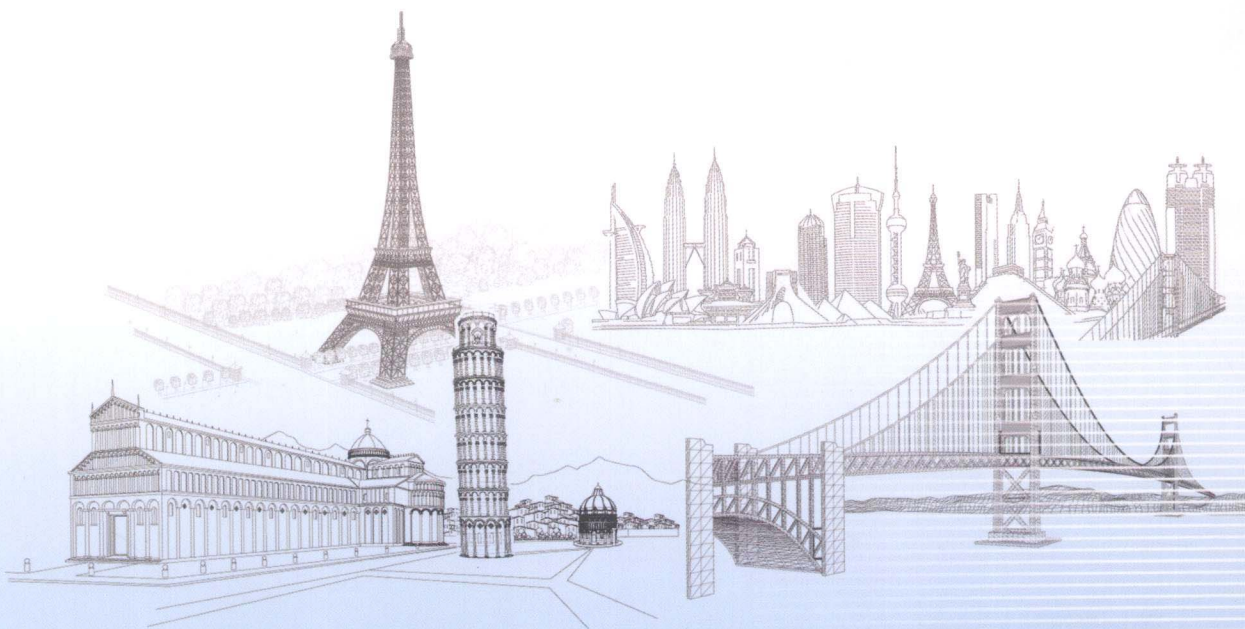




高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十二五”规划教材
普通高等教育土木工程专业指导性规范配套“十二五”规划教材

土 力 学

■ 主 编 董建华



武汉理工大学出版社

高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十二五”规划教材
普通高等教育土木工程专业指导性规范配套“十二五”规划教材

土 力 学

主 编 董建华

副主编 陈栋梁 王冰霞 庄 宇

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书结合最新颁布的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等编写而成,系统阐述土的基本特性、土力学的基本原理、土体变形及稳定的主要分析方法,以及理论在工程实践中的应用;适当介绍学科的最新成就和发展。

全书共分九章,内容包括绪论、土的物理性质和工程分类,土的渗透性和渗流问题,土体中应力计算和有效应力原理,土的压缩和变形理论,土的抗剪强度理论及地基承载力,土压力理论和土坡稳定的分析方法,土的动力特性,以及地基勘察与测试。

本书可作为高等院校土木工程专业及其相关专业的教材,也可供从事相关专业实际工作的勘察、设计、施工和参加相关国家注册职业资格考试的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/董建华主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2013.8
ISBN 978-7-5629-4014-2

I. ①土… II. ①董… III. ①土力学 IV. ①TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 086171 号

项目负责人:高 英 汪浪涛 戴皓华

责任编辑:高 英

责任校对:陈 平

装帧设计:牛 力

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:17.25

字 数:442 千字

版 次:2013 年 8 月第 1 版

印 次:2013 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:33.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87785758 87384729 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

近年来,土木工程的飞速发展迫切要求加速培养大量素质优良、技术全面的工程师。岩土工程学科是土木建筑工程师知识体系中的一项十分重要的基础。

地壳岩石经过强烈风化后所产生的碎散矿物集合体称为土。它包括颗粒间互不联结、完全松散的无黏性土和颗粒间虽有联结但联结强度远小于颗粒本身强度的黏性土。土的最主要特点是它的碎散性和三相组成,这是它在变形、强度等力学性质上都与连续固体介质有根本不同的内在原因。所以,仅靠“材料力学”、“弹性力学”和“塑性力学”尚不能描述土体在受力后所表现的性状及解决由此所引起的工程问题。“土力学”就是利用上述力学的基本知识辅之以描述碎散体特性(压缩性、渗透性、粒间接触强度特性)的理论所建立的一门学科,是岩土力学的重要组成部分,用以研究土的应力、变形、强度和稳定性,以及与此有关的工程问题。

本书是编者结合多年教学经验编写的,以基本理论为主,兼顾实践知识,结合现行规范标准,反映成熟观点,力求系统性,深入浅出,便于教学。全书内容共分九章,由兰州理工大学董建华主编。其中,绪论、第5章(土的抗剪强度和地基承载力)、第7章(土的动力特性)、第8章(地基勘察和测试)由董建华编写,第1章(土的物理性质和分类)、第2章(土的渗透性)由陕西理工学院陈栋梁编写,第3章(地基中的应力)由兰州理工大学王冰霞编写,第4章(土的压缩性和地基变形)、第6章(土压力及土坡稳定)由佳木斯大学庄宇编写。

限于编者水平,书中仍有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2012年10月

目 录

绪论	1
0.1 土力学的概念及学科特点	1
0.2 本学科的发展简史	2
0.3 本课程的内容、要求和学习方法	3
1 土的物理性质和分类	5
1.1 概述	5
1.2 土的形成	5
1.3 土的三相组成、结构及构造	6
1.3.1 土的固体颗粒	7
1.3.2 土中水	9
1.3.3 土中气	11
1.3.4 土的结构和构造	11
1.4 土的物理特性	13
1.4.1 土的三相比例指标	13
1.4.2 三相比例指标的换算	16
1.4.3 黏性土的物理特性	19
1.4.4 无黏性土的密实度	22
1.5 土的工程分类	23
1.5.1 土的工程分类标准	23
1.5.2 建筑地基土的分类	25
1.6 土的压实性	26
1.6.1 击实试验及土的压实特性	26
1.6.2 土的压实机理及影响土压实的因素	28
1.6.3 压实系数及其工程应用	29
思考与练习题	30
2 土的渗透性	33
2.1 概述	33
2.2 土的渗透性及测定	34
2.2.1 土的渗透定律	34
2.2.2 土的渗透系数测定	35
2.2.3 成层土的等效渗透系数	37
2.2.4 影响渗透系数的主要因素	39
2.3 土的渗流和流网	39

2.3.1	二维渗流微分方程	40
2.3.2	流网特征与绘制	41
2.3.3	流网的工程应用	42
2.4	渗透破坏与控制	44
2.4.1	渗流力	44
2.4.2	流砂破坏及其防治	45
2.4.3	管涌破坏及其防治	46
	思考与练习题	47
3	地基中的应力	49
3.1	概述	49
3.1.1	土中应力	49
3.1.2	土体的应力-应变关系	50
3.2	地基中的自重应力	50
3.2.1	均质土的自重应力	51
3.2.2	成层土的自重应力	51
3.2.3	地下水升降时的自重应力	52
3.3	基底压力	52
3.3.1	基底压力分布	53
3.3.2	基底压力的简化计算	53
3.3.3	基底附加压力	55
3.4	地基附加应力	56
3.4.1	竖向集中力作用下的地基附加应力	56
3.4.2	分布荷载作用下的地基附加应力	59
3.4.3	非均质和各向异性地基中的附加应力	72
3.5	有效应力原理	75
3.5.1	毛细水上升时土中有效自重应力的计算	76
3.5.2	土中水渗流时(一维渗流)有效应力计算	77
	思考与练习题	79
4	土的压缩性和地基变形	82
4.1	概述	82
4.2	土的压缩性	83
4.2.1	基本概念	83
4.2.2	室内压缩试验及压缩性指标	83
4.3	地基沉降量计算	86
4.3.1	概述	86
4.3.2	分层总和法	87
4.3.3	《建筑地基基础设计规范》推荐的沉降计算公式(应力面积法)	91

4.4	应力历史对地基沉降的影响	97
4.4.1	先期固结压力	97
4.4.2	天然土层应力历史	98
4.4.3	原始压缩曲线及其相关指标	99
4.4.4	考虑应力历史的地基最终沉降计算	100
4.5	土的变形模量	101
4.5.1	载荷试验	101
4.5.2	土的变形模量	103
4.5.3	压缩模量与变形模量之间的关系	104
4.6	土的弹性模量	105
4.6.1	土的回弹曲线	105
4.6.2	土的弹性模量	106
4.7	地基沉降与时间的关系	107
4.7.1	饱和土的渗透固结理论	108
4.7.2	太沙基一维固结理论	108
4.7.3	实测沉降-时间关系的经验公式	114
4.7.4	地基沉降组成	115
4.8	建筑物沉降观测	115
	思考与练习题	116
5	土的抗剪强度和地基承载力	119
5.1	概述	119
5.2	土的抗剪强度和极限平衡条件	120
5.2.1	库仑公式	120
5.2.2	莫尔-库仑强度理论及极限平衡条件	121
5.3	抗剪强度的试验方法	123
5.3.1	直接剪切试验	123
5.3.2	三轴压缩试验	125
5.3.3	无侧限抗压强度试验	127
5.3.4	十字板剪切试验	128
5.4	孔隙压力系数	130
5.5	饱和黏性土的抗剪强度	132
5.5.1	黏性土在不同固结和排水条件下的抗剪强度指标	132
5.5.2	黏性土的残余强度指标	139
5.5.3	无黏性土的抗剪强度指标	140
5.5.4	抗剪强度指标的选择	141
5.6	应力路径在强度问题中的应用	142
5.6.1	应力路径的基本概念	142

5.6.2	三轴压缩试验中的总应力路径和有效应力路径	143
5.7	浅基础破坏模式	145
5.8	地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载	146
5.8.1	地基的临塑荷载和临界荷载	146
5.8.2	地基的极限荷载	148
5.8.3	地基承载力的安全度	152
5.9	地基承载力特征值	153
5.9.1	按土的抗剪强度指标确定	154
5.9.2	按地基载荷试验确定	156
5.9.3	按地基规范承载力表确定	157
	思考与练习题	163
6	土压力及土坡稳定	165
6.1	概述	165
6.2	挡土墙	166
6.2.1	挡土墙的用途及名称	166
6.2.2	挡土墙分类	166
6.3	土压力的分类	168
6.3.1	土压力的分类	168
6.3.2	静止土压力计算	170
6.4	朗金土压力理论	171
6.4.1	基本原理与假定	171
6.4.2	朗金土压力计算	172
6.5	库仑土压力理论	179
6.5.1	库仑主动土压力计算	179
6.5.2	库仑被动土压力计算	182
6.5.3	黏性土的库仑土压力	183
6.6	朗金土压力和库仑土压力理论的比较	184
6.7	重力式挡土墙	185
6.7.1	挡土墙的计算	186
6.7.2	重力式挡土墙的体型选择和构造措施	188
6.8	板桩墙	189
6.8.1	静力平衡法	190
6.8.2	等值梁法	191
6.8.3	弹性支点法	194
6.9	无黏性土坡的稳定性	194
6.9.1	无渗流作用时的无黏性土坡	194
6.9.2	有渗流作用的无黏性土坡	195

6.10	黏性土坡的稳定性	196
6.10.1	整体圆弧滑动法	196
6.10.2	瑞典条分法	196
6.10.3	毕肖普条分法	198
6.11	土坡稳定性的影响	200
	思考与练习题	201
7	土的动力特性	203
7.1	概述	203
7.1.1	应变范围	204
7.1.2	静力和动力加载条件的差异	205
7.2	土的动强度	205
7.2.1	冲击荷载作用下土的动强度	205
7.2.2	不规则荷载作用下土的动强度	207
7.2.3	动强度的测试方法	208
7.2.4	动强度曲线	209
7.2.5	土的动强度指标	210
7.2.6	破坏标准	211
7.3	土的振动液化	213
7.3.1	土的振动液化机理及其试验分析	213
7.3.2	振动孔隙水压力的发展	216
7.3.3	土液化的主要影响因素	217
7.3.4	液化危害性分析	220
7.3.5	地基液化判别与防治	220
7.4	周期荷载下土的强度和变形特征	224
	思考与练习题	226
8	地基勘察和测试	227
8.1	概述	227
8.1.1	地基的定义及分类	227
8.1.2	基础的定义	228
8.2	工程地质概述	230
8.2.1	地质作用和地质年代	230
8.2.2	矿物、岩石的类型及特征	233
8.2.3	第四纪沉积物	233
8.2.4	地下水	235
8.2.5	常见的不良地质作用	236
8.3	地基勘察的任务	239
8.3.1	勘察的目的	239

8.3.2	勘察的要求	239
8.3.3	工程勘察等级	241
8.3.4	地基勘察内容的准备工作	242
8.3.5	勘察工作的布置及规定	243
8.3.6	地基勘察的程序	244
8.4	地基勘察方法	244
8.4.1	工程地质测绘和调查	245
8.4.2	开挖勘探	246
8.4.3	钻探	247
8.4.4	物探	249
8.5	岩土工程测试	249
8.5.1	试验设计	249
8.5.2	取样	250
8.5.3	试验操作	252
8.6	地基勘察报告	257
8.6.1	岩土工程勘察报告	257
8.6.2	岩土工程勘察报告的附件	259
8.6.3	岩土工程勘察报告的阅读和使用	259
8.6.4	岩土工程勘察报告实例	260
	思考与练习题	263
	参考文献	265

结 论

0.1 土力学的概念及学科特点

由土所构成的广袤大地是人类居住的场所,万物生长之地,土也是人类工程经济活动的基地、建筑物和构筑物的地基、地下空间开发的围岩、土工构筑物的填筑材料等。因此,土是人类赖以居住和生存的必备条件之一。

土是地壳表层的岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积等地质作用所形成的各种松散堆积物的总称。在土木工程中,天然土层常被作为各种建筑物的地基,如在土层上建造房屋、桥梁、涵洞、堤坝等;或利用土作为建筑物周围的环境,如在土层中修筑地下建筑、地下管道、渠道、隧道等;还可利用土作为土工建筑物的材料,如修建土堤、土坝等。因此,土是土木工程中应用最广泛的建筑材料或介质。

土中固体颗粒是岩石风化后的碎屑物质,简称土粒。土粒集合体构成土的骨架,土骨架的孔隙中存在液态水和气体。因此,土是由土颗粒(固相)、土中的孔隙水(液相)和孔隙气(气相)所组成的三相物质;当土中孔隙被水充满时,则是由土粒和土中水组成的二相体。土体具有与一般连续固体材料(如钢、木、混凝土及砌体等建筑材料)不同的孔隙特性,它不是刚性的多孔介质,而是大变形的孔隙性物质。在孔隙中水的流动显示土的渗透性(透水性);土孔隙体积的变化显示土的压缩性、胀缩性;在孔隙中土粒的错位显示土内摩擦和粘聚的抗剪强度特性。土的密度、孔隙率和含水量是影响土的力学性质的重要因素。土粒大小悬殊甚大,有粒径大于60 mm的巨粒粒组,有粒径小于0.075 mm的细粒粒组,粒径介于0.075~60 mm的则为粗粒粒组。

工程用土总体上分为一般土和特殊土。广泛分布的一般土又可以分为无机土和有机土。原始沉积的无机土大致可分为碎石类土、砂类土、粉性土和黏性土四大类。当土中巨粒、粗粒粒组的含量超过全重的50%时,则此土属于碎石类土或砂类土;反之,属于粉性土或黏性土。碎石类土和砂类土总称为无黏性土,一般特征是透水性大,无黏性,其中砂类土具有可液化性;黏性土的透水性小,具有可塑性、湿陷性、胀缩性和冻胀性;而粉性土兼有砂类土的可液化性和黏性土的可塑性等。特殊土有遇水沉陷的湿陷性土(如常见的湿陷性黄土)、湿胀干缩的胀缩性土(膨胀土)、冻胀性土(冻土)、红黏土、软土、填土、混合土、盐渍土、污染土、风化岩与残积土等。

土力学是研究土体的一门力学,它是通过研究土的物理、化学和力学性质及微观结构,进一步认识土和土体在荷载、水、温度等外界因素作用下的反应特性,即研究土的压缩性、剪切性、渗透性及动力特性等的一门学科。土力学也是一门实用的学科,它是土木工程的一个分支,主要研究土的工程性质,解决工程问题。

土力学学科需研究和解决工程中的三大类问题。一是土体强度问题,主要研究土体中的应力和强度,例如地基的强度与稳定、地基地震液化以及土坡的稳定等。当土体的强度不足

时,将导致上部建筑物或影响范围内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保证自身稳定。土体的变形尤其是沉降与不均匀沉降不应超过建筑物的设计允许值,否则,轻者导致建筑物的倾斜、开裂,降低或失去使用价值,重者将会酿成重大事故。三是水的渗流对土体变形和稳定的影响。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,在荷载作用下要使土体满足前述的强度和变形要求,此外还要研究水的渗流对土体变形和稳定的影响。为了解决上述工程问题,则需要研究土的物理性质及变形特性、强度特性和渗透特性等,弄清其内在规律,作为解决土体稳定和变形问题的基本依据。

在土木工程中,没有地基的安全稳定,一般的建筑物也难以建成,更不用说高楼大厦、大桥、高塔;基础是建筑物的一个实体部分,基础的安全稳定是上部结构(或桥梁的上、下部结构)安全屹立的保证;而整个场地的稳定,又是建筑物地基基础稳定的根本保证。因此,地基基础与场地稳定性是密切相关的。要对场地稳定性进行评价,进行建筑群选址或道路选线的可行性方案论证,对建筑物地基基础或路基进行经济合理的设计,还必须具备工程地质学、岩体力学等学科的基本知识,这也是土力学学科的一个特点。

0.2 本学科的发展简史

土力学是土木工程学科的基础课程,是一门既古老又年轻的应用基础学科。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址,例如都江堰水利工程、万里长城、隋朝南北大运河、黄河大堤、赵州石拱桥,以及许许多多遍及全国各地的宏伟壮丽的宫殿寺院、巍然挺立的高塔等。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,受当时生产力水平的限制,这时未能形成系统的土力学和工程建设理论。

18世纪欧美国家在产业革命推动下,社会生产力有了快速发展,大型建筑、桥梁、铁路、公路的兴建,促使人们对地基土和路基土的一系列技术问题进行研究。1773年法国科学家C. A. 库仑(Coulomb)发表了《极大极小准则在若干静力学问题中的应用》,介绍了运用刚滑楔理论计算挡土墙背粒料侧压力的计算方法。

1840年,彭思莱特(Poncelet)对线性滑动土楔理论得出了更完善的解。法国学者H. 达西(Darcy, 1855)创立了土的层流渗透定律;英国学者W. T. M. 朗肯(Rankine, 1857)发表了土压力塑性平衡理论;法国学者J. 布辛奈斯克(Boussinesq, 1885)求导了弹性半空间(半无限体)表面竖向集中力作用时土中应力、变形的理论解。这些古典理论对土力学的发展起了很大的推动作用,一直沿用至今。

20世纪20年代开始,通过许多研究者的不懈努力,土力学的研究有了迅速的发展。瑞典学者K. E. 彼得森(Petterson, 1915)首先提出,后由瑞典学者W. 费伦纽斯(Fellenius)及美国学者D. W. 泰勒(Taylor)进一步发展而提出了土坡稳定分析的整体圆弧滑动面法;法国学者L. 普朗德(L. Prandtl, 1920)发表了地基剪切破坏时的滑动面形状和极限承载力公式;到1925年,美国的K. 太沙基(Terzaghi)在系统地归纳和总结以往的成就的基础上,发表了第一本土力学专著,提出了饱和土的有效应力原理。在这本书中他阐明了土工试验和力学计算之间的关系,其中用于计算沉降的方法一直沿用至今,被认为是一种有效的计算方法。这本系统完整的科学著作的出现,带动了各国学者对本学科各个方面的探索。从此,土力学开始作为一门独立的学科而取得不断的进展。因此,太沙基被公认为土力学的奠基人。

有关土力学论著和教材,也像雨后春笋般地蓬勃发展起来。例如苏联学者 H. M. 格尔谢夫诺夫(Гелсеев, 1931)出版了《土体动力学原理》专著;苏联学者 H. A. 崔托维奇(Титов, 1935)写出了《土力学》教材;K. 太沙基(Terzaghi, K. and Peck, R. B., 1948)又出版了《工程实用土力学》教材;苏联学者 B. B. 索科洛夫斯基(Соколовский, 1954)出版了《松散介质静力学》一书;美籍华人吴天行于 1966 年写了《土力学》专著;英国的 C. N. 史密斯和 G. N. 史密斯(Smith, 1968)出版了《土力学基本原理》;美国的 H. F. 温特科恩(Winterkorn, 1975)和方晓阳主编的《基础工程手册》,由 7 个国家的 27 位岩土工程著名专家编写而成,该书共 25 章内容,包括地基勘察、土力学、基础工程三大部分,取材新颖,成为当时比较系统论述土力学与基础工程的一本有影响的著作;1993 年 D. C. 弗雷德隆德(Fredlund)和 H. 拉哈尔佐(Rahardio)出版了《非饱和土力学》一书,引起了国内外土力学界的关注。

我国学者陈宗基教授早在 20 世纪 50 年代,对土的流变学(该学科研究物质或材料的流变性质,即土具有弹性、塑性和黏滞性构成的黏弹塑性)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侧向变形的基础沉降计算方法,他在 1983 年主编了一本理论性较强的土力学专著《土的工程性质》,书中系统地介绍国内外有关的各种土的应力应变本构模型的理论 and 研究成果。钱家欢、殷宗泽教授主编的《土工原理与计算》,较全面地总结了土力学的新发展。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突出的成就,2000 年出版了《理论土力学》专著,全面总结了近 70 年来国内外学者的研究成果。

近年来,我国在工程地质勘察、室内及现场土工试验、地基处理、新设备、新材料、新工艺的研究和应用方面,取得了很大的进展。随着电子技术及各种数值计算方法对各学科的逐步渗透,土力学的各个领域都发生了深刻的变化,许多复杂的工程问题相应得到了解决,试验技术也日益提高。在大量理论研究与实践经验积累的基础上,有关基础工程的各种设计与施工规范或规程等也相应问世或日臻完善。这些为我国基础工程设计与施工做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量等提供了充分的理论与实践依据。我们相信,随着我国社会主义建设的向前发展,对基础工程要求的日益提高,我国土力学学科也必将得到新的更大的发展。

0.3 本课程的内容、要求和学习方法

土力学是土木工程专业的一门主干课程。其涉及工程地质学、结构设计和施工等几个学科领域,内容广泛,综合性、理论性和实践性很强。从土木工程专业的要求出发,学习该课程时应重视工程地质学的基本知识,培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力,牢固掌握土的应力、变形、强度和地基计算等土力学基本原理,并能应用这些基本概念和原理,结合有关结构理论和施工知识,分析和解决地基基础问题。

全书共有 9 章内容。绪论介绍了土力学的相关知识。第 1 章为土的物理性质和分类,介绍土的基本物理和化学等性质,如颗粒矿物成分、颗粒形状及结构,土的三相关系等。第 2 章为土的渗透性和渗流,阐明了土的渗透性是土的重要力学性质之一,介绍了土的层流渗透理论、渗透性指标的测定方法及影响因素。第 3 章为地基中的应力,研究不再引起和会引起土体(或地基)变形的各种应力。第 4 章为土的压缩性和地基变形,研究在荷载作用下土中应力的分布规律以及土的压缩、变形规律,用以预测工程结构在修建和使用阶段土体的沉降量。第 5

章为土的抗剪强度和地基承载力,研究土在外力作用下的破坏形态和规律,从而推导地基承受荷载的能力,即地基承载力问题。第6章为土压力和土坡稳定,介绍土坡等在重力及其他外力作用下的滑动稳定问题。第7章为土的动力特性,主要介绍在不同动力条件下,土的强度和变形性质的变化规律。第8章为地基勘察和测试。

本课程是土木工程专业的必修课,属于技术基础课。它所包含的知识是本专业学生必须掌握的专业知识,又是后续课程学习所必备的基础知识。本课程内容广泛,与材料力学、结构力学、弹性理论、建筑材料、建筑结构及工程地质等有着密切的关系,本书在涉及这些学科的有关内容时仅引述其结论,要求理解其意义及应用条件,而不把注意力放在公式的推导上。此外,应重视室内土工试验和现场原位测试测定土的物理力学性质指标,加深对土力学的理解。通过本课程的学习,要求掌握土的基本物理、力学性质和分类方法,掌握浅基础的地基承载力、地基变形、挡土墙侧土压力和土坡稳定的计算方法,熟悉常规土工试验方法,能识别各类天然土样,熟悉土的压实度对工程的评定标准、地基液化判别与防治。在学习时必须注意理论联系实际,能应用土力学的基本原理和方法分析问题和解决问题。

1 土的物理性质和分类



本章提要

土是地壳表层的岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积等地质作用所形成的各种松散堆积物的总称。土体一般是由固体的土颗粒(固相)、土中的孔隙水(液相)和孔隙气(气相)三部分组成。土中颗粒大小、成分及三相之间的比例关系,反映出土的不同物理性质,决定着土的分类和鉴别,同时土的物理性质又与力学性质相互联系,并在一定程度上反映土的工程性质。如湿软、松散的土强度低,压缩性大;土颗粒大则渗透性强;土粒大小不均匀则在动荷载作用下易于压实等。因此,要研究土的工程性质就必须先了解土的物理性质和分类。

本章主要介绍土的形成,土的三相组成、结构与构造,土的物理特性及工程分类,最后介绍土的压实性。

1.1 概 述

土是由地壳表层的岩石长期受到自然界的风化作用,使岩石崩解、破碎,然后经水、风、冰川等动力搬运作用,在各种自然环境下沉积而成的松散堆积物的总称。作为建筑地基的土,有的土层上可以建高楼,有的土层未经处理不能建造任何建筑。土的性质之所以有这样大的差异,主要是由其组成成分和结构不同所致。土主要由作为土骨架的固体的土颗粒、土中的孔隙水以及孔隙气(即土的三相)组成,各种土的土粒大小和矿物成分都有很大差别。土粒的大小及颗粒级配反映土粒均匀程度对土的物理力学性质的影响;土粒与其周围的土中水又发生了复杂的物理化学作用,对土的性质影响很大,土中封闭气体对土的性质亦有较大影响。土中三相组成的比例指标不同,必然在土的轻重、松密、干湿、软硬等一系列物理性质上有不同的反映。土的这些物理性质又在一定程度上决定了它的工程性质,所以要研究土的工程性质就必须先认识土的三相组成物质的性质以及三相组成的比例指标。

1.2 土 的 形 成

土是地壳表层的岩石,经风化、剥蚀、搬运、沉积等地质作用所形成的各种松散堆积物的总称。自然界的风化作用主要包括物理风化、化学风化和生物风化三种类型。物理风化是指岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀,温度、湿度的变化,不均匀膨胀与收缩,使岩石产生裂隙,崩解为碎块。这种风化作用,只改变颗粒的大小与形状,不改变原来的矿物成分。化学风化指岩石的碎屑与水、氧气和二氧化碳等物质相接触,使得岩石碎屑逐渐发生化学变化,改变了原来组成矿物的成分,形成了次生矿物。生物风化是指由植物、动物和人类活动对岩体造成破坏从而形成的土,其矿物成分没有发生变化。

自然界中的土,由于形成条件、搬运方式和沉积环境的不同,其成因类型也不同,常见的成因类型有:

(1) 残积土

残积土是由基岩风化而成,未经搬运留于原地的土体。它处于岩石风化壳的上部,其工程特性受气候条件和母岩岩性的影响。一般来说,随着环境从干旱、半干旱至潮湿的变化,土的颗粒组成由粗变细,土的类型从砾石类土过渡到砂类土、黏土。

(2) 坡积土

坡积土是残积土经雨水或融化了的雪水的搬运作用,顺坡移动堆积而成的,所以其物质成分与斜坡上的残积土一致。坡积土与残积土往往呈过渡状态,其工程地质特征也很相似。

(3) 洪积土

洪积土是由暂时性、周期性的地面水流——山洪带来的碎屑物质,在山沟的出口处堆积而成。洪积土多发育在干旱、半干旱地区,如我国的华北、西北地区。其特征为:距山口越近颗粒越粗,多为块石、碎石、砾石和粗砂,分选差,磨圆度低,强度高,压缩性低;距山口越远颗粒越细,分选好,磨圆度高,强度低,压缩性高。此外,洪积土具有比较明显的层理(交替层理、夹层、透镜体等)。

(4) 冲积土

冲积土是由于河流的流水作用,将碎屑物质搬运堆积在它侵蚀成的河谷内而形成的。冲积土主要发育在河谷内以及山区外的冲积平原中,这类土常具有层理性,在垂直剖面上土粒由下到上,由粗到细,成分较复杂,但磨圆度较好。

(5) 湖积土

湖积土是指在湖泊及沼泽等极为缓慢的水流或静水条件下沉积下来的土,或称淤积土。湖积土在内陆分布广泛,土体含大量细微颗粒和有机质,土体中含水量和孔隙比很大,是具有特殊性质的淤泥或淤泥质土。

(6) 海积土

海积土是由河流流水搬运到海洋环境中沉积下来的土。

(7) 风积土

风积土是由风力带动土粒经过一段搬运距离后再沉积下来形成的土层。常形成于干旱、半干旱地区,如我国西北地区广泛分布的黄土就是典型的风积土,其含水量小,干燥时由于土粒间有胶结作用,能直立开挖到很大的高差,但遇水后其强度大为削弱并伴随产生很大的变形。

(8) 冰积土

冰川在流动过程中将岩块压碎或碾碎并挟带在冰川之中,待冰川溶解后其所挟带的石块和土就沉积下来,形成冰积土。它的特点是分选性差,颗粒粗细变化大,土质不均匀。

1.3 土的三相组成、结构及构造

天然状态下的土体一般由固体的土颗粒(固相)、土中的孔隙水(液相)和孔隙气(气相)三部分组成,如图 1.1 所示,这称为土的三相体系。随着这三相物质的质量和体积的比例不同,

土的工程性质也不同。因此,研究土的工程性质,首先应了解土的三相组成。

1.3.1 土的固体颗粒

1.3.1.1 土粒的矿物成分

土中固体颗粒的成分,绝大部分是矿物质,另外或多或少有一些有机质。土中矿物可分为原生矿物和次生矿物两种。原生矿物是由岩石经物理风化而成,其成分与母岩相同。如常见的石英、长石、云母、角闪石与辉石等。一般砂土、碎石土都是由原生矿物组成,这类矿物与水的作用能力较弱,工程性质比较稳定,若土的级配好,则土体的强度高,压缩性低。次生矿物是岩屑经化学风化而成,其成分与母岩不同,为一种新矿物(例如黏土矿物),它们颗粒细小,与水的作用能力强。如组成黏土的蒙脱石、伊利石和高岭石等黏土矿物,亲水性强,对工程性质影响较大。

1.3.1.2 土粒的粒度与粒组

天然土是由大小不同的颗粒组成的,土颗粒的大小称为粒度,通常以粒径表示。随着组成土的颗粒大小及含量不同,土可以具有不同的性质。工程上常把不同大小的土粒按其粒径范围合并为组,称为粒组。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。

对于粒组的划分方法各个国家甚至各个行业还很不一致,目前我国广泛应用的粒组划分依据是《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)。如表 1.1 所示,表中根据界限粒径 200 mm、60 mm、2 mm、0.075 mm 和 0.005 mm 将粒径由大至小划分为六个粒组:漂石或块石组、卵石或碎石组、圆砾或角砾组、砂粒组、粉粒组及黏粒组。

表 1.1 土粒粒组的划分(GB/T 50145—2007)

粒组统称	粒组名称	粒径(d)的范围(mm)	一般特征	
巨粒组	漂石(块石)组	$d > 200$	透水性很大,无黏性,无毛细水	
	卵石(碎石)组	$200 \geq d > 60$		
粗粒组	圆砾(角砾)组	粗砾	$60 \geq d > 20$	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		中砾	$20 \geq d > 5$	
		细砾	$5 \geq d > 2$	
	砂粒组	粗砂	$2 \geq d > 0.5$	易透水,当混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加;无黏性,遇水不膨胀,干燥时松散;毛细水上升高度不大,随粒径变小而增大
		中砂	$0.5 \geq d > 0.25$	
细砂		$0.25 \geq d > 0.075$		
细粒组	粉粒组	$0.075 \geq d > 0.005$	透水性小,湿时稍有黏性,遇水膨胀小,干时稍有收缩;毛细水上升高度较大,速度较快,极易出现冻胀现象	
	黏粒组	$d \leq 0.005$	透水性很小,湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著;毛细水上升高度大,但速度较慢	

注:① 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆性状(圆形或亚圆形),块石、碎石和角砾颗粒都带棱角;

② 粉粒可称为粉土粒,粉粒的粒径上限 0.075 mm 相当于 200 号标准筛的孔径;

③ 黏粒可称为黏土粒,黏粒的粒径上限也有采用 0.002 mm 为标准的。

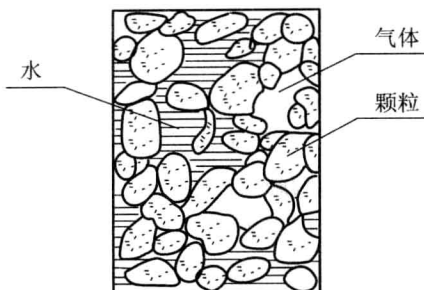


图 1.1 土的三相组成示意图