Foundation Engineering

2021-2022

المحاضرة الثالثة

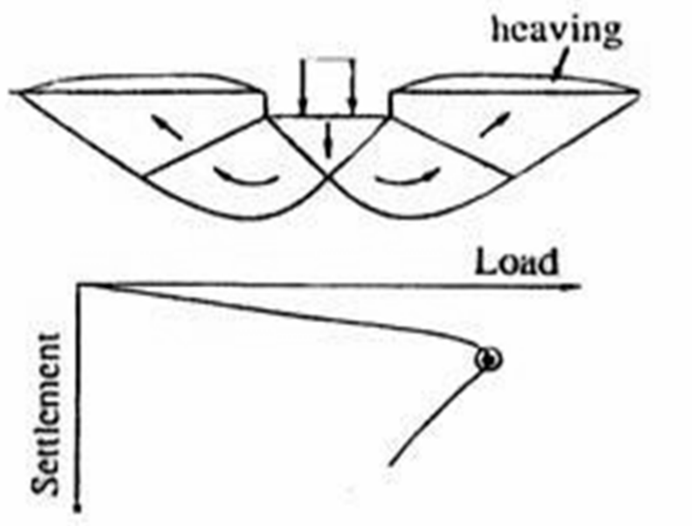
“Bearing Capacity

قدرة التحمل”

Dr. Maiasa Mlhem

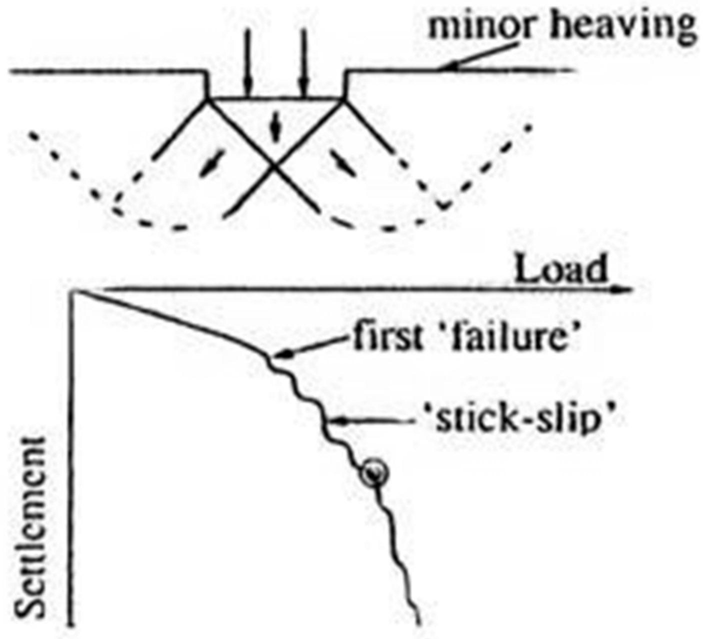
د.مياسة ملحم

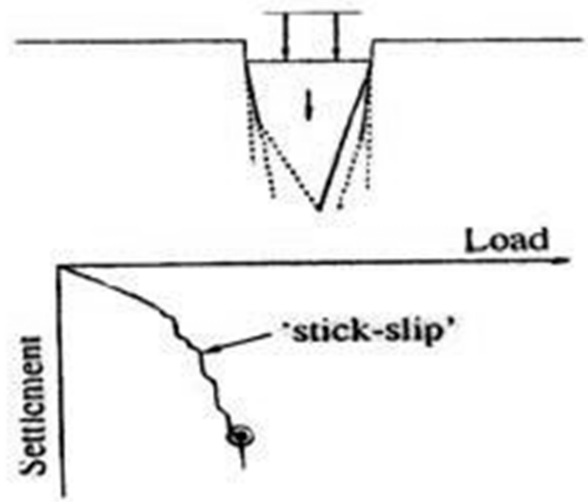
أنماط الانهيار



General Shear Failure
انهيار القص العام

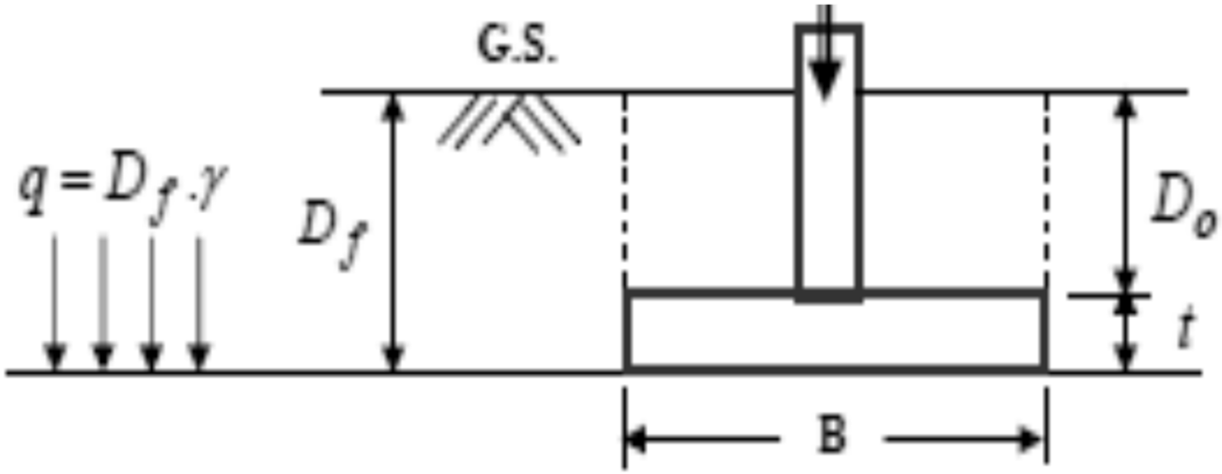
Local Shear Failure
انهيار القص المحلي





Punching Shear Failure
انهيار قص الثقب

تعريفات قدرة التحمل



- **Gross Bearing Capacity (q_{gross}):**

$$q_{gross} = \frac{\sum P}{A_{footing}}$$

$$q_{gross} = \frac{P + \gamma_s * D_o * B * L + \gamma_c * t * B * L}{B * L}$$

- قدرة تحمل التربة المسموحة Allowable Bearing Capacity: (q_{all})

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

- قدرة تحمل التربة الحدية الصافية
:Net Ultimate Bearing Capacity

$$q_{ult.-net} = q_{ult.} - \gamma * D_f$$

قدرة تحمل التربة المسموحة الصافية
:Net Allowable Bearing Capacity

$$q_{all.-net} = \frac{q_{ult.} - \gamma * D_f}{F.S.}$$

$$q_{all.-net} = \frac{q_{ult.}}{F.S.} - \gamma * D_f$$

- **عوامل الأمان في تصميم الأساسات:**
- إن قيمة عامل الأمان عادة يتراوح بين 2.5-3 وإن اختيار قيمته تعتمد على عدد من الاعتبارات:

- مدى تغير مقاومة القص في التربة.
- مدى صحة خواص التربة والتنبؤ بقيمة q_{ult}
- التغير في خواص التربة نتيجة عملية البناء.
- الكلف النسبية التي تنتج عن زيادة أو انقاص عال الأمان
- أهمية المنشأ، الهبوط التفاضلي وتطبق التربة تحت المنشأ.

متطلبات قدرة التحمل

- **العمق الكافي**
- **الهبوط التفاضلي**
- **الأمان ضد الانهيار:**

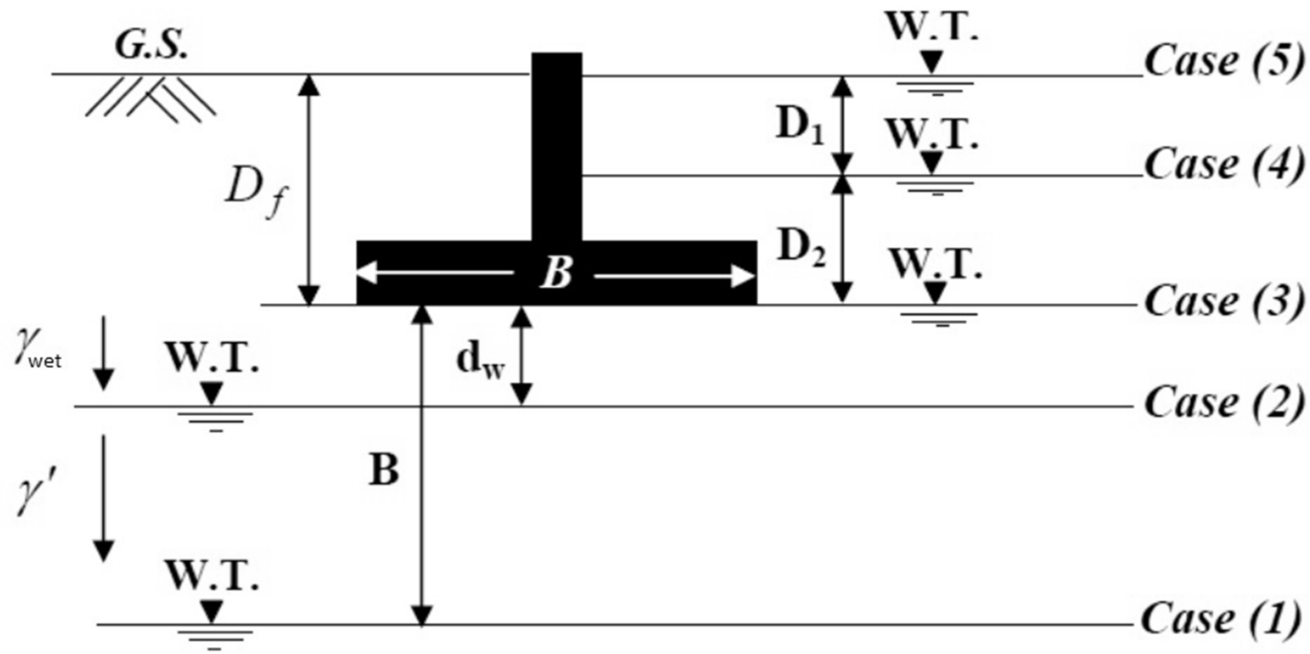
-     وهو عبارة عن نوعين من الانهيار:

- انهيار انشائي في جسم الأساس
- انهيار في التربة الداعمة تحت الأساس

العوامل المؤثرة على قدرة التحمل

- نوع التربة (متماسكة أم مفككة)
- المواصفات الفيزيائية للأساس، مثل الأبعاد، العمق، الشكل، النوع، القساوة.
- قيمة الهبوط الكلي والتفاضلي الذي يمكن للمنشأ أن يتحمله.
- المواصفات الفيزيائية للتربة مثل الكثافة ومقاومة القص.
- ظروف تواجد المياه الجوفية.
- الاجهادات الأساسية في التربة.

تأثير المياه الجوفية على قدرة تحمل التربة



- لحساب تأثير المياه الجوفية على قيمة قدرة تحمل التربة عدة طرق نذكر منها الطريقة التالية:

<u>(ملاحظة: يمكن اعتماد طريقة أخرى للحل إذا كانت مقبولة منطقياً وموجودة في المراجع العلمية المعتمدة)</u>

Case 1 الحالة الأولى: لا يوجد تأثير للمياه الجوفية على قدرة التحمل

Case 2 الحالة الثانية:

- تتوضع المياه الجوفية بين العمق B ونعل الأساس، نستخدم γ_{av} ضمن الجزء $0.5*\gamma*B*N_{\gamma}$ من معادلة قدرة التحمل حيث:

$$\gamma_{av.} = \gamma' + (\frac{d_w}{B}) * (\gamma_{wet} - \gamma')$$

- حيث:

γ_{wet} الوزن الحجمي الرطب للتربة

γ' الوزن الحجمي المغمور للتربة= $\gamma_{sat} - \gamma_{wet}$

d_w عمق المياه الجوفية تحت نعل الأساس

- Case 3 الحالة الثالثة:
- عندما تتوضع المياه الجوفية عند نعل الأساس نستخدم ˊɣ بدلا من ɣ.
- Case 4 الحالة الرابعة:

تتوضع المياه الجوفية بين سطح الأرض الطبيعية وبين نعل الأساس

- نعوض كما يلي:

$$q = \gamma_t . D_{1(above..W.T.)} + \gamma' . D_{2(below..W.T.)}$$

$$\gamma = \gamma' \ \ in \ \frac{1}{2}\gamma . B . N_\gamma$$

- Case 5 -الحالة الخامسة:
- منسوب المياه الجوفية عند سطح الأرض الطبيعية نعوض كما يلي:

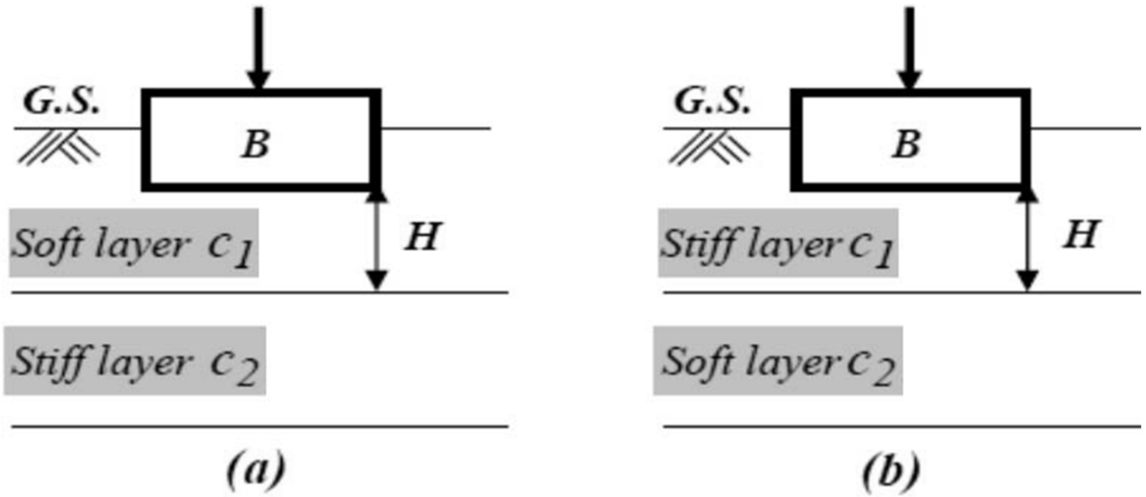
$$\gamma = \gamma' \ \ in \ \frac{1}{2}\gamma . B . N_\gamma \qquad q = \gamma' . D_f$$

التأسيس على ترب متطبقة

- **<u>الحالة 1 – التأسيس على ترب متماسكة Φ=0:</u>**
- عندما تكون الطبقة العليا أقوى من الطبقة الدنيا ($C_2/C_1 \leq 1$)
- عندما تكون الطبقة العليا أضعف من الطبقة السفلى ($C_2/C_1 > 1$)

$$H_{crit.} = 0.5B\tan(45 + \phi_1 / 2)$$

انهيار لدن



انهيار قص

• نحسب المعامل C_R وهو C_1/C_2 ويكون ضمن المجال $0.6 < C_R \leq 1.3$

من أجل $C_R \leqq 1$ يكون:

للأساس المستمر: $N_{c,s} = \frac{1.5d_1}{B} + 5.14C_R \leq 5.14$

للأساس الدائري: $N_{c,r} = \frac{3.0d_1}{B} + 6.05C_R \leq 6.05$

إذا كان **$C_R > 1$** يكون:

$$N_{c,i} = \frac{N_{1,i} \cdot N'_{2,i}}{N_{1,i} + N_{2,i}} \cdot 2$$

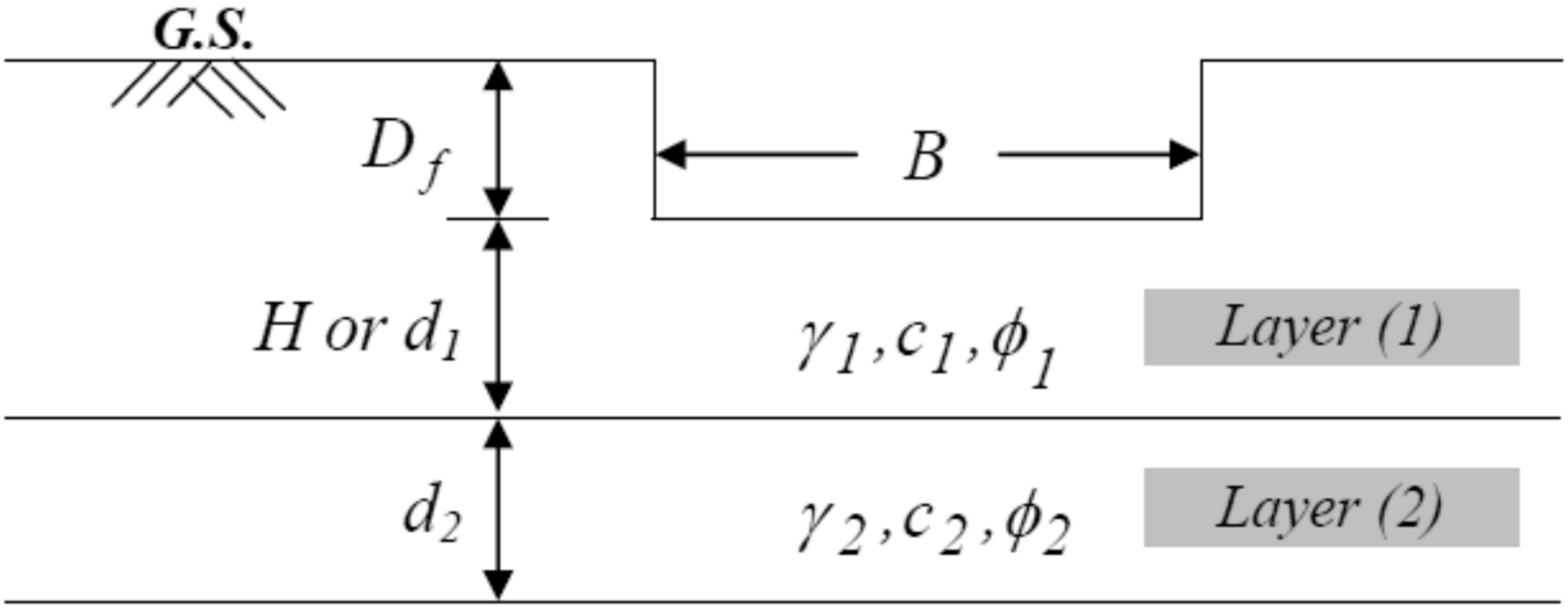
$$N_{1,s} = 4.14 + \frac{0.5B}{d_1} \quad \text{(strip)}$$

$$N_{2,s} = 4.14 + \frac{1.1B}{d_1}$$

$$N_{1,r} = 5.05 + \frac{0.33B}{d_1} \quad \text{(round base)}$$

$$N_{2,r} = 5.05 + \frac{0.66B}{d_1}$$

- **الحالة 2– التأسيس على ترب Φ, C:**



طريقة الحل:

- نحسب عمق الاختراق كما يلي: $H_{crit.} = 0.5B\tan(45 + \phi_1 / 2)$

فإذا كان: $H_{crit} > H$ نعدل قيم C و Φ كما يلي:

$$c^* = \frac{Hc_1 + (H_{crit.} - H)c_2}{H_{crit.}} \qquad \phi^* = \frac{H\phi_1 + (H_{crit.} - H)\phi_2}{H_{crit.}}$$

ومن ثم نحسب قدرة التحمل من العلاقة:

$$\boxed{q_{ult.} = c^* N_c S_c d_c + qN_q S_q d_q + 0.5\gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma}$$

- **<u>الحالة 2– التأسيس على ترب متطبقة من غضار ورمل:</u>**

a) رمل وتحته طبقة غضار   b) غضار وتحته طبقة رمل

1) نحسب قيمة $H_{crit} = 0.5 * B * \tan(45+\Phi_1/2)$ حيث Φ_1 للطبقة العليا

2) إذا كان $H_{crit} > H$ للحالتين a و b نحسب قدرة التحمل من العلاقة التالية:

$$q_{ult.} = q_b + \frac{p.Pv.K_s.\tan\phi_1}{A_f} + \frac{p.d_1c_1}{A_f} \le q_t$$

حيث q_t قدرة تحمل التربة بالنسبة للأساس للطبقة العلوية

q_b قدرة تحمل التربة بالنسبة للأساس للطبقة السفلى

- P محيط الثقب ويساوي

$\pi * D$ أو $2*(B+L)$

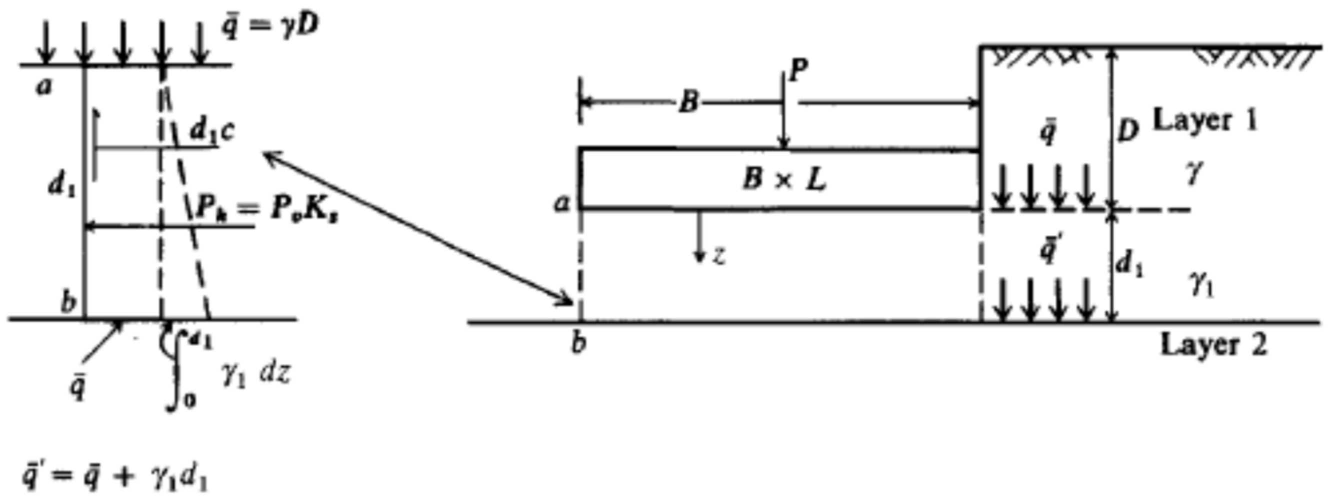
- P_V الضغط الشاقولي من

نعل الأساس إلى الطبقة السفلى

ويحسب من العلاقة التالية:

$$\int_0^d \gamma * h\,dh + \bar{q} d_1$$

- K_s ويحسب من العلاقة $k_o = 1 - \sin\Phi$



• إذا كانت Φ>0 (عضار أو رمل) تكون:

$$q_t = c_1 N_{c1} S_{c1} d_{c1} + \gamma_1 D_f N_{q1} S_{q1} d_{q1} + 0.5 B \gamma_1 N_{\gamma 1} S_{\gamma 1} d_{\gamma 1}$$

$$q_b = c_2 N_{c2} S_{c2} d_{c2} + \gamma_1 (D_f + H) N_{q2} S_{q2} d_{q2} + 0.5 B \gamma_2 N_{\gamma 2} S_{\gamma 2} d_{\gamma 2}$$

• إذا كانت Φ_u (غضار غير مصرف) تكون:

$$q_t = 5.14 S_u (1 + S'_c + d'_c) + \gamma_1 D_f$$

$$q_b = 5.14 S_u (1 + S'_c + d'_c) + \gamma_1 (D_f + H)$$

- **<u>إذا كان لدينا عدة طبقات ذات سماكة صغيرة من ترب c-Φ</u>**
- نحسب قيمة معدل التماسك من العلاقة:

$$c_{av} = \frac{c_1H_1 + c_2H_2 + c_3H_3 + \cdots + c_nH_n}{\sum H_i}$$

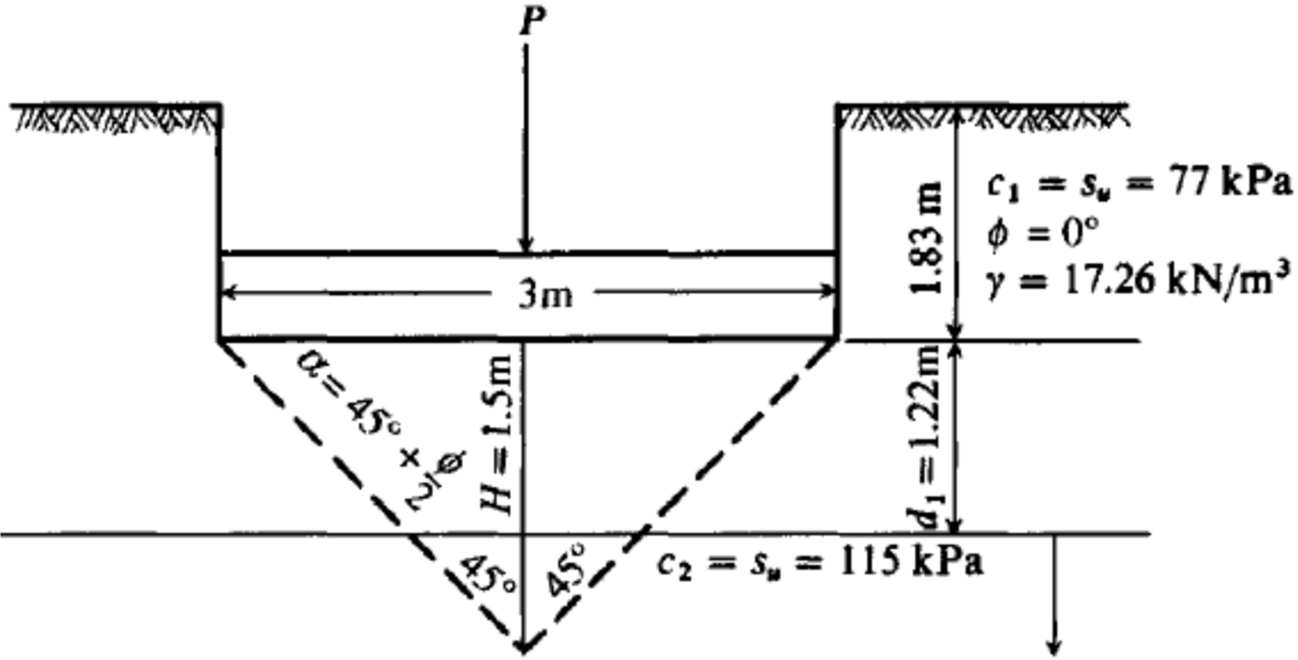
ومعدل زاوية الاحتكاك من العلاقة:

$$\phi_{av} = \tan^{-1} \frac{H_1 \tan \phi_1 + H_2 \tan \phi_2 + \cdots + H_n \tan \phi_n}{\sum H_i}$$

ونتعامل مع الطبقات كأنها طبقة واحدة

• **مسألة 1:**

• لدينا أساس أبعاده B=3m و L=6m يتوضع على طبقتين من الغضار كما يبين الشكل . المطلوب حساب قدرة التحمل الحدية.



$$H = 0.5B\tan\left(45° + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$= 0.5(3)\tan 45 = 1.5 \text{ m}$$

$$C_R = \frac{c_2}{c_1} = \frac{115}{77} = 1.5 > 1.0$$

$$\frac{d_1}{B} = \frac{1.22}{3} = 0.4$$

من الجداول:

$$N_{1,s} = 5.39 \qquad N_{2,s} = 6.89$$

وبالتالي تكون:

$$N_{c,i} = \frac{N_{1,i} * N_{2,i}}{N_{1,i} + N_{2,i}} * 2 = \frac{5.39 * 6.89}{5.39 + 6.89} * 2 = 6.05$$

ϕ	N_c	N_q	$N_{\gamma(H)}$	$N_{\gamma(M)}$	$N_{\gamma(V)}$
0	5.14*	1.0	0.0	0.0	0.0
5	6.49	1.6	0.1	0.1	0.4
10	8.34	2.5	0.4	0.4	1.2
15	10.97	3.9	1.2	1.1	2.6
20	14.83	6.4	2.9	2.9	5.4
25	20.71	10.7	6.8	6.8	10.9
26	22.25	11.8	7.9	8.0	12.5
28	25.79	14.7	10.9	11.2	16.7
30	30.13	18.4	15.1	15.7	22.4
32	35.47	23.2	20.8	22.0	30.2
34	42.14	29.4	28.7	31.1	41.0
36	50.55	37.7	40.0	44.4	56.2
38	61.31	48.9	56.1	64.0	77.9
40	75.25	64.1	79.4	93.6	109.3
45	133.73	134.7	200.5	262.3	271.3
50	266.50	318.5	567.4	871.7	761.3

- نحسب المعاملات إما وفق مايرهوف أو هانسن:

$$s'_c = \frac{0.2B}{L} = 0.2\left(\frac{3}{6}\right) = 0.1$$

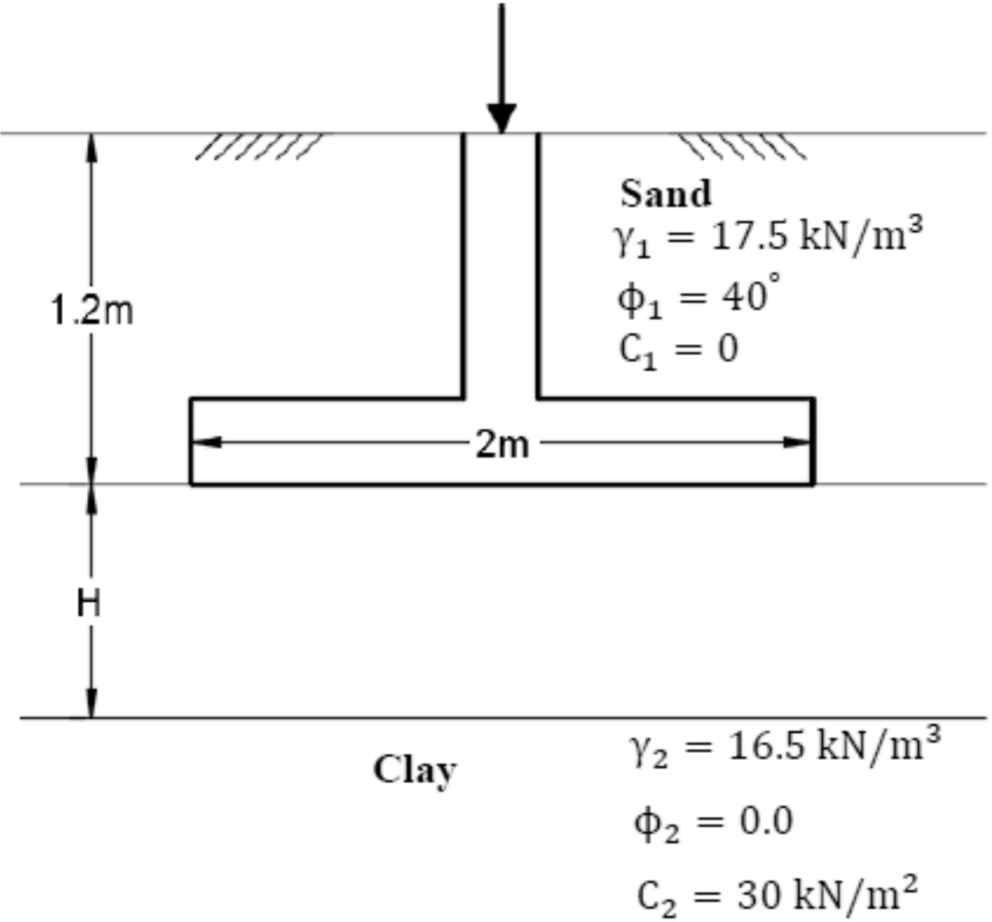
$$d'_c = \frac{0.4D}{B} = 0.4\left(\frac{1.83}{3}\right) = 0.24$$

$$s_q = d_q = 1$$

- من ثم نطبق بالمعادلة:

$$\begin{aligned} q_{\text{ult}} &= cN_c(1 + s'_c + d'_c) + \bar{q}N_q s_q d_q \\ &= 77(6.05)(1 + 0.1 + 0.24) + 1.83(17.26)(1)(1) \\ &= 624.2 + 31.5 = 655.7 \text{ kPa} \end{aligned}$$

مسألة 3 وفق مايرهوف

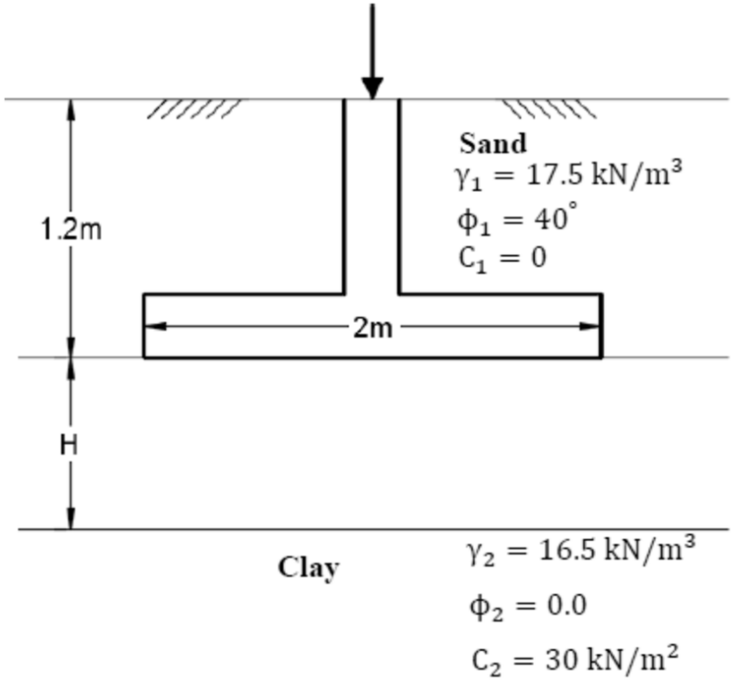


- يبين الشكل أساس مستمر
- إذا كان H=1.5m حدد قدرة التحمل الحدية.

- على أي عمق H لا يكون للغضار أي أثر على قدرة التحمل الحدية للأساس؟

الطلب 2:

- الخطوة الأولى يجب تحديد هل الطبقات قوية أم ضعيفة فنحسب قدرة تحمل كل طبقة على حدة كالتالي:



$$q_1 = c_1 N_{c(1)} + 0.5B\gamma_1 N_{\gamma(1)} \quad (c_1 = 0.0) \rightarrow q_1 = 0.5B\gamma_1 N_{\gamma(1)}$$

$$B = 2m \ , \ \gamma_1 = 17.5\ kN/m^3$$

$$\phi_1 = 40^\circ \rightarrow N_{\gamma(1)} = 109.41$$

$$\rightarrow q_1 = 0.5 \times 2 \times 17.5 \times 109.41 = 1914.675\ kN/m^2$$

$$q_2 = c_2 N_{c(2)} + 0.5B\gamma_2 N_{\gamma(2)} \quad (\phi_2 = 0.0) \rightarrow q_2 = c_2 N_{c(2)}$$

$$\phi_2 = 0^\circ \rightarrow N_{c(2)} = 5.14$$

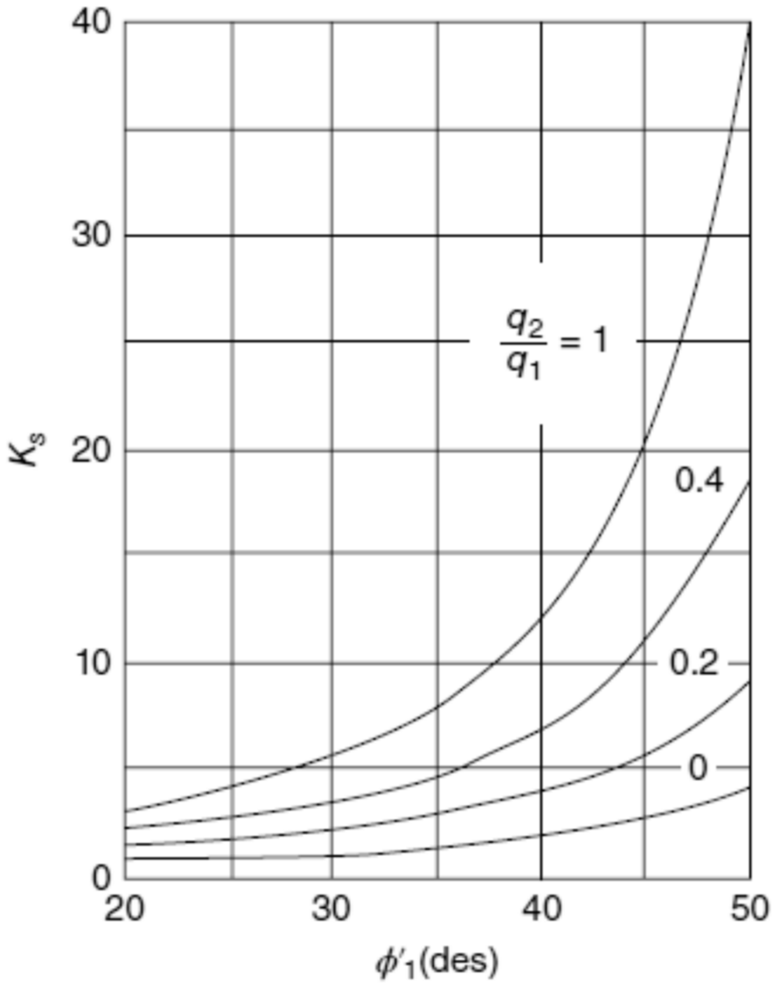
$$q_2 = 30 \times 5.14 = 154.2\ kN/m^2$$

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{154.2}{1914.675} = 0.08$$

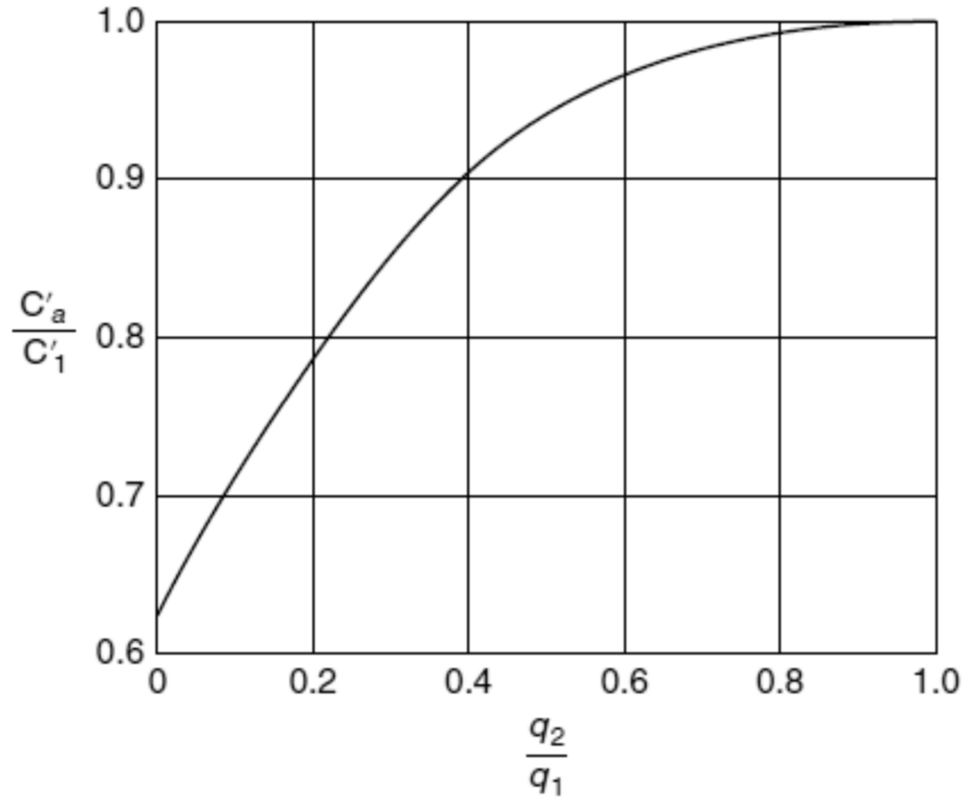
- إذا الطبقة العلوية هي القوية والطبقة السفلية هي الضعيفة.

من النسبة $q_2/q_1 = 0.08$ ومن Φ يمكن ان نوجد قيمة **K_s** (معامل قص الثقب) من المخطط التالي:

فتكون تقريبا **$K_s = 2.4$**.



ونحدد قيمة **c_a** من المخطط التالي نجدها = 0



من أجل أساس مستمر:

$$q_u = q_b + \frac{2c'_a H}{B} + \gamma_1 H^2\left(1 + \frac{2D_f}{H}\right)\frac{K_s \tan\phi'_1}{B} - \gamma_1 H \leqslant q_t$$

$$q_t = c_1 N_{c(1)} + q\, N_{q(1)} + 0.5B\gamma_1 N_{\gamma(1)}$$

$$c_1 = 0.0 \;\;,\;\; q = \gamma_1 \times D_f = 17.5 \times 1.2 = 21\text{kN/m}^2 \;\;,\;\; B = 2\text{m}$$

$$\phi_1 = 40^{\circ} \rightarrow N_{c(1)} = 75.31, N_{q(1)} = 64.2\,, N_{\gamma(1)} = 109.41$$

$$q_t = 0 + 21 \times\; 64.2 + 0.5 \times 2 \times 17.5 \times 109.41 = 3262.875\ \text{kN/m}^2$$

$$q_b = c_2 N_{c(2)} + q\, N_{q(2)} + 0.5B\gamma_2 N_{\gamma(2)}$$

$$c_2 = 30 \;\;,\;\; q = \gamma_2 \times (D_f + H) = 17.5 \times (1.2 + 1.5) = 47.25\ \text{kN/m}^2$$

$$\phi_2 = 0^{\circ} \rightarrow N_{c(2)} = 5.14, N_{q(2)} = 1\,, N_{\gamma(2)} = 0$$

$$q_b = 30 \times 5.14 + 47.25 \times\; 1 + 0 = 201.45\ \text{kN/m}^2$$

- بعد تحديد c_a=0

$$q_u = 201.45 + 0 + 17.5 \times 1.5^2 \left(1 + \frac{2 \times 1.2}{1.5}\right) \times \frac{2.4 \tan 40}{2} - 17.5 \times 1.5$$

$$q_u = 278 \text{ kN/m}^2 \checkmark.$$

- **<u>الطلب 2:</u>**
- كي نحدد العمق الأعظمي الذي يعدم تأثير الطبقة الغضارية على قيمة قدرة التحمل يجب أن تكون قيمة $q_{ult} = q_t$ ومنه يجب أن تكون q_b=0
- بالتعويض:

$$q_u = q_t = 0 + \frac{2c_a \times H}{B} + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) \times \frac{K_s \tan\phi_1}{B} - \gamma_1 \times H$$

$$3262.875 = 0 + 0 + 17.5 \times H^2 \left(1 + \frac{2 \times 1.2}{H}\right) \times \frac{2.4 \tan 40}{2} - 17.5 \times H$$

$$\rightarrow H = 12.92 \text{ m} \checkmark.$$

Table (3.3): Shape, depth, inclination, ground and base factors for use in Hansen or Vesic bearing capacity equations of Table (3.1). (1) Factors apply to either method unless subscripted with (H) or (V). **(2)** Use primed factors when $\phi = 0$.

Shape factors	Depth factors	Inclination factors	Ground Factors (Base on slope)
$S'_c = 0.2\frac{B}{L}$ $S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}.\frac{B}{L}$ $S_c = 1.0$ for strip $S_q = 1 + \frac{B}{L}\tan\phi$ $S_\gamma = 1 - 0.4\frac{B}{L}$	$d'_c = 0.4.k$ $d_c = 1 + 0.4.k$ $d_q = 1 + 2\tan\phi.(1-\sin\phi)^2 k$ $d_\gamma = 1.0$ for all ϕ $k = \frac{D_f}{B}$ for $\frac{D_f}{B} \le 1$ $k = \tan^{-1}\frac{D_f}{B}$ **(rad)** for $\frac{D_f}{B} > 1$	$i'_{c(H)} = 0.5 - 0.5\sqrt{1 - \frac{H}{A_f.C_a}}$ $i'_{c(V)} = 1 - \frac{m.H}{A_f.C_a.N_c}$ $i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$ (Hansen and Vesic) $i_{q(H)} = \left(1 - \frac{0.5H}{V + A_f C_a.\cot\phi}\right)^5$ $i_{q(V)} = \left(1 - \frac{H}{V + A_f C_a.\cot\phi}\right)^m$ $i_{\gamma(H)} = \left(1 - \frac{0.7H}{V + A_f C_a.\cot\phi}\right)^5$ for ($\eta = 0$) $i_{\gamma(H)} = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ/450)H}{V + A_f C_a.\cot\phi}\right)^5$ for ($\eta > 0$) $i_{\gamma(V)} = \left(1 - \frac{H}{V + A_f C_a.\cot\phi}\right)^{m+1}$	$g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$ For Vesic use: $N_\gamma = -2\sin\beta$ for $\phi = 0$ $g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$ $g_{q(H)} = g_{\gamma(H)} = (1 - 0.5\tan\beta)^5$ $g_{q(V)} = g_{\gamma(V)} = (1 - \tan\beta)^2$ **Base factors** (Tilted base) $b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$ $b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$ $b_{q(H)} = \exp(-2\eta.\pi\tan\phi/180)$ $b_{\gamma(H)} = \exp(-2.7\eta.\pi\tan\phi/180)$ $b_{q(V)} = b_{\gamma(V)} = (1 - \eta.\pi\tan\phi/180)^2$
Where e_B, e_L = Eccentricity of load from center of footing area A_f = Effective footing area B' x L' C_a = Adhesion to base = cohesion or a reduced value D_f = Depth of footing (used with B and not B') H = Horizontal component of load with $H \le C_a.A_f + V\tan\delta$ V = Total vertical load on footing β = Slope of ground away from base with downward = (+) δ = Friction angle between base and soil; usually $\delta = \phi$ for concrete on soil η = Tilt angle of base from horizontal with (+) upward as usual case. **GENERAL NOTES** 1. Do not use S_i in combination with i_i. 2. Can use S_i in combination with d_i, g_i, and b_i 3. For $L/B \le 2$ use $\phi_{tr.}$ For $L/B > 2$ use $\phi_{Ps} = 1.5\phi_{tr.} - 17$ For $\phi \le 34^\circ$ $\phi_{Ps} = \phi_{tr.}$		$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$ for **H** parallel to **B** $m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}$ for **H** parallel to **L** ***Note:*** $i_q, i_\gamma > 0$	*Note:* $\beta + \eta < 90^\circ$ and $\beta < \phi$