



污染环境对水泥土力学特性影响的试验研究

白晓红, 赵永强, 韩鹏举, 乔俊义, 吴植安

(太原理工大学建筑与土木工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 采用模拟试验的方法探讨了在各种污染环境因素影响下(清水、不同化学溶液、不同浓度等)水泥土力学特性在不同龄期的表现, 分析了其相应的荷载位移曲线变化, 得出了水泥土在各种污染环境下的抗压强度与侵蚀历时的关系, 结果表明硫酸对水泥土的侵蚀作用显著, 污染环境中的化学成分和浓度对水泥土的抗压强度有着重要的影响。

关键词: 水泥土; 环境污染; 无侧限抗压强度

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2007)08-1260-04

作者简介: 白晓红(1959-), 女, 教授, 博士生导师, 从事岩土工程教学、科研工作。E-mail: bxhong@tyut.edu.cn。

Experimental study on mechanical property of cemented soil under environmental contaminations

BAI Xiao-hong, ZHAO Yong-qiang, HAN Peng-ju, QIAO Jun-yi, WU Zhi-an

(College of Architecture and Civil Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In order to simulate and study the erosion effect on cemented soil under environmental contamination, a series of unconfined compression tests were conducted on the cemented soil samples which were cured under various environmental conditions, including clean water, and H_2SO_4 , $NaCl$, $NaOH$ solutions with different concentrations. It was shown that the compression strength of the cemented soil varied with not only the curing time but also the contaminated types and the concentrations. The strength decreased in a high concentrated acid solution, thus the erosion effect on the cemented soil must be taken into account in engineering practice.

Key words: cemented soil; environmental contamination; unconfined compression strength

1 概 况

水泥土是一种人工混合材料, 它是水泥和土的混合物。由于水泥土具有材料来源广泛、施工便捷、价格低廉、性能良好等特点, 而广泛应用于地基处理工程和基坑工程中, 取得了显著的社会和经济效益。在工程实践中, 水泥土常常处于地下水、海水等环境中。由于水中含有侵蚀性的离子(SO_4^{2-} 、 Cl^- 等), 其与水泥土具有较强的结晶分解作用, 对水泥土的力学性能和耐久性产生重要影响, 这一问题近年来已引起一些学者的关注, 如宁宝宽等探讨了在水、不同化学溶液、不同浓度和不同 pH 值条件下, 一定掺量的水泥粉质粘土的力学效应, 试验表明水化学作用对水泥土的力学性质有明显的影响^[1-3]。黄汉盛等结合深港西部通道软土深层搅拌桩水泥土抗腐蚀性的室内试验, 得出在腐蚀地下水环境中在水泥土中增加矿渣、粉煤灰可提高水泥土的抗腐性, 并提出了抗腐性良好的水泥土配方^[4]。然而, 水泥土的抗侵蚀性与土质有着紧密的关系, 同时为了丰富该方面的研究内容, 本文通过室内模拟试验, 对比分析了水泥土在清水养护和在

化学溶液环境中养护的抗压强度以及荷载-位移曲线特征, 建立了在化学环境作用下水泥土力学特性与时间的关系, 为水泥土在污染环境下的设计和应用提供了参考数据。

2 试验方案和试验方法

2.1 水泥土材料特征

水泥土中使用的土为粉土, 取自太原长风大街某工地, 其塑性指数为 7.1; 水泥使用太原狮头水泥公司生产的普通硅酸盐水泥^{#325}。

2.2 水泥土试块的制备和养护

水泥土试块配比使用的土为风干粉土, 材料配比为: 干土 100 g, 水泥 15 g, 水 57.5 g。将一定比例的风干土、水泥、水放入 60 kg 的小型搅拌机内充分搅拌后, 装入 7.07 cm×7.07 cm×7.07 cm 的标准钢模中, 抹平表面并编号静置 24 h 后, 脱模放入标准养护箱中养护 7 d, 然后将试件放入装有预先配制好的化学溶液

基金项目: 山西省留学归国人员科研资助项目(2006-26)

收稿日期: 2006-09-25

的容器中进行浸泡。

2.3 化学溶液的配制

选择 H_2SO_4 , NaCl , NaOH 3 种化学试剂, 分别配制为 5 种浓度的化学溶液 1.5, 4.5, 9.0, 18, 22.5 g/L, 溶液浓度的选取参照了《岩土工程勘察规范》^[5]。

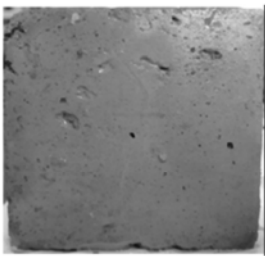
2.4 试验方法

本项目共制备了水泥土试块 144 个, 将这些试块浸泡在清水、不同浓度的 H_2SO_4 , NaCl , NaOH 溶液中, 同样条件下以 3 个试块为一组, 共 48 组。在试块浸泡过程中, 要使其完全浸没在溶液中, 以便能充分发生化学反应。浸泡不同的天数后, 进行无侧限抗压强度试验 (按照有关试验规程操作), 获取试块的荷载 - 位移曲线和最大抗压强度 q_u , q_u 取 3 个试块的平均值 (当任二个试块的最大抗压强度值差不大于强度平均值 20%)。所用仪器为甘肃生产的电子控制式万用实验机 (型号为 5105A), 最大荷载为 100 kN, 加载精度为 0.5 级, 加载速率为 5 mm/min。

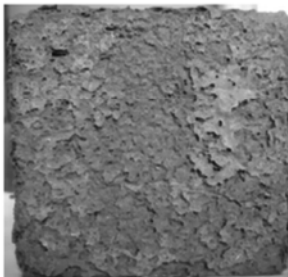
3 试验结果及分析

3.1 试块外观变化

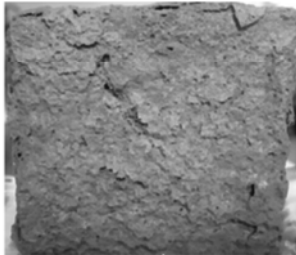
通过观察发现 H_2SO_4 溶液浸泡的试块, 表面均出现不同程度的变化。在 NaOH 溶液、 NaCl 溶液中的试块, 表面变化不明显 (图 3)。



(a) 浸泡 7 d 浓度为 1.5 g/L



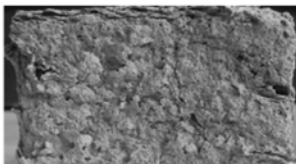
(b) 浸泡 7 d 浓度为 9.0 g/L



(c) 浸泡 7 d 浓度为 22.5 g/L



(d) 浸泡 28 d 浓度为 1.5 g/L



(f) 浸泡 28 d 浓度为 22.5 g/L

图 1 试块表面变化照片 (H_2SO_4 溶液浸泡)

Fig. 1 Photos of variation of sample surface in H_2SO_4 solution

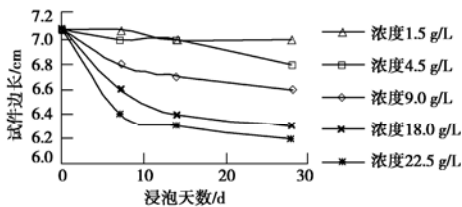
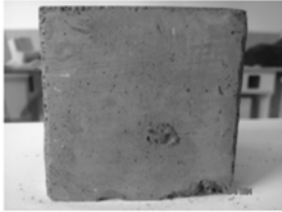


图 2 试块尺寸随浸泡时间的变化 (H_2SO_4 溶液浸泡)

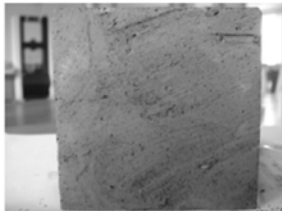
Fig. 2 Variation of samples size with soaking time in H_2SO_4 solution



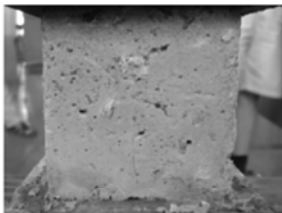
(a) NaOH 浸泡 7 d 浓度为 22.5 g/L



(b) NaOH 浸泡 28 d 浓度为 22.5 g/L



(c) NaCl 浸泡 7 d 浓度为 22.5 g/L



(d) NaCl 浸泡 28 d 浓度为 22.5 g/L

图 3 试块表面变化照片 (NaOH 溶液和 NaCl 溶液浸泡)

Fig. 3 Photos of variation of sample surface in NaOH and NaCl solutions

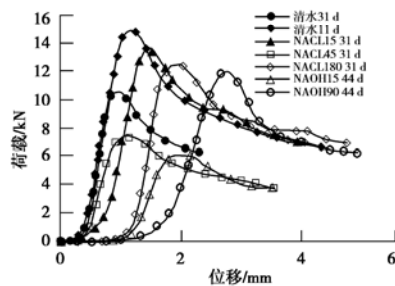


图 4 荷载 - 位移曲线 (NaOH 和 NaCl 溶液)

Fig. 4 Load - displacement curves (NaOH and NaCl solutions)

3.2 荷载 - 位移曲线及抗压强度

(1) 荷载 - 位移曲线

典型荷载 - 位移曲线绘于图 4。从中可以看出，

水泥土的荷载 - 位移曲线可以分为 3 段：当位移较小时，荷载增加较小，称为初始加载段；然后随着位移的增加，荷载增加较快，称为持续加载段；当达到最大荷载值后，随着位移增加，荷载减小，称为软化卸载段。不同环境浸泡的水泥土试块其荷载 - 位移曲线形状基本相同，无论持续加载段从何处开始，其斜率基本不变，曲线的主要区别表现在初始加载段的长短和曲线峰值的大小。

(2) 峰值强度与峰值位移

为了进一步探讨化学成分和浓度及浸泡时间对水泥土强度的影响，将不同浸泡时间下，不同化学溶液浸泡的试样的峰值强度及相应位移（称为峰值位移）与溶液浓度的关系绘于图 5。

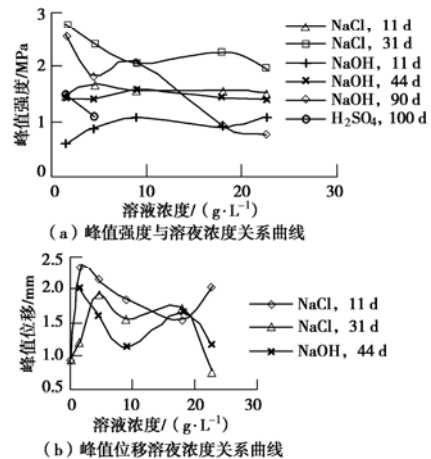


图 5 峰值荷载曲线与峰值位移曲线

Fig. 5 Curves of strength and displacement vs. concentration of solutions

从图 5 (a) 可见，峰值强度的大小与溶液的化学成分和浓度以及浸泡时间有关。除 H_2SO_4 溶液外，随着浸泡时间的增加，水泥土的峰值强度提高；清水浸泡的水泥土峰值强度显著高于其他溶液环境；NaCl 溶液条件下，随着浓度的增加，峰值强度有降低的趋势，而 NaOH 溶液条件下，浓度对峰值强度的影响不显著，特别是在浸泡了 31 d 时。由于 H_2SO_4 浸泡下，试块腐蚀较严重，仅对浓度为 1.5 g/L 和 4.5 g/L 溶液浸泡了 100 d 的水泥土试块进行了抗压试验，其峰值强度明显较低，且随着浓度增加，峰值强度降低。

图 5 (b) 为不同环境条件下，水泥土达到峰值强度时对应的位移值（即峰值位移）。图中给出的 3 条曲线分别代表 NaCl 浸泡 11 d、31 d 和 NaOH 溶液浸泡 44 d 的情况。峰值位移介于 1~2.5 mm，且规律性不显著，但从图中可以看出当溶液浓度较低时，随着浓度增加，峰值位移有减小趋势，然后浓度增加，峰值

位移变化不规律。清水浸泡的峰值位移较小,且与浸泡时间关系不显著,11 d 和 31 d 均为 1.0 mm 左右。

综上所述,各种环境条件下,水泥土试块在各龄期的无侧限抗压强度峰值及相应位移各不相同。水泥土的力学特性与其所处的环境条件及侵蚀时间关系密切。

4 结 论

(1) 在 H_2SO_4 溶液环境中,水泥土有明显的侵蚀软化现象,表观腐蚀严重,且随溶液浓度的增加而加剧,侵蚀作用在浸泡 14 d 后趋于稳定。100 d 的峰值强度明显小于其他溶液 30 多天的强度,且随浓度增大而减小。

(2) 在 NaCl 溶液环境中,水泥土表观侵蚀不明显,其峰值强度随浸泡时间而提高,显著低于相同天数下清水浸泡的试样强度。随浓度的增加,峰值强度有明显降低的趋势。

(3) 在 NaOH 溶液环境中,水泥土表观侵蚀不明显,试样峰值强度低于相同浸泡时间相同浓度条件下的 NaCl 溶液浸泡的试样,且其值随浸泡时间的增加而提高,但受浓度变化影响较弱。

(4) 不同环境下水泥土的荷载-位移曲线说明,水泥土在加载初期强度增加缓慢,且受侵蚀环境影响显著,随着位移增大荷载增加较大,且增加的速率与环境关系不显著,但环境对峰值强度有较大影响。

参考文献:

[1] 宁宝宽,陈四利,刘 斌,刘一芳. 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): 599 - 603. (NING Bao-kuan, CHEN Si-li, LIU Bin, LIU Yi-fang. Experimental study of cemented soil under environmental erosion[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(4): 599 - 603. (in Chinese))

[2] 宁宝宽,陈四利,刘 斌. 水泥土的环境侵蚀效应与破裂过程分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(10): 1778 - 1782. (NING Bao-kuan, CHEN Si-li, Liu Bin. Fracturing behaviors of cemented soil under environmental erosion[J]. Chinese Journal of Rock and Mechanics and Engineering, 2005, 24(10): 1778 - 1782. (in Chinese))

[3] 宁宝宽,陈四利,刘 斌. 环境侵蚀下水泥土力学特性的时间效应分析[J]. 水文地质工程地质, 2005, 2: 82 - 86. (NING Bao-kuan, CHEN Si-li, LIU Bin. The timing effects of mechanical properties of cemented soil under environmental erosion[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2005, 2: 82 - 86. (in Chinese))

[4] 黄汉盛,鄢泰宁,兰 凯. 软土深层搅拌桩的水泥土抗腐蚀性室内试验[J]. 地质科技情报, 2005, 7: 85 - 88. (HUANG Han-sheng, YAN Tai-ning, LAN Kai. Laboratory experiment of the anticorrosion of cement stabilized soft in deep mixing pile[J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 7: 85 - 88. (in Chinese))

[5] GB50021—21 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001. (GB50021—21 Geotechnical engineering exploration norm[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2001. (in Chinese))