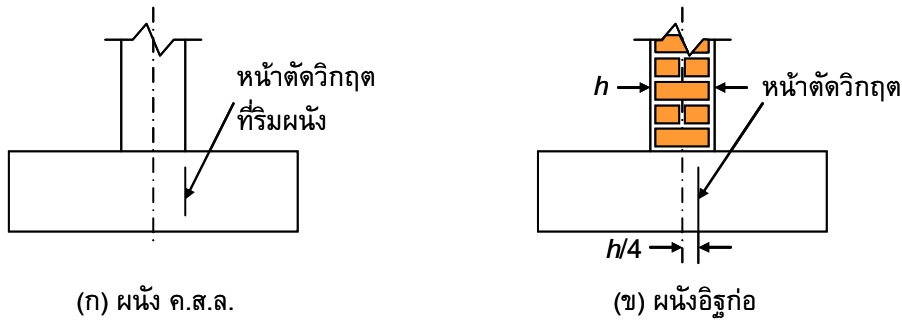


5. กำหนดเหล็กเสริมที่ต้องใช้รับโมเมนต์ดัด ถ้าฐานรากรองรับผนังคอนกรีตหน้าตัดวงกตจะอยู่ที่ผิวผนังดังในรูปที่ 13.16(ก) ถ้าฐานรากรองรับผนังอิฐก่อ หน้าตัดวงกตจะถูกสมมุติให้อยู่ที่ระยะห่างจากศูนย์กลางผนังมาหนึ่งในสี่ของความหนาผนังดังในรูปที่ 13.16(ข) เนื่องจากความลึกที่ต้องใช้เพื่อรับแรงเฉือนก่อนข้างหนา จึงควรตรวจสอบปริมาณเหล็กน้อยที่สุดเพื่อป้องกันการหลุดและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ



รูปที่ 13.16 หน้าตัดวงกตการค้ำของฐานารับผนัง

6. ตรวจสอบระยะยึดครั้งแรกระหว่างหน้าตัดวงกตของโมเมนต์และปลายเหล็กว่าเพียงพอหรือไม่

ตัวอย่างที่ 13.5 การออกแบบฐานารับผนัง

ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. รองรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานคงที่ 13 ตัน/เมตร และน้ำหนักบรรทุกจร 15 ตัน/เมตร แรงดันดินที่ยอมให้ 10 ตัน/ตร.ม. กำหนด $f'_c = 240$ กก./ซม.² $f_y = 4,000$ กก./ซม.²

วิธีทำ

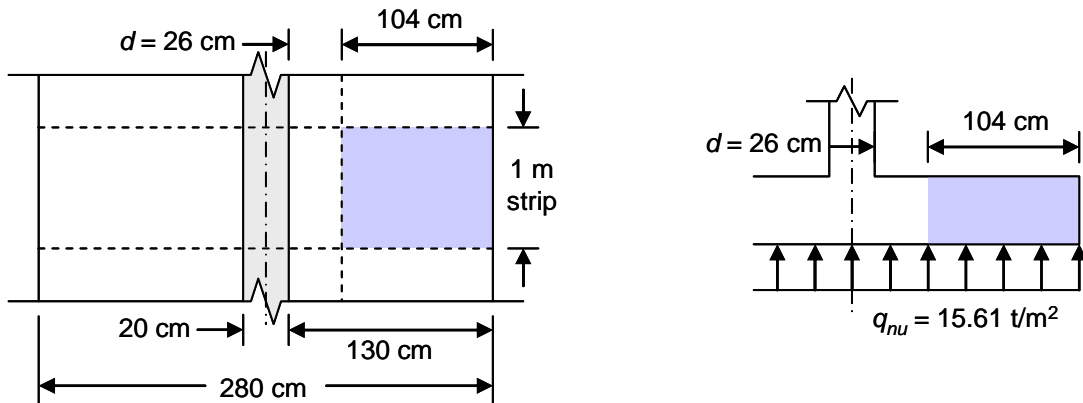
1. ประมาณขนาดฐานรากและแรงดันใต้ฐานราก พิจารณาฐานรากแถบกว้าง 1 เมตร

ความยาวฐานรากที่ต้องการ $L = \frac{DL+LL}{q_a} = \frac{13+15}{10} = 2.8$ เมตร ใช้ฐานรากยาว 2.8 เมตร

หน่วยแรงดันประลัยใต้ฐานราก $q_{nu} = \frac{P_u}{A} = \frac{1.4(13)+1.7(15)}{(2.8 \times 1.0)} = 15.61$ ตัน/ตร.ม.

2. ตรวจสอบการเฉือน การเฉือนมักจะเป็นปัจจัยที่ควบคุมความหนาฐานราก ในกรณีของฐานารับผนังจะตรวจสอบเฉพาะการเฉือนทางเดียวหรือ การเฉือนคาน (Beam shear) หน้าตัดวงกตสำหรับตรวจสอบการเฉือนคานจะอยู่ที่ระยะ d จากผิวผนัง ลองใช้ความหนาฐานราก $t = 35$ ซม. ดังนั้น

ความลึกประสิทธิผล: $d = 35$ ซม. - 8 ซม. ระยะหุ้ม - $\frac{1}{2}$ เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม $\cong 26$ ซม.



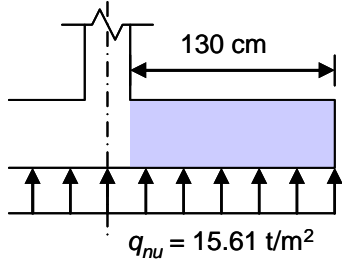
รูปที่ 13.17 หน้าตัดวงกตการเฉือนของฐานรากในตัวอย่างที่ 13.5

พื้นที่รับแรงดันทําหรับการเฉือนและหน้าตัดวิกฤตถูกแสดงในรูปที่ 13.17

แรงเฉือนประลัย: $V_u = 15.61 \times 1.0 \times 1.04 = 16.23$ ตัน

กำลังเฉือนคอนกรีต: $\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \sqrt{240} \times 100 \times 26 / 1,000 = 18.15$ ตัน > V_u **OK**

3. ปริมาณเหล็กเสริมรับโมเมนต์ หน้าตัดวิกฤตสำหรับการคํวณอยู่ที่ผิวผนังดังแสดงในรูปที่ 13.18



โมเมนต์ประลัย:

$$M_u = \frac{1}{2} \times 15.61 \times 1.3^2 = 13.19 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{13.19 \times 10^5}{0.9 \times 100 \times 26^2} = 21.68 \text{ ก.ก./ชม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}} \right) = 0.0057$$

รูปที่ 13.18 หน้าตัดวิกฤตโมเมนต์

ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ $A_s = 0.0057 \times 100 \times 26 = 14.82$ ชม.²/ม.

ปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด $\min A_s = 0.0018 \times 100 \times 35 = 6.3$ ชม.²/ม. < A_s **OK**

เลือกใช้เหล็ก DB16 @ 0.13 ($A_s = 2.01 \times 100 / 13 = 15.46$ ชม.²/เมตร)

4. ตรวจสอบระยะฝั่งยึด ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมเกิน $2d_b$ และระยะหุ้มเกิน d_b ดังนั้นจากตาราง ก.6 ระยะฝั่งยึดสำหรับ DB16 ในคอนกรีต 240 ก.ก./ชม.² คือ $L_d = 62$ ซม.

ระยะจากจุดที่เหล็กเสริมมีหน่วยแรงถึงมากที่สุด(ที่ผิวของผนัง)ถึงปลายเหล็กเสริมคือ

$$130 \text{ ซม.} - 8 \text{ ซม.} = 122 \text{ ซม.} > L_d = 62 \text{ ซม.}$$

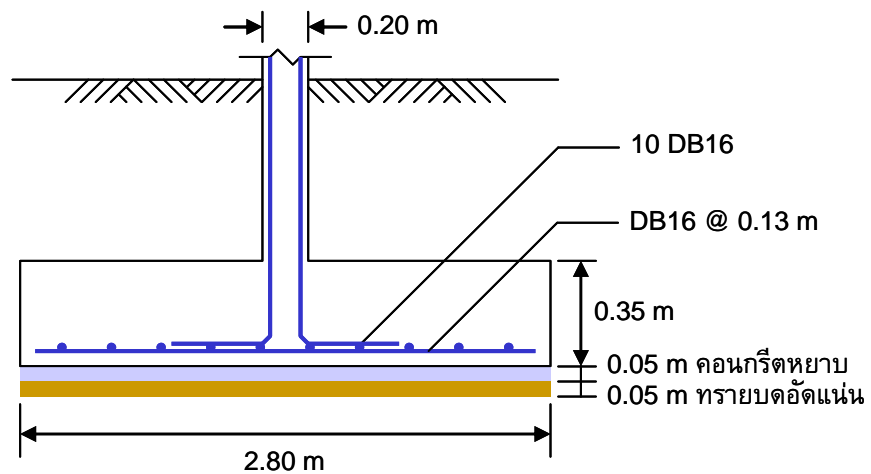
OK

5. ออกแบบเหล็กเสริมตามยาว ใช้ปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุดเพื่อต้านทานการแตกร้าวจากอุณหภูมิ

$$A_s = 0.0018 b h = 0.0018 \times 280 \times 35 = 17.64 \text{ ชม.}^2$$

เลือกใช้เหล็ก 10DB16 ($A_s = 10 \times 2.01 = 20.10$ ชม.²)

รูปแบบรายละเอียดของขนาดและการเสริมเหล็กในฐานรากเป็นดังแสดงในรูปที่ 13.19



รูปที่ 13.19 รายละเอียดการเสริมเหล็กในฐานรากรองรับผนังในตัวอย่างที่ 13.5

13.7 ฐานรากเดี่ยว

ฐานรากเดี่ยวรองรับเสาต้นเดียวโดยน้ำหนักบรรทุกจะถูกถ่ายลงตามแนวแกนจะต้องได้รับการออกแบบสำหรับการเฉือนทะลุ (Punching shear) หรือการเฉือนสองทาง (Two-way shear) การเฉือนคาน (Beam shear) หรือการเฉือนทางเดียว (One-way shear) และโมเมนต์คัต เมื่อฐานรากมีความโค้งสองทิศทางก็ต้องพิจารณาการเฉือนคานและโมเมนต์ในทั้งสองทิศทางนอกเสียจากว่าฐานรากเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

การคัตในฐานรากเดี่ยว

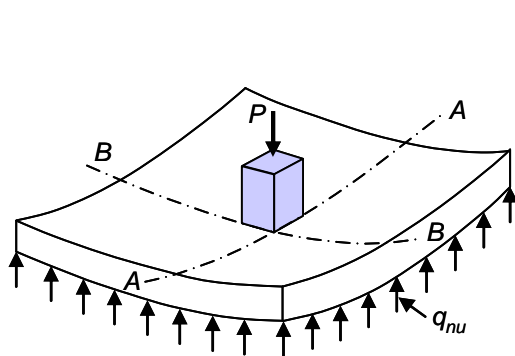
ฐานรากเดี่ยวแบบแผ่แสดงในรูปที่ 13.20 แรงดันดินใต้พื้นที่แรงเงาของฐานรากในรูปที่ 13.20(ข) ทำให้เกิดโมเมนต์รอบแกน A-A ที่ผิวหน้าของเสา ดังนั้นจากรูปที่ 13.20(ค) จะได้ค่าโมเมนต์เท่ากับ

$$M_u = (q_{nu} b f) \frac{f}{2} \tag{13.10}$$

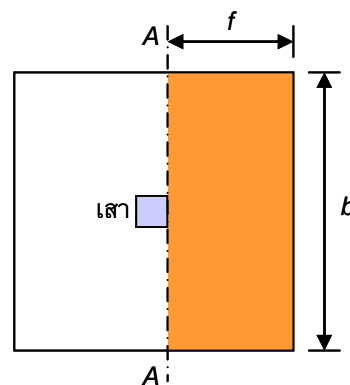
เมื่อ $q_{nu} b f$ คือแรงลัพธ์ของแรงดันดินบนพื้นที่แรงเงาและ $f/2$ ระยะจากแรงลัพธ์ถึงหน้าตัด A-A โมเมนต์ที่เกิดขึ้นนี้ต้องถูกต้านทานโดยการเสริมเหล็กดังในรูป 13.20(ค) โมเมนต์มากที่สุดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งถัดจากผิวเสาบนหน้าตัด A-A ในทำนองเดียวกันแรงดันดินในส่วนที่อยู่นอกหน้าตัด B-B ก็จะทำให้เกิดโมเมนต์รอบหน้าตัด B-B ซึ่งการต้านทานโมเมนต์ก็ต้องใช้เหล็กเสริมในทิศทางที่ตั้งฉากกับ B-B เหล็กเสริมทั้งหมดจึงอยู่ในรูปของตะแกรง

หน้าตัดวิกฤติสำหรับโมเมนต์มีหลักในการพิจารณาดังนี้

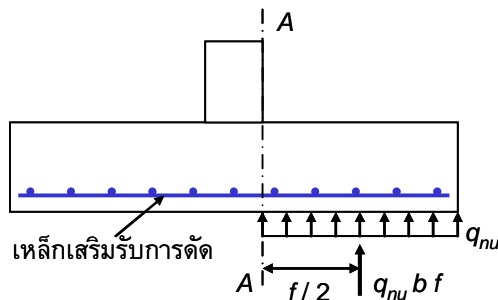
1. สำหรับฐานรากรองรับเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือผนัง จะอยู่ที่ผิวของเสาหรือผนัง
2. สำหรับฐานรากรองรับเสากลมหรือเสารูปหลายเหลี่ยมด้านเท่า จะอยู่ที่ผิวของเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสเสมือนที่มีพื้นที่เท่ากัน
3. สำหรับฐานรากที่รองรับผนังอิฐก่อ จะอยู่ที่ครึ่งทางระหว่างกึ่งกลางผนังถึงผิวผนัง
4. สำหรับฐานรากรองรับเสาที่มีแผ่นเหล็กทรงใต้เสา จะอยู่ที่ครึ่งทางระหว่างผิวเสาดังของแผ่นรอง



(ก) ฐานรากภายใต้น้ำหนักบรรทุก



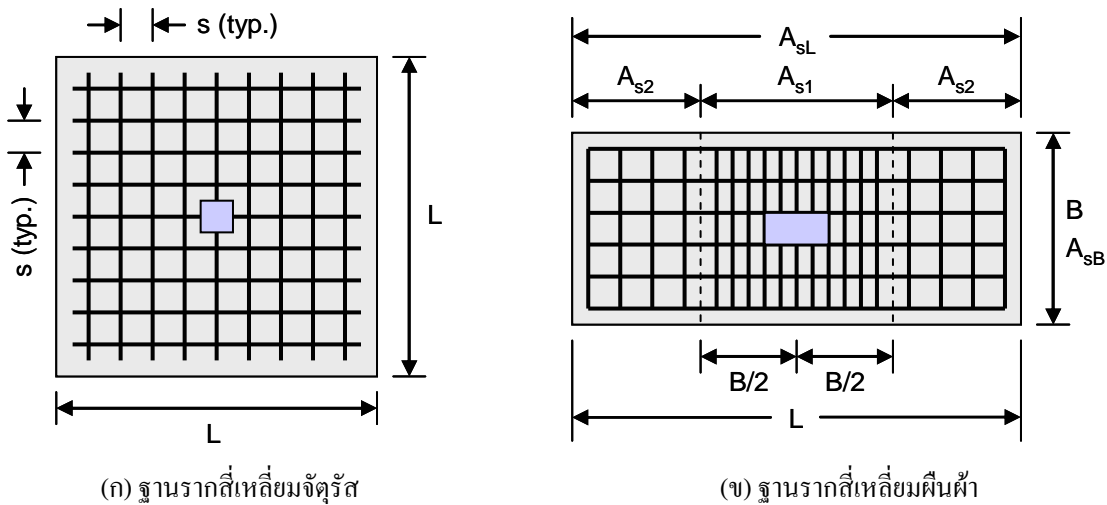
(ข) พื้นที่รับแรงดันใช้ในการคำนวณโมเมนต์ที่หน้าตัด A-A



(ค) โมเมนต์คัตรอบหน้าตัด A-A

รูปที่ 13.20 พฤติกรรมการคัตของฐานรากเดี่ยว

โมเมนต์ต่อหน่วยความยาวจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปบนเส้น A-A และ B-B โดยมีค่ามากที่สุดที่ผิวเสา อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกในการจัดวางเหล็กเสริม ACI จึงกำหนดให้เหล็กเสริมทางยาวกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งความกว้างของฐานรากซึ่งโดยปกติแล้วจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังในรูปที่ 13.21(ก) แต่ถ้าฐานรากเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าการกระจายเหล็กเสริมด้านสั้นจะหนาแน่นในบริเวณใต้ฐานเสาดังในรูปที่ 13.21(ข)



รูปที่ 13.21 การกระจายเหล็กเสริมในฐานรากเดี่ยว

ในทิศทางสั้นการเสริมเหล็กจะเกาะกลุ่มในแถบกลาง เนื่องจากมีค่าโมเมนต์มากในบริเวณนั้น ความกว้างของแถบกลางจะเท่ากับความยาวของด้านสั้น และอัตราส่วนระหว่างเหล็กเสริมในแถบกลางต่อปริมาณเหล็กทั้งหมดจะเท่ากับ

$$\frac{\text{Steel in middle strip}}{\text{Total steel in long direction}} = \frac{A_{s1}}{A_{sL}} = \frac{2}{\beta + 1} \quad (13.11)$$

เมื่อ $\beta = L/B$ คืออัตราส่วนของด้านยาวต่อด้านสั้น เหล็กเสริมที่เหลือจากแถบกลางคือ $A_{s2} = (A_{sL} - A_{s1})/2$ จะถูกวางให้มีระยะห่างสม่ำเสมอบนด้านข้างดังรูปที่ 13.21(ข)

ปริมาณเหล็กเสริมรับการคดน้อยที่สุดในแต่ละทิศทาง จะใช้เพื่อป้องกันการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวและอุณหภูมิ สำหรับเหล็ก SD40 ค่า $A_{s,min} = 0.0018bh$ ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมมากที่สุดให้ใช้ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 3 เท่า ความหนาฐานรากหรือ 45 ซม.

ระยะฝั่งยึดของเหล็กเสริม

การเสริมเหล็กในฐานรากตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าหน่วยแรงในเหล็กจะถึงค่า f_y ที่หน้าตัดรับโมเมนต์มากที่สุดที่ผิวเสาดังนั้นเหล็กเสริมในแต่ละทิศทางจึงต้องยื่นออกไปไกลพอที่จะให้หน่วยแรงพัฒนาจนถึงค่ามากที่สุดได้ กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือเหล็กเสริมจะต้องยื่นออกไปยาว l_d หรือออก

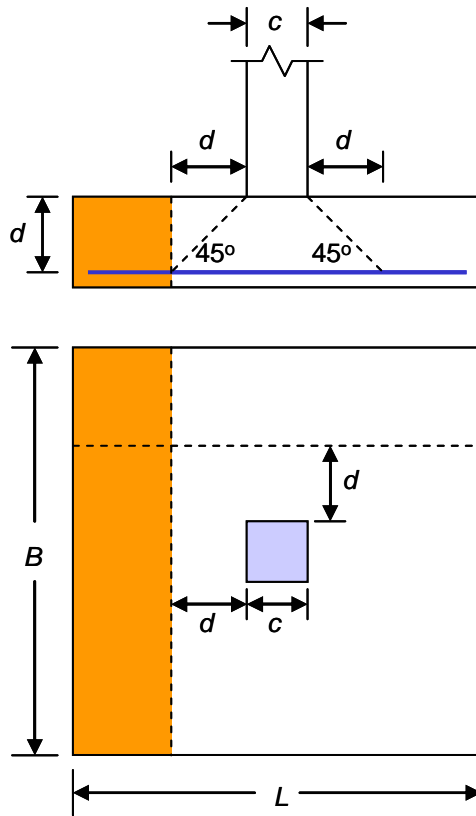
การเฉือนทางเดียว (One-way shear)

ฐานรากอาจวิบัติโดยการเฉือนเหมือนคานกว้างเช่นดังในกรณีของฐานรากรองรับผนัง หน้าตัดวิกฤตอยู่ที่ระยะ d จากผิวเสาดังในรูปที่ 13.22 ค่าดึงรับแรงเฉือนของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ

โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน $V_c = 0.29\sqrt{f'_c} b d \quad (13.12)$

โดยวิธีกำลัง $V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b d \quad (13.13)$

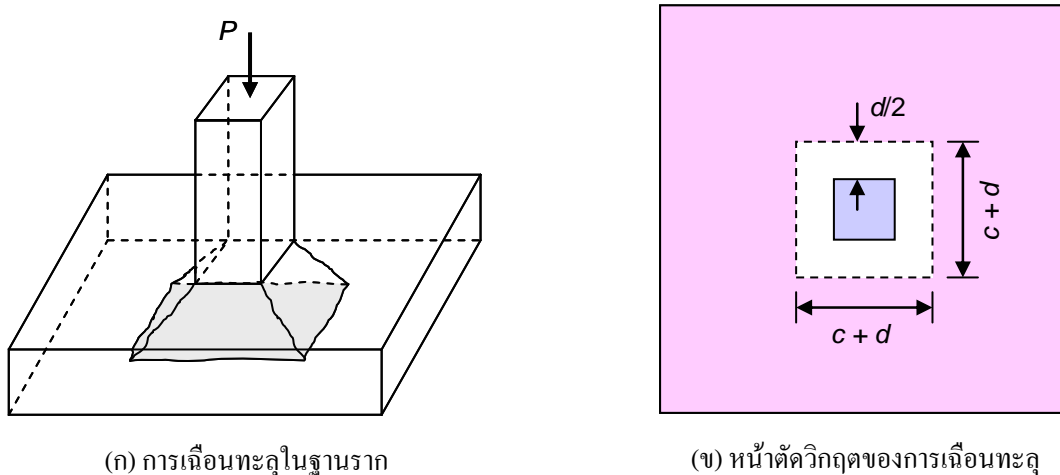
การเสริมเหล็กรับแรงเฉือนมักไม่ค่อยทำกันเนื่องจากจัดวางเหล็กยาก ดังนั้นหากกำลังเฉือนของคอนกรีตไม่พอก็จะเพิ่มความหนาฐานรากเพื่อให้ V_c เพิ่มขึ้นจนเพียงพอคือ $\phi V_c \geq V_u$



รูปที่ 13.22 การเฉือนทางเดียวในฐานรากเดี่ยว

การเฉือนสองทาง (Two-way shear)

เสาที่ถูกรองรับโดยพื้นดังในรูปที่ 13.23(ก) อาจจะทะลุผ่านแผ่นพื้นได้เนื่องจากหน่วยแรงเฉือนในฐานรากโดยรอบเส้นรอบรูปเสา ในเวลาเดียวกันหน่วยแรงอัดจากเสาจะถูกระบายออกสู่ฐานรากทำให้คอนกรีตที่อยู่เสารับแรงอัดในแนวตั้งหรือเอียงเล็กน้อยนอกจากแรงเฉือน ถ้ามีการวิบัติเกิดขึ้นการแตกร้าวจะเป็นรูปพีรามิดหัวตัด หรือกรวยหัวตัดถ้าเป็นเสากลม โดยมีความลาดเอียงด้านข้างเป็นมุม 45° หน่วยแรงเฉือนโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่วิบัติในลักษณะนี้จะหาได้ที่ระนาบตั้งผ่านฐานรากโดยรอบเสาห่างจากผิวเสาเป็นระยะ $d/2$ ดังในรูปที่ 13.23(ข)



(ก) การเฉือนทะลุในฐานราก

(ข) หน้าตัดวิกฤตของการเฉือนทะลุ

รูปที่ 13.23 หน้าตัดวิกฤตของการเฉือนทะลุ

กำลังเฉือนทะลุของคอนกรีต

โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_0 d \tag{13.14}$$

สำหรับวิธีกำลัง ACI ยอมให้ใช้ค่ากำลังเฉือนสองทาง V_c ในฐานราก โดยเลือกใช้ค่าที่น้อยที่สุดจากสูตรดังต่อไปนี้

$$V_c = 1.06 \sqrt{f'_c} b_0 d \quad (13.15)$$

$$V_c = 0.27 \left(2 + \frac{4}{\beta_c} \right) \sqrt{f'_c} b_0 d \quad (13.16)$$

$$\text{ในกรณีที่อัตราส่วน } b_0/d \text{ มีค่ามาก} \quad V_c = 0.27 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_0} \right) \sqrt{f'_c} b_0 d \quad (13.17)$$

เมื่อ b_0 = ความยาวเส้นรอบรูปที่ระยะ $d/2$ จากผิวเสา

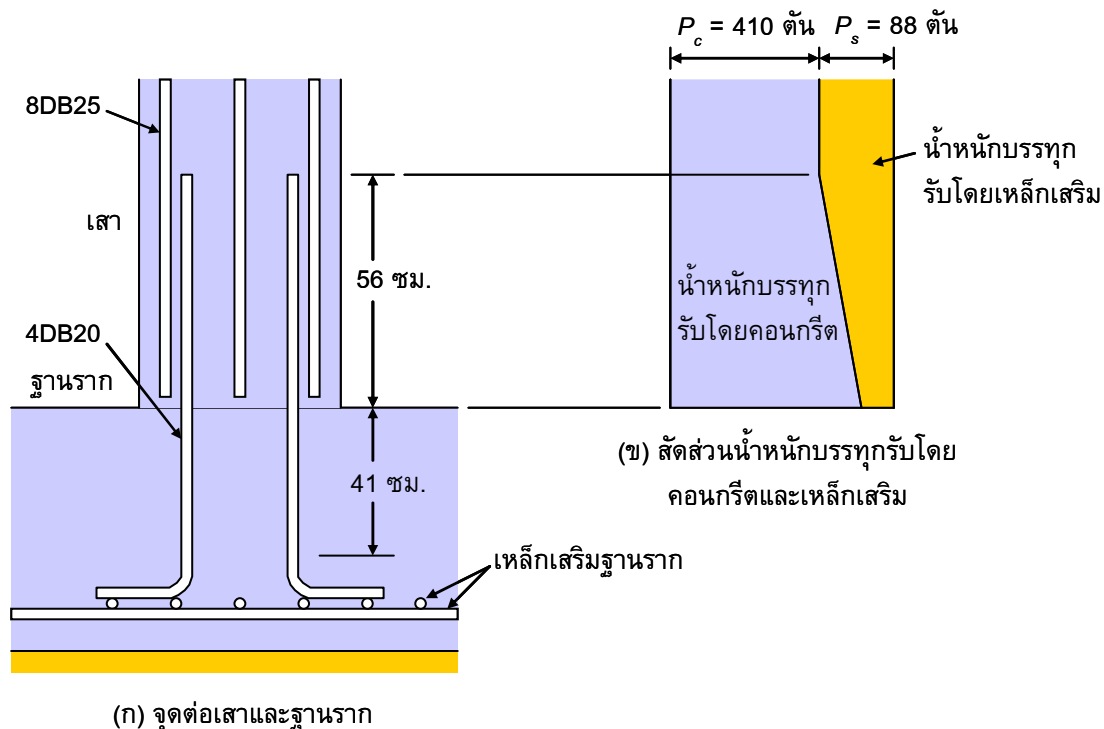
β_c = a/b อัตราส่วนระหว่างด้านยาวต่อด้านสั้นของหน้าตัดเสา

α_s = 40 สำหรับเสาภายใน 30 สำหรับเสาดันริม และ 20 สำหรับเสามุม

ในกรณีที่ส่วนใหญ่แล้วอาจใช้เพียงสูตรทั่วไป (13.15) คำนวณกำลังเฉือนสองทางก็ได้

การถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากเสาลงสู่ฐานราก

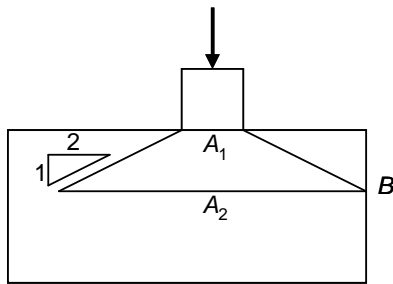
เสาจะถ่ายน้ำหนักกระทำเป็นจุดลงสู่ฐานราก น้ำหนักบรรทุกนี้จะถูกส่งผ่าน โดยหน่วยแรงแบกทานในคอนกรีตและหน่วยแรงในเหล็กเสริมบริเวณจุดต่อซึ่งอาจน้อยกว่าเหล็กยื่นในเสา ปริมาณเหล็กน้อยที่สุดคือ 0.005 เท่าของพื้นที่เสา รูปที่ 13.24 แสดงตัวอย่างของจุดต่อ เสาขนาด 50×50 ซม. $f'_c = 350$ ก.ก./ซม.² และเหล็ก SD40 ขนาด DB25 จำนวน 8 เส้น ถูกรองรับโดยฐานรากทำจากคอนกรีตกำลัง 210 ก.ก./ซม.² ใช้เหล็ก 4DB20 เป็นเหล็กต่อเชื่อมซึ่งยื่นลงไปนในฐานรากเท่ากับระยะฝังที่ต้องการสำหรับเหล็กเสริม DB20 รับแรงอัดในคอนกรีต 210 ก.ก./ซม.² (41 ซม.) และยื่นเข้าไปในเสาเท่ากับค่าที่มากกว่าของระยะต่อเหล็ก DB20 รับแรงอัดในคอนกรีต 350 ก.ก./ซม.² ($0.007 \times 4,000 \times 2.0 = 56$ ซม.) และระยะฝังรับแรงอัดของเหล็ก DB25 ในคอนกรีต 350 ก.ก./ซม.² (43 ซม.)



รูปที่ 13.24 จุดต่อเสาและฐานราก

กำลังรับน้ำหนักตามแนวแกนทั้งหมดของเสา คือ $P_u = 498$ ตัน รับโดยเหล็กเสริม 88 ตัน ที่เหลือรับโดยคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 13.24(ข) ถ้าปริมาณเหล็กต่อเชื่อมมีน้อยกว่าเหล็กยื่นในเสา น้ำหนักบรรทุกที่รับโดยคอนกรีตก็จะเพิ่มขึ้น ในรูปที่ 13.24 เหล็กต่อเชื่อมที่อยู่ในฐานรากจะถูกถอดออกเพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกและยึดติดกับฐานราก แต่การ

งอกมาให้ได้เพิ่มการพัฒนาแรงอัดในเหล็ก จุดต่อจึงอาจวิบัติได้โดยการบดอัดทลายของคอนกรีตที่โคนเสา, ที่ฐานรากใต้เสา หรือระยะทาบระหว่างเหล็กขึ้นในเสาและเหล็กต่อเชื่อม ซึ่งแต่ละกรณีของการวิบัติต้องถูกพิจารณาในการออกแบบ



ACI กำหนดให้กำลังแบกทานของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ

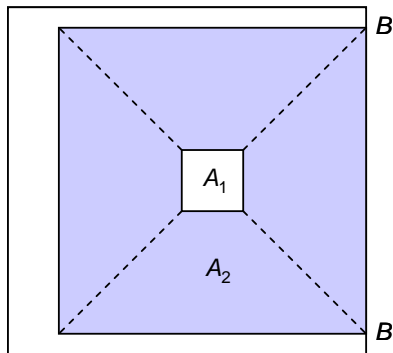
$$\phi(0.85f'_c A_1) \quad (13.18)$$

เมื่อ $\phi = 0.70$ และ A_1 คือพื้นที่รับน้ำหนัก

เมื่อผิวรองรับกว้างกว่าพื้นที่รับน้ำหนัก กำลังแบกทานจะมีค่าเป็น

$$\phi(0.85f'_c A_1) \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2\phi(0.85f'_c A_1) \quad (13.19)$$

เมื่อ A_2 คือพื้นที่ฐานด้านล่างที่ใหญ่ที่สุดของปริมาตรของการถ่ายแรงที่ยังอยู่ในฐานรองรับ ความลาดเอียงของปริมาตรคือ 1 ในแนวตั้งต่อ 2 ในแนวราบ ดังในรูปที่ 13.25



รูปที่ 13.25 นิยามของพื้นที่ A_1 และ A_2

สรุปขั้นตอนการออกแบบฐานรากเดี่ยว

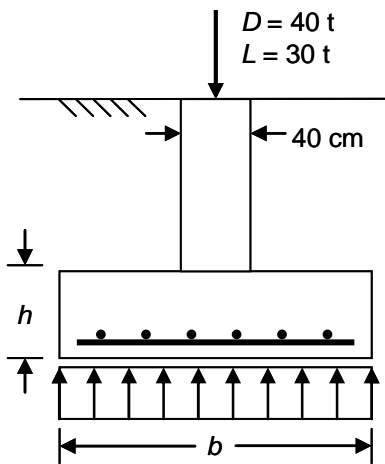
1. เลือกความลึกฐานราก โดยความหนาแน่นที่สุดสำหรับฐานรากบนดินคือ 15 ซม. นับจากเหล็กเสริม และ 30 ซม. สำหรับฐานรากบนเสาเข็ม ระยะหุ้มคอนกรีตต้องไม่น้อยกว่า 8 ซม. ถ้าหล่อคอนกรีตบนดิน ความหนาแน่นที่สุดในทางปฏิบัติคือ 30 ซม.
2. คำนวณพื้นที่ฐานรากที่ต้องการโดยหารน้ำหนักบรรทุกใช้งานทั้งหมดด้วยหน่วยแรงดันดินที่ยอมรับ จากนั้นทำการกำหนดขนาดซึ่งถ้าเป็นไปได้ให้ใช้ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพราะจะประหยัดที่สุด
3. เพิ่มน้ำหนักบรรทุกใช้งานให้เป็นน้ำหนักบรรทุกประลัย และคำนวณแรงดันดินประลัย q_{nu} โดยหารน้ำหนักประลัยด้วยพื้นที่ฐานราก
4. ตรวจสอบการเลื่อนทะลุ ถ้าไม่พอให้เพิ่มความหนาของฐานรากจนกว่าจะมีความต้านทานเพียงพอ
5. ตรวจสอบการเลื่อนคานในแต่ละทิศทางที่ระยะ d จากผิวเสา เพิ่มความลึกถ้าต้องการกำลังเพิ่ม
6. คำนวณพื้นที่เหล็กรับแรงคดที่ต้องการในแต่ละทิศทางจากหน้าตัดวิกฤติที่ผิวเสา
7. ตรวจสอบกำลังแบกทานจากเสาที่ถ่ายลงฐานราก ถ้าไม่เพียงพอต้องใช้เหล็กเสริมเพื่อช่วยถ่ายน้ำหนัก
8. ตรวจสอบความยาวยึดรั้งระหว่างหน้าตัดวิกฤติการคดกับปลายเหล็กว่าเพียงพอหรือไม่

ตัวอย่างที่ 13.6 การออกแบบฐานรากเดี่ยวสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จงออกแบบฐานรากเดี่ยวสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อรองรับเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40 ซม. ที่กึ่งกลางฐานราก น้ำหนักบรรทุกคงที่จากเสาคือ 40 ตัน และน้ำหนักบรรทุกจรคือ 30 ตัน แรงดันดินที่ยอมรับ 10 ตัน/ตร.ม. กำหนด $f'_c = 240$ กก./ชม.² $f_y = 4,000$ กก./ชม.² และหน่วยน้ำหนักดิน $\gamma_s = 2.0$ ตัน/ลบ.ม.

วิธีทำ

1. เลือกขนาดฐานรากและคำนวณหน่วยแรงดันดินประลัย



รูปที่ 13.26 ฐานรากในตัวอย่างที่ 13.6

พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ :

$$A_f = \frac{40+30}{10} = 7.0 \text{ ตร.ม.}$$

เลือกใช้ฐานรากขนาด 2.7×2.7 ม. มีพื้นที่ 7.29 ตร.ม.

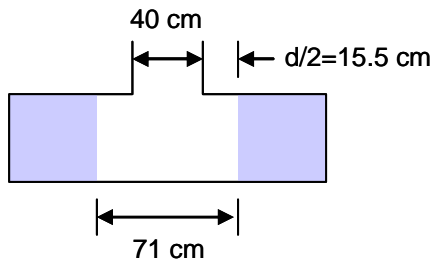
หน่วยแรงดันดินประลัย :

$$q_{nu} = \frac{1.4 \times 40 + 1.7 \times 30}{7.29} = 14.68 \text{ ตัน/ตร.ม.}$$

ลองใช้ความหนาฐานราก $h = 40$ ซม.

$$d = 40 \text{ ซม.} - 8 \text{ ซม.} - d_b / 2 \cong 31 \text{ ซม.}$$

2. ตรวจสอบการเฉือนทะลุ



แรงเฉือนประลัย :

$$V_u = 14.68(2.7^2 - 0.71^2) = 99.62 \text{ ตัน}$$

เส้นรอบรูปหน้าตัดวิกฤต :

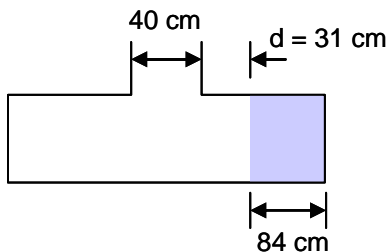
$$b_0 = 4 \times 71 = 284 \text{ ซม.}$$

กำลังเฉือนคอนกรีต :

$$\phi V_c = 0.85 \times 1.06 \sqrt{240} \times 284 \times 31 / 1,000 = 123 \text{ ตัน} > [V_u = 99.62 \text{ ตัน}]$$

OK

3. ตรวจสอบการเฉือนคาน



แรงเฉือนประลัย :

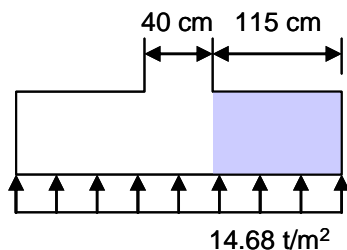
$$V_u = 14.68 \times 0.84 \times 2.7 = 33.29 \text{ ตัน}$$

กำลังเฉือนคอนกรีต :

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \sqrt{240} \times 270 \times 31 / 1,000 = 58.4 \text{ ตัน} > [V_u = 33.29 \text{ ตัน}]$$

OK

4. ออกแบบเหล็กเสริมรับโมเมนต์ตัด หน้าตัดวิกฤตสำหรับการค้ำอยู่ที่ผิวเสาตั้งแสดงในรูปข้างล่าง



คำนวณ โมเมนต์ตัดประลัยในส่วนที่เป็นปลายยื่น :

$$M_u = 14.68 \times 2.7 \times 1.15^2 / 2 = 26.21 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{26.21 \times 10^5}{0.9 \times 270 \times 31^2} = 11.22 \text{ ก.ก./ซม.}^2$$

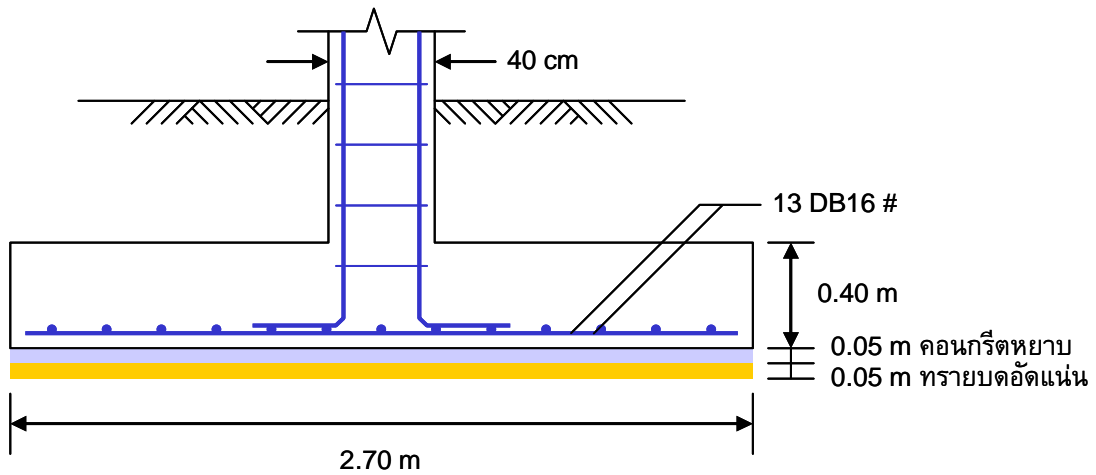
$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}} \right) = 0.0029$$

$$A_s = 0.0029 \times 270 \times 31 = 24.27 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{s \min} = 0.0018 \times 270 \times 40 = 19.44 \text{ ซม.}^2 < A_s$$

OK

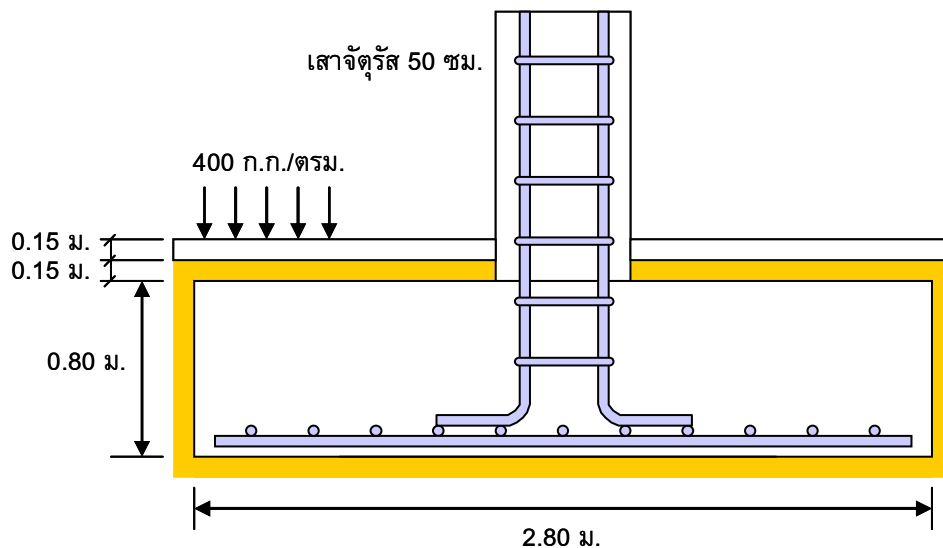
เลือกใช้ 13 DB16 # ($A_s = 26.13 \text{ ซม.}^2$)



รูปที่ 13.27 รายละเอียดการเสริมเหล็กในตัวอย่างที่ 13.6

ตัวอย่างที่ 13.7 การออกแบบฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จงออกแบบฐานรากเพื่อรองรับเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50 ซม. น้ำหนักบรรทุกคงที่ 180 ตัน น้ำหนักบรรทุกจร 120 ตัน เสาทำด้วยคอนกรีตกำลัง 350 ก.ก./ซม.² ใช้เหล็ก 8DB28 เกรด SD40 ผิวบนของฐานรากถูกปิดด้วยดินบดอัดหนา 15 ซม. ให้น้ำหนัก 1.9 ตัน/ลบ.ม. และพื้นชั้นใต้ดินหนา 15 ซม.(รูปที่ 13.28) พื้นชั้นใต้ดินรับน้ำหนัก 400 ก.ก./ตรม. หน่วยแรงดินที่ยอมให้คือ 25 ตัน/ตรม. สมมุติว่าความกว้างมากที่สุดของฐานรากถูกจำกัดที่ 2.8 เมตร



รูปที่ 13.28 ฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้าในตัวอย่างที่ 13.7

วิธีทำ

1. ประมาณขนาดฐานรากและแรงดันดินประลัยสุทธิ จากหน่วยแรงดันดินที่ยอมให้หักน้ำหนักฐานราก ดินถม และพื้นชั้นใต้ดิน ประมาณความหนาฐานรากระหว่างหนึ่งถึงสองเท่าของหน้าเสาที่ 80 ซม.

บทที่ 13 ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

$$q_u = 25 - (0.8 \times 2.4 + 0.15 \times 1.9 + 0.15 \times 2.4 + 0.4) = 22.04 \text{ ตัน/ตรม.}$$

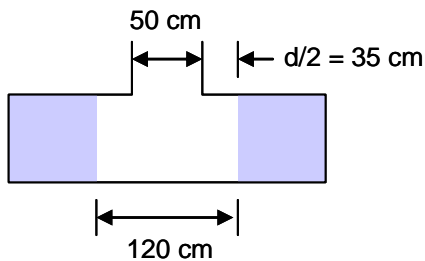
$$\text{พื้นที่ฐานรากที่ต้องการ} = \frac{180 + 120}{22.04} = 13.61 \text{ ตรม.}$$

เลือกใช้ฐานราก 2.8×5.0 ม. มีพื้นที่ 14.00 ตรม.

$$\text{แรงดันดินประลัยสุทธิ } q_{nu} = \frac{1.4 \times 180 + 1.7 \times 120}{14.00} = 32.57 \text{ ตัน/ตรม.}$$

2. ตรวจสอบการเฉือนทะลุ

$$d = 80 \text{ ซม.} - (7.5 \text{ ซม. ระยะเวลาหุ้ม}) - (1 \text{ เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม}) = 70 \text{ ซม.}$$



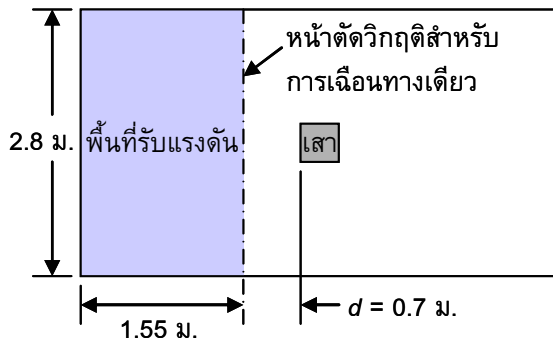
$$V_u = 32.57(14.00 - 1.20^2) = 409 \text{ ตัน}$$

$$b_o = 4 \times 120 = 480 \text{ ซม.}$$

$$\phi V_c = 0.85 \times 1.06 \times \sqrt{350} \times 480 \times 70 / 1,000 = 566 \text{ ตัน} > V_u$$

OK

3. ตรวจสอบการเฉือนแบบคาน หน้าตัดวิกฤติและพื้นที่รับแรงดันเป็นดังในรูปข้างล่าง

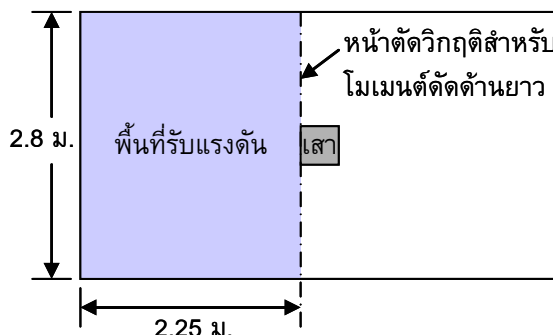


$$V_u = 32.57 \times 1.55 \times 2.8 = 141.4 \text{ ตัน}$$

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \times \sqrt{350} \times 280 \times 70 / 1,000 = 165.2 \text{ ตัน} > V_u$$

OK

4. ออกแบบเหล็กเสริมรับโมเมนต์ตัดทางด้านยาว หน้าตัดวิกฤติจะอยู่ที่ผิวเสา ดังในรูปข้างล่าง



$$M_u = 32.57 \times 2.8 \times 2.25^2 / 2 = 231 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$R_n = \frac{231 \times 10^5}{0.9 \times 280 \times 70^2} = 18.71 \text{ ก.ก./ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{1}{13.45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13.45 \times 18.71}{4,000}} \right) = 0.00483$$

$$A_s = 0.00483 \times 280 \times 70 = 94.76 \text{ ซม.}^2$$

$$\text{สำหรับ } f_y = 4,000 \text{ ก.ก./ซม.}^2 \quad A_{s,\min} = 0.0018(280)(80) = 40.32 \text{ ซม.}^2 < A_s$$

OK

เลือกใช้ 16DB28 ($A_s = 98.56 \text{ ซม.}^2$) ในด้านยาว