

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.02.006

有无土工格栅-夯实水泥土楔形桩工作性状试验研究

李冰, 刘杰, 何杰, 吴有平

(湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 对夯实水泥土楔形桩复合地基的平均沉降随荷载的变化规律、平均桩-土应力比以及桩身荷载传递规律进行了试验研究。结果表明: 在相同荷载作用下, 有土工格栅复合地基与无土工格栅复合地基相比, 平均沉降小, 平均桩-土应力比大, 桩身轴力大; 在相同的荷载时, 桩身轴力中桩最小, 角桩最大。

关键词: 复合地基; 楔形桩; 土工格栅; 桩土应力比

中图分类号: TU473

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)02-0024-05

Experimental Research on Bearing Behavior of Rammed Soil-Cement Tapered Pile with or without Geogrid Cushion

Li Bing, Liu Jie, He Jie, Wu Youping

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

Abstract: The law of the average settlement varying with load, the average pile-soil stress ratio and the load transfer law for the composite foundation with rammed cement-soil piles were studied experimentally. The results indicate that under the same load, the average settlement of composite foundation with geogrid is smaller than that of composite foundation without geogrid, the average pile-soil stress ratio with geogrid is larger than that without geogrid and the axial stress of pile with geogrid is greater than that without geogrid. With the same load, the axial force of the center piles is smallest and the axial force of the corner piles is biggest.

Keywords: composite foundation; tapered pile; geogrid; pile-soil stress ratio

0 引言

20世纪70年代, 前苏联在建筑行业中开始使用楔形桩。近年来, 楔形桩在国内外开始流行。楔形桩相对于其它桩型有以下优点: 能改变土的天然结构状态, 改善土的物理力学性能; 桩侧面倾斜, 能充分发挥桩-土间的共同作用, 提高地基承载力; 取材容易, 施工方便, 经济适用。文献[1]研究了循环荷载下楔形桩的特性; 文献[2-3]对楔形桩复合地基

进行了模型试验研究; 文献[4]对于楔形桩与圆柱形桩的地震动力的反应特性进行了系统的对比研究; 文献[5-7]系统地研究了楔形桩及其应用情况; 文献[8]对在竖向加荷方式下楔形桩的极限承载力、桩侧摩擦阻力以及桩端阻力的规律进行了研究; 文献[9]使用有限元软件ADINA对柔性基础下夯实水泥土楔形桩复合地基和夯实水泥土圆柱形桩复合地基的变形规律做了数值模拟分析, 得出了在各级荷载作用下软基的侧向、竖向变形的基本规律。目前, 关于楔

收稿日期: 2012-01-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50878084)

作者简介: 李冰(1985-), 男, 湖南益阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为地基处理,

E-mail: lb851028@vip.qq.com.

形桩的研究主要集中在楔形单桩的承载性状与沉降特性方面,而对楔形柔性桩复合地基的研究还鲜见报道。

双向增强体复合地基是近年兴起的一种地基处理技术,国内也开展了一些关于双向增强体(如土工格栅)复合地基的研究。文献[10]通过在试验段设置3个不同断面,从实测桩-土应力分析了土工格栅对桩-土应力比的作用机理,了解其变化规律;文献[11]结合具体工程实例,对土工格栅在桩网复合地基中的处理效果及可靠性进行了试验研究,结果表明:铺设土工格栅完全可以替代桩帽的作用,能有效改善附加应力的传递,提高桩-土应力比;文献[12]通过离心模型试验,模拟夯实水泥土桩联合土工格栅复合地基上路堤的填筑进程,得出了该种复合地基的工程特性;文献[13]针对山区沟谷软基的特殊土质,结合夯实水泥土桩和土工格栅在地基加固中的作用特点,提出用夯实水泥土桩与土工格栅联合加固的方案来处理沟谷软基,并利用平面应变弹塑性有限元数值分析法,对地基的受力性状、作用机理进行了多方面研究。

本课题组通过室内模型试验,对有无土工格栅-夯实水泥土楔形桩复合地基的平均桩-土应力比以及荷载传递规律等进行研究,以期将上述2种地基施

工技术结合起来,较好地应用于工程实践。

1 试验

1.1 试验主要材料

1) 粘土。粘土的主要物理力学参数见表1。

表1 粘土的物理力学参数

Table 1 Physical mechanical parameters of the clay

$w(H_2O)/\%$	内摩擦角/ (°)	粘聚力/ kPa	重度/ ($kN \cdot m^{-3}$)	压缩模量/ MPa	塑性 指数	液性 指数
30.8	8.22	9.43	18.04	3.4	21.7	0.42

2) 模型桩。模型桩是用标号为32.5的普通硅酸盐水泥与粘土的混合料分层夯实而成的水泥土桩,水泥的质量分数为10%。模型桩的尺寸及物理力学性能见表2。

表2 模型桩的尺寸与物理力学性能

Table 2 Size and physical-mechanical properties of the model pile

桩两顶直径 (顶/底)/m	桩长/ m	桩间距/ m	桩身材料 压缩模量/MPa
0.071/0.050	1.2	0.1815	81.3

3) 土工格栅。试验用的是双向聚丙烯土工格栅,其主要性能参数见表3。

表3 土工格栅性能参数

Table 3 Property parameters of the geogrid

面密度/ ($g \cdot m^{-2}$)	每延米纵向 拉伸屈服力/kN	每延米横向 拉伸屈服力/kN	纵向屈服 伸长率/%	横向屈服 伸长率/%	纵向2%伸长率时 拉伸力/kN	横向2%伸长率时 拉伸力/kN
330 ± 30	20	20	13	16	8	10

1.2 试验过程

模型试验在一个尺寸为 $3.0\text{ m} \times 3.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$ 的室内基坑中进行,以粘土分3层人工填筑至基坑内。将桩顶直径为 0.071 m ,桩端直径为 0.050 m 的木桩静力压入填土中,然后慢慢拔出木桩;再在孔内分层填筑水泥质量分数为10%的水泥与粘土的混合料,并分层夯实,制成一群9桩的夯实水泥土楔形桩复合地基模型,桩间距为 $3d$ (d 为平均桩径,单位为m);最后在上面填入 100 mm 厚的碎石形成褥垫层。褥垫层包括加了土工格栅和没加土工格栅2种。

桩身的土压力盒布置如图1所示。

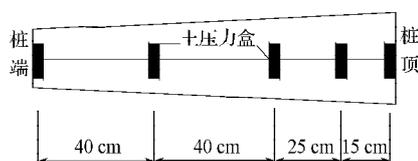
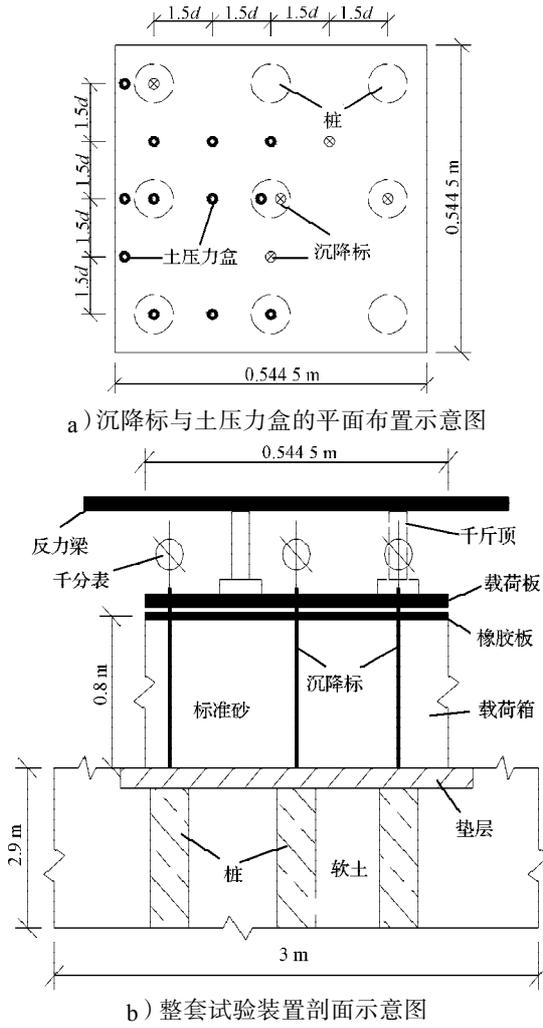


图1 桩身的土压力盒布置图

Fig. 1 Layout of earth pressure cell of piles

试验装置布置如图2所示,其中,图a)为沉降标和垫层底面,桩顶面的土压力盒布置平面图;图b)为整套试验装置剖面图。

为了能较好地模拟出均布荷载,本试验中采用荷载箱(尺寸为 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 0.8\text{ m}$)以减小施加荷载不均匀造成的误差,并在荷载箱体内部填充厚度为 0.8 m ,重度为 16.0 kN/m^3 的标准砂作为第一级荷载。填砂前,在荷载箱内侧涂上润滑油,以减少加载箱侧壁与标准砂之间的摩擦,从而减少试验结果的误差。均布荷载加载面上(即标准砂表面)放置橡胶板,再在橡胶板上放置刚性载荷板(即钢板),在载荷板上用千斤顶施加各级荷载,用压力传感器来控制加荷大小。载荷板的作用范围(尺寸为 $0.5445\text{ m} \times 0.5445\text{ m}$)以及沉降标与土压力盒的布置如图2中图a)所示。均布荷载作用面到基坑底面的距离为 2.9 m ,静载试验按JGJ 79—2002《建筑地基处理技术规范》^[14]进行。



a) 沉降标与土压力盒的平面布置示意图

b) 整套试验装置剖面示意图

图2 试验装置示意图

Fig. 2 Diagram of experimental installation

2 试验结果及分析

2.1 荷载-沉降曲线

将千分表测得的桩、土沉降数据，进行加权平均处理，得到有格栅与无格栅情况下的荷载-平均沉降关系，如图3所示。

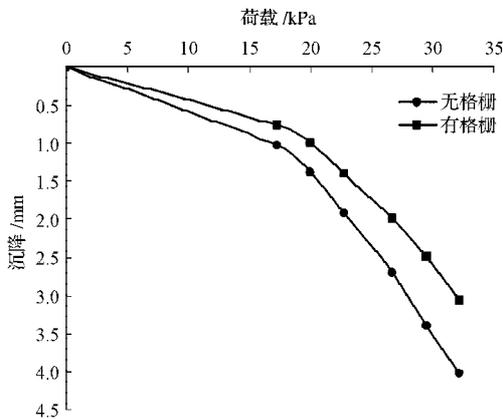


图3 荷载-沉降曲线

Fig. 3 The load-settlement curve

由图3可知，有土工格栅与无土工格栅2种情况下的荷载-平均沉降曲线均为缓变形曲线。在相同荷载作用下，有格栅复合地基的平均沉降比无格栅复合地基的平均沉降小，前者约为后者的70%，且随着荷载的增大，两者的沉降差越来越大。

2.2 桩土应力比

由桩顶土压力盒测得的试验数据得出有、无土工格栅的平均桩土应力比随荷载变化的关系，如图4所示。

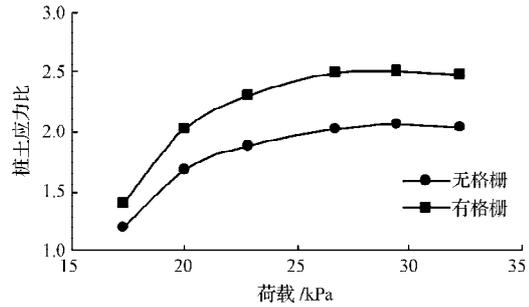


图4 平均桩土应力比-荷载曲线

Fig. 4 The curve of the average pile-soil stress ratio and the load

由图可知，加荷前期，有土工格栅和无土工格栅2种情况下的平均桩土应力比都随荷载的增大而逐渐增大，随着荷载的进一步增大，其增加的速率有下降或稳定的趋势。有格栅时的平均桩土应力比要大于无格栅时的平均桩土应力比，这主要是在碎石垫层中铺设了土工格栅，使垫层刚度增强，较好地发挥了桩体承载作用。

2.3 桩身轴力分布特征

在不同的荷载作用下，夯实水泥土楔形桩的桩身轴力随桩身深度的变化规律基本相似，本文只选取荷载为23 kPa和32 kPa时，中桩、边中桩和角桩的桩身轴力进行对比分析，结果如图5~8所示。

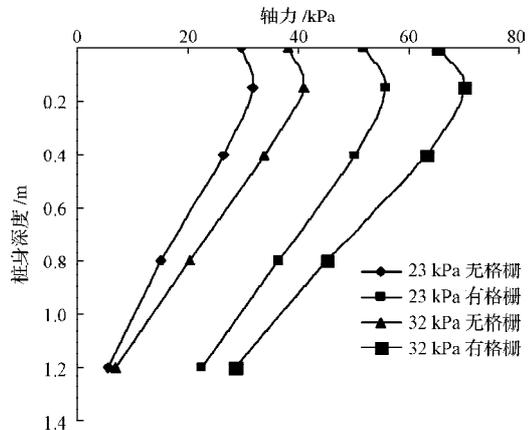


图5 中桩桩身轴力分布图

Fig. 5 Distribution of axial force of the center piles

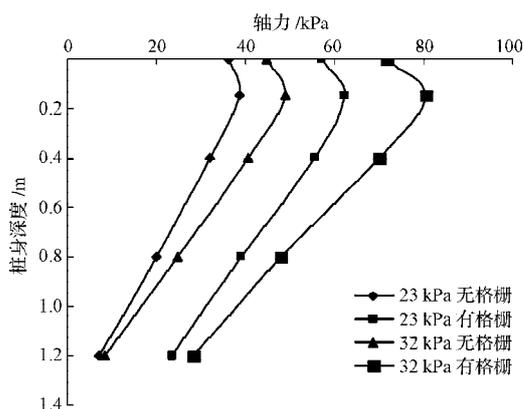


图6 边中桩桩身轴力分布图

Fig. 6 Distribution of axial force of the side-center piles

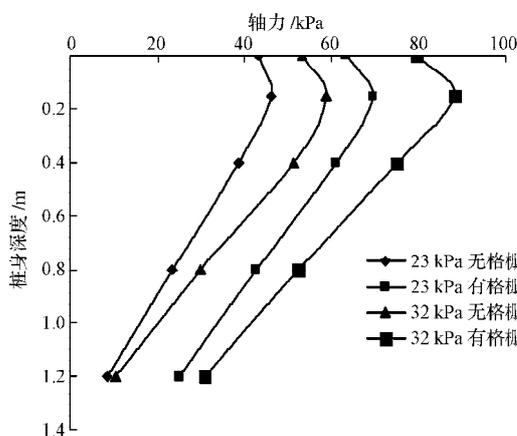
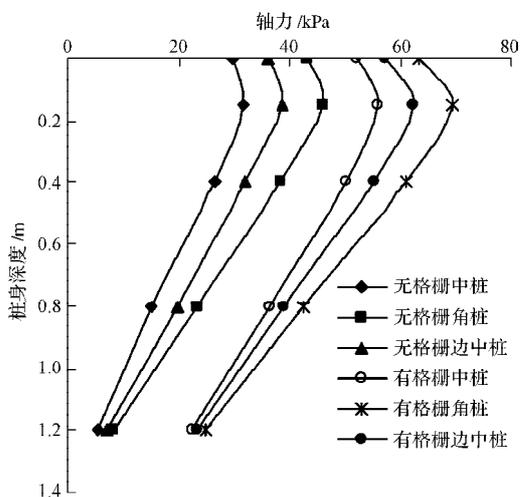


图7 角桩桩身轴力分布图

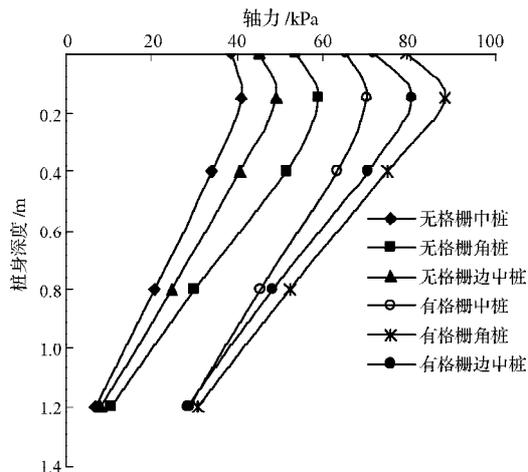
Fig. 7 Distribution of axial force of the corner piles

由图5~7可知, 桩身最大轴力处在桩顶平面以下约1/6桩长的范围内。在同级荷载作用下, 有土工格栅的各桩的桩身轴力明显大于无土工格栅的各桩的桩身轴力。

由图8可知, 在相同荷载作用下, 中桩的桩身轴力最小, 其次是边中桩, 轴力最大的是角桩。



a) 荷载为23 kPa时



b) 荷载为32 kPa时

图8 三种桩的桩身轴力对比

Fig. 8 The comparison of axial forces of the three piles

3 结论

1) 在相同荷载作用下, 有土工格栅复合地基的平均沉降比无土工格栅复合地基的平均沉降小, 前者约为后者的70%, 而桩身轴力要大于无土工格栅的情况。

2) 碎石垫层中铺设土工格栅, 使垫层刚度增强, 较好地发挥了桩体的承载性能, 平均桩土应力比大于无土工格栅的情形, 且2种情况下的桩土应力比都随荷载的增大而逐渐增大。

3) 在各级荷载作用下, 桩身轴力沿桩身呈先增大后变小的趋势, 在桩顶以下约1/6桩长的范围达到最大; 在相同的荷载条件下, 桩身轴力的比较结果是: 中桩最小, 角桩最大。

参考文献:

- [1] El Naggar M H, Wei J Q. Cyclic Response of Axially Loaded Tapered Model Piles[J]. Geotechnical Testing Journal, 2000, 23(1): 100-115.
- [2] El Naggar M H, Wei J Q. Uplift Behaviour of Tapered Piles Established from Model Tests[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2000, 37(1): 56-74.
- [3] Wei J Q, El Naggar M H. Experimental Study of Axial Behaviour of Tapered Piles[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1998, 35(4): 641-654.
- [4] Ghazavi Mahmoud. Analysis of Kinematic Seismic Response of Tapered Piles[J]. Geotech Geol Eng, 2007, 25(1): 37-44.
- [5] 蒋建平, 高广运, 顾宝和. 扩底桩、楔形桩、等直径桩对比试验研究[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(6): 764-766. Jiang Jianping, Gao Guangyun, Gu Baohe. Comparison

- of Belled Pile, Tapered Pile and Equal-Diameter Pile[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2003, 25(6): 764-766.
- [6] 蒋建平, 高广运. 桩单位体积承载力问题探讨[J]. 工业建筑, 2006, 36(9): 43-45.
Jiang Jianping, Gao Guangyun. Study on Bearing Capacity Per Volume of Bored-Cast-Place Piles[J]. Industrial Construction, 2006, 36(9): 43-45.
- [7] 蒋建平. 楔形桩的研究与应用综述[J]. 施工技术, 2006, 35(1): 37-40.
Jiang Jianping. Introduction of Study and Application of Tapered Piles[J]. Construction Technology, 2006, 35(1): 37-40.
- [8] 刘杰, 王忠海. 楔形桩承载力试验研究[J]. 天津大学学报: 自然科学与工程技术版, 2002, 35(2): 257-260.
Liu Jie, Wang Zhonghai. Experimental Study on the Bearing Capacity of Wedge Pile[J]. Journal of Tianjin University: Science and Technology, 2002, 35(2): 257-260.
- [9] 王垠翔, 刘杰, 何杰, 等. 柔性基础楔形桩复合地基变形规律有限元分析[J]. 土工基础, 2010, 24(5): 39-42.
Wang Yinxiang, Liu Jie, He Jie, et al. Finite Element Analysis of Deformation Laws of Tapered Pile Composite Ground under Flexible Foundation[J]. Soil Engineering and Foundation, 2010, 24(5): 39-42.
- [10] 蒙庆辉, 夏银飞, 夏元友. 土工格栅对复合地基桩土应力比的影响[J]. 土工基础, 2004, 18(6): 52-54.
Meng Qinghui, Xia Yinfei, Xia Yuanyou. The Influence of the Geogrid on the Pipe-Soil Stress Ration of Composite-Foundation[J]. Soil Engineering and Foundation, 2004, 18(6): 52-54.
- [11] 王长江. 土工格栅在桩网复合地基中的检验研究[J]. 山西建筑, 2010, 36(30): 85-86.
Wang Changjiang. The Examination and Research of Geogrid on the Pile-Net Composite Foundation[J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(30): 85-86.
- [12] 崔激, 闫澍旺. 水泥土桩联合土工格栅复合地基的离心模型试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(5): 1315-1319.
Cui Wei, Yan Shuwang. Centrifugal Model Test of an Embankment on Soft Clay Reinforced with Geogrid and Supported by Soil-Cement Piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(5): 1315-1319.
- [13] 闫澍旺, 周宏杰, 崔激, 等. 水泥土桩与土工格栅联合加固沟谷软基机理研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(4): 633-637.
Yan Shuwang, Zhou Hongjie, Cui Wei, et al. Study on Geogrid-Reinforced and Pile-Supported Embankment over Gulch Weak Subsoil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(4): 633-637.
- [14] 中国建筑科学研究院. JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002: 67-69.
China Academy of Building Research. JGJ 79—2002 Technical Code for Building Foundation Treatment[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002: 67-69.

(责任编辑: 邓光辉)