

# 浅谈 Kayang 大桥桩静载试验

李 铁, 李光范\*, 何晚成

(海南大学, 海南 海口 570228)

**摘 要:** 以韩国首尔 Kayang 大桥试验桩为例, 通过对施工现场的 2 根大直径钻孔灌注桩和 2 根钢管桩的静荷载试验研究, 重点分析阐述两种桩的承载能力、沉降量等关键指标。通过荷载沉降曲线揭示了韩国首尔地区大直径灌注桩和钢管桩的承载力特性, 分析了实验过程中的影响因素, 为今后类似工程的建设提供了宝贵的可供参考的试验数据和经验积累。

**关键词:** 桩; 静荷载试验; 分析研究

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2011)S2-0333-06

**作者简介:** 李 铁(1985-), 男, 河北景县人, 硕士研究生, 从事岩土工程研究。E-mail: litie2006@126.com。

## Static load tests on large-diameter piles for Kayang Bridge

LI Tie, LI Guang-fan, HE Wan-cheng

(Hainan University, Haikou 570228, China)

**Abstract:** The pile bearing capacity, settlement and other indices of two large-diameter bored piles and two steel pipe piles at the construction site of Kayang Bridge in Seoul, Korea are analyzed by means of the static load tests. The bearing capacity characteristics of diameter piles and steel pipe piles are revealed by using the load-settlement curves' and the influencing factors are investigated during the experiment. It provides valuable experimental data and experience for the construction of similar projects in the future.

**Key words:** pile; static load test; analytical research

## 0 引 言

由于高层建筑的迅速发展、施工技术的进步, 以及修建跨越长江、黄河、海湾、海峡等特大型桥梁, 工程建设中采用一柱(墩)一桩的单桩结构的情况日趋增多。高层建筑、大跨度建筑、大型桥梁的建设都要求比较大的基础承载力, 而大直径桩的采用可以显著提高单桩的承载力, 这就为大直径桩的应用与研究提供了契机。而在大直径桩施工中, 承载力测试是必不可少的重要环节之一。由于目前的设计理论仍无法准确计算大直径单桩的承载力, 加之桩基础在施工中容易出现各种质量问题。同时, 桩基础的承载力对桩、乃至整个结构的安全性都起着至关重要的作用。因此, 桩基工程的试验、检验、验收工作非常重要。然而受试验设备和经费的制约, 到目前为止对于大直径桩单桩试桩数量少, 积累的单桩承载力试桩资料较少。本文对韩国首尔KaYang大桥的4根桩较为详细的静载试验数据进行了整理与分析, 揭示了韩国首尔地区大直径灌注桩和钢管桩的承载力特性, 同时试桩工作也为KaYang大桥的主桥和引桥的基础部分工程桩的顺利

建成提供了设计依据, 并为今后类似工程的建设提供了宝贵的可供参考的试验数据和经验积累。

## 1 试验简介

### 1.1 试验桩概况

本工程位于韩国首尔市, 江西区与麻浦区交界处的汉河边上, 该地区紧邻汉河, 地形比较平坦。共选取试验段内KaYang大桥引桥基础的4根桩进行静载试验研究。试桩共分为N、S二组, 每组各2根, N组试桩地点位于汉江北岸麻浦区, S组试桩位于汉江南岸江西区, 两组试桩均在大桥桥轴线附近。各试桩地理位置如图1~3所示。

### 1.2 试验桩参数

试验桩参数见表 1。

### 1.3 地质状况

根据钻孔勘探报告, 试桩所处位置土层总体上分

收稿日期: 2011-08-08

\*通讯作者

为回填层, 冲积层, 风化岩层, 软岩层4层。各层地层岩性自上而下分述如下:

表 1 试验桩参数表

Table 1 The table of test pile parameter										
位置		地质钻	桩径	桩类型	桩顶标高	桩底标高	桩长	长径比	建造方法	桩顶面积
		孔号	/mm		/m	/m	/m			/m <sup>2</sup>
北岸	N1	MP21-3	1500	钻孔灌注桩	+4.28	-25.2	29.480	19.65	沉管灌注	1.767
	N2	PK6-20	609.6*14	钢管桩	+5.07	-32.7	37.770	62.02	内开挖	0.262
南岸	S1	MA1-7	1500	钻孔灌注桩	+10.735	-16.61	27.345	18.23	沉管灌注	1.767
	S2	PG1-12	609.6*14	钢管桩	+9.805	-16.698	26.503	43.48	内开挖	0.262

(1) 回填土, 含中等密度的砂质砾石, 该层厚 8~10 m 左右, 属高压缩性土。

(2) 第四系冲积层, 分两个次层。上层为砂质淤泥或淤泥质砂, 灰色, 松散至中等密度; 下层为砾石含沙, 灰色, 中等密度至密实。



图 1 大桥位置  
Fig. 1 Bridge position

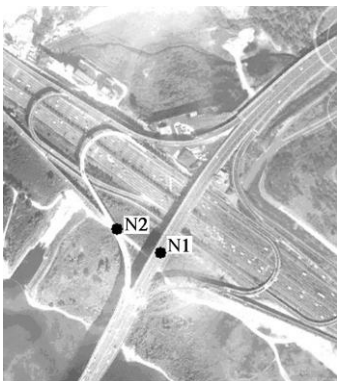


图 2 北岸试验点布局  
Fig. 2 Layout of test location (north shore)

(3) 风化岩层, 风化程度随深度增加而降低, 最上面的部分是类似于土的强风化区。

(4) 软岩层, 中等风化至弱风化, 岩芯采取率为 0%~38%, 岩石质量指标为 0%~21%。

各桩位具体土层分布如图 4~7 所示。



图 3 南岸试验点布局  
Fig. 3 Layout of test location (south shore)

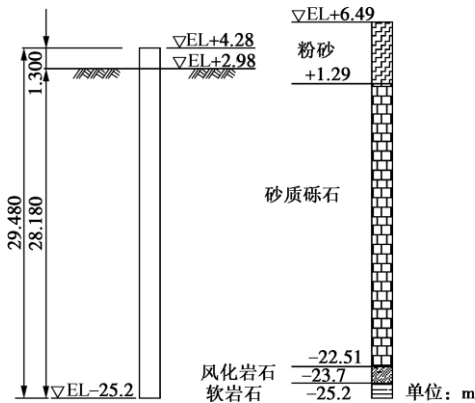


图 4 土壤剖面图(MP21-3)  
Fig. 4 Soil profile (MP21-3)

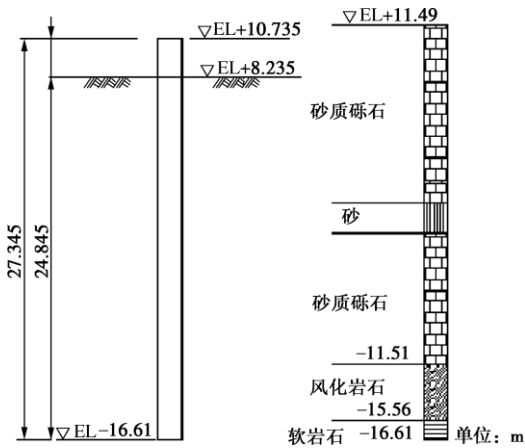


图 5 土壤剖面图(MA1-7)  
Fig. 5 Soil profile (MA1-7)

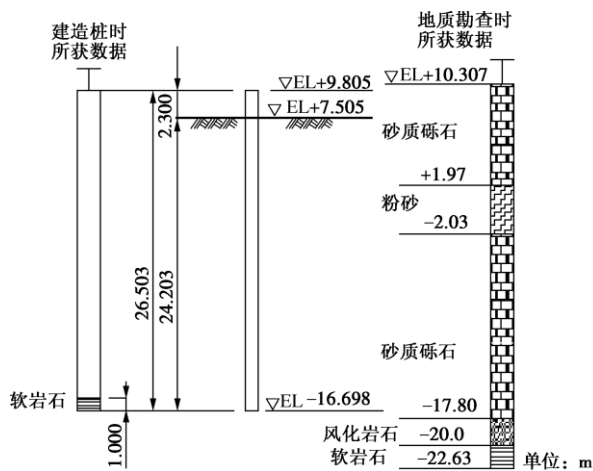


图 6 土壤剖面图(PG1-12)  
Fig. 6 Soil profile (PG1-12)

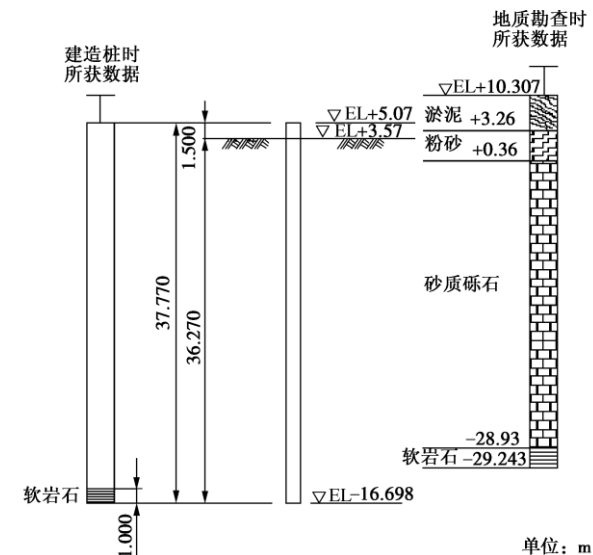


图 7 土壤剖面图(PK6-20)  
Fig. 7 Soil profile (PK6-20)

1.4 实验原理及加载方法

本实验采用压重平台反力装置。利用主梁与次梁组成反力架，该装置将千斤顶的反力（后座力）传给其上的混凝土块。混凝土块与反力梁装置能提供的反力不小于预估最大试验荷载的1.5倍。测试设备包括加载平台、混凝土块、平台支撑梁、500 t液压千斤顶、液压泵、压力表、千分表。试验均采用多循环加卸载试验法，试桩加载时采用恒定荷载加载法，加载分级进行，以得到桩的弹塑性沉降曲线。加载方法如表2所示。

2 实验结果

静载试验结果如表3所示，静载试验的荷载 - 沉降 - 时间曲线如图9~12所示。

表 2 加载方法

Table 2 Loading methods

项目	钻孔灌注桩	钢管桩
	( $\varnothing$ 1500 mm)	( $\varnothing$ 609.4 mm*14)
最大施加荷载/kN	11000	3200
加载步骤	12	8
循环次数	6	4
每一步骤的加载时间	以恒定的速率加载持续超过 60 min，直到沉降速率小于 0.25 mm/h 最大荷载持续加载大于 3 h，小于 5 h 卸载或重复加载时 以恒定的速率加载持续超过 30 min，直到沉降速率小于 0.25 mm/h 卸载至零时 以恒定的速率加载持续超过 60 min	
测量时间	首次加载时 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 min，此后间隔均为 15 min 卸载或重复加载时 0, 2, 5, 10, 20, 30 min	
间隔	卸载至零时 0, 5, 15 min，此后间隔均为 15 min	
每个步骤施加的荷载/t	①循环: 0-50-100-50-0	
	②循环: 0-100-200-300-100-0	
	③循环: 0-100-300-400-500-300-100-0	①循环: 0-40-80-40-0， ②循环: 0-80-120-160-120-80-0， ③循环: 0-80-160-200-240-160-80-0， ④循环: 0-80-160-240-280-320-240-160-80-0
	④循环: 0-100-300-500-600-700-500-300-100-0	
	⑤循环: 0-100-300-500-700-800-900-700-500-300-100-0	
	⑥循环: 0-100-300-500-700-900-1000-1100-900-700-500-300-100-0	

N1试验持续3 d，试验过程中，在进行第四个循环加载时，加载500 t荷载液压千斤顶没有按操作命令加载，所以此加载过程维持了6 h。

N2试验持续3 d，试验过程中，因残余沉降相对比较小，所以第5个循环被跳过，直接进行第6个循环，不过把第6个循环的最大荷载提高到1200 t。

S1试验持续2 d，试验过程中为测得桩的残余沉降，在试验卸载完最大荷载后，持续了1 d后才读数。

S2试验持续4 d，在实验加载到第三个循环240 t时首尔地区下了大雨，试验被迫中断。雨后经查支撑试验基准梁的预制混凝土块产生沉降，调整后试验继

续进行。在此试验中也测定了基准梁的沉降量以分析基准梁对试验的影响。

表 3 桩静载试验结果

Table 3 Results of static loading tests							
位置	地质钻孔号	桩径/mm	设计荷载 (kN)/t	试验荷载 (kN)/t	总沉降/mm	残余沉降/mm	
北岸	N1	MP21-3	7100 (724)	10780 (1100)	7.61	1.82	
	N2	PK6-20	2000 (204)	3136 (320)	22.61	0.60	
南岸	S1	MA1-7	7100 (724)	11760 (1100)	4.95	0	
	S2	PG1-12	2000 (204)	3136 (320)	14.96	0.42	

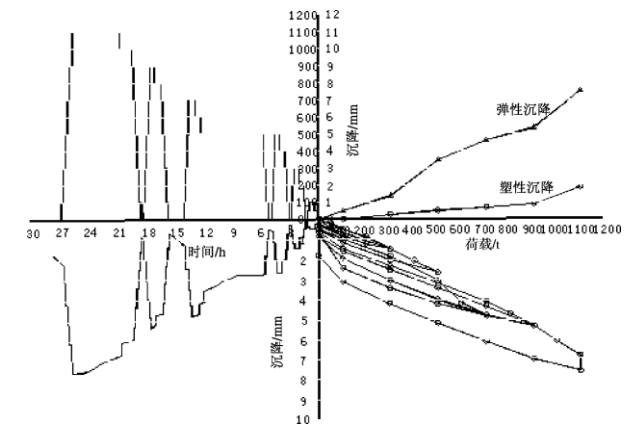


图 8 桩荷载 - 沉降 - 时间曲线(N1)

Fig. 8 Load-settlement-time curves (N1)

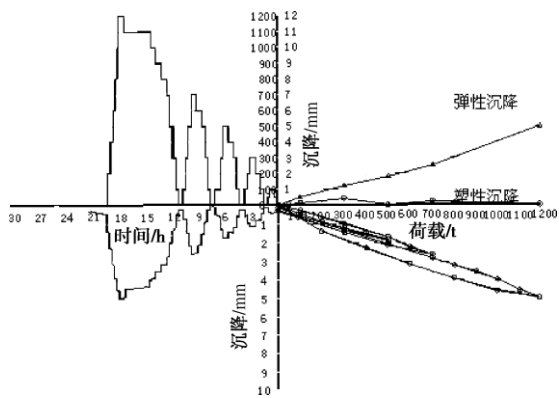


图 9 桩荷载 - 沉降 - 时间曲线(S1)

Fig. 9 Load-settlement-time curves (S1)

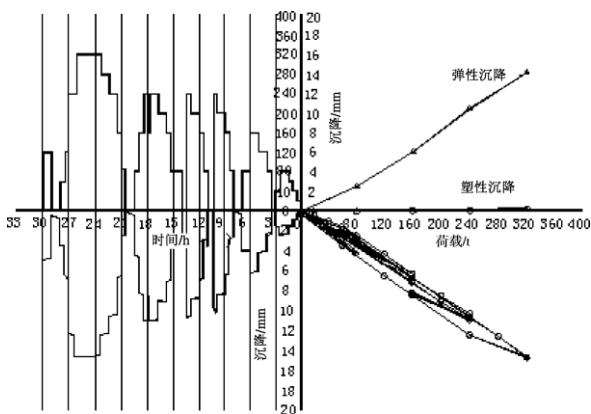


图 10 桩荷载 - 沉降 - 时间曲线(S2)

Fig. 10 Load-settlement-time curves (S2)

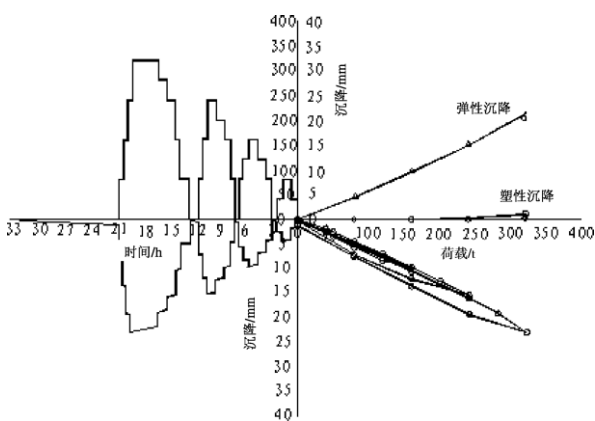


图 11 桩荷载 - 沉降 - 时间曲线(N2)

Fig. 11 Load-settlement-time curves (N2)

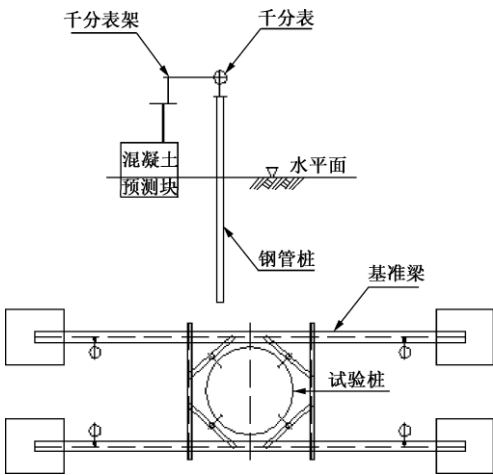


图 12 千分表和基准梁安装位置

Fig. 12 Layout of dial gauges and reference beam

3 试验分析

3.1 试验影响因素

(1) 基准梁

为测试基准梁对试验的影响，在 S1，S2 试验桩的基准梁上安装千分表用以测定基准梁的沉降，千分表被安装在附加的钢管桩上。千分表和基准梁安装位置示意图如图 13 所示。

基准梁沉降数据如表 4 所示。

表 4 基准梁沉降表

Table 4 Settlements of reference beam				
项目	地质钻孔号	基准梁沉降/mm	桩沉降/mm	沉降比/%
S1	MA1-7	0.73	4.95	1.47
S2	PG1-12	0.46	14.52	3.20

从表4知基准梁的沉降相对来说是比较小的。试验中还观察到基准梁沉降是随着时间循环增加，可以预

测随着上部荷载的变化, 桩周围的土层产生塑性变形, 支撑千分表的钢管桩随之产生沉降, 因此认为基准梁没有产生沉降, 对试验桩无影响。

(2) 温度

试验过程中测得的试验温度如表 5 所示。

表 5 试验期间温度

Table 5 Test temperatures					
位置	地质钻孔号	最高温度 /℃	最低温度 /℃	温差 /℃	
北岸	N1	N1MP21-3	1	9.5	8.5
	N2	PK6-20	10	13.0	3.0
南岸	S1	MA1-7	6	14.5	8.5
	S2	PG1-12	4	10.0	6.0

从表中知试验过程中的最大温差是8.5℃。

温度对基准梁纵向上的长度变形影响： $\Delta L = \alpha L_0 \Delta t = 1.428 \text{ m}$ 。温度对基准梁竖向上的最大变形  $\delta_{\min} = \frac{5\omega(I_0^2 - L^2)}{384EI} = 3.39 \times 10^{-4} \text{ mm}$ 。根据本试验测量沉降的精确度为 0.01 mm, 可以认为温度对试验桩无影响。

3.2 实验结果分析

桩N1, N2, S1, S2的荷载 - 沉降曲线如图13~16所示。

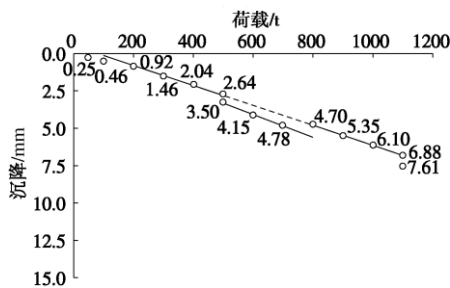


图 13 桩荷载 - 沉降曲线(N1)

Fig. 13 Load-settlement curves (N1)

如图13所示, N1桩在加载1100 t时的最大沉降为7.61 mm, 荷载沉降曲线没有出现沉降曲线陡降的情况, 因此预测此试验桩在加载到1100 t时没有达到桩的极限荷载。根据桩的安全系数1.5, 可知此桩的承载能力大于733 t, 满足设计荷载724 t的要求。因在循环加卸载的过程中桩没有足够的时间完全回弹, 所以认为残余沉降不能用于桩的评估。

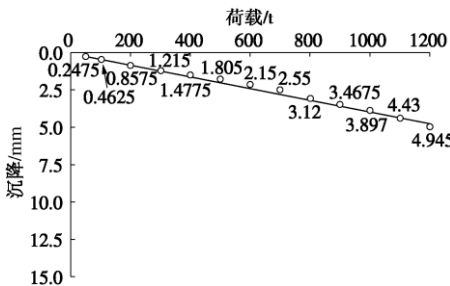


图 14 桩荷载 - 沉降曲线(S1)

Fig. 14 Load-settlement curves (S1)

如图 14 所示, S1 桩在加载 1200 t 时的最大沉降为 4.945 mm, 残余沉降为 0.16 mm。由沉降时间曲线知试验完成后经过 10 h 的回弹, 残余沉降降为零。荷载沉降曲线同样没有出现沉降曲线陡降的情况, 因此预测此试验桩在加载到 1200 t 时没有达到桩的极限荷载。根据桩的安全系数 1.5, 可知此桩的承载能力大于 800 t, 满足设计荷载 724 t 的要求。

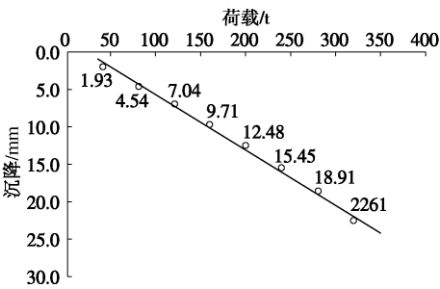


图 15 桩荷载 - 沉降曲线(N2)

Fig. 15 Load-settlement curves (N2)

如图15所示, N2桩在加载320 t时的最大沉降为22.61 mm, 残余沉降为0.60 mm。荷载沉降曲线同样没有出现沉降曲线陡降的情况, 因此预测此试验桩在加载到320 t时没有达到桩的极限荷载。根据桩的安全系数1.5, 可知此桩的承载能力大于213 t, 满足设计荷载204 t的要求。

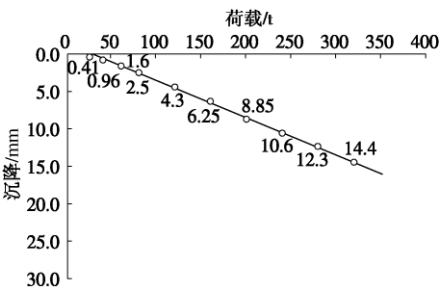


图 16 桩荷载 - 沉降曲线(S2)

Fig. 16 Load-settlement curves (S2)

如图16所示, N2桩在加载320 t时的最大沉降为14.4 mm, 残余沉降为0.40 mm。荷载沉降曲线同样没有出现沉降曲线陡降的情况, 因此预测此试验桩在加载到320 t时没有达到桩的极限荷载。根据桩的安全系数1.5, 可知此桩的承载能力大于213 t, 满足设计荷载204 t的要求。

4 结 论

- (1) 在此试验中基准梁对试验结果无影响。
- (2) 在此试验中温度对试验结果无影响。
- (3) 由试验结果知试验桩的承载力均能满足工程

的需求,达到预期的实验效果,为此地质的桩基设计提供了实践数据。

### 参考文献:

- [1] LEE Jae Hyeon, SONG Hae Jin. Pile load test report for KAYANG bridge project[R]. Dong Ah Construction, 1997.
- [2] 孔祥金,任永利. 大直径桩的现状与远景[J]. 西部探矿工程, 2000(2): 29 - 30. (KONG Xian-jin, REN Yong-li. Current situation and prospects of large diameter piles[J]. West-China Exploration Engineering, 2000(2): 29 - 30. (in Chinese))
- [3] 胡庆力. 竖向荷载作用下大直径桩的承载性能研究[J]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002. (HU Qing-li. Research on axial bearing behavior of large diameter piles[J]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2002. (in Chinese))
- [4] JGJ106—2003 建筑基桩检测技术规范[S]. 2003. (JGJ106—2003 Technical code for testing of building foundation piles[S]. 2003. (in Chinese))
- [5] 张彬. 大直径桩承载力确定方法综述[J]. 工程科学, 2009: 93 - 94. (ZHANG Bin. Methods of determin the bearing capacity of large diameter piles[J]. Engineering Science, 2009: 93 - 94. (in Chinese))

(本文责编 胡海霞)