

超长大直径桩承载特性试验研究

胡立明

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要:依托宁波某工程进行超长大直径桩的竖向抗压静载荷试验,得到桩顶荷载-沉降关系曲线,据此得出桩的极限承载力;桩身不同深度位置埋设有钢筋应力计,静载荷试验过程中记录不同荷载下不同深度钢筋应力计读数,通过换算得到桩身不同位置的轴力随荷载变化规律,并据此得到桩身极限侧摩阻力及极限端阻力;通过试验结果对超长大直径桩的承载特性进行分析,并将通过桩身轴力测试得到的桩基极限承载力与静载荷试验得到的桩基极限承载力进行对比,两者较为吻合,证明了测试结果的可靠性。

关键词:超长大直径桩;竖向抗压静载荷试验;极限承载力;桩身轴力;侧摩阻力

中图分类号: TU473.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)03-0190-03

0 引言

桩基础具有承载力大、沉降量小等优势,目前已成为土木工程中最为常用的基础形式之一。桩基竖向抗压极限承载力的确定是桩基设计的基本内容,直接关乎建筑物的沉降控制及工程安全,因此得到了众多学者及工程技术人员的关注^[1-3]。

现有多种确定桩基竖向承载力的方法,大致可归纳为两大类。第一类是间接法,即采用适当方法得到侧阻力和端阻力,两者叠加得到桩的承载力。具体有室内土工试验法、原位测试法等。室内土工试验法通过取样测试获得土体强度参数,进而计算桩的侧阻力和端阻力,该方法简单便捷,但由于取样扰动、试验方法、操作规范性等,得到的结果会有比较大的离散性,因此仅能用于一般工程或初步设计阶段。原位测试法^[4]是采用诸如静力触探、标贯、旁压试验的手段对土体进行原位测试,根据测试指标与桩的侧阻力和端阻力之间的经验关系,得到桩的竖向承载力。采用该方法得到的桩基承载力较室内土工试验法更为可靠。第二类是静载试验法^[5-9],对桩基进行竖向抗压静载荷试验,直接得到桩的竖向承载力,是目前最为直接可靠的方法。根据荷载施加方式又可分为传统静载荷试验^[5-7](荷载施加于桩顶)以及自平衡静载荷试验^[8-9](荷载施加于桩身某一深度位置)。

随着经济社会的快速发展,各种高层、超高层建筑、大型桥梁等不断兴建,对桩基承载力提出更高要求。桩基础的发展呈现出桩径不断增大、桩长不断增长的趋势^[10-11]。然而,目前人们对超长大直径桩的承载特性认识还不够深入。鉴于此,依托宁波某工程进行了超长大直径桩的竖向抗压静载荷试验及桩身轴力测试,并将静载荷试验得到的桩基极限承载力与通过桩身轴力测试得到的桩基极限承载力进行对比。根据测试结果对桩的承载特性及荷载传递规律进行分析,所得结论可望为超长大直径桩的设计提供参考。

1 工程概况

该工程位于浙江省宁波市,场地土层情况见表1。试桩桩径1 500 mm、桩长75 m,持力层为⑩₁灰黄色粉质黏土,试桩进入持力层11.7 m;锚桩共4根,桩径1 200 mm、桩长55 m。试桩与锚桩均为反循环钻孔灌注桩,成桩之后养护28 d,采用锚桩法进行竖向抗压静载荷试验,同时进行桩身轴力测试。

2 试验情况介绍

2.1 竖向抗压静载荷试验

单桩竖向抗压静载试验采用锚桩横梁反力装置,荷载按规范要求分级施加,直至破坏。本试验采用油压千斤顶(10个320 t的千斤顶)分级加载,荷载采用油压传感器测量,沉降测量采用4只位移传感器对称安置在桩侧2个正交方向,每根锚桩检测1点,测点置于锚桩桩顶混凝土面上。

加载方式采用慢速维持荷载法,荷载分级按

收稿日期:2020-11-25

作者简介:胡立明(1962—),男,工学学士,教授级高级工程师,从事岩土勘察专业。

表 1 场地土层情况

土层编号	土层名称	土层厚度 /m
①	灰黄色黏土	2.4
②	灰色淤泥质黏土	11.1
③	灰色粉质黏土	2.4
⑤	灰黄色粉质黏土	11.3
⑥ ₁	灰色黏土	18.1
⑥ ₂	灰色粉质黏土	3.2
⑦	灰色粉质黏土	8.7
⑧	灰色细砂	2.1
⑨	兰灰色粉质黏土	4
⑩ ₁	灰黄色粉质黏土	15.4
⑩ ₂	灰色含黏性土砾砂	11.3

1 500 kN 分级,第 1 级加载量按 2 倍分级荷载进行,加至第 11 级后,荷载增量减小为 750 kN,直至加载至 24 000 kN 试桩破坏。每级荷载施加后按照第 5、15、30、45、60 min 测读桩顶沉降量,以后每隔 30 min 测读一次。每级卸载值为加载值的 2 倍,每级荷载维持 1 h,按照第 15、30、60 min 测读桩顶沉降量后,即可卸下一级荷载。卸载至零后,测读桩顶残余沉降量,维持时间为 3 h,测读时间为 15、30 min,以后每隔 30 min 测读一次。

2.2 桩身轴力测试

采用在桩身不同位置埋设钢筋应力计的方式,测试各级荷载下桩身截面的内力,并计算得到桩身轴力及侧摩阻力的分布情况。钢筋应力计为型号 JTM-V1000H 的振弦式钢筋应力计,应力计连接杆直径与钢筋主筋相同。安装时截断主筋,把 1 000 mm 左右的钢筋应力计及连接杆串联其中,两头与钢筋焊接,如图 1 所示。

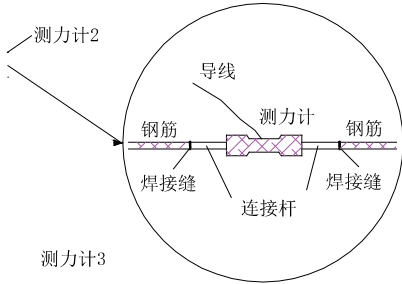


图 1 钢筋应力计安装方式

桩身内力量测断面设置在土层分界处,共 10 个土层,对于层厚较大且侧摩阻力提供相对较多的⑤、⑥₁和⑩₁土层,均分 2 个断面进行安装,每个断面对称布置 4 只钢筋应力计(如图 2 所示),同时在桩帽

下 1 倍桩径位置处布置一个标定断面,安装 4 只钢筋应力计,桩身由上到下分 14 个断面,埋设 56 只钢筋应力计。

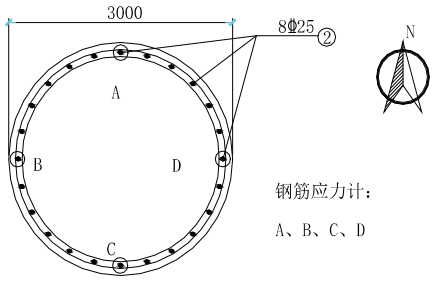


图 2 钢筋应力计安装截面图

3 试验结果分析

根据竖向抗压静载荷试验过程中每级荷载所对应的桩顶沉降,绘制出荷载-沉降关系曲线(即 $Q-s$ 曲线),如图 3 所示。由图 3 可知,当荷载施加至 24 000 kN 时,桩顶沉降急剧增大,该级荷载下的沉降量为 110.09 mm,超过前一级荷载对应沉降量(6.71 mm)的 5 倍。根据《建筑桩基检测技术规范》(JGJ 106—2014),终止加载并取其前一级荷载作为桩的极限承载力,即 23 250 kN。另外,加载过程中桩顶最大沉降量为 152.84 mm,卸荷过程中的最大回弹量为 14.74 mm,回弹率为 9.6%。

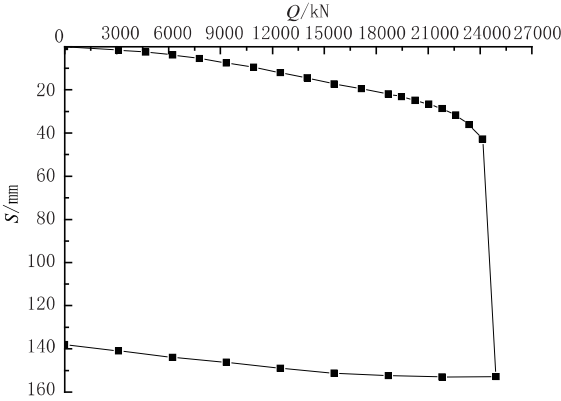


图 3 桩顶荷载-沉降关系曲线

竖向荷载作用下,桩的受力钢筋会发生微应变,导致钢筋应力计的频率随之发生变化,据此可计算出钢筋应力计所受到的竖向力为:

$$Q_y = K(f_i^2 - f_0^2) \quad (1)$$

式(1)中: Q_y 为钢筋应力计所受竖向力; K 为钢筋应力计标定系数; f_0 和 f_i 分别为第 i 级荷载施加前后钢筋应力计读数。

根据钢筋与钢筋应力计的应变协调,可得:

$$\frac{Q_g}{E_g A_g} = \frac{Q_y}{E_y A_y} \quad (2)$$

式(2)中: Q_g 为对应截面处钢筋所受竖向力; E_g 和 A_g 分别为钢筋的弹性模量和横截面积; E_y 和 A_y 分别为钢筋应力计的弹性模量和横截面积。

根据混凝土和钢筋的应变协调,可得:

$$\frac{Q_c}{E_c A_c} = \frac{Q_g}{E_g A_g} \quad (3)$$

式(3)中: Q_c 为对应截面处混凝土所受竖向力; E_c 和 A_c 分别为对应截面桩身混凝土的弹性模量和横截面积。

由式(1)、(2)和(3)可得,该截面位置桩身轴力可表示为

$$Q_p = \left(\frac{E_c A_c}{E_y A_y} + \frac{A_g}{A_y} \right) Q_y \quad (4)$$

式(4)中: Q_p 为对应截面处桩身轴力。

进一步根据极限荷载作用下各截面的桩身轴力值,按照下列方程可分别计算桩周土的极限侧摩阻力和极限端阻力:

$$q_{si} = \frac{Q_{pi} - Q_{pi+1}}{l_{pi} u_{pi}} \quad (5)$$

$$q_p = Q_{pn} / A_p \quad (6)$$

式(5)、式(6)中: q_{si} 为第*i*层桩周土的极限侧摩阻力; u_{pi} 和 l_{pi} 分别为第*i*段桩的周长和长度; q_p 为极限端阻力; A_p 为桩端横截面积; Q_{pn} 为极限荷载作用下桩端位置的轴力。

根据钢筋应力计测试数据,并按照式(1)~(4)计算得到的各级荷载下桩身轴力分布情况如图4所示。由图4可知,某级荷载作用下,桩身轴力随着深度的增大而逐渐减小,这是桩周土侧摩阻力发挥作用的结果。在浅部位置,随着桩顶荷载的逐渐增大,桩身轴力曲线的斜率变化不大,表明在较低荷载水平下桩周侧摩阻力已充分发挥;而在深部位置,轴力曲线斜率则随着桩顶竖向荷载的增大而增大。另外,当荷载水平较低时,荷载主要由浅部位置的桩周土分担,并未传递至深部位置及桩端;即使荷载水平很高时,仍然只有很小一部分荷载传递至桩端,这也是超长桩与短桩的区别所在,是工程中需要注意的问题。

根据式(5)计算得到的各土层极限侧摩阻力分别为 53.98 kPa、5.90 kPa、114.78 kPa、96.81 kPa、27.08 kPa、42.38 kPa、148.06 kPa、119.42 kPa、71.10 kPa 和 32.49 kPa。由此计算得到的桩的极限侧阻力为 20 440 kN,与极限端阻力叠加之后的极限承载力计算值为 22 613 kN,与静载荷试验的结果非常吻合。可以证明测试方法及测试结果的可靠性,通

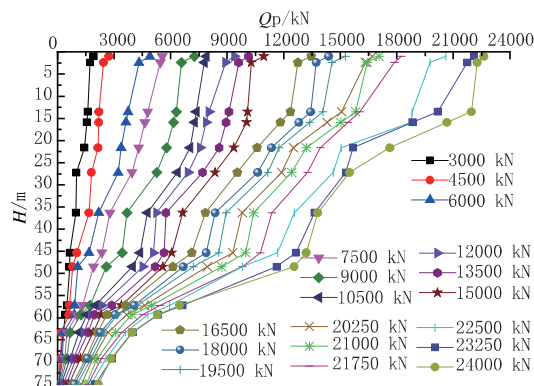


图4 不同荷载下桩身轴力的分布情况

过轴力测试得到的各土层极限侧摩阻力及极限端阻力可为本工程桩基础的设计提供参考。

4 结 论

(1)竖向静载荷试验的荷载-沉降关系曲线为陡降型,取前一级荷载作为桩基极限承载力;

(2)对超长桩而言,浅部桩周土侧摩阻力得到了充分发挥,而端阻力发挥较少,当荷载水平较低时,荷载主要由浅部位置的桩周土承担;

(3)通过桩身轴力测试计算得到的桩基极限承载力与竖向抗压静载荷试验得到的结果吻合,证明了试验方法及测试结果的可靠性,所得土层参数可为本工程桩基础的设计提供参考。

参考文献:

- [1] 李家奇,赵晓豹,李晓昭,等.不同地区砂土中桩端承载力计算方法的比较[J].地下空间与工程学报,2009,5(5):1007-1012,1043.
- [2] 边晓亚,郑俊杰,徐志军.考虑桩基设计方法的基桩承载力可靠度分析[J].岩土工程学报,2013,35(S2):1099-1102.
- [3] 田雪飞,卢海筠,闫景侠,等.后压浆灌注桩基承载力计算方法比较研究[J].岩土工程学报,2013,35(S1):372-377.
- [4] 蔡国军,刘松玉.基于CPTU测试的桩基承载力预测新方法[J].岩土工程学报,2010,32(S2):479-482.
- [5] 王卫东,李永辉,吴江斌.上海中心大厦大直径超长灌注桩现场试验研究[J].岩土工程学报,2011,33(12):1817-1826.
- [6] 张骞,李术才,张乾青,等.软土地区超长单桩承载特性的现场试验研究[J].岩土工程学报,2013,35(S2):1066-1070.
- [7] 陈枝东,韩晓峰,张领帅,等.不同成桩工艺对单桩竖向承载特性影响的现场试验研究[J].路基工程,2019(4):89-95.
- [8] 高鲁超,戴国亮,龚维明,等.光纤光栅传感技术在大直径灌注桩承载力自平衡法测试中的应用[J].东南大学学报(自然科学版),2019,49(4):688-695.
- [9] 张广彬,姬同庚,李志斌.超大吨位自平衡法与静压法荷载试验结果对比研究[J].岩土工程学报,2011,33(S2):471-474.
- [10] 黄生根,彭从文.超长大直径桩的变形特性研究[J].岩土力学,2009,30(S2):308-311.
- [11] 张忠苗,张乾青,张广兴,等.软土地区大吨位超长试桩试验设计与分析[J].岩土工程学报,2011,33(4):535-543.