

无泥型软弱层带饱水前后强度特性现场试验

胡卸文¹, 伊小娟¹, 胡恒洋², 曾记全³

(1. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 四川 成都 610031; 2. 西南交通大学 土木工程系, 四川 峨眉山 614202;

3. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院 科学研究所, 四川 成都 610072)

摘 要: 针对以粗粒土为代表的软弱层带在水电、铁路等交通领域对边坡及洞室围岩稳定性的控制, 结合某水电工程坝区, 分别对岩块岩屑型和岩屑夹泥型两种软弱夹层, 在考虑一定围压作用下进行了天然含水状态和饱水状态的现场直剪试验。结果显示, 剪应力-剪切位移曲线饱水前、后均呈现出微弱的峰值, 整体均表现为塑性破坏特征, 饱水前、后发生屈服前的剪切位移分别为 5 mm 和 10 mm 以内。在强度参数上, 两类夹层饱水前、后峰值强度内摩擦系数降低幅度一般在 8% ~ 10%, 残余强度一般降低 5% 以内。表明以粗粒土为代表的软弱层带由于细粒 (< 0.075 mm) 物质少, 细粒起不到包裹粗颗粒而作为润滑作用, 同时因围压效应, 饱水对其强度参数的影响有限, 因此不同含水状态对该类软弱层带内摩擦角和内聚力均无显著影响, 其强度参数主要还是取决于夹层本身的颗粒成分。

关键词: 软弱夹层; 粗粒土; 变形; 强度参数

中图分类号: P641.1

文献标识码: A

由于软弱夹层具有物理性质差、且常作为岩质边坡和洞室围岩稳定的控制性结构面, 在水电、交通等工程中, 对其抗剪强度参数研究极为重视^[1-4]。而目前对软弱夹层强度参数取值一般主要通过取样进行室内试验获得, 只有水电系统基于大坝坝基稳定性会进行现场大剪试验(剪切面积 50 cm × 50 cm), 而铁路、公路系统等只在特殊情况下才进行。一般室内剪切或现场大剪也主要针对天然含水状态, 而不同含水状态对软弱夹层力学特性(强度参数)研究较少, 特别是对处于山体较深部位一定围岩压力下的软弱夹层饱水与天然含水状态下的强度参数有何变化更是研究不多。已有研究成果表明, 处于一定围压下的以细粒土为主(粘性土)的软弱夹层, 一旦因开挖应力释放, 将导致软弱夹层松弛并吸收水分, 使得原本处于固体状态的转变为可塑

乃至流动状态^[5-9], 进而降低软弱夹层强度参数。而对粗粒土为主(定义为“无泥型”)软弱夹层是否有此特点也曾做过研究^[2, 10-12], 表明有影响, 但不如粘土类软弱夹层。为了充分掌握山体较深部位岩体中无泥型软弱夹层饱水前后强度参数的弱化程度, 有针对性地在某水电工程现场进行了考虑围压环境下的天然、饱水状态软弱结构面抗剪强度试验。通过该研究, 可为水电站蓄水后与该类软弱夹层相关的坝基、坝肩稳定性分析提供计算依据。

1 试验概况

1.1 软弱层带基本特征及其物理性质

试验点位于某水电站两岸坝肩部位的微风化花岗岩岩体中, 水平和垂直埋深分别 > 53 m 和 100 m,

收稿日期(Received date): 2010-11-01。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(40772175, 40972175)。[Supported by National Natural Science foundation of China (40772175, 40972175).]; NSFC-云南联合基金重点项目(U1033601)。[Supported by National Natural Science Foundation Projocet-natural fund of yunnan Province(U1033601).]

作者简介(Biography): 胡卸文(1963-), 男, 博士, 1985年毕业于成都理工大学(原成都地质学院)水文系, 现任教授、博士生导师, 主要从事工程地质、环境地质方面的教学与研究工作。[Hu Xiewen(1963-), Male, doctor tutor, professor, graduated from Chengdu University of Technology(Chengdu Geology Institute) in 1985, mainly engaged in teaching and researching work of engineering geology, environmental geology.]E-mail: huxiewen@163.com

根据性状及充填情况将工程区软弱结构面分为三类,由粗变细分别为岩块岩屑型(B_1)、岩屑夹泥型(B_2)和泥夹岩屑型(B_3)。本试验重点考虑无泥型软弱夹层,即选取 B_1 和 B_2 类,其中 PD202 (f54)属于岩块岩屑型(B_1),PD305 (f85)属于岩屑夹泥型(B_2),各自特征及试验量见表1。

在进行现场大剪之前,分别对上述两条软弱结构面试验点部位在饱水前、后各取5组试样进行了物理性质试样,结果见表2。从中可以得出:1. 两条软弱夹层颗粒成分均以粗粒土为特点,饱水前、后粉粒、粘粒累计含量一般均小于6.5%,因此根据土工试验规程^[13],属于砂砾级。

2. 从单条软弱夹层饱水前、后粉粒、粘粒组分

(0.075~0.005 mm)变化的平均含量看,饱水后均有所提高,PD202 (f54)平均提高10%,PD305 (f85)平均提高176%,可见后者因原始颗粒成分相对较细,饱水后粉粒化更为突出一些。

3. 从饱水前、后含水率变化情况看,PD202 (f54)饱水前天然含水率为3.0%~4.1%(平均3.62%);饱水后含水率为4.4%~9.3%(平均6.78%),饱水后平均含水率提高87%。而PD305 (f85)饱水前天然含水率为3.1%~4.5%(平均3.64%);饱水后含水率4.3%~7.6%(平均6.14%),饱水后平均含水率提高69%。计算显示,两软弱夹层饱水后均达到饱和度100%。

1.2 试验条件

表1 代表性软弱夹层试验点地质特征
Table 1 Geological characteristic of weak interbed

编号	位置	主要特征	类型	工作量	
				抗剪强度	夹层物性
f54	PD202(左坝肩,53.3~78.0 m)	缓倾角结构面,破碎带宽度2~10 cm,洞内可见长50 m,主要为角砾岩、霏细岩,局部附泥膜	岩块岩屑型(B_1)	1组10点	1组10点
f85	PD305 (右坝肩,66.5~85.0 m)	缓倾角结构面,破碎带宽度5~15 cm,局部40 cm,洞内可见长90 m主要为角砾岩、片状岩、糜棱岩、霏细岩、石英,局部夹泥	岩屑夹泥型(B_2)	1组10点	1组10点

表2 软弱夹层物理性质试验结果
Table 2 Physical property of weak interbed

土样 编号	土样 状态	含水率 ω %	颗粒组成 /%,mm									土类 名称
			60~40	40~20	20~10	10~5	5~2	2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.075	0.075~0.005	
τ 202-4-1	饱水前	3.8	2.75	4.47	6.87	10.31	19.57	22.21	8.13	19.57	6.12	含细粒土砾
τ 202-4-4		4.1		11.81	32.28	39.37	5.17	4.97	1.55	3.53	1.32	级配良好砾
τ 202-4-7		3.9		2.24	11.94	20.15	24.74	19.11	4.44	11.60	5.78	含细粒土砾
τ 202-4-8		3.3		6.44	19.94	27.61	21.62	12.73	3.08	5.84	2.74	级配良好砾
τ 202-4-10		3.0	2.23	12.29	19.55	19.55	17.38	13.33	3.63	8.46	3.58	级配良好砾
τ 202-4-1	饱水后	9.3		3.23	10.32	20.00	25.54	20.29	4.88	10.87	4.87	级配良好砾
τ 202-4-4		6.7		2.52	10.08	20.17	22.32	18.35	7.40	14.10	5.06	含细粒土砾
τ 202-4-7		5.9			7.80	16.51	22.92	25.34	6.60	16.21	4.62	级配不良砂
τ 202-4-8		4.4		14.63	13.82	20.33	20.69	14.26	3.20	8.99	4.08	级配良好砾
τ 202-4-10		7.6		7.55	17.61	22.01	22.15	14.91	3.85	9.03	2.89	级配良好砾
τ 305-2-1		4.5		1.33	16.00	24.00	27.16	17.88	3.87	6.25	3.51	级配良好砾
τ 305-2-3		3.1		1.69	15.25	23.73	23.27	21.79	4.07	8.40	1.80	级配良好砾
τ 305-2-5		3.3		2.28	17.72	22.28	27.54	19.82	3.28	5.59	1.49	级配良好砾
τ 305-2-7		3.4		4.79	15.77	19.15	25.03	21.39	4.34	7.66	1.87	级配良好砾
τ 305-2-9		3.9		2.86	20.57	21.71	27.25	16.25	3.55	6.03	1.78	级配良好砾
τ 305-2-2	饱水后	7.6			7.60	12.73	24.47	24.20	7.73	17.47	5.80	含细粒土砂
τ 305-2-5		4.3			11.71	18.71	27.71	18.79	6.11	10.93	6.04	含细粒土砾
τ 305-2-6		6.2			12.84	15.76	22.69	22.45	6.75	14.32	5.19	含细粒土砾
τ 305-2-9		6.7			9.38	16.48	25.86	20.69	6.59	15.45	5.55	含细粒土砾
τ 305-2-10		5.9			10.85	20.00	24.31	19.31	5.91	13.75	5.87	含细粒土砾

根据规范要求,现场大剪剪切面积为 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$,为了尽量消除因试件加工浇筑等环节导致对软弱夹层的松弛效应,在完成脱模后,即刻对试件施加相应荷载,同时修筑围堰,待围堰凝固后灌水浸泡(图1、图2)。根据现场条件,水面至少淹没剪切面以上 15 cm 。每天灌水,保证剪切面始终浸泡在水中,灌水自然浸泡 $14 \sim 28\text{ d}$ 后认为试件达到饱和状态,紧接着进行抗剪强度试验。试验时尽量保证剪切面仍然浸泡在水中,以模拟实际工况下的运行状态。



图1 试样饱水

Fig.1 The sample saturated with water



图2 现场大剪试验

Fig.2 Shear test in-situ

2 试验成果分析

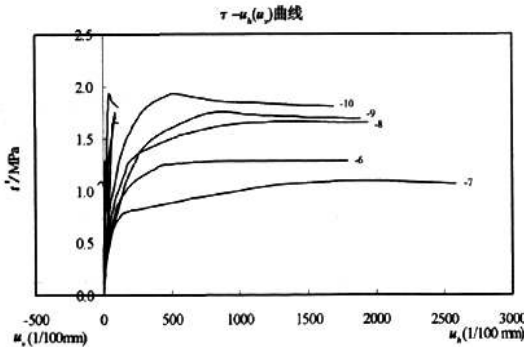
2.1 剪应力 - 剪切位移变化特点

根据两类软弱夹层天然含水和饱水状态抗剪强

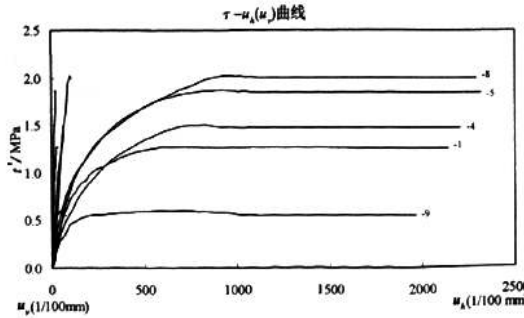
度试验得到剪应力(τ) - 剪切位移(u_h)关系曲线(图3、图4),具有如下特点:

1. 天然状态下均呈现出初始阶段剪切位移(u_h)随剪应力(τ)呈线性变化,且 $d\tau/du_h$ 为一常数、且斜率大,随后即呈非线性向上凸起(或下凹形,拐点不明显)进入屈服直至破坏(峰值强度), $d\tau/du_h$ 呈现由大变小趋势,但剪应力 - 剪位移关系曲线没有明显的急速下降段,而表现为一平直、或向上抬起、或向下倾斜的直线,比例、屈服强度特征点不明显,呈现明显的塑性破坏特征。统计结果显示,发生屈服前的剪切位移一般在 5 mm 以内。

2. 饱水状态下的破坏仍呈典型的塑性破坏,初始阶段变形与天然含水状态相似,有少量线性变形、且 $d\tau/du_h$ 斜率明显小于天然含水状态,随后即进入屈服阶段,同时普遍表现为峰值后有一微小的下降段,且出现峰值时的剪切位移量较天然含水有较大幅度增长,一般在 10 mm 以内,其残余强度段则表现为一较平缓的直线。说明水对粗粒土型软弱层带物质同样存在软化效应,只是不如粘土型软弱层显著。



(1)天然状态 natural



(2)饱水状态 saturated

图3 $\tau_{202}(\text{J54})$ 剪应力 - 剪切位移关系曲线

Fig.3 Relative curves between shear stress and shear displacement of $\tau_{202}(\text{J54})$

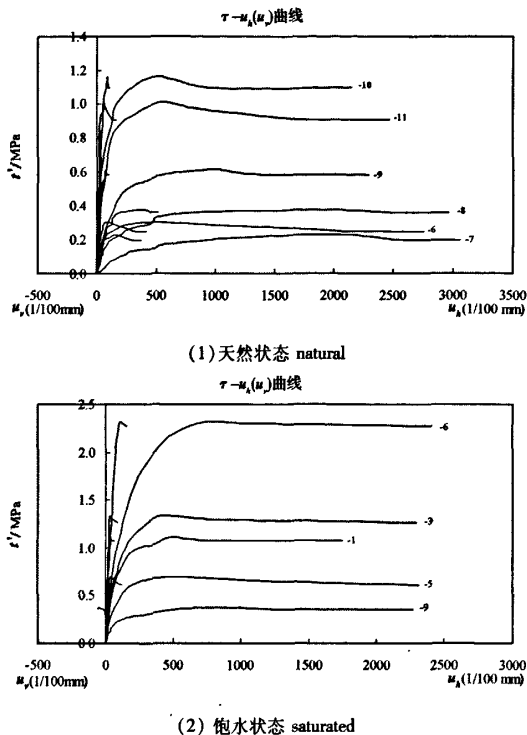


图4 $\tau_{305}(\text{J}85)$ 剪应力-剪切位移关系曲线
Fig.4 Relative curves between shear stress and shear displacement of $\tau_{305}(\text{J}85)$

2.2 强度参数取值

在试验成果整理中,根据剪切面地质特征、试验原始记录以及试验中异常情况,剔除不具代表性以及成果异常的试验点,以有效试验点为基础,对两种软弱层带分别归类进行整理,抗剪断强度试验成果采用峰值强度,抗剪强度成果采用易于确定的、相对稳定的一次剪残余强度。分别采用优定斜率法(如图5、图6)和最小二乘法进行参数取值。两种方法整理的强度参数如表3所示。

表3 软弱层带抗剪强度试验成果整理值

Table 3 Arrangement of the shear strength test on weak interbed

类型	试验编号	试验状态	统计点数	优定斜率法				最小二乘法			
				抗剪断		抗剪		抗剪断		抗剪	
				f'	c'/MPa	f	c/MPa	f'	c'/MPa	f	c/MPa
B1	$\tau_{202}-2$	天然含水	10	0.63	0.03	0.59	0.01	0.64	0.16	0.63	0.14
	$\tau_{202}-4$	饱水	9	0.57	0.07	0.56	0.04	0.59	0.14	0.59	0.11
B2	$\tau_{305}-1$	天然含水	8	0.58	0.01	0.52	0	0.61	0.01	0.59	0
	$\tau_{305}-2$	饱水	7	0.53	0.18	0.52	0.11	0.60	0.17	0.59	0.14

注:1. 优定斜率法:比较论证后优定出各类结构面强度的斜率 f' ,然后根据点群范围,在 $\tau-\sigma$ 曲线图上找出其上、下限值确定内聚力 c 值范围,一般取下限值;2. 最小二乘法:根据图上散点的总体趋势,用最小二乘法计算出摩擦系数 f 和内聚力 c 值。

根据上述试验结果,可以得到如下认识:
1. 从取值方法上看,不管采用优定斜率法、还是最小二乘法,所获得内摩擦系数基本相近,只是由于优定斜率法采用下限值,包含了该类软弱夹层最

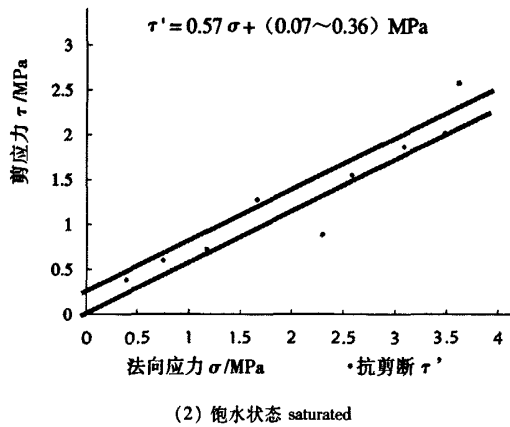
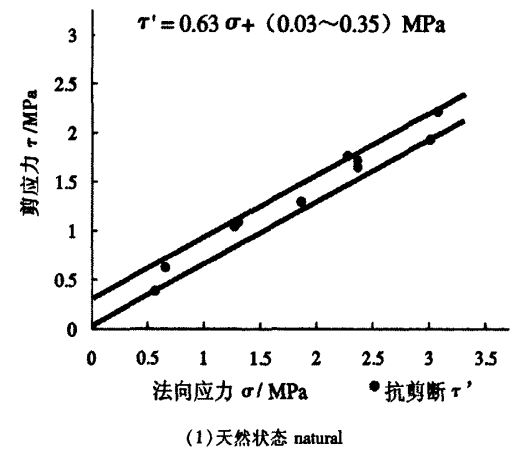


图5 $\tau_{202}(\text{J}54)$ 抗剪(断)强度关系曲线(按优定斜率法)
Fig.5 The shear strength curves of $\tau_{202}(\text{J}54)$

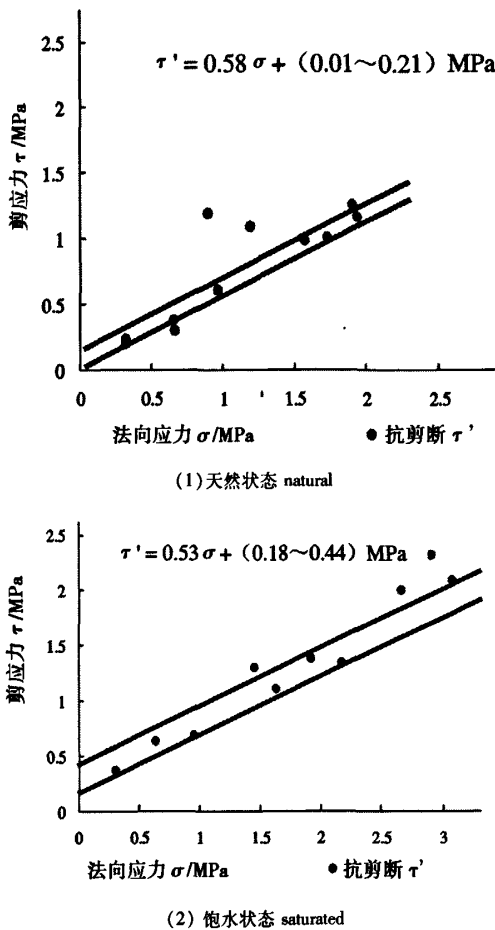


图6 $\tau_{305}(\text{J85})$ 抗剪(断)强度关系曲线(按优定斜率法)
Fig. 6 The shear strength curves of $\tau_{305}(\text{J85})$

薄弱单元,而最小二乘法则取中间值,因此表现在内聚力取值上,最小二乘法一般都高于优定斜率法。从工程意义上看,建议采用优定斜率法进行取值。

2. 岩块岩屑型(B_1)和岩屑夹泥型(B_2)都属于粗粒土范畴,从理论上讲,应无内聚力,不过受剪切过程中颗粒之间的相互绞合作用以及夹层界面起伏形态,均显示出一定的内聚力。另外由于存在颗粒成分上的差异,在相同含水状态下,不论是峰值、还是残余强度,一般岩块岩屑型(B_1)的内摩擦系数要高于岩屑夹泥型(B_2),这说明粒度粗细明显控制内摩擦角大小。

3. 就同类软弱层带而言,不同含水状态对其强度参数有一定影响,但不如细粒土(粘性土)夹层显著,以 $\tau_{202}(\text{J54})$ B_1 类夹层峰值强度参数为例,饱水前、后摩擦系数由0.63变为0.57,降低幅度为9.5%;而 $\tau_{305}(\text{J85})$ B_2 类相应的降低幅度为

8.6%。从残余强度变化上看, B_1 类夹层由饱水前的0.59变为饱水后的0.56,降低5.1%,相应 B_2 类则无变化,说明水对峰值强度的影响要比残余强度大。

4. 如前所述,就粗粒土而言,理论上应无内聚力,但从表6看,这两类软弱层带不仅表现出微弱的内聚力,而且出现饱水状态反而比天然状态稍高的现象,差异在1%~7%。据分析,这与多种因素有关,在同一条结构面中,不同部位的夹层物质厚度、界面起伏形态、颗粒级配不尽一致,加之在剪切过程中颗粒之间的相互绞合作用,还有夹层饱水后可能出现的基质吸力作用,当上述各因素的综合效应超过水的影响时,将会导致内聚力偏高。

5. 总体而言,就以粗粒土为代表的软弱层带而言,由于细粒(<0.075 mm)物质少,细粒组分并没有完全充填粗粒组分的空隙中,起不到包裹粗颗粒而作为润滑层的作用,饱水对其强度参数的影响有限,因此水的含量对粗粒土软弱层带内摩擦角和内聚力均无显著影响,其强度参数主要还是取决于夹层本身的颗粒成分。

3 结论

通过对山体较深部位一定围压下岩体中无泥型软弱夹层饱水前后抗剪强度试验,可以得到以下结论:

1. 从剪应力-剪切位移曲线上看,饱、水前后均呈现出微弱的峰值,整体均表现为塑性破坏特征,只是天然含水状态峰值表现更为突出一些。饱水前后发生屈服前的剪切位移也存在差异,分别为5 mm和10 mm以内。

2. 不同含水状态对无泥型软弱层带强度参数有一定影响,但不如细粒土(粘性土)夹层显著,对岩块岩屑型和岩屑夹泥型强度试验结果显示,饱水前、后峰值强度内摩擦系数由降低幅度一般在8%~10%;残余强度一般降低5%以内,表明水对峰值强度的影响要比残余强度大。

3. 总体看,以粗粒土为代表的软弱层带由于细粒(<0.075 mm)物质少,细粒组分并没有完全充填粗粒组分的空隙中,起不到包裹粗颗粒而作为润滑层的作用,同时由于围压效应,饱水对其强度参数的影响有限,因此水的含量对粗粒土软弱层带内摩擦角和内聚力均无显著影响,其强度参数主要还是取

决于夹层本身的颗粒成分。

参考文献 (References)

- [1] Liu Xiongzen. Rock mass structure surface strength properties and its failure mechanism[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1996, 13: 10-13[刘雄贞. 三峡岩体结构面的强度特性及其破坏机制[J]. 长江科学院院报, 1996, 13: 10-13]
- [2] Hu Xiewen, Xu Mo. The research on the rock structure surface characteristic and strength properties of southwest power station dam[J]. Design of Hydroelectric Power Station, 1996, 12(1): 59-61[胡卸文, 许模. 西南某电站坝区岩体结构面特征及其强度特性研究[J]. 水电站设计, 1996, 12(1): 59-61]
- [3] Cui Zhongxin, Song Keqiang. The single specimen determine method of rock weak structure plane shear strength of [J]. Chinese Journal Of Geotechnical Engineering, 1996, 18(4): 84-90[崔中兴, 宋克强. 岩石软弱结构面抗剪强度的单试件确定法[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(4): 84-90]
- [4] Wang Shuqin. Discussion on the methods of rock weak surface shear strength[J]. Journal of Coal Technology, 1997, 1: 37-39[王淑芹. 岩体弱面抗剪强度测试方法的探讨[J]. 煤炭技术, 1997, 1: 37-39]
- [5] Xiang Wei. The clay content effect on shearing strength of siltized intercalation[J]. Journal of Lanzhou University, 1985, 20(3): 121-125[项伟. 粘粒含量对泥化夹层抗剪强度的影响[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 1985, 20(3): 121-125]
- [6] Tang Liangqin, Nie Dexing, Ren Guangming. Discussion on the relational between granulometric composition and shear strength parameter of weak structural plane[J]. Journal of Engineering Geology, 2003, 11(2): 143-147[唐良琴, 聂德新, 任光明. 软弱结构面粒度成分与抗剪强度参数的关系探讨[J]. 工程地质学报, 2003, 11(2): 143-147]
- [7] Wang Yusuo, Cheng Weitao. The test study on influence factors of sand soil tunnel dangerous rock cohesion[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2006, 6: 48-51[王玉锁, 陈炜韬. 砂土质隧道危岩粘聚力影响因素的试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2006, 6: 48-51]
- [8] Ren Guangming, Nie Dexin, Mi Decai. A simulation study of physical-mechanical properties of intercalated gouge in layered weak zones [J]. Journal of Engineering Geology, 1999, 7(1): 65-70[任光明, 聂德新, 米德才. 软弱层带夹泥物理力学特征的仿真研究[J]. 工程地质学报, 1999, 7(1): 65-70]
- [9] Nie Dexin, Fu Wenxi, Ren Guangming. Analysis of engineering properties of weak layer zone under confining pressure and the existing problems in present studies[J]. Journal of Engineering Geology, 1999, 7(4): 298-302[聂德新, 符文熹, 任光明. 天然围压下软弱层带的工程地质特性及当前研究中存在的问题分析[J]. 工程地质学报, 1999, 7(4): 298-302]
- [10] Hu Xiewen. The physical and mechanical properties of no-clay weak interbed [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2002: 27-29[胡卸文. 无泥型软弱层带物理力学特性[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2002: 27-29]
- [11] Hu Xiewen. Confining pressure effect to physical property of no-clay weak interbed[J]. Journal of Mountain Science, 1998, 17(1): 86-90[胡卸文. 无泥型软弱层带物理性质的围压效应[J]. 山地学报, 1998, 17(1): 86-90]
- [12] Hu Xiewen. Shear strength parameter of no-clay weak interbed[J]. Journal of Mountain Science, 1999, 18(1): 52-56[胡卸文. 无泥型软弱层带强度参数的取值研究[J]. 山地学报, 1999, 18(1): 52-56]
- [13] SD128—1984, Soil Test Code (Volume 1) [S]. Beijing: Water Conservancy and Hydropower Press, 1987[SD128—1984, 土工试验规程(第一册)[S]. 北京: 水利水电出版社, 1987]

Field Test on Strength Characteristics of Non-clay Weak Interbed before and after Saturation

HU Xiewen¹, YI Xiaojuan¹, HU Hengyang², ZENG Jiquan³

(1. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Department of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Emeishan 614202, China;

3 Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Institute, China Hydropower Consulting Group, Chengdu 610072, China)

Abstract: Due to the control action of non-clay weak interbed composed by coarse-grained soil to the stability of slope and surrounding rock masses in hydropower, railway and other transportation field, combined with the dam area of a hydropower projects, considering the effect of confining pressure, in-situ shear test on two types of weak interbed under natural and saturated state is carried out. The results showed that a faint peak appeared in the shear strength versus. shear displacement curve before and after saturation, the plastic deformation failure characteristics were

performed in the overall curve, and the shear displacement under yielding were less than 5 mm before saturation and less than 10 mm after saturation. For the strength parameters, internal friction coefficient of the peak strength before and after saturation of the two types of weak interbed was decreased generally 8% to 10%, the residual strength was generally reduced no more than 5%. According to the test, it can be found that because the fine-grained material (<0.075 mm) accounted for low proportion in the non-clay weak interbed composed by coarse-grained soil, the fine-grained material cannot wrap the coarse-grained to form lubricant. At the same time due to confining pressure effect, saturation state had little influence on the strength parameters. Therefore, the test represented that different saturated state had no significant effect on the internal friction and the cohesion in the no-clay weak interbed, and the strength parameters of the weak interbed were mainly depended on the particles composition of itself.

Key words: weak interbed; coarse-grained soil; deformation; strength parameters

封面照片说明:九寨沟

九寨沟位于岷山脉南段尔纳峰(海拔 4 764 m)北坡,是嘉陵江上游支流白水河的支沟,行政区划属四川省阿坝藏族羌族自治州九寨沟县(原名南坪县)。

九寨沟流向由南向北,主沟呈“Y”字形,总长超过 50 km。其地处青藏高原东缘,为青藏高原向四川盆地的过渡地带,新构造运动强烈、地壳抬升幅度大,岩层中褶皱断裂发育;第四纪冰期冰川作用强烈,遗留下的古冰川遗迹十分丰富,角峰、刃脊、冰斗、U 形谷及终碛堤等冰川侵蚀和冰川堆积地貌发育。沟内碳酸盐岩分布广,由于喀斯特作用较为强烈,发育了大规模的钙华沉积,形成艳丽典雅的湖群与奔泻湍急的溪流;以高原钙华湖群、钙华瀑群和钙华滩流等水景为主体的奇特风貌,配以古木幽深的茫茫原始森林和连绵起伏的巍峨雪峰,构成独具特色的高原景观。

九寨沟的最低海拔不足 2 000 m,最高点 4 764 m,相对高度达 2 768 m,地形高差悬殊,导致气候垂直分带显著,植物垂直带谱明显、种类繁多,植物和动物资源丰富。

照片为九寨沟下游的湖光山色。

(嘉 益)

作者：[胡卸文](#)，[伊小娟](#)，[胡恒洋](#)，[曾记全](#)，[HU Xiewen](#)，[YI Xiaojuan](#)，[HU Hengyang](#)，
[ZENG Jiquan](#)
作者单位：[胡卸文, 伊小娟, HU Xiewen, YI Xiaojuan\(西南交通大学, 地球科学与环境工程学院, 四川, 成都, 610031\)](#)，[胡恒洋, HU Hengyang\(西南交通大学, 土木工程系, 四川, 峨眉山, 614202\)](#)，[曾记全, ZENG Jiquan\(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 科学研究所, 四川, 成都, 610072\)](#)
刊名：[山地学报](#)[ISTIC](#)[PKU](#)
英文刊名：[JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE](#)
年，卷(期)：2011, 29(2)

参考文献(13条)

1. [刘雄贞](#) [三峡岩体结构面的强度特性及其破坏机制](#)[期刊论文]-[长江科学院院报](#) 1996
2. [胡卸文](#); [许模](#) [西南某电站坝区岩体结构面特征及其强度特性研究](#)[期刊论文]-[水电站设计](#) 1996(01)
3. [崔中兴](#); [宋克强](#) [岩石软弱结构面抗剪强度的单试件确定法](#)[期刊论文]-[岩土工程学报](#) 1996(04)
4. [王淑芹](#) [岩体弱面抗剪强度测试方法的探讨](#) 1997
5. [项伟](#) [粘粒含量对泥化夹层抗剪强度的影响](#) 1985(03)
6. [唐良琴](#); [聂德新](#); [任光明](#) [软弱结构面粒度成分与抗剪强度参数的关系探讨](#)[期刊论文]-[工程地质学报](#) 2003(02)
7. [王玉锁](#); [陈炜韬](#) [砂土质隧道危岩粘聚力影响因素的试验研究](#)[期刊论文]-[水文地质工程地质](#) 2006(6)
8. [任光明](#); [聂德新](#); [米德才](#) [软弱层带夹泥物理力学特征的仿真研究](#)[期刊论文]-[工程地质学报](#) 1999(01)
9. [聂德新](#); [符文熹](#); [任光明](#) [天然围压下软弱层带的工程地质特性及当前研究中存在的问题分析](#)[期刊论文]-[工程地质学报](#) 1999(04)
10. [胡卸文](#) [无泥型软弱层带物理力学特性](#) 2002
11. [胡卸文](#) [无泥型软弱层带物理性质的围压效应](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 1998(01)
12. [胡卸文](#) [无泥型软弱层带强度参数的取值研究](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 1999(01)
13. [SD128-1984](#), [土工试验规程\(第一册\)](#) 1987

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201102010.aspx