

文章编号: 1000-7598-(2006) 增-0417-03

沪蓉国道主干线边坡稳定性研究

董必昌, 邱红胜

(武汉理工大学 交通学院, 武汉 430063)

摘 要: 以沪-蓉国道主干线恩施高坪-吉心段付家坡滑坡地段典型断面为研究对象, 运用强度折减系数法, 研究了在天然状态和饱水状态下滑坡体稳定安全系数。指出了在这两种状态下边坡的不稳定性。并与其他几种方法进行了对比分析, 结果表明有限元强度折减系数法应用到该断面是可行的, 同时也显示该方法相对于其它方法的优越性。

关 键 词: 滑坡; 典型断面; 强度折减系数法; 稳定安全系数

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

Stability study of slopes of national Hu-Rong highway

DONG Bi-chang, QIU Hong-sheng

(School of Transportation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: Aiming at the typical geological profile of Fujiapo landslide section of Enshi Gaoping—Jixin section in national Hu—Rong highway, the safety factor of the landslide under saturated state and native state are studied using the strength coefficient reduction method of FEM. It is drawn that the slope under those two conditions is unstable. The results have shown that it is feasible to use the FEM of strength coefficient reduction in the above profile and this method has advantages over others.

Key words: landslide; typical profile; strength reduction method; stability safety factor

1 前 言

近年来, 随着国家西部大开发力度的加大, 西部地区复杂的地形地貌、频发的地震与地质灾害、广阔的区域性岩土, 也引发出许多技术问题, 滑坡治理与高边坡建设就是其中一个重大研究课题。沪-蓉国道是我国东西向的一条重要的主干线, 是国家重点建设工程之一, 对西部开发与建设起着重要作用。湖北宜昌至恩施高速公路是沪-蓉国道主干线的重要组成部分, 公路沿线桥梁与隧道等工程构筑物众多, 地质条件复杂, 尤其是该干线恩施高坪——吉心段付家坡滑坡与付家坡隧道关系密切, 对公路的施工与安全营运存在重大影响。因此, 本文针对该路段典型滑坡断面, 运用有限元的滑坡分析方法, 得出了一些有价值的规律, 以便为该工程以及类似的工程提供理论依据。

2 边坡稳定分析方法

2.1 有限元强度折减系数法

目前, 研究边坡稳定的方法主要有 3 种: 极限平衡法、塑性极限分析法以及有限元法^[1], 其中极限平衡法经过 70 多年的发展, 已积累了丰富的使用经验, 但是由于方法本身没有考虑土体应力应变关系, 故不能求出坡体的真实受力。塑性极限平衡法虽然克服了上述不足, 能够在一定程度上考虑土体的应力场与速度场, 但同样不能考虑坡体变形及其对稳定性的影响。有限元法的优势正在此, 它不仅可以求出土体中各点的应力与应变, 而且还能考虑土体的非线性本构关系。在世界范围内, 基于有限元法的边坡稳定分析正得到了越来越广泛的应用。它的逐步完善为准确分析此类问题提供了可能。

在有限元法中, 通常对土体强度指标 c , φ 进

行折减,直至计算到不收敛为止,其折减的倍数即为稳定系数^[2]。这种方法在国外 20 世纪 80 年代就被采用,但是由于力学概念上的不十分明确,而且受到计算程序及计算精度的影响,这种方法在国内一直没有流行。近年来,随着大型仿真软件的出现以及计算机计算能力的提高,有限元强度折减系数法正成为边坡稳定分析的新趋势。与极限平衡法相比,强度折减系数法不需要任何假定,便可自动求得任意形状的临界滑移面及对应的最小安全系数,同时它还可以真实反映坡体失稳及塑性区的开展过程。

2.2 基本公式

由于在数值上采用莫尔-库仑条件求解十分困难,许多大型软件(如 ANSYS, MARC, PATRAN, NASTRAN 等)只是给出了广义米赛斯屈服准则:

$$F = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} = k \quad (1)$$

式中 I_1, J_2 分别为应力张量的第1不变量和应力偏张量的第2不变量。

上述公式是一通用表达式,通过变换 α, k 的表达式就可以在有限元中实现不同的屈服准则。 α, k 是与岩土材料内摩擦角 φ 和凝聚力 c 有关的常数。稳定系数用 ω 表示,当屈服准则变为

$$F = \frac{\alpha}{\omega} I_1 + \sqrt{J_2} = \frac{k}{\omega} \quad (2)$$

计算到不收敛时的 ω ,即为边坡稳定安全系数。

3 工程实例

3.1 工程概况

4#滑坡位于湖北省宜昌至恩施高速公路高坪-吉心k177+900-k178+000间^[3],滑坡后缘为粉砂质泥岩和粉砂岩出露的陡坡,前缘为坡度较大的斜坡陡坎,西北侧以冲沟边界,南东侧以碎石土与基岩交界为边界,滑坡后缘高程为750~765 m,前缘高650~655 m。滑坡的平面形态呈“扁扇形”,中后部宽,前缘窄,主滑动方向220°,平均宽度为140 m,纵长170 m,总面积约23 800 m²,平均厚22 m,总方量523 600 m³。呈北东-西南向展布,滑坡纵向坡面坡度25°~30°。陡坎下有泉水出露,并分布有水田。

(1) 滑体岩土体特征

滑坡体岩性:上部为亚粘土夹碎块石,下部为稍密状的碎石土、块石土。亚粘土夹碎石分布于滑体表层,厚度不均,最厚达12.00 m,紫红色,硬塑-软塑状,碎石含量10%~30%,碎石成分为强风化紫红色泥岩、砂岩,重度为18.6~19.1 kN/m³。碎石土、块石土的分布厚度不一,厚度最大处为21.8 m,上部为碎石土,下部为块石土,稍密-松散状,镐可挖掘,碎块石含量40%~60%左右,岩性为强风化紫红色泥岩、粉砂岩,粒径一般在2~16 cm,下部地段少数块石块径大于20 cm。重度 γ 为20.70 kN/m³。各岩土层物理力学参数指标见表1。

表1 岩土层材料参数值
Table 1 Mechanical index of geostata

岩土层	压缩模量 E_s/MPa	泊松比 μ	重度 γ $/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	Φ $/(^{\circ})$	c $/\text{kPa}$
亚黏土、夹碎石	20	0.3	20.7	17	34
碎石土	40	0.3	24.24	14	25
块石土	80	0.3	21.2	15.5	25
泥质粉砂岩			24.9	23	117.6

(2) 滑带土特征

钻孔控制范围内,4#滑坡滑移带埋深为17.50~30.30 m,在便道开挖处可见明显滑带土,所见滑面光滑平整,擦痕明显,局部见揉搓迹象。滑移带物质以聚集在基岩面上的粘性土夹少许碎石为主,粘性土呈紫红色,粘性较好,潮湿~饱和,所含碎石成份为泥岩和砂岩,含量10%~20%,粒径0.5~3 cm,呈次棱角-棱角状。黏性土遇水后强度降低幅度大,局部地段手搓可成条状,厚度为0.10~0.30 m。

3.2 有限元模型

对上述4#滑坡体建立有限元模型,考虑滑带内岩土层力学性质较为接近,因此模型共分为两层,上层为滑带土,下层为基岩(图1)。模型各层物理力学参数指标见表2。

3.3 计算结果分析

对图2所示的模型,运用有限元强度折减法,分别求得在天然状态和饱水状态下边坡稳定安全系数。为了便于对比分析,本文还列出其他几种方法求得的边坡安全系数^[4]。具体计算结果见表3。

表2 岩土层力学参数值

Table 2 Mechanical parameters values of geostrata

岩土层	压缩模量 E_s/MPa	泊松比 μ	重度 γ $/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	ϕ $/(^{\circ})$	c $/\text{kPa}$
滑带土	35	0.3	24.2	15.9(12.3)	25(18.5)
泥质粉砂岩	60	0.3	25.5	; [23 (20)	117.6(98)

注：括号数值为饱水状态下参数。

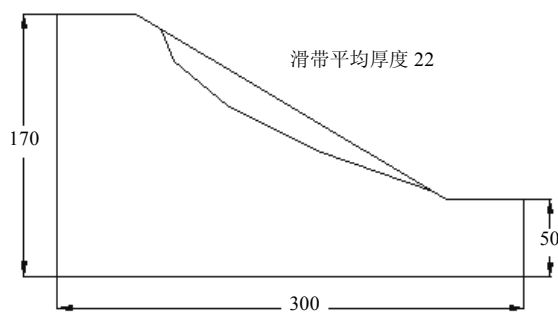


图1 滑坡体地质剖面示意图 (单位: m)

Fig.1 Geological section of landslide(unit: m)

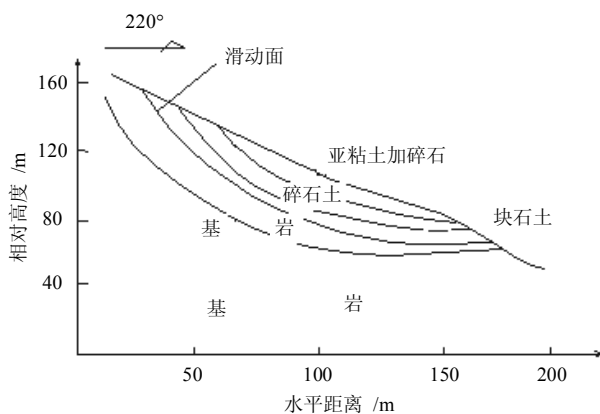


图2 边坡截面示意图

Fig.2 Skematic map of slope transect

表3 计算结果对比

Table 3 Comparison of calculation results

分析方状态	有限元度' 折减法	有限元 cosmos 法	推力系数法
天然状态	0.755	0.774	0.743
饱水状态	0.572	0.590	0.588

从上表可以看出, 4#滑坡体在天然状态下就处于一种不稳定状态; 当在连续暴雨, 岩土体处于饱

和状态下时, 滑体更处于一种不稳定状态, 且稳定系数急剧下降; 本文所用的方法与其他方法所得结果相当接近。与有限元 cosmos 法相比, 其结果与推力系数法更为接近; 而与推力系数法^[5]相比, 它不仅可以求出岩土体中各点的应力与应变, 而且还能考虑土体的非线性本构关系, 因而能更全面地反映客观实际。

4 结 论

由以上分析, 可以得出如下结论:

(1) 4#滑坡体在天然状态下和饱和状态下滑体都处于一种不稳定状态, 且饱和状态下稳定性更差, 因此, 应做好提前防护;

(2) 有限元强度折减法与其他方法所得结果相当接近。与推力系数法相比, 它不仅可以求出岩土体中各点的应力与应变, 而且还能考虑土体的非线性本构关系, 因而能更全面地反映客观实际。

参 考 文 献

- [1] 赵尚毅, 郑颖人. 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 Shang-yi, ZHENG Ying-ren. Analysis of safety factor of slope by strength reduction of FEM[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2002, 24(3): 343—346.
- [2] 郑颖人, 赵尚毅. 用有限元法求边坡稳定安全系数[J]. 公路交通技术, 2002, (1): 7—9.
ZHENG Ying-ren, ZHAO Shang-yi. Analysis of safety of slope by FEM[J]. *Technology of Highway and Transport*, 2002, (1): 7—9
- [3] 沪蓉西高速公路 k177+000 k178+400 段滑坡工程地质勘察报告[R]. 南宁: 广西水文地质与工程地质勘察院. 2004.
- [4] 欧湘萍, 金智涛, 向韦, 等. 沪蓉国道恩施付家坡滑坡稳定性评价研究[J]. 地球与环境, 2005, 33(S1): 403—407.
OU Xiang-ping, JING Zhi-tao, XIANG Wei, et al. The stability analysis of Fujiapo landslide in Hurong national road[J]. *Earth and Environment*, 2005, 33(S1): 403—407.
- [5] GB50021-2001, 岩土工程勘察规范[S].