

桂柳高速公路石城坪滑坡工程地质特征及治理评价

陈学军,唐辉明

(中国地质大学工程学院,湖北武汉 430074)

摘要: 针对广西第一条高速公路上的第一大滑坡——石城坪滑坡的两次治理所取得的不同效果进行了系统研究,目的在于找出失败的原因和教训,总结成功的经验,供同类工程借鉴。从地质、形态、变形、结构4个不同角度入手,阐述了石城坪滑坡的基本特征,在此基础上,对前、后两次治理方案进行了分析和对比,认为石城坪滑坡由新、老滑坡体组成,新滑坡是由于老滑坡效应和因修路开挖坡脚和降水诱发所致,边坡变形主要是由于对老滑坡认识不足,造成原治理设计方案不合理所致,确切地说,主要是由于桩长不足和削坡不当引起。后期治理在充分利用原有抗滑桩水平承载力的基础上,进一步采用削坡减载、排水及少量锚固桩综合治理方案,在新桩之间及新老桩之间设钢筋砼水平系梁相互连接,构成门型桩,既提高了边坡整体稳定性,又节省了治理费用约230万元,经过4年时间的风雨检验,证实后期治理取得了圆满的效果。

关键词: 工程地质;治理;滑坡;抗滑桩。

中图分类号: U416.1⁺63

文献标识码: A

文章编号: 1000—2383(2001)04—0381—04

作者简介: 陈学军(1961—),男,博士研究生,副教授,主要从事岩土工程的教学与研究工作。

1 工程概况

桂柳高速公路正线全长138.5 km,是广西兴建的第一条高速公路,是连接桂林和柳州的交通要道,是广西公路出海大通道的主要组成部分。由于该路所经地段为桂北低山丘陵山区,公路沿线发育大量的滑坡,成为该路段主要地质灾害。石城坪滑坡位于K250+810至K250+035段,全长225 m,是该路滑坡中最大的一个,原设计在该路段坡角仅按一般情况采用挡土墙护坡,1996年3月雨季开始边坡发生严重变形致使路面隆起,挡土墙破坏,在滑坡尚未稳定的情况下,工程监理部采取了削坡和沿线设置抗滑桩的抢险措施,首次处理设置了直径2 m的钢筋砼抗滑桩46根、桩距5 m,平均桩长17.37 m,耗资200余万元。施工过程中变形不断发展,至1996年11月,桩顶位移量最大达30 cm。

针对工程的具体情况,再次采取削坡、排水、增加抗滑桩的综合治理措施,在充分利用原有抗滑桩水平承载力的基础上,以削方为主,对主滑面上抗滑力不足的桩再作适当的加桩处理。经核算,确定滑体

削方8万m³,加设抗滑桩6根,同时对削坡后的滑体表面采取了浆砌片石及三合土护坡等措施,以使该滑体保持稳定。

2 滑坡基本特征

2.1 地质特征

该段边坡为逆向坡,因公路开挖使边坡总体上为上下陡、中部缓,陡段平均坡角28°~35°,缓段平均坡角12°~18°,相对高差约90 m,边坡由泥盆系信都组(D₂x)砂岩、泥页岩和第四系(Q)堆积物组成,表层为第四系的残坡积物及滑坡堆积物,厚3~20 m。泥盆系砂岩分布于边坡上部及顶部,厚5~20 m,中下部为泥页岩,厚度大于35 m。区内构造裂隙较发育,主要有NNE和NNW两组,倾角70°~80°,岩层倾向NWW,倾角30°~35°。

2.2 形态特征

该滑坡由老滑坡和新滑坡组成,新滑坡是老滑坡的部分复活。老滑坡特征明显,其地形地貌上存在明显圈椅状,两侧有双沟同源特征,有清晰的滑坡后壁,中部有滑坡平台,中下部削坡后揭露一层砂岩,

表 1 滑坡物理力学性质指标

Table 1 Indexes of physical and mechanical properties on landslide

指标	$\omega(\text{H}_2\text{O})/\%$	湿密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	孔隙比	塑性指数	液性指数	抗剪强度指标					
						原状土饱和快剪		原状土多次剪		重塑土多次剪	
						c/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$	c/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$	c/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$
滑带	12~48	1.74~2.13	0.86~1.34	9~19	0.00~1.11	18.0	28.4	12.5	20.7	10	2.8
滑床	25.9	1.94	0.79			38.8	24.1	20.6	22.6	8	21.5

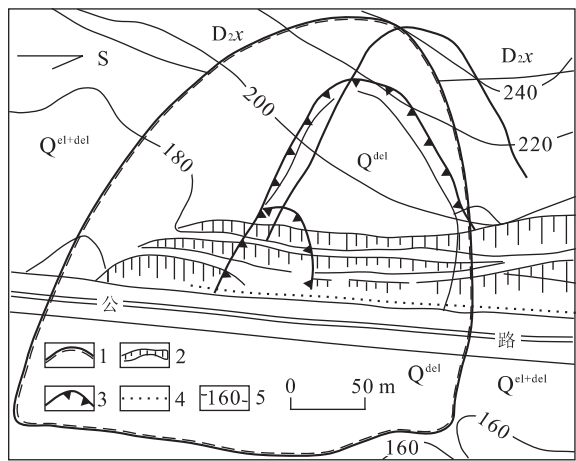


图 1 滑坡工程地质图

Fig. 1 Geological engineering map of landslide

1. 老滑坡; 2. 削坡线; 3. 新滑坡; 4. 抗滑桩; 5. 等高线/m; Q^{del}. 滑坡堆积物; Q^{el+del}. 残坡堆积物; D_{2x}. 中泥盆统

与山坡顶部砂岩特征基本相同,但产状紊乱多变,与外围明显不一致,坡脚沟谷处地下水呈线状渗出,为老滑坡剪出口^[1](见图 1)。

由图 1 可见,老滑坡平面上为马蹄形,周界较明显,南侧周界近东西向,北侧周界为北东向,后缘高程约为 240 m,由一系列弧形陡坎包围,前缘在坡脚沟谷处,高程为 144 m,相对高差约 100 m,主滑方向 NWW,轴向长约 280 m,横向宽约 250 m,分布面积约 0.07 km²,滑体厚 1.60~26.40 m,总体积约 50~60 万 m³。新滑坡平面上为喇叭型,周界很明显,由一系列弧形裂缝包围,后缘高程约 210 m,前缘剪出口在公路路面以下,主滑方向向西,轴长约 130 m,南北宽约 150 m,总面积约 0.02 km²,滑体厚 6.50~26.40 m,总体积约 25~30 万 m³。

2.3 变形特征

该地段路基 1993 年底开挖,1996 年初出现明显变形,同年 3 月,局部地段路面隆起高达 2~3 m,挡土墙局部抬起 0.3~0.5 m,往外推移 0.2~0.5 m,边坡上部 200 m 平台后缘出现弧形张裂缝,裂缝长度大于 200 m,宽 0.1~0.2 m,位移 0.1~

0.6 m,引起地表排水沟拉裂破坏,两侧出现张裂缝。为此而紧急采取削坡和抗滑桩等加固措施。施工结束后,12#—43# 桩后出现裂缝,裂缝宽 0.02~0.25 m 不等,桩体整体向 NW 方向位移,最大水平位移达 0.3 m,一般位移量 0.05~0.15 m。对桩质量检测,桩身质量完好,说明桩是整体偏转。

2.4 结构特征

滑坡体从上到下主要由残坡积碎石土、风化粉砂岩和强风化泥页岩组成,碎石土、风化砂岩裂隙发育,呈碎块状,透水性好;具有明显的二元结构,表层为残坡积土及碎石土,结构松散,厚 3.0~8.5 m,下层为碎裂岩,层理尚清晰,裂隙很发育,产状紊乱多变,局部反倾,厚 6.5~20.0 m。滑带土主要为全风化页岩形成的残坡积粘土组成;滑面埋深 6.5~26.4 m,整个滑动面呈勺型,上陡下缓。陡段倾角约为 25°~35°,缓段倾角为 0°~10°。滑床主要由强风化页岩组成。滑坡物理力学性质指标见表 1。

3 治理评价

3.1 原治理效果评价

3.1.1 判断错误 该段在线路勘查时没有发现老滑坡的存在,整个治理方案是按一般边坡进行稳定性加固,直到 1997 年 11 月抢险工程完成后,在边坡继续变形的情况下,仍对该滑坡特征存在极大争议。实际上,该边坡存在明显的老滑坡地貌景观,但未引起足够的重视。后经补充勘察成果证实,该边坡确实存在老滑坡,新滑坡是老滑坡的部分复活,是路基开挖作用诱发所致。而老滑坡的稳定性极差,基本处于极限平衡状态。由于对老滑坡判断错误,造成了原治理方案上存在一系列问题,使原治理达不到应有的效果。

3.1.2 削坡不当 在没有查清滑坡基本特征的情况下,匆忙进行削坡,而公路又正好从老滑坡抗滑段通过,路基开挖老滑坡下部抗滑段(图 2),使滑坡的抗滑力减少,降低了边坡的稳定性,促使边坡进一步

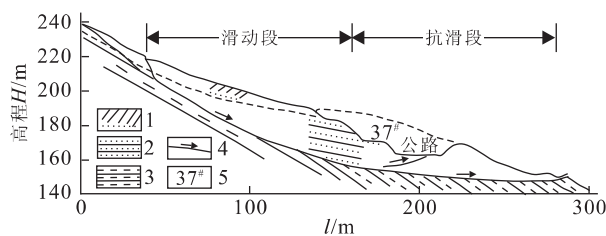


图2 滑坡地质剖面

Fig. 2 Geological section on landslide

1. 碎石土; 2. 碎裂砂岩; 3. 泥页岩; 4. 滑动面; 5. 抗滑桩

变形破坏。计算表明,路基开挖后,抗滑力减少约 360 kN/m,路堑处土体极限破坏强度降低大约 600 kN/m,加之 1996 年 3 月降雨量丰富,月降雨量达 384 mm,而在此之前的 1995 年 11 月—1996 年 2 月月平均降雨量不到 40 mm,岩土体一直处于半干燥状态,遇水后水岩作用更强烈,从而诱发老滑坡复活,产生新滑坡。据调查,该次削坡过程中发现后缘裂缝持续加大,然后才停止削坡,显然削坡位置不当。

3.1.3 桩体设计不合理 (1)桩长不足。勘察表明: 1#—14# 桩地段不存在整体滑坡,也不存在深层滑动,只是局部产生崩滑,所以桩没有产生变形。15#—40# 桩地段为新滑坡段,43#—46# 桩地段为老滑坡。计算表明,老滑坡稳定系数在 1.00~1.05 之间,属基本稳定。15#—40# 桩地段滑体厚 10~16 m,而大多数桩,仅深入滑床 2~3 m,该滑坡床为全风化的泥页岩,大都风化成土。按《岩土工程勘察手册》^[2] 要求,抗滑桩桩长应深入滑床的长度为桩全长的 1/2~1/3,因此,原抗滑桩桩长显然不足。利用刚性桩计算公式对桩进行验算^[2]:

$$y_0 = \frac{h[2A(3M_0 + 2Q_0h) + mh(4M_0 + 3Q_0h)]}{2[3A(2M_0 + Q_0h) + mh(3M_0 + 2Q_0h)]}$$

$$\varphi = \frac{12[3A(2M_0 + Q_0h) + mh(3M_0 + 2Q_0h)]}{b_p h^3 [6A(A + mh) + m^2 h^2]}$$

式中: y_0 为滑动面至桩身偏转轴心点的深度, m; φ 为桩中心偏转角, ($^\circ$); M_0 为滑坡推力对桩身在滑动面处的力矩, kN·m; Q_0 为滑坡推力对桩身在滑动面处的剪力, kN; h 为桩嵌入滑动面以下的深度, m; b_p 为桩的计算宽度, m; m 为桩侧向地基系数随深度变化的比例系数; A 为滑动面处侧向地基系数, 一般取 $A=0$ 。结果表明,主滑段处桩长明显不足,因而治理效果达不到原设计要求。

(2)桩身强度不够。对桩处的推力计算表明,桩部位的最大剩余推力为 1 000~1 200 kN/m 之间,

桩距为 5 m,则每根桩受力为 5 000~6 000 kN,已达到桩的极限受力。在雨季,由于动、静水压力和孔隙水压力的作用,下滑推力还要大,加上桩长不足,难以承受如此大的推力,必然会产生变形。

(3)桩位靠前。所有的抗滑桩紧靠路旁布设,形成高出路面 6~8 m 的悬臂桩(不考虑挡土墙时)(图 2)。由于桩到坡脚地段为老滑坡的抗滑段,而且老滑坡基本稳定,因此桩前土体可以对桩施加被动土压力作用。但桩前部分已临空,因此被动土压力锐减,计算表明悬臂桩与非悬臂桩被动土压力差近 1 000 kN/m。显然前者对桩的稳定不利。此外由于削坡土方反压在 1#—30# 桩地段坡脚,使其稳定性提高,后期观测也表明 30# 桩以前的桩变形相对比 30# 桩以后的桩要小,稳定性要好些。

3.2 后期治理效果评价

3.2.1 治理方案 (1)削坡减载。滑坡推力计算表明,桩位处的下滑推力较大,约为 1 200~3 800 kN/m,因此有必要进行削坡减载,削坡主要是对 190 m 高程以上的滑体的滑动段进行削减,可采用台阶状削坡,台高 10 m,坡度为 1:1.5,削坡土方量约为 8 万 m^3 ,削下的土反压在坡脚一带。削坡后,滑坡稳定系数可达 1.07~1.37(未考虑抗滑桩时),当安全系数为 1.20 时,滑坡剩余推力最大为 580.7 kN/m(30# 桩)。

(2)排水。该滑坡地下水主要靠降水补给,因此主要考虑坡面排水,即在老滑坡后缘修截水沟。削坡后在平台后缘坡脚处设排水沟,并做好护坡及坡面排水。

(3)加固。削坡后,根据原有桩的施工资料,计算了主滑段上各桩的允许水平承载力,并与各滑动面推力计算相结合作出综合分析,以最终确定加设抗滑桩的位置及数量。当削坡后的计算推力小于或等于桩的允许水平承载力时,不需要加设新的抗滑桩,反之则应加设新的抗滑桩。最终加固方案采用在现有桩后面加一排抗滑桩,共 6 根,桩位距现桩约 5 m,与现有桩构成门型桩,共同起抗滑作用。本工程增设的抗滑桩如图 3 所示。新桩之间及新老桩之间设钢筋砼水平系梁相互连接。

3.2.2 治理效果评价 桂柳高速公路于 1997 年 5 月 1 日正式通车,通车前对滑体和新老抗滑桩进行的现场监测表明,治理后的石城坪滑坡已经稳定,水平位移趋于零。经过四年时间的风雨检验,石城坪滑坡至今安然不动,说明本滑坡工程治理,包括对原有

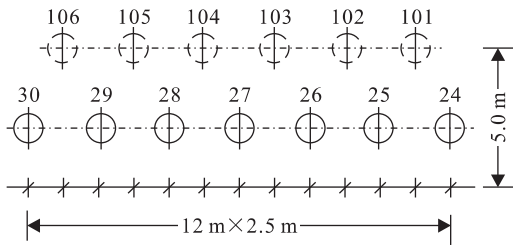


图 3 新增抗滑桩位置

Fig. 3 Sketch of additional slide-resistant piles
24~30 为原有抗滑桩,101~106 为新增设的抗滑桩. 每个桩间距 2.5 m

桩的承载力计算及削坡、新抗滑桩的设计是成功的,达到了预期目的. 而桂柳高速公路上,10 多处已治理过的边坡相继出现了强弱不等的滑动,年均投入边坡治理费用数百万元,几乎每年都出现因滑坡而造成桂柳高速公路行车中断的事件,给人民生命财产安全造成了巨大的损失.

4 结论

(1)老滑坡是典型的岩土组合、边坡结构以及发育的构造裂隙和丰富的水作用产生的. 新滑坡则是由于老滑坡效应和因修路开挖坡脚和降水诱发所致. (2)原抗滑桩的变形是由于对老滑坡认识不足,造成原治理设计方案不合理所致,确切地说,主要是由于桩长不足和削坡不当引起. (3)后期治理在充分利用原有抗滑桩水平承载力的基础上,进一步采用削坡减载、排水及少量锚固桩综合治理方案,新桩之间及新老桩之间设钢筋砼水平系梁相互连接,构成门型桩. 设计合理,取得了满意的效果.

参考文献:

[1] 包惠明. 桂柳一级公路 K250 段边坡变形原因及加固措施[J]. 桂林工学院学报,1997,(2):115—118.
[2] 林宗元. 岩土工程勘察设计手册[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1995. 1729—1740.

ENGINEERING GEOLOGICAL FEATURES AND TREATMENT
EVALUATION OF SHICHENGPING LANDSLIDE
ALONG GUILIN-LIUZHOU EXPRESSWAY

Chen Xuejun, Tang Huiming

(Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The paper systematically studies different effects of the former and later treatments of Shichengping landslide, which is the largest scale landslide along the first expressway in Guangxi, and its intention is to find out the causes leading to the failure of the former treatment and to form successful experience from the later treatment, making it a reference to other similar projects. It discusses the fundamental features of the landslide in geological, morphological, deformational and structural aspects, and analyzes and compares the former and later treatment designs. The result shows that Shichengping landslide is composed of an ancient and newly formed landslides, the formation of the new one caused by the ancient, and that the failure of the original treatment was due to the improper design because of the unawareness of the ancient landslide, more exactly speaking, mainly because of insufficient length of the anti-slide piles and the improper slope cutting. By making full use of the original anti-slide piles, comprehensive measures of slope cutting, water draining, piles stabilizing the later treatment connects the new piles and the new and old piles with horizontal reinforced concrete beams, which enhances the general stability of the slope and reduces the treatment cost by more than two-million yuan, and the result is satisfactory after four years of testing.

Key words: engineering geology; treatment; landslide; anti-slide pile.