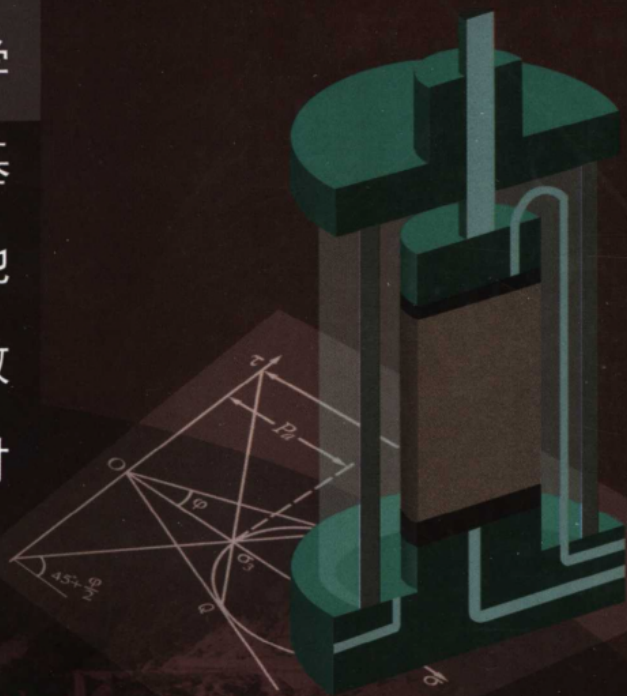


工 程 力 学 教 程

科
力
学
课
程
教
学
基
地
教
材

土力学

卢廷浩 主编



河海大学出版社

《工程力学教程》丛书

- ◆ 静力学基础
- ◆ 动力学基础
- ◆ 材料力学
- ◆ 结构静力学
- ◆ 结构动力学
- ◆ 弹性力学
- ◆ 计算力学基础
- ◆ 土力学

责任编辑/施 萍
封面设计/张世立

ISBN 7-5630-1645-7



9 787563 016457 >

ISBN 7-5630-1645-7/O·101 定价: 27.00 元

工科力学课程教学基地教材

土 力 学

卢 廷 浩 主 编

河海大学出版社

内 容 提 要

本书系高等工科院校水利、土木等有关专业的土力学课程教材。学生在学完材料力学、静水力学之后学习本课程。只有在完成本课程学习之后,才能学习基础工程、地基处理等后续课程。

教材共分8章。系统阐述了土的基本性质、土体应力计算、渗流、土的压缩与固结、土的抗剪强度、土压力计算、土坡稳定分析及地基承载力等基本理论和方法。每章之后附有若干复习思考题和习题。教材内容丰富,各专业可结合专业特点选讲。

该教材可作为研究生选修课程教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/卢廷浩主编. —南京:河海大学出版社,2002.1
ISBN 7-5630-1645-7

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(2002)第 055645 号

出 版 河海大学出版社
地 址 南京市西康路1号(邮编:210098)
电 话 (025) 3737852(总编室)
(025) 3722833(发行部)
经 销 江苏省新华书店
印 刷 丹阳市教育印刷厂
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张 15.5
字 数 377 000
版 次 2002 年 1 月第 1 版
印 次 2003 年 12 月第 3 次
定 价 27.00 元

序

本书是河海大学承担教育部《面向 21 世纪力学系列课程教学内容和课程体系改革与实践》攻关项目和《国家力学课程教学基地》建设项目研究的成果,是基地推出的系列改革教材中的一本。

土力学是将固体力学和流体力学等学科的基本原理应用于土体的一门应用学科,构成力学的一个重要分支。因此,该书对基础理论内容的精选、体系的调整和重组以及知识的更新和拓宽等做法类同于本基地撰写的《工程力学教程》,旨在优化整合知识,突出基础,提高教学效率。同时,土力学又是一门实践性极强的课程,它是研究土木、水利等工程中与土有关的土工问题的专门学科,是土木、水利类工科专业的一门重要技术基础课。因此,该书比起《工程力学教程》,更为突出其工程应用和反映现代信息,以强化理论与实际的联系和对学生创新能力的培养。

本书主要取材于我校土工界老前辈钱家欢教授等人的土力学优秀教材。本书编者使用该教材业已多年,积累了丰富的教学经验。随着新形势下培养高素质人才要求的提高以及近年来土力学学科的迅速发展,他们又以改革的精神和科学的态度精心地撰写出这本新教材。它既保留和强化了前辈们教材的优点,又吸收了同类教材的长处,体现了新的特色,可望能在促进土力学教学质量和教学效率的提高起到积极的推动作用。

本书承蒙殷宗泽教授悉心审阅,提出了十分详尽的宝贵意见,为提高本书质量作出了重要贡献。在此,特表衷心的感谢!

参加本书编写的有卢廷浩、朱伟、余湘娟、朱俊高、王媛和王保田等,由卢廷浩任主编。

鉴于改革是一种探索,加上水平和时间所限,书中难免存在一些不足之处,敬请读者批评指正。

河海大学力学课程教学基地
2002 年 1 月

前 言

为了适应新形势下高素质人才培养的要求,国家对高等教育专业设置进行了调整。因此,教学计划、课程体系和课程内容也必须作相应的调整。在面向21 世纪的课程体系里,土力学是土木、水利等有关专业的重要基础技术课程,同时被列入国家工科力学基地建设的课程之一。基于土力学学科的迅速发展和教学改革的需要,我们编写这本《土力学》教材。

全书共分八章。着重土的基本性质的论述,系统阐述了土力学的基本原理、基本理论和基本方法。与现有教材相比,本书具有如下特点:兼顾了土木、水利等有关专业特点,将现有教材中相关内容进行了整合;考虑到各类工程中挡墙与边坡稳定等问题较为普遍,加强了挡土墙土压力计算、土坡稳定分析方法的介绍;内容编排顺序作了适当调整,将“土体应力计算”一章编排在后,“土的渗透性”一章编排在后,即先行系统地介绍土力学中各种应力(包括有效应力和孔隙水应力)的概念,这样的编排方式将更有利于“教”和“学”。为加强学生对土力学基本原理、基本理论、基本方法的理解和应用,培养和训练学生分析问题、解决问题的能力,每章均配有一定量的例题、复习思考题和习题。

编写提纲经编写小组集体讨论制定。编写者互相审校书稿,并请殷宗泽教授审阅,经多次修改后定稿。本书由卢廷浩教授担任主编,编写人员有:卢廷浩(绪论、第二章、第八章),朱伟(第三章),余湘娟(第一章、第五章),朱俊高(第四章),王媛(第六章),王保田(第七章)。本书的编写和出版得到了同行专家和出版社同志的关爱和无私帮助,在此顺致衷心谢忱!

本教材的编写借鉴了前人的工作,融汇编者多年的教学经验,也吸收了同类教材的优点。在内容取舍、编写顺序等方面均作了精心安排。可以说这本教材的出版是编者乘改革春风,在前人的基础上完成的。希望使用本书的教师、同学,参阅本书的专家、学者不吝赐教,以便再版时加以修改、充实和提高。

编 者
2002 年 1 月

主 要 符 号

本教材所采用的术语符号基本上均为行业内约定俗成的用法,也有极少数符号在不同教科书或文献中不尽一致。为方便读者阅读,本教材对常用术语符号作如下约定。

a_v ——压缩系数	G_s ——土粒比重(相对密度)
$A, \bar{A}$ ——面积,孔隙应力系数	OCR ——超固结比
b ——基础宽度	P ——荷载合力,填土压实度
$B, \bar{B}$ ——孔隙应力系数	p ——均布荷载,平均基底压力
c ——土的粘聚力(一般表达)	p_c ——前期有效固结应力
C_a ——次固结系数	p'_0 ——现有有效固结应力
C_c ——压缩指数、曲率系数	p_{cr} ——临塑荷载
C_s ——回弹再压缩指数	p_n ——基底均布净压力(基底附加压力)
c_u ——三轴不排水强度	p_0 ——现有固结应力
C_u ——不均匀系数	p_h ——水平分布荷载
c' ——有效粘聚力	p_t ——三角形分布荷载的最大值
C_v ——竖向固结系数	q ——地表超载,偏应力,流量
d ——基础埋置深度,圆的直径	q_u ——无侧限抗压强度(原状土)
d_{10} ——有效粒径	q'_u ——无侧限抗压强度(扰动土)
d_{60} ——控制粒径	Q ——水量
D_r ——无粘性土相对密实度	r ——圆的半径
e ——孔隙比,荷载偏心距	R ——滑动圆弧半径
e_a, E_a ——主动土压力	S_r ——饱和度
e_0, E_0 ——静止土压力	S_t ——灵敏度
e_p, E_p ——被动土压力	t ——时间
E ——变形模量	T_v ——时间因素
E_s ——压缩模量	U ——固结度
f ——地基承载力设计值	u ——孔隙水应力
f_a, f_p ——地基容许承载力	u_0 ——初始孔隙应力
f_0 ——地基承载力的基本值	V ——体积
f_k ——地基承载力标准值	w ——含水率
f_u ——地基极限承载力	W ——重量
F_h ——水平向荷载	w_L ——液限
F_v ——竖向荷载	w_{op} ——最优含水率
F_s ——安全系数	w_p ——塑限
G ——基础自重	w_s ——缩限

σ ——总应力(一般表达)	σ' ——有效应力(一般表达)
h ——基础高度,土层厚度	σ_1, σ_3 ——大主应力、小主应力
H ——土层厚度,最大排水距离,墙高	σ_{1f}, σ_{3f} ——破坏时大主应力、小主应力
H_z ——压缩层计算厚度	σ'_1, σ'_3 ——有效大主应力、有效小主应力
i ——水力坡降	$\sigma'_{1f}, \sigma'_{3f}$ ——破坏时有效大主应力、有效小主应力
i_{cr} ——临界水力坡降	
I_p ——塑性指数	$\sigma_{cz}, \sigma_{cx}(\sigma_{cy})$ ——竖向自重应力,侧向应力
I_L ——液性指数	σ_z ——竖向附加应力
j, J ——渗流力	ϵ ——应变
k ——渗透系数	τ ——剪应力
K ——附加应力系数	τ_f ——土的抗剪强度
K_a ——主动土压力系数	τ_r ——土的残余强度
K_0 ——静止侧压力系数	μ ——泊松比
K_p ——被动土压力系数	ρ_w ——水的密度
l ——长度	$\rho, \rho_d, \rho_{sat}, \rho'$ ——土的密度、干密度、饱和密度、浮密度(有效密度)
L ——渗径长度	γ_w ——水的重度(容重)
m ——质量	$\gamma, \gamma_d, \gamma_{sat}, \gamma'$ ——土的重度、干重度、饱和重度、浮重度(有效重度)
m_v ——体积压缩系数	φ ——土的内摩擦角(一般表达)
n ——孔隙率	φ_0 ——外摩擦角
M ——力矩	
N ——贯入击数	
N_r, N_c, N_q ——承载力系数	

目 录

主要符号	(I)
绪 论	(1)
第一章 土的物理性质指标与工程分类	(3)
1—1 土的形成	(3)
1—2 土的组成	(4)
1—3 土的结构	(13)
1—4 土的物理性质指标	(15)
1—5 无粘性土的相对密实度、粘性土的稠度及土的压实性	(22)
1—6 土的工程分类	(29)
思考题	(35)
习 题	(36)
第二章 土体应力计算	(38)
2—1 概述	(38)
2—2 地基中的自重应力	(39)
2—3 基底压力与基底附加应力	(41)
2—4 地基中的附加应力计算	(46)
2—5 土坝(堤)自重应力和坝基附加应力	(63)
思考题	(65)
习 题	(65)
第三章 土的渗透性	(67)
3—1 概述	(67)
3—2 达西渗透定律	(68)
3—3 渗透系数的测定	(70)
3—4 二向渗流和流网的特征	(74)
3—5 渗流力及渗透稳定性	(76)
3—6 在静水和有渗流情况下的孔隙水应力和有效应力	(85)
思考题	(91)
习 题	(91)
第四章 土的压缩与固结	(93)
4—1 概述	(93)
4—2 土的压缩特性	(93)
4—3 单向压缩量公式	(100)
4—4 地基沉降计算的 $e \sim p$ 曲线法	(102)
4—5 地基沉降计算的 $e \sim \lg p$ 曲线法	(108)

4—6 地基沉降与时间关系——土的单向固结理论·····	(114)
思考题·····	(123)
习 题·····	(123)
第五章 土的抗剪强度 ·····	(125)
5—1 概述·····	(125)
5—2 强度概念与莫尔—库伦理论·····	(125)
5—3 确定强度指标的试验·····	(131)
5—4 三轴压缩试验中的孔隙应力系数·····	(137)
5—5 三轴试验中土的剪切性状·····	(139)
思考题·····	(152)
习 题·····	(153)
第六章 挡土结构物上的土压力 ·····	(155)
6—1 概述·····	(155)
6—2 静止土压力计算·····	(156)
6—3 朗肯土压力理论·····	(158)
6—4 库伦土压力理论·····	(167)
6—5 土压力问题的讨论·····	(176)
6—6 工程中挡土墙的土压力计算·····	(178)
6—7 支挡结构物上的土压力计算·····	(184)
思考题·····	(189)
习 题·····	(189)
第七章 边坡稳定分析 ·····	(192)
7—1 概述·····	(192)
7—2 无粘性土土坡稳定分析·····	(194)
7—3 粘性土土坡整体圆弧滑动及条分法·····	(195)
7—4 瑞典条分法·····	(199)
7—5 毕肖普条分法·····	(205)
7—6 非圆弧滑动面土坡稳定分析·····	(208)
7—7 讨论·····	(212)
思考题·····	(215)
习 题·····	(216)
第八章 地基承载力 ·····	(217)
8—1 概述·····	(217)
8—2 按塑性开展区深度确定地基承载力·····	(219)
8—3 浅基础地基极限承载力·····	(223)
8—4 规范方法确定地基承载力·····	(232)
思考题·····	(236)
习 题·····	(236)
参考文献 ·····	(238)

绪 论

一、学习本课程的目的

土是一种自然环境下生成的堆积物,不同地区不同位置土的性质存在差异,有的甚至差异很大。各类建筑物的地基是土体,土石坝(堤)是由土体筑成的。土是一种材料,具有强度,在荷载作用下产生应力变形甚至破坏。土的性质极为复杂,远不同于常用的钢材、木材或其他人工合成材料。

土力学是研究土的物理性质以及在荷载作用下土体内部的应力变形和强度规律,从而解决工程中土体变形和稳定问题的一门学科。

建造各类建筑物几乎都涉及到土力学课题,保证建筑物施工期的安全、竣工后的安全和正常使用。土力学学科需研究和解决工程中的两大类问题。一是土体稳定问题,这就要研究土体中的应力和强度,例如地基的稳定、土坝的稳定等。当土体的强度不足时,将导致建筑物的失稳或破坏;二是土体变形问题,即使土体具有足够的强度能保证自身稳定,然而土体的变形尤其是沉降(竖向变形)和不均匀沉降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。此外,需要指出的对于土工建筑物(如土坝、土堤、岸坡)、水工建筑物地基,或其他挡土挡水结构,除了在荷载作用下土体要满足前述的稳定和变形要求外,还要研究渗流对土体变形和稳定的影响。为了解决上述工程问题,就要研究土的物理性质及应力变形性质、强度性质和渗透性质等力学行为,找到它们的内在规律,作为解决土体稳定和变形问题的基本依据。

土力学是岩土工程学科的基础,是水利水电工程、土木工程、地质工程、环境工程、路桥及港口工程等专业的基礎力学课程之一,属于专业基础课程,是解决许多工程问题的有力工具。很难想象,缺乏土力学知识的工程师如何能圆满完成各种工程建设。

二、本课程的学习方法和要求

土是由固态、液态、气态物质组成的三相体系。土不同于其他材料,与各种连续体材料相比较,天然土体物理力学性质十分复杂,受土的生成条件、环境变动因素影响很大。土力学已形成一定的理论体系,但现有的土力学理论还难以全面客观地模拟和概括天然土体的各种力学行为的全貌。一方面,要通过实践,尤其是通过室内实验及现场测试研究来揭示土的力学行为,丰富和完善土力学理论;另一方面,人们要应用土力学理论指导实践。

学生在学完高等数学、理论力学、材料力学、静水力学之后学习本课程,只有在学好本课程之后,才有可能进一步学习基础工程、地基处理等岩土工程学科的相关课程。学生在学习本课程时,要掌握土力学的基本理论,学会解决实际问题的基本方法和培养基本技能。在学完土力学课程之后,应掌握土的物理性质研究方法;会计算土体应力,了解应力分布规律;掌握土的渗流理论、压缩理论、固结理论及有效应力原理、应力历史的概念,能熟练地进行地基沉降和固结计算;掌握土的强度理论及其应用,进行土压力计算,土坡稳定验算,地基承载力

的确定。结合理论学习要培养自己进行各种物理力学试验的技能,通过试验深化理论学习,理解和掌握确定计算参数的方法。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他课程与本课程的联系。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。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,由表及里的学习方法,培养抓住问题实质从而解决实际问题的能力。

三、本学科的发展简史

土力学是岩土工程学科的基础课程,是一门既古老而又年青的应用学科。我国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,恢宏的宫殿寺院,灵巧的水榭楼台,巍峨高塔,蜿蜒万里的长城、大运河,等等。这些工程无不体现出能工巧匠的高超技艺和创新智慧。然而这些还仅局限于工程实践经验,受到当时生产力水平的限制,未能形成系统的土力学和工程建设理论。

土力学逐渐形成理论始于 18 世纪兴起工业革命的欧洲,那时,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,例如铁路路基问题。1773 年,法国 A·库伦(Coulomb)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。1869 年,英国 W·J·M 朗肯(Rankine)又依据强度理论从另一角度推导了土压力计算公式。1885 年,法国 J·布辛内斯克(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。1922 年,瑞典的 W·费伦纽斯(Fellenius)提出了土坡稳定分析方法。这些古典的理论和方法影响着后人。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,K·太沙基(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,标志着近代土力学学科的形成。1963 年,罗斯科(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进入了一个崭新的阶段。

回顾新中国成立后的 50 多年,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本学科的发展,在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,为国民经济发展做出了贡献。许多大型水利水电工程,核电站工程,延绵万里的高速公路,大型桥梁,万吨级码头,大型厂房,林立的高楼大厦,地下空间开发利用等等都呈现了本学科理论和实践的巨大成就。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。21 世纪人类将面对资源 and 环境这一严酷生存问题的挑战,有各种各样岩土工程问题需要解决,这恰恰是青年学生将来要肩负的任务。

土的物理性质 指标与工程分类

第1章

1—1 土的形成

地球表层的整体岩石,在大气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),即形成了通常所说的土。因此,可以说土是松散颗粒的堆积物。

岩石的风化一般可分为物理风化和化学风化两个过程。物理风化就是指岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀,或受波浪的冲击、地震等引起各种力的作用,温度的变化、冻胀等因素使整体岩石产生裂隙、崩解碎裂成岩块、岩屑的过程。例如,岩体冷却时引起的温度应力或地表附近日常的气温变化都可导致岩体开裂,雨水渗入这些裂缝后冻胀将促使裂缝张开,最后岩体崩解成岩块。通过同样的过程,这些岩块又可进一步碎裂成岩屑。在干旱地区,大风刮起的砂、砾的撞击亦可引起岩体剥落和岩块碎裂。这种风化作用,只改变颗粒的大小与形状,不改变岩石的矿物成分。化学风化是指岩体(或岩块、岩屑)与氧气、二氧化碳等各种气体、水和各种水溶液等物质相接触,经氧化、碳化和水化作用,使这些岩石或岩屑逐渐产生化学变化,分解为极细颗粒的过程。例如,当岩石和水相接触时,水中的 H^+ 就会和矿物产生化学反应,微小的 H^+ 可以进入矿物的晶格取代其中的阳离子并改变矿物的晶格和化学成分。当水为酸性时, H^+ 浓度增加,这种反应更为强烈和迅速。因此化学风化使岩石起了质的变化,不但改变了颗粒的大小,也改变了原岩矿物的成分。在自然界,物理和化学这两种风化作用是同时或交替进行的,所以,任何一种天然土通常既是物理风化的产物,又是化学风化的产物。

土从其堆积或沉积的条件来看可以分为两大类,一类叫残积土,另一类叫运积土。

残积土是指岩石经风化后仍留在原地未经搬运的堆积物。残积土的厚度和风化程度主要取决于气候条件和暴露时间。残积土的厚度受风化和搬运作用及岩体的构造作用的影响。在湿热地带,风化速度快,残积土的厚度可达几米至几十米,这里的残积土主要由粘粒组成;反之,在严寒地带,残积土的厚度不大,且主要由岩块和砂组成。由于残积土未经搬运的磨损作用,土层中所含的石块均带尖棱角。残积土的明显特征是,颗粒多为角粒且母岩的种类对残积土的性质有显著影响。母岩质地优良,由物理风化生成的残积土,通常是坚固和稳定的。母岩质地不良或经严重化学风化的残积土,则大多松软,性质易变。残积土一般是良好的建筑土料,但作为建筑地基时要注意土性和厚度随不同位置的变异性,应进行详细的勘探工作。

沉积土是指岩石风化后经流水、风和冰川以及人类活动等动力搬运离开生成地点后再沉积下来的堆积物。由于搬运的动力不同,分为冲积土、风积土、冰碛土和沼泽土等。

冲积土 是指降雨形成的地表径流流经地表时,冲刷、带动或搬运土粒,经过一段搬运距离后在较平缓的地带沉积下来的土层。这些被搬运的物质有的来自山区,有的来自平原,还有的是来自江河河床冲蚀及两岸剥蚀的产物。冲积土的分布范围很广。其主要类型有山区河谷冲积土、山前平原冲积土、平原河谷冲积土、三角洲冲积土、洪积土等。大多数冲积土是由水流搬运逐渐沉积而成的。流水所能带走土粒的最大尺寸与其流速的平方成比例,水的流速又与水力坡降有关。大小不同的土粒随着河流流速的改变可堆积在不同的部位,这就引起一定程度的颗粒分选和不均匀性。

风积土 由风力带动土粒经过一段搬运距离后沉积下来的堆积物称为风积土。主要有砂土和黄土,常在干旱和半干旱地区遇到。风所能带走的颗粒大小取决于风速,因此,颗粒随风向也有一定的分选。风积土没有明显层理,颗粒以带角的细砂粒和粉粒为主,同一地区颗粒较均匀。干旱地带粉质土粒细小,土粒之间的联接力很弱,易被风力带动吹向天空,经过长距离搬运后再沉积下来形成。典型的风积土,如黄土(或黄土类土)具有肉眼可见的竖直细根孔,颗粒组成以带角的粉粒为主,常占干土总质量的 60%~70%,并含有少量粘粒和盐类胶结物。由于黄土具有一些大孔隙,因而密度很低。黄土分布在干旱地区,因而含水率也很低,一般为 10% 左右,干燥时由于土粒之间有胶结作用,其胶结强度较大,即使很疏松,仍能维持陡壁或承受较大的建筑物荷载。可是一经遇水,土体结构即遭破坏,胶结强度迅速降低,黄土地基会在自重或建筑物荷载作用下剧烈下沉,黄土的这种性质称为湿陷性。我国黄土分布广泛,在黄土地区修造建筑物时一定要充分注意到黄土的这一性质。

冰碛土 由冰川剥落、搬运形成的堆积物称为冰川沉积土。其中,几乎未经流水搬运直接从冰层中搁置下来的称为冰碛土。其特征是不成层,所含颗粒粒径的范围很宽,小至粘粒和粉粒,大至巨大的漂石。粗颗粒的形状是次圆或次棱角的,有时还有磨光面。化学胶结的冰碛土,特别是经过冰荷载作用的冰碛土,已经产生了很大的压缩量,冰川后退后这些土层就具有密度大、压缩性小和强度大的良好工程性能,因此可作为理想的建筑物地基。由冰川融化水搬运、堆积在冰层外围的冲积土称为冰水冲积土,具有与河流冲积土类似的性质,通常由砾石、砂和粉砂组成,是优良的透水材料和混凝土骨料。

沼泽土 在沼泽地的沉积物称为沼泽土。其形成是在停滞或流动不畅的浅水地区,在条件合适的情况下植物大量繁殖。地层构造运动或环境变化使得大片植物被水或土覆盖,随着时间的推植物完全或部分分解并腐烂变质。充分腐化的土称为腐植土,其年代较久。未完全腐化还保留有植物残余物的称为泥炭土。泥炭土的特点通常呈海绵状,干密度很小,含水率极高,土质十分疏松,因而其压缩性高、强度很低而灵敏度很高。应力求避免直接作为建筑物地基。

1—2 土的组成

从前述土的形成可知,土是由固体颗粒和颗粒之间的孔隙所组成,而孔隙中通常又存在着水和空气两种物质,因此,土是固体颗粒、水和空气的混合物,常称土为三相系。其中土的

颗粒称为固相,土体孔隙中的水称为液相,而孔隙中的空气则称为气相。土的颗粒与颗粒之间的互相联结或架叠构成土的骨架。当土骨架的孔隙全部被水占满时,这种土称为饱和土;当骨架的孔隙仅含空气时,就称为干土。一般在地下水位以上地面以下一定深度内的土的孔隙中兼含空气和水,此时的土体属三相系,称为湿土。

根据研究,组成土的三个部分即固相、液相和气相所占的比例不同而对土的工程性质有着很大的影响。下面分别介绍三相的属性及其对土的工程性质的影响。

一、土的固相

(一) 成土矿物

形成土粒的矿物成分各不相同,主要取决于成土母岩的矿物成分及其风化作用。成土矿物分为两大类:一类为原生矿物,常见的有石英、长石、云母、角闪石与辉石等。由物理风化生成的土粒,通常由一种或几种原生矿物所构成,其颗粒一般较粗,多呈浑圆形、块状或板状,吸附水的能力弱,其属性与成土母岩相同,性质比较稳定,无塑性。另一类为次生矿物,它是由原生矿物经化学风化作用而形成的矿物,其成分与母岩完全不同。次生矿物主要是粘土矿物,常见的粘土矿物有高岭石、伊利石和蒙脱石三类。由于次生矿物构成的土粒极细,且多呈片状或针状,其性质较不稳定,有较强的吸附水能力(尤其是由蒙脱石构成的土粒),含水率的变化易引起体积胀缩,具塑性。

(二) 粘土矿物的晶体结构

粘土矿物是次生矿物中数量最多的一种,是由各种硅酸盐矿物分解形成的含水铝硅酸盐矿物,其颗粒都极细小,是粘粒组中的主要矿物成分。粘土矿物种类繁多,其结构可分为晶体和非晶体两大类,以晶体矿物为主,非晶体矿物很少。所谓晶体是指原子、离子在空间有规律的排列,不同的几何排列形式称为晶体结构,组成晶体结构的最小单元称为晶胞。粘土矿物晶胞构成的土粒主要是由硅-氧四面体和铝(镁)-氢氧(或氧)八面体两种基本结构单元组成的。硅-氧四面体是由一个居中的硅原子和四个在角点的氧原子组成如图 1-1(a)所示。四面体底面的每个氧原子为两个相邻单元内的硅原子所共有。正因为有这种共有的原子,才组成了底面具有六边形的硅片如图 1-1(b)。铝(镁)-氢氧八面体是由一个居中的铝原子和六个在角点的氢氧离子组成如图 1-2(a)所示。当每个氢氧离子为两个相邻单元内

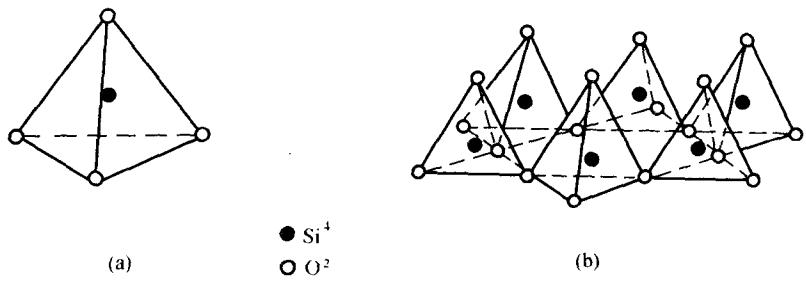


图 1-1 硅片的基本单元和结构

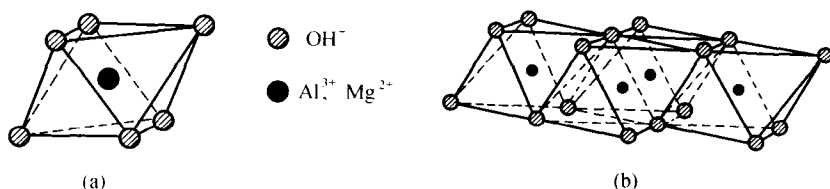


图 1-2 铝(或镁)片的基本单元和结构

的铝原子所共有时,就组成铝片如图 1-2(b)所示。高岭石是长石风化的产物,由一层四面体和一层八面体相互叠结而成。蒙脱石则为两层四面体中间夹一层八面体组成一个晶胞,晶胞之间的联结力很弱,水分子极易进入,故有遇水膨胀的特性。伊利石如同蒙脱石一样也是三层结构,所不同的是晶胞之间有钾离子存在,故联结力较强。

不同的粘土矿物都是由以上两种基本结构单元组成的,只是具有不同的组成形式而已。有时中心原子 Si, Al 会被其他原子如 Fe, Mg 等置换,其结构形式不变,但其物理化学性质将发生变化,形成不同的矿物,这种现象叫做同像置换或同型代替。

(三) 土粒的大小和土的级配

如上所述,土粒的大小与成土矿物之间存在着一定的相互关系,因此,土粒大小在某种程度上反映土粒性质上的差异。土是自然界的产物,是由无数大小不同的土粒组成,要逐个研究它们的大小是不可能的,也没有这种必要。工程上通常把工程性质相近的一定尺寸范围的土粒划分为一组,称为粒组,并给以常用的名称。工程上广泛采用的粒组有:漂石粒、卵石粒、砾粒、砂粒、粉粒、粘粒和胶粒。

对粒组的划分,各个国家,甚至一个国家中的各个部门都有不同的规定。表 1-1 为我国水利部《土工试验规程(SL237—1999)》中规定的粒组划分情况。

表 1-1 水利部标准规定的粒组划分

粒 组 统 称	粒 组 划 分		粒 径 (d) 的 范 围 (mm)
巨 粒 组	漂石(块石)组		$d > 200$
	卵石(碎石)组		$200 \geq d > 60$
粗 粒 组	砾粒(角砾)	粗 砾	$60 \geq d > 20$
		中 砾	$20 \geq d > 5$
		细 砾	$5 \geq d > 2$
	砂 粒	粗 砂	$2 \geq d > 0.5$
		中 砂	$0.5 \geq d > 0.25$
		细 砂	$0.25 \geq d > 0.075$
细 粒 组	粉 粒		$0.075 \geq d > 0.005$
	粘 粒		$d \leq 0.005$

土中某粒组的土粒含量定义为该粒组中土粒质量与干土总质量之比,以百分数表示。土中各种大小的粒组中土粒的相对含量称为土的级配。土的级配好坏将直接影响到土的工程性质。人们一直在探索建立土的级配与土的工程性质之间的密切关系。级配良好的土,

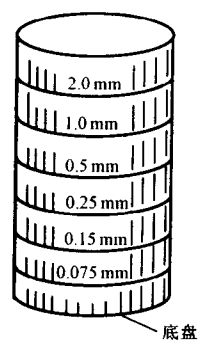
压实时能达到较高的密实度,因而,该土的透水性小,强度高,压缩性低。反之,级配不良的土,其压实密度小,强度低,透水性强而渗透稳定性差。

(四) 颗粒大小分析试验

测定土中各粒组颗粒质量所占该土总质量的百分数,确定粒径分布范围的试验称为土的颗粒大小分析试验。该试验用以了解土的颗粒级配,供土的工程分类及判别土的工程性质和建材选料之用。常用的试验方法有筛分法和密度计法两种。筛分法适用于粒径大于 0.075 mm 的土,密度计法适用于粒径小于 0.075 mm 的土。当土内兼有大于和小于 0.075 mm 的土粒时,两种分析方法可联合应用。

1. 筛分法

筛分法是利用一套孔径由大到小的筛子,如图 1-3 所示。将按规定方法取得的一定质量的干试样放入依次叠好的筛中,置振筛机上充分振摇后,称出留在各级筛上的土粒的质量,按下式算出小于某土粒粒径的土粒含量百分数 $X(\%)$ 。



$$X = \frac{m_i}{m} \times 100 \tag{1-1}$$

式中: m_i, m ——分别为小于某粒径的土粒质量及试样总质量(g)。

【例题 1-1】 从干砂样中称取质量 1 000 g 的试样,放入图 1-3 所示的标准筛中,经充分振摇后,称得各级筛上留存的土粒质量,见表 1-2 中的第二行,试求土内各粒组的土粒含量。

图 1-3 筛子示意图

表 1-2 筛分试验结果

筛 孔 径(mm)	2.0	1.0	0.5	0.25	0.15	0.075	底 盘
各级筛上的土粒质量(g)	100	100	250	300	100	50	100
小于各级筛孔径的土粒含量(%)	90	80	55	25	15	10	
各粒组的土粒含量(%)	10	10	25	30	10	5	10

【解】 留在孔径 2 mm 筛上的土粒质量为 100 g,则小于该孔径的土粒含量为 $900/1\,000 = 90\%$ 。同样可算得小于其它孔径的土粒含量,见表 1-2 中的第三行。

由小于 2 mm 和 1 mm 孔径的土粒含量 90% 和 80% 可得到 2 mm 到 1 mm 粒组的土粒含量为 10%。同样可算得其它粒组的土粒含量,见表 1-2 中的第四行。

2. 密度计法

密度计法是利用不同大小的土粒在水中的沉降速度不同来确定小于某粒径的土粒含量的方法。

具体方法步骤参见试验指导书。

3. 土的级配曲线

根据颗粒大小分析试验,可以得到以下两种表示形式的曲线。

(1) 粒径分布曲线:以土粒粒径为横坐标(对数比例尺),小于某粒径土质量占试样总质量的百分数为纵坐标绘制而成的曲线。由于土中的粒径相差悬殊,因此横坐标用对数坐