



高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何若全

土力学与基础工程

TULIXUE YU
JICHUGONGCHENG

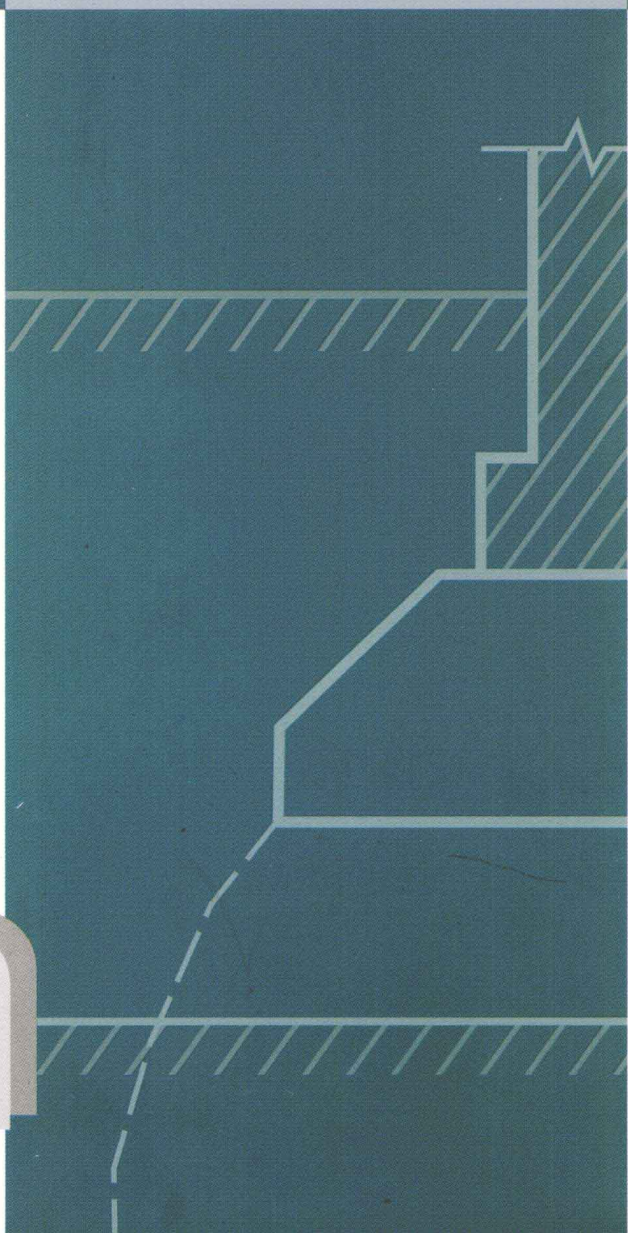
主 编 代国忠 顾欢达

副主编 史贵才 吴晓枫



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>





高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何若全

土力学与基础工程

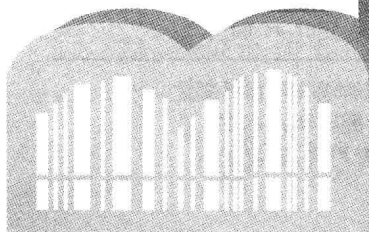
TULIXUE YU
JICHUGONGCHENG

主 编 代国忠 顾欢达

副主编 史贵才 吴晓枫

参 编 鲁良辉 张国忠

重庆大学出版社



内 容 提 要

本书是根据新的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写的土木工程专业系列教材之一,较系统地介绍了土力学与基础工程的基本理论知识、分析计算方法及在工程实践中的应用等。教材体现了土力学与基础工程的有机结合,强调了“土力学”是“基础工程”设计和应用的理论基础。全书共分为12章,除绪论外,内容包括:土的结构组成与物理性质、土体中的应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度及土压力、地基承载力及土坡稳定性、浅基础及挡土墙、桩基础、基坑工程、沉井基础与地下连续墙、地基处理技术、特殊土地基。本书紧密结合土木工程本科人才培养目标和要求,突出教材的实用性和综合应用性,各章内容由浅入深、概念清楚、层次分明、重点突出,涉及基础工程设计部分均依照我国现行规范进行编写,主要章节附有综合性设计计算实例及习题。

本书主要作为普通高等学校土木工程专业本科的教学用书,亦可供其他专业师生及工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与基础工程/代国忠,顾欢达主编. —重庆:
重庆大学出版社,2011.8(2011.10重印)
高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材
ISBN 978-7-5624-6086-2

I. ①土… II. ①代…②顾… III. ①土力学—高等
学校—教材②基础(工程)—高等学校—教材
IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第051587号

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

土力学与基础工程

主 编 代国忠 顾欢达
副主编 史贵才 吴晓枫

责任编辑:范春青 张 婷 郭一之 版式设计:莫 西
责任校对:夏 宇 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

*

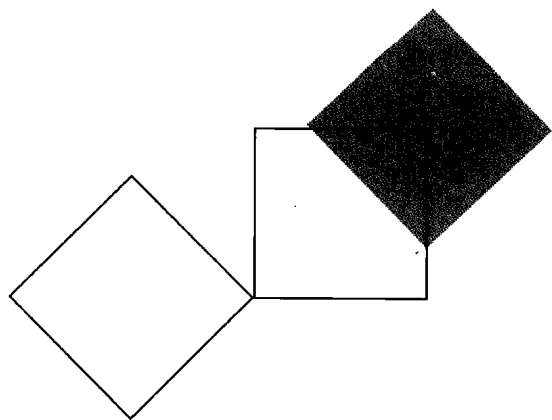
开本:787×1092 1/16 印张:28 字数:699千

2011年8月第1版 2011年10月第2次印刷

印数:274—3 500

ISBN 978-7-5624-6086-2 定价:44.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究



编委会名单

总 主 编：何若全

副总主编：杜彦良 邹超英 桂国庆 张永兴

编 委 （按姓氏笔画为序）：

卜建清	王广俊	王连俊	王社良
王建廷	王雪松	王慧东	仇文革
文国治	龙天渝	代国忠	华建民
向中富	刘 凡	刘 建	刘东燕
刘尧军	刘俊卿	刘新荣	刘曙光
许金良	孙 俊	苏小卒	李宇峙
李建林	汪仁和	宋宗宇	张 川
张忠苗	范存新	易思蓉	罗 强
周志祥	郑廷银	孟丽军	柳炳康
段树金	施惠生	姜玉松	姚 刚
袁建新	高 亮	黄林青	崔艳梅
梁 波	梁兴文	董 军	覃 辉
樊 江	魏庆朝		

总 序

进入 21 世纪的第二个十年,土木工程专业教育的背景发生了很大的变化。“国家中长期教育改革和发展规划纲要”正式启动,中国工程院和国家教育部倡导的“卓越工程师教育培养计划”开始实施,这些都为高等工程教育的改革指明了方向。截至 2010 年底,我国已有 300 多所大学开设土木工程专业,在校生达 30 多万人,这无疑是世界上该专业在校大学生最多的国家。如何培养面向产业、面向世界、面向未来的合格工程师,是土木工程界一直在思考的问题。

由住房和城乡建设部土建学科教学指导委员会下达的重点课题“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的研制,是落实国家工程教育改革战略的一次尝试。“专业规范”为土木工程本科教育提供了一个重要的指导性文件。

由“高等学校土木工程本科指导性专业规范”研制项目负责人何若全教授担任总主编,重庆大学出版社出版的《高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材》力求体现“专业规范”的原则和主要精神,按照土木工程专业本科期间有关知识、能力、素质的要求设计了各教材的内容,同时对大学生增强工程意识、提高实践能力和培养创新精神做了许多有意义的尝试。这套教材的主要特色体现在以下方面:

(1)系列教材的内容覆盖了“专业规范”要求的所有核心知识点,并且教材之间尽量避免知识的重复;

(2)系列教材更加贴近工程实际,满足培养应用型人才对知识和动手能力的要求,符合工程教育改革的方向;

(3)教材主编们大多具有较为丰富的工程实践能力,他们力图通过教材这个重要手段实现“基于问题、基于项目、基于案例”的研究型学习方式。

据悉,本系列教材编委会的部分成员参加了“专业规范”的研究工作,而大部分成员曾为“专业规范”的研制提供了丰富的背景资料。我相信,这套教材的出版将为“专业规范”的推广实施,为土木工程教育事业的健康发展起到积极的作用!

中国工程院院士 哈尔滨工业大学教授

沈世钊

前 言

本书是根据新的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写的土木工程专业系列教材之一,较系统地介绍了土力学与基础工程的基本理论知识、分析计算方法及在工程实践中的应用等。书中土力学部分为 38 基本学时(含 6 学时土力学实验),基础工程部分为 32 基本学时。授课时可对内容做适当调整。

本书土力学部分各章内容结构布局合理,既兼顾传统理论,又有创新突破;基础工程部分内容有实质性突破,增加了基坑工程、地基处理、特殊土地基的内容。各章内容充实,有一定深度和广度。浅基础及挡土墙、桩基础、基坑工程等章均有综合性设计计算实例,可通过教与学实现基础工程设计能力和应用能力的提高。

教材各章内容力求实现与建筑桩基技术规范、岩土工程勘察规范、建筑地基基础设计规范、建筑地基处理技术规范、建筑基桩检测技术规范、建筑抗震设计规范、建筑基坑支护技术规程、公路桥涵地基及基础设计规范等各类现行技术规范或规程的深入融合,以指导工程设计与施工。

本书力求内容充实、概念清楚、层次分明、覆盖面广、重点突出。本书主要作为普通高等学校土木工程本科专业的教学用书,并可作为地基基础课程设计的参考资料,亦可供其他相近专业师生及工程技术人员参考使用。

本书由常州工学院代国忠教授和苏州科技学院顾欢达教授担任主编。全书由代国忠教授制订编写大纲,并编写第 1,2,6,8,9,11,12 章,顾欢达教授编写第 4,10 章,常州工学院史贵才副教授编写第 3,5 章,吴晓枫副教授编写第 7 章,鲁良辉讲师参与了第 8,9 章的编写,张国忠高级工程师参与了第 4,5 章的编写。全书由代国忠教授负责统稿。

限于编者理论水平,书中错误或不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

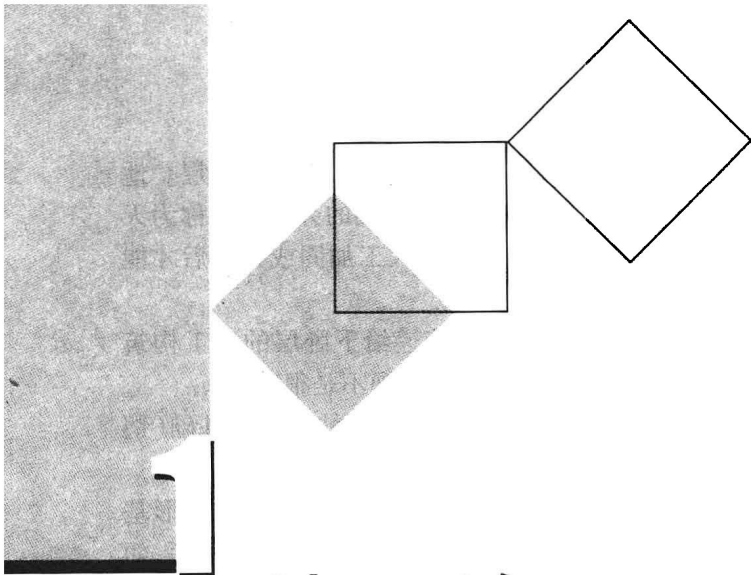
编 者
2011 年 5 月

目 录

1	绪论	1
1.1	土力学、地基及基础的基本概念	1
1.2	土力学与基础工程的发展简史	3
1.3	学习土力学与基础工程的重要性	5
1.4	课程性质和学习要求	8
2	土的结构组成与物理性质	10
2.1	概述	10
2.2	土的三相组成及土的结构	11
2.3	土的物理性质指标	16
2.4	土的物理状态指标	20
2.5	土的物理指标室内试验方法	23
2.6	土的压实性	28
2.7	岩土的工程分类	31
3	土体中的应力计算	36
3.1	概述	36
3.2	自重应力计算	37
3.3	基底压力计算	39
3.4	地基附加应力计算	43
3.5	有效应力原理	59
4	土的压缩性与地基沉降计算	66
4.1	概述	66
4.2	土的固结试验与压缩性指标	67
4.3	地基的最终沉降量计算	76
4.4	应力历史对土的压缩性影响	88
4.5	固结理论及地基变形与时间的关系	92

5	土的抗剪强度及土压力	103
5.1	概述	103
5.2	土的抗剪强度理论	104
5.3	土的抗剪强度试验	107
5.4	砂土的振动液化问题	116
5.5	挡土墙的土压力计算	122
6	地基承载力及土坡稳定性	142
6.1	概述	142
6.2	地基临塑荷载和临界荷载	145
6.3	地基的极限荷载	148
6.4	地基的承载力和稳定性	157
6.5	土坡的稳定性分析	166
7	浅基础及挡土墙	181
7.1	概述	181
7.2	基础埋置深度的确定	184
7.3	基础尺寸的确定	187
7.4	扩展基础设计	191
7.5	连续基础的设计	199
7.6	挡土墙	218
8	桩基础	228
8.1	概述	228
8.2	设计规定及桩基构造	230
8.3	桩基竖向承载力计算	239
8.4	桩基沉降计算	257
8.5	桩基水平承载力计算	268
8.6	承台设计计算	287
9	基坑工程	305
9.1	概述	305
9.2	支护结构的受力及变形控制	308
9.3	支护结构的稳定性验算	315
9.4	桩墙支护结构内力计算	321
9.5	常见的基坑支护结构	328
9.6	基坑降排水	344

10	沉井基础与地下连续墙	355
10.1	概述	355
10.2	沉井的构造	358
10.3	沉井作为整体深基础的设计与计算	360
10.4	沉井施工期的结构计算	365
10.5	地下连续墙	373
11	地基处理技术	383
11.1	概述	383
11.2	换土垫层法	388
11.3	强夯法和强夯置换法	390
11.4	排水固结法	393
11.5	挤密桩法	399
11.6	化学加固法	410
12	特殊土地基	417
12.1	概述	417
12.2	软土地基	418
12.3	湿陷性黄土地基	420
12.4	膨胀土地基	425
12.5	冻土地基	430
12.6	其他特殊土地基	433
	参考文献	437



绪 论

1.1 土力学、地基及基础的基本概念

1) 土力学

土木工程中遇到的各种与土有关的问题,归纳起来可以分为三类:作为建筑物(房屋、桥梁、道路、水工结构等)地基的土,作为建筑材料(路基材料、土坝材料)的土和作为建筑物周围介质或环境(隧道、挡土墙、地下建筑、滑坡问题等)的土。不管哪一类情况,工程技术人员最关心的是土的力学性质,即在静、动荷载作用下土的强度和变形特性,以及这些特性随时间变化、应力历史和环境条件改变而变化的规律。

土力学(Soil Mechanics)是利用力学的一般原理,研究地表土的物理、力学特性及其受力后强度和体积变化规律的学科。实际上,土力学就是以力学为基础,研究土的渗流、变形和强度特性,并据此进行土体的变形和稳定性计算的一门学科。

土力学的研究对象是碎散材料的土,是一种天然的三相碎散堆积物。而与土力学相近的理论力学研究对象是质点或刚体,材料力学研究对象是单个弹性杆件(杆、轴、梁),结构力学研究对象是若干弹性杆件组成的杆件结构,弹性力学研究对象是弹性实体结构或板壳结构,水力学研究对象是不可压缩的连续流体(水)。它们的研究对象都是连续固体或连续流体。

在与生产实践的结合过程中,又产生了土力学的许多分支,例如土动力学、计算土力学、实验土力学、非饱和土力学、冻土力学、环境土力学、海洋土力学、月球土力学等,对区域性土和特殊类土(例如湿陷性黄土、红黏土、胀缩土、软土、盐碱土、污染土、工业废料等)的研究也不断深入。由于土是一种很特殊的材料,在学习土力学时特别要注意区别土与其他材料的特性。

2) 地基与基础

一般来说,工业与民用建筑、高层建筑、桥梁建筑等各类建筑物均由上部结构与地下基础两大部分组成。通常以室外地面整平标高(或河床最大冲刷线)为基准,基准线以上部分称之为上部结构,基准线以下部分称之为基础。有关地基与基础的概念如下:

(1)地基 地基是建筑物荷载作用下产生不可忽略的附加应力与变形的那部分地层。地基可分为天然地基和人工地基:不需要对地基进行处理就可以直接放置基础的天然土层称为天然地基;如天然地层土质过于软弱或有不良的工程地质问题,需要经过人工加固或处理后才能修筑基础的地基称之为人工地基(或称之为地基处理)。

(2)基础 基础是埋藏于地面下承受上部结构荷载,并将荷载传递给下卧层的人工构筑物。一般按基础的埋置深度,可分为浅基础和深基础两大类,但有时其界限不是很明显。

浅基础:埋深 $h \leq 5$ m,可用简便施工方法进行基坑开挖和排水的基础,如柱下独立基础(钢筋混凝土扩展基础)、条形基础(毛石或素混凝土基础)、筏板基础、交叉梁基础。

深基础:埋深 $h > 5$ m,需用专门施工方法建造的基础,如桩基、沉井、地下连续墙、箱形基础、较深的筏板基础等。某些基础工程,在土层内深度虽较浅($h \leq 5$ m),但在水下部分较深,如深水中的桥墩基础,亦可按深基础进行设计。

(3)基础工程 基础工程是基础的设计与施工工作,以及有关的工程地质勘察,基础施工所需基坑的开挖、支护、降水和地基加固工作的总称。

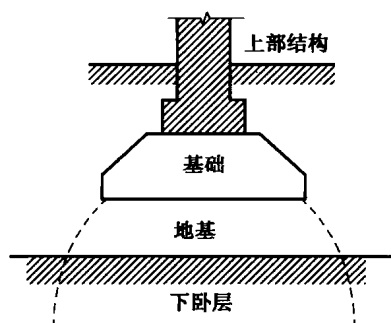


图 1.1 基础与地基示意图

如图 1.1 所示,建筑物的上部结构荷载通过基础传至地层中,使其产生附加应力和变形。若将地层看作是一个半无限空间体,地层中附加应力向四周深部扩散,并迅速减弱,当传到某一深度后,上部结构的荷载引起的附加应力与变形已甚小,对工程实际的影响可忽略。故一般将基础底部标高至该深度范围内的地层统称为建筑物的地基。对地基承载力和变形起主要作用的地层称之为地基主要受力层(简称为地基受力层)。在地基受力层范围内,又将基础底面处的地层称之为持力层,持力层下的地层称之为下卧层,而强度明显低于持力层的下卧层则

称之为软弱下卧层。

(4)基础的功能 通过以上分析,可总结出基础的主要功能有:

①扩散压力。当地基土的承载力较低时,采用锥形或板式的基础,扩大基础的底面积,可将基础所承受的较大荷载扩散为较低的压力。

②传递压力。当上部地层较差时,采用深基础(桩基、墩基、地下连续墙、沉井等)将荷载传递到深部较好的地层(岩层或砂卵石层)。

③调整地基变形。利用厚筏、箱形基础、群摩擦桩等基础所具有的刚度和上部结构共同作用,以调整地基的不均匀变形或不均匀沉降。

④抗滑或抗倾覆及减振。由于基础建造在地表以下较牢固的地基之上,因此对于其上部结构来说,均具有一定的抗滑或抗倾覆及减振的作用。

3)地基基础设计的基本要求

(1)地基的强度要求 地基要有足够的强度,在上部结构的荷载作用下,地基土不应发生剪切破坏或失稳。

(2)地基的变形要求 为确保建筑物的正常使用,地基不应产生过大的沉降或不均匀沉降。

(3)基础结构本身应有足够的强度和刚度 在地基反力作用下,建筑物基础不会产生过大

的强度破坏,并具有改善沉降与不均匀沉降的能力。

1.2 土力学与基础工程的发展简史

土力学与基础工程包括土力学和基础工程两部分内容。土力学是基础,基础工程是土力学在土木工程中的具体应用,两者是密不可分的有机整体。

1) 土力学的发展简史

18 世纪欧洲工业革命开启了土力学的理论研究。法国的库仑(C. A. Coulomb, 1773)根据试验创立了著名的砂土抗剪强度公式,提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论,这一理论被认为是土力学的开始。法国的达西(H. Darcy, 1856)根据对两种均匀砂土渗透试验结果提出了渗透定律。英国的朗肯(W. J. M. Rankine, 1857)发表了土压力塑性平衡理论,与库仑理论共同形成了古典土压力理论,这对后来土体强度理论的发展起了很大作用。法国的布辛奈斯克(J. Boussinesq, 1885)提出了半无限空间弹性体中应力分布计算公式,成为计算地基中应力的主要方法,如今这一理论仍在土力学有关课题中广泛使用。

20 世纪初开始,因出现了铁路塌方、地基失稳、差异沉降过大、滑坡等一些重大的工程事故,对地基问题提出了新的要求,从而推动了土力学的研究,使土力学理论得到了迅速发展,发表了许多有关理论和著作。如:由瑞典的彼德森(K. E. Peterson, 1916)提出,以后又由费伦纽斯(W. Fellenius, 1936)及美国的泰勒(D. W. Taylor, 1937)等进一步发展的土坡稳定分析的整体圆弧滑动法;法国的普朗德尔(L. Prandtl, 1920)发表的地基滑动面计算的数学公式。

美籍奥地利人太沙基(K. Terzaghi, 1925)发表了《土力学》专著,提出了著名的饱和土有效应力原理,系统地论述了土力学若干重要问题。太沙基指出土具有黏性、弹性和渗透性,按物理性质把土分成黏土和砂土,并探讨了它们的强度机理,提出了饱和土的一维固结理论。有效应力原理反映了土的力学性质的本质,使土力学确立了自己的特色,成为土力学学科的一个重要原理,极大地推动了土力学的发展。太沙基把当时零散的有关定律、原理、理论等按土的特性加以系统化,从而使土力学形成一门独立的学科。

自土力学作为一门独立学科以来,大致可以分为两个发展阶段。

第一阶段从 20 世纪的 20 年代到 60 年代,称古典土力学阶段。这一阶段的特点是在不同的课题中分别把土看作线弹性体或刚塑性体,又根据课题需要把土视为连续介质或分散体。这一阶段的土力学研究主要在太沙基理论基础上,形成以有效应力原理、渗透固结理论、极限平衡理论为基础的土力学理论体系,研究土的强度与变形特性,解决地基承载力和变形、挡土墙土压力、土坡稳定等与工程密切相关的土力学课题。这一阶段取得了有关于黏性土抗剪强度、饱和土性状、有效应力法和总应力法、软黏土性状、孔隙压力系数等方面的研究成果,以及钻取不扰动土样、室内试验(尤其三轴试验)技术和一些原位测试技术的发展,对弹塑性力学的应用也有了一定认识。

第二阶段从 20 世纪 60 年代开始,称为现代土力学阶段。其最重要的特点是把土的应力、应变、强度、稳定等受力变化过程统一用一个本构关系加以研究,改变了古典土力学中把各受力阶段人为割裂开来的情况,从而更符合土的真实特性。这一阶段的出现依赖于数学、力学的发展和计算机技术的突飞猛进。较为著名的本构关系有邓肯非线性弹性模型和剑桥弹塑性模型。国内学者在这方面也做了不少工作,例如南京水利科学研究所提出的弹塑性模型。土的本构

关系代表土工研究的发展趋势,促进了土力学研究的重大变革,使土工设计和研究达到新的水平。

从土木工程发展和相关学科的进步考虑,国内外学者认为 21 世纪土力学发展特点是:

①进一步汲取现代数学、力学的成果和利用计算机技术,深入研究土的非线性、各向异性、流变等特性,建立新的更符合土的真实特性的本构模型以及将该模型用于解决实际问题的计算方法。

②充分考虑土工问题的不确定性,进行风险分析和优化决策,使岩土工程的定值设计方法逐步向可靠度设计转化。这一转化不仅需要大量的工程统计资料,而且概率论、模糊数学、灰色理论等也将在岩土工程中发挥更大的作用。

③对非饱和土的深入研究,充分揭示土粒、水、气三相界面的表面现象对非饱和土力学特性的影响,建立起非饱和土强度变形的理论框架。

④土工测试设备和测试技术将得到较快发展。因高应力、粗粒径、大应变、多因素和复杂应力组合的试验设备和方法得到很大发展,使原位测试、土工离心试验等得到更大应用,计算机仿真成为特殊的土工试验手段,声波法、 γ 射线法、CT 识别法等也将加入到土工试验方法的行列。

⑤环境土力学将得到极大的重视。炉渣、粉煤灰、尾矿石的利用和处理,污染土和污染水的性质和治理,固体废料深埋处置方法中废料、周围土介质和地下水的相互作用以及污染物的扩散规律等研究将大大加强。由开矿、抽水、各种岩土工程活动造成的地面沉降和对周围环境的影响及防治继续受到重视。此外,沙漠化、盐碱化、区域性滑坡、洪水、潮汐、泥石流、地震等大环境问题也将进入土力学研究的范畴。

⑥用微观和细观的手段,研究和揭示岩土力学特性的本质。

⑦人工合成材料在排水、防渗、滤层、加筋等方面已得到很好的应用,但对其与土一起作为复合材料的相互作用机理的了解尚很初步,设计理论和方法还很不完善,对这种复合材料的深入研究将给土力学研究增加新的内容。

2) 基础工程的发展简史

基础工程是一项古老的工程技术,发展到今天已成为一门专门的科学。

在中国,基础工程伴随着华夏 5 000 年的文明史。考古工作者发现人类早在 5 000 年前就开始建造房屋,只是当时的基础很简单。如:浙江省余姚河姆渡文化遗址,其房屋底层是架空在埋于地下的木桩基础上的;西安半坡村遗址中的基础是夯实的红烧土和陶瓷片;洛阳王湾仰韶文化遗址,其基础是在墙下挖槽,槽内填卵石夯实,类似于近代的换土填层处理人工地基。

春秋战国时期,夯土的基础与城墙已有相当高的水平。玉门关一带的汉长城用砂、砾石和红柳或芦苇层层压实,至今其残垣仍有 5~6 m 高。很多古代建筑,如隋朝的赵州桥、郑州超化寺、晋祠的圣母殿水池等,都是由于基础工程的牢固,方能历经千百载地下水活动、多次地震或强风后而安然屹立至今。到了元明清年代,我国的建筑基础工程得到了进一步发展,如北京故宫三大殿用灰土台基,天安门用群桩基础,前门采用了木筏基础等,这些都反映出了我国数百年前一些高大重建筑的基础工程水平。

西方国家,自 18 世纪兴起工业革命以来,随着城市建设的扩大,工厂、铁路、水坝的兴建,促使土力学理论的产生和基础工程技术的发展。特别是第二次世界大战之后,基础设计理论、计算方法、施工工艺都有较大发展。如 1893 年美国芝加哥人工挖孔桩问世,1950 年意大利米兰地下连续墙出现,1957 年德国首先采用土层锚杆桩墙支护深基坑等;此外,全液压抓斗、长螺旋

钻进设备、正(反)循环回转钻进设备、双轮铣反循环钻进设备、盾构掘进机等成孔(或洞、槽)机械设备的研制与应用都极大地提高了基础工程施工的效率。

我国改革开放以后,基础设施建设蓬勃发展,基础工程的设计理论、施工工艺水平也不断提高,已与世界同步发展。如大直径桩基础工程,一般直径为 0.5~6 m,深度可从几十米到上百米;桩基础竖向承载力计算考虑了群桩效应,水平承载力计算采用了弹性地基梁 m 法;深基坑工程的支护方法、支护结构内力和变形的计算理论等也都很成熟。

随着岩土工程及其他相关学科的不断发展,基础工程在设计计算理论和方法、施工技术和机械设备等方面都有长足的进展。20 世纪 90 年代以来,颁布实施的现行规范规程有《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《公路桥涵地基及基础设计规范》(JTG D63—2007)、《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2003)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99)、《既有建筑地基基础加固技术规范》(JGJ 123—2000)等。这些现行规范规程是基础工程各个领域取得的科研成果和工程经验的高度概括,反映了基础工程的发展水平。

目前,基础工程的关注点之一是在设计计算理论和方法方面的研究探讨,包括考虑上部结构、基础与地基共同工作的理论和设计方法,概率极限状态设计理论和方法,优化设计方法,数值分析方法和计算机技术的应用等。另外,随着高层建筑和大跨度大空间结构的涌现、地下空间的开发等,与之密切相关的两种技术也得到极大的重视。其一,桩基础技术,其中桩土共同工作理论,桩基设计变形控制理论,桩基非线性分析和设计方法,桩基承载力和沉降的合理估算,新的桩型例如大直径成孔灌注桩、预应力管桩、挤扩支盘桩、套筒桩、微型桩等的研究开发,后注浆技术在桩基工程中的应用,桩基础的环境效应等都成为研究和开发的热点。其二,深基坑支护技术,研究的重点放在土、水压力的估算,基坑支护设计理论和方法的深化——优化设计、静态设计和动态设计、考虑时空效应的方法等。新的基坑支护方法例如复合土钉墙、作为主体结构应用的地下连续墙、锚杆挡墙等的开发研究,基坑开挖对环境的影响,逆作法技术的应用等也都受到高度重视。

在地基处理方面,进一步完善复合地基理论,对各类地基处理方法机理的深化研究以及施工检测技术的改进也是基础工程关心的问题。对于深水和复杂地质条件下的基础工程,例如在大型桥梁、水工结构、近海工程中,重要的是深入研究地震、风和波浪冲击的作用,以及发展深水基础(超长大型水下桩基、新型沉井等)的设计和施工方法。

1.3 学习土力学与基础工程的重要性

地基与基础是建筑物的根基,是整个建筑工程的重要组成部分。它的勘察、设计和施工质量直接影响到建筑物的安全、经济和正常使用。由于基础工程均位于地下或水下,施工难度较大,因而其工程造价、工期在整个建筑工程中所占比重亦较大。据国内外资料统计,一般多层建筑中地下基础部分的造价占总造价的 1/4 左右,工期占总工期的 25%~30%,若需人工处理地基或采用深基础,则造价和工期所占比例将更大。在桥梁工程中其基础部分的造价和工期所占比例会更高一些,具体视河流情况和桥梁设计方案而定。

因地基勘察精确,基础设计方案合理,工程施工质量好的成功实例举不胜举,如建于隋代的

赵州桥,建于明代的北京故宫,以及现代的南京长江大桥、润扬长江大桥、上海东方明珠电视塔、上海金茂大厦、上海环球金融中心、人民大会堂、北京奥体中心等工程均取得了成功。

基础工程因多属于地下隐蔽工程,一旦出现事故后,其处理和整治补救较困难。下面将通过一些发生严重事故的基础工程实例介绍,进一步说明学习土力学与基础工程的重要性。

1) 意大利比萨斜塔

意大利比萨(Pisa)斜塔自 1173 年 9 月 8 日动工,至 1178 年建至第 4 层中部,高度 29 m 时,因塔明显倾斜而停工。94 年后,1272 年复工,经过 6 年时间建完第 7 层,高 48 m,再次停工中断 82 年。1360 年再次复工,至 1370 年竣工,前后历经近 200 年。该塔共 8 层,高 55 m,全塔总荷重 145 MN,相应的地基平均压力约为 50 kPa。地基持力层为粉砂,下面为粉土和黏土层。由于地基的不均匀下沉,至今塔南侧沉降了约 3 m,北侧沉降了 1 m 多,塔向南倾斜 5.8° ,南北两端沉降差 1.8 m,塔顶偏离中心线已达 5.27 m。近年来,该塔每年下沉约 1 mm,已成为世界上最著名的基础工程处理难题。1993—2001 年,采取了堆载与抽土联合纠偏技术,方使比萨斜塔的倾斜得以控制。

2) 苏州虎丘塔

该塔位于苏州市虎丘公园山顶,落成于宋太祖建隆二年(公元 961 年),距今已有 1050 年。全塔 7 层,高 47.5 m。平面呈八角形,青砖砌筑。

1980 年时,塔身已向东北方向严重倾斜,塔顶离中心线已达 2.31 m,底层塔身出现不少裂缝。虎丘塔发生不均匀沉降的主要原因是:塔无基础,塔墩直接砌筑在人工填土地基上,基底应力过大;塔建于南高北低的岩坡土层上,地基土持力层北厚南薄,产生了不均匀的压缩变形,导致了塔身倾斜;塔基及其周围地面未作妥善处理,因地表水渗入地基,由南向北潜流侵蚀等因素,使塔北人工填土层产生较多孔隙,造成不均匀沉降的发展;塔体由黏性黄土砌筑,灰缝较宽,塔身倾斜后形成偏心压力,加剧了不均匀压缩变形。

3) 上海锦江饭店

1954 年兴建的上海工业展览馆中央大厅,因地基约有 14 m 厚的淤泥质软黏土,尽管采用了 7.27 m 长的箱形基础,建成后当年就下沉 600 mm。1957 年 6 月展览馆中央大厅四角的沉降最大达 1 465.5 mm,最小沉降量为 1 228 mm。1957 年 7 月,经苏联专家及清华大学陈希哲、陈梁生等教授的观察与分析,认为如果能采取有效措施控制不均匀沉降,该建筑还可以继续使用。

上述事故主要是因地基土的变形过大,或产生较大的不均匀沉降所致。由于地基强度不足

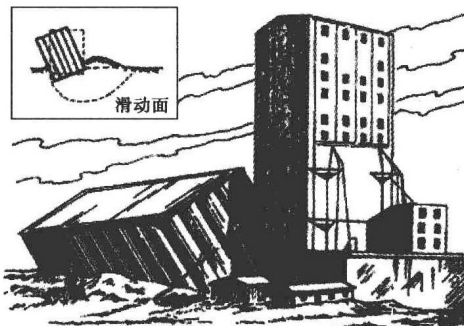


图 1.2 加拿大特朗斯康谷仓地基事故

造成的地基失稳事故著名例子有加拿大特朗斯康谷仓和阪神大地震中地基液化等。

4) 加拿大特朗斯康谷仓地基事故

1941 年建于加拿大特朗斯康(Transcona)的谷仓,如图 1.2 所示。该谷仓南北长 59.44 m,东西宽 23.47 m,高 31.00 m。基础为钢筋混凝土筏板基础,厚 61 cm,埋深 3.66 m。谷仓 1911 年动工,1913 年秋完成。谷仓自重 20 000 t,相当于装满谷物后总重的 42.5%。1913 年 9 月装谷物,至 31 822 m³ 时,发

现谷仓 1 h 内竖向沉降达 30.5 cm,并向西倾斜,24 h 后倾倒,西侧下陷 7.32 m,东侧抬高 1.52 m,倾斜 27°。该谷仓的地基虽破坏,但钢筋混凝土筒仓却安然无恙,后用 388 个 500 kN 千斤顶及支撑系统对其筏板基础实施纠正,效果较好,但基础标高比原来降低 4 m。

加拿大特朗斯康谷仓地基事故原因是:设计时未对谷仓地基承载力进行调查研究,而采用了邻近建筑地基 352 kPa 的承载力,事后 1952 年的勘察试验与计算表明,该基础下有 16 m 厚软黏土层,地基实际承载力为 193.8 ~ 276.6 kPa,远小于谷仓地基破坏时 329.4 kPa 的地基压力,地基因超载而发生强度破坏。

5) 阪神大地震中地基液化

地基液化是指松砂地基在振动荷载作用下丧失强度变成流动状态的一种现象。1995 年 1 月 17 日,日本关西兵库县南部发生了里氏 7.2 级的地震。地震引起神户码头大面积砂土地基液化,产生很大的侧向变形和沉降,大量的建筑物倒塌或遭到严重损伤。

此外,还有挪威油罐地基的失稳,巴西里约热内卢 11 层大楼由于桩基破坏而倒塌等。国内南方某地 8 层饭店建筑也由于地基承载力不足在浇顶后发生了坍塌的事故。近年来,随着高层建筑的涌现和地下空间的开发,深基开挖中的事故时有发生,例如,华东某地两起大的基坑工程坍塌事故造成了生命和财产的重大损失。如果土的渗透问题没有解决好,同样会发生滑坡及管涌溃堤等事故。

6) La Conchita 大滑坡

1995 年 1 月和 3 月,美国南加利福尼亚州的异常强降水诱发了 Los Angeles 县和 Ventura 县的灾难性泥石流、深层滑坡和洪水,该事件中最引人注目的滑坡是 La Conchita 深层滑坡。这一滑坡与当地的一个泥石流叠加作用,摧毁或严重损坏了 La Conchita 小城的十多处民房。发生滑坡时,因居民已提前撤离,幸未造成人员伤亡。

7) 西藏易贡巨型滑坡

2000 年 4 月 9 日西藏易贡发生巨型滑坡,该滑坡高 3 330 m、宽约 2 500 m,总土石方量约 $300 \times 10^6 \text{ m}^3$,部分坡体滑入附近湖中后,湖水以每日 0.5 m 速度上升。

8) 长江堤基管涌

1998 年长江全流域特大洪水时,万里长江堤防经受了严峻的考验,一些地方的大堤垮塌,大堤地基发生严重管涌,洪水淹没了大片土地,人们生命财产遭受巨大的威胁。仅湖北省沿江段就查出 4 974 处险情,其中重点险情 540 处中,有 320 处属地基险情;溃口性险情 34 处中,除 3 处是涵闸险情外,其余都是地基和堤身的险情。

国内外基础工程事故的种类归结起来有地基严重下沉、建筑物倾斜、建筑物墙体和基础开裂、地基滑动、地基溶蚀、土坡滑动失稳、堤基管涌等,这些都是由土的特性所决定的。基础工程方面的事故具有突发性、灾害性和全局性的特点,不仅会使工程全军覆没,而且常殃及四邻,危害环境。为了防止工程事故的发生,在工程的各个阶段都应十分重视场地地基勘察、基础设计与施工、工程检测等各个环节。

由此可见,基础工程是建筑物的根基,实属百年大计,必须认真对待,坚持做到准确勘察、周密设计、精心施工,杜绝各类基础工程事故的发生。这正是学习土力学与基础工程的重要性之所在。

1.4 课程性质和学习要求

1) 课程性质

本课程包括土力学(专业基础课)和基础工程(专业课)两部分,是土木工程专业必修的重要课程,也是一门实践性很强的课程。本课程主要反映学科发展的新成就、新概念、新方法与新技术,突出土力学与基础工程理论与实践的有机结合。

2) 学习目的

学习本课程的目的:在于掌握土的工程性质,掌握土的物理力学性质指标的测试方法及其与建筑物相互作用的力学过程;掌握浅基础、深基础和深基坑工程的设计计算原理和计算方法,并使学生具有分析解决基础工程问题的初步设计能力。

土力学部分教学重点内容有:土的物理状态指标、地基附加应力计算、有效应力原理、地基的最终沉降量计算、土的固结理论、土的抗剪强度理论、挡土墙的土压力计算、地基的极限荷载及地基承载力特征值的确定、土坡的稳定性分析等。

基础工程部分教学重点内容有:基础埋置深度的确定、扩展基础设计、连续基础的设计、重力式挡土墙设计、桩基础设计计算、支护结构的受力及变形计算、桩墙支护结构内力计算、沉井的设计与计算及地基处理技术等。

通过本课程学习,学生应掌握土力学基本原理和概念、地基基础设计基本原理,并运用这些原理,结合有关结构设计理论,分析和解决地基基础问题。同时还应具有进行一般工程基础设计规划的能力,和从事基础工程施工管理的能力。对于常见的基础工程事故,能正确分析发生事故的原因,并作出合理的评价。

3) 学习要求

本课程涉及土力学、工程地质学、结构工程、岩土工程、基础工程等学科领域,其内容广泛,综合性强。学习时,应该重视土力学与基础工程的基本知识,培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力;必须牢固地掌握土的应力、变形、强度和地基计算等土力学基本原理,从而能够应用这些基本概念和原理,结合有关建筑结构设计理论和施工知识,分析和解决地基基础问题。其基本要求如下:

①了解土的基本物理力学性质和土的分类,以及这些性质与土的组成和结构的关系。

②牢固掌握土力学的基本原理和理论。强度理论、有效应力原理、渗透理论、固结理论、土压力理论等是其中主要的一些理论,需要理解它们的概念及计算原理。

③掌握主要的计算方法,例如三相指标的换算、强度计算、变形计算、土压力计算、边坡稳定计算等,了解它们在工程实践中的应用,这是学习基础工程的基础。

④掌握基本的土力学实验方法和成果分析,了解工程地质勘察和原位测试技术的应用。

⑤掌握浅基础、桩基础、沉井基础、地下连续墙、基坑支护和地基处理方法的基本原理和适用范围,具备合理选择基础形式、地基处理方法与基坑支护方法的初步能力。

⑥基本掌握常用的基础与基坑工程的设计计算知识,并初步具有常见的基础工程设计计算的工作能力;熟悉常用的深基础与基坑工程施工技术方法、常用机具与施工工艺,并具有工程施工组织与管理的能力。