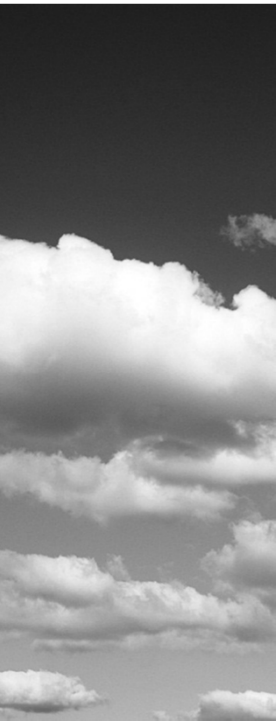


Foundation Engineering

2022-2023

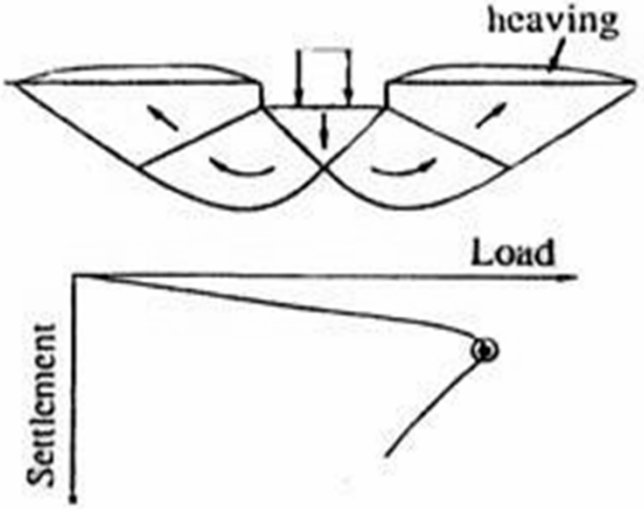
Second Lecture (2)

"Bearing Capacity & Setllement

(قدرة التحمل والهبوط)

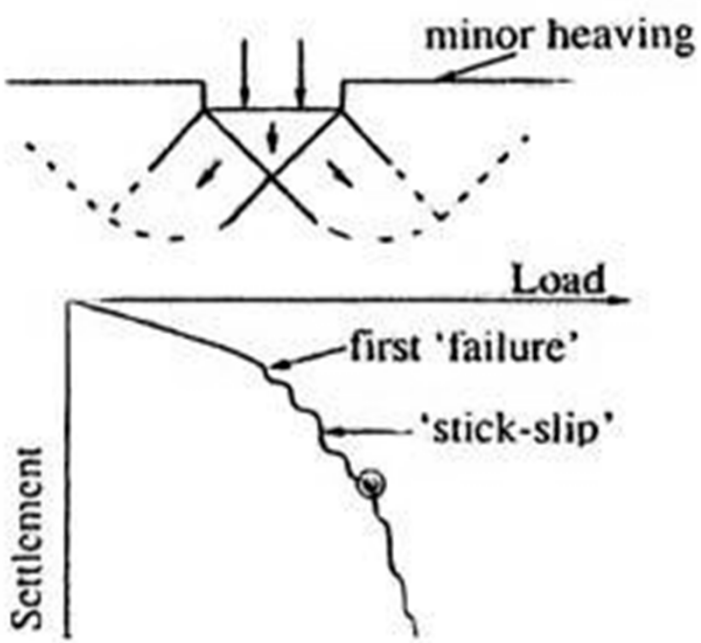
Dr. Maiasa Mlhem **د.مياسة ملحم**

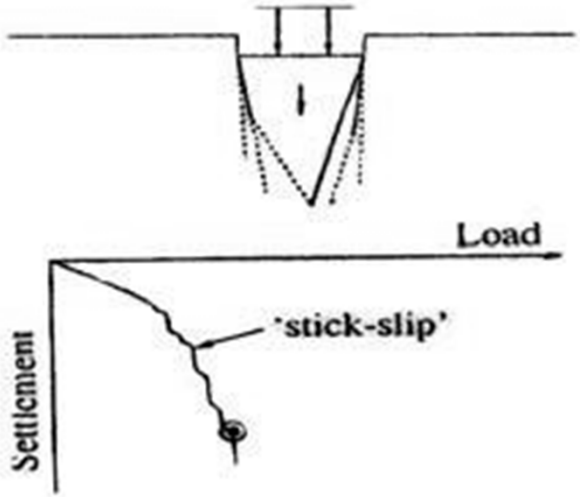
أنماط الانهيار



General Shear Failure
انهيار القص العام

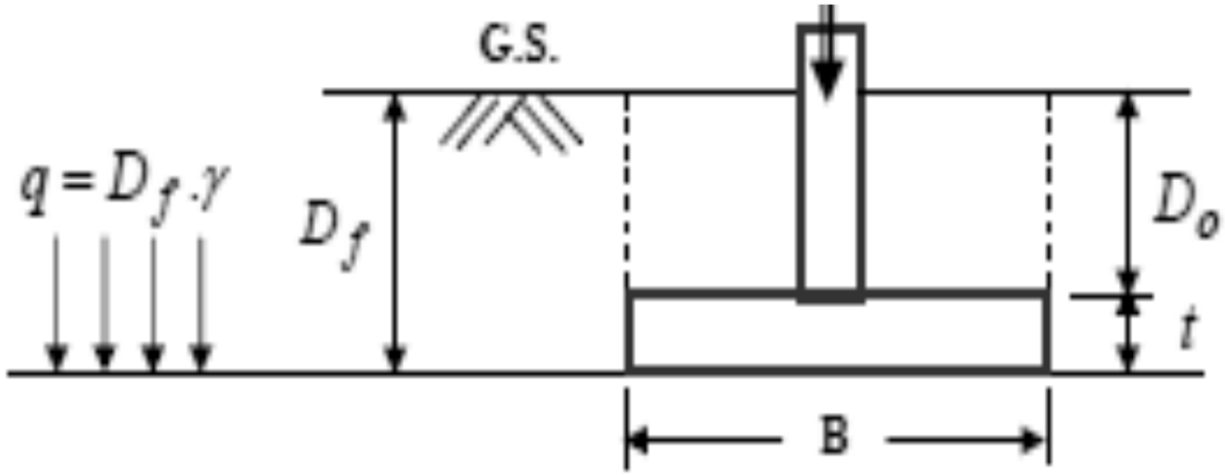
Local Shear Failure
انهيار القص المحلي





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: ($q_{ult.net}$)

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

قدرة تحمل التربة المسموحة الصافية

Net Allowable Bearing Capacity: ($q_{all.net}$)

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

- **عوامل الأمان في تصميم الأساسات:**

إن قيمة عامل الأمان عادة يتراوح بين 3-2.5 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.

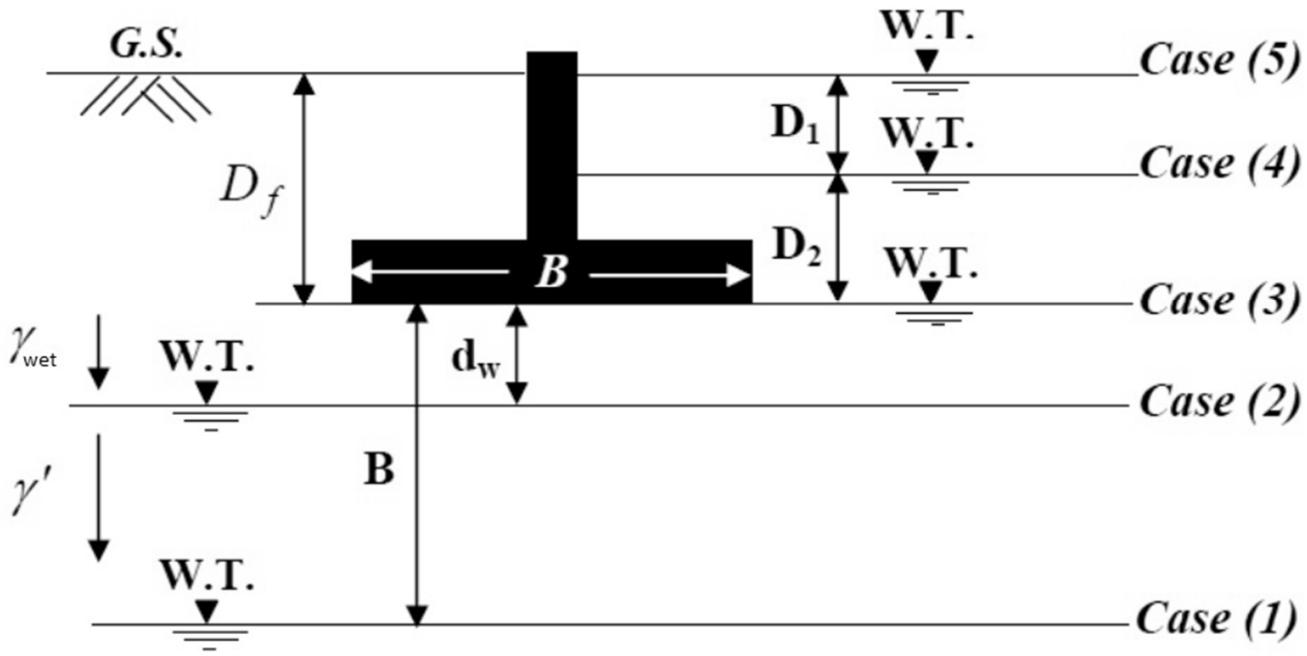
متطلبات قدرة التحمل

- **العمق الكافي**
- **الهبوط التفاضلي**
- **الأمان ضد الانهيار:** وهو عبارة عن شكلين رئيسيين من أشكال 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:

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

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 ´ɣ 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:

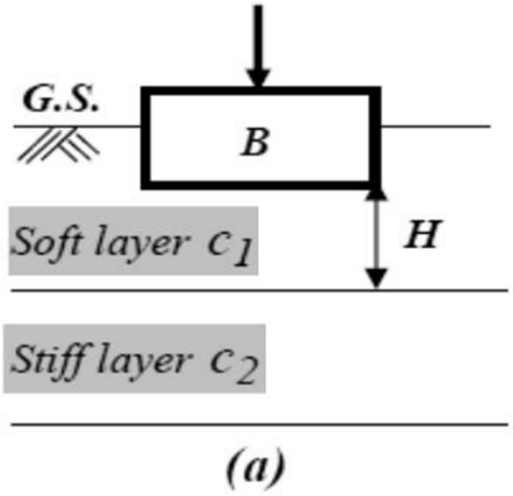
$$\gamma = \gamma' \ in \ \frac{1}{2}\gamma . B . N_\gamma \qquad q = \gamma' . D_f$$

التأسيس على ترب متطبقة

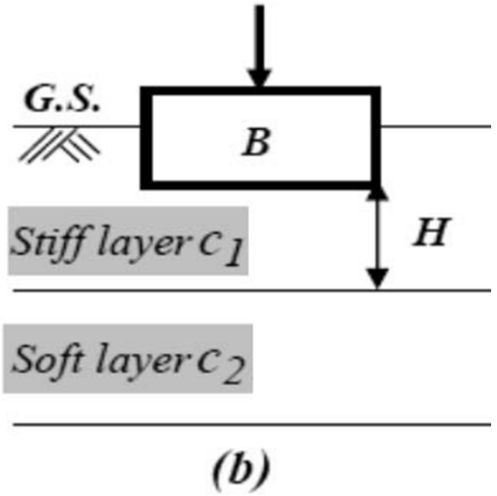
- **<u>الحالة 1 – التأسيس على ترب متماسكة Φ=0:</u>**
- عندما تكون الطبقة العليا أقوى من الطبقة الدنيا ($C_2/C_1 \leq 1$)
- عندما تكون الطبقة العليا أضعف من الطبقة السفلى ($C_2/C_1 > 1$)

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

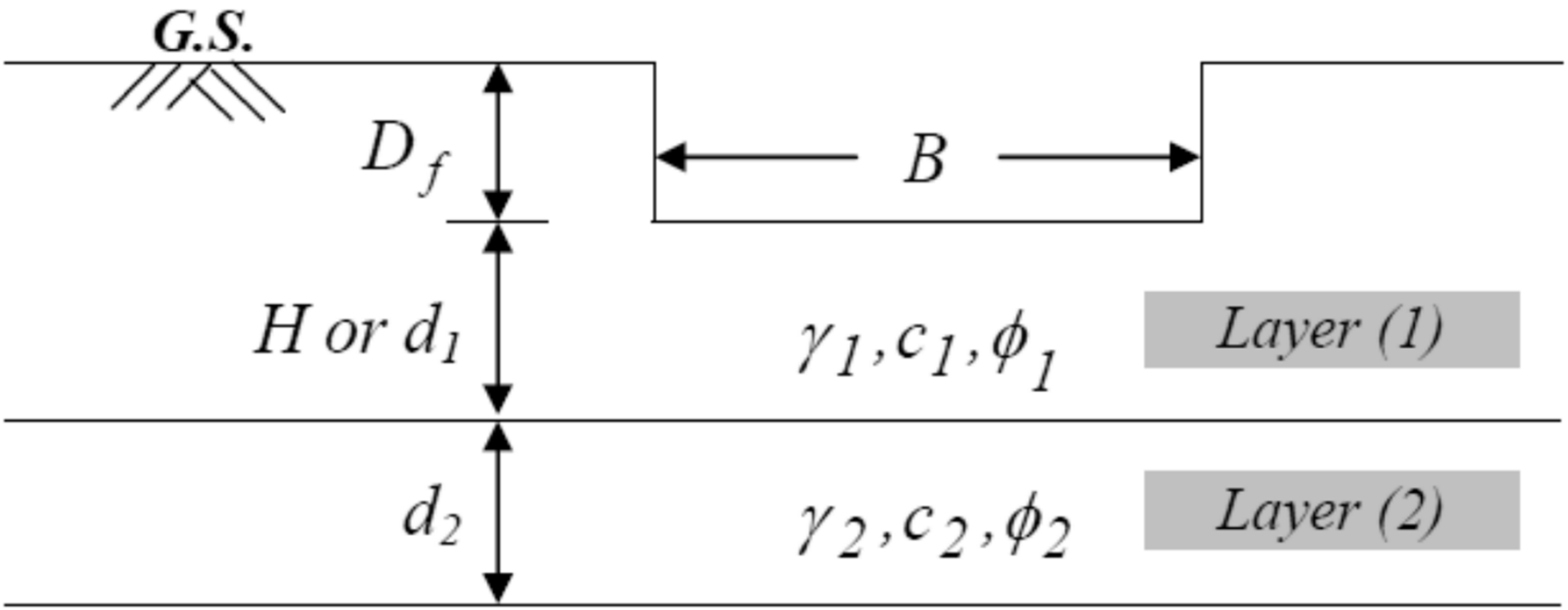
انهيار لدن



انهيار قص



- **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:

حيث q_t قدرة تحمل التربة بالنسبة للأساس للطبقة العلوية

q_b قدرة تحمل التربة بالنسبة للأساس للطبقة السفلى

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

- P محيط الثقب ويساوي

π*D أو 2*(B+L)

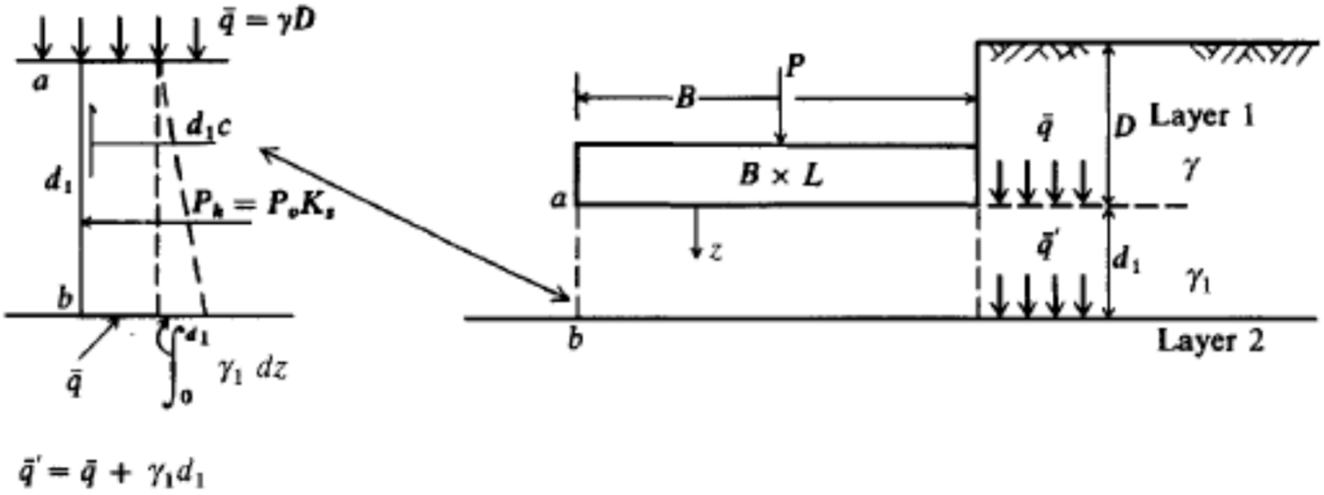
- P_V الضغط الشاقولي من

نعل الأساس إلى الطبقة السفلى

ويحسب من العلاقة التالية:

$$\int_0^d \gamma * hdh + \bar{q}d_1$$

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



- إذا كانت Φ>o 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:

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

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

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

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

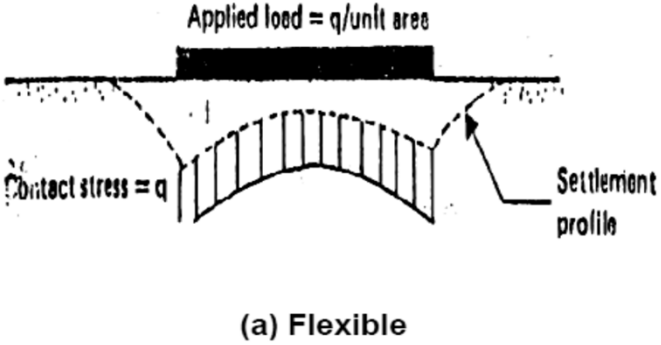
ومعدل زاوية الاحتكاك من العلاقة:

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

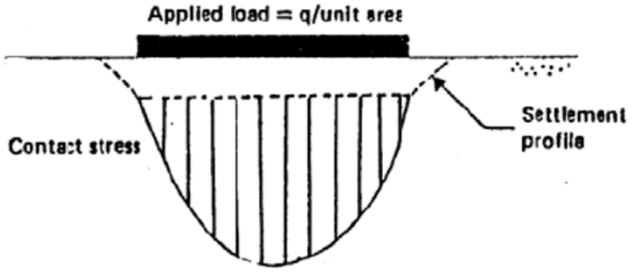
ونتعامل مع الطبقات كأنها طبقة واحدة

الهبوط

الأساس على ترب رملية

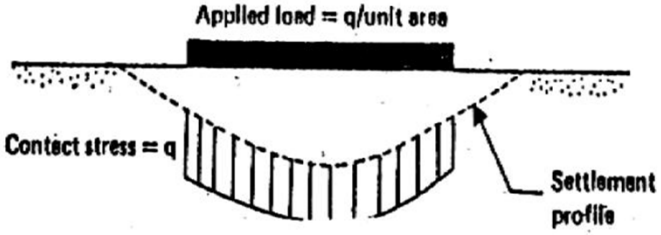


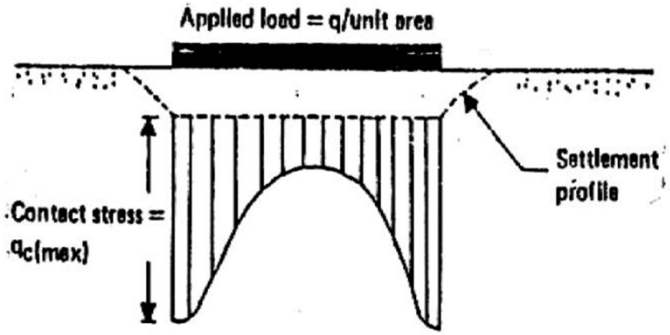
(a) Flexible



(b) Rigid

الأساس على ترب عضارية





وفق Borowicka 1938 لدينا المعيار التالي وهو Kr

$$k_r = \frac{1}{6}\left(\frac{1-\nu^2{}_s}{1-\nu^2{}_f}\right)\left(\frac{E_f}{E_s}\right)\left(\frac{T}{b}\right)^3$$

ν_s و ν_f معامل بواسون للتربة والأساس.

E_s, E_f معامل مرونة كل من التربة والأساس

T سماكة الأساس

b نصف عرض الأساس الشريطي أو نصف قطر الأساس الدائري

فحسب **قيم** K_r

إذا كانت = o الأساس مرن

إذا كانت = ∞ الأساس صلب

وفق Meyerhof (1953) وجد العلاقة التالية لتحديد فيما إذا كان الأساس صلب أم مرن:

$$K_r = \frac{EI_b}{E_s B^3}$$

حيث: E معامل مرونة الأساس

E_s معامل مرونة التربة

B عرض الأساس

I_b عزم عطالة الأساس بواحدة الطول من الجهة اليمينة لـ B.

فإذا كان $K_r \geqq 0.5$ يعتبر الأساس صلب أما كان $K_r > 0.5$ يكون الأساس مرنا

مركبات الهبوط الكلي

الهبوط الآني S_i: يحدث نتيجة التشوه المرن لجزيئات التربة فور التحميل وبدون تغير في رطوبة التربة.

هبوط الانضغاطية الأولي S_c: يحدث نتيجة التغير الحجمي في الترب الناعمة المشبعة نتيجة خروج الماء من الفراغات في كتلة التربة مع الزمن.

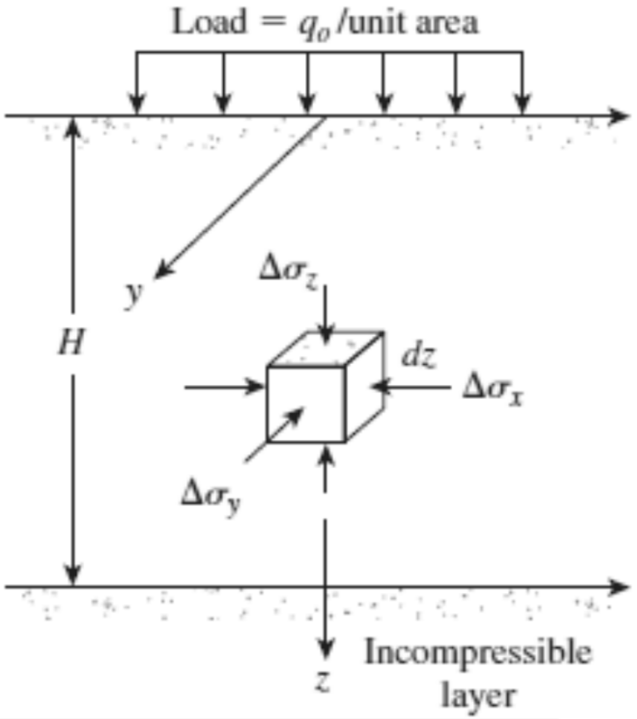
هبوط الانضغاطية الثاني S_{sc}: يحدث بعد انتهاء الهبوط الأولي نتيجة التشوه اللدن لحبيبات التربة (إعادة توجه الحبيبات). هذا المكون يشكل الجزء الرئيسي من الهبوط في الترب العالية العضوية والخث.

طرق حساب الهبوط الآني

يوجد عدة طرق لحساب الهبوط الآني المرن للأساسات السطحية.
ولكن سنناقش فقط الطرق التالية:

- طريقة نظرية المرونة للترب الحبيبية أو الغضارية المشبعة جزئياً.
- طريقة Schmertmann للترب الحبيبية
- طريقة Bjerrum للترب الغضارية غير المصرفة.

طريقة نظرية المرونة



يتم حساب الهبوط وفق العلاقة التالية:

$$S_e = \int_0^H \varepsilon_z * dz = \frac{1}{E_s} \int_0^H (\Delta\sigma_z - \mu_s \Delta\sigma_x - \mu_s * \Delta\sigma_y) * dz$$

حيث:

S_i الهبوط المرن - E_s معامل مرونة التربة - H سماكة طبقة التربة - μ_s نسبة بواسون للتربة

$\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\sigma_z$ الزيادة الاجهادية الناتج عن حمل الأساس الصافي المطبق في الاتجاهات X, Y, Z

وإذا كان الأساس مرنا تماما فيعبر عن الهبوط بالعلاقة التالية:

$$S_{i(flexible)} = q_0 * (\alpha B') * \frac{1-\mu_s^2}{E_s} * I_s * I_f$$

q_o الضغط الصافي المطبق على الأساس

E_s معدل معامل مرونة التربة تحت الأساس يقاس من z=o إلى z=5B

H سماكة طبقة التربة

$$B' = \frac{B}{2} \quad center$$
$$B' = B \quad corner$$

B' يكون **B/2** لمركز الأساس و **B** لزاوية الأساس

$\mathbf{I_s}$ معامل الشكل

$\mathbf{I_f}$ معامل العمق وهو مرتبط بـ $\mathbf{D_f/B}$ و **L/B** و μ_s

α معامل يعتمد على موقع النقطة التي يحسب عندها الهبوط تحت الأساس

		B/L		
μ_s	D_f/B	0.2	0.5	1.0
0.3	0.2	0.95	0.93	0.90
	0.4	0.90	0.86	0.81
	0.6	0.85	0.80	0.74
	1.0	0.78	0.71	0.65
0.4	0.2	0.97	0.96	0.93
	0.4	0.93	0.89	0.85
	0.6	0.89	0.84	0.78
	1.0	0.82	0.75	0.69
0.5	0.2	0.99	0.98	0.96
	0.4	0.95	0.93	0.89
	0.6	0.92	0.87	0.82
	1.0	0.85	0.79	0.72

فإذا أردنا حساب الهبوط تحت مركز الأساس يكون: $\alpha=4\ ,\ m'=L/B,\ n'=H/(B/2)$

وإذا أردنا حساب الهبوط عند طرف الأساس يكون: : $\alpha=1\ ,\ m'=L/B,\ n'=H/B$

وبدلالة **m'** و **n'** نحسب معاملات F_1 و F_2 من جداول ومن ثم نحسب بدلالتهم I_s من العلاقة:

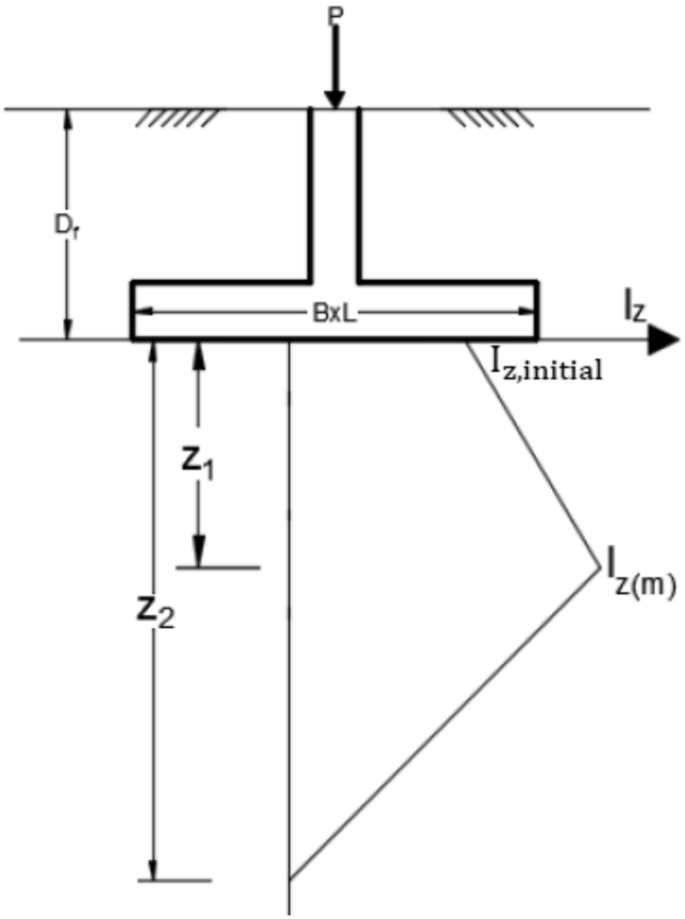
$$= F_1 + \frac{1-2\mu_s}{1-\mu_s} F_2$$

وبسبب عدم تجانس ترسبات وتطبقاتها الترب نحسب معدل معامل المرونة من العلاقة التالية:

$$E_{s(avg.)} = \frac{\sum E_{s(i)} * H_i}{\overline{Z}}$$

حيث $\bar{z}$ = **H** أو **5B** أيهما أصغر

طريقة Schmertmann (1978)



استخدام معامل تأثير التشوه:

تعتمد هذه الطريقة على مقاومة الاختراق إما بواسطة جهاز الاختراق q_c أو بجهاز الاختراق النظامي حيث يتم رسم مخطط معامل تأثير التشوه.

ويحسب الهبوط من العلاقة التالية:

$$S_e = C_1 * C_2 * (\bar{q} - q) \sum_{0}^{z_2} \frac{I_z}{E_s} * \Delta z$$

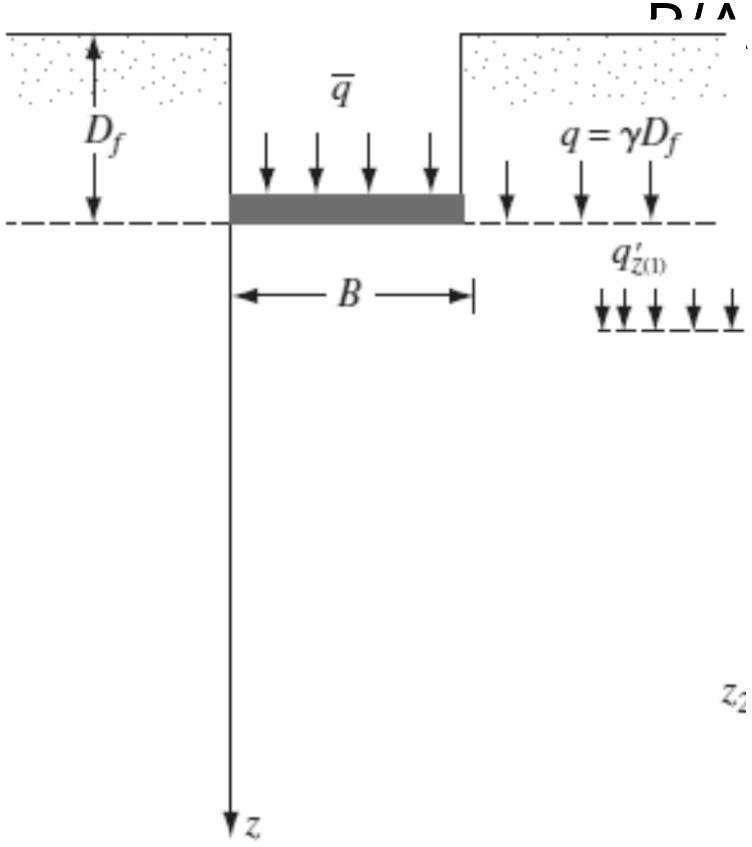
$$S_e = C_1 * C_2 * (\bar{q} - q) \sum_0^{z_2} \frac{I_z}{E_s} * \Delta z$$

حيث:

I_z معامل تأثير التشوه

$\bar{q}$ الاجهاد الكلي عند سطح الأساس الناتج من

$q = \gamma * D_f$ الاجهاد الفعال عند نعل الأساس



Δz سماكة كل طبقة من طبقات التربة (m)

C_1 معامل تصحيح العمق $1 - 0.5\left[\frac{q}{(\bar{q} - q)}\right] \geq 0.5$

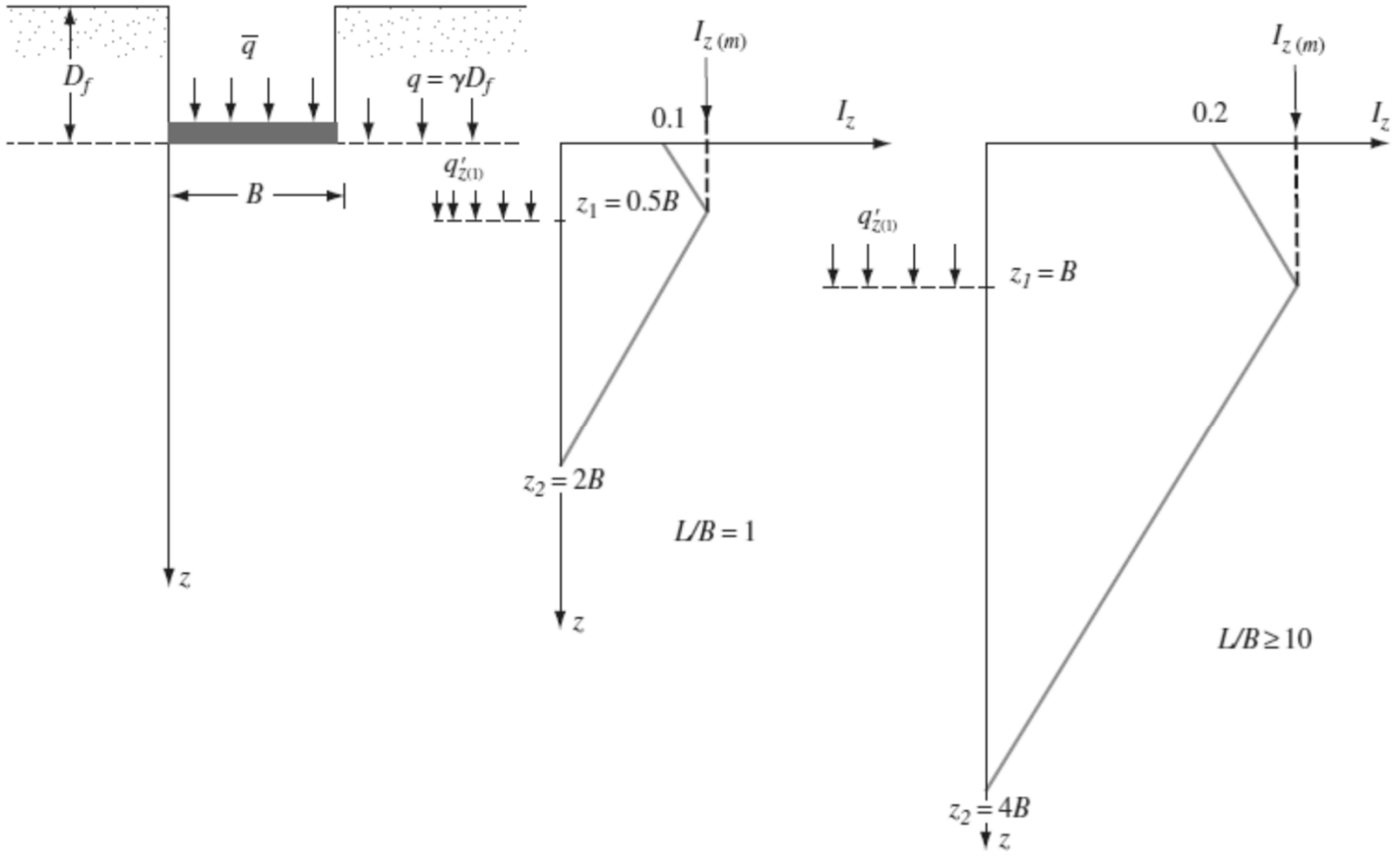
C_2 معامل تصحيح الزحف المرتبط بالهبوط =

$$1 + 0.2 \log_{10} \frac{t(years)}{0.1}$$

E_s معامل مرونة التربة

$$I_{z\max} = 0.5 + 0.1\sqrt{\frac{\bar{q} - q}{q'_{z(1)}}}$$

وهو القيمة الأعظمية للمعامل I_z حيث $q'_{z(1)}$ هو الاجهاد الفعال
عند العمق z_1 قبل انشاء الأساس



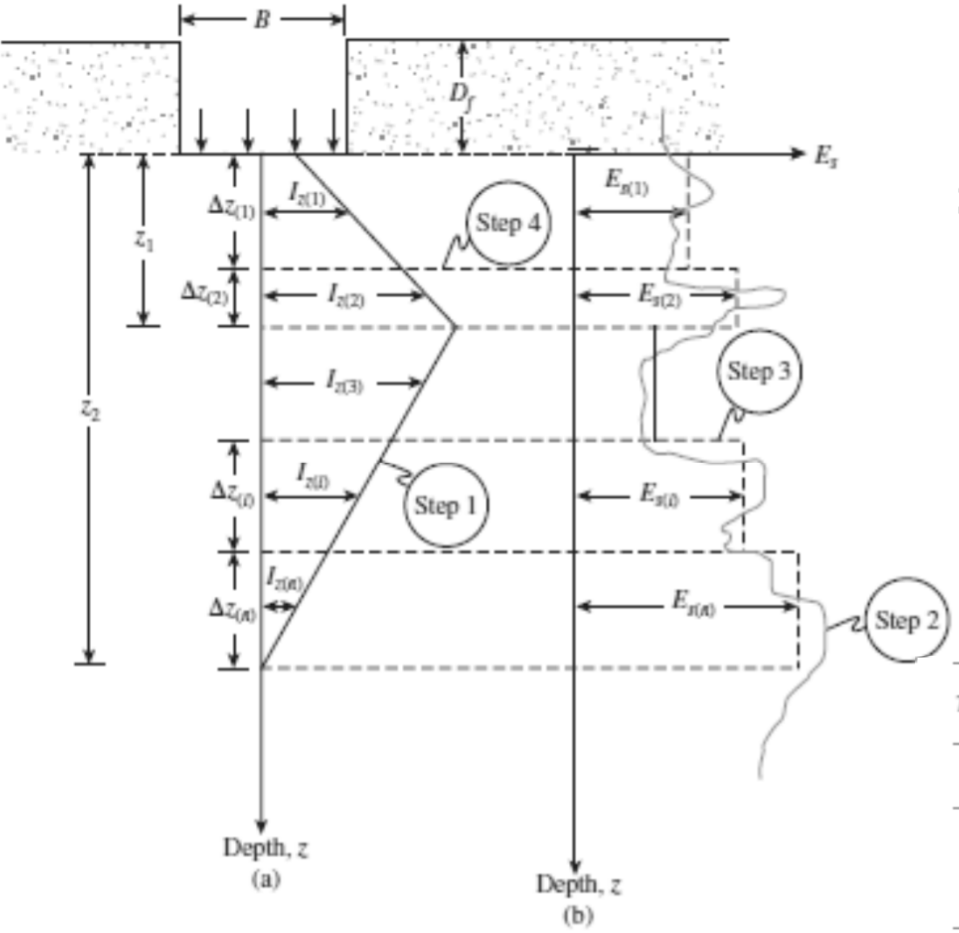
اقترح Schmertmann علاقة بين مقاومة الاختراق وبين معامل المرونة

$$E_s = 2.5q_c \text{ (for square foundation)}$$

$$E_s = 3.5q_c \text{ (for } L/B \geq 10)$$

$$S_i = \frac{C_1 C_2}{2.5} \Delta p \sum_0^{2B} \frac{I_z \Delta z}{q_c}$$

$$S_i = \frac{C_1 C_2}{3.5} \Delta p \sum_0^{4B} \frac{I_z \Delta z}{q_c}.$$



خطوات حساب الهبوط المرن

Step 1 - نرسم الأساس ومخطط تغير I_z مع العمق وفقا لمقياس

Step 2 – نستخدم قيمة N_{60} أو q_c لرسم التغير الفعلي لمعامل المرونة E_s مع العمق

Step 3 – نقارب التغير الفعلي لمعامل المرونة بتقسيمه إلى طبقات ذات معامل مرونة ثابت .... , $E_{s(2)}$, $E_{s(1)}$

Step4 – نقسم طبقات التربة من z=0 إلى $z=z_2$ ضمن طبقات أفقية. عدد الطبقات يعتمد مخطط E_s.

Step 5 – نجهز جدول للحصول على $\Sigma(I_z/E_s)^*\Delta z$

Step 6 – نحسب C_1 و C_2

Step 7 – نحسب قيمة الهبوط من العلاقة.

Table 5.11 Calculation of $\Sigma\frac{I_z}{E_s}\Delta z$

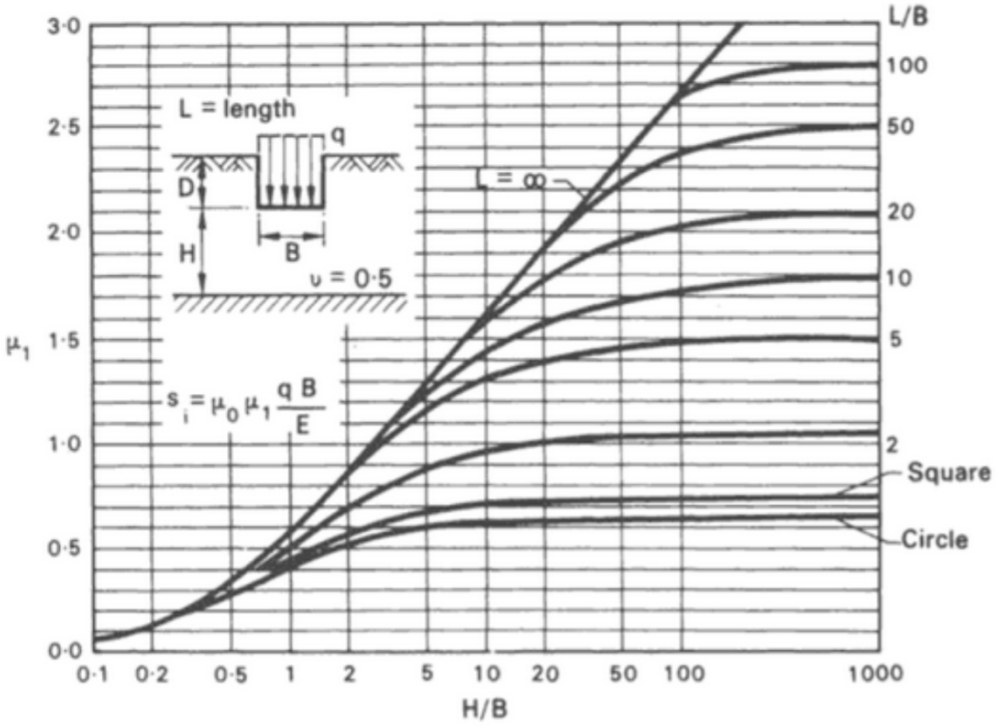
Layer no.	Δz	E_s	I_z at the middle of the layer	$\frac{I_z}{E_s}\Delta z$
1	$\Delta z_{(1)}$	$E_{s(1)}$	$I_{z(1)}$	$\frac{I_{z(1)}}{E_{s(1)}}\Delta z_1$
2	$\Delta z_{(2)}$	$E_{s(2)}$	$I_{z(2)}$	
⋮	⋮	⋮	⋮	
i	$\Delta z_{(i)}$	$E_{s(i)}$	$I_{z(i)}$	$\frac{I_{z(i)}}{E_{s(i)}}\Delta z_i$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	$\Delta z_{(n)}$	$E_{s(n)}$	$I_{z(n)}$	$\frac{I_{z(n)}}{E_{s(n)}}\Delta z_n$
				$\Sigma\frac{I_z}{E_s}\Delta z$

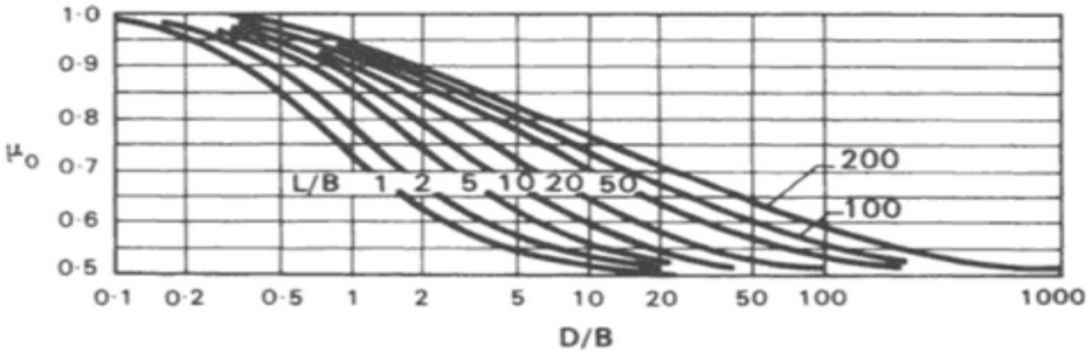
لدينا العلاقات التالية لاستخدام قيمة N_{60} في حساب الهبوط كما يلي:

$$S_e(\text{mm}) = \frac{1.25 q_{\text{net}}(\text{kN/m}^2)}{N_{60} F_d} \quad (\text{for } B \leqslant 1.22 \text{ m})$$

$$S_e(\text{mm}) = \frac{2 q_{\text{net}}(\text{kN/m}^2)}{N_{60} F_d} \left(\frac{B}{B + 0.3} \right)^2 \quad (\text{for } B > 1.22 \text{ m})$$

حيث F_d معامل العمق = $1+0.33*(D_f/B)$
B عرض الأساس
S_e الهبوط





طريقة

Bjerrum

لحساب معدل الهبوط لطبقات التربة الغضارية

$$S_{i\,(average)\,flexible} = \mu_o * \mu_1 * \frac{q * B}{E_u}$$

حيث μ_o و μ_1 معاملات لعمق التأسيس
وسماكة طبقة التربة تحت الأساس
نحصل عليها من الأشكال

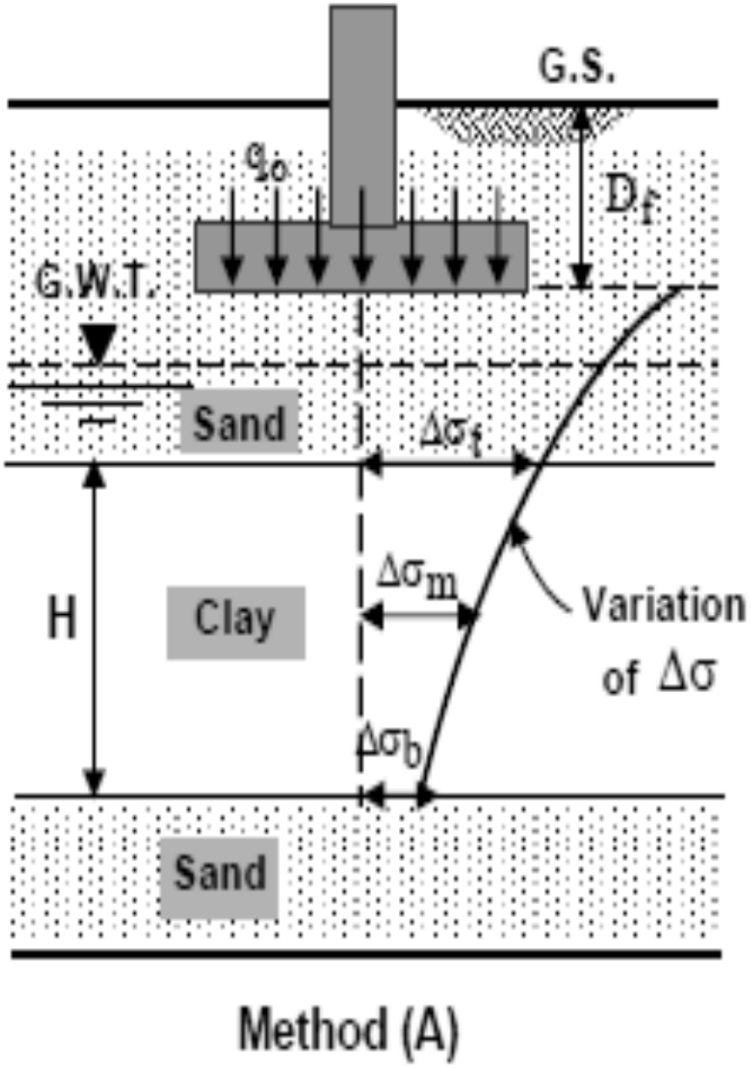
هبوط الانضغاطية الأولي

طريقة قرينة الانضغاطية C_c:

تستخدم هذه الطريقة للترب الغضارية المنضغطة مسبقاً والمنضغطة طبيعيا
تحسب مخبرياً أو من العلاقات التجريبية التالية:

$C_c = 0.009*(LL-10)$ (Terzaghi & Peck, 1948)

$C_c \approx 0.5*\rho_s*PI/100$ (Worth, 1979)



Method (A)

الطريقة A:

1) نحسب الاجهاد الفعال σ_o' في مركز طبقة الغضار قبل تطبيق الحمولات.

2) نحسب تزايد الاجهاد في منتصف الطبقة الغضارية باستخدام قاعدة Simpson:

$$\Delta\sigma_{avg.} = \frac{1}{6} * (\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b)$$

3) باستخدام σ_o' و $\Delta\sigma_{avg.}$ المحسوبة سابقا نستطيع حساب Δe من المعادلة التالية أيهما قابل للتطبيق:

- إذا كان $\sigma_o' < \sigma_p'$ تكون التربة under consolidate ونحسب Δe كما يلي:

$$\Delta e = C_C * \log_{10} \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma_{avg.}}{\sigma_p'}$$

- إذا كان $\sigma_o' = \sigma_p'$ أي (OCR=1) التربة منضغطة طبيعياً:

$$\Delta e = C_C * \log_{10} \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma_{avg.}}{\sigma_o'}$$

- إذا كانت (OCR>1) تكون التربة مسبقة الانضغاط وهناك حالتي :

$$\sigma'_p > \sigma'_o + \Delta\sigma_{avg.}$$

تحسب Δe من العلاقة:

$$\Delta e = C_S * \log_{10} \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma_{avg.}}{\sigma'_o}$$

$$\sigma'_o < \sigma'_p < \sigma'_o + \Delta\sigma_{avg.}$$

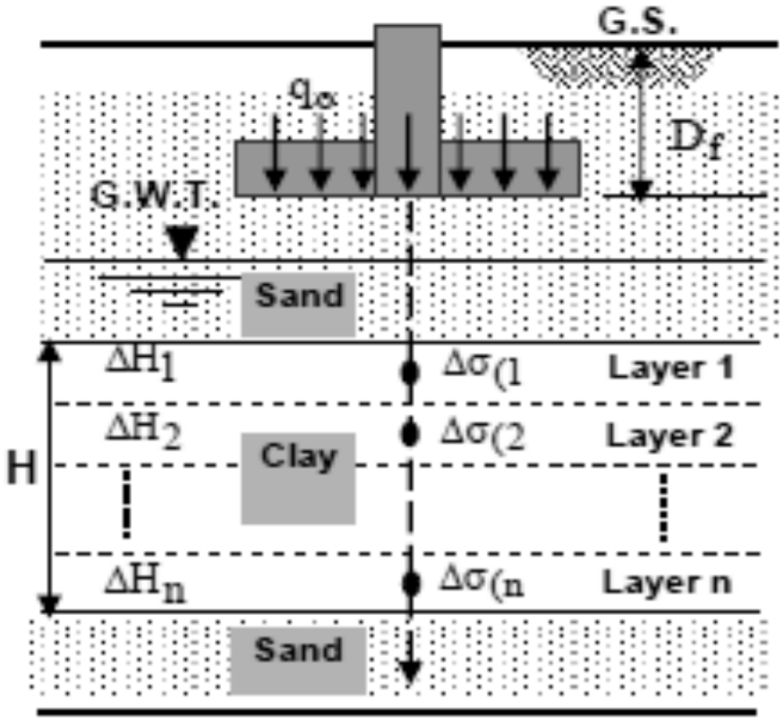
تحسب Δe من العلاقة:

$$\Delta e = C_C * \log_{10} * \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma_{avg.}}{\sigma'_p} + C_S * \log_{10} \frac{\sigma'_p}{\sigma'_o}$$

4) وبالتالي نحسب هبوط الانضغاطية من العلاقة:

$$S_C = \frac{\Delta e}{1 + e_0} * H_t$$

$$e_0 = \omega_0 * G_s$$



Method (B)

الطريقة B:

1) إذا كانت طبقة الغضار سميكة، نحصل على نتائج أفضل
إذا تم تقسيم الطبقة نفسها إلى طبقات فرعية عددها n.

2) نحسب الاجهاد الفعال $\sigma_{o\,(i)}'$ في منتصف كل طبقة من الطبقات الفرعية (بعد التقسيم)

3) نحسب تزاد الاجهاد $\Delta\sigma_{(i)}$ نتيجة تطبيق الحمولة عند منتصف كل طبقة فرعية (بعد التقسيم)

4) نحسب قيمة $\Delta e_{(i)}$ وفق المعادلات المبينة سابقا حسب الحالة المناسبة للتطبيق.

5) حساب هبوط الانضغاطية الكلي في طبقة الغضار من العلاقة التالية

Layer	Values at mid-point of each sub-layer						
	$\sigma'_{o(i)}$	$\Delta\sigma_{(i)}$	$\Delta e_{(i)}$	ω_o	e_o	ΔH_i	$\frac{\Delta e_{(i)}}{1+e_o}\Delta H_i$
1							
2							
3							

$$S_C = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta e_i}{1+e_0} \Delta H_i$$

$$e_0 = \omega_0 * G_s$$

طريقة الأودومتر أو معامل m_v:

$$m_v = \frac{1}{\Delta P} * \frac{\Delta H}{H_t}$$

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_0}$$

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta P}$$

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1+e_0} H_t$$

$$\Delta H = S_C = m_v * H_t * \Delta P$$

a_v معامل انضغاطية عينة التربة

e_0 نسبة الفراغات الابتدائية في التربة

Δe التغير في نسبة الفراغات نتيجة التغير في الضغط ΔP

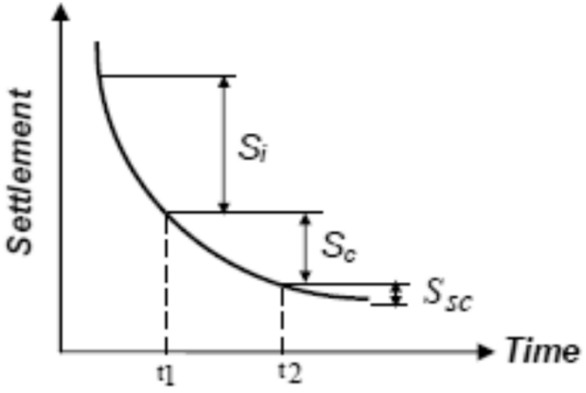
$\Delta P = \Delta \sigma$ التغير في الاجهاد

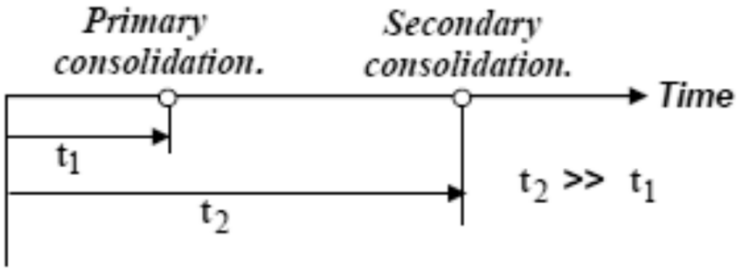
H_t السماكة الكلية لطبقة التربة الغضارية.

ΔH التغير في السماكة

m_v معامل الانضغاط الحجمي لعينة التربة المحدد من تجربة الاودومتر

هبوط الانضغاطية الثاني





يحسب من العلاقة:

$$S_s = \frac{H \times C_\alpha}{1 + e_p} \times \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$$

حيث:

S_{Cs} هبوط الانضغاطية الثاني

C_α معامل الانضغاطية الثاني ويتم الحصول عليه من الجدول.

e_p نسبة الفراغات عند نهاية مرحلة الانضغاطية الأولي

H سماكة طبقة التربة الغضارية

t_1 زمن هبوط الانضغاطية الأولي

t_2 زمن هبوط الانضغاطية الثاني

– نسبة أو درجة الهبوط:

إنها نسبة الانضغاطية في أي زمن t منسوبا إلى الانضغاطية 100% عندما يتلاشى الضغط المسامي كله. يحسب كما يلي:

يحسب معامل الانغضاطية من تجربة الاودومتر كما يلي:

$$C_V = \frac{k}{m_v * \gamma_w}$$

معامل الزمن T_V يحسب من العلاقة:

$$T_v = \frac{C_v * t}{(H_d)^2}$$

حيث H_d (مسار التصريف) ويكون H = إذا كان تصريف أحادي المسار

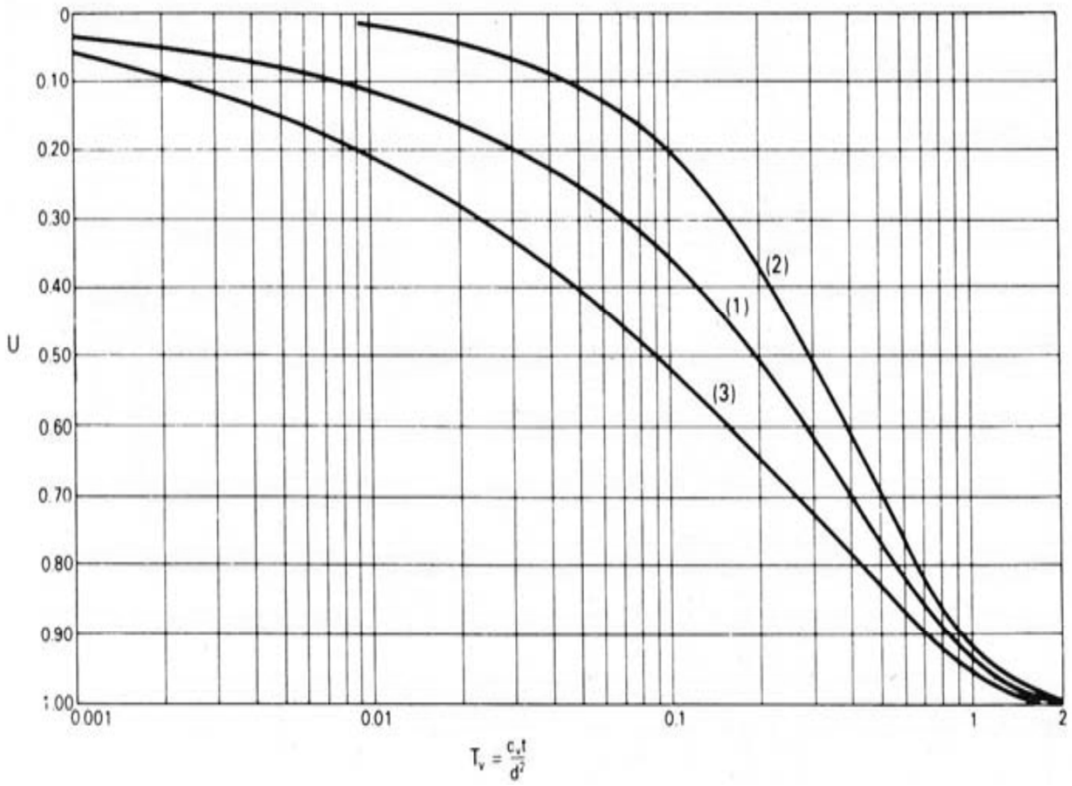
أو H/2 = إذا كان التصريف ثنائي المسار

بعد حساب قيمة T_V يمكن تحديد درجة الانضغاطية U% في أي زمن من مخطط بالاعتماد على توزع ضغط الماء المسامي أو بحسب إحدى المعادلات التالية:

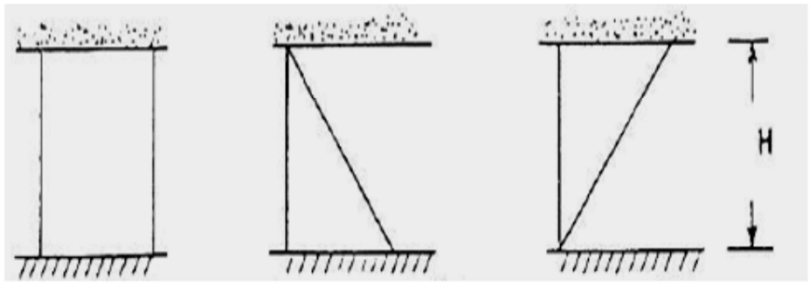
$$T_V = \frac{\pi}{4} * (\frac{U\%}{100}) \qquad for \qquad U \le 60\%$$

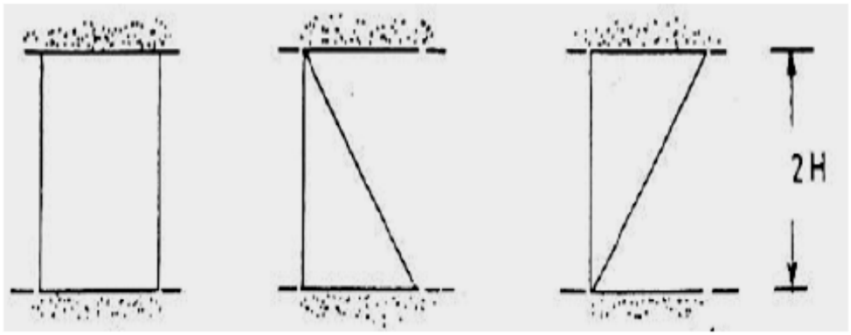
$$T_V = 1.781 - 0.933 \log_{10}(100 - U\%) \qquad for \qquad U > 60\%$$

منحنيات توزع الضغط المسامي



1-D drainage





من درجة الانضغاطية U% في أي زمن t، يمكن أن نحسب الهبوط في أي زمن من العلاقة التالية إذا كان معروف لدينا الهبوط الكلي:

$$U_t = \frac{S_t}{S_\infty}$$

$$S_\infty = S_T = S_i + S_c + S_{CS}$$

تعتمد U% على توزع ضغط الماء المسامي باستخدام الأشكال لنوجد U_t في أي وقت. ولكن لأشكال أخرى من توزع الضغط نقسمه كما تبين الأمثلة التالية:

$$U_A = \frac{U_B * A_B + U_C * A_C}{\sum A}$$