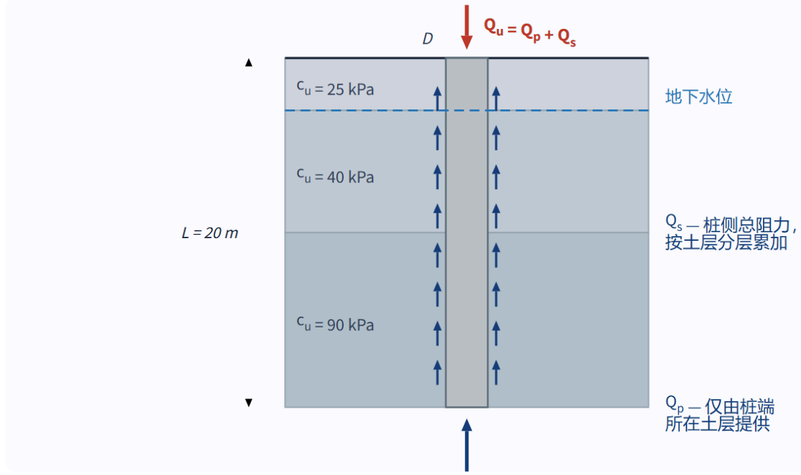
GeoTerva

岩土工程讲义 · 桩基工程

黏土中桩的承载力

讲义：不排水桩端阻力，用α、λ和β法计算桩侧摩阻力，钻孔灌注桩。每种方法的理论，随后是一个工程算例。

Meyerhof · Vesic　α · λ · β方法　钻孔灌注桩　工程算例



引言

本讲内容

能够解释黏土为何按**不排水**($\varphi = 0$)处理，以及有效应力在何处仍起作用

能够用两种方法计算**桩端阻力**：Meyerhof ($N^*_c = 9$)和Vesic（刚度）

能够用**三种方法**计算桩侧摩阻力：α、λ和β

能够应用**钻孔灌注桩**的专门规则：两段长度内$\alpha^* = 0$，以及其自身的桩端表达式

得出**容许承载力**，并综合解读各方法的结果

讲授流程

每种方法按**三个步骤**讲解：

1 · **理论**：方法如何运作，为何如此?

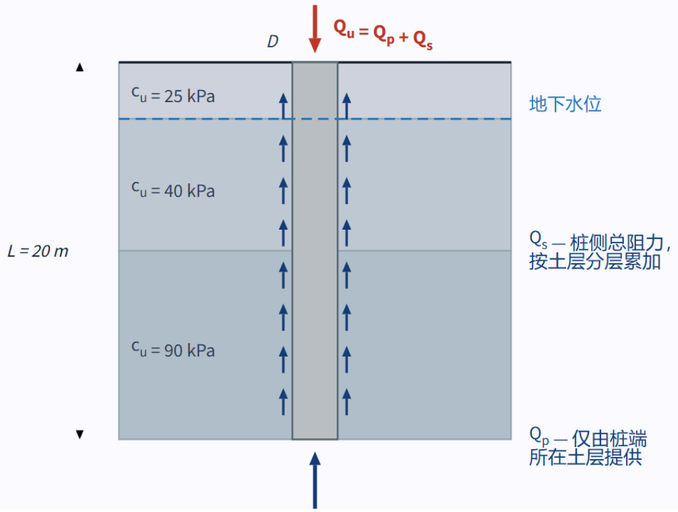
2 · **题目**：已知条件与所求

3 · **解答**：逐步计算，代入数值

多数算例使用同一根桩：长20 m、穿过三层黏土层的钢管桩。

荷载通过两种途径传递

理论



桩将荷载**同时通过两条途径**传给土体：桩端以下的黏土如深基础一样以**桩端阻力**(Q_p)抵抗，桩身范围内的黏土则以**附着力**(Q_s)抵抗。

$$Q_u = Q_p + Q_s \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{FS}$$

在黏土中，**桩侧阻力**逐层累加；**桩端阻力**仅取决于桩端所在土层。

在典型剖面中，桩端阻力仅占总阻力的很小一部分：算例桩中约为**九分之一**；桩身则约占九分之八。不确定性也主要来自桩身。

本讲讨论：**单桩**、黏土、打入桩或钻孔灌注桩、等截面。

为何黏土按φ = 0处理?

理论

在饱和黏土中，结构荷载的到来**远快于**水的排出；黏土在**体积不变**的条件下被剪切。此时强度只有一个数值：**不排水抗剪强度**c_u，内摩擦角为零。

$$\varphi = 0 \qquad \tau_f = c_u$$

与砂土相比有**很大差别**：阻力不再与有效应力成正比增长。黏土中的桩并不是“换了一组数值的砂土中的桩”。

即便如此，**有两种方法**仍采用有效应力：λ法（沿桩长取其平均值）和β法（完全依赖有效应力）。因此，**地下水位**在此同样重要；它不影响桩端阻力和α法。

有效应力（用于λ法和β法）

$$\sigma' = \sum \gamma_i h_i \qquad \text{(地下水位以上)}$$

$$\sigma' = \sum (\gamma_{sat,i} - \gamma_w) h_i \qquad \text{(地下水位以下)}$$

γ_w = 9.81 kN/m³

分层土中，σ′的斜率在每一土层内以及地下水位处发生变化

题目

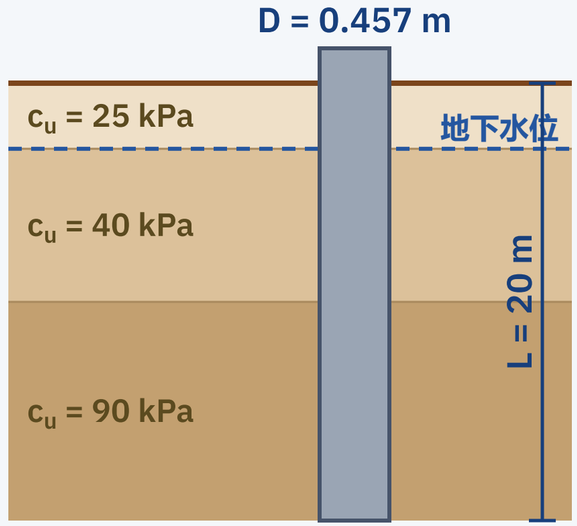
算例

已知条件

黏土1(0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
黏土2(3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
黏土3(10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
地下水位（GWT）	**在3.0 m深度处**
桩	**管桩，D = 0.457 m，L = 20 m**
水的重度	$\gamma_w = 9.81$ kN/m^3

求

求土层分界处（3、10和20 m）的**有效竖向应力**，以及沿全长的**平均有效应力**$\bar{\sigma}'_o$。



解答 (1/2)

解答

1 3 m（地下水位）和土层分界面：地下水位以下取$\gamma' = \gamma - \gamma_w$

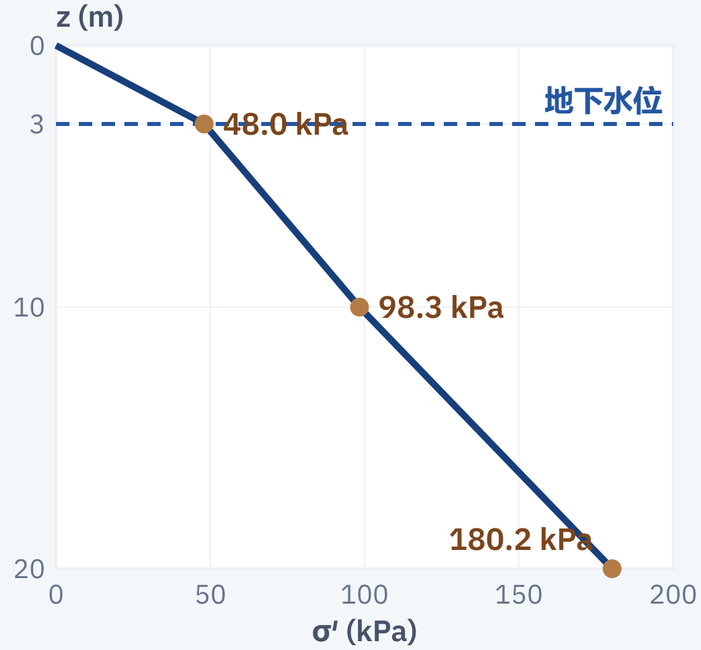
$$\sigma'(3) = 16(3) = \mathbf{48.0}\ \text{kPa}$$

2 深度10 m（第二土层底面）

$$\sigma'(10) = 48.0 + (17 - 9.81)(7) = \mathbf{98.3}\ \text{kPa}$$

3 20 m深度（桩端）

$$\sigma'(20) = 98.3 + (18 - 9.81)(10) = \mathbf{180.2}\ \text{kPa}$$



解答 (2/2)

解答

4 各土层内σ′图的面积（梯形）

$$A_1 = \tfrac{1}{2}(0 + 48.0)(3) = 72.0$$
$$A_2 = \tfrac{1}{2}(48.0 + 98.3)(7) = 512.2$$
$$A_3 = \tfrac{1}{2}(98.3 + 180.2)(10) = 1{,}392.8$$

5 平均有效应力：总面积 / 长度

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{L} = \frac{1{,}977.0}{20} = \mathbf{98.85}\ \text{kPa}$$

平均值小于桩端处数值的一半(98.8 < 90.1)：应力并不随深度线性增长，在地下水位处斜率发生变化。该$\bar{\sigma}'_o$值将用于λ法。

在GeoTerva中验算解答 ↗

桩端阻力：桩端以下的黏土

理论

饱和黏土在不排水条件下的内摩擦角为零；桩的**净极限桩端阻力**等于桩端以下黏土的不排水黏聚力与一个系数的乘积：

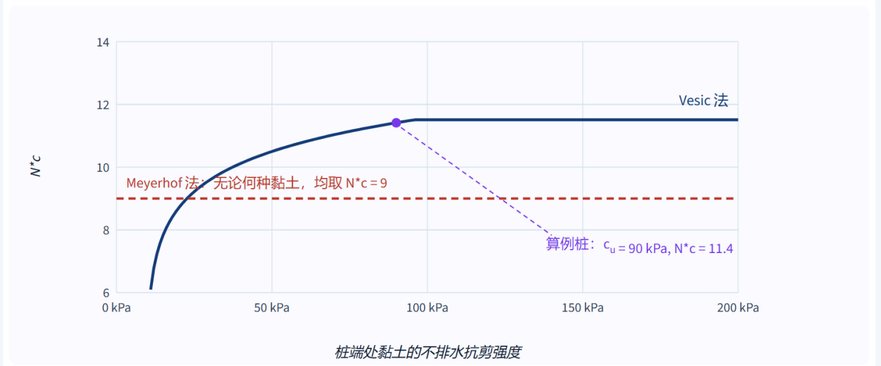
$$Q_p = A_p\, q_p = A_p\, c_u\, N_c^*$$

c_u：**桩端以下**黏土的不排水抗剪强度

N^*_c：承载力系数（两种取值方法见下文）

A_p：桩端面积

> 桩所**穿越**的黏土层，其强度不作用于桩端：该强度归属于桩侧阻力。



两种方法：Meyerhof取该系数为**9**；Vesic则将该系数与黏土的**刚度**联系起来。

Meyerhof：常数九

理论

在饱和黏土中，不排水条件下，Meyerhof形式的净极限荷载由**经典的系数9**给出：

$$Q_p \approx N_c^* \, c_u \, A_p = 9 \, c_u \, A_p$$

c_u：桩端以下土层的不排水黏聚力

无需其他输入参数；只要桩足够深（数倍桩径即可），其值与深度无关。

简单是其优势；其弱点亦在于此：未考虑黏土的刚度。

与桩侧阻力相比，桩端阻力较小，对总承载力的影响很小；因此通常取一个简单的数值即可。

题目

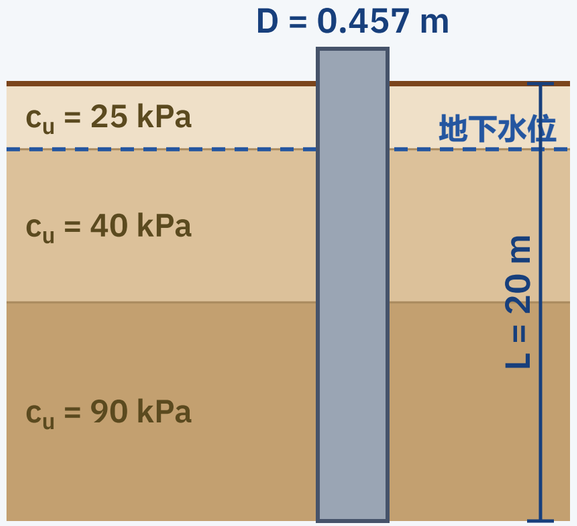
算例

已知条件

桩	**钢管桩，打入**
直径	**D = 0.457 m**
长度	**L = 20 m**
桩端以下黏土	$c_u = 90$ kPa

求

按Meyerhof方法求桩的**桩端阻力**Q_p。



解答

解答

1 桩端面积

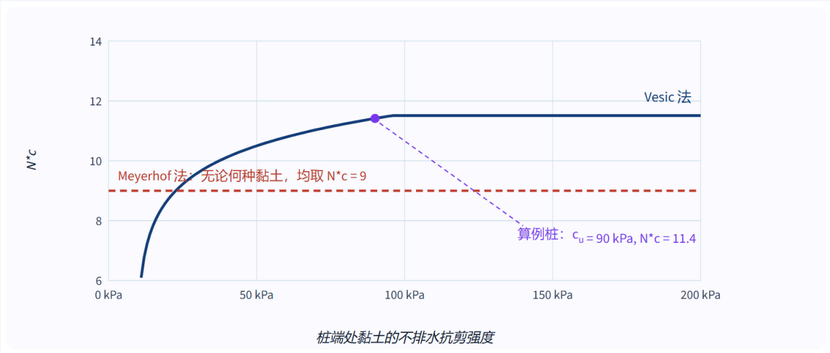
$$A_p = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.457)^2}{4} = \mathbf{0.1640}\ \text{m}^2$$

2 单位桩端阻力(N*c = 9)

$$q_p = 9\, c_u = 9(90) = \mathbf{810}\ \text{kPa}$$

3 桩端阻力

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1640(810) = \mathbf{132.9}\ \text{kN}$$



该方法无需其他输入参数：仅需桩端以下的c_u。Q_p = **132.9 kN**。

在GeoTerva中验算解答 ↗

Vesic：刚度计入N*c

理论

Vesic从**空腔扩张**理论出发：φ = 0时的系数由黏土的折减刚度指数导出。饱和黏土塑性区的体积变化为零；折减项消去，得$I_{rr} = I_r$：

$$N_c^* = \frac{4}{3}\left(\ln I_{rr} + 1\right) + \frac{\pi}{2} + 1 \qquad I_r = \frac{E_s}{3\,c_u}$$

唯一输入：桩端以下的c_u

O'Neill和Reese (1999)：$I_r \approx 50$ ($c_u/p_a = 0.24$)，150 (0.48)，250 – 300 (≥ 0.96)。模块按如下方式近似该关系：

$$I_r = 347\,\frac{c_u}{p_a} - 33 \;\le\; 300$$

N^*_c – I_{rr}关系

I_{rr}	N^*_c
10	6.97
20	7.90
40	8.82
60	9.36
80	9.75
100	10.04
200	10.97
300	11.51

I_{rr}增大时，系数缓慢增大：呈对数关系

题目

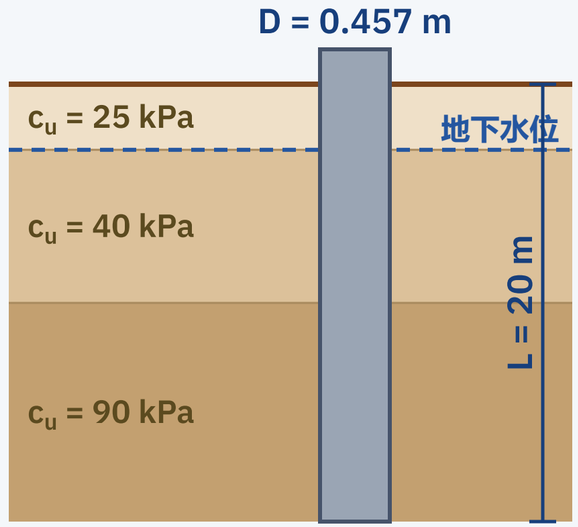
算例

已知条件

桩	**与算例2相同：D = 0.457 m，L = 20 m**
桩端以下黏土	$c_u = 90$ kPa
大气压力	$p_a = 100$ kPa

求

按**Vesic (1977)**法求桩的**桩端阻力**Q_p，并与Meyerhof法比较。



解答 (1/2)

解答

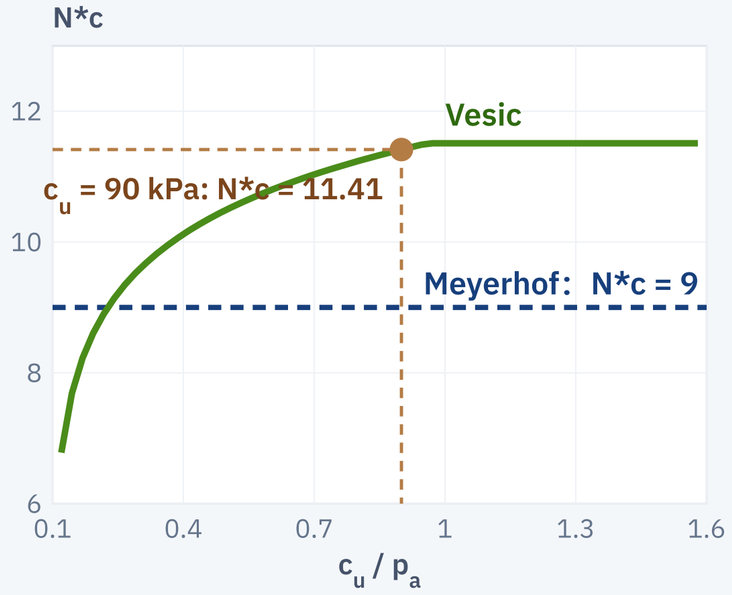
1 刚度指数（$I_{rr} = I_r$，因为黏土中无体积变化）

$$I_{rr} = I_r = 347\,\frac{90}{100} - 33 = \mathbf{279.3} \quad (\leq 300)$$

2 N*c系数

$$N_c^* = \frac{4}{3}\left(\ln 279.3 + 1\right) + \frac{\pi}{2} + 1 = \mathbf{11.41}$$

图中的绿色曲线为Vesic系数：c_u = 90 kPa时**N^*_c = 11.41**，比Meyerhof的9高约27%。



解答 (2/2)

解答

3 单位桩端阻力

$$q_p = c_u\, N_c^* = 90(11.41) = \mathbf{1{,}027}\ \text{kPa}$$

4 桩端阻力

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1640(1{,}027) = \mathbf{168.5}\ \text{kN}$$

Meyerhof：132.9 kN，Vesic：168.5 kN；差值约为27%。由于桩端阻力只占总值的一小部分，这一差值对总承载力的影响很小。

在GeoTerva中验算解答 ↗

桩侧摩阻力：承载力主要取决于此项

理论

黏土中的桩侧阻力等于单位摩阻力沿桩身表面的总和：

$$Q_s = \sum f\, p\, \Delta L$$

决定单位摩阻力的许多变量难以直接测定；因此存在**三种方法**：

α法：摩阻力仅由**不排水强度**确定（总应力，短期）

λ法：沿桩长将**平均有效应力**与平均强度相结合；全桩采用单一系数

β法：**有效应力**与重塑土内摩擦角（排水，长期）

算例桩中，桩侧阻力约占总值的**十分之九**；不确定性亦集中于此。

α：强度的一部分

理论

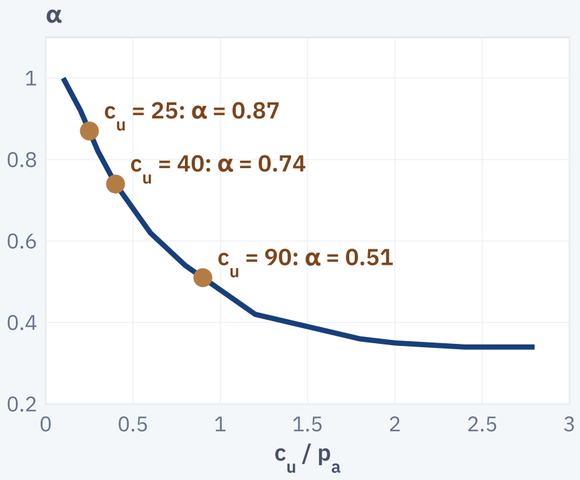
单位摩阻力等于不排水抗剪强度乘以**经验黏着系数α**：

$$f = \alpha\, c_u \qquad Q_s = \sum \alpha\, c_u\, p\, \Delta L$$

α：黏着系数；黏土越强，α**越小**（较强的黏土仅发挥其强度的较小比例）

实际上，α除与c_u有关外，还是**有效应力**的函数（Sladen、Randolph–Murphy/API、NGI-99的建议）

本模块对旁侧所绘的**表(c_u/p_a – α)**进行插值；土层的α也可手动输入。



α表（小结）

c_u / p_a	α

题目

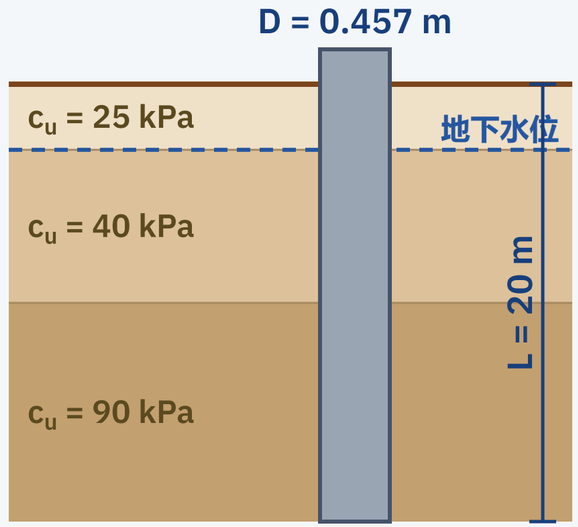
算例

已知条件

黏土1(0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
黏土2(3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
黏土3(10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
地下水位（GWT）	**在3.0 m深度处**
桩	**管桩，D = 0.457 m，L = 20 m**
周长	$p = \pi D = \pi(0.457) = 1.436$ m

求

按**α法**求桩的**桩侧摩阻力**Q_s。（α由表中线性内插取得；p_a = 100 kPa）



解答

解答

1 α值：当c_u/p_a = 0.25、0.40、0.90时由表查得

$$\alpha_1 = 0.87,\ \alpha_2 = 0.74,\ \alpha_3 = 0.51$$

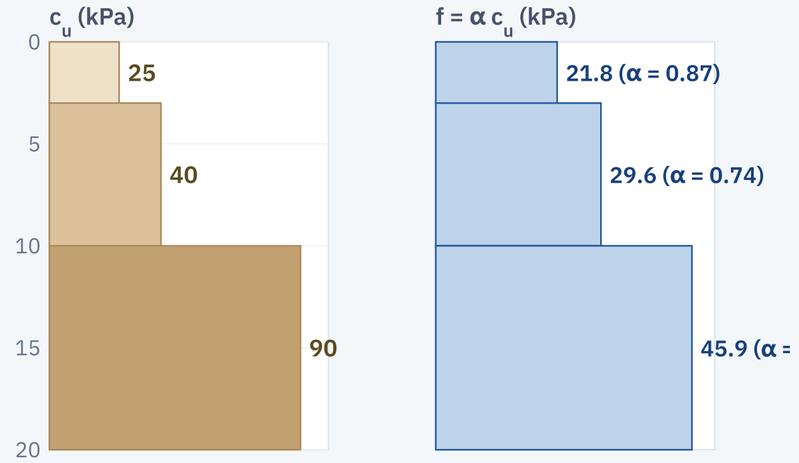
2 各土层的单位桩侧摩阻力$f = \alpha\, c_u$

$$f_1 = 21.8\ ,\ f_2 = 29.6\ ,\ f_3 = 45.9\ \text{kPa}$$

3 $Q_s = p\,\Sigma\, f\, H$

$$Q_s = 1.436\,[21.8(3) + 29.6(7) + 45.9(10)] = \mathbf{1{,}050}\ \text{kN}$$

各层贡献：94 + 297 + 659 = **1,050 kN**。最硬的黏土给出最大的f，但所取c_u的比例较小(α = 0.51)。



在GeoTerva中验算解答 ↗

λ：全长取单一平均值

理论

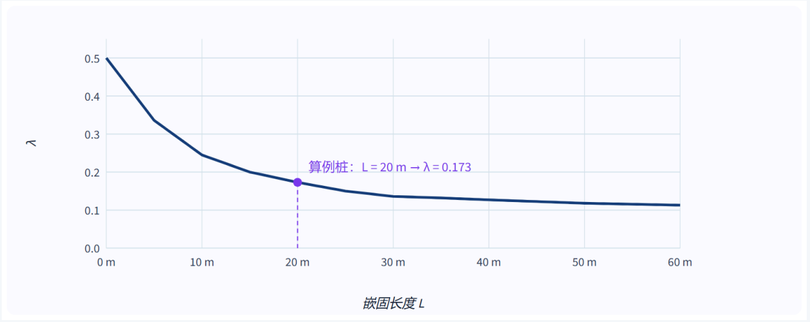
Vijayvergiya和Focht (1972)：桩所**排挤的土体**在每一深度处产生被动侧向压力，平均单位摩阻力即由此得出：

$$f_{av} = \lambda\,(\bar{\sigma}'_o + 2\,\bar{c}_u) \qquad Q_s = p\,L\,f_{av}$$

$\bar{\sigma}'_o$：埋入长度范围内的**平均有效竖向应力**（σ′分布图的面积 / L）

$\bar{c}_u$：平均不排水强度，**按厚度加权**：($c_{u1}L_1 + c_{u2}L_2 + \ldots$)/L

λ：与桩**长**有关的系数（见旁图）



λ——嵌入长度

L (m)	λ
0	0.500
5	0.336
10	0.245
15	0.200
20	0.173
30	0.136
40	0.127

题目

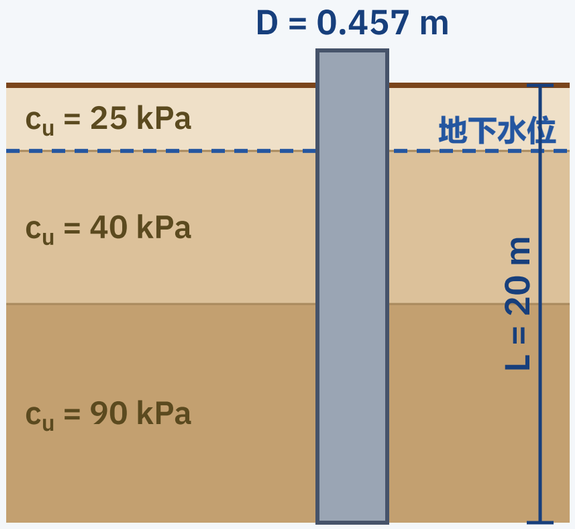
算例

已知条件

黏土1(0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
黏土2(3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
黏土3(10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
地下水位（GWT）	**在3.0 m深度处**
桩	**管桩，D = 0.457 m，L = 20 m**
平均有效应力	$\bar{\sigma}'_o = 98.85$ kPa **（算例1）**

求

用**λ法**求该桩的**桩侧摩阻力**Q_s。



解答

解答

1 平均强度（按厚度加权）

$$\bar{c}_u = \frac{25(3) + 40(7) + 90(10)}{20} = \mathbf{62.75}\ \text{kPa}$$

2 λ（L = 20 m，查表）与平均单位桩侧摩阻力

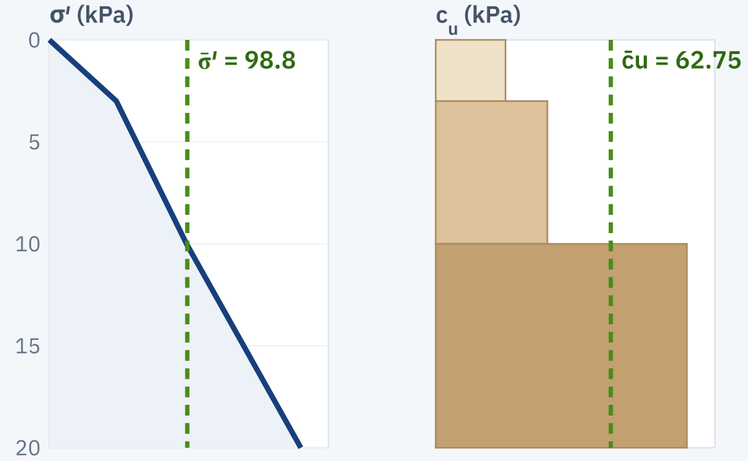
$$\lambda = 0.173$$

$$f_{av} = \lambda(\bar{\sigma}'_o + 2\bar{c}_u) = 0.173\,(98.85 + 2(62.75)) = \mathbf{38.81}\ \text{kPa}$$

3 桩侧摩阻力

$$Q_s = p\,L\,f_{av} = 1.436(20)(38.81) = \mathbf{1{,}114}\ \text{kN}$$

λ法将两个平均值结合起来：**1,114 kN**。图中左侧的面积为σ′o，右侧的线为c̄u。



在GeoTerva中验算解答 ↗

β：有效应力与重塑壳层

理论

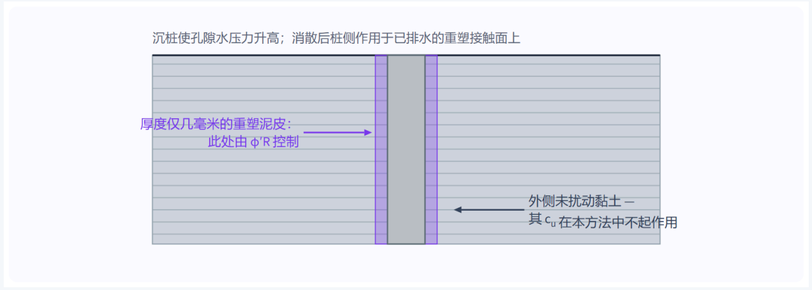
Burland的有效应力方法（含Meyerhof的超固结修正）：完全不考虑不排水强度；由**竖向有效应力**和黏土**重塑**状态的排水内摩擦角(c′ = 0)推出：

$$f = \beta\,\sigma'(z) \qquad \beta = K\tan\delta,\ \ \delta = \varphi'_R$$

$$\beta = (1-\sin\varphi'_R)\tan\varphi'_R\sqrt{OCR}$$

K：侧向压力系数；偏于保守地取**静止**状态值，对超固结黏土随√OCR增大

OCR = 1时，该表达式自动退化为正常固结形式



φ′R和OCR需**输入**，而不是根据经验关系从地层中读取（模块打开时φ′R取30°，OCR取1）。

f与σ′(z)一起在土层内**随深度增大**；在β值改变的界面处出现台阶。

题目

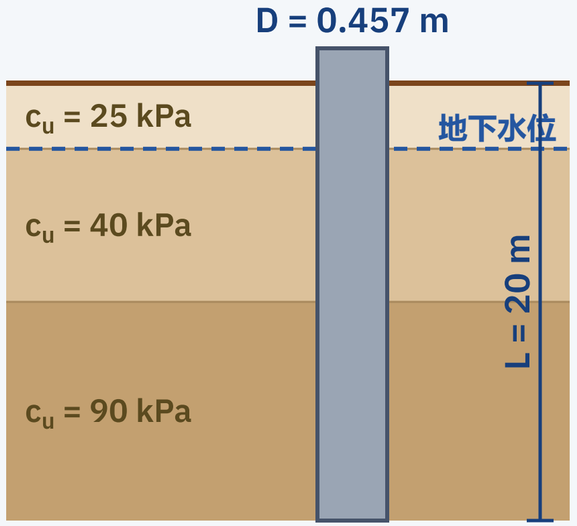
算例

已知条件

黏土1(0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
黏土2(3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
黏土3(10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
地下水位（GWT）	**在3.0 m深度处**
重塑土内摩擦角	$\varphi'_R = 30^\circ$ **（三层）**
超固结比	$OCR = 1;\ 1;\ 2$ **（第3层超固结）**
桩	**D = 0.457 m, L = 20 m**

求

用**β法**求桩的**桩侧摩阻力**Q_s。（各土层平均σ′值取自算例1的面积。）



解答 (1/2)

解答

1 β系数

$$\beta_{1,2} = (1-\sin 30^\circ)\tan 30^\circ = \mathbf{0.289} \qquad \beta_3 = 0.289\sqrt{2} = \mathbf{0.408}$$

2 土层平均有效应力（面积/厚度）

$$\bar{\sigma}'_1 = \frac{72}{3} = 24.0,\quad \bar{\sigma}'_2 = \frac{512.2}{7} = 73.2,\quad \bar{\sigma}'_3 = \frac{1{,}392.8}{10} = 139.3\ \text{kPa}$$

解答 (2/2)

解答

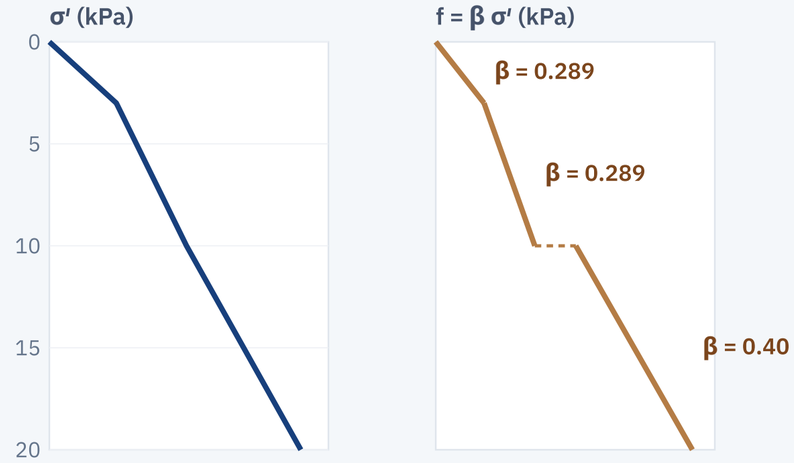
3 各土层的平均单位桩侧摩阻力f = β σ′

$$\bar{f}_1 = 6.93, \quad \bar{f}_2 = 21.12, \quad \bar{f}_3 = 56.86 \text{ kPa}$$

4 桩侧摩阻力Q_s = p Σ f H

$$Q_s = 1.436\,[6.93(3) + 21.12(7) + 56.86(10)] = \mathbf{1{,}058} \text{ kN}$$

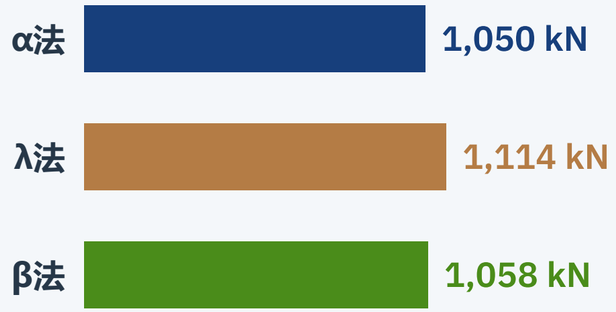
平均值是该土层内应力的**真实积分值**（而非两端值的平均）：若地下水位穿过该土层，二者可相差10%以上。结果为**1,058 kN**。



在GeoTerva中验算解答 ↗

三种方法，同一根桩

理论



在该剖面中，三者相互之间仅相差**百分之几**。但**原则上**它们并不一致；这种一致是该剖面的特点。

对于**很长**的桩，λ因其系数而减小

在**超固结**黏土中，β随√OCR增大

在**软**正常固结黏土中，α增大并趋近于土的全部强度

如实解读：黏土中的桩侧阻力，其不确定性约为**计算值的五分之一**。因此在大型工程中，**静载试验**是值得其费用的。

钻孔灌注桩有其自身的规则

理论

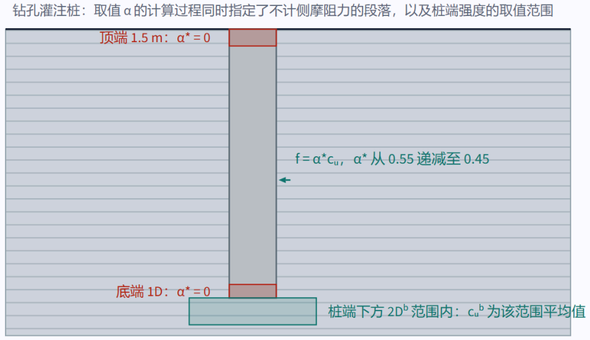
先成孔后浇筑混凝土：土体不被挤开；孔壁黏土吸水后**软化**，孔底积聚沉渣，需要**更大的沉降**才能发挥桩端阻力。O'Neill和Reese的方法对桩侧与桩端两部分均作了修正。

$$\alpha^* = 0 \ \text{(顶部 1.5 m及以下 } 1D\text{)} \qquad \alpha^* = 0.55 \ \text{(其他位置)}$$

α* = 0.55 ($c_u/p_a \le 1.5$)，至2.5时降为0.45

上部1.5 m为扰动最严重、最易收缩而与桩身脱开的土层；下部一倍桩径范围则是桩端已使土体产生运动的长度

土层厚度不变：深度和σ′仍如剖面所示，仅承担摩阻力的桩长发生变化



$$q_p = \min\left[6c_{ub}\left(1 + 0.2\frac{L}{D_b}\right),\ 9c_{ub},\ 40p_a\right]$$

c_{ub}：桩底以下**2D_b**范围内c_u的平均值。若D_b > 1.91 m，则q_p乘以折减系数$F_r \le 1$予以折减。

题目

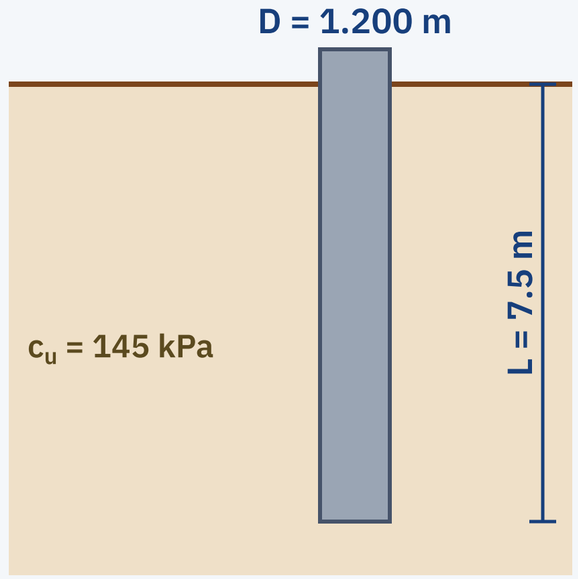
算例

已知条件

桩	**钻孔灌注桩，圆形截面**
直径和长度	**$D = D_b = 1.2$ m, $L = 7.5$ m**
黏土（均质）	$c_u = 145$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
地下水	**无**
安全系数	**FS = 3**

求

求钻孔灌注桩的**桩端阻力**、**桩侧摩阻力**和**容许承载力**。



解答 (1/2)

解答

1 桩端以下2D_b范围内的平均强度及桩端阻力表达式

$$c_{ub} = 145 \text{ kPa} \qquad 6c_{ub}\left(1 + 0.2\frac{7.5}{1.2}\right) = 1{,}957.5\,; \quad 9c_{ub} = 1{,}305\,; \quad 40p_a = 4\,000$$

2 q_p = 三者中的最小值；因D_b = 1.2 m ≤ 1.91 m，故F_r = 1

$$q_p = \min(1{,}957.5;\ 1{,}305;\ 4\,000) = \mathbf{1{,}305} \text{ kPa}$$

3 桩底面积与桩端阻力

$$A_b = \frac{\pi(1.2)^2}{4} = 1.131 \text{ m}^2 \quad Q_p = A_b\, q_p = \mathbf{1{,}476} \text{ kN}$$

$9c_{ub}$起控制作用：公式$6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b)$得到的值更大，但$9c_u$的上限值开始起作用。Q_p = **1,476 kN**。

解答 (2/2)

解答

4 α*和承担摩阻力的桩长（顶部略去1.5 m，底部略去1D）

$$\alpha^* = 0.55 \quad (c_u/p_a = 1.45 \le 1.5)$$

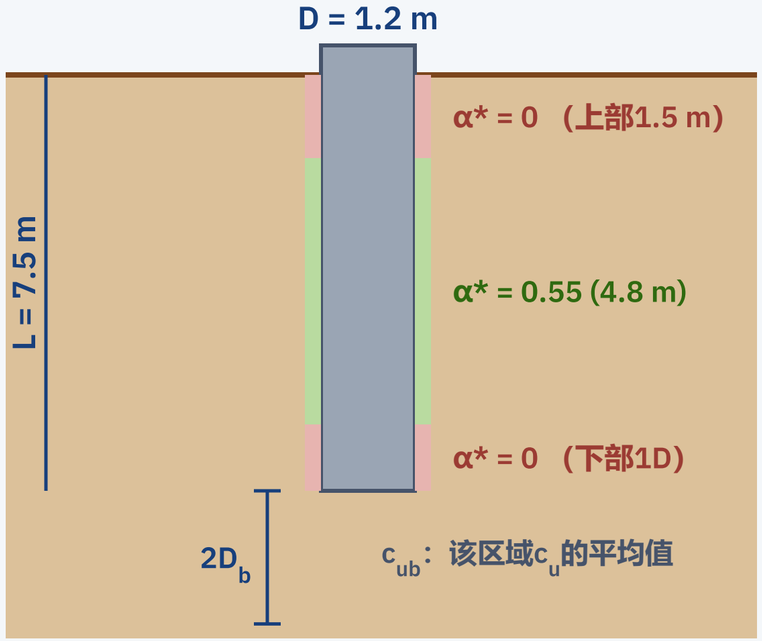
$$L_{eff} = 7.5 - 1.5 - 1.2 = \mathbf{4.8}\ \text{m}$$

5 桩侧摩阻力

$$Q_s = \pi D\, \alpha^* c_u\, L_{eff} = \pi(1.2)(0.55)(145)(4.8) = \mathbf{1{,}443}\ \text{kN}$$

6 极限承载力与容许承载力

$$Q_u = 1{,}476 + 1{,}443 = 2{,}919\ \text{kN} \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{3} = \mathbf{973}\ \text{kN}$$



在GeoTerva中验算解答 ↗

采用单一安全系数的总和

理论

极限承载力等于两个分量之和；容许承载力由**对该总和整体采用单一安全系数**求得：

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{FS}$$

单桩通常取**FS = 2.5 – 4**

取值上限：当土层仅由少数钻孔了解、黏土**坚硬且有裂隙**，或未计划进行**载荷试验**时

桩端和桩侧阻力的计算方法可**相互独立**地选取；结果应综合分析

题目

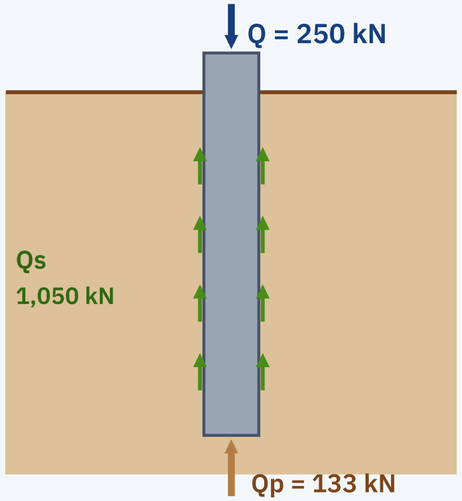
算例

已知条件

桩端阻力	Q_p = 132.9 kN（Meyerhof，算例2）
桩侧摩阻力	Q_s = 1,050 kN（α法，算例4）
安全系数	FS = 4
作用于桩的工作荷载	Q = 250 kN

求

桩的**容许承载力**Q_{all}是多少？工作荷载是否**满足要求**？



解答

解答

1 极限承载力

$$Q_u = Q_p + Q_s = 132.9 + 1{,}050.1 = \mathbf{1{,}183}\ \text{kN}$$

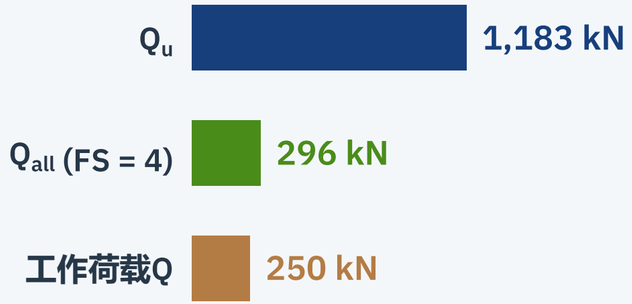
2 容许承载力

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{1{,}183}{4} = \mathbf{296}\ \text{kN}$$

3 验算

$$Q = 250\ \text{kN} \ \le\ Q_{all} = 296\ \text{kN} \ \Rightarrow\ \text{足够}$$

利用率Q / Q_{all} = 250 / 296 = **0.85**。桩身承担总量的约89%。



在GeoTerva中验算解答 ↗

同一根桩：Q_u与Q_{all}(FS = 4)

理论

Q_u · Q_{all} (kN)

	Q_s: α 1,050 kN	Q_s: λ 1,114 kN	Q_s: β 1,058 kN
Q_p: Meyerhof 132.9 kN	1,183 · **296**	1,247 · **312**	1,191 · **298**
Q_p: Vesic 168.5 kN	1,219 · **305**	1,283 · **321**	1,227 · **307**

六种组合下Q_u仅在**1,183 – 1,283 kN**之间：由于桩端阻力较小，方法选择对总值影响很小；真正的差别在桩侧摩阻力。

解读取值范围，勿依赖单一数值

桩侧摩阻力占总量的**约十分之九**

重大工程应以**基桩静载试验**验证

小结

要点回顾

黏土处于**不排水**状态($\varphi = 0$, $\tau_f = c_u$)；阻力与有效应力不成正比

桩端：Meyerhof的$N^*_c = 9$；Vesic的$N^*_c = f(I_{rr})$，$I_r \approx 347c_u/p_a - 33$；桩端阻力只占总阻力的一小部分

α: $f = \alpha c_u$ · **λ**: $f_{av} = \lambda(\bar{\sigma} + 2\bar{c}_u)$ · **β**: $f = \beta\sigma'$, $\beta = (1 - \sin\varphi'_R)\tan\varphi'_R\sqrt{OCR}$

钻孔灌注桩：$\alpha^* = 0$（顶部1.5 m，底部1D），$q_p = \min[6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b), 9c_{ub}, 40p_a]$

$Q_{all} = (Q_p + Q_s)/FS$, $FS = 2.5 - 4$

参考文献

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; 本页面遵循该书。

Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. Wiley — 表 2 的 α 值。

O'Neill, M.W. and Reese, L.C. (1999). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-IF-99-025——钻孔灌注桩的 α 系数及黏土的刚度指数。

Reese, L.C. and O'Neill, M.W. (1989). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA — 黏土中钻孔桩端阻力基本公式。

Burland, J.B. (1973). Shaft friction of piles in clay — a simple fundamental approach. Ground Engineering, 6(3), 30–42.

Meyerhof, G.G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102(GT3), 197–228——β 法中基于 √OCR 的修正。

Vijayvergiya, V.N. and Focht, J.A. (1972). A new way to predict the capacity of piles in clay. Offshore Technology Conference, Paper 1718, Houston.

Vesic, A.S. (1977). Design of Pile Foundations. NCHRP Synthesis of Highway Practice 42, Transportation Research Board.

注

本课件中的图件取自GeoTerva理论页面；所有数值算例均由模块自带的计算库生成，模块给出的数值与之相同。

GeoTerva

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桩：数值相同。

打开模块→

理论页面 →

用手机打开

试用模块无需注册。