

文章编号:1001-1986(2005)05-0045-02

强度折减法在滑坡稳定性分析中的应用

李萍¹, 杨社强², 李同录¹, 张丽萍¹

(1. 长安大学地测学院, 陕西 西安 710054; 2. 山西省第六地质工程勘察院, 山西 运城 044000)

摘要: 沁水县侯村煤矿边坡处治后, I~III段使用良好, IV段抗滑挡墙失效。本文采用有限元强度折减法计算, 强度指标比原定的降低了1.29倍。同时, 在折减过程中, 通过计算分析剪应力集中部位, 确定滑面是在老滑面的基础上发展的部分新滑面, 形成新的剪出口。利用折减后强度参数, 计算对比新滑面与次级滑面的滑坡推力, 认为挡墙破坏为新滑面推力过大所致, 与原设的“次级滑面为最危险滑面”情况不符, 计算结果与实际情况较吻合。

关键词: 强度折减法; 有限元; 滑坡; 侯村煤矿

中图分类号:P642.22 **文献标识码:**A

Strength reduction FEM applied to landslide stability analysis

LI Ping¹, YANG She-qiang², LI Tong-lu¹, ZHANG Li-ping¹

(1. Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. The 6th Geological Engineering Exploration Team of Shanxi, Yuncheng 044000, China)

Abstract: As reinforcing, the Houcun slope in Qingshui County, Shanxi Province, I~III segment projects was worked well while the restraining wall in the IV segment was broken down. Using strength reduction FEM, the calculated C, φ value is 1.29 times less than the tested value. In the reduction, a new slide surface is produced on the concentration of shearing stress and this new slide surface is calculated as a new shear outlets. The thrusting force is compared between the new slide surface and the old one. It is calculated that the restraining wall is broken because of the new thrusting force. The calculation results is consistent with the real condition.

Key words: strength reduction; FEM; land slide; Houcun Coal Mine

1 工程概况

沁水县侯村煤矿选煤厂原煤(返煤)胶带走廊及其转载站、块精煤胶带走廊及其转载站, 位于山前边坡地带。边坡总体为南北向, 局部北东向, 边坡相对高差约20 m, 总长160 m。根据勘察资料^[1]可知, 该段边坡按其工程地质条件由南向北可分为4段:I段、II段边坡段基本稳定, 没有不良地质灾害, 为4个传送带支架和1个滤饼卸料站的场地, 基槽边坡采用浆砌片石护坡, 坡比按1:0.75, 分两级设置, 93.6 m高程处设置1 m宽的平台; III段边坡上有两个转载站的场址, 下部边坡上的人工堆积物不稳定, 应清除这些松散堆积。对转载站下部的边坡采用重力式挡墙进行支撑, 墙顶至坡顶用浆砌块石护坡; 上面一级边坡自坡脚到坡顶用浆砌块石护坡。IV段边坡走向北东, 长约35 m, 坡比1:1, 该段为一老滑坡, 经勘探发育有一老滑面和一次级滑面, 老滑面沿基岩与Q₂粘质粘土发育, 次级滑面在粘质粘土内。边坡顶部人工堆积土与天然土体界面上已形成连续的拉张裂缝, 宽3~5 cm。坡体下部的天然土层中也

有开裂, 坡体浸水。经计算老滑面的稳定系数为1.44, 说明是稳定的。采用圆弧条分法^[2]计算的次级滑面稳定系数为0.99, 治理过程中滑坡推力以次级滑坡进行计算。采用重力式挡墙支撑, 挡墙高度按5 m设计, 墙顶以上按1:1.5修整边坡, 并采用浆砌块石护坡。各段相对位置见图1。

经实施以上处治方案, I~III段使用良好, 没有出现不稳定现象; VI段挡墙由于滑坡活动使墙体局部剪断, 破坏面顺块石间的通缝近水平直剪, 破坏面高度距地面约1 m, 剪坏墙体厚度2.3 m, 墙体变形开裂段的长度约16.5 m, 由南至北更加严重。这些问题的出现, 说明估算滑坡推力时, 没有充分考虑滑体含水量高、土体松散、强度低, 以及在挡墙修建时, 坡脚全断面开挖, 滑坡前缘失去支撑, 有可能诱发新的滑面等因素, 设计挡墙没有达到预定功能, 使挡墙在滑坡剪出口处剪断。

2 有限元强度折减法计算滑坡推力

设计中采用不平衡推力法, 饱水条件下试验室测得滑坡土体的c=21kPa, $\varphi=12^\circ$, 计算得滑坡推

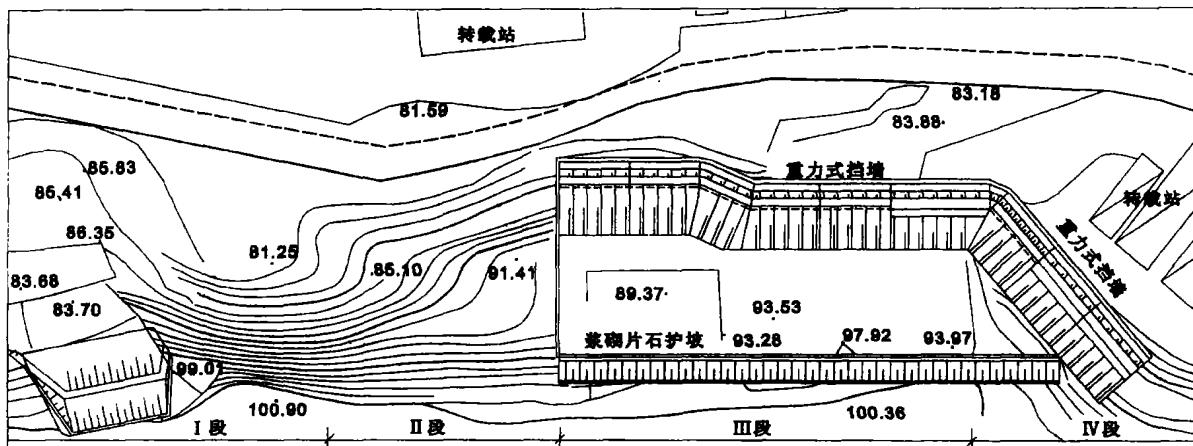


图 1 侯村煤矿边坡地形及圬工平面示意图

Fig. 1 The slope landform and masonry in Houcun Coal Mine

力为 92 kN/m , 验算得墙体在剪坏点的剪应力为 77.1 kPa , 远小于砌体抗剪强度。事实上考虑到诸多不确定因素, 挡墙设计以推力 150 kN/m 进行验算, 可见仍然估算过小。

本文采用有限元强度折减法, 分析滑坡最危险滑面的确切位置和相应的 c 、 φ 值。其基本思想是: 以给定试验室测试的饱水指标为初值, 通过不断折减 c 、 φ 值, 直到有限元计算程序不收敛。根据文献 [3, 4] 的看法, 此时的折减系数即为滑坡的稳定系数。由于目前可以确定该滑坡处于极限状态, 可作为已知条件, 继而可以确定不收敛时的 c 、 φ 值即为实际的 c 、 φ 值。同时在折减过程中, 剪应力集中的面如图 2 所示, 颜色越暗, 代表剪应力越大(图中单位为 kPa), 经弹塑性计算, 程序不收敛时, $c = 16.3 \text{ kPa}$, $\varphi = 9.3^\circ$ 。且由于挡墙开挖, 剪应力集中的部位在主滑面上, 剪出口向上偏移, 从而在老滑面与剪出口间很可能形成新的滑面。

有限元推测的新滑面和老滑面结合, 采用强度折减法反算的强度指标, 计算得滑坡推力为 422.5 kN/m , 远大于墙体 7.5 号砂浆通缝的极限强度。而采用折减后的强度指标, 以次级滑面为主滑面计算滑坡推力, 仅为 98.5 kN/m 。即使土体强度降低, 上部削方卸载, 次级滑面的滑推力也增加不大。故而可从以上的计算说明, 该滑坡由于工程施工原因, 在老滑面基础上诱发部分新滑面, 且土强度参数估计不准, 导致抗滑挡墙验算不准, 挡墙破坏。

3 处治措施

该工程进一步处治采用了以下措施:

a. 清除滑坡段上的碎块石堆积, 平整坡面, 并用 20cm 厚、 $3:7$ 的灰土覆盖夯实; 清除挡墙端部渗

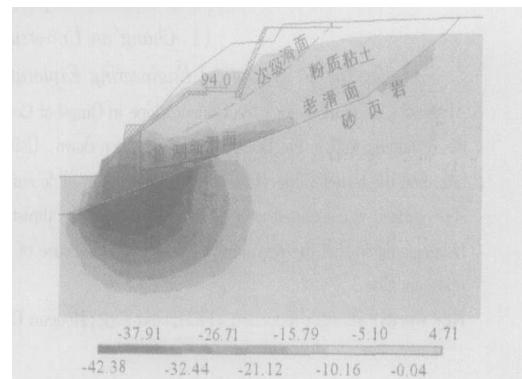


图 2 有限元模拟剪应力云图与推测滑面位置

Fig. 2 FEM shear contour and the position of inferred landslide surface

水处的松散土体, 用砂砾石回填, 设专门的排水孔。

b. 设斜撑加固挡墙。斜撑中心间距 5 m , 每个斜撑宽 1.5 m , 高 5 m , 断面呈梯形, 基础埋深 $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$, 胸坡坡比 $1:0.75$ 。采用 M7.5 号水泥砂浆, 浆砌块石齿缝砌筑。如果斜撑遇到现有墙体上的排水孔时, 在斜撑中延伸排水孔。

4 结论

a. 沁水县侯村煤矿边坡, 根据工程地质条件可分为 4 段, I~III 段较为稳定, 处治后使用良好。IV 段为一老滑坡, 存在多级滑面, 采用抗滑挡墙处治后, 墙体被剪破。

b. 根据有限元强度折减法反算滑坡参数, 证明该滑坡设计中采用的试验室饱水强度指标偏高, 将其折减 1.29 倍较为合理。

c. 根据有限元模拟及进一步的滑坡推力计算对比, 认为挡墙破坏并不是由次级滑面活动所致, 而是由老滑面和一部分由于工程开挖产生的新滑面活动所致, 模拟结果与实际情况较为吻合。

文章编号:1001-1986(2005)05-0047-03

单轴压缩下岩石材料尺寸效应的数值模拟

倪红梅¹, 杨圣奇² (1. 平顶山工学院土木工程系, 河南 平顶山 467000;
2. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

摘要:考虑到岩石材料的非均质性, 应用岩石破裂过程分析系统 RFPA^{2D}, 对端面有摩擦和无摩擦两种条件下同直径不同长度的岩样, 进行了单轴压缩下的数值模拟研究, 并对模拟结果寻求了试验验证。结果表明, 岩石强度的长度效应是由于岩样端面摩擦效应所致, 而并非根源于材料本身的非均质性。

关键词:尺寸效应; 非均质性; 岩石强度; 数值模拟

中图分类号:TU458 文献标识码:A

Numerical simulation on size effect of rock material under uniaxial compression

NI Hong-mei¹, YANG Sheng-qi²

(1. Pingdingshan Institute of Technology, Pingdingshan 467000, China;
2. Institute of Geotechnical Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the heterogeneity of rock material, rock specimens of the same diameter but of different lengths were carried out to simulate numerically under uniaxial compression by Rock Failure Process Analysis (RFPA^{2D}) code, and numerical simulation results reached good agreements with experimental results. The length effect of rock strength results in the friction effect of end faces, not the heterogeneity of rock material.

Key words: size effect; heterogeneity; rock strength; numerical simulation

1 引言

岩石强度是岩土工程和工程设计中重要的力学参数。而由于岩石具有尺寸效应, 即不同尺寸岩石的强度存在差异的现象, 特定尺寸岩石的强度不能直接应用于岩土工程设计和本构关系的建立。因而长期以来, 岩石尺寸效应一直是岩石力学中重要的研究课题^[1~8]。近年来, 数值模拟技术在岩石力学中得到了广泛应用。最具代表性的是东北大学岩石破裂与失稳研究中心, 在考虑岩石材料的非均质性基础上开发出的岩石破裂过程分析系统 RFPA^{2D}, 可以较好地再现实验室里一些常规的岩石力学现象^[12, 13]。鉴于此, 本文对同直径不同长度的岩石进行数值模拟, 研究尺寸对强度和变形的影响规律, 对岩石强度长度效应的机理提出了自己的看法。

2 岩石破裂过程分析系统 RFPA^{2D}概述

岩石破裂过程分析系统 RFPA^{2D}是基于有限元

应力分析原理上开发的, 它通过将岩石材料的非均质性参数引入到计算单元中, 来模拟材料的宏观非线性; 通过对破坏后的单元进行刚度弱化处理, 来模拟材料变形和破坏的非连续行为。因而它可用于研究岩石材料从细观损伤到宏观破坏的全部过程。假设基元材料服从于 Weibull 分布, 并假设基元性质是线弹脆性的。在基元的应力值超过其强度值时, 就认为基元的力学性质发生了相变, 重新对相变基元进行赋值。具体地说, RFPA^{2D}就是在建模和网格划分以后, 进行应力应变分析, 最后进行基元相变分析, 即首先运用相变准则对有限元产生的结果进行相变判断, 尔后对相变基元进行弱化处理, 最后再形成下一步计算刚度矩阵所需的数据文件。对于每一步给定的位移增量, 首先进行应力计算, 然后根据相变准则来检查模型中是否有相变基元。如果没有, 继续增加下一个位移增量, 进行下一步应力计算; 如果有相变基元, 则根据基元的应力状态进行刚度弱化处理, 然后重新进行当前步的应力计算, 直至没有

收稿日期: 2005-02-25

作者简介: 倪红梅(1975—), 女, 河南焦作人, 平顶山工学院土木工程系讲师, 工学硕士, 主要从事岩土工程的教学与科研。

参考文献

- [1] 山西省第六地质工程勘察院. 沁水县侯村煤矿选煤厂边坡工程勘察(设计)报告[R]. 2002.
[2] 李同录, 李萍, 郑书彦. 土坡稳定分析圆弧法的解析解及应用

- [3] 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, 2004, 23(19): 3381~3388.
[4] 张鲁渝, 郑颖人. 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, 26(1): 21~27.