

几种固化剂对渠道盐渍土地基力学性能影响的试验研究

李宏波^{1,2,3}, 田军仓^{1,2,3*}, 南红兵¹, 许弟兵¹, 顾海涛¹

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 银川 750021; 2. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心, 银川 750021; 3. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 银川 750021)

摘要:【目的】明晰水泥、粉煤灰、硅灰、镁渣作为渠道盐渍土地基固化剂的固化效果。【方法】设计了水泥、粉煤灰、硅灰、镁渣固化剂3种掺量的正交试验,通过不同龄期的三轴试验、压缩试验和干缩试验研究了其力学性能。【结果】①7 d龄期固化盐渍土黏聚力最大可以增大2.97倍,内摩擦角最大可以增大3.78倍;②28 d龄期固化盐渍土黏聚力最大可以增大4.81倍,内摩擦角最大可以增大5.84倍;③28 d龄期5次冻融循环后,素土试件破坏,无抗剪强度,固化盐渍土黏聚力最大损失了23.1%,最小损失了5.1%,内摩擦角最大损失了25.0%,最小基本无损失。④当水泥掺量为3%和5%,硅灰掺入剂量适中,固化盐渍土的干缩系数较小。【结论】综合考虑渠道盐渍土地基抗冻胀、抗干缩和抗剪强度的要求,建议采用高掺量水泥和粉煤灰,中掺量硅灰和低掺量镁渣固化渠道盐渍土地基较为适宜。

关键词:固化剂;盐渍土;力学性能;计算公式;渠道

中图分类号: TU411.7

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.ggps.cnki.20180230

李宏波,田军仓,南红兵,等. 几种固化剂对渠道盐渍土地基力学性能影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2018,37(12):94-99.

0 引言

宁夏盐渍土土地约占宁夏可利用土地面积的7.87%,其中80%以上分布于宁夏北部,平罗县引黄灌区约37%为轻盐渍区,15%为中盐渍区,10%为重盐渍区,14%为盐碱荒地;贺兰县引黄灌区约20%为轻盐渍区,19%为中盐渍区,25%为重盐渍区,1%为盐碱荒地。为了降低土壤盐渍化程度,灌区主要采用渠道防渗衬砌措施,利用混凝土衬砌渠道。盐渍土作为渠道的地基土,其土中的钠盐随土温、含水率和含盐量的变化易发生积聚^[1]或淋溶,其上的渠道混凝土衬砌易发生溶陷、盐胀和盐腐蚀等病害。

盐渍土的工程性能改良研究取得较为丰富的成果,研究成果主要集中在盐渍土非冻融强度、压缩变形、冻融强度和盐胀等方面。随着含盐量的增加,盐渍土的抗剪强度呈现先减小后增加的变化特征^[2-3];利用水泥加固盐渍土时,可以改变土颗粒的形状的大小,增强盐渍土的强度^[4];利用水泥石灰改良盐渍土,认为5%石灰和3%水泥改良氯盐渍土较好^[5];粉煤灰单掺、粉煤灰+镁渣复掺改良盐渍土仅为改变土颗粒级配的物理作用,盐渍土的抗剪强度变化不明显^[6-7],石灰+硅灰和水泥+硅灰复掺改良盐渍土不仅有物理作用,而且有化学作用,盐渍土的抗剪强度提高较为明显^[8-10];麦秆掺入盐渍土可提高盐渍土的力学性能^[11-13];利用水玻璃改良盐渍土,石灰量小于8%时,石灰、粉煤灰、水玻璃复合作用可以明显提高硫酸盐渍土的强度^[14];考虑含盐量、含水率、压实度、上覆荷载为因素,通用正交试验得出了因素与盐胀之间关系的模型公式^[15];温度在为0℃至盐晶体初始析出温度时,其盐胀明显,负温盐胀十分微小^[16],也有研究认为盐渍土膨胀的温度敏感区间为-2.5~0℃,-5℃后试样只发生微小的膨胀变形^[17];石灰+SH固化盐渍土的抗冻融性能优于石灰固化盐渍土^[18];碳酸盐渍土的含水率越高,经过相同冻融循环后其抗压强度越低^[19];相同的冻融循环作用减低了氯盐渍

收稿日期:2018-04-17

基金项目:宁夏高等学校一流学科(水利工程学科)资助项目(NXYLXK2017A03);宁夏回族自治区重点研发计划重大(重点)项目(2018BEG02009);教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队资助项目(IRT1067);宁夏高校资助项目(NGY2018051)

作者简介:李宏波,男,陕西蓝田人。副教授,博士研究生,主要从事水工结构及岩土工程理论研究。E-mail: lhbiongo@126.com

通信作者:田军仓,男,陕西扶风人。教授,博士生导师,博士,主要从事旱区节水灌溉理论与技术研究。E-mail: slxtj@163.com

土和硫酸盐渍土的抗剪强度指标,且硫酸盐渍土的抗剪强度指标降低幅度大于氯盐渍土的抗剪强度指标降低幅度^[20];建立了盐分与压实度与盐渍土的冻胀模型公式^[21]和4个温度下盐渍土不同含盐量区间的未冻水-含盐量拟合公式^[22]。现有盐渍土研究尚缺系统性,盐渍土本构方程、盐胀模型^[23]、改良剂与盐渍土抗剪强度指标模型和干缩模型等仍需要开展细致而深入的研究。一方面,前期已对硅灰、镁渣、粉煤灰等工业废料与水泥之间组合固化研究对进行了一些试验,但未进行4种固化剂组合固化盐渍的试验,且现有文献对4种固化剂组合固化效果未见研究报道;另一方面,宁夏地区粉煤灰和镁渣产量丰富,近邻内蒙古硅灰产量丰富且运输成本较低,这些工业废渣作为盐渍土固化剂成本较低。兹考虑该2方面的原因对硅灰、镁渣、粉煤灰和水泥固化盐渍土进行了试验研究,通过三轴试验、压缩试验和干缩试验研究水泥、粉煤灰、硅灰和镁渣等四种固化剂改良盐渍土的工程性能,旨为盐渍土地基工程加固提供一定依据和借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验材料

盐渍土取自宁夏回族自治区石嘴山市姚付镇。利用液塑仪测得盐渍土的液限、塑限分别为36.54、22.2,配制盐渍土与蒸馏水比例为1:5的溶液,利用电导率仪测得的电导率为16.4 S/m,全盐量为21.0%,pH值为8.9,化学成分及离子分析见表1。水泥采用赛马牌水泥P.O32.5,外加剂主要有粉煤灰、镁渣和硅灰。粉煤灰取自灵武电厂。镁渣源自宁夏惠冶镁业有限公司,硅灰为中通伟业工程材料有限公司生产,其化学成分见表2。

表1 盐碱土的化学成分和离子分析 %

化学成分							离子分析							
烧失量 Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
9.49	58.74	10.33	4.38	7.56	2.97	0.75	8.68	0.55	2.90	8.80	0.84	0.13	2.21	2.25

表2 外加剂化学成分 %

成分	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	R ₂ O
粉煤灰	48.99	7.44	20.74	5.91	2.36	2.5	1.39	1.04	-	-
镁渣	34.68	47.0	0.58	4.09	12.51	0.22	0.13	-	0.28	-
硅灰	89.92	0.692	0.609	2.25	3.11	0.56	-	-	-	1.79

1.2 试验方案

工程改良地基土水泥掺量不得大于6%,本研究利用废渣代替部分水泥,达到节约水泥,水泥最大掺量取5%;根据已有研究成果,粉煤灰改良土较优掺量为25%左右^[6-8],镁渣替代水泥20%较好^[7],硅灰替代水泥10%以内较好^[9-10]。粉煤灰最大掺量取30%,镁渣最大替代水泥掺量取30%,硅灰最大替代水泥掺量取7%。改良盐渍土的工程性能是水泥、粉煤灰、硅灰和镁渣4因素影响下的综合表现,由于改良盐渍土工程性能的影响因素较多,希望在设计中能找到起控制作用及各因素与改良盐渍土工程性能指标之间的关系,在改良盐渍土试验时考虑该4个因素,把每个因素取3个水平。为使模拟具有较高的效率,并能代表全面的情况,在分析各影响因素时,不考虑各因素的交互作用,按照4因素3水平设计正交试验,详见表3,其中试验10为基准试验。

表3 正交试验设计及基准试验 %

试验组号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
水泥	1	1	1	3	3	3	5	5	5	0
粉煤灰	10	20	30	10	20	30	10	20	30	0
硅灰	3	5	7	7	3	5	5	7	3	0
镁渣	10	20	30	20	30	10	30	10	20	0

表4 击实试验结果

试验编号	粉煤灰占比/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)	最佳含水率/%
①	10	1.56	22.1
②	20	1.53	22.7
③	30	1.49	22.8
④	0	1.58	23.2

1.3 试验制备

为了较全面研究改良盐渍土的工程性能,对盐渍土进行了击实试验、抗剪试验、干缩试验、压缩试验及冻融试验。根据击实试验确定的不同土样的最佳含水率及最大干密度依照试验规程分别制备试验试块,击实试验结果见表4,其中对素盐渍土及10%粉煤灰土、20%粉煤灰土、30%粉煤灰土进行了击实试验,因水泥、镁渣和硅灰相对于粉煤灰其掺量较小,故未考虑其他固化剂对最佳含水率及最大干密度的影响。

试验土经过晾晒、碾压、过 2 mm 筛后,依据静压法制备试压块,抗剪、冻融试块采用 $\Phi 39.1$ 的小试块,干缩采用 $\Phi 50$ 的大试块,压缩试验采用标准试块。

1.4 试验方法及条件

击实采用轻型击实,抗剪强度试验采用南京土壤仪器厂的 TSZ30-2.0 型三轴仪,试验剪切速率为 0.4 mm/min;干缩试验采用 $\Phi 50$ 的大试块在标准养护室进行,前 12 d 每 3 d 利用游标卡尺测定试块的变形量,12 d 以后每 7 d 测定试块的变形量;冻融试块采用 $\Phi 39.1$ 的小试块进行试验,把试块装入乳胶膜中,试块两端垫透水石后,利用皮筋扎紧乳胶两端,在模拟冻结时没有水分损失,制备好的试块放入 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰柜中冻 24 h,再放入标准养护箱养护 24 h,冻融循环 5 次。

2 结果与分析

2.1 抗剪强度试验结果分析

在正交试验极差分析方法中,首先计算每个因素同一水平试验结果的均值,再计算不同水平最大均值与最小均值的差值,该差值即为该因素的极差值。不同因素极差值越大,说明该因素对试验结果影响约显著。7、28 d 抗剪强度指标如表 5 所示,并根据表 5 计算各因素的极差。

表 5 7、28 d 抗剪强度指标

组号	7 d						28 d					
	$\sigma_1-\sigma_3$ /kPa				强度指标		$\sigma_1-\sigma_3$ /kPa				强度指标	
	围压 100	围压 200	围压 300	围压 400	C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	围压 100	围压 200	围压 300	围压 400	C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
1	256.3	456.2	514.1	617.8	57.39	21.64	313.2	462.0	572.7	752.5	53.45	24.68
2	307.6	437.0	572.9	705.0	56.88	23.52	377.8	404.9	546.3	757.6	61.66	23.58
3	338.8	552.4	674.9	765.8	72.64	24.60	392.4	564.6	694.7	853.8	77.98	25.54
4	395.9	462.6	671.0	851.9	60.34	26.41	436.4	612.2	759.8	944.8	82.49	27.11
5	385.7	571.0	746.0	880.4	70.49	27.00	508.4	705.8	945.0	1105.4	88.18	30.29
6	404.3	445.3	659.5	777.9	74.88	23.94	508.0	625.1	852.8	1066.8	82.85	29.33
7	445.8	606.5	682.7	894.9	95.06	24.76	636.8	929.1	1000.0	1431.6	95.78	34.11
8	585.1	682.6	789.9	1090.3	111.21	27.25	913.6	1359.1	1540.7	1848.3	163.43	37.07
9	691.1	761.8	895.9	1278.1	114.82	30.23	1235.8	1687.6	1903.1	2392.3	200.36	40.62
10	219.1	345.9	474.0	608.5	38.71	7.63	221.4	-	475.1	604.4	41.67	6.96

注 C 为黏聚力, φ 为内摩擦角, $\sigma_1-\sigma_3$ 为主应力差。

由表 5 可知,1)7 d 龄期时,水泥、粉煤灰、硅灰、镁渣因素对黏聚力的极差分别为 44.73、16.52、5.79、3.81 kPa,各因素对黏聚力影响的大小次序为水泥>粉煤灰>硅灰>镁渣,盐渍土黏聚力的主要影响因素为土颗粒之间的黏结作用力,水泥遇水产生水化反应的速度最快,易于快速生成硅酸盐,增强了土颗粒之间的胶结作用力,因此对盐渍土黏聚力影响最大,而硅灰、粉煤灰和镁渣活性较低,需要水泥水化反应产生的碱性激发其各自的活性,故其在初期对盐渍土黏聚力影响较小;水泥、粉煤灰、硅灰、镁渣因素对内摩擦角的极差分别为 4.16° 、 1.99° 、 2.22° 、 2.44° ,各因素对内摩擦角影响的大小次序为水泥>镁渣>硅灰>粉煤灰,盐渍土内摩擦角的主要影响因素为土颗粒大小及土颗粒界面光滑程度,水泥初期对盐渍土内摩擦角影响的最大原因与黏聚力影响最大原因相同,镁渣与硅灰和粉煤灰相比其颗粒较为粗大,因而成为初期影响盐渍土内摩擦角的第二因素。7 d 龄期素土黏聚力为 38.71 kPa,固化盐渍土最大黏聚力为 114.82 kPa,其值增大 2.97 倍;素土的内摩擦角为 7.63° ,固化盐渍土最大内摩擦角为 30.23° ,其值增大 3.78 倍。

2)28 d 龄期时,水泥、粉煤灰、硅灰、镁渣因素对黏聚力的极差分别为 24.60、28.63、31.86、30.36 kPa,各因素对黏聚力影响的大小次序为硅灰>镁渣>粉煤灰>水泥,与 7 d 龄期相比,一方面,随着时间的变化,水泥水化反应减弱,另一方面,硅灰中氧化钙的量很高,其活性优于镁渣及粉煤灰,随着时间的变化,硅灰水化反应的增强,其生成的胶结物比例增加,故其随着时间的变化成为影响黏聚力的第一因素;水泥、粉煤灰、硅灰、镁渣因素对内摩擦角的极差分别为 12.67° 、 3.20° 、 2.86° 、 0.46° ,各因素对内摩擦角影响的大小次序为水泥>粉煤灰>硅灰>镁渣。28 d 龄期素土黏聚力为 41.67 kPa,固化盐渍土最大黏聚力为 200.36 kPa,其值增大 4.81 倍;素土的内摩擦角为 6.96° ,固化盐渍土最大内摩擦角为 40.62° ,其值增大 5.84 倍。

2.2 干缩试验结果分析

由表6可看出,外加剂的掺入有效地降低了盐渍土的干缩性能,第5组和第9组试件干缩系数在0上下小幅波动,其配方抗干缩性能较佳。当水泥剂量为3%时,硅灰适中掺量、粉煤灰低掺量、镁渣高掺量,其抗干缩性能好;当水泥剂量为5%时,硅灰适中掺量、粉煤灰高掺量、镁渣低掺量,其抗干缩性能好。124 d龄期素土的干缩系数与不同固化盐渍土的干缩系数之比的最小值与最大值分别3.13和99.6。

表6 干缩系数

‰

试验组号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	试验组号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3 d	4.25	2.12	2.21	2.97	2.54	3.38	2.37	2.62	1.52	-1.08	61 d	-4.25	-0.93	0.09	-0.51	3.04	2.20	2.70	4.47	1.27	-9.98
6 d	2.98	3.89	2.63	2.63	2.28	3.38	2.79	3.80	1.35	-2.26	68 d	-4.08	-2.37	-1.36	-2.63	1.10	1.18	2.54	3.29	1.27	-15.25
9 d	2.13	2.63	1.95	4.08	1.78	2.54	2.87	3.54	1.11	-4.63	75 d	-3.65	-1.78	-1.02	-1.61	1.35	1.35	2.45	3.29	1.02	-15.50
12 d	3.91	5.25	3.23	3.40	1.69	2.70	3.55	4.30	0.68	-4.89	82 d	-4.92	-3.47	-1.95	-3.99	0.59	0.85	2.11	2.95	0.18	-16.86
19 d	4.93	1.86	2.72	3.31	1.94	2.87	3.38	3.54	2.20	-4.29	89 d	-4.92	-2.71	-2.21	-4.33	0.17	-1.85	2.20	2.11	0.63	-18.81
26 d	2.89	2.88	2.29	2.30	1.77	5.07	3.21	1.69	1.70	-4.89	96 d	-4.59	-3.98	-2.80	-4.41	0.85	-0.84	1.35	2.19	0.48	-18.47
33 d	-0.51	1.10	0.85	0.77	2.87	3.38	3.63	4.05	2.53	-6.76	103 d	-5.01	-3.13	-2.46	-4.58	0.00	0.68	2.28	2.78	0.17	-17.02
40 d	0.77	1.44	0.68	1.28	1.61	4.73	2.96	3.88	2.28	-7.44	110 d	-4.84	-3.22	-1.87	-3.14	1.10	1.18	2.70	2.62	0.17	-18.04
47 d	-1.61	0.00	-0.51	-1.53	1.52	3.89	2.45	3.29	1.19	-8.88	117 d	-5.77	-4.15	-3.22	-5.60	0.34	-2.02	2.61	2.19	0.34	-18.55
54 d	-2.38	0.51	-0.08	-1.87	2.03	2.53	3.30	3.54	0.68	-10.15	124 d	-6.37	-3.98	-3.05	-5.86	0.25	-1.18	2.61	2.53	0.20	-19.92

2.3 压缩试验

压缩试验中,试验1—试验10的压缩系数分别为0.15、0.08、0.08、0.07、0.06、0.06、0.05、0.05、0.05、0.041 MPa⁻¹;水泥、粉煤灰、硅灰、镁渣因素对压缩系数的极差分别为0.05、0.03、0.02、0.02 MPa⁻¹,各因素对压缩系数影响的大小次序为水泥>粉煤灰>硅灰=镁渣。

2.4 冻融试验

从表7可以看出,素土经过5次冻融循环后已为松散破碎状态,抗剪强度基本丧失,故其抗剪能力基本消失,而固化盐渍土抗剪强度随着水泥掺量的增加而呈递增趋势。水泥、粉煤灰、硅灰、镁渣因素对黏聚力的极差分别为79.45、38.33、27.82、28.58 kPa,各因素对黏聚力影响的大小次序为水泥>粉煤灰>镁渣>硅灰,对内摩擦角的极差分别为7.66°、2.04°、0.41°、2.42°,各因素对内摩擦角影响的大小次序为水泥>镁渣>粉煤灰>硅灰。由于水泥与其他3种固化剂相比较其水化反应速度最快且易于生成胶结作用的硅酸盐,而其他3种工业废渣的活性主要依靠水泥的碱性提高其固化效果,故其影响盐渍土抗剪强度相对较小。28 d龄期5次冻融循环后,素土试件破坏,无抗剪强度,固化盐渍土黏聚力最大损失了23.1%,最小损失了5.1%,内摩擦角最大损失了25.0%。

表7 28 d龄期5次冻融强度试验结果

试验组号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sigma_1\text{-}\sigma_3$ /kPa	围压 100	271.5	324.4	341.1	365.8	416.9	408.5	523	694.1	793	-
	围压 200	449.8	470.5	515.8	563.3	682.1	611.4	824.6	1 138.7	1 142.3	-
	围压 300	552.4	610.7	642.2	590.2	873.5	786.5	1048.2	1 320	1 263.5	-
	围压 400	679.4	749.9	806.6	860.2	1017.6	940.3	1217.5	1 414.5	1 416.9	-
强度指标	C/kPa	50.72	59.4	61.4	63.45	70.44	73.03	88.11	138.92	182.83	-
	$\varphi(^{\circ})$	23.58	24.5	25.64	26.05	30.1	28.04	32.54	33.69	30.47	-

2.5 模型公式

利用SPSS软件对试验结果进行线性拟合,即:

$$y_{c7}=35.262+1\ 294.237x_1+60.853x_2-1\ 445.720x_3-734.438x_4, R^2=0.888, \quad (1)$$

$$y_{\varphi7}=12.876+9.435x_1+34.684x_2+1\ 487.428x_3+428.858x_4, R^2=0.746, \quad (2)$$

$$y_{c28}=27.792+4\ 367.095x_1+65.104x_2-2\ 315.549x_3-5\ 811.875x_4, R^2=0.826, \quad (3)$$

$$y_{\varphi28}=11.841+370.930x_1+32.722x_2-259.808x_3+98.725x_4, R^2=0.905, \quad (4)$$

$$y_{5-c}=8.986+4\ 153.235x_1+95.807x_2-23\ 614.480x_3-4\ 931.719x_4, R^2=0.824, \quad (5)$$

$$y_{5-\varphi}=20.927+82.810x_1+8.092x_2+1\ 284.351x_3+222.360x_4, R^2=0.883, \quad (6)$$

$$y_{yx}=0.308+3.246x_1-0.733x_2-64.359x_3-13.166x_4, R^2=0.759, \quad (7)$$

式中: x_1 为水泥掺量,其值为0~0.05; x_2 为粉煤灰掺量,其值为0~0.3; x_3 为硅灰掺量,其值为0~0.003 5; x_4 为镁渣掺量,其值为0~0.015; y_{c7} 为7 d龄期黏聚力(kPa); $y_{\phi 7}$ 为7 d龄期内摩擦角($^{\circ}$); y_{c28} 为28 d龄期黏聚力(kPa); $y_{\phi 28}$ 为28 d龄期内摩擦角($^{\circ}$); y_{5-c} 为28 d龄期5次冻融黏聚力(kPa); $y_{5-\phi}$ 为28 d龄期5次冻融内摩擦角($^{\circ}$); y_{yx} 为28 d龄期压缩系数(MPa^{-1})。

3 讨论

水泥是影响盐渍土抗剪强度的主要因素,这与相关研究结果^[4-6,9]一致,故在国内改良盐渍土措施中,水泥一般作为主要固化剂提供盐渍土的抗剪强度,主要依靠其高活性易生成硅酸盐胶结土颗粒成为整体,提高其强度。固化剂的掺入不仅提高了盐渍土的抗剪强度,而且提高了抗干缩能力。抗干缩能力的提高是土颗粒之间黏结作用的增强和固化剂的物理填充作用减小了颗粒之间水分迁移作用,从而增强了盐渍土的抗干缩能力,试验结果与文献[3,13]研究结果一致。

水泥3%掺量时,硅灰适中掺量、粉煤灰低掺量、镁渣高掺量;水泥掺量为5%时,硅灰适中掺量、粉煤灰高掺量、镁渣低掺量,其抗干缩性能好。粉煤灰和硅灰掺入土体会增加盐渍土的干缩性能,而镁渣掺入土体中生成的硫酸镁体积会膨胀,利用二者变形的反向作用,共同掺入到盐渍土中减小了盐渍土的干缩变形。依据试验结果,得出了4种固化剂与不同龄期黏聚力、内摩擦角、压缩系数及压缩模型的关系公式。这些结论为利用工业废渣固化盐渍土提供了借鉴。盐渍土的抗冻性能是其作为工程地基需要考虑的条件^[18,20]。宁夏盐渍土渠道地基处于季节性冻土区,盐渍土地基的抗冻能力也是评价其工程性能的重要指标,故后续研究应对几种固化剂固化盐渍土的抗冻能力进行重点研究。

4 结论

1)随着龄期的变化,各因素对固化盐渍土的抗剪强度指标、压缩指标影响程度有所变化。7 d龄期,水泥对固化盐渍土抗剪强度的影响最大,其他固化剂影响次序交替变化;28 d龄期,硅灰对固化盐渍土黏聚力的影响最大,水泥对固化盐渍土内摩擦角的影响最大。

2)固化剂的掺入有效地提高了盐渍土的抗压缩能力。

3)水泥及其他3种固化剂掺入盐渍土中,有效地提高了盐渍土的抗冻能力。水泥不仅是影响盐渍土冻融抗剪强度的主要因素,而且是其他3种固化剂活性的激发剂,盐渍土固化水泥的作用尤为明显。

4)124 d龄期的素土干缩系数与固化盐渍土最大干缩系数和最小干缩系数之比,其最小值与最大值分别为3.13和99.6,利用镁渣的膨胀性和粉煤灰与硅灰的干缩性,借助两者的反向变形作用,组合几种固化剂显著降低了固化盐渍土的干缩性能,并可提高了这几种工业废渣的利用率。

参考文献:

- [1] 米迎宾,杨劲松,姚荣江,等.农田管理措施对滨海盐渍化土壤碳平衡的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(3):85-88.
- [2] 付江涛,栗岳洲,胡嵩嵩,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.
- [3] 张洋,李素艳,孙向阳,等.不同改良剂对滨海盐渍土的改良效果[J].灌溉排水学报,2016,35(5):67-73.
- [4] 李英涛,袁露.水泥改良盐渍土强度形成机理微观研究[J].公路,2013(1):164-168.
- [5] 于新,孙强.水泥石灰改良氯盐渍土强度特性试验研究[J].华东交通大学学报,2011,28(5):29-34.
- [6] 李宏波,沈晖,沈杰.粉煤灰固化超盐渍土的抗剪强度及耐久性[J].兰州理工大学学报,2015,41(3):140-144.
- [7] 贺生云,李宏波,吴振华,等.粉煤灰-镁渣改良超盐渍土的工程性质研究[J].科学技术与工程,2015,15(22):176-180.
- [8] 李宏波,田军仓,何芳,等.水泥粉煤灰固化超盐渍土的力学性能试验研究[J].广西大学学报(自然科学版),2014,39(4):809-816.
- [9] 李宏波,田军仓,边兴.掺加硅灰和石灰条件下的超盐渍土抗剪特征研究[J].广西大学学报(自然科学版),2016,41(4):1145-1152.
- [10] 李宏波,田军仓,陈文兵,等.水泥硅灰固化超盐渍土的抗剪强度试验[J].桂林理工大学学报,2015,35(3):508-513.
- [11] 李敏,柴寿喜,魏丽.麦秸秆的力学性能及加筋滨海盐渍土的抗压强度研究[J].工程地质学报,2009,17(4):545-549.
- [12] 杨继位,柴寿喜,王晓燕,等.以抗压强度确定麦秸秆加筋盐渍土的加筋条件[J].岩土力学,2010,31(10):3260-3264.
- [13] 郭相平,杨泊,王振昌,等.秸秆隔层对滨海盐渍土水盐运移影响[J].灌溉排水学报,2016,35(5):22-27.
- [14] 吕擎峰,申贝,王生新,等.水玻璃固化硫酸盐渍土强度特性及固化机制研究[J].岩土力学,2016,37(3):687-693,727.
- [15] 杨晓华,王永威,张莎莎.基于调节因素的盐渍土盐胀率随含水率变化规律研究[J].中国公路学报,2016,29(10):12-19.
- [16] 万旭升,廖孟柯,杜立群.温度对硫酸钠盐渍土盐胀影响的试验研究[J].公路交通科技,2016,33(8):44-50.

- [17] 岳浩森,黄建明,文桃,等. 换填覆重法处理砂类硫酸盐渍土地基的室内模拟试验[J]. 岩土力学,2017,38(2):471-478.
- [18] 方秋阳,柴寿喜,李敏,等. 冻融循环对固化盐渍土的抗压强度与变形的影响[J]. 岩石力学与工程学报,2016,35(5): 1 041-1 047.
- [19] 王文华,万健. 冻融循环作用对碳酸盐渍土单轴抗压强度影响的试验研究[J]. 长春工程学院学报(自然科学版),2016,17(3):6-9,15.
- [20] 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): 1 271-1 276.
- [21] 王宁,王清,霍珍生,等. 盐分与压实度对盐渍土起始冻胀含水率的影响[J]. 工程地质学报,2016,24(5): 951-958.
- [22] 马敏,郝慧,李国玉. 硫酸钠盐渍土未冻水含量的实验研究[J]. 冰川冻土,2016,38(4):963-969.
- [23] 任秀玲,张文,刘昕,等. 西北地区盐渍土盐胀特性研究进展与思考[J]. 土壤通报,2016,47(1):246-252.

Efficacy of Four Consolidation Agents in Improving Mechanical Properties of Salinized Foundation Soil of Channels

LI Hongbo^{1,2,3}, TIAN Juncang^{1,2,3*}, NAN Hongbing¹, XU Dibing¹, GU Haitao¹

(1.College of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Ningxia Research Center of Technology on Water-saving Irrigation and Water Resources Regulation, Yinchuan 750021, China; 3. Engineering Research Center for Efficient Utilization of Water Resources in Modern Agriculture in Arid Regions, Yinchuan 750021, China)

Abstract:【Objective】 This paper presents an experimental study on the efficiency of four consolidation agents in improving mechanical properties of salinized foundation soil of channel.【Method】 The four consolidation agents we considered were cement, fly ash, silica fume and magnesium slag. For each agent, we designed three soil amendments based on the orthogonal test. Following the amendment, we progressively measured the properties of the amended soil using triaxial, compression and shrinkage test.【Result】 Compared to the original soil, the cohesion and fictional angle of the solidified soil could increase up to 2.97 times 3.78 times respectively 7 days after the amendment, and up to 4.81 times 5.84 times respectively 28 days after the amendment. After five freeze-thaw cycles after 28 days, soil without amendment collapsed, while the solidified soils still had their cohesion increase by 5.1%~23.1% and frictional angle by 0%~25.0%. When amending the soil with 3% and 5% of cement, the contraction coefficient of the soil was smaller than that amended by a moderate amount of silica fume. 【Conclusion】 Considering the requirement against frost heave, dry shrinkage and shear strength of the salinized foundation soil of channel, our experimental results suggested that amending the soil with cement and fly ash at high ratio can achieve the goal. Amending the soil with silica fume at moderate ratio or magnesium slag at low ratio is also able to solidify the soil to a satisfactory level.

Key words: curing agent; saline soil; mechanical property; calculation formula; channel

责任编辑:刘春成