

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2015.01.004

变截面与等截面管桩复合地基承载特性对比研究

黄礼胜, 崔 斌, 何爱波, 王亚辉, 黄福安

(湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 为探讨阶梯型变截面管桩复合地基的承载特性及优点, 进行了2组等截面管桩复合地基和3组阶梯形变截面管桩复合地基承载性状的室内大比例模型对比试验。试验结果表明: 在相同荷载作用下, 阶梯形变截面管桩及其复合地基的沉降明显低于等截面管桩及其复合地基的沉降。在管桩材料用量及所处的地质条件相同的情况下, 阶梯形变截面管桩单桩刚度明显大于等截面管桩的单桩刚度。阶梯形变截面管桩桩身强度能较好地与桩身轴力变化规律协调。因此, 采用阶梯形变截面管桩能充分利用桩身强度, 降低桩基造价。

关键词: 阶梯形变截面管桩; 复合地基; 荷载-沉降; 桩身荷载传递规律

中图分类号: TU473

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2015)01-0024-05

Comparative Research of Bearing Characteristics of the Composite Foundation with Variable Section and Uniform Section Pipe-Piles

Huang Lisheng, Cui Bin, He Aibo, Wang Yahui, Huang Fuan

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

Abstract: To study the ladder-shaped variable section pipe-pile composite foundation load-bearing characteristics, conducted on indoor large scale model contrast experiments the bearing properties of two groups of uniform section pipe pile composite foundation and three groups of ladder-shaped variable cross-section pipe pile composite foundation. The conclusions show that: under the same loading, the settlement of ladder-shaped variable cross-section pipe pile and its composite foundation is obviously less than that of uniform section pipe pile. On the condition that the amount of pipe pile materials and geological conditions are the same, the single pile stiffness of ladder-shaped variable cross-section is significantly greater than the stiffness of uniform section single pile. The strength of ladder-shaped variable cross-section pipe pile is coordinated with the variation of axial force of pile shaft. Therefore, adopting ladder-shaped variable cross-section pipe pile makes full use of pile strength and reduces the cost of the pile.

Keywords: ladder variable section pipe pile; composite foundation; load-settlement; pile load transferring law

1 研究背景

混凝土预制管桩作为一种常见的预制工程桩, 具有施工周期短、桩身强度高、质量有保障、检测方便、造价低廉等诸多优点, 因而被大量应用于房屋建筑、道路桥梁及水利水电工程等领域的桩基工

程及软基处理工程中。桩-网结构基础是一种刚性基础, 由刚性群桩和桩顶上的加筋垫层组成, 它作为刚性桩加固深厚软土地基工法, 具有竖向沉降小, 变形稳定时间短的优点。徐林荣等^[1]研究了软土路堤桩-网复合地基的承载机理及应力传递机理, 同时结合沪宁城际铁路桩-网复合地基试验段, 对桩-

收稿日期: 2014-12-01

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2015JJ5017)

作者简介: 黄礼胜(1986-), 男, 安徽淮南人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为地基处理, E-mail: 360509926@qq.com

网复合地基中基底土压力、土工格栅应力应变、桩和土的沉降及地基侧向位移等进行了长期监测,分析了桩土应力分担过程,土工格栅受力特点、沉降及侧向位移规律,提出了桩-网复合地基沉降计算方法。薛新华等^[2]利用 Mindlin-Geddes 方法联合获得了加固区附加应力分布,再利用 Boussinesq 方法获得了下卧层附加应力分布,然后结合小孔扩张理论获得桩体的刺入变形,得到了与实测沉降较吻合的计算结果。

管桩复合地基在公路、铁路及房屋建筑工程中已有一定的应用,并取得了较好的经济效益和社会效益,从而吸引了较多学者的研究。如:于进江等^[3]基于潮汕车站桩-网复合地基处理软基工程的现场观测结果,探讨了管桩-网加固深厚软土的机理。刘汉龙等^[4]在传统管桩的基础上,提出了现浇薄壁管 (cast-in-situ concrete thin-wall pipe pile, PCC) 桩地基处理技术,该技术目前已经在江苏、浙江和上海等地高速公路、铁路软基加固工程中推广应用^[5-7],并取得了良好的经济效益及社会效益。刘汉龙等^[8]对 PCC 桩复合地基展开了一系列实验及理论研究,探讨了褥垫层模量和厚度、桩体模量、桩长、基础刚度等对现浇混凝土薄壁管桩复合地基桩土应力比的影响。温世清等^[9]基于 PCC 桩-土-垫层相互作用的工作特性,研究了桩-土-垫层相互作用机理及沉降分析方法,提出了 PCC 桩复合地基桩土应力比、沉降简化计算公式。张波等^[10]基于现浇薄壁管单桩复合地基,模型分析了褥垫层模量、桩间距、桩长、土体模量等因素对现浇薄壁管桩复合地基承载性能的影响。尹宏春^[11]等基于单桩水平静载荷模型试验,分析了当桩体体积与桩侧表面积相同时,得到了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缓慢。

尽管他人就桩-网复合地基的工作特性等方面做了很多有益的工作,但阶梯型变截面管桩复合地基工作性状研究还未见相关文献报道。为此,本文基于大比例模型试验结果,对比研究阶梯型变截面管桩和等截面管桩复合地基的工作性状,望能为阶梯型变截面管桩复合地基的推广应用提供借鉴。

2 模型试验

2.1 管桩预制方案

试验管桩由预制的两管节组合而成,连接时对管节连接部位进行清理,之后涂上环氧树脂,然后再用桩帽连接并焊接。

管节的制作:采用 2 mm 薄钢板自制管节模型制作管节,管节模型内径分别为 16, 14, 12, 10, 8 cm, 管节制作钢模如图 1 所示。制作管节时,先将图 1a 中外壁钢模刷油,并用螺丝进行连接;然后将厚壁钢管外包保鲜膜并刷油,插入图 1b 中的混凝土模具凹槽中,放入钢丝网,浇筑细骨料混凝土捣实并进行养护。采用 2 mm 薄钢板自制端头板,具体制作可参考图 2 和图 3 进行。将自制端头板与混凝土管桩利用环氧树脂进行胶结,形成最终的模型管节。为模拟实际工程接桩,按图 2 连接方法进行电焊接管(焊接钢条和角钢均采用 2 mm 厚钢板制作)。

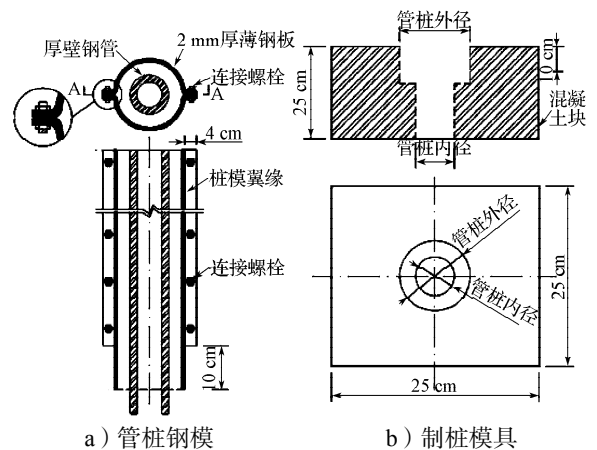


图1 模型管桩制作桩模图

Fig. 1 The diagram for model pipe pile making

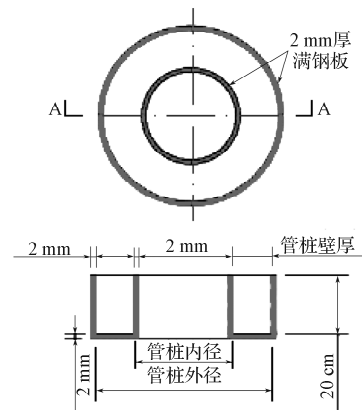


图2 模型桩端头板制作示意图

Fig. 2 The schematic diagram of model pile end plate making

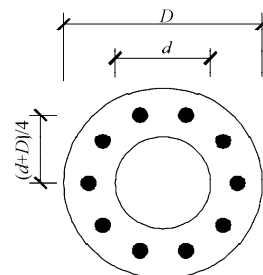


图3 预制桩配筋图

Fig. 3 Precast pile reinforcement diagram

2.2 试验概况

模型试验在 $6.0\text{ m} \times 3.0\text{ m} \times 6.0\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高) 的模型基坑内进行。土体采用本地红粘土, 通过含水量和压实度来控制土层参数, 并填筑为上软下硬的双层地基, 具体填筑如图4所示。

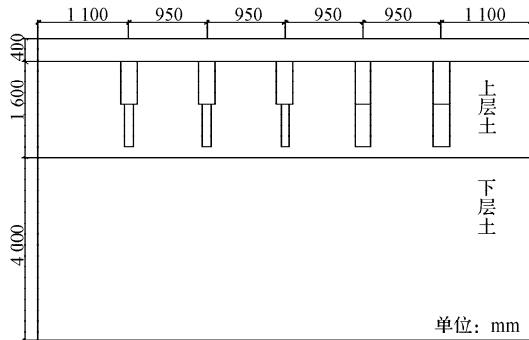


图4 模型试验示意图

Fig. 4 The schematic diagram for model test

桩身材料采用相似比配置的细骨料混凝土, 强度要求达到 C30 以上, 钢筋笼用钢丝网进行模拟, 端板采用 2 mm 薄钢板制作, 在填筑过程中进行相关参数测试与测试元件埋设。模型管桩相关参数见表1, 土的主要物理力学参数见表2。

表1 模型管桩参数

Table 1 Parameters of model pipe piles						
地基 编号	桩的截面 类型	第一管节		第二管节		管桩 长度
		外径	内径	外径	内径	
1#	变截面	16	8	12	6	140
2#	变截面	14	7	10	5	140
3#	变截面	14	7	8	4	140
4#	等截面	14	7	14	7	140
5#	等截面	12	6	12	6	140

注: 每根桩由2根管节连接, 每根管节长70 cm; 第一管节指最后沉入土中的管节。

表2 上层土的主要物理力学参数

Table 2 Main physical-mechanical parameters of the upper soil				
水质量分数 w/%	重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	压缩模量 E_s/MPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	黏聚力 c/kPa
27.9	18.2	4.3	19.8	12.8

为对比分析桩预制管桩复合地基的工作特性, 共进行了5组单桩复合地基模型对比试验, 单桩复合地基模型在基坑内的平面布置如图5所示。

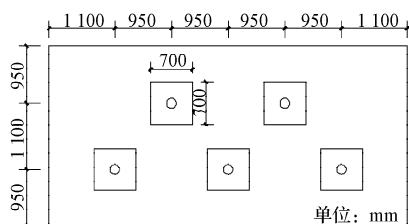


图5 复合地基布置图

Fig. 5 The layout of composite foundation

3 试验结果分析

本次试验设计了2根等截面管桩(4#和5#)与3根变截面管桩(1#~3#)复合地基模型。图6为4#等截面管桩复合地基模型与1#阶梯形变截面管桩复合地基模型的荷载-沉降对比曲线, 其中1#管桩上下管节平均直径与4#等截面管桩相同。图7为5#等截面管桩复合地基模型与2#、3#阶梯形变截面管桩复合地基模型的荷载-沉降对比曲线, 其中2#管桩上下管节平均直径与5#等截面管桩相同。

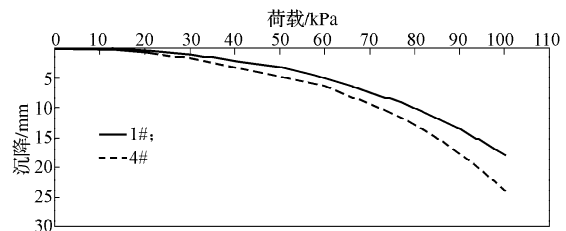


图6 荷载-沉降曲线

Fig. 6 Curves of load-settlement

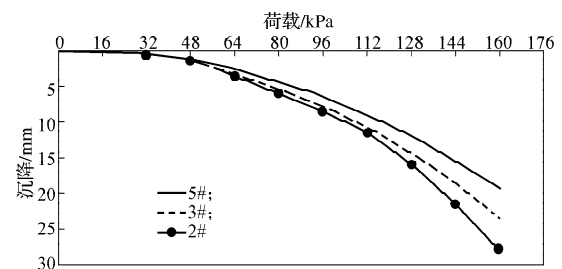


图7 荷载-沉降曲线

Fig. 7 Curves of load-settlement

由图6~7可知:

1) 阶梯形变截面复合地基与等截面管桩复合地基的荷载-沉降曲线均为缓变形。

2) 在相同荷载作用下, 变截面管桩复合地基的沉降比等截面管桩复合地基的小, 且随着荷载的增大, 二者的沉降差值增大。由此可得, 在材料用量及地质条件相同的情况下, 采用变截面管桩复合地基技术, 能有效降低复合地基的沉降, 提高复合地基承载力。

3) 组成阶梯形变截面管桩的各管节管径之比对复合地基承载力性能有较大影响, 但最佳的管径之比有待进一步研究。

图8为桩-土荷载分担比随荷载变化的规律。由图可知:

1) 在管桩复合地基中, 随着荷载的增大, 管桩分担的荷载增大, 桩周土分担的荷载降低。

2) 在各级荷载作用下, 在复合地基中阶梯形变截面管桩分担的荷载均比等截面管桩大, 这说明阶梯形变截面管桩的单桩刚度要优于等截面管桩。

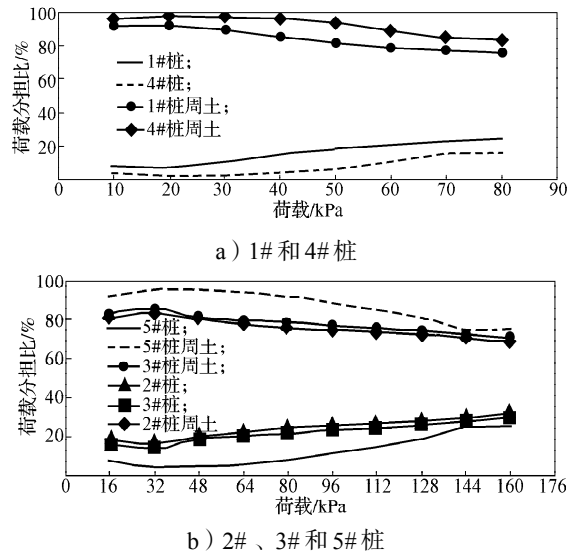


图8 桩土荷载分担比-荷载曲线

Fig. 8 The curves for load variation and pile-soil load share ratio

对埋设在碎石垫层以下桩顶上的土压力盒和埋置在桩身中的应变片的读数进行整理,得到了各级荷载作用下5组复合地基的管桩桩身轴力随深度的变化规律如图9~13所示。

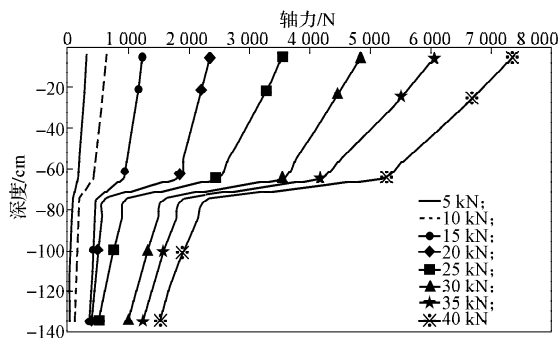


图9 1#复合地基桩身轴力分布规律

Fig. 9 The axial force distribution law of pile shaft in composite foundation #1

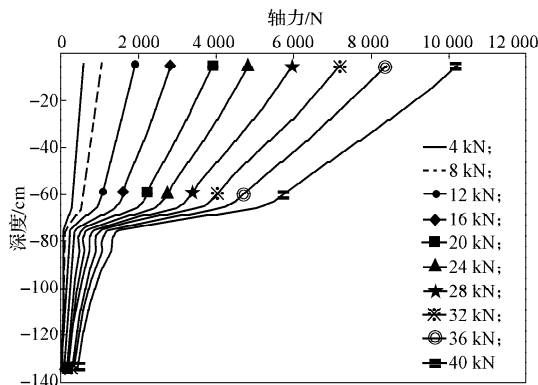


图10 2#复合地基桩身轴力分布规律

Fig. 10 The axial force distribution law of pile shaft in composite foundation #2

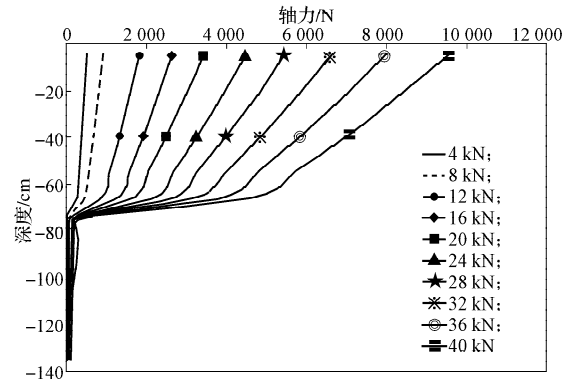


图11 3#复合地基桩身轴力分布规律

Fig. 11 The axial force distribution law of pile shaft in composite foundation #3

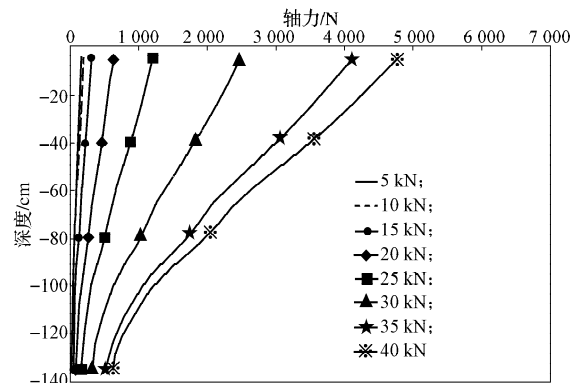


图12 4#复合地基桩身轴力分布规律

Fig. 12 The axial force distribution law of pile shaft in composite foundation #4

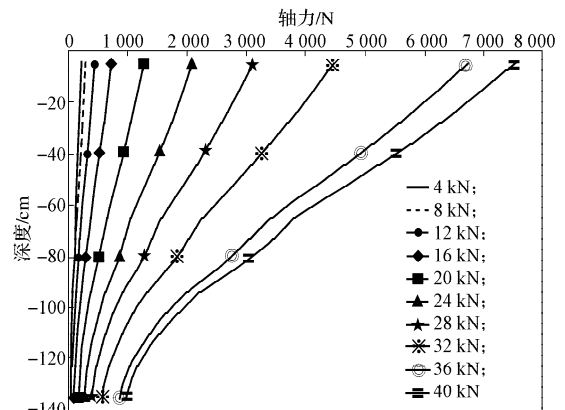


图13 5#复合地基桩身轴力分布规律

Fig. 13 The axial force distribution law of pile shaft in composite foundation #5

由图9~13可知,由于变截面复合地基中的管桩桩身截面尺寸在距桩顶70 cm处发生突变,从而使变截面复合地基中管桩的荷载传递呈现出与等截面复合地基中管桩不同的特性,且情况更复杂。通过管桩桩身轴力分布图可以简要分析等截面与变截面复合地基中管桩荷载传递的一些特点以及两者的差别:

1) 等截面复合地基中的管桩(4#桩和5#桩)的桩身轴力随着传递深度的增大而降低,且随着荷载的

增大,降低的幅度增大;随着荷载的增加,管桩桩身轴力沿深度不断衰减,且衰减速率逐渐增大,这说明桩侧摩阻力逐步发挥。

2)在相同荷载作用下,变截面比等截面复合地基中的管桩所分担的荷载要大;在变截面管桩复合地基中,由于变截面管桩接头处的桩端阻力作用,从而使桩身轴力在此产生突变。

3)阶梯形变截面管桩复合地基中,管桩桩端轴力明显小于等截面管桩复合地基中管桩桩端轴力,这说明阶梯形变截面管桩与桩周土的相互作用,明显强于等截面管桩与桩周土的相互作用。

4)在管桩材料用量及所处的地质条件相同的情况下,变截面管桩的承载能力明显高于等截面管桩的承载能力。

4 结论

基于阶梯形变截面管桩复合地基与等截面管桩复合地基室内大比例模型静载试验结果,探讨了阶梯形变截面管桩复合地基和等截面管桩复合地基的承载性状及差异,可得如下结论:

1)在相同荷载作用下,阶梯形变截面管桩及其复合地基的沉降明显低于等截面管桩及其复合地基的沉降。因此,阶梯形变截面管桩对提高地基承载能力,降低地基沉降具有较好的作用。

2)在管桩材料用量及所处的地质条件相同的情况下,阶梯形变截面管桩单桩刚度明显大于等截面管桩的单桩刚度。

3)阶梯形变截面管桩桩身强度能很好地与桩身轴力变化规律协调,因此采用阶梯形变截面管桩能充分利用桩身强度,降低桩基造价。

参考文献:

- [1] 徐林荣,牛建东,吕大伟,等.软基路堤桩-网复合地基试验研究[J].岩土力学,2007,28(10):2149-2154.
Xu Linrong, Niu Jiandong, Lü Dawei, et al. Experimental Study on Pile-Net Composite Foundation of High-Speed Railway on Soft Soils[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(10): 2149-2154.
- [2] 薛新华,魏永幸,杨兴国.桩-网结构复合地基计算沉降研究[J].水利与建筑工程学报,2010,8(6):42-45.
Xue Xinhua, Wei Yongxing, Yang Xingguo. Study on Settlement Calculation of Pile-Net Compound Foundation [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2010, 8(6): 42-45.
- [3] 于进江,程谦恭,李成辉,等.超大面积深厚软土桩-网复合地基现场试验研究[J].岩土力学,2012,33(10):2881-2889.
Yu Jinjiang, Cheng Qiangong, Li Chenghui, et al. Field Test Study of Pile-Net Composite Foundation on Oversized Deep Soft Soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(10): 2881-2889.
- [4] 刘汉龙,费康,马晓辉,等.振动沉模大直径现浇薄壁管桩技术及其应用(I):开发研制与设计[J].岩土力学,2003,24(2):164-168.
Liu Hanlong, Fei Kang, Ma Xiaohui, et al. Cast-in-Situ Concrete Thin-Wall Pipe Pile with Vibrated and Steel Tube Mould Technology and Its Application (I): Development and Design[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24(2): 164-168.
- [5] Xu X T, Liu H L, Lehane B M. Pipe Pile Installation Effects in Soft Clay[J]. Geotechnical Engineering, 2006, 159(4): 285-296.
- [6] Liu H L, Fei K, Xu X T. Development and Application of the Large-Diameter Driven Cast-in-Place Concrete Thin-Wall Pipe Pile[C]//Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Osaka: A. A. Balkema, 2005: 2137-2140.
- [7] Liu H L, Chu J, Deng A. Use of Large-Diameter Cast-in-Situ Concrete Pipe Piles for Embankment over Soft Clay[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2009, 46(8): 915-927.
- [8] 刘汉龙,张波.现浇混凝土薄壁管桩复合地基桩土应力比影响因素分析[J].岩土力学,2008,29(8):2077-2081.
Liu Hanlong, Zhang Bo. Analysis of Factors Influencing Stress Ratio Between Pile and Soil of Composite Foundation with Cast-in-Situ Concrete Thin-Wall Pipes[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(8): 2077-2081.
- [9] 温世清,刘汉龙,高玉峰,等.现浇混凝土薄壁管桩复合地基沉降简化计算研究[J].岩土力学,2004,25(10):1651-1654.
Wen Shiqing, Liu Hanlong, Gao Yufeng, et al. Research on Simplified Calculation of Settlement of Cast-in-Situ Concrete Thin-Wall Pipe Pile Composite Foundation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(10): 1651-1654.
- [10] 张波,刘汉龙.现浇薄壁管桩复合地基竖向承载特性分析[J].岩土工程学报,2007,29(8):1251-1255.
Zhang Bo, Liu Hanlong. Analysis of Bearing Performance of Composite Foundation with Cast-in-Situ Concrete Thin-Wall Pipe Piles Under Vertical Loads[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(8): 1251-1255.
- [11] 尹宏春,杨庆光,刘杰.变截面管桩水平承载性状模型试验研究[J].湖南工业大学学报,2014,28(2):38-41.
Ying Hongchun, Yang Qingguang, Liu Jie. Model Test Study of Horizontal Bearing Behaviors of Variable-Section Pipe Piles[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(2): 38-41.

(责任编辑:邓光辉)