

崇遵高速公路开肩堡滑坡稳定性分析及治理^{*}

王瑞甫

(贵州省交通规划勘察设计研究院, 贵阳 550001)

摘 要: 根据开肩堡滑坡的形成条件及形成机制, 在取得详细的地勘资料及试验参数的情况下, 对该滑坡进行稳定性分析评价并计算其剩余下滑力, 提出了采用清方减载、抗滑桩支挡及锚索、中空注浆锚杆锚固的综合治理方案。该方案在实施通车后取得良好的处治效果, 为类似的滑坡提供一定的借鉴作用。

关键词: 滑坡; 预应力锚索; 抗滑桩; 中空锚杆

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)04-0231-03

Landslide Analysis and Treatment in the Kaijianbao of Chongzun Expressway

WANG Ruifu

(Guizhou Communication Planning and Surveying Design Institute, Guiyang 550001, China)

Abstract: The landslide are analyzed and calculated according to its forming condition and a comprehensive treatment measure is put forward in the paper as cutting slope and unloading, stabilizing pile, reinforced cable and hollow bolt. One favourable effect is obtained after the landslide was punished and it can provide reference to other landslides treatment.

Key words: landslide; reinforced cable; stabilizing pile; hollow bolt

1 引 言

近几年来,随着贵州山区高速公路建设事业的发展,滑坡已成为山区高速公路建设中的主要工程地质灾害,有时严重制约工程进度。无数工程实例表明,传统的抗滑挡墙从理论上及施工上都有不合理的地方,且仅适用于规模小的浅层滑坡。随着抗滑桩技术的诞生,使规模较大的滑坡的处治成为现实。但是,在已完成的抗滑桩中,绝大多数属于受力不合理的悬臂式抗滑桩,桩身内力、桩的横截面和桩在滑动面以下的埋置深度均相当大,所以桩的材料耗量及桩的造价均较高。针对一般抗滑桩存在的上述缺点和问题,采用预应力锚索抗滑桩对一些滑体厚度大的大中型及特大型滑坡进行整治,并获得成功。此外,由于滑坡推力较大,采用单一的锚索抗滑桩不能支挡,故在坡面增设框架梁锚索加固,在滑坡的上半部分采用中空注浆锚杆进行封顶注浆加固处理。

开肩堡滑坡位于贵州省崇遵高速公路第七合同段开肩堡隧道进口拉槽段与开肩堡大桥之间左侧山体位置,里程桩号 K39+150~K39+305.23,滑体厚度约 30 m,滑体体积约 50 万 m³,属深层巨型滑坡。路基边坡覆盖层主要由碎石土、块石土、亚黏土夹碎石组成,厚 1~5 m。基岩为志留系中统韩家店组(S2h)浅黄褐色、深灰色泥岩及钙质泥岩。经地质调绘及钻探结果表明,测区有一条走向与路轴线近于正交的北西向平移逆断层通过,断层产状 60°~65°~70°,受断

层影响,区内岩石节理、裂隙发育,边坡岩体破碎。岩层呈单斜产出,产状 310°~40°,岩层倾向路基。由于路基施工切割坡脚土体,造成山体临空,形成边坡蠕动变形失稳。此外,根据详细地质勘察,滑动面下岩体倾角零乱,基岩不完整,为潜在蠕滑变形区,目前处于临界变形稳定状态,需对上部已滑坡体进行治理。

2 滑坡形成机理分析及参数选取

通过对场区的地质调绘发现,该滑区地质条件复杂,K39+150~K39+305.23 左侧山体在地质历史时期有过多次蠕滑变形,公路施工开挖前已趋于稳定,但由于该路段路基开挖,于轴线左侧 12 m 左右形成临空面,诱发了山体新的滑动,于路基左 110~120 m 处地表土体因拉裂形成多条环状裂缝。单条长 30~70 m,宽约 5~180 cm,深 0.5~3 m,与路线大致平行。现场调绘发现,裂缝多为蠕滑变形拉裂,证明该山体有继续下滑的趋势。如图 1、图 2 所示。

目前由于公路开挖、切脚临空,在滑坡体中、上部已出现多条拉裂缝,需即时进行治理,治理的重点在于支挡锚固滑坡的剩余下滑力,并提高滑动带的抗剪指标。蠕滑变形区的坡体综合指标为:蠕滑变形区(I区):重度 $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$, $c = 10 \text{ kPa}$, $\varphi = 16.7^\circ$, $[\sigma] = 0.4 \text{ MPa}$;蠕滑变形区(II区):重度 $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$, $c = 10 \text{ kPa}$, $\varphi = 21.8^\circ$, $[\sigma] = 0.4 \text{ MPa}$ 。滑坡典型地质横断面如图 3 所示。

^{*} 收稿日期: 2007-08-20

作者简介: 王瑞甫(1978-), 硕士, 研究方向: 路基及边坡工程。E-mail: sy_wrf@sohu.com



图 1 开肩堡滑坡全景图



图 2 滑坡后缘开裂大样图

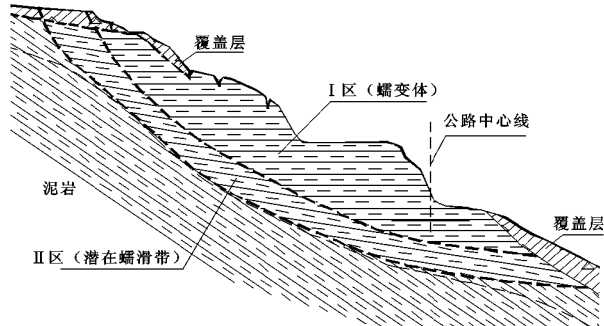


图 3 滑坡典型横断面工程地质图

3 滑坡剩余下滑力计算及治理方案综合分析

根据路基开挖的实际情况, 目前边坡下滑推力, 主要来自 I 区中上部变形岩体, 岩土参数为: 重度 $\gamma=26\text{ kN/m}^3$,

表 1 各种组合下滑坡剩余下滑力计算表 kN/m

不同悬臂 高度/m	桩顶以上: 下四级放缓为 1: 1, 平台宽 4 m; 上三级放缓为 1: 1.5, 平台宽 2 m	桩顶以上: 下四级放缓为 1: 1.25, 平台宽 4 m; 上三级放缓为 1: 1.5, 平台宽 2 m	桩顶以上: 下四级放缓为 1: 1.5, 平台宽 4 m; 上三级放缓为 1: 1.5, 平台宽 2 m
1	5095.1	2374.7	1084.7
2	5588.8	2747.0	1350.1
3	6090.5	3123.2	1639.3
4	6602.0	3521.7	1956.5
5	7123.3	3936.1	2302.8
6	7654.5	4366.2	2672.8
7	8197.1	4812.2	3049.5
8	8747.3	5280.1	3450.8
9	9304.2	5755.6	3860.8
10	9867.7	6236.4	4279.5

3.2 滑坡综合治理方案

本设计采用清方减载、锚索抗滑桩支撑、框架梁锚索锚固、中空注浆锚杆封面锚固措施对滑坡进行综合治理设计, 抗滑桩在本滑坡中承担 $F_1=1\,600\text{ kN/m}$, 坡面框架梁锚索承担 $F_2=1\,072.8\text{ kN/m}$ 。

(1) 清方减载。根据计算, 滑坡剩余下滑力大, 故设计采用放缓边坡至 1: 1.5, 共清方 $154\,940\text{ m}^3$ 。

(2) 锚索抗滑桩设计。抗滑桩嵌固段为土层, 计算中采用 m 法, 根据岩石的完好程度, 按 $m=10\text{ MN/m}^4$, 典型断面

$c=10\text{ kPa}$, $\varphi=16.7^\circ$ 。经过对原始自然坡面按现在滑动面进行拟合, 反算滑面的 c 、 φ 值, 得滑面抗剪强度计算指标如下:

$$c'=11.8\text{ kPa}, \varphi'=18.68^\circ.$$

3.1 各种组合下的治理方案比较

由于滑坡剩余下滑力较大, 故设计考虑采取多种组合治理滑坡的优化比选。设计将边坡放缓, 抗滑桩悬出路基左边缘。根据不同悬臂长度(1~10 m)、不同的边坡坡率(抗滑桩桩顶以上第 1~4 级边坡按 1: 1, 1: 1.25 及 1: 1.5,) 进行验算, 下四级边坡平台均宽 4 m, 上三级边坡平台均宽 2 m。计算结果见表 1。

根据以上计算的结果, 按照“悬臂尽量长、减少清方”的原则, 决定采用“悬臂 6 m, 桩顶以第一至四级放缓为 1: 1.5, 平台宽 4 m; 第五至七级放缓为 1: 1.5, 平台宽 2 m”的方案进行设计, 滑坡的剩余下滑力按 $F=2\,672.8\text{ kN/m}$ 计。

处抗滑桩桩长取 $L=17\text{ m}$, 截面尺寸为 $3\text{ m}\times 4\text{ m}$, 桩间距 7 m。根据下滑力计算得抗滑桩截面受力主筋应配 97 根 $\Phi 32$ 螺纹钢。每根抗滑桩桩顶加设 3 根预应力锚索。抗滑桩与抗滑桩之间采用浆砌片石桩间墙进行防护。

(3) 框架梁预应力锚索设计。根据剩余下滑力的的大小, 设置锚索横向间距 4 m, 竖向正投影间距 5 m。预应力锚索预应力钢绞线采用美国标准 ASTM A416-94 生产, 屈服比大于 90%, 标准 270 级 $7\Phi 15.24\text{ mm}$, $f_{ptk}=1\,860\text{ MPa}$, 锚固段长度为 10 m, 自由段长度根据试验及具体地质资料确

定, 钻孔倾角为 25°, 钻孔孔径 mm, 锚索孔内自孔底一次性压满 M 35 水泥砂浆, 注浆压力 ≥ 0.35 MPa, 每束锚索设计施加拉力为 1 000 kN。框架梁之间采用植草绿化防护。

(4) 高边坡自身稳定性验算。本设计开肩堡滑坡高边坡由于岩石风化破碎严重, 地表水的渗入易产生次生滑动面, 为防止边坡从半坡剪出的情况, 本设计中作了一个假定: 岩土体为均质、各向同性、弹性半无限体。

边坡稳定性分析方法采用经典土力学中的 Fellenius 法。假设条件: 滑动面为圆弧形, 作用于各条块侧面上的作用力的合力方向平行于条块底面, 且大小相等, 也就是不考虑条块间的作用力。力学分析中只考虑滑体重量作用于滑面上的抗剪力对滑动圆弧中心 O 的力矩平衡。

根据清方后的地面线进行反算, 得到开挖边坡自稳安全系数 $K_0 = 0.895$ 。为防止坡面被水侵蚀及风化, 提高坡体力学强度, 增强上部边坡整体稳定性, 以防滑坡出现上部剪出, 在抗滑桩桩顶以上第 5、6、7 级边坡按 1: 1.5 放缓, 坡面采用中空锚杆挂网喷射混凝土进行防护。中空注浆锚杆采用 $\varnothing 25$ 长 12 m, 150×150 菱形布置。经计算得边坡稳定安全系数 $K = 1.371$, 满足相关要求。

(5) 截水沟设计。在边坡坡口线外侧 5 m 设置环形截水

沟, 以阻断来自自然坡面的水流入边坡。

4 结 论

本滑坡为高速公路深路堑边坡永久性支护, 考虑到该工程的重要性及场区内地质条件的复杂性, 必须对滑坡做施工期监测及公路运营期的长期监测。对该滑坡治理采用清方减载、锚索抗滑桩支撑、坡面框架梁锚索锚固以及中空注浆锚杆封顶的综合处治措施进行治理。在工程建设中注重对地质条件的研究, 认真分析滑坡的形成机理及受力模式, 把握治理原则, 选择合理的工程措施。该滑坡在治理 2 a 后, 稳定性好, 可在其它类似的滑坡治理中进行推广。

参考文献:

[1] 工程地质手册(3 版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社. 1992.

[2] 工程地质手册(4 版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社. 2007.

[3] 梁炯望. 锚固与注浆技术手册[M]. 北京: 中国电力出版社. 1999.

[4] 赵明阶. 边坡工程处治技术[M]. 北京: 人民交通出版社. 2003.

(上接第 230 页)

参考文献:

[1] 刘效瑞, 伍克俊, 王景才, 等. 土壤保水剂对农作物的增产增收效果[J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(2): 32-35.

[2] 汪立刚, 武继承, 王林娟. 保水剂有效使用的土壤水分条件及对小麦的增产效果[J]. 土壤, 2003, 35(1): 80-82.

[3] 尹艳, 余红英, 尹国强, 等. 大田超甜玉米施用保水剂效应研究[J]. 湖北农业科学, 2004(5): 46-48.

[4] 黄占斌, 万会娥, 邓西平, 等. 保水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应[J]. 水土保持学报, 1999, 5(4): 52-55.

[5] 赵永贵. 保水剂的开发及应用进展[J]. 中国水土保持, 1995(5): 52-54.

[6] 蔡典雄, 王小彬, Keith Saxton. 土壤保水剂对土壤持水特性及作物出苗的影响[J]. 土壤肥料, 1999(1): 13-16.

[7] Woodhouse J, Johnson M S. Effect of super absorbent polymers on survival and growth of crop seedling[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1990, 35: 1196-1200.

[8] Ingram D L, Yeager T H. Effects of irrigation frequency and a water- absorbing polymer amendment on Ligustrum growth and moisture retention by a containr er medium[J]. Journal of Environmental Horticulture, 1987, 5: 19-21.

[9] 肖海华, 张毅功, 方 正等. 不同保水剂对基质保水性和黄瓜幼苗生长的影响[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(3): 45-48.

[10] 芦海宁, 韩烈保, 苏德荣. 保水剂在草坪中的应用研究进展[J]. 节水灌溉, 2005(1): 14-17.

[11] 杜建军, 廖宗文, 冯 新, 等. 高吸水性树脂在赤红壤及砖红壤上的保水保肥效果研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 137-140.

[12] Norton L D. Stopping erosion with gypsum and PAM[J]. Agricultural Research, 1997, 45(9): 18-20.

[13] Trout T J, Sojka R E, Lentz R D. Polyacrylamide effect on furrow erosion and infiltration[J]. American Society of Agricultural Engineer, 1995, 38(3): 761-765.

[14] Taylor K C, Halfacre R G. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrition avail ability to Ligustrum lucidum[J]. Horticultural Sci ence, 1986, 21(5): 1159-1161.

[15] 杜建军, 王新爱, 廖宗文, 等. 不同肥料对高吸水性树脂吸水倍率的影响及养分吸持研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 27-31.

[16] 李永胜, 杜建军, 谢勇, 等. 聚丙烯酰胺型保水剂对基质持水性和菜心生长的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 402-404.

[17] 李永胜, 杜建军, 刘士哲, 等. 保水剂对番茄生长及水分利用效率的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(1): 140-144.

[18] 李永胜, 杜建军, 谢勇, 等. 保水剂对基质持水保肥力及番茄生长的影响[J]. 长江蔬菜, 2006(8): 57-58.

[19] 连兆煌. 无土栽培原理与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 59.

[20] 刘士哲. 现代实用无土栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 151-153.

[21] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 136.