

文章编号: 1005—0523(2004)02—0024—04

预应力锚索抗滑桩受力状态的有限元分析

蒋新龙, 郑明新

(华东交通大学 道桥与岩土工程研究所, 江西 南昌 330013)

摘要:考虑桩、土之间相互作用的复杂性, 编制有限元程序对滑坡防治工程预应力锚索抗滑桩结构的变形和受力进行分析, 表明: ①锚固段桩前滑床抗力主要集中在靠近滑动面部分; ②在锚固段随锚索预应力和滑床刚度的大小改变可能出现反弯矩。

关 键 词:有限元法; 预应力锚索抗滑桩; 接触单元; 相互作用; 修正增量—初应力法

中图分类号: TU352

文献标识码: A

0 引 言

目前我国滑坡防治的设计思路一般为先对滑坡的稳定性进行分析, 在给定安全系数下的前提下计算剩余下滑力, 进而对抗滑结构物的类型、位置、尺寸等进行设计。在这里, 抗滑结构物基本上只是由下滑力决定的被动的抗力载体, 并未考虑二者相互作用对滑坡状态的影响。文献 1 曾提出了一个反应桩与桩后土体相互作用的传递系数 ξ , 但该系数的取值很难确定。而有限元法的一个优点就在于它将滑坡与抗滑结构作为一个整体分析, 可以较好的反映二者间的相互作用。本文以川藏公路二郎山 K2730 段 I[#] 滑坡治理预应力锚索抗滑桩工程为例, 编制平面有限元程序对其进行了计算, 证明可以作为常规的设计计算方法一种补充。

1 有限元分析程序的改进

1.1 单元类型

1) 土体

土体单元为普通的四节点四边形单元, 遵循适于岩石和土壤的 Druck—Prager 屈服准则, 由于除滑床与锚索锚固和抗滑桩接触部分应力大外, 其余基

本都处于低应力状态下, 故可设应变硬化参数 $A=0$, 并满足相关联的流动法则。

2) 抗滑桩

单就抗滑桩的受力状态来说, 它更贴近于梁单元, 但因为梁单元节点与土体及接触单元在自由度上的不同, 造成总刚矩阵组集的困难。故对桩体仍采用四边形单元, 通过对已知受力可得较精确解的例子进行验算, 如图 1 所示悬臂梁, 程序解 1 对桩截面拉压区各划分一列单元, 程序解 2 对拉压区各划分两列单元, 通过单元细分, 程序解 2 更加接近 ANSYS 解, 精度完全满足要求。

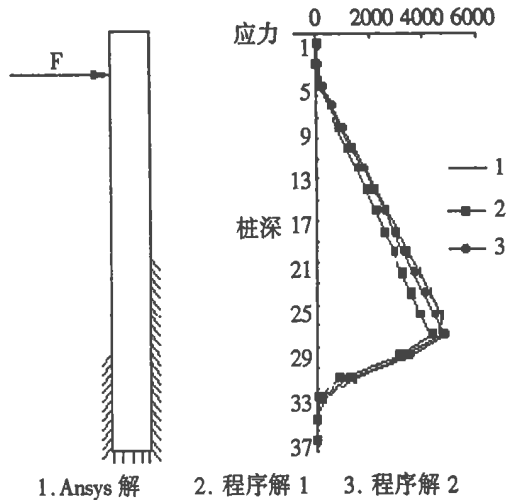


图 1 程序解 2 通过单元细分使结果更加接近精确解

收稿日期: 2004—02—24

基金项目: 江西省自然科学基金项目(103023)“赣南红层滑坡机理及防治”

作者简介: 蒋新龙(1978—), 男, 河北任丘人, 华东交通大学在读研究生。http://www.cnki.net

3) 接触单元

接触单元分为两种, 一种描述土体与抗滑桩的接触, 一种描述滑体与滑床之间的滑带或夹层. 接触单元采用有厚度的 Goodman 单元, 参数为 K_n 、 K_s 和 t , 同时引入 Desai 薄层单元的控制嵌入方法, 这样该单元可以很好的模拟接触面上的压缩、张开和滑移. 对文献 2 中的接触单元(图 2)算例进行计算, 如表 1 所示, 结果非常接近真解.

表 1 模型参数

$P=10\text{ GN}$	$K_n=120\text{ MPa/m}$	
$K_s=240\text{ MPa/m}$	$t=0.5\text{ m}$	
真解	本文解	文献 2 解
-477.1 mm	-476.5 mm	-477.8 mm

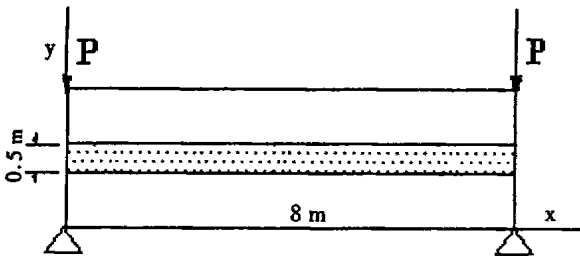


图 2 接触单元模型

4) 锚索单元

锚索采用杆单元, 杆单元每节点只有 1 个自由度, 但可以通过方向分解将其组集在总刚矩阵里. 对于预应力的模拟, 可以通过在锚索端部施加一个等效集中力来代替, 同时, 在每个增量步对锚索的应变进行计算, 并随之调整预应力的.

1.2 计算方法

本文对模型的计算采用修正的增量-初应力法. 增量-初应力法是由 O.C. 晋基维茨提出的一种求解弹塑性非线性问题的方法, 因其收敛性较好, 故应用较多.

它的思路主要是对荷载分步施加, 在各级荷载下, 用初应力法进行迭代求解, 使其收敛于该级荷载下的真实应力增量 $\{\Delta\sigma\}_i$ 和位移增量 $\{\Delta u\}_i$. 各级荷载下的总位移和总应力累加求得, 即

$$\{u\}_i = \{u\}_{i-1} + \{\Delta u\}_i$$

$$\{\sigma\}_i = \{\sigma\}_{i-1} + \{\Delta\sigma\}_i$$

从对方程组非线性的体现方式来看, 它仍是基于常刚度的初应力法, 而不是基于变刚度的增量法, 这里的“增量”只是指荷载分步施加. 即对每一级荷载, 首先以线弹性的方法求得节点位移增量、应力增量和应变增量, 由线性解所得到的应力增量 $\{\Delta\sigma\}_i$ 成为“全应力增量”, 下标 i 表示第 i 级增量

$$\{\Delta\sigma\}_i = [D] \cdot \{\Delta\epsilon\}_i$$

而实际的应力增量则为

$$\{\Delta\sigma'\}_i = \{\Delta\sigma\}_i \cdot \{\Delta\sigma_0\}_i$$

$\{\Delta\sigma_0\}_i$ 为初应力, 它可以理解为有材料的塑性变形引起的应力松弛. 也就是说在此增量荷载下, 按线弹性计算, 得到应变为 $\{\Delta\epsilon\}_i$, 并按线弹性得到对应的应力 $\{\Delta\sigma\}_i = [D] \cdot \{\Delta\epsilon\}_i$, 但因为非线性材料存在塑性变形, 在应变 $\{\Delta\epsilon\}_i$ 下应力实际上达不到 $[D] \cdot \{\Delta\epsilon\}_i$, 而要松弛(降低) $\{\Delta\sigma_0\}_i$. 这样, 当将“全应力增量”修正为实际的应力增量即减少了 $\{\Delta\sigma_0\}_i$ 时, 为保持系统的原有平衡还要增加与 $\{\Delta\sigma_0\}_i$ 等效的节点荷载 $\{\Delta R_0\}_i$

$$\{\Delta R_0\}_i = \sum_e [B]^T \{\Delta\sigma_0\}_i dx dy$$

然后可按两种方法求得第二次迭代的近似位移增量, 一是在总的 $\{\Delta\sigma_R\}_i$ 上迭加 $\{\Delta R_0\}_i$, 直接求得第二次迭代的近似增量总位移, 即

$$[K] \cdot \{\Delta u\}_i^2 = \{\Delta R\}_i + \{\Delta R_0\}_i^1$$

第二种方法则是只求在 $\{\Delta R_0\}_i$ 下的增量位移, 然后迭加前次迭代的位移得到第二次的近似增量总位移

$$[K] \cdot \Delta\{\Delta u\}_i^2 = \{\Delta R_0\}_i^1$$

$$\{\Delta u\}_i^2 = \{\Delta u\}_i^1 + \Delta\{\Delta u\}_i^2$$

对于一般的弹塑性单元来说, 这两种方法都可以, 并无太大的区别. 但由于本文所涉及的接触单元其非线性比较特殊, 它不仅会因发生嵌入或滑移而产生超余应力, 且其法向刚度呈随位移硬化趋势, 这样造成在压荷载下由刚度非线性产生的超余应力为负值即拉应力, 而接触单元本身是不能承受拉力的, 会因之而开裂, 显然用这种方法计算的结果与实际情况不相符, 所以对接触单元中刚度的非线性必须通过变刚度来体现, 当然在每次总刚矩阵中, 只需考虑接触单元对总刚矩阵的贡献, 这也是前面述及的“修正”的含义. 而变刚度法要求每次迭代都是在总的修正增量荷载下. 故为与其协调统一, 必须使用第一种迭代方法. 其程序框图如下:

2 计算实例和比较

2.1 工程实例

川藏公路二郎山 K2730 段 I[#] 滑坡, 位于四川省天全县两路乡境内二郎山东坡龙胆溪右岸. 1997 年 7~8 月, 由于连降暴雨, 导致坡脚溪水水量猛增并强烈冲刷岸坡, 引起岸坡多处出现塌滑及崩塌, 公

路路面、路基也随之产生严重的变形,危及了川藏公路的正常运行;该滑坡于 2000 年开始治理,采用

以预应力锚索抗滑桩为主体的抗滑工程进行防治。

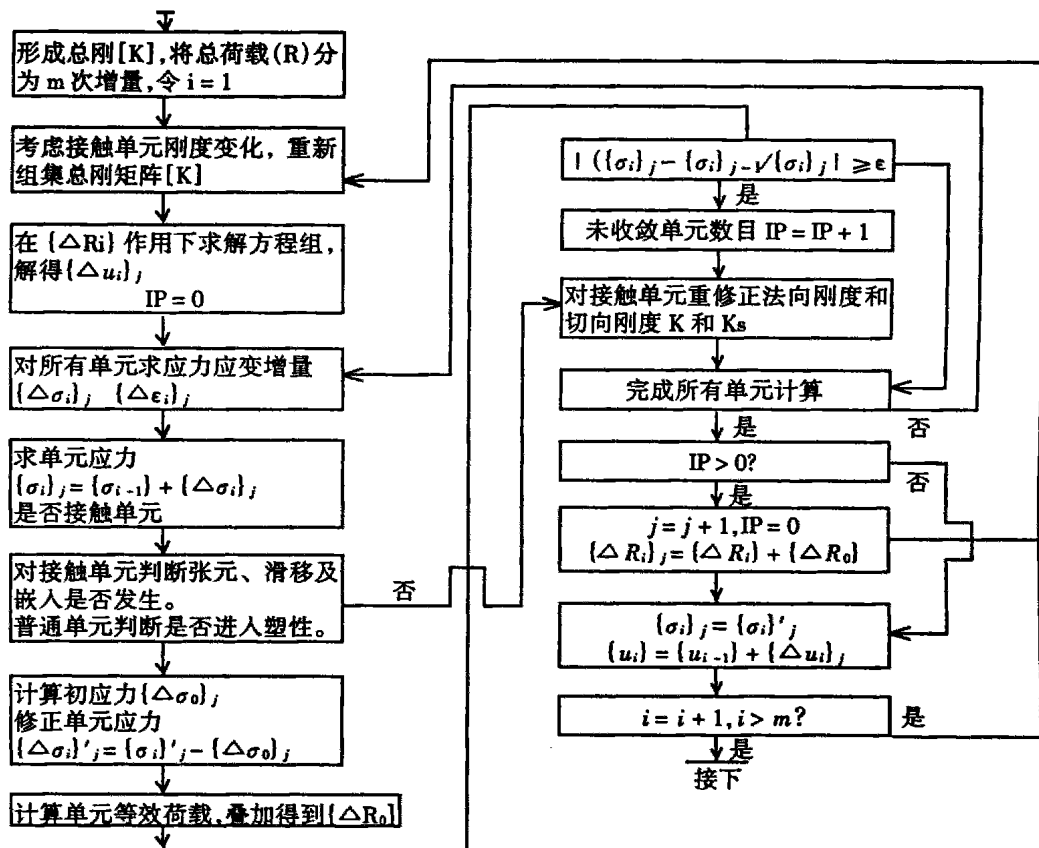
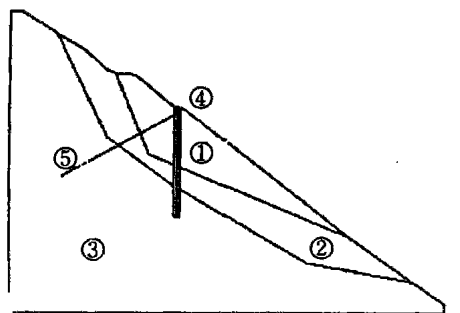


图3 程序框图



① ②滑体 ③滑床 ④抗滑桩 ⑤预应力锚索

图4 滑坡断面

2.2 网格划分及边界条件

利用 ANSYS 软件对模型进行网格划分(图 5),其中桩单元 56 个;岩土单元 963 个;桩土接触单元 58 个;滑动面接触单元 69 个;锚索单元 16 个。滑坡边界采用固定约束。

2.3 计算参数

接触单元初始法向刚度 $K_{n0}=1.2E6$ kPa/m, $2E5$ kPa/m, 其余材料参数见文献 4。

2.4 计算结果

1) 桩身位移

桩顶位移 23 mm, 实测桩顶位移为 40 mm, 考虑锚索的应力松弛, 计算结果与实际比较相符。

2) 接触单元

桩前上部接触单元发生了摩擦破坏, 反应了实际滑体所受的重力作用;在 12 m 的锚固段内, 桩前接触单元压应力在靠近滑面处最大, 并随桩的埋深递减, 在最后 4 m 单元发生张开破坏, 不再受压力。而桩后单元在靠近滑面部分发生张开, 随后其压应力则随埋深的增加不断增加。

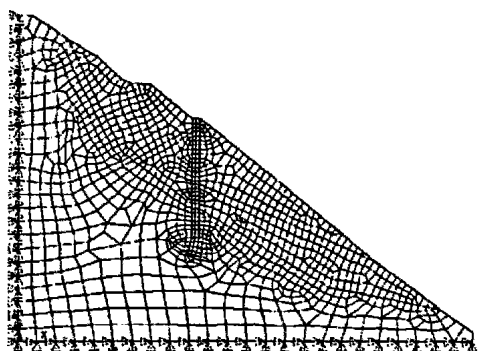


图5 单元网格划分和边界约束

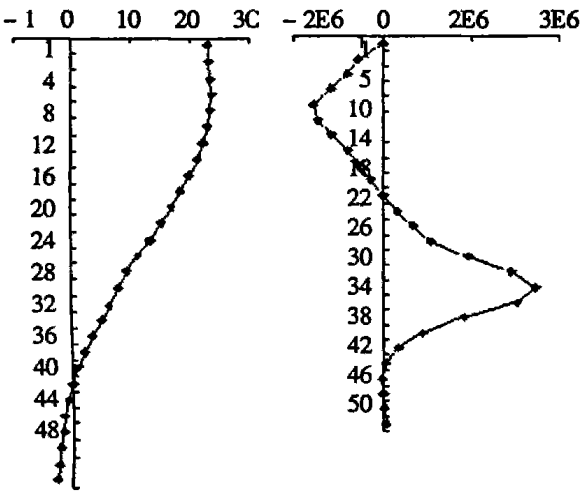


图6 桩身位移(左)和桩深弯

3) 桩身弯矩

在滑动面附近弯矩出现最大值,而且在锚固段下部出现了一定的反弯矩.而单独将抗滑桩按winker梁分析时,通过调整锚索预应力和winker梁的弹性系数,也会出现反弯矩的情况.

3 结 论

The Application of Numerical Analysis in Pre-stressed Anchor Rope Anti-slide Pile Design

JIANG Xin-long, ZHENG Ming-xin

(Institute of Road & Bridge and Geotechnique Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Considering the complexity of interaction between soil and pile, the paper wrote a FEA program to analyze the timbered coast and got the data of distortion and force distribution of pre-stressed anchor rope anti-slide pile, which indicated: ①in the anchoring sect, the bedding resistance is mainly centralized near slideway; ②in the anchoring sect, the pile's moment may change aspect with the variety of bedding stiffness.

Key words: finite element method; pre-stressed anchor rope anti-slide pile; contact element; interaction, amending increment-original stress method

- 1) 锚固段桩前滑床抗力主要集中在靠近滑动面部分,其分布长度和滑床弹性系数有关;
- 2) 在抗滑桩锚固段可能出现反弯矩,即桩前侧受拉,但弯矩不会很大.
- 3) 通过对实际工程的分析表明,程序解与实际情况比较吻合,可以作为常规设计方法的一种补充.

参考文献:

[1] 贺建清,等.弹性抗滑桩设计中几个问题的探讨[J].岩石力学与工程学报,1999,(5).
[2] 邵伟,金峰,王光纶.用于接触面的非线性薄层单元[J].岩土工程学报,1999,14.
[3] 尚岳全,黄润秋.工程地质研究中的数值分析方法[M].成都:成都科技大学出版社,1991.
[4] 曾云华.川藏公路二郎山K2730段I#滑坡治理效果评估[C].华东交通大学硕士学位论文,2003.