

文章编号: 1000-7598-(2005) 11-1819-04

试桩测试方法对桩基承载特性的影响研究

张晓炜

(河南省交通规划勘察设计院, 郑州 450052)

摘要: 吉利黄河公路特大桥施工了 2 根相同直径的试桩, 分别采用锚桩法和自平衡试桩法进行静载荷测试。根据 S2 (自平衡试桩法, 50 m) 上段桩与 S1 (锚桩法, 32 m) 桩的平均摩阻力进行的对比, 二者表现出相似的变化规律, 均可采用双曲线模型很好的拟合, 取趋于稳定的同一位移(12 mm)进行比较, 在中密卵石层中平均负摩阻力约为平均正摩阻力的 0.84 倍。桩 S1, S2 的 $Q-S$ 曲线均呈缓变型, 在曲线前半段, 两条曲线非常接近。在后半段, 随着荷载增大, S1 桩的下降速率明显大于 S2 桩, 若取同一位移 30 mm 进行对比, S2 的承载力为 59.5×10^3 kN, S1 的承载力为 48×10^3 kN。S1 的端阻力占总荷载的比例为 22.46 %, 为摩擦端承桩。S2 端阻力占总荷载的比例只有 3.59 %, 桩顶沉降基本由桩身压缩引起, 为摩擦桩。

关键词: 试桩; 自平衡试桩法; 锚桩法; 承载力
中图分类号: TU 473 **文献标识码:** A

Study on the influence of test methods on the bearing behaviors of piles

ZHANG Xiao-wei

(Henan Provincial Communications Planning Surveying & Designing Institute, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: Two test piles with the same diameter for the Jili-Yellow River Bridge were tested with the self-balanced test and the anchored pile method respectively. According to the contrast of average shaft resistances of two piles, the regularity of the relationship between settlement and average shaft resistances is similar, they could be fitted with the hyperbolic model. While settlement is 12 mm, the average negative shaft resistance is 0.84 times of the normal one. The $Q-S$ curves is very close in the first part, but with the increase of loads, the descending rate of the curve of S1 is faster than that of S2. While settlement is 30 mm, the capacity of S2 is 59 500 kN, the capacity of S1 is 48 000 kN. The ratio of base resistance of S1 to the total load is 22.46 %, this pile is a friction-base pile; the ratio of base resistance of S2 to the total load is 3.59 %, this pile is a friction pile.

Key words: test pile; self-balanced test method; anchored pile method; bearing capacity

1 引言

洛阳吉利黄河公路特大桥北起于洛阳市吉利区(黄河北岸), 南止于洛阳市孟津县(黄河南岸)境内, 设计全长 4011.86 m。该桥主桥下部为实体花瓶型墙式墩身, 引桥桥墩为双柱式墩身, 均采用钻孔灌注桩基础形式。全桥共设计混凝土钻孔灌注桩 328 根。在两处代表性区域, 各施工了一根试桩, 并分别采用锚桩法和自平衡试桩法进行静载荷测试。通过试桩为桩基础设计提供依据, 并验证灌注桩施工工艺的可行性。试桩有关参数见表 1。

2 试桩方法及原理

2.1 锚桩法

S1 试桩加载试验采用“二锚一”锚桩-混凝土

反力梁法进行, 见图 1。每根锚桩设计直径为 2.0 m, 长度为 60 m。用 5×800 t 油压千斤顶在桩顶对试桩分级施加荷载, 通过预埋在桩身内的钢筋应力计测出每级荷载作用下相应截面的应力。在桩身同一截面对称布置 4 个钢筋计, 按土层分布共设 6 个断面, 如图 2 所示。

表 1 试桩参数表
Table 1 Parameters of test piles

试桩 编号	桩径 /m	桩长 /m	成桩形式	桩端 持力层	试验 方式
S1	1.5	32.0	冲抓钻成孔钻孔灌注桩	卵石	锚桩法
S2	1.5	50.0	冲抓钻成孔钻孔灌注桩	卵石	自平衡试 桩法

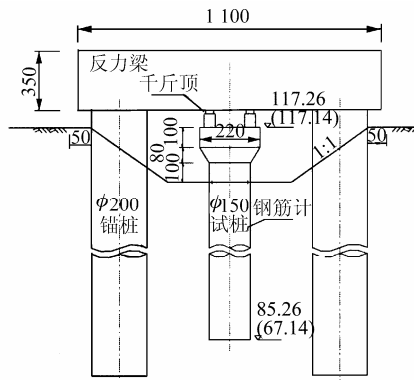


图1 锚桩法加载示意图(单位: cm)

Fig.1 Principle figure of load test with anchored piles (unit: cm)

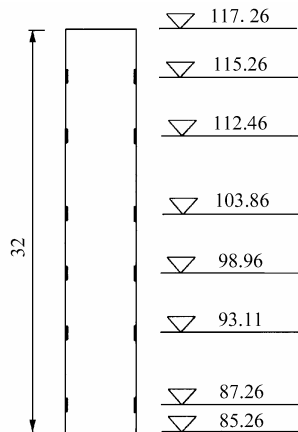


图2 S1 试桩钢筋计布置示意图(单位: m)

Fig.2 Layout of stress gauges of the pile S1 (unit: m)

2.2 自平衡试桩法

S2 桩采用自平衡测试法^[1, 2], 是利用预埋在桩身的荷载箱进行钻孔桩静载试验的方法。试验时, 在地面通过液压泵对荷载箱内腔施加压力, 将箱盖与箱底推开, 从而调动桩周土的摩阻力与端阻力, 直至破坏。其测试原理见图 3。荷载箱距桩端距离 16.27 m, 沿桩身设 5 层钢筋计, 每截面对称布置 4 个, 见图 4。

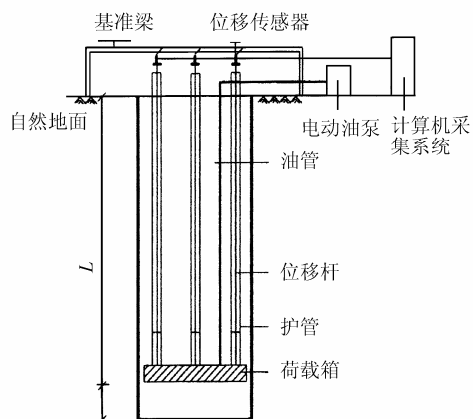


图3 自平衡测试法测试原理图

Fig.3 Principle figure of self-balanced load test

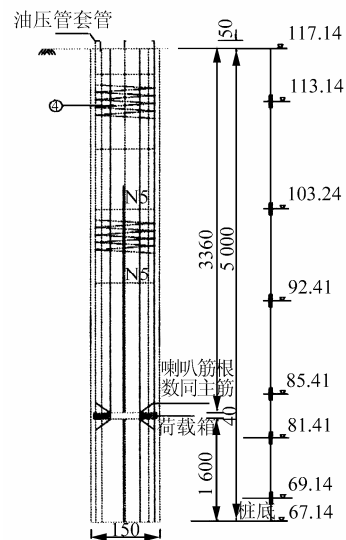


图4 S2 试桩钢筋计布置示意图(单位: cm)

Fig.4 Layout of stress gauges of pile S2 (unit: cm)

3 测试结果

3.1 锚桩法试验结果

3.1.1 混凝土的应力-应变关系

混凝土在受压时, 其应力-应变关系是非线性的, 弹性模量也不是一个定值, 应力越大表现越明显。为准确反映桩身混凝土在受压时的应力-应变关系, 以便进行桩身轴力分析, 进行锚桩法试验时在桩顶下 2 m 处设了一个标定面(图 1), 根据试验所得到的标定面处混凝土的应力-应变关系, 如图 5 所示。

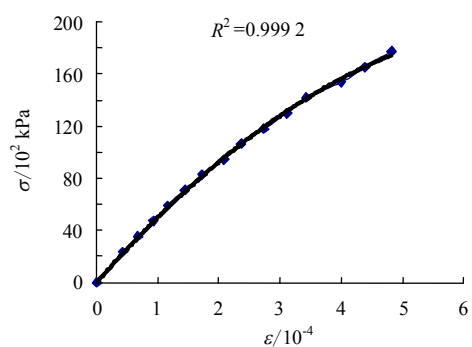


图5 标定面处混凝土的应力-应变关系

Fig.5 Relationship between stress and strain of concrete in the demarcating plane

采用多项式进行拟合, 其表达式为

$$\sigma = -4 \times 10^{10} \varepsilon^2 + 5 \times 10^7 \varepsilon \quad (1)$$

3.1.2 静载荷试验结果

该试桩采用慢速维持加载法, 最大加载值

36 000 kN, 每级加载值为最大荷载的 1/15。试验得到的 $Q-S$ 曲线见图 6。由钢筋计测得数据, 结合混凝土应力-应变关系可得到桩身轴力分布, 见图 7。根据各级荷载作用下测得的桩端应力, 可计算出桩端阻力占桩顶荷载的比例, 见图 8。

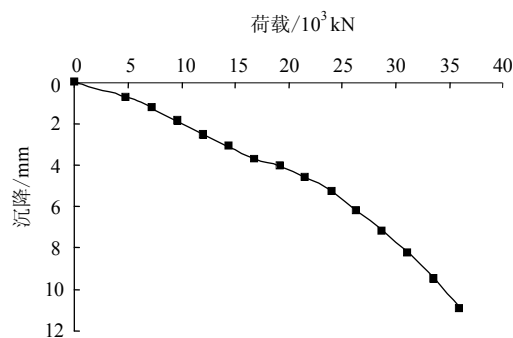


图 6 桩 S1 的 $Q-S$ 曲线
Fig.6 $Q-S$ curve of the pile S1

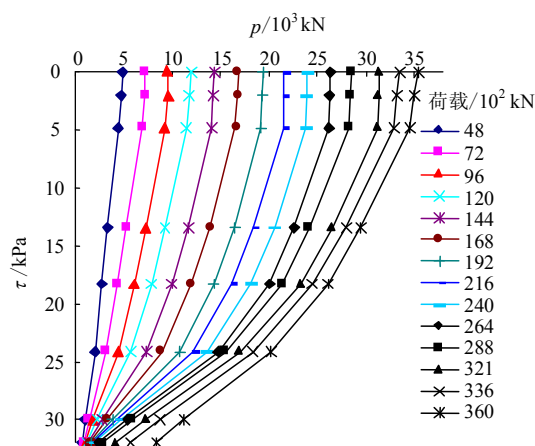


图 7 轴力分布图
Fig.7 Distribution of shaft forces

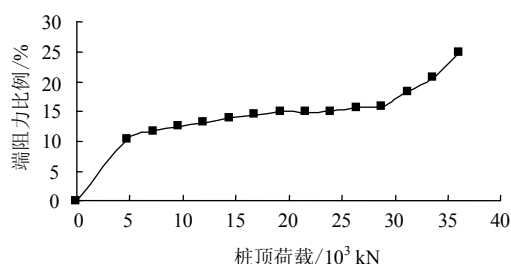


图 8 桩端阻力占桩顶荷载比例
Fig.8 Ratio of base resistances in the top loads of the pile

3.2 自平衡法试验结果

由自平衡静载试验得到的荷载箱上部及荷载箱下部的荷载-位移关系曲线见图 9。根据各级荷载作用下测得的桩端应力, 可计算出桩端阻力占桩顶荷载的比例, 见图 10。

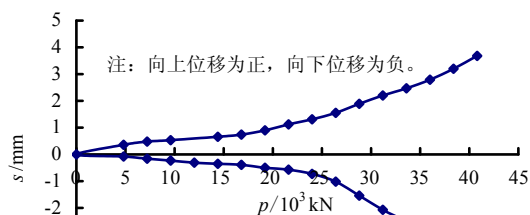


图 9 自平衡法测试曲线
Fig.9 Test curves of self-balanced load tests

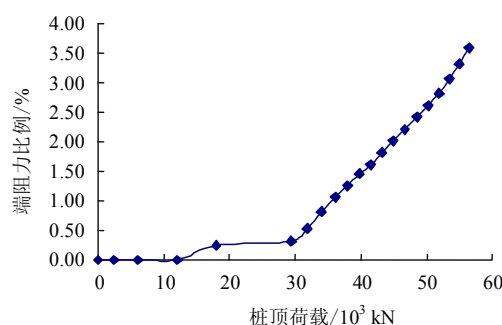


图 10 桩端阻力占桩顶荷载比例
Fig.10 Ratio of base resistances to the top loads of the pile

4 两种测试方法的比较及桩承载性能分析

4.1 摩阻力对比及分析

试桩 S1, S2 所处场地地层分布及力学性能基本相近, S1 桩长 32 m, S2 上段桩长 33.73 m, 下段桩长 16.27 m, 取 S2 上段桩与 S1 桩的平均摩阻力进行对比。S1 桩的加载方式为由桩顶竖直向下, 桩侧摩阻力为正摩阻力, S2 桩的加载方式为由下往上 (图 3), 桩侧摩阻力表现为负摩阻力, S1 桩摩阻力的发挥顺序为由上往下, S2 桩摩阻力的发挥顺序为由下而上。受力机理的区别最终体现为平均摩阻力-位移曲线的区别, 为便于比较, 采用双曲线模型对二者进行拟合^[3], 见图 11。当桩顶 (荷载箱) 位移小于约 5 mm 时, 桩 S2 的平均摩阻力大于桩 S1 的平均摩阻力; 当位移超过 5 mm 时, 桩 S1 的平均摩阻力才超过桩 S2 的平均摩阻力。这主要是由土层分布的差异和受力机理的差别所造成的, 同一土层中负摩阻力应小于正摩阻力, 但桩 S2 最先发挥的是强度较高的下部土层的负摩阻力, 而桩 S1 最先发挥的是强度较低的上部土层的正摩阻力, 因而出现初期平均负摩阻力大于平均正摩阻力的现象。随着位移增大, 整个桩段的摩阻力逐渐发挥出来, 平均正摩阻力自然大于平均负摩阻力, 取趋于稳定

的位移 $S = 12 \text{ mm}$ 进行比较, 在中密卵石层中平均负摩阻力约为平均正摩阻力的 0.84 倍。

根据桩 S2 测得的桩身轴力可计算出各测试断面的摩阻力, 见图 12。由摩阻力-桩顶各级荷载关系曲线可见, 在卵石层中摩阻力表现出明显的应力软化特性, 对应于桩顶荷载 $(30 \sim 35) \times 10^3 \text{ kN}$, 处于中密状态卵石层中的 3 个断面 $(13.4 \sim 30 \text{ m})$ 的摩阻力相继达到峰值, 超过该荷载后摩阻力呈减少趋势。

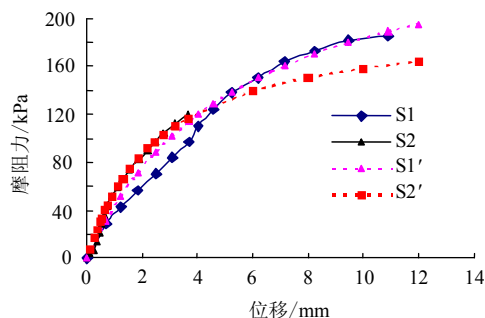


图 11 平均摩阻力对比图

Fig.11 The contrast figure of average frictions

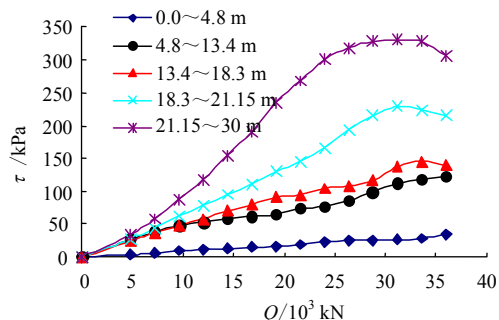


图 12 S2 各测试段摩阻力与桩顶各级荷载的关系

Fig.12 Relationship of frictions and top loads in different sections

4.2 桩承载性能分析

在桩承载力自平衡测试中, 测定了荷载箱的荷载、垂直方向向上和向下的变位量以及桩体在不同深度的应变值。通过桩的应变和混凝土的应力-应变关系, 可以计算出桩身轴力分布, 进而求出不同深度的桩侧摩阻力。利用荷载传递解析方法, 将桩侧摩阻力与变位量的关系、荷载箱荷载与向下变位量的关系换算成桩顶荷载-沉降关系曲线^[1~6], 经转换的桩 S2 的 $Q-S$ 曲线及其与桩 S1 的对比见图 13。为便于比较, 采用双曲线模型对桩 S1 的 $Q-S$ 曲线拟合见图 13, 桩 S1、S2 的 $Q-S$ 曲线均呈缓变型, 在起前半段两条曲线非常接近, 且 S1 在 S2 之上, 但随着荷载增大, S1 的下降速率明显快于 S2, 在 $S = 12 \text{ mm}$ 时, S1 落在 S2 之下, 且随着荷载增大, 差距越来越大。若取 $S = 30 \text{ mm}$ 进行对比, S2 的承载力为 $59\,500 \text{ kN}$, S1 的承载力为 $48\,000 \text{ kN}$ 。S2 比

S1 长 18 m , 桩顶沉降为 30 mm 时, S1 的桩侧摩阻力基本发挥出来, 端阻力也得到发挥, 端阻力占总荷载的比例达到 22.46% , 见图 9, 呈摩擦端承桩特性。而 S2 的桩侧摩阻力还未充分发挥, 端阻力占总荷载的比例只有 3.59% (图 11), 桩顶沉降基本由桩身压缩引起, 呈摩擦桩特性。

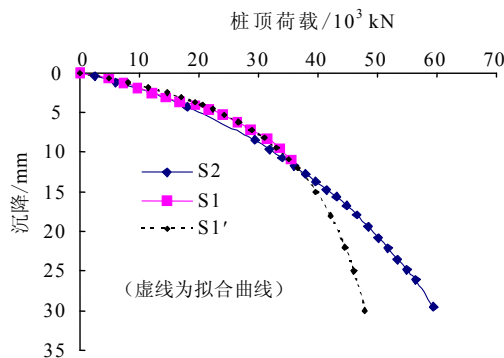


图 13 $Q-S$ 曲线对比图

Fig.13 Contrast figures of $Q-S$ curves

5 结 论

(1) 混凝土在受压时, 其应力-应变关系是非线性的, 根据试验得到的标定面处混凝土的应力-应变关系可表示为 $\sigma = -4 \times 10^{10} \varepsilon^2 + 5 \times 10^7 \varepsilon$ 。

(2) 锚桩法 (S1 桩) 的加载方式为由桩顶竖直向下, 桩侧摩阻力为正摩阻力, 自平衡法 (S2 桩) 上段桩的加载方式为由下往上, 桩侧摩阻力表现为负摩阻力; S1 桩摩阻力的发挥顺序为由上往下, S2 桩摩阻力的发挥顺序为由下而上。二者变化规律基本相似, 取趋于稳定的同一位移 $S = 12 \text{ mm}$ 进行比较, 在中密卵石层中平均负摩阻力约为平均正摩阻力的 0.84 倍。

(3) 在卵石层中摩阻力表现出明显的应力软化特性。

(4) 桩 S1, S2 的 $Q-S$ 曲线均呈缓变型。由于桩长不同, 2 根桩的荷载-沉降变化规律有所区别。在起前半段, 两条曲线非常接近; 在后半段, 随着荷载增大, S1 桩的下降速率明显大于 S2 桩。若取 $S = 30 \text{ mm}$ 进行对比, S2 的承载力为 $59\,500 \text{ kN}$, S1 的承载力为 $48\,000 \text{ kN}$ 。

(5) 桩 S2 比 S1 长 18 m , 当桩顶沉降为 30 mm 时, S1 的桩侧摩阻力基本发挥出来, 端阻力占总荷载的比例达 22.46% , 为摩擦端承桩; 桩 S2 的桩侧摩阻力还未充分发挥, 端阻力占总荷载的比例只有 3.59% , 桩顶沉降基本由桩身压缩引起为摩擦桩。

参 考 文 献

- [1] 龚维明, 戴国亮, 蒋永生, 等. 桩自平衡测试理论与实践[J]. 建筑结构学报, 2002, 23(1): 82—88.
GONG Wei-ming, DAI Guo-liang, JIANG Yong-sheng, et al. The theory and practice of self-balanced test[J]. **The Journal of Architecture Structure**, 2002, 23(1): 82—88.
- [2] 戴国亮, 吉林, 龚维明, 等. 自平衡试桩法在桥梁大吨位桩基中的应用与研究[J]. 公路交通科技, 2002, 19(2): 63—66.
DAI Guo-liang, JI Ling, GONG Wei-ming, et al. The application and study of self-balanced test method in high capacity bridge piles[J]. **Journal of Highway and Transportation Research and Development**, 2002, 19(2): 63—66.
- [3] 桩基工程手册编委会. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [4] 黄生根, 张晓炜, 龚维明. 后压浆钻孔灌注桩的荷载传递机理研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(2): 251—254.
HUANG Sheng-gen, ZHANG Xiao-wei, GONG Wei-ming. Mechanism study on bored cast-in-place piles with post-grouting technology[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, 25(2): 251—254.
- [5] 黄生根, 王辉, 张晓炜, 等. 超长大直径桥桩的压浆效果研究[J]. 公路交通科技, 2004, 21(5): 70—73.
HUANG Sheng-gen, WANG Hui, ZHANG Xiao-wei, et al. Study on the grouting effects of super long large diameter bridge piles[J]. **Journal of Highway and Transportation Research and Development**, 2004, 21(5): 70—73.
- [6] 黄生根, 梅世龙, 龚维明. 南盘江特大桥岩溶桩基试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(5): 809—813.
HUANG Sheng-gen, MEI Shi-long, GONG Wei-ming. Testing study on bearing behavior of piles for Nanpan River great bridge in karst area[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23(5): 809—813.