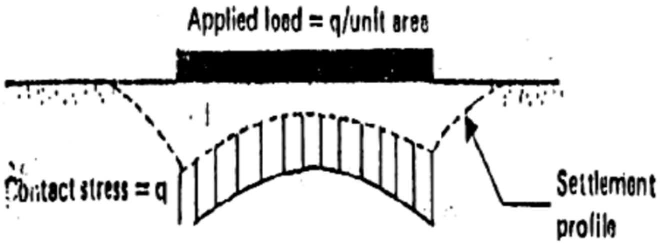
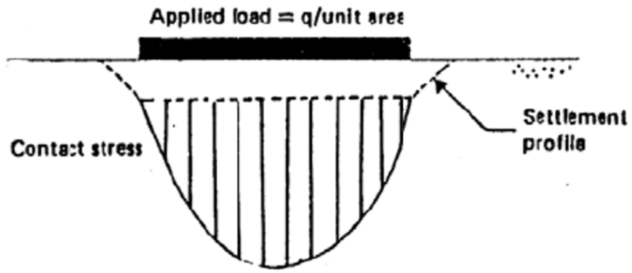
Foundation Engineering
2020-2021
المحاضرة الرابعة(4)
“Settlement
الهبوط”

• Dr. Maiasa Mlhem د.مياسة ملحم

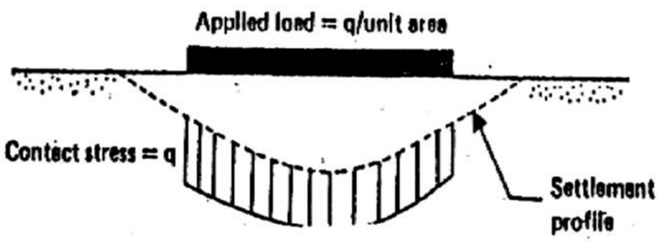


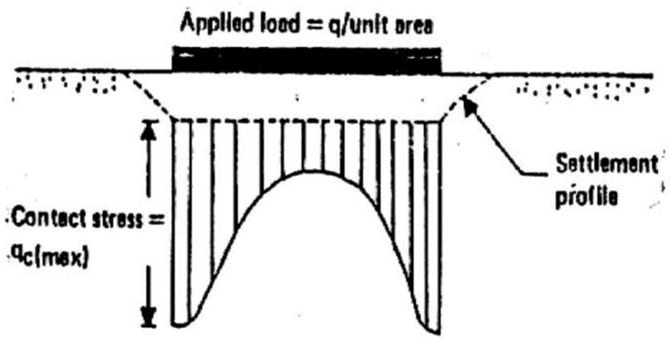
(a) Flexible



(b) Rigid

الأساس على ترب رملية





الأساس على ترب غضارية

Dr.Maiasa Mlhem

وفق Borowicka 1938

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

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

حسب قيم K_r

إذا كانت = 0 الأساس مرن

إذا كانت = ∞ الأساس صلب

وفق Meyerhof (1953) (التي نعتمدها في حلنا) 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 $0.5 \leqq K_r$ 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.

Dr.Maiasa Mlhem

طرق حساب الهبوط الآني

Dr.Maiasa Mlhem

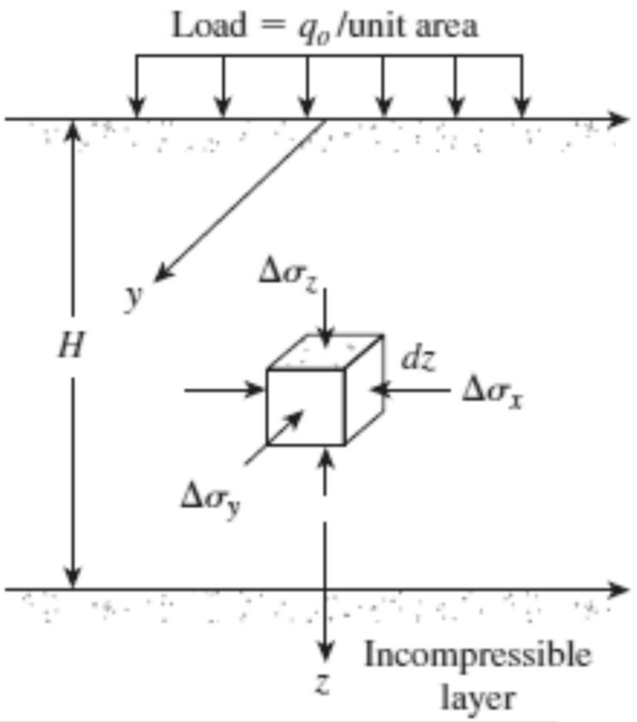
I) :

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.

Dr.Maiasa Mlhem

طريقة نظرية المرونة



بالعودة للشكل المجاور 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_0 الضغط الصافي المطبق على الأساس

E_s معدل معامل مرونة التربة تحت الأساس يقاس من z=0 إلى z=5B

H سماكة طبقة التربة

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

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

I_s معامل الشكل

I_f معامل العمق وهو مرتبط بـ **D_f/B** و **L/B** و μ_s

μ_s	D_f/B	B/L 0.2	B/L 0.5	B/L 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

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

فإذا أردنا حساب الهبوط تحت مركز الأساس يكون: **α=4 , m’=L/B, n’=H/(B/2)**

وإذا أردنا حساب الهبوط عند طرف الأساس يكون: **α=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 ... عدل معامل المرونة من العلاقة التالية:

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

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

مسألة

بالعودة للشكل نعتبر أن الأساس

مربع صلب أبعاده 2.44*2.44m، D_f=1.22m

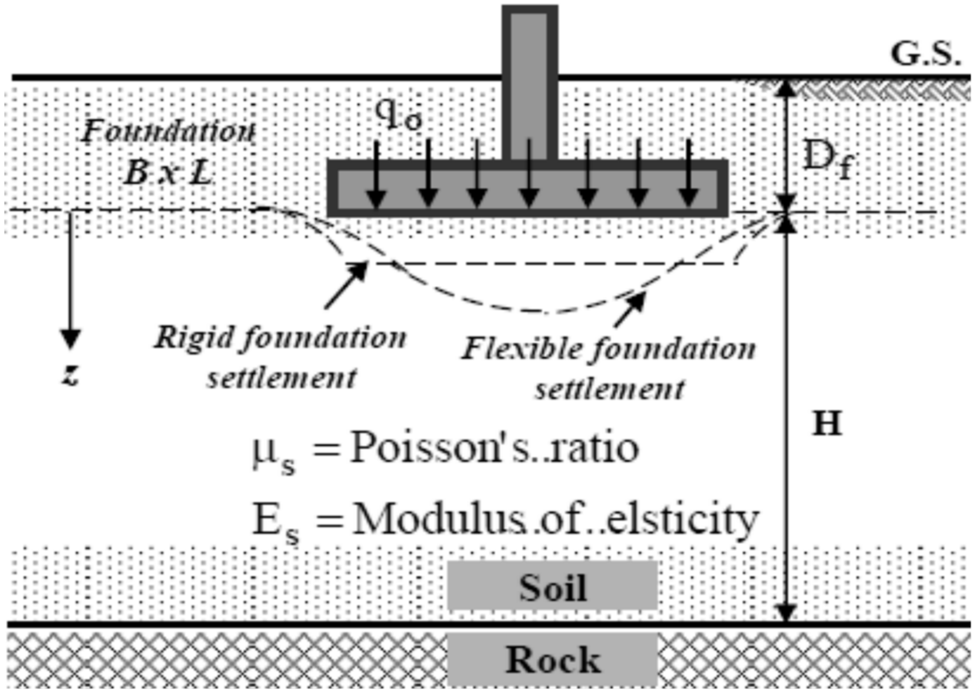
على طبقة من رمل منضغط طبيعياً.

تتوضع الطبقة الصخرية على عمق

.z=10.98m

يبين مايلي نتائج SPT:

z (m)	N_{60}
0–2.44	7
2.44–21	6.4
6.4–36	10.98



.μ_s=0.3, q_0=167.7kN/m^2

المطلوب: تقدير الهبوط المرن للأساس.

الحل:

نقوم بحساب معامل المرونة من العلاقة التي تربطه مع قيم N_{60} كما يلي:

$$\frac{E_s}{p_a} = \alpha N_{60}$$

حيث p_a الضغط الجوي ويقدر 100kPa (في مسائلنا دوما)

α تكون **5** للرمل مع نواعم ، **10** للرمل النظيف المنضغط طبيعيا ، **15** للرمل النظيف مسبق الانضغاطية.

في مثالنا يكون:

z (m)	Δz (m)	N_{60}	E_s (kN/m²)
0–2.44	2.44	7	7000
2.44–6.4	3.96	11	11,000
6.4–10.98	4.58	14	14,000

الآن نحسب معدل معامل المرونة:

قبل الحساب نقارن $\bar{Z}$ مع **5B** ونختار الأصغر **5*2.44 = 12.2** إذا نختار $\bar{Z} = 10.98$

$$E_s = \frac{\sum E_{s(i)} * \Delta z}{\bar{z}} = \frac{7,000 * 2.44 + 11,000 * 3.69 + 14,000 * 4.58}{10.98} = 11,362 kN/m^2$$

نحسب الهبوط تحت مركز الأساس:

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

$$B' = \frac{2.44}{2} = 1.22m$$

$$\alpha = 4$$

$$m' = \frac{L}{B} = 1$$

$$n' = \frac{H}{(\frac{B}{2})} = \frac{10.98}{(\frac{2.44}{2})} = 9$$

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

Dr.Maiasa Mlhem

من الجداول نوجد قيمة $F_1=0.491$, $F_2=0.017$

$$I_s = 0.491 + \frac{1-2*0.3}{1-0.3}*0.017 = 0.5007$$

من أجل μ_s**=0.3** و **D_f/B =1.22/2.44=0.5** و **B/L = 1** تكون من الجداول **I_f=0.78**

وبالتعويض يكون:

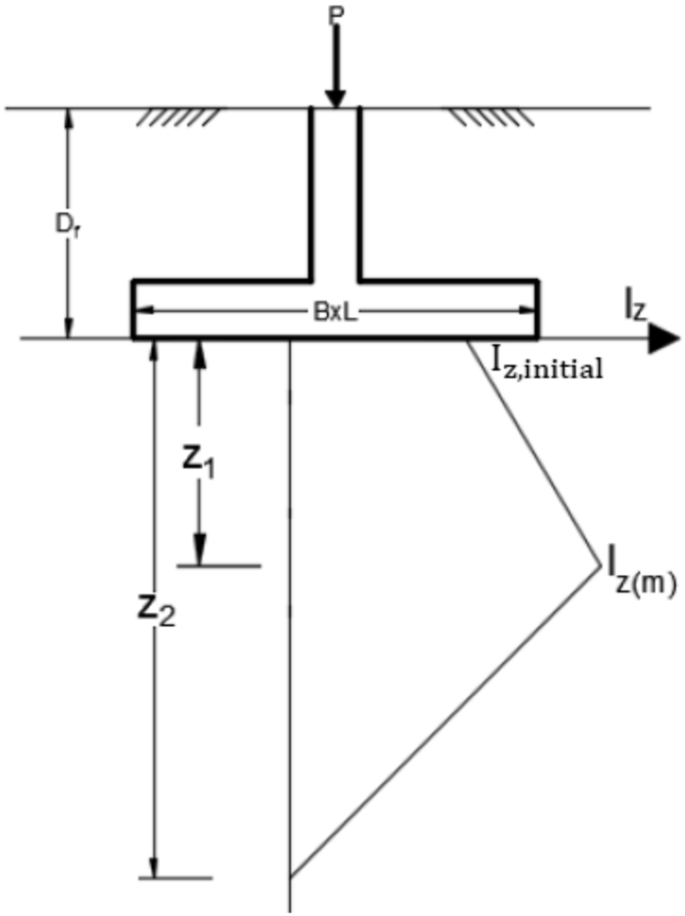
$$S_e = 167.7*(4*1.22)*\frac{1-0.3^2}{11{,}362}*0.5007*0.78 = 25.6mm$$

حساب الهبوط للأساس الصلب

$$S_{e(rigid)} = 0.93*S_{e(flexible,center)} = 0.93*25.6mm = 23.81mm = 24mm$$

Dr.Maiasa Mlhem

طريقة Schmertmann (1978)



استخدام معامل تأثير التشوه:

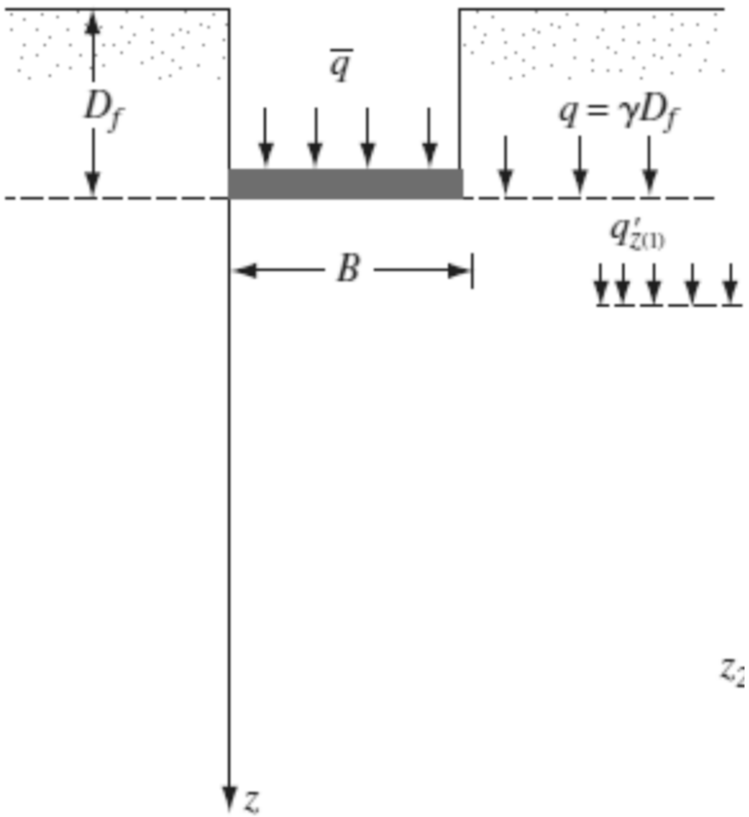
تعتمد هذه الطريقة على مقاومة الاختراق إما بواسطة جهاز الاختراق q_c أو بجهاز الاختراق النظامي حيث يتم رسم مخطط معامل تأثير التشوه.

ويحسب الهبوط من العلاقة التالية:

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

Dr.Maiasa Mlhem

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



Dr.Maiasa Mlhem

حيث:

I_z معامل تأثير التشوه

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

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

Δz سماكة كل طبقة من طبقات التربة (m)

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

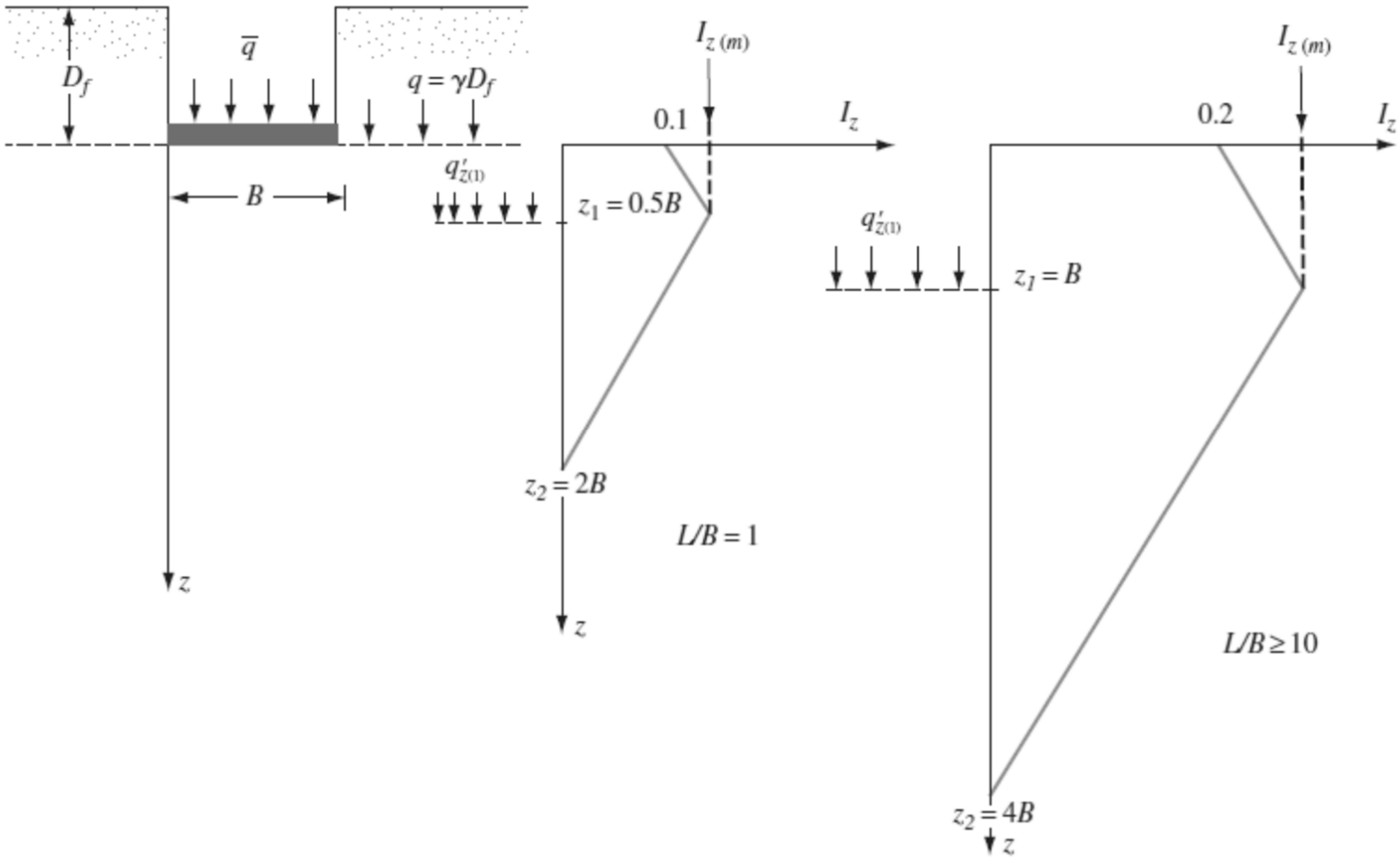
C_2 معامل تصحيح الزحف المرتبط بالهبوط =

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

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

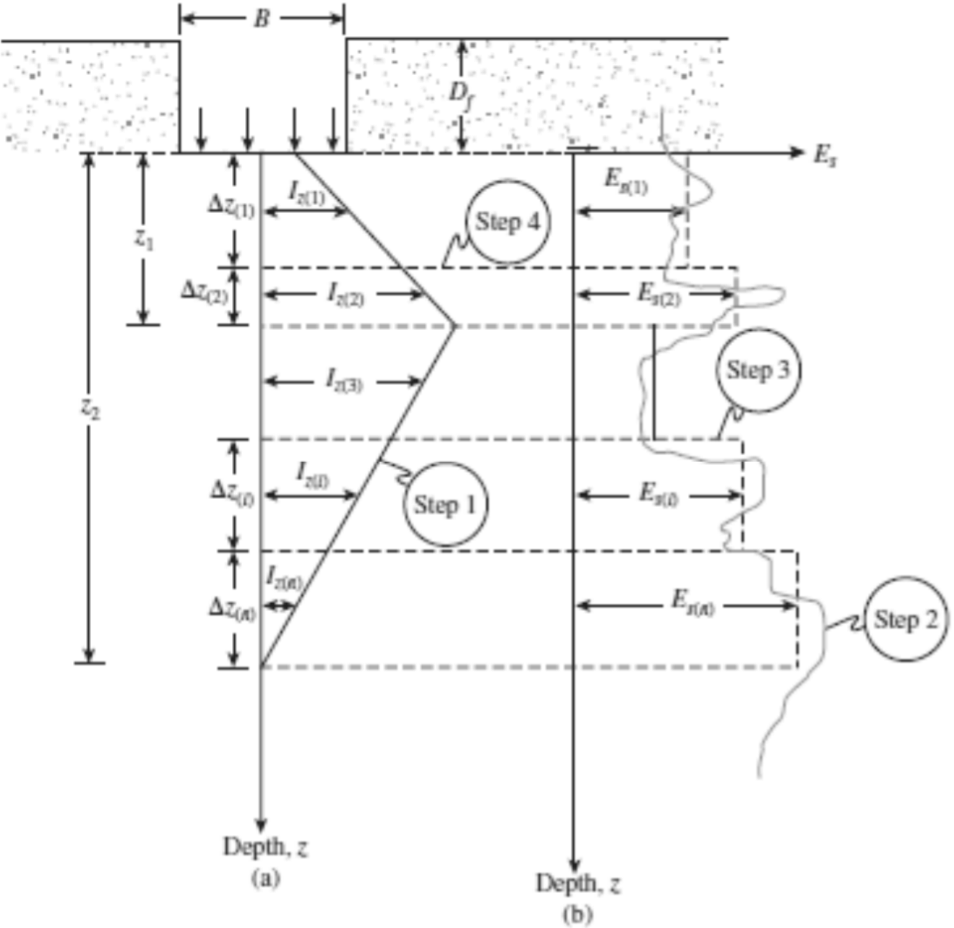
$E_s = 2.5q_c$ (for square foundation)

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

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

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

Dr.Maiasa Mlhem



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 $E_{s(1)}$, $E_{s(2)}$, ...

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	$\Delta z_{(n)}$	$E_{s(n)}$	$I_{z(n)}$	$\frac{I_{z(n)}}{E_{s(n)}}\Delta z_n$
				$\Sigma \frac{I_z}{E_s}\Delta z$

Dr.Maiasa Mlhem

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

Dr.Maiasa Mlhem

مسألة

بفرض لدينا أساس مستطيل أبعاده 2m*4m وعمق تأسيس 1.2m في ترسبات رملية.
المعطيات:
الوزن الحجمي للرمل $17.5kN/m^3$ و الاجهاد الفعال عند سطح الأساس $145kN/m^2$
ولدينا البيانات التالية من تجربة الاختراق النظامي q_c مع العمق:

z (m)	q_c (kN/m²)
0–0.5	2250
0.5–2.5	3430
2.5–5.0	2950

المطلوب احسب الهبوط المرن للأساس باستخدام طريقة معامل تأثير التشوه.

Dr.Maiasa Mlhem

الحل:

لكي نحدد $I_{z(max)}$ من العلاقة

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

فيجب أن نحدد $q_{z(1)}$ وبالتالي لابد من تحديد z_1 الذي تكون عنده $I_{z(max)}$ الذي نحسبه من العلاقة التالية:

$$\frac{z_1}{B} = 0.5 + 0.0555\left(\frac{L}{B} - 1\right) \le 1$$

$$\frac{z_1}{B} = 0.5 + 0.0555\left(\frac{L}{B} - 1\right) = 0.5 + 0.0555\left(\frac{4}{2} - 1\right) \approx 0.56$$

$$z_1 = (0.56)(2) = 1.12 \text{ m}$$

حالات خاصة:

الأساس المربع يكون L=B وبالتالي L/B = 1 ومنه $z_1 = 0.5B$

الأساس المستمر **10** ≧ (L/B) ومنه $z_1 = B$

لحساب $I_{z(final)}$ الذي ينتهي للصفر عندما $z=z_2$ لابد من حساب z_2 ونحسبه من العلاقة التالية:

$$\frac{z_2}{B} = 2 + 0.222\left(\frac{L}{B} - 1\right) \le 4$$

بتطبيقها يكون لدينا:

$$\frac{z_2}{B} = 2 + 0.222\left(\frac{L}{B} - 1\right) = 2 + 0.222(2 - 1) = 2.22$$

$$z_2 = (2.22)(2) = 4.44 \text{ m}$$

عندما يكون z=0 بالتعويض في معادلة $I_{z(initial)}$ البدائية نجد مايلي:

$$I_{z(initial)} = 0.1 + 0.0111*(\frac{L}{B} - 1) \le 0.2$$

$$I_{z(initial)} = 0.1 + 0.0111*(\frac{4}{2} - 1) = 0.11$$

Dr.Maiasa Mlhem

وبالتعويض في معادلة $I_{z(max)}$

$$I_{z\max} = 0.5 + 0.1\sqrt{\frac{\bar{q} - q}{q'_{z(1)}}} = 0.5 + 0.1 * \left[\frac{145 - (1.2 * 17.5)}{(1.2 + 1.12) * (17.5)}\right]^{0.5} = 0.675$$

نرسم I_z مقابل z كما يبين الشكل ولدينا المعادلة التالية:

$$E_{s(\text{rectangle})} = \left(1 + 0.4\log\frac{L}{B}\right)E_{s(\text{square})}$$

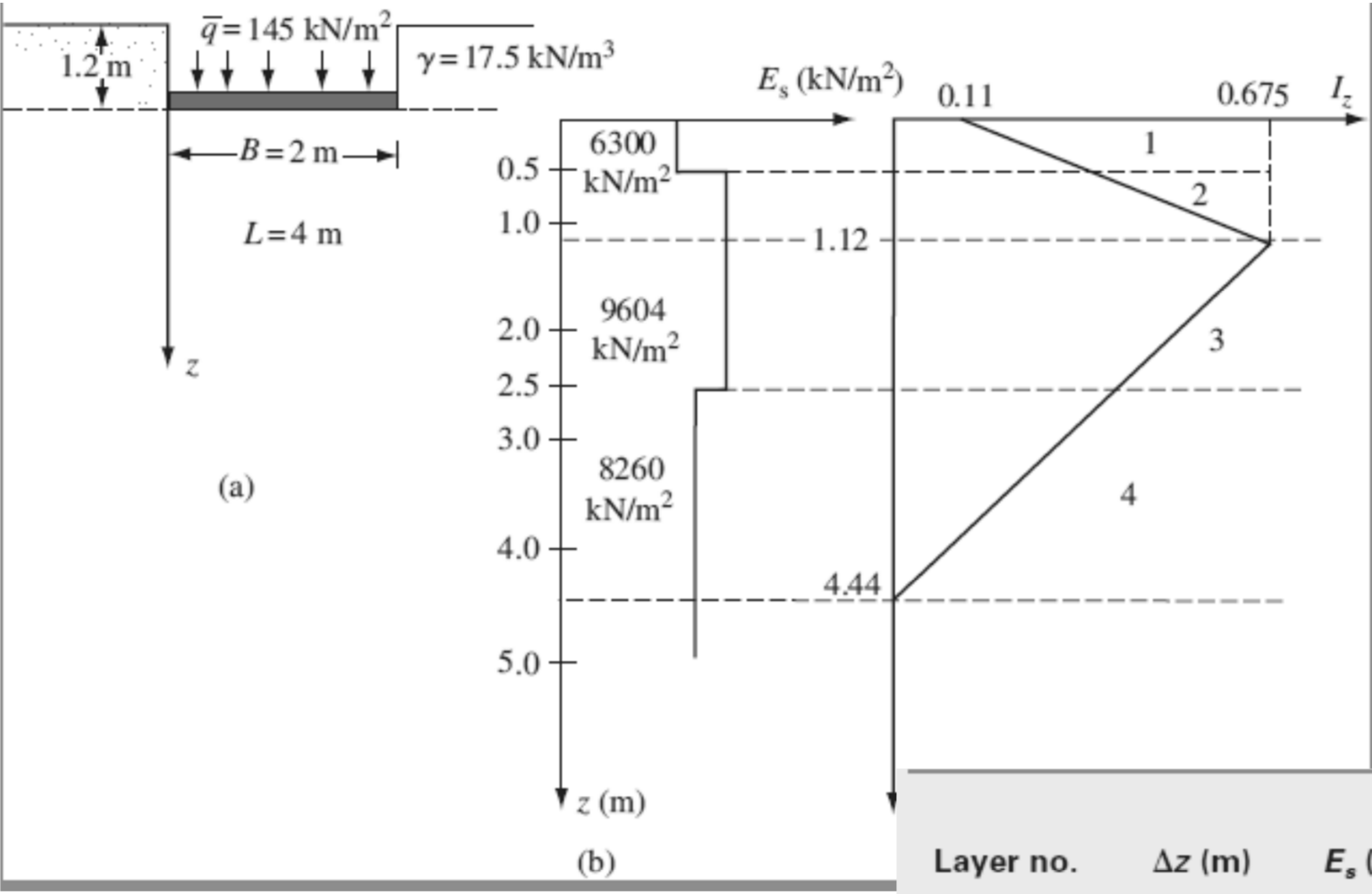
z (m)	q_c (kN/m²)	E_s (kN/m²)
0–0.5	2250	6300
0.5–2.5	3430	9604
2.5–5.0	2950	8260

ومنه يكون:

$$E_{s(rectangular)} = (1 + 0.4\log\frac{L}{B}) * E_{s(square)} = \left[(1 + 0.4\log(\frac{4}{2})\right] * (2.5 * qc) = 2.8q_c$$

الآن نرسم قيمة E_s مع العمق z

Dr.Maiasa Mlhem



نلاحظ أنه يمكن تقسيم مقطع التربة إلى أربع طبقات ويكون لدينا البيانات التالية في الجدول:

Layer no.	Δz (m)	E_s (kN/m²)	I_z at middle of layer	$\frac{I_z}{E_s}\Delta z$ (m³/ kN)
1	0.50	6300	0.236	1.87×10^{-5}
2	0.62	9604	0.519	3.35×10^{-5}
3	1.38	9604	0.535	7.68×10^{-5}
4	1.94	8260	0.197	4.62×10^{-5}
				$\Sigma 17.52 \times 10^{-5}$

Dr.Maiasa Mlhem

لكي نحسب الهبوط من المعادلة التالية:

$$S_e = C_1 C_2(\overline{q} - q) \sum \frac{I_z}{E_s} \Delta z$$

علينا ايجاد قيمة C_1 من العلاقة التالية:

$$C_1 = 1 - 0.5\left(\frac{q}{\overline{q} - q}\right) = 1 - 0.5\left(\frac{21}{145 - 21}\right) = 0.915$$

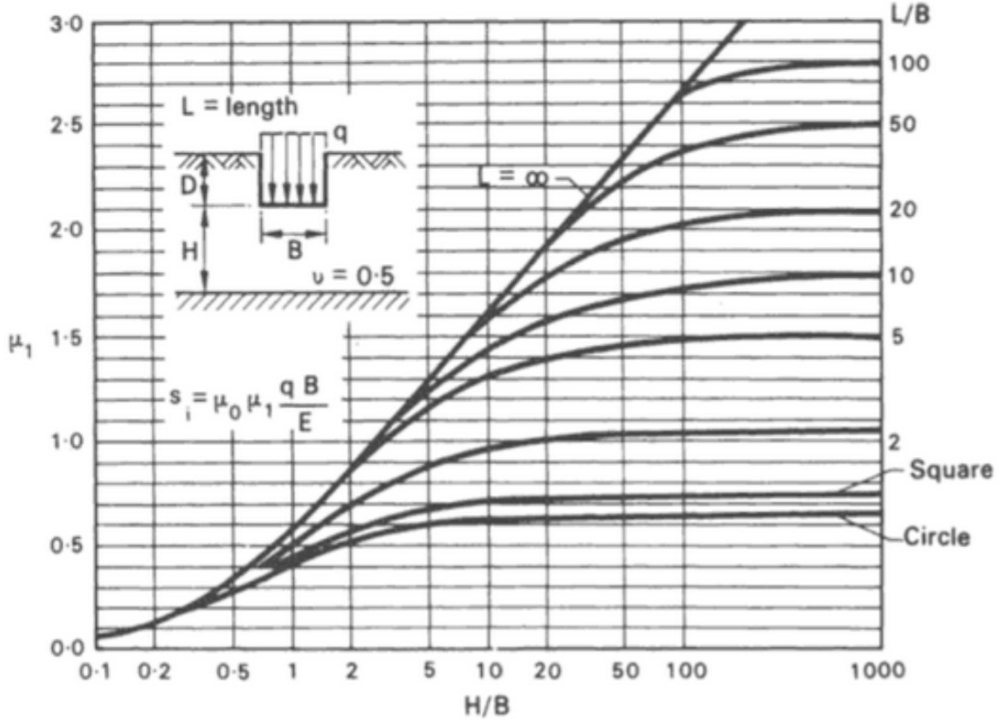
وايجاد قيمة C_2 من العلاقة التالية بفرض أن زمن الرحف 10 سنوات:

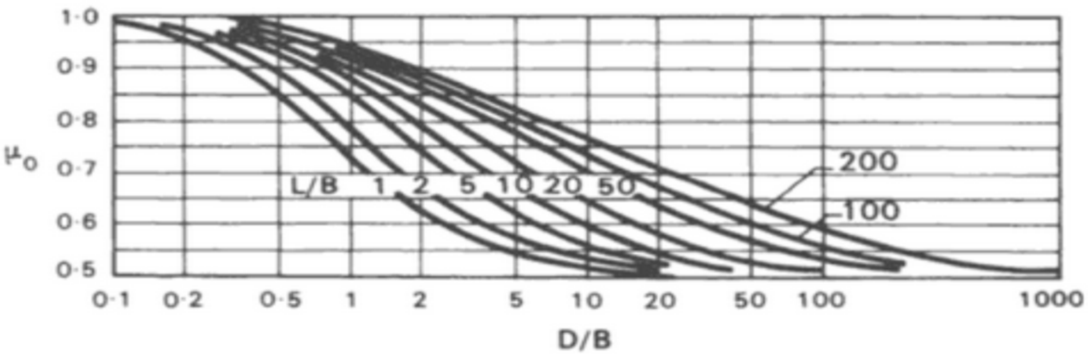
$$C_2 = 1 + 0.2\log\left(\frac{10}{0.1}\right) = 1.4$$

بالتعويض يكون لدينا

$$S_e = (0.915)(1.4)(145 - 21)(17.52 \times 10^{-5}) = 2783 \times 10^{-5}\ \text{m} = \mathbf{27.83\ mm}$$

Dr.Maiasa Mlhem





طريقة Bjerrum لحساب معدل الهبوط لطبقات التربة الغضارية

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

حيث μ_0 و μ_1 معاملات لعمق التأسيس وسماكة طبقة التربة تحت الأساس نحصل عليها من الأشكال

هبوط الانضغاطية الأولي

Dr.Maiasa Mlhem

طريقة قرينة الانضغاطية C_c:

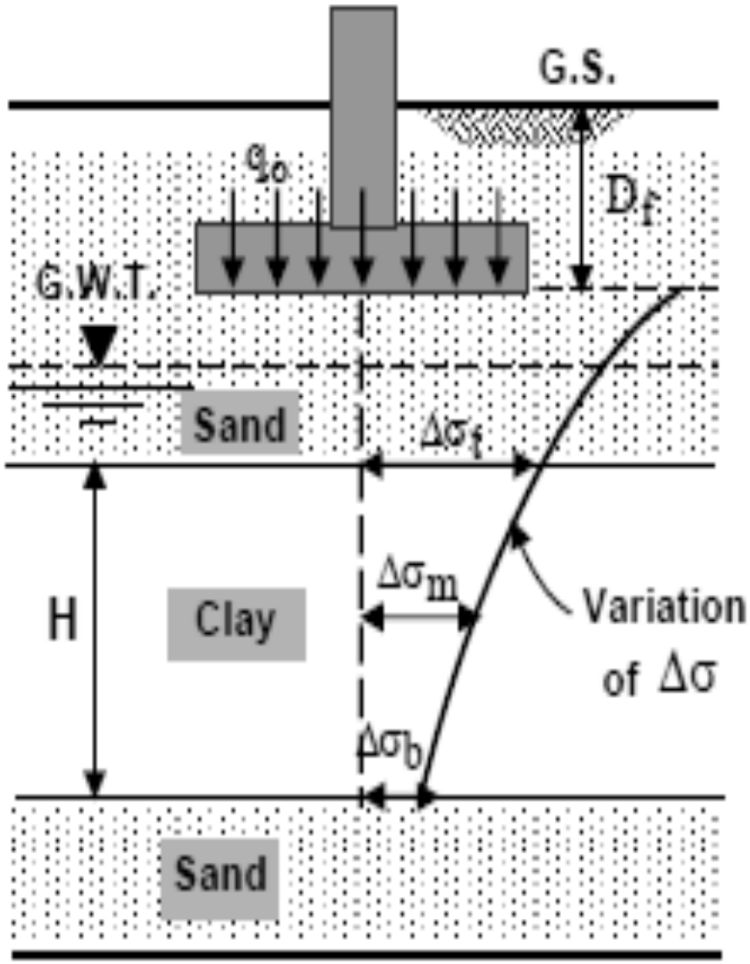
تستخدم هذه الطريقة للترب الغضارية المنضغطة مسبقاً والمنضغطة طبيعيا

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)

Dr.Maiasa Mlhem



Method (A)

الطريقة A:

1) نحسب الاجهاد الفعال σ_0' 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_0' و $\Delta\sigma_{avg.}$ المحسوبة سابقا نستطيع حساب Δe من المعادلة التالية أيهما قابل للتطبيق:

- إذا كان $\sigma_p' < \sigma_0'$ تكون التربة under consolidate ونحسب Δe كما يلي:

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

- إذا كان $\sigma_p' = \sigma_0'$ أي (OCR=1) التربة منضغطة طبيعياً:

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

Dr.Maiasa Mlhem

- 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:

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

$$e_0 = \omega_0 * G_s$$

Dr.Maiasa Mlhem

الطريقة B:

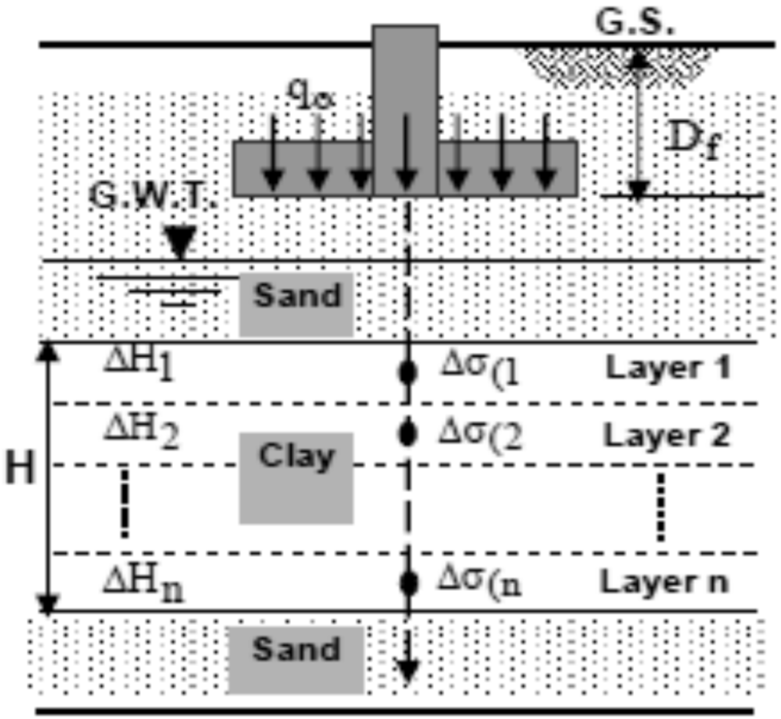
1) إذا كانت طبقة الغضار سميكة، نحصل على نتائج أفضل إذا تم تقسيم الطبقة نفسها إلى طبقات فرعية عددها n.

2) نحسب الاجهاد الفعال $\sigma'_{0\,(i)}$ 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 المعادلة التالية



Method (B)

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

$$e_0 = \omega_0 * G_s$$

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							

طريقة الأودومتر أو معامل m_v:

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

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

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

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

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

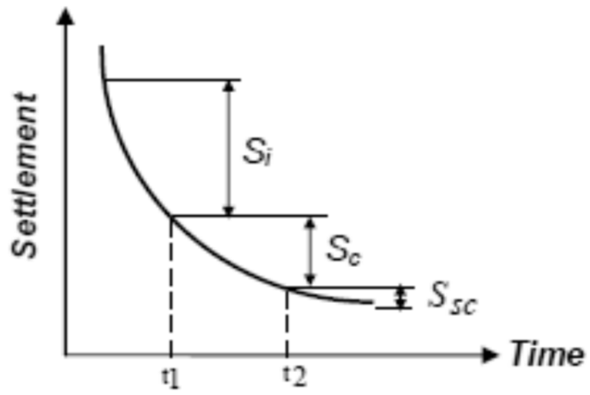
m_v معامل الانضغاط الحجمي لعينة التربة المحدد من تجربة الاودومتر

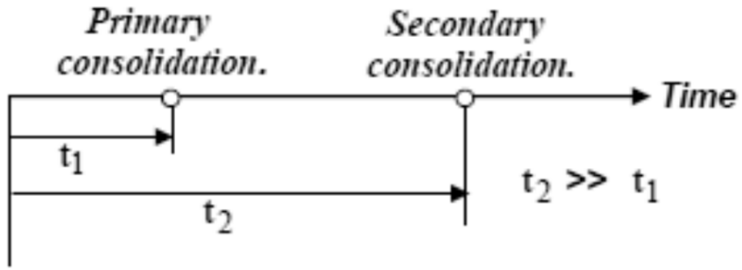
$$\Delta H = S_C = m_v * H_t * \Delta P$$

Dr.Maiasa Mlhem

هبوط الانضغاطية الثاني

Dr.Maiasa Mlhem





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_Iزمن هبوط الانضغاطية الأولي

t_2زمن هبوط الانضغاطية الثاني

Dr.Maiasa Mlhem

– 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

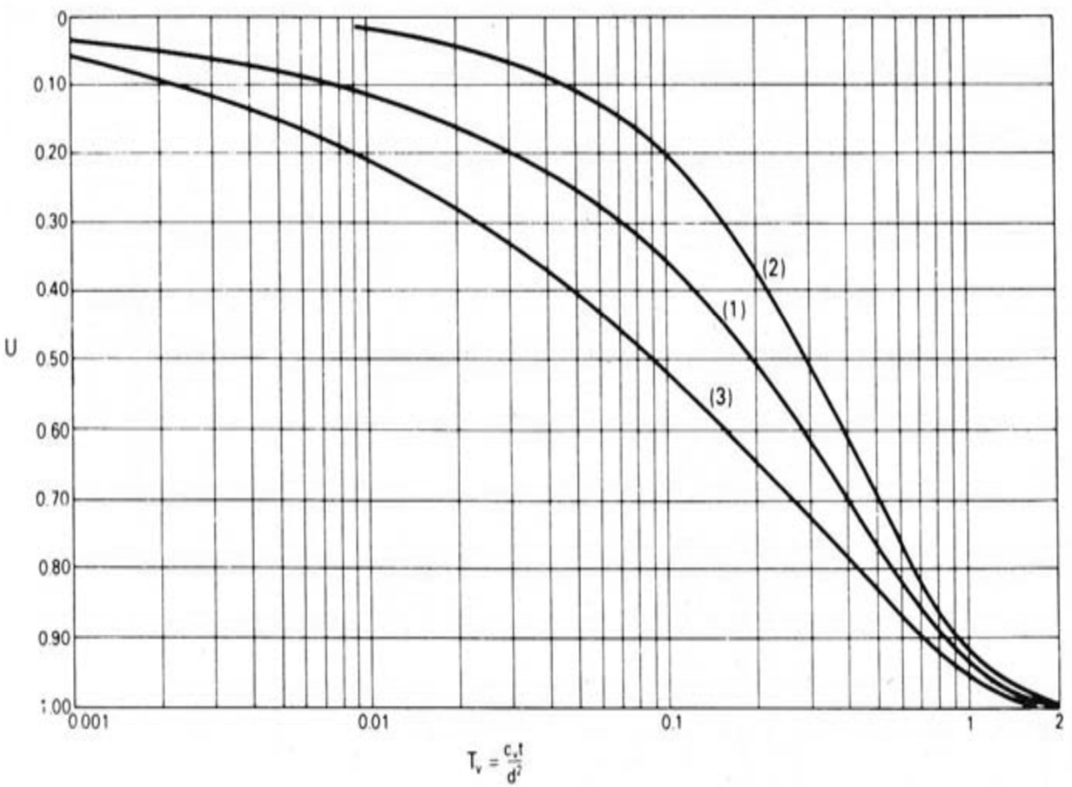
بعد حساب قيمة T_V يمكن تحديد درجة الانضغاطية U% في أي زمن من مخطط بالاعتماد على توزع ضغط الماء المسامي أو بحسب إحدى المعادلات التالية:

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

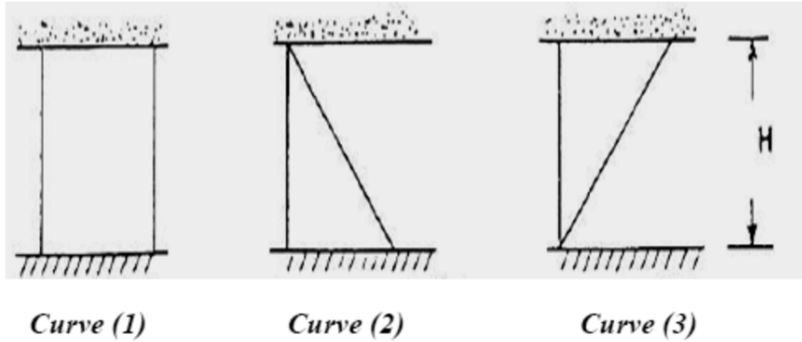
$$T_V = 1.781 - 0.933 \log_{10}(100 - U\%) \qquad for \qquad U > 60\%$$

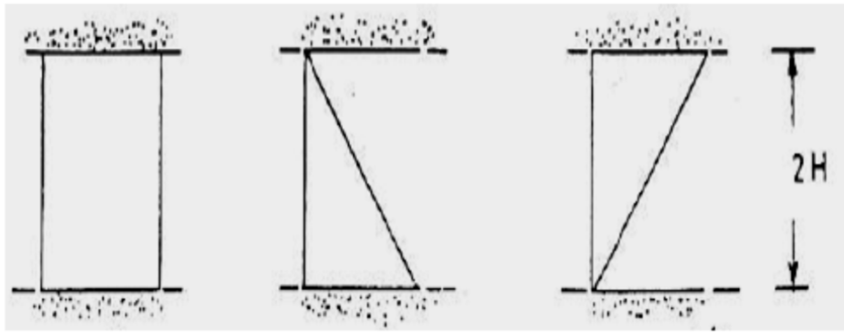
Dr.Maiasa Mlhem

منحنيات توزع الضغط المسامي



1-D drainage





Dr.Maiasa Mlhem

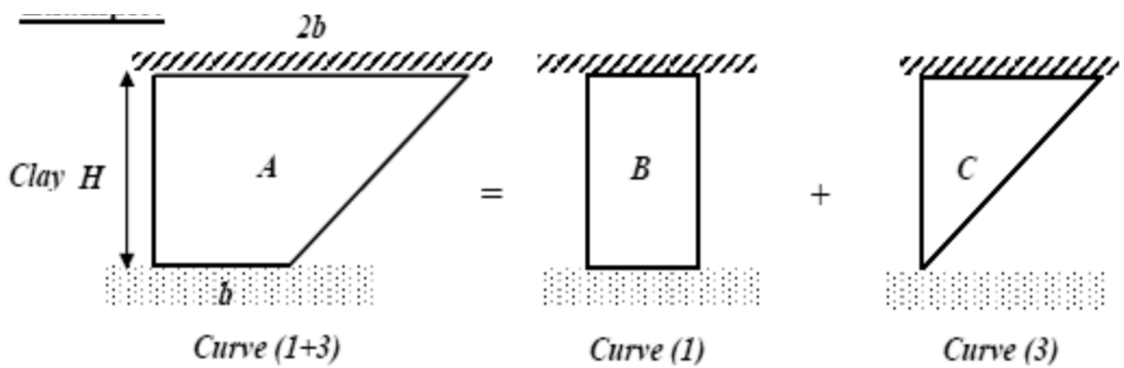
من درجة الانضغاطية **U%** في أي زمن **t**، يمكن أن نحسب الهبوط في أي زمن من العلاقة التالية إذا كان معروف لدينا الهبوط الكلي:

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

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

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:

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



Dr.Maiasa Mlhem