

土力学与地基基础

董建国
沈锡英 编
钟才根

21世纪网络版系列教材

同济大学出版社

21 世纪网络版系列教材

土力学与地基基础

董建国 沈锡英 钟才根 编

同济大学出版社

内 容 提 要

土力学与地基基础是网络教育和远程教育土建类专业的一门专业基础课程,根据该专业的教学大纲并兼顾道路和桥梁专业的需要编写而成。

本书内容分成两大部分。第一部分(第一章至第八章)主要介绍了土力学的有关知识,如土的物理性质及工程分类、粘性土的物理化学性质、土中应力计算、地基变形计算、土的抗剪强度及强度指标、土压力计算、边坡稳定性分析、地基承载力等。第二部分(第九章至第十六章)主要介绍了地基基础的内容,如工程地质勘察、天然地基浅基础设计的基本原理、基础结构与计算、桩基础、沉井基础、挡土墙和基坑围护设计、地基处理、地震区地基问题等。

本书主要用作网络学院和远程教育相关专业的教材,也可以作为夜大学相关专业的教材或自学参考书,并可供土建勘察、设计、施工技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/董建国等编. —上海:同济大学出版社,2005.1

(21 世纪网络版系列教材)

ISBN 7-5608-2905-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 091798 号

21 世纪网络版系列教材

土力学与地基基础

董建国 沈锡英 钟才根 编

责任编辑 解明芳 责任校对 郁 峰 封面设计 陈益平

出 版 行 同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟华顺印刷有限公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 34.25

字 数 685 000

印 数 1—4 100

版 次 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2905-8/TU·557

定 价 39.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

《21 世纪网络版系列教材》编委会

主 任 李国强

副主任 薛喜民 张大也 周 箴 凌培亮

编 委 孙其明 肖蕴诗 周 俭 顾 牡

崔子钧 童学峰 郑惠强 徐鸣谦

吴泗宗 郭 超 王有文

序

21 世纪,将是中华民族复兴的世纪。肩负着这一空前历史重任的人民,要求必须具有与之相适应的素质。这也将是新世纪对教育提出的新任务和新要求,也就是说,教育必须适应大众化和终身化的要求。所谓“大众化”,是指人们有着更多的机会接受教育,包括高等教育在内;所谓“终身化”,是指人生过程都伴随着接受教育的机会。

在某种意义上说,网络教育正是为适应教育大众化和教育终身化的要求而产生的。信息技术和网络技术的空前发展,为网络教育的实施提供了切实可行的手段和方式,也可以说,信息和网络技术催生了网络教育。它可不受人力、地域、场地和时空的限制。网络教育方式的出现,在提升教育使命、丰富教育理念、扩大教育规模、革新教育手段、优化教育资源和提高教育质量等方面起着重要的作用。

网络教育采用的是借助现代信息技术的一种全新的教学形式,这就为网络教育的教材编写工作提出了新的要求。它更需要以其视听性、自学性、选择性、层次性、灵活性的特点去满足读者的需要,让每一个学习者都可以寻求到适应自己层次的知识点。我高兴地看到,参加这套网络系列教材编写工作的教师,都具有深厚的专业学识、丰富的教学经验,以及对现代教育技术的理解,这是整套教材的质量水平的可靠保证。

我期望,这套教材的出版,将会有助于推动教育大众化和教育终身化的进程,有利于促进网络教学的发展,有助于满足人们日益追求知识的愿望,有助于创造一个学习型社会的氛围,为中华民族的复兴作一点贡献。

吴启迪

2002 年 8 月 8 日写于同济园

前言

为推进网络教育和远程教育,由我们土力学基础工程学科的部分教师编写了《土力学与地基基础》教材,本教材根据工业与民用建筑专业网络教育和远程教育的教学大纲编写而成。本书在编写过程中,尽量考虑并兼顾道路、桥梁等专业的需要,适当选择最基本和最必需的内容,以利上述专业的选用。本教材也可作为业余大学和成人自学的土力学基础工程课程的教材。根据网络教育和远程教育的特点,本教材叙述力求由浅入深、突出重点,以利于自学。在每一章末均有学习小结及学习指导,并配有思考题及习题,学习期间有三次阶段测试题,以利学生自检。

从内容和体系上讲,本教材分成两部分:第一部分系土力学(第一章至第八章),第二部分系地基基础(第九章至第十六章)。带“*”的内容是为路桥等专业增加的,工民建专业可略;有“**”的内容若课时不够可暂不学。本教材的编写原则是:讲清基本原理、理论和方法,不拘泥于推导过程;地基基础部分是土力学内容的应用部分,这部分内容的编写以基本原理为主,指出现行规范编写的原则,避免写成规范的说明书,使学生能了解和灵活使用不同行业规范的要求,有利于培养学生适应实践和创新的能力。

考虑到本教材出版在世纪之初,与本教材有关的规范均更新为新规范,本教材将考虑到这些变化,以利学生适应新规范的要求。

本教材共分为十六章,编写分工如下:

董建国——绪论、第一章、第五章、第六章、第九章、第十章、第十五章、第十六章。

钟才根——第二章、第十一章、第十三章。

沈锡英——第三章、第四章、第七章、第八章。

姚笑青——第十二章、第十四章。

全书由朱百里教授主审。

本教材在编写过程中得到了教研室的教师及袁聚云、洪毓康等教授的指导和帮助,在编写过程中,还引用了许多学者和专家在教学、科研、设计及施工中的资料,在此一并表示感谢。由于篇幅有限,文献目录未能一一列出。

限于作者的水平和能力,教材中可能有不当之处,恳请读者提出宝贵的意见和建议,以便再版时予以改正。

董建国

2004年4月

目 录

序 前 言

绪 论	(1)
-----	-----

第一篇 土力学

第一章 土的物理性质与工程分类	(6)
1.1 概述	(6)
1.2 土的生成	(6)
1.3 土的成因类型	(6)
1.4 土的三相组成	(7)
1.5 土的颗粒特征	(9)
1.6 土的三相比例指标	(11)
1.7 无粘性土的物理特性	(17)
1.8 粘性土的物理特性	(19)
1.9 土的压实性	(21)
1.10 土的渗透性	(24)
1.11 土的工程分类	(28)
1.12 本章小结及学习指导	(31)
思考题	(32)
习 题	(33)
* 第二章 粘性土的物理化学性质	(35)
2.1 键力的基本概念	(35)
2.2 粘土矿物颗粒的结晶结构	(37)
2.3 粘土颗粒的胶体化学性质	(39)
2.4 粘性土的工程特性	(43)
2.5 本章小结及学习指导	(52)

思考题	(52)
第三章 土中应力计算	(53)
3.1 概述	(53)
3.2 自重应力计算	(54)
3.3 基底压力分布与计算	(58)
3.4 地基土中的应力计算	(61)
** 3.5 非均质和各向异性土体中附加应力问题	(82)
3.6 本章小结及学习指导	(85)
思考题	(86)
习 题	(86)
第四章 地基变形计算	(90)
4.1 概述	(90)
4.2 土的压缩性试验及指标	(90)
4.3 地基沉降计算	(102)
4.4 饱和粘性土地基沉降与时间的关系	(113)
4.5 本章小结及学习指导	(126)
思考题	(127)
习 题	(128)
阶段测试题一	(131)
第五章 土的抗剪强度及强度指标	(134)
5.1 概述	(134)
5.2 土的强度理论与强度指标	(137)
5.3 土的抗剪强度指标测定的试验方法及其应用	(141)
** 5.4 土的天然强度及其在荷载作用下的强度增长	(153)
** 5.5 关于土的抗剪强度影响因素的讨论	(156)
5.6 本章小结及学习指导	(159)
思考题	(161)
习 题	(161)

第六章 土压力计算	(163)
6.1 概述	(163)
6.2 静止土压力	(164)
6.3 朗金土压力理论	(165)
6.4 库仑土压力理论	(178)
* 6.5 车辆荷载作用下的土压力计算	(192)
6.6 关于土压力的讨论	(197)
6.7 本章小结及学习指导	(199)
思考题	(201)
习 题	(202)
第七章 土坡稳定性分析	(205)
7.1 概述	(205)
7.2 砂性土的土坡稳定分析	(206)
7.3 粘性土的土坡稳定分析	(207)
7.4 粘性土土坡稳定分析的条分法	(213)
7.5 土坡稳定分析的几个问题	(219)
7.6 本章小结及学习指导	(223)
思考题	(224)
习 题	(224)
第八章 地基承载力	(226)
8.1 概述	(226)
8.2 临塑荷载和临界荷载	(229)
8.3 极限承载力计算	(233)
8.4 本章小结及学习指导	(248)
思考题	(248)
习 题	(249)
阶段测试题二	(251)

第二篇 地基基础

第九章 工程地质勘察	(253)
9.1 概述	(253)

9.2 工程地质勘察的内容	(255)
9.3 工程地质勘探方法	(258)
9.4 测试工作	(261)
9.5 勘察报告的分析与应用	(263)
9.6 本章小结及学习指导	(266)
思考题	(267)
第十章 天然地基浅基础设计的基本原理	(268)
10.1 概述	(268)
10.2 浅基础的类型	(274)
10.3 基础的埋置深度	(279)
10.4 地基承载力的确定及验算	(286)
10.5 基础底面尺寸的确定	(295)
10.6 地基的变形验算	(298)
10.7 地基的稳定性验算	(302)
10.8 地基基础和上部结构共同作用的概念	(303)
10.9 减轻不均匀沉降危害的措施	(304)
10.10 本章小结及学习指导	(310)
思考题	(311)
习 题	(312)
第十一章 基础结构与计算	(314)
11.1 概述	(314)
11.2 无筋扩展基础(刚性基础)	(315)
11.3 墙下条形基础	(318)
11.4 柱下独立基础	(321)
11.5 地基模型	(326)
11.6 柱下条形基础	(330)
11.7 十字交叉条形基础	(351)
11.8 筏板基础	(354)
11.9 箱形基础	(359)
11.10 本章小结及学习指导	(365)
思考题	(366)
习 题	(366)

目 录

第十二章 桩基础	(369)
12.1 概述.....	(369)
12.2 桩和桩基础的类型.....	(371)
12.3 竖向荷载下的桩基计算.....	(374)
12.4 桩基础设计.....	(390)
12.5 水平荷载下的桩基计算.....	(402)
12.6 本章小结及学习指导.....	(425)
思考题.....	(426)
习 题.....	(426)
 * 第十三章 沉井基础	(429)
13.1 概述.....	(429)
13.2 沉井的构造.....	(430)
13.3 沉井的施工.....	(432)
13.4 沉井的设计与计算.....	(434)
13.5 本章小结及学习指导.....	(449)
思考题.....	(450)
习 题.....	(450)
 ** 第十四章 挡土墙和基坑围护	(451)
14.1 挡土墙.....	(451)
14.2 基坑围护概述.....	(455)
14.3 支护结构的类型及特点.....	(457)
14.4 重力式水泥土围护结构设计.....	(463)
14.5 板式支护结构设计.....	(468)
14.6 井点降水及土方开挖.....	(476)
14.7 基坑监测与环境监护.....	(478)
14.8 本章小结及学习指导.....	(479)
思考题.....	(480)
习 题.....	(481)
 第十五章 地基处理	(482)
15.1 概述.....	(482)
15.2 软弱土的特性和地基处理的方法.....	(482)

15.3 换土垫层法·····	(485)
15.4 夯实法·····	(487)
15.5 挤密砂(碎石)桩·····	(490)
15.6 排水固结法·····	(496)
15.7 化学加固法·····	(504)
15.8 本章小结及学习指导·····	(510)
思考题·····	(510)
第十六章 地震区地基问题·····	(512)
16.1 概述·····	(512)
16.2 场地和地基对震害的影响·····	(516)
16.3 地基基础的抗震设计原则·····	(522)
16.4 本章小结及学习指导·····	(526)
思考题·····	(526)
阶段测试题三·····	(527)
附录 国际单位制换算表·····	(531)
主要参考文献·····	(534)

绪 论

一、土力学与地基基础的发展概况

土力学是用力学概念并结合工程来研究土的一门学科,主要研究土的物理、力学性质,研究土体的变形及其强度问题(包括土的动力特性);地基基础则是用土力学知识在土木工程中的实际应用。

土力学的研究始于18世纪工业革命时期,由于工业发展的需要,建筑的规模扩大了,更由于铁路的修筑出现了一系列的路基问题,因此,最初的土力学理论多与解决路基问题有关。1773年,法国的C. A. 库仑(Coulomb)建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。90余年后,英国的W. J. M. 朗金(Rankine, 1869)又从不同途径提出了挡土墙土压力理论。此外,法国的J. 布辛奈斯克(Boussinesq, 1885)求得了弹性半无限体在竖向集中力作用下的应力和变形理论的解答,瑞典的W. 费兰纽斯(Fellenius, 1922)提出了土坡稳定分析法,这些古典理论,对土力学的发展起了极大的推进作用,至今仍不失其实用价值。

系统地归纳和总结以往成就的是K. 太沙基(Terzaghi, 1925),他写了第一本内容广博的著作——《土力学》,在这本书中,他阐明了土工试验与力学计算之间的关系,其中用于计算沉降的方法一直沿用至今。这本比较系统完整的科学著作的出现,带动了各国学者对本学科各个方面的探索。从此,土力学地基基础就作为独立的学科而取得不断的进展。因此,太沙基被公认为土力学的奠基人。

近几十年来,由于土木工程建设的需要,特别是电子计算机和计算技术的引入,使土力学与地基基础得到了迅速的发展。目前,已经把变形和强度问题统一起来进行分析,并可以考虑土的非线性应力应变性状,基础分析已从过去的单独计算发展到考虑地基基础与上部结构共同作用的整体分析;在土工试验方面,开创了许多新的测试技术和仪器设备,原位测试技术正日益受到重视。例如,静力触探、十字板剪切仪、分层沉降仪、测斜仪、孔隙水压力仪、土压力盒、离心模型试验等测量手段的出现,使人们能够更直观地掌握地基土的各种反应,为设计研究与施工提供了较准确的数据和资料。基础工程和地基处理技术,无论在理论上,还是在施工技术方面,都有了高度的发展,出现了如补偿式基础、桩筏基础、桩箱基础、巨型钢筋混凝土浮运沉井等新颖的基础形式;地基处理方面,强夯法、砂井预压、真空预压、振冲法、旋喷法、深层搅拌法、树根桩及压力注浆法等,都是近几十年来创造和完善的新方法。另外,由

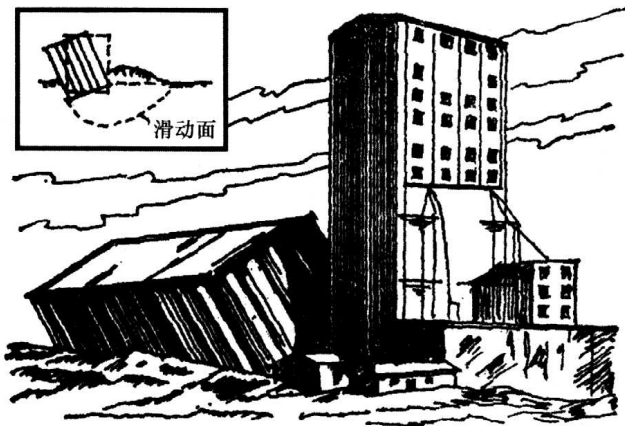
于深基坑开挖支护工程的需要,出现了盾构、顶管、地下连续墙、深层搅拌水泥围护结构和锚杆支护等施工方法和新型支护结构形式。

由于土体(由固体颗粒、水和空气组成的三相体)组成的复杂性,再加上其生成历史的巨大差异,使土力学这门学科变得十分复杂,目前的理论虽比几十年前有了很大的进步,但仍然不是尽善尽美的,要很确切地模拟和概括地基的受力条件和施工过程,还存在一定的困难。因此,土力学仍是一门发展中的学科,还有许多值得研究和探讨的问题。今后,新的理论、新的基础形式、新的测试技术和施工方法,必将日趋完善。

二、土力学与地基基础的重要性

土力学与地基基础这门课,对于土木工程专业(包括工民建、路桥、岩土和地下建筑)来说,是一门重要的技术基础课和重要的专业课。在土木工程中,地基及基础问题是经常会遇到的。所有土木工程都是建在土上或土中的,“万丈高楼平地起”,牢固的建筑物或桥梁,道路或地下隧道,必须有扎实的地基基础,地基和基础是建(构)筑物的根本。它的勘察、设计和施工质量直接关系着建筑物的安危。实践表明,建筑物事故的发生,很多是与地基问题有关的,而且事故一旦发生,其补救也难。

图绪-1 是建于 1941 年的加拿大特朗斯康谷仓的地基破坏情况。该谷仓由 65 个圆柱形筒仓组成,高 31m,其下为片筏基础,由于事前不了解基础下埋有厚达 16m 的软粘土层,建成后初次储存谷物,使基底平均压力(320kPa)超过了地基的极限承载力,结果谷仓西侧突然陷入土中 8.8m,东侧则抬高 1.5m,仓身倾斜 27°。这是地基发生了整体滑动破坏,从而引起建筑物失去稳定性典型例子。由于该谷仓的整体性很强,筒仓完好无损。事后在下面做了 70 多个支承在基岩上的混凝土墩,使用 388



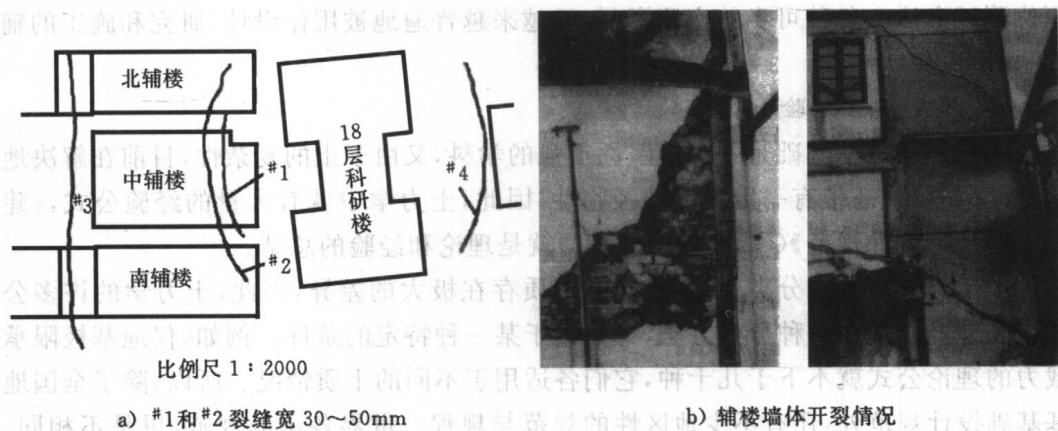
图绪-1 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

绪 论

个 500kN 的千斤顶以及支撑系统,才把仓体逐渐纠正过来,但其标高比原来降低了 4m。

由于软土不均匀沉降引起的建筑物倾斜与开裂现象是极为普遍的。著名的比萨斜塔就是因不均匀沉降而造成的。我国建于五代周显德六年至北宋建隆二年(公元 959—961 年)间的苏州虎丘塔,是一座中国的斜塔。虎丘塔是七级八角形砖塔,塔底直径 13.66m,高 47.5m,全部塔重支承在内外 12 个砖墩上。由于在当时没有水平探查出虎丘塔地基为厚度不等的杂填土和粉质粘土夹块石的地基,地基土的不均匀变形使塔身严重偏斜,自 1957 年初次测定到 1978 年,塔顶的位移由 1.7m 发展到 2.3m,塔的重心偏离基础轴线 0.924m。由于塔身严重向东北向倾斜,各砖墩受力不均,致使底层偏心受压处的砌体多处出现纵向裂缝。如果不及时处理,虎丘塔就有毁灭的危险。后来在离塔外墙约 3m 处,布置 44 个直径为 1.4m 人工挖孔桩,伸入基岩 50cm,灌注钢筋混凝土。人工挖孔桩之间用素混凝土搭接防渗,在人工挖孔桩顶端浇注钢筋混凝土圈梁连成整体成为桩排式地下连续墙后,再向塔身内外地基内注浆。经加固处理后,塔体的不均匀沉降和倾斜得到了控制。

图绪-2 为某 18 层科研楼 5.4m 深基坑开挖对邻近建筑物的影响。由于对深基坑开挖围护措施不力,造成邻近建筑物(辅楼)墙体开裂,严重损坏。



图绪-2 某科研楼 5.4m 深基坑开挖对邻近建筑物的影响

(摘自陈希哲著《地基事故与预防》)

1995 年 12 月,武汉一幢刚建成的 18 层大楼,因沉降倾斜速度超过抢护纠偏速度,控爆前该大楼向西北倾斜,倾斜程度距垂直线达 2.884m,不得不实施定向控爆拆除,究其原因主要是地基基础的问题。

此外,地基基础的费用与建筑物总造价的比例,视其复杂程度和设计、施工的合理与否,可以变动于百分之几到百分之几十之间。因此,地基及基础在土木工程中的

重要性是显而易见的。如果设计者能熟练地应用土力学基本原理,重视地基勘察工作,经过精心设计、精心施工,那么,地基基础事故是可以避免的,并可大大降低成本。

三、本课程的特点与学习方法

土力学与地基基础课涉及工程地质学、土力学、结构设计和施工等几个学科,所以内容广泛,综合性强。由于土是自然历史的产物,以及土的分散性,使得土力学除了运用材料力学的基本原理外,还应密切结合土的实际情况进行研究。特别要注意土中水的变化对土的性质、应力、变形和强度的影响。

应根据本课程的特点,牢固掌握土的性质、应力、变形和强度等基本理论知识,从而能够应用这些基本原理和概念,结合力学概念和结构理论,以及施工知识,分析和解决地基基础问题。以下几方面需要重视:

(1) 重视工程地质勘察及现场原位测试

土力学计算和基础设计中所需的各种参数,必须通过土的现场勘察和室内土工试验测定。要学会阅读和使用工程地质勘察资料;要重视原位测试结果和原位测试方法,如静力触探、动力触探、测斜仪、压力传感器(土压力盒)和孔隙水压力测定仪等原位测试方法。各种可贵的实测资料,已越来越普遍地被用作设计、研究和施工的辅助手段。

(2) 重视地区经验

土力学与地基基础是一门实践性很强的学科,又由于土的复杂性,目前在解决地基基础问题时,还带有一定程度的经验性,因此,土力学中就有大量的经验公式,《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)就是理论和经验的总结。

由于土的成因和分类不同,使土的性质存在极大的差异,因此,土力学的许多公式以及地基基础的各种分析方法,都适用于某一种特定的条件。例如,仅地基极限承载力的理论公式就不下于几十种,它们各适用于不同的土质情况。所以,除了全国地基基础设计规范外,还有不少地区性的规范与规程。世界各国的规范,更是不相同。学习时,必须仔细地阅读各种公式的基本假定及其适用条件,并结合当地的建筑经验来应用,力戒不分地区、机械地套用地质资料和地基基础设计。

(3) 考虑地基、基础和上部结构的共同作用

地基、基础和上部结构是一个统一的整体,它们相互依存,相互影响。设计时应该考虑三者的共同作用。特别在软土地基上的建筑物,考虑共同作用的整体分析表明,结构的应力、基础的内力甚至群桩中各单桩的分担作用,均与单一分析有很大的差别,而且“共同作用”分析结果更接近实测的结果。目前,“共同作用”分析和设计方法已在全国和地方规范中有了反映,它将是理论计算的发展方向,应注意这方面的进

绪 论

展。

(4) 施工质量的重要性

地基基础工程是隐蔽工程,正由于它深埋于地下,往往被人们所忽视。但是,经验告诉我们,如果施工马虎,甚至偷工减料,必会酿成大祸。必须强调,地基基础工程的施工质量必须受到足够的重视,才能使土木工程安全可靠。