

文章编号: 1000-7598-(2004) 02-0312-04

群桩条件下桩土相互作用实验研究

杨 进^{1,2}, 彭苏萍¹

(1. 中国矿业大学 资源学院, 北京 100083; 2. 石油大学 石油工程系, 北京 102200)

摘 要: 根据海洋钻井实际工程情况, 开展了粘性土质条件下群桩模拟实验, 研究分析了群桩条件下的桩-土相互作用问题, 得出了群桩作用对土应力场的影响关系, 模拟实验结果对海上隔水导管的施工具有重要的指导意义。

关 键 词: 隔水导管; 土应力; 群桩相互作用; 粘土

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

Experimental research on interaction of pile with soil under condition of pile group

YANG Jin^{1,2}, PENG Su-ping¹

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. University of Petroleum, Beijing 102200, China)

Abstract: Based on offshore drilling practical case, simulation tests on interaction of pile with soil under condition of pile group have been carried out in clay. The problem of interaction of pile with soil and soil stress is analyzed. The results are important to guide offshore design and construction.

Key words: riser; soil stress; interaction of group pile; clay

1 引 言

随着我国海洋石油勘探开发的快速发展, 对海上钻井工程和施工也提出了更高的要求和挑战。为了节约工程费用, 提高经济效益, 每个石油钻井平台上要打上 20~30 口油井, 使各井口间距进一步缩小, 由原来的 2 m×2 m 改为 1.5 m×1.8 m。这样, 由于井间距进一步减小, 在隔水导管施工过程中, 引起群桩效应而发生隔水导管打入过程中的拒锤现象。如 SZ36-1 油田由于群桩作用影响较大, 使隔水导管打入困难, 隔水导管的入泥深度由原来的 50 m 减少到 35 m, 而未能完成设计的入泥深度要求。因此, 开展群桩条件下桩-土相互作用的研究, 对指导海上隔水导管的施工具有十分重要的意义。

从查阅的国内外有关文献资料来看, 尚未见到针对群桩作用下隔水导管入泥深度研究的相关报道。所以, 本课题从实验入手, 从作用机理上来开展群桩条件下桩-土相互作用的研究。由于本工程不具备现场实验的条件, 所以, 本课题采用模拟实验的方法来探索桩-土相互作用的机理。

2 工程背景

本课题的工程背景是我国海洋石油平台上的钻井施工。钻井施工前, 首先要下一层大尺寸的钢管, 这种管在海洋石油上称之为隔水导管, 其作用: ①隔离海水而形成钻井液的循环通道; ②作为井口设备的持力结构。一般石油平台井槽布置为 4×5 或 5×7 排列, 如图 1 所示。隔水导管一般采用长 762 或 508 mm, 壁厚为 50.8 mm 的开口钢管, 施工选用 IHC 液压打桩锤, 型号为 S90, S200, S280, 其详细性能参数见表 1。

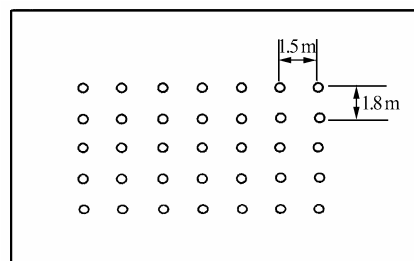


图 1 海洋石油平台井位布置图

Fig.1 Arrangement of drilling risers on platform for offshore petroleum

收稿日期: 2002-09-05

作者简介: 杨进, 男, 1966 年生, 在读博士研究生, 从事工程地质方面的研究工作。

表1 施工液压锤参数

Table 1 Parameters of hydraulic hammers

锤型	最大冲击能 /kN·m	锤重 /t	最大冲击力 /kN
S90	90	9.2	4 500
S200	200	24.5	10 000
S280	280	29	14 000

3 沉桩影响范围

沉桩时, 桩对土的水平挤压力可用 Vesic 孔扩张理论模拟^[1]如图 2 所示。此时, 桩周围土体发生了大范围的扰动和重塑, 用摩尔-库仑准则代入圆孔扩张平衡微分方程, 可求得土体中的应力, 从而, 求得桩挤土效应以及各桩之间的相互影响。塑性区内土体是可以压缩的固体^[2], 具有摩尔-库仑所定义的强度指标 c 和 φ 以及平均体积应变 Δ , 与现有的或新增加的应力相比, 其体力可以忽略不计。在施加荷载 P_u 之前, 整个土体具有各向均等的有效应力 q 。

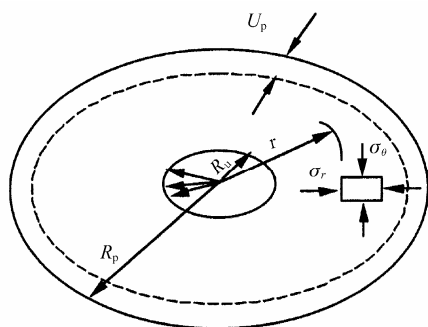


图2 园孔扩张应力分布

Fig. 2 Distribution of expansive stresses of a hole

球形对称体的应力平衡方程解为

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\sigma_r}{dr} + 2\frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} &= 0; \\ \sigma_\theta &= \sigma_r \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - \frac{2c \cos \varphi}{1 + \sin \varphi} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

利用径向位移的拉梅解, 并考虑边界条件可得如下结果, 即:

塑性区半径为

$$\frac{R_p}{R_u} = \sqrt[3]{I_\pi} = \sqrt[3]{\frac{I_r}{1 + I_r \Delta}} \quad (2)$$

式中 I_r 为刚度指标。

扩张压力为

$$P_u = \frac{3(1 + \sin \varphi)}{3 - \sin \varphi} (q + c \cos \varphi) \left(\frac{R_p}{R_u} \right)^{\frac{4 \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cos \varphi \quad (3)$$

径向应力衰减方程为

$$\sigma_r = (P_u + c \cos \varphi) \left(\frac{R_u}{r} \right)^{\frac{4 \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cos \varphi \quad (4)$$

式中 R_p 为塑性区半径; R_u 为桩半径; σ_r 为径向应力; σ_θ 为环向应力。

从以上各式看出, 塑性区土层的特性是由 c , φ 确定的, 只有平均体积应变随桩的水平挤压力而变化, 由于各层土层的特性不一, 故水平径向应力和环向应力的大小也不一样。

4 实验准备

根据相似原理, 实物与模型几何尺寸相似比选为 10: 1。选用直径为 50.8 mm, 壁厚为 2.54 mm 的钢管作为模型桩, 长度为 3.5 m。打桩锤为 10 kg 重锤, 锤落距为 1.5 m^[3]。

本次实验选择了粘性土层。首先选择一块长×宽×深为 5 m×5 m×5 m 场地, 把土挖掉重新回填粘土。在回填过程中把 6 个土压力传感器分别安放在不同深度上的 3 个位置, 即同一处的上下 2 个深度安装压力传感器, 面呈垂直方向。

土压力传感器 1, 3, 5 分别置于 3 m 深位置, 压力传感器 2, 4, 6 置于 1.5 m 深位置。传感器 1 压力面对 1#桩, 传感器 2 压力面对 4#桩, 传感器 3 压力面对 8#桩, 传感器 4 压力面对 6#桩, 传感器 5 压力面对 11#桩, 传感器 6 压力面对 9#桩, 传感器位置的安装和桩位置分布如图 3。

另外, 选用了尺寸小、压力面钢膜薄、精度高的应变式土压力传感器, 传感器压力面钢膜的弹性模量与实验土的弹性模量之比小于 10, 故满足实验精度的要求。

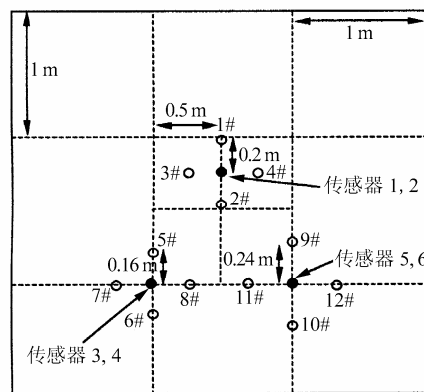


图3 传感器安装和桩位置分布示意图

Fig. 3 Sequence of piles and sensors

在回填过程中, 不断进行施水密实, 等待 4 个星期, 土密实程度接近稳定状态。

施工前将土压力传感器的信号电缆连接在动态应变仪上, 并与计算机连接好, 测量实验前土压力传感器初值。

5 打桩施工

按图 4 所示的打桩顺序, 把 1#桩打入 3.5 m 深土中, 在打桩过程中每打入 1 m 测量土压力传感器 1, 2 的信号值, 并记录每打入 1 m 深度所锤击的次数。按照上述施工方法, 分别把 12 根桩打入设计的深度, 在各个桩打入过程中, 打完一个桩后要停一段时间, 等扰动土稳定后, 再打下一个桩。

表 2 是在打桩过程中土压力传感器测量的一个原始记录样本。

表 2 第 2 组实验中传感器的打桩记录
Table 2 Record of sensor in driving pile

桩号	传感器的读数			
	打对应桩前	打对应桩入土 1 m 时	打对应桩入土 2 m 时	打对应桩入土 3 m 时
1#	626	628	743	746
2#	746	750	765	776
3#	776	782	862	870
4#	870	873	980	988

注: 表中传感器 4 测量结果编号为 160#, 在地面无载荷时测量值是 0。

6 实验结果分析

制定实验施工方案时, 采用两边对应打桩顺序来测量群桩对周围土应力场的影响。图 4 是本实验打桩流水示意图, 打桩顺序为 1#~4#。按其打桩顺序, 进行了三种桩距的模拟实验, 桩距分别为 0.16, 0.20 和 0.24 m。

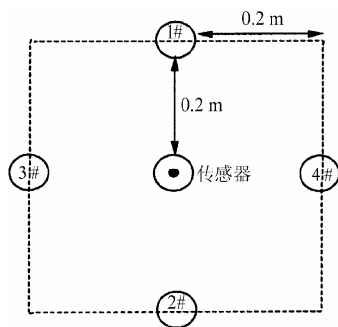


图 4 打桩施工流水示意图
Fig. 4 Sequence of driving pile

6.1 锤击数分析

图 5 为 3 组实验的打桩锤击数记录统计。从原始记录来看, 随着桩入土深度的增加, 贯入度逐渐地减小。由图 5 可见, 3#, 4# 桩的锤击数比 1# 桩有明显的增加, 这说明 1#, 2# 桩对土的扰动影响非

常显著。

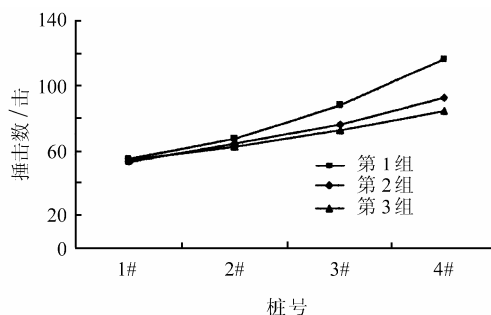


图 5 3 组实验的打桩锤击数统计图
Fig. 5 Statistics graph of driving hammer number in three tests

6.2 土应力场分析

图 6 是 3 组模拟实验的打桩过程中土压力传感器的测量数据图。分析实验原始记录, 由图可以看出, 随着各根桩地打入, 土压力传感器读数逐渐地增加。4# 桩打入后土压力传感器的读数比 1# 桩打入后有明显的增加, 这说明群桩作用对粘土的扰动作用十分明显。

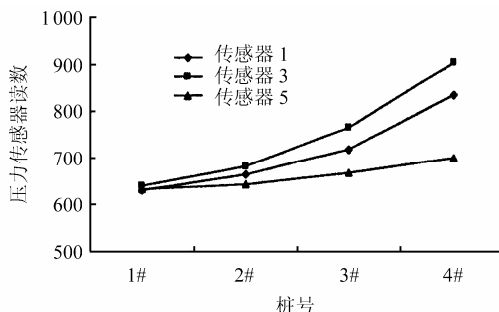


图 6 3 组实验的 3 m 深度压力传感器测量数据图
Fig. 6 Statistics graph of measured value number of 3-meter sensor in three tests

从实验结果可以看出, 先打入的 3 根桩对后继沉桩影响较大, 对土压力传感器读数的影响也很明显。1#~4#桩对压力传感器处的土应力的影响, 为 4 根桩合成效应的结果, 笔者认为四者的合成按照正交力系的矢量法则进行计算。

其计算公式如下:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_{r1} + \Delta\sigma_{r2} + \Delta\sigma_{r3} + \Delta\sigma_{r4} \quad (6)$$

式中 $\Delta\sigma$ 为 4 根桩打入后土压力传感器处土应力的增量 (kN); $\Delta\sigma_{r1} \sim \Delta\sigma_{r4}$ 分别为 1#~4#桩打入后

传感器处土应力的增量(kN)。

综合分析图6还可以看出,由于群桩效应的影响,土压力传感器处的土应力增加了10.4%~41.6%。当桩距与桩直径之比小于3时,群桩作用十分显著,在第4根桩打入后,土压力传感器的读数增加了41.6%。当桩距与桩直径之比为3.94时,群桩作用较明显,第4根桩打入后,土压力传感器的读数增加了25.8%。当桩距与桩直径之比为4.72时,群桩作用较弱,第4根桩打入后,土压力传感器的读数增加了10.4%。

7 结 语

通过群桩模拟实验可以得出:在一定桩距范围内粘性土质群桩作用影响十分明显,当桩距与桩直

径之比小于3时,群桩作用十分显著,后续的打桩施工时锤击数增加,贯入度减小。群桩模拟实验结果对海上隔水导管的施工具有十分重要的指导意义。

参 考 文 献

- [1] 龚维明, 蒋永生, 穆保岗, 等. 某海洋平台钢管桩可打性分析[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(2): 227—230.
- [2] 高大钊. 软土地基理论与实践[M]. 北京: 中国建筑工程工业出版社. 1992.
- [3] 宰金璋, 朱光裕. 开口钢管桩土塞的机理与性状研究[A]. 桩基技术新进展学术讨论会论文集[C]. 宁波: 中国建筑工程工业出版社. 1991.

上接第311页

后,迅速翘起,而支盘桩则是在荷载为60%~70%之间曲线有一个顶点,过了此点后,曲线开始下降;荷载为60%时,正是摩阻力与支盘端承力转换过渡阶段,此时,沉降增量较大,随着桩顶荷载的增大,支盘的端承力得到发挥, Q - S 曲线变得比较平缓。可见,支盘桩的 Q - S 曲线一般为缓变形。

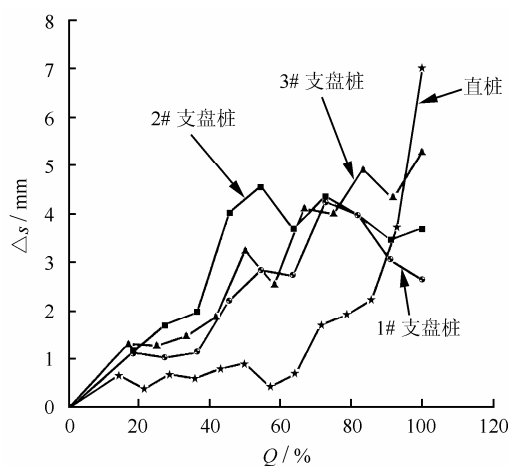


图9 支盘桩、直桩的 ΔS - Q 曲线
Fig. 9 ΔS - Q curves

4 结 语

(1) 在同等条件下,钻孔挤扩支盘桩比普通灌注桩的混凝土用量增加不多,但可以大幅度提高单桩承载力,具有很好的经济效益和社会效益。

(2) 在实际工程中可采用式(2)计算支盘桩承载力,一般静载荷试验结果都比计算值提高10%~20%,计算结果可靠。

(3) 根据桩身应力测试结果,加荷初期,桩侧摩阻力发挥较多,加荷后期,摩阻力已发挥到极限,所加荷载主要由支盘承担;挤扩支盘桩的支盘阻力主要体现端承力的性质,可将挤扩支盘桩定性为摩擦多支点端承桩。

(4) 支盘桩的 Q - S 曲线为缓变渐进形,充分发挥了桩周土的特性。

参 考 文 献

- [1] 吴永红. 多支盘钻孔灌注桩基础沉降计算理论与方法[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(5): 528—531.
- [2] 郭明锋, 李光模. 新型钻孔挤扩支盘桩在工程中的应用[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版), 1999, 7(2): 23—25.
- [3] 崔江余. 支盘挤扩混凝土灌注桩受力机理及承载力性状的试验研究[硕士学位论文D]. 北京: 北京交通大学. 1996.
- [4] 杨志龙. 挤扩支盘桩单桩竖向承载力研究[硕士学位论文D]. 天津: 天津大学.
- [5] 钱德玲. 挤扩支盘桩的荷载传递规律及FEM模拟研究[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(3): 371—375.
- [6] JGJ94-94, 建筑桩基技术规范[S].
- [7] 裘以惠, 张敷, 梁仁旺, 等. 挤扩多分支承载力盘混凝土灌注桩基础工程设计规程[Z]. 山西: 山西金石建筑安装工程有限公司. 2002.
- [8] 吴兴龙, 李光茂, 魏章和, 等. DX单桩承载力设计分析[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(5): 581—585.