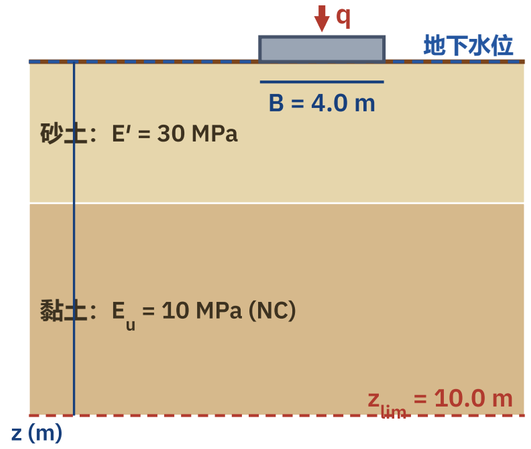
GeoTerva

岩土工程讲义 · 沉降

总沉降：黏土层与砂土层

讲义：由黏土层和砂土层组成的剖面中，瞬时沉降（弹性沉降）与黏土固结沉降的叠加，中心、角点与刚性基础，随时间变化的总沉降；每个主题均配有工程算例。

S = S_e + S_c | 黏土与砂土层 | Steinbrenner | 应力路径 | 中心 · 角点 · 刚性 | 沉降–时间曲线



引言

本讲内容

按土层类型划分沉降：**黏性土**层为瞬时沉降加固结沉降，**粒状土**层仅为弹性沉降

在相同分层中结合Steinbrenner法（瞬时沉降）和**应力路径**法（固结沉降）的计算

了解开挖的影响：**净压力**决定瞬时沉降，**隆起与再压缩**决定固结沉降

由总沉降求柔性基础的**中心**和**角点**沉降、刚性基础沉降以及差异沉降

建立沉降–时间曲线$S(t) = S_e + \Sigma\, U_i(t)\, S_{c,i}$

验证模块结果等于单一类型模块（弹性沉降 + 固结）结果之和

讲授流程

每个主题按**三个步骤**讲解：

1 · **理论**：规则是什么，为什么如此?

2 · **题目**：已知条件与所求

3 · **解答**：逐步计算，代入数值

算例剖面：6 m厚正常固结黏土覆于4 m厚砂土之上；4 × 6 m基础，q = 150 kPa。沉降量以mm计。

总沉降 = 瞬时沉降 + 固结沉降

理论

$$S = S_e + S_c \qquad \text{黏性土层：}\ S_e(\text{不排水}) + S_c \qquad \text{无黏性土层：}\ S_e(\text{排水})$$

两个分量在**相同的分层**中计算，采用相同的Boussinesq应力增量、相同的开挖和相同的计算深度。解答为**解析解**：闭式影响系数、逐分层的应力路径和Terzaghi理论；不使用有限元。

饱和黏土在施加荷载时体积不变(ν = 0.5)：这就是其瞬时沉降。水缓慢排出，黏土沿应力路径被压缩：这就是固结。砂土排水迅速，因此其沉降全部为弹性沉降。

> 对于单一类型的剖面，该模块给出与弹性沉降模块或固结模块**相同的结果**（算例6）。

> 每一土层的类型在地层剖面表中选择，并决定该土层需要哪些参数。

土层类型

土层	瞬时沉降	固结
黏性土	不排水E_u，$\nu = 0.5$	已有：C_c、C_r、C_s、e_0、σ'_p（或m_v）、C_v
无黏性土	排水E'、ν'	无

Hooke定律与Steinbrenner系数

理论

承受净压力q_{net}的完全柔性基础下的沉降，是竖向应变的积分（Boussinesq应力，均质半空间）：

$$S = \int \varepsilon_z \, dz = \int \frac{\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)}{E} \, dz$$

矩形角点的闭式解(Steinbrenner)：

$$S = q_{net}\,\alpha\,B'\,\frac{1-\nu^2}{E}\,I_s \qquad I_s = F_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu}F_2$$

m′ = L′/B′，n′ = z/B′。**中心**：α = 4，B′ = B/2；**角点**：α = 1，B′ = B。

黏性土层中ν = 0.5，故$I_s = F_1$，且$(1-\nu^2) = 0.75$。

弹性沉降计算模量

F_1、F_2、A_0、A_1、A_2的公式及详细算例见弹性沉降讲义；此处仅将其结果用于求和。

分层地层剖面与净压力

理论

位于基础底面以下深度z_{top}与z_{bottom}之间的土层，按其自身的E和ν贡献I_s的差值：

$$\Delta S_e = q_{net}\,\alpha\,B'\,\frac{1-\nu^2}{E}\,[I_s(z_{bottom}) - I_s(z_{üst})]$$

开挖卸除了基底标高处的有效上覆应力；在单一模量的弹性土中，卸载量在再加载时得以恢复，瞬时沉降由**净压力**决定：

$$q_{net} = q_{gross} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$$

若$q_{net} \le 0$，则不产生瞬时沉降（负值为弹性隆起）。

结果与分层厚度无关；分层仅用于表格和颜色分区。

NEDEN FARKLI?

瞬时沉降按**净压力**计算，固结沉降则按应力路径上的**有效应力增量**计算；开挖对二者的影响方式不同。

应力路径与土条压缩

理论

黏性土土条的固结沿**应力路径**计算，而不是由初始应力一步算至最终应力：开挖引起的回弹(C_s)；再加载时先是使隆起恢复的再压缩，以C_r再压缩至σ'_p，超过该值后按C_c发生原始压缩：

$$\sigma'_{v0} \xrightarrow{C_s} \sigma'_{exc} \xrightarrow{C_s} \sigma'_{v0} \xrightarrow{C_r} \sigma'_p \xrightarrow{C_c} \sigma'_{final} \qquad \sigma'_p = OCR \cdot \sigma'_{v0}$$

$$S_c = \sum (S_b + S_r + S_v)\,, \quad f = \frac{\Delta H}{1 + e_0} \qquad \Delta\sigma_{load} = q\, I_z(z') \qquad \sigma'_{final} = \sigma'_{exc} + \Delta\sigma_{load}$$

正常固结黏土(OCR = 1)中：$S = C_c\, f \log(\sigma'_{final}/\sigma'_{v0})$（无开挖）。

隆起为负；$S_{net} = S_c + S_{heave}$。在**保留**选项中，沉降从原始地面起算；在**归零**选项中，沉降从隆起后的坑底起算。

计算深度：$I_z(z') = p$（常用10%）或剖面底部；m_v法为线性选项。

详情

应力路径、各区段、开挖及时间曲线的完整论述见固结讲义。

题目

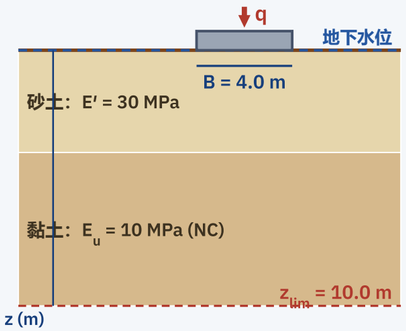
算例

已知条件

剖面	**砂土0–4 m：** $E' = 30$ MPa, $\nu' = 0.30$，$\gamma_{sat} = 19$ · **黏土4–10 m (NC)：** $E_u = 10$ MPa, $\nu = 0.5$，$e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $C_v = 2$ m²/年，$\gamma_{sat} = 18$
基础	**4 × 6 m柔性矩形基础，** $q = 150$ kPa，**位于地表；地下水位位于地表；计算深度10 m（地层剖面底部）**
开挖	**无(q_{net} = 150 kPa)**

求

各土层**中心点**与**角点**的瞬时沉降S_e。



解答

解答

1 砂土(0–4 m)：k = q(1 − ν′²)/E′ = 150(0.91)/30 000 = 0.004550；8 I_s(4) = 2.7351

$$\Delta S_e = k\,[(\alpha B' I_s)_4 - 0] = 0.004550(2.7351) = \mathbf{12.4\ mm}$$

2 黏土(4–10 m)：k = 150(0.75)/10,000 = 0.011250；8 I_s(4) = 2.3398；8 I_s(10) = 3.9643

$$\Delta S_e = 0.011250(3.9643 - 2.3398) = \mathbf{18.3\ mm}$$

中心点处S_e = 12.4 + 18.3 = **30.7 mm**；角点处3.4 + 9.8 = **13.2 mm**（角点处α = 1，B′ = B）。

在GeoTerva中验算解答 ↗

Boussinesq、影响深度及m_v法

理论

基础中心下方：矩形B × L采用Newmark角点系数，条形基础采用α封闭解：

$$\Delta\sigma = q\,I_z(z') \qquad I_z = 4\,I_{köşe}(m,n)\ \left(m=\tfrac{B}{2z'},\ n=\tfrac{L}{2z'}\right) \qquad I_{z,\text{条形}} = \frac{\alpha+\sin\alpha}{\pi}$$

影响深度：$I_z(z') = p$（通常取10%）；方形2.09 B，L = 1.5 B时为2.55 B，条形6.34 B。若选取剖面底部，则计算在最后一层终止（位于岩石或密实碎石土中）。

若剖面终止于z_{lim}以上，则最后一层延续至z_{lim}。

m_v法：$\Delta H = m_v\,\Delta\sigma'\,H$；线性，不与$C_c/C_r/C_s$混用。

本剖面中

计算深度取至剖面底部(10 m)；假定底面为刚性。黏土分层z = 7 m处，$I_z(z' = 7) = 0.1916$。

题目

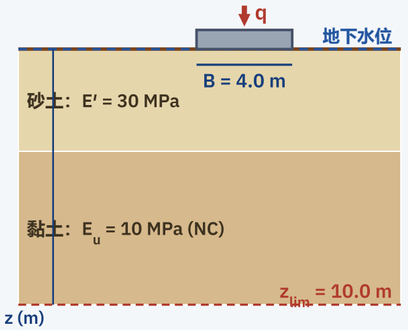
算例

已知条件

剖面	**砂土0–4 m：** $E' = 30$ MPa, $\nu' = 0.30$，$\gamma_{sat} = 19$ · **黏土4–10 m (NC)：** $E_u = 10$ MPa, $\nu = 0.5$，$e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $C_v = 2\ \text{m}^2/\text{年}$，$\gamma_{sat} = 18$
基础	**4 × 6 m柔性矩形基础，**$q = 150$ kPa，**位于地表；地下水位位于地表；计算深度10 m（地层剖面底部）**
土条	**黏土单一分层，**$H = 6$ m，**中点**$z = 7$ m；$f = H/(1 + e_0) = 3$ m
应力	$\sigma'_{v0} = 9.19(4) + 8.19(3) = 61.33$ kPa

求

I_z、$\Delta\sigma$、σ'_{final}和S_c。



解答

解答

1 Boussinesq (z′ = 7 m)：m = 2/7 = 0.2857；n = 3/7 = 0.4286

$$I_z = 4\,I_{köşe}(0.2857;\,0.4286) = 4(0.0479) = \mathbf{0.1916} \qquad \Delta\sigma = 150(0.1916) = 28.75 \text{ kPa}$$

2 最终应力和压缩量(NC: $\sigma'_p = \sigma'_{v0}$)

$$\sigma'_{final} = 61.33 + 28.75 = 90.08 \text{ kPa}$$

$$S_c = C_c f \log\frac{\sigma'_{final}}{\sigma'_{v0}} = 0.30(3)\log\frac{90.08}{61.33} = \mathbf{150.2\ mm}$$

黏土的固结沉降为**150.2 mm**：约为瞬时沉降(30.7 mm)的**4.9倍**。在软弱正常固结(NC)黏土中，沉降主要来自固结。

在GeoTerva中验算解答 ↗

中心、角点与刚性基础

理论

对每个分层，将瞬时沉降分量与（黏性土层中的）固结沉降分量相加；沿各土层累计至z_{lim}的总和即为柔性基础的**中心**沉降：

$$S = \sum \Delta S_e + \sum (\Delta S_b + \Delta S_r + \Delta S_v) \quad [+ S_{heave}]$$

$$S_{köşe} = S_{e,köşe} + S_c \qquad S_{rigid} = 0.93\, S_e + S_c \qquad S_{diff} = S_e - S_{e,köşe}$$

对于角点，仅**瞬时沉降**取角点矩形自身的数值；固结部分由中心线上的应力路径得出，并假定角点处与之相同。

刚性基础均匀沉降：瞬时部分约为柔性基础中心点的0.93倍，固结部分等于中心点的值。

基坑开挖：瞬时部分按q_{net}计算，黏土部分按隆起与再压缩计算；选择“保留”时，$S = S_e + S_c + S_{heave}$。

若以黏土为主

由于固结沉降在中心和角点相同，在黏土占主导的地层剖面中，**差异沉降**仅为瞬时沉降分量之差。

题目

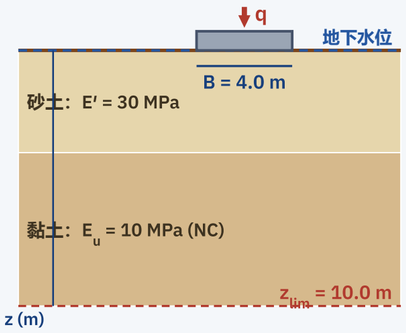
算例

已知条件

剖面	**砂土0–4 m：** $E' = 30$ MPa, $\nu' = 0.30$，$\gamma_{sat} = 19$ **· 黏土4–10 m (NC)：** $E_u = 10$ MPa, $\nu = 0.5$，$e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $C_v = 2$ m^2/年，$\gamma_{sat} = 18$
基础	**4 × 6 m柔性矩形基础，** $q = 150$ kPa**，位于地表；地下水位位于地表；计算深度10 m（地层剖面底部）**
前述算例	S_e**：中心点30.7，角点13.2 mm；** S_c **= 150.2 mm（算例1和2）**

求

中心点、角点、刚性基础的总沉降；差异沉降；瞬时沉降所占比例。



解答

解答

1 合计

$$S_{center} = 30.7 + 150.2 = \mathbf{181.0\ mm} \qquad S_{köşe} = 13.2 + 150.2 = \mathbf{163.4\ mm}$$

$$S_{rigid} = 0.93(30.7) + 150.2 = \mathbf{178.8\ mm} \qquad S_{diff} = 30.7 - 13.2 = \mathbf{17.5\ mm}$$

	S_e (mm)	S_c (mm)	总计(mm)
中心（柔性）	30.7	150.2	**181.0**
角点（柔性）	13.2	150.2	**163.4**
刚性	28.6	150.2	**178.8**

瞬时沉降仅占总沉降的**17%**；差异沉降为17.5 mm。由于黏土的固结在中心和角点相同，角点沉降为中心沉降的90%。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

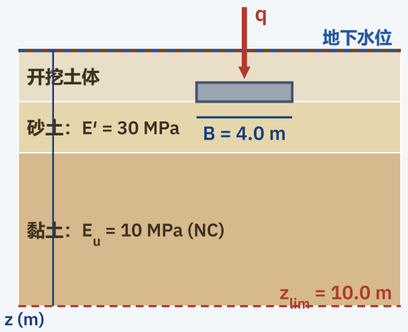
算例

已知条件

剖面	**砂土0–4 m ($E' = 30,\ \nu' = 0.30,\ \gamma_{sat} = 19$) · 黏土4–10 m (NC; $E_u = 10,\ e_0 = 1.0,\ C_c = 0.30,\ C_s = C_r = 0.06,\ \gamma_{sat} = 18$)；地下水位在地表**
开挖	**宽基坑(I_{exc} = 1)，深度2 m；基础位于基坑底面**
基础	**4 × 6 m，$q_{gross} = 150$ kPa；计算深度10 m**
土条	**砂土2–4 m (H = 2 m)，黏土4–10 m (z = 7 m, f = 3 m)**

求

q_{net}、S_e；黏土的膨胀及S_c；总沉降（保留并重置）。



解答 (1/3)

解答

1 净压力：$q_{uplift} = \sigma'_{v0}(2\ \text{m}) = 9.19(2) = 18.38$ kPa

$$q_{net} = 150 - 18.38 = \mathbf{131.62}\ \text{kPa}$$

2 瞬时沉降：砂土(z′ 0–2 m) k = 0.003992；黏土(z′ 2–8 m) k = 0.009872 ($k = q_{net}(1-\nu^2)/E$)

$$\text{砂土}: \Delta S_e = 0.003992(1.5131 - 0) = 6.0\ \text{mm}$$

$$\text{黏土}: \Delta S_e = 0.009872(3.6370 - 1.0554) = 25.5\ \text{mm}$$

开挖使净压力由150降至131.6 kPa；瞬时沉降由30.7变为**31.5 mm**（砂土上部2 m被挖除，黏土所受荷载减小）。

解答 (2/3)

解答

3 黏土：应力路径(z′ = 5 m: I_z = 0.3204)

$$\sigma'_{exc} = 61.33 - 18.38 = 42.95 \text{ kPa} \qquad \Delta\sigma = 150(0.3204) = 48.05 \text{ kPa}$$

$$\text{隆起} = -0.06(3)\log\frac{61.33}{42.95} = -27.8 \text{ mm} \qquad \sigma'_{final} = 42.95 + 48.05 = 91.00 \text{ kPa}$$

4 正常固结黏土($\sigma'_p = \sigma'_{v0}$)：S_b为膨胀回弹的恢复量，S_v为原始压缩量

$$S_b = 0.06(3)\log\frac{61.33}{42.95} = 27.8 \text{ mm} \qquad S_v = 0.30(3)\log\frac{91.00}{61.33} = 154.2 \text{ mm}$$

$$S_c = S_b + S_v = \mathbf{182.1 \text{ mm}}$$

解答 (3/3)

解答

	S_e (mm)	S_c (mm)	隆起(mm)	总计(mm)
无开挖（算例3）	30.7	150.2	0	**181.0**
已开挖，**保留**（自原始地层算起）	31.5	182.1	-27.8	**185.8**
已开挖，**置零**（自隆起后的坑底算起）	31.5	182.1	—	**213.6**

自原始地面起算的总沉降为**185.8 mm**（S_e、S_c与隆起量之和）；自隆起后的坑底起算则为**213.6 mm**。二者之差等于隆起量(27.8 mm)。

在GeoTerva中验算解答 ↗

瞬时沉降立即发生，固结则随时间发展

理论

$$T_v = \frac{C_v\, t}{H_{dr}^2} \qquad U(T_v) = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T_v} \qquad M = \frac{\pi(2m+1)}{2}$$

$$S(t) = S_e + \sum_i U_i(t)\, S_{c,i} \;\; [+ S_{heave}] \qquad t = \frac{T_v\, H_{dr}^2}{C_v}$$

S_e**即刻**产生($t = 0^+$)；固结在每个黏性土层中按各自的C_v和H_{dr}进行：$H_{dr} = H$（单向排水）或$H/2$（双向排水）。

$T_{v,50} = 0.197$; $T_{v,90} = 0.848$; $T_v < 0.05$'te $U = 2\sqrt{(T_v/\pi)}$.

该曲线是各土层曲线之和；体系的t_{50}和t_{90}值由此总和读取。不含黏性土层的剖面中没有时间曲线：全部沉降均为瞬时沉降。

选择“保留”时，曲线从隆起为零开始，到净变形结束。

砂土+黏土

砂土的沉降立即完成；**时间曲线的形状由黏土决定。**

题目

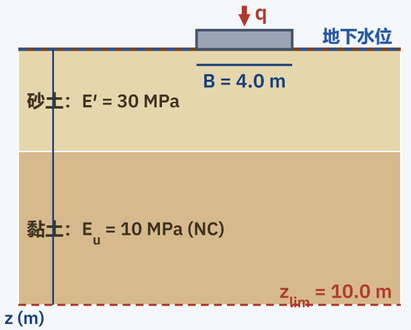
算例

已知条件

剖面	**砂土0–4 m：** $E' = 30$ MPa, $\nu' = 0.30$，$\gamma_{sat} = 19$ **· 黏土4–10 m (NC)：** $E_u = 10$ MPa, $\nu = 0.5$，$e_0 = 1.0$, $C_c = 0.30$, $C_v = 2$ m²/年，$\gamma_{sat} = 18$
基础	**4 × 6 m柔性矩形基础，** $q = 150$ kPa**，位于地表；地下水位位于地表；计算深度10 m（地层剖面底部）**
前述算例	**S_e = 30.7 mm（算例1）；S_c = 150.2 mm（算例2）；无开挖**
排水	**黏土层在顶部（砂土）和底部（坚硬底层）排水：双面排水，H = 6 m**
时间	**t = 0.25; 0.5; 1; 2; 4; 8年**

求

H_{dr}、t_{50}、t_{90}和S(t)；t = 0⁺时的沉降。



解答 (1/2)

解答

1 排水距离与时间（C_v = 2 m²/年）

$$H_{dr} = \frac{H}{2} = 3\ \text{m} \qquad t_{50} = \frac{0.197(3^2)}{2} = \mathbf{0.89}\ \text{年} \qquad t_{90} = \frac{0.848(3^2)}{2} = \mathbf{3.82}\ \text{年}$$

2 初始沉降与最终沉降

$$S(0^+) = S_e = 30.7\ \text{mm} \qquad S(\infty) = S_e + S_c = 30.7 + 150.2 = \mathbf{181.0\ mm}$$

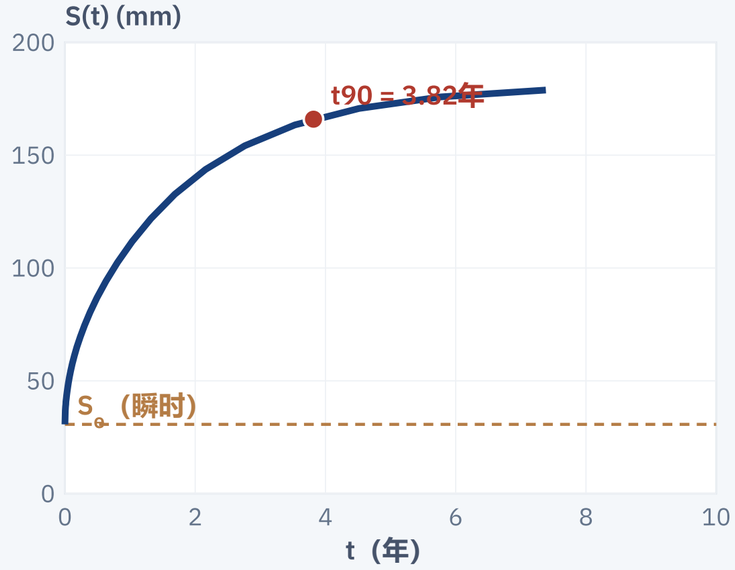
荷载施加后立即产生的沉降为30.7 mm（占总沉降的17%）；黏土固结的90%在**3.82年**内完成。

解答 (2/2)

解答

t（年）	U	$S_c(t)$ (mm)	$S(t) = S_e + S_c(t)$ (mm)
0.25	0.266	40.0	**71**
0.50	0.376	56.5	**87**
1.00	0.531	79.8	**110**
2.00	0.729	109.6	**140**
4.00	0.910	136.7	**167**
8.00	0.990	148.7	**179**

1年内总沉降为110 mm（最终值的61%），4年内为167 mm（92%）。曲线始于瞬时沉降，随黏土固结而上升。



在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

算例

已知条件

剖面	**仅有黏土层，0–6 m (NC)：** $E_u = 10$ MPa，$e_0 = 1.0$，$C_c = 0.30$，$\gamma_{sat} = 18$；**地下水位在地表**
基础	**4 × 6 m，** $q = 150$ kPa，**无开挖；计算深度6 m（剖面底部）**
对比	**弹性沉降（黏性土）和固结模块**

求

将“总沉降”模块的S_e、S_c及其总和与两个单一类型模块的结果进行比较。

解答

解答

模块	S_e (mm)	S_c (mm)	总计(mm)
弹性沉降：黏性土	35.3	—	—
固结	—	591.6	—
两个模块之和	35.3	591.6	**626.9**
总沉降(2D)	35.3	591.6	**626.9**

在单一类型土层的剖面中，总沉降模块与两个模块之和**完全一致**(626.9 mm)。角点之和为601.5 mm($S_{e,corner}$ = 9.9 + S_c)，刚性基础为624.4 mm。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

算例

已知条件

剖面	**砂质填土0–2 m (E = 12 MPa)；黏土-1 2–7 m (E_u = 8 MPa; C_c = 0.25; OCR = 1.6)；砂土7–11 m (E = 35 MPa)；黏土-2 11–20 m (E_u = 15 MPa; C_c = 0.30; OCR = 1.3)；砾砂20–30 m (E = 70 MPa)**
基础、基坑	**10 × 15 m，q_{gross} = 120 kPa；开挖深度2 m（开挖平面与基础相同）；地下水位位于2 m处**
计算深度	**影响深度，p = 10%**
结果	**总沉降模块的示例项目**

求

逐层的S_e和S_c，隆起量；中心点、角点、刚性基础的总沉降；t_{50}和t_{90}。

解答 (1/2)

解答

1 开挖深度与计算深度

$$q_{lift} = \sigma'_{v0}(2) = 18(2) = 36.0 \text{ kPa} \qquad q_{net} = 120 - 36.0 = \mathbf{84.0} \text{ kPa}$$

$$z_{lim} = D_f + z' = 2 + 25.47 = \mathbf{27.47} \text{ m}$$

填土(0–2 m)经开挖清除；计算范围涵盖从2 m至z_{lim} = 27.5 m的四个土层。最后一层（含砾砂土）被z_{lim}截断；深层土层的贡献很小。

解答 (2/2)

解答

土层	z (m)	S_e (mm)	S_c (mm)	隆起(mm)	总计=S_e + S_c + 隆起量(mm)
黏土-1（CL，软）	2.0 – 7.0	20.8	198.4	-62.6	156.6
砂土（SM，中密）	7.0 – 11.0	5.6	—	—	5.6
黏土-2（CH，坚硬）	11.0 – 20.0	14.1	27.0	-6.5	34.6
含砾砂（密实）	20.0 – 27.5	1.2	—	—	1.2
合计（中心）		**41.7**	**225.4**	**-69.1**	**198.0**

中心点**198.0 mm** = S_e 41.7 + S_c 225.4 – 隆起69.1（保留）；角点168.7 mm，刚性基础195.1 mm。时间：t_{50} = 0.72年，t_{90} = 3.71年。模块给出相同的数值。

在GeoTerva中验算解答 ↗

解读结果时应注意的要点

理论

基础底面标高=基坑底面；完全柔性基础下压力均匀；刚性基础在瞬时沉降部分≈0.93×柔性基础中心值。

瞬时沉降：各土层中均质半空间的应力（采用各自的ν）；黏性土层按不排水条件(ν = 0.5)，无黏性土层按排水条件；不作埋深修正(I_f = 1)。

固结：一维Terzaghi固结；孔隙水压力为静水压力，地下水位不受开挖影响；σ'_p为历史最大应力，不因开挖而减小；应力增量取中心下方竖线上的值。

沉降为正，隆起为负；标题栏中的选择开关可切换符号（计算引擎仍采用传统约定）。

不在范围内：次固结沉降、无黏性土层的固结、Schmertmann法及SPT/CPT图表、层内随深度增大的模量（应将土层细分）、基础刚度及土–结构相互作用、二维/三维固结、有限元、承载力、砂土液化。

小结

要点回顾

$S = S_e + S_c$：黏性土层 = 不排水瞬时沉降 + 固结沉降；无黏性土层 = 仅排水弹性沉降

瞬时沉降(Steinbrenner)：$\Delta S_e = q_{net}\,\alpha\,B'\,(1-\nu^2)/E \cdot [I_s(z_{bottom}) - I_s(z_{top})]$；$q_{net} = q_{gross} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$

固结：应力路径$\sigma'_{v0} \rightarrow \sigma'_{exc} \rightarrow \sigma'_{v0} \rightarrow \sigma'_{p} \rightarrow \sigma'_{final}$ (C_s, C_r, C_c)；NC黏土中$S_c = C_c\,f\,\log(\sigma'_{final}/\sigma'_{v0})$

中心$S_e + S_c$；**角点**$S_{e,corner} + S_c$；**刚性**$0.93\,S_e + S_c$；差异沉降=瞬时分量之差

开挖：瞬时部分取q_{net}，黏土取回弹+再压缩；“保留”时$S = S_e + S_c + S_{heave}$，“归零”时$S_e + S_c$

时间：$S(t) = S_e + \Sigma\,U_i(t)\,S_{c,i}$；$T_{v,50} = 0.197$, $T_{v,90} = 0.848$；$H_{dr} = H$（单面排水）或$H/2$（双面排水）

单一土类剖面的结果与弹性沉降模块或固结模块**完全一致**

参考文献

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage.

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage — Ch. 10–11 (stress increase, consolidation settlement, time rate).

Steinbrenner, W. (1934). Tafeln zur Setzungsberechnung. Die Strasse, 1, 121–124.

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. Wiley.

Duncan, J.M. & Buchignani, A.L. (1976). An engineering manual for settlement studies. University of California, Berkeley.

Kulhawy, F.H. & Mayne, P.W. (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. EPRI EL-6800.

注

所有数值算例均由模块自身的计算引擎生成，模块给出相同的数值（算例分层：dz = 土层厚度）。

GeoTerva

在线岩土工程计算

从理论到应用

在GeoTerva中建立自己的黏土与砂土分层剖面；模块同时给出沉降和时程曲线。

打开模块→

理论页面 →

用手机打开

试用模块无需注册。