

# 含水率对金坪子滑坡土体力学特性的影响

李险峰

(淮北职业技术学院建筑工程系,安徽 淮北 235000)

**摘要:**通过8组不同含水率千枚岩碎屑土滑坡土体的三轴排水剪切试验,研究了含水率对滑坡土体力学特性的影响.研究表明:滑坡土体三轴试验应力应变曲线总体上表现为硬化型,且呈现出明显的非线性;随着含水率增大,滑坡土样粘聚力和内摩擦角均呈减小趋势,滑体土和滑带土对含水率的敏感性有所不同.

**关键词:**滑体土;滑带土;千枚岩;三轴试验;含水率

中图分类号:TU44

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.03.007

## 0 引言

我国西南山区雨季常发生滑坡,原因往往是土体含水率在降雨过程中发生改变,导致滑带土体强度和刚度衰减,最终造成边坡失稳<sup>[1-2]</sup>.在滑坡的形成过程中,由于边坡岩土体各部位的受力性质、受力大小和滑动速率不同而产生拉张裂缝<sup>[3]</sup>,而这些裂缝又为雨水的进入提供了通道.在雨水及边坡下滑力的作用下,在边坡内某特殊土层中便形成滑动面,而此特殊土层也就是滑带.因而研究滑带土和滑体土的工程特性及其之间的差异,对于滑坡的形成机制与稳定性分析将具有重要意义.

滑带土是滑坡体的重要组成部分.滑坡的发生与否常常取决于滑带土体的应力状态和强度,从某种意义上讲,滑坡的形成过程也就是滑带土的变形破坏过程<sup>[4-5]</sup>.文献[6]通过对三峡库区典型滑带不同状态的原位直剪对比试验,研究了粘土、粉质粘土及土石混合体三类滑带体土在不同含水状态下的直剪抗剪强度参数随含水率的变化规律;程东幸等<sup>[7]</sup>通过影响滑带土长期强度的含水量、粒度成分、密度、矿物化学成分以及试验条件研究了滑带土长期强度参数的衰减特性;郑晓晶等<sup>[8]</sup>研究了三峡库区万州区膨胀性滑带土的粘粒含量、含水量和应力状态与抗剪强度参数的关系并对其作用机理进行了解释;宋雪琳等<sup>[9]</sup>研究了云南哀牢山某滑坡滑体土与滑带土工程性质的差异.陶宏亮等<sup>[10]</sup>通过对赵树岭滑坡特征(滑坡形态、物质结构、地质构造及滑带土性状等)的归纳总结,探讨其形成条件,并对各种拟定情况下滑

坡Ⅰ级平台的稳定性进行了定量计算,为三峡水库三期蓄水后的滑坡稳定分析、研究及检测提供参考.本文采用室内三轴排水剪切试验,着重研究了含水率对金坪子滑坡Ⅱ区滑带土、滑体土力学强度的影响.

## 1 滑坡概况

金坪子滑坡位于乌东德水电站下游0.9~2.6 km金沙江右岸,也是白鹤滩水电站水库库尾,由于金坪子滑坡扼守于梯级电站的敏感部位,其稳定性、变形发展趋势及可能失稳规模成为金沙江下游两个梯级电站开发中必须明确回答的问题之一.

金坪子滑坡三维地形图如图1所示,滑坡一共分为五个区,可研阶段的研究重点在Ⅰ区和Ⅱ区.滑坡Ⅱ区体积约2 700万m<sup>3</sup>,属蠕滑变形体,堆积体厚度一般45~100 m,最厚110~130 m(前部),厚度总体上由前至后变薄.滑坡区地形复杂,



图1 金坪子滑坡三维地形图

Fig. 1 Three-dimensional topographic map of Jinpingzi landslide

收稿日期:2011-12-28

作者简介:李险峰(1968-),男,安徽淮北人,高级工程师,硕士.研究方向:土力学与工程方面的教学与研究.

前后缘高差大,达 1 100 ~ 1 200 m,滑带土主要是千枚岩碎屑土。从 2005 年 5 月至 2009 年 8 月的变形监测资料看,Ⅱ区蠕滑体水平总位移在 52.4 ~ 223.5 cm 之间,后缘平均日变形位移在 0.30 ~ 0.77 mm/d 之间,中下部地表变形监测点日变形位移大于 1.0 mm/d,表现为前缘大、后缘小,可见该滑坡已有牵引式蠕滑迹象。

金坪子滑坡存在规模大、滑坡体坡陡层厚、滑带土千枚岩碎屑土粒粗且松散、有蠕动变形迹象等特点,而千枚岩碎屑土的强度特性与其含水率密切相关,对滑带土与滑体土力学特性的研究,可以为边坡的稳定性分析及支护设计提供参考数据。

## 2 滑坡土体物理化学特性

### 2.1 物理特性

千枚岩碎屑土滑带样与滑体样均呈紫红色,滑带样现场干密度为  $2.15 \text{ g/cm}^3$ ,天然含水率为 9.2%;滑体样现场干密度为  $2.10 \text{ g/cm}^3$ ,天然含水率为 5.4%;滑带土的其他物理特性参数如表 1 所示。千枚岩碎屑土滑带样与滑体样的颗粒累积曲线如图 2 所示,滑带土中胶粒与粘粒质量分数分别为 25.9%、44%,滑体土中粘粒质量分数分别为 4.8%、16.2%,可见,滑带土中细粒含量明显高于滑体土。

表 2 千枚岩碎屑土滑带样矿物分析成果

Table 2 Analysis results of phyllite debris clay-like minerals

土样	矿物成分相对含量 $w/\%$							
	石英	碱性长石	斜长石	菱铁矿	赤铁矿	高岭石	伊利石	蒙脱石
千枚岩碎屑土(滑带土)	23	1	2	2	9	5	58	0
千枚岩碎屑土(滑体土)	23	4	3	1	9	5	55	0

表 3 千枚岩碎屑土滑带样化学试验成果

Table 3 Chemical test results of phyllite debris soil slip

土样	化学成分相对含量 $w/\%$								pH 值
	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	
千枚岩碎屑土(滑带土)	51.0	16.0	13.4	4.1	2.9	4.2	0.1	3.8	8.96
千枚岩碎屑土(滑体土)	52.8	11.7	21.9	5.7	1.0	5.1	0.4	2.4	7.80

比滑体土高。其次是石英,质量分数均为 23%。矿物化学分析成果表明,滑带土  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  质量分数为 16.0%,高于滑体土的 11%,所以滑带土外观呈现紫红色;pH 值分别为 8.96、7.80,呈弱碱性。

## 3 含水率对滑坡土体力学性质影响

### 3.1 试验设备及方法

本次试验试验设备采用 SY250 型应变式三轴

表 1 滑带土与滑体土的物理特性参数

Table 1 Physical mechanics parameters of sliding-zoo and sliding-body

土样	液限 $w_L/\%$	塑限 $w_p/\%$	塑性指数 $IP_{17}$	自由膨胀率 $d_{ef}/\%$
千枚岩碎屑土(滑带土)	27	13.4	13.6	29
千枚岩碎屑土(滑体土)	23	10.8	12.8	26

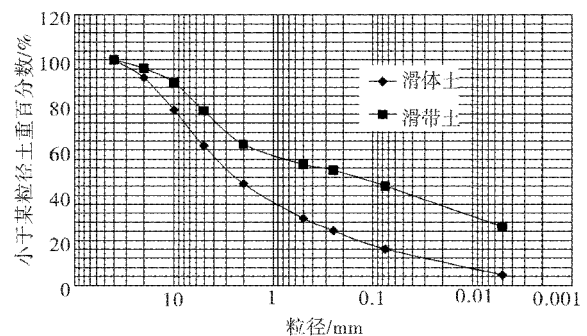


图 2 滑带土与滑体土颗粒累积曲线

Fig. 2 Particle accumulation curve of sliding-zoo and sliding-body

### 2.2 矿物化学特性

千枚岩碎屑土滑带样与滑体样粘土矿物成分、化学成分、pH 值的试验成果见表 2 和表 3 所示。由表 2 可知,滑带样与滑体样矿物成分中,伊利石含量最高,分别为 58%、55%,且滑带土含量

仪。试验中体变的量测采用外体变量测装置,通过测量压力室内水的质量变化来换算外体变,当试样体积发生膨胀时,压力室的水进入围压控制压力室,反之当试样体积收缩时,围压控制压力室的水进入压力室,通过测量围压控制压力室质量变化,换算成试样的外体变。

本次试验试样尺寸为  $\Phi 101 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ ,土料经风干碾散过 20 mm 筛,按试验要求对超过试

验仪器允许的最大颗粒粒径部分进行处理,本试验仪器允许最大颗粒粒径为 20 mm,对大于 20 mm 粒径部分按规范采用等量替代处理.对千枚岩碎屑土滑带土和滑体土分别进行四组不同含水率的三轴固结排水剪切试验,滑带土土样干密度为  $2.15 \text{ g/cm}^3$ ,含水率分别为 6.5%、7.8%、9.2%、10.0% (饱和含水率),滑体土土样干密度为  $2.10 \text{ g/cm}^3$ ,含水率分别为 7.2%、9.3%、11.2%、13.2% (饱和含水率),试样均在 1.0 MPa 围压下

排水固结,固结完成后分别卸围压至 0.3 MPa、0.6 MPa、0.9 MPa 和加至 1.2 MPa 围压下固结稳定后进行排水剪切试验.

### 3.2 试验结果及分析

图 3 是滑带土与滑体土三轴剪切后照片,图 4 为不同含水率情况下滑带土与滑体土三轴试验应力应变关系曲线,图 5 为滑带土与滑体土的抗剪强度指标随含水率的变化曲线.

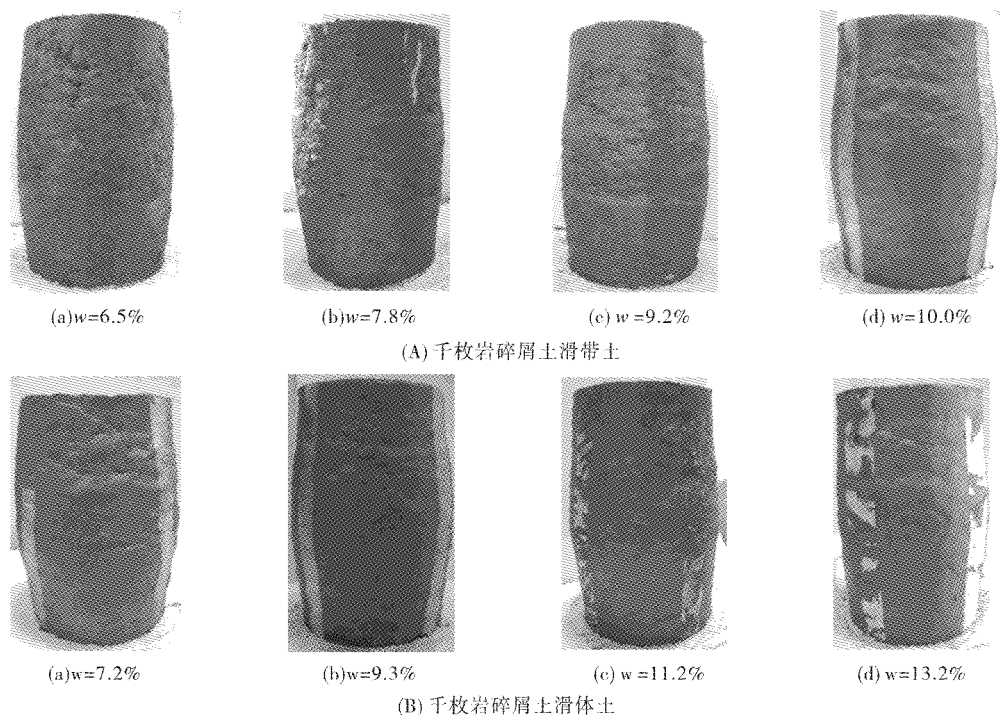


图 3 千枚岩碎屑土滑坡土体三轴剪切后照片

Fig. 3 Photos of phyllite soil landslide debris after triaxial shear

由图 3 可以看出,千枚岩碎屑土三轴剪切后没有明显的剪切面,试样侧面发生鼓胀,且围压越低,含水率越高,其鼓胀越明显,即其剪胀现象越明显.由图 4 可以看出,千枚岩碎屑土滑带样和滑体样三轴应力应变关系曲线均表现出明显的非线性,且总体上表现为硬化型,随着围压的增大,硬化现象越显著.

由图 5 可以看出,千枚岩碎屑土滑带样和滑体样的抗剪强度指标均随含水率的增大而降低,滑带土  $c$  值从 165 kPa 降低到 67 kPa,降低了 59.4%,滑体土  $c$  值从 226 kPa 降低到 54 kPa,降低了 76%,且在一定界限区段内对含水率的变化比较敏感,在此区段内粘聚力随着含水率增大急剧下降,超过此界限区段上限含水率后,粘聚力变幅很小,这是由于随着含水率的增大,非饱和土的基质吸力作用逐渐减弱,基质吸力在一定程度上发挥着“假粘聚力”的作用,而当超过一定含水率

后,基质吸力随含水率变化较小,粘聚力基本没有变化;当滑带土和滑体土均达到饱和含水率时,滑带土粘聚力  $c$  值比滑体土大,这是因为土体细粒含量高,则土颗粒比表面积大、颗粒间间距小且接触面积大,而粘聚力是土颗粒间胶结连接、水连接等连接力的直接反映,随着含水率的增大,土颗粒外围水膜增厚,颗粒间距离增大,致使土中水连接作用减弱,从而  $c$  值降低,滑带土细粒成分含量高,所以  $c$  值降低程度远小于滑体土.由图 5(b) 可以看出内摩擦角  $\varphi$  值也是随着含水率的增大而降低的,降低幅度分别为 23%、30%,由于含水率的增大,相当于在土颗粒间增加了润滑剂,削弱了土颗粒间的相互嵌接与相互咬合,从而导致  $\varphi$  值的降低,而  $\varphi$  值是摩擦系数的反映,与颗粒表面间的粗糙度有关,粗颗粒具有较大的粗糙度,这也是饱水后滑体土  $\varphi$  值大于滑带土的原因.



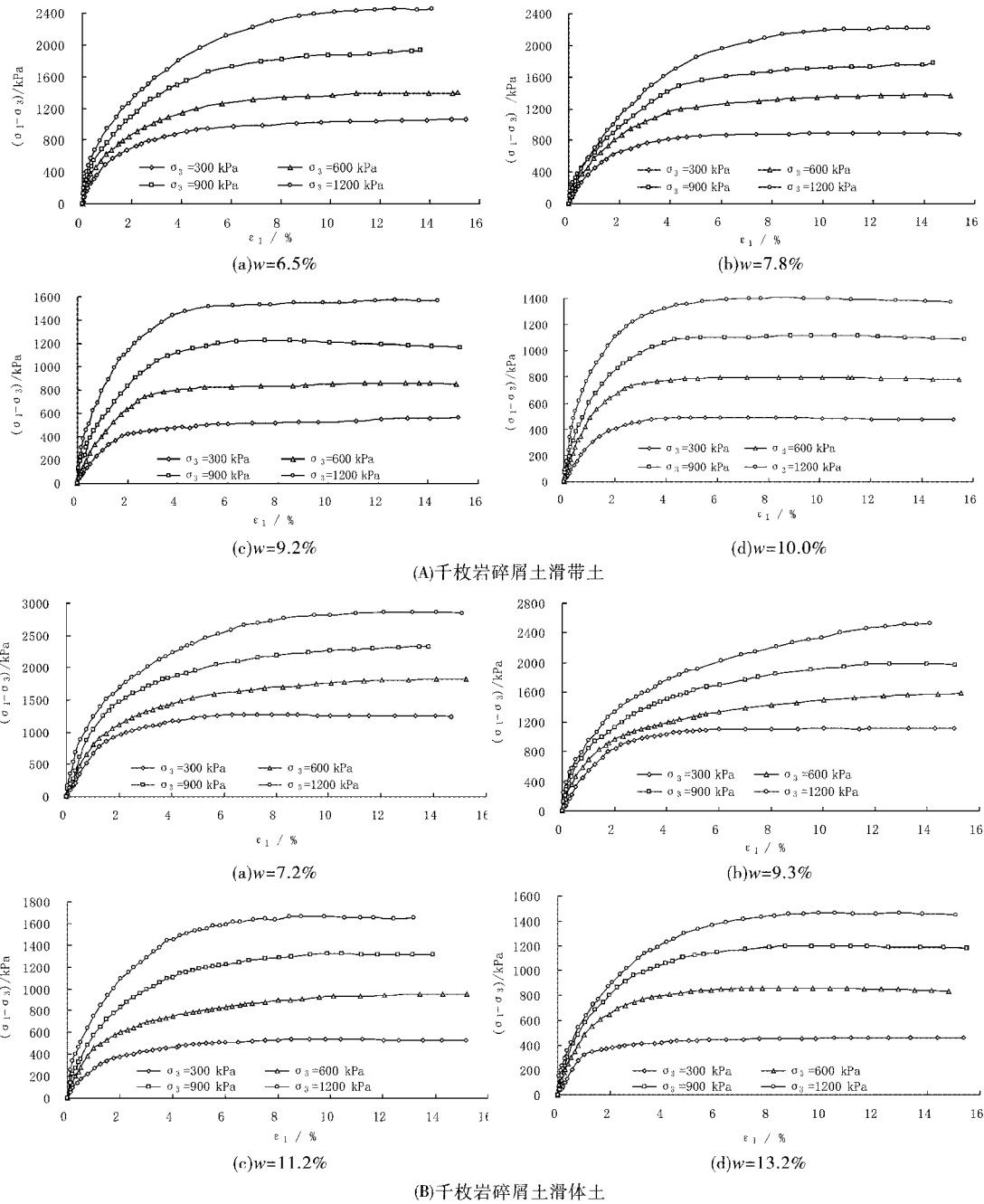


图 4 滑坡土体应力应变关系曲线

Fig. 4 Relationship between stress and strain of sliding-body

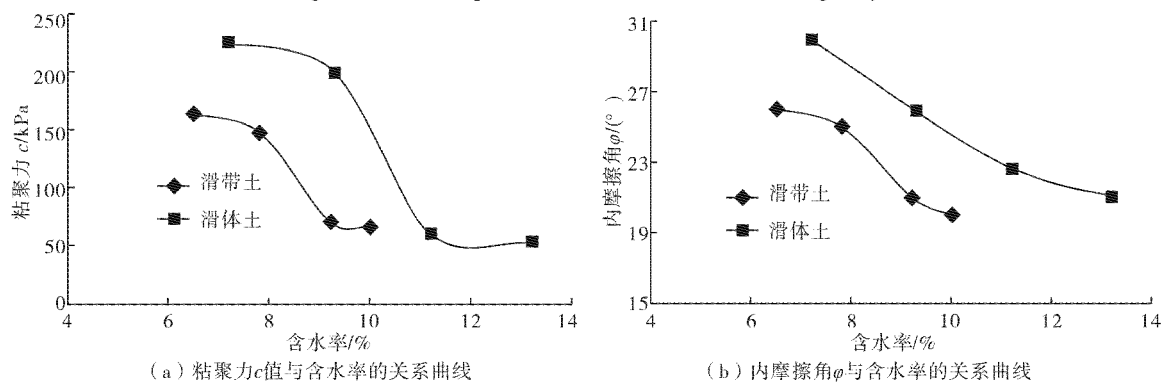


图 5 滑坡土体抗剪强度指标与含水率的关系曲线

Fig. 5 Relationship between shear strength parameter and moisture content of sliding-body

## 4 结 语

通过8组不同含水率千枚岩碎屑土滑坡土体的三轴排水剪切试验,研究了含水率对滑带土与滑体土的力学特性的影响,并分析了产生影响的机理,得出以下结论:

a. 千枚岩碎屑土三轴剪切后没有明显的剪切面,试样侧面发生鼓胀,且围压越低,含水率越高,其鼓胀越明显,即其剪胀现象越明显;三轴应力应变关系曲线均表现出明显的非线性,且总体上表现为硬化型,随着围压的增大,硬化现象越显著。

b. 千枚岩碎屑土滑带样和滑体样的粘聚力  $c$  均随含水率的增大而降低,这是由于随着含水率的增大颗粒间的连接减弱,从而使  $c$  值降低,而滑带土细粒成分含量高,颗粒间的连接大于滑体土,从而滑带土  $c$  值降低程度远小于滑体土。

c. 千枚岩碎屑土滑带样和滑体样的内摩擦角  $\varphi$  均随含水率的增大而减小,这是由于含水率的增大,相当于在土颗粒间增加了润滑剂,削弱了土颗粒间的相互嵌接与相互咬合,从而导致  $\varphi$  值的降低。

d. 千枚岩碎屑土滑带样和滑体样的粘聚力  $c$  和内摩擦角  $\varphi$  均随含水率的增大而减小,但是在一定界限区段内滑体土的力学特性受含水率的变化较滑带土敏感。

### 参考文献:

[1] 蒋刚,林鲁生,刘祖德. 降雨渗流作用下残积土边坡

的数值分析[J]. 南京工业大学学报,2005,27(5): 27-31.

[2] 陈守义. 考虑入渗与蒸发影响的土坡稳定性分析方法[J]. 岩土力学,1997,18(2): 8-12.

[3] 中国地质环境监测院. 区域降雨型地质灾害气象预警方法研究中期报告[R]. 北京:中国地质环境监测院,2007.

[4] 王志荣,王念秦. 黄土滑坡研究现状综述[J]. 中国水土保持,2004,14(16):65-71.

[5] WEI Zuonan, LI Shihai, WANG J G, et al. Adynamic comprehensive method for landslides control [J]. Engineering geology, 2006, 84(1-2): 1-11.

[6] 李维树,夏晔,乐俊义. 水对三峡库区滑带体土直剪强度参数的弱化规律研究[J]. 岩土力学,2006,10(27):1170-1174.

[7] 程东幸,刘大安,丁恩保,等. 滑带土长期强度参数的衰减特性研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(A02):5827-5834.

[8] 郑晓晶,殷坤龙,姚林林,等. 三峡库区万州区膨胀性滑带土抗剪强度参数变化规律的试验研究[J]. 工程勘察,2008(3):1-4,13.

[9] 宋雪琳,谢勋,齐剑峰,等. 云南哀牢山某滑坡滑体与滑带土工程性质试验研究[J]. 水文地质工程地质,2010,37(4):77-80.

[10] 陶宏亮,陈国金,陈松,等. 巴东赵树岭滑坡特征与稳定性评价[J]. 武汉工程大学学报,2008(2): 62-64.

## Impact of moisture content on mechanical properties of Jinpingzi slip soil

LI Xian-feng

(Department of Civil Engineering, Huaibei Vocational & Technical College, Huaibei 235000, China)

**Abstract:** Through eight groups of different triaxial compression tests of slip soil in different moisture content, the impact of moisture content on mechanical properties of slip soil was studied. The results show that the stress-strain curve of phyllite sliding soil is hardening modulus and nonlinear relationship, both the cohesive strength  $c$  and the friction angle  $\varphi$  reduce with the increasing of moisture content in sliding-body and sliding-zoo, whose sensitivity to moisture content is also different.

**Key words:** sliding-body; sliding-zoo; phyllite; triaxial test; moisture content

本文编辑:龚晓宁