



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

土力学

卢廷浩 主 编

卢廷浩 刘斯宏 陈 亮 袁俊平 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

TULIXUE

卢廷浩 刘斯宏 陈 亮 袁俊平 编



内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。除绪论和附录(特殊土概述)外全书共分九章。内容包括:土的成因与组成,土的物理性质指标、击实特性与工程分类,土的渗透性与渗透变形,土体应力计算,土的压缩与固结,土的抗剪强度,挡土结构物上的土压力计算,边坡稳定分析,地基承载力。教学中各专业可以根据学时安排全部或有侧重的选择讲授。

教材理论联系实际,配置了一定的例题和工程背景介绍,安排了若干图片,图文并茂,内容生动活泼。教材系统地组织构建了知识体系,增强了可读性,力图实现将土力学置于工程大系统中的课程教学理念。每章都安排了若干复习思考题和习题。

本书可作为高等学校土木工程、水利水电工程、道路桥梁工程、港口航道工程、环境工程、地质工程、给水排水工程等专业本科生教材,也可供有关专业专科生使用及研究生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学 / 卢廷浩主编. —北京: 高等教育出版社, 2010. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 027980 - 1

I. 土… II. 卢… III. 土力学 - 高等学校 - 教材 IV. TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 224404 号

策划编辑	赵湘慧	责任编辑	罗 准	封面设计	王 隼
版式设计	王艳红	责任校对	胡晓琪	责任印制	尤 静
出版发行	高等教育出版社			购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号			咨询电话	400 - 810 - 0598
邮政编码	100120			网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 58581000				http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司			网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京宏信印刷厂				http://www.landaco.com.cn
				畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787 × 1092 1/16			版 次	2010 年 1 月第 1 版
印 张	18.75			印 次	2010 年 1 月第 1 次印刷
字 数	450 000			定 价	24.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 27980 - 00



卢廷浩 汉族，1949年3月生，江苏宝应人。河海大学教授、博士生导师。1977年1月毕业于四川大学水工专业；1982年12月毕业于河海大学岩土工程专业，获工学硕士学位；同年留校任教。长期从事土力学、高等土力学、岩土数值分析及基础工程、地基处理等课程的教学工作。培养硕士、博士生50余名。主要科研方向是：土的基本性质及土与结构相互作用，土石坝工程，地基基础工程。先后提出土体浸水湿化计算模型，接触面薄层单元耦合本构模型，面板坝的面板接缝模型，非饱和土三维固结方程等。合作研制了二维及三维应力变形计算程序。试验及理论研究成果应用于天生桥一级电站、水布垭、公伯峡、瀑布沟、金川、（伊朗）塔里干等多座高土石坝以及多个地基基础工程。参加和主持完成基金、重点科技攻关和其他重点工程项目40余项，其中多个项目获得国家级和省部级科技进步奖。获江苏省优秀教学成果一等奖，宝钢优秀教师奖等多个奖项。主编本科和研究生教材4部，研制CAI课件一种，合编参编专著3部，发表论文60余篇。国家精品课程“土力学”负责人，江苏省研究生优秀课程“岩土数值分析”负责人。

前 言

土力学是岩土工程学科的基础,是土木工程、水利水电工程、道路桥梁工程、港口航道工程、环境工程、地质工程、给水排水工程等专业的专业基础课,在各类工程建设中有着广泛的应用。随着工程建设的发展,并为了满足环保方面的要求,土力学及岩土工程知识对于相关专业工程技术人员显得尤为重要。土力学知识来源于工程实践同时又指导工程实践,通过实践推动理论的进步。

这本新编《土力学》是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。近年来土力学的理论与实践发展很快,本教材在传承经典的同时,适当更新了内容,调整了结构,力图有新的风格,实现将土力学置于工程大背景中的课程教学理念。编写过程中,编者以教学实践、工程实践及对学科的认识和课程定位为基础,同时借鉴国内外同类教材的优点,特别是受到了两届“全国土力学教学研讨会”的启发。本书的主要特色是:

(1) 既体现传承又重视创新。全面介绍土力学经典理论、原理、方法的同时,也适当引进新内容,提出“人为土”概念,介绍学科发展的一些新成果、新思路、新方法,以及对学科理论与方法的新理解或讨论。

(2) 注重知识体系的系统性。从土的成因、组成到物理力学性质直至工程应用都力求全面系统地介绍,注意联系工程背景及各章节知识点的相互关联和衔接,使知识体系更加科学系统。

(3) 注重理论联系实际,增强可读性。教材图文并茂、生动活泼,安排了一定量的例题和工程背景介绍,方便读者学习理解土力学基本概念、基本原理和基本方法,增强试验技能,有利于应用和拓展知识,提高分析问题和解决问题的能力。

除绪论和附录外全书共分九章,每章均配有一定量的例题、复习思考题和习题。

本书由卢廷浩、刘斯宏、陈亮、袁俊平共同完成,编写提纲经编写小组集体讨论制定。编写人员的分工是:卢廷浩(绪论,第4、9章,第6章部分,部分附录),刘斯宏(第6章),陈亮(第1、2、3章,部分附录),袁俊平(第5、7、8章),由卢漫负责统一制图绘画。编写者互相审校书稿,卢廷浩负责统稿,经多次修改后定稿。

本书的编写和出版得到了校内各级领导、同行专家和出版社同志的关爱和无私帮助,特别感谢清华大学李广信教授不吝赐教的审阅意见。希望使用本书的教师、同学,参阅本书的专家、学者和工程技术人员提出意见和建议,以便再版时加以修改、充实和提高。

编 者

2009年6月于南京清凉山麓

目 录

绪 论	1	§ 2.4 土的击实特性	44
第 1 章 土的成因与组成	7	2.4.1 土体的击实性研究方法	44
§ 1.1 土的基本概念	7	2.4.2 影响土体击实性的因素	44
§ 1.2 土的成因	8	§ 2.5 土的工程分类	47
1.2.1 地质作用	8	2.5.1 土的工程分类目的	47
1.2.2 风化作用	8	2.5.2 国外土的工程分类简况	47
1.2.3 土的成因类型	9	2.5.3 《土的分类标准》	49
§ 1.3 土的固相	11	2.5.4 《建筑地基基础设计规范》中的 地基土分类	54
1.3.1 土的矿物成分	11	复习思考题	55
1.3.2 粘土矿物	12	习题	56
1.3.3 土的矿物成分鉴定	15	第 3 章 土的渗透性与渗透变形	57
1.3.4 土颗粒大小与级配	16	§ 3.1 概述	57
§ 1.4 土中的液相与气相	21	§ 3.2 土体的渗透特性与达西定律	58
1.4.1 土中水	22	3.2.1 土体的渗透特性	58
1.4.2 土中气体	24	3.2.2 达西定律	58
§ 1.5 土粒相互作用与土的结构类型	25	3.2.3 影响土的渗透性的因素	60
1.5.1 粘土颗粒的表面特性与 带电性	25	3.2.4 层状土层的渗透性	61
1.5.2 土粒间的相互作用	26	3.2.5 土体渗透系数的测定方法	62
1.5.3 土的结构类型	28	§ 3.3 土体渗流场基本方程和流网 特征	67
复习思考题	30	3.3.1 水流连续性方程	67
习题	30	3.3.2 不变形土体中水流连续性方程	68
第 2 章 土的物理性质指标、击实 特性与工程分类	31	3.3.3 渗流场基本方程	69
§ 2.1 土的物理性质指标	31	3.3.4 渗流场的描述——流网	69
2.1.1 直接测定指标	31	§ 3.4 渗透力与渗透变形	71
2.1.2 其他物理性质指标	33	3.4.1 渗透力	71
2.1.3 物理性质指标间的换算关系	34	3.4.2 渗透变形的基本形式	72
§ 2.2 粘性土的粘性、塑性与稠度 状态	38	3.4.3 流土与管涌的判别	73
2.2.1 土的粘性	38	3.4.4 流土与管涌的临界水力梯度	74
2.2.2 土的塑性	39	§ 3.5 有效应力原理	76
2.2.3 粘性土的稠度状态	39	3.5.1 饱和土体中的孔隙水压力和 有效应力	76
§ 2.3 无粘性土的相对密实度	42	3.5.2 静水条件下水平面上的孔隙水 压力和有效应力	77

3.5.3 稳定渗流作用下水平面上的孔 隙水压力和有效应力	78	方法	114
3.5.4 根据流网确定孔隙水压力和 有效应力	79	§ 4.7 地基应力问题讨论	118
复习思考题	82	复习思考题	119
习题	82	习题	119
第 4 章 土体应力计算	84	第 5 章 土的压缩与固结	121
§ 4.1 土体应力概念	84	§ 5.1 概述	121
§ 4.2 地基自重应力	85	§ 5.2 土体变形与沉降的基本类型	121
4.2.1 地基天然状态	85	5.2.1 体积变形与形状变形	122
4.2.2 自重应力计算	86	5.2.2 沉降与固结及其工程意义	122
4.2.3 自重应力的讨论	87	§ 5.3 土的压缩特性与压缩性指标	124
§ 4.3 基底压力	89	5.3.1 压缩试验与压缩曲线	124
4.3.1 基底压力的分布	89	5.3.2 回弹与再压缩曲线	126
4.3.2 刚性基础下基底压力分布	90	5.3.3 其他压缩性指标与相互关系	128
§ 4.4 空间问题地基中附加应力计算	93	§ 5.4 土的应力历史对土的压缩性 的影响	130
4.4.1 竖向集中力作用下地基附加应 力——鲍辛内斯克基本解答	94	5.4.1 土的应力历史	130
4.4.2 矩形面积在竖直均布压力作用 下地基中竖向附加应力	96	5.4.2 室内压缩曲线的特征	132
4.4.3 矩形面积在竖直三角形分布压 力作用下地基中竖向附加应力	100	5.4.3 前期固结应力的确定	132
4.4.4 矩形面积在水平均布压力作用 下地基中竖向附加应力	104	5.4.4 现场压缩曲线的推求	133
4.4.5 圆形面积在竖直均布压力作用 下地基中竖向附加应力	105	§ 5.5 单向压缩量公式	134
§ 4.5 平面问题地基中附加应力计算	106	5.5.1 基本假定	134
4.5.1 竖直线荷载作用下地基中 附加应力	106	5.5.2 公式推导	134
4.5.2 条形面积在竖直均布压力作用 下地基中附加应力	106	5.5.3 单向压缩量公式应用	135
4.5.3 条形面积在竖直三角形压力作 用下地基中附加应力	109	§ 5.6 地基最终沉降计算	137
4.5.4 条形面积在水平均布切力作用 下地基中附加应力	110	5.6.1 分层总和法的基本思路	137
§ 4.6 梯形断面堤坝的自重应力和地基 附加应力	112	5.6.2 地基最终沉降计算 $e-p$ 曲线法	138
4.6.1 堤坝自重应力	112	5.6.3 地基最终沉降计算 $e-\lg p$ 曲线法	143
4.6.2 地基附加应力计算的奥斯特伯 格方法	113	§ 5.7 土的单向固结理论	145
4.6.3 地基附加应力计算的河海大学 方法	114	5.7.1 饱和土的单向固结模型	145
		5.7.2 太沙基单向固结理论	146
		5.7.3 固结度及其应用	149
		§ 5.8 土的次固结变形	153
		复习思考题	154
		习题	154
		第 6 章 土的抗剪强度	157
		§ 6.1 概述	157
		§ 6.2 土的抗剪强度与莫尔-库仑强度 理论	158
		6.2.1 土的抗剪强度与库仑公式	158

6.2.2 莫尔应力圆	159
6.2.3 莫尔-库仑破坏准则与极限平衡条件	160
§ 6.3 剪切试验	164
6.3.1 剪切试验的种类与排水条件	164
6.3.2 直接剪切试验	166
6.3.3 三轴压缩试验	167
6.3.4 三轴压缩试验中的孔隙压力系数	171
6.3.5 单轴压缩试验	173
§ 6.4 砂性土的剪切性状	175
6.4.1 砂土的内摩擦角	175
6.4.2 砂土的应力应变特性	176
6.4.3 砂土液化	177
§ 6.5 粘土的剪切性状	178
6.5.1 正常固结粘土的抗剪强度	178
6.5.2 超固结土的抗剪强度	180
6.5.3 正常固结与超固结粘土的应力应变特性	181
6.5.4 强度问题的归纳与讨论	182
6.5.5 粘土的剪切蠕变	184
复习思考题	185
习题	186

第7章 挡土结构物上的土压力计算

§ 7.1 概述	188
7.1.1 挡土结构物及类型	188
7.1.2 土压力及类型	189
§ 7.2 静止土压力计算	190
§ 7.3 朗肯土压力理论	192
7.3.1 基本假定与计算原理	192
7.3.2 朗肯主动土压力计算	193
7.3.3 朗肯被动土压力计算	199
§ 7.4 库仑土压力理论	202
7.4.1 基本假定与计算原理	202
7.4.2 库仑主动土压力计算	202
7.4.3 库仑被动土压力计算	209
§ 7.5 土压力问题讨论	211
7.5.1 墙体位移对土压力分布的影响	211
7.5.2 朗肯理论与库仑理论的区别与	

实用性	211
§ 7.6 工程中挡土结构的土压力计算	213
7.6.1 地震时的土压力	213
7.6.2 板桩墙上土压力计算	217
7.6.3 加筋土挡墙上土压力计算	221
复习思考题	223
习题	224
第8章 边坡稳定分析	226
§ 8.1 概述	226
8.1.1 边坡的基本概念	226
8.1.2 滑坡的原因与危害	226
8.1.3 边坡稳定分析的一般思路和方法	227
§ 8.2 无粘性土边坡稳定分析	228
8.2.1 无渗流时无粘性土边坡稳定分析	228
8.2.2 有渗流时无粘性土边坡稳定分析	229
§ 8.3 粘性土边坡稳定分析基本方法	230
8.3.1 整体圆弧滑动稳定分析法	230
8.3.2 条分法及其受力分析	232
8.3.3 常用条分法的简化假设	234
§ 8.4 瑞典条分法	234
8.4.1 基本假设与基本公式	234
8.4.2 成层土边坡与坡顶超载时安全系数	235
8.4.3 重度代替法计算渗流条件下的安全系数	236
8.4.4 拟静力法计算地震作用下的安全系数	238
§ 8.5 毕肖普条分法	240
8.5.1 有效应力分析	240
8.5.2 总应力分析	242
§ 8.6 非圆柱滑动面边坡稳定分析	243
8.6.1 杨布普遍条分法	244
8.6.2 不平衡推力传递法	246
§ 8.7 讨论	248
8.7.1 填方与挖方边坡的稳定性讨论	248
8.7.2 计算方法与强度指标的选用问题	248
8.7.3 容许安全系数的取值问题	251

8.7.4 坡顶开裂时的边坡稳定性	252	9.5.1 地下水位与土的重度的影响	272
复习思考题	252	9.5.2 基础的宽度	274
习题	253	9.5.3 基础的埋置深度	274
第9章 地基承载力	254	§9.6 应用承载力进行浅基础设计	
§9.1 地基承载力概念	254	原理	274
9.1.1 地基稳定与承载力概念	254	复习思考题	275
9.1.2 地基破坏模式	255	习题	276
§9.2 设定塑性区开展深度计算地基承载力	257	附录 特殊土概述	277
§9.3 假定滑动面方法计算地基极限承载力	261	一、软土	277
9.3.1 普朗特极限承载力公式	261	二、湿陷性黄土	278
9.3.2 太沙基极限承载力公式	263	三、膨胀土	281
9.3.3 汉森经验修正公式	267	四、红粘土	282
9.3.4 饱和软土地基斯开普顿极限承载力公式	269	五、冻土	283
§9.4 规范方法确定地基承载力	270	六、盐渍土	284
§9.5 地基承载力影响因素	272	七、人工填土	284
		八、沙漠土	286
		参考文献	288

绪 论

1. 土力学的研究内容

土是地球上最丰富的资源。土的成因多,用途多。什么是土,土有哪些工程性质,如何研究并应用它们为工程建设服务,这就是土力学(soil mechanics)要回答的问题。

土可定义为:土是以岩石颗粒为主体骨架的没有胶结或弱胶结的松散堆积物。土有不同成因和类型,从更广义的角度来看,土应包括“天然土”和“人为土”两大类,并统称为土。天然土是地球表层的整体岩石,在自然界中经受长期的风化作用后形成形状不同、大小不一的颗粒,这些颗粒在不同的自然环境条件下堆积或经搬运沉积,形成了通常所说的土。随着社会发展,人类的生产生活空间的延伸和扩大,土的形成过程中往往加入了人为因素,有些“土”甚至是“人造的”,为与天然土相区别可暂且称它们为“人为土”。例如:采矿与冶炼产生的尾矿(矿渣)、热电厂的粉煤灰等工业生产废弃物、建筑垃圾、生活垃圾等。自然土强调是岩石自然风化而产生,是天然条件下的产物;人为土强调人类生产生活的“制造”因素,当然也可以将不同人为土看成是某种特定成因的产物;它们的不同点主要在于分别强调自然产生和人为产生。“天然土”和“人为土”的基本定义相同,即以岩石颗粒为主体骨架的没有胶结或弱胶结的松散堆积物,都可运用土力学的理论原理来研究它们的工程性质。

不同地质年代、不同成因、不同地区乃至不同位置土的性质存在差异,有些甚至差异很大。土还会因环境的变化而发生性质的变化,致使土体的应力变形和稳定因素发生变化。例如,地下水位较大幅度下降,会使土中的应力状态发生变化使地基产生新的附加变形,发生大面积地面沉降甚至不均匀沉降,从而影响建筑物的正常使用甚至破坏;再如,基坑开挖,会对土体及临近建筑物的应力变形和稳定产生影响;土中水的渗流会对基坑、边坡稳定产生影响,等等。

在漫长的历史进程中,人类的生产生活所经历的工程建设史是不停地与岩土体打交道的过程,建造了无以计数的各种工程。涉及土力学学科的行业很多,水利水电、道路桥梁、矿山、能源、港口与航道、城乡建设与市政工程、国防建设等。人们可能会在各种地点建造工程,针对不同工程 and 不同地质条件又会选择不同的基础或结构形式。会建造大坝,建设公路铁路,建造厂房、码头、住宅,还会开挖深基坑,开挖隧道,建设地铁和地下工程,治理河岸与边坡,完成尾矿堆积库、垃圾填埋,等等,可能遇到各种地基类型和土性、复杂地质条件或地质环境。

从土力学的广泛应用范围看,工程上的土体(广义的是岩土体)扮演的角色可分为三类:

- (1) 作为房屋、厂房、码头、路桥等各种类型建筑物的地基,即地基承载角色;
- (2) 作为土石坝、尾矿坝、路堤等填筑材料或其他应用的工程材料,即材料角色;
- (3) 作为各类工程设施的环境和人们生产生活的环境,例如市政工程、房屋地下室、地铁等许多地下洞室、基坑等以土体为其环境,工业与生活固体废弃物填埋(堆积)场、尾矿库是人们生

产生活的环境,公路、铁路、厂房、住宅区等旁侧的山坡,乃至堰塞湖等,即工程环境角色。

各类工程的建设和地质灾害(滑坡、泥石流、堰塞湖等)的防治几乎都涉及土力学课题。正确运用土力学知识和基本原理是保障合理规划、正确设计、施工期安全、竣工后安全和正常使用的重要因素之一。尽管不同的工程和不同的土体各有特点甚至各有“个性”,呈多样性和复杂性。但是总结人类长期的工程实践,就会发现土体的性质和对工程的影响可以归纳出共性课题,即土力学中有关力学性质的三个基本课题:土体稳定、土体变形、土体渗流。围绕解决这三个基本课题,对应有三个基本理论:土体抗剪强度理论,土体压缩与固结理论,土体渗流理论。任何工程都要考虑三类基本课题,只不过针对不同土体和工程,它们的侧重点或主要矛盾方面可能不同而已,但它们通常是有关联、相互影响的。

(1) 土体稳定问题。土体具有强度特征,因而存在稳定问题,例如土压力计算与挡土墙稳定、地基的稳定、地下洞室稳定、土坝和其他边坡的稳定等。当土体的抗剪强度不足时,将导致土体单元破坏,严重的将导致土体整体破坏和建筑物的失稳,例如尾矿坝失稳将导致人工泥石流等。土体抗剪强度理论是研究稳定类课题的理论基础。

(2) 土体变形问题。即使土体具有足够的强度并能保证自身稳定,因为土体存在变形而且有些土例如粘性土的变形还与时间有关,要求建筑物的沉降(竖向变形)和不均匀沉降在任何时候都不应超过建筑物的允许值。否则,轻者导致建筑物的倾斜、开裂,降低或失去使用价值,重者将会酿成毁坏事故。土体压缩与固结理论是研究该课题的理论基础。

(3) 土体渗流问题。由于土存在连通的孔隙使得土体具有渗透性,对于某些土工建筑物(如土坝、土堤、岸坡)、湿法尾矿库、水力冲填坝和冲填场地、水工建筑物地基、或其他挡水工程或结构,除了在荷载作用下土体要满足稳定和变形要求外,还要研究渗流对土体应力变形和稳定的影响,以及渗流量问题,研究该课题的理论基础是达西定律与渗流理论。

工程设计中,有时虽然表现为某个方面为主要矛盾,但实际上三个基本课题和基本理论是相互关联的,应当将它们视作整体系统。三个基本理论可以通过应用著名的有效应力原理(effective stress principle)将它们进行有机地联系,有效应力原理是研究土力学和分析工程问题的钥匙。

围绕三个基本课题和基本理论,土力学教材内容实际还包括:土的生成、组成和物理性质等,土体的应力计算,地基沉降及沉降与时间关系,土体稳定和极限平衡原理的初步应用等。

2. 土力学学科的发展简史

1925年太沙基(K. Terzaghi)发表第一本《土力学》,至今才80余年,土力学有了自身的理论体系,到目前为止,土的许多性质还不能被很好地描述。因此可以说土力学是一门古老而又年轻的学科。土力学学科的发展可大致划分为四个阶段。

人类在生成与发展的漫长历史进程中,总离不开与土打交道,早在几千年以前人类对土的一些性质就有了粗浅的了解,有所认识并利用,逐步地积累了一些经验。古代劳动人民创造了灿烂的文化,留下了令今人叹为观止的工程遗产,蜿蜒万里的长城、人工运河、水利工程、桥梁、码头、马路、恢宏的宫殿寺院、灵巧的水榭楼台、巍峨高塔、金字塔、陵寝等。这些工程无不体现能工巧匠的高超技艺和创新智慧。然而这些成就还仅局限于工程实践经验,受到当时生产力水平的限

制,只是代代相传的经验积累,未能形成系统的土力学和工程建设理论。这是漫长历史的经验积累阶段。

18世纪中叶至20世纪20年代是土力学理论和方法逐渐形成的阶段。在18世纪兴起工业革命的欧洲,为满足资本主义工业化的发展和市场向外扩张的需要,工业厂房、城市建筑、铁路、码头等大规模的兴建,提出了许多与土力学相关的问题,例如铁路路基的稳定问题。近200年的历程中,许多学者是土力学理论创立的奠基人。1773年,法国工程师库仑(A. Coulomb)创立了著名的砂土抗剪强度公式,后来又提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论(库仑土压力理论)。1869年,英国朗肯(W. J. M. Rankine)又依据强度理论从另一角度推导了土压力计算公式(朗肯土压力理论)。1856年,法国学者达西(H. Darcy)进行了砂土渗流试验,创立了著名的达西定律(渗流理论)。1885年,法国学者鲍辛内斯克(J. Boussinesq)求得了弹性半无限空间在竖向集中力作用下的应力与变形的理论解,奠定了半无限弹性地基的应力计算方法的基础。1916年,瑞典工程师彼得森(K. Petterson)提出并由费伦纽斯(W. Fellenius, 1922年)发展了土坡稳定分析方法(土坡稳定分析的瑞典条分法)。1920年,法国普朗特(L. Prandtl)发表了平面问题地基极限承载力理论公式。这一阶段是土力学基本理论的奠基阶段。

土力学理论和方法的创立影响着后人。许多学者前赴后继的努力,为本学科的系统发展作出了贡献。1925年,太沙基(K. Terzaghi)归纳了以往的研究成果,提出了一维固结理论,阐述了有效应力原理,发表了第一本《土力学》专著,从此土力学有了自身的理论体系,形成一门独立的学科。因为有效应力原理,形成了近代土力学的理论框架,标志着近代土力学学科理论和方法的开始,太沙基因此而名垂史册。一维固结理论后来又被推广到三维(一般称为拟三维固结理论),1941年,比奥(A. Biot)提出了三维固结方程(一般称为真三维固结理论)。1955年,毕肖普(A. W. Bishop)考虑条间力并用有效强度理论提出了土坡稳定分析的条分法。其后,简布(N. Janbu)、摩根斯坦(N. R. Morgenstern)等人又相继提出了考虑不同因素和条件下的土坡稳定分析方法。在土的基本性质研究,强度与稳定分析理论,变形与固结理论,有效应力原理发展,渗流理论的发展与应用等方面,许多学者都作出了重要贡献。

1963年,罗斯科(K. H. Roscoe)等人创建发表了著名的剑桥弹塑性模型,标志着人们对土性质的认识和研究开始进入一个崭新的阶段——现代土力学理论发展阶段。现代土力学理论与近代土力学理论的重要区别在于:近代土力学理论将强度稳定课题、变形固结课题、渗流课题分别研究而自成体系,各课题研究缺乏交叉耦合研究,而且受当时力学学科和科技总体水平的影响,土力学多局限于弹性或刚塑性理论范畴。现代土力学理论更侧重于将应力—变形—强度—渗流研究建立统一体系,力求描述土的非线性、弹塑性、乃至粘弹塑性等复杂性质,建立统一计算模型。针对不同类型土和特殊工程要求,既关注土的共性也关注土的个性,还关注特殊土和特殊环境土的研究。事实上,土体的应力—变形—强度—渗流处于一个共同系统,是相互影响的耦合关系。尽管现代土力学理论发展迅速但还远未达到完善,其发展前景是广阔的,已经取得的一些研究成果得到了实际应用,解决了许多工程问题并产生了效益。现代发展阶段的土力学称为高等土力学(advanced soil mechanics),相对而言本科阶段学习的土力学则属于初等土力学。

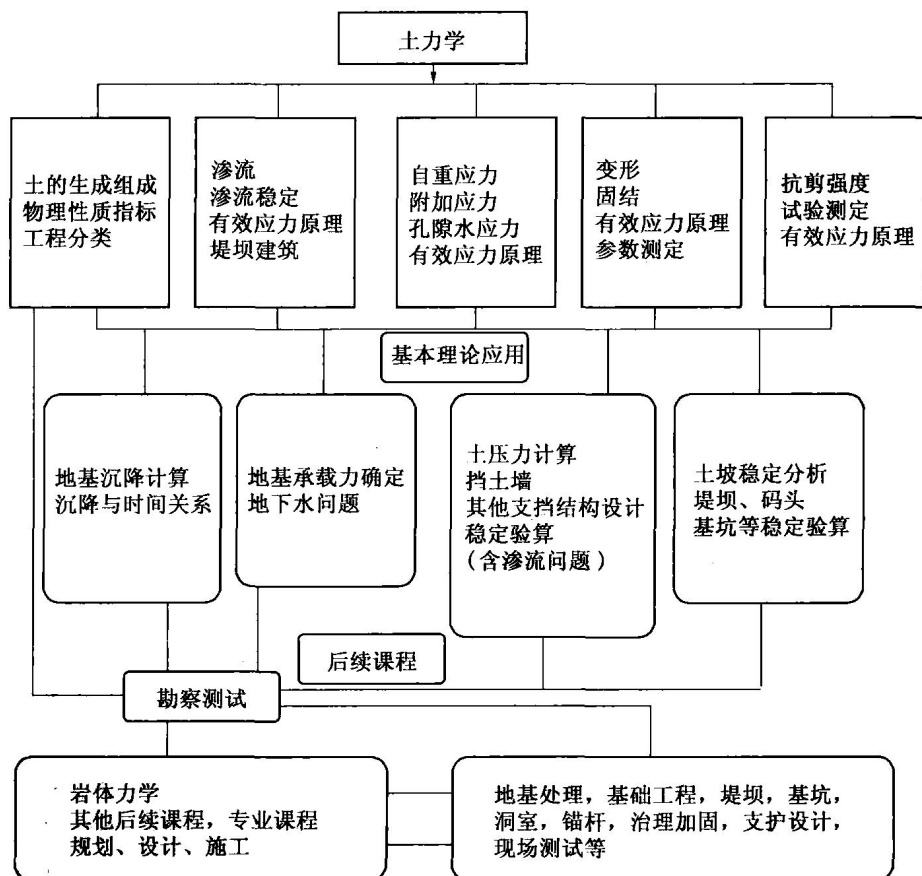
回顾新中国成立后的60年,围绕着解决工程建设中提出的问题,土力学学科在我国得到了广泛的传播和发展。尤其是改革开放以后,国家大规模的建设促进了学科理论发展与应用。我国专家、学者、工程技术人员在发展现代土力学理论和工程实践方面均取得了令世人瞩目的划时

代进步,解决了许多重大工程问题,为国民经济发展作出了贡献。许多大型水利水电工程,核电站工程,绵延万里的高速公路、铁路,大型桥梁,万吨级码头,大型厂房,林立的高楼大厦,交通隧道、地铁和各种地下空间的开发利用,地质灾害防治等都呈现了本学科理论发展和实践的巨大成就。

土力学学科的发展随人类社会的进步和其他学科的发展而发展。工程建设需要学科理论,学科理论的发展更离不开工程建设。人类正面临着资源和环境这一严酷生存问题的挑战,有各种各样的工程问题需要解决,而且会越来越复杂。青年学生肩负历史重任,很难想象,缺乏土力学知识体系的工程师能够圆满完成各种各样的工程建设。

3. 土力学课程结构与与后续课程的关系

土力学的先修课程是高等数学、理论力学、材料力学、静水力学。土力学课程每部分内容既相对独立又相互关联,学习时必须理清头绪,形成体系。土力学是许多后续课程、有关专业课和进一步学习研究的基础,并广泛应用于解决工程问题,例如工程勘察、地基基础设计、基坑设计、支护设计、地基处理、现场测试与分析及地质灾害防治等。虽然不同专业的后续课程内容不尽相同,但都或多或少要运用到土力学基本理论和知识体系解决实际问题,因此也有必要了解土力学与其后续课程的关系。下面框图列出土力学的基本内容和体系结构,以及后续课程或工程应用



范围,供学习时参考。

4. 课程的学习方法和要求

土力学成为一门完整的学科才 80 余年。土是一种多孔松散介质,是由固态、液态、气态物质组成的三相体系。土不同于其他各种连续体材料,天然土体物理力学性质十分复杂,受土的成因、物质成分、环境变动等因素影响很大。因此研究土力学课题时不能完全沿用其他力学课程的研究方法。为了实用的目的,本科阶段学习的土力学教材中常常采用一些简单的、理想化的假定来描述土的性质,如计算土中应力时,常假定地基土是各向同性的、均匀的弹性体;当研究土的渗透性和变形时,假设土是连续的多孔介质;研究土的强度时,又假定土体为理想的刚塑性体。学习中希望能够体会针对不同理论或方法的简化假定条件,要注意灵活应用,不可生搬硬套,依据基本理论解决工程问题时也常常要做出某些比较符合实际的简化假定,但不要背离该理论原先的假定前提。

土力学已形成一定的理论体系,尽管现代土力学理论发展迅速,由“初等”向“高等”发展,但到目前为止,土的许多性质还未被很好的认识,还难以全面客观模拟和概括天然土体的各种力学行为的全貌。

土力学初学者往往有新名词多、头绪多,有分块“割裂”连贯性差的感觉。其实不然,课程各章有相对独立性,但全课程内容的关联性和综合性很强,有其完整体系。学习中要突出重点,兼顾全面。要做到融会贯通,学会由此及彼由表及里,建议采取概念—理论—方法—应用—拓展的学习路径。结合理论学习要进行各种物理力学试验,通过试验培养技能并深化理论学习,掌握计算参数的确定方法与原理,着重基本概念的理解和各知识点的贯通。另外,通过一定量的例题和练习,了解相关的工程地质知识、建筑结构和施工知识及其与后续课程的关系。

学习和运用土力学基本理论和基本原理时,必须有“体系观”而且还应有“动态观”。所谓“体系观”就是不只是能够看见树木,更要看到森林,应该既能够从“微观”试样单元入手讨论土体的变形、强度和渗透性,又能够揉合知识从“宏观”入手解决工程系统中的土力学问题。所谓“动态观”就是土的性质在一定条件下是会变化的,例如因为固结,土的强度、变形会随着时间的、荷载变化而变化;有时环境变化,例如降水、地下水位升降等,土的性质也会变化。因此要求能够将知识融会贯通,培养抓住问题实质灵活、全面、系统地应用基本理论解决实际问题的能力。土力学在工程中的应用极为普遍,通常会涉及大量的计算,应用时必须先弄清概念理清头绪,探究计算参数的来源、合理取值与计算的关系,明确各计算方法和公式的应用前提与适用范围,才能谈得上计算,计算结果也才有价值,否则非但徒劳无功还可能产生误导和工程隐患。

一方面,土力学的发展来源于实践,要通过实践,尤其是通过室内试验,现场勘察测试等研究手段来揭示土的力学行为,丰富和完善土力学理论;另一方面,要应用土力学理论指导实践,又由实践反过来推动理论的发展。只有在学好本课程之后,才有可能进一步学好后续课程,例如基础工程、地基处理和相关专业课程。能够熟练运用土力学理论与知识体系,包括应用材料力学、钢筋混凝土结构、工程勘察、施工技术 etc 知识体系,依照安全、经济、环保的原则,力求施工方便,给出合理的工程方案和正确的设计,并能够有所创新。教师应结合学生的专业背景将“启迪认知、教会学习、指导实践、提高素质”贯穿课程教学的全过程。

除绪论和附录外本教材共分九章,具体内容和学习要求是:

(1) 绪论,通过查阅分析常见建筑物特别是有“问题”建筑物的案例,例如:房屋裂缝、倾斜、滑坡、挡土墙、堤坝溃决等工程实例,了解土力学研究的内容、目的和意义;了解与相关专业后续课程的关联;了解土力学的发展简史和学习要求。

(2) 第一章,了解内力地质作用,外力地质作用与岩石风化,不良地质现象与地质灾害。掌握天然土的地质成因及其分类,人为土类型,土的组成与结构,了解水对土影响的原理。

(3) 第二章,能够应用三相图,熟练掌握土的物理性质指标与指标换算,掌握土的稠度概念、土的密实度和击实原理。掌握土的工程分类原则与方法。

(4) 第三章,了解渗流课题研究的的目的和意义,掌握达西定律及渗透系数的几种测得方法。掌握渗流问题中有效应力原理,分析土体渗流时的孔隙水应力与有效应力,掌握土的渗流稳定和渗流控制原理。

(5) 第四章,懂得应力计算的目的、用途,了解半无限空间地基的概念和基本假定。熟练掌握土的自重应力计算方法和地下水对自重应力分布的影响。掌握地基中附加应力计算的基本解答,熟练掌握空间问题和平面问题的地基附加应力计算,了解地基中附加应力的分布特征。

(6) 第五章,掌握土的变形特性、固结特性。通过压缩试验、固结试验,理解土的应力历史。熟练掌握太沙基一维固结理论、有效应力原理及其应用。掌握地基变形以及变形与时间的关系,熟练进行地基沉降计算、固结计算。

(7) 第六章,通过滑坡、地基失稳等工程实例分析,了解土的抗剪强度研究的的目的和意义,深刻理解极限平衡概念,掌握土的抗剪强度公式与应用。掌握直剪、三轴等获得强度指标的试验方法。理解不同排水条件下砂土和粘性土的剪切性状和强度特征,结合有效应力原理体会参数的合理取值与正确应用。

(8) 第七、八、九章,掌握土抗剪强度理论的应用,分别掌握挡土墙土压力计算、土坡稳定分析、地基承载力确定的各种方法,结合有效应力原理弄清强度参数如何取用,初步了解土与结构的相互作用原理。通过这三章的学习,熟悉土压力计算、土坡稳定分析、地基稳定分析和承载力确定的各种方法,学会正确运用简化假设解决实际问题,能够引申运用土力学理论原理,将知识体系化。

(9) 附录是为感兴趣和学有余力的同学及某些工程一线人员准备的,目的是希望读者通过自学拓展土力学知识体系,能够对几种常见特殊土有基本认识,实现初步运用。

(10) 教材中出现的许多计算公式是设计计算中最常用的。计算时尽管已有一些图表可供查阅,也有不少现成计算程序(软件),但仍然建议同学们能够根据公式自己编程备用,自己运用一遍,学习效果会更好。

第 1 章

土的成因与组成

§ 1.1 土的基本概念

土(soil)是以岩石(rock)颗粒为主体骨架没有胶结或弱胶结的松散堆积物。岩石颗粒是土体的固相物质,是组成土体固体部分的主要物质。除固相物质之外,颗粒之间存在孔隙,土体中的孔隙绝大部分是相互连通的,一般由液体或者气体充填,液体及气体可以在孔隙流动,因而土是由固相(solid)、液相(liquid)、气相(air)组成的三相分散系。土体的三相性质导致土的力学特性比其他材料(如钢铁、混凝土等)更为复杂,土中三相物质比例的不同,土的状态和物理力学性质存在很大差异。

土力学中定义的土,主要是从工程角度出发的,体现其松散堆积物特征。土与岩石的主要区别在于土体的固体颗粒间无胶结或弱胶结。

自然界中的土,是地球表层的岩石及在地面出露的地下岩石经受长期的风化作用后形成形状不同、大小不一的颗粒(土颗粒),这些土颗粒在不同的自然环境条件下形成的没有胶结或弱胶结的松散堆积体,称作天然土。土来源于岩石,尽管它可能包含有其他物质成分,土以岩石颗粒为主体骨架,单个岩石颗粒可以小到微米大到数米。土中的块体与颗粒,即岩石颗粒的大小以及颗粒间胶结程度与岩石相比存在差别,但有时也存在连续过渡以至难以严格区分的情况。总体来讲,土和岩石的区别在于颗粒胶结程度和工程尺度。举个例子:一个石块,如果单独考察它就是岩石,因为它呈现的是岩石性质,而当无数石块堆积到一起的时候,如果考察该堆积体整体性质,那么它就是土,需要按照土力学理论来研究。

人类的生产生活空间的延伸和扩大,由于人为因素产生了大量的“土”,为与天然土相区别,暂称为“人为土”。例如:采矿与冶炼产生的尾矿(矿渣)、热电厂的粉煤灰等工业生产废弃物、建筑垃圾、生活垃圾等。天然土强调是岩石风化而产生,是自然条件下的产物;而人为土则强调人类生产生活的“制造”因素。当然也可以将人为土看成是特定成因的土。它们的不同点主要在于土的形成是由于自然力还是人为因素。它们的基本定义相同,即以颗粒为主体骨架的松散堆积物,都可应用土力学的理论原理来研究它们的工程性质。此外,某些类土状的材料,粮仓和各种料仓设计也可应用土力学的理论原理。

§ 1.2 土的成因

1.2.1 地质作用

地壳由岩石圈组成,地表被岩土体覆盖。地质作用引起地壳组成物质、地壳构造、地表形态等不断的变化。这种变化既发生于地表,也发生于地球内部,有的强烈迅急,有的微弱缓慢。地质作用(geological process)可分为内力地质作用和外力地质作用。

内力地质作用是指地内热能、重力能、地球旋转能、化学能、结晶能等多种因素引起地壳包括地幔上部岩石圈的构造运动。构造运动可使岩石变形、变位,形成各种构造形迹,使岩层褶皱与断裂,地表隆陷甚至海陆变迁。内力地质作用决定了地表高山峡谷、大陆海洋等地表的基本形态。

外力地质作用主要与太阳辐射能、潮汐能和生物能、位能等有关。按照作用方式不同,外力地质作用分为物理作用、化学作用和生物作用。其中物理作用包括风化、剥蚀、搬运、沉积,它们又常常会伴随有化学作用和生物作用。

内、外力地质作用互有联系,但发展趋势相逆。内力作用使地球内部和地壳的组成和结构复杂化,造山成海,造成地表高低起伏;而外力作用使地壳原有的组成和构造发生改变,有削平地表起伏的趋势。一般来说,内力作用起主导地位,控制着地质运动的过程和发展。人们所见到的千姿百态的地表是两种地质作用对地球长期改造的结果。

土体的许多物理力学性质受土粒大小、形状和矿物成分控制。土的矿物成分取决于形成土的母岩的矿物组成和风化过程。

1.2.2 风化作用

天然土的主要来源是岩石风化(rock weathering)的产物,其次是地球生物残骸分解过程中的物质。岩石在太阳辐射、大气、水和生物作用下出现破碎、疏松、剥蚀、搬运沉积及矿物成分次生变化的现象,称为风化作用(weathering process)。20世纪以来,人类活动(尤其是工程活动)对地球的表面和外层系统产生了巨大的影响,甚至超过了天然地质作用,加剧了土的生成过程,形成一部分“人为土”。

地球表面无时无刻不在变化之中。在外力地质作用下,高山将被风化和剥蚀有被削低的趋势,湖泊有被各种沉积物填满的可能,沙漠会随着气候的变化改变“行踪”。暴露在地壳表面的大部分岩石都处在不断变化的物理化学条件下,而且地表富含氧气、二氧化碳和水,因而岩石极易发生风化。岩石的风化一般可分为物理风化和化学风化两类。风化是形成土的过程,首先表现为整块的岩石变为碎块,以至再碎裂更小块,最终使坚硬的岩石变成松散的碎屑堆积物。自重、风、水流及冰川等动力将风化作用的碎屑产物搬离原地,这一过程叫做剥蚀或者搬运,最终它们将在某地沉积下来。

物理风化(physical weathering)是地表岩石在原地发生机械破碎而不改变其化学成分也不产生新矿物的风化作用过程。如矿物岩石的热胀冷缩、冰劈作用、层裂和盐份结晶等作用均可使岩石由大块变成小块以至完全碎裂。物理风化主要是岩石不断冷热过程中膨胀和收缩引起的,膨