

膨胀性岩质边坡加固方案的数值试验研究

冯旭¹, 张升堂², 时银海³

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 山东科技大学, 山东 青岛 266510; 3. 千阳县水利局, 陕西 千阳 721100)

摘要: 膨胀性岩质边坡, 由于其复杂性, 加固方案不易确定。运用有限元方法对膨胀性岩体边坡的加固措施进行了较全面的数值试验研究, 得出了坡顶超载与竖向位移、节理间距与坡顶变形及锚杆对坡顶变形影响的规律。该成果可为膨胀性岩质边坡加固方案的确定提供科学依据。

关键词: 膨胀性岩质边坡; 有限元; 锚杆; 节理

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2006)04-0076-03

中图分类号: TU452

Numerical Experiment on Swelling Rock Slope Reinforced With Bolts

FENG Xu¹, ZHANG Sheng-tang², SHI Yin-hai³

(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China; 3. Qianyang Water Conservancy Bureau, Qianyang, Shaanxi 721100, China)

Abstract: It is difficult to find a reinforced measure for swelling rock slope due to its complex. In the study, Finite Element Method (FEM) was applied to analyze the law of displacement at the top of swelling slope with different joint spaces, bolt spaces and loads. The reinforced measure of swelling rock slope was simulated by FEM. The result can be devoted to find a reinforced measure for swelling rock slope.

Keywords: swelling rock slope; finite element method; bolt; joint

膨胀性岩体是指含水量随时间推移而逐渐提高, 与水发生物理化学反应后体积产生膨胀的一类岩石。膨胀性岩体具有显著的膨胀性能, 当边坡开挖对岩石的扰动, 及雨水等引起岩体的湿度变化时, 膨胀性岩体的性状常发生巨大的变化, 并产生体积膨胀, 极大的影响到该性状岩体范围内构筑物 and 边坡的稳定性。

膨胀性岩体的分布极其广泛, 迄今为止已发现存在膨胀性岩体的国家多达 40 余个^[1], 我国是膨胀性岩体分布最广的国家之一。由于膨胀性岩体的显著膨胀特性, 使得这些地区的各类工程建设经常遭受破坏。据襄渝线施工决算统计, 由于膨胀性岩体在施工期间产生的破坏, 造成实际投资增加为初期造价的 3 倍; 又如沈北矿区主要巷道位于膨胀性软弱围岩中, 建矿初期采用直墙半圆或圆弧混凝土衬砌, 砌筑了 3~5 个月后几乎全部破坏^[2]。造成这些灾害的主要原因往往是因为人们事先不了解其分布状况, 对膨胀性岩体的力学机理认识不足和对膨胀性岩体边坡的设计方法不尽合理。

本文从膨胀性岩体的机理出发, 运用有限元方法讨论膨胀性岩体的应力—应变特性, 证明采用锚杆加固膨胀性岩体边坡的措施是科学合理的。

1 膨胀性岩体边坡的破坏模式^[3]

由于膨胀性岩体是介于岩石与土之间的一类岩土, 这一类岩土的特性具有下列特点, 膨胀性岩体边坡的破坏模式如图 1 所示。(1) 膨胀性强; (2) 膨胀速率初期增长快; (3) 膨胀力大。

由于其间的节理面不是很明显, 故膨胀性岩体边坡的破坏模式既不同于土体的破坏模式, 与岩石的破坏模式也不一样, 其破坏模式可以分为如下 5 种: (a) 单平面滑动; (b) 平面张裂滑动; (c) 追踪式阶梯形滑动; (d) 屈服拉裂剪切滑动; (e) 弧形滑动。

2 数值试验

2.1 膨胀性岩体的本构关系^[4]

利用最典型的膨胀性岩体本构关系, 由 Huder—Amberg 提出的公式:

$$\epsilon = K \left[1 - \frac{\lg \sigma}{\lg \sigma_0} \right] \quad (1)$$

式中: ϵ ——轴向膨胀应变; σ_0 ——最大膨胀应力; σ ——膨胀应力; K —— $\sigma = 0.1 \text{ MPa}$ 时的轴向膨胀应变。

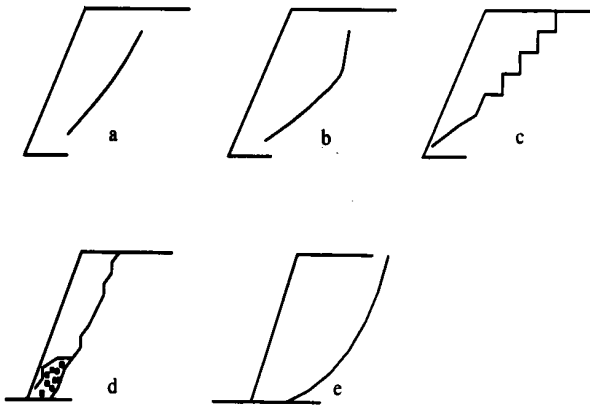


图 1 膨胀性岩体边坡的破坏模式

2.2 节理的本构方程^[5]

膨胀性岩体中的节理在外力的作用下会产生变形, 此变形包括 2 种: 错动滑移变形和自身剪切变形, 因此节理的本构关系中应包括这两种变形, 即:

$$\epsilon = \epsilon_s + \epsilon_r \quad (2)$$

式中: ϵ ——节理总的变形; ϵ_s ——节理错动滑移变形; ϵ_r ——节理自身剪切变形。

沿用 Desai 的薄层单元概念, 节理单元取为四边形四结点等参元, 其刚度矩阵为(忽略法向与切向的交叉影响):

$$D = \begin{bmatrix} D_{nn} & 0 \\ 0 & D_{ss} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: D_{nn} ——是由法向模量由 K_n 组成, 而 $D_{ss} = \frac{1}{1/G_s + 1/G_r}$ (G_r 是剪切破坏带内土体的剪切变形所对应的剪切模量)。采用 Mohr-Coulomb 屈服准则及相关流动法则有:

$$[D_{\phi}] = \begin{bmatrix} G_n - G_n^2 / (G_n + G_s \tan^2 \phi) & G_n G_s \tan \phi / (G_n + G_s \tan^2 \phi) \\ G_n G_s \tan \phi / (G_n + G_s \tan^2 \phi) & G_s - G_s^2 / (G_n + G_s \tan^2 \phi) \end{bmatrix}$$

式中: G_s ——接触面错动滑移变形 ϵ_s 对应的剪切模量; $G_n = K_n / 2(1 + \mu)$ 。

2.3 锚杆的应力—应变关系^[6-7]

设置于膨胀性岩体边坡的锚杆既受到拉力, 也受到因为节理产生剪切位移时使锚杆受到的剪应力。实验证明锚杆和砂浆之间的剪应力与钢筋应力成正比, 即:

$$\tau = a \cdot \sigma = \tau_0 \cdot e^{-4ax/D} \quad (4)$$

式中: τ ——距离锚杆尾端 x 处的侧剪应力; σ ——锚杆轴应力; a ——锚杆侧剪应力与钢筋轴应力的比值; τ_0 ——尾端处的锚杆侧剪应力; D ——锚杆直径。为了数值处理的方便可以由(4)式推导出锚杆尾端轴向位移与轴应力的关系:

$$V = \frac{D}{4aE} \cdot \sigma \quad (5)$$

式中: E ——锚杆的弹性模量; V ——锚杆尾端的轴向位移, 代表锚杆相对周围岩体的整体位移。

另外, 锚杆尾端的横向位移与剪应力的关系式可以表示为:

$$U = \frac{\pi D^2}{2EI\beta^3} \cdot \tau, \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{DK}{4EI}} \quad (6)$$

式中: U ——锚杆尾端的横向位移; τ ——锚杆尾端的剪应力; EI ——杆体的抗弯刚度; K ——岩石反力系数。

2.4 算例分析^[8-9]

为了验算上述综合模型的有效性, 对图 2 的膨胀性岩体边坡进行锚杆加固, 在竖向均布荷载 q 的作用下进行上述有限元模型的分析, 图中岩体的层面倾角为 30° 。分析结果见图 3—5。

图 3 给出了坡顶超载对坡顶位移的影响, 符合一般的力和位移关系, 同时也说明了坡顶超载增加时, 边坡的变形很快增长。从图 4 中可以看出随着节理间距的增加坡顶的竖向位移是逐渐减小的。图 5 更加明显地表明了, 有无锚杆对边坡变形的影响, 同时也说明锚杆对膨胀性岩体边坡的加固作用是非常明显的。

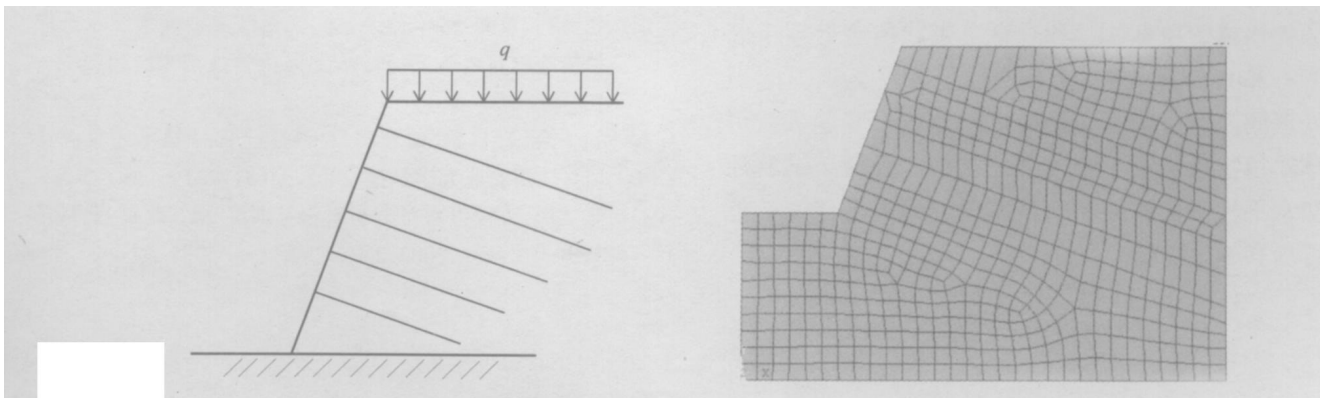


图 2 有限元分析模型

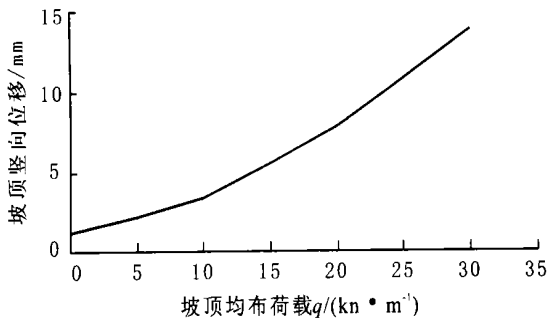


图 3 坡顶超载与竖向位移的关系

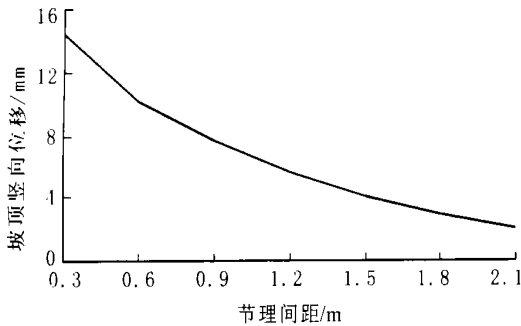


图 4 节理间距与坡顶变形的关系

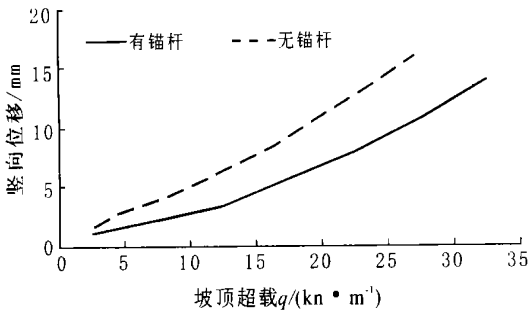


图 5 锚杆对坡顶变形的影响

3 结 论

(1) 通过对上述计算模型的分析得出, 利用锚杆加固膨胀性岩体边坡有一定的工程应用价值。计算所得结果除了符合一般的力与位移关系外, 也明确了膨胀性岩体边坡的变形与岩体节理的关系, 同时也说明将膨胀性岩体节理用薄层单元来模拟是可行的。

(2) 本文从膨胀性岩体的机理出发, 应用 Huder—Amberg 提出的膨胀性岩体的本构关系、Desai 提出的薄层单元以及锚杆的本构关系分析了锚杆对这类膨胀性边坡的加固效果, 为膨胀性岩质边坡加固措施的选取提供了科学有效的方法。

[参 考 文 献]

- [1] 张加桂, 曲永新. 三峡库区膨胀土的研究和发现[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(3): 724—727.
- [2] 孔德坊. 全国首届膨胀土科学研讨会论文集序言[M]. 西南交通大学出版社, 1990. 4—6.
- [3] 何沛田, 张仕光. 岩石膨胀特性和机理研究[C]. 武汉: 第六次全国岩石力学与工程学术大会论文集, 2000. 218—224.
- [4] 曲永新, 等. 中国东部膨胀性岩体的研究[R]. 中国科学院地质研究所会议资料, 1991. 83—87.
- [5] 吴德伦. 岩石力学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2002. 248—272.
- [6] 何满潮, 刘成禹, 武雄. 延吉盆地强膨胀性软岩边坡加固对策研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2005, 35(4): 496—500.
- [7] 杨文礼. 膨胀性岩土边坡稳定性分析及加固方案设计[J]. 岩土工程学报, 2004, 8(7): 66—68.
- [8] 潘家铮. 水工建筑物的有限元分析[M]. 北京: 水力电力出版社, 1991. 372—379.
- [9] 王勖成, 邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997. 443—482.

(上接第 10 页)

梯田梯壁植草(I)和百喜草带状覆盖处理小区 1999—2001 年连续 3 年土壤侵蚀量接近于 0, 其它植草处理同期的土壤侵蚀量接近于 0 或比 0 稍大。可见草本植物对控制土壤侵蚀的功效之显著。试验还得知水平梯田裸露的梯壁植草后控制土壤侵蚀的能力可提高 30.62 倍。

[参 考 文 献]

- [1] 张贤明, 董闻达, 李德荣, 等. 江西红壤坡地果园水土保持措施效益之研究[J]. 水土保持学报, 2001(2): 102—104.
- [2] 刘士余, 管日顺, 何长高. 台湾水土保持技术考察综述[J]. 江西农业大学学报, 2002, 24(3): 423—426.
- [3] 张文彤. SPSSII 统计分析教程基础篇[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002. 230—239.