

赤羌坪滑坡稳定性分析及防治措施建议

付 强¹ 孙 婵²

(1. 深圳地质建设工程公司环境地质研究所, 广东 深圳 518019;
2. 长江水利委员会长江科学院仪器自动化研究所, 湖北 武汉 430010)

摘要 赤羌坪滑坡是粤西的重要滑坡, 其稳定性直接关系到大埔县双溪村的安全。分析了赤羌坪滑坡的形成条件, 着重对滑坡在多种工况下采用剩余推力传递法进行了稳定性计算和比较, 结果表明, 降雨及地下水是滑坡稳定性的重要影响因素, 边坡仍然在缓慢变形之中, 目前仍处于欠稳定状态, 滑坡随时有继续滑动破坏的可能, 一旦失稳, 直接危及村庄及公路, 可能造成不可估量的损失。因此, 对其进行稳定性分析及防治对策研究极为重要。

关键词 滑坡稳定性; 剩余推力传递法; 抗滑桩; 排水工程; 赤羌坪滑坡

中图分类号: P642.22 文献标识码: B 文章编号: 1006-7647(2007)S2-0129-03

1 滑坡基本特征和工程地质条件

赤羌坪滑坡是位于广东省大埔县双溪村梅潭河右岸、特大的老滑坡复活型滑坡。赤羌坪滑坡平面形态呈上宽下窄的口袋状, 滑坡长 270 m, 滑坡宽 255 m, 滑坡主轴方向 215°, 滑坡地貌特征明显, 滑坡后壁近于直立, 高为 3~8 m, 滑坡周界清晰。滑坡后缘高程在 210~220 m 之间, 滑坡前缘高程为 140 m 左右, 滑坡前、后缘相对高差在 70~80 m 之间。滑坡面积为 56267 m², 规模为 108 万 m³。滑坡纵断面为上陡、下缓, 中部趋于水平状, 从地形上看, 滑坡发育有两级台阶, 两级台阶高程分别在 170~180 m 和 190~200 m 之间(图 1)。滑动面形态与滑坡地表地貌形态基本一致, 滑动面后部为 60°左右, 中、前部平均为 10°左右。滑坡体厚度在 12~23 m 之间, 平均厚度 18 m 左右。

滑坡区出露的地层主要有: 滑床基岩为三叠系下统四望嶂组砂岩、砂质页岩和泥灰岩互层, 整体产状为 120°~145°∠8°~15°; 地表分布第四系残坡积层(Q₄^{cl})。滑坡地段在构造上位于双溪龙公坑背斜南侧, 有北西向断裂之梅子坪断裂(F₅)从滑坡附近通过。梅子坪断裂走向北西, 倾向北东, 倾角 63°左右, 延伸约 35 km, 切断了二叠系、侏罗系。断裂从赤羌坪滑坡附近通过, 虽未直接穿过滑坡区, 但滑坡处于断层及褶皱发育区域, 节理裂隙密集, 岩石结构破碎, 易风化, 使岩土体强度降低。滑坡的滑动面为覆

盖层与下伏基岩的结合面。

勘探资料表明, 组成滑坡体的物质主要有: 上部为第四系坡积层之块碎石夹黏土, 厚 11.8~13.2 m; 坡积层之下为三叠系下统四望嶂组砂岩、砂质页岩和泥灰岩互层, 整体产状为 120°~145°∠8°~15°。滑坡床基岩以粉砂岩为主, 夹少量砂质页岩和泥灰岩。钻孔岩芯中, 在近滑床附近局部可见擦痕和镜面。滑动带土厚 1.5~2.1 m, 滑带土为粉质黏土, 含大量碎石块, 棕黄色, 呈可塑状, 碎石含量约为 30%, 砾径 3~10 cm, 块碎石呈棱角状、次棱角状, 个别碎石已见磨圆, 有明显擦痕。降雨时大量的地表水汇流进入滑坡体内沿裂缝下渗, 降雨长时入渗形成地下水向下径流, 在砂岩与坡残积土接触面处易形成局部的饱水带。钻探查明, 地下水位埋深稳定在 10.3~13.7 m。滑坡前缘剪出口附近出现 3 处泉水点, 经观测, 泉水点在降雨时呈混浊状态, 流量在 0.08~0.20 L/s 之间。

2 滑坡的成因及形成机制分析

滑坡的形成与其所处的地形、地貌、地层岩性及地质构造密切相关。

赤羌坪滑坡位于双溪龙公坑背斜的南侧、双溪断层和梅子坪断层的交汇部位, 地质构造复杂。断层及褶皱发育, 节理裂隙密集, 岩石结构破碎, 风化强烈, 滑动面为土岩结合面, 为地表水下渗和地下水活动提供了有利的条件。滑坡前缘位于梅潭河凹岸

拐弯部位,河谷深切,形成坡度约为70°的高陡临空面岸坡,加之河流侧向淘蚀冲刷,为滑坡的形成提供了有利的临空面。

滑坡体顶部到山脊的汇水区面积约为10万m²,降雨时大量的地表水汇流进入滑坡体内沿裂缝下渗,降雨长时入渗形成地下水向下径流,在砂岩与坡残积土接触面处易形成局部的饱水带,造成滑带土抗剪强度下降、渗透压力增大,滑坡体垂直裂缝向下扩展贯通,导致滑坡开裂变形,逐步向下蠕动,滑坡前缘坍塌。特别是2006年6~8月多次台风带来的持续降雨,导致滑坡体上的房屋墙壁出现裂缝、地板拱起、水泥路面开裂及山塘干涸等滑坡变形迹象。

3 稳定性验算及评价

3.1 计算边界条件及参数的确定

a. 赤羌坪滑坡的稳定性计算。选择具代表主滑方向的剖面为计算坡面(图1),其计算公式选用“剩余推力传递法”进行稳定性验算^[1]。该方法适用于滑移面为任意形状的稳定性计算。它可考虑滑体自重、坡面荷载、动水压力、静水压力、滑动面处的浮托力、暴雨和不同条块滑面段抗剪强度参数差异对边坡稳定性的作用和影响。计算公式如下:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + T_n} \quad (1)$$

其中

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i L_i$$

$$N_i = (W_i + F_i + D_{yi} + P_{yi}) \cos \theta_i + (D_{xi} + E_{ai} + P_{xi}) \sin \theta_i + U_i$$

$$T_i = (W_i + F_i + D_{yi} + P_{yi}) \sin \theta_i + (D_{xi} + E_{ai} + P_{xi}) \cos \theta_i$$

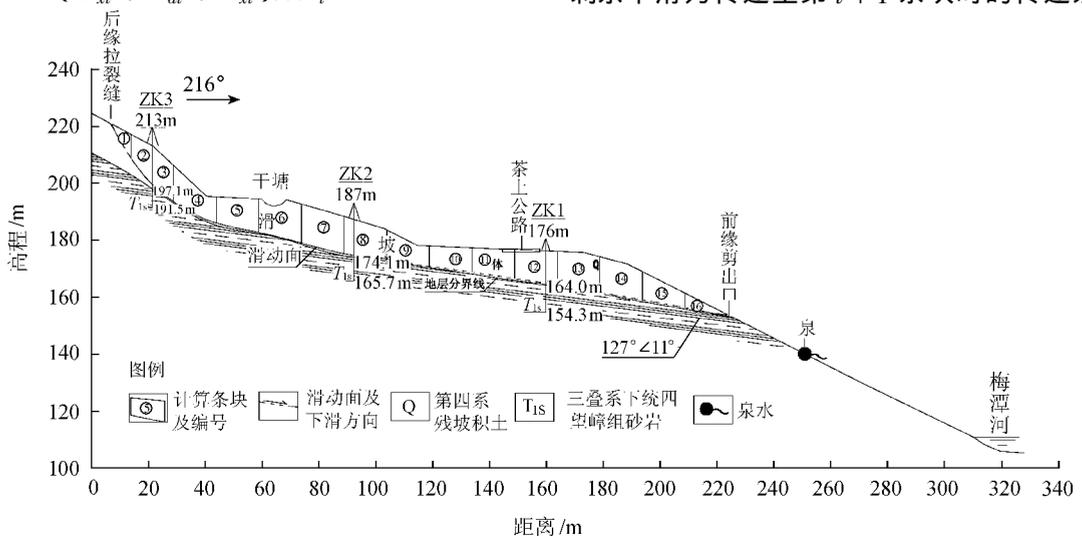


图1 赤羌坪滑坡主滑坡面计算示意图

$$\prod_{j=1}^{n-1} \psi_j = \psi_i \psi_{i+1} \psi_{i+2} \dots \psi_{n-1}$$

$$\psi_i = \cos(\theta_{i-1} - \theta_i) - \sin(\theta_{i-1} - \theta_i) \tan \varphi_{i+1}$$

$$D_{xi} = \gamma_w \Omega_{di} \sin \alpha_i \cos \alpha_1$$

$$D_{yi} = \gamma_w \Omega_{di} \sin^2 \alpha_i \cos \alpha_1$$

$$P_{xi} = \gamma_w \Omega_{pi} \tan \alpha_i \sin \beta_i$$

$$P_{yi} = \gamma_w \Omega_{pi} \tan \alpha_i \cos \beta_i$$

$$U_i = \gamma_w \Omega_{di} (1 - n_i) \cos \theta_i$$

$$E_{ai} = m_i a$$

式中: F_s 为稳定系数; R_i 为第*i*条块的抗滑力,kN/m,与滑动方向相反; N_i 为第*i*条块滑动面的法向分力,kN/m; T_i 为第*i*条块滑动面的切向分力,kN/m; W_i 为第*i*条块所受的重力,kN/m; F_i 为第*i*条块所受地表垂直外荷载,kN/m; D_{xi} 为第*i*条块所受地下水动水压力的水平分量,kN/m; D_{yi} 为第*i*条块所受地下水动水压力的垂直分量,kN/m; P_{xi} 为第*i*条块所受地表水静水压力的水平分量,kN/m; P_{yi} 为第*i*条块所受地表水静水压力的垂直分量,kN/m; E_{ai} 为第*i*条块所受的水平加速度为*a*的地震力,kN/m; U_i 为第*i*条块所受的垂直于滑动面的地下水浮托力,kN/m; L_i 为第*i*条块的滑动面长度,m; m_i 为第*i*条块的质量,kg/m; Ω_{di} 为第*i*条块地下水水位以下部分的面积,m²; Ω_{pi} 为第*i*条块被淹坡段的地表水的水头面积,m²; n_i 为第*i*条块滑体土的孔隙度; θ_i 为第*i*条块的滑动面倾角(°),与滑动方向相反,取负值; α_i 为第*i*条块的地下水的水力坡度角(°); β_i 为第*i*条块的坡面倾角(°),与坡倾向相反,取负值; φ_i 为第*i*条块滑动面的内摩擦角(°); c_i 为第*i*条块滑动面的黏聚力,kPa; γ_w 为水的容重,kN/m³; a 为抗震设防地震水平加速度,m/s²; ψ_i 为第*i*条块的剩余下滑力传递至第*i*+1条块时的传递系数。作

用力符号规定 垂直作用力向下为正 ,向上为负 ;水平作用力向坡下为正 ,向坡上为负。

b. 天然状态时 ,滑坡土体自重计算取天然容重 ,抗滑力计算取滑带土天然抗剪强度 ,连续强降雨时 ,整个滑坡因降雨入渗等影响处于饱水状态 ,滑坡土体计算取饱和容重 ,抗滑力计算取滑带土饱和抗剪强度。

c. 滑坡体在连续降雨时处于失稳状态 ,并根据滑坡前缘剪出口和滑坡裂隙的具体位置 ,结合钻探资料 ,可确定滑动面 ,利用反演求出滑带土的强度参数。反算时 ,天然状态下 ,安全系数取 0.95 ~ 0.98 ,据钻探揭露 ,地下水位埋深 5.2 ~ 6.6 m ,经计算得 ,滑带土天然抗剪强度 $\varphi = 10.2^\circ$, $c = 12.5$ kPa。土工试验得到滑带土物理学指标见表 1。

表 1 滑带土的主要试验指标

钻孔号	天然密度 ρ_0 ($g \cdot cm^{-3}$)	黏聚力 c /kPa	内摩擦角 φ ($^\circ$)
ZK1	1.95	13.0	11.0
ZK2	1.92	13.3	10.7
ZK4	1.87	12.2	10.3
ZK7	1.90	11.8	10.1
ZK9	1.95	13.3	10.8
平均值	1.92	12.72	10.58

注 滑带土均为块碎石夹黏土。

经对比可知 ,反演参数得出的结果与试验成果基本一致 ,可用于设计之中。考虑地下水的浸润作用下滑带土体被软化 ,其饱水状态下抗剪强度有降低的可能^[2] ,其饱和状态下的黏聚力和内摩擦角取天然状态的 90% 计算 , $c = 11.2$ kPa , $\varphi = 9.2^\circ$ 。

3.2 验算结果

使用计算机对该滑坡在多种不同因素组合情况下的稳定性进行计算。计算成果表明 :赤羌坪滑坡

在天然状态下稳定系数为 1.003 ,滑坡体在天然状态下处于基本稳定状态 ,与实际情况相吻合 ,现滑坡体位移变形明显 ,处于蠕变阶段。在连续降雨及强降雨作用下 ,稳定程度进一步降低 ,稳定系数仅为 0.902 ,有可能产生大规模滑动破坏的危险 ,会出现整体失稳现象。

4 滑坡防治工程规划建议

通过验算得知 ,赤羌坪滑坡处于不稳定状态。鉴于滑坡可能造成严重的人员伤亡和重大的财产损失 ,建议对赤羌坪滑坡采取以下治理措施^[3] :
① 树立警示牌 ,防止已搬迁的居民回迁。
② 完善排水系统 ,尽量减少地表水入渗和排泄滑坡体内的地下水 ,从而提高滑坡的稳定性 ,具体做法是 :在地表设置完善的排水沟 ,滑坡底部基岩内开掘 2 条纵向排水隧洞 ,通过地面钻孔将滑坡体地下水与隧洞连通 ,已达到顺利排泄滑坡体内的地下水。
③ 设置支挡措施。在滑坡中前部茶上公路外侧及内侧各布一排方形锚索抗滑桩 ,在滑坡前缘修建浆砌石挡墙。
④ 滑坡面进行适当的修坡 ,采用格构锚杆护坡 ,格间植草绿化。

参考文献 :

- [1] 陶志平 ,周德培 ,岳志勤 . 滑坡推力计算中传递系数法的改进研究 [J]. 路基工程 ,2006(5) :35-37.
- [2] 戴自航 ,沈蒲生 . 圆弧滑面滑坡推力的数值解研究 [J]. 地质与勘探 ,2004(3) :42-45.
- [3] 罗红明 ,唐辉明 . 三峡库区谭家坪滑坡稳定性与防治对策研究 [J]. 土工基础 ,2006(2) :25-28.

(收稿日期 2006-12-04 编辑 熊水斌)

· 简讯 ·

第 3 届全国水力学与水利信息学学术大会将在南京召开

由中国水利学会水力学专业委员会、中国水力发电工程学会水工水力学专业委员会和国际水利工程与研究协会 (IAHR) 中国分会联合举办的第 3 届全国水力学与水利信息学学术大会将于 2007 年 10 月 18 ~ 20 日在河海大学召开。本次会议将着眼于在可持续发展理论指导下的水利水电工程建设新技术和新发展 ,注重水利与环境的和谐发展。会议主要议题如下。

(1) 环境水力学 :① 水工结构对环境的影响及缓解措施 ;② 大坝建设与环境的关系 ;③ 水环境与生态 ;④ 雨水利用与城市水环境。

(2) 水工水力学 :① 水力学与水文计算在水利工程设计中的新方法 ;② 水力学结构物的安全评价 ;③ 长距离输水工程水力学 ;④ 数值计算、模型试验与原型观测的混合模拟 ;⑤ 水利量测 :室内试验及原型观测的仪器与新设备。

(3) 河口、岸边水力学 :① 水利工程对河口形态的影响 ;② 河、湖、海岸边的淘刷与保护 ;③ 考虑环境、生态的护岸工程中的水力学问题 ;④ 岸边围垦及水力学。

(4) 水利信息学的新进展 :① 水利信息技术在水利水电工程、防洪、水文水资源中的应用 ;② 数值模拟与仿真技术 ;③ 数字实验室的新发展。

(本刊编辑部供稿)