

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.01.012

大尺寸设备冻融循环次数对天然盐渍土 抗剪强度参数的影响

刘长江, 张震, 张灵通, 张远芳, 陈益滨
(新疆大学科学技术学院阿克苏校区, 新疆阿克苏 843000)

摘要: 为研究天然盐渍土的抗剪强度, 针对罗布泊地区亚硫酸和亚氯盐渍土, 应用大尺寸冻融循环设备进行多次冻融循环试验, 考察冻融循环次数对抗剪强度参数的影响。试验表明: 亚硫酸盐渍土黏聚力随冻融循环次数增加有减小趋势, 内摩擦角随土柱高度表现为“3”型曲线规律, 且冻融次数越大其值越小; 亚氯盐渍土黏聚力随土柱高度表现为“反S”分布规律, 内摩擦角随土柱高度呈现“3”型曲线规律, 且冻融次数越大其值越大。

关键词: 冻融循环; 盐渍土; 抗剪强度; 黏聚力; 内摩擦角

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2019)01-0073-04

Influence of Freeze-thaw Cycles on Shear Strength Parameters of Natural Saline Soil

LIU Changjiang, ZHANG Zhen, ZHANG Lingtong, ZHANG Yuanfang, CHEN Yibin
(Xinjiang University Institute of Science and Technology, Aksu, Xinjiang 843000, China)

Abstract: In order to analyze the shear strength of natural saline soils, large-scale freeze-thaw cycles were used to test the effects of freeze-thaw cycles on the shear strength parameters of sulphite and chlorite saline soils in Lop Nur area. The results show that the cohesion of sulfite saline soil decreases with the increase of freeze-thaw cycles, and the internal friction angle shows a “3” curve with the height of soil column, and the larger the freeze-thaw cycles, the smaller the value; the cohesion of chlorite saline soil shows an “anti-S” distribution with the height of soil column, and the internal friction angle shows a “3” distribution with the height of soil column. And the greater the number of freeze-thaw cycles, the greater the value.

Keywords: freeze-thaw cycles; saline soil; shear strength; cohesive force; internal friction angle

工程中, 盐渍土通常是指易溶盐含量超过0.3%的土壤总称^[1-3]。新疆存在着不同盐渍化程度的区域, 冬夏温差对盐渍土强度参数的影响类似于冻融循环过程^[5]。王效宾等^[6]进行了黏土冻融循环试验, 得到冻融后黏土黏聚力、内摩擦角的变化规律。张国辉等^[7]研究了碳酸盐渍土含盐量对其抗剪强度的影响, 得到含盐量越大, 碳酸盐渍土的黏聚力越小, 而内摩擦角却表现为先减小后增大的规律。刘天宝^[8]通过冻融循环作用下碳酸盐、硫酸盐及其含

量变化对农安碳酸盐渍土抗剪强度影响研究, 得到土样内聚力随着冻融循环次数的增加而减小, 内摩擦角随冻融循环次数的增加而增大的规律。张飞等^[9]选取粉土为试验对象, 采用向原料土中添加无水硫酸钠的方式, 设置含盐量不同的重塑试样, 采用直接剪切试验考察其强度变化规律, 试验结果显示, 粉质硫酸盐渍土含盐量越多其黏聚力越大。

以往对盐渍土冻融循环的研究主要是在固结仪上进行、温度控制通过环境箱实现^[10]。这种试验条

件下模拟的盐渍土体冻融循环过程误差很大,不能及时显示冻融过程中土体温度变化过程,不能模拟现实情况下地下水的补给过程,导致其不能准确反映抗剪强度参数变化规律。因此,如何在贴近实际情况下模拟冻融循环对盐渍土体的抗剪强度参数的影响,还需进一步探讨。

1 试验方案

1.1 大尺寸冻融循环设备

该大尺寸冻融循环设备采用上、下制冷头控制温度,能够模拟自然环境下土体温度的一维传导;可在上部制冷头上施加轴压,以模拟任意深度下土体冻融循环状况;通过预埋在土体中的温度传感器,可实时监测土柱体上下层温度变化情况;高精度电子百分表能准确测定冻融过程中土体的盐冻胀及融陷量;补水装置采用原地卤水,能够真实模拟现场地下水的补给作用。

设备主要由恒温槽、制冷头、补水装置、高强度有机玻璃筒等部分组成,其结构示意图见图 1。

1.2 土样选择

本试验土样取自新疆哈密至罗布泊 235 省道沿线,该区域是世界闻名的最大盐湖之一罗布泊。在省道沿线采集土样,试样室内易溶盐分析成果见表 1。

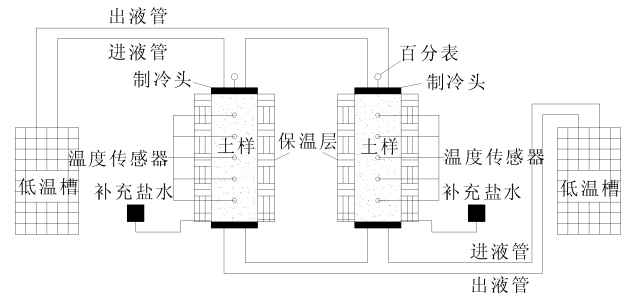


图 1 大尺寸冻融循环设备结构示意图

表 1 试样易溶盐试验成果

| 取土处 /km | 试样埋深/m | 盐分总量/% | $\frac{c(\text{Cl}^-)}{2c(\text{SO}_4^{2-})}$ | 盐渍土分类 | 强度划分 |
|---------|--------|--------|---|--------|------|
| 532 | 1.0 | 1.87 | 0.31 | 亚硫酸盐渍土 | 中盐渍土 |
| 473 | 0.5 | 5.89 | 1.55 | 亚氯盐渍土 | 强盐渍土 |

针对两种盐渍土进行基本物理试验,数据见表 2。

表 2 两种典型天然盐渍土基本物理参数

| 物理指标 | 液限 | 塑限 | 黏粒含量 /% | 土样分类 | 最优含水率 /% | 最大干密度 $/(g \cdot cm^{-3})$ |
|--------|------|------|---------|---------|----------|----------------------------|
| 亚硫酸盐渍土 | 27.8 | 15.3 | 6.9 | 低液限黏土 | 14.80 | 1.85 |
| 亚氯盐渍土 | 24.3 | 15.9 | 1.5 | 含砂低液限黏土 | 12.23 | 1.69 |

1.3 试验方法

取上述 532 km(1 m) 亚硫酸盐渍土和 473 km(0.5 m) 亚氯盐渍土两种土样,按《土工试验规程》^[11](SL 237—1999)用最优含水率制备试样,薄膜密封保存 24 h,根据罗布泊环境条件,采用原地卤水补水。土样分层击实,预埋温度传感器,连接制冷头、恒温槽等设备,静置 24 h 备用。设定土样下端温度为 5℃,上端温度以每小时 10℃速度降温至 -25℃后维持 24 h,再以 10℃/h 速度升温至 25℃后维持 24 h。

在同等初始条件下,对两种土样进行冻融循环,循环周期 53 h(含升降温 5 h)。冻融循环后,用环刀分六层取出适量土样,按《土工试验规程》^[11](SL 237—1999)对盐渍土样做直接剪切试验,根据试验数据分析冻融循环后盐渍土样的抗剪强度参数变化规律。

2 试验结果分析

经试验,两种土样冻融循环 3、5、7 次后,各层水盐含量见图 2、图 3。

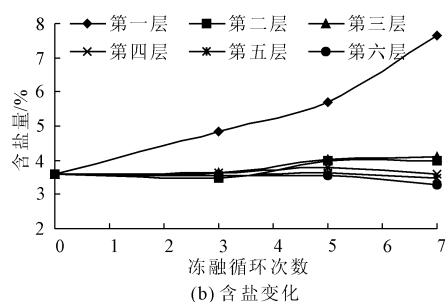
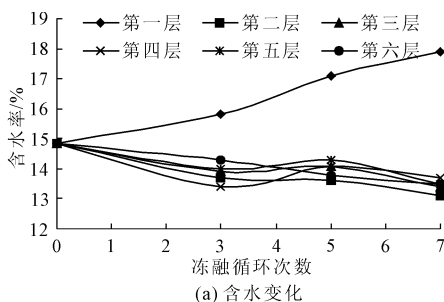


图 2 亚硫酸盐渍土冻融循环过程各层含水含盐变化曲线

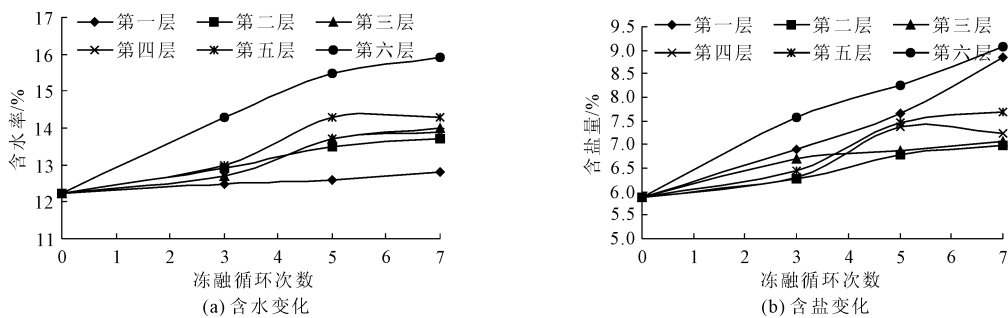


图 3 亚氯盐渍土冻融循环过程各层含水含盐变化曲线

由图 2、图 3 可知,5 次冻融后两土样各层水盐含量趋于平稳。水盐含量是影响天然盐渍土抗剪强度的关键因素,所以本次试验设定冻融循环次数为 7 次^[12-13]较为合理。

对亚硫酸盐渍土,以试样高度为纵坐标,再分别以黏聚力和内摩擦角为横坐标绘制剖面图,见图 4 和图 5。规定从上至下土层分别为 1、2、3、4、5、6 层。

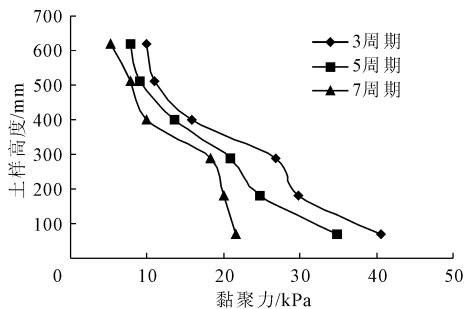


图 4 亚硫酸盐渍土黏聚力剖面

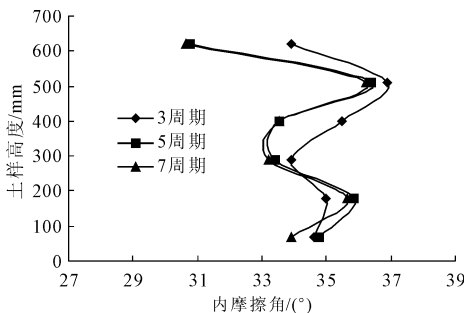


图 5 亚硫酸盐渍土内摩擦角剖面

由图 2 和图 4 知,亚硫酸盐渍土黏聚力随冻融循环次数的增加逐渐减小,且上部值小于下部。冻融循环过程中水盐上移,温度降低过程中盐分逐渐结晶析出、自由水冰化造成盐渍土体膨胀,温度升高过程中盐分晶体失去结晶水,导致体积缩小,这是亚硫酸盐渍土黏聚力随冻融循环次数增加有减小趋势的原因;顶层试样含水率大于下层试样,含水率增大使盐渍土颗粒表面水化膜变厚、盐分被增加的水分溶解,土体空隙增大、密度减小,颗粒间胶接作用减

少,使得上部土体黏聚力比下部土体小;该试样最底层黏聚力较上部大是由于该盐渍土冻融循环中补水少,空隙间的水分在自重和孔隙水压力作用的影响下上移较少,温度变化不大,使盐分结晶、溶化的程度不及上部土体,部分水分的向上迁移导致盐渍土颗粒表面水化膜薄化,加之上部土体的长期自重施压,土颗粒间的胶结作用增强,是其黏聚力较大的原因。

由图 5 知,该盐渍土内摩擦角随土柱高度呈“3”型变化规律,最上层最小,第二层较大且有冻融循环次数越多内摩擦角越小的趋势。由表 2、图 2 知:该土样黏粒含量较多,第一层土水、盐含量都较大,黏土颗粒与自由水作用后可分解成更细小的土颗粒,分解后的细小土颗粒阳离子扩散在自由水中,而阴离子仍吸附在黏土颗粒表面,溶解在水中的细小黏土颗粒把水中的某些与其自身结晶格架内相同或类似的离子有针对性的吸附在自己表面,这种同性离子间的排斥作用是内摩擦角有较小的主要原因;第二层土含水率少且含盐量较大,部分盐分析出结晶造成颗粒间的咬合作用增加,是内摩擦角较大的原因。

同样的,亚氯盐渍土冻融循环 3、5、7 次后,以试样高度为纵坐标,再分别以黏聚力和内摩擦角为横坐标绘制剖面图,见图 6 和图 7。

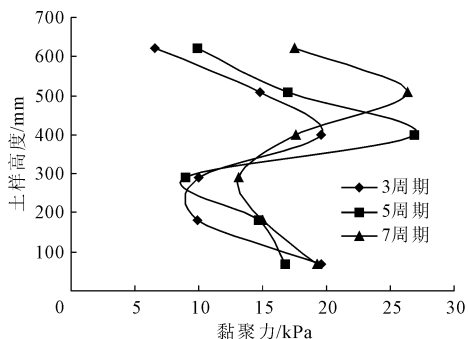


图 6 亚氯盐渍土黏聚力剖面

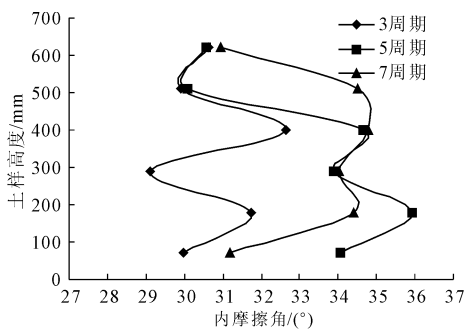


图 7 亚氯盐渍土内摩擦角剖面

图 6 呈现趋势为:黏聚力随土样高度呈“反 S”型分布,第一、第四层土体黏聚力较小,第三层土体黏聚力较大,随冻融循环次数增加顶层土体黏聚力有增加趋势。温度降低时上层土体中的盐分析出致使土颗粒间发生错位,土体膨胀,温度升高时盐渍土内结晶体失水使得其体积减小,周而复始导致土体疏松^[14],使顶层土体黏聚力比以下两层小;由表 2、图 3 知亚氯盐渍土黏粒含量少,冻融循环过程中较易形成水盐迁移通道,使其渗透性加大,升温过程中水分在自重作用下下移使得第四层含水率增大、水化膜增厚,造成其黏聚力较小,第三层土体含盐量持续积累和水分的持续下移致使其黏聚力增加;升温中小部分盐分被下移水分带走,大部分盐分滞留在上部土体,盐分结晶体变成了土骨架的组成部分,盐晶体与土颗粒胶结且水化膜薄化致使顶层土体黏聚力随冻融次数的增加而增大。

由图 7 知亚氯盐渍土内摩擦角变化规律为第三、第五层较大,第四层较小,内摩擦角随土柱高度呈“3”型变化规律,总体看,冻融循环次数越大内摩擦角越大。第三、五层水分的下移及含盐量的增加使盐分析出,在水力作用下颗粒间相互作用导致相对移动趋势和咬合作用增强^[15-16],导致第三层和第五层内摩擦角较大;第四层水分的增加快,盐分增加慢,是该层内摩擦角较小的原因;图 3 表明,各层水盐含量的持续增加的综合作用是亚氯盐渍土内摩擦角随冻融循环次数有增加趋势的主要原因。

3 结 论

应用大尺寸冻融循环设备对 235 省道沿线两种典型天然盐渍土进行冻融循环试验,以考察冻融循环次数对抗剪强度参数的影响。试验证明:亚硫酸盐渍土黏聚力随冻融循环次数增加而减小,且上部整体小于下部。亚硫酸盐渍土内摩擦角沿土柱高度大致呈“3”型分布规律,首层最小,第二层最大且冻

融循环次数越多内摩擦角逐渐减小;亚氯盐渍土经过冻融循环,黏聚力随土样高度呈“反 S”型分布,顶层和第四层土体黏聚力较小,第三层黏聚力较大,随冻融循环次数增加顶层土体黏聚力有增加趋势。亚氯盐渍土内摩擦角沿土样不同高度近似呈“3”型分布,第三层和第五层较大,第四层较小,随冻融循环次数增加内摩擦角有增大趋势。

参考文献:

- [1] 徐学祖,王家澄,张立新,等. 土体冻胀和盐胀机理[M]. 北京:科学出版社,1995:100-107.
- [2] 中华人民共和国国家标准. 岩土工程勘察规范:GB 50021—2001[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [3] 李广信. 高等土力学[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [4] 中国石油天然气总公司. 中华人民共和国石油天然气行业标准盐渍土地区建筑规范:SY/T0 317—2012[S]. 北京:石油工业出版社,1998.
- [5] 孙 勇,张远芳,周冬梅,等. 冻融循环条件下罗布泊天然盐渍土强度变化规律研究[J]. 水利与建筑工程学报,2014,12(3):121-124.
- [6] 王效宾,杨 平,王海波,等. 冻融作用对黏土力学性能影响的试验研究[J]. 岩土工程学报,2009,31(11):1768-1772.
- [7] 张国辉,李建朋,于青春,等. 含盐量对松嫩平原碳酸盐渍土抗剪强度的影响[J]. 中国地质灾害与防治学报,2008,19(1):128-131.
- [8] 刘天宝. 冻融循环作用下碳酸盐、硫酸盐及其含量变化对农安碳酸盐渍土抗剪强度影响研究[D]. 长春:吉林大学,2017.
- [9] 张 飞,胡小庆,刘亚薇,等. 含盐量对硫酸盐渍土抗剪强度影响试验研究[J]. 铁道建筑,2014(6):162-164.
- [10] 慈 军,张远芳,那妹妹. 冻融循环条件下罗布泊天然盐渍土的盐胀沉陷规律研究[J]. 水利水电技术,2014,45(7):120-123.
- [11] 土工试验规程:SL 237—1999[S]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
- [12] 刘长江. 基于大尺寸设备天然盐渍土冻融循环试验研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.
- [13] 魏 拓. 冻融循环条件作用下路基土抗剪强度变化规律分析[J]. 北方交通,2015(1):74-78.
- [14] 王海涛,张远芳,成 峰,等. 冻融循环作用下盐渍土抗剪强度变化规律研究[J]. 地下空间与工程学报,2016,12(5):1271-1276.
- [15] 王 月,张远芳,周冬梅,等. 罗布泊地区硫酸盐渍土溶陷性试验研究[J]. 水利与建筑工程学报,2014,12(3):106-109.
- [16] 付江涛,栗岳洲,胡夏嵩,等. 含盐量对亚硫酸盐渍土抗剪强度影响的试验[J]. 农业工程学报,2016,32(6):155-161.