

文章编号:1673-9469(2014)02-0015-05

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2014.02.004

带受力盘塑料套管混凝土桩挤土效应试验研究

陈常辉¹,徐 镛²,陈永辉^{1,3},谢 军¹

(1. 河海大学 岩土工程科学研究所,江苏 南京 210098;2. 南京水利科学研究院,江苏 南京 210098;
3. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室,江苏 南京 210098)

摘要:在上海软土地基中进行了带受力盘塑料套管混凝土桩沉桩压入试验,通过在试验桩桩周预先布置孔压、侧向位移、地表隆起和径向土压力监测点,探求带受力盘 TC 桩在沉桩过程中的桩土相互作用机理。试验结果表明:超孔压增量沿深度呈上小下大分布并在沉管拔出后迅速消散;挤土应力沿深度亦呈上小下大分布并沿径向减小,在沉管拔出短时间内骤减;土体在桩压入过程向外移动,拔管之后向内偏转;地表整体下沉,随径向距离增加下沉量变小。

关键词:带受力盘 TC 桩;挤土效应;孔隙水压力;桩周土压力;侧向位移;地表隆起

中图分类号:TU 473

文献标识码:A

The research on soil compacting effect of plastic tube cast - in - place concrete pile with supporting disc

CHEN Chang - hui¹, XU Kai², CHEN Yong - hui^{1,3}, XIE Jun¹

(1. Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Jiangsu Nanjing 210098, China; 3. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China)

Abstract: To explore the soil compacting effect of TC pile with disc, this paper conducts a test on soft soil penetrating of TC pile with disc in Shanghai, by measuring the pore pressure, earth pressure, lateral displacement, and land upheaval around the test pile. The test shows that the excess pore pressure increasingly become deeper from the up to the bottom and dissipates quickly after pulling out the sinking pile, meanwhile, the earth pressure also increases with depth, however decreases along the radial direction. We also find that the soil moves outward during the pile sinking period while moves inward after pulling out the pile, at the same time, the ground sinks with a decreasing speed as the radial direction increases.

Key words: TC pile with disc; soil compacting effect; pore pressure; earth pressure; lateral displacement; land upheaval

近几十年,桩基础在我国应用十分广泛,其沉桩桩土相互作用十分复杂,前人对此进行了许多研究并建立了数学模型^[1-6]。陈永辉、陈龙等^[1]在 TC 桩挤土效应现场试验中发现桩上部桩侧土压力与静止土压力十分接近,是因为多余的力通过地表隆起得到释放,而在深层土中应力得不到释放致使桩侧土应力急剧增加;周火焱和施建勇^[2]研究了静压桩的挤土效应,认为沉桩伊始(0-0.2L)地表隆起量迅速增加,随后缓慢衰减;雷

华阳等^[3]观测了 PHC 管桩沉桩过程中桩周孔压变化,发现沉桩过程中超孔压随径向呈线性衰减,影响范围大约为 10 倍桩径。但在工程中地质条件十分复杂,所建立的数学模型不能完全模拟沉桩过程;同时,带受力盘塑料套管混凝土桩作为一种新型地基处理方式,对其专门的理论研究还比较少,因此,带受力盘 TC 桩的挤土效应研究更具价值。由于受力盘的存在以及其工艺与常规桩型差别较大,带受力盘 TC 桩的挤土效应具有特殊

收稿日期:2014-01-24

基金项目:浦东新区科技发展基金卫生、农业和城建环保项目(2012050058)

作者简介:陈常辉(1989-),男,福建福鼎人,硕士,从事软土地基处理方面研究。

性,桩侧土体、受力盘下部土体的回挤效应亟需进行系统的研究。本文通过现场试验研究,揭示了带受力盘 TC 桩在沉桩过程中的桩土相互作用机理,对带受力盘 TC 桩的施工和设计理论起到一定指导作用。

1 试验场地工程地质概况

两港公路规划西起奉贤区奉城镇 A30 公路,向东进入临港新城后转向北,跨过大治河出新城,往北接规划机场高速公路与 A30 沟通。

试验场地所在区域大地构造单元属于扬子准地台(一级构造单元)的东北端部,二级构造单元为钱塘台褶带,三级构造单元为上海台陷。在地质历史时期总体表现为隆起状态,在新构造时期为持续振荡性不均匀沉降。试验场地地基土在勘察深度范围主要由饱和的粘性土、粉性土、砂土组成,属第四纪松散沉积物。具体的物理力学指标见表 1。

2 试桩条件和观测点布置

本工程所采用的带受力盘 TC 桩桩径 $d = 160 \text{ mm}$,混凝土强度等级为 C35,设计桩长 $L = 22 \text{ m}$,受力盘直径 $D = 260 \text{ mm}$,桩深 $0 \sim 10 \text{ m}$ 范围内受力盘间距 2 m ,桩深 10 m 以上,受力盘间距 1.5 m ,采用静压辅助振动沉桩施工工艺。

本试验于 2012 年 11 月开展,研究带受力盘 TC 桩单桩挤土效应,故在带受力盘 TC 桩群桩之中预留 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 场地,在场地中间设置试验桩。试桩的桩周布置了测斜管、地表隆起观测点、孔隙水压力计、土压力计,仪器的平面布置见图 1。

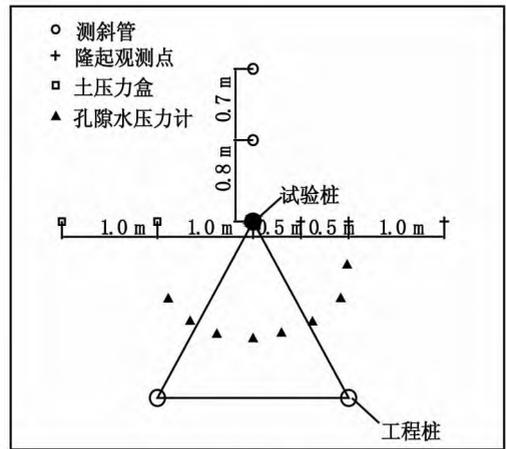


图1 测点布置平面图

Fig.1 Ichnography of arrangement of survey points

其中两处测斜孔均为 30 m ;桩周径向 1 m 处共布设 8 个孔压计,采用一孔一计,埋设深度为 3、6、9、12、15、18、21、24 m ;地表隆起观测点布置在试桩径向 0.5、1.0、2.0 m 处;土压力计布置在试桩径向 1.0、2.0 m 处,每处 8 个,埋设深度分别为 3、6、9、12、15、18、21、24 m 。

3 试验结果

为了研究沉桩过程中桩土作用机理,试桩的打设分段进行,分别在打设深度 7、14、22 m 时暂停打桩,测量孔压、桩周挤土压力、侧向位移和地表隆起。

由于现场仪器埋设条件的限制,所测得数据可能并不十分精确,但所呈现的规律仍具研究价值。

表 1 试验场地土层的主要物理力学指标

Tab.1 The main physical and mechanical indexes of soil layer in test area

土层名称	平均厚度 /m	含水量 /%	天然重度 / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	孔隙比	压缩模量 /MPa	粘聚力 /kPa	内摩擦角 / $^{\circ}$
粉质粘土	1.72	33.2	18.3	0.948	4.54	18	19.5
砂质粉土	3.31	28.2	18.7	0.821	8.89	5	31.5
粉质粘土	0.97	42.3	17.5	1.177	3.07	12	17.5
砂质粉土	1.37	27.5	18.7	0.801	8.96	5	31.5
淤泥质粘土	10.20	48.2	16.9	1.354	2.35	11	13.5
粘土	9.32	41.4	17.5	1.174	2.97	13	13.0
粉质粘土	6.36	33.9	18.2	0.975	4.61	18	20.5
粉质粘土夹粉土	6.02	32.0	18.4	0.925	5.45	18	20.5
粉质粘土	1.56	24.6	19.4	0.716	6.88	39	20.0
砂质粉土	7.82	27.3	18.8	0.794	9.67	6	32.5
粉砂	未钻穿	26.2	19.0	0.756	13.15	4	35.5

3.1 沉桩引起的超静孔压变化

通过8个布设在试桩径向距离1 m处的孔压计监测沉桩过程中桩周土的超孔压变化。图2为超孔压增量随带受力盘 TC 桩打设的变化曲线图:

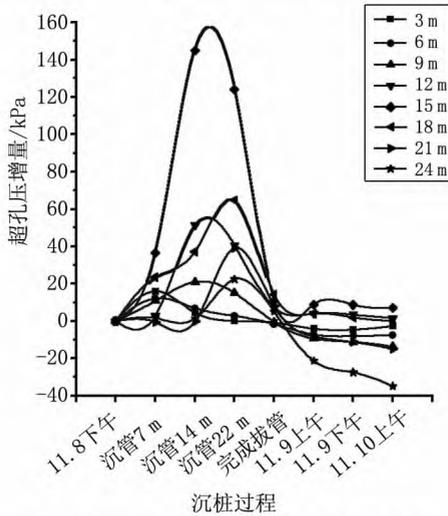


图2 沉桩过程中超孔压增量变化曲线图

Fig.2 Curve graph of pore pressure increment during pile-sinking

图2表明:在沉桩的过程中,桩端到达孔压计埋设深度水平面附近时,超孔压增量达到最大值。浅层土和深层土的超孔压增量差异较大。在较浅土层中(3~9 m),超孔压增量较小,增幅在20 kPa之内,且在完成拔管的10分钟内几乎降为初值;在深层土中(12~21 m),超孔压增量较大,增幅在50 kPa到150 kPa之间,完成拔管之后仍有少部分超孔压存在。

15 m 深度处,超孔压增量最大,究其原因是在15 m 深度处土体透水性最差,从静力触探资料可知该深度土体为淤泥质粘土,而其上下层土体为砂质粉土、粉质粘土。

图2还显示:在完成拔管的短时间内各土层超孔压迅速消散至接近初值,这是由于受力盘的存在,在沉管完全拔出之后孔壁与塑料套管之间存在5 cm宽的环形空隙,这就相当于拔管瞬间应力释放并且环形空隙在土体回挤之前暂时成为良好的排水通道。

在拔管之后的几天内,超孔压逐渐消散,甚至有些地方超孔压增量为负值,这是由于拔管的过程中沉管与桩周土体的摩擦作用将桩周土体回带,相当于对桩周土施加了负压。而在24 m处这个数值最大,是因为带受力盘 TC 桩处理深度为

22 m,即沉桩到22 m时,24 m处还未充分受挤就拔管将土体回带。

3.2 沉桩引起的桩周挤土压力

通过设在径向1.0 m和2.0 m的土压力盒监测沉桩过程中桩周挤土压力的变化。用沉桩前后的土压力增量来表示沉桩引起的桩周挤土压力。图3、图4分别为试桩径向1.0 m和2.0 m处挤土压力随带受力盘 TC 桩打设的变化曲线图。

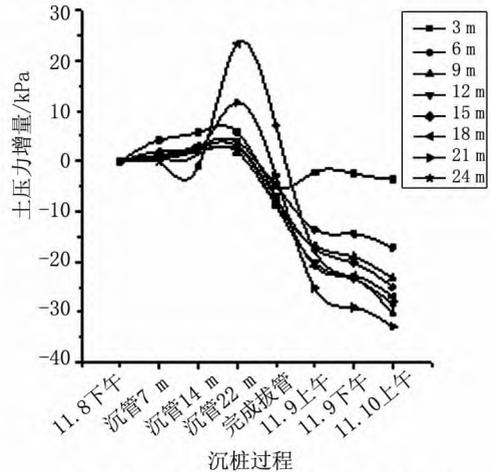


图3 沉桩过程中试桩径向1.0 m处挤土压力变化曲线图

Fig.3 Curve graph of stress of pushing against soil at a radial distance of 1.0 meter from test pile during pile-sinking

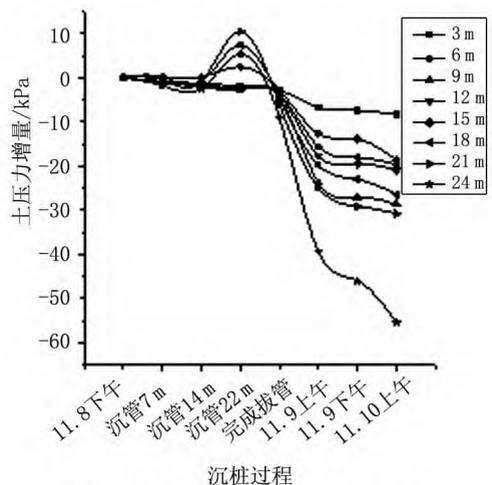


图4 沉桩过程中试桩径向2.0 m处挤土压力变化曲线图

Fig.4 Variation of extrusion stress at a radial distance of 2.0 meter from testing pile during pile-sinking

图3、图4表明:在打桩的过程中,深层土受到挤土压力明显大于浅层土体,以1.0 m处为例,18 m以上的土体受到的挤土应力均小于6 kPa,而24 m处挤土应力达到了23 kPa。在沉桩的过程

中,桩对土体的作用可分为两个部分:第一部分为桩尖刺入土体对桩周土体的侧向挤压作用;第二部分是沉管外壁与桩周土的摩擦带动土体下沉。前者对桩侧土产生正向的挤压应力;后者对下层土产生正向挤压,对上层土类似于应力释放,并在一定程度上提供负压。对浅层土而言,在开始打桩不久,就成为了上层土,桩土的摩擦作用提供了负压,与第一部分的挤压作用抵消,因此挤土应力较小;而深层土一直受到两部分的正向挤压叠加直到桩尖达到该深度,因此挤土应力较大,尤其24 m处,桩长还未达到此深度,因此此处受到的挤压应力最大。

对比图3、图4,随着径向距离的增加,在沉桩过程中,桩周土受挤作用减弱,在径向2.0 m处,沉桩14 m以前甚至不产生正向挤压,沉桩22 m时,仅15 m深度以上的深层土产生正向挤压,且数值较小。

图3、图4还表明:在完成拔管的短时间内各个深度挤土应力骤降,大部分土压力增量变为负值,如前所述,这是由于拔管之后套管与桩周土之间存在环形空隙应力瞬间释放造成的,另一方面,拔管的时候沉管外壁与土体摩擦里带动土体回带也有较大影响。在拔管之后的几天内,挤土压力继续下降。深层土的挤压应力下降速度比浅层土快,事实上,深层土土体往环形空隙回土速度比浅层土快,因此其挤压应力下降越快。

3.3 地基挤土变形

除了布置在试桩径向1.5 m处的测斜孔数据异常无明显规律,其他测点完好。11月8日拔管完成的测斜数据缺失是因为下雨造成测斜仪数据采集仪故障。

3.3.1 侧向挤土位移

通过设在试桩桩周的测斜孔监测单桩沉桩过程中引起的侧向挤土变形,图5为沉桩过程中,距试桩中心0.8 m处土体的侧向挤土位移随深度变化图(图中正向位移方向为沿径向向外)。

图5表明:随着沉桩的深入,桩周土体侧向位移逐渐向深部发展,整体位移沿径向向外。与此同时当沉桩达到14 m之后,桩顶的位移沿径向向内偏转,其原因是当沉桩到达较大深度时,上部土体在沉管外壁与桩周土的摩擦作用下,部分土体被往下带动,同时对上部土体形成牵引力,带动了土体向内移动,这与前述桩周土压力的变化相符。

当沉桩完成,即沉桩22 m时,上部5 m土体位移已经由正向转为负向,此时,最大位移出现在中部12 m处和底部20~22 m。

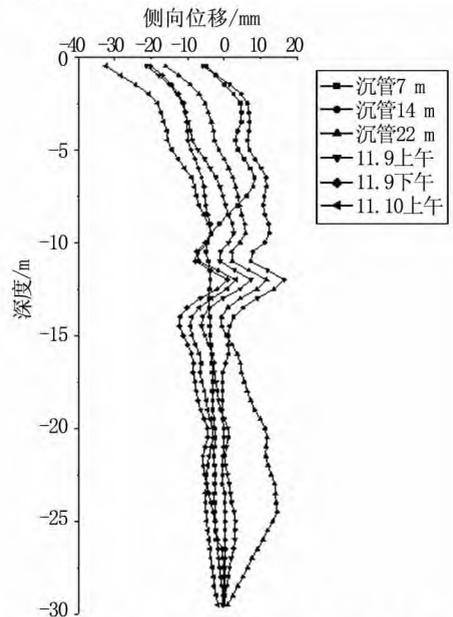


图5 试桩径向0.8 m处土体侧向挤土位移变化曲线图

Fig.5 Curve graph of lateral displacement of soil around pile at a radial distance of 0.8 meter from test piles

由于在完成拔管之后下雨导致测斜仪数据采集仪故障,未能采集到完成拔管短时间内的侧向挤土位移数据。但是从11月9日的的数据以及前述桩周土压力在拔管之后的变化仍能推断出桩周土的位移发展趋势。在完成拔管的短时间内,由于应力释放,桩周土向套管回挤,短时间内桩周土整体向内移动。由于深部土体受到的自重应力较大,因此,在拔管瞬间就产生较大回挤位移。

图5还表明:拔管之后桩周土逐渐反方向移动,在拔管2天之后,整体位移方向为沿径向向内。

3.3.2 地表隆起

在距桩中心0.5、1.0、2.0 m布设三个表面沉降板以观测在沉桩过程中桩周地表隆起变化。图6为桩周地表隆起随带受力盘TC桩打设的变化曲线图。

图6表明:整体地表隆起量为负值,即随着桩入土,桩周土整体呈现出下沉趋势,说明带受力盘TC桩的打设过程也是对桩周土的挤密过程。随着径向距离的增加,地表下沉变小,0.5 m处下沉量最大为1.5 cm。2.0 m处在沉桩7 m时,地表有略微隆起,但随着桩继续入土,立刻由隆起转为下沉。桩入土在7~14 m的过程中,地表下沉最为

明显,之后地表下沉缓慢。

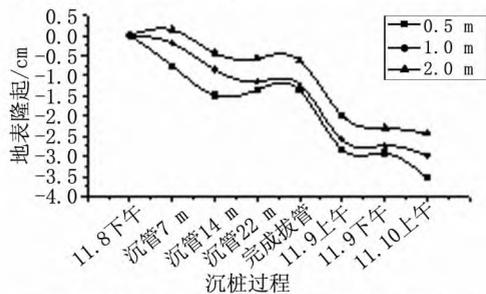


图6 沉桩过程中桩周地表隆起变化曲线图

Fig.6 curve graph of ground heaves around piles during pile-sinking

图6还表明:在拔管之后的短时间内地表隆起几乎没有变化,而不像超孔压和土压力短时间剧烈变化,说明桩周回土对地表隆起的影响具有明显滞后性,土体的回挤对地表的隆起是缓慢的起作用,而不是瞬时变化。这一点同样可以从11月9日的的数据得出结论,在拔管之后由于土体向桩回挤,地表继续下沉,下沉量甚至比整个沉桩过程还大,这是因为沉桩过程是由于沉管与桩周土的摩擦带动桩周土下沉,而拔管之后由于前述环形空隙的存在,土体回挤弥补空隙造成地表下沉。

4 结论与建议

(1) 超孔压增量沿深度呈上小下大分布。在完成拔管的短时间内各土层超孔压迅速消散至接近初值。拔管之后几天内,深层土超孔压增量甚至变为负值。

(2) 桩周土受到的挤压应力亦呈上小下大分布。沿径向挤土应力减小。完成拔管短时间内各深度挤土应力骤降且大部分土压力增量变为负值。

(3) 在沉桩的过程中,当桩尖到达某深度,该深度土体沿径向向外移动,之后桩尖远离该深度,该深度土体沿径向向内偏转。拔管之后,土体回挤,各深度土体均沿径向向内移动。

(4) 地表整体呈现下沉趋势,随径向距离增加,地表下沉量变小。拔管之后,土体回挤对地表隆起的影响具有滞后性。

(5) 建议增加桩身底部套管的壁厚,桩身顶部和中部套装壁厚可适当减小。

(6) 在混凝土强度达到28天强度之后,若在路堤填筑之前,上部需要建筑结构物(如挡土墙),建议通过预压加速桩周土体回挤,然后再建筑结构物。

参考文献:

- [1] 陈永辉,陈龙,王新泉,等. 塑料套管混凝土桩挤土效应现场试验[J]. 西北地震学报,2011,33[S1]:190-194.
- [2] 周火焜,施建勇. 饱和软黏土中足尺静压桩挤土效应试验研究[J]. 岩土力学,2009,30(11):3291-3297.
- [3] 雷华阳,李肖,陆培毅,等. 管桩挤土效应的现场试验和数值模拟[J]. 岩土力学,2012,33(4):1006-1012.
- [4] 彭劼. 饱和粘土中沉桩的挤土效应研究及其在桩基承载力计算中的应用[D]. 南京:河海大学,2000.
- [5] 王兴龙,陈磊,窦丹若. 打桩挤土的现场试验研究及土体位移的计算公式[J]. 岩土力学,2003,24[S2]:175-179.
- [6] 唐世栋,何连生. 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.

(责任编辑 王利君)