

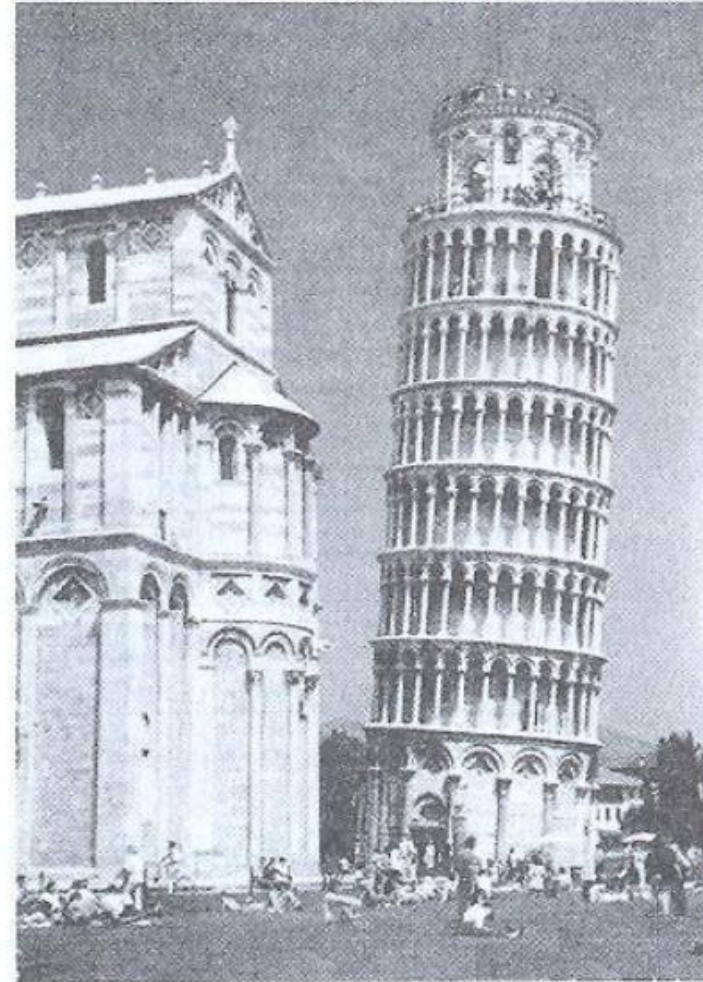
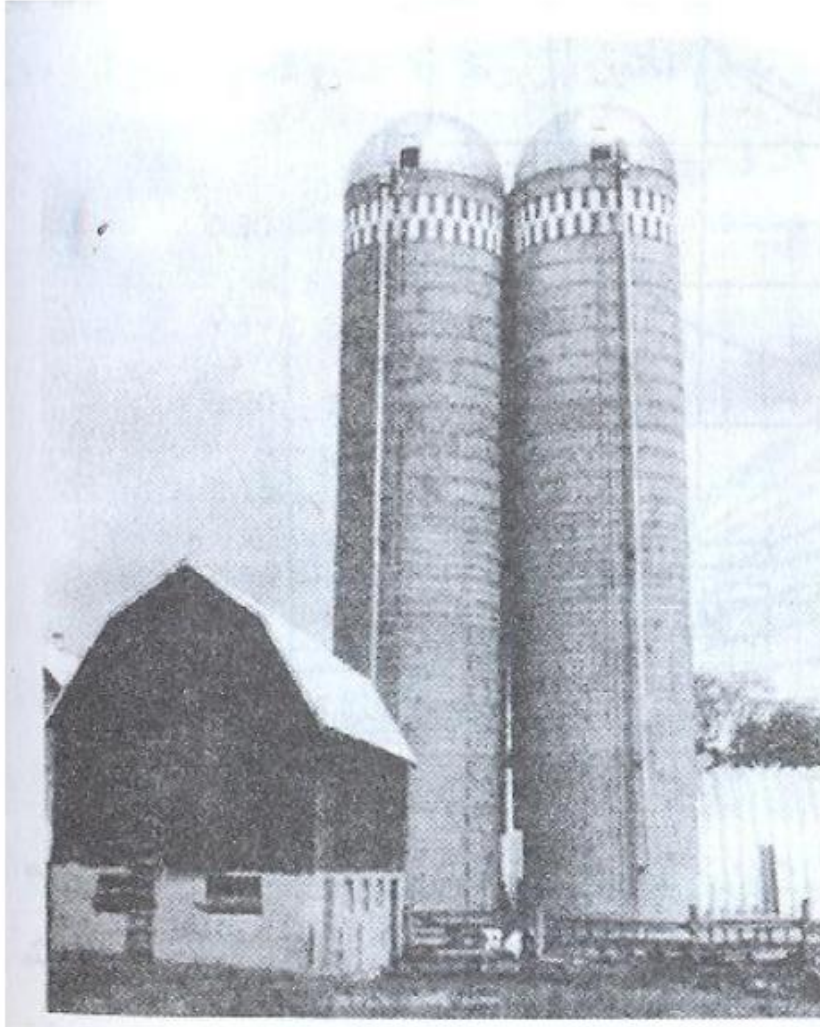


رابطی مقدم

مهندسی پی

نشست پی های سطحی

Settlement of Shallow Foundations



مثال ها

فونداسیون انعطاف پذیر دایره ای که در سطح زمین قرار گرفته است دارای شعاع $1/5$ متر می باشد. بار یکنواخت در روی سطح برابر است با 250 kN/m^2 . نشست سطح زمین را در حالت های زیر بدست آورید.

(الف) در زیر مرکز پی ، (ب) در گوشه ، (ج) میانگین، (د) صلب. نسبت پواسون برابر است با 0.3 و $E_s = 9500 \text{ kN/m}^2$.

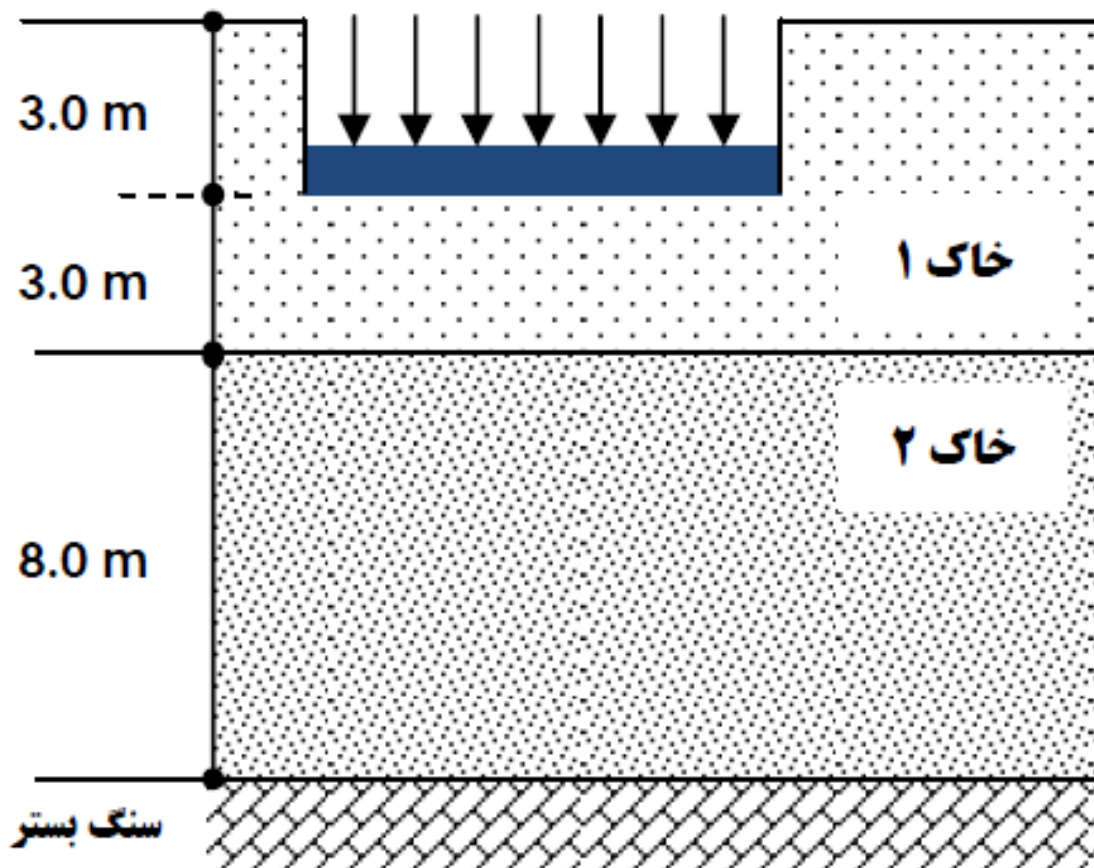
$$S_{i(\text{center})} = \frac{qB}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_s = \frac{250 \times 2 \times 1.5}{9500} (1 - 0.3^2) \times 1 = 0.0718 \text{ m} = 71.8 \text{ mm} \quad (\text{الف})$$

$$S_{i(\text{corner})} = 0.64 S_{i(\text{center})} = 0.64 \times 71.8 = 45.66 \text{ mm} \quad (\text{ب})$$

$$S_{i(\text{average})} = 0.85 S_{i(\text{center})} = 0.85 \times 71.8 = 61.03 \text{ mm} \quad (\text{ج})$$

$$S_{i(\text{rigid})} = 0.79 S_{i(\text{center})} = 0.79 \times 71.8 = 56.8 \text{ mm} \quad (\text{د})$$

مطابق شکل زیر یک پی گسترده فشار $q = 1.34 \text{ kg/cm}^2$ را به زمین منتقل می کند. میزان نشست آبی برای این پی به قرار 18 mm اندازه گیری شده است. بر اساس روابط ارائه شده، میزان نشست چقدر تخمین زده می شود؟



پارامترهای خاک ۲:

$$E_s = 60 \text{ MPa}$$

$$\mu_s = 0.35$$

ضخامت: ۸ متر

پارامترهای خاک ۱:

$$E_s = 42 \text{ MPa}$$

$$\mu_s = 0.35$$

ضخامت: ۳ متر

$$B = 33.5 \text{ m}$$

$$L = 39.5 \text{ m}$$

مطابق شکل زیر یک پی گسترده فشار $q = 1.34 \text{ kg/cm}^2$ را به زمین منتقل می کند. میزان نشست آنی برای این پی به قرار 18 mm اندازه گیری شده است. بر اساس روابط ارائه شده، میزان نشست چقدر تخمین زده می شود؟

$$E_{s(\text{avg})} = \frac{3 \times 42.50 + 8 \times 60}{11} = 55 \text{ MPa}$$

$$S_e = \frac{qB'}{E_s} (1 - \mu^2) \cdot m \cdot I_s \cdot I_F$$

برای محاسبه نشست ارتجاعی داریم:

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

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \left[M \ln \frac{(1 + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{M^2 + N^2}}{M(1 + \sqrt{M^2 + N^2 + 1})} + \ln \frac{(M + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{1 + N^2}}{M + \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right]$$

$$I_2 = \frac{N}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{M}{N \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right)$$

مطابق شکل زیر یک پی گسترده فشار $q = 1.34 \text{ kg/cm}^2$ را به زمین منتقل می کند. میزان نشست آنی برای این پی به قرار 18 mm اندازه گیری شده است. بر اساس روابط ارائه شده، میزان نشست چقدر تخمین زده می شود؟

چون رابطه ارائه شده برای تخمین نشست در گوشه پی می باشد، لذا پی مزبور را به چهار قسمت نموده و در محاسبات از $B' = 0.5B$ استفاده و برای محاسبه نشست کل، نتیجه را چهار برابر می کنیم ($m=4$)

$$B' = 0.5B = 0.5 \times 33.5 = 16.75 \text{ m}$$

$$M = (L/B) = (L'/B') = 39.5/33.5 = 1.18$$

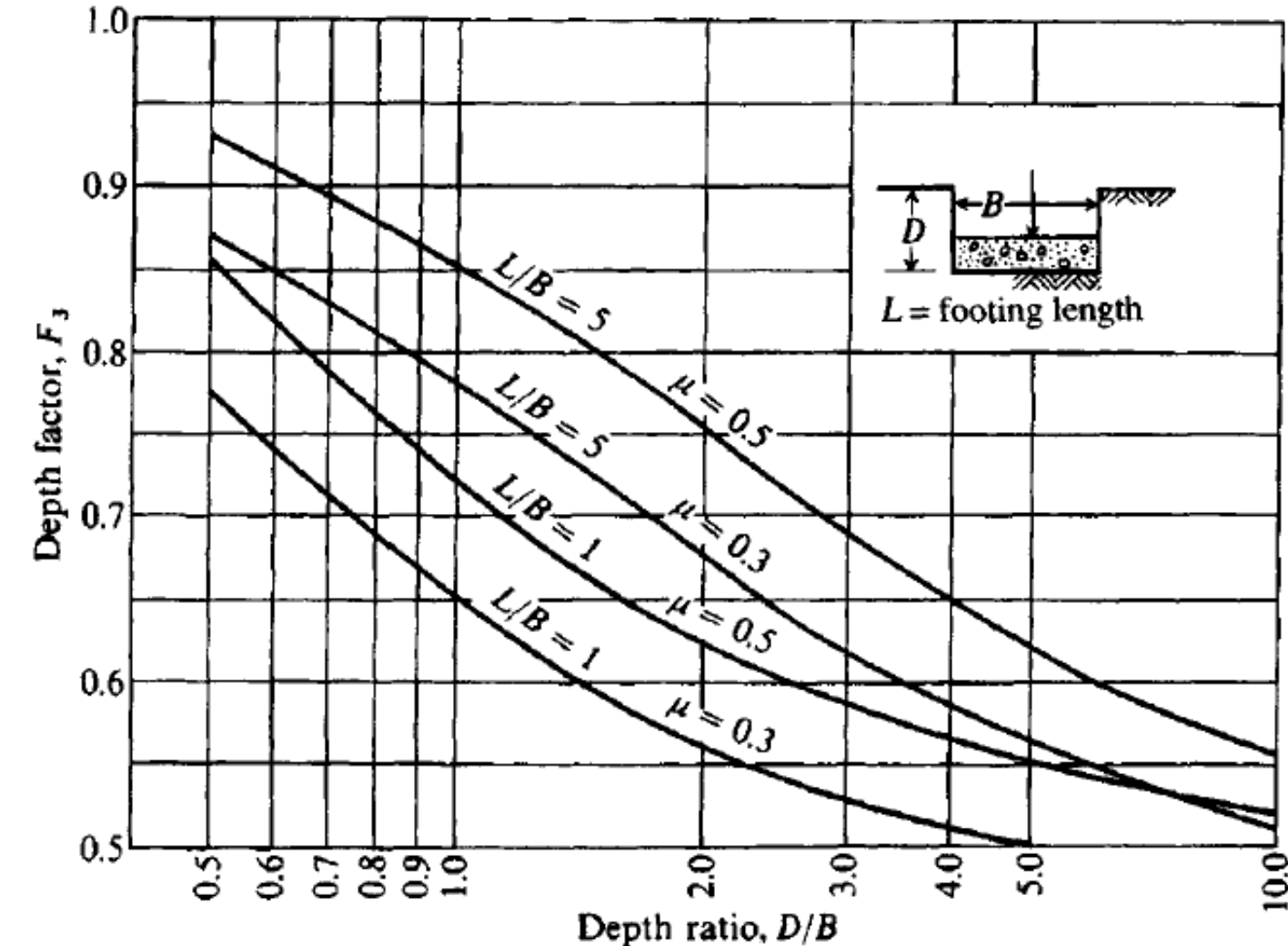
$$N = H/B' = 11/16.75 = 0.7$$

با قرار دادن مقادیر فوق در رابطه مربوط به I_1 و I_2 داریم:

$$I_1 = 0.073 \quad \text{و} \quad I_2 = 0.086$$

$$I_s = I_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} \cdot I_2 = 0.073 + \frac{1 - 2 \times 0.35}{1 - 0.35} \times 0.086 = 0.113$$

مطابق شکل زیر یک پی گسترده فشار $q = 1.34 \text{ kg/cm}^2$ را به زمین منتقل می کند. میزان نشست آنی برای این پی به قرار 18 mm اندازه گیری شده است. بر اساس روابط ارائه شده، میزان نشست چقدر تخمین زده می شود؟



$$S_e = \frac{qB'}{E_s} (1 - \mu^2) \cdot m \cdot I_s \cdot I_F$$

$$\frac{D_f}{B} = \frac{3}{33.5} = 0.09 \rightarrow I_F = 0.95$$

مطابق شکل زیر یک پی گسترده فشار $q = 1.34 \text{ kg/cm}^2$ را به زمین منتقل می کند. میزان نشست آبی برای این پی به قرار 18 mm اندازه گیری شده است. بر اساس روابط ارائه شده، میزان نشست چقدر تخمین زده می شود؟

$$S_e = \frac{qB'}{E_s} (1 - \mu^2) \cdot m \cdot I_s \cdot I_F$$

$$S_i = \Delta H = \frac{1.34 \times 16.75 \times 100 \times (1 - 0.35^2)}{55 \times 10} \times 0.113 \times 0.95 \times 4 = 1.53 \text{ cm}$$

فونداسیونی با مشخصات زیر داریم. با استفاده از توزیع تنش ۲ به ۱، ابعاد شالوده مربع شکل را طوری تعیین نمایید که نشست تحکیمی آن از **40mm** تجاوز نکند. خاک رس عادی تحکیم یافته است.

اطلاعات مسئلہ:

وزن مخصوص رس اشباع، $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

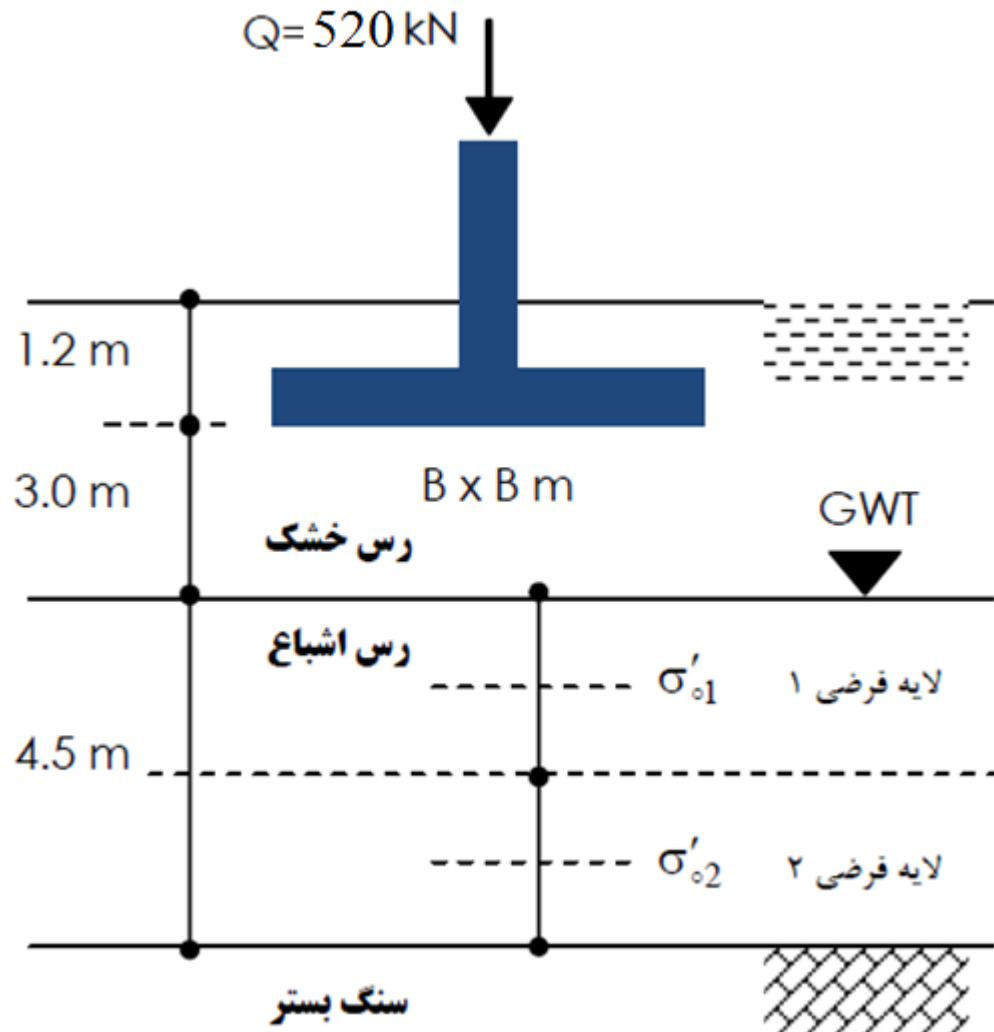
وزن مخصوص رس خشک، $\gamma = 17.8 \text{ kN/m}^3$

نوع رس: عادی تحکیم یافته

رطوبت اشباع، $\omega = 30\%$

چڱالي رس، $G_s = 2.65$

حد روانی: 50



فونداسیونی با مشخصات زیر داریم. با استفاده از توزیع تنش ۲ به ۱، ابعاد شالوده مربع شکل را طوری تعیین نمایید که نشست تحکیمی آن از 40mm تجاوز نکند. خاک رس عادی تحکیم یافته است.

حل: فشار وارد بر خاک به ابعاد شالوده بستگی داشته و نشست هم خود به فشار بستگی دارد. چون ابعاد را نداریم نمیدانیم چه فشاری باعث ایجاد نشست 40 mm می شود بنابراین یا باید به روش آزمون و خطا مسئله را حل نمایید

رس اشباع، از نوع عادی تحکیم است بنابراین رابطه نشست آن به صورت زیر خواهد بود:

$$S_c = \frac{C_c \cdot H_o}{1 + e_o} \log \left(\frac{p'_o + \Delta p'}{p'_o} \right)$$

ضریب C_c را در اختیار نداریم بنابراین مقدار آن را از رابطه تجربی زیر بدست می آوریم:

$$C_c = 0.009(LL - 10) = 0.009(50 - 10) = 0.36$$

$$e_o = G_s \cdot \omega = 2.65 \times 0.3 = 0.795$$

فونداسیونی با مشخصات زیر داریم. با استفاده از توزیع تنش ۲ به ۱، ابعاد شالوده مربع شکل را طوری تعیین نمایید که نشست تحکیمی آن از 40mm تجاوز نکند. خاک رس عادی تحکیم یافته است.

برای محاسبه دقیق تر نشست تحکیمی، لایه رس اشباع را به دو قسمت فرضی تقسیم نموده و نشست هر لایه را محاسبه و با هم جمع می نماییم تا نشست کل بدست آید. تنش های موثر اولیه در وسط لایه های فرضی عبارتند از:

$$p'_{o1} = 17.8 \times (3 + 1.2) + \frac{1}{2} \left(\frac{4.5}{2} \right) \times (19 - 10) = 84.88 \text{ kPa}$$

$$p'_{o2} = 17.8 \times (3 + 1.2) + \left(\frac{4.5}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4.5}{2} \right) \times (19 - 10) = 105.13 \text{ kPa}$$

$$\rightarrow S_{c1} = \frac{0.36 \times \left(\frac{4.5}{2} \right)}{1 + 0.795} \text{Log} \left(\frac{84.88 + \Delta p'_1}{84.88} \right) = 0.451 \cdot \text{Log} \left(\frac{84.88 + \Delta p'_1}{84.88} \right)$$

$$\rightarrow S_{c2} = \frac{0.36 \times \left(\frac{4.5}{2} \right)}{1 + 0.795} \text{Log} \left(\frac{105.13 + \Delta p'_2}{105.13} \right) = 0.451 \cdot \text{Log} \left(\frac{105.13 + \Delta p'_2}{105.13} \right)$$

فونداسیونی با مشخصات زیر داریم. با استفاده از توزیع تنش ۲ به ۱، ابعاد شالوده مربع شکل را طوری تعیین نمایید که نشست تحکیمی آن از 40mm تجاوز نکند. خاک رس عادی تحکیم یافته است.

در معادلات قبل مقدار اضافه تنش موثری که به خاک در عمق وسط لایه های فرضی رس وارد می شود مشخص نیست زیرا این فشارها به ابعاد بستگی دارند. بنابراین بر حسب ابعاد مختلف و سربارهای فرضی مختلف اضافه تنش در عمق را محاسبه می نماییم.

فرض کنید عمق وسط لایه اول از زیر فونداسیون برابر z_1 و لایه دوم z_2 باشد. در این حالت اضافه تنش قائم در وسط لایه های مذکور به روش ۲ به ۱ برابر خواهد بود با:

$$\Delta p'_1 = \frac{q \times B \times L}{(B + z_1) \times (L + z_1)}$$

$$\Delta p'_2 = \frac{q \times B \times L}{(B + z_2) \times (L + z_2)}$$

با توجه به شکل داریم: $z_1 = 4.125m$ و $z_2 = 6.375m$

فونداسیونی با مشخصات زیر داریم. با استفاده از توزیع تنش ۲ به ۱، ابعاد شالوده مربع شکل را طوری تعیین نمایید که نشست تحکیمی آن از 40mm تجاوز نکند. خاک رس عادی تحکیم یافته است.

برای بار ثابت $Q=520 \text{ kN}$ مقادیر تنش سربار برای هر پی با بعد معین مشخص گردیده و نشست محاسبه می شود. همانطور که دیده می شود این بار باعث نشست تحکیمی $37/5$ میلیمتر در پی با ابعاد $2/5$ در $2/5$ متر شده است.

B	L	$\Delta\sigma_1$	$\Delta\sigma_2$	SC_1	SC_2	$S_{TOTAL}(mm)$
1	1	19.8	9.6	0.041	0.017	58.1
2	2	13.9	7.4	0.030	0.013	43.0
2.5	2.5	11.8	6.6	0.026	0.012	37.5
3	3	10.2	5.9	0.022	0.011	33.0
4	4	7.9	4.8	0.017	0.009	26.2
5	5	6.2	4.0	0.014	0.007	21.3

$$q_{max} \leq q_a = \min \left\{ \frac{q_u}{FS}, q_s \right\}$$

مثال ظرفیت باربری مجاز (q_a) پی زیر را بر مبنای ملاحظات گسیختگی برشی خاک (q_u) و نشست پی (q_s) در دو حالت زیر تعیین کنید. کدام عامل در تعیین ظرفیت باربری مجاز کنترل کننده است. ضریب اطمینان برابر ۳ در نظر گرفته شود.

الف) پی منفرد مربعی با ابعاد ۱ در ۱

نشست مجاز: ۱ اینچ

ب) پی گسترده مربعی با ابعاد ۱۰ در ۱۰

نشست مجاز: ۲ اینچ

Q



ماسه

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 30^\circ, C = 0$$

$$E = 60 \text{ MPa}, \mu = 0.3$$

مثال) ظرفیت باربری مجاز پی زیر را بر مبنای ملاحظات ظرفیت باربری و نشست در دو حالت زیر تعیین کنید. کدام عامل در تعیین ظرفیت باربری مجاز کنترل کننده است. ضریب اطمینان برابر ۳ در نظر گرفته شود.

ماسه

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi = 30^\circ, C = 0$$

$$E = 60 \text{ MPa}, \mu = 0.3$$

الف) پی منفرد مربعی با ابعاد ۱ در ۱

نشست مجاز: ۱ اینچ

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

اگر شالوده مربعی باشد

$$\varphi = 30^\circ \longrightarrow N_\gamma = 19.7$$

$$q_{ult} = 0.4 * 18 * 1 * 19.7 \longrightarrow q_{ult} = 142 \text{ kPa} \longrightarrow q_{all} = \frac{142}{3} = 47.3 \text{ kPa}$$

مثال) ظرفیت باربری مجاز پی زیر را بر مبنای ملاحظات ظرفیت باربری و نشست در دو حالت زیر تعیین کنید. کدام عامل در تعیین ظرفیت باربری مجاز کنترل کننده است. ضریب اطمینان برابر ۳ در نظر گرفته شود.

ماسه

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi = 30^\circ, C = 0$$

$$E = 60 \text{ MPa}, \mu = 0.3$$

الف) پی منفرد مربعی با ابعاد ۱ در ۱

نشست مجاز: ۱ اینچ

$$S_i = \frac{q \cdot B}{E_s} (1 - \mu_s^2) \cdot I_s$$

$I_s = 1.12$ مرکز پی مربعی

$$q_{all_set} = \frac{S_{all} E_s}{B * (1 - \mu_s^2) * I_s} \longrightarrow q_{all_set} = \frac{0.0254 * 60 * 1000}{1 * (1 - 0.09) * 1.12} = 1495 \text{ kPa}$$

مثال ظرفیت باربری مجاز پی زیر را بر مبنای ملاحظات ظرفیت باربری و نشست در دو حالت زیر تعیین کنید. کدام عامل در تعیین ظرفیت باربری مجاز کنترل کننده است. ضریب اطمینان برابر ۳ در نظر گرفته شود.

ماسه

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi = 30^\circ, C = 0$$

$$E = 60 \text{ MPa}, \mu = 0.3$$

(ب) پی گسترده مربعی با ابعاد ۱۰ در ۱۰

نشست مجاز: ۲ اینچ

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma$$

اگر شالوده مربعی باشد

$$\varphi = 30^\circ \longrightarrow N_\gamma = 19.7$$

$$q_{ult} = 0.4 * 18 * 10 * 19.7 \longrightarrow q_{ult} = 1418 \text{ kPa} \longrightarrow q_{all} = \frac{1418}{3} = 473 \text{ kPa}$$

(مثال) ظرفیت باربری مجاز پی زیر را بر مبنای ملاحظات ظرفیت باربری و نشست در دو حالت زیر تعیین کنید. کدام عامل در تعیین ظرفیت باربری مجاز کنترل کننده است. ضریب اطمینان برابر ۳ در نظر گرفته شود.

ماسه

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi = 30^\circ, C = 0$$

$$E = 60 \text{ MPa}, \mu = 0.3$$

(ب) پی گسترده مربعی با ابعاد ۱۰ در ۱۰

نشست مجاز: ۲ اینچ

$$S_i = \frac{q \cdot B}{E_s} (1 - \mu_s^2) \cdot I_s$$

$I_s = 1.12$ مرکز پی مربعی

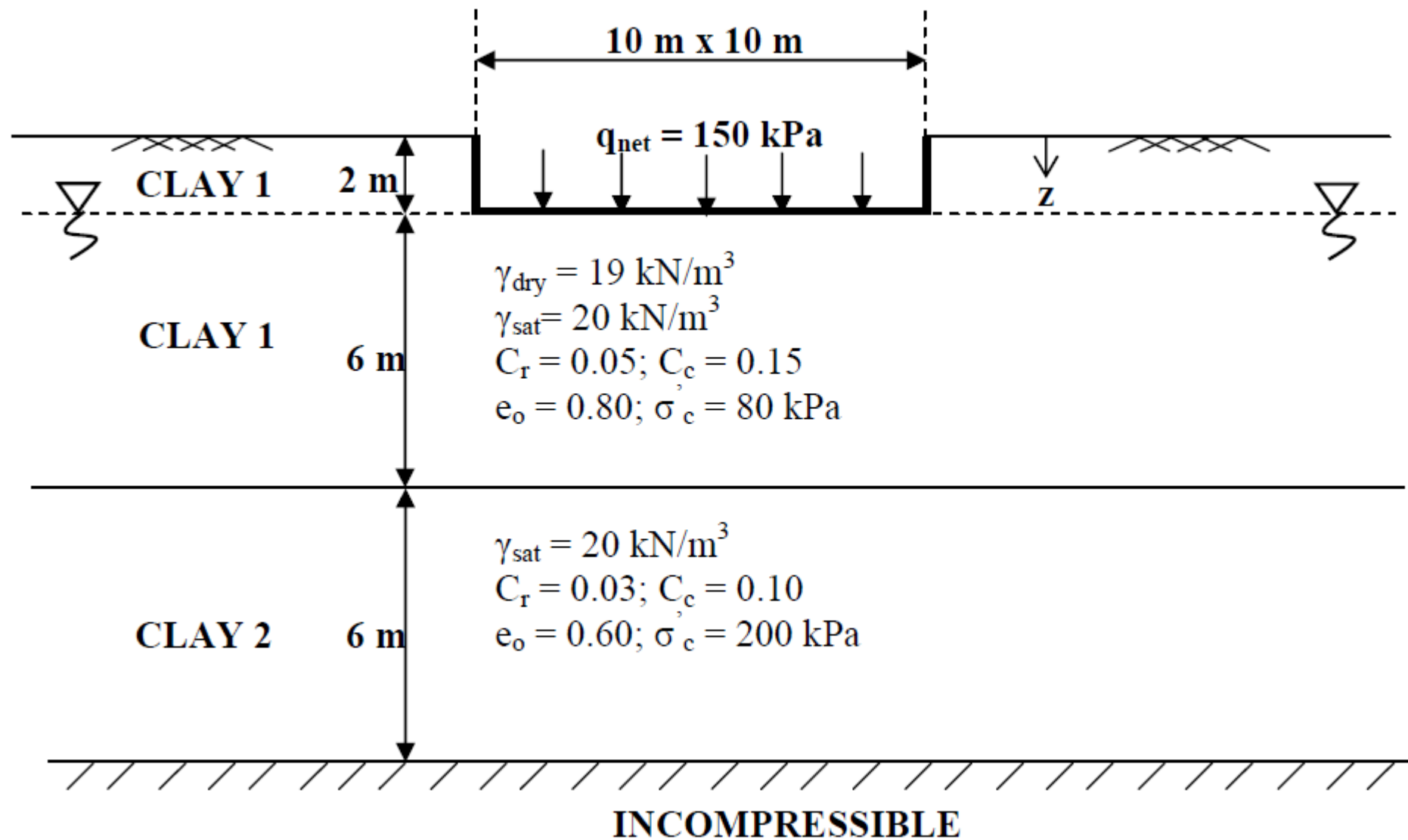
$$q_{all_set} = \frac{S_{all} E_s}{B * (1 - \mu_s^2) * I_s} \longrightarrow q_{all_set} = \frac{0.0508 * 60 * 1000}{10 * (1 - 0.09) * 1.12} = 299 \text{ kPa}$$

(مثال) ظرفیت باربری مجاز پی زیر را بر مبنای ملاحظات ظرفیت باربری و نشست در دو حالت زیر تعیین کنید. کدام عامل در تعیین ظرفیت باربری مجاز کنترل کننده است. ضریب اطمینان برابر ۳ در نظر گرفته شود.

ابعاد پی (m.m)	ظرفیت باربری مجاز بر مبنای گسیختگی برشی (kPa)	ظرفیت باربری مجاز بر مبنای نشست (kPa)	ظرفیت باربری مجاز (kPa)	عامل کنترل کننده
۱x۱	۴۷/۳	۱۴۹۵	۴۷/۳	گسیختگی برشی خاک
۱۰x۱۰	۴۷۳	۲۹۹	۲۹۹	نشست

Question:

Ignore the immediate settlement, and calculate total consolidation settlement of soil profile composed of two different types of clay, i.e. Clay 1 and Clay 2 due to 150 kPa net foundation loading. Take unit weight of water as 10 kN/m^3 . Note that σ'_c (or sometimes shown as σ'_p) is the preconsolidation pressure.



Solution:

Settlement will take place due to loading ($q_{\text{net}} = 150 \text{ kPa}$) applied at a depth of 2 m. Thus, all (consolidation) settlement calculations will be performed for clayey soil beneath the foundation ($z > 2 \text{ m}$).

Reminder: General equation of 1D consolidation settlement (one dimensional vertical consolidation) for an overconsolidated clay is;

$$S_{c,1D} = \frac{C_r}{1 + e_o} H \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_{v,o}} \right) + \frac{C_c}{1 + e_o} H \log \left(\frac{\sigma'_{v,f}}{\sigma'_c} \right)$$

*Note that, all calculations are done for the **mid-depth** of the compressible layers under the loading.*

Consolidation settlement in Clay 1:

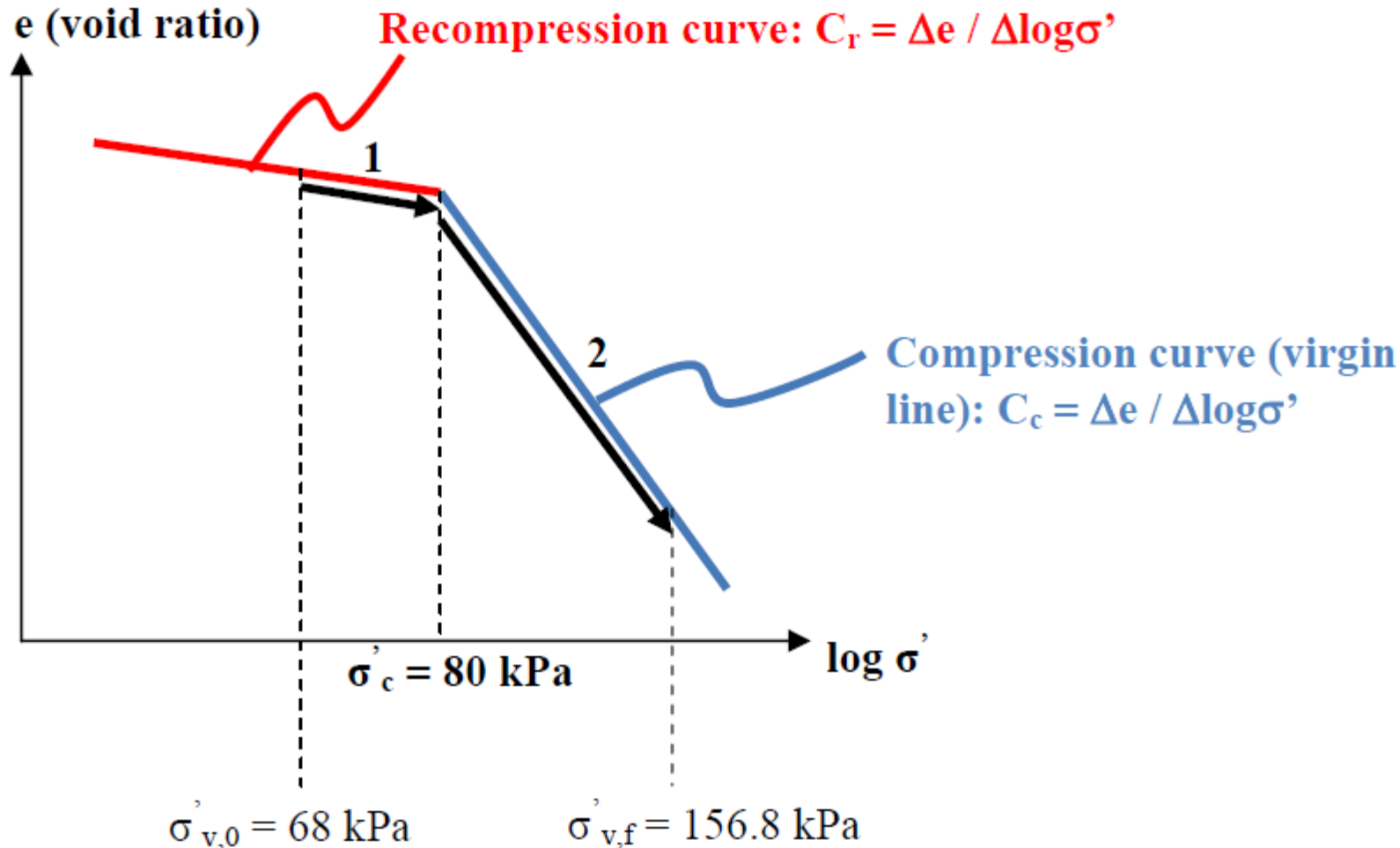
Initial effective overburden stress, $\sigma'_{v,o} = (2 \times 19) + (3 \times (20 - 10)) = 68 \text{ kPa}$

Stress increment due to foundation loading, $\Delta\sigma = [150 \times (10 \times 10)] / [(10 + 3) \times (10 + 3)] = 88.8 \text{ kPa}$

Final stress, $\sigma'_{v,f} = 68 + 88.8 = 156.8 \text{ kPa}$

This is an overconsolidated clay (overconsolidation ratio $OCR = \sigma'_c / \sigma'_{v,o} = 80 / 68 > 1.0$); and the final stress, $\sigma'_{v,f}$ is greater than σ'_c ($\sigma'_{v,f} > \sigma'_c$) therefore we should use both C_r and C_c in consolidation settlement calculation (see figure below).

This is an overconsolidated clay (overconsolidation ratio $OCR = \sigma'_c / \sigma'_{v,0} = 80 / 68 > 1.0$) ; and the final stress, $\sigma'_{v,f}$ is greater than σ'_c ($\sigma'_{v,f} > \sigma'_c$) therefore we should use both C_r and C_c in consolidation settlement calculation (see figure below).



This is an overconsolidated clay (overconsolidation ratio $OCR = \sigma'_c / \sigma'_{v,o} = 80 / 68 > 1.0$) ; and the final stress, $\sigma'_{v,f}$ is greater than σ'_c ($\sigma'_{v,f} > \sigma'_c$) therefore we should use both C_r and C_c in consolidation settlement calculation (see figure below).

$$S_{c,1D} = \underbrace{\left\{ \frac{0.05}{1 + 0.80} (6) \log \left(\frac{80}{68} \right) \right\}}_1 + \underbrace{\left\{ \frac{0.15}{1 + 0.80} (6) \log \left(\frac{156.8}{80} \right) \right\}}_2 = 0.158m = 15.8 \text{ cm}$$

Consolidation settlement in Clay 2:

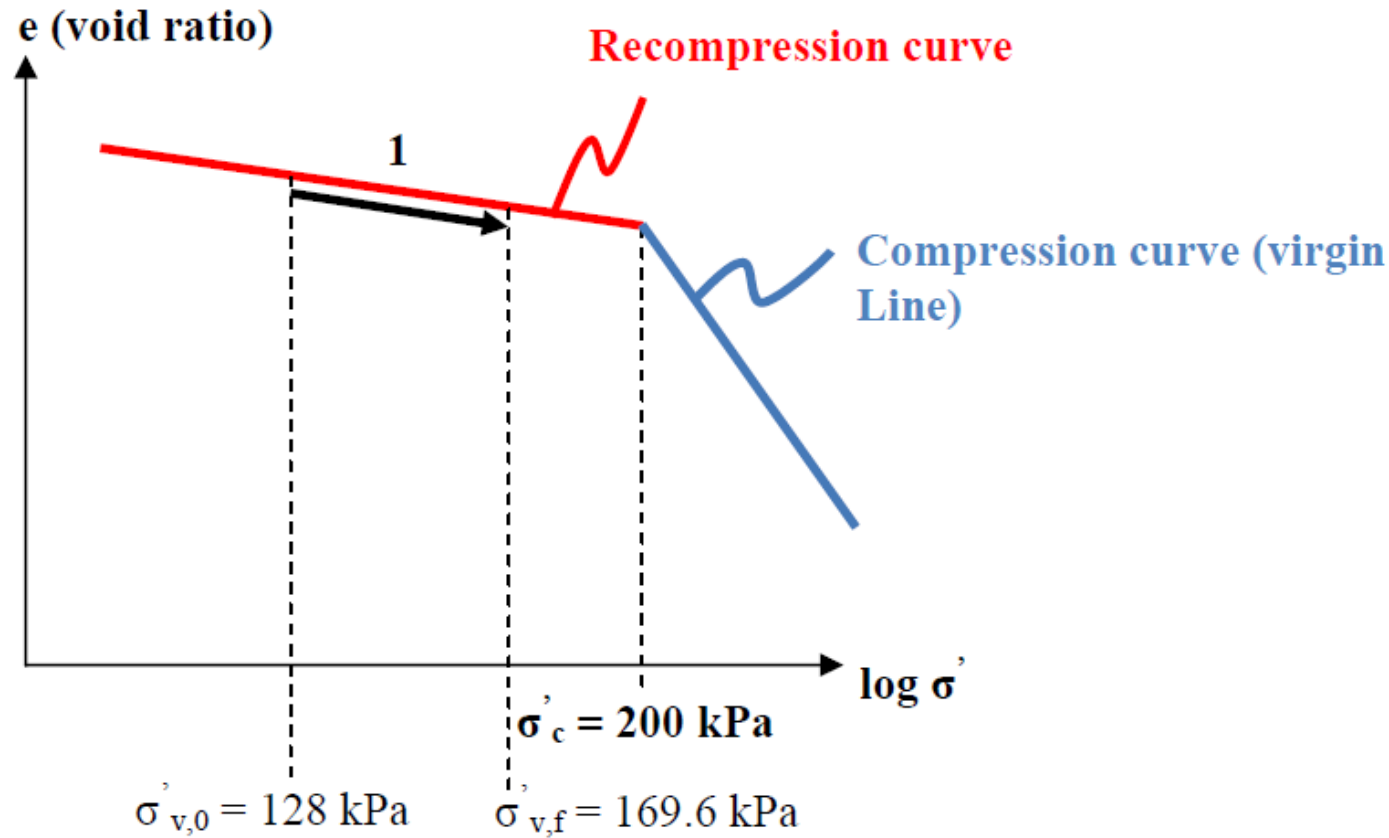
Initial effective overburden stress, $\sigma'_{v,0} = (2*19) + (6*(20-10)) + (3*(20-10)) = 128 \text{ kPa}$

Stress increment due to foundation loading, $\Delta\sigma = [150*(10*10)] / [(10+9)*(10+9)] = 41.6 \text{ kPa}$

Final stress, $\sigma'_{v,f} = 128 + 41.6 = 169.6 \text{ kPa}$

This is an overconsolidated clay (overconsolidation ratio $OCR = \sigma'_c / \sigma'_{v,0} = 200 / 128 > 1.0$) ; and the final stress, $\sigma'_{v,f}$ is less than σ'_c ($\sigma'_{v,f} < \sigma'_c$) therefore we should use only C_r in consolidation settlement calculation (see figure below).

[Note: If a soil would be a normally consolidated clay ($OCR = \sigma'_c / \sigma'_{v,0} = 1.0$), we would use only C_c in consolidation settlement calculation.]



$$S_{c,1-D} = \underbrace{\left\{ \frac{0.03}{1 + 0.60} (6) \log \left(\frac{169.6}{128} \right) \right\}}_1 = 0.014 \text{ m} = 1.4 \text{ cm}$$

Total Consolidation Settlement (1D):

$$S_{c,1D} = 15.9 + 1.4 = 17.3cm$$