

Actual Measurement and Numerical Analysis of Adjacent Bridge Piles in Foundation Pit Excavation

Huliang Huang, Benhai Lin

Underground Engineering and Geological Hazard Research Center, Guangzhou University, Guangzhou Guangdong
Email: 1197375966@qq.com

Received: Oct. 23rd, 2018; accepted: Nov. 13th, 2018; published: Nov. 20th, 2018

Abstract

The displacement field and stress field of the adjacent pile foundation in foundation pit excavation has become a hot spot of concern. This article, taking the Donghaoyong shaft project in Guangzhou as the object, analyzes the displacement and additional bending moment of the pile foundation during the foundation pit excavation through finite element numerical simulation and monitoring data comparison. This paper analyzes the variation characteristics of the displacement and bending moment of the viaduct pile under different influencing factors. In conclusion, the displacement of the pile foundation decreases with the distance between the pile foundation and the foundation pit and the diameter of the pile body. The bending moment decreases with the decrease of the distance between the pile foundation and the foundation pit, and increases with the diameter of the pile body. The results will be referenced for similar projects in the future.

Keywords

Deep Foundation Pit, Pile Foundation, Displacement, Bending Moment, Finite Element Method

基坑开挖对邻近桥桩影响的实测及数值分析

黄湖亮, 林本海

广州大学地下工程与地质灾害研究中心, 广东 广州
Email: 1197375966@qq.com

收稿日期: 2018年10月23日; 录用日期: 2018年11月13日; 发布日期: 2018年11月20日

摘要

基坑开挖对邻近桩基的位移场和应力场的变化成为关注的热点。本文以广州东濠涌竖井基坑工程为对象, 通过有限元数值模拟和监测数据的对比, 分析基坑开挖过程中高架桥桩基的位移和附加弯矩变化情况。

并分析不同影响因素下高架桥桩身位移和弯矩的变化特性, 得到桩身位移随着桩基与基坑距离和桩身直径的增大而减小, 弯矩随着桩基与基坑距离减小而减小, 随着桩身直径增大而增大等结论, 为类似工程提供参考。

关键词

深基坑, 桩基, 位移, 弯矩, 有限元法

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市建筑密度越来越大, 且城市基坑工程往往具有深度深、面积大、工期紧、周边环境控制严格等特点, 使得城市基坑工程与周边邻近建(构)筑物安全问题越来越得到重视。当基坑邻近高架桥施工时, 基坑开挖的卸载作用, 使得基坑周边土体的位移场和应力场产生变化, 对邻近桩基产生不利影响, 具体影响如下: 一方面, 土体竖向沉降位移或地下水位下降导致桩基产生负摩阻力, 大大削弱桩基承载力, 严重时产生桩基刺入破坏, 引起部分桩基下沉, 导致上部结构发生不均匀沉降, 影响高架桥安全运营; 另一方面, 土体水平位移导致桩基产生附加弯矩和水平位移, 严重时引起桩身剪切破坏, 进而导致高架桥失稳破坏。对于此类问题, 郑刚[1]等结合天津仁爱濠景庄园实际工程进行基坑开挖对桩基的三维数值分析和监测数据对比, 提出间距超过 2 倍基坑开挖深度时, 基坑开挖对桩基的影响甚微。陈福全[2]等利用有限元软件对内支撑排桩支护基坑进行数值模拟, 分析不同开挖深度等不同影响因素对桩身水平位移和弯矩的变化特性。王翠[3]等结合天津地铁二号线红星路工程, 对桥桩受邻近基坑开挖的影响进行了数值模拟和实测数据对比分析, 研究其影响机制, 并提出了控制措施比较其优劣性。

本文结合广州市深层隧道排水系统东风路竖井基坑工程, 采用有限元分析法和监测实测数据对比分析, 基于桩基与基坑间距、桩基直径等影响因素分析基坑开挖对高架桥桩基的影响。为相似工程的设计和施工提供参考。

2. 工程概况

2.1. 工程介绍

本项目位于广州市东风路、东濠涌高架和越秀北路的交界处。本项目为深层隧道竖井基坑群, 分别为竖井基坑(深 41.5 m), 沉砂池基坑(深 10.5 m), 过涌渠箱(深 6.5 m)和格栅间基坑(5.1~8.3 m)。竖井基坑内径为 20 m, 在深度 19.8 m 段以上采用 $\Phi 1200@1200$ 灌注桩 + 两道环梁支护形式, 深度 19.8 m 以下采用 $\Phi 22@1200$ 岩石喷锚支护形式; 沉砂池基坑的支护形式为 $\Phi 1200@1200$ 灌注桩 + 两道内支撑; 格栅间基坑较浅部分采用 $\Phi 600@700$ 灌注桩 + 一道内支撑的支护形式, 较深部分采用 $\Phi 800@900$ 灌注桩 + 两道内支撑的支护形式; 过涌渠箱基坑采用双排钢管桩 + 一道内支撑支护形式。基坑群周边为已运营的东濠涌高架桥; 高架桥分为两层, 高差为 4 m, 桥宽 17 m, 基础采用钻孔灌注桩基础(桩直径为 1.0 m、1.2 m 和 1.6 m, 桩底均位于微风化岩层)。桩基距离基坑群最近的距离仅为 1.3 m。基坑支护平面和监测点布置图详见图 1 和图 2。

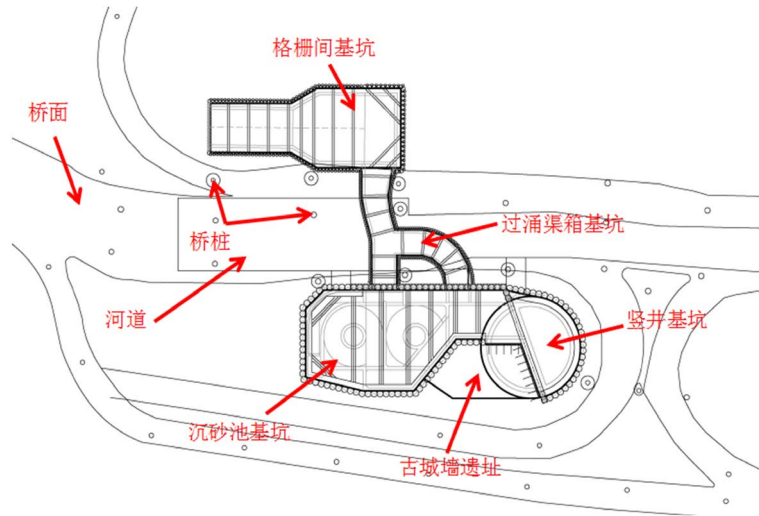


Figure 1. Foundation pit support plan
图 1. 基坑支护平面图

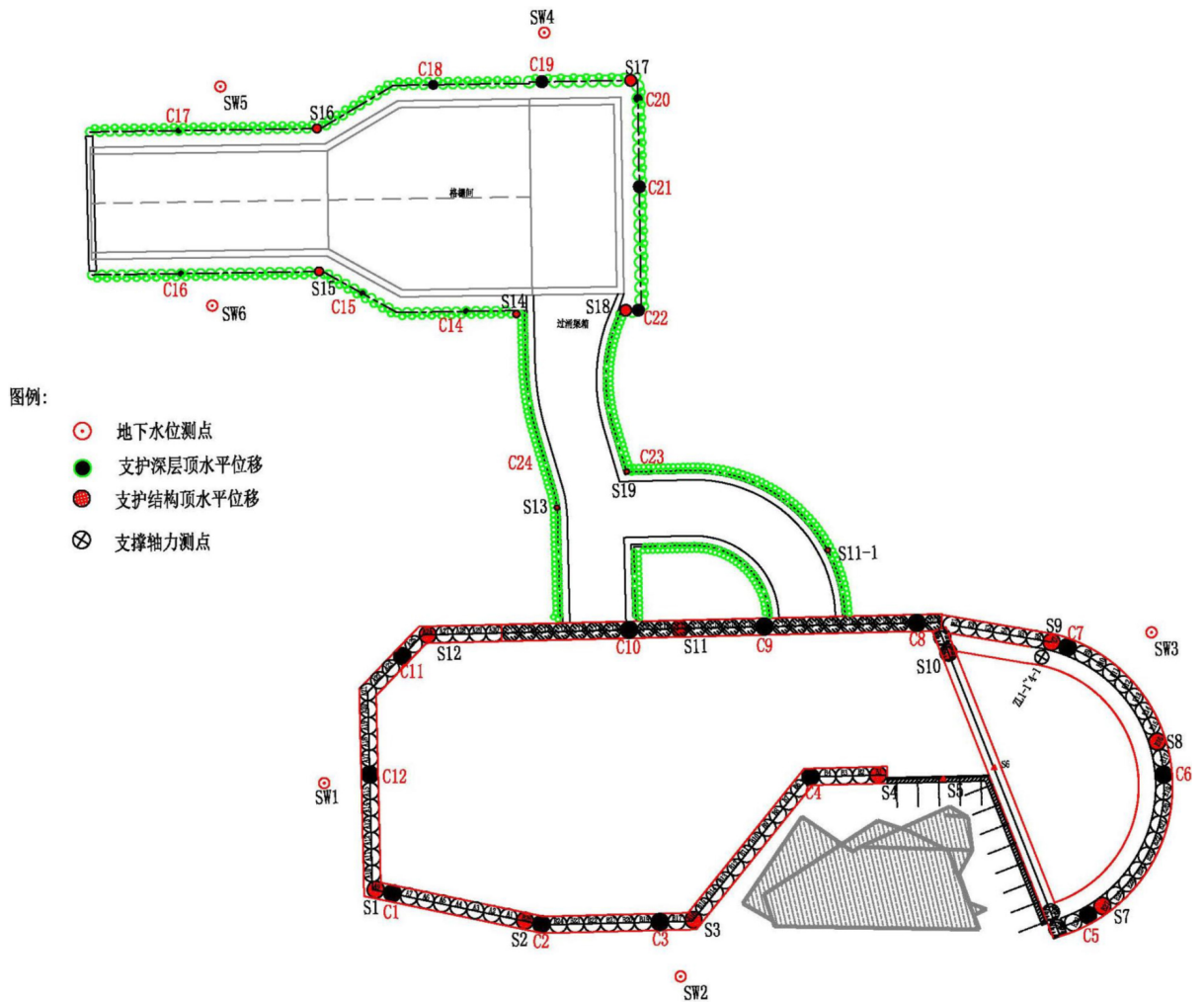


Figure 2. Foundation pit monitoring plan
图 2. 基坑监测平面图

2.2. 工程地质情况

场地地貌类型属珠江三角洲冲积平原, 珠江支流 I 级阶地, 地势较平坦, 根据钻探揭露, 场地地层按地质成因自上而下为:

杂填土: 灰色、灰白色、褐色、杂色等, 结构松散~稍压实, 主要由粘性土、砂土、砖块、碎石等建筑垃圾及少量生活垃圾组成。

强风化泥岩: 岩石风化强烈, 岩芯多呈坚硬土柱状, 半岩半土状, 岩质软, 轻敲易断, 遇水易软化。该带风华不均, 带中常夹中风化岩。

中风化泥岩: 岩石裂缝稍发育~发育, 岩芯多呈 5~10 cm 扁柱状, 部分碎块状或 10~30 cm 短柱状, 岩石风化不均匀, 中风化带中常夹强风化夹层或微风化泥块。

微风化泥岩: 岩芯较完整, 多呈 10~30 cm 短柱状, 部分 5~10 cm 扁柱状, 偶见 40~60 cm 长柱状, 岩质较新鲜。部分地段岩芯表面偶见轻微溶蚀孔洞。

根据岩土工程勘察资料确定的岩土设计参数值等如表 1 所示, 典型地质剖面图如图 3 所示。

Table 1. Mechanical properties of rock and soil design parameters table

表 1. 各岩土层物理力学性质设计参数表

土名	压缩模量 Es/变形模量 E0 (Mpa)	天然重度 γ (kN/m ³)	快剪		泊松比 u
			粘聚力 c(kPa)	内摩擦角 φ (度)	
①杂填土	4.0	19.5	10	15	0.38
②1 强风化泥岩	120	21.0	50	25	0.25
②2 中风化泥岩	200	25.1	100	30	0.22
②3 微风化泥岩	250	25.5	250	35	0.20

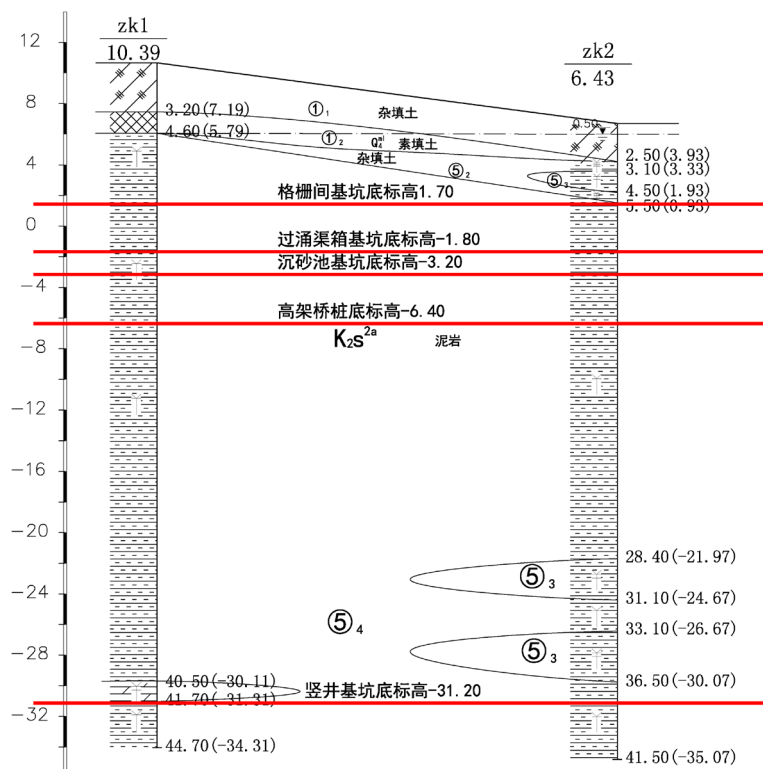


Figure 3. Typical geological section

图 3. 典型地质剖面图

3. 三维有限元模拟

3.1. 有限元模拟过程

大量研究表明: 基坑开挖造成周边环境影晌范围为基坑深度的 3~5 倍, 因此根据该项目基坑支护设计的平、剖面图及其与东濠涌高架桥的空间关系, 且减少边界条件对计算结果的影响, 因此确定分析模型的大小(长 × 宽 × 高)为 160 × 130 × 70 m, 地层分别为杂填土、强风化泥岩、微风化泥岩、中风化泥岩、微风化泥岩。为了便于计算, 将灌注桩按抗弯刚度等效原则等效为连续墙体。土体采用修正莫尔-库伦模型, 该模型能较好模拟土体和岩石的颗粒材料。考虑到周边高架桥采用桩基础, 地面荷载按 20 kPa 考虑。建立整体三维有限元模型如图 4、图 5。

由于该项目为四个基坑群, 存在基坑开挖先后顺序, 不同基坑开挖顺序对周边高架桥桩基影响不一, 因此需根据具体实际基坑开挖顺序进行模拟分析。主要工况如下: 工况一: 施工竖井基坑支护桩和环梁, 并开挖至第二道环梁→工况二: 施工沉砂池基坑支护桩、内支撑和冠腰梁并开挖至第一道内支撑处; 施工过涌渠箱基坑支护桩、内支撑和冠腰梁并开挖至第一道内支撑处→工况三: 开挖竖井土体至深度 25.8 m, 并分层施工岩石锚杆; 开挖沉砂池基坑至第二道内支撑处, 施工第一道腰梁和内支撑; 开挖过涌渠箱基坑至第二道内支撑处, 施工第一道腰梁和内支撑→工况四: 开挖竖井土体至基坑底, 并分层施工岩石锚杆; 开挖沉砂池基坑至基坑底; 开挖过涌渠箱基坑至基坑底; 施工格栅间基坑腰梁和第三道内支撑, 并开挖土体至基坑底。

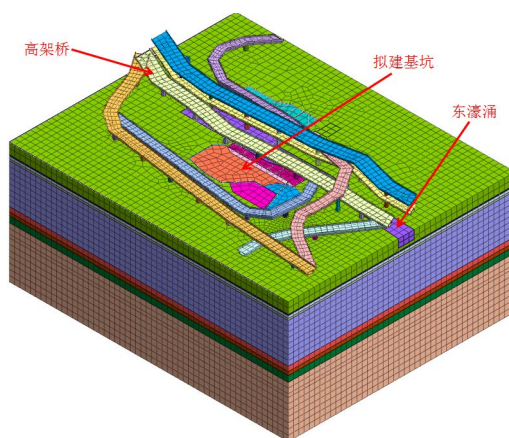


Figure 4. Overall three-dimensional finite element model

图 4. 整体三维有限元模型

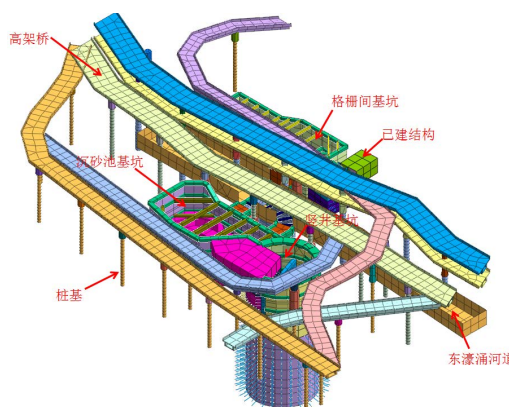


Figure 5. Three-dimensional finite element model of foundation pit

图 5. 基坑三维有限元模型

3.2. 计算结果与实测结果比较分析

基坑围护结构及高架桥桩基的竖向位移的计算值与实测值的比较如图 6、图 7 所示。

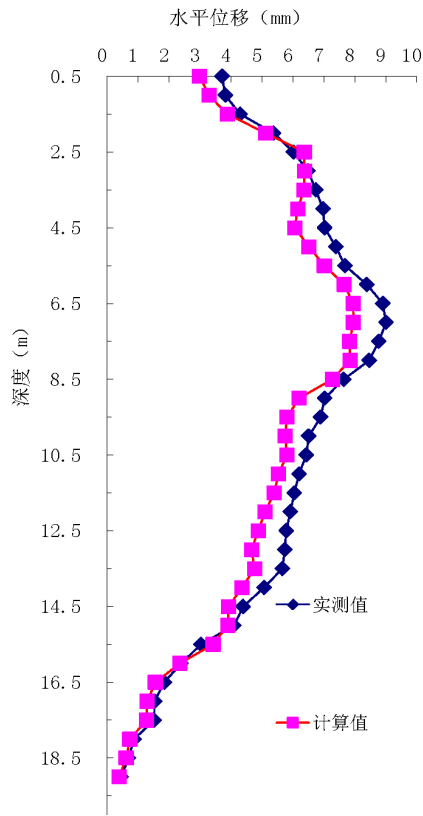


Figure 6. Lateral displacement of diaphragm wall
图 6. 围护结构水平位移变化图

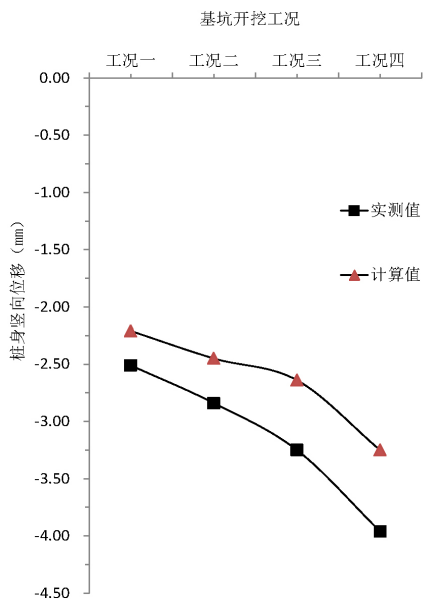


Figure 7. Vertical displacement of bridge pile
图 7. 桥桩竖向位移变化图

根据本项目的监测数据和三维模拟数值的对比图可知,随着基坑群分步开挖至基坑底,基坑支护结构的侧移和坑底土体的隆起导致已建高架桥桩基础出现了侧移和沉降。围护结构的水平位移监测最大值为 9.01 mm,数值模拟最大值为 7.95 mm;高架桥桩基的沉降监测最大值为 3.96 mm,数值模拟最大值为 3.25 mm,最大位移出现在杂填土与强风化岩层的交界面。可见实际监测变形与基坑开挖三维模拟结果基本吻合。数值模拟得出桩身最大轴力位于直径 1.6 m 的桩基,为 7996.54 kN,根据地层信息得出该桩基的单桩竖向极限承载力特征值为 8158.9 kN。根据相关规范要求,东濠涌高架桥桩基在基坑群开挖过程满足安全运营要求。

4. 不同影响因素有限元模拟分析

为进一步研究不同影响因素下基坑开挖对高架桥桩基的影响,以上述模型为基础,选取最不利的条件,从高架桥桩基直径大小、桩基和基坑间距远近等不同因素对桩基的位移和附加弯矩的影响。

4.1. 不同桩基与基坑间距的影响分析

基坑开挖引起的周边土体侧向变形随着距离基坑的远近而变化,导致距离基坑不同距离的桩基的影响也随着间距的变化而变化。根据本次项目情况,分别取桩基与基坑边线间距为 1.3 m、5 m、15 m、25 m、50 m 等五种情况进行模拟分析,高架桥的桩身位移和弯矩变化见图 8、图 9。

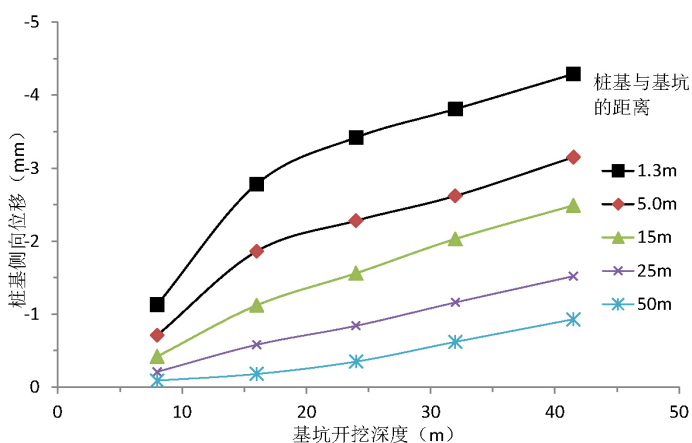


Figure 8. Lateral displacement of piles at different distances from foundation pit
图 8. 基坑与桩基不同距离时桩身位移变化图

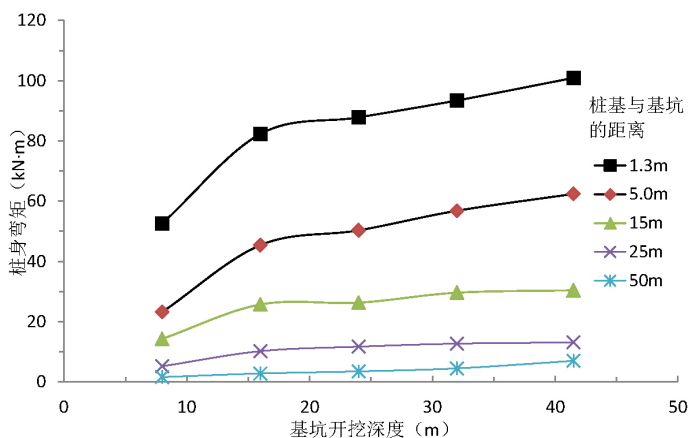


Figure 9. Bending moment of piles at different distances from foundation pit
图 9. 基坑与桩基不同距离时桩身弯矩变化图

如图 8、图 9 所示, 随着基坑边线与桩基的距离增大, 桩身侧向位移和弯矩有明显减少的趋势。计算表明, 由于本项目的地质情况较好, 微风化岩面较浅, 当基坑开挖至微风化岩面 10 m 以下, 桩身侧向位移和弯矩随着开挖深度的增加趋向平稳增加; 当桩基与基坑边线的距离超过 1 倍基坑深度(基坑深度为 41.5 m)时, 桩身侧向位移和弯矩的变化急剧减少, 基坑开挖对高架桩基影响甚小。

4.2. 不同桩基大小的影响分析

由于临近基坑的高架桩的桩身弯矩和位移与桩身的直径和横截面积有关。根据本次项目情况, 分别取桩基直径为 1.0 m、1.2 m、1.6 m 等三种情况进行模拟分析, 高架桥的桩身位移变化见图 10、图 11。

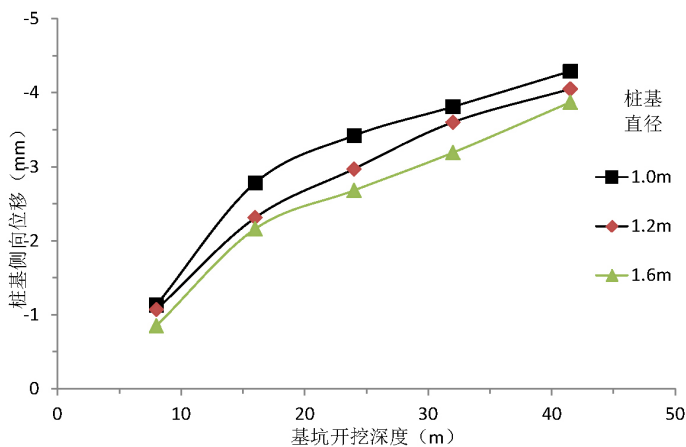


Figure 10. Lateral displacement of piles at different pile diameter

图 10. 不同桩基直径时桩身位移变化图

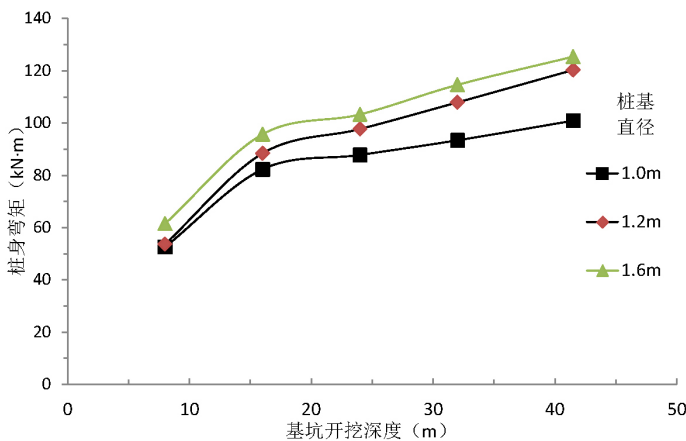


Figure 11. Bending moment of piles at different pile diameter

图 11. 不同桩基直径时桩身弯矩变化图

由桩身侧移和弯矩图看出, 随着桩基的直径减小, 桩身侧向位移逐渐增大, 但桩身弯矩却逐渐减小, 表现为柔性桩的性状, 随着桩基的直径增大, 桩身侧向位移逐渐减少, 但桩身弯矩却逐渐增大, 表现为刚性桩的性状, 计算表明, 桩身侧向位移减小幅度并不是很明显, 但桩身弯矩变化较大。

5. 结论

通过上述对东濠涌竖井基坑工程对周边高架桥桩基的数值模拟与实际监测数据对比分析可得到以下

结论:

1) 随基坑开挖深度的增加, 邻近高架桥桩基的附加弯矩和水平位移逐渐增加。但当基坑开挖至微风化岩层以下, 桩基的附加弯矩和水平位移的增长速度明显变缓。

2) 邻近高架桥桩基的弯矩和水平位移随着基坑与桩基的距离的增大而减少, 但当周边地质较好时, 基坑与桩基的距离超过 1 倍基坑深度时, 基坑开挖对邻近桩基的影响甚小, 施工可不考虑。

3) 高架桥桩基的直径变化对自身水平位移的影响微弱, 但对附加弯矩影响显著, 表现为随着直径增大, 桩基水平位移减小, 附加弯矩增大。

4) 基坑开挖引起土体侧移, 导致桩基产生负摩阻力, 因此邻近桩基的基坑支护设计需考虑负摩阻力对桩基的影响, 防止桩基承载力不满足情况发生, 必要时可对桩基周边土体进行加固处理。且基坑施工时需编制严密的施工组织方案和质量保证措施, 确保基坑施工的顺利进行和对桥梁结构的影响最小。

参考文献

- [1] 郑刚, 颜志雄, 雷华阳, 雷扬. 基坑开挖对邻近桩基影响的实测及有限元数值模拟分析[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(5): 638-643.
- [2] 陈福全, 王金卫, 刘毓毓. 基坑开挖时邻近桩基性状的数值分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(7): 1971-1976.
- [3] 王翠, 闰榭旺. 深基坑开挖对邻近桥桩的影响机制及控制措施研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010(S1): 2994-3000.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org