

铁路职业教育教材

TULIXUE YU DIJI JICHU

土力学 与 地基基础

李文英 主编



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路职业教育教材

土力学与地基基础

李文英 主编

刘广军 主审

中国铁道出版社

2006年·北京

内 容 简 介

本书较系统地叙述了土力学与地基基础的基本知识。第一至七章为土力学部分,内容包括:土的物理性质及工程分类,土中应力,土的压缩性与地基变形计算,土的抗剪强度,地基承载力,土压力,土的渗透性等;第八至十二章为地基基础部分,内容包括:地基与基础概述,天然地基上的浅基础,沉井基础,桩基础,人工地基等。每章后附有复习题,以便读者理解基本理论及复习。

本书可作为高职高专和中等专业学校铁道工程、桥梁与隧道、工业与民用建筑等专业的教学用书,也可供土建工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/李文英主编. —北京:中国铁道出版社,2005.1(2006. 12 重印)
(铁路职业教育教材)

ISBN 7-113-06237-7

I. 土… II. 李… 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(2004)第 135530 号

书 名: 土力学与地基基础

作 者: 李文英 主编

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑: 李丽娟

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 20 字数: 498 千

版 本: 2005 年 1 月第 1 版 2006 年 12 月第 2 次印刷

印 数: 3 001~6 000 册

书 号: ISBN 7-113-06237-7/TU·794

定 价: 29.50 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话 010-51873135

发行部电话 010-63545969

前 言

本教材是根据铁道部颁布的建筑工程专业“土力学与地基基础”课程教学计划和大纲而编写的,本课程将学习有关铁路路基和桥涵基础建筑所必需的土力学与地基基础的基本知识,并根据大纲的要求,安排了测定土的物理力学性质指标的试验。

本教材内容分为两部分,第一章至第七章为土力学部分,主要叙述了土力学的基本理论,从注重建筑工程专业实际需要和后续课程设置考虑,与以往教材相比,本书增加了土的渗透性和土压力两部分内容,同时将地基承载力部分单独做为一章讲解。第八章至第十二章为地基基础部分,系统介绍了桥涵基础的类型,为了突出职业教育教学在实际工程中的实用性,本教材适当加强了地基基础部分的设计、计算,特别注重对明挖、沉井和桩基这三部分的施工工艺、施工方法及地基处理新技术的介绍,同时还加强了基本技能方面的训练,适用性强。为了便于理解和掌握教学内容,根据需要本书编写了部分算例,并且在每章后附有复习题。

本教材由天津铁路工程学校李文英任主编,石家庄铁路职业技术学院刘广军任主审。绪论及第一至第七章由李文英编写;第八、第九和第十二章由渭南铁路职业技术学院李林军编写;第十、第十一章由石家庄铁路职业技术学院邢焕兰编写。在本书的编写过程中,铁道部建筑工程专业教学指导委员会、天津铁路工程学校、石家庄铁路职业技术学院和渭南铁路职业技术学院的有关领导和老师给予了大力帮助和支持。

在使用本教材过程中,如发现有不妥之处,请提出宝贵意见。

编 者

2004年4月

目 录

绪 论	1
第一章 土的物理性质与工程分类	4
第一节 概 述	4
第二节 土的三相组成	5
第三节 土的物理状态	10
第四节 土的结构与构造	22
第五节 土的工程分类及野外鉴别方法	24
第六节 土的击实性	31
复习题	35
第二章 土的渗透性	36
第一节 达西定律	36
第二节 渗透系数与渗透力	38
第三节 土的渗透变形	42
复习题	45
第三章 土体中的应力	46
第一节 土的自重应力计算	46
第二节 基底应力的分布与计算	49
第三节 地基附加应力计算	54
第四节 影响土中应力分布的因素	69
复习题	69
第四章 土的压缩与地基变形计算	71
第一节 土的压缩性	71
第二节 地基沉降量计算	82
第三节 地基沉降随时间变化的计算	87
第四节 地基容许沉降量与减小沉降危害的措施	92
复习题	94



第五章 土的抗剪强度	96
第一节 土的抗剪强度和破坏理论	97
第二节 土的抗剪强度试验	103
第三节 不同排水条件的强度指标及测定方法	106
第四节 砂类土的振动液化	109
复习题	111
第六章 天然地基容许承载力	113
第一节 地基的破坏形态	113
第二节 地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载简介	115
第三节 按《规范》确定地基容许承载力	121
第四节 触探法确定地基容许承载力	131
第五节 几种确定地基容许承载力方法的比较	135
复习题	136
第七章 土压力	138
第一节 概 述	138
第二节 朗金土压力理论	140
第三节 库伦土压力理论	145
第四节 常见情况下土压力的计算	149
复习题	154
第八章 地基与基础概述	156
第一节 地基与桥梁基础的分类	156
第二节 基础的设计原则	160
第三节 基础上的荷载	162
第四节 基础的埋置深度	167
复习题	169
第九章 天然地基上的浅基础	170
第一节 天然地基上浅基础的类型和尺寸拟定	170
第二节 刚性扩大基础的验算	173
第三节 刚性扩大基础设计算例	177
第四节 刚性扩大基础的施工	182
复习题	208
第十章 沉井基础	211
第一节 沉井基础类型与构造	211
第二节 沉井主要尺寸的拟定和下沉计算	215



第三节	沉井基础作为整体基础的计算	217
第四节	沉井基础标准图的应用	224
第五节	沉井施工	226
复习题		246
第十一章	桩 基 础	247
第一节	桩和桩基础的主要类型和构造	247
第二节	单桩轴向容许承载力	252
第三节	桩基础的设计步骤	259
第四节	群桩计算	261
第五节	用“m”法计算单桩和单排式桩基础简介	263
第六节	预制桩施工	272
第七节	灌注桩施工	277
第八节	挖孔桩施工	284
复习题		286
第十二章	人工地基	287
第一节	概 述	287
第二节	换土垫层法	291
第三节	砂 桩	296
第四节	加固地基的其他方法	299
第五节	湿陷性黄土地基的处理	306
复习题		310
参考文献		311



绪 论

一、土力学与地基基础的研究对象

所有建筑物无不是修筑在地壳上的,建筑物的全部重量都由地壳支承。以铁路桥梁为例,火车荷载连同桥梁上部结构及墩台自重,一并作用在基础上,通过基础把全部荷载传递给地壳。与基础相接触的这部分地壳,称之为地基。组成地基的介质为分散成颗粒状的土,或连成整体的岩石。本学科所研究的对象是散粒状的“土”,而岩石属于“工程地质”和“岩石力学”课程所涉及的内容。

地基在整个建筑中起着关键的作用,它的变形或破坏,直接影响到整个结构的安全和使用,所以在建筑设计中最重要的工作之一是地基基础的设计和计算,而它的主要内容就是计算地基土的变形和强度(或承载力)。

不难看出,地基在受力后所引起的一切变化,都取决于土的性质。为了进行地基设计计算,必须先把土的基本特性搞清楚,然后才能研究地基土的计算方法,看它在外力作用下是否会产生破坏,或产生多大沉降变形。只有掌握了这些土力学基本知识,才能比较科学地解决基础工程中所提出的一些实际问题,即如何根据不同地质条件合理地设计不同类型的基础。本课程主要讲解土的各种基本性质,以及如何选择地基基础类型和各种计算方法等。它包含的主要内容有:

1. 土的物理和力学性质——与地基基础设计有关的土的物理、物理化学及基本力学性质;
2. 地基变形——研究地基在受到荷载作用后的变形规律,用以预测建筑物在修建和使用阶段,其基础的沉降、沉降差和倾斜等情况,保证建筑物不损坏或不影响正常使用;
3. 地基的稳定(强度)——研究地基在外力作用下,是否可能发生破坏或丧失稳定,是否满足一定的安全系数要求;
4. 其他力学问题,如土中水的渗流而产生的力学作用,挡土结构的土压力计算,以及软土地基的人工加固原理等等。

基础一般都埋置在地面以下,有些基础还在水下,故建造基础将涉及排水、防水或水下灌注混凝土等复杂施工问题。要根据具体情况选择施工机具,制定最优的施工方,以求达到安全、高效和低耗地建造基础的目的。

土力学就是研究土的工程性质以及土在荷载作用下的应力、变形、强度和稳定性的学科;而地基与基础则是研究地基的沉降、承载力以及基础的设计与施工的学科。土力学与地基基础则是这两个学科的综合,它们密切相关。土力学知识为地基计算提供原理和方法;基础的设计和施工,又离不开地基计算和有关的土力学知识。

二、本课程的主要内容和学习要求

根据教学计划和教学大纲的要求,本课程将学习有关路基和桥涵建筑所必需的土力学与地基基础的基本知识。



1. 土的物理性质和工程分类。这是学习土力学原理的基础知识,主要论述与工程设计及施工有关的土的物理性质指标和物理状态指标。要求理解这些指标的物理意义;熟练掌握由已知若干个物理性质指标换算其他指标的方法;了解四大类土分类的依据,掌握各类土的准确定名。

2. 土的渗透性。主要介绍水在土体中的渗透定律,并简要介绍土体的渗透变形问题。

3. 地基土中的应力分布及计算。主要介绍土的自重应力、基底应力和附加应力的分布和计算。要求掌握这三种应力的计算方法。

4. 土的压缩性和地基沉降计算。主要介绍土的压缩性和计算地基沉降量的方法。要求在理解土的压缩原理的基础上掌握用分层总和法计算地基最终沉降量的方法。

5. 土的抗剪强度。主要介绍土的抗剪强度理论。要求掌握土的极限平衡的概念和条件;了解抗剪强度测定的几种方法。

6. 天然地基承载力。主要介绍地基承载力的概念和按《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5—99)(以下简称《规范》)确定天然地基容许承载力。掌握地基容许承载力的概念,学会按《规范》确定一般桥涵的地基容许承载力;了解利用触探原理确定地基容许承载力的方法。

7. 土压力。主要介绍三种土压力的概念及产生的条件,掌握各种边界条件下主动和被动土压力的计算方法。

8. 桥涵基础。主要介绍桥涵基础的类型选择和设计计算。要求学会明挖基础的设计、计算方法;对沉井基础和桩基础的设计有一般的了解。了解三大基础的新施工工艺。

9. 人工地基及特殊地基。主要介绍软弱土的概念、几种常用的地基加固方法和在特殊地基上设计基础的特点。要求了解几种地基加固方法的适用条件和效果;了解在特殊地基上设计基础的特点。

本课程牵涉到的自然科学范围很广,学习中要注意联系工程力学、地质学和桥涵设计的一些概念和知识,还要注意从土的特性出发去理解地基基础的设计计算,理论联系实际,抓住重点,掌握原理,搞清概念。

本书在论述有关桥涵地基基础的内容和要求时,都以《规范》为依据。为便于读者学习,书中采用的符号力求与《规范》所用相一致。

三、本学科的特点及发展方向

1. 学科特点

土是不连续介质,它具有破碎性、空隙性和多相性,其性质复杂多变,即使是同一种土,由于气候四季循环、水位涨落、受力状况的变异等都将对其工程性质产生根本的影响。现有的土力学理论还不能对这些复杂的物理力学性质作出全面而准确的描述和分析。土体不是理想的弹性体或塑性体,因而在目前土力学中所采用的弹性理论和塑性理论方法都只能得出近似的计算结果,不完全符合实际情况,甚至还有较大的偏差。由于土力学在理论方面存在上述问题,就使地基和基础的设计计算理论也在不同程度上偏离实际,必须通过试验、实测,并紧密结合实践经验进行合理分析,才能使实际问题得到比较妥善的解决。所以,理论联系实际是本学科的显著特点。至于基础施工目前急需解决的问题则是如何进一步改善施工工艺、加快施工进度和提高施工质量。

2. 发展方向



从上面介绍的本学科所存在的问题,就可以大致看出本学科的发展方向。土力学作为一个独立学科,应建立自己的基本力学法则。目前应大力改进土工试验仪器设备,积累可靠而足够的试验资料,为建立土力学基本法则奠定基础。同时,土的种类很多,各类土的性质相差很大,一种法则不可能适应所有的土,应该根据土的类别,提出各自独特的力学法则。

在地基与基础的设计和计算方面,随着计算技术的普遍应用,有可能考虑土的特殊性质,采用有限单元法来计算比较复杂的土工和地基基础结构,并可进一步采用最优化方法。但仍然有些计算问题有待进一步研究,如土体在反复或周期荷载作用下的变形问题和稳定计算问题等。

目前值得一提的还有土工试验的离心机。许多土工模型试验,都牵扯到土的重力模拟问题,只能靠离心机试验来解决,许多抗震问题,也要靠离心试验。现在世界各发达国家都在推广使用这种试验设备,我国在这方面起步较晚,现在只有少数单位在试建。根据目前的需求,应研制推广这种设备。

由于地基土的不均匀性,地基中初始应力条件和荷载条件的不确定性,土工试验的误差等,使地基设计参数都带有一定的随机性,故有必要对地基基础设计,以及边坡稳定计算等进行可靠度和风险分析。有的国家正努力把可靠度理论运用到地基基础设计规范中,这是目前发展的方向。

第一节 概 述

第一章 土的物理性质与工程分类



土木建筑工程所称的土,有狭义和广义两种概念。狭义概念所指的土,是岩石风化后的产物,即指覆盖在地表上松散的、没有胶结或胶结很弱的颗粒堆积物。广义的概念则将整体岩石也视为土。

地壳表层的岩石暴露在大气中,受到温度和湿度变化的影响,体积经常膨胀和收缩,不均匀的膨胀和收缩使岩石产生裂缝,岩石还长期经受风、霜、雨、雪的侵蚀和动植物活动的破坏,逐渐由大块崩解为形状和大小不同的碎块,这个产生裂缝和逐渐崩解的过程,称为物理风化。物理风化只改变颗粒的大小和形状,不改变颗粒的成分。物理风化后所形成的碎块与水、氧气、二氧化碳和某些由生物分泌出的有机酸溶液等接触,发生化学变化,产生更细的并与原来的岩石成分不同的颗粒,这个过程称为化学风化。经过这些风化作用所形成的矿物颗粒(有时还有有机物质)堆积在一起,中间贯串着孔隙,孔隙中还有水和空气,这种松散的固体颗粒、水和气体的集合体就称为土。

物理风化不改变土的矿物成分,产生了像碎石和砂等颗粒较粗的土,这类土的颗粒之间没有黏结作用,呈松散状态,称为无黏性土。化学风化产生颗粒很细的土,这类土的颗粒之间因为有黏结力而相互黏结,干时结成硬块,湿时有黏性,称为黏性土。这两类土由于成因不同,因而物理性质和工程特性也不一样,对这点要特别注意。

风化作用生成的土,如果没有经过搬运,堆积在原来的地方,称为残积土。残积土一般分布在山坡或山顶。土受到各种自然力(如重力、水流、风力、冰川等)的作用,搬运到别的地方再沉积下来,就成为沉积土。沉积土是一种最常见的土。

实践经验表明,土的工程特性一方面取决于其原始堆积条件,使组成土的结构构造、矿物成分、粒度成分、孔隙中水溶液的性质不同,另一方面也取决于堆积以后的经历。在沉积过程中,由于颗粒大小、沉积环境和沉积后所受的力等不同,所形成土的类型和性质就不同。一般地说,在大致相同的地质年代及相似的沉积条件下形成的土,其成分和性质是相近的。沉积年代愈长,上覆土层重量愈大,土压得愈密实,由孔隙水中析出的化学胶结物也愈多。因此,老土层的强度和变形模量比新土层的要高,甚至由散粒体经过成岩作用又变成整体岩石,如砂类土成为砂岩,黏土变成页



岩等。目前常见的土大都是第四纪沉积层,这个沉积层还正处于成岩过程中,因此一般都呈松散状态。但第四纪是距今约一百万年开始的一个相当长的时期,早期沉积的土,在性质上就与近期沉积的土有相当大的差别。这种沉积年代的长短对土的性质影响,对黏性土尤为明显。不同的自然地理环境对土的性质也有很大影响。我国沿海地区的软土、严寒地区的多年冻土、西北地区的湿陷性黄土和西南亚热带的红黏土等,除了具有一般土的共性外,还各具有自己的特点。

《规范》将狭义的土分为碎石类土、砂类土和黏性土,此外,还有软土、冻土和黄土等特殊土。碎石类土和砂类土都是无黏性土。

第二节 土的三相组成

如前所述,土是由固体颗粒、水和气体三部分所组成的三相体系。固体部分一般由矿物质所组成,有时含有有机质(半腐烂和全腐烂的植物体和动物残骸等),这一部分构成土的骨架,称为土骨架。土骨架间布满相互贯通的孔隙,这些孔隙有时完全被水充满,称为饱和土;有时一部分被水占据,另一部分被气体占据,称为非饱和土;有时也可能完全充满气体,就称为干土。水和溶解于水的物质构成土的液体部分。空气及其他一些气体构成土的气体部分。这三部分本身的性质以及它们之间的比例关系和相互作用决定着土的物理力学性质。因此,研究土的性质,首先必须研究土的三相组成。

一、固体颗粒

固体颗粒构成土骨架,它对土的物理力学性质起着决定性的作用。另外,还要研究固体颗粒的矿物成分以及颗粒的形状。这三者之间又是密切相关的。

(一)颗粒的矿物成分和颗粒分组

土的颗粒一般由各种矿物组成,也含有少量有机质。土粒的矿物成分可分为两类:

1. 原生矿物。指物理风化所产生的粗颗粒矿物,它们具有原来岩石的矿物成分。常见的有长石、石英、角闪石和云母等。

2. 次生矿物。是化学风化后产生的矿物,如颗粒极细的黏土矿物。常见的有高岭土、伊利土和蒙脱土等。矿物成分对黏性土的性质影响很大,例如,黏性土中含有大量蒙脱土时,这种土就具有强烈的膨胀性,它的收缩性和压缩性也大。

颗粒的粗细对土的性质影响也很大。颗粒愈细,单位体积内颗粒的表面积就愈大,与水接触的面积就愈多,颗粒相互作用的能力就愈强。

颗粒具有不同的形状,如块状、片状等,这和土的矿物成分有关,也和土粒所经历的风化搬运过程有关。

颗粒粒径的大小称为粒度,把粒度相近的颗粒合为一组,称为粒组。粒组的划分应能反映粒径大小变化引起土的物理性质变化这一客观规律。一般地说,同一粒组的土,其物理性质大致相同,不同粒组的土,其物理性质则有较大差别。《规范》对粒组的划分见表 1-1。

(二)用筛析法作土的颗粒大小分析

天然土是粒径大小不同的土粒的混合物,它包含着若干粒组的土粒。各粒组的质量占干土土样总质量的百分数叫做颗粒级配。颗粒大小分析的目的,就是确定土的颗粒级配,也就是确定土中各粒组颗粒的相对含量。颗粒级配是影响土(特别是无黏性土)的工程性质的主要因

素,因此常被用来作为土的分类和定名的标准。根据铁道部《铁路工程土工试验方法》(TBJ 102—96)的规定,颗粒大小分析可采用筛析法、密度计法和移液管法。筛析法适用于粒径大于0.1 mm但不大于60 mm的土,密度计法和移液管法适用于粒径小于0.1 mm的土。考虑到学习本课程的主要目的,是将学到的知识用于解决桥涵和路基施工与设计中的较简单的问题,因此,本书只介绍与路基和混凝土施工关系密切的筛析法。

表 1-1 土的颗粒分组

粒 组 名 称		粒 径 (mm)	一 般 特 性
漂石(浑圆或圆棱) 或块石(尖棱)	大	大于 800	无黏性,孔隙大,透水性大,毛细上升高度极微,不能保持水分,强度大,能承受很大静压,压缩性小
	中	400 ~ 800	
	小	200 ~ 400	
卵石(浑圆或圆棱) 或碎石(尖棱)	大	60 ~ 200	
	中	40 ~ 60	
	小	20 ~ 40	
圆砾(浑圆或圆棱) 或角砾(尖棱)	大	10 ~ 20	
	中	5 ~ 10	
	小	2 ~ 5	
砂 粒	粗	0.5 ~ 2	无黏性,易透水,毛细上升高度不大,遇水不膨胀,干燥时不收缩且松散,不呈现可塑性,能承受较大静压,压缩性较小
	中	0.25 ~ 0.5	
	细	0.05 ~ 0.25	
粉 粒		0.005 ~ 0.05	湿润时出现轻微黏性,透水性小,遇水膨胀或干缩都不显著,毛细上升较快,上升高度较大
黏 土 粒		小于 0.005	黏性大,几乎不透水,湿润时呈可塑性,遇水膨胀或干缩都较显著,压缩性大

用筛析法作土的颗粒大小分析,其主要设备是一套分析筛。这套筛子中的各筛按筛孔孔径大小的不同由上至下排列(最上层筛子的筛孔最大,往下的筛子其筛孔依次减小),上加顶盖,下加底盘,叠在一起。分析筛有粗筛和细筛两种。粗筛的孔径(圆孔)为 60、40、20、10、7、5、2、1 mm,细筛的孔径为 2、1.0、0.5、0.25 和 0.1 mm。试样的用量为:最大颗粒粒径小于 2 mm 的土,用 100 ~ 300 g,最大颗粒粒径大于 2 mm 但小于 10、20、40 mm 的土,分别用 300 ~ 900、1 000 ~ 2 000 和 2 000 ~ 4 000 g,最大颗粒粒径大于 40 mm 者,用 4 000 g 以上。试验时,对于无黏性土,将烘干或风干的土样放入筛孔孔径为 2 mm 的筛中进行筛析,分别称出筛上和筛下土的质量。取筛上的土样倒入依次叠好的粗筛最上层筛中筛析,又将筛下粒径小于 2 mm 的土样倒入依次叠好的细筛最上层筛筛析(细筛可放在筛析机上摇筛,摇筛时间一般为 10 ~ 15 min),使细土分别通过各级筛孔漏下。称出存留在每层筛子和底盘内的土粒质量,就可以计算出粒径小于(或大于)某一数值的土粒质量占土样总质量的百分数,表 1-2 是某土样颗粒大小分析试验的筛析结果记录。

对于含有黏土粒的砂类土的筛析方法,《铁路工程土工试验方法》中另有规定,本书从略。

对土的颗粒大小分析试验结果,可用下列两种方式表达:

1. 表 格 法

列表说明土样中各粒组的土质量占土样总质量的百分数。表 1-3 就是根据表 1-2 列出



的该土样的颗粒级配表。

表 1-2 颗粒大小分析试验记录(筛析法)

风干土质量 = 1 000 g		小于 0.1 mm 的土总质量百分数 = 1.8 %			
2 mm 筛上土质量 = 403 kg		小于 2 mm 的土总质量百分数 = 59.7 %			
2 mm 筛下土质量 = 597 g		细筛分析时所取试样质量 = 100 g			
编号	孔 径 (mm)	累计留筛土质量 (g)	小于该孔径的土质量 (g)	小于该孔径的土质量 百分数 (%)	小于该孔径的土占 总土质量百分数 (%)
4	10	100	900	90.0	90.0
5	7	195	805	80.5	80.5
6	5	280	720	72.0	72.0
7	2	403	597	59.7	59.7
8	1	28.3	71.7	71.7	42.8
9	0.5	60.7	39.3	39.3	23.5
10	0.25	92.3	7.7	7.7	4.6
11	0.1	97	3.0	3.0	1.8
底盘总计		3			

复核:张虹 2000 年 11 月 5 日
试验:王刚 2000 年 11 月 5 日

计算:李强 2000 年 11 月 5 日

表 1-3 颗 粒 级 配

粒径(mm)	> 10	7 ~ 10	5 ~ 7	2 ~ 5	1 ~ 2	0.5 ~ 1	0.25 ~ 0.5	0.1 ~ 0.25	< 0.1
百分数 (%)	10.0	9.5	8.5	12.3	16.9	19.3	18.9	2.8	1.3

2. 颗粒级配曲线法

即用曲线表示土样的颗粒级配。图 1-1 中的曲线 1,就是按筛析法做试验后绘出的颗粒级配曲线。图中横坐标表示粒径,用对数比例尺,纵坐标表示小于某粒径的土质量百分数,用普通比例尺。若颗粒级配曲线平缓,表示土中各种粒径的土粒都有,颗粒不均匀,级配良好;若曲线陡峻,则表示土粒较均匀,级配不好。在颗粒级配曲线上,可以找到对应于颗粒含量小于 10%、30% 和 60% 的粒径 d_{10} 、 d_{30} 和 d_{60} ,这三个粒径组成级配指标:

不均匀系数 $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

曲率系数 $C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}}$

不均匀系数 C_u 愈大,表示级配曲线愈平缓,级配良好。曲率系数 C_c 用以描述颗粒大小分布的范围。《铁路路基填土压实技术规则》规定,当 $C_u \geq 5$ 且 $C_c \neq 1 \sim 3$,可认为级配是良好的;当 $C_u < 5$ 或 $C_c = 1 \sim 3$,则认为级配是不良的。

前已介绍,筛析法适用于粒径大于 0.1 mm 的土。对于粒径小于 0.1 mm 的土,应采用密度计法或移液管法。根据密度计法或移液管法的试验结果,同样可绘制颗粒级配曲线。图 1-1 中的曲线 3 是根据密度计法的试验结果绘制的。若某土样中粒径大于 0.1 mm 的土虽较多,但

粒径小于0.1 mm的土仍超过土样总质量的10%,应采用筛析法和密度计法(或筛析法和移液管法)联合试验。图1-1中的曲线2是根据筛析法和密度计法联合试验的结果绘制的,其中AB段用筛析法,BC段用密度计法,两段应连成一条光滑的曲线。

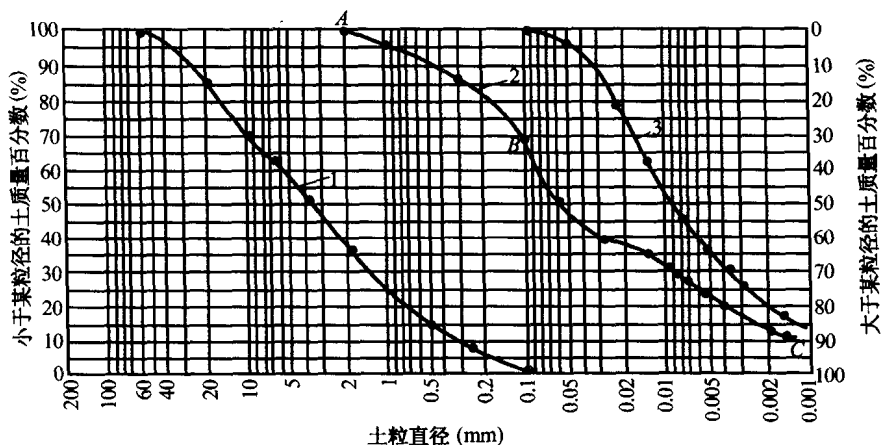


图1-1 颗粒级配曲线

二、土中的水

在天然土的孔隙中通常含有一定量的水,它可以处于各种不同的状态。土中的细颗粒越多,土的分散度越大,因而水对土的性质影响也越大。例如,含水量很大的黏性土比较干的黏性土软的多,土中的固体颗粒与水接触就相互起作用。试验证明,土颗粒的表面带有负电荷。水分子(H_2O)是极性分子,也就是说带正电荷的 H^+ 和带负电荷的 OH^- 各位于水分子的两端,见图1-2(a)所示。这样的分子会被颗粒表面的负电荷吸引而定向地排列在颗粒的四周,如图1-2(b)和(c)所示,离颗粒表面愈近,吸引力愈大。土中水按其所受土粒的吸引力大小可分为下列几种形态。

(一) 结合水

这部分水是借土粒的电分子引力吸引在土粒的表面,对土的工程性质影响极大。它又可分为如下几种。

1. 吸着水(强结合水)

吸着水是被颗粒表面负电荷紧紧吸附在土粒周围的一层很薄的水。这种水的性质接近于固体,不冻结;不因重力影响而转移,不传递静水压力,不导电,具有极大的黏滞性、弹性和抗剪强度,其剪切弹性模量达20 MPa,只有在105℃以上的温度烘烤时才能全部蒸发。这种水对土的性质影响较小。土粒可以从潮湿空气中吸附这种水。仅含吸着水的黏土呈干硬状态或半干硬状态,碾碎则成粉末。砂类土也可能有极少量吸着水,仅含吸着水的砂类土成散粒状。

2. 薄膜水(弱结合水)

在吸着水外面一定范围内的水分子,仍会受到颗粒表面负电荷的吸引力作用而吸附在颗粒的四周,这种水称为薄膜水。显然,离颗粒表面愈远,分子所受的电分子力就愈小,因而薄膜水的性质随着离开颗粒表面距离的变化而变化,从接近于吸着水至变为自由水。薄膜水从整体来说呈黏滞状态,但其黏滞性是从内向外逐渐降低的。它仍不能传递静水压力,但较厚的薄膜水能向邻近较薄的水膜缓慢转移;砂类土可认为不含薄膜水,黏性土的薄膜水较厚,且薄膜水的含量随黏粒增多而增大。薄膜水的多少对黏性土的性质影响很大,黏性土的一系列特性

(黏性、塑性——土可以捏成各种形状而不破裂也不流动的特性、压实性等)都和薄膜水有关。

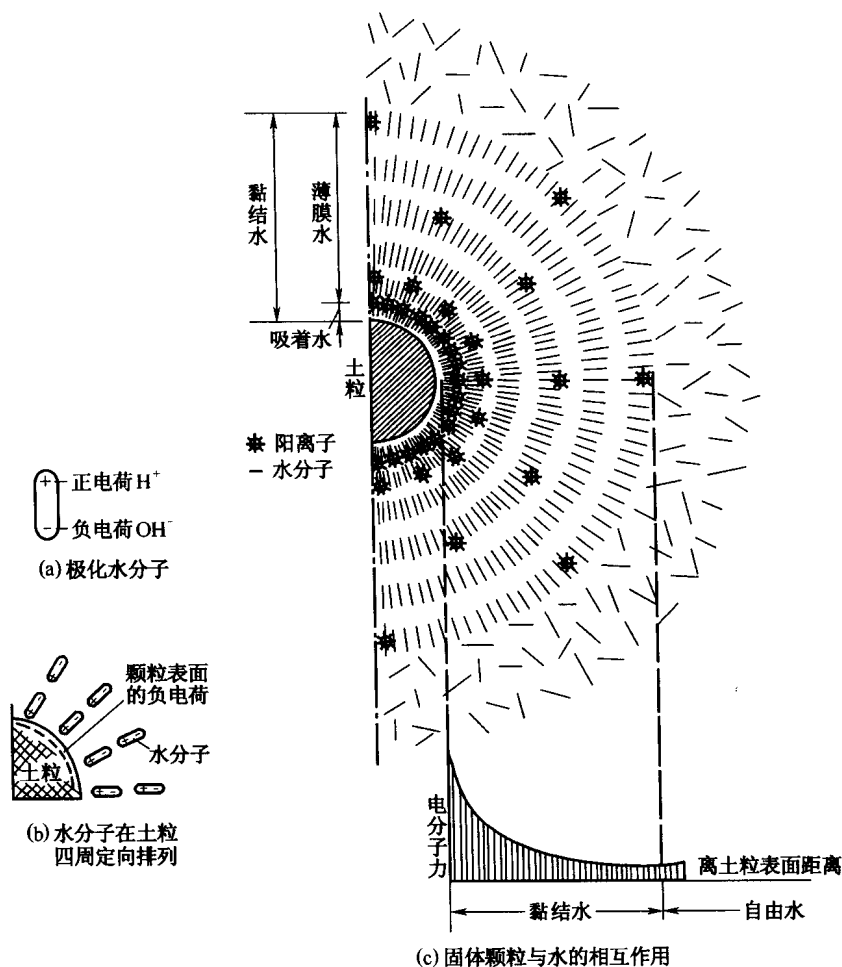


图 1-2 土中固体颗粒与水的相互作用

(二) 非结合水

非结合水是指土粒水化膜以外的液态水,虽然土粒的吸引力对它有影响,但它主要受重力作用的控制,传递静水压力。按其受结合水影响的程度可分为毛细水和重力水。

1. 毛细水

土中存在着很多大小不一互相连通的微小孔隙,形成了错综复杂的通道,由于毛细表面张力的作用,形成了毛细水。毛细作用使毛细水从土的微细通道上升到高出自由水面以上。上升高度介于 0(砾石、卵石)到 5~6 m(黏土)之间。粒径 2 mm 以上的土颗粒间,一般认为不会出现毛细现象。由于毛细水高出自由水面,可以在地下水位以上一定高度内形成毛细饱水区,好像将地下水位抬高了一样。由于毛细水的上升可能引起道路翻浆、盐渍化、冻害等,导致路基失稳,因此,了解和认识土的毛细性,对土木工程的勘测、设计有重要意义。

2. 重力水

指在自由水位以下,土粒吸附力范围以外的水。它在本身重力作用下,可在土中自由移动,故称重力水。重力水在土中能产生和传递静水压力,对土产生浮力。在开挖基坑和修筑地下结构物时,由于重力水的存在,应采取排水、防水措施,土中应力的大小与重力水也有关系。

三、土中气体

土中未被水占据的孔隙,都充满气体。土中气体分为两类:与大气相连通的自由气体和与大气隔绝的封闭气体(气泡)。自由气体一般不影响土的性质,封闭气体的存在会增加土体的弹性,减小土的透水性。目前还未发现土中气体对土的性质有值得重视的影响,因此,在工程上一般都不予考虑。

第三节 土的物理状态

土的三相组成的性质,特别是固体颗粒的性质,直接影响到土的工程特性。但是同样一种土,密实时强度高,松散时强度低。对于细粒土,含水量少时则硬,含水量多时则软。这说明土的性质不仅决定于三相组成的性质,而且三相之间的比例关系也是一个很重要的影响因素。

一、土的三相组成在量上的比例特征

因为土是三相体系,不能用一个单一的指标来说明三相间量的比例。对于一般连续性材料,例如钢或混凝土等,只要知道密度 ρ 就能直接说明这种材料的密实程度,即单位体积内固体的质量。对于三相体的土,同样一个密度 ρ ,单位体积内可以是固体颗粒的质量多一些,水的质量少一些,也可以是固体颗粒的质量少一些,而水的质量多一些,因为气体的体积可以不相同。因此要全面表明土的三相量的比例关系,就需要有若干个指标。

(一)土的三相图

为了使这个问题形象化,以获得清楚的概念,在土力学中,通常用三相草图表示土的三相组成,如图 1-3 所示。在三相图的左侧,表示三相组成的体积;在三相图的右侧,则表示三相组成的质量。

图中符号如下:

V ——土的总体积;

V_v ——土的孔隙部分体积;

V_s ——土的固体颗粒实体的体积;

V_w ——水的体积;

V_a ——气体体积;

m ——土的总质量;

m_w ——水的质量;

m_s ——固体颗粒质量。

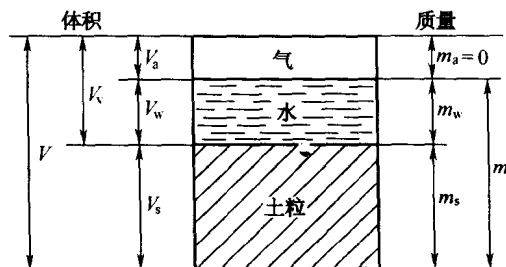


图 1-3 土的三相示意图

在上述的这些量中,独立的有 V_s 、 V_w 、 V_a 、 m_w 、 m_s 五个量。 1 cm^3 水的质量等于 1 g ,故在数值上 $V_w = m_w$ 。此外,当我们研究这些量的相对比例关系时,总是取某一定数量的土体来分析。例如取 $V = 1\text{ cm}^3$ 或 $m = 1\text{ g}$,或 $V_s = 1\text{ cm}^3$ 等等,因此又可以消去一个未知量。这样,对于这一定数量的三相土体,只要知道其中三个独立的量,其他各量就可以从图中直接算出。所以,三相草图是土力学中用以计算三相量比例关系的一种简单而又很有用的工具。

(二)确定三相比例关系的基本试验指标

为了确定三相草图各量中的三个指标:密度、相对密度和含水量,就必须通过实验室的试