

# 静压沉桩与锤击沉桩对天津地区预制桩 单桩竖向承载力的影响

康宪泉<sup>1</sup> 牟春梅<sup>2</sup> 林波<sup>1</sup>

(1 天津市勘察院, 天津 300191)

(2 桂林工学院资源与环境工程系, 桂林 541004)

**【摘要】** 通过对 JGJ 94-94 规范有关预制桩部分的编制说明及编制依据等资料分析, 结合试验研究与工程实践对静压预制桩单桩竖向承载力的问题进行了讨论。研究表明: 按《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-94) 估算的静压预制桩的单桩竖向承载力值远远低于单桩竖向静载荷试验实测值。

**【关键词】** 静压; 锤击; 预制桩; 单桩; 竖向承载力

**【中图分类号】** TU473.11

## Analysis of the Effect on Vertical Bearing Capacity of Prefabricated Single Pile Constructed by Static Pressure and Hammer-Driven Sunken Pile Pressure in Tianjin District

**【Abstract】** Based on the experiential research and engineering practice, Summarizing and analyzing the code of JGJ 94-94 in order to use and design reasonably static pressure prefabricated pile. It shows that the vertical bearing capacity of prefabricated pile according to the 《Specification for Pile Foundation of Building》(JGJ 94-94) is more less than that of practical test pile according to static loading test.

**【Key words】** static pressure; hammer-driven; prefabricated pile; single pile; vertical bearing capacity

### 0 引言

目前, 静压预制桩在天津地区已得到广泛应用。自 20 世纪 90 年代初以来, 由我院承担的应用静压预制桩的工程项目(包括正在施工中的)已近 60 项。该桩在工程应用中显示出独特的优势, 其与深层搅拌桩及振动沉管灌注桩相比桩体质量稳定可靠、施工质量易控制、总工期短、施工对环境的影响小等。但该桩在应用过程中也发现了一些问题, 其中最为突出的是单桩竖向承载力问题。

试验研究与工程实践表明: 静载荷试验实测单桩竖向承载力值远高于按 JGJ 94-94 规范<sup>[1]</sup>有关规定计算的估算值。从 80 组试验桩

静载荷试验资料的分析显示, 桩端置于粉土(或砂土)层中时, 可高出 40% 以上(其占竖向静载荷试验进行至破坏试桩数的 100%, 桩顶沉降  $\geq 14$  mm 静载荷试验试桩数的 96.0%), 有的甚至高出达 100%。这就无形之中增加了工程造价, 造成不必要的浪费, 而且容易造成沉桩事故(由于桩距过密导致过大的挤土效应而造成桩体上浮、移位、桩间土再固结对桩产生较大的负摩阻力等, 由于桩端进入持力层过深而造成沉桩困难)。因此, 对静压预制桩单桩竖向承载力问题进行分析研究, 并找出能使估算结果更趋于符合客观实际的估算方法, 就显得十分重要, 也十分必要。下面就对其产

**作者简介:** 康宪泉, 男, 汉族, 1969 年生, 山东冠县人, 1993 年毕业于桂林冶金地质学院本科, 工程师, 主要从事桩基技术的研究和施工。

生原因进行初步分析。

## 1 锤击式沉桩锤击引起桩振动对单桩竖向承载力的影响

锤击式沉桩锤击引起桩水平振动导致桩身与浅层土局部脱开,土越硬,桩与土局部脱离越久,土越软,桩土脱离随时间逐渐消失而趋闭合。再加之浅层土(土层埋深小于6 m)上覆压力较小,导致浅层土对打入式预制桩的侧摩阻力趋于某个定值,而与土质无关。

前苏联根据 153 根短桩与静力触探的对比发现,土越硬,估算值折减越大,反之,越软折减越少,甚至不折减<sup>①</sup>。

上海<sup>[2]</sup>对 9 根短桩的极限承载力反算得浅层土的极限侧摩阻力大致为 20 kPa 左右,因此其建议浅层土的极限侧摩阻力值取 20 kPa,而不问土质情况。

一级部勘测公司静力触探组<sup>[2]</sup>对分布在上海、江苏、河南等地的 51 根桩浅层土的桩侧摩阻力进行了实测,实测极限侧摩阻力平均值为 17.3 kPa,浅层土以粉质粘土为主的 12 根桩平均值为 21.5 kPa;其余 39 根桩的浅层土以砂、粉土为主,其平均值为 15.9 kPa。

有关实测资料表明:对于桩端置于密实状态无粘性土中的桩(尤其是短桩),锤击振动并不能引起端阻力增加,反而引起降低;对于桩端置于非密实状态无粘性土中的桩(尤其是短桩),在歇桩期相同的情况下,后施工的桩比先施工的桩具有更大的承载力。

天津地区的三个场地(同一场地的不同建筑物采用不同的沉桩方式)的基坑开挖后发现静压预制桩与桩周泥皮(硬壳层)紧密结合在一起,且泥皮密实坚硬,厚度不小于 2 mm;而锤击式沉桩则易使场地地表杂土分布在桩顶以下一定深度范围内的桩与桩周原状土之间,引起桩侧摩阻力降低。锤击式沉桩与静压式沉桩的同一桩型的荷载-沉降曲线也有一定差异(同一级荷载对应的沉降),场地土质条件越

好差异越显著。

综上所述,锤击式沉桩的锤击可引起桩振动,一方面引起浅层土与桩体不能很好的结合,不利于桩周高抗剪强度泥皮(硬壳层)的形成,因而降低了浅层土对桩的侧摩阻力;另一方面扰动了桩端密实无粘性土,导致桩端阻力有所降低。以上两方面可导致预制桩的竖向承载力大大降低(尤其是设置在非饱和软土中的短桩)。

静压式沉桩与锤击式沉桩相比,一方面无锤击引起桩横向振动之不良影响,因此就不存在由于桩身与浅层土局部脱开而导致桩侧摩阻力有所降低等;另一方面无锤击振动对密实无粘性土的扰动,因此就不存在密实无粘性土强度的降低等。相反,静压式沉桩一方面有利于桩侧泥皮(硬壳层)的形成,另一方面有利于非密实无粘性土强度的提高。因此在其它条件相同的情况下,静压式预制桩与锤击式预制桩相比具有更高的承载力(尤其是设置在非饱和软土中的短桩)。

## 2 残余应力对单桩竖向承载力的影响

残余应力是指桩顶荷载卸除后,由于以前的荷载历史或施工工艺(锤击、静压等)产生的桩内应力或桩土之间的应力。如果钻孔灌注桩加荷至其极限承载力,接着卸荷,则它与锤击式或静压式桩的应力起始状态是相似的。其在桩尖产生了局部破坏,桩顶卸荷仅导致桩尖的局部卸荷,桩体表面残余的负摩阻力使桩的回弹量减小,这与桩尖残余荷载平衡,预制桩在桩的压入过程中,沿桩身为正的侧摩阻力,当桩顶卸荷时桩体向上移动,其值等于桩尖土的回弹量,桩的回弹变形由下而上逐渐加大,在桩顶附近达到最大值,这种差异变形会在桩的上部引起负的残余表面摩擦力。

桩尖附近的侧摩阻力取决于周围土中应力的起始状态,如果应力很低,桩尖处的轴向

①铁天石,何信芳等译·桩基础的分析和设计·中国建筑科学研究院科技资料交流部出版,1991

荷载很小或者是零(有的钻孔灌注桩),则土可能处于受拉状态,桩端处的侧摩阻力以及端阻力都将有不同程度的降低;另一方面桩尖处的应力较高时(如预制桩,有预制桩尖的钻孔桩),则表面摩阻力降低的可能性不大,一般有所增长,桩端阻力一般增长较大,有时可成倍增长。

成桩后桩顶加荷前,残余应力使得桩类似于预应力钢筋混凝土构件中的预应力钢筋。由竖向承载桩(摩擦桩或端承摩擦桩)的荷载传递机理及土的固结特性易知,残余应力一方面可使单桩承载力大大提高,另一方面可减少建(构)筑物的沉降。

上海市某工程采用泥浆护壁钻孔灌注桩<sup>[3]</sup>,试桩桩径为800 mm,桩长为51 m,桩基持力层为粉细砂,成桩后28天进行第一次试桩,结果其极限承载力为4 200 kN,总沉降量为70 mm,荷载沉降曲线呈台阶状,沉淤压实60 mm,成桩40天后进行第二次试桩,其极限承载力有了显著提高,加荷到3 000 kN以后,两根曲线明显分离,极限承载力达7 800 kN以上,此荷载对应的沉降量仅为19 mm。地基土对桩支承载力显著提高的原因是:一方面是沉淤压实后,随着荷载的增加,端承力的作用逐渐得到发挥,下层土的桩周摩阻力也可得到充分发挥;另一方面是第一次试桩改变了桩的荷载传递特性,使该钻孔灌注桩类似于静压法施工的预制桩。该桩桩端沉淤主要由粗颗粒成分组成,桩端持力层厚度大,桩径大,入土深度深,进入硬土层深度大,又由于荷载试验过程中加荷与卸荷速度慢等,因此可形成较大的残余应力,即残余应力对该桩承载力有较大的影响。

青岛建筑工程学院的张明义老师以及重庆建筑大学建筑工程学院的邓安福老师的实验研究表明<sup>[4]</sup>:在较软的土层中,不存在桩端残余应力,只有桩端进入坚硬土层时才有桩端残余应力,桩端残余应力使桩端土的承载力有不同程度的提高。因为桩端土层较软时,桩端应力随着土层的压缩很快就释放了;而当桩端

处于硬土层中时,桩端土的压缩量有限,受卸荷后桩侧向下摩阻力的限制,桩体向上的回弹量也达不到释放桩端阻力所要求的数值,故桩端压力被困在里面,即形成桩端残余应力,因此残余应力可使桩端阻力及桩端处侧摩阻力有不同程度的提高。

同济大学的陈强化老师、陈冠发老师以及洪毓康老师的实验研究表明<sup>[5]</sup>:对于相同的土质(桩端持力层为稍密状态的粉砂)条件相同的桩(桩的长径比为23~29)先锤击后静压贯入的预制桩比仅用锤击贯入的预制桩单桩极限承载力高50%~82%,粉砂的极限桩端阻力提高110%~180%,粉砂的极限侧摩阻力提高100%左右。单桩极限承载力的提高一方面是由于稍密粉砂的剪缩性引起的,即试桩的每次荷载试验及试验间用千斤顶将桩贯入(静压贯入)到新的标高位置,均会引起桩端下的粉砂发生体积变化,粉砂的孔隙比减小,相对密度增加,从而提高了桩端处的极限端阻力与极限侧阻力;另一方面由于锤击贯入引起的振动,易使桩与浅层桩周土脱离,使桩与土不能很好地结合,从而降低了施工中土对桩的抗力,也降低了桩端与桩侧残余应力,而静压贯入无此影响,其比锤击贯入使桩具有更大的桩端与桩侧残余应力,再加之静压贯入可使桩与桩周土很紧密地结合在一起,因此静压贯入比锤击贯入使桩具有更高的侧阻力与端阻力。

由以上分析不难看出,对于预制桩,尤其是对设置在桩周为非饱和软土而桩端持力层为硬土层场地的静压预制桩,残余应力对其单桩承载力必然具有较大的影响,即静压贯入比锤击贯入使桩具有更高的单桩竖向承载力。

### 3 《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-94)有关预制桩单桩竖向承载力计算参数的适用条件

《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-94)有关预制桩单桩竖向承载力计算参数是以锤击式预制桩的测试结果为依据,通过数理统计分析而确定的。因此,按JGJ 94-94规范估算锤击式预制桩的单桩竖向承载力时,精度较高;

按 JGJ 94—94 规范估算静压式预制桩的单桩竖向承载力时,常常误差较大,又由以上分析可知桩入土深度越小、桩端持力层土质越好及桩周土岩性越好时,误差越大,且为偏低,这就是按 JGJ 94—94 规范估算的静压预制桩的单桩竖向承载力值常常低于单桩竖向静载荷试验实测值的主要原因。即 JGJ 94—94 规范编制的依据决定了其对锤击式预制桩具有良好的适用性,而对静压预制桩常常适用性较差或者说不适用。

#### 4 结论

综上所述,沉桩方式对预制沉桩单桩竖向承载力的影响是复杂的,且场地土质条件越好影响越大。按 JGJ 94—94 规范估算的静压预制桩的单桩竖向承载力值远远低于单桩竖向静载荷试验实测值的主要原因是:JGJ 94—94 规范有关预制桩单桩竖向承载力计算参数是

根据打入式预制桩确定的,因此常常不适用静压预制桩。

以上仅仅是我们工作的阶段性总结,静压预制桩的单桩竖向承载力问题的研究还远没有结束,有待今后进一步研究。

#### 参 考 文 献

- 1 JGJ 94—94 建筑桩基技术规范
- 2 高大钊主编·软土地基理论与实践·北京:中国建筑工业出版社,1992.100~119
- 3 刘金砺主编·高层建筑桩基工程技术·北京:中国建筑工业出版社,1998.121~130
- 4 张明义,邓安福·预制桩静力贯入层状地基的实验研究·岩土工程学报,2000,118(4):490~492
- 5 《地基与基础译文集》编委会编著·地基与基础译文集之五——桩基础·北京:中国建筑工业出版社,1982

收稿日期:2002-04-22

(上接第 204 页)

根据 1996 年 3 月北京市勘察设计院提供的望京电信局沉降观测资料,沉降观测共设 9 个观测点,从底板浇筑后开始,到装修竣工为止,历时 15 个月。从沉降观测资料看,观测点最大沉降值为 25.14 mm,最小沉降值为 13.99 mm,倾斜值为 0.000 3,满足设计要求。

#### 4 结论

北京望京电信局机房楼(一段)采用压灌桩复合地基是可靠的、经济的。该工程的成

功,开创了压灌桩复合地基在北京地区高层建筑中应用的先例。

由于压灌桩复合地基造价低廉、适用面广,时至今日在北京地区已普遍应用于高层和超高层建筑之中,并成为最常用的地基处理方法之一。回首当年迈出的第一步,笔者和其它同仁倍感欣慰。

#### 参 考 文 献

- 1 阎明礼,张东刚·CFG 桩复合地基技术及工程实践·北京:中国水利水电出版社,2001.87~91

收稿日期:2002-05-22