

硫酸钠溶液对水泥土抗剪强度的影响试验

陈四利,张精禹,宁宝宽,杨雨林,魏 星,吴依涵

(沈阳工业大学建筑与土木工程学院,辽宁 沈阳 110870)

摘要:为研究硫酸钠溶液对水泥土抗剪强度的影响,对硫酸钠溶液腐蚀后的水泥土进行了无固结排水直剪试验。试验结果表明:水泥土的抗剪强度随着硫酸钠溶液浓度的增加而逐步降低,相应的内摩擦角和黏聚力也逐步降低;硫酸钠溶液浓度不变时,水泥土抗剪强度随着硫酸钠溶液腐蚀时间的增加而逐步降低,黏聚力也逐步降低,腐蚀对黏聚力影响较大,而对内摩擦角影响很小。

关键词:水泥土;硫酸钠溶液;抗剪强度;剪切试验;腐蚀效应

中图分类号:TU411.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2015)06-0082-04

Experimental study of sodium sulfate solution effect on the shear strength of cemented soil//CHEN Sili, ZHANG Jingyu, NING Baokuan, YANG Yulin, WEI Xing, WU Yihan (*School of Architecture & Civil Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China*)

Abstract: In order to study the effect of sodium sulfate solution on the shear strength of cemented soil, direct shear with unconsolidated-undrained test was carried out on sodium sulfate corrosion of cemented soil. The test results show that the shear strength of cemented soil gradually decreases with the increase of sodium sulfate solution concentration, and angle of internal friction and cohesion of the shear strength index gradually decrease. When the concentration of sodium sulfate solution is constant, the shear strength of cemented soil gradually decreases with the increase of sodium sulfate solution corrosion time, and cohesion of the shear strength index gradually decreases. The corrosion has a great impact on cohesion, while it has little effect on angle of internal friction.

Key words: cemented soil; sodium sulfate solution; shear strength; shear test; erosion effect

由于水泥土材料来源广泛、性能良好、施工方便且价格低廉,在基坑挡土墙、防渗墙以及路基加固等工程中得到广泛应用^[1]。然而,对于大多数地下水泥土工程来说,由于其直接与地下水等溶有腐蚀性介质的环境接触,如在地下水中常溶有一定浓度的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} 等离子,这些环境侵蚀溶液通过与水泥土发生物理-化学等相互作用,会导致水泥土材料的劣化甚至失效破坏,最终影响水泥土工程结构的安全性和耐久性。因此,开展有关水泥土在复杂环境中的力学特性方面的研究是非常必要的。近年来,国内外学者开展了大量的相关研究,如Kongsukprasert等^[2-7]对水泥土的力学特性进行了试验和分析,而宁宝宽等^[8-14]在特定化学污染环境(不同化学溶液、不同浓度以及不同pH值等)下进行了水泥土的试验,研究了不同环境对水泥土力学特性的腐蚀效应,获得了有益的结果。本文通过试验研究探讨硫酸钠溶液对水泥土抗剪强度的影响,分析不同浓度硫酸钠溶液、腐蚀时间对抗剪强度影响的

变化规律。

1 试验方案

为分析复杂环境对水泥土力学特性的影响,设计了硫酸盐溶液腐蚀水泥土的室内试验。

1.1 水泥土的配合比

试验用原状土取自沈阳市某路基地的粉质黏土,该土在自然状态下呈软塑状态,其主要物理性质指标如下:含水量27.0%,密度 1.92 t/m^3 ,液限35.0%,塑限19.4%,塑性指数15.6,液性指数0.58。

选用强度等级为32.5的矿渣硅酸盐水泥,为了探讨细砂含量对水泥土抗剪强度的影响,掺入了一定比例的细砂,水泥土中水泥、粉质黏土、细砂和水的掺量质量比例为1:5:3.33:1.82。

1.2 水泥土试样制备

将水泥、粉质黏土以及细砂置于搅拌机中均匀搅拌,搅拌均匀后装入直径60 mm、高40 mm的钢模中成型并编号,24 h后脱模,置于清水的器皿中养

护,室内温度为 22 ~ 28℃,水泥土试件养护 60 d 后待用。

1.3 硫酸钠溶液对水泥土的腐蚀效应试验

在不同器皿中分别配制 0.1 mol/L、0.3 mol/L、0.5 mol/L 硫酸钠溶液;将养护 60 d 后的水泥土试件放入配置好的硫酸钠溶液中进行腐蚀试验。水泥土试件与硫酸钠溶液之间的质量比大于 2,腐蚀时试件不能相互接触。

1.4 水泥土试件的直剪试验

根据 JGJ/T 233—2011《水泥土配合比设计规程》的要求进行试件的直剪试验,主要仪器设备为 ZJ 型应变控制式直剪仪,并对腐蚀 6 d、10 d、15 d 后的水泥土试件进行无固结排水剪切试验。试验主要步骤如下:①装好试件,根据试验设计分别施加法向应力 100 kPa、200 kPa、400 kPa;②施加法向荷载后,以 1.2 mm/min 的速率剪切土样;③剪切结束,按以下公式计算抗剪强度:

tau_f = (C * R) / A_0 * 0.1 (1)

式中:tau_f 为试样的抗剪强度, kPa; C 为测力计校正系数, N/mm; R 为剪切时测力计量表读数, mm; A_0 为剪切面面积, cm^2。

2 试验结果及分析

2.1 腐蚀后试件直剪破坏特征

水泥土试件在 0.1 mol/L、0.3 mol/L、0.5 mol/L 硫酸钠溶液中分别经过 6 d、10 d、15 d 腐蚀后,进行了相应的无固结排水剪切试验。由于腐蚀时间不同,试

件剪断后的破裂特征略有不同,图 1 为 0.3 mol/L 硫酸钠溶液腐蚀的试件剪断后表面特征,可以看出,腐蚀 6 d 后的水泥土试件断裂面相对平整,只有细微的不整齐断裂现象,腐蚀 10 d 后的水泥土试件断裂面有明显的不整齐断裂现象,而腐蚀 15 d 后的水泥土试件断裂面有凸凹不平断裂现象。

2.2 应力对水泥土抗剪强度的影响

图 2 为不同浓度硫酸钠溶液、腐蚀时间分别为 6 d、10 d 和 15 d 时抗剪强度随法向应力的变化情况,可以看出,对于在不同浓度硫酸钠溶液中腐蚀的试件,随着法向应力的增大,其抗剪强度逐步增大,且其变化呈线性规律,可用直线拟合。

图 2 中的回归直线与横坐标的夹角即为内摩擦角,与纵坐标的截距即为黏聚力。从拟合直线可以看出,同一种浓度硫酸钠溶液、不同腐蚀时间所对应的抗剪强度变化拟合直线的斜率变化不大(图 2(a)由于试验误差等原因略有变化),对同一种浓度硫酸钠溶液,其水泥土的内摩擦角随腐蚀时间变化不大,但对黏聚力影响较大。

2.3 腐蚀时间对水泥土抗剪强度的影响

图 3 为水泥土抗剪强度随腐蚀时间变化情况,可见,不论何种浓度硫酸钠溶液,随着腐蚀时间的增加,水泥土抗剪强度逐步降低,即对同一种浓度硫酸钠溶液,随着腐蚀时间的增加,对水泥土的抗剪强度的腐蚀效应增大。

2.4 硫酸钠溶液浓度对水泥土抗剪强度的影响

图 4 为硫酸钠溶液浓度对抗剪强度的影响,可以看出,不同硫酸钠溶液浓度对水泥土抗剪强度产

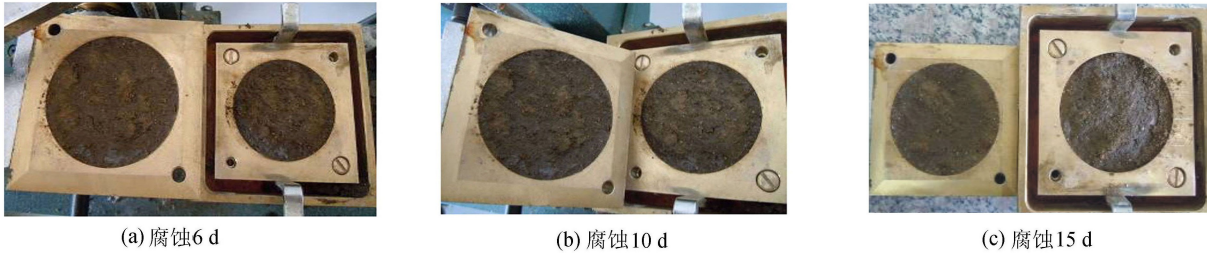


图 1 0.3 mol/L 硫酸钠溶液腐蚀的水泥土剪断后表面特征

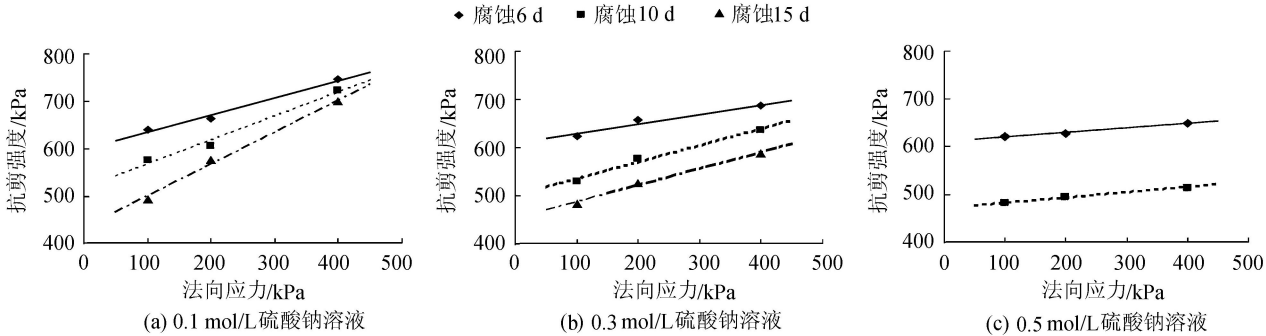


图 2 水泥土抗剪强度随法向应力的变化

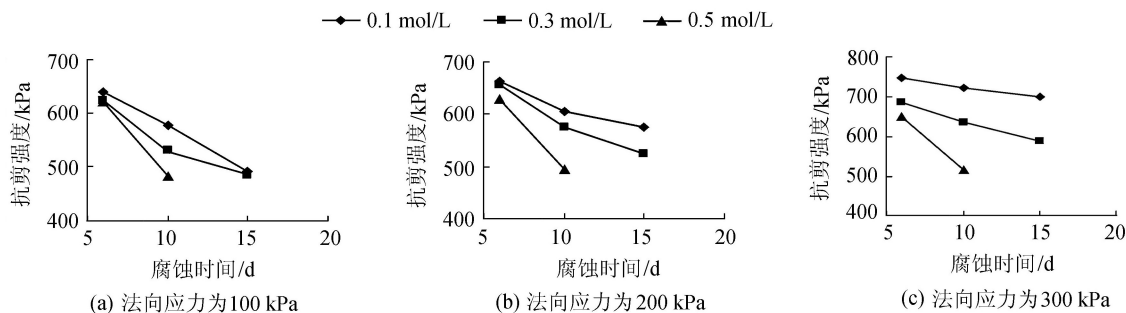


图3 水泥土抗剪强度随腐蚀时间的变化

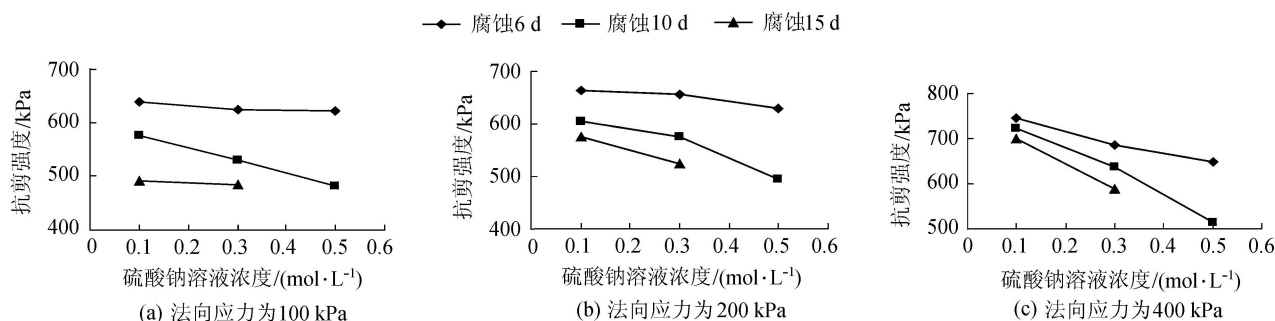


图4 水泥土抗剪强度随硫酸钠溶液浓度的变化

生不同的影响,随着硫酸钠溶液浓度的增大,水泥土抗剪强度逐步降低。

3 结 论

a. 水泥土的抗剪强度随着硫酸钠溶液浓度的增加而逐步降低,相应内摩擦角和黏聚力也逐步降低。

b. 硫酸钠溶液浓度不变时,水泥土抗剪强度随着硫酸钠溶液腐蚀时间的增加而逐步降低,黏聚力也逐步降低,腐蚀对黏聚力影响较大,而对内摩擦角影响很小。

参考文献:

[1] 龚晓南. 复合地基设计和施工指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003: 1-20.

[2] KONGSUKPRASERT L, TATSUOKA F, TAKAHASHI H. Effects of curing period and stress conditions on the strength and deformation characteristics of cement-mixed soil[J]. Soils and Foundations, 2007, 47(3): 577-596.

[3] 童小东, 龚晓南, 蒋永生. 水泥土的弹塑性损伤试验研究[J]. 土木工程学报, 2002, 35(4): 82-85. (TONG Xiaodong, GONG Xiaonan, JIANG Yongsheng. Experimental study on elasto plastic damage of cemented soil[J]. China Civil Engineering Journal, 2002, 35(4): 82-85. (in Chinese))

[4] 郝巨涛. 水泥土材料力学特性的探讨[J]. 岩土工程学报, 1991, 13(3): 53-59. (HAO Jutao. The discuss of mechanical properties of cemented soil [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1991, 13(3): 53-

59. (in Chinese))

[5] 王军, 丁光亚, 潘林有, 等. 静三轴试验中水泥土力学特性及本构模型研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(5): 1407-1412. (WANG Jun, DING Guangya, PAN Linyou, et al. Study of mechanics behavior and constitutive model of cemented soil under static triaxial tests[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(5): 1407-1412. (in Chinese))

[6] 梁仁望, 张明, 白晓红. 水泥土的力学性能试验研究[J]. 岩土力学, 2001, 22(2): 211-213. (LIANG Renwang, ZHANG Ming, BAI Xiaohong. Analysis of laboratory test results of cemented soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2001, 22(2): 211-213. (in Chinese))

[7] 艾志伟, 邓通发. 水泥土强度的影响因素研究进展[J]. 公路, 2014(1): 195-199. (AI Zhiwei, DENG Tongfa. Research progress of influence factors on strength of cement soil [J]. Highway, 2014(1): 195-199. (in Chinese))

[8] 宁宝宽, 陈四利, 刘斌, 等. 环境侵蚀下水泥土的力学效应试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(4): 600-603. (NING Baokuan, CHEN Sili, LIU Bin, et al. Experimental study of cemented soil under environmental erosion[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(4): 600-603. (in Chinese))

[9] 宁宝宽, 陈四利, 丁梧秀, 等. 环境侵蚀下水泥土的强度及细观破裂过程分析[J]. 岩土力学, 2009, 30(8): 2215-2219. (NING Baokuan, CHEN Sili, DING Wuxiu, et al. Analysis of meso-fracture process of cemented soil under environmental erosion [J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(8): 2215-2219. (in Chinese))

[10] 宁宝宽, 刘斌, 陈四利. 环境侵蚀对水泥土桩承载力影

- 响的试验及分析[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2005, 26(1): 95-98. (NING Baokuan, LIU Bin, CHEN Sili. Bearing capacity study of cement-mixed soil pile under environmental erosion[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2005, 26(1): 95-98. (in Chinese))
- [11] 陈四利, 宁宝宽. 岩土材料的环境效应[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010: 17-69.
- [12] 陈四利, 史建军, 于涛, 等. 冻融循环对水泥土力学特性的影响[J]. 应用基础与工程科学学报, 2014, 22(2): 343-349. (CHEN Sili, SHI Jianjun, YU Tao, et al. Effect of freezing-thawing cycle on the mechanical behaviors of cemented soil [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2014, 22(2): 343-349. (in Chinese))
- [13] 刘新, 张文博, 齐园园, 等. 硫酸钠对水泥土强度影响的机理分析[J]. 中国科技论文, 2014, 9(3): 347-350. (LIU Xin, ZHANG Wenbo, QI Yuanyuan, et al. Mechanism of analysis of the effects of sodium sulfate on the strength of cement soil [J]. China Sciencepaper, 2014, 9(3): 347-350. (in Chinese))
- [14] 白晓红, 赵永强, 韩鹏举, 等. 污染环境对水泥土力学特性影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(8): 1260-1263. (BAI Xiaohong, ZHAO Yongqiang, HAN Pengju, et al. Experimental study on mechanical property of cemented soil under environmental contaminations[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(8): 1260-1263. (in Chinese))
- (收稿日期: 2014-06-03 编辑: 熊水斌)

(上接第 36 页)

- [16] 吴国雄, 丁王飞, 张洋, 等. 沥青混凝土路面开裂破坏的渗流模型分析[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2009, 28(6): 1016-1020. (WU Guoxiong, DING Wangfei, ZHANG Yang, et al. Percolation model of asphalt concrete pavement crack damage[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Sciences, 2009, 28(6): 1016-1020. (in Chinese))
- [17] 何超, 吕绪良, 高福银, 等. 二维导电点渗流参数的重整化群法计算[J]. 应用科学学报, 2010, 28(2): 170-174. (HE Chao, LÜ Xuliang, GAO Fuyin, et al. Calculation of 2D site percolation parameters of electrical conductivity using renormalization group method [J]. Journal of Applied Sciences, 2010, 28(2): 170-174. (in Chinese))
- [18] 姜春露, 孙强, 姜振泉, 等. 脆性岩石全应力应变过程中渗透性突变研究[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2012, 43(2): 688-693. (JIANG Chunlu, SUN Qiang, JIANG Zhenquan, et al. Permeability catastrophe of brittle rock during complete stress-strain path [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(2): 688-693. (in Chinese))
- [19] 张蕊, 姜振泉, 孙强, 等. 脆性岩石变形机制与渗透率关系研究[J]. 高校地质学报, 2012, 18(4): 719-723. (ZHANG Rui, JIANG Zhenquan, SUN Qiang, et al. Study on the relationship of the brittle deformation mechanism and permeability of rocks[J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(4): 719-723. (in Chinese))
- [20] 薛雷, 孙强, 王媛媛, 等. 岩体脆性破裂失稳临界应力特征重正化群研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2013, 21(4): 710-724. (XUE Lei, SUN Qiang, WANG Yuanyuan, et al. Study on the critical stress state of brittle failure of rock based on renormalization group theory[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2013, 21(4): 710-724. (in Chinese))
- [21] TURCOTTE D L. 分形与混沌: 在地质学和地球物理学中的应用[M]. 陈颢, 郑捷, 季颖, 译. 北京: 地震出版社, 1993.
- [22] GU P, DENG C, TANG L. Determination of local damage probability in concrete structure [C]//2012 International Conference on Modern Hydraulic Engineering. Nanjing: China Association of Hydraulic Engineering Education, 2012: 489-493.
- [23] 顾培英, 邓昌, 汤雷. 基于重整化群有限原胞级整体安全性分级评价[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2014, 42(4): 355-360. (GU Peiying, DENG Chang, TANG Lei. Safety classification evaluation of an overall structure based on limited primitive cell level using renormalization group theory [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2014, 42(4): 355-360. (in Chinese))
- (收稿日期: 2014-07-16 编辑: 郑孝宇)

