

DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.2015.05.12

红黏土浸水变形特性试验研究

孙德安¹, 李培¹, 高游¹, 吕海波²

(1. 上海大学土木工程系, 上海 200072;

2. 桂林理工大学广西岩土力学与工程重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要: 对广西桂林红黏土进行了浸水饱和引起的膨胀变形和压缩变形试验, 在竖向压力 25 ~ 800 kPa 范围内, 研究了不同初始含水率和干密度对浸水变形特性的影响。结果表明: 浸水饱和引起的压缩变形量主要取决于初始干密度, 而初始含水率对其影响较小; 在相同的含水率下, 浸水压缩变形量随着干密度的增加而减小。把各组的固结状态线和浸水饱和稳定后状态线的交点称为分界点。初始含水率对分界点的影响较小, 而随着干密度的增加, 分界点右移, 即浸水膨胀区域增大, 浸水压缩区域减小。由分界点可得出了介于浸水膨胀和浸水压缩的分界状态线, 从而可以判定不同孔隙比、不同竖向压力下土样会产生浸水膨胀还是压缩。最后, 基于浸水变形试验结果, 可以计算压缩区红黏土试样在不同竖向压力下浸水压缩变形量。

关键词: 红黏土; 膨胀变形; 压缩变形; 压缩变形量计算

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2015)05-0074-05

An experimental study of deformation characteristics of lateritic clay due to wetting

SUN Dean¹, LI Pei¹, GAO You¹, LYU Haibo²

(1. Department of Civil Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: A series of wetting tests on a lateritic clay taken from Guilin, Guangxi, were conducted to investigate the swelling and compression deformation during wetting. The influence of different initial water contents and initial dry densities were examined under the ranges of applied pressures from 25 KPa to 800 KPa. The results show that the swelling deformation due to wetting is mainly affected by the initial dry density, and is hardly affected by the initial water content. At the same initial water content, the swelling deformation increases with the increasing initial dry density. According to the intersection points of the compression curves at the unsaturated state and the saturated state lines with different initial densities, we can obtain a state line, with which we can identify if the expansive soil shows swelling or compression due to wetting at the specific pressure. The compression deformation at different vertical pressures due to wetting can also be calculated.

Keywords: lateritic clay; swelling deformation; compression deformation; compression deformation calculation

红黏土是特殊土之一, 具有较高地基承载力、较低压缩性、高收缩性、低膨胀性等特点, 浸水后可能导致

建筑物产生不均匀沉降、倾斜、开裂等破坏。因红黏土具有与膨胀土相似的工程性质, 在工程中一般被视为

收稿日期: 2014-12-11; 修订日期: 2015-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(11272194); 广西岩土力学与工程重点实验室开放基金(13-KF-03)

第一作者: 孙德安(1962 -), 男, 教授, 主要从事土力学的研究。E-mail: sundean@shu.edu.cn

膨胀土处理,但红黏土和膨胀土在膨胀机理上有着明显的区别,如赵颖文等^[1]对比研究了红黏土与膨胀土,指出了其力学特性与膨胀特性具有明显的差异。因此,对红黏土的变形特性研究是非常有意义的。

随着红黏土问题逐渐被重视,不少学者做了大量的研究工作。如姜洪涛^[2]探讨了红黏土中结构连接方式对其工程性质的影响。杨庆等^[3]通过试验研究了非饱和红黏土抗剪强度指标与含水量之间的关系。黄质宏等^[4]研究了不同应力路径下红黏土的力学特性,指出不同应力路径具有不同的力学参数。Gao^[5]总结了不同地区红黏土的物理和力学特性。Bello^[6]研究了含水率和干密度对压实红黏土强度的影响。国内对红黏土的强度特性有较为广泛的研究,但对红黏土的变形特性研究相对较少,特别是浸水饱和和引起的变形特性。如陈开圣等^[7]研究了含水量对高液限红黏土压缩变形系数的影响。这些研究对进一步理解红黏土的变形特性具有一定的实际工程意义。

本文以红黏土为试验材料,对不同含水率、不同干密度压实样在不同压力下浸水饱和和膨胀变形和压缩变形试验研究。根据研究红黏土的变形特性与初始含水率和竖向压力的相关性,得出了介于浸水膨胀与压缩变形的分界线,进而可判定不同孔隙比和不同竖向压力下,试样是浸水膨胀还是浸水压缩。最后,基于浸水变形实验结果,可以计算压缩区红黏土试样在不同竖向压力下浸水饱和后的压缩变形量。

1 浸水变形试验

1.1 试验材料及仪器

试验所用的红黏土取自广西桂林市南部桂林理工大学雁山校区,其物理性质指标见表1^[8]。由表1可看出红黏土的液塑限都较高,属于高液限黏土。试验仪器为普通固结仪,试样直径为61.8 mm,高度为20 mm。

表1 桂林红黏土的物理指标

Table 1 Physical property index of the Guilin lateritic clay

比重	液限/%	塑限/%	最优含水率/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)	自由膨胀率/%
2.74	77.8	42.1	28.0	1.52	32.5

1.2 试验方法

首先将土样风干、碾碎、过2 mm筛、并测量含水率,再根据已知含水率配制目标含水率的土样。将配制好的土样,按照设计干密度的要求压实至直径61.8

mm、高度16 mm。压好后的试样状态为初始状态。试样高16 mm的目的是为了防止试样浸水膨胀时高出高为20 mm的环刀。其次,将压制好的试样装入固结仪,并施加2 kPa的竖向预压力使试样与仪器上下各部件之间接触好,测读百分表初读数,再分级加载到目标的竖向压力值,待固结稳定后,即每小时变形量小于0.01 mm时,认为固结后状态。再加蒸馏水使试样浸没,并测试样的变形量,当每小时变形量小于0.01 mm时认为浸水饱和稳定,认为浸水饱和后状态。各组试样的初始状态及浸水饱和时的竖向压力如表2所示。

表2 试样的初始状态及浸水饱和时的竖向压力

Table 2 Initial states of all the specimens and the vertical pressures at wetting

初始含水率 w_0 /%	初始干密度 ρ_d /(g·cm ⁻³)	竖向压力 σ_v /kPa
18	1.2、1.3、1.4	25、50、100、200、400、800
24	1.2、1.3、1.4	25、50、100、200、400、800
30	1.2、1.3、1.4	25、50、100、200、400、800

2 浸水变形试验结果

2.1 浸水膨胀变形与浸水压缩变形试验结果

图1为用含水率 w_0 约为18%、24%和30%土样制成的不同压实密度试样在不同竖向压力下固结稳定后和浸水饱和稳定后的孔隙比与竖向压力的关系。各试样的初始干密度 ρ_d 和初始含水率 w_0 均标示于图中。

首先在相近初始含水率、初始干密度条件下,竖向压力较小时,浸水饱和表现为膨胀变形,竖向压力较大时,则表现为压缩变形。每幅图中的固结稳定后的状态线与浸水饱和稳定后的状态线都有一个交点(称此点为分界点),此交点的物理意义是:在特定初始状态下的试样,在某一竖向压力作用下固结完成后,并不因浸水饱和而使土体发生变形,并以此将浸水饱和稳定后状态分为浸水饱和和引起膨胀变形的压力范围(简称膨胀区)和浸水饱和和引起压缩变形的压力范围(简称压缩区),如图2所示。其次,随着干密度的增加,分界点向右移,即膨胀区增大,压缩区减少。同时,在相同竖向压力下,膨胀区的膨胀量随干密度的增大而增大,而压缩区的压缩变形量随着干密度的增加而减少。

图3表示了不同初始含水率和初始干密度试样在不同压力下浸水饱和稳定的孔隙比。由图3可知:在相同干密度、竖向压力的情况下,在膨胀区的膨胀量随着含水率的增大而略微减小,故初始含水率对膨胀变

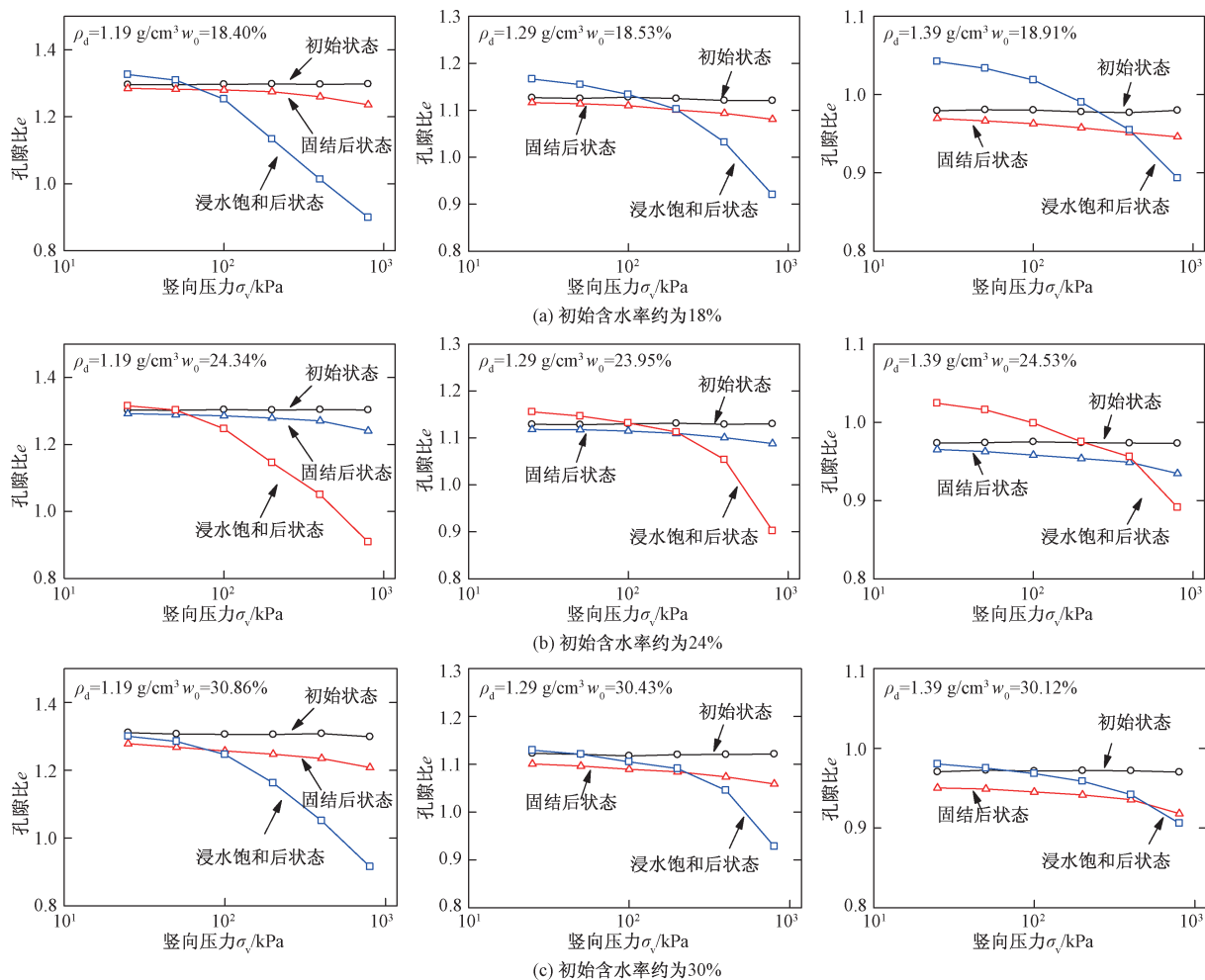


图1 不同含水率时孔隙比与竖向压力关系

Fig. 1 Void ratio versus vertical pressure of different initial water contents

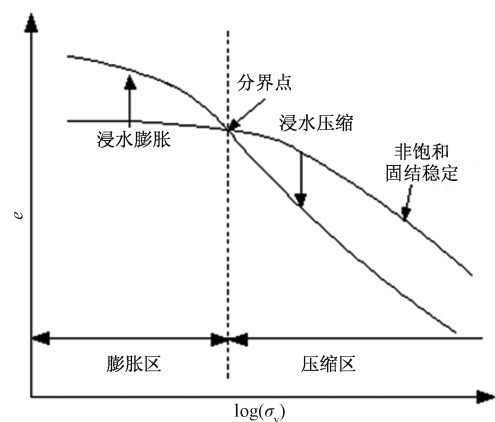


图2 不同压力 σ_v 下浸水前后土体的变形特性

Fig. 2 Volume change due to wetting at different pressures

形有一些影响;另外,试样压实密度愈大,浸水饱和后的状态线愈低,说明在相同竖向压力下不同初始密度的试样在浸水饱和后的密度是不一样的。其次,图3中最高线的试验点基本就是压缩区浸水饱和和稳定后的

点,这些点几乎重合,并且在不同竖向压力下,这些点在 $e-\log(\sigma_v)$ 坐标上大致成线性关系,如图4所示。因此图3中最高线是较松非饱和红黏土浸水饱和后的压缩稳定线,而且受试样的初始含水率的影响较小,类似正常固结压缩线。

2.2 浸水膨胀变形与压缩变形的分界线

从3组试样的试验结果中提取不同干密度的各个分界点,将这些点画在孔隙比与竖向压力对数坐标中(图5)。由图5可知,初始含水率为18%、24%和30%的试样区分膨胀与压缩的分界点几乎在同一条直线上,故初始含水率对分界线的影 响很小;有了这条分界线后,就可以判断土样浸水饱和时的变形,即如固结稳定后的非饱和试样在这条状态线的左下边,浸水饱和时试样将表现为膨胀变形(膨胀区),而固结稳定后的非饱和试样在该线右上方,浸水饱和时试样将表现为压缩变形(压缩区)。

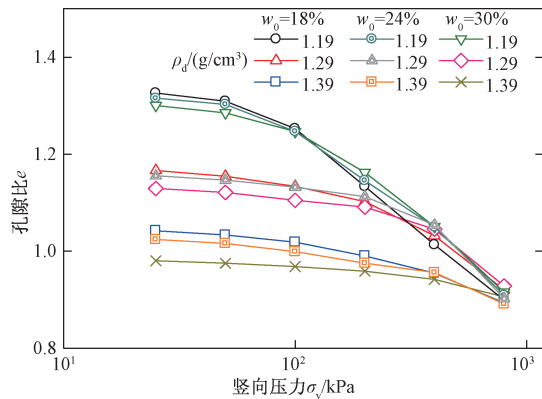


图3 不同初始状态试样在浸水饱和稳定后的状态线
Fig.3 State lines of specimens with different initial states at the full saturation

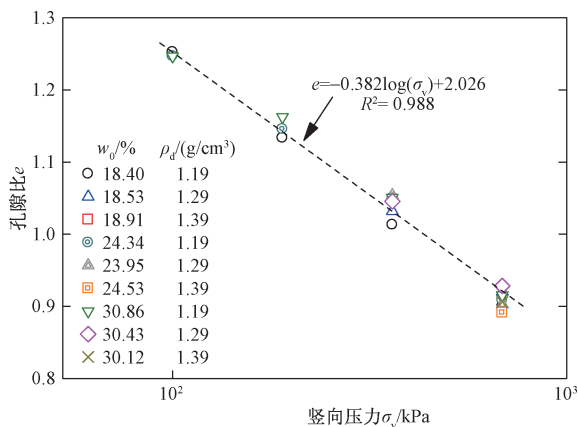


图4 不同初始状态试样在浸水饱和稳定后的状态点
Fig.4 State points at the full saturation for different initial states

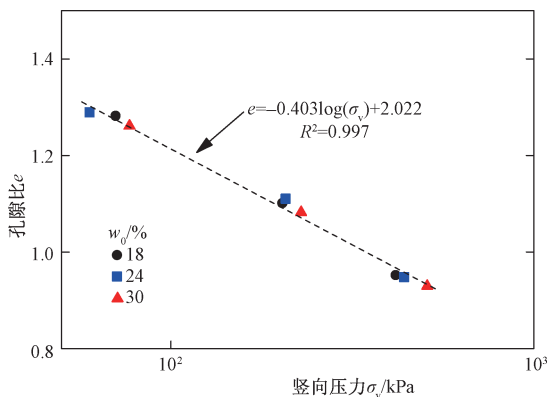


图5 浸水膨胀与压缩变形的分界线
Fig.5 Critical line distinguishing swelling from compression due to wetting

3 压缩区浸水饱和后压缩量的计算

从3组实验结果中提取不同干密度压缩区浸水饱和和稳定后的点,将这些点画在孔隙比与竖向压力的对

数坐标中(图3),压缩区浸水饱和稳定后的 $e-\log(\sigma_v)$ 关系近似为直线。故可以拟合出压缩区浸水饱和稳定后的计算方程:

$$e_w = -0.382\log(\sigma_v) + 2.026 \quad (1)$$

式中: σ_v ——竖向压力;

e_w ——浸水饱和后压缩稳定的孔隙比。

根据非饱和红黏土固结稳定所受的竖向压力 σ_v 代入式(1)就可以得到压缩区浸水饱和稳定后的孔隙比 e_w 。

若固结后孔隙比 e_c 处于压缩区,假定为侧限条件下,已知所施加的竖向压力 σ_v ,由 e_c 和 e_w 即可以算得竖向压力 σ_v 作用下的浸水压缩变形量 Δh :

$$\Delta h = \frac{e_c - e_w}{1 + e_c} h_c \quad (2)$$

式中: Δh ——浸水饱和前后压缩变化量;

e_c ——试样固结稳定后的孔隙比;

e_w ——浸水压缩稳定后的孔隙比;

h_c ——固结后试样的高度。

根据红黏土地区地基固结稳定后的孔隙比和上覆压力,使用分界线可判定因降雨等浸水饱和后产生浸水膨胀还是浸水压缩,并用上述方法计算其浸水饱和后的压缩量,从而在实际工程中可采取相应的措施以防止产生危害。

4 结论

(1)在膨胀区,相同初始含水率、不同竖向压力下,膨胀量随着初始干密度的增大而增大;在压缩区,相同初始干密度下,不同初始含水率试样在浸水饱和和引起压缩稳定后的孔隙比大致相同,初始含水率对其最终浸水压缩变形量影响小。

(2)在同一初始干密度和含水率以及不同竖向压力下,根据固结稳定后的状态线与浸水饱和后状态线的交点,可以确定出浸水饱和引起的压缩变形和膨胀变形的分界线;并可根据分界线判断土样浸水饱和后的变形特性。

(3)不同初始含水率试样的分界线几乎重合,说明浸水饱和稳定后膨胀和压缩变形之间的分界线基本上不受初始含水率的影响。

参考文献:

[1] 赵颖文,孔令伟,郭爱国,等. 典型红粘土与膨胀土的对比试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15): 2593 - 2598. [ZHAO Y W, KONG

- L W, GUO A G, *et al.* Comparative laboratory study on typical red clay and expansive soil [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(15): 2593 - 2598. (in Chinese)]
- [2] 姜洪涛. 红粘土的成因及其对工程性质的影响[J]. 水文地质工程地质, 2000, 27(3): 33 - 37. [JIANG H T. Causes of red clay and its effect on the engineering behaviour [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2000, 27(3): 33 - 37. (in Chinese)]
- [3] 杨庆, 贺洁, 栾茂田. 非饱和红粘土和膨胀土抗剪强度的比较研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(1): 13 - 16. [YANG Q, HE J, LUAN M T. Comparative study on shear strength of unsaturated red clay and expansive soils [J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24(1): 13 - 16. (in Chinese)]
- [4] 黄质宏, 朱立军, 廖义玲, 等. 不同应力路径下红粘土的力学特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15): 2599 - 2603. [HUANG Z H, ZHU L J, LIAO Y L, *et al.* Mechanical properties of red clay under different stress paths [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(15): 2599 - 2603. (in Chinese)]
- [5] Gao G R. The distribution and geotechnical properties of loess soils, lateritic soils and clayey soils in China [J]. Engineering Geology. 1996, 42(1): 95 - 104.
- [6] Bello A A. Analysis of shear strength of compacted Lateritic soils [J]. Pacific Journal of Science and Technology, 2011, 12(1): 425 - 434.
- [7] 陈开圣, 胡鑫. 高液限红粘土变形特性研究[J]. 公路交通科技, 2010, 27(3): 49 - 53. [CHEN K S, HU X. Study of deformation characteristic for high liquid limit red clay [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27(3): 49 - 53. (in Chinese)]
- [8] 孙德安, 刘文捷, 吕海波. 桂林红黏土的土-水特征曲线[J]. 岩土力学, 2014, 35(12): 3345 - 3351. [SUN D A, LIU W J, LU H B. Soil-water characteristic curve of Guilin lateritic clay [J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, 35(12): 3345 - 3351. (in Chinese)]

责任编辑:张明霞

(上接第 73 页)

- [15] 王海军, 张勃, 靳晓华, 等. 基于 GIS 的祁连山区气温和降水的时空变化分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1196 - 1202. [WANG H J, ZHANG B, JIN X H, *et al.* Spatio-temporal Variations Analysis of Air Temperature and Precipitation in Qilian Mountainous Region Based on GIS [J]. Journal of Desert Research, 2009, 29(6): 1196 - 1202. (in Chinese)]
- [16] 李静, 盛煜, 陈继, 等. 大通河源区多年冻土的地温特征及其影响因素分析[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7): 827 - 836. [LI J, SHENG Y, CHEN J, *et al.* Characteristics of Ground Temperatures and Influencing Factors of Permafrost Development and Distribution in the Source Region of Datong River Progress in Geography [J]. Progress in Geography, 2011, 30(7): 827 - 836. (in Chinese)]
- [17] 高玉佳, 王清, 陈慧娥, 等. 温度对季节性冻土水分迁移的影响研究[J]. 工程地质学报, 2010, 18(5): 698 - 702. [GAO Y J, WANG Q, CHEN H E, *et al.* Effect of Temperature on Migration of Water in Seasonal Frozen Soils [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(5): 698 - 702. (in Chinese)]
- [18] 王子龙, 付强, 姜秋香, 等. 季节性冻土区不同时期土壤剖面水分空间变异特征研究[J]. 地理科学, 2010, 30(5): 772 - 776. [WANG Z L, FU Q, JIANG Q X, *et al.* Spatial Variability of Soil Moisture Profile in Seasonal Frozen Soil Region in Different Stages [J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(5): 772 - 776. (in Chinese)]
- [19] 单炜, 刘红军, 杨林, 等. 季冻区土质路堑边坡浅层含水率变化研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(增刊 1): 335 - 340. [SHAN W, LIU H J, YANG L, *et al.* Study of regularity of variation of water content in shallow layer of soil road cutting slopes in seasonally frozen-ground region [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(Sup1): 335 - 340. (in Chinese)]
- [20] 牛富俊, 程国栋, 赖远明, 等. 青藏高原多年冻土区热融滑塌型斜坡失稳研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(3): 402 - 406. [NIU F J, CHENG G D, LAI Y M, *et al.* Instability study on thaw slumping in permafrost regions of Qinghai-Tibet Plateau [J]. Chinese Journal of Geotechnical, 2004, 26(3): 402 - 406. (in Chinese)]

责任编辑:张明霞