

吸力式桶型基础承载力模型试验

刘 晟 王淑云 鲁晓兵 吴应湘 赵京 王爱兰

(中国科学院力学研究所)

摘 要

针对海洋中的吸力式桶型基础,通过静荷载下单桶模型试验,得到了在竖向荷载、横向荷载下的载荷位移曲线,以及竖向和横向耦合加载情况下的极限承载力组合。结果表明,竖向荷载下桶基呈土体滑移破坏形式;垂向荷载下桶基呈桶拔出破坏形式;两种荷载组合下,存在一个极限状态线,该线以内,基础不破坏;当垂向荷载超过一定值时,桶基破坏由拔出破坏形式转变为土体滑移破坏形式。

(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特点,特别适合沿海滩涂地区的石油开采和小型油井的开采。

为了考察桶径比和加载方式对基础稳定性的影响程度,我们在实验中对两种单桶地基进行试验。希望得到如下的结果:(1)在竖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)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;(3)竖向和横向静荷载共同作用时的极限承载力。

(二) 模型试验概况

1. 试验简介

模型试验在中国科学院力学研究所土力学实验室进行。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范围为 0.074—0.4mm 的饱和漳州砂,密度为 1.58 g/cm^3 ,砂面上有 1cm 厚的水层,置于一个边长为 50cm 的立方体有机玻璃容器中,砂的抗剪强度指标为:粘聚力 $c=0$,内摩擦角为 40° 。

试验中使用量程为 30mm 的百分表计量桶型基础在砂中的位移,使用量程为 600 公斤的传感器,以及从 10 克到 10 千克的砝码。竖向加载采用等应变加载方式,加载速率为 0.5mm/min,当承载力出现极值后终止试验。横向加载采用应力控制的形式,即加砝码的形式,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。

2. 竖向承载力试验

在模型槽中先放水,再撒砂,控制干密度为 1.58 g/cm^3 ,并保持砂面上有约 1cm 厚的水层使砂始终处于饱和状态。在每次试验后,均匀搅拌砂基后,静置 24 小时后进行试验。试验开始前,用传感器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。传感器清零,使砂槽以 0.5mm/min 的速度预先上行 2mm,以避免初始时的机械间隙产生的误差,从传感器有读数时开始计算位移。由于在开始阶段上升单位位移所产生的承载力较大,所以在前 4mm 的位移中采用每 0.25mm 一次读数的方式,以后为每 0.5mm 一次读数的方式。分别对两个不同的桶模型进行试验,每个桶重复 4 次试验,取相近的两个结果进行比较分析。试验结果见图 1,图 2。

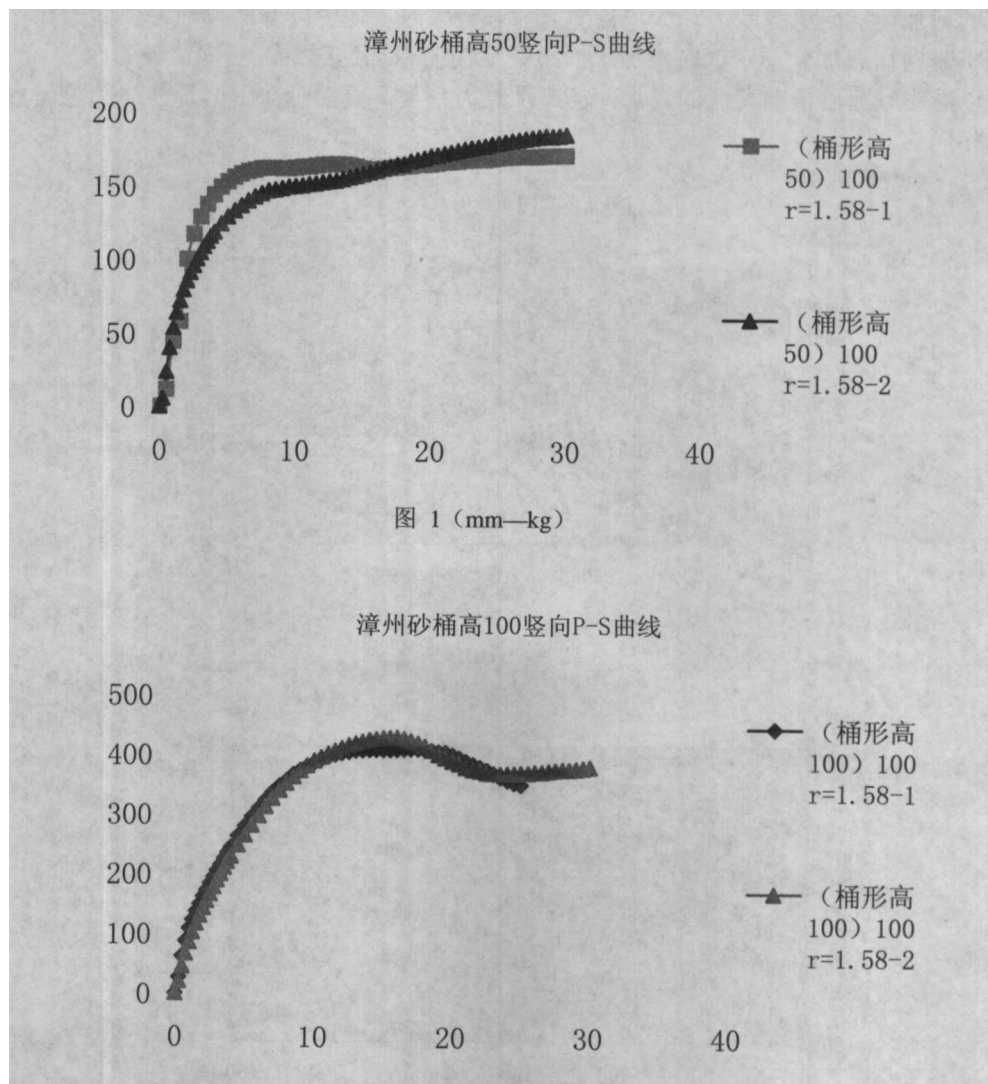


图 2 (mm—kg)

3. 横向承载力试验

用与竖向承载力试验相同的过程完成横向承载力试验前的准备,并预先秤得挂砝码的托盘重 185 克。试验开始前用传感器按照与横向承载力试验相同的方法将模型桶压入砂中,直至桶顶的小孔中不再有水冒出停止,用螺丝堵住小孔。估计到模型承载力的量程可能较短,以及考虑到所有砝码的客观条件,为了防止一次加载量过大或是过小,在最终确定每一级加载的量前,对试验中的加载过程反复重复了多次。并最终分别确定了两个桶每一级加载的大小。

由于实际的量程还是较短,所以试验结果中还是存在一些误差。虽然不能定量的对横向承载力进行准确的分析,但是图 3 中对两个不同的桶型基础的 $F-S$ 曲线的形势和发展趋势的描绘是比较准确可靠的。从图 4 中可以看出,长桶的水平极限承载力为 3750g,短桶的水平极限承载力为 1500g。

4. 耦合加载试验

在前面两组试验的基础上进行耦合加载试验。目的是为了得出横向荷载和竖向荷载共同作用时的极值组合。

在实验中,竖向和横向的加载方式是制约试验的主要因素。竖向加载由传感器施加。横向荷载用砝码施加。我们将试验分为两种加载方式。在竖向荷载加载较小时,我们用砝码进行加载。按照前面的方法将模型桶压入砂中,在桶顶用砝码加固定荷载后,用同样的横向加载方式进行水平加载。分别得出竖向荷载为 5kg、12.5kg、22.5kg 三级下的横向承载力曲线,如图 4。从图 4 中可以看出,随着

竖向荷载的增加, 横向承载能力加大。当横向荷载较大时, 先用传感器按照与前面的相同方法进行竖向加载, 将竖向荷载加到一定值时再加上固定的横向荷载, 这时继续竖向加载直至破坏, 如图 5。从图 5 中可以看出, 随着横向荷载的增加, 竖向承载力是呈下降的趋势, 但是曲线的整体形式与图 2 比较来看是相同的。

漳州砂横向承载力曲线

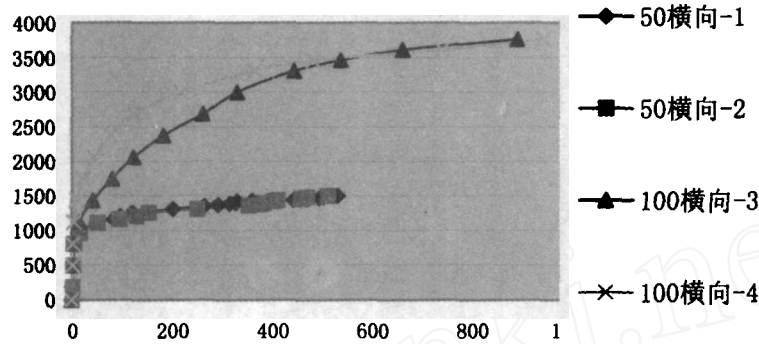


图 3 (0.01mm—g)

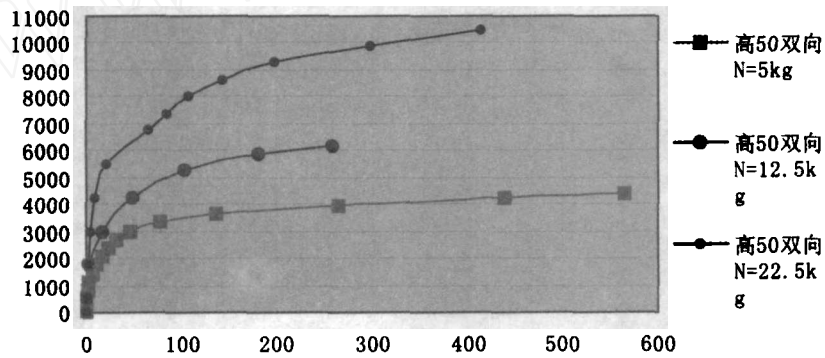


表 4 漳州砂桶高 50 双向定竖载 (0.01mm—g)

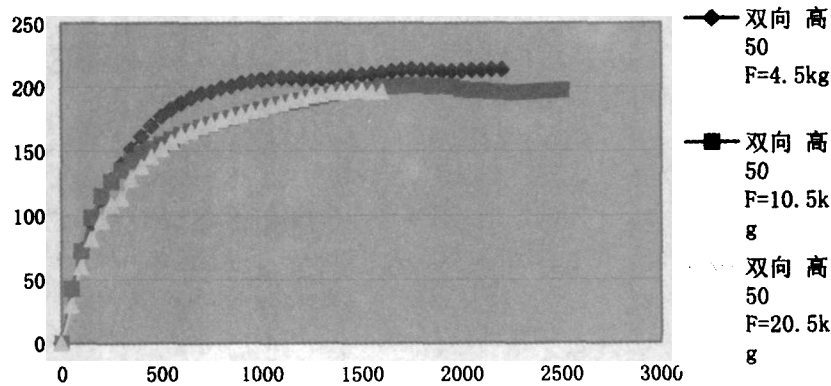


表 5 漳州砂桶高 50 双向定横载 (0.01mm—g)

(三) 试验结果分析与推论

首先,从图 1、2、3 的曲线形式上,可以明显的看出两条曲线的趋势是不同的,长桶的曲线有较明显的承载力极值出现,且在出现极值后承载能力也有较明显的下降,最后趋于某一稳定的终值。而短桶的曲线中,承载力随位移的增加则较缓慢的逐渐增大并趋于某一最大值。其中长桶的极限承载力显然大于短桶的承载力值。说明两种桶的破坏形式是不一致的,长桶为软化破坏形式,短桶为塑性大变形破坏形式。通过试验中得出砂的极限承载力与一般的粘性土比较可以看出,相同深度下砂土的承载力约为粘土的。

在耦合加载试验中,由于受到试验条件的限制,只能在所求曲线两端的一定范围内进行试验,从曲线两端的趋势推断整条曲线的形式。由于砂土承载力本身是由于砂粒之间的剪力产生的,所以无论是横向或是竖向承载力的极限值只与接触面积(也就是桶壁的面积)的大小,以及由于不同深度引起的密度的不同产生的摩擦系数的大小有关。在竖向荷载的情况下,整个桶壁都与砂基作用,而在受横向荷载的情况下,最多只有 50%的面积与砂基作用。而且砂土本身并不是各向同性的,也就是说横向作用时砂土的摩擦系数要小于竖向的。因此,砂土基础的横向承载力与竖向承载力相比较很小,试验的结果也说明了这一点。此外,由于砂土有固定的摩擦角,因此可以确定横向和竖向荷载都是有极限值的。

The Experiments on the Bearing Capacity of the Suction Bucket

LIU Cheng WANG Shu-yun LU Xiao-bing WU Yin-xiang ZHAOjin WANG Ai-lan
(Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Bearing capacity of bucket foundations is studied by the model tests of single bucket foundation in saturated sand in the situation of static loading. The loading and displacement curves in vertical and horizontal loading are given, respectively. The limit bearing capacity of bucket foundations in coupling loading is discussed also. Finally, the characteristics of bearing capacity of bucket foundation have been analyzed by considering the centrifuge test.

Key Words: Suction bucket foundations, bearing capacity of foundation, coupling loading.

作者简介

刘晟 男, 1981 年出生, 2003 年毕业于同济大学, 现在中国科学院力学研究所。