

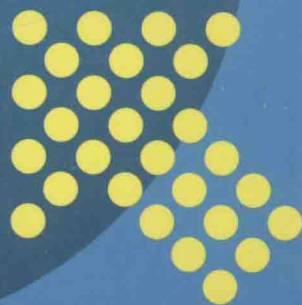
21世纪高等学校规划教材



TULIXUE

土力学

崔自治 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

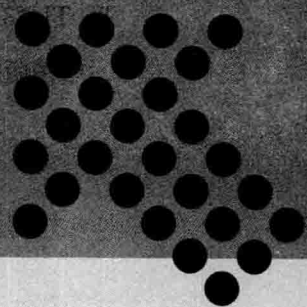
21世纪高等学校规划教材



TULIXUE

土力学

崔自治 编
刘东燕 主审



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。全书共分十章, 主要包括绪论、土的基本性质和工程分类、土中渗流、土中应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度、地基特征荷载、土压力与挡土墙、土坡稳定分析、土的动力特性等。各章有典型例题, 章后附有相应的思考题和习题。本书突出现代教育特色(厚基础、宽专业、强能力), 内容新(新规范、新理论、新方法), 结构合理(层次分明、逻辑性强)。

本书可作为普通高等院校土木工程、水利工程、交通工程、市政工程、工程管理等专业教材, 也可作为高职高专院校建筑工程技术及相关专业教材, 还可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/崔自治编. —北京: 中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9631 - 6

I. 土… II. 崔… 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 197652 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 304 千字

定价 20.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

在土木工程专业及其相近专业本、专科教学中,土力学是一门必修的专业基础课。土因其特殊性,在荷载作用下的力学响应不同于弹性材料和理想的塑性材料,需要进行专门的研究。土力学是以材料力学、弹性力学和塑性力学为基础,主要研究土的应力、应变、强度和时间的关系,以及与基础相互作用的规律,为解决基础工程设计和施工问题奠定理论基础。本教材的特色主要有以下几点:

(1) 厚基础、宽专业、强能力。重点阐述基础理论知识,努力做到夯实学生专业基础,兼顾各专业知识点的要求,强化创新能力培养。

(2) 内容与本学科发展水平相适应。以最新的规范,成熟的新理论、新技术充实教材内容,理论联系实际。

(3) 内容层次分明、结构合理、逻辑性强。各章节内容之间的排序上注重知识间的内在联系,按照提出问题(what),分析问题(why),解决问题(how)的顺序安排,努力做到层次清楚,主次分明,详略得当,留有余地。

(4) 简明、扼要、实用。

(5) 各章中有典型例题,章后附有相应的思考题和习题。

限于编者水平,书中欠妥之处在所难免,恳请读者不吝指正。

石河子大学刘东燕教授审阅了全部书稿,提出了宝贵的修改意见,李欢、杜强、赵伟和杜方江,崔永成、王存存、彭博和王宝涛做了大量工作,在此一并表示衷心致谢!

编者

2009年10月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 土的特点	1
第二节 土力学研究的内容	2
第三节 土力学的发展	5
第四节 土力学课程的性质与学习方法	6
第二章 土的基本性质和工程分类	7
第一节 土的生成	7
第二节 土的结构与构造	8
第三节 土的三相组成	9
第四节 土的三相比例指标	14
第五节 无黏性土的状态	18
第六节 黏性土的状态	20
第七节 土的工程分类	23
思考题	26
习题	27
第三章 土中渗流	28
第一节 概述	28
第二节 土的渗透定律	29
第三节 渗透力及渗透变形	35
第四节 二维渗流及流网	37
思考题	41
习题	41
第四章 土中应力计算	43
第一节 概述	43
第二节 土中自重应力计算	44
第三节 基底压力计算	47
第四节 土中附加应力计算	50
第五节 有效应力原理	62
思考题	64
习题	65
第五章 土的压缩性与地基沉降计算	67
第一节 概述	67

第二节	土的压缩性	68
第三节	应力历史对压缩性的影响	73
第四节	地基固结沉降计算	75
第五节	地基瞬时沉降和次固结沉降计算	83
第六节	饱和土的固结理论	84
第七节	建筑物沉降观测与地基变形允许值	93
思考题		95
习题		96
第六章	土的抗剪强度	98
第一节	概述	98
第二节	莫尔—库伦抗剪强度理论	99
第三节	土体极限平衡条件	100
第四节	土的抗剪强度指标测定	105
第五节	砂土的抗剪强度性状	110
第六节	饱和黏性土的抗剪强度性状	111
第七节	孔隙水应力系数	117
第八节	应力路径	120
思考题		122
习题		122
第七章	地基特征荷载	125
第一节	概述	125
第二节	临塑荷载和塑性荷载	127
第三节	地基极限荷载	131
思考题		142
习题		142
第八章	土压力与挡土墙	143
第一节	概述	143
第二节	静止土压力计算	144
第三节	朗肯土压力理论	145
第四节	库伦土压力理论	149
第五节	挡土墙设计	161
思考题		167
习题		167
第九章	土坡稳定分析	169
第一节	概述	169
第二节	无黏性土坡的稳定分析	170
第三节	黏性土坡的稳定分析	171
第四节	提高土坡稳定的措施	182
思考题		183

习题.....	183
第十章 土的动力特性.....	184
第一节 概述.....	184
第二节 土的压实性.....	185
第三节 土的振动液化.....	187
第四节 土的动力特性.....	190
思考题.....	192
习题.....	193
参考文献.....	194

第一章 绪 论

第一节 土 的 特 点

土 (soil) 是岩石风化产物的松散集合体。土的形成经历了风化、搬运和沉积 3 个过程, 形成过程中的风化作用类型、搬运介质和沉积环境造就了土自身的构成特点。

1. 散粒性

散粒性是指土由分散的土粒组成。土粒是大小不一, 形态各异的岩石碎屑及其风化物, 彼此间无联结力, 即使有也非常弱, 土粒间很容易发生剪切错动和拉裂。

2. 孔隙性

孔隙性是指土颗粒间具有孔隙。不同的土有着不同的孔隙特征, 粗粒土的孔隙直径粗, 连通性高, 细粒土的孔隙直径小, 连通性差, 级配好的土孔隙体积相对较小, 絮状结构的土孔隙体积相对较大, 即使是非常密实的土, 也有较大的孔隙体积。

3. 复杂性

复杂性是指土的组成复杂, 包括组成成分的多样性和物质状态的三相性。土是性质不同的物质集合体, 土中有岩石矿物、可溶性的无机盐、有机质、气体和水, 有原生矿物和次生矿物, 有粗大的岩石碎屑到细小的黏土胶粒, 固相、液相和气相三相物质共存, 相互作用, 有时还相互转化, 如水结冰或汽化。可见土是一个非常复杂的物质系统。

4. 多变性

多变性是指土的构成的不确定性, 包括时间和空间的不确定性。土的构成不是固定的, 是变化的, 同一时间不同位置的土的构成不同, 同一位置土的构成随时间在变化, 如矿物风化, 水分增减等。

5. 非均匀性

非均匀性是指土的组成物质在空间分布不均匀, 包括组成、结构和构造不均匀。土的非均匀性体现在组成物质在空间的分布数量有多又少, 性质各异, 土层有厚有薄, 起伏变化。

与土的构成特点相对应, 土具有如下的物理力学特点:

(1) 强度低, 在荷载作用下易于剪切破坏。土的强度不仅与土自身的性质有关还与土的应力、应变有关。

(2) 压缩性大, 变形不均匀, 压缩变形往往与时间有关, 既不是理想的弹性体, 也不是理想的塑性体, 在较小的压力作用下就会产生塑性变形, 静水压力和剪应力均能引起体积变形和剪切变形。

(3) 具有透水性且透水性差别大。土的渗透系数大可超过 $1.0 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$, 如碎石类土, 小不过 $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$, 如密实的黏土。

(4) 水稳定性差。水稳定性是指土在水的作用下性能变化的程度, 若性能变化大, 则水稳定性差, 反之则好。土中常含有一些耐水性差的组成物质, 这些物质在水的作用下膨胀、崩解、水解、强度降低, 如可溶性的盐溶解于水, 颗粒间的联结强度降低; 黏土矿物吸水膨

胀,具有可塑性等。

土的特殊性提出了许多新的力学问题,促进了土力学的形成和发展。

第二节 土力学研究的内容

一、土力学研究的内容

土的特殊性要求对其进行专门研究,这才形成了土力学 (soil mechanics) 这样一门力学分支。土力学是以土为研究对象,利用力学的一般原理,借助经验、室内及现场试验、原型观测等手段研究土的物理性质、荷载作用下的本构关系 (应力、变形、强度和时间的关系)、渗透性等的一门应用科学,主要解决工程中以下三大类问题:

1. 土体变形问题

为了保证建筑物的正常使用,土体在荷载作用下不应发生过大的变形,尤其是不均匀变形,具体要求是地基的特征变形不应超过允许值 ($s \leq [s]$)。否则,轻者将会导致建筑物倾斜、结构开裂,降低使用价值,重者将会使建筑物失去使用价值,甚至酿成毁坏事故。

图 1-1 所示意大利比萨斜塔,1173 年动工,8 层,高 55m。因地基土压缩性大、不均匀,塔北侧沉降 1.0m 多,南侧沉降近 3.0m,南北两侧沉降差达 1.8m,塔顶偏离中心线 5.27m,倾斜 5.5° 。为了使这座世界历史遗产免遭倒塌的厄运,意大利政府从 19 世纪开始,就积极采取各种补救措施,进行加固和纠偏,不利变形得到抑制。

图 1-2 所示苏州虎丘塔,建于公元 961 年,高 7 层,平面呈八角形,是一座砖身木檐仿楼阁形宝塔,也因地基问题塔身向东北方向严重倾斜,1980 年 6 月现场调查时,测得塔顶偏离中心线 2.31m,底层塔身产生水平裂缝,成为危塔而封闭。

图 1-3 所示上海市展览馆,建于 1954 年 5 月,高 96.6m,因地基为深厚的高压缩性黏土,建成当年就下沉 0.6m,到 1979 年 9 月测得展览馆中央大厅平均沉降量达 1.60m。

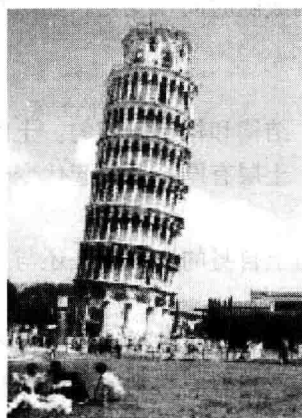


图 1-1 意大利比萨斜塔

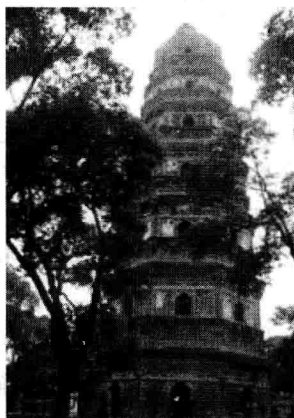


图 1-2 苏州虎丘塔



图 1-3 上海展览馆

围绕变形问题,土力学将研究土中应力计算理论、土的压缩性、基础沉降计算方法以及土的固结理论等内容。

2. 土体强度问题

强度问题包括地基承载力和土体稳定问题。为了保证建筑物的安全,土体应有足够的强

度而不发生破坏,具体要求是地基所受荷载必须小于等于地基承载力特征值 ($p \leq f_a$), 土体稳定安全系数必须大于等于规定值 ($k \geq 1.1 \sim 1.5$)。否则,将会导致建筑物倾倒、土坡滑动等严重的工程事故。

图 1-4 所示加拿大特朗斯康谷仓,建于 1941 年,高 31m,宽 23.5m,筒仓结构,筏板基础,建成后初次储存谷物时,因地基承载力不足而引起谷仓倾倒,一夜间西侧下沉 8.8m,东侧抬高 1.5m,倾斜 27° 。后用 388 个 50t 千斤顶扶直,但室内下降 4m。

图 1-5 所示上海莲花河畔景苑一栋在建 13 层住宅楼,2009 年 6 月 27 日凌晨 5 点因地面大量堆土和地基土强度不足,失去整体稳定,突然向南侧整体倾倒。

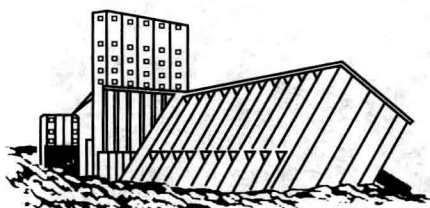


图 1-4 加拿大特朗斯康谷仓

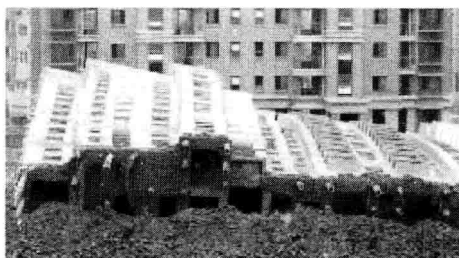


图 1-5 加拿大特朗斯康谷仓

2008 年 5 月 12 日四川汶川大地震引起众多的山体滑坡,滑坡成群连片,堰塞湖星罗棋布。滑坡摧毁庐舍、道路桥梁、淹没村落,给人民的生命财产带来了很大的危害。如图 1-6 (a) 所示为滑坡时产生的巨大气浪,如图 1-6 (b) 所示为滑坡堵塞的道路,如图 1-6 (c) 所示为滑坡冲毁的桥梁,如图 1-6 (d) 所示为滑坡将正在行驶的汽车压在下面,如图 1-6 (e)、(f) 所示为滑坡堵塞河谷形成的堰塞湖。

围绕土的强度问题,土力学将研究土的强度理论、地基承载力、土坡稳定分析和土压力理论等内容。

3. 渗透问题

渗透问题主要是地基的渗漏和渗透稳定性问题。堤坝、渠道、湿地、湖泊等蓄水和输水建筑物的地基应具有一定的抗渗能力,防止水的流失;渗透动水力可能使地基土产生流土和管涌等形式的渗透破坏,基坑(槽)和边坡失去稳定性。

2007 年 9 月三峡忠县东溪镇回龙水库发生渗漏,水位达到死库容,造成该镇 1.5 万多人及 8000 多头牲畜饮水告急。水库渗漏不仅降低有效库容,还可能危及库区安全。

2008 年 6 月 12 日广西省全州县龙水镇境内由于连降暴雨,导致大仙水库坝肩渗漏严重,存在安全隐患,紧急转移 2000 多人。

1998 年长江流域发生特大洪水,一些地方的大堤地基发生严重管涌,致使多处大堤垮塌,洪水淹没大片的农田。

围绕渗透问题,土力学将研究土的渗透规律,动水力和渗透稳定性等内容。

二、地基及基础的概念

地基(subgrade)是受建筑物荷载作用的岩土体,如图 1-7 所示。地基依据加固处理程度分为天然地基和人工地基。未经加固处理,在其上直接建造基础,或局部稍作处理后再在其上建造基础的地基称为天然地基(natural foundation);经大范围加固处理的地基称为人

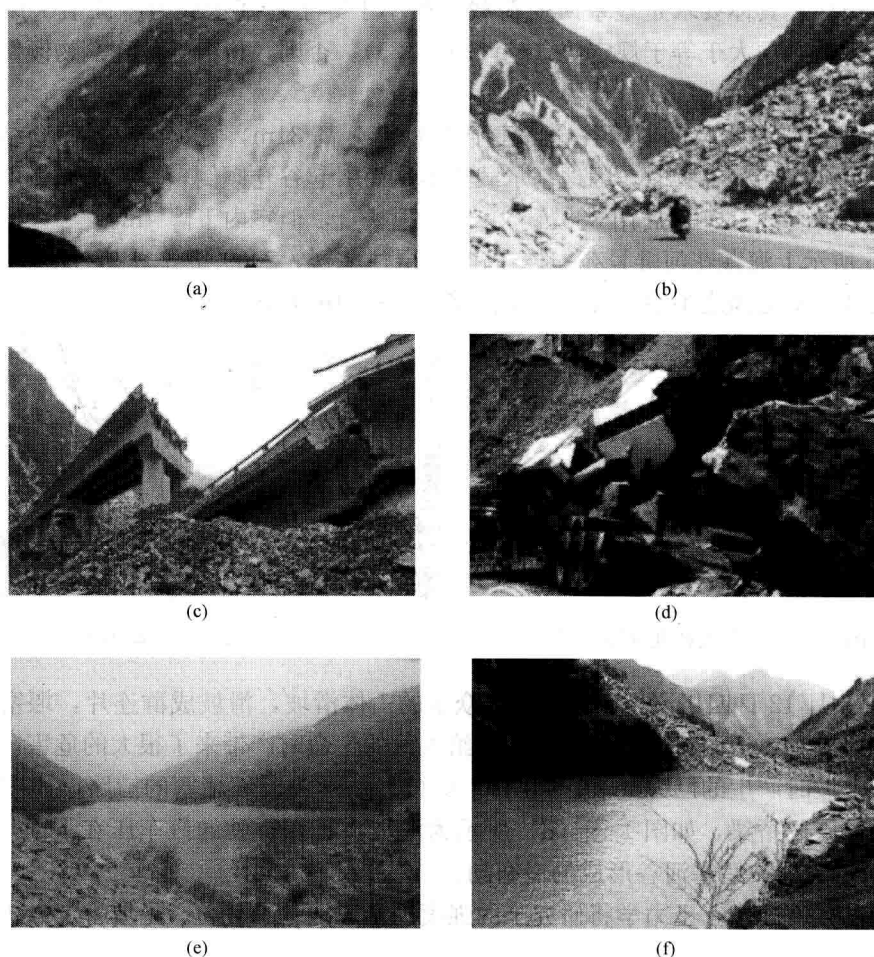


图 1-6 汶川地震山体滑坡

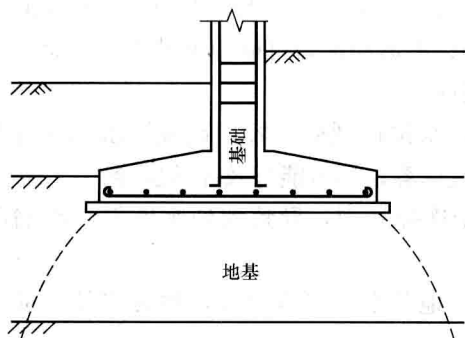


图 1-7 地基与基础

工地基 (artificial foundation)。

基础 (foundation) 是建筑物埋在地表以下的结构部分。基础的主要作用是将上部结构荷载经过扩散后传递给地基。基础底面到地表的距离称为基础埋置深度 (embedded depth of foundation)，简称基础埋深。基础按埋置深度和施工技术分为浅基础 (shallow foundation) 和深基础 (deep foundation)。浅基础埋深一般不大于 5m，也不大于基础底面宽度，施工技术简单，不需要专有技术，可用简单的方法开挖基坑 (槽) 并进行建造。

浅基础造价比较低，是多层和低层建筑常用的基础方案。深基础埋深大，施工需要专有技术，造价较高，但承载力和稳定性大，沉降小，如桩基、沉井、地下连续墙等。深基础在建筑物荷载较大或地基土比较软弱，不能满足承载力、稳定性或变形要求，或有某些特殊要求时采用。桩基是深基础中最常见，也是最为经济的一种基础类型，多用于中、高层建筑或某

些特殊土地基的处理。

建筑物的地基基础就好比树的根基,树的根基坏了就可能死亡,建筑物的地基基础毁了就可能倒塌。地基基础是建筑物的根和赖以矗立的物质基础。建筑物都要建在地基上,岩土工程问题的解决都离不开土力学理论,因此土力学是土木工程专业一门重要的专业基础课。

第三节 土力学的发展

土力学作为工程技术非常古老,可以追溯到新石器时代,但作为一门独立的力学学科又比较年轻,不足百年的历史。由于生产和生活的需要,人类很早就创造了地基基础施工工艺。我国新石器时代的半坡村遗址就有了土台和石基,7000年前的河姆渡文化遗址就有了木桩。我国春秋战国时代的万里长城,隋朝的赵州安济桥,埃及的金字塔,伊斯坦布尔的索菲亚大教堂和古希腊的万神殿等古代建筑,因奠基牢固,虽数历强震、强风而安然无恙。这些工程无不体现出古代人类高超的建造工艺和聪明智慧。然而这些还仅局限于工程实践经验,由于当时生产力发展水平的限制,尚处在感性认识阶段,还未能形成系统的科学理论。

土力学理论的形成始于18世纪欧洲兴起的工业革命。那时,大规模的城市建设、水利、道路和铁路的兴建,遇到了很多与土力学有关的问题,随着这些问题的解决,土力学的理论逐步地产生和发展起来。这一时期形成了土的抗剪强度理论——库伦强度定律,挡土墙上的土压力计算理论——库伦土压力理论和朗肯土压力理论,砂土的渗透定律——达西定律,半无限空间弹性体在竖向集中力作用下的应力和变形的理论解答——布辛奈斯克解。19世纪初,又形成了莫尔强度理论,土坡稳定分析的费伦纽斯条分法和普朗德尔地基承载力理论解,这些古典的理论为土力学学科的形成奠定了基础。1925年,美国著名科学家太沙基(K. Terzaghi)提出了饱和土的一维固结理论,阐述了有效应力原理,归纳和发展前人的研究成果,发表了第一本《土力学》专著,使土力学学科成为1门独立的力学学科分支。

此后在众多学者的努力下,土的基本特性、有效应力原理、固结理论、土体稳定问题、动力特性、土流变学等理论得到进一步深化和完善,有力地推动了土力学学科的发展。1963年,罗斯科(Roscoe)等人创建发表了著名的剑桥弹塑性模型,这标志着人们对土性质的认识和研究进入了一个崭新阶段。尤其是20世纪60年代电子计算机问世以后,计算手段、计算理论、测试技术和更接近土本质的本构模型得到了迅速发展,数值分析方法在岩土工程问题分析研究中得到广泛应用。

我国一些学者将土力学的发展划分为3个阶段:①奠基阶段,此阶段从库伦、朗肯、费兰纽斯等人建立的土力学理论到太沙基《土力学》专著为止;②土力学的建立与发展阶段,此阶段的标志是太沙基的专著《土力学》一书的出版,有效应力原理、一维固结理论的应用与发展;③土力学的新时期,此阶段标志是20世纪60年代以后,计算机的出现、计算方法的改进与发展、测试技术的发展、本构模型的建立与发展等。而另一些学者将土力学的发展划分为两个阶段:①经典土力学阶段,时间为1923~1962年,其标志是1个原理、两个理论。1个原理即有效应力原理、两个理论即饱和土固结理论和土体极限平衡理论。②现代土力学阶段,时间为1963年以后,其标志是1个模型,3个理论,4个分支。1个模型即本构模型;3个理论即非饱和土的固结理论、液化破坏理论和逐渐破坏理论;4个分支即理论土力学、计算土力学、实验土力学和应用土力学,其中理论土力学是龙头、计算土力学是筋

脉，实验土力学是基础，应用土力学是动力。

第四节 土力学课程的性质与学习方法

土力学是一门土木工程专业的必修课，属专业基础课。土力学的知识既是土木工程专业学生必须掌握的专业知识，又是后续专业课程学习所必须的基础知识。通过本课程的学习，使学生熟悉土的基本物理力学性质，掌握有效应力原理，土的固结理论、强度理论和土压力理论，地基沉降和承载力计算，以及土坡稳定分析方法，并掌握一般土工试验技术，能应用土力学的基本原理和方法解决实际工程中的强度、变形和渗流等问题，为基础工程设计和施工奠定理论基础。

本课程的内容广泛、综合性强，涉及工程地质学、材料力学、弹性力学、塑性力学和有限元理论等。本课程各章节自成体系，但又有机的联系在一起，围绕着地基强度、变形和渗漏等与土有关的3个工程问题展开。因土的复杂多变性，土的变形、固结、承载力、稳定性和渗透性等问题，都很难用纯数学的理论解决，都必须借助试验、实践和经验，可见土力学是一门理论性、实践性和应用性都比较强的课程。因此要学好土力学，学生应注重基本概念、基本原理和基本方法的学习，掌握内容间的内在联系，类比学习，理解记忆。注重理论联系实际，通过试验、实践和身边的自然现象加深对土力学基本理论的再理解。

第二章 土的基本性质和工程分类

第一节 土 的 生 成

土 (soil) 的组成物质主要是岩石风化的产物, 其次是生物体的分解物, 其生成经历了风化 (weathering)、搬运和沉积 (deposit) 3 个过程。土的性质与组成物质的性质、风化程度、搬运条件和沉积环境等密切相关。

一、风化作用

岩石在各种外界因素的作用下破碎、变质的过程称为风化, 这种作用称为风化作用。引起岩石风化的外界因素主要有地质构造运动, 如地震, 火山喷发等; 环境因素, 如太阳辐射, 温度变化, 干湿循环, 冰冻, 风, 水流, 酸碱盐等; 生物活动, 如人类开山造田, 植物根系的生长等。岩石风化为土的生成提供了物质基础, 风化发生于土生成的全过程。风化作用按风化结果分为物理风化和化学风化。

1. 物理风化

只改变岩石颗粒的大小和形状, 不改变岩石的矿物成分的风化称为物理风化。物理风化形成的土主要为无黏性土, 土的颗粒一般较粗, 没有黏聚力。物理风化的动因主要有地质构造运动, 温度变化, 干湿循环, 冰冻, 风, 水流等。

2. 化学风化

不仅改变岩石颗粒的大小和形状, 还改变岩石的矿物成分的风化称为化学风化。化学风化形成的土主要为黏性土, 土的颗粒一般较细, 具有黏聚力。化学风化的动因主要有环境中的酸碱盐, 水和太阳辐射等。

物理风化和化学风化作用常常是同时存在、相互促进。但不同的地区, 自然条件不同, 风化作用又有主次之分。干旱少水, 气温变化剧烈的地区, 以物理风化为主, 如我国西北地区; 雨量充沛, 潮湿炎热的地区, 则以化学风化为主, 如我国东南沿海地区。

二、搬运

风化破碎的岩石颗粒从一处被携带到另一处的过程称为搬运。搬运的介质和动力主要有水流和风。

1. 水力搬运

土大部分是由水力搬运形成的, 如坡积土, 洪积土和冲积土等。水的搬运能力很强, 高速水流可携带数吨重的巨石, 具有分选作用, 水力搬运形成的土具有层理构造。

2. 风力搬运

由风力搬运而形成的土称为风积土, 风积土颗粒较细, 级配均匀, 无明显层理。黄土就是典型的风积土, 在我国分布范围较大, 多具有湿陷性。

三、沉积

土粒在水或空气中下沉并稳定堆积于地表的过程称为沉积。不同沉积环境形成的土, 具有不同的结构和组成。动水中沉积的土, 颗粒粗, 多为无黏性土, 具有单粒结构, 工程性质

好,如河床沉积物。静水中沉积的土,颗粒细,多为黏性土,结构疏松,工程性质较差,如湖泊沉积物。

第二节 土的结构与构造

土的性质与土的组成、结构和构造有关。结构或构造不同的土,具有不同的性质。土的结构、构造反映了土的组成物质的存在形式,即连结特点、空间分布和变化规律。土的结构、构造取决于土的生成条件、生成环境和存在环境。

一、土的结构

土的结构是指土粒单元的大小、形状、相互排列及其联结关系等因素形成的综合特征。土的结构分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构 3 种基本类型,如图 2-1 所示。

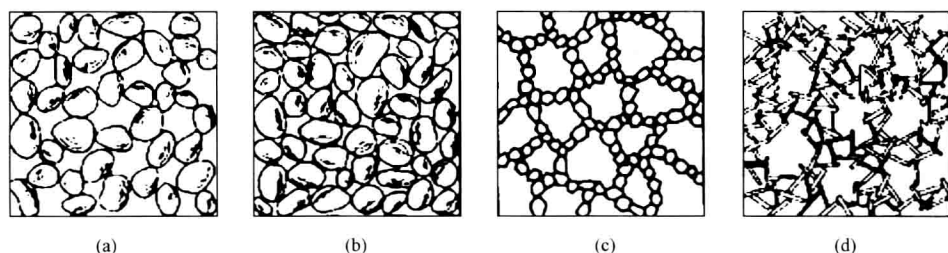


图 2-1 土的结构

(a) 疏松的单粒结构; (b) 紧密的单粒结构; (c), (d) 蜂窝结构

1. 单粒结构

单粒结构 (single grain fabrics) 是由较粗的土粒在动水或空气中下沉而形成的。单粒结构的土,颗粒较粗,相邻颗粒间基本都有接触,颗粒间几乎没有黏结力。具有紧密单粒结构的土,强度较大,压缩性较小,透水性大,水稳定性好,是良好的天然地基。具有疏松单粒结构的土,强度较小,压缩性较大。

2. 蜂窝结构

蜂窝结构 (honeycomb fabrics) 是由较细的土粒 ($0.075\sim0.005\text{mm}$) 在静水或空气中下沉而形成的。土粒在静水中沉积时,基本上是以单个土粒下沉,当碰上已沉积的土粒时,由于它们之间的相互引力大于其重力,土粒就停留在最初的接触点上而不再下沉,逐渐形成土粒链,形状类似蜂窝,故称为蜂窝结构。蜂窝结构的土颗粒较细,颗粒间有一定的黏结力和较大的孔隙。因此,蜂窝结构的土强度较低,压缩性较大,毛细水上升高度较高,在动力作用下容易液化。

3. 絮状结构

絮状结构 (flocculent fabrics) 是由细小的土粒 ($<0.005\text{mm}$) 集合体在静水中下沉而形成的。由于颗粒很细,单个的土粒在自重作用下不能下沉。长期悬浮在水中的土粒相遇凝聚成絮状的集合体而下沉,并相继和已沉积的絮凝集合体接触,形成疏松多孔的 2 次集合体结构,类似柳絮,故称为絮状结构。絮状结构的土强度低,压缩性高,透水性低,结构性强,蠕变性大。

二、土的构造

土的构造 (structure) 是指同一土层中矿物成分和颗粒大小相近的各部分土体之间相互关系的特征。土的构造类型主要有层理构造、分散构造、裂隙构造和结核构造, 其中层理构造是土最主要的构造特征。

1. 层理构造

土粒在沉降过程中, 由于不同阶段沉积的土的物质成分、粒径大小或颜色不同, 沿竖向呈现的层状特征称为层理 (bedding)。常见的有水平层理和交错层理。层理使土具有各向异性, 倾斜层理对土的承载力和稳定性不利。

2. 分散构造

土层中土粒分布均匀, 性质相近, 无明显层理, 颗粒间无黏结力, 呈分散状态的接触特征称为分散构造, 如粗粒土的构造。

3. 结核构造

在细粒土中混有粗颗粒或各种结核的构造特征称为结核构造, 如含礫石的粉质黏土、含礫石的冰碛黏土等, 均属结核构造。

4. 裂隙构造

土体中含有裂隙的构造特征称为裂隙构造。某些硬塑或坚硬状态的黏土为裂隙构造。膨胀土、红黏土中网状裂隙发育, 一般可延伸至地表以下 3~4m。裂隙中充填的其他成分的物质, 破坏了土体的连续性, 水容易沿裂隙渗透, 造成土的性质恶化。

第三节 土的三相组成

土通常由固体颗粒、液体水和气体三相组成。固体颗粒亦称土粒, 土粒强度大, 压缩变形小, 是土最主要的物质成分。许多大小不等, 形态各异的土粒按照各种不同的排列方式组合在一起, 构成土的骨架。水和气体存在于土的孔隙中, 强度低, 能流动, 在力的作用下能从孔隙中排出, 且气体的压缩性大。因此, 土的三相组成比例发生变化, 土的工程性质就有较大的差异, 比如干燥的黏性土具有较高的强度, 含水量大的黏性土具有可塑性。饱和松散的砂土在动力的作用下会产生液化。土粒增多, 土的密实性增大, 强度提高, 压缩性减小。可见, 很有必要研究土的三相组成物质及其比例关系。

一、土中固体颗粒

土中固体颗粒的组成成分、颗粒大小和级配是决定土的工程性质的重要因素。

1. 矿物组成

土粒的组成成分主要为矿物, 还有少量的无机盐和有机质。矿物按成因可分为原生矿物 (primary mineral) 和次生矿物 (secondary mineral)。原生矿物是由岩浆直接冷凝而成的矿物, 如长石、石英、云母等。次生矿物是由原生矿物发生变质而生成的一种新的矿物, 如滑石、黏土矿物等。常见的黏土矿物 (clay minerals) 有高岭石 (kaolinite)、蒙脱石 (montmorillonite) 和伊利石 (illite), 这些黏土矿物是呈片状的铝硅酸盐晶体。1 个硅离子和 4 个氧离子构成 Si-O 四面体, Si-O 四面体组合成硅氧晶片; 1 个铝离子和 6 个氢氧根离子构成 Al-OH 八面体, Al-OH 八面体组合成铝氢氧晶片, 如图 2-2 所示。

黏土矿物的基本结构单元称为晶胞, 多个晶胞叠加在一起形成 1 个矿物颗粒。黏土矿物

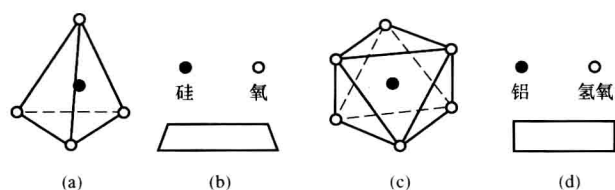


图 2-2 黏土矿物晶片示意图

- (a) Si-O 四面体; (b) 硅氧晶片; (c) Al-OH 八面体;
(d) 铝氢氧晶片

的晶胞有两种, 一种由 1 层硅氧晶片和 1 层铝氢氧晶片叠合而成, 另一种由两层硅氧晶片之间夹 1 层铝氢氧晶片叠合而成, 如图 2-3 所示。高岭石、蒙脱石和伊利石三种黏土矿物的晶格如图 2-4 所示。

(1) 蒙脱石。蒙脱石的晶胞是由两层硅氧晶片之间夹 1 层铝氢氧晶片叠合而成, 由于这种晶胞表面分布的

均是氧原子, 晶胞间相互排斥, 联结力很弱, 会吸进很多极性的水分子。吸入的水分子可以使颗粒从晶胞间断开, 而分成更小的颗粒, 甚至可分成单个晶胞的颗粒。所以, 蒙脱石颗粒最小, 亲水性最大, 具有膨胀性和收缩性。

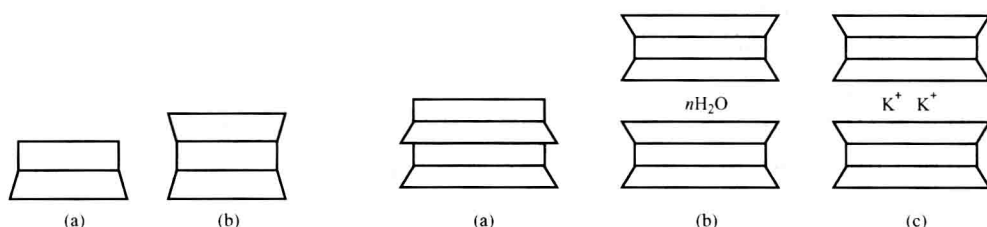


图 2-3 黏土矿物晶胞示意图

图 2-4 黏土矿物的晶格
(a) 高岭石; (b) 蒙脱石; (c) 伊利石

(2) 伊利石。伊利石的晶胞类似于蒙脱石, 但 Si-O 四面体中的硅离子 Si^{4+} 可以部分被低价的铝离子 Al^{3+} 和铁离子 Fe^{3+} 所取代, 并在相邻的层组间可能出现若干钾离子 K^+ 以补偿晶胞中正电荷的不足, 嵌入的 K^+ 使伊利石晶胞间的联结力增强。所以伊利石的晶体结构优于蒙脱石, 其亲水性和吸水膨胀性较蒙脱石小。

(3) 高岭石。高岭石的晶胞是由 1 层硅氧晶片和 1 层铝氢氧晶片叠合而成, 许多晶胞叠加在一起形成 1 个高岭石颗粒。这种晶胞的一面露出氢氧基, 另一面露出氧原子, 晶胞间的联结是氧原子和氢氧基间的氢键, 具有较强的联结力, 水分子难以进入, 所以高岭石亲水性最小。

黏土矿物颗粒细, 吸附能力强。当粒径小于胶粒 (0.002mm) 时, 就具有表面能, 颗粒越细, 表面能越大, 吸附能力越强, 是颗粒间黏聚力的主要来源之一。

黏土矿物呈电性。黏土矿物在片状的表面带有负电荷, 在颗粒的边棱处或断口处局部带正电荷。所带电荷主要是离子电荷, 还有由于电子运动的不平衡所产生的变动偶极。黏土矿物的电性, 使颗粒间产生了静电引力, 黏结力增大, 这也是黏聚力的主要来源。

有机质 (organic matter) 是动植物残骸分解的产物。土中有机质含量高, 颜色深, 孔隙率大, 含水量高, 透水性小, 强度低, 压缩性和蠕变性大, 结构性强, 对工程极为不利。

2. 颗粒级配

(1) 粒组。土的颗粒大小不同, 土的性质相应的改变。一般来讲, 土的粒径越大强度越高, 压缩性越小, 透水性越大, 水稳定性越好。土的粒径相近, 工程性质也相近。土粒粒组划分见表 2-1。