

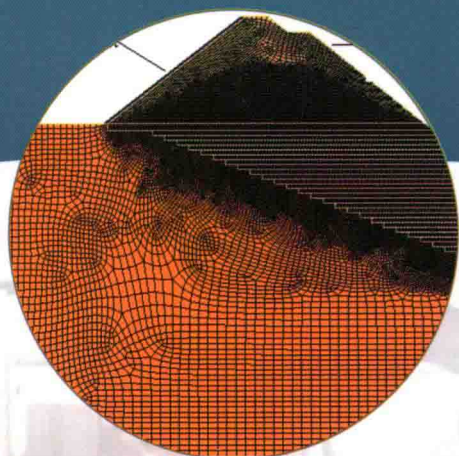


高等院校应用创新教材

SOIL MECHANICS

土力学

丁继辉 张建辉 朱常志 © 主编



科学出版社

高等院校应用创新教材

土 力 学

丁继辉 张建辉 朱常志 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据高等院校土木工程专业土力学教学大纲的要求,结合新颁布的国家和行业标准、规范编写而成。本书充分考虑应用型土木工程人才培养的需要,兼顾注册土木(岩土)工程师资格考试的要求,尽可能反映土力学学科发展的新技术和新成果。

本书系统地介绍了土力学的基本原理和分析计算方法,包括土的物理性质及工程分类、土的渗透性、地基中的应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定性分析、地基承载力、土工试验原理。本书由浅入深、重点突出、理论联系实际,例题、思考题与习题有示范性或典型性,难度适当。

本书既可作为高等院校土木工程专业的教学用书,也可供其他相关专业师生及技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/丁继辉,张建辉,朱常志主编. —北京:科学出版社, 2017

(高等院校应用创新教材)

ISBN 978-7-03-051262-8

I. ①土… II. ①丁… ②张… ③朱… III. ①土力学—高等学校—教材

IV. ①TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 000023 号

责任编辑:周艳萍 刘文军 / 责任校对:陶丽荣

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>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年11月第一次印刷 印张:15 1/2

字数:367 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62151061

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

《土力学》编委会

主 编 丁继辉 张建辉 朱常志

副主编 冯 震 齐永正 徐舜华

王立鹏 张爱娟 余 莉

前 言

土力学具有较强的理论性和实践性，是土木工程专业必不可少的专业技术课。本书充分考虑应用型土木工程人才培养的需要，在基本原理和方法的选用上尽量以实用为主，兼顾注册土木（岩土）工程师职业资格考试的要求，尽可能反映土力学学科发展的新技术和新成果。

本书根据高等院校土木工程专业土力学教学大纲的要求，结合新颁布的国家和行业标准、规范编写而成。书中与实践密切相关的章节都由工程案例引出，给出必要的例题、思考题与习题，并对重点案例进行剖析，有助于学生思考和自学。

本书共9章，其中第1章、第3章和第4章由河北大学建筑工程学院丁继辉和南京农业大学王立鹏共同编写，第2章由河北大学建筑工程学院冯震编写，第5章和第9章由河北农业大学城乡建设学院朱常志编写，第6章由河北大学建筑工程学院张建辉编写，第7章由江苏科技大学齐永正编写，第8章由天津大学仁爱学院建筑工程系徐舜华和张爱娟共同编写，附录由河北大学建筑工程学院余莉编写，全书由丁继辉统稿。

本书编写过程中，引用了许多专家、学者的科研成果，由于篇幅所限，参考文献未能全部列出，在此一并表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中难免有不妥和疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2017年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 土力学的研究对象与研究内容	1
1.2 土力学的发展概况	3
1.3 土力学的课程内容与学习要求	3
思考与习题	5
第 2 章 土的物理性质及工程分类	6
2.1 土的形成、组成、结构和构造	7
2.1.1 土的形成	7
2.1.2 土的三相组成	8
2.1.3 土的结构和构造	13
2.2 土的物理性质指标	14
2.3 土的物理状态指标	21
2.3.1 无黏性土的物理状态指标	21
2.3.2 黏性土的物理状态指标	23
2.4 土的击实性	28
2.4.1 研究土的击实性的实际意义	28
2.4.2 土的击实性及其本质	28
2.4.3 影响土的击实性的因素	30
2.5 土的工程分类	31
2.5.1 碎石土	31
2.5.2 砂土	32
2.5.3 粉土	32
2.5.4 黏性土	32
2.5.5 人工填土	33
2.5.6 特殊土	33
思考与习题	33

第3章 土的渗透性	35
3.1 达西定律及其适用范围	36
3.2 渗透系数及其确定方法	39
3.2.1 室内渗透试验测定方法	39
3.2.2 野外渗透试验测定方法	40
3.2.3 成层土等效渗透系数	42
3.3 渗透变形及其防治	43
3.3.1 渗透力	43
3.3.2 渗透变形	44
3.3.3 渗透变形的防治	47
3.4 二维流网在渗透稳定计算中的应用	48
3.4.1 流网及其性质	48
3.4.2 流网的绘制	49
3.4.3 流网的工程应用	49
思考与习题	52
第4章 地基中的应力计算	54
4.1 土的自重应力	55
4.1.1 均质土层的自重应力	56
4.1.2 成层土的自重应力	57
4.1.3 地下水和不透水层存在时的自重应力	57
4.2 基底压力	58
4.2.1 基底压力的分布	58
4.2.2 基底压力的简化计算	60
4.2.3 基底附加压力	62
4.3 地基附加应力	64
4.3.1 地基附加应力和位移的 Boussinesq 解答	64
4.3.2 地基附加应力的 Flamant 解答	72
4.3.3 地基附加应力的 Cerruti 解答	75
4.4 有效应力原理	78
4.4.1 有效应力原理的基本概念	79
4.4.2 饱和土中孔隙水压力和有效应力计算	79
思考与习题	83
第5章 土的压缩性与地基沉降计算	85
5.1 概述	86
5.2 土的压缩性	87

5.2.1	侧限压缩试验及土压缩性指标	87
5.2.2	现场原位测试压缩性指标	92
5.3	地基最终沉降量的计算	92
5.3.1	分层总和法	92
5.3.2	《建筑地基基础设计规范》推荐的沉降计算方法	95
5.3.3	考虑应力历史条件下地基沉降量的计算	101
5.4	饱和土的渗透固结理论	105
5.4.1	饱和土的一维固结理论	105
5.4.2	固结微分方程的解析解	108
5.4.3	地基固结度	108
5.4.4	理论的实际工程应用	111
	思考与习题	112
第6章	土的抗剪强度	115
6.1	概述	116
6.2	土的抗剪强度理论	117
6.2.1	库仑公式——土的抗剪强度规律	117
6.2.2	莫尔-库仑强度理论	118
6.3	抗剪强度测定试验	125
6.3.1	直接剪切试验	125
6.3.2	三轴剪切试验	127
6.3.3	无侧限抗压强度试验	130
6.3.4	原位十字板剪切试验	131
6.4	土的抗剪强度指标及其工程应用	132
6.4.1	三轴试验指标与直剪试验指标	132
6.4.2	总应力强度指标和有效应力强度指标	133
6.4.3	峰值强度指标与残余强度指标	134
6.4.4	土体强度指标的工程应用	134
	思考与习题	135
第7章	土压力计算	138
7.1	概述	140
7.1.1	挡土结构及类型	140
7.1.2	土压力及类型	141
7.2	静止土压力计算	142
7.3	兰金土压力理论	145
7.3.1	兰金主动土压力计算	145
7.3.2	兰金被动土压力计算	149

7.4 库仑土压力理论	152
7.4.1 基本假定与计算原理	152
7.4.2 库仑主动土压力计算	153
7.4.3 库仑被动土压力计算	161
7.5 几种常见情况下土压力计算	162
7.5.1 墙后填土表面作用均布荷载	162
7.5.2 墙后分层填土	164
7.5.3 填土中有地下水	166
思考与习题	167
第8章 土坡稳定性分析	170
8.1 无黏性土土坡稳定性分析	173
8.1.1 均质的干坡和水下土坡	173
8.1.2 有渗流作用的土坡	173
8.2 黏性土土坡的稳定性分析	175
8.2.1 整体圆弧滑动法	175
8.2.2 泰勒图表法	177
8.2.3 瑞典条分法	178
8.2.4 毕肖普条分法	180
8.2.5 普遍条分法	184
8.3 影响土坡稳定性的因素	187
思考与习题	189
第9章 地基承载力	191
9.1 地基承载力的基本概念	192
9.2 浅基础的临塑荷载和临界荷载	194
9.2.1 临塑荷载的定义及理论计算公式推导	194
9.2.2 地基土的临界荷载计算	196
9.2.3 临塑荷载 p_{cr} 和临界荷载 $p_{1/4}$ 与 $p_{1/3}$ 的讨论	196
9.3 地基极限承载力理论	197
9.3.1 普朗特-赖斯纳极限承载力计算公式	197
9.3.2 太沙基地基极限承载力计算公式	198
9.3.3 汉森极限承载力公式	200
9.4 用原位测试成果确定地基承载力	201
9.4.1 主要原位测试试验	201
9.4.2 浅层平板载荷试验	201
9.5 按规范确定地基承载力	203
9.5.1 根据原位测试结果确定修正后的承载力特征值 f_a	203

9.5.2 按地基强度理论确定地基承载力特征值	204
思考与习题	205
附录 土工试验原理	207
一、物理性质指标试验	209
二、击实试验	220
三、压缩试验	224
四、直接剪切试验	228
五、三轴试验	231
主要参考文献	235

第1章 绪 论

本章导读

本章主要介绍土和土力学的特点,讨论土力学的主要研究内容,以便读者对全书有一个初步的认识。本课程具有较强的理论性和实践性,是土木工程专业必不可少的专业技术课。本课程主要是利用固体力学的基本知识解决土的变形、强度和稳定性等问题,从而为地基与基础的设计提供必要的依据。

本章重点掌握以下几点:

- (1) 土的定义。
- (2) 土和土力学的特点。
- (3) 土力学的主要内容。

土力学在工程领域应用非常广泛,要学好土力学,就需要对土力学的发展历史、研究内容和解决的问题有总体宏观的认识,明确学习目标和要求,采用正确的学习方法,才能取得良好的学习效果。

1.1 土力学的研究对象与研究内容

土是地壳表层母岩经受强烈风化作用(包括物理、化学和生物风化)而形成的、覆盖在地表上碎散的、没有胶结或胶结很弱的颗粒堆积物。土颗粒间的联结强度远比颗粒本身强度低,甚至没有联结。土颗粒间具有孔隙,而孔隙中通常有水和空气。所以土具有碎散性、三相性和自然变异性。在工程上,土的强度、变形和渗透特性与其他材料相比具有较大的区别。

土与工程建设关系密切。土具有两类工程用途:一类是作为建筑物的地基,在土层上修建厂房、住宅等工程,由地基土承受基础传来的建筑物的荷载;另一类是作为建筑材料,用来修建堤坝与路基等。

地基与基础是两个不同的概念(图 1-1)。地基是承受建筑物荷载的地层。地基按地质情况分为土基和岩基,按设计施工情况分为天然地基和人工地基。基础是建筑物最底下的一部分,由砖石、混凝土或钢筋混凝土等建筑材料建造。基础的作用是将上部结构荷载扩散,减小传给地基的应力强度。基础通常被埋在土中,埋入深度 D 称为基础的埋深。按基础埋深的不同,基础可分为浅基础和深基础。

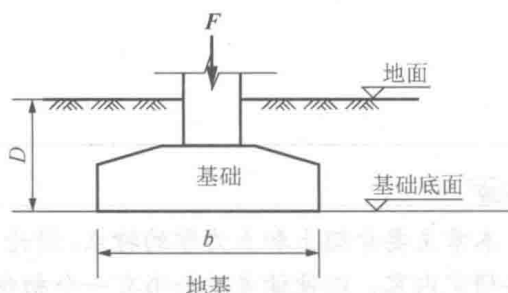


图 1-1 地基与基础

综合考虑地基、基础和上部结构三者之间的关系,研究土和建筑物的相互作用,是土力学地基与基础问题的重要课题之一。

土力学是土木工程专业必不可少的专业技术课。土力学是以土为研究对象,研究土的特性,以及其受力后应力、变形、强度和稳定性的科学。它是力学的一个分支,是为解决建筑物的地基基础、土工建筑物和地下结构物的工程问题服务的。

土体所受力的作用方式多种多样,如土的自重、建筑物荷载、水的浮力、静水压力、动水压力、基础振动和地震等。在这些力的作用下,土体必然按照其固有的客观规律活动,揭示这些规律的本质就是土力学的任务,具体表现为以下三个问题。

1. 地基变形问题

荷载作用于地基,地基产生变形。揭示在一定的环境和力的作用下地基土体内部各点的应力和变形间相互联系、相互制约的规律是土力学的任务,其包括某时刻地基变形量(变形随时间的变化过程)计算和地基的最终变形量计算等。

2. 稳定性问题

稳定性计算的目的是,揭示在外力和周围综合环境作用下,土体单元的极限状态条件和临界稳定条件,以便根据这些条件对土体的强度和稳定性进行评价。

3. 土与建筑物的相互作用问题

土与建筑物相互联系、相互影响,因此要研究建筑物的变形和稳定,必须研究土与建筑物相互作用和协同工作的问题。

根据上述任务,土力学的研究内容可概括为三部分:一是土的基本性质,包括土的物理性质和力学性质;二是土体受力后,土的变形和稳定问题;三是围绕变形和稳定问题采取的改善土的特性来适应两者要求的措施,如地基设计与处理等。上述三部分内容密切配合、相互渗入、相互制约,是土力学赖以发展的保证。

1.2 土力学的发展概况

土力学是一门既古老又年轻的学科。由于生产的发展和生活的需要,人们在长期的工程实践中积累了丰富的土力学与地基基础工程经验。例如,我国的万里长城、大型宫殿、庙宇、大运河、开封铁塔和赵州桥等,国外的大皇宫、大教堂、金字塔和古罗马桥梁工程等,都体现了古代劳动人民丰富的土木工程经验。18世纪的西欧工业革命推动了工业铁路和城市建设等的迅速发展,伴随着与土有关的问题的解决,涌现出一批学者。到20世纪20年代,对土力学的研究取得了较快的发展。直到1925年太沙基(Terzaghi)的《土力学》专著问世,土力学开始成为一门独立的、较为系统和完整的学科。20世纪50年代以来,随着各种计算理论和计算技术的飞速发展,土力学的研究也进入了一个崭新的发展阶段。土力学理论和实践正在为人类未来的发展做出更大的贡献。

1773年,法国的库仑(Coulomb)根据试验提出了著名的砂土抗剪强度公式和挡土墙的土压力理论。

1855年,法国学者布西奈斯克(Boussinesq)给出了半空间无限弹性体表面受集中力作用时土中应力和变形的理论解。

1856年,法国工程师达西(Darcy)研究砂土的渗透性,提出了达西定律。

1857年,英国的兰金(Rankine)提出了新的土压力理论。

1915年,瑞典的费伦纽斯(Fellenius)及美国的泰勒(Taylor)进一步发展了土坡稳定分析的整体圆弧滑动法。

1920年,法国学者普朗特(Prandtl)发表了地基剪切破坏时的滑动面形状和地基承载力公式。

1925年,太沙基在总结归纳前人成果的基础上完成了第一本“土力学”专著,他提出饱和土的有效应力原理,将土的应力、变形、强度和等因素相互联系起来,并有效地解决了一系列土力学问题,这标志着土力学学科的诞生。

1949年以来,中国土力学研究兴起。陈宗基教授对土的流变性和黏土结构进行了研究;黄文熙院士对土的液化进行了探讨并提出考虑土的侧向变形的地基沉降计算公式;钱家欢和殷宗泽教授主编的《土工原理与计算》一书,较全面地总结了土力学的发展,在国内有较大的影响;沈珠江院士在土体本构模型、土体静动力数值分析、非饱和土理论等方面取得了很大的成就。

1.3 土力学的课程内容与学习要求

通过本课程的学习,使学生了解土的成因和分类方法,熟悉土的基本物理力学性质,掌握地基沉降、地基承载力和土压力计算方法及土坡稳定分析方法,掌握一般土工试验

方法,达到能应用土力学的基本原理和方法解决实际工程中稳定、变形和渗流等问题的目的。

根据高等院校土木工程专业指导委员会编制的土力学教学大纲和应用型土木工程专业人才培养要求,本书包括9章和附录。为巩固各章所学知识,每章后都有“思考与习题”。

第1章“绪论”主要介绍土和土力学的特点、土力学的研究对象与研究内容,使读者对全书有一个初步的认识。

第2章“土的物理性质及工程分类”是本课程的基础,要求了解土的三相组成,掌握土的物理性质和物理状态指标的定义、物理概念、计算公式和单位,熟练掌握物理性质指标的三相换算,了解地基土的工程分类依据与定名。

第3章“土的渗透性”主要内容包括土的渗透规律、渗透力、渗透破坏和渗流量的计算等。掌握达西定律及渗透系数的确定方法,熟悉二维流网及其绘制方法,掌握渗透力与地基渗透变形分析等。

第4章“地基中的应力计算”主要内容包括土的自重应力计算及其分布、基础底面压力(简称基底压力)的简化计算、基底附加应力的计算、地基中附加应力的计算及分布规律、饱和土的有效应力原理及有效应力的计算。要求掌握基底压力和基底附加压力的计算方法,掌握各种情况下土的自重应力和附加应力的计算及分布规律,熟悉各种表格的应用,理解有效应力原理。

第5章“土的压缩性与地基沉降计算”主要内容包括压缩曲线和压缩性指标、地基最终沉降量的计算(分层总和法和规范方法)、饱和土的渗透固结理论。要求熟练掌握土的压缩性指标的测试方法,掌握地基最终沉降量计算方法,了解饱和土在固结过程中有效应力和孔隙水压力的分担作用及变形和时间的关系。

第6章“土的抗剪强度”主要内容包括土的抗剪强度、土的极限平衡条件、抗剪强度指标的测定及其取值、影响土的抗剪强度的因素等。要求掌握砂类土和黏性土的抗剪强度规律,掌握土体处于极限平衡条件下大小主应力的关系、剪切破裂面与大小主应力面的方向,掌握直剪仪和三轴仪测定抗剪强度指标的方法。

第7章“土压力计算”主要内容包括静止土压力计算、兰金土压力理论和库仑土压力理论。要求掌握静止土压力、主动土压力和被动土压力的形成条件,掌握兰金土压力理论和库仑土压力理论,了解超载、成层土和有地下水情况的土压力计算。

第8章“土坡稳定性分析”主要内容包括无黏性土土坡和黏性土土坡的稳定性分析,以及影响土坡稳定性的主要因素。要求掌握无黏性土土坡的稳定性分析法,掌握黏性土土坡的圆弧稳定分析法,了解毕肖普条分法等其他常用分布方法,了解水对土坡稳定的作用。

第9章“地基承载力”主要内容包括地基承载力概念,地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载的概念,确定地基承载力的方法。要求掌握地基的临塑荷载、临界荷载和极

限荷载的意义及其应用,了解地基破坏模式,掌握地基极限承载力的计算方法。

附录“土工试验原理”主要包括物理性质指标试验、击实试验、压缩试验、直剪试验和三轴试验。要求掌握一般土工试验方法及试验成果整理。

学习土力学应特别注意土的基本特点,注重理论联系实际,掌握正确学习方法,抓住重点,掌握基本概念、基本原理和分析方法,准确计算,重在实用。学习本课程,必须在学完“高等数学”“材料力学”“工程地质学”等课程后进行。土力学是“基础工程”“土木工程结构”“土木工程施工技术”等后续专业课程的理论基础。

思考与习题

1. 简述土力学的研究对象与研究内容。
2. 借助互联网搜集有关国内外地基基础工程的失败实例,如意大利比萨斜塔、苏州云岩寺塔、上海工业展览馆和墨西哥市艺术宫等,了解这些建筑物地基基础工程破坏的原因。

第2章 土的物理性质及工程分类

本章导读

一般情况下,土由固体颗粒(固相)、水(液相)和气体(气相)三部分组成,土的三相组成及土的结构、构造等因素的不同,表现出土的不同物理状态,如干湿、轻重、疏密和软硬等。而土的物理状态与土的力学性质之间有着密切的联系,如土疏松、湿润,则强度较低且压缩性大;反之,则强度较高且压缩性小。所以,土的物理性质是确定地基承载力及变形计算的主要因素。在工程设计中,必须掌握土的物理性质指标的测定方法与理论计算,熟练地按照土的有关特征及指标对地基土进行工程分类,并初步判断土体的工程性质。

本章重点掌握以下几点:

- (1) 理解并掌握有关概念。
- (2) 掌握测定土的物理性质和物理状态指标的方法,会进行有关指标的换算。
- (3) 能通过颗粒级配分析试验绘出颗粒级配曲线,并判别土的密实程度。
- (4) 会进行填土压实质量的检查。
- (5) 能对土进行分类、定名,并了解各类土的工程性质。

引言:某办公楼工程,在进行设计施工前,需要先了解工程场地地基土的有关物理、力学性质,才能确定具体的地基基础形式。

2.1 土的形成、组成、结构和构造

2.1.1 土的形成

1. 土和土体的概念

(1) 土的概念

土是地壳表层母岩经受强烈风化作用（包括物理、化学和生物风化）而形成的、覆盖在地表上碎散的、没有胶结或胶结很弱的颗粒堆积物。

土由固相、液相和气相三相物质组成。

不同的风化作用，形成不同性质的土。风化作用包括物理风化、化学风化和生物风化三种。

(2) 土体的概念

土体是指与工程建筑的稳定和变形有关的土层的组合体。

土体是由厚薄不等、性质各异的若干土层，以特定的上下次序组合在一起的。

2. 土和土体的形成和演变

地壳表面广泛分布着土体。岩石经过风化、剥蚀等外力作用而瓦解成碎块或矿物颗粒，再经流水、风力或重力作用及冰川作用搬运，在适当的条件下沉积成各种类型的沉积物。

土体沉积后分为如下两种情况。

(1) 靠近地表的土体

1) 经过生物化学及物理化学变化，即成壤作用，形成土壤。

2) 未形成土壤的土，继续受到风化、剥蚀、侵蚀而再破碎、再搬运、再沉积等作用。

(2) 时代较老的土体

在上覆沉积物的自重压力及地下水的作用下，逐渐固结成岩，强度增高，成为母岩。

总之，土体的形成和演化过程，就是土的性质变化过程，由于不同的作用处于不同的作用阶段，因此土体表现出不同的特点。

3. 土的基本特征及土体的主要成因类型

(1) 土的基本特征

1) 土是自然历史的产物。土是由许多矿物自然结合而成的。它在一定的地质历史时期内，经过复杂的地质作用后，形成的各类土的形成时间、地点、环境及方式不同，各种矿物在质量、数量和空间排列上都有一定的差异，其工程地质性质也就有所不同。

2) 土是三相组合体。土是由三相（固相、液相和气相）组成的体系。土的三相之间的质和量的变化是鉴别其工程地质性质的一个重要依据。它们存在着复杂的物理化学作用。