

文章编号: 1001- 4500(2001)06- 0068- 05

利用ABAQUS 软件分析砂质海底管道稳定性

任艳荣, 刘玉标, 顾小芸
(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘 要: 利用美国 HKS 公司的 ABAQUS 有限元计算程序, 对裸置在海床上的管道进行分析。在计算中, 采用程序中所规定的接触面来考虑管道与土体的相互作用, 得到了比较好的结果。

关键词: 管道; 沉降; 接触面; 稳定性

中图分类号: P756

文献标识码: A

1 引言

ABAQUS 是面向生产、应用范围广泛的通用有限元程序, 它是美国 HKS 公司的产品。在北美、欧洲和亚洲许多国家的机械、化工、土木、水利、材料、航空、船舶、冶金、汽车和电气工业设计中得到广泛的应用。

随着海洋开发从浅滩到深海的扩展, 新型海洋工程结构研究与应用的进展, 面临一系列新的技术问题。常规的海洋工程结构设计中, 按照规范的要求必须进行结构的静力、动力有限元分析, 甚至还要进行包括材料非线性和几何非线性在内的非线性有限元分析。ABAQUS 软件由于具有扩展模块 ABAQUS/Aqua, 可以用来进行分析海洋工程中的实际问题。本文就是用该软件来分析海底管线的管土相互作用过程。

2 ABAQUS 的功能

ABAQUS 有两个主要的分析模块: ABAQUS/Standard 提供了通用的分析能力, 如应力和变形、热交换、质量传递等。ABAQUS/Explicit 应用对时间进行显示积分的动态模拟, 提供了应力/变形分析的能力。此外软件系统还包括其他的几个部分。如 ABAQUS/Aqua 模块扩展了 ABAQUS/Standard 的功能, 应用于海洋采油结构系统的分析, 包括高柔韧性的系统, 如深水下的升降器和管道系统, 其中某些功能包括模拟波浪、风载荷及浮力的影响。

ABAQUS 还包括两个交互作用的图形模块 ABAQUS/Pre 和 ABAQUS/Post, 它们提供了 ABAQUS 图形界面的交互作用工具, 从建模的前处理及显示模拟计算结果的后处理。ABAQUS/Post 是用来显示计算结果的工具, 可以显示彩色等值线图、动画、变形形状绘图及 x-y 平面绘图。

另外, ABAQUS 软件为用户提供了一个接口, 允许用户通过自定义的子程序定制 ABAQUS, 以实现特定的功能。

收稿日期: 2001-07-20

作者简介: 任艳荣(1973-), 女, 在读博士生, 主要从事岩土力学和海洋工程的研究。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19772057); 中科院重大项目资助课题(K2951- A1- 405- 01)。

3 接触面

土与结构的共同耦合作用, 历来是土力学中比较困难的问题之一, 属于接触问题。接触问题是一类非线性问题, 既非材料非线性也非几何非线性, 而是属于边界条件非线性问题。在以往的接触问题研究中, 大多是采用接触面单元来进行分析, 接触面单元是有限计算中用以模拟接触面变形的一种特殊单元, 可以表达接触面的变形。但是采用接触面单元有缺陷, 接触面单元预先确定那些点的位移相等, 就不能精确模拟在变形过程中的情况。而采用接触面, 就能够解决该问题。

ABAQUS 的接触模拟中, 是在模型中的各个构件上建立表面, 必须定出可能会相互接触的一对表面(称为接触对)。采用单纯的主控-从属(master-slave)接触算法。为获得模拟的最好结果, 须认真选择从属与主控表面, 所遵守的原则是: 从属表面应是网格划分得更精细的表面; 若网格密度相近似, 从属表面应由更为柔软的材料组成。基于这样的原则, 在本文的算例分析中, 管道作为主接触面, 海床的上半部作为从接触面, 管道和海床作为一个接触对。

4 算例分析

4.1 引言

随着海上油气田的开发利用, 海底管道愈来愈多地被采用。实际工程中, 海底管道通常是埋设于海底面以下或裸置铺设在海床上。对裸置铺设的管道, 往往受到管道自身重量以及海底土受波流等水动力作用, 会使管道周围遭受冲刷或淤积, 从而使裸置在海底的管道有时会丧失在位稳定性。文献[2-4]进行了实验研究, 并得出了相应的结论。lyons^[1]在 1973 年进行了有限元计算, 文章并没有对计算思路给出说明; 中科院力学所也做了一定的有限元计算分析, 但局限性较大, 不便于推广应用, 且没有考虑比较复杂的接触面问题。而在管土相互作用的计算中, 接触面是应考虑的。并且以往的经验告诉我们, 采用自行研制的有限元分析程序往往由于对问题简化较大, 解决工程实际结构有一定难度, 因此采用通用有限元分析软件是切实可行的方法。由于 ABAQUS 软件比较适合工程结构问题分析, 且 ABAQUS 程序在国外许多的海洋工程^[5]中都有应用。基于以上所述, 本文采用该软件进行分析。

4.2 土的本构关系和管道参数

在有限元分析中, 首先要建立土性状模型, 由于土的应力-应变关系是非线性的, 可以选用非线性弹性模型来描述土的应力-应变特性, 实践表明这种模型在很多情况下可以得到满意的结果。目前, 在很多工程计算中, 土的非线性弹性体采用的数学模型为 Duncan-Chang 模型, 其参数可由土的常规试验确定, 并且具有特定的物理意义, 其方法简单、实用。所以在计算中土的本构关系采用 Duncan-Chang 非线性弹性模型。ABAQUS 程序中虽然有大量的土的本构模型, 但对我们所要解决的问题并不适用。本文采用用户子程序将土的本构关系引入模型。

通过土常规试验, 最终确定砂土的如下各项参数:

$$C = 0.0 \text{ kPa}, \Phi = 40^\circ; \rho_{sat} = 2.0 \times 10^3 \text{ g/cm}^3, R_f = 0.85, K = 410, n = 0.60, G = 0.34, F = 0.09, D = 4.20.$$

4.3 管道特性参数

管道是一种完全弹性材料, 其弹性模量取 $210 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, 泊松比取为 0.3, $D = 0.4 \text{ m}$ 。

4.4 有限元计算模型选取

由于地基土体是一个半无限空间体, 在计算中只能截取一定的范围, 在确定有限元计算模型的尺寸时, 参考已有的研究结果, 并通过大量的计算比较, 按照下述原则确定有限元计算模型的范围: 海床的水平方向为管径的 20 倍, 垂直方向为管径的 10 倍, 即 $20D \times 10D$ 。

4.5 网格划分



采用有限元进行计算时,单元网格划分得越小,计算误差就越小,越接近于真实值,但是相应的计算时间就越长,计算量也就越大。基于以上的原则,在靠近管道的部分土体,单元网格划分得较细;而在远离管道部分的土体,网格划分得则比较粗。

在本计算中,管道采用八节点等参单元,即抛物线型二维八节点等参单元模型,它具有良好的单元特性及对曲线边界的适应性,海床土体采用四节点等参单元,其中海床土体的单元为 8010 个,管道单元为 790 个,节点共 9394 个。有限元网格图见图 1。

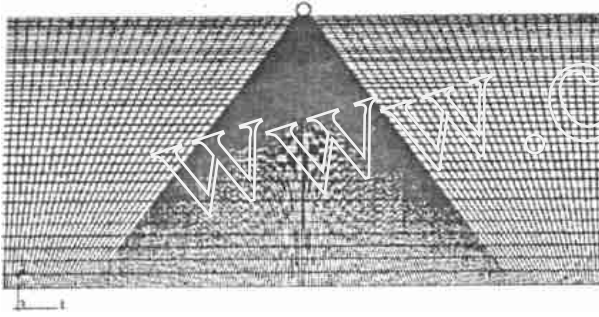


图 1 有限元网格图

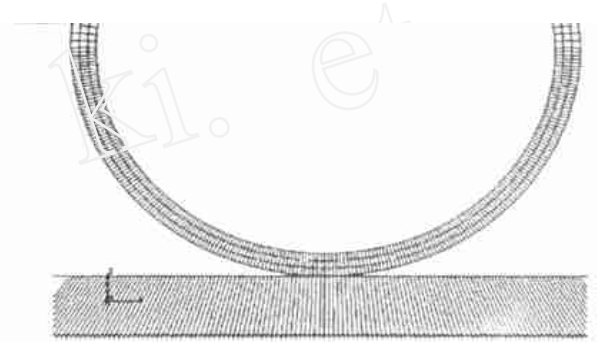


图 2 局部网格放大图

4 6 载荷选取

对于裸置在海床上的管道,主要受到反复波浪、流荷载的周期作用,波浪力的计算采用Morsion (1950)方程,管道的受力如图 3 所示。图中: F_L 为升力, F_D 为拖曳力, F_I 为惯性力, W_s 为管道的水下重, N 为支持力, F 为摩擦力。

4 7 边界条件

模型的边界约束条件为:在海床的左右两侧,底部边界均同时受水平向和竖直向约束,即 $u = 0, w = 0$,上部为自由边界。

为防止管道在海床上可能发生的滚动,在管道的左右两侧用约束方程对管道进行约束,其形式如下,见图 4。

$$u_2^2 + (-1)u_7^2 = 0$$

图中: $u_1 = u_2$; 2 和 7 分别是管道两侧的节点。

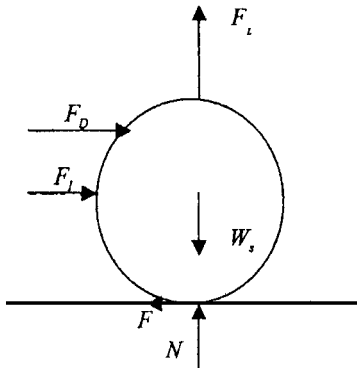


图 3 管道受力图

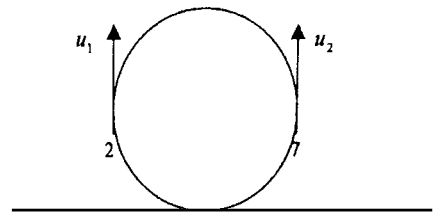


图 4 约束方程示意图

5 有限元计算结果分析

5 1 位移变形分析

经过ABAQUS 程序的计算,得到如图 5 所示的结果。

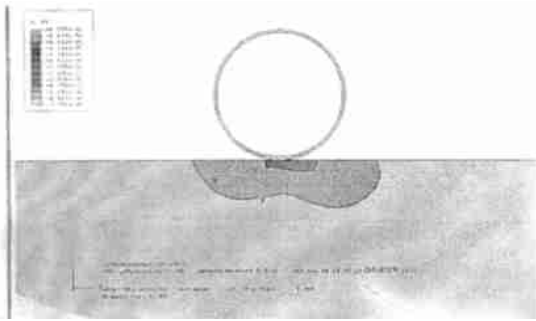


图 5a 管土系统水平位移图

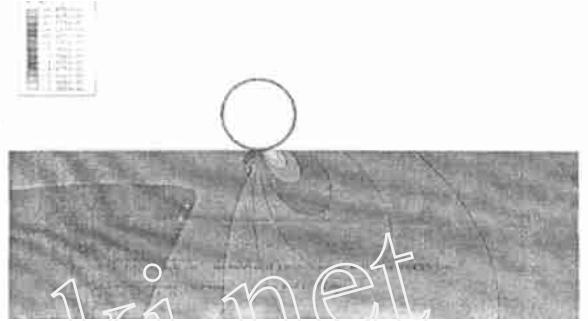


图 5b 管土系统垂直位移图

在这里, $D = 0.4\text{m}$, $F_H = 4.924\text{kN}$ 。

由图 5 可以看出, 在靠近管道处, 土体的水平位移和竖向位移都较大, 随着海床深度和宽度的增加, 土体的变形逐渐减小, 最后为零。

5.2 结果分析

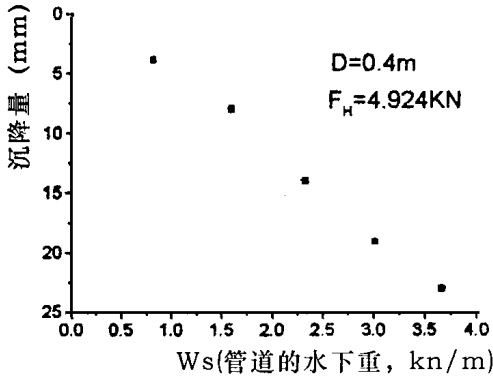


图 6a 水下重与沉降量的关系

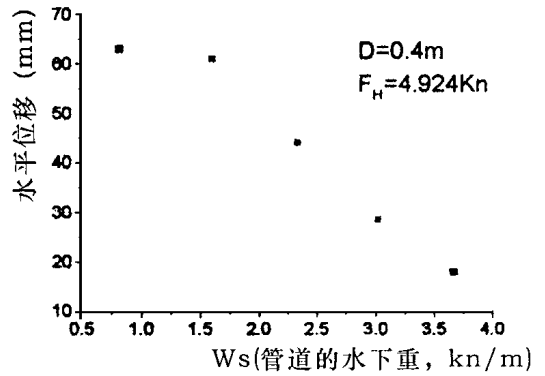


图 6b 水下重与水平位移的关系

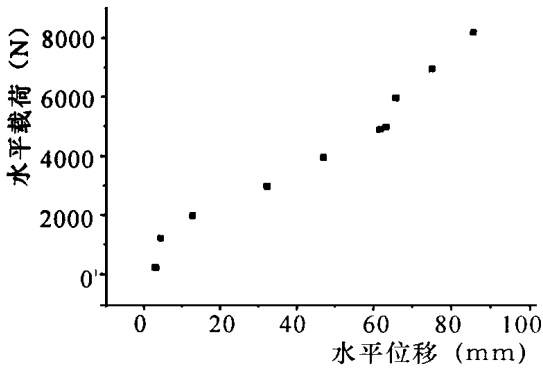


图 6c 水平载荷与水平位移的关系

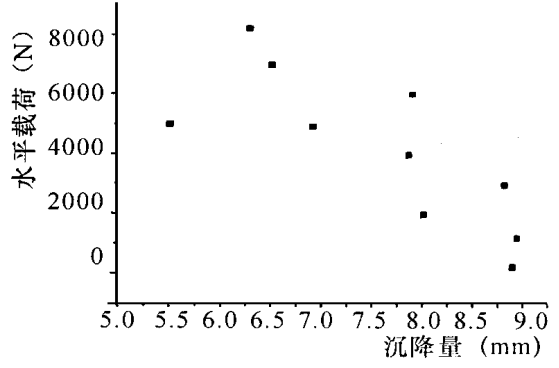


图 6d 水平载荷与沉降量的关系

以上图 6 的结果可以看出, 随着管道重量的增加, 在水平方向的滑动量减小, 但是沉降量在增加, 也就是说管道的稳定性在增强; 对同一直径的管道来说, 随着水平环境载荷的增大, 在水平方向的滑动量也增大, 但是沉降量在减小, 稳定性亦减小。这与文献[1]中的计算结果是一致的。

6 结论

从上面的计算分析中, 可以得到以下结论:

通过采用大型通用有限元计算软件 ABAQUS 进行计算, 从得出的结果中可以看出, 采用该软件进行管道稳定性的分析是可行的;

对于管道与土体之间的相互作用分析,采用接触面来模拟管道与海床之间的相互作用的方法是可行的;

由于目前所进行的计算还是一种静态计算,因此还不能模拟管道在周期载荷作用下的运动,在下一步的计算中需要进行改进。

参考文献

- [1] Lyons, Soil Resistance to Lateral Sliding of Marine Pipelines[A], OTC 1876[R], 1973
- [2] Lammert W F, Hale J R, Jacobsen V. Submarine Pipeline On-Bottom Stability: Recent AGA Research [A] OTC 6055[R]
- [3] Iamail N M, Wallace N R and Nielse R. Wave Force on Partially Buried Submarine Pipelines[A] OTC 5295[C], 1986
- [4] Jacobsen V. Force on Sheltered Pipelines[A] OTC 5851[R], 1988
- [5] Yong Bai et al A Finite-Element Model for In-Situ Behavior of Offshore Pipelines on Uneven Seabed and Its Application to On-Bottom Stability[J], Proc 9th Int Offshore and Polar Engineering Conference, 1999, 2: 132- 140

The Stability Analysis of Naked Pipeline Laying on A Sandy Seabed Based on ABAQUS Program

REN Yan-rong, LU Yu-biao, GU Xia-oyun

(Institute of Mechanics, China Academy of Sciences, Beijing, 100080, China)

Abstract By using finite element ABAQUS program. The stability analysis of a naked pipeline laying on a sandy seabed is carried out. A better result has been achieved in computation by means of the contact surface as prescribed in the Program to consider the interaction between pipeline and seabed.

Key words: pipeline; penetration; contact surface; stability analysis

北海顿巴平台“海神”多相泵投产

1999年7月道达尔菲纳埃尔夫(Totalfina Elf)公司在北海英国海区的顿巴(Dunbar)平台安装了2台“海神”多相泵并已投产,这表明15年来的研发取得可喜成果。

1984年,道达尔、法国石油学会(IFP)和挪威国家石油公司三家单位联合,在IFP开发的技术基础上开发“旋转动力”多相泵。这种泵设计能够连续泵输油井混合物流来提高生产。这种类型的泵可减少常规布局中的设备数量。由于样机泵的性能令人满意,为此决定开发大排量泵装置。

顿巴平台为2套电动多相泵,每套各4.5MW,日输送能力为6320m³液和300×10⁴m³气。2套泵的安装将提高顿巴油田的油气产量和经济储量及其附近的ELLON和GRANT海底卫星油田的产量。

这些油田的产物由多相流管线输送至22km处的ALWYN平台进行处理,然后上岸。

道达尔菲纳埃尔夫公司正在探讨就陆上和海上,甚至海底应用进一步投资,以扩大成果的应用。

(王勇译自OFFSHORE ENGINEER, MARCH 2000)