

บทที่ 2

ทฤษฎีและการวิเคราะห์ค่าแรงแบกทานประลัย ของดินใต้ฐานรากตื้นในกรณีดินสองชั้น

2.1 ฐานรากตื้น (Shallow Foundation)

ฐานราก (Foundation) มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างที่แตกต่างกันไป ตามสภาพของสิ่งแวดล้อม, ลักษณะของโครงสร้าง, ค่าคุณสมบัติของดิน, และงบประมาณในการก่อสร้าง

ฐานรากตื้น (Shallow foundation) เป็นฐานรากที่ไม่มีเสาเข็ม อาศัยการวางตัวอยู่บนดินที่รองรับ โดยตรงทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักของ โครงสร้างลงสู่ดิน ฐานรากตื้นจะฝังตัวลงไปในดินที่ความลึกไม่มากนัก โดยทั่วไปจะอยู่ที่ความลึกประมาณ 1-2 เมตรจากระดับผิวดิน หากมีการวิเคราะห์และออกแบบที่เหมาะสม ฐานรากตื้นจะมีความปลอดภัยต่อการใช้งาน ไม่แพ้ฐานรากชนิดอื่น นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนในการก่อสร้างที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน งบประมาณที่ใช้ในการก่อสร้างน้อย ใช้เวลาในการก่อสร้างไม่นานนัก ฐานรากตื้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. ฐานรากเดี่ยว (Isolated foundation) เป็นฐานรากตื้นที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของเสาแบบแยกเดี่ยว เสา 1 ต้นจะมีฐานรากชนิดนี้ 1 ฐานราก ฐานรากเดี่ยวจะรับน้ำหนักกระทำแบบจุด ตามตำแหน่งของเสา

2. ฐานรากแผ่ (Mat foundation) เป็นฐานรากตื้นที่รับน้ำหนักกระทำจาก โครงสร้างแบบผืนแผ่นเดียวกัน มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับฐานรากเดี่ยว

สิ่งที่ต้องคำนึงในการออกแบบฐานรากตื้น

1. ความวิตติเนื่องจากการรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในดินที่รองรับฐานราก ซึ่งเป็นผลที่เนื่องมาจากการรับน้ำหนักของ โครงสร้างที่ถ่ายลงสู่ดิน โดยฐานรากตื้น จะต้องไม่เกิดขึ้น

2. อัตราการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของดินที่รองรับต้องมีค่าไม่มากกว่าค่าที่ยอมให้

3. ควรเลือกใช้ประเภทของฐานรากให้เหมาะสมกับลักษณะของฐานราก

4. พิจารณาสภาพแวดล้อมของโครงการ ซึ่งจะเป็นตัวจำกัดวิธีการก่อสร้างฐานราก

5. หากเลือกได้ควรเลือกใช้ฐานรากประเภทที่ใช้งบประมาณในการก่อสร้างต่ำ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของตัว โครงสร้างด้วย

2.2 ความสามารถในการรับแรงแบกทานประลัยของดิน ในกรณีดินหลายชั้น

(Bearing Capacity of layered soils-Stronger soil underlain by weaker soil)

สมการที่ใช้หาแรงแบกทานของดินที่ใช้กัน โดยทั่วไป ส่วนมากแล้วจะสมมติให้ดินใต้ฐานรากนั้นมีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ตัวแปรต่างๆที่นำมาพิจารณาคือ ค่าแรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดิน (cohesion, c_u) มุมเสียดทานของเม็ดดิน (angle of friction, ϕ) และหน่วยน้ำหนักของดิน (unit weight, γ) จะถูกสมมติให้คงที่เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์หาสมการแรงแบกทานของดิน แต่ในทางปฏิบัติแล้วชั้นดินอาจจะมีหลายชั้นซึ่ง failure surface ที่สภาวะประลัย (ultimate load) แนวการพังอาจจะผ่านลงมายังดินชั้นต่อไป ปัญหาจึงอยู่ที่ว่าจะใช้คุณสมบัติของดินชั้นใดมาคำนวณหาค่าแรงแบกทาน และเพื่อเป็นการง่ายเราจึงจำเป็นต้องจำกัดกรณีของการเกิด เพื่อให้สามารถคำนวณหาค่าแรงแบกทาน โดยประมาณ (Meyerhof and Hanna 1978 and Meyerhof 1974)

จากรูปที่ 2.1 แสดงฐานรากค้ำตั้งต่อเนื่อง (strip Foundations) ซึ่งรองรับ โดยชั้นดิน 2 ชั้น โดยดินชั้นบนจะแข็งแรงกว่าชั้นล่างซึ่งอยู่ถัดลงไป คุณสมบัติทางกายภาพที่พิจารณามีดังนี้

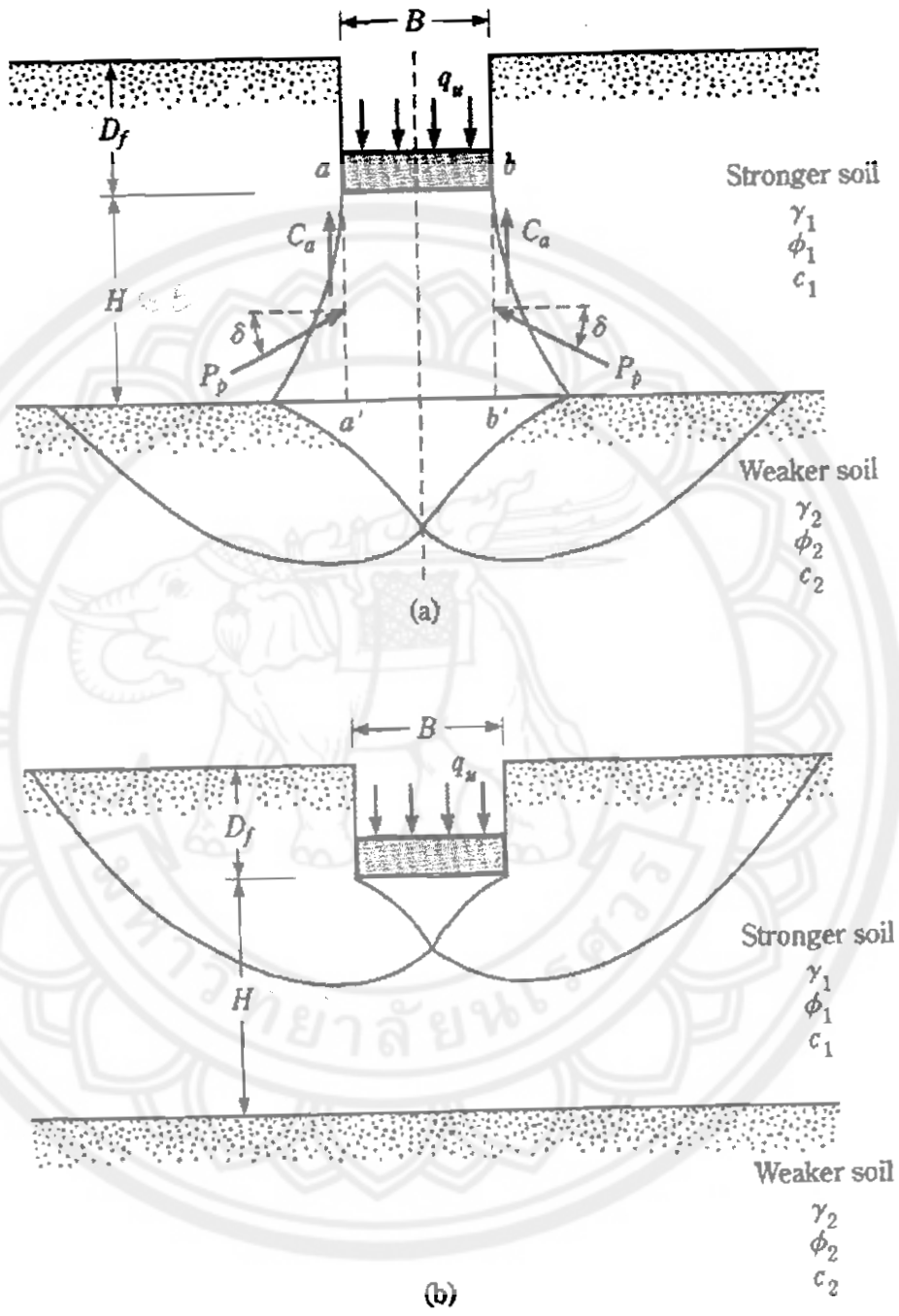
layers	unit weight(γ)	friction angle(ϕ)	Cohesion(c_u)
top	γ_1	ϕ_1	c_1
bottom	γ_2	ϕ_2	c_2

จากรูป 2.1 พบว่าความสามารถในการรับแรงแบกทานของดินที่สภาวะประลัยต่อหน่วยพื้นที่ (q_u) จะขึ้นอยู่กับความลึกของดินที่อยู่ใต้ฐานรากหรือค่า H ซึ่งถ้า H มีค่าประมาณหรือใกล้เคียงกับ B แล้วจะทำให้เกิดการพังแบบ punching shear failure ที่ดินชั้นบน ส่วนชั้นล่างจะเกิดการพังแบบ general shear failure (รูป 2.1 a) แต่ถ้า H มีค่ามากกว่า B มากๆแล้วกำลังแบกทานของดินจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของดินชั้นบนเท่านั้น ซึ่งสามารถเขียนสมการแทนรูป 2.1 ได้ดังนี้

$$q_u = q_b + \frac{2(C_u + P_p \sin \delta)}{B} - \gamma_1 H \quad (1)$$

- เมื่อ B = ความกว้างของฐานราก
 C_u = แรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดิน
 P_p = Passive force per unit length of the faces aa' and bb'
 q_b = กำลังแบกทานของดินชั้นล่าง

δ = มุมเบี่ยงเบนที่ P_p กระทำเมื่ออิงกับแนวราบ



รูปที่ 2.1 รูปแสดงการรับแรงแบกทานของดิน ของฐานรากดินต่อเนื่องที่รองรับ โดยดิน 2 ชั้น

จากสมการที่ 1

$$C_u = c_u H \quad (2)$$

เมื่อ c_u = ค่าความเชื่อมแน่น (adhesion)
 ดังนั้น จากสมการที่ 1 จะได้ว่า

$$q_u = q_b + \frac{2c_u H}{B} + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) \frac{K_{pH} \tan \delta}{B} - \gamma_1 H \quad (3)$$

เมื่อ K_{pH} = horizontal component of passive earth pressure coefficient

แต่ $K_{pH} \tan \delta = K_s \tan \phi_1$

เมื่อ K_s = punching shear coefficient

ดังนั้น

$$q_u = q_b + \frac{2c_u H}{B} + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) \frac{K_s \tan \phi_1}{B} - \gamma_1 H \quad (4)$$

โดยค่าของ K_s เป็นฟังก์ชันของ $\frac{q_2}{q_1}$ และ ϕ_1 หรือ

$$K_s = f\left\{\frac{q_2}{q_1}, \phi_1\right\}$$

โดยที่ q_1 และ q_2 คือกำลังแบกทานของดินที่สภาวะประลัยของฐานรากดินต่อเนื่อง ซึ่งกว้าง B
 รองรับแรงในแนวตั้ง คุณสมบัติดินทั้งสองชั้นเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) หรือ

$$q_1 = c_1 N_{c1} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{\gamma_1}$$

หรือ

$$q_2 = c_2 N_{c2} + \frac{1}{2} \gamma_2 B N_{\gamma_2}$$

ซึ่ง

N_{c1}, N_{γ_1} = สัมประสิทธิ์แรงแบกทานของดินชั้นบน (ϕ_1), ตารางที่ 2.1

N_{c2}, N_{γ_2} = สัมประสิทธิ์แรงแบกทานของดินชั้นบน (ϕ_2), ตารางที่ 2.1

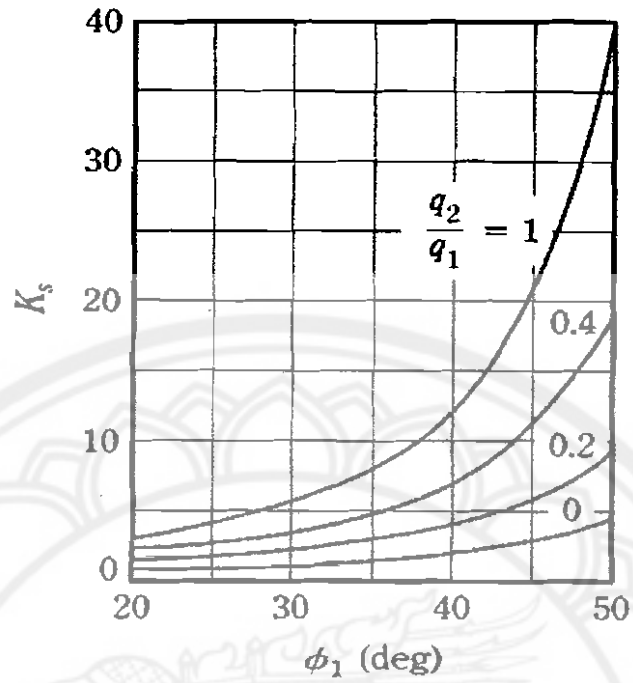
◆ ตารางที่ 2.1 Bearing Capacity Factors

ϕ	N_c	N_q	N_{γ}	N_c/N_q	$\tan \phi$	ϕ	N_c	N_q	N_{γ}	N_c/N_q	$\tan \phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00	26	22.25	11.85	12.51	0.53	0.49
1	5.38	1.09	0.07	0.20	0.02	27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03	28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05	29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07	30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09	31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11	32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12	33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14	34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16	35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18	36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19	37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21	38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23	39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25	40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27	41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29	42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31	43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32	44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34	45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36	46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38	47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40	48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42	49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45	50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47						

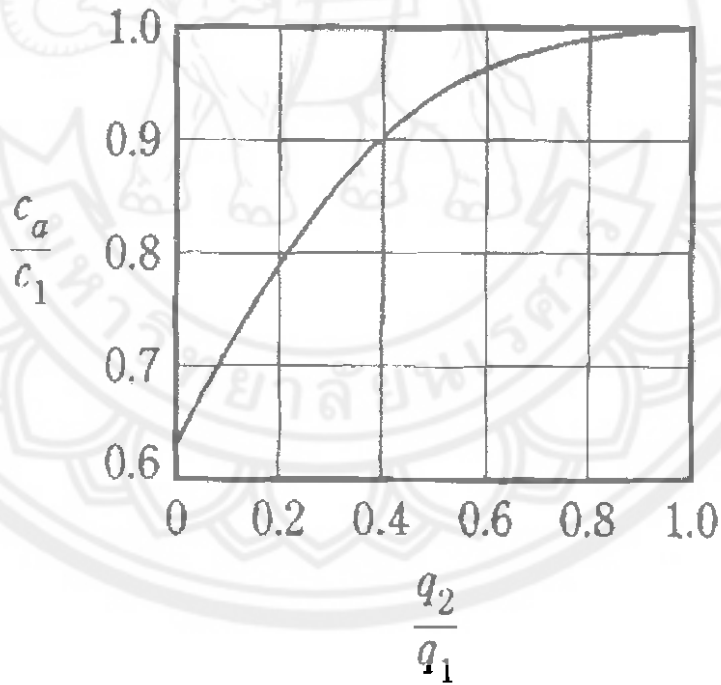
* After Vesic (1973)

ค่าของ $K_s \frac{C_a}{C_1}$ สามารถหาได้จากกราฟในรูปที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับถ้า H มีค่ามากกว่า B มากๆ จะพบว่า failure surface จะเกิดที่เฉพาะชั้นบนเท่านั้นซึ่งค่าแรงแบกทานหาได้จาก

$$q_u = q_t = c_1 N_{c1} + q N_{q1} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{\gamma 1} \quad (5)$$



รูปที่ 2.2 Meyerhof and Hanna's punching shear coefficient, K_s



รูปที่ 2.3 Variation of c_a/c_1 vs. $\frac{q_2}{q_1}$ based on the theory of Meyerhof and Hanna

จากสมการที่ 4 และ 5

$$q_u = q_b + \frac{2caH}{B} + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) \left(\frac{Ks \tan \phi_1}{B}\right) - \gamma_1 H \leq q_t \quad (6)$$

สมการหาแรงแบกทานของดินกรณี Rectangular Foundation คือ

$$q_u = q_b + \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(\frac{2caH}{B}\right) + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) \left(\frac{Ks \tan \phi_1}{B}\right) - \gamma_1 H \leq q_t \quad (7)$$

โดยที่

$$q_b = c_2 N_{c(2)} F_{cs(2)} + \gamma_1 (D_f + H) N_{q(2)} F_{qs(2)} + 0.5 \gamma_2 B N_{\gamma(2)} F_{\gamma s(2)} \quad (8)$$

$$q_t = c_1 N_{c(1)} F_{cs(1)} + \gamma_1 D_f N_{q(1)} F_{qs(1)} + 0.5 \gamma_1 B N_{\gamma(1)} F_{\gamma s(1)} \quad (9)$$

ซึ่ง

$F_{cs(1)}, F_{qs(1)}, F_{\gamma s(1)}$ = shape factor with respect to top soil layer

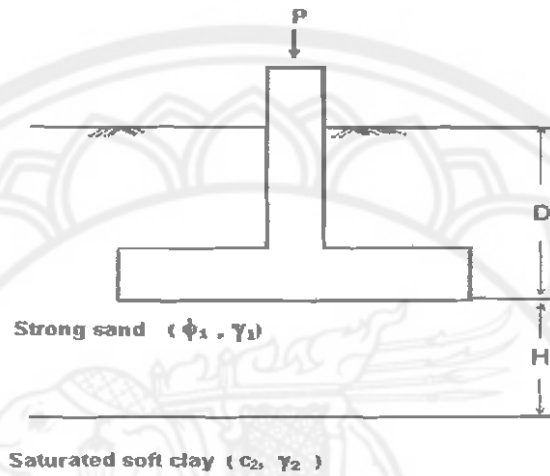
$F_{cs(2)}, F_{qs(2)}, F_{\gamma s(2)}$ = shape factor with respect to bottom soil layer

◆ ตาราง 2.2 Shape, Depth, and Inclination Factors Recommended for use

Factor	Relationship	Source
Shape ^a	$F_s = 1 + \frac{BN_c}{L N_c}$	De Beer (1970) Hansen (1970)
	$F_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$	
	$F_r = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$	
	where L = length of the foundation ($L > B$)	
Depth ^b	Condition (a): $D_f/B \leq 1$	Hansen (1970)
	$F_{d1} = 1 + 0.4 \frac{D_f}{B}$	
	$F_{d2} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \frac{D_f}{B}$	
	$F_{d3} = 1$	
	Condition (b): $D_f/B > 1$	
	$F_{d4} = 1 + (0.4) \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$	
	$F_{d5} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$	
	$F_{d6} = 1$	
Inclination	$F_i = F_q = \left(1 - \frac{\beta}{90^\circ} \right)^2$	Meyerhof (1963); Hanna and Meyerhof (1981)
	$F_r = \left(1 - \frac{\beta}{\phi} \right)^2$	
	where β = inclination of the load on the foundation with respect to the vertical	
	^a These shape factors are empirical relations based on extensive laboratory tests.	
	^b The factor $\tan^{-1}(D_f/B)$ is in radians.	

2.3 Special Cases: กรณีศึกษาพิเศษ

2.3.1 กรณีที่ 1 : ดินชั้นบนเป็นชั้นทรายแข็ง และชั้นล่างเป็นดินเหนียวอ่อนชุ่มน้ำจากสมการ 7, 8, และ 9



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของชั้นดินในกรณีที่ 1

$$q_b = \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) 5.14 C_2 + \gamma_1 (D_f + H) \quad (10)$$

$$q_t = \gamma_1 D_f N_{q(1)} F_{qs(1)} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{\gamma(1)} F_{\gamma s(1)} \quad (11)$$

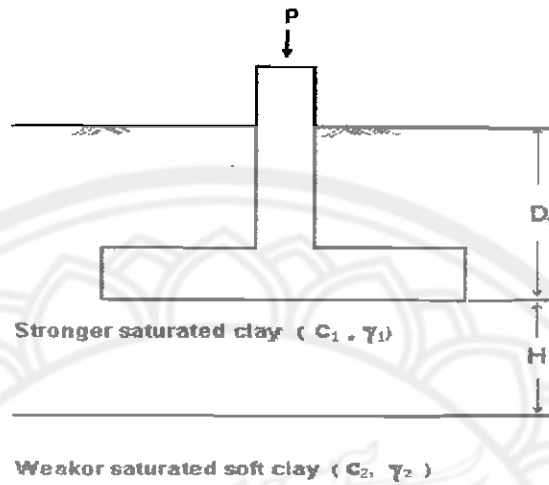
ดังนั้น

$$\begin{aligned} q_u &= \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) 5.14 C_2 + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(1 + 2 \frac{D_f}{H}\right) \left(\frac{K_s \tan \phi_1}{B}\right) + \gamma_1 D_f \\ &\leq \gamma_1 D_f N_{q(1)} F_{qs(1)} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{\gamma(1)} F_{\gamma s(1)} \end{aligned} \quad (12)$$

ค่า K_s หาได้จากรูปที่ 2.2

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{C_2 N_{c2}}{0.5 \gamma_1 B N_{\gamma 1}} = \frac{5.14 C_2}{0.5 \gamma_1 B N_{\gamma 1}} \quad (13)$$

2.3.2 กรณีที่ 2: ดินเหนียวชุ่มน้ำทั้งสองชั้นแต่ชั้นล่างเป็นชั้นดินที่อ่อนกว่า



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของชั้นดินในกรณีที่ 2

$$q_u = \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) 5.14 C_2 + \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(\frac{2c_a H}{B}\right) + \gamma_1 D_f \leq q_t \quad (14)$$

$$q_t = \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) 5.14 C_1 + \gamma_1 D_f \quad (15)$$

สำหรับกรณีนี้

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{5.14 C_2}{5.14 C_1} = \frac{C_2}{C_1} \quad (16)$$

◆ ตัวอย่างที่ 1

นายช่างสมชาย ได้ออกแบบอาคารพานิชชั้นเดียว เพื่อรองรับกับปริมาณความต้องการ เนื่องจากขยายตัวของปริมาณนักศึกษาของมหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก โดยได้ออกแบบชนิดของฐานรากเป็นฐานรากตื้นขนาด $1.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ถูกฝังไว้ที่ความลึก (D_f) 1 m จากผิวดินถม โดยฐานรากวางตัวบนดินถมซึ่งชั้นบนเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง ส่วนดินเดิมเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน ความลึก $H = 1.00 \text{ m}$ ซึ่งวัดจากใต้ฐานราก ข้อมูลดินเป็นดังนี้

- ดินถมชั้นบน

$$\text{Undrained shear strength} = 120 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Unit weight} = 16.8 \text{ kN/m}^3$$

- ดินถมชั้นล่าง

$$\text{Undrained shear strength} = 48 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Unit weight} = 16.2 \text{ kN/m}^3$$

จงหาว่าฐานรากนี้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกโดยปลอดภัยได้เท่าใด กำหนดให้อัตราส่วนความปลอดภัย(FS) เท่ากับ 4.

Solution

จากสมการที่ (14), (15), and (16) จะได้ว่า

$$q_u = \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) 5.14 C_2 + \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(\frac{2caH}{B}\right) + \gamma_1 D_f$$

$$\leq \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) 5.14 C_1 + \gamma_1 D_f$$

โจทย์กำหนด :

$$B = 1 \text{ m} \quad H = 1 \text{ m} \quad D_f = 1 \text{ m}$$

$$L = 1.5 \text{ m} \quad \gamma_1 = 16.8 \text{ kN/m}^3$$

จากรูปที่ 1.3, $c_2/c_1 = 48/120 = 0.4$, จะได้ว่า $c_a/c_1 \approx 0.9$, ดังนั้น

$$c_a = (0.9) (120) = 108 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u = \left(1 + 0.2 \left(\frac{1}{1.5}\right)\right) (5.14) (48) + \left(1 + \left(\frac{1}{1.5}\right)\right) \left[\frac{(2)(108)(1)}{(1)}\right] + (16.8)(1)$$

$$= 279.6 + 360 + 16.8 = 656.4 \text{ kN/m}^2$$

Check : จากสมการที่ 15

$$q_t = \left[\left(1 + (0.2) \left(\frac{1}{1.5} \right) \right) \right] (5.14)(120) + (16.8)(1) \\ = 699 + 16.8 = 715.8 \text{ kN/m}^2$$

ดังนั้น $q_u = 656.4 \text{ kN/m}^2$ (ซึ่งเป็นค่าที่น้อยระหว่างสองค่าที่คำนวณ) ,และ

$$q_{all} = \frac{q_u}{FS} = \frac{656.4}{4} = 164.1 \text{ kN/m}^2$$

ดังนั้นฐานรากนี้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกโดยปลอดภัยได้เท่ากับ

$$(q_{all})(1 \times 1.5) = 246.15 \text{ kN } \nabla$$



◆ ตัวอย่างที่ 2

จากรูปที่ 1.1 สืบเนื่องจากตัวอย่างที่ 1 ถ้าข้อมูลดินชั้นบนเป็นดินทรายส่วนชั้นล่างเป็นดินเหนียวอ่อน ดังข้อมูลที่ได้จากการสำรวจดังนี้

$$\text{For the sand: } \gamma_1 = 117 \text{ lb/ft}^3 ; \phi_1 = 40^\circ$$

$$\text{For the soft clay (bottom layers) : } c_2 = 400 \text{ lb/ft}^2 ; \phi_2 = 0^\circ$$

$$\text{For the foundation: } B = 3 \text{ ft.}; D_f = 3 \text{ ft.}; L = 4.5 \text{ ft.}; H = 4 \text{ ft.}$$

จงหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของฐานรากนี้

Solution

จากสมการที่ (12), (13) และสำหรับ $\phi_1 = 40^\circ$, จากตารางที่ 2.1

$$N_{\gamma} = 109.41 \text{ และ}$$

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{c_2 N_{c(2)}}{0.5 \gamma_1 B N_{\gamma(1)}} = \frac{(400)(5.14)}{(0.5)(117)(3)(109.41)} = 0.107$$

จากรูปที่ 2.2 เนื่องจาก $c_2 N_{c(2)} / 0.5 \gamma_1 B N_{\gamma(1)} = 0.107$ และ $\phi_1 = 40^\circ$, จะได้ว่า $K_s \approx 2.5$, และจากสมการที่ (12)

$$q_u = \left[\left(1 + 0.2 \left(\frac{B}{L} \right) \right) 5.14 c_2 + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{B}{L} \right) \left(1 + 2 \frac{D_f}{H} \right) \left(\frac{K_s \tan \phi_1}{B} \right) + \gamma_1 D_f \right]$$

$$\begin{aligned} q_u &= \left[\left(1 + 0.2 \left(\frac{3}{4.5} \right) \right) (5.14)(400) + (117)(4)^2 \left(1 + \frac{3}{4.5} \right) \left[1 + 2 \left(\frac{3}{4} \right) \right] \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{2.5 \tan 40}{3} \right) + (117)(3) \right] \\ &= 2330 + 5454 + 351 = 8135 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

เนื่องจาก

$$q_t = \gamma_1 D_f N_{q(1)} F_{qs(1)} + 0.5 \gamma_1 B N_{\gamma(1)} F_{\gamma s(1)}$$

จากตารางที่ 2.1, for $\phi_1 = 40^\circ$, $N_\gamma = 109$, $N_q = 64.20$

จากตารางที่ 2.2,

$$F_{qs(1)} = \left(1 + \frac{B}{L}\right) \tan \phi_1 = \left(1 + \frac{3}{4.5}\right) \tan 40 = 1.4$$

$$F_{\gamma s(1)} = 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 1 - 0.4 \left[\frac{3}{4.5}\right] = 0.733$$

$$\begin{aligned} q_t &= (117)(3)(64.20)(1.4) + 0.5(117)(3)(109.4)(0.733) \\ &= 45,622 \text{ lb/ft}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ,

$$q_u = 8135 \text{ lb/ft}^2 \quad \nabla$$



2.4 การเลือกใช้ค่าคุณสมบัติของดินในการวิเคราะห์หาค่า Ultimate Bearing Capacity

Empirical values for ϕ, D_r , and unit weight of granular soils based on the SPT at about 6 m depth and normally consolidated [approximately, $\phi = 28^\circ + 15D_r(\pm 2^\circ)$]

Description	Very loose	Loose	Medium	Dense	Very dense
Relative density D_r	0	0.15	0.35	0.65	0.85
SPT N'_{70} : fine	1-2	3-6	7-15	16-30	?
Medium	2-3	4-7	8-20	21-40	> 40
coarse	3-6	5-9	10-25	26-45	> 45
ϕ : fine	26-28	28-30	30-34	33-38	
medium	27-28	30-32	32-36	36-42	< 50
coarse	28-30	30-34	33-40	40-50	
$\gamma_{wet}, \text{kN/m}^3$	11-16*	14-18	17-20	17-22	20-23

* Excavated soil or material dumped from a truck has a unit weight of 11 to 14 kN/m^3 and must be quite dense to weigh much over 21 kN/m^3 . No existing soil has a $D_r = 0.00$ nor a value of 1.00. Common ranges are from 0.3 to 0.7.

รูปที่ 2.6 แสดงตาราง 3-4 จาก Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design.
5th Ed.1997.p163

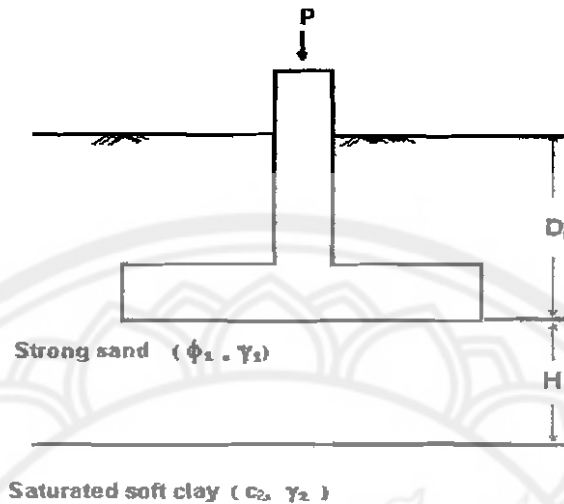
Consistency of saturated cohesive soils*

Consistency		N'_{70}	q_u, kPa	Remarks	
Very soft		0-2	< 25	Squishes between fingers when squeezed	
Soft	NC	Young clay	3-5	25-50	Very easily deformed by squeezing
Medium		6-9	50-100	??	
Stiff		10-16	100-200	Hard to deform by hand squeezing	
Very stiff	Increasing	Aged/	17-30	200-400	Very hard to deform by hand squeezing
Hard	OCR	Cemented	> 30	> 400	Nearly impossible to deform by hand

* Blow counts and OCR division are for a guide-in clay "exceptions to the rule" are very common.

รูปที่ 2.7 แสดงตาราง 3-5 จาก Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design.
5th Ed.1997.p163.

2.4.1 กรณีที่ 1: ดินชั้นบนเป็นชั้นทรายแข็ง และชั้นล่างเป็นดินเหนียวอ่อนชุ่มน้ำ



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของรากค้ำวางตัวอยู่บนดินใน กรณีที่ 1

2.4.1.1 ค่า ϕ_1 ที่เลือกใช้อ้างอิงจาก ตาราง 3-4 (Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design. 5th Ed. 1997. p163.) ซึ่งจากตารางค่า ϕ ของ Sand ซึ่งเป็นชั้นดินถมควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง $28^\circ - 38^\circ$ (สาเหตุที่ไม่เลือกใช้ค่า $\phi_1 = 26^\circ$ เพราะมีค่าน้อยเกินไปทำให้ Sand ซึ่งเป็นชั้นดินถมมีค่ากำลังรับแรงแบกทานต่ำเกินไป ไม่เหมาะที่จะใช้ฐานรากค้ำ) ดังนั้นเพื่อให้ค่า ϕ_1 ที่เลือกใช้สอดคล้องและครอบคลุมกับค่า ϕ ที่จะเป็นไปได้ในค่าในงานจริงและเอกสารอ้างอิง จึงเลือกใช้ค่า ϕ_1 ในการวิเคราะห์และออกแบบ เป็นจำนวน 5 ค่าดังต่อไปนี้

$\phi_1 = 28^\circ$ เป็น Loose sand

$\phi_1 = 30^\circ$ เป็น Loose sand

$\phi_1 = 32^\circ$ เป็น Loose sand

$\phi_1 = 34^\circ$ เป็น Medium sand

$\phi_1 = 36^\circ$ เป็น Dens sand

2.4.1.2 ค่า c_2 ที่เลือกใช้ อ้างอิงจาก ตาราง 3-5 (Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design. 5th Ed. 1997. p165.) จากตารางค่า c_2 ของ Soft clay มีค่าอยู่ระหว่าง $1.27 - 5.01 \text{ T/m}^2$ เพื่อให้ค่า c ที่เลือกใช้สอดคล้องและครอบคลุมกับค่าในงานจริงและในหนังสืออ้างอิง ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า c_2 ทั้งหมด 3 ค่า ดังนี้คือ $c_2 = 1.5, 2.0, 2.5 \text{ T/m}^2$ ตามลำดับ แต่หน่วยของ c_2 ในตาราง 3-5 มีหน่วยเป็น kPa ค่า c_2 ที่เลือกใช้จะมีค่าในหน่วย kPa ดังต่อไปนี้

$c_2 = 1.5 \text{ T/m}^2$ จะ ได้ $q_u = 29 \text{ kPa}$ เป็น Soft clay

$c_2 = 2.0 \text{ T/m}^2$ จะได้ $q_u = 39 \text{ kPa}$ เป็น Soft clay

$c_2 = 2.5 \text{ T/m}^2$ จะได้ $q_u = 49 \text{ kPa}$ เป็น Soft clay

2.4.1.3 ค่า γ_1 ที่เลือกใช้ อ้างอิงจาก ตาราง 3-4 (Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design. 5th Ed. 1997. p163) จากตารางค่า γ ของ Soft clay มีค่าอยู่ระหว่าง $1.4 - 2.0 \text{ T/m}^3$ เพื่อให้ค่า γ_1 ที่เลือกใช้สอดคล้องและครอบคลุมกับค่าในงานจริงและในหนังสือ อ้างอิง ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า γ_1 ทั้งหมด 4 ค่า ดังนี้คือ $\gamma_1 = 1.7 \text{ T/m}^3$, 1.8 T/m^3 , 1.9 T/m^3 , 2.0 T/m^3 ตามลำดับ

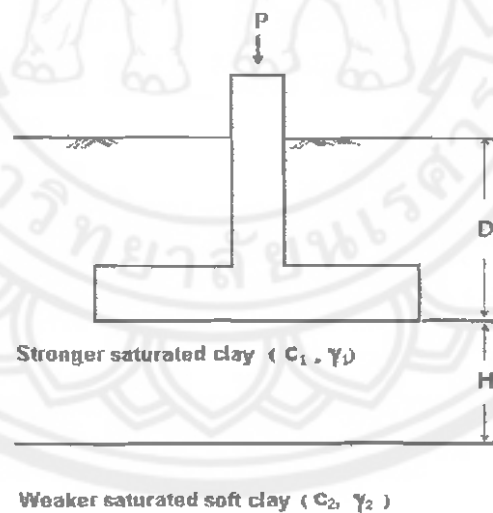
$$\gamma_1 = 1.7 \text{ T/m}^3 = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_1 = 1.8 \text{ T/m}^3 = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_1 = 1.9 \text{ T/m}^3 = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_1 = 2.0 \text{ T/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3$$

2.4.2 กรณีที่ 2: ดินเหนียวชุ่มน้ำทั้งสองชั้นแต่ชั้นล่างเป็นชั้นดินที่อ่อนกว่า



รูปที่ 2.9 จำลองแสดงลักษณะของฐานรากค้ำวางตัวอยู่บนดินใน กรณีที่ 2

2.4.2.1 ค่า c_1 ที่เลือกใช้ อ้างอิงจาก ตาราง 3-5 (Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design. 5th Ed. 1997. p165) จากตารางค่า c ของ Strong clay มีค่าอยู่ระหว่าง $1.27 - 5.01 \text{ T/m}^2$ เพื่อให้ค่า c ที่เลือกใช้สอดคล้องและครอบคลุมกับค่าในงานจริงและในหนังสืออ้างอิง ดังนั้น

จึงเลือกใช้ค่า c_1 ทั้งหมด 4 ค่า ดังนี้คือ $c_1 = 1.5, 2.5, 3.5, 4.5 \text{ T/m}^2$ ตามลำดับ แต่หน่วยของ c_1 ในตาราง 3-5 มีหน่วยเป็น kPa ค่า c_1 ที่เลือกใช้จะมีค่าในหน่วย kPa ดังต่อไปนี้

$$c_1 = 2.5 \text{ T/m}^2 \text{ จะได้ } q_u = 49 \text{ kPa} \text{ เป็น Soft clay}$$

$$c_1 = 3.5 \text{ T/m}^2 \text{ จะได้ } q_u = 69 \text{ kPa} \text{ เป็น Medium clay}$$

$$c_1 = 4.5 \text{ T/m}^2 \text{ จะได้ } q_u = 88 \text{ kPa} \text{ เป็น Medium clay}$$

2.4.2.2 ค่า γ_1 ที่เลือกใช้ อ้างอิงจาก ตาราง 3-4 (Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design. 5th Ed. 1997. p163) จากตารางค่า γ ของ Strong clay มีค่าอยู่ระหว่าง $1.4 - 2.0 \text{ T/m}^3$ เพื่อให้ค่า γ_1 ที่เลือกใช้สอดคล้องและครอบคลุมกับค่าในงานจริงและในหนังสืออ้างอิง ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า γ_1 ทั้งหมด 2 ค่า ดังนี้คือ $\gamma_1 = 1.7 \text{ T/m}^3, 1.9 \text{ T/m}^3$ ตามลำดับ

$$\gamma_1 = 1.7 \text{ T/m}^3 = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_1 = 1.8 \text{ T/m}^3 = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_1 = 1.9 \text{ T/m}^3 = 19 \text{ kN/m}^3$$

2.4.2.3 ค่า c_2 ที่เลือกใช้ อ้างอิงจาก ตาราง 3-5 (Joseph E. Bowles. Foundation analysis and design. 5th Ed. 1997. p165.) จากตารางค่า c_2 ของ Soft clay มีค่าอยู่ระหว่าง $1.27 - 5.01 \text{ T/m}^2$ เพื่อให้ค่า c_2 ที่เลือกใช้สอดคล้องและครอบคลุมกับค่าในงานจริงและในหนังสืออ้างอิง ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า c_2 ทั้งหมด 3 ค่า ดังนี้คือ $c_2 = 1.5, 2.5, 3.5 \text{ T/m}^2$ ตามลำดับ แต่หน่วยของ c_2 ในตาราง 3-5 มีหน่วยเป็น kPa ค่า c_2 ที่เลือกใช้จะมีค่าในหน่วย kPa ดังต่อไปนี้

$$c_2 = 1.5 \text{ T/m}^2 \text{ จะได้ } q_u = 29 \text{ kPa} \text{ เป็น Soft clay}$$

$$c_2 = 2.0 \text{ T/m}^2 \text{ จะได้ } q_u = 39 \text{ kPa} \text{ เป็น Soft clay}$$

$$c_2 = 2.5 \text{ T/m}^2 \text{ จะได้ } q_u = 49 \text{ kPa} \text{ เป็น Soft clay}$$

2.4.3 ค่า D_f

เนื่องจากว่าระดับของดินถมโดยทั่วไปนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 3 เมตร - 3.5 เมตร ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานจริง จึงกำหนดใช้ค่า D_f 2 ค่า ดังนี้ $D_f = 1 \text{ m}, 1.5 \text{ m}$ ตามลำดับ

2.2.4 ค่า $B \times L$

ค่า $B \times L$ ที่นำมาทำการวิเคราะห์นั้น เป็นเพียงค่าที่สมมุติขึ้นมาใช้โดยอาศัยพื้นฐานในการสมมุติจาก ขนาดมาตรฐานทั่วไปที่ใช้ในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังคำนึงความยากง่ายในการก่อสร้าง ความสามารถในการรับน้ำหนัก มาเป็นเหตุผลในการสมมุติค่า $B \times L$ ขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้น ค่า $B \times L$ ที่ใช้มีทั้งหมด 5 ค่า ดังต่อไปนี้

$1 \times 1 \text{ m}, 1.25 \times 1.25 \text{ m}, 1.5 \times 1.5 \text{ m}, 1 \times 1.25 \text{ m}, 1 \times 1.5 \text{ m}$. ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3: แสดงค่าคุณสมบัติของดินที่เลือกใช้ในกรณีที่ 1

กรณีที่ 1 : *Top layer is strong sand & bottom layer is saturated soft clay*

<i>Properties</i>	<i>Used Values</i>
ϕ_1	28°, 30°, 32°, 34°, 36°, 38°
γ_1	1.7, 1.8, 1.9 ton/m ³
c_2	1.5, 2.0, 2.5 ton/m ²
γ_2	Depend on type of material (Look table 3.4)

ตารางที่ 2.4: แสดงค่าคุณสมบัติของดินที่เลือกใช้ในกรณีที่ 2

กรณีที่ 2 : *Top layer is stronger saturated clay & bottom layer is weaker saturated clay*

<i>Properties</i>	<i>Used Values</i>
c_1	2.5, 3.5, 4.5 tons/m ²
γ_1	1.7, 1.9 tons/m ³
c_2	1.5, 2.0, 2.5 tons/m ²
γ_2	Depend on type of material (Look at table 3.4)