

增强型预应力混凝土离心桩承载性状对比试验分析

方鹏飞¹, 齐金良², 周兆弟³

(1. 浙江大学宁波理工学院, 浙江 宁波 315100; 2. 浙江天海管桩有限公司, 浙江 杭州 310024; 3. 浙江天海建设有限公司, 浙江 宁波 315800)

摘要: 在软土地区, 传统管桩存在桩侧摩阻力低、桩身连接方式落后、抗弯抗拉性能差等缺点, 其应用有较大的局限性。增强型预应力混凝土离心桩(简称“增强型离心桩”)是在传统管桩基础上开发的一种新桩型。介绍了增强型离心桩的构造、生产工艺和桩身连接方式等, 通过单桩静载荷试验表明, 与同桩径、同桩长的传统管桩相比, 增强型离心桩的单桩竖向极限承载力可达普通管桩的 1.23 倍, 单桩抗拔极限承载力能提高 73.3%左右。增强型离心桩通过调整普通管桩桩侧形状, 有效发挥桩侧摩阻力, 改善桩基承载性能, 具有明显的经济效益和社会效益。

关键词: 增强型预应力混凝土离心桩; 承载性状; 静载荷试验

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2013)S2-1020-04

作者简介: 方鹏飞(1975-), 男, 浙江义乌人, 博士, 副教授, 主要从事桩基工程、环境岩土工程等方面的研究与教学工作。E-mail: fpf@nit.zju.edu.cn。

Comparative study on bearing capacity of enhanced pretensioned spun concrete piles and conventional pipe piles

FANG Peng-fei¹, QI Jin-liang², ZHOU Zhao-di³

(1. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China; 2. Zhejiang Tianhai Pipe Pile Co., Ltd., Hangzhou 310024, China; 3. Zhejiang Tianhai Construction Co., Ltd., Ningbo 315800, China)

Abstract: The application of the traditional pretensioned spun concrete pile (TPSCP) is limited in soft soils for its lower shaft resistance, backward connection method, weak bending-resistance and tensile properties. The enhanced pretensioned spun concrete pile (EPSCP) is developed on the basis of TPSCP, and its conformation, construction technology and a set of mechanical bonding joints are introduced. According to the static load tests, the results are as follows: (1) the vertical allowable load capacity of single EPSCP can be 1.23 times as much as that of TPSCP under the same pile diameter and pile length; (2) Compared with that of the TPSCP with the same diameter and length, the vertical ultimate uplift resistance of single EPSCP is increased by 73.3%. It is shown that the shaft resistance of the EPSCP can be improved by setting the ring and longitudinal rib along the pile shaft, and its compressive and tensile characters are ameliorated. So the application of the EPSCP can be extended for its better economic efficiency and social benefits with broad prospects.

Key words: enhanced pretensioned spun concrete pile; bearing capacity; static load test

0 引言

在软土地区, 预应力混凝土管桩已成为一类重要的桩基类型, 已广泛应用于各类建筑物和构筑物中。2009年, 全国管桩年生产量已经达到3亿余米, 产值达300多亿元人民币, 同时为管桩行业配套的辅助产品年产值也近250亿元, 目前管桩已占全国水泥制品行业产值的50%左右。

目前, 管桩已扩展为PC桩、PHC桩、钢管混凝土桩(简称SC桩)、扩底PHC桩(简称ST桩)、带节PHC桩(简称竹节桩)、增强型PHC桩(简称PRC桩)、PRC竹节桩、部分预应力PHC桩、部分预应力竹节桩等^[1]。与其他桩型相比, 管桩具有明显的优点:

①桩身强度高, 产品质量稳定, 耐打性能好; ②施工速度快、周期短, 施工中无泥浆污染, 性价比高。然而, 在深厚软土地区, 管桩的生产和应用还存在许多问题, 影响管桩的进一步推广, 主要包括: ①桩侧摩阻力值较低, 单桩承载力不高。②管桩的连接方式有待改善。传统的管桩两端采用端板和桩套箍, 张拉时易出现偏差。接桩一般采用电焊, 易造成端板材质改变、墩头强度降低、桩体易断筋等。③管桩的抗弯、

基金项目: 宁波市重大科技攻关择优委托项目资助(2012C5007); 宁波市科技创新团队项目(2011B81005)

收稿日期: 2013-06-15

抗拉性能有待提高。④管桩的耐久性能需要得到改善。

为有效解决预应力管桩存在的问题, 扬长避短, 国内外的一些专家对管桩作了不同的改进。日本最早从事竹节桩的开发, 并进行大量的足尺模型试验, 对竹节桩的承载机理进行了研究^[2-4]。国内学者也先后开发了扩大头带肋(翼板)填砂预应力管桩、静钻根植先张法预应力混凝土竹节桩等, 并对各种新型管桩的承载性状进行现场对比试验和理论分析^[5-7]。

另外, 管桩用作抗拔桩受到很大的限制, 例如江苏省、福建省地方规范都明确指出, 在抗拔构件中慎用管桩^[8-9]。因此, 如何提高管桩的应用效率和应用范围, 克服传统管桩的缺点, 创新桩型、优化生产工艺、改进桩身连接方式、提高单桩承载力一直是桩基领域关注的热点问题。本文主要介绍一种改良创新的桩型——增强型预应力混凝土离心桩及其生产工艺, 并通过现场静载荷试验对其抗压和抗拔承载性状进行对比分析。

1 增强型离心桩介绍

增强型离心桩是在传统预应力管桩基础上开发的一种新桩型, 桩身扩径体有效扩大支撑面积, 大幅度提高桩的刚度, 增加桩侧摩阻力, 改善抗压和抗拔性能, 见图 1 所示。



图 1 增强型预应力离心桩
Fig. 1 Enhanced prestressed concrete pipe piles

1.1 增强型离心桩的构造

增强型离心桩是沿桩体的外壁每隔 1~3 m 设一节环形凸肋, 桩周外侧均匀加设多条纵向凸肋来连接环状凸肋。与普通竹节桩的最大区别是设置了纵向肋, 增强了桩的刚度, 且管桩在运输、堆放时不易滚动。

1.2 机械式接桩技术

传统管桩接桩采用焊接的方法, 每个接头约需 20 min, 待焊缝自然冷却后方可沉桩。焊接时对技术工人、端板的要求都较高, 施工质量难以保证, 管桩接头处往往成为桩体的薄弱环节。

为了克服传统管桩焊接连接及桩头存在的不足, 浙江天海集团专门研发了一套机械式接桩技术及预制

件, 见图 2 所示。该接桩技术快速、操作简单, 其接头的力学性能也能满足工程要求。

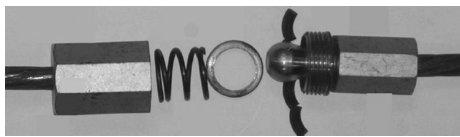


图 2 增强型预应力离心桩机械式连接件实体图
Fig. 2 Mechanical bonding joint of EPSCP

2 增强型离心桩静载荷试验对比分析

2.1 工程实例 1

(1) 工程概况

某工程位于沿海软土地区, 根据勘察报告, 场地土层分布情况见表 1 所示。基桩采用 $\Phi 400$ 的管桩, 桩长为 39 m 和 45 m, 以 4-1 层粉质黏土为桩端持力层, 桩身混凝土采用 C60 和 C65。

表 1 工程 1 场地土分布情况

Table 1 Distribution of soil strata in project No. 1				
序号	土层	天然地基土承载力特征值/kPa	桩侧摩阻力特征值 /kPa	桩端阻力特征值 /kPa
1	粉质黏土	80	10	
2	淤泥	50	5	
3-1	淤泥质黏土	60	6	
3-2	淤泥质粉质黏土	80	8	
4-1	粉质黏土	120	16	550
4-2	粉质黏土	150	20	700
4-3	粉质黏土	125	18	600

为验证增强型离心桩的应用效果, 选择相邻的 4 根桩(2 根普通管桩, 2 根增强型离心桩)进行对比试验, 普通管桩型号为 PTC-400(60)和 PTC-500(60), 相应的增强型离心桩型号为 PTC-400-340(60)和 PTC-500-430(60)。

(2) 静载荷试验

对 4 根桩分别进行竖向受压静载荷试验, 采用配重堆载方式进行快速静载荷试验^[10]。

(3) 试验结果分析

4 根试验桩的竖向受压静载荷试验结果见图 3、图 4 所示。试验结果汇总见表 2 所示。

从图 3、图 4 可以看出, 桩径、桩长相同情况下, 桩顶荷载相同时, 增强型离心桩的桩顶沉降量明显小于普通管桩, 可见增强型离心桩的刚度相对较大, 且增强型离心桩的承载性状要好于普通管桩。

从图 3、图 4、表 2 还可以看出, $\Phi 400$ 的普通管桩和增强型离心桩的单桩竖向极限承载力分别为 1100 和 1350 kN; $\Phi 500$ 的普通管桩和增强型离心桩的单桩竖向极限承载力分别为 1530 和 1880 kN。可见,

相同桩径、相同桩长的增强型离心桩单桩竖向极限承载力能达到普通管桩单桩竖向极限承载力的 1.23 倍左右。

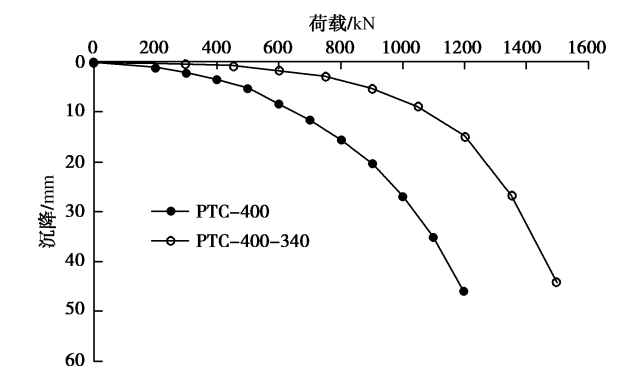


图 3 Φ 400 桩的荷载 - 沉降曲线

Fig. 3 Load-settlement curves of piles with Φ400

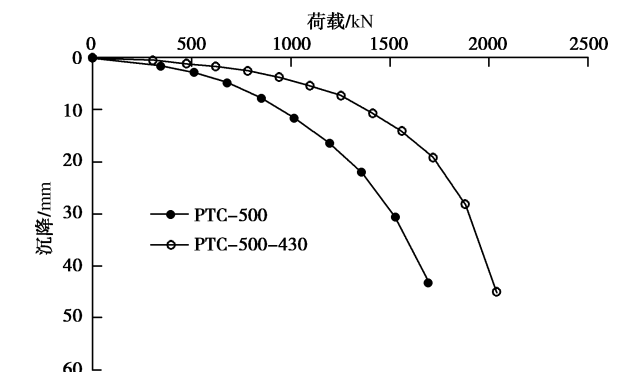


图 4 Φ 500 桩的荷载 - 沉降曲线

Fig. 4 Load-settlement curves of piles with Φ500

表 2 竖向抗压静载荷试验结果汇总

Table 2 Results of static compressive load tests

桩型	桩长/m	最大试验荷载/kN	单桩竖向极限承载力/kN	最大荷载对应的桩顶沉降量/mm
PTC-400(60)	39	1200	1100	46.11
PTC-400-340(60)	39	1500	1350	44.23
TC-500(60)	45	1700	1530	43.30
PTC-500-430(60)	45	2040	1880	45.13

2.2 工程实例 2

(1) 工程概况

某工程场地位于沿海软土地区低洼地段，基础采用传统薄壁管桩和增强型离心桩两种桩型，桩长均为 21 m，桩身混凝土强度等级为 C65。场地内土层分布见表 3 所示。#1、#2 试桩为增强型预应力离心桩，#3、#4 试桩为普通预应力薄壁管桩。普通预应力薄壁管桩桩径为 500 mm，壁厚为 65 mm；增强型离心桩环肋处桩径为 500 mm，桩身直径为 430 mm，试验桩的基本情况见表 4 所示。

(2) 静载荷试验

选择 4 根桩进行单桩抗拔静载荷试验，采用快速维

持荷载法^[10]。

(3) 试验结果分析

4 根桩的抗拔静载荷试验结果见图 5 所示。各试桩抗拔极限承载力见表 4 所示。

表 3 工程 2 场地土分布情况

Table 3 Distribution of soil strata in project No. 2

序号	土层	土层厚度/m	天然地基土承载力特征值/kPa	桩侧摩阻力特征值/kPa	桩端阻力特征值/kPa
1-1	杂填土	2.0			
1-2	粉质黏土	1.4	80	4	
1-3	粉质黏土	1.2	70	8	
2-1	粉质黏土	2.4	100	18	
2-2	淤泥质粉质黏土	4.6	60	7	
3	粉质黏土	4.35	120	25	
4	淤泥质粉土	7.65	60	8	1700
5	粉细砂	9.85	180	30	
6-1	粉质黏土	12.35	90	16	
6-2	粉质黏土夹粉细砂	7.35	110	20	
6-3	粉质黏土	10.65	100	18	
7	砂砾夹粉质黏土	1.25	150	40	2200

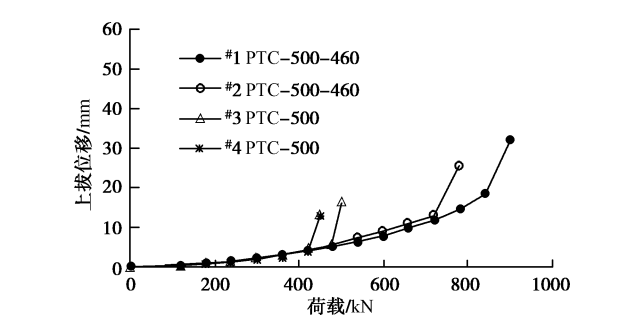


图 5 试桩抗拔试验曲线

Fig. 5 Curves of uplift load tests

表 4 抗拔试桩情况和抗拔承载力

Table 4 Ultimate uplift resistance capacity of each pile

试桩	桩长/m	桩径/mm	竖向抗拔极限承载力/kN
#1	21	500-460（增强型）	840
#2	21	500-460（增强型）	720
#3	21	500（普通型）	480
#4	21	500（普通型）	420

从图 5 和表 4 可以看出，4 根桩的荷载 - 上拔位移曲线在开始阶段基本重合。荷载小于 420 kN 时为直线段；随着荷载的增大，各桩上拔位移变化速率逐渐变大。其中#3、#4 普通管桩的极限抗拔承载力分别为 480 和 420 kN，相应的上拔位移为 5.92 和 4.07 mm；#1、#2 增强型离心桩的极限抗拔承载力分别为 840 和 720 kN，相应的上拔位移为 18.51 和 13.11 mm。在相同桩

顶荷载作用下, 增强型离心桩的上拔位移要小于普通管桩, 说明增强型离心桩比传统管桩具有更大的桩侧摩阻力和极限抗拔承载力。

从表 4 还可以看出, 在桩径相同的情况下, 增强型离心桩竖向抗拔极限承载力平均值可达 780kN, 而传统管桩竖向抗拔极限承载力平均值仅为 450kN, 前者比后者提高达 73.3%, 可见增强型离心桩具有良好的抗拔性能。

3 增强型离心桩承载特性分析

增强型离心桩通过改变桩身形状, 增加了桩-土界面的粗糙度和接触面积, 从而调动桩侧摩阻力的潜能。增强型离心桩桩身存在环向肋和纵向肋, 在承受受压或抗拔荷载时, 肋部对土体有承压作用, 这种承压一方面会对桩侧土产生挤密效应, 另一方面同时会对土体施加附加应力, 提高桩侧土体的抗剪强度, 从而有效提高桩侧摩阻力。因此, 增强型离心桩与传统管桩相比, 能充分发挥桩侧摩阻力, 有效提高单桩抗压极限承载力和抗拔极限承载力。

4 结 语

增强型离心桩是在传统管桩基础上开发的一种新桩型, 因桩身设置环向肋和纵向肋, 扩大桩土接触面, 有效提高桩侧摩阻力, 改善受压和抗拔承载性能。

工程应用表明, 桩径、桩长相同时, 增强型离心桩的单桩竖向极限承载力是普通管桩的 1.23 倍。

抗拔载荷试验表明, 桩径、桩长相同时, 增强型离心桩竖向抗拔极限承载力平均值可达 780 kN, 而传统管桩的仅为 450 kN, 前者比后者提高达 73.3%。

增强型离心桩的理论研究远落后于工程实践, 今后需结合现场试验和理论分析, 研究增强型离心桩在受压和抗拔荷载作用下的荷载传递机理, 提出工程设计计算方法, 便于进一步推广应用。

参考文献:

- [1] 匡红杰, 朱群芳, 徐祥源. 先张法预应力混凝土异型桩的发展概况调研[J]. 混凝土与水泥制品, 2012(12): 27 - 30. (KUANG Hong-jie, ZHU Qun-fang, XU Xiang-yuan. Preliminary study on the development of pretensioned spun concrete special-shaped piles[J]. China Concrete and Cement Product, 2012(12): 27 - 30. (in Chinese))
- [2] OGURA H, YAMAGATA K, OHSUGI F. Study on bearing capacity of nodular cylinder pile by full-scaled test of jacked piles[J]. Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), 1988, **386**: 66 - 77.
- [3] DAISUKE Shoda. Analysis of ultimate bearing capacity for nodal base of pile with multi-stepped two diameters[C]// Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, San Francisco, California, 2006: 1433 - 1439.
- [4] KARKEE M B, HORIGUCHI T, KISHIDA H. Limit state formulation for the vertical resistance of bored PHC nodular piles based on field load test results[C]// Eleventh Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, A. A. Balkema, 1999: 237 - 240.
- [5] 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 Xiao-nan. A prestressed concrete pipe with wing plates and its behavior[J]. China Civil Engineering Journal, 2005, **38**(5): 59 - 62. (in Chinese))
- [6] 董全杨, 丁光亚, 孙宏磊, 等. 新型带肋预应力管桩承载性能研究[J]. 岩土力学, 2012, **33**(6): 1809 - 1815. (DONG Quan-yang, DING Guang-ya, SUN Hong-lei, et al. Bearing behavior of a new type of prestressed pipe pile with rib[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, **33**(6): 1809 - 1815. (in Chinese))
- [7] 吴 策. 带肋填砂预应力管桩承载性能的研究[D]. 上海: 同济大学, 2007. (WU Ce. Study on bearing behavior of ribbed and sand-filled prestressed tube pile[D]. Shanghai: Tongji University, 2007. (in Chinese))
- [8] DBJ 13—86—2007 先张法预应力混凝土管桩基础[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007. (DBJ 13—86—2007. Technical specification for pretensioned spun concrete pile foundation[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007. (in Chinese))
- [9] DBJ 32/TJ 109—2010 预应力混凝土管桩基础技术规程[S]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2010. (DBJ 32/TJ 109—2010. Technical specification for prestressed concrete pipe pile foundation[S]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 2010. (in Chinese))
- [10] 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. (JGJ 106—2003. Technical code for testing of building foundation piles[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003. (in Chinese))