

文章编号:1001-4500(2006)03-0027-04

吸力式桶形基础抗拔承载力特性试验研究

矫滨田¹, 鲁晓兵¹, 赵京¹, 时忠民²

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2. 中海石油研究中心开发设计院, 北京, 100027)

摘要:为了了解吸力式桶形基础在饱和粉细砂中的抗拔承载力特性, 对不同桶高、不同加载速率下的桶形基础进行了室内小模型抗拔承载力试验。结果表明, 桶高和加载速率对桶形基础抗拔承载力有着显著的影响。根据试验结果分析了桶形基础抗拔承载力的作用机理。

关键词:吸力式桶形基础; 抗拔承载力; 饱和土

中图分类号: P75

文献标识码: A

吸力式桶形基础是近年来正在开发的一种新型海洋平台基础, 它采用一种底端敞开、上端封闭的钢质圆桶结构, 并且在桶顶有连接泵系统的出水孔。桶形基础与普通桩基础最主要的区别在于它利用负压下沉, 而不是依靠打桩等手段将桩打入海底地层。吸力式桶形基础在安装时, 首先靠自重和上部结构的重量, 插入海底一定深度, 形成有效密封后, 再通过泵抽出桶中的空气和水形成负压, 利用桶内外的压力差把基础驱入海底地层中的设计深度。当平台需要移动时, 可再充气把基础从地层中拔出。这种基础具有造价低、能重复使用和安装方便等特点, 且抗拔能力强, 有较强的应用前景, 因此对其承载力的研究一直备受人们的关注。

桶形基础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 ELIrapiple16/11 平台, 被称为“导管架基础工程技术新时代的曙光”^[3]。目前针对桶形基础的研究主要是围绕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; 二是在各种内外载荷作用下的基础稳定性, 冲刷破坏等, 即承载特性; 三是能否拔出来以及拔出力大小的估计。对于桶形基础抗拔能力的研究, 国外最早主要是针对负压锚或负压桩进行研究, 提出了一些计算抗拔极限承载力的方法^[4-6]。在上世纪 90 年代, 挪威学者^[7,8]提出了三种桶形基础的极限抗拔破坏机理: 1) 在桶内没有负压, 土与桶壁的摩擦力小于土体的拉伸强度, 沿着桶壁局部剪切破坏而导致基础破坏, 这时桶体单独拔离地面; 2) 当土与桶壁内侧的摩擦力和负压之和大于土的拉伸强度时发生局部拉伸破坏, 这时的土塞拉离海床留下空洞而破坏; 3) 一般的剪切破坏, 即基础的整体破坏。三种破坏模式如图 1 所示。

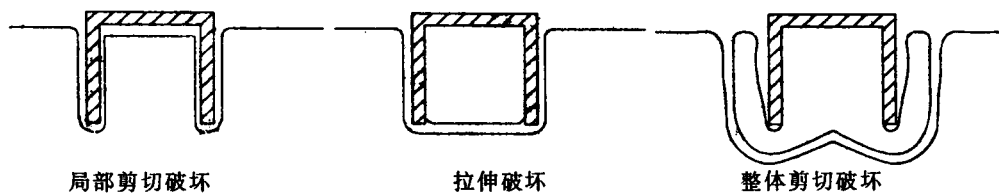


图 1 桶形基础极限状态破坏机理的破坏模式

在今后一段时期内, 我国将建造大量的海洋平台, 吸力式基础将在海洋油气开发中有广泛的应用前景。但吸力式基础是一种新型的基础形式, 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, 同时我国海域的地质环境条件较为特殊, 不能照搬国外已有的研究成果。鉴于此, 为了解吸力式桶形基础在饱和粉细砂中的抗拔承载力特性, 对不同长径比、不同加载速率下的桶形基础进行了室

收稿日期: 2005-11-22

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。

内小模型抗拔承载力试验,重点分析了桶基长径比和加载速率对桶形基础抗拔承载力的影响,为桶形基础的稳定性设计提供参考。

1 试验简介

模型实验在长×宽×高=50cm×50cm×45cm的有机玻璃槽中进行,模型槽中心部位安置钢圆桶模拟桶形基础。按1cm间隔在玻璃槽外设分层标识线。在模型槽底部预留进水孔供制作饱和土体地基时进水用。为了在制作饱和土体过程中能使水在土体中均匀向上渗透,以防止渗流不均匀或管涌的出现,在模型槽底部预先铺设1.0cm左右的均质细砂层,然后在砂层表面铺设透水布,经过反复的实验,满足实验要求。模型桶为3个铜制圆桶,桶外直径均为10cm,桶内净高分别为10cm、75cm和5cm,上端封闭,底部敞口,顶盖厚1cm,桶壁厚2mm,上端预留小孔为桶基下沉过程中排水提供通道,下沉完毕后密封。根据渤海海底地质调查情况,本实验采用饱和粉细砂制作模型地基,该粉细砂在100~500kPa应力水平下内摩擦角为38°颗粒级配曲线见图2。

在实验模型地基制作过程中,控制干密度为1.600g/cm³,分9层铺入槽中,每层土厚约3cm,均匀撒砂,分层击实,层间刮毛,然后在模型槽底部预留进水孔处进水,制成饱和砂土地基模型,土体顶部以上保持1.5~2.0cm厚的水层,使砂始终处于饱和状态,静置24小时。试验开始前,将模型桶水平压入砂中,直到桶顶预留的小孔不再有水冒出,用螺丝将小孔堵住,用真空泥密封,静置半个小时后开始进行试验。实验采用等应变率的加载方式,加载速率分别为1mm/min、10mm/min和20mm/min,用量程为300kg的力传感器测量作用力,用位移传感器测量模型桶拔出的位移,每隔2mm读一次变形和力的数据,分别对3个不同桶高的模型进行试验。模型布置示意图如图3所示。

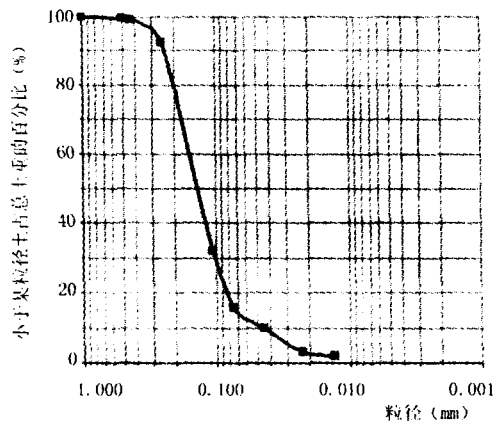


图2 试验用土的颗分曲线



图3 模型布置示意图

2 试验结果与数据的处理分析

2.1 加载速率对荷载位移曲线的影响

图4显示了不同加载速率对荷载位移曲线的影响,随着加载速率的增加,桶形基础抗拔承载能力明显提高。这主要是由于加装的速率快,桶底和土体之间来不及被水充满,产生负压,产生了附加的抗拔能力。同时由于速率较快,桶内土体产生体胀,有效应力增加,从而导致其抗拔力增加。加载速率较低时,产生的被动吸力较低,桶体从土中沿桶壁拔出,属于上文提到的第一种破坏机理,抗拔承载能力较低。加载速率较大时,产生的被动吸力较大,桶体会带同土塞一起拔出,抗拔承载能力较强,属于第二、三种破坏机理。

2.2 桶高不同对荷载位移的曲线影响

加载速率为10mm/min的模型在试验结束时都是由桶形基础携带内部土体脱离地基而破坏,这说明内部的土体是由于受拉剪切而破坏的(图5)。这种破坏机理与第二种极限状态破坏机理一致。三个不同桶高

的荷载位移曲线如图 6 所示,由图中可看出,随着桶高的增加,桶形基础的抗拔极限承载力增大,这是因为桶高的增加导致极限侧壁摩阻力增加,从而提高了桶形基础的抗拔承载能力。试验所得的桶高与极限抗拔承载力关系曲线如图 7 所示,在加载速率为 10mm/min 下,其极限抗拔承载力随桶高近似呈线性变化。

2.3 桶形基础抗拔机理分析

桶形基础荷载位移曲线属于陡降型(如图 6)。加载速率为 10mm/min 的桶形基础破坏时受力情况见图 8,桶形基础在抗拔过程中主要是承受侧壁摩阻力 T 和桶底阻力 F_1 。在整个试验过程中桶形基础的负压始终存在的,负压的存在增大了桶底的抗拔阻力,延缓了侧壁阻力的发挥。从图 6 中可看出随着位移的增加,外荷载增加比较快,侧壁摩阻力增加较快,桶底的抗拔阻力增加较慢,桶内负压逐渐减小(由于桶基在上拔过程中周围的水向桶内流动,导致桶内水位上升,孔隙体积减小,孔压增加),负压减小在一定程度上减慢了桶底抗拔阻力的增加;当侧壁阻力达到极限后,桶底阻力还有所增加,这是因为桶内底部土塞也能承受一定的拉力。位移继续增加,桶底阻力减小,桶内土塞与桶基下面土层断开,桶内负压不再变化(由于土塞自重、桶内壁摩阻力和桶顶负压之和与外部气压达到平衡),侧壁阻力减小直至为 0,最后桶基只剩桶基本身重量和土塞重量,桶形基础被拔出。在桶形基础抗拔过程中,起主导作用的是侧壁摩阻力,而侧壁摩阻力的发挥和所发生的竖向位移有密切的关系,因此,对于桶形基础的抗拔承载力应对其竖向位移作出限制,以此来保证平台的安全。

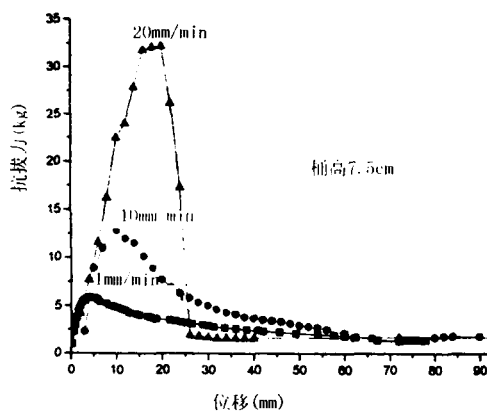


图 4 不同速率下的荷载位移曲线



图 5 10mm/min 下桶形基础的破坏模式

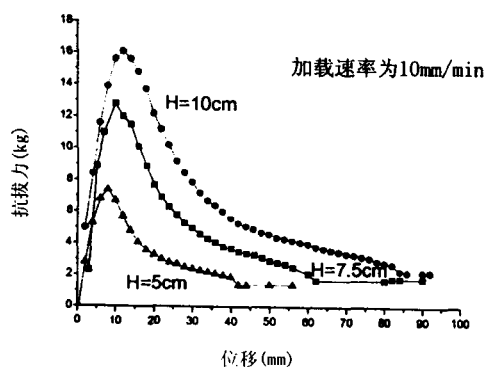


图 6 不同桶高下荷载位移曲线

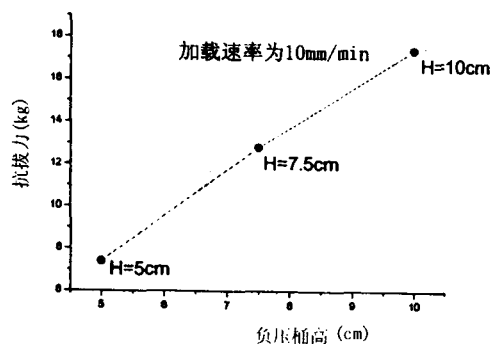


图 7 桶高与极限抗拔承载力关系曲线

3 结语

1) 加载速率的增加,提高了桶形基础极限抗拔承载力,主要是通过提高桶基底部抗拔阻力和侧壁摩阻力来实现。加载速率不同,桶形基础破坏模式不同。

2) 增加桶高对于提高桶形基础极限抗拔承载力效果明显,在加载速率为 10mm/min 下,其极限抗拔承

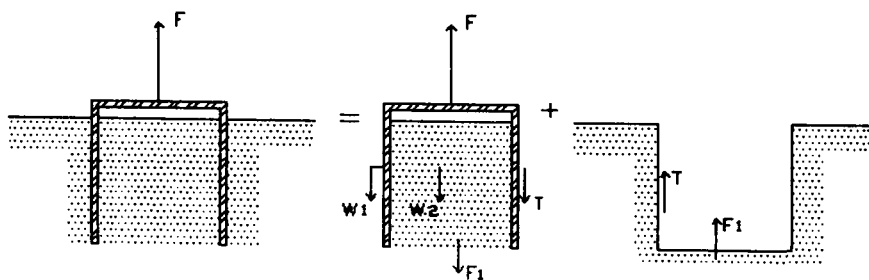


图8 桶形基础抗拔过程中的受力图

承载力随桶高近似呈线性变化。

3)在桶形基础抗拔承载力试验中,加载速率为10mm/min的荷载位移曲线属于陡降型,起主导作用的是侧壁摩阻力,与所发生的竖向位移关系密切。对于桶形基础抗、拔能力的设计时,应通过控制基础竖向位移来保证桶基的安全使用。

上述结论都是用室内模型试验得出的结论,对于实际工程中,应采用的加载速率、桶高和应控制的桶基竖向位移还应做进一步的深入研究。

参考文献

- [1] Bye, C. Erbric. Geotechnical Design of Bucket Foundations[A]. OTC 7793[C], 1995: 869—883.
- [2] 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.
- [3] Bye A, Erbrich C, Earl K, Wright, et al. Geotechnical design of bucket foundation[A]. OTC7793[C], 1995: 869—883.
- [4] Brinch H J. The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces[J]. The Danish Geotechnical Institute, 1961 (12).
- [5] Borms B. Lateral resistance of piles in cohesionless soils[J]. Journal of the Soil Mechanics and foundation Division. ASCE, 1964, SM3: 576—587.
- [6] S. C. Helfrich, R. L. Brazill et. al. Pullout Characteristics of A Suction Anchor in sand[A]. OTC2469[C], 1976.
- [7] J. O. Steensen—Bach. Recent Model Tests With Suction Piles in clay and sand[A]. OTC6844[C].
- [8] N. H. Christensen, F. Haahr. Breakout resistance of large suction piles[A]. OMAE— VolumeI—B[C], Offshore Technology, Proc. of 10th International Conference of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 1991: 617—622.
- [9] W. Deng, J. P. Carter. A Theoretical Study of the Vertical Uplift of Suction Caissons[A]. Proc. of 10th International Offshore and Polar Engineering Conference[C]2000.
- [10] J. Lorin Rasmussen et. al. Soil Structure Interaction Model For A Suction Pile Platform[A] OMAE— VolumeI—B[C], Offshore Technology, Proc. of 10th International Conference of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 1991.
- [11] 施晓春, 龚晓南等. 桶形基础抗拔力试验研究[J]. 建筑结构, 2003, 33(8).
- [12] 张宇. 桶形基础在静载作用下桶—土相互作用机理研究[D]. 中国科学院力学研究所硕士论文, 2003.
- [13] 王义华. 等效动冰载作用下桶形基础承载特性实验研究[D]. 中国科学院力学研究所硕士论文, 2005.

ON THE PULLOUT BEARING CAPACITY OF BUCKET FOUNDATION

JIAO Bintian¹, LU Xiaobing¹, ZHAOjing¹, SHI Zhongmin²

(1. Chinese Academy of Sciences 2. Chinese Ocean Petroleum Research Center)

Abstract: The pullout bearing capacity of bucket foundation in saturated soils is studied through the model test of single bucket foundation with different depth and different rate of pullout loading. Experimental Results show that the rate of pullout loading and size of bucket foundation have a significant influence on the bearing capacity. The mechanism of pullout bearing capacity of bucket foundation is analyzed based on the experimental results.

Key words: bucket foundation, pullout bearing capacity saturated soils, model test