

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2020.03.007

软黏土地基中振动挤土桩施工对周围建筑物影响的分析

方华建^{1,2}, 蒋军³, 胡琦^{1,2}

(1. 浙江浙峰工程咨询有限公司, 浙江 杭州 310019; 2. 东通岩土科技股份有限公司, 浙江 杭州 310019;
3. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 通过对深厚软黏土地基中振动沉管砂石桩的施工监测, 分析了振动响应随桩打入深度及土层的变化规律, 探讨了周围土体深层水平位移及建构物沉降随打桩量和打桩距离的关系。结果表明, 在深厚软黏土地基中进行振动挤土桩的施工, 振动效应不可忽略。打桩点距离周围建构物 1~2 倍桩长时, 振动效应大于挤土效应; 距离 1 倍桩长范围内时, 挤土效应起主要作用。

关键词: 振动效应; 挤土效应; 动荷载

中图分类号: TU74

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)03-0217-05

Influence of vibratory dense-squeezing pile construction on surrounding buildings

FANG Hua-jian^{1,2}, JIANG Jun³, HU Qi^{1,2}

(1. Zhejiang Zhefeng Engineering Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310019, China;

2. Dongtong Geotechnical Technology Co., Ltd., Hangzhou 310019, China;

3. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Through the construction monitoring of vibrating sunken tube sandstone pile in deep soft clay foundation, the vibration response varies with driving depth was analyzed. The relationships between deep horizontal displacement of surrounding soil and pile driving amount, pile driving distance were discussed. The results show that the vibration effect cannot be neglected in vibrating construction of dense-squeezing piles in deep soft clay foundation. When the pile driving point is 1 to 2 times the length of the surrounding buildings (structures), the vibration effect is larger than the squeezing effect. However, the squeezing effect plays a major role when the distance is 1 times of the pile length.

Key words: vibration effect; compaction effect; dynamic loading

0 前 言

环境振动问题(轨道交通、爆破、打桩施工等)得到了广泛的关注和研究。研究表明,打桩产生的地面振动会对近距离的建、构筑物造成不同程度的损害,对地下管线的正常使用造成影响,对人们的正常工作和生活造成干扰,还会使邻近建筑物地基或路基产生不均匀下沉^[1-6]。Lacy等^[7]在研究多个实测打桩诱发砂基沉降资料的基础上,介绍了几个用来计算地面沉降的方法,把地面振动的峰值质点速度2.5 mm/sec作为易损场地上可能发生显著沉降的门槛值,并强调指出了在打桩过程中计算松砂沉

降时出现的一些问题。Clough等^[8]用加速度来估算地面和基础沉降。杨先健^[9]建议采用地基质点速度与地基剪切波速之比来控制软土地区地面振动沉降。从70年代起,国内外很多学者采用圆孔扩张理论^[10-11]、应变路径法^[12]、有限元法^[13]等方法计算挤土效应引起的应力、孔压及土体位移。谢新宇等^[14]在施工现场对静压桩的挤土效应进行了监测。徐建平^[15]通过静力压入单桩和双桩的模型试验,获得了沉桩过程中土体位移在水平和深度方向的变化规律。在深厚软黏土地基中振动沉管砂石桩的施工有较强的挤土效应和振动效应。目前,对于深厚软黏土地基中振动挤土施工对周围环境影响的研究

收稿日期: 2020-05-29

作者简介: 方华建(1985—),男,浙江淳安人,硕士,工程师,主要从事岩土工程软基方向地基处理及基坑工程设计研究工作。E-mail: akuang@live.cn.

多集中于挤土效应,对振动效应的研究相对较少,且主要集中于研究打桩振动产生的近场波动衰减规律和隔振理论研究^[16-17]。对于软黏土地基,打桩振动会使土体强度减少,产生额外变形,并加剧挤土影响,对邻近的建筑物带来不良影响。有时打桩振动对一定范围内的结构物或保存价值较高的历史、文化建筑,或精密仪器设备等的影响甚至会比缓慢的挤土作用更大。

本文结合深厚软黏土地基中振动沉管砂石桩的施工监测,分析地基中打桩振动的响应及对周围建筑物的影响。

1 工程概况及地质条件

宁波某钢铁公司主厂区拟建自备电厂、一次料场。一次料场长约 600 m,宽约 150 m,后期堆料最大荷载可达 33 t/m²。场地为深厚软黏土,土层分布及主要土性指标见图 1。地基处理采用直径 800 mm、桩长 20 m、桩间距 1.4 m 的振动沉管砂石桩,以梅花形布置。

拟建工程周围已有较多建、构筑物,特别是离打桩区边界约 7 m 有煤气管道支架,支架上有直径分别为 3 m、1.6 m、1.6 m 的 3 根煤气管道,离地面约 11 m,基础为直径 800 mm,长 49 m 的钻孔灌注桩,具体见图 1~图 2。

振动沉管砂石桩的施工是通过桩机压力和振动,把套管振动打入 20 m 深的软弱地基中,从投料口灌入砂石,然后边振动边拔出套管。对于本工程,由于场地条件限制,离煤气管道较远区先进行桩的施工,后期再施工煤气管道附近的桩,此部分的打桩顺序为背着煤气管道方向。为保护周围建筑物,在打桩过程中进行了施工监测,测点布置见图 2。

2 监测结果及分析

2.1 打桩振动影响范围分析

监测是从打桩位置离煤气管道 50 m 左右开始的,每日打桩量和打桩区与测点的间距见图 3。

图 4 是实测 1 根振动沉管砂石桩套管振动打入过程中距桩 1 m 处地面垂直向振动加速度幅值与套管入土深度的关系。

从图 4 可以看出振动幅值的大小与套管入土深度和土层的软硬程度有关。当管端进入较硬土层时,地面的振动加速度明显变大。从施工现场看,在打桩开始与结束阶段振动强烈,地表水像沸腾了一样,而在③号土层振动相对较小。

表 1 为 3 组实测到的最大竖向加速度 a_{max} 与监测点离打桩点距离 r 的关系,打桩机振动锤 DZ90KS 工作转速 1 050 rpm,功率 90 kW。

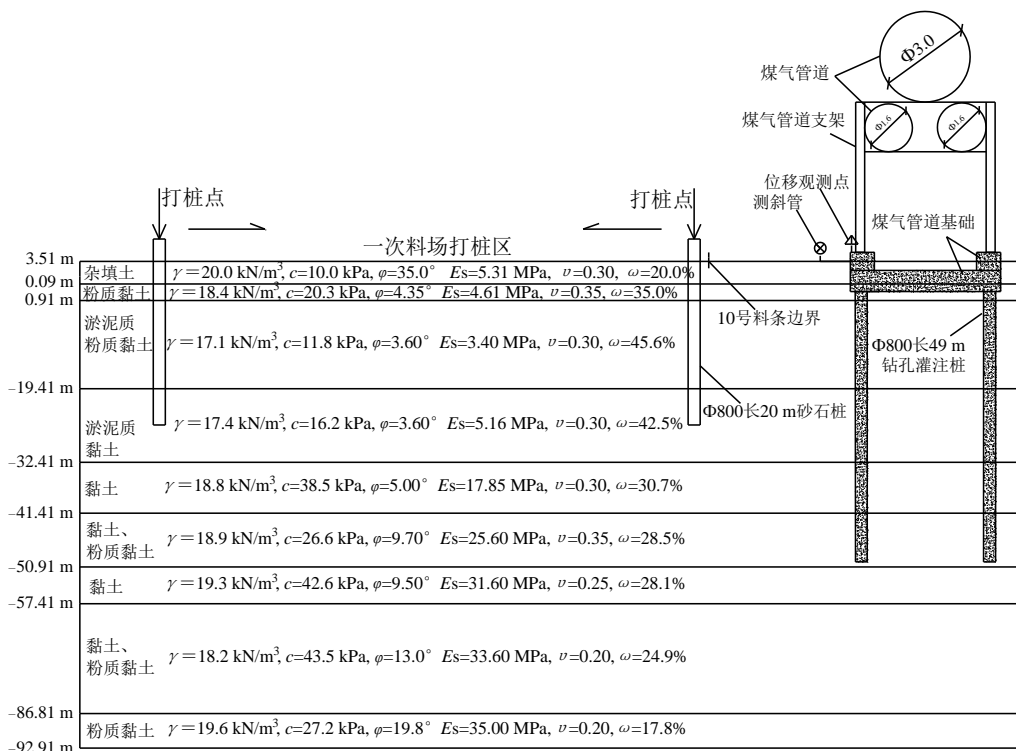


图 1 典型地层剖面图

Fig. 1 Typical geological profile

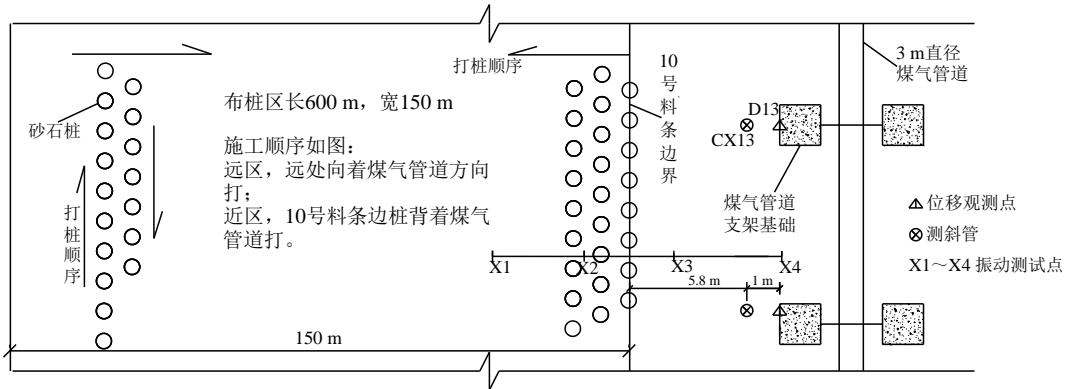


图2 监测点布置图

Fig. 2 Layout plan of monitoring points

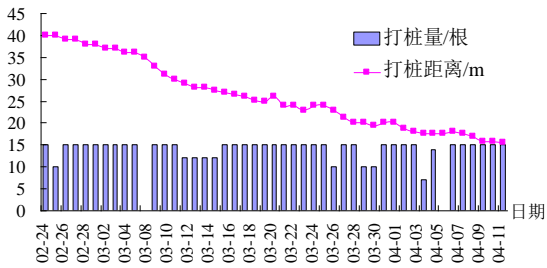


图3 日打桩量与打桩距离

Fig. 3 Daily pile driving amount and pile driving distance

表1 距离(m)与竖向加速度(m/s²)的关系
Tab. 1 Relationship between distance (m) and vertical acceleration (m/s²)

测点	组1 (r, a)	组2 (r, a)	组3 (r, a)
X1	1.0, 550	1.0, 350	1.0, 500
X2	7.8, 70	11.0, 45	4.8, 120
X3	9.4, 60	19.5, 8	17.1, 20

振动衰减拟合曲线可采用国家标准 GB 50040-96 《动力机械基础设计规范》^[18]中推荐使用的公式,

$$A_r = A_0 \left[\frac{r_0}{r} \zeta + \sqrt{\frac{r_0}{r}} (1 - \zeta) \right] e^{-\alpha_a f_0 (r - r_0)} \quad (1)$$

式中 A_r 为距离波源 r 处的振幅; A_0 为波源处的振幅; f_0 为波源振动频率; ζ 为与波源半径有关的几何衰减系数; α_a 为土的衰减系数。该式综合考虑了体波和面波的振动能量,并考虑了波源面积和频率对于地面振动衰减的影响。

图5为打桩振动地面监测点竖向加速度随打桩点距离变化的曲线。其中“组1”、“组2”、“组3”的点分别为表1中所列的施工现场实测数据;曲线“拟合”为利用上式计算得到的拟合曲线,计算参数取 $r_0=1.0$ m, $\alpha_a=1.1 \times 10^{-3}$ s/m, $\zeta=0.3$, $A_0=600$ m/s²。从图5可知(1)式能较好地计算由打桩造成的地面振动的衰减。

根据杨学山^[19]的研究,当沉桩振动引起的地面

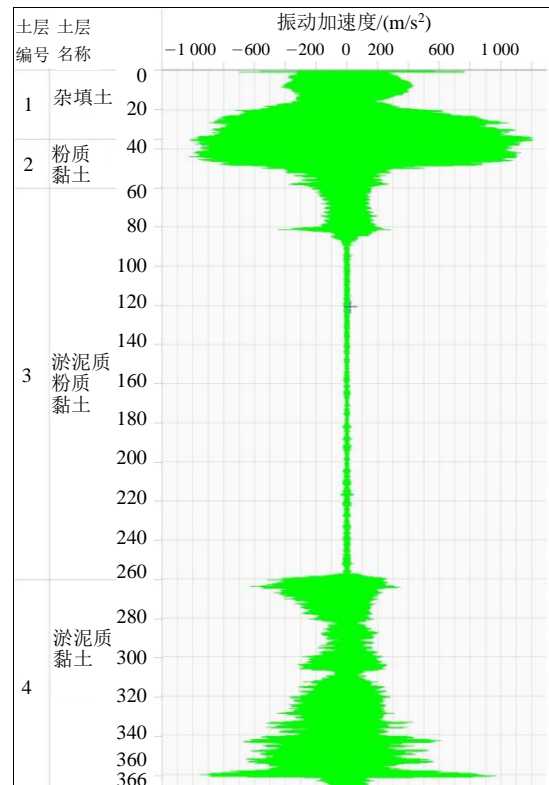


图4 垂直向振动加速度幅值与桩入土深度关系曲线

Fig. 4 Relationship between vertical vibration acceleration amplitude and penetration length

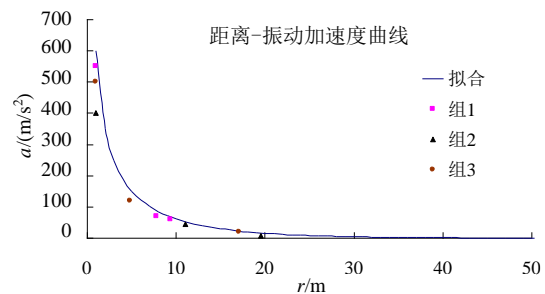


图5 垂直向振动加速度随着打桩距离变化的曲线

Fig. 5 Curve of vertical vibration acceleration varies with pile driving distance

振动加速度小于 0.1 g 时,不致引起正常建筑物损坏和岸坡失稳等,因此本工程可将地面振动加速度

0.1 g 作为临界点,由图 5 可知单桩施工的振动影响范围为 43 m。

挤土桩施工影响范围可参考《软土市政地下工程施工技术手册》^[20]:

$$\Delta = \sqrt{\rho^2 + F/\pi} - \rho, \Delta_H = K_1 K_2 K_3 \Delta,$$

$$\Delta_v = K_1 K_2 K_3' \Delta \quad (2)$$

式中 ρ 为计算点与桩中心的距离; F 为桩的截面积; Δ_H 、 Δ_v 分别为计算点的水平位移和隆起量; K_1 为挤土系数,上海地区可取 $K_1=0.70\sim 0.95$; K_2 为挤土分配系数, $K_2=0.50\sim 0.80$; K_3 为水平向位移分配系数,约等于 $3/5\sim 2/3$; K_3' 为竖向位移分配系数,等于 $(1-K_3)$ 。

图 6 为根据式 (2) 计算得到的离打桩点不同距离处的竖向位移曲线。计算参数为:桩径 800 mm,间距 1.4 m,桩长 20 m。估算桩周挤土影响值,由于振动沉管砂石桩为排土桩,宁波地区地质情况和上海类似,按最不利考虑取 $K_1=0.95$, $K_2=0.80$, $K_3=2/3$ 。

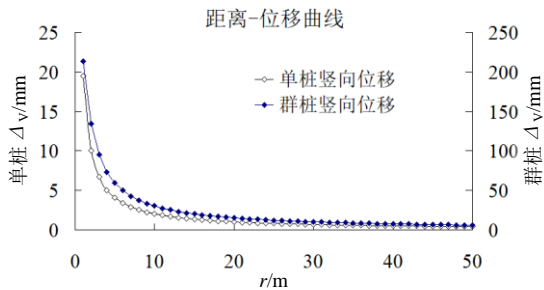


图 6 竖向位移随着打桩距离变化的曲线

Fig. 6 Curve of vertical displacement varies with pile driving distance

根据夏川^[21]的研究,土体的隆起不超过 1 cm,从工程上来说,一般不会对结构物造成危害,因此将隆起 1 cm 做为临界点,根据计算分析单桩施工的挤土影响范围为不大于 3 m,按日最大沉桩量 15 根计算,群桩的影响范围为 30 m。

比较振动效应与挤土效应可知,振动对地基土的影响半径 43 m 要比挤土效应影响半径 30 m 大。

2.2 深层土体水平位移与煤气管道支架基础竖向位移

打桩过程中煤气管道支架基础前深层土体水平位移和支架基础竖向位移随时间的变化,如图 7、图 8 所示。

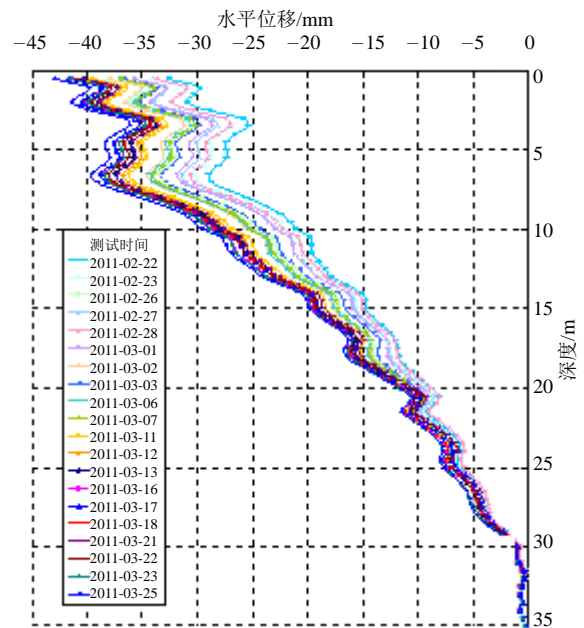


图 7 CX13 号测斜管水平位移与时间、深度的关系

Fig. 7 Relationship between horizontal displacement and depth in different time (CX13 inclinometer)

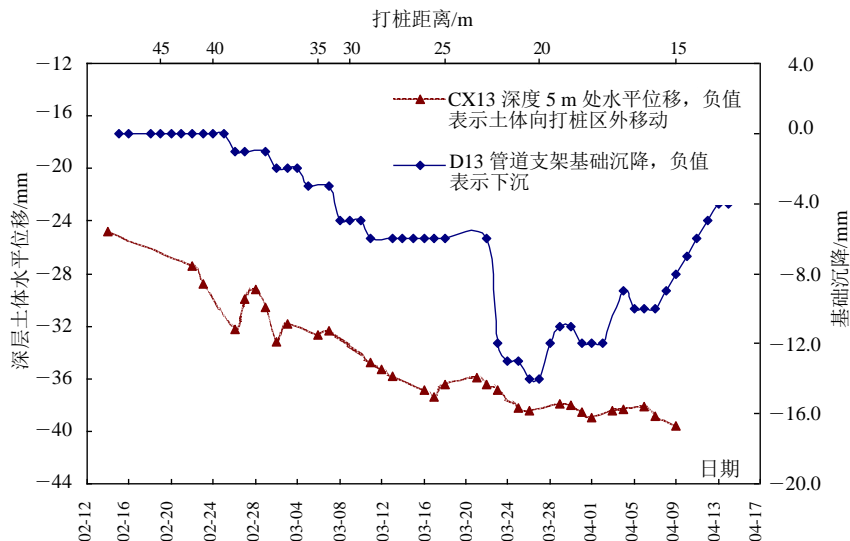


图 8 监测点沉降、深层土体水平位移与打桩距离的关系

Fig. 8 Relationship between settlement of monitoring points, horizontal displacement of deep soil and pile driving distance

其中图7为CX13号测斜管深层土体水平位移随时间和深度的变化曲线;图8中曲线“D13”为煤气管道支架基础上地表位移监测点D13号点的竖向位移,曲线“CX13深度5m处水平位移”为图7中CX13号测斜管5m深处水平位移随时间的曲线。

从图7、图8可以看出,振动沉管砂石桩施工过程中,深层土体水平位移随着打桩总量的增加、打桩距离的缩小而不断增大。

由图8可知,在打桩距离大于40m(2月24日)前,煤气管道支架基础几乎没有竖向位移,结合图5可知,因此时打桩振动引起的地面振动加速度小于0.1g,振动对构筑物的影响可以忽略。

在打桩距离20~40m的范围内时,管道支架有一定沉降,打桩距离23m(3月23日)时日沉降最大,有6mm。分析其原因,可能是由于:(1)土体抗剪强度下降;(2)煤气管道支架上部结构荷载由静荷载变成动荷载。

打桩距离小于20m(3月27日)后,下沉总量减少。可以认为,由于挤土效应超过了振动效应,从而使下沉量减少。

3 结 论

为探讨打桩的振动效应对建、构筑物位移的影响,整理和分析了现场实测数据,可作如下初步结论:

在大范围场地内打振动沉管砂石桩对建、构筑物位移的影响可分三个不同的阶段:无影响阶段,打桩离建、构筑物距离大于2倍桩长;振动效应影响阶段,打桩离建、构筑物距离1~2倍桩长;挤土效应影响阶段,打桩离建、构筑物距离小于1倍桩长。

对于打桩振动效应造成的土体位移的特殊性,除了与距离有关外,还与本身基础强度、工程地质条件、振动强度等有关。由于问题的复杂性,无法提出一个统一的数值,需要更加系统的从理论研究着手,根据工程实际区别对待,结合工程实践和模型试验研究,综合考虑振动效应和挤土效应。

参考文献

[1] 方华建,蒋军. 打桩振动对周围建筑物位移影响研究[J]. 低温建筑技术, 2012, 34(5): 100-102.

[2] 徐建. 建筑振动工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

[3] 姚道平, 张艺峰, 卓群, 等. 利用测试法综合评判打桩振动对建筑物的影响[J]. 华南地震, 2008, 28(3): 80-87.

[4] 姚道平, 张艺峰, 谢志招, 等. 打桩振动对建筑物影响评价方法探讨[J]. 世界地震工程, 2008, 24(4): 142-147.

[5] 韩寿兵. 桩施工时振动对邻近建筑物的影响的预防措施[J]. 建筑工人, 2008(10): 22-23.

[6] 王永良. 桩基施工对周围环境的影响[J]. 西部探矿工程, 2004(3): 65-67.

[7] Lacy H S, Gould J P. Settlement from pile driving in sands[C]//Proc Symposium on Vibration Problems in Geotechnical Engineering. Detroit, 1985.

[8] Clough G W, Chameau J. Measured effects of vibratory sheetpile driving[J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 1980, 106(10): 1081-1099.

[9] 杨先健. 工业环境振动中的土动力学问题[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(2): 82-87.

[10] Butterfield R, Banerjee P K. Application of electro-osmosis to soils[J]. Civil Engineering Research Report, 1968(2): 709-715.

[11] 胡中雄, 侯学渊. 饱和软土中打桩的挤土效应[C]//第五届土力学及基础工程学术会议论文集. 厦门, 1988.

[12] Baligh M M. Strain path method[J]. J. Geotech. Engrg. 1985, 111(9): 1108-1136.

[13] 朱泓, 殷宗泽. 打桩效应的有限元分析[J]. 河海大学学报, 1996, 24(1): 56-61.

[14] 谢新宇, 朱向荣. 静压桩的挤土效应及现场监测[J]. 浙江大学学报, 1997(S3): 243-267.

[15] 徐建平, 周健, 许朝阳, 等. 沉桩挤土效应的模型试验研究[J]. 岩土力学, 2000, 21(3): 235-238.

[16] 陈云敏, 凌道盛, 周承涛. 打桩振动近场波动的数值分析和实测比较[J]. 振动工程学报, 2002, 15(2): 178-184.

[17] 徐智刚, 陈龙, 王福喜. U型板桩振动施工动力响应特性现场试验研究[J]. 水利建设与管理, 2018(1): 34-40.

[18] GB 50040-96 动力机器基础设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1997.

[19] 杨学山. 工程振动测量仪器和测试技术[M]. 北京: 中国计量出版社, 2001.

[20] 刘建航, 侯学渊. 软土市政地下工程施工技术手册[Z]. 上海: 上海市市政工程管理局, 1990.

[21] 夏川. 软土地区打桩引起周围土体及结构物位移的预估与实测[J]. 上海市市政工程, 1999(1): 23-29.