ตัวอย่างการให้รายละเอียดเหล็กเสริม เสา และ คาน ให้มีความเหนียว ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย และมาตรฐาน มยผ 1301/1302

ดร.จิรวัฒน์ จันทร์เรือง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

โครงการพัฒนาหลักสูตรการเรียนรู้เรื่องการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พ.ศ. 2568

ผลลัพธ์การเรียนรู้

- เพื่อให้ผู้เรียนทราบรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างเนื่องจากแผ่นดินไหว
- เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจหลักการให้รายละเอียดเหล็กเสริม เสา คาน และจุดต่อ ที่มีความเหนียวจำกัด ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย และมาตรฐาน มยผ 1301/1302
- เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจหลักการตรวจสอบแรงเฉือนในคาน

หัวข้อบรรยาย

1. การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design
2. การออกแบบคาน
3. การออกแบบเสา
4. การออกแบบจุดต่อเสาคานภายในตาม มยผ.1301/1302
5. การออกแบบจุดต่อเสาคานภายนอกตาม มยผ.1301/1302

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design



Izmit, Turkey, 1999



Chi-Chi, Taiwan, 1999



Wenchuan, China, 2008



Abruzzo, Italy, 2009

การวิบัติที่จุดต่อคาน-เสา





Fig. 2. Pipers Row Car Park collapse, Wolverhampton in 1997 [6].

การวิบัติแบบพื้นเจาะทะลุเสา



การวิบัติในเสา

ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหว

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

การวิบัติมักเกิดขึ้นที่ปลายคาน หรือปลายเสา ปูนกะเทาะหลุด ออกมา เหล็กเสริมดุ้ง



การวิบัติแบบแรงดัดที่โคนเสา

การวิบัติแบบแรงเฉือน

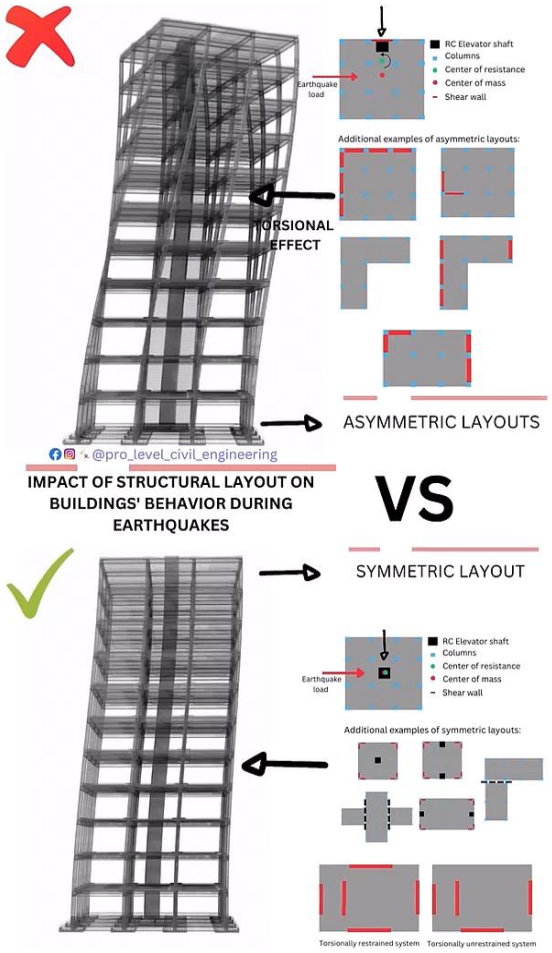


การวิบัติที่จุดต่อคานเสา

การป้องกัน : ต้องเสริมเหล็กปลอกให้แน่นหนา
ต้องหลีกเลี่ยงการทาบต่อเหล็กเสริมบริเวณดังกล่าว

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

➢ ความเสียหายแบบชั้นอ่อน soft-story failure





ความเสียหายแบบชั้นอ่อนเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอด้านความแข็งแกร่ง

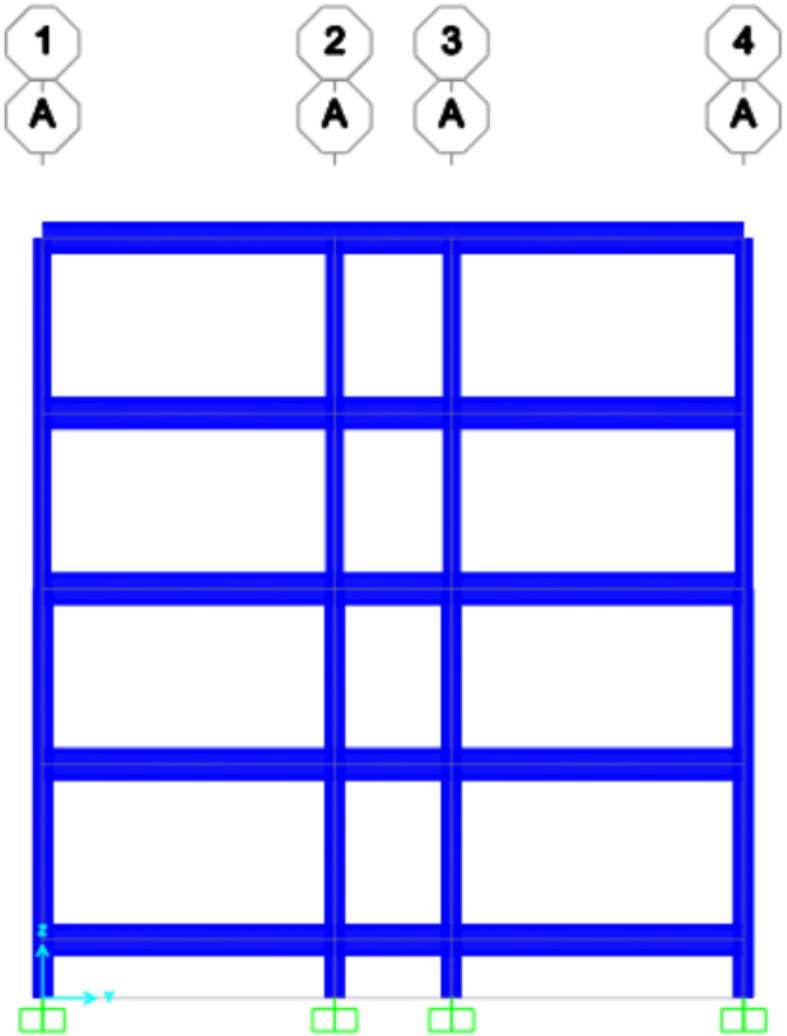
(Ref.: Pro-Level Civil Engineering (2025), Leelataveewat, S. (2021))

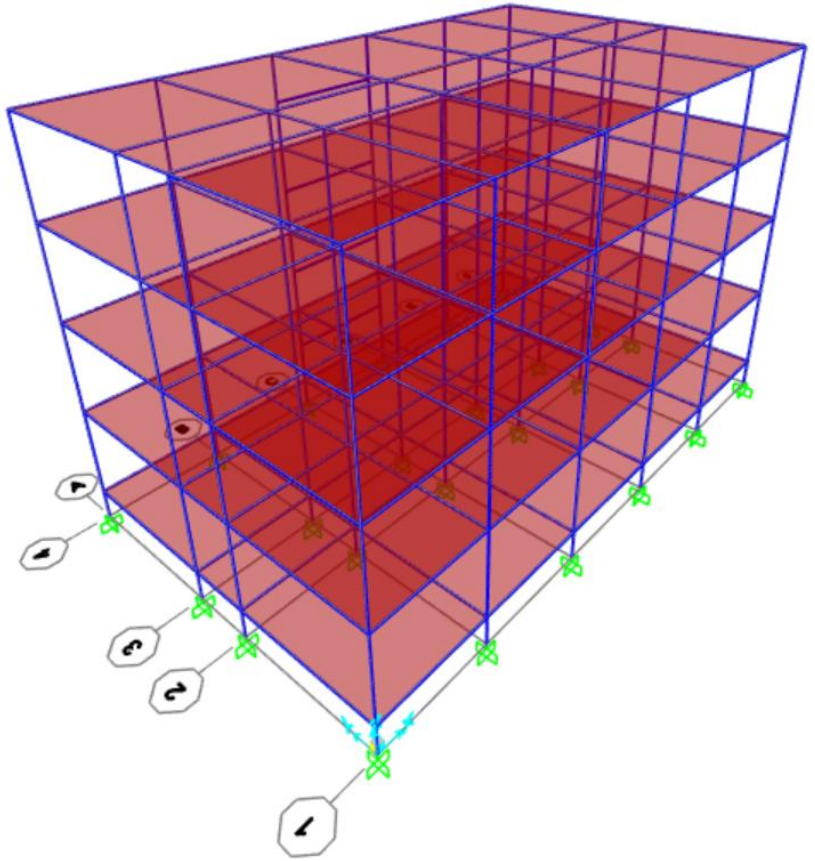
➢ รายละเอียดเหล็กเสริมที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว

1. เหล็กปลอกในเสาวางห่างเกินไป
2. ต่อทาบเหล็กเหนือพื้น
3. ไม่เสริมเหล็กปลอกในจุดต่อ
4. รอยต่อของการก่อสร้างในบริเวณเหนือพื้น

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

➢ แบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์โครงสร้าง

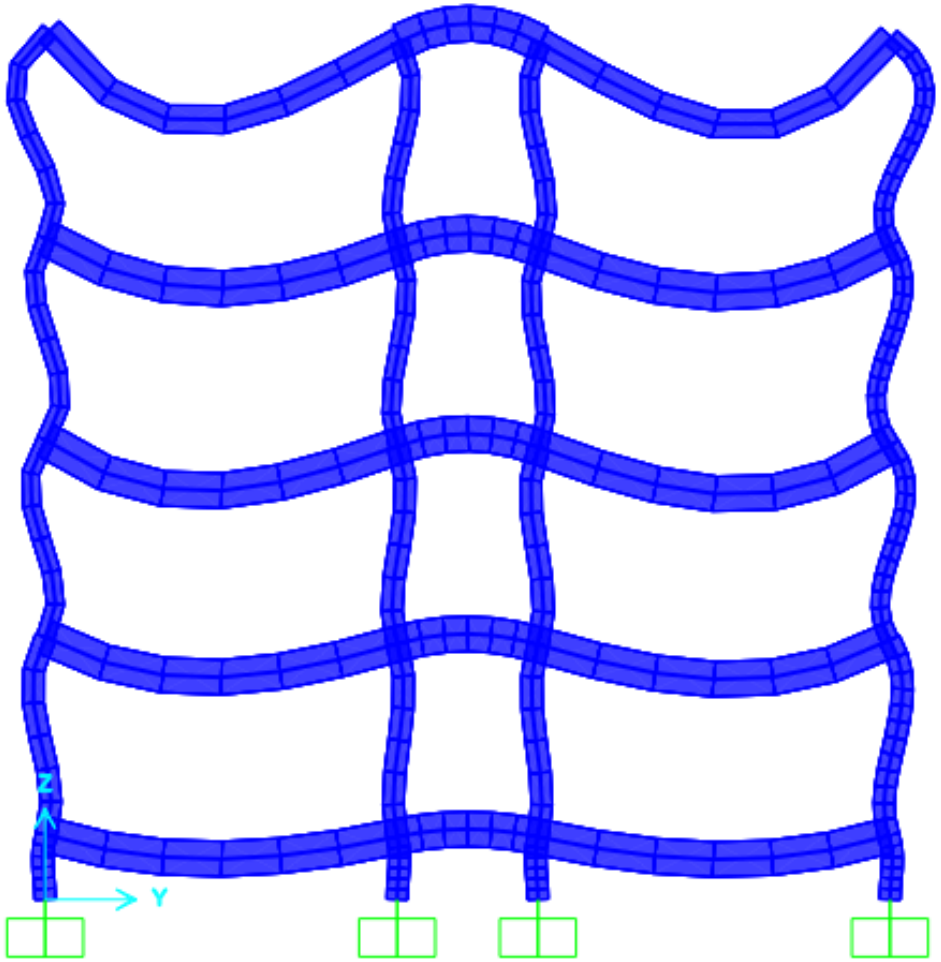




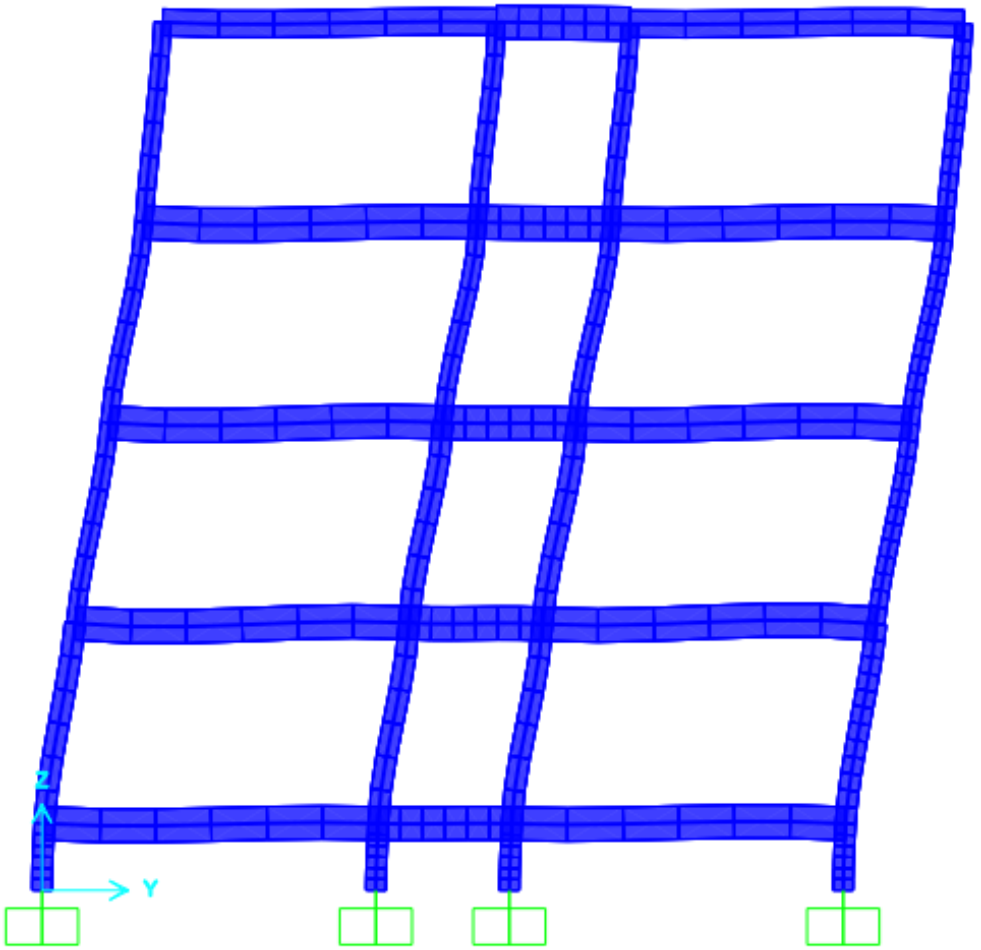
การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

➢ ลักษณะการเสียรูปของโครงสร้าง

under Gravity load



Under lateral load



การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

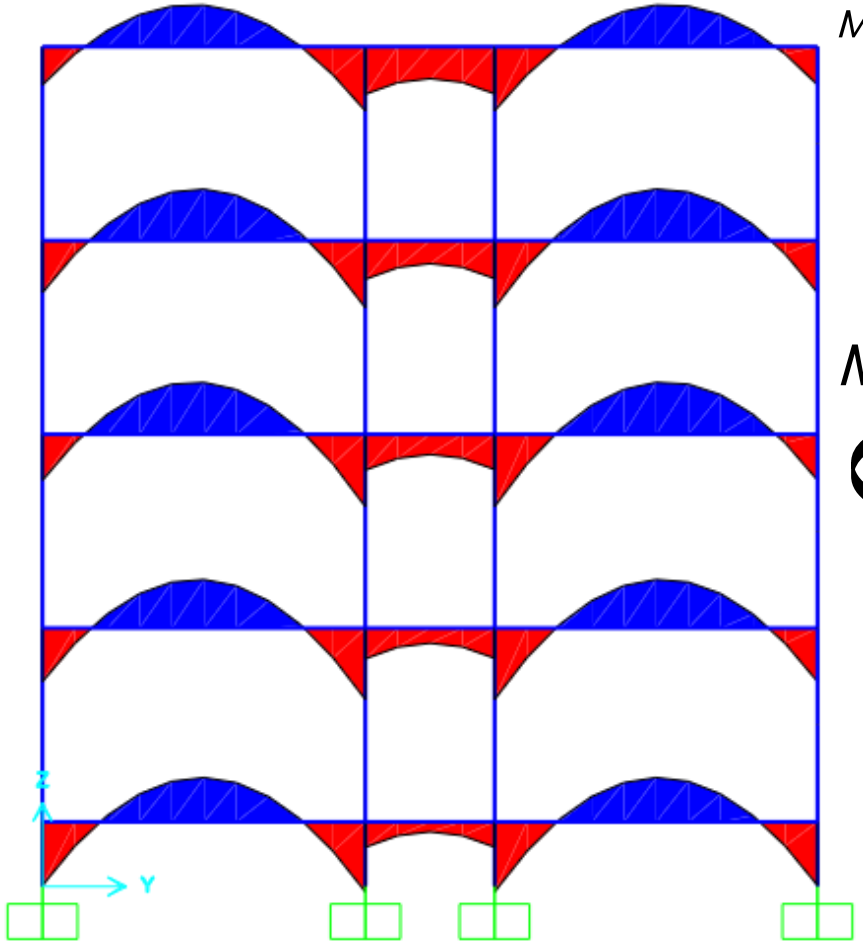
ลักษณะของโมเมนต์ไดอะแกรม (Moment diagram)

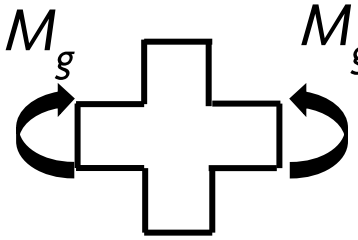
under Gravity load

แรงแนวดิ่ง

M- Max ที่ปลายคาน

M+ Max ที่กลางคาน



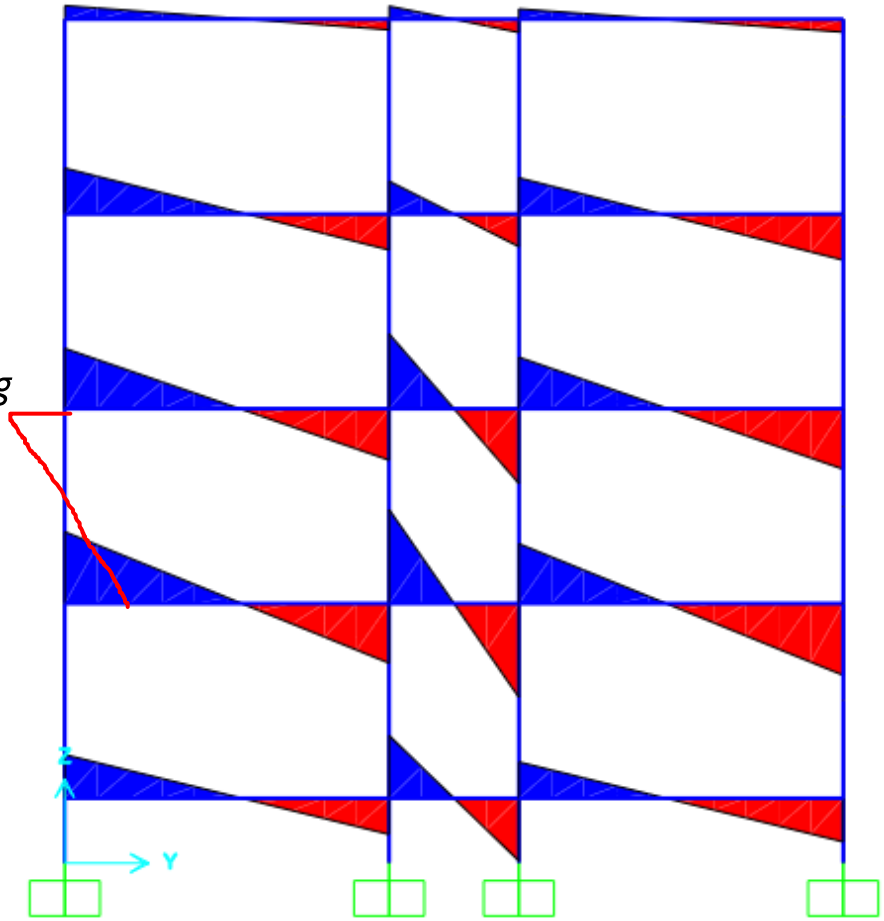


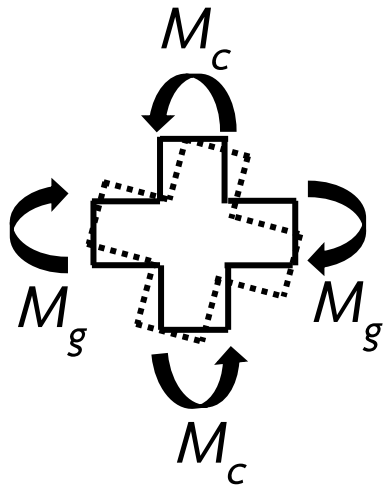
Under lateral load

แรงแนวราบ

M-,M+ Max ที่ปลายคาน/เสา

จุดดัดกลับเกิดที่กลางช่วงคาน/เสา

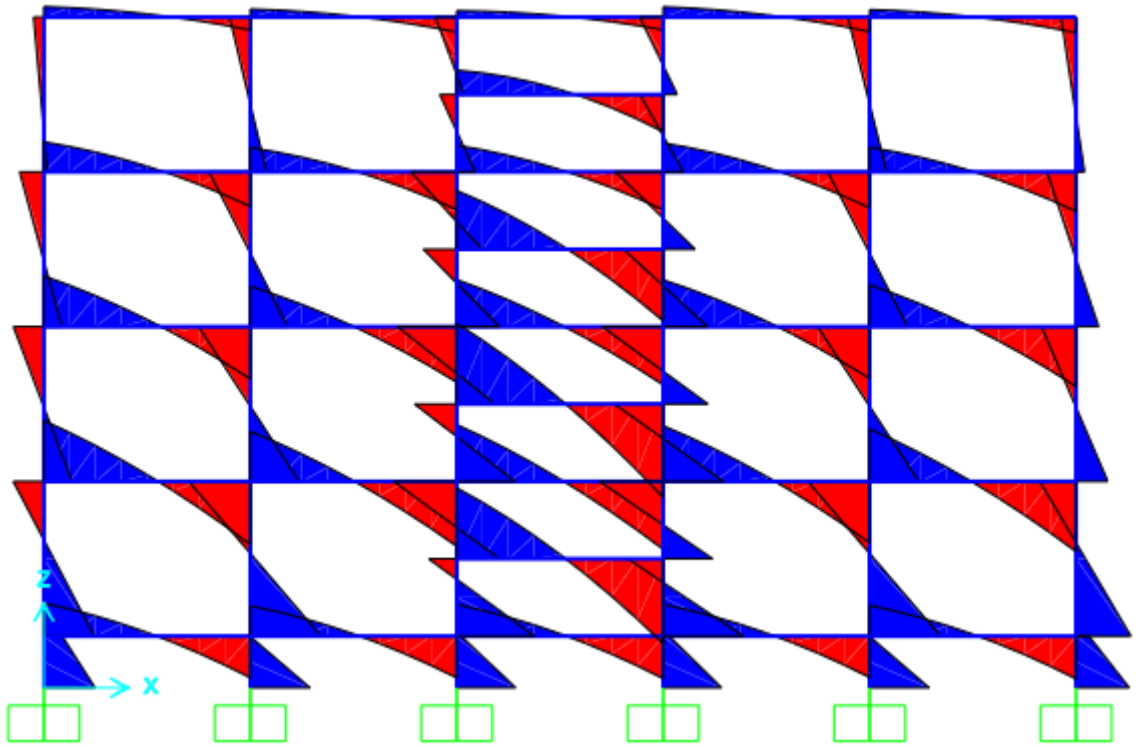




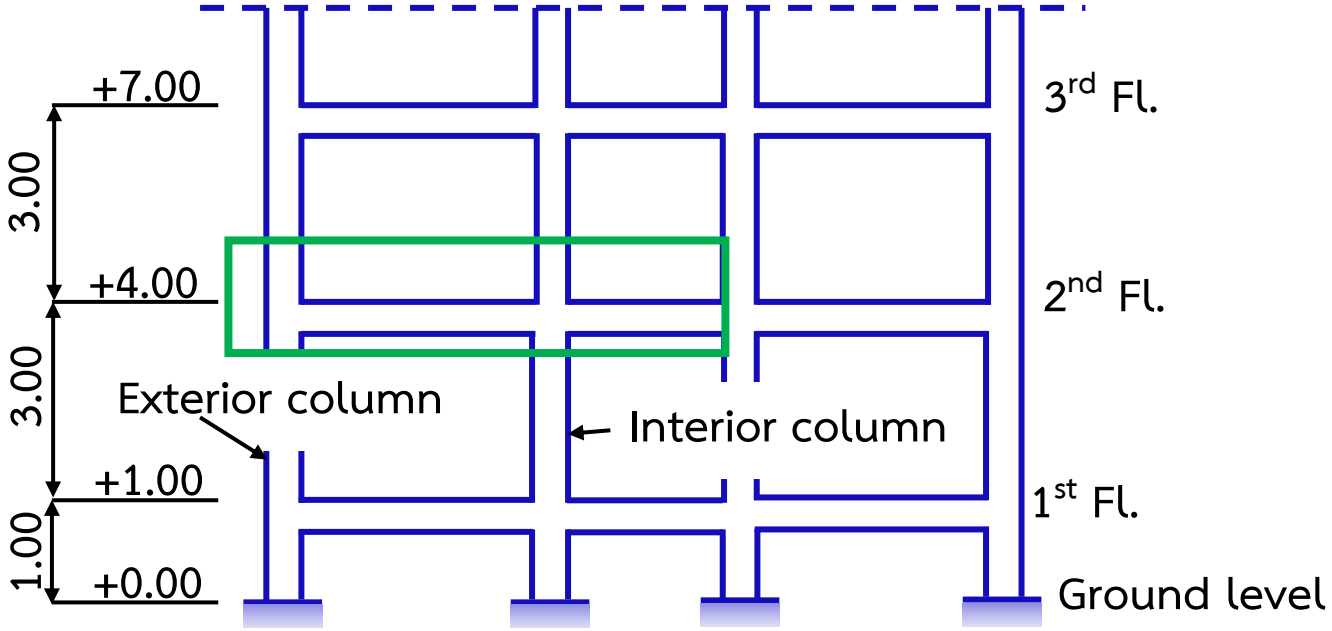
การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

- การออกแบบโครงข้อแข็งโดยวิธี Capacity design
- ออกแบบคานรับโมเมนต์ดัดด้วยวิธีกำลัง (เหล็กนอนในคาน)
- ข้อควรพิจารณาตำแหน่งการเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว

$$\phi M_n \geq 0.75(1.4M_D + 1.7M_L) + 1.0M_E$$



การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

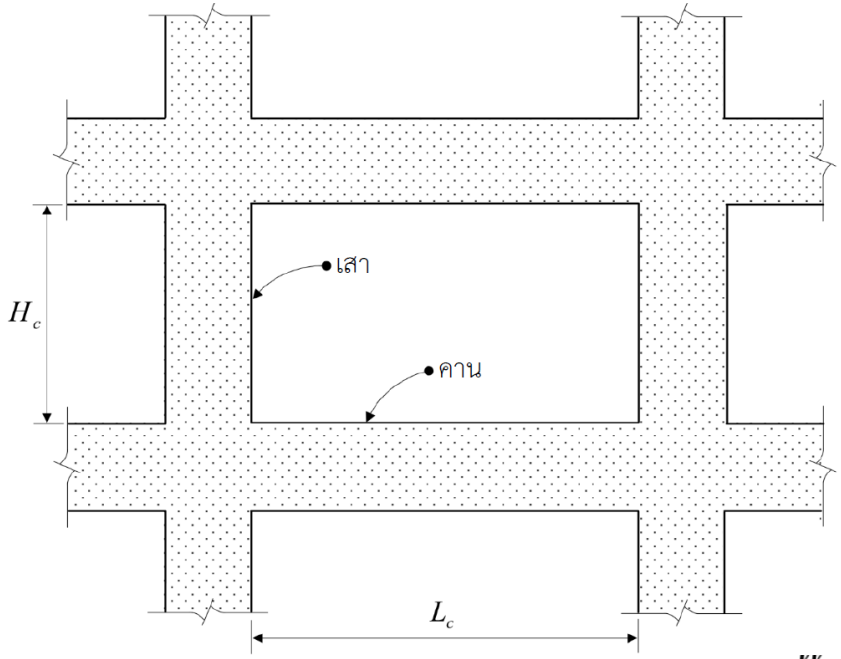


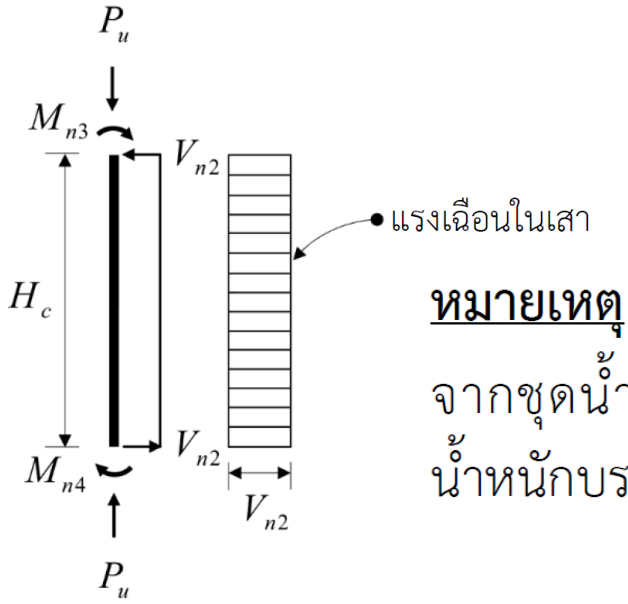
ตารางโมเมนต์ดัดประลัยในคานชั้น 2

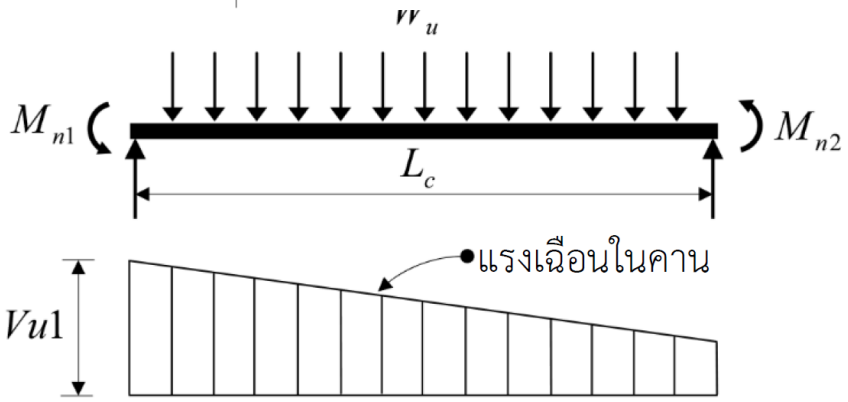
กรณี	คานช่วงนอก (Exterior span)			คานช่วงใน (Interior span)	
	ขอบเสาต้นนอก (ตัน-ม)	กลางคาน (ตัน-ม)	ขอบเสาต้นใน (ตัน-ม)	ขอบเสาต้นใน (ตัน-ม)	กลางคาน (ตัน-ม)
LC1	-10.5	6.3	-10.8	-3.5	-0.9
LC2	8.5	5.8	-22.4	18.6	-0.7
LC3	-24.2	3.7	6.2	-23.8	-0.7

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด







$$V_{u1} = \frac{M_{n1} + M_{n2}}{L_c} + \frac{1}{2} W_u L_c$$

(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

<u>หมายเหตุ</u> น้ำหนักบรรทุกปรับค่า W_u และ P_u ให้คำนวณจากชุดน้ำหนักบรรทุกรวมระหว่างน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

กำลังต้านทานแรงเฉือน : ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า

1. แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อแรงดัดที่ปลายขององค์อาคารทั้งสองถึงค่าโมเมนต์กำลังระบุรวมกับแรงเฉือนจากน้ำหนักบรรทุกโน้มถ่วง
2. แรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกออกแบบ ที่พิจารณาแรงจาก แผ่นดินไหวเป็น 2 เท่าของแรงที่กำหนดในกฎหมายควบคุมอาคารที่ว่าด้วยแรงแผ่นดินไหว

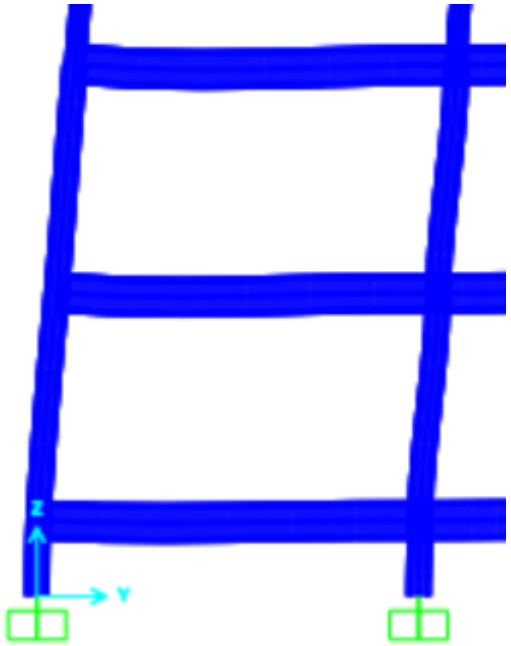
การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

ออกแบบคานรับแรงเฉือน (เหล็กปลอกในคาน)

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_u = \frac{W_u L}{2} + \frac{M_{n1} + M_{n2}}{L} \qquad \text{Eq. - 1}$$

$$V_u = 0.75(1.4V_D + 1.7V_L) + 1.00 \times 2 \times V_E \qquad \text{Eq. - 2}$$





แรงกระทำด้านข้างผลักให้โครงสร้างเซและเกิดโมเมนต์ที่ปลายคานทิศตามรูป

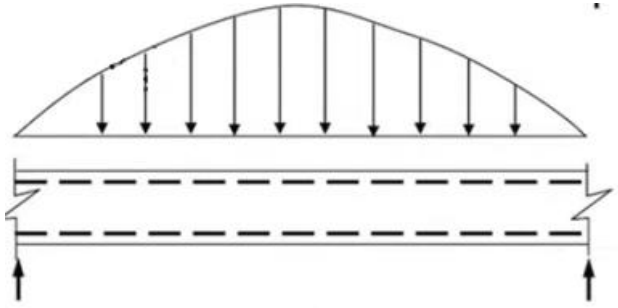
การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

➢ ออกแบบคานรับแรงเฉือน (เหล็กปลอกในคาน)

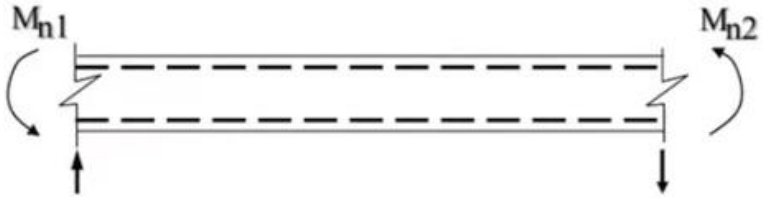
$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_u = \frac{W_u L}{2} + \frac{M_{n1} + M_{n2}}{L} \qquad \text{Eq. - 1}$$

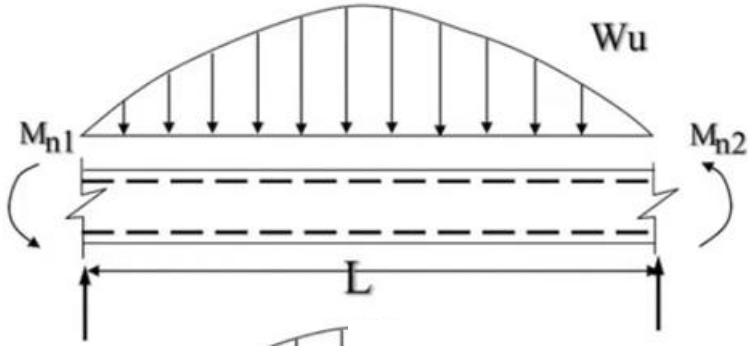
$$V_u = 0.75(1.4V_D + 1.7V_L) + 1.00 \times 2 \times V_E \qquad \text{Eq. - 2}$$



แรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งเพิ่มค่า



แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อปลายคานเกิดโมเมนต์ดัด



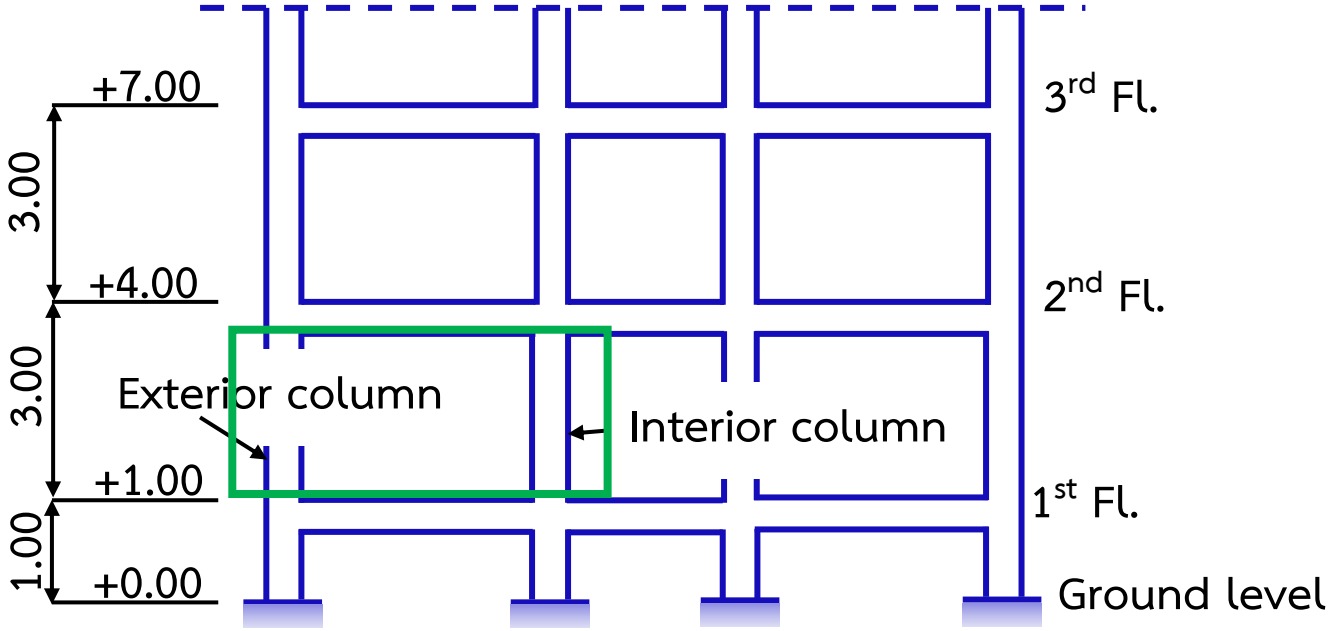
คานในสภาวะที่ปลายคานครากทั้ง 2 ด้าน

$$\sum M = 0$$

$$VL = M_{n1} + M_{n2}$$

$$V = \frac{W_u L}{2} \quad + \quad V = \frac{M_{n1} + M_{n2}}{L} \quad = \quad V_u = \frac{W_u L}{2} + \frac{M_{n1} + M_{n2}}{L}$$

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design



ตารางแรงอัด แรงดัดและแรงเฉือนประลัย ในเสาชั้น 1

กรณี	เสาต้นนอก (Exterior Column)				เสาต้นใน (Interior Column)			
	แรงอัด (ตัน)	แรงดัด (ตัน-ม)		แรงเฉือน (ตัน)	แรงอัด (ตัน)	แรงดัด (ตัน-ม)		แรงเฉือน (ตัน)
		บน	ล่าง			บน	ล่าง	
LC1	74.6	5.2	-4.9	3.4	93.7	-3.6	3.3	2.3
LC2	38.7	-4.7	10.7	5.1	37.7	-20.4	23.6	14.6
LC3	73.3	12.5	-18.2	10.2	103.0	15.0	-18.6	11.2

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

ออกแบบเสารับโมเมนต์ดัด หลักการเสาต้องแข็งแรงกว่าคาน

$$\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5}\sum M_{ng}$$ **โครงที่มีความเหนียวพิเศษ** ในอเมริกา ญี่ปุ่น เป็นต้น

$\sum M_{nc}$ ผลรวมกำลังต้านทานโมเมนต์ของเสา

$\sum M_{ng}$ ผลรวมกำลังต้านทานโมเมนต์ของคาน

ออกแบบเหล็กตามขวางให้เสา

- การวิบัติเฉือน – ต้องออกแบบเสารับแรงเฉือนด้วย
- เหล็กดุ้งโก่งเดาะ – ระยะเรียงเหล็กปลอก
- การโอบรัดหน้าตัด – ระยะเรียงเหล็กปลอก และ 135 degree hook

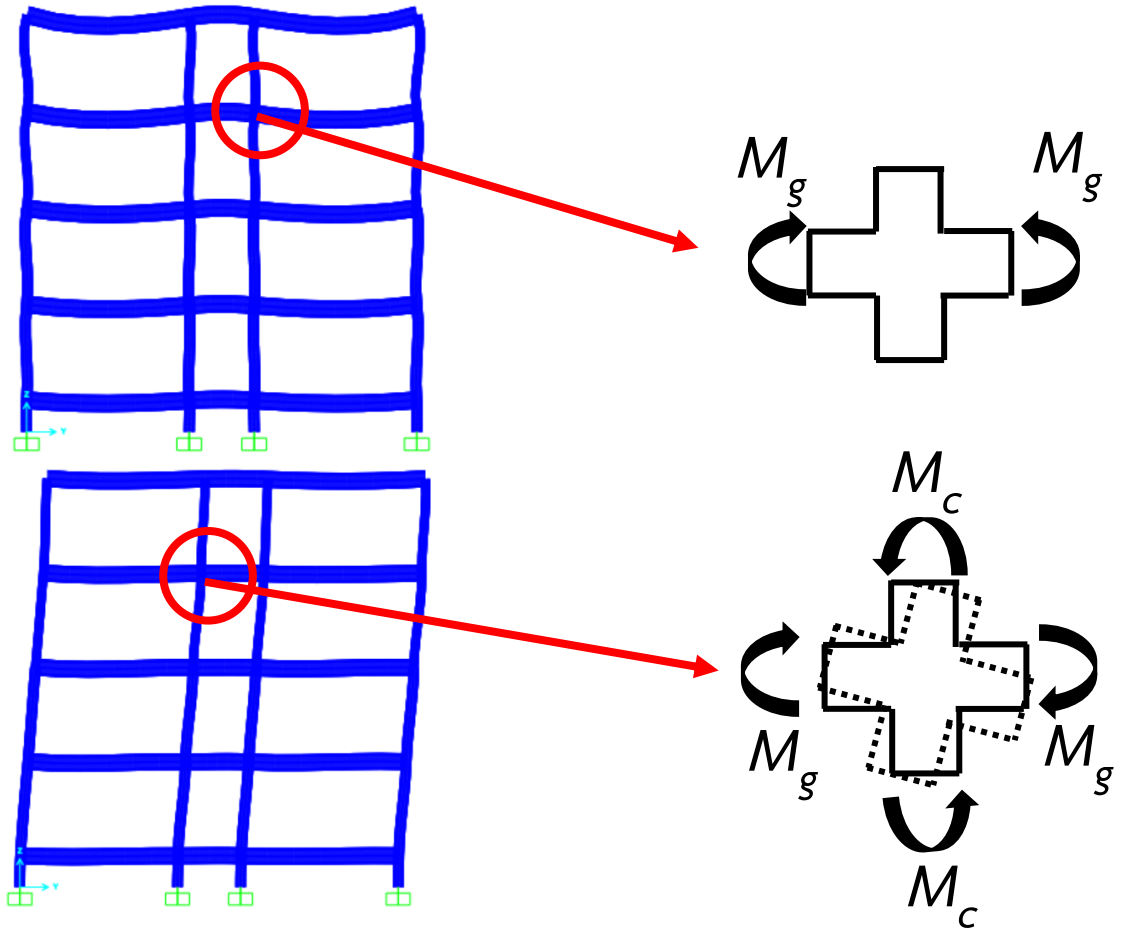
Pimanmas, A. (2020)

การออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหวตามหลัก Capacity Design

ออกแบบจุดต่อ จุดต่อต้องไม่วิบัติก่อนที่คานจะคราก

ลักษณะการเสียรูปของโครงสร้าง
จากแรงกระทำในแนวดิ่ง

ลักษณะการเสียรูปของโครงสร้าง
จากแรงกระทำในแนวดิ่งร่วมกับแรงด้านข้าง



- จุดต่อจะต้องไม่วิบัติก่อนคานจะคราก
- ปูนจะต้องไม่กะเทาะหลุดออกมา

➢ รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

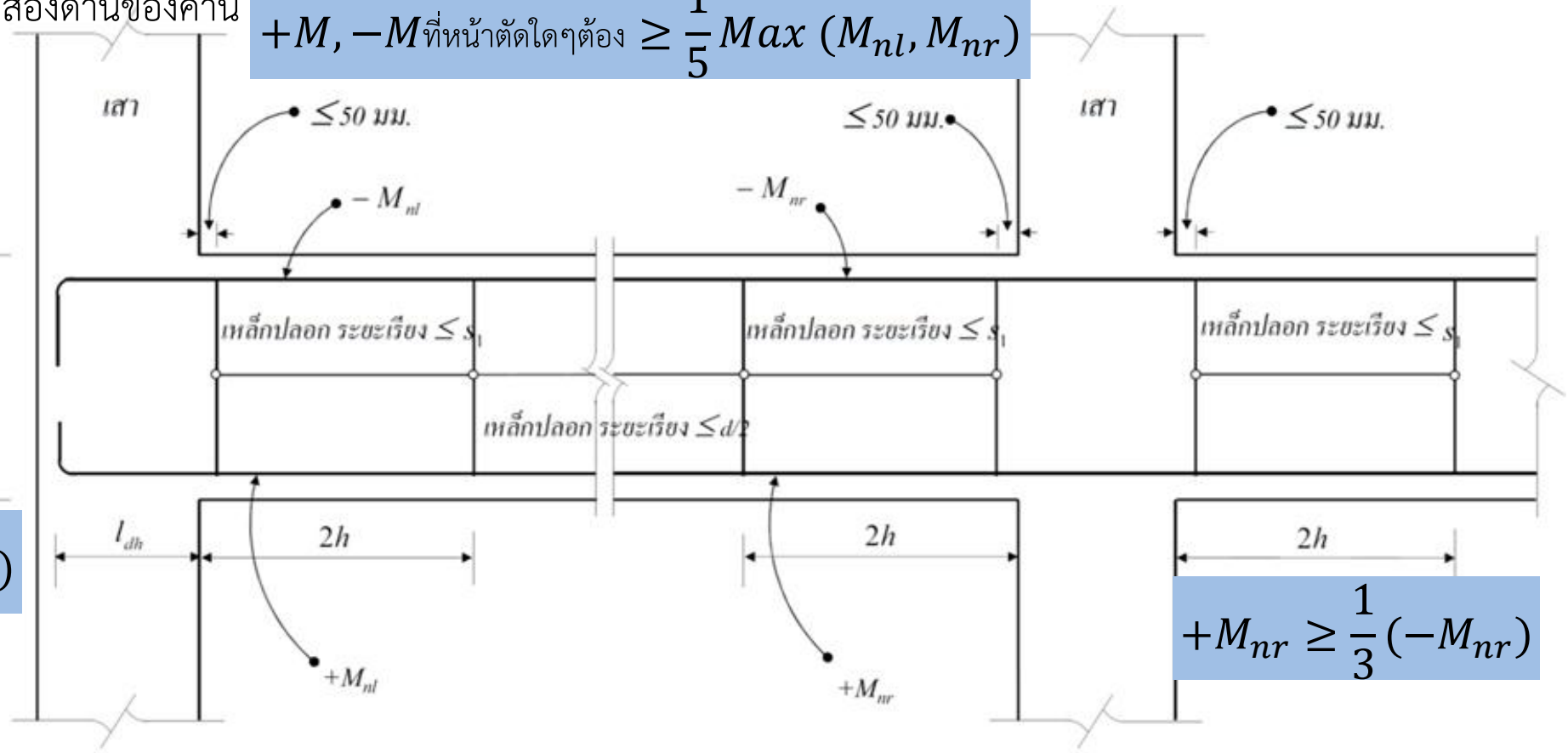
คาน : คือ องค์อาคารที่รับแรงดัดแต่มีแรงตามแนวแกนที่ปรับค่า (Factored Axial Load) แล้วไม่มากกว่า $0.1A_g f'_c$

เสา : คือ องค์อาคารที่มีแรงตามแนวแกนซึ่งปรับค่าแล้วมากกว่า $0.1A_g f'_c$

➢ รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

การออกแบบเหล็กเสริมในคาน : มีข้อกำหนดดังนี้

1. กำลังต้านทานโมเมนต์บวกที่ขอบของข้อต่อจะต้องไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 ของกำลังต้านทานโมเมนต์ลบที่ขอบของข้อต่อเดียวกัน นอกจากนี้ กำลังต้านโมเมนต์บวกและ โมเมนต์ลบที่หน้าตัดใด ๆ ตลอดความยาวของคานจะต้องไม่น้อยกว่า 1 ใน 5 ของกำลังต้านทานโมเมนต์สูงสุดที่ขอบของข้อต่อที่ปลายทั้งสองด้านของคาน $+M, -M$ ที่หน้าตัดใดๆต้อง $\geq \frac{1}{5} Max\,(M_{nl}, M_{nr})$



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

$+M_{nr} \geq \frac{1}{3}(-M_{nr})$

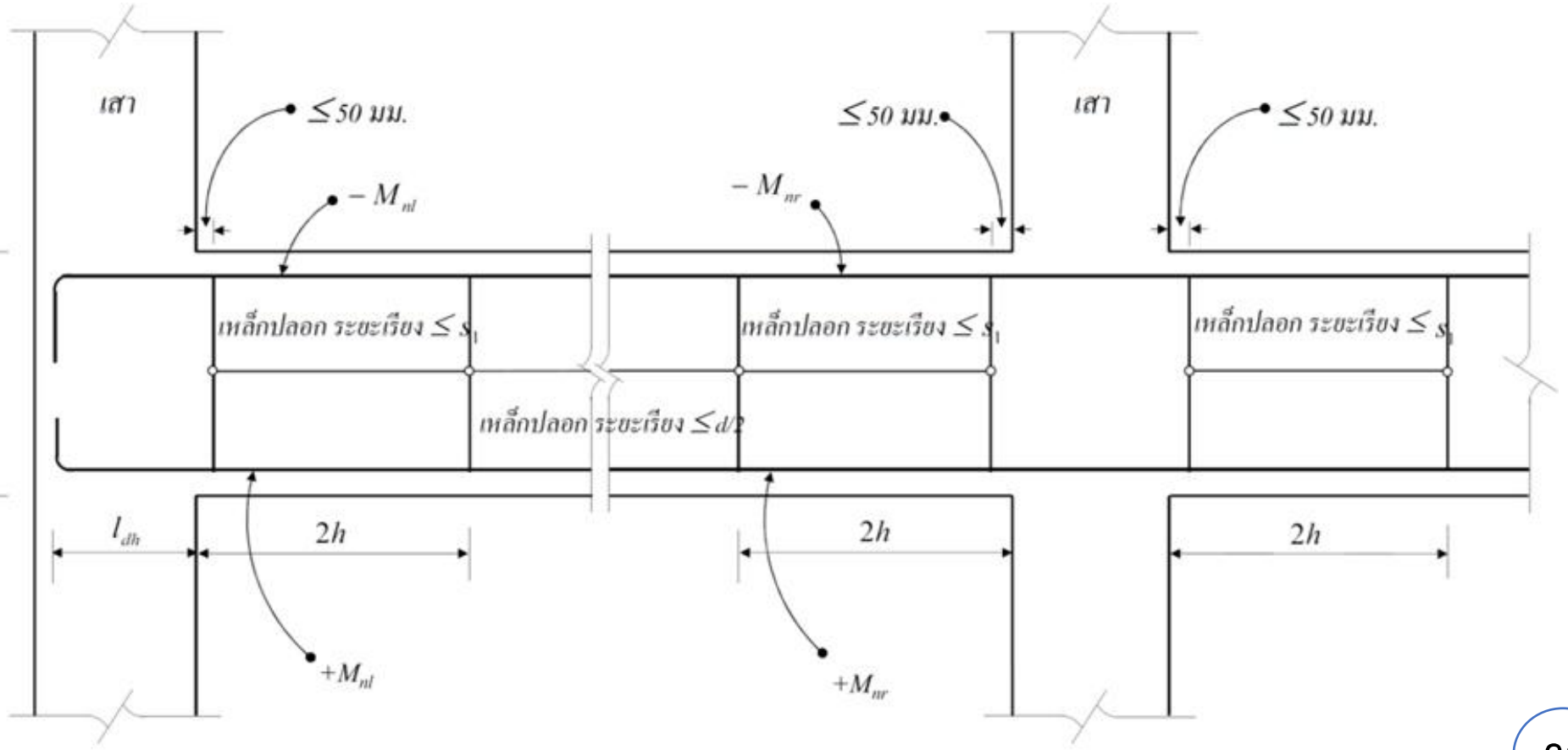
(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

การออกแบบเหล็กเสริมในคาน : มีข้อกำหนดดังนี้

2. ภายในบริเวณปลายคานที่ห่างจากขอบของจุดที่รองรับเป็นระยะ 2 เท่าของความลึกคาน จะต้องเสริมเหล็กปลอกที่มีระยะ ไม่มากกว่าค่าที่น้อยที่สุด

- 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิผล
- 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามแนวยาวที่มีขนาดเล็กสุด
- 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
- 300 มิลลิเมตร



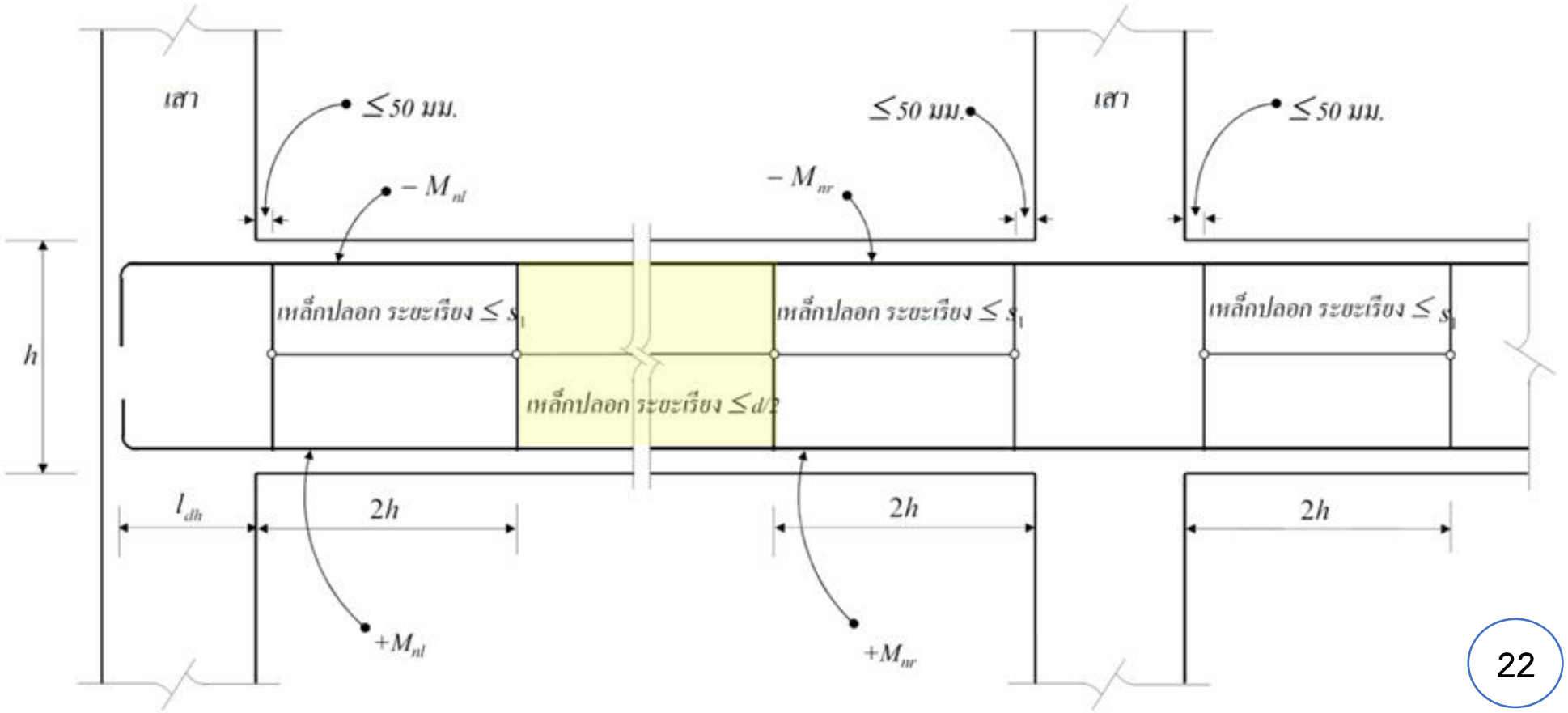
(Ref.: มยผ.1301/1302-61) และเหล็กปลอกแรกจะอยู่ห่างจากขอบของจุดรองรับเป็นระยะไม่มากกว่า 50 มิลลิเมตร

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

การออกแบบเหล็กเสริมในคาน : มีข้อกำหนดดังนี้

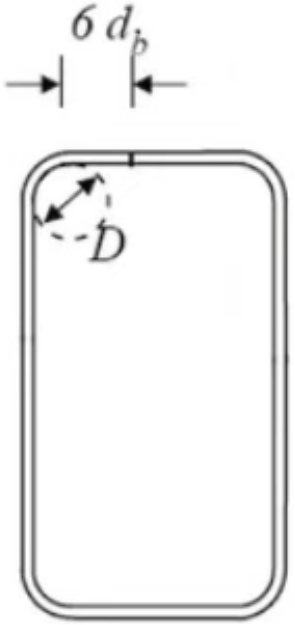
3. ระยะเรียงของเหล็กปลอกนอกเหนือจากข้อ 2 จะต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผล

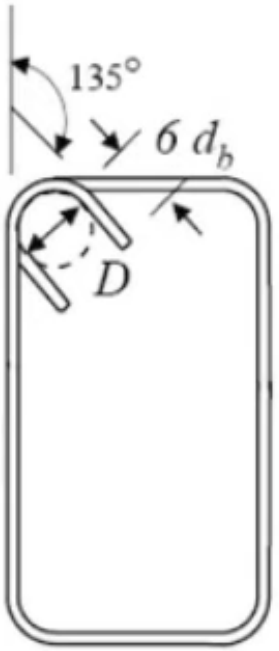
4. ควรหลีกเลี่ยงการทาบเหล็กเสริมตามแนวยาวทั้งบนและล่างภายในระยะ 2 เท่าของความลึกคาน (เมื่อวัดออกจากขอบที่รองรับ)



(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

➢ จะต้องใช้ของอ 90 องศา สำหรับอาคารทั่วไป และ 135 องศา สำหรับอาคารสาธารณะ





(ก) ของอ 90 องศา (สำหรับอาคารทั่วไป)

(ข) ของอ 135 องศา (สำหรับอาคารสาธารณะ)

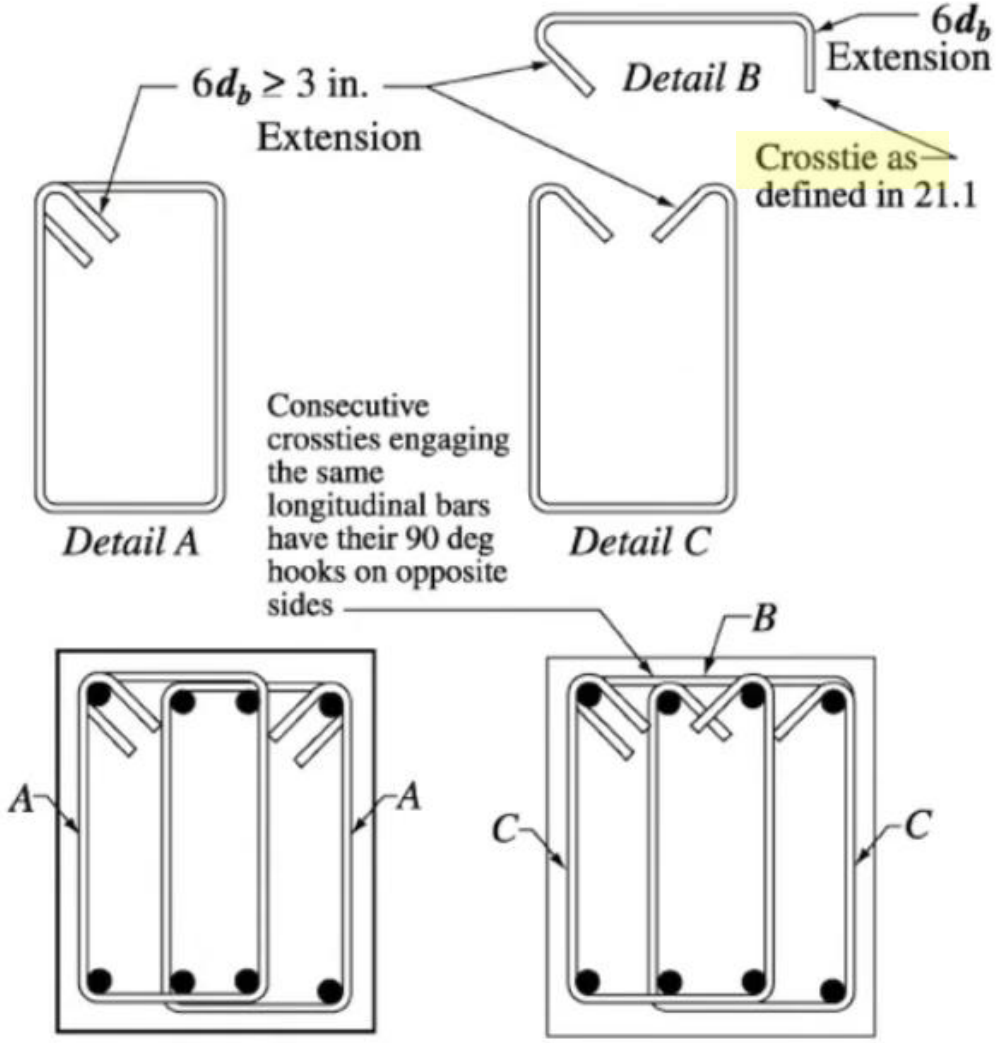
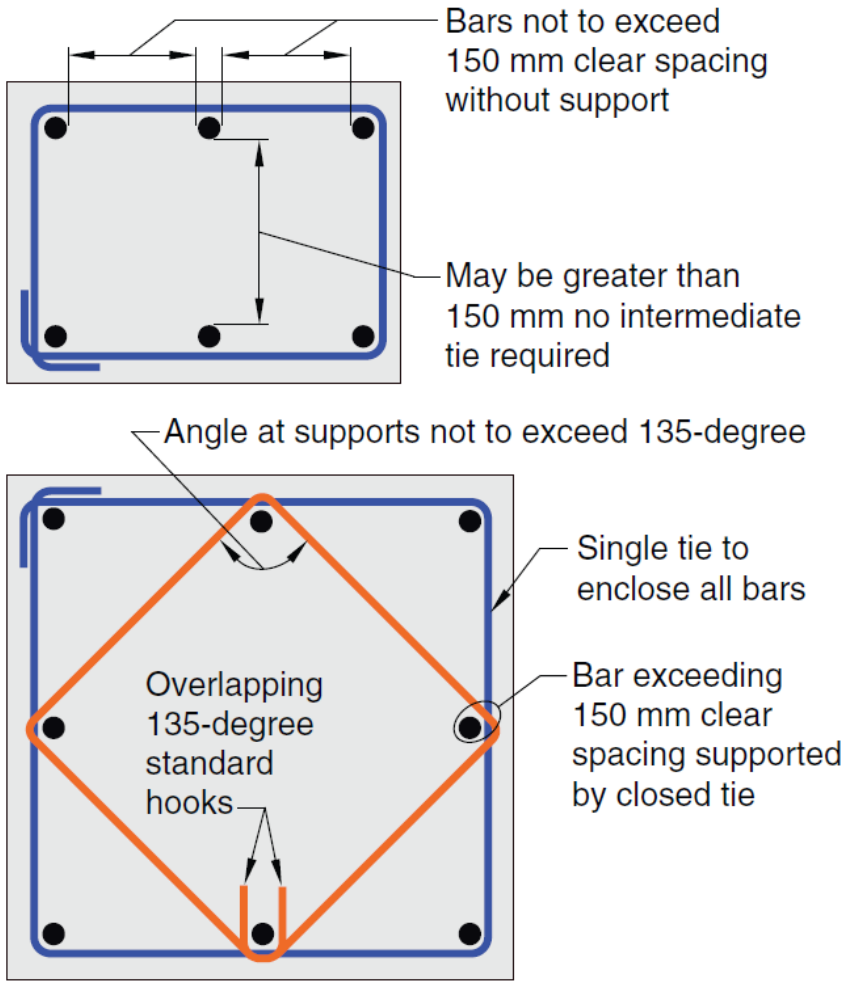
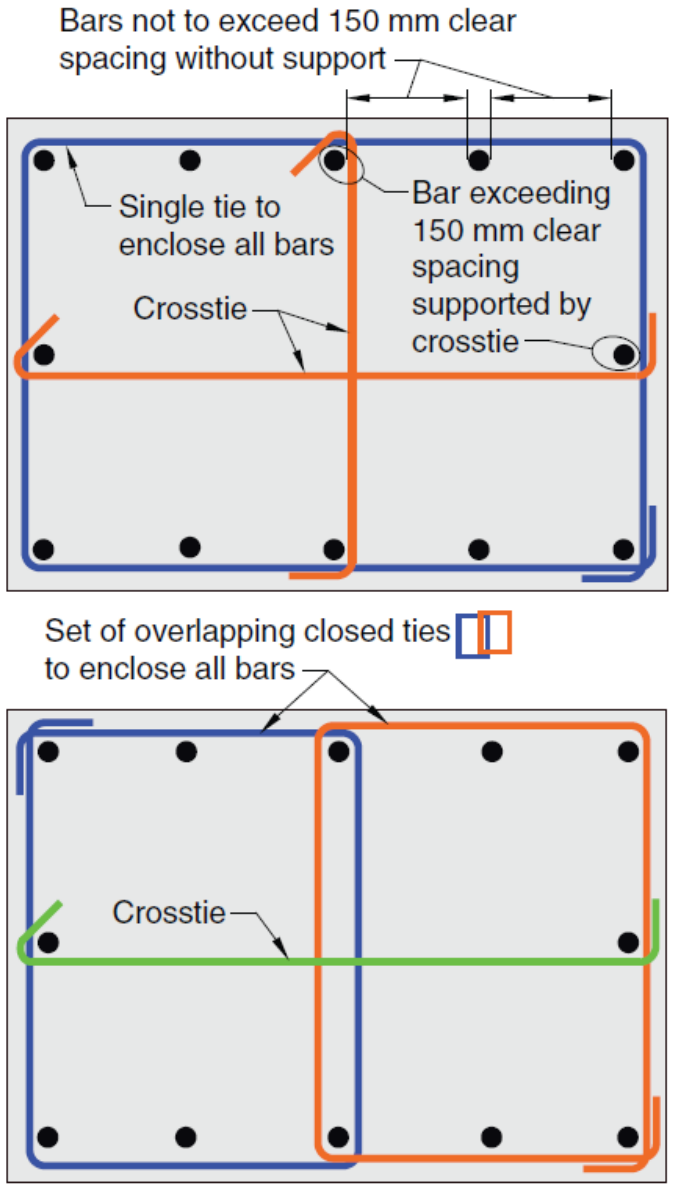


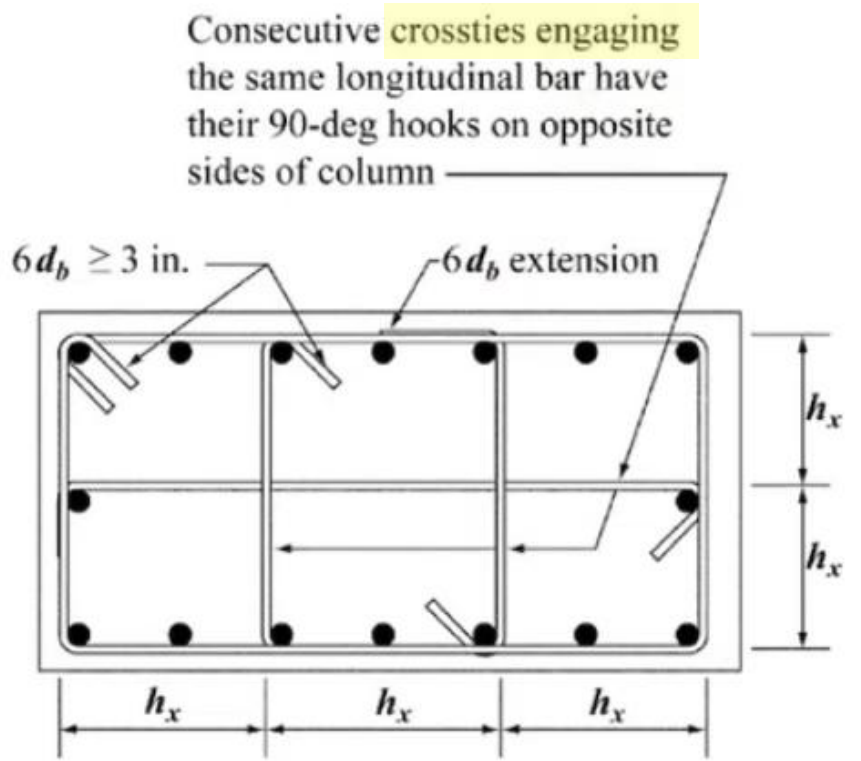
Fig. R21.3.3—Examples of overlapping hoops

(Ref.: มยผ.1301/1302-61, ACI318-19)

➢ เหล็กรูปร่างตะกร้อเพิ่มความโอบรัดปูนได้ดี ควรใช้ cross tie







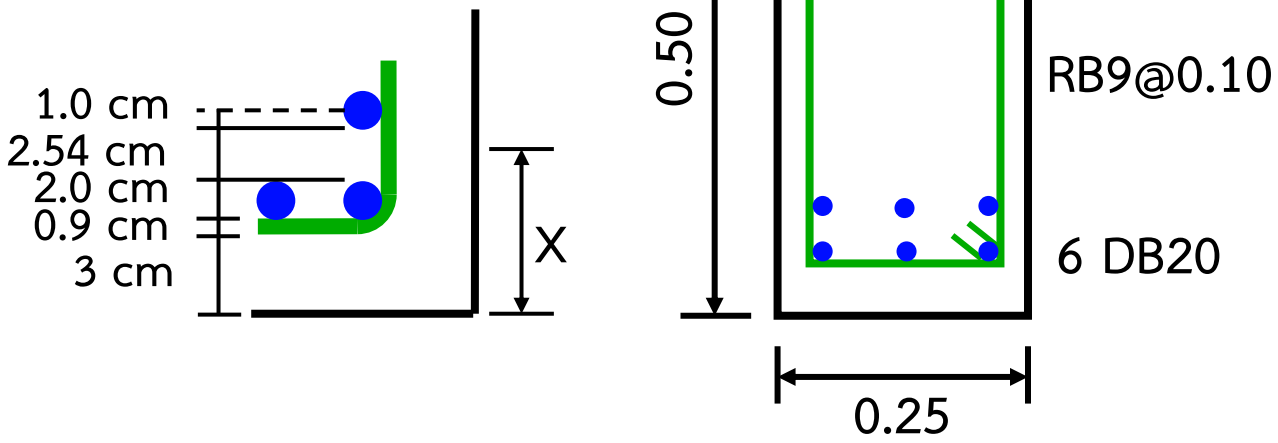
Note: $h_x \leq 14$ in.
h_x = maximum value of h_x on all column faces

Fig. R21.4.4—Example of transverse reinforcement in columns

(Ref.: ACI318-19)

การออกแบบคาน

ออกแบบคานชั้น 2 จาก Case 3 ให้ค่า Negative Moment สูงสุดมีค่าเท่ากับ 24.2 ตัน-ม. ที่ขอบเสาด้านใน



กำหนดให้

f'_c = 240 ksc.

f_y = 4,000 ksc.

Covering 3 cm.

ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมหลัก 2.54 cm.

d' = 3.0+0.9+1.0 = 4.9 cm.

d = H - X

= 50-7.17 = 42.83 cm.

$$X = \frac{3(3 + 0.9 + 1.0) + 3(3 + 0.9 + 2.0 + 2.54 + 1.0)}{6} = 7.17\text{cm.}$$

การออกแบบคาน

1. ตรวจสอบว่าเหล็กรับแรงอัดครากหรือไม่

$$\rho - \rho' \geq \frac{0.85\beta_1 f_c' d'}{f_y d}\left(\frac{6120}{6120 - f_y}\right)$$

$$\frac{0.85\beta_1 f_c' d'}{f_y d}\left(\frac{6120}{6120 - f_y}\right) = \frac{0.85 \times 0.85 \times 240 \times 4.9}{4000 \times 42.83}\left(\frac{6120}{6120 - 4000}\right) = 0.014$$

$$A_s - A_s' = 18.85 - 9.42 = 9.42 cm^2$$

$$\rho - \rho' = \frac{9.42}{25 \times 42.83} = 0.009 < 0.014$$

Comp steel not yield $\therefore f'_s < f_y$

2. คำนวณหน่วยแรงในเหล็กรับแรงอัด

สมดุลของแรง $A_s f_y = 0.85 f_c' ba + A_s' f_s'$

แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ $f_s' = E_s \varepsilon_s' = 6120\left(\frac{c - d'}{c}\right)$

$$R = \frac{6120A_s' - A_s f_y}{1.7 f_c' \beta_1 b} = \frac{6.12 \times 9.42 - 18.85 \times 4.0}{1.7 \times 0.24 \times 0.85 \times 25} = -2.047$$

$$Q = \frac{6120A_s' d'}{0.85 f_c' \beta_1 b} = \frac{6.12 \times 9.42 \times 4.90}{0.85 \times 0.24 \times 0.85 \times 25} = 65.16$$

$$c = -R \pm \sqrt{R^2 + Q} = 2.047 \pm \sqrt{2.047^2 + 65.16} = 10.37cm$$

$$a = \beta_1 c = 0.85 \times 10.37 = 8.82cm$$

$$f_s' = 6120\left(\frac{10.37 - 4.90}{10.37}\right) = 3{,}228ksc$$

3. Maximum tension steel (ACI318-19)

$$\bar{\rho}_{max} = \frac{0.85 f_c'}{f_y} \beta_1 \left(\frac{3}{8}\right) = \frac{0.85 \times 240}{4{,}000} 0.85 \left(\frac{3}{8}\right) = 0.0163$$

$$\rho_{max} = \bar{\rho}_{max} + \rho' \frac{f_s'}{f_y} = 0.0163 + 0.009 \frac{3{,}228}{4{,}000} = 0.0234 > [\rho = 0.018]$$

4. Nominal Moment Strength

$$M_n = \left(A_s f_y - A_s' f_s'\right)(d - 0.5a) + A_s' f_s' (d - d')$$

= (18.85x4.0-9.42x3,228)(42.83-0.5x8.82)+9.42x3,228x(42.83-4.9)

= 28,819 kg-m. = 28.81 t-m.

ϕMn = 0.9x28.81 = 25.93 t-m. > 24.2 t-m. OK

- เป็นการออกแบบเหล็กปลอกต้านทานแรงเฉือน
- คานชั้น 2 จาก Case 3 ให้ค่าแรงเฉือนสูงสุดเท่ากับ 16.75 ตัน (ปลายคาน)

1. คำนวณกำลังรับแรงเฉือนคอนกรีต

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c'}bd = 0.53\sqrt{240} \times 25 \times \frac{42.83}{1000} = 8.79ton$$

2. คำนวณกำลังเฉือนที่ต้องการจากเหล็กปลอก

$$V_s = {}^{V_u}/_{\emptyset} - V_c = 16.75/0.85 - 8.79 = 10.92ton$$

3. คำนวณกำลังเฉือน Vs มากที่สุดว่าหน้าตัดมีขนาดเพียงพอหรือไม่

$$V_{s,max} = 2.1\sqrt{f_c'}bd = 2.1\sqrt{240} \times 25 \times 42.83/1000 = 34.83ton$$

$V_s < V_{s,max}$ (หน้าตัดมีขนาดที่เพียงพอ)

3. คำนวณกำลังเฉือน V_s มากที่สุดว่าหน้าตัดมีขนาดเพียงพอหรือไม่ (ต่อ)

$$1.1\sqrt{f_c'}bd = 1.1\sqrt{240} \times 25 \times 42.83/1000 = 18.24ton$$

$$V_s \leq 1.1\sqrt{f_c'}bd \therefore S_{max} = \frac{d}{2} = \frac{42.83}{2} = 21.41cm < 60cm$$

4. คำนวณระยะห่างระหว่างเหล็กปลอกปลายคาน

เหล็กปลอก RB9 ปลอกปิด (สองขา) Av = 2(0.64) =1.27cm^2

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{1.27 \times 2.4 \times 42.83}{10.92} = 11.98cm$$

5. รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดในช่วงห่างจากจุดรองรับจนถึง 1 เมตร (2h)

$$S = min\begin{cases} \frac{d}{4} = \frac{42.83}{4} = 10.70\ cm \\ 8Db = 8 \times 2.0 = 16cm \\ 24Rb = 24 \times 0.9 = 21.6cm \\ 30cm \end{cases}$$

ดังนั้น RB9@0.10m. งอ 135 องศา

6. คำนวณระยะห่างระหว่างเหล็กปลอกกลางคานรับแรงเฉือน 12.6 ton (ที่ระยะห่างจากจุดรองรับ 1 เมตร)

$$V_s = {}^{V_u}/_{\emptyset} - V_c = 12.6/0.85 - 8.79 = 6.03ton$$

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{1.27 \times 2.4 \times 42.83}{6.03} = 21.64cm$$

$$\frac{d}{2} = \frac{42.83}{2} = 21.41cm$$

ดังนั้น RB9@0.20m. งอ 135 องศา

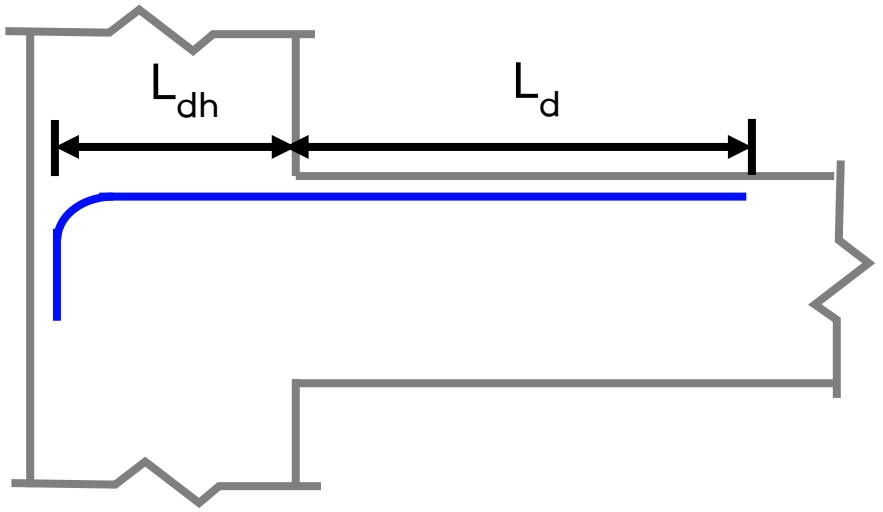
6. ระยะฝัง Developed

ระยะฝัง l_d

สูตรคำนวณความยาวฝังยึดอย่างง่ายกรณี DB20 and smaller

$$l_d = \left(\frac{0.15 f_y \Psi_t \Psi_e}{\sqrt{f_c'}}\right) d_b$$

$$l_d = \frac{(0.15 \times 4000 \times 1 \times 1)}{\sqrt{240}} = 38.7 d_b = 77.4 cm$$



ระยะฝังทั่วไปสำหรับเหล็กข้องอ 90 องศา เหล็ก DB10-DB25

$12d_b = 12x2.0 = 24$ cm

ระยะฝัง l_{dh} ต้องไม่น้อยกว่า

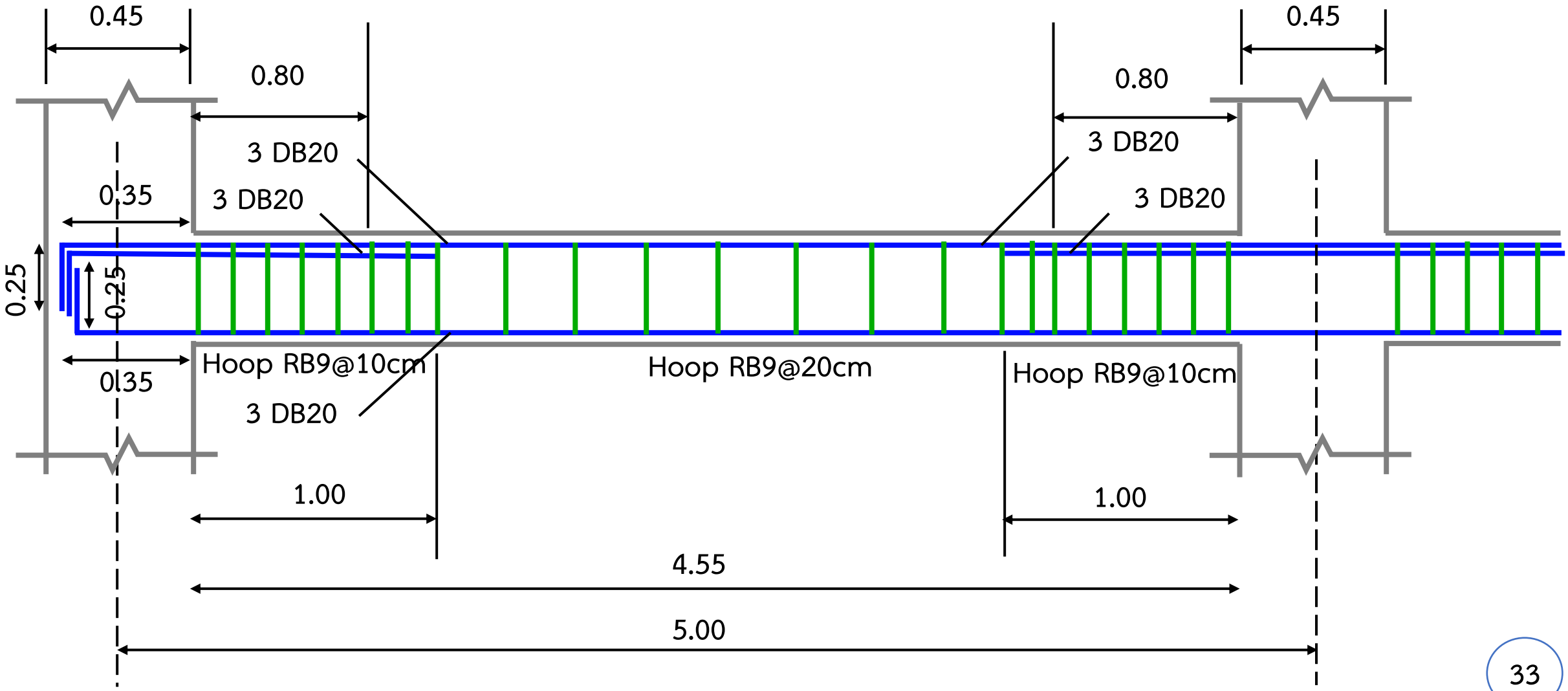
$$l_{dh} = \max\left(\frac{f_y d_b}{17\sqrt{fc'}}, 8d_b, 15cm\right)$$

35 cm

$$l_{dh} = \frac{4000(2)}{17\sqrt{240}} = 30.37 cm$$

การออกแบบคาน

รายละเอียดเหล็กเสริมในคาน



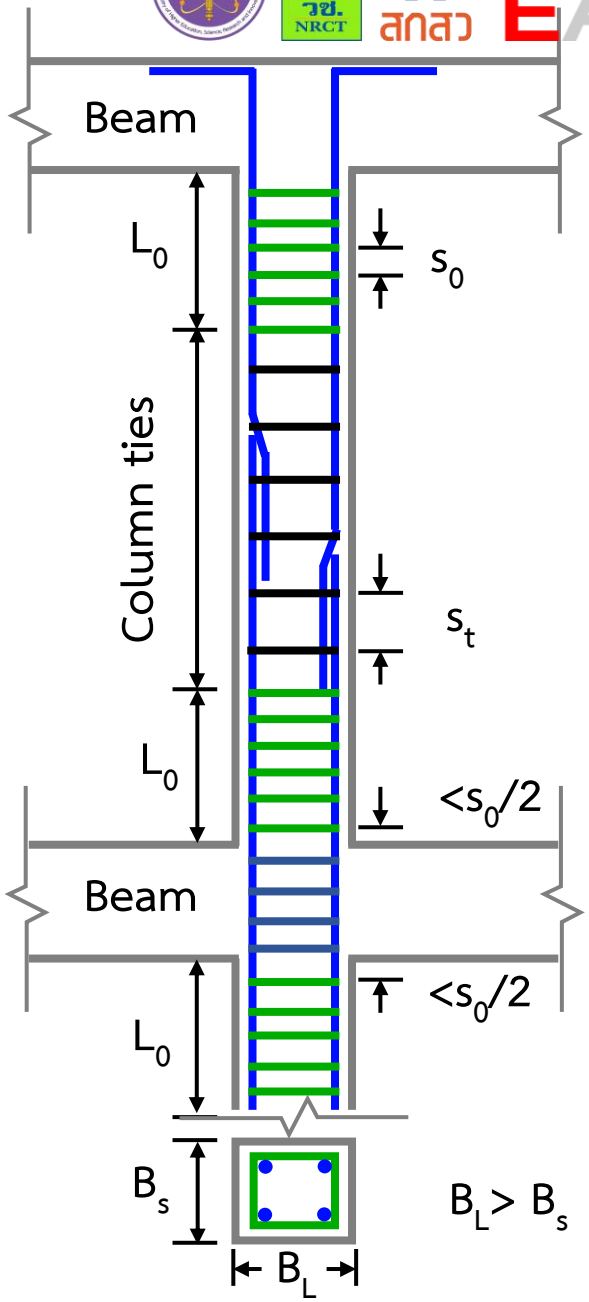
การออกแบบเสา

➢ รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

การออกแบบเหล็กเสริมในเสา : มีข้อกำหนดดังนี้

1. กรณีเหล็กปลอกเดี่ยวจะเสริมไม่มากกว่าระยะ S_0 ตลอดความยาว L_0 จากขอบของข้อต่อเสา โดยที่ระยะ S_0 จะต้องไม่มากไปกว่า
   - 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามแนวยาวที่มีขนาดเล็กสุด
   - 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
   - ครึ่งหนึ่งของมิติที่เล็กสุดของหน้าตัดเสา
   - 300 มิลลิเมตร

และเหล็กปลอกแรกจะต้องอยู่ห่างจากขอบของข้อต่อเป็นระยะไม่มากกว่า $0.5S_0$



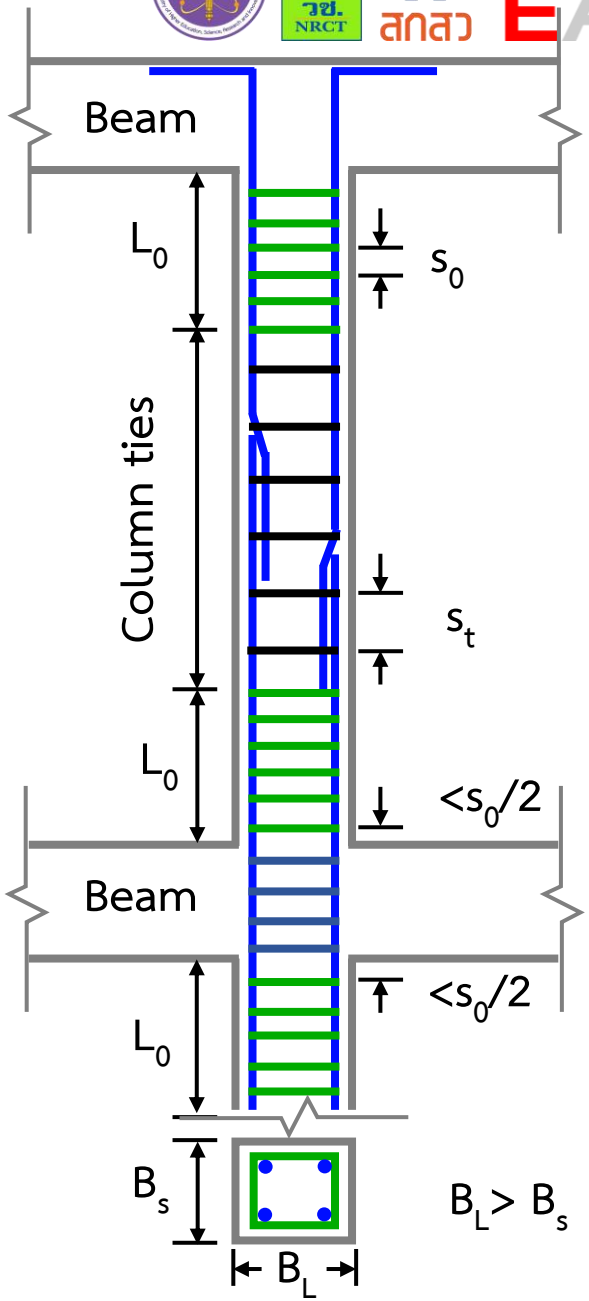
(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

การออกแบบเสา

➢ รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

การออกแบบเหล็กเสริมในเสา : มีข้อกำหนดดังนี้

2. สำหรับความยาว L_0 ในข้อ 1 จะต้องไม่น้อยไปกว่า
   - 1 ใน 6 ของความสูงจากขอบถึงขอบเสา
   - มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา
   - 500 มิลลิเมตร
3. เหล็กปลอกเกลียว ให้ใช้ตามข้อแนะนำในมาตรฐาน วสท.
4. ยกเว้นในข้อต่อระหว่างเสาคานที่ไม่ได้เป็นส่วนหลักของระบบรับแรงแผ่นดินไหวและมีการยึดโยงโคนเสาทั้ง 4 ด้านด้วยพื้นหรือคานที่มีความลึกเท่า กันตลอด ข้อต่อต้องเสริมเหล็กไม่ต่ำกว่า $A_V = 3.5\, c_1 s/f_y$



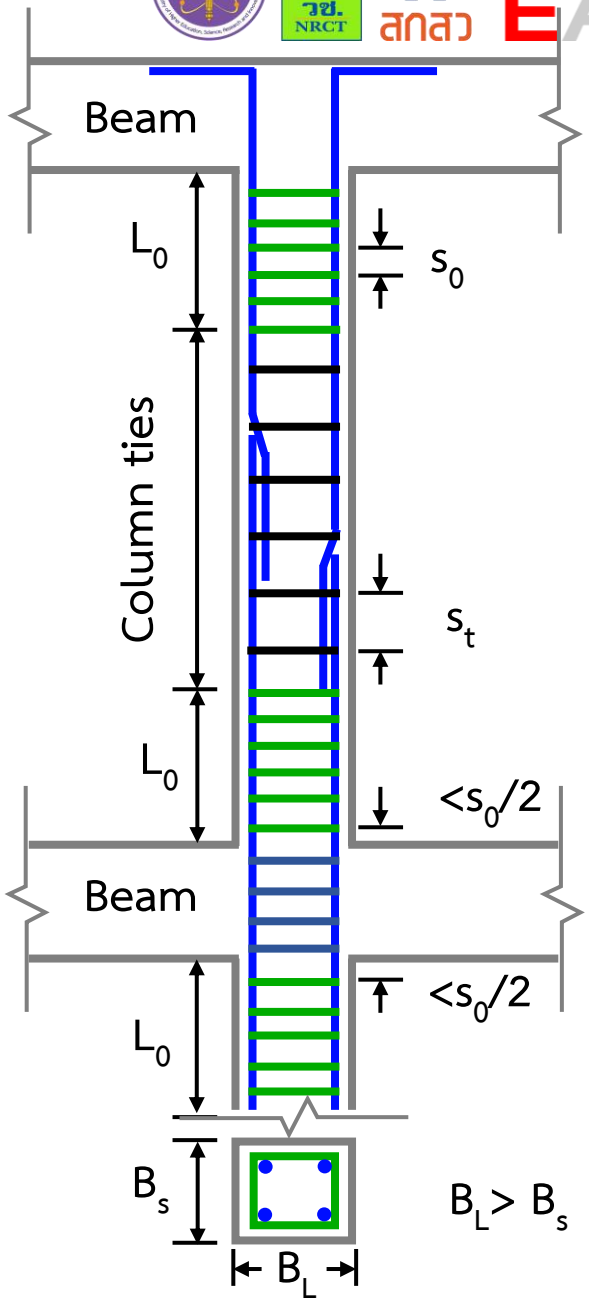
(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

การออกแบบเสา

➢ รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

การออกแบบเหล็กเสริมในเสา : มีข้อกำหนดดังนี้

5. ระยะเรียงของเหล็กปลอกเดี่ยวในส่วนที่นอกเหนือจากข้อ 1 จะต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของระยะ S_0
6. พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมตามยาวของเสาต้องไม่น้อยกว่า 1% และไม่มากกว่า 6% ของพื้นที่หน้าตัดเสาทั้งหมด
7. การต่อทาบเหล็กเสริมเสาให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา
8. รอยต่อของเหล็กเสริมแต่ละเส้นที่อยู่ข้างเคียง ต้องไม่อยู่ในแนวเดียวกัน และควรเหลื่อมกันประมาณ 1.00 เมตร

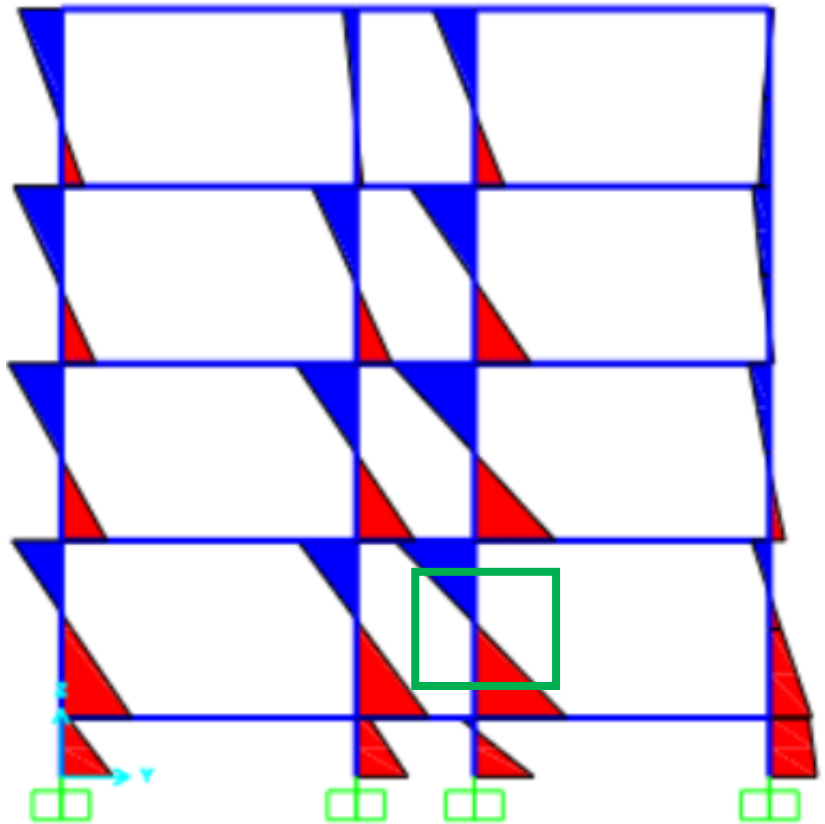


(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

การออกแบบเสา

จากผลการวิเคราะห์พบว่าเสาต้นใน (Interior column) ที่ชั้น 1 ได้รับผลกระทบสูงสุด

ให้ค่าแรงอัดและโมเมนต์ดัดประลัยในเสาสูงสุด เท่ากับ 76 ตัน และ 15.5 ตัน-ม. ตามลำดับ



เมื่อตรวจสอบกับเงื่อนไข จะได้

$0.10A_g f'_c$ = 0.10 x 40 x 45 x 240

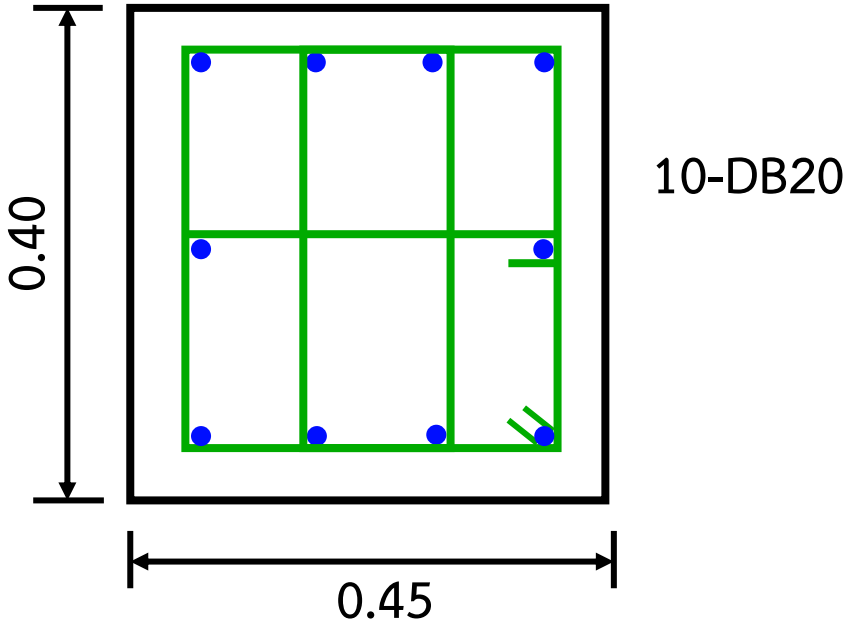
= 43,200 กก.

การออกแบบเสา

$P_U > 0.10 A_g f'_c$ จัดเป็น "เสา (Column)"

สมมติ เสาหน้าตัดขนาด 40x45 เสริมเหล็ก 10-DB20
จาก มยผ.1301/1302-6 พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมตามยาวของเสา
ต้องไม่น้อยกว่า 1% และ ไม่มากกว่า 6% ของพื้นที่หน้าตัดเสาทั้งหมด

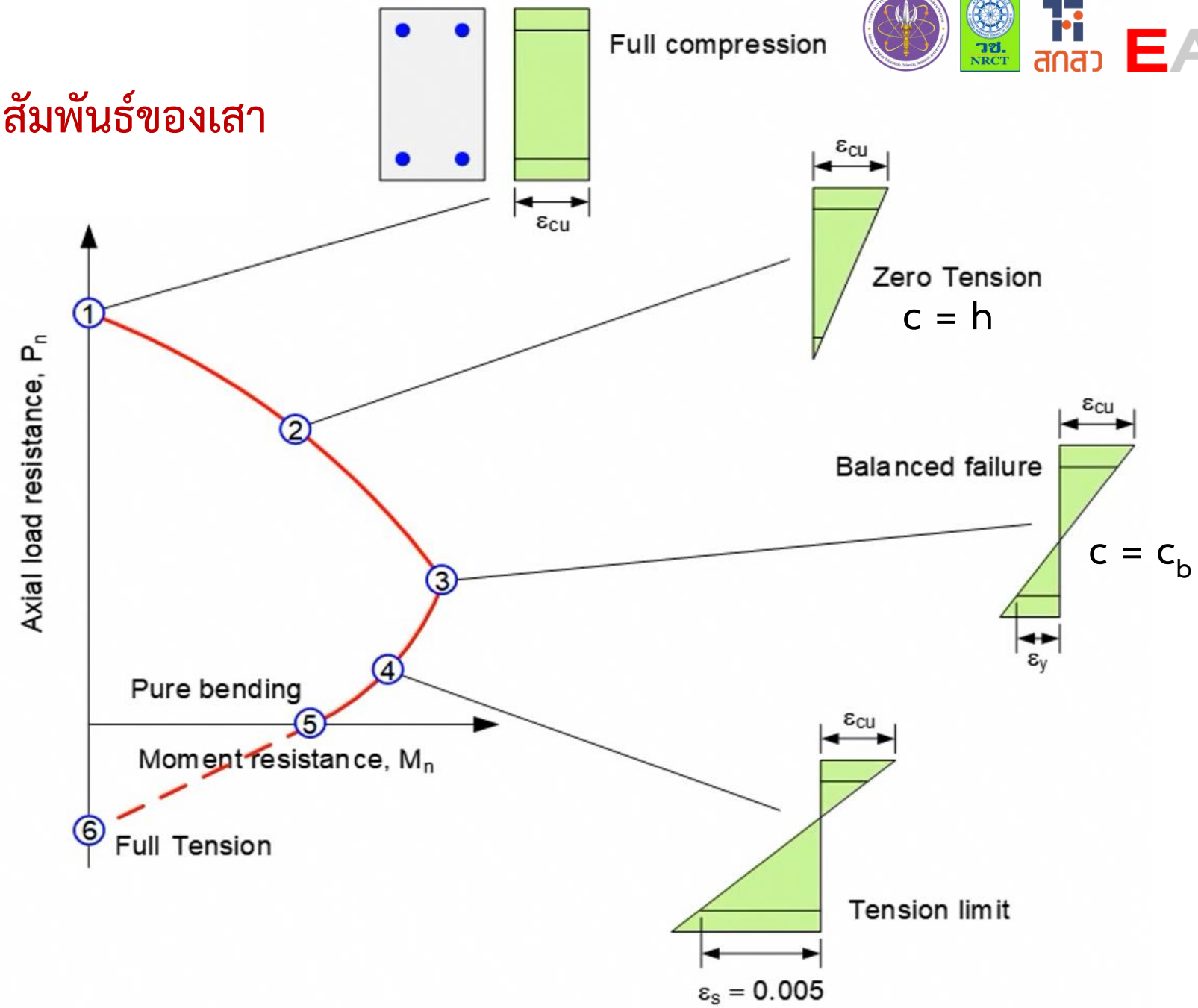
$$\rho_{st} = \frac{A_{st}}{A_g} = \frac{10 \times 3.14}{40 \times 45} = 0.017$$



เท่ากับ 1.7% ซึ่งมากกว่า 1.0% และน้อยกว่า 6.0% OK

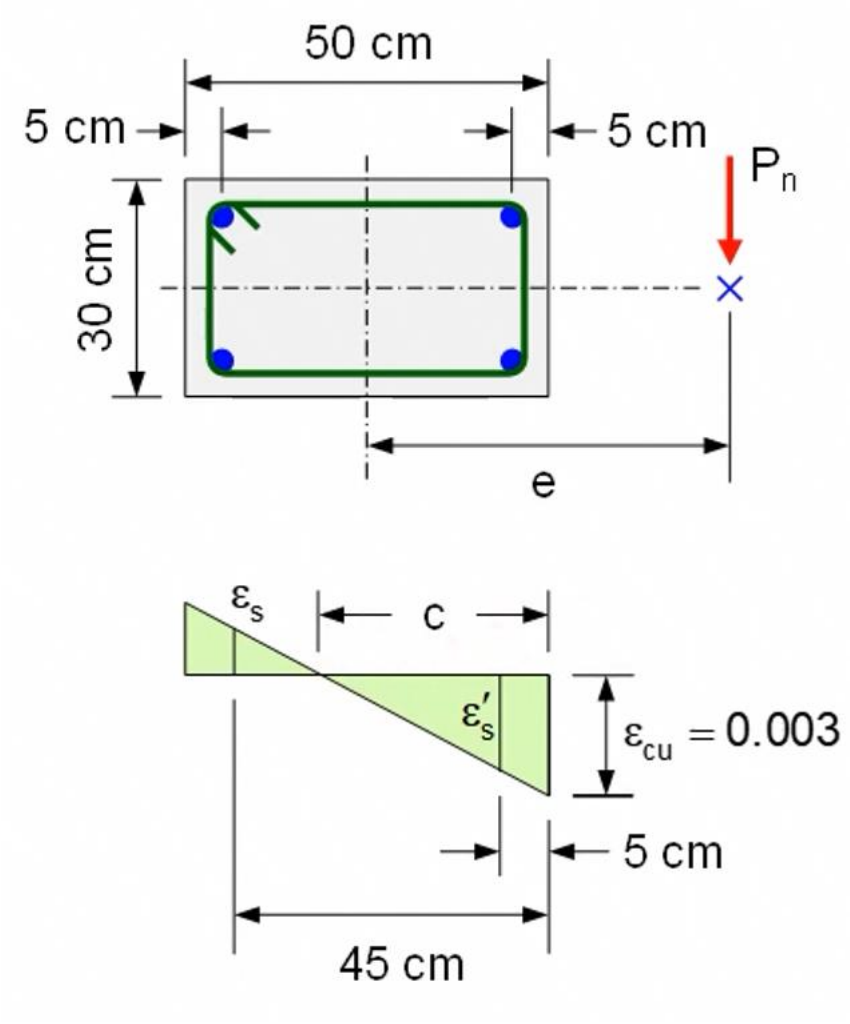
การออกแบบเสา

➢ จุดสำคัญบนแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา



(Ref.: มงคล จิรวัชรเดช, 2014)

ตัวอย่างแผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา



สมมติ เสาหน้าตัด 30x50 ซม. เสริมเหล็ก 4-DB28 ที่แต่ละมุม ดังรูป โดยมีกำลังรับแรงอัดในคอนกรีต f'_c = 240 ksc และกำลังครากของเหล็ก f_y = 4000 ksc

วิธีทำ

จุดที่ 1 : full compression เกิดขึ้นเมื่อ e=0 และ Mn=0

$$P_1 = 0.85 f'_c bh + (A_s + A'_s) f_y$$

$$P_1 = 0.85(0.24)(30)(50) + 4(6.16)(4.0) = 404.6 \text{ ton}.$$

$$\therefore M_1 = 0, P_1 = 404.6 ton.$$

จุดที่ 6 : full Tension

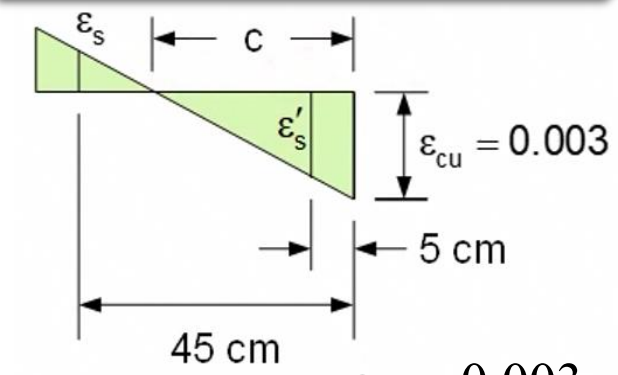
$$P_6 = A_s f_y$$

$$P_6 = 4(6.16)(4.0) = 98.6 \text{ ton}.$$

$$\therefore M_6 = 0, P_6 = -98.6 ton.$$

(Ref.: มงคล จิรวัชรเดช, 2014)

การออกแบบเสา



$$\varepsilon_{cu} = 0.003$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{4000}{2.04\times10^6} = 0.002$$

$$c_b = \frac{6120d}{f_y + 6120} = \frac{6120\times45}{4000+6120} = 27.2cm$$

$$a_b = \beta_1 c_b = 0.85\times27.2 = 23.1cm$$

$$f_s = f_y = 4000ksc$$

$$f'_s = 0.003\times2.04\times10^6\left(\frac{27.2-5}{27.2}\right)$$

$$f'_s = 4995ksc > f_y \therefore f'_s = 4000ksc$$

จุดที่ 3 : สภาวะสมดุลการวิบัติ ($c = c_b$)

$$C_C = 0.85(240)(23.1)(30)/1000 = 141.4\,\text{ton}$$

$$T = 2(6.16)(4.0) = 49.28\,\text{ton}$$

$$C_S = 2(6.16)(4.0) = 49.28\,\text{ton}$$

$$P_b = C_C + C_S - T = 141.4 + 49.28 - 49.28 = 141.4ton$$

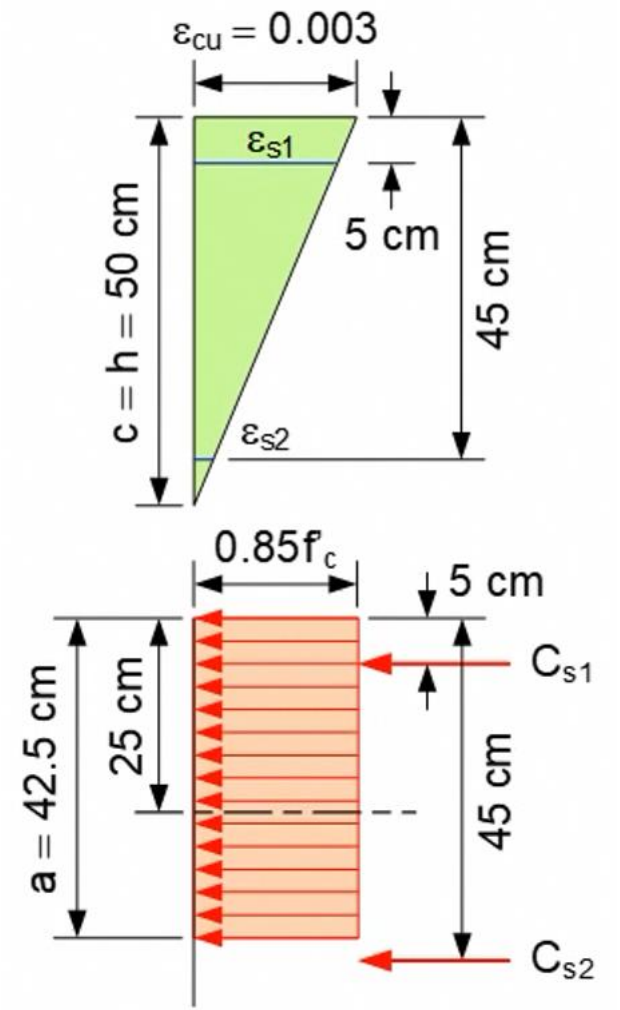
$$M_b = 141.4(25 - 23.1/2) + 49.28(25-5) + 49.28(45-25)$$

$$M_b = 3873ton-cm = 38.7ton-m$$

$$e_b = \frac{M_b}{P_b} = \frac{3873}{141.4} = 27.4cm$$

$$\therefore M_3 = 38.7ton-m, P_3 = 141.4ton.$$

(Ref.: มงคล จิรวัชรเดช, 2014)



จุดที่ 2 : Zero tension (c = h)

$$a = \beta_1 c = 0.85 \times 50 = 42.5cm$$

$$C_C = 0.85(240)(42.5)(30)/1000 = 260.1\,\text{ton}$$

$$f_{s1} = \varepsilon_{s1} E_s = 0.003E_s \frac{45}{50} = 5508 > f_y$$

$$\therefore f_{s1} = f_y = 4000ksc$$

$$f_{s2} = \varepsilon_{s1} E_s = 0.003E_s \frac{5}{50} = 612ksc$$

สมดุลแรงแนวดิ่ง

$$P_2 = C_c + C_{s1} + C_{s2}$$

$$P_2 = 260.1 + 2(6.16)(4.0) + 2(6.16)(0.612)$$

$$P_2 = 316.9ton$$

สมดุลโมเมนต์รอบศูนย์กลางหน้าตัด

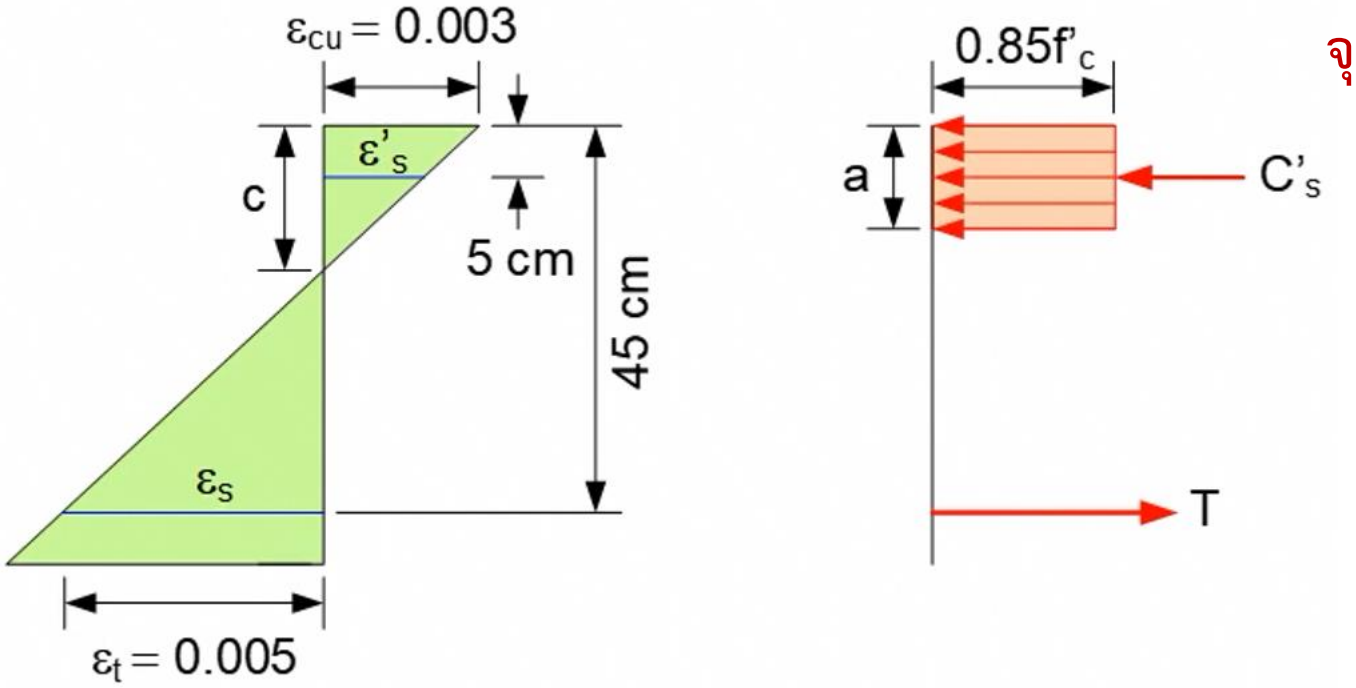
$$M_2 = 260.1(25 - 42.5/2) + 2(6.16)(4.0)(25-5) - 2(6.16)(0.612)(45-25)$$

$$M_2 = 1810ton - cm = 18.1ton - m$$

$$\therefore M_2 = 18.1ton - m, P_2 = 316.9ton.$$

(Ref.: มงคล จิรวัชรเดช, 2014)

การออกแบบเสา



จุดที่ 4: Tensile-Controlled Limit

$$\varepsilon_{cu} = 0.003, \varepsilon_y = 0.005$$

$$c_4 = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} d = \frac{0.003 \times 45}{0.003 + 0.005} = 16.9cm$$

$$a_4 = \beta_1 c_4 = 0.85 \times 16.9 = 14.4cm$$

$$C_C = 0.85(240)(14.4)(30)/1000 = 88.1\,\text{ton}$$

สมดุลโมเมนต์รอบศูนย์กลางหน้าตัด

$$M_4 = 88.1(25 - 14.4/2) + 2(6.16)(4.0)(25-5)$$
$$+2(6.16)(4.0)(45-25)$$
$$M_4 = 3539ton - cm = 35.4ton - m$$
$$\therefore M_4 = 35.4ton - m, P_4 = 88.1ton.$$

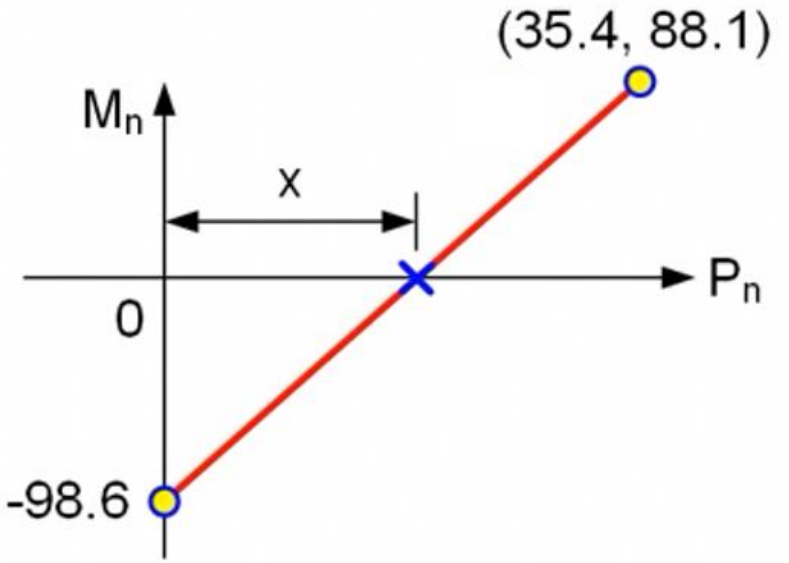
สมดุลแรงแนวดิ่ง

$$f_s = f_y = 4000ksc$$
$$f_s' = 6120(16.9-5)/16.9 = 4309ksc > fy$$
$$\therefore f_s' = f_y = 4000ksc$$
$$P_4 = 88.1 + 2(6.16)(4.0) - 2(6.16)(4.0)$$
$$P_4 = 88.1ton$$

(Ref.: มงคล จิรวัชรเดช, 2014)

จุดที่ 5 : Pure Bending

หาโดยการ interpolate จากจุดที่ 4 และ 6



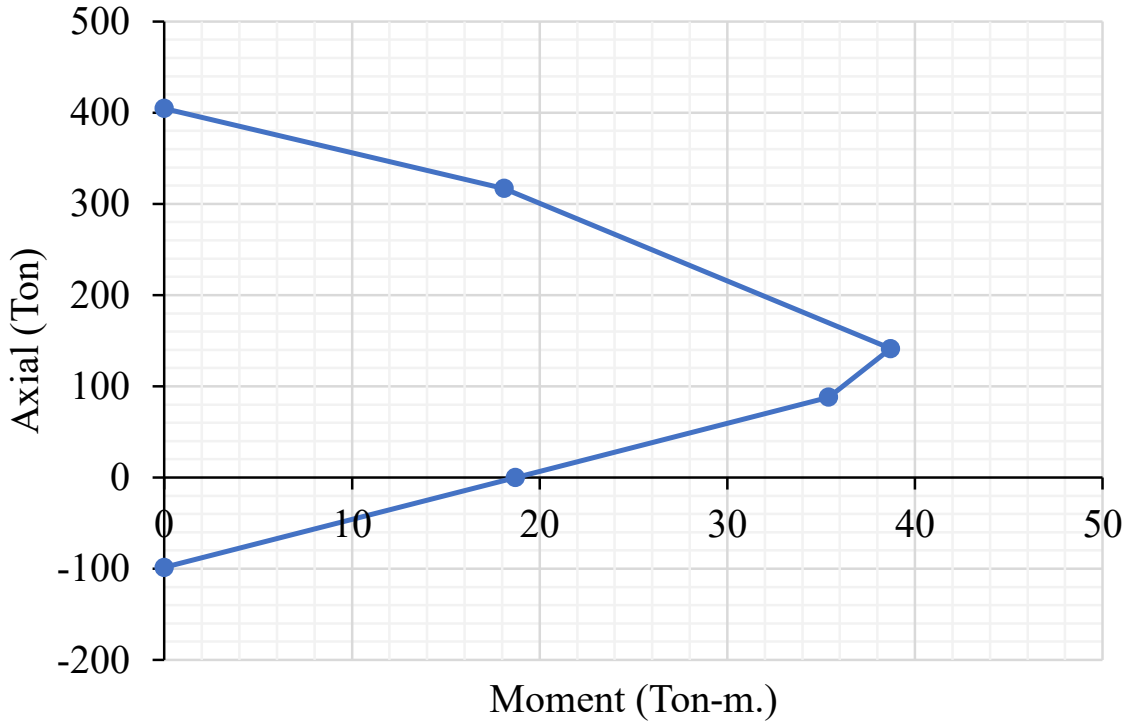
จากกฎของสามเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{x}{98.6} = \frac{35.4}{98.6+88.1}$$

$$x = 18.7$$

$$\therefore M_5 = 18.7 ton-m, P_5 = 0 ton$$

แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ของเสา



(Ref.: มงคล จิรวัชรเดช, 2014)

การออกแบบเสา

ระยะ L_0 ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

H/6 = 2.5/6 = 42 cm

B_L = 45 cm

50 cm

ระยะ S_0 ต้องไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

8DB = 8 x 2 = 16 cm.

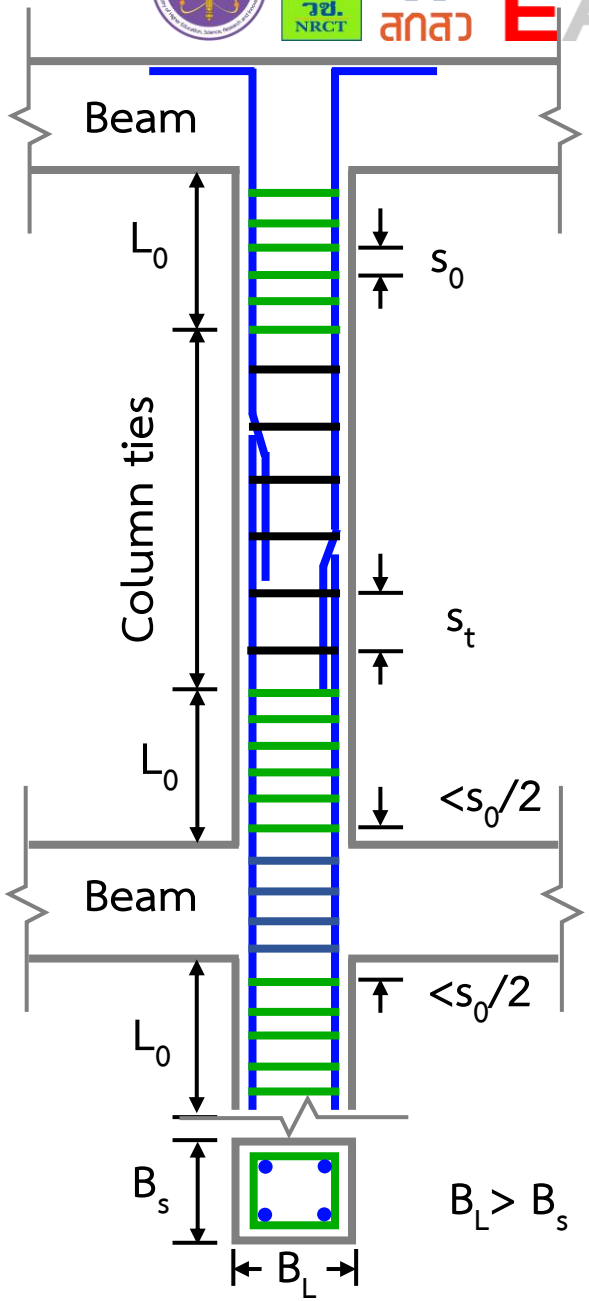
24RB = 24 x 0.9 = 21.6 cm.

Bs/2 = 40/2 = 20 cm.

30 cm

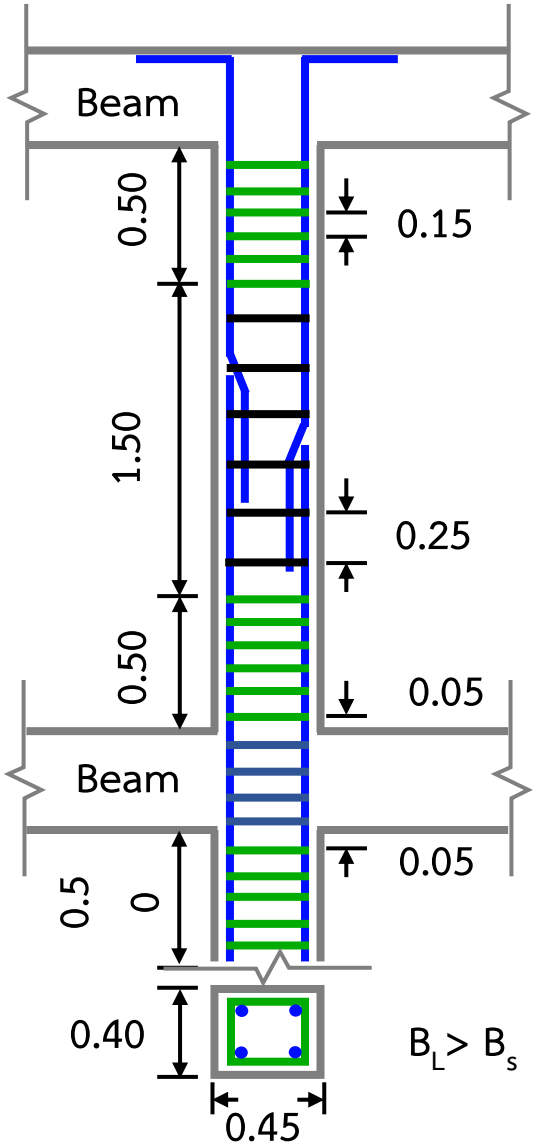
ไม่ต่อทาบเหล็กยืนในระยะ L_0

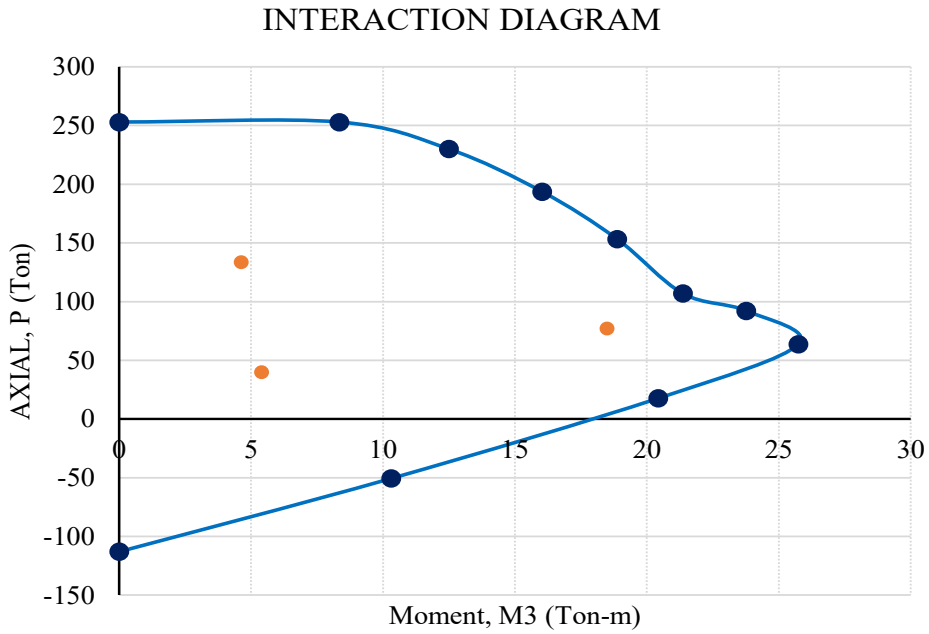
S_t ต้อง < $2S_0$ (2x15 = 30 cm.)

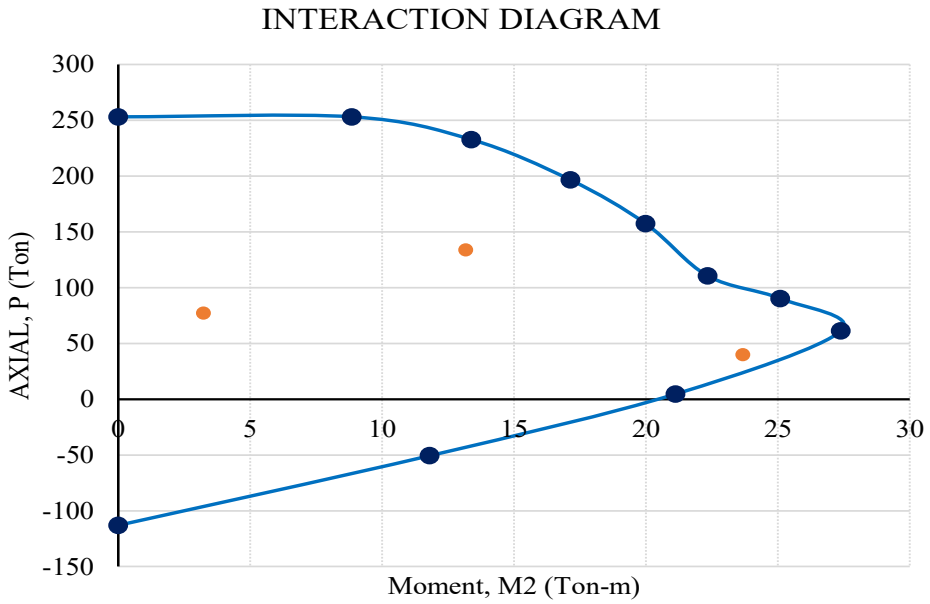


การออกแบบเสา

รายละเอียดเหล็กเสริมในเสา



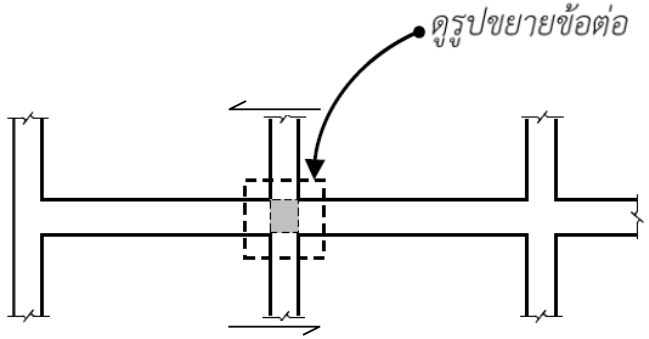




➢ รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

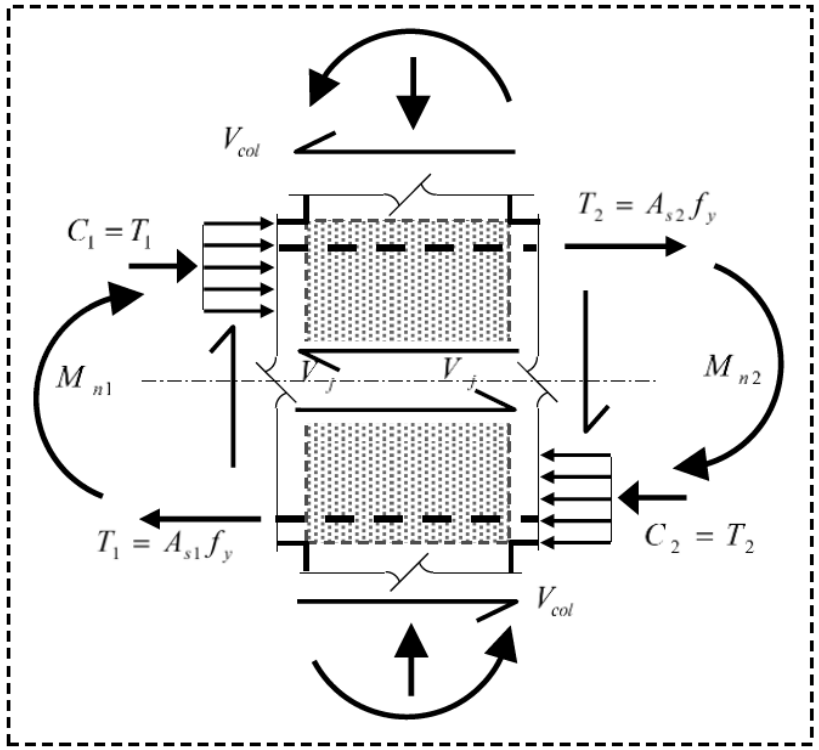
การออกแบบเหล็กเสริมในจุดต่อเสาคาน : มีข้อกำหนดดังนี้

1. แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ (V_j) ต้องไม่มากไปกว่ากำลัง ต้านทานแรงเฉือนที่ออกแบบ (ϕV_n)
2. แรงเฉือน V_j คำนวณจาก



(ก) โครงต้านแรงดัด

$$
\begin{aligned}
V_j &= C_1 + T_2 - V_{col} \\
&= T_1 + T_2 - V_{col} \\
&= \left(A_{s1} f_y + A_{s2} f_y\right) - V_{col}
\end{aligned}
$$



(ข) รูปขยายข้อต่อ

(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

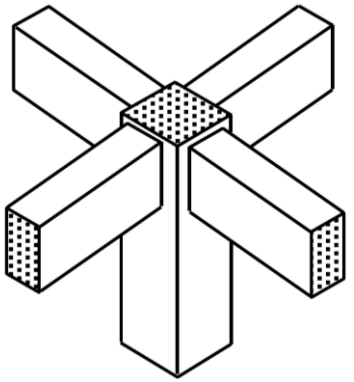
การออกแบบจุดต่อเสาคานภายในตาม มยผ. 1301/1302

➢ รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

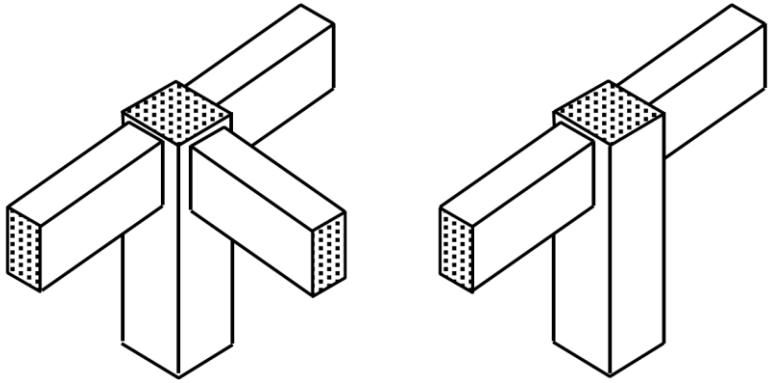
การออกแบบเหล็กเสริมในจุดต่อเสาคาน : มีข้อกำหนดดังนี้

3. กำลังรับแรงเฉือนระบุ มีค่าดังต่อไปนี้

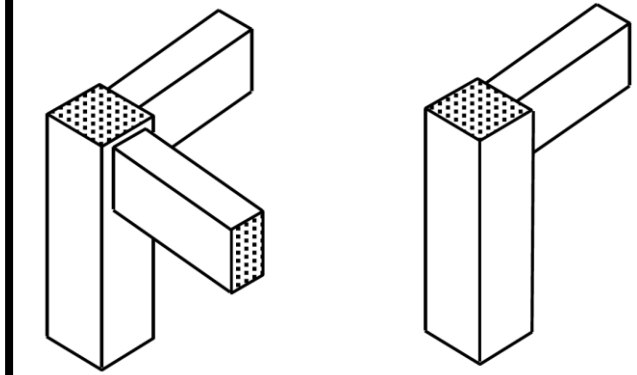
	หน่วย SI	หน่วย metric
• ข้อต่อได้รับการยึดรั้งจากคานทั้ง 4 ด้าน	$V_n = 1.7\sqrt{f'_c}A_j$	$V_n = 5.4\sqrt{f'_c}A_j$
• ข้อต่อได้รับการยึดรั้งจากคานทั้ง 2 หรือ 3 ด้าน	$V_n = 1.25\sqrt{f'_c}A_j$	$V_n = 4.0\sqrt{f'_c}A_j$
• ข้อต่ออื่น ๆ	$V_n = 1.0\sqrt{f'_c}A_j$	$V_n = 3.2\sqrt{f'_c}A_j$



4 ด้าน



2-3 ด้าน



อื่นๆ

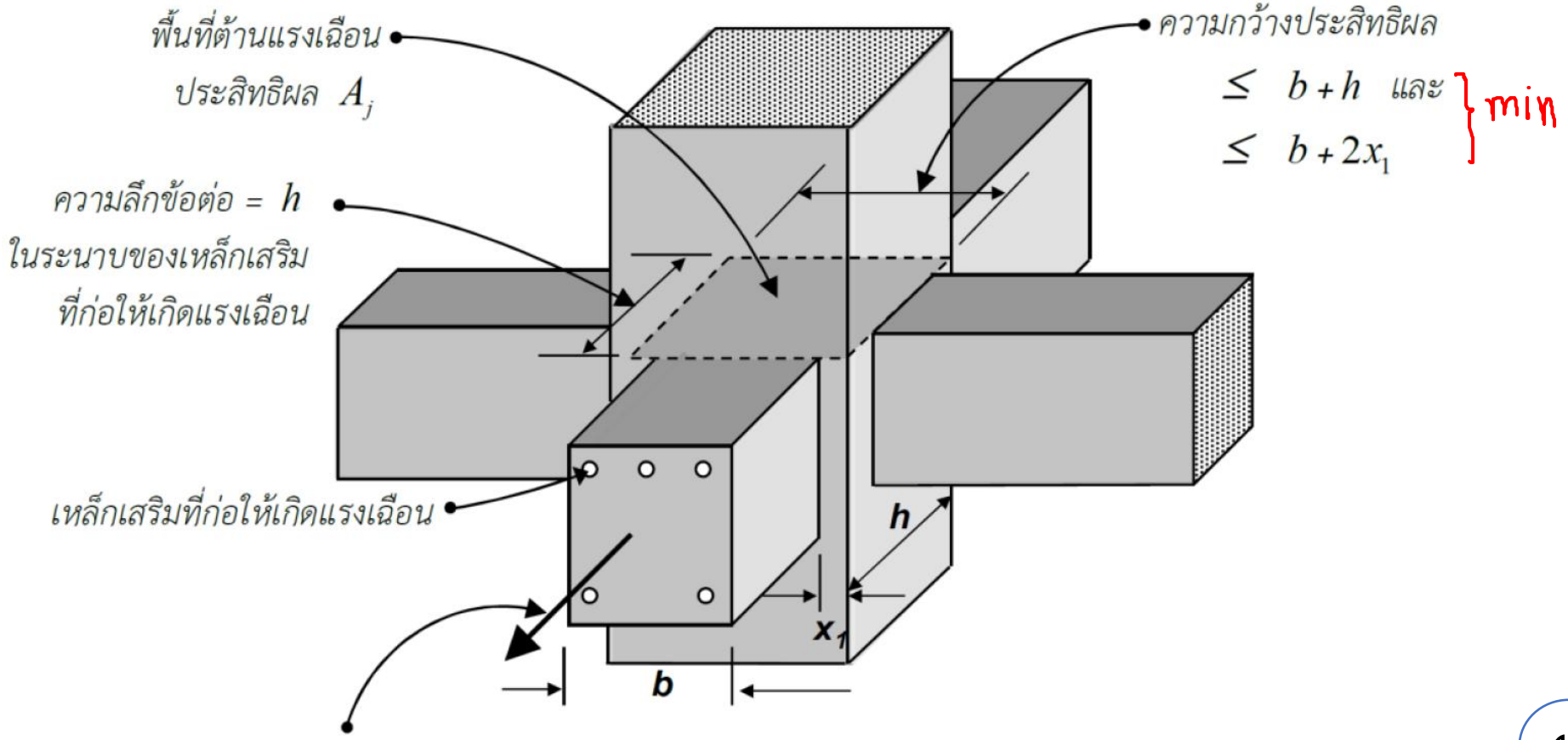
(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

การออกแบบจุดต่อเสาคานภายในตาม มยผ. 1301/1302

➢ รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

การออกแบบเหล็กเสริมในจุดต่อเสาคาน : มีข้อกำหนดดังนี้

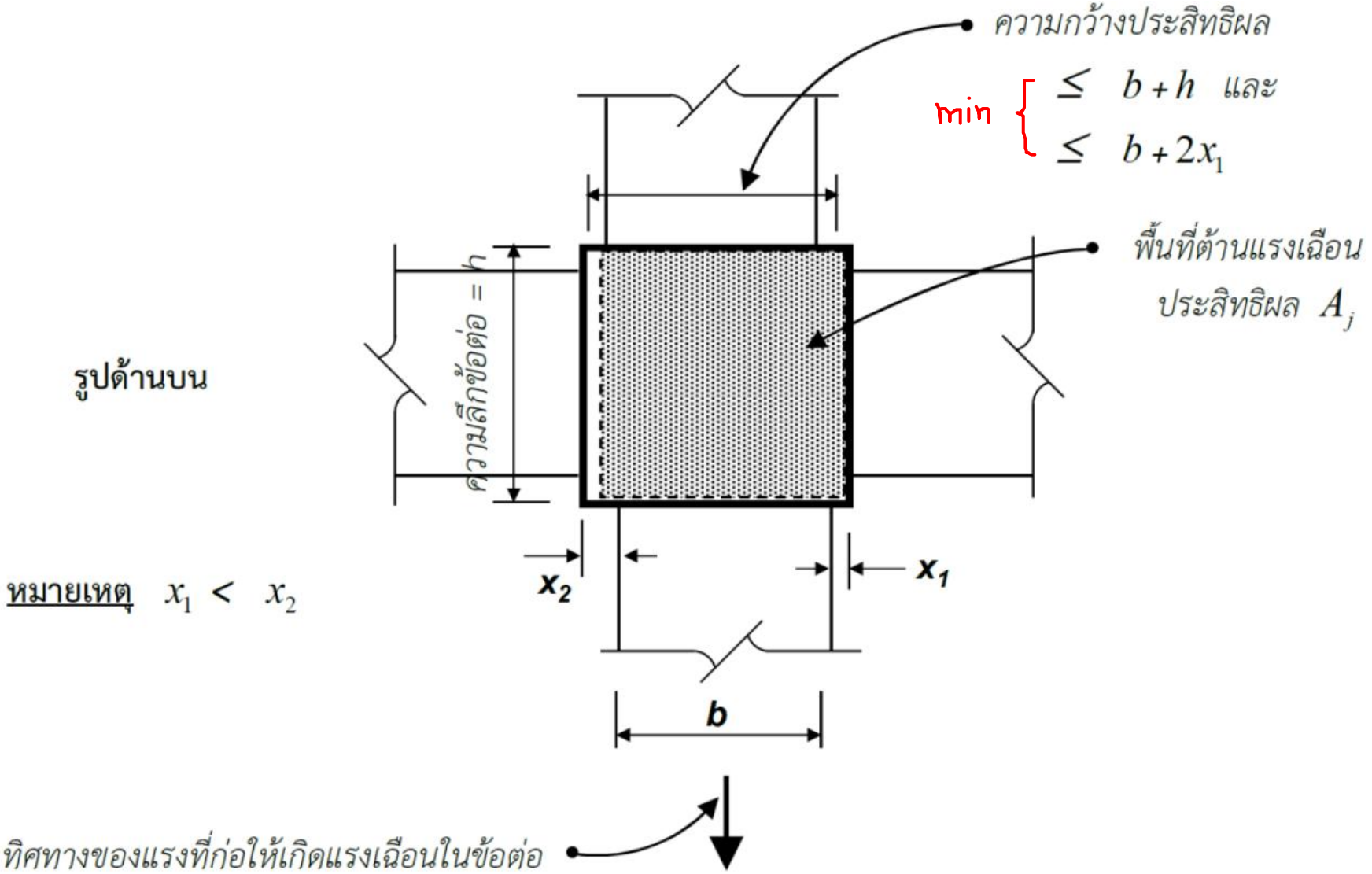
เมื่อ A_j เป็นพื้นที่ต้านทานแรงเฉือนในแนวนอนประสิทธิผลของข้อต่อ



(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

การออกแบบจุดต่อเสาคานภายในตาม มยผ. 1301/1302

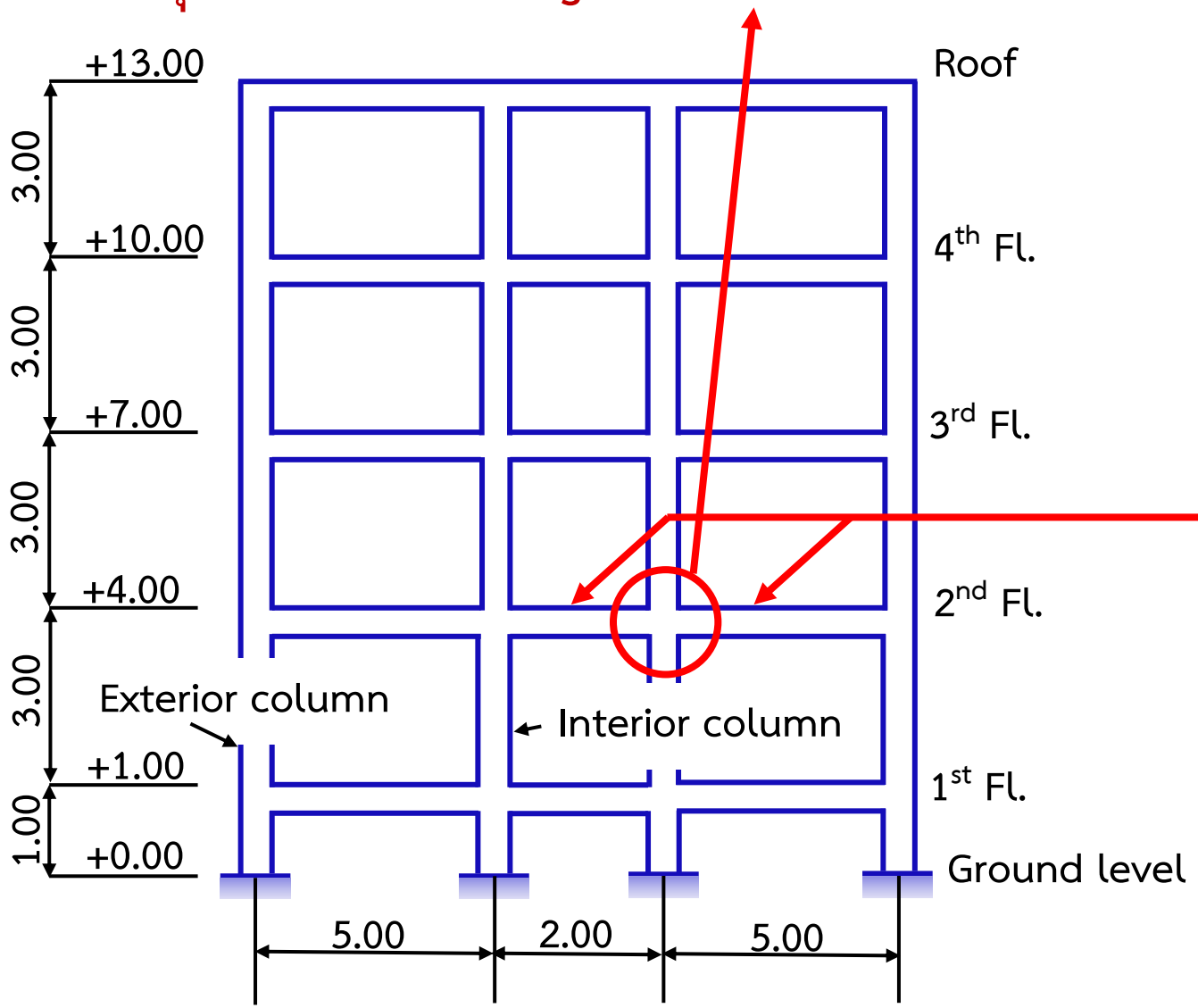
➢ รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

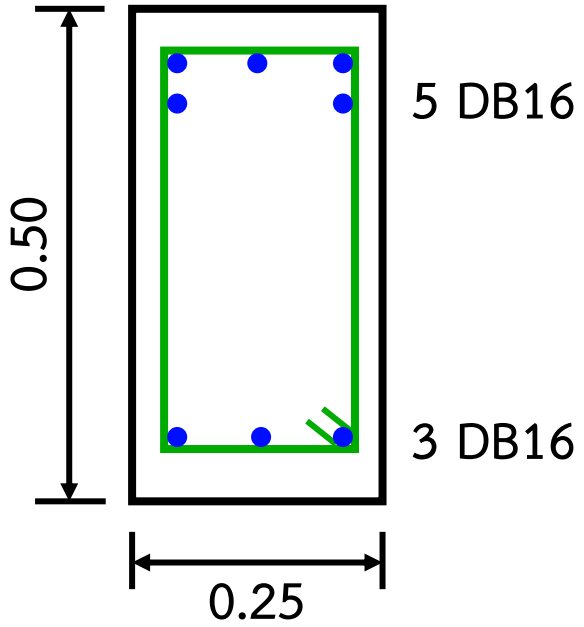


(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

การออกแบบจุดต่อเสาคานภายในตาม มยผ. 1301/1302

การออกแบบจุดต่อภายใน (Design Interior Joint)





B1 and B4 cross section

$^{+}M_n$ = 10.23 T-m

$^{-}M_n$ = 15.67 T-m

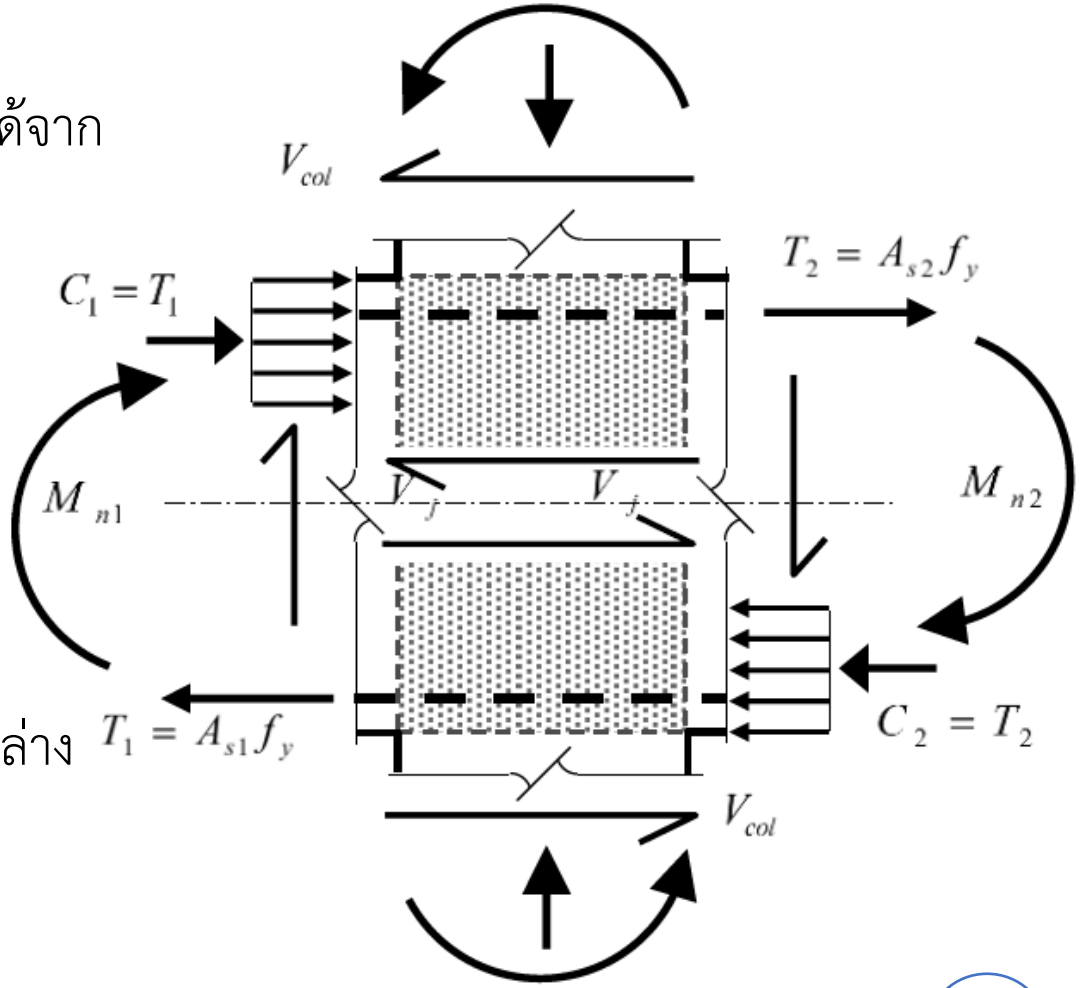
การออกแบบจุดต่อภายใน (Design Interior Joint)

แรงเฉือนภายในจุดต่อ

มยผ.1301/1302 ให้คำนวณแรงเฉือนภายในจุดต่อสามารถคำนวณได้จาก

$$V_j = (A_{s1}f_y + A_{s2}f_y) - V_{Col}$$

เมื่อ V_{Col} คือ แรงเฉือนในเสาตามสมมุติฐาน



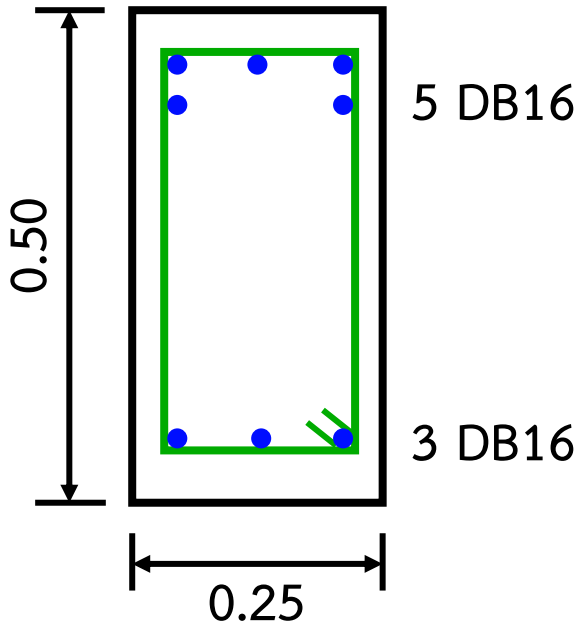
โมเมนต์ระบุลบด้านขวา เท่ากับ โมเมนต์ระบุบวกด้านซ้าย

โมเมนต์ทั้งสองในคานถ่ายแรงไปเป็นโมเมนต์ในเสาต้นบนและเสาต้นล่าง

โมเมนต์เสาต้นบน = โมเมนต์เสาต้นล่าง

การออกแบบจุดต่อเสาคานภายในตาม มยผ. 1301/1302

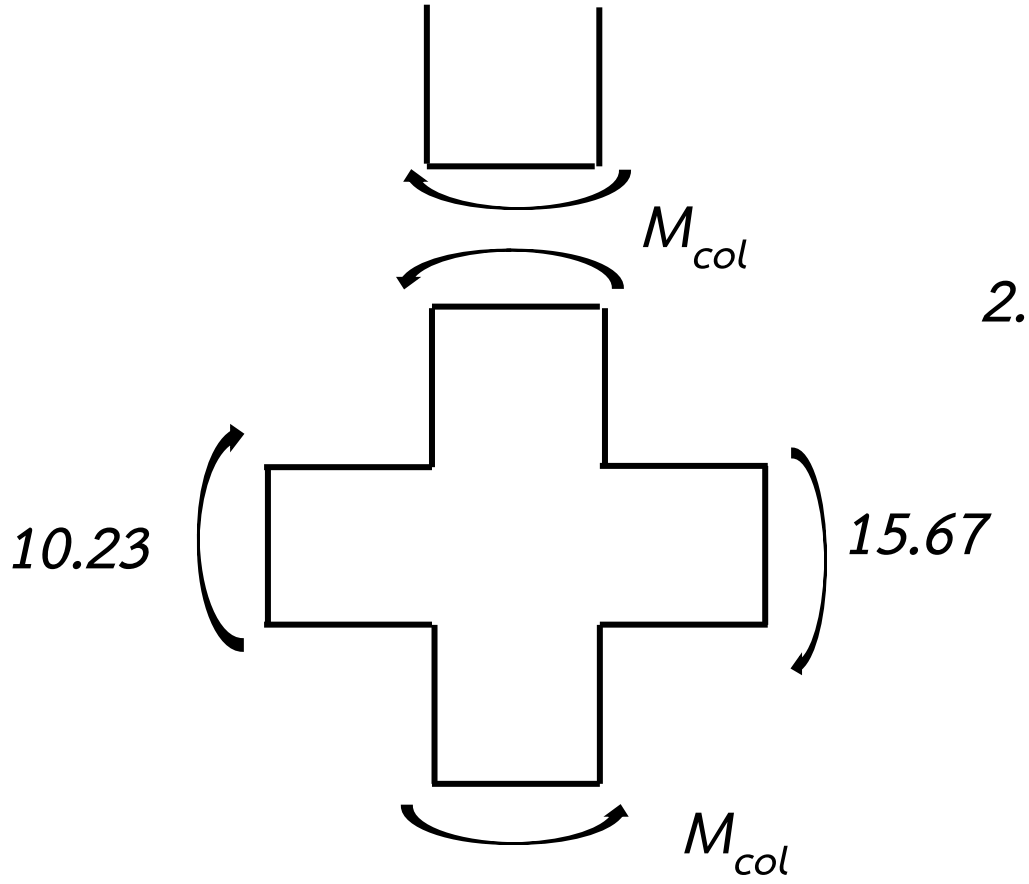
➢ การออกแบบจุดต่อภายใน (Design Interior Joint)



B1 and B4 cross section

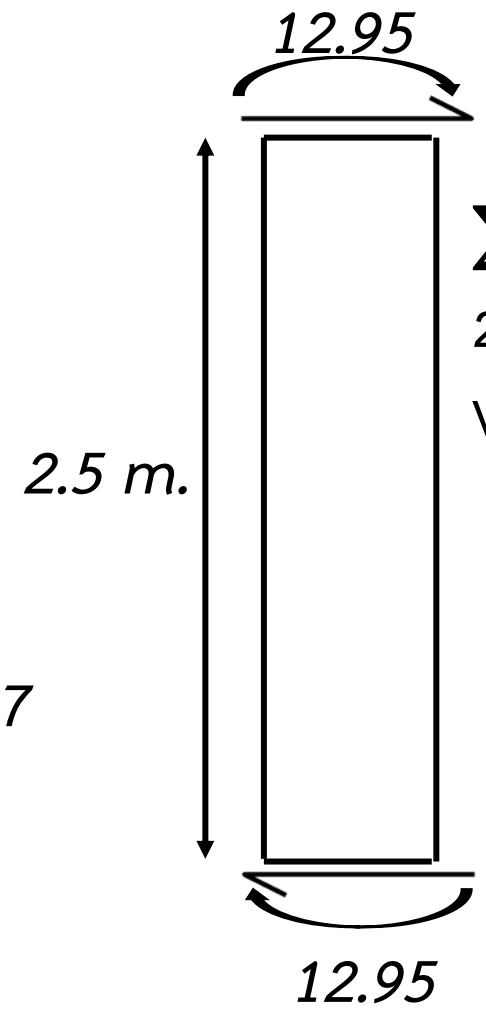
$^{+}M_n$ = 10.23 T-m

$^{-}M_n$ = 15.67 T-m



$\sum m = 0$

M_{col} = (10.23+15.67)/2 = 12.95 T-m.



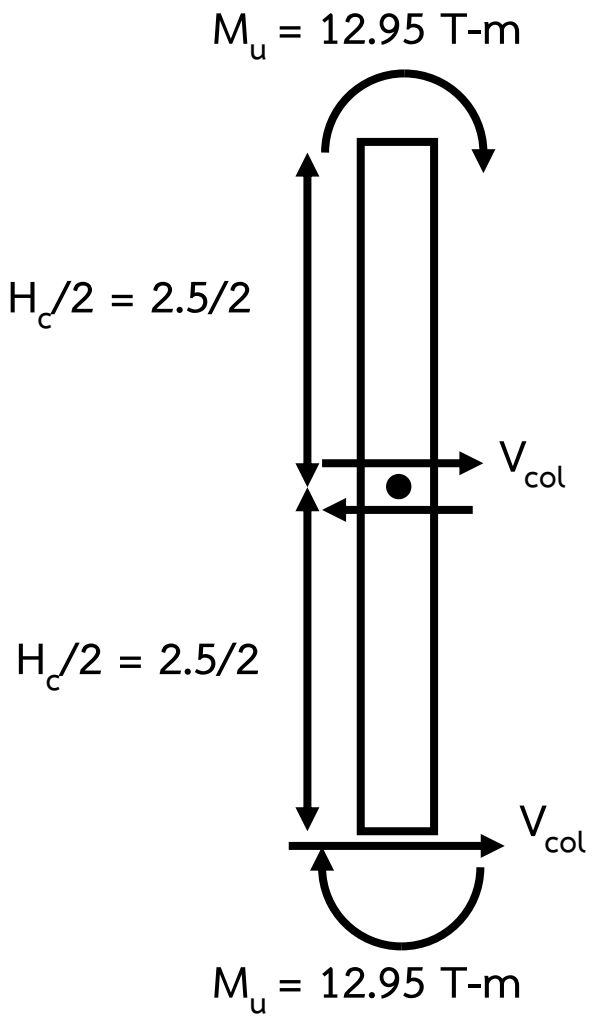
$\sum m = 0$

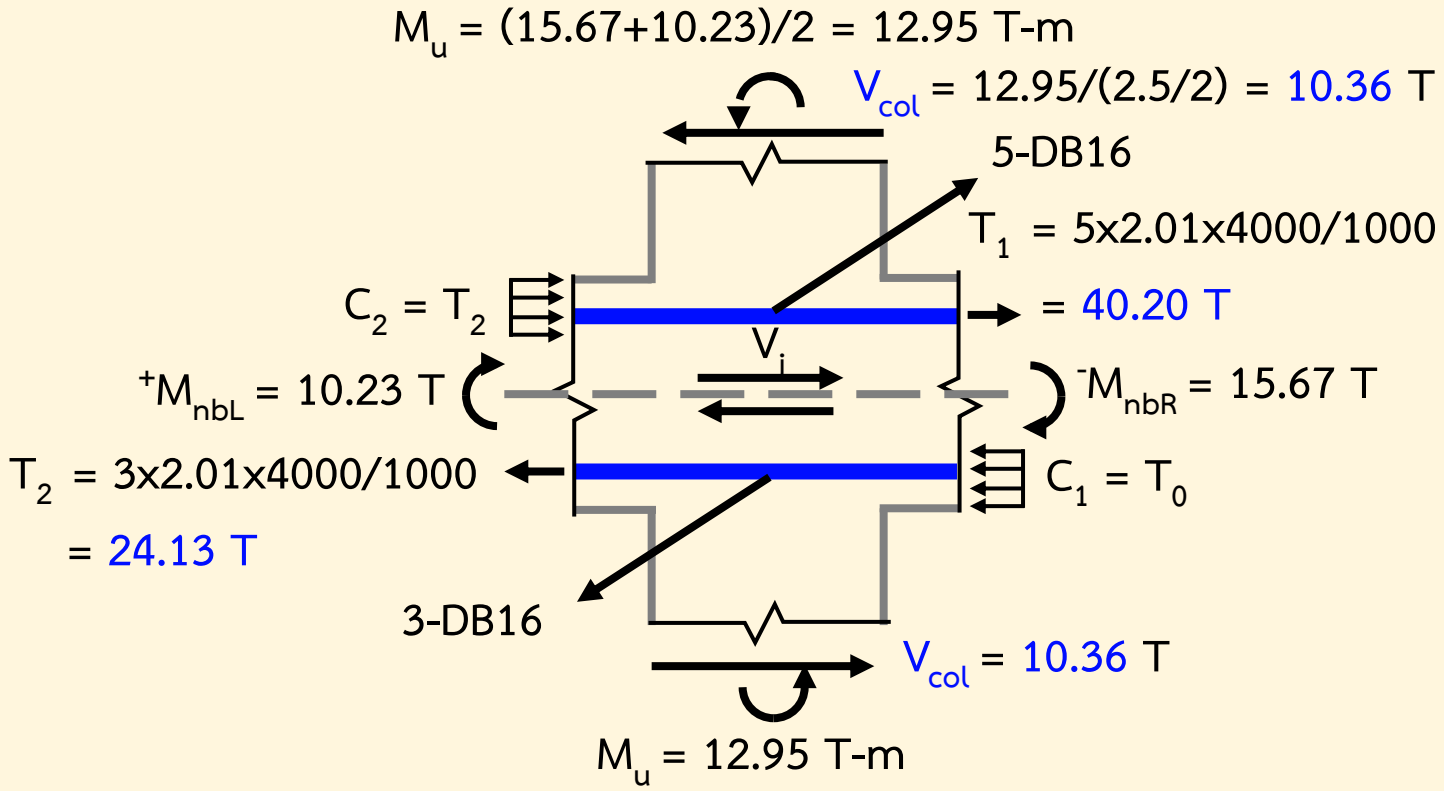
2x12.95= Vcolx2.5

V_{col} = 10.36 T

การออกแบบจุดต่อเสาคานภายในตาม มยผ. 1301/1302

➢ การออกแบบจุดต่อภายใน (Design Interior Joint)





V_j = (5x2.01x4000+3x2.10x4000)/1000 -10.36 = 53.98 T

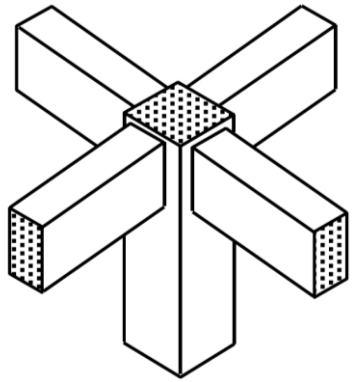
การออกแบบจุดต่อเสาคานภายในตาม มยผ. 1301/1302

การออกแบบจุดต่อภายใน (Design Interior Joint)

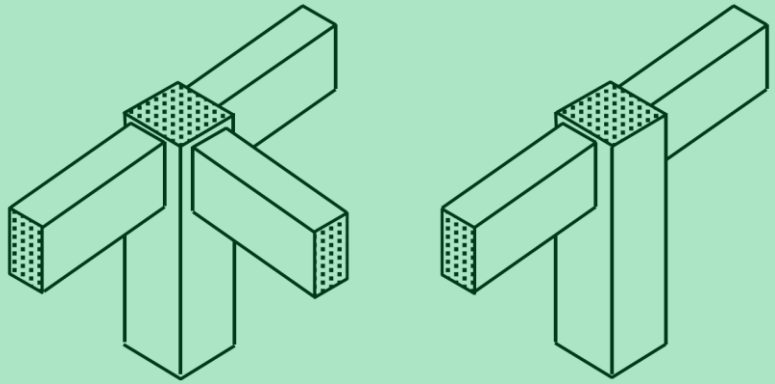
คานตามแนวยาวมีความกว้างคานต่อความกว้างเสา (0.2/0.5=0.40)<0.75

กำลังรับแรงเฉือนระบุ มีค่าดังต่อไปนี้

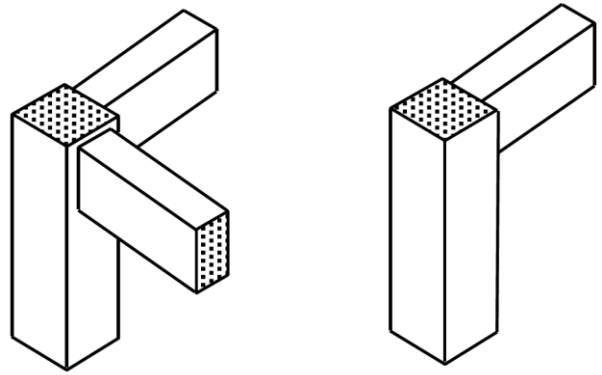
	หน่วย SI	หน่วย metric
• ข้อต่อได้รับการยึดรั้งจากคานทั้ง 4 ด้าน	$V_n = 1.7\sqrt{f'_c}A_j$	$V_n = 5.4\sqrt{f'_c}A_j$
• ข้อต่อได้รับการยึดรั้งจากคานทั้ง 2 หรือ 3 ด้าน	$V_n = 1.25\sqrt{f'_c}A_j$	$V_n = 4.0\sqrt{f'_c}A_j$
• ข้อต่ออื่น ๆ	$V_n = 1.0\sqrt{f'_c}A_j$	$V_n = 3.2\sqrt{f'_c}A_j$



4 ด้าน



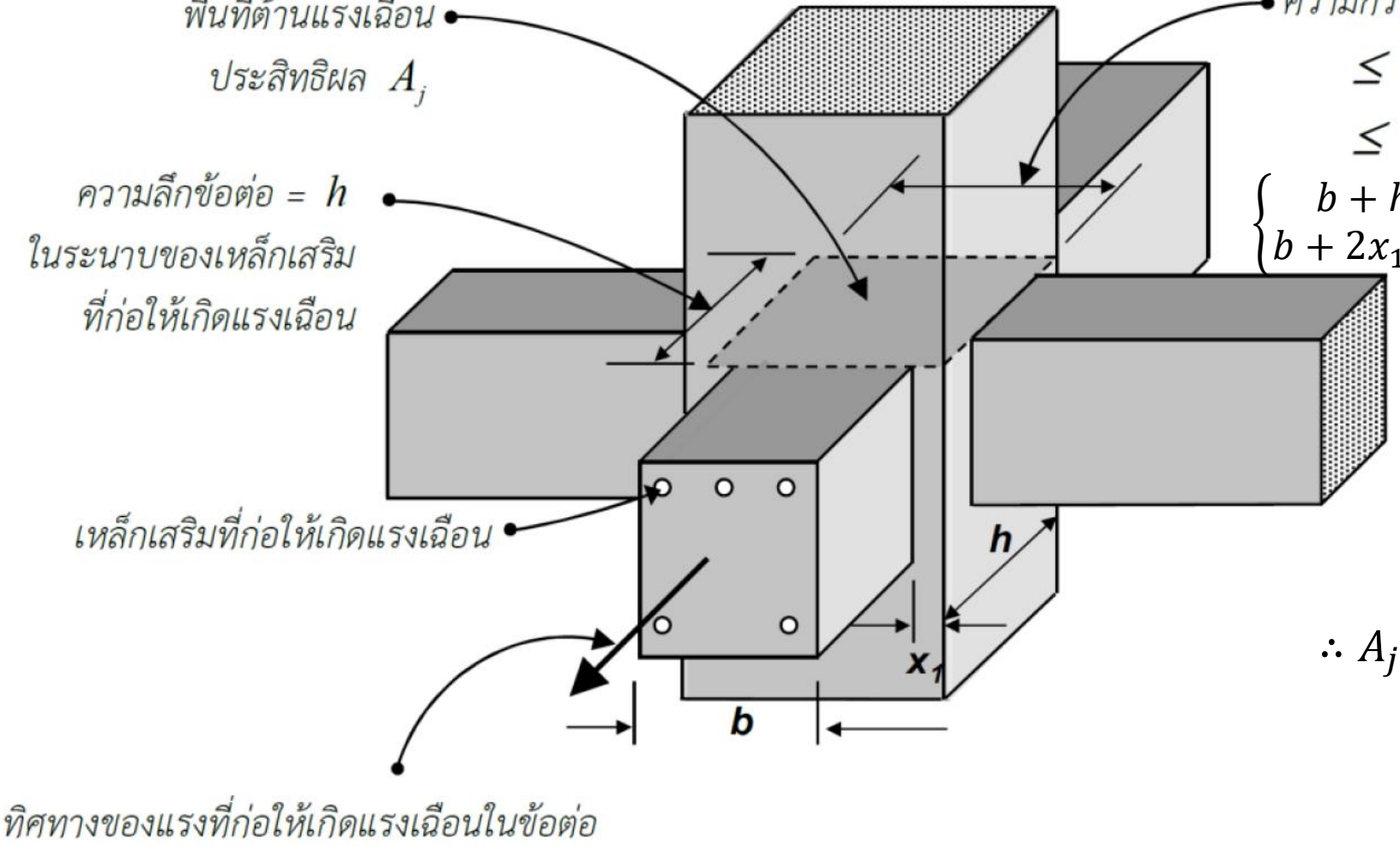
2-3 ด้าน



อื่นๆ

การออกแบบจุดต่อเสาคานภายในตาม มยผ. 1301/1302

➢ การออกแบบจุดต่อภายใน (Design Interior Joint)



ความกว้างประสิทธิผล

$\leq b + h$ และ

$\leq b + 2x_1$

$$\begin{cases} b + h = 25 + 45 = 70\text{ซม.} \\ b + 2x_1 = 25 + 2 \times 5 = 35\text{ซม.} \end{cases}$$

$$\therefore A_j = 35 \times 45\text{ซม}^2$$

(Ref.: มยผ.1301/1302-61)

การออกแบบจุดต่อภายใน (Design Interior Joint)

กำลังต้านทานแรงเฉือนภายในจุดต่อ

$$V_n = 4.0 \times \sqrt{240} \times \frac{(45 \times 35)}{1000} = 97.60\ ton$$

$$\emptyset V_n = 0.85 \times 97.60 = 82.96 ton > V_j = 53.98\ ton$$

เสริมเหล็กปลอกในจุดต่อตาม (5-16) $A_v = 3.5\frac{b_w s}{f_y}$ และ ระยะไม่เกิน $2S_o$ (15 x 2 = 30 cm)

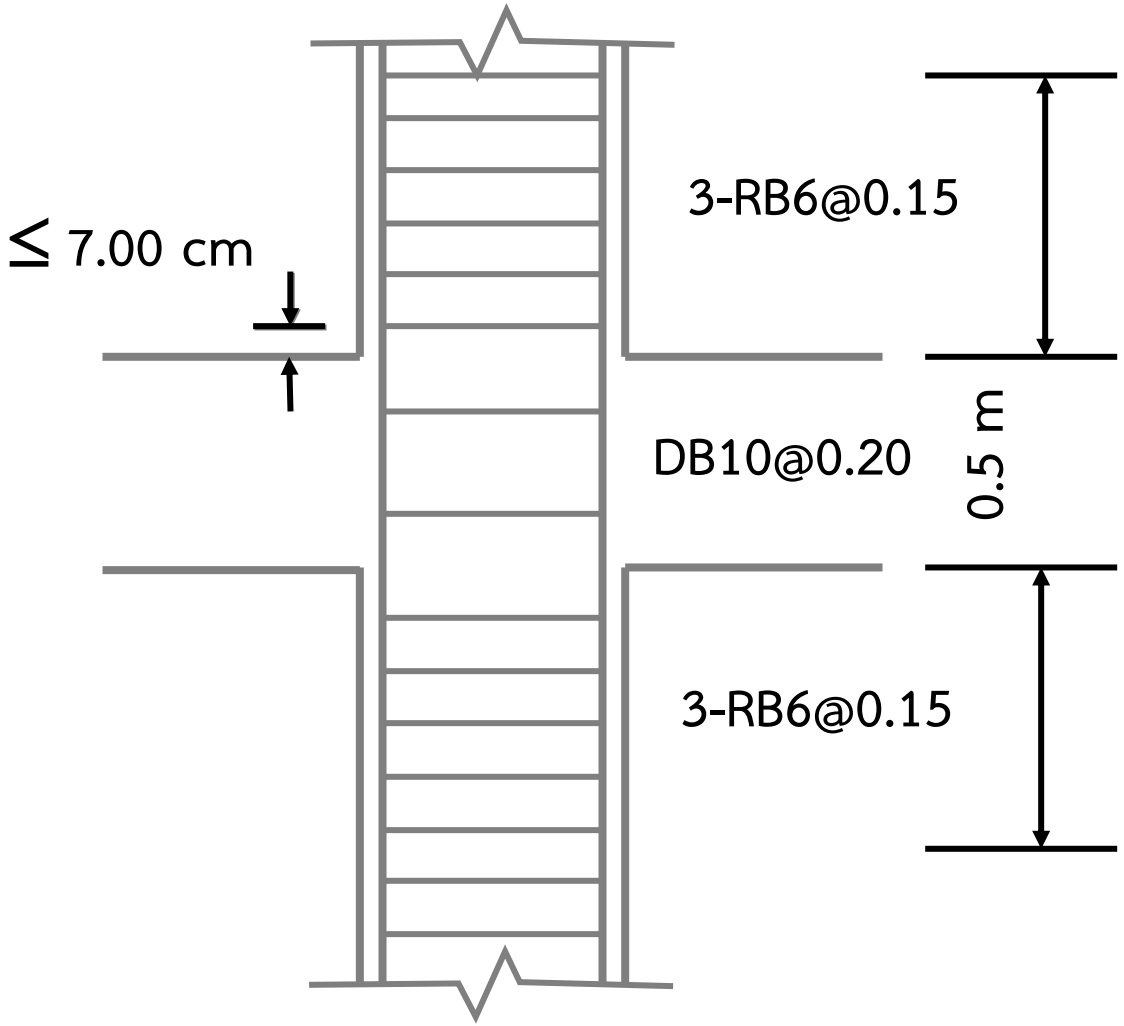
S_o คือระยะเรียงเหล็กปลอกเสาช่วงจุดหมุนพลาสติกในที่นี้ S_o เท่ากับ 15 cm → ด้านยาวของเสา

สมมติใช้เหล็กปลอก DB10@0.20 A_V = 1.57 cm^2. > $A_v = 3.5\frac{45 \times 20}{4000} = 0.787\ cm^2$

ดังนั้น เสริมเหล็กปลอก DB10@0.20 ภายในจุดต่อ

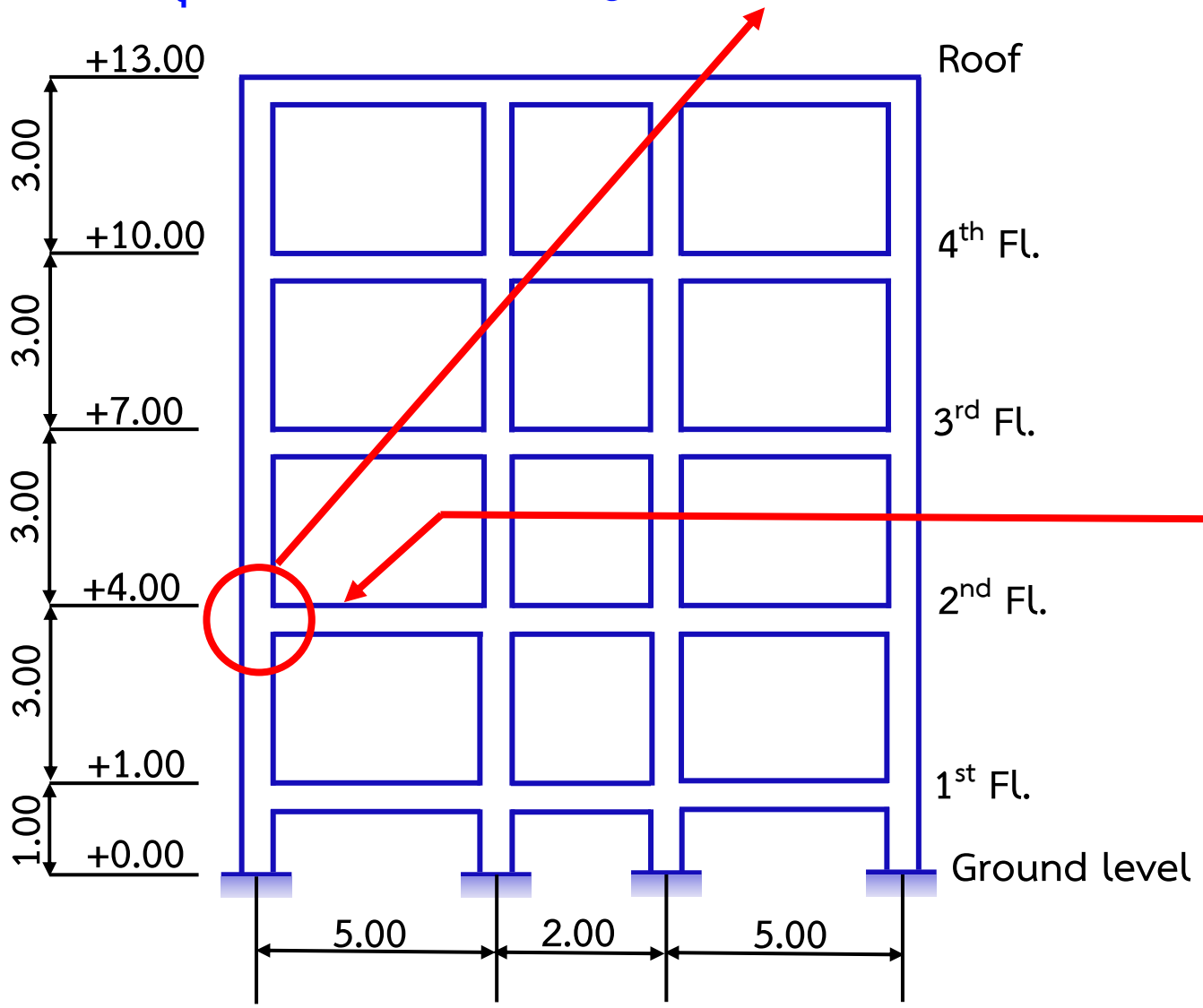
การออกแบบจุดต่อเสาคานภายในตาม มยผ. 1301/1302

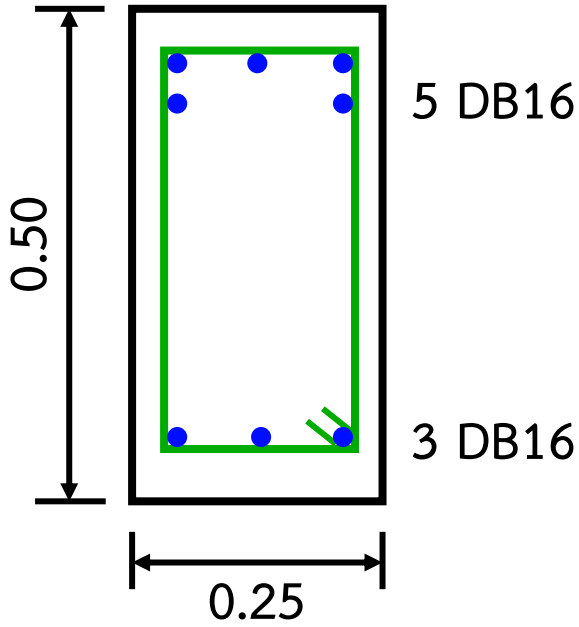
➢ การออกแบบจุดต่อภายใน (Design Interior Joint)



การออกแบบจุดต่อเสาคานภายนอกตาม มยผ. 1301/1302

การออกแบบจุดต่อภายนอก (Design Exterior Joint)





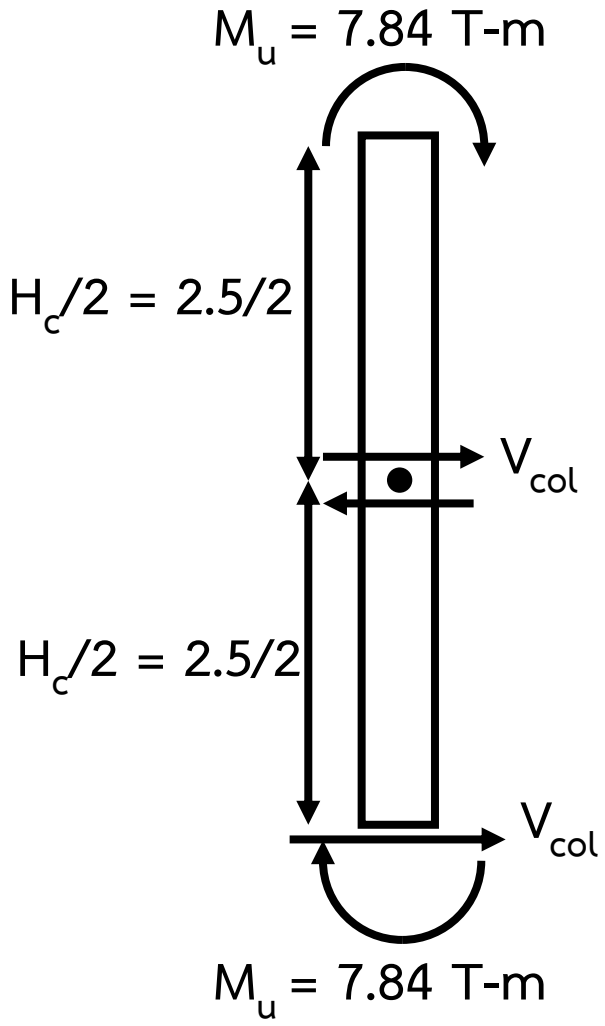
B1 and B4 cross section

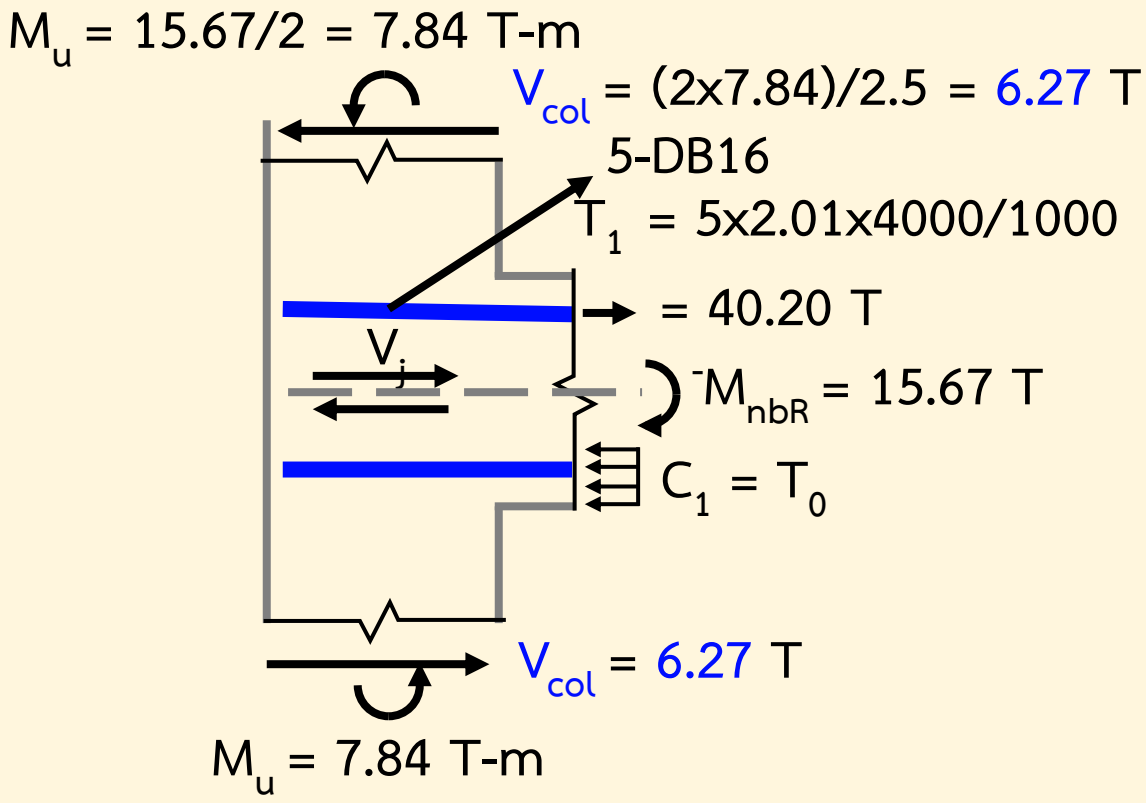
$^{+}M_n$ = 10.23 T-m

$^{-}M_n$ = 15.67 T-m

การออกแบบจุดต่อเสาคานภายนอกตาม มยผ. 1301/1302

การออกแบบจุดต่อภายนอก (Design Exterior Joint)





V_j = (5 x 2.01 x 4000) / 1000 – 6.27 = 33.94 T

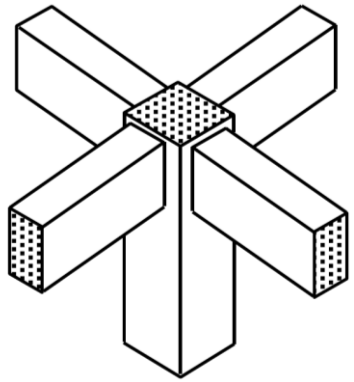
การออกแบบจุดต่อเสาคานภายนอกตาม มยผ. 1301/1302

การออกแบบจุดต่อภายนอก (Design Exterior Joint)

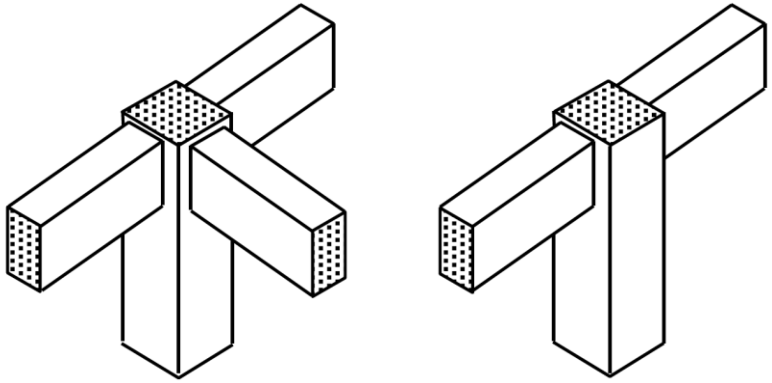
คานตามแนวยาวมีความกว้างคานต่อความกว้างเสา (0.2/0.5 = 0.40) < 0.75

กำลังรับแรงเฉือนระบุ มีค่าดังต่อไปนี้

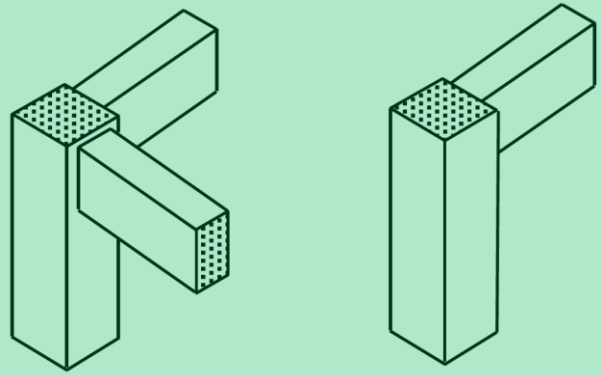
	หน่วย SI	หน่วย metric
- ข้อต่อได้รับการยึดรั้งจากคานทั้ง 4 ด้าน	$V_n = 1.4\sqrt{f'_c}A_j$	$V_n = 5.4\sqrt{f'_c}A_j$
- ข้อต่อได้รับการยึดรั้งจากคานทั้ง 2 หรือ 3 ด้าน	$V_n = 1.25\sqrt{f'_c}A_j$	$V_n = 3.9\sqrt{f'_c}A_j$
- ข้อต่ออื่น ๆ	$V_n = 1.0\sqrt{f'_c}A_j$	$V_n = 3.2\sqrt{f'_c}A_j$



4 ด้าน



2-3 ด้าน



อื่นๆ

การออกแบบจุดต่อภายนอก (Design Exterior Joint)

กำลังต้านทานแรงเฉือนภายในจุดต่อ

$$V_n = \frac{3.2 \times \sqrt{240} \times (45 \times 35)}{1000} = 78.08\ ton$$

$$\emptyset V_n = 0.85 \times 78.08 = 66.37 ton > V_j = 33.94\ ton$$

เสริมเหล็กปลอกในจุดต่อตาม (5-16) $A_v = 3.5\frac{b_w s}{f_y}$ และ ระยะไม่เกิน $2S_o$

$2S_o$ = 2x15 = 30 cm

สมมติใช้เหล็กปลอก DB10@0.20 A_v = 1.57 ซม^2. > $A_v = 3.5\frac{45 \times 20}{4000} = 0.787\ cm^2$

ดังนั้น เสริมเหล็กปลอก DB10@0.20 ภายในจุดต่อ









โครงการพัฒนาหลักสูตรการเรียนรู้ เรื่องการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรม
จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พ.ศ. 2568