

预制桩基施工挤土效应对周边环境的影响分析

姜正凌¹, 徐进²

[1. 苏州高新水质净化有限公司, 江苏 苏州 215000; 2. 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 随着城市化进程不断推进,早期城市配套的污水处理厂普遍承担着超越其设计能力的处理规模,亟需进一步扩建。在扩建过程中不可避免地遇到新建构筑物施工对已建构筑物产生不利影响的问题,其中预制桩施工引起的挤土效应尤为明显。基于“圆孔扩张法”原理,采用ANSYS通用有限元软件计算分析某实际工程预制桩施工挤土效应对周边已建构筑物的影响。计算中创新性地考虑了桩周土体固结收缩的作用,为工程地基处理方案决策提供了数据支撑,同时可为今后类似工程提供定量分析预制桩施工挤土效应的计算方法。

关键词: 预制桩施工; 挤土效应; 有限元计算; ANSYS

中图分类号: TU7

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0241-04

Analysis on Squeezing of Prefabricated Pile Foundation Construction on Surrounding Environment

JIANG Zhengling¹, XU Jin²

[1. Suzhou High-tech Water Purification Co., Ltd., Suzhou 215000, China; 2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: With the sustained development of urbanization, the early urban wastewater treatment plants (WWTPs) generally bear the treatment scale beyond the design capacity, and need to be further expanded. In the expansion process, it is inevitable to encounter the problem that the construction of new structures will have adverse effects on the existing structures, in which the squeezing effect caused by the construction of prefabricated piles is extremely obvious. Based on the principle of "cylindrical cavity expansion method", the general finite element software ANSYS is used to calculate and analyze the squeezing effect of prefabricate pile construction on the surrounding rebuilt structures in a project. In the calculation, the effect of soil consolidation and shrinkage around pile is innovatively considered, which provides the data support for the decision making of the engineering foundation treatment scheme. At the same time, it can provide a quantitative calculation method to analyze the soil squeezing effect of prefabricated pile construction for similar projects in the future.

Keywords: construction of prefabricated pile; squeezing effect; finite element calculation; ANSYS

0 引言

随着城市化进程的不断推进,早期城市配套的污水处理厂普遍承担着超越其设计能力的处理规模,亟需进一步扩建。扩建工程厂址一般紧邻前期工程,故新老工程界面处不可避免地出现新建构筑物与已建构筑物距离较近的情况,新建构筑物预制桩施工可能会对已建构筑物产生不利影响。在以往的工程施工中,通常根据经验对工程状况进行定性

分析,粗略评估其影响大小,从而确定是否更换桩型(钻孔灌注桩)或者采取辅助措施,如桩基引孔、隔离沟等。其中,相对于预制桩,灌注桩存在承载力偏低、造价高、施工周期长、桩基质量控制难度大等劣势,同时对于地下水位较高的地区,泥浆处理也是难题之一,因此非必要不推荐采用灌注桩。但是,由于无法相对准确地判断预制桩施工挤土效应对周边环境的影响程度,因此最后采取的施工决策往往或偏于保守或过于激进,造成不必要的浪费或安全隐患。

在预制桩施工挤土效应研究领域,众多研究人员已进行了大量的研究,并形成了丰富的成果。

Carter等^[1]采用圆孔扩张理论成功模拟了预制桩挤土效应,成为众多学者后续研究的基础。鹿群等^[2]采用ANSYS软件,应用位移贯入法模拟预制桩

收稿日期: 2024-09-23

作者简介: 姜正凌(1972—),男,学士,高级工程师,从事污水处理厂项目建设工作。

通信作者: 徐进(1988—),男,硕士,工程师,从事给排水结构设计工作。电子信箱: xujin@smedi.com

连续贯入饱和成层土的全过程,得出软硬土交界处是桩体受力薄弱环节的结论。此外,唐世栋等^[3]、张明义等^[4]、凡明杰^[5]利用 ANSYS 软件模拟了预制桩打入土体时的应力、应变情况,并从不同角度分析了沉桩过程中的力学表现。郑俊杰等^[6]根据圆孔扩张理论,假定土体为理想弹塑体,编制了参变量有限元程序,用以分析预制桩沉桩过程中的挤土效应,并将理论解析解与 ANSYS 软件数值解进行对比,证明该方法是合理可行的,为预制桩施工挤土效应研究提供了一条新思路。刘俊伟等^[7]在单桩孔扩张的理论基础上,推导了群桩挤土的解析解,并进行了现场试验对比,取得了较好的吻合度。

从上述研究现状可知,目前预制桩打入土体的主流模拟做法为圆孔扩张法或竖向贯入法,两者均为施加强制位移法,这就要求计算模型必须均匀对称,不发生刚体位移。故大部分文献通常将一根桩作为研究对象,着重研究挤土作用的微观表现,虽然可以精细模拟桩打入过程中的剪切、挤压过程,但对于指导实际工程(通常为群桩施工)存在较大的差距。

1 计算原理简介

1.1 预制桩施工挤土效应的模拟方法和假定

本工程着重分析群桩施工挤土效应对周边环境的宏观影响,桩体附近的土体力学状态与实际状态的匹配程度(如桩土接触面状态)要求不高,重点要抓住挤土效应这个主要矛盾。本文参考圆孔扩张法,采用矩形扩张的方法模拟其挤土效应,假定方桩边长为 a ,贯入土中面积为 a^2 ,桩位处对应矩形单元原始边长为 b ,扩张后边长为 c ,使得 $c_2-b_2=a_2$,即可模拟长为 a 的方桩引起的挤土效应。

具体实施流程为:改变边长为 b 、深度同桩长的三维土体单元的材料属性,使其刚度远大于周围土体,可以取混凝土材料的刚度。采用升温法将单元从边长 b 扩大至 c ,满足 $c_2-b_2=a_2$,相应线应变为 $(b-c)/b$,假定改性后的土体材料线膨胀系数为 α ,则升温值即为 $(b-c)/(b\times\alpha)$ 。

模拟过程中有3个问题需要说明:一是模拟群桩挤土效应需要建立大尺寸模型,为保证计算效率,模型中“桩体材料”边长 b 的尺寸不完全对应实际桩边长 a 的尺寸;二是不采用强制位移而采用升温法的原因是前者无法模拟桩体整体位移的情况,尤其是在群桩施工的情况下;三是由于混凝土材料较土体

的刚度大,可以忽略土体挤压桩身产生的应变。

1.2 土体本构及结构单元选择

本文采用 ANSYS 中的 Drucker-Prager 本构模型来模拟土体,这是一种修正的 Mohr-Coulomb 模型。该模型主要通过黏聚力、内摩擦角及剪胀角控制其屈服准则。大量计算表明,在宏观桩基挤土效应的模拟计算中,进入塑性的土体主要集中在桩体周边很小的范围。大规模单元仍处于弹性状态,故土体弹性模型、泊松比对计算结果起着更大的影响。土体采用 solid45 三维实体单元模拟。

计算模型中还需要建立构筑物桩基基础作为观察对象,筏板采用 shell63 三维板壳单元模拟,桩基采用 beam44 三维梁单元模拟。

2 预制桩施工挤土效应对周边环境影响有限元计算

2.1 背景工程简介

以苏州地区某污水处理厂扩建工程为例进行说明,工程相关描述如下:

已建生物池平面尺寸 63.4 m×50.1 m,长短边各设一道伸缩缝,池高 7 m,基底埋深约 3 m,采用 $\phi 377$ 沉管灌注桩地基处理,桩长 8 m。

新建生物池平面尺寸 102 m×62.75 m,长边设两道伸缩缝,池高 7.7 m,基底埋深约 3 m,采用边长 0.4 m 预应力实心方桩地基处理,桩长 21 m。新老池体相距约 21.5 m。

计算模型选取新老生物池局部区域进行分析,具体详见图 1。

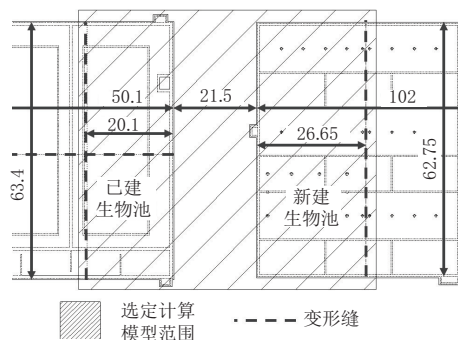


图1 工程平面总图(单位:m)

工程所处位置的土层参数见表1。

2.2 预制桩挤土效应有限元计算模型及分析过程

以上述工程为依托建立有限元模型,土层模型见图2,已建生物池桩基基础及新建生物池桩基模型见图3。其中,桩体对应位置的土体单元平面尺寸为 1.5 m×1.5 m,边长为桩基实际尺寸的 3.75 倍,升温将

表 1 地勘土体参数表

编号	层位	土层名称	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
1	② ₁	黏土	19.6	28.1	14.1
2	② ₂	黏土	20.0	60.3	15.2
3	③	粉质黏土	19.4	26.2	15.2
4	⑤ ₁	粉质黏土夹粉土	19.0	20.7	16.3
5	⑤ ₂	粉质黏土	19.2	25.0	15.0
6	⑥ ₂	黏土	19.2	35.0	15.2

其边长增加至 1.552 4 m,即可等效 0.4 m 边长预制桩入土的体积增量。这种做法对于桩基周边土体的挤土效应是不准确的,但对于距离较远处的影响,其差异微乎其微。

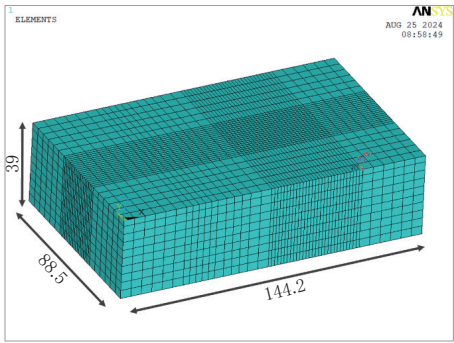


图 2 有限元整体模型(单位:m)

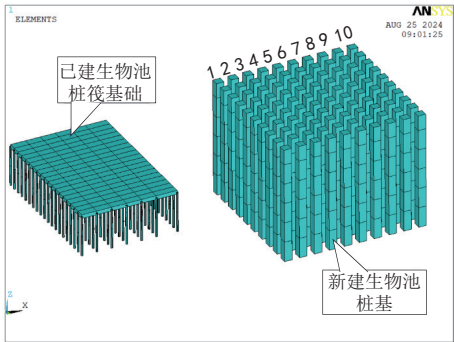


图 3 结构单元模型

常规桩基施工顺序为由池中部向两端实施,对应于图 3 中 10→1 的顺序,考虑到对已建生物池的保护,根据施工经验,桩基施工顺序优化为图 3 中 1→10 的顺序。按两种桩基施工顺序分别进行计算,分析施工顺序优化后的影响。

以优化后桩基施工顺序为例,简要说明计算步骤。首先,进行自重计算;第二步利用修改第“1”排桩位置处的土体单元弹性模量,赋予其线膨胀系数,并施加温度荷载,进行第“1”排桩挤土效应计算。以此类推依次进行剩余 9 排桩的计算。

实际工程中,软土中预制桩施工会引起桩周土体孔隙水压的增高,由于排水条件较差,短期内土体产生较大变形,随着时间推移,土体中超孔隙水压力逐渐消散,土体发生固结变形。为模拟这种情况,计

算中引入土体收缩作用。由于这种固结变形很难准确估计其量值及时间,因此本工程暂定为桩体积的 50%,且在本排桩基施工后第“3~5”排桩施工时均匀发生,如第“1”排桩桩周土在第“4~6”排桩施工期间产生固结收缩。

与桩基打入类似,固结收缩计算模拟方法为对 1.5 m×1.5 m 桩体单元进行降温处理。

2.3 预制桩挤土效应有限元计算结果分析

已建生物池桩筏板基础水平、隆起变形随各打桩时间步变化(见图 4、图 5)。

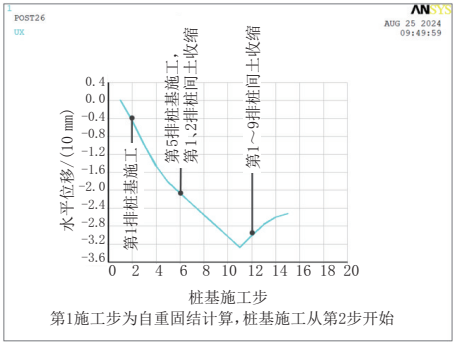


图 4 已建生物池筏板水平位移(10 mm)随桩基施工步变化

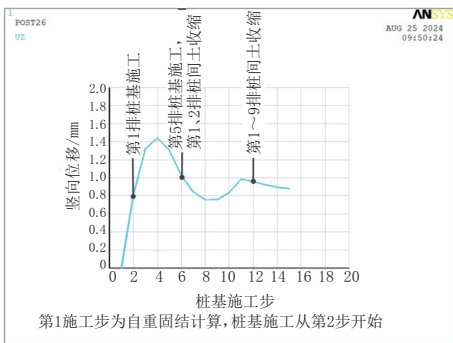


图 5 已建生物池筏板竖向位移(mm)随桩基施工步变化

从图 4 可以得知,1~3 排桩基施工时,已建筏板水平位移呈现线性增长,随着桩间土固结收缩的开始,水平位移增速开始放缓,直至桩基施工完成时达到最大位移值 32.6 mm,之后桩间土固结收缩继续,最终水平位移值稳定在 25.1 mm。图 5 反映的已建筏板竖向位移(隆起)规律较为复杂,1~3 排桩基施工时,筏板隆起呈现增速逐渐减小的非线性增长,此外,不同于筏板各位置水平位移的一致性,隆起呈现出“前高后低”的形态(见图 6),使得图 5 中的曲线产生一定的波折。桩基施工过程中最大的隆起量为 1.48 mm,最终稳定在 0.88 mm。

通过计算分析,预制桩施工引起的现状筏板隆起量较小,可以忽略其不利影响。预制桩施工引起的现状筏板水平位移较大,由于是结构整体位移(包括桩基),因此对结构受力影响较小,但对与池体连

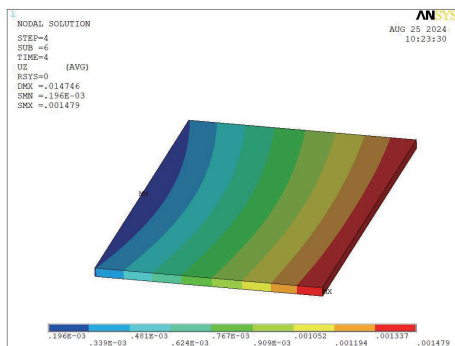


图6 桩基施工步4筏板隆起分布(单位:m)

接的管道接口有一定影响。考虑到该接口采用伸缩接口,理论上可以承受该变形量,实际施工时仍应控制打桩速度,监测现状池体及管道接口位移,使预制桩施工期间挤土效应控制在安全范围内。

通过调整打桩顺序(由远及近),计算后可得,筏板最大水平位移为38.8 mm,最大隆起量为2.16 mm,分别增加了19%及46%,可见优化后的“由近及远”的桩基施工顺序可一定程度上减小预制桩施工对现状构筑物的不利影响。

2.4 不足与工作展望

上文对苏州地区某污水厂扩建工程预制桩施工挤土效应进行了相对准确的模拟计算分析,并对工程决策给出了建设性意见,但仍有两点不足需要改进:

(1)受大尺寸模型划分限制(包括网格划分手段及计算机算力),桩体对应的单元尺寸大于实际尺寸,使得桩体本身及周边土体的实际受力状态并不准确,难以做到准确评价后桩施工对已完成桩基的影响。后续工作将优化网格划分,实现对桩体尺寸的准确模拟。

(2)桩周土的固结收缩参数缺少理论支撑。目

前仅根据施工经验进行假定,需要做进一步专项研究分析。

3 结 语

(1)本文借鉴经典的圆孔扩张法,将其扩展为矩形“桩体”单元膨胀,从而模拟预制方桩(群桩)施工挤土效应,同时根据施工经验,将桩周土固结收缩引入计算。

(2)本文利用ANSYS 10.0通用有限元软件,从宏观角度定量评价某工程预制桩群桩施工挤土效应对已建构筑物的影响程度,为工程的桩型选择及施工方案提供合理建议。

(3)本文分析了现阶段计算方法的两点不足,即微观上对桩体及桩周土计算分析不够准确、桩周土固结收缩参数缺少理论支持。针对不足对下一步工作进行了展望。

参考文献:

- [1] CARTER J P, RANDOLPH M F, WROTH C P. Stress and pore pressure changes in clay during and after the expansion of a cylindrical cavity[J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 1979, 3(4):305-322.
- [2] 鹿群, 龚晓南, 崔武文, 等. 饱和成层地基中静压单桩挤土效应的有限元模拟[J]. 岩土力学, 2008, 29(11): 3017-3020.
- [3] 唐世栋, 李阳. 基于ANSYS软件模拟桩的挤入过程[J]. 岩土力学, 2006, 27(6): 973-976.
- [4] 张明义, 邓安福, 干腾君. 静力压桩数值模拟的位移贯入法[J]. 岩土力学, 2003, 24(1): 113-117.
- [5] 凡明杰. 考虑挤土效应的管桩复合地基数值模拟方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2008.
- [6] 郑俊杰, 邢泰高, 赵本. 沉桩挤土效应的参变量有限元分析[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(7): 796-799.
- [7] 刘俊伟, 尚文昌. 群桩压入挤土效应的解析计算及试验对比[J]. 中国科技论文在线, 2014(11): 1316-1319.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadfloodbridge@163.com

