

# 330 国道丽缙复线“银场”山体滑坡的治理

李承广

(丽水市公路管理处 丽水 323000)

周再青

(丽水市交通规划设计院 丽水 323000)

〔摘 要〕 文章通过对山体滑坡的成因分析、稳定性验算、滑坡体的推力计算、抗滑桩计算、设计等,介绍整治山体滑坡的技术方案及实施情况。

〔关键词〕 山体滑坡;整治;技术方案

## 1 工程概况

330 国道丽缙复线于 1996 年 7 月开工建设,1997 年底建成,1998 年 1 月投入运行。1998 年 3 月 23 日早晨,330 国道丽缙复线 k5+400 地段(银场村)的后山出现牵引滑坡,下部土体沿圆弧面坍塌,推倒护面墙,土体将整条公路覆盖,交通中断,山体上部出现 15 条地裂缝。交通公路部门接报后,立即组织工程技术人员进场勘察,埋设观测标志观测。该路段为拉沟路堑断面。施工开挖发现 K5+360~K5+420 段为土方,经监理批准上边坡采用 1:1 的坡度,坡脚采用 4 米高浆砌片石护面墙防护;K5+420~K5+500 段拉沟为石方段,但 K5+400~K5+480 段拉沟施工刚完成,上边坡就发生了塌方,后在上边坡顶塌方后裸露的基岩上面砌筑 15 号片石混凝土挡墙阻挡塌方体。该挡墙在滑坡发生后经检查,只发现在原有一条竖直施工缝位置顶部有点外倾变形,墙身未见裂缝。

1998 年 4 月 12 日,通过 20 天的观测,最顶上的 1# 裂缝已累计扩展了 4cm,并下沉了 5cm,有进一步扩展的趋势。经地质勘察探明,本滑坡为土质顺层牵引式滑坡,平面上呈扇形分布,前缘宽度 150 米,后缘为一弧形地裂缝,主轴北西向,水平距离 210 米,沿坡体表面长约 250 余米,前后缘高差 140 米,主滑方向东南 30°,推测滑体总体积 15 万余立方米,该滑坡可分为两个滑段,第一滑段长约 200 米,滑面倾角大约在 30°左右,分 1~5 个滑块,滑体厚度 5~12 米,滑床为强风化~中等风化晶质凝灰岩,滑动体为残坡积层;第二滑段为整个滑坡前缘部份的滑崩体,分 6~7 两个滑块,滑面呈弧形。

各滑块数据见表 1,各滑块稳定验算结果见表 2,各滑块剩余推力见表 3。

表 1 各滑块数据一览表

滑坡段	滑块号	重量 W <sub>i</sub> (kN)	滑面长 L <sub>i</sub> (m)	滑面倾角 (°)	粘聚力 C <sub>i</sub> (kPa)		内摩擦角 φ <sub>i</sub> (°)	
					原土	饱和土	原土	饱和土
第一滑段	1	418	10.1	55	0	0	23	22
	2	5883	57	31	24	15.5	23	22
	3	7649.4	73.2	34	24	15.5	23	22
	4	8429.9	56.4	39	21	15.5	27	22
	5	2817.2	15.6	17	21	15.5	27	22
第二滑段	6	656.6	21.6	45	10	10	17.5	17.5
	7	898.2	14.8	24	10	10	17.5	17.5

表 2 各滑块稳定验算结果一览表

滑块号	第一滑段稳定结果一览表	
	原土	饱和
K1	0.3	0.29
K1-2	1.1	0.92
K1-3	1.07	0.89
K1-4	0.98	0.80
K1-5	1.07	0.86
	第二滑段稳定结果一览表	
	原土	饱和
K6	0.79	0.79
K6-7	0.95	0.95

表 3 各滑块剩余推力计算一览表

滑块号	安全系数	第一滑段剩余推力(kN)	
		原土	饱和
P2		292	296.9
P1-2		180.88	773.72
P1-3		655.09	2011.34
P1-4	1.15	2260.13	4654.31
P1-5		911.07	3227.9
		第二滑段剩余推力(kN)	
		原土	饱和
P6			171.54
P6-7			15.2
		第一、二滑段剩余推力(kN)	
		原土	饱和
P1		309.12	
P1-2		343.77	
P1-3		1035.26	
P1-4	1.2	2920.99	
P1-5		1438.85	
P6			194.75
P6-7			189.69

## 2 治理设计

2.1 在滑坡体顶部范围以外5米,设环形截水沟,断面采用混凝土预制铺砌,山体裂缝用粘土填筑、夯实,防止地表水侵入滑坡体。

2.2 在滑坡体表面,设树枝状排水沟,在滑坡体范围以外两侧设排水沟,使表面雨水迅速汇集排出滑坡体外,流入自然沟系。排水沟断面周边也用混凝土预制板铺砌。

2.3 在第四段下缘进行局部卸载,降低临空面高度,减小表面坡率,减轻滑坡体重量,从而减少计算下滑力。

2.4 在第四段滑块下部,设两排钢筋(加轻轨)混凝土抗滑桩,桩径2米,桩间距2倍桩径左右,桩身穿过中风化层,嵌入微风化层2米左右,桩顶部采用1.5×1.0米系梁连接成整体,加大抗滑桩的整体刚度。

2.5 在第二滑段沿圆弧滑动体周边设截水盲沟,在滑动体内设两道集排水盲沟,拦截和排除地下水,使滑动体疏干固结,提高其自身的抗滑能力。

2.6 在公路左边边沟外侧,滑动体前缘靠雨水端(K5+340~K5+415)设4米高的片石混凝土抗滑挡墙,挡墙上方为防止滑动体产生泥石流,采用浆砌块石护坡防护。

2.7 在K5+415~K5+440段为防止上边坡表面松散岩石滚到公路,影响行车安全,采用片石混凝土挡墙阻挡,基础采用在原岩石边坡打砂浆锚杆,再浇片石混凝土的方法。

2.8 在第二滑段表面种植香根草,防止水土流失。

## 3 抗滑桩计算

初步拟定采用10根2米直径钢筋混凝土抗滑桩,分上下两排布置在第4滑块下缘,抗滑桩间距为两倍桩径,桩身采用C20混凝土,主筋采用Ⅱ级钢筋和30#轻轨;根据地质部门提供的资料,饱和状态第4滑块的累计剩余推力为4654.3kN,滑坡体厚度12米左右,滑床为中风化凝灰岩,倾角39°,基岩单轴极限抗压强度130MPa。

### 3.1 确定抗滑桩尖嵌固深度 $h_2$

单桩在滑动面处承受的剪力  $Q = 4654.3 \times 2.7 \times \cos 39^\circ = 9766 \text{ kN}$

单桩在滑动面处承受的弯矩  $M_H = 9766 \times 12 \div 2 = 58596 \text{ kN} \cdot \text{m}$

按《公路桥涵地基与基础设计规范》第4.3.5条

$$h_2 = \sqrt{\frac{M_H}{0.066 \beta R_a D}} = \sqrt{\frac{58596}{0.066 \times 0.8 \times 1.3 \times 100000 \times 2}} = 2 \text{ m}$$

即抗滑桩尖应嵌入微风化岩层2m,按以往工程经验抗滑桩应嵌入滑动面以下10m,即  $h_2 = 10 \text{ m}$ 。

### 3.2 桩身对围岩侧向压力验算(按K法)

桩的抗弯刚度:  $EI = 2.6 \times 10^4 \times \frac{\pi}{64} 2^4 = 2.04 \times 10^7 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$

$$\text{桩的变形系数: } \beta = \left( \frac{K_H \times B_P}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}} = \left( \frac{2.5 \times 1000000 \times 2.7}{4 \times 2.04 \times 10^7} \right)^{\frac{1}{4}} = 0.54 \text{ m}^{-1}$$

由  $R_a = 130 \text{ MPa}$  查《路基设计手册》表2-4-9,  $K_H = 2.5 \times 10^6 \text{ kN/m}^3$   $\beta h_2 = 10 \times 0.54 = 5.4 > 1.0$  所以抗滑桩属弹性桩,考虑桩底为固定端,边界条件由《路基设计手册》式(2-4-61)和(2-2-60)联立查附2得:  $M_0 = 2.9 \times 10^4 \text{ kPa}$ (滑动面处)。

$M_{\max} = 6.5 \times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (滑动面下1.5m处)。

按《路基设计手册》式(2-4-27):

$K_1 \cdot K_2 \cdot R_0 = 0.7 \times 0.4 \times 1.3 \times 10^5 = 3.6 \times 10^4 \text{ kPa} > 2.9 \times 10^4 \text{ kPa}$  满足要求。

### 3.3 桩身配筋设计

$N = 4654.3 \times 2.7 \times \sin 39^\circ + 13.5 \times \pi \times 1^2 \times 25 = 8968.7 \text{ kN}$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{65000}{8968.7} = 7.25 \text{ m}$$

按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》式(4.1.18-2和附3.2)得:

$$\left\{ \begin{array}{l} Ne_0 \leq \frac{\gamma_B Br^3 R_a}{\gamma_C} + \frac{\gamma_B D \mu g r^3 R_g}{\gamma_s} \\ \mu = \frac{R_a}{R_g} \cdot \frac{Br - Ae_0}{Ce_0 - Dgr} \end{array} \right\}$$

查附表3.2得:

$\xi = 0.37$   $\mu = 0.3736$  刚好满足式(4.1.18-2)

$$A_g = \mu \pi r^2 = 0.03736 \times \pi \times 100^2 = 1174 \text{ cm}^2$$

采用30根 $\phi 32$ 的螺纹钢筋加25根30号轻轨体组成钢筋笼。

$$A_g = 30 \times 8.042 + 25 \times 38.32 = 1199.26 \text{ cm}^2$$

## 4 抗滑挡墙计算

根据地质部门提供的资料,第二滑段的剩余推

力 189.7kN,滑动面倾角  $24^\circ$ ,假定下滑力作用方向与滑动面一致;整个抗滑挡墙采用 C15 片石混凝土现浇,容量取  $24\text{kN/m}^3$ ;地基容许承载力取  $200\text{kPa}$ ,基底采用抗滑齿,摩擦系数取 0.25。

$$4.1 \text{ 抗倾覆 } K_0 = \frac{WZ_w + E_y Z_y}{E_x Z_x} \\ = \frac{264 \times 2.12 + 189.7 \times \sin 24^\circ \times 3.2}{189.7 \times \cos 24^\circ \times 2.5} = 1.86 > 1.5$$

满足要求

$$4.2 \text{ 抗滑 } K_c = \frac{(W + E_y) f}{E_x} \\ = \frac{0.25(264 + 189.7 \sin 24^\circ) + 200 \times 0.5 \times 2}{189.7 \times \cos 24^\circ} = 1.6 >$$

1.3 满足要求。(这里地基土的抗剪强度取承载力的 0.5 倍)

#### 4.3 地基承载力验算

$$\sigma_{\max} = \frac{\sum M}{W} + \frac{\sum N}{A} = \frac{264 + 77.2i}{3.4 \times 1} + \\ \frac{173.3 \times 2.5 - 264 \times 1.28 - 77.2 \times 0.2}{3.4} = 124\text{kPa} <$$

$200\text{kPa}$  满足要求

### 5 治理实施情况

5.1 第一期工程于 98 年 4 月至 6 日组织实施。主要工程为:土方卸载  $5001\text{m}^3$ ,树状排水沟系  $1322.00\text{m}$ (其中:主排水沟  $508\text{m}$ ,截水沟  $125\text{m}$ ,截水盲沟  $120\text{m}$ ,集排水盲沟  $43\text{m}$ );清理塌方  $10002\text{m}^3$ ;片石混凝土抗滑挡墙: $653.00\text{m}^3$ ;裂缝填筑 12 条计  $1800\text{m}$ 。

5.2 第二期工程 98 年 11 月 15 日至 99 年 7 月 15 日实施。主要工程为:抗滑桩 10 根,根据实际地质情况,桩长进行了调整,最深为  $27.7\text{m}$ ,最浅为  $20.8\text{m}$ ,平均深  $24.94\text{m}$ ,共计  $249.4\text{m}$ ;施工时采用了人工间隔挖孔,防止破坏滑动体的整体性,在第二滑段种植采用了人工间隔挖孔,防止破坏滑动体的整体性,在第二滑段种植香根草 25000 株。

5.3 每三期工程于 99 年 8 月 15 日至 99 年 11 月 15 日实施。主要工程为:片石混凝土高挡墙: $817\text{m}^3$ ;浆砌块石护坡: $314.2\text{m}^3$ 。

### 6 治理效果

6.1 从公路部门对裂缝的长期观察记录显示,滑坡发生的初始阶段,各裂缝变形较大,一期工程实施后,裂缝变形较缓,基本趋向稳定,二期工程实施后,除 6# 裂缝微小变形外,其余裂缝均未发现扩展,2000 年 9 月 7 日至今所有裂缝均未发现进一步的扩展现象。

6.2 6# 裂缝,位于抗滑桩上方 40 米处的巨型孤岩中,该岩石为  $15 \times 15$  米左右的多边形,凸出部分露出坡面 3.5 米,岩石竖直嵌入滑坡体约 10 米,滑坡治理前岩体有明显下移现象,岩体四周有条裂缝,其中最宽的一条裂缝有  $20\text{cm}$ ,缝深有 6 米多,观测结果发现,治理工程全部完工后,该裂缝在 1999 年 7 月 20 日至 2000 年 9 月 7 日有  $0.6\text{cm}$  扩展,2000 年 9 月 7 日至今,该裂缝未发现进一步的扩展现象。

6.3 自 1999 年 11 月第三期治理工程完成至今,经过 4 个雨季和多次台风暴雨考验,该滑坡体没有再出现地裂缝、泥石流及塌方等现象,各种防护设施均完好无损。

6.4 2001 年 11 月,经国内滑坡体治理专家会审,认为 330 国道“银场”滑坡体的治理效果已基本达到。

### 参考文献

- [1] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范.北京:人民交通出版社,1985.
- [2] 公路桥涵地基与基础设计规范.北京:人民交通出版社,1985.
- [3] 公路工程技术标准.北京:人民交通出版社,1998.
- [4] 路基设计手册.北京:人民交通出版社,1996

收稿日期:2003-10-12

(上接第 13 页)

### 4 不同处理方法的比较

一般认为调整室内所测得的最大干密度(B 法)优于调整现场所测得的干密度法(A 法),因为 B 法是用现场所测得的全部材料的干密度与调整后的材料最大干密度相比,而 A 法只是反应合适尺寸颗粒所达到的压实程度,不能反映施工现场的真实密度。不过 A 法在对有渗透性要求时的路堤和

在均匀细粒土中偶尔有少数超尺寸颗粒情况下是比较适用的。

在实际应用时,可根据不同的材料来确定采用哪种方法处理。并认为,考虑超尺寸颗粒对合适尺寸颗粒干密度有影响作用的最大干密度调整式(5)是较符合实际的。

收稿日期:2003-08-20