

# 桩底加载法静载试验在大直径嵌岩桩工程中的应用研究

孔凡林<sup>1</sup> 周海鹰<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 湖北武汉 430074; 2. 中冶赛迪工程技术股份有限公司, 重庆 400013)

**【摘要】** 静载试验新方法—桩底加载法静载试验, 应用于重庆市的大直径嵌岩桩, 解决了此类工程现场测试获取设计参数的一大难题, 为进一步完善大直径嵌岩桩桩身侧阻力与端阻力的计算理论提供了依据。

**【关键词】** 静载试验; 嵌岩桩; 桩底加载法静载试验

**【中图分类号】** TU 4

## The Application Research on Piles Bottom Static Loading Test of Big Diameter Rock-socketed Bored Piles

Kong Fanlin<sup>1</sup> Zhou Haiying<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences Hubei Wuhan, 430074; 2. CISDI Engineering Co., Ltd., Chongqing 400013 China)

**【Abstract】** A new static loading test method (piles bottom static loading test) is applied to big diameter rock-socketed bored piles in Chongqing. It is solved that design parameters are obtained through the in-situ test. The research result and test data can be used to calculate the resistance of pile.

**【Key Words】** static loading test; rock-socketed bored piles; piles bottom static loading test

### 0 引言

嵌岩桩是一种采用钻孔设备和人工挖掘成孔后, 在现场进行混凝土浇注而形成的非挤土桩, 桩的端部必须嵌入基岩内一定的深度的一种桩型<sup>[1]</sup>。静载试验新方法——桩底加载法静载试验<sup>[2]</sup>, 应用于大直径嵌岩桩, 解决了工程现场测试获取设计参数的一大难题。在重庆、贵州、云南等地, 大直径(直径大于 0.8 m)嵌岩桩广泛应用于基础工程。桩基础的承载力设计参数一般依据《建筑桩基设计规范》(JGJ 94—94)取得, 通过现场试验获得的很少。大直径嵌岩桩的承载力设计值往往很大, 为了符合规范“一级建筑物宜采用现场试验获得”<sup>[3]</sup>这一精神, 通过传统的静载试验方法进行实测非常困难, 代价也很高。

本文采用一种新型的桩底加载法静载试验<sup>[4]</sup>对某工程的三根大直径嵌岩桩(15-2, 40-1, 37-2)进行了实测, 解决了工程桩基现场试验中的一系列问题。

### 1 工程概况

该工程位于重庆市巴南区, 主体工程采用框支剪力墙结构, 建筑高度 31 层; 基础部分采用振冲成孔工艺的灌注桩, 设计桩径 800 mm、1 000 mm、

1 100 mm、1 200 mm 等共四种桩型, 共计 250 根。设计桩基持力层岩石单轴天然抗压强度极限标准值大于等于 10 MPa 的泥岩。

#### 1.1 试桩概况

##### 试桩的参数

1) 试桩 15-2, 桩径 1 000 mm, 设计单桩承载力设计值为 4 780 kN。桩顶标高 187.3 m, 桩底标高 161.4 m, 荷载箱底标高 164.4 m, 孔口标高 188.3 m(成桩日期 2003-10-04)。

2) 试桩 37-2, 桩径 1 000 mm, 设计单桩承载力设计值为 4 780 kN。桩顶标高 187.1 m, 桩底标高 161.8 m, 荷载箱底标高 163.8 m, 孔口标高 188.3 m(成桩日期 2003-10-06)。

3) 试桩 40-1, 桩径 1 200 mm, 设计单桩承载力设计值为 6 770 kN。桩顶标高 186.8 m, 桩底标高 161.3 m, 荷载箱底标高 164.9 m, 孔口标高 188.3 m(成桩日期 2003-10-08)。

#### 1.2 工程地质条件

本次试验桩位于重庆市巴南区长江南岸, 桩基的剖面图见图 1。

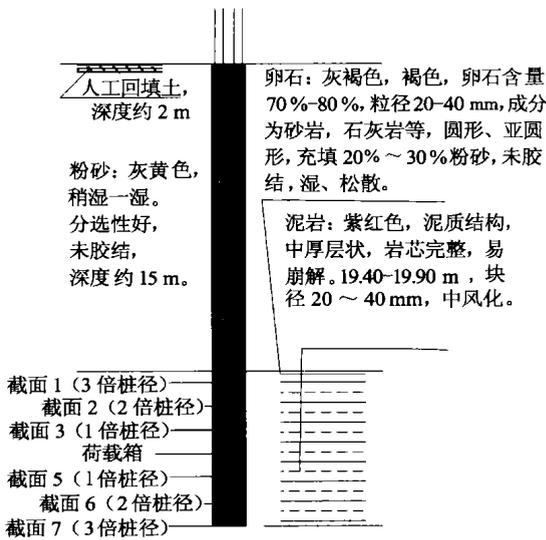


图 1 桩基岩土层剖面图

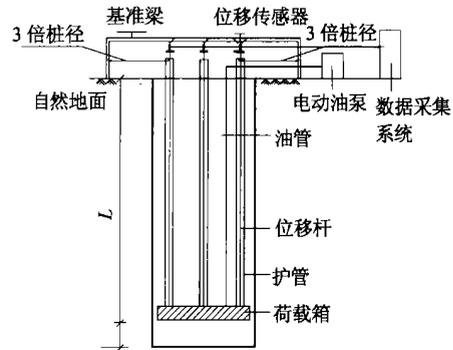


图 2 桩底加载法静载试验系统

本次测试的工程桩其中编号为 15-2 和 40-1 的嵌岩段深度为六倍设计桩径, 荷载箱上下嵌岩段分别为三倍设计桩径, 编号为 37-2 的嵌岩段深度为五倍设计桩径, 荷载箱上部嵌岩段为三倍设计桩径, 荷载箱下部嵌岩段为两倍设计桩径。因此, 桩底加载法试验的一个重要革新在于嵌岩桩的桩侧阻力代替了传统方法的反力装置, 从而提供了一种大直径嵌岩桩通过静载试验获取承载力等设计参数的途径。

### 3 试验结果

#### 3.1 试桩的常规试验

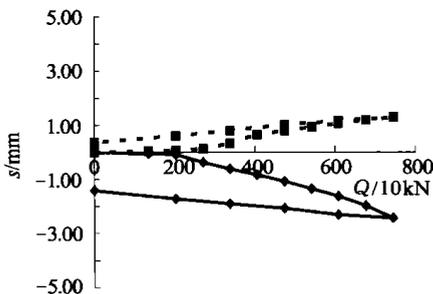
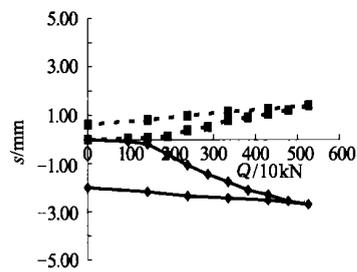
在桩基混凝土中加入水泥用量质量分数为 1% 的减水剂, 以提高混凝土的早期强度。正式测试之前进行了桩身混凝土试块强度试验及弹性模量试验, 并对桩身嵌岩段的岩石进行抗压试验 (见表 1)。

表 1 嵌岩段岩石单轴抗压强度、混凝土抗压强度、弹性模量

试桩号	岩石天然抗压强度 极限标准值 / MPa	混凝土抗压 强度 / MPa	弹性模量 $E / 10^4$ MPa	备注
40-1	7.6	17.8	2.38	岩石检测日期为 2003-10-05; 混凝土检测日期为 2003-10-13
37-2	7.5	17.7	2.32	
15-2	7.8	18.6	2.42	

#### 3.2 试桩的 $Q-s$ 曲线

各试验桩的  $Q-s$  曲线见图 3、图 4、图 5。

图 3 40-1 试桩  $Q-s$  曲线图图 4 15-2 试桩  $Q-s$  曲线图

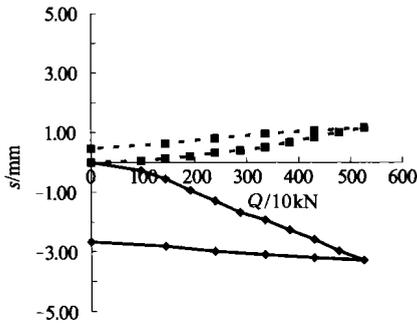


图5 37-2#试桩 Q-s 曲线图

### 4 试验分析

#### 4.1 试验曲线分析

通过试桩 Q-s 曲线分析,各试桩的 Q-s 曲线均为直线型,未出现基桩破坏现象<sup>[7]</sup>,各试桩的测试数据见表2。

#### 4.2 实测桩侧阻力

依据《建筑桩基设计规范》(JGJ94-94),其桩侧阻力计算如下:

$$Q_{rk} = u \zeta_s f_{rc} h_r \quad (1)$$

表2 桩基试验结果表

试桩编号	预定加载值 /kN	最终加载值 /kN	荷载箱处向上位移 /mm	向上残余位移 /mm	上部桩体系弹性变形 /mm	荷载箱处向下位移 /mm	向下残余位移 /mm	下部桩体系弹性变形 /mm
40-1	2×6770	2×7447	1.29	0.36	0.93	2.45	1.42	1.03
37-2	2×4780	2×5258	1.16	0.46	0.70	3.29	2.67	0.63
15-2	2×4780	2×5258	1.41	0.62	0.79	2.69	2.00	0.69

式中:  $u$  为嵌岩桩的桩径,  $m$ ;  $\zeta_s$  为嵌岩段侧阻修正系数,当桩身嵌岩深度为3倍设计桩径时取0.065;  $f_{rc}$  为岩石饱和单轴抗压强度极限标准值,对于粘土质岩取天然湿度单轴抗压强度标准值,  $MPa$ ;  $h_r$  为嵌岩段深度,  $m$ 。

可见,在桩未破坏的情况下,即桩侧阻力未达到极限标准值的条件下,实测的桩侧阻力比规范取值大,详见表3。实际上,桩侧阻力测试值还大于上表实测的数值。因此,规范对于桩侧与桩端阻力的修正系数应用于大直径嵌岩桩有待进一步的理论和科研成果的支持。

表3 桩侧阻力对比值

桩号	实测桩侧阻力 /kN	规范桩侧阻力 /kN	备注
40-1	7447	$0.065 \times 7.6 \times 3.14 \times 1.2 \times 3.6 = 6701$	假设测试的桩侧阻力为极限标准值,偏于安全
37-2	5258	$0.065 \times 7.5 \times 3.14 \times 1 \times 3.0 = 4592$	
15-2	5258	$0.065 \times 7.8 \times 3.14 \times 1 \times 3.0 = 4775$	

#### 4.3 桩承载力极限值

依据《桩承载力自平衡测试技术规程》(DB32/T 291-1999)之规定,桩基承载力极限值  $R = (Q_{上} -$

$W) / r + Q_{下}$ 。式中:  $W$  为荷载箱上部桩身自重,  $Q_{上}$  为荷载箱上部承载力极限值,  $Q_{下}$  为荷载箱下部承载力极限值<sup>[8]</sup>;各试桩的桩承载力极限值见表4。

表4 桩承载力极限值对比值

桩号	设计桩承载力极限标准值 /kN	实测桩承载力极限标准值 /kN	备注
40-1	$6770 \times 1.62 = 10967$	14300	$r = 1$
37-2	$4780 \times 1.62 = 7743$	8923	
15-2	$4780 \times 1.62 = 7743$	8934	

#### 4.4 测试成本与工程造价

本次测试的基桩为工程桩。在测试完毕后进行适当的处理措施,工程桩可使用。因此,传统试验方法的工程桩基施工费可以节约下来,一般在10万元左右。本次试验的一次性设备(荷载箱)投入约15万元。通过试验的成果,使基桩的持力层岩石强度

从设计的10.0 MPa调整为7.6 MPa,桩基承载力取值大大提高,单桩长度缩短近3~4 m(嵌岩段);共节约桩基工程费用近100万元,而且为工程的业主和施工单位赢得了宝贵的时间。

(下转第160页)

表3 灰土垫层处理前地基土标准贯入击数  $N_{63.5}$ 和承载力  $f_k$  计算结果

层号	层厚 / m	层底深度 / m	剪切波速 $v_s / (m \cdot s^{-1})$	标贯击数 $N_{63.5}$	承载力 $f_k / kPa$
H1	0.59	0.59	123.74	3	36
H2	1.23	1.82	148.25	5	60
H3	4.02	5.84	174.71	8	96
H4	6.16	12.00	229.18	17	204

表4 灰土垫层处理后地基土标准贯入击数  $N_{63.5}$ 和承载力  $f_k$  计算结果

层号	层厚 / m	层底深度 / m	剪切波速 $v_s / (m \cdot s^{-1})$	标贯击数 $N_{63.5}$	承载力 $f_k / kPa$
H1	0.69	0.69	264.09	26	312
H2	0.87	1.56	258.74	24	288
H3	1.08	2.64	270.65	28	336
H4	3.26	5.90	279.13	30	360
H5	4.28	10.18	206.31	13	156
H6	1.82	12.00	228.65	17	204

由表3和表4可知,灰土垫层处理后,距地面8m内地基剪切波速明显提高,地基土标准贯入击

数  $N_{63.5}$  由3~17提高到13~30,且地基承载力  $f_k$  由36~430 kPa提高至180~768 kPa。这说明经灰土垫层加固地基的效果也较为明显。

### 3 结论

瑞雷波测试结果表明,灰土挤密桩处理深度内地层土的剪切波速提高17%~45%,灰土垫层处理深度内地层土的剪切波速提高15%~113%,处理后标准贯入击数和地基承载力均明显提高,这与原位测试和土工试验的结果是吻合的。这表明瑞雷波法在灰土挤密桩和灰土垫层地基的检测中效果显著。

### 参 考 文 献

- 1 杨成林. 瑞雷波勘探法. 北京: 地质出版社, 1993.
- 2 王超凡, 付茂朝, 邹桂高, 等. 多波勘探技术在地下隐蔽物探测中的应用. 岩土工程技术, 2001(2): 119~121
- 3 董雪华, 景朋涛, 等. 瞬态瑞雷波法在地基强夯效果检测中的应用. 岩土工程技术, 2003(5): 261~264
- 4 JBJ 79—2002 建筑地基处理技术规范

收稿日期: 2004-03-15

(上接第156页)

#### 4.5 其他

本次测试完毕后,编号40-1的工程桩又进行了再试验,试验荷载达到12186 kN,该桩未出现极限破坏的趋势。由于篇幅有限,不再详细叙述。

### 5 结 论

1) 桩底加载法静载试验解决了传统静载试验无法进行的大吨位、大直径嵌岩桩现场试验的难题,而且试验成本大大缩小,是一种较为科学可行、经济合理的试验方法。利用(桩承载力自平衡法)桩底加载法静载试验进行桩基测试,可以获得桩基的有关参数,为设计提供了可靠的数据。

2) 《建筑桩基设计规范》(JGJ94—94)有关嵌岩桩的理论支持主要来源于小直径(小于等于0.6m)的嵌岩桩的理论成果。因此,规范对于桩侧与桩端阻力的修正系数应用于大直径嵌岩桩有待进一步的理论和科研成果的支持<sup>[9]</sup>。桩底加载法静载试验应用于大直径嵌岩桩的现场测试,可以分别获取嵌岩桩侧阻力与端阻力的实测值,优化桩基础设计、节约基础造价。

3) 本次试验的极限承载力是依据江苏省地方标准进行计算的。针对重庆的山地条件和嵌岩桩的特

点,在计算重庆地区的大直径嵌岩桩的极限承载力方面有待进一步的修改,使之符合理论和重庆的嵌岩桩。

该论文系重庆市建设委员会项目:嵌岩桩静载试验的桩底加载法的研究(城科学2003(11))科研成果论文。

### 参 考 文 献

- 1 DB 50/5001—1997 重庆市建筑地基基础设计规范
- 2 Jori Osterberg. New Device for Load Testing Driven Piles and Drilled Shaft Separates Friction and End Bearing. Piling and Deep Foundations. 1989. 421~427
- 3 GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范
- 4 吴剑青. 静载试验的桩底加载法. 岩土工程技术, 1998(3): 63~65
- 5 JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规范
- 6 龚维明, 等. 桩承载力自平衡测试法. 岩土工程学报, 2000, 22(5): 532~536
- 7 吴福庆. 嵌岩桩静载试验结果的研究与探讨. 岩土力学, 1996, 17(1): 84~89
- 8 DB 32/T 291—1999 桩承载力自平衡测试技术规程
- 9 刘兴远, 郑颖人, 林文修. 关于嵌岩桩理论研究的几点认识. 岩土工程学报, 1998, 20(5): 118~119

收稿日期: 2004-02-26