

文章编号:1001-4500(2006)05-0001-03

垂向动载下桶形基础响应的离心机实验研究

矫滨田¹, 鲁晓兵¹, 时忠民², 张建红³, 林小静³

(1. 中科院力学所, 北京, 100080; 2. 中海油研究中心, 北京 100027; 3. 清华大学水利系, 北京, 100084)

摘要:通过离心机实验研究发现,在垂向动载荷作用下,当载荷幅值超过一定值时,在激振过程中桶基周围一定范围内的土体发生液化,土体产生明显的沉降。随着载荷幅值的增加,土体的沉降增加,但是发生变形的土体最大范围基本相等。土体中超孔压从桶壁沿水平方向和从泥面沿垂直方向逐渐减少。随着载荷幅值的增加,土体上部完全液化的土层厚度增加。

关键词:饱和土;离心机实验;沉降;垂向动载

中图分类号:P75

文献标识码:A

随着海洋石油工业的发展,海洋平台不断应用于复杂海况和复杂的地质条件,要求的设计精度越来越高。由于问题的复杂性和缺乏足够的经验和数据,理论和数值计算较困难且很难得到准确结果^[1-5]。土的变形和强度都决定于有效自重应力,室内 1g 条件下的小模型实验因不能模拟重力效应,不能反映原型尺度的受力状态,而原型观测和足尺模型实验费用高、时间长。要使在小比尺条件下与原型相应点上的有效自重应力相同,可行的办法就是采用离心机实验,这也是国内外大量开展离心机实验研究的原因^[6-8]。

深水平台承受的控制载荷一般是波浪载荷,平台有张力腿或 Spar 等型式,基础以承受拉拔载荷为主。目前对垂向动载引起的桶基平台响应研究较少^[9]。本文介绍用离心机实验研究垂向动载条件下桶形基础及周围土体的变形和承载力特性;分析了垂向动载荷下桶基周围土体的影响范围、孔压分布、沉降特性等。

1 离心模型制备

离心模型试验在清华大学 50g-t 土工离心机上进行,该离心机的最大离心加速度为 250g。100g 离心加速度下允许最大载重 300kg。试验所采用的模型箱内缘尺寸为 600mm×350mm×350 mm³。所采用的地基土为粉质砂土,比重为 2.69,平均粒径为 0.14mm,渗透系数为 5×10⁻⁴cm/s,颗粒级配曲线见图 1^[10]。离心模型布置如图 2 所示。吸力式桶形基础由埋入土中的薄壁钢制中空圆桶和焊接在桶顶的细钢管组成。桶内、外径分别为 60mm 和 62mm,桶内净深为 48mm,顶厚 2mm。激振器的出力杆与桶顶钢管相连,在桶基顶部布置一个垂直位移传感器,同时在桶外泥面上布置一个垂向位移传感器量测土体的沉降。

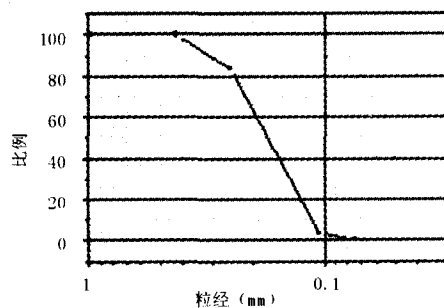


图 1 颗粒级配

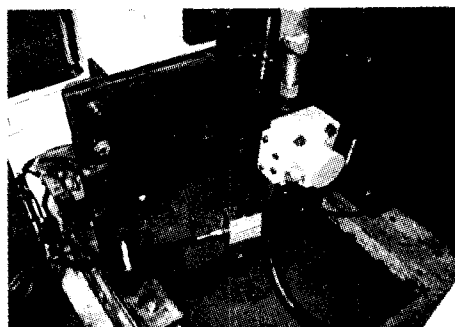


图 2 模型布置

收稿日期:2006-01-16

作者简介:矫滨田(1980~),男,硕士生,从事岩土力学及海洋工程研究。

基金项目:中科院、中海油联合重大项目《新型海洋平台结构优化设计》资助(KJXC2-SW-L03-01)。

采用电液伺服动加载系统施加位移载荷于桶基上。加载系统能施加的载荷幅值为 03000N, 频率为 020Hz, 加载器的最大许可位移为 50mm。实验时, 将垂直循环载荷施加到桶基础上, 载荷频率为 16Hz(模型频率), 载荷从 0.5 2mm 变化。载荷作用最长时间为 25 分钟。在加载过程中测量土中孔隙压力、桶的水平位移、垂直位移、孔隙压力和施加到桶上的水平力。

六个从英国 DRUCK 公司进口的 PDCR81 型孔隙水压力传感器在制备土样过程中埋设在土中(不固定, 可以随土体变形而变形), 记录初始埋设的位置和实验后所在的位置(图 3)。孔压计的初始布置位置如下: 每个 PPT 的垂直和水平间隔为 1.5cm(后面数据如无注明, 均表示模型数值。)。距离桶侧壁最近的孔压传感器头部的微型陶瓷板与侧壁的距离为 2mm。泥面以上水深 1cm, 22, 17 和 18 号 PPT 在水位下 2.5cm, 离桶侧壁的距离分别为 2cm, 5cm, 11cm, 23, 25 和 26 号 PPT 之间的距离为 1.5cm。在实验过程中, 这些孔压计的位置会发生一些变化, 实验后记录了这些孔压计的初始和最后位置, 后面图形中标出的孔压计的位置是实验后的位置。

为了保证模型有较好的重复性和均匀性, 约 20cm 厚的模型粉质砂土分 5 层铺, 每层用手轻拍击实, 由于密度控制, 下面几层留一定的固结余量以保证最后整体密度基本一致。试样的饱和是通过从模型底部向上缓慢渗水来进行。当水面超过土表面后, 采用真空泵抽真空饱和, 连续抽气饱和 38 小时^[11]。

2 实验结果及分析

离心模型实验模拟了约 17m 厚的均匀粉质砂土地基, 该地基在 80g 离心加速度下的离心机运转过程中完成固结, 固结时间为 40 分钟(相当于原型 6 个月), 使其达到预定的土体密度。固结前后土的干密度分别为 $1.52\text{g}/\text{cm}^3$ 和 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 。土的浮重为 $\gamma' = 0.971\text{kg}/\text{m}^3$ 。固结沉降为 1cm(相当于原型 80 cm)。

图 4 给出了不同载荷幅值条件下超孔压沿土体深度的变化。可以看到, 从泥面开始, 沿深度方向, 超孔压逐渐减少; 随载荷幅值的增加, 上部土体中的超孔压明显增大, 完全液化土体的厚度增加, 当载荷幅值为 2mm 时, 桶周围土体在全厚度内完全液化。图 5 给出了超孔压沿水平方向的变化。可以看到, 从桶壁开始, 超孔压沿水平方向逐渐减小, 随着载荷幅值的增加, 土体中各处的超孔压增加。图 6 给出了实验后土体表面的最终位置, 从中可以看到土体的最大变形随载荷幅值的增加而增加, 但是发生变形的最大土体范围不随载荷幅值的变化而变化, 即对应一定条件, 土体中存在一个极限影响区, 区内土体发生明显的强度变化和沉降, 区外土体可以认为是弹性的。从图 7 显示的实验后土层中各处密度的分布也可以看出, 在桶基周围一定范围内土体变化大, 超过该范围, 则土体密度基本不变, 这也说明土体中存在一个极限影响区。这是因为土体液化后, 对外部施加的动载有滤波作用, 即减阻作用, 使得外载荷传播距离受到限制, 同时桶基垂向运动带动的土体范围在桶基尺寸和载荷频率(频率影响渗流范围)确定的情况下是确定的, 因此土体受到的最大影响

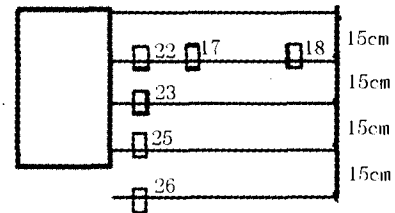


图 3 孔压计的布置

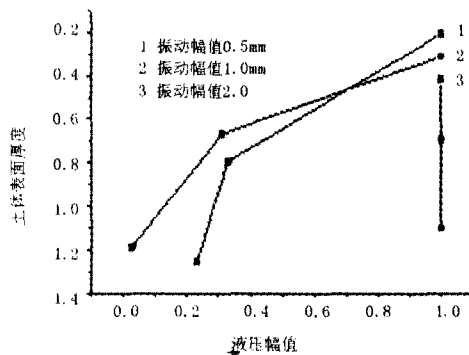


图 4 不同载荷强度下超孔压沿深度的变化

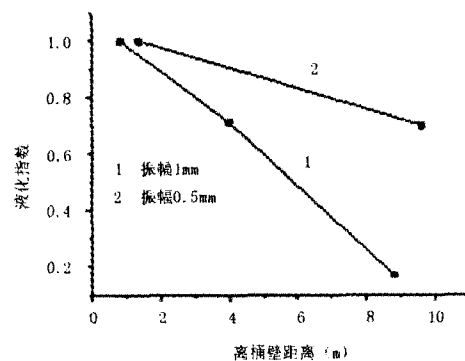


图 5 不同载荷下超孔压沿水平方向的变化

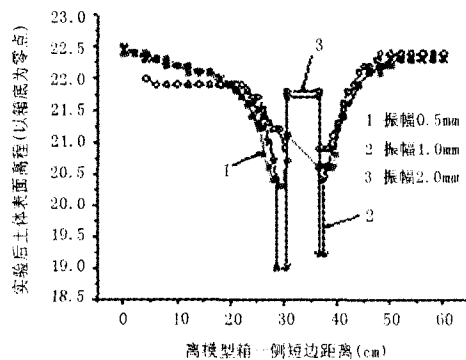


图 6 不同载荷强度下泥面在实验后的状况

范围不随载荷幅值增加而增加。图 8 为实验后的照片,从中可以看到桶基周围存在明显变化的范围,土体表面的黄色粘粒为下部孔隙水排出时带上来的。

3 结语

针对垂向波浪载荷条件和张力腿桶基础,进行了离心机实验研究。研制了能用于离心机实验的动力加载设备和数据采集系统。

实验研究表明,在垂向动载荷作用下,桶基周围一定范围内的土体发生液化和沉降。随载荷强度增加,土体中完全液化的土层厚度增加。对应一定的条件,土体中存在一个极限影响区,区内土体发生明显的强度变化和沉降,区外土体可以认为是弹性的。土体沉降随载荷强度增加而增加,但是发生变形的最大范围不随载荷强度的增加而变化。

参考文献

- [1] Dyme W, Houlsby G T. Drained behavior of suction caisson on very dense sand[A]. Proc. Offshore Tech. Conf[C], 1998, Houston, USA. OTC10994, 765782
- [2] Aas P M, Andersen K H. Skirted foundation for offshore structure[A]. In: 9th Offshore South East Asia Conf[C], Singapore, 1992. Singapore: World Trade Center Singapore, 1992. 17
- [3] Scnpere D, Auvergne G A. Suction anchor piles—a proven alternative to driving or drilling[A]. Proc. Offshore Tech. Conf[C], OTC10994, Houston, USA, OTC4206, 1982. 483493
- [4] Tjelta T L, Hermstad J, Andenaes E. The skirt piled gullfaks c platform installtion[A]. Proc. Offshore Tech. Conf[C], OTC10994, Houston, USA, OTC6473, 1990. 453462
- [5] Bye A, Erbrich C, Earl K, Wright, et al. Geotechnical design of bucket foundation[C]. Proc. Offshore Tech. Conf., OTC10994, Houston, USA, OTC7793, 1995, 869883
- [6] 张建红,孙国亮,严冬,鲁晓兵.海洋平台吸力式基础的土工离心模拟研究与分析[J].海洋工程,2004,22(2):90—97.
- [7] 鲁晓兵,郑哲敏,张金来.海洋平台吸力式基础的研究与进展[J].力学进展,2003,33(1):27—40.
- [8] 鲁晓兵,张金来.离心机在海洋平台基础实验研究中的应用进展[J].中国海洋平台,2003,18(6),1—6.
- [9] Ding H Y, Qi L, Du X Z. Estimating soil liquefaction in ice—induced vibration of bucket foundation[J]. J Cold Reg. Eng. 2003, 17 (2): 60—67.
- [10] 张建红,孙国亮,鲁晓兵.离心机中动冰载的模拟[J].岩土工程学报,2005, 27(4): 474—477
- [11] 鲁晓兵,王义华,张建红等.水平动载下桶形基础变形的离心机实验研究[J].岩土工程学报,2005, 27(7): 789—79

[下转第 12 页]

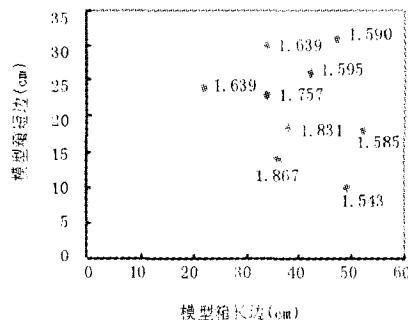


图 7 实验后土体中密度分布

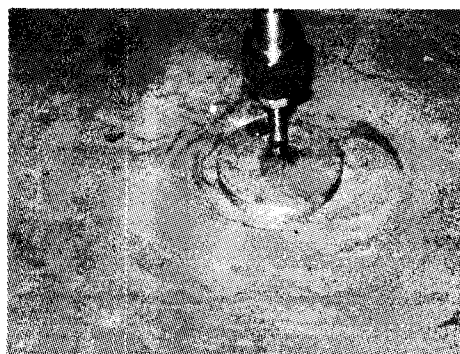


图 8 孔压计的布置

参考文献

- [1] M. B. Gibstein, Parametric Stress Analysis of T-joints[D]. EOSRS, Paper26, 1978.
- [2] Yura, J. A. Zettle moyer, N. and Edwards, I. F. Ultimate capacity equations for tubular joints[A]. Proc offshore Technol[C], Conf, 1980.
- [3] 钢结构设计规范(GBJ17-88)[S]. 1989.
- [4] Patran 和 Nastran 有限元分析专业教程[M]. 清华大学出版社, 2005.
- [5] MSC. Nastran 有限元分析理论基础与应用[M]. 科学出版社, 2004.
- [6] 刘建平, 郭彦林. 圆管相贯节点极限承载力有限元分析[J]. 建筑结构, 2002, 32(7): 56-59.
- [7] 刘建平, 郭彦林. 方圆管相贯节点极限承载力的研究[J]. 建筑结构, 2001, 31(8): 21-24.
- [8] 吴庆, 周明智. T、Y 型方圆相贯管节点极限承载力有限元分析[J]. 淮南工业学院学报, 2002, 4.

INFLUENCE OF CABINED DEGREE ON WORKING PERFORMANCE IN THE CIRCULAR TUBULAR JOINTS

WANG Huihui, DOU Peilin

(Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang Jiangsu 212003 China)

Abstract: An elastic large deflection finite element is used to study the behavior of the circular tubular T/Y joints. A four node shell element in MSC. PATRAN/NASTRAN is employed to simulate the joints in the analysis. The studies show the joint working performance and plasticity spread with loading. A simple comparison between the FEM results and that of the current PRC codes is made. The influence of various geometric parameters of the joint on its behavior and ultimate strength is investigated theoretically, some useful conclusions are conducted.

Key words: tubular T/Y joints, cabined degree, nonlinear analysis, ultimate strength

[上接第 15 页]

CENTRIFUGE EXPERIMENTAL STUDY ON THE BUCKET FOUNDATION RESPONSES UNDER VERTICAL VIBRATION LOAD

JIAO Bintian¹, LU Xiaobing¹, SHI Zhongmin², ZHANG Jianhong³, LIN Xiaojing³,

(1. Institute of mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

2. Research Centre, China Ocean Oil Co., Beijing 100027, China;

3. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100080, China)

Abstract: The centrifuge experimental results show that the sand layer around the bucket foundation is liquefied and obvious settlement of sand layer occurs under vertical dynamic load when the load amplitude is over a critical value. With the increase of load amplitude, the settlement of sand layer increases, but the effected area which have obvious deformation is almost the same. The excess pore pressure decreases in horizontal direction from the side wall and in vertical direction from the surface of sand layer. The thickness of the completely liquefied sand layer increases with the increase of load amplitude.

Key words: Saturated sand, centrifuge experiment, settlement, vertical dynamic loading.