

文章编号: 1000-7598-(2007)06-1129-04

固化滨海盐渍土耐久性试验研究

周琦¹, 邓安¹, 韩文峰², 柴寿喜², 王沛²

(1. 河海大学 岩土工程研究所, 南京 210098; 2. 天津城市建设学院, 天津 300384)

摘要: 在滨海地区自然环境中, 由于滨海盐渍土特殊的工程性质, 固化盐渍土作为路基填料的耐久性直接关系到路基的稳定性。通过室内饱水时间模拟试验、干湿循环模拟试验和抗冻性试验, 对4种固化盐渍土的水稳性和抗冻性进行了初步研究。试验结果表明, 滨海盐渍土经石灰、水泥、SH综合固化处理后, 表现出良好的水稳性和抗冻性, 可以满足滨海地区公路工程建设的要求。

关键词: 滨海盐渍土; 固化盐渍土; 新型高分子固化材料; 耐久性; 水稳性; 抗冻性

中图分类号: TU 411

文献标识码: A

Durability of stabilized coastal saline soils: water stability and freeze-thaw resistance

ZHOU Qi¹, DENG An¹, HAN Wen-feng², CHAI Shou-xi², WANG Pei²

(1. Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract: In coastal areas, the durability of stabilized saline soils as roadbed fillings directly influences the performance of roadbed because of the negative properties of saline soils. Accordingly, water stability and freeze-thaw resistance of stabilized saline soils are studied. The results of the tests indicate that the coastal saline soils stabilized by lime, cement and SH present good water stability and freeze-thaw resistance, so as to meet the requirements of highway construction in coastal areas.

Key words: coastal saline soil; stabilized saline soil; new polymeric solidified material; durability; water stability; freeze-thaw resistance

1 引言

盐渍土是指含盐量超过一定数量的土, 现行国标中规定^[1]: “岩土中易溶盐含量大于0.3%, 并具有溶陷、盐胀、腐蚀等工程特性时, 应判断为盐渍岩土”, 工程方面称之为特殊土。

固化盐渍土是采用一定的技术措施改善盐渍土的物理力学性质以适应工程技术上的要求。由于滨海盐渍土多属于氯盐渍土, 具有遇水溶陷的工程特性, 同时考虑到滨海地区地下水位高、水体矿化度高、降雨量大等特点, 若处理不当, 用其作为路基填料, 轻则会使路基翻浆冒泥, 重则造成路基下沉外挤, 影响公路正常使用。因此, 采用固化盐渍土公路路基填料时, 必须将其耐久性问题列为重点内容进行研究。

影响固化土耐久性的主要因素有收缩开裂、水

稳定性和抗冻性^[2]。本文通过室内模拟试验, 对固化盐渍土的水稳定性和抗冻性进行了研究。

2 试验概况

2.1 试验用土

试验用土取自石家庄—黄骅高速公路沧州至黄骅港段沿线, 其物理、化学性质指标分别列于表1、表2。试验结果表明, 1[#]土样和2[#]土样均为中等氯盐渍土, 其中1[#]土样用于固化盐渍土的水稳性模拟试验, 2[#]土样用于抗冻性试验。

2.2 固化材料及剂量选取

本次试验选用生石灰、325[#]普通硅酸盐水泥和新型高分子材料SH(以下简称SH)作为固化材料, 其中SH是兰州大学开发的新型高分子固化材料, 黏度低、凝胶时间易控制、无毒性、遇水可无限稀

收稿日期: 2005-07-05

修改稿收到日期: 2005-10-18

基金项目: 天津市科技发展计划项目(No.05YFSYF0030); 天津市高等学校科技发展基金项目(No.20051404)。

作者简介: 周琦, 男, 1979年生, 博士研究生, 从事地基基础工程研究。E-mail: nickvictory@163.com.

释,具有良好的物理力学性能和宽阔的使用条件。其固含量为 6%,密度为 1.09 g/cm^3 ,外观为透明无色的水溶液。固化材料掺入剂量见表 3。

2.3 试样制备

根据最优含水率和最大干密度,采用静压法制

备试样,成型尺寸为 $\phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的圆柱体试样,并放入密闭湿气箱内养生 30 d,然后在室内自然风干 60 d。具体试验过程执行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》^[3]和《固化类路面基层和底基层技术规程》^[4]。

表 1 土料基本物理指标
Table 1 Physical indices of soil

土样 编号	比重	稠度指标			击实试验		粒度组成/%		
		液限 /%	塑限 /%	塑性 指数	最大干密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	最佳含水率 /%	0.25~0.075 mm	0.074~0.005 mm	<0.005 mm
1 [#]	2.67	32.3	18.7	13.6	1.84	15.24	0.00	85.23	14.77
2 [#]	2.68	36.0	19.7	16.3	1.88	15.21	4.47	92.25	3.28

表 2 土料中盐分化学成分
Table 2 Chemical composition of salinity in soil

土样 编号	pH 值	含量 / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$							易溶盐 总 量 / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	盐渍土 类 型
		CO_3^{2-} 含 量	HCO_3^- 含 量	Cl^- 含 量	SO_4^{2-} 含 量	Ca^{2+} 含 量	Mg^{2+} 含 量	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 含 量		
1 [#]	8.6	0.019	0.224	10.415	0.422	0.113	0.233	6.477	18.9	中等氯盐渍土
2 [#]	8.0	0.008	0.236	11.631	0.844	0.225	0.602	6.637	20.9	中等氯盐渍土

表 3 固化材料掺入剂量
Table 3 Added amount of solidified material

固化土类型	固化材料剂量/%		
	SH	水泥	石灰
石灰固化盐渍土	0	0	12
SH-石灰固化盐渍土	1.5	0	12
水泥-石灰固化盐渍土	0	6	4
SH-水泥-石灰固化盐渍土	1.5	6	4

注:固化材料剂量=固化材料质量/干土质量

2.4 试验方案

2.4.1 水稳性试验

由于尚无此方面的规范可循,笔者对文献[5]介绍的试验方法略加改进,尝试性地做了以下两种水稳性模拟试验。

(1) 饱水时间模拟试验

由于滨海地区部分公路的路基常浸泡于工业盐池或海水中,所以为模拟这种高矿化度水环境,特人工配制浓度约为 3.5% 的盐水作为浸泡用水,即将取自长芦盐场的粗盐洗去杂质、烘干,取 35 g 溶于蒸馏水,配成 1 000 mL 盐溶液。将固化盐渍土试样浸泡于盐水中,水面高出试件顶面约 2.5 cm。饱水时间以 1 d 为单位,从 0~10 d,期间同步测量试件的无侧限抗压强度、含水率以及 TDS (Total Dissolved Solids,对盐渍土而言,主要是指单位体积溶液中所含溶解盐分总质量),分析固化盐渍土强度随饱水时间的变化规律。

(2) 干湿循环模拟试验

本试验一方面模拟现场路基填土的失水-吸水

循环过程,研究干湿循环次数对固化盐渍土强度的影响;另一方面研究毛细作用下盐分在路基中积聚的情况,即路基次生盐渍化。

为模拟毛细水上升,在水槽中铺设透水石,加水至透水石顶面以下约 1 mm,保持水槽平稳,然后将试样置于透水石上,试样通过透水石从水槽中吸水,所用水为上述人工制备的盐水。以试样“在透水石上吸水 1 d→室内自然风干 1 d”为一循环,循环系数为 15 次,期间同步测量试件的无侧限抗压强度、含水率以及 TDS 。

2.4.2 抗冻性试验

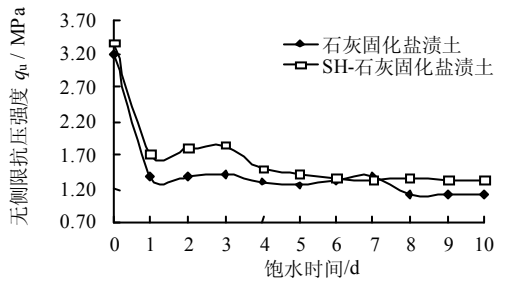
参照渤海湾地区的气温变化规律,冻结和融化温度分别选取 -15°C 和 25°C 。将试样饱水 24 h 后开始冻融试验。以放入 -15°C 的低温冰箱 4 h,然后在标准养护箱(温度 25°C ,湿度 95%)中融化 4 h 为一循环,循环次数为 15 次,期间同步测量试件的无侧限抗压强度,研究各种固化盐渍土强度随冻融循环次数的变化规律。

3 试验结果与分析

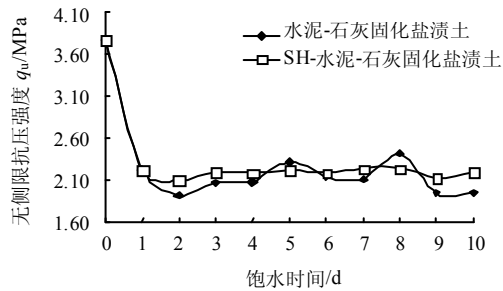
3.1 饱水时间模拟试验

固化盐渍土强度、含水率和 TDS 随饱水时间的变化情况如图 1 和图 2 所示。

试验结果表明,上述 4 种固化盐渍土的强度、含水率和 TDS 随饱水时间变化规律基本相同。养护 30 d 的试样经过室内自然风干 60 d 后,含水率仅为 2.6%~3.9%,处于干燥状态, TDS 的变化范围为



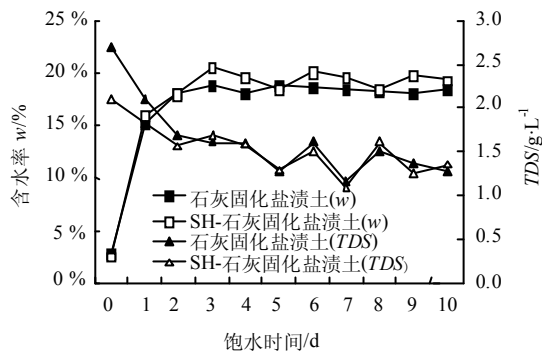
(a) 石灰类固化盐渍土



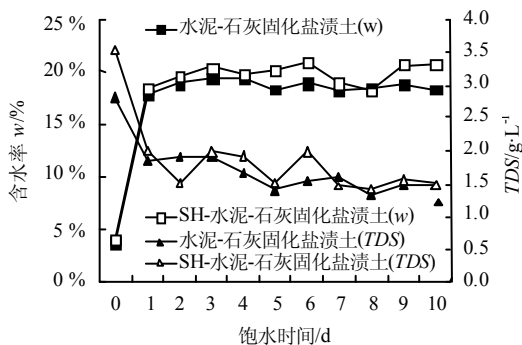
(b) 水泥-石灰类固化盐渍土

图1 固化盐渍土强度随饱水时间变化规律

Fig.1 Strength of stabilized saline soil with time of soaking in water



(a) 石灰类固化盐渍土



(b) 水泥-石灰类固化盐渍土

图2 固化盐渍土含水率和TDS随饱水时间变化规律

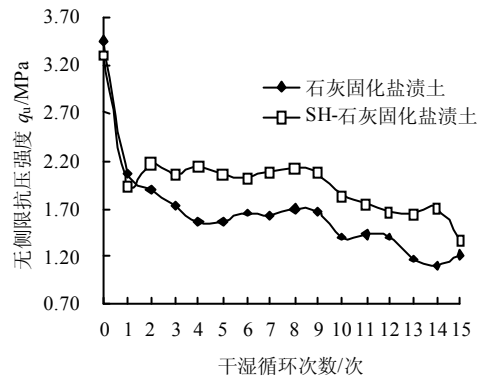
Fig.2 Water content and TDS of stabilized saline soil with time of soaking in water

2.11~3.51 g/L, 强度较高且差别不大。将试样置于人工盐水浸泡1 d后, 4种固化盐渍土的强度分别降低了56.7%, 49.5%, 40.8%, 41.2%。随着饱水时间的延长, 固化盐渍土的含水率逐渐上升, TDS

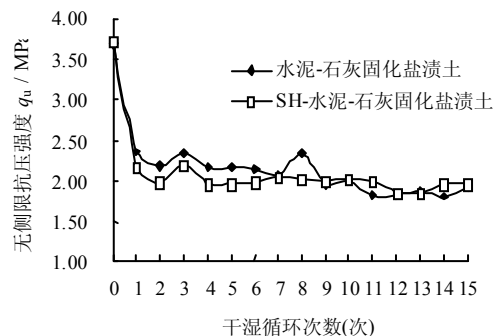
和强度稳步降低, 最终均趋于稳定。饱水10 d后, 含水率为18.3%~20.9%, TDS为1.27~1.50 g/L, 强度分别为1.099, 1.325, 1.941, 2.197 MPa, 分别降低了65.5%, 60.6%, 48.5%, 41.6%。比较上述4种固化盐渍土的强度, 水泥-石灰固化土高于石灰固化土。掺入1.5% SH可以使石灰固化土10 d饱水强度提高20.6%, 水泥-石灰固化土提高13.2%。

3.2 干湿循环模拟试验

如图3、图4所示, 干燥的4种固化盐渍土强度很高, 依次为3.46, 3.32, 3.69, 3.73 MPa。经过1次干湿循环, 强度分别降低了40.6%, 41.9%, 36.3%, 42.1%。随着干湿循环次数的增加, 含水率和TDS均稳步增长并趋于稳定, 强度逐渐下降。15次干湿循环后, 4种固化盐渍土强度分别降至1.212, 1.374, 1.923, 1.962 MPa, 强度损失率分别达到65.0%, 58.6%, 47.9%, 47.4%, 同时, TDS则较初始状态提高3.4~4.6倍, 含水率维持在15%附近。



(a) 石灰类固化盐渍土



(b) 水泥-石灰类固化盐渍土

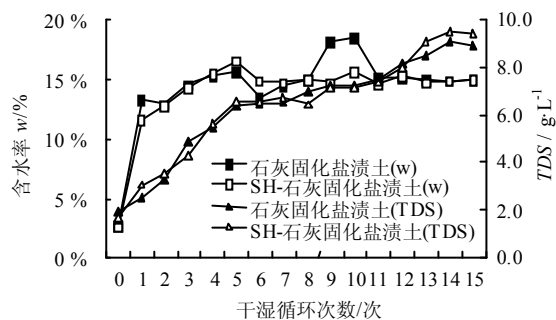
图3 固化盐渍土强度随干湿循环次数变化规律

Fig.3 Strength of stabilized saline soil with times of drying-moistening cycle

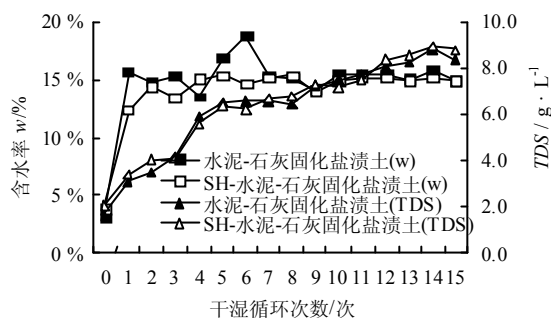
3.3 抗冻性试验

从图5可以看出, 石灰类固化盐渍土随冻融循环次数的增加强度降低明显。经过15次冻融循环, 石灰固化土强度从初始的1.409 MPa降至0.795

MPa, 强度损失 43.6%; SH-石灰固化土则从 1.452 MPa 降至 0.863 MPa, 强度损失 40.6%。掺入 SH 的石灰固化土强度较普通石灰固化土提高了 8.6%, 说明 SH 可以在一定程度上提高石灰固化土的抗冻性能。总体而言, 石灰类固化盐渍土的抗冻性较差。



(a) 石灰类固化盐渍土



(b) 水泥-石灰类固化盐渍土

图 4 固化盐渍土含水率和 TDS 随循环次数变化规律
Fig.4 Water content and TDS of stabilized saline soil with times of drying-moistening cycle

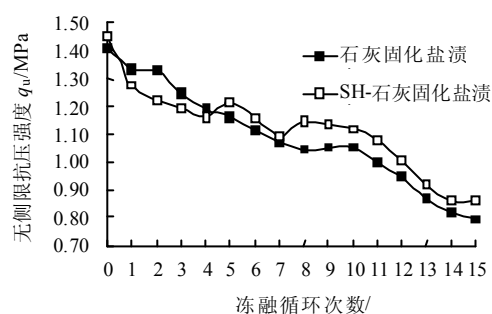


图 5 石灰类固化盐渍土强度与冻融循环次数关系
Fig.5 Relation between strength of lime-stabilized saline soil and times of freezing-thawing cycle

由图 6 可知, 水泥类固化盐渍土经过 2~3 次冻融循环后强度突降, 进入第 5 次循环后强度趋于稳定。经过 15 次冻融循环, 水泥-石灰固化土从初始的 3.20 MPa 降至 1.820 MPa, 强度损失 43.1%; SH-水泥-石灰固化土则从 3.061 MPa 降至 1.932 MPa, 强度损失 36.9%。掺入 SH 的水泥-石灰固化土强度较普通水泥-石灰固化土提高了 6.2%。与石灰固化土相

比, 水泥-石灰固化盐渍土的抗冻性相对较好。

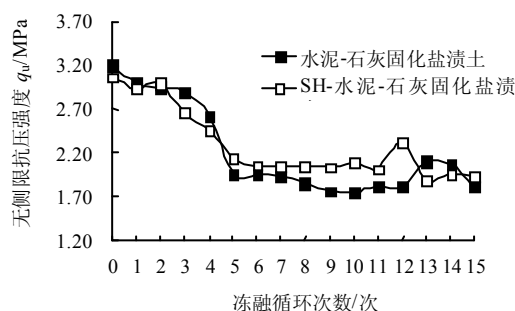


图 6 水泥-石灰类固化盐渍土强度与冻融循环次数关系
Fig.6 Relation between strength of cement-lime-stabilized saline soil and times of freezing-thawing cycle

4 结 论

通过室内模拟试验, 对固化盐渍土的耐久性问题进行了研究, 得到以下认识:

(1) 从饱水时间和干湿循环模拟试验结果可知, 水泥-石灰固化盐渍土的水稳性优于石灰固化盐渍土, 适量的 SH 可以有效地提高固化盐渍土的水稳性。

(2) 抗冻性试验结果表明, 固化盐渍土经过 15 次冻融循环后, 强度降低明显。相对而言, 水泥-石灰固化盐渍土的抗冻性优于石灰固化盐渍土。

综上所述, 从耐久性角度出发, 建议在实际工程中同时使用 SH、水泥、石灰来固化盐渍土, 从而有效保证固化盐渍土的耐久性, 满足滨海地区公路建设的需要。

参 考 文 献

- [1] GB50021-2001, 岩土工程勘察规范[S]. GB50021-2001, Code of Investigation of Geotechnical Engineering[S].
- [2] 贺行洋, 陈益民, 张文生. 土的组成、结构与固化技术[J]. 岩土工程技术, 2003, (3): 129-133. HE Xing-yang, CHEN Yi-min, ZHANG Wen-sheng. Composition, structure and stabilization of soil[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2003, (3): 129-133.
- [3] JTJ057-94, 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S]. JTJ057-94, Test Methods of Materials Stabilized with Inorganic Binders for Highway Engineering[S].
- [4] CJJ/T80-98, 固化类路面基层和底基层技术规程[S]. CJJ/T80-98, Technical Specification of Roadbases and Subbases with Chemical Stabilization[S].
- [5] 凌建明, 谢华昌, 庄少勤, 等. 水泥-石灰土水稳性实验研究[J]. 同济大学学报, 2001, 29(6): 733-737. LING Jian-ming, XIE Hua-chang, ZHUANG Shao-qin, et al. Experimental study on water stability of cement-lime stabilized soil[J]. Journal of Tongji University, 2001, 29(6): 733-737.