

单桩与带承台单桩承载性能的对比试验

罗少锋¹, 杨文星²

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安科技大学 建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 为研究单桩和带承台单桩承载性能的差异, 对单桩和带承台单桩进行了静载试验对比, 试验结果表明, 在刚性承台的作用下, 带承台单桩桩身上部轴力的衰减较慢, 产生了侧阻的削弱效应, 摩阻力-位移关系曲线出现软化现象, 但桩端阻力的发挥得到了增强; 在相同桩顶荷载下, 带承台单桩中桩顶的沉降量较单桩的桩顶沉降量大。

关键词: 单桩; 带承台单桩; 静载试验

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)01—0120—04

Comparative Testing between Single Pile and Single Pile with Cap

LUO Shao-feng¹, YANG Wen-xing²

(1. College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China;

2. College of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: The static load tests of single pile and single pile with cap are conducted, the results show that the rigid cap makes the axial force decrease slowly, cut the frictional resistance and soften the transfer function at the upper pile, but makes the end-bearing increase. At the same load on the top of pile, the displacement on the top of the single pile with cap is larger than the one of the single pile.

Keywords: single pile; single pile with cap; static load test

地基土中单独的一根桩称为单桩, 由2根以上桩组成的桩基称为群桩。竖向荷载作用下, 由于桩、承台和土的相互作用, 群桩中一根桩单独受荷时的承载性状往往与独立单桩的有显著区别。当群桩基础承受竖向荷载而沉降时, 承台底面产生土反力并分担了部分荷载, 提高了桩基的承载力, 且由于桩-土-承台的相互作用, 使群桩基础的荷载传递较承载力仅由桩侧阻力和桩端阻力两部分组成的单桩要复杂。桩和承台的荷载分担受荷载水平、桩长、桩径、承台底面尺寸、地基土的物理力学性质等诸多因素的影响, 无法简单的以一种固定的模式或以简单的规律加以全部概括, 在桩、承台和土共同作用的研究中, 单桩与承台共同作用(带承台单桩)的试验研究是最经济、最易实施的试验内容。因此, 有必要对带承台单桩的荷载传递特性进行试验研究, 而已有的文献资料中大多采用模型试验或数值分析法^[1-4], 现场的原位试验较少。本文通过现场的单桩和带承台单桩的原位试验结果, 研究了桩和承台的荷载分

担比以及承台对桩基荷载传递特性的影响规律, 这对于复合桩基、路堤桩的受力变形特性等的研究具有一定的参考价值。

1 试验概况

1.1 场地条件

试验场地西安市北郊, 根据勘察报告提供的资料显示, 场地土层由上而下各地层主要特征分别为: ①层素填土: 土质不均, 结构杂乱, 以粘性土为主, 层厚2.1 m; ②层黄土状土, 硬塑, 属高压缩性土, 层厚1.5 m;

表 1 地基土物理力学性质指标

地层名称	含水率 $\omega/\%$	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	饱和度 $S_r/\%$	孔隙比 e	液限 ω_L	塑限 ω_P	液性指数 I_L	压缩系数 a/MPa^{-1}	承载力 特征值 f_{ak}/kPa
②黄土状土	20.3	17.6	67.5	0.826	30.8	18.9	0.15	0.26	140
③黄土	26.0	18.4	85.8	0.823	34.1	20.6	0.43	0.29	150
④黄土	23.0	16.3	59.8	1.038	30.6	18.4	0.39	0.16	150
⑤黄土	28.0	17.4	76.0	0.999	30.9	18.6	0.78	0.18	154
⑥古土壤	24.5	18.2	78.1	0.832	29.0	17.7	0.61	0.18	165
⑦中粗砂									400

1.2 试验内容及方法

1.2.1 天然地基承载力静载试验

为了解浅部地基土层的承载力,在试坑内的底面处布置天然地基承载力静载试验点 3 处。承压板采用 1.0 m 直径的刚性圆形压板,分级荷载取为 30 kPa,每级加载后按间隔 10 min、10 min、10 min、15 min、15 min,以后为每隔 30 min 测读一次承压板的沉降量,当在连续两小时内每小时的沉降量小于0.1 mm 时,则认为已趋稳定,可加下一级荷载,直至预计的最大加载值。

试验结束后,绘制 $p \sim s$ 曲线,根据曲线形态判定各试验点的承载力。

1.2.2 单桩竖向承载力静载试验

试桩入土桩长 11.5 m,桩径 500 mm,桩身混凝土强度等级 C30。

试验加荷时,每级以 150 kN 的荷载递增。每级荷载下桩顶沉降的观测次数为:加荷后第 1 个小时按第 5 min、10 min、15 min、15 min、15 min 测读桩顶沉降量,以后每隔 30 min 测读一次,直到沉降相对稳定为止。当每一小时内的桩顶沉降量不超过 0.1 mm 并连续出现两次时,认为在本级荷载下的沉降已稳定,即可施加下一级荷载,直至达到试验设计的最大加载值。

试验结束后,绘制 $Q \sim s$ 曲线,以 $Q \sim s$ 曲线上明显陡降点所对应的荷载作为该试验桩的单桩竖向极限承载力。

1.2.3 带承台单桩静载试验

试桩入土桩长 11.5 m,桩径 500 mm,桩身混凝土强度等级 C30。桩顶面和试坑地面平齐,桩顶设边长为 1.5 m×1.5 m 的刚性承台,承台形心和桩的形心重合。

试验加荷时,每级以 112.5 kN 的荷载(相应的承台底总反力为 50 kPa)递增,直至达到试验设计的最大加载值。每级荷载下承台沉降量的观测次数、

沉降稳定标准与单桩时相同。

单桩的 $Q \sim s$ 曲线形态呈急进陡降型。按规范 [6] 判定已达到破坏, 其单桩竖向极限承载力标准值为 1 200 kN, 但此时相应的沉降量很小, 只有 2.93 mm。为查明端阻力的发挥性状, 破坏后继续加载, 在 1 500 kN 的荷载下达到稳定后, 相应的沉降量为 68.23 mm。带承台单桩的 $Q \sim s$ 曲线也呈陡降型, 其极限承载力为 1 687.5 kN, 相应的沉降量为 18.23 mm。在 1 912.5 kN 的荷载下达到稳定后相应的沉降量为 67.98 mm。在达到各自的极限荷载以前, 与单桩相比, 带承台单桩在相同荷载下的沉降量较大。

2.2 桩-土的荷载分担比

图 3、图 4 所示分别为各级荷载作用下带承台单桩的桩顶荷载随总荷载变化情况及承台下土的平均压力随总压力的变化情况。图中的总压力为施加于承台上的荷载与承台面积之比, 土的平均压力为各土压力盒测试结果的平均值, 桩顶荷载为由桩顶处钢筋计测得的轴力值。

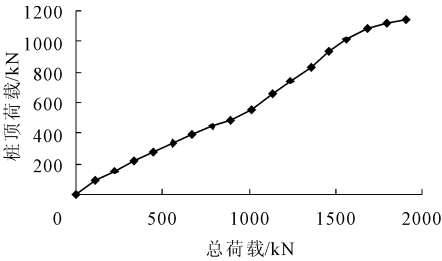


图 3 桩顶分担荷载随总荷载的变化情况

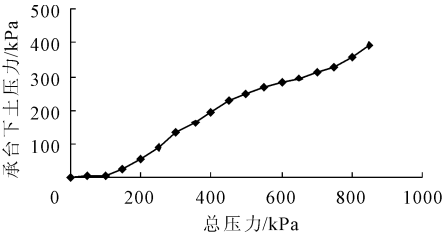


图 4 各级荷载作用下的土压力变化情况

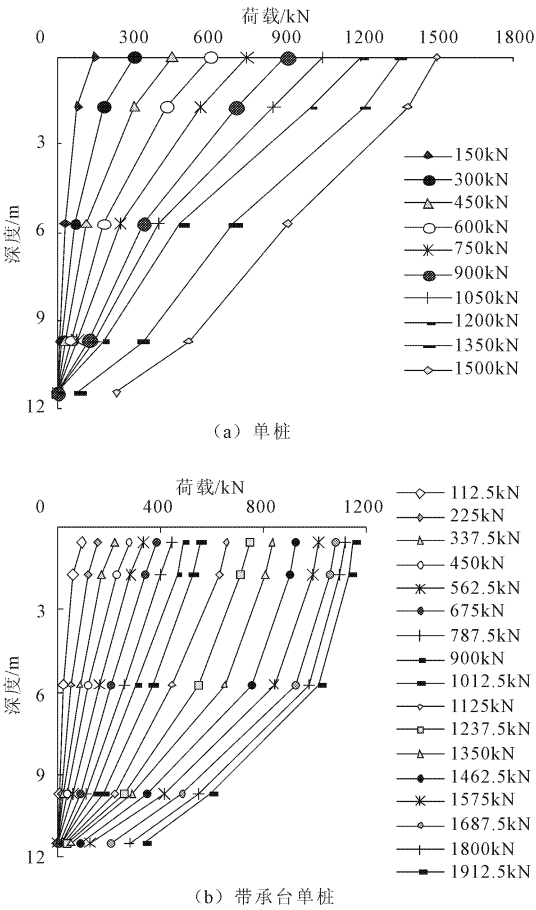
桩、承台分担荷载的比例均随着总荷载的增大而增大, 但曲线斜率的变化有所不同。在图 3 中, 在总荷载超过 1 012.5 kN 后 (相应于总压力为 450 kPa), 曲线的斜率略有增大, 而当总荷载达到 1 687.5 kN 后 (相应于总压力为 750 kPa), 曲线的斜率又开始减小, 分别表明了桩顶所分担荷载的比例在增大和减小。在图 4 中, 在加载初期 (总压力在 100 kPa 前) 曲线较为平缓, 说明此时土分担的荷载偏小, 这可能与土压力盒埋设不够密实及中粗砂找平层的压密过程有关; 此后图 4 中的曲线表现出了两个转折点, 分别是总压力为 450 kPa 和 750 kPa, 曲线的斜率表现出先减小后增大, 表明承台下土反力

所分担荷载的比例先减小后增大。从图 4 还可以看出, 土反力的最大值甚至超过了由天然地基承载力静载试验得到的极限值, 这是由于桩的存在以及承台对土的约束作用阻碍了土的侧向变形, 使承台下土的承载能力提高。

承台分担荷载比例的这种变化应该是受到总变形量的逐渐增大、桩端土层变形的产生和发展以及桩端阻力的逐渐发挥等因素的影响。当总变形量增大到一定程度时, 桩端阻力的发挥程度开始逐渐增大, 由于桩端土层的刚度大于桩上部土层的刚度, 使得承台下桩顶承受荷载的比例增大, 而土所承受荷载的比例有所减小。

2.3 桩身轴力

根据钢筋计的测试结果整理绘制出单桩和带承台单桩各量测断面轴力随深度的变化情况, 如图 5 所示。



说明承台对桩侧阻力的发挥的影响,将单桩和带承台单桩在桩顶荷载分别为 450 kN 和 750 kN 下桩身的轴力曲线绘制在同一张图上,如图 6 所示。从图 6 中可以看出,在桩身上部同一桩段内,单桩的轴力衰减较快而带承台单桩的轴力衰减较慢,这表明带承台单桩中承台对桩上部侧阻存在明显的削弱作用。

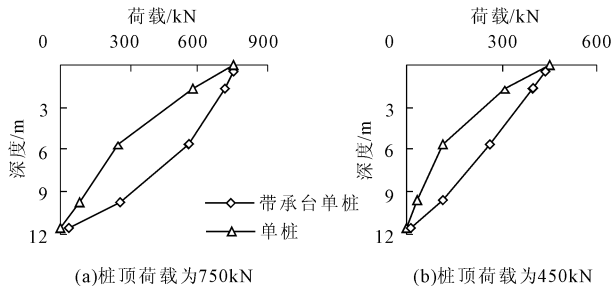


图 6 单桩和带承台单桩轴力曲线对比

此外,结合单桩和带承台单桩静载试验的结果(其 $Q-s$ 曲线如图 2 所示),单桩在其极限荷载(1 200 kN)作用下时,桩顶沉降较小,桩端位移为 0,桩端阻力也为 0,此时该桩属纯摩擦桩类型。当达到其极限荷载后又继续加载,使桩顶沉降增大,端阻力开始逐渐发挥,当加载至 1 500 kN、总沉降量为 68.23 mm 时,端阻力大小为 292 kN,占桩顶总荷载的比例为 19.5%,此时该桩则又表现为端承摩擦型。带承台单桩在总荷载为 675 kN、总沉降量为 3.85 mm 时,桩端阻力即开始发挥。当总荷载为 1 912.5 kN、总沉降量为 67.98 mm 时,端阻力占桩顶荷载的 29.3%。这也说明承台的作用不仅影响到了桩端阻力的发挥程度,还使得发挥桩端阻力所需的桩顶沉降减小。

根据桩身轴力的测试结果,计算出某级荷载下桩端阻力与桩顶荷载(单桩)或总荷载(带承台单桩)的比值,即为桩端分担荷载比例,将其随荷载水平的变化规律绘制于图 7。由图 7 可以看出,单桩在荷载水平大于 80% 后,端阻力才开始发挥,而带承台单桩的这一指标为 30%。当荷载水平为 80% ~ 100% 时,单桩桩端阻分担的荷载为 0 ~ 15.5%,而相同荷载水平下,带承台单桩的桩端阻分担的荷载为 8.4% ~ 17.7%。由此可见,带承台单桩中承台对桩的端阻的发挥有增强作用。

图 8 为根据桩身轴力得到的单桩和带承台单桩在达到各自的极限承载力前各量测断面之间摩阻力随位移的变化情况。单桩的桩侧摩阻力基本上随位移的增大而增大,即为硬化型;而带承台单桩在 5.7 m 以上,摩阻力-位移关系曲线却呈软化型,且随深

度增大,达到极限摩阻力时所需的位移也在增大。这表明与桩同步下沉的承台使桩身上部桩土之间的相对位移减小,影响了桩身上部摩阻力的发挥。

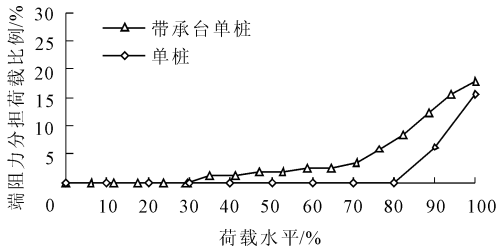
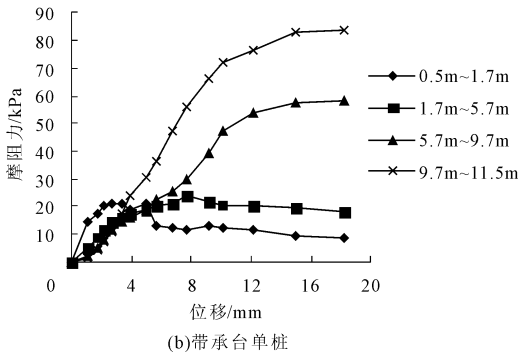
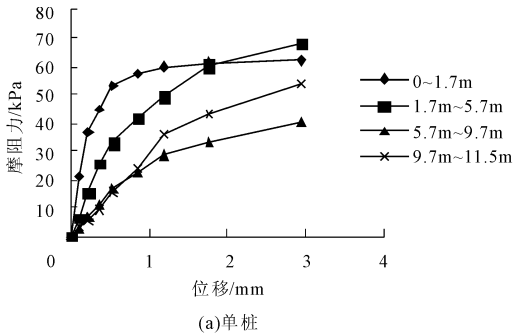


图 7 端阻力分担荷载与荷载水平的关系



(上接第 123 页)

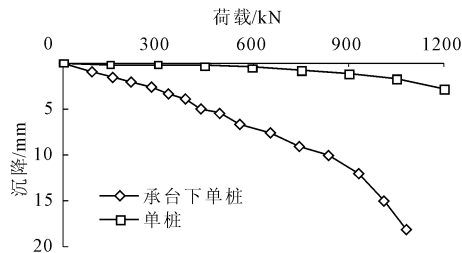


图9 单桩与承台下单桩的荷载~沉降曲线

3 结 论

(1) 承台下土分担荷载的作用明显,且承受的压力已大于天然地基的极限承载力。

(2) 在荷载作用下,由于承台与桩同步下沉,使桩段上部桩土之间的相对位移减小,影响了该桩段侧摩阻力的发挥。

(3) 带承台单桩中的承台对端阻的发挥有明显

的增强作用,但同时,由于发挥端阻所需的位移量较大,因此,在相同桩顶荷载下,带承台单桩中桩顶的沉降量较单桩的桩顶沉降量大。

参考文献:

- [1] 王浩,周健,邓志辉.桩-土-承台共同作用的模型试验研究[J].岩土工程学报,2006,28(10):1253-1258.
- [2] 陈亚东,宰金珉,余跃心,等.基于DIC技术的桩-土-承台共同作用性状的模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(Z1):3001-3007.
- [3] 李涛.软土地基桩-土-承台共同作用的有限元分析[J].路基工程,2009,(4):140-142.
- [4] 李富盈.桩-土-承台共同作用的模型试验研究[J].河南科学,2007,25(6):957-959.
- [5] 中华人民共和国建设部.GB50007-2002.建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2003:100-101.
- [6] 中华人民共和国建设部.JGJ106-2003J256-2003.建筑基桩检测技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2003:13-18.