

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.02.018

合黎山天然风化砂改良硫酸盐渍土 强度特性试验研究

秦虎¹, 贾剑青², 张亚兵¹, 张红娟¹, 李鸿¹

(1. 河西学院 土木工程学院, 甘肃 张掖 734000; 2. 兰州交通大学 交通运输学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 针对硫酸盐渍土掺入风化砂改良的理论研究不足, 采用无侧限抗压强度和间接拉伸强度试验, 研究了合黎山天然风化砂掺入量对硫酸盐渍土强度特性的改良效果, 在0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、3.0%的硫酸盐渍土中掺入0%、10%、20%、30%、40%、50%的合黎山天然风化砂进行了改良硫酸盐渍土的强度特性对比试验, 探讨了合黎山天然风化砂改良硫酸盐渍土的可行性及最优掺量比。试验结果表明: 适量掺入合黎山天然风化砂能够改良硫酸盐渍土的强度特性, 随着合黎山天然风化砂掺入量的增加, 改良硫酸盐渍土的无侧限抗压强度和间接抗拉强度均出现先增大后减小的规律, 采用三次函数可较好描述无侧限抗压强度与风化砂掺入量间关系, 采用二次函数可较好描述间接拉伸强度与风化砂掺入量间关系, 试验条件下合黎山天然风化砂改良硫酸盐渍土强度特性的最优掺量比为20%。

关键词: 硫酸盐渍土; 风化砂; 无侧限抗压强度; 间接拉伸强度; 最优掺量比

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)02-0095-04

Strength Properties of Saline Soil Improved by Weathered Sand in Heli Mountain

QIN Hu¹, JIA Jianqing², ZHANG Yabing¹, ZHANG Hongjuan¹, LI Hong¹

(1. School of Civil Engineering, He Xi University, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Aimed at the theory deficiency of sulphate saline soil mixed with weathered sand, the comparison test of strength properties were carried out on the salt content was 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 3.0% of saline soil, which mixed with 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% of natural weathered sand in Heli mountain. In this paper, the feasibility and optimum ratio of the natural weathered sand were also discussed. The experimental results show that the strength characteristics of sulphate salty soil can be improved by adding appropriate natural weathered sand, with the increasing of the amount of natural weathered sand, the unconfined compressive strength and indirect tensile strength of the sulphate salty soil were both present the regularity of increases at first and then decreases. There was a cubic function relation between unconfined compressive strength and the amount of weathered sand. The quadratic function nexus is indirect tensile strength and the amount of weathered sand. The optimum ratio of the strength characteristics is 20%, which is related to the natural weathered sand and the improvement of sulfate saline soil under the experimental conditions.

Keywords: sulphate salty soil; weathered sand; unconfined compressive strength; tensile strength; optimal blend ratio

盐渍土是一种广泛分布于我国黄河三角洲、黄淮海平原、东北松嫩平原、准噶尔盆地、吐鲁番盆地、塔里木盆地、甘肃河西走廊、宁夏银川平原、内蒙古河套灌区、青海柴达木盆地、西宁等盆地的环境敏感性的特殊土体, 不同地区、不同成因、不同年代形成

的盐渍土具有不同的工程特性^[1-4], 《公路路基施工技术规范》^[5] (JTG F10—2006) 规定盐渍土不能直接用于填筑路基, 只有对其进行必要的改良并达到工程技术要求后, 方可作为路基填筑材料。目前对于盐渍土改良方面的研究较多^[6-15], 以粉煤灰、水泥、

收稿日期: 2017-11-20

修稿日期: 2017-12-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(51104081); 甘肃省自然科学基金项目(1508RJZA106); 兰州交通大学“百名青年优秀人才培养计划”基金资助项目; 河西学院第七批大学生科技立项项目

作者简介: 秦虎(1985—), 男, 甘肃张掖人, 博士, 副教授, 主要从事岩石力学与特殊土力学方面的教学与科研工作。

E-mail: hxqin_hu@163.com

石灰、矿渣、硅灰、水玻璃等材料改良盐渍土获得了较好的工程特性,但以风化砂作为盐渍土改良材料的研究相对较少。

S237 线平山湖(蒙甘界)至祁连(青海)公路平山湖至甘州区段拟改建公路是连接张掖市和内蒙古的重要南北交通省际通道,是河西走廊经过平山湖通往内蒙古的必经之路,特殊的地理位置和干旱、半干旱的气候条件使得该区域分布有广泛的硫酸盐渍土。本文以该区域的硫酸盐渍土为研究对象,拟采用工程沿线合黎山天然风化砂作为改良材料,探讨风化砂掺入量对硫酸盐渍土强度特性的改良效果,为河西走廊工程建设中硫酸盐渍土的固化改良材料的选择提供参考。

1 试验条件

1.1 试验材料

试验所用盐渍土和天然风化砂均取自 S237 线平山湖(蒙甘界)至祁连(青海)公路平山湖至甘州区段合黎山沿线,肉眼可见盐渍土表面有白色或者灰白色的盐结皮,并有少量颗粒状钙质结核,土体坚硬,手碾不易碎,天然含水率为 5.12%,塑限为 14.11%,液限为 23.26%,塑性指数为 9.15,曲率系数为 0.18,不均匀系数为 4.24,级配不良,对天然盐渍土进行化学性质测定,测定结果为易溶盐中阳离子以 Na^+ 、 K^+ 为主,阴离子以 SO_4^{2-} 、 Cl^- 为主, $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-} < 0.3$,依据《岩土工程勘察规范》^[16](GB 500021—2001)的含盐量分类规定,确定研究区域内的盐渍土类型主要为硫酸盐渍土。

试验所用天然风化砂为合黎山红褐色砂砾岩石风化过程的中间产物,褐黄色,砂粒坚硬且棱角分明,颗粒成分以石英、长石为主,含云母,以中粗砂为主,颗粒分析试验表明,0.075 mm ~ 0.250 mm 的细颗粒含量为 7.11%,0.50 mm ~ 0.25 mm 中颗粒含量为 48.61%,0.5 mm ~ 2.0 mm 粗颗粒含量为 44.28%,级配不良,试验材料如图 1 所示。



(a) 盐渍土

(b) 风化砂

图 1 试验材料

1.2 试验方案与试样制备

合黎山周围环境的不同使得所取天然盐渍土的易溶盐含量有所不同,现场取样测试结果表明,合黎山天然盐渍土的易溶盐含量在 0.23% ~ 3.16% 之间,为了更好的定量分析合黎山天然风化砂掺入量对硫酸盐渍土的改良效果,首先将取样的天然盐渍土进行全脱盐处理使之成为素土,然后再将风干碾碎过 2 mm 筛后的素土按 Na_2SO_4 质量百分比 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、3.0% 制备 5 组硫酸盐渍土,每组硫酸盐渍土再掺入过 2 mm 筛后按照质量百分比 0%、10%、20%、30%、40%、50% 的合黎山天然风化砂制备改良硫酸盐渍土,最后根据改良硫酸盐渍土的室内重型击实试验所得的最优含水率和最大干密度按照压实度 97% 采用静压法制备试样,参照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》^[17](JTG E51—2009)并考虑到土样制备的便利性和利用已有的土工试验制样工具,确定本次试验的土样为圆柱体试样,其中制备的径高为 $\Phi 39.1 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ 的圆柱体土样用于无侧限抗压强度试验, $\Phi 61.8 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 的圆柱体土样用于间接拉伸强度试验,最后将制备好的土样用至少两层保鲜膜包裹密封在恒温恒湿养护室中静置以备试验使用。

1.3 强度测试

无侧限抗压强度和间接拉伸强度是衡量其强度特性的重要指标之一。本文试验参考《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》^[17](JTG E51—2009)进行。

无侧限抗压强度试验和间接拉伸强度试验所用仪器为装有高精度应力应变传感器的无侧限压缩仪,该仪器由加载部分、量测部分和数据采集三部分组成,设置加载速率均为 0.8 mm/min,当应力应变曲线出现峰值时继续进行 3% ~ 5% 的应变停止采集数据。土体的拉伸强度试验主要分为直接试验和间接试验^[10],但拉伸强度试验并无明显的标准可依,本文间接拉伸试验采用径向压裂试验(巴西劈裂法),根据线弹性理论计算拉伸强度,把制备好的 61.8 mm × 30 mm 圆柱体试样放在试验仪器的承压板,在试样与承压板间放入劈裂条,使得试样在直径方向受到线荷载,试样受力后沿着受力方向的直径开裂破坏,整个试验过程中应力应变数据由拉压传感器采集并记录。

2 试验结果及分析

2.1 风化砂改良硫酸盐渍土强度分析

合黎山天然风化砂作为一种无机结合料改良硫酸盐渍土,强度是衡量其改良效果的重要指标之一。

为了保证试验结果的可靠性和准确性,每组试验做 3 组平行试验,取最相近的两组平均值作为最终结果。在 Na₂SO₄ 含量一定的盐渍土中按照 0%、10%、20%、30%、40%、50% 的质量百分比掺入合黎山天然风化砂得到改良硫酸盐渍土并测试改良后土体的无侧限抗压强度和间接拉伸强度,分析合黎山天然风化砂改良硫酸盐渍土的强度特性,图 2、图 3 为 Na₂SO₄ 含量一定的条件下,改良硫酸盐渍土风化砂掺入量与无侧限抗压强度关系曲线、风化砂掺入量与间接拉伸强度关系曲线。

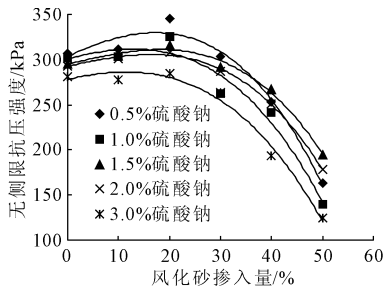


图 2 风化砂掺入量与无侧限抗压强度关系曲线

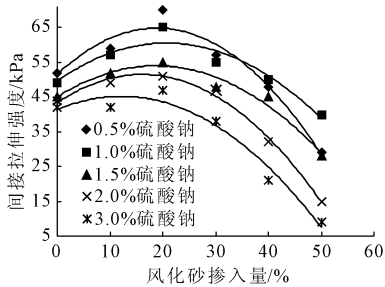


图 3 风化砂掺入量与间接拉伸强度关系曲线

从图 2 和图 3 可以看出,在 Na₂SO₄ 含量一定的条件下,试验所得的合黎山天然风化砂改良硫酸盐渍土的无侧限抗压强度和间接拉伸强度的变化趋势基本一致,随着合黎山天然风化砂掺入量的增加,改良硫酸盐渍土的无侧限抗压强度和间接拉伸强度均出现先增大后减小的规律,即适量掺入合黎山天然风化砂能够较好地改良硫酸盐渍土的无侧限抗压强度和间接拉伸强度,最大强度数值出现在风化砂掺入量 20% 附近,说明风化砂改良硫酸盐渍土的最优掺入比为 20%。分析这一规律主要是因为土体的强度由黏聚强度和摩擦强度两部分组成^[18],改良硫酸盐渍土的强度受土体本身黏聚力引起的黏聚强度和土颗粒与风化砂颗粒以及风化砂颗粒间的摩擦强度共同影响,细颗粒含量影响土体的凝聚强度,粗颗粒的多少影响土体的摩擦强度,合黎山盐渍土为低液限黏性土,在硫酸盐渍土中掺入天然风化砂后改变了土体的颗粒组成,当掺入风化砂质量百分比小

于 20% 时,少量的风化砂对硫酸盐渍土颗粒间的黏聚强度影响较小,改良硫酸盐渍土依然具有较好的结构整体性,风化砂不规则的棱角嵌合在土颗粒间增大了改良硫酸盐渍土的摩擦强度,使得硫酸盐渍土的无侧限抗压强度和间接拉伸强度随着风化砂掺入量的增大而增大,当风化砂掺入量大于 30% 之后,盐渍土颗粒明显减少,使得改良硫酸盐渍土的黏聚强度迅速减小,而风化砂本身没有黏性,不能使土颗粒与风化砂颗粒很好的团聚在一起,使得改良硫酸盐渍土整体结构松散,故出现随着风化砂掺入量的增大无侧限抗压强度和间接拉伸强度减小的现象。

通过对试验数据的回归分析,本文选用多线式关系描述在 Na₂SO₄ 含量一定条件下,硫酸盐渍土的无侧限抗压强度、间接拉伸强度与合黎山天然风化砂掺入量间的关系,得到改良硫酸盐渍土的无侧限抗压强度与风化砂掺入量间满足三次函数关系,如式(1)所示,间接拉伸强度与风化砂掺入量间满足二次函数关系,如式(2)所示。

$$Q_1 = A_1x^3 + B_1x^2 + C_1x + D_1 \quad (1)$$

式中: Q_1 为天然风化砂改良硫酸盐渍土的无侧限抗压强度, kPa; x 为天然风化砂掺入量, %; A_1 、 B_1 、 C_1 、 D_1 为拟合参数。

$$Q_2 = A_2x^2 + B_2x + C_2 \quad (2)$$

式中: Q_2 为天然风化砂改良硫酸盐渍土的间接拉伸强度, kPa; x 为天然风化砂掺入量, %; A_2 、 B_2 、 C_2 为拟合参数。

通过回归分析,得到式(1)、式(2)中的拟合参数及 R^2 值,见表 1、表 2。

表 1 无侧限抗压强度系数拟合结果

Na ₂ SO ₄ 掺入量/%	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	相关系数 R ²
0.5	-1 × 10 ⁻⁶	-4 × 10 ⁻⁵	0.002	0.303	0.976
1.0	-1 × 10 ⁻⁶	-4 × 10 ⁻⁵	0.001	0.300	0.958
1.5	-1 × 10 ⁻⁶	-3 × 10 ⁻⁶	0.001	0.294	0.990
2.0	-1 × 10 ⁻⁶	-5 × 10 ⁻⁶	0.001	0.292	0.998
3.0	-1 × 10 ⁻⁶	-4 × 10 ⁻⁵	0.001	0.277	0.985

表 2 间接拉伸强度系数拟合结果

Na ₂ SO ₄ 掺入量/%	A ₂	B ₂	C ₂	相关系数 R ²
0.5	-4 × 10 ⁻⁵	0.001	0.051	0.950
1.0	-3 × 10 ⁻⁵	0.001	0.049	0.902
1.5	-3 × 10 ⁻⁵	0.001	0.044	0.963
2.0	-3 × 10 ⁻⁵	0.001	0.043	0.993
3.0	-3 × 10 ⁻⁵	0.001	0.041	0.964

从表 1、表 2 中拟合数值可以看出,在 5 种 Na_2SO_4 含量下拟合公式中 R^2 值均大于 0.90,表明用多项式关系拟合改良硫酸盐渍土的无侧限抗压强度、间接拉伸强度与合黎山天然风化砂掺入量间的关系是合理的。

2.2 无侧限抗压强度与间接拉伸强度关系

以无侧限抗压强度为横坐标,间接拉伸强度为纵坐标,绘制 Na_2SO_4 含量一定情况下,改良硫酸盐渍土的间接拉伸强度与无侧限抗压强度随风化砂掺入量的变化关系曲线,如图 4 所示。

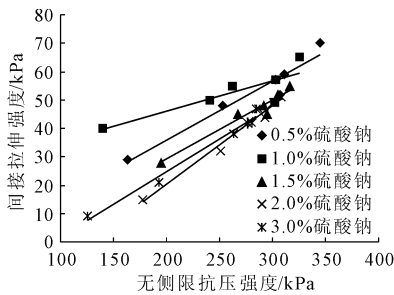


图 4 间接拉伸强度与无侧限抗压强度关系曲线

从图 4 可以看出,相比于无侧限抗压强度,天然风化砂改良硫酸盐渍土的间接拉伸强度非常小,只有几 kPa 到几十 kPa,约为无侧限抗压强度的 1/6 左右,在硫酸盐渍土含盐量一定条件下,随着风化砂掺入量的增加,改良硫酸盐渍土的无侧限抗压强度和间接拉伸强度的变化规律一致,当改良硫酸盐渍土的无侧限抗压强度较大时,间接拉伸强度也较大,无侧限抗压强度较小时,间接拉伸强度也较小,分析原因是影响改良硫酸盐渍土无侧限抗压强度和间接拉伸强度的因素一致,对试验数据拟合得出,改良硫酸盐渍土的间接拉伸强度和无侧限抗压强度之间呈现良好的线性函数关系,且相关性均较好,具体拟合结果如表 3 所示。

表 3 无侧限抗压强度与间接拉伸强度拟合结果

Na_2SO_4 掺入量/%	拟合关系式	相关系数 R^2
0.5	$y = 0.206x - 0.005$	0.941
1.0	$y = 0.105x + 0.025$	0.901
1.5	$y = 0.209x - 0.012$	0.948
2.0	$y = 0.278x - 0.035$	0.980
3.0	$y = 0.227x - 0.020$	0.984

3 结 论

(1) 适量掺入合黎山天然风化砂能够较好地改良硫酸盐渍土强度特性,随着合黎山天然风化砂掺入量的增加,改良硫酸盐渍土的无侧限抗压强度和间接拉伸强度均出现先增大后减小的规律。

(2) 合黎山天然风化砂改良硫酸盐渍土的无侧

限抗压强度与风化砂掺入量间满足三次函数关系,间接拉伸强度与风化砂掺入量间满足二次函数关系,在试验条件下合黎山天然风化砂改良硫酸盐渍土的最优掺量比为 20%。

(3) 合黎山天然风化砂改良硫酸盐渍土的间接拉伸强度和无侧限抗压强度之间满足线性函数关系。

参考文献:

- [1] 虎啸天,余冬梅,付江涛,等.盐渍土改良方法研究现状及其展望[J].盐湖研究,2014,22(2):68-72.
- [2] 周冬梅,张远芳,潘 蕾.罗布泊地区天然硫酸盐渍土融沉量试验研究[J].水利与建筑工程学报,2017,15(6):81-83.
- [3] 程东幸,樊柱军,姜翠萍,等.粗颗粒盐渍土的基本特征及工程性能研究[J].水利与建筑工程学报,2017,15(6):28-31.
- [4] 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的研究[J].水利与建筑工程学报,2017,12(3):121-124.
- [5] 公路路基施工技术规范 JTG F10—2006[S].北京:人民交通出版社,2006.
- [6] 李海潮,尹睿捷,张梅玲.砂砾改良盐渍土用作路基填料的研究[J].路基工程,2014(1):53-57.
- [7] 王朝辉,陈荣涛,刘军勇.盐渍土改良用作公路路基填料的试验研究[J].湖南交通科技,2014,40(4):14-17.
- [8] 戴 蕾,黄 新.强硫酸盐盐渍土固化研究[J].铁道建筑,2010(5):99-101.
- [9] 钱玉林.盐渍土力学性状改性试验研究[J].工程勘察,2003(5):1-4.
- [10] 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):687-727.
- [11] 余云燕,赵德安,彭典华,等.南疆铁路路基填料改良盐渍土的盐胀冻胀试验研究[J].兰州交通大学学报,2009,28(1):1-5.
- [12] 连 杰,顾强康,乔 栋,等.石灰水泥改良硫酸盐渍土盐胀特性研究[J].四川建筑科学研究,2012,38(4):197-199.
- [13] 文 桃,米海珍,马连生,等.石灰改良黄土状硫酸盐渍土强度的影响因素研究[J].四川建筑科学研究,2015,32(2):104-110.
- [14] 肖利明.高速公路路基改良盐渍土研究[D].西安:长安大学,2007.
- [15] 黄文熙.土的工程性质[M].北京:水利电力出版社,1983.
- [16] 岩土工程勘察规范:GB 50021—2001[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [17] 公路工程无机结合料稳定材料试验规程:JTG E51—2009[S].北京:人民交通出版社,2009.
- [18] 袁志辉,倪万魁,唐 春,等.干湿循环下黄土强度衰减与结构强度[J].岩土力学,2017,38(6):1-9.