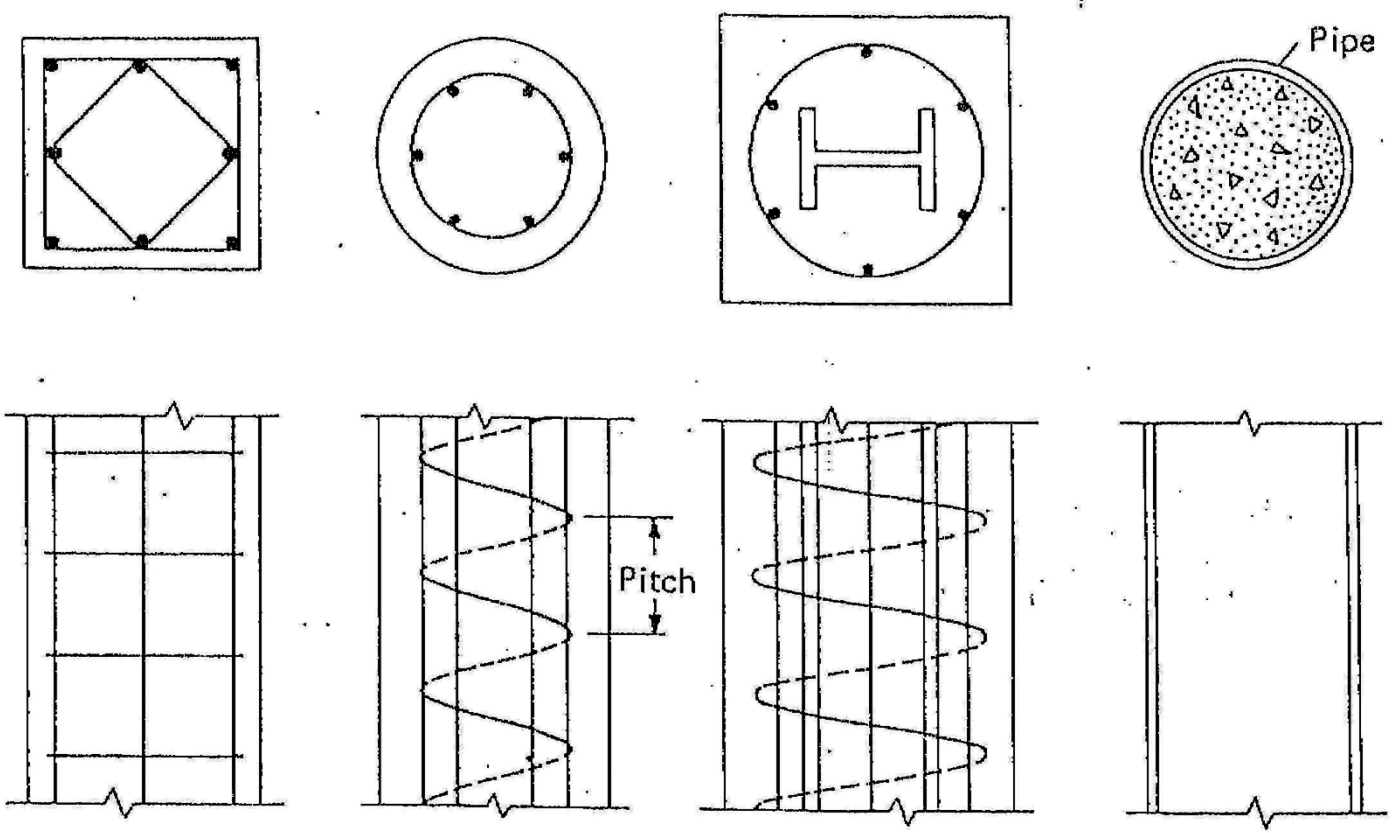
การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

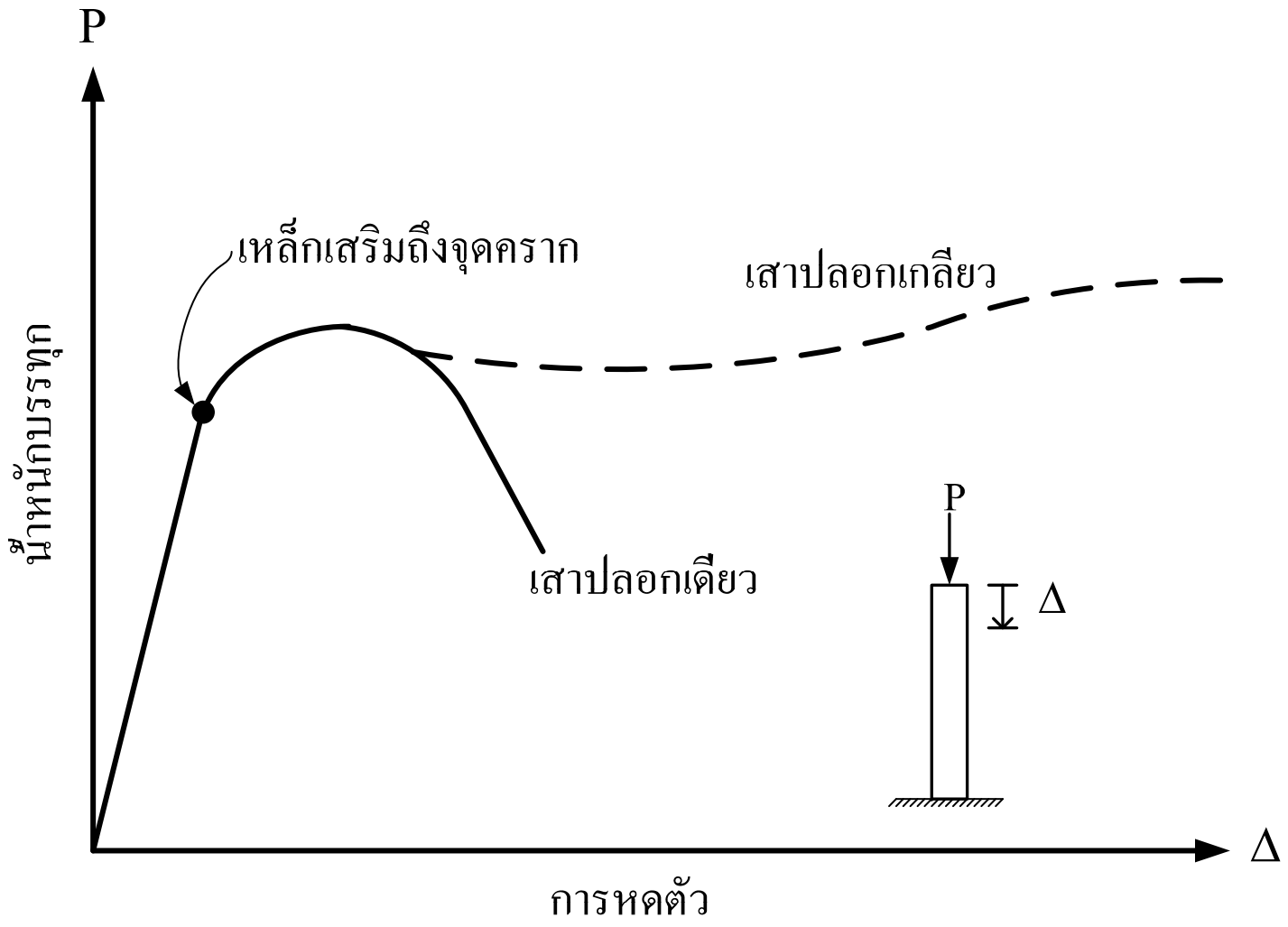


เสาปลอกเดี่ยว
Tied Column

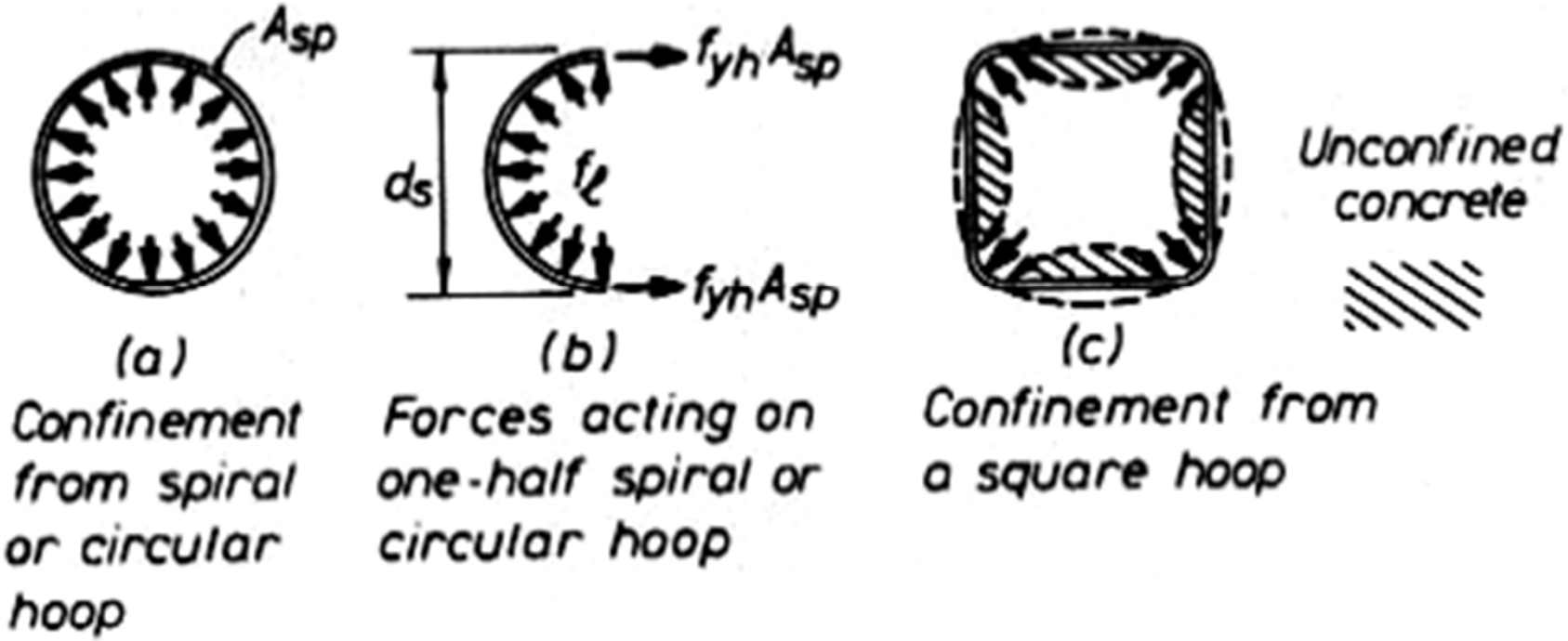
เสาปลอกเกลียว
Spiral Column

เสาประกอบ
Composite Column

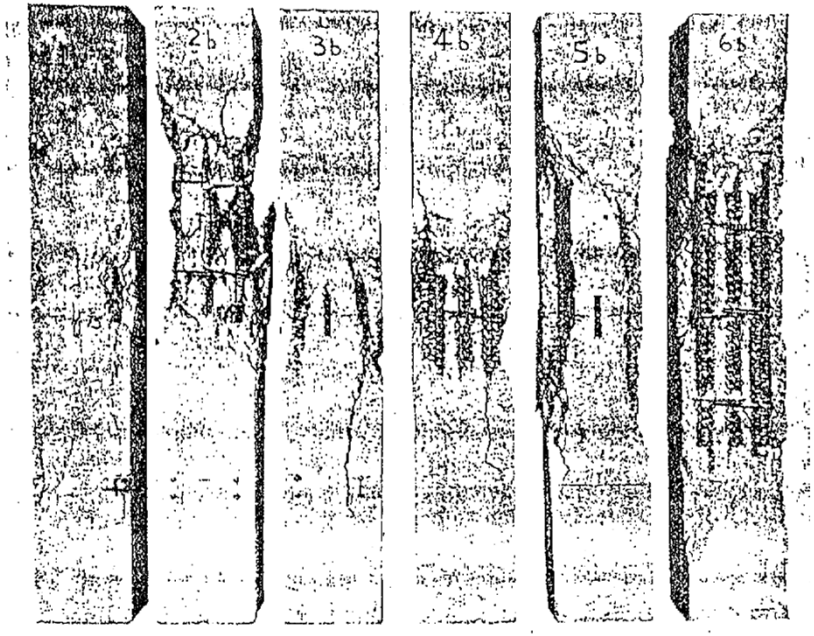
การ Confine ของเหล็กปลอกเกลียวมีประสิทธิภาพกว่าปลอกเดี่ยวจึงเหนียวกว่า มีการเสียรูปก่อนการวิบัติได้มาก จึงมีการเตือนก่อนการวิบัติ

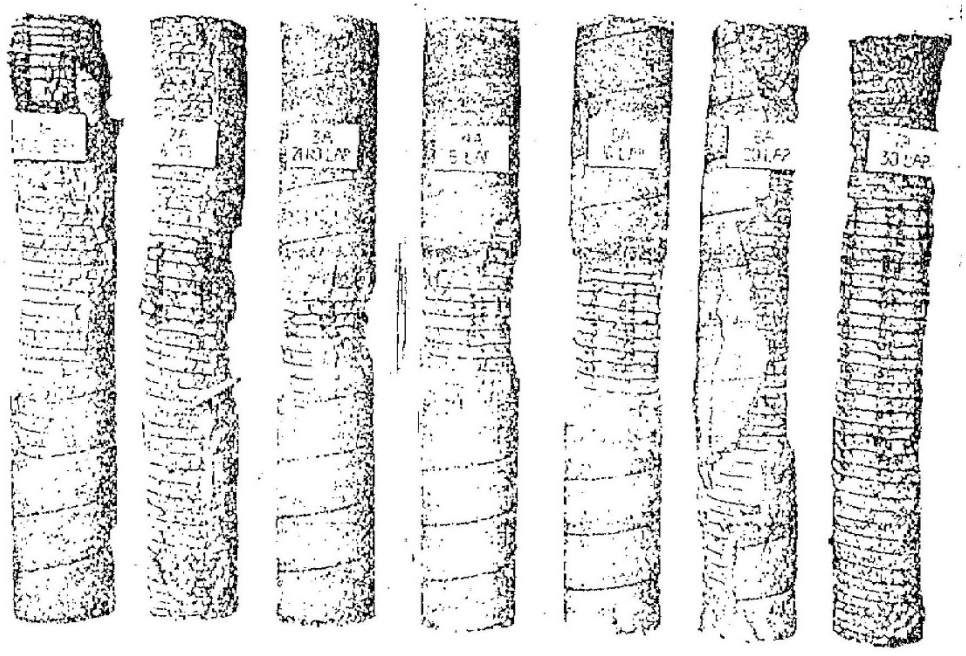


ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการหดตัวของเสา



รูปที่4.3 พฤติกรรมการโอบรัด(Confinement)ของเหล็กปลอกเกลียวและเหล็กปลอกเดี่ยว

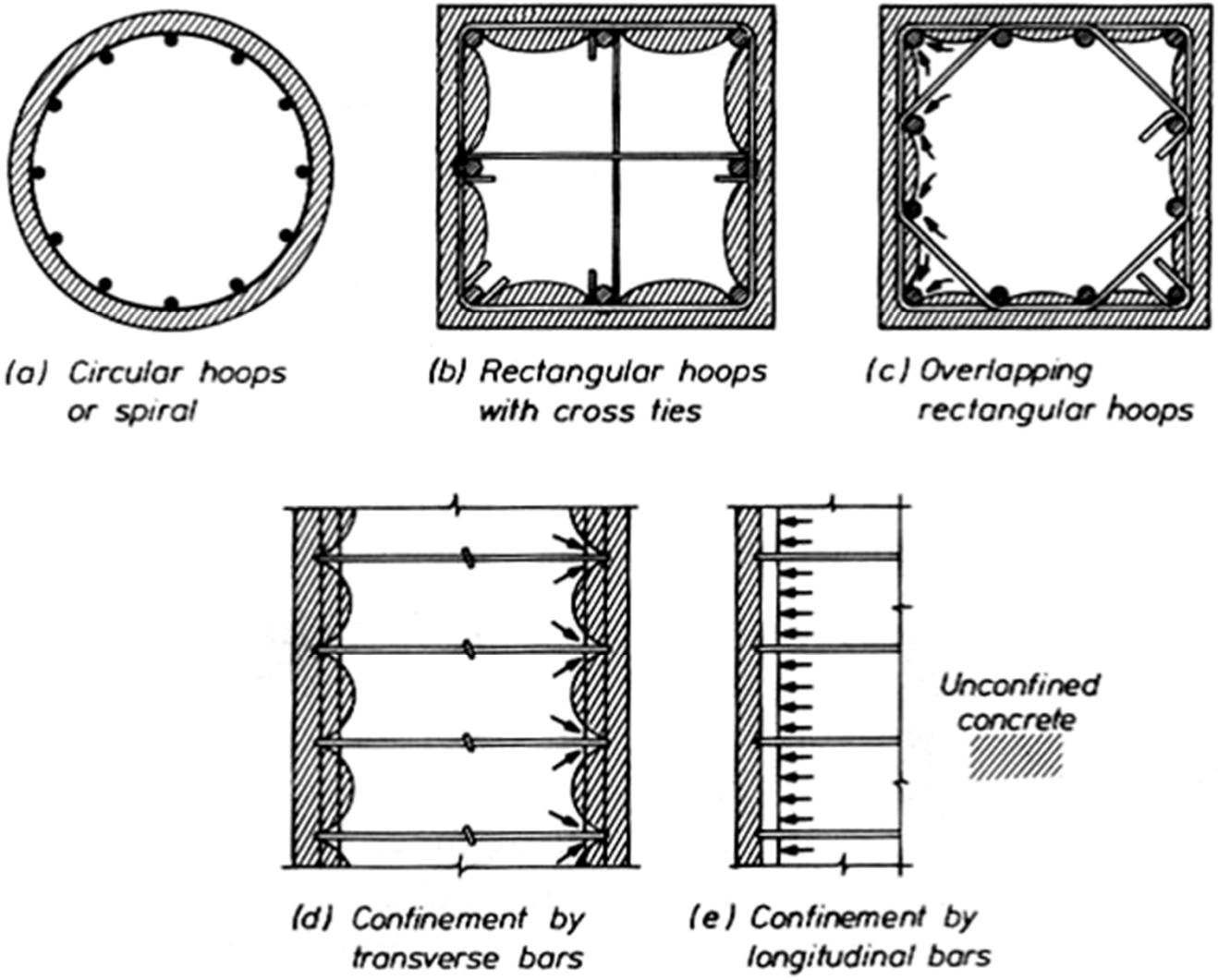




รูปแบบการแตกร้าวขณะวิบัติของเสาปลอกเดี่ยว

รูปแบบการแตกร้าวขณะวิบัติของเสาปลอกเกลียว

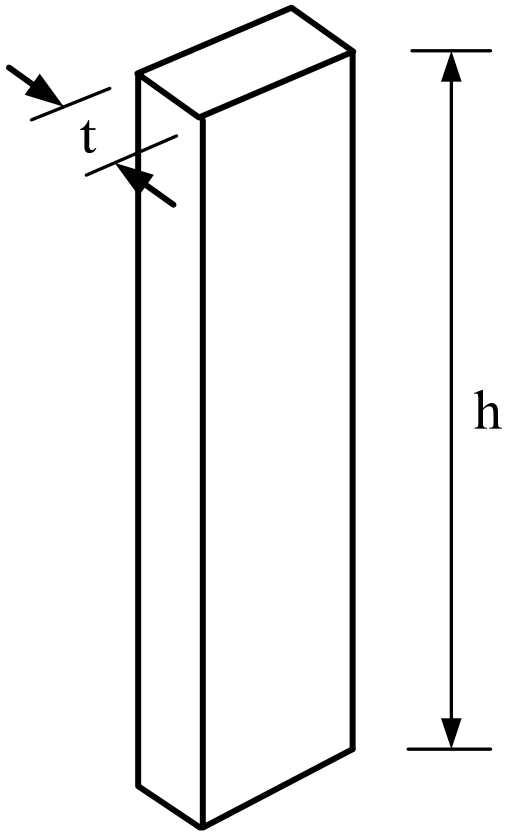
รูปที่ 4.4 รูปแบบการแตกร้าวของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก



ระยะเรียง (Spacing)ของเหล็กปลอกต้องไม่มากเกินไปจึงจะ Confine ได้ดี

รูปที่4.5 ผลของระยะเรียงของเหล็กปลอกและเหล็กเสริมพิเศษต่อการโอบรัดของเหล็กเสริม

เสาสั้นและเสายาว



เสาที่มีอัตราส่วนความสูงเสาต่อด้านแคบที่สุดของเสา $\frac{h}{t}$ ต่ำกว่า15 ถือว่าเป็นเสาสั้น เสาดังกล่าวเมื่อรับน้ำหนักสูงสุดที่สภาวะประลัยจะเกิดการวิบัติของวัสดุ คอนกรีตเกิดการอัดจนแตกร้าวและหลุดร่อนออกด้านข้างโดยเหล็กปลอกจะทำหน้าที่รัดคอนกรีตส่วนแกนกลางไว้ ส่วนเหล็กเสริมตามแนวแกนจะมีการหดตัวมากกว่าหรือเท่ากับที่จุดคราก

เสาที่มีอัตราส่วนความสูงเสาต่อด้านแคบที่สุดของเสา $\frac{h}{t}$ เกินกว่า15 ถือว่าเป็นเสายาวเสาดังกล่าวเมื่อรับน้ำหนักสูงสุดที่สภาวะประลัยอาจเกิดการวิบัติด้วยการโก่งเดาะก่อนที่จะเกิดการวิบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริม

เสายาว

ในการออกแบบเสายาวจะคำนวณเสมือนว่าเป็นเสาสั้นแต่ต้องลดกำลังของเสาลงด้วยการคูณด้วยแฟกเตอร์ลดกำลัง(Strength reduction factor) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า1.0

ตัวแปรที่มีผลต่อค่าดังกล่าวได้แก่อัตราส่วนความชะลูด(Slenderness ratio)

$\frac{kL}{r} =$ อัตราส่วนความชะลูด

$k =$ สัมประสิทธ์ความยาวประสิทธิผล (Effective length factor)

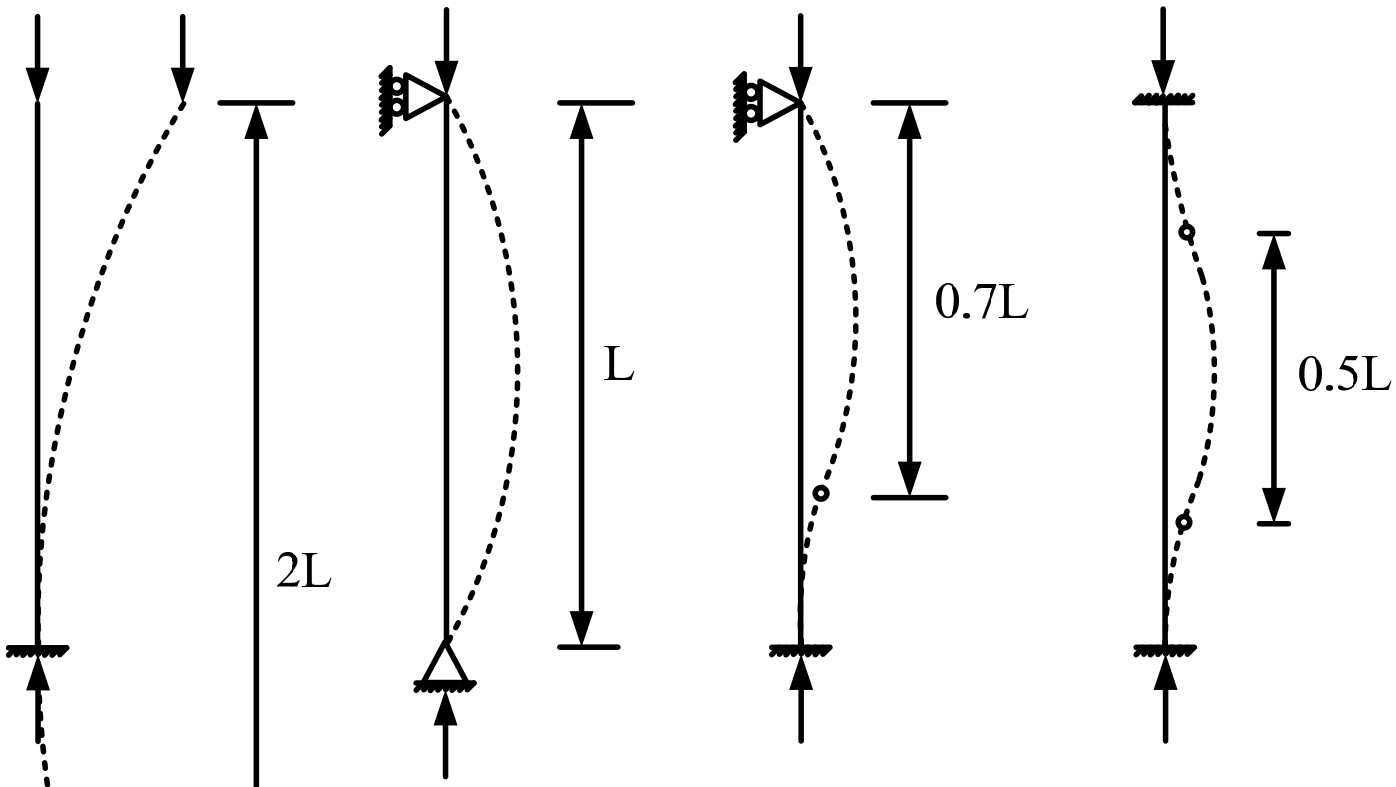
$L =$ ความยาวเสา

$r = \sqrt{\frac{I}{A}} =$ รัศมีไจเรชั่น(Radius of gyration)

$I =$ โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia) รอบแกนรอง

$A =$ พื้นที่หน้าตัดเสา

เมื่อ k จะขึ้นกับการจับยึดที่ปลายของเสาดังรูป

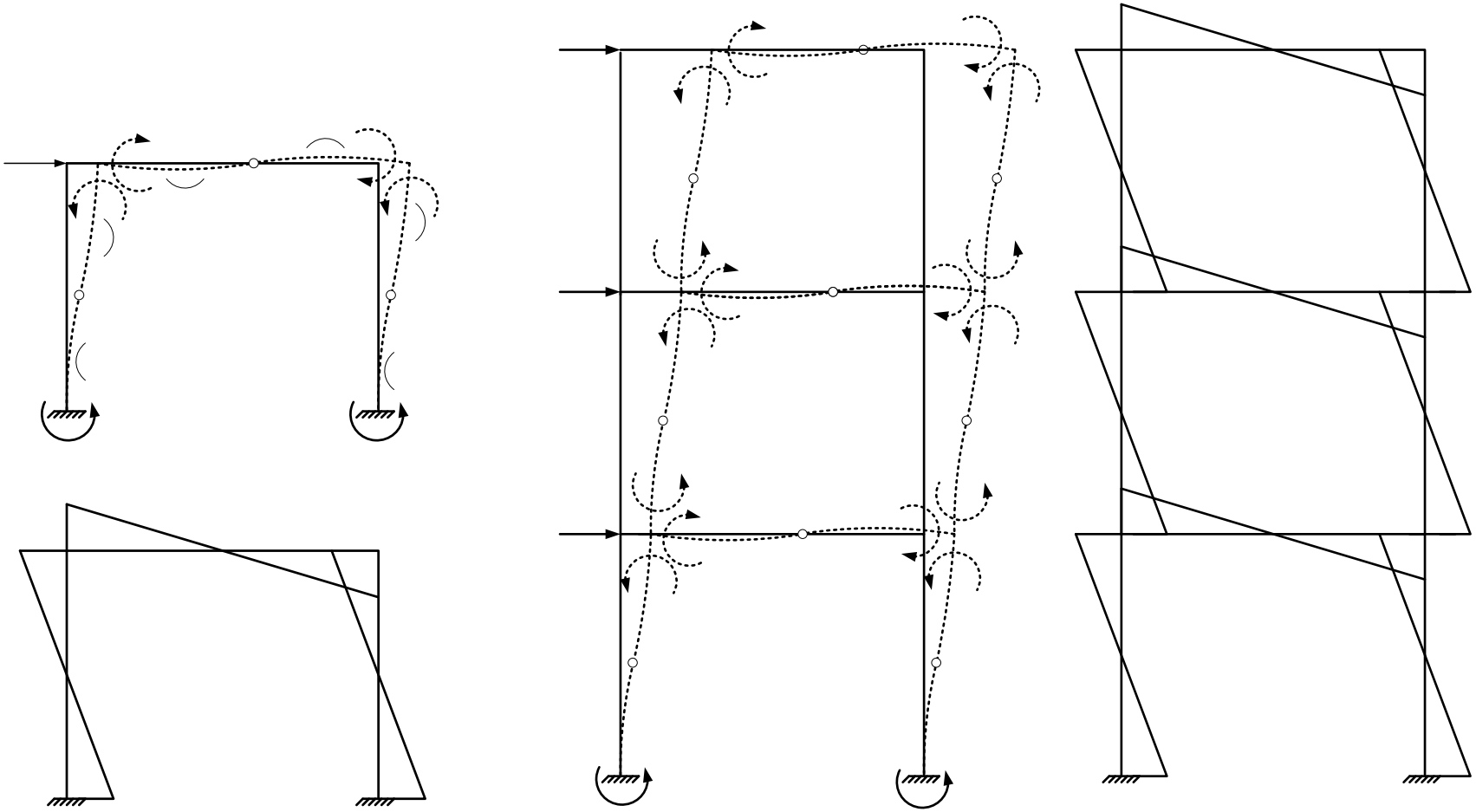


$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2}$$

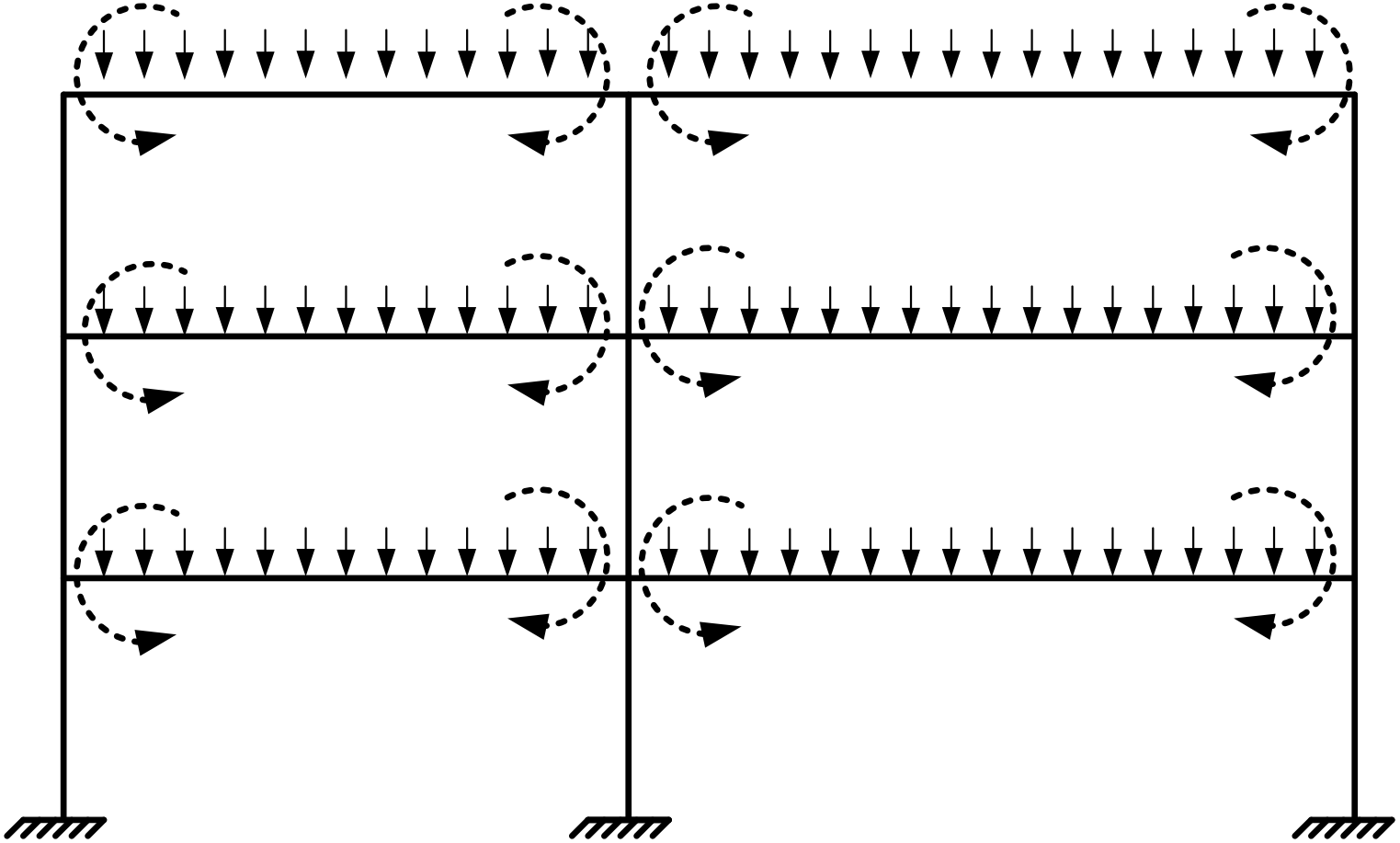
$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2}$$

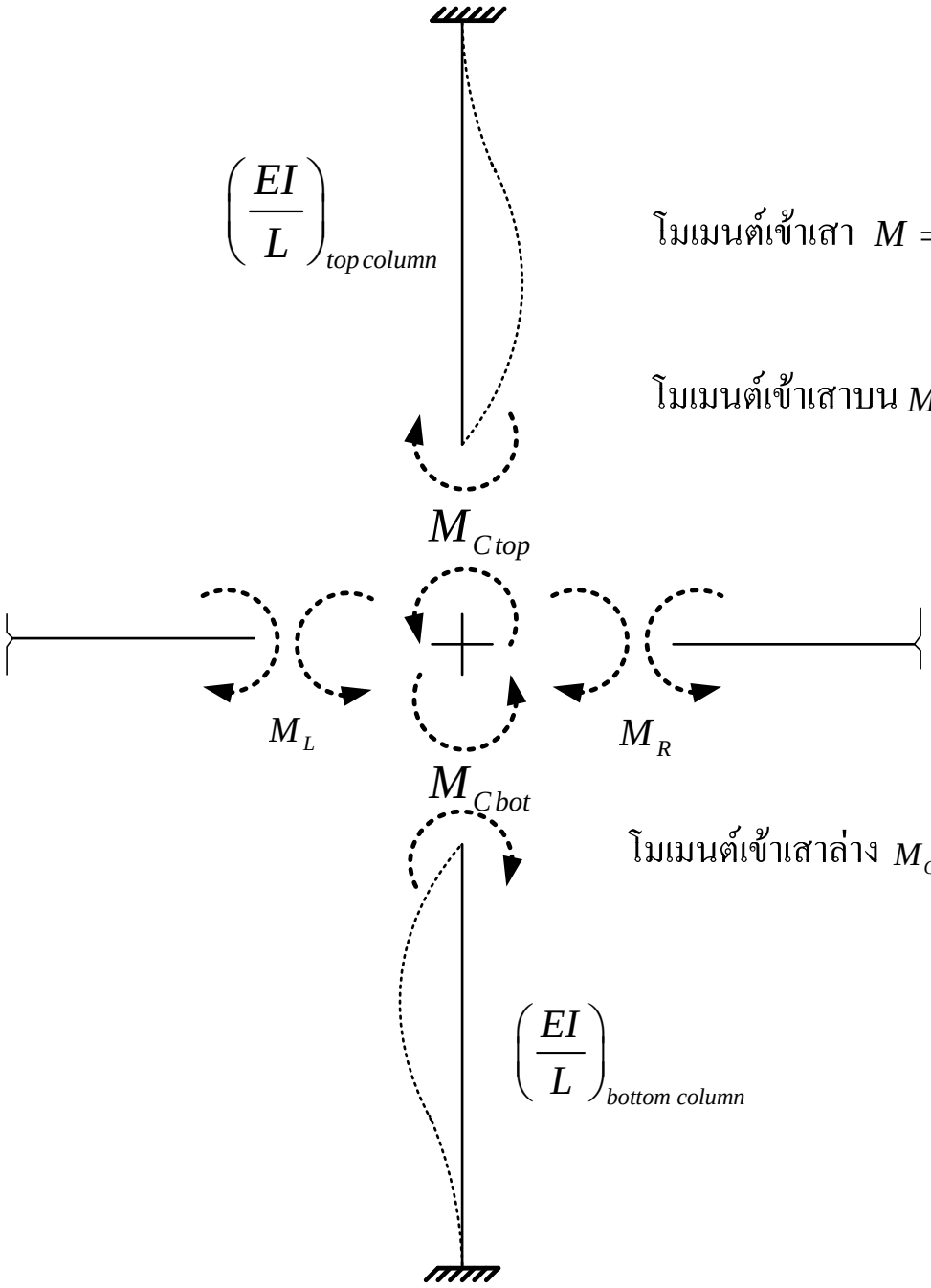
$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

โมเมนต์ดัดในเสาและคานขณะรับแรงด้านข้าง



โมเมนต์ดัดที่ปลายคานที่ไม่สมดุลกันจะถ่ายเข้าปลายเสาตามความแข็ง(Stiffness) ของเสา



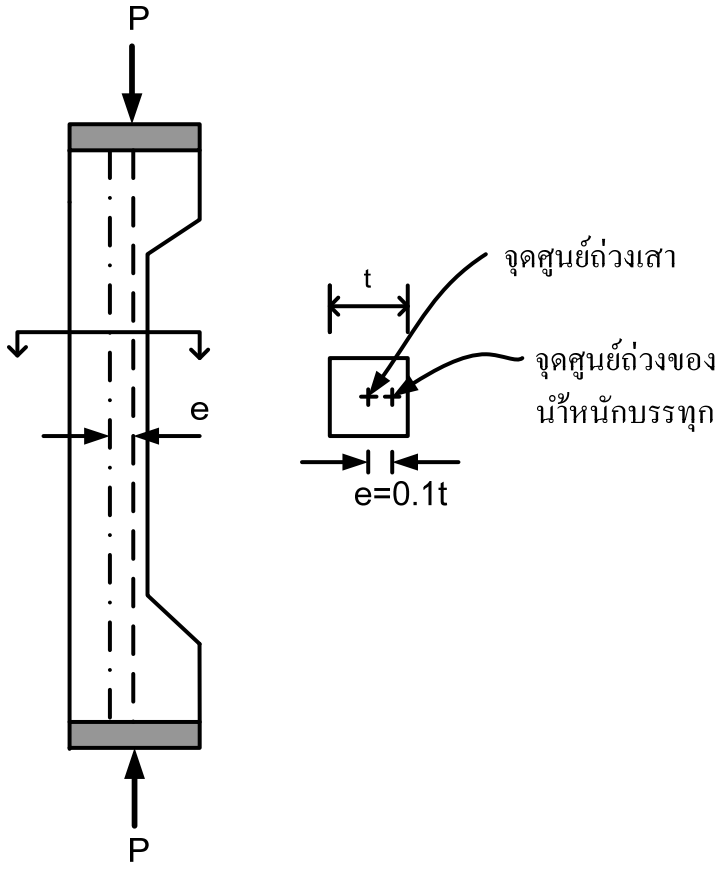


โมเมนต์เข้าเสา $M = M_R - M_L$

โมเมนต์เข้าเสาบน $M_{C\,top} = M\left(\frac{\left(\frac{EI}{L}\right)_{top\,column}}{\left(\frac{EI}{L}\right)_{top\,column}+\left(\frac{EI}{L}\right)_{bot\,column}}\right)$

โมเมนต์เข้าเสาล่าง $M_{C\,bot} = M\left(\frac{\left(\frac{EI}{L}\right)_{bot\ column}}{\left(\frac{EI}{L}\right)_{top\,column}+\left(\frac{EI}{L}\right)_{bot\,column}}\right)$

น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสารับแรงตามแนวแกนอย่างเดียว



การทดสอบเสา

เสาในโครงสร้างจริงจะรับแรงตามแนวแกนเป็นหลักอาจโมเมนต์ดัดร่วมด้วยแต่ส่วนใหญ่แล้วมีผลไม่มาก โดยโมเมนต์ดังกล่าวไม่ทำให้เกิดการเยื้องศูนย์ของแรงตามแนวแกนเกินกว่า 10% ของความกว้างของเสาด้านที่รับโมเมนต์ดัด (ดังรูป)

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาได้จากการทดสอบเสาให้มีการเยื้องศูนย์ประมาณ 10% ของความกว้างเสาด้านที่รับโมเมนต์ดัดจนถึงสภาวะประลัยแล้วจะได้สมการสำหรับการคำนวณออกแบบเสา ซึ่งคิดผลของโมเมนต์ที่คาดว่าจะมีแต่มีผลน้อยต่อกำลังรับน้ำหนักของเสา ในวิธีหน่วยแรงใช้งานน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวจะต้องหารด้วยส่วนปลอดภัย(Safety factor)

น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาปลอกเกลียว

น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่เสารับได้สามารถคำนวณได้จาก2ส่วนได้แก่คอนกรีตและเหล็กเสริม

น้ำหนักปลอดภัยที่คอนกรีตรับได้ $P_c = f_c A_g$

น้ำหนักปลอดภัยที่เหล็กเสริมรับได้ $P_s = f_s A_s$

หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต $f_c = 0.25 f_c'$

หน่วยแรงที่ยอมให้ของ $f_s = 0.4 f_y$

น้ำหนักปลอดภัย $P = P_s + P_c = A_g (f_c + \rho f_s)$

$\rho = \frac{A_s}{A_g}$ =เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม ***(Steel ratio)***

(หรืออัตราส่วนเหล็กเสริม)

น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาปลอกเดี่ยว

เสาปลอกเดี่ยวมาตรฐานวสท. ให้ใช้กำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาปลอกเดี่ยว เท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ของเสาปลอกเกลียวที่มีขนาดเสาและการเสริมเหล็กเท่ากัน

น้ำหนักปลอดภัยที่คอนกรีตรับได้ $P_c = 0.85 f_c A_g$

น้ำหนักปลอดภัยที่เหล็กเสริมรับได้ $P_s = 0.85 f_s A_s$

$P = P_s + P_c = 0.85 A_g (f_c + \rho f_s)$

สูตรหาน้ำหนักปลอดภัยของเสาเมื่อรับน้ำหนักตรงศูนย์ ได้คำนึงถึงผลของโมเมนต์ดัด ที่ทำให้เกิดการเยื้องศูนย์ไม่เกินกว่า 10% ของด้านที่รับโมเมนต์ดัด

$$e = \frac{M}{P} \leq 0.1t$$ หรือ เมื่อเสาได้รับการออกแบบให้รับน้ำหนักตรงศูนย์แล้ว

จะสามารถต้านโมเมนต์ดัดได้ไม่เกิน $M = Pe = P(0.1t)$

เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วเสาไม่รับโมเมนต์ดัดเลยมีน้อยมาก หรือแทบไม่มีเลย เช่น ในกรณีเสาต้นริมสุดจะมีผลของโมเมนต์ที่ปลายคานที่เกิดจากการยึดรั้ง กระจายเข้าเสา แต่ถ้าโมเมนต์ดัดไม่เกินกว่าค่าดังกล่าวข้างต้นแล้ว ก็สามารถออกแบบเป็นเสารับน้ำหนักตรงศูนย์ หรือเสารับแรงตามแนวแกนอย่างเดียวได้

ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบเสา

อัตราส่วนเหล็กเสริมในเสา (Steel ratio) $0.01 \le \rho = \frac{A_s}{A_g} \le 0.08$

หรือไม่น้อยกว่า 1% และไม่เกินกว่า 8%

$A_s =$ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมทั้งหมด

$A_g =$ พื้นที่หน้าตัดรวมของเสา (รวมเหล็กเสริมและคอนกรีต)

เพราะถ้าน้อยกว่า 1% เหล็กจะไม่ทำหน้าที่ Reinforce เมื่อคอนกรีตรับน้ำหนักไม่ได้ เหล็กจะ yield และ fail ทันที คล้ายกับกรณีเสริมเหล็กในคานน้อยกว่าปริมาณต่ำสุด

ถ้าเกินกว่า 8% เหล็กจะแน่นเกินไปการเทคอนกรีตอาจแน่นไม่ทั่วถึงและอาจเป็นโพรงเมื่อถอดแบบได้

เสาปลอกเดี่ยว

เหล็กปลอกต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 มม มีระยะเรียงไม่น้อยกว่า 3 ค่านี้

16 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาว

48 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กปลอก

ด้านแคบที่สุดของเสา

โดยเลือกเอาค่าน้อย

ทั้งนี้เพื่อประสิทธิภาพของการโอบรัด(Confinement) ทำให้เสาเหนียวและเสียรูปได้มากเมื่อเสาต้องวิบัติ เป็นการเตือนก่อนการวิบัติ

เสาปลอกเกลียว

จะเหนียวกว่าเสาปลอกเดี่ยว แต่ต้องเสริมเหล็กปลอกให้เป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

$$\rho_s = \frac{V_s}{A_c} \geq 0.45 \frac{f_c^{'}}{f_y}\left(\frac{A_g}{A_c} - 1\right)$$

$\rho_s =$ Volumetric steel ratio

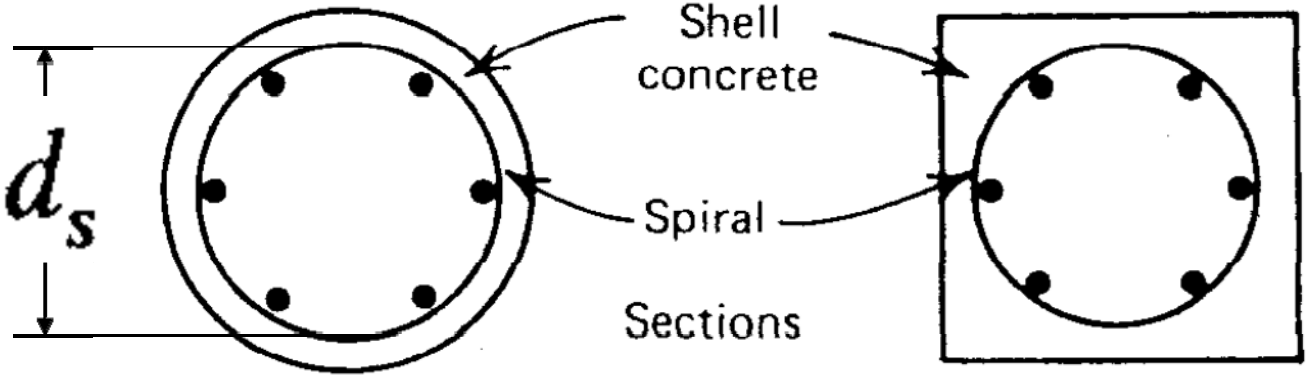
$V_s = A_{sp}\pi d_s / s$

$A_c = \pi d_s =$ หน้าตัดคอนกรีตแกนกลางที่อยู่ภายในเหล็กปลอก

$$\frac{V_s}{A_c} = \frac{A_{sp}\pi d_s}{\pi d_s s}$$

$A_{sp} =$ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอกเกลียว

$d_s =$ เส้นผ่าศูนย์กลางของวงเหล็กปลอกเกลียว (ดูรูปประกอบ)



Spiral column

อาคาร คสล หลังหนึ่งมีแปลนพื้น คาน เสา และรูปตัดแสดงจำนวนชั้นและความสูงระหว่างชั้น แสดงดังรูป พื้นชั้นล่างเป็นแบบวางบนคาน สมมติทุกชั้นมีแปลนพื้น คาน เสา เหมือนกัน

พื้น S1 หนา 10 ซม. รับน้ำหนักบรรทุกจร 200 กก ต่อ ตารางเมตร

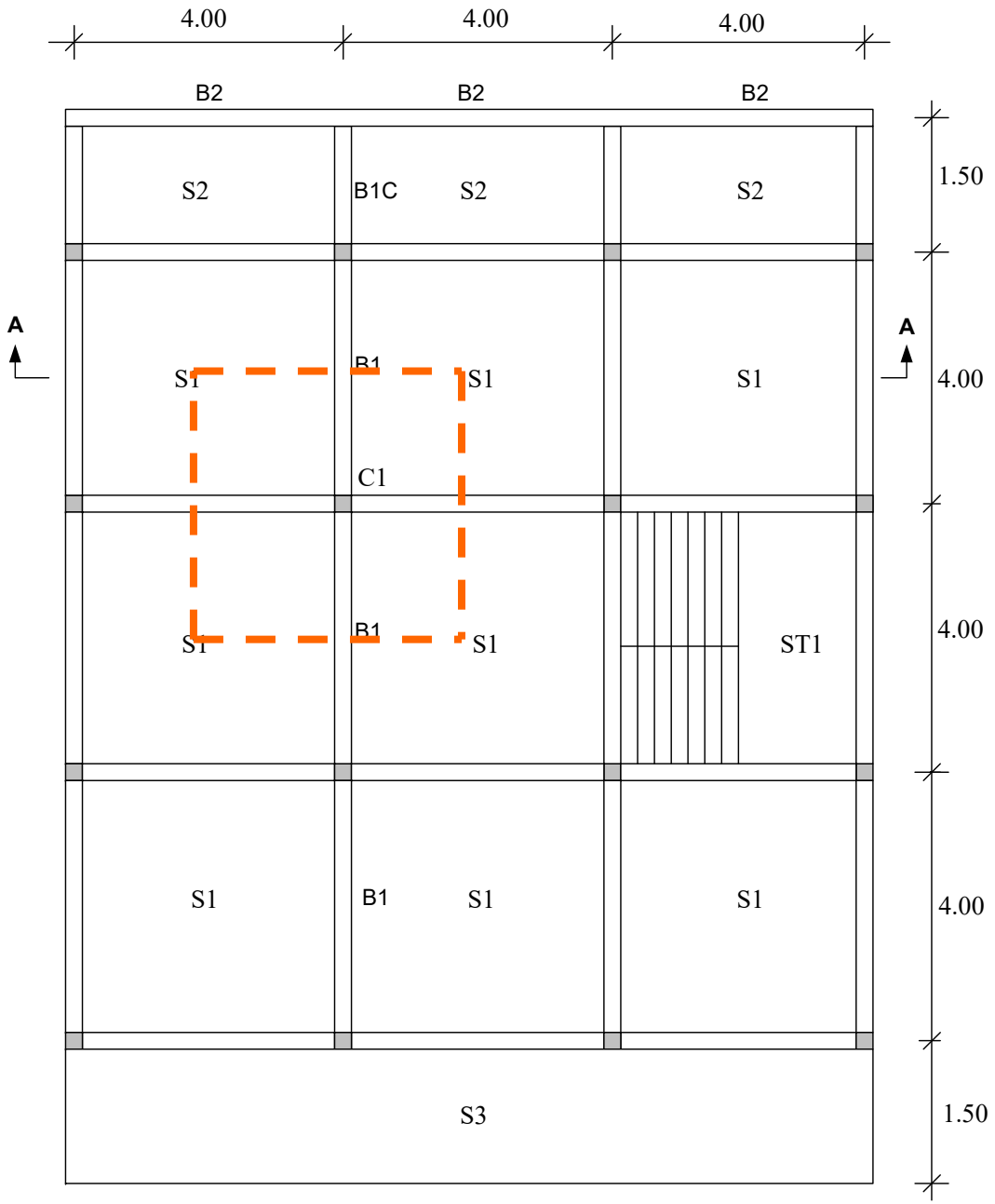
คาน B1 มีขนาด 20x40 ซม

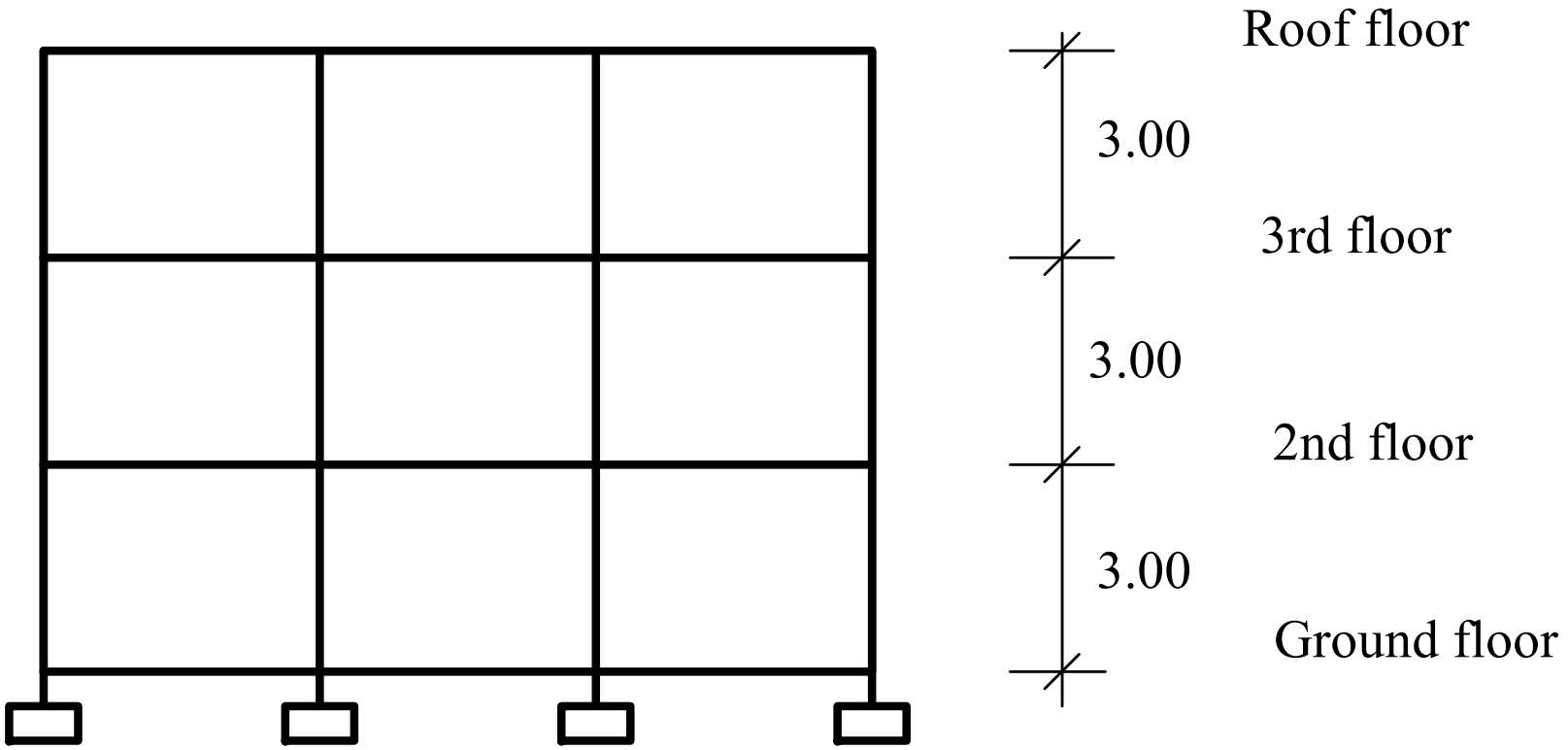
ตลอดแนวคาน B1 มีกำแพงก่ออิฐมอญ ฉาบเรียบ สูง 2.6 ม.

ให้ออกแบบและเขียนรายละเอียดการเสริมเหล็ก เสา C1 ในชั้นตอม่อ เมื่อกำหนด

กำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 170 ksc

กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริม 3000 ksc


4.00
4.00
4.00
B2
B2
B2
S2
B1C
S2
S2
1.50
A
A
S1
B1
S1
S1
4.00
C1
S1
B1
S1
ST1
4.00
S1
B1
S1
S1
4.00
S3
1.50



A-A

ออกแบบเสาตอม่อ C1

พื้นที่รับแรง $= 4.0(4.0) = 16\ m^2$

น้ำหนักบรรทุกตายตัวจากพื้น S1= (0.1) (1.0) (1.0) (2400) (16)

= 3840 Kg

น้ำหนักบรรทุกจร = 200(16)

= 3200 Kg

สมมติมีผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นสูง 2.60 m วางตามแนวคาน B1

น้ำหนักบรรทุกตายตัวของผนังลงพื้นที่รับแรง =180(2.6)(4.0)

= 1872 Kg

น้ำหนักบรรทุกตายตัวจากคาน =

(0.2)(0.4)(1.0)(2400)(4+4) = 1536 Kg

รวมน้ำหนักลงเสา C1 ต่อชั้น = 3840 + 3200 + 1872 + 1536

= 10,448 Kg

น้ำหนักจากทุกชั้นลงตอม่อ = 4(10448) = 41,792 Kg

= 41.8 ton

สมมติออกแบบเป็นเสาปลอกเดี่ยวจะคำนวณกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยจากสมการ

$$P = 0.85A_g(0.25f_c' + \rho f_s)$$

สมมติเสาขนาด 30x30cm

$$A_g = 30\times 30 = 900\ cm^2$$

$$P = 41,792\ Kg$$

$$f_c' = 170\ ksc$$

$$f_s = 0.4f_y = 0.4(3000) = 1200\ ksc$$

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ

$$41,792 = 0.85(900)[0.25(170) + \rho(1200)]$$

$$\rho = 0.01$$

$$= 1\% < 8\%$$

$A_s = \rho A_g =$ 0.01(900)=9 ตาราง ซม

ใช้ 8 DB12 A_s = 8(1.13)=9.04 ตาราง ซม

เหล็กปลอกต้อง $\phi > 6\,mm$

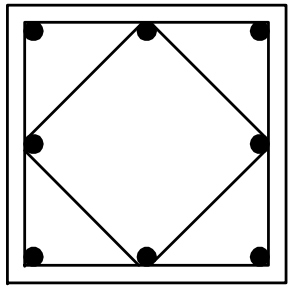
ระยะห่างไม่เกิน 16 เท่า ของ ϕ เหล็กยืน = $16(1.2)$

= $19.2cm$

48 เท่า ของ ϕ เหล็กปลอก = $48(0.6)$ = $28.8\ cm$

ด้านแคบเสา = $30\ cm$

เหล็กปลอก ป $\phi 6mm@0.175$

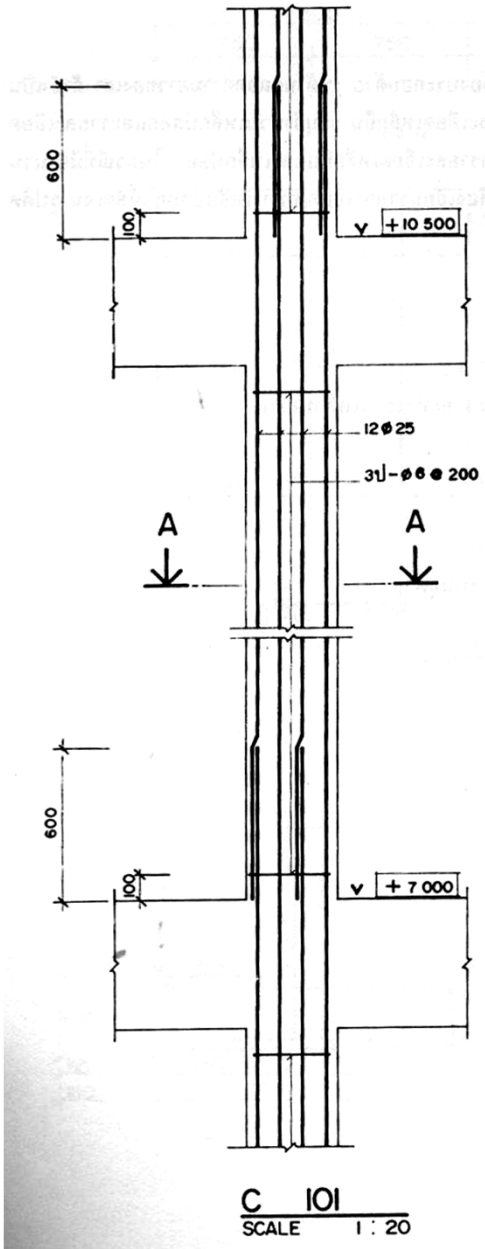


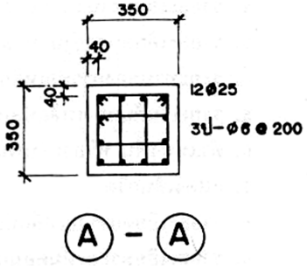
0.30x0.30
8DB12
ป$\phi 6mm@0.175$

รายละเอียดตอม่อ C1

ในชั้นบนอาจลดขนาดเสาและเหล็กเสริมได้อีก

ตัวอย่างการเขียนแบบเสา





C 101
SCALE 1 : 20

รายละเอียดเหล็กเสริมในเสา

เสา	C1	C2	C3
ชั้นหลังคา	—	150, 150, 4Ø12, ปØ6@150	150, 150, 4Ø12, ปØ6@150
ชั้นที่ 2	—		200, 200, 4Ø12, ปØ6@200
ชั้นที่ 1	150, 150, 4Ø12, ปØ6@150	200, 200, 4Ø12, ปØ6@150	200, 200, 8Ø12, 2ปØ6@200
ตอม่อ	200, 200, 4Ø12, ปØ6@150	250, 250, 6-Ø12, 2ปØ6@200	250, 250, 8-Ø12, 2ปØ6@150