

地基极限荷载的广义极限平衡法

黄传志

(天津港湾工程研究所, 天津 300222)

摘要: 将屈服函数的极值条件作为土体极限分析的基本方程之一, 与平衡方程、屈服条件一起构成了一个完备的极限平衡问题(荷载边界条件问题)。由速度场与滑动面族关系的速度方程, 可以建立一种新的极限分析方法 - 广义极限平衡法。应用广义极限平衡法获得了地基极限荷载的近似计算公式。极限荷载的极值定理与计算结果证明: 只要选取的滑动面(族)接近于真实的滑动面, 所得的极限荷载近似值就接近于真解。

关键词: 极限荷载; 虚功方程; 滑动面; 速度场; 广义极限平衡法

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2007)03-0328-05

作者简介: 黄传志(1951-), 男, 高级工程师, 主要从事土工工程的分析计算与研究工作。E-mail: tpeitgs4073@sina.com。

Generalized limit equilibrium method of ultimate load on foundation

HUANG Chuan-zhi

(Tianjin Port Engineering Institute, Tianjin 300222, China)

Abstract: The extreme conditions of a yield function, which was used as one of the fundamental equations for ultimate analysis of soil mass, together with the equilibrium equation and yield conditions, constituted a complete limit equilibrium problem (a problem of boundary conditions of a load). The velocity field and the velocity equation of the slip surface family may be used to establish a new ultimate analysis method - Generalized Limit Equilibrium Method. An approximate formula for calculating the ultimate load on a foundation was derived by using the generalized limit equilibrium method. The extremum theorem of an ultimate load and the results of calculation proved that if the chosen slip surface (family) came near to the genuine slip surface, the obtained approximate value of an ultimate load was more close to the genuine solution.

Key words: ultimate load; virtual work equation; slip surface; velocity field; generalized limit equilibrium method

0 前言

众所周知, 基于关联流动法则的上限定理, 是上限解法的基础。对于极限荷载问题, 上限解法的解题过程为: ①假定滑动面; ②构造速度场; ③按照虚功方程计算极限荷载^[1-2]。

将屈服函数的极值条件作为土体极限分析的基本方程之一, 极限荷载的上、下限定理就可以得到严密的证明; 由速度场与滑动面族关系的速度方程^[3], 在假定滑动面的情况下, 速度场就可以由速度方程解出, 进一步地就可以按照虚功方程计算极限荷载。显然这较上限解法的速度场需要人为构造无疑是一个进步。

因为定理成立(包括基于关联流动法则的上限定理)的主要条件之一是滑动面是真实的滑动面; 真实的滑动面是很难得到的, 如果假定的滑动面不是真实的滑动面, 则不能证明定理是成立的; 这样就没有根据说, 得出的近似解就是上限解。

所以称相应的解题过程为广义极限平衡法。下面应用广义极限平衡法求解极限荷载。

1 速度场不连续情况的虚功方程

实际问题中, 为了使选取的滑动面尽可能接近于真实的滑动面, 一般是将土体可能破坏的区域分成若干区域, 每个区域选取不同的滑动面。这样获得连续的速度场就较难, 可直接考虑有速度间断面的情况。下面以有两个速度间断面为例给出虚功方程。

设 Γ_n , Γ_m 为两个速度不连续面, 并将区域(D)分割成 A, B, C 三个区域(见图1)。

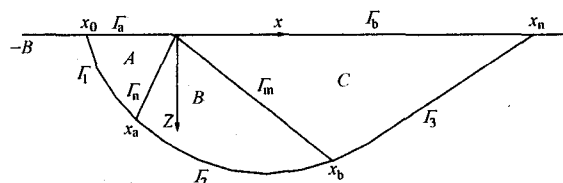


图1 分区示意图

Fig.1 Schematic diagram of divided areas

这时, 应当分区建立虚功方程。记 Γ_n , Γ_m 的斜率为 h'_n , h'_m ; v_{xA} , v_{zA} 为 A 区速度场在 Γ_n 上的值。在 A 区有

$$\begin{aligned} & \int_{x_0}^0 [(\sigma_z - h'_s \tau_{xz})v_z - (\sigma_x h'_s - \tau_{xz})v_x]_{\Gamma_n} dx \\ &= - \int_0^{x_n} [\sigma_n(v_{zA} - h'_n v_{xA}) + \tau_n(v_{zA} h'_n - v_{xA})]_{\Gamma_n} dx - \\ & \iint_A [\gamma v_z - \frac{c}{\lambda} (\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z})] dz dx + \int_{x_0}^{x_n} [c(v_x + h'_n v_z)]_{\Gamma_1} dx. \quad (1) \end{aligned}$$

在 B 区同样有

$$\begin{aligned} & \int_{x_n}^0 [\sigma_n(v_{zB} - h'_n v_{xB}) + \tau_n(v_{zB} h'_n - v_{xB})]_{\Gamma_n} dx \\ &= - \int_0^{x_b} [\sigma_m(v_{zB} - h'_m v_{xB}) + \tau_m(v_{zB} h'_m - v_{xB})]_{\Gamma_m} dx - \\ & \iint_B [\gamma v_z - \frac{c}{\lambda} (\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z})] dz dx + \int_{x_n}^{x_b} [c(v_x + h'_m v_z)]_{\Gamma_2} dx. \quad (2) \end{aligned}$$

在 C 区有

$$\begin{aligned} & \int_{x_b}^0 [\sigma_m(v_{zC} - h'_m v_{xC}) + \tau_m(v_{zC} h'_m - v_{xC})]_{\Gamma_m} dx \\ &= - \int_0^{x_n} [(\sigma_z - h'_s \tau_{xz})v_z - (\sigma_x h'_s - \tau_{xz})v_x]_{\Gamma_b} dx - \\ & \iint_C [\gamma v_z - \frac{c}{\lambda} (\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z})] dz dx + \int_{x_b}^{x_n} [c(v_x + h'_s v_z)]_{\Gamma_3} dx. \quad (3) \end{aligned}$$

式中 c , $\lambda = \tan \varphi$ 为地基土的强度指标; γ 为地基土的重度, h' 为滑动面的切线斜率; v_x , v_z 为速度分量; σ_x , σ_z , τ_{xz} 为应力分量。

极限荷载的计算可以按以下步骤进行: 先用式

(3) 得出 Γ_m 上的 σ_m , τ_m , 代入式 (2) 后, 又能得出 Γ_n 上的 σ_n , τ_n , 最后代入式 (1) 后, 就可以计算边界面上的极限荷载了。

2 常用的滑动面族与速度场

目前常用的滑动面有平面、对数螺旋面、圆弧面等, 这里讨论这几种滑动面的相应速度场。

当滑动面族为平面: $h' = \text{常数}$, 由速度方程^[3]容易得出

$$\left. \begin{aligned} v_x &= A_v(1 + h'\lambda)(z - h'x)/(1 + h'^2), \\ v_z &= A_v(h' - \lambda)(z - h'x)/(1 + h'^2). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

当滑动面族为一般螺旋面

$$\left. \begin{aligned} x - x_R &= R \exp(-k\theta) \cos \theta, \\ z - z_R &= R \exp(-k\theta) \sin \theta. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中 $k = \tan \psi$ 为一任意常数。当 $k = \lambda$ 时, 滑动面是常用的对数螺旋面。当 $k = 0$ 时, 滑动面变为圆弧面。由速度方程可以解出速度场为

$$\left. \begin{aligned} v_x &= A_v[(1 + k\lambda)\bar{z} + (k - \lambda)\bar{x}] \exp[2(\lambda - k) \arctan u], \\ v_z &= A_v[(k - \lambda)\bar{z} - (1 + k\lambda)\bar{x}] \exp[2(\lambda - k) \arctan u]. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

其中 $\bar{x} = x - x_R$, $\bar{z} = z - z_R$, $u = \bar{x}/\bar{z}$ 。

3 平面 - 一般螺旋面 - 平面计算模式

试求最简单的垂直荷载条件下的极限荷载: 地基表面为水平面, 在基础底面 $\Gamma_a: [-B, 0]$ 内受待求的垂直荷载 $\sigma_z|_{z=0} = p_z$, 且水平荷载 $\tau_{xz}|_{z=0} = 0$; 在土体表面 $\Gamma_b: 0 < x$ 上受垂直均布荷载 q 。

滑动面为平面 - 一般螺旋面 - 平面的形式 (见图 2)。

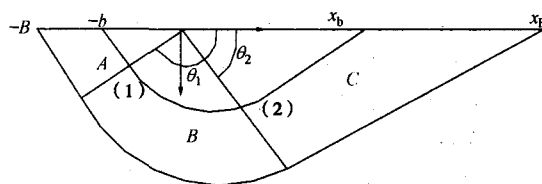


图 2 滑动面示意图

Fig. 2 Schematic diagram of slip surface

在 A 区滑动面为平面: $h' = h'_a = \tan(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})$ 。 (7)

B 区滑动面为一般螺旋面:

$$h' = h'_b = (kz - x)/(z + kx). \quad (8)$$

C 区滑动面为平面: $h' = h'_c = -1/h'_a$ 。 (9)

这样滑动面满足表面边界条件: $\tau_{xz}|_{z=0} = 0$ 。

为使滑动面光滑, 应有

$$\theta_1 = \frac{3\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \psi, \quad \theta_2 = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \psi. \quad (10)$$

并容易获得滑动面与 A, B 交界面及与 B, C 交界面的坐标点 (x_1, z_1) 及 (x_2, z_2) 。

应用前面得出的速度场, 容易组合出连续的速度场。将滑动面与相应的速度场代入虚功方程

$$\begin{aligned} & \int_b^0 (\sigma_z v_z)_{\Gamma_a} dx = - \int_0^{x_b} (q v_z)_{\Gamma_b} dx - \\ & \iint_D [\gamma v_z - \frac{c}{\lambda} (\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z})] dz dx + \int_b^{x_b} [c(v_x + h' v_z)]_{\Gamma} dx. \quad (11) \end{aligned}$$

计算式中的积分; 并由 $-b$ 是基础底面上任意一点, 求解这个积分方程, 得极限荷载的分布为

$$p_z = qN_q + cN_c - \gamma x N_\gamma, \quad -B \leq x \leq 0. \quad (12)$$

式中

$$N_q = h_a'^2 \exp(\lambda \pi), \quad (13)$$

$$N_c = \frac{1}{\lambda} (N_q - 1), \quad (14)$$

$$N_\gamma = \frac{2\lambda}{1 + (k + 2\lambda)^2} [h_a'^2 (h'_a + k) \exp(\frac{\pi}{2} (k + 2\lambda)) + 1 - kh'_a]. \quad (15)$$

N_q , N_c 和目前常用的公式相同^[4]; N_γ 中含有任意常数 k , 如果 $k = \lambda$ 则与应力场方法得出的公式是相同的^[4]。表 1 为 N_γ 的计算结果 ($\psi = r_0 \varphi$)。

$$r_0 = (2.2 + \lambda)(\lambda - \tan \frac{\pi}{12}) / (1 + 2.2\lambda^2). \quad (16)$$

表 1 中特征线法的结果是 $q/(\gamma B) = 0.1$, $c/(\gamma B) = 0.2$ 时的计算值^[5]。

显然, 只要适当选取 k , 计算的极限荷载与特征线法结果就很接近。

表 1 N_γ 的计算结果

Table 1 Calculated results of N_γ

$\varphi(^{\circ})$	N_γ				
	$r_0=0$	0.5	1.0	式 (16)	特征线法
5	0.460	0.477	0.495	0.444	0.429
10	1.237	1.336	1.447	1.196	1.169
15	2.555	2.885	3.283	2.555	2.540
20	4.824	5.724	6.905	5.148	5.178
25	8.847	11.08	14.33	10.37	10.46
30	16.27	21.61	30.38	21.51	21.65
35	30.72	43.53	67.74	47.08	47.03
40	60.98	92.65	163.5	110.8	110.2

4 螺旋面 - 螺旋面 - 平面计算模式

对上面的极限荷载问题, 并考虑水平荷载:

$\tau_{xz}|_{z=0} = p_x = \tan \delta (p_z + c/\lambda)$ 来导出极限荷载的计算公式。

4.1 滑动面族 (见图 3)

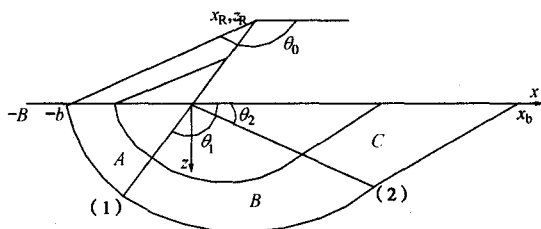


图 3 滑动面示意图

Fig. 3 Schematic diagram of slip surface

在 A 区 ($\theta_0 \geq \theta \geq \theta_1$), 滑动面为常用螺旋面:

$$R_A = b \exp(\lambda \theta_0) \sin \theta_1 / \sin(\theta_0 - \theta_1) \quad (17)$$

当滑动面的入土点 ($-b$) 不同时, (x_R, z_R) 也是变动的。

由屈服条件与屈服函数的极值条件^[3], 基础底面的滑动面族边界条件:

$$h'_0 = \frac{\lambda(\lambda - \tan \delta) + \sqrt{(1 + \lambda^2)(\lambda^2 - \tan^2 \delta)}}{\lambda + \tan \delta(1 + 2\lambda^2)} \quad (18)$$

$$\text{所以 } \theta_0 = \arctan[-(1 + \lambda h'_0)/(h'_0 - \lambda)] \quad (19)$$

在 B 区 ($\theta_1 \geq \theta \geq \theta_2$), 滑动面为常用螺旋面:

$$R_B = b[-\sin \theta_0 + E_{01} \sin \theta_1] / \sin(\theta_0 - \theta_1) \quad (20)$$

$$\text{式中 } E_{ij} = \exp(\lambda(\theta_i - \theta_j)) \quad (21)$$

容易验证: 在 A, B 的交界面, 滑动面是光滑的。

C 区滑动面为平面:

$$h' = h'_c = \tan \theta_2 \quad (22)$$

为使在 B, C 交界面处滑动面是光滑的, 应有

$$\theta_2 = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \quad (22)$$

4.2 速度场

$$\left. \begin{aligned} v_x &= \bar{z} A_v \\ v_z &= -\bar{x} A_v \end{aligned} \right\} \text{A 区,} \quad (23a)$$

$$\left. \begin{aligned} v_x &= z A_v \\ v_z &= -x A_v \end{aligned} \right\} \text{B 区,} \quad (23b)$$

$$\left. \begin{aligned} v_x &= (z - h'_c x) A_v / 2, \\ v_z &= (z - h'_c x) A_v / (2h'_c) \end{aligned} \right\} \text{C 区.} \quad (23c)$$

这个速度场在 A, B 交界面处是不连续的。

4.3 极限荷载的计算公式

在 A 区: 将速度场代入虚功方程, 有

$$\begin{aligned} & \int_b^0 [-\sigma_{z0} \bar{x} + \tau_{xz0} \bar{z}_R] dx \\ &= - \int_b^0 [\sigma(1 + \tan^2 \theta_1) \bar{x}]_{r_{AB}} dx + \iint_A \gamma \bar{x} dz dx + \\ & \int_b^0 \left[\frac{c}{\lambda} \bar{x} dx + \int_b^0 \frac{c}{\lambda} (1 + \tan^2 \theta_1) \bar{x} dx \right] \quad (24) \end{aligned}$$

由于 B, C 两区的速度场是连续的, 所以虚功方程可合并为

$$\begin{aligned} & \int_{x_1}^0 [\sigma(1 + \tan^2 \theta_1) x]_{r_{AB}} dx = \iint_B \gamma x dz dx - \\ & \iint_C \gamma \frac{h'_c - \lambda}{1 + h_c'^2} (z - h'_c x) dz dx + \int_b^{x_b} q \frac{h'_c - \lambda}{1 + h_c'^2} h'_c x dx + \\ & \int_b^{x_b} \frac{c}{\lambda} \frac{h'_c - \lambda}{1 + h_c'^2} h'_c x dx - \int_b^{x_b} \frac{c}{\lambda} (1 + \tan^2 \theta_1) x dx \quad (25) \end{aligned}$$

计算式 (25) 中的积分, 并求解这个积分方程得出 A、B 交界面处的法向应力 σ 。将其代入式 (24), 并求解这个积分方程, 可得单向破坏模式的极限荷载沿基础底面的分布同样为式 (12), 只是式中的

$$N_q = \frac{2E_{10} \exp(2\lambda(\theta_0 - \theta_2)) \cos^2 \theta_2}{\tan \delta \sin \theta_0 - \cos \theta_0} \quad (26)$$

$$N_c = \frac{1}{\lambda} (N_q - 1) \quad (27)$$

$$N_\gamma = \frac{E_\lambda^2 g_B - \sin \theta_1 g_A / \sin^2(\theta_0 - \theta_1)}{\tan \delta \sin \theta_0 - \cos \theta_0} \quad (28)$$

$$E_\lambda = [\sin \theta_1 - \sin \theta_0 / E_{01}] / \sin(\theta_0 - \theta_1) \quad (29)$$

$$\begin{aligned} g_B &= \frac{1}{1 + 9\lambda^2} [E_{01}^3 (\sin \theta_1 - 3\lambda \cos \theta_1) - \\ & E_{02}^3 (\sin \theta_2 - 3\lambda \cos \theta_2)] + 2E_{02}^3 \sin \theta_2 \cos^2 \theta_2, \quad (30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_A &= \frac{\sin \theta_1}{1 + 9\lambda^2} [\sin \theta_0 - 3\lambda \cos \theta_0 - E_{01}^3 (\sin \theta_1 - 3\lambda \cos \theta_1)] - \\ & \sin \theta_0 [(\cos \theta_1 + \lambda \sin \theta_1)(1 - E_{10}) / \lambda + \\ & \cos \theta_1 (E_{10}^2 \sin 2\theta_1 - \sin 2\theta_0) - \\ & \sin \theta_1 (E_{10}^2 \cos 2\theta_1 - \cos 2\theta_0)] / 4 \quad (31) \end{aligned}$$

表2 极限荷载的计算结果 ($q/(\gamma B)=0.1, c/(\gamma B)=0.2$)Table 2 Calculated results of ultimate load ($q/(\gamma B)=0.1, c/(\gamma B)=0.2$)

$\varphi(^{\circ})$	$\tan\delta=0.0$		0.1		0.2		0.3		0.4	
	P_v	P_{v0}	P_v	P_{v0}	P_v	P_{v0}	P_v	P_{v0}	P_v	P_{v0}
5	1.602	1.669								
10	2.432	2.501	1.728	1.796						
15	3.788	3.859	2.849	2.942	1.883	1.945				
20	6.107	6.196	4.641	4.772	3.299	3.408	2.058	2.117		
25	10.30	10.44	7.779	7.990	5.615	5.802	3.810	3.917	2.290	2.350
30	18.40	18.69	13.69	14.08	9.832	10.18	6.792	7.041	4.453	4.604
35	35.46	36.07	25.78	26.56	18.21	18.90	12.51	13.02	8.348	8.674
40	75.45	76.60	53.23	54.81	36.63	38.04	24.69	25.74	16.34	17.05

N_q, N_c, N_γ 中还含有未知参数 θ_1 , 是一个可供选择的参数。

4.4 计算结果

基础宽度内的总极限荷载为

$$P_z/(\gamma B^2) = \frac{q}{\gamma B} N_q + \frac{c}{\gamma B} N_c + \frac{1}{2} N_\gamma. \quad (32)$$

适当的选取参数 θ_1 , 应用上述的计算公式, 可以获得与特征线法十分接近的极限荷载。如

$$q_c = (q\lambda + c)/(\gamma B), \quad (33)$$

$$\theta_1 = \theta_0 - 0.5(\varphi - \delta) \exp[1.6(1 + (\lambda - \tan \delta)(1 - \lambda))/(1 + 18q_c)] / (1 + 1.5q_c). \quad (34)$$

计算的总极限荷载如表2, 表中: $P_v = P_z/(\gamma B^2)$; P_{v0} 为精度很高的特征线法结果^[5-6]。对不同的 $q/(\gamma B)$, $c/(\gamma B)$, 计算结果与特征线法很接近。

5 广义极限平衡法的特点

(1) 广义极限平衡法是对应一个完备极限平衡问题的求解方法, 如果选择的滑动面(族)是真实的滑动面, 获得的极限荷载必是精确解。在假定的滑动面条件下只能得出近似解; 极限荷载的极值定理^[3]与计算结果说明: 如果选择滑动面接近于真实的滑动面, 计算的极限荷载就接近于特征线法的计算结果。

(2) 广义极限平衡法在不需要对土体所受的力做任何假定与简化的条件下, 拓广了可供选取的滑动面。从理论上说, 只要由速度方程可以确定出速度场的滑动面族, 均可以作为可供选择的滑动面族。这较极限平衡法只能取对数螺旋面^[7](其他的滑动面须对土体受力做出假定或简化才能进行解题)有很大的进步。

(3) 上述的广义极限平衡法所对应的土体破坏模式是场破坏模式, 即要求滑动体内的土体处处满足屈服准则, 可以得出极限荷载的分布。这对讨论地基土的局部破坏、确定设计荷载条件下的地基承载力问题是重要的。例如, 均质土地基的极限荷载 $p_z(x)$ 是后顷的, 当设计荷载 $p_v(x)$ 前顷时, 如果总极限荷载与总设计荷载相同, 则地基土已有较大的局部区域是破坏的(见图4)。不得出极限荷载的分布, 就不能分析

地基土的这种局部破坏。

(4) 场破坏模式的广义极限平衡法的解题过程与极限平衡法、上限解法的主要区别之一是不再需要极小化过程。原因是在极限荷载计算公式的导出过程中已考虑了屈服函数的极值条件。而极限平衡法与上限解法在导出过程中没有应用屈服函数的极值条件, 所以尚需对相应的极限荷载计算公式施行极小化过程。

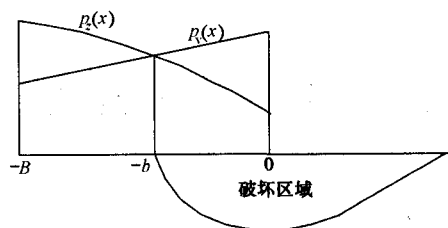


图4 局部破坏示意图

Fig. 4 Schematic diagram of local failure

6 结 语

将屈服函数的极值条件作为土体极限分析的基本方程, 与平衡方程、屈服条件构成了一个完备的极限平衡问题(荷载边界条件问题)。在此基础上建立的广义极限平衡法将为地基极限承载力、极限土压力、边坡稳定等问题提供新的研究方法。应用广义极限平衡法(包括面破坏模式的广义极限平衡法, 另文介绍)获得公式简单、计算精度高的地基极限承载力(包括土压力、边坡稳定)计算方法, 值得进一步研究。

参考文献:

- [1] 陈惠发. 极限分析与土体塑性[M]. 詹世斌, 韩大建, 译. 北京: 人民交通出版社, 1995. (CHEN Hui-fa. Limit analysis and soil plasticity[M]. ZHAN Shi-bin, HAN Da-jian, trans. Beijing: China Communications Press, 1995.(in Chinese))
- [2] 沈珠江. 理论土力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000. (SHEN Zhu-jiang. Theoretical soil mechanics[M]. Beijing: China Water Power Press, 2000.(in Chinese))
- [3] 黄传志. 土体极限分析定理的证明与广义流动法则[J]. 岩

- 土工程学报, 2006,28(6):700 - 704.(HUANG Chuan-zhi. Verification of theorem of limit analysis of soil mass and generalized flow rule[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, in press, 2006,28(6):700 - 704.(in Chinese))
- [4] 黄传志, 张敬, 孙万禾. 土体极限状态的应力场与极限荷载[J]. 岩土工程学报, 2002,24(3):389 - 391.(HUANG Chuan-zhi, ZHANG Jing, SUN Wan-he. Stress field and ultimate load for soil mass in limit state[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002,24(3):389 - 391.(in Chinese))
- [5] 张美燕, 黄传志. 特征线法的极限荷载与地基极限承载力[J]. 中国港湾建设, 2005(3):8 - 12.(ZHANG Mei-yan, HUANG Chuan-zhi. Ultimate loads in characteristic line method and ultimate bearing capacity of foundation[J]. China Harbour Engineering, 2005(3):8 - 12.(in Chinese))
- [6] 肖大平, 朱唯一, 陈环. 滑移线法求解极限承载力问题的一些进展[J]. 岩土工程学报, 1998,20(4):25 - 29. (XIAO Da-ping, ZHU Wei-yi, CHEN Huan. Progress in slip lines method to solve the bearing capacity problem[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998,20(4):25 - 29.(in Chinese))
- [7] 栾茂田, 金崇磐, 林皋. 土体稳定分析极限平衡法改进及其应用[J]. 岩土工程学报, 1992, 14 (增刊): 20 - 29. (LUAN Mao-tian, JIN Chong-pan, LIN Gao. Improved limit equilibrium method and its applications to stability analysis of soil masses[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1992,14(S):20 - 29.(in Chinese))

《岩土工程学报》2006 年第 28 卷第 10 期被 EI 收录论文 (25 篇)

论文题目	作者	页码
深部粘土高压 K_0 蠕变试验及其微观结构各向异性特点	李文平, 张志勇, 孙如华, 王维理, 李小琴	1185~1190
边坡失稳机理的力学解释	戴自航, 卢才金	1191~1197
稳定性系数为隐式函数的边坡可靠度近似计算方法	苏永华, 赵明华, 李青海, 刘晓明	1198~1203
井壁竖直附加力变化规律模拟试验研究	黄家会, 杨维好	1204~1207
大型软土基坑中心岛法施工中土台预留宽度的研究	包旭范, 庄丽, 吕培林	1208~1212
冻融循环条件下土的融沉性质试验研究	梁波, 张贵生, 刘德仁	1213~1217
土钉支护结构优化设计方法	彭明祥	1218~1223
滑坡防治工程效果的模糊综合后评价研究	郑明新, 殷宗泽, 吴继敏, 杜宇飞, 栾宇	1224~1229
有无褥垫层刚-柔性桩复合地基性状对比研究	朱奎, 徐日庆	1230~1235
竖向浅埋锚锭板的侧向极限拉拔荷载	朱碧堂, 杨敏, 郭蔚东	1236~1241
非贯通节理岩体直剪贯通模型和强度研究	刘远明, 夏才初	1242~1247
结构性土的强度准则	刘恩龙, 沈珠江	1248~1252
桩-土-承台共同作用的模型试验研究	王浩, 周健, 邓志辉	1253~1258
基坑开挖卸载诱发的渗流分析	李玉岐, 周健, 谢康和	1259~1262
复杂环境下地铁深基坑变形行为的实测研究	汪中卫, 刘国彬, 王旭东, 宰金珉	1263~1266
土体动力粘塑性记忆型嵌套面本构模型及其验证	庄海洋, 陈国兴, 朱定华	1267~1272
非饱和渗流随机模型中水力要素的随机特性研究	李少龙, 杨金忠, 蔡树英	1273~1276
盾构隧道近接下穿地下大型结构施工影响研究	李围, 何川	1277~1282
纤维石灰土工程性质的试验研究	蔡奕, 施斌, 高玮, 陈峰军, 唐朝生	1283~1287
土层锚杆和挡土桩共同作用的非线性分析及其优化设计	刘岸军, 钱国桢, 龚晓南	1288~1291
非饱和土中球形孔扩张的弹塑性分析	胡伟, 刘明振	1292~1297
地震荷载作用下大坝非线性响应的混沌分析	张我华, 吴志军, 薛新华	1298~1303
数值方法确定海底隧道最小岩石覆盖厚度研究	李树忱, 李术才, 张京伟, 徐帮树	1304~1308
碎石回填地基上 10000 kN·m 高能级强夯标准贯入试验	水伟厚, 王铁宏, 王亚凌	1309~1312
基于 AHP 先验分布融合法的岩土参数概率分布推断	宫凤强, 李夕兵, 邓建	1313~1318

(《岩土工程学报》编辑部)