

桩静载荷试验快速法与慢速法对比研究

周相国^{1,2}, 王献敏², 徐超², 李跃义²

(1. 天津大学, 天津 300072; 2. 天津市地质工程勘察院, 天津 300191)

摘要: 通过对 54 根管桩静载荷试验快速法与慢速法对比试验研究, 找出了在各级荷载作用下, 快速法与慢速法沉降差异规律及快速法与慢速法分别得出的极限承载力差异规律; 得出了将快速法静载试验下的沉降及单桩极限承载力修正成慢速法静载试验的沉降及单桩极限承载力的公式; 提出了适应天津地区管桩的快速法静载试验方法。

关键词: 桩静载荷试验; 快速法; 慢速法; 沉降; 承载力

中图分类号: P631.6⁺21

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)03-0035-04

1 前言

基桩竖向抗压静载荷试验是目前公认的检测基桩竖向抗压承载力最直观、最可靠的试验方法。根据各级荷载维持时间长短及各级荷载作用下基桩沉降的收敛情况, 分为慢速维持荷载法(慢速法)及快速维持荷载法(快速法)。在工程桩验收检测中, 国外许多国家维持荷载法相当于我国的快速维持荷载法, 最少持载时间为 1 小时, 并规定了较为宽松的沉降相对稳定标准。快速法静载试验在国内从 20 世纪 70 年代才开始研究, 得到了一些初步研究成果。而在天津地区, 快速法静载试验研究还没有开展, 为了不断提高检测技术水平和该技术的经济效益及社会效益, 缩短工程桩检测中静载荷试验周期, 研究出适应本地区的快速静载荷试验方法, 我们结合生产实践开展了快速法及慢速法静载荷的对比试验研究。

对比试验是通过在静载荷试验项目中选取一定数量的桩进行快速法及慢速法静载荷对比试验, 从中寻找两种方法在各级荷载作用下所得的沉降及极限承载力的差异规律, 进而将快速法静载试验下的沉降及单桩极限承载力修正成慢速法静载试验的沉降及单桩极限承载力, 并找出一种适应天津地区的快速静载荷试验方法。

2 试验方案

2.1 桩型的选择

收稿日期: 2007-07-19; 修订日期: 2007-10-23

作者简介: 周相国(1973), 男, 博士研究生, 主要从事岩土工程专业技术与质量管理工作。

E-mail: zxg0329@163.com

混凝土桩按施工工艺的不同, 分为钻孔灌注桩、沉管灌注桩、预制桩及预应力管桩。由于预应力管桩的桩身质量好、强度高, 成桩工艺容易控制, 可以增加试验成功的机率, 因此, 桩型选用预应力管桩。

2.2 场地选择

在承担的静载试验项目中选取具有代表性的场地, 其中所选项目侯台二期村民住宅、金厦集中供热项目处于天津西青区, 天津富丽城项目处于天津南开区, 梅江湾项目处于天津河西区, 津南分局看守所项目处于津南区, 保税区 A04 地块处于天津保税区, 江南汽车配件项目处于天津汉沽区, 金色领地项目处于天津宝坻县, 所选区域涵盖了天津大部分地区, 具有充分的代表性。

2.3 试验装置

试验反力装置采用堆载方式, 用配重块提供反力。采用千斤顶给桩加压, 用武汉岩海公司生产的 RS-JYB 桩基静载测试分析系统自动控制加压、补压及采集、记录试桩桩顶沉降量(数值可精确至 0.01mm)。

2.4 试验方法

慢速法静载试验遵照《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106-2003)^[1]、《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)^[2]、《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)^[3]及天津市《岩土工程技术规范》(DB29-20-2000)^[4]中的规定要求进行, 快速法静载试验依据《基桩质量检测技术》^[5]及《港口工程桩基规范》(JTJ2202-83)^[6]中的规定要求进行。为确保用于试验研究的基桩质量, 各桩静载试验前均进行了低应变完整性检测, 检测结果均为 I 类桩。

2.5 试验工作量

本次试验共进行静载试验 27 组(54 根), 试验桩两根为一组, 每组试验桩具备的条件为: 两根桩同场地

同桩型(包括桩型尺寸,设计承载力值)且外部环境(包括土层条件、静载试验条件等)尽可能相同。按照最终加载吨位区分,总的静载试验工作量见表1。

表1 桩静载试验工作量

Table 1 Quantities of static load test

加载量(kN)	桩型	数量(根)
0~2000	预应力管桩	22
2000~5000	预应力管桩	32

最终荷载加至设计极限承载力(桩基设计图纸上要求的单桩极限承载力)的46根,其中有26根桩加载至最终荷载时,桩所受的力接近于极限荷载,最终荷载加至破坏荷载的8根。

3 试验结果及分析

3.1 曲线特性分析

通过试验曲线的对比,可以看出快速法静载荷试验与慢速法静载荷试验所得出的 $Q \sim S$ 曲线、 $s \sim \lg t$ 曲线特征一致。两者 $Q \sim S$ 曲线上(见图1)均反映出桩压缩变形的三个阶段:压密变形阶段(弹性变形阶段),相当于 $Q \sim S$ 曲线上近似的直线段;局部剪切破坏阶段(弹、塑性变形阶段),相当于 $Q \sim S$ 曲线上的弧线段;整体破坏阶段(塑性变形阶段),相当于曲线上的弧线段;两者的荷载特征点相接近。两者 $s \sim \lg t$ 曲线均反应出:在桩所受荷载不变的情况下,桩的沉降随时间增长而增加,并经过一段时间趋于稳定。因此,快速法静载荷试验同样可以反映桩在各级荷载作用下的沉降特征。在同等荷载作用下,快速法静载荷试验与慢速法静载荷试验在沉降上虽有差异,但并没有造成曲线性状上的差异。

3.2 沉降差异分析

(1)对27组试验数据,选择极限荷载点和1/2对应的沉降试验数据进行统计,计算两者之间沉降差的幅度值和平均值及沉降比的幅度值和平均值(结果见表2);

从沉降量差异表(表2)可以看出,1/2极限荷载(相当于承载力特征值)处的沉降差异值比极限荷载沉降差异值的1/2还小。因此,快速法静载荷试验与慢速法静载荷试验相比,单桩在承载力特征值及小于承载力特征值作用下,两者的沉降差异很小,且桩的压缩变形处在近似弹性变形阶段,不会影响承载力的判断。桩的沉降主要还是受桩所受荷载大小及桩所处的压缩变形阶段控制,即桩的沉降随荷载的增大而加大,当桩处于弹塑性变形阶段,沉降增大的幅度也变大。

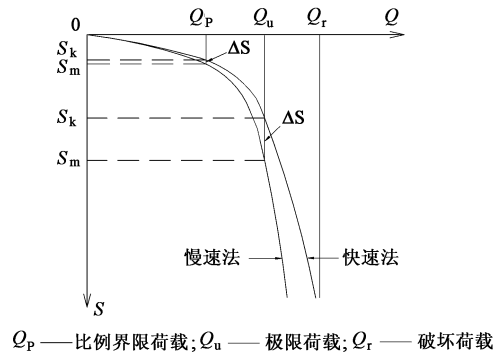


图1 $Q \sim s$ 曲线示意图

Fig. 1 The sketch of $Q \sim s$ curve

Q_p —比例界限荷载; Q_u —极限荷载; Q_r —破坏荷载

表2 快、慢速沉降差异结果

Table 2 Result of settlement difference of slow and quick load

荷载点	$s_m - s_k$		s_k / s_m	
	幅度值	平均值	幅度值	平均值
	(mm)	(mm)	(%)	(%)
极限荷载	0.59~3.35	1.73	76~96	83
1/2极限荷载	0.02~1.00	0.35	80~99	89

注: s_m —慢速维持荷载法对应的沉降; s_k —快速维持荷载法对应的沉降; $(s_m - s_k)$ —沉降差; s_k / s_m —沉降比。

(2)依据不同试验场地快速法及慢速法静载对比试验各级荷载下的沉降差值,做出各试验场地快、慢速沉降差与荷载级数关系图(见图2)。

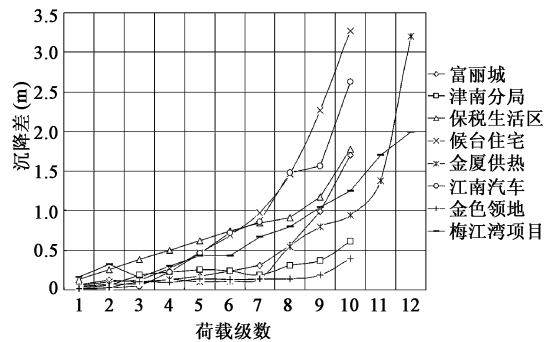


图2 各试验地块快、慢速沉降差与荷载级数关系图

Fig. 2 The settlement difference vs load grade for quick and slow load in each test field

由快、慢速沉降差与荷载级数关系图可以看出,在前六级荷载作用下,沉降差异较小且与荷载级数基本上呈线性关系,这与基桩处于弹性变形阶段有关,可以用 $\Delta Y = A \cdot N + B$ 来描述。

式中: ΔY ——沉降差;

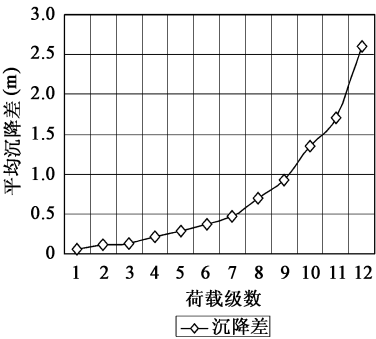


图3 天津地块快、慢速平均沉降差与荷载级数关系图
Fig.3 The average settlement difference vs load grade for quick and slow load in Tianjin area

N ——前六级荷载级数。

采用线性回归分析方法, 得出 $A = 0.05$, $B = 0.01$ (0级荷载除外), 即 $\Delta Y = 0.05 \cdot N + 0.01$, 两个变量相关系数 $r = 0.98$, 说明相关性较好。在后几级荷载(极限荷载以前)作用下, 沉降差较大且与荷载级数呈非线性关系, 这与基桩处于弹塑性变形阶段有关, 可以用下式描述

$$\Delta Y = C \cdot N^2 + D \cdot N + E$$

式中:

ΔY ——沉降差;
 N ——后几级荷载级数。

采用非线性回归分析方法, 得出 $C = 0.079$, $D = -1.11$, $E = 4.521$, 即 $\Delta Y = 0.079 \cdot N^2 - 1.11 \cdot N + 4.521$, 两个变量相关系数 $r = 0.96$, 相关性较好。因此可采用下面两组公式:

$$Y_m = Y_k + 0.05N + 0.01$$
$$1 \leq N \leq 6 \text{ (弹性变形阶段)} \quad (1)$$

$$Y_m = Y_k + 0.079 \cdot N^2 - 1.11N + 4.521$$
$$7 \leq N \leq 12 \text{ (弹塑性变形阶段)} \quad (2)$$

式中:

Y_m ——慢速法沉降;
 Y_k ——快速法沉降;
 N ——荷载级数。

将快速维持荷载法下各级沉降值修正成慢速维持荷载法下各级沉降值。

3.3 极限承载力差异分析

对于 54 根 (27 组) 工程桩, 无论是采用慢速法静载试验还是快速法静载试验, 荷载加至桩基设计图纸要求的单桩极限承载力时, 基桩承载力均能满足设计要求, 也满足工程桩承载力检验的要求。

快速法及慢速法静载荷对比试验极限承载力取值

方法为: 对于最终荷载加至极限破坏荷载的 8 根桩, 取破坏荷载的前一级荷载作为单桩极限承载力。对于最终荷载加至接近极限荷载的 26 根桩, 对快速法静载试验, 取最终荷载作为单桩极限承载力, 对慢速法静载试验, 取快速法最终荷载对应的沉降所对应的慢速法荷载作为单桩极限承载力。快、慢速极限承载力取值如图 4 所示。

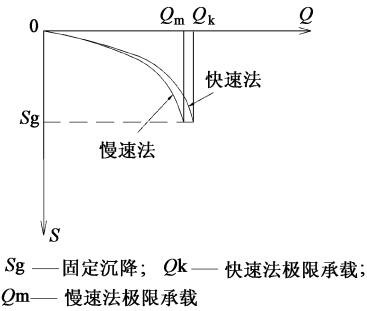


图4 快、慢速极限承载力取值示意图
Fig.4 The sketch of ultimate bearing capacity for quick and slow load

S_g —固定下降; Q_k —快速法极限承载力; Q_m —慢速法极限承载力

根据上述取值原则, 将试验数据即快速法比慢速法极限承载力提高的幅度值、平均值及两种方法所得极限承载力的比值进行计算(计算结果见表 3), 并对极限承载力比值进行统计分析, 给出频数分布直方图(见图 5)。

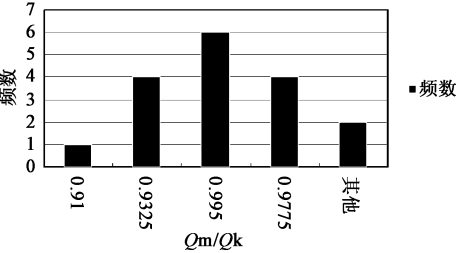


图5 极限承载比频数分布直方图
Fig.5 The histogram of ultimate bearing ratio frequency distribution

表3 快、慢速极限承载力差异结果表

Table 3 Result of ultimate bearing capacity difference for quick and slow load

荷载点	$(Q_k - Q_m) / Q_m$		Q_m / Q_k	
	幅度值(%)	平均值(%)	幅度值(%)	平均值(%)
极限荷载	0~ 9	5.4	91~ 100	95

注: Q_m —慢速维持荷载法极限承载力; Q_k —快速维持荷载法极限承载力。

由以上统计结果可见:快速法静载试验得出的极限承载力较慢速法静载试验得出的极限承载力高,但一般不会高出10%。这是由于在各级荷载作用下,快速法相对于慢速法而言,沉降未达到稳定,造成快速法沉降较慢速法小。因此,在相同沉降下,快速法得出的极限承载力较慢速法得出的极限承载力高。

4 结论与建议

4.1 结论

(1)在相同荷载作用下,快速法静载试验的沉降与慢速法静载试验的沉降存在差异,其差异具有一定的规律性。在极限荷载作用下,一般不会超过3.5mm,在1/2极限荷载(承载力特征值)下,一般不会超过1.0mm,可采用下面两组公式:

$$Y_m = Y_k + 0.05N + 0.01 \quad (1)$$

$$1 \leq N \leq 6 \text{ (弹性变形阶段)}$$

$$Y_m = Y_k + 0.079 \cdot N^2 - 1.11N + 4.521 \quad (2)$$

$$7 \leq N \leq 12 \text{ (弹塑性变形阶段)}$$

式中:

Y_m ——慢速法沉降;

Y_k ——快速法沉降;

N ——荷载级数

将快速维持荷载法下各级沉降值修正成慢速维持荷载法下的各级沉降值。

(2)慢速法极限承载力与快速法极限承载力的比值一般为91~100%。可以将快速法静载试验的极限承载力乘上0.9修正成慢速法静载试验的极限承载力。

(3)在天津地区,对于桩型为管桩的工程桩承载力的抽检,可以采用快速法静载荷试验。快速法静载荷试验可按《港口工程桩基规范》(JTJ2202-83)^[4]中的规定要求进行。对单桩极限承载力的确定,对于未加至极限破坏的桩,单桩极限承载力取最终荷载;对于加至极限破坏的桩,取破坏荷载的前一级作为单桩极限承载力,然后根据经验进行修正,经验修正系数可取0.9。

4.2 建议

由于对比试验受桩型、桩周土层条件等多种因素影响,造成经验公式具有一定的局限性(此次研究针对于管桩)。因此建议在今后的生产实践中,需注意积累更丰富的资料,更加细致、准确地掌握快速法与慢速法静载荷试验之间的差异规律。

参考文献:

- [1] JGJ106-2003. 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [2] JGJ94-94. 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [3] 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.
- [4] DB29-20-2000. 岩土工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [5] 陈凡. 基桩质量检测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [6] JTJ2202-83. 港口工程桩基规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 1983.

Study on method comparison between quick and slow load in pile static test

ZHOU Xiang-guo^{1,2}, WANG Xiarmmin², XU Chao², LI Yueyi²

(1. Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin Geo-engineering Investigation Institute, Tianjin 300191, China)

Abstract: On the basis of the method comparison study between quick and slow load static test from 54 pipe piles, the settlement difference rule between quick and slow load in every grade was obtained, the difference rule of the ultimate bearing capacity from quick and slow load test was achieved, the conversion formula of the settlement and the ultimate bearing capacity from quick load to slow load test was derived. And a quick load test method of pipe pile suitable for Tianjin area was presented in this paper.

Key words: pile static test; quick and slow load method; settlement; bearing capacity

责任编辑: 王宏