

⑩
57-60

铜川川口滑坡治理稳定分析

胡再强刘祖典

p642.22

(陕西机械学院水电学院)

提 要

本文根据黄土滑坡的形成机理和目前滑坡的治理措施。对铜川川口滑坡稳定性进行了平面弹塑性有限元分析,在有限元计算时,分别考虑了软弱夹层非线性及周围土体非线性对抗滑桩的影响,得到滑坡处理前后的应力—应变的发展概况,为滑坡分析和治理提供了一个新途径和方法。

关键词: 黄土滑坡 滑坡治理 稳定分析 有限元计算 铜川市

一、概 述

目前对于滑坡稳定分析主要有三种理论和方法:(1)是极限平衡理论。主要根据土体沿着假想滑动面上的极限平衡条件进行分析,能够把影响抗剪强度的所有因素均纳入计算。但缺点是不讨论土体材料本身的应力—应变关系,也不研究坡体的变位情况,不考虑蠕变对滑坡体渐进破坏的影响。(2)是室内模型实验。在野外勘察、地质调查的基础上,建立滑坡的地质—物理模型进行数值分析。缺点是模型实验不能完全反映坡体的实际滑动机理。(3)是变形分析。通过有限元分析、边界元分析、半解析元分析及有限元与边界元结合分析的办法。本文主要通过有限元分析,应用土体本身的应力—应变关系进而研究整个边界范围内土体的应力和变形,以及坡体塑性区的范围,进而模拟坡体的渐进破坏机理,并通过计算分析治理前后滑坡体的稳定性。

二、有限元计算方法

(一)模型选择

本文用弹塑性帽盖模型,帽盖模型的重点是材料在初始应力水平状态已经屈服,加载后的每一个应力水平都是后继屈服面上的一点,把硬化系数作为变量依据来判断屈服面变化情况。任意应力水平的应力—应变关系都采用弹塑性本构矩阵[Dep]后继屈服面的发展情况用硬化系数判断。硬化系数是塑性体积应变的函数,并且假定屈服面与塑性势面重合。

对于帽盖模型的直线部分——临界状态线,采用等效摩尔——库伦破坏准则,破坏线如下:

$$F_0 = \alpha' I_1 + \sqrt{I_2} - K' = 0$$

$$\text{式中: } \alpha' = \frac{\sin \varphi}{\sqrt{3} (\sqrt{3} \cos \theta_s^* - \sin \theta_s^* \sin \varphi)}; \quad K' = \frac{\sqrt{3} \cos \varphi \times C}{\sqrt{3} \cos \theta_s^* - \sin \theta_s^* \sin \varphi}$$

$$\theta_s^* = \sin^{-1} \left[\frac{-\frac{2A}{3} \sin \varphi + \sqrt{\frac{4A^2}{9} \sin^2 \varphi - 4 \left(\frac{\sin^2 \varphi}{3} + 1 \right) \left(\frac{A^2}{3} - 1 \right)}}{2 \left(\frac{\sin^2 \varphi}{3} + 1 \right)} \right]$$

$$A = \sqrt{\frac{\pi(9 - \sin^2 \varphi)}{6 \sqrt{3}}}$$

帽盖屈服函数的形式是椭圆形曲线,并且满足帽盖屈服面与强度破坏线的交点,使该帽盖屈服面在这点上的切线方向保持水平,帽盖屈服面与 I_1 轴垂直。选用塑性体应变为硬化参数使屈服面等于塑性势面。由此得到帽盖屈服函数如下:

$$F_s = \sqrt{J_2} - \frac{1}{\sqrt{3}R} \{ [X(k) - L(k)]^2 - [\frac{I_1}{3} - L(k)]^2 \}^{\frac{1}{2}} = 0$$

$$\text{式中: } R = e^{-(a+b\epsilon_p^p)}; \quad X(k) = 3 \exp \left[\frac{\epsilon_p^p - c_0}{c_1(\epsilon_p^p - c_0) + c_2} \right]; \quad L(k) = \frac{x(k) - RK}{1 + \alpha R}$$

(二)滑层处理

由于川口滑坡的滑动主要受软弱带的控制,所以把软弱夹层按节理单位处理。夹层单元是把不连续面作为特殊的、不同于相邻土体单元特性的一维单元,以反映软弱夹层和滑坡体的变形情况。

夹层单元是由两片长为 L 的滑动面组成,受力前滑动面完全吻合。即单元只有长度无厚度,夹层单元和相邻的单元之间只在结点处相联系,一个夹层单元共有八个结点,(如图 1)。

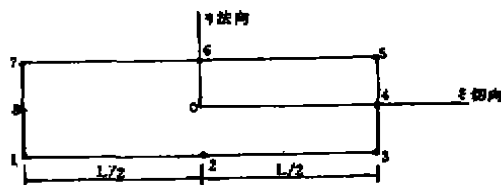


图1 夹层单元

夹层单元只有滑移,没有脱离和嵌入现象。因此在计算中。为使其相对位移足够小,取 $k_n = 10^6 \text{ kg/cm}^3$ 。而切向刚度系数 k_s ,由实验表明:夹层单元上的剪应力 τ 和切向相对位移 W ,成双曲线关系,由双曲邓肯模型所得:

$$K_s = \left(1 - \frac{R_f \tau}{\sigma_n \tan \varphi} \right)^2 \cdot k_1 \gamma_w \frac{\sigma_n}{P_a}$$

(三)抗滑桩处理与简化

用平面有限元计算,要求抗滑建筑物在垂直滑动方向是一个连续体。而抗滑桩是空间结构,需要进行数学处理。因此,可考虑用实际抗滑桩的等效连续体来进行处理。由于抗滑桩,它本身的刚度等于 $bh^3/12$,抗滑桩的间距是 l ,等效宽度是 b' ,利用刚度等效原理:

$$bh^3/12 = l h^3/12 \quad \text{得到: } h' = \sqrt[3]{b/l} \cdot h$$

通过刚度等效,就可以把抗滑桩等效成有效宽度为 b' 的连续墙来进行计算,这样更接近滑坡体的实际应力状态。

对于桩土之间的共同作用,桩和土之间的接触有可能产生相对位移,并且土和桩两者的

材料特性差别很大。因此,在有限元分析时在桩和土的接触面上采用接触面单元来考虑桩和土之间的相互作用。接触面单元的刚度矩阵和夹层单元相同。

三、计 算 结 果

(一)川口滑坡的环境工程地质概况

川口滑坡体位于川口黄土塬下与王家河谷之间的斜坡地带。斜坡由西向东倾斜。南北长800m,东西宽600m,面积0.40km²。总的地形、地貌特征为台阶式缓斜坡,坡度为13度。川口滑坡体主要由基岩及第四系堆积物组成。上部是新黄土(Q₄^{al}),灰黄色及褐黄色,下部第二层是黄土(Q₂)棕黄、褐黄色,老黄土下面的基岩物质成份为泥质岩系,计算参数如下表1、2。

表 1

序号	类别	弹性模量 (kPa)	泊松比	摩擦角 (度)	粘聚力 (kPa)	容重 (g/cm ³)
1	Q ₄ 黄土	50000	0.217	22	6.8	1.96
2	Q ₂ 黄土	72000	0.276	23	16.1	2.02
3	页岩+砂岩	1472600	0.28	30	100	2.60
4	抗滑桩	2850000	0.19			

表 2

夹层单元计算参数

夹层类型	C (kPa)	φ (度)	R _r	K _i	n
软弱夹层	2.1	9	0.79	29.4	1.60
土与混凝土	43	21	0.94	16.2	1.1

(二)计算结果

根据有限元计算结果分析,处理前滑坡体的塑性区随着荷载的逐级施加,坡脚处先出现塑性区,一直加到最后一级荷载时,滑坡体塑性区沿坡脚和软弱夹层贯通,这和滑坡的实际变形相符,说明处理前的滑坡体处于不稳定状态,老滑坡的复活、滑移、变形受软弱结构面控制,滑坡的发生是由于软弱结构的失稳引起的。

从处理后塑性区的分布来看,经过抗滑桩处理,抗滑桩上部坡体的塑性区大部分消失,在抗滑桩以下塑性区减少到坡脚附近,仅有小部分(见图3,图4)。说明抗滑桩对滑坡稳定有明显效果,使边坡的稳定有明显的提高。但抗滑桩对滑坡体的控制有一定的范围,对滑坡体后部的抗滑作用不明显。

从抗滑桩的水平位移与桩深关系曲线可以看出,软弱结构面以下桩的水平位移比较小,在结构面以上的水平位移较大。说明抗滑桩对软弱结构面比较敏感,也进一步说明抗滑桩对滑坡体起到一定的稳固作用,同时也可由有限元计算知道,软弱结构面是控制滑坡稳定的制

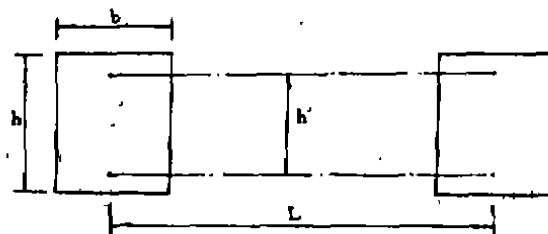


图 2 抗滑桩简化图

约因素(见图 2)。

四、结 论

笔者所进行的有限元计算分析,将滑坡是否与其土体的实际应力状态有机的联系起来,从而找到滑坡失稳的主要因素。因而也揭示滑坡失稳的机理。对于滑坡由抗滑桩治理后有限元计算,可了解抗滑桩治理滑坡的效果和安全度。根据计算分析认为,本文用等效莫尔——库伦屈服准则作为强度破坏包线,用弹塑性帽盖模型来进行有限元的应力——应变分析,利用夹层单元考虑软弱结构面非线性对计算的影响,进一步利用接触单元考虑桩与土之间的相互作用,这一方法是成功的。

1、从计算结果分析可知,滑坡的塑性区在软弱结构面是贯通的。其坡体的破坏是由坡脚沿软弱结构面逐渐向上发展,说明滑坡在处理前是不稳定的。

2、从处理后的滑坡计算结果可知,抗滑桩附近的塑性区消失,但滑坡体后部的塑性区仍然存在,说明抗滑桩对滑坡前缘部分坡体的稳定起到了一定作用,但对滑坡后缘部分的稳定效果不太明显。

3、用有限元研究滑坡的稳定性和滑动机理及治理效果是一个新方法和新途径。为滑坡的治理提供了新的计算方法。

4、用有限元计算结果即塑性区的发展范围,可找到滑坡体的滑动面,并且可以确定滑动土体沿该滑动面作滑移运动,土坡失去稳定。

参 考 文 献

- 1、刘祖典,黄土力学(一)(二),陕西机械学院研究生教材。
- 2、郑颖人,龚晓南,岩土塑性力学,空军工程学,1986.5。
- 3、E. Hinton, O. R. J. Owen, Finite element Programming, A. subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich. Publishers.
- 4、E. Hinton, D. R. J. Owen, Finite elements in Plasticity. A. subsidiary of Harcourt brace Jovanovich Publishers 1981.
- 5、邢义川,黄土的弹塑性模型及边坡稳定分析,陕西机械学院研究生论文,1987.5。

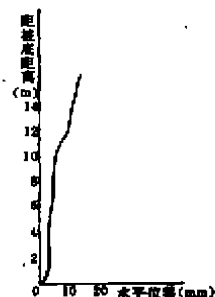


图 3 桩水平位移与桩深关系

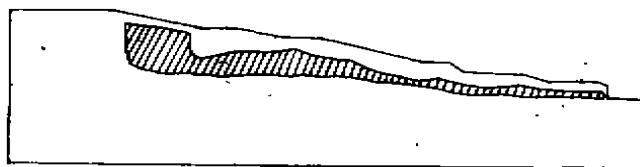


图 4 处理前塑性区分布

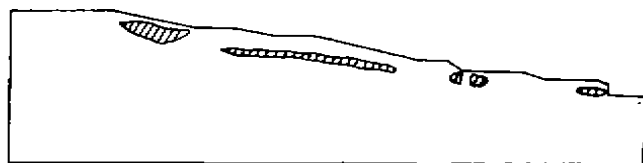


图 5 处理后塑性区分布