

# 嵌岩灌注桩竖向荷载测试与分析

蔡志勇 郭鹏飞

(江苏省建筑科学研究院,南京 210008)

**【摘要】** 嵌岩灌注桩是当前较常用的基础形式之一,但其理论分析、试验和测试研究远不能适应工程应用的需要。通过南京地区软岩嵌岩桩某试桩工程所作的单桩竖向抗压静载荷试验、基岩静载荷试验和桩周摩阻力及端承力试验,分析了嵌岩桩的荷载传递性状。

**【关键词】** 嵌岩灌注桩;承载特性;嵌岩深度;载荷试验

**【中图分类号】** TU 473.1

## Analysis and Experimental Study of Cast-in-place Piles Embedded Rock

**【Abstract】** The cast-in-place piles embedded rock are one of the foundation treatment methods in present buildings. However, the theoretic research and experimental study are far behind the engineering application. Based on the part of the field testing datum in Nanjing area, analyzing the bearing characteristic of the cast-in-place piles embedded rock

**【Key words】** cast-in-place piles embedded rock; characteristic of bearing capacity; depth of embedded rock; load test

### 1 工程及地质概况

南京某大厦工程占地面积约 $7\ 800\ \text{m}^2$ ,其主楼地面以上36层,高130 m,设地下室3层,柱网为 $7.6\ \text{m} \times 7.6\ \text{m}$ ,采用框筒结构体系,基础型式采用挖孔嵌岩桩基础,试桩共三根,桩径为1.0 m,桩端扩大头直径为1.6 m。

该建筑场地属Ⅱ级阶地斜坡地带,钻探查明场地第四纪覆盖土层厚约 $7.0 \sim 17.0\ \text{m}$ ,除顶部的近期人工填土外,均为硬可塑粘性土层,局部在粘性土的底层分布有一层厚度 $0.70 \sim 2.0\ \text{m}$ 的粉质粘土混砾石层。自上而下土层具体分布如下:填土、粉质粘土;⑤<sub>1</sub>强风化含砾砂岩;⑤<sub>2</sub>强~中风化含砾砂岩;⑤<sub>3a</sub>中等风化含砾砂岩夹砂砾岩;⑤<sub>3b</sub>中等风化砂砾岩夹含砾砂岩。基岩为上白垩纪红色岩系,主要为含砾砂岩夹砂砾岩。桩端持力层为中风化岩。

### 2 基岩静载荷试验

#### 2.1 试验目的及原理

用岩基原位静载荷测试方法来确定桩底基岩的抗压强度,可在较短的时间内,定量的测定桩底基岩承载力,测试结果接近于实际,并能适用于地质变化较大,有夹层、互层、软弱下卧层的基岩,且安全可靠。

基岩荷载试验按照《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89)附录八有关要求执行,其基本原理就是通过对岩基逐级施加荷载,测得相应的变形,根据荷载与变形的曲线关系确定基岩承载能力。由于岩基埋深较大,无法在岩基上直接进行载荷试验,故通过传力柱将荷载传递到基岩上,并在地面进行沉降和传力柱变形观测。试验可采用堆载反压——慢速维持荷载法,荷载由安放于传力钢管顶部的油压千斤顶

和油压表施加并控制,在钢管顶部安装4只百分表测读变形,百分表通过磁性表座安装在基准梁上。

## 2.2 试验步骤及要点

1)采用园形  $\phi 300$  钢性承压板。

2)测量系统的初始稳定读数观测:加压前,每隔10 min读数一次,连续3次不变即可开始试验。

3)加载方式:单循环加载,荷载逐级递增至要求值,然后分级卸载。

4)荷载分级:第一级加载值为预估承载力设计值的1/5,以后每级为1/10。

5)沉降量读测:加载后立即读数,以后每隔10 min读数一次。

6)沉降稳定标准:连续三次读数之差均不大于0.01 mm。

7)终止加载条件:①沉降量读数不断变化,在24 h内沉降速率有增大趋势;②压力加不上或勉强加上但不能保持稳定;③加载至预定荷载。

8)卸载观测:每级卸载为加载值的两倍。每级卸载后,隔10 min测读一次,测读三次后即可卸下一级荷载。全部卸载后,当读数到半小时回弹量小于0.01 mm时,即认为稳定。

9)承载力的确定:对应于  $p-s$  曲线上起始直线段的终点为比例极限。符合终止加载条件前二条者前一级荷载即为极限荷载。对微风化及强风化岩,取安全系数为3;对中等风化岩需根据岩石裂隙发育情况确定。将所得值与对应于比例界限的荷载相比,取小值。

10)原位载荷测试确定的基岩承载力  $f_r$  按下式计算:

$$f_r = P_{\max} / (A_g \cdot k) \quad (1)$$

式中: $f_r$  为基岩地基承载力标准值, kPa;  $P_{\max}$  为在规范允许沉降范围内的最大加载, kN;  $A_g$  为载荷头净截面面积,  $m^2$ ;  $k$  为安全系数(对一般风化岩,取  $k=3$ )。

传力钢管本身较长时存在一定的变形,故

沉降量中应扣除钢管的变形。钢管的变形  $\Delta S_i$  按弹性变形计算,即某级荷载力的沉降值  $S_i = \text{实测值} - \Delta S_i$ , 并应对钢管的强度和稳定性进行验算。

$$\text{强度验算公式: } \sigma = N / (A_e f_n) \leq f \quad (2)$$

$$\text{稳定性验算公式: } N / (\phi A_e f_n) \leq f \quad (3)$$

式中: $N$  为钢管承受的最大轴力; $f$  为钢材的设计强度; $f_n$  为钢管的有效净截面系数; $\phi$  为轴心受压构件的稳定系数。

## 2.3 试验结果

试验历时11 h, 1# 试孔最大加载750 kN, 沉降仍能稳定, 试验于本级结束。

该试桩最大加载为750 kN, 沉降仍稳定, 故极限荷载大于750 kN, 极限压力大于  $750/0.07 = 10\ 714$  kPa, 承载力大于  $10\ 714/3 = 3\ 671$  kPa。

## 3 单桩竖向抗压静载荷试验

试验采用堆载反压——慢速维持荷载法, 荷载由电动油压千斤顶和油压表施加并控制, 变形由4只百分表测读。3根试桩的主要试验结果见表1。

表1 单桩竖向抗压静载荷试验结果

试桩号	最大加载/kN	相应沉降 s/mm	卸载回弹值/mm	极限承载力/kN
1#	13 200	14.32	4.79	>13 200
2#	12 000	12.56	4.02	>12 000
3#	12 000	15.44	5.77	>12 000

## 4 桩周摩阻力及端承力检测

### 4.1 试验目的与要求

进行三根试桩的摩阻力试验, 目的是提供试桩桩周摩阻力和端承力, 为工程桩的设计提供试验数据和依据。

### 4.2 试验原理及方法

1)试验原理 在试桩静荷载试验的同时, 检测事先设置在试桩主筋中的钢筋计的应力, 根据桩身材料指标, 经分析计算, 确定桩周分段摩阻力和端承力。

2)试验方法 选择合适的钢弦式钢筋计,进行密封处理和标定。钢筋笼加工好后,在纵筋预定位置截去一段,将选择好的钢筋计串焊上去。对钢筋计引出线进行绑扎固定,在下钢筋笼和浇捣混凝土时,注意保护钢筋计和引出线不受损坏。

按试桩测试要求,本次3根试桩钢筋计设置部位均为4个断面,每个断面设3只钢筋

计,尽量均布,对于1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>试桩,最顶层断面位于⑤<sub>1</sub>层强风化岩顶面附近,最底层断面离桩端1.5m,其它断面位置原则上均布,亦兼顾岩土层位;对于3<sup>#</sup>试桩,最顶层断面位于粉质粘土层内,第二断面位于⑤<sub>1</sub>层顶面附近,第三层断面位于2、4断面中间部位,最底层断面离桩底1.5m,具体断面设置见图1。

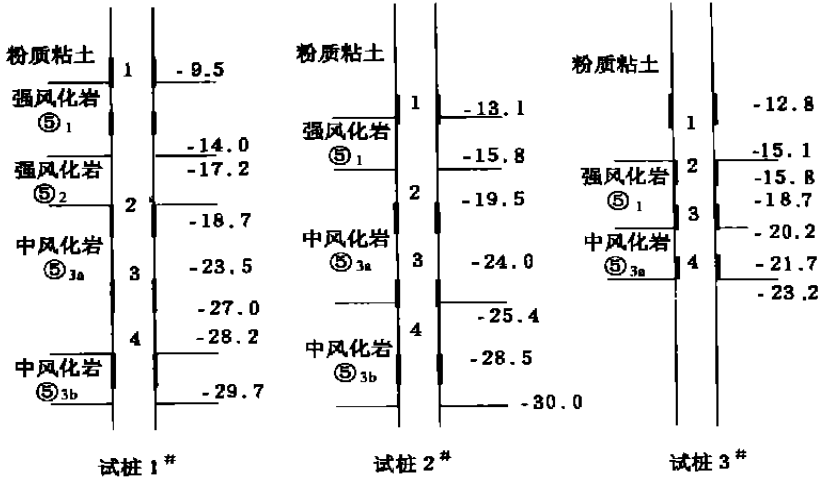


图1 钢筋计位置及试桩剖面图

3)仪器设备

所选用的钢弦式钢筋计,规格为Φ18,频率接受仪为NK-5数字和波形显示互检式钢弦频率仪。

4.3 试验结果

根据钢筋计应力测试结果,通过计算分析获得试桩所测断面的轴力、桩周摩阻力和端承力,结果见表2和图2~图7。

表2 试桩端承力及占加载比例

荷载/kN	试桩 1		试桩 2		试桩 3	
	端承力/kN	占加载比例/%	端承力/kN	占加载比例/%	端承力/kN	占加载比例/%
2 400	84	3.5	165	6.9	96	4.0
3 600	168	4.7	224	6.2	259	7.2
4 800	237	4.9	200	4.2	501	10.4
6 000	414	6.9	246	4.1	861	14.4
7 200	552	7.7	461	6.4	1 323	18.4
8 400	958	11.4	810	9.6	1 774	21.1
9 600	917	9.6	1 285	13.4	2 709	28.2
10 800	1 411	13.1	1 671	15.5	3 384	31.3
12 000	1 853	15.4	1 984	16.5	4 112	34.3
13 200	2 303	17.5				

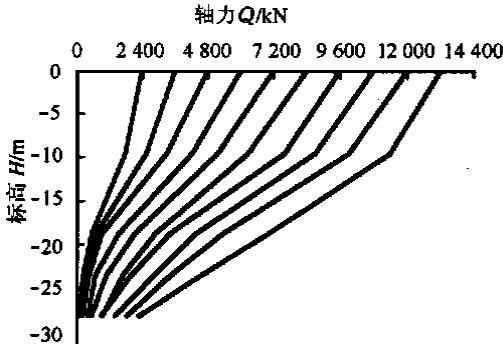


图2 1#试桩轴力图

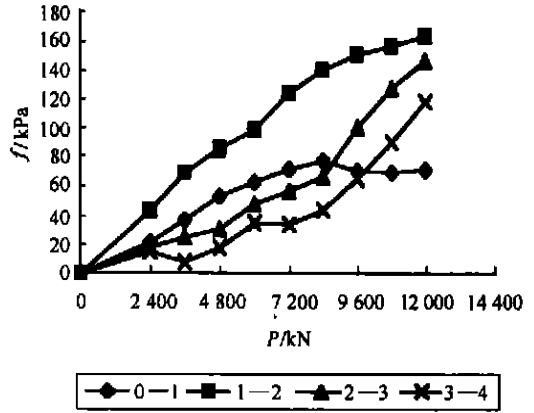


图5 2#试桩单位摩阻力曲线图

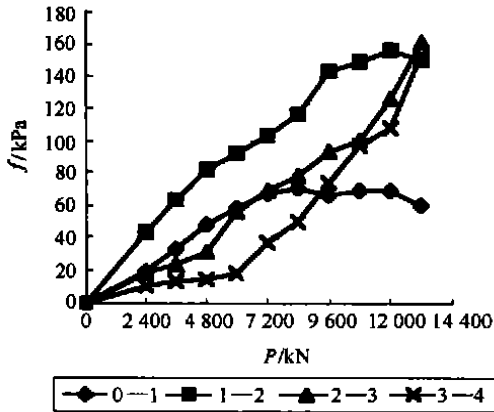


图3 1#试桩单位摩阻力曲线图

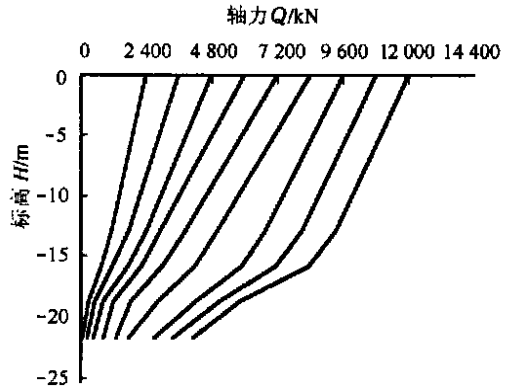


图6 3#试桩轴力图

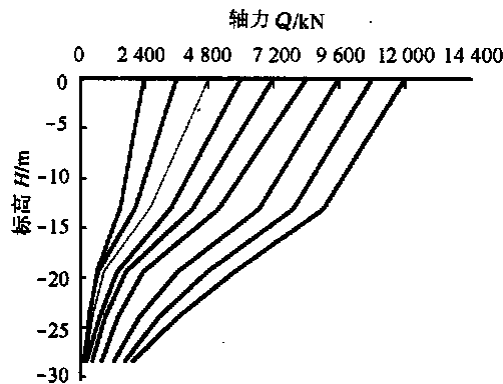


图4 2#试桩轴力图

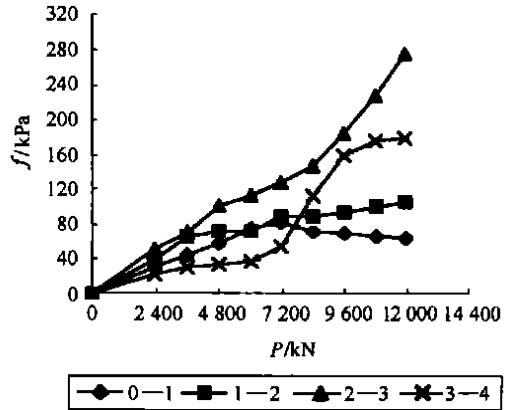


图7 3#试桩单位摩阻力曲线图

### 5 结果分析<sup>[3]</sup>

以上是对同一场地同一工程3根试桩所作的单桩竖向抗压静载荷试验、基岩静载荷试验和桩周摩阻力及端承力试验,从试验结果

看,比较吻合。

在各级荷载作用下,随着加载的不断增大,3根试桩的端承力基本随之线性增加。试桩1的端承力占加载比例从3.5%增加至

17.5%，试桩2从6.9%增加至16.5%、试桩3从4.0%增加至34.3%。嵌岩桩极限承载力由两部分组成：第一项桩侧摩阻力和第二项桩端阻力。第一项和第二项的相对大小决定桩的类型。一般桩端阻力不易充分发挥，当第一项远大于第二项时，桩为摩擦桩。可见，这三根试桩均呈摩擦桩性状。

桩端阻力的大小与桩端土层的沉降变形有很大关系。沉降越大，桩端阻力发挥越好。通常是桩侧阻力先充分发挥出来，然后桩端阻力才逐渐发挥，直到达到极限值。桩的极限承载力的两个组成部分并不是同时达到极限值的。试桩1、试桩2、试桩3在12 000 kN荷载作用下，各桩端承载力分别为1 853 kN、1 984 kN、4 112 kN，各占总加载量的15.4%、16.5%、34.3%，第3<sup>#</sup>试桩端承结果发挥较为明显，据分析是桩身较短，桩身沉降较1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>试桩为大所致。试验结果表明1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>和3<sup>#</sup>试桩端承载力尚有一定潜力，还说明了过小的桩顶荷载是不能使桩端阻力充分发挥的。

在试验荷载下，各桩不同断面单位摩阻力的发挥呈现不同的曲线形态，0—1、1—2段单位摩阻力出现峰值或曲线渐趋平缓，断面间摩阻力已基本发挥充分；而2—3、3—4段在最大加载条件下单位摩阻力仍呈现上升趋势，表明断面间摩阻力仍有相当的余量。

在试验荷载下，所有试桩位于强风化岩顶部的0—1段的单位摩阻力曲线已渐趋平缓，甚至3<sup>#</sup>试桩完全处于⑤<sub>1</sub>层强风化岩内的2—3段其曲线已呈峰值状态；而随着荷载的增加，位于中风化岩内的3—4段的单位摩阻力曲线呈现上升趋势，表明其承载能力仍有潜

力。这说明单位摩阻力的发挥与基岩风化程度亦有一定关系，中风化基岩承受侧摩阻力的性能优于强风化基岩。

在加载过程中，随着加载的不断增大，3—4断面的轴力并没有按加载量的增加而线性增大。其值与桩顶加载值的比例基本介于3.0%~17.0%。而3—4断面的嵌岩深度已超过5倍桩径，可见随着嵌岩深度的增大，桩端承载力并非随之比例增大，可以认为过分增加嵌岩深度，对提高嵌岩桩整体承载水平并没有太大的意义。

## 6 结论

影响嵌岩桩承载力和沉降的主要因素有工程特点、桩身材料强度、桩侧土层分布、桩端持力层、嵌岩深度、成桩工艺等。嵌岩桩以呈摩擦桩性状者居多。桩端承载力发挥大小与桩顶荷载、桩长、桩径及土层等因素有关。设计嵌岩灌注桩时，应综合考虑桩的长径比、上覆土层性质和厚度、基岩性质及埋深、成桩工艺等因素。

一定的桩身沉降将有利于桩端阻力的发挥。实际工程中，因种种原因，嵌岩桩端承载力往往尚有一定潜力，应考虑尽量多地发挥其桩端阻力的作用。当上覆土层、基岩所提供的侧摩阻力能满足要求的承载力时，则不必将桩嵌岩过深。

## 参 考 文 献

- 1 GBJ 7—89 建筑地基基础设计规范
- 2 DB 32/112—95 南京地区地基基础设计规范
- 3 蔡志勇. 南京地区嵌岩灌注桩的分析与测试研究:[学位论文]. 南京: 东南大学, 2001

收稿日期: 2002-01-21