

冻融作用下水泥改良盐渍土物理力学性质研究

曾平江

(郴州市公路桥梁有限责任公司, 湖南 郴州 423000)

摘要: 为保证盐渍土地区路基工程质量, 研究水泥剂量、含盐量、养生方式对冻融作用下水泥改良盐渍土冻胀率、颗粒组成和无侧限抗压强度的影响。结果表明, 同一冻融次数下, 随水泥剂量增加, 改良土的冻胀率逐渐减小, 比天然盐渍土减小 31%~91%; 水泥剂量对砂粒含量影响明显, 水泥剂量由 3% 增加至 8%, 砂粒含量至少增大 26.9%; 水泥剂量 < 6% 时水泥对盐渍土抗压强度提升效果显著, 水泥剂量每增加 1%, 抗压强度至少提高 104%; 冻融作用下水泥改良土的抗压强度随含盐量增加呈线性减小, 含盐量对改良土抗压强度的降低幅度显著高于冻融作用的影响, 抗压强度约降低 49.6%; 标准养生改良土的抗压强度约为室外风干改良土抗压强度的 1.15 倍。

关键词: 公路; 盐渍土; 水泥改良; 冻融作用; 物理性质; 力学性质

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)04-0075-04

盐渍土属于特殊土, 其工程性质不稳定, 易受周围水、温度、盐等环境条件的影响, 难以满足路基填筑要求; 同时在反复冻融作用下, 其密度、强度、渗透性等物理力学性质降低, 致使路基出现冻胀翻浆、裂缝、沉陷及不均匀沉降等病害。为保证路基施工质量, 提高路基稳定耐久性, 需对天然盐渍土进行改良处治。Anca Hotineanu 等研究了冻融作用下石灰改良土 300 d 冻胀率和抗压强度变化规律; 杨西锋等对改良盐渍土的方法及机理进行总结, 提出了综合固化方法; 李作恒对石灰改良盐渍土填料的物理力学性质进行了研究; 陈雪峰认为滨海地区盐渍土掺水泥后, 其力学强度和水稳定性满足路基填料技术要求; 余云燕、张登武等研究了固化剂对盐渍土无侧限抗压强度的影响, 结果表明水泥改良土强度增长显著; 刘靖分析了电石灰对盐渍土力学性能和耐久性的影响; 张彧分析了不同温度条件下含水率对盐渍土抗剪强度的影响; 张明俊的研究表明石灰掺量大于 5% 时, 盐渍土的抗压强度与水稳定性良好。当前研究主要集中于改良盐渍土力学强度, 对冻融作用下改良盐渍土物理性质变化规律及含盐量对改良土力学强度影响的研究较少。该文以吉林某路基工程为依托, 分析冻融作用下水泥改良盐渍土物理力学性质的改变。

1 原材料与试验方案

1.1 原材料

盐渍土土样取自松嫩平原西部, 取土深度为 1.6

m, 其物理性质和易溶盐含量见表 1、表 2。水泥采用 32.5 级矿渣硅酸盐水泥, 其技术性质见表 3。

表 1 土样的物理性质

试验项目	试验结果
天然含水率/%	19.31
塑限/%	16.27
液限/%	32.85
塑性指数	16.58
通过下列粒径 (mm)	0.075~2.0
的质量百分率/%	59.16
	0.005~0.075
	24.00
	<0.005

表 2 土样易溶盐含量

离子类型	离子分量/ (mmol · kg ⁻¹)	离子类型	离子分量/ (mmol · kg ⁻¹)
K ⁺	0.74	Mg ²⁺	1.45
Na ⁺	23.41	HCO ⁻	3.11
Ca ²⁺	0.91	Cl ⁻	0.86

表 3 水泥技术性质

试验项目	试验结果
细度/%	2.3
烧失量/%	1.06
体积安定性	合格
凝结时间/min	初凝
	139
抗压强度/MPa	终凝
	251
抗折强度/MPa	3 d
	27.6
抗折强度/MPa	28 d
	51.4
抗折强度/MPa	3 d
	5.8
抗折强度/MPa	28 d
	8.7

1.2 试验方案

根据 JTG E51—2009《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》重型击实试验甲法确定的最佳含水率,按 96% 压实度采用击实法成型 $\phi 39.1 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ 改良土试件。将成型试件用保鲜膜包裹,放入温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、湿度 95% 以上的标准养护室进行养生。养生后,参照工程所在地区冬季气温变化范围,选用冻融箱对试样进行冻结,温度设为 -20°C ,冻结 12 h;选用恒温恒湿养护箱对试样进行融化,温度设为 12°C 、湿度为 60%,融化 12 h。此为一次冻融循环。试验中,若试样质量损失超过 5%,则停止试验。试件达到冻融次数后,依次进行冻胀率试验、无侧限抗压强度试验和颗粒组成试验,分析水泥剂量、含盐量、养生方式对冻融作用下改良盐渍土冻胀率、颗粒组成和无侧限抗压强度的影响。

结合当地地理环境、土样易溶盐总量和化学成分,水泥剂量取 0%、3%、4%、5%、6% 和 8%,含盐量取 0.3%、0.5%、1.0%、1.5% 和 2.0%,冻融次数为 0、1、3、5、7、9、12、15、20 次,养生方式为标准养生室养生和室外风干养生,室外风干养生试件不用保鲜膜包裹。不同含盐量的土样通过向洗过盐的天然盐渍土中添加 NaHCO_3 的方式制得。

2 试验结果分析

2.1 冻胀率

冻融作用下水泥改良盐渍土冻胀率试验结果见图 1。试验土样为天然盐渍土。

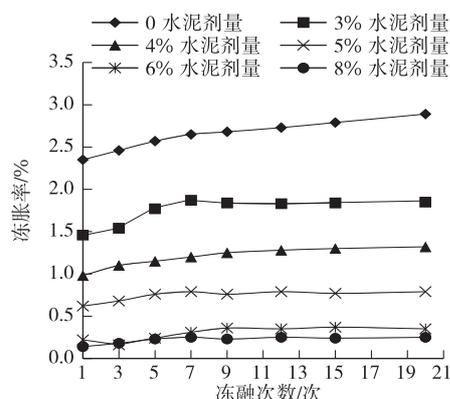


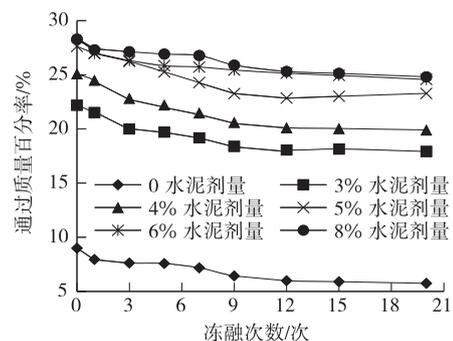
图 1 水泥改良盐渍土冻胀率试验结果

由图 1 可知:同一水泥剂量下,水泥改良盐渍土的冻胀率随冻融次数增加逐渐增大,且冻融 9 次后冻胀率逐渐趋于稳定,3%、4%、5%、6%、8% 水泥剂量改良土冻融 9 次后冻胀率比冻融 1 次后冻胀率分别增加 0.33%、0.28%、0.27%、0.17%、0.14%、

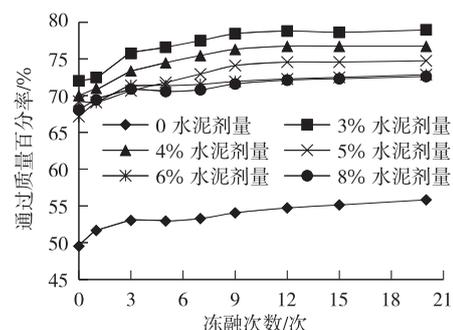
0.09%;随水泥剂量增加,改良土的冻胀率逐渐减小,与天然盐渍土相比,3%、4%、5%、6%、8% 水泥剂量改良土冻融 9 次后冻胀率分别减小 31%、54%、71%、87%、91%。说明冻融作用下素盐渍土受冻胀作用明显,随水泥剂量增加,改良土经历相同冻融次数后冻胀率增长幅度逐渐减小,可有效改善土体稳定性。这是因为水泥水化产物与土粒发生胶结作用,形成土体骨架;同时水化产物填充土粒间孔隙,使孔隙直径减小,阻碍水分的迁移和冰晶体的发展,随水泥剂量增加,改良土冻胀率减小。

2.2 粒度成分

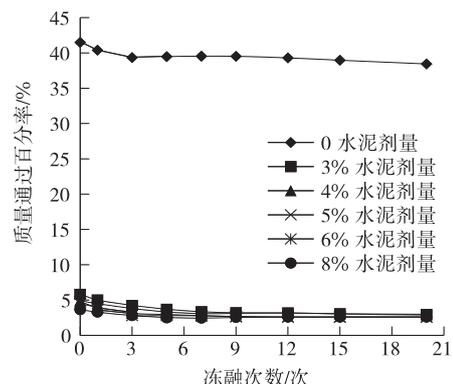
冻融作用下水泥改良盐渍土粒度分布见图 2、图 3。试验土样为天然盐渍土。



(a) 粒径 0.075~2.0 mm



(b) 粒径 0.005~0.075 mm



(c) 粒径 <0.005 mm

图 2 冻融次数与改良盐渍土粒度成分的关系

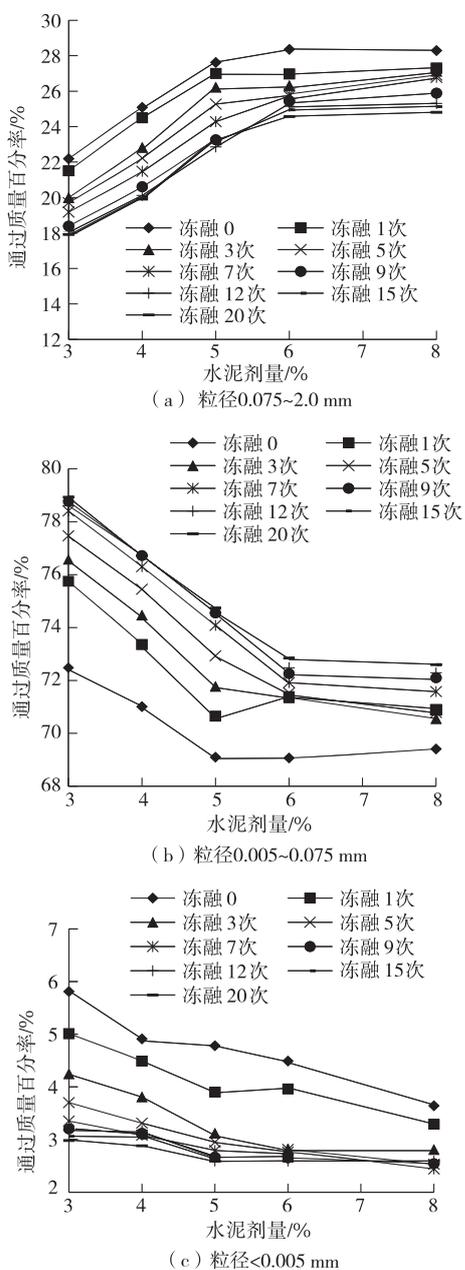


图3 水泥剂量与冻融作用下改良盐渍土粒度成分的关系

由图2~3可知:1)对于同一种水泥改良盐渍土,冻融作用下不同水泥剂量改良土颗粒含量变化规律相近,随冻融次数增加,砂粒与黏粒含量逐渐减小,粉粒含量逐渐增大,且改良土冻融9次后颗粒含量逐渐趋于稳定。水泥剂量 $\geq 3\%$ 时,与未冻融改良土相比,改良土冻融9次后,砂粒和黏粒含量分别减小13.9%、3.4%,粉粒含量增加7.7%;改良土冻融20次后,砂粒和黏粒含量分别减小16.3%、3.6%,粉粒含量增加9.2%。表明冻融作用对改良土不同颗粒含量影响效果不同,其中砂粒含量受冻融循环作用的影响较大。2)同一冻融次数下,盐渍土掺入

水泥后,砂粒含量大幅增加,粉粒含量大幅降低。这是由于水泥水化产物与黏土颗粒发生胶聚作用,使颗粒粒径增大,黏粒含量显著降低。另外,不同冻融次数的改良土颗粒含量随水泥剂量增加变化趋势基本一致,水泥剂量 $\geq 3\%$ 时,随水泥剂量增加,改良土砂粒含量逐渐增大,粉粒和黏粒含量逐渐减小;水泥剂量由3%增加到8%时,改良土冻融1、9、15、20次后砂粒含量分别增大26.9%、40.7%、38.5%、38.4%左右,粉粒含量分别减小4.2%、8.7%、8.0%、8.0%左右,黏粒含量分别增大34.3%、20.6%、15.4%、13.1%左右。水泥剂量对改良土砂粒含量的影响最大,对粉粒含量的影响不显著。

2.3 无侧限抗压强度

2.3.1 水泥剂量的影响

不同冻融次数下水泥剂量对改良盐渍土抗压强度的影响见图4。试验土样为天然盐渍土。

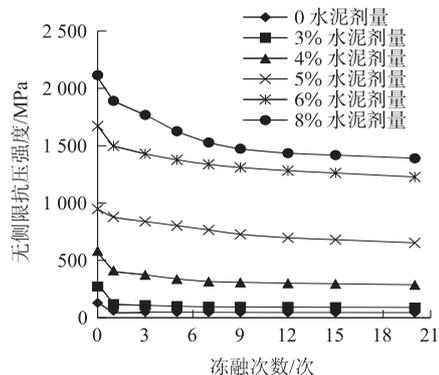


图4 冻融作用下水泥改良盐渍土的抗压强度

由图4可知:1)随冻融次数增加,水泥改良盐渍土抗压强度减速先快后慢,冻融9次后抗压强度逐步趋于稳定。与未冻融改良土相比,冻融20次后各水泥剂量改良土的抗压强度分别降低65.4%、67.2%、50.8%、31.1%、26.6%、34.3%,说明多次冻融作用使素盐渍土及3%、4%水泥剂量改良土的抗压强度显著降低。2)同一冻融次数下,随水泥剂量增加,改良土的抗压强度逐渐增大,水泥剂量 $< 6\%$ 时,改良土的抗压强度增速明显,水泥剂量每增加1%,抗压强度至少提高104%;水泥剂量 $\geq 6\%$ 时,改良土的抗压强度增速逐渐减小,水泥剂量由6%增加至8%,抗压强度平均提高17.7%。

2.3.2 含盐量的影响

冻融作用下含盐量对改良盐渍土抗压强度的影响见图5。水泥改良土冻融作用次数为9次。

由图5可知:冻融作用下,水泥改良盐渍土的抗

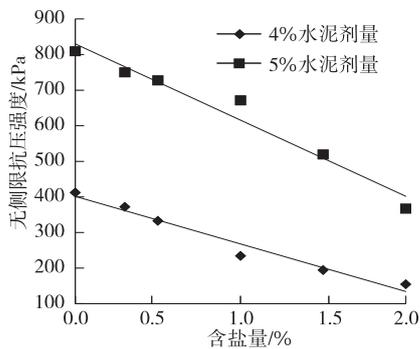


图5 冻融作用9次下含盐量与水泥改良盐渍土抗压强度的关系

压强度随含盐量增加呈线性减小,线性相关系数大于0.96。含盐量由0增加至2.0%时,4%、5%水泥剂量改良土的抗压强度分别减小62.5%、54.6%。含盐量为0.5%时,4%、5%水泥剂量改良土冻融9次后的抗压强度分别为308.89、727.61 kPa,比含盐量2.0%的同水泥剂量改良土分别提高100%、98%,说明含盐量对改良土抗压强度的降低幅度显著高于冻融作用的影响。另外,水泥剂量由4%增加至5%,改良土抗压强度平均提高134%,说明水泥对盐渍土抗压强度有明显改良效果。

2.3.3 养生方式的影响

养生方式对冻融作用下水泥改良盐渍土抗压强度的影响见图6。试验土样为天然盐渍土。

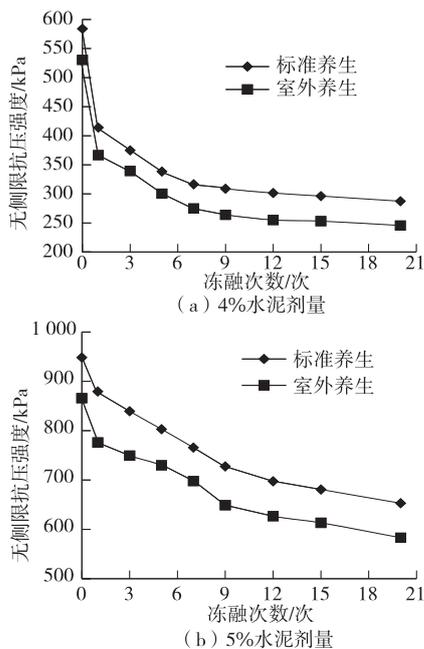


图6 养生方式与冻融作用下水泥改良盐渍土抗压强度的关系

由图6可知:同一水泥剂量下,标准养生和室外

风干改良盐渍土试件的抗压强度随冻融次数增加变化规律一致,冻融9次后抗压强度逐渐减小至稳定值,标准养生的4%、5%水泥剂量改良土的抗压强度分别为室外风干同剂量改良土抗压强度的1.17、1.12倍。这是因为改良土在风干条件下养生,水分较易散失,使孔隙增大,强度降低。

3 结论

(1) 冻融作用下水泥改良盐渍土的物理力学性质劣化。随冻融次数增加,改良土冻胀率和粉粒含量增大、砂粒含量和无侧限抗压强度降低,冻融9次后物理力学性质趋于稳定。

(2) 同一冻融次数下,随水泥剂量增加,改良盐渍土的冻胀率逐渐减小,比天然盐渍土减小31%~91%;天然盐渍土掺入水泥后,砂粒含量大幅增加,粉粒含量大幅降低,且水泥剂量对砂粒含量的影响明显,水泥剂量由3%增加至8%,冻融作用下砂粒含量至少增大26.9%。

(3) 冻融作用对3%、4%水泥剂量改良盐渍土抗压强度的降低效果明显,相比未冻融改良土,冻融20次改良土的抗压强度平均降低66.3%;水泥剂量<6%时,水泥对盐渍土抗压强度的提升效果显著,水泥剂量每增加1%,抗压强度至少提高104%。

(4) 同一水泥剂量下,冻融作用下水泥改良盐渍土的抗压强度随含盐量增加呈线性减小,且含盐量对改良土抗压强度的降低幅度显著高于冻融作用的影响,抗压强度约降低49.6%;标准养生改良土的抗压强度高于室外风干改良土,约为1.15倍。

参考文献:

- [1] 张旭东.吉林西部盐渍土水盐迁移的HTSPE多场耦合研究[D].长春:吉林大学,2018.
- [2] 王猛.碳酸盐渍土路基冻胀特性及防治措施研究[D].长春:长春工程学院,2016.
- [3] 李栋国.农安盐渍土冻胀及反复冻融强度衰减特性研究[D].长春:吉林大学,2015.
- [4] 马冰.冻融循环条件下石灰固化盐渍土物理力学性质研究及机理分析[D].长春:吉林大学,2018.
- [5] ANCA Hotineanu, MARWEN Bouasker, BDULRAHMAN Aldaood, et al. Effect of freeze-thaw cycling on the mechanical properties of lime-stabilized expansive clays[J]. Cold Regions Science and Technology, 2015, 119: 151-157.

(下转第84页)