

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.06.004

# 静压闭口变截面管桩承载性状模型试验研究

王俊炜, 杨庆光, 刘杰, 罗善煌

(湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 为了对比研究静压闭口阶梯型变截面与等截面管桩的荷载与沉降量的关系, 在室内基坑中分别对3根变截面管桩和2根等截面管桩进行单桩静载试验。试验结果表明: 当桩身体积相同时, 变截面管桩较等截面管桩在提高竖向极限承载力和减小桩顶沉降量方面具有明显的优势。通过对荷载-沉降曲线进行回归分析, 结果发现, 可用指数函数描述荷载与沉降量的关系。根据拟合函数得到的计算值与实测值基本一致, 说明用指数函数描述荷载与沉降量的关系是可行的。

**关键词:** 变截面管桩; 等截面管桩; 静载试验; 承载性状

中图分类号: TU473

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)06-0018-04

## Model Test Study on Bearing Behavior of Hydrostatic Closed Variable Cross-Section Pipe-Pile

Wang Junwei, Yang Qingguang, Liu Jie, Luo Shanhuang

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

**Abstract:** In order to study comparatively the relationship between the load and settlement of the hydrostatic closed ladder-type variable cross-section pipe-pile and the constant section pipe-pile, three variable cross-section pipe-piles and two constant section pipe-piles were implemented pile static-load tests in foundation pit. The results showed that when the piles' body volume is the same, the variable cross-section pipe-piles had obvious advantages in increasing vertical ultimate bearing capacity and decreasing the pile settlement. Through the load - settlement curve regression analysis, found that the exponential function could be used to describe the relationship between the load and settlement, and according to the fitting function, found that the calculated values and the measured values are basically the same, and indicated that it was feasible to describe the relationship between load and settlement by exponential function.

**Keywords:** variable cross-section pipe-pile; constant section pipe-pile; static load test; bearing properties

## 0 引言

阶梯型变截面管桩是一种桩身截面沿深度呈阶梯形逐段减小的管桩结构形式。从桩的受力性状来看, 阶梯型变截面管桩桩身轴力分布符合轴力沿桩身向下呈现上大下小的特征, 能较大程度上降低工程造

价。国内外许多学者针对阶梯型变截面桩的承载性状开展了相关研究, 取得了一定成果。胡培进等<sup>[1-4]</sup>分析了变截面桩的荷载传递性质及变形特性, 指出其具有受力合理、沉降量小等优点, 并通过工程实例进行了验证。杨有莲等<sup>[5-7]</sup>采用三维有限元计算程序, 研究了相同土质条件下变截面和等截面钻孔灌

收稿日期: 2013-10-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51208194)

作者简介: 王俊炜(1988-), 男, 江西赣州人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为工程项目技术管理,

E-mail: ainiwangjunwei@163.com

注桩在桩顶竖向加载方式下荷载传递机理的异同,结果表明:变截面桩的受力机理与等截面桩不同,变截面桩将传统桩端阻力变为桩侧阻力,充分利用地基中不同深度的土层承载能力,有效地提高了单桩的单位体积极限承载力,并达到了减少沉降量的目的。方焘<sup>[8]</sup>通过大型模型试验,对不同变截面比的预埋桩桩身变形特性、轴力传递特性和桩侧摩阻力分布规律进行了研究,提出变截面比存在最优值,为0.8~0.9。混凝土管桩因具有制作简易、施工方便、工期短、经济效益可观以及工程地质条件适应性强等特点,故广泛应用于桩基础工程中。但等截面静压管桩由于其下部管节利用率低且难于贯入等问题,限制了管桩的应用,而阶梯型管桩在沉桩及造价方面具有明显优势,所以开展阶梯型管桩承载性状研究十分必要。本文通过室内模型对比试验,对静压情况下的闭口变截面管桩的承载性状进行模型试验研究,以探讨阶梯型变截面管桩的承载特性。

### 1 模型试验

该室内模型试验在长×宽×高为6.0 m×3.0 m×4.0 m的室内模型基坑中进行,基坑内均匀填筑过筛黏性土,黏性土的物理力学性能指标如表1所示。

表1 黏性土的物理力学性能指标

Table 1 Physical and mechanical properties of clay

含水率 $\omega/\%$	重度 $\gamma/(\text{N}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\phi/(\text{°})$	压缩模量 $E_s/\text{MPa}$
29.7	18.5	12.8	19.8	4.3

为了探讨静压闭口变截面管桩的单桩承载性状,同时研究变截面与等截面管桩在单桩承载性状方面的差异,本试验采用5种不同截面的管桩进行对比试验研究,其中,1#管桩、2#管桩和3#管桩为变截面管桩,4#管桩与5#管桩为等截面管桩。各管桩的尺寸如表2所示。本试验所使用的模型管桩均由2根长度为0.7 m的等截面管桩通过焊接的桩帽经环氧树脂胶结而成,同时采用相同的方法,使用桩帽将模型管桩两端封闭。

表2 模型管桩的尺寸

Table 2 Sizes of model pipe-pile

编号	大直径桩/cm		小直径桩/cm		桩长/m
	外径	内径	外径	内径	
1#	16	8	12	6	1.4
2#	14	7	10	5	1.4
3#	14	7	8	4	1.4
4#	14	7	14	7	1.4
5#	12	6	12	6	1.4

管桩单桩荷载试验采用堆载法加压,并利用慢

速维持荷载法进行试验,其试验装置如图1所示。试验过程严格按照JGJ 106—2003《建筑基桩检测技术规范》<sup>[9]</sup>执行。使用千分表测量单桩的竖向位移。

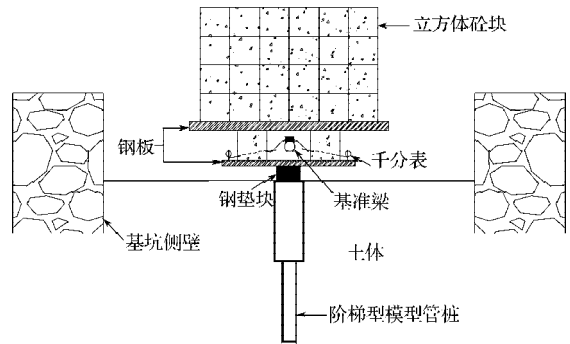


图1 试验装置示意图

Fig. 1 Installation of experimental equipments

### 2 荷载-沉降曲线分析

对1#~5#管桩在各级荷载作用下的桩顶沉降量进行整理,并绘制荷载-沉降曲线,如图2所示。

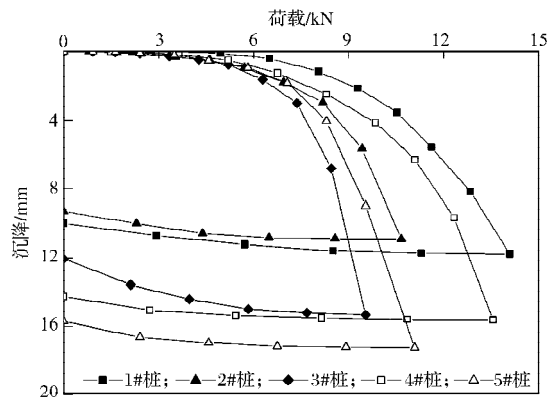


图2 荷载-沉降曲线

Fig. 2 Curves of load-settlement

由图2分析可知:

1) 桩顶位移随荷载值的增大而不断增加,当桩顶荷载较小时,各桩的荷载-沉降曲线基本上重合;当桩顶荷载达到一定值后,各桩的荷载-沉降曲线呈现不同的走向,显示不同的规律。

2) 根据JGJ 94—2008《建筑桩基技术规范》<sup>[10]</sup>规定,取沉降量为0.06D(D为桩端直径)所对应的桩顶荷载,作为模型桩的极限荷载,则1#~5#桩的竖向极限承载力分别为12.46, 9.51, 7.89, 11.86, 9.10 kN。对1#桩与4#桩进行对比分析可知:当桩体体积与桩侧表面积相同时,变截面管桩较等截面管桩具有更高的单桩承载能力,变截面管桩的极限承载力比等截面管桩的极限承载力提高了约5%。对2#桩与5#桩进行对比分析可知:当桩体体积与桩侧表面积相同时,变截面管桩较等截面管桩具有更高的单桩承载

能力，变截面管桩的极限承载力比等截面管桩的极限承载力提高了约4.5%。经计算可得，2#桩、3#桩和4#桩的单位体积极限承载力分别为779.58, 736.33, 734.12 kN。由此可知，变截面比为0.71, 0.57时，变截面管桩较等截面管桩具有较大的单位体积极限承载力，且随着变截面比的减小，其单位体积极限承载力有所减少。由此可知，变截面管桩存在一个最佳变截面比，使得其单位体积承载力能够达到最大值。

3) 当桩顶荷载达9 kN时，1#~5#桩的桩顶沉降量分别为1.911, 4.736, 11.442, 3.228, 6.254 mm。按照JGJ 106—2003的规定，将桩顶荷载分5级卸载完成后，1#~5#桩的桩顶沉降回弹值分别为1.780, 1.618, 2.973, 1.391, 1.507 mm；桩顶最终沉降量分别为10.551, 9.300, 12.352, 14.235, 15.708 mm。将1#桩与4#桩、2#桩与5#桩进行对比分析可知，当桩体体积与桩侧表面积相同时，变截面管桩较等截面管桩的桩顶沉降回弹量较大，且最终沉降量较小。因此，变截面管桩在减小沉降量方面具有明显的优势。

### 3 荷载 - 沉降曲线回归分析

将1#~5#桩在各级荷载作用下的桩顶沉降量进行回归计算，得到沉降量与荷载的关系式为

$$s = \alpha e^{\beta(P-K)} \quad (1)$$

式中： $s$ 为桩顶沉降量； $\alpha$ 、 $\beta$ 为回归系数； $P$ 为桩顶荷载值； $K$ 为常数，取6.5。

式中的拟合参数见表3。其中， $R^2$ 为相关系数， $R$ 值越大，说明相关性越好。

表3 拟合参数

Table 3 The fitting parameters

编号	$\alpha$	$\beta$	$R^2$
1#	0.55	0.43	0.928 8
2#	1.36	0.50	0.997 5
3#	1.57	0.75	0.993 4
4#	1.20	0.36	0.998 1
5#	1.41	0.56	0.995 4

图3为模型桩在各级荷载作用下，通过式(1)得到的沉降量计算值与实测值对比结果。

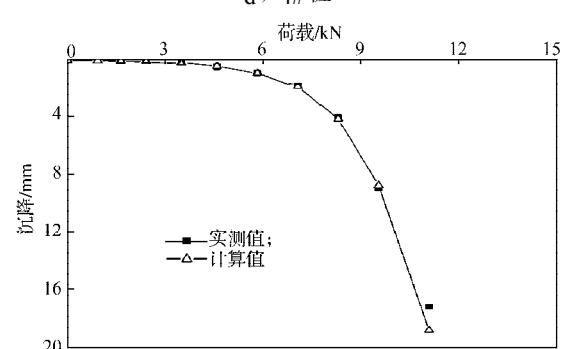
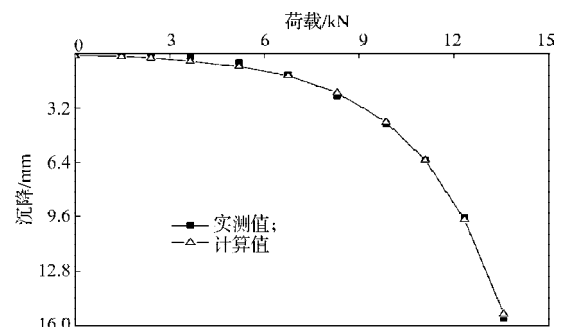
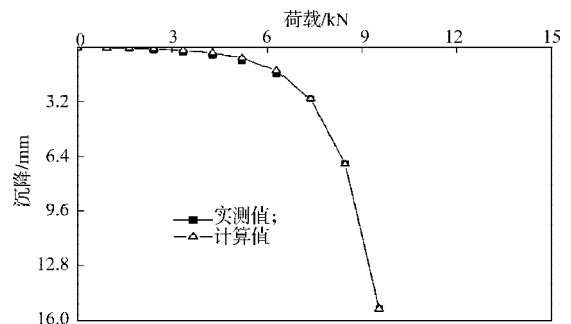
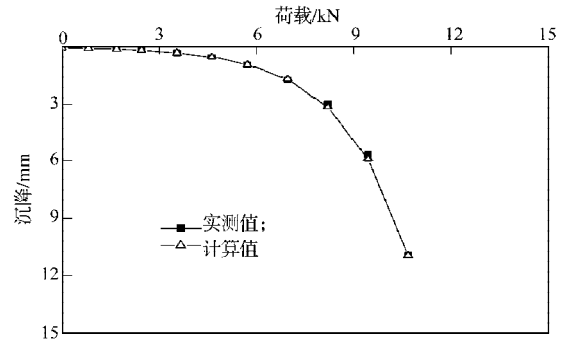
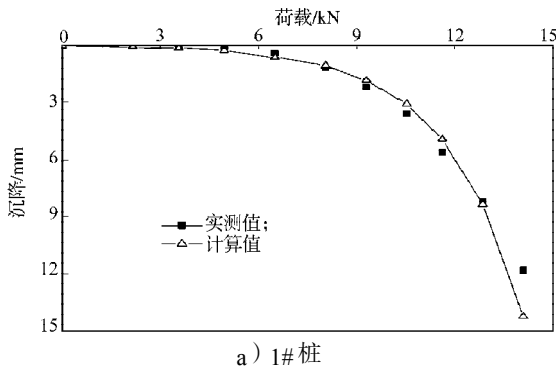


图3 模型桩荷载与沉降量回归分析曲线

Fig. 3 Regression analytical curves between load and settlement of model pile

由图3可知，无论是等截面管桩，还是变截面管桩，在不同的荷载作用下，计算得到的沉降量与实测沉降量基本一致，说明用指数函数描述荷载与沉降量的关系是可行的。当荷载值较小时，桩顶的沉降量很小，由于试验过程中不可避免受外界影响，致

使试验所测得的数据误差较大;而随着荷载的增大,外界的影响相对较小,从而试验所测得的数据误差值较小,使得指数函数拟合较为精确;随着荷载的进一步增加,桩周土体与桩端土体将发生较大的变形,致使桩顶沉降值发生较大的变化,函数计算值较实测值略小。总体而言,用指数函数描述荷载与沉降的关系是可行的。在未进行下一级荷载试验时,通过拟合函数,可以计算得出下级荷载作用下桩顶沉降量的大概值,从而判断下级荷载的加载值及下级荷载作用下桩体是否发生破坏。因此,用指数函数来描述荷载与沉降的关系对单桩承载试验具有一定的指导意义。

## 4 结论

1) 当桩体体积与桩侧表面积相同时,变截面管桩较等截面管桩在提高竖向极限承载力和减小桩顶沉降量方面具有明显的优势;当阶梯型变截面管桩上段外径一定时,变截面比为0.71, 0.51的变截面管桩的竖向极限承载力比等截面管桩的竖向极限承载力要小,而单位体积极限承载力比等截面管桩的单位体积极限承载力要大,且随着变截面比的减小,其单位体积极限承载力有所减小。由此分析可知,对变截面管桩而言,存在一个最佳的变截面比。

2) 由回归分析可知,可以用指数函数来描述荷载与沉降量的关系,根据拟合函数得到的计算值与实测值基本一致,说明用指数函数描述荷载与沉降量的关系是可行的。在未进行下一级荷载试验时,通过拟合函数可以计算得出下级荷载作用下桩顶沉降量的大概值,从而判断下级荷载的加载值及下级荷载作用下桩体是否发生破坏。因此,用指数函数来描述荷载与沉降量的关系对单桩承载试验具有一定的指导意义。

### 参考文献:

- [1] 胡培进,汪中卫,李强.变截面桩的力学性能及工程意义[J].上海地质,2007,103(3):27-31.  
Hu Peijin, Wang Zhongwei, Li Qiang. Mechanical Property and Engineering Significance for Variable Cross-Section Pile [J]. Shanghai Geology, 2007, 103(3): 27-31.
- [2] 张忠苗,喻君,张广兴,等.PHC管桩和预制方桩受力性状试验对比分析[J].岩土力学,2008,29(11):3059-3065.  
Zhang Zhongmiao, Yu Jun, Zhang Guangxing, et al. Contrastive Experimental Analysis of Bearing Behaviors of PHC Pile and Precast Square Piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(11): 3059-3065.
- [3] 张忠苗,刘俊伟,俞峰,等.静压预应力混凝土管桩土塞效应试验研究[J].岩土力学,2011,32(8):2274-2280.  
Zhang Zhongmiao, Liu Junwei, Yu Feng, et al. Research on Plugging Effect of Jacked Prestressed Concrete Pipe Pile [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(8): 2274-2280.
- [4] 刘汉龙,谭慧明,彭劫,等.大型桩基模型试验系统的开发[J].岩土工程学报,2009,31(3):452-457.  
Liu Hanlong, Tan Huiming, Peng Jie, et al. Development of Large Scale Pile Foundation Model Test System[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(3): 452-457.
- [5] 杨有莲,朱俊高.钻孔变截面灌注桩的荷载传递特性[J].水利水电科技发展,2008,28(3):37-39.  
Yang Youlian, Zhu Jungao. Load Transfer Performance of Variable-Section Bored Pile[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(3): 37-39.
- [6] 徐天平,李素华.泥岩持力层的管桩承载力试验研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(2):329-333.  
Xu Tianping, Li Suhua. Testing Study on Bearing Capacity of Pipe Piles with Bearing Stratum of Mudstone[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(2): 329-333.
- [7] 刘永超,郑刚.软土地区扩孔灌浆预制管桩承载力研究[J].岩土力学,2011,32(7):1984-1990.  
Liu Yongchao, Zheng Gang. Experimental Study of Bearing Capacity of Pipe Pile with Enlarged Diameter by Post-Grouting[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(7): 1984-1990.
- [8] 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.
- [9] 中华人民共和国行业标准编写组. JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2003:12-15.  
The Industry Standards Compilation Group of the People's Republic of China. JGJ 106—2003 Technical Code for Building Foundation Piles Testing[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2003: 12-15.
- [10] 中华人民共和国行业标准编写组. JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2008:17.  
The Industry Standards Compilation Group of the People's Republic of China. JGJ 94—2008 Technical Code for Building Foundation Design[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2008: 17.

(责任编辑:徐海燕)