

基于CEL的螺旋桩安装扰动模型

赵星婕, 谢立全

同济大学, 土木工程学院, 上海

收稿日期: 2022年2月23日; 录用日期: 2022年3月15日; 发布日期: 2022年3月22日

摘要

螺旋桩的安装过程非常复杂, 安装过程需要克服桩身旋入土体过程中的摩擦阻力和端阻力, 还需要克服桩身和螺旋叶片产生的抵抗扭矩。同时, 在实际施工过程中, 旋入过程不可避免地会对周围土体造成扰动。为了更好模拟螺旋桩旋入的全过程, 以便研究贯入过程中的安装扭矩的变化, 本文采用大变形来进行模拟。同时主要研究了螺旋桩安装速度对螺旋桩安装扭矩和土体扰动的影响。

关键词

螺旋桩, 安装扭矩, CEL

Disturbance Model of Spiral Pile Installation Based on CEL

Xingjie Zhao, Liquan Xie

School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai

Received: Feb. 23rd, 2022; accepted: Mar. 15th, 2022; published: Mar. 22nd, 2022

Abstract

The installation process of spiral pile is very complex. The installation process needs to overcome the friction resistance and end resistance in the process of pile body rotating into soil, as well as the resistance torque produced by pile body and spiral blade. At the same time, in the actual construction process, the screw in process will inevitably cause disturbance to the surrounding soil. In order to better simulate the whole process of screw pile penetration and study the change of installation torque in the process of penetration, large deformation is used for simulation in this paper. At the same time, the influence of screw pile installation speed on screw pile installation torque and soil disturbance is mainly studied.

Keywords

Screw Pile, Installation Torque, CEL

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

螺旋桩要通过机械方式在桩上端施加扭矩, 从而旋入在土层中。桩在旋入过程中引起桩侧周围土体应力场剧烈变化, 造成桩侧土体颗粒破碎等复杂变化, 这些因素会极大地影响打入桩的竖向承载力, 以及安装扭矩。有许多因素会影响螺旋桩的安装扭矩, 比如螺旋桩的外形参数、安装速度、安装深度等等, 又如土壤参数的变化同样也会影响螺旋桩安装扭矩。此外, 研究表明螺旋桩的安装方式及其对土壤状态的影响也是螺旋桩设计的重要部分[1] [2] [3]。

王健[4]选取了适用于粘性土的螺旋桩安装扭矩理论公式和螺旋桩承载力计算公式, 给出扭矩系数, 根据试验结果对公式进行验证, 并简化了螺旋桩的扭矩系数公式; 同时, Clemence S P 提出土层条件及桩型的规格和尺寸不一样, K 的取值也就不一样。

目前的文献大多研究螺旋桩承载特性, 很少关注安装过程中可能出现的土体扰动问题, 而安装模式, 比如安装速度, 必然会对承载力有重要影响。螺旋桩的安装扭矩和承载力之间的关系也有待进一步的补充数据支撑, 建立明确的关系。为此, 本文主要研究了安装速度对于安装扭矩的影响, 以及对于土体扰动的影

2. 模型建立

根据叶片式螺旋桩抗压承载机理, 桩径、叶片宽度、叶片个数和叶片间距等对其极限抗压承载力都有影响(如图 1), 螺旋桩的结构参数主要包括桩体埋深 L 、桩体直径 d 、螺旋板叶片外径 D 、螺旋板叶片螺距 s 、叶片宽度为 $(D - d)/2$ 。下面应用商业岩土软件 ABAQUS, 模拟螺旋桩在不同桩型参数下的荷载 - 沉降曲线, 分析极限抗压承载力, 进而优化桩型参数。

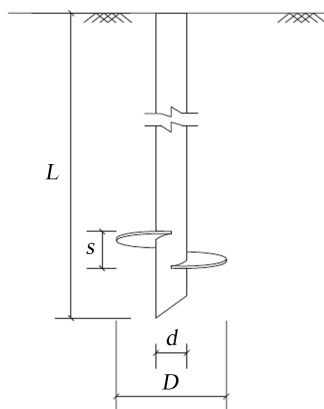


Figure 1 Schematic diagram of screw pile parameters

图 1. 螺旋桩参数示意图

基于通用有限元软件 ABAQUS 建立桩 - 土相互作用的计算模型, 桩体直径 114 mm, 叶片直径 294 mm, 螺距 100 mm, 计算土体范围(即正方形边长)为桩径的 10 倍。土体深度是桩长的 2 倍以上。下面简述模型建立与计算过程:

1) 模型单元划分情况

土体网格采用 C3D8R, 螺旋桩网格采用 C3D10M。

2) 材料属性

土体本构模型采用莫尔 - 库仑模型, 杨氏模量为 50 Mpa, 泊松比为 0.4; 通过前期对螺旋桩模型进行多次试算, 得到合适的螺旋桩弹性模量为 20 Gpa, 泊松比为 0.2。桩土接触的切向摩擦系数定为 0.3。

3) CEL

在 load 里的预应力场里, 进行欧拉域的分别赋予, 上下层不同, 且上空下实, 具体操作为: 在 initial 分析步里, 选择 other-material assignment, 进行材料的分配。

3. 安装速度对扰动范围的影响

近期的研究逐渐注意到了螺旋桩安装速度对整个安装过程的影响, 而该因素在之前的研究中往往都被忽略了。为了分析研究安装速度对于螺旋桩安装过程的影响, 从而给预测各种安装速度下单叶片螺旋桩安装扭矩提供参考, 本节同样选择标准螺旋桩, 在螺旋桩向下旋入 1 m 距离内, 在 load 加载阶段, 分别改变 ur3 参数, 来改变螺旋桩的旋转的圈数, 借此来表征安装速度。固定位移下, 旋转的圈数越大, 则安装速度越大。

分别选择旋转 2 圈, 3 圈的情况进行模拟, 旋转 2 圈, 3 圈的螺旋桩的平均扭矩分别为 10.3、11.5 kN·m, 再通过后处理得到全过程的安装扭矩值, 如下图 2 所示。

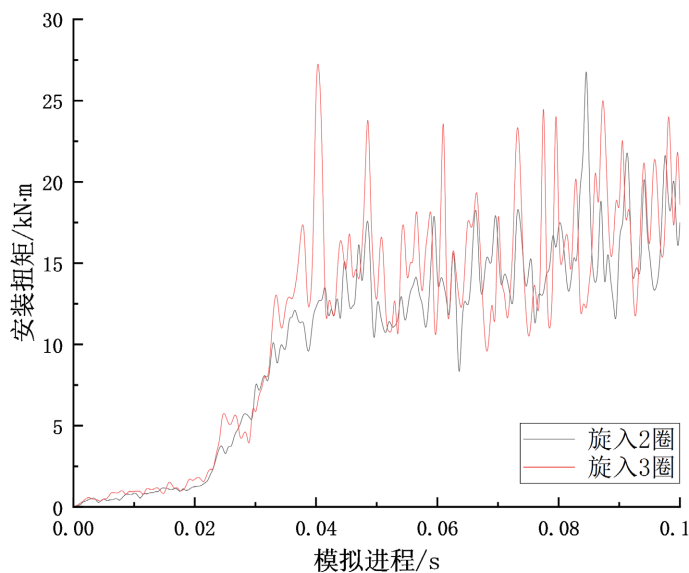


Figure 2. Installation torque at different turns
图 2. 不同圈数下的安装扭矩

由上图中, 发现不同旋转圈数对于螺旋桩的安装过程影响较大, 圈数越大, 转的越快, 螺旋桩安装过程中所需要的安装扭矩值就越大, 且数据的波动情况也越显著, 图中曲线突然的拐点是由于螺旋桩不停旋转过程中, 螺旋叶片对周围土体的扰动造成的, 转速越大, 则会更早开始影响土体的扰动。

在可视化中的视图切面管理器中勾选上 *evf*, 可以清晰看到旋转不同圈数下的土体塑性变化以及土体受扰动范围, 如下图 3、图 4 所示。通过对比可知, 安装速度越快时, 土体受扰动范围明显变大, 从桩身向四周扩展, 并且塑性应变也普遍增大, 说明转速增大会让桩周土体扰动更剧烈, 可能破坏土体结构, 造成了压缩性能、孔隙体积等土体性质发生变化, 从而会影响桩周土体的强度, 后续可能会影响到螺旋桩承载力。同时, 注意到土体扰动最为剧烈的区域都分布在螺旋叶片的下部附近, 旋转 2 圈时累计最大塑性应变为 $1.893\sim 2.082 \times 10^2$ kN, 旋转 3 圈时累计最大塑性应变增大至 $2.677\sim 2.944 \times 10^2$ kN, 说明不对称性较为突出, 右边土体压缩变形更明显。

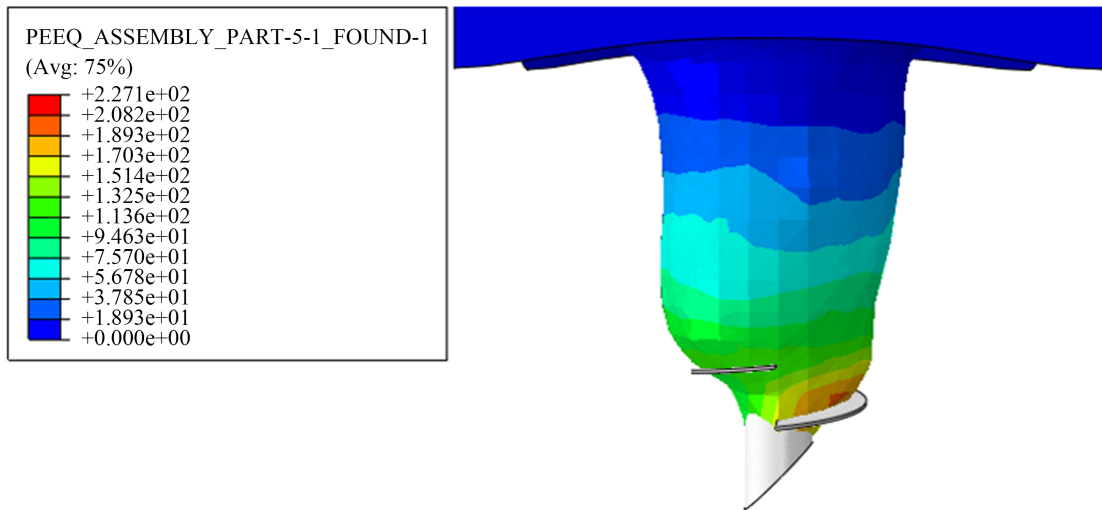


Figure 3. Schematic diagram of soil disturbance under 2 rotations

图 3. 旋转 2 圈下的土体扰动示意图

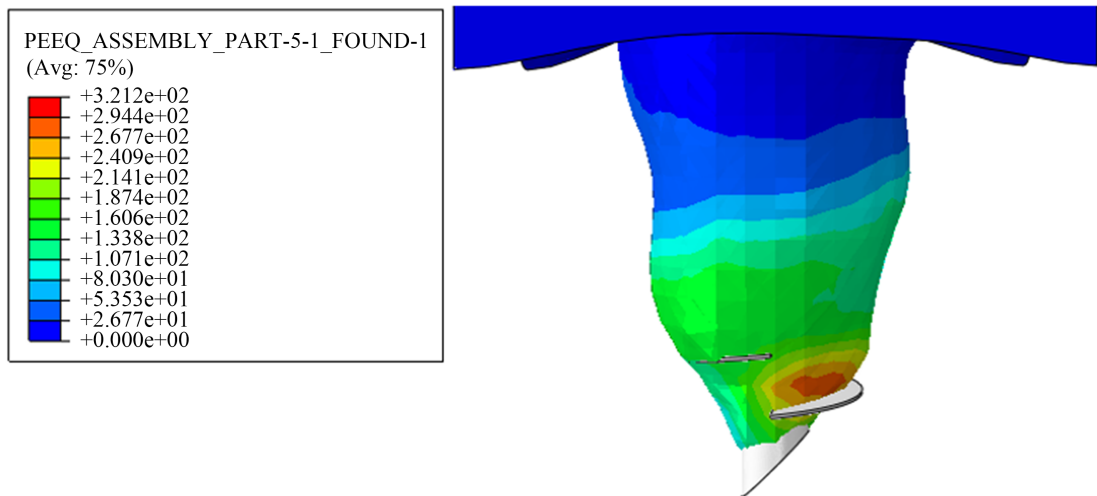


Figure 4. Schematic diagram of soil disturbance under 3 rotations

图 4. 旋转 3 圈下的土体扰动示意图

在可视化中的视图切面管理器中勾选上 *evf-void*, 得到的旋转 2 圈和旋转 3 圈的土体表面变形情况对比图, 如图 5 所示。在图中, 很明显看出螺旋桩旋转 3 圈时, 表面土体隆起变形更多, 且不对称性更凸显, 验证了右边的土体压缩变形更多。

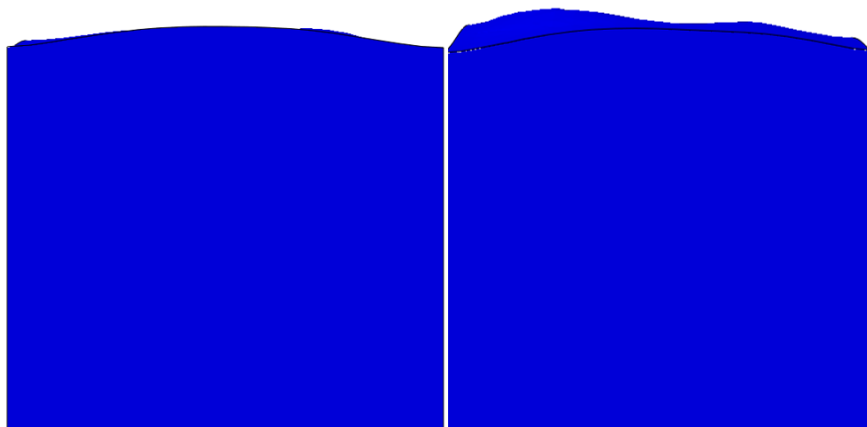


Figure 5. Deformation of soil surface (rotate 2 circles on the left and 3 circles on the right)
图 5. 土体表面变形情况(左图旋转 2 圈, 右图旋转 3 圈)

螺旋桩在沉桩过程中, 由于螺旋桩自身的体积占用了土体原有的空间, 使桩周的土体向四周排开, 就会产生挤土效应, 挤土效应会引起周围地基和建筑物破坏。如果螺旋桩施工方法与施工顺序不当, 每天成桩数量太多或者压桩速率太快就会加剧挤土效应。所以, 在施工时, 如果要采用扭矩系数法来预测抗压承载力, 应该考虑安装速度的影响。在 ABAQUS 中固定 z-x 视角, 分别选择旋转 2 圈和 3 圈的情况进行对比, 以便观察打桩后的土体扰动区间。并且为更好地研究安装速度对土体扰动的影响, 通过画网格的方式来量化土体扰动区域面积, 计算原则为: 占一个网格一半以上的面积即为占一格, 以此来计算表示土体受扰动面积。得到累计塑性应变云图如图 6、图 7 所示。

PEEQ 反映了整个变形过程中, 塑性应变的积累结果, PEEQ 均大于 0 说明土体材料发生屈服。旋转 2 圈下的土体扰动示意图中的整体土体扰动区域面积为 140 个网格。在扰动范围内, 存在一个扰动最剧烈的区域, 出现在螺旋叶片的下部, 面积约为 9 个网格数。

旋转 3 圈下的土体扰动示意图中, 土体扰动范围明显扩大, 整体土体扰动区域面积为 152 个网格。在扰动范围内, 同样存在一个扰动最剧烈的区域, 区域大小变化不明显, 且依旧集中在螺旋叶片的下部。

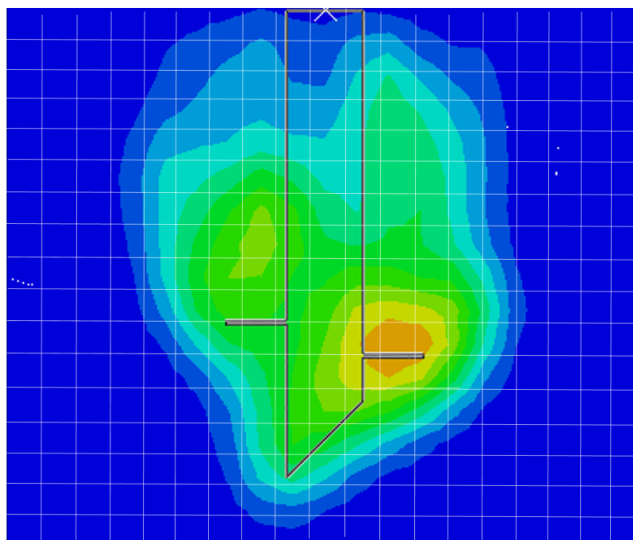


Figure 6. Soil disturbance area under 2 rotations
图 6. 旋转 2 圈下的土体扰动区域

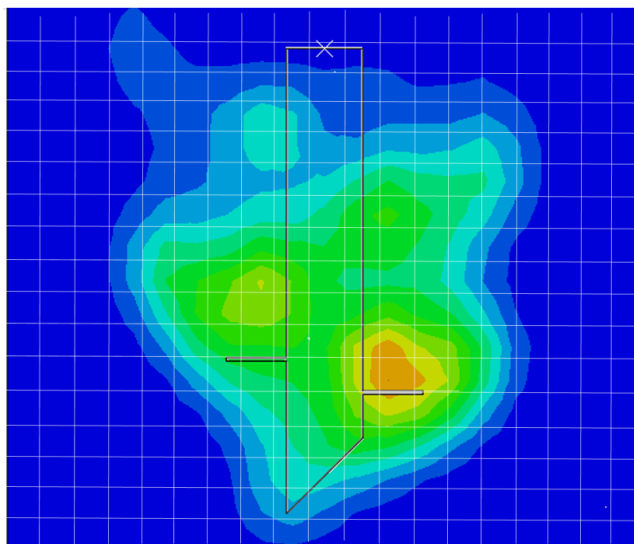


Figure 7. Soil disturbance area under 3 rotations

图 7. 旋转 3 圈下的土体扰动区域

4. 扰动度

螺旋桩的旋入过程十分复杂, 在实际施工过程中, 旋入过程不可避免地会对周围土体造成扰动。安装扭矩大小取决于安装速度和桩体参数等, 而这些因素的变化不可避免地会对土体的扰动范围产生影响。也就是说, 安装扭矩可以反过来反映土体的扰动范围大小。

用 y 平面上, 累计塑性应变 PEEQ 云图中的塑性区面积来表示土体受扰动面积 P ; 在 y 平面上, 一共有 400 个格子, 用土体受扰动面积 P 和总格数的比值来定义本次模型中的土体弱化程度 D , 即:

$$D = \frac{\text{土体受扰动面积} P}{\text{平面上总格数}} = \frac{P}{400}$$

5. 总结

- 1) 不同旋转圈数对于螺旋桩的安装过程影响较大, 螺旋桩安装过程中所需要的安装扭矩值就越大, 且数据的波动情况也越显著。
- 2) 螺旋桩旋转 3 圈时, 扰动范围更大, 表面土体隆起变形更多, 且不对称性更凸显。
- 3) 通过本次模拟, 建立了扰动度模型, 即用塑性区面积占比来定义。

参考文献

- [1] Brown, D.A. (2005) Practical Considerations in the Selection and Use of Continuous Flight Auger and Drilled Displacement Piles. *Advances in Designing and Testing Deep Foundations*, 251-261. [https://doi.org/10.1061/40772\(170\)4](https://doi.org/10.1061/40772(170)4)
- [2] Basu, P., Loukidis, D., Prezzi, M., et al. (2011) Analysis of Shaft Resistance of Jacked Piles in Sands. *Methods Geomech*, **35**, 1605-1635. <https://doi.org/10.1002/nag.968>
- [3] Basu, P., Prezzi, M. and Basu, D. (2010) Drilled Displacement Piles-Current Practice and Design. *DFI*, **4**, 3-20. <https://doi.org/10.1179/dfi.2010.001>
- [4] 王健, 赵凯, 白新平, 等. 粘性土中螺旋桩安装扭矩和承载力关系的探究[J]. 特种结构, 2017, 34(6): 29-34.