



普通高等教育土建类规划教材
中国矿业大学(北京)越崎教材建设资助项目

土力学 简明教程

● 单仁亮 李德建 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育土建类规划教材
地下工程系列规划教材
中国矿业大学(北京)越崎教材建设资助项目

土力学简明教程

单仁亮 李德建 编著



机械工业出版社

土是自然界最重要的物质之一,土力学是研究土的力学特性的一门学科,主要研究载荷作用下土的强度和变形。本书共8章,主要内容包括土的物理性质和分类、土的渗透性与渗流、土体中的应力计算、土的压缩性与地基沉降量计算、土的抗剪强度、挡土墙上的土压力、地基承载力和土坡稳定性、土在动力荷载作用下的力学性质。为便于学生学习,章前有本章提要,章后有本章小结及复习思考题,并给出了复习思考题参考答案;为便于教师授课,本书配有教师课件,授课教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后免费下载。

本书可以作为高等院校土木建筑及岩土工程类专业的本专科学生教材,也可供研究生及科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学简明教程/单仁亮,李德建编著. —北京:机械工业出版社, 2013.7

普通高等教育土建类规划教材

ISBN 978-7-111-42706-3

I. ①土… II. ①单…②李… 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(2013)第115362号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:马军平 责任编辑:马军平 李 帅

版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:张 静 责任印制:李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2013年10月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.25印张·351千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42706-3

定价:29.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

地下工程是随着国民经济建设及城市化发展需要应运而生的土木工程类专业的一个重要领域，是高等学校土木工程学科中极其重要而又人才短缺的本科专业方向。

中国矿业大学（北京）的土木工程学科是在原矿山建设工程专业基础上发展起来的，矿山建设工程专业一直是我校的传统优势学科，在1999年专业调整中，矿山建设工程更名为“岩土工程”。2007年以中国矿业大学和中国矿业大学（北京）的岩土工程学科为主建成了“深部岩土力学与地下工程”国家重点实验室。地下工程方向是中国矿业大学（北京）土木工程类专业的传统优势学科，在矿山建设工程、深部地下工程、城市地下工程等领域拥有良好的人才培养软、硬件环境和教学条件，在相关研究领域拥有坚实的研究基础和多项国家级科技奖励、国家级教学研究成果。

鉴于此，在总结多年矿山建设工程和城市地下工程的教学经验和科学研究的基础上，中国矿业大学（北京）力学与建筑工程学院组织了学校长期从事地下工程教学和科学研究的专家，规划和编写了具有矿山建设与地下工程特色的“地下工程”系列规划教材，以促进培养工程实践能力强和创新能力强的应用复合型人才及研究发展型人才，努力探索基于研究的教学和以探索为本的学习机制，引导学生在研究和开发中学习。根据地下工程课程培养体系的要求、课程培养规律和学科知识层次，本系列规划教材分为岩石力学基础教程、土力学简明教程、基础工程、矿山建设工程、城市地下工程等几个方面，全面覆盖了地下工程专业培养体系的范畴，满足学生学习和教师教学的需求。

地下工程是一个复杂的系统工程，因此本系列规划教材注重强调创新的理念——系统性、集成性、过程性、信息性，始终贯穿地下工程的设计、施工与管理的思想；同时，注重理论与工程实际结合，强调解决地下工程的实际问题，努力培养学生的实际动手能力。

本系列规划教材内容精炼、合理，可供土木工程、市政工程、水利水电工程，采矿工程、冶金工程、地质勘探工程等专业本科生、研究生和教师以及相关工程技术人员参考使用。

本系列规划教材由中国矿业大学（北京）单仁亮教授负责总体规划、统筹协调和部分的编写工作。

在本系列规划教材编写过程中，得到了中国矿业大学（北京）力学与建筑工程学院、教务处等部门的大力支持与帮助，在此表示最诚挚的谢意！

前言

土 力学是土木工程专业的基础课，本教材是中国矿业大学（北京）土木工程特色专业建设“地下工程系列规划教材”之一，经过主讲教师多年使用和多次修改而成。

土是自然界最重要的物质之一，土力学是研究土的力学特性的一门学科，主要研究载荷作用下土的强度和变形。本教材内容分为8章，包括土的物理性质和分类、土的渗透性与渗流问题、土体中的应力计算、土的压缩性与地基沉降量计算、土的抗剪强度、挡土墙上的土压力、地基承载力和土坡稳定性、土在动力荷载作用下的力学性质，部分内容教师可选择讲授或安排学生自学。

本书的编写叙述力求简明，多用图表，采用最新规范，注重实践教学，内容上体现矿山建设和地下工程的特色，满足土木工程特色专业建设的需要。编写过程中参阅了国内外专家学者的相关论著，以参考文献的形式列于书后，供读者参考阅读，并向作者表示感谢。

本书可以作为高等院校土木建筑及岩土工程类专业的本专科学生教材，也可供研究生及科技人员参考。

本书的编写工作得到中国矿业大学（北京）教务处、力学与建筑工程学院的大力支持，列为学校2012年越崎教材建设项目。编写过程中有多位博士研究生、硕士研究生进行了文字和图表的录入、修改，教材试用期间很多同学提出了宝贵的修改意见，作者在此一并深表谢意。

限于作者水平，不妥之处在所难免，恳请广大读者和专家不吝批评指正。

作 者

目 录

序

前言

绪论//1

第1章 土的物理性质和工程分类//7

1.1 土的形成与特征//7

1.1.1 土的概念//7

1.1.2 土的搬运和沉积//7

1.1.3 土的主要物理特征//8

1.1.4 土的工程特性//9

1.2 土的三相组成//9

1.2.1 土的固体颗粒//10

1.2.2 土中的液体//14

1.2.3 土中的气体//16

1.3 土的结构与土体构造//16

1.3.1 土的结构//16

1.3.2 土体构造//17

1.4 土的三相比例指标//17

1.4.1 土的三相图//17

1.4.2 土的三相物理指标//18

1.5 土的物理状态指标//23

1.5.1 无黏性土的密实度//24

1.5.2 黏性土的物理特征//25

1.6 地基土的工程分类//28

1.6.1 土的工程分类依据//28

1.6.2 建筑地基基础设计

规范分类法//29

复习思考题//30

第2章 土的渗透性和渗流//32

2.1 土的渗透性和渗透定律//32

2.1.1 各种水头的概念及水力 坡降//32

2.1.2 土的渗透试验和达西定律//34

2.1.3 渗透系数的测定及影响 因素//35

2.2 流网在渗流中的作用//40

2.2.1 平面渗流的连续性分析//40

2.2.2 流网的绘制及应用//42

2.3 渗透力和渗透变形//43

2.3.1 渗透力//43

2.3.2 渗透变形//45

复习思考题//47

第3章 土体中的应力计算//50

3.1 概述//50

3.1.1 应力-应变关系的假定//50

3.1.2 地基中的几种典型应力 状态//51

3.1.3 土力学中应力符号的规定//52

3.2 土体中的自重应力//54

3.2.1 地基中的自重应力//54

3.2.2 土坝的自重应力//54

3.3 地基中的附加应力计算//55

3.3.1 集中力作用下土中的附加 应力//55

3.3.2 矩形面积上分布荷载作用下地 基中的附加应力计算//58

3.3.3 线荷载和条形荷载作用下地基中的附加应力计算//63

3.3.4 地基中附加应力的影响因素//66

3.4 基底压力分布//69

3.4.1 基底压力的分布规律//69

3.4.2 基底压力的简化计算//70

3.5 饱和土体中的有效应力原理//72

3.5.1 有效应力原理//72

3.5.2 自重应力下的有效应力计算//74

复习思考题//77

第4章 土的压缩性与地基沉降量计算//79

4.1 土的压缩特性//79

4.1.1 土的变形机理与特点//79

4.1.2 三轴试验中的应力-应变关系//79

4.1.3 侧限状态下的应力-应变关系//82

4.1.4 现场载荷试验//88

4.2 地基最终沉降量计算//89

4.2.1 单向压缩的分层总合法//89

4.2.2 用 $e-p$ 曲线计算沉降量//90

4.2.3 用 $e-\lg p$ 曲线计算沉降量//93

4.2.4 考虑地基回弹的沉降量计算//94

4.3 按规范方法计算地基变形//95

4.3.1 按规范计算地基最终沉降量//95

4.3.2 地基沉降量计算的其他情况//99

4.3.3 关于基础沉降的几个问题//103

4.4 饱和土体的渗流固结理论//104

4.4.1 一维渗流固结问题//104

4.4.2 一维固结微分方程//105

4.4.3 固结度//107

4.4.4 固结系数 C_v 的确定//110

4.4.5 有关沉降——时间过程的问题//112

4.5 地基沉降量与时间的关系//112

4.5.1 单向固结地基沉降量与时间的关系//112

4.5.2 利用观测资料推测后期沉降量//114

复习思考题//116

第5章 土的抗剪强度//118

5.1 概述//118

5.2 莫尔-库仑强度理论//119

5.2.1 库仑公式//119

5.2.2 莫尔理论//119

5.2.3 莫尔-库仑强度理论//120

5.2.4 主应力表示的莫尔-库仑准则//120

5.3 强度指标的测定方法//123

5.3.1 直接剪切试验//123

5.3.2 三轴压缩试验//124

5.3.3 无侧限抗压强度试验//126

5.3.4 十字板剪切试验//127

5.4 孔压系数//129

5.4.1 孔压系数 B //130

5.4.2 孔压系数 A //130

5.5 应力路径与破坏主应力线//131

5.5.1 应力路径的概念//131

5.5.2 几种典型的应力路径//133

5.5.3 破坏主应力线与莫尔包线//134

5.6 不同抗剪强度指标的分析与选用//137

5.6.1 不同排水条件下土的剪切性状//137

5.6.2 总应力和有效应力强度指标//139

5.6.3 三轴试验与直剪试验比较//139

5.6.4 抗剪强度指标的比较与选用//143

复习思考题//144

第6章 挡土墙上的土压力//145**6.1 概述//145**

- 6.1.1 挡土墙和土压力的概念//145
- 6.1.2 土压力的分类//146
- 6.1.3 静止土压力的计算//147

6.2 朗肯土压力理论//148

- 6.2.1 基本原理//148
- 6.2.2 主动土压力//149
- 6.2.3 被动土压力//150

6.3 库仑土压力理论//151

- 6.3.1 主动土压力//151
- 6.3.2 被动土压力//155
- 6.3.3 黏性土的库仑土压力//156
- 6.3.4 库尔曼图解法//157

6.4 朗肯理论与库仑理论的比较//159

- 6.4.1 分析方法//160
- 6.4.2 适用范围//160
- 6.4.3 计算误差//163

6.5 几种常见情况的主动土压力计算//165

- 6.5.1 成层土的土压力//165
- 6.5.2 墙后填土中有地下水//165
- 6.5.3 填土表面有荷载作用//166
- 6.5.4 墙背形状有变化的情况//169
- 6.5.5 填土性质指标及填土材料选择//170

6.6 挡土墙设计//172

- 6.6.1 挡土墙的类型//172
- 6.6.2 挡土墙的计算//173

6.7 基坑支护桩墙上的土压力//177**6.8 井筒地压//178**

- 6.8.1 井筒散体地压分析//178
- 6.8.2 井筒散体地压计算//179

复习思考题//183**第7章 地基承载力和土坡稳定性//185****7.1 地基承载力和地基破坏形式//185**

- 7.1.1 地基承载力//185
- 7.1.2 临塑荷载和极限承载力//186
- 7.1.3 竖直荷载下地基的破坏形式//187

7.2 地基的临塑荷载//188**7.3 地基的极限承载力//190**

- 7.3.1 极限承载力的一般计算公式//190
- 7.3.2 太沙基公式//192

7.4 土坡稳定分析//194

- 7.4.1 概述//194
- 7.4.2 无黏性土坡的稳定分析//195
- 7.4.3 黏性土坡的稳定分析//197

复习思考题//201**第8章 土在动力荷载作用下的力学性质//203****8.1 动荷载类型及其对土体的作用特点//203**

- 8.1.1 动荷载的作用类型//203
- 8.1.2 动荷载对土体的作用特点//205

8.2 土在动荷载作用下的力学特性//205

- 8.2.1 土的动应力-应变关系//205
- 8.2.2 土的动剪切模量和阻尼比//207
- 8.2.3 土的动强度和动变形//207

8.3 土的压实//210

- 8.3.1 土的压实原理//210
- 8.3.2 土压实的影响因素//211

8.4 土的振动液化//213

- 8.4.1 土的振动液化的机理//213
- 8.4.2 振动液化的影响因素//214
- 8.4.3 振动液化的判别方法//216
- 8.4.4 地基土抗液化措施//217

复习思考题//219**参考文献//220**

绪 论

土力学 (Soil Mechanics) 是研究土体在周围环境与力的作用下的变形和强度以及渗流规律的一门学科, 属于力学的一个分支, 主要应用于建筑、交通、水利、矿山等土木工程。

土力学的研究内容主要包括土的物理性质和分类、土的渗透性和渗流; 土体的应力-应变和应力-应变-时间的本构关系及强度准则和理论; 在均布荷载或偏心荷载以及在各种形式基础的作用下, 基础与地基土体接触面上的和地基土体中的应力分布, 地基的压缩变形及其与时间的关系以及地基的承载能力和稳定性; 根据极限平衡原理用稳定性系数评价天然土坡的稳定性并进行人工土坡的设计; 计算在自重和建筑物附加荷载作用下土体产生的侧向压力, 为设计挡土结构物提供依据; 改进和研制为进行上述研究所必需的技术、方法和仪器设备。

土体是一种地质体, 这就决定了这一学科的研究工作采用在地质学研究基础上的试验研究和力学分析方法。

● 土力学发展历史

18 世纪中期以前, 人类的建筑工程实践主要是根据建筑者的经验进行的。

18 世纪中期至 19 世纪初期, 工程建筑事业迅猛发展, 许多学者相继总结前人和自己的实践经验, 发表了迄今仍然行之有效的、多方面的重要研究成果。例如, 法国的 C. A. 库仑发表了土压力滑动楔体理论 (1773 年) 和土的抗剪强度准则 (1776 年); 法国的 H. P. G. 达西在研究水在砂土中渗透的基础上提出了著名线性渗透定律 (1856 年); 英国的 W. J. M. 朗肯分析半无限空间土体在自重作用下达到极限平衡状态时的应力条件, 提出了另一著名的土压力理论, 与库仑理论一起构成了古典土压力理论; 法国的 J. V. 布辛奈斯克 (1885 年) 提出的半无限弹性体中应力分布的计算公式, 成为地基土体中应力分布的重要计算方法; 德国的 O. 莫尔 (1900 年) 提出了至今仍广泛应用的土的强度理论。

19 世纪末至 20 世纪初期, 瑞典的 A. M. 阿特贝里提出了黏



Karl Terzaghi (1883 ~ 1963)

美籍奥地利土力学家, 现代土力学的创始人。1883 年 10 月 2 日生于布拉格 (当时属奥地利)。1904 年和 1912 年先后获得格拉茨 (Graz) 工业大学的学士和博士学位。

太沙基早期从事工程地质和岩土工程的实践工作, 后期从事土力学的教学和研究工作, 并着手建立现代土力学。先后在麻省理工学院、维也纳高等工业学院和英国伦敦帝国学院任教。最后长期在美国哈佛大学任教。

1923 年太沙基发表了渗透固结理论, 第一次科学地研究土体的固结过程, 同时提出了土力学的

一个基本原理,即有效应力原理。

1925年,他发表的世界第一本土力学专著被公认为是进入现代土力学时代的标志。

性土的塑性界限和按塑性指数的分类,至今仍在实践中广泛应用。1925年,奥地利的K. 太沙基出版了世界上第一部土力学专著,是土力学作为完整、独立学科形成的重要标志,在此专著中,他提出了著名的有效应力原理。此后,在土的基本性质和动力特性、固结理论和强度理论的研究,流变理论的应用,土体稳定性分析方法以及试验技术和设备等方面都有很大的发展,使土力学得到进一步的完善和提高。

土力学的发展离不开相关理论、试验和计算机。由于土的性质极其复杂,土力学理论的发展十分艰难。关于土的理论,经过许多学者的艰辛研究和探讨,已取得丰硕成果,但进一步的发展还远没有结束。作为当今科技的驱动器,计算机是不可或缺的,发展数值分析是土力学的一个研究方向。数学是一切自然学科的基石,数学的发展必将促进土力学的发展,作为一个工程师,具有扎实的数学功底是其巨大的优势。天然土是复杂的,不可能按某种配方将其制作出来,因此数值模拟和理论分析不能解决所有问题,试验对土力学的发展是必不可少的,是相当重要的,经不起试验检验的理论,即使再完美也是没有任何实际工程意义的。只有合理利用理论、试验、计算机,土力学才能得到更好的发展。

随着高大建筑物、城市地下工程、垃圾填埋场、核电站以及近海石油探采平台等在世界范围大量兴建,不断对土力学提出更高的要求。诸如裂隙对土体力学性能的控制性、非线性应力-应变的本构关系以及新的测试技术和设备等方面的研究将会取得新的进展。

● 地基土工程事故实例

加拿大特朗斯康谷仓破坏是由于土体强度不够导致地基整体剪切破坏、建筑物丧失稳定的典型工程案例,如图1所示。

该谷仓建于1913年,谷仓的平面为矩形,长59.44m,宽23.47m,高度为31m,由65个圆柱形筒仓组成,采用钢筋混凝土筏形基础,厚2m,谷仓自重20万kN。设计时仅根据对临近建筑物地基的调查确定了地基承载力。谷仓建成后于当年9月开始均匀地向仓内装载谷物,至10月发现谷仓产生大量快速沉降,1小时内的垂直沉降量竟达到30.5cm,在其后的24小时内谷仓倾倒,倾倒后谷仓的西侧下沉达7.32m,东侧则抬高了1.53m,整体倾斜度近27°。因谷仓采用的是钢筋混凝土筒体结构,整体性很强,筒仓本身完好无损。事后进行勘察分析,发现基底之下为厚十余米的淤泥质软黏土层,地基的极限承载力为251kPa,而谷仓的基底压力已超过300kPa,从而造成地基的整体滑动破坏。基础底面以下一部分土体滑动,向侧面挤出,使东端地面隆起。为了处理这一事故,在地基中做了70多个支承于深16m基岩上的

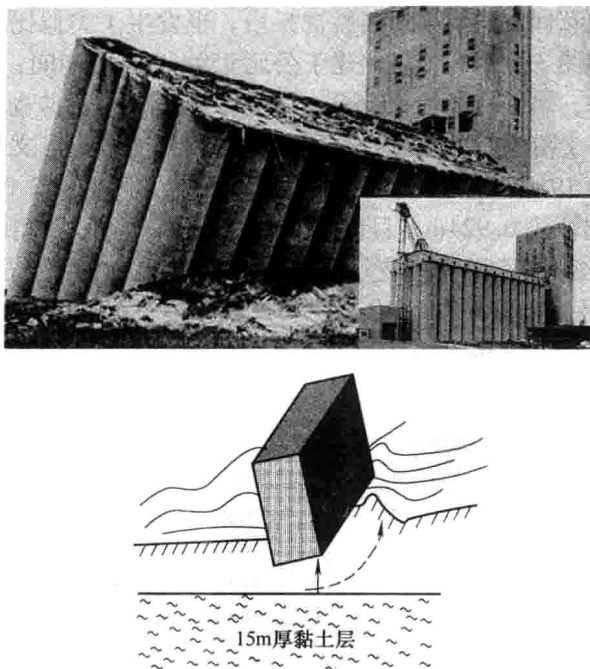


图1 加拿大特朗斯康谷仓地基破坏事故示意图

混凝土墩，使用了88个50kN的千斤顶和支承系统，才把仓体逐渐纠正过来，但谷仓位置比原来降低了4m。

举世闻名的意大利比萨斜塔是由于地基不均匀沉降而导致建筑物变形破坏的一个典型实例，如图2所示。该塔于1173年动工，1370年竣工，塔身高约55m，建成后因地基压缩层产生不均匀沉降，使塔的北侧下沉近1m，南侧下沉近3m，塔身倾斜约 5.5° ，塔顶离开铅垂线的距离达到5.27m。幸亏该塔使用的大理石材质优良，在塔身严重倾斜的情况下未出现裂缝。比萨斜塔建成后曾经数次加固，但效果甚微，每年仍下沉约1mm，已成为一座名副其实的危塔。

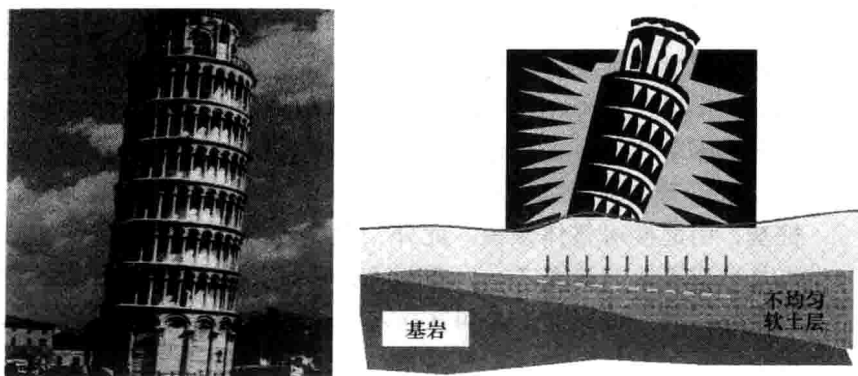


图2 比萨斜塔倾斜事故示意图

无独有偶，我国苏州名胜虎丘塔，也发生了类似比萨斜塔的倾斜，如图3所示。该塔始建于公元959~961年期间，为7级8角形砖塔，塔底直径为13.66m，高为47.5m，全为砖砌，在建筑艺术风格上有独特的创意，被国务院公布为全国重点文物保护单位。塔顶1957年位移达到1.7m，1978年位移达到2.3m，重心偏离基础轴线0.924m。目前该塔倾斜严重，重心偏离基础轴线2.31m。经勘察发现，该塔位于倾斜基岩上，覆盖层一边深3.8m，另一边为5.8m。由于在一千余年前建造该塔时，没有采用扩大基础，直接将塔身置于地基上，造成了不均匀沉降，引起塔身倾斜，危及了塔的安全。



图3 虎丘塔倾斜照片

近些年国内的“楼脆脆”和“楼歪歪”等事件层出不穷，更加向人们说明了土力学理论在工程建设中的重大作用。2009年6月27日6时左右，上海市闵行区莲花南路罗阳路口一幢13层在建商品楼发生倒塌事故，楼房从底部整体折断，部分基础连根拔出（见图4），损失惨重。

楼房倒塌主要原因是受力不均，两侧压力差导致过大的水平力，超过了桩基的抗倾覆能力。楼房北侧在短期内堆土高达10m，产生了3000kN左右的侧向力，南侧正在开挖4.6m深的地下车库基坑出现凌空面，导致楼房产生10cm左右的位移，对PHC桩（预应力高强混凝土）产生很大的偏心弯矩，最终破坏桩基，引起楼房整体倾覆。此外，倒塌楼房下的古河道淤积层也是造成事故的诱因之一。事后江欢成院士说：“在建楼房的倾覆事故，简单地说就是无知导致无畏，是认识上缺乏科学态度，是蛮干。”

国内外类似的工程事例很多，这说明对土力学理论缺乏系统

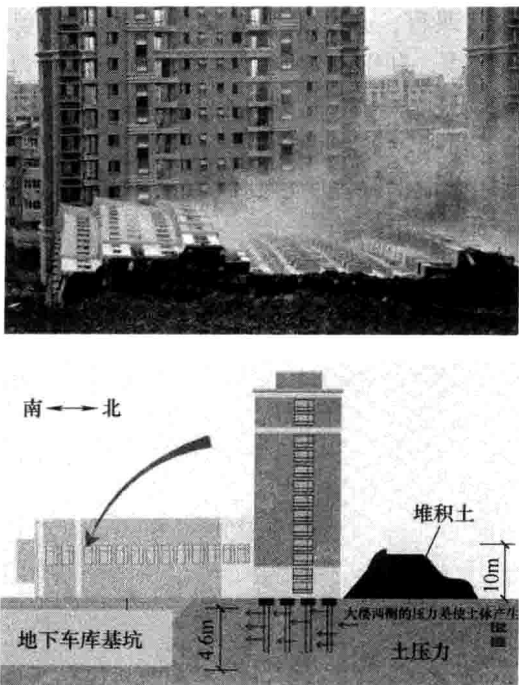


图4-13 13层在建商品楼倒塌事故

研究,对相关的土力学问题分析处理不当,就会造成巨大的、不可挽回的损失,必须引起工程建设的高度警惕。因此,为了确保建筑物的安全和正常使用,就必须认真学习土力学相关知识,并学会用理论联系实际解决实际工程问题,指导土木工程的设计和施工,真正发挥土力学在工程建设中的巨大作用。

● 土力学和其他学科的关系

土力学涉及的自然科学范围很广,它是力学的一个分支。土力学是一门技术基础课,也是一门理论性和实践性都很强的课程。学习土力学之前应具备物理学、理论力学、材料力学、弹性力学、流体力学、结构力学、工程地质学等方面的知识。

土力学是土木工程专业的必修课,属于专业基础课,是“基础工程”“地基处理”“岩土工程”“地下工程”等后续课程学习所必备的基础。

● 土力学的学习方法

土力学与其他力学分支相比还很不成熟,没有形成完备的理论和学科体系,因此各部分内容相对独立,相互联系不紧密。学习土力学的开始阶段就会出现许多关于土的性质的新名词和术语,初学者会感到头绪繁多,抓不住中心,难以消化理解等。要

如何学好土力学?

1. 掌握好基本概念、基本定律和基础理论,这是学好土力学的基础。例如:什么是含水量?可能有的同学说,不就是土中水的质量和土总质量之比吗?错!含水量是土中水的质量和干土质量之比,然后再乘以100%。另外还有什么孔隙比、饱和度、有效重度、有效应力原理、单向固结理论等,这些都必须十分清晰,理解的很透彻才行。

2. 适量做题,做题太少达不到熟练掌握的效果。

3. 要重视试验,土力学离不开试验(主要是室内土工试验和部分原位测试),必须掌握土的各种指标的测试方法、原理及特点。必须熟悉试验过程,了解哪儿容易出问题,对试验结果有何影响等等。

4. 注重和老师、同学及时交流探讨疑难问题。

学好土力学这门课程，必须紧紧抓住“变形、强度、渗流及稳定”这样一条主线，利用有效应力原理，将土的应力、变形、强度、渗流关系贯穿起来，重视室内土工试验，要理论联系实际地学习，在课堂、试验、课程设计、综合训练、毕业论文等各学习环节中自觉运用土力学课程所学到的知识和掌握的技能，提高综合分析问题和创新性思维能力。

第7章

土的物理性质和工程分类

本章介绍土的形成和主要特征,引入土力学中描述土的物理性质的基本术语和概念,是建筑地基土工程特性最基本的内容,包括土的三相组成、密度、含水量、液限、塑限、塑性指数、液性指数等。这些术语中,含水量、孔隙比、液限和塑性指数非常重要,直接影响地基土中的应力;工程中频繁地应用孔隙比来估算由于上部荷载引起的地基沉降;液限和塑性指数是细粒土分类系统的主要组成部分。

1.1 土的形成与特征

● 1.1.1 土的概念

土(soil)一般指覆盖在地表上的碎散矿物集合体,是原岩经物理和化学风化作用形成的堆积物。岩石(rock)是构成地壳的基本物质,是一种或多种矿物的聚合体。工程上遇到的土大多数是在第四纪地质年代形成的,又称为第四纪沉积物。土和岩石均为大自然的产物,在一定条件下可以相互转化,如图1-1所示。

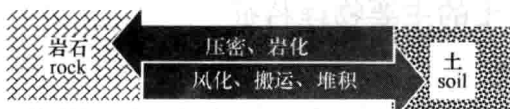


图1-1 岩石和土的相互转化

● 1.1.2 土的搬运和沉积

土的形成,要经历风化、剥蚀、搬运、沉积等作用 and 过程,可分为残积土和运积土两大类。

1. 残积土(sedentary soil or residual soil)

残积土是母岩层经风化作用破碎成为岩屑或细小颗粒后,残留在原地的堆积物,其特征是颗粒表面粗糙、多棱角、粗细不均、无层理。



土林(soil forest)

林立的土质峰丘,由土状堆积物塑造的、成群的柱状地形,因远望如林而得名。土林是特殊的岩性组合、构造运动、风雨动力和生态环境等条件综合作用的结果,是在干热气候和地面相对抬升的环境下,暴雨径流强烈侵蚀、切割地表深厚的松散碎屑沉积物所形成的分割破碎的地形。又因沉积物顶部有铁质风化壳,或夹铁质、钙质胶结砂砾层,对下部土层起保护伞作用,加上沉积物垂直节理发育,使凸起的残留体侧坡保持陡直。一般高20m

左右以至达 40m。各柱体常持高度齐一的顶部,是原始沉积面。土林一般出现在盆地或谷地内。主要分布于不同时代的高阶地上,系多期形成,反映了古地理变迁和地貌发育过程。

2. 运积土 (sedimentary soil or transported soil)

运积土是风化所形成的土颗粒,受自然力的作用,搬运到远近不同的地点所沉积的堆积物,其特点是颗粒比较圆滑。根据搬运的动力,可以将运积土分为 7 类,见表 1-1。

表 1-1 运积土分类 (根据土的搬动力)

运积土名称	形成 (搬动力)	性质特点
坡积土 (cliff soil)	残积土在雨季水流和重力的作用下,被带到山坡坡脚处聚积起来的堆积物	坡积土的物质成分与下卧基岩没有直接关系,且容易沿下卧基岩面滑动
洪积土 (diluvial soil)	残积土和坡积土受洪水冲刷,带到山麓处沉积的堆积物	搬运距离近的,颗粒粗,力学性能好,搬运距离远的颗粒细,力学性质差
冲积土 (alluvial soil)	由江、河水流搬运所形成的沉积物	经过较长距离的搬运,浑圆度和分选性都很好,常常是砂土层和黏土层相互交迭
湖泊沼泽沉积土 (marsh soil)	在极为缓慢的水流或静水条件下沉积形成的堆积物	也就是通常所说的淤泥或淤泥质土,工程性质差
海相沉积土 (marine soil)	由水流挟带到大海沉积起来的堆积物	其颗粒细,土质松软,工程性质差
冰积土 (glacial soil)	由冰川或冰水挟带搬运所形成的沉积物	颗粒粗细变化大,土质不均匀
风积土 (wind-borne soil)	由风力搬运所形成的沉积物	颗粒均匀,往往堆积层厚并且没有层理,我国西北的黄土就是典型的风积土

1.1.3 土的主要物理特征

1. 碎散性

岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀,温度、湿度的变化,导致不均匀的膨胀与收缩,产生破裂,崩解为不同粒径的碎块,碎块(颗粒)之间存在大量的孔隙,可以透水和透气,这就是土的第一个主要特征——碎散性 (fragmentary),主要是岩石的物理风化所致。

2. 三相体系

碎散的土粒在化学和生物风化的作用下,可以形成十分细微的土颗粒 (最主要的是粒径小于 0.005mm 的黏土颗粒)。细微颗粒的表面积很大,具有吸附水分子的能力。含水之外的孔隙必然会充满气体。因此,自然界的土一般都是由固体颗粒、水和气体三种成分构成的。这就是土的第二个主要特征——三相体系 (three-phase composition)。

3. 自然变异性

由于形成过程的自然条件不同,自然界的土也就多种多样。同一场地,不同深度处的土的性质也不一样。甚至同一位置的土,其性质还往往随方向而异。这就是土的第三个主要特征——自然变异性(natural variability)。因此,土是自然界漫长的地质年代内所形成的性质复杂、不均匀、各向异性且随时间变化而不断变化的物质。

1.1.4 土的工程特性

土作为建筑材料与其他建筑材料相比,具有压缩性高、强度低、透水性大三个显著的工程特征:

1. 压缩性高 (high compressibility)

弹性模量 E (对于土应当称为变形模量) 可以反映材料的压缩性高低, E 越大, 压缩性越低, 反之, E 越小, 压缩性越高。

表 1-2 列出了几种工程材料的弹性模量值。

表 1-2 几种工程材料的弹性模量

材料名称	钢筋 (E_1)	C20 混凝土 (E_2)	卵石 (E_3)	饱和细砂 (E_4)
弹性模量/MPa	2.1×10^5	2.6×10^4	(40 ~ 50)	(8 ~ 16)

经过比较可以看出, $E_1 \geq 4200E_3$ ($13125E_4$), $E_2 \geq 520E_3$ ($1625E_4$)。可见, 卵石的压缩性为钢筋的 4200 倍, C20 混凝土的 520 倍; 饱和细砂的压缩性比钢筋高 13000 倍, 比 C20 混凝土高 1600 倍以上。显然, 土的压缩性极高, 黏土的压缩性通常比细砂还高得多。

2. 强度低 (low strength)

土的强度特指抗剪强度, 而非抗压强度或抗拉强度。土的抗剪强度将在第 5 章详细介绍, 其大小往往比其他建筑材料低得多。

3. 透水性大 (large permeability)

由于土颗粒之间存在无数孔隙, 这些孔隙大多是透水的。所以, 土的透水性比木材、混凝土和钢材都大得多。

土的三个主要物理特征和三个工程特性与地基基础设计与施工密切相关。

1.2 土的三相组成

土的基本部分是由固体矿物构成的骨架, 骨架之间充满孔隙。当土中的孔隙完全被水充满时, 称为饱和土 (saturated soil); 孔隙部分被水占据, 另一部分被气体占据时, 称为非饱和土

岩石的风化

岩石的风化是指岩石在自然界各种因素和外力的作用下产生破碎与分解, 导致颗粒变小、化学成分改变等。岩石风化后产生的物质及其性质和原生岩石有很大的区别。通常把风化作用分为物理风化、化学风化和生物风化 3 类。这 3 类风化经常是同时进行并且互相作用而发展的过程。

1. 物理风化是岩石在各种物理作用力的影响下从大的岩块分裂为小的石块或土粒的过程。风化后的产物仅仅是由大变小, 其矿物的化学成分不变。产生物理风化的主要原因有地质构造力、温差、冰撞等。

2. 化学风化是指母岩表面和碎散的颗粒受环境因素的作用而改变其矿物的化学成分, 形成新的矿物, 也称次生矿物。化学风化常见原因有水解、水化、氧化、溶解作用。

3. 生物风化是指各种动植物和人类活动对岩石的破坏作用, 可分为生物的物理风化和生物的化学风化。