

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.01.008

李进前,王起才,张戎令,等. 膨胀土膨胀变形试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2019(1): 60-66. (LI Jinqian, WANG Qicai, ZHANG Rongling, et al. Experimental study on expansion and deformation of expansive soil[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(1): 60-66. (in Chinese))

膨胀土膨胀变形试验研究

李进前¹,王起才^{1,2},张戎令^{1,2,3},梁柯鑫¹,李航辉¹,刘爱仓¹

(1. 兰州交通大学 土木工程学院,甘肃 兰州 730070; 2. 兰州交通大学 道桥工程灾害防治技术国家地方联合工程实验室,甘肃 兰州 730070; 3. 兰州交通大学 甘肃省道路桥梁与地下工程重点实验室,甘肃 兰州 730070)

摘要: 为了研究不同注水方式对膨胀土膨胀量的影响,以及大尺寸重塑膨胀土浸水膨胀的变化规律,取某高速铁路地基膨胀泥岩重塑土样,进行开孔与不开孔的膨胀土浸水膨胀试验,并对不同厚度的大尺寸膨胀土试样进行浸水膨胀变形试验。试验结果表明:开孔注水与不开孔注水的膨胀土膨胀时程曲线有很大不同,开孔注水的土样膨胀时程曲线可以分为初始快速膨胀、减速膨胀、趋于稳定3个阶段;不开孔注水的土样膨胀时程曲线可分为初始缓慢膨胀、快速膨胀、减速膨胀和趋于稳定阶段4个阶段。分析得到土样损失体积率与膨胀量损失量的关系。不同厚度的大尺寸膨胀土试样膨胀时程曲线整体呈外凸形增长趋势,并且每级注水后,膨胀量也呈外凸形增长趋势;大尺寸膨胀土试样的真实膨胀量随着厚度的增加而增大,但增幅减小,真实膨胀量随着上覆荷载的增大而减小,减幅也降低。

关键词: 大尺寸; 膨胀土; 注水方式

中图分类号: TU443

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2019)01-0060-07

我国的膨胀土分布广泛,膨胀土变形与破坏具有反复性、多发性和长期潜在性等特点,常常导致膨胀土地区建筑物基础升降、建筑物及地坪开裂变形甚至破坏等^[1-3]。所以对膨胀土进行研究十分必要,膨胀土膨胀的根本原因就是膨胀土中存在黏土矿物,黏土矿物含量越多,膨胀性也就越强,对工程的破坏和影响作用也就越大。对膨胀土已进行了许多方面的研究,徐永福等^[4]研究了膨胀土含水率、干密度、上覆压力对膨胀量的影响;刘静德等^[5]对南水北调中线强膨胀岩重塑样进行了膨胀率试验,得到了膨胀率与干密度以及含水率的关系;谭罗荣等^[6]研究了击实膨胀土的膨胀力与膨胀率随干密度、饱和度、含水量的变化规律;韦秉旭^[7]进行了侧限条件下膨胀土膨胀变形试验研究,研究了轴向加压条件下,膨胀率与任一初始含水量、某一过程含水量和上部荷载之间的定量关系;丁振洲等^[8]进行了膨胀力变化规律的试验研究,对膨胀力随增湿程度、干密度大小、起始含水率等因素的变化规律以及等同土样进行不同程度脱湿后的膨胀力变化规律开展了试验研究;陈伟志等^[9]进行了低矮路堤下膨胀土现场浸水试验研究,研究了路基填土期、稳载期及人工浸水期膨胀土地基表面与路基表面的变形;杨果林等^[10]进行了膨胀土侧向膨胀力原位试验,得到了膨胀力与含水率关系经验公式;马丽娜等^[11]进行了客运专线无碴轨道地基泥岩原位浸水膨胀变形试验,研究了在不同上覆荷载、不同浸水深度下的地基泥岩的膨胀变形特性;王亮亮等^[12]进行了中强膨胀土的竖向膨胀力原位试验,研究竖向膨胀力随时间、含水率增量、卸荷回弹量的变化规律。国内学者对于膨胀土的研究,主

收稿日期: 2018-03-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51768033);教育部长江学者和创新团队滚动支持发展计划(IRT_15R29);中国铁路总公司科技研究计划(Z2015-G001);青年人才托举工程(2015QNR0001)

作者简介: 李进前(1994—),男,甘肃天水人,硕士研究生,主要从事岩石力学试验研究方面的工作。

E-mail: 1697450471@qq.com 通信作者: 王起才(E-mail: 2536507233@qq.com)

要集中在室内小型试样的试验研究和室外原状土的原位试验研究,室内小型试样由于尺寸效应的缘故,试验结果具有一定的离散性,不能较好地反映膨胀土浸水之后的膨胀规律;而原状土的原位试验,虽然可以比较准确地反映现场实际的膨胀土膨胀规律,但是由于现场原状土样土质不均,并且对现场土样注水膨胀时,不能保证准确的浸水范围,所以现场原状土体膨胀范围与试验设计有一定误差;此外现场原位试验花费代价较大,不便进行持续性研究。为了克服此类问题,可进行室内大尺寸重塑膨胀土试样的浸水膨胀试验研究,以克服小尺寸试样由于尺寸效应造成的试验误差,且试验花费较小,试验结果也比较准确。

本文选取某高速铁路地基泥岩为研究对象,进行室内大尺寸膨胀土增湿膨胀规律的试验研究,研究不同厚度的膨胀土在逐渐增湿过程中的膨胀规律。试验过程中为了渗水均匀以及加快渗水速率,需要在土体中开孔去除土体,填入细砂形成渗水通道。开孔越多,渗水通道和渗水面积越大,渗水膨胀变形越快;但是开孔会减少土体量,进而影响膨胀量,会使试验者低估土体的膨胀特性,所以在进行试验之前,需要对由于开孔造成的膨胀量损失进行试验研究,得到开孔损失的土样体积率与土体损失的膨胀量之间的关系,对大尺寸膨胀土膨胀变形试验所得的膨胀量进行修正,得到较为准确的膨胀量。

1 试验方案

1.1 试验思路

为探究开孔造成的土样损失体积率与膨胀量损失之间的关系,进行两种注水方式的膨胀变形试验。一种为不开孔的注水方式,即在试验仪器底部开一小孔,然后接塑料软管从下往上进行注水;另一种为开孔的注水方式,即在试验土体中开不同数量的注水孔进行注水。进行膨胀变形试验,得到两种注水方式下的土体最终膨胀量;其中不开孔试样没有土体损失,开孔试样根据所开孔的数量及开孔的直径可以计算其土体损失体积率,然后分析得到土体损失体积率与膨胀量损失之间的关系。

在有侧向约束的试验箱中,进行3种不同厚度的大尺寸膨胀土试样的浸水膨胀变形试验,在土体中开一定数量的孔进行注水,注水按照一定梯度进行,在土体上部架设若干百分表以观测土体膨胀变形量。

1.2 试验过程

1.2.1 注水方式对膨胀变形的影响试验 为研究2种注水方式对膨胀土膨胀变形的影响,按如下步骤进行试验:

(1) 制备土样。本试验选取某高速铁路地基膨胀泥岩,碾碎后过5 mm的筛子,然后将碾碎后的土样分批放入恒温干燥箱中以50℃的低温烘干48 h以上,保证土样含水率为零。

(2) 加工试验装置。试验装置使用直径为32 cm,高度45 cm的钢桶。

(3) 加工注水管。注水管使用直径为2.5 cm的PVC管,在注水管四周均匀钻4列直径为2 mm渗水孔,渗水孔沿PVC管长度方向距离为2 cm;注水管底部用橡胶扎住,防止水全部流入土体底部,使水分均匀向周边渗透。

(4) 试验。将烘干的土样配制成初始含水率为5%的试样,然后按照 1.6 g/cm^3 的干密度将试样分层击实进试验钢桶之中,本次试样开孔数量分别为4,7,10。在击实第1层土之前,将注水管预埋在相应位置。不开孔试样直接分层击实,各试样高度均为40 cm。

(5) 安装百分表。将击实后的各土体上部中央架设1个百分表,然后进行1次初读数。

(6) 注水。按照5%的梯度进行注水,5%的梯度注水是指按照所击实土体干土质量计算5%含水率所需水的质量,在一段时间内持续注完5%的水,然后隔2 h进行一次读数,直至百分表两次读数之差小于0.01 mm时,表示膨胀稳定,进行下一级注水,直至土样完全膨胀稳定。

(7) 处理数据并分析。

1.2.2 大尺寸膨胀土试样膨胀变形试验 本次大尺寸膨胀土试样的膨胀变形试验在尺寸为 $100\text{ cm} \times 62.5\text{ cm} \times 70\text{ cm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)的试验铁箱中,分20,40和60 cm共3种不同厚度进行,具体试验过程如下:

(1) 取原状土样碾碎并过 5 mm 筛子,筛取足够试验用的土样,将土样分批放入恒温干燥箱中以 50 ℃ 的低温烘干 48 h 以上,保证土样含水率为零。

(2) 分批配制初始含水率为 5% 的土。将配制好的土样用塑料保鲜膜密封 24 h 以上,使土样中含水率均匀。

(3) 将土样分层击实进试验箱中,击实之前均匀预埋 8 个注水管。

(4) 将配制好的所需土样击实进试验箱之后,为了准确测定土体的膨胀量,使用 7 个百分表均匀架设在土体表面各处,百分表架设位置见图 1 所示。

(5) 架设百分表后进行初始读数,之后开始注水,所有试样均以 2% 的梯度注水,并且每 2 h 进行 1 次读数,直至所有百分表两次读数之差不超过 0.01 mm,进行下一级注水,直至百分表读数不再发生变化,表示整个土体膨胀完成。

(6) 进行数据处理并分析。

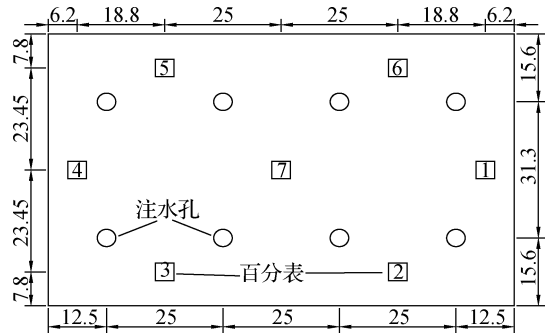


图 1 百分表安装位置(单位:cm)

Fig. 1 Locations of dial indicators (unit: cm)

2 试验结果与分析

2.1 注水方式对膨胀变形的影响

2.1.1 各注水方式下膨胀时程曲线 按照试验方法完成不同开孔数量的膨胀土浸水膨胀变形试验,得到不同开孔数量膨胀土的浸水膨胀时程曲线如图 2 所示,其中箭头所示为注水时间。图 3 为各试样膨胀阶段的划分。

从图 2 可以看出:(1) 不开孔与开孔注水试样的膨胀时程曲线有较大的差异。(2) 开孔注水的土样膨胀时程曲线可以分为 3 个阶段(图 3): I 为初始快速膨胀阶段、II 为减速膨胀阶段、III 为趋于稳定阶段;这是由于开孔注水时,水分可以比较均匀地渗透到土体上中下部各处,使土样各部均进水膨胀,因此膨胀量刚开始增长比较迅速,随着水分持续渗入土体中,土体含水率随之增大,水分渗入土体速率逐渐减小,且土体膨胀潜势也释放了大部分,所以膨胀量增长速度逐渐减小并趋于稳定。(3) 不开孔注水的土样膨胀时程曲线可以分为 4 个阶段(图 3): I 为初始缓慢膨胀阶段、II 为快速膨胀阶段、III 为减速膨胀阶段、IV 为趋于稳定阶段;这是由于不开孔注水土样采用从下往上注水的方式,水最先渗入下层土体,使之发生膨胀,但上层土体自重作用的影响使下层土体的膨胀受到约束,导致土体初期膨胀量增长比较缓慢,随着水分的持续渗入,下层土体基本饱和,完全释放了其膨胀潜势,水分开始大量渗入上层土体,此时土体膨胀量开始迅速增长;随着水分继续渗入土体,土体含水率继续增大,导致水分向周围入渗速度变得十分缓慢,并且土体也基本释放完其膨胀潜势,所以土体整体膨胀量增长速度逐渐减小并趋于稳定。(4) 不论是开孔注水还是不开孔注水的试样,土体膨胀量在经过一段较长缓慢增长期后,膨胀量又出现迅速增长的现象,这是由于在后期土体已经基本饱和,再继续向土体中注水时,水分会逐渐渗透出土体表面,使百分表下部的支板浮起,所以后期突然增长的那部分并不是土体的真实膨胀量,在突然增长之前趋于稳定时膨胀量才是土体真实的膨胀量。(5) 开孔注水的土样,开孔数量越多,前期土体膨胀量增长速度越快,且最终到达膨胀稳定所需要的时间越短。由图 3 可以看出开 4,7,10 孔注水孔的土体达到膨胀稳定时所需时间逐渐增大。说明增加开孔数目可以提高渗水速率,缩短试验时间。这是由于增加注水孔道,增加了水分向土体渗透的渗水面积;使水分可以同时土体更多位置处开始渗透。所以每级注水后,试样注水孔越多,渗水越快,并且前期膨胀量增长速度更快,试样整体达到膨胀结束所需时间更短。

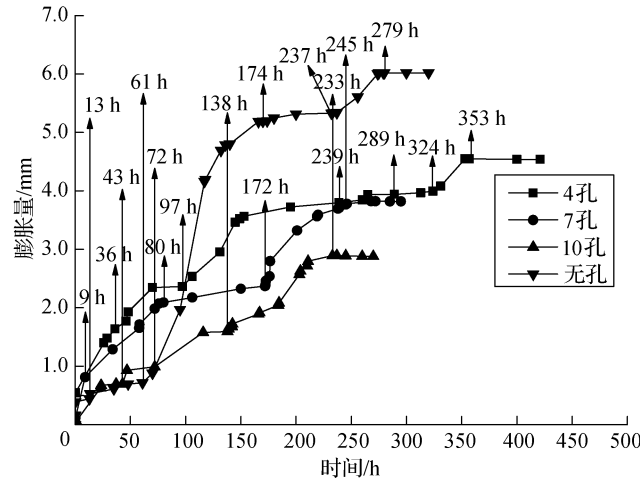


图2 膨胀量时程曲线

Fig.2 Time interval curve of expansion increment

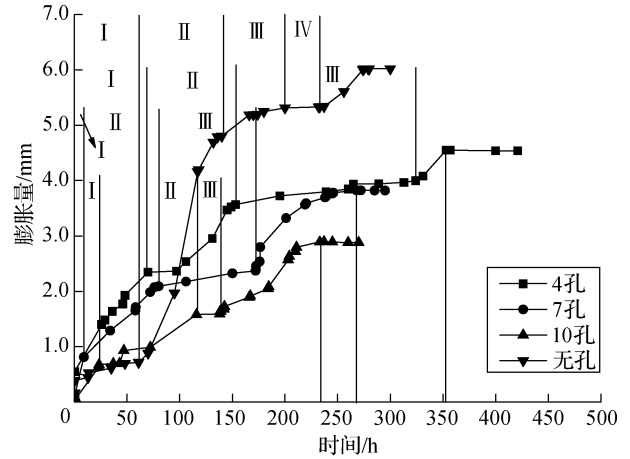


图3 膨胀量时程曲线划分阶段

Fig.3 Division stage of time interval curve of expansion increment

2.1.2 土体损失体积率与膨胀量损失关系 因为在突然增长之前趋于稳定时的膨胀量才是土体真实的膨胀量,所以不开孔注水土体的真实膨胀量为 5.60 mm,开 4 孔的土体真实膨胀量为 4.10 mm,开 7 孔的土体真实膨胀量为 2.79 mm,开 10 孔的土体真实膨胀量为 1.81 mm。

对于同一种土样,当其初始含水率和干密度相同时,其最终膨胀量也应该相同,但是由于开孔造成了土体削减,会使土体的最终膨胀量有所减小,且开孔越多,膨胀量损失越大;开 4 孔相对于不开孔膨胀量损失为 $5.60 - 4.10 = 1.50$ mm,开 7 孔造成膨胀量损失为 $5.60 - 2.79 = 2.81$ mm,开 10 孔造成的膨胀量损失为 $5.60 - 1.81 = 3.79$ mm,由于注水管直径为 2.5 cm,试验钢桶直径为 32 cm,则开 4 孔、7 孔、10 孔的土样损失体积率分别约为 2.44%、4.26% 和 5.48%。可以得到土样损失体积率与膨胀量损失关系如图 4 所示。

由图 4 可以看出,土体的膨胀量损失与土体损失体积率之间呈正相关,对其进行线性拟合,相关系数为 0.99,说明拟合程度比较高,其关系式为:

$$\Delta\delta = 0.617\Delta V + 0.02 (0 < \Delta V \leq 5.48) \quad (1)$$

式中: $\Delta\delta$ 为膨胀量损失 (mm); ΔV 为土体损失体积率 (%)。

2.2 大尺寸膨胀土试样膨胀变形试验

2.2.1 不同厚度土体膨胀时程曲线 按照试验方式完成不同厚度的大尺寸膨胀土浸水膨胀变形试验,得到不同厚度的大尺寸膨胀土膨胀时程曲线,20、40 和 60 cm 厚的土体膨胀时程曲线见图 5。

由图 5 可以看出:(1) 由于土体浸水膨胀过程是分级注水,所以 3 个试样各百分表下土体的膨胀时程曲线均呈现出阶梯状的增长趋势。(2) 每级注水后,土体膨胀量均呈现出外凸形的增长趋势,即每级注水之后,土体膨胀量先是快速增长,然后膨胀量增长速度逐渐减小,最终膨胀量趋于稳定。(3) 3 个厚度的试样土体每次分级注水后产生的过程膨胀量呈现出逐渐减小的趋势,即在前期每级注水后,膨胀量增长较多,随着注水次数增加,每级注水之后的过程膨胀量越来越小。(4) 3 个厚度的试样土体膨胀量在整个膨胀过程也呈现出外凸形的增长趋势,即整个膨胀过程也是前期增长速率较快,随着注水次数增加,土体的含水率逐渐增加,土体的膨胀量增长速率逐渐减小,直至整个土体的膨胀量不再发生变化,土体膨胀完成。(5) 不同

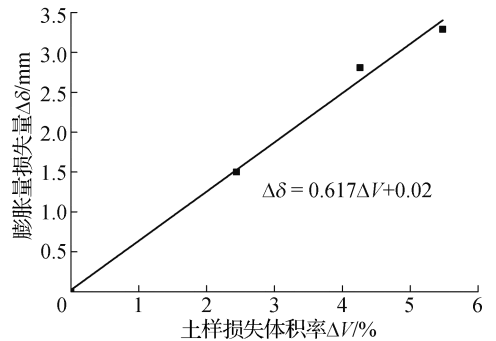


图4 膨胀量损失与土样损失体积率关系

Fig.4 Relationship between expansion increment losses and soil sample loss volume fraction

厚度的试样各百分表下土体的膨胀时程曲线有所差异,膨胀过程中各阶段注水之后,各百分表下土体的膨胀量也有较大的差异,这是由于试样土体表面较大,往试验箱击实试样的过程中,土体各部分的密实度不能保证完全一致,因此试样注水膨胀过程中,各级注水之后的膨胀量变化趋势也有较大的差异,并且 3 个厚度的试样各百分表下土体的最终膨胀量也有一定的差异。(6) 3 个不同厚度的土样,由于土样总量不相同,所以各厚度的土样最终完成整个膨胀过程所需要的时间也不相同。可以看出,20,40 和 60 cm 厚的试样完成整个膨胀过程分别需要 358,398 和 442 h,即随着试样土体厚度的增加,完成整个膨胀过程所需要的时间越长。

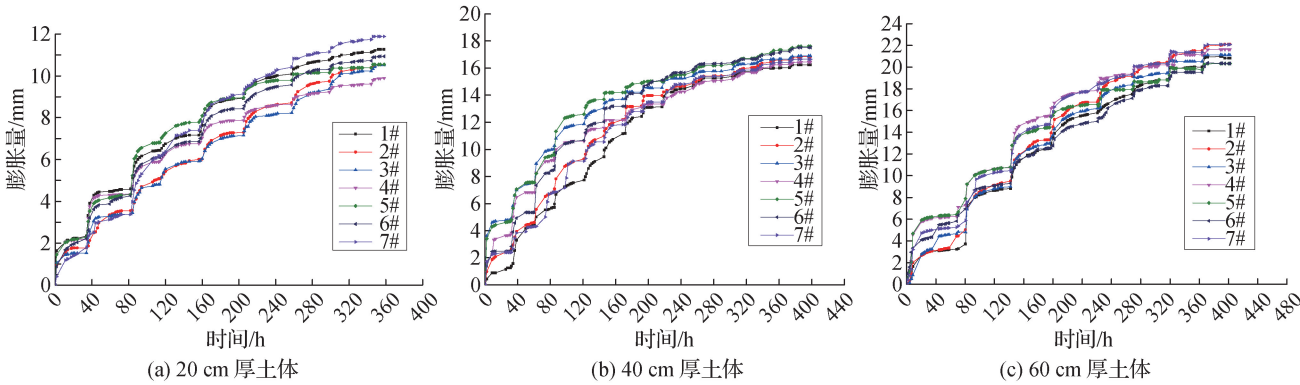


图 5 膨胀土膨胀时程曲线
Fig. 5 Expansion time interval curve of expansive soil

2.2.2 不同高度模型土体的真实膨胀量 由图 5 可见,不同厚度的试验土体完全膨胀时,各百分表所测得的土体膨胀量有所差异。20 cm 厚的试样土体 1#~7#百分表的膨胀量分别为 11.275,10.536,10.523,9.887,10.543,10.932 和 11.882 mm,平均膨胀量为 10.797 mm;40 cm 厚试样的平均膨胀量为 16.890 mm;60 cm 厚试样为 21.200 mm。

由于 3 个厚度的试样土体中埋置了注水管,会对土体的真实膨胀量造成一定的影响,所以要对埋置注水管造成的膨胀量损失进行计算,确定不同厚度的试样土体其真实膨胀量。

不同厚度的试样土体由于均埋置了 8 根注水管,所以不同厚度的试样土体体积损失率应都一样,经计算不同厚度的试样土体体积损失率为 0.63%,由式(1)计算得到膨胀量损失为 0.41 mm。可见,由于注水管埋置数量较少,注水管直径也较小,和整个试验土体相比,埋置注水管开孔造成的土体损失较小,所造成的膨胀量损失也很小。

考虑注水管造成的膨胀量损失之后的各厚度试样土样的真实膨胀量为 11.207,17.300 和 21.600 mm,则不同厚度的大尺寸膨胀土试样的膨胀量变化曲线如图 6 所示。

由图 6 可以看出,试样土体在厚度 60 cm 的范围内,其最终真实膨胀量随着厚度的增加而增长,但是膨胀量增加的幅度在降低。这是因为厚度越大的土体,下部同样厚度土体受到上部土体的自重作用越大,导致下部土体在浸水膨胀过程中会受到更大的上覆荷载,使下部土体相比无上覆荷载情况下的膨胀量会大大减小,所以虽然土体膨胀量随着厚度增加而增大,但是增大的幅度却在降低。

2.2.3 不同上覆荷载下膨胀量变化 3 个不同厚度的大尺寸膨胀土试样,可以看作是 20 cm 厚的试样经受不同的上覆荷载,40 cm 厚的试样相当于 20 cm 厚的试样经受 20 cm 厚土体自重的上覆荷载,所以 40 cm 厚试样与 20 cm 厚试样的膨胀量差值就是 20 cm 厚的试样受 20 cm 厚土体自重的上覆荷载的膨胀量,其值为 6.093 mm;同理得 60 cm 厚试样与 40 cm 厚试样的膨胀量差值就是 20 cm 厚试样受 40 cm 厚土体自重的上覆荷载的膨胀量,其值为 4.300 mm。由于土体密度为 1.6 g/cm³,浸水膨胀完成后胀限含水率均为 23%,则

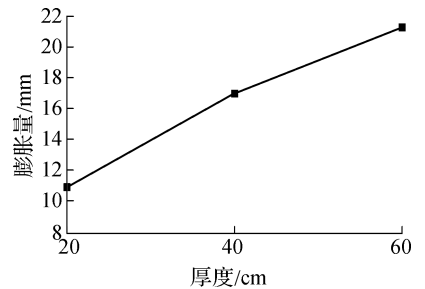


图 6 土体厚度与膨胀量关系曲线
Fig. 6 Relationship curve of soil thickness and expansion increment

膨胀稳定时产生0.736 kPa的水压力,土体自重产生3.2 kPa的压力,所以20 cm厚的土体膨胀饱和时自重相当于3.736 kPa的上覆荷载,40 cm厚的土体膨胀饱和时自重相当于7.472 kPa的上覆荷载。20 cm厚试样土体在不同上覆荷载下的膨胀曲线如图7。

由图7可以看出,当上覆荷载在7.472 kPa的范围内,20 cm厚试样土体的膨胀量随着上覆荷载的增大而减小,但是随着荷载的增大,膨胀量的减幅降低。这是因为土体在无上覆荷载时,其膨胀潜势得到完全释放,当土体受到3.736 kPa的上覆荷载时,土体膨胀受到很大约束,膨胀量是无上覆荷载时膨胀量的54%,说明土体受到3.736 kPa的上覆荷载时,已经限制了土体绝大部分膨胀潜势。上覆荷载再增大3.736 kPa,虽然会进一步限制土体的膨胀,但由于土体已经受到3.736 kPa的上覆荷载,比无上覆荷载时更加密实,所以上覆荷载从3.736 kPa增大到7.472 kPa时,土体的膨胀量的减幅相比荷载从0变化到3.736 kPa时膨胀量的减幅要小。

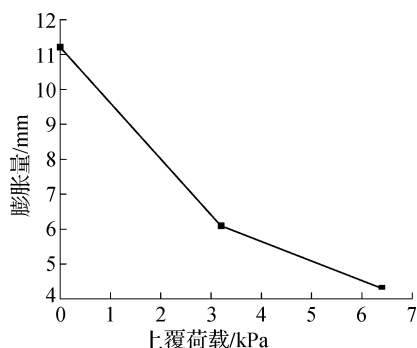


图7 上覆荷载与膨胀量关系曲线

Fig.7 Relationship curve of overlying load and expansion increment

3 结 语

对某高速铁路地基膨胀泥岩重塑样进行不同注水方式的膨胀土浸水变形试验和大尺寸膨胀土试样浸水膨胀变形试验,得到以下结论:

(1) 不同注水方式下膨胀土的膨胀时程曲线有较大不同。开孔注水的土样膨胀时程曲线可以分为初始快速膨胀、减速膨胀和趋于稳定3个阶段;不开孔注水的土样膨胀时程曲线可以分为初始缓慢膨胀、快速膨胀、减速膨胀和趋于稳定4个阶段。

(2) 不同厚度的大尺寸膨胀土试样的膨胀量随时间的整体增长趋势一致,均呈外凸形增长趋势,并且每级注水之后,膨胀量增长趋势也呈外凸形增长趋势。

(3) 大尺寸膨胀土试样厚度小于60 cm时,膨胀量随厚度的增加而增大,膨胀量的增幅减小。

(4) 大尺寸膨胀土试样上覆荷载小于7.472 kPa时,膨胀量随着上覆荷载的增大而减小,但减幅降低。

参 考 文 献:

- [1] 王炳忠,王起才,张戎令,等. 低黏土矿物含量原状泥岩膨胀力试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2018(2): 67-73. (WANG Bingzhong, WANG Qicai, ZHANG Rongling, et al. Experimental study on swelling force of undisturbed mudstone with low clay mineral[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(2): 67-73. (in Chinese))
- [2] 宋迎俊,许雷,鲁洋,等. 基于正交设计的膨胀土冻融循环试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2017(2): 51-58. (SONG Yingjun, XU Lei, LU Yang, et al. Experimental studies on freeze-thaw cycles of expansive soil based on orthogonal design[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(2): 51-58. (in Chinese))
- [3] 张路,樊恒辉,车雯方,等. 黑龙江地区渠道基土工程性质试验分析[J]. 水利水运工程学报, 2018(2): 82-90. (ZHANG Lu, FAN Henghui, CHE Wenfang, et al. Experimental analysis of engineering properties of foundation soil of canal works in Heilongjiang area[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(2): 82-90. (in Chinese))
- [4] 徐永福,龚友平,殷宗泽. 宁夏膨胀土膨胀变形特征的试验研究[J]. 水利学报, 1997(9): 27-30. (XU Yongfu, GONG Youping, YIN Zongze. Tests on swelling deformation of expansive soils[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997(9): 27-30. (in Chinese))
- [5] 刘静德,李青云,龚壁卫. 南水北调中线膨胀岩膨胀特性研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(5): 826-830. (LIU Jingde, LI Qingyun, GONG Biwei. Swelling properties of expansive rock in Middle Route Project of South-to-North Water Diversion[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(5): 826-830. (in Chinese))
- [6] 谭罗荣,孔令伟. 膨胀土膨胀特性的变化规律研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(10): 1554-1559. (TAN Luorong, KONG Lingwei. Study on variation regularity of swelling behavior of expansive soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(10): 1554-1559. (in Chinese))

- [7] 韦秉旭. 侧限条件下膨胀土膨胀变形试验研究[J]. 公路交通科技, 2007, 24(10): 48-52. (WEI Bingxu. Experimental research on lateral restricted swelling strain of expansive soil [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24(10): 48-52. (in Chinese))
- [8] 丁振洲, 郑颖人, 李利晟. 膨胀力变化规律试验研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(7): 1328-1332. (DING Zhenzhou, ZHENG Yingren, LI Lisheng. Trial study on variation regularity of swelling force [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(7): 1328-1332. (in Chinese))
- [9] 陈伟志, 蒋关鲁, 袁泽华, 等. 低矮路堤下膨胀土地基现场浸水试验研究[J]. 岩土力学与工程学报, 2014, 33(8): 1609-1618. (CHEN Weizhi, JIANG Guanlu, YUAN Zehua, et al. Field soaking tests on expansive soil foundation under low embankment [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(8): 1609-1618. (in Chinese))
- [10] 杨果林, 滕珂, 秦朝辉. 膨胀土侧向膨胀力原位试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(7): 2326-2332. (YANG Guolin, TENG Ke, QIN Zhaohui. An in-situ experimental research of lateral swelling pressure on expansive soils [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45(7): 2326-2332. (in Chinese))
- [11] 马丽娜, 严松宏, 王起才, 等. 客运专线无碴轨道泥岩地基原位浸水膨胀变形试验[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(8): 1684-1691. (MA Lina, YAN Songhong, WANG Qicai, et al. In-situ tests on swelling deformation of mudstone foundation upon soaking under ballastless track of passenger railway line [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(8): 1684-1691. (in Chinese))
- [12] 王亮亮, 杨果林. 中-强膨胀土竖向膨胀力原位试验[J]. 铁道学报, 2014, 36(1): 94-99. (WANG Liangliang, YANG Guolin. In-situ tests of vertical swelling pressures of mid-strong expansive soil [J]. Journal of the China Railway Society, 2014, 36(1): 94-99. (in Chinese))

Experimental study on expansion and deformation of expansive soil

LI Jinqian¹, WANG Qicai^{1,2}, ZHANG Rongling^{1,2,3}, LIANG Kexin¹, LI Hanghui¹, LIU Aicang¹

(1. School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. National and Provincial Joint Engineering Laboratory of Road and Bridge Disaster Prevention and Control, Lanzhou 730070, China; 3. Key Laboratory of Road and Bridge and Underground Engineering of Gansu Province, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Expansive soil stone remoulded samples from the base of an expressway were taken for opening and non-opening expansive soil water immersion expansion test and large-scale expansive soil samples with different thicknesses were taken for water immersion expansive deformation test in order to study the influence of different modes of water injections on the expansion increment of expansive soil and the change rule of immersion expansion of large-scale remoulded expansive soil. The test results show that the expansion time interval curve of the expansive soil injected with water through opening and non-opening way is largely different. To be specific, the expansion time interval curve of the soil sample injected with water through opening way can be generally divided into three stages: initial fast expansion stage, decelerated expansion stage and stable expansion stage; on contrast, the expansion time interval curve of the other one through non-opening way can be divided into four stages: initial slow expansion stage, fast expansion stage, decelerated expansion stage and stable expansion stage. The relationship between soil sample loss volume fraction and expansion increment loss is analyzed to be $\Delta\delta = 0.617\Delta V + 0.02$. The expansion time interval curve of the large-scale expansive soil sample with different thicknesses is in a convex growth trend, so is the expansion increment after the water injection of each grade. The real expansion increment of the large-scale expansive soil sample will increase along with the increase of thickness but the amplitude of increase declines. The real expansion increment will decline along with the increase of overlying load, but the amplitude of increase declines.

Key words: large-scale; expansive soil; mode of water injection