

盐渍土的增湿剪切变形特性^{*}

孙明星¹, 党进谦¹, 康顺祥¹, 李永红²

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 盐渍土在浸水后由于盐分的溶解, 对土体的强度产生较大的影响。在以往的研究中, 主要以饱和与非饱和土体的强度比较来说明水对强度的影响, 没有研究在部分浸水后土体的变形和强度的变化规律。针对这一点, 在参考黄土增湿剪切方法的基础上研究了盐渍土的增湿剪切变形特性, 探讨了垂直压力、干密度和剪应力水平对剪切变形量的影响规律。

关键词: 盐渍土; 增湿; 剪切变形

中图分类号: S157; S156.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2008)06-0188-03

Characteristics of Humidifying Shear of Saline Soil

SUN Ming-xing¹, DANG Jing-qian¹, KANG Shun-xiang¹, LI Yong-hong²

(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MR, Yangling, shaanxi 712100, China)

Abstract: Saline soil in the water has a greater impact on the soil strength owing to the salt dissolved. Previous studies are focused on the effect of the saturated and unsaturated soil strength, and not research the changes of soil deformation and strength with part of the water. In this paper, based on the moistening shear test of loess, study on the moistening shear characteristic of aline soil and the influence factors to deformation, including consolidation pressure, drying density and shear stress ratio are carried out.

Key words: saline soil; moistening; shear deformation

在以往的研究中, 盐渍土的溶陷性和膨胀性总是研究的重点^[1-5], 但在工程实际中应该引起注意的是在力和水的作用下, 盐渍土的强度特性。因为不论是溶陷性还是膨胀性, 都是盐渍土在饱和浸水后发生的压缩变形特性, 这实际上是土在一定荷载作用下稳定后浸水的变形特性, 仅仅研究了水在盐渍土饱和前后变形差的规律, 没有具体描述浸水过程中的变形特性, 也没有研究在剪切过程中浸水后的变形特性。本文在参考黄土增湿剪切方法^[6]的基础上研究了盐渍土的增湿剪切变形特性, 探讨了垂直压力、干密度和剪应力水平对剪切变形量的影响规律。

1 试验研究

1.1 原材料

盐渍土采用室内配置的盐渍土^[7]。配制盐渍土使用氯化钠盐, 含盐量为 6%。原土的物理性质见表 1。

1.2 试验

本次试验分两步。首先对干密度为 1.50, 1.60, 1.65, 1.70 g/cm³ 和初始含水率为 13% 的试样进行非饱和直剪试验; 然后根据非饱和土的试验结果, 按照不同剪应力水平对同一初始含水率不同干密度的试样进行增湿剪切试验。限于加压条件, 本次剪应力水平设为 0.3, 0.4, 0.5, 初始含水率为 13%。剪应力水平指实际施加的剪应力与基准剪应力的比值。本次试验的基准剪应力为盐渍土的非饱和试样的极限剪应力值。增湿剪切试验在改制的四联直接剪切仪上进行。直剪仪上的垂直压力仍采用原直接剪切仪上的杠杆式加压方式进行施加, 水平剪切力采用由钢丝绳绕过定滑轮后的砝码施加。水平位移采用百分表记录。试验中水平剪切力和垂直压力施加方式均为一次性加荷方式。增湿过程采用分级浸水, 加水量按式(1)计算。

表 1 土的物理性质结果表

取样地点	土粒相对密度	液限/ %	塑限/ %	塑性指数	颗粒组成/ %			土样名称
					砂粒	粉粒	黏粒	
洛阳	2.70	33.1	19.2	13.9	6.2	68.8	25.0	低液限黏土

^{*} 收稿日期: 2008-05-26
基金项目: 西北农林科技大学科研基金资助项目 (0446)
作者简介: 孙明星 (1976 -), 男, 湖北钟祥人, 在读硕士, 主要从事岩土工程试验研究。E-mail: smxsmx@nwsuaf.edu.cn

$$m_w = \frac{m}{1 + w_0} w \quad (1)$$

式中: m_w ——加水量 (g); m ——湿土重 (g); w_0 ——初始含水率 (%); w ——增加的含水率 (%).

变形的稳定标准为连续 2 h 的变形速率小于 0.005 mm/h。试验过程中分别记录时间、水平位移、垂直压力、水平剪切力等数据。

2 试验结果及分析

2.1 盐渍土非饱和直剪试验

直剪试验是在维持垂直压力不变的条件下,不断施加水平剪切力,使试样达到破坏。试样破坏的直接原因是水平剪切力的增加,即在水平剪切力的持续增加下,土壤颗粒抵抗剪切的作用逐渐发挥,直至试样破坏。试验结果见表 2。

表 2 不同干密度试样的直剪试验强度指标值

干密度/(g·cm ⁻³)	凝聚力/kPa	内摩擦角/(°)
1.50	49.0	24.7
1.60	68.5	25.4
1.65	88.1	26.2
1.70	95.3	27.3

从表中可以看出,初始含水率相同时,干密度的增加使土体的抗剪强度指标特别是黏聚力有很大的提高。干密度从 1.50 g/cm³ 增加到 1.70 g/cm³ 时,黏聚力从 49.0 kPa 增加到 95.3 kPa,其值增加接近 1 倍。内摩擦角也有一定的增长,干密度从 1.50 g/cm³ 增加到 1.70 g/cm³ 时,内摩擦角从 24.7 增加到 27.3°,增加了近 4°。

2.2 盐渍土增湿剪切试验

增湿剪切变形不但与土体的应力状态、应力路径、边界条件有关,而且与增湿程度、应力水平等因素密切相关。在直剪试验中,土体的应力状态将重新分布,在实验室内要模拟实际土体的应力状态时具有一定难度,而且在均匀增湿方面目前还是相当困难。但作为初步研究和探讨,在直剪仪上进行一定的改造,以研究增湿过程中土样的变形过程和强度变化为主要目的是可以实现的。利用直剪仪作为研究仪器,具有简单、易操作等优点。因此本次研究仅以改造的直剪仪进行增湿变形的初步研究。

增湿剪切试验步骤:(1)施加垂直压力,使试样固结;(2)固结稳定后,根据不同的剪应力水平给试样施加水平剪应力;(3)待剪切变形稳定后,使用移液管自上而下向试样内加水,使土样增湿,产生增湿变形;(4)每级增湿变形稳定后,进行下一级浸水;(5)在试验过程中试样总变形达到 6 mm 或试样饱和后变形稳定,试验结束。

试验过程中垂直压力分别采用 50、100、200、300 kPa,含水率从 13.0% 开始,按 16.0%、19.0%、22%、25% 至饱和等含水率进行浸水。

试验中,施加水平剪应力和每级浸水开始时,每隔 5 min 记录一次剪切位移,1 h 后,每半小时记录一次,直至变形稳定。稳定标准连续 2 h 的剪切位移变化率小于 0.005 mm/h。

2.2.1 增湿历时

文中仅列出干密度为 1.50 g/cm³,剪应力比为 0.3 时的增湿历时曲线如图 1。

从图 1 中可见试样在不同剪应力作用下分级浸水后,每级含水率下的变形量随着时间的延长而逐渐增大,但增长速率愈来愈小,趋于零,即在一定时间后变形量达到一稳定值。达到稳定的时间则随着压力、压力比和含水率的不同而有所不同。相同条件下,压力愈大,稳定时间越长;压力比越大,稳定时间越长;随着浸水量的增加,土样的含水率增大,稳定时间越长。每级含水率的稳定时间均超过 10 h。从图 1 中还可以看到,在所研究的压力范围和剪切过程中,试样并没有发生剪切破坏。

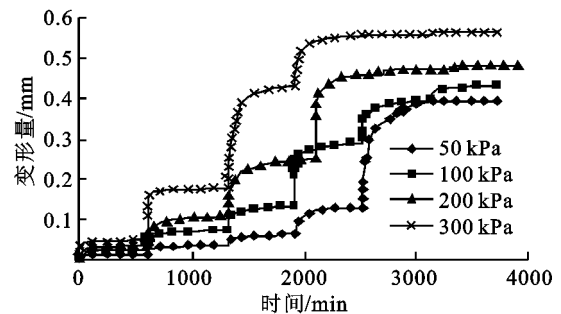


图 1 增湿剪切历时曲线

由图 1 可知,在干密度为 1.50 g/cm³ 时,随着浸水过程的进行,增湿变形量的变化随垂直压力呈现不同的变化趋势。在较小垂直压力下,前两级的增湿变形量变化很小,增湿变形量仅占总增湿变形量的 12.9%,当浸水达到 25% 时,增湿变形量占总增湿变形量的 99.9%。即在浸水量达到一定水平时,增湿变形量将接近某一极限值。也就是说,在一定干密度,一定垂直压力和剪应力作用下,浸水对剪切变形量的影响是有限的,在达到一定浸水量后,增湿剪切变形量会趋于某一稳定值,即使再增加含水增湿变形量也不会有很大幅度的增加。随着垂直压力的增加,达到极限增湿变形量的含水率越小。在垂直压力 100 kPa 以前达到极限变形量的含水率为 25%,此时,增湿变形量占总增湿变形量的 91%,而 200 kPa 和 300 kPa 时达到极限变形量的含水率为 22%,此时,200 kPa 时增湿变形量占总增湿变形量的 95.0%,300 kPa 时为 98.2%。随着干密度和垂直压力的增加,这种现象逐渐消失。

2.2.2 剪应力水平对增湿变形量的影响

图 2-4 描述了达到同一含水率下的不同垂直压力下的增湿变形量与剪应力水平的关系。从图中可见,随着剪应力水平的增大,增湿变形量逐渐增大。随着含水率的增大,增湿变形量的变化呈现出基本一致的规律。即随着含水率和剪应力水平的增大,增湿变形量的增加量逐渐减小。例如在含水率为 16% 时,垂直压力为 50 kPa 作用下剪应力水平从 0.3 增加至 0.4 时的增湿变形量占剪应力水平从 0.3 增加至 0.5 时的 29.8%;当含水率增加至 19% 时,以上的比例则为 75.6%。随着垂直压力的增加,出现这种转折时的含水率越大。从图中可以看出垂直压力在 100 kPa 以下出现这种情况的含水率为 19%,垂直压力在 200 kPa 以上出现这种情况的含水率为 24%。

剪应力水平的增大,实际上是剪应力的增加。在垂直压力较小时,剪应力增加的绝对值较小。出现增湿变形量增加转折的现象说明在土体含水率达到一定值以后,剪应力的增

加引起的增湿变形量的增量会越来越小。在达到这一含水率以前,剪应力的增加会迅速引起增湿变形量的增加。这从另一个侧面也反映了含水率对抗剪强度的削弱作用。

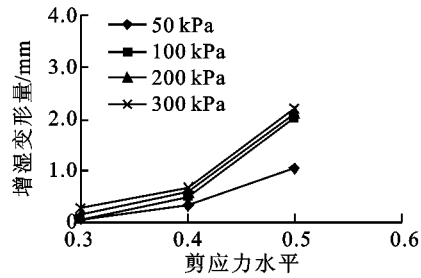


图 2 含水率为 16 % 时的增湿变形量与剪应力水平关系

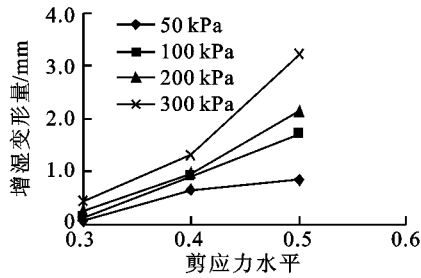


图 3 含水率为 19 % 时的增湿变形量与剪应力水平关系

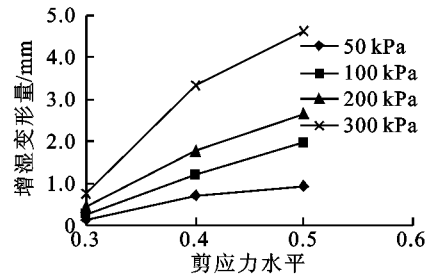


图 4 含水率为 24 % 时的增湿变形量与剪应力水平关系

2.2.3 垂直压力对增湿变形的影响

图 5 反映了干密度为 1.70 g/cm^3 剪应力水平为 0.3 时的不同含水率情况下增湿变形量与垂直压力的关系。从图 5 可见,垂直压力对增湿变形量的影响显著。随着垂直压力的增加,增湿变形量明显增大,增湿变形量与垂直压力呈现较好的直线关系。这说明一定的干密度和相同含水率条件下,土体的抗剪强度的发挥比较均匀,即随着剪应力的增加而土体的

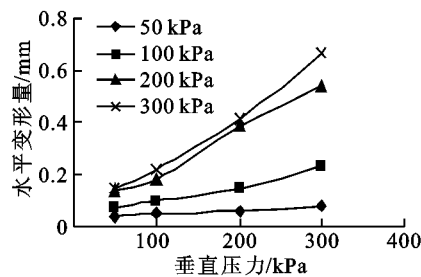


图 5 增湿变形量与垂直压力关系

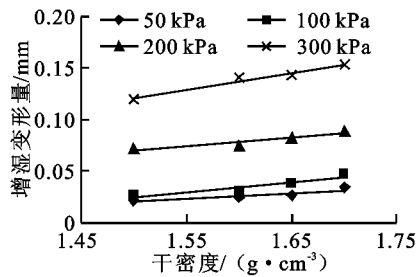


图 6 含水率为 16 % 时的增湿变形量与干密度关系

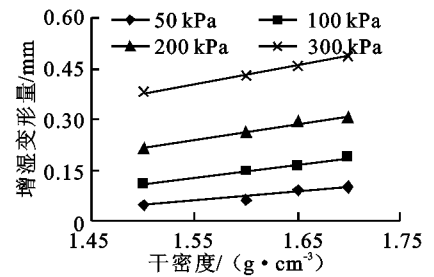


图 7 含水率为 19 % 时的增湿变形量与干密度关系

图 6 和图 7 的共同特点是增湿变形量与干密度的关系可以近似用线性关系来表示,而且随着压力的增加直线的斜率越来越大,也就是说随着压力的增加,随干密度的增加增湿变形量的增加幅度在增大。说明干密度对增湿剪切变形有重要的影响。干密度越大,基准剪应力越大,相同剪应力水平时施加的水平剪应力越大。在达到相同的含水率时干密度越大的试样饱和度越高,根据一般非饱和土的理论和各种非饱和土强度试验的研究成果,饱和度越高的试样其抗剪强度越低,即抵抗剪应力的能力越小,易于破坏,表现在剪切变形上就是剪切变形量越大。

3 结论

试样在不同剪应力作用下分级浸水,一定时间后变形量达到一稳定值。达到稳定的时间则随着压力、压力比和含水率的不同而有所不同。相同条件下,压力愈大,稳定时间越长;压力比越大,稳定时间越长;随着浸水量的增加,土样的含水率增大,稳定时间越长。

随着剪应力水平的增大,增湿变形量逐渐增大,但随着含水率和剪应力水平的增大,增湿变形量的增加量逐渐减小。随剪应力水平的增加,增湿变形量在达到一定含水率以前增长很快,在达到此含水率后增加趋势逐渐变缓,有的甚

抗剪强度逐渐发挥。在直剪试验中,土体抗剪强度的发挥在土的变形上表现为土体变形量的增大,即水平位移的增长。

2.2.4 干密度对增湿变形量的影响

干密度是影响抗剪强度的重要因素之一,它也是增湿变形量的重要影响因素之一。为考察干密度对增湿变形量的影响,根据实验结果整理了达到相同含水率相同剪应力水平时的干密度与增湿变形量的关系曲线,见图 6-7。

至达到基本稳定。

垂直压力对增湿变形量的影响显著。增湿变形量与垂直压力呈较好的直线关系。增湿变形量与干密度的关系可以近似用线性关系来表示,随着压力的增加,随干密度的增加增湿变形量的增加幅度在增大。

参考文献:

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993:309.
- [2] 徐枚在. 盐渍土地基[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [3] 卢肇钧,杨灿文. 盐渍土工程性质的研究[J]. 铁道研究通讯,1956,2(3):15-20.
- [4] 牛玺荣,李志农,高江平. 盐渍土盐胀特性与机理研究进展[J]. 土壤通报,2008,39(1):163-168.
- [5] 徐枚在. 确定盐渍土溶陷性的简便方法[J]. 工程勘察,1997(1):21-22.
- [6] 李振. 非饱和土增湿变形和增湿强度的试验研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [7] 郭新全,梁孝忠. 盐渍土的试样制备方法探讨[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报,2005,7(4):24-25.