

马昱. 软土地区拔桩施工对既有桩基变形性状影响的研究[J]. 华南地震, 2023, 43(1): 37-45. [MA Yu. Study on the Influence of Pile Pulling Construction on the Deformation Behavior of Existing Pile Foundation in a Soft Clay Area[J]. South China journal of seismology, 2023, 43(1): 37-45]

软土地区拔桩施工对既有桩基变形性状影响的研究

马昱

(上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海 200082)

摘要: 拔桩施工过程中会对周围既有桩基产生一定影响。为了估计套管法拔桩对周围既有桩基变形性状的影响, 通过结合现场实测数据, 使用有限元软件ABAQUS对施工过程进行数值模拟, 分析了拔桩施工时既有桩基沉降与水平位移的变化情况。结果表明: 套管开始压入、套管拔出与回填过程中, 既有桩水平位移和沉降分别沿桩身不断减少和逐渐增加, 最大值分别为2.4 mm和4.6 mm; 套管压入或拔出回填过程中, 既有桩基的水平位移均约为沉降的1/10; 拔桩施工时既有桩基桩身轴力随着深度不断减少; 拔桩结束后土的工程性质(尤其是压缩模量)发生较大改变, 折减系数可取0.4~0.9。此成果可为拔桩施工提供一定的参考。

关键词: 拔桩施工; 既有桩基; 沉降; 有限元数值模拟

中图分类号: TU753

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2023)01-0037-09

DOI: 10.13512/j.hndz.2023.01.05

Study on the Influence of Pile Pulling Construction on the Deformation Behavior of Existing Pile Foundation in a Soft Clay Area

MA Yu

(Shanghai Road and Bridge(Group)Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: The pile pulling construction will have certain influence on the surrounding existing pile foundation around. In this study, in order to estimate the influence of the casing pile pulling method on the deformation behavior of existing pile foundation, the finite element software ABAQUS is used to simulate the construction process during the pile pulling construction by combining with the field measured data, and the variation of the settlement and horizontal displacement of the existing pile foundation during the pile pulling construction are analyzed. The results show that during the process of casing pressing, casing pulling and backfilling, the horizontal displacement and settlement of the existing pile decreases and increases along the pile body, respectively with the maximum value of 2.6 mm and 4.6 mm; the horizontal displacement of the existing pile foundation is about 1/10 of the settlement, during the process of casing pressing or pulling out; during the pile pulling construction, the axial pile force of the existing pile foundation decreases with the depth; after the pile

收稿日期: 2022-05-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(51678352)

作者简介: 马昱(1988-), 男, 工程师, 主要从事公路桥梁的施工及管理工作。

E-mail: 236457886@qq.com

pulling, the engineering properties (especially the compressive modulus) of the soils change greatly, and the reduction coefficients can be 0.4–0.9. The results presented herein may provide some references for the pile pulling construction.

Keywords: Pile construction; Existing pile foundation; Settlement; Finite element numerical simulation

0 引言

桩基是一种历史悠久的基础形式。随着社会的不断进步,桩基已从19世纪初美国的H型钢桩逐渐发展到20世纪70年代的钢管桩。桩基础不仅在民用建筑、工业建筑和道路桥梁应用广泛,在海洋平台及港口码头应用率也极高。在目前大规模的改造项目中,往往需要拔除既有桩基。套管法拔桩对周围环境影响较小,得到较多的工程应用。

软土地区拔桩施工对既有建构筑物沉降影响已经取得了一些研究成果。结合实际工程,张中杰等^[1]采用全回转清障机对预制混凝土直桩和斜桩进行拔桩施工,发现施工时邻近防汛墙的最大沉降值为6 mm;韩泽亮^[2]采用振管法、配合喷水射气管对钻孔灌注桩进行清障施工时,邻近距离为1 m处防汛导流钢管的沉降达到30 mm;冷金荣等^[3]使用全回转套管机对钻孔灌注桩进行清障施工时发现,邻近合流污水管接缝处最大沉降达到5.7 cm;魏国文等^[4]采用全回转套筒钻机进行拔桩施工与实测数据分析,认为施工过程中需要合理安排清障工作来减小对邻近构筑物的影响。在理论研究和数值分析中,符羽佳等^[5]分析了砂土中齿桩的抗拔承载特性;Kong等^[6]使用数字图像处理技术研究了倾斜拉拔荷载下桩土相互作用引起的土体变形;Shin等^[7]通过研究粘土中刚性金属桩的抗拔承载力特性,分析了模型桩极限抗拔承载力与桩身横截面面积、土的粘聚力等因素之间的关系;刘文白等^[8]用颗粒流软件PFC^{2D}和细观试验模拟了拔桩过程,得到了桩的上拔承载力确定方法;贺嘉等^[9]运用数值分析软件ABAQUS建立了大直径桩的有限元模型,得到大直径桩承载力-变形关系的一些规律。

目前,拔桩对既有桩基影响也有一些研究。比如,宋辉等^[10]使用有限元方法分析了套管法拔桩施工对邻近既有大直径污水管的影响;丁红岩等^[11]运用有限元分析研究了钻井船拔桩对筒基平台稳定性的影响;曹玉忠等^[12]结合上海地铁6号线研究

了套管法拔桩施工对邻近箱涵的影响。但总的来说,拔桩对既有桩基影响的研究还不多。本文研究对象中,套管法拔桩对周围桩基影响存在于压入和拔出套管的整个过程,拔桩可能对同一承台下的其它桩体产生较大影响。因此,本文以拟利用有限元软件ABAQUS,研究套管法拔桩全过程对既有桩基变形性状的影响,并将模拟结果与实测结果进行对比分析,以期得到对工程施工具有一定参考价值的一些结果。

1 工程概况

如图1所示,本工程位于G1501高速公路与苏申内港线西段航道(吴淞江青浦段)交汇处。G1501高速公路桥按原址改建,道路中心线与原有桥梁设计中心线一致;安亭立交四条匝道结合主线同步改建,在红线范围内微调线形,满足相应设计标准。工程实施范围主线南起安鹤路附近,向北上跨吴淞江、经安亭立交区,止于绿地大道接现状G1501高架桥梁,主线道路全长约1573m;同步改造安亭立交A、B、C、D、Z等匝道,匝道总长约1770 m。

匝道施工过程中,与新建桥梁基础冲突的桩基需要拔除。匝道桩基为直径600 mm的PHC(预应力高强混凝土)管桩。本文以一承台为例,选取其中两根桩(1号桩、2号桩)进行分析。两根桩体桩长为50 m,间距为1 m。

2 套管法拔桩全过程对既有桩基扰动的分析

套管法拔桩施工由以下三个阶段组成:压入套管、拔出桩体、拔出套管并回填。拔桩过程如图2所示。套管法拔桩施工主要分为六个工况,具体步骤如下:

(1)在2号桩周围压入大直径(1200 mm)钢护筒(套管);

(2)使用高压水射流设备将护筒内泥土冲成泥浆;

- (3)将2号桩周围的泥浆抽出(能够有效地减小桩侧摩阻力);
- (4)使用起重设备将桩基拔出;
- (5)进行护筒回填;
- (6)拔出套管。

整个施工过程将会对周围既有桩基产生3次扰动,因而既有桩基最终位移及内力是3次扰动累加的结果:

第一次扰动:压入套管。土体受到套管向下的摩擦力,产生竖向和水平方向的位移,进而对与桩身净距仅为1 m的1号桩产生明显扰动。

第二次扰动:拔出桩体。桩体与套管之间的土体已经被高压水冲射并抽出,桩体与周围土体的摩擦几乎为0。因此,拔出桩体对于既有桩基的扰动不明显。

第三次扰动:拔出套管。土体受到套管向上的摩擦力以及回填材料在初期不能形成足够刚度,导致周围土体向回填区域移动,二者共同作用使既有桩基产生明显的扰动。

由于第二次扰动属于微扰动,对既有桩基影响不明显,故本文着重分析第一次套管压入及第三次套管拔出及回填过程。

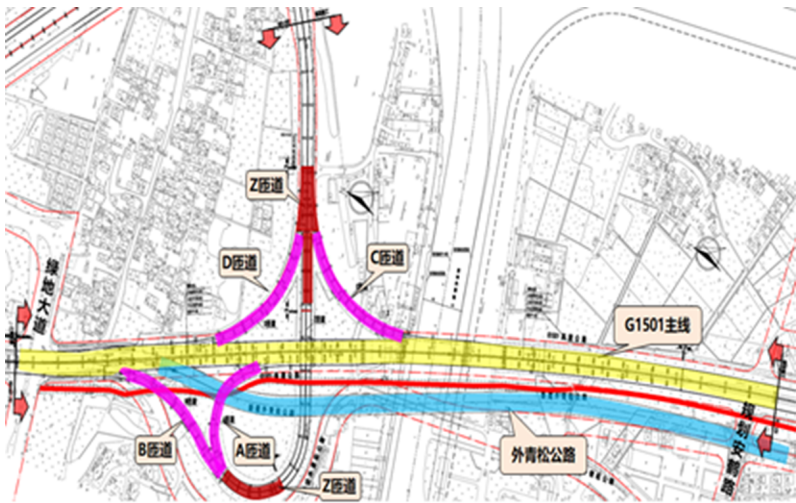


图1 G1501桥平面示意

Fig.1 Schematic plan of G1501 bridge

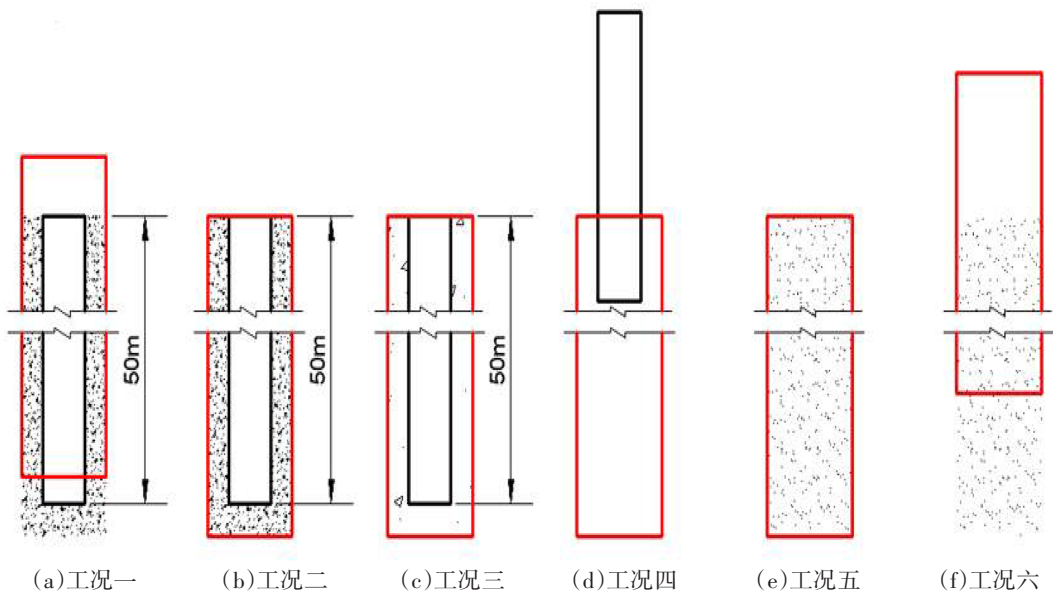


图2 拔桩施工的不同工况

Fig.2 Different working conditions during pile pulling construction

3 套管法拔桩过程的数值模型

3.1 模型尺寸及边界

模型边界结点施加 X 和 Y 方向的水平位移约束；模型底面结点施加 X 、 Y 、 Z 方向的固定约束。模型横向范围取为 20 倍桩径，模型深度取 1.2 倍桩径，故模型大小为 $X \times Y \times Z = 12\text{ m} \times 12\text{ m} \times 60\text{ m}$ 。模型网格划分时，各单元为八节点线性六面体完全积分单元，模型单元总数为 36 472 个。拔桩施工模型如图 3 所示，桩体模型如图 4 所示。

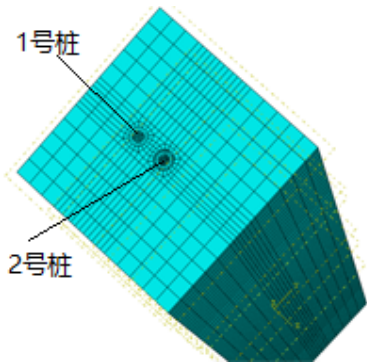


图3 三维拔桩模型
Fig.3 Three-dimensional model of pile pulling

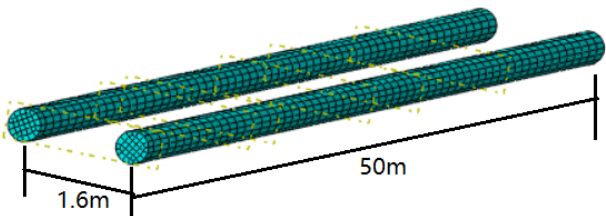


图4 桩体模型
Fig.4 Model of piles

3.2 模型材料参数

土的本构模型采用 Mohr-Coulomb 本构关系，各土层物理力学性质参数见表 1。
套管及桩采用线弹性模型，套管与土体之间的接触采用库伦摩擦模型。套管材料为钢，混凝土强度等级为 C30，套管及桩的材料性质参数见表 2。

4 套管法拔桩过程模拟结果的分析

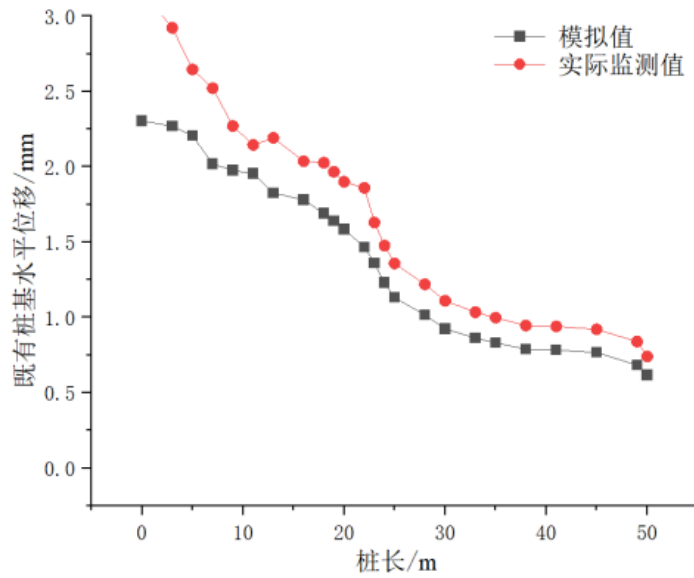
为研究套管法施工对既有桩基的影响，重点关注套管压入和拔出时 1 号桩的水平位移和沉降。

| 表 1 土的物理力学性质参数 Table 1 Physical and mechanical parameters of soil | | | | | | | |
|--|--------|-----------|--------------------------|-----------|----------|------------|------|
| 层号 | 厚度/(m) | 土层名称 | 密度/(g·cm ⁻³) | 粘聚力/(kPa) | 内摩擦角/(°) | 压缩模量/(MPa) | 泊松比 |
| ① ₁ | 0.6 | 素填土 | 2.0 | 8 | 15 | 21.20 | 0.33 |
| ② ₃ | 10.0 | 灰色粉性土 | 1.9 | 28 | 22 | 21.20 | 0.33 |
| ③ ₁ | 2.8 | 灰色淤泥质粉质粘土 | 1.8 | 8 | 28 | 26.30 | 0.31 |
| ③ ₃ | 10.4 | 灰色淤泥质粉质粘土 | 1.8 | 12 | 13 | 9.50 | 0.31 |
| ⑤ ₁ | 5.4 | 褐灰色粘性土 | 1.75 | 15 | 16 | 3.04 | 0.31 |
| ⑤ ₃ | 9.4 | 灰~褐灰色粘性土 | 1.85 | 25 | 16 | 4.50 | 0.32 |
| ⑧ ₁ | 11.4 | 灰色粉性土夹粉砂 | 1.78 | 28 | 28 | 8.82 | 0.32 |
| ⑧ ₂ | 10 | 灰色粉质粘土、粉砂 | 2.0 | 28 | 26 | 10.50 | 0.31 |

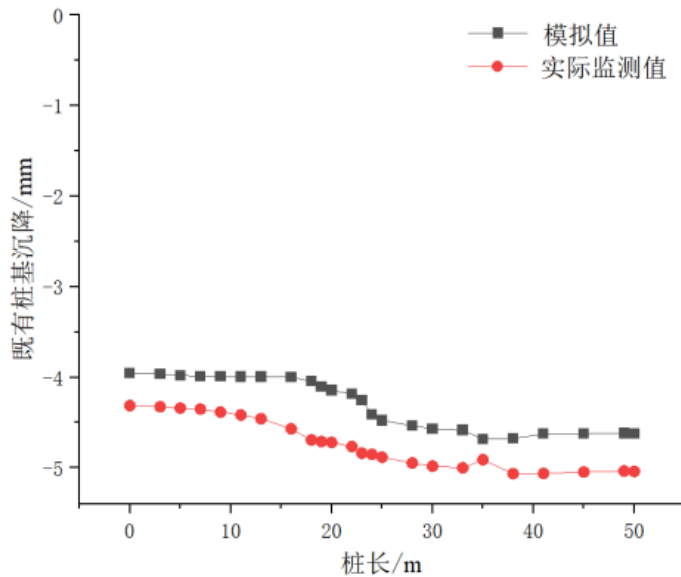
| 表 2 套管及桩体参数 Table 2 Parameters of casing and pile body | | | |
|---|------------|------|--------------------------|
| 材料 | 弹性模量/(MPa) | 泊松比 | 密度/(g·cm ⁻³) |
| 桩 | 30 000 | 0.20 | 2.5 |
| 钢套管 | 200 000 | 0.30 | 7.8 |

4.1 压入套管

为了体现压入过程、提高模拟准确性，模拟时将套管一次压入。套管压入时，既有桩水平位移及沉降的数值模拟结果与实际监测结果如图 5 所示。



(a)既有桩基的水平位移



(b)既有桩基的沉降

图5 套管压入时既有桩基位移的数值模拟及实测结果

Fig.5 Numerical simulation and measurement results of the existing pile foundation displacement during casing pressing

由图5(a)可以看出,套管完全压入后,既有桩明显朝着拔桩方向移动;桩的水平位移总体上沿着桩身逐渐减少,在靠近桩顶处达到最大、最大值为2.4 mm,桩底由于下部土体的约束、水平位移约为0.5 mm。

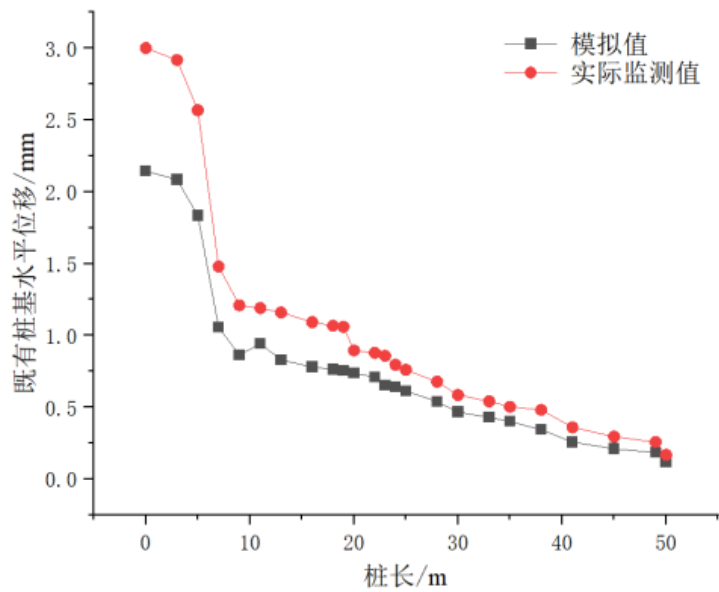
由图5(b)可以看出,桩的沉降沿着桩身先不断增大,最大沉降出现在桩端附近为4.6 mm,之后位移增加趋势逐渐减缓;在靠近桩端处沉降较大,这是由于桩端贯入变形使得桩身下部一定范围内土层中应力松弛,导致桩身下部侧摩阻力明显降低、沉降较大。

由图5(a)、(b)还可以看出,数值模拟结果与监测结果变化特征基本一致,验证了数值模型的可靠性;既有桩的沉降比水平位移大了10倍左右。

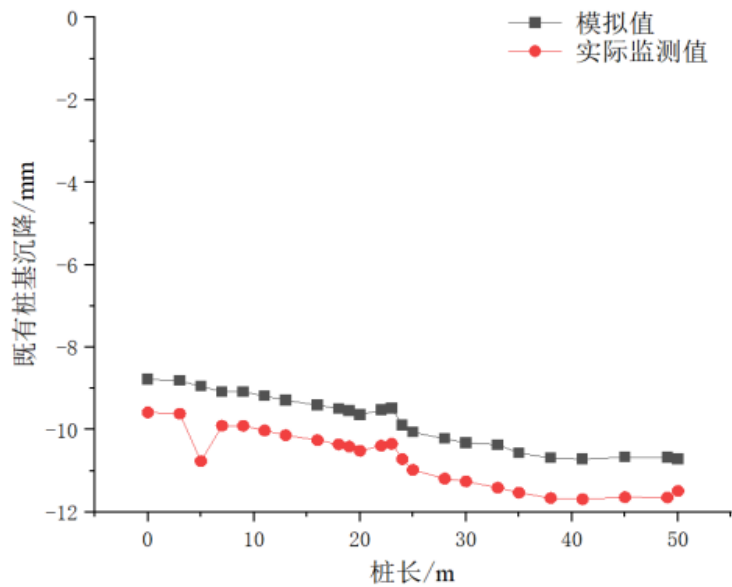
4.2 拔出套管

与套管压入过程类似,套管拔出及回填过程也是采用一次性完成方式;上拔距离为50 m;在上拔的同时,对管内空隙同步进行回填。

套管拔出时,既有桩水平位移及沉降的数值模拟结果与实际监测结果如图6所示。



(a)既有桩基的水平位移



(b)既有桩基的沉降

图6 套管拔出时既有桩基位移的数值模拟及实测结果

Fig.6 Numerical simulation and measurement results of the existing pile foundation displacement during casing pulling out

由图6(a)可以看出，套管拔出时，既有桩仍朝着拔桩方向移动；在套管完全拔出后，由于桩孔失去套管保护、回填材料尚未形成有效刚度，桩体的水平位移在桩顶达到最大、最大值为2.1mm，之后沿着桩身逐渐减小。

由图6(b)可以看出，套管拔出之后，桩体沉降沿深度先不断增加后趋于平缓、最大值约为10mm。

由图6还可以看出，数值模拟结果与监测结果基本保持同步变化，模拟值低于监测值；既有桩水平位移约为沉降的1/10。

4.3 PHC管桩轴力的变化特征

套管压入及拔除时PHC管桩桩身轴力的数值模拟结果如图7所示。

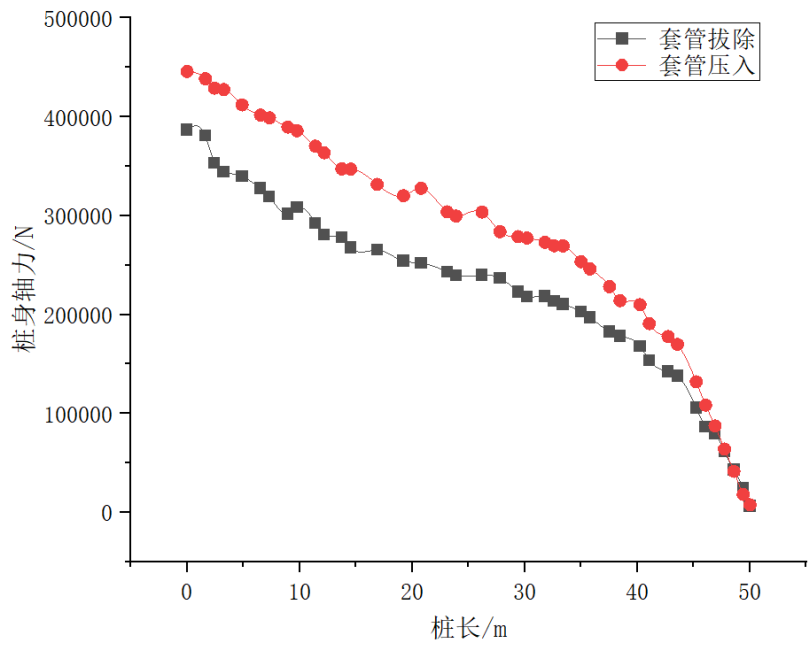


图7 PHC管桩轴力分布
Fig.7 Axial force distribution along PHC pipe pile

由图7可以看出,在拔桩施工过程中,PHC管桩桩顶荷载沿桩身逐渐向下传递;桩身相对于土产生向下的位移,土体对桩身施加向上的摩擦力、以阻止桩土相对位移,因而桩身轴力由桩顶至桩端逐渐减小;套管压入时的周围既有桩基轴力总体上大于套管拔除时的数值,这是因为套管压入对周围既有桩基产生扰动、削弱了桩基附近土摩

阻力的发挥、减少了桩身轴力。

4.4 拔桩后各土层参数的变化

拔桩施工完成后,废桩(2号桩)桩周土体强度削弱,影响了周围既有桩基(1号桩)侧摩阻力的发挥,降低了周围地基土的强度。拔桩施工完成后各土层压缩模量插拔桩前后对比如图8所示。

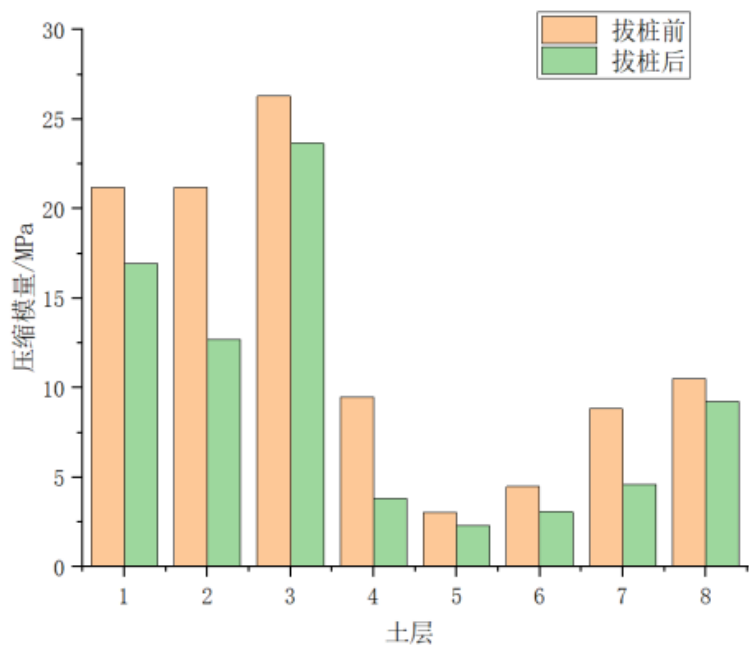


图8 拔桩后土的压缩模量变化
Fig.8 Variation of compressive modulus of soil after pile pulling

由图8可以看出,经历拔桩过程后,软粘土地区地基土压缩模量一般小于拔桩前的压缩模量,比值可取0.4~0.9。这是由于,拔桩后周边地基土产生塑性流动或滑动充填在桩坑内,拔桩施工使坑内土体产生扰动、强度降低。

地基土经历拔桩过程后桩穴内土的含水量一般小于桩穴外土的含水量^[16]。本文拔桩施工完成

后、未回填混凝土前各土层含水量如图9所示。

由图9可以看出,除第一层填土外,拔桩施工完成后第二层至第八层土桩穴内土的含水量均略高于拔桩前各土层的含水量。这是由于,本工程地基土主要以软弱粘性土为主,拔桩后周边软弱土的蠕变、塑性流动和滑动造成桩坑充填、使桩穴内含水量升高。

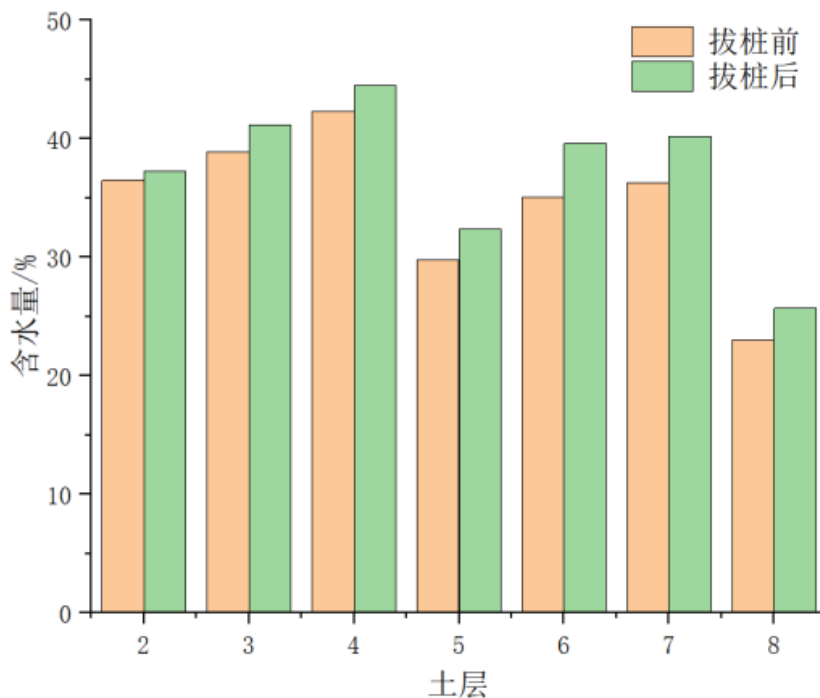


图9 拔桩后土的含水量变化

Fig.9 Variation of soil water content after pile pulling

5 结论

本文针对拔桩施工对既有桩基变形性状的影响,将拔桩过程分为压入套管、拔桩、拔出套管及回填3个步骤,采用实测数据和有限元数值模拟对拔桩过程中既有桩基的力学性状进行了分析,得到如下主要结论:

(1)套管压入过程中,随着压入深度的增加,既有桩体向拔出桩体方向产生水平位移、在桩顶处达到最大值2.6 mm、沿桩身逐渐减少,既有桩基沉降沿桩深先不断增大、后增大趋势减缓;

(2)套管拔出过程中,既有桩产生向拔出桩体方向的、逐渐增大的水平位移,既有桩基沉降沿桩身先逐渐增大、之后增大趋势不断减缓;

(3)在套管压入和拔出过程中,既有桩基水平位移均约为其沉降的1/10;

(4)套管压入或拔出时既有桩基桩身轴力由桩顶至桩端逐步减小,套管完全拔出后桩顶出现最大水平位移2.4 mm;

(5)拔桩施工改变了各土层的工程性质,土的压缩模量降低最为明显、折减系数为0.4~0.9,土的含水量均高于拔桩前的数值。

参考文献

- [1] 张中杰,汤翔,王福林,等. FCEC 全回转拔桩技术在越江隧道地下清障中的应用[J]. 地震工程学报,2015,37(S2): 197~200.
- [2] 韩泽亮. 钻孔灌注桩拔除工艺研究[J]. 岩土工程学报, 2010,32(S2):398~401.

- [3] 冷金荣,周涛,曹东. 360°全回转套管机在拔桩工程中的应用[J]. 山西建筑,2014(28):47-49.
- [4] 魏国文,涂传尚,周文青. 深层清障对邻近构筑物沉降的影响[J]. 工业建筑,2020,50(04):93-96.
- [5] 符羽佳,杜鹏,张仰福,等. 砂土中齿桩抗拔特性模型试验研究[J]. 长江科学院院报,2021,38(11):121-126.
- [6] Kong G Q, Gao Z H, Zhou H, et al. Analysis of piles under oblique pullout load using transparent-soil models [J]. Geotechnical testing journal, 2015,38(5):725-738.
- [7] Shin E C, Das B M, Puri V K, et al. Ultimate uplift capacity of model rigid metal piles in clay [J]. Geotechnical and Geological Engineering, 1993,11(3):203-215.
- [8] 刘文白,周健. 上拔荷载作用下桩的颗粒流数值模拟[J]. 岩土工程学报,2004,26(4):516-521.
- [9] 贺嘉,陈国兴. 基于 ABAQUS 软件的大直径桩承载力—变形分析[J]. 地下空间与工程学报,2007,3(2):306-310.
- [10] 宋辉,常莹,黄超,等. 套管法拔桩对既有大直径地下污水管的影响[J]. 上海大学学报(自然科学版),2011,17(3):320-324.
- [11] 丁红岩,刘建辉. 钻井船拔桩对筒基平台稳定性影响的敏感分析[J]. 岩土力学,2007,28(6):1205-1211.
- [12] 曹玉忠,刘建国,徐东. 套管法拔桩施工对邻近箱涵的影响分析[J]. 城市轨道交通研究,2007,10(8):75-76.
- [13] Khatri V N, Kumar J. Uplift capacity of axially loaded piles in clays [J]. International Journal of Geomechanics, 2010,11(1):23-28.
- [14] Deshmukh V B, Dewaikar D M, Choudhury D. Computations of uplift capacity of pile anchors in cohesionless soil [J]. Acta Geotechnica, 2010,5(2):87-94.
- [15] 曹兆虎,孔纲强,周航,等. 基于透明土材料的异形桩拔桩过程对比模型试验[J]. 铁道科学与工程学报,2014,11(3):71-76.
- [16] 徐永臣. 黄河废弃水下三角洲地基土对平台插拔桩的响应[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.