

文章编号: 1000-7598-(2008)11-3017-04

饱和成层地基中静压单桩挤土效应的有限元模拟

鹿群^{1,2}, 龚晓南¹, 崔武文³, 王建良⁴

(1. 浙江大学 土木工程学系, 杭州 310027; 2. 天津城市建设学院, 天津 300384; 3. 河北工业大学 土建学院, 天津 300132;
4. 绍兴地基基础测试技术研究所, 浙江 绍兴 312030)

摘要: 针对实际工程中成层土情况中静压桩存在的问题, 在 ANSYS 平台上, 应用位移贯入法对静力压桩的连续贯入的全过程进行有限元模拟, 详细对比了在均质土和成层土中静力压桩产生的位移场和应力场。指出软硬土层交界处土体位移加大, 土中挤压应力剧变, 出现应力间断。实际工程中, 挤压应力间断使已压入桩的侧向受力剧变, 导致桩体易开裂、弯折。这里提出相应的解决方法。

关键词: 成层土; 静压桩; 挤土效应; 应力间断

中图分类号: TU 473.1

文献标识码: A

Squeezing effects of jacked pile in layered soil

LU Qun^{1,2}, GONG Xiao-nan¹, CUI Wu-wen³, WANG Jian-liang⁴

(1. Department of Civil Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2. Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China;
3. School of Civil Engineering and Architecture, Hebei University of Technology, Tianjin 300132, China;
4. Research Institute of Foundation Testing Technology, Shaoxing 312032, China)

Abstract: Aiming at the problems occurring in actual projects, using the displacement penetration method, the complete process of successive penetration of jacked pile is simulated with finite element method based on ANSYS. Displacements and stress field in homogeneous soil are compared with which in layered soil in detail. It is shown that the soil's displacement increases; and radial compression stress changes rapidly and discontinues at the boundary of soft soil and hard soil; and piles driven before are prone to be broken there. The methods for prevention is put forward.

Key words: layered soil; jacked pile; squeezing effects; stress discontinuity

1 前言

静压桩挤土效应是岩土工程届长期关注的一个课题。相对于其他研究方法, 有限元模拟(圆孔扩张法、力贯入法、位移贯入法)能够考虑更多的因素, 因而很多学者^[1-4]都致力于此, 其中位移贯入法^[4]利用边界位移条件使桩贯入, 计算中可采用弹塑性本构关系、考虑大变形和桩-土接触面, 力学概念清晰, 比较接近静力压桩实际。但由于问题的复杂, 目前的研究基本上都是假定土体为均质的各向同性的弹塑性体, 未涉及成层土中的静压桩挤土效应。

工程实践中发现, 软硬土层交界处土体位移变化剧烈, 静压桩易在此处开裂、弯折^[5]。本文从有

限元角度, 应用位移贯入法对饱和成层地基中静压单桩挤土效应进行模拟, 对上述问题进行详细地研究。

2 基本假定、计算简图及参数

2.1 基本假定

(1) 采用总应力法进行分析计算; (2) 根据实际沉桩过程, 为简化计算, 以 2 维轴对称问题模拟; (3) 钢筋混凝土桩或钢桩, 线弹性体, 采用 8 节点 2 维轴对称单元; (4) 各层土体为均质的连续的弹塑性体, 符合 Drucker-Prager 模型, 考虑几何非线性和材料非线性, 采用 8 节点二维轴对称单元; (5) 桩土界面采用面-面摩擦接触单元, 接触面的摩擦类型为库仑摩擦; (6) 桩土一旦接触, 法向就不

收稿日期: 2006-12-28

基金项目: 天津市自然科学基金(No.06YFJMJC05700); 天津市高等学校科技发展基金计划项目(No.20071006)。

作者简介: 鹿群, 男, 1970 年生, 博士, 副教授, 主要从事土力学及桩基方面的教学和科研工作。

再分离, 切向可以滑动; (7) 计入土体自重应力场的影响。

2.2 计算简图

图 1 为有限元计算简图。桩半径为 200 mm, 桩长 20 m, 全部压入土中。土体水平和竖直计算区域均为 2 倍桩长, 土体上表面为自由边界, 下表面竖向固定, 右侧面水平固定。土体分为 3 层。如果实心桩的截面为方形, 将其转化为等面积圆截面桩进行计算。

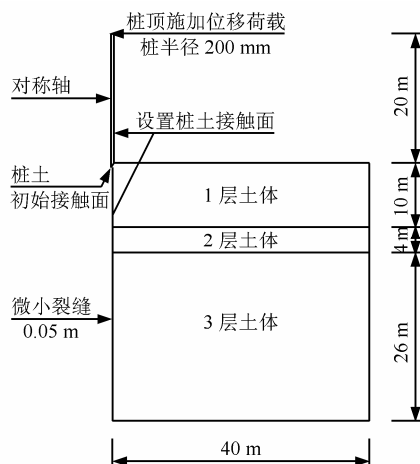


图 1 有限元计算简图

Fig.1 Sketch of FEM calculation

2.3 计算参数

桩和土计算参数见表 1。

表 1 基本计算参数
Table 1 Calculating parameters

参数	A 类土	B 类土	桩
E /MPa	2	20	20 000
μ	0.45	0.45	0.3
ρ /kg·m ⁻³	1 890	1 890	2 500
c /kPa	15	30	
φ / (°)	15	30	
u	0.1	0.1	
$\tau_{\max}$ /kPa	15	22.5	

注: u 为桩土间摩擦系数; $\tau_{\max}$ 为极限摩阻力, 其他符号意义均为常规土力学参数。

分 3 种土层分布的情况进行计算比较: (1) 均质软土, 即①~③层土均为 A 类土。(2) 上硬下软, 即①层土为 B 类土, ②, ③层土为 A 类土。

(3) 中间夹硬土层, 即①, ③层为 A 类土, ②层为 B 类土。

3 不同土层分布情况的挤土位移比较

图 2 (a) 为距桩边 3 d (即 1.2 m) 处土体的水平位移图。可见, (1) 与均质软土的情况相比, 另外 2 种情况均在软硬交界处位移发生突变, 且都是

软土层位移变大, 硬土层处位移变小, 这与现场实测^[6-8]是一致的, 其原因是硬层物理力学性质较好, 限制了土体的水平位移, 同一时间内沉入桩要排开一定体积的土体, 促使交界面处土体位移急剧增加, 形成“S”形区域; (2) 与均质软土的情况相比, 另外 2 种情况虽然土质有所改善, 但最大水平位移反而有所增大, 这说明土体水平位移主要取决于软弱土层, 且夹有局部硬层的情况要比均质软土的情况更不利; (3) 位移突变的增量不小, 达 9%。从图 2 (b) 为距桩边 3 d 土体的竖向位移图可以看出, ①与均质软土的情况相比, 另外 2 种情况的土体竖向位移明显减小, 软硬土层交界处存在位移突变, 且都是硬土层处位移变小。②中间夹硬层的情况虽然硬层厚度小于上硬下软的情况, 但竖向位移却明显小于后者, 说明硬层的位置越深, 其竖向位移越小, 这是由于上部土层的自重应力较小, 其竖向应变要小于下部处于较高自重应力状态下的土体。

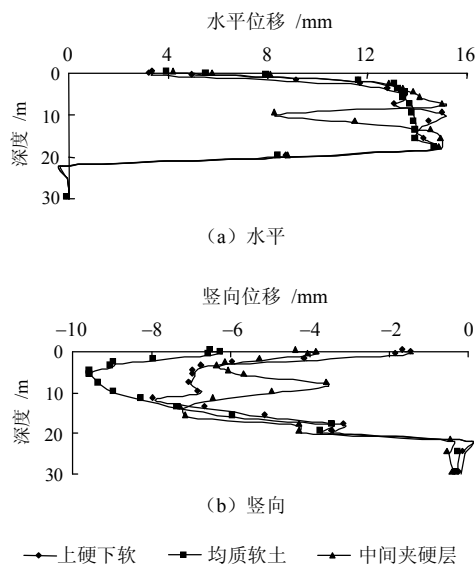


图 2 $x=3$ d 土体位移

Fig.2 Displacements at $x=3$ d

图 3 分别为深度 10 m 处 (即软硬土层交界处) 土体的水平位移图。由图可知, (1) 水平位移沿径向均呈对数形式衰减, 3 种情况中中间夹硬层的情况土体水平位移明显要小, 而均质土和上硬下软情况则几乎一样。(2) 交界处土体竖向位移均表现为向下, 中间夹硬层和上硬下软情况的土体位移要小于均质土情况, 特别是中间夹硬层情况下土体的竖向位移曲线在桩边处有拐点, 这是因为力学性质好的中间土层中微小的变形就能引起较大的应力, 而力学性质差的上部土层中要获得相同的应力水平

则需要较大的变形。单位厚度内相同体积的瞬时桩底土转化为桩周土, 显然硬土层中的增加的应力要大于其上的软土层中的应力。为保持土层界面处的应力平衡, 硬土层会向软土体位移, 出现向上的趋势。

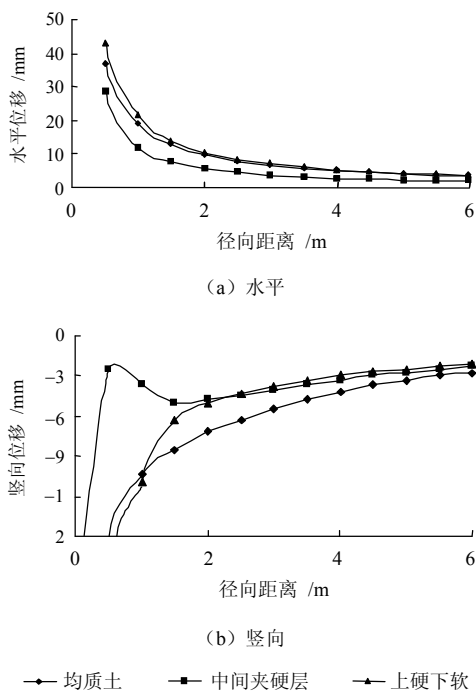


图 3 10 m 深度土体位移
Fig.3 Displacements at $z=10$ m

4 不同土层分布情况的挤土应力比较

图 4 (a) 为距桩边 3 d 处土体的水平挤压应力图。由图可知, (1) 均质土情况下沿桩长水平挤压应力变化不大; (2) 在存在较硬土层时, 硬土层处的挤压应力剧增, 并且增幅随硬土层深度加大而加大, 水平挤压应力最大值出现在硬土层中部; (3) 相比之下, 桩长范围内的较深处存在较硬土层的情况, 土体的挤压应力更大, 对桩的危害也就更大。图 4 (b) 为深度 10 m 处土体的水平挤压应力图, 可见, (1) 沿径向, 水平挤压应力均呈对数形式衰减, 其影响范围大致在 20 倍桩半径, 这与现场实测是一致的^[9]; (2) 在存在较硬土层时硬土层处的挤压应力剧增, 随径向距离的加大, 增加值很快衰减到 0。

图 5 为中间夹硬层情况下土体的水平挤压应力间断图 (上硬下软情况类似, 限于篇幅, 略)。由图可知, 硬土层处的挤压应力剧增, 在上下两个软、硬土层交界面均发生应力间断, 变化剧烈。

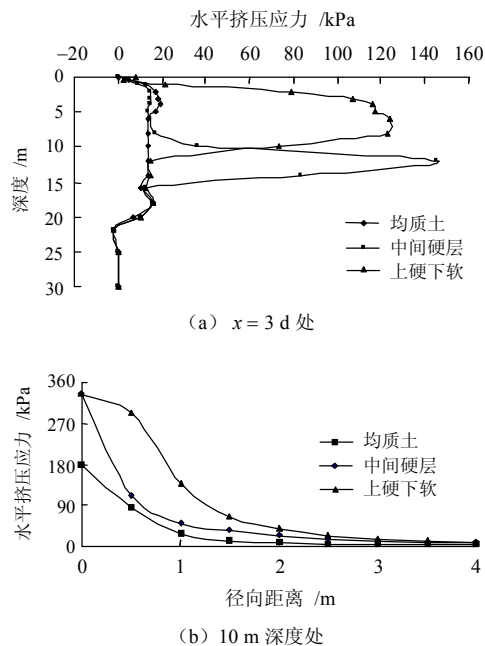


图 4 土体水平挤压应力
Fig.4 Radial compacting stress

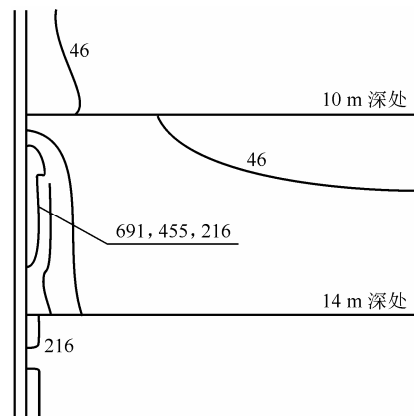


图 5 中间夹硬层情况和水平挤压应力间断图
Fig.5 Radial compacting stress discontinuity with hard soil in the middle section

5 防治措施

实际工程中, 如遇有土层分布上硬下软或中间夹硬层情况, 要引起足够的重视^[5], 可采用以下措施加以预防^[7, 10]: (1) 预钻孔穿透夹硬层, 取土以释放压桩时产生的过大的挤压应力。(2) 设置排水砂井, 消除压桩引起的超静孔隙水应力。(3) 加强现场监测, 实行动态施工。

6 结 论

成层地基中的软硬土层交界处, 由于土体力学性质的差异, 静力压桩时土体位移加大, 土中水平挤压应力变化剧烈, 发生应力间断, 造成已压入桩侧向受力不均。群桩施工时, 应力累加, 土层交界处

易造成桩体弯折、断桩、灌注桩混凝土离析等质量问题。实际工程中,可采用预钻孔等措施加以防治。

参考文献

- [1] CHOPRA M B, DARGUSH G F. Finite-element analysis of time-dependent large-deformation problems[J]. **International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics**, 1992, 16: 101—130.
- [2] 彭勃,施建勇,吴杰明. 用空间柱形孔扩张分析沉桩过程[J]. 河海大学学报, 2001, 29 (增刊): 147—151.
PENG Jie, SHI Jian-yong, WU Jie-ming. Analysis of pile driving with spatial cylindrical cavity expansion[J]. **Journal of Hohai University**, 2001, 29(Supp.): 147—151.
- [3] MABSOUT M E, TASSOULAS J L. A finite element model for the simulation of pile driving[J]. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, 1994, 37: 257—278.
- [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.
ZHANG Ming-yi, DENG An-fu, GAN Teng-jun. Displacement penetration method used for numerical simulation to jacked pile[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2003, 24(1): 113—117.
- [5] 龚晓南. 应重视上硬下软多层地基中挤土桩挤土效应的影响[J]. 地基处理, 2005, 16 (3): 63—64.
GONG Xiao-nan. Pay more attention to the compacting effect in hard-up and soft-down layered soil[J]. **Ground Improvement**, 2005, 16(3): 63—64.
- [6] 何耀辉,朱向荣,徐崇峰,等. 静压桩沉桩挤土效应现场监测及分析[J]. 低温建筑技术, 2005, 105: 76—78.
HE Yao-hui, ZHU Xiang-rong, XU Chong-feng, et al. Measurement and analysis of soil horizontal displacement and excess pore water pressure during piles driving[J]. **Low Temperature Architecture Technology**, 2005, 105: 76—78.
- [7] 李向红,龚晓南. 软粘土地基静力压桩的挤土效应及其防治措施[J]. 工业建筑, 2000, 30 (7): 11—14.
LI Xiang-hong, GONG Xiao-nan. The compacting effect by static piling on soft clay foundation and the methods for prevention[J]. **Industrial construction**, 2000, 30(7): 11—14.
- [8] 丁国洪. 软粘土地基静压桩挤土效应分析与实践[J]. 建筑技术开发, 2004, 31 (2): 31—33.
DING Guo-hong. Analysis of compacting effect by static piling on soft clay foundation and practice[J]. **Building Technique Development**, 2004, 31(2): 31—33.
- [9] 唐世栋,杨卫东,王永兴. 软土地基中桩基施工时的挤压力影响[J]. 同济大学学报, 2004, 32 (5): 570—574.
TANG Shi-dong, YANG Wei-dong, WANG Yong-xing. Squeeze pressure of construction of pile foundation in soft soil[J]. **Journal of Tongji University**, 2004, 32(5): 570—574.
- [10] 陈禹,丁建江,杨宝庆,等. 大吨位静压预制桩挤土影响及措施[C]//龚晓南,严平,俞建霖: 浙江省第三届岩土力学与工程学术讨论会论文集. 北京: 中国国际广播出版社, 1997: 56—60.
CHENG Yu, DING Jian-jiang, YANG Bao-qing, et al. The compacting effect by large tonnage static piling and the methods for prevention[C]//Gong Xiao-nan, Yan Ping, Yu Jian-lin, et al: Proceedings of 3rd Rock and Soil Mechanics and Construction Conference of Zhejiang Province. Beijing: China International Broadcasting Press, 1997: 56—60.

《建筑桩基技术规范》

著译者: 中华人民共和国住房和城乡建设部
图书编号: B10073776 印刷日期: 2008-08-01

出版社: 中国建筑工业出版社
出版日期: 2008-08-01

书号: 15112.14762
规格: 平装 32 开, 316 页

【图书简介】建筑桩基技术规范(JGJ94—2008)一书由中国建筑工业出版社于2008-08-01出版。本规范主要技术内容有:基本设计规定、桩基构造、桩基计算、灌注桩施工、混凝土预制桩与钢桩施工、承台施工、桩基工程质量和验收及有关附录。本规范经住房和城乡建设部以公告第18号批准、发布,自2008年10月1日起实施。原行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94—94同时废止。

【图书目录】1 总则 2 术语、符号 3 基本设计规定 4 桩基构造 5 桩基计算 6 灌注桩施工 7 混凝土预制桩与钢桩的施工 8 承台施工 9 桩基工程质量和验收 附录 A 成桩工艺选择参考表 附录 B 预应力混凝土空心桩基本参数 附录 C 考虑承台(包括地下墙体)、桩基协同工作和土的弹性抗力作用计算受水平荷载的桩基 附录 D Boussinesq(布辛奈斯克)解的附加应力系数、平均附加应力系数 附录 E 桩基等效沉降系数计算参数 附录 F 参考桩径影响的Mindlin(明德林)解应力:单桩竖向抗压静载试验 附录 G 按倒置弹性地基梁计算墙下条形桩基承台梁 附录 H 锤击沉桩锤重的选用 本规范用词说明 附加说明 条文说明。

(信息来源:工成网)