

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.05.004

混凝土填芯管桩水平承载性状影响的试验研究

王如横, 杨庆光, 田捷

(湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 针对通过加大桩径, 提高桩周上部土体的硬度, 提高桩身混凝土强度等方法来提高管桩的水平承载能力, 会大大提高工程成本的问题。研究采用不同强度混凝土填芯及填芯截面来提高管桩水平承载性能。研究结果表明: 混凝土填芯可提高管桩水平承载能力, 填芯强度越高, 管桩水平荷载作用下桩顶位移呈降低趋势, 管桩水平承载力特征值呈增高趋势。

关键词: 填芯管桩; 填芯强度; 水平位移; 水平荷载

中图分类号: TU473.1+3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)05-0017-05

An Experimental Study on Horizontal Bearing Capacity of Filled Core Pipe Piles

WANG Ruheng, YANG Qingguang, TIAN Jie

(School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In view of the greatly increased project cost as a result of increasing the pile diameter as well as the concrete intensity to strengthen the horizontal bearing capacity of the tubular pile, an experimental study has been made on the improvement of its horizontal bearing performance by using different concrete filling cores and core sections of different degrees of intensity. The experimental results show that the concrete filled cores help to improve the level of pile bearing capacity, with the core strength increasingly higher, the pile top displacement of the pipe piles under horizontal load showing a decreasing trend, while the characteristic value of pipe pile horizontal bearing capacity showing an increasing trend.

Keywords: filled core pipe pile; filled core strength; horizontal displacement; horizontal load

0 引言

20世纪中期, 随着世界经济的飞速发展, 高层建筑、超高层建筑、高架铁路、高架公路等工程在全世界出现了普及性发展, 从而推动了桩基工程前所未有的跨越式发展。桩基工程设计也从简单地满足竖向承载能力要求向满足竖向承载能力、水平承载能力、抗弯矩性能相互作用上转移, 桩基工程设计更加复杂^[1-2]。

在水平承载性能方面, 张四平等^[3]采用铝制合金管模拟了桩基在质软岩体中的水平受力特性; 赵明华等^[4]等应用铝制管模拟了高墩桩基在陡峭边坡上受

水平荷载作用下的应力分布。

在抗弯矩性能方面, 宋寅等^[5]通过室内试验及理论推导公式得出了管桩采用混凝土填芯可以大幅提高其抗弯承载力及延性的结论; 王威等^[6]通过室内加载试验对比填芯与非填芯在水平荷载作用下受弯后的各项参数, 得出了采用钢筋混凝土填芯比素混凝土填芯抗弯承载力提高效果更好的结论; 唐孟雄等^[7]对空芯预应力管桩和填芯预应力管桩进行室内荷载试验研究, 得出了填芯能够提高管桩极限弯矩, 但是否添加钢筋对极限弯矩影响不明显的结论。

混凝土管桩的竖向承载力较高, 而水平承载力

收稿日期: 2016-07-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51208194), 湖南省自然科学基金资助项目(2016JJ2046)

作者简介: 王如横(1990-), 男, 山东鄄城人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为填芯管桩水平承载性状,

E-mail: 534911234@qq.com

相对较低。提高混凝土管桩水平承载力的方法有：加大桩径，提高桩周上部土体的硬度，提高桩身混凝土强度等。这对有确定水平荷载的工程确实可行，但在大部分工程中，水平荷载并不是主要的荷载，有针对性地考虑水平承载性能必然大大提高了工程成本。因此，管桩采用混凝土填芯的做法即经济又能满足设计要求，且施工方便。

1 填芯管桩水平承载特性试验

1.1 试验概况

一般提高混凝土管桩水平承载力的方法有加大桩径，提高桩周上部土体的硬度，提高桩身混凝土强度。对于一些有明确的水平承载性能要求的工程，上述方法确实可行；但是对于桩径有限制或水平承载要求不高却又不能忽略的工程，上述方法性价比比较低。为了既能满足水平承载要求又经济可行，本文研究不同填芯时管桩的水平承载能力。通过空芯、低强度砂浆填芯、高强度砂浆填芯管桩之间荷载-桩顶位移变形曲线、桩身应力应变曲线的对比，研究填芯截面及填芯强度不同对管桩水平承载力的影响。

1.2 模型桩及布置

1.2.1 模型桩尺寸

利用自制刚性模具预制6根管桩，外径120 mm，桩长700 mm，具体参数如表1所示。

表1 模型桩参数

Table 1 Parameters for model piles

桩编号	桩径/mm		桩身强度	填芯强度	桩长/mm	备注
	外	内				
1	120	70	M15	无	700	空芯
2	120	70	M15	M5	700	填芯
3	120	70	M15	M20	700	填芯
4	120	50	M15	无	700	空芯
5	120	50	M15	M5	700	填芯
6	120	50	M15	M20	700	填芯

1.2.2 模型桩布置

根据试验场地以及试验的可操作性来考虑模型桩的布置位置。模型桩布置及压桩如图1~2所示。

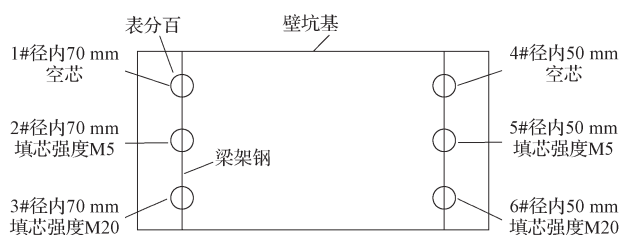


图1 模型桩布置图

Fig. 1 Model pile layout



图2 静压法压桩

Fig. 2 Piling under the static pressure

1.3 元件设置及数据采集

数据采集前，先对所有采集装置进行预试检测，以避免因装置安装等不可预测因素带来的误差。数据采集装置有：应变采集装置、荷载采集装置、桩顶位移测量装置。

1) 应变采集 利用江苏东华测试技术有限公司开发生产的DH3815N分布式静态应变仪测试系统进行应变采集。将此系统直接通过电脑平衡采集数据，采样频率为2 Hz，并且对应变连续采样。

2) 荷载采集 将量程为10 t的压力传感器和应力显示仪放置在千斤顶与管桩传力接触位置，并保证其与管桩在同一条直线上来进行荷载采集。

3) 桩顶位移测量 将1个量程为50 mm的百分表通过磁力表座固定到不动的钢管上，另一边与桩头接触来进行桩顶位移测量，如图3所示。

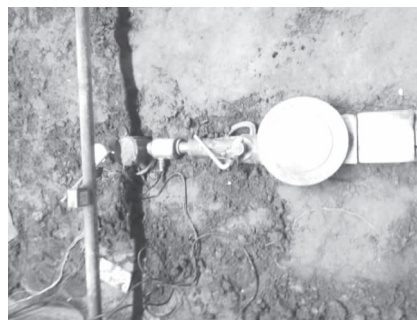


图3 桩顶百分表的设置

Fig. 3 Pile top dial indicator settings

1.4 加载

1.4.1 加载装置放置

压桩后由于土体松动应对土体养护静止1周以上再进行后续试验。水平荷载加荷装置采用16 t的螺旋千斤顶，并在千斤顶与桩端接触位置安装压力传感器用于测量实时水平荷载，由千斤顶后座基坑壁提供水平荷载。为减小试验误差，所有设备与管桩在同一条直线上，见图4。

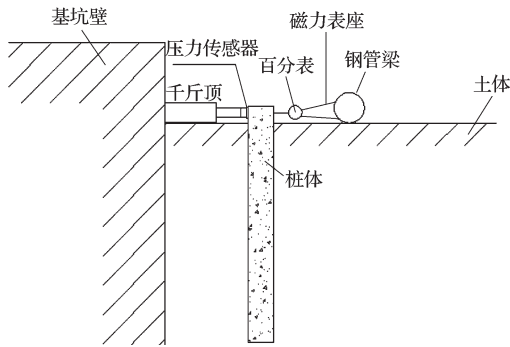


图4 水平加载装置的设置

Fig. 4 Horizontal loading device settings

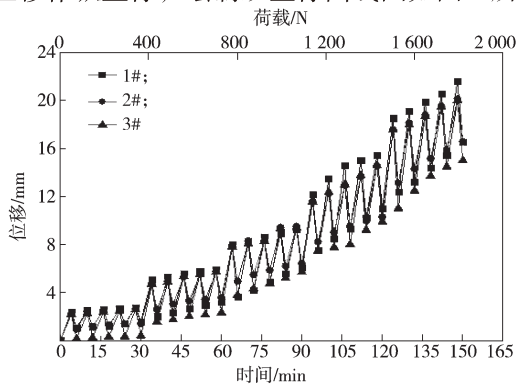
1.4.2 试验加载方式

根据桩土关系以及受力特性, 对桩体进行单项循环加载。第一级荷载加载 400 N, 此后逐级增加荷载 400 N。每一级荷载加载方式为先加载, 间隔 4 min 百分表读数; 卸载间隔 2 min 百分表读数, 即为一个完整加载循环。5 个加载循环完毕后再开始下一级加载。为保证试验的准确性, 水平加载过程应尽量快速, 位移测量时间节点尽量接近。试验监测应连续进行, 不可断续加载各循环和各级荷载

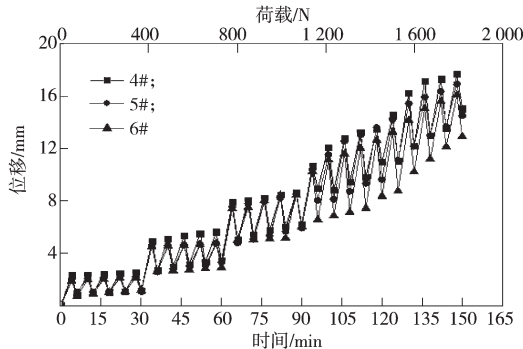
2 试验结果对比分析

2.1 水平位移-时间-水平荷载曲线

将管桩水平荷载及加载时间作横坐标, 桩顶水平位移作纵坐标, 绘制双坐标曲线图如图 5 所示。



a) 内径为 70 mm 的管桩



b) 内径为 50 mm 的管桩

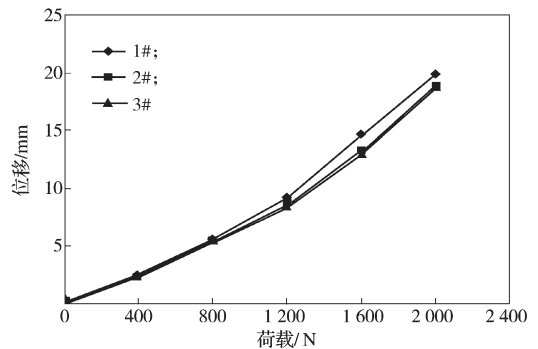
图5 水平位移-时间-水平荷载曲线

Fig. 5 Horizontal D-T-H load curves

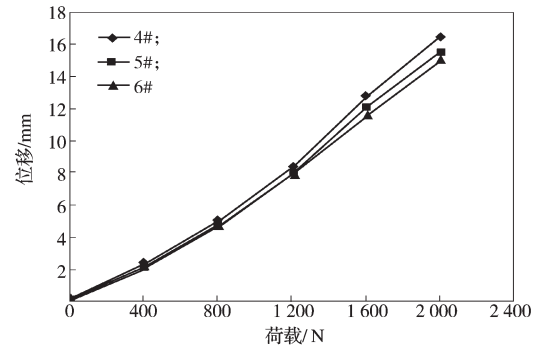
由图 5a 可知, 内径为 70 mm 的空芯管桩 1 最大水平位移为 21.58 mm; 填芯强度为 M5 的管桩 2, 最大水平位移为 20.15 mm, 水平位移减少 6.62%; 填芯强度为 M20 的管桩 3, 最大水平位移为 20.01, 水平位移减少 7.27%。由图 5b 可知, 内径为 50 mm 的空芯桩 4, 最大水平位移为 17.66 mm; 填芯强度为 M5 的管桩 5, 最大水平位移为 16.89 mm, 水平位移减少 4.36%; 填芯强度为 M20 的管桩 6, 最大水平位移为 16.55 mm, 水平位移减少 6.28%。由上述数据可知, 管桩填芯后桩顶水平位移有所减小, 但影响较小。这可能是试验所采用的模型桩直径 (120 mm) 与桩长 (700 mm) 的比值较小, 使得桩的刚度偏大所致。

2.2 水平承载力特征值

分别取每级荷载下桩顶水平位移平均值作为该级荷载下的桩顶位移, 绘制桩顶位移曲线, 如图 6 所示。



a) 内径为 70 mm 的管桩



b) 内径为 50 mm 的管桩

图6 水平位移-水平荷载曲线

Fig. 6 Horizontal load curves under horizontal displacement

由图 6 可知, 曲线均为缓变曲线, 根据 GBJ94—2008 《建筑桩基础技术规范》规定, 取水平位移为 10 mm 处对应的水平荷载作为该管桩的水平荷载特征值。内径为 70 mm 的 1, 2, 3 号管桩, 水平荷载分别为 1 250, 1 330, 1 350 N, 填芯强度为 M5 和 M20 的管桩, 水平荷载特征值分别提高 6.40% 和 8.00%。内径为 50 mm 的 4, 5, 6 号管桩水平荷载分别为 1 360, 1 400, 1 440 N, 填芯强度为 M5 和 M20 的管桩, 水平荷载特征值分别提高 2.94% 和 5.88%。由上述数据可

知,管桩填芯后管桩的水平承载特征值虽有所增大,但增大的幅度并不大。原因在于模型管桩的刚度偏大,桩周土水平承载力较桩身水平承载力偏大,导致填芯对水平承载力提高不明显。

2.3 桩身应变

当水平荷载为 400 N 和 2 000 N 时, 1~6 号桩身受拉侧应变随桩深度变化的关系曲线, 分别如图 7 和图 8 所示。

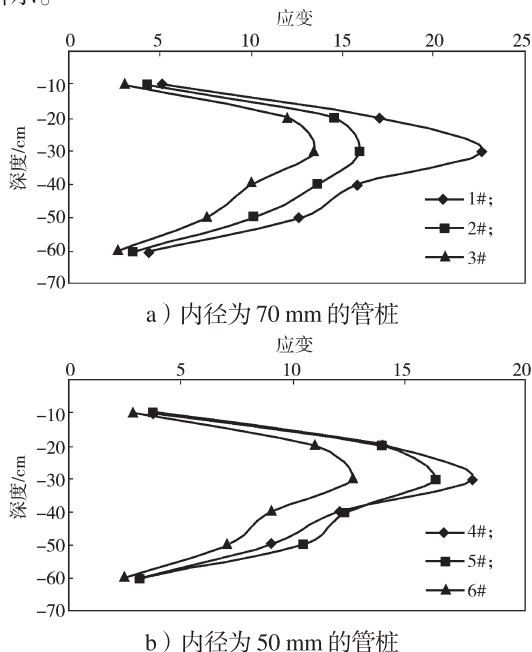


图 7 水平荷载为 400 N 时的桩身应变曲线

Fig. 7 Pile strain curves under a horizontal load of 400 N

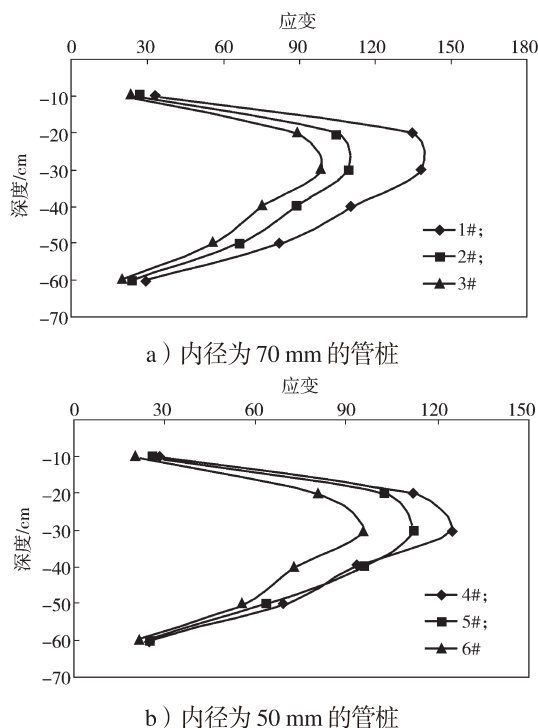


图 8 水平荷载为 2 000 N 时的桩身应变曲线

Fig. 8 Pile strain curves under a horizontal load of 2 000 N

从图 7 和图 8 可以看出, 桩身受拉侧应变最大值都产生在离桩顶约 300 mm 处。在不同水平荷载下该处桩身应变如图 9 所示。

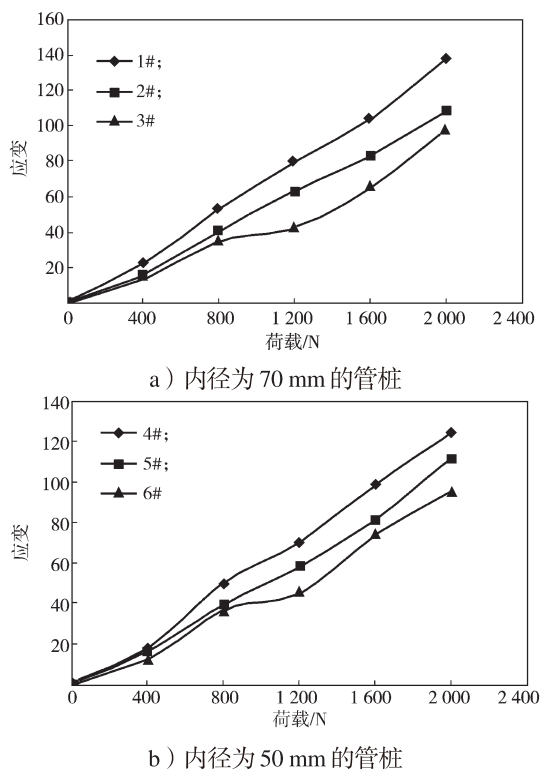


图 9 距桩顶 300 mm 处应变-荷载曲线

Fig. 9 Strain-loading curves at 300 mm from the pile top

从图 7~9 可以看出, 随着荷载的增大, 桩身应变增大, 排除试验误差, 应变随荷载基本上是呈线性关系变化。这说明该试验采用的是刚性桩, 由于桩身材料刚度相对于桩周土体大得多, 所以在水平荷载作用下桩身的材料没有被破坏。从图还可以看出, 管桩填芯后桩身应变得到减小, 内径大的管桩比内径小的管桩应变变大; 并且填芯后内径大的管桩比内径小的管桩应变减小比较多; 随着填芯材料强度增大, 管桩桩身应变也随之减小。

3 结论

通过对不同填芯强度及填芯截面的自制混凝土管桩水平承载特性的研究可以得出以下结论。

- 1) 与空芯管桩相比, 通过对管桩填芯加固之后, 在同一水平荷载作用下(单向循环荷载)填芯桩的桩顶位移相对减小。
- 2) 与空芯管桩相比, 管桩填芯后, 受同等水平荷载作用桩身所产生的应变有所减小; 填芯管桩的水平承载特征值增加。
- 3) 管桩填芯强度越高, 管桩在水平荷载作用下,

桩顶位移呈降低趋势, 管桩水平承载力特征值呈增高趋势。但由于试件尺寸、地基强度及试验设备的限制, 实验数据略偏向于刚性桩的特征, 填芯加固对水平承载力的提高不够明显。

4) 管桩在相同填芯强度下, 填芯截面与桩顶水平位移大体成反比。但是由于试验资源的限制未能得出最佳填芯截面及填芯强度等级, 还需后续进一步研究。

参考文献:

- [1] 聂荣君. 浅析预应力管桩的优缺点[J]. 治淮, 2003(7): 33.
NIE Rongjun. Analysis the Advantages and Disadvantages of the Prestressed Pipe[J]. Harnessing the Huaihe River, 2003(7): 33.
- [2] 邓友生, 赵明华, 邹新军, 等. 山区陡坡桩柱的承载特性研究进展[J]. 公路交通科技, 2012, 29(6): 37-45.
DENG Yousheng, ZHAO Minghua, ZOU Xinjun, et al. Research Progress of Bearing Characteristics of Pile Column at Steep Slope in Mountain Areas[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(6): 37-45.
- [3] 张四平, 邓安福, 李世蓉. 软质岩中嵌岩桩模型试验技术的研究[J]. 重庆建筑工程学院学报, 1990, 12(3): 68-76.
ZHANG Siping, DENG Anfu, LI Shirong. Study on Model Testing Technique for Socketed Piles in Soft Rock [J]. Journal of Chongqing Architecture University, 1990, 12(3): 68-76.
- [4] 赵明华, 刘恩, 汪优. 桩柱式高桥墩桩基稳定性分析[J]. 公路交通科技, 2008, 25(7): 95-99.
ZHAO Minghua, LIU En, WANG You. Stability Analysis of Pile Foundation with Higher Pile-Column Bridge Piers [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25(7): 95-99.
- [5] 宋寅, 柳炳康, 李建宏, 等. 填芯与非填芯预应力混凝土管桩抗弯性能的比较[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2007, 30(5): 607-610.
SONG Yin, LIU Bingkang, LI Jianhong, et al. Comparison of Bending Moments Between Prestressed Concrete Pipe Piles with the Concrete Core and Hollow Prestressed Concrete Pipe Piles[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2007, 30(5): 607-610.
- [6] 王威, 刘杰, 王宁, 等. 填芯对PHC管桩抗弯性能影响研究[J]. 湖南工业大学学报, 2015, 29(5): 19-22.
WANG Wei, LIU Jie, WANG Ning, et al. Study on Bending Performance of PHC Pipe Piles with Concrete Core[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2015, 29(5): 19-22.
- [7] 唐孟雄, 戚玉亮, 周治国, 等. 空心与填芯PHC管桩抗弯试验及其理论计算研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(增刊2): 1075-1080.
TANG Mingxiong, QI Yuliang, ZHOU Zhiguo, et al. Comparative Study on Bending Performance Between Hollow PHC Pipe Piles and PHC Pipe Piles with Concrete Core[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(S2): 1075-1080.

(责任编辑: 邓光辉)