

文章编号: 1001- 4500(2001)02- 0007- 04

# 海洋平台桶形基础的设计和变形分析

王梅 楼志刚

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

赵慧娟 庄茁

(清华大学工程力学系, 北京 100084)

**摘 要:** 根据有限元计算结果对桶形基础在各种加载条件下的变形特性进行分析, 得到不同加载条件对基础及土变形的影响。

**关键词:** 桶形基础; 变形

**中图分类号:** P75

**文献标识码:** A

## 1 简介

桶式基础的概念, 最早见于国外 20 世纪 60 年代初的文献, 70 年代开始对其进行了大量的试验研究, 80 年代后期受到石油公司的重视, 并为这种基础形式实际使用进行了一系列的室内与现场试验, 对桶形基础的下沉阻力、承载力与变形特性都进行了较为深入的研究, 提出了一些基础设计计算方法。1989 年设置了第一个应用桶形基础的混凝土平台 GULLFAKS C, 1991 年设置了第一个应用桶形基础的张力腿平台 SNORRE, 1994 年设置了第一座应用桶形基础的导管架平台 EUROPIPE 16/11- E JACKET。随后桶形基础在世界上各种平台基础中得到应用, 逐步取代桩和锚基础。桶形基础的优势表现如下:

(1) 与桩基础相比, 利用吸力进行现场安装, 工期短, 安装费大大降低。由于其埋深浅, 场地调查费用减少, 对深海尤其适用。

(2) 与锚相比, 抗拔力较高, 定位精确, 使场地调查相对集中。并可根据土强度参数, 得到比锚更可靠的竖向与水平承载力。

(3) 可移开并重复使用, 具经济性与环保优势。

我国近年来开始重视桶形基础形式, 研究工作处于起步阶段, 由于桶形基础受力机理较为复杂, 应用时间短, 还没有形成成熟的设计方法。要掌握桶形基础的设计技术, 还要进行大量的试验研究工作。

## 2 桶形基础设计内容

桶形基础设计内容可归纳为以下两方面:

(1) 基础贯入过程与深度。这部分内容主要解决基础是否能够沉入预定深度, 包括:

- 1) 下沉阻力计算;
- 2) 所需提供的吸力;
- 3) 能够提供最大吸力预估。

(2) 基础的承载力。这部分内容主要解决基础在各种环境荷载条件下不发生大变形所能承受的载荷, 包括:

收稿日期: 2000-10-30

作者简介: 王梅(1964-), 女, 副研究员。



- 1) 基础静承载力计算及基础变形分析;
- 2) 各种动载作用下基础的反应特性分析。

基础设计中涉及的关键技术问题:

- 1) 施加吸力对基础下沉阻力及承载力的影响;
- 2) 基础破坏形式及关键参数确定方法;
- 3) 动载(地震、波浪、冰载)对基础的影响。

本文重点讨论桶形基础的变形问题,这对基础承载力的确定起着重要作用。

### 3 桶形基础静力变形分析

通常的桶形基础承载力分析常常引用重力式基础的方法,且大多为二维分析,这也是从土力学的极限分析方法得来。但对于桶形基础,其桶内土在这里也起着重要作用,这是这种基础形式与普通重力式基础及条形基础的不同所在。同时,由于其多数为圆形断面,用二维计算会引起较大误差,因此,应对其进行三维分析。对于基础变形计算更是还没有很好解决的问题,本文应用ABAQUS有限元程序对桶形基础在受压与受拉两种荷载条件下的受力与变形特性进行三维非线性数值模拟,以期获得对这种基础形式的承载力与变形设计有益的结果。

影响基础承载力与变形特性的因素很多,加载条件就是重要因素之一,加载点位置的不同也会对其有重要影响。这里重点讨论这两个因素的影响。

#### 3.1 计算方法及内容

本文利用ABAQUS/CAE和ABAQUS/Standard为主要计算和分析工具,选择半圆柱体作为模型的主体形状,基础直径 $D$ 为4m,入土深度 $H$ 为9m。采用六面体八节点单元对桶和土进行单元划分,对桶与土的接触面做了接触定义,土壤本构模型分别采用线弹性(e)和非线性模型(p)。加载点选择了2点,桶顶中心和桶侧顶部向下四分之一深度处各一点。桶顶中心点加载方向分别为垂直向下(e1,p1),倾斜向下45°方向(e2,p2),垂直上拉(e3,p3),倾斜上拉45°方向(e4,p4);桶侧点加载方向为倾斜上拉45°方向(e5,p5)。

#### 3.2 各加载方向计算结果及分析

图1~4所示为各加载方向300kN荷载作用下进行非线性分析得到的土中位移等值线图。

从图1~4中可以看出加载点位置不同及加载方向不同对基础及土中位移分布的影响是明显的。其中图1和图2重点反映加载方向对土中位移场的影响。从中可以看出以下几点:

- (1) 没有水平荷载分量作用时,土中位移集中在基础下部,基础上部土中产生位移较小。这说明荷载通过侧壁传递到深部土中。

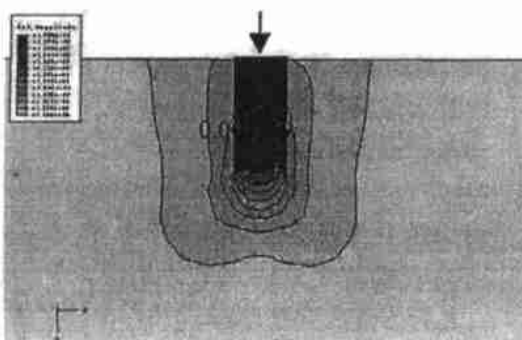


图1 垂直方向位移等值线图(p1)

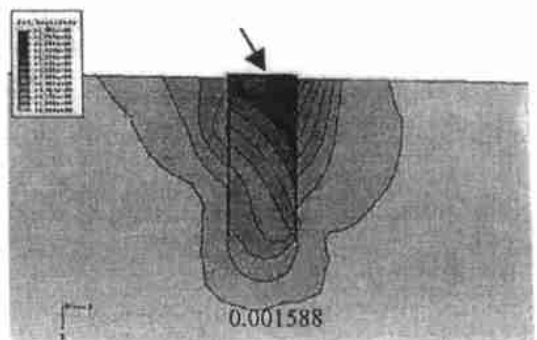


图2 垂直方向位移等值线图(p2)

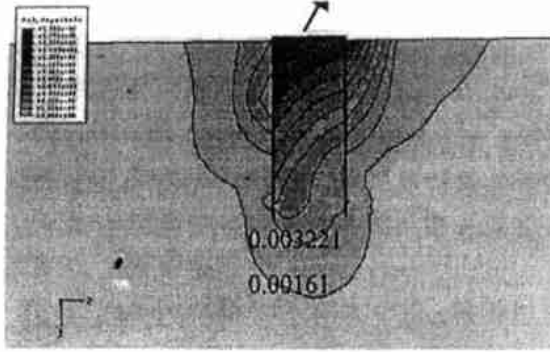


图 3 垂直向上位移等值线图(p4)

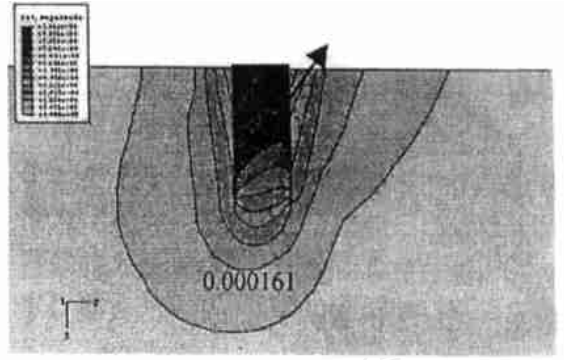


图 2 垂直向上位移等值线图(p5)

增加了水平荷载分量作用后造成了基础周围上部较大范围土体产生了相对较大位移,主要是由于基础上部土中水平应力增大,导致土模量降低,而垂直方向应力变化不大造成的。这也反映了作用在基础顶部的水平荷载主要由上部土来承担,很难传递到底部这一现象。

(2) 从等值线的分布形状可以看出加载方向的不同导致了土体变形的差别,从而将导致基础的破坏模式有所不同。基础的破坏模式又直接影响着基础承载力的计算。

图 1 表明对本文计算的基础几何尺寸,沿用以往浅基础承载力计算模式已不适用,而应采用深基础的计算模式。

图 2 则表明在这种荷载作用下在基础下部会形成一个旋转中心,应采用与之相适应的破坏模式进行承载力计算。

图 3 和图 4 则重点反映加载点位置不同对土中位移场的影响。

从图 3 中可看出,由于加载点在顶部,位移等值线也集中在浅部基础周围及基础内部土中。并且在基础下部形成旋转中心。图 4 中位移场则由于加载点的下移,使得荷载传递到更深层的土中,形成的位移等值线也较为均匀。

以上是关于位移场的分析,此外,我们还对桶顶加载点位置的荷载位移关系进行了整理得到了一些结果。如图 5~ 6 所示。

图 5 所示为 p1、p2、p3 及 p4 条件下得到加载点垂直荷载与垂直位移关系,对 p2 和 p4 条件荷载取垂直方向分量。

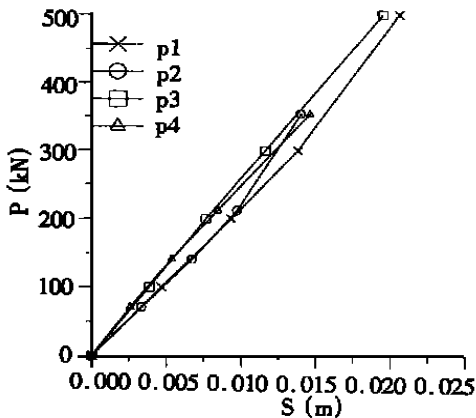


图 5 加载点荷载与垂直位移关系

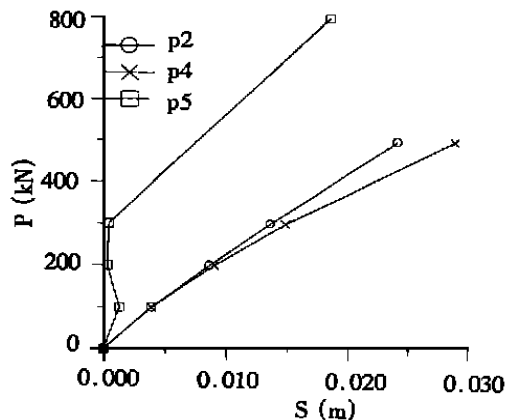


图 6 桶顶中点水平位移与荷载关系

从图 5 可以看出,在桶顶中点受力条件下即使是非线性分析,基础在垂直方向的位移主要与该方向的荷载分量有关,水平分量的影响在荷载较大时才会产生。无论拉、压荷载均有此现象。前面提到水平荷载分量对土中位移分布有较大影响,这里则指对基础顶部垂直方向位移值影响不大。

另外,受压荷载比受拉荷载产生的位移稍大,主要是由于受压荷载与重力方向一致,在土中上部产生的水平应力相对较大,降低了土的模量,相应产生的位移也就较大。可见,受拉与受压即使对侧壁摩擦而言也是有差别的。在计算中应考虑此影响因素。

从图6中可以看出加载条件 $p_2$ 和 $p_4$ 在加载点产生的水平位移有所不同,这表明桶顶中心水平位移的大小不仅与水平分量有关,还与同时作用的垂直荷载的方向有关。垂直向下方向与重力方向一致,使得垂直方向应力增加,对水平方向位移的约束也相应增加。因而,垂直向下的荷载分量使得水平位移相对较小。

另外,由 $p_5$ 与 $p_4$ 条件下得到的水平位移可以看出,在侧壁土中加载与在桶顶加载相比,在桶顶中心产生的水平位移大大减小。这主要是由于在侧壁土中加载大大调动了深层土的阻力, $p_5$ 加载条件在深部土中产生的水平应力较大,在浅部土中产生的水平应力则较小,充分发挥了深部土层承受水平荷载能力强的特点。因而,基础顶部产生水平位移大大降低。这充分说明了加载点选择的重要性。

#### 4 结论

从以上结果分析可以得到以下几点结论:

(1) 加载方向的改变,会引起土中位移场的明显改变,形成基础的破坏模式也不同,在进行基础设计时必须考虑按不同破坏模式进行计算。

(2) 基础顶部垂直方向位移主要受该方向上的荷载分量影响,水平分量荷载对其影响较小。

(3) 水平位移则不仅受该方向上荷载分量的影响,同时还与垂直分量的方向有关。

(4) 作为锚,为增加抗拔力,应尽量将加载点设置于土中一定深度。

#### 参考文献

- [1] Sparrevik P. Suction Anchor Piles State of the Art[M]. Norwegian Geotechnical Institute, 1997.
- [2] Sherif L, El-Gharbawy et al Application of Suction Caisson Foundations in the Gulf of Mexico [A]. Proceedings Offshore Technology Conference, OTC 8832[C], 1998: 531-538.
- [3] Tjelta T I Geotechnical Aspects of Bucket Foundations Replacing Piles for the Europe 16/11- E Jacket[A]. Proceedings Offshore Technology Conference, OTC 7379[C], 1994: 73-82.

## An Analysis for the Deformation of Bucket Foundation of Offshore Platform

Wang Mei Lou Zhi-gang

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing, 100080)

Zhao Hu-duan Zhuang Zhuo

(Department of Engineering Mechanics, Tsinghua University, Beijing, 100084, China)

**Abstract** In this paper, the deformation characteristics of the bucket foundation of offshore platform under different loading conditions is calculated by using finite element method. The results are analyzed and the effects of different load direction and different loading point on the deformation of the bucket foundation are derived.

**Key words:** bucket foundation; deformation.