

3. ออกแบบฐานราก ทำเช่นเดียวกับฐานรากเดี่ยวทั้งสองฐานราก

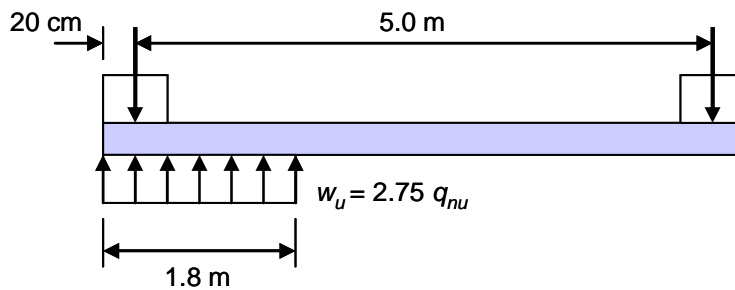
$$\text{น้ำหนักประลัยจากเสาต้นนอก} = 1.4(50) + 1.7(25) = 112.5 \text{ ตัน}$$

$$\text{น้ำหนักประลัยจากเสาต้นใน} = 1.4(80) + 1.7(40) = 180 \text{ ตัน}$$

$$\text{แรงดันดินประลัย } q_{nu} = \frac{112.5+180}{1.8 \times 2.75 + 2.5 \times 2.5} = 26.12 \text{ ตัน/ตร.ม.}$$

4. การออกแบบคานเชื่อม

แม้ว่าในความเป็นจริงคานเชื่อมจะถูกหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับฐานรากภายใน ผลของแรงดันดินภายใต้ฐานรากภายในที่มีต่อคานเชื่อมสามารถถูกละเลยได้โดยปลอดภัย เนื่องจากฐานรากได้รับการออกแบบได้ต้านทานแรงดันดินในสภาพที่ไม่มีคานเชื่อมต่ออยู่(ชั้นที่ 3) แต่สำหรับฐานรากต้นนอกเนื่องจากแรงปฏิกิริยาและน้ำหนักบรรทุกไม่ตรงกันทำให้เกิดโมเมนต์ขึ้นในคานเชื่อมจึงไม่สามารถถูกละเลยได้ ดังนั้นคานเชื่อมจึงกลายเป็นคานช่วงเดียวที่มีน้ำหนักบรรทุกเป็นแรงดันดิน $w_u = 2.75(26.12) = 71.83 \text{ ตัน/เมตร}$ ดังในรูปที่ 13.41



รูปที่ 13.41 แรงที่กระทำบนคานเชื่อม

13.11 ฐานรากบนเสาเข็ม (Pile caps)

ถ้ากำลังแบกทานของดินชั้นบนไม่เพียงพอสำหรับการทำฐานแผ่แต่มีชั้นดินแข็งอยู่ลึก ในการถ่ายน้ำหนักของตัวอาคารลงสู่ชั้นดินที่อยู่ลึกจะใช้เสาเข็ม โดยมักทำเป็นกลุ่มแล้วหุ้มหัวเสาเข็มทั้งกลุ่มด้วยฐานแผ่เพื่อให้น้ำหนักบรรทุกจากเสากระจายลงเสาเข็ม ฐานรากแบบนี้จะคล้ายฐานรากบนดินมากเพียงแต่แรงดันขึ้นจากเสาเข็มจะเป็นจุดแทนที่จะเป็นแรงดันกระจายทั้งพื้นที่ และถ้าหารน้ำหนักบรรทุกลงเสาเข็มรวมทุกต้นด้วยพื้นที่ฐานรากจะพบว่าแรงดันเทียบเท่าที่ได้สูงกว่าในฐานแผ่บนดินมาก ซึ่งก็หมายความว่าโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีสูงกว่ามากเช่นกัน

กำลังแบกทานของเสาเข็มแต่ละต้น R_a ซึ่งจะหาได้จากผลการเจาะสำรวจดิน พลังงานในการตอกเข็ม การทดสอบน้ำหนักบรรทุก และการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมฐานรากซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตเนื้อหาของหนังสือเล่มนี้ เช่นเดียวกับในฐานแผ่ส่วนที่รับน้ำหนักจริงจะน้อยลงเนื่องจากต้องหักน้ำหนักฐานรากและดินถมออก

$$R_e = R_a - W_f \tag{13.23}$$

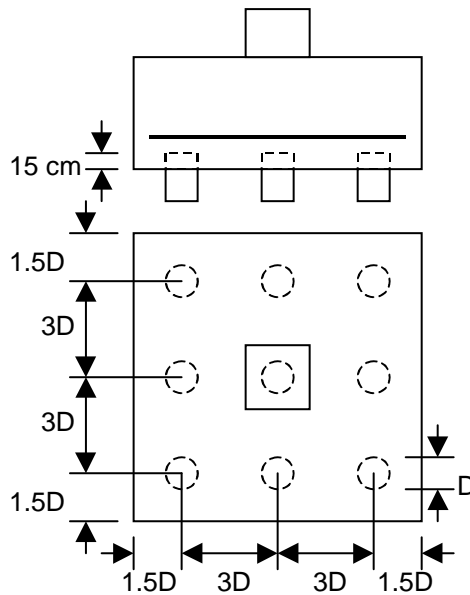
เมื่อ W_f คือน้ำหนักฐานรากและดินถมทั้งหมดหารด้วยจำนวนเสาเข็ม เมื่อได้ค่าแรงปฏิกิริยาประสิทธิผลของเข็มแต่ละต้น R_e จำนวนเสาเข็มจะหาออกมาเป็นเลขจำนวนเต็มปัดขึ้นจาก

$$n = \frac{DL + LL}{R_e} \tag{13.24}$$

โดยทั่วไปเสาเข็มจะถูกวางใกล้กันเพื่อลดค่าฐานรากหัวเข็ม แต่จะไม่สามารถวางได้ใกล้กว่า 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง หรือน้อยกว่า 75 ซม. ได้ โดยทั่วไปเสาเข็มขนาด 30 ถึง 70 ตันจะวางห่างกัน 90 ซม.

การออกแบบฐานรากบนหัวเสาเข็มจะคล้ายกับการออกแบบฐานรากของเสาเดี่ยว โดยเริ่มจากการคำนวณน้ำหนักบรรทุกประลัยจากเสาแล้วหารด้วยจำนวนเสาเข็มจะได้น้ำหนักประลัยที่รับ โดยเข็มแต่ละต้น

$$R_u = \frac{1.4DL + 1.7LL}{n} \quad (13.25)$$



รูปที่ 13.42 ฐานรากบนหัวเสาเข็ม

การหาค่า R_u แบบนี้อาจนำไปสู่การออกแบบที่ทำให้กำลังของฐานรากน้อยกว่ากำลังของกลุ่มเสาเข็ม ดังนั้นจึงควรหาน้ำหนักประลัยโดย

$$R_u = R_e \times \text{ตัวคูณน้ำหนักเฉลี่ย} \quad (13.26)$$

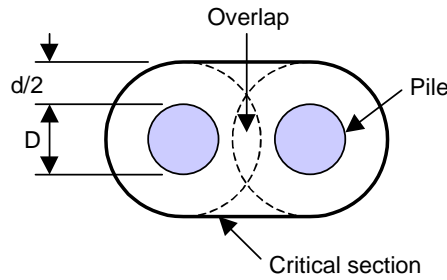
เมื่อ ตัวคูณน้ำหนักเฉลี่ย = $(1.4DL + 1.7LL)/(DL + LL)$ รูปที่ 13.36 และในภาคผนวก ข แสดงตัวอย่างฐานรากบนเสาเข็ม

เช่นเดียวกับฐานรากแผ่รับเสาเดี่ยว ความลึกของฐานรากหัวเสามักจะถูกควบคุมโดยแรงเฉือน หน้าตัดวงกตจะเหมือนในฐานแผ่ จะต่างกันตรงที่แรงเฉือนที่เกิดจะมาจากแรงกระทำเป็นจุดจากเสาเข็มแทนที่จะเป็นแรงดันแบกทานสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงมีปัญหาว่าจะคำนวณหน้าตัดวงกตได้อย่างไรถ้าเส้นรอบรูปหน้าตัดวงกตของเสาเข็มแต่ละต้นเกิดซ้อนทับกันในกรณีเช่นนี้ ACI พิจารณาถึงความเป็นจริงว่าแรงปฏิกิริยาของเสาเข็มนั้นจริงๆแล้วไม่ได้กระทำเป็นจุด แต่จะแผ่กระจายบนพื้นที่หัวเข็ม ดังนั้นสำหรับเสาเข็มที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง D ให้คำนวณโดยยึดหลักดังนี้

1. แรงปฏิกิริยาทั้งหมดจากเสาเข็มต้นใดก็ตามที่อยู่นอกหน้าตัดออกไป $D/2$ หรือมากกว่า ให้พิจารณาว่าทำให้เกิดแรงเฉือนที่หน้าตัดนั้น
2. แรงปฏิกิริยาทั้งหมดจากเสาเข็มต้นใดก็ตามที่อยู่ในหน้าตัดเข้ามาไป $D/2$ หรือมากกว่า ให้พิจารณาว่าไม่ทำให้เกิดแรงเฉือนที่หน้าตัดนั้น
3. สำหรับเสาเข็มต้นใดก็ตามที่อยู่ระหว่างกลางของข้อหนึ่งและสอง ให้ทำการประมาณเชิงเส้นตรงระหว่างค่าเต็มที่ระยะ $D/2$ ภายนอกหน้าตัด และค่าศูนย์ที่ระยะ $D/2$ ภายในหน้าตัด

นอกจากการตรวจสอบแรงเฉือนทางเดียวและสองทางดังได้กล่าวมาแล้ว จะต้องตรวจสอบการเฉือนทะลุของเสาเข็มแต่ละต้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฐานรากที่มีเสาเข็มจำนวนน้อยแต่รับน้ำหนักมากๆ เส้นรอบรูปวงกตจะอยู่ที่ระยะ

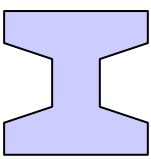
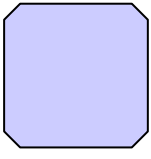
$d/2$ จากขอบเสาเข็ม อย่างไรก็ตามสำหรับฐานรากที่ค่อนข้างลึกและเข็มอยู่ใกล้กัน เส้นรอบรูปวิกฤติอาจซ้อนทับกัน ในกรณีเช่นนี้การแตกร้าวที่เกิดขึ้นที่เส้นรอบรูปทั้งสองเสาเข็มซึ่งมีความยาวน้อยที่สุดดังในรูปที่ 13.37



รูปที่ 13.43 หน้าตัดวิกฤติสำหรับการเลื่อนทะลุของเสาเข็มที่อยู่ใกล้กัน

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง เป็นเสาเข็มที่ได้การทำคอนกรีตอัดแรงโดยใช้เส้นลวดแรงดึงสูงขนาด 4 5 และ 7 มม. ในการก่อสร้างโดยใช้เสาเข็มชนิดนี้จะใช้การตอกด้วยปั้นจั่น โดยอาศัยแรงตกกระแทกอย่างรุนแรงของตุ้มน้ำหนักเพื่อส่งเสาเข็มลงในดิน ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการตอกไม่ให้เสาเข็มเกิดการแตกร้าว น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มจะขึ้นความลึกของการตอก ลักษณะและชนิดของชั้นดินซึ่งควรมีการเจาะสำรวจและวิเคราะห์ตามหลักปฐพีกลศาสตร์ ขณะตอกจะต้องบันทึกจำนวนครั้งในการตอกต่อความลึกที่เข็มจมลงในดิน (Blow count) เพื่อตรวจสอบว่าปลายเข็มถึงชั้นดินที่มีกำลังตามต้องการหรือยัง น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มอัดแรงในตารางที่ 13.1 เป็นเพียงกำลังของตัวเสาเพื่อใช้ในการออกแบบฐานรากเท่านั้น

ตารางที่ 13.1 เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

รูปตัด	รหัส	ขนาดเข็ม	พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	เส้นรอบรูป (ซม.)	น้ำหนัก (กก./ม.)	น้ำหนักปลอดภัย (ตัน)
	I-18	0.18 m x 0.18 m	235	83	57	15
	I-22	0.22 m x 0.22 m	332	105	80	22
	I-26	0.26 m x 0.26 m	460	126	110	30
	I-30	0.30 m x 0.30 m	570	154	137	43
	I-35	0.35 m x 0.35 m	880	165	211	57
	I-40	0.40 m x 0.40 m	1235	180	296	80
	S-16	0.16 m x 0.16 m	256	64	61	15
	S-18	0.18 m x 0.18 m	324	72	78	21
	S-22	0.22 m x 0.22 m	484	88	116	30
	S-26	0.26 m x 0.26 m	676	104	160	43
	S-30	0.30 m x 0.30 m	900	120	216	50
	S-35	0.35 m x 0.35 m	1225	140	294	80
	S-40	0.40 m x 0.40 m	1600	160	384	100

เสาเข็มเจาะ เสาเข็มแบบตอกมักสร้างปัญหาในการก่อสร้างเพราะเข็มอาจแตกร้าวได้ ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนซึ่งอาจก่อความเสียหายกับสิ่งปลูกสร้างและรบกวนผู้อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย ดังนั้นในงานก่อสร้างในบริเวณชุมชนที่มีสภาพดินอ่อนจึงมักใช้เข็มเจาะ โดยจะใช้ปลอกเหล็กเสียบลงในดินแล้วตักดินออก ใส่เหล็กเสริมที่ผูกไว้ลงไป แล้วเทคอนกรีตตาม เนื่องจากเข็มเจาะอาจมีขนาดได้ใหญ่มาก จึงใช้เป็นฐานรากอาคารที่มีขนาดใหญ่และสูงมากได้อีกด้วย สำหรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของตัวเข็มเจาะอาจประมาณได้จากสูตรง่ายๆคือ

$$P_u = 0.25(0.85 f'_c A_g) \quad (13.27)$$

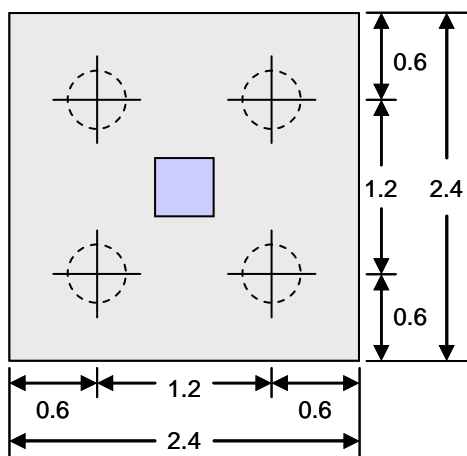
โดยทั่วไปแล้ววิศวกร โครงสร้างจะกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็มและน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มที่ต้องการ(ตัน/ตัน)ซึ่งประมาณได้จากสมการ (13.27) จากนั้นเมื่อจะทำการก่อสร้างก็จะมาเจาะสำรวจวิเคราะห์ชั้นดินในบริเวณที่จะทำการก่อสร้าง เพื่อหาความลึกที่เหมาะสมสำหรับเสาเข็ม

ตัวอย่างที่ 13.10 จงออกแบบฐานรากแบบใช้เข็มเจาะเพื่อรองรับน้ำหนักคงที่ 100 ตันและน้ำหนักจร 50 ตัน จากเสาปลูกเดี่ยวสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40×40 ซม. $f'_c = 240$ ก.ก./ ซม.^2 $f_y = 4,000$ ก.ก./ ซม.^2 และหน่วยน้ำหนักดิน $\gamma_s = 2.0$ ตัน/ลบ.ม. ฐานรากอยู่ลึก 1.50 ม. จากระดับผิวดิน

วิธีทำ ลองใช้เสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. $A_g = 0.25\pi(40)^2 = 1,256$ ซม.^2

$$\text{น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย } P_a = 0.25 \times 0.85 f'_c A_g = 0.25 \times 0.85 \times 240 \times 1,256 / 1,000 = 64 \text{ ตัน}$$

ใช้เสาเข็ม $\varnothing 0.40$ ม. น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย 50 ตัน



สมมติน้ำหนักฐานรากและดินถม 15%

$$\text{น้ำหนักบรรทุก} = 0.15(100 + 50) = 22.5 \text{ ตัน}$$

$$\text{จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ} = (100 + 50 + 22.5) / 50 = 3.45 \text{ ใช้ } 4 \text{ ตัน}$$

$$\text{จัดเสาเข็มตามรูปให้ระยะห่างระหว่างเข็ม} = 3 \varnothing = 3(0.4) = 1.2 \text{ เมตร}$$

$$\text{ระยะห่างระหว่างเข็มถึงขอบฐานราก} = 1.5 \varnothing = 1.5(0.4) = 0.6 \text{ เมตร}$$

สมมติฐานรากหนา 90 ซม. ความลึกประสิทธิภาพ $d = 82$ ซม.

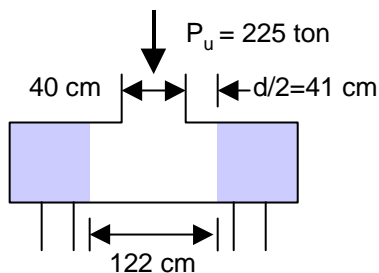
$$\text{น้ำหนักฐานรากและดินถม} = (0.9 \times 2.4 + 0.6 \times 2.0)(2.4)^2$$

$$= 19.4 \text{ ตัน} < \text{ที่ประมาณไว้ } 22.5 \text{ ตัน } \text{OK}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกประลัยจากเสา} = 1.4(100) + 1.7(50) = 225 \text{ ตัน}$$

$$\text{น้ำหนักบรรทุกประลัยลงเสาเข็มแต่ละต้น} = (225 + 1.4(19.4)) / 4 = 63.0 \text{ ตัน/ต้น}$$

ตรวจสอบการเฉือนทะลุของเสา



$$V_u = P_u = 225 \text{ ตัน}$$

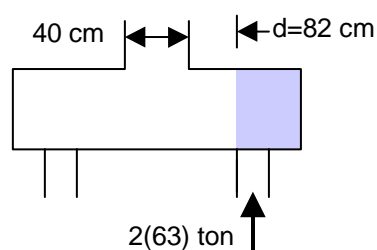
$$b_o = 4(122) = 488 \text{ ซม.}$$

$$\phi V_c = 0.85(1.06) \sqrt{240} (488)(82) / 1000$$

$$= 559 \text{ ตัน} > V_u$$

OK

ตรวจสอบการเฉือนคานของเข็มสองต้น



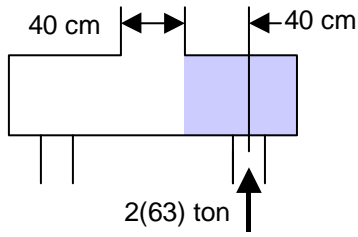
$$V_u = 2(63.0) = 126 \text{ ตัน}$$

$$\phi V_c = 0.85(0.53) \sqrt{240} (240)(82) / 1000$$

$$= 137 \text{ ตัน} > V_u$$

OK

โมเมนต์ตัด



$$M_u = 2(63.0)(0.4) = 50.4 \text{ ตัน-เมตร}$$

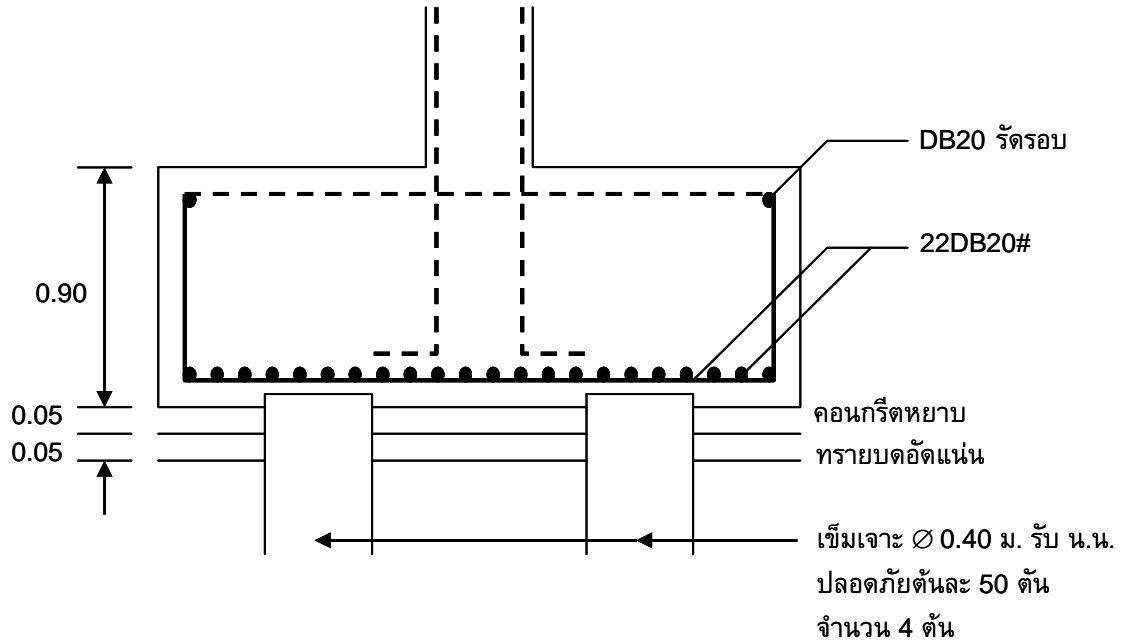
$$R_n = \frac{50.4(10^5)}{0.9 \times 240 \times 82^2} = 3.47 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\rho = 0.0009 < [\rho_{\min} = 0.0035]$$

USE ρ_{\min}

$$A_s = 0.0035(240)(82) = 68.88 \text{ ซม.}^2$$

เลือกใช้ 22DB20# ($A_s = 69.08 \text{ ซม.}^2$)



รูปที่ 13.44 ผลการออกแบบฐานรากในตัวอย่างที่ 13.8

ปัญหาท้ายบทที่ 13

ข้อ 13.1 และ 13.2 จงออกแบบฐานรากรับผนังสำหรับสภาวะดังต่อไปนี้

- 13.1 ผนังกั้นบรรทุกองที่ 8 ตัน/เมตร ผนังกั้นบรรทุกจร 12 ตัน/เมตร ผนังหนา 30 ซม. แรงดันดินที่ยอมให้ $q_a = 18$ ตัน/ตรม. ที่ระดับ -1.0 เมตร หน่วยน้ำหนักดิน 2.0 ตัน/ลบ.ม. $f'_c = 210$ ก.ก./ชม.² และ $f_y = 4,000$ ก.ก./ชม.²
- 13.2 ผนังกั้นบรรทุกองที่ 25 ตัน/เมตร ผนังกั้นบรรทุกจร 12 ตัน/เมตร ผนังหนา 40 ซม. แรงดันดินที่ยอมให้ $q_a = 28$ ตัน/ตรม. ที่ระดับ -1.5 เมตร หน่วยน้ำหนักดิน 2.0 ตัน/ลบ.ม. $f'_c = 210$ ก.ก./ชม.² และ $f_y = 4,000$ ก.ก./ชม.²

ข้อ 13.3 และ 13.4 จงออกแบบฐานรากเดี่ยวสำหรับสภาวะดังต่อไปนี้

- 13.3 ผนังกั้นบรรทุกองที่ 150 ตัน ผนังกั้นบรรทุกจร 120 ตัน เสาสี่เหลี่ยมจัตุรัส 50 ซม. แรงดันดินที่ยอมให้ $q_a = 22$ ตัน/ตรม. ที่ระดับ -1.5 เมตร หน่วยน้ำหนักดิน 2.0 ตัน/ลบ.ม. $f'_c = 210$ ก.ก./ชม.² และ $f_y = 4,000$ ก.ก./ชม.²
- 13.4 ผนังกั้นบรรทุกองที่ 180 ตัน ผนังกั้นบรรทุกจร 120 ตัน เสาสี่เหลี่ยม 30×70 ซม. แรงดันดินที่ยอมให้ $q_a = 28$ ตัน/ตรม. หน่วยน้ำหนักดิน 2.0 ตัน/ลบ.ม. $f'_c = 210$ ก.ก./ชม.² และ $f_y = 4,000$ ก.ก./ชม.² เลือกระดับผิวบนฐานรากให้มีดินถม 15 ซม. และพื้นคอนกรีต 15 ซม. ข้างบน
- 13.5 เสาภายในอาคารสูงคอนกรีตอยู่ห่างกัน 4.5 เมตร แต่ละต้นรับน้ำหนักบรรทุกองที่ 200 ตัน ผนังกั้นบรรทุกจร 220 ตัน เสาจัตุรัสขนาด 60 ซม. เหล็กยื่น 12DB32 ระยะหุ้ม 6 ซม. สำหรับเสา $f'_c = 280$ ก.ก./ชม.² และ $f_y = 4,000$ ก.ก./ชม.² เสาทั้งสองถูกรองรับโดยฐานรากร่วมสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งมีด้านยาวยาวเป็นสองเท่าของด้านสั้น หน่วยแรงดันดินที่ยอมให้ 35 ตัน/ตรม. ผิวล่างของฐานรากอยู่ที่ระดับ 1.8 เมตร จงออกแบบฐานรากร่วมโดยใช้ $f'_c = 210$ ก.ก./ชม.² และ $f_y = 4,000$ ก.ก./ชม.²
- 13.6 ฐานรากบนเสาเข็มออกแบบมาเพื่อกระจายน้ำหนักกระทำเป็นจุดจากเสาหนึ่งต้นลงสู่เสาเข็ม 9 ต้นดังในรูป 13.36 ผนังกั้นบรรทุกองที่จากเสาคือ 120 ตัน ผนังกั้นจร 240 ตัน เสาจัตุรัสขนาด 50 ซม. เหล็กยื่น 12DB32 ผนังกั้นบรรทุกที่ยอมให้ต่อเสาเข็มหนึ่งต้นคือ 45 ตัน เส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม 40 ซม. สำหรับเสา $f'_c = 280$ ก.ก./ชม.² และ $f_y = 4,000$ ก.ก./ชม.² จงออกแบบฐานรากบนเสาเข็มโดยใช้ $f'_c = 210$ ก.ก./ชม.² และ $f_y = 4,000$ ก.ก./ชม.²
-