

川东淀粉厂含碎石粉质粘土滑坡稳定性研究

颜宇森^{1,2},雷海英²

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院,武汉 610059; 2. 中国地质环境监测院,北京 100081)

摘要: 由于结构的复杂性,含碎石粉质粘土的工程性质很难由常规土力学试验准确确定。论文以川东淀粉厂滑坡为例,通过现场试验、室内试验和工程类比,研究了含碎石粉质粘土的抗剪强度等指标的确定方法,探讨了含碎石粉质粘土滑坡的形成机制、控制因素和地质模型,应用极限平衡理论方法分析了在现状、暴雨和三峡水库蓄水后水位动态变化等环境条件下的滑坡稳定性。

关键词: 含碎石粉质粘土; 滑坡; 稳定性

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)03-0019-04

1 前言

在长江三峡库区巫山和奉节县境内存在大量的第四系松散堆积体,主要由土夹碎石或碎块石以及碎石或碎块石夹土组成,最大厚度达30余米。由于碎石土的形成年代和堆积形式有很大的差异,使其形成滑坡的形式也表现不同^[1~2]。这种地质材料经历一定地质作用所形成,既不同于一般的均质土体,又不同于一般的碎裂岩体,是一种介于均质土体和碎裂岩体之间的特殊工程地质材料(图1)。这种地质材料由于含有不同大小、不同数量和不同分布形式的砾石或块石而具有与一般土体迥然不同的性质。组成颗粒物理力学性质差异很大,即岩石和土的差异;而土体中只是不同土颗粒之间的差异。结构上既有土颗粒之间的细观结构,又有岩石与土颗粒之间的宏观结构。土力学的常规试验方法和本构模型均很难适用于这种特殊介质。其本身由于碎石与土之间的分布比例、胶结形式、碎石的粒径大小、排列方式、密实程度等因素对其直剪强度参数的影响较土和岩石更为复杂^[3~4]。由于该类边坡通常规模较大、影响因素众多、失稳突发性强、滑移条件复杂,常给国民经济建设、人民正常生活与生命安全带来严重危害和巨大的财产损失。因此,对这类边坡进行系统分析、研究和总结具有特殊的理论和实用价值^[5,6]。本文以川东淀粉厂滑坡为例,研究了含碎石粉质粘土工程性质及其滑坡稳定性。



图1 现场的含碎石粉质粘土

Fig.1 Pebbly silty clay in site

2 场地工程地质特征

滑坡分布于长江左岸上西坪—川东淀粉厂山脊与东侧冲沟之间的凹形斜坡上,地貌上属低山丘陵区。前缘剪出带在坡面下部出露,西侧边界主要受控于165°~180°方向延伸的上西坪—川东淀粉厂外凸基岩山脊,东侧高程200m以上受控于130°方向延伸的小山脊,200m以下以152°方向延伸的小冲沟为界,周界清晰,具典型的滑坡地貌特征。滑体物质为含碎石粉质粘土,滑坡主要是沿基岩与第四系界面产生滑动。滑带土结构中密—密实,所夹的角砾多呈次棱角—次圆状;滑床为灰黄色泥灰岩和灰色泥质灰岩,为软质薄—中厚层状碳酸盐岩类。主滑方向135°,总面积5.26×10⁴m²,滑体厚度9.6~27.2m,平均厚度20m,中部较四周厚,总体积110×10⁴m³,属于中等深度的大型滑坡。

3 含碎石粉质粘土抗剪强度试验

在野外进行2组大剪试验,并在钻孔中取2组样、

收稿日期: 2008-02-02; 修订日期: 2008-03-13

作者简介: 颜宇森(1964-),男,博士研究生,高级工程师,主要从事工程地质、地质灾害评估与防治研究。

E-mail: yanys@mail.cigem.gov.cn

探井中取1组样、滑坡剪出口取3组样,共取6组样进行滑带土的室内土工试验,室内抗剪强度试验采用土工试验三轴剪力和直剪仪,进行了原状样和制备样饱和快剪、饱和固结快剪、饱和固结排水剪等多种试验方法。

在工程区附近,其条件与川东淀粉厂相似的滑坡较多,如草街子滑坡、黄泥包新滑坡、玉皇阁滑坡等,其滑带土抗剪强度指标参数有重要的参考价值,通过类比来分析本滑坡的含碎石粉质粘土的强度参数。

由于该滑坡滑带粉质粘土中含有20%~30%的碎石,室内试验的结果易受到取原状样和试验条件的

限制,抗剪强度的试验值有一定的局限性,野外剪切试验可靠性相对较高,但由于滑带土本身土质不均,试验数量较少,代表性也存在一定的局限性,同时考虑该含碎石粉质粘土的土石比为8~7.3,结构较密实,内有小型挤压磨光面,碎石多为次棱角状,直径2~8cm,成分以灰绿色泥灰岩、灰岩为主等因素,含碎石粉质粘土的抗剪强度参数根据岩土试验成果、野外剪切试验结果、及与工程区相似滑坡的类比综合分析确定,对室内试验、野外剪切试验、类比分析结果分别按0.15、0.7、0.15的权重计算(表1~表3)。

表1 滑带含碎石粉质粘土的野外大剪试验成果表

Table 1 The shearing test in field result of pebbly silty clay of slide zone

滑坡部位	天然容重 (kN/m ³)	饱和容重 (kN/m ³)	抗剪强度									
			天然状态峰值强度		饱和状态峰值强度		天然状态残余强度		饱和状态残余强度			
			C(kPa)	(°)	C(kPa)	(°)	C(kPa)	(°)	C(kPa)	(°)		
DJ1 附近滑带	19.7	20.6	30.6	21.1			23.8	18.9				
DJ2 附近滑带	19.8	20.8			27.7	18.4					19.2	15.3
平均值	19.8	20.7	30.6	21.1	27.7	18.4	23.8	18.9			19.2	15.3

表2 滑带土的抗剪强度室内试验成果表

Table 2 The shearing test in laboratory result of pebbly silty clay of slide zone

取样位置	野外编号	取样深度 (m)	天然直接快剪		天然残余剪		饱和快剪		饱和残余剪		定名
			内聚力(kPa)	内摩擦角	内聚力(kPa)	内摩擦角	内聚力(kPa)	内摩擦角	内聚力(kPa)	内摩擦角	
滑带	TC4-1	2.00	33	21.2	24	18.3	23	17.6	18	14.4	粉质粘土
	监5	4.00	37	22.6	27	19.5	25	18.3	20	15.1	粉质粘土
	K2	14.90	34	24.7	25	20.4	23	19.2	14	15.2	粉质粘土
	K3	23.70~24.4	33	21.3	24	18.5	24	17.4	19	14.6	粉质粘土
	剪1	地表	32	22.7	23	19.6	21	18.1	17	15.3	粉质粘土
	剪2	地表	38	24.8	28	21.7	26	20.2	21	17.3	粉质粘土

表3 滑带土抗剪强度采用值

Table 3 The applied value of shearing strength parameters of pebbly silty clay of slide zone

项目	天然抗剪强度		饱和抗剪强度	
	C(kPa)	(°)	C(kPa)	(°)
室内试验标准值	32	21.6	22	17.6
滑带 大剪试验值	23.8	18.9	19.2	15.3
滑带 类比分析值	40	19.9	26.5	15.7
采用值	24	19.6	19	15.1

4 滑坡稳定性分析

4.1 滑坡形成的控制因素

川东淀粉厂滑坡在特定的地质环境中,产生相应的变形破坏,其形成发展受以下因素制约。

(1) 地层岩性

滑坡地表堆积的原残坡积碎块石土主要成分是含碎石粉质粘土,结构松散,大气降水易入渗,顺基岩界

面渗流。由于雨水淋滤作用,于岩土界面形成粘土质含量较高的滑移软弱带,为滑坡产生创造了条件。

(2) 地质构造

滑坡所在斜坡位于一级构造巫山复式向斜的南翼次级构造田家沟倒转背斜核部,发育的构造结构面将岩体切割为各种块体,并使地下水向深部径流贯通,同时使风化向深部发展,降低了岩体的抗拉、抗剪强度,使泥质含量较高的泥灰岩地层内发育剧强风化软弱层,导致242m下高陡斜坡滑移后牵引上部岩土体重力作用下滑动。在本段内对灰岩、泥质灰岩进行的裂隙统计表明,研究区内主要发育2组裂隙,走向分别为近南北和近东西向。显然,前一组裂隙构成滑坡的后缘边界,而后组则控制了两侧缘边界的形成。

(3) 临空条件

陡立的库岸为斜坡变形提供了临空条件,斜坡是长江不断下切侵蚀形成的,河流下切过程也是斜坡应

力场、应变场不断演化调整的过程。随着长江不断侵蚀切割形成多级基座、侵蚀阶地,库岸斜坡不断增高、变陡,由于坡体上的岩土体在自重作用下形成的拉张力使其集中于坡体后缘一线,而剪切力集中于斜坡前缘,当斜坡高度越来越大时,拉张力与剪切力越来越强,在其应力强度大于岩土体的抗拉、抗剪强度时,即产生斜坡变形。所以,陡立的库岸是斜坡岩体应力产生调整的理想场所。

(4) 气候变化

研究区自中更新世以来,经历了多次冰期与间冰期,气候冷暖差异大,各种自然风化营力作用强烈,尤其是间冰期内丰沛的大气降雨,对区内岩、土体产生了溶蚀、潜蚀等作用,由于降雨沿坡体上的各种结构面入渗而导致其深部软弱带的形成与发展发生。经大量的调查证实,斜坡变形地质灾害多发生在降水丰富期,即反映出气候变化对斜坡变形的促进作用。

(5) 人类工程活动

第一是修建房屋,主要是平房改楼房和房屋数量增多,其作用是使滑体加载;第二是公共设施建设,主要是公路建设破坏坡体结构和植被,滑体上部已修建集仙西路及拟建长江路,因车辆增多,载重量增加,震动增强。

4.2 滑坡形成的地质机制

川东淀粉厂滑坡是碎石土滑坡,自中更新世以来,由于本区地壳长期处于间歇性抬升运动,长江河谷急剧下切,致使由软硬相间的 $T_2 b^1$ 地层组合直接裸露地表,坡体上的岩体在自重作用应力下应力沿软弱部位急剧集中,特别是坡肩与坡脚部分所产生的拉张力与剪切力相对较高,同时产生应力回弹,在坡体应力长期作用下,使结构面产生蠕变变形,此时,这些结构面由隐蔽变为更加明显,并最终形成裂缝,将岩体切割为形态各异、大小不等的块体,在岩体弹性变形和卸荷变形、风化溶蚀的共同作用下,裂缝逐渐变宽加深。此后,在各种动力因素的作用下,裂缝越来越宽,岩体逐步脱离母体,位于坡肩、坡脊上的表层岩体在自重作用下首先沿坡体向下崩塌,故形成了前缘下部的堆积体。另一方面,如前分析,滑床底面形态主要受上陡下缓的坡面控制,滑坡所在的坡面为高陡剥蚀斜坡,其长期形成的大量崩坍堆积物和残坡积体等松散堆积物是构成滑体的主要物质来源,这些松散堆积物在长期的地质自然营力作用下,向斜坡下部运移,不断增加下部堆积物的厚度,导致这部分堆积体的下滑推力增大。河水不断冲掏松散堆积体构成的坡脚,使坡体阻滑力不断

地缓慢下降并形成了 170~240m 一线的高陡临空面。降水入参与地下水活动不断加剧,风化能力不断加强,经过长期的内外地质营力作用下,各种构造结构面进一步被拉开、增宽并贯通向深部发展。与此同时,在坡体利于降水入渗的不同地段形成了透镜体状分布的软弱带,此后,在久雨或暴雨作用下,使滑体饱水、充水,产生静、动水压力,并同时导致软弱带软化、泥化,使其抗剪强度迅速降低,当坡脚堆积体的阻滑力不足以抵消上部松散堆积体的下滑力时,即发生滑移,形成目前川东淀粉厂滑坡 242m 高程下的中前部。由于前缘失去阻挡,242m 高程以上的斜坡体在重力作用下,顺下伏强风化的泥灰岩风化夹层软弱带下挫,形成最终的川东淀粉厂滑坡。

5 滑坡稳定性计算分析

采用以极限平衡理论为依据的传递系数法来计算滑坡的稳定系数。作用于滑体各条块上的力包括条块重量、地下水浮托力、库水位消退时的超孔隙水压力、渗透力以及滑体表面的建筑荷载。

(1) 计算剖面

选择沿主滑方向的 3 个互相平行的纵剖面都进行了稳定性计算,根据传递系数法的原理对滑体进行了条分。典型计算剖面如图 2 所示。

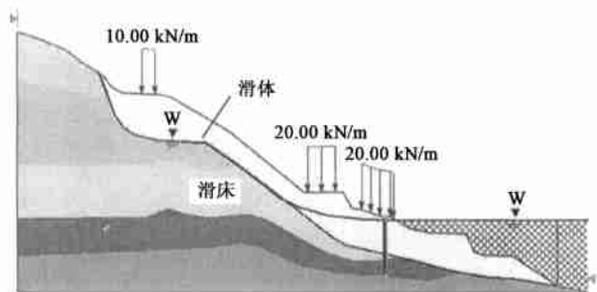


图 2 典型计算剖面示意图

Fig. 2 Sketch map of typical calculating section

(2) 计算工况的选择及取值说明

根据滑坡的受力特征及其可能出现的各种荷载情况及其组合,计算中主要考虑降雨、库水位的突降等。选定不同工况计算各剖面的滑坡稳定性及各滑块的剩余下滑力,具体各种工况组合条件如下:

工况 1:自重 + 地表荷载 + 139m;

工况 2:自重 + 地表荷载 + 水库坝前水位 175.1m
静水位 + 非汛期 20 年一遇暴雨;

工况 3:自重 + 地表荷载 + 水库坝前水位 162.2m

+ 50 年一遇暴雨;

工况 4:自重 + 地表荷载 + 坝前水位 175.1m 降至 145.1m;

工况 5:自重 + 地表荷载 + 坝前水位 175.1m 降至 145.1m + 非汛期 20 年一遇暴雨;

工况 6:自重 + 地表荷载 + 坝前水位 162.2m 降至 145.1m + 50 年一遇暴雨;

计算中,在滑坡 175m 以上建筑区加载按均匀荷载 10~20kN/m 考虑,工况 1~工况 3 未考虑动水压力,工况 4~工况 6 滑坡在 175m 及 162m 库水位下降时考虑动水压力,非汛期 20 年一遇按 4.2m/d 渗透深度考虑,汛期 50 年一遇暴雨按全饱和考虑,地下水位以下滑块考虑浮力。稳定性计算结果见表 4。

表 4 稳定系数计算结果表

Table 4 Calculating result of stability coefficient

剖面工况	1—1 剖面	2—2 剖面	3—3 剖面
工况 1	1.29	1.20	1.14
工况 2	1.16	1.04	1.01
工况 3	0.98	0.91	0.91
工况 4	1.09	0.94	1.01
工况 5	1.03	0.88	0.96
工况 6	0.91	0.99	0.91

(3) 滑坡稳定性敏感因素分析

滑坡是在残坡积物的不断加载等因素综合作用下形成的主要沿基岩面滑动的推移式滑坡,使滑坡产生活动的影响因素主要有后缘残坡积物的加载、前缘河沟的冲刷、大气降雨和人类工程活动。后缘大量堆积的残坡积块碎石土成为滑坡的物质基础,前缘河沟为滑坡的形成提供了临空条件,这两个因素也是滑坡形成的先决条件,滑坡稳定性主要受大气降雨和库水位影响,大气降水入渗到地下之后,降低滑带土的抗剪强度,增加滑体土的重量及动水压力,直接影响滑坡稳定性。滑坡体上近期产生的许多变形都是在 2001 年汛期的大暴雨时产生的,由此说明,大暴雨对滑坡的复活有重要的作用。三峡水库蓄水后,当库水位达到 175m 时,下滑体的前部将被库水淹没。由于库水的冲刷侵蚀作用形成库岸再造,必将增加滑坡前缘的临空程度;库水的长期浸泡,使地下水的浸润曲线上升,降低滑体及滑带土的抗剪强度;库水位的迅速下降,又会增加滑体中的动水压力,降低滑坡的稳定性,可能引起滑坡复活。

由表 5 知,当粘聚力 C 不变的情况下,每增加

1°,稳定系数增大 0.055;当 ϕ 不变, C 每增加 1kPa,稳定系数增加 0.01。对稳定系数的影响敏感。

表 5 滑带抗剪强度敏感性分析

Table 5 Sensitivity analysis of shear strength parameters of slide zone soil

F_s	($^{\circ}$)					
	15	16	17	18	19	20
10	0.735	0.89	0.945	1.00	1.055	1.11
15	0.785	0.94	0.995	1.05	1.105	1.16
C	20	0.835	0.99	1.045	1.10	1.155
(kPa)	25	0.985	1.040	1.095	1.15	1.205
	30	1.035	1.09	1.145	1.20	1.255
	35	1.085	1.14	1.195	1.25	1.305

6 结论

(1) 在综合考虑室内试验、现场试验和工程类比基础上的含碎石粉质粘土的抗剪强度的确定结果可以比较准确地反映场地实际情况。

(2) 滑坡的滑体形态和结构特征分析以及在 4 种工况条件下的稳定性定量分析结果表明,由于滑床形态和滑体厚度在纵向和横向上的变化较大,各个控制性剖面的稳定系数变化较大,这也反映出滑坡稳定性在空间上的变化较大。通过计算结果进行综合分析,结果表明,天然状态下滑坡体整体处于稳定状态。三峡工程 175m 回水后,滑坡稳定性较差。

参考文献:

- [1] 廖秋林,李晓,郝钊. 土石混合体的研究现状及研究展望[J]. 工程地质学报, 2006, 14(6): 800 - 807.
- [2] 李维树,丁秀丽,邬爱清. 蓄水对三峡库区土石混合体直剪强度参数的弱化程度研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(7): 1338 - 1342.
- [3] 油新华,汤劲松. 土石混合体野外水平推剪试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1537 - 1540.
- [4] 徐文杰,胡瑞林,曾如意. 水下土石混合体的原位大型水平推剪试验研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(7): 814 - 818.
- [5] 油新华,何刚,李晓. 土石混合体边坡的细观处理技术[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(1): 18 - 21.
- [6] 郑颖人,时卫民,刘文平. 三峡库区滑坡稳定分析中几个问题的研究[J]. 重庆建筑, 2006(6): 6 - 17.

(下转第 27 页)

Study of formation mechanism of the Zhaozixiu deformed body of Huaying City, Sichuan Province

WU Bao-xiang, SHEN Jun-hui, SHEN Zhong-chao, CUI Jie, WANG Lan-sheng
(National Key Laboratory of Geological Hazard Prevention and Geological Protection,
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The Zhaozixiu deformed body is located in the northwest of Huaying City, and the city will be in danger directly if the deformed body collapses. After analyzing the geological structure, deformation character, geomorphic evolution, human engineering activities in detail, the author has introduced numerical simulation into the article to study the case of formation mechanism of the deformed body. The study indicates that the deformed body has been gradually formed when the middle-obliquity reverse slope, which contains coal bed, was bended and ripped during the down-cutting of canyon. And human engineering activities, that is, excavating coal, influenced the development of the deformed body to great extent.

Key words: Zhaozixiu deformed body in Huaying City; fracture; structure character; formation mechanism; numerical simulation

责任编辑:张明霞

(上接第 22 页)

Study on the stability of the Chuandong starch factory landslide of the pebbly silty clay in east Sichuan Province

YAN Yu-sen^{1,2}, LEI Hai-yin²

(1. Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430073, China;
2. China Institute for Geo Environmental Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: The engineering property of the pebbly silty clay is difficult to determine accurately by the routine soil mechanics experiment because of its structure's complexity. Depending on the Chuandong starch factory landslide, supported by the field test, the laboratory test and the project analogy method, this paper studies the determined method of the pebbly silty clay's shear strength etc inderes, discusses the formation mechanism, the controlling factors and the geological model, and analyses on the stability under the current situation, the rainstorm and the water level dynamic variations in after water storage of three gorges reservoir etc environmental conditions by the limit equilibrium theory. At the same time, the sensitivity analysis of shear strength parameters in pebbly silty clay stability is studied.

Key words: pebbly silty clay; landslide; stability

责任编辑:张明霞