

采用强度折减法确定含软弱夹层岩质边坡安全系数

刘铁雄, 徐松山, 彭文祥

中南大学地学与环境工程学院, 长沙 410083

摘要 应用 FLAC3D 数值模拟软件, 采用强度折减法, 求解常德—张家界高速公路某段含软弱夹层的岩质边坡安全系数, 讨论了求解效率及失稳判据等。实际运用表明, 结合两种失稳判据控制程序运算, 即利用收敛性判据作为边坡失稳的判据, 实现运算循环的自动化, 参照塑性区贯通准则来衡量每次运算循环的步数, 可使计算模拟更符合工程实际。结合“二分法”的强度折减法与极限平衡法相比, 计算结果误差较小, 偏于保守。此外, 强度折减法与“二分法”的结合运用可明显提高计算速率, 夹层 1、2 的安全系数求解时间分别为 2046 和 5929s。相比 FLAC3D 内置强度折减法的计算时间, 前者效率提高近 6 倍, 且所求解的边坡安全系数可信度高。

关键词 强度折减法; FLAC3D 软件; 含软弱夹层; 岩质边坡; 安全系数

中图分类号 U451

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)08-0065-04

Determination of Safety Factor of Rock Slope with Weak Interlayer Using Strength Reduction Technique

LIU Tiexiong, XU Songshan, PENG Wenxiang

School of Geosciences and Environment Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract FLAC3D numerical simulation software and strength reduction technique were applied to determine the safety factor of rock slope with soft interlayer in a section of Changde—Zhangjiajie highway. Solution efficiency, stability criterion and other problems are discussed, related with the simulation course. The case study indicates that the convergence criterion combined with the interpenetration of the plastic zone criteria can well simulate the practical project. And the convergence criterion takes the slope failure as the indicator to achieve the automation of loop computation. At the same time, the plastic zone criterion can be used to decide the number of steps in the calculation. The calculated error of the strength reduction method can be made much smaller while combining with dichotomy, and the result tends to be more conservative and more accurate as compared to the limit equilibrium. In addition, the strength reduction method can accelerate the speed of calculation to a great degree, the calculated time for safety factor of 1 and 2 weak interlayers is 2046s and 5929s, respectively. Compared to the calculated time of the strength reduction method inside FLAC3D, the speed of calculation is six times faster, and the safety factor is also more reliable.

Keywords strength reduction technique; FLAC3D software; soft interlayer; rock slope; safety factor

0 引言

边坡稳定问题是岩土工程古老而又亟须研究的课题。如何利用现有技术, 解决含有软弱夹层的岩质边坡稳定性问

题, 是边坡稳定性研究的主要任务之一。近年来, 利用数值模拟计算方法研究岩体变形破坏机制成为边坡稳定性分析的重要研究方向^[1]。其中, FLAC 法因适用于绝大多数的工程力

收稿日期: 2009-11-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(50878212)

作者简介: 刘铁雄, 副教授, 研究方向为岩土工程, 电子信箱: txliu1008@163.com

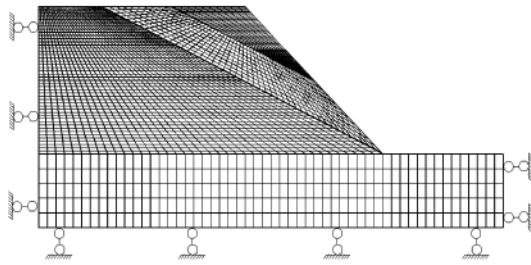


图2 模型的网格划分及其边界条件

Fig. 2 Mesh and boundary conditions of the model

3 安全系数的求解

由于建模过程中软弱夹层单独成组,网格划分在该处极为密集,运算时间较长。为尽量缩短求解时间,本研究采用“二分法”求解安全系数,以力的不收敛作为循环终止的标志,实现循环自动化。考虑塑性区贯通准则在边坡失稳时的意义明确性,在计算之前,需应用该准则进行运算步数估测,进而实现两种判据的结合。

对夹层1进行强度折减后的临界状态如图3所示,此时夹层1的塑性区状态如图4所示,可见此时夹层1已达到塑性区的完全贯通。

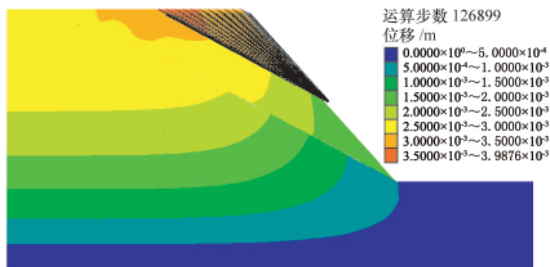


图3 夹层1临界状态位移云图与速度矢量

Fig. 3 Displacement cloud and the velocity vector in the critical state with soft interlayer 1

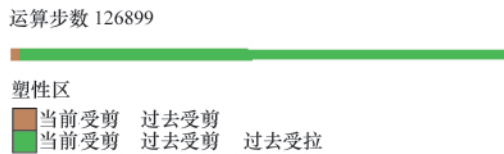


图4 夹层1临界状态时的塑性区分布

Fig. 4 Distribution of plastic zone in critical state with soft interlayer 1

对夹层2进行强度折减后的临界状态如图5所示,此时夹层2的塑性区状态如图6所示,可见此时夹层2也已基本达到塑性区的贯通。

由图3和图5的速度矢量可看出,对两夹层分别进行强度折减达到临界状态时,其上覆盖体均已达到整体滑动状态。由此表明,结合采用收敛性准则和塑性区贯通准则作为

边坡失稳的判据是合理的。

比较强度折减法所得出的安全系数结果与极限平衡法^[13]所得出的结果(表2),可看出两者计算结果相近,误差极小。

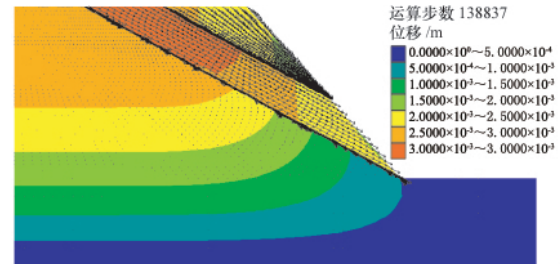


图5 夹层2临界状态位移云图与速度矢量

Fig. 5 Displacement cloud and the velocity vector in the critical state with soft interlayer 2

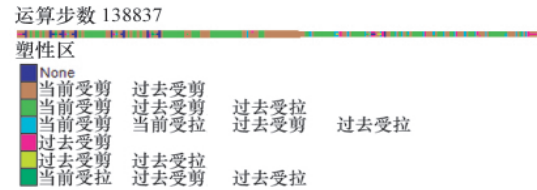


图6 夹层2临界状态时的塑性区分布

Fig. 6 Distribution of plastic zone in critical state with soft interlayer 2

表2 安全系数计算结果比较

Table 2 Comparison of calculated results for safety factor

	强度折减法	极限平衡法	误差/%
夹层1	1.336	1.354	1.3
夹层2	1.129	1.132	0.2

由于FLAC3D对网格数目十分敏感,如果网格过密,势必耗时较大,导致计算不经济^[14]。在该计算模型中,由于软弱夹层的存在,导致网格划分在该处极为密集(这是因为FLAC3D中规定网格的长宽比不能大于4:1),为了降低时耗,本研究采用求解效率较高的“二分法”。只要合理赋予安全系数的上下限值即可减少运算循环次数,从而提高运算效率。夹层1、2的安全系数求解时间分别为2046、5929s。而采用FLAC3D内置的强度折减法计算将多花费近6倍的时间,几乎失去了数值计算的意义。相比较可明显看出,结合“二分法”的强度折减法在求解安全系数方面具有优越性。

4 结论

1) 有限差分强度折减法计算含软弱夹层岩质边坡的安全系数,其结果准确可靠,为程序化计算此类边坡安全系数问题提供了一种新的有效解决方法。

2) 应用塑性区贯通准则作为边坡失稳的依据之一,其所得安全系数对比极限平衡法偏低,说明该准则在计算边坡安全系数时,计算结果相对保守。

3) 当岩质边坡存在多组互不相交的软弱夹层时,彼此不构成影响,可单独进行安全系数的运算。

4) 在计算含软弱夹层的边坡安全系数时,尤其是含多组软弱夹层时,使用“二分法”可较大提高运算效率。

参考文献 (References)

- [1] 龚晓南. 土工计算机分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
Gong Xiaonan. Geotechnical computer analysis [M]. Beijing: China Agricult & Building Press, 2000.
- [2] 沈金瑞, 林杭, 许世远, 等. 边坡岩体弱面注浆宏观效应数值模拟分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(3): 82-87.
Shen Jinrui, Lin Hang, Xu Shiyuan, et al. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007, 18(3): 82-87.
- [3] Dawson E M, Roth W H, Drescher A. Slope stability analysis by strength reduction[J]. Geotechnique, 1999, 49(6): 835-840.
- [4] 赵尚毅, 郑颖人, 时卫民, 等. 用有限元强度折减法求边坡稳定安全系数[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(3): 343-346.
Zhao Shangyi, Zheng Yingren, Shi Weimin, et al. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(3): 343-346.
- [5] 赵尚毅, 郑颖人, 张玉芳. 极限分析有限元法讲座——II 有限元强度折减法中的边坡失稳判据探讨[J]. 岩土力学, 2005, 26(2): 332-336.
Zhao Shangyi, Zheng Yingren, Zhang Yufang. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(2): 332-336.
- [6] 马建勋, 赖志生, 蔡庆娥, 等. 基于强度折减法的边坡稳定性三维有限元分析[J]. 岩土力学与工程学报, 2004, 23(16): 2690-2693.
Ma Jianxun, Lai Zhisheng, Cai Qing'e, et al. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(16): 2690-2693.

- [7] 栾茂田, 武亚军, 年延凯. 强度折减有限元法中边坡失稳的塑性区判据及其应用[J]. 防灾减灾工程学报, 2003, 23(3): 1345-1348.
Luan Maotian, Wu Yajun, Nian Tingkai. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2003, 23(3): 1345-1348.
- [8] 刘杵秋, 周翠英, 董立国, 等. 边坡稳定及加固分析的有限元强度折减法[J]. 岩土力学, 2005, 26(4): 558-561.
Liu Zuoqiu, Zhou Cuiying, Dong Ligu, et al. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(4): 558-561.
- [9] Zienkiewicz O C, Humpheson C, Lewis R W. Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics [J]. Geotechnique, 1975, 25(4): 671-689.
- [10] 宋二祥. 土工结构安全系数的有限元计算 [J]. 岩土工程学报, 1997, 19(2): 1-7.
Song Erxiang. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1997, 19(2): 1-7.
- [11] 连镇营, 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.
Lian Zhenying, Han Guocheng, Kong Xianjing. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(4): 407-411.
- [12] 吕庆, 孙红月, 尚岳全. 强度折减有限元法中边坡失稳判据的研究[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2008, 42(1): 83-87.
Lu Qing, Sun Hongyue, Shang Yuequan. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2008, 42(1): 83-87.
- [13] 陈强, 罗国煜. 优势面的水力学效应对新寨滑坡稳定性的影响分析[J]. 工程地质学报, 1998, 6(3): 253-257.
Chen Qiang, Luo Guoyu. Journal of Engineering Geology, 1998, 6(3): 253-257.
- [14] 陈育民, 徐鼎平. FLAC/FLAC3D 基础与工程实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
Chen Yumin, Xu Dingping. Foundation and project case [M]. Beijing: China Waterpower Press, 2008.

(责任编辑 代丽)

·学术动态·



“生物多样性国际论坛”征文

由中国生态学学会、日本生态学会、韩国生态学会联合主办的“生物多样性国际论坛”将于 2010 年 5 月 22-25 日在丽江举行。论坛议题为: 国际生物多样性保护, 亚洲共行动。

会议议题: 生态系统与珍稀濒危动植物的保护和合理利用、自然保护区建设与生物多样性保护、生态旅游的发展与生物多样性保护、中药资源的开发利用与生物多样性、民族文化遗产与生物多样性保护、生态文明建设与生物多样性保护、创建生物多样性丰富的国家园林城市和生态文化城、干旱半干旱地区的水资源利用和水环境改善与生物多样性。摘要截稿日期为 2010 年 5 月 4 日。

会议网站: http://www.esc.org.cn/st_mx.asp?xh=1000。

联系电话: 0888-5182630; 电子信箱: yjzhang@bjfu.edu.cn。