

固结有限层

理论与应用

THEORY AND APPLICATION OF
CONSOLIDATION FINITE LAYER

梅国雄 宰金珉 著



科学出版社
www.sciencep.com

TU473.1

18

固结有限层理论与应用

梅国雄 宰金珉 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书较为全面、系统地阐述了固结有限层理论与应用。全书共分三篇十章:理论篇(第一章至第四章)在详细分析国内外固结有限层研究现状的基础上,建立横观各向同性比奥固结有限层分析方法、有限层非线性分析方法和固结有限层非线性分析方法;应用篇(第五章至第七章)在对国内外桩基工程和基坑工程两类共同作用问题详细分析的基础上,建立考虑固结的桩土共同作用有限层分析方法和基坑工程有限层分析方法;实践篇(第八章至第十章)证明在线性加载或近似线性加载情况下,沉降-时间关系曲线呈“S”型,提出了全过程沉降预测新方法,并对两类典型共同作用问题进行了现场测试与计算分析的对比研究。

本书可供土木工程和水利工程等科研人员及高等院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

固结有限层理论与应用/梅国雄,宰金珉著. —北京:科学出版社,2006
ISBN 7-03-016798-8

I. 固… II. ①梅… ②宰… III. 固结理论-应用-桩基础
IV. TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 004375 号

责任编辑:童安齐 何舒民 / 责任校对:刘彦妮
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年7月第一版 开本:B5(720×1000)
2006年7月第一次印刷 印张:16
印数:1—3 000 字数:300 000

定价:36.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

销售部电话:010-62136131 编辑部电话:010-62137026(BA03)

ABSTRACT

Three-dimensional Biot's consolidation is the most key problem in geotechnical engineering. That is due to: (a) Biot's consolidation problem can reflect the composition of soil; (b) Biot's consolidation problem can solve the three displacement variables and one excess pore water pressure variable; (c) Biot's consolidation problem can reflect the four variables above vary with time. The finite element method is one of the most popular numerical methods for the solution to the consolidation problem. However, the amount of computer storage and data preparation time required is usually large, especially for three-dimensional problems. Most analyses are restricted to the axisymmetric or plane strain problems, which involve only two spatial dimensions. The disadvantage can be overcome by using the finite layer method for certain classes of problems.

The finite layer method makes use of the character of ground and its calculation process is listed: (a) Split the ground into many layer elements along the depth direction of soil stratum due to the different properties and use polynomial approximation method to simulate, which is turned into realities efficiently by computer; (b) Choose an appropriate series function in response to the boundary condition to simulate the horizontal plane characters of soil stratum (layer element), which has the same soil parameter for all points in a layer element. Therefore, a three-dimensional problem can become a one-dimensional problem, and the calculation work including pre/post processor, computing time and memory will be reduced a lot.

The monograph has been complemented from the establishment of the consolidation finite layer method to its application. The main contents are as follows:

Three-Dimensional (3D) Biot's Consolidation Finite Layer Analysis

This monograph presents a finite layer procedure for 3D Biot's consolidation analysis of layered soils using a cross-anisotropic elastic constitutive model. The program is first verified using published results. Then, using this program, the

influences of cross-anisotropy on the consolidation, settlement, and horizontal displacement behavior are investigated by changing one model parameter at one time. The results obtained using the cross-anisotropic elastic model are compared with results using an isotropic elastic model. It is found that: (a) The cross-anisotropy has very large influence on the consolidation behavior. Curves or tables of the average degree of consolidation are obtained and presented. These curves or tables can be easily used to estimate the consolidation behavior of a cross-anisotropic soil. (b) Poisson's ratio and the cross-anisotropic modulus ratio have a little influence on the settlement, but much influence on the horizontal displacement. (c) Ceasing some time during the construction process benefits the dissipation of pore water pressure. (d) The depth less than twice the foundation length is very efficient for decreasing settlement of foundation with finite depth subjacent bed.

We use the relation between $e-p$ curve and $e-\log p$ curve of the soil to present the calculation method of elastic modulus. Adapting the above soil constitutive model, nonlinear finite layer analysis is developed. The program is first verified using published results of plate loading test. Furthermore, nonlinear consolidation finite layer method is developed, and the essence of Biot's consolidation is the principle of dynamic effective stress, that is $R - R_{t+\Delta t} = [K'] \{\beta\}_t \{B\}_t$.

Massive space 3D Biot's consolidation problem can be analyzed by finite layer method using the microcomputer.

Application of Consolidation Finite Layer Theory to Soil Structure Interaction

We discuss two kinds of soil structure interactive problems, pile foundation and pit foundation.

We establish elastic analysis of pile-soil-interactive considering 3D Biot's consolidation first. Then, we analyze the published $t-z$ curves and suggest a general load transfer function, which can involve the published load transfer functions and reflect some softening effect. Furthermore, nonlinear analysis of pile-soil-interactive considering 3D Biot's consolidation is established and programmed. Taking the single pile, 4 piles and 9 piles with cap as examples, we discuss the influence of the permeability coefficient, Poisson's ratio, the ratio of soil and pile modulus, loading mode on the consolidation behavior of pile soil

interaction.

We derive the finite layer expression of the equivalent excavation load first, and use a smart method to derive the stiffness matrix of excavation of pit foundation (“□” domain), which can be calculated by subtraction the stiffness matrix of excavation part (small “□” domain) from the whole stiffness matrix (Big “□” domain). Therefore, 3D Biot’s consolidation finite layer analysis of excavation problem of pit foundation can be established and programmed by modifying 3D Biot’s consolidation finite layer analysis program above. The calculation results show that it is necessary to research Poisson’s ratio and the cross-anisotropic modulus ratio in order to get good calculation results of horizontal displacement and to research consolidation behaviour in order to predict rebound value of pit foundation well.

Settlement Prediction and Two Cases Study

The strict mathematical and mechanical derivation from $p_0\sigma + p_1\dot{\sigma} = q_0\varepsilon + q_1\dot{\varepsilon}$ and one-dimensional consolidation theory show that settlement-time curve appears S shape first. Then the mechanism of S shape of the settlement-time curve is analyzed in detail also. Settlement prediction method of Poisson curve is put forward and proved well by the agreements of predicted results and measured results for 4 published cases.

Two large-scale history cases (NUT library project and Tunnel cross Huangpu River) are measured in field. The agreement of the measured results and calculated results shows the rightness of the method above.

前 言

岩土工程学科到底是科学还是艺术,多年来笔者对此一直都非常困惑,并试图对此问题做尝试性的回答。

笔者认为:

岩土工程学科首先是一门科学,它要求:理论基础的完备性,如比奥固结方程的数学、力学形式的完美;试验手段的先进性,如用于土体的真三轴仪设计的精巧。

岩土工程学科同时又是一门应用科学,或者说是一门技术,由于问题的复杂性和边界条件的不确定性,虽然有许多基本问题尚没有得到较好的解决,但许多工程难题在工程实践经验的指引下,得到了较好的处理,这其中就带有经验或者艺术的因素。

总之,笔者认为岩土工程学科应是科学与艺术的协调统一,艺术性存在于科学性之中。书中研究内容偏重于工程技术,但事实上,其参数和计算模型的确定都带有许多经验性在里面,也即是其艺术性。

比奥固结理论首先反映了工程中最关心的问题——位移和孔压,同时也反映了时空效应,即位移和孔压随着时间的变化过程,以及土体的基本组成。对饱和土而言,土体是由土颗粒(对应有效应力)和水(对应孔压)组成的,因而,比奥固结理论自提出之日起,就成为岩土工程最基本也是最重要的问题。许多专家、学者对此做了大量的研究工作,但由于问题的复杂性,一直没有在工程中得到广泛应用。随着计算技术的发展,比奥固结理论才重现出生命力,并开始用于工程实践。事实上,目前三维比奥固结计算还很少见,其原因是计算工作量太大,因此寻求新的数值计算方法求解比奥固结问题,具有十分重要的理论和应用价值。

有限层理论是在竖向进行离散、在平面上进行解析的一种半数值、半解析的方法,因此在抓住问题关键(沉降)的基础上,将三维问题简化为一维问题,大大减少了计算的工作量。

本书正是抓住上述两者的特点进行研究:

(1) 建立三维横观各向同性土体比奥固结有限层求解方法:将有限层法运用于固结问题,推导三维横观各向同性土体比奥固结有限层求解格式,编制程序,讨论土体的横观各向同性对地基固结性状的影响。

(2) 建立非线性有限层分析方法:根据 $e-p$ 曲线和 $e-\log p$ 曲线之间的关系,推导出一种简单实用的计算土体非线性弹性模量的关系式;提出非线性有限层法;建立有限层求解非线性固结问题。

(3) 建立考虑固结的桩土共同作用有限层分析方法:提出能反应软化的广义荷载传递函数;建立考虑固结的桩基求解模式,编制程序,讨论固结对桩土共同作用性状的影响。

(4) 建立考虑固结的基坑工程开挖有限层分析方法:推导开挖荷载有限层表达式和开挖后的土体刚度矩阵的计算方法;建立三维横观各向同性土体开挖问题有限层求解;建立考虑固结的基坑工程开挖有限层分析方法,编制相应程序,讨论固结对开挖土体性状的影响。

(5) 建立线性或近似线性加载沉降预测方法:从机理上解释线性或近似线性加载情况下,沉降-时间曲线呈现为“S”形;分别从本构关系和固结理论出发,严格证明在线性或近似线性加载情况下,沉降-时间曲线呈现为“S”形,并据此提出预测沉降随时间发展的新方法。

目 录

Abstract

前言

理论篇 固结有限层理论

第一章 固结有限层理论研究进展	3
1-1 固结理论的发展回顾	3
1-2 固结理论的数值分析方法研究进展	4
1-2-1 差分方法	5
1-2-2 有限元方法	5
1-2-3 边界元法	6
1-2-4 加权残值法	6
1-2-5 半解析方法	6
1-2-6 有限层法	6
1-2-7 无单元法	7
1-3 有限层方法研究进展	7
1-4 层状横观各向同性弹性半空间模型及其有限层分析方法	9
1-4-1 层状横观各向同性弹性半空间模型	9
1-4-2 层状横观各向同性弹性连续介质的有限层法	10
1-5 固结有限层理论研究进展	14
1-6 本篇研究目的及主要研究内容	15
1-6-1 研究目的和意义	15
1-6-2 目前存在的问题	15
1-6-3 研究的主要内容	16
参考文献	16
第二章 比奥固结理论有限层弹性解法	21
2-1 比奥固结理论简介	21
2-2 比奥固结理论的有限层解法	22
2-2-1 有效应力原理	23
2-2-2 位移和超静水压力的变化模式	23

2-2-3	比奥固结方程的有限层格式	24
2-2-4	计算方程式的变换	25
2-2-5	整体分析	26
2-3	计算方法与程序的验证	27
2-3-1	计算稳定性探讨	27
2-3-2	瞬时沉降	28
2-3-3	最终沉降	30
2-3-4	固结过程	30
2-3-5	横观各向同性	32
2-3-6	Mandel-Cryer 效应	32
2-4	弹性模量的横观各向同性对计算结果的影响	34
2-4-1	计算参数	34
2-4-2	弹性模量的横观各向同性对沉降计算结果的影响	34
2-4-3	弹性模量的横观各向同性对孔压计算结果的影响	35
2-4-4	弹性模量的横观各向同性对水平位移计算结果的影响	35
2-5	泊松比的横观各向同性对计算结果的影响	36
2-5-1	计算参数	36
2-5-2	泊松比的横观各向同性对沉降计算结果的影响	36
2-5-3	泊松比的横观各向同性对孔压计算结果的影响	37
2-5-4	泊松比的横观各向同性对水平位移计算结果的影响	38
2-6	埋深基础的瞬时沉降计算	38
2-6-1	存在的问题	38
2-6-2	计算方法	39
2-6-3	计算结果	39
2-7	成层地基土三维固结的计算结果	42
2-7-1	地基土参数	42
2-7-2	均布荷载作用于地表的计算分析结果	42
2-7-3	均布荷载作用于土中的计算分析结果	44
2-7-4	地下水在地表以下的均布荷载计算分析结果	44
2-8	小结	47
	参考文献	47
	附录	48
第三章	非线性有限层计算	56
3-1	简易的非线性地基土弹性模量计算方法	56
3-1-1	地基土非线性模型概述	56

3-1-2 与竖向应力部分有关的 $E(z)$ 考虑方法	56
3-1-3 应力水平的考虑方法	58
3-1-4 应力在水平向考虑方法 $f(x, y)$	59
3-2 非线性有限层法	60
3-2-1 两坐标系的对应关系	60
3-2-2 刚度矩阵的计算	62
3-2-3 应力向量的计算	65
3-2-4 第 i 级荷载作用时的编程思路	66
3-3 应力修正及修正前后应力状态计算	66
3-3-1 破坏后的应力修正	66
3-3-2 修正前后应力状态计算	68
3-4 计算方法的验证	69
3-4-1 简化土体弹性模量计算方法的验证	69
3-4-2 非线性有限层计算方法的验证	71
3-5 小结	73
参考文献	73
第四章 地基土非线性的有限层固结计算	74
4-1 比奥固结方程的增量解法	74
4-2 $\{R_i\}$ 的计算方法	75
4-3 比奥固结问题本质的进一步解释	77
4-4 小结	78
参考文献	78
应用篇 固结有限层理论在共同作用中的应用	
第五章 共同作用问题数值方法研究进展	81
5-1 桩土共同作用问题研究进展	81
5-1-1 桩基设计回顾	81
5-1-2 计算方法	83
5-1-3 固结有限层理论在桩土共同作用中的研究进展	85
5-2 基坑工程数值方法研究进展	86
5-2-1 基坑开挖土体性状的研究进展	86
5-2-2 考虑位移和时间效应的土压力研究	87
5-2-3 基坑工程数值方法研究进展	91
5-3 本篇研究目的及主要研究内容	92
5-3-1 桩土共同作用问题	92

5-3-2 基坑开挖问题	93
参考文献	93
第六章 考虑固结的桩土共同作用有限层分析	97
6-1 群桩-土-承台结构的剖分	97
6-2 桩土支承体系基本方程建立	98
6-3 单桩桩身总体刚度矩阵	101
6-4 群桩-土-刚性承台结构共同作用弹性分析基本方程	102
6-5 桩土支承体系柔度矩阵系数和孔压柔度矩阵系数计算	103
6-6 荷载传递函数	105
6-6-1 荷载传递函数方法简介	105
6-6-2 桩侧荷载传递函数	107
6-6-3 桩端荷载传递函数	110
6-7 群桩-土-刚性承台结构共同作用非线性分析	110
6-8 广义荷载传递函数的验证	112
6-8-1 计算方法验证	112
6-8-2 软化效应分析	112
6-9 带台单桩数值分析结果	115
6-9-1 计算参数	115
6-9-2 结果与分析	117
6-10 带台单桩影响因素分析	120
6-10-1 土体渗透系数对固结沉降的影响	120
6-10-2 土体泊松比对固结沉降的影响	124
6-10-3 桩土弹性模量比对固结沉降的影响	124
6-10-4 加载方式对固结沉降的影响	124
6-11 群桩计算结果与分析	128
6-11-1 计算参数	128
6-11-2 四桩承台计算结果与分析	128
6-11-3 九桩承台计算结果与分析	128
6-12 小结	137
参考文献	137
第七章 考虑固结的基坑开挖问题有限层求解	138
7-1 绪论	138
7-2 基坑开挖等效荷载的计算	138
7-2-1 A类边界条件有限层等效开挖荷载计算	138
7-2-2 B类边界条件有限层等效开挖荷载计算	141

7-3 基坑开挖问题的有限层求解	144
7-4 有限元和有限层求解开挖问题的比较	146
7-4-1 计算工作量的比较	146
7-4-2 计算结果比较分析	146
7-5 泊松比和弹性模量的横观各向同性对基坑开挖的影响	147
7-5-1 计算参数	147
7-5-2 泊松比对基坑开挖的影响	147
7-5-3 弹性模量的横观各向同性对基坑开挖的影响	147
7-6 考虑固结的基坑开挖问题有限层求解	150
7-6-1 考虑固结的开挖部分耦合矩阵计算	150
7-6-2 考虑固结的开挖部分渗透矩阵计算	151
7-6-3 考虑固结的开挖有限层计算	152
7-7 考虑固结的开挖有限层求解结果与分析	152
7-7-1 计算方法和程序验证	152
7-7-2 土体渗透系数对开挖基坑的影响	152
7-7-3 固结对开挖基坑回弹量的影响	152
7-7-4 固结对开挖基坑孔压的影响	153
7-7-5 固结对开挖基坑水平位移的影响	153
7-8 小结	155
参考文献	155

实践篇 沉降预测方法及工程原位测试研究

第八章 沉降预测方法研究	159
8-1 前言	159
8-2 “S”形的数学力学证明	160
8-2-1 从本构关系的角度证明 $S-t$ 曲线呈“S”形	160
8-2-2 从一维固结理论角度证明 $S-t$ 曲线呈“S”形	163
8-3 “S”形的机理进一步分析	165
8-3-1 不通过原点的机理分析	165
8-3-2 “S”形机理分析	166
8-4 数学模型的建立与求解	166
8-4-1 模型建立	166
8-4-2 模型的特点	167
8-4-3 模型的求解	168

8-5	几个值得进一步研究的问题	169
8-5-1	各种计算方法的比较	169
8-5-2	测量误差对预测结果的影响	170
8-5-3	测点数对预测结果的影响	170
8-5-4	求解方法研究	171
8-5-5	多级加载	171
8-5-6	模型的选用	171
8-6	考虑流变的沉降预测方法研究	171
8-6-1	模型建立	171
8-6-2	模型验证	174
8-6-3	参数分析	176
8-7	工程示例分析	178
8-7-1	美国休斯敦贝壳广场大厦	178
8-7-2	宁通公路	179
8-7-3	上海贸易海宾馆	179
8-7-4	深圳滨海大道	180
8-8	小结	180
	参考文献	180
	附录	182
第九章	典型工程大型原位测试研究与理论验证	183
9-1	某图书馆工程的原位测试研究与理论验证	183
9-1-1	工程概况	183
9-1-2	工程地质条件	185
9-1-3	按复合桩基设计方法和塑性支承桩进行工程设计	186
9-1-4	监测方案	190
9-1-5	监测进程	190
9-1-6	现场实测结果与分析	191
9-1-7	根据实测资料进行沉降跟踪预测研究	194
9-1-8	计算方案与有限层计算分析	194
9-1-9	建成的图书馆效果图	200
9-2	某基坑工程的原位测试研究与理论验证	200
9-2-1	工程概况	200
9-2-2	地质概况	202
9-2-3	沉降监测	204
9-2-4	计算与实测结果对比分析	206

参考文献.....	211
第十章 结论与展望	212
10-1 结论	212
10-2 展望	213
附录 固结有限层程序	214
源程序代码.....	214
输入文件 INPUT.DAT	224
输出文件 OUT.DAT	224
致谢	233

理论篇 固结有限层理论

本篇针对土力学中的固结问题(其与本构问题合称为土力学两个基本问题)进行了数值方法方面的探索,提出了固结有限层理论,主要工作如下:

1. 详细分析国内外固结有限层研究现状,并提出自己的一些见解;
2. 建立固结有限层弹性分析理论;
3. 建立有限层分析的非线性理论;
4. 建立固结有限层非线性分析理论,并证明比奥固结问题的本质就是动态有效应力原理。

