

潮位对桩基础承载性能影响的模型试验

刘军¹, 张宁宁², 陈元俊³

- (1. 上海电力设计院, 上海 200025;
2. 华电电力科学研究院, 浙江 杭州 310030;
3. 福建省建江水利水电设计咨询有限公司, 福建 福州 350001)

摘要:潮位变化是影响群桩基础承载性能的一个重要因素。针对潮汐河段群桩基础的承载性能, 根据相似性原则, 对某大桥南侧主桥群桩地基基础开展考虑潮位影响的室内模型试验, 研究了潮位变化引起的低频循环荷载对群桩基础承载性能的影响, 试验结果表明: 周期性的潮位涨跌使地基土产生硬化, 增大了群桩基础的工后沉降。

关键词:潮位; 群桩基础承载性能; 循环荷载; 室内模型试验

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2012)03-0016-05

在桩基工程中, 由于进行群桩或单桩的原型试验需要花费大量的人力、物力和时间, 或因场地条件和其它因素的限制无法进行原型试验。在这种情况下, 模拟试验成为研究、探索和解决问题的一种有效方法。桩的模拟试验^[1-3]是根据桩基的实际工作状态, 进行合理地构思, 建立与原型具有相似性规律的模拟, 借助科学仪器和设备, 人为地控制试验条件, 研究桩基在某一或某些情况时的受力变形特性的试验。它在桩基工程技术的应用研究、设计以及施工阶段都占有重要地位, 它不仅为桩基础的理论研究提供试验数据和试验论证, 而且为工程设计提供依据进而指导工程实践^[4-5]。

模型试验的基本原则是使模型与原型具有全面相似性, 即模型试验的相似律。它是将模型试验的各个物理量按一定的关系组合在一起, 以全面代表实际原型。桩基工程模型试验^[6-7]主要通过几何相似与力学相似两个方面的相似来满足模型试验与实际工程的相似性。

1 模型试验方案设计

1.1 试验系统

本文室内模型试验的主要目的为研究低频循

环荷载对不同透水性地基条件下群桩基础承载性能的影响, 所做的主要内容有:

(1) 在往复向水槽注水与向外排水的过程中, 每隔一段时间记录水深与千分表的读数, 分析水深变化与桩顶沉降变化的关系。

(2) 在往复向水槽注水与向外排水的过程中, 随时记录桩底土压力盒的读数变化, 分析水深变化同桩端阻力变化的关系。

某大桥桥位区属长江冲积平原的新长江三角洲, 是大长江三角洲的近前缘地段, 地势平坦开阔。桥位区长江河道总体呈“Z”字形, 并呈瓶颈状, 上下游江面宽度较大, 中部断面狭窄, 江面宽 5.7 km, 最大水深 40 m 以上, 水流湍急。大桥北岸为边滩冲淤区, 南岸为边滩冲刷区。

试验模拟大桥桥位区南侧的地基环境, 根据勘察资料, 将地基土简化为 1 层, 简化后土体参数见表 1, 模型的组成结构如图 1 所示。

表 1 简化后土体参数

Table 1 Simplified soil parameters

土层名称	天然含水量 $\omega/\%$	干重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	孔隙比 e	饱和度 $S_r/\%$
细砂	23.80	16.40	0.63	86.80

收稿日期: 2012-08-11

作者简介: 刘军(1983-), 男, 河北邯郸人, 博士, 主要研究方向为桩基工程稳定性。

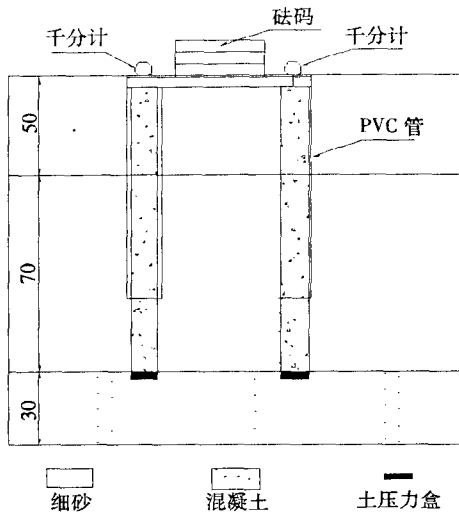


图1 试验模型示意图(侧视图) /cm

Fig.1 Test model diagram (side view)

要使试验情况更能接近于现场实际,应尽可能选用大尺寸的“地基场地”。试验用2 670 mm(长)×1 630 mm(宽)×1 500 mm(高)的模型池盛装土样模拟地基。模型池采用混凝土浇筑制作而成,确保了池体的整体密封性及刚度,防止因池体变形而影响测试数据的准确性。此次试验所用的模型桩直径为10 cm,为了保持在桩顶加荷时,桩顶受力均匀,所以在试验中设置3根相同大小的模型桩,并使桩顶保持在同一的平面上,桩壁钢护筒用PVC管模拟,模型桩呈等腰三角形布置,试验模型布置见图2。

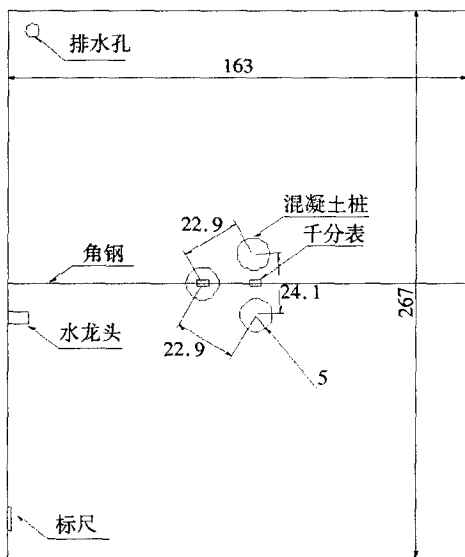


图2 试验模型示意图(俯视图) /cm

Fig.2 Test model diagram (top view)

规定位于等腰三角形顶角位置的桩为1#桩,并按逆时针顺序依次为2#桩、3#桩。该大桥的实际桩与桩之间的中心距横桥向为6.75 m,纵桥向为6.41 m。在此试验中,由3根模型桩中心点组成的等腰三角形,按照比例取腰长为22.9 cm,底边长为24.1 cm。由于试验的目的是研究水深的变化对桩基承载性状的影响,考虑到需要量测桩基的沉降量,所以在桩底需要有一定厚度的土层,取桩底土层厚度为30 cm,预留的最大水深为50 cm。由此得出模型桩的入土深度为70 cm,自由端长度为48 cm,顶面低于水槽顶面2 cm。

另外,在试验池顶面上设置一根稳固的、具有足够刚度的钢制横梁作为安置千分表的基准梁。为了满足加水时的需要,在试验池一侧设置水龙头。在模型槽的底部位置设排水孔,并有软管与之相接,延伸到模型槽的上部,以满足在试验中排水的需要。此外,在试验池中设置标尺,便于在水位改变的过程中,通过标尺来测读试验池水位的变化,及时准确地掌握模型池内的水位高度。

1.2 试验过程

在基桩设置休止20 h以后对桩顶施加荷载。

加荷等级:取预估容许荷载的1/15~1/10作为一级荷载。为了便于控制,结合加荷装置的条件有限,采取如下控制标准:用砝码加载,本次试验所加总荷载为1.834 4 kN,分10级加荷,每级荷载加后待30 min之后再加下一级荷载。

读数时间:在每级荷载加荷后的第1 h内,桩顶千分计和桩底土压力盒读数时间均为每级加载后5 min、10 min、30 min和60 min,以后每隔30 min测读1次,直到沉降稳定为止。

沉降稳定标准:连续3次每30 min内桩的沉降量不超过0.1 mm。

终止施加荷载条件:

(1)较理想为根据测读的沉降数据,绘制荷载与桩顶沉降关系曲线P~S曲线,在曲线图上即将出现明显的拐弯点时,终止施加荷载。

(2)若P~S曲线为缓降型,则沉降达到40 mm时停止加荷。若P~S曲线为缓降型,则沉降达到40 mm时停止加荷。对于大直径桩可取 $S = 0.03 \sim 0.06 D$ (D为桩端直径,大桩径取低值,小桩径取高值)对应的荷载值。

(3)若未出现以上两种情况,则在施加完10级荷载之后终止施加荷载。

加荷后,试验得到的桩顶荷载与桩顶沉降关

系曲线分别见图 3,从图中可以看出,桩顶沉降随着桩顶荷载的增加逐渐增大。在桩顶加荷 1.834 4 kN 后,桩顶沉降为 1.49 mm,符合上述第(3)种情况。

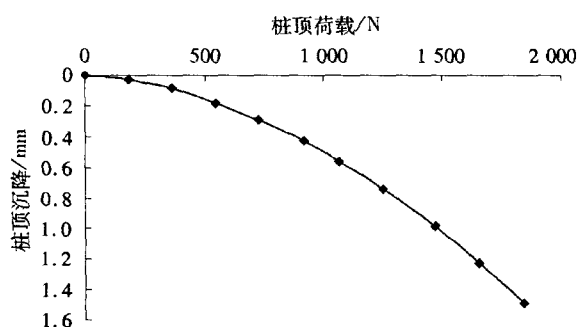


图 3 桩顶荷载与桩顶沉降关系曲线

Fig.3 The relation curve between the top of the pile load and top settlement

待桩体沉降稳定后,向水槽中注水,为了防止动水对桩体承载性能的影响,以 $0.14 \text{ m}^3/\text{h}$ 的速率向水槽中注水,待所注水槽中地表水深达到 40 cm 后,再通过排水孔以 $0.14 \text{ m}^3/\text{h}$ 的速率向外排水。之后重复以上注水与排水过程。在此期间,每隔一段时间记录水深与千分表的读数。

2 试验结果分析

2.1 桩顶沉降分析

取试验前桩体达到稳定时桩顶沉降与桩顶荷载为初值,通过计算实测值与其差值得到桩顶沉降、桩顶有效荷载随时间变化曲线见图 4。其中,桩顶有效荷载为实际所施加的桩顶荷载扣除桩体所受浮力。可以看出,桩顶沉降与桩顶有效荷载有很好的正相关性。

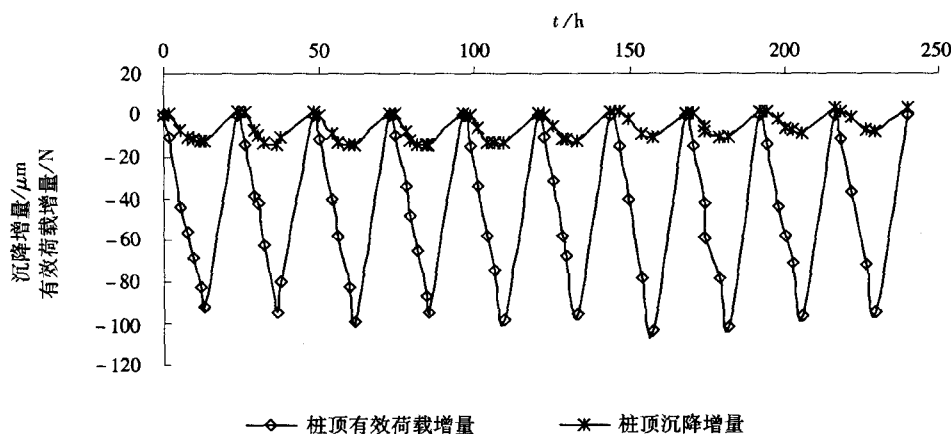


图 4 桩顶沉降、桩顶有效荷载随时间变化曲线

Fig.4 The time curve of Settlement of pile top, the top of the pile payload

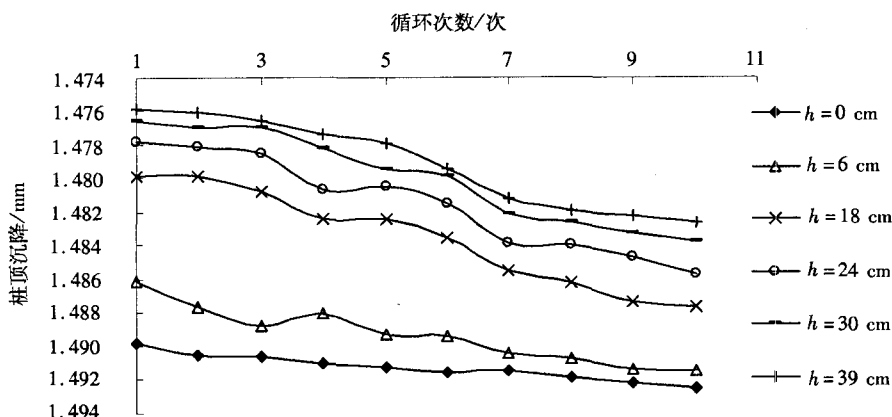
在 6 个代表性地表水深 h 条件下循环次数与桩顶沉降关系见图 5。从中可以看出,在各水深条件下,随着循环次数的增加,桩顶沉降逐渐增大,该结果表明,潮位涨跌增大了群桩基础的工后沉降。根据试验结果,得出最不利的工况条件下即地表水深最大时,群桩基础工后沉降的预测模型。从图中得知,最大水深为 39 cm 即桩顶有效荷载 P 为 1 742.5 N,此工况下桩顶沉降 S 与循环次数 n 的函数形式见式(1):

$$S = 1.475 + 0.0089 \times (1 - e^{-0.4314n}) \quad (1)$$

式中, S 单位为 mm; n 单位为次。

从图 5 中还可以得知,在同次注水过程中,随着地表水深的增大,桩顶沉降逐渐减小。这是由于随着地表水深的增大,桩体受到的浮力相应增

大,桩-土承受的有效荷载减小而产生回弹。在第 1 次注水过程中,当地表水深由 0 cm 增大为 39 cm 时,桩顶沉降减小了 $14 \mu\text{m}$,随着循环次数的增加,地表水深同样增大 39 cm,桩顶沉降的变幅逐渐减小。这一现象表明,随着循环次数的增加,地基土被逐渐压密,从而产生硬化。但当循环次数超过 7 次后,地基土硬化效应不再增强。通过桩顶沉降变幅 ΔS 随循环次数 n 的变化大小来评价低频循环荷载对地基土的硬化效应。若随循环次数 n 的增加,桩顶沉降变幅 ΔS 变化越大,则说明低频循环荷载对地基土的硬化效应越明显。根据试验结果,得出地表水深变化 Δh (初始地表水深为 0 cm) 分别为 6 cm、18 cm、24 cm、30 cm、39 cm 时,即桩顶有效荷载变化 ΔP 分别为 14.1 N、

图5 不同水深 h 条件下循环次数与桩顶沉降关系曲线Fig.5 The relation curve between the number of cycles in the different water depth in the h conditions and settlement of pile top

42.4 N、56.5 N、70.7 N、91.9 N 时桩顶沉降变幅 ΔS 与循环次数 n 的函数关系见式(2)、式(3)、式(4)、式(5)与式(6):

$$\begin{aligned} \Delta S &= -0.0606n^2 + 0.0637n + 3.6357 \quad 1 \leq n \leq 7 \\ \Delta S &= 1 \quad 7 < n \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= -0.1269n^2 + 0.3395n + 10.001 \quad 1 \leq n \leq 7 \\ \Delta S &= 5.5 \quad 7 < n \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= -0.1364n^2 + 0.3914n + 11.909 \quad 1 \leq n \leq 7 \\ \Delta S &= 7.5 \quad 7 < n \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= -0.1724n^2 + 0.7512n + 12.737 \quad 1 \leq n \leq 7 \\ \Delta S &= 9 \quad 7 < n \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= -0.1955n^2 + 0.951n + 13.19 \quad 1 \leq n \leq 7 \\ \Delta S &= 10 \quad 7 < n \end{aligned} \quad (6)$$

式中, ΔS 单位为 μm ; n 单位为次。

2.2 桩端阻力分析

取试验前桩体达到稳态时桩端阻力与桩顶荷载为初值,通过计算实测值与其差值得到桩端阻力、桩顶有效荷载随时间关系曲线见图6。桩侧摩阻力为桩顶有效荷载减去桩端阻力所得,因此仅研究桩端阻力与桩顶有效荷载的关系,从图中可以看出,桩端阻力与桩顶有效荷载有很好的正相关性。

不同水深条件下循环次数与桩端阻力(不含桩身自重)的关系见图7。从中可以看出,在同次的注水过程中,随着地表水深的增大,桩端阻力逐渐减小。在各不同水深条件下,桩端阻力随着循环次数的增加而增大。

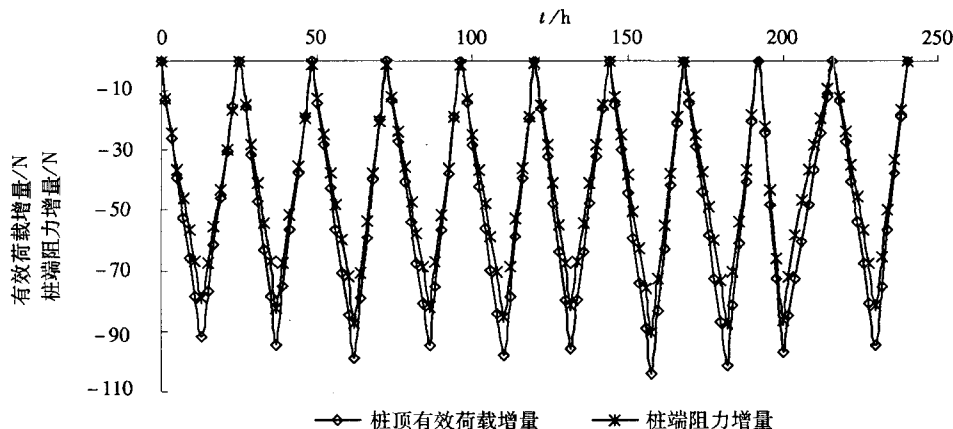
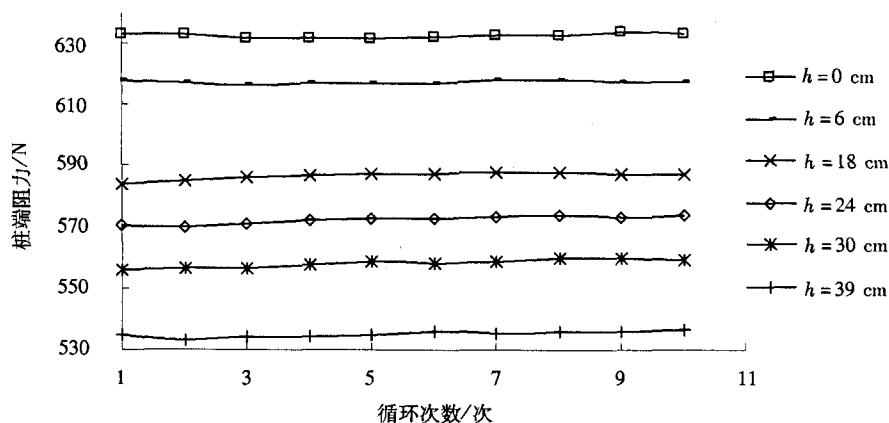


图6 桩顶有效荷载与桩端阻力随时间变化曲线

Fig.6 Payload in the top of the pile tip resistance versus time

图 7 不同水深 h 条件下循环次数与桩端阻力关系曲线Fig. 7 Different water depth h under the conditions of the cycles and tip resistance curve

3 结论

本章根据相似性原则,对某大桥南侧群桩基础开展考虑潮位影响的室内模型试验,研究了潮位变化引起的低频循环荷载对群桩基础承载性能的影响,试验结果表明:群桩基础桩顶沉降、桩端

阻力与地表水位均有很好的负相关性;低频循环荷载使地基土逐渐被压密,从而产生硬化,但当循环荷载超过一定次数后,地基土的硬化效应不再增强;周期性的潮位涨跌增大了群桩基础的工后沉降。

参考文献:

- [1] 周瑞忠,覃海婴. 桩土共同作用原理与变形土体侧压力研究[J]. 福州大学学报:自然科学版,1999,27(6):51-55.
- [2] 段文峰,金菊顺,佟德生. 在竖向荷载作用下桩-土数值模拟与试验验证[J]. 吉林建筑工程学院学报,2002,19(1):37-42.
- [3] 徐松林,吴玉山. 桩土荷载传递的测试分析和模型研究[J]. 岩土力学,1996,17(2):87-93.
- [4] 姜奕红,彭俊生. 桩土相互作用的砂箱模型试验及计算分析[J]. 西南交通大学学报,2003,38(2):112-115.
- [5] 赵抚民,刘恒军,刘明宇,等. 用类比模拟法研究小应变法动测桩极限承载力的问题[J]. 南昌大学学报,2001,23(3):37-43.
- [6] 李志成,高乔明. 桩基础试验[M]. 北京:中国林业出版,2001.
- [7] 宋或,李丽娟,张贵文. 建筑结构试验[M]. 重庆:重庆大学出版社,2003.

Model Tests on the Effect of Tidal Level on Bearing Behavior of Pile Foundation

LIU Jun¹, ZHANG Ning-ning², CHEN Yuan-jun³,

1. Shanghai Electric Engineering Institute, Shanghai 200025, China;
2. China Huadian Electric Research Institute, Hangzhou Zhejiang 310030, China;
3. Fujian Jianjiang Water Conservancy & Hydropower Design Consulting Corp, LTD, Fuzhou Fujian 350001, China

Abstract: Tide change is an important factor which affects bearing behavior of pile-group foundation. According to the bearing behavior of the pile-group foundation in strong tidal river, and by the similarity principle, indoor model tests for pile-group foundation of a southern main bridge were done. In those tests, the tidal influence was considered. Then the author did research in low-frequency cyclic loading which caused by the change of tidal level effect on settlement and bearing capacity. The research result indicates that the cyclical variation of tidal level lead to the hardening of foundation soil. It causes the post-construction settlement increasing of pile-group foundations.

Keywords: Tide change; bearing behavior of pile-group foundation; cyclic loading; indoor model tests

(责任编辑:沈建新)