

文章编号: 1001- 4500(2004)06- 0012- 03

等效动冰载下桶形基础的响应

王义华¹, 鲁晓兵¹, 王淑云¹, 时忠民²

(1. 中国科学院力学研究所, 北京, 100080; 2 中国海洋石油研究中心, 北京, 100027)

摘 要: 对饱和砂土地基上等效动冰载下桶形基础的响应进行了实验研究。考察了均匀土层情况下的变形和影响区域, 对承载特性进行了分析。结果表明, 由于动冰载的作用, 桶基周围土体逐渐软化甚至液化, 土体强度降低, 桶逐渐下沉, 桶周围影响逐渐扩大, 但是变形和影响区的发展逐渐达到一个稳定状态。该稳定状态可以作为工程设计时的一个重要参考。

关键词: 桶形基础; 饱和土; 液化

中图分类号: P75

文献标识码: A

因为可以节省费用和重复利用等优点, 桶型基础是近年来石油部门十分关注的一种基础形式^[1- 6]。到目前为止, 对桶形基础的承载特性, 尤其是动载下的承载特性和稳定性, 还缺乏了解。海洋平台基础很多都坐落在饱和砂土地上或含有饱和砂土夹层的地基中, 动冰载直接作用于平台上部结构, 然后通过平台基础传递到周围土体, 引起土体的动态响应。在这种动力载荷作用下, 饱和砂土中的孔隙水压力可能逐渐积累, 有效应力逐渐减小, 甚至发生液化, 导致承载力降低。我国渤海地区的控制载荷为冰载, 故研究桶形基础在动冰载作用下的动力响应对我国海洋平台的设计和安全生产具有重要的意义^[7, 8]。以往的研究, 针对动冰载对平台结构基础的承载特性进行过简单的分析, 对变形发展等研究少。鉴于此, 通过等效动冰载作用下的实验分析, 本文重点探讨桶形基础的变形和影响范围及对承载特性的影响。

1 实验简介

模型实验是在 50cm × 50cm × 50cm 的模型槽中进行的, 模型槽中心部分安置钢圆筒模拟桶形基础。桶形基础模型的结构为: 桶径为 10cm, 对应桶内的净高为 10cm; 上端封闭, 底部敞口, 顶盖厚 1cm, 桶壁厚 2mm; 顶部留小孔便于桶基下沉过程中排水, 下沉完毕后密封; 桶顶中心连接一根长 12cm 的细管, 管内外直径分别为 0.8cm 和 1cm, 模拟导管架, 载荷将施加在该管上; 位移计置于细管上方与力作用点同一位置; 力传感器连在加载器出力杆和细管之间(图 1); 传感器与细管之间是用的一套连接装置, 该装置包括一端带圆头的杆及滑槽组成, 该杆带圆头的一端连接于滑槽, 圆头置于滑槽内, 另一端与加载器出力杆相连, 这样, 桶不仅能左右运动, 而且可以上下运动。实验材料采用饱和粉细砂, 内摩擦角 37°。颗粒级配曲线如图 2 所示。



图 1 仪器布置

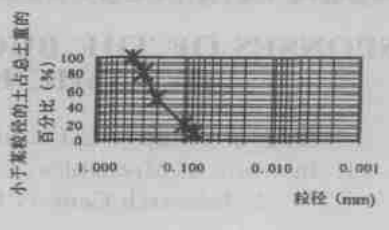


图 2 颗粒级配曲线

收稿日期: 2004-06-09

作者简介: 王义华 (1979-), 主要从事海洋土力学研究。

基金项目: 中科院、中海油联合重大项目(KJJCX2- SW - L03- 01), 国家自然科学基金 (No. 10202024) 资助。

制样时控制干密度 $1.60\text{g}/\text{cm}^3$ 。首先均匀撒砂, 分层击实, 每层 10cm 。当铺完砂后, 通过一根水管从模型槽底部开始注水饱和, 底部有一层薄的砾石粗砂层, 使底部渗透性大, 防止饱和过程中出现管涌。当注水完毕, 静置 24 小时, 使土中气泡尽可能排出, 增加饱和度。保持砂面上有约 1cm 厚的水层。

由于动冰载一般表现为自激振动性质, 即由结构本身的自振特性决定。一般地, 渤海地区平台冰激振动的卓越频率为 1Hz 左右。根据这个特性设计了一套电液加载系统, 实验布置如图 1。加载系统能施加的载荷幅值为 $0\sim 800\text{N}$, 频率为 $1\sim 5\text{Hz}$, 加载器的最大许可位移为 50mm , 可以施加规则波和不规则波。目前实验中输入的都是正弦形式的力, 由于连接件圆头与滑槽间有很小的缝隙, 使得输出的波形中有圆头与滑槽间微碰撞产生的高频成分(图 3)。实验时, 将水平循环载荷施加到桶顶圆管上离桶顶 10cm 处, 频率为 1Hz , 载荷从 $5\sim 15\text{N}$ 变化。当变形基本停止时, 终止加载。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。

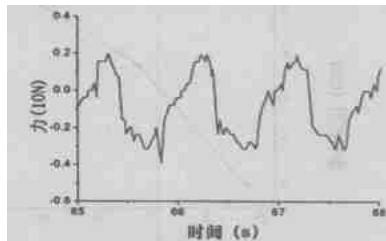


图 3 施加在桶上的力

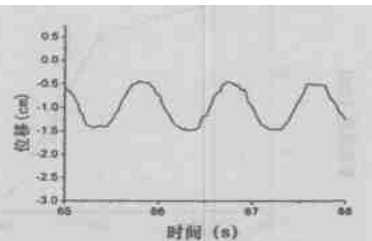


图 4 位移响应

2 实验结果及分析

当等效动冰载作用于桶上竖杆时, 桶即来回水平运动, 引起桶基周围饱和土体的运动。当施加的载荷为正弦波时, 桶的位移响应也为正弦形式, 但是随着加载过程中桶周围土体强度的变化, 位移的幅值发生变化, 因为记录时间长, 数据量大, 图 4 只给出了一段位移响应。

在实验中观察到, 在载荷幅值小时, 没有液化现象, 桶基周围的砂土不断沉降而形成一种马鞍型的坑, 沿载荷作用方向坑的范围大, 最后发展到一种稳态情况(图 5)。在目前的实验中, 当载荷作用 5 小时, 这种稳定状态就达到了, 此时, 变形和影响范围不再变化。桶周围的土体在载荷作用初期发生软化, 孔压上升, 强度降低, 后来又逐渐沉降密实, 强度增加, 但泥面降低, 桶的沉降量比泥面更大, 使桶沉入泥面以下。由于桶周围沉降从近到远的不均匀变化, 使得变形区与未变形区交界处产生环状裂纹(图 5)。从图 6 可以看到, 桶的沉降随时间开始增加快, 然后逐渐停止。

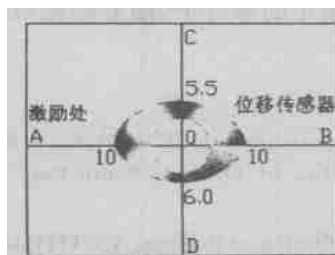


图 5 土体顶面的影响范围

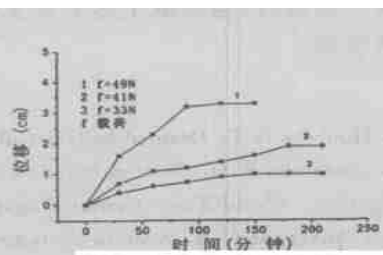
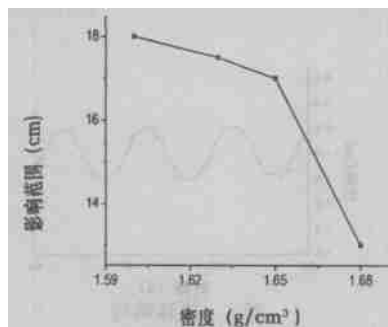


图 6 桶顶中心处的沉降

当载荷超过一定值时, 桶周围砂土液化, 随着载荷的作用, 桶周围沿载荷作用方向约 1 倍桶径区域内的土体软化, 其中 50% 桶径区域内的土体液化; 垂直于作用方向 20% 的区域软化和液化, 桶逐渐下沉, 这是由于桶周和桶底土体的液化和软化导致的。随着桶的下沉, 桶周围土体的嵌固作用逐渐增加, 土体的变形逐渐减小。当载荷大到一定程度, 使土体产生较大的位移时, 土体内产生明显的滑移面, 滑移面上砂土剪胀, 产生裂缝(这些现象是将桶放在模型箱内壁处观察的)。桶周围液化后的土被挤出去, 挤出量开始较多, 然后随着周围土丘(绕桶一周的土体堆积体)高度增加, 液化后的砂土只能在土丘峰以内运动。当载荷作用足够时

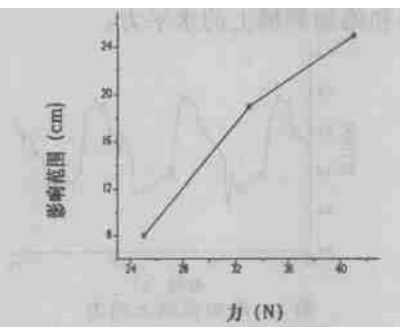
间, 桶周围土体液化区域不再扩展, 液化的土体随周期载荷的作用而周期性地升降而不再被挤出, 土体逐渐沉陷, 逐渐发展到一种稳态情况。桶周沿载荷方向被挤出去的砂土多, 形成的坑也深。坑的近桶壁侧坡度大, 另一侧坡度小。沿桶壁有细颗粒随着水冒出, 并扩散到土体表面。这是由于动载荷作用下, 土体软化或液化后, 随着桶对周围土体的挤压, 引起水的渗流增强, 骨架中的细颗粒被冲刷下来。由于桶壁与临近土体相对运动最剧烈, 水就沿着桶壁向上迅速冲出, 细颗粒随着水被带出。

一般情况下, 桶周围的影响区随着载荷的施加而逐渐扩大, 直到到达一个最大值。在给定载荷下, 当土体密度增加到一定值时, 桶周围土体不发生变形, 没有明显影响区出现, 表明土体变形在弹性范围(图 7)。但在土体密度给定的条件下, 随着载荷幅值的增加, 影响区范围逐渐增加。这是由于载荷对土体强度比的增加, 使得载荷在土体中的衰减距离增加的缘故(图 8)。



(The force is $f = 25\text{N}$)

图 7 土体密度的影响



(The dry density is 1.6g/cm^3)

图 8 载荷幅值的影响

3 结语

在实验中观察到, 在等效动冰载作用下, 在载荷幅值小时, 没有液化现象, 桶基周围的砂土不断沉降而形成一个马鞍型的坑, 沿载荷作用方向坑的范围大, 最后发展到一种稳态情况。桶的沉降量比泥面更大, 使桶沉入泥面以下。由于桶周围沉降从近到远的不均匀变化, 使得变形区与未变形区交界处产生环状裂纹。当载荷超过一定值时, 桶周围砂土液化, 桶周围沿载荷作用方向约 1 倍桶径区域内的土体软化, 其中 50% 桶径区域内的土体液化; 垂直于作用方向 20% 的区域软化和液化, 桶逐渐下沉。当载荷大到一定程度, 使土体产生较大的位移时, 土体内产生明显的滑移面, 滑移面上砂土剪胀, 产生裂缝。桶周围液化后的土被挤出去沿桶周形成土丘。沿桶壁有细颗粒随着水冒出, 并扩散到土体表面。在给定载荷下, 土体密度越小, 影响区越大。当土体密度增加到一定值时, 桶周围土体不发生明显变形。但在土体密度给定的条件下, 随着载荷幅值的增加, 影响区范围逐渐增加。

参考文献

- [1] Dyme W, Houlsby G T. Drained behavior of suction caisson on very dense sand[A]. OTC10994[C]. 1998: 765~ 782
- [2] Aas PM, Andersen K H. Skirted foundation for offshore structure[A]. In: 9th Offshore South East Asia Conf[C]. 1992. Singapore: World Trade Center Singapore, 1992: 1~ 7.
- [3] Senpere D, Auvergne G A. Suction anchor piles—a proven alternative to driving or drilling[A]. OTC4206[C]. 1982: 483~ 493
- [4] Tjelta T L, Hemstad J, Andenaes E. The skirt piled gullfaks c platform installation[A]. OTC6473[C]. 1990: 453~ 462
- [5] Bye A, Erbrich C, Earl K, Wright, et al. Geotechnical design of bucket foundation[A]. OTC7793[C]. 1995: 869~ 883
- [6] 刘振纹, 王建华, 秦崇仁等. 负压桶形基础水平承载力研究[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(6): 691~ 695

(下转第 11 页)

高的减小而增加。

影响桶形基础动承载力的因素较多,而目前本文的实验只考虑了其中的三个:载荷幅值、上部压重和桶尺寸,对其他如载荷频率、土体密度、土体渗透性、分层土地基等因素的影响,还需要作进一步的研究。

参考文献

- [1] Dyme W, Houlsby G T. Drained behavior of suction caisson on very dense sand[C]. OTC10994, 1998: 765~ 782
- [2] Aas P M, Andersen K H. Skirted foundation for offshore structure[C]. In: 9th Offshore South East Asia Conf., Singapore, 1992. Singapore: World Trade Center Singapore, 1992: 1~ 7.
- [3] Senpere D, Auvergne G A. Suction anchor piles- a proven alternative to driving or drilling[C]. OTC4206, 1982: 483 ~ 493
- [4] Tjelstam T L, Hemstad J, Andenaes E. The skirt piled gullfaks c platform installtion[C]. OTC6473, 1990: 453~ 462
- [5] Bye A, Erbrich C, Earl K, Wright, et al. Geotechnical design of bucket foundation[C]. OTC7793, 1995: 869~ 883
- [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于分析[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. 离心机震动冰载的模拟[J]. 岩土工程学报(待刊).

EXPERIMENTAL STUDY OF CENTRIFUGE ON THE SOFTENING OF SAND AROUND BUCKET FOUNDATION UNDER ICE- INDUCED VIBRATION LOADING

LU Xiaobing¹, ZHANG Jianhong², WANG Shuyun¹, SUN Guoliang², SHI Zongmin³

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

2 Hydraulic Department of Tsinghua University, Beijing, 100080

3 Research Centre, China Ocean Oil Co., Beijing, 100027)

Abstract: The centrifuge experiments have been processed in which the equivalent dynamic ice- induced loading is adopted to investigate the responses of buckets foundations under horizontal dynamic loadings. We expect some references may be provided for the practical design based on these experiments.

Key words: Equivalent dynamic ice-induced loading, saturated soil, liquefaction, bucket foundation.

(上接第 14 页)

- [7] Ding H Y, Qi L, Du X Z. Estimating soil liquefaction in ice-induced vibration of bucket foundation[J]. Cold Reg Eng, 2003, 17 (2): 60-67
- [8] 鲁晓兵,郑哲敏,张京来. 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

THE RESPONSES OF THE BUCKET FOUNDATION UNDER EQUIVALENT DYNAMIC ICE- INDUCED LOADING

WANG Yihua¹, LU Xiaobing¹, WANG Shuyun¹, SHI Zhongmin²

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

2 Research Center, Chinese Ocean Oil Co., Beijing, 100027)

Abstract: In order to provide some references for the design of bucket foundation in Bohai Bay. The responses of the bucket foundation on saturated sand under equivalent dynamic ice-induced loading are investigated experimentally. The deformation and the affected zone are mainly studied. The bearing characteristics under this type loading are analyzed.

Key words: bucket foundation, saturated sand, liquefaction.