

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2014.02.008

# 变截面管桩水平承载性状模型试验研究

尹宏春, 杨庆光, 刘 杰

(湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘 要:** 在室内基坑中对1根等截面管桩和2根变截面管桩进行单桩水平静载荷模型试验, 对比研究两类管桩单桩水平承载性能方面的差异。试验结果表明: 等截面模型管桩与变径比为0.57与0.71的变截面模型管桩的单桩水平的临界荷载依次为1.2, 1.6, 1.2 kN; 单位体积水平承载力特征值依次为95, 147, 115 kN/m<sup>3</sup>。变径比为0.57与0.71的变截面管桩的单位水平承载能力比等截面管桩分别提高了55.1%和21.6%; 变截面管桩变径比越小, 单位水平承载能力越大; 材料的利用率也越高。

**关键词:** 水平静载荷; 变截面管桩; 等截面管桩; 单位体积水平承载力

中图分类号: TU473.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2014)02-0038-04

## Model Test Study of Horizontal Bearing Behaviors of Variable-Section Pipe Piles

Yin Hongchun, Yang Qingguang, Liu Jie

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

**Abstract:** Makes single pile horizontal static load model tests on an equal-diameter pipe pile and 2 variable-section pipe piles in the indoor foundation pit, and compares and studies their difference of horizontal bearing capacity. The results show that: the critical load of equal-diameter pipe pile and variable-section pipe piles of variable section ratio of 0.57 and 0.71 is 1.2, 1.6 and 1.2 kN, respectively; their characteristic value of horizontal bearing capacity per unit volume is 95, 147 and 115 kN/m<sup>3</sup>, respectively. The pipe piles of variable section ratio of 0.57 and 0.71 improve horizontal bearing capacity of 55.1% and 21.6% per unit volume respectively comparing to equal-diameter pipe pile; and the smaller variable section ratio of variable-section pipe pile is, the greater horizontal bearing capacity per unit volume is and the higher material utilization is.

**Keywords:** horizontal static load; variable-section pipe pile; equal diameter pipe pile; horizontal bearing capacity per unit volume

## 0 引言

预应力混凝土管桩以承载能力高、价格便宜、施工方便、质量可靠而成为高层建筑中一种较好的桩基础。变截面桩则以单位体积的承载能力高而在工程实践中广泛应用。将上述两者优点结合起来的变截面管桩是一种新型的管桩, 它由2节以上不同直径的混凝土管和环形过渡钢板构成, 第一节混

凝土管直径最小, 混凝土管直径依次变大, 最后一节混凝土管直径最大。

变截面桩在工程实践中的应用较多, 例如韶关五里亭大桥基础采用的是单排无承台变截面大直径桩结构<sup>[1]</sup>。国内外许多学者在理论和实践两方面对桩基进行了研究: 刘杰等人<sup>[2]</sup>通过单桩水平静荷试验, 研究软土地基中预应力管桩在水平荷载作用下

收稿日期: 2013-12-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51208194)

作者简介: 尹宏春(1988-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为地基处理, E-mail: hilbok88@qq.com

的工作性状;王梅等人<sup>[3]</sup>对大量的模型试验结果进行分析,提出了将 $m$ 法中单一的 $m$ 值与位移建立指数关系,在常用的单桩 $m$ 法计算中可考虑单桩非线性响应的影响;刘汉龙等人<sup>[4]</sup>进行PCC桩水平承载特性模型试验,分析研究得到管桩的最大弯矩在桩身的上半部;方焱<sup>[5]</sup>研究阶梯型变截面桩变形及承载特性,经过对比试验确定变截面桩的最优变截面位置为46.7%左右;沈建霞等人<sup>[6]</sup>研究探讨影响全直桩水平承载能力的因素;L. C. Reese等人<sup>[7]</sup>在德克萨斯州Manor地区的硬黏土中进行了桩水平静载循环荷载试验。

由此可见,学者们对变截面桩与管桩的水平承载性状的理论研究较多,但对阶梯型变截面管桩的水平承载特性的理论研究较少。本次试验利用湖南工业大学的大型基坑(长6 m,宽3 m,深4.5 m)进行不同截面比变截面模型管桩和等截面模型管桩水平静载对比试验,对变截面管桩水平受力的状况及水平承载能力进行研究。

## 1 试验设备与试验模型

### 1.1 试验设备

试验设备由加压系统、试验模型及监测系统组成。加压系统包括千斤顶、试块和压力传感器;监测系统包括监测原件和数据采集系统。其中千斤顶为油压千斤顶,起重10 t,上海沪南千斤顶厂制造。

### 1.2 试验模型

试验模型包括土体、桩体和试验模型加载设计。

#### 1.2.1 土体

试验土体为粉质黏土,原土取自湖南工业大学附近的基坑开挖工程,经曝晒后过0.02 m的土筛填进基坑,每0.3 m进行一次整平、浇水。试验土的物理力学指标见表1。

表1 试验土的物理力学指标

Table 1 Physico-mechanical indexes of testing soils

参数	含水率/%	密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	压缩模量/ MPa	黏聚力/ kPa	内摩擦角/ ( $^{\circ}$ )
取值	29.7	18.5	4.3	12.8	19.8

#### 1.2.2 模型桩制作和试验布置

试验模型管桩采用自制钢模,以直径3.26 mm钢丝制作钢筋笼,用C20细石混凝土浇筑而成。模型管桩利用2 mm厚钢板制作管桩端头,采用焊接、环氧树脂相结合的方法实现接管和封口。模型管桩钢模及接头如图1所示。

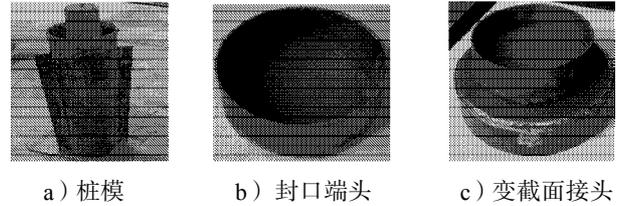


图1 管桩钢模及接头

Fig. 1 Steel mould and joint of pipe pile

本次试验对1根等截面管桩和2根变截面模型管桩单桩荷载试验研究,模型桩尺寸设计如表2所示。

表2 模型桩尺寸设计

Table 2 Size of model pile

桩编号	大管节		小管节		桩长/m
	外径/cm	内径/cm	外径/cm	内径/cm	
A	12.0	6.0	12.0	6.0	1.4
B	14.0	7.0	8.0	4.0	1.4
C	14.0	7.0	10.0	5.0	1.4

### 1.2.3 加载设计

加载时采用单向多循环法,每级荷载增加后,恒载4 min,测读水平位移,同时读取土压力和桩身应变片的读数;停2 min,测读残余水平位移,完成一个加卸循环,如此循环5次便完成一次荷载观测。当水平位移超过30 mm或者桩体被破坏则终止加载。

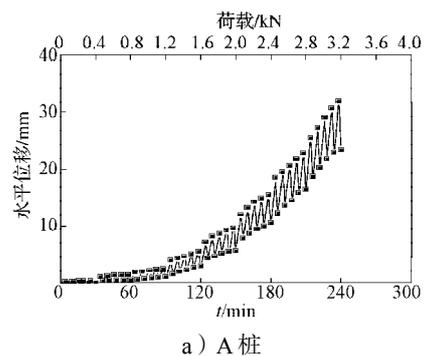
因变截面管桩与等截面管桩体积相差不大,在设计水平荷载时,变截面管桩与等截面管桩每级荷载的增量均为400 N,具体荷载依次为400, 800, 1 200 N, ..., 直到达到试验终止条件。

## 2 试验结果分析

定义变截面管桩中的第一节混凝土筒直径与第二节混凝土筒直径的比为变径比,故B桩的变径比为0.57, C桩的变径比为0.71。根据水平静载试验结果,可得等截面与变截面管桩的水平荷载-位移-时间、水平荷载-位移梯度和水平荷载-位移关系曲线。

### 2.1 荷载-位移-时间关系

图2为单桩水平荷载-位移-时间曲线。



a) A桩

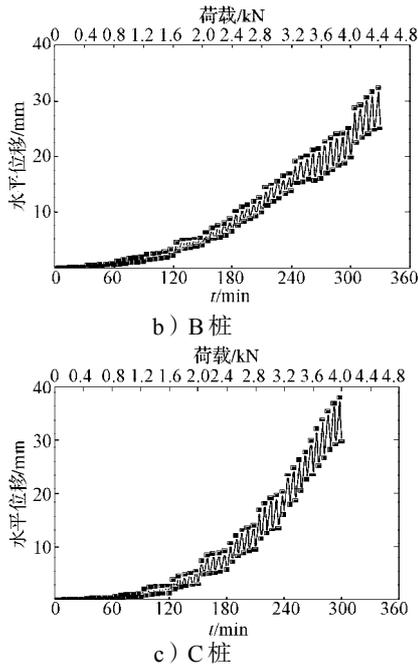


图2 荷载-位移-时间曲线

Fig. 2 The curves of load-time-displacement

从图2可知，A, B, C桩的最大水平荷载所对应的最大水平位移分别为31.887, 32.187, 37.862 mm。桩的静载荷试验中，桩顶的水平位移达到30 mm时的荷载即为试验终止荷载，桩身受到的水平荷载依次为3.2, 4.4, 4.0 kN。B桩与A桩比，桩的终止荷载提高了37.5%；C桩与A桩对比，桩的终止荷载提高了25.0%。

桩的水平位移变化实质上是桩本身和桩周土挤压产生的变形。大位移变形桩的水平位移主要是桩周土的挤压变形。3根桩的桩周土是同种土，但在静压桩过程中，由于第二节混凝土筒的直径比第一节混凝土筒的直径大，压桩时，第一节的混凝土筒的桩周土得到压密，下层土体得到了改良，提高了土体的承载能力。因此变截面管桩桩身位移变化速度小于等截面管桩桩身水平位移变化速度。

### 2.2 临界荷载

图3为单桩水平荷载-位移梯度曲线。

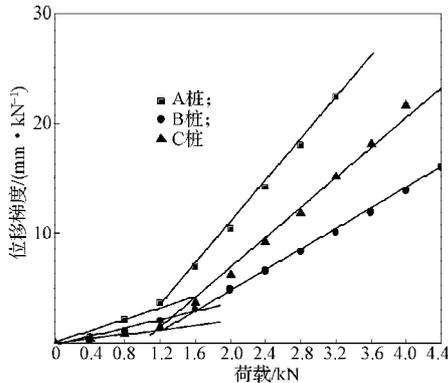


图3 荷载-位移梯度曲线

Fig. 3 The curves of load-displacement gradient

从图3可知，3根桩的水平荷载-位移梯度曲线均由2条直线组成。3条曲线的转折点分别为1.2, 1.6, 1.2 kN，因此3根桩的临界荷载依次为1.2, 1.6, 1.2 kN。当桩顶水平荷载小于临界荷载时，3根管桩等水平荷载下，桩身位移梯度由大到小依次为A桩、B桩和C桩，桩的位移变化主要是桩本身的变形。这时桩刚度的平均值由大到小依次为C桩、B桩和A桩，表明桩的刚度是影响桩顶位移变化的主要因素。

当桩顶水平荷载大于临界荷载时，同等水平荷载下，桩身位移梯度由大到小依次为A桩、C桩和B桩，桩周土进入塑性阶段，桩的位移变化主要是桩周土的挤压变形。这时桩周土的挤压变形主要来自于桩体挤压，所以桩身应力越大，土体的挤压变形也越大。静压桩时，变截面管桩的下层土体得到压密，下层土的地基系数变大，提高了下部桩的桩身弯矩和剪力；下部桩的桩身弯矩和剪力的变大，使上部桩的桩身弯矩和剪力减小。变截面管桩下部桩的桩身应力比等截面管桩的大，这样充分发挥了下部桩的桩身潜力，所以在等水平荷载情况下，变截面管桩的位移梯度小于等截面的位移梯度。由于B桩比C桩的截面比小，所以B桩下层土体的压密面积比C桩的大，在等水平荷载下B桩比C桩的位移梯度小。

### 2.3 水平承载力特征值

图4为3根管桩的水平荷载-位移曲线。

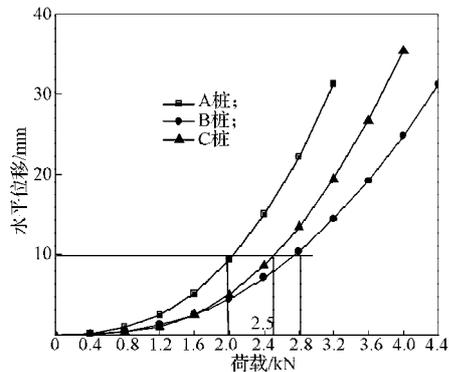


图4 荷载-位移曲线

Fig. 4 The curves of horizontal load-displacement

从图4可知，A桩的曲线较陡，已接近破坏状态，B桩的曲线变化缓慢，C桩的曲线介于两者之间。从曲线变化趋势可知，A桩的桩周土已接近土的极限状态，B桩的桩周土塑性发展较慢，而C桩的桩周土次之。根据文献[8]，对于水平桩可取桩的水平位移为10 mm所对应的桩身承载力的75%为单桩水平承载力特征值，从而得到A, B, C桩单桩水平承载力特征值分别为1.5, 2.1, 1.9 kN。如果将水平承载力特征值与桩身体积之比定义为单位体积水平承载力特征值，

那么 A, B, C 桩单位体积水平承载力特征值分别为 95, 147, 115 kN/m<sup>3</sup>。比较 3 桩的单位体积水平承载力特征值可知, B 桩比 A 桩提高了 55.1%, C 桩比 A 桩提高了 21.6%, 这说明变截面管桩比等截面管桩承载能力高。B 和 C 桩变径比分别为 0.57 和 0.71, 说明变截面管桩变径比越大, 单位体积水平承载力特征值越小, 材料利用率也越低。

### 3 结论

本文通过 2 种不同尺寸的变截面管桩单桩与等截面管桩的水平荷载模型试验, 对黏性土地层中变截面管桩的水平荷载性状进行了研究, 可以得出如下结论:

1) 在同等条件下的软黏土层中, 变截面管桩的水平承载性能比等截面管桩的高; 变截面管桩的位移梯度变化比等截面管桩的缓慢。

2) 变径比分别为 0.57 和 0.71 的变截面管桩的单位体积水平承载能力特征值比等截面管桩分别提高 55.1% 和 21.6%。变截面管桩变径比越小, 单位体积水平承载力特征值越大, 材料利用率也越高。

#### 参考文献:

- [1] 上官兴, 任亮, 徐革胜, 等. 独柱墩顶推连梁系杆拱桥[J]. 中南公路工程, 2006, 31(3): 98-101.  
Shangguan Xing, Ren Liang, Xu Gesheng, et al. The Continuous Tied-Arch Bridge with Single Pillar and Pier by Launching Construction[J]. Central South Highway Engineering, 2006, 31(3): 98-101.
- [2] 刘杰, 路海俊, 刘建飞, 等. 软土地基中预应力管桩水平承载力的试验研究[J]. 岩土工程界, 2007, 10(7): 32-34.  
Liu Jie, Lu Haijun, Liu Jianfei, et al. Experimental Study on Horizontal Bearing Capacity of Prestressed Pile in Soft
- Ground[J]. Geotechnical Engineering World, 2007, 10(7): 32-34.
- [3] 王梅, 楼志刚, 李建乡, 等. 水平荷载作用下单桩非线性  $m$  法试验研究[J]. 岩土力学, 2002, 23(1): 23-26.  
Wang Mei, Lou Zhigang, Li Jianxiang, et al. Nonlinear Analysis of 'm' Method for Single Pile Under Lateral Loading[J]. Rock and Soil Mechanics, 2002, 23(1): 23-26.
- [4] 刘汉龙, 张建伟, 彭劫. PCC 桩水平承载特性足尺模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(2): 161-165.  
Liu Hanlong, Zhang Jianwei, Peng Jie. Full-Scale Model Test on Behavior of Cast-in-Place Concrete Pipe Piles with Large Diameter Under Lateral Loads[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(2): 161-165.
- [5] 方焘. 阶梯型变截面桩变形及承载特性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.  
Fang Tao. Study on Deformation and Load-Bearing Characteristics of Segmentally Variable Cross-Section Pile [D]. Chongqing: Chongqing University, 2012.
- [6] 沈建霞, 钱祖宾. 全直桩基础水平承载能力影响因素探讨[J]. 水运工程, 2012 (4): 166-170.  
Shen Jianxia, Qian Zubin. Influential Factors of Horizontal Bearing Capacity of Whole Vertical Piles[J]. Port & Waterway Engineering, 2012 (4): 166-170.
- [7] Reese L C, Welch R C. Lateral Loading of Deep Foundations in Stiff Clay[J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 1975, 101(7): 633-649.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 33.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. JGJ 94—2008 Technical Code for Building Pile Foundations[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008: 33.

(责任编辑: 邓光辉)

