

单桩与带承台单桩荷载传递特性的比较试验

楼晓明¹, 房卫祥², 费培芸², 叶文勇²

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 上海第一市政工程公司, 上海 200083)

摘 要: 对单桩和带承台单桩进行静载试验比较, 桩身与承台下传感器得到了如下荷载传递特性: 桩顶荷载分担比随总荷载增加而减小, 承台使上部桩身轴力分布平缓, 桩侧摩阻力受到削弱, 摩阻力传递函数出现软化现象, 但同时下部摩阻力发挥得到增强, 而桩顶刚度变化不大。这些成果对于桩与承台共同作用特性研究具有重要参考价值。

关 键 词: 单桩; 承台; 静载试验; 荷载传递特性

中图分类号: TU 472

文献标识码: A

Comparative testing on characteristic of load transfer between single pile and single pile with cap

LOU Xiao-ming¹, FANG Wei-xiang², FEI Pei-yun², YE Wen-yong²

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai No.1 Municipal engineering company, Shanghai 200083, China)

Abstract: Load transfer tests of single pile and single pile with cap are conducted. The main characteristics of load transfer are as follows: the load on pile top is decreased while the total load increased. The cap on pile top makes distribution of axial force gently, frictional resistance decreased, and transfer function softened at upper pile shaft; meanwhile, frictional resistance at the rest increased; rigidity of pile top is changed a little.

Key words: single pile; cap; static load test; characteristic of load transfer

1 引 言

单桩的荷载传递试验, 一直是研究桩基承载变形特性的主要手段, 由于试验方法比较成熟^[1], 并已为广大工程技术人员所掌握。因此, 这方面已有许多成果。相对而言, 带承台单桩的荷载传递试验较少, 虽也有一些成果, 但多数试验只在桩顶和承台下土中埋设传感器, 着重研究桩-土的荷载分担比^[2]。在桩与承台共同作用的研究中, 单桩与承台共同作用的试验研究是最经济、最易实施的试验内容, 如果在桩身也埋设量测元件, 除了可以研究桩-土荷载分担比外, 还可以研究承台对桩基荷载传递特性的影响规律^[3~5], 这对于研究群桩基础、复合桩基、路堤桩受力变形特性具有重要参考价值。因此, 笔者结合上海某工程的单桩静载试验, 再对桩顶浇筑承台进行了带承台单桩的静载试验。由于在试验桩中埋设了钢筋应力计, 在承台下埋设了土压力盒, 取得了较丰富的测试成果, 本文主要论述这方面的

内容。

2 试验概况

试验桩的截面尺寸为 0.25 m×0.25 m, 桩长为 25 m, 场地土层的静力触探贯入阻力曲线分布情况如图 1 所示, 地表下土层分布依次为: 2.5 m 厚的粉质粘土, 软~可塑; 3.2 m 厚的砂质粉土, 稍密~中密; 2.5 m 厚的淤泥质粘土, 流塑; 16 m 厚的粘土, 软塑; 7 m 厚的粉质粘土, 软塑; 再往下为未钻穿的粉土层。桩身设置了 5 个量测断面, 设于桩顶、桩端与主要土层分界面, 距桩顶的距离分别为 0.7, 2.5, 5.7, 8.2, 24 m。根据工程需要, 表面耕植土被清除, 换填了砾石砂, 可见第 3 量测断面以上土层性质较好, 而该断面以下较差。

由于工程桩主要用作控制沉降, 试验目的不是为了确定单桩或带承台单桩的承载力, 而主要是为了解承台对桩身荷载传递特性的影响。因此, 加载未到破坏即终止试验。试桩在不同条件下要进行多

次试验, 而不做破坏性试验可减小前次试验对后次的影响, 因为试桩破坏后会明显改变桩的承载性状^[6]。

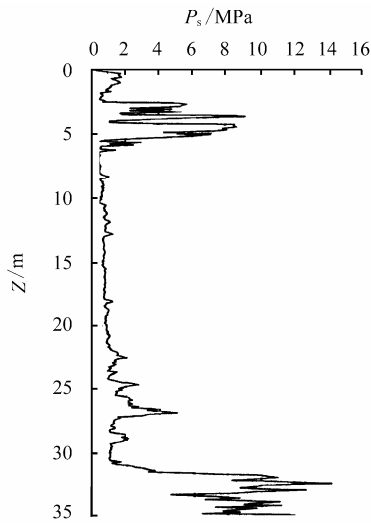


图 1 土层的静力触探比贯入阻力曲线

Fig.1 Curve of specific penetration resistance of soil strata

试验采用堆载平台作为反力装置, 采用慢速法测读沉降。沉桩休止期满一个月进行单桩静载试验, 最大加载为 600 kN; 然后浇筑承台, 1 个月后, 再进行带承台单桩的静载试验, 最大加载为 1 200 kN。承台平面尺寸为 1.75 m×1.75 m。浇筑承台前, 在承台下的角、边、靠近桩的中央部位分别埋设了 3 个土压力盒。

要测定带承台单桩的桩土荷载分担情况, 必须要测出静载试验时桩顶的荷载, 为此需要预先知道桩身的弹性模量。为此, 在预制试验桩时同时制作了两个桩段, 桩段中埋设有 2 个应力计。在相同条件下进行养护, 1 个月后, 在同济大学工程结构试验室的材料力学试验机上对试验桩进行了标定, 图 2 为标定的应力-应变关系, 可见应力-应变关系表现出一定的非线性。考虑到试验时桩顶最大受力为 600 kN, 因此只在 600 kN 荷载范围内对应力-应变关系进行线性回归, 得到桩段 1、桩段 2 的弹性模量分别为 3.18×10^7 kPa 和 3.06×10^7 kPa, 试验数据处理时选用 3.10×10^7 kPa。

桩身量测元件的数据处理比较繁琐, 为了提高工作效率, 应用 Matlab 语言编制了专门的试验数据处理程序^[7]。

3 桩-土的荷载分担比

单桩与带承台单桩的静载试验对比结果示于图 3, 可见桩顶加承台后承载力与抗压刚度均有大幅增加。

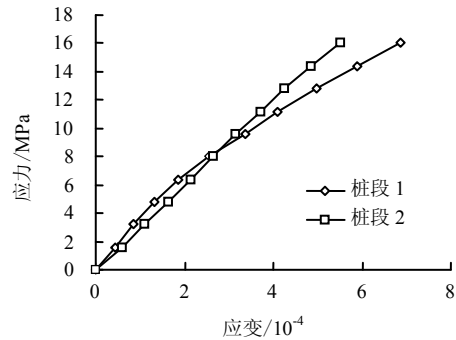


图 2 桩身弹性模量标定

Fig.2 Calibration of elastic moduli of piles

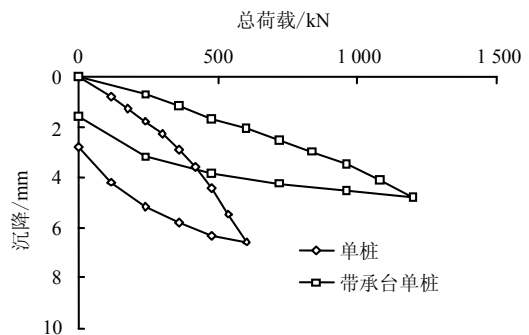


图 3 单桩与带承台单桩的静载试验曲线

Fig.3 Curves of static load tests of single pile and single pile with cap

图 4 为各级荷载作用下的桩顶分担荷载情况, 承台下桩的分担荷载比例随着总荷载的增加近似线性增加, 只有当桩顶荷载超过 400 kN 时, 分担比例稍有下降, 初始、最终桩顶荷载分担比分别为 56%, 46%; 根据桩顶荷载分担比推算, 初始、最终的承台荷载分担比应分别为 44%, 54%。根据总荷载与承台下桩顶荷载推算得到的承台下土压力平均值见图 5。

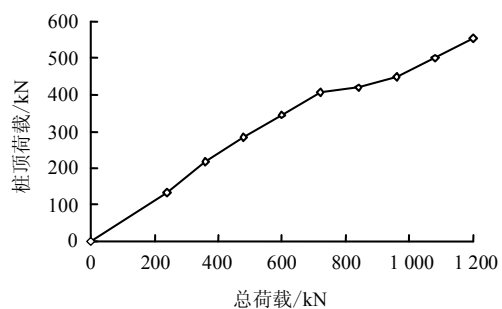


图 4 各级荷载作用下的桩顶分担荷载

Fig.4 Loads on pile top changing with total loads

图中的总压力为试验总荷载与承台面积之比。而从图 5 承台下土压力测试情况看, 承台下 3 个土压力盒得到的土压力较小, 土压力随荷载变化的情

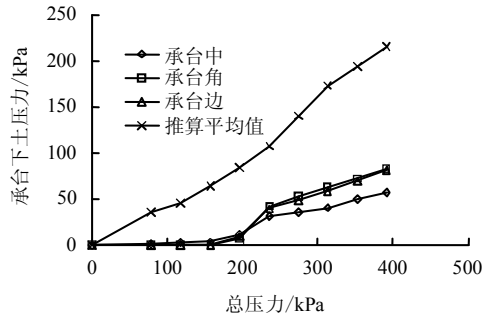


图5 各级荷载作用下的土压力变化情况
Fig.5 Soil pressures under cap changing with total pressure

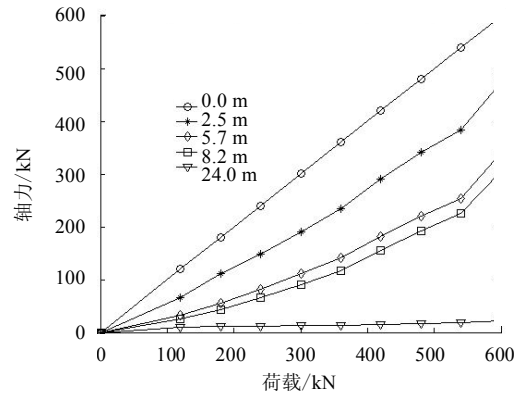
况没有与桩顶荷载分担变化情况相对应,在荷载较小时,土压力很小;当荷载增加到一定程度后,土压力才开始明显增加,土压力的实测值与推算值相差较大,这可能与土压力盒埋设有关,承台下为砾石砂,粒径较大,为使土压力盒受力均匀,在埋设时在土压力盒周围垫的细砂或粉煤灰不够密实,使土压力盒不能与周围砾石砂同步受力。

如果将承台平面尺寸当作复合桩基的桩距,则本单桩承台对应的复合桩基距径比为 $1.75/0.25=7$,属于大距径比情况,承台下土的分担荷载较大与此特性有关。

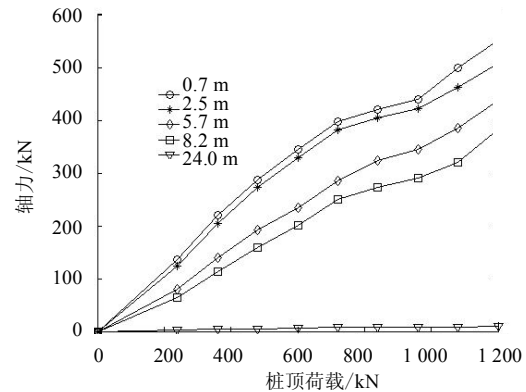
4 承台对桩荷载传递特性的影响

图6为单桩和带承台单桩各量测断面轴力随试验总荷载的变化情况。对于各量测断面之间的轴力差,5.7 m以上单桩大于带承台单桩,5.7 m以下单桩小于带承台单桩,桩端相对桩顶的荷载分担比较小,这与桩端持力层土性质较差有关,本工程测试桩均可看作摩擦桩,承台下土的分担荷载较大也与此特性有关。单桩的第一断面轴力直接取桩顶荷载,带承台单桩的第一断面轴力为距桩顶0.7 m距离的量测断面的实测值。

图7为单桩和带承台单桩各量测断面轴力随深度的变化情况,单桩的桩身轴力在上部衰减明显较下部快,带承台单桩的桩身轴力在0~5.7 m之间衰减明显减慢,最终沿全桩长的衰减梯度接近。桩的轴力衰减梯度越大,说明沿桩身的摩阻力越大。如图8所示,单桩的摩阻力在上部(5.7 m以上)发挥程度较高,而在下部(5.7 m以下)发挥得较小,这与上部土层性质较好,桩-土相对位移较大,桩侧摩阻力容易发挥有关;带承台单桩的摩阻力在上部发挥程度相对单桩较小,而在下部发挥得相对较大,因此,摩阻力分布也较均匀。



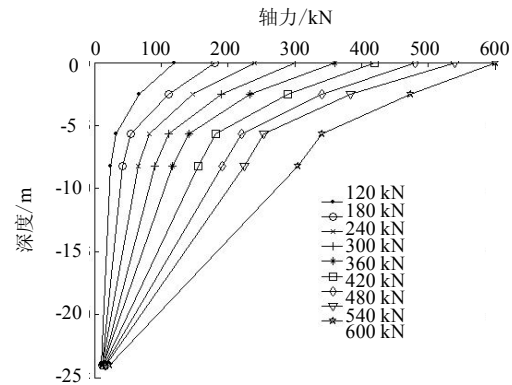
(a) 不带承台单桩



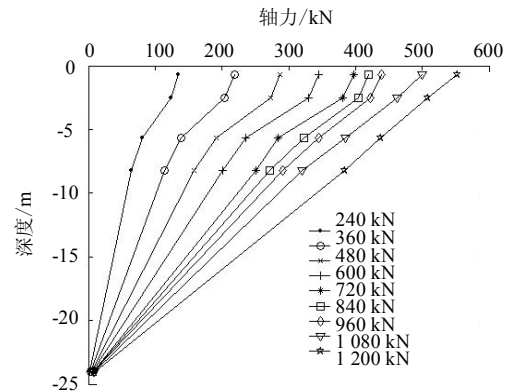
(b) 带承台单桩

图6 各量测断面轴力随总荷载的变化情况

Fig.6 Axial force in different depth changing with loads



(a) 不带承台单桩



(b) 带承台单桩

图7 各量测断面轴力随深度的变化情况

Fig.7 Axial force distribution under different depths

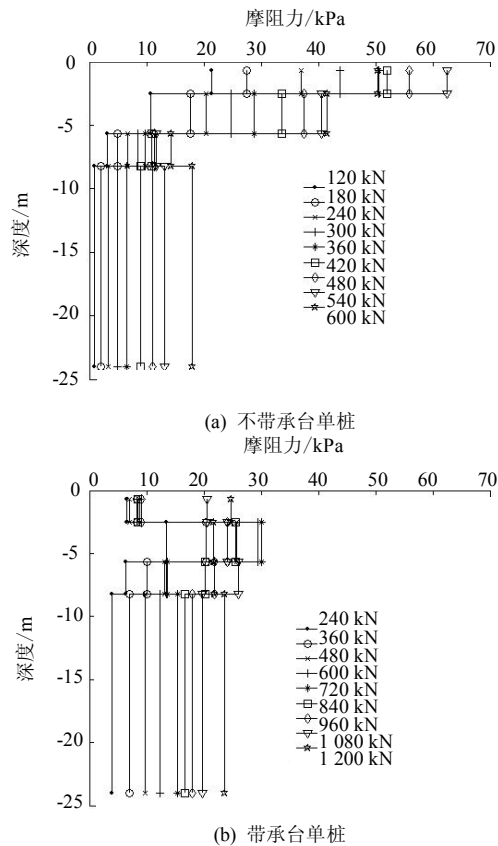


图 8 各量测断面之间摩阻力随深度的变化情况

Fig. 8 Side resistance distribution under different loads

图 9 为相应的单桩和带承台单桩各量测断面之间摩阻力随位移即传递函数的变化情况, 表明带承台单桩在 5.7 m 以上的摩阻力软化明显, 说明承台与桩同步下沉, 限制了上部桩-土之间的相对位移, 从而影响桩身上部摩阻力的发挥。

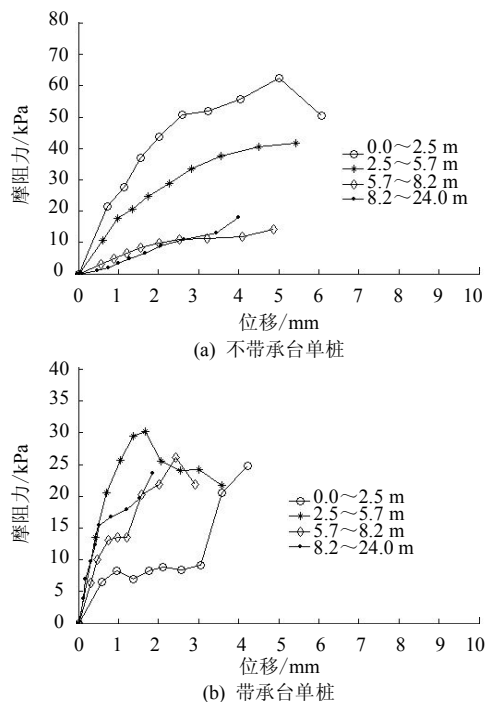


图 9 各量测断面之间摩阻力与位移的关系

Fig. 9 Relation between side resistance and displacement of single pile

图 10 是承台下桩顶荷载-沉降曲线与单桩荷载-沉降曲线的比较, 在承台的影响下桩顶刚度并没有下降, 反而略有提高。这是由于承台宽度相对桩长很小, 虽然承台对桩身上部土层摩阻力的发挥有削弱作用, 但下部土层摩阻力的发挥程度却相对得到提高。

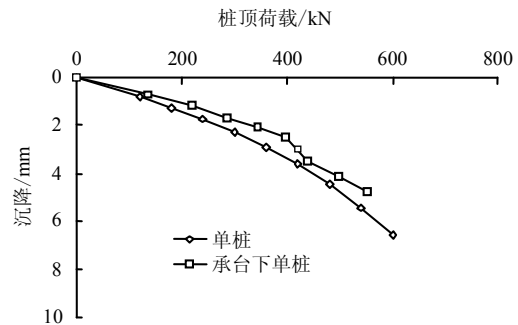


图 10 单桩与承台下桩的荷载沉降曲线

Fig. 10 Load-settlement curves of single pile and pile with cap

5 结 论

桩顶加承台后承载力与抗压刚度均有大幅增加, 初始、最终桩顶荷载分担比分别为 56 %, 46 %, 承台下土的分担荷载较大, 该结果反映了大距径比摩擦桩-承台-土的共同作用特性。

带承台单桩上部 (5.7 m 以上) 的摩阻力软化明显, 说明承台与桩同步下沉, 限制了上部桩-土之间的相对位移, 从而影响桩身上部摩阻力的发挥, 桩身轴力在上部沿深度的衰减梯度明显降低。

由于承台宽度相对桩长很小, 下部 (5.7 m 以下) 土层摩阻力的发挥程度却得到相对提高, 在承台的影响下桩顶刚度并没有下降。

参 考 文 献

- [1] 桩基工程手册编写委员会. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
 - [2] 郭志业. 深层搅拌桩复合地基的荷载桩土分担探讨[A]. 第三届地基处理学术讨论会论文集[C]. 杭州: 浙江大学出版社, 1992.
 - [3] 周志洁, 唐有职. 软土地基群桩性能研究[R]. 上海: 水利电力部华东电力设计院, 1983.
 - [4] 陈强华, 张雁, 洪毓康. 承台与短桩共同作用的试验研究[J]. 建筑科学, 1992, (2): 30-36.
- CHEN Qiang-hua, ZHANG Yan, HONG Yu-kang. Experimental research on the interaction between cap and short pile[J]. Chinese Building Science, 1992, (2): 30-36.

- [5] 金菊顺, 王幼青, 庄新玲. 复合桩基承台效应试验研究[J]. 吉林建筑工程学院学报, 1999, (1): 18—24.
JIN Ju-sun, WANG You-qing, Zhuang Xin-ling. Experimental research on effect of pile capping in composite pile foundation[J]. **Journal of Jilin Architecture and Civil Engineering Institute**, 1999, (1): 18—24.
- [6] 楼晓明, 陈强华, 俞有炜, 等. 钻孔灌注桩承载力异常现象分析[J]. 岩土工程学报, 2001, 125(5): 547—551.
LOU Xiao-ming, CHEN Qiang-hua, YU You-wei, et al. Analysis of abnormal phenomena in ultimate bearing capacity of bored pile[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2001, 23(5): 547—551.
- [7] 符勇, 楼晓明, 熊巨华. 应用 Matlab 处理单桩荷载传递数据[J]. 工业建筑, 2005, 35(383): 553—556.