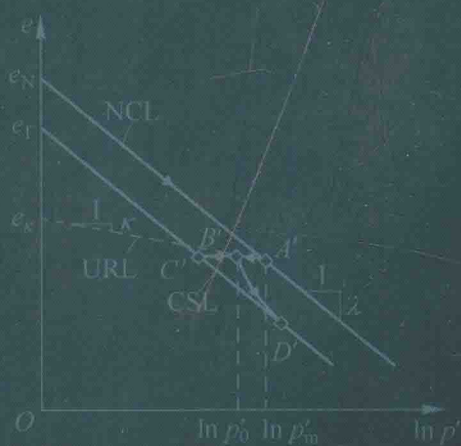
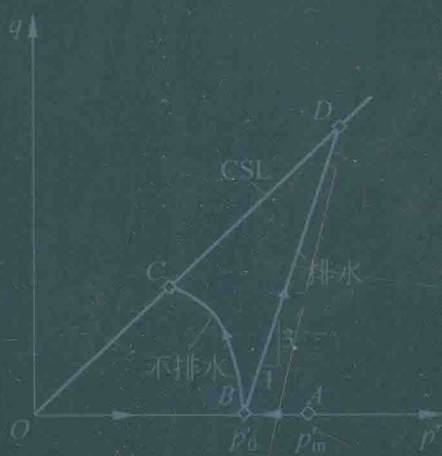


高等院校土木工程专业规划教材

土力学

苏栋 主编



清华大学出版社

高等院校土木工程专业规划教材

土力学

苏栋 主编

清华大学出版社

内 容 简 介

本书立足于经典土力学的内容,并吸收部分现代土力学的发展成果,系统地介绍了土的基本行为特性、土力学的基本原理和分析计算方法。全书共分9章,主要内容包括土的物理性质及分类、土中应力、土的渗透性与渗流、土的一维压缩与固结、土的剪切性状和抗剪强度、土的临界状态和本构模型、土压力理论、土坡稳定分析和地基承载力等,每章后均附有思考题和习题,附录提供习题参考答案,并为任课教师免费提供电子课件。

本书主要作为高等学校土木工程、水利工程等有关专业本科学生的土力学课程教材,也可作为研究生教学参考书,还可供有关工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

土力学/苏栋主编.--北京:清华大学出版社,2015

高等院校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-302-40353-1

I. ①土… II. ①苏… 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(2015)第114408号

责任编辑:赵益鹏 赵从棉

封面设计:陈国熙

责任校对:刘玉霞

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:17.75

字 数:429千字

版 次:2015年8月第1版

印 次:2015年8月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:49.00元

产品编号:063347-01

土力学是研究土的力学行为和特性的学科。本书围绕这一核心思想,立足于经典土力学的内容,并吸收部分现代土力学的发展成果,较系统地介绍了土的基本行为特性、土力学的基本原理和分析计算方法。在编写过程中,力求体系清晰、内容连贯、概念准确、表述精练。与现有教材相比,本书具有如下特点:

(1) 突出了有效应力原理在土力学学科中的地位。第2章从应力的定义出发,给出了有效应力原理的推导过程;第3~5章强调土的行为特性与有效应力的关系,并利用有效应力原理去理解和解决相关土力学问题。

(2) 吸收了现代土力学中的临界状态理论。第5章应用临界状态的概念解释了不同状态的砂土和黏土在不同条件下的剪切性状;第6章介绍了基于临界状态的黏土行为预测,以及在临界状态理论框架下建立的黏土模型(原始剑桥模型和修正剑桥模型)和砂土模型(与状态相关的剪胀性砂土模型)。

(3) 采用双语目录。对于目录中没有出现的专业术语,正文中提供英文翻译,使读者更容易理解和记忆表示土力学专业术语的符号。

本书由深圳大学苏栋主编,深圳大学姬凤玲和包小华参与编写。其中,绪论及第1~6、9章由苏栋编写,第7章由姬凤玲编写,第8章由包小华编写。全书由苏栋统稿,编写者互相审校书稿,其中第5、6章由深圳大学明海燕教授审阅,在此谨表谢意。

虽然本书编写历时两年,部分内容也进行了反复斟酌、修改,但因编者水平有限,书中难免出现不妥或错误之处,敬请读者指出,以便再版时修改和提高。本书提供配套教学电子课件,欢迎任课教师使用。

作者通信地址:广东省深圳市深圳大学土木工程学院 苏栋
邮政编码:518060
E-mail:sudong@szu.edu.cn

苏 栋

2015年5月

绪论(Introduction)	1
第 1 章 土的物理性质及分类(Physical Properties of Soil and Soil Classification)	4
1.1 概述(Introduction)	4
1.2 土的形成(Soil Formation)	4
1.2.1 风化作用(Weathering)	4
1.2.2 搬运与沉积(Transportation and Sedimentation)	6
1.3 土的组成(Composition of Soil)	7
1.3.1 固体颗粒(Solid Particle)	7
1.3.2 土中水(Water in Soil)	14
1.3.3 土中气(Air in Soil)	16
1.4 土的结构与构造(Soil Fabric and Soil Structure)	16
1.4.1 土的结构(Soil Fabric)	16
1.4.2 土的构造(Soil Structure)	17
1.5 土的物理性质指标(Physical Property Indexes of Soil)	17
1.5.1 基本指标(Basic Indexes)	18
1.5.2 换算指标(Converted Indexes)	19
1.5.3 指标之间的换算(Relationships between Indexes)	22
1.6 土的物理状态指标(Physical State Indexes of Soil)	24
1.6.1 无黏性土的相对密度(Relative Density of Cohesionless Soil)	24
1.6.2 黏性土的界限含水量及状态指标(Boundary Water Contents and State Indexes of Cohesive Soil)	25
1.7 土的分类(Soil Classification)	28
1.7.1 土的分类原则(Principles of Soil Classification)	28
1.7.2 《土的工程分类标准》的分类(Classification of <i>Standard for Engineering Classification of Soil</i>)	28
1.7.3 《建筑地基基础设计规范》的分类(Classification of <i>Code for Design of Building Foundation</i>)	30
1.8 土的压实(Soil Compaction)	33
1.8.1 黏性土的压实(Compaction of Cohesive Soil)	33
1.8.2 无黏性土的压实(Compaction of Cohesionless Soil)	35

思考题(Thinking Questions)	36
习题(Exercises)	37
第2章 土中应力(Stresses in Soil)	39
2.1 概述(Introduction)	39
2.2 应力、应变和土的弹性变形(Stresses, Strains and Elastic Deformation of Soil)	39
2.2.1 应力(Stresses)	39
2.2.2 应变(Strains)	42
2.2.3 胡克定律(Hooke's Law)	43
2.3 有效应力原理(The Principle of Effective Stress)	45
2.4 土的自重应力(Stresses Due to Self-Weight of Soil)	48
2.4.1 竖向自重应力(Vertical Stress Due to Self-Weight of Soil)	48
2.4.2 水平自重应力(Horizontal Stress Due to Self-Weight of Soil)	50
2.5 基底压力(Contact Pressure under Foundations)	51
2.5.1 柔性基础与刚性基础的基底压力分布(Contact Pressure Distribution under Flexible Foundations and Rigid Foundations)	52
2.5.2 基底压力的简化计算(Simplified Calculation of Contact Pressure)	53
2.5.3 基底附加压力(Additional Pressure under Foundations)	55
2.6 地基附加应力(Additional Stresses in Soil)	56
2.6.1 集中力作用下的地基附加应力(Additional Stresses in Soil Due to a Point Load)	56
2.6.2 分布荷载作用下的地基附加应力(Additional Stresses in Soil Due to Distributed Loads)	60
2.6.3 平面应变问题的地基附加应力(Additional Stresses in Soil under Plain Strain Condition)	73
思考题(Thinking Questions)	83
习题(Exercises)	83
第3章 土的渗透性与渗流(Permeability and Flow of Water through Soil)	86
3.1 概述(Introduction)	86
3.2 土的渗透规律(Law for Flow of Water through Soil)	87
3.2.1 水头与水力梯度(Head and Hydraulic Gradient)	87
3.2.2 达西渗透定律(Darcy's Law)	87
3.2.3 渗透系数的测定(Determination of the Coefficient of Permeability)	89
3.2.4 影响渗透系数的因素(Factors Affecting the Coefficient of Permeability)	93

3.2.5 层状地基的等效渗透系数(The Equivalent Permeability of Stratified Soil)	95
3.3 渗透力及渗透破坏(Seepage Force and Seepage Failure)	98
3.3.1 渗透力(Seepage Force)	98
3.3.2 渗透破坏(Seepage Failure)	99
3.4 二维渗流与流网(Two-Dimensional Flow and Flow Nets)	100
3.4.1 二维稳定渗流场的拉普拉斯方程(Laplace's Equation for Two-Dimensional Steady Flow)	100
3.4.2 流网及其应用(Flow Nets and Their Application)	101
3.4.3 各向异性土体的流网(Flow Nets for Anisotropic Soil)	103
思考题(Thinking Questions)	106
习题(Exercises)	106

第4章 土的一维压缩与固结(One-Dimensional Compression and Consolidation of Soil)	108
4.1 概述(Introduction)	108
4.2 土的一维压缩特性及压缩性指标(Characteristics of One-Dimensional Compressibility of Soil and Compressibility Parameters)	109
4.2.1 侧限压缩试验(Laterally Confined Compression Test)	109
4.2.2 压缩性指标(Compressibility Parameters)	110
4.2.3 应力历史对土的压缩性的影响(Effects of Stress History on Soil Compressibility)	113
4.3 地基沉降量的计算(Settlement Calculation)	117
4.3.1 均质薄土层的一维压缩计算(Calculation of One-Dimensional Compression of a Uniform Thin Layer of Soil)	118
4.3.2 地基沉降量计算的分层总和法(Splitting Summation Method for Settlement Calculation)	122
4.4 饱和土的渗流固结(Seepage Consolidation of Saturated Soil)	125
4.4.1 饱和土的渗流固结模型(Seepage Consolidation Model of Saturated Soil)	125
4.4.2 太沙基一维渗流固结理论(One-Dimensional Seepage Consolidation Theory of Terzaghi)	126
4.5 固结系数的确定方法(Determination of the Coefficient of Consolidation)	135
4.5.1 时间平方根法(The Root Time Method)	135
4.5.2 时间对数法(The Log Time Method)	136
4.6 黏土的次固结沉降(Secondary Consolidation of Clay)	137
思考题(Thinking Questions)	138

习题(Exercises)	139
第5章 土的剪切性状和抗剪强度(Shear Behavior and Shear Strength of Soil)	141
5.1 概述(Introduction)	141
5.2 排水条件下土的典型剪切性状(Typical Shear Behavior of Soil under Drained Condition)	141
5.2.1 剪应力作用下土的典型性状(Typical Behavior of Soil to Shearing Stress)	141
5.2.2 法向有效应力对土的剪切性状的影响(Effect of Normal Effective Stress on Shear Behavior of Soil)	143
5.3 土的抗剪强度理论(Theory of Shear Strength of Soil)	143
5.3.1 库仑公式及抗剪强度指标(Coulomb's Law and Shear Strength Parameters)	143
5.3.2 莫尔-库仑强度理论(Mohr-Coulomb Strength Theory)	146
5.3.3 土的极限平衡状态(Limit Equilibrium State of Soil)	146
5.4 土的剪切试验(Shear Tests of Soil)	148
5.4.1 直接剪切试验(Direct Shear Test)	148
5.4.2 常规三轴试验(Conventional Triaxial Test)	150
5.4.3 无侧限抗压强度试验(Unconfined Compression Test)	154
5.4.4 十字板剪切试验(Vane Shear Test)	155
5.4.5 其他试验方法(Other Test Methods)	156
5.5 常规三轴试验中土的等向压缩性状和剪切性状(Isotropic Compression and Shear Behavior of Soil in Conventional Triaxial Tests)	157
5.5.1 三轴应力条件下的孔隙压力系数(Pore Pressure Coefficients under the Triaxial Stress Condition)	157
5.5.2 常规三轴压缩试验的应力路径(Stress Paths in Conventional Triaxial Compression Tests)	160
5.5.3 常规三轴试验中土的等向压缩性状(Isotropic Compression Behavior of Soil in Conventional Triaxial Tests)	165
5.5.4 常规三轴压缩试验中砂土的剪切性状(Shear Behavior of Sand in Conventional Triaxial Compression Tests)	165
5.5.5 常规三轴压缩试验中黏土的剪切性状(Shear Behavior of Clay in Conventional Triaxial Compression Tests)	169
思考题(Thinking Questions)	173
习题(Exercises)	174

第 6 章 土的临界状态和本构模型(Concept of the Critical State and Constitutive Models of Soil)	176
6.1 概述(Introduction)	176
6.2 土的临界状态(Concept of the Critical State of Soil)	176
6.2.1 临界状态的定义(Definition of the Critical State)	176
6.2.2 基于临界状态的黏土行为预测(Prediction of Clay Behavior Based on the Concept of the Critical State)	178
6.3 弹塑性模型及塑性理论基础(Elasto-Plastic Models and Basic Concepts of Plastic Theory)	183
6.3.1 弹塑性模型(Elasto-Plastic Models)	183
6.3.2 塑性理论基础(Basic Concepts of Plastic Theory)	184
6.4 剑桥黏土模型(Cam-Clay Models)	187
6.4.1 原始剑桥黏土模型(The Original Cam-Clay Model)	187
6.4.2 修正剑桥黏土模型(The Modified Cam-Clay Model)	192
6.5 与状态相关的剪胀性砂土模型(A Sand Model with State-Dependent Dilatancy)	197
6.5.1 与状态相关的剪胀性(State-Dependent Dilatancy)	197
6.5.2 三轴应力空间简化砂土模型(A Simplified Sand Model in the Triaxial Stress Space)	198
思考题(Thinking Questions)	201
习题(Exercises)	202
第 7 章 土压力理论(Earth Pressure Theories)	203
7.1 概述(Introduction)	203
7.2 挡土结构及土压力(Retaining Structures and Earth Pressures)	203
7.2.1 挡土结构的类型(Types of Retaining Structure)	203
7.2.2 土压力类型(Types of Earth Pressure)	204
7.2.3 土压力理论(Earth Pressure Theories)	205
7.3 静止土压力的计算(Calculation of the Earth Pressure at Rest)	205
7.4 朗肯土压力理论(Rankine's Earth Pressure Theory)	207
7.4.1 朗肯主动土压力(Rankine's Active Earth Pressure)	208
7.4.2 朗肯被动土压力(Rankine's Passive Earth Pressure)	209
7.5 库仑土压力理论(Coulomb's Earth Pressure Theory)	212
7.5.1 库仑主动土压力(Coulomb's Active Earth Pressure)	213
7.5.2 库仑被动土压力(Coulomb's Passive Earth Pressure)	215

7.5.3 黏性土的库仑土压力(Coulomb's Earth Pressure for Cohesive Soil)	218
7.6 朗肯与库仑土压力理论的比较(Comparison between Rankine's and Coulomb's Earth Pressure Theories)	219
7.7 几种常见情况下的土压力计算(Earth Pressure Calculation in Several Common Situations)	220
7.7.1 作用均布荷载时(Effect of Uniformly-Distributed Loads)	220
7.7.2 墙后土体分层(Effect of Layered Backfills)	222
7.7.3 有地下水作用(Effect of Ground Water)	223
思考题(Thinking Questions)	225
习题(Exercises)	225
第8章 土坡稳定分析(Stability Analysis of Soil Slopes)	227
8.1 概述(Introduction)	227
8.2 无黏性土坡稳定分析(Stability Analysis of Cohesionless Slopes)	228
8.2.1 无渗流作用时的无黏性土坡(Cohesionless Soil Slopes without Seepage)	228
8.2.2 有渗流作用时的无黏性土坡(Cohesionless Soil Slopes under Seepage Condition)	228
8.3 黏性土坡稳定分析(Stability Analysis of Cohesive Slopes)	229
8.3.1 整体圆弧滑动法(The Circular Slip Surface Method)	230
8.3.2 条分法(The Slices Method)	232
8.4 黏性土土坡稳定分析的其他方法(Other Methods for Stability Analysis of Cohesive Slopes)	240
8.4.1 稳定数法(The Stability Number Method)	240
8.4.2 不平衡推力法(The Imbalance Thrust Force Method)	241
思考题(Thinking Questions)	242
习题(Exercises)	243
第9章 地基承载力(Bearing Capacity of Foundation Soil)	244
9.1 概述(Introduction)	244
9.2 地基破坏模式(Failure Modes of Foundation Soil)	244
9.2.1 整体剪切破坏(General Shear Failure)	244
9.2.2 局部剪切破坏(Local Shear Failure)	245
9.2.3 冲切破坏(Punching Shear Failure)	245
9.3 地基临塑荷载和临界荷载(The Critical Edge Pressure and the Critical Pressure of Foundation Soil)	246
9.3.1 塑性区边界方程的推导(Derivation of the Boundary Equation of Plastic Zone)	246

9.3.2 临塑荷载及临界荷载(The Critical Edge Pressure and the Critical Pressure)	248
9.4 地基极限承载力(The Ultimate Bearing Capacity of Foundation Soil)	250
9.4.1 普朗德尔-瑞斯纳公式(Prandtl-Reissner's Equation)	250
9.4.2 太沙基公式(Terzaghi's Equation)	251
9.4.3 汉森公式(Hansen's Equation)	256
9.4.4 地基承载力的安全度(Factor of Safety for Bearing Capacity of Foundation Soil)	258
思考题(Thinking Questions)	260
习题(Exercises)	260
附录 A 常用术语符号表(Notations)	262
附录 B 习题参考答案(Reference Answers)	267
参考文献(References)	270

绪论(Introduction)

1. 土力学的研究对象及其特性

土力学是研究土的力学行为和特性的学科。土力学的研究对象是土,而土是各类岩石历经漫长的地质年代,经崩解、破碎、风化作用后的产物,是碎散颗粒的集合体。天然性、碎散性和多相性是土区别于其他材料的三大特性。

天然性是指土是自然作用的产物,形成过程中由于条件和环境的不同,决定了其性质的不同,因此土具有明显的不均匀性。同一场地、不同水平位置或不同深度的土的性质往往存在差异。由于在土的形成过程中,各种自然力(如重力、风、降雨和流水等)都具有方向性,因此即使同一点的土,其力学性质也随方向的不同而不同,这种特性称为各向异性。例如,在重力作用下沉积的土,其竖向刚度往往大于水平向的刚度。

碎散性是指土是由大小不同的颗粒堆积而成,某些土的颗粒之间存在一定的黏聚力,但联结强度远小于颗粒本身的强度,因此在大多数情况下,土抵抗外部剪切作用主要靠颗粒之间的摩擦作用,即土是一种以摩擦为主的材料,具有“压硬性”。此外,大部分材料在剪应力作用下体积不发生变化,而土体在剪应力作用下颗粒会移动或翻滚,土体不仅会产生剪切变形,大多数情况下还将产生体积变形,即表现出剪胀或剪缩的行为特性。

碎散的土体颗粒之间存在大量的孔隙,孔隙中通常存在空气或水,因此土是由固体颗粒、水和气体组成的三相材料。如果土体完全饱和,那么它是由固体和水组成的两相物质;如果土体完全干燥,那么它是由固体和空气组成的两相材料。多相材料的力学性质要比单相固体材料复杂得多。土体所受外部荷载由土骨架和孔隙介质共同承担,其变形和强度与三相之间的比例关系及相互作用有关。此外,液相和气相在孔隙之间的流动也是多相材料特有的行为。

2. 土力学的基本内容及特点

土力学是力学的一个分支,是运用力学知识和土工测试技术研究土的组成、物理和应力状态、变形特性、强度特性及渗透特性,并将其应用于分析和解决地基沉降、地基承载力、支挡结构土压力和边坡稳定等实际工程问题。土力学涉及的学科较广,与工程地质学、材料力学、弹性力学、流体力学等学科都有密切的联系。同时,土力学是一门理论性和实践性都很强的学科。因此,除了学习基本概念和基本理论,还应了解和掌握测定土的基本物理和力学参数的土工试验方法。

3. 土力学的发展简史

土力学的发展大体可以分为三个阶段,即 1925 年以前的萌芽奠基阶段、1925 年至 1960 年左右的“古典土力学”阶段和 1960 年左右以后的“现代土力学”阶段。

自远古以来,人类就懂得利用土作为建筑地基和材料。古代有许多建筑物,如我国著名的万里长城、大运河、赵州石拱桥以及遍布全国各地的宫殿庙宇等,国外的金字塔、比萨斜塔等的修建都需要有丰富的土的知识和在土上面修建建筑物的经验。例如,福建客家土楼的墙体是将未经焙烧且按一定比例的砂质黏土和黏质砂土拌和后,用夹墙板夯筑而成,坚固耐久。再如北宋初期著名木工喻皓(989 年)在建造开封开宝寺木塔时,考虑到当地多西北风,特意使建于饱和土上的塔身稍向西北倾斜,以利其在风力的长期作用下渐趋复正,可见当时的工匠已考虑到建筑物地基的沉降问题了。然而,由于社会生产力和技术条件的限制,直到 18 世纪中叶,人们对土的力学性质的认识还停留在感性认识阶段。

土力学的研究始于 18 世纪工业革命兴起的欧洲,由于工业和城市发展的需要,大量建筑物的兴建,尤其是铁路的修筑面临着许多与土有关的问题,促使人们对土进行研究,并对积累的经验进行理论归纳和解释。1773 年,法国科学家库仑(Coulomb)创立了著名的砂土抗剪强度公式,并提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论;1856 年,法国工程师达西(Darcy)通过试验研究了砂土的透水性,提出了达西渗透公式;1857 年,英国学者朗肯(Rankine)提出了基于土体极限平衡条件的土压力理论;1885 年,法国科学家布辛内斯克(Boussinesq)求得了均匀的、各向同性的半无限体表面在竖向集中力作用下的位移和应力分布的理论解答;1916 年,瑞典彼得森(Petterson)提出了土坡稳定分析的圆弧滑动法;1922 年,瑞典弗兰纽斯(Fellenius)提出了土坡稳定分析的条分法。这些早期的理论用于解决不同的岩土工程问题,对土力学的发展起了极大的推动作用,奠定了土力学的基础,但并没有形成统一的理论从而使土力学成为独立的学科。

1925 年,太沙基(Terzaghi)系统地归纳和总结了以往土力学研究的成果,并撰写了第一本内容较为全面的著作——《土力学》。这本著作比较系统地论述了若干重要的土力学问题,并提出了著名的饱和土有效应力原理。它的出现,带动了各国学者对土力学问题进行更深入的研究,并不断取得进展。因此,这本著作的出版被认为是土力学成为一门独立学科的标志,而太沙基被公认为“土力学之父”。

从那时起,直到 20 世纪 60 年代,土力学的研究基本上是对原有古典理论与试验技术的完善与提升。如毕肖普(Bishop)、简布(Janbu)和摩根斯坦(Morgenstern)等人相继提出了可以考虑条块间作用力而且滑动面可取任意形状的土坡稳定计算方法,解决了原有条分法的不足;卡萨格兰德(Casagrande)、斯肯普顿(Skempton)和其他许多学者通过理论和试验研究,进一步完善了土的抗剪强度、变形和渗透方面的理论,并应用于不同工程问题的解决。

土力学发展至 20 世纪 60 年代,进入了一个新的时期,即“现代土力学”阶段。现代土力学的基石是由 Roscoe、Schofield 和 Wroth 提出的临界状态理论,它把经典土力学中不相关的性质(如强度和变形)有机地结合在一起。建立在临界状态理论框架下和弹塑性理论基础之上的弹塑性本构模型,可以很好地反映土体应力和应变之间关系的非线性和部分变形的不可恢复性。而电子计算机的出现和计算技术的高速发展,使应用高级本构模型分析和解决重大工程问题成为可能和趋势。

【人物简介】

太沙基(Karl von Terzaghi)于1883年10月2日出生于捷克首都布拉格,1904年和1912年先后获得格拉茨(Graz)技术大学的学士和博士学位。1916—1925年,他在土耳其的伊斯坦布尔技术大学和Bogazici大学任教,并从事土的特性方面的研究课题。1923年,他发表了渗流固结理论,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,他出版了世界上第一本土力学专著*Erdbaumechanik*《土力学》,该书标志着土力学这门学科的诞生。1925年,他被派往麻省理工学院担任访问教授,4年后到维也纳技术大学任教授。1938年,德国占领奥地利后,太沙基前往美国,并在哈佛大学任教,直到1956年退休。在此期间的1943年,他还出版了*Theoretical Soil Mechanics*,在这部著作中,太沙基系统地阐述了固结理论、沉降计算、地基承载力、土压力、抗剪强度及边坡稳定等问题。

太沙基是一个理论家,更是一个享誉国际土木工程界的咨询工程师,他是许多重大工程的顾问,这其中包括英国的Mission大坝。1965年,为表达对太沙基的敬意,该坝被命名为Terzaghi大坝。太沙基是第一届到第三届(1936—1957年)ISSMFE(国际土力学与基础工程学会)的主席,曾4次荣获ASCE(美国土木工程师协会)的Norman奖(1930年,1943年,1946年,1955年),并被8个国家的9个大学授予荣誉博士学位。为表彰太沙基的杰出成就,美国土木工程师协会还设立了太沙基奖。

太沙基是公认的“土力学之父”。



太沙基
(1883—1963)

土的物理性质及分类 (Physical Properties of Soil and Soil Classification)

1.1 概述 (Introduction)

土是地球表面的岩石经过物理风化和化学风化作用后的产物经历不同的搬运方式、在不同环境中沉积下来的碎散颗粒的堆积物。一般情况下,土颗粒之间的孔隙存在水和空气,因而土是由固相(固体颗粒)、液相(水)和气相(空气)组成的三相混合体。固体颗粒构成土的骨架,是土的主要组成部分。固体颗粒的大小、形状、矿物成分等是决定土的工程性质的主要因素。土中固体颗粒的矿物成分绝大部分是矿物质,部分含有有机质,而矿物质可分为原生矿物和次生矿物。粗大土颗粒的形状都呈块状或粒状,矿物成分通常是原生矿物;而细小土颗粒的形状主要呈片状或针状,矿物成分主要是次生矿物。

土中的液态水分分为结合水和自由水两大类,水的含量对土体的性质有明显的影响,对于由细小土颗粒组成的黏性土,含水量的多少直接决定土的强度和变形特性。土中的气体主要是与大气连通的自由气体,对土的性质影响较小。土的物理和力学性质在很大程度上取决于组成土的三相物质的质量和体积之间的比例关系,反映这种关系的指标称为土的物理性质指标。

本章主要介绍土的形成和三相组成、土的结构和构造,定量描述土的物理性质和状态的指标、土的分类和土的压实等,这些是土力学的基础。

1.2 土的形成 (Soil Formation)

地球表面的完整岩石在太阳辐射、水、大气、生物等因素的长期影响下,发生风化作用而崩解、破碎,形成形状不同、大小不一的颗粒,这些颗粒受各种不同自然力的搬运作用,在不同的自然环境下堆积下来,即形成通常所说的土。因而土是指覆盖在地表的没有胶结或弱胶结的颗粒堆积物。土的物理、力学性质和土形成过程中所受的风化作用、搬运方式与沉积环境密切相关。

1.2.1 风化作用 (Weathering)

风化作用指岩石在自然界各种因素和外力的作用下破碎或分解,产生颗粒大小或化学

成分改变的现象。风化作用包括物理风化 (physical weathering) 和化学风化 (chemical weathering), 它们通常是同时进行、互相加剧发展的。风化过程中有生物参与的也称为生物风化 (biological weathering)。

1. 物理风化

物理风化是指由于温度的变化、水的冻胀、波浪冲击、地震等引起的物理力使岩体崩解、碎裂成岩块、岩屑的过程。物理风化使岩石从比较完整的固结状态变为松散破碎状态, 使岩石的孔隙和表面积增大, 逐渐变成碎块和细小的颗粒。土中的碎石、砾石、砂等是物理风化的产物。物理风化生成的土, 其矿物成分和原来的母岩相同, 颗粒之间没有黏结作用。

2. 化学风化

化学风化指岩石在水、水溶液和空气中的氧气与二氧化碳等的作用下, 发生溶解、水化、水解、碳酸化和氧化等化学变化, 形成大量细微颗粒 (黏性颗粒) 和可溶盐类的过程。化学风化生成的矿物和母岩不同, 称为次生矿物。化学风化的方式主要有:

(1) 溶解作用

岩石中某些矿物成分被水溶解, 形成水溶液而流失, 如石灰岩中的方解石遇到含有 CO_2 的水时, 会生成碳酸氢钙溶解于水而流失。

(2) 水解作用

岩石中大部分矿物属于硅酸盐和铝硅酸盐, 它们是弱酸强碱化合物, 容易被水分解形成新的矿物, 如正长石经水解作用后释放出钾离子, 变成高岭石。

(3) 水化作用

有些矿物和水接触后, 其离子和水分子相互吸引结合在一起, 形成了新的矿物, 如硬石膏 (CaSO_4) 水化后成为石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。

(4) 碳酸化作用

CO_2 溶于水形成的碳酸溶液能与一些盐类矿物反应, 使矿物分解, 如正长石经碳酸化作用变成高岭土。

(5) 氧化作用

大气和水中都存在大量的氧, 一些矿物和氧结合形成新的矿物, 如黄铁矿 (FeS_2) 氧化后转化成褐铁矿 (Fe_2O_3)。

3. 生物风化

生物风化指植物、动物和微生物在其生长或活动的过程中, 直接或间接对岩石的物理和化学的风化作用。生物的物理风化主要是生物产生的机械力造成岩石崩解、破碎, 如生长在岩石裂隙中的植物, 在根系生长的过程中将岩石劈裂。生物的化学风化包括生物在新陈代谢过程中, 分泌出一些化合物, 如硝酸、碳酸和有机酸等, 溶解某些矿物, 对岩石产生腐蚀破坏等。

1.2.2 搬运与沉积(Transportation and Sedimentation)

根据搬运与堆积方式的不同,土可分为两类:残积土和运积土。残积土是指岩石风化的产物未被搬运而残留在原地的堆积物。残积土由于未经搬运的碰撞和磨损,所以土体颗粒一般较粗且带棱角,空间分布无分选性、无层理构造,均质性较差。运积土是指岩石分化后的产物经自然力的作用,搬离生成地点后重新沉积下来的堆积物。根据搬运力和沉积环境的不同,运积土可分为:坡积土、洪积土、冲积土、湖积土、海积土、风积土、冰积土等。下面简要介绍各种运积土的特点。

1. 坡积土

坡积土是指岩石风化后的产物在重力和雨雪水流的作用下,沿着斜坡逐渐向下移动,在较平缓的山坡或山脚下沉积而形成的堆积物。坡积土颗粒分选明显,随斜坡自上而下颗粒由粗而细。坡积土一般厚度变化较大,作为地基容易引起不均匀沉降。

2. 洪积土

洪积土是指岩石风化后的产物受山洪急流冲刷、挟带,在山沟出口处或山前平原沉积而形成的土。洪积土具有一定的分选性,靠近山地的颗粒较粗,而离山较远的颗粒较细,颗粒具有一定的磨圆度。

3. 冲积土

冲积土是指由于江、河流水的作用,河床和两岸的基岩和沉积物受到剥蚀、冲刷和搬运后,在平缓地带沉积而形成的堆积物。冲积土的主要类型有山区河谷冲积土、平原河谷冲积土和三角洲冲积土等。冲积土颗粒具有较好的分选性和磨圆度,但不同类型的冲积土性质差异较大,如山区河谷冲积土颗粒较粗,承载力较高,而三角洲冲积土的颗粒较细,含水量大,承载力较低。

4. 湖积土

湖积土是指在湖泊及沼泽等缓慢水流或静水条件下沉积下来的堆积物。湖积土含有大量的细微颗粒,且常伴有由生物化学作用所形成的有机物,土质疏松,含水量高,工程性质一般较差。

5. 海积土

海积土是指岩石风化后的产物由河流流水搬运到海洋环境下沉积而成的堆积物。海积土颗粒细,表层土质疏松,工程性质较差。

6. 风积土

风积土是指风力带动土颗粒,经过一段距离的搬运后沉积下来的堆积物。风积土没有