

桶基在单、分层土下的承载特性试验研究

王义华¹ 鲁晓兵¹ 王淑云¹ 刘晟¹ 时钟民²

(1. 中国科学院力学研究所 2. 中海石油研究中心开发设计院)

摘要

通过在单层和分层饱和土中的模型试验,考察了吸力式桶型基础在静荷载下的承载力特性。分别得到了在竖向荷载,横向荷载下的载荷位移曲线,分层土条件下的承载力特性,以及承载力随密度的变化。

关键词: 吸力式桶型基础,地基承载力,离心机,海洋平台,分层土。

(一) 引言

吸力式桶型基础是近年来正在开发的一种新型海洋平台基础。它由底端敞开、上端封闭的一个或多个倒置圆桶组成。基础在安装时通过抽出桶中的空气,形成内外压力差,从而把圆桶驱入海底。当平台需要移动时,可再充气把圆桶基础从砂中拔出。这种基础具有造价低、能重复使用和安装方便等优点,特别适合沿海滩涂地区的石油开采和小型油井的开采。

桶形基础(简称桶基)的概念最早见于国外20世纪60年代的文献^[1,2],70年代初开始对其进行大量的实验研究,80年代后期开始受到石油公司的重视并逐渐运用到平台建设中。1994年桶基被成功地应用于Eurapiple16/11平台,被称为“导管架基础工程技术新时代的曙光”^[3]。在今后一段时期内,渤海地区的油气资源将加大开发力度,需要建设大批的海上石油平台。桶形基础以其多方面的优点成为该地区石油平台基础的重要选择。对桶形基础的研究,主要是围绕在以下几个方面展开的:一是在负压作用下的吸力式基础的沉贯阻力和安装稳定性;二是在各种内外荷载作用下的基础的稳定性,冲刷破坏等;三是能否拔出来以及拔出力大小的估计^[4-12]。目前已建成的桶形基础比较少,还没有得到足够的设计数据和形成成熟的技术和经验。鉴于此,本文重点分析桶基长径比对基础的承载力的影响以及竖向和横向耦合作用下的极限承载力特性,为桶形基础的稳定性设计提供参考。为了考察不同因素对基础稳定性的影响程度,我们进行了桶基承载力试验。希望得到如下的结果:(1)在竖向和横向静荷载作用下桶型基础的载荷位移曲线及极限承载力;(2)不同土基础密度条件下的桶基承载力特性;(3)分层土条件下的桶基础承载力特性。

(二) 模型试验概况

1. 试验简介

分别在大小两个模型箱中进行了实验。模型箱1中的实验(模型箱尺寸为:长×宽×高=50cm×50cm×50cm,用有机玻璃制成):模型桶为两个钢制圆桶,桶直径均为10cm,桶高分别为10cm和5cm,壁厚0.2cm,桶盖厚1.5cm。试验地基土采用粒径为0.074—0.4mm的饱和漳州砂,密度为1.58g/cm³,颗粒级配曲线见图1。不排水抗剪强度为S,摩擦角为38°。砂面上有1cm厚的水层。试验中使用量程为30mm的百分表测量桶型基础在砂中的位移。竖向加载时使砂槽以0.5mm/min的速度向上匀速移动,用量程为600Kg的传感器测量作用力,当承载力出现极值后终止试验。横向加载用从10g到10Kg的砝码施加,每级加载量根据实际情况而定,当被测点位移超过10mm或基础整体失稳时终止试验。在每次试验前,均匀搅拌砂基后,静置24小时后进行试验。试验开始前,将模型桶水平压入砂中,

直至桶顶预留的小孔不再有水冒出停止，用螺丝将小孔堵住。每 0.5mm 读一次读数。分别对两个不同径高比的桶模型进行试验。

大模型箱中的实验情况简介（模型箱尺寸为：长×宽×高=140cm×80cm×150cm，用钢制成）：为了考察模型箱尺寸对实验结果的影响，以及得到增大模型桶尺寸时的实验结果，我们在较前述大的模型箱中进行了实验。为考察不同土密度对桶基础承载力特性的影响，我们在实验中采用土的饱和湿密度（取实验后桶底下 10~30cm 处土）分别为： 1.78kg/m^3 ， 1.87kg/m^3 ， 1.97kg/m^3 ， 2.02kg/m^3 。模型桶直径和高为 150/75cm。第三次实验，密度为离表面 10cm 内密度为 1.5kg/m^3 ，10~30cm 密度为 1.7kg/m^3 ，30~50cm 密度为 1.8kg/m^3 ，模型桶直径和高为 150/75cm，模型布置示意图见图 2。实验中的一个难点是制样，由于模型箱大，难以保证制样的均匀性。我们采用这样的方法制样：用砂雨法均匀撒砂，沿深度分为 9 层，最下层 10cm 高处做了一个钢板隔层，钢板上纵横每 0.5cm 打一个 0.2mm 的孔，钢板上铺一层土工布防止砂漏掉，隔层的作用是为了制样时从下供水，以及排水时用。每 10cm 铺一层。每层先用干砂铺完要求的密度所需要的砂重量，使砂面与该层的顶线平齐，使每层为 10cm 厚，然后从下供水，即水从下往上逐渐均匀渗透，到与砂面平齐时，再铺上一层，直到箱顶。加载是用顶部的加压螺杆，使螺杆匀速下降，推动桶下沉。

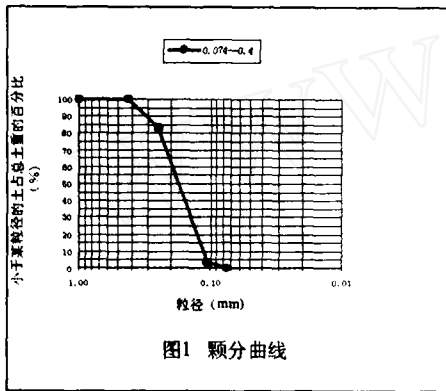


图 1 小模型箱中颗粒级配曲线

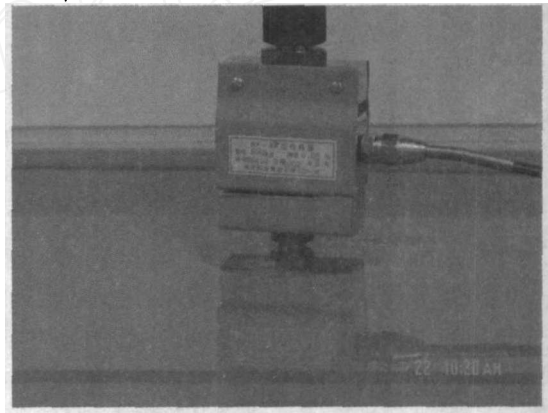


图 2 模型布置示意

2. 承载力试验结果

试验结果见图 3，图 4。对每一种情况进行了一次重复实验。可以看到，实验的重复性较好，桶高径比越大，水平和垂直承载力均越大。这是因为高径比越大，侧壁阻力越大，承载力就越高。

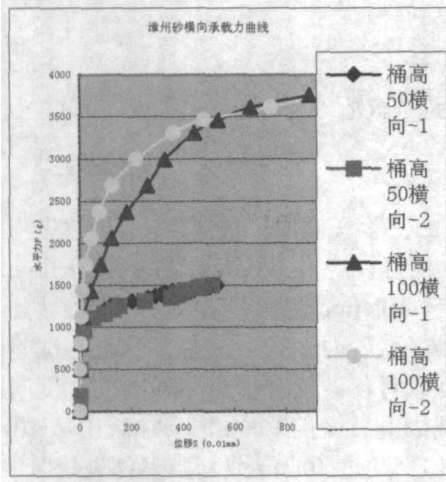


图 3 横向载荷位移曲线

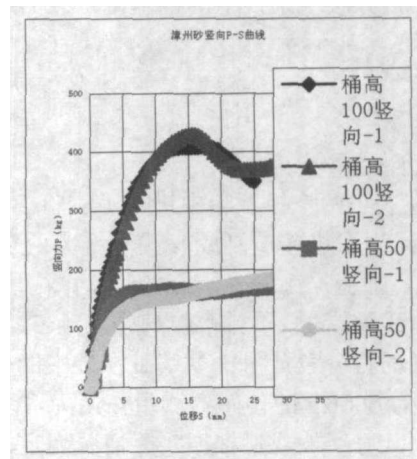


图 4 垂向载荷位移曲线

图5为大模型箱中土的颗粒级配曲线。图6, 7, 8为大模型箱中的实验结果。从图6可以看出, 重复进行的两次实验重复性较好。与小模型箱中的实验结果对比, 发现承载力与桶径不成正比关系。由于在大模型箱中采用与小模型箱中相同的模型桶时, 土的密度不一致, 未能比较不同模型箱尺寸导致的承载力差异。在分层土中, 虽然最上层土(厚度越等于桶高)密度较大, 而下面土层的密度较低, 与单一密度条件下(图7)的承载力相比较小(图6)。因为下部密度低, 土就强度就低, 桶在下层土的端阻和侧壁阻力就小, 承载力较上下层密度均匀的土体中桶基的承载力低。当保持其他因素不变, 只改变土体密度时(每次实验中上下层密度一致), 发现密度对承载力有明显的影 响, 密度的较小的变化可以导致承载力的较大的变化, 且两者之间基本成正比关系(图8)。

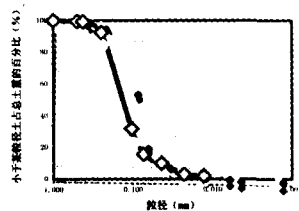


图5 大模型箱中颗粒级配

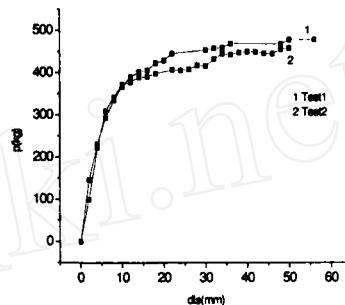


图6 单一密度土层中桶基载荷位移曲线

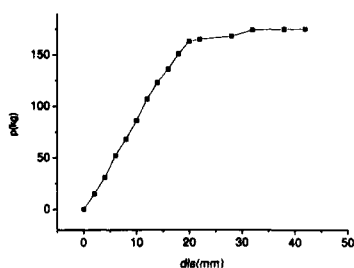


图7 分层土层中桶基载荷位移曲线

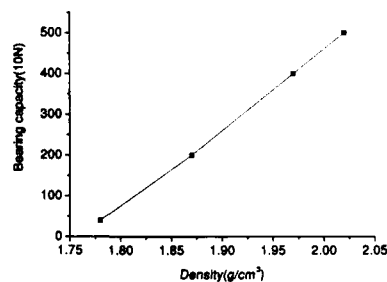


图8 桶基承载力随土密度的变化

(三) 结语

分别在大小模型箱中进行了单层和分层饱和土中的模型试验。实验中分别采用不同径高比的模型桶。考察了吸力式桶型基础在静荷载下的承载力特性。分别得到了在竖向荷载、横向荷载下的载荷位移曲线, 以及承载力随密度的变化。分层土条件下, 桶基承载力主要取决于桶底以下土层的承载特性。

致谢: 赵京、王爱兰参与了全部实验, 吴梦喜对实验提出了建议, 在此谨表谢忱!

参考文献

- [1] A. Bye, C. Erbric. Geotechnical Design of Bucket Foundations. OTC 7793, 1995. 869~883
- [2] 鲁晓兵, 郑哲敏等. 海洋平台吸力式基础的研究与进展. 力学进展, 2003, 33(1): 27~40
- [3] Bye A, Erbrich C, Earl K, Wright, et al. Geotechnical design of bucket foundation. OTC7793, 1995. 869~883
- [4] Randolph M F, O'Neil M P, Stewart D P. Performance of suction anchors in fine-grained calcareous soils. OTC8831, 1998. 521~529
- [5] Dyme W, Houlsby G T. Drained behavior of suction caisson foundations on very dense sand. OTC10994, 1998. 765~782

- [6] Aas P M, Andersen K H. Skirted foundation for offshore structure. In: 9th Offshore South East Asia Conf., Singapore, 1992. Singapore: World Trade Center Singapore, 1992. 1~7
- [7] Senpere D, Auvergne G A. Suction anchore piles-a proven alternative to driving or drilling. OTC4206, 1982. 483~493
- [8] Tjelta T L, Hermstad J, Andenaes E. The skirt piled gullfaks c platform installtion. OTC6473, 1990. 453~462
- [9] Eide O, Andersen K H. Foundation engineering for gravity structure in the northern noth sea. Norweigen Geotechnical Institute, 1997, 200: 1~47
- [10] 刘振纹, 王建华, 袁中立等. 负压桶形基础竖向承载力研究. 中国海洋平台, 2001, 16(2) 1~6
- [11] 刘振纹, 王建华, 秦崇仁等. 负压桶形基础水平承载力研究. 岩土工程学报, 2000, 22(6): 691~695
- [12] Allserma H G B, Brinkgreve R B J, Simon T. Centrifuge and numerical modeling of horizontally loaded suction piles. Int J Offshore and Polar Engrg, 2000, 10(3): 223~235
- [13] 张宇. 桶形基础在静载作用下桶—土相互作用机理研究. 中国科学院力学研究所硕士论文, 2003. 6.
- [14] 张金来. 桶形基础承载特性研究. 中国科学院力学研究所硕士论文, 2003. 6.

On the Bearing Capacity of Saturated Sand Foundation Under single and Multiple Layers of Sand

Wang yihua¹, Lu xiaobing¹, Wang Shuyun¹, Liu Cheng¹, Shi Zhongmin²

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

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

Abstract

Bearing capacity of bucket foundations is studied by the model tests of single bucket foundation in single and multiple layers of saturated sand in the situation of static load. The load and displacement curves in vertical and horizontal load are given, respectively.

Key Words: Suction bucket foundations, bearing capacity of foundation, centrifuge, ocean platform, saturated sand

作者简介

王义华 23岁, 硕士生。

鲁晓兵 男, 35岁, 副研, 从事岩土工程研究。

王淑云 女, 38岁, 高级实验师, 从事岩土工程研究。

刘晨 男, 23岁, 学士, 从事岩土工程研究。

时忠民 男, 41岁, 高工, 从事海洋工程。