

重塑花岗岩残积土土水特征曲线试验研究^{*}

龙志东¹, 徐一鸣², 史斌¹, 罗志奇¹, 任天钰¹

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004; 2.广东广佛肇高速公路有限公司, 广东 佛山 528041)

摘要: 为了给花岗岩残积土路基边坡水毁数值模拟提供准确的计算参数,以广佛肇(广州—佛山—肇庆)高速公路花岗岩残积土为研究对象,利用压力板仪测定不同密度条件下重塑土样的土水特征曲线,并对不同增湿和脱湿曲线特征进行了分析。试验结果表明,不同初始干密度下重塑花岗岩残积土土水特征曲线具有明显差异,较大的干密度试样脱湿速率较慢,较小的干密度试样增湿速率较快,同时残积土的残余含水量较大,说明花岗岩残积土干密度越大,持水能力越强;增湿曲线和脱湿曲线存在显著差异,进行降雨条件下路基边坡水毁数值模拟计算时应采用增湿土水特征曲线。

关键词: 公路;花岗岩残积土;土水特征曲线;边坡水毁;压力板仪

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)01-0118-03

花岗岩残积土在中国南方地区分布较为广泛,常用作公路路基填料,其特性不同于一般土体。目前对于花岗岩残积土的力学性能研究较少。对于非饱和土力学而言,基质吸力是一个非常重要的力学参数,通过建立土水特征曲线可反映土中基质吸力的变化过程。土水特征曲线描述了土的体积含水率与基质吸力之间的关系,通过这种关系可将非饱和土的强度与渗透特性联系起来,对于分析边坡稳定性具有重要意义。

国内外学者对非饱和土土水特征曲线开展过相关研究,结果显示其主要影响因素有土体类型、矿物成分、初始含水量、干密度、孔隙比、应力历史等,其中初始含水量的影响很小,可忽略不计。但对花岗岩残积土土水特征曲线的相关研究较少,尤其是在重塑花岗岩残积土的非饱和力学性质方面,一直以来如何选取和应用土水特征曲线是将非饱和土力学应用于工程领域中的重要课题。为了探讨重塑花岗岩残积土土水特征曲线在路堤边坡预测中的应用前景,该文针对广佛肇(广州—佛山—肇庆)高速公路路堤边坡的水毁现象,采用重塑花岗岩残积土在室内进行压力板仪土水特征曲线试验,以初始干密度作为控制条件,从土样的体积含水率与基质吸力之间的关系出发,测定重塑花岗岩残积土在不同基质吸力状态下的含水率,得到花岗岩残积土土水特征曲线中的主要增湿路径与减湿路径,为广佛肇地区

降雨入渗对路堤边坡抗剪强度的影响及边坡稳定性分析打下基础。

1 花岗岩残积土的物理性质研究

土样取自广佛肇高速公路 K117+070—130 路堤边坡试验段,取样深度 2.6~3.0 m。依据土工试验规范对土样进行室内筛分试验与液、塑限试验研究,得到土样的基本物理性质指标(见表 1)。

表 1 花岗岩残积土的物理性质指标与成分组成

项目		取值
界限含水量	液限/%	42.0
	塑限/%	22.9
	液性指数	0.08
	塑性指数	19.1
颗粒组成 %	>2 mm	28.80
	>0.5 mm	40.30
	0.075~0.5 mm	5.28
	<0.074 mm	54.42
物质组成/%	石英	45
	叶蛇纹石	33
	白云母	22

试验结果表明:该花岗岩残积土主要由石英、叶蛇纹石和白云母等物质成分组成,以石英为主;土样

^{*} 基金项目: 广东省交通运输厅科技计划项目(2013-00-002)

的液限低于 50%,塑性指数为 19.1,相对较低,属于低液限土;土样中粒径大于 2 mm 的砾石含量为 28.8%,粒径小于 0.074 mm 的细粒含量占 50%以上,总体上土样中粗、细颗粒含量较接近,但在粗粒组中中、细砂及粉砂含量较少。因此,判定为含砾低液限黏土。

2 土水特性试验研究

2.1 试验设备及原理

室内试验采用美国 Soilmoisture 公司研制生产的压力板仪。该仪器主要由加压系统、压力室和排水系统组成。压力室内的土样通过陶土板与板下的自由水相连,当压力室内气压增加、陶土板上土样的总水势高于板下自由水水势时,土样开始排水,直到陶土板上的土壤土和陶土板下自由水的水势相等为止,此即平衡状态。因为土样和陶土板下自由水的溶质势、温度势和重力势均相等,且板下自由水的基质势和压力势均为零,土样的基质吸力等于压力室内气压。在已知土样初始含水率的情况下,当某级吸力平衡后,由通过高精度天平称得的试样质量即可计算出相应基质吸力状态下的试样含水率,从而得到土水特征曲线。

2.2 试验方案

试验土样取自广佛肇高速公路路堤边坡试验段。为了研究不同初始干密度对重塑花岗岩残积土土水特征曲线的影响,采用路堤边坡的压实度作为参考依据。根据现场灌砂法实测数据,通过计算得到边坡干密度为 1.1~1.65 g/cm³。试验采用 1.28、1.37、1.45、1.58 g/cm³ 4 组初始干密度作为控制条件,分别进行重塑花岗岩残积土制样,每组试验分别采用 2 个平行试样,以减小试验误差的影响。然后利用抽真空饱和方法对 4 组重塑土样进行饱和,之后采用压力板仪进行土水特征曲线试验。根据实际工程需要,试验采用的压力控制范围为 0~0.3 MPa。测试过程分为两个阶段,即脱湿与增湿阶段,先进行脱湿过程,最后一级基质吸力测试完成后再进行吸湿试验,直到土样再次饱和。根据试验数据换算出不同基质吸力下土样的体积含水率,从而获得完整的脱湿与吸湿循环下土水特征曲线。

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

对室内压力板仪所测数据进行整理,可得质量

含水率与基质吸力之间的关系。进行数值模拟分析时采用的是体积含水率与基质吸力关系曲线,依据非饱和土力学中质量含水率与体积含水率之间的计算公式,换算得到不同初始干密度下脱湿与增湿阶段的土水特征曲线(见图 1)。

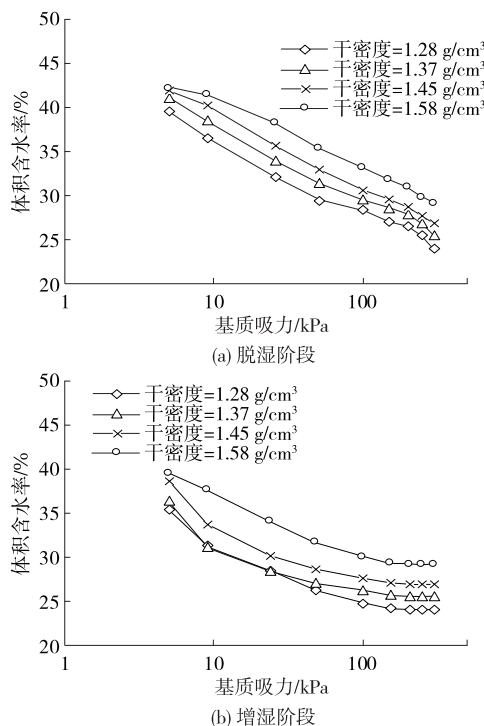


图 1 不同初始干密度下重塑花岗岩残积土的土水特征曲线

3.2 脱湿阶段土水特征曲线分析

由图 1(a)可知:不同初始干密度下重塑花岗岩残积土的土水特征曲线差异明显。在脱湿阶段,随着基质吸力的增加,饱和重塑花岗岩残积土的土水特征曲线逐渐由平缓变为陡峭再到平缓,土样的体积含水率逐渐减小,接近残余含水量时曲线趋于平缓。干密度小的土样的土水特征曲线在较大干密度曲线的下方,在施加相同基质吸力的条件下,干密度小的土样脱湿速率较快。其主要原因为初始干密度越小的饱和土样,其内部结构之间的孔隙越大,水流路径较多,孔隙结构会影响土水作用面积,随着基质吸力的增加,土样中的水分排除速率较快,因而初始干密度越小,土样的脱湿速率越快。

3.3 增湿阶段土水特征曲线分析

由图 1(b)可知:重塑花岗岩残积土样在增湿过程中,随着体积含水率的增加,基质吸力逐渐变小,土水特征曲线由缓升变为陡升。不同初始干密度下土水特征曲线均达不到最初的饱和状态。当基质吸

力大于 100 kPa 时,土水特征曲线的递增变化趋势较为缓慢;基质吸力为 0~100 kPa 时,曲线由缓升变为陡升,增湿速率增大,且干密度较大土样的曲线始终保持在干密度较小土样曲线的上方。其主要原因是随着初始干密度的增大,孔隙比逐渐减小,土样内部水流通道的路径逐渐减少,土样即将或达到饱和的变化速率减慢。因此,随着干密度的递增,土体中的增湿速率逐渐减小。

4 不同路径下的土水特征曲线对比

由图 1 可知:增湿阶段与脱湿阶段的土水特征曲线不一样,各自的变化规律都很明显。在相同基质吸力条件下,脱湿阶段的体积含水率明显大于增湿阶段。土样在脱湿过程中需要更高的体积含水量状态才能达到与吸湿过程具有相同的基质吸力,即在相同的体积含水率下,脱湿阶段的基质吸力大于增湿阶段。其主要原因是土样首先进行脱湿过程,然后进行增湿过程,在脱湿过程中,随着基质吸力的增加,土体内部结构发生变化,因此增湿过程中土样难以达到初始的结构状态。但也不排除试验中产生的误差影响。

通过两条土水特征曲线的延长线可看出重塑花岗岩残积土样的进气值较小,约 10 kPa,这是花岗岩残积土不同矿物成分影响的结果。其矿物成分中石英、叶蛇纹石等粗颗粒居多,导致残积土样中有一定数量的大孔隙,故残积土的进气值较低。试验得到重塑花岗岩残积土样的残余体积含水率为 25%~30%,说明初始干密度大的花岗岩残积土具有较强的持水能力。

5 结论

(1) 花岗岩残积土的物质成分以石英为主,土样中粗、细颗粒含量较接近,其液、塑限偏低,属于含砾低液限黏土。

(2) 初始干密度对重塑花岗岩残积土土水特征曲线有显著影响,初始干密度大的土样,其土水特征曲线始终保持在干密度较小土样曲线的上方。

(3) 较大干密度试样的脱湿速率较慢,较小干密度试样的增湿速率较快;初始干密度大的土样的残余体积含水率较大,说明花岗岩残积土具有较强的持水能力;由于花岗岩残积土的特殊结构及组分,其进气值较小,约 10 kPa。

合理选用土水特征曲线对于分析边坡的稳定性

尤为重要。试验测得的增湿过程中的花岗岩残积土土水特征曲线可为广佛肇地区降雨入渗对路堤边坡稳定性的影响分析打下基础,在工程上具有重要现实意义,同时可为探讨非饱和土体的基质吸力变化规律提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 丁少林,左昌群,刘代国,等.非饱和残积土土-水特性研究及基质吸力估算[J].长江科学院院报,2016,33(3).
- [2] 汤连生,颜波,李振嵩,等.花岗岩残积土土水特征曲线的试验研究[J].水文地质工程地质,2008,35(4).
- [3] 李志清,李涛,胡瑞林,等.非饱和土土水特征曲线(SWCC)测试与预测[J].工程地质学报,2007,15(5).
- [4] 林鸿州,于玉贞,李广信,等.土水特征曲线在滑坡预测中的应用性探讨[J].岩石力学与工程学报,2009,28(12).
- [5] 张锐,郑健龙,杨和平,宁明膨胀土渗透特性试验研究[J].桂林工学院学报,2008,28(1).
- [6] 刘艳华,龚壁卫,苏鸿.非饱和土的土水特征曲线研究[J].工程勘察,2002(3).
- [7] 卢应发,陈高峰,罗先启,等.土-水特征曲线及其相关性研究[J].岩土力学,2008,29(9).
- [8] 张昭,刘奉银,赵旭光,等.考虑应力引起孔隙比变化的土水特征曲线模型[J].水利学报,2013,44(5).
- [9] 梅岭,姜朋明,李鹏,等.非饱和土的土水特征曲线试验研究[J].岩土工程学报,2013,35(增刊1).
- [10] 邓通发,桂勇,罗嗣海,等.土水特征曲线对降雨条件下边坡稳定性影响分析[J].人民长江,2013,44(15).
- [11] 伊盼盼,牛圣宽,韦昌富.干密度和初始含水率对非饱和和重塑粉土土水特征曲线的影响[J].水文地质工程地质,2012,39(1).
- [12] 陈东霞,龚晓南.非饱和残积土的土-水特征曲线试验及模拟[J].岩土力学,2014,35(7).
- [13] 王有昌,付强.红黏土毛细水上升影响因素对比试验研究[J].公路与汽运,2011(3).
- [14] 栗伟.干湿循环作用对粉质黏土力学性能的影响研究[J].公路与汽运,2016(4).
- [15] 张锐,郑健龙,杨和平.饱和-非饱和膨胀土渗透特性试验研究[J].长沙交通学院学报,2007,23(3).
- [16] 安骏勇.膨胀土公路工程特性及灾害防治技术研究[D].武汉:中国科学院研究生院(武汉岩土力学研究所),2006.
- [17] 邹朝望.土壤水动力参数的测定及数值模拟分析[D].武汉:武汉大学,2004.

收稿日期:2016-05-12