

土塑性力学

第二版

龚晓南 编著

浙江大学出版社



ISBN 7-308-00409-0



9 787308 004091 >

ISBN 7-308-00409-0 (I) · 082 定价: 15.00元

TU

43

7

土 塑 性 力 学

(第二版)

龚晓南 编著

浙江大学出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了土塑性力学的基本理论。全书分十三章,主要包括连续体力学的基本概念,土的变形特性,土的弹性模型,弹塑性模型理论,土的弹塑性模型,粘弹塑性模型的基本概念,内蕴时间塑性理论概要,损伤模型,圆孔扩张问题,滑移线场理论,极限分析法和分叉理论引论等。

本书可作岩土工程专业研究生教材,也可供广大土木工程技术人员和力学工作者学习参考。

土塑性力学

(第二版)

龚晓南 编著

出版发行:浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www. zjupress. com>)

责任编辑 李桂云

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 浙江大学印刷厂

开 本 850mm×1168mm 1/32

印 张 12.7

字 数 337 千

版 次 1997 年 7 月第 1 版 1999 年 9 月第 2 版

印 次 2001 年 11 月第 3 次印刷

印 数 3001—4000

书 号 ISBN 7-308-00409-0/O·082

定 价 15.00 元

前 言

(第一版)

土塑性力学近年来得到了广泛的发展。一方面是工程实践的推动,要求人们重视工程土的实际性状的研究;另一方面是计算机和数值计算方法的发展,室内外测试技术的进步,使在分析土工问题时考虑土的真实应力-应变关系成为可能。土是自然历史的产物,是由固体颗粒、水和气体组成的多相组合体,它又是多矿物组合物。这就造成了它的应力-应变关系要比金属材料复杂得多。与金属材料比较,土属于更一般的连续介质。建立在土工试验基础上,以工程土作为研究对象的土塑性力学也具有更大的普遍性。土塑性力学可称为广义连续体塑性力学,传统塑性力学或称金属塑性力学可视为它的一种特殊情况。土塑性力学是一门正在发展的学科。可以相信,土塑性力学的发展一定会促进塑性理论的进一步发展。

土塑性力学是作者的博士课程之一。1984年毕业后,对浙江大学83级以来的岩土工程专业研究生开设了土塑性力学课程,并在读书报告的基础上编写了讲义。1986年秋,在讲义的基础上完成了书稿第一稿。1986年底,作者获联邦德国洪堡奖学金,赴联邦德国Karlsruhe大学土力学与岩石力学研究所工作。1988年回国后结合在联邦德国的研究工作对书稿进行了增删和修改。现在全书分十二章,包括:绪论,连续体力学的基本概念,土的变形特性,土的弹性模型,弹塑性模型理论,土的弹塑性模型,粘弹塑性模型的基本概念,内蕴时间塑性理论概要,圆孔扩张问题,滑移线场理论,极限分析法,分叉理论引论。

作者感谢曾国熙等许多教授对于写作本书的热情鼓励和支持,作者在编写过程中还得到许多同行的鼓励和帮助,林钟祥教授在审

阅过程中提出许多宝贵的意见。借此机会一并表示感谢。特别是同济大学教授郑大同生前对本书出版的鼓励和关心,内蕴时间塑性理论概要就是根据他的意见而增加的。作者还感谢联邦德国洪堡基金会,在联邦德国的研究工作使本书增添了不少新的内容。由于作者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

1989年9月于杭州

第二版前言

《土塑性力学》于1990年在浙江大学出版社出版以来,许多大学和研究院(所)将该书作为研究生教材和参考书,许多土木工程师将其视为学习塑性理论、本构理论及其在土工中应用的参考书。1998年韩国郑镇燮将其译成韩文在韩国欧美书馆出版。《土塑性力学》得到国内外读者普遍的欢迎。在使用过程中,许多读者也提出了一些宝贵的意见和建议,并希望能够再版。土塑性力学是一门正在发展的学科。为了满足读者的要求、适应学科的发展,在第一版的基础上,修订出版《土塑性力学》第二版。

《土塑性力学》是浙江大学岩土工程专业研究生系列教材之一。系列教材还包括高等土力学(浙江大学出版社,1996)、基础工程学、土工试验、土动力学和土工计算机分析(中国建筑工程出版社,1999)。这套教材是为硕士研究生和土木工程技术人員学习土力学及基础工程领域的专业知识,掌握土工测试技术和计算机分析方法而编写的。

笔者希望《土塑性力学》能为广大土木工程技术人員,特别是岩土工程技术人員提供专业基础知识,将塑性理论和本构理论与土力学及基础工程结合起来。《土塑性力学》作为专业基础知识教程,在第二版中没有吸收更多塑性理论和本构理论最新理论研究成果,而侧重基础知识、基本概念。考虑到损伤理论在土工中应用的发展,增加了损伤模型的内容。实际上《土塑性力学》所包括的内容已超出塑性理论的范围,笔者将这些内容汇入《土塑性力学》主要考虑到:土体的实际性状并不是单纯用塑性理论所能解释的,《土塑性力学》中介绍的各种理论都是为了解释土的性状的,而且都与塑性理论有关。作为《土塑性力学》研究生课程教材,第7章、第8章、第9章和第13章可

作为课外阅读材料。在第二版中对各章内容作了补充和删节,保留了第一版简明扼要的特点。第二版对各章增设了思考题和习题。

作者借此机会感谢广大读者对作者的厚爱和鼓励。第二版的许多修改意见来源于读者和朋友的建议。徐日庆博士认真阅读了第二版的第三稿,提出了许多建议。博士研究生杨晓军、陈页开、李海晓、岑仰润和研究生杨仲轩协助整理了书中插图及部分校核工作。作者在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

龚晓南

1999年5月于杭州

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 土塑性力学的研究对象及其特点	1
1.2 土塑性力学的发展简史	6
思考题与习题	8
第二章 连续体力学的基本概念	9
2.1 应力分析	9
2.1.1 一点的应力状态,应力张量	9
2.1.2 八面体应力,应力张量的分解	13
2.1.3 应力圆和应力 Lode 参数	16
2.1.4 应力空间、应力路径	20
2.2 应变分析	25
2.2.1 一点的应变状态、应变张量	25
2.2.2 应变张量的分解及应变 Lode 参数	29
2.2.3 应变空间、应变路径	30
2.2.4 应变率张量	31
2.2.5 应变增量张量和自然应变	33
2.3 多相连续体力学基本方程	34
思考题与习题	40
第三章 土的变形特性	41
3.1 应力-应变试验与试验曲线	41
3.1.1 各向等压力固结试验和土的固结状态	41
3.1.2 各向等压力固结三轴试验和加工硬化、加工软化类型应力-应变关系曲线	44
3.2 土的变形特性	48

3.3 饱和粘土的归一化性状	53
思考题与习题	55
第四章 土的弹性模型	56
4.1 引言	56
4.2 理想弹性模型	58
4.3 横观各向同性弹性体模型	59
4.4 非线性弹性模型理论	62
4.4.1 Cauchy 弹性模型	62
4.4.2 超弹性模型	66
4.4.3 次弹性模型	69
4.5 $E-B$ 非线性弹性模型(Duncan 和 Chang 等,1970,1980)	71
4.6 一组同时考虑各向异性和非线性的弹性参数实用方程式 (龚晓南,1984)	76
4.6.1 K_0 固结三轴试验应力-应变曲线	77
4.6.2 应力水平和强度发挥度	80
4.6.3 正常固结粘土排水切线模量方程式和切线泊松比方程	82
4.6.4 一组考虑各向异性和非线性的弹性参数实用方程式	83
4.7 考虑球张量和偏张量交叉影响的非线性弹性模型(沈珠江,1986)	86
思考题与习题	89
第五章 弹塑性模型理论	91
5.1 概述	91
5.2 屈服面的概念	92
5.3 几种常用屈服条件	96
5.3.1 Tresca 屈服条件和广义 Tresca 屈服条件	96
5.3.2 von Mises 屈服条件和广义 von Mises 屈服条件	97
5.3.3 Mohr-Coulomb 屈服条件	100
5.3.4 双剪应力屈服条件	102

5.3.5	三剪应力屈服条件	103
5.3.6	Lade 屈服条件	105
5.3.7	修正剑桥模型屈服条件	106
5.4	主应力空间屈服面一般表达式	107
5.5	关于屈服条件的几点讨论	114
5.6	加载和卸载作用	123
5.6.1	理想弹塑性材料的加载和卸载准则	123
5.6.2	加工硬化材料的加载和卸载准则	125
5.7	Drucker 塑性公设和 Илльюцин 塑性公设	126
5.7.1	Drucker 塑性公设	127
5.7.2	Илльюцин 塑性公设	130
5.8	塑性位势理论和流动规则	133
5.9	加工硬化规律	135
5.9.1	等向硬化、运动硬化和混合硬化	135
5.9.2	加工硬化规律	138
5.10	塑性增量理论及一个普遍的弹塑性模量张量表达式	141
5.10.1	塑性增量理论	141
5.10.2	一个弹塑性模量张量普遍表达式	141
5.11	塑性形变一般理论及历史上几个典型理论	143
5.11.1	塑性形变的一般理论	143
5.11.2	历史上几个典型的塑性形变理论	145
	思考题与习题	147
第六章	土的弹塑性模型	149
6.1	引言	149
6.2	理想弹塑性模型	150
6.2.1	本构方程的普遍表达式	150
6.2.2	Prandtl-Reuss 模型	152
6.2.3	Drucker-Prager 模型	154
6.2.4	Mohr-Coulomb 模型	155

6.3 剑桥模型	157
6.3.1 临界状态线和 Roscoe 面	157
6.3.2 Ilvorslev 面	164
6.3.3 完全的状态边界面	166
6.3.4 能量方程	167
6.3.5 剑桥模型屈服面方程	169
6.4 修正剑桥模型	173
6.5 临界状态模型的发展	176
6.6 Lade—Duncan(1975)模型	180
6.7 边界面模型	184
6.7.1 边界面模型的基本概念	183
6.7.2 Dafalias—Herrmann(1980)边界面模型	185
6.8 多重屈服面的基本概念	191
思考题与习题	194
第七章 粘弹塑性模型的基本概念	195
7.1 引言	195
7.2 粘弹性模型	199
7.2.1 Maxwell 模型	199
7.2.2 Kelvin 模型	202
7.2.3 三元件粘弹性模型	204
7.2.4 广义 Maxwell 模型和广义 Kelvin 模型	207
7.3 粘塑性模型	209
7.4 粘弹塑性模型	210
7.5 蠕变	212
思考题与习题	217
第八章 内蕴时间塑性理论概要	218
8.1 引言	218
8.2 基本概念	221
8.2.1 一维塑性本构模型的两数学描述	221

8.2.2 内蕴时间的概念	223
8.2.3 本构方程的建立	224
8.3 新型内时弹塑性本构方程	226
8.3.1 含弱奇异性的内时塑性本构方程	226
8.3.2 新型内时弹塑性本构方程	228
8.4 内时理论在上力学中的应用举例——无粘性上的剪切	229
思考题与习题	234
第九章 损伤模型	235
9.1 引言	235
9.2 基本概念	236
9.3 结构性粘土的弹塑性损伤模型(沈珠江,1993)	241
思考题与习题	250
第十章 圆孔扩张问题	251
10.1 圆筒形孔扩张问题	251
10.1.1 基本方程	251
10.1.2 圆筒形孔扩张问题弹性变形阶段解	253
10.1.3 Tresca 材料圆筒形孔扩张问题的弹塑性解	254
10.1.4 Coulomb 材料圆筒形孔扩张问题的弹塑性解	256
10.2 球形孔扩张问题	262
10.2.1 基本方程	262
10.2.2 球形孔扩张问题弹性变形阶段解	263
10.2.3 Tresca 材料球形孔扩张问题的弹塑性解	264
10.2.4 Coulomb 材料球形孔扩张问题的弹塑性解	266
思考题与习题	271
第十一章 滑移线场理论	272
11.1 基本假设和应力基本方程	272
11.2 滑移线的概念	274
11.3 应力方程的特征线解法	277

11.4	滑移线的性质	282
11.5	简单滑移线场	288
11.5.1	均匀应力状态滑移线场	288
11.5.2	扇形滑移线场	289
11.6	塑性区边界条件	290
11.7	基本边值问题	293
11.7.1	Cauchy 问题(初值问题)	293
11.7.2	Riemann 问题(初始特征问题)	295
11.7.3	混合边值问题	296
11.8	解的数值方法	297
11.8.1	两种基本计算方法	298
11.8.2	Cauchy 问题的数值方法	301
11.8.3	Riemann 问题的数值方法	301
11.8.4	混合边值问题的数值方法	303
11.9	速度场	304
11.10	应力间断线和速度间断线	308
11.10.1	应力间断线	308
11.10.2	速度间断线	311
11.11	楔受单边压力作用时的极限荷载	313
11.12	条形基础极限承载力及速度场	318
11.12.1	条形基础极限承载力	319
11.12.2	速度场	320
	思考题与习题	323
第十二章	极限分析法	325
12.1	基本假定	325
12.2	极限荷载的上、下限定理	326
12.2.1	静力场和机动场的概念	326
12.2.2	虚功方程和虚功率方程	327
12.2.3	存在应力间断面和速度间断面的虚功率方程	328

12.2.4	上限定理和下限定理	331
12.2.5	上、下限定理的推论	334
12.3	应用上限定理极限分析法	335
12.3.1	薄变形层上的刚体滑动	335
12.3.2	刚体滑动与均匀压缩相结合	340
12.3.3	楔体压缩与刚体滑动相结合	346
12.4	应用下限定理极限分析法	353
12.5	关于极限平衡法、滑移线场法和极限分析法的讨论	362
12.5.1	极限平衡法的基本概念	362
12.5.2	极限平衡法,滑移线法和极限分析法	364
	思考题与习题	367
第十三章	分叉理论引论	368
13.1	引言	368
13.2	分叉分析的基本概念	371
13.3	分析实例	373
	思考题与习题	377
	参考文献	378

第一章 绪 论

1.1 土塑性力学的研究对象及其特点

物体在外力作用下会产生变形。如果撤除作用在物体上的外力,变形将随之消失,物体完全恢复到原有的形状和尺寸,物体的这种变形称为弹性变形,并认为物体在外力作用下处于弹性变形阶段。如果撤除作用在物体上的外力,物体不能完全恢复到原有的形状和尺寸,而残留一部分变形。恢复的那部分变形称为弹性变形,残留的那部分变形称为塑性变形,并认为物体在外力作用下处于弹塑性变形阶段。

物体在弹性变形阶段,总变形等于弹性变形;在弹塑性变形阶段,总变形等于弹性变形和塑性变形两部分之和。在弹塑性变形阶段,弹性变形可以等于零,此时可称为完全塑性变形阶段。

图 1-1 表示低碳钢拉伸应力-应变关系曲线,材料在发生屈服(图中 B 点)以前处于弹性变形阶段,发生屈服后处于弹塑性变形阶段。对低碳钢,弹性变形阶段和弹塑性变形阶段有较明确的界限。图 1-2 表示一组饱和粘土各向等压力固结三轴压缩试验应力-应变关系曲线,曲线上不存在明确的弹性变形阶段和弹塑性变形阶段的界限,或者说土体变形很小时就进入弹塑性变形阶段,基本上不存在弹性变形阶段。在变形很小的时候也伴随着不可恢复的塑性变形。图 1-2 表示对土体加荷至点 A,然后卸载和再加载,从图中可看出加荷至点 A 时所产生的弹性变形和塑性变形。

塑性力学是连续体介质力学的一个分支。它研究物体处于弹塑性变形阶段时的应力和变形。它与弹性力学有着密切的关系。弹性力学中大部分基本概念和处理问题的方法都可以在塑性力学中得到

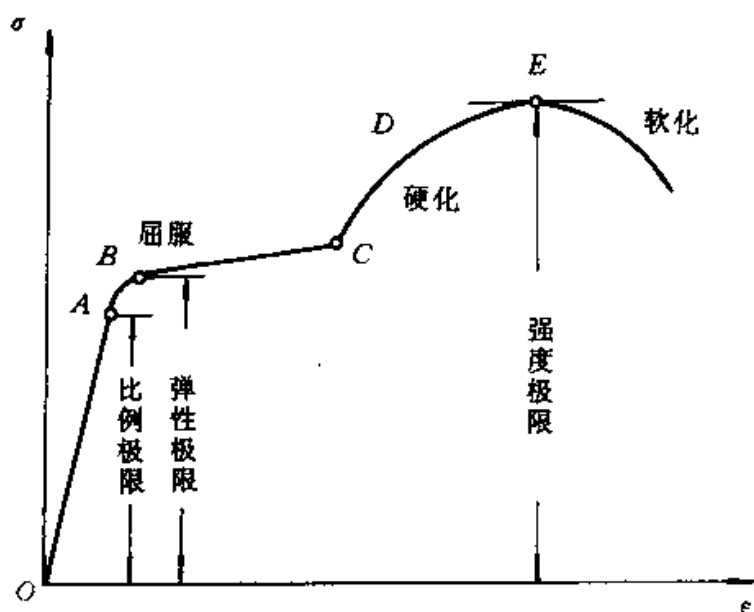


图 1-1 低碳钢拉伸应力-应变关系

应用。塑性力学中应用的平衡方程,几何方程和弹性力学中的相同,不同的是本构方程。在弹性力学中,本构方程通常称为物理方程,采用广义虎克定律,而在塑性力学的分析中采用各种弹塑性本构方程。广义讲,自然界一个作用与其产生的响应之间的关系称为本构关系。本构关系的数学表达式称为本构方程。如在导体两端施加一电压将产生电流,电压与电流之间的关系称为本构关系,最简单的是欧姆定律。又如描述水位差与渗流之间关系的达西定律,也是本构关系。在弹塑性力学中本构方程是指其应力-应变关系的数学表达式。

弹性变形阶段的本构方程是广义虎克定律。在弹塑性变形阶段,应力与应变的关系要比弹性变形阶段复杂得多。材料不同、受力状态不同,其应力应变性状不同。在塑性力学中没有一个象广义虎克定律那样统一的本构方程。物体在弹塑性变形阶段,应力~应变关系具有下列特点:

(1)应力与应变呈非线性关系。但应注意非线性不是弹塑性变形阶段的充分条件,有的弹性材料其应力~应变关系亦呈非线性关系。非线性弹性力学专门研究应力~应变关系呈非线性的弹性材料。