

Spud-can 基础贯入对固定平台基础影响

吴永韧, 鲁晓兵, 陈海锋
(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要: 为了获得临时工作平台桩靴基础压入土层对固定海洋平台桩基础的影响, 本文进行了实验研究。研究发现, 桩靴基础压入对土层的扰动区域为距离桩靴边缘一倍半径的环形区域。固定平台桩基础顶端位移随桩靴基础压入深度的增加而增加。砂土地基密度越小, 桩靴基础压入引起的桩顶端位移越大。压入到一定深度后, 桩靴基础半径和压入速度对桩顶端总位移影响不大, 但影响位移过程。桩靴基础半径和压入速度越大, 桩顶端在压入初期位移越大。桩顶端位移随桩与桩靴之间距离增大而增大。

关键词: 桩靴基础; 饱和粉砂; 桩基

在维修固定式海洋工作平台需要用到自升式或半潜式临时海洋平台, 后者的桩靴基础 (spud-can) 压入土层将造成土的扰动, 影响前者基础的承载力, 造成安全隐患。由于问题的复杂性, 理论和数值计算较困难且很难得到准确结果^[1-3]。原型观测和足尺模型实验时间长、费用高^[1,4,5], 本文开展小模型实验对该问题进行初步研究。

桩靴压入对固定式平台基础的扰动是由于压入时周围土体受到扰动而产生大变形, 导致承载力降低、倾斜甚至破坏。这属于土层强烈压缩和流动这一土体大变形情况下的土体和结构耦合问题。本文对饱和粉砂土地基情况下桩靴压入对固定平台桩基扰动进行实验研究, 考察了不同土密度、不同压入深度以及不同桩靴压入速度等因素的影响。

1 量纲分析

首先对该问题进行量纲分析^[6-7]。在本问题中, 主要影响因素包括: 钢管桩: 埋深 L_p ; 桩半径 R_p ; 桩材料密度 ρ_p ; 桩抗弯刚度 EI ; 泊松比 ν_p ; 加载 P_p (P_{px}, P_{py} 包括平台的自重和外载, 目前只考虑静载荷); 桩靴 (简化为刚体): 半径 R_c , 厚度的 D_c , 压入深度 D_d ; 土: 变形模量 E_s , 泊松比 ν_s , 凝聚力 C , 摩擦角 φ_s , 密度 ρ_s ; 其他量: 重力加速度 g , 钢管桩与桩靴之间距离 L_{pc} , 桩靴与土之间的摩擦角 φ_{sc} , 桩靴压入速度 v 。待定量有: 桩的横向位移 L_h 。选桩材料密度 ρ_p , 重力加速度 g 和桩靴半径 R_c 为基本量, 考虑到桩靴厚度 D_c 在桩靴的压入过程中起的作用不大, $\rho_p g R_c^5 / (EI) \ll 1$, 可以忽略, 如果不变材料, 则有

$$\frac{L_h}{R_c} = f \left(\frac{L_p}{R_c}, \frac{R_p}{R_c}, \frac{D_d}{R_c}, \frac{L_{pc}}{R_c}, \frac{EI}{\rho_p g R_c^5}, \frac{P_p}{\rho_p g R_c^3}, \frac{v}{\sqrt{g R_c}} \right) \quad (1)$$

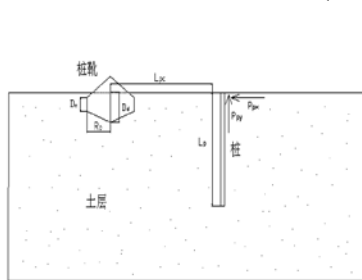


图1 桩靴压入土层示意图

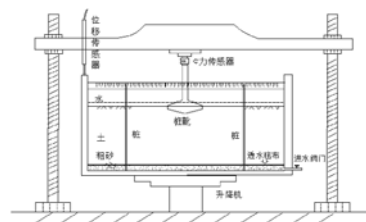
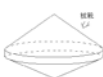


图2 实验布置

2 实验过程和结果

2.1 实验装置和步骤

模型实验是在 $50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 50\text{cm}$ 的有机玻璃槽中进行的, 桩靴从模型槽中心贯入。在有机玻璃槽沿深度方向以每隔 2cm 均匀分层供制样时作为标准线; 测出粉砂土样的含水量、选定土体的干密度, 计算每层土样的重量, 然后放入模型槽中; 在槽底部铺一层 2cm 的粗砂, 在其上铺透水布, 这样可以保证水从槽底部能均匀向上渗透。当水面没过土面 $1 \sim 2\text{cm}$ 时, 静置 24 小时使土中空气尽可能排出; 然后安装好力传感器、位移传感器、桩靴和钢尺, 在距离桩靴压入边缘一定距离位置插桩至槽底部, 加载使得桩靴匀速压入

土层。采用数据采集仪器记下不同时刻的桩靴压入深度、桩顶端位移。当桩靴压入至规定深度时,停止加载,打开进水阀门排水,待水排尽后测量不同位置土样密度。实验工况见表 1。

表 1 实验工况

实验序号	土干密度/(g.cm ⁻³)	桩靴直径/cm	桩靴压入速度/(mm.min ⁻¹)	左桩位置	右桩位置
1~5	1.6	7	2	1	1
6	1.6	7	2	1	1.5
7	1.5	7	2	1	1.5
8	1.7	7	2	1	1.5
9	1.6	12.5	2	1	1.5
10	1.6	12.5	4	1	1.5
11	1.6	12.5	6	1	1.5
12	1.6	12.5	8	1	1.5

(左右桩位置:桩中心与桩靴压入边缘距离/桩靴半径)

2.2 实验重复性

为保证数据的可靠性,我们首先进行了重复实验,图 3 为桩端位移随桩靴贯入过程的发展。可以看到,6 次实验结果较吻合,在容许的误差范围。

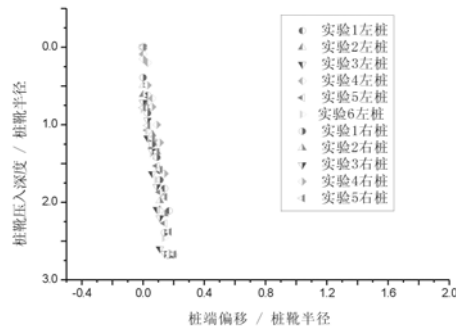


图 3 6 次重复实验的桩端位移变化

2.3 各因素对桩端位移的影响

2.3.1 密度、桩位置的影响

通过改变土体干密度、桩与桩靴压入点距离,即改变无量纲数 ρ_s/ρ_p 、 L_{pc}/R_c ,考察这两个因素对桩端位移的影响。图 4,图 5 为不同桩与桩靴距离时无量纲参数 L_h/R_c (桩端位移/桩靴半径)与 D_d/R_c (桩靴压入深度/桩靴半径)的关系。可以看出, L_h/R_c 值越小, L_{pc}/R_c 越大,则 L_h/R_c 就越小。即随着桩靴压入深度增加,桩端位移逐渐变大;土体干密度越大,桩端位移越小;桩距离桩靴越远,桩端位移越小。同时当桩距离桩靴边缘超过桩靴一倍半径时,桩端位移不明显。

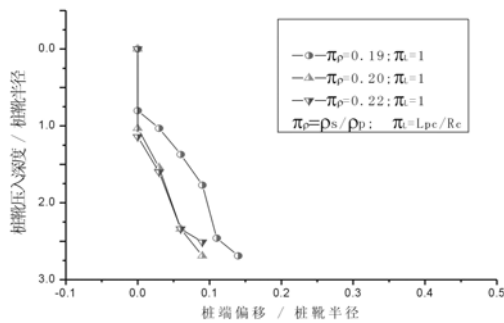


图 4 桩间距比为 1 时的桩端位移随密度的变化

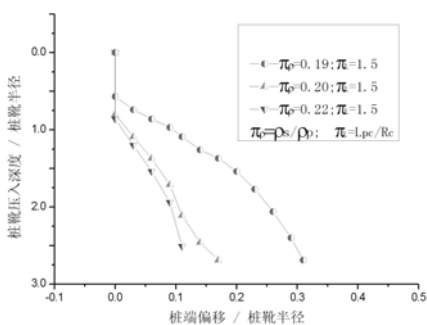


图5 桩间距比为 1.5 时桩端位移随密度的变化

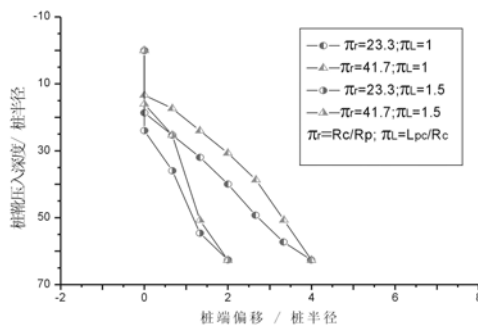


图6 桩靴半径对桩端位移的影响

2.3.2 桩靴半径的影响

通过改变 R_c/R_p ，考察桩靴与桩间距离之比对桩端位移的影响。由图 6 可知， R_c/R_p 值对桩端总位移影响不大。但 R_c/R_p 越大，桩端位移主要发生在桩靴压入初期。当桩靴压至一定深度时，桩端位移反而减小；同时可知 L_{pc}/R_c 越大， L_h/R_c 越小，即桩靴与桩间距离说大，桩端位移越小。

2.3.3 桩靴压入速度的影响

通过改变 $v/\sqrt{gR_c}$ 即改变桩靴压入速度，考察桩端的位移的变化规律。图 7 和图 8 为不同桩靴与桩间距离时无量纲参数 L_h/R_p （桩端位移/桩半径）与 D_d/R_p （桩靴压入深度/桩半径）曲线关系。可以看出，贯入速度 $v/\sqrt{gR_c}$ 对最后桩靴总位移影响不大，但是对桩端位移发展过程有明显影响。贯入速度大，桩端位移主要发生在桩靴压入初期。桩靴压至一定深度后，桩端位移反而减小；相反，贯入速度越小，桩靴压至一定深度后桩端才发生较大位移。对于不同的贯入速度，桩靴压入后形成的沉陷区域坡角在 28~31 度左右，差别不大（如表 3）。沉陷区示意图如图 9。沉陷区直径约为桩靴直径的两倍。

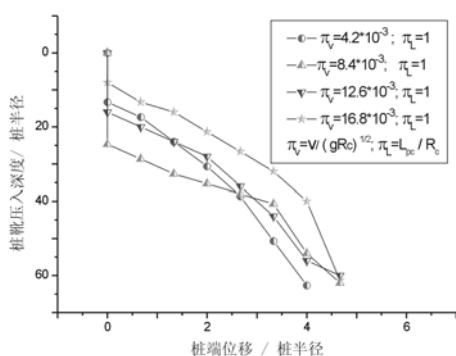


图7 间距比为 1 时桩位移随压入速度的变化

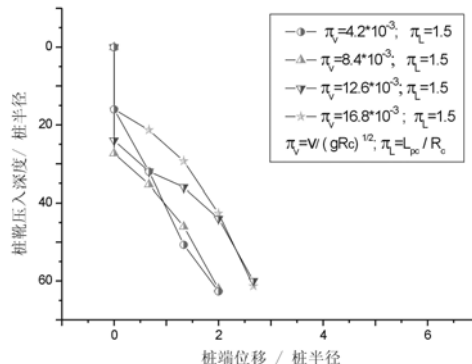


图8 间距比为 1.5 时桩位移随压入速度的变化

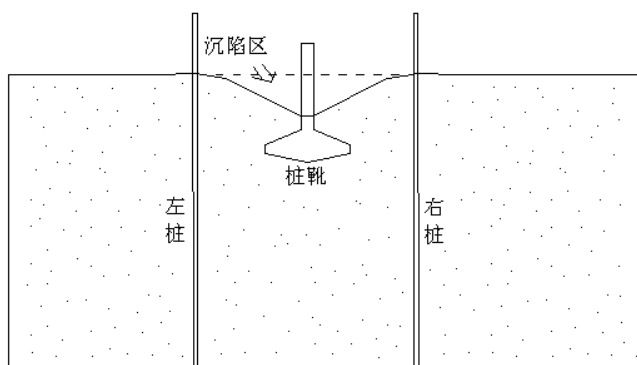


图9 实验后的土体表面位置

桩靴压入后沉陷区域周围、土体上下层边缘四周土密度差别不大，但是桩靴正下方密度差别明显。桩靴压入速度较小时，桩靴正下方土体密度相对较大。具体数值见表 2。

表2 实验后土体中的密度

桩靴压入速度 (mm/min)	坡角	桩靴正下方土密	沉陷区四周土的密	上层四周土的密	下层四周土的密
		度 (g/cm^{-3})	度 (g/cm^{-3})	度 (g/cm^{-3})	度 (g/cm^{-3})
2	29.4°	1.74	1.61	1.62	1.66
4	28.4°	1.77	1.6	1.58	1.67
6	28.6°	1.68	1.58	1.63	1.67
8	30.9°	1.65	1.6	1.58	1.67

3 结 语

本文开展了系列实验,研究了桩靴贯入对固定平台桩基础的影响。由实验结果可知,桩靴压入造成的沉陷区直径约为桩靴直径的两倍,即主要影响区域为距离桩靴边缘一倍半径的环形区域。沉陷区坡角为28~31度左右,接近粉砂的摩擦角。桩靴压入导致沉陷区正下方土密度变大,且桩靴压入速度越小,沉陷区正下方土密度越大。贯入深度、土体密度、以及桩与桩靴间距离对实验结果有明显的影响。桩顶端位移随桩靴直径增加而增加,随土体密度和桩与桩靴间距离增加而减小。当桩靴最后贯入深度超过一定值,桩与桩靴的相对尺度和贯入速度对桩顶端最大位移影响小,但对其发展过程影响较大。

致谢:该文中的实验中得到了赵京、王爱兰实验员的协助,特此致谢!该文得到中科院、中海油联合重大项目“海洋石油开发若干重大科学技术问题研究”(KJCX2-SW-L03-01)的资助。

参考文献:

- 1 Amoco Corporation, Assessment of Jack-up Rig Soil Disturbance on Fixed Offshore Platform Foundations in the Gulf of Mexico, 1987.
- 2 刘占阁,王栋,栾茂田. 钻井船基础压入对邻近平台桩基影响的有限元分析. 见:中国土木工程学会第九届土力学及岩土工程学术会议论文集, 2003: 1439 - 1442.
- 3 丁红岩, 刘建辉, 张超. 利用有限元法模拟较大桩靴拔出对筒型基础平台的影响. 中国海上油气, 2004, 16(5): 353 - 356.
- 4 R J Siciliano, J M Hamilton, J D Murff, R Phillips. Effect of jackup spud cans on piles, Offshore Technology Conference. OTC 6467, 1990: 381-390.
- 5 Y Xie, C F Leung, Y K Chow. Effects of spudcan penetration on adjacent pile, 6th ICPMG '06, 2006: 701-706.
- 6 Sedov L I. Similarity and Dimensional Methods in Mechanics (Trans.). London: Infosearch, 1959.
- 7 谈庆明. 量纲分析. 合肥: 中国科技大学出版社, 2005.