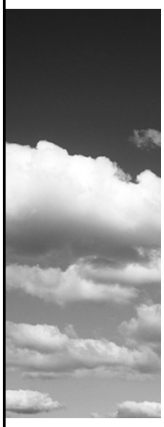
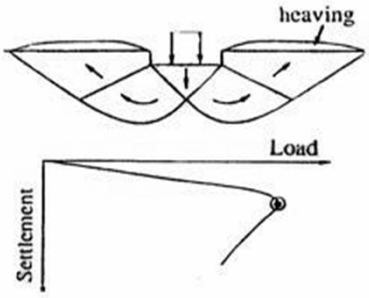


Foundation Engineering
2025-2026
First Lecture (1)
"Bearing Capacity &Settlemet
– "قدرة التحمل والهبوط

Dr. Maiasa Mlhem

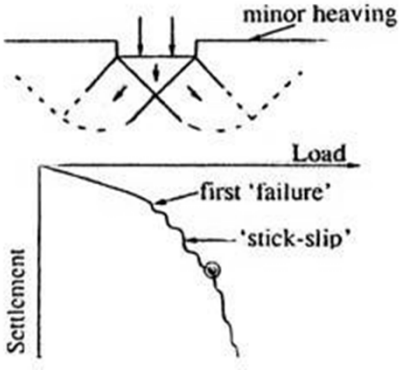
د.مياسة ملحم

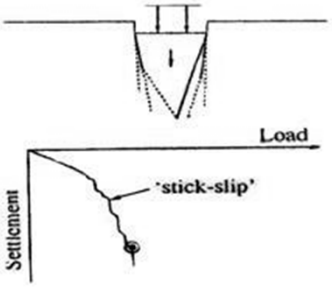
أنماط الانهيار



General Shear Failure
انهيار القص العام

Local Shear Failure
انهيار القص المحلي





Punching Shear Failure
انهيار قص الثقب

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

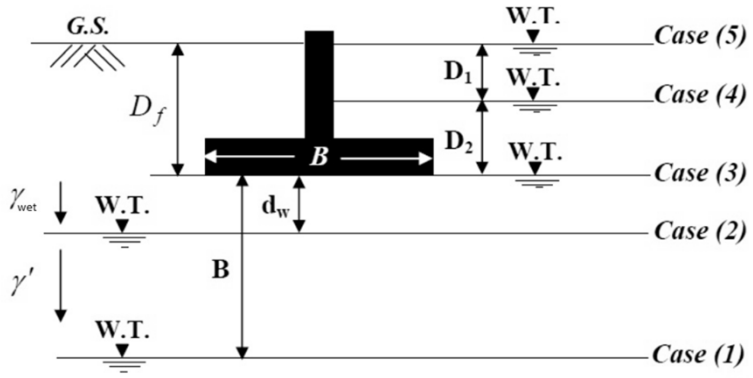
3 11/25/2025

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.

4 11/25/2025

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)

5 11/25/2025

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

Case 2 الحالة الثانية:

- تتوضع المياه الجوفية بين العمق B ونعل الأساس، نعوض ضمن الجزء $0.5*\gamma*B*N_\gamma$ من معادلة قدرة التحمل مايلي:

$$\gamma * B = \gamma' * (B - d_w) + d_w * \gamma_{sat}$$

- حيث:

γ_{sat} الوزن الحجمي المشبع للتربة

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

d_w عمق المياه الجوفية تحت نعل الأساس

6 11/25/2025

- 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:

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

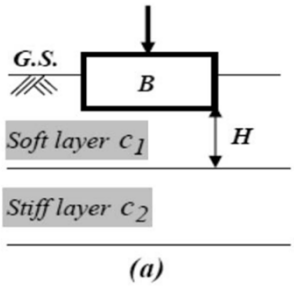
7 11/25/2025

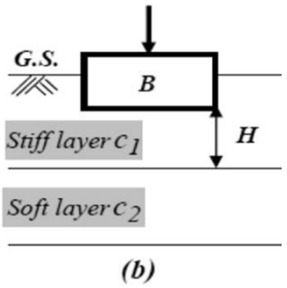
التأسيس على ترب متطبقة

- **الحالة 1 – التأسيس على ترب متماسكة Φ=0:**
- 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

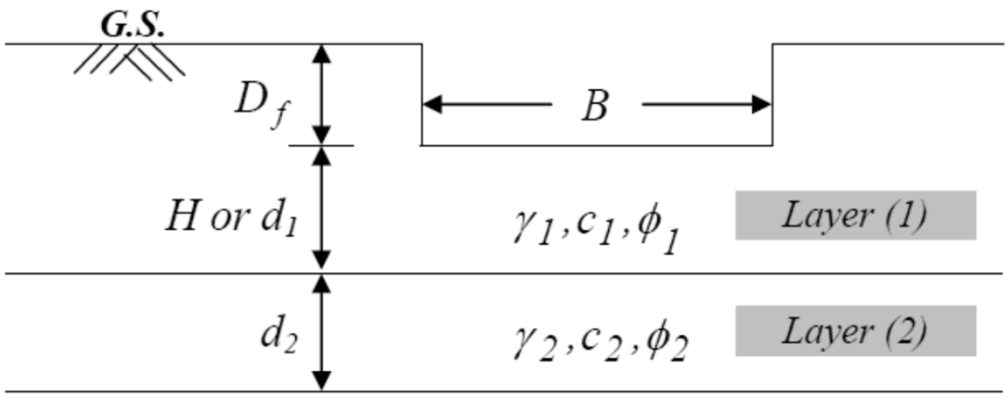




انهيار قص

8 11/25/2025

• **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:

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

- **إذا كان لدينا عدة طبقات ذات سماكة صغيرة من ترب Φ-c**
- 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

11 11/25/2025

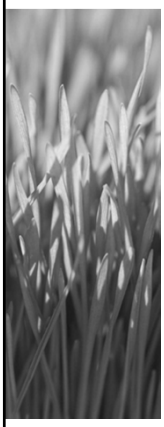
مركبات الهبوط الكلي

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

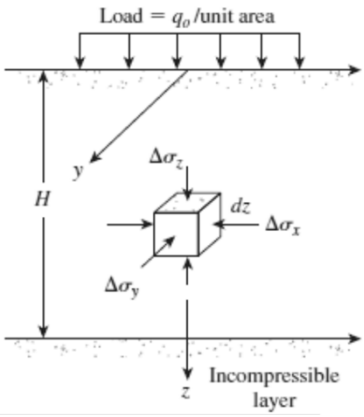
Dr.Maiasa Mlhem

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

q_o الضغط الصافي المطبق على الأساس

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

H سماكة طبقة التربة

B' يكون B/2 لمركز الأساس و B لزاوية الأساس $B' = \frac{B}{2}$ center, $B' = B$ corner

I_s معامل الشكل

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

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:

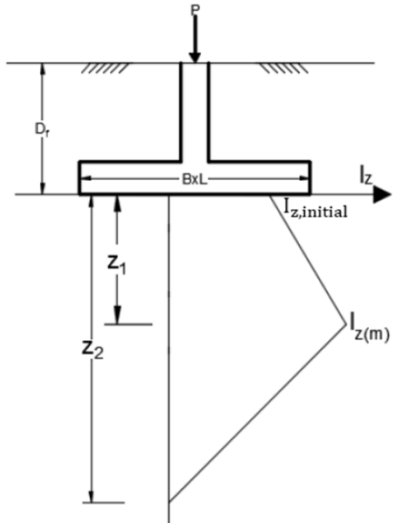
$$= F_1 + \frac{1-2\mu_s}{1-\mu_s} F_2$$

		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

وبسبب عدم تجانس ترسبات الترب نحسب معدل 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

طريقة Schmertmann (1978)



<u>استخدام معامل تأثير التشوه:</u>

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

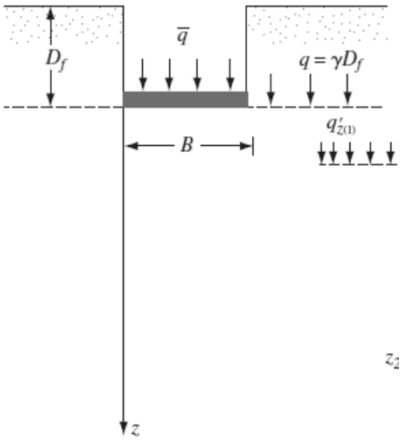
$$S_e = C_1 * C_2 * (\bar{q} - q) \sum_0^{z_2} \frac{I_z}{E_s} * \Delta z$$

حيث:

I_z معامل تأثير التشوه

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

$q = \gamma * D_f$ الاجهاد 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

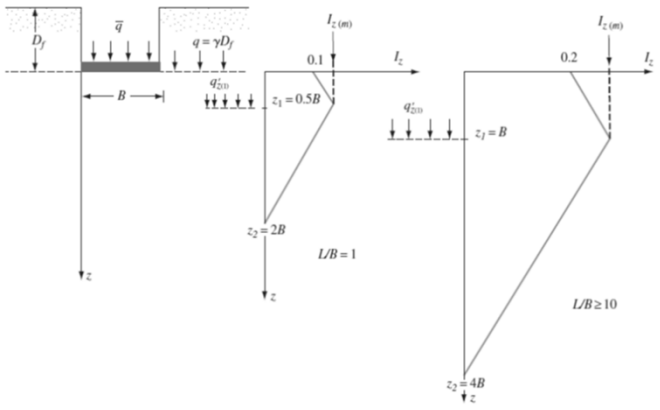
Dr.Maiasa Mlhem

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

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

ولدينا القيمة الأولية تحدد من العلاقة التالية:

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



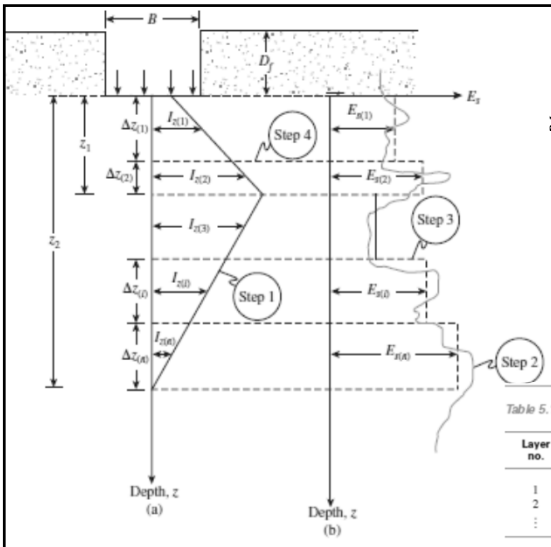
اقترح Schmertmann علاقة بين مقاومة الاختراق وبين معامل المرونة

$E_s = 2.5q_c$ (for square foundation)

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

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 …. , $E_{s(2)}$, $E_{s(1)}$

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

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 الذي تكون عنده $I_{z(max)}$

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

فيجب أن نحدد $q_{z(1)}$ وبالتالي لابد من تحديد z_1

الذي نحسبه من العلاقة التالية:

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

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

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

<u>حالات خاصة:</u>

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:

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

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

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

بتطبيقها يكون لدينا:

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:

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

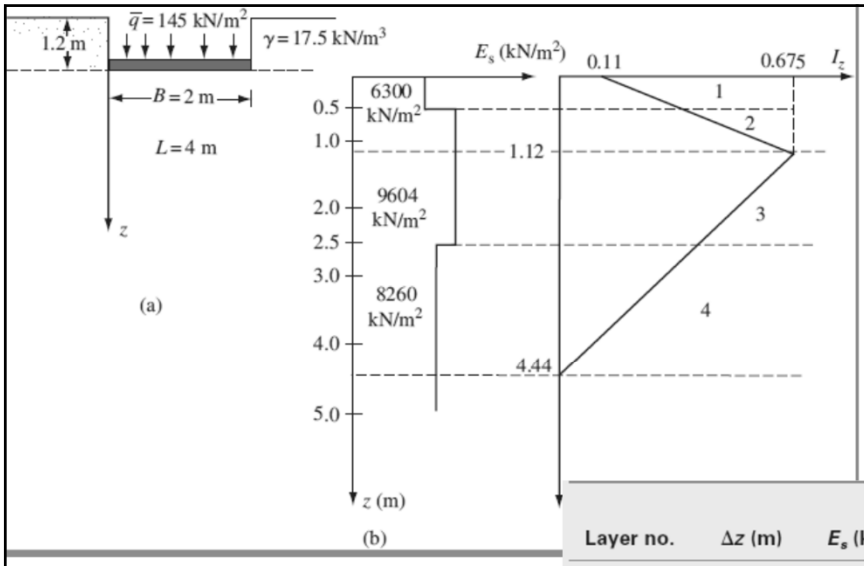
z (m)	q_c (kN/m²)	E_s (kN/m²)
0–0.5	2250	6300
0.5–2.5	3430	9604
2.5–5.0	2950	8260

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

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:

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

علينا ايجاد قيمة C_1 من العلاقة التال

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

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