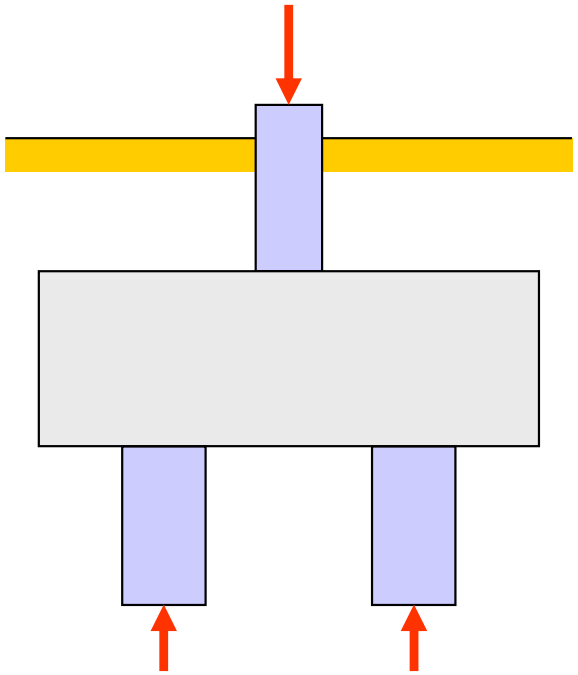
14

Reinforced Concrete Design II

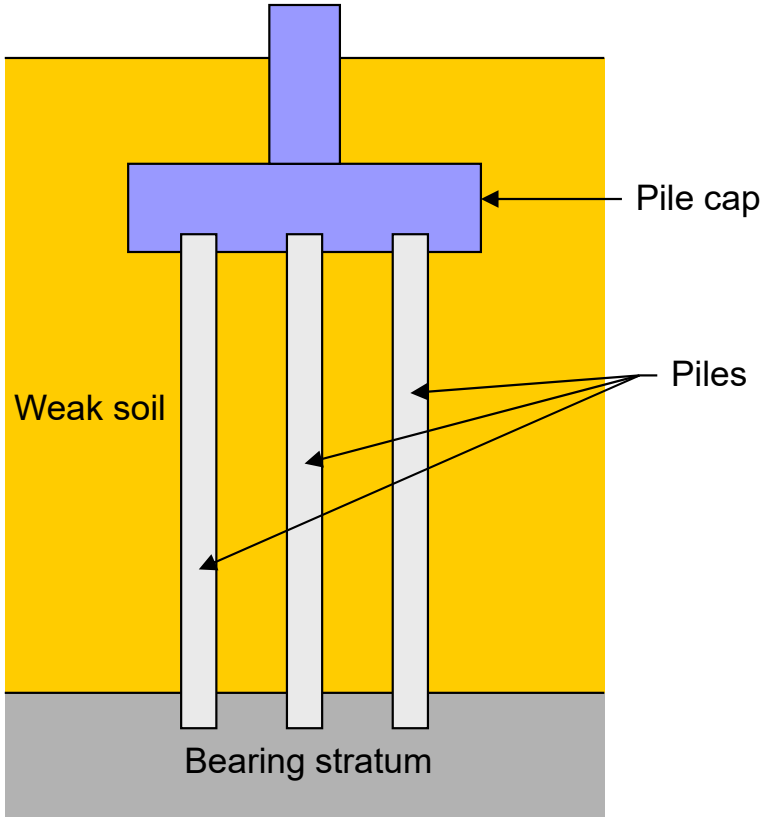
Pile Cap Design



- ชนิดของเสาเข็ม
- การคิดจำนวนเสาเข็ม
- การเฉือนในฐานรากเสาเข็ม
- ฐานเสาเข็ม F1, F2, F3 และ F4

โดย ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช

ฐานรากหัวเสาเข็ม **(pile cap)**

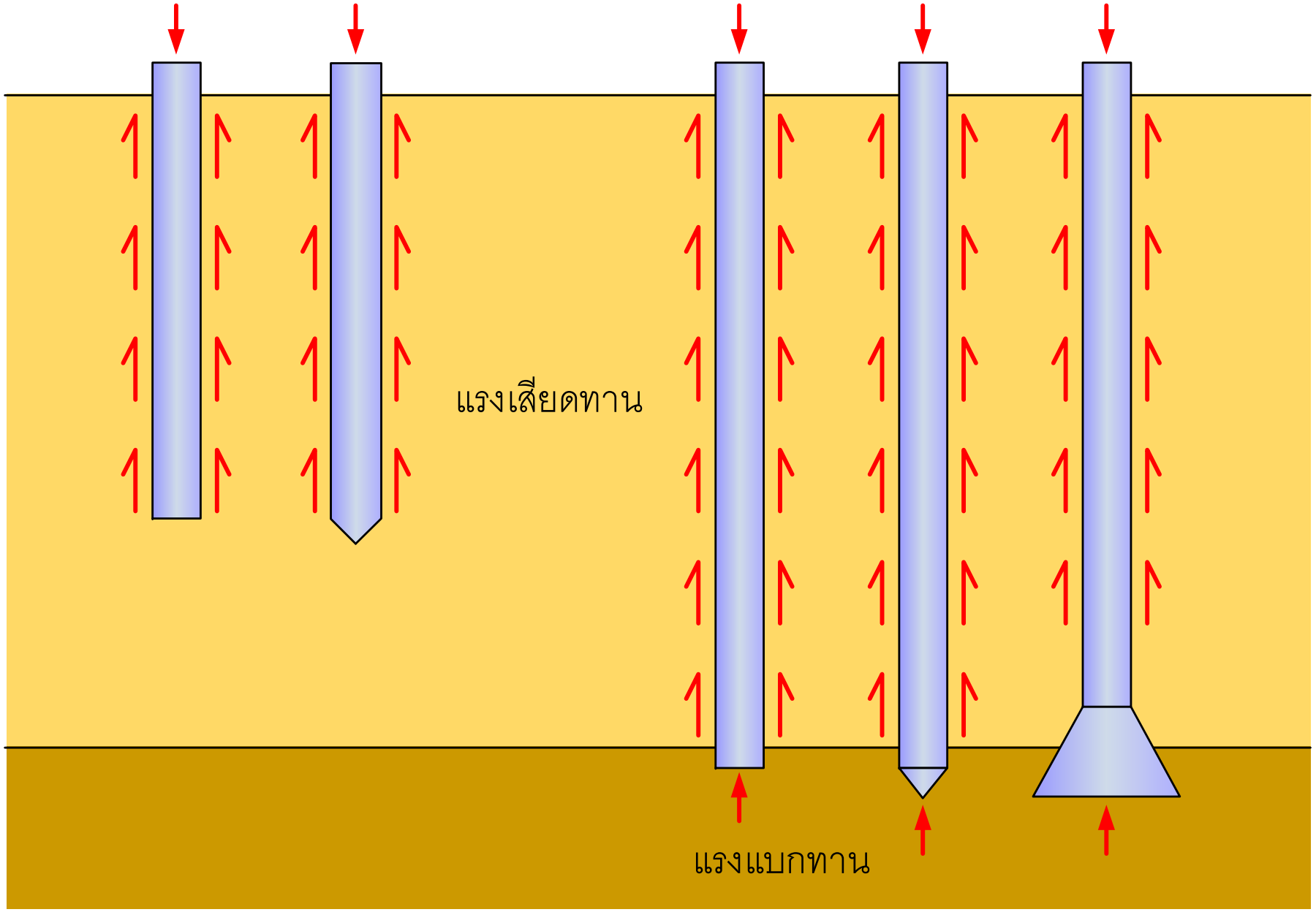


เมื่อกำลังแบกทานของดินมีไม่เพียงพอสำหรับการทำฐานรากแบบแผ่ จะใช้เสาเข็มในการส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ชั้นดินซึ่งอยู่ลึกลงไป

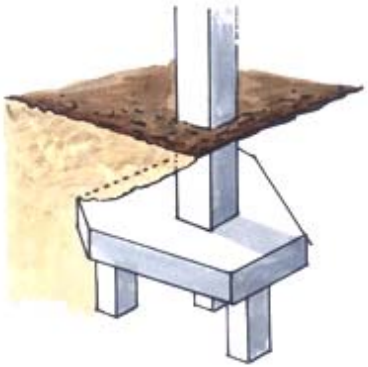
สำหรับอาคารขนาดเล็ก น้ำหนักบรรทุกไม่มาก จะใช้เข็มสั้นซึ่งเป็นเข็มตอก การถ่ายน้ำหนักจะอาศัยความฝืดระหว่างผิวเสาเข็มกับชั้นดินโดยรอบ

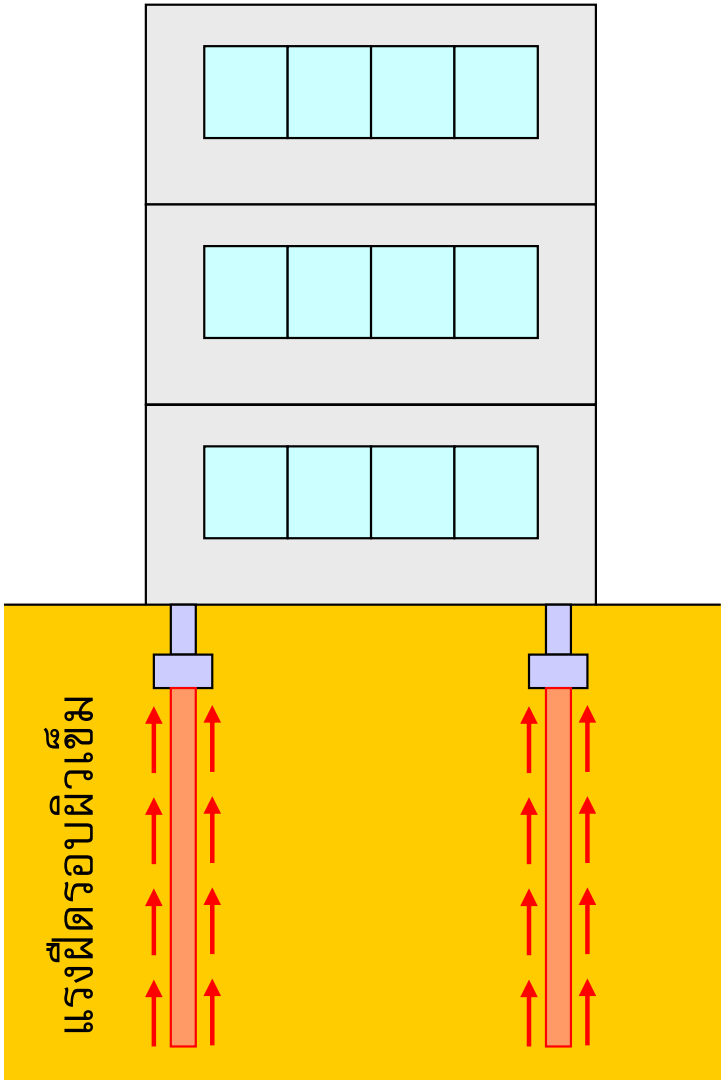
สำหรับอาคารขนาดใหญ่ น้ำหนักบรรทุกมาก จะใช้เข็มยาวซึ่งเป็นเข็มตอกหรือเข็มเจาะ การถ่ายน้ำหนักจะอาศัยความฝืดระหว่างผิวเสาเข็มกับชั้นดินโดยรอบ และการรับแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มในชั้นดินแข็ง

เสาเข็มรับแรงเสียดทาน และ เสาเข็มรับแรงแบกทาน



เสาเข็มตอก (driven pile)





เสาเข็มตอกอาจเป็น เสาเข็มไม้ เสาเข็มเหล็ก แต่โดยส่วนใหญ่จะใช้เสาเข็มคอนกรีต

ข้อดี ราคาถูก ควบคุมคุณภาพเสาเข็มได้ และการตอกทำให้เสาเข็มฝังแน่นกับชั้นดินทำให้ถ่ายน้ำหนักได้ดี

ข้อเสีย ใช้ปั้นจั่นในการตอกเกิดเสียงดังและการสั่นสะเทือน ระหว่างตอกเสาเข็มอาจเสียหาย และอาจส่งผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง

ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร

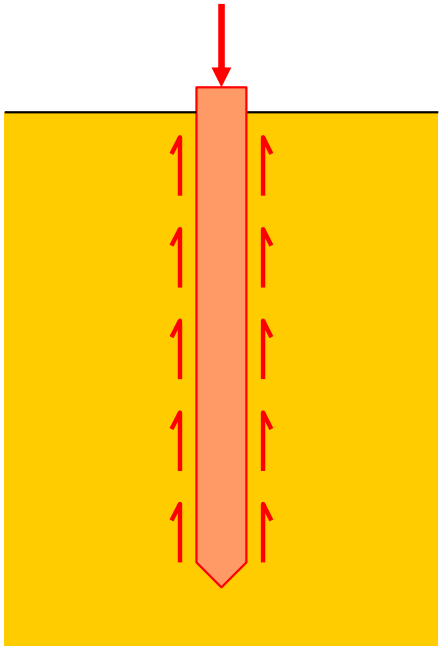
ในกรณีที่ไม่มีเอกสารแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของดิน

- น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้บนชั้นดินเดิม ไม่เกิน **2** ตัน/ตร.ม.
- หน่วยแรงฝืดที่ยอมให้ :
  - ดินที่ระดับความลึกไม่เกิน **7** เมตร

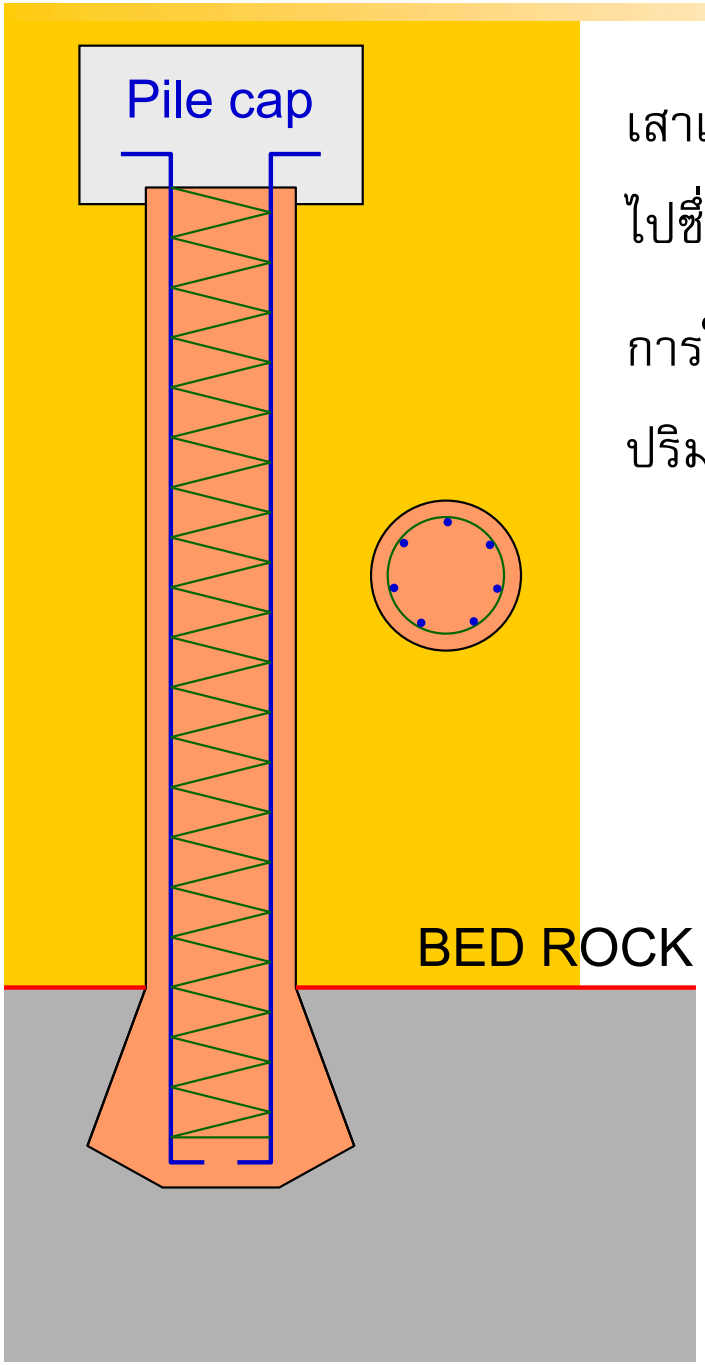
    หน่วยแรงฝืดที่ยอมให้ **600** กก./ตร.ม.
  - ดินที่ระดับความลึกเกิน **7** เมตร

    หน่วยแรงฝืดที่ยอมให้ **800 + 200L** กก./ตร.ม.

    โดยที่ **L** คือความยาวส่วนที่เกิน **7** เมตร



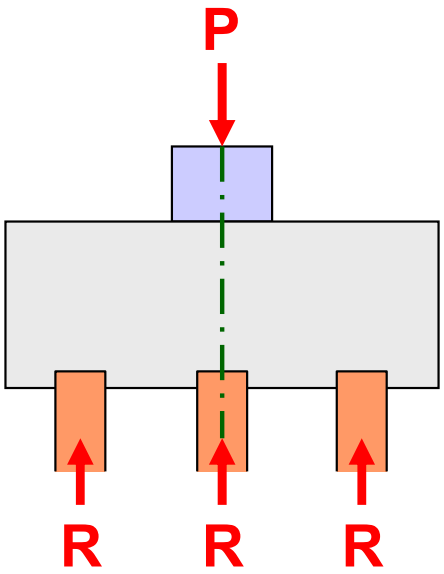
เสาเข็มเจาะ **(bored pile)**

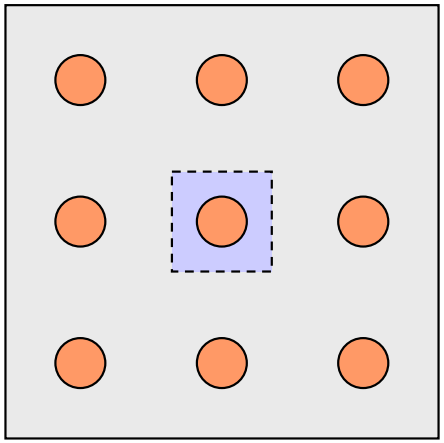


เสาเข็มเจาะสามารถส่งถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินที่ลึกลงไปซึ่งเสาเข็มตอกอาจลงไปไม่ถึง

การใช้เสาเข็มตอกจำนวนมากทำให้เกิดการแทนที่ดินปริมาณมากอาจส่งผลต่ออาคารข้างเคียง

ฐานรากเสาเข็มรับน้ำหนักตรงศูนย์





สมมุติให้เสาเข็มทุกต้นรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากัน

$$R = \frac{P}{n} \leq R_a$$

โดยที่ R = น้ำหนักบรรทุกที่เสาแต่ละต้นรองรับ

P = น้ำหนักบรรทุกใช้งานทั้งหมด = D + L + W

D = น้ำหนักบรรทุกคงที่

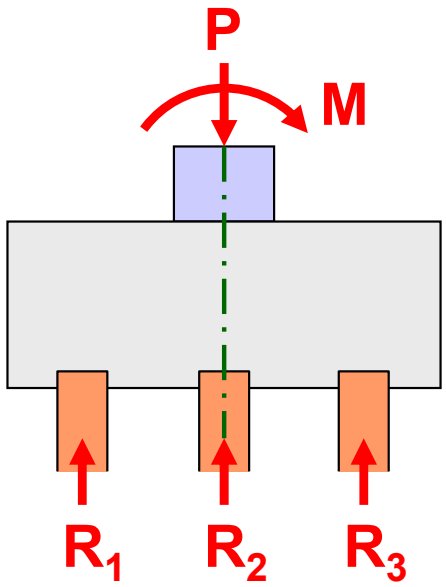
L = น้ำหนักบรรทุกจร

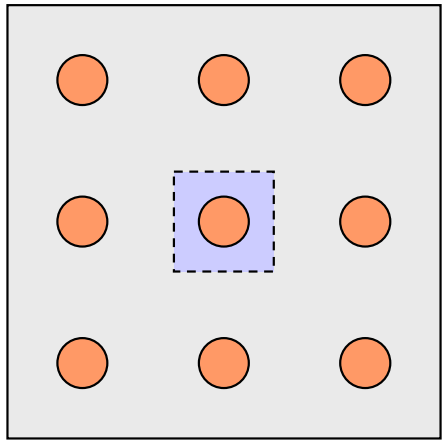
W = น้ำหนักฐานรากและดินถมเหนือฐานราก

n = จำนวนเสาเข็ม

R_a = น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาเข็มแต่ละต้น

ฐานรากเสาเข็มรับน้ำหนักเยื้องศูนย์





เสาเข็มทุกต้นจะรับน้ำหนักบรรทุกไม่เท่ากัน เสาเข็มทางด้านที่โมเมนต์ดัดทำให้เกิดแรงอัดจะรับน้ำหนักมากขึ้น

$$R = \frac{P}{n} \pm \frac{Md_n}{\Sigma d_n^2} \leq R_a$$

โดยที่ R = น้ำหนักบรรทุกที่เสาแต่ละต้นรองรับ

P = น้ำหนักบรรทุกใช้งานทั้งหมด = $D + L + W$

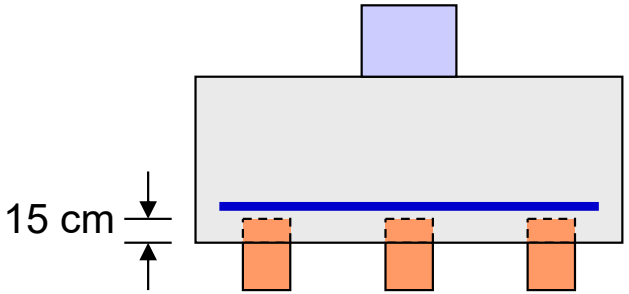
M = โมเมนต์ดัดใช้งานที่กระทำกับตอม่อ

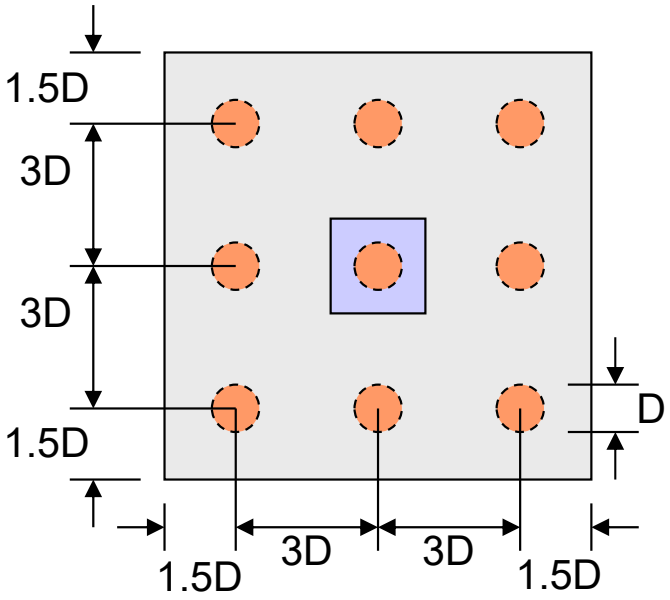
d_n = ระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้นจากแกนศูนย์ถ่วงของกลุ่มเสาเข็ม

n = จำนวนเสาเข็ม

R_a = น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาเข็มแต่ละต้น

การออกแบบฐานรากเสาเข็ม





แรงในเสาเข็มสำหรับออกแบบฐานราก:

WSD $R = \frac{D + L}{n}$

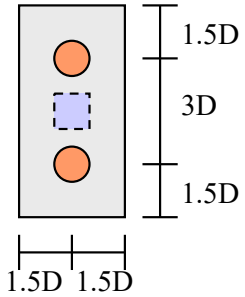
SDM $R_u = \frac{1.4D + 1.7L}{n}$

กำหนดขนาดฐานราก:

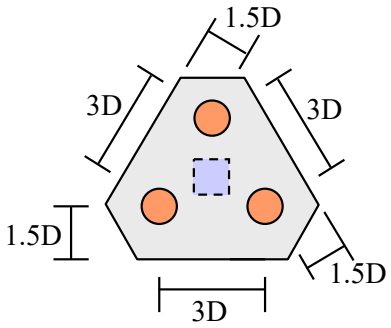
- ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม **3D**
- ระยะระหว่างเสาเข็มถึงขอบฐานราก **1.5D**

โดยที่ **D** คือขนาดเสาเข็ม

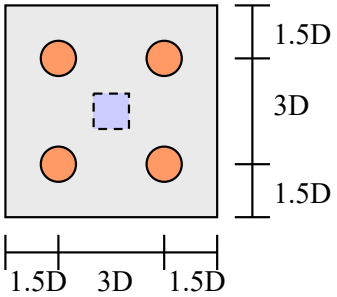
การจัดวางเสาเข็มในฐานราก



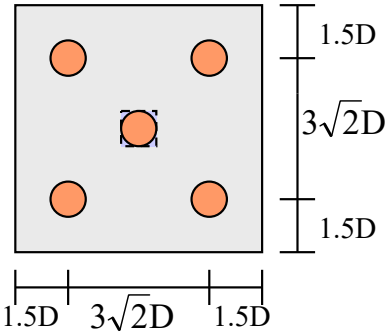
2 PILES



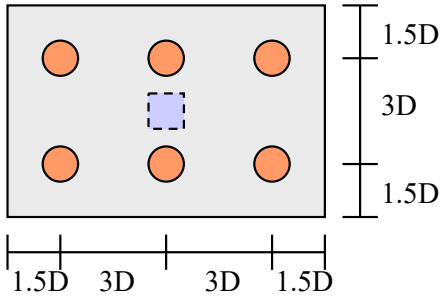
3 PILES



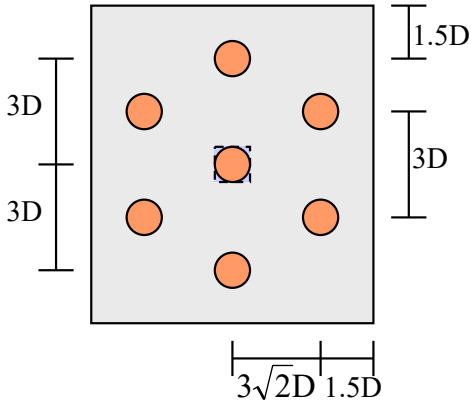
4 PILES



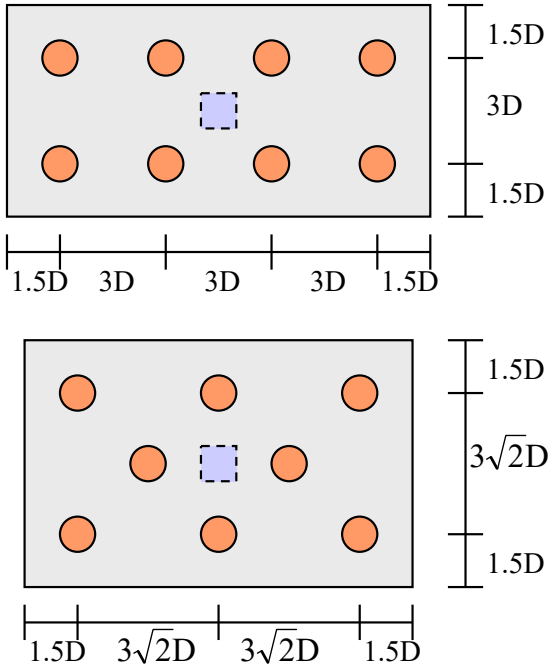
5 PILES



6 PILES

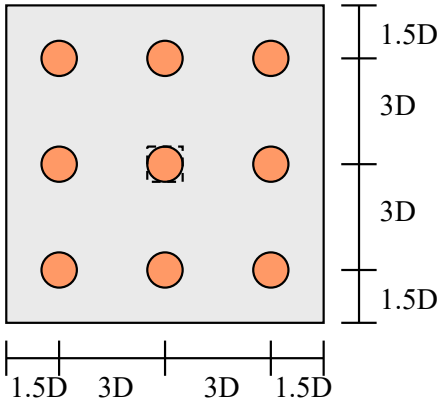


7 PILES

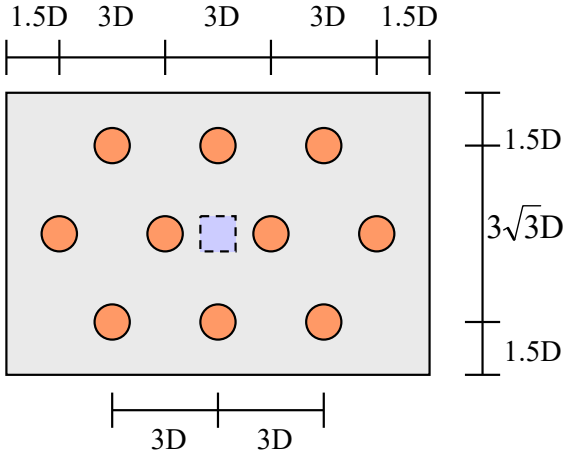


8 PILES

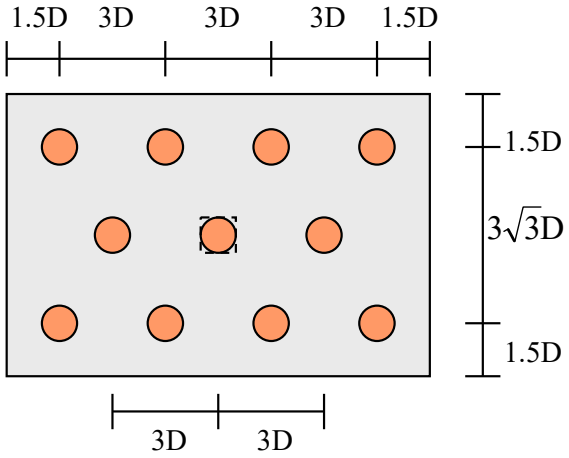
การจัดวางเสาเข็มในฐานราก



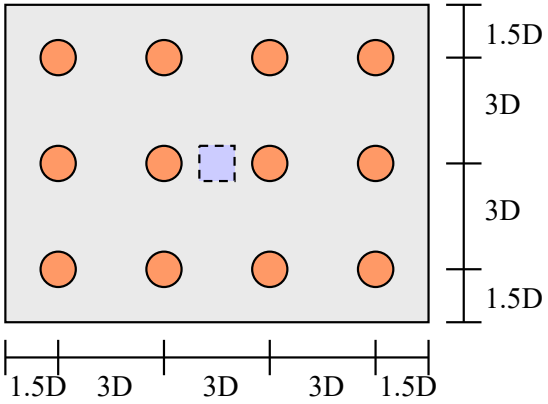
9 PILES



10 PILES



11 PILES

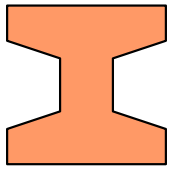
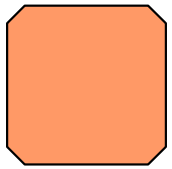


12 PILES

โรงงานผลิตเสาเข็มตอก

การผลิตเสาเข็มตอก

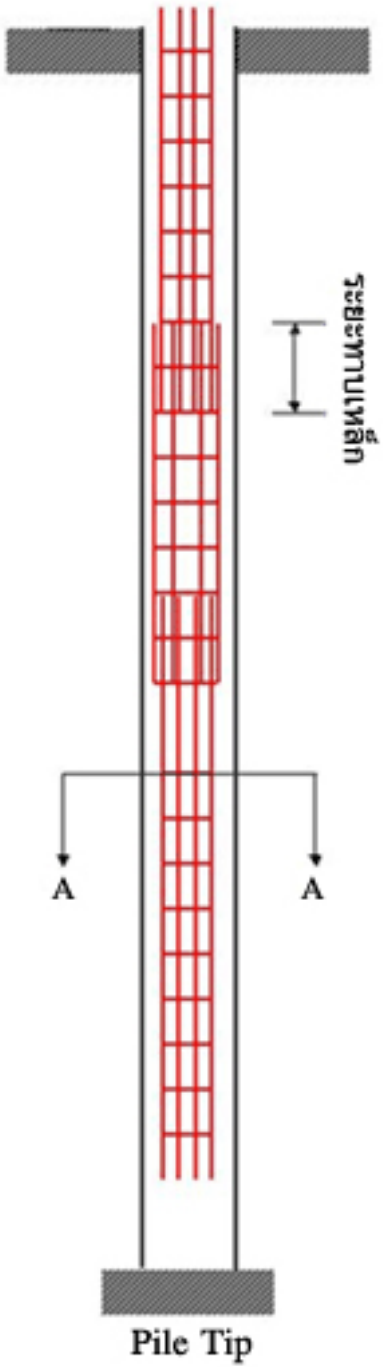
เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง(เข็มตอก)

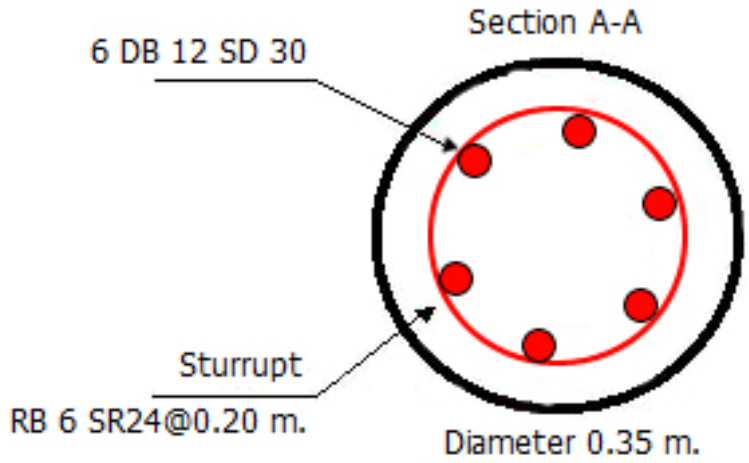
Section	Size(m)	Load capacity (ton)
	0.18 x 0.18	15
	0.22 x 0.22	22
	0.26 x 0.26	30
	0.30 x 0.30	43
	0.35 x 0.35	57
	0.40 x 0.40	80
	0.16 x 0.16	15
	0.18 x 0.18	21
	0.22 x 0.22	30
	0.26 x 0.26	43
	0.30 x 0.30	50
	0.35 x 0.35	80
	0.40 x 0.40	100

กำลังเสาเข็มเจาะ

$$P_a = 0.25(0.85\, f'_c\, A_g)$$

Typical Detail of Reinforcement Cage for Bored Pile
Diameter 35 centimeters.





STEEL

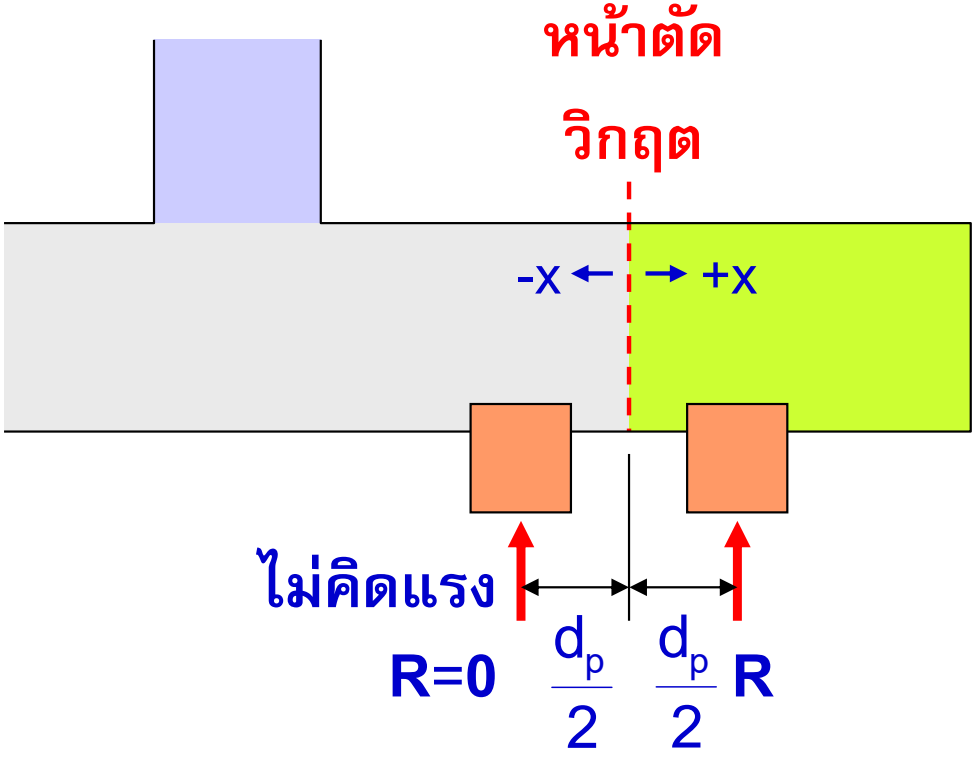
- Deformed Bar 12 mm. SD 30
- Round Bar 6 mm. SR 24

CONCRETE

- Cement Content 325 kg/m^3
- Strength 240 ksc. (at 28 day) of Cube
- Slump 10 cm. Error 2.5 cm.
- Retarder 4 hr.

ระยะทาบเหล็กไม่น้อยกว่า 40 เท่าเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม

แรงเฉือนในฐานรากเสาเข็ม

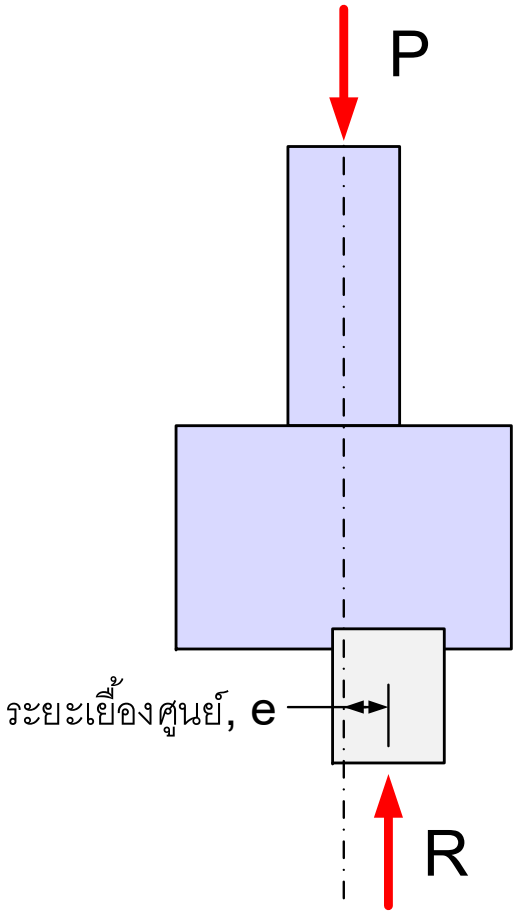


- เสาเข็มอยู่นอกหน้าตัดวิกฤต $\geq d_p/2$ ให้คิดแรงปฏิกิริยาทั้งหมด
- เสาเข็มอยู่ในหน้าตัดวิกฤต $\geq d_p/2$ ให้คิดแรงปฏิกิริยาเป็นศูนย์
- เสาเข็มอยู่ในช่วง $-d_p/2 \leq x \leq d_p/2$ ให้คิดแรงปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนโดยตรง:

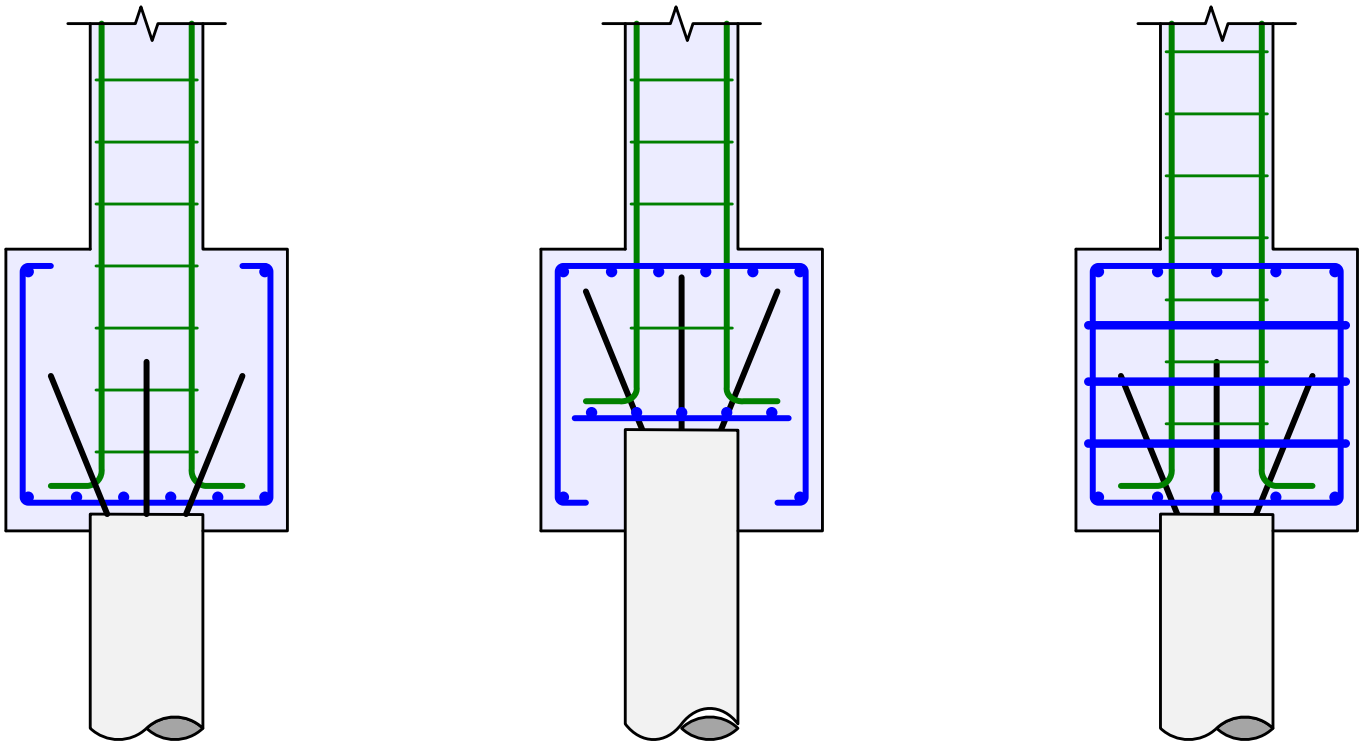
$$R' = \left(\frac{1}{2} + \frac{x}{d_p}\right) R$$

โดยที่ **x** คือระยะระหว่างหน้าตัดวิกฤตและศูนย์กลางเสาเข็ม เป็นลบเมื่อเสาเข็มอยู่ภายในหน้าตัดวิกฤต และเป็นบวกเมื่อเสาเข็มอยู่นอก

ฐานรากเสาเข็ม 1 ต้น F1



$e \leq 0.1D$

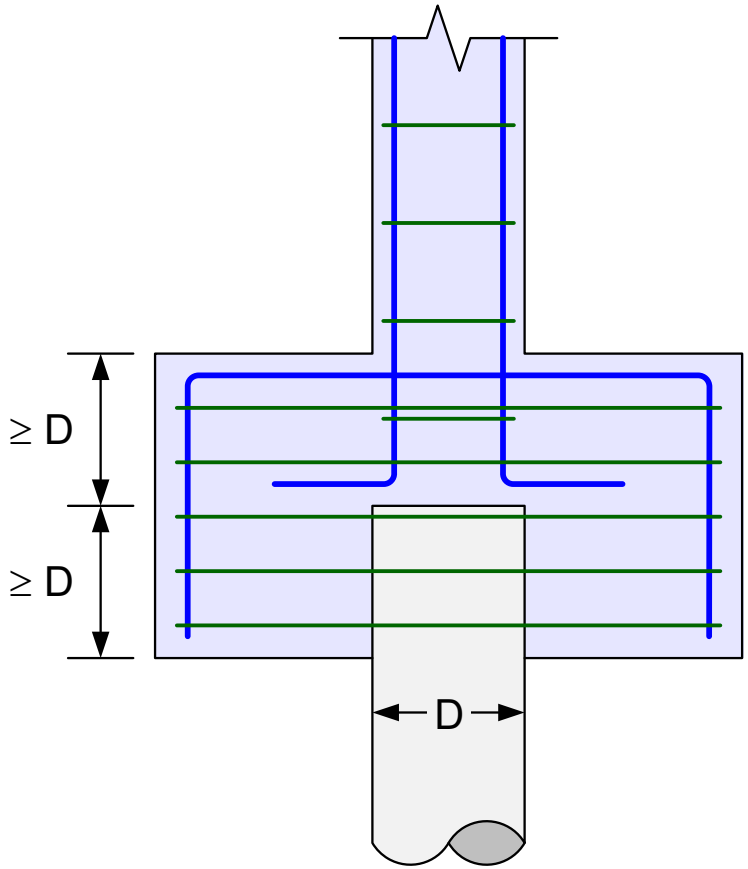


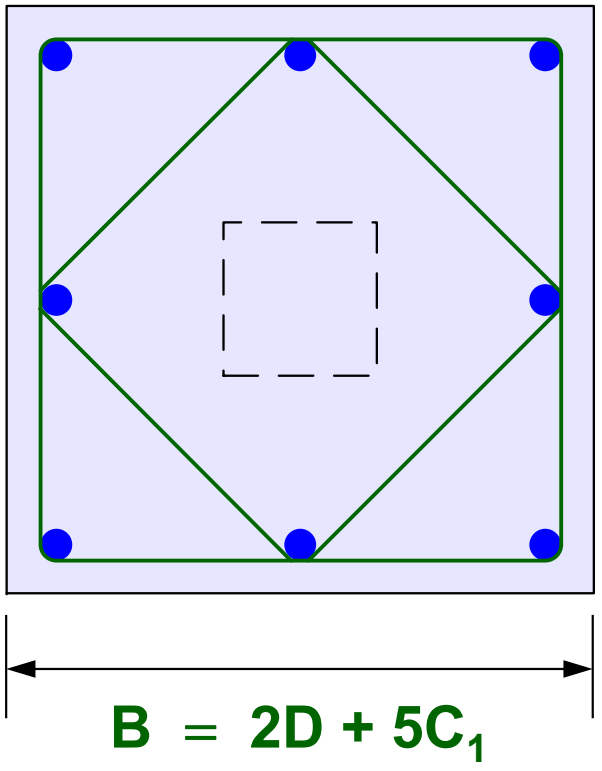
(ก) (ข) (ค)

รูปแบบการเสริมเหล็กในเสาเข็มหนึ่งต้น

การเสริมเหล็กในฐานราก F1 เพื่อรองรับการเยื้องศูนย์

เหล็กปลอกที่นิยมใช้คือ 2-ป. RB9 @ 0.10 ม. เหล็กยืนใช้ตามความเหมาะสมกับขนาดฐานรากโดยระยะห่างเหล็กยืนต้องไม่เกิน 45 ซม.





$B = 2D + 5C_1$

เมื่อ D คือขนาดเสาเข็ม และ C_1 คือระยะหุ้มคอนกรีต ฐานรากโดยทั่วไป $C_1 = 7.5$ ซม. และในพื้นที่กัดกร่อนสูงเช่นบริเวณชายทะเลหรือดินเค็มใช้ $C_1 = 10$ ซม.

ตัวอย่างที่ 14.1 ออกแบบฐานรากเสาเข็มตอก I – 0.30×0.30 ม. ซึ่งมีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ 40 ตัน/ต้น ตอม่อมีขนาด 0.30×0.30 ม.^{2} น้ำหนักบรรทุกคงที่ 18 ตัน น้ำหนักบรรทุกจร 14 ตัน กำลังคอนกรีต $f'_c = 240$ กก./ซม.^{2} กำลังครากเหล็กเสริม $f_y = 4{,}000$ กก./ซม.^{2}

วิธีทำ จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ $n = \dfrac{1.1(18+14)}{40} = 0.88 \rightarrow 1$ ต้น

ขนาดเสาเข็ม $D = 0.30$ เมตร

ระยะฝังเสาเข็มในฐานราก $\geq D = 0.30$ เมตร

ระยะหัวเข็มถึงผิวบนฐานราก $\geq D = 0.30$ เมตร

ความสูงฐานราก $H_f = 0.30 + 0.30 = 0.60$ เมตร

พื้นที่ก่อสร้างเป็นพื้นดินทั่วไป ระยะหุ้ม $C = 0.075$ เมตร

ความกว้างฐานราก $B = 2D + 5C = 2(0.30) + 5(0.075)$

$= 0.975 \rightarrow 1.00$ เมตร

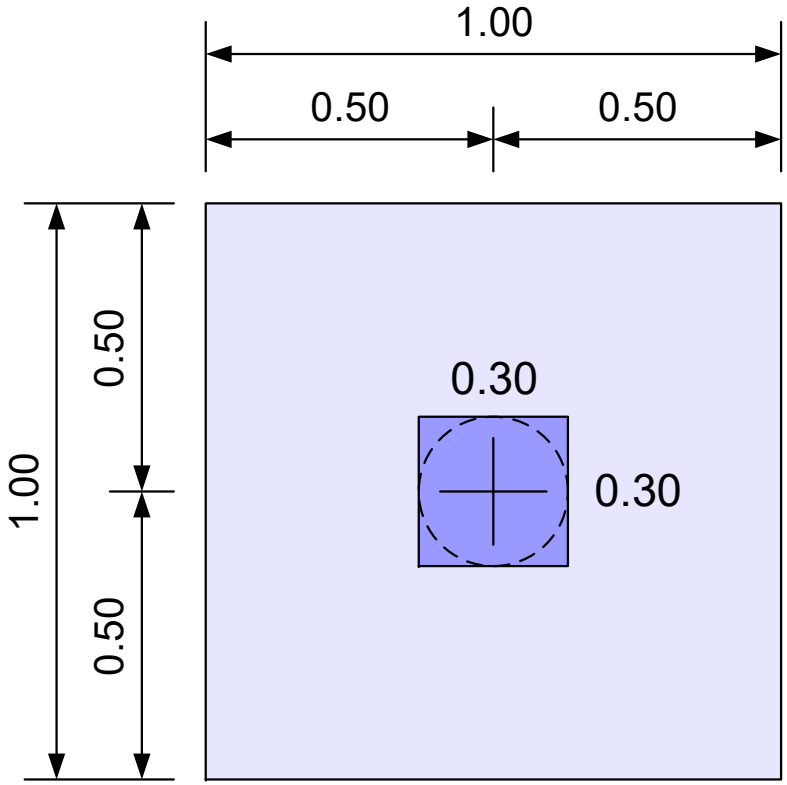
น้ำหนักฐานราก $W_f = 2.4 \times 0.6 \times 1.0^2 = 1.44$ ตัน

น้ำหนักบรรทุกรวม $P = 18 + 14 + 1.44 = 33.44$ ตัน < 40 ตัน **OK**

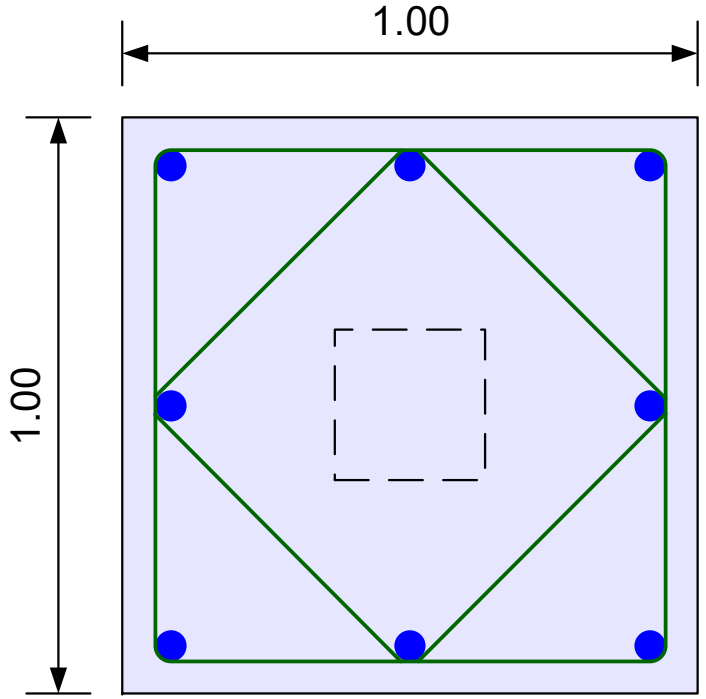
กำหนดเหล็กยืนและเหล็กปลอก โดยใช้เหล็กยืน 8DB20 ระยะหุ้มสองข้างๆละ 7.5 ซม.

ระยะห่างเหล็กเสริม $= (100 - 2(7.5) - 2.5)/2 = 41.25$ ซม. < 45 ซม. **OK**

ดังนั้นใช้เหล็กยืน 8DB20 และเหล็กปลอก 2ป RB9 @ 0.10 ม.



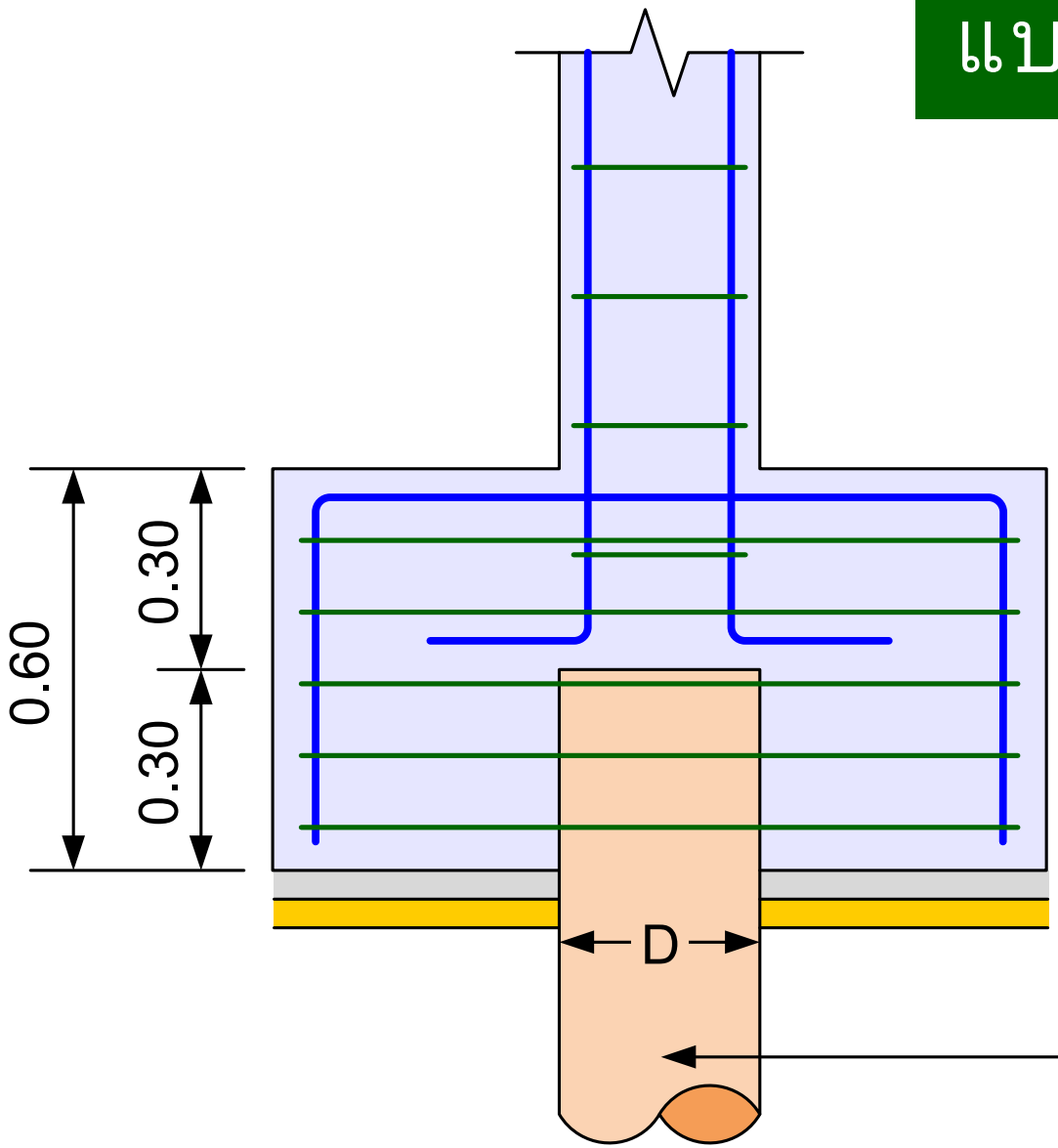
F1 PLAN



8DB20

2^1 RB9 @ 0.10 m

แบบรายละเอียดฐานราก F



8DB20

2^{1} RB9 @ 0.10 m

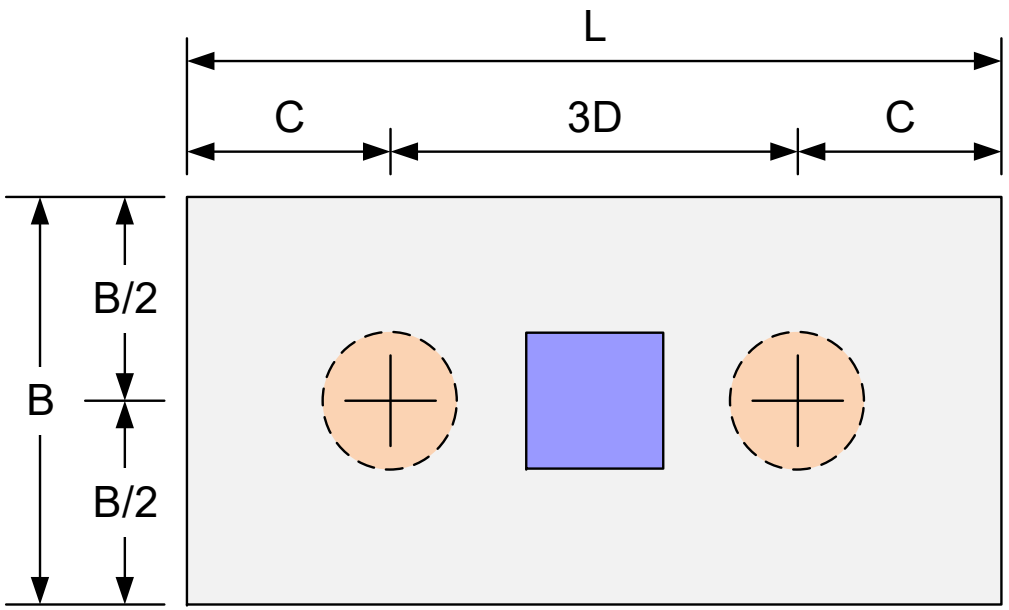
0.05 m

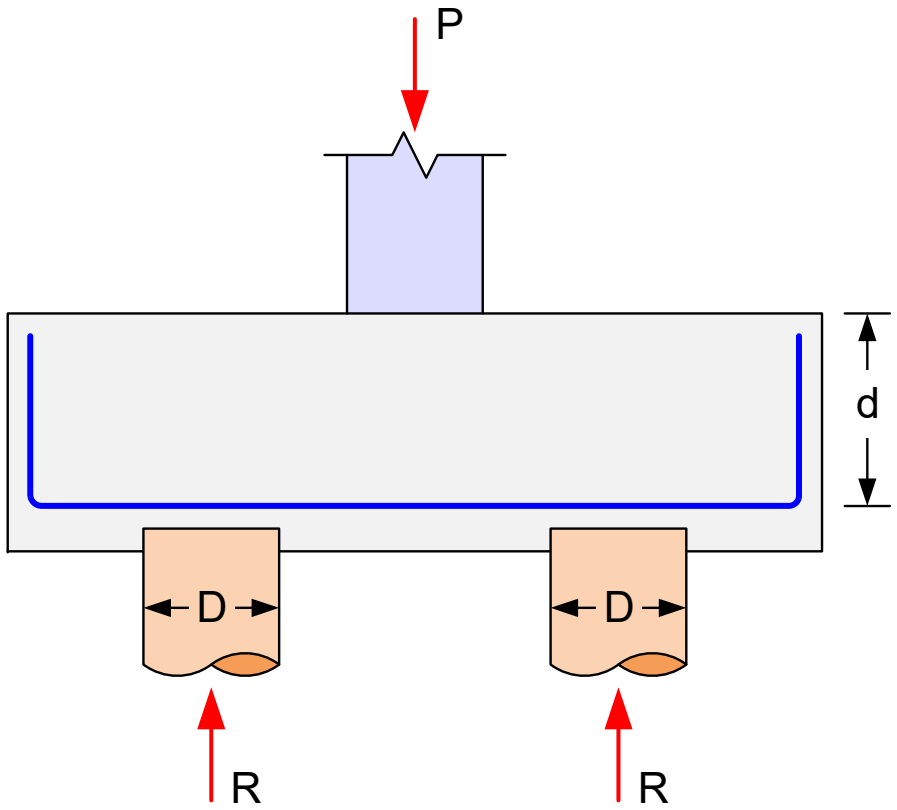
0.05 m

-0.30x0.30 m

F1 SECTION

ฐานรากเสาเข็ม **2** ต้น **F2**





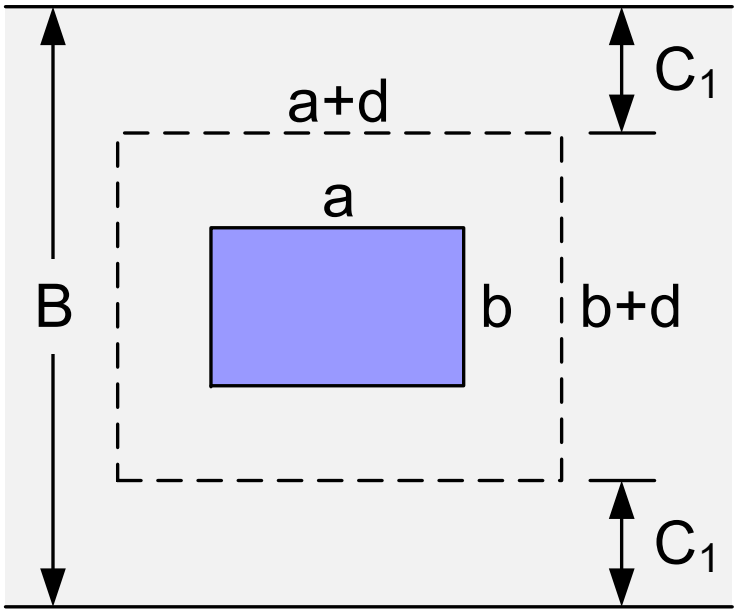
ความกว้างของฐานราก B พิจารณาจากระยะ B/2 ต้องไม่น้อยกว่าขนาดเสาเข็ม D :

$$B \geq 2D$$

ระยะห่างระหว่างเสาเข็มควรอยู่ระหว่าง 1.5D ถึง 3D ระยะ 3D จะให้ผลดีที่สุด

การเฉือนทะลุในฐานรากเสาเข็ม 2 ต้น

F2



นอกจากนั้นความกว้างฐานรากยังต้องไม่น้อยกว่าระยะจากเส้นรอบรูปการเฉือนทะลุออกมาข้างละ C_1 (ระยะหุ้ม) :

$$B \geq b + d + 2C_1$$

เมื่อ b = ความกว้างตอม่อ, d = ความลึกประสิทธิผลของฐานราก และ C_1 = 7.5 ซม. โดยทั่วไป และ 10 ซม.ในพื้นที่กัดกร่อนสูงเช่นบริเวณชายทะเลหรือดินเค็ม

ระยะ C จากขอบฐานรากด้านข้างถึงเสาเข็ม ต้องไม่น้อยกว่าขนาดเสาเข็ม D

ความยาวฐานราก

$$L = 3D + 2C$$

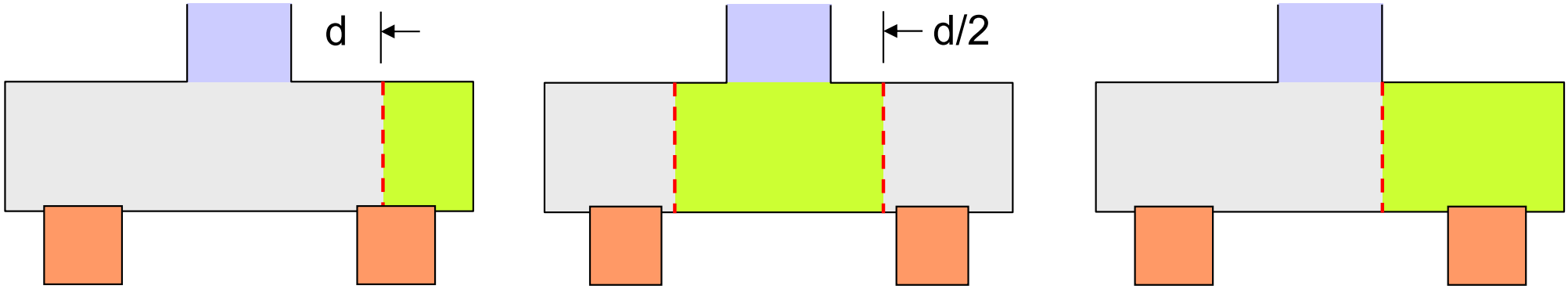
การออกแบบฐานรากเสาเข็ม

ในการออกแบบฐานรากจะคิดเหมือนเป็นคานช่วงเดี่ยวที่มีแรงกระทำลงกลางช่วงจากเสาตอม่อและเสาเข็มทำหน้าที่เป็นจุดรองรับทั้งสองข้างโดยจะพิจารณาให้ต้านทานแรงคือ

1. **การเฉือนคาน** โดยใช้หน้าตัดวิกฤตที่ระยะ d จากขอบตอม่อ

2. **การเฉือนทะลุ** โดยใช้หน้าตัดวิกฤตที่ระยะ d/2 จากขอบตอม่อ

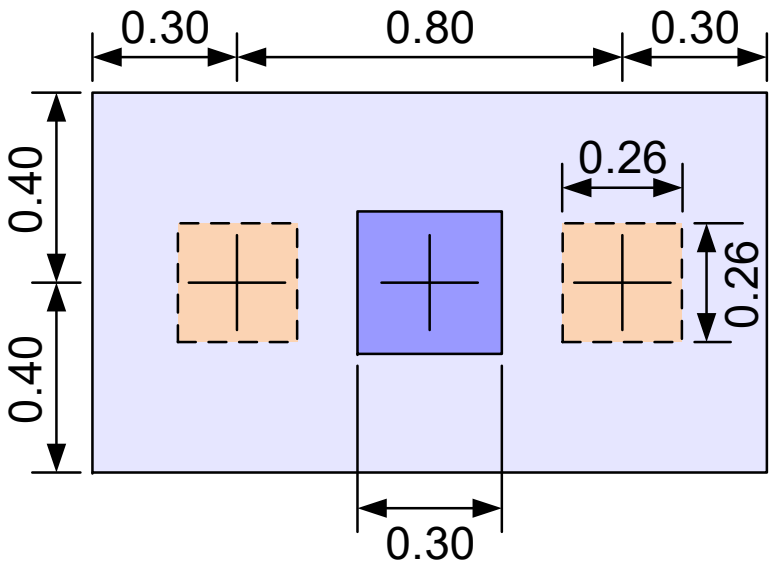
3. **การดัด** โดยใช้หน้าตัดวิกฤตที่ขอบตอม่อ และ ความลึกประสิทธิผล d



การเฉือนคาน **การเฉือนทะลุ** **การดัด**

ตัวอย่างที่ 14.2 ออกแบบฐานรากเสาเข็มตอก I – 0.26×0.26 ม. ซึ่งมีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ 25 ตัน/ต้น ตอม่อมีขนาด 0.30×0.30 ม.^{2} น้ำหนักบรรทุกคงที่ 22 ตัน น้ำหนักบรรทุกจร 18 ตัน กำลังคอนกรีต $f'_c = 240$ กก./ซม.^{2} กำลังครากเหล็กเสริม $f_y = 4{,}000$ กก./ซม.^{2}

วิธีทำ



1. จัดขนาดฐานราก สมมุติน้ำหนักฐานราก 20%

จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ $n = \dfrac{1.2(22+18)}{25}$

$= 1.92 \rightarrow 2$ ต้น

ขนาดเสาเข็ม $D = 0.26$ เมตร,

ระยะห่างเสาเข็ม $3D = 3\times0.26 = 0.78 \rightarrow 0.80$ เมตร

ระยะขอบ $C \geq D \rightarrow 0.30$ เมตร

ความยาวฐานราก $L = 0.80 + 2\times0.30 = 1.40$ เมตร

ลองใช้ฐานรากหนา 40 ซม. $\rightarrow$ ความลึกประสิทธิผล $d = 30$ ซม.

ความกว้างฐานราก $B \geq 2D = 2\times0.26 = 0.52$ เมตร

$B \geq b + d + 2C_1 = 0.3+0.3+2\times0.075 = 0.75$ เมตร

ควบคุม

ดังนั้นใช้ความกว้าง $B = 0.80$ เมตร แบ่งครึ่งที่ระยะ $B/2 = 0.40$ เมตร

น้ำหนักฐานราก $W_f = 0.80\times1.40\times0.4\times2.4 = 1.08$ ตัน

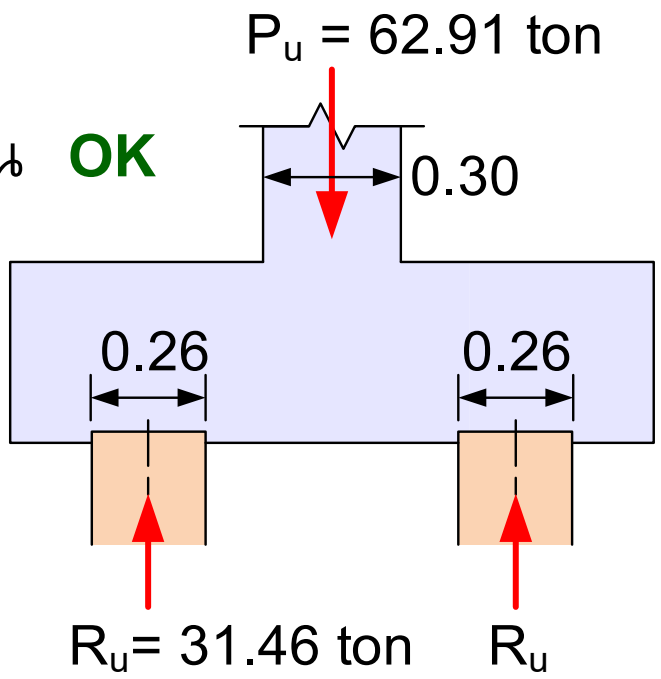
รวมน้ำหนักทั้งหมด $P = 22 + 1.08 + 18 = 41.08$ ตัน

น้ำหนักลงเข็ม $R = 41.08/2 = 20.54$ ตัน < 25 ตัน **OK**

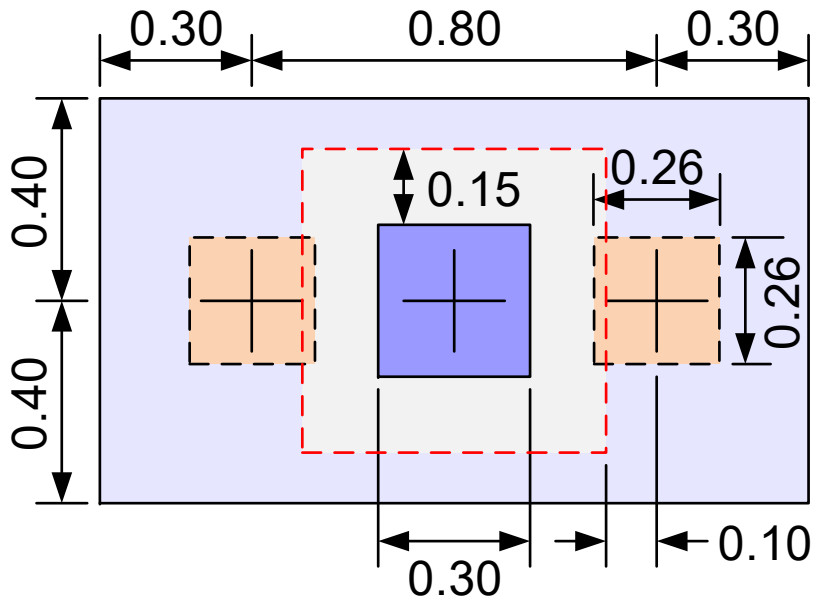
น้ำหนักเพิ่มค่า $P_u = 1.4(22+1.08) + 1.7\times18$

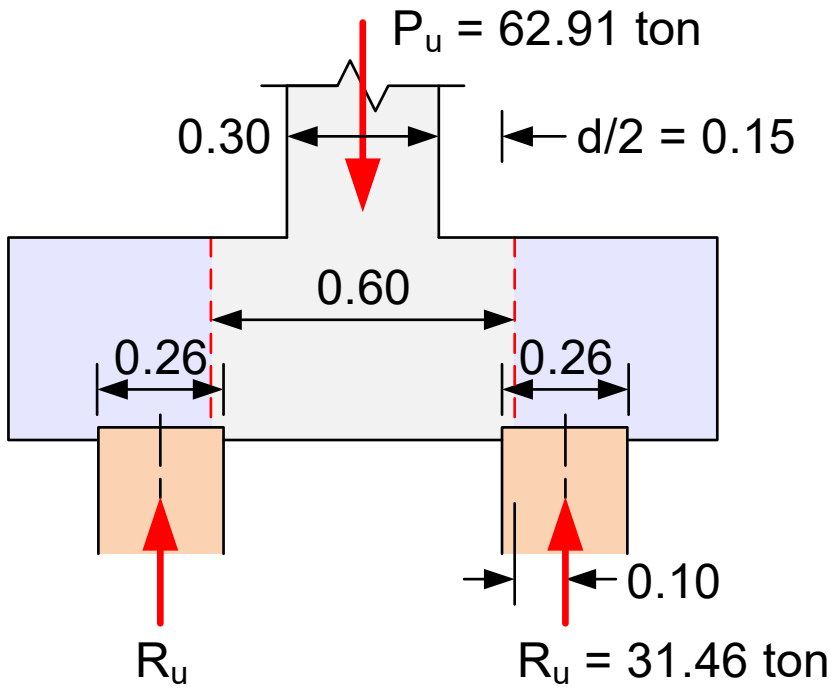
$= 62.91$ ตัน

แรงในเสาเข็ม $R_u = 62.91/2 = 31.46$ ตัน



2. ตรวจสอบการเฉือนทะลุ ที่ระยะ d/2 = 15 ซม. จากขอบตอม่อ





จากรูปศูนย์กลางเสาเข็มอยู่นอกหน้าตัดวิกฤต 0.10 ม. (+x) < D/2 = 0.26/2 = 0.13 ม.
ดังนั้นปรับค่าแรงในเสาเข็ม R_u เป็น R'_u

แรงเฉือนทะลุ : $V_u = 2R'_u = 2R_u\left(\frac{1}{2}+\frac{x}{D}\right)$

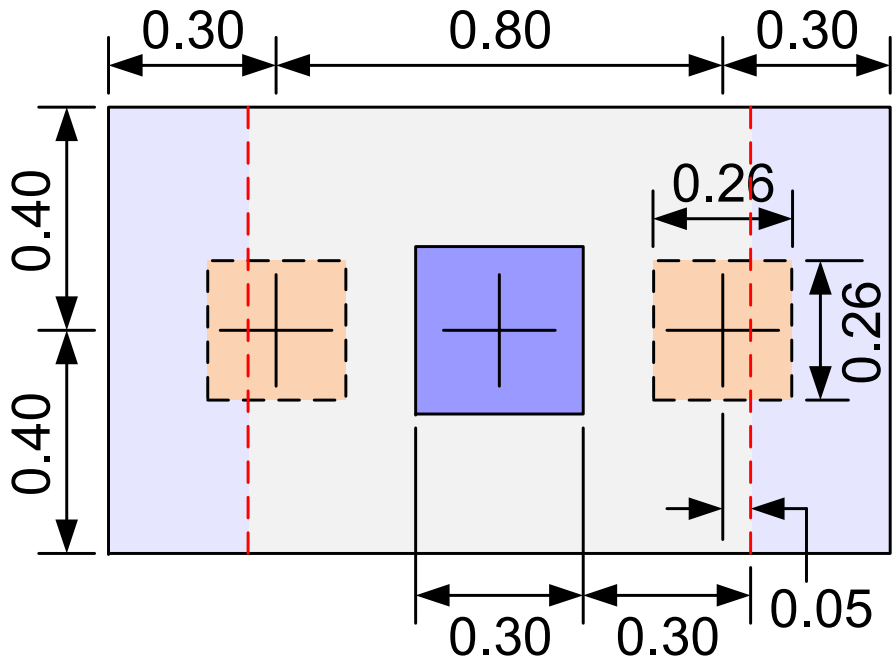
$= 2\times 31.46\left(\frac{1}{2}+\frac{0.10}{0.26}\right) = 55.66$ ตัน

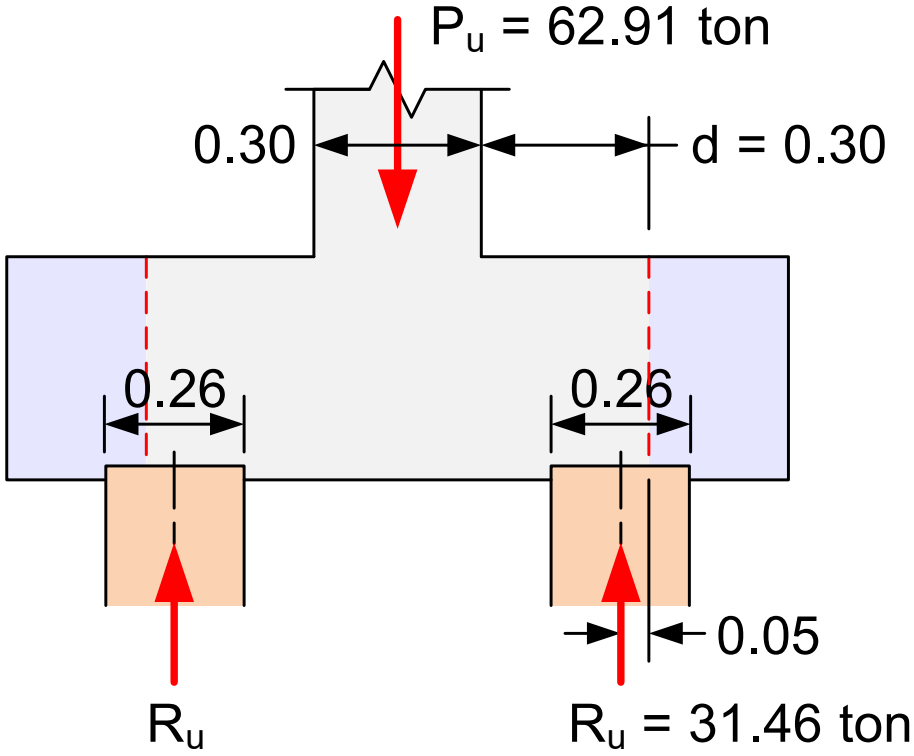
เส้นรอบรูปการเฉือน : $b_0 = 4 \times 0.60 = 2.40$ เมตร

กำลังเฉือนคอนกรีต : $\phi V_c = 0.85 \times 1.06\sqrt{240} \times 240 \times 30 / 1{,}000$

$= 100.5$ ตัน $> V_u$ **OK**

3. ตรวจสอบการเฉือนคาน ที่ระยะ d = 30 ซม. จากขอบตอม่อ





จากในรูปศูนย์กลางเสาเข็มอยู่ในหน้าตัดวิกฤต 0.05 ม. (-x) < D/2 = 0.26/2 = 0.13 ม.

ดังนั้นปรับค่าแรงในเสาเข็ม R_u เป็น R'_u

แรงเฉือนคาน : $V_u = R'_u = R_u\left(\frac{1}{2}+\frac{x}{D}\right)$

$= 31.46\left(\frac{1}{2}-\frac{0.05}{0.26}\right) = 9.68$ ตัน

กำลังเฉือนคอนกรีต : $\phi V_c = 0.85\times 0.53\sqrt{240}\times 80\times 30/1{,}000$

$= 16.8$ ตัน $> V_u$ **OK**

4. ออกแบบเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด ความลึกประสิทธิผล d = 30 ซม.

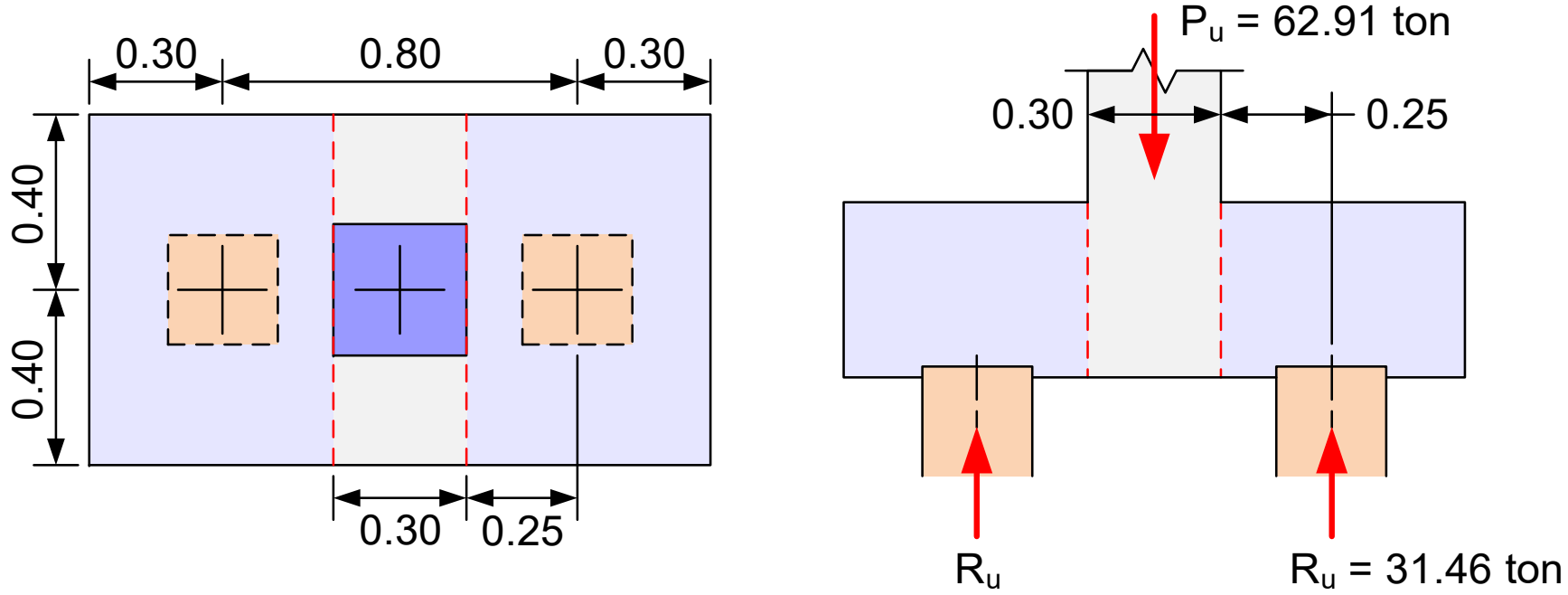
เหล็กเสริมด้านสั้น : ใช้ปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว

$A_s = 0.0018\times 140\times 40 = 10.08$ ซม.^{2}

ใช้เหล็กเสริม **6-DB16** ($A_s = 6(2.01) = 12.06$ ซม.^{2})

ระยะห่าง s $= (140 - 2\times 7.5)/5 = 25$ ซม. $< 3\times 40 = 120$ ซม. **OK**

เหล็กเสริมด้านยาว : คำนวณโมเมนต์ที่หน้าตัดวิกฤตที่ผิวตอม่อ



โมเมนต์ดัด : $M_u = 31.46 \times 0.25 = 7.87$ ตัน-เมตร

$$R_n = \frac{7.87 \times 10^5}{0.9 \times 80 \times 30^2} = 12.15 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}}\right) = 0.0031 < \rho_{max} = 0.0197 \quad \textbf{OK}$$

$$A_s = \rho bd = 0.0031 \times 80 \times 30 = 7.44 \text{ ซม.}^2$$

เหล็กกันร้าว $A_{s,min} = 0.0018bt = 0.0018 \times 80 \times 40 = 5.76$ ซม.^{2} $< A_s$ **OK**

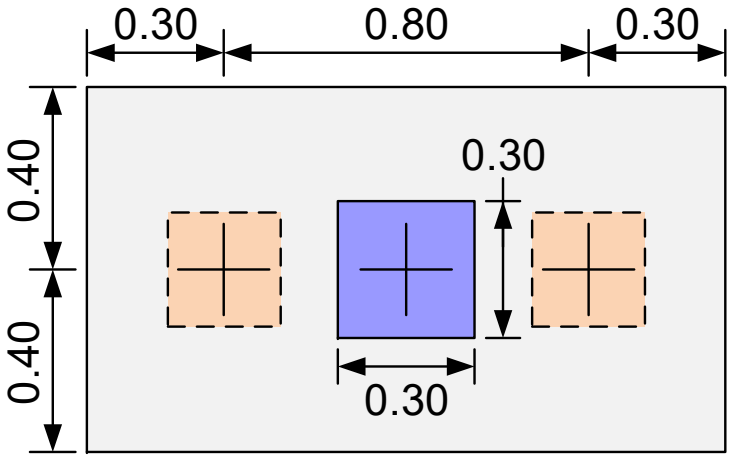
ใช้เหล็กเสริม **4-DB16** ($A_s = 4(2.01) = 8.04$ ซม.^{2})

ระยะห่าง s = (80 – 2×7.5)/3 = 21.7 ซม. < 3×40 = 120 ซม. **OK**

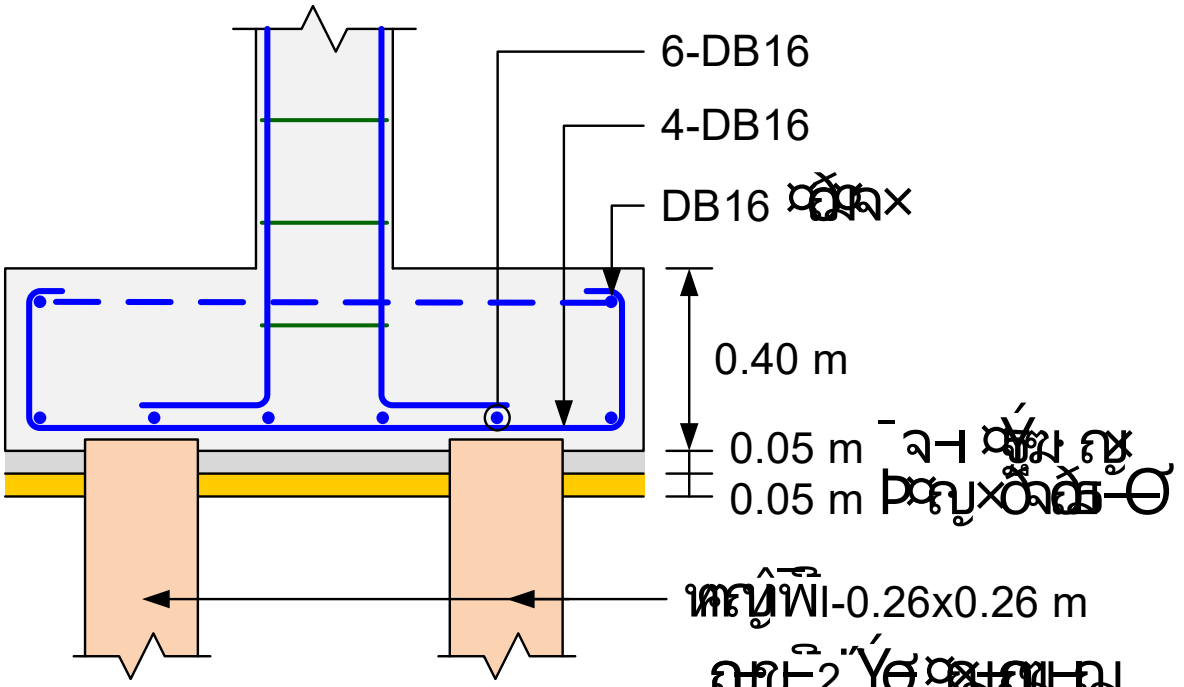
5. ตรวจสอบระยะฝังยึด

จากตาราง ก.4 ระยะฝังยึดของ DB16 : l_d = 0.62 ม.

ความยาวเหล็กที่ฝังจริง = (1.4 – 0.3)/2 – 0.075 = 0.475 ม. < l_d ต้องงอฉาก

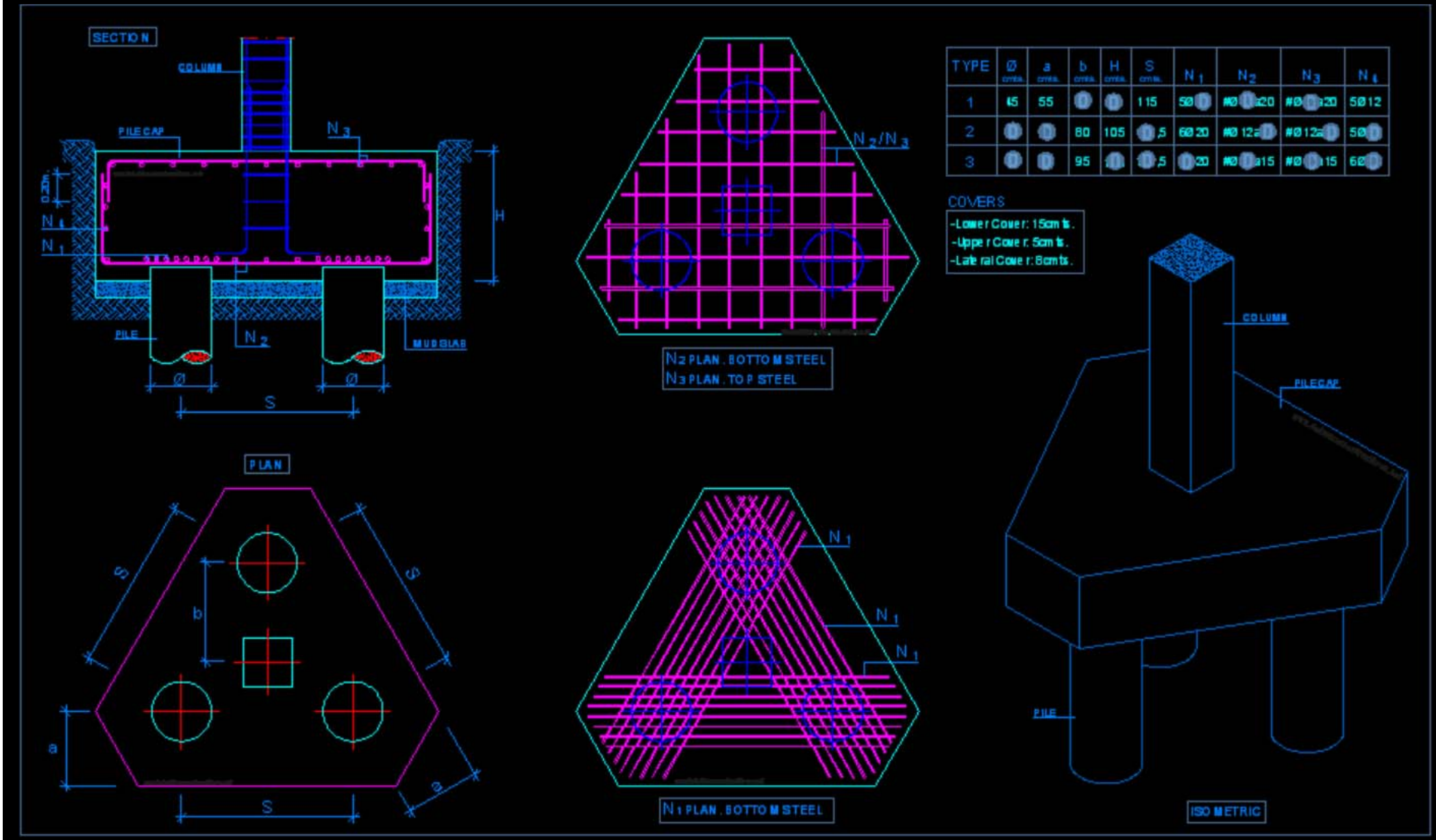


F2 PLAN



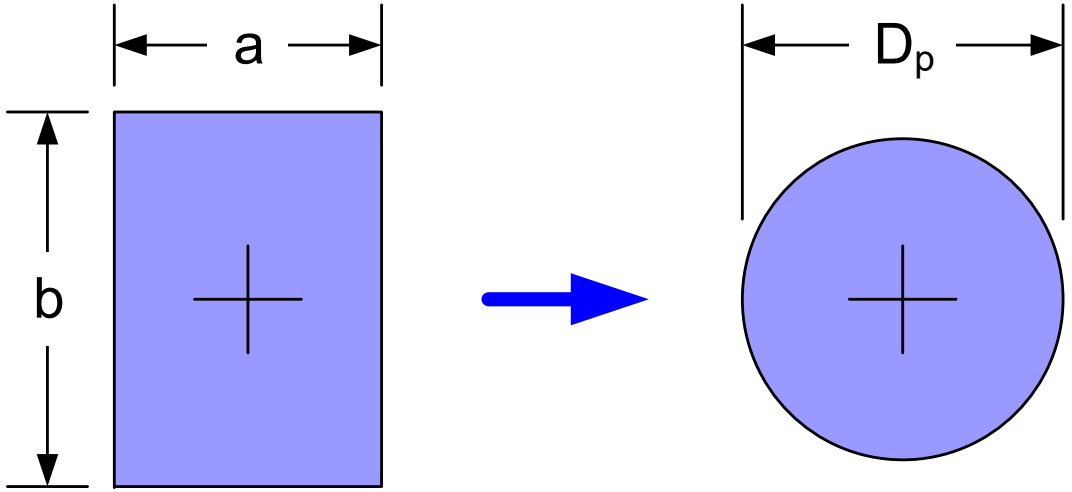
F2 SECTION

ฐานรากเสาเข็ม 3 ต้น F3



ขนาดตอม่อเทียบเท่า D_p

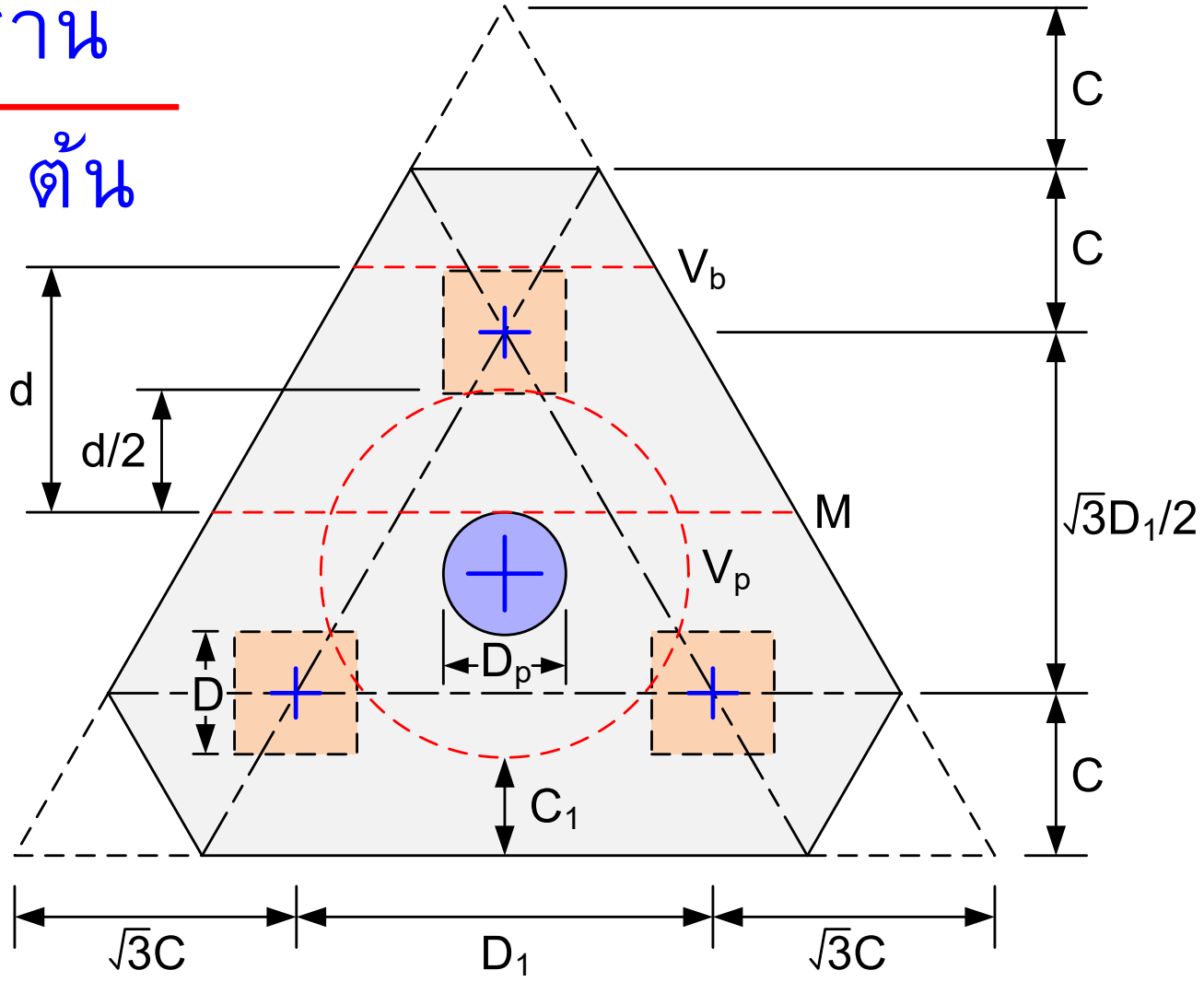
เพื่อความสะดวกในการคำนวณแรงเฉือน จะแปลงหน้าตัดตอม่อสี่เหลี่ยมเป็นวงกลมซึ่งมีพื้นที่เท่ากัน



$$ab = \frac{\pi}{4}D_p^2 \rightarrow D_p = 2\sqrt{\frac{ab}{\pi}}$$

การจัดขนาดฐาน

รากเสาเข็ม **3** ต้น



เส้นประวงกลม V_p สำหรับการเฉือนทะลุอยู่ห่างจากขอบตอม่อ d/2 โดยระยะห่างจากขอบฐานรากต้อง ≥ ระยะหุ้ม C_1 ซึ่งถ้าคิดระยะจากศูนย์กลางตอม่อถึงขอบล่างฐานราก

$$\frac{D_p + d}{2} + C_1 = \left(\frac{\sqrt{3}}{2}D_1\right)/3 + C$$

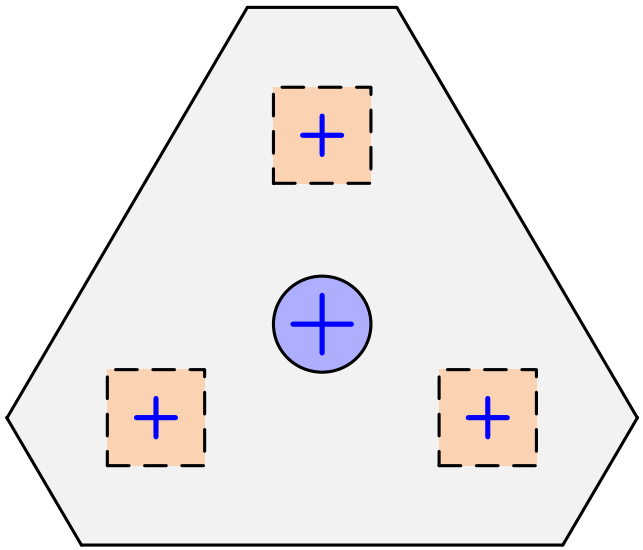
ดังนั้น $$C_1 = \frac{D_1}{2\sqrt{3}} + C - \frac{D_p + d}{2}$$

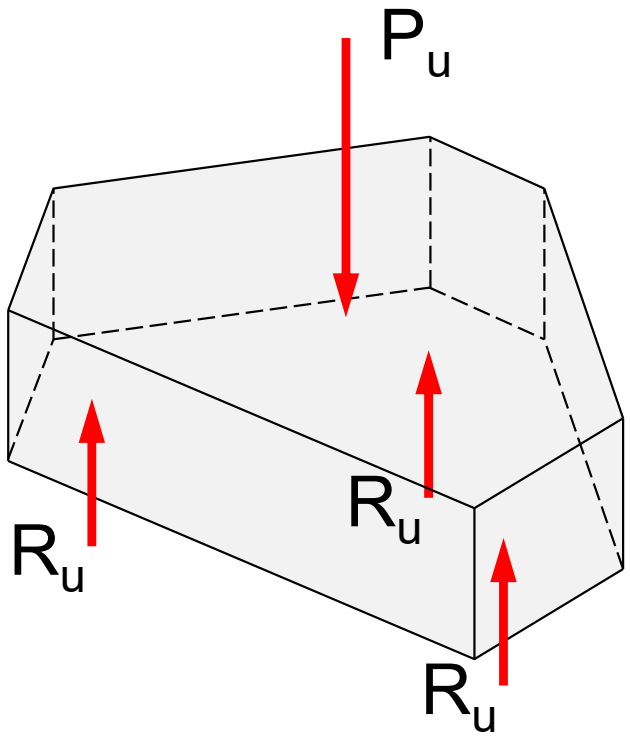
ถ้าค่า C_1 ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 7.5 ซม. สำหรับกรณีทั่วไป และ 10 ซม. สำหรับกรณีกัดกร่อน ให้เพิ่มระยะ D_1 โดยแทนค่า C_1 ที่ต้องการลงในสมการ

$$D_1 = 2\sqrt{3}\left(\frac{D_p + d}{2} + C_1 - C\right)$$

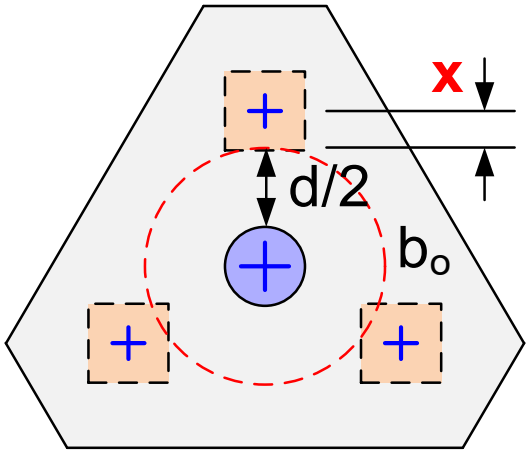
น้ำหนักบรรทุกเพิ่มค่าลงตอม่อ $P_u = 1.4DL + 1.7LL$

แรงในเสาเข็มแต่ละต้น $R_u = P_u / 3$





การเฉือนทะลุ :

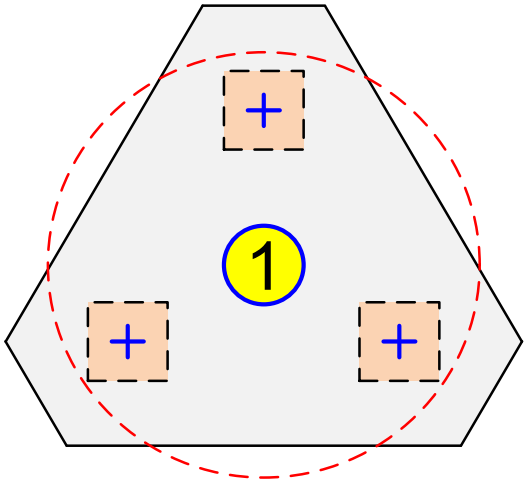


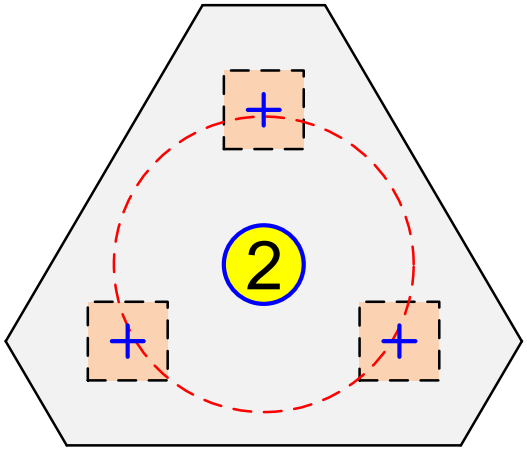
ระยะ x จากหน้าตัดวิกฤตถึงศูนย์กลางเสาเข็ม $x = \frac{D_1}{\sqrt{3}} - \frac{D_p + d}{2}$

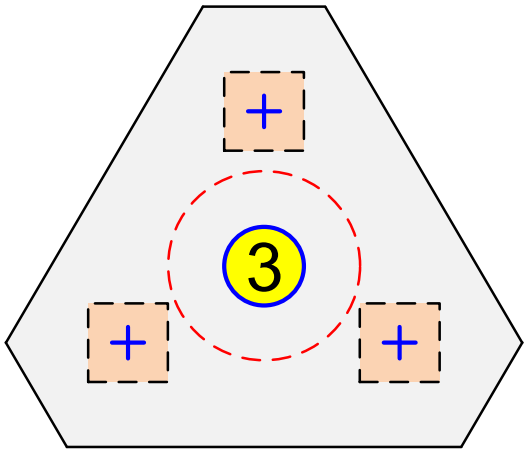
1 ถ้า $x \le -\frac{D}{2}$ แรงเฉือนทะลุ $V_u = 0$

2 ถ้า $-\frac{D}{2} \le x \le \frac{D}{2}$ แรงเฉือนทะลุ $V_u = P_u\left(\frac{1}{2} + \frac{x}{D}\right)$

3 ถ้า $x \ge \frac{D}{2}$ แรงเฉือนทะลุ $V_u = P_u$







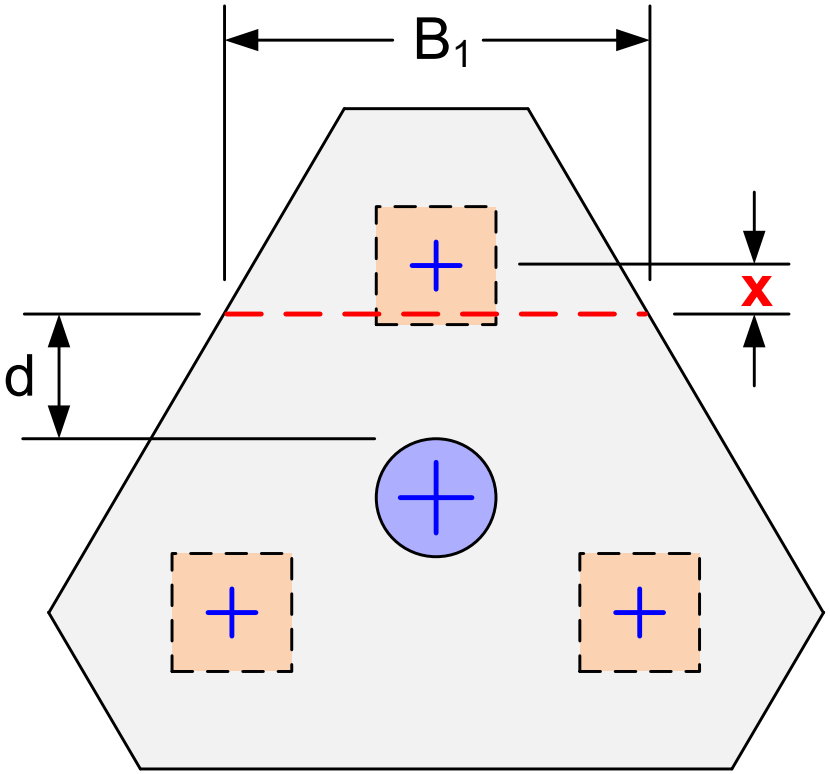
ความยาวเส้นรอบรูปหน้าตัดวิกฤต $b_o = 2\pi\left(\frac{D_p + d}{2}\right) = \pi(D_p + d)$

กำลังเฉือนทะลุ $\phi V_c = 1.06\phi\sqrt{f'_c}\, b_o d$

การเฉือนคาน : แนวเส้นประ V_b สำหรับการเฉือนคานอยู่ห่างจากขอบตอม่อเป็นระยะ d

ความยาว B_1 ของหน้าตัดวิกฤตคำนวณได้จากสูตร

$$B_1 = \frac{\left(D_1 + 2\sqrt{3}C\right)\left(\frac{D_1}{\sqrt{3}} + 2C - \frac{D_p}{2} - d\right)}{\left(\frac{3D_1}{2\sqrt{3}} + 3C\right)}$$



ระยะ x จากหน้าตัดวิกฤตถึงศูนย์กลางเสาเข็ม

$$x = \frac{D_1}{\sqrt{3}} - \frac{D_p}{2} - d$$

1. ถ้า $x \le -D/2$ แรงเฉือนคาน $V_u = 0$
2. ถ้า $-D/2 \le x \le D/2$ แรงเฉือนคาน $V_u = R_u\left(\frac{1}{2} + \frac{x}{D}\right)$
3. ถ้า $x \ge D/2$ แรงเฉือนคาน $V_u = R_u$

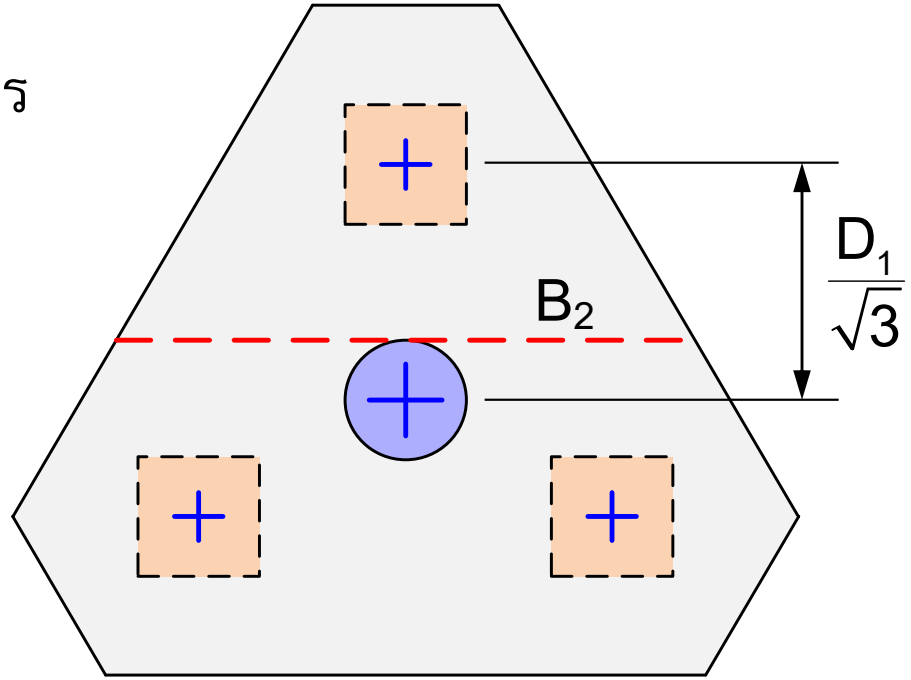
กำลังเฉือนคาน $\phi V_c = 0.53\phi\sqrt{f'_c}\,B_1 d$

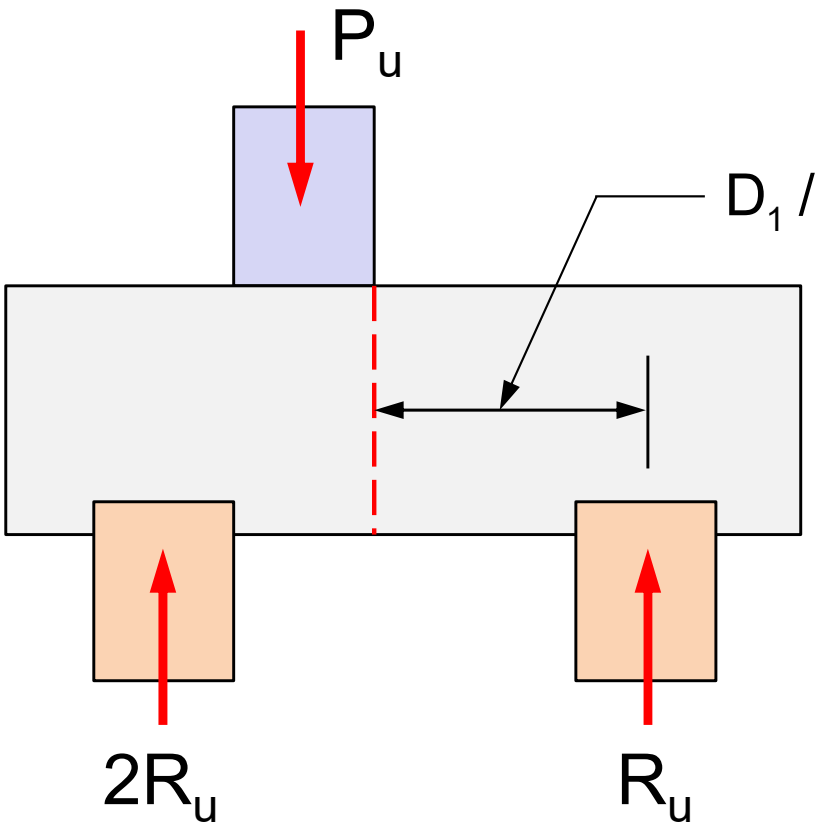
โมเมนต์ดัด

แนวเส้นประ M สำหรับการดัดอยู่ที่ขอบตอม่อ

ความยาว B_2 ของหน้าตัดวิกฤตคำนวณได้จากสูตร

$$B_2 = \frac{\left(D_1 + 2\sqrt{3}C\right)\left(\frac{D_1}{\sqrt{3}} + 2C - \frac{D_p}{2}\right)}{\left(\frac{\sqrt{3}D_1}{2} + 3C\right)}$$





โมเมนต์ดัด :

$$M_u = R_u\left(\frac{D_1}{\sqrt{3}} - \frac{D_p}{2}\right)$$

ตัวอย่างที่ 14.3 ออกแบบฐานรากเสาเข็มตอก S – 0.40×0.40 ม. ซึ่งมีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ 75 ตัน/ต้น ตอม่อมีขนาด 0.40×0.60 ม.^{2} น้ำหนักบรรทุกคงที่ 100 ตัน น้ำหนักบรรทุกจร 80 ตัน กำลังคอนกรีต $f'_c = 240$ กก./ซม.^{2} กำลังดึงเหล็กเสริม f_y = 4,000 กก./ซม.^{2}

วิธีทำ

1. จัดขนาดฐานราก สมมุติน้ำหนักฐานราก 20%

จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ $n = \dfrac{1.2(100+80)}{75} = 2.88 \rightarrow 3$

ฐานรากเสาเข็ม 3 ต้น แปลงหน้าตัดตอม่อเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง D_p

$$D_p = 2\sqrt{\frac{ab}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{40\times 60}{\pi}} = 55.3 \text{ cm}$$

ขนาดต่างๆของฐานราก :

D = 0.40 ม. = ขนาดเสาเข็ม

$C = D = 0.40$ ม. = ระยะจากศูนย์กลางเสาเข็มถึงขอบฐานราก

$D_1 = 3D = 3\times0.40 = 1.20$ ม. = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็ม

$C_1 = 0.10$ ม. = ระยะหุ้มคอนกรีต

สมมุติความลึกฐานราก = 0.40 ม. $\rightarrow$ ความลึกประสิทธิผล $d = 0.30$ ม.

ตรวจสอบระยะหุ้ม C_1 :

$$C_1 = \frac{D_1}{2\sqrt{3}} + C - \frac{D_p + d}{2} = \frac{1.20}{2\sqrt{3}} + 0.40 - \frac{0.553 + 0.30}{2}$$

$= 0.32$ ม. > 0.10 ม. **OK**

พื้นที่ฐานราก A_F :

$$A_F = \frac{1}{2}\left(D_1 + 2\sqrt{3}C\right)\left(\frac{\sqrt{3}}{2}D_1 + 3C\right) - \sqrt{3}C^2$$

$$= \frac{1}{2}\left(1.20 + 2\sqrt{3}\times0.40\right)\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\times1.20 + 3\times0.40\right) - \sqrt{3}\times0.40^2$$

$= 2.62$ ตร.ม.

น้ำหนักฐานราก :

$W_f = 2.62 \times 0.40 \times 2.4 = 2.52$ ตัน

น้ำหนักบรรทุก :

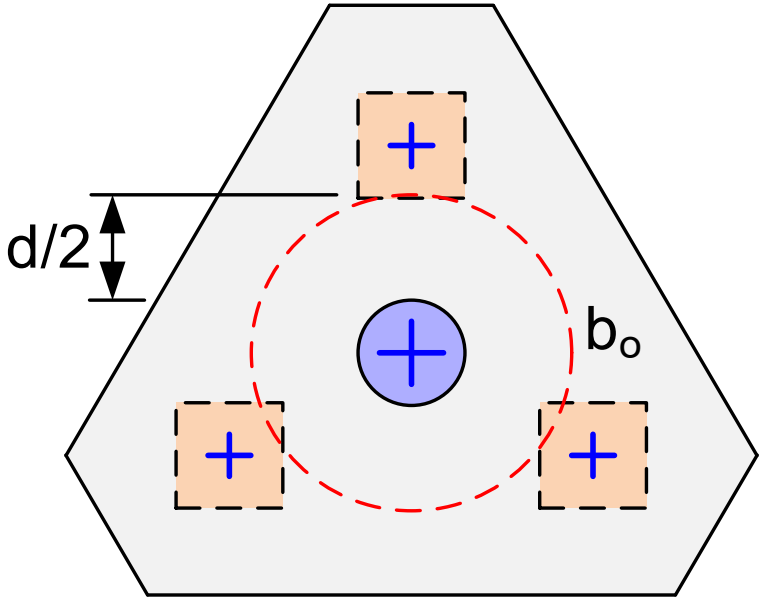
$P = 100 + 2.52 + 80 = 182.5$ ตัน

$R = 182.5/3 = 60.8$ ตัน $<$ กำลังเสาเข็ม 75 ตัน **OK**

น้ำหนักบรรทุกเพิ่มค่า :

$P_u = 1.4(100+2.52) + 1.7 \times 80 = 279.5$ ตัน

$R_u = P_u/3 = 279.5/3 = 93.2$ ตัน



2. ตรวจสอบการเฉือนทะลุ

ระยะ x จากหน้าตัดวิกฤตถึงศูนย์กลางเสาเข็ม

$$x = \frac{D_1}{\sqrt{3}} - \frac{D_p + d}{2} = \frac{1.20}{\sqrt{3}} - \frac{0.553 + 0.30}{2} = 0.266 \text{ m} > [\, D/2 = 0.20 \text{ m} \,]$$

ดังนั้น $V_u = P_u = 279.5$ ตัน

เส้นรอบรูปการเฉือน : $b_o = \pi(D_p + d) = \pi(55.3 + 30) = 268$ ซม.

กำลังเฉือนคอนกรีต : $\phi V_c = 0.85 \times 1.06\sqrt{240} \times 268 \times 30 / 1{,}000$

$= 112$ ตัน $<$ [$V_u = 279.5$ ตัน] **NG**

เพิ่มความหนาฐานราก โดยคำนวณความลึกประสิทธิผล d จากสูตร V_c

$$d = \frac{V_u}{1.06\phi\sqrt{f'_c}\, b_o} = \frac{279.5 \times 10^3}{1.06 \times 0.85\sqrt{240} \times 268} = 74.7 \text{ cm}$$

ลองฐานรากหนา $= 0.90$ ม. $\rightarrow$ ความลึกประสิทธิผล d $= 0.80$ ม.

ตรวจสอบระยะหุ้ม C_1 :

$$C_1 = \frac{D_1}{2\sqrt{3}} + C - \frac{D_p + d}{2} = \frac{1.20}{2\sqrt{3}} + 0.40 - \frac{0.553 + 0.80}{2}$$

$= 0.07$ ม. $<$ 0.10 ม. **NG**

ปรับระยะ D_1 :

$$D_1 = 2\sqrt{3}\left(\frac{D_p + d}{2} + C_1 - C\right) = 2\sqrt{3}\left(\frac{0.553 + 0.80}{2} + 0.10 - 0.40\right)$$

$$= 1.304 \text{ ม.} \rightarrow 1.35 \text{ ม.}$$

พื้นที่ฐานราก A_F :

$$A_F = \frac{1}{2}\left(D_1 + 2\sqrt{3}C\right)\left(\frac{\sqrt{3}}{2}D_1 + 3C\right) - \sqrt{3}C^2$$

$$= \frac{1}{2}\left(1.35 + 2\sqrt{3} \times 0.40\right)\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \times 1.35 + 3 \times 0.40\right) - \sqrt{3} \times 0.40^2$$

$$= 2.96 \text{ ตร.ม.}$$

น้ำหนักฐานราก : $W_f = 2.96 \times 0.90 \times 2.4 = 6.39$ ตัน

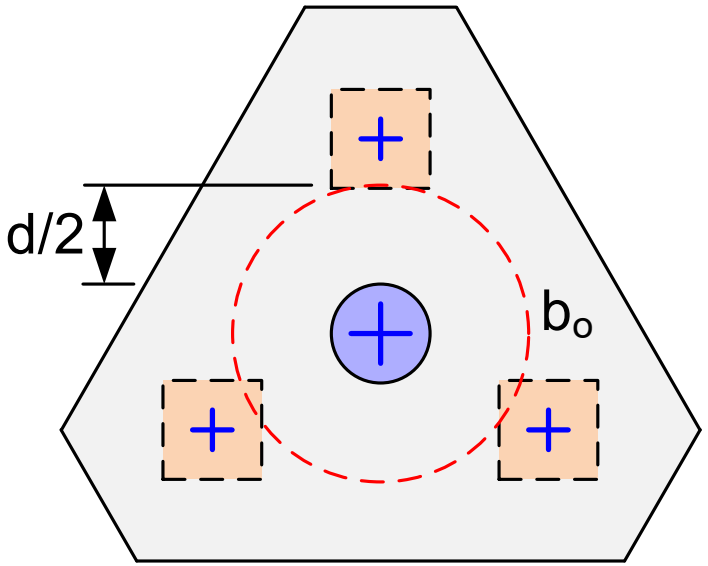
น้ำหนักบรรทุก : $P = 100 + 6.39 + 80 = 186.4$ ตัน

$R = 186.4/3 = 62.1$ ตัน $<$ กำลังเสาเข็ม 75 ตัน **OK**

น้ำหนักบรรทุกเพิ่มค่า : $P_u = 1.4(100+6.39) + 1.7\times80 = 285.0$ ตัน

$$R_u = P_u/3 = 285.0/3 = 95.0 \text{ ตัน}$$

3. ตรวจสอบการเฉือนทะลุ (อีกครั้ง)



ระยะ x จากหน้าตัดวิกฤตถึงศูนย์กลางเสาเข็ม

$$x = \frac{D_1}{\sqrt{3}} - \frac{D_p + d}{2} = \frac{1.35}{\sqrt{3}} - \frac{0.553 + 0.80}{2}$$

$$= 0.103 \text{ ม.} < [\, D/2 = 0.20 \text{ ม.} \,]$$

$$-D/2 \le x \le D/2 \rightarrow V_u = P_u\left(\frac{1}{2} + \frac{x}{D}\right) = 285\left(\frac{1}{2} + \frac{0.103}{0.40}\right) = 215.9 \text{ ตัน}$$

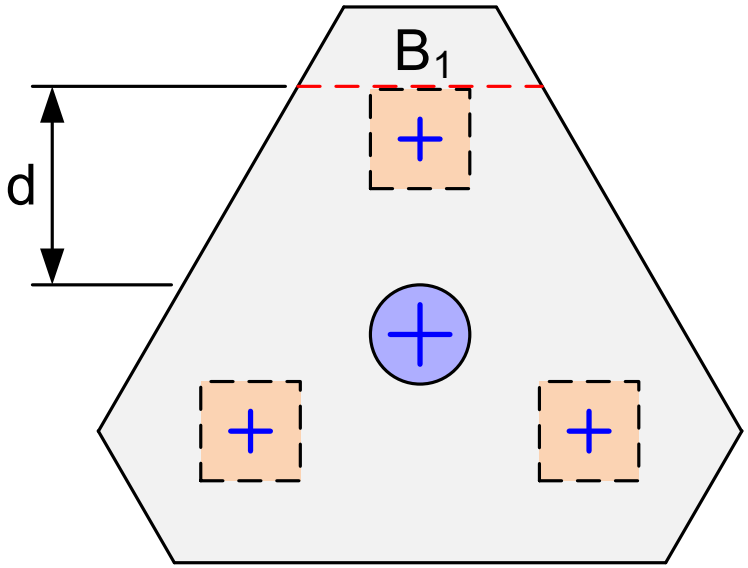
เส้นรอบรูปการเฉือน : $b_o = \pi(D_p + d) = \pi(55.3 + 80) = 425$ ซม.

กำลังเฉือนคอนกรีต : $\phi V_c = 0.85 \times 1.06\sqrt{240} \times 425 \times 80 / 1{,}000$

$$= 474.6 \text{ ตัน} > [\, V_u = 279.5 \text{ ตัน} \,]$$

OK

4. ตรวจสอบการเฉือนคาน



ความยาว B_1 ของหน้าตัดวิกฤตคำนวณได้จากสูตร

$$B_1 = \frac{\left(D_1 + 2\sqrt{3}C\right)\left(\frac{D_1}{\sqrt{3}} + 2C - \frac{D_p}{2} - d\right)}{\left(\frac{3D_1}{2\sqrt{3}} + 3C\right)}$$

$$B_1 = \frac{\left(1.35 + 2\sqrt{3}\times 0.40\right)\left(\frac{1.35}{\sqrt{3}} + 2\times 0.40 - \frac{0.553}{2} - 0.80\right)}{\left(\frac{3\times 1.35}{2\sqrt{3}} + 3\times 0.40\right)} = 0.58 \text{ ม.}$$

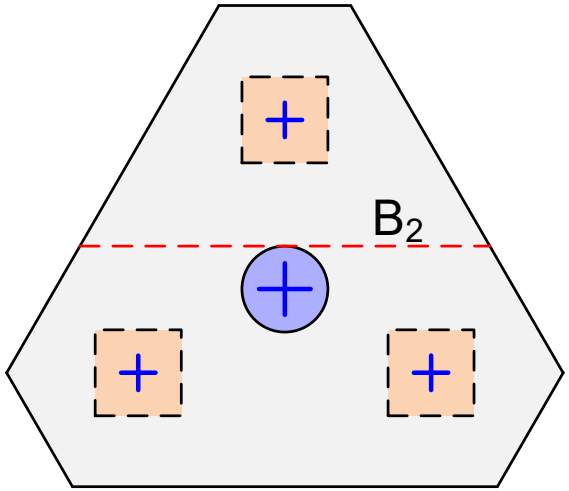
ระยะ x จากหน้าตัดวิกฤตถึงศูนย์กลางเสาเข็ม

$$x = \frac{D_1}{\sqrt{3}} - \frac{D_p}{2} - d = \frac{1.35}{\sqrt{3}} - \frac{0.553}{2} - 0.80 = -0.29 \text{ ม.}$$

$x \le -D/2 \rightarrow V_u = 0$ ดังนั้นฐานรากรับการเฉือนคานได้

5. ออกแบบเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด ความลึกประสิทธิผล d = 80 ซม.

ความยาว B_2 ของหน้าตัดวิกฤตคำนวณได้จากสูตร



$$B_2 = \frac{\left(D_1 + 2\sqrt{3}C\right)\left(\frac{D_1}{\sqrt{3}} + 2C - \frac{D_p}{2}\right)}{\left(\frac{\sqrt{3}D_1}{2} + 3C\right)}$$

$$= \frac{\left(1.35 + 2\sqrt{3}\times 0.40\right)\left(\frac{1.35}{\sqrt{3}} + 2\times 0.40 - \frac{0.553}{2}\right)}{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\times 1.35 + 3\times 0.40\right)} = 1.51 \text{ ม.}$$

โมเมนต์ดัด : $M_u = R_u\left(\frac{D_1}{\sqrt{3}} - \frac{D_p}{2}\right) = 95\left(\frac{1.35}{\sqrt{3}} - \frac{0.553}{2}\right) = 46.3$ t-m

$$R_n = \frac{M_u}{\phi B_2 d^2} = \frac{46.3\times 10^5}{0.9\times 151\times 80^2} = 5.32 \text{ ksc}$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}}\right) = 0.0014 < [\rho_{max} = 0.0197] \text{ OK}$$

$$A_s = \rho B_2 d = 0.0014 \times 151 \times 80 = 16.9 \text{ ซม.}^2$$

เหล็กกันร้าว $A_{s,min} = 0.0018 B_2 t = 0.0018 \times 151 \times 90 = 24.5 \text{ ซม.}^2 > A_s$

ใช้เหล็กเสริม **6-DB25** ($A_s = 29.45$ ซม.^{2})

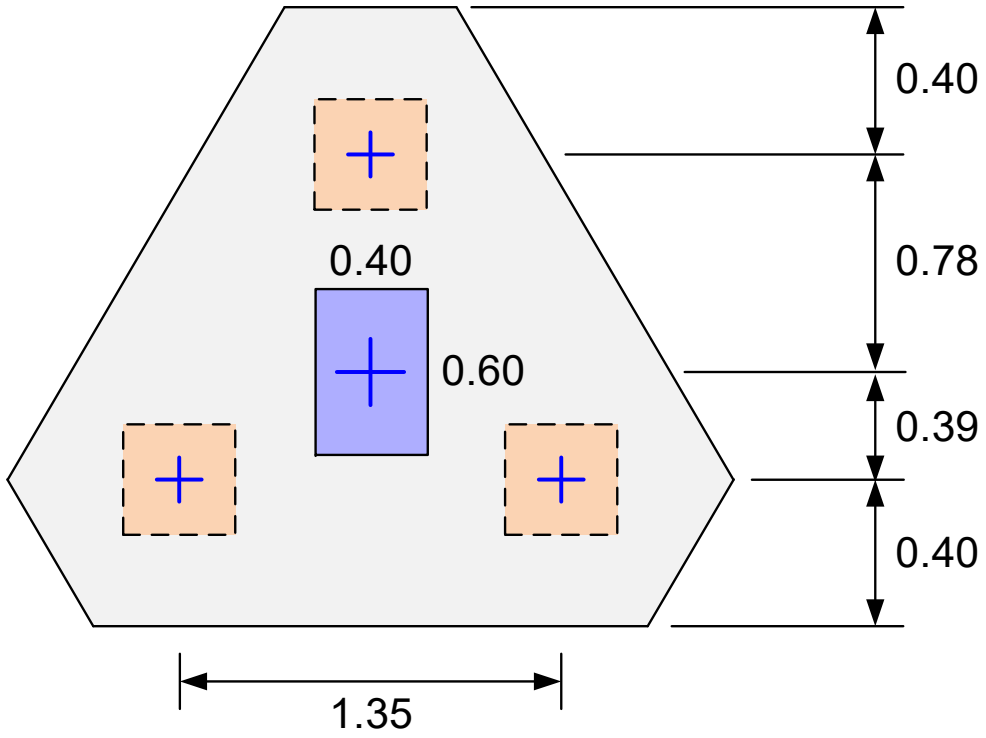
6. ตรวจสอบระยะฝังยึด

จากตาราง ก.4 ระยะฝังยึดของ DB25 : $l_d = 1.23$ ม.

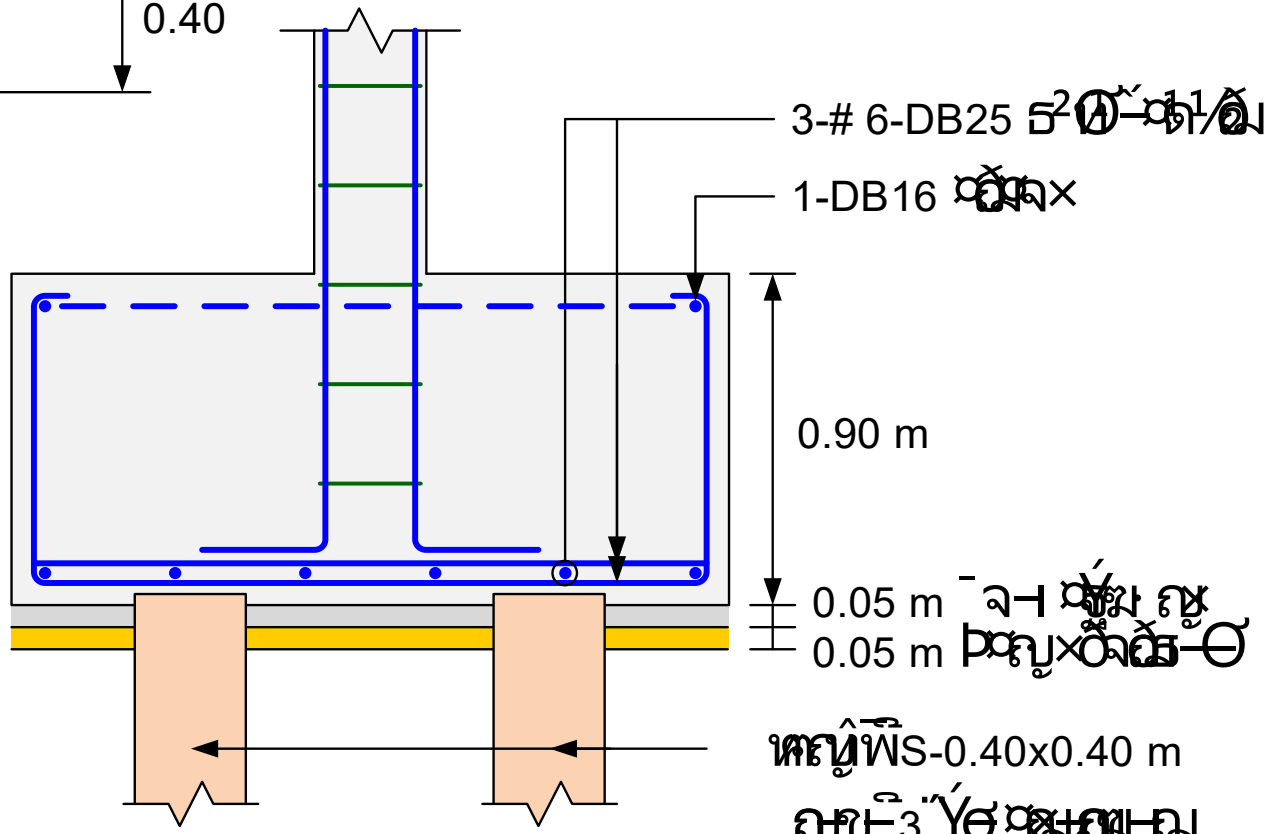
ความยาวเหล็กที่ฝังจริง $= \dfrac{D_1}{\sqrt{3}} + C - \dfrac{D_p}{2} - 0.10$

$$= \frac{1.35}{\sqrt{3}} + 0.40 - \frac{0.553}{2} - 0.10 = 0.803$$

$= 0.803$ ม. $< l_d$ $\therefore$ **ต้องงอฉาก**



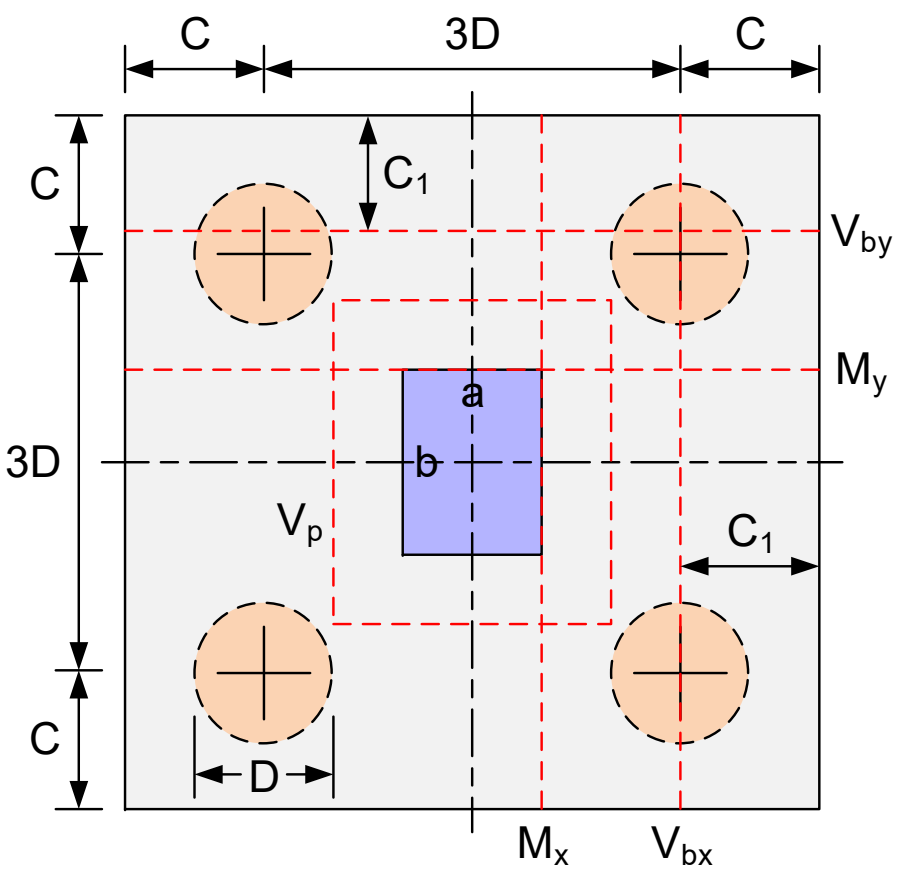
F3 PLAN

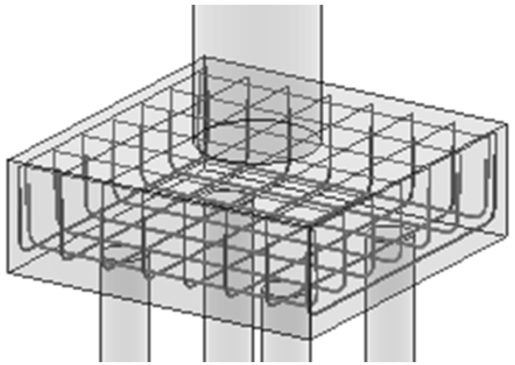


F3 SECTION

ฐานรากเสาเข็ม 4 ต้น

F4





การกำหนดขนาดของฐานราก :

D = ขนาดเสาเข็ม

$C \geq D$ = ระยะจากศูนย์กลางเสาเข็มถึงขอบฐาน

3D = ระยะห่างเสาเข็ม

3D+2C = ความกว้างยาวฐานราก

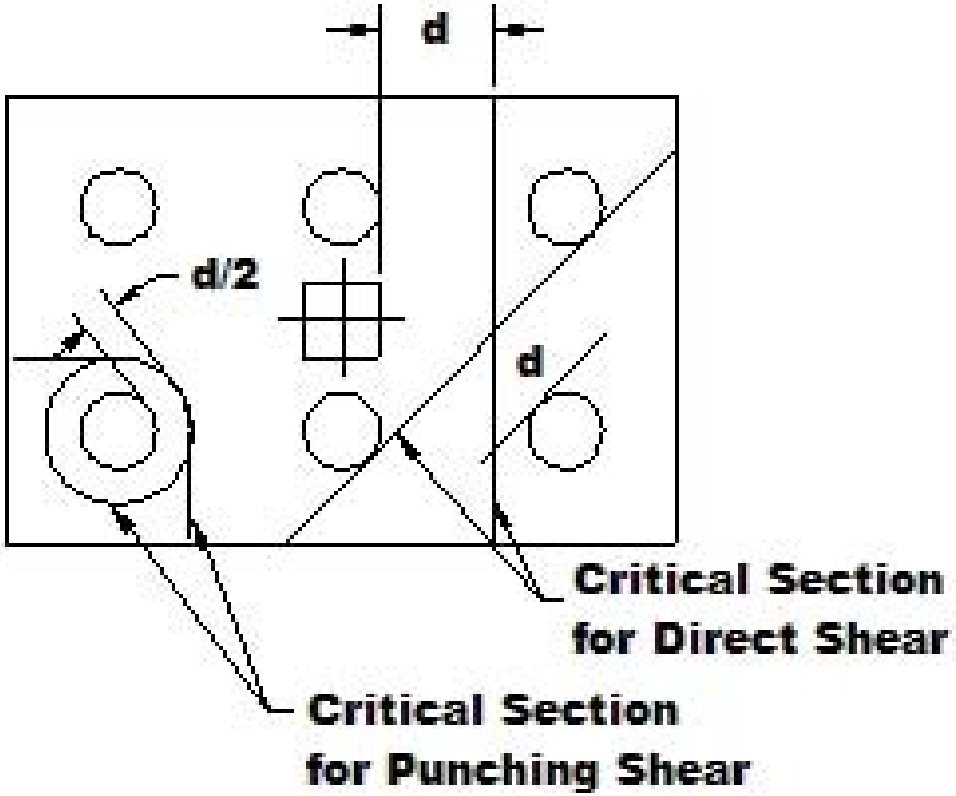
a, b = ขนาดเสาตอม่อ

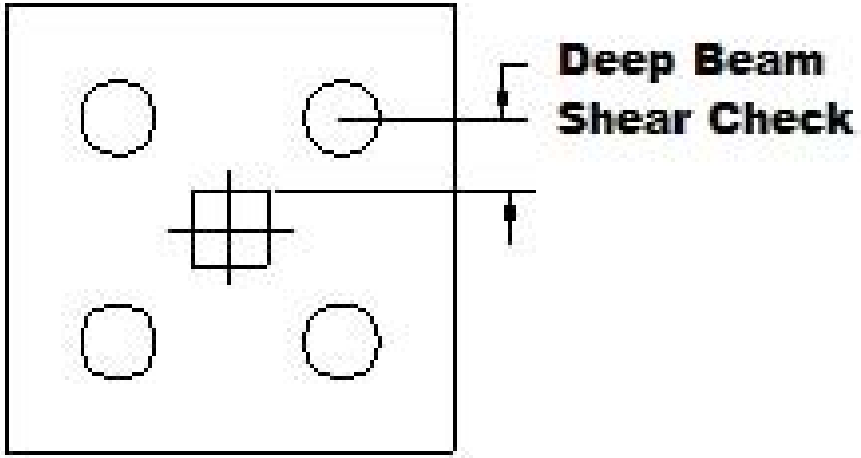
C_1 = ระยะหุ้มคอนกรีต

= 0.075 ม. กรณีทั่วไป

= 0.10 ม. กรณีมีการกัดกร่อน

1-way, 2-way, Deep-beam & Corner Shear Design





ตัวอย่างที่ 14.4 ออกแบบฐานรากเสาเข็มตอก S – 0.40×0.40 ม. ซึ่งมีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ 75 ตัน/ต้น ตอม่อมีขนาด 0.40×0.60 ม.^{2} น้ำหนักบรรทุกคงที่ 120 ตัน น้ำหนักบรรทุกจร 80 ตัน กำลังคอนกรีต $f'_c = 240$ กก./ซม.^{2} กำลังครากเหล็กเสริม $f_y = 4{,}000$ กก./ซม.^{2}

วิธีทำ

1. จัดขนาดฐานราก สมมุติน้ำหนักฐานราก 20%

จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ $n = \dfrac{1.2(120+80)}{75} = 3.2 \rightarrow 4$

ขนาดต่างๆของฐานราก : $D = 0.40$ ม. = ขนาดเสาเข็ม

$C = D = 0.40$ ม. = ระยะจากศูนย์กลางเสาเข็มถึงขอบฐานราก

$D_1 = 3D = 3\times0.40 = 1.20$ ม. = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็ม

$C_1 = 0.10$ ม. = ระยะหุ้มคอนกรีต

สมมุติความลึกฐานราก = 0.40 ม. $\rightarrow$ ความลึกประสิทธิผล d = 0.30 ม.

ความกว้างฐานราก $= D_1 + 2D = 1.20 + 2\times0.40 = 2.00$ ม.

น้ำหนักฐานราก :

$$W_f = 2.00^2\times0.40\times2.4 = 3.84 \text{ ตัน}$$

น้ำหนักบรรทุก :

$$P = 120 + 3.84 + 80 = 203.84 \text{ ตัน}$$

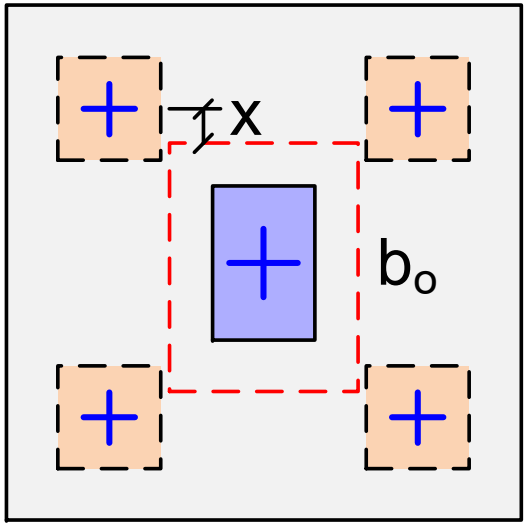
$$R = 203.84/4 = 50.96 \text{ ตัน} < \text{กำลังเสาเข็ม } 75 \text{ ตัน}$$ **OK**

น้ำหนักบรรทุกเพิ่มค่า :

$$P_u = 1.4(120+3.84) + 1.7\times80 = 309.4 \text{ ตัน}$$

$$R_u = P_u/4 = 309.4/4 = 77.3 \text{ ตัน}$$

2. ตรวจสอบการเฉือนทะลุ



หน้าตัดเสาตอม่อ 0.40×0.60 ม.: a = 0.40 ม., b = 0.60 ม.

ระยะ x จากหน้าตัดวิกฤตถึงศูนย์กลางเสาเข็ม

$$x = \frac{D_1 - a - d}{2} = \frac{1.20 - 0.40 - 0.30}{2}$$

$= 0.25$ ม. $>$ [D/2 = 0.20 ม.] $\rightarrow$ แรงเฉือนทะลุ $V_u = P_u = 309.4$ ตัน

เส้นรอบรูปการเฉือน $b_o = 2(a+b+2d) = 2(40+60+2\times30) = 320$ ซม.

กำลังเฉือนคอนกรีต $\phi V_c = 0.85\times1.06\sqrt{240}\times320\times30/1{,}000$

$= 134.0$ ตัน $<$ [$V_u = 309.4$ ตัน] **NG**

กำลังเฉือนทะลุไม่เพียงพอ เพิ่มค่า d โดยพิจารณาจาก

$$\phi V_c = 1.06\phi\sqrt{f'_c}\times2(a+b+2d)d = V_u$$

แทนค่าตัวแปรแล้วแก้สมการกำลังสองเพื่อหาค่า d

$$d^2 + 50d - 5445 = 0 \quad \rightarrow \quad d = 52.91 \text{ ซม.}$$

เลือกฐานรากหนา 70 ซม. ความลึกประสิทธิผล $d = 60$ ซม.

น้ำหนักฐานราก :

$$W_f = 2.00^2 \times 0.70 \times 2.4 = 6.72 \text{ ตัน}$$

น้ำหนักบรรทุก :

$$P = 120 + 6.72 + 80 = 206.72 \text{ ตัน}$$

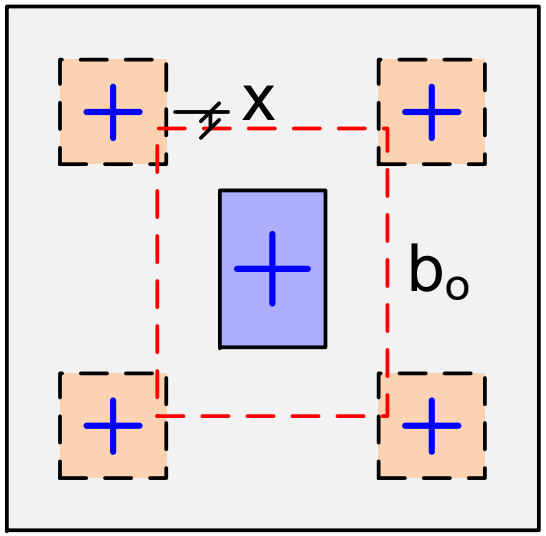
$$R = 206.72/4 = 51.68 \text{ ตัน} < \text{กำลังเสาเข็ม } 75 \text{ ตัน}$$ **OK**

น้ำหนักบรรทุกเพิ่มค่า :

$$P_u = 1.4(120+6.72) + 1.7 \times 80 = 313.4 \text{ ตัน}$$

$$R_u = P_u/4 = 313.4/4 = 78.4 \text{ ตัน}$$

3. ตรวจสอบการเฉือนทะลุ (อีกครั้ง)



ระยะ x จากหน้าตัดวิกฤตถึงศูนย์กลางเสาเข็ม

$$x = \frac{D_1 - a - d}{2} = \frac{1.20 - 0.40 - 0.60}{2}$$

$$= 0.10 \text{ ม.} < [\, D/2 = 0.20 \text{ ม.} \,]$$

$$-D/2 \le x \le D/2 \rightarrow V_u = P_u\left(\frac{1}{2} + \frac{x}{D}\right) = 313.4\left(\frac{1}{2} + \frac{0.10}{0.40}\right) = 235.1 \text{ ตัน}$$

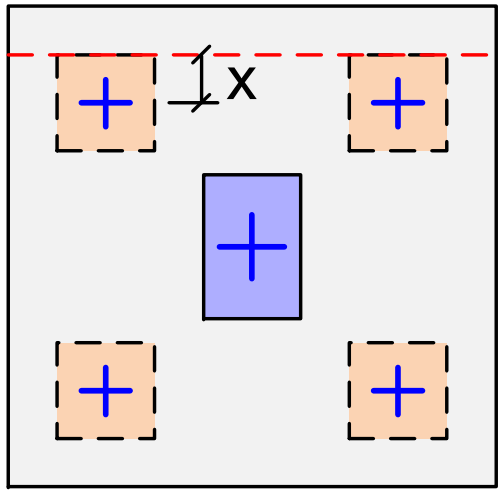
เส้นรอบรูปการเฉือน $b_o = 2(a + b + 2d) = 2(40 + 60 + 2 \times 60) = 440$ ซม.

กำลังเฉือนคอนกรีต $\phi V_c = 0.85 \times 1.06\sqrt{240} \times 440 \times 60 / 1{,}000$

$$= 368.5 \text{ ตัน} > [\, V_u = 235.1 \text{ ตัน} \,]$$

OK

4. ตรวจสอบการเฉือนคาน

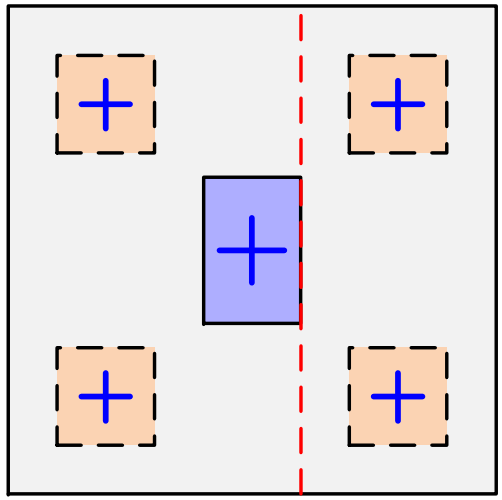


ระยะ x จากหน้าตัดวิกฤตถึงศูนย์กลางเสาเข็ม

$$x = \frac{D_1}{2} - \frac{a}{2} - d = \frac{1.20}{2} - \frac{0.40}{2} - 0.60 = -0.20 \text{ ม.}$$

$x \le -D/2 \rightarrow V_u = 0$ ดังนั้นฐานรากรับการเฉือนคานได้

5. ออกแบบเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด ความลึกประสิทธิผล d = 60 ซม.



โมเมนต์ดัด : (เหล็กเสริมแนวนอน)

$$M_u = 2R_u\left(\frac{D_1 - a}{2}\right) = 2 \times 78.4\left(\frac{1.2 - 0.4}{2}\right)$$

$$= 62.7 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{62.7 \times 10^5}{0.9 \times 200 \times 60^2} = 9.68 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85f'_c}{f_y}\left(1-\sqrt{1-\frac{2R_n}{0.85f'_c}}\right) = 0.0025 < [\ \rho_{max} = 0.0197\ ]$$ **OK**

$A_s = \rho bd = 0.0025\times200\times60 = 30.0$ ซม.^{2}

เหล็กกันร้าว $A_{s,min} = 0.0018bt = 0.0018\times200\times70 = 25.2$ ซม.^{2} $< A_s$

ใช้เหล็กเสริม **7-DB25** ($A_s = 34.34$ ซม.^{2})

6. ตรวจสอบระยะฝังยึด

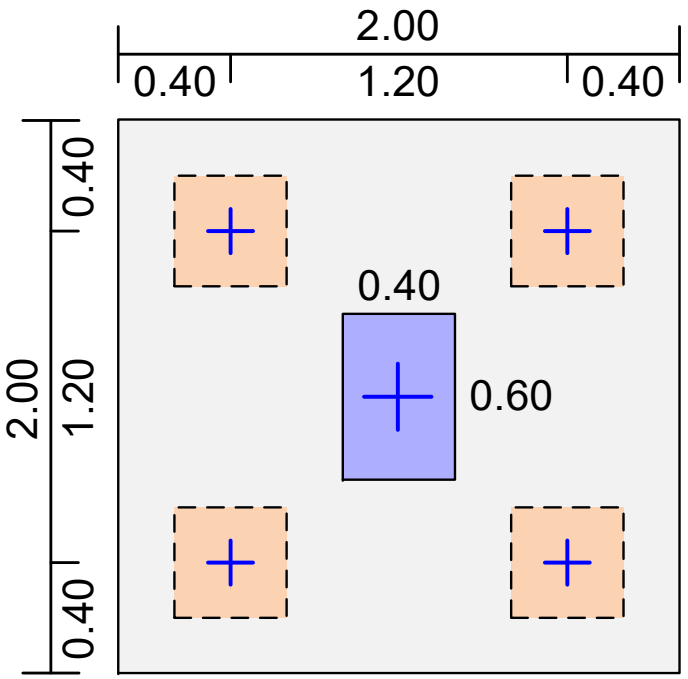
จากตาราง ก.4 ระยะฝังยึดของ DB25 : $l_d = 1.23$ ม.

ความยาวเหล็กที่ฝังจริง $= \frac{D_1}{2} + C - \frac{b}{2} - 0.10$

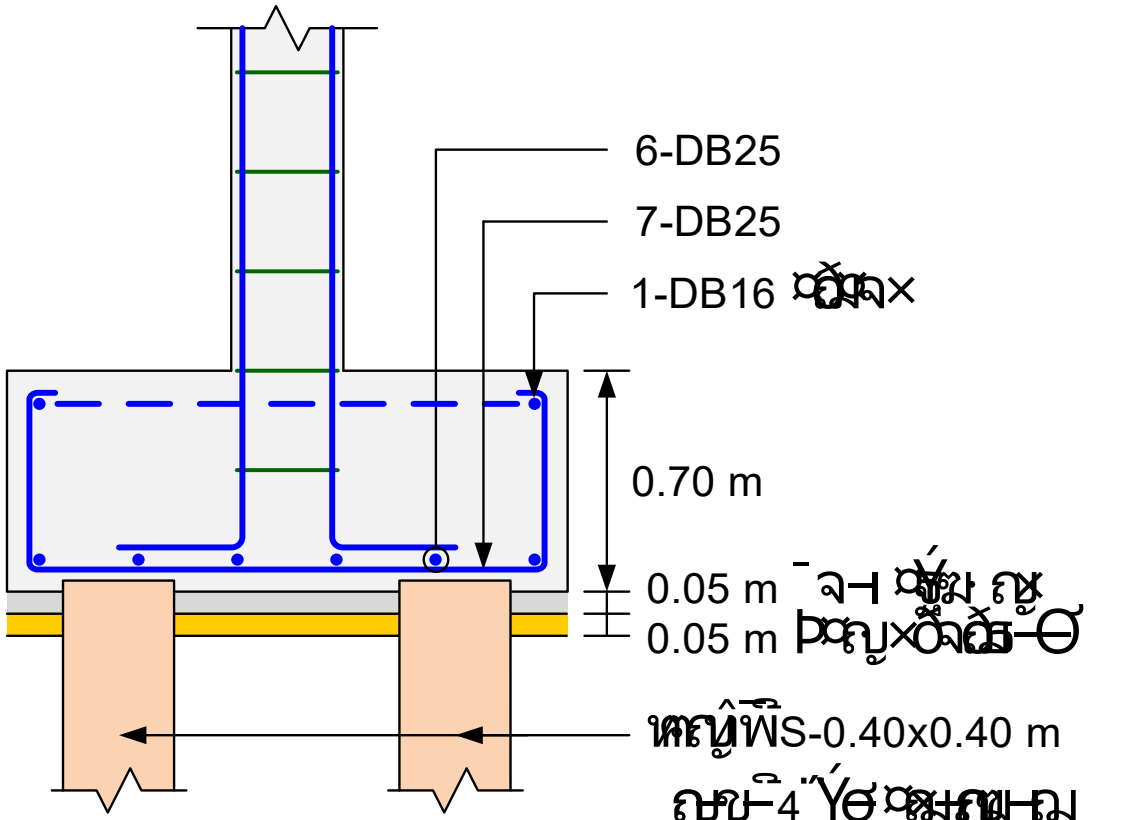
$= \frac{1.20}{2} + 0.40 - \frac{0.60}{2} - 0.10$

$= 0.60$ ม. $< l_d$ **ต้องงอฉาก**

แบบรายละเอียดฐานราก F4



F4 PLAN



F4 SECTION