บทที่4
ผลการศึกษา

4.1. ฐานรากตื้น (Shallow Foundation)

ชนิดของฐานรากตามสภาพของดินรองรับฐานราก ซึ่งเป็นสภาพเบื้องต้นและสำคัญที่สุด โดยมีรายระเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ฐานรากแบบตื้น หรือฐานรากแบบไม่มีเสาเข็ม (Shallow Foundation) เป็นฐานรากวางอยู่บนดินที่สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกของดินได้ในระดับตื้นอย่างปลอดภัยและประหยัดเมื่อเปรียบเทียบกับฐานรากชนิดอื่น

4.1.2 ฐานรากแบบลึก หรือ ฐานรากแบบมีเข็ม (Deep or Pile Foundation) เมื่อสภาพของชั้นดินที่รองรับฐานรากได้อย่างปลอดภัยอยู่ในระดับลึก ทำให้ไม่ประหยัดในการเลือกแบบฐานรากตื้น จึงต้องใช้เป็นฐานรากแบบมีเสาเข็ม ที่รองรับการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างลงไปสู่ดินที่สามารถรองรับฐานรากได้อย่างปลอดภัย

4.1.3 ฐานรากแบบปล่อง (Caisson Foundation) เป็นฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดใหญ่ประมาณ 750 มม. ที่หล่อในที่ (Cast-in-place) และทำให้จมลงด้วยน้ำหนักของฐานรากเองจนถึงชั้นดินที่สามารถรองรับฐานรากอยู่ในระดับลึกมาก (อาจจะประมาณ 30 เมตร)

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบฐานรากมี 2 ประการด้วยกันคือ

- ความพิบัติเนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในดิน อันมีผลมาจากน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างต้องไม่เกิดขึ้น
- ความวิบัติเนื่องจากการทรุดตัวที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะค่า Differential Settlement ต้องไม่เกิดขึ้นมากกว่าค่าที่ยอมรับได้ ถึงอย่างไรก็ตาม การออกแบบฐานรากควรคำนึงถึง สภาพอื่นๆ ด้วย
- ลักษณะของโครงสร้าง ยกตัวอย่างเช่นพิจารณาน้ำหนักบรรทุกทั้งขนาด และทิศทางเป็นต้น
- สิ่งแวดล้อมในบริเวณโครงการ ยกตัวอย่างเช่น บริเวณที่แวดล้อมด้วยชุมชนหนาแน่นก็จะถูกจำกัดในเรื่องวิธีงานก่อสร้างฐานราก จึงต้องพิจารณาเลือกใช้ฐานรากที่เหมาะสม เป็นต้น
- ราคางานก่อสร้าง ควรอยู่ในงบประมาณที่ประหยัดโดยไม่เกิดความพิบัติแก่โครงสร้าง

4.2 ประเภทของฐานรากตื้น

ฐานรากตื้น เป็นชนิดของฐานรากที่รับน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างถ่ายลงผ่านลงสู่ดินที่รองรับโดยตรง ซึ่งเป็นดินที่มีกำลังความแข็งแรงมากพอที่จะรับได้ โดยปกติดินที่รองรับฐานรากตื้นมักจะ เป็นพวกชั้นหินดาน หรือ ชั้นกรวด หรือถ้าเป็นดินปนทรายควรมีค่า N มากกว่า 30 หรือ ถ้าเป็นดินเหนียว ควรจะมีค่ามากกว่า 1.5 เท่าของความกว้างของฐานราก และไม่มีชั้นดินอ่อนในระดับลึกลงไป

ฐานรากมี 3 ประเภทคือ

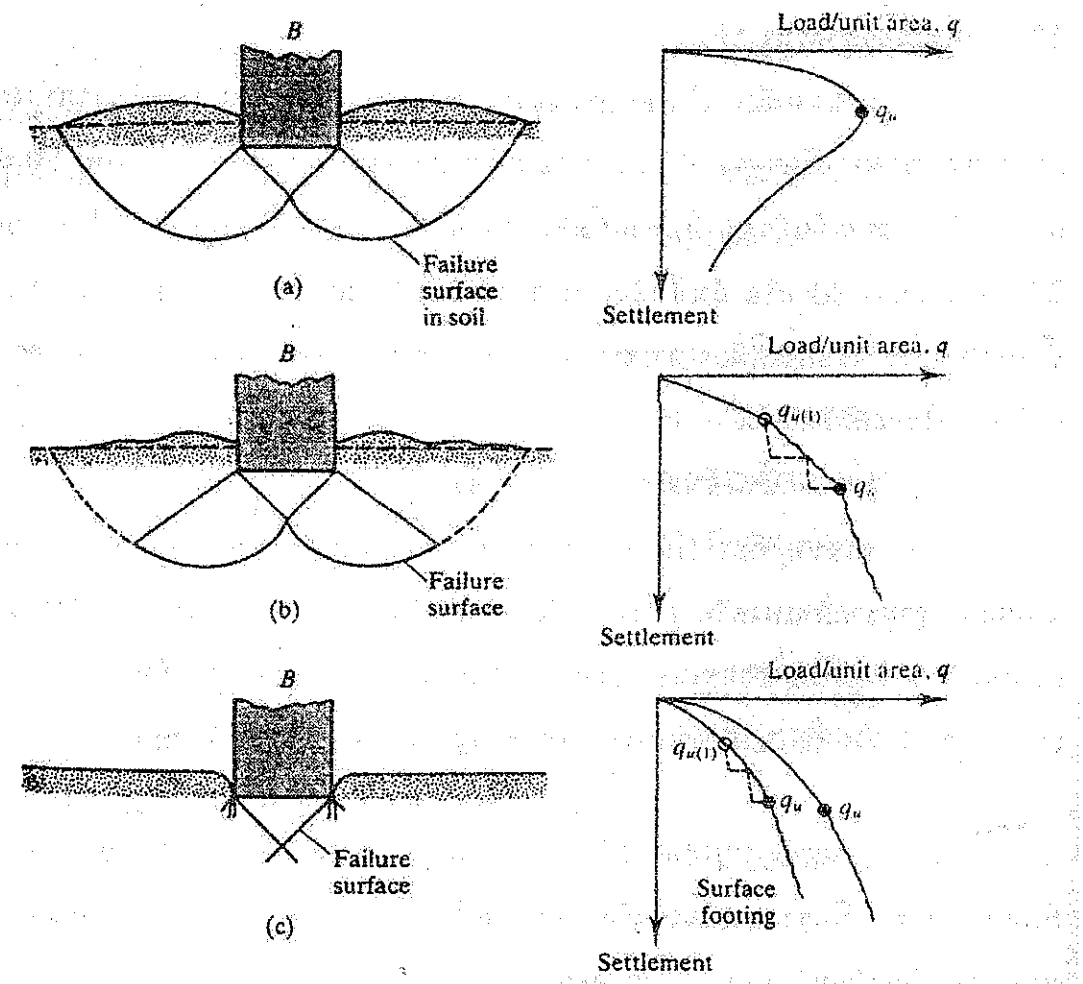
4.2.1 ฐานรากเดี่ยว (Isolated Shallow Foundation) เป็นฐานรากแบบแยก จัดว่าเป็นประเภทของฐานรากที่รับน้ำหนักเป็นจุด

4.2.2 ฐานรากร่วม (Combined Shallow Foundation) เป็นฐานรากแบบกำแพงหรือฐานรากแบบผนัง (Wall Foundation) เป็นฐานรากที่รองรับเสามากกว่า 1 ต้น

4.2.3 ฐานรากแบบเสื่อ (Mat Foundation) หรือ ฐานรากแบบแพ (Raft Foundation) เป็นฐานรากตื้นรองรับน้ำหนักจากโครงสร้างเป็นผืนแผ่นเดียวกัน มีขนาดใหญ่มาก เมื่อเทียบกับฐานราก ประเภทแรก

4.3 ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย

คือค่าแรงดันในดินสูงสุดที่สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้ ก่อนที่จะเกิดความพิบัติอันเนื่องมาจากแรงเฉือนในดิน รูปแบบของความพิบัติเนื่องจากแรงเฉือนมี 3 แบบดังนี้ (พิจารณาจาก Strip Foundation ซึ่งเป็นฐานรากตื้นที่มีขนาดความยาวมากเมื่อเทียบกับขนาดความกว้างของฐานราก



รูปที่ 4.1 ลักษณะความวิบัติเนื่องจากกำลังรับน้ำหนักในดิน

4.3.1 General Shear Failure

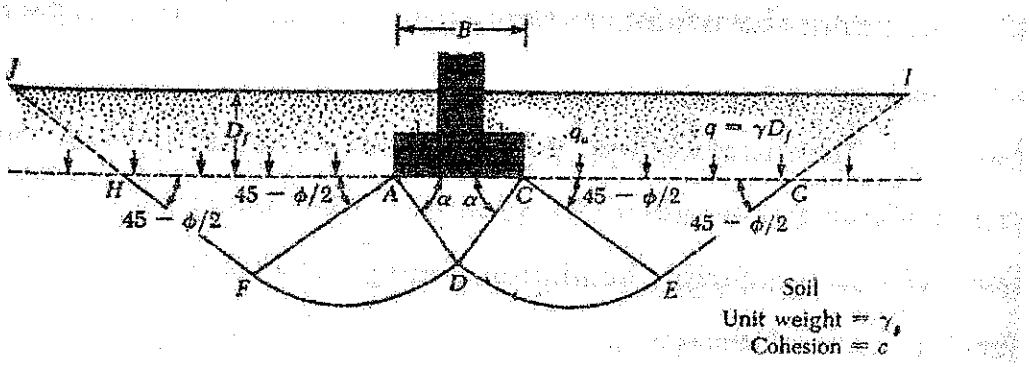
ในกรณีที่ฐานรากวางบน Dense Sand และ/หรือ Stiff Cohesive Soil จากรูป ในขณะที่เพิ่มน้ำหนักบรรทุก การทรุดตัวก็จะมีมากขึ้น จนถึงค่าแรงดันสูงสุดในดินที่รับได้ก่อนเกิดความพิบัติ (Ultimate Bearing Capacity. q_u) แนวความพิบัติเนื่องจากแรงเฉือนก็จะขยายไปยังผิวดิน ลักษณะของความพิบัติเช่นนี้เรียกว่า General Shear Failure

4.3.2 Local Shear Failure

ในกรณีที่ฐานรากวางบน Sand และ/หรือ Clayey Soil อัดแน่นปานกลางจากรูป ในขณะที่เพิ่มน้ำหนักบรรทุกไปเรื่อยๆ การทรุดตัวก็จะเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดวิกฤติขั้นต้นในการรับน้ำหนักบรรทุกของดิน คือ ที่ค่า q_u (First Failure of Bearing Capacity) หลังจากนี้ ค่าการทรุดตัวก็จะมากขึ้นจนเกิดความพิบัติในดิน จุดนี้เป็นค่า Ultimate Bearing Capacity ,q_u ซึ่งจะเกิดแนวความพิบัติขยายไปยังผิวดินเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า Local Shear Failure อย่างไรก็ตาม การทรุดตัวจะมีมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากกว่า q_u

4.3.3 Punching Shear Failure

ในกรณีที่ฐานรากวางบนชั้นดินอ่อนประเภท Fairly Loose Soil จากรูป ลักษณะของความพิบัติในดินจะไม่ขยายไปยังผิวดิน แต่จะมีรูปร่างเหมือนเป็นลิ่มในฐานรากและลักษณะ Curve ใน Load-Settlement Curve จะปรากฏว่าเริ่มเป็นเส้นตรงชัน เมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่ามากกว่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดินที่มีค่า q_u



รูปที่ 4.2 ลักษณะของความวิบัติในดินของฐานรากต่อเนื่องแบบ Rough Rigid

4. 4ทฤษฎีของความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดิน

ทฤษฎีที่นำมาใช้ในการพิจารณาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดินรองรับฐานราก (Ultimate Bearing Capacity of Soil , q_u) มีด้วยกันหลายทฤษฎีซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 ทฤษฎีของ Terzaghi (1943)

มีการเสนอการวิเคราะห์พิจารณาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดินที่มีรูปแบบของความพิบัติเนื่องจากแรงเฉือนในดินเป็นแบบ General Shear Failure และ Local Shear Failure คือมีลักษณะขยายไปยังผิวดิน โดยเริ่มจากดินใต้ฐานรากเคลื่อนตัวลง แล้วจึงขยายไปยังด้านข้างออกไปยังผิวดินต่อไป

ข้อสมมติฐานของ Terzaghi ตามรูป มีดังนี้

- เหมาะสมสำหรับฐานรากที่มีขนาดความกว้างมากกว่าความลึกของฐานราก
- ค่าของมุม α หรือ CAD และมุม CAD มีค่าเท่ากับ Angle of Friction ของดิน
- ไม่คำนึงถึงค่า Shear Resistance ของดินตามแนวความพิบัติ GI กับ HJ

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าบริเวณของความพิบัติเนื่องจากแรงเฉือนในดินใต้ฐานราก Strip Foundation (ฐานรากที่มีขนาดความกว้างน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดความยาวของฐานราก) มี 3 ส่วนด้วยกัน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นรูปสามเหลี่ยมใต้ฐานรากรูป ACD (Triangular Zone)

ส่วนที่ 2 เป็นบริเวณของแรงเฉือน รูปสามเหลี่ยม ADF และ CDE

ส่วนที่ 3 เป็นบริเวณของแรง Rankine Pressure รูป AFH และ CEG

และจาก Equilibrium Analysis ได้สมการพื้นฐานของค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดินรองรับฐานราก (Ultimate Bearing Capacity of Soil , q_u) คือ

$$q_u = c\left[\frac{2K_p}{\cos\phi}+\sqrt{K_p}\right]+qKp\sqrt{\frac{K_p}{\cos\phi}}+\frac{g1B}{4}\sqrt{\left(\frac{K_p{}^2}{\cos\phi}-\sqrt{K_p}\right)} \qquad (1.1)$$

จากสมมติฐานข้างต้นและตามรูปร่างของฐานราก สมการที่ 1 จะเป็น

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \qquad (1.2)$$

ถ้าเป็นฐานรากชนิด Strip Foundation

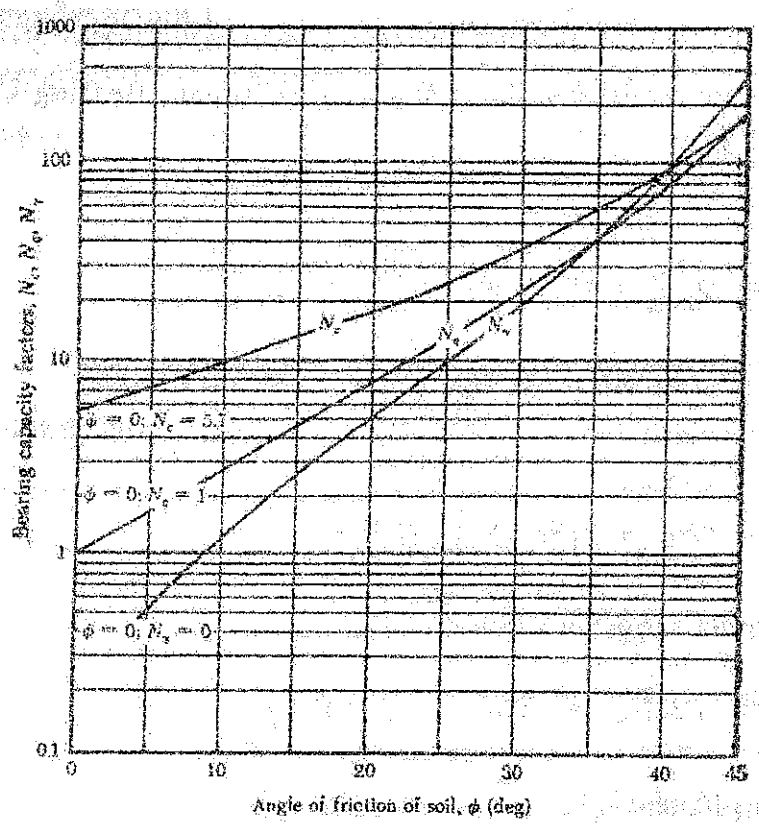
$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\ \gamma 1BN_\gamma \qquad (1.3)$$

ถ้าเป็นฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Foundation)

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.3\ \gamma 1BN_\gamma \qquad (1.4)$$

ถ้าเป็นฐานรากรูปหน้าตัดวงกลม (Circular Foundation)

เมื่อ N_c, N_q, N_γ = ค่า Bearing Capacity Factors ซึ่งเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตามค่า Angle of Friction ดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 1



รูปที่4. 3 กราฟแสดงค่า Bearing Capacity Factors : N_c, N_q, N_γ ของ Terzaghi

ตารางที่ 2.1 ค่า Bearing Capacity Factors สำหรับสมการของ Terzaghi

ϕ,deg	N_c	N_q	$N\gamma$
0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	2.5
20	17.7	7.4	5.0
25	25.1	12.7	9.7
30	37.2	22.5	19.7
34	52.6	36.5	36.0
35	57.8	41.4	42.4
40	95.7	81.3	100.4
45	172.3	173.3	297.5
48	258.3	287.9	780.1
50	347.5	415.1	1153.2

ตารางที่4.1 ค่า Bearing Capacity Factors สำหรับสมการของ Terzaghi

γ_1 = Unit Weight ของดินใต้ฐานราก

ϕ = ค่า Angle of Friction ของดินใต้ฐานราก

c = ค่า Cohesion ของดินใต้ฐานราก

Kp = ค่า Rankine Coeffient of Passive Earth Pressure

= $\tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right)$

q = ค่า Surcharge จากดินส่วนที่อยู่เหนือระดับล่างฐานราก

= γD

B,L = ขนาดความกว้างและความยาวของฐานรากตามลำดับ

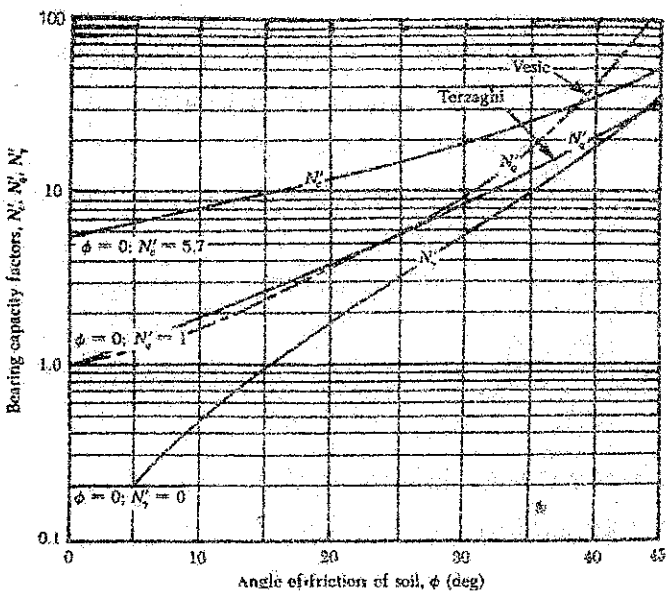
ในกรณีที่แบบของความพิบัติเนื่องจากแรงเฉือนในดินเป็นแบบ Local Shear Failure สมการของค่า (Ultimate Bearing Capacity) จะเป็น

$$q_u = \frac{2}{3}cN_c' + qN_q' + \frac{1}{2}\gamma 1BN_\gamma' \qquad (1.5)$$

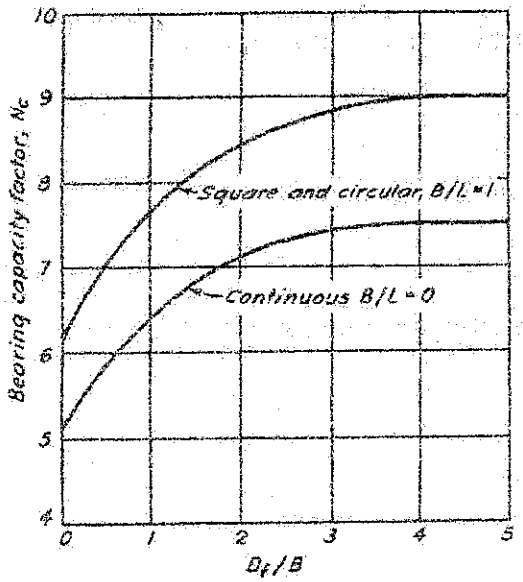
ถ้าเป็นฐานรากชนิด Strip Foundation

$$q_u = 0.867cN_c' + qN_q' + 0.4\ \gamma 1BN_\gamma' \qquad (1.6)$$

ถ้าเป็นบานรากรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Foundation)



รูปที่ 4.4 กราฟแสดง Modified Bearing Capacity Factors : N_c', N_q', N_γ' ของ Terzaghi



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่า Bearing Capacity Factors ในดินเหนียว , ϕ = 0 (afterSkempton,1951)

$$q_u = 0.867cN_c' + qN_q' + 0.3\ \gamma 1BN_\gamma' \qquad (1.7)$$

ถ้าเป็นฐานรากรูปหน้าตัดวงกลม (Circular Foundation)

เมื่อ N'_c, N'_q, N'_γ = ค่า Bearing Capacity Factors ซึ่งเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตามค่า Angle of Friction ดังแสดงในรูป

จากสมการข้างต้น ค่า Parameter ที่ใช้ได้แก่ ค่า Cohesion, Angle of Friction และ Unit Weight ของดิน มี 2 รูปแบบด้วยกัน ตามวิธีวิเคราะห์หาค่า Ultimate Bearing Capacity คือ

แบบ Total Stress เป็นการวิเคราะห์หาค่า Ultimate Bearing Capacity ของดิน โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับค่า Pore Water Pressure และค่าExcess Pore Water Pressure ไม่เท่ากับศูนมักจะใช้กับดินประเภท Cohesive Soil ในช่วงระหว่างงานก่อสร้าง ค่า Parameter ที่ใช้คือ Strength Parameter ได้แก่ Cohesion , c, กับ Angel of Friction, f และ Total Unit Weight ที่มาจากกรณีค่า Excess Pore Water Pressure ไม่เท่ากับศูนย์

แบบ Effective Stress เป็นการวิเคราะห์หาค่า Ultimate Bearing Capacity ของดิน โดยที่เกี่ยวข้องกับ Pore Water Pressure จนค่า Excess Pore Water Pressure มักจะเท่ากับศูนย์ Parameter ที่ใช้คือ Strength Parameter ได้แก่ Cohesion, c' กับ Angle of Friction, ϕ' และ Effective หรือ Submerge Unit Weight, γ' ที่มา จากกรณีที่ค่า Excess Pore Water pressure เท่ากับศูนย์โดยปกติ มักจะใช้แบบนี้กับดินประเภท Cohesionless Soil ในช่วงเวลาใดก็ได้ และดินประเภท Cohesive Soil ในช่วงระยะเวลานาน (Long Tem) หลังจากสิ้นสุดงานก่อสร้าง

นอกจากนี้ จะสรุปได้ว่า ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดินหรือฐานรากตื้น (Ultimate Bearing Capacity of Soil or Shallow Foundation) จากทฤษฎีของ Terzaghi (1943) ตามสมการที่ 1.1 ถึง 1.9 จะแตกต่างกันตามรูปร่างหน้าตัดของฐานรากตื้น หรืออาจเรียกได้ว่า แตกต่างกันตามค่า Shape Factor

ป TA
775
N13910
2548

สำนักหอสมุด
- 4 พ.ค. 2549
4840545

4.4.2 ทฤษฎี Meyerhoft

Meyerhoft (1963) ได้เสนอสมการของค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดินหรือฐานราก โดยเกี่ยวข้องกับรูปหน้าตัดของฐานราก (Shape Factor) ,ระดับความลึกของฐานราก (Depth Factor) คือเป็นสมการที่ใช้ได้ทั้งกรณีฐานรากตื้นและฐานรากลึก ,และแนวเอียงของน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้าง (Inclined Factor) ดังนี้

$$q_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i} \qquad (1.8)$$

Nc,Nq,Nr = ค่า Bearing Capacity Factor เป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตามค่า Angle of Friction ของดิน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งเปลี่ยนค่าที่เสนอโดย Meyerhoft, Vesic และ Hansen

Fcs,Fqs,Frs = ค่า Shape Factor ซึ่งได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 2.3 และ 2.4

Fcd,Fqd,Frd = ค่า Depth Factor ซึ่งได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 2.3 และ 2.4

Fci,Fqi,Fri = ค่า Inclination Factor ซึ่งได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 2.3 และ 2.4

ข้อสมมติฐานในทฤษฎีนี้จะเป็นเช่นเดียวกับของ Terzaghi แต่แตกต่างกันที่ค่ามุม ในรูปที่ 2.2 คือ มีค่าประมาณ 45+ f/2 และต้องคำนึงถึง ค่า Shear Resistance ที่เกิดขึ้นตามแนว GI และ HJ ในรูปที่ 2.2 ด้วย

ตารางแสดงค่า Shape,Depth และ Inclination Factor ที่ใช้กัน

Factor Source	Relationship
shape De Beer (1970)	$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L} \bullet \frac{N_q}{N_c}$ $F_{qs} = 1 + \frac{B}{L}\tan\phi$ $F_{ys} = 1 - 0.4\frac{B}{L}$ เมื่อ L = ความยาวของฐานราก $(L > B)$
Depth Hansen (1970)	กรณี (a) : $D_f / B \le 1$

$$F_{cd} = 1 + 0.4\frac{D_f}{B}$$

$$F_{qd} = 1 + 2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\frac{D_f}{B}\frac{1}{2}$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

กรณี (b) : $D_f / B > 1$

$$F_{cd} = 1 + (0.4)\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{qd} = 1 + 2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Factor	Relationship	Source
Inclintion	$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	Meyerhof (1963); Hanna and Meyerhof (1981)
	$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{\phi}\right)^2$ เมื่อ β = มุมเอียงจากแนวดิ่งของน้ำหนักกระทำบนฐานราก	

หน่วย $\tan^{-1} D_f / B$ เป็น radians

ตารางแสดงค่า Shape,Depth และ Inclination Factor จากหนังสืออ้างอิง

Factor	Relationship	Source
Shape	เมื่อ $\phi = 0$:	Meyerhof (1953)

$$F_{cs} = 1 + 0.2\left(\frac{B}{L}\right)$$

$$F_{qs} = 1$$

$$F_{\gamma s} = 1$$

เมื่อ $\phi \geq 10^{\circ}$:

$$F_{cs} = 1 + 0.2\left(\frac{B}{L}\right)\tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$F_{qs} = F_{\gamma s}$$

$$= 1 + 0.1\left(\frac{B}{L}\right)\tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Depth	เมื่อ $\phi = 0$:	Meyerhof (1963)

$$F_{cd} = 1 + 0.2\frac{D_f}{B}$$

$$F_{qd} = F_{\gamma d} = 1$$

เมื่อ $\phi \geq 10^{\circ}$:

$$F_{cd} = 1 + 0.2\left(\frac{D_f}{B}\right)\tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$F_{qd} = F_{\gamma d}$$

$$= 1 + 0.1\left(\frac{D_f}{B}\right)\tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Factor	Relationship
Source	
Inclintion	$F_{ci} = F_{qi} - \left(\frac{1-F_{qi}}{N_q - 1}\right)$
Hansen (1970)	$F_{qi} = \left[1 - \frac{(0.5)(Q_u)\sin\beta}{Q_u \cos\beta + BL\,c\cot\phi}\right]^5$
	$F_{\gamma i} = \left[1 - \frac{(0.7)(Q_u)\sin\beta}{Q_u \cos\beta + BL\,c\cot\phi}\right]^5$

L = ความยาวของฐานราก $(L \geq B)$

จาก Meyerhof (1963) ค่า Bearing Capacity Factors มี

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi \quad (1.9)$$

$$N_q = e^{\pi\tan\phi}\tan^2(45 + \phi/2) \quad (1.10)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1.4\phi) \quad (1.11)$$

จาก Hansen (1970) ค่า Bearing Capacity Factors มี ค่า N_c และ N_q มาจากสมการที่ (14) และสมการที่ (15) แต่ค่า N_γ เป็น

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1)\tan\phi \quad (1.12)$$

จาก Vesic ค่า Bearing Capacity Factors มี ค่า N_c และ N_q มาจากสมการที่ (14) และสมการที่ (15) แต่ค่า N_γ เป็น

$$N_\gamma = 2(N_q - 1)\tan\phi \quad (1.13)$$

4.5 ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยสุทธิ (Net Ultimate Bearing Capacity, q_u (net))

เป็นค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ที่พิจารณาจากน้ำหนักบรรทุกโครงสร้างเท่านั้น โดยไม่มีค่าน้ำหนักของดินที่ถมอยู่บนฐานราก (Surcharge) จะได้ว่า

$$q_{u(net)} = q_u - q \qquad (1.14)$$

$q_{u(net)}$ = Net Ultimate Bearing Capacity

q = Surcharge ของดินส่วนที่อยู่บนฐานราก

$= \gamma D_f$

γ = หน่วยน้ำหนักของดินส่วนที่อยู่บนฐานราก

D_f = ความลึกของฐานราก

4.6ส่วนปลอดภัย (Factor of Safety,F.S)

ในงานออกแบบฐานรากค่าความสามารถในการรับหนักบรรทุกที่นำมาใช้จะเป็นความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินรองฐานรากปลอดภัย (Gross Allowable Bearing Capacity, q_{all}) ซึ่งได้มาจากการหารค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยด้วยส่วนปลอดภัย ดังสมการที่ (20) คือ

$$q_{all} = \frac{q_u}{F.S} \qquad (1.15)$$

บางครั้ง ก็นิยมใช้ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักโดยปลอดภัยสุทธิของดินที่รองรับฐานราก (Net Allowable Bearing Capacity, $q_{all(net)}$) ในงานวิศวกรรมคือ

$$q_{all(net)} = \frac{q_{u(net)}}{F.S}$$

$$= \frac{q_u - q}{F.S} \geq \frac{P}{A} \qquad (1.16)$$

เมื่อ P = น้ำหนักบรรทุกจากดครงสร้าง

A = พื้นที่หน้าตัดของฐานราก

การกำหนดค่าส่วนปลอดภัย มักพิจารณาจากสภาพความเสี่ยงในคุณสมบัติของดิน รูปแบบและวิธีการใช้ส่วนปลอดภัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.6.1<u>สภาพความเสี่ยงในคุณสมบัติของดิน</u> มีมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับการสำรวจดินที่จะให้ทราบถึงคุณสมบัติของดินว่าผลจากการสำรวจดินที่ได้ค่าที่ถูกต้อง มีรายละเอียดมากน้อยเพียงใด ถ้ามีน้อยความเสี่ยงจะมีมากขึ้น จะทำให้ค่าส่วนความปลอดภัยอาจจะมีค่ามาก คือ อาจประมาณ 4 ถึง 6 แต่โดยทั่วไปแล้ว จะกำหนดไว้ประมาณ 2.5 ถึง 3.0 สำหรับฐานรากตื้น

4.6.2 <u>รูปแบบและวิธีใช้ส่วนปลอดภัย</u> คือ ส่วนปลอดภัยประมาณ 2.5 ถึง 3.0 ถ้าพิจารณาค่า

Gross Allowable Bearing Capacity และ Net Allowable Bearing Capacity จาก Ultimate Bearing Capacity และ Net Ultimate Bearing Capacity ตามลำดับดังแสดงในสมการที่ (2.20) และ (2.21) แต่พิจารณาจากการใช้ Design Strength Parameter ซึ่งได้แก่ Design Cohesion, c_d และ
Design Angle of Friction, ϕ_d ค่าส่วนปลอดภัยประมาณ 1.4 ถึง 1.6 โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้ เริ่มจากคำนวณค่า c_d และ ϕ_d จาก

$$c_d = \frac{c}{F.S} \qquad (1.17)$$

$$\phi_d = \tan^{-1}\frac{\tan\phi}{F.S} \qquad (1.18)$$

แล้วจึงนำค่า c_d และ ϕ_d มาคำนวณค่า Gross Allowable Bearing Capacity และ Net Allowable Bearing Capacity โดยใช้สมการจากทฤษฎีของความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 1.4 ยกตัวอย่าง เช่น จากทฤษฎีของ Terzaghi (1943) จะได้ว่า

$q_{all} = c_dN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$ ถ้าเป็น Strip Foundation

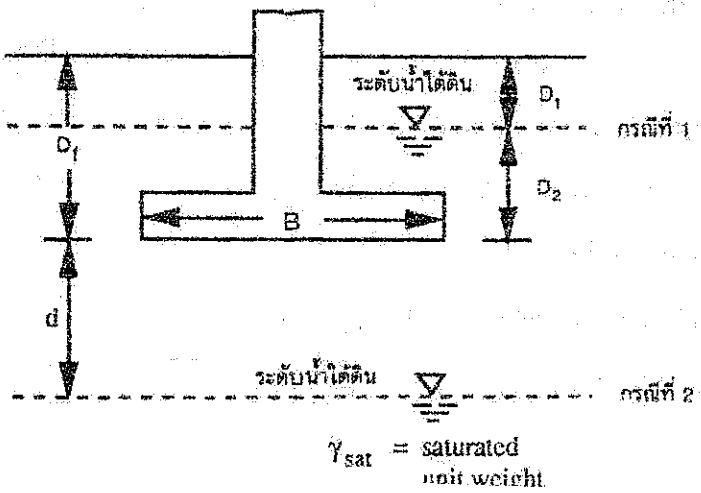
$q_{all(net)} = c_dN_c + q(N_q - 1) + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$ ถ้าเป็น Strip Foundation

เมื่อ N_c, N_q, N_γ = Bearing Capacity Factor แปรเปลี่ยนตามค่า ϕ_d

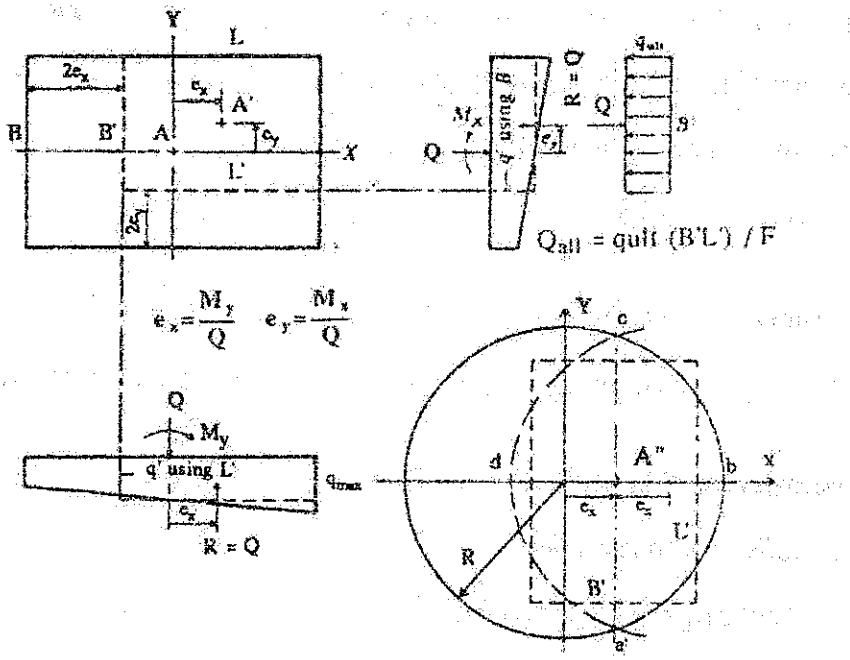
4.7 ผลกระทบจากระดับน้ำใต้ดิน Ultimate Bearing Capacity

มีด้วยกัน 2 ผลกระทบ คือ

4.7.1 ผลกระทบจากระดับน้ำใต้ดินมีผลทำให้ค่ากำลังความแข็งแรงของดินเปลี่ยนไป จึงต้องคำนึงถึงระดับน้ำใต้ดิน เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาค่า Ultimate Bearing Capacity ของดินรองรับฐานรากที่แตกต่างกันแล้วแต่ระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งมี 3 กรณี โดยพิจารณาจากรูปที่ 6 คือ



รูปที่4. 6 แสดงรูปแบบประกอบการใช้สมการกำลังรับน้ำหนักของดิน เนื่องจากผลกระทบของน้ำใต้ดิน



รูปที่ 4.7 แรงเยื้องศูนย์ฐานรากและวิธีการคำนวณค่า Effective Area

4.7.2 ผลกระทบจากแรงเยื้องศูนย์ (Eccentricity Loading)

การเยื้องศูนย์ของน้ำหนักบรรทุกที่มีต่อฐานราก จะมีโมเมนต์เกิดขึ้นรอบแกนกลางของฐานราก ซึ่งอาจจะมีหนึ่งแกนหรือสองแกนก็ได้ คือ แกน x และแกน y มีผลทำให้ค่าของ Ultimate Bearing Capacity ของดินรองรับฐานรากเปลี่ยนไป อันเนื่องจากการกระจายของหน่วยแรงในดินรองรับฐานรากกระจายไม่เท่ากันตลอดพื้นที่ของฐานราก

เมื่อฐานรากรับแรงกระทำเยื้องศูนย์การกระจายแรงกระทำ(pressure distribution) ที่ฐานรากถ่ายเทลงดินจะไม่สม่ำเสมอ(non-uniform) เพราะโมเมนต์ที่เกิดขึ้น กดฐานรากด้านที่มีแรงกระทำเยื้องศูนย์(e) ทำให้ส่วนของฐานรากด้านนี้ต้องรับน้ำหนักมากกว่าค่าเฉลี่ย(i.e,Q/A)และยกฐานรากด้านที่ไม่มีแรงกระทำเยื้องศูนย์ทำให้น้ำหนักกระทำที่กดลงจริงน้อยกว่าค่าเฉลี่ย Q/A

การกระจายแรงกระทำที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ด้านดังกล่าว หาได้ดังนี้

$q_{max} = \frac{Q}{BL} + \frac{6M}{B^2L}$ ด้านที่มี แรงกระทำเยื้องศูนย์ (ดังรูปที่)

$q_{min} = \frac{Q}{BL} - \frac{6M}{B^2L}$ ด้านที่ไม่มีแรงกระทำเยื้องศูนย์ (ดังรูปที่)

เมื่อ

q_{max} = แรงกระทำที่ฐานรากของด้านที่มีแรงกระทำเยื้องศูนย์ (M/L^2)

q_{min} = แรงกระทำที่ฐานรากของด้านที่ไม่มีแรงกระทำเยื้องศูนย์ (M/L^2)

Q = น้ำหนักจากโครงสร้าง (M)

M = Moment ที่เกิดขึ้นบนฐานราก = eQ (ดูรูปที่)(ML)

e = ระยะเยื้องศูนย์ (L)

B = ความกว้างของฐานราก (L)

L = ความยาวของฐานราก (L)

นั่นคือ

$q_{max} = \frac{Q}{ML}\left(1 + \frac{6e}{B}\right)$ ด้านที่มีแรงกระทำเยื้องศูนย์

$q_{min} = \frac{Q}{ML}\left(1 - \frac{6e}{B}\right)$ ด้านที่ไม่มีแรงกระทำเยื้องศูนย์

จากสมการที่ ที่กล่าวมา การเยื้องศูนย์จะขึ้นอยู่กับค่า e จะแยกเป็นกรณี ดังนี้

- e = B/6 จะทำให้ การรับแรงกระทำที่ฐานรากด้านที่มีกระทำเยื้องศูนย์ จะมีค่าเป็นศูนย์
- e > B/6 จะทำให้ การรับแรงกระทำที่ฐานราก ด้านที่มีกระทำเยื้องศูนย์ จะมีค่าเป็นติดลบนั้นหมายถึง จะมีพื้นที่ของฐานรากที่ไม่ได้ใช้ในการรับแรง

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกภายใต้แรงกระทำเยื้องศูนย์ (q'_n)

Meyerhof(1963) ได้เสนอให้ใช้วิธี effective area สำหรับหาค่า q'_n หรือความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (ultimate bearing capacity) ของฐานรากตื้น (shallow foundation) ภายใต้การรับแรงแบบเยื้องศูนย์ หรือเมื่อแนวแรงศูนย์กลางแรงกระทำไม่ผ่านจุดศูนย์กลางของฐานรากตื้น(center of foundation)บน plan view

การหาค่า q'_n โดยวิธี effective area เป็นการผนวกผลกระทบจากระยะเยื้องศูนย์(c) ของแรงกระทำ (Q) เข้าไปในการใช้ general bearing capacity equation ด้วยการปรับลด พื้นที่ (A) บน plan view ของฐานรากตื้น(area of foundation) ที่มีส่วนในการรับแรงกระทำ (Q) ให้ลดเหลือเพียง effective area (A) โดยการ

- ปรับลด width (B) เป็น effective width (B')
- ปรับลด length (L) เป็น effective length (L')

  และได้ A = B x L และ $A' = B' \times L'$

ขั้นตอนการประมาณหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (ultimate bearing capacity, q'_u) โดยวิธี effective area คือ (Das,1995)

Step1 หาระยะเยื้องศูนย์ eccentricity (e) ของแรงกระทำจาก

$$e_B = \frac{M_B}{Q}$$

$$e_L = \frac{M_L}{Q}$$

เมื่อ e_B, e_L = ระยะเยื้องศูนย์ในทิศทางของความกว้าง (B)และความยาว(L)ของฐานราก

M_B = โมเมนต์ที่เกิดในแนวB

M_L = โมเมนต์ที่เกิดในแนวL

Step2 หา effective dimension คือ ความกว้างและความยาวประสิทธิผล (B และ L) จาก

$B' = B - 2e_B \leq L'$

$L' = L - 2e_L \geq B'$

โดยที่ค่า $(B - 2e_B)$ต้องน้อยกว่าค่า$(L - 2e_L)$นั้นคือ ในระหว่าง 2 ค่า ค่าใดที่น้อยกว่าจะจ้องถูกใช้เป็นค่า effective width (B')

Step3 หาพื้นที่ประสิทธิผล effective area (A') จาก

$A' = B' \text{ x } L'$

Step4 หาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย เมื่อฐานรากรับแรงกระทำเยื้องศูนย์ (q_n') โดยใช้ทฤษฎีของ Meyerhof(1963) หรือ general bearing capacity equation (ได้อธิบายโดยละเอียดในส่วน E.General Bearing Capacity)

$$q_u' = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{gi} + \frac{1}{2}\gamma B' N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

ทั้งนี้การหา shape factors $(F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s})$และ depth factors$(F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d})$ ให้ผนวกผลกระทบของ effective area โดย

4.1 ใช้ effective width (B') แทน B และ effective length (L') แทน L

4.2 การใขค่า width (B) และ length (L) ที่ใช้ในการหา depth factors$(F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d})$ ให้ใช้ค่า B ตามเดิม เหมือนกรณีที่ไม่มีการเยื้องศูนย์

Step5 หาน้ำหนักกระทำประลัยทั้งหมดที่ฐานรากรับแรงเยื้องศูนย์รับได้ คือ

$$Q_{all} = q_{all \times B' \times L'}$$

Step6 หาสัดส่วนความปลอดภัย(factor of safety) โดยสมการ

$$F.S. = \frac{q_u}{q_{all}}$$