

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2015.06.007

预应力竹节桩与预应力圆管桩竖向 承载性能对比研究

朱国焯¹, 肖培香¹, 王垠翔¹, 史盈赞¹, 王亚涛²

(1. 余姚市建设工程质量安全监督站, 浙江 余姚 315400; 2. 湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 对某工程中的3根机械连接预应力竹节桩和3根预应力圆管桩, 进行静荷载试验, 研究其荷载-沉降的变化规律; 再采用有限元软件ADINA对典型试验桩的荷载-沉降规律进行有限元模拟。试验及有限元模拟结果表明: 机械连接预应力竹节桩的荷载-沉降曲线呈缓变型, 与预应力圆管桩相比, 曲线变化相对平缓, 说明预应力竹节桩比圆管桩的承载力大。

关键词: 预应力竹节桩; 预应力圆管桩; 荷载-沉降曲线; 承载力

中图分类号: TU473

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2015)06-0035-04

Comparative Study on Vertical Bearing Behaviors of Prestressed Bamboo Joint Piles and Prestressed Pipe Piles

Zhu Guoxuan¹, Xiao Peixiang¹, Wang Yinxiang¹, Shi Yingzan¹, Wang Yatao²

(1. Yuyao Construction Engineering Quality and Safety Supervision Station, Yuyao Zhejiang 315400, China;

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

Abstract: Made static load tests on three mechanical-connection prestressed bamboo joint piles and three prestressed pipe piles in a project, and studied the load-settlement laws. Applied ADINA finite element software to simulate the load-settlement laws of typical testing piles. The test and finite element simulation results showed that the load-settlement curves of mechanical-connection prestressed bamboo joint piles were slow variant, and compared with prestressed pipe piles, the curves change were relatively flat. It indicated that the mechanical-connection prestressed bamboo joint piles had a higher bearing capacity than the prestressed pipe piles.

Keywords: prestressed bamboo joint piles; prestressed pipe piles; load-settlement curve; bearing capacity

0 引言

普通预应力圆管桩(简称圆管桩)因具有施工方便快捷,单桩承载力高,桩身强度高等优点,在国内外的基础工程中已得到广泛应用^[1]。但是,传统的预应力管桩是等截面桩体,桩身外表面比较光滑,在处理深层软土地基时,桩侧摩阻力较小,不宜通过增加桩长来提高承载力。机械连接预应力混

凝土竹节桩(简称竹节桩)是在传统混凝土预制桩基础上,经过改进研制的一种新型异型桩(如图所示1),沿桩身的外壁每隔1~3 m设置一节环状凸肋,并在桩周外侧均匀加设多条纵状凸肋连接环状凸肋,属于变截面桩。与预应力圆管桩相比,其抗压和抗拔承载力提高20%以上^[2]。变截面预应力管桩通过改变桩身不同位置的横截面,以获取更大的承载力。

收稿日期: 2015-09-25

作者简介: 朱国焯(1964-),男,浙江余姚人,余姚市建设工程质量安全监督站工程师,主要研究方向为地基处理技术,

E-mail: 250028066@qq.com

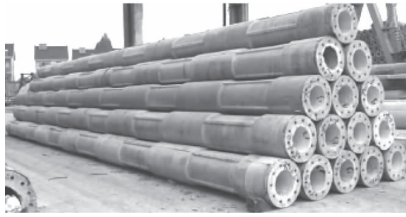


图1 机械连接竹节桩

Fig. 1 Mechanical-connection bamboo joint piles

文献[3-4]介绍了类似竹节的一种桩型在砂土中的模型试验和足尺试验情况,证实了其承载力远大于同直径的等截面桩,并对其荷载-沉降曲线进行了理论分析。文献[5]通过混凝土预制管桩和节桩的现场静载对比试验,对该混凝土预制节桩的承载性

状进行了分析研究;文献[6-7]从桩身和桩侧土两方面改进了预应力管桩的施工工艺,并结合试验、数值模拟进行了承载力性能的探讨。本文基于现场3根竹节桩和3根圆管桩的静荷载试验,并利用有限元软件模拟,对比研究2种不同类型桩的承载性能。

1 现场试验

1.1 试验概况

某拟建工程位于浙江省宁波市余姚市,为框剪结构15~18层,自上而下岩土分层情况及各层主要物理力学参数见表1,本次6根试验桩的截面参数见表2。

表1 岩土分层情况及各层主要物理力学参数

Table 1 Rock soil layers and the main physical and mechanical parameters of each layer

层号	土层名称	土的性状	层顶埋深/m	地基土承载力 特征值 f_{ak}/kPa	桩周土摩阻力 特征值 q_{sa}/kPa	桩端土承载力 特征值 q_{pa}/kPa
Z	杂填土	松散	0~0			
1	粉质黏土	可塑	0.90~0	80	16	
2	淤泥质粉质黏土	流塑	4.20~2.20	55	8	
3	粉土	中密	7.20~4.20	120	16	
4-1	淤泥质粉质黏土	流塑	13.20~10.30	70	10	
4-2	粉质黏土	软塑	31.50~24.00	120	18	
5-1	含粉土粉砂	密实	36.50~32.80	200	30	1 800
5-2	粉质黏土	可塑	45.00~41.30	260	32	1 600
5-3	中砂	密实	50.00~42.80	280	40	3 000
6	粉质黏土	可塑	54.10~51.60	210	30	1 400
7	粉砂	密实	56.40~53.50	280	40	2 500
8-1	粉质黏土	可塑	70.90~65.60	230	33	1 500
8-2	砾砂	密实	72.80~67.80	300	45	3 000
8-3	粉质黏土	可塑	76.00~73.30			

表2 试桩截面参数

Table 2 The section parameters of testing piles

桩型	编号	桩长/m	桩体外径/mm	环状凸肋直径/mm	纵向凸肋厚度/mm	环状肋间距/mm
圆管桩	S1#	37.70	500			
竹节桩	S2#	37.50	460	500	20	1 000
圆管桩	S3#	38.00	500			
竹节桩	S4#	38.00	460	500	20	1 000
圆管桩	S5#	38.00	500			
竹节桩	S6#	37.30	460	500	20	1 000

1.2 试验过程

试验前,采用低应变动测法检测桩身完整性,再

进行单桩竖向抗压静载试验。试桩的各项设计参数见表3。

表3 试桩设计参数

Table 3 The design parameters of testing piles

桩号	桩型规格/mm	试验间歇时间/d	承载力特征值/kN	终止荷载条件		极限荷载/kN
				荷载/kN	沉降/mm	
S1#	Φ 500	9	1 800	3 600	> 40.00	3 240
S2#	Φ 460~500	9	1 800	3 600	33.75	\geq 3 600
S3#	Φ 500	9	1 800	3 600	31.18	\geq 3 600
S4#	Φ 460~500	9	1 800	3 600	20.17	\geq 3 600
S5#	Φ 500	9	1 800	3 600	25.33	\geq 3 600
S6#	Φ 460~500	9	1 800	3 600	18.59	\geq 3 600

试验采用堆载法, 加载方法采用慢速维持荷载法, 加荷用 QF-500T 型油压千斤顶, 力值、沉降量均由压力传感器和位移传感器显示, 用全自动 RS-JYB 荷载测试仪记录。试验按照 JGJ 106—2014《建筑基桩检测技术规范》^[8]、浙江省 DB33/1001—2003《建筑地基基础设计规范》^[9]有关规定的慢速维持荷载法加载。加载采用分级进行, 逐级等量加载, 分级荷载为最大加载量或预估极限承载力的 1/10, 其中第一级加载值为分级荷载的 2 倍。卸载采用分级进行, 每级卸载量取加载时分级荷载的 2 倍, 逐级等量卸载。终止加载条件按建筑桩基检测技术规范和设计要求综合确定。

1.3 试验结果分析

各试验桩荷载-沉降(Q-S)曲线见图2。由图2可知: 1) 圆管桩 S1# 曲线呈陡变型, 当加载到 3 240 kN 时, 曲线陡降, 破坏特征点明显。竹节桩 S2# 曲线呈缓变型, 当加载到 3 600 kN 时, 没有出现明显的向下折线段, 也没有出现第二拐点, 没有达到极限状态。在荷载作用下, 圆管桩 S1# 比竹节桩 S2# 沉降大。2) 圆管桩 S3#、竹节桩 S4#、圆管桩 S5#、竹节桩 S6# 的 Q-S 曲线均呈缓变型, 当加载到 3 600 kN 时, 没有出现明显的向下折线段, 也没有出现第二拐点, 没有达到极限状态。S4#、S6# 荷载-沉降曲线比 S3#、S5# 荷载-沉降曲线平缓, 表现得更有后劲, 这说明竹节桩比圆管桩具有更大的承载力。

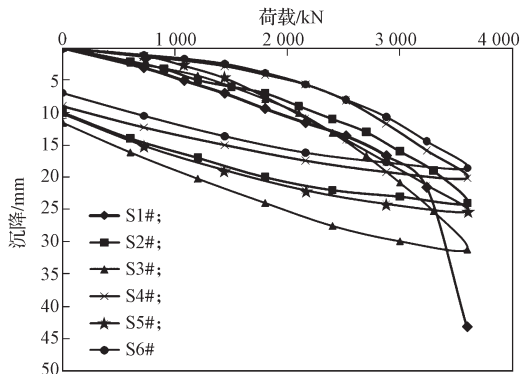


图2 试验桩荷载-沉降曲线对比

Fig. 2 Comparison of load-settlement curves of testing piles

2 有限元模拟分析

采用有限元分析软件 ADINA 对竹节桩 (S4#) 和圆管桩 (S3#) 的承载性能进行模拟分析。

2.1 基本假定

桩-土之间相互作用比较复杂, 涉及到的因素较多, 为不失结构体系主要性质和便于模型的数值分析, 计算中作如下假定:

1) 假定土体为理想弹塑性体, 屈服准则采用

Mohr-Coulomb 屈服条件; 分层土体采用加权平均简化处理。

2) 假定桩体为线弹性体, 符合广义虎克定律。

3) 同一种材料为均质、各向同性体。

4) 不考虑土体、桩体的重力 (即不考虑土体原始位移场和应力场)。

5) 为模拟桩-土的相互作用, 桩-土之间设置了 ADINA 接触单元; 在计算过程中接触面摩擦系数保持不变。

2.2 计算模型有限元网格划分

圆管桩有限元划分见图3, 桩长 38 m, 桩径 0.50 m; 土体采用 4 节点平面单元, 按长度 0.50 m 划分网格, 桩体采用 4 节点平面单元, 按长度 0.25 m 划分网格。竹节桩有限元划分见图4, 桩长 38 m, 桩径 0.46~0.50 m; 土体采用 4 节点平面单元, 按长度 0.10~0.50 m 划分网格, 桩体采用 4 节点平面单元, 按长度 0.10~0.25 m 划分网格。桩和土之间设置接触, 采用 Adina 直接接触单元。所有的网格全部由 Adina 内部程序自动划分。

模型上表面为自由边界, 无约束, 对土体左右边界分别施加 x , y 向的约束, 对于土体的底部施加 z 向约束。桩、土的参数及荷载与试验桩一致。

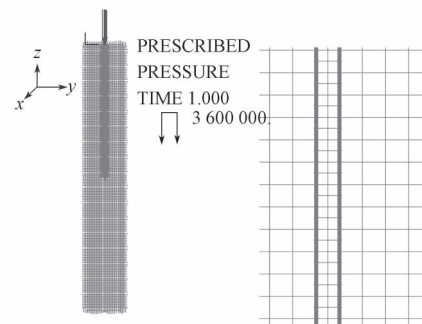


图3 圆管桩有限元划分图

Fig. 3 Finite element mesh of pipe pile

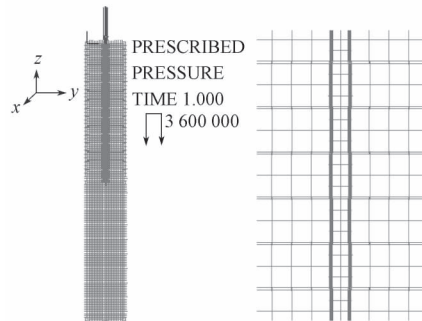


图4 竹节桩有限元划分图

Fig. 4 Finite element mesh of bamboo joint pile

3 试验与有限元模拟结果对比分析

圆管桩和竹节桩的静载试验与有限元模拟的荷载-沉降(Q-S)曲线对比, 如图5所示。

由图可以看出：

1) 竹节桩荷载-沉降曲线更平缓, 在荷载作用下, 圆管桩沉降比竹节桩大。

2) 有限元曲线与试验曲线比较吻合(没有模拟卸载的过程), 这表明, 采用有限元模拟的方法是可行的, 建立的桩土模型是合理的, 能较好地反映荷载传递的规律。

由上述试验和有限元模拟结果可知, 由于竹节桩压桩时, 会在桩侧产生纵环肋部摩阻力、环状肋部摩阻力、环状肋部端阻力、桩端阻力以及非肋部摩阻力, 造成桩周边土体影响范围大, 桩周土挤密范围大。而圆管桩在压桩入土时, 只有桩侧摩阻力和桩端阻力, 造成桩周土影响范围小, 挤密范围小。因此, 竹节桩比圆管桩的承载力大。

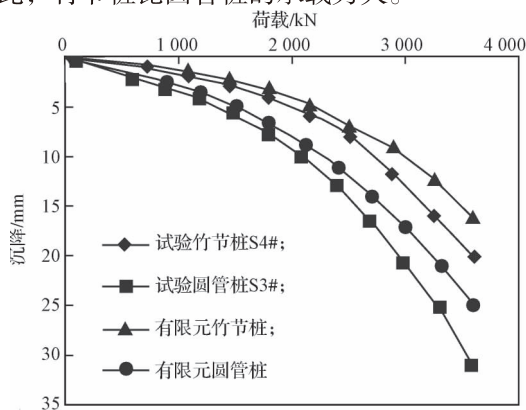


图5 试验桩和有限元模拟桩荷载-沉降曲线对比

Fig. 5 Load-settlement curves comparison of testing piles and finite element simulation piles

4 结语

1) 由现场试桩和有限元模拟结果可知, 竹节桩在本工程中的应用是成功的。竹节桩的Q-S曲线呈缓变型, 与圆管桩相比, 曲线相对平缓, 在荷载作用下沉降小, 说明其承载力大。

2) 复杂条件下应用有限元分析软件ADINA模拟单桩承载力是可行的, 但由于桩、土、以及桩-土之间接触关系复杂, 有限元模型进行了一定的简化处理, 模拟结果不能作为桩基承载力检验的唯一依据。

3) 由于竹节桩砼用量节省, 连接接头更耐久, 但其承载力机理比圆管桩更加复杂, 影响桩基承载力的因素也很多。因此竹节桩还有很多问题有待于进一步研究, 如: 符合实际的单桩承载力计算的经验公式和理论公式尚需研究; 环状凸肋的最佳厚度、间距还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 王重. 中国管桩十五年发展及未来展望[C]//预制混凝土木桩学术论文集. 长沙: [出版者不详], 2004: 8-11.
Wang Chong. 15 Years' Development of Pipe Pile and Future Prospect in China[C]//Academic Proceeding for Precast-Concrete Wood Pile. Changsha: [s. n.], 2004: 8-11.
- [2] 齐金良, 周平槐, 杨学林, 等. 机械连接竹节桩在沿海软土地基中的应用[J]. 建筑结构, 2014, 44(1): 73-76.
Qi Jinliang, Zhou Pinghuai, Yang Xuelin, et al. Application of Mechanical-Connection Bamboo Joint Piles in the Coastal Soft Soil Foundation[J]. Building Structure, 2014, 44(1): 73-76.
- [3] Ogura H, Yamagata K, Ohsugi F. Study on Bearing Capacity of Nodular Cylinder Pile by Full-Scale Test of Jacked Piles[J]. Journal of Structural and Construction Engineering, 1988, 386: 66-77.
- [4] Ogura H, Yamagata K. A Theoretical Analysis on Load-Settlement Behavior of Nodular Piles[J]. Journal of Structural and Construction Engineering, 1988, 393: 152-164.
- [5] 史玉良. 预制节桩的荷载试验及荷载传递性能分析[J]. 工业建筑, 1993, 23(7): 3-9.
Shi Yuliang. The Test and Analysis on Load Transfer Behavior of Precast Nodular Piles[J]. Industrial Construction, 1993, 23(7): 3-9.
- [6] 黄敏, 龚晓南. 带翼板预应力管桩承载性能的模拟分析[J]. 土木工程学报, 2005, 38(2): 102-105.
Huang Min, Gong Xiaonan. A Study on the Behavior of Prestressed Pipe Pile with Wing Plates Under Axial Load[J]. China Civil Engineering Journal, 2005, 38(2): 102-105.
- [7] 黄敏, 龚晓南. 一种带翼板预应力管桩及其性能初步研究[J]. 土木工程学报, 2005, 38(5): 59-62.
Huang Min, Gong Xiaonan. A Prestressed Concrete Pipe Pile with Wing Plates and Its Behavior[J]. China Civil Engineering Journal, 2005, 38(5): 59-62.
- [8] 中国建筑科学研究院. JGJ 106—2014 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014: 13-18.
China Academy of Building Research. JGJ 106—2014 Technical Code for Testing of Building Foundation Piles[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2014: 13-18.
- [9] 浙江省建筑设计研究院. DB33/1001—2003 建筑地基基础设计规范[S]. 杭州: 浙江大学出版社, 2003: 189-192.
Zhejiang Province Institute of Architectural Design And Research. DB33/1001—2003 Code for Design of Building Foundation[S]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2003: 189-192.

(责任编辑: 邓光辉)