

全国水利水电高职教研会
中国高职教研会水利行业协作委员会

规划推荐教材

高职高专土建类专业系列教材

● 土力学与地基基础 ●

主 编 秦植海

副主编 孙 萍 叶火炎 蒋 红
史美东 张 茹



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国水利水电高职教研会
中国高职教研会水利行业协作委员会

规划推荐教材

高职高专土建类专业系列教材

土力学与地基基础

主 编 秦植海

副主编 孙 萍 叶火炎 蒋 红

史美东 张 茹



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为高职高专系列教材之一。全书内容共分9章,包括:土的物理性质与工程分类、土的渗透性、土中应力、地基变形计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、天然地基上的浅基础设计、桩基础与其他深基础、地基处理。每章正文之前有学习目标,每章正文之后有小结、思考题、习题。

本书参照我国最新修订的《建筑地基基础设计规范》和其他相关新规范、新规程和新标准编写,内容精炼,实用性强,本书除用作高职高专、成人高校的土建类相关专业的课程教材外,也可供土建类专业勘察、设计和施工人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/秦植海主编. —北京:中国水利水电出版社, 2008

全国水利水电高职教研会、中国高职教研会水利行业协作委员会规划推荐教材. 高职高专土建类专业系列教材

ISBN 978 - 7 - 5084 - 6103 - 8

I. 土… II. 秦… III. ①土力学—高等学校:技术学校—教材②地基—基础(工程)—高等学校:技术学校—教材 IV. TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第189409号

书 名	高 职 高 专 土 建 类 专 业 系 列 教 材 全 国 水 利 水 电 高 职 教 研 会 规 划 推 荐 教 材 中 国 高 职 教 研 会 水 利 行 业 协 作 委 员 会 土 力 学 与 地 基 基 础
作 者	主 编 秦 植 海 副 主 编 孙 萍 叶 火 炎 蒋 红 史 美 东 张 茹
出版发行	中 国 水 利 水 电 出 版 社 (北 京 市 三 里 河 路 6 号 100044) 网 址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电 话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北 京 科 水 图 书 销 售 中 心 (零 售) 电 话: (010) 88383994、63202643 全 国 各 地 新 华 书 店 和 相 关 出 版 物 销 售 网 点
排 版	中 国 水 利 水 电 出 版 社 微 机 排 版 中 心
印 刷	北 京 市 地 矿 印 刷 厂
规 格	184mm×260mm 16 开 本 12.75 印 张 302 千 字
版 次	2008 年 12 月 第 1 版 2008 年 12 月 第 1 次 印 刷
印 数	0001—4000 册
定 价	25.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

《土力学与地基基础》为高职高专系列规划教材之一，是根据教育部制定的高职高专土建类课程教学的基本要求，并结合目前教学改革发展的需要，以及在实际工程中专业的最新动态编写的。

本书共分9章，包括：土的物理性质与工程分类、土的渗透性、土中应力、地基变形计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定、天然地基上的浅基础设计、桩基础与其他深基础、地基处理。全书采用《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)以及其他相关新规范、新规程和新标准，结合高职高专的特点，强调实用性。在编写过程中注重理论联系实际，以应用为重点。

本书由秦植海任主编，孙萍、叶火炎、蒋红、史美东、张茹任副主编，浙江水利水电专科学校秦植海编写绪论及第2章、第6章、第9章；广西水利电力职业技术学院孙萍编写第1章；湖北水利水电职业技术学院叶火炎编写第4章；浙江水利水电专科学校史美东编写第8章；山西水利职业技术学院张茹编写第3章；安徽水利水电职业技术学院蒋红编写第7章；湖北水利水电职业技术学院余丹丹编写第5章。全书由秦植海统稿。

本书在编写过程中参考了相关资料及已出版的相关教材，还得到了石家庄铁道学院张力霆教授的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编者的理论水平和实践经验有限，错误及不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2008年12月

目 录

前言

绪论	1
0.1 土力学与地基基础的基本概念	1
0.2 土力学与地基基础的重要性	2
0.3 学科的发展历史	3
0.4 本课程的特点和学习要求	4
第1章 土的物理性质与工程分类	7
1.1 土的成因与特性	7
1.2 土的三相组成	11
1.3 土的物理性质指标	15
1.4 土的物理状态指标	20
1.5 土的压实机理	25
1.6 地基岩土工程分类	27
小结	32
思考题	33
习题	33
第2章 土的渗透性	35
2.1 土的渗透规律	35
2.2 渗透力与渗透变形	41
小结	45
思考题	45
习题	46
第3章 土中应力	47
3.1 土的自重应力	47
3.2 基底压力	48
3.3 地基中的附加应力	51
小结	58
思考题	59
习题	59
第4章 地基变形计算	61

4.1 土的压缩性	61
4.2 地基最终沉降量计算	65
4.3 地基沉降与时间的关系	73
小结	77
思考题	78
习题	78
第5章 土的抗剪强度与地基承载力	79
5.1 土的抗剪强度与极限平衡条件	79
5.2 抗剪强度指标的测定	82
5.3 地基承载力的确定	87
小结	91
思考题	91
习题	92
第6章 土压力与土坡稳定	93
6.1 概述	93
6.2 土压力及产生条件	94
6.3 朗肯土压力理论	96
6.4 库仑土压力理论	100
6.5 工程实际中的土压力计算	103
6.6 挡土墙的设计	105
6.7 土坡稳定分析	111
小结	117
思考题	118
习题	118
第7章 天然地基上的浅基础设计	119
7.1 浅基础的类型	119
7.2 基础埋置深度的选择	122
7.3 基础底面尺寸的确定	123
7.4 基础结构设计	128
7.5 减轻不均匀沉降的措施	141
小结	143
思考题	143
习题	144
第8章 桩基础与其他深基础	145
8.1 桩基础的类型	145
8.2 桩的承载力	149
8.3 桩基础设计	154
8.4 其他深基础	172

小结	174
思考题	174
习题	175
第 9 章 地基处理	176
9.1 概述	176
9.2 软土及其工程特性	176
9.3 机械压实法	177
9.4 换土垫层法	178
9.5 预压法	181
9.6 挤密桩法	185
9.7 强夯法	191
9.8 化学加固法	193
小结	195
思考题	195
习题	195
参考文献	196

绪 论

0.1 土力学与地基基础的基本概念

任何建筑物都支承于地层上，受建筑物荷载影响的那一部分地层称为地基。建筑物的下部通常要埋入地下一定的深度，使之坐落在较好的地层上，建筑物向地基传递荷载的下部结构称为基础。建筑物的地基、基础如图 0.1 所示。

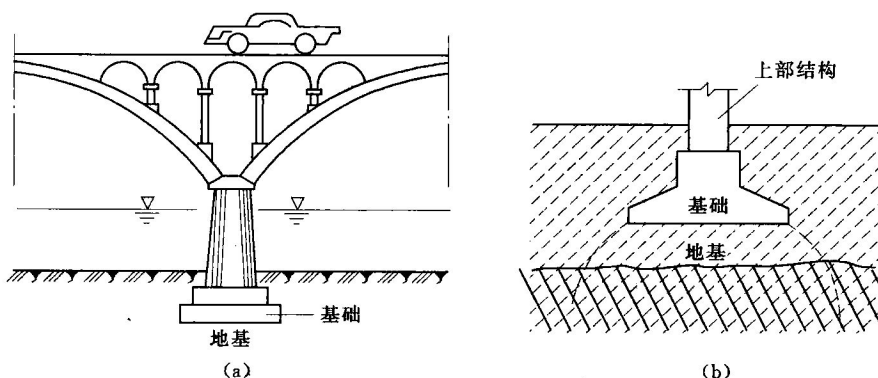


图 0.1 地基与基础

地球表面的大块岩体经自然界风化、搬运、沉积等地质作用形成松散的堆积物或沉淀物，在建筑工程中称为土。土是各种矿物颗粒的集合体。土是自然界的产物，它与其他建筑材料相比，在质地、强度等诸多方面存在着较大差异。特别是某些土在含水量很高的情况下，其压缩性很大、承受荷载的能力很低。

由于土的形成年代、生成环境及矿物成分不同，所以其性质也是复杂多样的。例如，沿海及内陆地区的软土，华北、东北及西北地区的黄土，分布在全国各地区的黏土、膨胀土和杂填土等，都具有不同的性质。因此，进行建筑物设计之前，必须对建筑场地进行勘察，提供岩土工程勘察报告。然后根据上部荷载、桥梁涵洞或房屋使用及构造上的要求，采用一些必要的措施，使基底压力小于地基承载力特征值，地基变形不超过其允许值，并保证建筑物和构筑物是稳定的。

未经人工处理的地基，称为天然地基。如果地基软弱，其承载力及变形不能满足设计要求时，则要对地基进行加固处理，这种地基称为人工地基（例如采用机械压实、强力夯实、换土垫层、排水固结等方法处理过的地基）。

基础根据埋深不同可分为浅基础和深基础。对一般房屋的基础，如土质较好，埋深通常不大（1~5m），可用简便的施工方法开挖基坑和排水，这类基础称为浅基础。如果建筑物荷载较大或地层较软弱时，需要把基础埋置于深处较好的地层，要采用特殊的基础类



型或特殊的施工方法,这种基础称为深基础(例如桩基础、沉井、地下连续墙等)。

《土力学与地基基础》这门课程,包括土力学及地基基础两部分。土力学是利用力学的一般原理以土为研究对象,研究土的特性及其受力后,应力、变形、渗透、强度和稳定性及其随时间变化规律的学科。它是力学的一个分支,是为解决建筑物的地基基础、土工建筑物和地下结构物的工程问题服务的。地基基础主要研究常见的房屋、桥梁、涵洞等地基基础的类型、设计计算和施工方法。

建筑物由地基、基础和上部结构三部分组成,虽然各自功能及研究方法不同,但对一个建筑物来说,在荷载作用下,三者是相互联系、相互制约的整体。目前,由于受人们对建筑物的研究程度及计算方法的限制,要把三者完全统一起来进行设计计算还不现实。但在解决地基基础问题时,从地基—基础—上部结构相互作用的整体概念出发,全面考虑问题,乃是建筑物设计的发展方向。

0.2 土力学与地基基础的重要性

地基与基础是建筑物的重要组成部分,又属于地下隐蔽工程,因此,它的质量好坏关系到建筑物的安全、经济和正常使用。由于基础工程施工需要在地下或水下进行,施工难度较大,造价、工期和劳动消耗量在整个工程中占的比重均较大。视建筑物复杂程度和设计施工是否合理,基础工程费用在建筑物的总造价中所占的比重变幅很大,其工期可占总工期的1/4以上。如果采用人工地基或深基础,则工期和造价所占的比例将更大。实践证明,建筑物事故的发生,很多与地基基础有关,并且,地基基础一旦发生事故,将不易补救。随着高层建筑物的兴起,深基础工程增多,对地基基础的设计与施工提出了更高的要求。

建于1941年的加拿大特朗斯康谷仓(图0.2),由65个圆柱形筒仓组成,高31m,宽23m,其下为片筏基础,由于事前不了解基础下埋藏有厚达16m的软黏土层,建成后初次贮存谷物时,基底压力超过了地基承载力,致使谷仓一侧突然陷入土中8.8m,另一

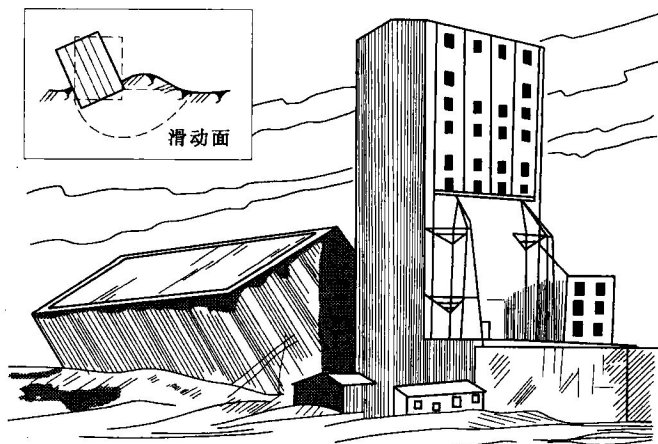


图 0.2 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故



侧则抬高 1.5m, 仓身倾斜达 27° 。这是地基发生整体滑动、建筑物失稳的典型例子。由于该谷仓整体性较强, 谷仓完好无损, 事后在下面做了 70 多个支承于基岩上的混凝土墩, 用 388 个 500kN 的千斤顶, 才将仓体扶正, 但其标高比原来降低了 4m。

建于 1954 年的上海工业展览馆中央大厅, 总重力约 100000kN, 平面尺寸为 $45\text{m} \times 45\text{m}$ 的两层箱形基础。地基为厚约 14m 的淤泥质软黏土。建成后基础当年下沉 0.6m, 1979 年沉降趋于稳定, 大厅平均下沉量达 1.6m。墙面由于不均匀沉降而产生了较大裂缝。

又如 1173 年兴建的意大利比萨斜塔, 当建至 24m 时发现倾斜, 被迫停工。100 年后续建至塔顶 (高约 55m)。至今塔身一侧下沉了 1m 多, 另一侧下沉了约 3m, 倾斜 5.8° 。1932 年曾于塔基灌注了 1000t 水泥, 效果仍然不明显。在以后的数十年里该塔仍以每年 11mm 的速度下沉, 意大利当局被迫于 1990 年关闭斜塔, 斜塔因此而成为世界上著名的基础工程问题。在经历了 10 多年的应力解除并辅以配重的矫正工程后, 工程专家组于 2001 年 6 月 16 日正式交给比萨市政当局。专家组声称比萨斜塔至少可以再良好地保持 300 年。

以上工程实例说明, 在建筑物地基基础设计中就建筑物安全方面必须遵守两条规则: ①应满足地基强度要求; ②地基变形应在允许范围之内。这就要求工程技术人员熟练掌握土力学与地基基础的基本原理和主要概念, 结合建筑场地及建筑物的结构特点, 因地制宜地进行设计和必要的验算。

0.3 学科的发展历史

土力学与地基基础既是一门古老的工程技术, 又是一门新兴的应用学科。它伴随着生产实践的发展而发展。它的发展也总是与社会各历史阶段的生产和科学水平相适应。

就土力学与地基基础学科而论, 它也和其他学科一样, 经历过从感性认识到理性认识、形成独立学科和新的发展四个阶段。

土力学学科最早为感性认识阶段, 我国劳动人民远在春秋战国时期开始兴建的万里长城以及隋唐时期修通的南北大运河, 穿越各种复杂的地质条件, 历尽千百年风雨沧桑而不毁, 被誉为亘古奇观; 宏伟壮丽的宫殿寺院, 要依靠精心设计的地基基础, 才能逾千百年而流存至今; 遍布各地的高塔, 正是由于有牢固的基础, 才能遇多次强震而无恙。隋朝李春作为石匠在河北省修建的赵州石拱桥, 不仅因其建筑和结构设计而闻名于世, 其地基基础处理也是非常合理的。他将桥台砌置于密实粗砂层上, 1300 多年来估计沉降量仅几厘米, 现在通过验算桥台的基底压力约为 $500 \sim 600\text{kPa}$, 这与用现代土力学理论方法给出的该土层的承载力非常接近。

18 世纪中叶, 随着欧洲工业革命的兴起, 大规模的城市建设和水利、铁路的兴建, 遇到了许多与土有关的力学问题, 积累了许多成功的经验, 也总结了不少失败的教训, 它促使人们对积累的经验作理论上的解释。随之土力学的理论才开始逐渐产生和发展。1773 年, 法国库仑 (Coulomb) 根据实验提出了砂土的抗剪强度公式和挡土墙土压力的滑动楔体理论 (统称为库仑理论); 1857 年, 英国朗肯 (Rankine) 又从另一途径建立了土压力



理论,这一土压力理论与库仑土压力理论统称为古典土压力理论,对后来土体强度理论的建立起了推动作用;1885年布辛涅斯克(Boussinesq)求得了弹性半无限空间体表面在集中力作用下的应力、应变理论解答;弗伦纽斯(Follenius)为解决铁路塌方问题提出了土坡稳定分析方法。这些理论和方法至今仍作为土力学的基本理论被广泛应用着。

1925年美国土力学专家太沙基(Terzaghi)著名的《土力学》专著被公认为是近代土力学的开始。他在总结实践经验和大量试验的基础上提出了很多独特的见解,其中,著名的土的有效应力原理和固结理论是对土力学学科的突出贡献。至此,土力学才成为一门独立学科,以后在工程实践中不断丰富、提高。

20世纪50年代开始,现代科技成就特别是电子技术渗入了土力学与地基基础的研究领域。实验技术实现了自动化、现代化,人们对地层的性质有了更深的了解。土力学理论和基础工程技术出现了令人瞩目的进展。

长期以来,在计算地基变形时,假定土体是弹性体;在进行挡土墙土压力计算和边坡稳定分析时,又将土看作理想的刚性体。而实际土体的应力应变关系是非线弹性的,因此确切地讲,土力学的理论对于那些高重建筑物的设计,其相符性和精度是远远不能满足要求的。借助电子技术及试验技术,许多学者已开展了土的弹塑性应力应变关系的研究,提出了各种本构关系的模型,有些已用于工程计算和分析。我国不少学者对土力学理论的发展也作出了可贵的贡献。如陈宗基教授1957年提出的土流变学和黏土结构模式,已被电子显微镜观测证实;黄文熙教授1957年提出非均质地基考虑侧向变形影响的沉降计算方法和砂土液化理论。我国成功地建造了一大批高层建筑,解决了大量复杂基础工程问题,为土力学与地基基础理论和实践积累了丰富的经验。

时至今日,土建、水利、桥隧、道路、港口、海洋等有关工程中,以岩土体的利用、改造与整治问题为研究对象的科技领域,因其区别于结构工程的特殊性和各专业岩土问题的共同性,已融合为一个自成体系的新专业——“岩土工程”(Geotechnical Engineering)。它的工作方法就是:调查勘察、试验测定、分析计算、方案论证、监测控制、反演分析、修改方案;它的研究方法是以三种相辅相成的基本手段,即数学模拟(建立岩土力学模型进行数值分析)、物理模拟(定性的模型试验、以离心机中的模型进行定量测试和其他物理模拟试验)和原状观测(对工程实体或建筑物的性状进行短期或长期观测)综合而成的。我国的地基基础科学技术,已经遵循现代岩土工程的工作方法和研究方法取得了较大的成就,并将为我国的现代化建设作出更大的贡献。

当然,由于土的性质的复杂性,到目前为止,土力学与地基基础的理论虽已有了很大发展,但与其他成熟学科相比较,尚不完善,在假定条件下得出的理论,应用于实践时多带有近似性,有待于人们不断实践、研究,以获得更加令人满意的突破。

0.4 本课程的特点和学习要求

如前所述,土力学是以土为研究对象的。土不同于一般固体材料,它是由固体颗粒、土中水和气体组成,土颗粒构成土的骨架,土中孔隙由气体和液体填充,所以,我们称土体为三相体系。土体的强度一般比土粒强度小得多,这就决定了土的松散性。其成因类型



和空间分布情况构成土的多样性。与连续介质比较,土体更具复杂性,而且受外界环境影响较大,诸如在温度、湿度、压力、水流、振动等环境影响下,其性质会有显著变化。现有的土力学理论还很难准确地模拟天然土层在荷载作用下所显现出来的力学性质,所以,土力学虽是指导人们进行地基基础设计的重要理论依据,但还应通过实验、实测并根据实践经验进行综合分析,才能获得比较满意的结果。只有通过这种理论与实践的反复比较,才能逐步提高对理论的认识,从而不断增强解决地基基础问题的能力。

土力学与地基基础是一门理论性与实践性均较强的技术基础课,它是联系基础课和专业课的桥梁。在学习该课程之前应该具备物理、化学、理论力学、材料力学、结构力学、建筑材料、弹性理论、工程地质、水力学、钢筋混凝土及砖石结构等课程的基本知识。

本课程内容广泛、综合性强、学习时应抓住重点,兼顾全面。从专业要求出发,必须牢固掌握土的应力、变形、强度和地基计算等土力学的基本概念和原理,从而应用这些概念和原理并结合建筑结构和施工知识,分析和计算地基基础问题。

本课程内容的广泛性还体现在土力学学科应用的广泛上,土木建筑、道路桥梁、交通运输、冶金、能源、国防等,凡是有关土木工程行业,建筑物都需建在地基上,从事这些行业的设计和施工人员都需具备坚实的土力学基础知识。

土力学的研究方法同其他科学一样,具有共同性,但是也有自己的特殊性,表现在以下几个方面。

(1) 对于土的有关知识从感性阶段过渡到理性阶段,人们往往把实际复杂的土加以简化。在相应所研究的问题中,忽略土的繁杂而又次要的现象,抓住其突出而主要的性能,并且对这种主要性能又给以一定的假设,使其符合于当时解决该问题所达到的科学水平。这样,原来的土就被某种比较简单的理想的模型所代替。譬如,在研究土体中应力分布时,布辛奈斯克只抓住土体可压缩这个主要性能,并且把实际的松散体看成是一种理想的半无限连续弹性体,把应力分布和传播方式按光线辐射原理来处理。这个理论目前仍广泛应用于土力学中。应当指出,任何简化模型的假设都必须以比较丰富而且正确的经验和感性知识为依据,必须对土的自然性质具有比较清楚的概念。可是,到目前为止,土力学还非常年轻,对于同一问题的研究,常常出现不同的模型假设和相应的各种理论方法,它们的解答结果往往相差很大。只有在生产和科学研究水平不断提高的过程中,上述矛盾才能逐步得到解决,使土力学的理论日益接近土的客观实际。目前应用这些理论时,必须注意其应用场合和条件,结合一定的模型试验和工程经验加以比较分析。对待土力学的发展过程应当采用现实的态度,一方面承认原有理论的不足和存在尚待改进之处,另一方面也承认它们在当前条件下对生产实践的应用价值。

(2) 土力学理论通常使用一些土的物理、力学性质指标和参数。这些指标和参数的准确性对于理论解答的影响往往大于理论本身的精确性。因此,必须对这些指标和参数的概念有正确的理解。使所采用的试验方法和仪器都符合于这些概念的要求。同时,还要弄清这些指标和参数被视为常数时所需的条件和范围,超出这个范围,就应当按因果关系考虑它们的变化。

(3) 土力学中的公式和方法,绝大部分都是半理论半经验性的混合产物,纯理论和纯经验的方法是不多的。而我国土地辽阔,幅员广大,由于自然地理环境的不同,分布着多



种不同的土类，如软弱土、湿陷性黄土、膨胀土、多年冻土和红黏土等。天然地层的性质和分布，不但因地而异，即使在较小的范围内，也可能有很大的变化，因此不能像其他建筑材料一样，有统一的规格可供查阅。每一建筑场地都必须进行地基勘察，采取原状试样进行土工测试，以其试验结果作为地基基础设计的依据。在学习本课程时，要紧紧抓住其研究对象复杂多变的特点，合理选用勘察设备、勘察方法和室内、原位测试方法，正确选用有关指标和参数，既重视所运用的基础理论，更要重视土的实践，做到理论和实践相结合。

第 1 章 土的物理性质与工程分类

学习目标：了解土的生成与组成的基本概念；熟练掌握并计算土的物理性质与物理状态指标；掌握土的压实机理；掌握土的工程分类。

1.1 土的成因与特性

土是岩石经风化、搬运、沉积所形成的产物。不同的土其矿物成分和颗粒大小存在着很大差异，颗粒、水和气体的相对比例也各不相同。

土体的物理性质，如轻重、软硬、干湿、松密等在一定程度上决定了土的力学性质，它是土的最基本的特征。土的物理性质由三相物质的性质、相对含量以及土的结构构造等因素决定。在工程设计中，必须掌握这些物理性质的测定方法和指标间存在的换算关系，熟练按有关特征及指标对地基土进行工程分类及初步判定土体的工程性质。

1.1.1 土的生成

构成天然地基的物质是地壳外表的土和岩石。地壳厚度一般为 30~80km，地壳以下存在着高温、高压的复杂的硅酸盐熔融体，即人们所说的岩浆。岩浆活动可使岩浆沿着地壳薄弱地带侵入地壳或喷出地表，岩浆冷凝后生成的岩石称为岩浆岩。在地壳运动和岩浆活动的过程中，原来生成的各种岩石在高温、高压及挥发性物质的作用下，生成另外一种新的岩石，称为变质岩。地壳表层的岩石长期受自然界的空气、水、温度、周围环境以及各种生物的共同作用，发生风化，使大块岩体不断地破碎与分解，产生新的产物——碎屑。这些风化产物在山洪、河流、海浪、冰川或风力作用下，被剥蚀、搬运到大陆低洼处或海洋底部沉积下来。在漫长的地质年代中，沉积物越来越厚，在上覆压力和胶结物质的共同作用下，最初沉积下来的松散碎屑逐渐被压密、脱水、胶结、硬化（钙化）生成的岩石，称为沉积岩。而上述过程中，未经成岩过程而形成的松散沉积物，即是土。

土是由地球外壳坚硬整体的岩石，经风化、剥蚀、搬运、沉积，形成固体矿物、液体水和气体的一种集合体。常被称为第四纪松散沉积层，厚度仅数米至数百米。

不同的风化作用形成不同性质的土，风化作用有下列三种。

1. 物理风化

岩石经受风、霜、雨、雷的侵蚀，温度、湿度的变化，不均匀膨胀与收缩，使岩石产生裂隙，塌解为碎块。这种风化作用，只改变颗粒的大小与形状，不改变原来的矿构成分，称为物理风化。

由物理风化生成的土为巨粒土，如块石与碎石和粗粒土呈松散状态，又如砾石与砂土等，这种土呈松散状态，总称无黏性土。

2. 化学风化

当岩石的碎屑，与水、氧气和二氧化碳等物质相接触，使这些岩石碎屑逐渐发生化学



变化,改变了原来组成矿物的成分,产生一种新的成分——次生矿物。这类风化称为化学风化。

经化学风化生成的土为细粒土,具有黏结力,如黏土与粉质黏土,总称为黏性土。

3. 生物风化

由动物、植物和人类活动对岩体的破坏称生物风化,例如:长在岩石缝隙中的树,因树根伸展使岩石缝隙扩展开裂,以及人们开采矿山、石材,修铁路打隧道,劈山修公路等活动形成的土,其矿物成分没有变化。

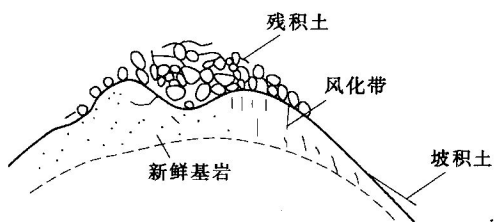


图 1.1 残积土示意图

土由于不同的成因而具有各异的工程地质特征,下面简单介绍几种主要类型。

1. 残积土

残积土是残留在原地未被搬运的那一部分原岩风化剥蚀后的产物(图 1.1)。

未被搬运的颗粒棱角分明。残积土与基岩之间没有明显的界限,一般分布规律为,上部为残积土、中部为风化带、下部为新鲜岩石。

残积土中残留碎屑的矿物成分在很大程度上和下卧岩层一致,根据这个道理也可推测下卧岩层的种类。由于残积土没有层理构造,土的物理性质相差较大,且有较大的孔隙,作为建筑地基容易引起不均匀沉降。

2. 坡积土

坡积土是降水水流的作用力将高处岩石风化产物缓慢冲刷、剥蚀,顺着斜坡向下逐渐移动,沉积至较平缓的山坡上而形成的沉积物。它分布于坡腰至坡脚,上部与残积土相接,基岩的倾斜程度决定了坡积土的倾斜度(图 1.2)。坡积土随斜坡自上而下呈现由粗而细的分选现象,矿物成分与下卧基岩无直接关系,这一点与残积土不同。

坡积土由于在山坡形成,故常发生沿下卧基岩斜面滑动的现象。组成坡积土的颗粒粗细混杂,土质不均匀,厚度变化大,土质疏松,压缩性较大。

3. 洪积土

降水造成的暂时性山洪急流,具有很大的剥蚀和搬运能力。它可以挟带地表大量碎屑堆积在山谷冲沟出口或山前平原而形成洪积土。山洪流出山谷后,因过水断面增大,流速骤减,被搬运的粗颗粒大量堆积下来,离山越远,颗粒越细,分布范围也越大(图 1.3)。

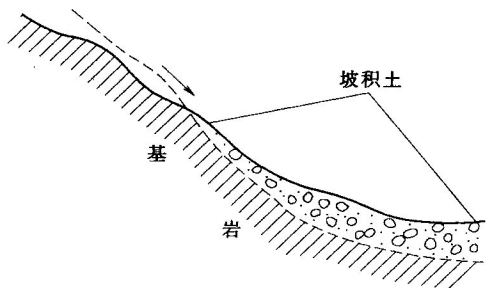


图 1.2 坡积土示意图

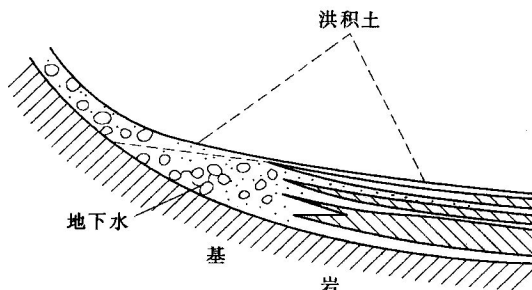


图 1.3 洪积土示意图



洪积土的颗粒虽因搬运过程中的分选作用而呈现由粗到细的变化,但由于搬运距离短,颗粒棱角仍较明显。由于靠近山地的洪积土颗粒较粗,承载力一般较高,属于良好的天然地基;离山较远的地段所形成的洪积土颗粒较细,成分均匀,厚度较大,这部分土分为两种情况,一种因受到周期性干旱的影响,土质较为密实,是良好的天然地基;另一种由于场地环境影响,地下水溢出地表,造成沼泽地带,因此承载力较低。

4. 冲积土

冲积土是流水的作用力将河岸基岩及上部覆盖的坡积土、洪积土剥蚀后搬运、沉积在河道坡度较平缓的地带形成的。随着水流的急、缓、消失重复出现,冲积土呈现出明显的层理构造。由于搬运过程长,搬运用作用显著,棱角颗粒经碰撞、滚磨逐渐形成亚圆形或圆形的颗粒。搬运距离越长,沉积的颗粒越细。

5. 其他沉积土

除上述几种沉积土之外,还有海洋沉积土、湖泊沉积土、冰川沉积土、海陆交互相沉积土和风积土。它们分别由海洋、湖泊、冰川及风的地质作用而形成。下面仅介绍湖泊沉积土。

湖泊沉积土主要由湖浪冲击湖岸,破坏岸壁形成的碎屑组成。近岸带沉积的主要为粗颗粒,远岸带沉积的是细颗粒。近岸带有较高的承载能力,远岸带则差些。湖心沉积物是由河流和湖流夹带的细小颗粒到达湖心后沉积形成的,主要是黏土和淤泥,常夹有细砂、粉砂薄层,称为带状土。这种土压缩性高,强度低。

土与其他连续介质的建筑材料相比,具有下列 3 个显著的工程特性。

1. 压缩性高

反映材料压缩性高低的指标弹性模量 E (土体称变形模量),随着材料性质不同而有极大的差别,例如:当应力数值相同,材料厚度一样时,卵石的压缩性为钢筋压缩性的 4200 倍;饱和细砂的压缩性比 C20 混凝土的压缩性高 1600 倍,足以证明土的压缩性极高。软塑或流塑状态的黏性土往往比饱和细砂的压缩性还要高。

2. 强度低

土的强度特指抗剪强度,而非抗压强度或抗拉强度。

无黏性土的强度来源于土粒表面粗糙不平产生的摩擦力;黏性土的强度除摩擦力外,还有黏聚力。无论摩擦力和黏聚力,均远远小于建筑材料本身的强度,因此,土的强度比其他建筑材料(如钢材、混凝土等)都低得多。

3. 透水性大

材料的透水性可以用实验来说明:将一小杯水倒在桌面上可以保留很长时间,说明木材透水性小。如将水倒在混凝土地板上,也可保留一段时间。若将水倒在室外土地上,则发现水即刻不见,这是由于土体中固体矿物颗粒之间具有无数的孔隙,这些孔隙是透水的。因此土的透水性比木材、混凝土都大,尤其是粗颗粒的卵石或砂土,其透水性极大。

上述土的 3 个工程特性(压缩性高、强度低、透水性大)与建筑工程设计和施工关系密切,需高度重视。

1.1.2 土的结构

土的结构是指土颗粒之间的相互排列和联结形式等综合特征。



土的结构一般分为下列3种。

1. 单粒结构

单粒结构是无黏性土的基本组成形式,由较粗颗粒土(如卵石和砂土等)在自重作用下沉积而成。在沉积过程中,每个颗粒单独下沉并达到稳定状态,颗粒间没有连接力,如图1.4(a)所示。

2. 蜂窝结构

当土颗粒较细(粒径在 $0.005\sim 0.05\text{mm}$ 范围)时,在水中单个下沉,碰到已沉积的土粒,因土粒之间的分子引力大于土粒自重,则下沉的土粒被吸引不再下沉。依次一粒粒被吸引,形成具有很大孔隙的蜂窝状结构,如图1.4(b)所示。

3. 絮状结构

当粒径极细的黏土颗粒(粒径小于 0.005mm)在水中长期悬浮,这种土粒在水中运动,相互碰撞而吸引逐渐形成小链环状的土团粒,质量增大而下沉,当一个小链环碰到另一个小链环时相互吸引,不断扩大形成大链环状,称为絮状结构。此种絮状结构在海积黏土中常见,如图1.4(c)所示。

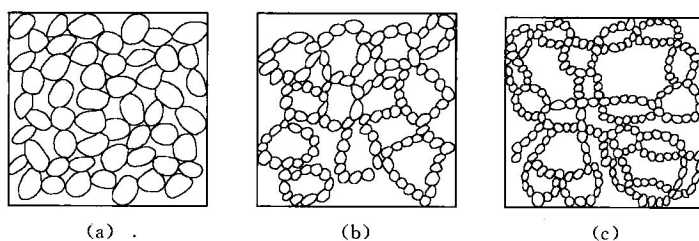


图 1.4 土的结构

以上3种结构中,以密实的单粒结构工程性质最好;蜂窝结构与絮状结构如被扰动破坏天然结构,则强度低、压缩性高,不可用作天然地基。

1.1.3 土层构造

土的构造是指同一土层中土颗粒之间相互关系的特征。

土的构造常见的有下列几种。

1. 层状构造

土层由不同的颜色或不同的粒径的土组成层理,一层一层互相平行。平原地区的层理通常呈水平方向。这种层状构造反映不同年代不同搬运条件形成的土层,为细粒土的一个重要特征。

2. 分散构造

土层中土粒分布均匀,性质相近,如砂与卵石层为分散构造。

3. 结核状构造

在细粒土中混有粗颗粒或各种结核,如含姜石的粉质黏土、含砾石的冰碛黏土等,均属结构状构造。

4. 裂隙状构造

土体中有很多不连续的小裂隙,某些硬塑或坚硬状态的黏土为此种构造。