

抗滑桩施工中边坡稳定系数分析

周 波, 彭社琴, 赵其华

(成都理工大学 环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘 要: 采用连续介质快速拉格朗日差分分析方法, 结合强度折减技术, 设定解不收敛的破坏标准, 来探讨抗滑桩施工过程中桩孔开挖对边坡安全系数的影响这一三维问题。结合工程实例, 模拟几种开挖顺序, 结果表明, 合理的施工方案对边坡扰动甚微; 而随意开挖桩孔可能使边坡失稳, 且失稳时的位移不大, 破坏征兆不明显, 破坏更加突然, 应特别注意。分析施工等因素对边坡稳定系数的影响, 特别是处在极限状态下的边坡, 十分必要。

关键词: 抗滑桩; 开挖; 强度折减; 安全系数; 位移

中图分类号: TU457

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)04-0122-03

The Effect of Excavation on the Safety Factor of Slope in Slide-resistant Piles Construction

ZHOU Bo, PENG She-qin, ZHAO Qi-hua

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The fast Lagrangian difference method of continua is used to analyze the effect of excavation on the safety factor of slope in slide-resistant piles construction. Strength reduction technic by setting a failure criterion—the divergence of maximum unbalance force—is also employed to study such a three dimensions problem. The authors compare the obtained safety factors of different construction process and come up with rational construction project, draw several conclusions which is of some reference value for similar engineering. The rational construction project can not only make the whole process under a higher safety factor, but also capture a more obvious displacement symptom before the collapse. It is necessary to analyze the safety factor decrease caused by construction especially for slope in critical state.

Key words: slide-resistant piles; excavation; strength reduction; safety factor; displacement

边坡治理工程当中, 较为广泛的使用了抗滑桩, 并且取得了许多成功的实例。抗滑桩的设计, 通常是先计算边坡的安全系数, 然后在计算抗滑桩施工完成后边坡的安全系数, 这就忽略了抗滑桩施工过程中边坡的稳定性。而施工时, 桩孔开挖并加上了一些施工器械、材料的堆载, 应该说施工过程中的边坡是处于最不利状态的, 特别是当前一些抗滑桩工程中, 由于资金不到位等原因, 全部桩孔已挖成却不施工桩, 拖延时间长达一年, 这是非常危险的。目前, 抗滑桩桩孔开挖对边坡安全系数的影响考虑较少。本文所探讨的抗滑桩工程, 处在—极限状态下的边坡, 采用数值模拟的办法分析了各种施工方案下边坡的安全系数, 由此得出了合理的施工顺序, 为工程施工提供指导和依据。

1 分析方法

抗滑桩桩孔开挖的模拟是一个空间问题, 常用的平面稳定性计算方法无法完成这样的边坡稳定性分析。因此本文中的稳定系数计算采用强度折减系数法, 该法在有限单元法的基础上发展而来, 不但能完成空间问题的分析, 还具有以下几个优点:

- (a) 相对于采用刚体假设的极限平衡法, 有限元分析当中考虑了土体非线性弹塑性本构关系。
- (b) 不需要假设滑面。

(c) 可以考虑边坡与支护结构的共同作用。

将有限元强度折减系数法用于分析土坡稳定性问题是可行的^[1, 2]。目前采用强度折减法分析土坡稳定性, 多是平面分析^[3, 4], 将其用于三维分析应同样可行, 而且这正是发挥了强度折减技术的优势。

1.1 强度折减系数法的基本原理

所谓抗剪强度折减技术就是将土体的抗剪强度指标粘聚力 c 和内摩擦角 φ , 用一个折减系数 FS , 如式(1)和(2)所示的形式进行折减, 然后用折减后的虚拟抗剪强度指标 c_f 和 φ_f , 取代原来的抗剪强度指标 c 和 φ , 在有限元分析中使用^[3]。

$$c_f = \frac{c}{FS} \quad (1)$$

$$\varphi_f = \arctan\left(\frac{\tan\varphi}{FS}\right) \quad (2)$$

强度折减法一个关键的问题就是破坏标准的定义, 也就是在何种计算结果下就认为土坡失稳。

国内外的研究者提出了多种破坏标准。通常采用解的不收敛作为破坏标准^[1, 6], 即在指定的计算步数下不能满足收敛准则, 就认为边坡破坏。这个标准应是较为合理的, 因为解的不收敛意味着部分坡体已无法获得平衡, 并且在不平衡力的作用下产生滑动。它所受到的置疑主要是: 指定的收

* 收稿日期: 2005-07-14

作者简介: 周 波(1978—), 男, 成都理工大学在读硕士研究生, 主要从事岩土工程相关方面的研究。

敛准则或者计算步数都有较大的人为性,难以把握其具体的计算步数。

1.2 强度折减系数法的实现

本文的分析以 FLAC3D 程序为平台,用其内嵌语言 fish 编写程序完成强度折减算法。FLAC3D 是连续介质快速拉格朗日差分分析方法 (fast Lagrangian analysis of continua) 的英文缩写,是一个用于分析和解决工程力学问题的三维显式差分法程序,可以有效地模拟岩土体及其它材料结构的工程力学行为。目前 FLAC3D 软件在我国尤其是在岩土工程界得到了广泛的认可和应用,并取得了具有工程指导意义的应用成果。分析中采用解的不收敛作为破坏标准。为了消除上述质疑中计算步数的人为性,计算中不指定步数而是一直计算到一个稳定的解,即:首先计算两个 N 步,第一个 N 步中最大不平衡力比率的均值为 U_1 ,第二个 N 步中不平衡力比率的均值为 U_2 ,若成立,表明解还不稳定,然后继续计算 N 步,直到相邻两个 N 步的不平衡力的均值不满足(3)式,则解稳定在某个数值。若此时的 $U_2 < 10^{-5}$,认为解收敛,继续提高折减系数,重复上述步骤;若此时的 $U_2 > 10^{-5}$,则认为解不收敛,退出计算,前一步的折减系数即为边坡的安全系数。

$$|U_1 - U_2| > 0.1 \times U_2 \tag{3}$$

2 实例分析

2.1 工程概况

该斜坡,覆盖层为碎石土,最大厚度 25 m,下覆基岩。斜坡中部为一条公路,已出现明显变形迹象,斜坡中后部少量拉裂缝,用简化毕肖普法计算了从左至右三个剖面的稳定系数,分别为 1.03, 0.91, 0.90,斜坡处在极限状态,极有

可能失稳破坏。为了确保公路及附近建筑的安全,对该斜坡采取以下治理方案:在公路前施工一排 15 根抗滑桩,桩采用矩形 2 m×3 m 截面,桩中心距 6 m。由于斜坡的稳定系数较低,为了减小施工影响,必须制定一个合理的施工方案,避免斜坡在施工过程中失稳。在施工顺序的分析中,采用强度折减系数法,按照前面叙述的步骤分析该边坡在天然状态下和施工过程中的安全系数。模型取 x 方向 180 m, y 方向 250 m(图 1),在模型的四侧施加法向约束,底部(基岩) x 、 y 、 z 三个方向位移全约束。

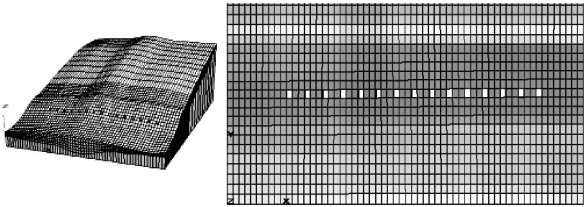


图 1 计算模型

基岩取为弹性材料;覆盖层土体为弹-塑性模型,莫尔-库仑屈服准则。参数取值列于下表:

表 1 模型参数取值

	体积模量/ Pa	剪切模量/ Pa	粘聚力/ Pa	内摩擦角/°
覆盖层土体	2×10^8	1×10^8	25×10^3	15.2
基岩	26.8×10^9	7×10^9		

2.2 各种工况的计算结果

计算时首先施加重力,形成自重应力场,然后再开挖桩孔。

(1) 天然状态下边坡的稳定系数

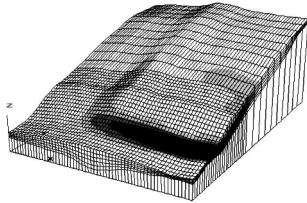


图 2 天然状态剪应变增量等值线图

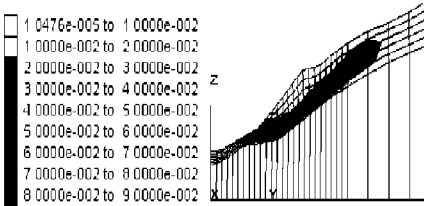


图 4 破坏时剪应变增量等值线图

图 2 和图 3 是未开挖时的剪应变增量图和位移图,可见计算结果与极限平衡法基本一致,斜坡左边稳定性高于右边。此时的稳定系数为 1.07,坡体破坏(即折减系数 $F_s = 1.08$)时 $x = 150$ m 剖面的剪应变增量等值线图和位移等值线图如图 4 和图 5。无论是从应变增量来判断潜在滑面^[3]或者根据位移判断潜在滑面,都可以得到一样的结果:在该

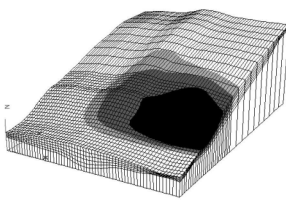


图 3 天然状态位移等值线图

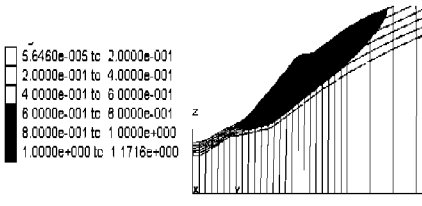


图 5 破坏时位移等值线图

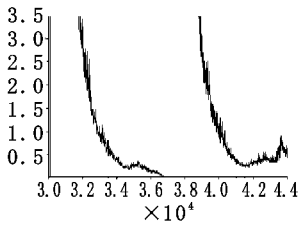


图 6 最大不平衡力

剖面中, $y = 30$ m 到 $y = 130$ m 之间的一部分坡体将首先失稳。破坏时的最大位移为 1.18 m。图 6 左是 $F_s = 1.07$ 时计算过程中最大不平衡力,右边是 $F_s = 1.08$ 时计算过程中最大不平衡力,收敛与不收敛是显而易见的。

(2) 15 根桩同时开挖时的稳定系数。

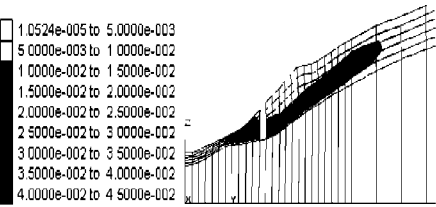


图 7 破坏时剪应变增量等值线图

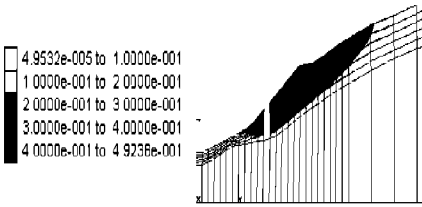


图 8 破坏时位移等值线图

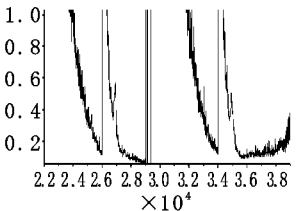


图 9 最大不平衡力

15 根桩同时开挖之后的模型见图 1,此工况下的稳定系数为 1.03。从剪应变增量等值线(图 7)看,由于挖孔的几何尺寸和整个坡体相比是很小的,开挖对潜在滑动面位置的影响甚微,在 y 方向上略有前移。一个值得注意的问题是:此工况下,坡体破坏时的最大位移为 0.49 m,而天然状态下坡体破坏时的最大位移为 1.18 m。这固然和折减系数 1.04 小于天然状态下的折减系数 1.08 有很大关系,但我们也可以得到一个初步的认识——挖孔可能使得坡体破坏时的位移征兆变小,坡体更“脆性”。图 9 右部分为 $F_s=1.04$ 时计算过程中最大不平衡力,同样的折减系数下,在未开挖时解是收敛的,开挖之后解不收敛。

(3) 间隔一孔开挖时的稳定系数。间隔一孔开挖求得的稳定系数为 1.06,与天然状态下的 1.07 和全部同时开挖时的 1.03 相比,这种施工方案对边坡的扰动较小,较为合理。

(4) 其它工况。该边坡的左边部分相对稳定,因此首先开挖左边 5 孔,得到的稳定系数是 1.07,与未开挖时一样。若首先开挖右边 5 孔,安全系数为 1.04。

将以上的分析结果列于下表:

表 2 各种工况安全系数

工况	天然状态	全部同时开挖	间隔 1 孔开挖	首先开挖左边 5 孔	首先开挖右边 5 孔
安全系数	1.07	1.03	1.06	1.07	1.04
最大位移/m	1.18	0.49	0.69	1.18	0.32

2.3 抗滑桩施工合理的开挖顺序

通过以上的分析,制定的施工方案为:首先开挖左边 5 孔,待抗滑桩起到对边坡的加固作用后,再采取间隔 1 孔开挖的方式施工中间和右边的 10 根抗滑桩,同时加强监测。如此流程将施工对边坡的扰动减到最小,保证了施工期的参考文献:

[1] 张鲁渝,郑颖人,赵尚毅,等. 有限元强度折减系数法计算土坡稳定安全系数的精度研究[J]. 水利学报,2003,(1):21- 27.
[2] M G Saterbo Glamen, S Nordal, A Emdal. Slop Stability Evaluation using the Finite Element Method[R]. NGM 2004.
[3] 孙伟,龚晓南. 土坡稳定分析强度折减有限元法[J]. 科技通报,2003,19(4):319- 322
[4] 连锁营,韩国城,孔宪京. 强度折减有限元法研究开挖边坡的稳定性[J]. 岩土工程学报,2001,23(4):407- 411.
[5] 迟世春,关立军. 基于强度折减的拉格朗日差分方法分析土坡稳定性[J]. 岩土工程学报,2004,26(1):42- 46.
[6] Ugai K. A method of calculation of totoal factor of safety of slopes by elastic- plastic FEM[R]. soils and foundations. 1989,29,2.
[7] Dawson, E M, W H Roth, A Drescher. Slope Stability Analysis with Finite Element and Finite Difference Methods[M]. Géotechnique,1998.

(上接第 121 页)

4 结论与展望

本文首次提出用 SVM 进行滑坡灾害信息遥感图像提取,该方法是切实可行的。SVM 方法应用于滑坡灾害信息提取是一个新的尝试,试验结果是令人鼓舞的。今后,基于参考文献:

[1] 牛宝茹. 滑坡灾害遥感调查与分析[J]. 公路,2002,(10):15- 17.
[2] 唐新建 陶章袁. 利用遥感图像对滑坡进行调查和监测分析研究[J]. 岩石力学与工程学报,2002,(S1):2510- 2515.
[3] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning theory[M]. New York: Springer Verlag, 1995.
[4] Vapnik V N. Statistical Learning theory[M]. New York: Wiley, 1998.
[5] Cortes C, Vapnik V N. Support- Vector Networks[J]. Machine Learning, 1995,20(3):273- 297.
[6] Scholkopf B, Mika S, Burges C. Input space vs. feature space in kernel-based methods[J]. Transactions on Neural Networks, 1999,10(5):1000- 1017.
[7] Boser, Guyon, Vapnik V. A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers[M]. Fifth Annual Workshop on Computational Learning Theory, 1992. 144- 152.

全。

3 结 论

通常采用抗滑桩治理的对象都是已有明显变形迹象的边坡、斜坡,稳定系数较低,其稳定性关系到人民的生命财产、各种工业民用建筑、交通设施等等的安全,因此在施工过程中应做到小心翼翼,采取合理的开挖顺序,尽可能减少对边坡的扰动,分析中采用本文论述的方法是有效的。

治理工程影响因素较多,与当地的工程地质和水文地质条件密切相关。但普遍看来,结合以上分析,有以下结论:

(1) 将强度折减技术用于分析边坡稳定系数是适宜的、有效的方法,不过仍处在探讨阶段,将得到的稳定系数应用到实际工程还有待于相关理论的发展和实践中的检验。但用于分析本文类似的稳定系数降低的相对数值应是可行的。

(2) 同样的抗滑桩工程,不同的施工顺序会不同程度的降低边坡的稳定系数。实际工程建设中应分析后选取最佳的方案。

(3) 间隔 1~ 2 孔分批施工是有效的减小施工风险的措施。

(4) 应先施工稳定性相对较高部分坡体中的抗滑桩,待起到对边坡的加固作用后再施工稳定性相对较低部分坡体中的抗滑桩。

(5) 不经分析的乱挖桩孔,使坡体稳定系数降低很多,而且坡体更加“脆性”,失稳前的位移征兆变得不明显,破坏更加突然。

(6) 本文考虑的施工因素仅仅是开挖,实际工程建设中还有堆载、机械等其他因素,所以斜坡稳定系数降低值应更大,制定合理的施工方案更为必要。

SVM 的滑坡灾害信息遥感图像提取在以下几个方面需要进一步深入:(1) 优化 SVM 训练模型,降低计算量,提高判别效率;(2) 基于 SVM 多源空间数据的集成;(3) 核函数的类型和参数选择。