

【工程应用】

侧边堆载对管桩桩身侧向变形影响试验研究

尹 骥

(上海勘察设计院(集团)有限公司, 上海 200092)

摘要: 通过上海青浦区两种地质条件下的现场1:1足尺试验, 研究分析了PHC-500-AB-125型管桩以及土体在侧边堆载作用下的侧向变形模式, 同时, 研究了桩顶侧向刚度对管桩变形的影响。现场试验结果表明: 在邻近堆载的作用下, 土体侧向变形可近似为“抛物线形”或“倒三角形”分布模式, 并且侧向变形主要集中于浅层软弱土层, 自4~5 m深度左右向下迅速衰减。在邻近堆载的作用下, 桩身侧向变形规律如下: 当桩顶自由时, 主要为“倒三角形”分布模式, 而当桩顶受到水平约束时, 桩身浅层侧向变形主要表现为“顶部小、中部大”的“梯形”分布模式。通过采用钢筋混凝土板带相连的方式以提高桩顶侧向支撑刚度, 可以一定程度上减少管桩的侧向变形, 采用群桩方式相较于单桩方式, 可减少约10 mm的侧向位移, 但仍然不能确保桩身侧向变形不超过10 mm, 为了减轻堆载对桩基的影响应采取其他地基处理措施。

关键词: 堆载; 管桩; 侧向变形; 水平承载力; 试验研究

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2022)S-0099-06

Experimental research on the lateral deflection of PHC pile due to adjacent surcharge

YIN Ji

(SGIDI Consulting Group Co., Ltd., Shanghai 20092, China)

Abstract: Through the field 1:1 full-scale test under two geological conditions in Qingpu District, Shanghai, the lateral deformation mode of PHC-500-AB-125 pipe pile and soil under lateral surcharge were analyzed. At the same time, the influence of lateral stiffness of pile top on pipe pile deformation was studied. The field test results show that under the adjacent surcharge, the lateral deformation of soil exhibits approximately “parabola” or “inverted triangle” distribution mode, and the lateral deformation mainly occurred in the shallow soft soil layer, and decreased rapidly from about 4-5 m depth. Under the action of adjacent surcharge, the behavior of lateral deformation of pile was different. When the pile top was free, it was mainly in the “inverted triangle” distribution mode, while when the pile top was horizontally constrained, the shallow lateral deformation of pile body presented “trapezoidal” distribution mode of “small top and large middle”. The lateral deformation of pipe piles can be reduced to a certain extent by using the method of connecting piles with steel-concrete plates to improve the lateral support stiffness of pile top. The lateral displacement of pile group can be reduced about 10 mm if compared with that of single pile, but it still exceeds 10 mm of the limit value. In order to reduce the impact of surcharge on pile foundation, other measures should be taken.

Key words: surcharge; PHC pile; lateral deflection; horizontal bearing capacity; experimental research

0 引言

管桩因其施工速度快、桩身质量可靠而在工程中大量应用, 然而由于其抗侧向刚度、抗弯承载力较低, 在涉及堆载或基坑开挖卸土等工程时, 受到土体侧向挤压, 较易发生断裂而丧失承载能力。围

绕堆载对桩基的影响研究, 一般有3类研究方法, 分别是半经验半理论的解析方法、数值模拟分析方法和现场试验方法。杨敏等^[1]采用2阶段解析方法, 在已知堆载作用下无桩条件下的自由场土体侧向变形, 利用弹性地基梁模型计算分析了有桩条件下桩体的侧向位移; 王恺敏等^[2]和吴琼等^[3]采用

收稿日期: 2022-03-22

作者简介: 尹骥(1980—), 男, 上海人, 博士, 高级工程师。主要从事岩土工程、基坑工程、桩基工程、地基处理工程及岩土工程数值模拟分析研究。E-mail: yinji@sgidi.com。

数值模拟分析软件,分析了堆载范围、堆载边与桩中心距离、堆载大小对桩顶有竖向荷载作用时的被动桩性状的影响。这两类方法在没有现场试验手段时可以用来预估桩基受堆载作用的侧移及内力影响,然而,由于解析法和数值模拟方法对于地基刚度等相关计算的取值要求较高,因而在土层分层数目较多时误差较大,有时可能得到偏于不利的计算结果,例如,上官士青等^[4]对比分析桩身穿越2种土层的情况下,8种不同的解析方法的计算结果,不同解析方法的计算结果之间差别巨大。

因此,采用现场试验的方法是确保设计安全的必要手段,目前,国内外学者研究的现场试验多为刚度较大的灌注桩,较少介绍管桩的现场试验研究。

例如,陈珂星^[5]介绍了桩径800 mm灌注桩单桩现场堆载试验,研究了在不排水条件下,堆载高度和桩体位置对单桩变形与受力的影响,桩顶无约束灌注桩在4.8 m高度堆载作用下的现场试验,其发现主要影响深度为桩顶以下4 m,桩身最大位移为16 mm。吴培贵^[6]介绍了桩径1 250 mm大直径灌注桩两桩承台受侧边堆载作用下的侧向变形及桩身内力情况。

本文针对PHC500管桩介绍了两个1:1的现场足尺试验,对侧边堆载对管桩桩身变形影响进行了试验研究,用以研究在堆载的特定工况下,是否需要堆载体采取减沉地基处理措施,从而减少其对工程桩的影响。

1 试验简介

本项目试验场地位于上海市青浦区,属于湖沼平原地貌,项目拟采用景观堆土设计方案,最大堆土高度约7~10 m,为了研究景观堆载对工程桩PHC管桩的影响,根据实际工程设计情况,针对两种典型地层,分别设计了试验方案,两次堆土试验参考静力触探孔地质分层情况如下:

堆载试验 I: ①₁填土 0~1.0 m; ②₂泥炭质土 1.0~2.7 m; ⑥₁₋₁粉质黏土 2.7~5.9 m; ⑥₁₋₃淤泥质粉质黏土夹黏质粉土 5.9~15.8 m; ⑥₃粉质黏土夹黏质粉土 15.8~38.0 m; ⑥₄₋₂粉质黏土夹砂质粉土 38.0~45.5 m; ⑧₁黏土 45.5~47.1 m; ⑧₂₋₁粉质黏土 47.1~49.2 m; ⑧₂₋₁砂质粉土与粉质黏土互层 49.2~50.0 m。

堆载试验 II: ①₁填土 0~0.9 m; ②₁粉质黏土 0.9~1.8 m; ③粉质黏土夹黏质粉土 1.8~3.8 m;

⑥₁黏土 3.8~10.5 m; ⑥₂砂质粉土 10.5~23.0 m; ⑥₃粉质黏土夹黏质粉土 23.0~26.4 m; ⑥₄₋₁黏土夹砂质粉土 26.4~28.3 m; ⑥₄₋₁₁砂质粉土夹粉质黏土 28.3~30.6 m; ⑥₄₋₁₂黏土 30.6~33.9 m; ⑥₄₋₁₂粉质黏土夹砂质粉土 33.9~35.8 m; ⑦砂质粉土夹粉质黏土 35.8~45.0 m。

图1为根据堆土试验区域的地质勘察情况绘制的分层平均单桥静力触探锥尖阻力 P_s 值随深度变化的折线图,可以看出,堆载试验 II 试验区域的地质情况整体来看相较于堆载试验 I 试验区域好。

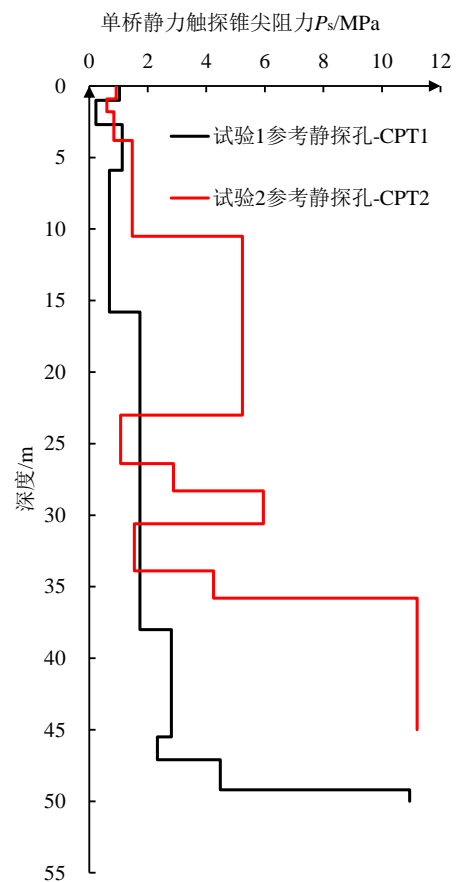


图1 典型分层静力触探折线图
Fig. 1 Typical in-situ layered CPT results

2 试验方案

2.1 方案设计

堆载试验 I 试验区域的地质参考静力触探孔为CPT1,设计堆体长度30 m、宽度20 m,堆体最大高度约6 m,模拟工程桩的试验桩共3根,均为PHC500 AB 125管桩,桩长38 m,桩顶自由。P1~P3桩中心距为2 m。

堆载试验 II 区域的地质参考静力触探孔为CPT2,设计堆体长度30 m、宽度20 m,堆体最大

高度约 7 m, 模拟工程桩的试验桩共 4 根, 均为 PHC 500 AB 125 管桩, 桩长 38 m, 与堆载试验 I 的不同之处在于, 桩体采用梁板带结构与主体区域底板相连, 板厚为 500 mm, 以提供侧向支撑。各测点平面位置布置图如图 2 和图 3 所示, 其中 P1 号桩为单根桩, 第 P2~P4 号桩连为一体, P1 与 P2 的中心距为 7 m, P2~P4 桩中心距为 2 m, P1 桩板带宽度为 3 m, P2~P4 桩板带宽度为 8 m。

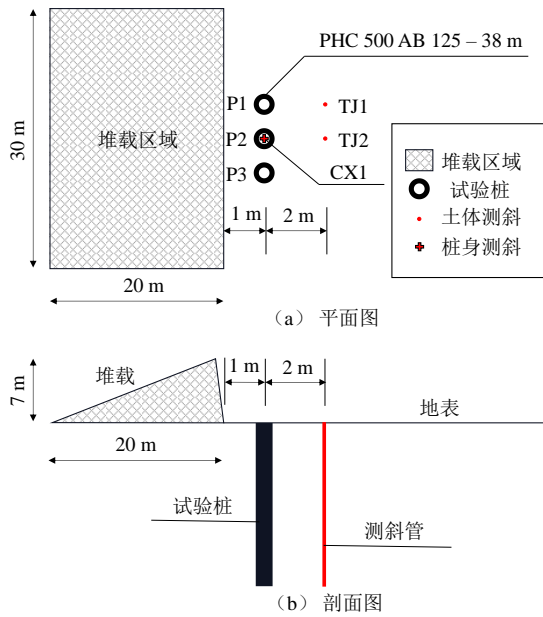


图 2 堆载试验 I 布置示意图
Fig. 2 Layout of monitoring points for test No.1

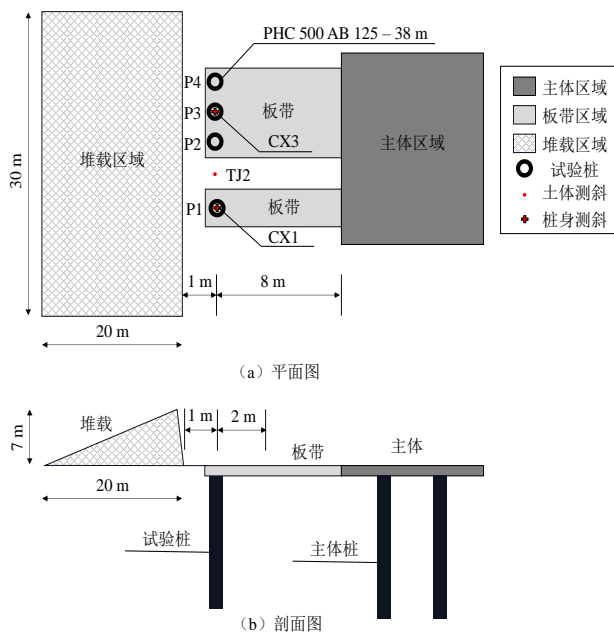


图 3 堆载试验 II 布置示意图
Fig. 3 Layout of monitoring points for test No.2

2.2 试验监测及检测内容

在堆载试验的过程中, 对土体水平位移、桩身水平位移均布置了测斜孔。各测点平面位置布置图如图 2 和图 3 所示, 其中: 堆载试验 I 布置 1 个桩身测斜孔 CX1 以及 2 个土体测斜孔 (TJ1 和 TJ2), 桩身测斜及土体测斜测斜管布置深度均为 20 m; 堆载试验 II 布置 2 个桩身测斜孔 (CX1 和 CX3) 以及 1 个土体测斜孔 TJ2, 桩身测斜孔测斜管布置深度为 14.5 m, 土体测斜测斜管布置深度约为 15.0 m。此外, 试验完成后, 对桩身进行小应变检测以检验桩身的完整性。图 4 为堆载试验 II 现场堆载及测试照片。



图 4 堆载试验 II 现场堆载试验测试照片
Fig. 4 Loading test for test No. 2

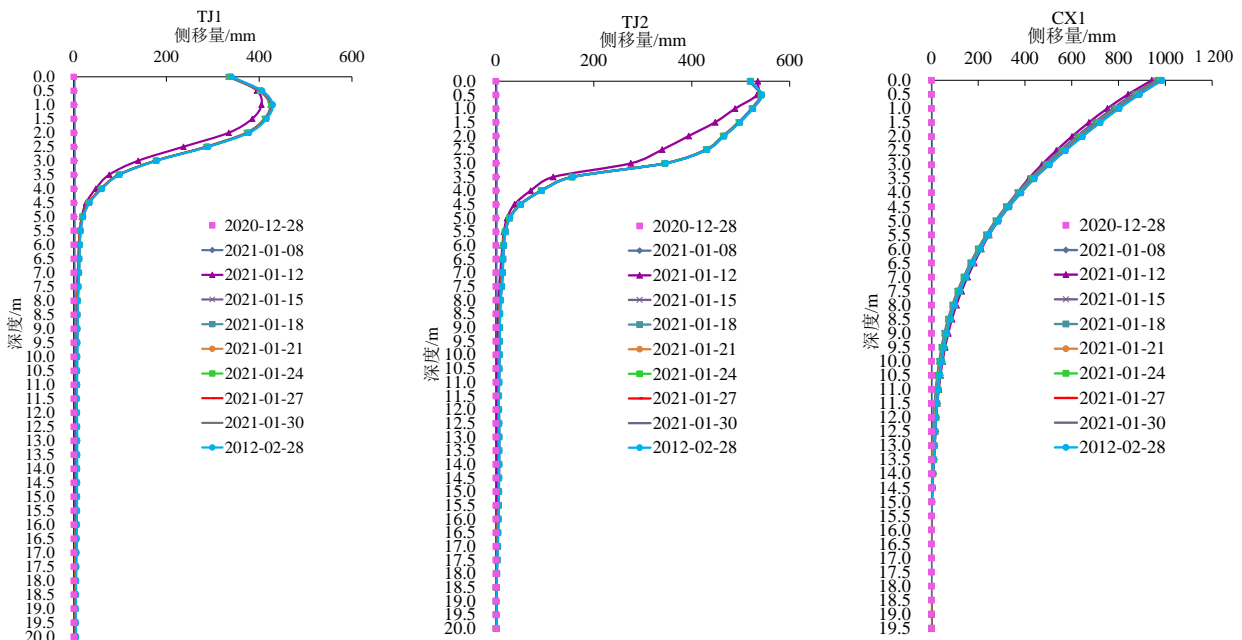
3 试验结果与分析

3.1 堆载试验 I

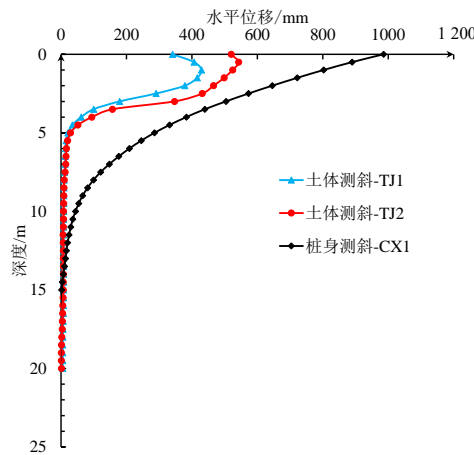
监测工作从 2020 年 12 月 27 日开始控制网布设, 至 2020 年 2 月 28 日结束, 共进行了 10 次观测。图 5 为第一次堆载试验土体及桩基测斜发展曲线及最终稳定值情况, 堆载稳定后, TJ1 测点土体最大侧向位移为 429.37 mm, TJ2 测点土体最大侧向位移为 542.59 mm, CX1 测点基桩最大侧向位移为 986 mm, 远远超过桩基设计规范 10 mm 的设计要求, 桩身可能出现断裂。

从图 5 可以看出, 邻近堆载的土体侧向变形可近似为抛物线形, 并且自 5 m 深度左右向下迅速衰减, 侧向变形主要集中于浅层填土及泥炭质土, 而桩体主要表现为倒三角形分布模式。

小应变检测结果表明, 基桩可能在地面以下 3.3 m 处断裂, 与图 5 实测的测斜曲线反映的曲率变化反弯点情况一致, 图 6 为开挖试验揭露的管桩桩身张拉裂缝情况以及现场测得的桩身开裂处的深度, 开挖试验证实了桩身发生了断裂。



(a) 土体及桩身测斜发展曲线



(b) 土体及桩身测斜稳定值

图5 堆载试验 I 测斜结果

Fig. 5 Lateral of pile and displacement soil for test No.1

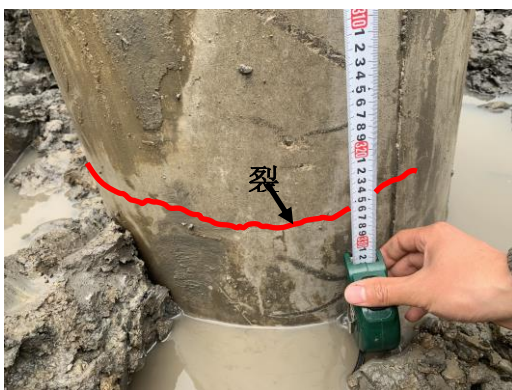


图6 第一次堆载试验桩身裂缝情况

Fig. 6 Cracks on pile for test No.1

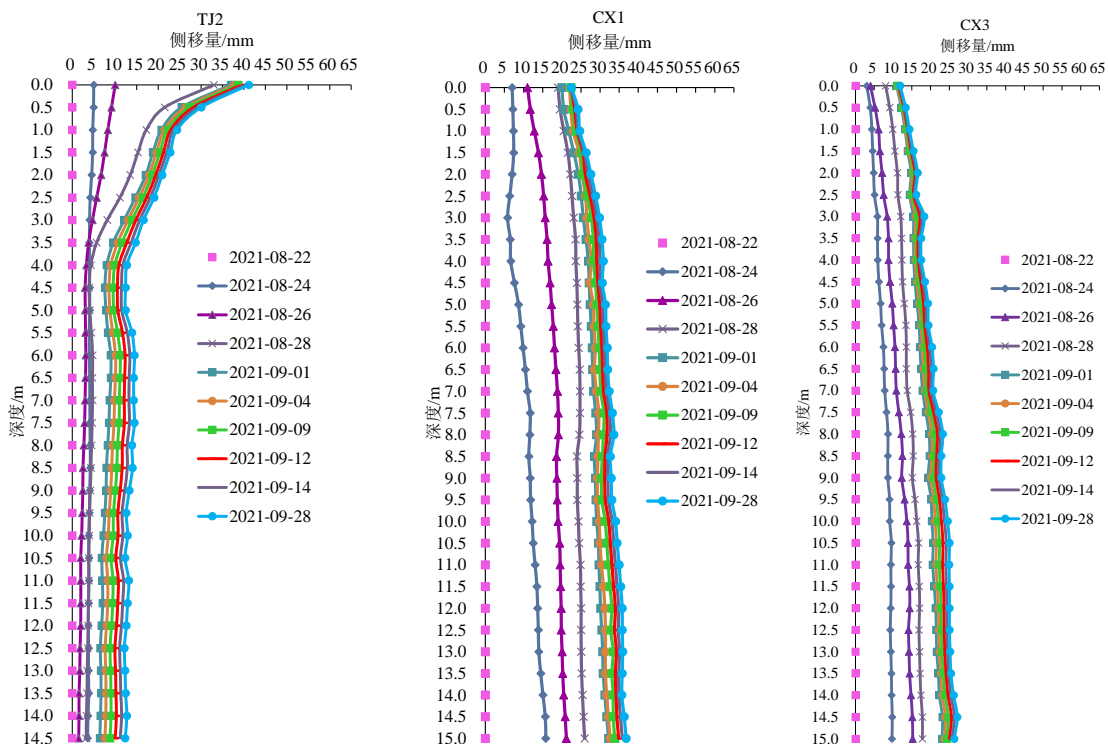
3.2 堆载试验 II

图7为堆载试验 II 土体及桩基测斜情况,堆载稳定后,土体最大侧向位移为 41.1 mm,3根桩相

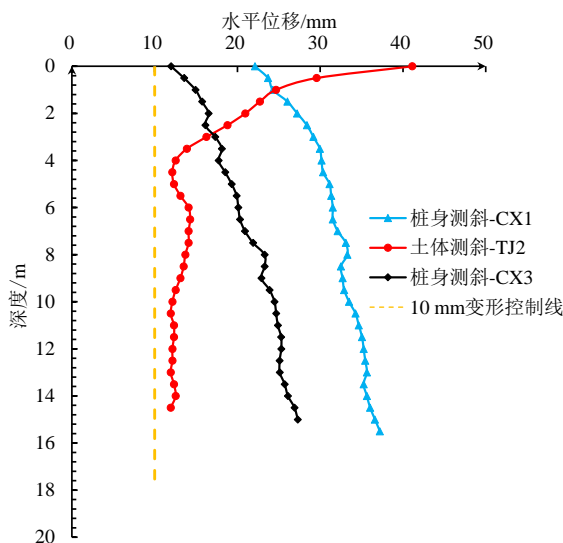
连的群桩最大侧向位移为 27.3 mm,单根桩的基桩最大侧向位移为 37.2 mm,采用3根桩相连的方式相较于1根桩单独情况,变形减小约 10 mm。

从图7可以看出,堆载试验 II 条件下,邻近堆载的土体侧向变形可近似为三角形,并且自 4 m 深度左右向下维持在 10 mm 左右的变形,侧向变形向深部传递,而桩体由于顶部约束,主要表现为“顶部小、中部大”的分布模式。

虽然堆载试验 II 的场地地质条件优于堆载试验 I,且采用板带的方式提高了桩顶侧向刚度,但是堆载试验 II 的测试结果表明,桩身测斜范围内,桩身侧向位移仍然超过桩基设计规范 10 mm 的允许水平位移设计要求。如不采取措施,在目前的景观堆土方案前提下,工程桩桩身极有可能发生断裂。



(a) 土体及桩身测斜发展曲线



(b) 土体及桩身测斜稳定值

图7 堆载试验 II 测斜结果

Fig. 7 Lateral displacement of pile and soil for test No.2

4 结论

根据现场有限的足尺试验测试研究数据分析, 本文得到的主要结论包括:

(1) 在邻近堆载的作用下, 土体侧向变形可近似为“抛物线形”或“倒三角形”分布模式, 并且侧向变形主要集中于浅层软弱土层, 自 4~5 m 深度左右向下迅速衰减。

(2) 在邻近堆载的作用下, 桩身侧向变形规

律如下: 当桩顶自由时, 主要为“倒三角形”分布模式, 而当桩顶受到水平约束时, 桩身浅层侧向变形主要表现为“顶部小、中部大”的“梯形”分布模式。

(3) 通过采用板带相连的方式以提高桩顶侧向支撑刚度, 可以一定程度上减少管桩的和变形, 采用群桩方式相较于单桩方式, 可减少约 10 mm 的侧向位移, 但仍然不能确保桩身侧向变形不超过 10 mm, 为了减轻堆载对桩基的影响应采取其他地

基处理措施。

参考文献

- [1] 杨敏, 朱碧堂. 堆载下土体侧移及对邻桩作用的有限元分析[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2003, 31(7): 772-777.
YANG Min, ZHU Bi-tang. Finite element method used in modeling lateral soil movement due to surcharge loads and its effect on adjacent piles[J]. Journal of Tongji University: Science Edition, 2003, 31(7): 772-777.
- [2] 王恺敏, 王建华, 陈锦剑, 等. 大面积堆载作用下饱和土中的桩基工作性状[J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(12): 2130-2133, 2141.
WANG Kai-Min, WANG Jian-hua, CHEN Jin-jian, et al. The behavior of piles in saturated soil under surcharge loads[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2006, 40(12): 2130-2133, 2141.
- [3] 吴琼, 陈锦剑, 夏小和, 等. 桩侧堆载作用下被动桩受力性状研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(3): 467-471.
WU Qiong, CHEN Jin-jian, XIA Xiao-he, et al. Behavior of the passive piles adjacent to the surcharge load[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010, 6(3): 467-471.
- [4] 上官士青, 杨敏, 李卫超. 分别考虑桩和土水平向位移的被动桩简化算法[J]. 建筑结构学报, 2018, 39(1): 162-172.
SHANGGUAN Shi-qin, YANG Min, LI Wei-chao. Simplified method of passive piles with independent lateral displacement of piles and soil[J]. Journal of Building Structures, 2018, 39(1): 162-172.
- [5] 陈柯星. 软土地堆载对邻近桩基影响的试验及数值研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
CHEN Ke-xin. Experimental and numerical study on single pile subjected to embankment construction on soft clay[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [6] 吴培贵. 堆载作用下深厚软土侧移特性及对桩基的影响研究[D]. 福州: 福州大学, 2017.
WU Pei-gui. Study on lateral displacement characteristics of deep soft soil and its influence on pile under loading[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2017.
- [7] 中华人民共和国建设部. 建筑桩基技术规范: JGJ 94—2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
Ministry of Construction of the People's Republic of China. Technical Code for Building Pile Foundations: JGJ 94—2008[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.