

高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

特种基础工程

浙江大学 谢新宇 俞建霖 主编
南京工业大学 宰金珉 主审



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

特种基础工程

浙江大学 谢新宇 俞建霖 主编
南京工业大学 宰金珉 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

特种基础工程/谢新宇, 俞建霖主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2005

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 7-112-07568-8

I. 特… II. ①谢…②俞… III. 地基—基础 (工程)—高等学校—教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 143535 号

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

特种基础工程

浙江大学 谢新宇 俞建霖 主编

南京工业大学 辛金珉 主审

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京密云红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 13½ 字数: 281 千字

2006 年 2 月第一版 2006 年 2 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 19.00 元

ISBN 7-112-07568-8

(13522)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书根据高校土木工程专业指导委员会组织制定的教学大纲编写。本书主要包括：绪论、弹性地基梁板、高层建筑箱形基础设计与施工、沉井基础设计与施工、动力机器基础及其振动控制、高层建筑桩箱、桩筏基础设计理论等。

本书可作为高校土木工程专业特种基础工程课程教材，也可从事地基施工的工程技术人员参考使用。

* * *

责任编辑：王 跃 吉万旺

责任设计：董建平

责任校对：王雪竹 关 健

前 言

本书主要作为高等学校土木工程专业特种基础工程课程的教材，是高等学校土木工程专业指导委员会的规划推荐教材之一，主编单位、主审单位均由专业指导委员会确定。该课程是土木工程专业岩土工程课群组的一门选修课，本书按照新修订的《特种基础工程》课程教学大纲要求编写，内容主要包括三个部分：一是弹性地基梁板的计算方法；二是箱形基础、沉井基础以及机器基础的设计与施工；三是桩箱、桩筏基础设计理论的基本概念。

本书由浙江大学谢新宇和俞建霖主编，由南京工业大学宰金珉教授主审。编写人员具体分工如下：第一章由浙江大学谢新宇编写；第二章由浙江大学胡安峰编写；第三章由浙江科技学院王伟堂编写；第四章和第六章由浙江大学俞建霖编写；第五章由杭州市抗震办公室钱国桢编写（其中例题由东北电力设计院谈志春提供）。

在编写过程中，得到浙江大学龚晓南教授的大力支持，特此表示感谢。

最后，编者向本书的主审宰金珉教授、中国建筑工业出版社编辑，以及本书参考文献的所有作者和同行表示感谢。

由于编者水平等因素的限制，书中肯定存在不少的缺点甚至错误之处，恳请读者批评指正！

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

征订号	书 名	作 者	定价 (元)	备 注
V11078	高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲	高等学校土木工程专业指导委员会	19.00	
V11443	建筑工程事故分析与处理 (第二版)	江见鲸等	54.00	北京市高等教育精品教材立项项目
V12070	流体力学 (第二版)	刘鹤年	27.00	国家“十五”规划教材、21 世纪课程教材
V13142	钢结构基本原理 (第二版)	沈祖炎等	33.00	国家“十五”规划教材、21 世纪课程教材
V13141	混凝土结构 (上册) — 混凝土结构设计原理 (第三版)	东南大学 同济大学 天津大学	29.00	国家“十五”规划教材、21 世纪课程教材
V13397	混凝土结构 (中册) — 混凝土结构与砌体结构设计 (第三版)	东南大学 同济大学 天津大学	36.00	国家“十五”规划教材、21 世纪课程教材
V11292	混凝土结构 (下册) — 混凝土桥梁设计 (第二版)	东南大学 同济大学 天津大学	27.00	国家“十五”规划教材、21 世纪课程教材
V11404	混凝土结构及砌体结构 (上)	滕智明等	42.00	北京市高等教育精品教材立项项目、土建学科“十五”规划教材
V11439	混凝土结构及砌体结构 (下)	罗福午等	39.00	北京市高等教育精品教材立项项目、土建学科“十五”规划教材
V11264	钢结构 (上册) — 钢结构基础	陈绍蕃等	30.00	土建学科“十五”规划教材
V11440	钢结构 (下册) — 房屋建筑钢结构设计	陈绍蕃等	19.00	土建学科“十五”规划教材
V11079	土木工程制图 (第二版)	卢传贤等	39.00	21 世纪课程教材
V11080	土木工程制图习题集 (第二版)	卢传贤等	16.00	21 世纪课程教材
V10323	建筑结构抗震设计	李国强等	29.30	

续表

征订号	书 名	作 者	定价 (元)	备 注
V9749	混凝土结构基本原理	张誉等	32.00	21 世纪课程教材
V10131	混凝土及砌体结构 (上册)	哈尔滨工业大学 大连理工大学 北京 建筑工程学院 华北水利水电学院	33.80	
V10132	混凝土及砌体结构 (下册)	哈尔滨工业大学 大连理工大学 北京 建筑工程学院 华北水利水电学院	19.00	
V10127	土木工程施工 (上册)	重庆大学 同济 大学 哈尔滨工业 大学	44.00	21 世纪课程教材
V10128	土木工程施工 (下册)	重庆大学 同济 大学 哈尔滨工业 大学	42.00	21 世纪课程教材
V10130	土木工程材料	湖南大学 天津 大学 同济大学 东南大学	33.40	21 世纪课程教材
V10093	土木工程概论	丁大钧 蒋永生	36.00	土建学科“十五” 规划教材、21 世纪 课程教材
V13494	房屋建筑学 (第四版)	同济大学 西安 建筑科技大学 东南 大学 重庆大学	49.00	土建学科“十五” 规划教材
V10091	工程地质学	孔宪立、石振明	30.00	21 世纪课程教材
V13521	工程结构荷载与可靠度 设计原理 (第三版)	李国强等	23.00	21 世纪课程教材、 全国教材二等奖
V9862	土力学	东南大学 浙江 大学 湖南大学 苏州科技大学	22.00	21 世纪课程教材
V11442	基础工程	华南理工大学	33.00	土建学科“十五” 规划教材、21 世纪 课程教材
V10092	水文学	雒文生	22.00	21 世纪课程教材
V11612	高层建筑结构设计	方鄂华等	28.00	北京市高等教育 精品教材立项项目、 土建学科“十五” 规划教材

续表

征订号	书 名	作 者	定价 (元)	备 注
V12189	桥梁工程	房贞政	30.00	土建学科“十五” 规划教材
V12188	砌体结构	丁大钧等	23.00	21 世纪课程教材、 土建学科“十五” 规划教材
V12190	岩石力学	张永兴	18.00	土建学科“十五” 规划教材
V12611	爆破工程	东兆星等	20.00	土建学科“十五” 规划教材
V12612	岩土工程勘察	王奎华	27.00	土建学科“十五” 规划教材
V12972	桥梁施工 (含光盘)	许克宾	37.00	土建学科“十五” 规划教材
V12963	工程结构抗震设计	东南大学 李爱群 高振世	29.00	土建学科“十五” 规划教材
V13523	建筑结构试验	易伟建 张望喜	23.00	土建学科“十五” 规划教材
V13303	地基处理	龚晓南	18.00	土建学科“十五” 规划教材
V12616	轨道工程	陈秀方	30.00	
V13143	钢—混凝土组合结构	聂建国等	27.00	北京市高等教育 精品教材立项项目
V13476	高等学校土木工程专业 指导委员会推荐教学用书 Introduction of Civil Engineering (土木工程概论)	同济大学 沈祖炎	28.00	土木工程专业本 科英文版教材
V13522	特种基础工程	浙江大学 谢新宇 俞建霖	20.00	
V14011	地下建筑结构	朱合华	39.00	土建学科“十五” 规划教材

欲了解更多信息, 请登陆中国建筑工业出版社网站: www.cabp.com.cn 查询。

在使用本套教材的过程中, 若有何意见或建议, 可发 Email 至: jiaocai@cabp.com.cn。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 特种基础工程的内容和特点	1
1.2 本课程的目的和基本要求	1
习题与思考题	2
第2章 弹性地基梁板	3
2.1 概述	3
2.2 地基计算模型	3
2.3 文德勒地基上梁的计算	11
2.4 地基上梁的数值分析方法	19
2.5 地基上板的有限差分法	33
习题与思考题	38
第3章 高层建筑箱形基础设计与施工	39
3.1 概述	39
3.2 箱形基础设计原理	39
3.3 箱形基础构造要求	41
3.4 箱形基础地基计算	46
3.5 箱形基础结构设计	51
3.6 箱形基础的施工	59
习题与思考题	62
第4章 沉井基础设计与施工	64
4.1 概述	64
4.2 沉井的基本概念	64
4.3 沉井的类型和构造	65
4.4 沉井基础地基承载力及变形计算	71
4.5 沉井施工过程中的结构承载力计算	77
4.6 沉井的施工	85
习题与思考题	91
第5章 动力机器基础	92
5.1 概述	92
5.2 动力机器基础设计的有关参数与基础知识	98

5.3 锻锤基础的设计	112
5.4 活塞式机器基础的设计	125
5.5 旋转式机器基础的设计	140
5.6 消极隔振及振动控制技术的新发展	147
习题与思考题	157
第6章 高层建筑桩箱、桩筏基础设计理论	161
6.1 概述	161
6.2 上部结构、基础与地基共同作用的概念	162
6.3 桩箱、桩筏基础设计计算方法	165
6.4 桩箱、桩筏基底土分担荷载规律	172
6.5 桩基的布置	180
6.6 桩箱、桩筏基础沉降计算	186
6.7 桩箱、桩筏基础设计验算	199
习题与思考题	204
参考文献	205

第1章 绪 论

1.1 特种基础工程的内容和特点

基础工程是土木工程学科中的一个重要分支,在整个建设工程中占有重要的地位。对于建筑物或构筑物来说,受结构物荷载作用的地层称为地基,而直接与地基接触并将上部结构荷载传递给地基的那部分结构物称为基础。

特种基础工程的提法是一个较为笼统的概念,它是基础工程的重要组成部分。特种基础工程与通常所谓的基础工程之间必然存在着一定的联系和区别。顾名思义,特种基础工程是一般基础工程的发展和拓延,特种基础工程的内涵随着工程建设的大量涌现也会有所发展。目前,我国社会经济正处于快速发展的时期,各类建设项目日益增多,同时对基础工程的要求也越来越高,这也丰富了特种基础工程的理论和实践,必将会促进特种基础工程技术的进步和提高。

特种基础结构的形式很多,主要包括梁板式基础、箱形基础、沉井基础、动力基础和桩箱、桩筏基础等。建筑物通常由上部结构、基础和地基三部分组成,它们之间互为条件,相互依存,因此,在进行基础设计和施工时,应该从上部结构与地基基础共同作用的概念出发,从整体上全面加以考虑。对于具体工程的基础设计,应该根据上部结构的特点和地基条件选择技术合理的方案,同时还要注意经济性的要求,以免造成浪费。因为建设场地工程地质条件复杂性和多样性,所以,相对于上部结构来说,基础工程具有更大的可选择性,在设计中应该做到多种方案的技术经济比较,避免生搬硬套。

1.2 本课程的目的和基本要求

本课程是土木工程专业岩土工程课群组的一门选修课。在系统学过《土力学》、《基础工程设计原理》和《钢筋混凝土结构》等课程的基础上,通过本课程的教学,使学生加深和拓宽基础设计领域内的知识,掌握几种弹性地基梁板的计算方法,掌握高层建筑箱形基础设计与施工、沉井基础计算与施工、机器基础设计计算方法,并熟悉高层建筑桩箱、桩筏基础设计理论的基本概念,以便今后能更加全面地从事基础工程设计工作。

特种基础工程是一门具有较强理论性和实践性的课程,所以,在学习中应该注意理论与实际的紧密联系。特种基础在高层建筑、市政、交通、水利等工程中

都有广泛的应用。虽然，基础设计的基本原理在本质上是是一致的，但是，目前我国各个行业规范之间存在一定差异，这也是本课程学习过程中必须注意的问题。

习题与思考题

1. 简述特种基础工程与一般基础工程之间的区别和联系。
2. 本课程的目的和基本要求是什么？

第2章 弹性地基梁板

2.1 概 述

梁板式基础又可被称为连续基础,属于浅基础的一种。通常是指柱列或柱网之下的单向或双向条形(交叉)基础,以及整片连续设置于建筑物之下的筏形基础和箱形基础。采用此类基础,有的是为了满足结构物(如干船坞、贮液库等)的特定用途所必需,而大多数则是为了通过扩大基础底面面积以达到满足地基承载力的要求。同时,采用梁板式基础可以显著增大基础的刚度,有利于调整不均匀沉降,改善建筑物的抗震性能。

弹性地基梁、板的分析理论是工程界的一个重要课题,对其研究已有一百多年的历史。从本质上讲,弹性地基梁、板的挠曲特征、基底反力和截面内力分布都与地基、基础以及上部结构的相对刚度特征有关,因此,应该从三者相互作用的观点出发,采用适当的方法进行设计,但是由于计算复杂,目前还没有得到广泛应用。本章主要讨论考虑基础与地基相互作用的计算方法,首先介绍不同的地基计算模型,如文克勒地基模型、弹性半空间模型、有限压缩层模型等线弹性地基模型以及反映地基土应力-应变关系非线性和弹塑性特征的地基模型,然后再详细介绍地基上梁、板的计算、分析方法。

2.2 地基计算模型

当土体受到外力作用时,土体内部就会产生应力和应变,地基模型就是描述这种地基土应力和应变关系的数学表达式。地基上梁和板的分析,首先必须选用某种理想化的地基模型。所选用的模型应尽可能准确地反映土体在受到外力作用时的力学性状,并且便于利用已有的数学方法和计算手段进行分析。随着认识的发展,历史上曾经提出过不少计算模型,如文克勒地基模型、弹性半空间模型、有限压缩层模型等线弹性地基模型以及反映地基土应力-应变关系非线性和弹塑性特征的地基模型。然而,由于土体本身性状的复杂性,目前还很难有哪一种模型能够反映地基工作性状的全貌,因此,各种地基模型实际上都具有一定的局限性。下面只介绍几种较常用的地基模型。

2.2.1 文克勒模型

早在1867年,捷克工程师文克勒(E. Winkler)提出了一种最简单的地基计算模型,假定地基上任一点所受的压力强度 p 与该点的地基沉降 s 成正比,即

$$p = ks \quad (2-1)$$

式中,比例常数 k 称为基床反力系数(简称基床系数),其单位为 MN/m^3 。

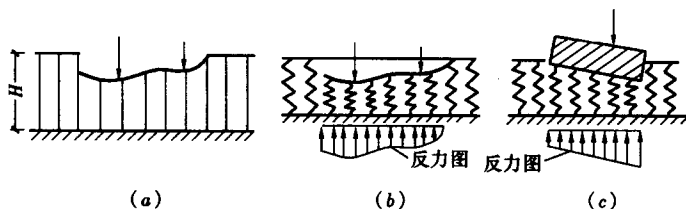


图 2-1 文克勒地基模型示意图

(a) 侧面无摩擦的土柱体系; (b) 弹簧模型; (c) 刚性基础

根据这个假设,地面上某点的沉降与作用于其他点上的压力无关。因此,地基实际上就被视为由无数侧面无摩擦的土柱组成的体系(图 2-1a),进一步假设,用一根根弹簧来代替土柱,则又变成一群不相联的弹簧体系了(图 2-1b)。由式(2-1)可知,此种模型的基底压力分布图与基础的竖向位移分布图是相似的。如果基础是刚性的,那么基底压力就按直线分布(图 2-1c),这也就是常规设计中所采用的基底反力简化算法所依据的计算模式。

按照文克勒模型,地基的沉降只发生在基底范围以内,但这与实际情况是不符的。这是由于此种模型忽略了地基中的剪应力,而正是由于这种剪应力的存在,才使得附加应力能得以向外扩散,进而使基底以外的地表发生沉降。

然而,文克勒模型仍具有其适用性。凡力学性质与水接近的地基,例如抗剪强度极低的半液态土(如淤泥、软黏土等)地基或基底下塑性区开展相对较大时,采用文克勒模型就比较合适。另外,厚度不超过基底短边一半的薄压缩层地基,由于其压力面积大,薄层竖直面剪应力较小,也适合采用这种模型。再加上文克勒模型形式简单、参数少,因此其至今仍得到广泛应用。

2.2.2 弹性半空间地基模型

弹性半空间模型是将地基视作均匀的、各向同性的弹性半空间,地基上任意点的沉降 $s(x, y)$ 与整个基底反力以及邻近荷载的分布有关,它们之间的关系可通过弹性力学知识用积分方法得到。但在一般情况下,这种积分只可能以数值方法求得近似解答。

当基底受荷面积为矩形时,首先把基底平面划分为 n 个矩形网络(图 2-2),

作用于各网格面积 ($f_1, f_2, \dots, f_n$) 上的基底反力 ($p_1, p_2, \dots, p_n$) 可以近似地认为是均布的, 其合力 $R_j = p_j f_j$ 作用于矩形网格的形心。如果以沉降系数 δ_{ij} 表示网格 i 的中点由作用于网格 j 上的均布压力 $p_j = 1/f_j$ (此时面积 f_j 上的总压力 $R_j = 1$, $R_j = p_j f_j$ 称为集中基底反力) 引起的沉降, 则按叠加原理, 网格中点的沉降应为所有 n 个网格上的基底压力分别引起的沉降之总和, 即

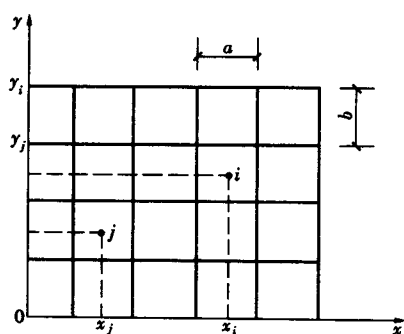


图 2-2 基底网格的划分

$$\begin{aligned} s_i &= \delta_{i1} p_1 f_1 + \delta_{i2} p_2 f_2 + \dots + \delta_{ij} p_j f_j + \dots + \delta_{in} p_n f_n \\ &= \sum_{j=1}^n \delta_{ij} R_j \quad (i = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (2-2)$$

式 (2-2) 可以写成矩阵的形式如下:

$$\{s\} = \begin{Bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_i \\ \vdots \\ s_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{i1} & \delta_{i2} & \dots & \delta_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_j \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} \quad (2-3)$$

简写为:

$$\{s\} = [\delta] \{R\} \quad (2-4)$$

式中, $[\delta]$ 称为地基柔度矩阵。其中的沉降系数 δ_{ij} 可以用下述方法求得:

(1) 当 $i = j$ 时, 可由布西奈斯克 (Boussinesq) 公式通过积分求得:

$$\delta_{ij} = \frac{(1 - \mu^2) F}{\pi E_0 a} \quad (2-5)$$

式中 E_0 ——地基变形模量;

F ——形状系数, 由下式确定:

$$F = 2 \frac{a}{b} \left\{ \ln \left(\frac{b}{a} \right) + \frac{b}{a} \ln \left[\frac{a}{b} + \sqrt{\left(\frac{a}{b} \right)^2 + 1} \right] + \ln \left[1 + \sqrt{\left(\frac{a}{b} \right)^2 + 1} \right] \right\} \quad (2-6)$$

其中 a, b 分别为 i 网格的边长。

(2) 当 $i \neq j$ 时, 简化计算方法是把作用在 j 网格上的均布荷载按单位集中力计算, 然后用布西奈斯克公式求解, 即

$$\delta_{ij} = \frac{R_j (1 - \mu^2)}{\pi E_0 r} \quad (2-7)$$

弹性半空间模型虽然具有能够扩散应力和变形的优点,但是它的扩散能力往往超过地基的实际情况,所以计算所得的沉降量和地表的沉降范围,常较实测结果为大。这与它具有无限大的压缩深度(沉降计算深度)有关。尤其是它未能考虑到地基的成层性、非均质性以及土体应力-应变关系的非线性等重要因素。

2.2.3 有限压缩层地基模型

为了克服上述两种模型存在的问题,可以用沉降计算的分层总和法来求沉降

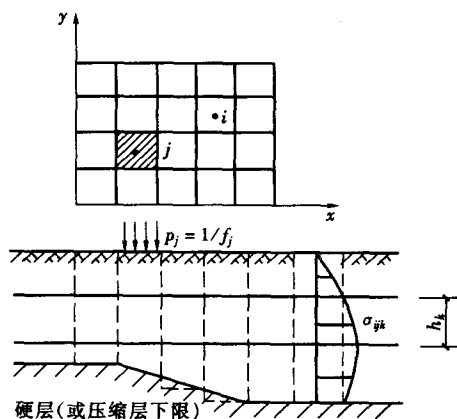


图 2-3 压缩层地基模型

系数 δ_{ij} , 地基沉降则等于沉降计算深度内各计算分层在侧限条件下的压缩量之和。

为了简化计算过程,假定土在完全侧限条件下的压缩应变与附加应力 σ_z 成正比。这样,地基就被看作线性变形体,因而可以应用叠加原理把基底压力与沉降之间的关系依然写成如式 (2-3) 的形式。因此,可以首先计算在 $p_i = 1/f_i$ 作用下在 i 点之下引起的附加应力,然后用分层总和法计算 i 点的沉降系数 δ_{ij} 。

$$\delta_{ij} = \sum_{k=1}^m \sigma_{ijk} h_k / E_{sk} \quad (2-8)$$

式中 σ_{ijk} ——在 j 点作用单位力时,在 i 点处土中第 k 层中产生的附加应力;
 h_k ——第 k 层土的厚度;
 E_{sk} ——第 k 层土的侧限压缩模量;
 m ——计算压缩层范围内的分层数。

该模型能够较好地反映地基土扩散应力和变形的能力,而且能够考虑土体沿深度方向的不均匀性和分层。诸多计算表明,这一模型的计算结果与实际情况较为符合,但是,同其他弹性模型一样,该模型仍未能考虑土体的非线性以及基底反力的塑性重分布。

2.2.4 非线性地基模型和弹塑性模型简介

1. Duncan-Chang 模型

线弹性地基模型假设地基土在荷载作用下的应力-应变关系为线性,这显然与实际情况不符。地基土的加载应力-应变关系呈现明显的非线性特征(图 2-4)。各国学者曾提出大量的各种形式的非线性弹性模型,下面只介绍目前国内外应用较多的邓肯-张模型。

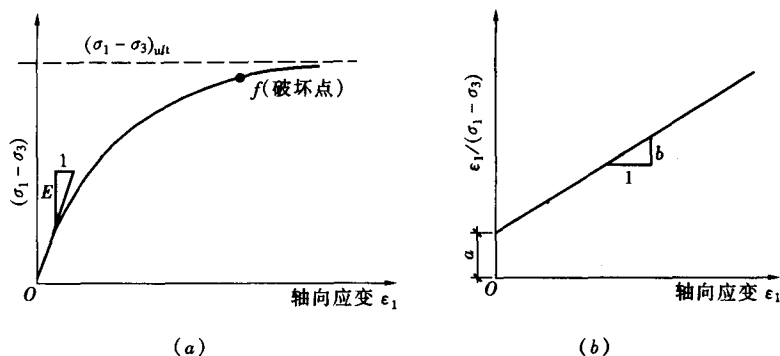


图 2-4 双曲线型应力-应变关系

1963 年, 康德尔 (Konder) 提出土的应力-应变关系为双曲线型, 邓肯 (Duncan) 和张 (Chang) 根据这个关系并利用摩尔-库仑强度理论导出了非线性弹性地基模型的切线模量公式, 此模型被称为邓肯-张模型。该模型采用下述双曲线方程来表示由三轴试验得到的土体应力-应变曲线 (图 2-4):

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\epsilon_1}{a + b\epsilon_1} \quad (2-9)$$

式中 $\sigma_1 - \sigma_3$ ——主应力差 (σ_1 和 σ_3 分别为土中某点的最大和最小主应力);

ϵ_1 ——最大主应力方向上的轴向应变;

a 、 b ——试验参数。

式 (2-9) 可改写为:

$$\frac{\epsilon_1}{(\sigma_1 - \sigma_3)} = a + b\epsilon_1 \quad (2-10)$$

双曲线参数 a 在图 2-4 (b) 中为竖向截距, 它的倒数为图 2-4 (a) 中应力-应变曲线的初始切线斜率。双曲线参数 b 在图 2-4 (b) 中为该直线的斜率, 它的倒数为图 2-4 (a) 中应力-应变曲线的渐近值。Duncan-Chang 建议将式 (2-9) 改写为:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{\epsilon_1}{\frac{1}{E_i} + \frac{R_f \epsilon_1}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}} \quad (2-11)$$

其中初始弹性模量 E_i 为:

$$E_i = \frac{1}{a} \quad (2-12)$$

破坏比 R_f 定义为:

$$R_f = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}} = b(\sigma_1 - \sigma_3)_f \quad (2-13)$$