

有荷条件下高液限红黏土的胀缩变形特性试验

张永婷¹, 王保田², 杨松堂¹

(1. 南京市水利规划设计院有限责任公司, 江苏 南京 210002; 2. 河海大学岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

摘要:利用温控气压渗透固结仪研究红黏土在上覆压力作用下, 随干湿循环次数的胀缩变形规律。试验结果表明: 有荷条件下红黏土的胀缩变形是不可逆的; 不同上覆压力作用下的土样高度随着干湿循环次数的增加均呈现递减趋势, 整体表现为收缩变形; 当上覆压力大于 50 kPa 时, 土体的竖向膨胀变形量比上覆压力小于 50 kPa 时显著减小; 上覆压力的存在有效抑制了土体的胀缩变形。

关键词:上覆压力; 高液限红黏土; 干湿循环; 胀缩变形

中图分类号: TU411.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2014)S2-0007-03

红黏土在我国南方地区分布广泛, 其共同特点是: ①液限高 ($w_L \geq 50\%$), 塑性指数高 ($I_p > 26$); ②天然含水率高且远大于最优含水率; ③细粒含量较大^[1-3], 保水性强, 自然状态下晾晒难以降低含水率; ④中低压缩性; ⑤区域差异性较大^[4]。用此类土填筑的路基, 在干旱季节和雨水季节交替过程产生的干湿循环作用下会产生一些病害^[5-6], 如路基沉降、裂缝、滑坡等以及由此而引发的路面病害。由 JTG D 30—2004《公路路基设计规范》^[7]可知, 高液限土不能直接作为路堤填料, 当利用挖方路段开挖的高液限素土填筑路堤时, 应进行处理。由此可见, 若就地取材利用当地的红黏土填筑路基, 人力、物力和财力的投入均较大。

目前很多学者主要研究重塑红黏土在无荷条件下的干湿循环变形, 并取得了一定的成果, 然而用作路基填料的红黏土均具有一定埋深且具有一定上覆压力作用。为获得符合实际工况的试验参数和指标, 开展有荷条件下膨胀土的干湿循环胀缩变形和强度特性试验研究很有必要。对于重塑土样在有荷条件下的干湿循环试验研究, 由于试验要求的高度严密性以及实现的困难性, 在国内研究不多。本文采用温控气压渗透固结仪对重塑红黏土进行有荷胀缩试验, 研究其在上覆压力作用下随干湿循环次数的胀缩变形规律。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

红黏土取自江西省吉水县, 其天然含水率为

31.9%, 天然密度为 1.82 g/cm^3 , 干密度为 1.38 g/cm^3 , 相对体积质量为 2.77, 孔隙比为 1.01, 饱和度为 87.8%, 自由膨胀率为 40%, 液限为 73.1%, 塑限为 31.1%, 塑性指数为 42。其粒径分布为: $d > 2 \text{ mm}$ 为 0%, $2 \text{ mm} \geq d > 0.5 \text{ mm}$ 为 0.27%, $0.5 \text{ mm} \geq d > 0.25 \text{ mm}$ 为 0.26%, $0.25 \text{ mm} \geq d > 0.075 \text{ mm}$ 为 0.87%, $0.075 \text{ mm} \geq d > 0.005 \text{ mm}$ 为 40.21%, $d \leq 0.005 \text{ mm}$ 为 58.12%。

1.2 试验仪器及方案

采用温控气压渗透固结仪 (图 1) 进行试验, 重塑土样浸水膨胀稳定后再风干至初始含水率, 此为一次干湿循环。通过对最优含水率为 22%, 压实度分别为 96% (干密度 1.62 g/cm^3)、90% (干密度 1.52 g/cm^3) 的重塑土样进行有荷干湿循环试验, 研究上覆压力 p 分别为 225 kPa、175 kPa、100 kPa、50 kPa 时干湿循环对重塑土样的影响, 并绘制不同上覆压力下土体竖向变形随干湿循环次数的变化曲线。通过对不同制样含水率、制样干密度的重塑土



图 1 温控气压渗透固结仪

作者简介: 张永婷 (1987—), 女, 江苏泰州人, 硕士, 主要从事软土地基特性和地基加固研究。E-mail: zyt294195506@163.com

样进行有荷干湿循环试验,得出存在上覆压力条件下,不同制样含水率以及干密度与重塑土样变形特性的关系曲线。

2 试验结果与分析

2.1 重塑红黏土有荷膨胀率与上覆压力的关系

环刀样的制备参照 JTG E40—2007《公路土工试验规程》^[8]。图 2 为最优含水率为 22%、干密度为 1.62 g/cm³ 的重塑红黏土在上覆压力分别为 0 kPa、50 kPa、100 kPa、175 kPa、225 kPa 时,竖向高度随干湿循环次数的变化曲线。

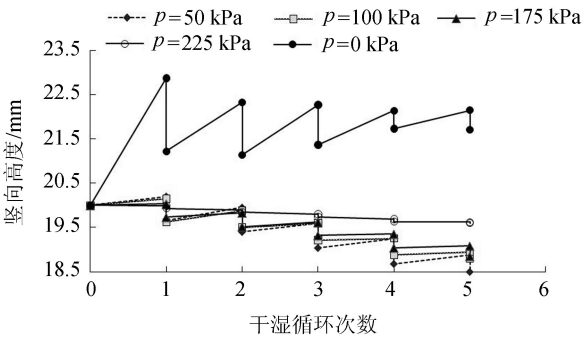


图2 不同上覆压力条件下重塑红黏土竖向高度随干湿循环次数变化曲线

由图 2 可知,重塑红黏土在无荷条件下的干湿循环曲线位于有荷曲线的上方,且相距甚远,说明重塑红黏土的变形特性受上覆压力的影响比较大。 $p=0$ kPa 的曲线表明,每次干湿循环后的重塑土样高度均比初始高度(环刀高度为 20 mm)高,变形稳定后的土样高度大于初始高度;而当 $p \neq 0$ kPa 时,土样在经历首次微小膨胀后,每次膨胀以后的高度均低于初始高度,土样的竖向高度随着干湿循环次数的增加呈现递减趋势,虽然再次的浸水使得土体有所膨胀,但是无法抵消土体在风干过程中的竖向收缩变形,土体表现为以收缩为主的变形趋势。

由图 2 可知,在前 3 次干湿循环过程中, $p=50$ kPa 的曲线在 $p=100$ kPa、 $p=175$ kPa 和 $p=225$ kPa 的曲线上方,同时 $p=100$ kPa 的曲线在 $p=175$ kPa 和 $p=225$ kPa 的曲线上方, $p=175$ kPa 的曲线在 $p=225$ kPa 的曲线上方,说明上覆压力越大,土体膨胀收缩变形幅度越小。而当土样经历第 4 次干湿循环时,土样的膨胀变形走势开始发生变化。经历 5 次干湿循环以后,随着上覆压力的增加,土样收缩至初始含水率的最终高度越大。因此得出,上覆压力的存在有效地抑制了干湿循环导致的土体竖向胀缩变形量。由图 3 可知, $p=50$ kPa 为一个分界点,当 $p > 50$ kPa 时,竖向高度的变化幅度为 0.2 mm,当 $p < 50$ kPa 时,其变化幅度则达到 2.6 mm,是前者的 13 倍。

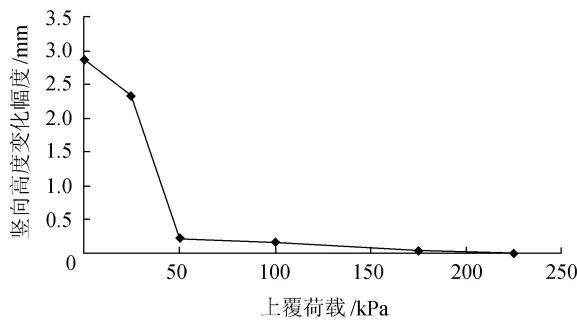


图3 重塑红黏土竖向高度变化幅度随上覆压力变化曲线

2.2 重塑红黏土有荷膨胀率与制样干密度的关系

图 4 为最优含水率为 22%,制样干密度为 1.52 g/cm³、1.62 g/cm³ 的重塑土样在 $p=50$ kPa 时,竖向高度随干湿循环次数的变化曲线。由图 4 可知,不同制样干密度土样的竖向高度均随着循环次数的增加而减小,制样干密度越大,土样的绝对膨胀率越大;当制样干密度较小时,土体复浸水的吸湿能力比制样干密度较大时弱。

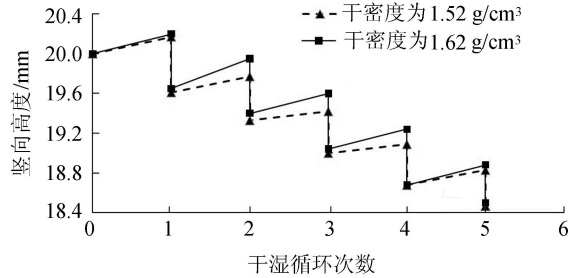


图4 不同制样干密度重塑土的竖向高度与干湿循环次数的关系

2.3 重塑红黏土有荷膨胀率与制样含水率的关系

图 5 为 $p=175$ kPa 时,干密度为 1.62 g/cm³ 的重塑土样在不同制样含水率条件下竖向高度随干湿循环次数的变化曲线。由图 5 可知,有荷条件下,土体初始含水率越小,土体的绝对膨胀率越大;当初始含水率较大时,土体的复浸水吸湿能力比初始含水率较小时弱;在经历干湿循环变形稳定后,初始含水率较大土样的竖向高度大于初始含水率较小的竖向高度。初始含水率越高,经历 5 次干湿循环后的裂

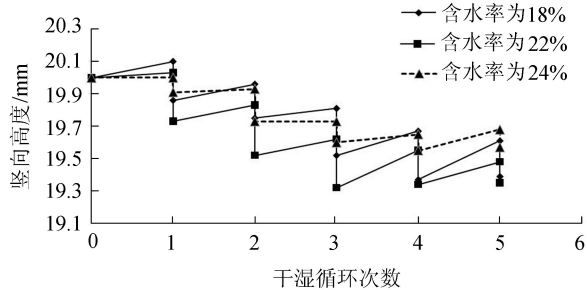


图5 不同初始含水率重塑土样的竖向高度与干湿循环次数的关系

隙越多,且裂隙上下贯通并向土样中间延伸。尽管赵颖文等^[9-10]得出在土样含水率略大于最优含水率时进行碾压有利于减小土体的膨胀率,但是由本文研究得出,较高含水率的土体需做好周围的防水保湿措施,否则此类土在有荷条件下经历若干次干湿循环后会产生严重的收缩开裂,不利于路基的长期稳定。

2.4 结果分析

对于在一定上覆压力作用下进行干湿循环的重塑红黏土来说,其颗粒的矿物成分,水溶液成分和外部环境是一定的,因此土体颗粒大小及其排列是决定其循环膨胀特性的主要因素。土颗粒重新排列分布^[11],会引起微观结构的改变,随着体积的缩小,颗粒间的胶结变强,结构力增强,吸水后的膨胀变形小于前次干湿循环。另一方面,干缩会引起黏性土颗粒的集聚和排列的变化,导致胀缩性能的变化。黏粒之间存在的不可逆范德华力使黏粒集聚成较大集聚体,导致土中分散细粒含量减少,比表面积减小,同时颗粒的定向性变差,随着干湿循环过程的进行,当达到某种平衡状态,这时循环胀缩特性便趋于稳定。

上述土体微结构的改变也能通过其物理力学性质指标的变化加以说明。由于干湿循环使颗粒集聚,比表面积减小,因而孔隙率增大,渗透性增强,表现在土粒之间结构联结减弱,如果土样所受压力小,则干湿循环胀缩幅度大,随着循环次数增多,土样中裂隙越容易发育,强度降低^[12],而且在一定荷载作用下胀缩含水率有随着干湿循环次数的增大而逐渐减小至稳定的趋势,由此随吸水能力的逐渐降低其胀缩的幅度也因此而降低。上覆压力的增大同时也会导致红黏土中土粒间的间隙减小,进而引起水分的吸入量减少,使土样的膨胀受到限制,同时,颗粒间的胶结氧化物也是限制其膨胀变形的原因之一,土体的结构破坏和强度受干湿循环作用影响较小,在风干过程中的收缩变形较小,导致出现荷载越大,红黏土在相同干湿循环过程中胀缩幅度越小的特性。

3 结 论

a. 重塑红黏土的有荷膨胀试验得出,上覆压力的存在有效抑制了土体随干湿循环导致的竖向胀缩变形量,整体表现为以收缩为主的变形趋势;而上覆压力为 50 kPa 为一转折点,当上覆压力大于 50 kPa 时,土体的胀缩变形幅度很小,当上覆压力小于 50 kPa 时,土体的变形显著增大。

b. 重塑红黏土在有荷胀缩变形过程中,土体的制样干密度越大,土体的绝对膨胀率越大,其复浸水的吸湿能力较制样干密度较小的土体强。

c. 较高含水率的重塑红黏土用作路基填料时,土体的绝对膨胀率较小,同时需做好有效的防水保湿措施,否则此类土在有荷条件下经历若干次干湿循环后会产生严重的收缩开裂,不利于路基的长期稳定。

参考文献:

[1] GBJ 112—1987 膨胀土地区建筑技术规范[S].
[2] SUN Xiangnan, XUE Wei. Test of red clay and its application to embankment fill[J]. Highway, 2005 (6): 83-86.
[3] ZHANG Jianhua, TAO Wenping, WU Zhenchuan. Road performance test and construction quality control for red clay[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2010, 30 (1): 222-225.
[4] 高国瑞. 中国红土的微结构和工程性质[J]. 岩土工程学报, 1985, 7(5): 10-20.
[5] 张麒蛰. 高液限红黏土路基修筑技术探讨[J]. 水利与建筑工程学报, 2007, 5(1): 83-84.
[6] 刘龙武, 杨和平, 康石磊, 等. 红黏土填料的路用性质研究[J]. 公路, 2002(6): 125-128.
[7] JTG D30—2004 公路路基设计规范[S].
[8] JTG E40—2007 公路土工试验规程[S].
[9] 赵颖文, 孔令伟, 郭爱国, 等. 广西红黏土击实样强度特性与胀缩性能[J]. 岩土力学, 2004, 25(3): 369-373.
[10] 谭罗荣, 孔令伟. 某类红黏土的基本特性与微观结构模型[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(4): 459-462.
[11] 吴立坚, 钟发林, 吴昌兴, 等. 高液限土的路用特性研究[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(2): 193-195.
[12] ISPHORDING W C. Mineralogical and physical properties of Gulf coast limestone soils[R]. Mobile: University of South Alabama, 1978.

(收稿日期: 2014 - 09 - 24 编辑: 刘晓艳)

