



同济大学本科教材出版基金资助



土体工程 (第二版)

徐超 韩杰 罗敏敏 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

同济大学本科教材出版基金资助

土 体 工 程

(第二版)

徐 超 韩 杰 罗敏敏 编著

内 容 提 要

本书在土质学与土力学原理和土的工程分类基础上,系统论述了岩土工程勘察的目的、任务、内容和技术方法,包括钻探和原位测试;在现行国家标准框架下,讨论了试验与测试成果的分析方法和参数评定,有针对性地论述了黏性土、砂土、粉土和特殊土地基的评价内容和方法,从工程地质角度介绍了桩基设计要点和设计方法。

本书力求知识传授与能力培养的统一,按每周3课时的土木工程本科生教材编写,可供岩土工程和工程地质领域的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

土体工程 / 徐超, 韩杰, 罗敏敏编著. --2 版.

--上海: 同济大学出版社, 2017.3

ISBN 978-7-5608-6784-7

I. ①土… II. ①徐… ②韩… ③罗…

III. ①土体—工程技术 IV. ①TU43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 042976 号

同济大学本科教材出版基金资助

土体工程(第二版)

徐 超 韩 杰 罗敏敏 编著

责任编辑 高晓辉 胡晗欣 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 17.25

字 数 431000

版 次 2017 年 3 月第 2 版 2017 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6784-7

定 价 48.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前言

土是岩石经过强烈风化作用后形成的碎散矿物颗粒集合体的统称,在地球表面分布极广。人类进行的大量工程建设都会遇到土,例如各种建筑物、道路、桥梁、港口、隧道,甚至深海矿产开发等。土或作为地基、建筑材料,或作为建筑介质。无论土作什么用途,我们都需要了解土的分布特征和基本特性。

我们把工程影响范围内的土层综合体称为土体。土体是一个工程概念,它可以由一层或多个土层组成。土体在形成及发展的历史过程中,受到了各种内在和外在因素的作用,不仅具有一定的埋藏条件和分布规律,而且具有特定的工程特性。在工程建设和开发过程中,以及在建(构)筑物使用期间,土体又会发生不断的变化。这些变化反过来又会对工程产生有利或不利的影 响。我们有必要认识和预测土体的变化规律和这些影响的结果,确保工程的安全运行。

“土体工程”与“土力学”两门课程都以土(体)作为分析研究对象,但两者的侧重点不同。“土力学”是“土体工程”的理论基础,主要介绍土的物理力学性质,从土的应力、应变和时间的关系,以力学的观点和方法研究土中应力、土压力、土的变形与固结等理论,以及地基承载力、地基变形和土体的稳定性等的分析计算方法。“土体工程”以工程建设为服务对象,通过勘探取样、原位测试、室内试验等手段,查明拟建工程所涉及土体的成因类型、空间分布特征、各层土的工程特性,评价场地的稳定性和适宜性,计算地基的承载力和沉降量,并对工程建设与使用期间可能存在的问题提出对策和建议。

由朱小林和杨桂林编著的《土体工程》于 1996 年 7 月出版,是同济大学岩土工程和地质工程专业的核心教材,为岩土工程学科的人才培养做出了重要贡献,也是值得珍视和继承的一份宝贵财富。20 年来,岩土工程学科已取得了巨大的发展,有关规范业已更新;同时随着本科生培养方案和课程的调整,教学课时不断压缩,重新编写《土体工程》势在必行。

本书借鉴了朱小林和杨桂林编著的《土体工程》的核心内容,吸收了本学科的一些最新成果,根据每周 3 课时的教学安排,对教材内容作了较大的调整和取舍。全书共分 15 章,前 5 章总结了土体工程的基础知识,分别论述了土的成因、土的成分、土的结构、土的物理力学性质及其变化规律和土的工程分类;第 6 章至第 9 章论述了室内土工试验之外的岩土工程勘察的核心内容,介绍了岩土工程勘察的基本知识、勘探取样、原位测试和土性参数的统计分析;第 10 章讨论了地基岩土工程评价的任务和方法;第 11 章至第 14 章分别论述了软土与黏性土地基、砂土与粉土地基、碎石土地基和特殊土地基的勘察要点、评价内容和方法;第 15 章介绍了桩基的岩土工程评价。

本书是在教育部地质工程特色专业建设项目(编号 TS1185)支持下编写完成的。在此,作者对该项目的支持深表感激!

限于编者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2016 年 10 月于同济园

目 录

前言

第1章 绪 论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 土体工程的研究对象	(2)
1.2.1 土的成因	(2)
1.2.2 土的成分	(2)
1.2.3 土的结构	(3)
1.3 土体工程的研究内容	(3)
1.4 土体工程的课程体系及使用建议	(4)
1.4.1 “土体工程”课程体系	(4)
1.4.2 使用建议	(4)
复习思考题	(5)
第2章 土的物质成分	(6)
2.1 概述	(6)
2.2 土的矿物成分和化学成分	(6)
2.2.1 土的矿物成分类型	(6)
2.2.2 黏土矿物	(7)
2.2.3 有机物	(9)
2.2.4 土的化学成分	(10)
2.3 黏土矿物的表面特性及与水的相互作用	(10)
2.3.1 黏土颗粒的表面带电现象	(10)
2.3.2 黏土颗粒表面的双电层现象	(11)
2.3.3 离子交换现象	(12)
2.4 土中水	(14)
2.4.1 矿物成分水	(14)
2.4.2 土孔隙中的水	(14)
2.5 黏性土的塑性及稠度状态	(16)
2.5.1 结合水对黏性土塑性的影响	(16)
2.5.2 界限含水量	(17)

2.5.3 黏性土的状态	(17)
2.6 土中气体	(18)
第3章 土的结构与构造	(20)
3.1 土的结构特征	(20)
3.1.1 土粒大小与形状	(20)
3.1.2 土的级配	(21)
3.1.3 土粒的排列	(23)
3.1.4 土粒间的联结特征	(23)
3.1.5 土的灵敏性和触变性	(24)
3.1.6 土的结构类型	(25)
3.2 土的构造特征	(27)
3.3 土的孔隙特征	(27)
第4章 土的工程性质	(29)
4.1 土的变形特性	(29)
4.1.1 土的可压缩性	(29)
4.1.2 土的固结特性	(32)
4.1.3 土的干缩与湿胀	(33)
4.2 土的强度和土的应力应变关系	(34)
4.2.1 土的抗剪强度	(34)
4.2.2 土的应力应变关系特征	(40)
4.3 土的渗透性	(43)
4.3.1 达西定律	(43)
4.3.2 渗透系数	(44)
4.3.3 渗透力和渗透破坏	(45)
复习思考题	(46)
第5章 土的工程分类	(47)
5.1 概述	(47)
5.2 土的成因类型	(47)
5.3 土的工程分类原则和方法	(52)
5.3.1 土的工程分类的主要原则	(52)
5.3.2 土的分类方法	(53)
5.4 土的分类依据和分类指标	(53)
5.4.1 土粒大小及级配指标	(53)
5.4.2 土的塑性指标	(54)
5.4.3 土中有机质含量指标	(55)
5.5 我国土的工程分类	(55)

5.5.1 《土的工程分类标准》中土的分类	(55)
5.5.2 《岩土工程勘察规范》和《建筑地基基础设计规范》中土的分类	(57)
5.6 国外土的工程分类(以美国为例)	(59)
第6章 岩土工程勘察基本知识	(62)
6.1 岩土工程勘察分级	(62)
6.2 岩土工程勘察阶段划分	(64)
6.3 岩土工程评价准则	(65)
6.4 岩土工程勘察的主要环节和工作内容	(66)
第7章 勘探和取样	(70)
7.1 勘探方法与要求	(70)
7.1.1 勘探方法及其分类	(70)
7.1.2 勘探的基本要求	(71)
7.2 钻探	(72)
7.2.1 钻探的工艺	(72)
7.2.2 钻探方法的分类与选择	(73)
7.2.3 钻探的技术要求	(74)
7.3 取样技术	(76)
7.3.1 土样质量等级	(76)
7.3.2 取土技术	(77)
7.3.3 取土器的技术参数	(79)
7.3.4 取土器的类型	(80)
7.3.5 采样的技术要求	(81)
7.4 其他勘探方法简介	(82)
7.4.1 井探、槽探和洞探	(82)
7.4.2 井探、槽探和洞探的技术要求	(83)
7.4.3 工程物探简介	(83)
复习思考题	(86)
第8章 原位测试	(87)
8.1 概述	(87)
8.2 载荷试验	(88)
8.2.1 载荷试验的基本原理	(89)
8.2.2 试验所用的仪器设备	(90)
8.2.3 试验技术要点	(91)
8.2.4 试验资料整理与分析	(92)
8.2.5 试验成果应用	(93)
8.3 静力触探试验	(95)
8.3.1 静力触探试验的仪器设备	(95)

8.3.2	静力触探的相关原理	(98)
8.3.3	试验技术要点	(100)
8.3.4	试验资料整理与分析	(101)
8.3.5	试验成果应用	(104)
8.4	圆锥动力触探试验	(105)
8.4.1	试验的基本原理	(105)
8.4.2	圆锥动力触探试验设备	(106)
8.4.3	试验技术要求	(107)
8.4.4	试验资料整理与分析	(107)
8.4.5	试验成果应用	(110)
8.5	标准贯入试验	(112)
8.5.1	试验的设备	(112)
8.5.2	试验技术要求	(113)
8.5.3	试验资料整理与分析	(113)
8.5.4	试验成果应用	(115)
8.6	十字板剪切试验	(117)
8.6.1	试验原理	(117)
8.6.2	十字板剪切试验的仪器设备	(118)
8.6.3	试验技术要求	(119)
8.6.4	试验资料整理与分析	(120)
8.6.5	试验成果应用	(121)
8.7	旁压试验	(122)
8.7.1	试验原理	(123)
8.7.2	试验的仪器设备	(124)
8.7.3	试验的技术要求	(124)
8.7.4	试验资料整理与分析	(127)
8.7.5	试验成果应用	(128)
8.8	扁铲侧胀试验	(129)
8.8.1	试验的基本原理	(130)
8.8.2	仪器设备及其工作原理	(131)
8.8.3	试验的技术要求	(131)
8.8.4	试验数据整理与分析	(133)
8.8.5	试验成果应用	(134)
第9章	岩土参数的统计分析与取值	(138)
9.1	概述	(138)
9.2	试验数据的初步整理与经验分布	(138)
9.3	试验数据的统计分析	(140)
9.4	岩土参数的选用与确定	(142)

9.5 试验数据的检验与取舍	(145)
第 10 章 地基土岩土工程评价的任务和方法	(148)
10.1 地基评价的任务和内容	(148)
10.2 地层划分和土性参数确定	(148)
10.3 确定地基承载力的原则和方法	(150)
10.4 地基沉降的分析方法	(153)
10.5 地基稳定性问题与评价	(153)
第 11 章 黏性土和软土地基的岩土工程评价	(155)
11.1 黏性土按年代分类及其基本特征	(155)
11.2 软土的生成环境与工程特性	(157)
11.2.1 软土的生成环境与组成成分	(157)
11.2.2 软土的结构性和物理力学性质	(158)
11.2.3 不同成因软土的工程地质特性	(159)
11.3 黏性土及软土地基承载力的综合评价	(161)
11.3.1 影响黏性土及软土地基承载力的因素	(161)
11.3.2 确定黏性土及软土地基承载力的方法	(164)
11.4 黏性土及软土地基的工程勘察要点	(167)
11.4.1 软土地区工程勘察中需要关注的问题	(167)
11.4.2 勘探、取样与原位测试	(170)
11.4.3 软土的岩土工程评价	(170)
第 12 章 砂土和粉土地基的岩土工程评价	(172)
12.1 砂土和粉土的基本特征及岩土工程问题	(172)
12.1.1 砂土及砂质粉土的基本特征	(172)
12.1.2 砂土和砂质粉土地基的主要岩土工程问题	(174)
12.2 砂土和粉土紧密状态的评定问题	(174)
12.3 砂土和粉土地基在静载作用下的承载力	(176)
12.3.1 影响砂土和粉土地基承载力的因素	(176)
12.3.2 砂土和粉土地基承载力的确定方法	(177)
12.4 饱和砂土和粉土在动荷载作用下的液化问题及其评价	(181)
12.4.1 影响砂土和粉土液化的因素	(182)
12.4.2 判别砂土和粉土液化可能性的方法	(183)
12.5 流砂问题	(188)
第 13 章 碎石土地基的岩土工程评价	(191)
13.1 碎石土地基的基本特征及岩土工程问题	(191)
13.2 碎石土物理性质指标的测定	(193)

13.3 碎石土强度指标的测定	(194)
13.3.1 现场直剪试验	(195)
13.3.2 水平推剪试验	(198)
13.4 碎石土地基承载力评定	(199)
第14章 特殊土地基的岩土工程评价	(203)
14.1 湿陷性黄土地基评价	(203)
14.1.1 黄土的形成、分布及工程特性	(203)
14.1.2 黄土湿陷性和湿陷类型的划分及判别方法	(205)
14.1.3 黄土湿陷起始压力	(207)
14.1.4 湿陷性黄土地基的湿陷等级评定	(210)
14.1.5 湿陷性黄土地基勘察要点	(211)
14.2 膨胀土地基评价	(212)
14.2.1 膨胀土的一般特征及其影响因素	(213)
14.2.2 膨胀土的工程特性指标及其测定方法	(215)
14.2.3 膨胀土的判别	(218)
14.2.4 膨胀土地基评价	(219)
14.2.5 膨胀土地区的勘察要点	(221)
14.3 红黏土地基评价	(223)
14.3.1 红黏土的形成、分布与研究意义	(223)
14.3.2 红黏土的成分、物理力学特征及其变化规律	(223)
14.3.3 红黏土地基的工程地质特征	(226)
14.3.4 红黏土地基评价	(227)
14.3.5 红黏土地区的勘察要求和方法	(229)
14.4 填土地基评价	(230)
14.4.1 填土分布概况与研究意义	(230)
14.4.2 填土地基的勘察与评价	(233)
14.5 冻土地基评价	(234)
14.5.1 冻土及其分布	(234)
14.5.2 冻土特有的物理力学性质及相关概念	(234)
14.5.3 冻土的冻胀性和融沉性	(235)
14.5.4 冻土地基的勘察与评价	(237)
第15章 桩基的岩土工程评价	(241)
15.1 桩的选型	(241)
15.1.1 桩的分类	(241)
15.1.2 桩的选型原则	(242)
15.2 桩基持力层的选择与桩端全断面进入持力层的深度	(243)
15.2.1 桩基持力层的选择	(243)

15.2.2	桩端全断面进入持力层的深度	(245)
15.3	单桩竖向极限承载力评价	(246)
15.3.1	单桩竖向极限承载力的确定原则	(246)
15.3.2	单桩竖向极限承载力的设计计算	(246)
15.4	桩基下卧层承载力验算	(253)
15.5	桩的负摩阻力计算	(254)
15.5.1	产生桩侧负摩阻力的原因和条件	(255)
15.5.2	桩侧负摩阻力的计算	(255)
15.6	沉桩可能性分析及对周围环境的影响	(257)
15.7	桩基勘察要点	(258)
参考文献		(261)

第 1 章 绪 论

1.1 概述

到目前为止,人类历史中的所有工程建设实践都是在地球表面或地壳浅部一定的地质环境中进行的。或许在不远的将来,人类还会在其他星球(如月球)上进行工程探索。但无论是在地球,还是其他星球,根据人类已有的认知,地质环境都是建(构)筑物设计、施工和运营的约束条件和主要影响因素。反过来,人类的这些工程建设也会对地质环境造成一定的冲击和影响。为了使修建的建(构)筑物安全可靠,避免对周围环境造成不良影响,就必须在工程建设之前,深入研究相关联的地质环境,评价和预测可能产生的与工程建设或周围环境有关的地质问题,并为工程项目的设计和施工提供必要且充分的地质依据。

工程建设所处的地质环境包括地形地貌、地质构造、岩土特性、水文地质和岩土中地应力等多个方面。这些地质环境通称为工程地质条件。不同的建(构)筑物面临的工程地质条件会很不相同,有的简单,有的则十分复杂。无论简单,还是复杂,为了使工程建设顺利进行和建(构)筑物按人们的预期正常运营,并且不对周围环境造成不良影响,在工程项目规划阶段,就需要通过一系列的地质环境调查研究,查明和分析评价工程建设所涉及范围内的工程地质条件。这便是工程地质工作者的主要任务。

为了满足人们的衣食住行需求,我们已经完成、正在和将要进行各种各样的工程建设活动,如修建房屋建筑,进行公路、铁路、机场、水利、通讯等基础设施建设,隧道开挖和地下空间开发等。在这些工程建设中,岩土或作为地基、建筑材料,或视为与工程结构相互作用的地质环境介质。在建筑工程领域,岩土体作为建筑物的地基,承受上部结构经基础传递下来的附加荷载;在路基工程中,土既可以作为道路路基的填筑材料,又是支撑路基的地基;在隧道和地下工程中,岩土体构成了地下结构的环境介质。因此,为了保证工程的可靠性、耐久性和合理性,人们需要认识岩土的工程性质,掌握岩土体自身及在工程影响下的变化规律。

岩土是岩石和土的合称或简称。从地质循环的角度来讲,土在地球深部的高温高压环境中,经过成岩作用会转变为岩石。岩石通过物理风化、化学风化或生物风化作用后,再经过各种外力搬运,在特定环境中沉积成土。岩体或土体是指与工程建设项目有关的,制约特定工程建设或受工程建设影响的岩层或土层的组合体,是一个工程上的概念。

岩体和土体作为两类不同的地质体,因其性质的巨大差异,在工程中它们具有不同的研究方法和技术手段,分别形成了两个不同的知识与技术体系——岩体工程和土体工程。与岩体工程相对应,土体工程是一门建立在工程地质学、水文地质学和土力学等基础学科上的,专门研究土的工程性质的形成规律、土的工程分类、土体的工程性质勘察评价的理论和方法的学问。土体工程以工程建设活动影响所及的土体为研究对象,为工程建设服务。

1.2 土体工程的研究对象

土体工程以土或土体为研究对象。天然土是岩石经物理风化、化学风化或生物风化作用后的松散堆积物,是地质作用的产物。土体是土的集合体,表征的是一个工程意义上的概念,通常指工程影响范围内若干土层的组合,是土体工程的主要研究对象。

在自然界中,岩石经内外动力地质作用而破碎,风化成土;土经各种地质营力搬运、沉积、成岩作用,又转化为岩石。在整个地质历史长河中,岩-土转化、土-岩转化无时无刻不在进行。土可以看作是这一转化过程中某一阶段的产物。除了火山灰及部分人工填土外,土的组成物质均来源于岩石的风化产物。土是这些风化产物经各种外动力地质作用(如流水、重力、风力、冰川作用等)搬运后在适宜的环境中沉积下来的,或未经搬运,残留在原地的碎散堆积物。根据土的地质成因,土可划分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、湖积土、冰积土和风积土等。

土是存在于自然界中最复杂的工程材料之一,是一种固态、液态和气态三相共存的特殊物质。土的固相是构成土的骨架的最基本物质。土的液相是指存在于土孔隙中的水,但土中的水并非纯净的水,实际上往往表现为成分复杂的电解质水溶液。土的气相是指充填在土的孔隙中的气体。

土的三相经各种组合,可以有三种情形:干土、饱和土和非饱和土。其中干土、饱和土为二相土,非饱和土为三相土。在工程建设所涉及的范围,完全的干土几乎不太可能天然存在,只能在试验室经高温烘烤的条件下人工制备。因此,天然状态下的土只有两类,即饱和土与非饱和土。

在工程实践中,土可作为地基、建筑材料或环境介质,应用非常广泛。因此,必须认识和掌握土的工程特性。在空间上,土的性质呈非均质和各向异性;土的应力应变关系呈非线性和塑性特征;土的工程性质与应力历史、应力水平等有关,以及随所处环境(压力、湿度、温度或化学介质等)的变化而变化等。

土(土体)的这些工程性质及变化规律往往与土的成因、土的成分和土的结构存在密切联系。这也是为什么需要从土质学的角度去研究土的原因。土的成因、成分和结构三者之间既相互联系又相互制约,是研究土的工程性质的形成和变化机理以及土的工程分类的基础。

1.2.1 土的成因

土的成因是指形成土的地质作用(搬运、堆积)类型。不同地质成因的土,其分布规律、物质成分和结构也往往不同,从而具有不同的工程性质。

1.2.2 土的成分

土的成分是指土的物质构成。土中三相物质的成分和含量的差异,往往构成不同工程性质的土。土中三相物质之间并非简单的混合,不同相之间通常存在着复杂的物理化学作用,对土的工程性质产生显著的影响。

1.2.3 土的结构

土的结构泛指土的物质成分各基本结构单元之间的排列组织形式。不同成因或成分的土,通常其结构类型也不同,因而土的工程性质必然有差异。一些原状结构的土受扰动后结构破坏,其工程性质亦显著下降。

1.3 土体工程的研究内容

土体工程的主要任务是查明和评价土体的工程性质。本书主要为建筑工程服务,主要任务是调查和评价地基土的特性,即视土体为地质载体,而非材料、非地质环境,在工程地质条件调查成果基础上,综合评价场地的适宜性和可靠性;根据土的成因类型、土质特征对土进行工程分类,采用直接或间接的技术手段,认识土的工程性质,定量评价土体的性状,为工程建设提供可靠的土性设计参数,为工程建设的相关技术方案提供建议;分析工程建设对土体性状及地质环境的影响,评价工程项目运营期间可能面临的问题,针对性地提出应对措施。

土体工程的研究内容包括如下几个方面:

- (1) 土的工程性质;
- (2) 土的工程性质的物理机制;
- (3) 在与周围自然环境和建(构)筑物的相互作用下,土的工程特性的变化趋势和变化规律;
- (4) 岩土工程勘探、测试的技术和方法;
- (5) 在专业基础理论指导下,基于工程建设经验的土体评价方法(主要针对地基土)。

研究方法取决于研究目的和研究对象。概括来讲,土体工程的研究目的是认识土的工程性质,掌握土体性状的变化规律,为工程建设服务。土和土体是自然地质历史的产物,它不是孤立地、静止地存在于地球表面,而是在一定地质环境中地质作用下形成的,又会在地质环境因素和人为因素作用下不断地发生变化。因此,研究土和土体就需要采用地质学中的自然历史分析法。在宏大的地质背景中去分析认识土从哪里来,怎么来的,以及往哪里去,土的性质又会怎么变化。

作为为工程建设服务的土体工程,仅采用自然历史分析法是不够的。为了定量评价土的工程性质和具体工程地质问题,描述具体情况下土的工程性质的变化规律,进行工程项目设计验算,就需要确定土的工程性质的定量指标和设计参数。为了获得土的工程性质的定量指标,就必须采用专门的实验和测试方法进行研究。这些专门的实验方法可以划分为取样实验和现场测试两大类。现场测试又称原位测试,广义地讲,应该包括地球物理勘探。取样实验需要取得实验用土样,在实验室的专业仪器设备进行,因此常被称为室内实验。具体的室内试验内容和方法已在“土力学”课程中讲授,这里不再重复。现场测试,顾名思义,就是在现场,不需要采取土样,采用专门的测试仪器设备对处于原位的土体进行测试,获得土的工程性能参数。

室内实验和原位测试是两类获得土的工程性质指标和工程设计参数的重要方法和手

段。但这些专门试验方法本身也存在局限性。室内实验所用土样的几何尺寸与工程建设所涉及的宏观土体相差悬殊,所采用的一定数量的土样的代表性十分关键;且在取样、运输、制样和实验等各环节中对土样的扰动不可忽视。原位测试除了无法完全排除对试验对象的扰动外,其测试的应力条件复杂,边界条件相对模糊,因此在计算分析土的工程性质时不得不引入一些经验的假定。

为了避免由于实验和测试得到的土性定量参数与土体原位实际性状的不一致而造成工程设计过于保守或偏于危险,人们在长期的工程实践中,采用工程项目原型的长期观测,积累了很多有益的工程经验。这些工程经验和地区经验一般以修正系数的形式出现在设计计算式中,以匡正测试结果的变异性和设计理论的不完备,具有重要的实用价值。

另外,岩土工程监测以及基于监测结果的岩土工程反分析方法也是土体工程的研究方法。基于一定数据基础上的反分析,可以得到代表性的、具有平均意义的岩土参数,可以弥补小试件室内实验结果和点状测试结果的不足。

1.4 土体工程的课程体系及使用建议

1.4.1 “土体工程”课程体系

“土质学”和“土力学”是两门以土为研究对象的科学。其中,“土质学”从土的成因、土的成分和土的结构等方面对土的工程性质进行分析,从宏观和细观层面研究土的工程性质的形成规律和物质基础。“土力学”建立了完整的描述土的物理力学性质的指标体系,采用经典力学手段研究土的强度、变形特性和土体的稳定性等课题,形成了土的强度理论、承载力理论、土压力理论和对土的体积变化规律的认识。这些基本知识和理论为“土体工程”课程的学习奠定了很好的基础。

本书第2章至第5章讲土的分类指标及其分类,以及揭示其微观机理的土质学部分内容;第6章至第9章讲勘察方法,主要包括勘探取样、原位测试及其数理统计;第10章至第15章讲土的工程性质评价方法,主要针对地基土,也包括场地地震液化评价。

由于本教材是以建筑工程为背景编写的,以土体作为建筑物的地基,对土的工程性质的介绍是不全面的。在进行地质灾害防治、核电厂、废弃物填埋场、地下工程、线路及机场工程等建设工程项目的勘察评价时,同样需要结合这些工程建设的特点,在充分认识土的工程性质的基础上,结合专门技术标准有针对性地进行。

1.4.2 使用建议

本书是根据同济大学本科教学计划,按每周3课时编写的。由于学时限制,对一些内容进行删减。如压缩了勘探与原位测试的设备和技术操作的内容,这将在实习环节弥补。在使用本教材时,如果按每周2学时讲授,建议取消特殊土和填土的相关内容,并对土的成分、土的结构和土的工程性质进行调整,适当压缩原位测试的相关内容;如果课时有余,建议根据具体情况,结合现行技术标准扩充特殊土地基评价的内容,补充有关地质灾害防治的勘察与评价。

为了巩固教学效果,根据各部分内容所包含的知识点,每章均设有复习思考题,以便学生复习巩固。除了复习思考题,本教材有配套习题集,在采用本教材时可配合、选择使用。

绝大部分土是固、液和气三相共存的自然历史形成的特殊物质。土除了成因不同外,而且种类繁多,差异巨大。要全面准确地完成土体工程的学习,应从以下几个方面下工夫。

(1) 以自然历史分析法学习掌握土的工程性质。土的工程性质不仅是土的粒度成分与矿物成分的综合反映,而且不同成因的土的性质往往存在较大的差别,并受土的应力历史的影响表现出结构性和特殊性。要从土质学(土的成因、成分、结构)角度,去分析认识土的工程性质及其变化规律,把土的宏观性质与土的微观物质基础联系起来。要深刻认识土的三相特征及其与土的工程性质的联系,特别需要关注孔隙水对土性的影响。

(2) 系统掌握土体工程的概念、理论和方法。岩土工程勘察是工程建设的一个基本环节,应掌握工程勘察的基本程序,包括所涉及的关于荷载、场地和地基的基本概念;要获得土体的基本特性,需要采取多种合理的勘探与测试手段及其组合,每种勘探、取样和测试(实验)方法都具有特定的应用条件和实验原理;从勘探与测试获得的关于土体的资料,到正确评价地基或土体的工程性质,中间需要应用已经建立的计算理论和经验公式。

(3) 积极进行土体工程原理和方法的工程应用。不应泛泛讨论土体工程中的原理与方法,应将之放在具体的工程场地、具体应用背景中进行考察和应用。比如,进行场地的工程地质勘察,对于成熟地区,可以适当合并勘察阶段,可以相应减少勘探与取样工作量;再比如,采用动力触探试验成果进行场地的工程地质评价,场地的土性不同,采用的具体方法也不同。因此,读者应利用各种机会,比如课程作业、实习等,将本课程所学原理与方法应用到实际工程中去。

复习思考题

1. 什么是工程地质条件? 请说明工程建设与地质环境之间的关系。
2. 在工程建设中,土有哪些用途?
3. 土体工程的研究对象是什么? 工程上,土体的含义是什么? 与土有什么区别?

第2章 土的物质成分

2.1 概述

在自然界中,土或土体一般是固、液、气三相共存的特殊物质,呈现出复杂的三相体系。固相为矿物颗粒,简称土粒,是构成土骨架的基本物质。矿物颗粒之间存在孔隙,孔隙由液体和气体充填。土中的液体(液相)一般为水,通常是成分复杂的电解质水溶液,而非纯净的水。土中的气体(气相)主要是空气和水蒸汽。

在土的三相体系中,各组成部分并不是固定、一成不变的,而是在外界因素的影响下,随着时间不断地调整 and 变化。其中,矿物颗粒的变化非常缓慢,含量相对稳定,而孔隙中的水和气体则对环境因素非常敏感。当地下水位上升,土中原先充填孔隙的空气会被水代替,逐渐形成饱和土(即土中孔隙完全被水充填);相反,当地下水位下降,饱和土中的孔隙水也会逐渐被空气代替,失水形成非饱和土(土中孔隙由水和气体两相充填);特别地,当土被烘干时,土中孔隙完全被气体填充,形成干土。在自然界中,完全的干土几乎不可能存在。

土由岩石风化而来,由于岩石种类不同,故土的矿物成分不同;不同成因类型的土,经受的外动力作用、搬运的距离和堆积的环境不同。因此,在自然界中存在形状各异、大小不一、具有不同矿物成分的土粒。土粒的大小、形状、堆填方式和矿物成分不仅影响土的力学性质,而且决定土的透水能力。因此有必要按照土的粒径、形状和物质成分来分析土的构成及其对土性质的影响。

在自然界中,土的组成成分并不是简单地聚在一起的,而是通过某种形式联系在一起。由于矿物颗粒的表面能和水溶液中的电解质的存在,在它们的接触面上发生着复杂的固液相互作用。孔隙中的水对土的性质具有重要影响,特别是对于细颗粒土,这种影响尤其显著。因此,在分析土的成分对土的工程性质的影响时,应关注这些水-土相互作用及其与土性变化之间的内在联系。

2.2 土的矿物成分和化学成分

2.2.1 土的矿物成分类型

土的成分起源于母岩和受风化作用的改造。因此,土粒的成分取决于母岩的成分、风化程度和风化类型。不同成因类型的岩石在物理风化作用下,岩石的完整性会遭到破坏,破碎成大小不等的岩石碎块或颗粒。但原有的矿物成分并不发生变化,土中的这些矿物成分称