** Foundation Settlements

settlements classified as :-

(1) consolidation sett. :- [fine soil], time dependent (long time)
clay , early saturated

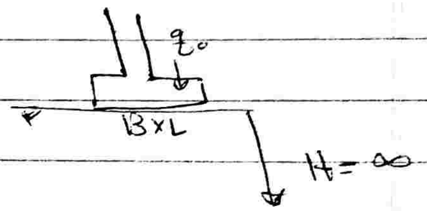
(2) Immediate sett : بحصل لكل أنواع الـسويل بغض النظر لنسبة الماء
يكون أكبر للـ granular soil

Immediate + Consolidation = totale sett.

---

(1) Immediate settl (Elastic settl.):-

Assume - For a flexible footing, $D_f = 0$, $H = \infty$:-
↳ Relative propority
مثلاً، خشب فلكسبل أكثر من الستيل
والطوب فلكسبل أكثر من الخشب
- كل ما كترت المساحة بيميل للـ flexibility
- كل ما زاد الـ thickness " " "



- $S_e = \frac{B q_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \frac{\alpha}{2}$ at corner

- $S_e = \frac{B q_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha$ at center

E_s: Modulas of Elastity μ_s: poisson's Ration

$\alpha \Rightarrow$ fig 4.18 $\Rightarrow \frac{L}{B}$, circler للـ الهم

curves:
- → Rigid
- → avg
- → flexi.

* Strip $L/B = \infty$
→ 10 from the fig
* squre $L/B = 1$

Assume - For Rigid footing ;
نفس الكلام فوق بس α ← بنجيبها α Rigid من الـ فيجر.

. أحيانا بكون في طبقة صخرية غير بعيدة $H \neq \infty$

بصير ال sett أقل

- if $D_f = 0$, $H < \infty$, flexable
  due to pressence of Rigid layer (Rock):

- $S_e = \frac{B q_o}{E_s} (1 - \mu_s^2) \left[\frac{(1-\mu_s^2) F_1 + (1 - \mu_s - 2\mu_s^2) F_2}{2} \right]$ @ corner

- $S_e = \frac{B q_o}{E_s} (1 - \mu_s^2) \left[(1-\mu_s^2) F_1 + (1 - \mu_s - 2\mu_s^2) F_2 \right]$ @ center

$F_1, F_2 \Rightarrow$ Tables 4 & 5 $f(L/B, H/B)$, with $L/B \to m$, $H/B \to n$

» Example: foundation 1m × 2m carries anet load per unit area $q_o = 150$ kN/m , $E_s = 10000$ kN/m^2, $\mu_s = 0.3$ assume the Foundation is flexible, Find elastic sett at the center of:

(a) $D_f = 0$, $H = \infty$

(b) $D_f = 0$, $H = 5$

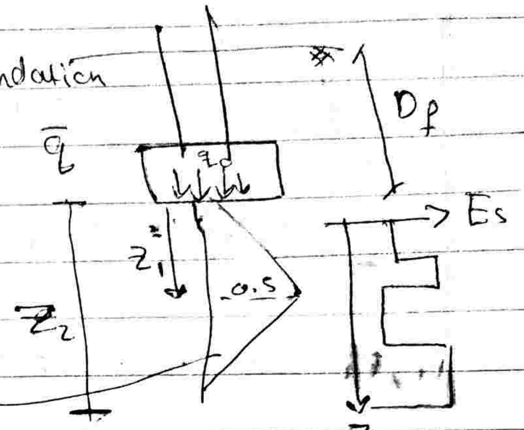
Sol:

a) $S_e = \frac{B q_o}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha = \frac{1(150)}{1000}$

لأي عمق هيحس تأثير اللود

* Settl of sandy soil using strain influence factor Method (proposed by Schmertmann & Hartman)

* q_o = Stress at the level of foundation
* $\bar{q} = \gamma D_f$



Influnce diagram (General shape) ← يختلف حسب شكل ال Footing

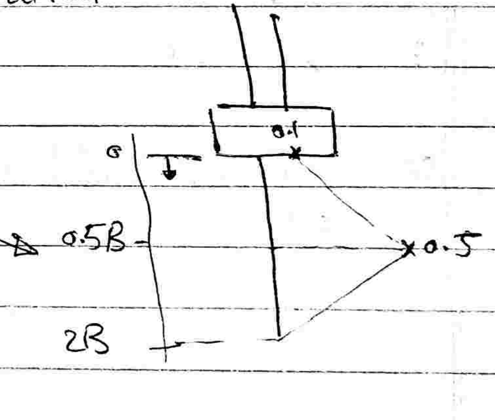
- يتم تقسيم الطبقات حسب Es.
- ممكن يعطيني Es بشكل مباشر
أو عن طريق Standard penetration test & Cone Penetration test

⇒ For square or circular foundation

$I_z = 0.1$ @ $Z = 0$

$= 0.5$ @ $Z = 0.5B \rightarrow Z_1$

$= 0$ @ $Z = 2B \rightarrow Z_2$

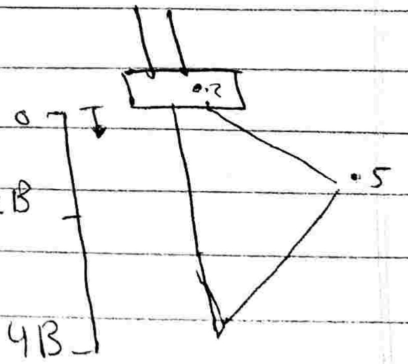


⇒ $L/B \geq 10$ Foundation "

$I_z = 0.2$ @ $Z = 0$

$= 0.5$ @ $Z = B = Z_1$

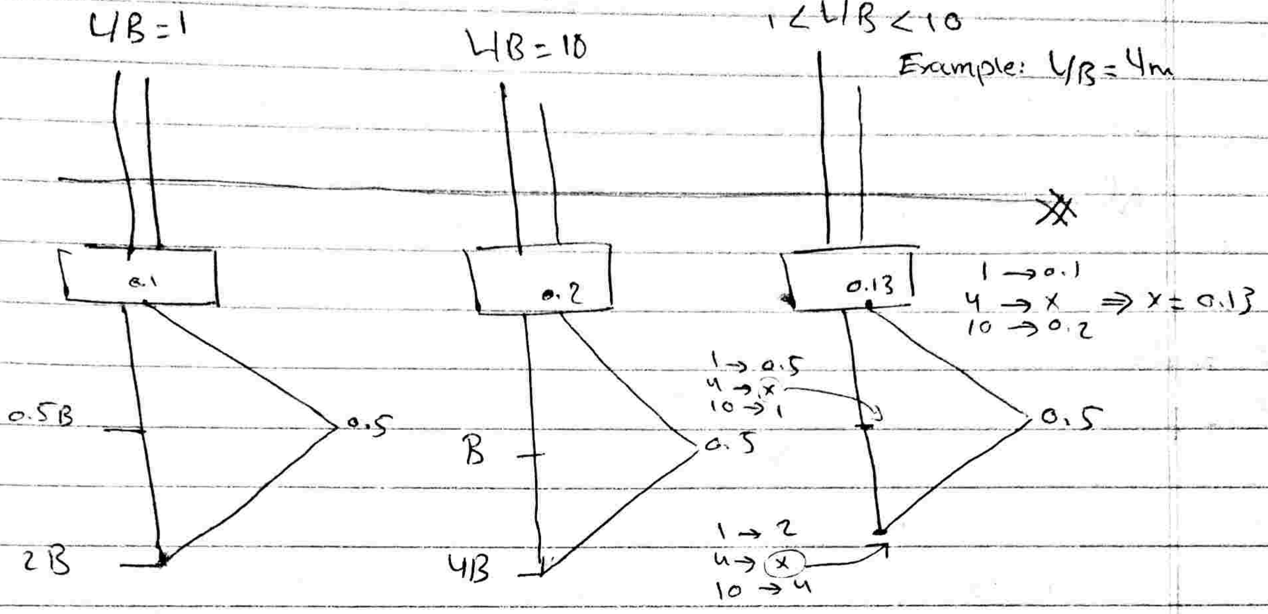
$= 0$ @ $Z = Z_2 = 4B$



* ليش لا strip عمق الطبقات الي بتأثر أكبر؟
لأنها عبارة عن مجموعة من الفوتنغ المتلاصقة.

* لو قيمة L/B < 10 ، بعمل Interpolation

بدل ما نعمل Interpolation للـ Settlement و L/B ، بنقدر نعمل Interpolation للـ diagram.



* Calculate the Elastic sett from the Influence dia.

$$S_e = C_1 C_2 (q_0 - \bar{q}) \sum_0^{Z_2} \left(\frac{I_z}{E_s} \Delta z \right)$$

مجموع الـ settlement اللي صار في جميع الطبقات اللي تأثر عليها

I_z : Strain influence Chart

$q_0 = \frac{Q}{A}$

$\bar{q} = \gamma D_f$

C_1 : depth correction factor

$$C_1 = 1 - 0.5 \left(\frac{\bar{q}}{q_0 - \bar{q}} \right)$$

C_2 : Creep correction factor $= 1 + 0.2 \log \left(\frac{\text{time in years}}{0.1} \right)$

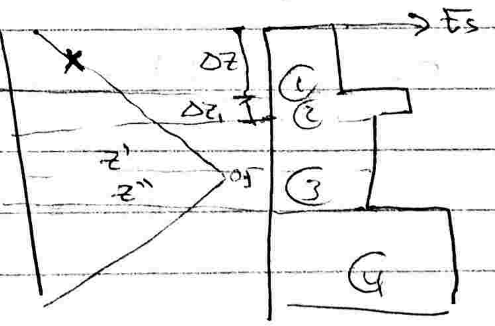
لـ افترض العلماء إنه يصير في زيادة بالـ settlement حتى لو صغيرة جداً

معتبر I_z للطبقة نص المسافة لإنه عندنا linear curve

- $I_z = 0.1 + \text{slope}(Z)$

$\frac{\Delta z}{2}$ = في الطبقة الأولى

$\Delta z_1 + \frac{\Delta z}{2}$ = في الطبقة الثانية

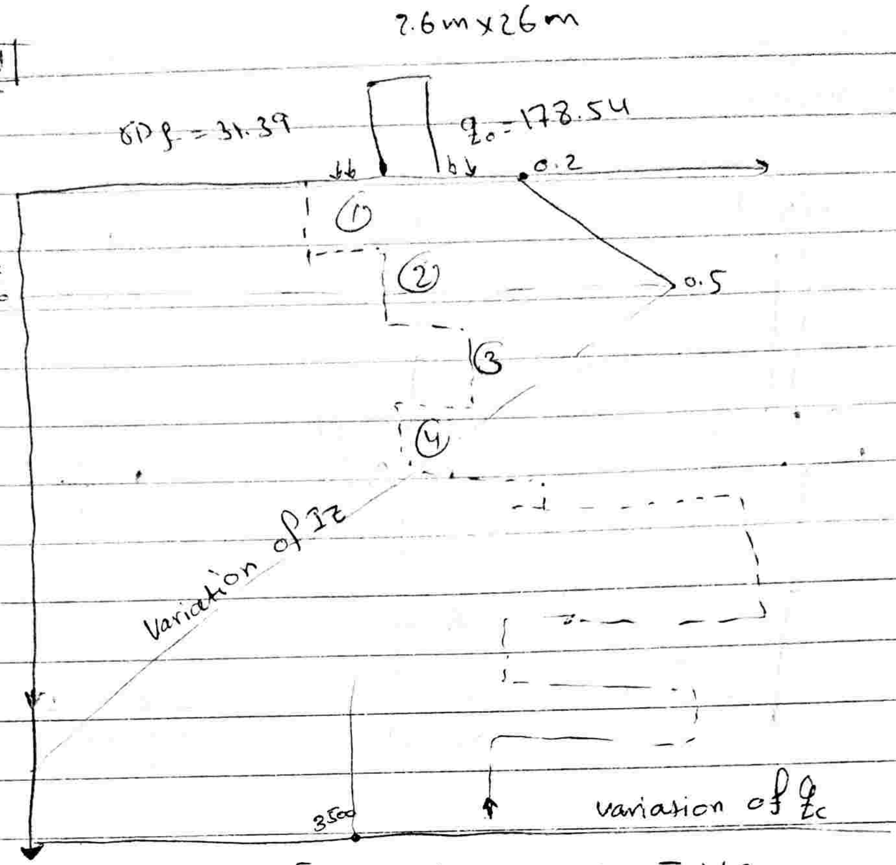


. في الطبقة الثالثة بقسم الطبقة z' و z'' ، بجيب لـ z' كالعادة

و لـ z'' ⇐ $I_z = 0.5 - \text{slope}(z)$ ← z''

* Example:- [Same]

Se ? after 5 years?



المسألة الي في الملازمة 16 page

$\Delta z_1 = 1m$

$\Delta z_2 = 2m$

$\Delta z_3 = 0.5m$

⋮

$L/B = 10$

⇒ case (2)

Calculat $C_1, C_2, q_o, \bar{q}$:- then make a Table

layer*	Δz	E_s (3.5 q_c)	I_z	$I_z \Delta z / E_s$
1	1			
2'	1.6			
2"	0.4			

• E_s for strip footing = $3.5 q_c = 3500 \times 3.5 =$

layer*1 • $I_z = 0.2 + \left(\frac{0.5-0.2}{2.6}\right)(0.5) = \boxed{0.25}$

layer*2'. $I_z = 0.2 + \left(\frac{0.5-0.2}{2.6}\right)(1.8) = 0.4$

layer*2". $I_z = 0.5 - \frac{0.5}{7.8}(0.2) = 0.48$

بنحول ال Sett. من m ← mm

* Bowel's procedure to calculate Se (for Sand & clay):-

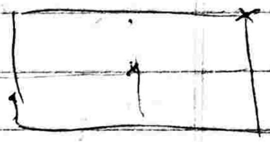
⇒ For Flexible Footing:- (same « Circular »)

* sett of corner of rect. base

$$S_e = q_o B' \frac{(1-\mu_s^2)}{E_{s\,avg}} I_s \, I_F$$

($E_{s\,avg}$: معناها في أكثر من طبقة)

* B' : lateral dimension of the footing = B



لما تأخذ بالسؤال لازم تكون النقطة ع زاوية الفاونديشن إذا ما كانت بنقسم الشكل لحتى تكون هيك

B' at corner = B

B' at center $= \frac{B}{2}$

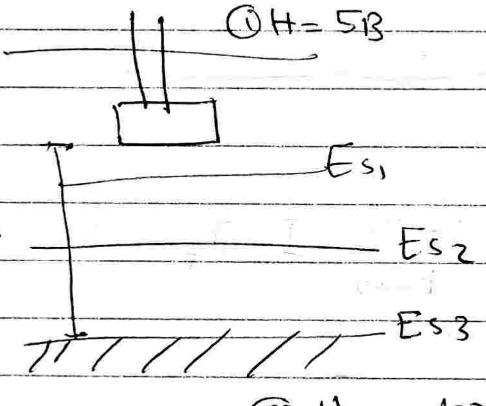
- I_s : influnce factor

$f(L/B, H/B')$

$= I_1 + \frac{1-2\mu_s}{1-\mu_s} I_2$

• H: stratum thickness through which sett is calculated

① H = 5B



② H = depth of the hard stratum

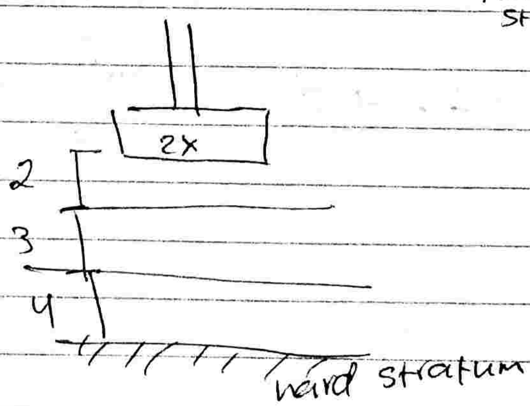
$\frac{E_{s3}}{E_{s2}} \geq 10$ ⇒ الطبقة الي تحتها hard stratum

* Example:-

H = 5B = 10m

= H hard stratum = 9m

H = 9m (بناخذ الأقل)



⇒ TABLE 5-2 :-

$N = H/B'$, $M = L/B$

$N = H/B'$ ← موجودة بالعمود

$M = L/B$ ← موجودة بالصف

↓

I_1 ← ———

I_2 ← ——— التقاطع بعطيني قيمتين

إذا ما لقينا القيمة لـ H/B' , L/B ← بنعمل Interpolation

• I_F = depth factor $f(D_f/B , L/B , \mu_s)$

D_f/B ← بالعمود

L/B ← بالصف

⇒ TABLE 5-5 :-

بنحدد أي جدول منه μ_s حسب قيمتها .

---

* sett of center :-

$$Se = \Delta H = q_o B' \frac{1-\mu_s^2}{E_{s avg}} I_s I_F \quad (4)$$

$$B' = \frac{B}{2}$$

• For Rigid Footing :- ما في تغير بالتسوية بين الـ (corner) والـ (Center) .

$$Se = \Delta H = q_o B' \frac{1-\mu_s^2}{E_{s avg}} I_{sr} I_F \quad (4)$$

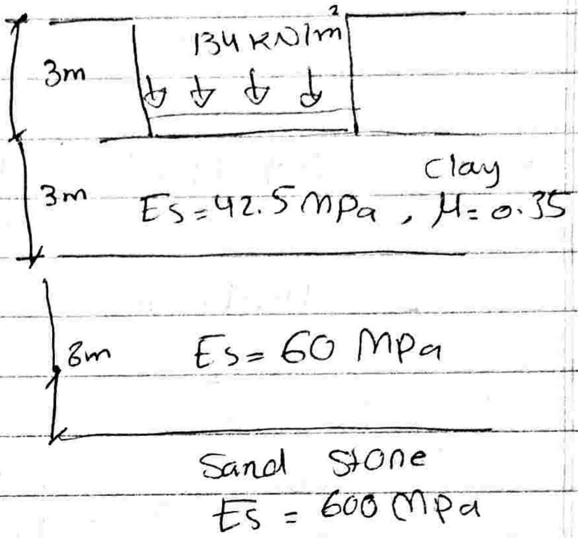
I_{sr} ↓

$= 0.93 I_s$

• Example :

(℄ → center)

Calculate the sett. under the ℄ of Raft foundation $B \times L = 33.5 \times 40\,m$, $D_f = 3m$, which is located on clay soil



• Sol :-

* ملاحظة :
ما بنطلع μsavg ، لإنه الاختلاف فيها كثير قليل فا بناخذ μs لأول طبقة بس .

① أول اشي بحدد الطريقة اللي لازم أحل عليها، ما بتنفع الانفلونس هان لإنه مش كل الطبقات Sand ،
لذلك بنستخدم Bowles

② بنحدد إذا الفوندشن بتتصرف كـ Rigid أو flexable
– هان الـ Mat Fdn. بتتصرف كـ flexable

$$B' = \frac{33.5}{2} = 16.75\,m$$

$$\Rightarrow S_e = q_o\, B' \,\frac{1-\mu_s^2}{E_{savg}}\, I_s\, I_F\, (4)$$

• To calculate E_{savg} → لازم نحدد H

H → $5B = 5 \times 34 = 170$

↳ $H_{hard\ stratum}$: $\frac{600}{60} = \frac{E_{s3}}{E_{s2}} = 10 \Rightarrow$ hard stratum

$H = 11\,m$

→ Choos $H = 11\,m$ ✓

$$E_{savg} = \frac{10^3 (3) \times 42.5 + 60 \times 10^3 \times (8)}{11} = 55 \times 10^3\ kN/m^2$$

• $H / B' = \frac{11}{16.75} = 0.66 \approx 0.7$

$L/B = \frac{39.5}{33.5} = 1.18$

→ I_2:
0.6 → 0.063
0.7 → 0.083
0.8 → 0.1

$I_2 = 0.087$

$$I_s = 0.082 + \frac{1 - 2(0.35)}{1 - 0.35}(0.087) = 0.122$$

$$\frac{D_f}{B} = \frac{3}{33.5} = 0.09$$

$$L/B = 1.2 \Rightarrow I_f = 0.85$$

$$\Rightarrow S_e = \frac{134\,(16.75)\,(1 - 0.35^2)(0.122)(0.85)(4) \times 1000}{55 \times 10^3}$$

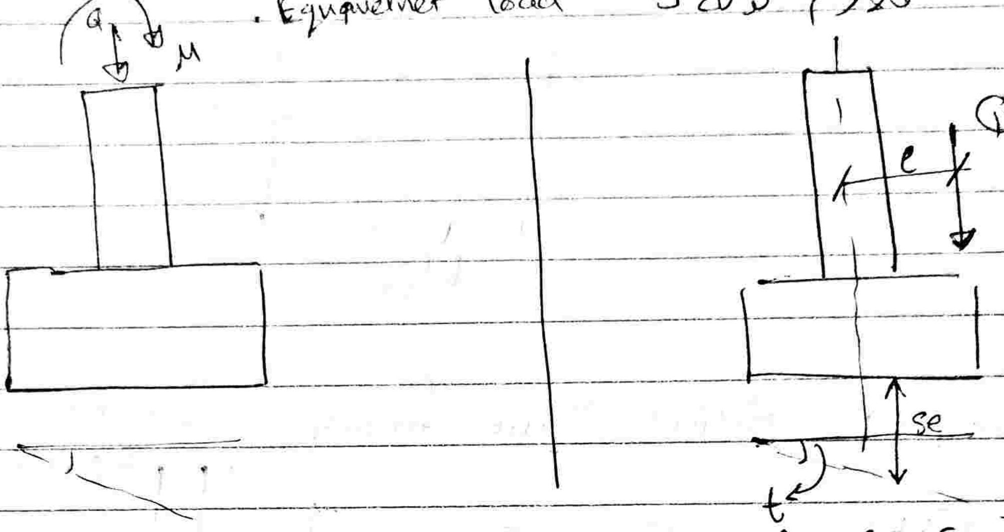
$$= \underbrace{14.9\,mm}$$

- الستلمنت كبير لأنه بس يعبر عن ال Immediat sett ، وفي عنا طبقة clay راح يصير فيها cons. يعني لازم نقرر إذا الستلمنت مناسب أو لا حسب ال Total sett.

- إذا ال Total sett في حدود أقل من 25mm فهو مناسب نوعاً ما.

* Immediate sett of Eccentrically loaded foundation :-

يعني العمود مش في السنتر.
أو في السنتر ومعه مومنت.
فلازم نحوله لـ Equivelnet load.



تكون أجزاء من الدرجة
(اللي سببها وجود المومنت)

- Procedure:-

① Calculate $Q_{ult(e)}$:

بنحسب ال Ultimate load عند وجود Eccentricity مقدارها (e).
من خلال ال (General Bearin Capacity)

② $F.S = F_1 = \dfrac{Q_{ult(e)}}{Q}$ → الموجود على القاعدة

③ Det $(Q_{ult(e=0)})$

④ $\dfrac{Q_{ult(e=0)}}{F_1} = Q_{(e=0)}$ → Equivelant concentrec footing.

لازم نرجعه للفوتنج الحقيقي.

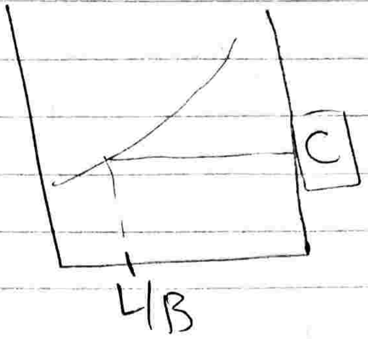
⑤ For $Q_{(e=0)}$, estimate Sett ⇒ $S_{e(e=0)}$

$$S_e = S_{e(e=0)} \left[1 - \frac{2e}{B}\right]^2$$

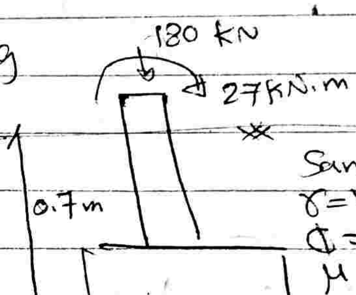
$$t = \tan^{-1}\left[C \, S_e \left(\frac{e/B}{\sqrt{BL}}\right)\right]$$

$C = \beta_1 \beta_2$

$\beta_1, \beta_2 \Rightarrow$ factors depend on L/B ratio $\rightarrow$ fig 3.32



* Example: Rigid squre footing



Sand
$\gamma = 18$
$\phi = 30°$
$\mu_s = 0.3$
$E_s = 15000\ kN/m^2$

$\Rightarrow Q = 180\ kN\ ,\ e = \frac{27}{180} = 0.15m$

* لإنه فيه Eccentricity بنروح نكمل
عل البروسيجر الي قبل :-

• $Q_{ult(e)}$

$$q_u' = q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

- $B' = 1.5 - 2(0.15) = 1.2\ ,\ L' = 1.5m$
$F_{qs} = 1.462\ ,\ F_{qd} = 1.135$
$F_{\gamma s} = 0.68\ ,\ F_{\gamma d} = 1$

- $q_u' = \frac{(548.8)(1.2)(1.5)}{180} = \frac{988}{180} = 5.49$

• $Q_{ult(e=0)}$

$$q_u = q N_q F_{\gamma s} F_{qd} + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d}$$

$F_{qs} = 1.462\ ,\ F_{qd} = 1.135\ ,\ F_{\gamma s} = 0.68\ ,\ F_{\gamma d} = 1.$
$q_u = 596.41\ kN/m^2$

$\Rightarrow Q_{ult(e=0)} = 596.41\ (1.5 \times 1.5) = 1342\ kN$

$* Q_{(e=0)} = \frac{1342}{5.49} = 244.44\ kN$

- $S_e\ (e=0) = \frac{1.5\ (244.44)}{15000\ (1.5\times1.5)}\ (1-0.3^2)(0.82)\times1000$

$= 8.1\ mm$

- $S_e = 8.1\left[1-2\left(\frac{0.15}{0.15}\right)\right]^2 = 5.18\ mm$

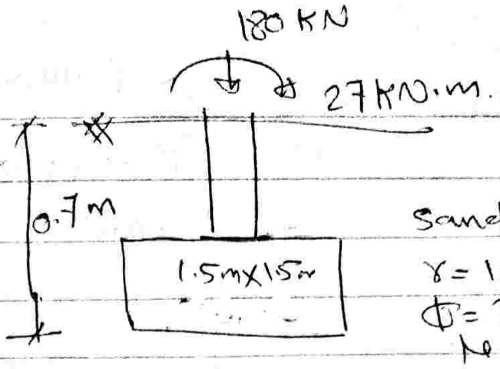
- $t = \tan^{-1}\left[c\ S_e\ \frac{e/B}{\sqrt{BL}}\right]$, $B/L = 1$

$c = 3.95$

$\Rightarrow t = 0.078\ deg.$

1

- Example:-



Sand
$\gamma = 18$
$\phi = 30°$
$\mu_s = 0.3$
$E_s = 15000\ kN/m^2$

[1] Bowel's procedre :-
at center Because
it is a Rigid Foundation.

$$S_{e(e=0)} = q_o\, B' \,\frac{1-\mu_s^2}{E_{savg}}\, I_{s_r}\, I_F \ (4)$$

- $q_o = \dfrac{Q(e=0)}{A} = \dfrac{244.44}{1.5 \times 1.5} = 108.64\ kN/m^2$ (244.44 → [illegible])

- $B' = \dfrac{1.5}{2} = 0.75\ m$

- $E_{savg} = 15000$ → مش معطي غيرها

- $\mu_s = 0.3$

- $I_{sr} = 0.93\, I_s \Rightarrow I_s = I_1 + \dfrac{1-2\mu_s}{1-\mu_s} I_2$

$H = 5B = 5 \times 1.5 = 7.5\ m$ $\Rightarrow L/B = 1$, $H/B' = 7.5/0.75 = 10$

TABLE 5-2

$I_1 = 0.498$, $I_2 = 0.016$

$I_s = 0.507$

$I_{sr} = 0.4716$

- $I_F \Rightarrow L/B = 1$, $D_f/B = 0.7/1.5 = 0.47 \Rightarrow$ TABLE 5-5

0.4 → 0.808
0.47 → [ ]
0.6 → 0.738

$$\frac{I_F - 0.808}{0.47 - 0.4} = \frac{0.738 - 0.808}{0.6 - 0.4}$$

$I_F = 0.7835$

7.305

$\Rightarrow S_e(e=0) =$ ~~[illegible]~~ mm

- $S_e = 7.305 \left[1 - 2\left(\frac{0.15}{1.5}\right)\right]^2 = 4.675$ mm

- $t = \tan^{-1}\left[3.95 \times \left(\frac{3.872}{1000}\right) \frac{\left(\frac{0.15}{9.5}\right)}{\sqrt{1.5 \times 1.5}}\right]$

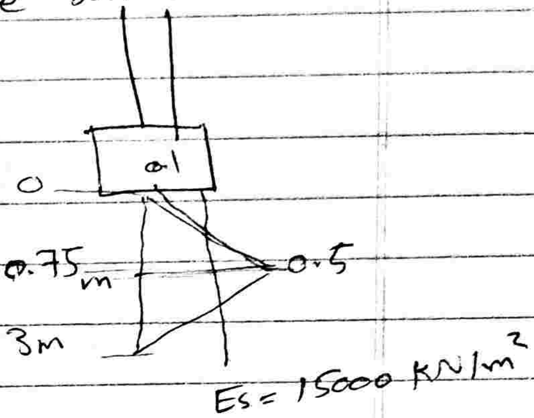
  $= 0.0705$ deg

---

[2] Strain Influence Method:-

- Assume I will Calculate the sett In 10 years

$E_s \Rightarrow$ constant



$S_e = C_1 C_2 (q_0 - \bar{q}) \sum \frac{I_z}{E_s} \Delta z$

- $q_0 = \frac{244.44}{1.5 \times 1.5} = 108.64 \text{ kN/m}^2$

- $\bar{q} = \gamma D_f = 18 \times 0.7 = 12.6 \text{ kN/m}^2$

- $C_1 = 1 - 0.5\left(\frac{12.6}{108.64 - 12.6}\right) = 0.934$

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

- $\sum I_z \Delta z \Rightarrow$

  $0 - 0.75\text{m} \Rightarrow \Delta z_1 = 0.75\text{m} \Rightarrow z_1 = 0.375$

  $I_{z_1} = 0.1 + \left(\frac{0.5 - 0.1}{0.75 - 0}\right)(0.375) = 0.3$

  $I_{z_1} \Delta z_1 = 0.225\text{m}$

  $0.75 - 3\text{m} \Rightarrow \Delta z_2 = 2.25\text{m} \Rightarrow z = \frac{2.25}{2}$

  $I_{z_2} = 0.5 - \left(\frac{0.5 - 0}{0.75 - 3}\right)\left(\frac{2.25}{2}\right)$

  $= 0.25$

  $I_{z_2} \Delta z_2 = 0.5625$

- $S_{e\,(e=0)} = \overset{6.59}{\cancel{3.475}}$ mm
- $S_e = \overset{6.59}{\cancel{3.45}} \left[1 - \frac{2(0.15)}{1.5} \right]^2 = \overset{4.219}{\cancel{2.208}}$ mm
- $t = \tan^{-1} \left[3.95 \left(\frac{\overset{4.219}{\cancel{2.208}}}{1000} \right) \left(\frac{\frac{0.15}{1.5}}{\sqrt{1.5 \times 1.5}} \right) \right] =$

$= \overset{0.0636}{\cancel{0.0333}}$ deg

DonE.

* Allowable settlements :- Skempton suggest :-

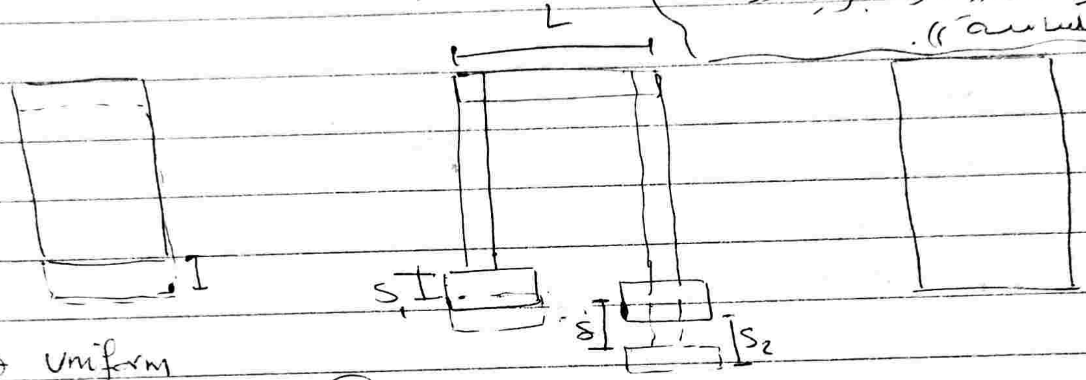
- Isolated Footing on clay 65 mm
- " " " sand 40 mm

time factor بيشتغل إلا بسبب وجود الـ

- Raft on clay 65 - 100 mm
- " " " sand 40 - 65 mm

طبعاً أنا بيدهم بناءً على نوعها الستركتر الذي بدي أعمله (إشارة مختبر فيه أدوات فحص حساسة).

* Types of settlement :-



(A) ⇒ uniform sett.

(ما بضر بالـ structural مشاكل) ولكنه عكسه يطلعه باب أو غير طابقه.

(B) ⇒ differential sett.

$\frac{\delta}{L}$ = angular distortion

⇒ Table 11.1 : angular distortion limits

← وصل الستركتر للكريتيكل، مش لازم نزيد عنها.

Example: $\frac{\delta}{L} = \frac{1}{150} = \frac{\delta}{800\ cm}$

$\delta = 5.3\ cm$

* Bjerrum ⇒ صنع مفاهيم السيتلمنت على شكل « fig + Table »

عمل جداول وضع فيهم النسبة بين $\frac{\delta}{L}$ اللي مش لازم نتجاوزهم.

- مثلاً $\frac{1}{150}$ ← بعمل دمار كامل للمبنى
- 1/500 ← يمنع حدوث كراك خطيرة
- 1/5000 ← عشان نضمن كراك صغيرة جداً.

for Sandy soil ← 5.36

for clay soil ← 5.35

* في two figers

• الخطوات:-

(1) Calculat the actual sett.

(2) Table 11.1

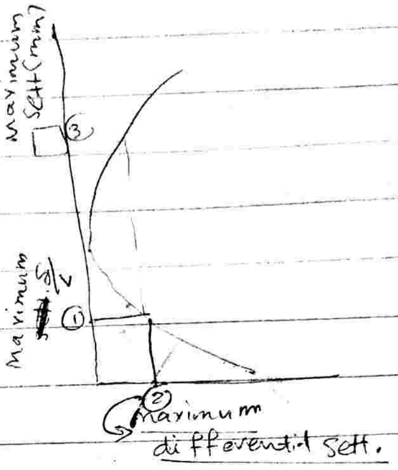
وبنختار قيمة $\frac{\delta}{L}$ اللي بدنا اياها.

بنروح ع الجراف (3)

حسب نوع السويل.

(4) بنمشي على

الجراف حسب ما انا مبينة



* اللي بختلف بـ : Sandy soil – fig
بين clay soil – fig

إنه بالسويل بتكون في منحنى واحد متقطع وواحد متواصل

متقطع ↓ footing stiff

متواصل ↓ footing flexable

* Ex: Rigid foundation for Machien on clay soil ?!

Machien ↓ بنقدر ابنها $\frac{\delta}{L}$ ← $\frac{1}{750}$

From fig 3.35:-

maximumm differ. sett = 15 mm

⇐ Total Sett. = 50 mm

* في حال كانت السويل خليط بناخذ نسبة الستلمنت حسب نسبة كل وحدة فيها.