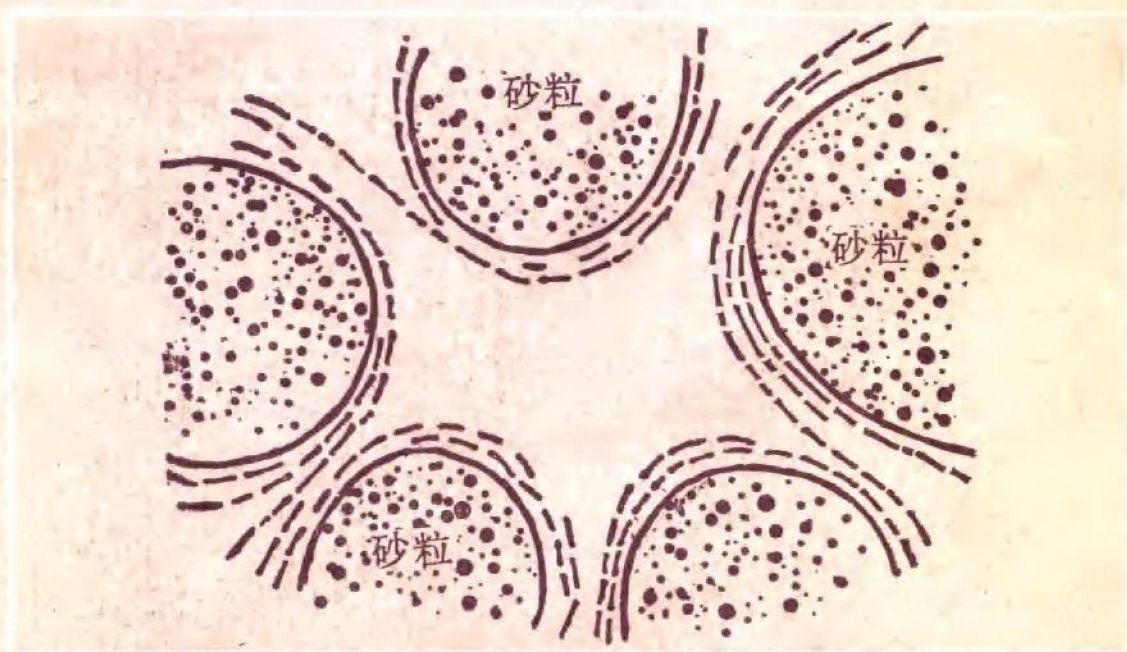


高等学校教材

工程岩土学

唐大雄 孙懋文 主编



地质出版社

高等学校教材

工程岩土学

唐大雄 孙懋文 主编

地质出版社

本书由赵泽三主审，经地质矿产部工程地质教材编审委员会于1985年4月召开的审稿会审查，同意作为高等学校教材。

※

※

※

高等学校教材

工程岩土学

唐大雄 孙隽文 主编

*

责任编辑：楚占昌

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆印张：19¹/₄字数：456,000

1987年11月北京第一版·1987年11月北京第一次印刷

印数：1—8,000册 定价：3.20元

ISBN 7-116-00061-5/P·052

统一书号：13038·教298

前 言

本书是在地质矿产部高等学校试用教材《工程岩土学》(长春地质学院编,地质出版社,1980年)的基础上,按地质矿产部审订的教学大纲(100学时)编写的,可作为高等地质院校工程地质专业四年制本科学生的专业课教材。全书共分两篇,第一篇为土和土体的工程地质研究;第二篇为岩石和岩体的工程地质研究。每篇均附有室内试验指导书,书的最后附有符号、单位换算和主要专业词汇汉英对照三个附录。

本书由长春地质学院唐大雄、武汉地质学院孙懋文主编。孙懋文编写绪言、第一章至第五章、附篇一中的实验一至实验十二;唐大雄编写前言、第六章至第九章、附篇一中的实验十三至实验十八;长春地质学院魏克和编写第十章至第十三章;肖树芳编写附篇二中的实验一至实验六。1985年4月地质矿产部工程地质教材编审委员会组织有关院校(成都地质学院、长春地质学院、武汉地质学院、兰州大学、华东水利学院、南京大学、华东地质学院、贵州工学院等)代表对本书进行了评审,并提出了具体修改意见。最后,由唐大雄、孙懋文根据评审意见书的要求,再次修改定稿。本书承成都地质学院赵泽三作最后的审阅,在此表示感谢。

编者在编写本书过程中,力求反映国内外本学科的发展现状,并结合各自的教学经验,按理论联系实际的原则进行编写。但由于作者水平所限,还会有许多不足之处,敬请读者指正。

编 者

1985年10月

目 录

绪言	(1)
----------	-----

第一篇 土和土体的工程地质研究

第一章 土和土体的形成及其基本特征	(4)
第一节 土和土体的概念	(4)
第二节 土和土体的形成和演变	(5)
第三节 主要成因类型土体的基本特征	(6)
第二章 土的物质组成	(10)
第一节 土的粒度成分	(10)
一、粒组及粒度成分	(10)
二、粒度成分的测定方法	(12)
三、粒度成分的表示方法	(13)
四、土按粒度成分的分类	(15)
第二节 土的矿物成分	(19)
一、土中矿物成分的类型	(19)
二、矿物成分与粒组的关系	(20)
三、粘土矿物的类型及其基本特性	(22)
第三节 土的化学成分	(26)
第四节 土中的水	(27)
一、土中水的工程地质分类	(27)
二、矿物成分水	(28)
三、结合水	(29)
四、非结合水	(31)
五、固态水	(32)
六、气态水	(32)
第五节 土中的气体	(33)
一、土中的气体成分	(33)
二、土中气体的状态	(33)
第三章 土粒与水的相互作用	(35)
第一节 土粒的表面积	(35)
第二节 粘粒双电层的形成	(36)
一、粘粒表面电荷的形成	(37)
二、粘土矿物双电层结构的特征	(38)
三、影响扩散层厚度的因素	(41)
第三节 离子交换	(43)
一、土中的离子交换	(43)
二、交换容量的影响因素	(44)

第四节 粘粒的聚沉和稳定	(47)
一、聚沉作用	(47)
二、稳定作用	(50)
三、触变与陈化	(50)
第四章 土的结构和构造	(52)
第一节 土的结构	(52)
一、土粒的大小、形状及表面特征	(52)
二、土粒间的连结	(52)
三、土粒的排列方式与结构类型	(55)
四、研究方法简介	(59)
第二节 土的构造	(60)
第五章 土的物理性质	(62)
第一节 土的基本物理性质	(62)
一、土粒密度	(62)
二、土的密度	(63)
三、土的含水性	(64)
四、土的孔隙性	(66)
五、基本物理性质指标间的相互关系	(68)
第二节 粘性土的可塑性和稠度	(70)
一、粘性土的稠度和可塑性及其指标	(70)
二、粘性土稠度状态变化的本质	(71)
三、影响粘性土可塑性的因素	(71)
四、塑性指标的实际意义	(74)
第三节 粘性土的胀缩性及崩解性	(76)
一、粘性土的胀缩性	(76)
二、粘性土的崩解性	(79)
第四节 粘性土的透水性	(80)
第五节 土的毛细性	(84)
第六章 土的力学性质	(89)
第一节 土的压缩性	(90)
一、土的压缩变形的本质	(90)
二、压缩试验和压缩系数	(90)
三、载荷试验和变形模量	(93)
四、土的变形模量和压缩模量的关系	(94)
五、土的受力历史和前期固结压力	(96)
六、土的压缩过程	(98)
七、影响土的压缩性的主要因素	(99)
第二节 土的抗剪性	(105)
一、土的剪切破坏的本质	(105)
二、土的抗剪强度和剪切定律	(105)
三、抗剪强度指标的确定	(108)

四、土的蠕变特性和长期强度	(110)
五、影响土的抗剪性的主要因素	(110)
第三节 土的击实性	(116)
一、研究土的击实性的实际意义	(116)
二、土的击实性及其本质	(116)
三、影响土的击实性的主要因素	(118)
第七章 土的工程地质分类及各类土的工程地质特性	(120)
第一节 土的工程地质分类	(120)
一、土的工程地质分类的基本类型	(120)
二、土的工程地质分类的一般原则和形式	(120)
三、我国主要的土质分类简介	(121)
四、土的一般性分类	(125)
第二节 一般土的工程地质特性	(128)
一、砾类土	(128)
二、砂类土	(128)
三、粘性土	(128)
第三节 特殊土的工程地质特性	(129)
一、淤泥类土	(129)
二、膨胀土	(132)
三、红粘土	(136)
四、黄土类土	(138)
五、盐渍土	(143)
六、人工填土	(147)
七、冻土	(148)
第四节 土体工程地质研究的基本问题	(151)
第八章 人工土质改良的基本原理	(154)
第一节 人类活动对土性质的影响和人工土质改良的任务	(154)
第二节 人工土质改良的基本方法	(155)
第三节 人工土质改良方法的选择原则	(161)
附篇一 土的室内试验指导书	(163)
实验一 目测法鉴定土的类别	(163)
实验二 测定砂土的粒度成分(筛析法)	(165)
实验三 测定粘性土的粒度成分(静水沉降法)	(167)
实验四 测定土粒密度(比重瓶法)	(181)
实验五 测定土的密度(环刀法、蜡封法)	(183)
实验六 测定土的含水率(烘干法、炒干法)	(186)
实验七 测定粘性土的液限(锥式仪法)	(187)
实验八 测定粘性土的塑限(搓条法)	(189)
实验九 测定粘性土的膨胀性指标(膨胀仪法、固结仪法)	(190)
实验十 测定粘性土的收缩性指标(收缩仪法)	(193)

实验十一	测定粘性土的渗透系数（南55型渗透仪变水头法）	(195)
实验十二	测定砂土的毛细管水上升高度（直接观测法、毛细仪法）	(199)
实验十三	测定土的压缩性指标之一（杠杆式压缩仪法）	(201)
实验十四	测定土的压缩性指标之二（高压固结仪法）	(205)
实验十五	测定土的抗剪强度指标之一（直接剪切试验法）	(207)
实验十六	测定土的抗剪强度指标之二（三轴剪切试验法）	(211)
实验十七	测定土的击实性指标（标准型击实仪法）	(218)
实验十八	土质试验成果整理	(220)
主要参考文献		(221)

第二篇 岩石和岩体的工程地质研究

第九章	岩石与岩体的成分和结构特征	(222)
第一节	岩石的物质成分和结构特征	(222)
一、	岩石的物质成分	(222)
二、	岩石的结构	(223)
第二节	岩体结构特征	(224)
一、	结构面的成因类型	(224)
二、	结构面的特征	(226)
三、	泥化夹层	(229)
四、	结构体的形状与结构类型的划分	(230)
第十章	岩石的物理性质	(232)
第一节	岩石的密度	(232)
第二节	岩石的空隙性	(233)
第三节	岩石的吸水性	(234)
一、	岩石的吸水率	(234)
二、	岩石的饱水率	(234)
三、	岩石的饱水系数	(234)
第四节	岩石的软化性和抗冻性	(235)
一、	岩石的软化性	(235)
二、	岩石的抗冻性	(235)
第十一章	岩石的力学性质	(237)
第一节	单向受压条件下的岩石变形	(237)
一、	岩石的变形特性	(237)
二、	岩石的变形指标	(239)
三、	循环荷载条件下岩石的变形特性	(241)
第二节	单向受压条件下的岩石强度	(242)
一、	岩石的破坏	(242)
二、	岩石的抗压强度	(243)
三、	岩石的抗拉强度	(244)
四、	岩石的抗剪强度	(245)

第三节	三向受压条件下岩石的变形与破坏	(247)
第四节	岩石蠕变的特性	(249)
第十二章	岩体的力学性质	(251)
第一节	岩体的变形性质	(251)
一、	岩体的变形试验及变形特征	(251)
二、	岩体的变形曲线类型	(253)
第二节	岩体的强度性质	(253)
一、	概述	(253)
二、	结构面的抗剪强度	(253)
三、	岩体的剪切试验及抗剪强度	(258)
第三节	岩体的动力性质	(260)
一、	岩体中弹性波的传播规律	(260)
二、	岩体的动力变形与强度指标	(263)
第十三章	岩体工程地质分类与岩体性质人工改良	(267)
第一节	影响岩体工程地质性质的主要因素	(267)
第二节	岩体的工程地质分类	(269)
一、	岩体分类与岩体质量特征指标	(269)
二、	巴顿岩体分类	(270)
三、	我国水电系统的岩体分类	(272)
第三节	岩体性质的人工改良	(275)
附篇二	岩石室内试验指导书	(277)
实验一	测定岩石的吸水率和饱水率(煮沸法或真空法)	(277)
实验二	测定岩石的静力变形参数(电阻应变仪法)	(278)
实验三	测定岩石的单轴抗压强度(单轴压力机法)	(281)
实验四	测定岩石的抗拉强度(直接拉伸法和劈裂法)	(283)
实验五	测定岩石的抗剪断强度(变角板法)	(285)
实验六	测定岩石三轴试验条件下的强度和变形参数(三轴应力试验机法)	(287)
		(287)
主要参考文献		(290)
附录一	主要符号及其单位	(291)
附录二	计量单位及换算	(294)
附录三	专业名词汉英对照	(296)

绪 言

一、工程岩土学在工程地质学中的地位

人类的工程建筑活动是在地壳表层的一定地质环境中进行的,地质环境对建筑物的修建及建成后的安全、稳定和正常使用有着重大影响。因此必须根据实际需要,深入研究并评价工程建筑地区的地质条件(如地质构造特征、岩土工程地质性质、地形和地貌条件、水文地质条件、自然地质作用及岩土体地应力状态等)。这些对工程建筑物的位置、结构类型、施工方法及其稳定性有影响的地质环境称为工程地质条件。建筑物修建后,地质环境中的应力状态、岩土性质和水文地质条件将有所改变,因而产生一些地质问题,如地基变形和失稳、斜坡滑动、地下洞室变形和失稳、坝基渗漏和渗透变形、水库渗漏和淤积、水库诱发地震等,这些由工程建筑活动而产生的地质问题,一般称为工程地质问题,它也影响着建筑物的安全和稳定。工程地质问题是多种多样的,在具体情况下出现哪些问题及其对建筑物和地质环境的影响程度,取决于建筑物的特点和地质条件的好坏。工程建筑与地质环境是相互作用、相互影响的。

工程地质学是和工程建筑密切联系着的一门实用地质学,是研究预测和评价与工程建筑有关的工程地质问题的学科。它的研究内容应紧密地围绕着各种工程建筑的要求,查明有关的工程地质条件,为选择有利的建筑场地、优化建筑物设计、制定合理的施工方案、拟定改善不利地质条件的措施等方面提供依据;同时还应预测工程地质条件在自然因素及在建筑设施的影响下的变化趋势,以便制定合理开发与保护地质环境的方案。工程地质学广泛应用于水利水电工程、工业与民用建筑工程、地下工程、道路、桥梁、海港及各种国防工程。这些不同类型不同规模的建筑物对工程地质条件的要求极不相同,而它们所遇到的地质环境又是那么千变万化,产生的工程地质问题又是极为复杂,这就使得工程地质学涉及的理论问题十分复杂,研究内容也很广泛,形成了工程地质学不同学科,综合起来大致有:

1. 工程岩土学:主要是研究岩土体的工程地质性质及其形成,区域分布特征及岩土性质改良措施,以适应各类工程建筑的要求。
2. 土力学及岩体力学:它是研究岩土体在外力作用下的应力与变形,强度及稳定性的科学,是对建筑场地工程地质条件及工程地质问题进行定量评价的工具。
3. 工程动力地质学:主要研究各种动力地质作用和工程地质作用的形成条件、力学机制和分布规律,对它们进行定性和定量评价,预测这些作用的变化趋势及其对建筑物的危害程度,拟定防治措施,以确保建筑物的安全和稳定。
4. 工程地质勘察:主要是研究勘察方法,确定勘察工作的布置和工作量使用原则,制定勘察工作步骤,划分勘察工作阶段,根据不同类型工程建筑制定勘察规范及细则,并研究新技术新方法在工程地质勘察中的应用等。
5. 区域工程地质学:主要研究区域性工程地质条件的形成和分布规律,预测这些条件在人类工程活动影响下的变化,按着工程地质条件的相似性和差异性进行合理的区域划

分,编制工程地质条件分区图,为各类工程建筑的规划及进一步的工程地质研究指明方向。

在工程地质学的各学科中,最重要的理论基础乃是工程岩土学。因为,任何建筑物都修筑在岩土体之上或其中,为了分析工程地质条件,论证工程地质问题,首先要对岩土体工程地质性质进行研究,没有工程岩土学的知识,对各类建筑场地的工程地质评价是不可能的。

二、工程岩土学的研究对象和研究内容

地壳表层作为建筑地基(如厂基、坝基、路基)、建筑环境(如地下洞室围岩、斜坡工程)及建筑材料(如土料、石料)的岩土体,是工程岩土学的研究对象。

岩土是坚硬岩石和松软土的简称,它们都是地质作用的产物,是一种矿物集合体。无论岩石还是松软土一般都是由固相、液相、气相组成的多相体系,并且都是矿物集合体。尽管岩石和土可用“岩土”这一地质术语来概括,但两者在工程地质性质上有明显的差别。岩石的矿物颗粒间具有牢固的结晶连结或胶结连结,因而强度高,在外力作用下变形量小;土的矿物颗粒间连结很弱或者无连结,故强度低、易变形。

岩土体是由岩、土组成的地质体,在小范围内可以近似的把它看作均质的各向同性介质;但在较大范围内,由于岩土体在形成过程中,以及形成后,在外力地质作用或内力地质作用下,形成了各种不连续面,使岩土体经常表现出非均质性和各向异性的特点,因而岩土体的性质不仅与岩土本身的性质有关,而更重要的还与岩土体的结构有关。

根据工程岩土学的地位和研究对象,工程岩土学的研究内容包括以下几个方面:

1. 研究岩土工程地质性质(主要与工程建筑有关的性质),包括:

物理性质—岩土所处的物理状态,如密度和干湿状况、孔隙或空隙的特征,以及岩土与水相互作用表现出来的性质,如可塑性、膨胀性、吸水性、软化性……等等特性;

力学性质—岩土在外力作用下表现出的变形和强度特性。

2. 研究岩土工程地质性质的形成和分布规律,岩土物质组成、结构、构造对岩土工程地质性质的影响。

3. 研究岩土工程地质性质指标的测试方法和测试技术。

4. 研究岩土和岩土体的工程地质分类。

5. 研究岩土工程地质性质在自然因素或人类工程活动影响下的变化趋势和变化规律,并预测这种变化对各种建筑物的危害。

6. 研究改善不良岩土性质的原则和方法。

为开展上述内容的研究,工程岩土学采用的主要方法是一般地质学方法和专门的试验方法。因为岩土体是地质体的一部分,是自然历史的产物,在岩土体的形成和变化过程中,各有其相应的物质组成和结构,表现出不同的工程地质性质,只有采用地质学的自然历史分析法,才能正确地认识岩土体工程地质性质的形成原因和演变历史、目前的状态及今后的变化趋势。然而,地质学方法所得的结果往往是定性的,不能满足工程建筑设计和施工的需要。为了定量说明岩土工程地质性质,定量评价有关的工程地质问题,必须采用专门的试验方法:即取样进行室内试验或现场原位测试,以获得表征岩土工程地质性质的各种定量指标。工程岩土学采用的这两种研究方法关系极为密切:一般地质学方法是岩土体工程地质研究的基础,专门实验方法则是前者的深入和继续。把通过试验获得的各种数据和

用地质学方法得出的正确结论结合起来,才能对岩土性质及其变化,以及各种工程地质问题做出定量评价。

由于土和土体与岩和岩体有较大的差别,一般将其分开研究,故本书分为两篇:第一篇“土和土体的工程地质研究”,第二篇“岩石和岩体的工程地质研究”。分别讨论其物质组成、结构及其工程地质性质。应用这些理论,对土和岩体进行工程地质分类,进而阐述不同类型岩土的基本特性及岩土性质改良的基本原则。工程岩土学是一门实践性较强的学科,因此,本书附有实验指导书。要学好本门课程,不仅要较好地掌握理论内容,而且必须学会实验技术,这将有助于对基本理论的更好理解。

三、工程岩土学发展概况及动向

工程岩土学在本世纪二十年代末期才形成一门较完整的学科,在苏联称为《土质学》(Грунтоведение),虽然“Грунт”一词是指与工程建设有关的一切土和岩石,但实际上研究内容主要是土,而对岩石的研究很不够。在欧美各国,土和岩石工程地质性质的研究主要纳入二十年代形成的独立学科《土力学》和五十年代形成的《岩石力学》中。此后,岩土性质研究与土力学和岩体力学相结合,解决岩石和土在工程建设中的利用、整治或改造的问题,形成一门新学科——《岩土工程》。五十年代初期,苏联土质学被介绍到我国,在社会主义建设中起了一定的促进作用。通过我国三十多年来的建设实践,大大丰富和提高了对土和土体、岩石和岩体的工程地质研究的内容和研究水平,通过实践和总结,于七十年代逐步形成具有我国特点的《工程岩土学》。

在我国,《工程岩土学》的发展,大体可分为三个阶段:第一阶段(五十年代以前)重点是研究松软土,主要注意土的粒度成分与其性质的关系;第二阶段(五十至六十年代)仍着重研究土,特别对土的化学成分和矿物成分与土的工程地质性质间的关系进行了研究。与此同时也注意到土质改良原理、岩石的工程地质研究;第三阶段(六十年代以后)有较大发展,土的结构、构造的研究放在首位。土体和岩体的工程地质研究也得到较大的发展。

在《工程岩土学》的研究中,以下几方面的动向是值得注意的:

1. 加强对岩土力学性质的基础研究,即运用数学、力学、物理、化学等最新理论研究力学性质的本质,注意地质学与力学的结合;
2. 重视岩土宏观和微观的研究,注意土、土体、岩体类型的合理划分;
3. 大力发展和引进现代测试技术,注意室内试验和现场原位测试的结合;
4. 加强岩土动力性质的研究,注意动、静性质的对比;
5. 除一般岩土体的研究外,加强对特殊建筑地基或建筑环境的岩土体和某些特种岩土的研究;
6. 加强岩土工程地质研究中的数学分析,利用统计数学处理测试数据,探求统计规律,并开始了对电子计算机的广泛应用。

第一篇 土和土体的工程地质研究

第一章 土和土体的形成 及其基本特征

第一节 土和土体的概念

地壳表面分布着的土是岩石圈表层在漫长的地质历史里,经受各种复杂的地质作用(包括人类活动)而形成的地质体。我国大部分地区的松软土形成于第四纪或新第三纪时期。土是由固体相、液体相、气体相三相物质组成,其中固体相是由大小不等、形状不同、成分不一的岩屑或矿物颗粒及有机物质组成,固体相是组成土的核心部分;液体相是指土中液态水,由于其中常含有溶解的物质,所以应称为土溶液或孔隙溶液;气体相即土中的气体。土粒聚集在一起,粒间形成孔隙,成为液体相和气体相物质储存场所和传导通道。所以土是多矿物组成的一个非均质、多相、分散、多孔的系统,在该系统中,上述三相物质不仅各相之间,而且在某一相(如固体相)内不同部分,其性质也是不相同的。由于三相间的比例关系以及相邻各相的相互作用,使其界面上出现各种界面现象,如吸附、表面张力、摩擦、分散、凝聚、离子交换等等,产生并影响着土的各种工程地质性质,例如孔隙性、膨胀性、收缩性、可塑性、毛细管性、抗剪性……等等。

岩石圈表层的土是经受各种复杂的地质作用后而形成的,由于形成土的母岩(或母质体)成分的差异,以及经受各种不同的地质营力作用,导致土的成因类型、物质组成(粒度成分、矿物成分和化学成分)、结构构造(微观的矿物排列形式和肉眼所看到的构造)以及物理-化学状态(干湿程度、密实程度、孔隙溶液成分、浓度及pH值……)也不相同。一般情况下土具有成层的特征,同一层内的物质组成、物理化学状态基本上是一致的,工程地质性质亦大体相仿,这就是我们常称的“土层”。当然有时在同一层中岩性也有变化,如常见有透镜体、薄夹层或岩性渐变的现象;有时还有裂隙、空洞等现象。

近年来随着工程地质工作的发展,提出了“土体”的概念。张咸恭教授(1979)认为:“土体是指建筑场地范围内主要由松软土组成的单元体”,“涉及到对建筑物有影响的整个范围”。并认为:“绝大多数的土体,由于它是在漫长的地质岁月中,一次又一次地由不同的地质作用,不同时代的物质堆积而成;加上堆积的当时地形地貌的变化,它的物质不可能是均匀的,而是由不同层次组成的,这些层次的粒度成分不同,土的类型不同,物理力学性质也不一致。即使是同一层,也不会是完全均匀的,甚至有着透镜体、薄夹层。岩层厚度的延伸范围也很不相同,这样就使得土体具有变化多端、各向异性的特点”。

谷德振教授(1981)认为“在我国土体通常是指与工程建筑物的变形和稳定相关的第四纪或新第三纪以来的地质体”。“由于建筑物的规模和类型不同,土体的规模可大可小。土体可以是单一土层的均质土体;也可以是多种岩性,多层土层构成的复杂土体。在后一种情况下,土体的性质不等于某一土层的性质,也不等于各种土层性质的简单叠加,而是相互作用相互影响的有机整体。”

由此我们可这样来理解土体的概念:土体不是一般土层的组合体,而是与工程建筑的稳定、变形有关的土层的组合体。土体是由厚薄不等、性质各异的若干土层,以特定的上、下次序组合在一起的。只要厚薄、性质、层次发生变化,土体对建筑物的性能就随之而改变,其工程地质问题和评价也就不同。土体也可以是单一土层的均质土体,也可以是多层土层的组合体。

“土体”概念的提出有利于全面的论证工程地质条件及工程地质问题。

第二节 土和土体的形成和演变

地壳表面广泛分布着的土体是完整坚硬的岩石经过风化、剥蚀等外力作用而瓦解破碎成大小不等的岩石碎块或矿物颗粒,使土的固体颗粒不仅具有不同的分散程度,也使部分原生矿物转变为次生矿物,形成土的特有的各种工程地质性质。有些土是由地壳内力作用形成的,如火山灰、断层泥,它们也有其特殊的工程地质性质。

破碎的岩石物质在斜坡重力作用、流水作用、吹扬作用、冰川作用与其它外力作用下被搬运到别处,在适当的条件下沉积成各种类型的土体。在搬运过程中,颗粒的大小、形状、矿物成分又进一步地发生变化,并在沉积过程中常常由于分选作用形成在成分、结构、构造和性质上有规律的变化。

土体在沉积后,如果能稳定一个相当长的时期,靠近地表的土体将经受生物化学及物理化学作用,即成壤作用形成土壤;未形成土壤的表层受到剥蚀、侵蚀而再破碎、再搬运、再沉积等等的地质作用。时代较老的土体在上覆沉积物的自重压力及地下水的作用下,经受成岩作用(或称固结作用),逐渐固结成岩,强度增高。当土体固结成岩以后,在适宜的条件下,又可能再经受风化、搬运、沉积……等等的地质作用,周而复始,岩石又可变成土。

任何一种土体,从其形成到现在,都是经过非常复杂的变化过程。土的成分和结构,就是在这种长期的形成和演变过程中形成和变化着。在某一条条件下,土具有某些成分和结构特征,因此决定它具有一定的性质;而当条件改变后,成分和结构有所改变,性质也随之变化。故可认为,土体的形成和演变过程,就是土的性质形成和变化过程,由于不同的作用和处于不同的作用阶段,土体就表现出不同的特点。

一般地说,地质成因相同,处于相似的形成条件下的土体,其工程地质特征具有很大的 consistency。但是经历不同变化过程的土体,则其工程地质特征就会表现出差异。当掌握了不同类型土体的形成和演变规律后,便可了解到它们可能具有哪些特征,便有可能去预测土体在自然或人为因素影响下,可能产生哪些变化。

第三节 主要成因类型土体的基本特征

按形成土体的地质营力和沉积条件,可将土体划分成若干成因类型,如残积、坡积、洪积、冲积、风积、湖积、海洋沉积、冰川沉积、火山堆积……等等。关于它们的地质地貌特征可参阅《第四纪地质学》。本节仅论述几种主要的成因类型土体的物质成分及其工程地质特征。

一、残积土体的工程地质特征

残积土体是由基岩风化而成,未经搬运留于原地的土体。它处于岩石风化壳的上部,是风化壳中的剧风化带,向下则逐渐变为半风化的半坚硬岩石,与新鲜岩石之间没有明显的界限,是渐变过渡关系。残积土体顶部处于地表,受成壤作用而形成土壤。形成残积物要有适宜的地形,剥蚀平原是形成残积土最有利的条件。在接近宽广的分水岭地带或平缓的斜坡地带广泛发育着残积土体。

气候条件和母岩的岩性是影响残积土物质成分的主要因素。因为气候影响着风化作用类型,所以不同气候条件不同地区残积土体,往往具有某种特定的粒度成分、矿物成分、化学成分。干旱地区以物理风化为主,因降雨量很小,缺乏使岩石发生水解或溶解的水分,只能使岩石破碎成粗碎屑物和砂砾,缺乏粘土矿物,具有砾石类土的工程地质特征;半干旱地区,在物理风化的基础上发生化学风化,使原生的硅酸盐矿物,如长石等变成粘土矿物,形成粘性土,但是,由于雨量稀少,蒸发量大,故土中常含较多的可溶盐类,如碳酸钙、硫酸钙等,这种可溶盐类对土的工程地质性质影响较大。这些地区地下水通常呈碱性,碱和碱土金属没有被淋滤,故易形成水云母组粘土矿物。气候再潮湿易形成蒙脱石组的粘土矿物。在潮湿而温暖,排水条件良好的地区,由于有机质迅速腐烂,分解出的二氧化碳,有利于高岭石的形成;但是,潮湿温暖而排水条件差的地区,则往往形成蒙脱石。在潮湿而炎热的条件下,粘土矿物可能继续分解为倍半氧化物,如三氧化二铝、三氧化二铁等。在土中的矿物种类及含量,对土的工程地质性质有较大的影响:若土中含有大量蒙脱石时,遇水后剧烈膨胀,失水后则收缩;而含有大量高岭石的粘性土,就没有强烈的膨胀性及收缩性。从干旱、半干旱地区至潮湿地区,土的颗粒组成由粗变细,土的类别从砾石类土过渡到砂类土、亚砂土、亚粘土、粘土。

母岩的岩性影响着残积土的粒度成分和矿物成分:酸性火成岩多含长石等硅酸盐矿物,经风化后,使残积土含多量的粘土矿物,其岩性为亚粘土或粘土,如石英含量较多时则形成亚砂土;中性或基性火成岩含抗风化能力低的矿物,易风化成亚粘土;沉积岩大多是松软土经成岩作用后形成的,因而风化后往往恢复原有松软土的特点,如粘土岩风化成粘土,细砂岩风化成细砂土,砂砾岩风化成砂砾土,其颗粒的矿物成分与母岩相同。

残积物的厚度在垂直方向和水平方向变化较大:在不易遭受水流冲刷的地方,如宽阔的分水岭及平缓的斜坡地带,厚度较大;反之厚度较小。残积物表部土壤层孔隙率大,强度低,压缩性高;其下部为夹碎石或砂粒的粘性土,或是孔隙为粘性土充填的碎石土、砂砾土,其强度较高。

二、坡积土体的工程地质特征

坡积土体是残积物经雨水或融化了的雪水的片流搬运作用,顺坡移动堆积而成的,所

以其物质成分与斜坡上的残积物一致。坡积土体与残积土体往往呈过渡状态，其工程地质性质也很相似。

与残积土体一样，气候影响着坡积土体的物质成分，其中降雨量和融雪量是重要的因素。在半干旱地区由于雨量集中，平时干燥，植被不发育，所以能形成较厚的坡积土体。坡积土体的粒度成分具有明显的分选性；靠近斜坡部分较粗、远离斜坡的地方较细；在其垂直剖面上，下部与基岩接触处往往是碎石土、角砾土，其中充填有粘性土或砂土，上部较细、多为粘性土。若雨量集中，在粘性土层中经常夹有粗碎屑土和砂类土的透镜体，其排列方向与斜坡一致。

在潮湿气候条件下，由于植被发育，所以坡积土体不如半干旱地区发育，但土层结构特征是相似的。

三、洪积土体的工程地质特征

洪积土体是暂时性地面水流——山洪带来的碎屑物质，在山沟的出口地方堆积而成。洪积土体发育于干旱半干旱地区，如我国的华北、西北地区。那里植被不发育，岩层裸露地表，易受风化作用而破碎，成为洪积土体的物质来源；又因该区雨量集中，当山洪携带大量碎屑物质到山口，随着水流的散开，流速骤然降低，使碎屑物在山口呈扇形沉积下来。离山口近处堆积了分选性差的粗碎屑物，远离山口的地方，由于水流速度逐渐减小，沉积物也逐渐变细，由粗碎屑土逐渐过渡到分选性较好的砂类土及粘性土，形成洪积扇、洪积锥（图1—1）。相邻山沟之沟口洪积扇相互迭成一片，形成洪积裙，并与坡积土体错综在一起，形成山缘的坡积洪积裙及山前的洪积平原。从山口向平地以和缓的坡度向前伸展，因此地形平缓，为城镇、工厂建设及道路的建筑提供了有利的地形条件。

距山口较近处，洪积扇上部的粗碎屑土强度高、压缩性小，可作为工业与民用建筑物的良好地基。但其孔隙大，透水性强，因此修建拦河坝时将引起严重的坝下渗漏。这一地带地下水接受山区地下水和大气降水补给，水量丰富。由此向下距山口稍远的地方，为砂土分布地段。此处修筑建筑物时，特别注意在开挖基坑时，细砂土可能形成流砂。在砂土

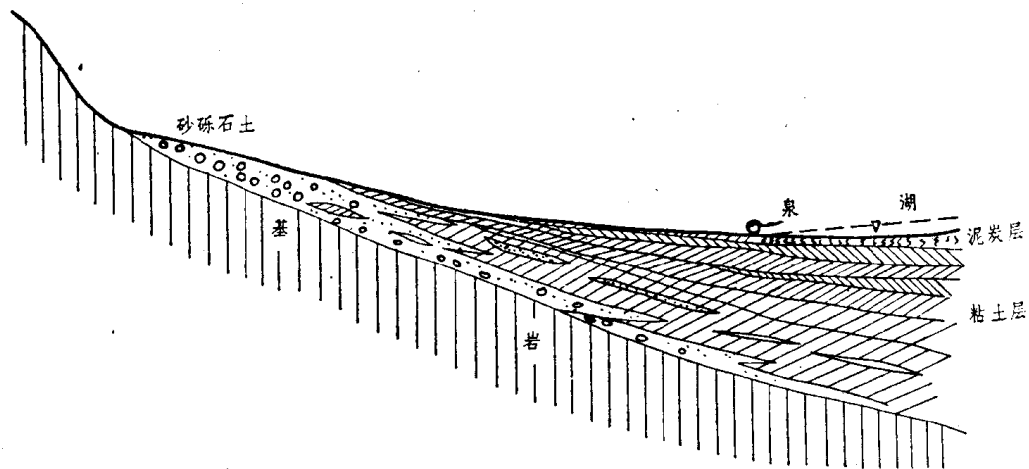


图 1—1 洪积土体示意图

层与粘性土层过渡的地带，由于砂土的透水性大于粘性土的透水性，加上地形坡度变缓，地下水埋藏较浅，往往溢出地表形成泉、湖泊。这一地带土层潮湿，植物茂盛，可形成泥炭层。泥炭层的工程地质性质极差，压缩性高，强度很低。无泥炭层分布地带，由于粘性

土具有较高的压缩性,强度较低,也可引起建筑物的长期下沉。在干旱半干旱气候条件下,这里的粘性土层中含有大量可溶盐类,干燥时土的强度较高,遇水后将盐类溶解,强度降低,地基条件恶劣。

在湿热气候的华南地区,由于雨量较多且分布均匀,植物茂盛,化学风化强烈,所以洪积土体不发育。

四、湖积土体的工程地质特征

湖积土体在内陆分布广泛,可按湖的性质划分为淡水湖积土和咸水湖积土。淡水湖积土可分为湖岸土和湖心土两种。湖岸土多为砾石土、砂土或亚砂土,是由于湖水波浪冲刷湖岸而形成的沉积物。湖心土主要为静水沉积物,其成分复杂,以淤泥、粘性土为主,可见水平层理。距湖岸愈远,则堆积的粘土愈细,有机质含量可达20—40%,含水率高达70—80%,有时形成泥炭。此外,淡水湖心也可沉积碳酸钙、倍半氧化物。湖岸沉积物除了局部有淤泥夹层的土体外,其工程地质性质稍好;而湖心土的工程地质性质很差,特别是淤泥层往往很厚,应引起足够的重视。

咸水湖积物以石膏、岩盐、芒硝及碳酸盐类为主,有时以淤泥为主。前者的性质复杂,盐渍土的工程地质性质极差,工程上往往需要进行复杂的处理。淤泥的工程地质性质也很差,一经搅动其结构遭到破坏而流动;在干燥时体积收缩很大。因此在湖积土体分布的地区,必须搞清淤泥层、盐渍土分布范围及其厚度,特别要注意研究其压缩性及强度。由于它们往往具有较高的压缩性及较低的强度,作为地基时则会产生很大的沉降量和不均匀沉降。

五、冲积土体的工程地质特征

冲积土体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。它发育于河谷内以及山区外的冲积平原中,一般可分为三个相:即河床相、河漫滩相、牛轭湖相。河床相冲积土主要分布在现在河床地带,其次是阶地上。在宽广的河谷地区,各阶地上一般均有河床相冲积土层,厚度有时很大,直接覆盖在基岩之上或阶地的基座之上。其上又为漫滩相或牛轭湖相冲积土所覆盖,形成双层结构。古河床相冲积土在平原地区往往被埋在地下,在地质剖面中常呈透镜体,被包围在河漫滩相或牛轭湖相的冲积土之中。

河床相冲积土一般为砂土及砾石类土,有时也夹有粘土透镜体,在垂直剖面上土粒由下到上,由粗变细,成分较复杂。这里由于河流源远流长,流经地区岩性地层多变,因此在冲积土中往往汇集了各种不同成分的砾石和砂。河床相砾石由于在长途搬运过程中相互磨蚀,因而其磨圆度较好,巨大的漂砾很少,甚至没有,这与洪积土的砾石层有着明显的差别。山区河床冲积土厚度不大,除特殊水力条件外,不超过10m,而平原地区河床冲积土则厚度很大,一般超过几十米,其沉积物也较细。

河床相冲积土在工程实践和人类生活中具有重要意义。在平原地区的河流下游,比如黄河下游形成地上悬河,由于河流改道往往河床相冲积土形成较高地形,成为城镇建设、工农业发展的场地(图1—2)。因其颗粒组成较粗,孔隙大,成为地下水的良好的储存场所,便于解决居民的生活用水及工农业用水的水源问题。此外,古河床相土的压缩性低,强度较高,是工业与民用建筑物的良好地基;而现代河床堆积物比较松散,性质较差,透水性强,当河床相冲积土作为水工建筑物的地基时,将引起严重的坝下渗漏,饱水的砂土易