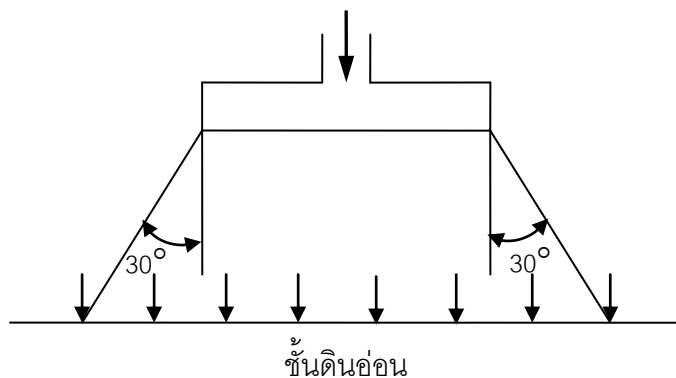


ปัญหาเนื่องจากการกระจายความเค้น (Problem Dues to Stress Distribution)

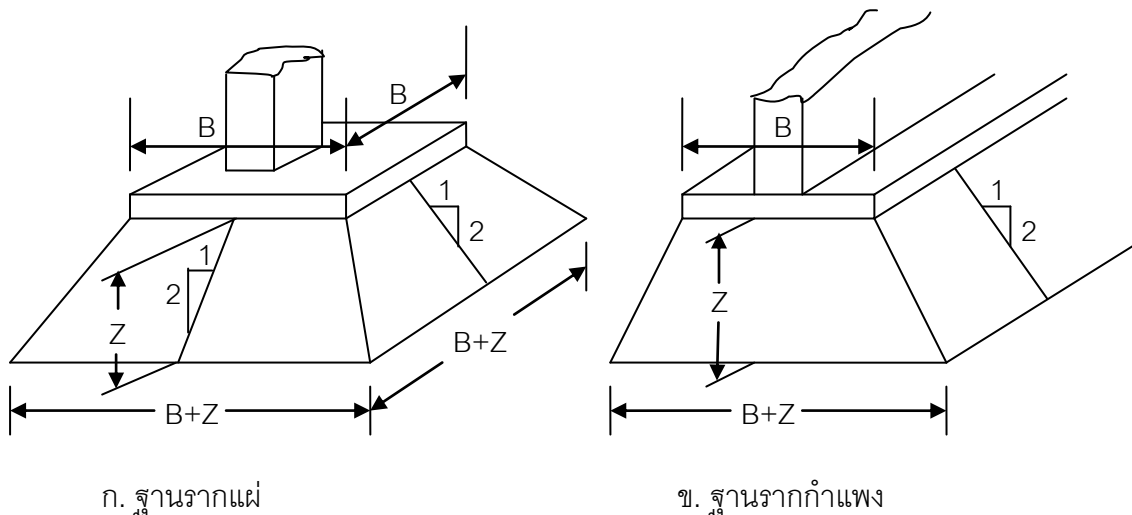
ถึงแม้ว่าส่วนใหญ่แล้วดินชั้นล่างมักจะแข็งแรงกว่าชั้นบน แต่มีบางกรณีที่ดินชั้นล่างแข็งแรงน้อยกว่าชั้นบน หากความแข็งแรงลดลงไม่มากนักและอยู่ลึก การประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกโดยรวมของดินอาจใช้วิธีในหัวข้อที่ 3.8 แต่ในกรณีที่ความแข็งแรงของดินชั้นล่างต่ำมาก หรืออยู่ไม่ลึกนัก ต้องตรวจสอบว่าความเค้นที่กระจายลงไปยังดินชั้นล่างนั้น ส่งผลให้เกิดการวิบัติในดินชั้นล่างหรือไม่

การตรวจสอบปัญหาเนื่องจากดินชั้นล่างอ่อนนั้น อาจกระทำได้โดยการประมาณค่าความดันที่ถ่ายทอดจากฐานรากลงไปถึงชั้นดินอ่อน แล้วเปรียบเทียบค่านี้กับกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของชั้นดินอ่อน การประมาณค่าความดันที่ถ่ายทอดลงไปในนั้นอาจใช้สมการหรือกราฟที่แสดงในบทที่ 2 หรือประมาณโดยอาศัยกระเปาะความเค้นที่แสดงในหัวข้อที่ 3.7 หรืออาจประมาณอย่างง่าย ๆ เพื่อการตรวจสอบเบื้องต้นได้ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.4 ซึ่งได้นำมาแสดงในรูปที่ 6.1



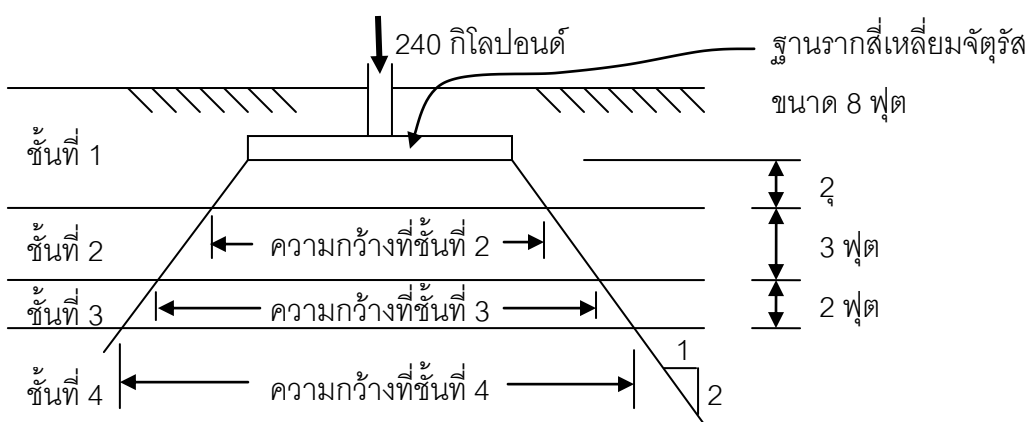
รูปที่ 6.1 การประมาณความดันที่ถ่ายทอดจากฐานรากลงไปถึงชั้นดินอ่อน

การประมาณความดันโดยรูปที่ 6.1 นั้น อาจไม่สะดวกในการคำนวณที่มีค่ามุมอยู่ด้วย ดังนั้น อาจใช้รูปที่ 6.2 แทน ซึ่งในรูปที่ 6.2 นี้ ความดันจะกระจายออกเป็นมุม 26.6 องศา แตกต่างจากค่าในรูปที่ 6.1 เล็กน้อย แต่จะสะดวกกว่าในการปฏิบัติ



รูปที่ 6.2 การประมาณการกระจายความดันจากฐานรากลงดิน

ตัวอย่างที่ 6.1 ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 8 ฟุตรับน้ำหนัก 240 กิโลปอนด์วางอยู่ในชั้นดินดังรูปที่ 6.3 ดินชั้นที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้เป็น 4000, 2000, 1500 และ 2000 ปอนด์ต่อตร.ฟุตตามลำดับ ให้ตรวจสอบความปลอดภัยของฐานรากนี้



รูปที่ 6.3 ตัวอย่างที่ 1

ความกว้างของความดันที่ฐานรากขนาด 8 ฟุต เมื่อกระจายลงถึงด้านบนของดินแต่ละชั้นจะมีความกว้างเป็น

บนดินชั้นที่ 2 ความกว้างเป็น $8 + 2 \times 2 / 2 = 10$ ฟุต

บนดินชั้นที่ 2 ความกว้างเป็น $10 + 2 \times 3 / 2 = 13$ ฟุต

บนดินชั้นที่ 2 ความกว้างเป็น $13 + 2 \times 2 / 2 = 15$ ฟุต

ดังนั้น ค่าความดันที่ระดับต่างๆจะเป็นดังนี้

ระดับที่ฐานรากสัมผัสกับดินชั้นที่ 1 ความดันเป็น $240 / (8 \times 8) = 3750$ ปอนด์/ตร.ฟุต

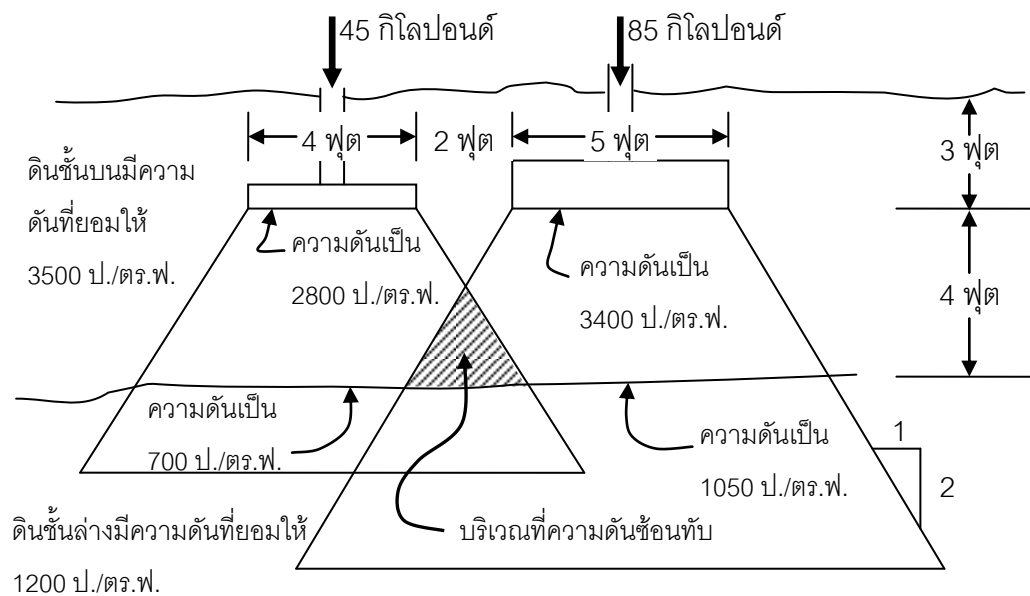
ที่บนดินชั้นที่ 2 ความดันเป็น $240/(10 \times 10) = 2400$ ปอนด์/ตร.ฟุต

ที่บนดินชั้นที่ 3 ความดันเป็น $240/(13 \times 13) = 1420$ ปอนด์/ตร.ฟุต

ที่บนดินชั้นที่ 4 ความดันเป็น $240/(15 \times 15) = 1067$ ปอนด์/ตร.ฟุต

จะพบว่าความดันจากฐานรากที่กระจายลงชั้นที่ 2 มีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมให้ ดังนั้น จึงต้องแก้ไข ซึ่งอาจทำได้โดยเพิ่มขนาดฐานรากหรือเปลี่ยนระดับที่วางฐานรากให้สูงขึ้น

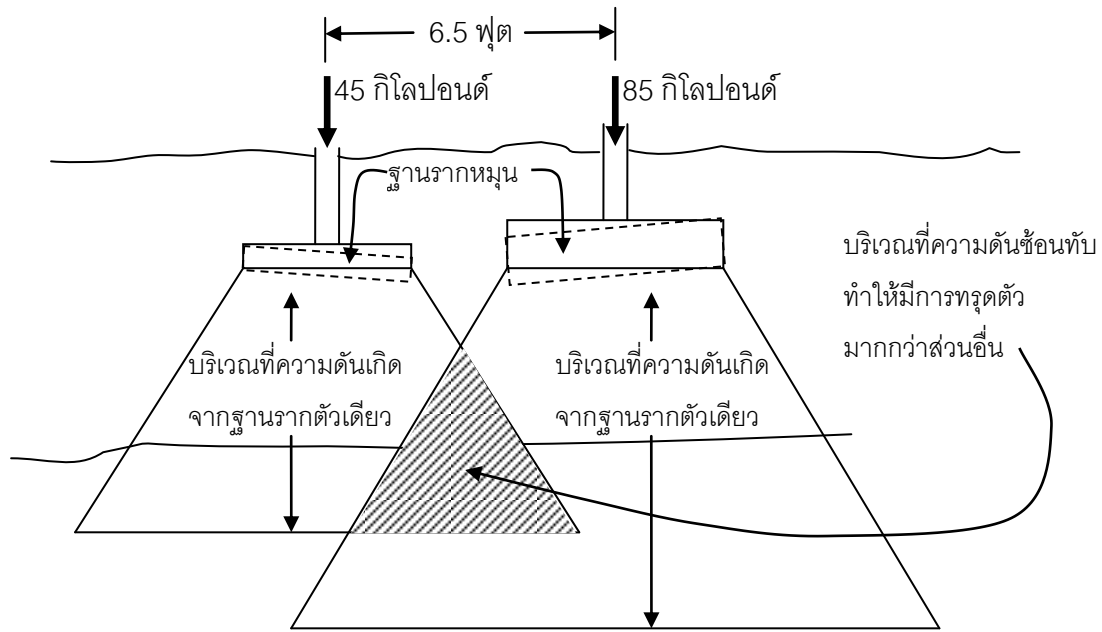
ตัวอย่างที่ 6.2 ปัญหาการกระจายความดันลงดินชั้นล่างซึ่งอ่อนแอกว่านั้น อาจเกิดในกรณีพื้นฐานรากหลายตัวอยู่ใกล้กันดังแสดงในรูปที่ 6.4



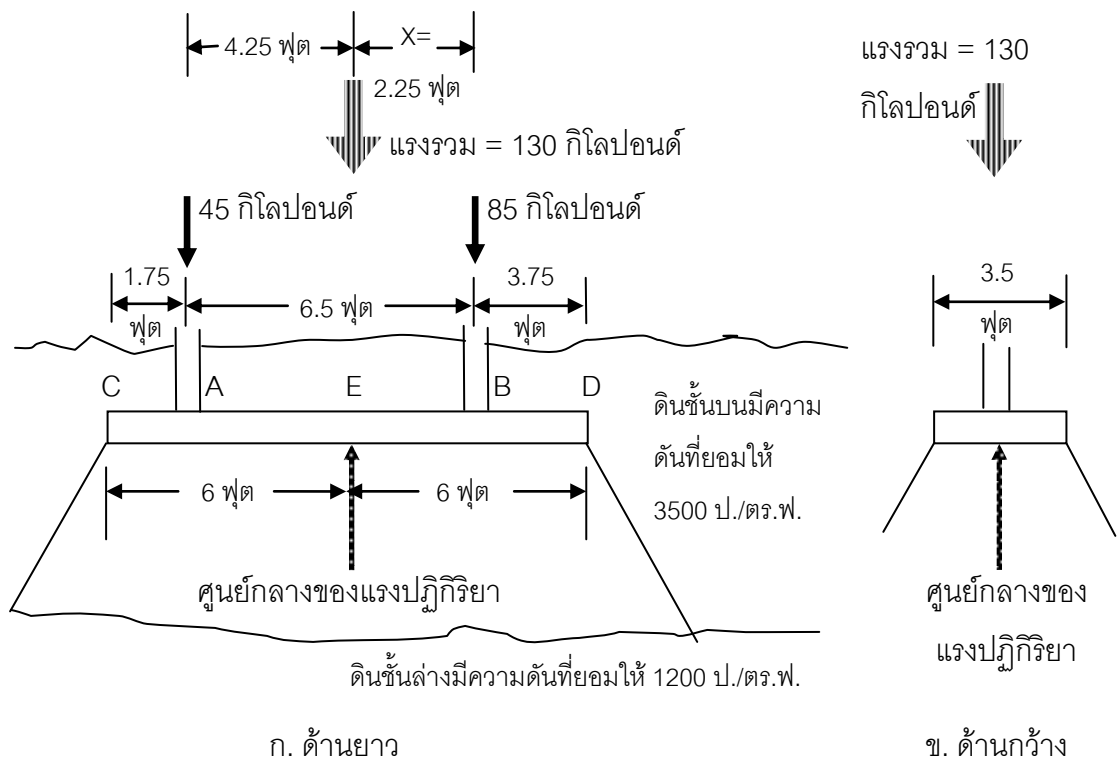
รูปที่ 6.4 ฐานราก 2 ตัวอยู่ใกล้กัน ทำให้ความดันที่กระจายลงสู่ดินชั้นล่างซ้อนทับกัน

จากรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่า ความดันที่กระจายลงไปยังด้านบนของดินชั้นล่างจากฐานรากตัวซ้ายและขวาเป็น 700 และ 1050 ปอนด์/ตร.ฟุตตามลำดับ ดังนั้น ส่วนที่ความดันจากฐานรากสองตัวซ้อนทับกันจะมีความดันเป็น 1750 ปอนด์/ตร.ฟุต สูงกว่าค่าที่ยอมให้คือ 1200 ปอนด์/ตร.ฟุต จึงมีความเป็นไปได้ที่ดินส่วนนี้จะเกิดการวิบัติ

ถึงแม้ในกรณีที่มีความดันจากการซ้อนทับกันจะไม่เกินค่าที่ยอมให้ แต่ดินส่วนนี้จะรับความดันที่สูงกว่าส่วนอื่นทำให้เกิดการทรุดตัวมากกว่าส่วนอื่นดังแสดงในรูปที่ 6.5 และส่งผลให้เกิดโมเมนต์ในเสาซึ่งในการออกแบบเสาไม่ได้คิดค่าโมเมนต์ส่วนนี้ อาจทำให้เสาวิบัติได้ การแก้ไขปัญหา อาจใช้ฐานรากร่วมดังแสดงในรูปที่ 6.6 การออกแบบจะต้องให้แรงลัพท์ของน้ำหนักบรรทุกทุกผ่านจุดเซ็นทรอยด์ของฐานรากเพื่อให้การกระจายแรงลงสู่ดินเป็นไปโดยสม่ำเสมอ



รูปที่ 6.5 การซ้อนทับของความดันทำให้เกิดโมเมนต์ในเสา



ก. ด้านยาว

ข. ด้านกว้าง

รูปที่ 6.6 การออกแบบฐานรากร่วม

การหาตำแหน่งของแรงลัพธ์ทำโดยหาผลรวมของโมเมนต์รอบจุด B ดังนี้

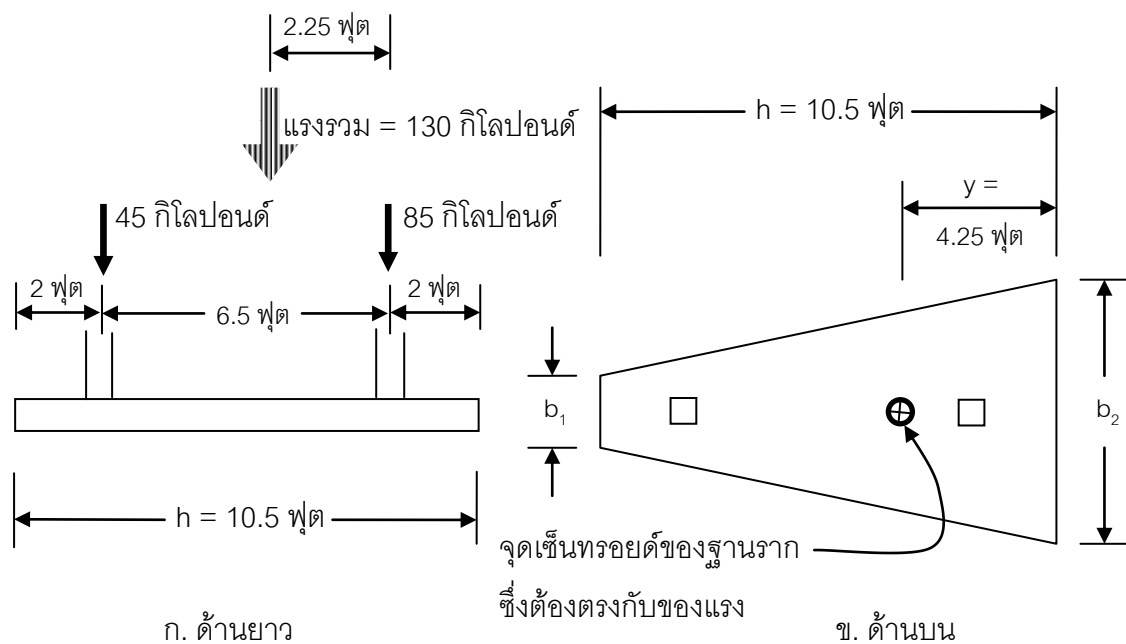
$$\sum M_B = 0 = 45 \times 6.5 - 130X \quad \text{จะได้ } X = 2.25 \text{ ฟุต หรือ } 2 \text{ ฟุต } 3 \text{ นิ้ว} \quad \text{ดังแสดงในรูป}$$

จุด E ในรูปที่ 6.6 จึงควรเป็นจุดศูนย์กลางของฐานรากร่วมนี้ ทดลองใช้ระยะ CA เป็น 1.75 ฟุต (1 ฟุต 9 นิ้ว) จะทำให้ระยะ CE เป็น 6 ฟุต และได้ความยาวของฐานรากทั้งหมดคือ CD เป็น

12 ฟุต ถ้าใช้ฐานรากกว้าง 3.5 ฟุต จะทำให้ความดันที่ฐานรากกระทำต่อดินชั้นบนเป็น 3095 ปอนด์/ตร.ฟุต และกระทำต่อดินชั้นล่างเป็น 1083 ปอนด์/ตร.ฟุต ต่ำกว่าค่าที่ยอมให้

ในกรณีที่มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ ไม่สามารถทำฐานรากยาวดังที่คำนวณไว้ได้นั้น สามารถออกแบบฐานรากให้เป็นสี่เหลี่ยมคางหมู โดยให้ฐานรากส่วนที่รองรับตอม่อที่มีน้ำหนักบรรทุกสูง กว้างกว่าฐานรากส่วนที่รองรับตอม่อที่มีน้ำหนักบรรทุกต่ำ

ตัวอย่างที่ 6.3 จากตัวอย่างที่ 6.2 หากมีข้อจำกัดให้ฐานรากยาวเลยศูนย์กลางของตอม่อออกไป ได้เพียงด้านละ 2 ฟุตดังรูปที่ 6.7 ให้หาขนาดของฐานรากที่เหมาะสม



รูปที่ 6.7 การออกแบบฐานรากร่วมในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่

เนื่องจากดินสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ 3500 ปอนด์ต่อตร.ฟุต ดังนั้น พื้นที่ฐานรากคือ $130000/3500$ ตร.ฟุต จะได้

$$\frac{130000}{3500} = \frac{10.5}{2} (b_1 + b_2) \quad (6.1)$$

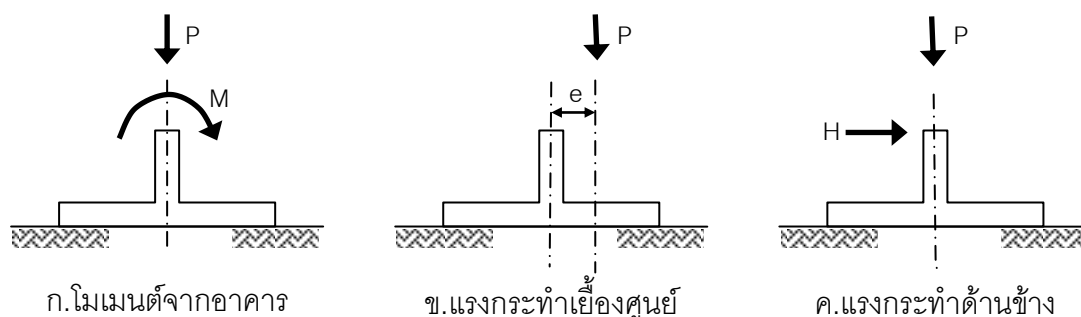
และเนื่องจากจุดศูนย์กลางอยู่ห่างจากด้านที่กว้างกว่าเป็นระยะ 4.25 ฟุต จะได้

$$4.25 = \frac{10.5}{3} \left(1 + \frac{b_1}{b_1 + b_2} \right) \quad (6.2)$$

จากสมการที่ 6.1 และ 6.2 ได้ b_1 และ b_2 เป็น 1.516 และ 5.559 ฟุต ตามลำดับ เลือกใช้ฐานรากที่มี b_1 และ b_2 เป็น 1.75 และ 5.75 ฟุต ตามลำดับ ทำให้ความดันที่กระทำต่อดินเป็น 3302 ปอนด์ต่อตร.ฟุต และความดันที่กระทำต่อดินชั้นล่างซึ่งอยู่ลึกลงไป 4 ฟุต เป็น 699 ปอนด์ต่อตร.ฟุต จุดเซ็นทรอยด์ของฐานรากจะคลาดเคลื่อนจากจุดเซ็นทรอยด์ของแรงเล็กน้อย

ในกรณีที่มีโมเมนต์กระทำต่อฐานรากนั้น ถึงแม้ในการประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่กล่าวในบทที่ 3 จะนำเอาอิทธิพลของโมเมนต์มาเกี่ยวข้องกับการประมาณแล้วก็ตาม ควรมีการตรวจสอบค่าความเค้นหรือแรงกดที่ฐานรากกระทำต่อดินที่จุดต่างๆ ได้ฐานราก เนื่องจากค่าเหล่านี้จะไม่เท่ากัน นั่นคือมีการหลุดตัวไม่เท่ากันด้วย จะส่งผลกลับไปยังต่อม่อให้มีโมเมนต์มากขึ้นอีก

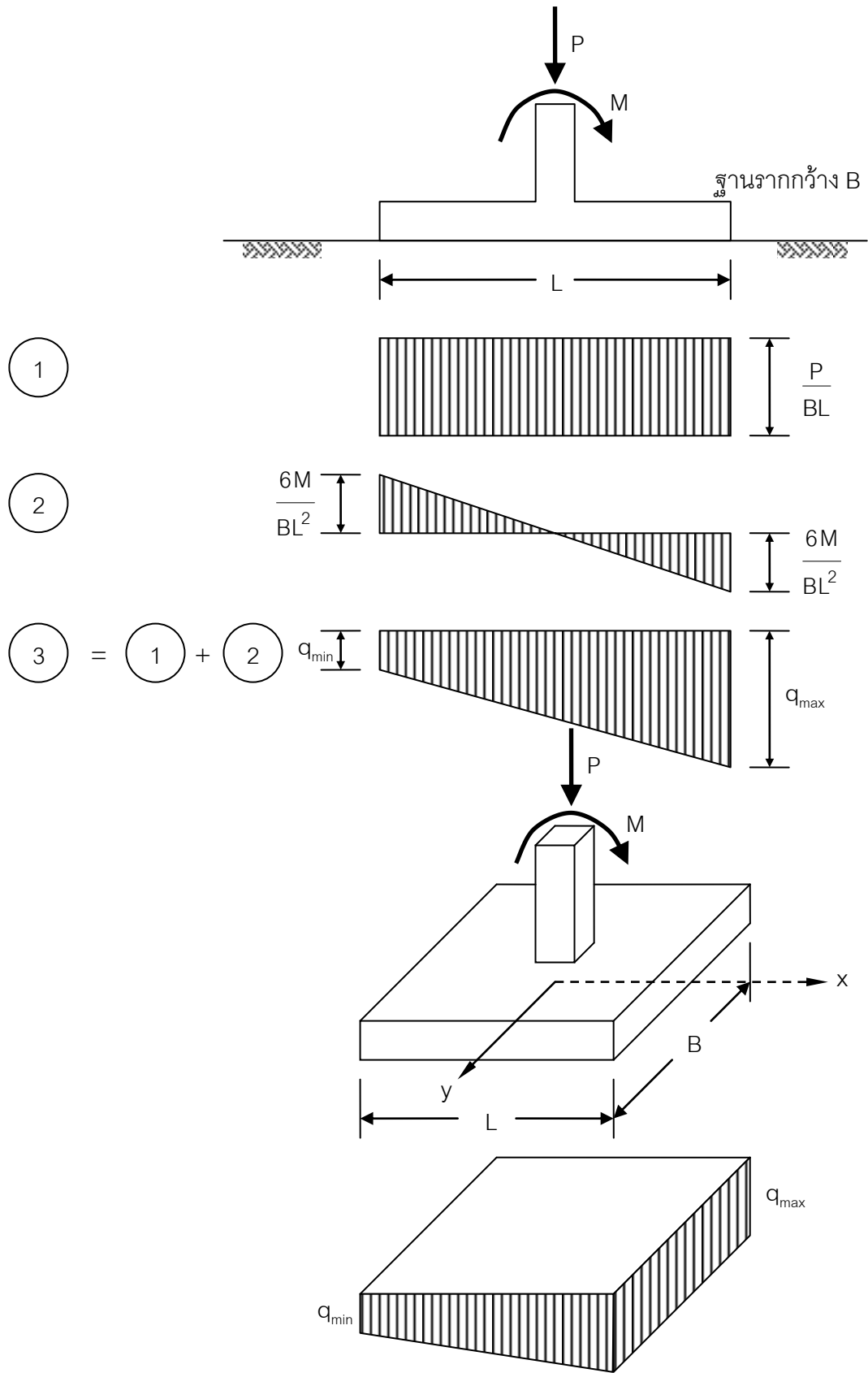
แรงกระทำต่อฐานรากที่ทำให้เกิดโมเมนต์ อาจเกิดจากโมเมนต์ที่ถ่ายทอดจากอาคารโดยตรง แรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง และมีแรงกระทำด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 6.8 ก. ข. และ ค. ตามลำดับ



รูปที่ 6.8 สาเหตุของการเกิดโมเมนต์กระทำที่ฐานราก

การหาค่าแรงกดที่ฐานรากกระทำต่อดินนั้น ใช้วิธีแบ่งแรงกระทำเป็น 2 ส่วน ดังในรูปที่ 6.9 ให้ q_1 และ q_2 เป็นแรงกดเนื่องจากแรงในแนวตั้งและโมเมนต์ตามลำดับ จะได้

$$q_1 = \frac{P}{BL} \quad (6.3)$$



รูปที่ 6.9 การหาค่าแรงกดที่ฐานรากกระทำต่อดิน กรณีที่มีทั้งแรงกระทำในแนวตั้งและโมเมนต์

$$q_2 = \pm \frac{M.c}{I} = \pm \frac{M \left(\frac{L}{L} \right)}{\frac{1}{12}BL^3} = \pm \frac{6M}{BL^2} \quad (6.4)$$

เมื่อนำมารวมกันจะได้

$$q_{\max} = \frac{P}{B \times L} + \frac{6M}{BL^2} \quad (6.5)$$

$$q_{\min} = \frac{P}{B \times L} - \frac{6M}{BL^2} \quad (6.6)$$

โดย P = แรงในแนวดิ่ง

M = โมเมนต์

c = ระยะจากแนวศูนย์กลางฐานถึงขอบในแนวโมเมนต์กระทำ (ขนาน L)

I = โมเมนต์ของความเฉื่อยในแนวโมเมนต์กระทำ (ขนาน L)

B, L = ความกว้างและความยาวของฐานราก

ถ้าหากมีโมเมนต์กระทำสองแนว คือ M_x และ M_y ซึ่งกระทำตามแนวแกน x และแกน y ตามลำดับ จะทำให้เกิดแรงกดจากโมเมนต์เสริม เพิ่มหรือหักล้างกันยุ่งยากขึ้น จึงควรจัดการคำนวณให้เป็นระบบดังแสดงในรูปที่ 6.10 แรงกดที่มุมใดมุมหนึ่งของฐานรากจะเป็น

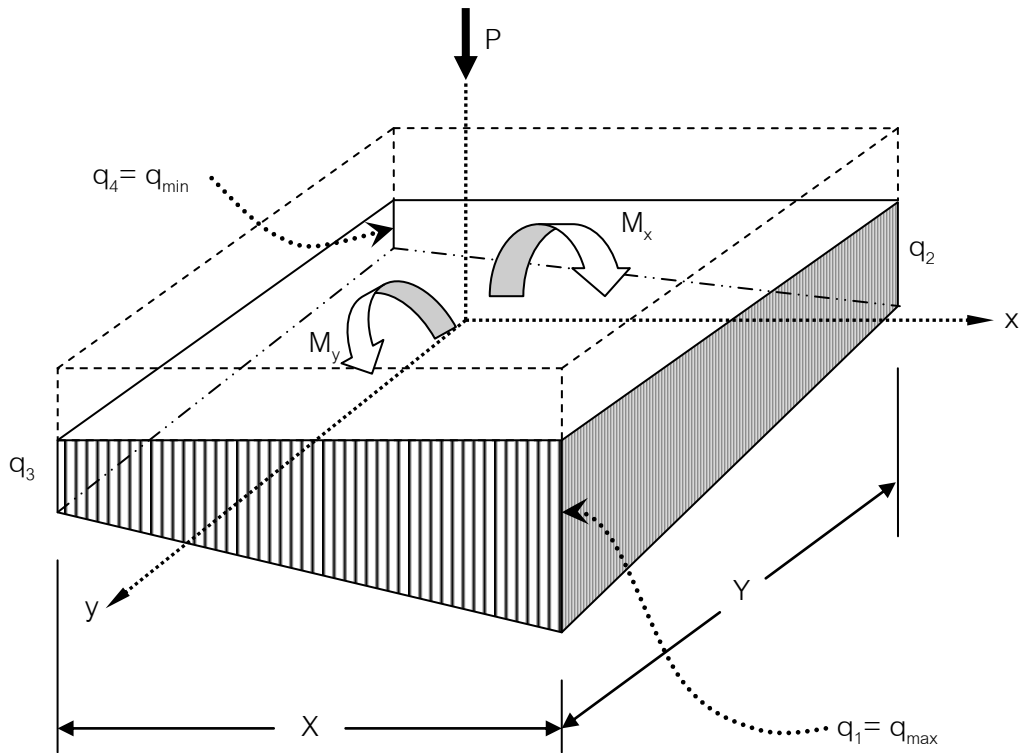
$$Q_{\text{ที่มุม}} = \frac{P}{XY} \pm \frac{6M_x}{X^2Y} \pm \frac{6M_y}{XY^2} \quad (6.7)$$

โดย X, Y = ขนาดของฐานรากในแนวแกน x และ y

M_x, M_y = โมเมนต์ในทิศทาง x และ y

P = แรงในแนวดิ่ง

ดังนั้นในกรณีในรูปที่ 6.10 จะได้



รูปที่ 6.10 แรงกดที่ฐานรากกระทำต่อดินในกรณีที่มีแรงในแนวตั้งและโมเมนต์สองทิศทาง

$$q_1 = \frac{P}{XY} + \frac{6M_x}{X^2Y} + \frac{6M_y}{XY^2} \quad (6.8)$$

$$q_2 = \frac{P}{XY} + \frac{6M_x}{X^2Y} - \frac{6M_y}{XY^2} \quad (6.9)$$

$$q_3 = \frac{P}{XY} - \frac{6M_x}{X^2Y} + \frac{6M_y}{XY^2} \quad (6.10)$$

$$q_4 = \frac{P}{XY} - \frac{6M_x}{X^2Y} - \frac{6M_y}{XY^2} \quad (6.11)$$

ตัวอย่างที่ 6.4 โดยอาศัยรูปที่ 6.9 หาก X และ Y เป็น 3 และ 2 เมตรตามลำดับ P เป็น 2400 กิโลนิวตัน M_x และ M_y เป็น 600 และ 300 กิโลนิวตัน-เมตร ตามลำดับ ให้วิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางการแก้ไข

$$\text{จากสมการที่ 6.7 ได้ } q_{\text{ที่มุม}} = \frac{2400}{(3)(2)} \pm \frac{(6)(600)}{(3)^2(2)} \pm \frac{(6)(300)}{(3)(2)^2}$$

$$= 400 \pm 200 \pm 150 \text{ กิโลนิวตัน/ตร.เมตร}$$

ได้ $q_1 = 750$ $q_2 = 450$ $q_3 = 350$ $q_4 = 50$ กิโลนิวตัน/ตร.เมตร

พบว่า q_1 มีค่าเป็น 15 เท่า ของ q_4

หากเปลี่ยนขนาดของฐานรากให้ใหญ่ขึ้นเป็น 5 X 3 เมตร จะได้

$q_1 = 248$ $q_2 = 168$ $q_3 = 152$ $q_4 = 72$ กิโลนิวตัน/ตร.เมตร

ทำให้ q_1 มีค่าเป็น 3.44 เท่า ของ q_4 แต่จะสิ้นเปลืองค่าก่อสร้างมากขึ้น