

滇黔地区黄褐色玄武岩风化土强度试验研究

王 参 松¹, 雷 学 文¹, 孟 庆 山²

(1. 武汉科技大学 城市建设学院, 湖北 武汉 430065; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学重点实验室, 湖北 武汉 430071)

摘要:为了全面探索分析黄褐色玄武岩风化土的抗剪强度,通过现场原位水平推剪试验和室内三轴压缩试验以及直接剪切试验等一系列土工试验,得出了黄褐色玄武岩风化土体的抗剪强度指标变化规律,还分别在天然含水率条件下和饱和含水条件下进行室内土工相关试验,研究了含水量变化对土体抗剪强度参数的影响。

关键词:风化玄武岩; 抗剪强度; 水平推剪试验; 反复直剪试验

中图分类号: TU411 文献标志码: A

黄褐色玄武岩风化土广泛分布于滇黔地区,随着基础工程建设的增多,在工程实践中经常需要处理这种土质边坡。但是目前还没有一种理论能系统地阐述黄褐色玄武岩风化土的抗剪强度特性。土质边坡在受剪状态下的力学响应及其变形破坏特征是边坡强度特性的一个最为重要的方面,因为许多人工和自然边坡的滑动以及挡土墙的移动和倾倒等,都主要是由于作用在土体上的剪应力超过了材料自身的抗剪强度而引起的,所以研究黄褐色玄武岩风化土体在受剪状态下的强度特性也就显得尤为重要。自然边坡坡体一般有足够的形成其滑动面,因此需要研究其残余强度,通过反复直剪试验,研究了黄褐色土体峰值强度和残余强度之间的差异。在各种条件下通过试验所得的抗剪强度指标可为工程设计提供参考^[1]。

1 土体基本性质

在贵州毕节至云南威宁高速公路沿线选取了代表性边坡进行研究,该边坡表层广泛分布着较厚黄褐色玄武岩风化土,其上则覆盖着风化程度更强的棕红色土。通过现场取样试验和室内土工试验得到黄褐色土的物理性质指标如表 1 所示。

由表 1 可知,通过土粒相对密度和塑限指数 IP

(即液限与塑限之差值)等指标综合可知黄褐色土为粉质黏土,呈坚硬状态。

表 1 黄褐色土体基本物理性质指标

天然密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	含水 率/%	土粒相 对密度	液限/ %	塑限/ %	塑限 指数 (<0.075mm)/%	黏粒含量
1.76	25.6	2.722	59.62	43.07	16.55	90.45

2 现场原位水平推剪试验

2.1 试验方法

在试验所处边坡,对黄褐色土体进行 4 组水平推剪试验,选取其中一组开展洒水试验。由于现场试验土体情况复杂,考虑到扰动等因素对试验结果的影响,在试坑尺寸,剪切速率等方面都严格按照规范要求进行操作,均匀摇动千斤顶施加水平推力,其加荷速度控制在每 15~20 s 内使水平位移在 4 mm 左右,直至土样破坏,记录破坏峰值 p_{max} 和 p_{min} ^[2]。土体原位推剪试验结果如表 2 所示。土体水平推力 - 剪切位移曲线见图 1。

2.2 试验结果及分析

通过观察土体的滑动体实测断面,可以发现,土体

表2 黄褐色土推剪试验计算结果

试验编号	土体含水量/%	土的天然重度/ ($kN \cdot m^{-3}$)	滑动体的重力/ ($kN \cdot m^{-1}$)	最大水平推力 p_{max}/kN	最小水平推力 p_{min}/kN	$\sum g_i \cos \alpha_i /$ ($kN \cdot m^{-1}$)	$\sum g_i \sin \alpha_i /$ ($kN \cdot m^{-1}$)	$\sum l_i /$ m	试样土体宽度/m	强度指标	
										c/kPa	$\varphi/(^\circ)$
T1-1	23.64	16.61	2.098	35.88	13.80	2.025	0.508	0.84	0.9	26.22	48.30
T1-2	26.88	18.75	2.470	48.30	23.46	2.399	0.804	0.85	0.9	29.12	49.60
T1-3	28.75	18.62	1.704	31.74	19.32	1.554	0.696	0.75	0.9	16.47	47.52
T1-4(洒水)	44.43	19.27	2.040	27.65	15.18	1.889	0.763	0.85	0.9	14.58	45.36

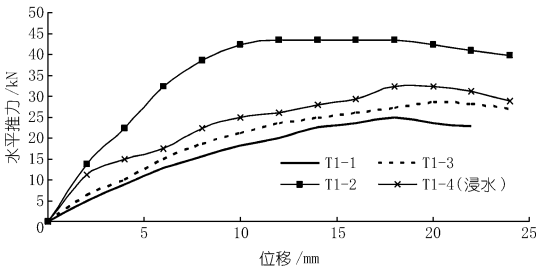


图1 原位水平推剪试验水平推力-剪切位移曲线

强度越高,则滑动土体厚度越大,滑动断面面积越大。通过图1观察发现,试验都存在明显的峰值强度和残余强度,呈应变软化。通过现场推剪试验得出的试验数据表2可知,在试坑充分洒水浸湿后抗剪强度有所下降。随着含水量的增加,土体抗剪强度下降明显,这也解释了滑坡一般发生在雨季的规律。在降雨期间,雨水不断渗入土体,不仅使其重量增加,增大了滑体的下滑力,而且雨水的入渗使滑带断面附近的土体含水量增加,产生水流,加上风化土体的孔隙比本身比较大而且贯通性良好,水流将其中的部分黏粒成分带走,对土体起到了掏空作用,从而破坏了其细粒含量和组成结构,增大了其孔隙比,导致其抗剪强度降低。

3 室内土工试验研究

3.1 试验概况

边坡土体受力情况比较复杂,边坡施工速度一般较慢,也可能会突遇较大荷载,自然土质边坡有条件产生较大剪应变,为进行充分研究,在黄褐色玄武岩风化原状土天然含水率和饱和含水率情况下分别进行了三轴固结不排水剪(CU)试验和慢剪试验以及反复直剪试验^[3],试验步骤和方法严格按照相关规范进行^[4]。

固结不排水剪试验和慢剪试验所得数据如表3所示,反复直剪试验数据如表4所示。各试验的应力-应变曲线如图2所示。慢剪试验土体强度曲线见图3,土体峰值强度与残余强度曲线如图4所示。

3.2 试验结果及分析

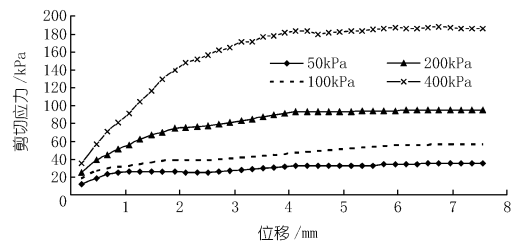
通过图2所示应力-应变曲线可以发现,三轴试验下土体破坏属应变软化,有明显的峰值强度。而慢剪试验中,强度随剪切位移增加而缓慢增大,呈应变硬

表3 黄褐色土室内剪切试验结果

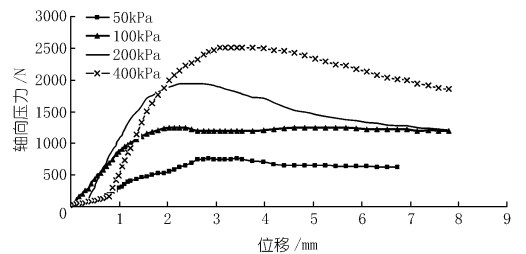
土样状态	固结不排水剪		慢剪	
	c'/kPa	$\varphi'/(^\circ)$	c'/kPa	$\varphi'/(^\circ)$
天然原状	117.53	27.15	24.61	27.54
饱和原状	76.02	25.69	22.13	26.93
天然重塑	43.90	24.81	19.30	26.38
饱和重塑	34.59	14.85	17.17	23.60

表4 反复直剪试验强度参数变化

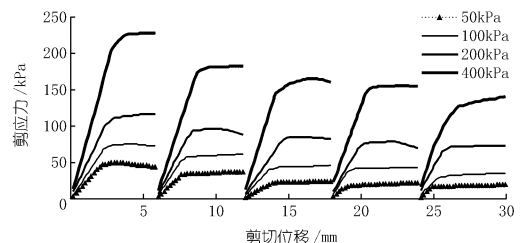
剪切次数	天然原状		饱和原状		天然重塑		饱和重塑	
	c/kPa	$\varphi/(^\circ)$	c/kPa	$\varphi/(^\circ)$	c/kPa	$\varphi/(^\circ)$	c/kPa	$\varphi/(^\circ)$
第1次	24.61	27.54	22.13	26.93	19.30	26.38	17.17	23.60
第2次	4.17	25.90	1.48	24.30	5.48	25.22	12.00	22.25
第3次	2.09	26.10	0.43	24.30	3.87	24.16	4.87	21.85
第4次	3.96	26.30	1.74	24.00	3.22	22.21	3.74	20.68
第5次	2.10	26.14	0.95	23.58	0.30	20.89	0.96	19.47



(a) 饱和原状土慢剪试验应力-应变曲线



(b) 饱和原状土三轴试验应力-应变曲线



(c) 原状土反复直剪试验剪应力与剪切位移关系曲线

图2 室内试验土体的应力-应变关系曲线

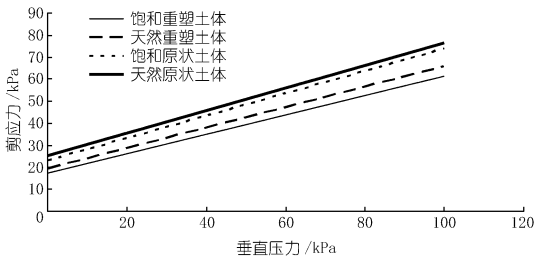


图3 慢剪试验土体的强度曲线

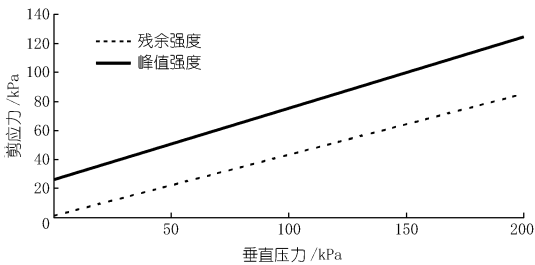


图4 土体的峰值强度与残余强度曲线

化特征,这是由于试样尺寸较小,现场取样干扰较大,土体结构受到破坏,颗粒已经重新排列,类似于重塑土。图3反应了土体强度,天然原状土体强度值为 $\tau = 25.2 + P \tan 27.2^\circ$,饱和原状土为 $\tau = 22.9 + P \tan 25.8^\circ$,天然重塑土为 $\tau = 18.5 + P \tan 26.3^\circ$,饱和重塑土为 $\tau = 16.1 + P \tan 24.2^\circ$,再结合表3数据可发现,两种试验剪切方式下,不论是原状土还是重塑土饱和含水的抗剪强度值均低于天然含水土体试验所得,相同含水条件下重塑土体强度明显低于原状土体。

同时还可以发现,黄褐色土三轴试验得出的凝聚力远远大于慢剪试验结果,而内摩擦角方面则慢剪试验所得结果稍大于三轴试验。由于直接慢剪试验中剪切面是固定的,剪切面积随剪切位移的增加而减小,剪切力和剪应变分布都不均匀,且不能严格控制排水,部分水分从剪切盒缝隙排出,再加上直剪试验土样尺寸较小,粗颗粒对强度影响较大。而三轴(CU)试验的剪切面是不固定的,剪切面是试样抗剪能力最弱的面,剪应力和剪应变分布均匀,而且能严格控制排水,使得慢剪试验中土样内摩擦角 φ 值偏大。而三轴(CU)试验所得凝聚力远大于直剪试验所得,这种凝聚力差值的产生与样品的天然密度、孔隙度、黏土矿物、黏粒、石英和游离 Fe_2O_3 含量等因素密切相关。

图4所显示强度曲线中,峰值强度为 $\tau = 25.2 + P \tan 27.2^\circ$,残余强度为 $\tau = 1.6 + P \tan 24.8^\circ$,结合表4可发现,黄褐色玄武岩风化土体残余强度的凝聚力参数 c 值远小于其峰值强度,最后几乎为零,而内摩擦角 φ 值在反复直剪试验中虽有所降低,但变化趋于稳定。土的残余强度是一个比较稳定的值,含水率和土体结构对残余强度没有相关影响,残余强度对土质边坡的

长期稳定性有重大意义。

3.3 室内试验与推剪试验结果对比分析

对于黄褐色土体凝聚力 c 值来说,三轴固结不排水剪切试验和慢剪试验所测得数据明显比现场推剪试验所测大得多,而对于内摩擦角 φ 值,则现场推剪试验测得的数据明显大于两种室内试验所测。

室内试验数据与原位推剪试验之间的差距与土体制样、试验条件、样品尺寸和物质成份、结构特征等综合因素有关。现场推剪试验中,试验土体中团粒结构完整,剪切过程中阻止土体的破坏,有利于提高土体的内摩擦角,而经过切削的室内三轴试样和用于慢剪的环刀试样已经或多或少对其原生结构有所破坏^[5],所以内摩擦角明显低于推剪试验所得。室内试验消除了部分粗颗粒影响,黏粒含量有所增加,使得土体粒间胶结力等作用增大,所以三轴试验所得凝聚力 c 值较大,同样,室内慢剪试验所凝聚力也大于推剪试验。

3.4 与红棕色玄武岩风化土对比分析

对比前期贵州红棕色玄武岩风化土强度试验研究^[6],发现黄褐色土体强度在原位推剪试验和三轴固结不排水剪切试验中明显高于红棕色土体,这反映黄褐色土体风化程度较红棕色土体弱。现场勘探时发现,红棕色土体较松散,易碎,而黄褐色土体坚硬呈块状,不易破碎,内在结构性强于红棕色土体,与试验结果吻合。而在残余强度方面两种土体差距不大,说明黄褐色土体所在边坡滑动后结构强度损失较大。残余强度与土的结构性关系不大,而主要取决于土的矿物成分和有效法向应力,两种土体残余强度相近说明黄褐色土体风化程度虽然弱于红棕色土体,但风化产生的矿物成分变化对土体残余强度影响不是很大。

4 结论

(1) 黄褐色原状土体强度明显高于重塑土,土体在饱和含水状态下强度较天然含水弱,土体结构性和含水率对强度影响较大。

(2) 土的残余强度指标中内摩擦角与峰值强度相近,凝聚力接近于零,相对比较稳定,与含水率等土体状态没有相关联系。

(3) 现场推剪试验和室内试验均能较好反映土体强度,其强度指标的差异与土体天然密度、孔隙度、黏土矿物、黏粒等因素相关。工程实践中要选取可靠的强度指标必须要结合工程经验等进行考虑。

(4) 黄褐色土体相比于前期研究的红棕色土体风化程度较弱,原生结构性较强,强度明显较大,但两种土体残余强度相近,差距不大。

参考文献:

- [1] 黄向京,王维.红层软岩土石混合填料体的现场水平推剪试验研究[J].公路工程,2008,33(5):61-64.
- [2] 周保良.砂卵石层的水平推剪试验[J].西部探矿工程,2003,85(6):56-57.
- [3] 阳云华,马贵生,强鲁斌.南阳膨胀土试验段现场大剪及室内试验对比分析[J].人民长江,2010,41(16):21-23.
- [4] 闫龙芳.直剪试验与三轴试验的对比探讨[J].山西建筑,2004,30(24):64-64.
- [5] 张玉成,杨光华,苏卜坤,等.土质边坡土体抗剪强度室内外试验研究[J].湖南科技大学学报:自然科学版,2007,22(3):45-49.
- [6] 王参松,雷学文,孟庆山,等.贵州红棕色玄武岩风化土强度试验研究[J].工程勘察,2012,1(1).

(编辑:赵凤超)

Experimental study on soil strength of ochre weathered basalt in Guizhou and Yunnan Province

WANG Cansong¹, LEI Xuewen¹, MENG Qingshan²

(1. College of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430065, China; 2. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: Through a series tests such as in-situ horizontal push-shear test, indoor three-axial compression test and direct shear test, the anti-shear strength of ochre weathered basalt is researched. The variation laws of strength indexes of ochre weathered basalt are obtained by the above tests. Further, we conducted several tests under natural water content and saturated water content to investigate the influential laws of water content on soil strength.

Key words: weathered basalt; shear strength; horizontal push-shear test; repeated direct shear test

(上接第 23 页)

Discussion on methods of quantity calculation for different soils in dredging project

WANG Kai¹, GUO Bin², YAN Jinbing³

(1. Sinohydro Harbour CO., Ltd., Tianjin 300457, China; 2. China International Water and Electric Corp., Beijing 100011, China; 3. Tianjin Municipal Bureau of Water Resources, Tianjin 300074, China)

Abstract: At present, there is no uniform method of quantity calculation based on borehole data for different soils in dredging projects. The thought of the quantity calculation by using the projection axis and the similar section methods is expounded, meanwhile, the possible problems in the quantity calculations are discussed, and the solution of these problems is also proposed. Furthermore, the new quantity calculation method of different soils based on borehole data using Dredging Survey Software such as Hypack software is put forward.

Key words: dredging project; borehole data; different soils; quantity

(上接第 40 页)

Research on aberrance point of flow and sediment in upper Niulan River and influential factors

FU Yali

(Yunnan Provincial Institute of Water Resources and Hydropower Survey and Design, Kunming 650021, China)

Abstract: Deze Reservoir in Niulan River is the water sources project for improving water environment of Dianchi Lake, so the analysis on the influence of flow and sediment variation of Niulan River is significant to assess the improvement effect of water environment of Dianchi Lake. Siying and Qixingqiao hydrological stations in the upper Niulan River are taken as the representations, by using the measured hydrological data from 1956 to 2009, the variation characteristics of river flow and sediment are analyzed. The analysis results show that from 1982, the variation trend of runoff in the upper Niulan River is in contrast with that of precipitation, namely, the precipitation increases, but the runoff decreases; since 1992, the sediment yielding amount in the basin decreases obviously. The analysis indicates that the human activities are the main cause of flow and sediment variation in the upper Niulan River.

Key words: runoff variation; sediment content variation; aberrance point of flow and sediment; influencing factor; upper Niulan River