

三峡库区土门子滑坡变形破坏机制分析

孙东晖¹ 刘建磊²

(1. 中兵勘察设计研究院,北京 100053; 2. 吉林大学建设工程学院,吉林长春 130026)

【摘要】 在研究土门子滑坡地质环境和变形特征的基础上,对滑坡的成因机制、变形破坏模式及起动机制进行了分析。结果表明,该滑坡为前缘牵引后缘平推式,现处于整体蠕变变形局部滑移阶段,持续强降雨是诱发其失稳破坏的主导因素,针对滑坡体可能沿多个剪出口发生变形破坏等特征、提出了相应工程防治建议,对指导该类工程的设计和施工具有参考意义。

【关键词】 土门子滑坡;蠕变;变形机制;破坏模式;平推式滑坡

【中图分类号】 P642.22

Deformation Failure Mechanism of Tumenzi Landslide in Three Gorges Project Reservoir Area

Sun Donghui¹ Liu Jianlei²

(1. China Ordinance Industry Institute of Geotechnical Survey and Design, Beijing 100053;

2. Construction Engineering College of Jilin University, Changchun Jilin 130026 China)

【Abstract】 This paper studies on the basement of the characteristics of the geology and deformation of the Tumenzi landslide, then do further research on the genetic mechanism, deformation failure mode as well as starting mechanism. The research result shows as follows: first, the deformation mechanism of the landslide is Translational gliding mode; second, the landslide is in the stage of wholly creep deformation with partly sliding; third, the continually heavy rain is the main factor which may results in its broken. At last, put forward the disposing suggestions according to characters of the landslide, which has important significance in guiding the design and construction of this kind of projects.

【Key Words】 Tumenzi landslide; Creep; Deformation mechanism; Failure model; Translational gliding landslide

0 引言

三峡库区位于我国西南部多雨潮湿的山区和丘陵区,地质条件复杂,地质环境容量有限,是我国地质灾害的多发区和重灾区^[1]。三峡水库蓄水运营后,地质环境发生急剧变化,土质和岩土混合边坡蠕滑问题相当突出,由于蠕滑边坡组成的复杂性和不确定性,其变形特点和破坏机制十分复杂,在我国亦有因对变形机制和破坏模式研究不当而造成防滑治理效果不佳的案例,因此科学合理地确定蠕滑体的变形机制和破坏模式是治理此类滑坡的关键^[2-7]。

土门子滑坡位于重庆市江津区慈云镇,自1992年以来,滑坡体蠕变变形持续发展,近期变形加剧,导致公路和房屋破坏,造成交通受阻和滑坡体内居民被迫临时迁出。滑坡体一旦失稳,危及近200居民的生命财产安全,造成直接经济损失500余万元,同时关系到移民安定工作的大局^①。因此对该蠕滑

边坡进行变形破坏机制分析研究非常必要和迫切,可为后期科学合理地制定防治工程措施提供依据。

1 滑坡体基本情况概述^②

土门子滑坡呈“圈椅”状,平面形态总体上为北敛南展、向南撒开的不规则扇形(见图1),纵长约325m,横宽约330m,分布面积约 $9.7 \times 10^4 \text{ m}^2$,滑体一般厚度3~7m,体积约 $4.1 \times 10^5 \text{ m}^3$,属中型浅层混合式土质滑坡^[8],其工程地质条件分述如下:

地貌上,滑坡位于两个近南北走向山脊中间的凹陷地带,属构造剥蚀的丘陵斜坡地貌;地形上为北高南低、东西高中间低的缓斜坡地形,坡形为凹形—折线形,总体坡角 $4^\circ \sim 8^\circ$,滑体后缘上部为直线形岩质陡坡,坡角 $30^\circ \sim 50^\circ$,前缘为连续分布的陡坎。勘探点揭露地层情况如下:滑体表层为零星分布的薄层第四系人工填土,下部为广泛分布的第四系残坡积粉质粘土、崩坡积含碎块石粘性土组成,呈可塑—硬塑状,

作者简介:孙东晖,1971年生,男,汉族,辽宁锦州人,1994年毕业于南京大学水文地质工程地质专业,工程师。E-mail: zgbkccq@126.com

①三峡库区地质灾害防治工作指挥部. 三峡库区三期地质灾害防治工程地质勘查技术要求[M]. 2004.

②中兵勘察设计研究院. 三峡库区三期地质灾害防治工程土门子滑坡可研及初设勘察报告[R]. 2007.

失水易形成纵向土体裂隙;滑带土为含碎块石粉质粘土,稍湿—饱和,大部分呈软塑状,强度极低;下伏滑床基岩属侏罗系上统遂宁组泥岩和砂岩互层,岩层倾角 $3^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 。

在构造上滑坡体处于北碛向斜的西翼,岩层呈单斜构造,产状 $150^{\circ}\angle 7^{\circ}$ 。研究区内及邻近未见断层通过,滑体中可见两组构造裂隙:①产状 $335^{\circ}\angle 60^{\circ}$,裂面粗糙,微张,面平,间距2.0m左右;②产状 $245^{\circ}\angle 82^{\circ}$,裂面粗糙,微张,面平,间距5m以上。滑坡区建筑抗震设防烈度为6度,设计基本地震加速度值为0.05g。

地下水主要为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两种,多沿不透水层滑床顶面富集。



图1 土门子滑坡平面图

2 滑坡体变形特征及成因机制分析

2.1 变形特征

按滑坡体变形成因类型及特征将其分为两类:一类为滑坡中前部陡坎处的地面隆起、鼓胀;另一类为滑坡后缘地面及房屋产生的拉张裂隙和剪切裂隙(见图2),地面下沉形成错台(见图3)。



图2 滑坡后缘公路拉裂破坏



图3 后缘地面下沉形成错台

第一类变形主要发生在滑体前缘陡坎部位,滑坡中部也有零星分布,形态上成规律的带状,地面隆起高度10~35cm,宽度和长度从几米至几十米不等,走向大体与滑坡主滑方向垂直,此类变形主要是滑坡体长期的蠕动变形所致。

第二类变形位于滑坡区中后部。拉张裂隙呈锯齿状,走向近与主滑方向垂直,缝宽0.5~37cm,可见长度2~25m;错台多与拉裂缝并存,一般高10~40cm,此类变形在前部变形牵引和后部平推联合作用下发生。

在现场井探和槽探过程中发现滑动擦痕,滑动擦痕零星分布在滑体中前部,尚未全面贯通,滑面新鲜,为新近发生。根据上述变形特征并结合监测数据分析,确定滑坡处于整体蠕动变形局部滑移、滑动面全面贯通阶段。

2.2 成因机制分析

1)地形地貌:滑坡位于两个近南北走向山脊中间的凹陷地带,后侧为陡立岩质边坡,周围地表水向滑坡体集中,同时滑体具有台坎式微凹槽形的地貌特点,易于地表水的下渗及径流,同时前缘连续分布的陡坎为滑坡提供了良好的临空环境。

2)地层岩性及岩土体结构:滑体由第四系残坡积粉质粘土、崩坡积含碎石粘性土组成,具有弱透水性;滑带土为含碎块石粉质粘土,其矿物成分中含有一定数量的亲水矿物——水云母、蒙脱石,常处于近饱和水状态;下伏岩层中的紫红色泥岩不透水,为隔水层。地表水和地下水下渗至含碎块石粘土层滑带中,在基岩面顶部富集,使岩土体软化,为滑带的形成提供了良好的岩性组合。

3)地表与地下水:坡体后缘及左右边界外围有广大的汇水面积,在有利的地形条件下向滑坡体汇集,致使斜坡岩土体长期处于近饱和水状态,大大降低了岩土体的物理力学性质。

4)降雨:研究区多持续强降雨,致使地下水位

上升和后缘张拉裂隙充水,对滑坡体产生浮托力和静、动水压力,从而增大滑体下滑力,加剧坡体变形,与每次强降雨过后都伴随地表加速变形迹象吻合。

5)人类工程活动:前缘开挖斜坡岩土体使坡脚失去支撑,改变了原有坡体平衡状态,使剪出口临空;沿坡体人工开垦有多处大面积水田和鱼塘,地表水长期下渗使滑体饱水,滑面岩土体强度降低;滑体后缘修建房屋和公路,增加滑体表面静动荷载,加速

蠕变变形,不利于滑体稳定。

3 变形破坏机制分析

3.1 破坏模式

该滑坡发育于上覆薄层第四系残坡积土和缓倾坡内的砂泥岩互层状斜缓坡地形,滑动面为岩土软弱接触面,滑面倾角 $3^{\circ}\sim 7^{\circ}$,根据滑坡体变形特征确定滑坡变形破坏模式为前缘牵引后缘平推的单级平推式滑坡。滑坡前缘地面鼓胀带的条数客观上反映了滑体具有剪出口的个数(见图4)。

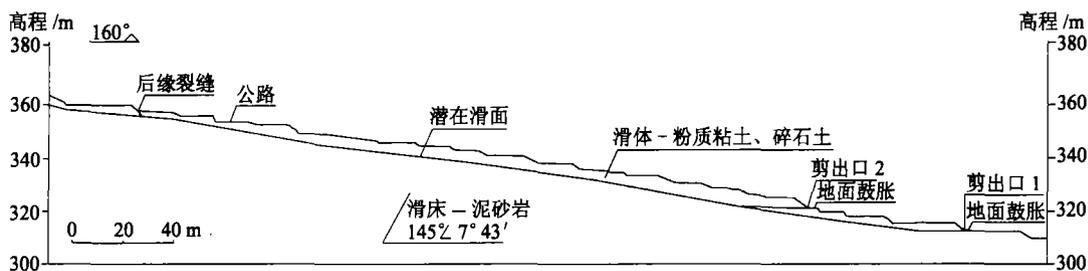


图4 主滑剖面工程地质剖面图

在不利因素的诱发作用下,滑坡体可能沿其中一个或多个剪出口发生失稳破坏,其破坏机制为:在持续强降雨作用下,由于滑坡岩土体渗透性差,水来不及排出,一方面使得滑体的重度增加,加大下滑力;另一方面,地表水在后缘裂隙汇集形成静水压力,下渗至滑动面使滑带土饱和和软化,岩土体力学性质降低,形成渗透压力和向上的浮托力,使滑块的抗

滑能力大大降低,在前缘陡坎形成有利的临空环境下,滑坡体可能沿剪出口被水平推出,发生失稳破坏。

3.2 起动机制

平推式滑坡其起动机制可以后缘拉裂缝中充水临界高度 h_{cr} (垂直高度)作为起动机判据^[8-9],土门子滑坡典型剖面概化模型见图5。

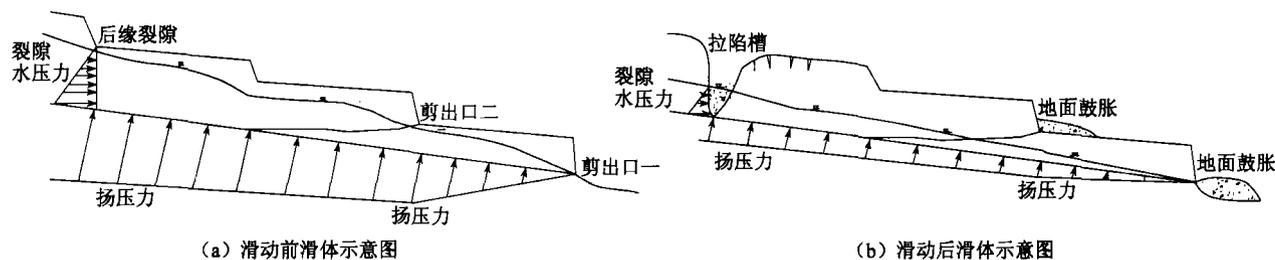


图5 滑坡典型剖面概化模型

在滑面缓倾外(或内)时,则有

$$h_{cr} = \frac{1}{2\cos\alpha} \left[L^2 \tan^2\varphi + 8 \frac{W}{\gamma_w} \cos\alpha (\cos\alpha \tan\varphi - \sin\alpha) \right]^{1/2} - \frac{1}{2\cos\alpha} \tan\varphi \quad (1)$$

式中: W 为滑块单宽质量,t/m; α 为滑移面顺滑动方向倾角(倾向坡外为正值,反之为负); L 为滑块底面沿滑动方向长m; φ 为滑面内摩擦角, $(^{\circ})$; γ_w 为水的重度, kN/m^3 。

上式未考虑粘聚力值的影响,然而对土质和岩

$$h_{cr} = \frac{1}{2\cos\alpha} \left\{ L^2 \tan^2\varphi + 8 \frac{\cos\alpha}{\gamma_w} [W(\cos\alpha \tan\varphi - \sin\alpha) + cL] \right\}^{1/2} - \frac{1}{2\cos\alpha} \tan\varphi \quad (2)$$

式中: c 为滑面的粘聚力,kPa。

土混合边坡,尤其是蠕滑边坡粘聚力在边坡稳定性方面发挥重要的作用,因而采用上式作为起动机判据存在很大缺陷,因此应考虑粘聚力的影响,对式(1)进行改进,改进后公式为

当 $\alpha=0$ 时,上式可简化为:

$$h_{cr} = \frac{1}{2} \left[L^2 \tan^2 \varphi + \frac{8}{\gamma_w} (W \tan \varphi + cL) \right]^{1/2} - \frac{L}{2} \tan \varphi \quad (3)$$

当后缘裂隙充水高度达到临界高度,滑坡开始启动,滑面强度迅速降至动摩擦强度,因而滑块可作快速运动,滑块滑出的同时,拉裂缝中充水高度和滑面上的扬压力随之迅速消散、降低,滑块也因此而迅速减速制动,后缘陷落带的宽度反映滑体滑出的距离。

4 结论与建议

1) 土门子滑坡发育于上覆薄层第四系残坡积土和缓倾坡内的砂泥岩互层状地层,滑移面为岩土软弱接触面。

2) 滑坡近期变形显著,表现出加速蠕滑的趋势。滑体中前部产生明显的地面鼓胀,后部产生宽大张裂塌落(陷)带,处于整体蠕变局部滑移阶段,其破坏模式为单级平推式。

3) 持续强降雨是诱发滑坡失稳破坏的主导因素,滑体变形破坏以后缘裂隙充水临界高度为启动判据,与强降雨过后常伴有变形突变然后逐渐趋缓最终停止的迹象吻合。

4) 土门子滑坡滑面长,滑体刚度小,厚度薄,遇基岩面坡度变化大的地段,滑面穿切滑体形成多个剪出口,治理时不利于支挡力的传递,因此采用工程治理措施必须综合考虑滑体的整体和局部稳定性,需多级支挡方能有效,避免因治理措施不当而造成防滑效果不佳。

参 考 文 献

- [1] 徐 华,李天斌,肖学沛. 三峡库区安渡滑坡成因机制分析与稳定性预测[J]. 水文地质工程地质, 2005(4): 28-31.
- [2] 黄波林,陈小婷. 香溪河流域白家堡滑坡变形失稳机制分析[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(6): 938-942.
- [3] 杨为民,徐瑞春,吴树仁,等. 清江隔河岩库区天河口滑坡变形机制与稳定性分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(5): 972-977.
- [4] 许建聪,尚岳全. 降雨作用下碎石土滑坡解体变形破坏机制研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(1): 107-118.
- [5] 李国善. 某水库库区土质蠕滑体的稳定性分析与整治[J]. 水电站设计, 2007, 23(1): 56-61.
- [6] 杨为民, 吴树仁, 张春山, 等. 陕南岚皋县柳家坡滑坡形成机制研究[J]. 工程地质学报, 2007, 15(2): 186-192.
- [7] 黄润秋. 20世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433-454.
- [8] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社, 1994.
- [9] 范宣梅. 平推式滑坡成因机制与防治对策研究[D]. 成都:成都理工大学, 2007.

收稿日期:2008-07-14

(上接第 266 页)

- [11] 张旭辉,龚晓南. 锚管桩复合土钉支护的应用研究[J]. 建筑施工, 2001, 23(6): 436-437.
- [12] 任望东. 微型钢管桩支护结构在北京某基坑工程中的应用[J]. 国防交通工程与技术, 2007(1): 74-76.
- [13] 葛燕锋,王志伟. 微型钢管桩复合土钉支护工作性能现场测试研究[J]. 建筑科学, 2008, 24(1): 57-60.
- [14] JGJ 120—99 建筑基坑支护技术规程[S].
- [15] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2007.
- [16] GB 50010—2002 混凝土结构设计规范[S].
- [17] CECS28:90 钢管混凝土结构设计与施工规程[S].
- [18] 卢 辉,韩林海. 圆钢管混凝土抗弯刚度计算方法探讨[J]. 工业建筑, 2004, 34(1): 1-5.
- [19] 韩林海. 钢管高强混凝土纯弯曲构件力学性能及承载力的研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1997, 30(1): 32-40.
- [20] 王庆利,董志峰,高建志. 圆截面钢管混凝土受弯构件试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2007, 33(3): 9-12.
- [21] 杨志银,张 俊,王凯旭. 复合土钉墙技术的研究及应用[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(2): 153-156.

收稿日期:2008-06-30