

基于模型试验的静压群桩引起的土体变形分析

张建新, 鹿群, 吴东云, 孙世光

(天津城市建设学院 天津市软土特性与工程环境重点实验室, 天津 300384)

摘要: 以往对沉桩挤土效应的研究主要集中于单桩或双桩, 对群桩挤土效应分析较少。基于室内模型试验, 分析了群桩压入软土后土体的变形情况, 得到了沉桩过程中及压桩后土体侧向位移、竖向变形和土层表面隆起变化的规律。认识到单桩侧向挤土位移随着距桩边距离的增加而以近似对数规律衰减, 群桩压入后土体水平侧移和地表隆起是不断累积的, 存在着已压入桩的遮帘作用, 而且桩施工顺序对土体位移起到了关键作用, 应该在实际工程中得到重视。

关键词: 群桩; 土体变形; 模型试验

中图分类号: TU 47

文献标识码: A

Analysis of soil deformation in jacked pile group based on the model test

ZHANG Jian-xin, LU qun, WU Dong-yun, SUN Shi-guang

(Tianjin Key Laboratory of Soft Soil Characteristics and Engineering Environment, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract: In the past the study of squeezing effect during pile driving focused on the single or double pile, but little on the pile group. Based on the model test, soil deformations were analyzed when the pile group were driven; then the soil lateral displacement, vertical deformation and the law of soil surface heave were obtained. It is concluded that as the distance to the pile edge increasing, the soil compaction displacement of the side surface of pile is logarithmically decaying; the soil horizontal displacement and land surface heave are accumulated continuously; but there are sheltering effects after pressing pile, constructing order of pile plays a key role in the soil displacement; so it should be recognized in actual projects.

Key words: pile group; soil deformation; model test

1 前言

静压桩属于挤土桩, 在饱和软土地基中沉桩时, 桩身将置换同体积的土, 会产生巨大的侧向挤压作用, 如果处理措施不当, 会引起周边环境问题, 严重时还会引发工程事故。

以往对沉桩挤土效应的研究主要集中于单桩或双桩^[1-4], 对群桩的挤土效应分析较少^[5-7], 一般是按组合进行分区, 将每一分区的桩近似为当量单桩, 然后按单桩分析群桩的挤土效应, 这种分析方法忽略了桩施工的先后次序对桩间土及对已施工桩的影响, 而对群桩挤土效应机制分析更较少涉及。

本文基于室内模型试验, 分析了单桩、双桩、

3 桩和群桩压入土体后, 所产生的土体位移和变形

情况, 得到了沉桩过程中及压桩后土体侧向位移、竖向变形和土层表面隆起变化的规律, 所得规律对分析群桩挤土效应具有重要的实践意义。

2 模型试验情况

2.1 试验设计

群桩模型试验在为长1.0 m×宽0.8 m×高1.0 m的模型箱内进行, 其中箱体一边为透明的有机玻璃板。试验土样取自天津浅层海相软土, 经过晾晒、破碎、填箱、加压固结等过程, 压桩前进行了土工试验。模型桩选用长为500 mm、直径为30 mm的有机玻璃棒, 桩间距采用4D, 模拟9根群桩挤土情况, 由于对称性, 靠箱边玻璃板的模型桩做成了半桩。试验时虽按一定的相似比进行模型试验设计, 但由

于小尺寸模型试验的条件限制,只满足了部分指标的相似比要求。试验的压桩顺序为倒Z字型,如图1。

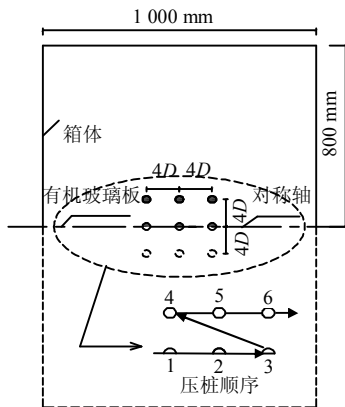


图1 模型试验布置及压桩顺序
Fig.1 Model test arrangement and the order of pile pressing

2.2 土体变形量测标记的布设

沉桩挤土变形主要表现为水平方向位移和竖向位移。试验时在玻璃板不同高度上打4排小孔,深度分别为50、250、450、500 mm,孔内插入银色大头针,压桩后根据大头针头部与这些孔的相对位置,可以量测靠近箱边的土体水平和竖向位移;箱内土体表面不同位置再布置测点,量测群桩中地表的水平位移和隆起情况。

3 群桩沉桩引起的土体变形分析

3.1 单桩、双桩时的位移分析

以往资料^[1,5-6]对单桩、双桩沉桩引起的挤土效应情况进行了详细分析,本文试验也得到了类似结论。如图2、3分别为单桩压入100 mm和500 mm时土体侧移情况。

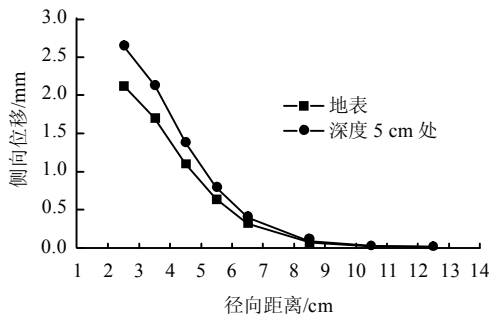


图2 1#单桩压入100 mm时侧移量
Fig.2 Lateral displacement as pile #1 being pressed to 100 mm

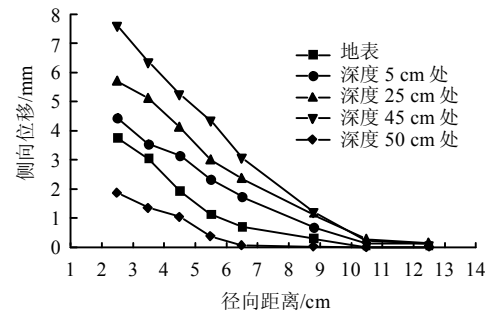


图3 1#单桩压入500 mm时侧移量
Fig.3 Lateral displacement as pile #1 being pressed to 500 mm

单桩压入土体不同深度时,随着测点离桩中心距离的增大,径向位移一般都呈对数规律衰减;深度方向上,地表和深度50 mm处土体的侧向位移量是随着桩的压入而不断增加的,其影响范围约为2~3D,桩身中下部(450 mm处)的水平侧移量相比其他深度侧移量要大,其影响范围约为3~4D,但在桩尖处,由于桩的贯入影响较小,则水平位移较小,挤土影响范围约为1.5D。图4为单桩沉入不同深度时地表隆起情况,发现由于桩的下沉,紧靠桩边的土体是竖向下移的,在桩边0.2D处地表开始隆起,且随着桩的不断贯入,单桩周围土体的隆起值在不断增加,而径向上远离桩轴其隆起值变小。

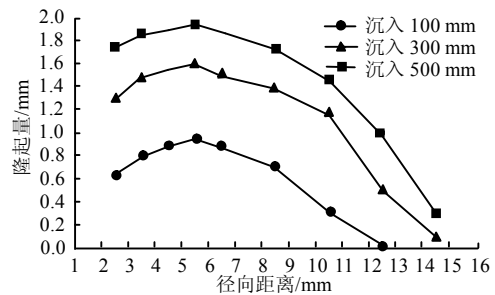


图4 1#单桩压入时地表隆起量
Fig.4 Soil surface elevation as pile #1 being pressed

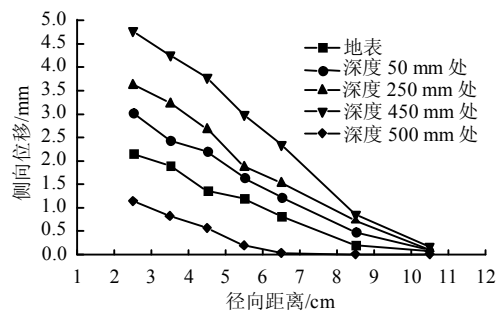


图5 第2根桩压入后桩间区域土体侧移量
Fig.5 Soil lateral displacement as the second pile being pressed

双桩(压入1[#]、2[#])时,由于已压入1[#]桩体的影响,其挤土变形规律与单桩有所不同。两桩之间的土体侧向位移较单桩时相对要小很多,如图5,而两桩之间区域的隆起曲线与单桩时相似,但隆起量要比单桩时大很多,认为是已压入桩的存在限制了桩间土的水平位移,从而土体竖向隆起加剧。第一根桩后面区域的土体位移规律与桩间区域差别也很大,无论是水平侧移量还是地表隆起值都要相对小很多,最大隆起值仅为0.67 mm,分析认为是由于已压入桩有种“遮帘作用”,影响了对该区域的土体位移。

3.2 3 桩时的位移分析

将第3根桩一次性压入土中500 mm,为便于分析压入后的变形情况,将模型箱中土体分成1、2、3、4四个区域,见图6。

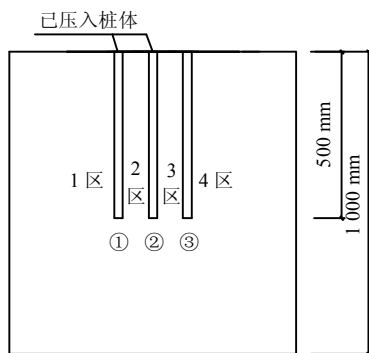


图6 土体变形区域划分

Fig.6 The areas of soil deformation

4区:与单桩、双桩时该区域土体位移变化规律差别不大,在此不再讨论。

3区:由于有两根已压入桩(1[#]、2[#])的存在,三区土体的侧向位移受到了更大限制,比双桩2区土体位移要小很多,见图7;而该区地表隆起量比双桩时要大,最大隆起值为3.2 mm。

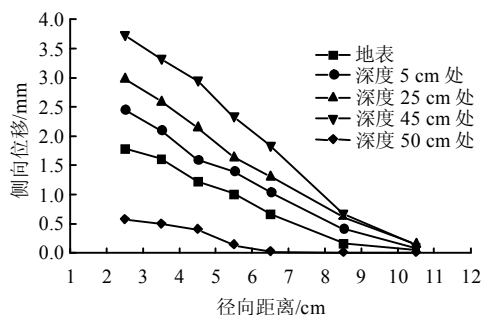


图7 3#桩压入后3区土体侧移量

Fig.7 Soil lateral displacements as pile #3 being pressed in the third area

2区:表1为3[#]桩压入后2区土体不同径向距离和深度处的水平位移值,为便于比较,同时列出了双桩时该区域位移。发现该区域侧向位移变化很复杂,由于已压入的第2根桩的遮帘作用与已压入第1根桩的阻挡,该区土体水平位移已经相当小了,见图8;该区的地表隆起最大值只有1.63 mm,对于3区来说也相对小很多,如图9所示。

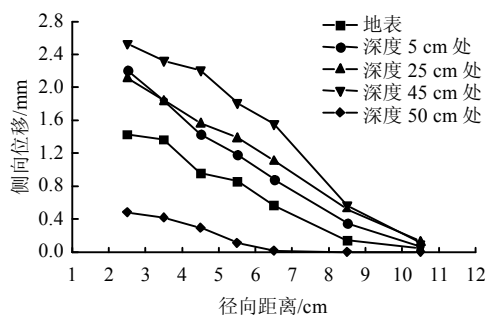


图8 3#桩压入后2区土体侧移量

Fig.8 Soil lateral displacements as pile #3 being pressed in the second area

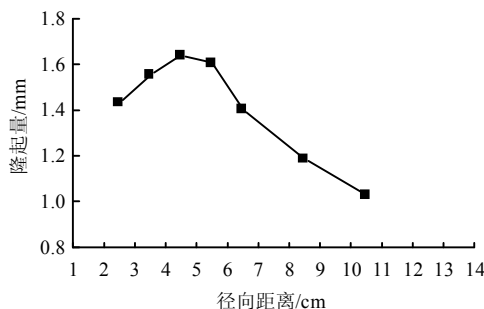


图9 3#桩压入后2区地表隆起量

Fig.9 Soil surface heaves as pile #3 being pressed in the second area

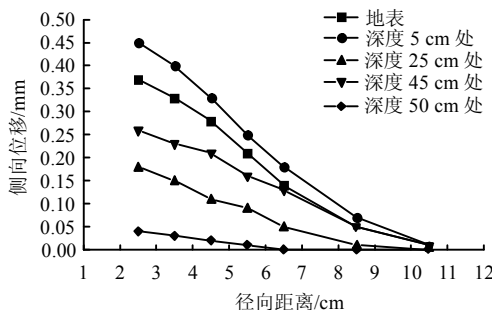


图10 3#桩压入后1区土体侧移量

Fig.10 Soil lateral displacements as pile #3 being pressed in the first area

从表1中也可看出,由于已压入桩的遮帘作用,导致双桩、3桩压入后2区土体水平位移均较单桩时减少很多,3桩情况下更甚,分析认为,双桩时2区

土体只受到已压入第1根桩的遮帘作用，而3桩时不仅受到第2根已压入桩的遮帘作用，同时还受到第1根已压入桩的阻挡作用。

1 区：量测结果见图 10 和表 2。该区土体侧向位移与地表隆起非常小，隆起量最大仅为 0.27 mm，分析认为，由于已压入 2 根桩的遮帘作用，使得该区位移值如此小，甚至没什么影响，说明群桩沉桩时桩的遮帘作用不容忽视，同时也可更好地利用遮帘作用，以减小沉桩挤土的危害。

3.3 群桩位移分析

在桩群附近布置位移测点标记，布置方式为桩中心区域每 40 mm 插入一根高约 15 mm 的铅芯；群桩外每 10 mm 间隔，较远处每 20 mm 布置一根铅芯，如图 11（a~g）所示。

按顺序压入每根桩，土体表面变形主要以隆起为主，量测结果见表 3。可见，地表隆起最大值发生在最后的 6#号桩压入后桩群 d 点处，隆起量为

3.78 mm，约为 12.6%D，靠近桩群中心处地表隆起最大，远离中心靠近桩群外地表隆起逐渐减小。同时发现群桩表面处水平位移量是不断增加的，约 5D 处仍可量测到水平位移，这说明群桩施工地表土体侧向位移是不断累积的，而且沉桩施工顺序对水平位移影响很大。

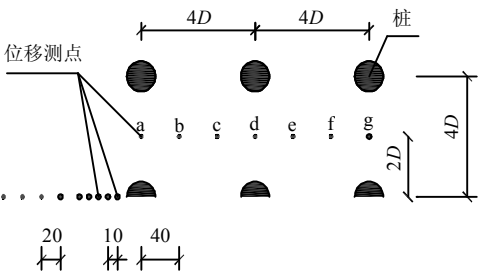


图 11 群桩位移测点布置图（单位：mm）
Fig.11 The arrangement of points for displacement measuring of pile group (unit: mm)

表 1 二区不同深度处水平侧移量（单位：mm）

Table 1 The soil horizontal displacements in different depths in the second area (unit: mm)																
深度/mm	2.5		3.5		4.5		5.5		6.5		8.5		10.5		12.5	
	2 桩	3 桩	2 桩	3 桩	2 桩	3 桩	2 桩	3 桩	2 桩	3 桩	2 桩	3 桩	2 桩	3 桩	2 桩	3 桩
地表	2.15	1.43	1.89	1.36	1.36	0.95	1.19	0.86	0.81	0.56	0.19	0.14	0.06	0.05	0.01	0
50	3.02	2.20	2.43	1.84	2.20	1.42	1.63	1.18	1.22	0.88	0.48	0.34	0.09	0.06	0.08	0.01
250	3.63	2.11	3.24	1.84	2.68	1.56	1.87	1.38	1.53	1.11	0.71	0.51	0.18	0.13	0.09	0.06
450	4.77	2.53	4.25	2.32	3.77	2.20	2.98	1.81	2.34	1.55	0.85	0.56	0.16	0.11	0.09	0.06
500	1.13	0.48	0.82	0.41	0.56	0.29	0.18	0.11	0.03	0.02	0	0	0	0	0	0

表 2 1 区地表隆起值

Table 2 Soil surface heaves in the first area								
径向距离 /cm	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	8.5	10.5	12.5
隆起量 /mm	0.17	0.26	0.27	0.24	0.19	0.15	0.02	0

表 3 桩群中地表隆起量

Table 3 Soil surface heaves in the pile group						
压桩位置	第①桩	第②桩	第③桩	第④桩	第⑤桩	第⑥桩
	压入	压入	压入	压入	压入	压入
a	1.83	2.08	2.11	3.15	3.39	3.41
b	1.62	1.97	2.03	3.12	3.46	3.52
c	1.14	1.79	1.82	2.36	3.19	3.61
位置 d	0.56	2.46	2.83	3.12	3.39	3.78
e	0.15	1.53	2.01	2.12	2.98	3.59
f	0.32	1.65	2.38	2.41	2.85	3.45
g	0	0.55	2.31	2.32	2.76	3.36

4 结 论

（1）单桩压入时，侧向位移是随着距桩边距离的增加而以近似对数规律衰减，接近地表和桩尖附

近区域侧向位移要远小于桩身区域水平位移，地表隆起距桩中心1~2D处隆起量最大，影响范围达到 4.5D；对于2桩和3桩，由于受已压入桩的影响限制了其水平侧移，而竖向隆起量加剧，已压入桩的遮帘作用不容忽视；

（2）对于群桩，压桩后土体水平侧移和地表隆起都是不断累积的，水平侧移范围能达到5D，桩群中最大隆起发生在桩群中心处，可达到12.6%D，而且桩施工顺序对土体位移起到了关键作用，应该在实际工程中得到重视。

（3）由于模型试验规模和尺寸相对较小，重塑土也与工程存在差距，本文只是基于试验结果总结出了群桩沉桩所产生的挤土变形规律，这还有待实际工程的进一步检验。

参 考 文 献

[1] 张明义. 静力压入桩的研究与应用[M]. 中国建材工业出版社, 2004.

- [2] HWANG J H, LIANG N, CHEN C H. Ground response during pile driving[J]. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 2001, 127(11): 939—949.
- [3] 龚晓南, 李向红. 静力压桩挤土效应中的若干力学问题[J]. 岩土力学, 2000, 21(4): 7—12.
GONG Xiao-nan, LI Xiang-hong. Several mechanical problems in compacting effects of static piling in soft clay ground[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2000, 21(4): 7—12.
- [4] 姜珂. 考虑软粘土结构性损伤的静压桩沉桩规律分析[博士学位论文 D]. 浙江: 浙江大学, 2003.
- [5] 唐世栋, 何连生, 傅纵. 软土地基中单桩施工引起的超孔隙水压力[J]. 岩土力学, 2002, 23(6): 725—732.
- TANG Shi-dong, HE Lian-sheng, FU Zong. Excess pore water pressure caused by an installing pile in soft foundation[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2002, 23(6): 725—732.
- [6] 陈文. 饱和软土中静压桩沉桩机理及挤土效应研究[硕士学位论文 D]. 南京: 河海大学, 1999.
- [7] 唐世栋, 王永兴, 叶真华. 饱和软土地基中群桩施工引起的超孔隙水压力[J]. 同济大学学报, 2003, 31(11): 1290—1294.
- TANG Shi-dong, WANG Yong-xing, YE Zhen-hua. Excess pore water pressure caused by installing pile group in saturated soft soil[J]. **Journal of Tongji University**, 2003, 31(11): 1290—1294.