

the solution precision can be greatly increased, and the numerical calculated results may approach the theoretical results.

Key words massive concrete, temperature field, iterative algorithm, difference step, mean-value theorem

用 ABAQUS 软件处理管土相互作用中的接触面问题¹⁾

任艳荣

(北京建筑工程学院基础课部, 北京 100044)

刘玉标 顾小芸

(中国科学院力学研究所工程科学部, 北京 100080)

摘要 采用 ABAQUS 软件处理管土相互作用中的接触面问题. 利用 ABAQUS 软件中的主控 - 从属接触算法, 使管道和海床形成一个接触对; 并且建立了管土系统有限单元模型. 海床土体分别采用非线性弹性模型、多孔弹性模型、Ramberg-Osgood 塑性模型对管土系统进行计算. 通过分析计算, 得到了管道沉降量与管重间的关系, 以及由于管道沉降而形成的土体楔形, 土体楔形的存在, 增加了管道的稳定性. 计算结果和有关试验结果相符合, 说明采用该软件进行管土相互作用问题分析是可行的.

关键词 管土相互作用, 接触面, ABAQUS 软件

土与结构的耦合作用属于接触问题, 历来是土力学研究中的难点之一. 接触问题广泛存在于机械工程、土木工程等领域, 如齿轮啮合、坝体接缝等^[1]. 这类问题的特点是具有单边约束和未知接触区域. 接触区域的确定依赖于加载方式、荷载水平、接触面性质等因素, 属于边界待定问题.

以前, 尤其是在土工分析中, 多是采用接触面单元分析接触问题. 接触面单元是有限元计算中用以模拟接触面变形的一种特殊单元, 采用接触面单元需要预先确定哪些点的位移相等, 这不能精确模拟接触面在变形过程中的实际情况, 有一定的缺陷. 而利用 ABAQUS^[2] 软件构建主从接触面是解决该问题的有效途径.

1 管土有限元模型

1.1 主从接触面

20 世纪 80 年代以来, 国外的许多科研机构^[3,4] 采用机械式反复加载的方式对裸露管道的管土相互作用进行深入研究. 在管土相互作用中, 位于地基基础上的管道, 其变形模量成百倍地高于地基土的变形模量, 当有荷载作用时, 管道与土体交界面上有可能产生剪切滑移, 因此, 有必要设置相互作用的接触面.

ABAQUS 的接触模拟中, 要在模型中的各个构件上建立表面, 定出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, 在计算分析中, 为使结果便于收敛, 管道下半部作为主接触面, 海床的上半部取 2 个管径的长度作为从接触面, 从而形成一个接触对, 如图 1 所示.



图 1 接触面图

1.2 有限元模型的建立

由于海床的地基土体是一个半无限空间体, 计算中只能截取一定的范围, 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.

进行计算时, 单元网格划分得越密, 计算误差就越小, 越接近于真实值, 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; 而在远离管道的土体, 网格则划分得相对稀疏.

管道采用抛物线型二维 8 节点等参单元, 它具有良好的单元特性及对曲线边界的适应性. 软件规定: 当为接触分析选择单元时, 二阶单元可能会在接触模拟中引起问题, 从属表面最好采用一阶单元, 所以海床土体采用 4 节点等参单元, 其中海床土体单元为 8010, 管道为 790, 节点为 9394, 见图 2 和图 3.

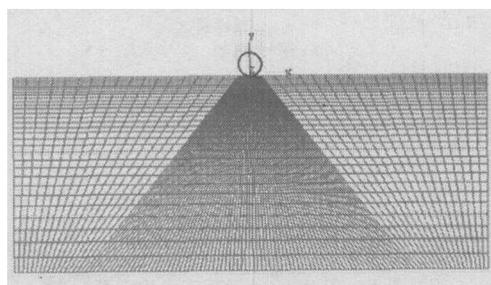


图 2 管土系统有限元模型图

2003-10-24 收到第 1 稿, 2004-05-18 收到修改稿.

1) 北京建筑工程学院博士基金项目资助.

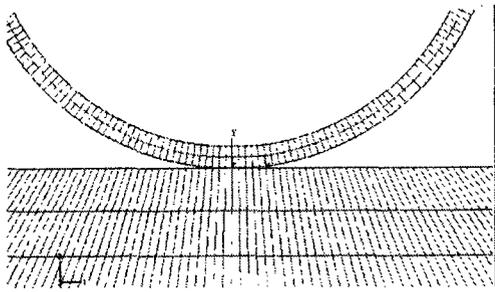


图3 有限元网格放大图

2 计算结果

土体分别采用非线性弹性模型、多孔弹性模型、Ramberg-Osgood 模型, 管道是完全弹性材料. 这 3 种模型中, 只有多孔弹性模型能计算孔隙水压力, 可以反映孔隙水压力对管土相互作用的影响, 其它两种模型则不能. 而要考虑海床土体塑性的和动态的影响, 则应采用弹塑性模型. 非线性弹性模型适用于将海床假定为弹性的计算中, 但不能用动态的分析方法进行计算.

作用在管道上的、由波浪引起的水动力荷载用 Morsion 方程来计算.

2.1 管道的沉降量

当环境条件不变时, 通过改变管道的水下重, 可以得到管道沉降量与管重间的关系, 管道的沉降量随着管重的增加而增加, 如图 4 和图 5 所示. 图中 z 为管道的沉降量, γ' 为海床土体的浮容重.

从图 4 中管道直径 $D = 0.4\text{m}$ 时的沉降量可看出, 3 个模型比较时, 多孔弹性和 Ramberg-Osgood 模型情况一致, 非线性弹性模型偏小, 但无实验数据. 在图 5 中, 当 $D = 1.0\text{m}$ 时, Ramberg-Osgood 模型的计算与试验一致, 非线性弹性模型偏小. 表明在沉降量方面, 多孔弹性模型和 Ramberg-Osgood 模型与试验情况相符, 而非线性弹性模型沉降量偏小.

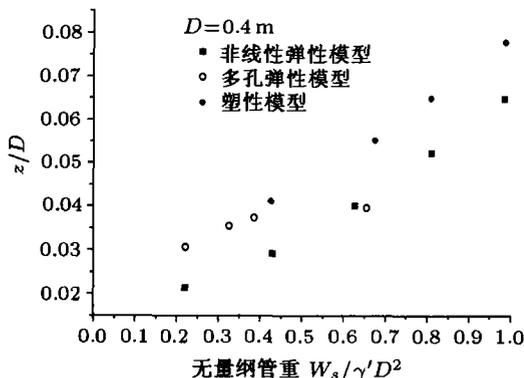


图4 沉降量与管重的关系

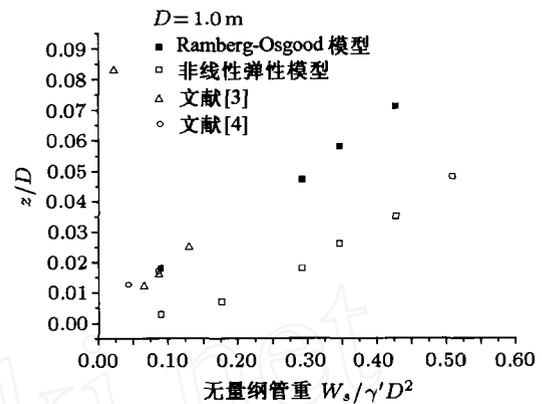


图5 计算结果与试验的比较图

2.2 土体侧向隆起现象

D.W. Allen^[5] 对管道的运动情况进行了详细的描述, 管道侧向位移的同时, 管道下方的土体发生侧向隆起, 如图 6 所示. 本文计算也得到了类似现象, 如图 7 所示. 而不同模型隆起的情况不同, 非线性弹性模型的楔形与管径的比值为 0.064, 多孔弹性模型的比值为 0.058, Ramberg-Osgood 模型的比值为 0.075. 从而说明计算所得到的现象与试验现象相比具有可比性.

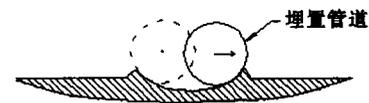


图6 机械式反复加载试验中的管道失稳形态

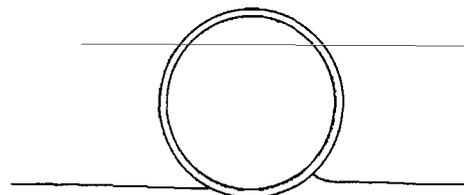


图7 计算得到的侧向隆起

3 总结

本文使用 ABAQUS 软件, 建立了管土系统有限元模型, 采用软件中的主 - 从接触算法建立了管道 - 海床间的接触面. 采用 3 种模型计算得到了管道的沉降量和土体的侧向隆起, 与有关试验结果吻合. 结果表明用该软件进行管土相互作用分析是可行的.

参考文献

- 1 孙林松, 王德信, 谢能刚. 接触问题有限元分析方法综述. 水利水电科技进展, 2001, 21(3): 18~20 (Sun Linsong, Wang Dexin, Xie Nenggang. A summary of finite element analysis for contact problems. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2001, 21(3): 18~20 (in Chinese))
- 2 HKS. ABAQUS/Standard User's Manual. 1998
- 3 Verley RLP. Break-out soil resistance for a pipeline partially buried in sand. In: *Proceedings of the 9th OMAE Conference*, Houston, 1990. 121~125

- 4 Wanger DA, Murff JD, Brennodden H, et al. Pipe-soil interaction model. In: Proceedings of Nineteenth Annual Offshore Technology Conference, Houston, Texas, April, 1987, paper OTC 5504. 181~190
- 5 Allen DW, Lammert WF, et al. Submarine pipeline on-bottom stability: recent AGA research. In: Proceedings of 21st Annual Offshore Technology Conference, Houston, Texas, May, 1989, paper OTC 6055: 121~132

ANALYSIS FOR THE INTERFACE OF THE PIPE/SOIL INTERACTION BY ABAQUS SOFTWARE

REN Yanrong

(Dept. of Basic Sciences, Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

LIU Yubiao GU Xiaoyun

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

Abstract In this paper, the interface of the pipe/soil interaction is analyzed by ABAQUS software. The pipe-soil contact pair is formed by the master-slave method of the ABAQUS software, and the finite element model is established. The constitutive models of soil, including nonlinear elastic, porous elastic and Ramberg-Osgood models are adopted. The relationship between the pipe's weight and sinking is obtained, and the soil lateral mounding is also obtained in the computation, which can improve the pipe's stability. The computation results show that they agree with some test results and the pipe/soil interaction analysis can be made by ABAQUS software.

Key words pipe/soil interaction, interface, ABAQUS software

局部荷载作用下有梁矩形板的弹性分析

蔡 健 何春保 沈建华 黄炎生

(华南理工大学土木工程系, 广州 510640)

摘要 写出了任意局部荷载作用下各种不同边界条件矩形板的解的表达式, 通过梁与板的边界协调分析, 求出不同荷载作用下的有梁矩形板解析解, 并通过改变其中参数 EI 与 GI_t 的数值, 可以得出局部荷载作用下各种不同边界条件下矩形板的解。

关键词 矩形板, 局部荷载, 边界条件, 解析解

对于有梁矩形板的分析目前已有的文献比较少, 文献 [1] 没有给出理论的解答, 文献 [2] 对于局部荷载下的简支板给出了解答, 文献 [3] 对于任意荷载下无梁板做了比较充分的研究, 文献 [4] 给出了在忽略板与梁的扭转变形协调, $\mu = 0.25$ 时各种弹性支承的解, 本文在文献 [1~4] 的基础上, 将有梁矩形板分为楼板和边梁两部分, 考虑边梁对楼板的弹性约束, 即在板边板与梁的扭转变形协调和弯曲变形协调的基础上, 对任意局部均布荷载作用下四角点支承有梁矩形板的内力进行分析, 给出解析解答。

1 四角点支承矩形板的内力分析

根据文献 [1] 的弹性薄板理论, 四角点支承, 四边自由矩形板的解可由一个四边简支的矩形板和 4 个分别为三边简支、另一边广义简支的矩形板的解叠加而成。

1.1 四边简支矩形板在板内 $(\xi_2 - \xi_1) \times (\eta_2 - \eta_1)$ 面积上受到局部均布力 q 作用时的解为

$$W_{q(x,y)} = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{q_{m,n}} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (1)$$

其中

$$A_{q_{m,n}} = \frac{16q}{D\pi^6} \frac{\sin \frac{m\pi\xi}{a} \sin \frac{m\pi\delta\xi}{2a} \sin \frac{n\pi\eta}{b} \sin \frac{n\pi\delta\eta}{2b}}{mn \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2}$$

$$\begin{cases} D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}, & \xi = \frac{\xi_2 + \xi_1}{2} \\ \delta\xi = \xi_2 - \xi_1, & \eta = \frac{\eta_2 - \eta_1}{2}, \quad \delta\eta = \eta_2 - \eta_1 \end{cases}$$

1.2 三边简支, 另一边广义简支的矩形板的解

1.2.1 矩形板在 $y = 0$ 边广义简支, 另三边简支的解

如图 1 所示, 对于 $y = 0$ 边为广义简支边, 其余三边为