

梧州市意园冲滑坡变形破坏模式分析与稳定性评价

杨军, 郭纯青

(桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004)

摘要: 在对意园冲滑坡地段地质环境背景调查的基础上, 分别研究了滑坡形态特征、分布范围及稳定状态, 分析出滑坡的变形破坏模式及其变形破坏机理和过程。通过稳定性计算得到意园冲滑坡地段稳定性评价, 并针对该滑坡体的变形破坏机理、威胁现状提出了治理对策, 以达到消除灾害隐患的最终目的。

关键词: 滑坡; 地质环境; 破坏模式; 破坏机理; 稳定性评价; 治理对策

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)06-0111-05

中图分类号: P642.22

Deformation Failure Mode and Evaluation of Stability for the Yiyuanchong Landslide in Wuzhou

YANG Jun, GUO Chun-qing

(Department of Resource and Environment Engineering, Guilin College of Engineering, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: This article studies morphological characteristics, distribution range and stable state of the Yiyuanchong landslide, and analyzes its deformation failure mode, failure mechanism and failure processes on the basis of geological environment investigations. The evaluation of stability was made by calculating stability of the landslide. In accordance with the landslide's deformation failure mode and threat actuality, some controlling methods were proposed in order to achieve the ultimate goal of eliminating the disaster's potential harmfulness.

Keywords: landslide geological environment; failure mode; failure mechanism; evaluation of stability; controlling methods

梧州市是广西典型的山城, 特别是意园冲滑坡地段所在万秀区辖区, 由于易受水患及城市发展空间相对较小的原因, 很多居民选择在山坡建房, 由此引发了许多环境地质问题。梧州市万秀区意园冲滑坡位于意园冲东侧, 南起石鼓路二巷, 北至白云学校南侧, 东自武警梧州支队, 西至石鼓路 34 号, 面积约 64 400 m²。意园冲地段目前发生 4 处崩塌滑坡, 较大的一处滑坡, 长 50 m, 宽 40 m, 厚 2.3 m, 呈半圆状, 体积约 5 000 m³, 目前已在边缘局部剪出造成武警支队办公楼后墙及 1 间民房被毁坏。同时, 由于滑动体的蠕滑, 造成地面及排水沟出现 6 处裂缝, 裂缝长 3~8 m, 宽 0.5~2 cm, 局部可见地面下沉, 沉降量达 12 cm。造成多间民房被毁, 部分道路中断, 居民生命财产受到极大的威胁。若不采取应急治理措施, 将直接威胁居民的生命财产安全。

1 地质环境

1.1 地层岩性

意园冲地段, 出露地层有素填土层 (Q_4^{ml}) 及坡残积层 (Q^{dl})、寒武系黄洞组上段 ($\in h^3$)。素填

土 (Q_4^{ml}) 分布于斜坡中下部的表层, 厚 0~2.0 m。坡残积层 (Q^{dl}) 分布于各山体斜坡浅部, 土层厚度变化相对较大, 厚度 0~5 m, 为黏土、粉质黏土夹碎石。寒武系黄洞组上段 ($\in h^3$) 全一强风化粉砂岩、泥质粉砂岩夹页岩埋深 0~8 m, 层厚 0~20 m。中一微风化砂岩埋藏于全一强风化层之下, 或直接出露于民房屋后边坡上, 岩性为粉砂岩、泥质粉砂岩夹页岩。粉砂岩、泥质粉砂岩呈中一厚层状, 厚 0.3~0.8 m。

1.2 地质构造

梧州市处于桂中—桂东台陷, 大瑶山凸起之东南部, 夏郢—了口复式向斜南翼部分。该地区经褶皱运动, 寒武系地层受南北压应力的作用, 褶皱强烈, 产生一系列东北及近东西向倒转背、向斜。从目前研究结果分析, 受褶皱与断裂发育影响, 造成区内山体岩石比较破碎, 风化强烈, 对坡残积土厚度有一定影响。

1.3 地形地貌

梧州属桂东粤西丘陵峡谷山区, 意园冲地段所在地区的地貌类型主要为垄状低丘, 丘顶标高 80~110 m, 相对标高 30~85 m, 山体走向以 NE, NW 向和 SN

向为主,地形坡度一般较为平缓,沟谷多为“U”字形,底部平坦,冲积物常见,植被中等发育。

1.4 气象水文

梧州市降雨量在年分配上不均匀,降雨量多集中在每年 4—9 月,占全年降雨量的 77.4%,特大暴雨多发生在 5—8 月,期间也是该区地质灾害多发时段。多年平均降雨量 1 503.6 mm,最大日降雨量可达 334.5 mm,20 a 一遇暴雨强度达到 80 mm/h。

梧州市地表河流发育,地处桂江、浔江、西江三江交汇处,地表水资源丰富。西江(浔江)是该区地表水、地下水主要排泄通道,径流充沛,年水位变化大,水流急。根据水质化验分析,侵蚀性 CO_2 和 HCO_3^- 对混凝土结构具有弱腐蚀性。

意园冲地段地区地下水类型有第四系孔隙水、碎屑岩构造裂隙水 2 种类型。地下水主要赋存于基岩构造与风化裂隙和坡残积层孔隙中,地下水枯季径流模数 3~8.24 L/(s·km²),水量贫乏—中等。

地下水补给来源主要是大气降雨,由于岩石裂隙较为发育,部分大气降雨直接从基岩裂隙或经坡残积层入渗补给地下水。

坡残积层与基岩全风化层、强风化层(岩性为粉质黏土、粉土)之间地下水的渗透性存在较大差异,现场渗水试验结果表明,坡残积层渗透系数相对较高,标准值为 2.99×10^{-5} m/s,为弱透土层,强风化层渗透系数次之,标准值为 1.10×10^{-5} m/s,全风化层的渗透系数最小,标准值为 4.70×10^{-6} m/s。大气降水经坡残积层渗透后,在全风化层易受阻隔。因坡残积层渗透系数相对较大,在残坡积层中没有明显的地下水流。本区地下水最终排泄基面为桂江、西江。

1.5 地震

梧州市地震动峰值加速度为 0.05 g,反应谱特征周期为 0.35 s。梧州市属桂东南低震构造区。地震基本烈度为 v 度,但按国标《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)要求,梧州抗震设防烈度为 6 度。

2 滑坡变形破坏模式分析

2.1 滑坡范围及形态特征

意园冲地段自然坡角 $28^\circ \sim 40^\circ$ 。坡脚为人工边坡,边坡角 $40^\circ \sim 70^\circ$,边坡高 6~7 m。斜坡为 L 形,山顶高程 100.40 m,从山底到山顶相对高差 76.17 m。坡面植被较发育,植被以桉树及松树为主。坡面由于土体的蠕滑形成了多级陡坎,最后一级的陡坎高程为 78 m,由于覆盖土体在斜坡前缘人工边坡已被切穿,坡面土体在该陡坎处剪出,形成滑坡。在其东

部已发生了一个长 40 m,宽 60 m 的滑坡。2005 年在意园冲斜坡上新发生滑坡 1 处,长 20 m,厚 1.8 m,宽 20 m,体积 720 m³,滑坡崩塌点 2 处,规模分别为 24 m³ 和 96 m³。

本次研究调查出已滑动和潜在滑坡的范围为长 67 m,宽 232 m,面积 15 544 m²,滑体厚度平均 2.6 m,可能变形滑动体积 40 414 m³。

意园冲地段的滑坡,从现状滑坡和研究资料判断是覆盖土体沿基岩面滑动的土质滑坡,是在一些陡坎前发生一些小崩小滑或出现一些裂缝,还未形成整体的滑动面。同时,由于建房人工切坡,切穿了覆盖土体,使得滑坡形态特征及范围的确定十分困难。因此,主要依据地形地貌特点和岩土剖面结构结合滑坡推力计算结果大致判定各重点地段滑坡范围。

2.2 滑体结构特征

滑坡体物质组成主要有素填土及杂填土层,厚 0~2.0 m,成分较杂,以斜坡上方切坡的削方填土为主,局部表层有建筑垃圾;粉质黏土夹碎石层,厚 0~6.5 m,粉质黏土为棕黄色、褐黄色,具较好黏性(I_p 一般为 9.8~14.5),硬塑状—可塑状,所夹碎石为强—中等风化褐色、棕色粉砂岩、泥质粉砂岩,大小一般为 0.2~8 cm,碎石含量 5%~13%。其物理力学性质的统计结果(见表 1)。

覆盖层厚度 0~8 m,在意园冲南部,向东转折部分为潜在滑坡,盖层厚度较小,为 0~2 m,下部及坡脚分布较厚,为 2~8 m。北部斜坡为已滑动过的滑体,厚度为 1~3.5 m,由于斜坡一面经人工切坡已凌空,该部分覆盖层较易滑移。

2.3 滑动及潜在滑动带特征

根据研究揭示,多年来滑坡一直处于蠕滑状态中,滑坡后缘亦可见多级陡坎,另一处为次级滑坡,规模为 210 m³,位于较大一处滑坡的前缘剪出段,发生于 2005 年 6 月强降雨期,是该滑坡滑动的前兆。斜坡变形滑移带(面)位于坡残积层与基岩接触面,意园冲滑坡的滑带土层厚为 0.01~0.04 m,为黄色黏土,是基岩面的全风化层顶面。据分析,降雨形成地表水经坡残积层渗透后,在全风化层受到阻隔而在全风化层表面形成液化带。由于全风化层表面颗粒物较少,风化完全,饱和后物理力学性质明显降低,成为滑动及潜在滑动带。经取样分析,滑带土的力学强度饱和后内聚力降低了 30%~57% 之间,内摩擦角降低 35%~53% 之间(见表 2)。反映了全风化岩,在饱和条件下抗剪强度降低较大,成为滑动带(面)和潜在滑动带(面)的可能性。

表1 滑坡滑体土室内土工试验结果统计

样品编号	含水量 $\omega/\%$	天然重度/ $(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	饱和重度/ $(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	孔隙比 e	塑指 I_p	天然内聚 力 C/kPa	天然内摩 擦角 $\varphi/^\circ$	饱和内聚 力 C/kPa	饱和内摩 擦角 $\varphi/^\circ$
平均值	19.233	18.783	19.367	0.702	13.183	30.433	20.633	32.620	14.400
标准差	4.004	1.245	0.971	0.123	4.018	7.728	1.890	26.488	2.315
变异系数	0.208	0.066	0.050	0.176	0.305	0.254	0.092	0.812	0.161
修正系数	0.857	0.954	0.965	0.879	0.790	0.825	0.937	0.392	0.880
标准值	16.477	17.926	18.698	0.617	10.417	25.113	19.332	12.794	12.667

表2 滑坡滑带土室内土工试验结果统计

样品编号	含水量 $\omega/\%$	天然重度/ $(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	饱和重度/ $(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	孔隙比 e	塑指 I_p	天然内聚 力 C/kPa	天然内摩 擦角 $\varphi/^\circ$	饱和内聚 力 C/kPa	饱和内摩 擦角 $\varphi/^\circ$
平均值	18.844	17.627	18.911	0.862	13.543	29.540	15.700	15.080	11.320
标准差	2.454	0.529	0.632	0.057	2.229	6.781	1.116	9.413	2.143
变异系数	0.130	0.030	0.033	0.066	0.165	0.230	0.071	0.624	0.189
修正系数	0.904	0.978	0.975	0.952	0.879	0.831	0.948	0.540	0.860
标准值	17.034	17.237	18.445	0.820	11.899	24.539	14.877	8.138	9.740

2.4 滑床特征

滑床为中厚层状较软全强风化粉砂岩、泥质粉砂岩夹页岩,下伏的中厚层状较坚硬中微风化粉砂岩、泥质粉砂岩夹页岩岩组,埋深一般为5~30m。滑坡下伏强风化层顶板高程中段陡,两侧缓,与地形线基本平行。

2.5 滑坡变形特征

滑坡的变形特征主要是在滑坡的前缘和滑坡中的人工切坡上发生小崩塌、小滑坡和地裂缝隙。滑坡走向基本与坡向垂直。

2.6 影响滑坡稳定的因素

意园冲边坡变形破坏是自然因素和人为因素共同作用的结果。

2.6.1 自然因素

(1) 滑坡变形破坏与地形地貌的关系。意园冲地处垄状丘陵构造剥蚀碎屑岩区,地形起伏较大。自然边坡较陡地段,覆盖土体的下滑力较大。

(2) 滑坡变形破坏与地层岩性的关系。意园冲地层岩性受人工填土覆盖层影响,结构松散,具有一定的透水性,在强降雨等的作用下,易发生崩塌、滑坡。岩土接触面与坡向一致,有利于覆盖土向坡下滑动。

(3) 滑坡变形破坏与结构面和坡向组合的关系。岩土接触面一般与坡向一致,有利于覆盖土向坡下滑动,另外,边坡岩层倾向与坡向的组合关系对边坡变形破坏有着重要的影响作用,从研究的结果看,顺向坡的崩塌、滑坡现象较多。

(4) 滑坡变形破坏与汛期降雨的关系。意园冲地段90%以上的崩塌、滑坡发生在每年的5—8月

份,而每年的4—9月份是区内的多雨季节降雨大且暴雨多。降雨不仅形成暂时性水流冲刷坡面,加速风化岩石的剥蚀,而且更主要的是雨水下渗降低了滑动面的抗剪强度,增加了覆盖岩土体的重量和下滑力,导致斜坡失稳发生滑塌。

2.6.2 人为因素 人类工程活动中不适当的行为是诱发崩塌、滑坡的2个主要因素,它主要表现为以下2个方面。

(1) 不合理的斜坡开挖、堆载和建筑荷载,如房屋基地后缘削坡,增大坡角和坡高,减少土体的下部支撑力;前缘不合理堆土,增加坡高、土体的厚度,覆盖土体的重量增加,下滑力增大。是导致崩塌、滑坡发生的最主要人为因素。

(2) 人为因素还表现在居民生活废水无组织排放,对斜坡长期冲刷和使局部地下水运动规律改变,而造成斜坡体内覆盖土体重量增加,岩土接触面的软弱夹层软化和抗滑能力降低,从而引起斜坡失稳。

2.7 滑坡变形破坏模式及其成因分析

从研究情况看,目前都在滑坡前缘人工边坡陡坎上发生小崩塌、小滑坡,表明滑体在慢慢向前推移蠕动,因此判断地段内的滑坡潜在破坏模式主要为推移式滑坡,沿第四系坡残积土层与基岩接触面滑动,属浅层滑坡。主要分布在斜坡坡度较陡的局部地段(多为居民建房时人工开挖形成的高陡边坡)。

从目前发生的小崩塌、小滑坡都是在暴雨条件下产生的情况分析,龙母庙地段内的滑坡和潜在滑坡只有暴雨或连续暴雨让覆盖土体充分饱和和浸润下伏全风化基岩表面的条件下才产生滑坡。因此,滑坡形

成的主要原因或者说主要诱发(触发)因素是暴雨,特别是连续暴雨。

3 滑坡稳定性计算与评价

3.1 滑坡岩土物理力学参数的选取

3.1.1 龙母庙计算参数分析 (1) 滑体土重度。滑体土主要是坡残积层,成分为粉质黏土含少量碎石。根据室内分析结果,饱和重度标准值为 18.69 kN/m³,天然重度标准值为 17.92 kN/m³。(2) 原位测试标准值为 19.66 kN/m³(天然状态),利用室内试验天然与饱和大重度的关系可得滑体土饱和大重度标准值为 20.69 kN/m³。滑体中含一定量碎石(19%),野外原位测试参数值较准确,因此滑体土重度值取原位大重度测试标准值。滑体的 C 、 Φ 值可用表 1 的室内试验标准值。

3.1.2 参数的选定 根据上述分析结果,按《重庆市地质灾害防治工程勘查规范》(DB50/143—2003)参数数理统计的相关规定,由各参数的平均值乘 0.85~0.95 的折减系数计算得出标准值,因各重点地段灾害治理的安全等级为一级,折减系数取下限 0.85。由于目前滑坡没有贯通的滑动面,因此计算当中参数全部采用峰值。滑坡计算采用表 3 及表 4 的参数。

表 3 滑坡滑带计算参数

天然内聚力 C /kPa	天然内摩擦角 φ /°	饱和内聚力 C /kPa	饱和内摩擦角 φ /°
25.11	13.35	12.82	9.62

表 4 滑坡滑体土计算参数

天然重度/ (kN·m ⁻³)	天然内聚力 C /kPa	天然内摩擦角 φ /°	饱和重度/ (kN·m ⁻³)	饱和内聚力 C /kPa	饱和内摩擦角 φ /°
19.66	25.87	17.54	20.69	27.23	12.24

3.2 滑坡稳定性分析和计算模型

根据野外调查,意园冲地段除 2005 年发生一起滑坡及 2 处崩塌点外,还没有整体滑动的迹象和特征,只在暴雨时于前缘陡坎发生一些小崩塌、小滑坡及地裂,还没有形成连贯的滑动带,在平时处于整体稳定中状态,只在暴雨,特别是连续暴雨时才可能产生滑动。

滑坡地段的滑坡主要沿残坡积土层与全强风化基岩接触面滑动,在斜坡的中下部或坡脚人工开挖陡坡处剪出,滑面主要为折线型。稳定性计算可采用条分法(传递系数法)。

3.3 斜坡稳定性计算

3.3.1 斜坡稳定性计算公式 斜坡变形滑动的滑动

面为折线型,根据《岩土工程勘查规范》(GB50021—2001)及《地质灾害防治工程勘查规范》(DB50/143—2003)(重庆市地方标准)推荐的公式,采用传递系数法对滑坡的稳定性进行计算。

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} [(w_i / (1 - r_{ui}) \cos \alpha_i - A \sin \alpha_i) - R_{Di}] \tan \phi_i + C_i L_i + \prod_{i=1}^{n-1} \phi_i + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} [(w_i \sin \alpha_i + w_i A \cos \alpha_i + T_{Di}) \prod_{i=1}^{n-1} \phi_i] + T_n}$$

式中: A —— 地震动峰值加速度(6 度带,取值 0.0125)。各滑坡没有统一的地下水面,渗透压力取值为 0。

3.3.2 剩余下滑力计算公式 根据《岩土工程勘查规范》(GB50021—2001),按以下公式对滑坡剩余下滑推力进行计算:

$$P_i = P_{i-1} \cdot \phi_{i-1} + K_{st} \cdot T_i - R_i$$

3.3.3 计算工况及参数选择 按《地质灾害防治工程设计规范》(GB5015029—2004),和斜坡土体特征以及影响因素,拟定滑坡推力计算的 3 种工况及滑坡推力计算安全系数 K_{st} 如下:

工况 1: 现状工况。自重(天然状态) + 地表荷载; K_{st} 取 1.25。

工况 2: 极端暴雨工况。自重(饱和状态) + 地表荷载; K_{st} 取 1.25。

校核工况: 暴雨 + 地震校核工况。自重(饱和状态) + 地表荷载 + 地震力; K_{st} 取 1.05。

根据上述工况计算滑坡推力,选用上述工况中最不利工况,即工况二作为本次治理设计工况。

3.3.4 计算 选取滑坡有代表性的断面 1—1 剖面, 4—4 剖面, 5—5 剖面进行稳定性计算。列出计算结果表 5 所示。

表 5 稳定性计算结果

地段剖面	块段	工况	稳定性		剩余下滑力计算	
			稳定系数 K_s	稳定性评价	安全系数 F_{st}	剩余下滑力/ (kN·m ⁻¹)
意园冲 1—1	a—b	现状	2.25	基本稳定	1.25	0
		暴雨	1.20	不稳定	1.25	42
		校核	1.16	不稳定	1.05	0
意园冲 4—4	a—b	现状	1.52	稳定	1.25	0
		暴雨	0.84	不稳定	1.25	501
		校核	0.81	不稳定	1.05	301
意园冲 5—5	a—b	现状	3.00	稳定	1.25	0
		暴雨	1.25	不稳定	1.25	0
		校核	1.53	不稳定	1.05	0
c—d	暴雨	现状	1.52	稳定	1.25	0
		校核	1.38	稳定	1.05	0

3.4 滑坡稳定性评价

土体易沿岩土体接触面产生崩塌、滑坡。现斜坡局部地段发生了4处小崩塌、滑坡,岩土体接触面与坡向一致,是软弱结构面。同时,基岩岩层倾向与坡向一致,特别是岩土体接触面,上覆土体透水性较基岩强。同时,地表排水系统的不完善,生活废水、降雨易于入渗到土体中,因基岩的相对阻水,地下水沿接触面运移,一方面因土体饱水增加了土体的自重;另一方面降低了抗滑能力。因此,土体易沿岩土体接触面产生崩塌、滑坡。

稳定性计算结果也表明,在现状条件下时,坡体保持稳定状态;在雨季(暴雨)状态下,坡体稳定性较差,整体处于基本稳定状态和欠稳定状态,部分为不稳定状态。因此,在极端暴雨作用下可能会产生整体滑坡。同时,斜坡上的1处规模较大的滑坡,处于缓慢蠕滑状态,稳定性较差,在外界因素影响下坡体极易继续失稳滑动,危及坡体居民及坡脚武警支队办公大楼的安全,损失情况大,危险性大。

4 滑坡结论及综合治理对策

4.1 滑坡结论

意园冲地段滑坡的产生是岩土体条件、地形地貌、降雨和人为因素综合影响的结果。历史形成的不合理的城市布局和对山体斜坡随意开挖破坏和暴雨是导致近年来崩塌、滑坡的主要因素。这些小崩塌、滑坡可以认为是上述重点地段潜在滑坡的前兆,坡上坡下城市居民众多,一旦发生,危害性极大,将严重威胁居民的生命财产安全,必须进行工程治理。

在综合分析崩塌、滑坡形成的基本条件、影响因素及形成机制的基础上,采用条分法(传递系数法)进行稳定性系数和剩余下滑力计算。稳定性计算结果

表明该滑坡现状处于稳定状态。在暴雨状态下处于基本稳定和欠稳定状态,局部处于不稳定状态,稳定系数为0.81~3.0,剩余下滑力为0~501 kN,遇强降雨易诱发滑坡、崩塌,危及龙母庙及居住在坡体上居民的安全,损失情况大,危险性大。

4.2 综合治理对策

意园冲滑坡地段多次发生坡体崩塌、滑坡,斜坡稳定性差,雨季处于极限平衡状态和不稳定状态,存在严重安全隐患,但因意园冲处于梧州市的老城区,因此,治理对策除考虑技术、经济因素外,还要考虑生态环境因素,建议采用搬迁避让、挡土墙护坡、生物护坡、锚索格构锚固、锚索承台;建立完善的地表排水系统,防止地表水入渗和冲刷侵蚀,影响坡体的稳定性,避免诱发崩塌、滑坡灾害。治理采用多种方法相结合,以彻底消除地质灾害隐患为目的。

在未进行治理前对滑坡进行动态监测,监测滑坡的发展变化情况,以及时正确地作出防范措施。

[参 考 文 献]

- [1] 广西环境监测总站.梧州市万秀区重点地段地质灾害勘察报告[S].2005.
- [2] 广西环境监测总站.梧州市万秀区重点地段土工实验成果[S].2005.
- [3] 赵成刚.土力学原理[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [4] 徐邦栋.滑坡分析与防治[M].中国铁道出版社,2001.
- [5] DB50/143—2003.重庆市地质灾害防治工程勘查规范[S].2003.
- [6] GB50021—2001.岩土工程勘查规范[S].2002.
- [7] GB5015029—2004.地质灾害防治工程设计规范[S].2004.
- [8] GB18306—2001.中国地震动参数区划图[S].2002.
- [9] GB50011—2001.建筑抗震设计规范[S].2002.
- [10] 广西壮族自治区地震烈度区划图[S].2000.