

FLAC3D 模拟全长注浆锚杆的作用效果

林 杭, 曹 平, 周正义

(中南大学 资源与安全工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 介绍了 FLAC3D 的基本原理及其求解过程。通过对某边坡进行数值模拟, 对比分析了此边坡在锚杆支护前后水平位移等值线图、竖直位移等值线图及安全系数的变化, 说明了 FLAC3D 模拟边坡开挖以及支护的简便性和锚杆对边坡稳定性的作用效果。

关 键 词: 边坡稳定性; FLAC3D; 数值模拟; 锚杆

中图分类号: TU 457

文献标识号: A

Simulating effects of wholly grouted anchor rods with FLAC3D

LIN Hang, CAO Ping, ZHOU Zheng-yi

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Based on the theory and calculation procedure of FLAC3D, two models are established, one for unreinforced slope, other for reinforced slope, some differences are displayed in horizontal displacement contour maps, vertical displacement contour maps and safety factors. The results show that the grouted bolts increase the safety factor and restrict the horizontal displacement; and the contours show the position of the largest displacement, the position of the slip plane and the slip vector so as to offer reference for guiding engineering construction.

Key words: slope stability; FLAC3D; numerical simulation; bolt

1 前 言

边坡稳定性问题是岩土边坡工程中的一个重要研究内容, 它是边坡设计的前提。评价边坡稳定性时要考虑复杂的地质地形边界条件, 材料的三维力学行为材料的屈服、塑性流动、软化直至大变形等等, 而很多情况下无法得到解析解。近几年来, 随着计算方法的不断发展, 各种数值模拟技术在岩土力学中有了较快的发展和广泛的应用, 对于边坡稳定性分析都有较好的结论^[1~3], 其中的快速拉格朗日分析方法 (Fast Lagrangian Analysis of Continua, 简称 FLAC), 由于采用显式差分法, 尤其适合于材料的弹塑性、大变形分析以及施工过程的模拟, 为岩土边坡稳定性分析开辟了新的途径。本文通过 FLAC3D 模拟全长注浆无预应力锚杆的作用效果。此方法计算简便, 便于工程应用。

2 FLAC3D 简介^[4, 5]

2.1 FLAC3D 软件

FLAC3D 是由美国 Itasca 咨询公司于 20 世纪

90 年代中期在原有的二维分析软件 FLAC 基础上开发的一种工程计算处理软件, 它采用拉格朗日差分公式来处理有限变形问题, 计算过程中允许材料发生屈服及流变, 适合解决岩土工程中经常遇到的大变形问题, 是一种理想的岩土工程计算软件。

2.2 FLAC3D 的基本原理

设介质质点的空间位置、变形、运动速度、应力张量分别用向量 $x_i, u_i, v_i, \sigma_{ij}$ 表示, 则应变率张量、旋转率张量可表示为

$$\xi_{ij} = \frac{1}{2}(v_{i,j} + v_{j,i}); \quad \omega_{ij} = \frac{1}{2}(v_{i,j} - v_{j,i}) \quad (1)$$

运动方程可表示为

$$\sigma_{ij,j} + \rho b_i = \rho(dv_i/dt) \quad (2)$$

式中 ρ 为材料密度; b 为单元物质的体力。结构方程可表示为

$$f(\sigma_{ij}, \xi_{ij}, k) = d\sigma_{ij}/dt - \omega_{ik}\sigma_{kj} + \omega_{kj}\sigma_{ik} \quad (3)$$

式中 k 为考虑加载过程的参数。

由图 3、图 4 可知, (1) 边坡开挖使得岩体产生明显的水平位移和垂直位移, 最大的水平位移为 30 mm, 方向向左, 发生在坡角处; 最大的竖直位移为 68 mm, 发生在坡顶处, 坡顶为人工填土, 沉降量较大。(2) 通过数值计算得到开挖后边坡的安全系数 $K=1.06$, 处于临界安全状态, 为达到安全储备系数 $K=1.25$, 须作加固处理, 支护方案选用全长注浆无预应力锚杆加固法。

4.3 支护后计算结果分析

锚杆作为一种有效的边坡加固手段, 目前已大量用于边坡的抗滑工程中^[10]。本文通过数值模拟计算来分析锚杆在边坡加固中的作用效果, 锚杆的主要设计参数见表 2。

边坡分台阶开挖的同时进行锚杆的支护, 经过 FLAC3D 的计算可以得到图 5~7。

表 2 锚杆的设计参数
Table2 Parameters for cable

锚杆 倾角 / (°)	锚杆 间距 /m	锚杆 长度 /m	钢筋 直径 /mm	锚杆 直径 /mm	钢筋 弹模 /GPa	浆体 粘力 /kN
15	2×2	20	30	110	210	15

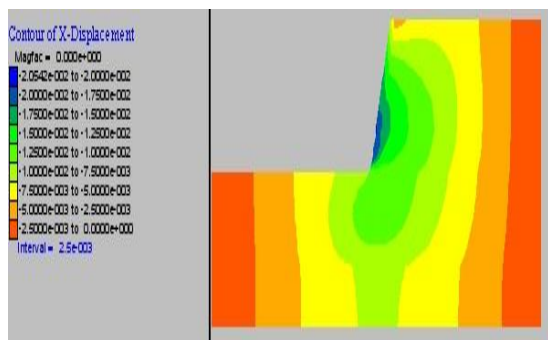


图 5 支护后水平位移等值线分布示意图(单位: m)
Fig.5 Horizontal displacement countours (unit: m)

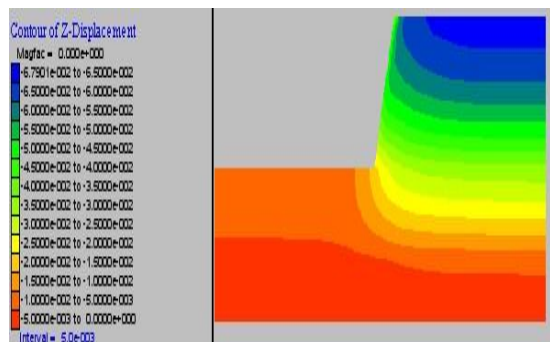


图 6 支护后竖直位移等值线分布示意图(单位: m)
Fig.6 vertical displacement contours (unit: m)

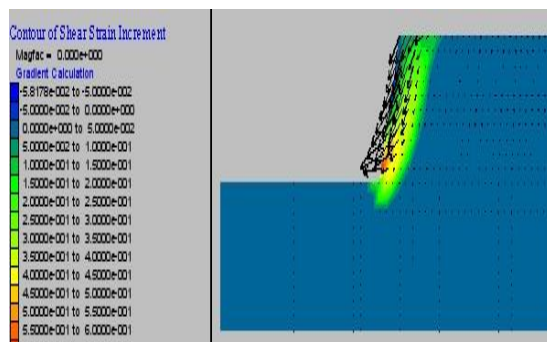


图 7 应变及位移矢量图(单位: m)
Fig. Strain and displacement vector diagram (unit: m)

对比分析以上各图可知:

(1) 由于锚杆的支护加固作用, 边坡的水平位移明显减小了, 最大的水平位移为 20 mm, 比未支护状态下少了 10 mm, 最大的水平位移仍然发生在坡角处; 最大的竖直位移为 67 mm, 发生在坡顶处。

(2) 图 7 显示位移矢量由坡顶到坡角逐渐从竖直方向转变为水平向左的方向, 边坡整体滑移趋势以及滑坡的大体位置。

(3) 通过数值计算可知, 边坡在锚杆支护作用下安全系数 $K=1.51$ 比原来未进行支护的 $K=1.06$ 增加了 42.45%, 达到安全储备系数 $K=1.25$ 的要求, 边坡处于稳定状态。

5 结 论

(1) FLAC3D 程序应用到边坡的开挖以及支护情况的模拟中, 它可以考虑岩土的本构关系并模拟岩土与支护结构的共同作用及其变形协调关系, 不需要假定滑移面的形状和位置, 根据位移矢量以及应变情况可以看出, 边坡发生破坏时的潜在滑移面。计算得出边坡的安全系数以此判断是否达到规范对安全系数的要求, 从而确定边坡的稳定性。

(2) 在模拟过程中由于锚杆的倾角较小 (15°), 从结果可以看出锚杆对于此边坡的影响是主要约束了水平位移, 对于竖直位移的作用不太明显。而对于安全系数的影响, 锚杆的作用比较明显, 对比锚杆支护前后, 边坡的稳定安全系数有了显著的提高, 可见锚杆在改善边坡稳定性中的重要性。

参 考 文 献

- [1] 杨立超. 土钉支护及其 FLAC 数值模拟[J]. 建筑技术开发, 2003, 30(9):46—48.
- [2] 陈祥军, 汤劲松. 用 FLAC3D 进行马崖高边坡稳定性分析[J]. 石家庄铁道学院学报, 2002, 15(3): 76—79.

- [3] 丁秀美, 黄润秋, 臧亚君. 预应力锚索框架作用下附加应力的 FLAC3D 模拟[J]. 成都理工大学报, 2003, 30(4):339—345.
- [4] Itasca Consulting Group. User's Guid[Z]. Minnesota: Itasca Consulting Group, 2002.
- [5] 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
- [6] 郑颖人, 赵尚毅. 有限元强度折减法在土坡与岩坡中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(19): 3 381—3 388.
- [7] 高永涛, 张友葩, 吴顺川, 等. 滑移岩石边坡治理的稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(增): 2 562—2 569.
- [8] 吴宏晋. 土坡与土钉支护边坡数值模拟对比研究[J]. 岩土工程界, 2004, 7(6):79—82.
- [9] 寇晓东, 周维垣, 杨若琼. FLAC-3D 进行三峡船闸高边坡稳定分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1): 6—10.
- [10] 赵明阶, 何光春, 王多垠. 边坡工程处治技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.