

水位骤降条件下含砂层堆积体边坡稳定性分析

陈亮, 巨能攀, 赵建军

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要:砂土遇水湿化后,其强度呈现出一定幅度的降低,这对含砂层堆积体边坡稳定性非常不利。本文以我国西南某库区堆积体边坡为例,对砂层在水位骤降条件下对边坡稳定性的影响进行了深入研究。该堆积体在纵向上可划分为三层(第①层、第②层、第③层),其中第②层和第③层堆积体中含砂量较大,表现出明显的河流相堆积体的特征。在此基础上,采用有限元数值模拟的方法(FEM)对该堆积体边坡在蓄水和水位骤降条件下的孔隙水压力特征进行模拟,而后,采用极限平衡法(LEM)、考虑非饱和土的基质吸力,对边坡在水位骤降条件下的稳定性进行分析。最后,对比含砂层堆积体边坡模型和不含砂层堆积体边坡模型,对砂层在水位骤降条件下对边坡稳定性的影响做了较为深入的分析和探讨。

关键词:砂层;有限元方法;水位骤降;极限平衡法;堆积体边坡稳定性

文章编号:1003-8035(2013)01-0033-07

中图分类号:P642.22

文献标识码:A

0 引言

砂土等非粘性土,其强度(有效抗剪强度、变形强度)在遇水湿化后均出现不同幅度的降低现象^[1-2]。同时,含砂层堆积体变形及稳定性问题一直是地质工程领域研究的重点问题之一,特别是在水利水电工程中,库区含砂层堆积体边坡的稳定性往往成为工程建设和安全运营的关键。在我国西南的金沙江及其主要支流(雅砻江、大渡河、岷江)蕴含有丰富的水利水电资源^[3-4],然而,这些地区也是新构造运动活跃的地区:河道抬升,河流下切。从而导致这些地区形成的堆积体下伏往往含有一层具有一定厚度、展布不均匀^[5-6]的河流相砂层。

目前,已有许多学者对这种含砂层堆积体的物理力学性质进行了卓有成效的研究工作。一般认为:在河流水位稳定不变,砂层处于天然含水量的情况下,该类堆积体边坡的整体稳定性状态较好;但在河水位抬升及骤降的状态下,砂层孔隙水压力的变化对边坡稳定性将造成重大影响,这对河流沿岸将带来重大工程地质问题^[7-11],因此,对该类型边坡稳定性变化的研究具有重要意义。

本文以西南某水电站库区堆积体边坡为例,在工程地质条件、结构特征调查的基础上;采用有限元方法(FEM)和极限平衡法(LEM)相结合的方式,分析了该堆积体在水位骤降条件下稳定性变化趋势;并采用含砂层(原始边坡模型)和不含砂层(理想边坡模型)两个边坡模型对比的方式,对砂层

对该堆积体边坡的稳定性影响做了较为深入的分析和探讨。

1 工程概况

研究区地处青藏高原东南缘横断山脉东部地带,“川滇菱形”断块内部,地势总体趋势是北西高南东低,山顶高程为3800~5800m,谷底高程1650~2800m,属高山深切割区。表现为典型的高山峡谷地貌景观,河谷呈不对称“V”型。

尽管区内地质构造较复杂,断层、褶皱发育,但是,地处龙门山断裂带的最南端的该区域亦被认为是构造活动相对较稳定^[12]。在该研究区未发现晚更新世以来的活动性断裂,推测该区域发生6级以上强震的可能性较小。

该堆积体边坡中地下水较为发育,主要为第四系覆盖层中的孔隙水和砂板岩中的基岩裂隙水,根据钻孔资料显示,堆积体中有稳定水位出露。该处地下水的补给途径主要为大气降水,排泄途径主要为附近冲沟及前缘河流。

2 堆积体边坡基本特征

2.1 空间形态特征

该堆积体边坡在平面上呈不规则四边形(图1),

收稿日期:2012-07-27;修订日期:2012-09-29

作者简介:陈亮(1987—),男,硕士,主要从事地质灾害评价与预测方面的研究工作。

E-mail:422751223@qq.com

纵向上呈典型的“陡－缓－陡”地形地貌特征(图2);中部为一缓坡平台,坡度约19°;前缘、后缘坡度较陡,一般30°~45°,前缘临河部位局部形成陡崖,具有较好的临空面。边坡堆积体分布高程:2167~

2495m,顺河宽约350m,横河长约600m,体积约 $13.5\times10^6\text{m}^3$ 。水库蓄水后,前缘大部分堆积体位于正常蓄水位(高程2288.5m)以下,处于正常蓄水位以上的体积约 $8.7\times10^6\text{m}^3$ 。

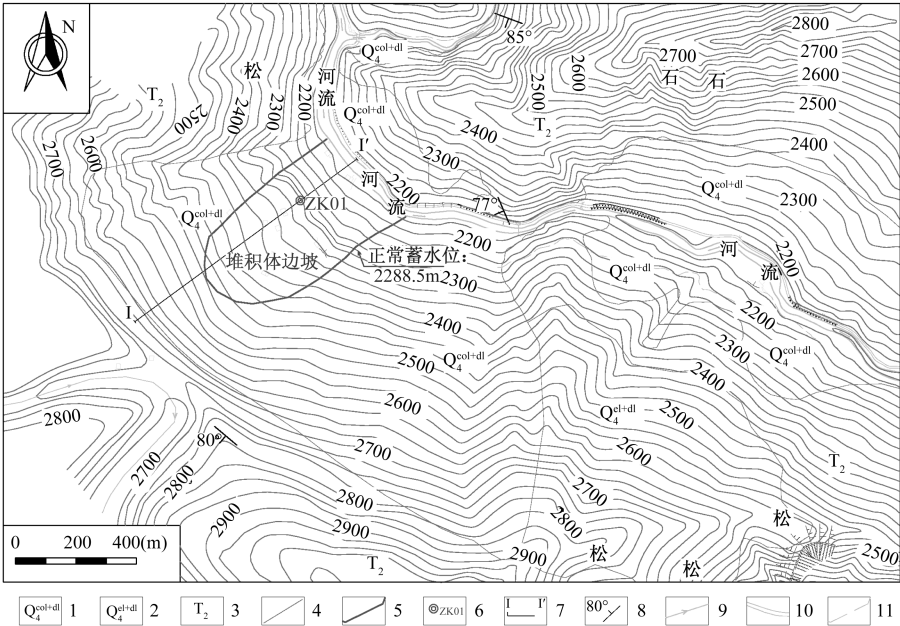


图1 堆积体边坡地貌特征

Fig. 1 Geomorphic features of the deposit slope

1—崩、坡堆积物;2—残、坡堆积物;3—三叠系中统:变质砂岩夹板岩;4—地层分界线;5—堆积体边坡边界;
6—钻孔及编号;7—剖面线及编号;8—岩层产状;9—地表水系;10—公路;11—小路

2.2 坡体结构特征

根据物探及钻探资料揭示,该堆积体边坡下伏三叠系中统(T₂)板岩、变质砂岩互层,主要表现为灰色-灰黑色,岩性较单一,产状:N25°~40°(W/SW∠75°~85°,表现为陡倾坡内;上覆第四系松散堆积物,厚度变化较大,大多30~90m,根据现场地质调查及对已有钻孔资料的研究发现,该堆积体可明显地划分为3层(图2):

第①层:分布于坡表,为一层厚20~60m的棕红色、灰黄色块碎石土,局部有一定的泥质胶结,块碎石粒径一般2~10cm,偶夹大块径块石(2~3m),基本无磨圆,多为棱角~次棱角状;第②层:为一层厚在14.7m左右的灰黄色碎石土,含砂较多,碎石粒径较小,一般1~6cm,偶夹块径稍大块石,磨圆较差;第③层:为一层厚10~30m的青灰色、灰白色粗砂、粉土夹碎石土层,碎石无磨圆、磨圆较差,粒径一般0.5~3cm,含量较少,稳定地下水位及发现在该层中。

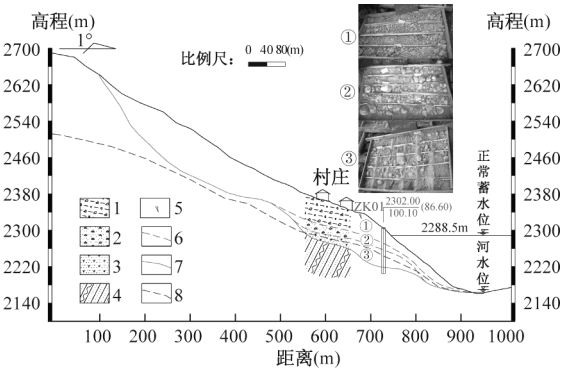


图2 堆积体边坡典型剖面图

Fig. 2 Typical profile of deposits slope

1—①—第①层堆积体(块碎石土);2—②—第②层堆积体(含砂碎石土);3—③—第③层堆积体(粗砂、粉土夹碎石土层);4—三叠系中统变质砂岩夹板岩;5—地表裂缝;
6—堆积体分层界线;7—基覆界面;8—地下水位线

2.3 边坡变形特征

根据现场地质调查发现,该堆积体边坡并未发现整体变形破坏的迹象,仅在前缘较陡的局部地区出现

小规模垮塌。另外,从当地村民处了解到,在暴雨季节,缓坡平台一边坡前缘过渡地段,地形较陡处曾出现宽 10cm 左右地表裂缝,裂缝深 3 ~ 7m。截至现场调查时,该裂缝已自行闭合。

3 计算模型及物理力学参数

3.1 计算模型

根据前面对边坡工程地质条件的深入研究,边坡计算模型可概化为两种类型的材料(堆积体、基岩)。并且,采用含砂层堆积体边坡模型(第①层、第②层、第③层堆积体)和不含砂层堆积体边坡模型(第①层堆积体)对比计算的方法,来分析砂层对堆积体边坡稳定性的影响。两个计算模型尺寸均为:垂直河流方向长 1010m(X 轴方向),高 630m(Y 轴方向,高程范围 2060 ~ 2690m)。本次二维有限元计算过程中,共划分 1158 个单元,1195 个节点(图 3)。

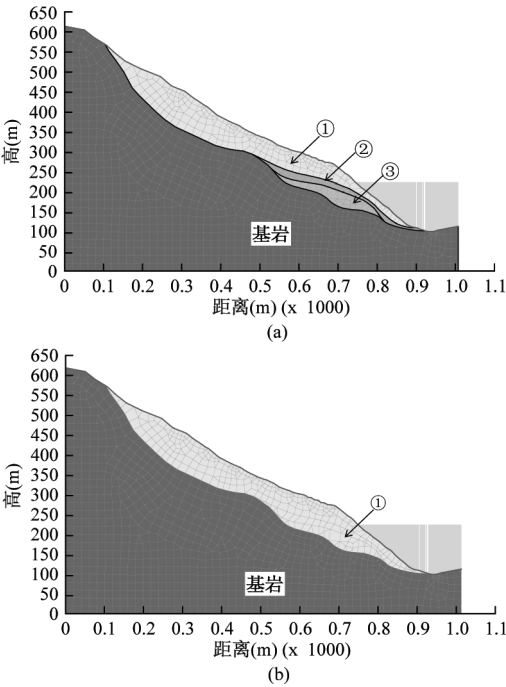


图 3 计算模型

Fig. 3 Model used in calculation

a—含砂层边坡; b—不含砂层边坡

3.2 边界条件

初始稳定流状态:即水库正常蓄水位条件,边坡左右两侧施加定水头边界条件,其中左侧为根据钻孔监测水位所推测的水头高度,右侧为正常蓄水位水头高度(高程 2 288.5m);

非稳定流状态:即水位骤降条件,在初始稳定流

状态的基础上,在边坡前缘蓄水范围内施加以 2m/d 下降的水位骤降边界条件。

3.3 材料模型及物理力学参数

(1)材料模型的选取

首先:在 Seep/W 模拟计算时,边坡堆积体(①、②、③层)均采用饱和/非饱和(Saturated/Unsaturated)^[13-15]材料模型,基岩采用饱和(Saturated Only)材料模型。其中,三层堆积体的土水特征曲线采用 GEO-Studio 软件所提供的土水特征曲线模型进行拟合。其中:第①层堆积体,采用进气值(AEV)^[16]相对较大的粉质粘土模型对土水特征曲线进行拟合;第②层堆积体,采用进气值(AEV)相对稍小的粉砂模型对土水特征曲线进行拟合;第③层堆积体,采用进气值(AEV)相对较小的砂模型对土水特征曲线图进行拟合。

其次:在 Slope/W 模拟计算中,基岩和边坡堆积体(①、②、③层)材料本构模型均选为理想弹塑性模型,屈服准则均采用摩尔-库伦(Mohr-Coulomb)强度准则。并且,利用各土层拟合的土水特征曲线图,考虑基质吸力对该堆积体边坡稳定性的影响。

(2)计算参数的选取

参数的正确选取是模型计算的基础,本次模型计算中各层岩土体物理力学参数的选取,是在室内、原位试验数据分析的基础上,同时结合工程类比^[17]及相关手册^[18],对参数进行综合取值(表 1)。

表 1 物理力学参数表

Table 1 The physical and mechanical parameters table					
土层 编号	容重 γ (kN/m ³)	孔隙率 n (%)	饱和渗透 系数 K_s (cm/s)	抗剪强度(有效)	
				内聚力 c' (kPa)	内摩擦角 φ' (°)
①	20.0	40	5.6E-02	45	34
②	19.5	35	6.8E-02	25	32
③	19.0	33	8.3E-02	23	32
基 岩	25.5	28	2.8E-04	300	40

4 计算结果分析

堆积体边坡前缘河流天然水位高程 2163.5m,水库设计正常蓄水位高程 2288.5m,蓄水深度 125m。根据泄洪设定的水位骤降速率(2m/d),从正常蓄水位降至死水位需要 62.5d。因此,在模型计算时,设定 63d 泄洪完成,稳定性计算持续至第 83 天,届时,Seep/W 模拟的地下水位线基本保持不变,认为地下水位趋于稳定。

从 Slope/W 模拟计算的结果(图 4 a)可以看出,该边坡最危险滑面出现在斜坡前缘较陡处。潜在滑面入口处位于边坡中部缓坡平台前端,这与暴雨季节出现的地表裂缝位置基本一致;该滑面穿过边坡堆积体中的第②、③层砂层,最后从坡脚部位剪出。

4.1 边坡稳定性变化趋势

根据计算结果(图 4、图 5)分析可知,该堆积体边坡潜在最危险滑面出现在坡体前缘较陡部位。在泄洪条件下,随着水位骤降的进行,其稳定性系数呈降低、回升、稳定的变化趋势。其中,最低值出现在第 24d(含砂层)、第 10d(不含砂层),其值分别为 0.988(含砂层)、1.112(不含砂层);经过稳定性系数最低值后,其稳定性系数开始逐渐回升,至泄洪完成后(63d 以后),稳定性系数分别稳定在 1.064 ~ 1.080(含砂层)、1.255 ~ 1.260(不含砂层)。

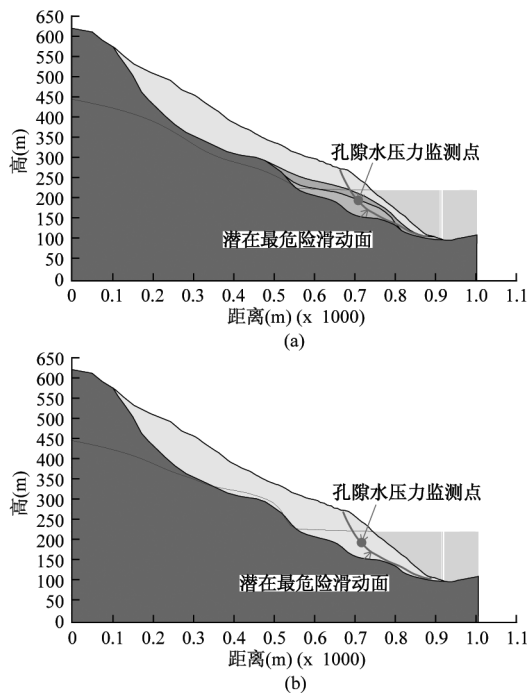


图 4 潜在滑面及孔隙水压力监测点位置图

Fig. 4 The potential slip surface & PWP monitoring point location

a—含砂层边坡; b—不含砂层边坡

4.2 砂层对边坡稳定性的影响

在泄洪条件下,为了准确地分析出下伏砂层对堆积体边坡稳定性的影响,本次主要通过两个计算模型(含砂层、不含砂层)的对比,并辅以孔隙水压力监测

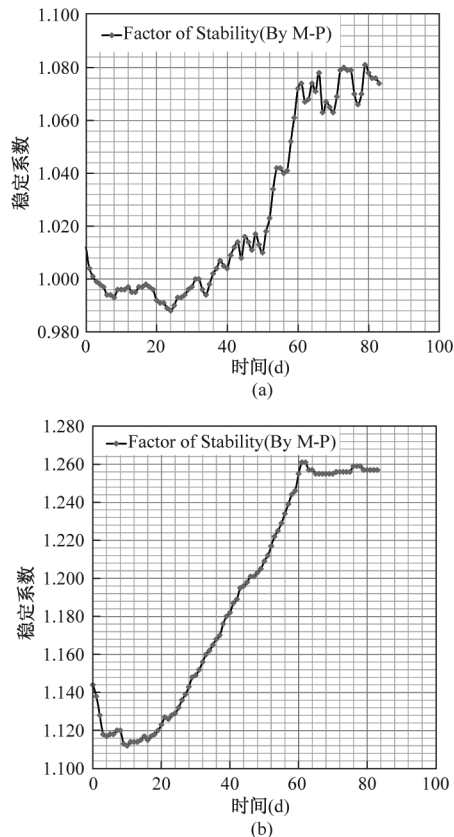


图 5 稳定性变化曲线图

Fig. 5 The Stability variation curve

a—含砂层边坡; b—不含砂层边坡

值的对比来进行分析。其中,主要在潜在最危险滑面后半段,第②层、第③层含砂堆积体的位置布置孔隙水压力监测点(图 5)。

在水位骤降条件下,虽然,两边坡模型稳定性变化趋势存在一定的相似性,但是,他们的区别也是显而易见的:

首先,含砂层堆积体边坡的稳定性系数(1.012 ~ 1.080,最低 0.988)始终表现为小于不含砂层边坡的稳定性系数(1.144 ~ 1.260,最低 1.112)。通过分析得出,这主要是由于砂层具有较低的抗剪强度造成的^[19];

其次,泄洪完成后,不含砂层堆积体边坡的稳定性系数将恢复至一个更高的值,表现为从 1.112 恢复至 1.260;而含砂层边坡的稳定性系数仅从 0.988 恢复至 1.080。结合各土层土水特征曲线模型对比可以推测得出:在泄洪条件下(排水过程),含砂层堆积体拥有更小的进气值和残余含水量;并且,在达到残余含水量的时候,含砂层堆积体的基质吸力增量较不

含砂层堆积体的基质吸力增量小。这一现象通过孔隙水压力的监测曲线(图6)也能清晰地反映出来:含砂层堆积体孔隙水压力变化范围为 $259 \sim -158 \text{ kPa}$ (图6a);不含砂层堆积体孔隙水压力变化范围为 $260 \sim -321 \text{ kPa}$ (图6b),其中负的孔隙水压力表现为基质吸力。

最后,含砂层堆积体边坡稳定性系数最小值出现的时间稍显滞后,在泄洪开始后第24d,而不含砂层堆积体边坡表现为第10d。通过分析得出,其主要原因是砂层在排水过程中,所提供的基质吸力(负孔隙水压力)较小(图6),所以含砂层堆积体边坡在水位骤降的过程中,其稳定性系数降低的现象会持续较长的时间(第24d)。

另外,根据含砂层堆积体边坡孔隙水压力监测曲线可以看出(图6a),在水位骤降第24d左右,孔隙水压力监测曲线出现一突兀的拐点,根据 Kai Germer & Juergen Braun 的研究可知^[20],在该拐点处即是边坡稳定性最差的时刻,其发生失稳破坏的可能性极大。

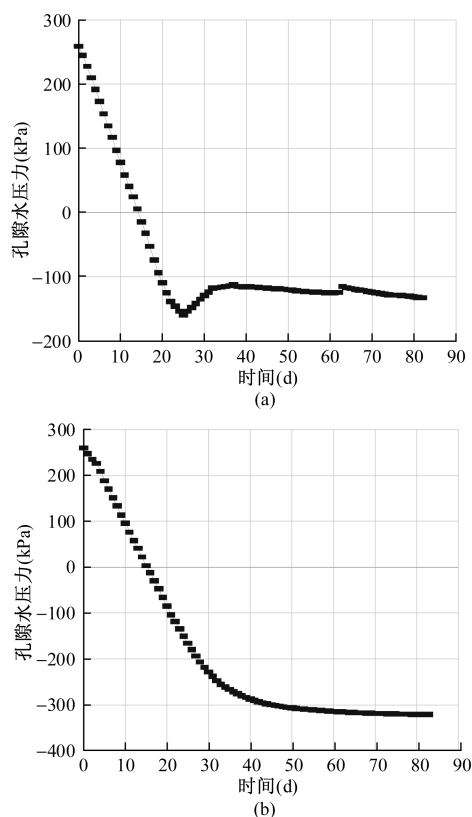


图6 监测点孔隙水压力变化曲线图

Fig. 6 PWP variation monitoring graph

a—含砂层边坡; b—不含砂层边坡

5 结论

在泄洪条件下,该堆积体边坡的稳定性变化趋势总体表现为先降低、再增加、最后稳定的一个过程。砂层对边坡稳定性的影响是多方面因素共同作用的结果,包括强度和基质吸力等因素:

(1)砂层具有相对较低的抗剪强度,与不含砂层堆积体边坡相比,含砂层边坡堆积体整体上稳定性表现稍差;

(2)砂层在排水的过程中基质吸力增量较小,与不含砂层堆积体边坡相比,含砂层堆积体边坡在泄洪完成后,其稳定性系数增量相对较小。而且,含砂层堆积体边坡在泄洪过程中,其稳定性系数减小至最低值所需的时间更长(如该模型的24d),即含砂层堆积体边坡的稳定性系数开始恢复增加的时间更靠后;

(3)在水位骤降持续24d左右,含砂层堆积体边坡的孔隙水压力监测曲线出现一拐点,该时刻该边坡稳定性系数降至最低(0.988),其发生失稳破坏的可能性极大。

参考文献:

- [1] 王强,刘仰韶,傅旭东. 路基砂土湿化变形的试验研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2005, 2(4): 21-25.
WANG Qiang, LIU Yangshao, FU Xudong. Experimental study on the deformation of roadbed sand[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2005, 2(4): 21-25.
- [2] 张均锋,孟祥跃,俞善炳,等. 含弱透水夹层饱和砂土坡体滑坡的实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(12): 2001-2005.
ZHANG Junfeng, MENG Xiangyue, YU Shanbing, et al. Testing study on landslide of saturated sand slope sandwiched with low-permeability layer[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(12): 2001-2005.
- [3] 赵建军,巨能攀,涂国祥. 松散堆积体工程边坡变形机理分析及支护对策研究[J]. 工程地质学报, 2008, 16(5): 611-615.
ZHAO Jianjun, JU Nengpan, TU Guoxiang. Deformation mechanism and supporting measures of man-made slopes in loose deposits[J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(5): 611-615.
- [4] 沈习文,聂大丰,吴永安. 双江口水电站库区左岸冰水堆积体边坡稳定性分析[J]. 水电站设计, 2010, 26(4): 46-50.

- SHEN Xiwen, NIE Dafeng, WU Yongan. Stability analysis of an aqueoglacial deposit located in the left bank of Shuang Jiang-kou hydropower station reservoir [J]. Design of Hydroelectric Power Station, 2010, 26(4): 46-50.
- [5] 崔杰, 王兰生, 徐进, 等. 深切河谷岸坡大型堆积体成因及稳定性研究[J]. 灾害学, 2007, 22(2): 46-50.
- CUI Jie, WANG Lansheng, XU Jin, et al. Research of genetic mechanism and stability on large brecciated accumulation body of incised valley slope[J]. Journal of Catastrophology, 2007, 22(12): 46-50.
- [6] 巨能攀, 黄润秋, 涂国祥. 含水砂层对堆积体稳定性的影响研究[J]. 工程地质学报, 2006, 14(4): 476-480.
- JU Nengpan, HUANG Runqiu, TU Guoxiang. FEM analysis of the effects of saturated sand seams on stability of accumulations along upper Mingjiang River [J]. Journal of Engineering Geology, 2006, 14(4): 476-480.
- [7] 乔娟, 罗先启, 张立仁, 等. 库水位作用下三峡库区某库岸堆积体稳定性研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2005, 27(6): 490-493.
- QIAO Juan, LUO Xianqi, ZHANG Liren, et al. Study of some deposit slopes' stability affected by water of Three Gorges Reservoir [J]. Journal of China Three Gorges Univ. (Natural Sciences), 2005, 27(6): 490-493.
- [8] 董金玉, 杨继红, 孙文怀, 等. 库水位升降作用下大型堆积体边坡变形破坏预测[J]. 岩土力学, 2011, 32(6): 1774-1780.
- DONG Jinyu, YANG Jihong, SUN Wenhui, et al. Prediction of deformation and failure of a large-scale deposit slope during reservoir water level fluctuation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(6): 1774-1780.
- [9] 杨继红, 董金玉, 陈亚鹏, 等. 某水电站库区堆积体边坡的成因机制分析及稳定性评价[J]. 工程地质学报, 2008, 16(3): 311-318.
- YANG Jihong, DONG Jinyu, CHEN Yapeng, et al. Formation mechanism and stability assessment of deposit slope located in reservoir region [J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(3): 311-318.
- [10] 张芳枝, 陈晓平. 非饱和堤岸的渗流特征及其稳定性研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(5): 1561-1567.
- ZHANG Fangzhi, CHEN Xiaoping. On seepage flow and stability of unsaturated soil embankment[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(5): 1561-1567.
- [11] 乔娟, 罗先启. 水库蓄水作用下三峡库区某库岸堆积体变形破坏机理研究[J]. 灾害与防治工程, 2006, 60(1): 25-29.
- QIAO Juan, LUO Xianqi. Study of a deposit slopes' failure mechanism affected by the rising of Three Gorges reservoir water table [J]. Disaster and Control Engineering, 2006, 60(1): 25-29.
- [12] F C Dai, C F Lee, J H Deng, et al. The 1786 earthquake-triggered landslide dam and subsequent dam-flood on the Dadu River, southwestern China [J]. Geomorphology, 2005, 65: 205-221.
- [13] HUANG Maosong, JIA Cangqin. Strength reduction FEM in stability analysis of soil slopes subjected to transient unsaturated seepage [J]. Computers and Geotechnics, 2009, 36: 93-101.
- [14] Harianto Rahardjo, Alfrendo Satyanaga Nio, Eng Choon Leong, et al. Effects of groundwater table position and soil properties on stability of slope during rainfall [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2010, 11: 1555-1564.
- [15] 陈仲颐. 等(译) 非饱和土力学[M]. D G Fredlund, H Raharjo. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- D G Fredlund, H Raharjo. Soil mechanics for unsaturated soils [M]. CHEN Zhongyi, et. al. (in chinese) Beijing: China Building Industry Press, 1997.
- [16] 中方科技(CnTech)公司(译) 非饱和土体渗流分析软件 SEEP/W 用户指南[Z]. GEO-SLOPE International Ltd. 著. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
- GEO-SLOPE International Ltd. Seepage Modeling with SEEP/W[Z]. CnTech Co., Ltd. (in chinese) Beijing: Metallurgical Industry Press, 2011.
- [17] 魏进兵, 邓建辉, 高春玉, 等. 三峡库区泄滩滑坡非饱和渗流分析及渗透系数反演[J]. 岩土力学, 2008, 29(8): 2262-2266.
- WEI Jinbing, DENG Jianhui, GAO Chunyu, et al. Unsaturated seepage analysis and back analysis of permeability coefficient for Xietan landslide in Three Gorges Reservoir area [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(8): 2262-2266.
- [18] 《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.
- Engineering Geology Manual Editorial Committee. Engineering geology manual (Fourth Edition) [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2007.
- [19] 张俾元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994.

ZHANG Zhuoyuan, WANG Shitian, WANG Lansheng.
Engineering Geological Analysis Principle[M]. Beijing:
Geological House, 1994.

[20] Kai Germer, Juergen Braun. Effects of saturation on slope
stability: laboratory experiments utilizing external load
[J]. Vadose Zone, 2011, 10:477 – 486.

Influence of sand layer on deposit slope's stability under release flood condition

CHEN Liang, JU Neng-pan, ZHAO Jian-jun

(Chengdu University of Technology, State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu 610059, China)

Abstract: The strength of the sandsoil would decrease in a certain extent while it's wet. That would make a great influence on the stability of a deposit slope with sand layer. There is a case of a deposit slope located on a reservoir in Southwest of China. And the author make an intensive study on the influence of sand layer to the deposit slope's stability under rapid drawdown. This deposit was divided into three layers(i. e. The 1st layer, The 2nd layer, The 3rd layer). The 2nd layer& The 3rd layer contained a large fraction of sand, that indicated an alluvial properties obviously. After that, a numerical simulation of PWP was implemented under impounding and rapid drawdown condition by finite element method(FEM). In terms of that, the stability analysis was carried out under rapid drawdown condition by utilizing limited equilibrium method(LEM), Which considered the matric suction of unsaturated soil. At last, an intensive study on the influence of sand layer to the stability of deposit slope under rapid drawdown condition was carried out by compared two numerical models(i. e. one is with sand layer& the other is without sand layer).

Key words: sand layer; Finite Element Method (FEM); rapid drawdown; Limited Equilibrium Method (LEM); stability of deposit slope

第六届《中国地质灾害与防治学报》编辑委员会

名誉主任:李烈荣

主任:侯金武

委员:岑嘉法 陈梦熊 陈毓川 程伯禹 邓霁松 丁建博 段永侯 范宏喜 范相德 方鸿琪
葛文彬 何满潮 贺咏梅 胡时友 侯金武 黄润秋 黄学斌 姜建军 鞠建华 雷明堂
李烈荣 李善峰 李世海 李铁锋 李廷栋 刘传正 刘广志 刘希林 柳 源 罗元华
马凤山 乔建平 孙党生 石建省 孙晓明 唐辉明 田廷山 王来贵 王兰生 王思敬
王树仁 文宝萍 伍法权 武 强 徐开祥 殷坤龙 殷跃平 曾青石 张进德 张杰坤
张咸恭 张新兴 张永波 张宗祜 张作辰 赵运昌 钟立勋 周平根 朱汝烈

主 编:张咸恭 副 主 编:文宝萍 黄润秋 殷跃平 张新兴 赵运昌

编辑部主任:范宏喜 副 主 任:李善峰

编 辑:李善峰 赵 慧 倪天翔

编 务:董建英