



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2016.02.022

姚贤华, 管俊峰, 谢超鹏, 等. 砂质粉土水泥土无侧限抗压强度试验[J]. 2016, 14(2): 125-130.

YAO Xian hua, GUAN Jun feng, XIE Chao peng, et al. Experimental research on unconfined compressive strength of sandy silt cement soil[J]. 2016, 14(2): 125-130. (in Chinese)

砂质粉土水泥土无侧限抗压强度试验

姚贤华^{1,2}, 管俊峰², 谢超鹏², 韩霄羽²

(1. 长安大学 公路学院, 西安 710064; 2. 华北水利水电大学 土木与交通学院, 郑州 450011)

摘要: 通过对36组水泥土室内配方试验的归纳与分析,进行了室内4种因素影响下水泥土的无侧限抗压强度试验,定量分析了水泥掺量、养护龄期、水泥品种和养护方式对水泥土无侧限抗压强度的影响,揭示了各种因素对水泥土无侧限抗压强度的影响规律。试验结果表明:水泥土无侧限抗压强度随着龄期的增长而提高;水泥掺量、水泥品种和养护龄期是影响水泥土无侧限抗压强度的主要因素;对于水泥掺量小于10%的水泥土,养护方式对水泥土强度影响较大。试验结果还表明:无侧限抗压强度试验中的应力应变关系随水泥掺量的变化以及龄期都有较明显的变化趋势,水泥土试样随龄期的增长和水泥掺量的增加均变得越硬越脆,龄期越长、水泥掺量越大,应力应变关系曲线在上升段越陡峭。最后,从扫描电镜(SEM)试验照片中可以直观的看出水泥土随着水泥掺量的增加强度的变化规律。

关键词: 水泥土; 无侧限抗压强度; 水泥掺量; 龄期; 养护方式; 水泥品种; 应力应变

中图分类号: TU 472 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)02-0125-06

Experimental research on unconfined compressive strength of sandy silt cement soil

YAO Xian hua^{1,2}, GUAN Jun feng², XIE Chao peng², HAN Xiaoyu²

(1. School of Highway Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Civil Engineering and Communication North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: Based on the generalization and analysis of laboratory experimental results from 36 groups of cement soil, the influences of various factors (e.g. cement content, curing time, types of cement, curing conditions) on the mechanical properties of unconfined compressive strength of cement were presented. Our results showed that the unconfined compressive strength of cement soil increases with the growing curing time, and it is deeply affected by the cement content, cement types and curing time. Greater effects of curing conditions were observed when the cement content was below 10%. Moreover it is shown that the stress strain response with the cement content and curing time of the cement soil. Increasement of curing time and cement content makes the cement soil harder and brittle; In addition, with the longer curing time, cement content is greater, and the stress strain relationship curve in the ascent is steep. Finally, change mechanism of the cement soil strength can be seen intuitively from the scanning electron microscope (SEM) photos with the increasing of cement content.

Key words: cement soil; unconfined compressive strength; cement content; curing time; curing conditions; types of cement; stress strain

水泥土是指土料、水泥和水混合而成的一种具有一定强度和稳定性的混合物,近年来,水泥土被广

收稿日期: 2015-04-14 修回日期: 2015-05-29 网络出版时间: 2016-04-14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1445.014.html>

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(51209094); 海岸和近海工程国家重点实验室基金(LP1211); 河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目(2013GGJS-084)

Fund: National Natural Science Foundation of China(51209094); Coastal and offshore State Key Laboratory Science Foundation of China(LP1211); Foundation for University Key Teacher by the Ministry of Education Henan Province(2013GGJS-084)

作者简介: 姚贤华(1976), 男, 河南襄城人, 实验师, 主要从事软土地基处理方面的研究。E-mail: yaoxianhua@ncwu.edu.cn

泛应用于软土改良加固、截渗、基坑支护以及注浆等各类工程之中,并取得了良好的经济和技术效益^[17]。对于水泥土在粉质黏土、粉土、黄土和黏性土中的研究较多^[12-14],但是在砂质粉土中水泥土的应用却是很少,因为土质不同对水泥土的无侧限抗压强度影响较大^[15]。因此,本文对砂质粉土进行了室内多因素影响下水泥土的无侧限抗压强度试验,对不同水泥掺入量、不同龄期、不同水泥品种和不同养护方式等多种因素对水泥土无侧限抗压强度的影响进行了研究,并且还研究了水泥土的应力应变全曲线关系和不同水泥掺量时的水泥土强度变化机理。

1 试验材料

1.1 土样

本次试验土样取自新郑市南水北调工程某地基处理段,该段设计全部采用夯实水泥土进行地基处理,该土样为砂质粉土,天然含水率为 21%,液限为 25.2%,塑限为 14.1%,颗粒级配见图 1,小于 0.075 mm 颗粒质量分数为 59.8%,黏粒含量(小于 0.005 mm 颗粒质量分数)为 8.9%。土样的衍射分析图见图 2。

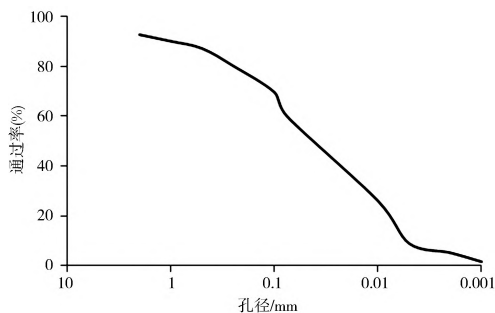


图 1 土颗粒级配曲线

Fig. 1 Distribution of particle sizes in soil

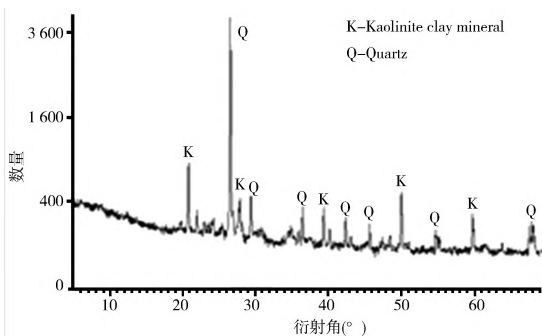


图 2 土样的衍射分析

Fig. 2 XRD analysis for the soil

1.2 水泥

试验水泥为普通硅酸盐水泥 P. O42.5, 水泥掺量分别为 5%、10%、15%、20%; 作对比试验用水泥为膨胀水泥, 复合硅酸盐水泥 P. C32.5, 普通硅酸盐

水泥 P. O42.5 和普通硅酸盐水泥 P. O52.5, 作对比试验用水泥掺量为 5%。

2 试验方法

2.1 击实试验

由于夯实水泥土在相同夯实功作用下,不同含水量的试件密度不同,无侧限抗压强度也不同。在土料为最佳含水量时,夯实水泥土密度能达到最大值,强度也最大。含水量对夯实水泥土的强度影响较大。因此,首先进行了击实试验,水泥掺入量分别为 5%、10%、15%、20%,寻求不同水泥掺量的条件下水泥土的最佳含水量,试验结果见图 3。

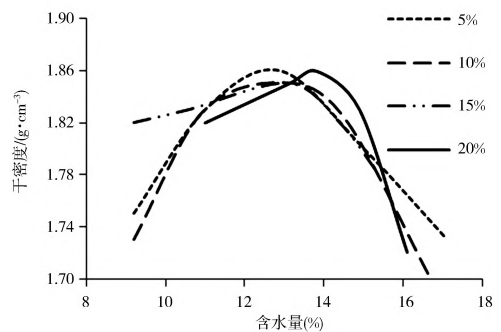


图 3 土干密度随含水量变化关系

Fig. 3 The relation of dry density and water content for the soil

试验结果表明,随着水泥掺量的增加,最佳含水量也在增大,但其变化幅度不大,一般在 12% ~ 14% 之间,因此,在施工时要控制水泥土的含水量,使其处于最佳含水量,以保证水泥土的干密度接近最大干密度。

2.2 无侧限抗压强度试验

试验土样采用烘干土样,水泥掺量为 α 。 α 计算公式如下:

$$\alpha = \frac{m_c}{m_s} \times 100\%$$

式中: m_c 为水泥的质量, m_s 为烘干土样的质量。

试验方法采用《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233-2011 相关规定,试验土样用 5 mm 筛筛去夹杂物,拌和均匀。各种材料用量按配合比准确称量,水泥土采用机械搅拌,人工振捣。根据击实试验所得的最大干密度和最佳含水量制作试件,试件制作为 70.7 mm × 70.7 mm × 70.7 mm 的标准立方体试模,成型后在温度(20 ± 5) °C 的环境条件下静置 48 h 后拆模。拆模后的试件分别进行标准养护和自然养护两种养护方式,养护龄期为 7 d、14 d、28 d、90 d。试件共成型立方体试块 36 组,每组 6 块,共 216 块。试验采用无侧限抗压强度确定试块强

度,比较各种因素对水泥土强度的影响。标准养护方式采用《水泥土配合比设计规程》JGJ/T 233-2011 相关规定。自然养护模拟现场施工环境条件,挖取深度 1 m 的坑,然后将试件埋入坑中,环境温度为 15 ℃~ 30 ℃,环境湿度为 20%~ 75%。

2.3 扫描电镜试验(SEM)

扫描电镜试验式样从养护龄期为 28 d 的破碎后水泥土试块中选取,选取水泥掺量分别为 5%、10%、15%、20% 的破碎后试块样品,对破碎后的试块样品在不作处理情况下做扫描电镜试验。

3 试验结果分析

3.1 水泥掺量

图 4 为试验所得的水泥土试块在标准养护方式下,不同水泥掺量与无侧限抗压强度的关系曲线。由图可以看出,在其他条件一定时,增大水泥土的水泥掺量会提高水泥土试块的无侧限抗压强度。并且,当水泥掺量小于 15% 时,随着水泥掺量的增大,水泥土抗压强度值也逐渐增大,基本上呈线性变化。而且水泥掺量越大,水泥土的后期强度就越大。但不同的土质,同种条件下,水泥土的强度峰值相差较大,如谢雷^[16]等研究的黄土状粉质黏土,水泥掺量为 20% 时,水泥土强度能达到 12 MPa 左右,并且随着水泥掺量的增大还有增大趋势,但本文研究的砂质粉土水泥土强度相对较低,最大值达到 7 MPa 左右,而淤泥质土强度更低,大约是 2 MPa 左右^[17]。

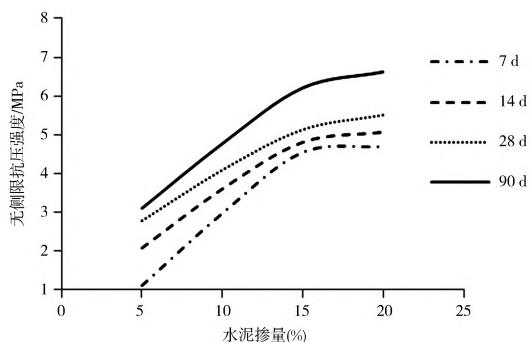


图 4 标准养护条件下不同水泥掺量与无侧限抗压强度关系
Fig. 4 The relation of different cement content and unconfined compressive strength under standard curing

另外,原状土掺加水泥后强度明显提高,但水泥掺加一定量后其强度提高的趋势将变缓。如水泥掺量从 5% 增加到 10% 时,28 d 和 90 d 的水泥土强度与 5% 水泥掺量相比分别提高了 48% 和 53%,而当水泥掺量从 10% 增加到 15% 时,28 d 和 90 d 的水泥土无侧限抗压强度与 10% 水泥掺量相比分别提高了 26% 和 30%。并且,当水泥掺量超过 15% 以后,水泥土的强度基本不变,因此,在砂质粉土地区,

水泥掺量控制在 15% 以内比较经济。

3.2 水泥品种

选取水泥掺量为 5% 来研究不同水泥品种对水泥土抗压强度的影响,水泥土的无侧限抗压强度与水泥品种关系曲线见图 5,由于各种水泥的矿物成分不同,水泥土无侧限抗压强度也不同。从图 5 可以看出:4 种水泥土中 P.O52.5 普通硅酸盐水泥土强度最大,膨胀水泥土各龄期强度均较小,其他 2 种水泥土无侧限抗压强度相当。P.C32.5 复合硅酸盐水泥与 P.O42.5 普通硅酸盐水泥相比,虽然水泥强度较低,但两者水泥土的无侧限抗压强度相当。因此,同样条件下复合硅酸盐水泥土比普通硅酸盐水泥土强度高,水泥的矿物成分对水泥土的无侧限抗压强度影响很大。

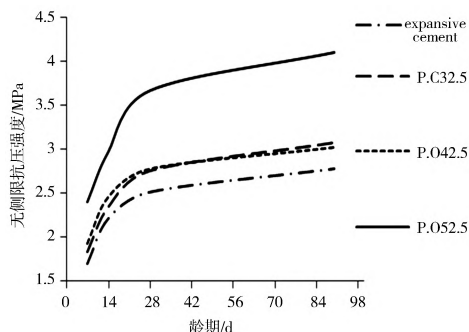


图 5 标准养护条件下不同水泥品种与无侧限抗压强度关系
Fig.5 The relation of different cement types and unconfined compressive strength under standard curing

3.3 养护龄期

大量的研究表明,水泥土的无侧限抗压强度随着龄期的增大而增大^[12]。对于本文采用的砂质粉土,由图 6 曲线可以看出:在自然养护方式下水泥土的无侧限抗压强度也随着养护龄期的增加而增加,并且前 28 d,无侧限抗压强度随着龄期的增大基本上呈线性变化,增大速度较快,特别是前 14 d,而 28 d 后增大趋势变缓。由试验结果可知,前 28 d 是水泥土增加的关键阶段,7 d 时水泥土强度是 90 d 时的 40%~ 70%,平均 55% 左右;而到 28 d 时,水泥土强度是 90 d 时的 82%~ 89%,平均 85% 左右。随着水泥掺量的增加,尤其是水泥掺量为 15% 和 20% 时,前期强度增长快于后期。因此,对于工期要求较紧的工程,可以用 28 d 强度为控制指标。

3.4 养护方式

从图 4 和图 6 可以看出,水泥土无侧限抗压强度在标准养护和自然养护方式下增长规律基本相同,无侧限抗压强度随着龄期的增大和水泥掺量的增加均表现出增大趋势。自然养护与标准养护之比均在 1.0 (图 7) 以上,尤其是水泥掺量为 5% 时,自

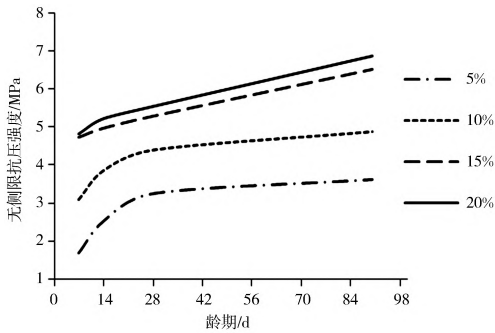


图 6 自然养护条件下水泥掺量与无侧限抗压强度关系
Fig. 6 The relation of different cement content and unconfined compressive strength under natural curing

然养护与标准养护之比在 1.2 以上。说明水泥掺量较低时, 养护方式对水泥土无侧限抗压强度影响较大。从图 7 可知, 随着水泥掺量的增大, 自然养护与标准养护无侧限抗压强度之比逐渐减小, 特别是水泥掺量为 10% 以上时, 两者之比基本相等。因此, 水泥掺量为 10% 以上时, 养护方式对水泥土无侧限抗压强度影响很小。

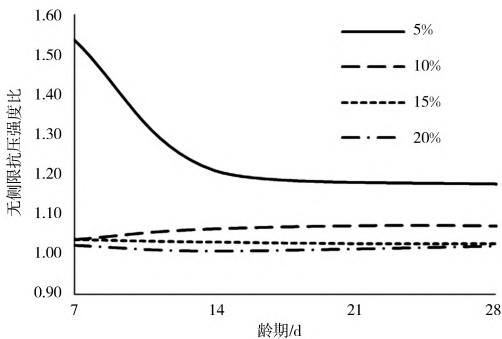


图 7 自然养护与标准养护下无侧限抗压强度之比
Fig. 7 The ratio of unconfined compressive strength between natural curing and standard curing

3.5 应力-应变关系

标准养护条件下, 养护龄期为 28 d 不同水泥掺量的水泥土受轴向应力作用时的应力-应变实测全曲线见图 8, 水泥掺量为 15% 时不同养护龄期试样的应力应变实测全曲线见图 9, 从图中可以看出各应力-应变全过程曲线大致可以分为 4 个阶段: 第 1 阶段为水泥土受压初始阶段, 应力-应变曲线接近一

条直线, 应力与应变关系基本符合虎克定律; 第 2 阶段为塑性上升阶段, 在接近应力峰值时, 曲线偏离直线, 应变随应力的增大而明显增大, 并很快达到峰值。并且从图 8 和图 9 还可以看出, 随着水泥掺量和龄期的增大, 曲线的初始直线段的斜率越来越大, 所达到的峰值也不断提高; 第 3 阶段为应力衰减阶段, 也就是破坏阶段, 此阶段的特点是在应变增加不是很大的情况下, 应力迅速衰减, 这也证明了水泥土在水泥掺入量提高的同时有向脆性发展的趋势^[18]; 第 4 阶段为残余强度阶段, 此时应力变化不大, 而应变逐渐增加, 试件产生了较大的塑性变形。当试件完全破坏时, 仍存在着残余应力和残余应变。

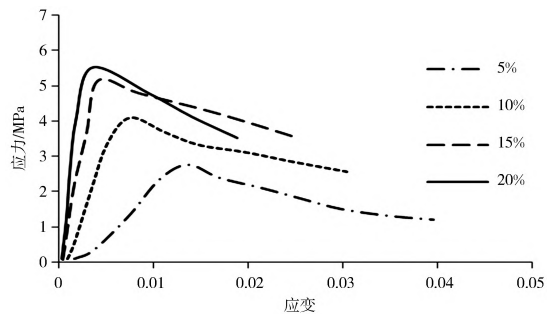


图 8 标准养护条件下不同水泥掺量水泥土应力应变关系
Fig. 8 The stress strain relationship of different cement content for cement soil under standard curing

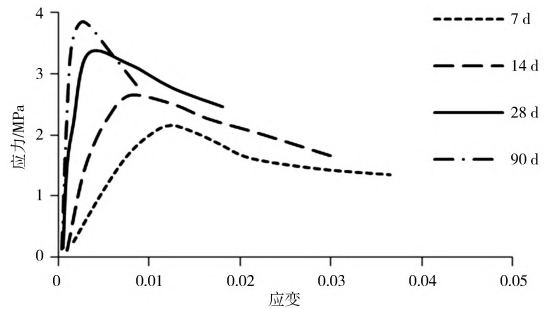


图 9 标准养护条件下不同养护龄期水泥土应力应变关系
Fig. 9 The stress strain relationship of different curing time for cement soil under standard curing

各阶段的峰值应力及对应的应变数值见表 1, 从表中可以看出, 峰值应力越大, 说明峰值强度越高, 破坏前的变形越小^[19]。

表 1 峰值应力 σ_p 和对应变值 ϵ_p
Tab. 1 Peak stress σ_p and Corresponding strain ϵ_p

参数	T = 28 d				α = 15%			
	α = 5%	α = 10%	α = 15%	α = 20%	T = 7 d	T = 14 d	T = 28 d	T = 90 d
σ_p	2.77	4.09	5.14	6.05	2.16	2.65	3.32	3.85
ϵ_p	0.013 6	0.007 5	0.004 1	0.003 5	0.012 3	0.008 6	0.003 2	0.002 8

3.6 水泥与砂土颗粒的作用机理

图 10- 图 13 分别为标准条件养护下未扰动砂

性水泥土块中水泥掺量为 5%、10%、15%、20%, 养护龄期均为 28 d 时的 SEM 照片, 从照片中可以看

到,水泥颗粒已发生水化水解反应,但是由于水泥掺量较低时,水泥土颗粒较小,并且没有很好的黏结,相对比较分散(见图10)。随着水泥掺量的增大,水泥颗粒增多,水泥水化后与土颗粒黏结形成较大的水泥石(见图13),并且黏结力更强,土颗粒之间的距离也逐渐减小。

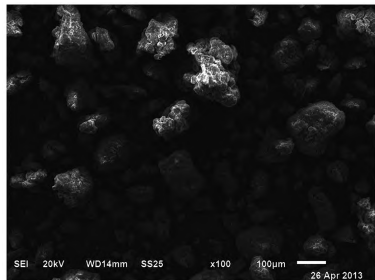


图10 水泥掺量为5%

Fig. 10 Cement content of 5%

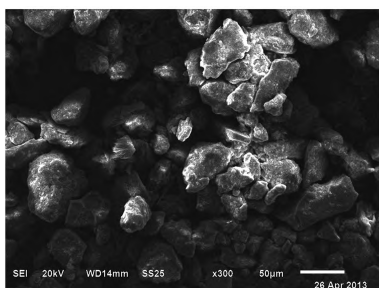


图11 水泥掺量为10%

Fig. 11 Cement content of 10%

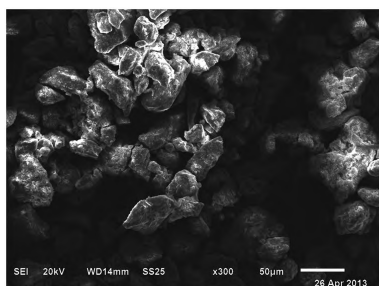


图12 水泥掺量为15%

Fig. 12 Cement content of 15%

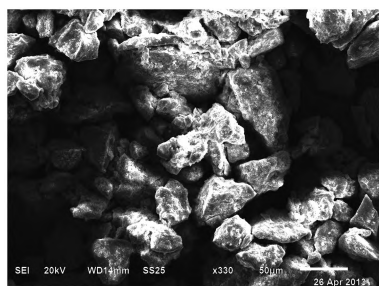


图13 水泥掺量为20%

Fig. 13 Cement content of 20%

无侧限抗压强度试验和SEM测试结果表明,夯实水泥土块强度随水泥掺量的增加而提高,其原因主要表现在以下方面。

(1) 水泥的水化水解作用。

水泥遇水后发生水化水解反应形成水化产物—水化硅酸钙和水化铝酸钙,将水泥、土料和水拌和后,水泥发生水化作用,刚生成的水化物能够很快溶于水,使水泥颗粒表面继续暴露于水分中,从而继续进行水解和水化作用直至反应终止。此时水分子虽然能够继续深入到水泥颗粒表面,与水泥矿物质发生反应,但新生产的水化物已经不能再溶解,而只能以细小分散状态的凝胶体析出,自身能够相互凝结核硬化而形成水泥石骨架。

(2) 水泥土的粒子交换作用和团粒化作用。

水泥水化作用析出的部分凝胶微粒可与周围土料中具有一定活性的黏粒发生粒子交换和团粒化作用,由图2可知,土料矿物碎屑主要以石英,高岭石为主,具有一定的活性,遇水后形成硅酸胶体微粒,这些胶体微粒的表面带有负电荷,从而会吸附溶液中带正电的钠离子和钾离子,形成双电层。他们能和水泥水解和水化反应生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等凝胶粒子在溶液中析出的钙离子继续进行当量吸附交换,使凝胶粒子的双电层变薄,于是原来较小的水泥土颗粒形成较大的团粒。而水泥水化反应生成的凝胶粒子的比表面积比原水泥颗粒约大1 000倍,因而产生很大的表面能,具有很强的吸附活性,能使较大的土团粒进一步结合起来,形成水泥土的团粒结构^[20]。坚固的结构联结,使水泥土的强度得以大大提高。

4 结论

通过对36组水泥土试块进行无侧限抗压强度试验,可以得出以下结论。

(1) 水泥土无侧限抗压强度随着水泥掺量的增大而逐渐增大,但水泥掺量增加一定量后其强度提高的趋势将变缓。因此,在砂质粉土地区,水泥掺量控制在15%以内比较经济。

(2) 随着龄期的增长,水泥土无侧限抗压强度逐渐增加,并且基本上呈线性变化,尤其前28 d是水泥土强度增长的关键阶段。

(3) 对水泥掺量小于10%的水泥土,养护方式(标准养护和自然养护)的变化对水泥土的无侧限抗压强度的影响较大。

(4) 水泥品种的变化对水泥土无侧限抗压强度有一定的影响。

(5) 无侧限抗压强度试验中的应力应变关系随水泥掺量的变化以及龄期都有较明显的变化趋势。水泥土试样随龄期的增长和水泥掺量的增加,均变

得越硬越脆, 龄期越长、水泥掺量越大, 应力应变关系曲线在上升段越陡峭。

(6) 从 SEM 照片中可以直观的看到水泥土随水泥掺量的增加无侧限抗压强度变化规律。

参考文献(References):

- [1] 戴金水. 水泥土搅拌桩在海堤淤泥质地基加固中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2005, 4(2): 52-55. (DAI Jinshui Application of cement & soil stirring pile in strengthening the silty foundation on seashore levee[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 4(2): 52-55. (in Chinese))
- [2] 李巍, 吴杰, 宋新江. 桩心不在一条直线上水泥土截渗墙最小厚度测定[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(4): 142-144. (LI Wei, WU Jie, SONG Xinjiang. Method for testing minimum thickness of cement soil cut-off wall with pile center on non-straight line[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(4): 142-144. (in Chinese))
- [3] HEN Hui'e, ZHANG Jun, YAN Huan. Quantitative evaluation of microstructure characteristics of cement consolidated soil[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2013: 233-236.
- [4] 姚贤华, 裴松伟, 赵顺波. 高压旋喷桩复合地基承载特性的有限元分析[J]. 华北水利水电学院学报, 2009, 2(1): 93-95. (YAO Xianhua, PEI Songwei, ZHAO Shunbo. Finite element analysis of load-carrying capacity with composite foundation of high pressure rotary grouting pile[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2009, 2(1): 93-95. (in Chinese))
- [5] 赵顺波, 姚贤华, 裴松伟, 等. 回填料区深层搅拌桩和高压旋喷桩复合地基的静承载力性能[J]. 中国港湾建设, 2008(1): 16-20. (ZHAO Shunbo, YAO Xianhua, PEI Songwei. Study on static bearing capacity of composite foundation with deep mixing pile and high pressure rotary grouting pile in backfill ground[J]. China Harbour Engineering, 2008(1): 16-20. (in Chinese))
- [6] 徐超, 董天林, 叶观宝. 水泥土搅拌桩法在连云港海相软土地基中的应用[J]. 岩土力学, 2006, 27(3): 495-498. (XU Chao, DONG Tianlin, YE Guanbao. Application of cement deep mixing method in Lianyungang marine soft soil foundation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(3): 495-498. (in Chinese))
- [7] 郭忠贤, 霍达, 张明聚. 夯实水泥土桩复合地基承载特性分析[J]. 北京工业大学学报, 2009, 8(8): 1045-1053. (GUO Zhongxian, HUO Da, ZHANG Mingju. (Bearing behavior of compacted cement soil pile composite foundation[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2009, 8(8): 1045-1053. (in Chinese))
- [8] S Horpibulsuk, N Miura, S Nagaraj. Clay water/cement ratio & density for cement admixed soft clays[J]. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 2005, 131(2): 187-192.
- [9] N C Consoli, G V Rotta, P D M Prietto. Influence of curing under stress on the triaxial response of cemented soils Technical note[J]. Geotechnique, 2000, 50(1): 99-105.
- [10] N Miura, S Horpibulsuk, T S Nagaraj. Engineering behavior of cement stabilized clay at high water content[J]. Soil and Foundations, 2001, 41(5): 33-45.
- [11] G A Miller, S Azad. Influence of soil type on stabilization with cement kiln dust[J]. Construction and Building Materials, 2000, 14: 89-97.
- [12] 梁仁旺, 张明, 白晓红. 水泥土的力学性能试验研究[J]. 岩土力学, 2001, 6(2): 211-213. (LIANG Renwang, ZHANG Ming, BAI Xiaohong. Analysis of laboratory test results of cemented soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2001, 6(2): 211-213. (in Chinese))
- [13] D Liu, J P Carter, S Horpibulsuk, et al. Modelling the behaviour of cemented clay[J]. Ground Modification and Seismic Mitigation. 2006, 152: 65-72.
- [14] 朱天宇. 水泥土力学性能的试验分析[J]. 建筑材料学报, 2006, 6(3): 291-296. (ZHU Dayu. Test analysis on mechanical properties of soil cement mixture[J]. Journal of Building Materials, 2006, 6(3): 291-296. (in Chinese))
- [15] 欧阳克连, 宁宝宽. 水泥土强度影响因素的研究[J]. 中外公路, 2009, 8(4): 189-191. (OUYANG Keli'an, NING Baokuan. Research on control factors of cement soil[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2009, 8(4): 189-191. (in Chinese))
- [16] 谢镭, 焦燊烽, 于英霞, 等. 夯实水泥土受力性能试验研究及工程应用[J]. 新型建筑材料, 2009(6): 23-25. (XIE Lei, JIAO Yufeng, YU Yingxia. Experimental research on mechanical properties of compacted soil cement and engineering application[J]. New Building Materials, 2009(6): 23-25. (in Chinese))
- [17] 嵇晓雷, 朱逢斌. 水泥土无侧限抗压强度室内试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2011, 10(5): 146-148. (JI Xiaolei, ZHU Fengbin. Laboratory experimental study of the unconfined compressive strength of soil cement[J]. Sichuan Building Science, 2011, 10(5): 146-148. (in Chinese))
- [18] Jaroslav Feda. Behaviour of a cemented clay[J]. Canadian geotech. J., 1995, 32: 899-904.
- [19] 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, 4(2): 359-365. (ZHOU Liping, SHEN Xiangdong. Study on mechanical behaviors of soil cement[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2009, 4(2): 359-365. (in Chinese))
- [20] 汪海欧, 洪明强, 谢镭. 夯实水泥土强度影响因素的试验研究[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2010, 4(2): 263-266. (WANG Haiou, HONG Mingqiang, XIE lei. Experimental study on influence factors of compacted cement soil strength[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2010, 4(2): 263-266. (in Chinese))