

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.01.006

水泥土桩应力测试方法与试验

吴有平^{1,2}, 刘杰¹, 何杰¹

(1. 湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007; 2. 湖南省建筑工程集团总公司, 湖南 长沙 410004)

摘要: 通过水泥土强度试验及对埋设4种不同的应变测试载体水泥土试样在无侧限抗压时的应变测定, 建立有侧限应力时水泥土应力与应变测试块应变的关系, 得到测试水泥土桩桩身应力测试方法。对比试验结果表明: PVC管应变测试块所得数据离散小, 对龄期的敏感性小, 且7d龄期应变与28d龄期应变随水泥土应力增加而趋接近, 可以应用于桩身应力测试。

关键词: 水泥土桩; 应变测试块; 应力测试

中图分类号: TU411.99

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)01-0023-04

On the Stress Testing of Cement-Soil Piles

Wu Youping^{1,2}, Liu Jie¹, He Jie¹

(1. School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Hunan Construction Engineering Group Corporation, Changsha 410004, China)

Abstract: On the basis of the experiments of cement-soil strength and the strain determination under unconfined compression for the cement-soil samples which laying four different strain test blocks, sets up the relations between the cement-soil stress and the test block strain at a lateral restraint stress, and obtains the stress test method of cement-soil piles. The results of comparative tests show that: the test block of PVC pipe has a minimum deviation and is low sensitive to the cement-soil age, the strain of age 7 days and that of 28 days are closer with the increment of the cement-soil stress, and it can be applied to the stress test of cement-soil piles.

Keywords: cement-soil pile; strain test block; stress test

0 前言

水泥土桩是用于加固饱和软黏土地基的一种桩基结构。它利用水泥作为固化剂, 通过特制的搅拌机械在地基深处将软土和固化剂强制搅拌, 利用固化剂和软土之间所产生的一系列物理化学反应, 使软土硬结成具有整体性、水稳定性和一定强度的优质地基; 或机械成孔后在其中分层夯实掺有固化剂的混合土而成。为研究其作用特性, 测试桩身应力

显得尤为重要, 对此不少学者做了大量的研究。

陆贻杰和周国钧^[1]采用在水泥土样侧壁贴应变片的方法, 得到了砂箱中水泥土样桩身应力沿深度的传递曲线。段继伟等人^[2]在聚丙烯管管壁中央贴上应变片, 做成“传感器”来测定搅拌桩桩身应力。王遇国等人^[3]在广州大学城对7根试验桩现场埋设钢筋应力计和滑动测微计进行了应力应变测试。郭忠贤等人^[4]以建筑用PVC管为载体, 在单桩桩身中埋设电阻片式应变传感器来测定桩身应力。陈柏全

收稿日期: 2011-10-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51018740, 51108176)

作者简介: 吴有平(1979-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学硕士生, 湖南省建筑工程集团总公司一级建造师, 主要研究方向为地基处理, E-mail: wwuyun@163.com

等人^[5]对钢筋应力计法、塑料管式“传感器”法、土压力计法等6种测定桩身应力的方法做了探讨。

本文结合水泥石试块的抗压试验结果,对水泥石桩的应力测试方法作了一些有益的探索。通过建立水泥石无侧限抗压强度与有侧限应力时强度的关系、及无侧限强度与应变测试块应变的关系,采用4种不同的测试载体对水泥石桩的应力进行了测试。

1 试验概况

1.1 试验原理

水泥石桩在受荷载作用时,将受到桩周土的侧向约束,此时水泥石桩处于侧限应力状态。为精确测定桩体的应力,首先要探寻水泥石在侧限应力状态时的应力测试方法。文献^[1-5]通过测量应变,再由其载体模量计算出应力。本文采用的测试方法为间接测试法,通过建立应变测试块的应变与水泥石无侧限时应力的关系,结合水泥石无侧限应力与有侧限应力的关系来计算桩体应力。

1) 水泥石无侧限应力与有侧限应力的关系。两者关系可通过相应模量换算得到。

无侧限应力的计算公式为

$$\sigma_0 = E_0 \varepsilon,$$

式中: σ_0 为无侧限时应力,单位 kPa;

E_0 为变形模量,单位 MPa;

ε 为应变。

有侧限应力时的应力计算公式为

$$\sigma_s = E_s \varepsilon,$$

式中: σ_s 为有侧限时应力,单位 kPa;

E_s 为压缩模量,单位 MPa。

应变可通过测定抗压试验时的压缩量计算得到,则在应变相同的情况下,两者应力关系为

$$\sigma_s = \frac{\sigma_0 E_s}{E_0} = \frac{\sigma_0}{E_0/E_s} \quad (1)$$

2) 应力应变数据统计计算公式。对每组测试数据按公式(2)进行计算。

$$\begin{cases} \phi_m = \sum_{i=1}^n \phi_i / n, \\ \sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \phi_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \phi_i \right)^2 / n \right]}, \\ \delta = \sigma_f / \phi_m. \end{cases} \quad (2)$$

式中: ϕ_i 为统计参数(应力或应变);

ϕ_m 为统计参数的平均值;

σ_f 为统计参数的标准差;

δ 为变异系数。

1.2 试验材料及试样制作

试样制作用材料:制作水泥石试样采用普通硅酸盐 325 水泥,水泥掺量为 10%;试样用土与模型试验填土均为黏性土,其特性指标见表 1。

表 1 黏土的物理参数

Table 1 Mechanical parameters of materials

液限	塑限	内摩擦角 / (°)	黏聚力 / kPa	重度 / (kN · m ⁻³)	含水率 /%
47.0	29.9	5.6	10.8	17.6	28.4

应力-应变测试载体:1) PVC 管(直径 16 mm,长度 30 mm,厚度 1.2 mm)外贴应变片;2) 橡胶软管(直径 20 mm,长度 30 mm,厚度 2.0 mm)外贴应变片;3) BX-5 型微型土压力盒;4) 泡沫板(长度 30 mm,宽度 15 mm,厚度 2.0 mm)贴应变片。

应变片均采用 BX120-10AA 型,且采用 AB 胶防水。为模拟水泥石桩的工作性状,在管(板)外壁涂抹薄层 AB 胶与标准砂的混合物。

试样制作:水泥石混合料拌合均匀后,分别填入 $\Phi 39.1 \text{ mm} \times 79.8 \text{ mm}$ 圆柱体试模和 $70.7 \text{ mm} \times 70.7 \text{ mm} \times 70.7 \text{ mm}$ 立方体试模,分层夯实至额定高度。立方体水泥石试样在制作过程中,需埋设好应变测试块和土压力盒,并编号记录。试样采用标准条件养护,达到试验龄期后分别进行静力三轴剪切试验和无侧限抗压强度试验。

1.3 试验方法与测试仪器

将制作的 12 个圆柱体水泥石试样用于做静力三轴剪切试验,其中 6 个用于无侧限抗压强度试验(即围压取 0),6 个用于常规三轴压缩试验(conventional triaxial compression, CTC),围压选择 50 kPa。

将制作的 48 个立方体水泥石试样用于无侧限抗压强度试验,试样分成 8 组,每组 6 个,4 组用于 7 天强度测试,4 组用于 28 天强度测试。

测试用主要仪器有:WA-1000C 型微机控制电液伺服万能试验机,深圳市新三思计量技术有限公司生产;DH3815N 型高速静态应变测试分析仪,江苏东华测试技术有限公司生产;SJ-1A 型三轴剪力仪,南京河海南自水电自动化有限公司生产。

2 试验结果与分析

2.1 试验统计结果

1) 有无侧限应力的换算系数。将 2 组(12 个)圆柱体水泥石试样三轴试验统计结果代入公式 $\sigma_0 = E_0 \varepsilon$ (或 $\sigma_s = E_s \varepsilon$) 可计算出 E_0 和 E_s (因公式中 $\sigma_0, \sigma_s, \varepsilon$ 可由

三轴试验直接测量得到), 得其比值为

$$E_0/E_s = 0.48\sim 0.55,$$

选取其中值 0.52 作为换算系数, 则有

$$\sigma_s = \sigma_0/0.52. \quad (3)$$

实际应用时, 可通过测量水泥土桩中测试载体的应变, 由公式 $\sigma_0 = E_0 \varepsilon$ 计算出无侧限时的应力, 再由换算式 (3) 得到水泥土桩的应力值。

2) 变异系数的统计计算。对 8 组试样前 6 级荷载作用下的应变 (土压力) 按式 (2) 进行了计算, 得变异系数的统计结果如表 2 所示。

表2 变异系数统计表

Table 2 Statistical table of deviation coefficients

时间/d	应力-应变测试载体			
	PVC管	软管	土压力盒	泡沫板
7	0.16	0.12	0.22	0.65
28	0.19	0.36	0.18	0.47

从表 2 可看出: 在 7 d 龄期时, 软管制作的应变测试块测得的应变比较稳定, 变异系数小, 泡沫板制作的应力块最不稳定, 变异系数最大; 28 d 龄期测试时, PVC 管应变测试块和软管应变测试块测得的应力离散程度增加, 而土压力盒测定的应力和泡沫板应力块测定的应变离散性减小; PVC 管应力块和土压力盒测试数据离差较小。

2.2 不同龄期水泥土应力-应变的关系

1) 7 d 龄期应力-应变关系。将 7 d 强度试验结果代入式 (2), 可得水泥土的应力 (换算成有侧限应力状态) 与应变 (或土压力, 因土压力盒测出的应变换算成应力的系数与压力盒本身有关且各不相同, 故统一采用换算后土压力, 下同) 关系曲线如图 2 所示。

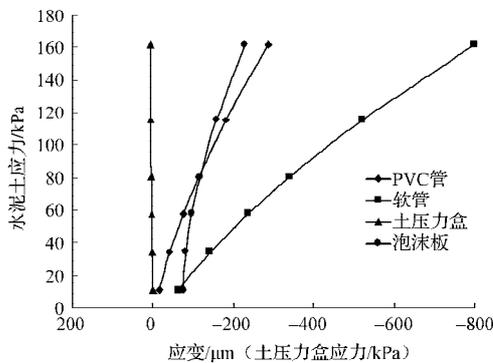


图2 7 d龄期水泥土应力-应变 (土压力) 曲线

Fig. 2 Curves of cement-soil stress and strain (stress of earth pressure cell) with age 7 days

由图 2 可以看出: 泡沫板应力测试块的应变与水泥土应力成非线性关系, 其他 3 种应力测试块所得关

系成线性关系。土压力盒测试出的应力与水泥土应力之比非常小, 即由土压力盒得到应力需乘以一个较大换算系数才是水泥土实际应力。软管应变测试块测得的应变与水泥土应力之比比较大。

2) 28 d 龄期应力-应变关系。将 28 d 强度试验结果代入式 (2), 可得水泥土 28 d 龄期加载至 1 800 kPa 时的应力 (换算成有侧限应力状态) 与应变 (土压力) 关系曲线如图 3 所示。

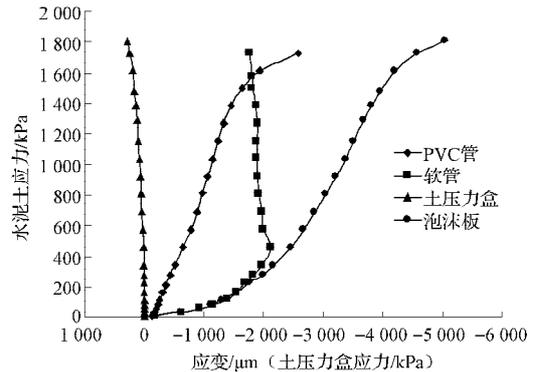


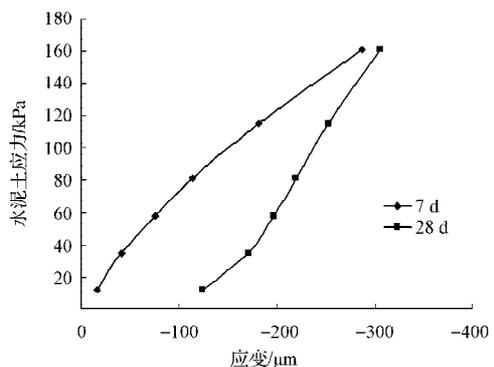
图3 28 d龄期水泥土应力-应变 (土压力) 曲线

Fig. 3 Curves of cement-soil stress and strain (stress of earth pressure cell) with age 28 days

从图 3 可以看出: 土压力盒测试出的应力与水泥土试样应力之比还是较小。软管应变测试块和泡沫板应变测试块测得的数据较为接近, 土压力在水泥土应力小于 500 kPa 时其比值较小, 随后开始增加并表现为非线性; 软管应变测试块在应力大于 500 kPa 时应变突然变小, 而后越来越小; 泡沫板应变测试块在水泥土应力小 1 500 kPa 时为凹曲线, 随后上凸趋缓。PVC 管应变测试块在应力小于 1 500 kPa 时, 应力与应变大致成线性关系。

2.3 不同测试载体与水泥土应力-应变的关系

为了探讨测试载体的适用性, 对采用不同测试载体所测得的水泥土不同龄期的应力-应变结果进行了比较, 如图 4 所示。



a) PVC管应变测试块

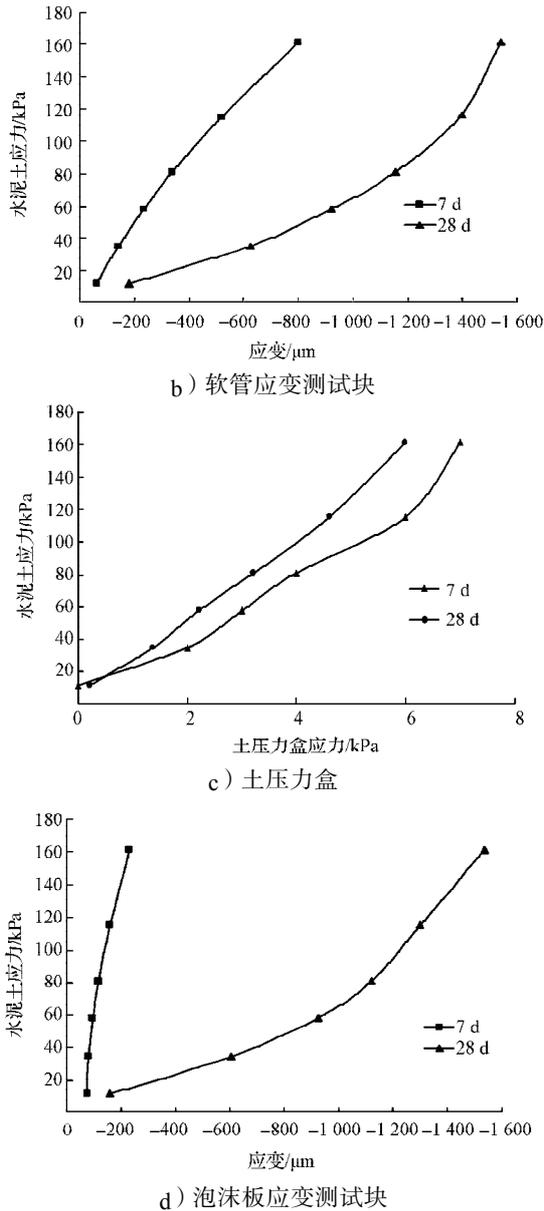


图4 不同龄期应力-应变测试结果

Fig. 4 Test result of the different blocks between 7 days and 28 days

从图4可看出:土压力盒测试应力时,随混凝土应力增加应力差较小,且在同一级应力下,28 d龄期测试的应力要比7 d龄期测试的应力小,即对龄期敏感性小;PVC管应变测试块测试应力时,应变差较小,且随混凝土应力的增加而减小,在同级应力下,28 d龄期应变大于7 d龄期应变,对龄期的敏感性次之;软管应变测试块与泡沫板应变测试块测试的应变差较大,且都随混凝土应力的增加而显著增大。

3 结论

1) 在采用PVC管应变测试块、橡胶软管应变测

试块、微型应变式土压力盒、泡沫板应变测试块进行混凝土应力测试时,PVC管应变测试块和软管应变测试块所测得的7 d龄期应变变异系数较小,PVC管应变测试块和土压力盒所测得的28 d龄期的应变(土压力)变异系数较小。

2) 28 d龄期时,土压力盒测得的数据最小,软管应变测试块和泡沫板应变测试块测得的应变表现为非线性。

3) 土压力盒和PVC管应变测试块所得数据对龄期的敏感性较小,且随混凝土应力增加时,应变差不大,特别是采用PVC管应变测试块测试时,随着混凝土应力的增加,不同龄期的应变基本接近。因而可在混凝土桩身应力测试中采用PVC管应变测试块进行测试。

参考文献:

- [1] 陆贻杰,周国钧. 搅拌桩复合地基模型试验及三维有限元分析[J]. 岩土工程学报, 1989, 11(5): 86-91.
Lu Yijie, Zhou Guojun. 3-D Finite Analysis and Model Test of Composite Foundation with Cement Treated Pile [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1989, 11(5): 86-91.
- [2] 段继伟,龚晓南,曾国熙. 水泥搅拌桩的荷载传递规律[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(4): 1-7.
Duan Jiwei, Gong Xiaonan, Zeng Guoxi. Load Transfer Behavior of Cement Treated Soil Column [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1994, 16(4): 1-7.
- [3] 王遇国,张季超. 单桩应力应变拟合曲线的推求与应用[J]. 路基工程, 2009(6): 67-69.
Wang Yuguo, Zhang Jichao. Calculation and Application of Stress-Strain Fitting Curve of Single Pile [J]. Subgrade Engineering, 2009(6): 67-69.
- [4] 郭忠贤,杨志红,王占雷. 夯实水泥土桩荷载传递规律的试验研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(11): 2020-2024.
Guo Zhongxian, Yang Zhihong, Wang Zhanlei. Experimental Study of Load Transfer Behavior of Rammed Soil-Cement Piles [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(11): 2020-2024.
- [5] 陈柏全,袁聚云,董建国. 搅拌桩桩身应力应变测试方法探讨[J]. 岩土工程界, 2009, 12(4): 54-57.
Chen Baiquan, Yuan Juyun, Dong Jianguo. The Stress-Strain Testing Methods for Cement Treated Pile Shaft [J]. Geotechnical Engineering World, 2009, 12(4): 54-57.

(责任编辑:李玉珍)