

文章编号:1005-0523(2014)04-0100-05

膨润土膨胀变形与膨胀力试验研究

沈一军,朱赞成,郑 最

(台州学院建筑工程学院,浙江 台州 318000)

摘要:膨润土被选为高放废物深层地质处置库的缓冲/回填材料,有必要研究其力学性能。使用固结仪对不同干密度和含水率的钙基膨润土进行了膨胀变形与膨胀力的试验研究。试验结果表明:膨润土的膨胀应变主要取决于膨润土的初始干密度和含水率,随着初始干密度的增加而增加,随初始含水率的增加膨胀变形逐渐减小。

关键词:膨润土;高放废物;膨胀力;膨胀变形

中图分类号:TU443

文献标志码:A

因膨润土具有满足工程屏障材料所需的长期稳定性、低渗透性、高膨胀性、吸附阳离子等性能优点,被众多国家选为理想核废料缓冲/回填材料^[1]。

王志俭和刘泉声^[2](2000)对压密膨润土混合物相同初始干密度分别在2种不同初始含水率进行了一维膨胀变形和膨胀力试验。刘泉声和王志俭^[3](2002)研究了砂-膨润土混合物在不同含水量(4%~17.9%)、膨润土含量(10%~50%)和干密度(1.35~1.84 g·cm⁻³)状态下的膨胀性能。叶为民等^[4](2007)使用UPC固结仪采用恒体积法对高压实高庙子膨润土GMZ01进行了膨胀力试验研究。秦冰等^[5](2008)使用固结仪对高庙子钠基膨润土进行不同干密度、竖向压力、浸泡液体以及吸湿方式的膨胀变形试验。Sun(2009)等^[6]对Kunigel V1膨润土进行了膨胀变形试验,得到了一个垂直应力与膨润土孔隙比的线型公式。胡畔和杨庆^[7](2012)运用自行研制的膨胀仪对膨润土加砂混合物进行了一系列膨胀力及膨胀应变等膨胀特性的试验研究,分析了膨胀力随时间的变化规律、两向膨胀力之间的关系和膨胀应变与时间及吸水量之间的关系。Ye^[8](2013)研究了高庙子钠基膨润土在25~80℃下的温度和吸力循环试验。Komine^[9](2004)研究了4种膨润土的膨胀变形,得到与膨润土的最大膨胀变形与膨润土的初始干密度有关。Romero等^[10](2005)对Boom clay与FE-BEX膨润土进行了不同温度循环下两种膨润土的变形特性研究。Lloret和Villar^[11](2007)利用温度和吸力控制方法,研究了在不同温度下非饱和FEBEX膨润土膨胀变形规律。Lloret和Villar^[12](2008)对高压实膨润土在不同干密度和不同初始含水量进行了膨胀特性的研究。Tang等^[13](2008)设计了一新控温和控制吸力的设备研究了不同温度和吸力对MX80膨润土变形特性的影响,结果表明高吸力下,加热导致试样产生热膨胀;在高应力、低吸力下,加热导致试样产生热收缩。

本文进一步研究初始干密度和初始含水率对膨润土膨胀变形和膨胀力的影响,通过利用不同初始干密度和初始含水率,以揭示膨润土膨胀变形和膨胀力的机理。

收稿日期:2014-02-27

基金项目:国家自然科学基金项目(11272194);浙江省大学生科技创新活动计划项目(2013R428027)

作者简介:沈一军(1980—),男,实验师,硕士,研究方向为土木工程教学与科研工作。

1 试样材料与方法

1.1 材料

试验所用的膨润土为内蒙古高庙子钙基膨润土,其物理性质见表1。试验仪器采用普通固结仪,环刀内径为61.8 mm,高度为20 mm。

1.2 试样制备

首先,将土样风干、碾碎、过0.25 mm的筛;再放入105 ℃的恒温箱内24 h;然后在土样表面均匀喷撒蒸馏水直至设计含水率,搅匀后装入保鲜袋内密封12 h,使其水分达到均匀;压制成设计干密度,制备成内径61.8 mm,高度10 mm的试样。

其次,把压制好的试样装入固结仪,施加1 kPa的竖向预压力,读取初始读数,再加载不同的竖向压力。

最后,向固结仪内注入蒸馏水,测量不同时刻的变形量。膨胀变形试验的各组试样初始干密度和初始含水率及竖向压力见表2所示。

膨胀力试验采用恒体积法,制样方法与膨胀变形相同,制好样后,把试样放入固结仪内,记下百分表的初始值,立即将蒸馏水倒入固结仪内,水面不要超过环刀高度,以方便试样内的空气排出,一旦百分表数值变化±0.01 mm,就需增减砝码,保证试样的体积尽量保持不变。膨胀力试验的试样参数见表3所示。

2 试验结果分析

2.1 膨胀变形

图1为不同含水率的土样静压至平均干密度1.17 g·cm⁻³的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。从图可知,在初始平均干密度约为1.17 g·cm⁻³的条件下,在不同竖向压力下浸水饱和表现均为压缩变形;且随着竖向压力的增大压缩变形越大。从图1(a)和(b)可看出随着竖向压力的增大,膨润土在固结段压缩变形也增大,吸湿后压缩变形也增大。从图1(c)可看出,在竖向压力较小时,两者的压缩变形差别不大;但竖向压力较大时,初始含水率为9%的试样压缩变形量比初始含水率21%的要稍微小。说明含水率较小时,试样产生的膨胀量比初始含水率大的大。

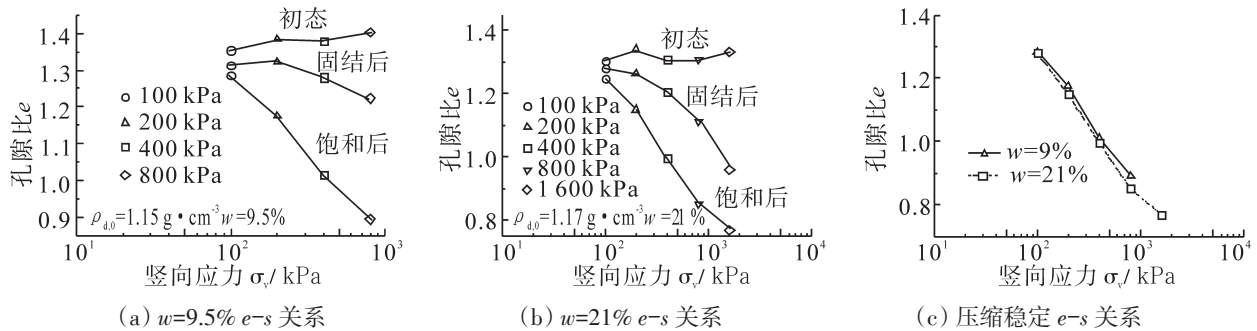


图1 不同含水率孔隙比与竖向应力关系

Fig. 1 Void ratio versus vertical stress relationship for different water content

表1 膨润土的物理力学指标

Tab. 1 Physico-mechanical index

重度	液限/%	塑限/%	最优含水率/%	蒙脱石含量/%
2.725	99	41	44	73~82

表2 试样的初始状态与竖向压力

Tab. 2 Initial states and vertical pressures of all specimens

含水率/%	初始干密度/(g·cm ⁻³)	竖向压力/kPa
9.5	1.15	100, 200, 400, 800
20.8	1.18	100, 200, 400, 800
9.5	1.56	100, 200, 400, 800, 1 600
14.9	1.57	100, 200, 400, 800, 1 600
20.8	1.53	100, 200, 400, 800, 1 600

表3 膨胀力试验试样的初始状态

Tab. 3 Parameters of all specimens for swelling pressure

初始干密度/(g·cm ⁻³)	含水率/%	初始饱和度/%
1.51	14.6, 20.8, 26.9	48.9, 69.8, 91.7
1.59	14.6, 20.8, 26.9	56.2, 78.9, 100

膨润土在一维竖向荷载下的膨胀(或湿化压缩)变形孔隙比和应变分别为式(1)和(2)

$$e = \frac{V_0 + \Delta h A}{V_s} = e_0 + \frac{\Delta h A}{V_s} \tag{1}$$

式中: e 为某一竖向压力下某时刻对应的孔隙比; e_0 为试样初始孔隙比; V_0 为试样制好样后的体积, cm^3 ; V_s 为试样中土颗粒体积, cm^3 ; Δh 为试样发生变形的高度, cm ; A 为试样的面积, cm^2 。

$$\varepsilon = \frac{a_2 - a_1}{h_0 - (a_0 - a_1)} \times 100 \tag{2}$$

式中: ε 为某一竖向压力下某时刻对应的膨胀应变, %; h_0 为制样时试样的高度, mm ; a_0 为未加压时百分表的初始值, mm ; a_1 为固结变形稳定后的百分表数值, mm ; a_2 为膨胀变形稳定后的百分表数值, mm 。

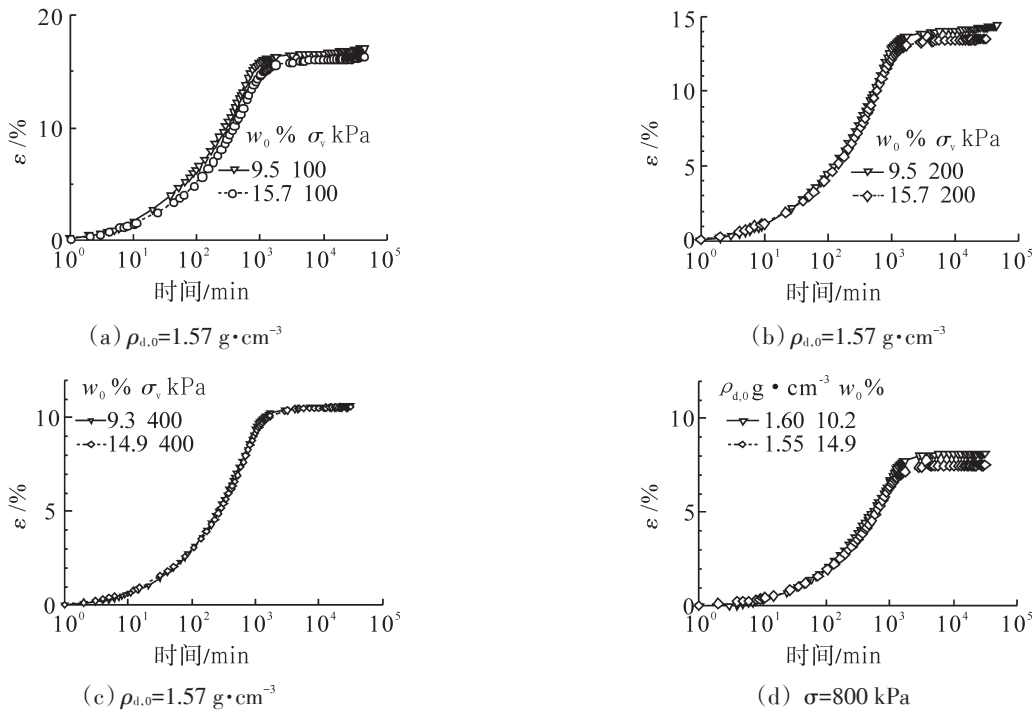


图2 膨润土不同荷载下膨胀应变-时间关系图

Fig. 2 Swelling strain of bentonite subjected to different vertical stresses

图2为初始干密度为 $1.57 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 初始含水率分别为 9.5% 和 15% 的钙基膨润土分别在 100, 200, 400, 800, 1600 kPa 5 种竖向压力下的吸湿至饱和的膨胀变形过程的膨胀应变-时间关系曲线。由图2可知, 在相同条件下, 随着初始含水率的增大, 最大膨胀应变而减小。

由图1、图2可知, 当初始干密度较小时, 膨润土吸水饱和发生湿化压缩变形, 而当初始干密度较大时, 膨润土吸水饱和发生膨胀变形。

图3为初始平均干密度为 $1.57 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 在 4 种不同初始含水率, 相同的竖向压力 800 kPa 下, 吸湿至饱和的膨胀应变时程曲线, 由图可知, 在初始干密度基本一致下, 最大膨胀应变随初始含水率的增加而减小。

2.2 膨胀力

图4为同一初始干密度不同初始含水率条件下的膨胀

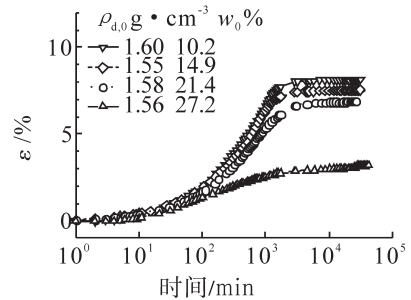
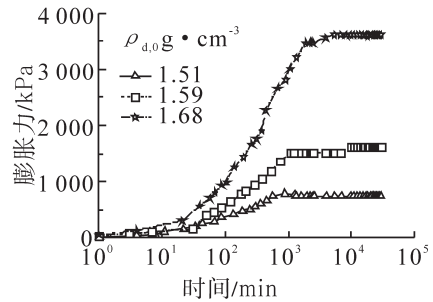


图3 不同含水率 800 kPa 竖向荷载下膨胀应变图

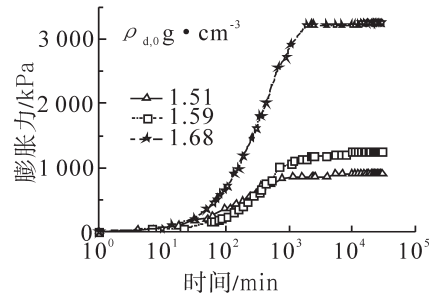
Fig. 3 Swelling strain of bentonite subjected to different water content at 800 kPa

力时程曲线图。图4(a)为初始干密度 $\rho_{d,0}=1.51\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,3种不同初始含水率的膨胀力时程曲线图,图4(b)为初始干密度 $\rho_{d,0}=1.59\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,3种不同初始含水率的膨胀力时程曲线图。由图可知,随着初始含水率的,膨胀力逐渐减小。图4(a)中的14.6%较20.8%小,可能加载过大导致试样压得更密了,试样的渗透系数变小,试样吸水饱和过程加长,导致膨胀力没来得及发挥出来。

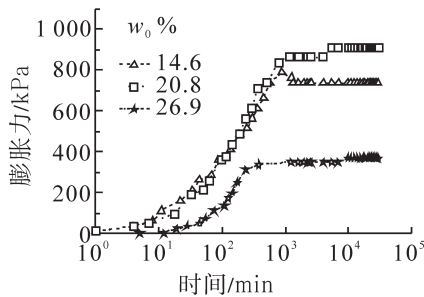
图5为相同初始含水率不同初始干密度的试样在吸水饱和过程中膨胀力的发展过程曲线图。图5(a)为初始含水率为14.6%不同初始干密度的膨胀力时程曲线,图5(b)为初始含水率为20.8%不同初始干密度的膨胀力时程曲线,图5(c)为初始含水率为26.9%不同初始干密度的膨胀力时程曲线。由图可知,在相同初始含水率条件下,随着初始干密度的增大,最大膨胀力逐渐增大。



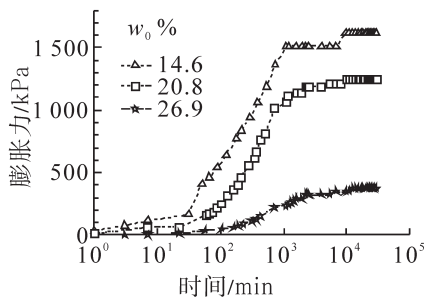
(a) $w=14.6\%$



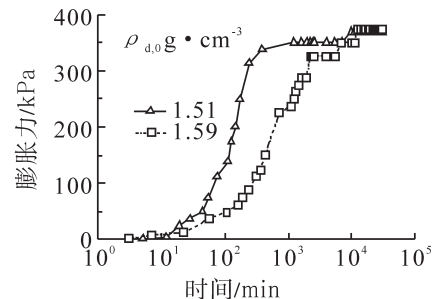
(b) $w=20.8\%$



(a) $\rho_{d,0}=1.51\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$



(b) $\rho_{d,0}=1.59\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$



(c) $w=26.9\%$

图4 同一干密度不同含水率的膨胀力时程曲线

Fig. 4 Progress of the swelling pressure with different water content and the same dry density

图5 同一含水率不同干密度的膨胀力时程曲线

Fig. 5 Progress of the swelling pressure with different dry density and the same water content

3 总结

根据上述试验数据分析可得如下结论:

- 1) 膨润土竖向膨胀应变随初始干密度的增大而增大;
- 2) 膨润土在较高初始干密度下发生吸水膨胀,而在较低的初始干密度下发生吸水湿化产生压缩变形;
- 3) 膨润土的膨胀应变随初始含水率的增大而减小;
- 4) 膨胀力随初始干密度增大而增大,随初始含水率的增大而减小。

参考文献:

- [1] 徐国庆. 缓冲/回填材料与添加剂的选择[J]. 铀矿地质, 1996, 12(4): 238-244.
- [2] 王志俭, 刘泉声. 密实砂-膨润土混合物膨胀特性的试验研究[J]. 岩土力学, 2000, 21(4): 331-334.
- [3] 刘泉声, 王志俭. 砂-膨润土混合物膨胀力影响因素的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 1054-1058.
- [4] 叶为民, SCHANZ T, 钱丽鑫, 等. 高压实高庙子膨润土 GMZ01 的膨胀力特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(S2): 3861-3865.
- [5] 秦冰, 陈正汉, 刘月妙, 等. 高庙子膨润土的胀缩变形特性及其影响因素研究[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(7): 1005-1010.
- [6] SUN D A, CUI H, SUN W. Swelling of compacted sand-bentonite mixtures[J]. Applied Clay Science, 2009, 43: 485-492.
- [7] 胡畔, 杨庆. 膨润土加砂混合物膨胀特征试验研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(2): 453-458.
- [8] YE W M, ZHANG Y W. Experimental investigation on the thermal volumetric behavior of highly compacted GMZ01 Bent[J]. Applied Clay Science, 2013, (83184): 210-216.
- [9] KOMINE H. Simplified evaluation for swelling characteristics of bentonites[J]. Engineering Geology, 2004, 71: 265-279.
- [10] REMERO E, VILLAR M V, LLORET A. Thermo-hydro-mechanical behaviour of heavily overconsolidated clays[J]. Engineering Geology, 2005, 81: 255-268.
- [11] LLORET A, VILLAR M V. Advances on the knowledge of the thermo-hydro-mechanical behaviour of heavily compacted "FE-BEX" bentonite[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2007, 32: 701-715.
- [12] VILLAR M V, LLORET A. Influence of dry density and water content on the swelling of a compacted bentonite[J]. Applied Clay Science, 2008, 39: 38-49.
- [13] TANG A M, CUI Y J, BARNEL N A. New isotropic cell for studying the thermo-mechanical behavior of unsaturated expansive clays[J]. Geotechnical Testing Journal, 2007, 30(5): 341-348.

Experimental Study on Swelling Deformation and Pressure of Bentonite

Shen Yijun, Zhu Zancheng, Zheng Zui

(School of Civil Engineering and Architecture, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

Abstract: It is necessary to study the physical and mechanical properties of bentonite, a kind of buffer / backfill material for the deep geological disposal of high level radioactive waste. This paper, with the use of consolidometer, carries out experiments to study the swelling deformation and swelling pressure of ca-bentonites that differ in density and water content. Test results show that swelling strain of bentonite is mainly subjected to its initial dry density and water content, increasing as the initial dry density increases and decreasing as the initial water content increases.

Key words: bentonite; high-level radioactive waste; swelling pressure; swelling deformation