

钻孔灌注桩荷载传递机理试验研究

王俊林¹,王 博¹,高有斌^{2,3}

(1. 郑州大学环境与水利工程学院,河南 郑州 450002 ; 2. 河海大学岩土工程水利部重点实验室,江苏 南京 210098 ;
3. 河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098)

摘要 通过桩基静载试验实测数据,分析了桩身轴力的荷载传递机理.结果表明:桩顶荷载主要通过桩侧摩阻力逐渐向下传递,具有明显的摩擦桩特点,桩侧摩阻力所占比重较大,而桩端阻力所占比重较小.桩底沉渣厚度显著影响桩顶沉降量与极限承载力.
关键词 灌注桩;静载荷试验;荷载传递;桩侧摩阻力
中图分类号:TU473.1 文献标识码:A 文章编号:1000-198X(2007)04-0430-04

钻孔灌注桩已广泛应用于高层建筑、道路桥梁等各类工程.桩基的承载性能受到土体性质、桩身强度、施工工艺等诸多因素的影响^[1],要正确地确定桩基的承载力,必须深入了解桩土体系的荷载传递特性.桩基承载性状的研究方法主要有 3 种,即现场试验、以有限元法为代表的数值计算和解析计算,但静载荷试验方法仍是确定桩的承载性状最直接最可靠的方法.利用桩侧摩阻力和桩端阻力的实测结果^[2-9],可以研究桩和土的荷载传递规律,分析对荷载传递产生影响的各种因素^[2].

郑州某大厦位于郑州市东郊,由 3 幢主要建筑物组成,分别为 1 幢高层写字楼和 2 幢高层住宅楼,3 幢建筑物在地下室连成一体.基础拟采用桩筏联合基础形式,桩基础为钻孔灌注桩,桩径 800 mm,桩长 34.5 m,桩体混凝土强度等级为 C30.为了更好地掌握灌注桩的承载性状,对 4 根试桩进行了静载荷试验.为了确定桩身轴力、桩侧摩阻力和桩底反力的变化,每根试桩上均预先埋设有钢筋应力计.本文利用预埋钢筋计的桩基静载荷试验实测成果,分析了钻孔灌注桩的承载特性和荷载传递机理.

1 地质与试验概况

1.1 地质概况

由文献[10]可知,钻探揭露范围内有 4 套地层,自上而下分别为:(a)以浅黄色粉土为主,系黄河新近泛滥堆积,底层埋深 7.0~9.5 m.(b)以粉土为主,浅灰褐色到灰褐色,有机质含量较高,饱和,中密粉土,底层埋深 19.0~22.5 m.(c)中砂,浅黄色,饱和,密实,局部还夹有粉土薄层,粒度由上向下渐粗,底部含钙质结核和少量卵石,底层埋深 23.0~25.5 m.(d)以粉质黏土为主,颜色呈褐色,状态从可塑到硬塑再到坚硬.最大揭穿深度为 65.0 m.地基主要土层物理力学性质指标见表 1.

表 1 主要土层物理力学性质指标

Table 1 Physical and mechanical properties of main soil layers						
土层名称	密度/ (g·cm ⁻³)	孔隙比	含水率/%	黏聚力/ kPa	内摩擦角/(°)	压缩模量/MPa
粉土	1.78	0.721	22.7	15.2	24.5	11.1
粉土	1.81	0.777	27.1	16.5	25.6	12.9
中砂	1.94	0.920	32.2	11.5	31.0	15.7
粉质黏土	2.04	0.591	20.2	24.1	29.5	25.8

1.2 试验概况

静载荷试验参照 GB50007—2002《建筑地基基础设计规范》^[11],采用慢速维持荷载法.考虑到经济目的及现场条件,试桩和锚桩均采用工程桩,并通过锚桩顶部安装的百分表来测试锚桩上拔量.试验采用钢梁-锚桩反力系统提供反力,油压千斤顶施加荷载,压力传感器控制荷载大小,数显百分表和机械百分表分别测量桩顶沉降量及锚桩上拔量.沉降稳定后,利用频率仪对埋设在桩体内的钢筋计(图1)进行测定.静载荷试验概况

如表 2 所示.

2 试验数据整理

2.1 桩身轴力计算

 先采用钢筋计测出钢筋应力 , 再通过式 (1) 计算出轴身轴力.

$$N = \sigma_g A_g n + \frac{\sigma_g}{E_g} A_h E_h$$

(1)

式中 : σ_g ——钢筋应力设计值 ; A_g ——单根钢筋截面面积 ; E_g ——钢筋弹性模量 ;
 E_h ——混凝土弹性模量 ; A_h ——单桩截面面积 ; N ——单桩轴力 ; n ——桩体所配置
钢筋的根数.

2.2 桩侧摩阻力计算

 桩侧平均摩阻力 q_i 可以通过第 i 土层上下载面处的桩身轴力利用式 (2) 进行
计算.

$$q_i = \frac{N_i - N_{i+1}}{Uh_i}$$

(2)

式中 : q_i ——第 i 土层的桩侧摩阻力 ; N_i, N_{i+1} ——第 i 土层对应的上下截面轴力 ; U ——基桩截面周长 ;
 h_i ——第 i 土层厚度.

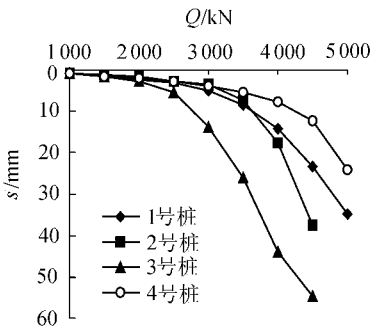


图 2 静载荷试验 $Q-s$ 曲线
Fig.2 Static load test curve of piles

 根据《建筑地基基础设计规范》^[1]的有关规定 ,可判定 3 号试桩极限承载力为 3 900 kN. 后经施工资料的核对 ,发现 1 号、2 号和 4 号试桩沉渣清理比较干净 3 号试桩因停电等原因沉渣没有清理彻底. 这说明沉渣厚度对承载力的影响较大.

4 荷载传递机理分析

4.1 桩身轴力传递特征

 根据实测的钢筋计数据 ,并通过式 (1) 计算得到 4 根试桩的桩身轴力.图 3 为 1 号桩桩身轴力分布.由于 4 根试桩表现出相似的轴力分布特征 本文仅选取 1 号桩进行机理分析.

 a. 桩身轴力上部大下部小 ,随着荷载的增大 ,桩身轴力逐渐向桩底部传递^[9],当荷载加至 4 500 kN 时 ,桩端阻力才开始发挥作用. 桩身轴力沿桩长大致可以分为 2 个区段 :0 ~ 23.0 m 和 23.0 ~ 34.5 m 轴身轴力在 2 个区段上衰减速度都较为均匀.通过与地质资料的对比 ,可知这个区段桩周土的力学性质有较大差异 ,上部的

表 2 静载荷试验概况

试桩 编号	最大加 荷/kN	最大沉降 量/mm	回弹量/ mm	最终沉降 量/mm	锚桩最大 上拔量/mm
1	5000	34.6	7.6	27.0	5.9
2	4500	37.6	7.3	30.2	6.3
3	4500	54.8	7.5	47.3	2.3
4	5000	24.2	7.2	17.1	6.2

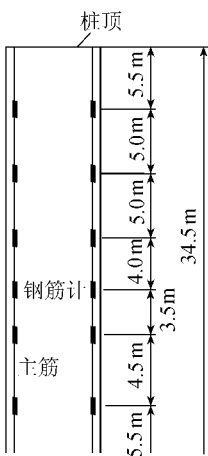


图 1 灌注桩钢筋计
布置

Fig.1 Layout of strain
gauges in bored pile

3 基桩荷载-沉降特性分析

 桩体试桩的荷载-沉降关系曲线如图 2 所示.从图 2 可以看出 ,在桩顶荷载作用下首先发生弹性压缩变形 ,随着荷载的增大 ,桩的沉降不断增大而进入非线性变化阶段.1 号和 4 号试桩的桩顶荷载 Q 与沉降 s 关系曲线出现缓变现象 ,在荷载加至 5 000 kN 时 ,均未达到破坏状态 ,还有继续承载的潜力 ,但在荷载加至 4 500 kN 时 ,斜率有逐渐增大的迹象 ,故认为 1 号和 4 号试桩极限承载力为 5 000 kN.2 号试桩荷载大于 4 000 kN 时 ,沉降速率明显加快 , $Q-s$ 曲线陡降现象明显 ,故可以判定 2 号试桩的极限承载力为 4 000 kN.3 号试桩当荷载加至 3 000 kN 时 ,沉降速率不断增大 ,但继续加载至 4 000 kN 时出现第 2 拐点 ,根据 GB50007—2002《建筑地

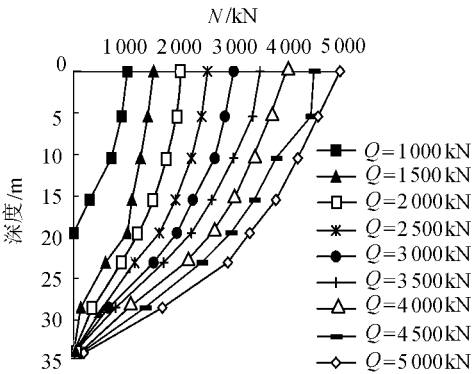


图 3 1 号桩桩身轴力分布
Fig.3 Distribution of axial
force along pile No.1

弹性模量 E_0 小,下部的 E_0 大.可知桩体弹性模量与桩周土弹性模量 E_p/E_0 越小,轴力沿深度衰减越快,粉质黏土和粉砂层中的衰减速度大于粉土中的衰减速度.

b. 1号试桩具有明显的摩擦桩特点,桩顶荷载传递到桩端的荷载很小^[8],桩顶荷载主要由桩侧摩阻力承担,桩端承担荷载比重仅占3.8%.4根试桩的桩顶荷载分配情况见表3.从表3可知,3号试桩桩端阻力所承担的荷载最大,也仅占10.1%.可见,4根试桩还有继续承载的潜力,但由于沉降量过大而不能满足上部结构对变形的要求.

桩身轴力的传递特性受多种因素影响,比如还与成孔时间长短、桩侧壁土的松弛效应和“泥皮”厚度以及孔底沉渣等因素有关^[2].

4.2 桩侧摩阻力性状分析

1号试桩不同荷载水平下的桩侧摩阻力分布如图4所示,桩顶荷载 $Q=4\,500\text{ kN}$ 时的各试桩侧摩阻力分布如图5所示.

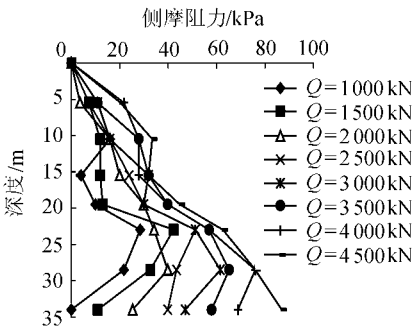


图4 1号桩侧摩阻力分布
Fig.4 Distribution of lateral friction along pile No.1

表3 桩顶荷载分配
Table 3 Load distribution at top of piles

试桩编号	桩顶荷载/kN	总桩侧摩阻力/kN	总桩侧摩阻力比重/%	桩端阻力/kN	桩端阻力比重/%
1	5000	4808	96.2	192	3.8
2	4500	4234	94.1	266	5.9
3	4500	4047	89.9	453	10.1
4	5000	4893	97.9	107	2.1

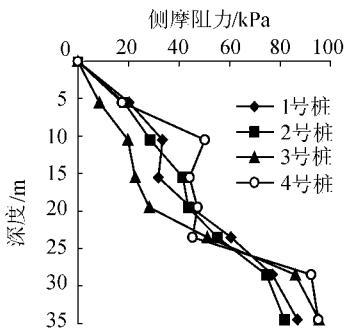


图5 各试桩侧摩阻力分布($Q=4\,500\text{ kN}$)
Fig.5 Distribution of later friction along each test pile($Q=4\,500\text{ kN}$)

由图4和图5可以得出如下几点结论:

a. 桩侧摩阻力发挥的条件是桩体受压产生压缩变形,桩土产生相对滑移.由于桩体上部先于下部产生相对滑移,桩侧摩阻力自上而下逐步发挥.随着桩顶荷载的提高,上部桩土接触面的摩阻力迅速增大,上部侧摩阻力有达到极限的趋势,桩土的相对滑移逐步向下扩展,从而调动了桩体下部侧摩阻力的发挥.

b. 桩侧摩阻力的发挥与桩周土类别及其特性有关^[3].本次试验 $Q=4\,500\text{ kN}$ 时桩侧摩阻力已得到充分发挥.桩周摩阻力的分布土层特性较为明显,大致可分为3段,0~10.5 m段为新近堆积层含回填土和有机物,摩阻力较小,为8.5~22.3 kPa;10.5~28.5 m段以粉土为主(中砂夹层2.0 m左右),桩侧摩阻力分布较为均匀,为31.9~55.2 kPa;28.5~34.5 m以粉质黏土为主,摩阻力较上层显著增大,为74.6~95.1 kPa.桩周土特性对荷载传递特性和桩侧摩阻力有显著影响^[1],当桩周土较密时,摩阻力较大.粉质黏土的桩侧摩阻力明显大于粉土. $Q=4\,500\text{ kN}$ 时,桩侧摩阻力已得到充分发挥,可以将上述数据作为该场地上对应土层的桩侧极限摩阻力.根据比较结果,实测的桩侧极限摩阻力明显高于文献[10]提供的桩侧极限摩阻力.

5 结 论

- a. 桩底沉渣会显著影响桩的沉降量和极限承载力,成孔后务必将桩底沉渣清理干净.
- b. 桩侧摩阻力与桩端阻力并非同时发挥,而是桩侧摩阻力首先发挥.本试验场地的试桩表现出明显的摩擦桩特点,桩顶荷载主要由桩侧摩阻力承担,桩端阻力承担荷载比例仅为2.1%~10.1%.单从承载力的角度讲,桩端仍具有较大的承载潜能.
- c. 桩周土较密时,桩体弹性模量与桩周土弹性模量的比 E_p/E_0 越小,摩阻力越大,桩身轴力沿深度衰减速度越快,粉砂和粉质黏土中的衰减速度大于粉土中的衰减速度,粉质黏土的桩侧摩阻力明显大于粉土.
- d. 桩顶荷载 $Q=4\,500\text{ kN}$ 时,桩侧摩阻力已得到充分发挥,由此可判断该试验场地粉土和粉质黏土的极限侧摩阻力的取值,而且该实测值明显大于文献[10]的数值.

参考文献：

[1] 张鹤年,汤劲松,何立明.桩基础非线性工作性状的室内模型试验研究[J].岩土工程技术,2002,19(2):87-92.
[2] 朱向荣,方鹏飞,黄洪勉.深厚软基超长桩工程性状试验研究[J].岩土工程学报,2003,25(1):76-79.
[3] 赵明华,邹新军,刘齐建.洞庭湖软土地基地区大直径超长灌注桩竖向承载力试验研究[J].土木工程学报,2004,37(10):63-67.
[4] 钟闻华,石名磊,刘松玉.超长桩荷载传递性状研究[J].岩土工程学报,2005,26(2):307-310.
[5] 律文田,冷伍明,王永和.软土地区桥台桩基负摩阻力试验研究[J].岩土工程学报,2005,27(6):642-645.
[6] 韩焜,张乃瑞.北京地区群桩基础桩土荷载分担的现场试验研究[J].土木工程学报,2005,38(11):89-95.
[7] 袁云红,谷秀萍.大直径嵌岩灌注桩的承载性状分析[J].岩土工程界,2002,4(12):53-56.
[8] 冯忠居,谢永利,李哲,等.大直径超长钻孔灌注桩承载性状[J].交通运输工程学报,2005,5(1):24-27.
[9] 陈鹭琳.大直径锤击沉管灌注桩承载性状的试验研究[J].土工基础,2004,18(5):19-22.
[10] 陈玲霞.郑州××大厦岩土工程勘察报告[R].郑州:郑州大学综合设计研究院,2003.
[11] 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,2002.

Study on load transfer mechanism of bored piles

WANG Jun-lin¹, WANG Bo¹, GAO You-bin^{2,3}

- (1. School of Environment and Water Conservancy Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002 , China ;
2. Key Laboratory for Geotechnical Engineering of Ministry of Water Resources ,
Hohai University , Nanjing 210098 , China ;
3. Geotechnical Research Institute of Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract :Based on the in-situ test data of bored piles , the mechanism of axial load transfer was analyzed. The result shows that the load at the top of piles transfers downwards by means of lateral friction along piles , thus , such type of piles is of evident characteristics of friction piles. It is also demonstrated that the lateral friction accounts for large proportion , while the resistance at the end of piles accounts for small proportion , and that the sediment thickness at the bottom of piles evidently affects the top settlement and ultimate bearing capacity of piles.

Key words :bored pile ; static load experiment ; load transfer ; lateral friction along pile