

文章编号: 1000-7598-(2006)增刊-0737-04

FLAC 应用于岩质高边坡的稳定性分析

孙宗军¹, 迟延智², 李乃元³, 刘晓彬¹

(1. 山东科技大学, 泰安 271019; 2. 胶南市建筑工程质量监督站, 胶南 266400; 3. 胶南市市政公用事业管理处, 胶南 266400)

摘 要: 针对岩质高边坡的稳定性采用差分方法进行分析, 通过对原始边坡和开挖后边坡的比较, 岩质高边坡的破坏方式为旋转剪切滑动, 滑动面为圆弧形的, 应用圆弧法计算边坡稳定性。位移场分析得出, 边坡的水平位移和竖直位移均比较大, 位移区分层明显。应力场分析结果表明, 原始边坡最大主应力和最小主应力方向主要为垂直向下, 在坡角处, 最大主应力和最小主应力发生了明显的偏转; 开挖后, 最小主应力在坡脚处出现应力集中, 最大主应力不明显, 坡顶和坡面一定厚度的岩体处于应力区, 坡面一定厚度的岩体向着临空面滑移。

关 键 词: 拉格朗日差分法; 岩质高边坡; 稳定性

中图分类号: O 241

文献标识码: A

Stability analysis of high rock slope with FLAC

SUN Zong-jun¹, CHI Yan-zhi², LI Nai-yuan³, LIU Xiao-bin¹

(1. Shandong University of Science and Technology, Taian 271019, China; 2. Jiaonan Administering Department of Quality of Civil Engineering, Jiaonan 266400, China; 3. Jiaonan Civil Engineering Administering Department, Jiaonan 266400, China)

Abstract: The stability of high rock slope is analyzed with finite difference method. Comparing the difference between original and excavated slope some conclusions are acquired. The destroy mode is round and cut slippage. The slide face is an arc. So arc method is used to calculate the slope stability. The level and vertical displacement is relatively big. The delamination is evident. The maximum and minor principal stress is vertical. And their direction is inclined at the corner of the slope. The minor principal stress of the excavated slope is concentrated. The maximum one is not evident. Some rock area of at the tip and surface of the slope is tension-stress. And some rock slides towards the empty face.

Key words: fast Lagrangian analysis for continuum; rock high slope; stability analysis

1 引 言

某公路边坡, 高为 80 m, 坡角 45°, 为层状岩体, 岩层倾角大致在 10°~15° 之间, 岩体中有断层、软弱夹层存在, 细小节理、裂隙较为发育。综合考虑根据室内试验结果进行工程处理后的取值以及现场实际情况, 最后岩体的等效参数取为: 弹性模量 $E = 1\,900\text{ MPa}$ 、泊松比 $\nu = 0.20$ 、峰值黏聚力 $c = 0.12\text{ MPa}$ 、峰值内摩擦角 $\phi = 29.2^\circ$ 、残余黏聚力 $c' = 0.05\text{ MPa}$ 、残余内摩擦角 $\phi' = 29.2^\circ$ 、重度 $\gamma = 24\text{ kN/m}^3$ 、抗拉强度 $\sigma_t = 1.43\text{ MPa}$ 。

2 计算模型

模型以地表为自由边界, 其余 3 边均采用光滑面法向位移约束, 从而构成位移边界条件, 保持整个系统受力体系的平衡。模型采用四边形单元, 选用 80×60 的网格, 使得计算更精确, 经离散后简化的计算模型如图 1。模型研究岩体在自重应力作用下, 边坡开挖后应力场和位移场的特征变化。计算中按弹塑性力学模型, 采用增量理论计算求解, 其中屈服准则采用 Mohr-Columb 准则。简化的原始边坡 FLAC 计算模型:

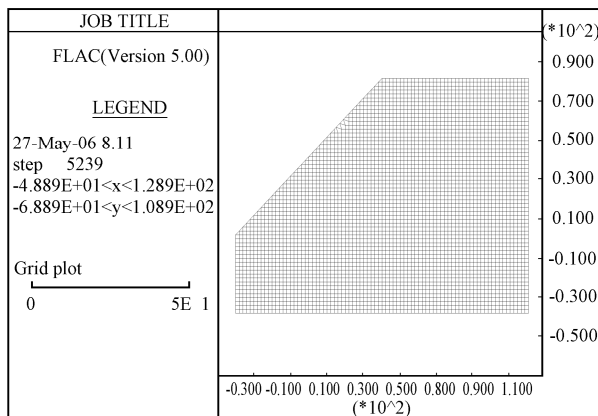


图1 原始边坡的 FLAC 模型
Fig.1 FLAC models of primitive slope

根据地质情况,研究 1: 0.5 边坡开挖在下的稳定性。边坡分 5 级开挖,从上往下顺次开挖,每级开挖高度均为 16 m,且不留台阶。具体的开挖过程模型如图 2。

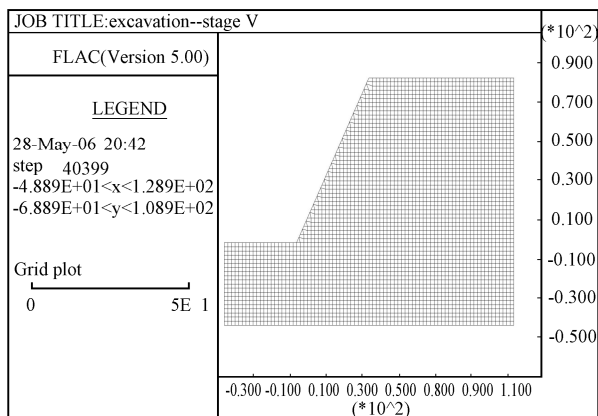


图2 边坡设计开挖后的 FLAC 模型
Fig.2 FLAC models after being excavates

3 分析过程及结果

3.1 位移场分析

本次计算的模型,天然条件下只考虑重力场的作用,其位移方向为垂直向下,开挖条件下位移指向边界临空面方向。从图 3 中位移矢量的方向,可以看出,开挖后未经支护的边坡岩体向着临空面方向移动。从图 4 的水平位移和图 5 的竖直位移,很明显的发现边坡岩体的位移量很大,边坡处于滑动状态,需进行边开挖边支护。其次,可以明显观察到边坡的滑动面位置,可应用于边坡锚固锚杆的尺寸设计。

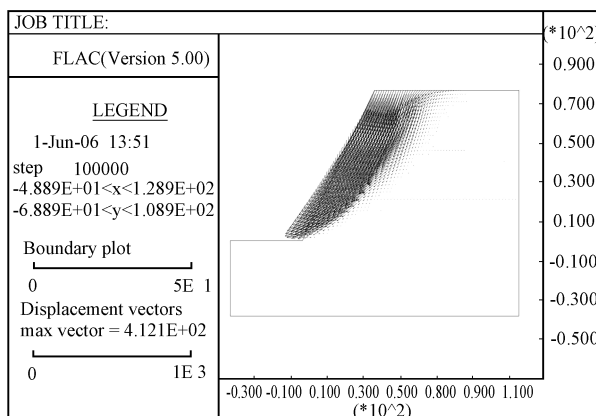


图3 开挖后的边坡位移矢量图
Fig.3 The displacement vector diagram before being excavated

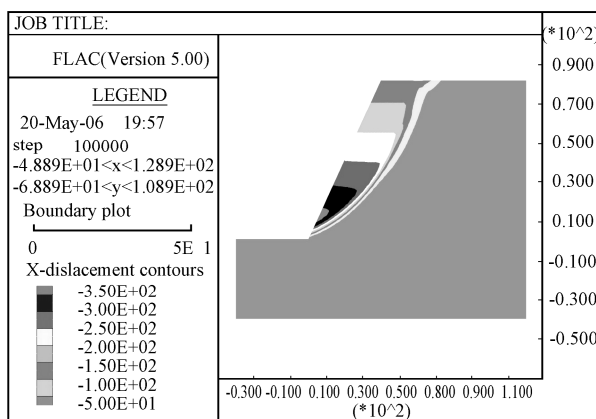


图4 开挖后边坡的 x 方向位移
Fig.4 The horizontal displacement after being excavated

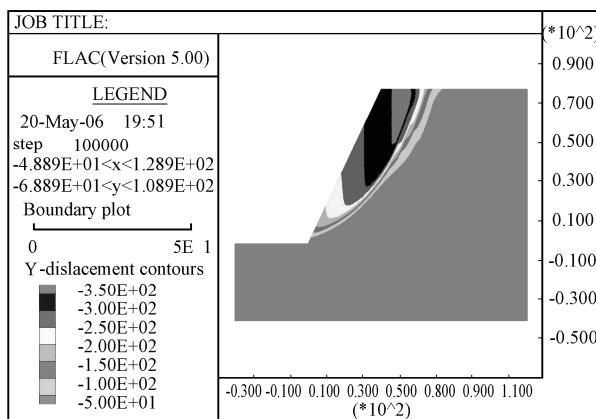
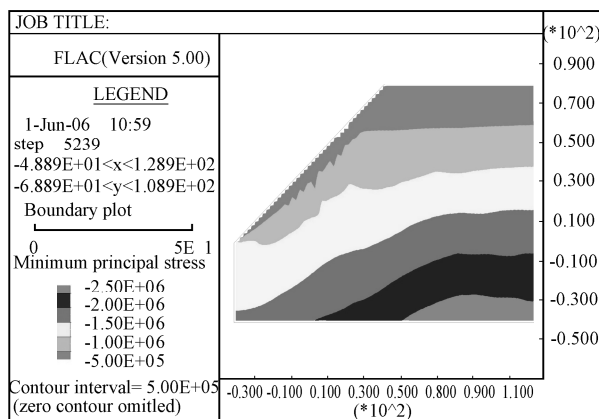


图5 开挖后边坡的 y 方向的位移
Fig.5 The vertical displacement chart before being excavated

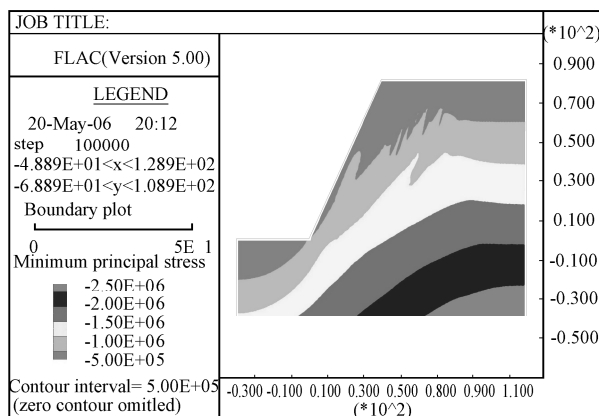
3.2 应力场分析

3.2.1 天然条件下的应力场特征 (图 6)

边坡天然状况的模拟表明: 数值分析的结果符



(a) 天然条件下的最大主应力等值线图



(b) 天然条件下的最小主应力等值线图

图 6 边坡天然条件下的应力图

Fig.6 The stress contours of the slope in natural condition

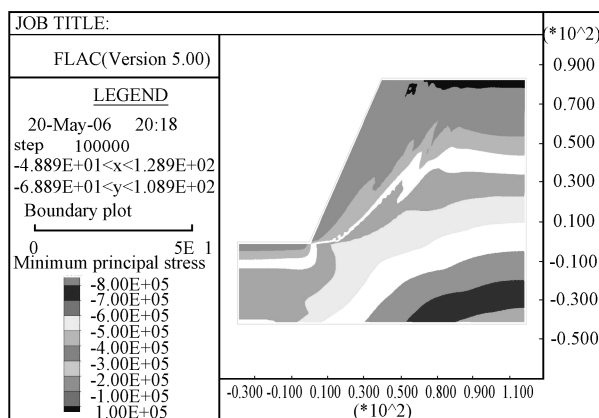
合边坡应力场分布的一般规律,最大主应力和最小主应力的应力集中不明显。图 6 显示,最大主应力和最小主应力方向主要为垂直向下。在坡角处,最大主应力和最小主应力发生了明显的偏转。

图 6 (a) 中最大主应力转而平行于坡面或近于水平,图 6 (b) 中最小主应力则与坡面近于垂直,其应力性质均为压应力。由图 6 (b) 可看出,最小主应力坡角处出现应力集中,而最大主应力集中现象不明显。天然状态下,坡体几乎不存在拉应力区。

3.2.2 边坡开挖后的应力场特征 (图 7)

为了便于分析比较,将最大、最小主应力的范围值统计于表 1 中。

从图 7、表 1 中得出如下认识:边坡开挖状况下的模拟表明,如图 7 显示,最大和最小主应力方向主要为垂直向下。在坡脚附近,最大、最小主应力发生了明显的偏转,图 7 (a) 中最大主应力转而



(b) 开挖后的最小主应力等值线图

图 7 边坡开挖后的应力图

Fig.7 The stress contours after being excavated

表 1 不同工况下的结果

Table 1 The result in different engineering statuses

坡高	坡比	单元数	σ_1 / MPa		σ_2 / MPa	
天然	天然	4 000	-2.5e6	-5e5	-1.2e6	-2e5
80 m	1:0.5	3 600	-2.5e6	-5e5	-8e5	1e5

注:表中应力值正值为拉应力,负值为压应力。

平行坡面或近水平,图 7 (b) 中最小主应力则与坡面近于垂直,其应力性质均为压应力为主,但从图 7 中发现,坡顶和坡面一定厚度的岩体处于拉应力区,坡面一定厚度的岩体向着临空面滑移。最小主应力在坡角处出现明显的应力集中,而最大主应力的应力集中则不明显。

3.3 滑动面分析

结合位移场分析中的水平和竖直向的位移图,图 8 中的剪切应变率图,从中可清晰地看出,岩质

边坡的滑动面为圆弧形, 且滑动岩体较厚, 中上部最厚, 达到 26 m。而且从图 9 中的不平衡力记录中看出, 其波动范围大, 为不平衡状态, 边坡有大范围的滑移, 需采用全面支护, 支护难度大。

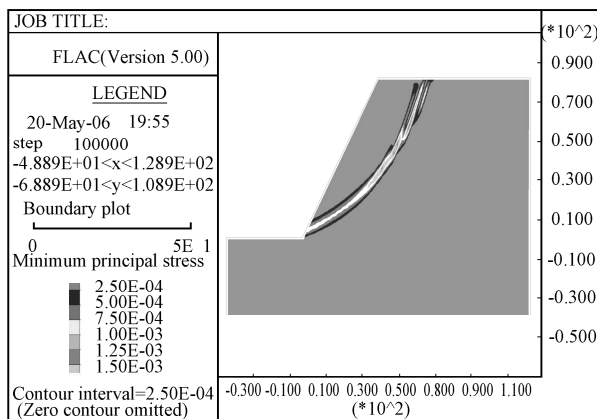


图 8 开挖后的剪切应变率图
Fig.8 The shear strain rate after being excavated

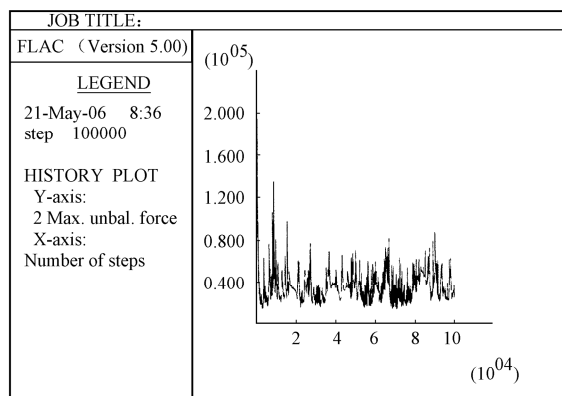


图 9 开挖后边坡的不平衡力记录
Fig.9 The record of unbal. force after being excavated

3.4 岩质边坡安全系数

在 FLAC 中通过 solve fos 命令实现根据强度折减方法确定安全系数, 这种方法可以降低材料的强度直到边坡产生破坏面。通过计算原始边坡的安全系数 $F_s=1.34$, 处于稳定状态; 研究边坡开挖后未支护模型, 安全系数 $F_s=0.96$, 边坡的安全系数小于 1, 边坡处于不稳定。根据规范《岩土工程勘察规范》(GB 50021—94) 规定中, 新设计的边坡二级工程 $[F_s]=1.15\sim 1.30$, 可确定边坡从 $F_s=0.96$ 到 1.20 需要支护的类型和强度, 进而为支护设计奠定了基础。

4 结 论

通过对原始边坡和开挖后边坡稳定性分析, 岩质高边坡的破坏方式为旋转剪切滑动, 滑动面为圆弧形, 应用圆弧法计算边坡稳定性。对位移场分析, 边坡的水平位移和竖直位移均比较大, 位移区分层明显。应力场分析, 原始边坡最大主应力和最小主应力方向主要为垂直向下, 在坡角处, 最大主应力和最小主应力发生了明显的偏转; 开挖后, 最小主应力在坡脚处出现应力集中, 最大主应力不明显, 坡顶和坡面一定厚度的岩体处于拉应力区, 坡面一定厚度的岩体向着临空面滑移。

参 考 文 献

- [1] 刘波, 韩彦辉(美国). 《FLAC 原理、实例与应用指南》[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [2] 闫莫明, 徐祯祥, 苏自约. 《岩土锚固技术手册》[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.4.
- [3] 王红梅. 岩质高边坡稳定性分析评价研究[硕士论文 D]. 西安: 煤炭科学研究总院西安分院, 2004.4.
- [4] 景峰. 岩质高边坡稳定性研究[硕士论文 D]. 武汉: 武汉大学, 2004.4.