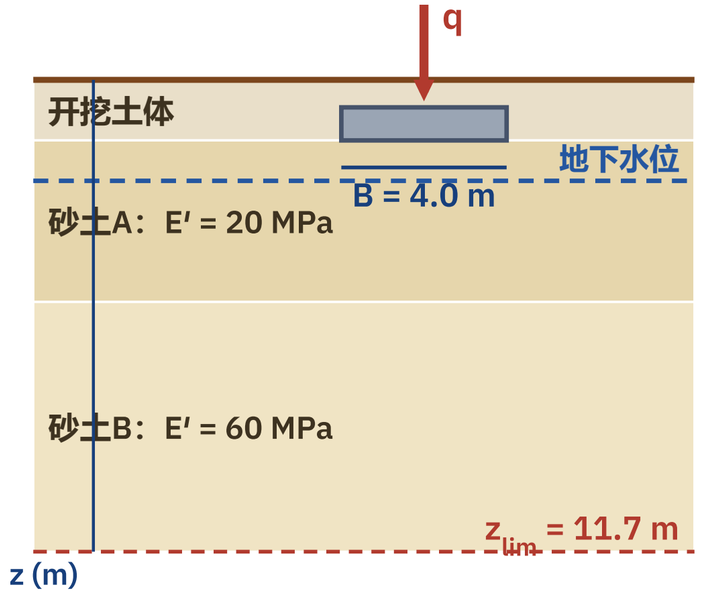
岩土工程讲义 · 沉降

弹性沉降：无黏性土

讲义：从弹性理论到Steinbrenner系数，从分层剖面到柔性基础和刚性基础；砂土层和碎石土层按排水(E′, ν′)状态考虑；每个主题均配有工程算例。

Hooke定律 | Steinbrenner系数 | 分层地层剖面 | 净压力 | 柔性基础与刚性基础 | 工程算例



引言

本讲内容

从**Hooke定律**到沉降积分：$\varepsilon_z = [\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)]/E$，以及$S = \int \varepsilon_z \, dz$

计算**Steinbrenner系数**(F_1, F_2, I_s)，并求矩形基础的**中心**沉降和**角点**沉降

将无黏性土层按**排水**条件处理：$E'/p_a = \alpha \, N_{60}$，$\nu' \approx 0.25–0.35$

按$I_s(z_{lower}) - I_s(z_{upper})$之差对**分层剖面**求和

确定**净压力**（开挖影响）和**计算深度**（影响深度）

区分**柔性**基础与**刚性**基础的沉降（刚性≈0.93×柔性中心沉降）

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

算例基础：4 m × 6 m柔性矩形基础，q = 180 kPa，开挖深度1.5 m，地下水位2.5 m；砂土层。沉降量以mm为单位。

本模块计算什么?

理论

本模块**仅处理无黏性土**（砂土、碎石土）土层并计算**弹性沉降**：由于砂土迅速排水，其沉降全部为弹性沉降。

由荷载下土体的**Boussinesq**应力，**按Hooke定律**求得应变，应变的积分即为沉降。

黏土层的瞬时沉降见“弹性沉降：黏性土”模块，固结沉降见“固结”模块，各项之和见“总沉降”模块。

解答是**解析式**的：闭式影响系数与逐层求和；不涉及有限元。

范围之外：Schmertmann法、SPT/CPT图表、随深度增大的模量（Mayne–Poulos）、基础刚度以及土–结构相互作用。

土层类型

	无黏性土
性状	排水
E	E′（如α N_{60}）
ν	0.25 – 0.35

Hooke定律与沉降积分

理论

在承受净压力q_{net}的**完全柔性**基础下，土体为半无限均质弹性介质（Boussinesq应力）。Hooke定律给出竖向应变，其积分给出沉降：

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

侧向应力取决于ν，因此变形和沉降**既随E变化，又随ν变化**。

ν增大时，侧向应力使竖向应变**减小**：E相同时，ν = 0.5的土体比ν = 0.3的土体沉降更小。

沉降与E**成反比**：模量增大一倍，沉降减小一半。

符号说明

q_{net}：净压力（开挖后新增）

$\Delta\sigma_z$, $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$：应力增量

E, ν：土层的弹性常数

ε_z：竖向应变（压缩为正）

题目

算例

已知条件

附加应力	$\Delta\sigma_z = 100$ kPa, $\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y = 40$ kPa
土	$E' = 20$ MPa, $\nu' = 0.30$
土条	**厚度1.0 m**

求

求竖向应变和该分层的压缩量；并与ν = 0（一维）假定下的结果比较。

解答

解答

1 竖向应变

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)}{E} = \frac{100 - 0.30(40 + 40)}{20{,}000} = \frac{76.0}{20{,}000} = \mathbf{0.00380}$$

2 分层的压缩量(H = 1.0 m)

$$\Delta S = \varepsilon_z H = 0.00380(1.0) = \mathbf{3.80}\ \text{mm}$$

3 对比：ν = 0

$$\varepsilon_z = \frac{100}{20{,}000} = 0.00500 \ \Rightarrow\ \Delta S = 5.00\ \text{mm}$$

侧向应力(ν = 0.30)使变形减小**24%**：3.80 mm，而一维情形为5.00 mm。

在GeoTerva中验算解答 ↗

角点的闭式解

理论

均布荷载矩形的**角点**处，积分有闭式解(Steinbrenner)：

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

$$F_1 = \frac{A_0 + A_1}{\pi} \qquad F_2 = \frac{n'}{2\pi}\tan^{-1} A_2$$

m′ = L′/B′，n′ = z/B′（B′为角点矩形的短边）。**中心点**是四个(B/2 × L/2)矩形的公共角点：α = 4，B′ = B/2。**角点**是整个矩形的角点：α = 1，B′ = B。其他任意点的应力为以该点为角点的四个矩形的代数和。

> 当ν = 0.5时，(1 − 2ν) = 0：**$I_s = F_1$**，且(1 − ν²) = 0.75。

符号说明

α：角点矩形数（中心为4，角点为1）

B′：角点矩形的短边

m′ = L′/B′, n′ = z/B′

z：距基础底面的深度

I_s：形状系数

A_0、A_1、A_2及条带边界

理论

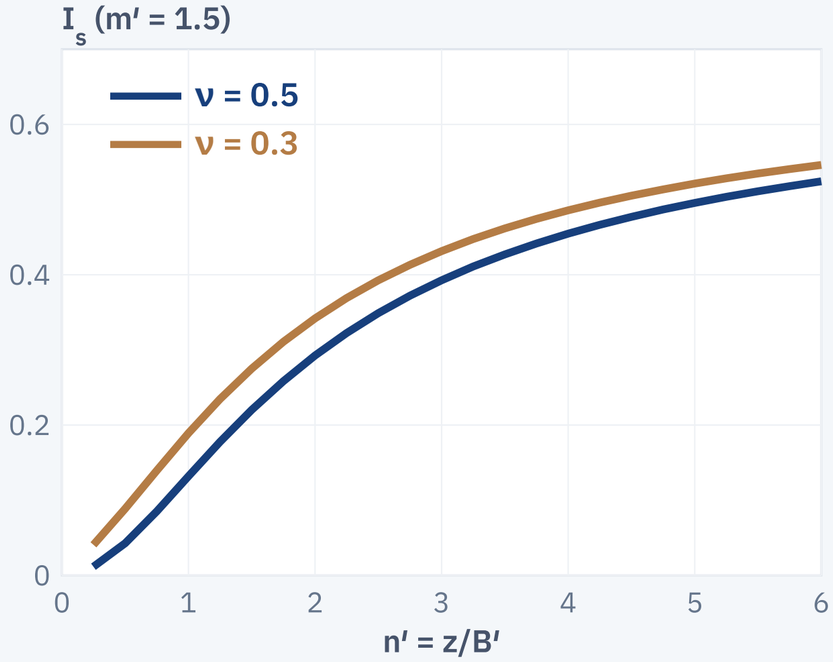
$$A_0 = m' \ln \frac{\left(1+\sqrt{m'^2+1}\right)\sqrt{m'^2+n'^2}}{m'\left(1+\sqrt{m'^2+n'^2+1}\right)}$$

$$A_1 = \ln \frac{\left(m'+\sqrt{m'^2+1}\right)\sqrt{1+n'^2}}{m'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \qquad A_2 = \frac{m'}{n'\sqrt{m'^2+n'^2+1}}$$

条形基础($m' \to \infty$)：$F_1 = \ln(1+n'^2)/2\pi$，$F_2 = (n'/2\pi)\tan^{-1}(1/n')$；在其边缘处$\alpha = 2$，$B' = B$。

计算引擎直接按公式计算；无需图表或取整后的表格。

I_s随深度增大，并**缓慢趋于饱和**：深层土的贡献有限（侧边$m' = 1.5$）。



题目

算例

已知条件

基础	**B × L = 4 × 6 m，中心下方深度z′ = 4 m处（自基础底面起算）**
角点矩形	**B/2 × L/2 = 2 × 3 m ⇒ B′ = 2 m, m′ = 1.5, n′ = z′/B′ = 2.0**
土	$\nu' = 0.30$

求

求A_0、A_1、A_2、F_1、F_2和I_s的值。

解答

解答

1 A_0、A_1、A_2（平方根：$\sqrt{(m'^2+1)}=1.8028$；$\sqrt{(m'^2+n'^2)}=2.5000$；$\sqrt{(m'^2+n'^2+1)}=2.6926$）

$$A_0 = 1.5\ln\frac{(1+1.8028)(2.5000)}{1.5(1+2.6926)} = \mathbf{0.3527} \qquad A_1 = \ln\frac{(1.5+1.8028)\sqrt{5}}{1.5+2.6926} = \mathbf{0.5662}$$

$$A_2 = \frac{1.5}{2(2.6926)} = \mathbf{0.2785}$$

2 F_1、F_2和I_s

$$F_1 = \frac{0.3527+0.5662}{\pi} = \mathbf{0.2925} \qquad F_2 = \frac{2}{2\pi}\tan^{-1}(0.2785) = \mathbf{0.0865}$$

$$I_s = F_1 + \frac{1-2(0.30)}{1-0.30}F_2 = \mathbf{0.3419}$$

$I_s = F_1 + 0.5714\,F_2 = \mathbf{0.3419}$；若$\nu' = 0.5$，则剩下$F_1 = 0.2925$（减少14%）。

在GeoTerva中验算解答 ↗

排水模量E′与ν′

理论

砂土排水迅速，因此呈排水特性；其沉降全部为弹性沉降。在原文献(Das)中，砂土的模量由SPT按$E'/p_a = \alpha\, N_{60}$取值($p_a \approx 100$ kPa)：

$$\frac{E'}{p_a} = \alpha\, N_{60} \qquad \alpha = 5\ \text{(细砂)}\ \ 10\ \text{(洁净NC)}\ \ 15\ \text{(洁净OC)}$$

砂土的模量随深度**增大**：应将厚土层划分为E′逐层增大的若干土层。

ν′一般为0.25–0.35；ν′必须小于0.5（粒状土层不能输入ν′ ≥ 0.5）。

弹性沉降也随ν′变化：ν′越大，沉降越小。

砂土的α

α	E′ (N_{60} = 20)
5	10 MPa
10	20 MPa
15	30 MPa

题目

算例

已知条件

砂土	$N_{60} = 20$, $p_a = 100$ kPa; $\alpha = 5,\ 10,\ 15$
泊松比	$\nu' = 0.25;\ 0.30;\ 0.35$ **(E′ = 20 MPa)**
参考	**α = 10，ν′ = 0.30时的单层沉降S = 29.0 mm（算例6）**

求

各α对应的**E′**；ν′ = 0.25、0.30、0.35和0.5时的沉降。

解答

解答

1 $E' = \alpha N_{60} p_a$ (N_{60} = 20; p_a = 100 kPa)

$$E' = \alpha N_{60} p_a: \quad 5(20)(0.1) = \mathbf{10}\ \text{MPa},\ \ 10(20)(0.1) = \mathbf{20},\ \ 15(20)(0.1) = \mathbf{30}\ \text{MPa}$$

ν′	0.25	0.30	0.35	0.50
S (mm)	30.1	29.0	27.7	22.8
$S / S_{\nu'=0.30}$	1.038	1.000	0.955	0.786

E′从10增至30 MPa时，沉降由58 mm降至19 mm（成反比）。ν′由0.25增至0.35，沉降仅改变8%；若ν′ = 0.5，沉降将减小21%。

在GeoTerva中验算解答 ↗

开挖首先卸除荷载

理论

开挖卸除了坑底标高处的**有效上覆自重应力**（地下水位不变）。当卸载与再加载采用同一个模量时，开挖引起的弹性隆起在再加载时恢复；瞬时沉降由**净压力**决定：

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

- $\sigma'_{v0}(D_{exc})$：基坑底面处的初始有效应力（地下水位以上取γ，以下取$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$）。
- 若$q_{net} \le 0$，则不产生沉降（负值为弹性隆起）。
- 若无开挖，$q_{net} = q_{gross}$（压力作用于地面）。

NEDEN NET?

开挖时移除的土体重量所对应的荷载，在基础建成后**得以恢复**。土体的沉降仅由在该荷载**之上附加**的压力引起。

题目

算例

已知条件

荷载	$q_{gross} = 180$ kPa；**开挖深度**$D_{exc} = 1.5$ m
土	$\gamma = 18.5$ kN/m^3, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3
地下水位	**(a) 2.5 m（基坑底以下） · (b) 1.0 m（基坑底以上）**

求

求每种情形下的$\sigma'_{v0}(D_{exc})$和q_{net}值。

解答

解答

1 (a)地下水位2.5 m > 1.5 m：坑底处无水

$$\sigma'_{v0} = \gamma D_{exc} = 18.5(1.5) = 27.75 \text{ kPa} \Rightarrow q_{net} = 180 - 27.75 = \mathbf{152.25} \text{ kPa}$$

2 (b)地下水位1.0 m：基坑底位于水位以下0.5 m(γ′ = 19.5 − 9.81 = 9.69 kN/m³)

$$\sigma'_{v0} = 18.5(1.0) + 9.69(0.5) = 23.345 \text{ kPa} \Rightarrow q_{net} = 180 - 23.345 = \mathbf{156.66} \text{ kPa}$$

若水位高于基坑底面，则卸除的有效应力减小，净压力**增大**(152.2 → 156.7 kPa)：地下水位较高会使瞬时沉降增大。

在GeoTerva中验算解答 ↗

影响深度：Δσ = p · q

理论

荷载下的附加应力随深度减小，但不会为零；求和需设一个下限：**计算深度z_{lim}**。模块提供两条规则：

影响深度：基础中心下方Boussinesq应力增量降至所施加压力的**p**倍处的深度（常取p = 10%）：$I(z') = p$，$z_{lim} = D_f + z'$。

剖面底部：计算终止于最后一层（岩石或密实碎石土等坚硬底面；Steinbrenner的刚性底面土层）。

若剖面终止于z_{lim}之上，则最后一层以相同的性质延续至z_{lim}。

$$I = \frac{\Delta\sigma_z}{q} = 4\,I_{corner}(m,n) \qquad m = \frac{B}{2z'},\ n = \frac{L}{2z'}$$

z′/B (p = %10 | %20)

L/B	p = %10	p = %20
1.0	2.09 B	1.40 B
1.5	2.55 B	1.70 B
2.0	2.92 B	1.94 B
5.0	4.33 B	2.68 B
条形	6.34 B	3.13 B

题目

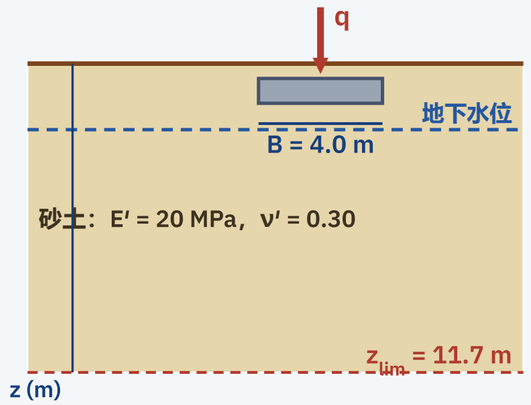
算例

已知条件

基础	B × L = 4 × 6 m (L/B = 1.5)，位于基坑底；D_f = 1.5 m
规则	影响深度，p = 10% (I = 0.10)
公式	$I = 4\,I_{corner}(m,n),\ m = B/2z',\ n = L/2z'$

求

z′与z_{lim}；z′ = 4 m和10.19 m时I的值。



解答

解答

1 z′ = 4 m: m = 2/4 = 0.5; n = 3/4 = 0.75

$$I = 4\,I_{corner}(0.5;\ 0.75) = 4(0.1071) = \mathbf{0.4283}$$

2 条件I = 0.10：用二分法

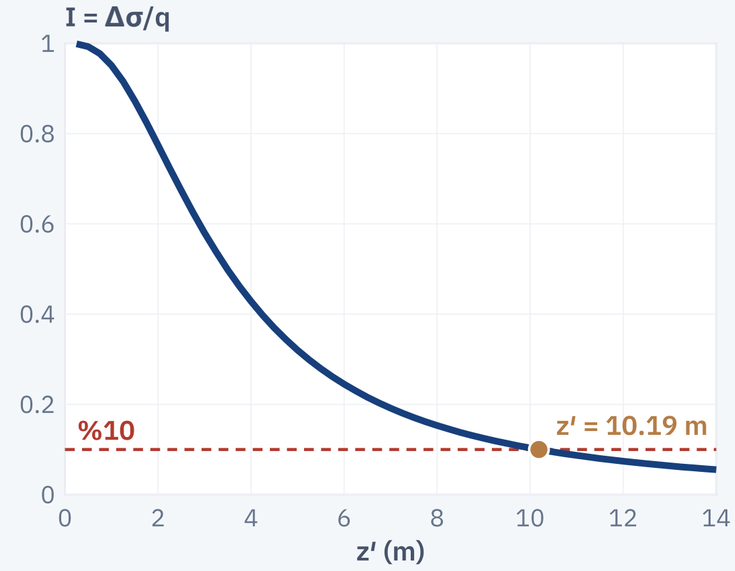
$$z' = \mathbf{10.19}\ \text{m} \quad (= 2.55\,B)$$

$$z_{lim} = D_f + z' = 1.5 + 10.19 = \mathbf{11.69}\ \text{m}$$

3 验算：z′ = 10.19 m ⇒ m = 2/z′，n = 3/z′

$$m = 0.1963,\ n = 0.2945$$

$$I = 4(0.0250) = \mathbf{0.1000}$$



累加至10.19 m(2.55 B)的深度；其下为压力小于10%的区域。正方形基础为2.09 B，条形基础为6.34 B：**宽大的基础影响深度更大。**

在GeoTerva中验算解答 ↗

土层的贡献：I_s差值

理论

位于z_{top}与z_{bottom}（自基础底面起算）之间的土层，贡献的是半无限介质解在**两个深度处的差值**，并采用其自身的E和ν：

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

这是Hooke应变在土层上的积分（采用均质半空间应力）：对于这一假定，结果是**精确的**；结果与分层厚度Δz无关（分层仅用于表格和色块区域）。

它取代单层公式中的**加权平均模量**。

刚度随深度增加的土层应划分为若干层。

总计

剖面的沉降是各土层贡献直至z_{lim}的**总和**：$S = \Sigma\,\Delta S_i$。每一土层仅计入位于基底标高与z_{lim}之间的部分。

题目

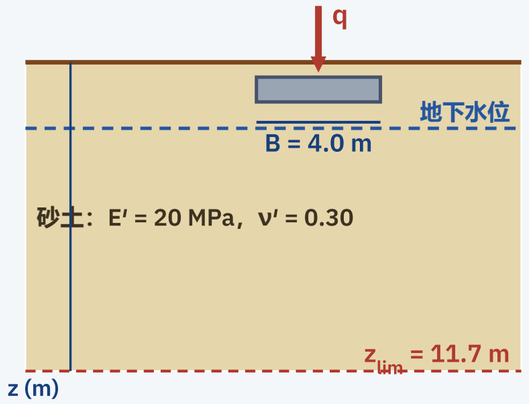
算例

已知条件

基础	**矩形，B × L = 4 × 6 m，基底深度D_f = 1.5 m（开挖底面）**
荷载	$q_{gross} = 180$ kPa **（柔性基础，均布压力）**
土	**单层砂土：** $E' = 20$ MPa, $\nu' = 0.30$, $\gamma = 18.5$ kN/m^3**；地下水位2.5 m**
计算深度	**影响深度，p = 10%（算例5）：z′ = 10.19 m，z_{lim} = 11.69 m；土层延伸至该深度**

求

柔性基础的**中心**沉降**S**。



解答 (1/2)

解答

1 净压力（算例4a）及系数k = $q_{net}(1-\nu^2)/E$

$$q_{net} = 152.25 \text{ kPa} \qquad k = \frac{q_{net}(1-\nu^2)}{E} = \frac{152.25(0.91)}{20{,}000} = 0.006927 \quad \text{(无量纲)}$$

2 中心：α = 4，B′ = B/2 = 2 m，m′ = 1.5；z′ = 10.19 m ⇒ n′ = z′/B′ = 5.094

$$A_0 = 0.6569,\ A_1 = 0.9097,\ A_2 = 0.0545$$

$$F_1 = 0.4986,\ F_2 = 0.0441 \ \Rightarrow\ I_s = \mathbf{0.5239}$$

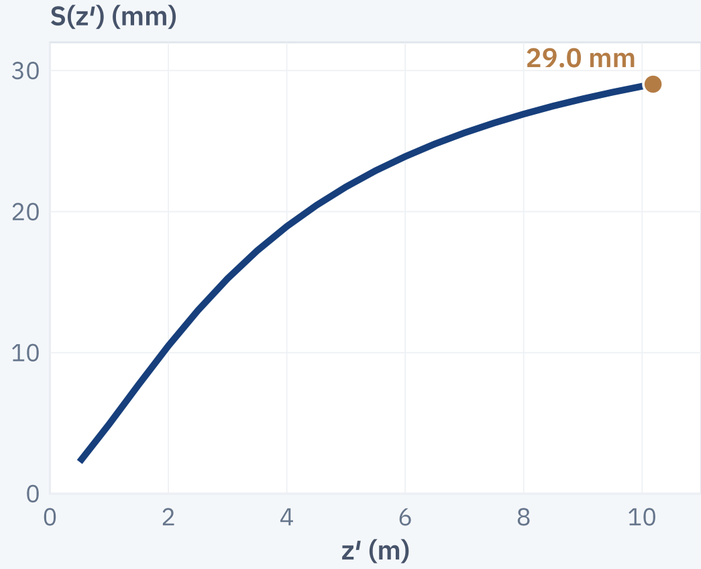
解答 (2/2)

解答

3 沉降：$S = k \cdot \alpha\, B' \cdot I_s$

$$S = 0.006927\,(4)(2)(0.5239) = 0.006927(4.1909)$$
$$= 0.02903\ \text{m} = \mathbf{29.0\ mm}$$

中心沉降为**29.0 mm**。S(z′)图中：沉降的大部分发生在上部2B(8 m)范围内；深层土层的贡献很小。



在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

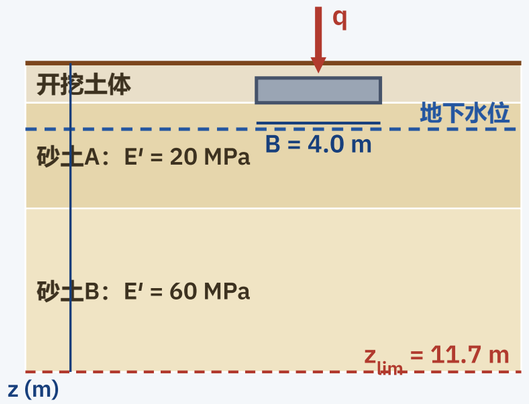
算例

已知条件

基础、荷载	**B × L = 4 × 6 m, q_{gross} = 180 kPa, D_f = 1.5 m ⇒ q_{net} = 152.25 kPa**
A层	**自基础底面起厚4 m：** $E' = 20$ MPa
B层	**下方至z_{lim}：** $E' = 60$ MPa
计算深度	**z'_{lim} = 10.19 m**

求

求各土层的**中心点**沉降和总沉降，并与单层情形比较。



解答 (1/2)

解答

1 各土层系数k = $q_{net}(1-\nu^2)/E$和α B′ I_s（中心点；算例2和6）

$$k_A = \frac{152.25(0.91)}{20{,}000} = 0.006927 \qquad k_B = \frac{152.25(0.91)}{60{,}000} = 0.002309$$

$$8\,I_s(z' = 4) = 8(0.3419) = 2.7351 \qquad 8\,I_s(z'_{lim}) = 4.1909$$

剖面划分为两层时，各层采用**各自的模量**，并按I_s在各层范围内的增量叠加求和。

解答 (2/2)

解答

2 各土层沉降及总沉降

$$\Delta S_A = k_A (8I_s)_4 = 0.006927(2.7351) = 18.9 \text{ mm}$$

$$\Delta S_B = k_B \left[(8I_s)_{lim} - (8I_s)_4\right] = 0.002309(4.1909 - 2.7351) = 3.4 \text{ mm}$$

$$S = \Delta S_A + \Delta S_B = \mathbf{22.3\ mm}$$

中心总沉降为**22.3 mm**（计算引擎：22.3 mm）。单一土层（E = 20 MPa）时为29.0 mm：由于下部土层**刚度更大**，沉降减小了**23%**；A层承担总沉降的85%。

中心点、角点与刚性沉降

理论

公式给出的是**完全柔性**基础的沉降：**中心处最大**，角点最小；二者之差即柔性基础的**差异沉降**。刚性基础**均匀**沉降：约为柔性基础中心沉降的0.93倍：

$$S_{rigid} \approx 0.93\, S_{center} \qquad S_{diff} = S_{center} - S_{köşe}$$

中心：α = 4，B′ = B/2。角点：α = 1，B′ = B（整个矩形的角点）。

基础埋置：Fox深度系数I_f（取决于D_f/B、B/L和ν）会减小埋置基础的沉降。模块取I_f = 1：不作修正，**偏于安全**。

注

实际基础的刚度介于柔性与刚性之间。模块给出两个极端值；中间刚度和土–结构相互作用不在其范围之内。

题目

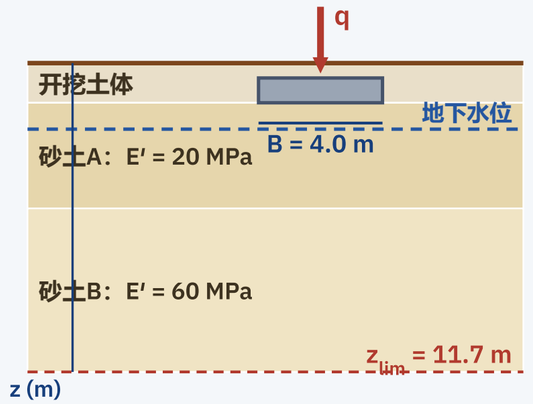
算例

已知条件

剖面	**算例7：A层(4 m)和B层；z'_{lim} = 10.19 m**
基础	**柔性，4 × 6 m**
角点	**α = 1, B′ = B = 4 m ⇒ m′ = L/B = 1.5; n′ = z′/4**

求

角点沉降、**刚性**基础沉降以及柔性基础的**差异**沉降。



解答

解答

1 角点的4·I_s值($n' = z'/4$)

$$z' = 4\ (n' = 1):\ 4\,I_s = 0.7565$$

$$z'_{lim} = 10.19\ (n' = 2.547):\ 4\,I_s = 1.5865$$

2 角点沉降

$$S_{köşe} = k_A(0.7565) + k_B(1.5865 - 0.7565) = 5.2 + 1.9 = \mathbf{7.2\ mm}$$

3 刚性与差异沉降

$$S_{rigid} = 0.93(22.3) = \mathbf{20.7\ mm} \qquad S_{diff} = 22.3 - 7.2 = \mathbf{15.2\ mm}$$

中心22.3、角点7.2、刚性基础20.7 mm；柔性基础的差异沉降为**15.2 mm**。角点沉降仅为中心的32%。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

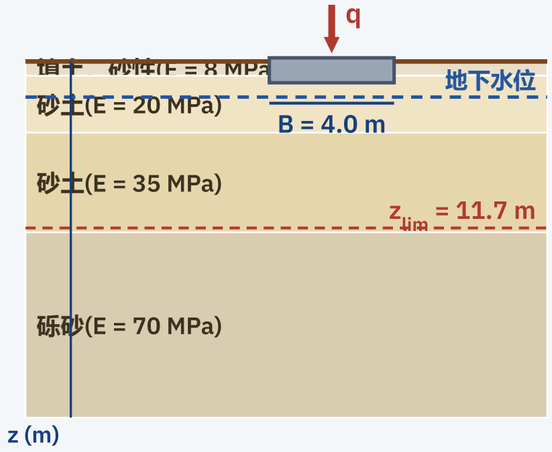
算例

已知条件

基础	**B × L = 4 × 6 m，q_{gross} = 180 kPa，开挖深度1.5 m，地下水位2.5 m**
剖面	**砂质填土0–1 m：E′ = 8 MPa；砂土1–5 m：E′ = 20 MPa；砂土5–12 m：E′ = 35 MPa；砾砂12–25 m：E′ = 70 MPa**
计算深度	**影响深度，p = 10%**

求

逐层的**中心**沉降和**角点**沉降；柔性基础的中心沉降、角点沉降，以及刚性基础沉降和差异沉降。



解答 (1/2)

解答

1 净压力（开挖底面1.5 m）

$$\sigma'_{v0}(1.5) = 27.25 \text{ kPa} \quad \Rightarrow \quad q_{net} = 180 - 27.25 = \mathbf{152.75} \text{ kPa}$$

2 计算深度与分层

$$z_{lim} = 1.5 + 10.19 = \mathbf{11.69} \text{ m} \qquad \text{挖除坑底以上的土层}$$

坑底(1.5 m)位于砂土层之内：仅计入各土层位于1.5 m以下的部分。z_{lim} = 11.69 m，由于仍在砂土层之内，该土层在此截断。

解答 (2/2)

解答

土层	z (m)	H (m)	E (MPa)	k (×10⁻³)	ΔS中心(mm)	ΔS角点(mm)
砂土（SM，松散–中密）	1.50 – 5.00	3.50	20	6.950	17.3	4.6
砂土（SM，中密）	5.00 – 11.69	6.69	35	3.972	6.8	3.7
合计					**24.1**	**8.3**

中心**24.1 mm**，角点8.3 mm，刚性基础22.4 mm，差异沉降15.8 mm。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

基本假定：

- 基础标高与坑底标高相同；完全柔性基础上压力均匀。
- 各土层中**均质半空间**的应力（采用该土层的ν）。
- 各土层均为无黏性土，按**排水**条件沉降(E′, ν′)。
- 无埋深修正；刚性基础≈0.93×柔性基础中心值。
- 符号规定：沉降取**正值**；标题栏中的选择器可切换为沉降向上为正的表示方式。

超出范围：黏土层；Schmertmann法、SPT/CPT图表、随深度增大的模量、基础刚度与土-结构相互作用、有限元。

颜色区域

剖面视图以色带显示附加应力、模量、应变和沉降S(z)；基础底面标高处的中心值即为所得沉降。

小结

要点回顾

Hooke定律：$\varepsilon_z = [\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)]/E$；$\mathbf{S = \int \varepsilon_z\, dz}$；与E成反比

Steinbrenner：$S = q_{net}\,\alpha\,B'\,(1-\nu^2)/E \cdot I_s$；$I_s = F_1 + (1-2\nu)/(1-\nu)\,F_2$；中心取$\alpha = 4$，$B' = B/2$；角点取$\alpha = 1$，$B' = B$

砂土：$E'/p_a = \alpha\,N_{60}$ ($\alpha = 5, 10, 15$)，$\nu' \approx 0.25$–0.35；ν'增大时沉降减小

分层土：$\Delta S = q_{net}\,\alpha\,B'\,(1-\nu^2)/E \cdot [I_s(z_{bottom}) - I_s(z_{top})]$；与分层厚度无关

净压力$q_{net} = q_{gross} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$；**计算深度**$I(z') = p$（正方形基础2.09 B，L = 1.5 B时2.55 B，条形基础6.34 B）

柔性：中心>角点（差异沉降）；**刚性**约为中心沉降的0.93倍；无埋深修正($I_f = 1$)

参考文献

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

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

Fox, E.N. (1948). The mean elastic settlement of a uniformly loaded area at a depth below the ground surface. Proc. 2nd ICSMFE, Rotterdam, 1, 129–132.

Bowles, J.E. (1996). Foundation Analysis and Design, 5th ed. McGraw-Hill.

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

全部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。

在线岩土工程计算

从理论到应用

在GeoTerva中逐步计算本讲义中的算例项目：模块将以该模型打开。

打开模块→

理论页面 →

用手机打开

试用模块无需注册。