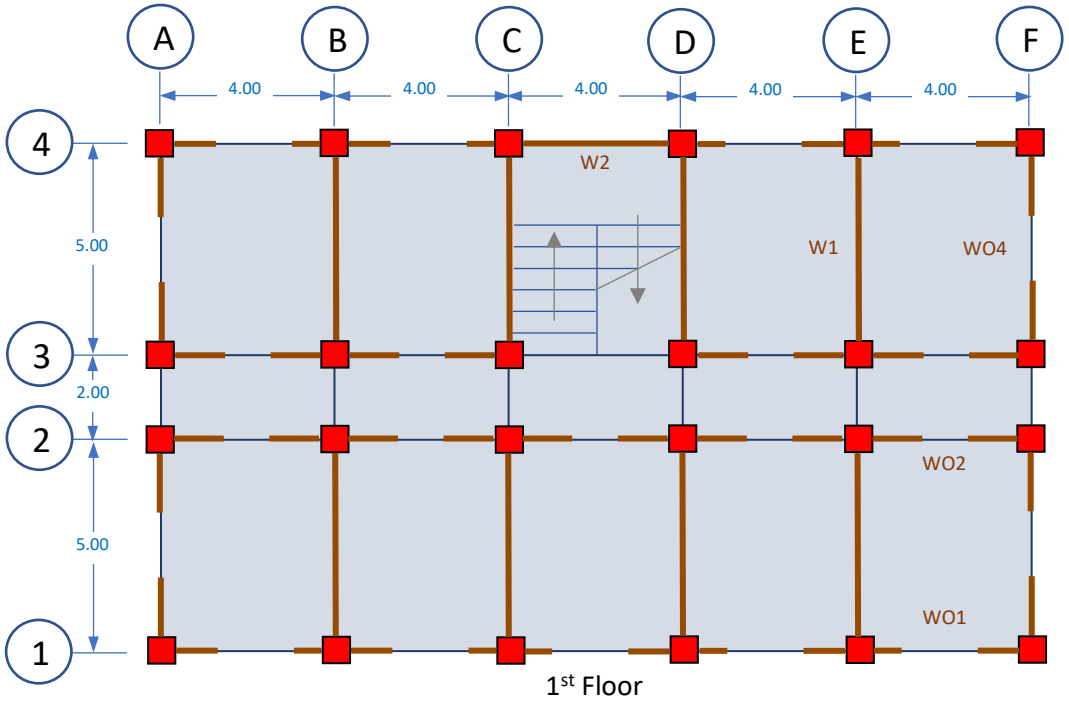

แกน Y

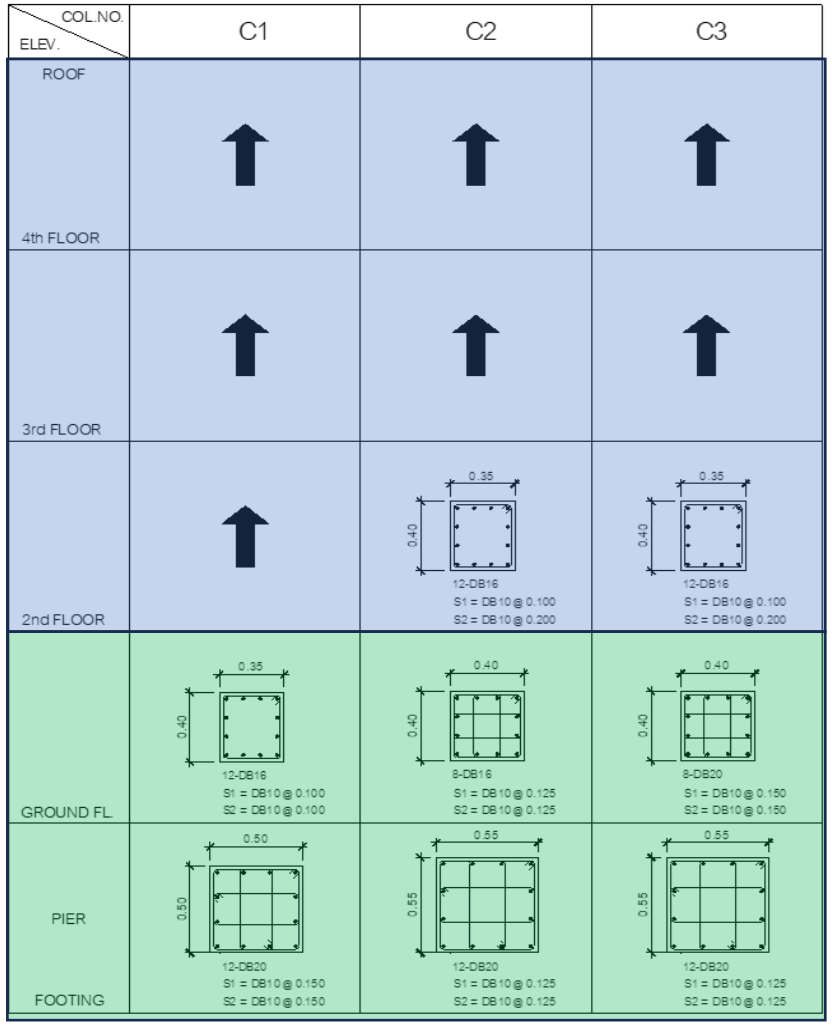


# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

พิจารณาเสาทุกต้นที่มีปฏิสัมผัสกับผนังอิฐก่อ ดังนั้นจึงจะได้เสาชั้นที่ 1 แล้วชั้นตอม่อที่ไม่เกิดความเสียหายแบบการเฉือน



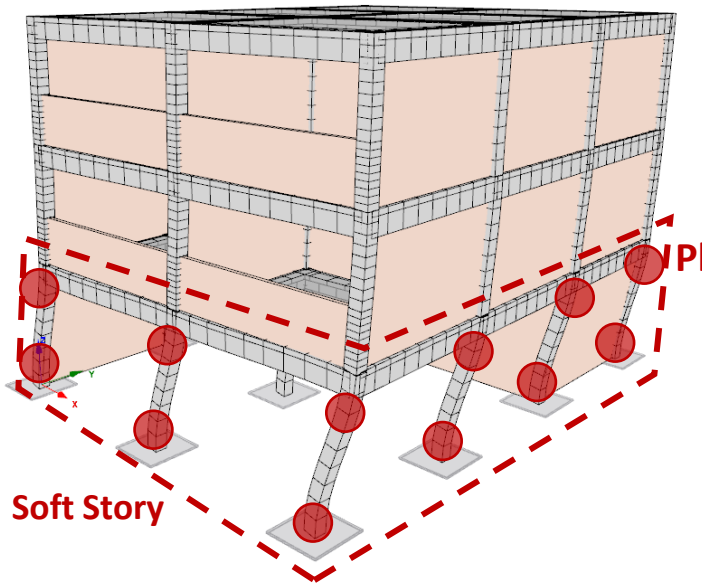

เสาขนาดเดิมตาม มยผ. 1301/1302 (2564)

เสาขนาดใหม่ที่ออกแบบป้องกันแรงเฉือน

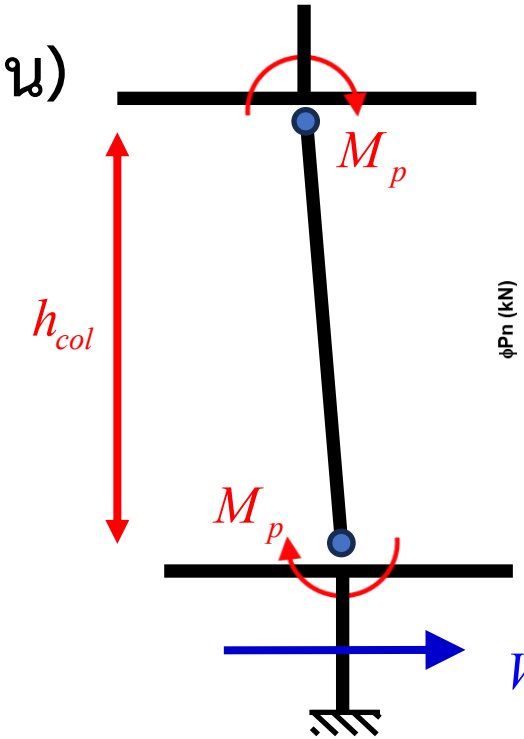
**แต่ยังไม่ได้พิจารณาชั้นอ่อน

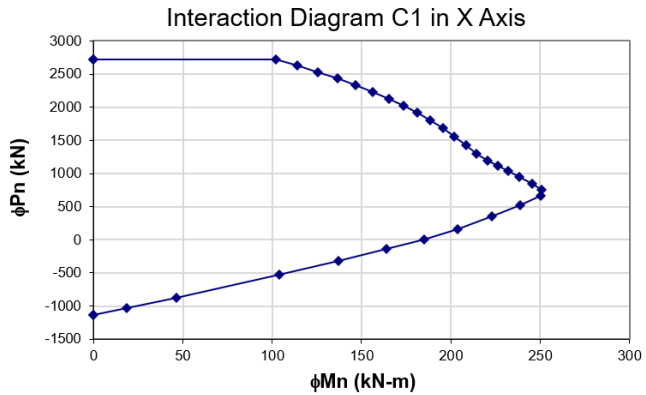
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

## การป้องกันรูปแบบการวิบัติที่เป็นอันตราย (ชั้นอ่อน)




การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่ามากในชั้นใดชั้นที่ไม่มีผนัง




กำลังรับแรงรวมของเสาในชั้นที่คาดว่าจะเกิดชั้นอ่อน

$$\sum 2M_p / h_{col} \geq V_{R=2}$$

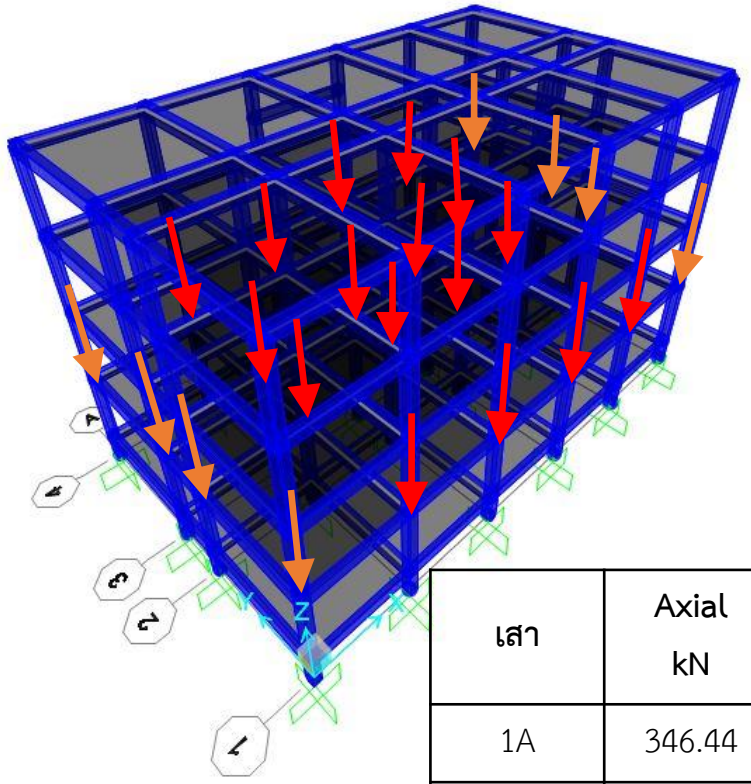
$M_p$ = กำลังต้านทานการดัดของเสา

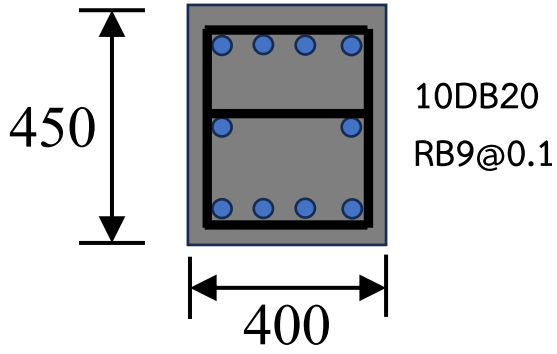
$h_{col}$ = ความสูงของเสาชั้นที่พิจารณา

$V_{R=2}$ = แรงเฉือนออกแบบในชั้นที่พิจารณา โดยใช้ค่า $R = 2$

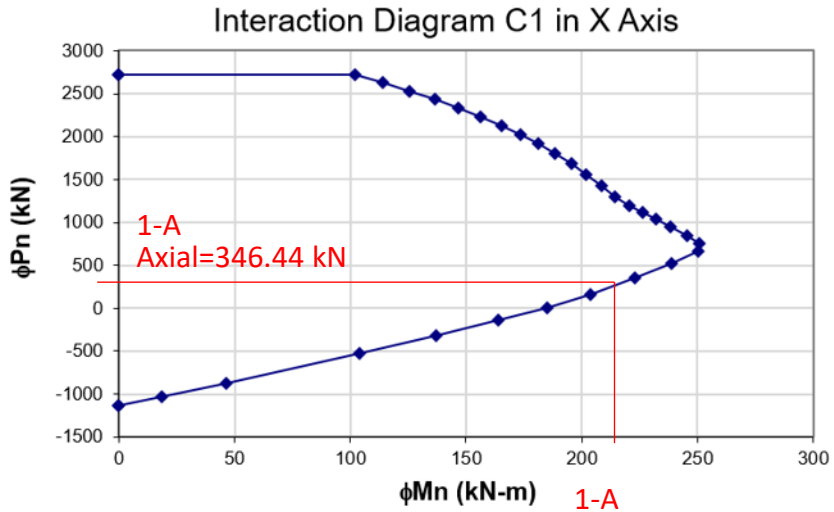
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

Base Shear R=2, $Vx_{R=2}$ = 4013.64 kN






**C1**



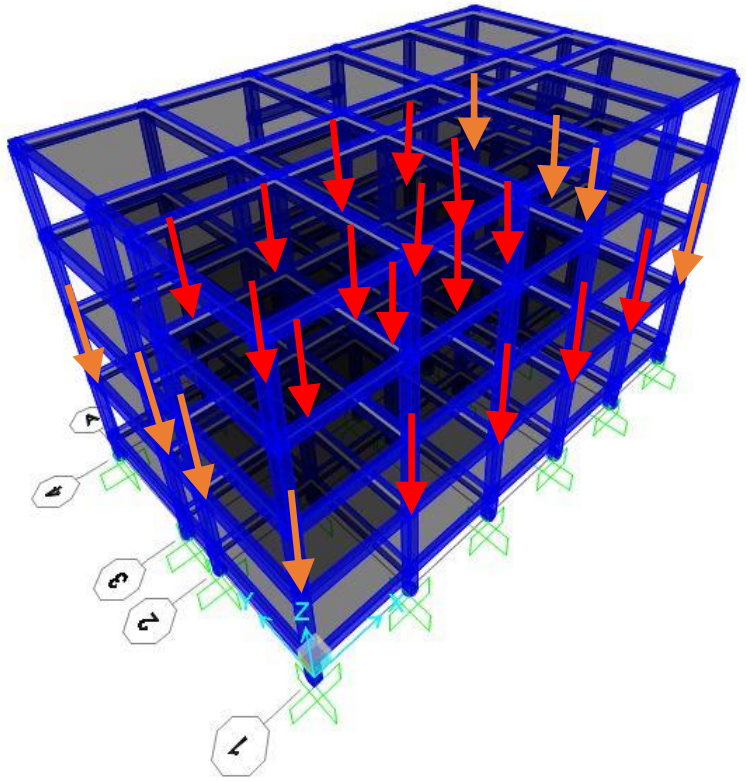

1-A
Moment=220.47 kN-m

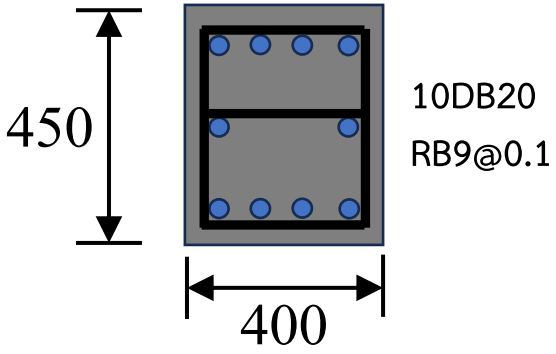
$$\sum 2M_p / h_{col} \geq V_{R=2}$$

| เสา | Axial kN | Moment kN-m | เสา | Axial kN | Moment kN-m | เสา | Axial kN | Moment kN-m | เสา | Axial kN | Moment kN-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1A | 346.44 | 220.47 | 2A | 440.15 | 231.27 | 3A | 440.34 | 231.30 | 4A | 346.39 | 220.46 |
| 1B | 545.86 | 243.47 | 2B | 679.05 | 248.78 | 3B | 679.57 | 248.75 | 4B | 548.66 | 243.79 |
| 1C | 549.18 | 243.85 | 2C | 687.38 | 248.20 | 3C | 707.02 | 246.84 | 4C | 633.75 | 251.93 |
| 1D | 549.06 | 243.84 | 2D | 689.73 | 248.04 | 3D | 713.95 | 246.36 | 4D | 634.13 | 251.90 |
| 1E | 545.84 | 243.47 | 2E | 679.08 | 248.78 | 3E | 679.75 | 248.73 | 4E | 548.69 | 243.80 |
| 1F | 346.39 | 220.46 | 2F | 440.03 | 231.26 | 3F | 440.25 | 231.29 | 4F | 346.34 | 220.45 |

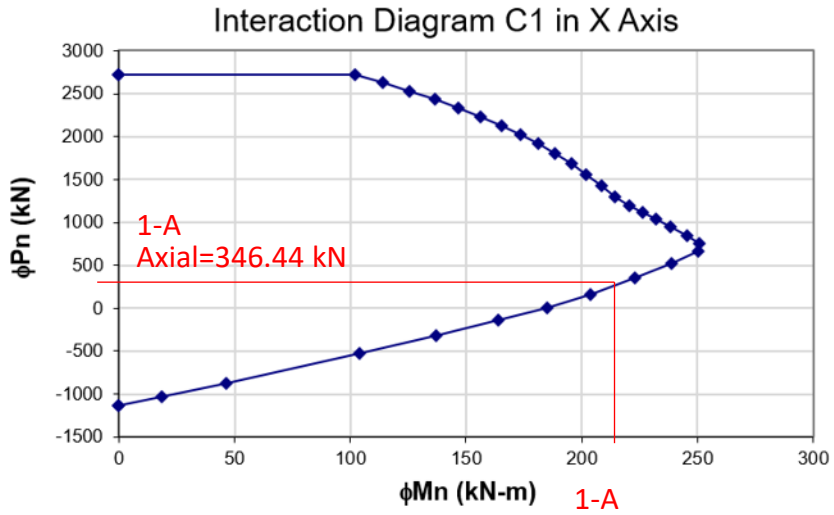
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

Base Shear R=2, $Vx_{R=2}$ = 4013.64 kN






**C1**




$$\sum 2M_p / h_{col} \geq V_{R=2}$$

$$\sum 2M_p / h_{col} = 3838.40kN$$

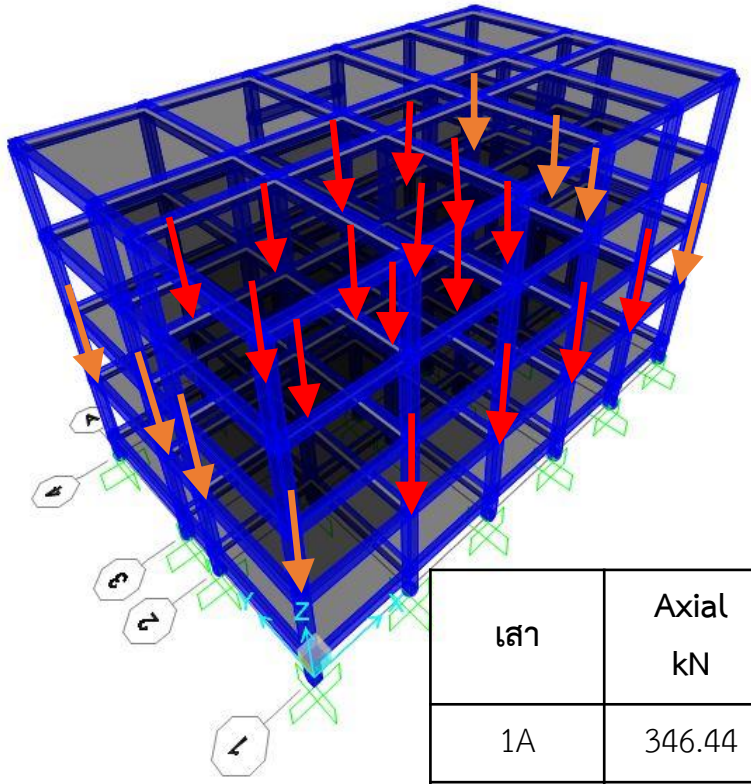
$$V_{R=2} = 4013.64kN$$

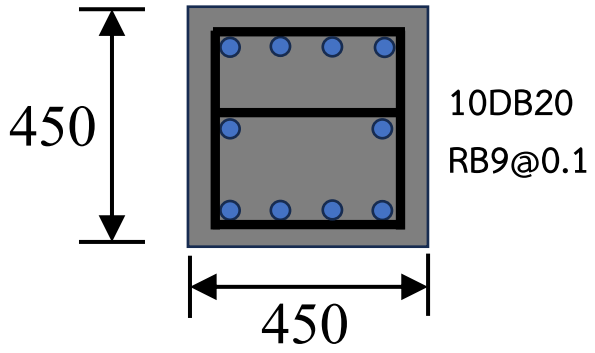
**Soft story failure**

| เสา | 2Mp/$h_{col}$ | เสา | 2Mp/$h_{col}$ | เสา | 2Mp/$h_{col}$ | เสา | 2Mp/$h_{col}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1A | 146.97 | 2A | 154.18 | 3A | 154.20 | 4A | 146.97 |
| 1B | 162.31 | 2B | 165.85 | 3B | 165.83 | 4B | 162.53 |
| 1C | 162.57 | 2C | 165.47 | 3C | 164.56 | 4C | 167.95 |
| 1D | 162.56 | 2D | 165.36 | 3D | 164.24 | 4D | 167.93 |
| 1E | 162.31 | 2E | 165.85 | 3E | 165.82 | 4E | 162.53 |
| 1F | 146.97 | 2F | 154.17 | 3F | 154.19 | 4F | 146.97 |

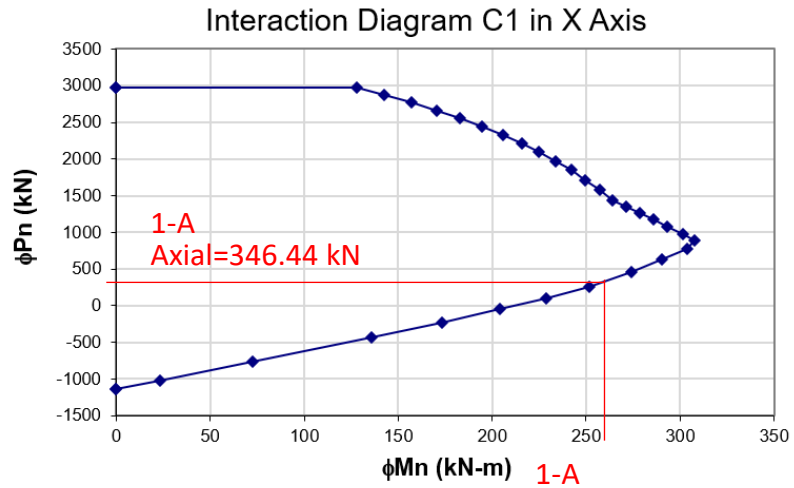
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

Base Shear R=2, $Vx_{R=2}$ = 4013.64 kN






**C1**



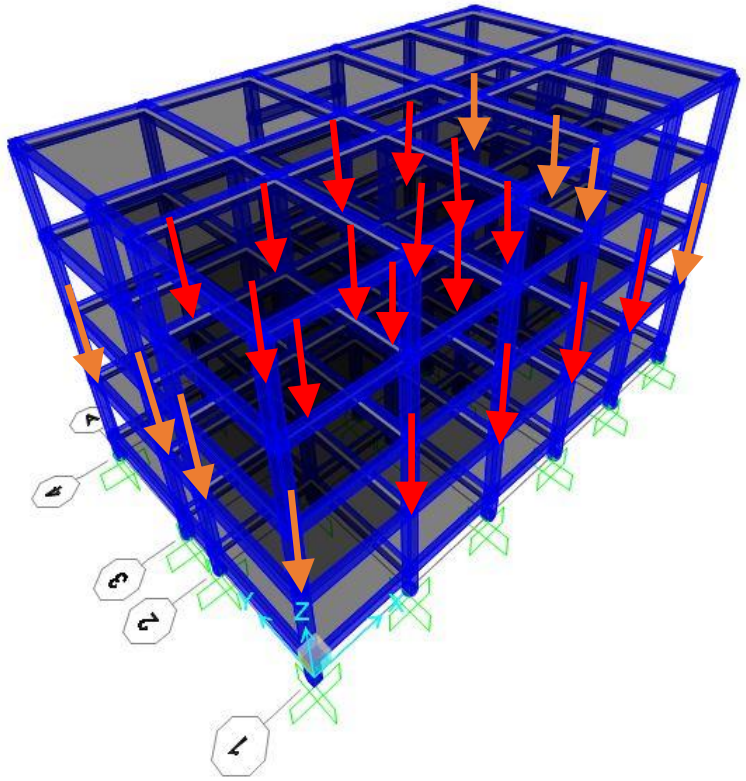

1-A
Moment=260.92 kN-m

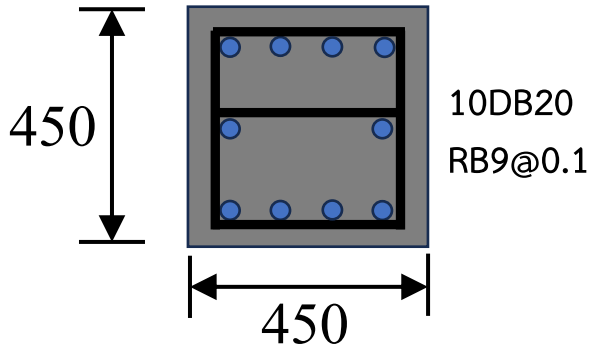
$$\sum 2M_p / h_{col} \geq V_{R=2}$$

| เสา | Axial kN | Moment kN-m | เสา | Axial kN | Moment kN-m | เสา | Axial kN | Moment kN-m | เสา | Axial kN | Moment kN-m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1A | 346.44 | 260.92 | 2A | 440.15 | 271.51 | 3A | 440.34 | 271.53 | 4A | 346.39 | 271.53 |
| 1B | 545.86 | 282.42 | 2B | 679.05 | 295.34 | 3B | 679.57 | 295.38 | 4B | 548.66 | 295.38 |
| 1C | 549.18 | 282.76 | 2C | 687.38 | 296.10 | 3C | 707.02 | 297.89 | 4C | 633.75 | 297.89 |
| 1D | 549.06 | 282.74 | 2D | 689.73 | 296.31 | 3D | 713.95 | 298.53 | 4D | 634.13 | 298.53 |
| 1E | 545.84 | 282.42 | 2E | 679.08 | 295.34 | 3E | 679.75 | 295.40 | 4E | 548.69 | 295.40 |
| 1F | 346.39 | 260.91 | 2F | 440.03 | 271.50 | 3F | 440.25 | 271.52 | 4F | 346.34 | 271.52 |

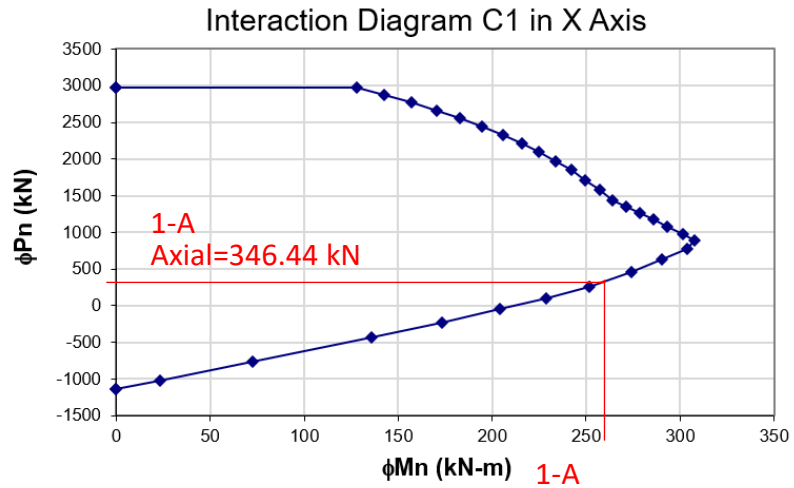
# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

Base Shear R=2, $Vx_{R=2}$ = 4013.64 kN






C1




1-A
Moment=260.92 kN-m

$$\sum 2M_p / h_{col} \geq V_{R=2}$$

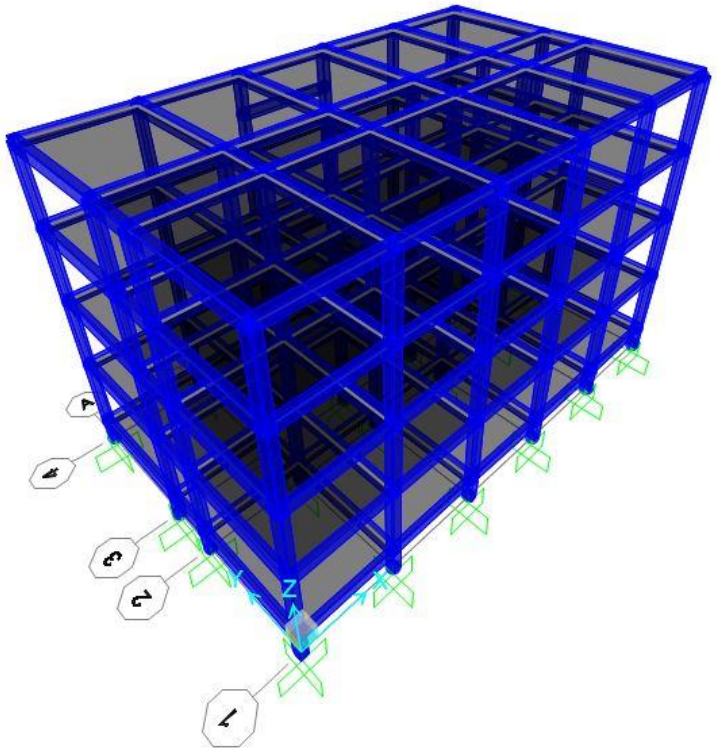
$$\sum 2M_p / h_{col} = 4518.78kN$$

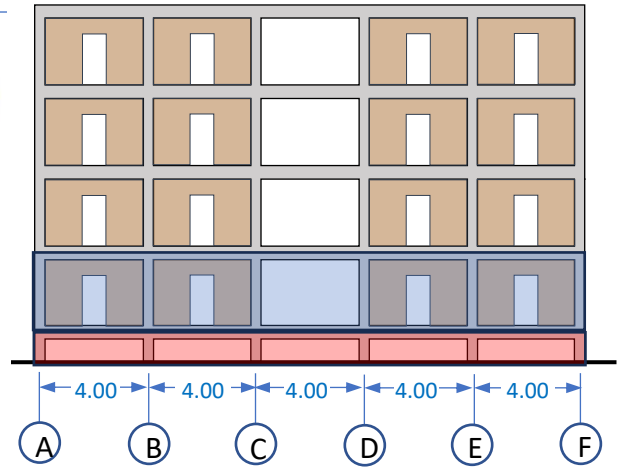
$$V_{R=2} = 4013.64kN$$

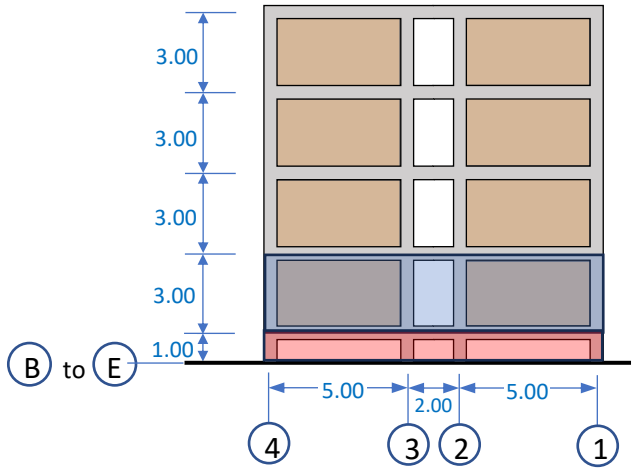
**Ok**

| เสา | $2Mp/h_{col}$ | เสา | $2Mp/h_{col}$ | เสา | $2Mp/h_{col}$ | เสา | $2Mp/h_{col}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1A | 173.95 | 2A | 181.01 | 3A | 181.02 | 4A | 173.94 |
| 1B | 188.28 | 2B | 196.89 | 3B | 196.92 | 4B | 188.47 |
| 1C | 188.50 | 2C | 197.40 | 3C | 198.60 | 4C | 194.13 |
| 1D | 188.50 | 2D | 197.54 | 3D | 199.02 | 4D | 194.15 |
| 1E | 188.28 | 2E | 196.89 | 3E | 196.93 | 4E | 188.47 |
| 1F | 173.94 | 2F | 181.00 | 3F | 181.01 | 4F | 173.94 |

# อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังอิฐก่อ

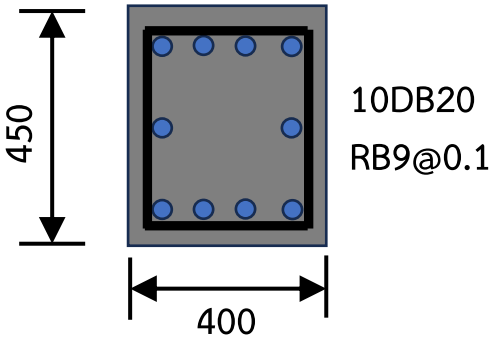




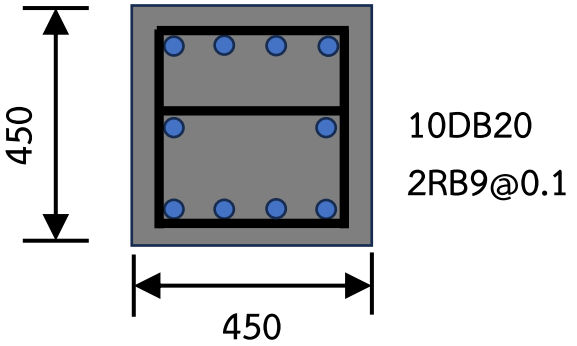




มยผ. 1301/1302

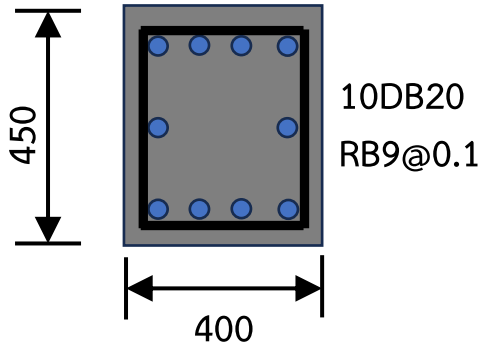
พิจารณาผลกระทบจาก
ผนังอิฐก่อ และ
ชั้นอ่อน



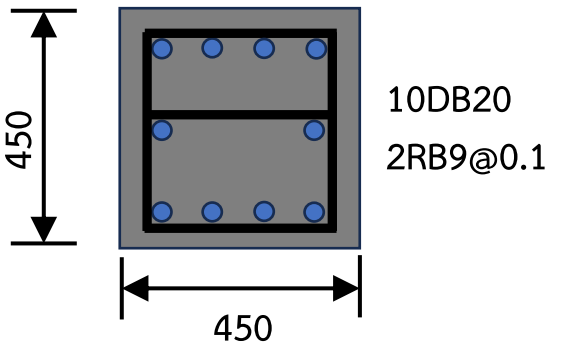

**C1**




**C1**




**Base**




**Base**

# โครงการพัฒนาหลักสูตรการเรียนรู้
# เรื่องการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรม
จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พ.ศ. 2568