

夹硬层土中单桩贯入挤土效应的数值模拟

孙晓东

(大地工程开发(集团)有限公司,北京 100102)

摘要:桩贯入土体产生的挤土效应问题较为复杂。利用 ABAQUS 软件建立了单桩贯入夹硬层土和均质土的二维轴对称有限元模型,经过分析比较,得出了单桩贯入夹硬层土体所特有的位移场及应力场的变化规律。分析表明:桩贯入夹硬层土过程中,软硬土层交界处土体水平位移变化剧烈;硬土层的存在,会使土体水平及竖向位移受到约束;夹硬层土的水平挤压应力要远大于均质土情况;与水平应力相比,竖向挤压应力在硬土层处明显偏小。

关键词:单桩;夹硬层土;挤土效应;数值模拟

中图分类号:TU473 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2012)12-0050-04

Squeezing Effect of Pile in Hard Layered Soil/SUN Xiao-dong (Dadi Engineering Development Co., Ltd., Beijing 100102, China)

Abstract: The squeezing effect of the pile penetration into soil is complicated. 2-dimensional axisymmetric finite element model is established with ABAQUS software for the pile penetration into hard layered soil and homogeneous soil. By the analysis and the comparison, the variation laws of special displacement field and stress field of single pile penetration into hard layered soil are obtained. The analysis shows that in the process of pile penetration into hard soil, the horizontal displacement dramatically changes between hard and soft soil layer junction. In hard soil layer, the horizontal and vertical displacements are limited, the horizontal compressive stress is obviously larger than in homogeneous soil; compared with horizontal stress, the vertical compressive stress is obviously smaller.

Key words: single pile; hard layered soil; squeezing effect; numerical simulation

0 引言

桩贯入土体会产生较强的挤土效应。当存在夹硬层土时,挤土效应主要体现在软硬土层交界处的侧向挤压作用,后续施工的桩将对已贯入的桩产生较大的水平侧向压力。若桩体在软硬土层交界处抗剪能力较差,则该段桩体易产生裂缝或缩径。实际工程中常常发现,软硬土层交界处土体位移变化剧烈,桩体易在此处开裂、弯折^[1]。

桩贯入土体产生的挤土效应问题较为复杂,目前许多学者采用数值模拟的方法来研究桩土作用问题^[2-6]。本文通过 ABAQUS 平台,采用位移贯入法^[7],建立二维轴对称有限元模型,对桩贯入夹硬层土和均质土进行了模拟,比较分析了桩贯入夹硬层土产生的位移场及应力场变化规律,得出了一些有用的结论。

1 有限元数值模拟

1.1 基本设定

- (1)采用总应力法,不考虑孔隙水压力影响。
- (2)土体为连续的弹塑性体,符合 D-P 模型,

采用四节点四边形双线性轴对称单元 CAX4。考虑大变形和几何非线性。

(3)混凝土桩,刚体,采用离散刚体单元 RAX2。

(4)桩土界面采用“硬接触”,摩擦类型为 Penalty,摩擦系数 0.2。

(5)采用位移贯入法,在桩顶施加向下 10 m 的竖向位移。

(6)考虑土体自重初始应力场的影响。

1.2 计算模型

桩半径 300 mm,桩长 10 m。土体水平计算区域为 1.5 倍桩长,竖直计算区域为 2 倍桩长。土体上表面为自由边界,下表面为固定边界,右侧面水平向固定,左侧土体边界条件由接触摩擦控制。如图 1 所示。

1.3 土体模型计算参数及网格划分

土体模型计算参数见表 1,网格划分如图 2 所示。

2 夹硬层土与均质粘土模拟对比

2.1 位移对比

收稿日期:2012-07-09

作者简介:孙晓东(1982-),男(汉族),河北涿鹿人,大地工程开发(集团)有限公司,岩土工程专业,硕士,从事岩土工程方面的研究工作,北京市朝阳区利泽中一路 1 号博雅国际中心写字楼 9 层 A901, sunxiaodong2000@126.com。

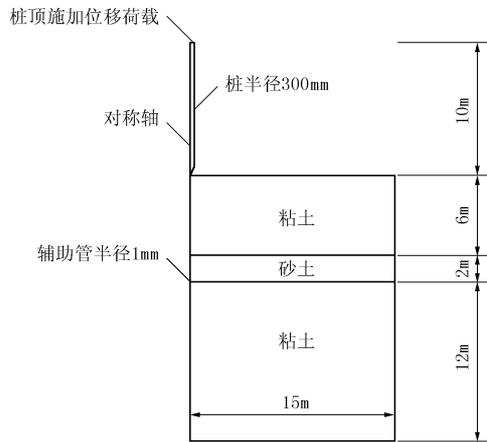


图 1 计算模型示意图

表 1 土体模型计算参数

土体类型	密度 ρ / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 E / MPa	泊松比 μ	内摩擦角 φ / ($^\circ$)	屈服应力 σ_s / kPa	剪胀角 ψ / ($^\circ$)
粘土	1800	2	0.3	20	25	0.1
砂土	2000	20	0.3	30	35	0.1

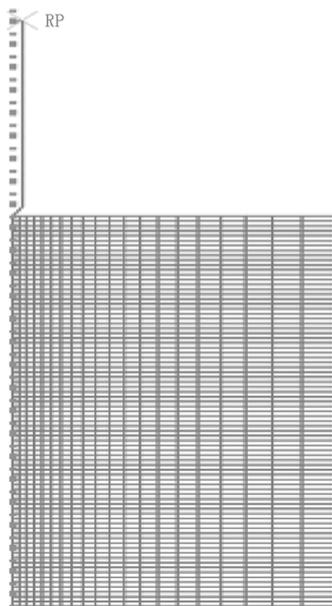


图 2 模型网格划分

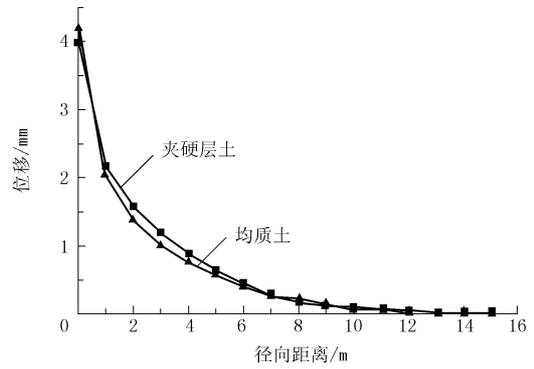


图 3 Z = 0 m 水平位移

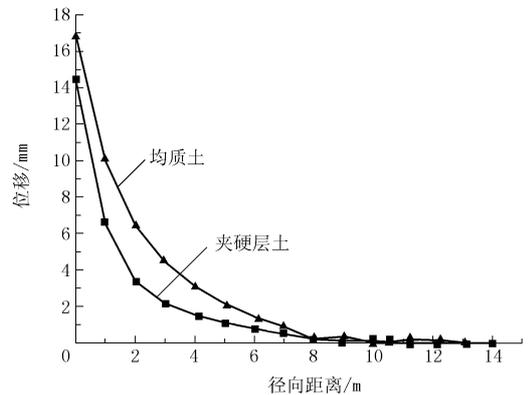


图 4 Z = 6 m 水平位移

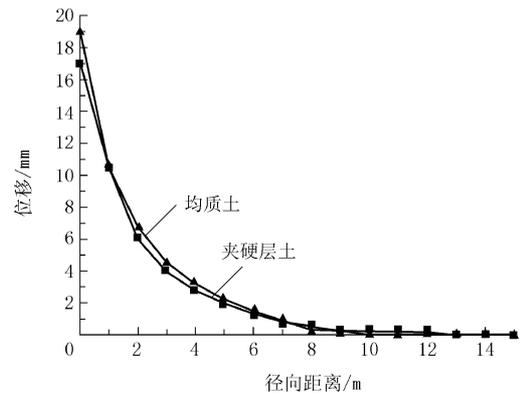


图 5 Z = 8 m 水平位移

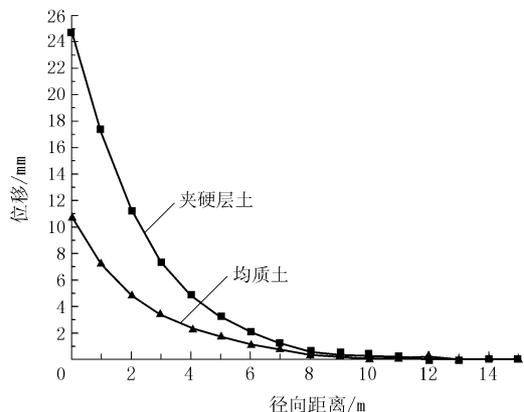
图 3 为土体地表处的水平位移,由图 3 可以看出,夹硬层土体水平位移要稍大于均质土情况,总的来看,两者相差不大。图 4 为土层上交界面处 ($Z = 6 \text{ m}$) 的水平位移,由图 4 可以看出,夹硬层土体水平位移要小于均质土水平位移,距桩较远处两者差值较大,离桩越远两者水平位移均变小,且都在 $15d$ ($9 \sim 10 \text{ m}$) 左右趋近于零。分析认为硬土层限制了土体的水平位移,导致位移变化较小。

图 5 为土层下交界面处 ($Z = 8 \text{ m}$) 的水平位移,由图 5 可以看出,近桩处夹硬层土水平位移要略大于均质土情况,较远处均质土略大于夹硬层土情况,最

后趋近于零,总的来看,两者相差不大。分析认为,由于硬土层的阻隔作用导致下部土体位移变化不明显。

图 6 为土层深度 10 m (桩底) 的水平位移,由图 6 得:夹硬层土体水平位移显著大于均质土情况,并且随着径向距离的增加逐渐衰减。这是由于砂层和桩间的摩阻力较大,随着桩贯入完成硬土被桩向下拖带,硬土被挤压进下面软土中,致使夹硬层土体水平位移显著增大。

图 7 为地表处竖向位移变化曲线,由图 7 可以看出,近桩处均质土体竖向位移要大于夹硬层土体竖向位移,距桩较远处 ($5d$) 夹硬层土体竖向位移大

图6 $Z = 10$ m 水平位移

于均质情况。可见由于硬土层的存在,对土体的竖向位移会有所限制,但径向影响范围会增大。图8为 $X = 3d$ 处的土体水平位移,由图8可以看出,夹硬层土中水平位移在软硬土层的交界处(6 m、8 m)变化剧烈,并且形成波浪形曲线,这和文献[8]模型试验结果是一致的。下交界处(8 m)及其下部土体水平位移要比均质土情况大,并且随着土体深度的加大,差值有所减小。分析认为由于硬土层随着桩的贯入被挤入到下部软土导致土体位移增大。

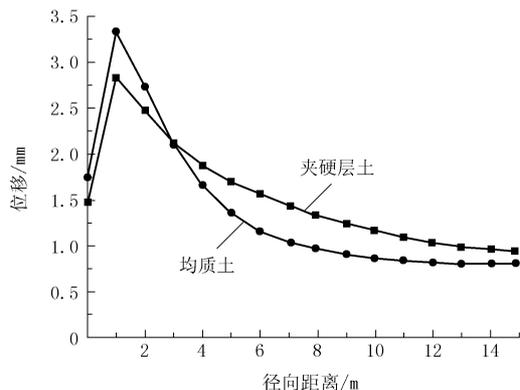


图7 地表竖向位移变化

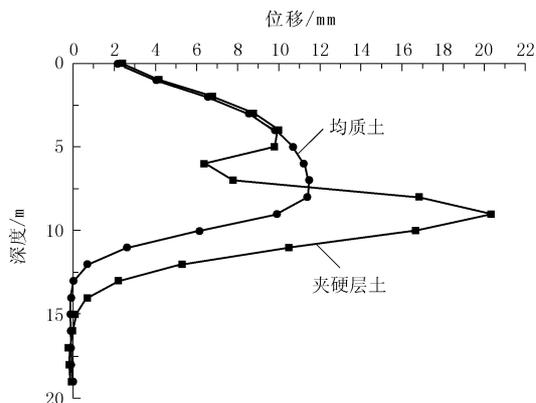
图8 $X = 3d$ 处水平位移

图9、10分别为均质土和成层土情况下的土体水平位移等值线,由图9、10可以看出,夹硬层土中的硬土层约束了土体的水平位移导致该层处水平位移较小,与均质土情况相比夹硬层土上部土体水平影响范围有所减小,但下部土体水平和竖向影响范围均有适当增加。桩贯入硬土层会产生较强的挤压拖带作用,对下部土体的压挤作用要明显大于上部土体。

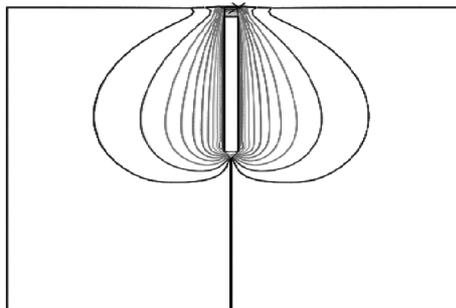


图9 均质土水平位移等值线

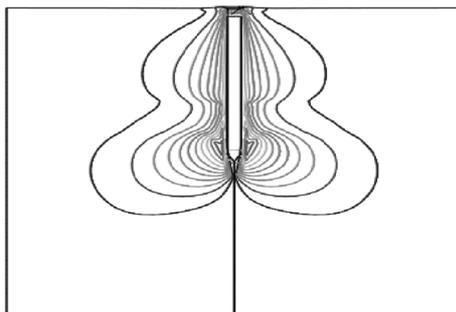


图10 夹硬层土水平位移等值线

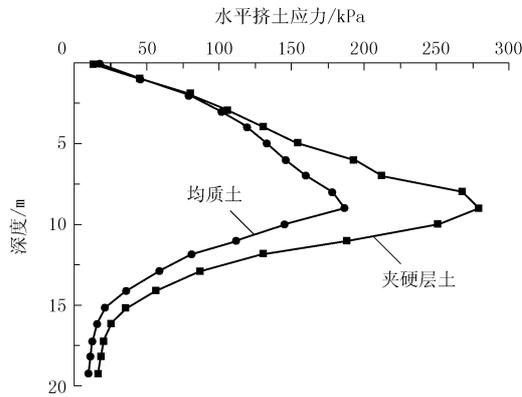
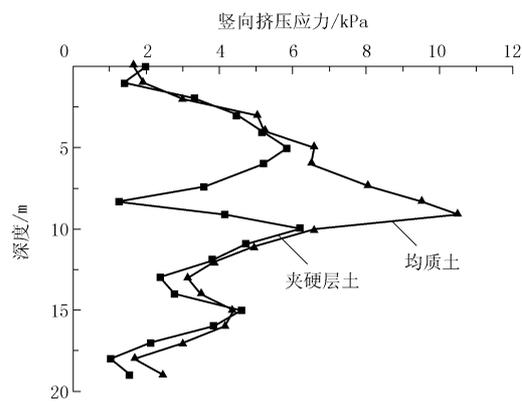
2.2 应力对比

图11、12分别为 $X = 3d$ 处土体的水平、竖向挤压应力,由图11、12可以看出:(1)夹硬层土的水平挤压应力要远大于均质土情况,挤压应力的最大值位于硬土层中部,两者相差可达到100 kPa;(2)夹硬层土体竖向挤压应力在硬土层处骤然变小,这是由于硬土层挤进了上部与下部的软土中,其本身变形较小,因而表现出的应力也较小。

3 结论

(1)软硬土层交界处,土体水平位移变化剧烈,形成波浪形曲线,下部土体水平位移要远大于均质土情况。

(2)由于硬土层的存在,土体水平和竖向位移均会受到限制,其上部土体水平影响范围有所减小,下部土体水平和竖向影响范围均有适当增加。

图 11 $X=3d$ 处水平挤压应力图 12 $X=3d$ 处竖向挤压应力

(3) 夹硬层土的水平挤压应力要远大于均质土情况,挤压应力的最大值位于硬土层中部。与水平挤压应力相比,竖向挤压应力在硬土层处明显偏小。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 应重视上硬下软多层地基中挤土效应的影响[J]. 地基处理, 2005, 16(3): 63-64.
- [2] 鲁祖统. 软粘土地基中静力压桩挤土效应的数值模拟[D]. 浙江; 浙江大学, 1998.
- [3] 王浩, 魏道堃. 表面约束下的沉桩挤土效应数值模拟研究[J]. 岩土力学, 2002, 23(1): 107-110.
- [4] 姚怡文. 土成层性对桩水平响应影响的有限元分析[J]. 结构工程师, 2006, 22(2): 45-49.
- [5] 高成雷, 凌建明. 层状地基静力压桩过程数值模拟[J]. 铁道科学, 2008, 29(2): 23-27.
- [6] 罗战友, 夏建中, 龚晓南, 等. 压桩过程中静压桩挤土位移的动态模拟和实测对比研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(8): 1709-1714.
- [7] 张明义, 邓安福, 干滕君. 静力压桩数值模拟的位移贯入法[J]. 岩土力学, 2003, 24(1): 113-117.
- [8] 孙晓东, 鹿群, 杨永玉. 饱和成层土中静压桩挤土位移的模型试验研究[J]. 工程勘察, 2012, 40(2): 5-10.

(上接第 49 页)

一个安全系数, 这样进行多重计算后, 计算结果已经被远远地夸大了, 所以需要经验加以修正。

本次设计是用纯理论知识进行的手算设计, 设计中有很多不足的地方, 比如在施工过程中存在无法按照设计施工, 或者是施工过程中存在着一些客观原因不能完全按照设计的方案完成, 这就需要以后在设计的时候考虑问题要与施工联系更紧密, 加强在临场的应变能力。要注意吸取经验, 并在进一步工作中进步和提高。通过手算设计能够对同类基坑的设计起到一定的指导作用。

参考文献:

- [1] 孙广忠. 工程地质与地质工程[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
- [2] 陈肇元, 崔京浩. 土钉支护在基坑工程中的应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.

- [3] 高浪. 深基坑开挖土钉墙支护性状分析[D]. 浙江杭州: 浙江大学, 1998.
- [4] 林天健. 深基坑开挖支护体系理论及其应用评述[J]. 力学与实践, 1996, 18(2).
- [5] 陈忠汉, 程丽萍. 深基坑工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [6] 郑毅敏. 福州元洪大厦三层地下室的工程实践[J]. 工业建筑, 1994, (11).
- [7] 张晃, 郑俊杰, 辛凯. 土钉支护技术在软土基坑中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, (6).
- [8] 段启伟. 土钉支护在某基坑工程中的应用[J]. 山西建筑, 2007, 33(3).
- [9] 陈宗严. 土钉加筋土挡土墙施工技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [10] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [11] JGJ 120-99, 建筑基坑支护技术规程[S].