

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2010.04.015

水泥土搅拌法的室内试验研究

徐立胜¹, 陈 忠¹, 张 研²

(1. 中天建设集团有限公司, 浙江 杭州 310008; 2. 河海大学力学与材料学院, 江苏 南京 210098)

摘要:为研究水泥搅拌法加固软土的特点和主要力学特征,进行了室内多因素影响下水泥土的配比试验,定量分析了龄期、水泥种类和水泥掺入比对水泥土力学性能的影响,揭示了各种因素对水泥土抗压强度的影响规律.单轴压缩试验结果表明,水泥土抗压强度随着龄期的增长而提高,水泥种类、水泥掺入比以及养护龄期是影响水泥土抗压强度的主要因素.

关键词:水泥土 抗压强度 水泥种类 水泥掺入比 龄期

中图分类号: TU432 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2010)04-0433-03

水泥土搅拌法是一种利用水泥作为固化剂,就地将原位土和固化剂(浆液或粉体)强制搅拌,使原位土硬结成具有整体性、水稳性和一定强度的水泥加固土的软土地基处理方法.由于该方法可以最大限度地利用原位土,搅拌时无振动、无噪音和无污染,并且具有对环境影响小、加固形式灵活和经济等优点^[1],因而在各类工程中得到了广泛的应用.为了提高水泥搅拌法的使用效果,Bahar 等^[2]研究了水泥土中不同含水率对水泥强度的影响,周丽萍等^[3]探讨了内蒙古河套地区粉质黏土的水泥土力学性能,宫必宁等^[4]对水泥土搅拌桩及其复合地基的承载力^[5-8]、变形以及工程设计和应用进行了研究^[9-13].

笔者针对长江三角洲地区粉质黏土,进行了室内多因素影响下水泥土的配比试验,对不同养护时间、不同水泥种类以及不同水泥掺入比的水泥土试件的力学性能进行了研究.

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

原土取自上海黄浦江沿岸 1 km 处地表下约 5 m 深处的淤泥质粉质黏土.该层土在天然状态下呈塑状并具高压缩性,工程物理力学性质差,是工程建设中需加固处理的淤泥质粉质黏土.土样的基本物理力学指标如下:含水率 42.3%,密度 1.62 g/cm³,孔隙比 1.2,塑限 39.2%,液限 23.6%,塑性指数 15.4,液性指数 1.1,压缩模量 3.4 MPa.土样从现场采集后,为保持含水率,密封保存并尽快进行室内试验.试验采用的水泥分别为膨胀水泥、P.S.32.5 矿渣硅酸盐水泥、P.O.42.5 普通硅酸盐水泥和 P.O.52.5 普通硅酸盐水泥.

1.2 试验方法

由于目前没有水泥土的试验规程或方法,不同研究人员采用了不同的试验方法^[5-6],笔者根据水泥土力学性能,参考 SL352《水工混凝土试验规程》和 GB/T50123—2002《土工试验方法标准》进行水泥土试验.水泥土试块的制作采用人工搅拌、人工振捣方式,将搅拌好的水泥土装入 7.07 cm × 7.07 cm × 7.07 cm 的标准立方体试模中制成试块,成型 1 d 后放入混凝土试块标准养护室中养护.为了研究水泥掺入量对水泥土力学性能的影响,试验采用了 4 组掺入比,分别为 0.10、0.15、0.20 和 0.25.试件在养护到相应龄期后进行无侧限抗压试验,取 3 个试样的平均值作为该小组试样的无侧限抗压强度值.试样的测得值与平均值之差超过平均值的 ± 15% 时,则该试样的测得值无效,按余下试样的测得值计算平均值.如 1 组试样的样品不足 2 个,则该组试样结果无效,重做直至满足要求.试验采用应变控制方法,加载速率为上升时段 0.2 mm/min,下降时段逐步增至 1 mm/min.

收稿日期:2010-02-22

基金项目:国家自然科学基金(50808066) 江苏省建筑业科研项目(JGZD2009-15)

作者简介:徐立胜(1962—),男,上海人,高级工程师,硕士,主要从事建筑施工理论及方法研究. E-mail: 13918207222@139.com

2 试验结果及分析

2.1 水泥掺入比对水泥土抗压强度的影响

选取工程中最常用的 P.O.42.5 普通硅酸盐水泥进行室内试验研究,水泥掺入比对水泥土抗压强度影响的试验结果见图 1.由图 1 可以看出,水泥土的强度随着水泥掺入比的增加而增大,当水泥掺入比大于 0.10 时,强度增长速率增加,当水泥掺入比大于 0.20 时,水泥土的抗压强度仍持续增加.因为实际工程需综合考虑技术指标和经济性能,所以选用 0.20 的水泥掺入比进行后续研究.

2.2 水泥种类对水泥土抗压强度的影响

选取标准水泥掺入比 0.20 来研究不同水泥种类对水泥土抗压强度的影响.水泥土试件的抗压强度见图 2.从图 2 可以看出,由于各种水泥的矿物成分不同,水泥土的抗压强度也不同,所以水泥的种类对水泥土的力

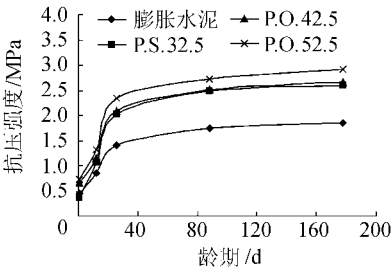


图 2 4 种水泥土抗压强度曲线

Fig. 2 Curves of compressive strength of four types of cement soil

2.3 养护龄期与水泥土抗压强度的关系

一般认为,研究龄期对水泥土力学性能的影响需考虑 90 d 的抗压强度,因为 JGJ79—2002《建筑地基处理技术规范》规定,水泥土的标准强度取龄期为 90 d 的强度.水泥土抗压强度的变化规律是随着龄期的增长而增大的,体现为随龄期的非线性增长过程.为了真实反映水泥土材料的实际工程环境,进行了龄期最长达 180 d 的强度试验.从图 3 可以发现,当水泥掺入比增加时,对水泥土早期强度的增加影响较小,而对后期强度的增加产生较大的作用.从图 2 可以看出 4 种水泥土的抗压强度增加速度经历了慢—快—慢的过程,7 d 龄期内抗压强度增加不多,7~28 d 龄期内抗压强度增加明显,而 90 d 龄期后抗压强度增加速度较为缓慢.龄期 14 d 的抗压强度大约为龄期 28 d 抗压强度的 1/2,龄期 90 d 抗压强度的 1/3.龄期 180 d 与 90 d 时的抗压强度相差不大.

从图 2 和图 3 还可以看出:(a)不考虑水泥种类和水泥掺入比

的情况下,水泥土抗压强度随龄期的增长而增加,水泥土前期抗压强度增加速度较慢,中期抗压强度增加速度较快,而后期抗压强度增加速度较缓慢;(b)对于不同的水泥种类,水泥土抗压强度随龄期增加速度不同,但达到相对较高抗压强度的龄期基本相同,需要 90 d 龄期,因此现行水泥土抗压强度均采用 90 d 的抗压强度是合理的;(c)对于水泥土早期抗压强度,水泥掺入比的调整对于抗压强度的提高效果最优,本文选用的 P.O.42.5 普通硅酸盐水泥在 0.10 和 0.20 水泥掺入比情况下 14 d 龄期时抗压强度最大相差 1 倍,比变动水泥种类更为有效.

3 结 论

a. 水泥土的抗压强度随龄期增长而提高,并且具有较好的相关性,可以用早期强度预测最终强度.

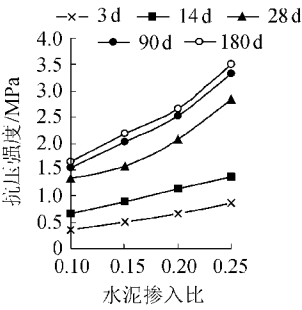


图 1 水泥掺入比对水泥土抗压强度的影响曲线

Fig. 1 Curves of influences of mixing ratio of cement on compressive strength of cement soil

学性能影响很大.从图 2 可以看出 4 种水泥土中 P.O.52.5 普通硅酸盐水泥土强度最大,膨胀水泥土各时期强度均较小,其他 2 种水泥土性能相当.P.S.32.5 矿渣硅酸盐水泥与 P.O.42.5 普通硅酸盐水泥相比,虽然水泥强度较低,但两者水泥土的抗压强度相当,说明同样条件下矿渣水泥土比硅酸盐水泥土的强度高,水泥的矿物成分对水泥土的力学性能影响很大.普通硅酸盐水泥抗压强度比其他 3 种早期抗压强度基本上处于同一水平上的水泥土抗压强度大 1 倍左右,这说明普通硅酸盐水泥土早期强度增长较快.矿渣硅酸盐水泥后期强度增长明显较其他水泥土快,抗硫酸盐水泥土与普通硅酸盐水泥土后期强度增长都是比较慢的.本文结论与文献[7]研究结果一致.

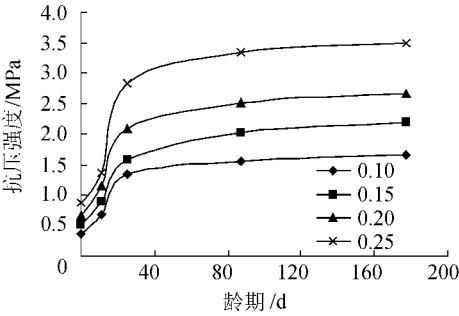


图 3 P.O.42.5 普通硅酸盐水泥在不同水泥掺入比时的抗压强度曲线

Fig. 3 Curves of compressive strength of ordinary portland cement P.O. 42.5 with different mixing ratios of cement

b. 水泥土力学性能的影响因素很多,水泥种类、水泥掺入比以及养护龄期是影响水泥土抗压强度的主要因素。笔者通过试验建立的不同水泥标号、不同水泥掺入比和不同龄期水泥土抗压强度的关系,对工程应用具有重要参考价值。

c. 如果不考虑盐类腐蚀、体积安定性等方面的情况以及一些特殊要求,矿渣硅酸盐水泥最适合用来成型水泥土加固软土地基,因为用矿渣硅酸盐水泥不仅强度高,而且符合经济性要求。选择水泥掺入比、水泥标号并非越高越好,必须考虑经济因素,要以最小代价得到最理想工程效果为目标。

参考文献:

- [1] JGJ79—2002 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] BAHAR R, BENAZZOUQ M, KENAI S. Performance of compacted cement-stabilized soil[J]. *Cement & Concrete Composites*, 2004, 26(7): 811-820.
- [3] 周丽萍, 申向东. 水泥土力学性能的试验研究[J]. *硅酸盐通报*, 2009, 28(2): 359-365. (ZHOU Li-ping, SHEN Xiang-dong. Study on mechanical behaviors of soil cement[J]. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2009, 28(2): 359-365. (in Chinese))
- [4] 宫必宁, 李淞泉. 软土地基水泥深层搅拌加固土物理力学特性研究[J]. *河海大学学报: 自然科学版*, 2000, 28(2): 101-105. (GONG Bi-ning, LI Song-quan. Study on physical and mechanical characteristics of deep jet mixing strengthening soil for soft foundations[J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2000, 28(2): 101-105. (in Chinese))
- [5] 曹名葆. 水泥土搅拌法处理地基[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [6] 于宁, 朱合华, 梁仁旺. 插钢筋水泥土力学性能的试验研究[J]. *土木工程学报*, 2004, 37(11): 78-84. (YU Ning, ZHU He-hua, LIANG Ren-wang. Experimental study on mechanical properties of reinforced cemented-soil[J]. *China Civil Engineering Journal*, 2004, 37(11): 78-84. (in Chinese))
- [7] 高亚成, 郑建青. 水泥土的室内试验研究[J]. *河海大学学报: 自然科学版*, 1999, 27(5): 103-106. (GAO Ya-cheng, ZHEN Jian-qing. Laboratory experimental research on cement soil[J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 1999, 27(5): 103-106. (in Chinese))
- [8] 周建民, 丰定祥, 郑宏. 深层搅拌桩复合地基的有限元分析[J]. *岩土力学*, 1997, 18(2): 44-50. (ZHOU Jian-min, FENG Ding-xiang, ZHENG Hong. Finite element analysis for compound foundation of deep mixing piles[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 1999, 18(2): 44-50. (in Chinese))
- [9] 陈廷, 彭建忠, 韩静云, 等. 水泥土强度的试件形状和尺寸效应试验研究[J]. *岩土工程学报*, 2002, 24(5): 580-583. (CHEN Ting, PENG Jian-zhong, HAN Jing-yun, et al. Experimental research on the shape and size effect of cement-stabilized soil specimen strength[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2002, 24(5): 580-583. (in Chinese))
- [10] 朱家祥, 吴继敏. 混凝土芯水泥土搅拌桩在基坑支护中的应用[J]. *河海大学学报: 自然科学版*, 2006, 34(2): 185-188. (ZHU Jia-xiang, WU Ji-min. Application of concrete-cored deep cement mixing piles to foundation pit supporting[J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2006, 34(2): 185-188. (in Chinese))
- [11] 贺为民. 深层搅拌桩复合地基及止水帷幕研究与应用[D]. 北京: 中国地质大学, 2008.
- [12] 董平, 秦然, 陈征宙. 混凝土芯水泥土搅拌桩的有限元研究[J]. *岩土力学*, 2003, 24(3): 344-348. (DONG Ping, QIN Ran, CHEN Zheng-zhou. FEM study of concrete-cored DCM pile[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2003, 24(3): 344-348. (in Chinese))
- [13] 成立芹. 刚芯水泥土搅拌桩的对比试验研究[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2003, 31(2): 149-152. (CHEN Li-qin. Test and study of the strong core cement mill pile[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition*, 2003, 31(2): 149-152. (in Chinese))

Laboratory tests on mixing of cement soil

XU Li-Sheng¹, CHEN Zhong¹, ZHANG Yan²

- (1. Zhongtian Construction Group Co., Ltd., Hangzhou 310008, China ;
2. College of Mechanics and Materials, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to study the characteristics and the main mechanical properties of soft soil improved by mixing cement, the laboratory tests on proportion ratios of cement soil under influences of various factors were performed. The influences of the curing time, type and mixing ratio of cement on the mechanical properties of the cement soil were quantitatively analyzed. The influences of various factors on the compressive strength of the cement soil were studied. The results of uniaxial compression tests show that the compressive strength of the cement soil increases with the increase of the curing time. The type, mixing ratio and curing time of cement are the main factors for the compressive strength of the cement soil.

Key words: cement soil; compressive strength; cement type; mixing ratio of cement; curing time