

适于基坑开挖分析的一个改进双屈服面模型

陈永辉¹, 高俊合², 赵维炳¹

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏南京 210098; 2. 深圳市市政工程总公司基础分公司, 深圳 518034;)

摘要 针对基坑开挖应力路径的复杂性及土体剪切变形显著的特点, 将椭圆-抛物线双屈服面模型应用于开挖有限元分析. 该模型可避免常规模型(如邓肯模型、修正剑桥模型等)的理论局限, 又可避免一些特殊模型要做非常规试验才能确定参数的缺点. 研究表明, 按原有参数确定方法确定的 K_G 偏大, 致使计算的支护桩体位移和地面沉降偏小, 弯矩偏大, 文中对其作了改进.

关键词 基坑开挖; 有限元分析; 椭圆-抛物线双屈服面模型; 参数
中图分类号 TU47 **文献标识码** A **文章编号** 1000-198X(2000)03-0073-04

合理的土体本构模型是土工数值分析的关键. 土体本构模型有上百种^[1, 2]. 许多学者针对基坑开挖过程中土体所特有的应力-应变关系及具体的开挖条件, 提出了数种本构模型^[2], 如 Murphy 的非线性准弹性模型、MIT-E3 有效应力模型等.

现有的各种模型用于基坑开挖分析时, 都存在这样或那样的问题^[3]. 例如, 一些常规模型, 不能全面反映基坑开挖复杂的应力路径, 而针对开挖的、能反映其应力路径影响的一些特殊的模型, 又需做非常规试验才能确定参数. 基于以上原因, 本文建议采用椭圆-抛物线双屈服面模型. 该模型理论完善, 形式简单, 可适合于土体的各种应力路径, 且其参数由常规三轴试验即可确定. 但研究表明, 按原有的参数确定方法所确定的 K_G 偏大, 不适合开挖问题, 本文对其作了改进.

1 椭圆-抛物线双屈服面模型

椭圆-抛物线双屈服面模型假定土体塑性变形由两部分形成, 一部分与土的压缩有关, 另一部分与膨胀有关. 总的塑性变形是这两部分的叠加. 存在两种塑性变形, 自然会有两种屈服面和两种硬化规律(图 1). 该模型具有如下一些优点:

- a. 采用双屈服面, 可适合于土体的各种应力路径.
- b. 与膨胀相关联的屈服准则可正确地反映土的剪切特性, 对于开挖问题而言, 土的剪切性状明显, 尤其是支护结构附近的土体. 所以该模型用于开挖分析是合理的.
- c. 模型中的 7 个参数($a, K_G, n, M_1, M_2, h, t$)可由常规三轴排水试验直接确定, 不必做一些非常规试验.

2 实例分析

2.1 实例概况

某基坑开挖深度 9.8 m, 0~2.0 m 放坡, 以下分二级开挖, 即 -2.0~-6.0 m 和 -6.0~-9.8 m. 基坑支护结构及地层剖面见图 2. 经研究可作平面问题处理, 以简化计算.

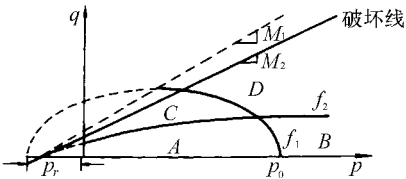


图 1 椭圆-抛物线双屈服面模型
Fig. 1 Two yield surface model

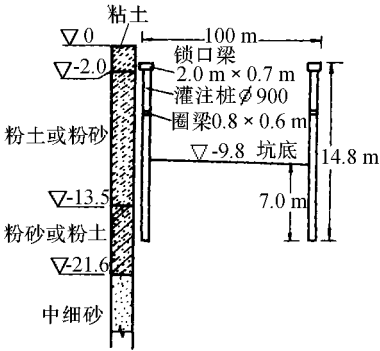


图 2 某基坑地层及支护结构剖面
Fig. 2 Profile of a foundation pit

2.2 有限元分析

为比较分析,土体本构关系分别采用邓肯模型、修正剑桥模型及椭圆-抛物线双屈服面模型三种计算方案.在支护桩与土体之间设置笔者提出的剪切滑移薄层单元(SSTL-Element)^[3],以考虑桩-土相互作用.有关参数见表 1~3.

表 1 邓肯参数
Table 1 Parameters of Duncan model

土层	γ' ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	φ' ($^{\circ}$)	c' (kPa)	R_f	K_u	n_{ur}	G	F	D	A	B
粉土	9.40	35.1	23.5	0.85	556	0.76	0.36	0.22	5.28	0.12	-3.6
砂土	10.1	36.1	6.5	0.75	850	0.50	0.39	0.03	6.02	1.55	-5.2

注 粉土的渗透系数 $k_x=2.1$, $k_z=0.045$, 砂土的渗透系数 $k_x=40$, $k_z=0.045$, 单位均为 10^{-4} cm/s ; A , B 是反映土体渗透系数随土体变形而变化的参数, 详见文献 [3].

表 2 修正剑桥模型及椭圆-抛物线双屈服面模型参数
Table 2 Parameters of Cam-clay model and two yield surface model

修正剑桥模型					椭圆-抛物线双屈服面模型					
土层	M	λ	k	a	K_c	n	M_1	M_2	h	t
粉土	1.50	0.075	0.33	0.14	300	0.60	1.65	1.46	150	14.0
砂土	1.51	0.089	0.044	0.17	346	0.70	1.65	1.60	120	13.5

2.3 计算结果比较

2.3.1 桩体位移

三种模型计算的支护桩体水平位移(以下简称桩体位移)对比见图 3. 图中可见邓肯模型和修正剑桥模型计算的中部桩体位移较接近实测的情况, 而底部偏大, 尤其是后者. 这是因为底部土体剪缩性状明显, 邓肯模型不能反映其剪胀性. 修正剑桥模型只能反映土体的剪胀, 不能反映剪缩所造成的变形. 椭圆-抛物线双屈服面模型计算的桩体底部位移较接近实测的情况, 而上部却偏小.

2.3.2 地面沉降

图 4 是三种模型计算的地面沉降对比. 图中可见它们的计算值都偏小, 尤其是双屈服面模型. 远离支护桩处, 邓肯模型和修正剑桥模型计算值偏大.

表 3 剪切滑移薄层单元参数

Table 3 Parameters of SSTL-element

土层	G_i	R_f	k_γ	n	a_0	a_1
粉土	58.6	0.51	1680	1.103	5.44	137.9
粉砂	80.0	0.40	2000	0.800	7.50	160.0

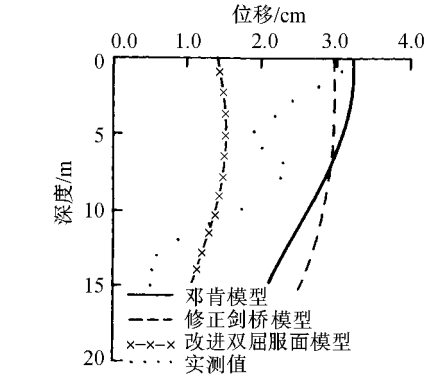


图 3 计算桩体位移(-9.8 m)
Fig.3 Calculated displacement(-9.8 m)

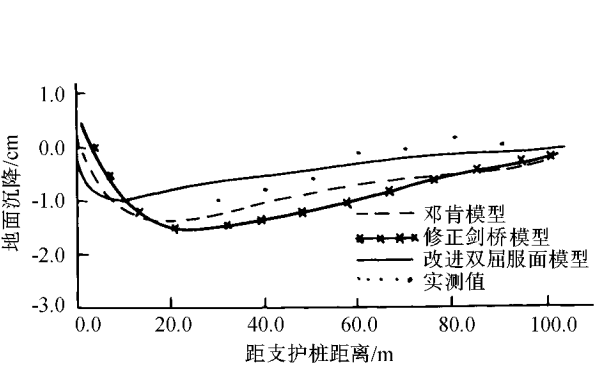


图 4 计算地面沉降(-9.8 m)
Fig.4 Calculated ground settlement(-9.8 m)

2.3.3 桩体弯矩

三种模型计算的桩体弯矩对比见图 5. 图中表明, 邓肯模型和修正剑桥模型计算值偏大, 负弯矩偏小(绝对值偏大), 双屈服面模型计算的正弯矩比前两种模型的更大, 但负弯矩基本接近实测, 可见, 三种模型计算值都与实测值有一定差距.

2.3.4 计算结果讨论

可以看出,邓肯模型和修正剑桥模型计算结果不理想,是由于它们自身的理论缺陷所造成.前面已讨论过,就模型本身而言,双屈服面模型更能合理地反映土体的应力-应变关系.从理论上讲,用它进行基坑开挖分析,比前两种模型结果更合理,但实际却不理想.这说明,模型本身是正确的,但参数确定可能存在问题,须改进.

3 参数 K_G 的改进

据文献 [4],该模型 7 个参数中, n 就是邓肯模型中的 n , 而 M_1, M_2, h, t 和 a 的确定也是可靠的,只有 K_G 的确定是近似的.

剪切模量

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

(1)

式中: E ——土的变形模量, μ ——泊松比.若取 E 为二倍的初始模量 E_i (邓肯认为 $E = (1.3 \sim 2.0)E_i$), 而 μ 取 0.3, 则

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \frac{2E_i}{2(1 + \mu)} = \frac{K}{1.3} P_a \left(\frac{p}{P_a} \right)^n \tag{2}$$

即

$$K_G = \frac{1}{1.3} K$$

(3)

式中的 K 就是邓肯模型中的 K .

笔者认为,上述的 K_G 确定过程中,取 E 为二倍的初始模量 E_i , 似乎偏大,而 μ 取 0.3, 偏小.经反演分析,对开挖问题, $E = 1.3E_i$ 较适.据有限元分析,土的固结过程中, μ 一般在 0.25 ~ 0.45 之间变化.故可取 $\mu = 0.4$. 这样,式(3)变为

$$K_G = \frac{1.3}{2.8} K = 0.46K \tag{4}$$

其它参数不变, K_G 由式(4)确定.计算表明椭圆-抛物线双屈服面模型计算效果明显改善(见图 6 ~ 8).计算的桩体位移明显比改进前的计算值小,与实测值较吻合,比邓肯模型和修正剑桥模型稍精确些.而计算的地面沉降和桩体弯矩则更接近实测值.

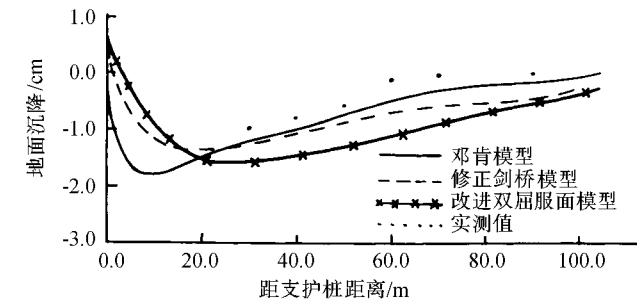


图 7 改进后计算地面沉降(-9.8 m)

Fig.7 Calculated ground settlement(-9.8 m)

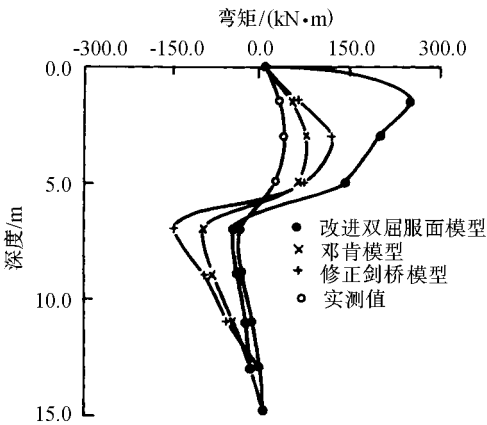


图 5 计算桩体弯矩(-6.0 m)

Fig.5 Calculated bending moment(-6.0 m)

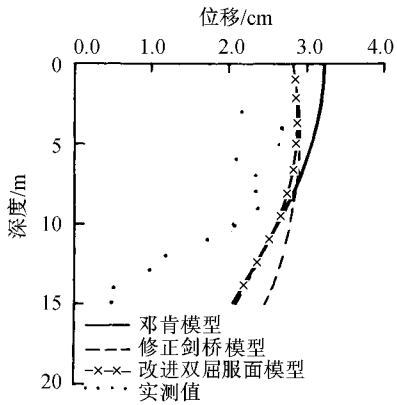


图 6 改进后计算桩体位移(-9.8 m)

Fig.6 Calculated displacements(-9.8 m)

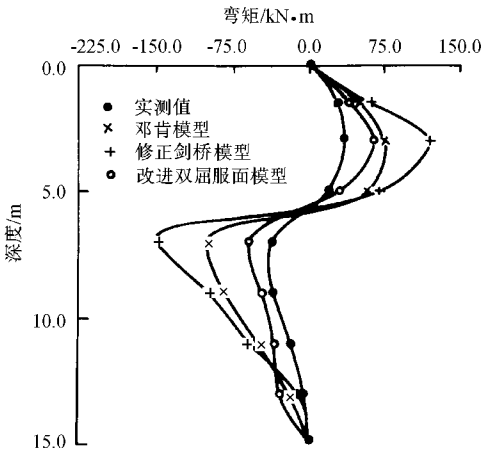


图 8 改进后计算桩体弯矩(-6.0 m)

Fig.8 Calculated bending moment(-6.0 m)

4 结 语

椭圆-抛物线双屈服面模型应用于开挖有限元分析,可考虑土体应力路径复杂性及剪切变形显著的特点,该模型既可避免常规模型(如邓肯模型、修正剑桥模型等)的理论局限,又可避免一些特殊模型要做非常规试验才能确定参数的缺点.但由于按原有的参数确定法所确定的 K_C 偏大,致使计算的支护桩体位移和地面沉降偏小,弯矩偏大.文中对其作了改进,使计算结果得到改善.但由于基坑开挖的复杂性,计算值与实测值仍有一定差距,有待以后进一步研究.

参考文献:

- [1] 钱家欢,殷宗泽.土工数值分析[M].北京:中国铁道出版社,1991.1~40.
- [2] 高俊合,赵维炳,施建勇.土体非线性影响的深基坑支护研究综述[J].水利水电科技进展,1997,17(4):14~17.
- [3] 高俊合.深基坑支护结构设计理论研究[D][学位论文].南京:河海大学,1998.
- [4] 殷宗泽.一个土体的双屈服面应力-应变模型[J].岩土工程学报,1998,10(4):64~71.

Modified Two Yield Surface Constitutive Model for Finite Element Analysis of Deep Excavation

CHEN Yong-hui¹, GAO Jun-he², ZHAO Wei-bing¹

(1. College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Shenzhen Municipal Engineering Company, Shenzhen 518034, China)

Abstract: Considering the complicated stress pathes and the apparent shear deformation of soil during excavation, a modified two yield surface constitutive model is applied to finite element analysis of deep excavation. The model can avoid some defects of other models. However the parameter " K_C " is too large if it is determined by the original method; for this reason, a modified method is proposed.

Key words: deep excavation; finite element analysis; two yield surface constitutive model; parameter