

试验与应用

电场条件石灰改良盐渍土及消除盐胀机理研究

Study On Improving Salty Soil using Lime in Electrochemistry for Eliminating Salt-swelling

刘屹斯¹, 黄雪峰^{1,2}, 张彭成¹, 周俊鹏¹, 殷鹤¹, 方晟¹

(1. 陆军勤务学院 军事设施系, 重庆 401311; 2. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 本次试验是针对盐渍土的盐胀特性, 采用加入石灰并外加电场条件的方式对盐渍土进行了改良并开展相应的低温下的盐胀试验研究。试验结果证明:(1)对硫酸盐盐渍土按一定的比例加入石灰,外加电场,通过阴阳离子交换作用,盐渍土改良为非盐渍土;(2)通过试验对比,改良前后的盐胀差异性很大,改良后的盐渍土在低温下具有很好的稳定性,消除了盐胀特性;(3)在盐渍土地区,采用少量石灰外加电场条件改良技术能有效改良盐渍土,可作为盐渍土消除盐胀有效的地基处理技术,也为局部土地消除盐碱化提供有效手段和应用前景。

关键词: 盐渍土;石灰;盐胀;电化学**中图分类号:** TU448 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8249(2018)04-0044-04Liu Yisi¹, Huang Xuefeng^{1,2}, Zhang Pengcheng¹, Zhou Junpeng¹, Yin He¹, Fang Sheng¹

(1. Department of Military Facilities, Army Logistical University of PLA, Chongqing 401311, China;

2. College of Civil Engineering, Lanzhou Univ. of Tech. Lanzhou 730050, China)

Abstract: This experiment is aimed at eliminating the salt-swelling characteristics of salty soil. It is the salt expansion test that improved salty soil using lime in electrochemistry at low temperature. The result shows that: (1) Sulphate salts remove salt by adding a certain proportion of the lime and electrochemistry. (2) Improved salty soil remove the salt-swelling characteristics through experimental comparison. (3) In actual engineering, electrochemistry modified salty soil will be used as a technical process for sulphate salty soil treatment.

Keywords: sulphate salty soil; lime; salt-swelling; electrochemistry

近年来,随着我国西部大开发战略不断推进和“一带一路”战略规划和进入实施阶段,西北地区发育种类较多的特殊岩土,将成为研究特殊岩土工程问题的热土,其中,盐渍土问题就是西北岩土工程领域研究的重要岩土工程问题之一。《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)中6.8.1条规定当岩土中易溶盐含量大于0.3%,并具有溶陷、盐胀及腐蚀等工程特性时,应判为盐渍土^[1]。盐胀是盐渍土的工程特性,

具备潜伏性、隐蔽性和长期性等特点,对低荷载的工程建筑具有很高的危害^[2]。许多学者对盐渍土的盐胀特性进行了研究。史桃开等^[3]进行了盐渍土的盐胀变形特性试验研究,并于1994年在《盐渍土地基的膨胀性》中指出,盐渍土的盐胀特性,是由于盐渍土中的无水硫酸钠在外界条件变化时吸收10个水分子,结晶而产生体积膨胀3.1倍所导致的。刘南山^[4]、李维玉^[5]及谭冬生等^[6]分析并研究了盐渍土的盐胀性,指出盐胀作用多在硫酸盐渍土地区发生,其中硫酸盐中以硫酸钠的盐胀作用最剧烈,其盐胀性与硫酸钠等易溶盐结晶时前后体积变化有关,有关方程式如下:



王延伟等^[7]通过室内试验,指出盐渍土在温度变化过程中的体积膨胀主要与硫酸钠的结晶有关,而

第一作者:刘屹斯(1990~)男,在读研究生,主要从事盐渍土地基处理研究。

E-mail: ecboy614@163.com

通讯作者:黄雪峰(1962~)男,博士,教授,高级工程师,主要从事湿陷性黄土地基处理、桩基工程等方面的设计和研究。

E-mail: hxfen60@163.com

收稿日期:2018-05-21

• 44 •

试验与应用

且硫酸钠不同的结晶方式导致其产生体积膨胀的效果也不相同。慈军等^[8]指出盐渍土的盐胀特性是由于其液相与固相之间随外界环境的改变而相互转变的表现形式。华遵孟等^[9]、杨晓华等^[10]和刘毅^[11]指出,盐渍土的盐胀以硫酸盐渍土盐胀变形较为常见,其主要与盐渍土中的易溶盐及水有关。硫酸钠溶液的溶解度在温度变化时的波动非常大,由于盐渍土体地温随气温升降而反复变化,故硫酸盐反复结晶膨胀和溶解析出,因此盐渍土的盐胀性表现出累积性和不可逆性等特点。传统处理盐渍土的方法以缓冲、隔离排水为主,土体盐分依然存在,遇水仍有盐胀可能。前人研究表明,石灰可以作为消除盐渍特性的改良材料,但是在实际工程中,发现只使用石灰的效果并不理想。

本课题拟采用外加电场下生石灰改良盐渍土的盐胀性。在外加电场作用下,碳酸钙与硫酸钠交换形成氢氧化钠和硫酸钙,其反应式如下:



生成的硫酸钙沉淀不吸水结晶,从而达到改性盐渍土的目的。

1 试验土样制备及试验过程

本试验根据宁夏地区的气候特点,进行室内的模拟单向降温试验,研究不同含盐量盐渍土和相关改良土在温度变化的过程中的盐胀变形规律。采用从宁夏杨黄盐渍土地区取得的天然土样,总计制作9种不同含盐量和工艺效果的试样。考虑到实际工程中施工地区一般会选地势较高的区域,以防止盐分聚集,所处理的盐渍土地区含盐量一般不会超过1%。故按照含盐量不同将土样种类分为三组:0.5%、1%、2%。并按照改良工艺分为盐渍土、石灰改良土、外加电场条件石灰改良土。对不同工况的土样进行低温试验。

配制试验用不同含盐量和工艺效果的土样步骤如下:

①依据《土工试验规程》(SL 237-1999)对土样进行洗盐。在大桶中先后倒入大量的蒸馏水和定量的土样,对其进行搅拌,静置,待液体澄清以后倒去上层液,如此反复多次。通过氯化钡溶液来检测判断土样所含盐分有无洗净,合格标准为:在试

管中加入反复滤洗后的溶液,并滴入氯化钡溶液,如果不在产生白色沉淀,说明洗盐效果良好。将滤洗后的土样放入烘干箱,进行高温烘干处理、烘干完成后过2 mm筛。

②依据试验所需的含盐量,将无水硫酸钠粉末加定量的蒸馏水配置成均匀的硫酸钠溶液。通过喷雾器皿将配好的硫酸钠溶液均匀洒到烘干过筛后的定量干土中。为了使硫酸钠充分反应,按照硫酸钠与熟石灰1:6的比例将熟化的石灰与土样混合搅拌均匀^[12],并根据最优含水率15.6%对土样进行差额水分补充(最优含水率下盐胀效果最明显)。最终配制出含盐量为0.5%、1%、2%的改良土料,并制作相对应的盐渍土土样作为对比。采用千斤顶压样器制样,土样最大干密度为1.78 g/cm³,尺寸为Φ39.1 mm×80 mm,压实度为85%。

③在土样的两端分别布置电极,施加交流电场,交流电压80 V、通电时间90 s。取出电极。保留部分不通电试样作为对比。为保证盐分均匀渗透,水分保持在最优含水率,使用恒温恒湿养护箱对做好的土样进行养护处理7 d。

为了测量试样的单向变形效果,使用热稳定性良好的石英管(内径Φ40 mm×80 mm)套在土样上,防止土样在低温下发生横向变形。在试样顶部放置一块圆形铁片,并在铁片上垂直放置百分表,将同一含盐量的不同条件土样放置到低温控制箱中,初始温度设置为30℃,每6 h降温一次,每次降温5℃,最低温度为-10℃,每次降温时记录一次土样盐胀数据。

2 试样含水率、盐分及酸碱度分析

采用烘干法含水率试验得到试验土天然含水率为8%~12.3%。通过易溶盐含量、筛分试验得知采集土样为硫酸盐渍土,盐分的阳离子主要为钠离子Na⁺,阴离子主要为硫酸根离子SO₄²⁻,通过酸碱度分析表明采集土样天然状态下呈碱性或强碱性。

3 试样结果与分析

图1为2%含盐量盐渍土竖向盐胀量随温度降低呈现递增的变化曲线。可以看出,其变化曲线可以分为四个阶段:第I阶段为盐胀变形起步阶段,在开始试验后,温度从30℃逐渐降到15℃,盐渍土基

试验与应用

本没有明显的盐胀变形, 其原因是试样内整体温度较高, 硫酸钠溶液结晶的效果不明显, 可能发生的微量盐胀变形也优先充斥到土体孔隙中; 第Ⅱ阶段为盐胀变形快速发展阶段, 温度在 10 ℃至 0 ℃之间, 达到硫酸钠溶液结晶的理想温度, 试样内硫酸钠溶液浓度较高, 可用于结晶的水分也较为充足, 结晶速率较快, 在该阶段中, 硫酸钠溶液在降温后吸水结晶, 析出硫酸钠晶体, 引起体积膨胀, 首先充满了土中孔隙, 之后结晶体继续膨胀, 较大的膨胀力破坏了土粒间的稳定结构, 引起土粒间错动, 从而使试样整体表现为盐胀变形; 第Ⅲ阶段为盐胀变形缓慢增长阶段, 温度在 0 ℃至 -5 ℃期间, 硫酸钠溶液浓度降低, 随着温度降到 0 ℃以下, 土体中的毛细水出现结冰现象, 减少了可用于结晶的水分, 因此结晶速率有所下降; 第Ⅳ阶段为盐胀变形稳定阶段, 温度逐步下降到 -10 ℃, 有利于硫酸钠结晶膨胀, 但由于硫酸钠溶液浓度较低, 在低温控制箱的降温过程中水的结冰作用和蒸发作用都导致水分有所流失, 土体和百分表也都有一定程度的热胀冷缩, 故表现为结晶速度放缓, 盐胀率处于较为稳定甚至略微下降的状态。

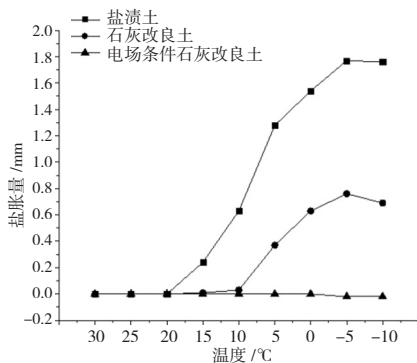


图 1 2% 含盐量土样单次降温盐胀过程曲线

石灰改良土随着温度和时间的变化, 也呈现出递增的变化, 但膨胀率明显小于同含盐量的盐渍土。其变化曲线大致可分成三个阶段: 第Ⅰ阶段为盐胀变形起步阶段, 温度从 30 ℃到 10 ℃期间, 试样的盐胀率较小。究其原因, 是部分硫酸钠与氢氧化钙发生反应, 形成硫酸钙沉淀和氢氧化钠, 但在自然条件下其反应并不彻底, 导致溶液中多种物质共存, 其中硫酸钙微溶于水, 降低了硫酸根浓度, 此外温度也没有达到硫酸钠结晶的理想条件, 所生成的结晶主要填充了土中孔隙, 盐胀并不明显; 第Ⅱ阶段为盐胀变形显著阶段, 温度从 10 ℃到 -5 ℃, 随着

时间增加和温度降低, 膨胀率稳步提升, 并达到峰值, 但其峰值明显小于盐渍土的盐胀峰值。在该过程中, 因为硫酸钠并没有完全消除, 而温度上又达到了硫酸钠结晶的理想状态, 故这一阶段的结晶速率增加较快; 第Ⅲ阶段为盐胀变形稳定阶段, -5 ℃至 -10 ℃, 盐胀量已经达到峰值, 并开始有微量下降, 整体趋于平稳。溶液中的硫酸钠经过结晶过程大量消耗, 盐胀变形基本结束, 随着温度下降, 水分的蒸发作用以及土体和百分表都出现热胀冷缩效果, 导致试样竖向变形有微量的下降。

电场条件石灰改良土在低温下表现稳定, 盐胀反应不明显, 原因是因为在电场作用下, 硫酸钠完全反应, 形成的硫酸钙性质稳定, 不发生盐胀变形。随着温度下降, 水分蒸发以及土体和百分表都出现了一定程度的热胀冷缩反应, 导致试样竖向变形表现为微量缩小状态。

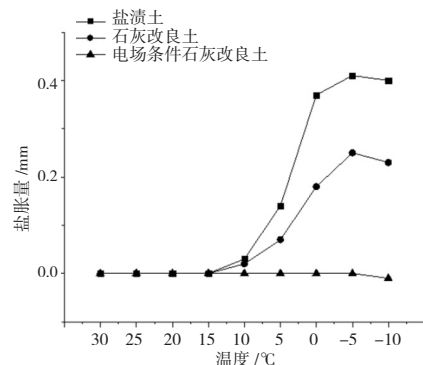


图 2 1% 含盐量土样单次降温盐胀过程曲线

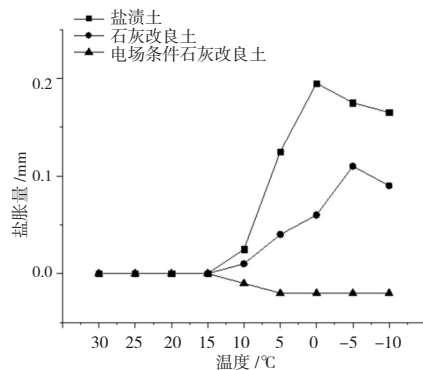


图 3 0.5% 含盐量土样单次降温盐胀过程曲线

从图 2、3 可以看出, 含盐量 1% 和 0.5% 的盐渍土和改良土也与含盐量 2% 的盐渍土规律类似, 盐渍土经历盐胀变形起步, 快速发展, 缓慢提升, 平稳四个阶段, 石灰改良土经历盐胀变形起步, 显著, 平稳三个阶段, 电场条件石灰改良土都较为稳定, 没

有发生明显的盐胀变形。

图4为2%含盐量土样的低温盐胀后直观体现。从图中可以看出,盐渍土土样盐胀后顶部明显隆起,四周的外皮有明显裂痕,土质松散,有土颗粒掉落的现象。这是因为硫酸钠吸水结晶后体积增大3.1倍,破坏了原有的内部稳定结构导致的。

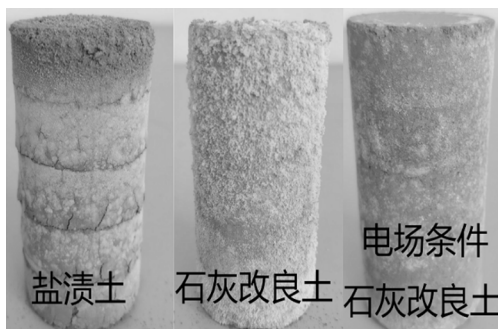
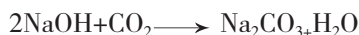


图4 2%含盐量土样单次降温盐胀直观体现

石灰改良土土样顶部也有隆起现象,而且四周有白色晶体析出,是由于反应形成的氢氧化钠,会与空气中的二氧化碳产生碳酸钠,而碳酸钠吸水形成的晶体导致的。其反应式如下:



盐胀作用和表皮的碳酸钠结晶作用共同破坏了土样的结构稳定性,导致有土粒脱落。

电场条件下石灰改良土土样没有发生隆起,四周呈现出部分白色。因为反应形成的钙化物均呈现出白色,因此会出现白色现象。与无外加电场的石灰改良土相比,虽然外表均呈白色,但是外加电场的石灰改良土没有形成晶体析出,并且土样稳定,没有土粒脱落。

4 结论

(1) 试验证明,盐渍土的盐胀特性受温度和含盐量影响,随温度降低而盐胀变形明显增加,随含盐量增加而盐胀率增大。主要的盐胀变形集中于10℃到-5℃之间,温度达到-5℃以下后基本保持稳定,不再发生明显的盐胀变形。

(2) 单一的增加石灰改良盐渍土能够降低盐胀

变形的幅度,却无法完全改良盐渍土的盐胀特性,作为盐渍土的改良技术效果不理想。

(3) 外加电场条件石灰改良盐渍土在不同含盐量的低温试验中均不发生盐胀变形,具有很好的稳定性,从性质上改变了盐渍土的盐胀特性。

(4) 在盐渍土地区,采用少量石灰外加电场条件改良技术能有效改良盐渍土,可作为盐渍土消除盐胀有效的地基处理技术,也为局部土地消除盐碱化提供有效手段和应用前景。

参考文献

- [1] 铁道部编.《铁路工程土工试验规程》(TB10102-2004).中国铁道出版社,2007.6
- [2] 汪林,甘泓,于福亮,等.西北地区盐渍土及其开发利用中存在问题的对策[J].水利学报,2001,32(6):90-95.
- [3] 史桃开,徐攸在.盐渍土地基的膨胀性[J].工程勘察,1994(gc):17-21.
- [4] 刘南山.倾斜细土平原盐渍土分布规律及盐胀作用分析[J].水文地质工程地质,2002,29(4):40-42.
- [5] 李维玉.青藏铁路增建西宁-格尔木二线某段盐渍土性质分析及处理方法探讨[J].资源环境与工程,2009(s1):5-7.
- [6] 谭冬生,孙毅敏,胡力学,等.新建兰新铁路新疆段沿线盐渍土盐胀特性、机理与防治对策[J].铁道学报,2011,33(9):83-88.
- [7] 王延伟,徐慧芬,文进,等.新疆地区盐渍土的盐胀特性研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2006,30(3):531-534.
- [8] 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融沉规律研究[J].水利水电技术,2014,45(7):120-123.
- [9] 华遵孟,沈秋武.西北内陆盆地粗颗粒盐渍土研究[J].工程勘察,2001(1):28-31.
- [10] 杨晓华,王龙,张莎莎.甘肃金永高速公路粗粒盐渍土试验研究[J].公路交通科技:应用技术版,2014(1).
- [11] 刘毅.罗布泊地区粗粒盐渍土盐胀特性影响因素试验研究[J].工程勘察,2014,42(2):12-16.
- [12] 殷鹤,张彭成.外加电场改性处理高填方黄土地基的试验研究[J].人民长江,2016,47(7):77-81.

欢迎投稿 欢迎订阅
欢迎刊登广告