

桩靴压入对固定平台基础扰动的数值模拟

吴永初 王淑云 鲁晓兵

中国科学院力学研究所,北京,100190

摘要:运用商业有限元软件 ABAQUS 对桩靴压入过程对固定式平台基础的扰动进行了数值模拟。首先将计算结果与离心机实验结果进行了对照,以验证本文所采用本构模型和数值模拟方法的可行性;然后对桩靴压入不同深度时由于扰动引起的固定式平台的桩基础的应力和变形,以及桩周围土体的变形进行了模拟和分析。结果表明,桩基础周围一倍桩靴直径范围内的土体受到明显影响。

关键词:桩靴 固定式平台 桩基础

1 引言

在维修固定式海洋工作平台时常常用到自升式或半潜式临时海洋平台,桩靴基础(spudcan)又常常作为这种临时工作平台的基础。Spudcan 压入土层将造成土的扰动,影响平台基础的承载力,造成安全隐患。

前人针对该问题进行了一些探索性研究。结果表明,通过理论分析和数值计算解决该问题,困难较大且很难得到准确结果。原型观测和足尺模型实验时间长、费用高,目前还没有见到这方面的结果。人们利用离心机进行了一些实验^[1,4,5],由于该问题的复杂性和实验成本问题,进行的离心机实验数量少,还不能获得普遍的规律。因此针对该问题,还需要开展更进一步的研究。

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。

本文选用非线性有限元软件 ABAQUS 对桩靴压入对固定平台基础扰动分别进行了数值模拟。

2 运用 ABAQUS 模拟桩靴压入对桩基的扰动

2.1 计算域的选取

为了验证数值计算可靠性,本文首先用离心机实验结果^[6,7]校验了计算模型和方法。数值计算中的模型参数按照离心机实验原型选取。地基土体选用长宽各 50m、高 26m 的长方体。将土体分为桩靴压入区 I、损伤区 II 和弹性区 III,如图 1。桩靴压入区 I 为地基土体中心半径 5m 的圆柱形区域。损伤区 II 为宽 10m 的环形区域。其余地基区域为影响较小的弹性区 III。桩基位于距离桩靴边缘一倍桩靴

半径处。

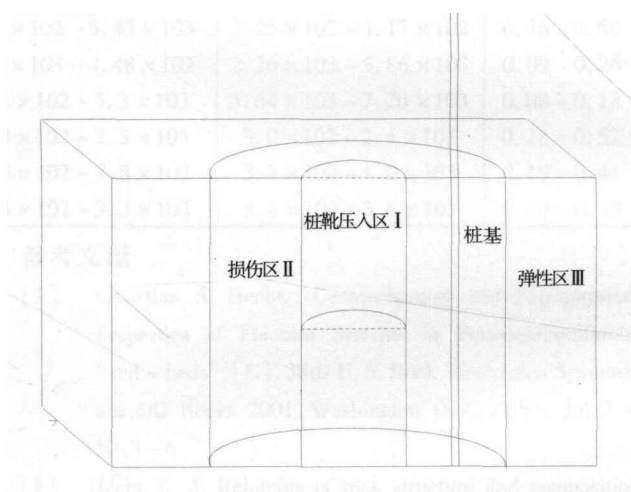


图 1 计算模型示意图

2.2 接触及网格划分

桩基和土体之间采用束缚(tie)约束,也就是从属面上的每一个节点被约束为与在主控面上距它最接近的点具有相同的运动。为了尽可能满足计算精度的要求,在靠近桩基和模拟桩靴压入区附近的土体,网格划分细。在其他区域,网格则划分的相对粗糙一点。网格如图 2 所示。

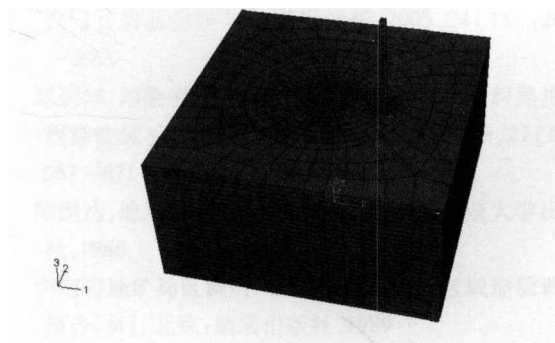


图 2 网格划分的示意图

2.3 边界条件

地基土体的计算范围是按照离心机实验来取值

的。地基地部的边界上,设为固支,即 $u_x = 0, u_y = 0, u_z = 0$;地基土体外侧边界为侧限边界条件,即法向约束,即 $u_x = 0, u_y = 0$ 。

2.4 初始应力场的处理

在土体开挖和施加外载前,周围土体中存在着初始的重力场,为此在开挖和施加其他外载前,将土体的自重作为外载,施加于地基之上,并利用软件中的初始应力场的自平衡功能在土体中形成初始重力场,以此作为施加其他外载的初始应力状态。

2.5 本构模型

桩靴压入区域和损伤区采用 mohr - coulomb 模型,弹性区采用弹性材料。具体土的本构参数见表 1^[6-8]。

表 1 土体材料参数

本构参数	弹性模量 E (10 ⁵ Pa)	泊松比 ν	黏聚力 C (Pa)	内摩擦角 φ (度)	密度 (浮密度) (g/cm ³)
地基土					
桩靴压入区 I	5	0.25	5000	23	0.692
损伤区 II	5	0.25	5000	23	0.692
弹性区 III	5	0.25		0.692	
桩靴下方土体	6	0.2		0.692	

2.6 数值计算结果与模型实验结果对比

失效区为 14m 时数值计算所得桩身偏移与离心机实验桩身偏移对比如图 3,可以看出数值计算和离心机实验在 15m 深以上桩身偏移基本吻合。15m 以下数值模拟所得桩身偏移不同以离心机实验

结果。原因如下:①离心机实验中桩靴压入挤压下方土体,而采用小孔扩张理论的数值模拟则无法模拟这过程;②数值模拟中,由于所用高岭土土质较软,土体在极限扩张应力作用下发生大变形,特别是在深 1~14m 失效区边缘处,造成数值模拟很难收敛。本文做了一定简化,适当减小此区域的加载,如图 4。

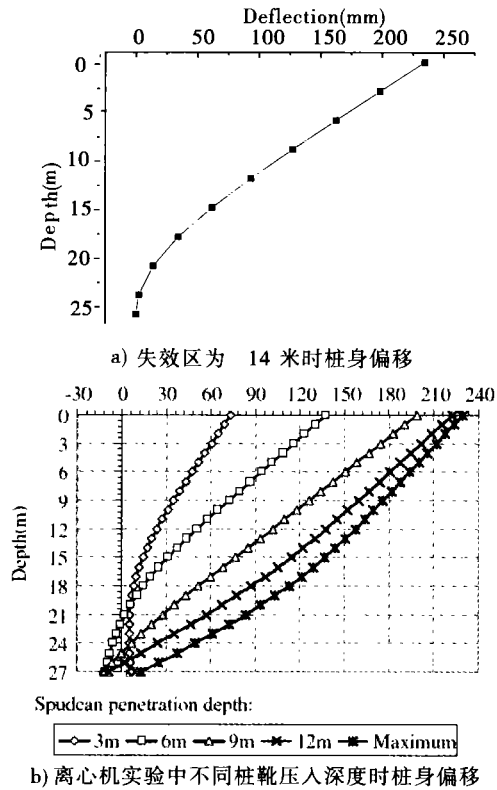


图 3 桩身偏移对比

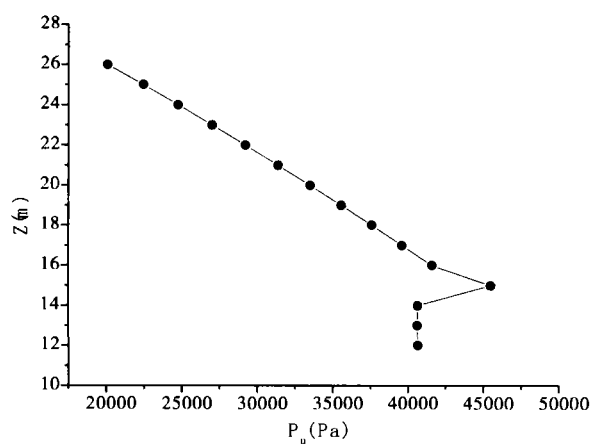
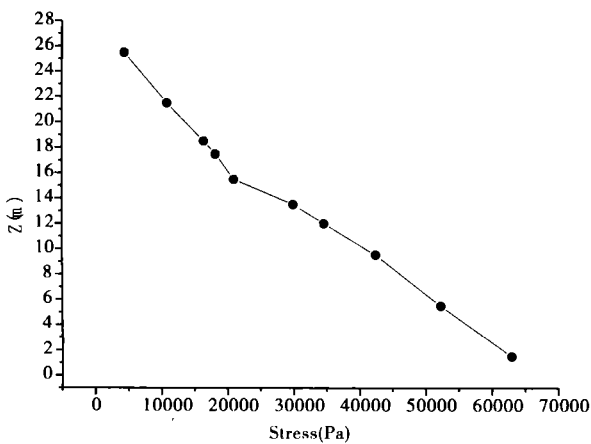


图 4 极限扩张压力

2.7 变形特点及位移场分布

图 5 和图 6 分别是土体和桩基的应力场分布图。在数值模型中,桩基弹性模量较大且与土体粘结在一起,因此桩身承受了大量的应力,其周围土体承受应力相应减小,所以桩基周围出现狭长的应力

较小区域。弹性区中,应力随深度变化,所以存在明显的应力云图分层现象。由于桩靴压入区边缘施加了扩张应力(初始地应力),其周围的损伤区土体向外扩散,挤压桩靴压入区下方土体,使其发生向上运动,向损伤区土体施加向上的应力,一定程度抵消了

损伤区土体的自重应力,所以损伤区没有如弹性区般出现应力云图分层现象。桩身应力分布如图6。土体向两边扩散带动桩基发生侧向弯曲,从而桩基端部有明显应力集中现象。

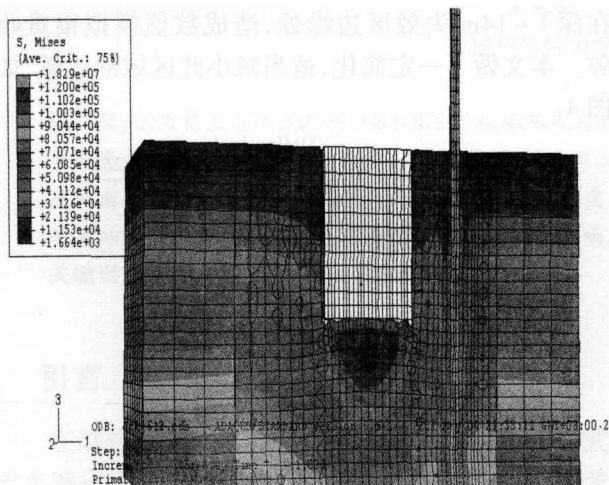


图5 y=0处土面应力场

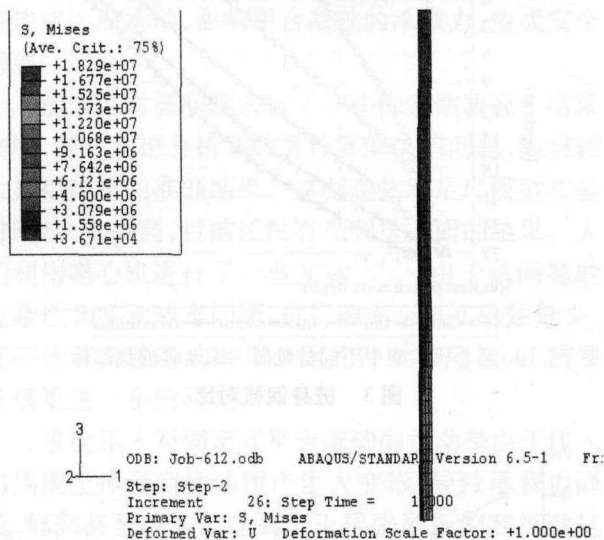


图6 桩基应力场

土体中 $y=0$ 面水平位移场如图7。可以看出:在 $y=0$ 面,左右两侧位移场分别不均匀。失效区土体位移为零。

下面针对具体的每个区域进行分析,如图8、9。对于平面右侧的土体,在桩基附近水平位移等值线密集,说明由于桩基阻止了土体的偏移,使土体偏移迅速下降。对于桩靴压入区左侧土体,其水平位移等值线较均匀向外发散。同时可知在一倍桩靴半径区域内土体水平位移较大。6m深处土体纵向位移场如图9(a)。土体沉降区范围约为两倍桩靴半径的圆形区域。沉降位移相对表面土体更小。根据图9(d),深24m处即距离失效区下方两倍桩靴半径处土体纵向位移较小,最大位移约为0.08m。

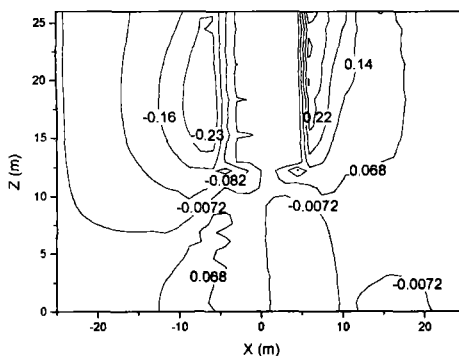


图7 $y=0$ 平面土体水平位移场

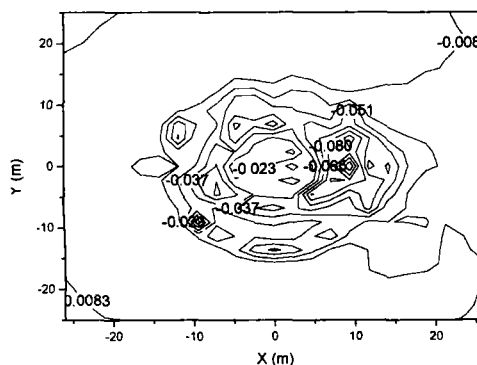


图8 土体表面纵向位移场

3 小结

计算结果表明:

(1) 土体表面沉降区为失效区周围两倍半径区域;距离土面一倍桩靴半径处土体沉降区为失效区周围一倍半径区域;失效区正下方土面发生较大向上的纵向位移;失效区下方两倍半径处纵向位移较小。

(2) 桩靴压入到一定深度后,无桩基侧(桩靴左侧)、桩基和桩靴之间上层土体横向位移发生回弹现象。桩基右侧土体由于桩基影响无回弹现象。同样由于桩基的影响,桩靴左右两侧土体竖向位移不对称,且埋有桩基侧的土体竖向位移略小。

致谢:本文得到中国科学院三期创新方向性项目(KJCX2 - YW - L02)和国家自然科学基金项目(No. 1077218)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,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

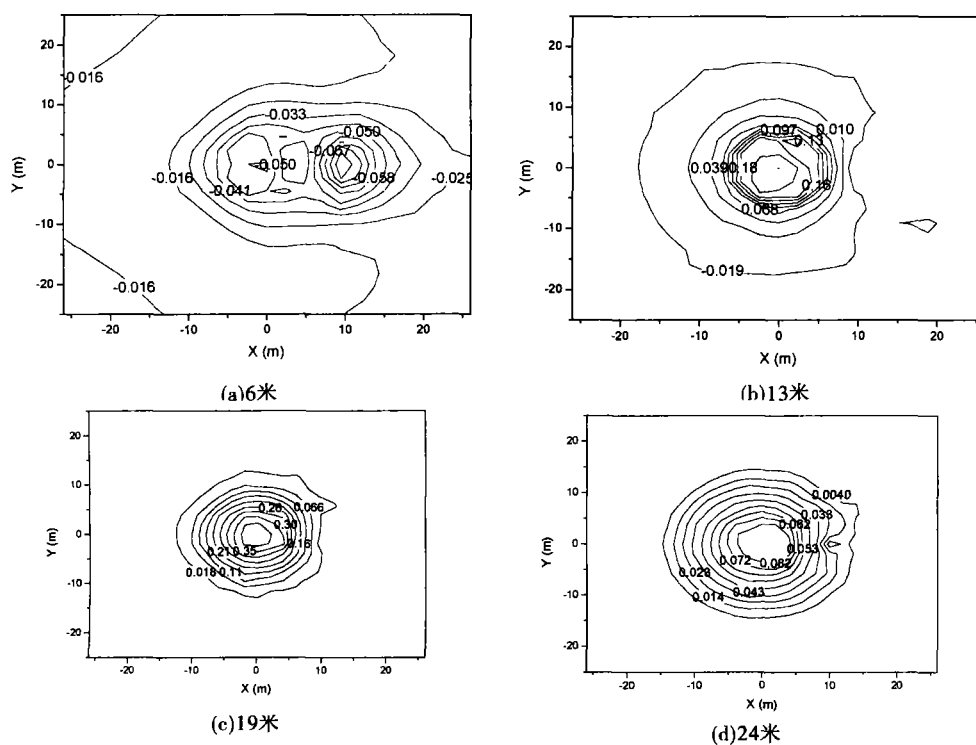


图9 不同深度土体纵向位移场

- [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] Y. Xie, C. F. Leung & Y. K. Chow, Effects of spudcan penetration on adjacent pile, Proceeding s of the sixteenth international offshore and polar engineering conference, 2006: 530 - 535
- [7] C. F. Leung & Y. K. Chow, Centrifuge Model Study of Spudcan - Pile Interaction, 6th ICPMG 06, 2006: 701 - 706
- [8] 谭罗荣, 孔令伟. 特殊岩土工程土质学(M). 北京: 科学出版社, 2006