

重塑红棕色玄武岩残积土 抗剪强度特性试验研究

张浪¹ 雷学文^{1*} 孟庆山² 李勇¹

(武汉科技大学城市建设学院¹, 武汉 430065; 中国科学院武汉岩土力学
研究所岩土力学与工程国家重点实验室², 武汉 430071)

摘要 红棕色玄武岩残积土属于强风化土, 为了解其抗剪强度变化规律, 对不同干密度、不同含水率的土样进行不固结不排水剪与固结不排水剪试验。试验结果表明: 当含水率一定时, 随着干密度的增加, 土的抗剪强度增加; 干密度一定时, 随着含水率的增加, 土的抗剪强度、黏聚力与内摩擦角均减小; 经过固结后, 土样的含水率较低时, 主要通过提高黏聚力来提高抗剪强度; 含水率较高时, 则主要通过提高内摩擦角来提高抗剪强度。各条件下的试验所得抗剪强度指标可为工程设计提供参考。

关键词 玄武岩残积土 抗剪强度 含水率 干密度
中图分类号 TU411.7; 文献标志码 A

我国西南地区玄武岩分布较广泛, 风化作用强烈, 经风化后的表面红棕色土体具有结构松散、水敏性等特殊的物理力学性质, 受地形地貌、天气条件、风化程度的影响, 土体的密实度、含水率差异较大, 导致土体的强度也有一定差异。土体的强度涉及到许多与土体稳定有关的工程问题, 如挡土墙结构物上的土压力、地基承载力、边坡及滑坡的稳定性等^[1]。研究表明, 土质边坡的稳定性在很大程度上取决于抗剪强度指标^[2], 土的抗剪强度除受土体的结构、性质和种类影响外, 还与含水率、干密度及排水条件有很大关系^[3-5]。王参松等^[6]展开了红棕色玄武岩残积土的原位水平推剪试验、室内三轴试验和直剪试验, 发现玄武岩残积土对水的作用非常敏感, 含水率对玄武岩的强度影响较大。张连杰等^[7]对重塑膨胀土进行直剪试验, 结果表明, 随着含水率的增加, 黏聚力和内摩擦角减小, 抗剪强度减小。黄

琨等^[8]通过对欠固结第三系粉砂土进行直剪试验, 认为土的抗剪强度的变化是含水率和压实度共同影响的结果。桂金祥等^[2]对玄武岩进行工程特性分析, 认为抗剪强度指标的选取应结合工程特性、矿物成分、暴雨时间、场地均匀性等因素综合考虑。

为深入了解影响红棕色玄武岩残积土抗剪强度的因素, 在控制含水率、干密度的条件下对其进行不固结不排水剪与固结不排水剪试验, 分析其抗剪强度变化规律。

1 试验土样及方案

1.1 试验土样

试验土样取自贵州赫章县的玄武岩残积土坡, 颜色为红棕色, 渗透系数较大, 遇水坍塌较为严重, 天然土样的基本物理特性如表1所示^[9], 根据红棕色玄武岩残积土的塑性指数大于17, 可以判断其属于黏性土。

表1 天然土样的基本物理性质

Table 1 The basic physical properties of natural soil

土样	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	含水 率/%	比重	孔隙比	液限/ %	塑限/ %	塑性 指数
红棕色 残积土	1.71-2.01	30.1-40.1	2.76	0.548	74.2	41.1	33.1

1.2 试样制备

将土样风干、去杂质、碾磨和过2 mm筛后, 根据试验设计的土样尺寸、含水率、干密度计算所需干土与水的质量, 将土样分批倒入容器加水混合搅拌

2016年8月11日收到 西部交通建设科技项目(2009318802074)资助
第一作者简介: 张浪(1990—), 男, 湖北咸宁人, 硕士研究生。研究方向: 特殊土工程特性及灾害治理。E-mail: 1258509571@qq.com。

* 通信作者简介: 雷学文(1962—), 男, 湖北罗田人, 博士, 教授。研究方向: 岩土与地下工程。E-mail: leixuewen@wust.edu.cn。

引用格式: 张浪, 雷学文, 孟庆山, 等. 重塑红棕色玄武岩残积土抗剪强度特性试验研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(4): 269—272

Zhang Lang, Lei Xuewen, Meng Qingsan, et al. Reshape the basalt red brown residual soil shear strength characteristics of experimental research[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(4): 269—272

均匀 搅拌均匀后将土样密封放入保湿缸中静置 24 h,制样时将土样按计算好的质量分三层捣筑密实,试样的直径和高度分别为 61.8 mm 和 20 mm。

1.3 试验方案

试验仪器由解放军后勤工程学院和溧阳市永昌工程仪器有限公司联合研制的 FDJ-20 型非饱和土直剪仪。试验过程中,上剪切盒固定不动,通过推动下剪切盒进行剪切,系统内置传感器可以计算出剪切位移和剪切强度,试验数据可直接导出。试验控制试样的初始含水率分别为 20%、22.5%、25%、27.5%、30%、32.5%、35%、37.5%、40%、42.5%、45%;初始干密度分别为 1.15 g/cm³、1.25 g/cm³、1.35 g/cm³、1.45 g/cm³。试样在 50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa 共 4 级竖向应力下进行不固结不排水剪与固结不排水剪试验,当固结沉降速率小于 0.005 mm/h 时视为固结完成,试验剪切速率采用 0.8 mm/min。

在剪切试验中,红棕色玄武岩残积土由于干密度、含水率及所受竖向应力不同,会出现应变硬化和应变软化,当应变硬化时抗剪强度取剪切位移为 4 mm 处的强度,应变软化时取峰值强度。

2 试验结果与分析

2.1 干密度对抗剪强度的影响

受地形地貌与环境影响,土体的松散程度、密实度会不一样,土体的干密度也会不一样。图 1 为不固结条件下、图 2 为固结条件下 4 个不同干密度土样的 τ_f - σ 关系曲线。从图 1、图 2 可以看出,在含水率一定时(40%) 相同竖向应力作用下,抗剪强度随着干密度的增加而增加。干密度越大,土体越密实,土颗粒之间的摩擦力越大,土的抗剪强度越大。

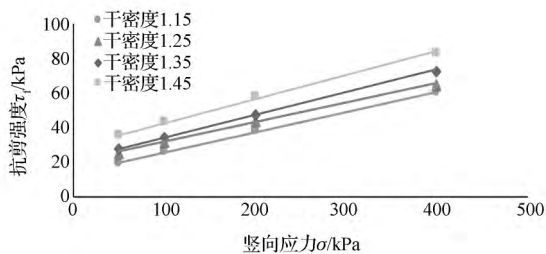


图 1 不同干密度土样的 τ_f - σ 的关系曲线(不固结)

Fig. 1 τ_f - σ relationship curves of different dry density of soil sample (non-consolidation state)

从图 1 与图 2 的比较可见,固结后,水分的排出、土颗粒重新排列使土的抗剪强度整体得到增加,干密度较小时,抗剪强度增加较明显。通过固结较小干密度的试样比较大干密度的试样更容易压缩密

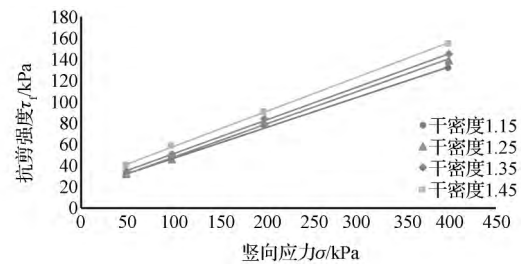


图 2 不同干密度土样的 τ_f - σ 的关系曲线(固结)

Fig. 2 τ_f - σ relationship curves of different dry density of soil sample (consolidation state)

实,缩小了干密度之间的差值,从而缩小了不同干密度之间的抗剪强度。

2.2 含水率对抗剪强度及其指标的影响

2.2.1 含水率对抗剪强度的影响

红棕色玄武岩残积土属于高水敏性的黏土,试样的抗剪强度和土体的含水率变化关系密切,图 3 为不固结条件下、图 4 为固结条件下抗剪强度与初始含水率的关系曲线。从图 3、图 4 可看出:当干密度一定时(1.35 g/cm³) 在各级竖向应力下,随着含水率的增加抗剪强度减小,初始含水率对试样的抗剪强度影响明显。在竖向应力为 400 kPa 不固结条件下,初始含水率从 20% 增加到 40% 时,抗剪强度降低了 78%。当含水率超过 40% 时,抗剪强度较小,含水率对抗剪强度的影响减小。

通过图 3 与图 4 的对比可见,固结后,抗剪强度增加,特别是对于含水率较高的土样,抗剪强度提升很明显。含水率较高的试样,在固结过程中有大量水分被挤出,剪切后测量其含水率发现,各干密度下初始含水率为 45% 的试样,剪切后含水率降低了 18% 左右,大量水分的排出使较高含水率的试样抗剪强度增加明显。

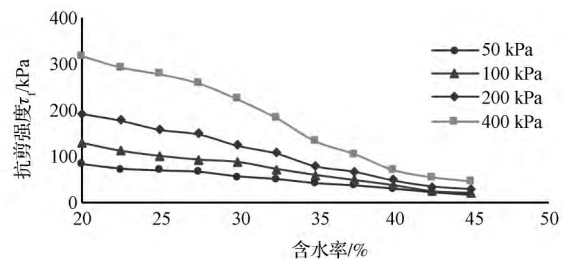


图 3 含水率与抗剪强度关系(不固结)

Fig. 3 The relationship between water content and shear strength (non-consolidation state)

2.2.2 含水率对黏聚力的影响

红棕色玄武岩残积土的抗剪强度由黏聚强度与摩擦强度两部分组成。黏聚强度主要包括:黏土矿物的黏结、颗粒间的分子引力形成的原始黏聚力和

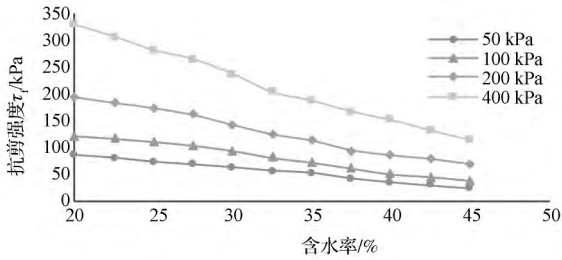


图 4 含水率与抗剪强度关系(固结)

Fig. 4 The relationship between water content and shear strength (consolidation state)

水膜的物理化学作用所形成的强度。含水率对水膜的物理化学作用有重要影响,而水膜的物理化学作用所形成的强度是黏聚力的重要组成部分,因此黏聚力也受含水率的影响,黏聚力与初始含水率的关系曲线如图 5 所示,随着含水率的增加,黏聚力减小,这与已有试验结果^[10,11]相一致,因为含水率的增加降低了土颗粒之间水膜的物理化学作用,从而导致黏聚力的降低。

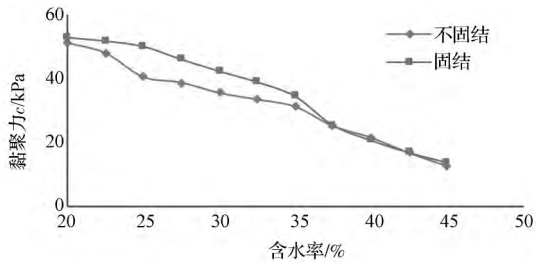


图 5 含水率与黏聚力关系

Fig. 5 The relationship between water content and cohesion

固结对黏聚力的影响可以分为两部分,含水率较低时,固结之后黏聚力增大,因为固结土体被压实挤密,土颗粒排列更加紧密,土颗粒间的分子引力和黏结作用增强,使黏聚力增大;含水率较高时,固结后,土体中自由水被挤出,但土颗粒间的间距依然较大,分子引力与黏结作用变化较小,因此固结对黏聚力影响不大。

2.2.3 含水率对内摩擦角的影响

红棕色玄武岩残积土的摩擦强度由滑动摩擦力与颗粒间的咬合摩擦力两部分组成,其值的大小反应为内摩擦角。滑动摩擦力取决于土粒成分和颗粒间粗糙程度,咬合摩擦力与土颗粒的大小和形状有关。含水率的变化会改变摩擦强度,即含水率会影响内摩擦角,图 6 为内摩擦角与初始含水率的关系曲线。内摩擦角随着含水率的增加而减小,因为随着土中水分的增加,残积土内的结合水膜增厚,使土颗粒间的距离增加,导致土颗粒间的摩擦系数减小,

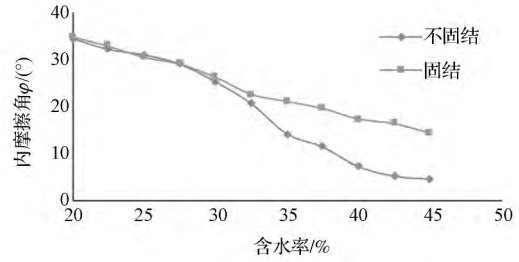


图 6 含水率与内摩擦角关系

Fig. 6 The relationship between water content and internal friction angle

因此内摩擦角随含水率的增加而减小。

含水率较低时,土颗粒间的粗糙程度本身较大,固结对其影响不大,所以含水率较低时,固结后内摩擦角变化不明显。含水率较高时,固结后内摩擦角显著提升,因红棕色玄武岩残积土含有游离的氧化铁,这些游离的氧化铁以胶结态和结晶态的形式存在,胶结态的游离氧化铁形成团粒结构,部分结晶态的游离氧化铁在团粒表面形成稳定的“包膜”结构,当含水率较高时,在固结过程中大量水分的排出使表面结合水膜的厚度减小,结合水膜的厚度减小加强了结晶态“包膜”结构的粗糙度和咬合作用,故内摩擦角增大。

2.3 固结对抗剪强度及其指标的影响

从本次不固结不排水剪与固结不排水剪试验结果可知,在固结过程中,土中孔隙水排出,土体产生压缩,土的抗剪强度增加。含水率一定时,经过固结后土体更加密实,使抗剪强度增加,而干密度越小,土体的孔隙越大,越容易被压密实,因此固结后干密度之间的差异比初始的要小。干密度一定时,不同含水率下,通过固结可以提高红棕色玄武岩残积土的抗剪强度,特别是含水率较高时,有显著提高。当含水率较低时,固结主要影响黏聚力以提高抗剪强度,含水率较高时,主要通过提高内摩擦角使土的抗剪强度增加,固结后内摩擦角提高接近 10°,在工程实际中,可以通过加强对土体的固结,让水分充分排出以提高抗剪强度。

3 结论

本文通过对不同干密度、不同含水率的红棕色玄武岩残积土进行不固结不排水剪与固结不排水剪试验,分析了抗剪强度的变化规律,得到了以下结论。

(1) 含水率一定时,随着干密度的增加,土的抗剪强度增加。干密度越大,土体越密实,土颗粒排列越紧密,土的抗剪强度越大,经过固结,较小干密度的试样更容易压缩密实。

(2) 干密度一定时,随着含水率的增加,土的抗

剪强度、黏聚力、内摩擦角均减小。固结后,土体水分的排出使含水率降低,导致土的抗剪强度增加,在含水率较高时,排水后土的抗剪强度提升显著。

(3) 红棕色玄武岩残积土固结后,土的抗剪强度增加。在含水率较低时,固结对黏聚力有一定影响,主要通过增加黏聚力使抗剪强度增加,含水率较高时,固结后内摩擦角显著增加,从而抗剪强度明显增加。

(4) 在工程实际中,可以通过挤密压实、排水固结等方式以提高红棕色玄武岩残积土的抗剪强度,增加工程稳定性。

参 考 文 献

- 1 申春妮,方祥位,王和文,等. 吸力、含水率和干密度对重塑非饱和土抗剪强度影响研究. 岩土力学, 2009; 30(5): 1347—1351
Shen Chunni, Fang Xiangwei, Wang Hewen, et al. Suction, moisture content and dry density to reshape the unsaturated soil shear strength impact study. *Rock and Soil Mechanics*, 2009; 30(5): 1347—1351
- 2 桂金祥,杨英. 大丽铁路玄武岩全风化带膨胀土的工程特性及治理. 铁道勘察, 2005; 31(1): 13—15
Gui Jinxiang, Yang Ying. Dali railway basalt fully weathered zone the engineering properties of expansive soil and governance. *Railway Survey*, 2005; 31(1): 13—15
- 3 Al-Homoud A, Basma A, Husein Malkawi A, et al. Cyclic swelling behavior of clays. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1995; 121(7): 562—565
- 4 Kong L W, Tan L R. Study on shear strength and swelling-shrinkage characteristic of compacted expansive soil. *Balkema: UNSAT-ASIA*, 2000: 515—519
- 5 许四法,王志健,胡琦,等. 重塑非饱和粉质黏土抗剪强度特性试验研究. 浙江工业大学学报, 2015; 43(2): 227—231
Xu Sifa, Wang Zhijian, Hu Qi, et al. Reshape the shear strength characteristics of unsaturated silty clay experimental study. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2015; 43(2): 227—231
- 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. 工程勘察, 2012; 40(1): 12—15
Wang Cansong, Lei Xuewen, Meng Qingshan, et al. Guizhou red brown basalt weathering intensity of soil test research. *Journal of Engineering Survey*, 2012; 40(1): 12—15
- 7 张连杰,武雄,谢永,等. 含水量及上覆压力对重塑膨胀土抗剪强度的影响分析. 中国地质灾害与防治学报, 2015; 26(4): 138—143
Zhang Lianjie, Wu Xiong, Xie Yong, et al. Water content and overlying pressure to reshape the influence of the expansive soil shear strength analysis. *Chinese Journal of Geological Hazard and Prevention and Control*, 2015; 26(4): 138—143
- 8 黄琨,万军伟,陈刚,等. 非饱和土的抗剪强度与含水率关系的试验研究. 岩土力学, 2012; 33(9): 2600—2604
Huang Kun, Wan Junwei, Chen Gang, et al. Relationship between unsaturated soil shear strength and water content of experimental study. *Rock and Soil Mechanics*, 2012; 33(9): 2600—2604
- 9 余沛. 贵州玄武岩残积土的水理特性试验研究. 天津: 天津城市建设学院, 2011
Yu Pei. Guizhou basalt residual soil hydraulic characteristic test research. Tianjin: Tianjin Institute of Urban Construction, 2011
- 10 郭江涛. 新疆伊犁非饱和黄土的直剪性能试验研究. 水利与建筑工程学报, 2014; 12(4): 129—132
Guo Jiangtao. Yili of Xinjiang direct shear experimental study on the performance of unsaturated loess. *Journal of water conservancy and architectural engineering*, 2014; 12(4): 129—132
- 11 张添锋,孙德安,刘文捷. 桂林压实红黏土抗剪强度与含水率关系. 上海大学学报(自然科学版), 2014; 20(5): 586—595
Zhang Tianfeng, Sun Dean, Liu Wenjie. Guilin compaction relationship between shear strength and water content of red clay. *Journal of Shanghai University (Natural Science Edition)*, 2014; 20(5): 586—595

Reshape the Basalt Red Brown Residual Soil Shear Strength Characteristics of Experimental Research

ZHANG Lang¹, LEI Xue-wen^{1*}, MENG Qing-san², LI Yong¹

(College of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology¹, Wuhan 430065, P. R. China;
State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics,
Chinese Academy of Science², Wuhan 430071, P. R. China)

[Abstract] Red brown basalt residual soil belongs to the strongly weathered soil, to understand the change law of shear strength. For different dry density and water content of soil sample are unconsolidated-undrained shear and consolidated-undrained shear test. Experimental results show that when the water content of a certain, with the increase of dry density, shear strength of soil increased. Dry density is constant, with the increase of water content, the shear strength of soil, cohesion and internal friction angle all decreases. After consolidation, the water content of soil sample is low, mainly by improving the cohesion to improve shear strength and the water content is higher, mainly by improving the internal friction angle to improve shear strength each test under the condition of shear strength indexes can be served as references for engineering.

[Key words] basalt residual soil shear strength water content dry density