



# ABAQUS

## 有限元软件

# 在道路工程中的应用

廖公云 黄晓明 © 编著



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

# ABAQUS 有限元软件在道路 工程中的应用

廖公云 黄晓明 编著

东南大学出版社  
· 南京 ·

## 内 容 提 要

本书分为基础篇和应用篇两个部分。基础篇介绍了有限单元法的基本原理、ABAQUS 有限元基本知识、道路工程中常用材料模型和 UMAT 的编写、单元及网格划分技术、*inp* 文件用法；应用篇中运用实例的形式，采用 ABAQUS 有限元程序分析了道路工程(包括部分岩土工程)中的典型问题：包括沥青路面结构的裂缝问题和动态响应问题、沥青路面结构的车辙问题、软土地基上路面结构的沉降问题、桥台地基的沉降问题和路堤边坡稳定性问题等。

本书可作为高等学校道路相关专业研究生和高年级本科生的有限元课程教材，也可作为道路工程、岩土工程等相关专业科研人员的专业参考书或培训教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

ABAQUS 有限元软件在道路工程中的应用/廖公云，  
黄晓明编著. —南京：东南大学出版社，2008. 12  
ISBN 978-7-5641-1525-8

I. A… II. ①廖… ②黄… III. 道路工程—有  
限元分析—应用软件, ABAQUS— IV. U41-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 202453 号

东南大学出版社出版发行  
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人：江 汉

网 址：<http://press.seu.edu.cn>

电子邮件：[press@seu.edu.cn](mailto:press@seu.edu.cn)

全国各地新华书店经销 南京京新印刷厂印刷

开本：787 mm×1092 mm 1/16 印张：17.5 字数：426 千字

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5641-1525-8

定价：46.00 元(附光盘一张)

本社图书若有印装质量问题，请直接与读者服务部联系。电话(传真)：025-83792328

## 序 言

当今中国经济飞速发展,我国道路建设也正经历着一场翻天覆地的巨大变化,道路建设发展日新月异。但同时也遇到一些技术难题,如软土路基沉降,边坡稳定性问题,沥青路面的裂缝、车辙等损坏问题等,这都激励我们对这些道路工程问题进行深入研究。本书正是廖公云和黄晓明先生对多年 ABAQUS 有限元分析实践的总结。

道路工程是有限元分析应用的一个重要领域,而达索 SIMULIA 公司(原 ABAQUS 公司)拥有的 ABAQUS 是世界上最先进的大型通用有限元分析软件之一。ABAQUS 主要有三个模块:ABAQUS/CAE 模块为 ABAQUS 求解器提供快速交互式的前后处理环境,其为 ABAQUS 的建模、分析、监测和控制,以及结果评估的完整界面;ABAQUS/Standard 是一个通用分析模块,它能够求解广泛的线性和非线性问题,包括结构的静态、动态、热和电响应等,对于通常同时发生作用的几何、材料和接触非线性采用自动控制技术处理;ABAQUS/Explicit 是利用对事件变化的显示积分求解动态有限元方程。ABAQUS 强大的建模、分析功能为其在道路工程中的广泛应用奠定了坚实基础。

本书从有限元基本理论出发,介绍了 ABAQUS 在道路工程中的一些重要功能,重点对道路工程的普遍问题,即沥青路面结构中的裂缝和动态响应问题、沥青路面结构中的车辙问题、软土地基上路面结构的沉降问题、桥台地基沉降问题、路堤边坡稳定性问题进行了详细的讲解。

本书既有一定的有限元理论,又有比较丰富的工程算例,既可适合初学者使用,又可为有一定 ABAQUS 背景,需要提高自己应用水平的高级用户提供参考。

我相信,本书的内容将会给广大读者带来不小的收获。

DS SIMULIA 中国区技术经理

高绍武 博士

2008 年 12 月

## 前 言

在我国高速公路的建设和使用过程中,遇到了大量的工程技术问题,如软土地基上路面结构的沉降问题、桥台地基的沉降问题、沥青路面结构的车辙问题和沥青路面结构的裂缝问题等。这些技术问题的解决一方面依赖于材料技术和施工技术水平的提高,另一方面依赖于对所遇到的技术问题的深层次认识。ABAQUS 有限元程序就是提高对这些技术问题深层次认识的强有力工具。

本书主要讲述 ABAQUS 有限元软件在道路工程中的应用,分为基础篇和应用篇两部分。其中基础篇包括第 2~6 章,主要讲述有限单元法的基本原理、ABAQUS 有限元的基本知识、道路工程中常用材料模型和 UMAT 用户子程序、单元及网格划分技术、*inp* 文件用法;应用篇包括第 7~11 章,主要讲述沥青路面结构中的裂缝问题和动态响应问题、车辙问题、软土地基上沥青路面结构的沉降问题、桥台地基的沉降问题和路堤边坡稳定性问题。

本书第 1、2、10、11 章由东南大学黄晓明编写,其余章节由东南大学廖公云编写。全书由廖公云统稿。

本书在编著过程中得到了浙江工业大学刘萌成博士、南京林业大学王宏畅博士、南京工业大学侯曙光博士、南京地铁建设指挥部杨庆刚博士等专家学者的支持,东南大学黄晓明教授课题组张久鹏、付凯敏等提供了沥青混合料修正 Burgers 模型的 UMAT 用户子程序,李辉提供了连续变温条件下路面温度场的模拟计算方法。此外,本书的出版得到了 DS SIMULIA 中国区技术经理高绍武博士的鼎力协助。在此表示衷心感谢。

由于编著者能力和水平有限,加上时间仓促,书中错误和疏漏在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

编著者

2008 年 12 月

# 目 录

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 1 绪论 .....            | 1 |
| 1.1 有限元与 ABAQUS ..... | 1 |
| 1.2 道路工程中的典型问题 .....  | 4 |
| 1.3 本书的主要内容 .....     | 4 |

## 第一部分 基础篇

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 2 有限单元法的基本原理 .....                   | 9  |
| 2.1 有限单元法求解的基本步骤 .....               | 9  |
| 2.1.1 位移函数 .....                     | 9  |
| 2.1.2 单元应变和初应变 .....                 | 11 |
| 2.1.3 单元应力 .....                     | 12 |
| 2.1.4 等效结点力与单元刚度矩阵 .....             | 14 |
| 2.1.5 结点载荷 .....                     | 18 |
| 2.1.6 结点平衡方程与整体刚度矩阵 .....            | 19 |
| 2.2 常见单元的单元刚度矩阵和结点载荷 .....           | 24 |
| 2.2.1 矩形单元 .....                     | 24 |
| 2.2.2 四面体单元 .....                    | 26 |
| 2.3 能量原理 .....                       | 30 |
| 2.3.1 虚位移原理 .....                    | 30 |
| 2.3.2 最小势能原理 .....                   | 31 |
| 2.3.3 最小余能原理 .....                   | 32 |
| 2.4 有限元解的收敛性 .....                   | 34 |
| 2.5 形函数及其应用 .....                    | 34 |
| 2.5.1 形函数的定义 .....                   | 34 |
| 2.5.2 典型的一维、二维和三维形函数 .....           | 35 |
| 2.5.3 坐标变换 .....                     | 38 |
| 2.6 本章小结 .....                       | 40 |
| 3 ABAQUS 有限元基本知识 .....               | 41 |
| 3.1 ABAQUS 产品的组成(Products) .....     | 41 |
| 3.2 ABAQUS/CAE 的组成(Components) ..... | 42 |
| 3.3 ABAQUS/CAE 中的分析模块(Modules) ..... | 45 |

|       |                               |     |
|-------|-------------------------------|-----|
| 3.4   | ABAQUS/CAE 中的常用工具(Tools)      | 50  |
| 3.4.1 | ABAQUS/CAE 中的常用工具             | 50  |
| 3.4.2 | 实例:路面结构的受力分析                  | 53  |
| 3.5   | ABAQUS 分析模型的组成                | 64  |
| 3.5.1 | ABAQUS 分析的过程                  | 64  |
| 3.5.2 | ABAQUS 分析模型的组成                | 65  |
| 3.6   | ABAQUS 中的常用命令(Commands)       | 66  |
| 3.7   | ABAQUS 中的常用文件(Files)          | 70  |
| 3.7.1 | 常用文件                          | 70  |
| 3.7.2 | 其他文件                          | 72  |
| 3.8   | ABAQUS 中的帮助文档(Documentation)  | 74  |
| 3.9   | 本章小结                          | 75  |
| 4     | 常用材料的本构模型及 UMAT               | 77  |
| 4.1   | 道路工程中常用材料的本构模型                | 77  |
| 4.2   | 典型的弹性模型和塑性模型                  | 78  |
| 4.3   | 道路工程常见材料模型及 UMAT              | 84  |
| 4.3.1 | 道路工程中常见材料模型                   | 84  |
| 4.3.2 | 用户子程序 UMAT 和应用程序(Utilities)   | 87  |
| 4.3.3 | 修正 Burgers 模型用户子程序 UMAT 的编写   | 92  |
| 4.3.4 | Duncan-Chang 模型用户子程序 UMAT 的编写 | 98  |
| 4.3.5 | UMAT 用户子程序的用法                 | 98  |
| 4.4   | 本章小结                          | 100 |
| 5     | 单元及网格划分技术                     | 101 |
| 5.1   | 有限单元                          | 101 |
| 5.1.1 | 单元的特征                         | 102 |
| 5.1.2 | 实体单元                          | 105 |
| 5.1.3 | 壳单元                           | 106 |
| 5.1.4 | 梁单元                           | 108 |
| 5.1.5 | 桁架单元                          | 109 |
| 5.2   | 刚性体                           | 110 |
| 5.2.1 | 刚性体使用的时机                      | 110 |
| 5.2.2 | 刚性体部件                         | 111 |
| 5.2.3 | 刚性单元                          | 111 |
| 5.3   | 实体单元的使用                       | 112 |
| 5.3.1 | 单元的数学描述和积分                    | 112 |
| 5.3.2 | 实体单元的选择                       | 119 |
| 5.4   | 网格划分技术                        | 120 |



|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 5.4.1 结构网格划分 .....                   | 120        |
| 5.4.2 自由网格划分 .....                   | 121        |
| 5.4.3 扫掠网格划分 .....                   | 122        |
| 5.4.4 网格划分算法 .....                   | 124        |
| 5.4.5 不能进行网格划分的几种情形 .....            | 125        |
| 5.5 本章小结 .....                       | 126        |
| <b>6 inp 文件用法 .....</b>              | <b>127</b> |
| 6.1 inp 文件格式 .....                   | 127        |
| 6.1.1 关键字行(Keyword line) .....       | 127        |
| 6.1.2 数据行(Date line) .....           | 128        |
| 6.1.3 注释行(Comment line) .....        | 129        |
| 6.2 编写完整 inp 文件实例:桥式吊架 .....         | 129        |
| 6.2.1 编写 inp 文件 .....                | 129        |
| 6.2.2 检查运行 inp 文件 .....              | 136        |
| 6.3 编写部分 inp 文件实例:软土地基上路面结构的沉降 ..... | 137        |
| 6.3.1 ABAQUS/CAE 生成部分模型数据 .....      | 139        |
| 6.3.2 编写部分 inp 文件 .....              | 143        |
| 6.3.3 运行和后处理 .....                   | 148        |
| 6.4 本章小结 .....                       | 149        |
| <br><b>第二部分 应用篇</b><br>              |            |
| <b>7 沥青路面结构中的裂缝和动态响应问题 .....</b>     | <b>153</b> |
| 7.1 相关理论和计算方法 .....                  | 153        |
| 7.1.1 断裂力学理论和计算方法 .....              | 153        |
| 7.1.2 动态分析理论和计算方法 .....              | 160        |
| 7.1.3 移动均布载荷在有限元模型中的实现 .....         | 169        |
| 7.2 路面结构裂缝和动态响应问题的实例分析 .....         | 170        |
| 7.2.1 静态分析一:直接写 inp 文件 .....         | 170        |
| 7.2.2 静态分析二:ABAQUS/CAE 建模 .....      | 180        |
| 7.2.3 动态分析一:平面 ABAQUS/CAE 建模 .....   | 184        |
| 7.2.4 动态分析二:三维 ABAQUS/CAE 建模 .....   | 189        |
| 7.3 本章小结 .....                       | 199        |
| <b>8 沥青路面结构中的车辙问题 .....</b>          | <b>200</b> |
| 8.1 相关理论和计算方法 .....                  | 200        |
| 8.2 路面车辙计算实例 .....                   | 204        |
| 8.2.1 温度场的分析 .....                   | 206        |



|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 8.2.2 路面车辙的计算 .....           | 215        |
| 8.3 本章小结 .....                | 225        |
| <b>9 软土地基上路面结构的沉降问题 .....</b> | <b>226</b> |
| 9.1 相关理论和计算方法 .....           | 226        |
| 9.1.1 沉降计算理论和比奥固结方程 .....     | 226        |
| 9.1.2 三维固结向平面应变固结的等效转换 .....  | 228        |
| 9.1.3 附加应力计算中位移载荷的施加 .....    | 231        |
| 9.2 水平向增强体(土工格栅)的应用实例 .....   | 232        |
| 9.3 竖向增强体(桩)的应用实例 .....       | 236        |
| 9.4 软土地基路面结构的附加应力分析实例 .....   | 240        |
| 9.5 本章小结 .....                | 244        |
| <b>10 桥台地基沉降问题 .....</b>      | <b>245</b> |
| 10.1 桥台地基沉降实例 .....           | 245        |
| 10.2 本章小结 .....               | 258        |
| <b>11 路堤边坡稳定性问题 .....</b>     | <b>259</b> |
| 11.1 相关理论和计算方法 .....          | 259        |
| 11.2 边坡稳定性分析实例 .....          | 262        |
| 11.3 本章小结 .....               | 268        |
| <b>参考文献 .....</b>             | <b>269</b> |

# 1 绪 论

## 1.1 有限元与 ABAQUS

### 1) 有限元的发展

在科学技术领域内,对于许多力学问题和物理问题,人们已经得到了它们应遵循的基本方程(常微分方程或偏微分方程)和相应的定解条件。但能用解析方法求出精确解的只是少数方程性质比较简单,且几何形状相当规则的问题。对于大多数问题,由于方程的某些特征的非线性性质,或由于求解区域的几何形状比较复杂,则不能得到解析的解答。数值解法应运而生,伴随着计算机技术的飞速发展,数值分析方法已成为求解科学技术问题的主要工具之一。

有限元法是数值分析方法的一种,其基本思想是将连续的求解区域离散为一组有限个、且按一定方式相互联结在一起的单元组合体。由于单元能按不同的联结方式进行组合,且单元本身又可以有不同形状,因此可以模拟几何形状复杂的求解域。有限单元法作为数值分析方法的另一个重要特点是,利用在每一个单元内假设的近似函数来分片地表示全求解域上待求的未知场函数。单元内的近似函数通常由未知场函数或其导数在单元的各个结点的数值和其插值函数来表达。这样一来,一个问题的有限元分析中,未知场函数或其导数在各个结点上的数值就成为新的未知量(也即自由度),从而使一个连续的无限自由度问题变成离散的有限自由度问题。一经求解出这些未知量,就可以通过插值函数计算出各个单元内场函数的近似值,从而得到整个求解域上的近似解。显然随着单元数目的增加,也即单元尺寸的缩小,或者随着单元自由度的增加及插值函数精度的提高,解的近似程度将不断改进。如果单元是满足收敛要求的,近似解最后将收敛于精确解。

有限元的基本思想最早是 Courant(1943)提出来的,他第一次尝试在三角形区域上将分片连续函数和最小位能原理相结合,研究了 St. Venant 的扭转问题。Levy(1947)建立了柔度法或力法,1953 年提出了刚度法或位移法,用来分析静不定飞机结构。Argyris 和 Kelsey(1954)利用能量原理建立了矩阵结构分析方法。但直到 1960 年以后,随着电子计算机的广泛应用和发展,有限单元法的发展速度才显著加快。

现代有限单元法的第一个成功的尝试,是将钢架位移法推广应用于弹性力学平面问题,这是 Turner、Clough 等人在分析飞机结构时于 1956 年得到的成果。他们第一次给出了利用直接刚度法采用三角形单元求得平面应力问题的正确解答。他们的研究工作打开了利用电子计算机求解复杂平面弹性问题的新局面。Clough(1960)进一步处理了平面弹性问题,并第一次提出了“有限单元法”的名称,使人们开始认识了有限元法的功效,其研究领域逐步

扩展至非线性、小位移的静态问题。

20 世纪 70 年代后,随着计算机和软件技术的发展,有限元法也随之迅速发展起来,发表的论文犹如雨后春笋,学术交流频繁,期刊、专著不断出现,进入了有限元法的鼎盛时期。研究涵盖了以下内容:有限元法在数学和力学领域所依据的理论;单元的划分原则,形状函数的选取及协调性;有限元法所涉及的各种数值计算方法及其误差、收敛性和稳定性;计算机程序设计技术;以及向其他领域的推广。

有限元法采用 Hellinger-Reissner 原理、Hu-Washizu 原理等多场变量的变分原理,作为新单元应用的理论基础,从最早的平面三角形单元、等参元、高参元、板壳单元,发展了协调元、非协调元、拟协调元、样条元、混合型单元、杂交型单元的有限元表达形式,并采用了加权余量法,用于建立有限元的表达格式,将有限元的应用扩展到不存在泛函或者泛函尚未建立的问题中。

有限元法采用的求解器得到了不断的丰富,包括解决线性代数方程的直接法、迭代法和解决非线性方程的载荷增量法和位移控制增量法。其中非线性问题的求解算法取得了很大进步。研究人员(1969)开发了著名的单元乘单元的技术,结点力的计算不必应用刚度矩阵。Sandia 实验室的 Sam Key(1975)完成了 HONDO,程序可以处理材料非线性和几何非线性问题。Hallquist 开发了有效接触-碰撞的算法,采用一点积分单元和高阶矢量使得工程仿真得以有显著性突破的可能。

40 多年来,有限单元法的理论和应用都得到迅速的、持续不断的发展,其应用已由弹性平面问题扩展到空间问题、板壳问题,由静力平衡问题扩展到稳定问题、动力问题和波动问题。分析的对象从弹性材料扩展到塑性、黏弹性、黏塑性和复合材料等,从固体力学扩展到流体力学、传热学等连续介质力学领域。

有限元法已经广泛应用于机械工程、土木工程、微电子、电磁场、生物力学等领域,以其强大的功能成为解决工程问题的强有力工具。有限元程序发展也很快,我国已引进的主要程序有:SuperSAP, ADINA, ANSYS, MSC. NASTRAN, ABAQUS 等。

可以预计,随着现代力学、计算数学和计算机技术等学科的发展,有限单元法作为一个具有巩固理论基础和广泛应用效力的数值分析工具,必将在国民经济建设和科学技术发展中发挥更大的作用,其自身亦将得到进一步的发展和完善。

## 2) ABAQUS 软件

ABAQUS 公司成立于 1978 年,是世界知名的高级有限元分析软件公司,总部设在美国罗德岛州普罗维登斯市(Providence, Rhode Island, USA),在法国 Surésnes 设有研发中心。其主要业务为非线性有限元分析软件 ABAQUS 的开发、维护及售后服务。ABAQUS 软件在技术、品质以及可靠性等方面具有非常卓越的声誉,对简单或复杂的线性和非线性工程问题,都提供了一套完整强大的有限元理论解决方案。ABAQUS 公司致力于发展统一的有限元分析平台,以用于多种产品开发,适合各种用户的需求。

2005 年 10 月,ABAQUS 公司成为在三维建模和产品生命周期管理上享有盛誉的达索公司(Dassault Systèmes)的一个子公司。SIMULIA 是达索公司的品牌,包括著名的 ABAQUS 和 CATIA 的分析模块等。它将把人们从以往不关联的分析仿真应用,带入到协同的、开放的、集成的多物理场仿真平台。SIMULIA 提供各种仿真模拟功能,通过卓越的

技术、出众的质量以及完善的服务,使工业界的工程师和科学家可以利用仿真结果去提高产品性能,减少物理模型的制作,加快产品创新进程。

ABAQUS 是一套功能强大的工程模拟有限元软件,其解决问题的范围从相对简单的线性分析到许多复杂的非线性问题。ABAQUS 包括一个丰富的、可模拟任意几何形状的单元库。并拥有各种类型的材料模型库,可以模拟典型工程材料的性能,其中包括金属、橡胶、高分子材料、复合材料、钢筋混凝土、可压缩超弹性泡沫材料以及土壤和岩石等地质材料。

作为通用的模拟工具,ABAQUS 除了能解决大量结构(应力/位移)问题,还可以模拟其他工程领域的许多问题,例如热传导、质量扩散、热电耦合分析、声学分析、岩土力学分析(流体渗透/应力耦合分析)及压电介质分析:

- 静态应力/位移分析

包括线性、材料和几何非线性,以及结构断裂分析等

- 动态分析

包括结构固有频率的提取、瞬态响应分析、稳态响应分析,以及随机响应分析等

- 黏弹性/黏塑性响应分析

- 热传导分析

传导、辐射和对流的瞬态或稳态分析

- 质量扩散分析

静水压力造成的质量扩散和渗流分析等

- 非线性动态应力/位移分析

可以模拟各种随时间变化的大位移、接触分析等

- 瞬态温度/位移耦合分析

解决力学和热响应及其耦合问题

- 准静态分析

应用显式积分方法求解静态和冲压等准静态问题

- 退火成型过程分析

可以对材料退火热处理过程进行模拟

- 海洋工程结构分析

对海洋工程的特殊载荷如流载荷、浮力、惯性力等进行模拟

对海洋工程的特殊结构如锚链、管道、电缆等进行模拟

对海洋工程的特殊的连接,如土壤/管柱连接、锚链/海床摩擦、管道/管道相对滑动等进行模拟

- 水下冲击分析

对冲击载荷作用下的水下结构进行分析

- 疲劳分析

根据结构和材料的受载情况统计进行生存力分析和疲劳寿命预估

- 设计灵敏度分析

对结构参数进行灵敏度分析并据此进行结构的优化设计

ABAQUS 为用户提供了广泛的功能,且使用起来又非常简单。大量的复杂问题可以

通过选项块的不同组合很容易的模拟出来。例如,对于复杂多构件问题的模拟可通过把定义每一构件的几何尺寸的选项块与相应的材料性质选项块结合起来。在大部分模拟中,甚至高度非线性问题,用户只需提供一些工程数据,如结构的几何形状、材料性质、边界条件及载荷工况。在一个非线性分析中,ABAQUS 能自动选择相应载荷增量和收敛限度,不仅能够选择合适参数,而且能连续调节参数以保证在分析过程中有效地得到精确解。用户通过准确的定义参数就能很好地控制数值计算结果。

由于 ABAQUS 优秀的分析能力和模拟复杂系统的可靠性,使得 ABAQUS 被各国的工业和研究广泛采用。ABAQUS 产品在大量的高科技产品研究中都发挥着巨大的作用。

## 1.2 道路工程中的典型问题

### 1) 沥青路面结构中的裂缝问题和动态响应问题

现有的道路工程分析程序,无法处理带裂缝路面结构的力学响应,更无法模拟裂缝尖端附近应力/位移场的奇异性。

同时,传统的道路工程分析程序,如 Bisar,只能分析静力作用下路面结构的响应(应力、应变、位移等),无法获得移动载荷作用下路面结构的力学响应。

### 2) 沥青路面结构中的车辙问题

现有的道路工程分析程序,无法计算路面结构的车辙等问题(路面结构中的温度场、路面结构的车辙等)。

### 3) 软土地基上路面结构和桥台地基的沉降问题

现有的道路工程分析程序,无法处理软土地基的沉降等系列工程问题(如软土地基上路面结构的沉降、桥台地基的沉降、新老路基的拼接等)。

### 4) 路堤边坡稳定性

对于边坡稳定性问题,常规的方法为直线滑动面(砂类土)或圆弧滑动面(大多数土)分析法,这种方法计算繁琐,而且容易出错。

上述道路工程(包括部分岩土工程)中的典型问题,现有的分析程序无法给出完美的解决方案(要么无法处理,要么处理效率不高),给研究工作带来了不便。有限元法提供了解决上述典型道路工程问题的解决方法,并有商用通用有限元程序(如 ABAQUS、ANSYS 等)可以利用。

## 1.3 本书的主要内容

本书的主要目的是,为道路工程(包括部分岩土工程)本科高年级学生、研究生或相关科

研究人员提供快速入门的方法,并通过实例详细讲解典型道路工程问题(包括部分岩土工程问题)的解决方法和相关要点,提高他们利用 ABAQUS 软件分析实际问题的能力。

目前,ABAQUS 最新版本为 6.8。本书采用的 ABAQUS 版本为 6.5-1。

本书的内容可以分为两大部分:

#### 第一部分:基础篇

这一部分主要讲述有限单元法的基本原理、ABAQUS 有限元的基础知识(产品组成、ABAQUS/CAE 分析模块、常用工具、常用命令和常用文件等)、材料模型(以及 UMAT)、单元及网格划分技术和 *inp* 文件用法等。通过这部分的学习,有助于快速掌握和理解 ABAQUS 有限元软件的基本知识、有限单元法分析问题的过程和基本方法。

#### 第二部分:应用篇

这一部分主要讲述采用 ABAQUS 解决典型道路工程问题的方法和要点,包括沥青路面结构中的裂缝和动态响应问题、沥青路面结构中的车辙问题、软土地基上路面结构和桥台地基的沉降问题和路堤边坡稳定性问题等。通过这部分的学习,有助于深入体会 ABAQUS 解决道路工程典型问题(包括部分岩土工程问题)的方法和技巧,从而提高利用 ABAQUS 分析实际工程问题的能力。





## 第一部分

# 基础篇

---

