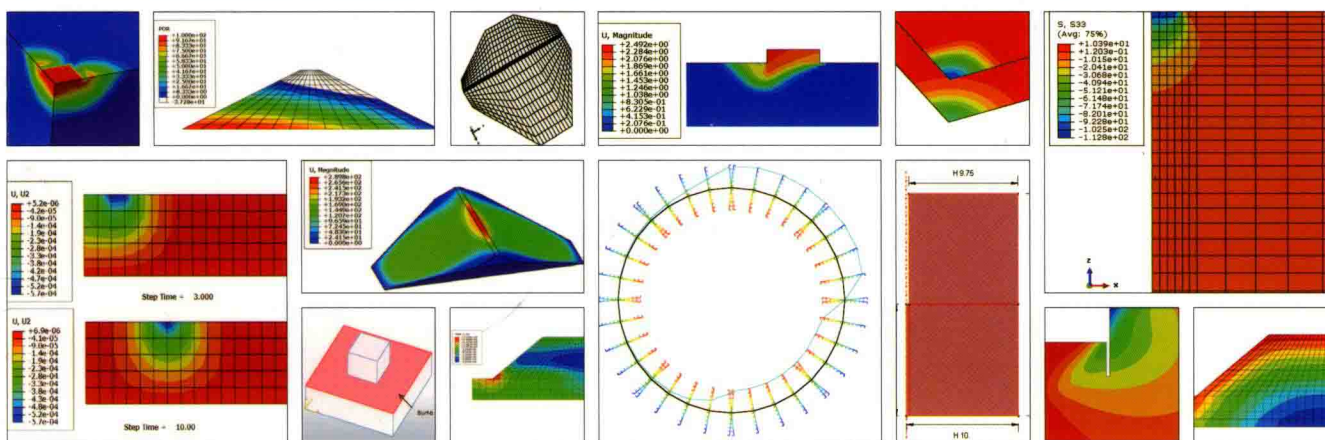


CAE分析大系

ABAQUS 岩土工程 实例详解

◎ 费康 彭劼 编著



1 本书讲透岩土工程核心理论与实践

10 余年 ABAQUS 工程经验的高度浓缩

62 个实例剖析工程应用与二次开发



- 全部案例源代码
- 图书 + 微信订阅号 + SimWe 论坛 = 可沟通交流的生态系统教程



微信 (iCAX) 立体化阅读支持



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

CAE分析大系

ABAQUS

岩土工程

实例详解

◎ 费康 彭劼 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

ABAQUS岩土工程实例详解 / 费康, 彭劼编著. -- 北京: 人民邮电出版社, 2017.1
(CAE分析大系)
ISBN 978-7-115-43881-2

I. ①A… II. ①费… ②彭… III. ①有限元分析—应用软件 IV. ①0241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第256949号

内 容 提 要

本书系统地介绍了应用 ABAQUS 6.14 进行岩土工程数值分析的步骤及需要考虑的关键问题。

本书分为 3 篇, 共 15 章。基础篇(第 1~4 章)主要介绍了软件的功能, 岩土工程中常用的材料模型及算例, 接触理论, 以及用户子程序等基本知识; 应用篇(第 5~11 章)介绍了浅基础的地基承载力, 挡土结构的土压力, 饱和土的渗流固结, 非饱和土渗流问题, 桩基工作性状, 岩土开挖和堆载问题, 以及边坡稳定分析等问题的理论和算例; 提高篇(第 12~15 章)介绍了用户自定义材料、单元的二次开发、岩土动力问题和离散元分析等。

全书结构条理清晰, 实例丰富, 注重数值结果与岩土理论的对比, 并做了大量的扩展, 具有很强的实用性。

本书适合岩土工程、水利工程及结构工程等领域的高校教师、工程技术人员和研究生阅读, 也可作为岩土工程专业土木工程数值分析课程的参考书。

-
- ◆ 编 著 费 康 彭 劼
责任编辑 杨 璐
责任印制 陈 犇
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 25
字数: 758 千字 2017 年 1 月第 1 版
印数: 1—2 500 册 2017 年 1 月北京第 1 次印刷
-

定价: 69.80 元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052 号

基础篇

第 1 章 ABAQUS 快速入门 10

1.1 ABAQUS 介绍 10

1.1.1 ABAQUS 概述 10

1.1.2 ABAQUS 软件体系 10

1.2 ABAQUS 通用约定 11

1.3 ABAQUS/CAE 基础 13

1.3.1 ABAQUS/CAE 的启动方式 14

1.3.2 ABAQUS/CAE 主界面构成 14

1.3.3 ABAQUS/CAE 中鼠标的使用 16

1.3.4 ABAQUS 的常用文件格式 17

1.4 ABAQUS/CAE 中的功能模块 19

1.4.1 Part (部件) 模块 20

1.4.2 Property (性质) 模块 25

1.4.3 Assembly (装配) 模块 29

1.4.4 Step (分析步) 模块 31

1.4.5 Interaction (相互作用) 模块 33

1.4.6 Load (荷载) 模块 36

1.4.7 Mesh (网格) 模块 38

1.4.8 Job (任务) 模块 44

1.4.9 Visualization (可视化) 模块 45

1.4.10 Sketch (草图) 模块 50

1.5 算例 50

1.5.1 矩形荷载作用下地基中的附加应力分布 50

1.5.2 三维大坝建模及分析 61

1.6 本章小结 67

第 2 章 ABAQUS 中的岩土材料模型 68

2.1 弹性模型 68

2.1.1 线弹性模型 68

2.1.2 多孔介质弹性模型 70

2.1.3 线黏弹性模型 72

2.2 塑性模型 74

2.2.1 Mohr-Coulomb 模型 74

2.2.2 扩展的 Drucker-Prager 模型 77

2.2.3 修正 Drucker-Prager 帽盖模型 82

2.2.4 临界状态塑性模型 (Critical state plasticity model) 85

2.3 算例 87

2.3.1 Mohr-Coulomb 材料的三轴固结排水试验模拟 87

2.3.2 修正剑桥模型材料的三轴固结排水试验模拟 92

2.3.3 黏弹性材料的循环剪切试验 94

2.4 本章小结 96

第 3 章 ABAQUS 中的接触理论 97

3.1 ABAQUS/Standard 中的接触对 97

3.1.1 基本特性 97

3.1.2 接触对算法 97

3.1.3 定义接触对 100

3.2 接触面相互作用力学模型 102

3.2.1 法向行为模型 102

3.2.2 切向行为模型 103

3.2.3 阻尼模型 105

3.2.4 黏结模型 (Surface-based cohesive behavior) 107

3.2.5 接触面的结果输出变量 107

3.3 ABAQUS/Standard 中的通用接触 (General Contact) 108

3.3.1 基本特性 108

3.3.2 定义方法 109

3.4 接触面模拟中可能遇到的问题 111

3.4.1 接触计算的诊断信息 111

3.4.2 接触面的初始相对位置 113

3.4.3 正确定义表面 115

3.4.4 避免迭代次数过多 115

3.4.5 避免过约束 (Overconstraints) 115

3.5 算例 116

3.5.1 库伦摩擦算例 116

3.5.2	黏结模型算例	120	5.1.2	承载力理论	148
3.5.3	不排水黏土中圆形桩的水平承载力	122	5.2	算例	149
3.5.4	考虑黏聚力的库伦摩擦	127	5.2.1	条形基础承载力	149
3.6	本章小结	129	5.2.2	方形基础极限承载力	154
			5.2.3	倾斜荷载作用下的条形基础	157
			5.2.4	边坡上的条形基础	159
			5.3	本章小结	162
第 4 章	ABAQUS 中的用户子程序	130	第 6 章	挡土结构的土压力	163
4.1	用户子程序简介	130	6.1	土压力理论	163
4.1.1	用户子程序类别	130	6.1.1	静止土压力	163
4.1.2	用户子程序编写规则	130	6.1.2	主动土压力	163
4.1.3	ABAQUS/CAE 中用户子程序调用方式	131	6.1.3	被动土压力	164
4.2	用户自定义位移子程序 DISP	131	6.2	算例	164
4.2.1	子程序功能	131	6.2.1	重力式挡土墙	164
4.2.2	子程序格式和变量说明	131	6.2.2	加筋土挡墙	169
4.2.3	应用实例	132	6.3	本章小结	172
4.3	用户自定义分布荷载子程序 DLOAD	134	第 7 章	饱和土的渗流固结	173
4.3.1	子程序功能	134	7.1	流固耦合分析步简介	173
4.3.2	子程序格式和变量说明	134	7.1.1	适用范围	173
4.3.3	应用实例	135	7.1.2	相关土力学概念	173
4.4	用户自定义接触面摩擦模型子程序 FRIC	136	7.1.3	流体渗透/应力耦合分析步的使用方式	174
4.4.1	子程序功能	136	7.1.4	计算注意事项	176
4.4.2	FRIC 子程序格式和变量说明	137	7.1.5	固结计算中的输出变量	179
4.4.3	应用实例	138	7.2	算例	180
4.5	用户自定义初始应力子程序 SIGINI	143	7.2.1	太沙基 (Terzaghi) 一维固结	180
4.5.1	子程序功能	143	7.2.2	蓄水问题	183
4.5.2	SIGINI 子程序格式和变量说明	143	7.2.3	修正剑桥模型的固结不排水三轴试验	185
4.6	用户自定义初始孔隙比 VOIDRI	144	7.2.4	一维剑桥黏土地基固结分析	189
4.6.1	子程序功能	144	7.2.5	土体固结问题中的曼德尔效应	196
4.6.2	VOIDRI 子程序格式和变量说明	144	7.3	本章小结	197
4.7	常用应用程序	144	第 8 章	非饱和土渗流问题	198
4.7.1	SINV 计算应力不变量	144	8.1	渗流分析中的边界条件	198
4.7.2	SPRINC 计算主应力/主应变	145	8.1.1	典型边界条件	198
4.7.3	SPRIND 计算主应力/主应变及方向	145	8.1.2	ABAQUS/Standard 中渗流边界条件的模拟功能	199
4.8	本章小结	145	8.2	非饱和渗流问题中的材料模型	200
			8.2.1	饱和度对渗透性能的影响	200
			8.2.2	饱和度与基质吸力之间的关系	200
应用篇					
第 5 章	浅基础的地基承载力	147			
5.1	地基破坏模式及极限承载力	147			
5.1.1	地基破坏模式	147			

13.1.2	UEL 工作原理	328	14.3.2	显式方法适用的问题类型	355
13.1.3	子程序格式和变量说明	329	14.3.3	显式算法的条件稳定性	355
13.2	UEL MAT 子程序简介	330	14.3.4	显式积分算法中的时间 步长控制	356
13.2.1	子程序功能	330	14.3.5	使用显式积分算法求解 ——动力问题	357
13.2.2	适用范围	331	14.4	隐式与显式求解方法的比较	358
13.2.3	子程序格式和变量说明	331	14.4.1	一般比较	358
13.2.4	配套使用子程序 MATERIAL_LIB_MECH	332	14.4.2	节点自由度增加对计算资源 耗费的影响	358
13.3	自定义单元的使用方法	332	14.5	算例分析	359
13.4	平面三节点线弹性梁单元 UEL 子程序	335	14.5.1	水平地基的自振频率与振型	359
13.4.1	单元基本理论	335	14.5.2	二维理想土坝的自振频率 和振型	360
13.4.2	程序代码及说明	336	14.5.3	线性水平地基地震反应的振型 叠加法分析	363
13.5	平面四节点无厚度接触面单元的 UEL 子程序	338	14.5.4	线性水平地基地震反应的 隐式分析	368
13.5.1	单元基本理论	338	14.5.5	线性水平地基地震反应的 显式分析	369
13.5.2	程序代码及说明	340	14.5.6	水平地基地震反应的等效线性 分析——隐式法	371
13.5.3	程序验证	343	14.5.7	水平地基地震反应的等效线性 分析——显式法	378
13.6	平面应变四节点单元的 UEL MAT 子程序	344	14.5.8	地基中波的传播特性	381
13.7	本章小结	349	14.5.9	动力分析中无限边界条件 的模拟	383
第 14 章	岩土动力分析	350	14.6	本章小结	387
14.1	ABAQUS 中的动力求解方法	350	第 15 章	ABAQUS 中的离散元	388
14.1.1	模态分析方法	350	15.1	基本介绍	388
14.1.2	直接积分法	351	15.2	分析设置	388
14.1.3	动力分析中的阻尼	352	15.3	算例	390
14.2	ABAQUS/Standard 中的隐式 积分算法	353	15.3.1	颗粒坍塌模拟	390
14.2.1	隐式积分方法的特点	353	15.3.2	直剪试验模拟	396
14.2.2	隐式积分算法中的时间 步长控制	353	15.4	本章小结	399
14.2.3	使用隐式积分算法求解 动力问题	354	参考文献	400	
14.3	ABAQUS/Explicit 中的显式 积分算法	354			
14.3.1	显式积分方法的特点	354			

CAE分析大系

ABAQUS 岩土工程 实例详解

◎ 费康 彭劼 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

ABAQUS岩土工程实例详解 / 费康, 彭劼编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2017.1
(CAE分析大系)
ISBN 978-7-115-43881-2

I. ①A… II. ①费… ②彭… III. ①有限元分析—应用软件 IV. ①0241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第256949号

内 容 提 要

本书系统地介绍了应用 ABAQUS 6.14 进行岩土工程数值分析的步骤及需要考虑的关键问题。

本书分为 3 篇, 共 15 章。基础篇(第 1~4 章)主要介绍了软件的功能, 岩土工程中常用的材料模型及算例, 接触理论, 以及用户子程序等基本知识; 应用篇(第 5~11 章)介绍了浅基础的地基承载力, 挡土结构的土压力, 饱和土的渗流固结, 非饱和土渗流问题, 桩基工作性状, 岩土开挖和堆载问题, 以及边坡稳定分析等问题的理论和算例; 提高篇(第 12~15 章)介绍了用户自定义材料、单元的二次开发、岩土动力问题和离散元分析等。

全书结构条理清晰, 实例丰富, 注重数值结果与岩土理论的对比, 并做了大量的扩展, 具有很强的实用性。

本书适合岩土工程、水利工程及结构工程等领域的高校教师、工程技术人员和研究生阅读, 也可作为岩土工程专业土木工程数值分析课程的参考书。

-
- ◆ 编 著 费 康 彭 劼
责任编辑 杨 璐
责任印制 陈 犇
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 25
字数: 758 千字 2017 年 1 月第 1 版
印数: 1—2 500 册 2017 年 1 月北京第 1 次印刷
-

定价: 69.80 元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052 号

岩土工程分析中,由于岩土体应力应变关系的非线性、荷载及边界条件的复杂性,用解析方法求解难度很大,通常需要采用数值方法进行求解,数值分析结果是岩土工程师对问题进行判断的重要依据之一。ABAQUS 是一款功能强大的通用有限元软件,包含十分丰富的材料模型、单元模式、荷载及边界条件,能够求解静力、动力等多种问题,尤其在求解非线性问题方面的能力十分优异,对岩土工程有较好的适用性。

岩土数值分析要取得比较好的效果,一是要熟悉分析软件的功能及特点,二是要掌握相关数学、力学理论,本书在编写时充分考虑了这两者之间的关系。建议读者在学习时先将基本例子吃透,并与理论知识进行对比,分析计算假设及结果的异同,在此基础上进行拓展,进而解决实际工程问题。

» 主要内容

本书结合 ABAQUS 6.14,将内容分为三篇共 15 章,对 ABAQUS 在岩土工程中的应用进行了讲解,即基础篇(第 1~4 章)、应用篇(第 5~11 章)和提高篇(第 12~15 章)。入门篇主要介绍软件的功能、岩土工程中常用本构关系、接触面理论和用户子程序构成等基本知识,这部分内容可帮助读者快速入门。应用篇中结合浅基础的地基承载力、挡土结构的土压力、饱和土的渗流固结、非饱和土的渗流、桩基工作性状、岩土开挖和堆载问题和边坡稳定分析等具体问题,通过一系列算例详细介绍了模型建立、问题求解和结果后处理的具体过程。通过这部分的学习,读者应能利用 ABAQUS 分析常见的岩土工程问题,并增加对相关岩土工程理论的认识。提高篇中介绍了用户自定义材料和单元的二次开发、如何用隐式和显式方法求解岩土动力问题、离散元分析等主要内容,这部分内容可帮助读者结合需求,进行二次开发,扩展 ABAQUS 软件在岩土工程中的应用范围。

本书提供了书中所有章节涉及的 62 个实例的模型文件及用户子程序 for 文件,以供读者参考。

» 统一技术支持

读者在学习过程中遇到困难,可以通过我们的立体化服务平台(微信公众服务号:iCAX)联系,我们会尽量帮助读者解答问题。此外,在这个平台上我们还会分享更多的相关资源。微信扫描下面二维码就可以查看相关内容。

微信公众服务号:iCAX



读者如果无法通过微信访问,也可以给我们发邮件:iCAX@dozan.cn。

» 分工与说明

全书编写分工如下:全书章节安排及统稿由费康负责,第 1、2、3、4、5、6、10、11、12、13、15 章由费康执笔,第 7、8 章由彭劼执笔,第 9 章由秦红玉执笔,第 14 章由丰土根执笔。

需要指出,本书力求详尽的解释利用 ABAQUS 软件进行岩土工程数值分析的步骤及需考虑的关键因素,但由于时间仓促,作者水平有限,书中难免有错漏之处,恳请广大读者批评指正。

基础篇

第 1 章 ABAQUS 快速入门 10	
1.1 ABAQUS 介绍..... 10	
1.1.1 ABAQUS 概述..... 10	
1.1.2 ABAQUS 软件体系..... 10	
1.2 ABAQUS 通用约定..... 11	
1.3 ABAQUS/CAE 基础..... 13	
1.3.1 ABAQUS/CAE 的启动方式..... 14	
1.3.2 ABAQUS/CAE 主界面构成..... 14	
1.3.3 ABAQUS/CAE 中鼠标的使用..... 16	
1.3.4 ABAQUS 的常用文件格式..... 17	
1.4 ABAQUS/CAE 中的功能模块..... 19	
1.4.1 Part (部件) 模块..... 20	
1.4.2 Property (性质) 模块..... 25	
1.4.3 Assembly (装配) 模块..... 29	
1.4.4 Step (分析步) 模块..... 31	
1.4.5 Interaction (相互作用) 模块..... 33	
1.4.6 Load (荷载) 模块..... 36	
1.4.7 Mesh (网格) 模块..... 38	
1.4.8 Job (任务) 模块..... 44	
1.4.9 Visualization (可视化) 模块..... 45	
1.4.10 Sketch (草图) 模块..... 50	
1.5 算例..... 50	
1.5.1 矩形荷载作用下地基中的附加 应力分布..... 50	
1.5.2 三维大坝建模及分析..... 61	
1.6 本章小结..... 67	
第 2 章 ABAQUS 中的岩土材料模型 68	
2.1 弹性模型..... 68	
2.1.1 线弹性模型..... 68	
2.1.2 多孔介质弹性模型..... 70	
2.1.3 线黏弹性模型..... 72	
2.2 塑性模型..... 74	
2.2.1 Mohr-Coulomb 模型..... 74	
2.2.2 扩展的 Drucker-Prager 模型..... 77	
2.2.3 修正 Drucker-Prager 帽盖模型..... 82	
2.2.4 临界状态塑性模型 (Critical state plasticity model) 85	
2.3 算例..... 87	
2.3.1 Mohr-Coulomb 材料的三轴固 结排水试验模拟..... 87	
2.3.2 修正剑桥模型材料的三轴固 结排水试验模拟..... 92	
2.3.3 黏弹性材料的循环剪切试验..... 94	
2.4 本章小结..... 96	
第 3 章 ABAQUS 中的接触理论 97	
3.1 ABAQUS/Standard 中的接触对..... 97	
3.1.1 基本特性..... 97	
3.1.2 接触对算法..... 97	
3.1.3 定义接触对..... 100	
3.2 接触面相互作用力学模型..... 102	
3.2.1 法向行为模型..... 102	
3.2.2 切向行为模型..... 103	
3.2.3 阻尼模型..... 105	
3.2.4 黏结模型 (Surface-based cohesive behavior) 107	
3.2.5 接触面的结果输出变量..... 107	
3.3 ABAQUS/Standard 中的通用接触 (General Contact) 108	
3.3.1 基本特性..... 108	
3.3.2 定义方法..... 109	
3.4 接触面模拟中可能遇到的问题..... 111	
3.4.1 接触计算的诊断信息..... 111	
3.4.2 接触面的初始相对位置..... 113	
3.4.3 正确定义表面..... 115	
3.4.4 避免迭代次数过多..... 115	
3.4.5 避免过约束 (Overconstraints) 115	
3.5 算例..... 116	
3.5.1 库伦摩擦算例..... 116	

3.5.2	黏结模型算例	120	5.1.2	承载力理论	148
3.5.3	不排水黏土中圆形桩的 水平承载力	122	5.2	算例	149
3.5.4	考虑黏聚力的库伦摩擦	127	5.2.1	条形基础承载力	149
3.6	本章小结	129	5.2.2	方形基础极限承载力	154
			5.2.3	倾斜荷载作用下的条形基础	157
			5.2.4	边坡上的条形基础	159
第 4 章	ABAQUS 中的用户子程序	130	5.3	本章小结	162
4.1	用户子程序简介	130	第 6 章	挡土结构的土压力	163
4.1.1	用户子程序类别	130	6.1	土压力理论	163
4.1.2	用户子程序编写规则	130	6.1.1	静止土压力	163
4.1.3	ABAQUS/CAE 中用户子程序 调用方式	131	6.1.2	主动土压力	163
4.2	用户自定义位移子程序 DISP	131	6.1.3	被动土压力	164
4.2.1	子程序功能	131	6.2	算例	164
4.2.2	子程序格式和变量说明	131	6.2.1	重力式挡土墙	164
4.2.3	应用实例	132	6.2.2	加筋土挡墙	169
4.3	用户自定义分布荷载子程序 DLOAD	134	6.3	本章小结	172
4.3.1	子程序功能	134	第 7 章	饱和土的渗流固结	173
4.3.2	子程序格式和变量说明	134	7.1	流固耦合分析步简介	173
4.3.3	应用实例	135	7.1.1	适用范围	173
4.4	用户自定义接触面摩擦模型 子程序 FRIC	136	7.1.2	相关土力学概念	173
4.4.1	子程序功能	136	7.1.3	流体渗透/应力耦合分析步的 使用方式	174
4.4.2	FRIC 子程序格式和变量说明	137	7.1.4	计算注意事项	176
4.4.3	应用实例	138	7.1.5	固结计算中的输出变量	179
4.5	用户自定义初始应力子程序 SIGINI	143	7.2	算例	180
4.5.1	子程序功能	143	7.2.1	太沙基 (Terzaghi) 一维固结	180
4.5.2	SIGINI 子程序格式和变量说明	143	7.2.2	蓄水问题	183
4.6	用户自定义初始孔隙比 VOIDRI	144	7.2.3	修正剑桥模型的固结不排水 三轴试验	185
4.6.1	子程序功能	144	7.2.4	一维剑桥黏土地基固结分析	189
4.6.2	VOIDRI 子程序格式和变量说明	144	7.2.5	土体固结问题中的曼德尔效应	196
4.7	常用应用程序	144	7.3	本章小结	197
4.7.1	SINV 计算应力不变量	144	第 8 章	非饱和土渗流问题	198
4.7.2	SPRINC 计算主应力/主应变	145	8.1	渗流分析中的边界条件	198
4.7.3	SPRIND 计算主应力/主应变 及方向	145	8.1.1	典型边界条件	198
4.8	本章小结	145	8.1.2	ABAQUS/Standard 中渗流边界 条件的模拟功能	199
			8.2	非饱和渗流问题中的材料模型	200
			8.2.1	饱和度对渗透性能的影响	200
			8.2.2	饱和度与基质吸力之间的关系	200

应用篇

第 5 章	浅基础的地基承载力	147
5.1	地基破坏模式及极限承载力	147
5.1.1	地基破坏模式	147

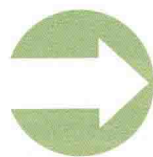
8.3 算例	202	11.2 强度折减法在 ABAQUS 中的实现	269
8.3.1 悬挂式防渗墙防渗效果分析	202	11.3 算例	269
8.3.2 二维均质土坝的稳定渗流分析	205	11.3.1 二维均质土坡稳定性分析	269
8.3.3 边坡降雨入渗分析	211	11.3.2 含软弱下卧层的边坡稳定分析	274
8.4 本章小结	218	11.3.3 抗滑桩加固土坡稳定性分析	276
第 9 章 桩基工作性状分析	219	11.3.4 三维心墙堆石坝边坡稳定性分析	282
9.1 桩基承载力理论	219	11.4 本章小结	285
9.1.1 α 方法	219		
9.1.2 β 方法	220		
9.2 桩的加荷速度	220		
9.3 算例	221		
9.3.1 不排水黏土地基中竖向受荷桩—— 不设置接触面	221		
9.3.2 不排水黏土地基中竖向受荷桩—— 设置接触面	224		
9.3.3 干砂地基中的竖向受荷桩—— 不设置接触面	226		
9.3.4 干砂地基中的竖向受荷桩—— 设置接触面	227		
9.3.5 不排水强度非均匀分布条件下 的竖向受荷桩	228		
9.3.6 剑桥黏土地基中的竖向受荷桩	231		
9.3.7 水平受荷桩	235		
9.3.8 钢筋混凝土桩的模拟	239		
9.4 本章小结	241		
第 10 章 岩土开挖和堆载问题	242		
10.1 ABAQUS 中的单元生死功能	242		
10.1.1 单元的移除	242		
10.1.2 单元的激活	243		
10.1.3 接触对的移除和激活	243		
10.1.4 单元生死操作中的注意事项	244		
10.2 开挖算例	244		
10.2.1 隧道开挖分析(软化模量法)	244		
10.2.2 隧道开挖分析(收敛约束法)	250		
10.2.3 悬臂式基坑开挖模拟	253		
10.2.4 内撑式基坑开挖模拟	259		
10.2.5 堆载预压模拟	264		
10.3 本章小结	267		
第 11 章 边坡稳定性分析	268		
11.1 强度折减法的基本原理	268		
		12.1 ABAQUS 中的非线性问题 求解方法	287
		12.1.1 Newton(牛顿)迭代方法	287
		12.1.2 非线性问题的收敛控制标准	288
		12.2 UMAT 子程序简介	288
		12.2.1 子程序功能	288
		12.2.2 子程序格式和变量说明	288
		12.2.3 CAE 中自定义材料的设置方法	290
		12.3 邓肯模型的二次开发	291
		12.3.1 基本理论	291
		12.3.2 邓肯模型 UMAT 子程序编写	291
		12.4 邓肯模型算例	296
		12.4.1 三轴压缩试验	296
		12.4.2 土石坝施工过程模拟	301
		12.5 等效线性黏弹性模型的二次开发	305
		12.5.1 基本理论	305
		12.5.2 等效线性黏弹性模型 UMAT 子程序编写	306
		12.6 黏弹性模型算例	311
		12.7 边界面模型的二次开发	313
		12.7.1 基本理论	313
		12.7.2 应力积分算法的选择	315
		12.7.3 边界面模型 UMAT 子程序编写	316
		12.8 边界面模型算例	321
		12.8.1 等向压缩试验	321
		12.8.2 三轴排水压缩算例	324
		12.8.3 不排水动三轴模拟	325
		12.9 本章小结	327
		第 13 章 用户自定义单元	328
		13.1 UEL 子程序简介	328
		13.1.1 子程序功能	328

提高篇

第 12 章 用户自定义材料 287

第 13 章 用户自定义单元 328

13.1.2	UEL 工作原理	328	14.3.2	显式方法适用的问题类型	355
13.1.3	子程序格式和变量说明	329	14.3.3	显式算法的条件稳定性	355
13.2	UEL MAT 子程序简介	330	14.3.4	显式积分算法中的时间 步长控制	356
13.2.1	子程序功能	330	14.3.5	使用显式积分算法求解 — 动力问题	357
13.2.2	适用范围	331	14.4	隐式与显式求解方法的比较	358
13.2.3	子程序格式和变量说明	331	14.4.1	一般比较	358
13.2.4	配套使用子程序 MATERIAL_LIB_MECH	332	14.4.2	节点自由度增加对计算资源 耗费的影响	358
13.3	自定义单元的使用方法	332	14.5	算例分析	359
13.4	平面三节点线弹性梁单元 UEL 子程序	335	14.5.1	水平地基的自振频率与振型	359
13.4.1	单元基本理论	335	14.5.2	二维理想土坝的自振频率 和振型	360
13.4.2	程序代码及说明	336	14.5.3	线性水平地基地震反应的振型 叠加法分析	363
13.5	平面四节点无厚度接触面单元的 UEL 子程序	338	14.5.4	线性水平地基地震反应的 隐式分析	368
13.5.1	单元基本理论	338	14.5.5	线性水平地基地震反应的 显式分析	369
13.5.2	程序代码及说明	340	14.5.6	水平地基地震反应的等效线性 分析——隐式法	371
13.5.3	程序验证	343	14.5.7	水平地基地震反应的等效线性 分析——显式法	378
13.6	平面应变四节点单元的 UEL MAT 子程序	344	14.5.8	地基中波的传播特性	381
13.7	本章小结	349	14.5.9	动力分析中无限边界条件 的模拟	383
第 14 章 岩土动力分析		350	14.6	本章小结	387
14.1	ABAQUS 中的动力求解方法	350	第 15 章 ABAQUS 中的离散元		388
14.1.1	模态分析方法	350	15.1	基本介绍	388
14.1.2	直接积分法	351	15.2	分析设置	388
14.1.3	动力分析中的阻尼	352	15.3	算例	390
14.2	ABAQUS/Standard 中的隐式 积分算法	353	15.3.1	颗粒坍塌模拟	390
14.2.1	隐式积分方法的特点	353	15.3.2	直剪试验模拟	396
14.2.2	隐式积分算法中的时间 步长控制	353	15.4	本章小结	399
14.2.3	使用隐式积分算法求解 动力问题	354	参考文献		400
14.3	ABAQUS/Explicit 中的显式 积分算法	354			
14.3.1	显式积分方法的特点	354			



基础篇

主要介绍软件的功能、岩土工程中的常用本构关系、接触面理论和用户子程序构成等基本知识。

1

第 章

ABAQUS 快速入门

本章导读

岩土工程分析中,由于岩土体本构关系的非线性、荷载及边界条件的复杂性,用解析方法求解难度很大,通常需要采用数值方法进行计算,数值分析结果是岩土工程师对问题进行判断的重要依据之一。有限元法可以在计算中真实地反映材料的非线性本构关系,能实现各种复杂的边界条件,是岩土工程数值分析中最常采用,也是最强有力的分析方法。

ABAQUS 是一款功能强大的通用有限元软件,包含十分丰富的材料模型、单元模式、荷载及边界条件,能够求解静力、动力等多种问题,尤其在求解非线性问题方面的能力十分优异,对岩土工程有较好的适用性。本章介绍 ABAQUS 的功能与特点,并通过求解地基附加应力分布、三维大坝建模的实例帮助读者快速入门。

本章要点

- ABAQUS 通用约定
- ABAQUS/CAE 基础
- CAE 的功能模块的主要功能及菜单
- 地基中附加应力分布计算实例
- 三维大坝建模实例

1.1 ABAQUS 介绍

1.1.1 ABAQUS 概述

ABAQUS 公司成立于 1978 年,创始人是 David Hibbitt、Bengt Karlsson 和 Paul Sorenson,前身名叫 HKS。2002 年公司改名为 ABAQUS,2005 年被法国达索公司(Dassault Systèmes, DS)收购,2007 年更名为 SIMULIA,ABAQUS 是达索公司的重要产品之一。经过多年的积累,ABAQUS 已经从最初的 15000 行 FORTRAN 程序发展成了一款前后处理功能强大、求解模块丰富、适用范围广的有限元软件,目前最新版本是 6.14。



注意:

本书中若不加说明,ABAQUS 都指代 ABAQUS 6.14-1。当然,本书的绝大多数内容也适合 ABAQUS 的其他版本。

1.1.2 ABAQUS 软件体系

ABAQUS 软件体系主要由前后处理模块、通用分析模块、专用分析模块和与第三方软件的接口模块所组成。

1. 前后处理模块

(1) ABAQUS/CAE。

ABAQUS/CAE 提供了利用 ABAQUS 进行问题求解的交互式图形用户界面,具有强大的前、后处理功能,涵盖了有限元分析的各个步骤,如建立模型的几何形状、选择材料模型及设定材料参数、选择分析过程的类