

带承台单桩及其复合地基承台效应的静载试验研究

徐宏跃¹, 周明琪², 楼晓明²

(1. 上海城市建设设计研究院, 上海 200125; 2. 同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092)

摘要: 通过静载试验, 实测带承台单桩的 $Q-s$ 曲线及桩顶部位的轴力, 承台边长为 1.5 m×1.5 m, 承台荷载分担比随荷载的增加而增加; 对另一根同样的带承台单桩, 在桩顶铺设 50 cm 砂垫层后, 再铺设边长 2.5 m×2.5 m 的刚性荷载板 (可以看做是更大的承台), 实测复合地基承台表面和外围土的压力随荷载的变化情况, 刚性板和褥垫层下带承台刚性桩复合地基承台外围土的荷载分担比随荷载的增加而减小。这两组试验的结果与有限元模拟结果比较接近。

关键词: 带承台单桩; 复合地基; 承台效应; 荷载分担比

中图分类号: TU447

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2011)S2-0139-04

作者简介: 徐宏跃(1977-), 男, 浙江义乌人, 工程师, 主要从事路基工程的设计研究。E-mail: xhy1000@sohu.com。

Static load tests on cap effect of single capped pile and its composite foundation

XU Hong Yue¹, ZHOU Ming-qi², LOU Xiao-ming²

(1. Shanghai Urban Construction Design & Research Institute, 3447 Dongfang Road, Shanghai 200125; 2. Dept. of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: Based on the static load tests, load-settlement curves of a single capped rigid pile and forces on pile top are monitored. The width of square cap is 1.5 m. The load sharing ratio of cap-soil contact pressure increases with the increasing total load. For the other single capped rigid pile, the sand cushion 0.5 m in thickness and rigid square plate (a larger cap) 2.5 m in width are placed. The load-settlement curves and the pressures on the surface of the cap and the ground are measured. The load sharing ratio of the ground under rigid plate decreases with the increasing total load. The mentioned effect of the cap is in accordance with that analyzed by finite element method.

Key words: single capped pile; composite foundation; cap effect; load sharing ratio

0 引言

桩的荷载传递现场试验, 一直是研究桩基承载变形特性的主要手段。单桩试验通常只研究承载与荷载传递机理, 这方面已有许多成果; 带承台单桩的荷载传递试验, 主要研究桩-承台共同作用和承台底的荷载分担作用效应, 由于测试费用相对较少, 试验研究已经较多^[1-2]。

刚性桩复合地基是在低强度桩 (CFG 桩) 的应用基础上发展起来的地基处理新技术, 其主要特点是在桩、土与承台之间设置了砂石垫层, 目的是调整桩、土应力比, 使得桩顶不因过于应力集中而破坏, 承台底的桩间土承载力得以较充分发挥。使它有别于常规复合地基和复合桩基, 增加了这种复合地基受力变形机理的复杂性, 因此探求刚性桩复合地基更合理、准确的计算方法, 具有重要工程意义。刚性桩复合地基的试验研究取得了较理想的结果^[3-4]。

路堤桩作为一种新型的地基处理技术在国内已经得到较广泛的应用。桩承式路堤是一个由带承台桩、桩间土、水平加筋体和填土组成的带承台刚性桩复合地基, 承台作用主要用于扩大桩基的支撑面积, 通过承台顶面积承担更多的填土荷载, 使得桩承式路堤的工作机理比较复杂。对它的研究相对滞后, 国内还没有相应的设计规范, 主要依靠经验进行设计, 因此对路堤桩分析方法和机理研究具有重要意义^[5-7]。

为了研究带承台刚性桩复合地基承台的作用, 开展相应的荷载传递特性试验具有很大的价值。何良德^[8]结合苏—沪高速公路疏桩复合地基处理工程, 进行了自由带帽 PTC 管桩复合地基足尺试验, 分析了桩、帽、土相互作用的机理。

本文结合上海某工程的带承台单桩静载试验, 再对桩顶浇筑承台进行了带承台单桩的复合地基静载试

验。由于在试验桩中埋设了钢筋应力计，在承台间土埋设了土压力盒，取得了较丰富的测试结果。

表 1 土层性质

Table 1 Properties of soil strata

土层 编号	土层名称	厚度/m	重度	含水率	孔隙比	压缩模量	固结快剪	
			$\gamma /(\text{kN m}^{-3})$	$w/\%$	e	E_s/MPa	c/kPa	$\varphi/(^\circ)$
① ₁	素填土							
① ₂	浜填土							
② ₁	褐黄色粉质黏土	1.0	19.0	28.8	0.814	2.4	24	17.5
② ₂	灰黄色粉质黏土	6.0	18.4	33.9	0.953	2.8	17	18.5
③ ₁	灰色淤泥质粉质黏土	7.0	17.4	42.4	1.186	4.8	12	18.5
④	灰色淤泥质黏土	10.0	16.7	51.1	1.434	3.9	13	12.0
⑤ ₁₋₁	灰色黏土	4.2	17.5	42.1	1.186	6.4	17	12.5
⑥	暗绿~草黄色色粉质黏土	6.1	19.6	24.4	0.696	14.5	46	19.0
⑦ ₁₋₁	草黄色砂质粉土	7.2	18.6	31.0	0.866	24.4	6	32.0

1 工程概况

试桩为桩长 24 m，桩径 $\varnothing 400$ mm，壁厚 90 mm 的 PTC 管桩，桩顶承台尺寸 1.5 m \times 1.5 m。该地区土层变形参数和强度参数列于表 1。

2 带承台单桩静载试验结果分析

带承台单桩静载试验装置如图 1 所示。试验最大加载量 1000 kN，分 10 级，逐级加载。如图 2 所示，在桩身顶部纵向钢筋对称布置钢筋应力计，测试试验过程中带承台桩桩身顶部轴力，以此间接反映承台对桩基受力的影响。

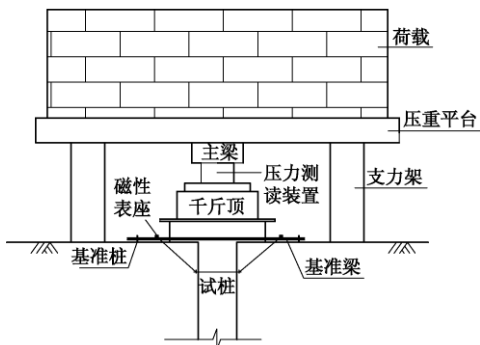


图 1 带承台单桩静载试验装置

Fig.1 Static load tests on single capped pile

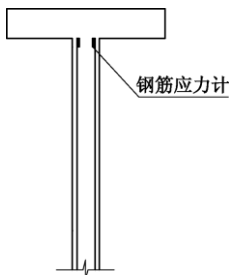


图 2 钢筋应力计布置

Fig.2 Location of stress gauge

图 3 为带承台单桩 $Q-s$ 曲线、桩身 Q_p-s 曲线、承台下土体 Q_c-s 曲线。随加载进行，承台下土体承载力逐渐发挥，使带承台桩基承载力较桩身承载力有所提高。这种基础型式由于桩的刚度明显大于周围地基，桩的承载力先发挥，随着荷载的增大，桩的 Q_p-s 曲线具有非线性特征，桩的刚度逐步减小，土分担的荷载也就逐步增大。因此，带承台桩的 $Q-s$ 曲线较桩身 Q_p-s 缓和。

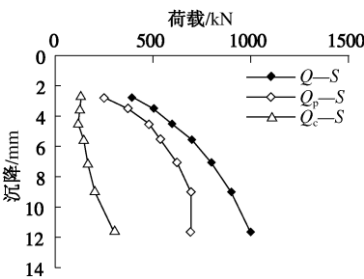


图 3 带承台桩、桩、承台的 Q_p-s 、 Q_c-s 、 $Q-s$ 曲线

Fig. 3 Load-settlement curves of capped pile, pile and cap

图 4 为带承台单桩桩身顶部轴力随加载变化情况，桩身顶部轴力增幅随荷载的增加逐步减小。通过有限元软件 PLAXIS 3D FOUNDATION 对静载试验过程进行模拟，发现有限元计算结果与试验结果较为接近。

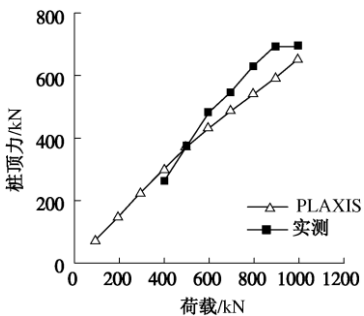


图 4 桩身顶部轴力变化曲线

Fig.4 Forces on pile top with total load

图 5 为承台下土体的荷载分担情况。整个试验过程中, 承台下土体荷载分担比 20%~30%, 桩身荷载分担比 69.7%~80%, 且随荷载增大, 承台下土体荷载分担比不断增大, 与之相对应, 桩的荷载分担比逐步减小, PLAXIS 计算结果也反映相同的规律, 与文献[2]规律一致。受力过程中, 桩侧摩阻力首先被调动起来, 荷载增大到一定程度, 桩侧阻力逐渐出现屈服, 荷载逐渐由桩身向承台下土体转移。

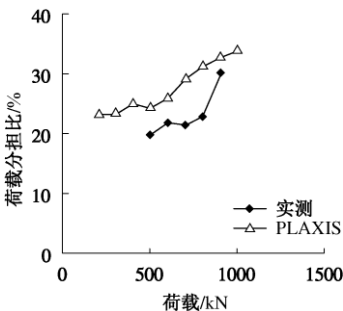


图 5 承台下地土荷载分担比

Fig. 5 Load sharing ratio of cap with total load

3 复合地基静载试验结果

刚性荷载板下复合地基静载试验装置如图 6 所示。试验最大加载量 1362 kN, 分 7 级载入。复合地基荷载板尺寸 2.5 m×2.5 m, 承台顶面砂垫层厚度 50 cm。复合地基表面埋设 JD TYJ-20 振弦式土压力盒, 承台顶面 3 个 (编号为 3147, 3219, 3302), 地基土表面 2 个 (编号为 3234, 3210), 如图 7 所示。

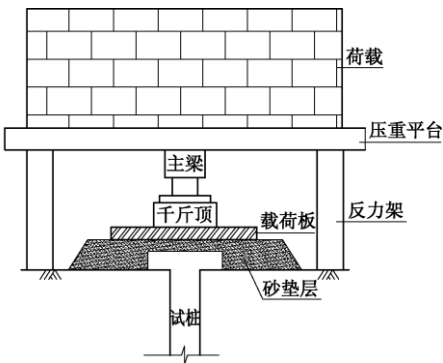


图 6 单桩复合地基试验装置

Fig. 6 Static load tests on composite foundation of single capped pile

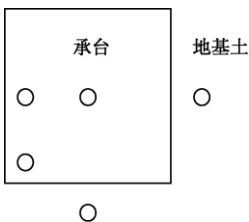


图 7 复合地基表面土压力盒

Fig. 7 Location of soil pressure cells

复合地基静载试验荷载板表面 $Q-s$ 曲线如图 8 所示。当加载至 1168 kN 时, 曲线出现拐点, 试验得到荷载板表面处最大沉降量 13.68 mm。

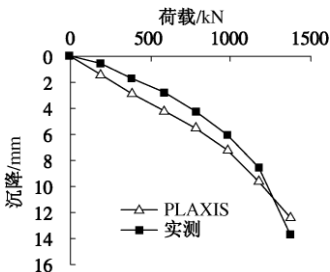


图 8 带承台刚性桩复合地基的荷载 - 沉降曲线

Fig. 8 Load-settlement curves of capped pile composite foundation

图 9 复合地基表面实测压力结果显示垫层协调作用使桩与土共同承担荷载, 承台顶面竖向应力大于地基土表面竖向应力, 随荷载增加承台顶面竖向应力迅速增加, 地基土表面应力增加缓慢。

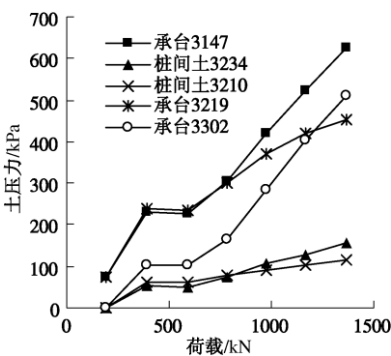


图 9 复合地基表面压力

Fig. 9 Contact pressure on piled cap and soil

通过实测复合地基表面压力, 换算得复合地基承台土应力比, 如图 10 所示。实测承台土应力比为 1.7~3.9, 且随荷载增加而增加。对应的荷载板下土荷载分担比, 如图 11 所示为 20.4%~36.4%, 随荷载增大逐渐变小, 这与文献[4]中设置了褥垫层的 CFG 桩复合地基的荷载分担规律一致。这是由于褥垫层削弱了带承台桩与周围土的刚度比。

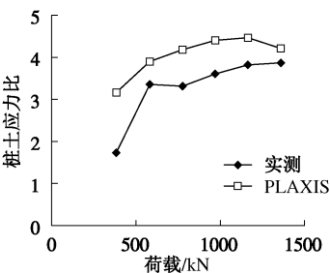


图 10 桩土应力比

Fig. 10 Stress ratio of piled cap to soil

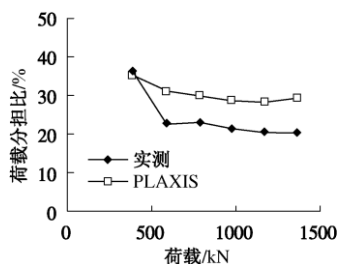


图 11 带桩承台外侧土的荷载分担比

Fig. 11 Load sharing ratio of soil outside piled cap

4 结 论

通过带承台单桩及其刚性荷载板下复合地基的现场载荷试验, 得到如下结论:

(1) 实测与有限元分析结果显示, 无论是带承台单桩还是其复合地基, 承台对桩身受力、沉降均有较大影响。

(2) 带承台单桩静载试验实测结果显示, 试验过程中承台下土体荷载分担比 20%~30%, 随着荷载的增加而增加。

(3) 刚性荷载板下带承台单桩复合地基受到竖向荷载时, 带承台桩与承台周边土能共同承担荷载, 承台顶面处压力大于承台周边土表面压力, 实测承台土应力比为 1.7~3.9。承台周边土荷载分担比为 20.4%~32.4%, 随荷载的增加而减小。

参考文献:

- [1] 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. (in Chinese))
- [2] 楼晓明, 姚红英, 叶文勇, 等. 带承台摩擦单桩荷载传递特性的原位试验研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007, 35(1): 15 - 20. (LOU Xiao-ming, YAO Hong-ying, YE WEN-Yong, et al. Load transfer tests of single capped piles in situ[J]. Journal of Tongji University (Nature Science), 2007, 35(1): 15 - 20. (in Chinese))
- [3] 池跃君, 沈 伟, 宋二祥. 桩体复合地基桩、土相互作用的解析法[J]. 岩土力学, 2002, 23(5): 546 - 550. (CHI Yue-jun, SHEN Wei, SONG Er-xiang. Analytical method for calculating pile-soil-cushion interaction of composite grounds with piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2002, 23(5): 546 - 550. (in Chinese))
- [4] 龚晓南. 地基处理技术与展望[M]. 北京: 水利水电出版社, 2004. (GONG Xiao-nan. The development and outlook of ground improvement[M]. Beijing: Water Resource and Electric Power Press, 2004. (in Chinese))
- [5] LOW B K, TANG S K, CHOA V. Arching in piled embankment[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1993, 120(11): 1917 - 1938.
- [6] 陈云敏, 贾 宁, 陈仁朋. 桩承式路堤土拱效应分析[J]. 中国公路学报, 2004, 17(4): 1 - 6. (CHEN Yun-min, JIA Ning, CHEN Ren-peng. Soil arch analysis of pile-supported embankments[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(4): 1 - 6. (in Chinese))
- [7] 楼晓明, 孙晓锋, 陈 广. 大面积路堤荷载下带承台桩的荷载传递分析[J]. 土木工程学报, 2009, 42(2): 98 - 104. (LOU Xiao-ming, SUN Xiao-feng, CHEN Guang. Analysis on load transfer for capped pile under large area embankment[J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(2): 98 - 104. (in Chinese))
- [8] 何良德, 陈志芳, 徐泽中. 带帽 PTC 单桩和复合地基承载特性试验研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(3): 435 - 444. (HE Liang-de, CHEN Zhi-fang, XU Ze-zhong. Experimental study on load-bearing characteristics for single PTC pile with cap and composite foundation with PTC (prestressed thin-wall concrete) piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(3): 435 - 444. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)