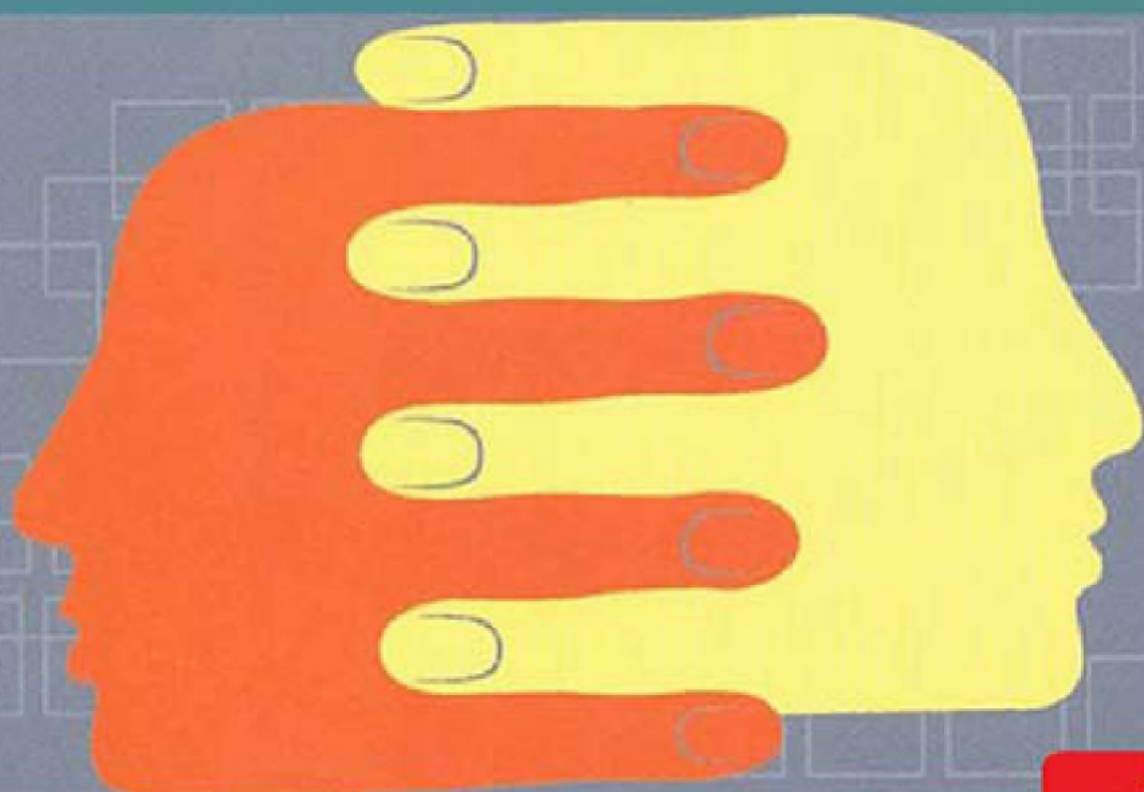


地基基础工程

吕凡任 主 编

单 青 郑中元 副主编



重庆大学出版社出版发行



内容提要

本书共9章,主要内容包括土的基本性质、土力学基本知识、岩土工程勘察、浅基础、桩基础、沉井基础及地下连续墙、软弱土地基处理、特殊土地基及其处理、基础工程抗震。本书力求贴近高职学生的认知特点,淡化理论计算,重视地基基础基本概念和理念的介绍;力求反映地基、基础最新规范的内容,讲清基础知识的同时,反映新技术的应用,重视实践技能的培养和基础知识应用能力的训练。按照知识体系编排每个章节,每章的前面有“情境导入”“学习目标”,每节由“问题导入”开始。结合施工员、建造师考试,每章附有相应的习题,并配有资料丰富的教学课件。

本书适用于高等职业教育道路与桥梁工程技术、建筑工程技术等相关专业,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地基基础工程 / 吕凡任主编. -- 重庆:重庆大学出版社, 2018.8

高等职业教育路桥工程类专业规划教材

ISBN 978-7-5689-1091-0

I. ①地… II. ①吕… III. ①地基—基础(工程)—高等学校—教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第125014号

高等职业教育路桥工程类专业规划教材

地基基础工程

吕凡任 主编

单青 郑中元 副主编

责任编辑:肖乾泉 版式设计:肖乾泉

责任校对:张红梅 责任印制:张策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆长虹印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:15 字数:379千 插页:8 开2页

2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷

印数:1—2 000

ISBN 978-7-5689-1091-0 定价:38.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

随着我国经济建设、社会发展不断前进,高等职业教育蓬勃发展,以学生为中心、以职业能力与职业素养培养为核心的教育教学改革正在深入开展。适应工程一线岗位需求、突出“工学结合”的课程体系建设是教学改革的基础,教、学、练一体化的教学模式是课堂教学改革的方向。

本书力求贴近高职学生的认知特点,淡化理论计算,重视地基基础基本概念和理念的介绍;力求反映地基、基础最新规范的内容,讲清基础知识的同时,反映新技术的应用,重视实践技能的培养和基础知识应用能力的训练。按照知识体系编排每个章节,每章的前面有“情境导入”“学习目标”,每节由“问题导入”开始。结合施工员、建造师考试,每章附有相应的习题,并配有资料丰富的教学课件。

①按照提出问题、分析问题、解决问题的思路,编写每个章节,并配备适当的思考和练习题,培养基础知识应用能力,适当增加开放性问题,提高学生自主解决问题的能力,并注意与实际工程问题相结合,加强职业能力培养。每章结合职业资格考试,适当增加施工员、建造师考试的习题,初步养成职业资格概念。同时引导教师开展以学生探索能力和学习能力为中心的课程教学改革,培养学生解决工程实际问题的职业能力。

②讲清基础工程基本概念、基本原理,形成地基基础的基本理念,淡化难度较大的数学和力学推导,加强工程应用内容,提高工程一线职业能力。在每个学习项目前提出知识、能力培养目标,明确重点、难点,便于学生自主学习。

③在学习每一部分基础知识前提出了相关问题,引起思考,便于重点掌握相关内容。并在其后提出了知识应用的相关问题,引导学生深入思考工程应用,培养学习能力。

④根据当前情况适当增加了地基基础抗震以及岩土工程勘察的内容,使得该课程内容更加完整,便于学生工作时学习参考,提高学生的可持续发展能力。

全书共分9章,课堂教学参考学时为80学时,可以一个学期教学;也可以分两个学期教学,把土力学和工程勘察部分放在一个学期讲授,把基础工程和地基处理放在另一个学期教学。部分章节具有相对独立性,可以根据学校和学生实际情况灵活安排和取舍。建议设置浅基础或桩基础的课程设计。学时分配建议如下表:

内 容	参考学时	内 容	参考学时
第1章 土的基本性质	12	第6章 沉井基础及地下连续墙	8
第2章 土力学基本知识	14	第7章 软弱土地基处理	6
第3章 岩土工程勘察	6	第8章 特殊土地基及其处理	6
第4章 浅基础	12	第9章 基础工程抗震	4
第5章 桩基础	12	合 计	80

全书由扬州职业大学吕凡任担任主编,江海职业技术学院单青和连云港职业技术学院郑中元担任副主编。扬州职业大学吕凡任编写第1、第2、第3章,江海职业技术学院单青编写第4、第6章,连云港职业技术学院郑中元编写第5、第8章,扬州职业大学陈允编写第7章,扬州职业大学陈丰编写第9章和附录。

地基基础工程是土木工程类专业的技术基础课,本教材可作为道路桥梁工程技术、建筑工程技术、市政工程技术以及其他土建施工类相关专业的专科教材,也可以供工程技术人员参考。

限于编者水平,书中难免存在不足和疏漏,恳请有关专家和广大读者提出宝贵意见(E-mail: frlv88@qq.com)。

编 者

2018年1月

目 录

第 1 章	土的基本性质	1
1.1	概述	1
1.2	土的三相组成及结构	3
1.3	土的颗粒特征	7
1.4	土的指标参数	10
1.5	黏性土的物理性质	15
1.6	无黏性土的物理性质	17
1.7	土的毛细现象	18
1.8	地基岩土的工程分类	19
第 2 章	土力学基本知识	24
2.1	地基中的应力	25
2.2	土的压缩性及沉降计算	33
2.3	土的抗剪强度与地基承载力	37
2.4	土压力与土坡稳定	42
2.5	土的压实性	50
第 3 章	岩土工程勘察	54
3.1	地质基础知识	54
3.2	岩土工程勘察的主要方法	60
3.3	岩土工程勘察的主要阶段	62
3.4	岩土工程勘察报告的内容	64
第 4 章	浅基础	67
4.1	概述	68
4.2	浅基础地基承载力的确定	71
4.3	陆地浅基础施工	76
4.4	水中浅基础施工	80
4.5	板桩墙围护结构稳定性分析	83
4.6	浅基础稳定性分析	88

第 5 章	桩基础	100
5.1	概述	101
5.2	桩与桩基础的构造	109
5.3	桩基础承载力确定	112
5.4	钢筋混凝土预制桩施工	123
5.5	灌注桩施工	124
5.6	水中桩基础施工	133
5.7	桩基础质量检验	136
第 6 章	沉井基础及地下连续墙	141
6.1	沉井基础的概念、类型及适用条件	141
6.2	沉井基础施工	146
6.3	地下连续墙	155
第 7 章	软弱土地基处理	164
7.1	概述	165
7.2	换土垫层法	166
7.3	预压法	169
7.4	振密法和挤密法	173
7.5	化学加固法	176
7.6	加筋法	179
第 8 章	特殊土地基及其处理	184
8.1	湿陷性黄土地基	184
8.2	冻土地区的地基与基础	189
8.3	膨胀土的处理	192
第 9 章	基础工程抗震	199
9.1	概述	200
9.2	地基基础震害	203
9.3	公路、桥梁基础工程抗震	207
9.4	建筑地基基础抗震	212
附录	江苏省某道路桥梁施工图设计勘察报告(详勘)	217
参考文献		233

第 1 章 土的基本性质

情境导入

土体既是土木工程的重要原材料,可以用作回填土、建筑物地基、隧道支撑结构,也是土木工程的重要改造对象,如软弱地基的改造、开挖基槽和基坑所挖出的土体等。所以,土的性质对于土木工程活动具有重要影响。

学习目标

知识目标:

- (1)掌握土的粒组划分方法、颗粒分析方法,会评价土的颗粒级配。
- (2)理解土体的类型和特征,土中结合水对土体性质的影响,毛细水及封闭气体对土的工程性质的影响。
- (3)了解土中水、土中气的分类和物理状态,土的结构和构造。

能力目标:

- (1)能根据筛分试验划分粒组,绘制土的颗粒级配曲线,评价土的颗粒级配。
- (2)重点掌握土的粒组划分方法,土的颗粒级配评价,土的筛分试验,土中水、土中气的特征及其对工程的影响。

1.1 概 述

问题导入

土是怎么产生的?山脚下的土与湖边的土有什么区别?

1.1.1 土的概念

土是地壳表层母岩风化后的产物,是各种矿物颗粒的集合体,包括岩石经物理风化崩解而成的碎块以及经化学风化后形成的细粒物质,粗至巨砾,细至黏粒。土是岩石风化后的产物,但具有区别于岩石的散粒性特性。正是由于这一基本特性,土与钢筋、混凝土等其他工程材料相比,具有压缩性大、强度低、渗透性强的特点。

1.1.2 土的形成和演变

土体是完整坚硬的岩石经过风化、剥蚀等外力作用而形成的碎块或矿物颗粒,经水流、风力或重力及冰川等作用的搬运,在适当的条件下沉积成各种类型的土体(图 1.1)。

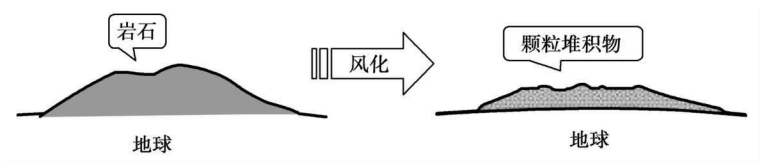


图 1.1 地表岩石风化成土

由于形成土的母岩成分的差异以及颗粒大小、形态的不同,在搬运过程中,矿物成分又进一步发生变化,经搬运和沉积过程的分选作用后,形成了在成分、结构、构造和性质上有一定变化规律的土体。

总之,土体的形成和演化经历了不同的作用,沉积于不同的阶段,土体表现出不同的特点。土的性质受到母岩成分、颗粒大小组成、沉积环境、孔隙大小、含水情况等的影响。

1.1.3 土的主要成因类型

土的形成要经历风化、剥蚀、搬运、沉积等作用过程。土的成因类型根据搬运沉积情况,一般可分为残积土、坡积土、洪积土、湖积土、冲积土、海积土、冰积土和风积土等。下面主要介绍常见的残积土、坡积土、洪积土、湖积土和冲积土。

(1) 残积土

残积土是岩石风化剥蚀后的颗粒,残留在原地未被搬运的那一部分碎屑堆积物。其成分与母岩相同或相近,一般没有层理构造,均质性差,孔隙较大,作为建筑物地基容易引起不均匀沉降。

(2) 坡积土

坡积土是高处风化碎屑物在雨、雪水或自身重力的作用下搬运、沉积而成的山坡堆积物(图 1.2)。它一般分布在坡腰或坡脚下,其上部与残积土相接,厚度变化较大,在斜坡陡处厚度较薄,坡脚处较厚。在坡积土上进行工程建设时,要考虑坡积土本身的稳定性和施工开挖后边坡的稳定性。此外,新近沉积的坡积土具有较高的压缩性。

(3) 洪积土

洪积土是在暂时性水流(如洪水)作用下,将山区或高地大量的残积物、坡积物等搬运堆积在山谷中或山前平原上的堆积物(图 1.3)。洪积土随近山到远山呈现由粗到细的分选作

用,但由于每次洪流的搬运能力不同,使洪积土具有不规则交错层理。

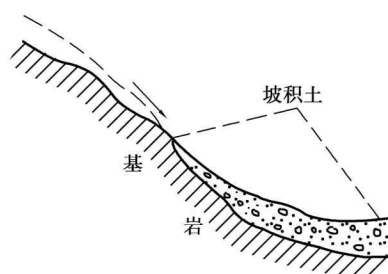


图 1.2 坡积土

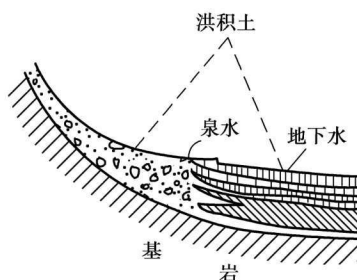


图 1.3 洪积土

(4) 湖积土

湖积土在内陆分布广泛,一般分为淡水湖积土和咸水湖积土。淡水湖积土分为湖岸土和湖心土两种。湖岸土多为砾石土、砂土或粉质砂土;湖心土主要为静水沉积物,成分复杂,以淤泥、黏性土为主,可见水平层理。咸水湖积土以石膏、岩盐、芒硝及 RCO_3 (碳酸盐) 岩类为主,有时以淤泥为主。

(5) 冲积土

冲积土是由河流流水的地质作用,将两岸基岩及其上部覆盖的坡积、洪积物质剥蚀后搬运沉积在河流坡降平缓地带形成的沉积物。颗粒在河流上游较粗,向下游逐渐变细,分选性和磨圆度较好,呈现明显的层理构造。

1.2 土的三相组成及结构

问题导入

1. 根据土的颗粒大小,怎么对土进行分类?
2. 土中的水对其性质有哪些影响?

1.2.1 土中的固体颗粒(固相)

土的固相是土中最主要的组成部分,它由各种矿物成分组成,有时还包括土中所含的有机质。土粒的矿物成分、粗细、形状不同,土的性质也不同。

1) 粒径级配

(1) 粒组及其划分原则

土颗粒的大小常以粒径来表示。土的粒径大小对于土的性质有着重要影响,粒径相近时,土的矿物成分接近,所呈现出的物理力学性质基本相同。通常将颗粒大小和性质相近的土粒划分为一组,称为粒组。粒组之间的分界粒径称为界限粒径。

(2)粒组划分方案

我国不同行业对粒组的划分略有不同,《公路土工试验规程》(JTGE 40—2007)粒组划分标准见表 1.1。

表 1.1 土的粒组划分

粒组划分	漂石 (块石)	卵石 (小块石)	粗砾	中砾	细砾	粗砂	中砂	砂	粉粒	黏粒
粒组范围 /mm	>200	60~200	20~60	5~20	2~5	0.5~2	0.25~0.5	0.07~0.25	0.075~0.25	<0.075

2)土粒成分

土的矿物成分取决于成土母岩的成分以及所经受的风化作用。按所经受的风化作用不同,土的矿物成分可分为原生矿物和次生矿物两大类。

(1)原生矿物

岩石经物理风化作用后破碎形成的矿物颗粒,称为原生矿物。原生矿物在风化过程中,其化学成分并没有发生变化,它与母岩的矿物成分是相同的。常见的原生矿物有石英、长石和云母等。

(2)次生矿物

岩石经化学风化作用所形成的矿物颗粒,称为次生矿物。次生矿物的矿物成分与母岩不同。常见的次生矿物有高岭石、伊利石(水云母)和蒙脱石(微晶高岭石)三大黏土矿物。另外,还有溶于水的次生矿物,称为水溶盐。

(3)有机质

土中的有机质是在土的形成过程中,动、植物的残骸及其分解物与土混合沉积在一起,经生物化学作用生成的物质。其成分比较复杂,主要是植物残骸、未完全分解的泥炭和完全分解的腐殖质。当有机质含量超过 5 % 时,称为有机土。有机质亲水性很强,并易于分解,因此有机土压缩性大、强度低。有机土不能作为工程的填筑土料,否则会影响工程的质量。

1.2.2 土中的水(液相)

水在土中以固态、液态、气态 3 种形式存在。液态水可分为结合水和自由水,其对土的性能影响较大。

1)结合水

研究表明,大多数黏土颗粒表面带有负电荷,因而围绕土粒周围形成了一定强度的电场,使孔隙中的水分子极化,这些极化后的水分子和水溶液中所含的阳离子(如钾、钠、钙、镁等),在电场力的作用下定向地吸附在土颗粒周围,形成一层不可自由移动的水膜,该水膜称为结合水。结合水根据受电场力作用的强弱分为强结合水和弱结合水,如图 1.4 所示。

(1)强结合水

强结合水(又称吸着水),是指被强电场力紧紧地吸附在土粒表面附近的结合水。这部分水膜因受电场力大,与土粒表面结合得十分紧密,所以分子排列密度大,其密度为 1.2~2.4 g/cm³。强结合水的冰点很低,可达 -78 ℃;沸点较高,在 105 ℃ 以上才蒸发。强结合水很难

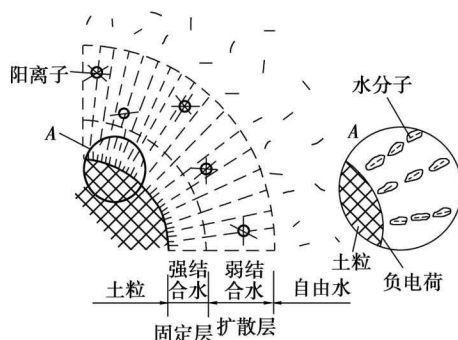


图 1.4 土粒与水分子相互作用模拟图

移动,没有溶解能力,不传递静水压力,失去了普通水的基本特性,其性质接近于固体,具有很大的黏滞性、弹性和抗剪强度。

(2) 弱结合水

弱结合水(又称薄膜水),是指分布在强结合水外围的结合水。这部分水膜由于距土粒表面较远,受电场力作用较小,它与土粒表面的结合不加强结合水紧密。其密度为 $1.0 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$,冰点低于 0°C ,不传递静水压力,也不能在孔隙中自由流动,只能以水膜的形式由水膜较厚处缓慢移向水膜较薄的地方,这种移动不受重力的影响。

2) 自由水

土孔隙中位于结合水以外的水称为自由水。自由水由于不受土粒表面静电场力的作用,且可以在孔隙中自由移动,按其运动时所受的作用力不同,可分为重力水和毛细水。

(1) 重力水

受重力作用而运动的水称为重力水。重力水位于地下水位以下。重力水与一般水一样,可以传递静水和动水压力,具有溶解能力(可溶解土中的水溶盐),使土的强度降低,压缩性增大;可以对土颗粒产生浮托力,使土的重力密度减小;还可以在水头差的作用下形成渗透水流,并对土粒产生渗透力,使土体发生渗透变形。

(2) 毛细水

土中存在着很多大小不同的孔隙,这些孔隙有的可以相互连通形成弯曲的细小通道(毛细管)。由于水分子与土粒表面之间的附着力和水表面张力的作用,地下水将沿着土中的细小通道上升,形成一定高度的毛细水带,地下水位以上的自由水称为毛细水。

毛细水上升的高度取决于土的粒径、矿物成分、孔隙的大小和形状等因素。一般黏性土上升的高度较大,而砂土的上升高度较小。在工程实践中,毛细水的上升可能使地基浸湿(图1.5),使地下室受潮或使地基、路基产生冻胀,造成土地盐渍化等问题。

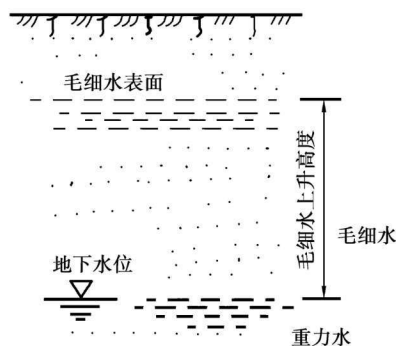


图 1.5 土中毛细水上升

1.2.3 土中气体(气相)

土中气体,除来自空气外,也可由生物化学作用和化学反应生成。常将土中的气体分为与大气连通的自由气体和以气泡形式存在的封闭气体。封闭气体可以使土的弹性增大,延长土的压缩过程,使土层不易压实。此外,封闭气体还能阻塞土内的渗流通道,使土的渗透性降低。

1.2.4 土的结构与构造

1) 土的结构

土的结构是指土粒或粒团的排列方式及其粒间或粒团间黏结的特征,它与土的矿物成分、颗粒形状和沉积条件有关。通常,土的结构可分为 3 种基本类型,即单粒结构、蜂窝结构和絮凝结构,如图 1.6 所示。

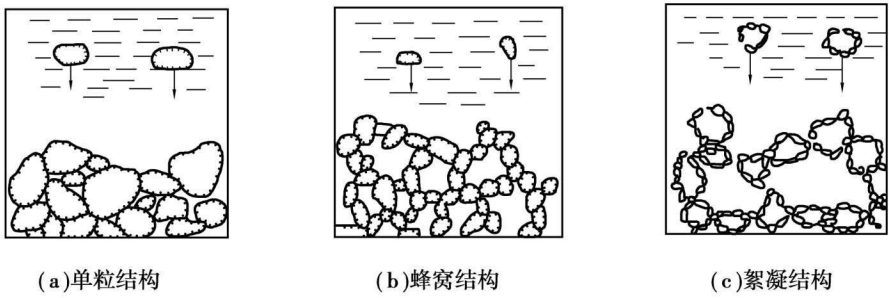


图 1.6 土的结构

(1) 单粒结构

粗粒土(如砂土和砂砾石土等)由于其比表面积小,在沉积过程中主要依靠自重下沉。下沉过程中的土颗粒一旦与已经沉积稳定的颗粒相接触,找到自己的平衡位置而稳定下来,就形成点与点接触的单粒结构。疏松排列的单粒结构,由于孔隙大,在荷载作用下,土粒易发生移动,引起土体变形,承载力也较低,特别是饱和状态的细砂、粉砂及匀粒粉土,受振动荷载作用后,易产生液化现象。

(2) 蜂窝结构

较细的土粒(主要指粉粒和部分黏粒),由于土粒细、比表面积大,粒间引力大于下沉土粒的重力,在自重作用下沉积时,碰到正在下沉或已经沉稳的土粒,在粒间接触点上产生黏结,逐渐形成链环状团粒,很多这样的链环状团粒黏结起来,形成孔隙较大的蜂窝结构。

(3) 絮状结构

极细小的黏土颗粒(颗粒直径 $d < 0.002 \text{ mm}$)能在水中长期悬浮,一般不以单粒下沉,而是聚合成絮状团粒下沉。下沉后接触到已经沉稳的絮状团粒时,由于引力作用又产生黏结,最终形成孔隙很大的絮凝结构。

蜂窝结构和絮凝结构的特点都是土中孔隙较多,结构不稳定,相对于单粒结构而言,具有较大的压缩性,强度也较低。

2) 土的构造

土的构造是指同一土层中,土粒或土粒集合体之间相互关系的特征。常见的有:

- ①层状构造。层状构造是由不同性质或不同粒径的土,在垂向上的规律排列。
 - ②分散构造。土粒分布均匀,性质相近。
 - ③结核状构造。在细粒土中含有粗颗粒或结核,如含礞石的黏土。
 - ④裂隙状构造。裂隙状构造指土中存在的各种裂隙,如黄土中的柱状节理等。
- 通常,分散构造的土工程性质较好,裂隙状构造的土工程性质最差。

1.3 土的颗粒特征

问题导入

怎样测量土中细颗粒的大小? 颗粒大小对土的性质有什么影响?

1.3.1 土颗粒大小分析

土中各粒组质量占土粒总质量的百分数,称为土的颗粒级配。颗粒级配是通过颗粒分析试验(简称颗分试验)测定的。常用的颗分试验方法有筛分法和密度计法两种。筛分法适用于粒径大于 0.075 mm 的粗粒土,密度计法适用于粒径小于 0.075 mm 的细粒土。

筛分法是将一定质量的风干土样倒入一组标准筛中进行筛分(图 1.7),称出各筛上土粒的质量,计算出各粒组的质量百分数,该试验常被称为筛分试验。密度计法是将一定质量的风干土样倒入盛水的玻璃量筒中,将其搅拌成均匀的悬液状。根据土颗粒的大小不同在水中沉降的速度也不同的特性,将密度计放入悬液中(图 1.8),测记 1 min、5 min、30 min、120 min 和 1440 min 的密度计读数,然后计算出不同粒径及其小于该粒径土粒的质量百分数。

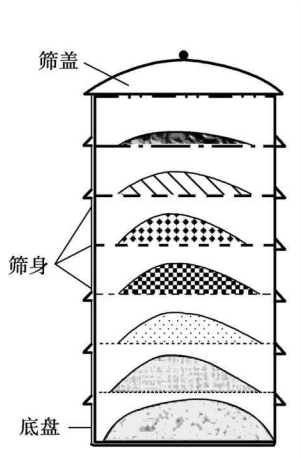


图 1.7 筛子

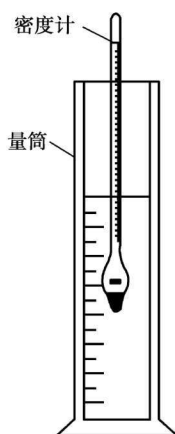


图 1.8 密度计法试验



若土中粗、细粒组兼有时,可将土样过 0.075 mm 的筛子,使其分为两部分。大于 0.075 mm 的土样用筛分法进行分析,小于 0.075 mm 的土样用密度计法进行分析。

1.3.2 粒径级配表达

筛分试验的成果通常在半对数坐标系中绘成一条曲线,称为土的颗粒级配曲线,如图 1.9 所示。图中曲线的纵坐标为小于某粒径的质量百分数,横坐标为用对数坐标表示的土粒粒径。因为土中的粒径通常相差悬殊,横坐标用对数坐标可以把粒径相差悬殊的粗、细粒的含量都表示出来。

土中各粒组的相对含量为小于两个分界粒径质量百分数之差。例如,图 1.9 中的曲线,对应各粒组的百分含量分别为:砾石(2 ~ 60 mm)占 100% - 86% = 14%;砂粒(0.075 ~ 2 mm)占 86% - 33% = 53%;粉粒(0.002 ~ 0.075 mm)占 33% - 8% = 25%;黏粒(< 0.002 mm)占 8%。

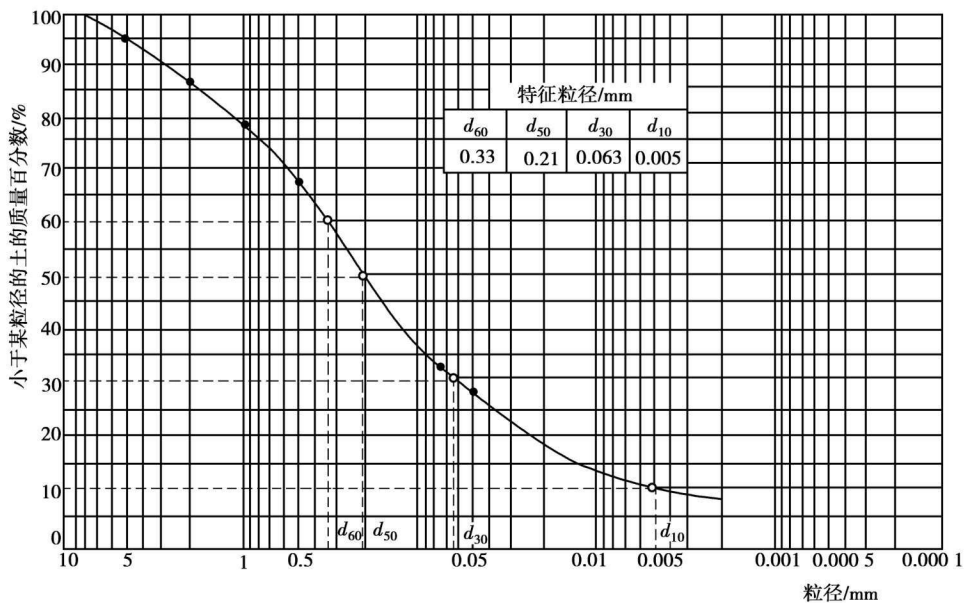


图 1.9 土的颗粒级配曲线

【例题 1.1】 某黄河滩区,取 1 000 g 风干砂土样进行筛分试验,结果列于表 1.2 中(第 1 行、第 2 行)。试补充完整试验表格(第 3 ~ 5 行),并分析各粒组含量。

【解】 留在孔径 2.0 mm 筛上的土粒质量为 100 g,则小于该孔径土粒质量为 1 000 - 100 = 900 g,小于该孔径土粒质量的百分数为 900/1 000 = 90%;留在孔径 1.0 mm 筛上的土粒质量为 100 g,则小于该孔径土粒质量的百分数为(900 - 100)/1 000 = 80%;同样,可求得小于其他孔径的土粒质量百分数,并列于表 1.2(第 3、4 行)中。同样,可计算出各粒组的土粒质量百分数,分别为砾 10%、砂 80%(其中粗砂 35%、中砂 30%、细砂 15%)、细粒(包括粉粒和黏粒)10%。

表 1.2 例题 1.1 筛分试验结果

筛孔径/mm	2.0	1.0	0.5	0.25	0.1	0.075	底盘
留筛质量/g	100	120	230	280	100	70	100
小于该孔径土粒质量/g	900	780	550	270	170	100	—
小于该孔径土粒百分数/%	90	78	55	27	17	10	—
粒径的范围/mm	$d > 2.0$	$2 \geq d > 0.5$	$0.5 \geq d > 0.25$	$0.25 \geq d > 0.075$	$d \leq 0.075$		
各粒组土的百分数/%	10	35	28	17	10		

1.3.3 粒径级配曲线的分析

在颗粒级配曲线上,可根据土粒的分布情况,定性地判别土的均匀程度或级配情况。如果曲线的坡度是渐变的,则表示土的颗粒大小分布是连续的,称为连续级配;如果曲线中出现水平段,则表示土中缺乏某些粒径的土粒,这样的级配称为不连续级配。

颗粒级配常作为选择填筑土料的依据。为了定量判断土的颗粒级配是否良好,常用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 两个判别指标:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1.1)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}} \quad (1.2)$$

式中 d_{60}, d_{30}, d_{10} ——颗粒级配曲线上小于某粒径含量为 60%、30%、10% 所对应的粒径,称为控制粒径、中间粒径、有效粒径。

1.3.4 土的级配评价

不均匀系数 C_u 是反映级配曲线坡度和颗粒大小分布范围的指标。 C_u 值越大,表示土粒粒径的变化范围越大,土粒越不均匀,颗粒级配曲线的坡度就越平缓;反之, C_u 值越小,土粒粒径的变化范围越小,土粒越均匀,级配曲线的坡度就越陡。工程上常将 $C_u < 5$ 的土称为均匀土, $C_u \geq 5$ 的土称为不均匀土。

曲率系数 C_c 是反映 d_{60} 与 d_{10} 之间曲线主段弯曲形状的指标。一般 C_c 值为 1~3 时,表明颗粒级配曲线主段的弯曲适中,土粒大小的连续性较好; $C_c < 1$ 或 $C_c > 3$ 时,颗粒级配曲线都有明显弯曲而呈阶梯状。级配良好的土必须同时满足两个条件,即 $C_u \geq 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$;如不能同时满足这两个条件,则为级配不良的土。

【例题 1.2】 试对图 1.9 中曲线的颗粒级配情况进行定量评价。

【解】 查图 1.9 曲线可知: $d_{60} = 0.33 \text{ mm}$, $d_{30} = 0.063 \text{ mm}$, $d_{10} = 0.005 \text{ mm}$ 。计算不均匀系数和曲率系数得到:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.33}{0.005} = 66 > 5$$

$$C_e = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}} = \frac{0.063^2}{0.33 \times 0.005} = 2.41$$

$C_u > 5$, 故土粒不均匀, 又 $C_e = 1 \sim 3$, 即 C_u 和 C_e 同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_e = 1 \sim 3$ 的条件, 故该土级配良好。

1.4 土的指标参数

问题导入

- 1. 衡量土的性质的参数有哪些?
- 2. 如何测量土的密度?

为了准确表示土的物理力学性质, 有必要引入密度、重度等参数。由于土是由固态的土颗粒、液态的水以及气态的空气 3 个部分组成。土的性质参数, 通常就是这 3 个部分相互之间的比例关系, 如密度是土的质量与体积之比。所以, 土的指标参数, 也称为土的三相比例指标。

下面先介绍土的三相组成的图示表达, 然后按照质量比例关系、体积比例关系、质量与体积的比例关系, 分别介绍土的三相比例指标。

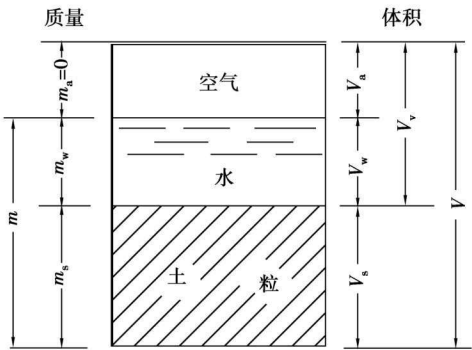


图 1.10 土的三相简图

1.4.1 土的三相简图

为了便于研究土中三相之间的比例关系, 通常把土中实际交错混杂在一起的三相以图 1.10 所示形式表示出来, 称为土的三相简图。

图 1.10 中, m_s 为土粒质量; m_w 为土中水的质量; m 为土的总质量, $m = m_s + m_w$; V_s 为土粒体积; V_w 为土中水体积; V_a 为土中气体的体积; V_v 为土中孔隙占有的体积, $V_v = V_w + V_a$; V 为土的总体积, $V = V_s + V_w + V_a$ 。

1.4.2 土的质量比例关系

(1) 土粒比重(比重)

土粒比重是土粒质量与同体积的纯水在 4℃ 时的质量之比, 用符号 G_s 表示, 无量纲, 即:

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_{w1}} = \frac{\rho_s}{\rho_{w1}} \tag{1.3}$$

式中 ρ_s ——土粒密度, g/cm^3 ;

ρ_{w1} ——纯水在 4℃ 时的密度(单位体积的质量), $\rho_{w1} = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 或 $1 \text{ t}/\text{m}^3$ 。

土粒比重取决于土的矿物成分。每种土都是由不同矿物成分组成,实验所测的比重只是各种矿物比重的均值。一般有机质土的比重为 $1.4 \sim 1.5 \text{ g/cm}^3$; 泥炭土的比重为 $1.5 \sim 1.8 \text{ g/cm}^3$; 黏性土的比重多为 $2.70 \sim 2.75 \text{ g/cm}^3$; 砂土的比重在 2.65 g/cm^3 左右。随着土中有机质的增加,土的比重不断减小。同一种类的土,其比重变化幅度不大,通常可按经验数值选用。

(2) 含水率

含水率是土中水的质量与固体颗粒质量之比,用 ω 表示,以百分数计。

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (1.4)$$

天然土体由于土层所处自然条件的不同,其含水率的数值变化范围很大。一般干的粗砂土,含水率接近于零,而饱和砂土, ω_{sat} 可达 40%; 坚硬的黏性土的含水率约小于 30%, 而饱和状态的软黏性土,则可达 60% 以上。近代沉积的三角洲软黏土或黏土,含水率可达 100% 以上,有的甚至高达 200% 以上; 而密实的第四纪老黏土,即使孔隙中全部充满水,含水率也不超过 20%。一般砂类土的含水率为 10% ~ 30%。

1.4.3 土的体积比例关系

(1) 孔隙比

孔隙比是指土中孔隙体积与固体颗粒总体积的比值,用 e 表示,无量纲。

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1.5)$$

工程实际中,孔隙比可以评价砂土或粉土的密实程度,还用于地基沉降量的计算。

(2) 孔隙率

孔隙率是指土中孔隙体积与该土所占总体积的百分比,用 n 表示,以百分数计。

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1.6)$$

孔隙率的大小取决于土的结构状态。黏性土的孔隙率为 30% ~ 60%, 非黏性土的孔隙率为 25% ~ 45%, 新沉积的淤泥孔隙率可达 80%。砂类土的孔隙率通常小于黏性土的孔隙率。

(3) 饱和度

土中水的体积与孔隙体积之比称为饱和度,用 S_r 表示,以百分数计。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1.7)$$

饱和度可以反映土体孔隙中含水的程度,其数值范围为 0 ~ 100%。干土的饱和度为零,而饱和土的饱和度为 100%。工程实际中,饱和度主要用于表示砂土的含水状况(或湿度)。按饱和度大小常将砂类土划分为如表 1.3。

表 1.3 砂土按饱和度分类

稍湿	很湿	饱和
$S_r < 50\%$	$50\% \leq S_r \leq 80\%$	$S_r > 80\%$