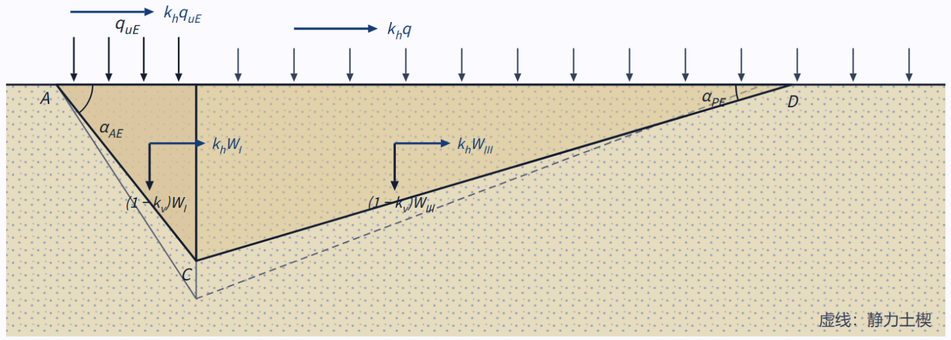
GeoTerva

岩土工程讲义 · 基础

地震作用下条形基础的承载力

讲义：从Richards、Elms和Budhu的两个Coulomb土楔，到静力承载力系数，再到地震下的Mononobe–Okabe系数，以及地震使其降低的幅度；每个主题均配有工程算例。

两个Coulomb土楔 | $K_A \cdot K_P \cdot \alpha_A$ | Mononobe–Okabe | $\theta = \tan^{-1} k_h/(1-k_v)$ | 地震的影响 | 工程算例



引言

本讲内容

- 建立条形基础的承载力机制，即**两个Coulomb土楔**（主动土楔ABC、被动土楔BCD）
- 用闭合解析式求得K_A, K_P, α_A, α_P，并由此得到承载力系数N_q, N_γ, N_c
- 将地震作用视为**拟静力**作用力：$\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$，以及**Mononobe–Okabe**系数$K_{AE}$、$K_{PE}$
- 计算**地基抗震承载力**q_{uE}及其与静力值之比
- 解读k_h和k_v的敏感性及**$\theta \geq \varphi$的界限**
- 由q_{uE}取得容许基底压力，并对基础进行**验算**

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，即模块打开时载入的模型：宽1.5 m的条形基础，D_f = 1 m，c = 30 kPa，φ' = 25°，γ = 17 kN/m³，k_h = 0.25。

以两个Coulomb土楔代替对数螺旋线

理论

Richards、Elms和Budhu (1993)针对条形基础提出了一种**也可用于地震荷载**的理论。该理论不采用Terzaghi或Meyerhof的对数螺旋线，而是采用由**两个Coulomb土楔**构成的简单破坏面；因此每个系数均可**以闭合形式**得出。

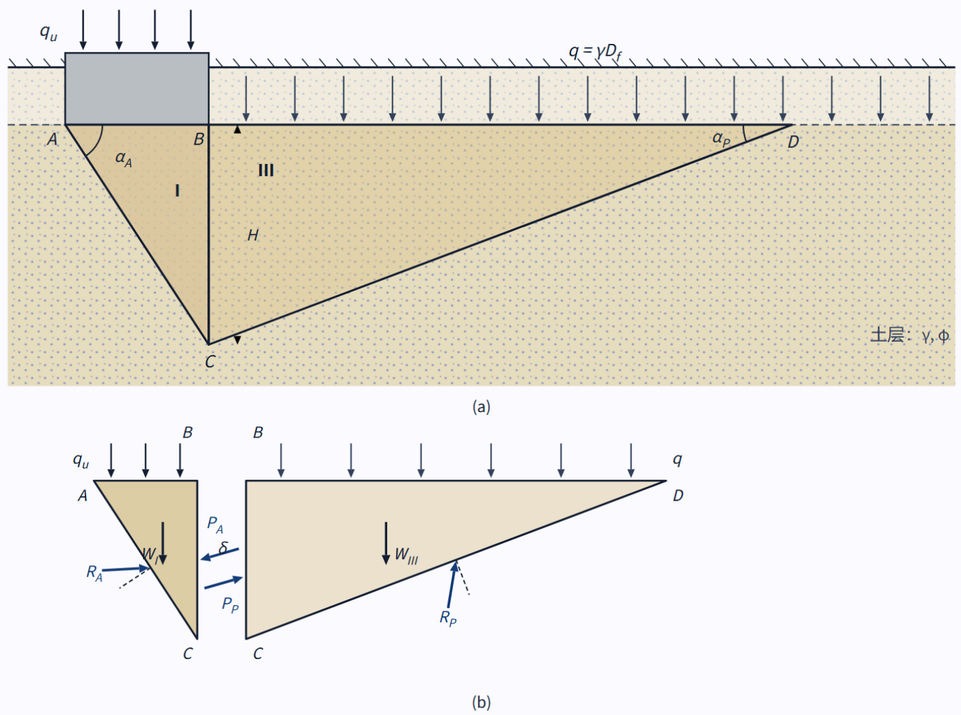
条形基础，宽度B，埋置深度D_f；基底以上的土仅作为超载$q = \gamma D_f$。

c–φ土，$\varphi > 0$；破坏区内无地下水。

地震**拟静力体积力**：水平和竖向系数k_h、k_v作用于土楔和荷载上。

两土楔之间的竖直界面上取**墙背摩擦角$\delta = \varphi/2$**（作者建议）。

基础下方的土楔为**主动**土楔(ABC)，其旁侧为**被动**土楔(BCD)；二者在BC面上相交（高度H）。



土楔角度与Coulomb系数

理论

土楔倾角αA和αP是**临界Coulomb土楔**的角度（自水平面量起）：

$$\alpha_A = \varphi + \tan^{-1}\left\{\frac{[\tan\varphi(\tan\varphi+\cot\varphi)(1+\tan\delta\cot\varphi)]^{0.5}-\tan\varphi}{1+\tan\delta(\tan\varphi+\cot\varphi)}\right\}$$

$$\alpha_P = -\varphi + \tan^{-1}\left\{\frac{[\tan\varphi(\tan\varphi+\cot\varphi)(1+\tan\delta\cot\varphi)]^{0.5}+\tan\varphi}{1+\tan\delta(\tan\varphi+\cot\varphi)}\right\}$$

Coulomb合力的水平分量用下列系数表示：

$$K_A = \frac{\cos^2\varphi}{\cos\delta\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\varphi}{\cos\delta}}\right]^2} \qquad K_P = \frac{\cos^2\varphi}{\cos\delta\left[1-\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\varphi}{\cos\delta}}\right]^2}$$

符号说明

δ = φ/2：土楔之间的墙面摩擦角

α_A：斜面AC与水平面的夹角

α_P：斜面CD与水平面的夹角

P_A、P_P：BC面上的Coulomb力

R_A、R_P：斜面上的合力

W_I、W_{III}：土楔重量

题目

算例

已知条件

土	$\varphi' = 25^\circ$（模块打开时载入的模型）
墙背摩擦	$\delta = \varphi/2 = 12.5^\circ$

求

求系数K_A、K_P及土楔角α_A、α_P。

解答 (1/2)

解答

1 公共根号项(sin 37.5° = 0.6088; sin 25° = 0.4226; cos 12.5° = 0.9763)

$$\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\varphi}{\cos\delta}} = \sqrt{\frac{0.6088\cdot 0.4226}{0.9763}} = \mathbf{0.5133}$$

2 K_A和K_P ($\cos^2 25° = 0.8214$)

$$K_A = \frac{0.8214}{0.9763(1+0.5133)^2} = \mathbf{0.3674} \qquad K_P = \frac{0.8214}{0.9763(1-0.5133)^2} = \mathbf{3.5524}$$

解答 (2/2)

解答

3 根式项(tan φ = 0.4663; cot φ = 2.1445; tan δ = 0.2217)

$$[\tan\varphi(\tan\varphi+\cot\varphi)(1+\tan\delta\cot\varphi)]^{0.5}=[0.4663(2.6108)(1.4754)]^{0.5}=1.3402$$

$$1+\tan\delta(\tan\varphi+\cot\varphi)=1.5788$$

4 土楔角度

$$\alpha_A=25^\circ+\tan^{-1}\frac{1.3402-0.4663}{1.5788}=25^\circ+28.97^\circ=\mathbf{53.97}^\circ$$

$$\alpha_P=-25^\circ+\tan^{-1}\frac{1.3402+0.4663}{1.5788}=-25^\circ+48.85^\circ=\mathbf{23.85}^\circ$$

主动土楔较陡(α_A = 53.97°)，被动土楔较平缓(α_P = 23.85°)。楔体高度H = B tan α_A = 1.5 × 1.375 = **2.06 m**。

在GeoTerva中验算解答 ↗

BC面上的水平平衡

理论

仅考虑地面超载(φ ≠ 0, γ = 0, q ≠ 0)，设基底压力为q'_u。在BC面上，水平力处于平衡：

$$P_A \cos\delta = P_P \cos\delta$$

在均布超载作用下，各力均等于压力系数×超载×H：主动侧为q'_u，被动侧为q：

$$P_A \cos\delta = q'_u K_A H \qquad P_P \cos\delta = q\, K_P H$$

二者相等时，H被消去，**N_q**即为两个Coulomb系数之比：

$$q'_u = q\,\frac{K_P}{K_A} = q\,N_q \qquad N_q = \frac{K_P}{K_A}$$

NEDEN ORAN?

基础下方的主动土楔将其侧旁的被动土楔向侧向推挤。两侧在同一高度H处、以相同的δ相互抵靠；因此平衡仅由两侧土体抗力的**比值**决定。

各土楔的重量通过$H = B \tan \alpha_A$计入

理论

现仅考虑自重(φ ≠ 0, γ ≠ 0, q = 0)；基底压力为q''_u。在主动侧，它像超载一样叠加在自重之上，在被动侧则只有自重起作用：

$$P_A \cos\delta = q''_u H K_A + \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_A \qquad P_P \cos\delta = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_P$$

令其相等：

$$q''_u = \tfrac{1}{2}\gamma H \left(\frac{K_P}{K_A} - 1 \right)$$

该面的高度由主动土楔得出，$H = B \tan \alpha_A$；由此得到**N_γ**：

$$q''_u = \tfrac{1}{2}\gamma B\, N_\gamma \qquad N_\gamma = \tan\alpha_A \left(\frac{K_P}{K_A} - 1 \right)$$

说明

N_γ取决于土楔深度：系数**tan α_A**反映土楔的陡峭程度。陡峭的土楔（α_A较大）伸入更深，自重项增大。

叠加原理与N_c

理论

超载项与自重项相加（叠加原理）：

$$q_u = q'_u + q''_u = q\,N_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma$$

对于黏聚力，φ = 0时Coulomb土楔分析得$N_c = 6$；为简洁起见，作者采用已知关系式：

$$N_c = (N_q - 1)\cot\varphi \qquad q_u = c\,N_c + q\,N_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma$$

这一**静力**值是这两个土楔的承载力；它与Terzaghi、Meyerhof、Hansen或Vesic的Prandtl型系数**不同**（φ = 25°：N_q = 9.67；Prandtl–Reissner为10.66）。

地基抗震承载力由该值**折减**得到；模块将二者并列给出。

静力系数(δ = φ/2)

φ′	δ	α_A	N_q	N_γ	N_c
5	2.5	42.22	1.53	0.49	6.11
10	5.0	45.19	2.37	1.38	7.77
15	7.5	48.13	3.70	3.02	10.09
20	10.0	51.06	5.90	6.06	13.46
25	12.5	53.97	9.67	11.92	18.59
30	15.0	56.86	16.51	23.76	26.86
35	17.5	59.74	29.89	49.52	41.26
40	20.0	62.60	59.03	111.96	69.16
45	22.5	65.45	133.87	290.89	132.87

题目

算例

已知条件

基础	**条形基础（连续），B = 1.5 m，基础埋置深度D_f = 1.0 m**
土	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
重度	$\gamma = 17$ kN/m^3；**破坏区内无地下水位**
前一算例	$K_A = 0.3674,\ K_P = 3.5524,\ \alpha_A = 53.97^\circ$

求

求N_q, N_γ, N_c以及静力条件下的q_u。

解答

解答

1 承载力系数(tan 53.97° = 1.3748)

$$N_q = \frac{K_P}{K_A} = \frac{3.5524}{0.3674} = \mathbf{9.67} \qquad N_c = \frac{9.67 - 1}{0.4663} = \mathbf{18.59}$$

$$N_\gamma = 1.3748(9.67 - 1) = \mathbf{11.92}$$

2 静力地基承载力($q = \gamma D_f$ = 17 kPa)

$$q_u = 30(18.59) + 17(9.67) + \tfrac{1}{2}(17)(1.5)(11.92)$$

$$= 557.8 + 164.4 + 152.0 = \mathbf{874.14}\ \text{kPa}$$

静力承载力为**874.14 kPa**；黏聚力项占64%，超载项占19%，自重项占17%。地震将使该值降低（见下一节）。

在GeoTerva中验算解答 ↗

θ角及Mononobe–Okabe系数

理论

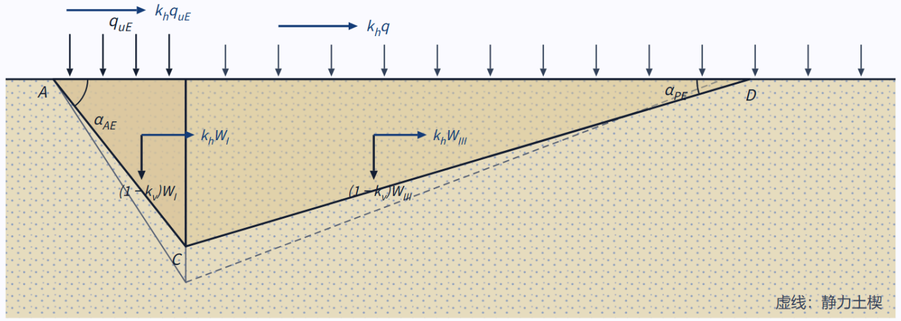
地震作用下，同样的两个土楔按**拟静力惯性力**求解。重力与惯性力的合力与竖直方向成θ角倾斜；土楔计算时以α = φ − θ代替φ：

$$\theta = \tan^{-1}\frac{k_h}{1-k_v} \qquad \alpha = \varphi - \theta$$

Coulomb系数变为**Mononobe–Okabe系数**：

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi-\theta)}{\cos\theta\cos(\delta+\theta)\left[1+\sqrt{\dfrac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\theta)}{\cos(\delta+\theta)}}\right]^2}$$

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\varphi-\theta)}{\cos\theta\cos(\delta+\theta)\left[1-\sqrt{\dfrac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-\theta)}{\cos(\delta+\theta)}}\right]^2}$$



当θ = 0时，每个地震表达式都还原为静力形式：$K_{AE} = K_A$，$K_{PE} = K_P$。

水平加速度增大时，α减小：土楔变平缓，破坏机构变浅。

题目

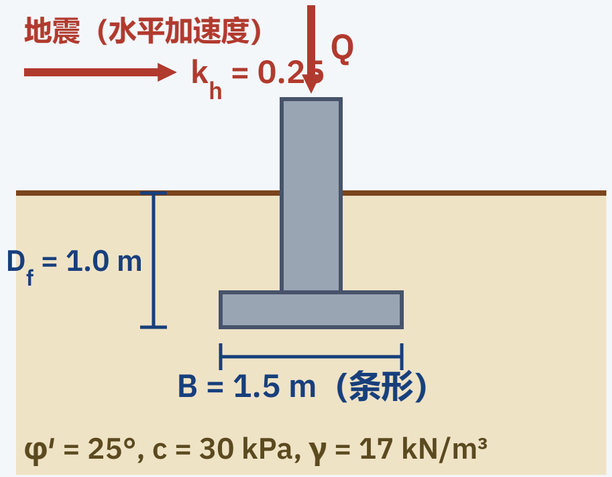
算例

已知条件

基础	**条形基础（连续），B = 1.5 m，基础埋置深度D_f = 1.0 m**
土	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
重度	$\gamma = 17$ kN/m^3；**破坏区内无地下水位**
地震	**k_h = 0.25; k_v = 0**
墙背摩擦	$\delta = 12.5^\circ$

求

求**θ**、α = φ − θ以及K_{AE}、K_{PE}的值。



解答

解答

1 倾斜角与根式项(sin 37.5° = 0.6088; sin α = 0.1901; cos(δ + θ) = cos 26.54° = 0.8945)

$$\theta = \tan^{-1}\frac{0.25}{1-0} = \mathbf{14.04^\circ} \qquad \alpha = \varphi - \theta = 10.96^\circ$$

$$\sqrt{\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin\alpha}{\cos(\delta+\theta)}} = \sqrt{\frac{0.6088\cdot 0.1902}{0.8947}} = \mathbf{0.3597}$$

2 K_{AE}和K_{PE} ($\cos^2\alpha = 0.9638$; $\cos\theta = 0.9701$)

$$K_{AE} = \frac{0.9638}{0.9701(0.8947)(1+0.3597)^2} = \mathbf{0.6006}$$

$$K_{PE} = \frac{0.9638}{0.9701(0.8947)(1-0.3597)^2} = \mathbf{2.7089}$$

地震使K_A从0.367**增大**到0.601，使K_P从3.552**减小**到2.709。

在GeoTerva中验算解答 ↗

土楔角、系数与q_{uE}

理论

$$\alpha_{AE} = \alpha + \tan^{-1}\left\{\frac{\sqrt{(1+\tan^2\alpha)\,[1+\tan(\delta+\theta)\cot\alpha]} - \tan\alpha}{1+\tan(\delta+\theta)(\tan\alpha+\cot\alpha)}\right\}$$

$$\alpha_{PE} = -\alpha + \tan^{-1}\left\{\frac{\sqrt{(1+\tan^2\alpha)\,[1+\tan(\delta-\theta)\cot\alpha]} + \tan\alpha}{1+\tan(\delta+\theta)(\tan\alpha+\cot\alpha)}\right\}$$

由于平衡条件相同，各系数保持相同形式：

$$N_{qE} = \frac{K_{PE}}{K_{AE}} \qquad N_{\gamma E} = \tan\alpha_{AE}\left(\frac{K_{PE}}{K_{AE}} - 1\right) \qquad N_{cE} \approx (N_{qE}-1)\cot\varphi$$

$$q_{uE} = c\,N_{cE} + q\,N_{qE} + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_{\gamma E}$$

注

对于N_{cE}，静力关系被**沿用**于地震工况（作者针对无黏性土给出该理论）。当c > 0时，模块将此作为一项假定予以说明，并给出c = 0时的敏感性。

题目

算例

已知条件

基础	**条形基础（连续），B = 1.5 m，基础埋置深度D_f = 1.0 m**
土	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
重度	$\gamma = 17$ kN/m^3；**破坏区内无地下水位**
地震	**k_h = 0.25; k_v = 0**
前一算例	$\theta = 14.04^\circ$, $K_{AE} = 0.6006$, $K_{PE} = 2.7089$

求

求α_{AE}、N_{qE}、$N_{\gamma E}$、N_{cE}及其与静力系数之比。

解答 (1/2)

解答

1 α = 10.96°: tan α = 0.1937, cot α = 5.1620, tan(δ + θ) = tan 26.54° = 0.4994

$$\sqrt{(1+\tan^2\alpha)(1+\tan(\delta+\theta)\cot\alpha)} = \sqrt{1.0375(3.5777)} = 1.9267$$

$$1+\tan(\delta+\theta)(\tan\alpha+\cot\alpha) = 3.6745$$

2 地震工况土楔角（静力α_A = 53.97°）

$$\alpha_{AE} = 10.96^\circ + \tan^{-1}\frac{1.9267-0.1937}{3.6745} = 10.96^\circ + 25.25^\circ = \mathbf{36.21}^\circ$$

解答 (2/2)

解答

3 地基抗震承载力系数(tan α_{AE} = 0.7322)

$$N_{qE} = \frac{2.7089}{0.6006} = \mathbf{4.51} \qquad N_{\gamma E} = 0.7322(4.51 - 1) = \mathbf{2.57} \qquad N_{cE} = \frac{4.51 - 1}{0.4663} = \mathbf{7.53}$$

	N_q	N_γ	N_c
静力	9.67	11.92	18.59
地震(k_h = 0.25)	4.51	2.57	7.53
比值	**0.466**	**0.216**	**0.405**

地震使**自重项降低最多**（$N_{\gamma E}$仅为静力值的22%）；N_{qE}和N_{cE}约保留一半。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

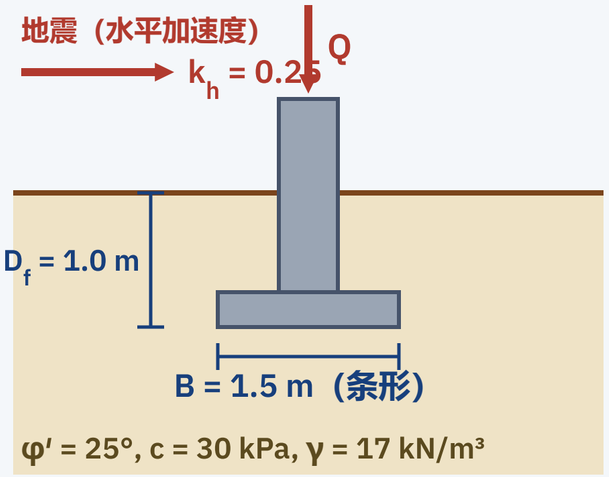
算例

已知条件

基础	**条形基础（连续），B = 1.5 m，基础埋置深度D_f = 1.0 m**
土	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
重度	$\gamma = 17$ kN/m^3；**破坏区内无地下水位**
地震	**k_h = 0.25; k_v = 0**
安全性	**FS = 3**

求

q_{uE}、其与静力q_u之比、总值与净值两种q_{all}，以及容许荷载Q_{all}（每单位长度）。



解答

解答

1 地基抗震承载力(q = 17 kPa)

$$q_{uE} = 30(7.53) + 17(4.51) + \tfrac{1}{2}(17)(1.5)(2.57)$$
$$= 225.83 + 76.67 + 32.77 = \mathbf{335.28}\ \text{kPa}$$

2 容许压力与荷载

$$q_{all,g} = \frac{335.28}{3} = \mathbf{111.76}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{335.28 - 17}{3} = 106.09\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = q_{all,g}\, B = 111.76(1.5) = \mathbf{167.6}\ \text{kN/m}$$

地震使承载力由**874.14 kPa**降至**335.28 kPa**，即降至静力值的**38%**（模块同时给出静力 q_u）。容许压力取自q_{uE}。

在GeoTerva中验算解答 ↗

地震会使其降低多少，界限在哪里？

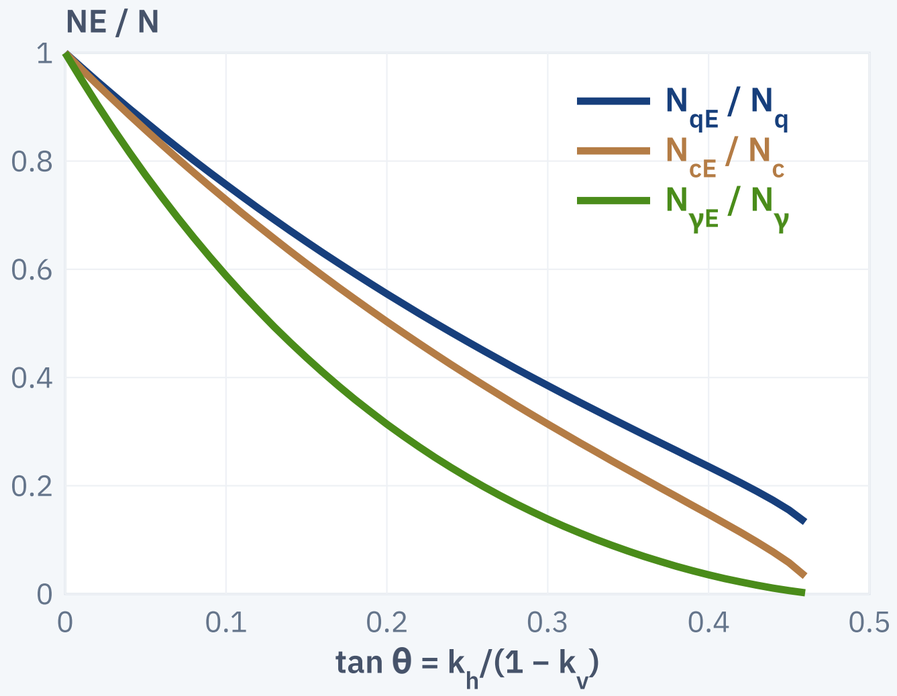
理论

文献以Richards等(1993)的图表给出这些折减；本页则由闭合表达式绘出（见旁图）。**自重项折减最大**：tan θ = 0.2时，$N_{\gamma E}$约为静力值的三分之一；N_{qE}和N_{cE}约剩一半。

当θ → φ时，α = φ − θ → 0：主动土楔趋于平缓，三个系数均趋于零；摩擦性土体对水平加速度不再有抗力储备。

该理论仅当**$k_h/(1-k_v) < \tan\varphi$**时成立；当θ ≥ φ时，模块**停止计算**。该比值同时也是该理论预测地震沉降将开始出现的比值。

当θ接近φ（θ > 0.85φ）时，模块发出警告：这并非设计承载力，而是该方法的适用界限。



取φ′ = 25°，δ = φ/2，按闭式表达式绘制。

题目

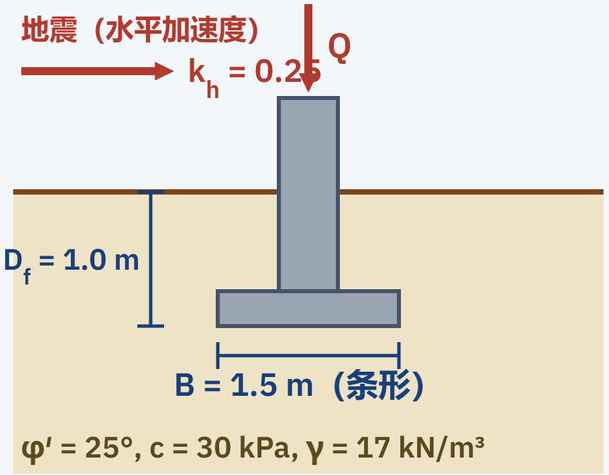
算例

已知条件

基础	**条形基础（连续），B = 1.5 m，基础埋置深度D_f = 1.0 m**
土	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25°$
重度	$\gamma = 17$ kN/m^3；**破坏区内无地下水位**
地震	**k_v = 0; k_h = 0, 0.05, … 0.45**

求

对每个k_h，求**θ, N_{qE}, $N_{\gamma E}$, N_{cE}, q_{uE}**以及q_{uE}/q_u的值；计算模块停止计算时的k_h界限。



解答 (1/2)

解答

k_h	θ (°)	N_{qE}	$N_{\gamma E}$	N_{cE}	q_{uE} (kPa)	q_{uE}/q_u
0.00	0.0	9.67	11.92	18.59	**874**	%100
0.05	2.9	8.44	9.23	15.94	**739**	%85
0.10	5.7	7.31	7.01	13.54	**620**	%71
0.15	8.5	6.29	5.20	11.35	**514**	%59
0.20	11.3	5.36	3.74	9.36	**420**	%48
0.25	14.0	4.51	2.57	7.53	**335**	%38
0.30	16.7	3.72	1.65	5.84	**260**	%30
0.35	19.3	2.99	0.94	4.26	**191**	%22
0.40	21.8	2.28	0.42	2.74	**126**	%14
0.45	24.2	1.50	0.07	1.07	**59**	%7

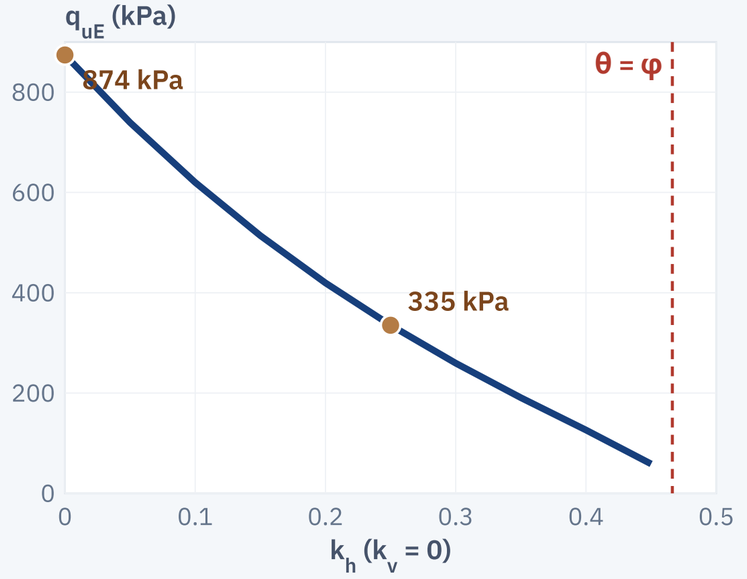
解答 (2/2)

解答

1 适用界限：θ < φ

$$\frac{k_h}{1-k_v} < \tan\varphi \;\Rightarrow\; k_{h,\max} = (1-k_v)\tan 25^\circ = \mathbf{0.4663}$$

k_h = 0.25时，q_{uE}为静力值的38%；**k_h = 0.45时仅为7%。**若输入k_h = 0.47，模块停止运行(θ ≥ φ)。曲线起初陡降：**即使很小的加速度**也会造成很大的损失(k_h = 0.05 → 85%)。



在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

算例

已知条件

基础	**条形基础（连续），B = 1.5 m，基础埋置深度D_f = 1.0 m**
土	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
重度	$\gamma = 17$ kN/m^3；**破坏区内无地下水位**
地震	**k_h = 0.25; k_v = 0, 0.1, 0.2, 0.3**

求

求每个k_v对应的**θ**和q_{uE}值。

解答

解答

1 $\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$；例如$k_v = 0.2$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{0.25}{1-0.2} = \tan^{-1}(0.3125) = \mathbf{17.35}^\circ$$

k_v	θ (°)	N_{qE}	$N_{\gamma E}$	N_{cE}	q_{uE} (kPa)	q_{uE}/q_u
0.0	14.04	4.51	2.57	7.53	**335**	%38
0.1	15.52	4.07	2.03	6.57	**292**	%33
0.2	17.35	3.54	1.45	5.44	**242**	%28
0.3	19.65	2.88	0.86	4.04	**181**	%21

k_v增大时，$(1 - k_v)$减小，θ增大，q_{uE}降低：$k_v = 0.2$使q_{uE}由335降至242 kPa（降低28%）。忽略竖向加速度会使结果**偏于不安全**。

在GeoTerva中验算解答 ↗

由地基抗震承载力得到的容许压力

理论

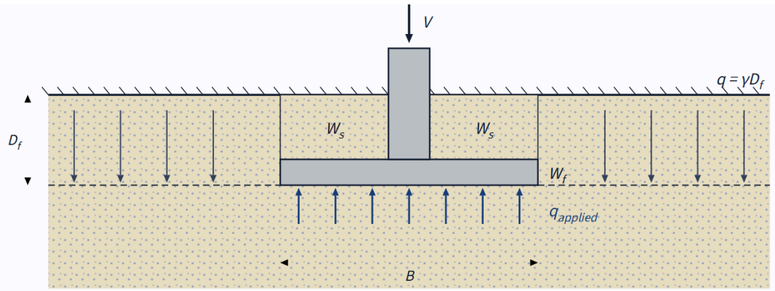
模块根据**地基抗震承载力q_{uE}**取容许基底压力；总值与净值分别列出，并同时给出静力q_u：

$$q_{u,net} = q_{uE} - q \qquad q_{all,g} = \frac{q_{uE}}{FS} \qquad q_{all,n} = \frac{q_{u,net}}{FS}$$

作用压力q_{app}为地震荷载工况下基底处的**竖向总压力**（V/B；柱荷载 + 基础 + 土重）。基础在下列条件下满足要求：

$$q_{apply} \le q_{all,g} \quad (FS_{实际} = q_{uE}/q_{apply}) \qquad q_{apply} - q \le q_{all,n}$$

每米容许荷载$Q_{all} = q_{all,g}\,B$。地震水平惯性力已通过k_h计入；独立的水平力、弯矩或偏心距**不属于本计算的范围。**



题目

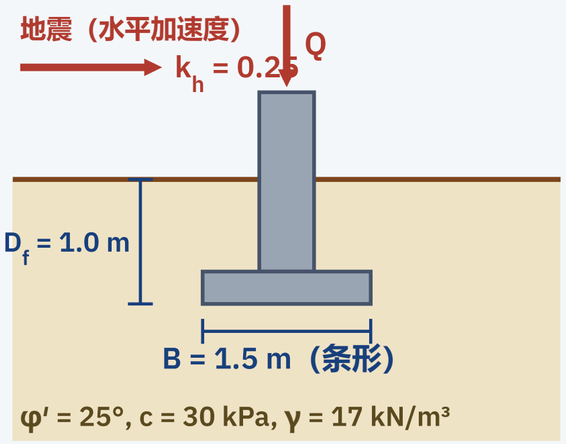
算例

求

每种情况均须验算三个条件（总承载力、FS_{actual}、净承载力）。

已知条件

结果（算例5）	q_{uE} = 335.28 kPa; q = 17 kPa; FS = 3
作用压力	**地震荷载工况下，(a) q_{app} = 100 kPa · (b) q_{app} = 150 kPa**



解答

解答

1 (a) q_{appl} = 100 kPa

$$100 \le q_{all,g} = 111.76 \;\Rightarrow\; \textbf{满足} \qquad FS_{\text{实际}} = \frac{335.28}{100} = \mathbf{3.35} \ge 3$$

$$100 - 17 = 83 \le q_{all,n} = 106.09 \;\Rightarrow\; \textbf{满足}$$

2 (b) q_{appl} = 150 kPa

$$150 > q_{all,g} = 111.76 \;\Rightarrow\; \textbf{不满足} \qquad FS_{\text{实际}} = \frac{335.28}{150} = \mathbf{2.24} < 3$$

$$150 - 17 = 133 > q_{all,n} = 106.09 \;\Rightarrow\; \textbf{不满足}$$

地震荷载作用下，仅**q_{app} ≤ 111.8 kPa**的基础满足要求。同一基础在静力条件下可承受高达291 kPa的荷载($q_{all,g}$ = 291.4)。

在GeoTerva中验算解答 ↗

题目

算例

已知条件

基础	**条形基础（连续），B = 1.5 m，基础埋置深度D_f = 1.0 m**
土	$c = 30$ kPa, $\varphi' = 25^\circ$
重度	$\gamma = 17$ kN/m^3；**破坏区内无地下水位**
地震	**k_h = 0.25; k_v = 0**
对比	**c = 30 kPa和c = 0**

求

求c = 30和c = 0时的静力承载力和地基抗震承载力；讨论黏聚力项所占的份额。

解答

解答

	cN_c	qN_q	$\frac{1}{2}\gamma B N_\gamma$	总计
静力，c = 30	557.8	164.4	152.0	**874.1**
地震，c = 30	225.8	76.7	32.8	**335.3**
静力，c = 0	0	164.4	152.0	**316.4**
地震，c = 0	0	76.7	32.8	**109.4**

地震情况下，黏聚力项占q_{uE}的**67%**；$N_{cE} = (N_{qE} - 1)\cot\varphi$这一假定对结果影响显著。作为偏保守的敏感性分析，c = 0时q_{uE} = **109.4 kPa**（c = 30时为335.3 kPa）。

在GeoTerva中验算解答 ↗

小结

要点回顾

两个Coulomb土楔（主动楔ABC，被动楔BCD），其间墙背摩擦角$\delta = \varphi/2$；$H = B \tan \alpha_A$；各系数均为闭式表达

静力工况：$N_q = K_P/K_A$，$N_\gamma = \tan \alpha_A(K_P/K_A - 1)$，$N_c = (N_q - 1)\cot \varphi$；$q_u = cN_c + qN_q + \tfrac{1}{2}\gamma BN_\gamma$（算例：874.14 kPa）

地震：$\theta = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$，$\alpha = \varphi - \theta$；$K_{AE}$、$K_{PE}$按Mononobe–Okabe公式；$N_{qE}$、$N_{\gamma E}$、$N_{cE}$形式相同；$q_{uE}$ = 335.28 kPa（为静力值的38%）

自重项降低最多($N_{\gamma E}/N_\gamma = 0.22$)；$N_{qE}$和$N_{cE}$约保留一半

限值：$k_h/(1 - k_v) < \tan \varphi$；当$\theta \geq \varphi$时模块停止，$\theta > 0.85\varphi$时给出警告；若忽略$k_v$，结果偏于不安全

验算：容许压力取自q_{uE}；$q_{appl} \leq q_{all,g}$，FS_{actual}及净值；$Q_{all} = q_{all,g}\, B$

参考文献

Richards, R., Elms, D.G. and Budhu, M. (1993). Seismic bearing capacity and settlements of foundations. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 119(4), 662–674.

Das, B.M. (2017). Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement, 3rd ed. CRC Press — Section 6.3.1; 本页面遵循其推导顺序。

Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929). On the determination of earth pressures during earthquakes. Proc. World Engineering Congress, Tokyo, 9, 177–185.

Okabe, S. (1926). General theory of earth pressure. Journal of the Japanese Society of Civil Engineers, 12(1).

注

部分图件取自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基础：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。