

工学结合 · 基于工作过程导向的项目化创新系列教材
国家示范性高等职业教育土建类“十二五”规划教材



土力学

与地基基础

TULIXUE
YU DIJI JICHU

>>>主 编 金耀华

>>>副主编 石建甫 吕凡任
胡显燕 沙爱敏
徐晓雨



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

工学结合·基于工作过程导向的项目化创新系列教材
国家示范性高等职业教育土建类“十二五”规划教材

土力学与地基基础

主 编	金耀华		
副主编	石建甫	吕凡任	胡显燕
	沙爱敏	徐晓雨	
参 编	邵红才	郑 娟	

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书按照“项目导向、任务驱动”的要求来组织内容,将基本理论融入到工程实践中,从而让学生更有效地掌握相关知识。

全书内容由 11 个教学项目组成,分别为土的物理与工程性质的认识、土中应力计算、地基变形的计算、土的抗剪强度与地基承载力的确定、土压力与土坡稳定、岩土工程勘察、天然地基浅基础的设计、桩基础设计、基坑工程、地基处理及特殊土地基。为了方便读者的学习,本书每个任务还包括相应的任务小结、拓展练习题。

为了方便教学,本书还配有教学课件等教学资源包,任课教师和学生可以登录“我们爱读书”网(www.ibook4us.com)免费注册下载,或者发邮件至 husttujian@163.com 免费索取。

本书的内容简洁扼要、实用性强,突出高职高专特色,注重反映地基基础领域的新标准、新规范及推广应用新技术、新工艺。本书可作为高职高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院的土建类房屋建筑工程专业的专业基础课程教材,也可作为各高校土建类相关专业的课程教材,同时可供土建类专业勘察、设计和施工技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/金耀华 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.9
ISBN 978-7-5609-9059-0

I. 土… II. 金… III. ①土力学-高等职业教育-教材 ②地基-基础(工程)-高等职业教育-教材 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 113650 号

土力学与地基基础

金耀华 主编

策划编辑:张 毅 康 序

责任编辑:康 序

封面设计:李 嫚

责任校对:封力煊

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:华中理工大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:23.5

字 数:600 千字

版 次:2013 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:43.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言



本书是按照“项目导向、任务驱动”的要求编写而成的项目化教材。根据高职高专土建类房屋建筑工程专业教学的基本要求,科学地设计和选择项目,以完成一个完整的工程项目所需要的知识、能力和素质来设计教材的内容,以便于教师按照完成工程项目的流程来组织实施教学,使学生在完成项目的过程中掌握知识,达到人才培养目标的要求,从而满足高职高专培养技能型人才的需要。

本书按 72 学时编写,主要根据高职高专学生的认知特点、知识水平,由浅入深地,按能力递进的方式选择工程项目,按工作任务的难易程度编排全书内容。全书由 11 个教学项目组成,包括土的物理与工程性质的认识、土中应力计算、地基变形的计算、土的抗剪强度与地基承载力的确定、土压力与土坡稳定、岩土工程勘察、天然地基浅基础的设计、桩基础设计、基坑工程、地基处理及特殊土地基。全书的内容简洁扼要,实用性强;理论部分尽可能以够用为度,化繁为简;实用内容尽量充实,力求更新,突出高职高专教学的特色。

本书由扬州职业大学金耀华主编,由石建甫、吕凡任、胡显燕、沙爱敏、徐晓雨担任副主编,由邵红才、郑娟担任参编。其中,金耀华编写项目 3、项目 8;湖北第二师范学院胡显燕编写项目 6、项目 7;扬州职业大学吕凡任编写项目 9;扬州职业大学沙爱敏编写项目 1、项目 10、项目 11;武汉工业职业技术学院徐晓雨编写项目 4;扬州职业大学邵红才编写项目 2;武汉铁路职业技术学院石建甫、扬州职业大学郑娟编写项目 5。全书由金耀华统稿。

为了方便教学,本书还配有教学课件等教学资源包,任课教师和学生可以登录“我们爱读书”网(www.ibook4us.com)免费注册下载,或者发邮件至 husttujian@163.com 免费索取。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 7 月

目录

项目 1 土的物理与工程性质的认识	(1)
任务 1 土的认识	(1)
任务 2 土的物理性质	(14)
任务 3 土的工程分类	(28)
项目 2 土中应力的计算	(40)
任务 1 土中自重应力	(40)
任务 2 基底压力	(46)
任务 3 土中附加应力	(53)
项目 3 地基变形的计算	(70)
任务 1 土的压缩性	(70)
任务 2 地基最终变形计算	(77)
任务 3 地基变形与时间的关系	(91)
项目 4 土的抗剪强度与地基承载力的确定	(97)
任务 1 土的抗剪强度与极限平衡理论	(98)
任务 2 土的剪切试验	(108)
任务 3 地基承载力的确定	(117)
项目 5 土压力与土坡稳定	(131)
任务 1 土压力的种类及计算	(131)
任务 2 挡土墙设计	(146)
任务 3 土坡稳定分析	(155)
项目 6 岩土工程勘察	(162)
任务 1 岩土工程勘察的基本知识	(162)
任务 2 岩土工程勘察报告的阅读	(174)
任务 3 验槽	(179)
项目 7 天然地基浅基础的设计	(183)
任务 1 浅基础的类型及选择	(183)
任务 2 浅基础设计的基本内容	(191)
任务 3 浅基础设计及计算	(205)

任务 4 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施	(216)
项目 8 桩基础设计	(221)
任务 1 桩基础概要	(221)
任务 2 桩基竖向承载力的确定	(229)
任务 3 桩基础设计	(243)
项目 9 基坑工程	(251)
任务 1 基坑工程概述	(251)
任务 2 基坑支护结构的计算与设计	(260)
任务 3 支护结构的稳定性分析	(273)
项目 10 地基处理	(280)
任务 1 换填法	(280)
任务 2 预压法	(291)
任务 3 强夯法	(303)
任务 4 挤密桩法	(314)
项目 11 特殊土地基	(334)
任务 1 湿陷性黄土地基	(334)
任务 2 膨胀土地基	(344)
任务 3 软土地基	(355)
任务 4 山区地基及红黏土地基	(360)
参考文献	(370)

土的物理 与工程性质的认识

土是岩石在风化作用下形成的大小悬殊的颗粒,经过不同方式的搬运,在各种自然环境中生成的沉积物。它是由作为土骨架的固态矿物颗粒、孔隙中的水及其溶解物质以及气体组成。因此,土是由颗粒(固相)、水(液相)和气体(气相)所组成的三相体系。不同土的颗粒大小和矿物成分差异很大,三相间的数量比例也各不相同,土的结构与构造也有多种类型。

土的物理性质,如轻重、松密、干湿、软硬等在一定程度上决定了土的力学性质,它是土的最基本的工程特性。土的物理性质则是由三相组成物质的性质、相对含量以及土的结构构造等因素决定。在进行土力学计算及处理地基基础问题时,不仅要知道土的物理性质特征及其变化规律,了解各类土的特性,还必须熟练掌握反映土的三相组成比例和状态的各指标的定义、测定方法和指标间存在的换算关系,熟悉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。

本项目主要介绍土的成因、土的三相组成、土的物理性质及指标换算、无黏性土和黏性土的物理状态指标及土的工程分类等内容。这些内容的学习是土力学所必需的基本知识,也是评价土的工程性质、分析与解决土的工程技术问题的基础。

任务 1 土的认识

一、任务介绍

土是岩石经风化、剥蚀、搬运、沉积而形成的大小悬殊的颗粒,是覆盖在地表碎散的、没有胶结或弱胶结的颗粒堆积物。在漫长的地质年代中,地球表面的整体岩石在大气中经受长期的风

化作用而破碎,在各种内力和外力的作用下,在各种不同的自然环境中堆积下来形成土。堆积下来的土在长期的地质年代中发生复杂的物理化学变化,经压密固结、胶结硬化,最终又形成岩石。工程上遇到的土大多数是第四纪沉积物,是土力学研究的主要对象。土是由固体颗粒、水和空气所组成的三相体系。本任务主要介绍土的成因类型、土的颗粒组成、矿物成分和结构构造等知识,这些是从质的方面了解土的性质依据。

二、理论知识

1. 土的成因

1) 风化作用

岩石在其存在、搬运和沉积的各个过程中都在不断风化。岩石风化后变成粒状物质,导致强度降低,透水性增强。风化作用根据其性质和影响因素的不同,可分为物理风化、化学风化和生物风化三种类型。它们经常是同时进行又相互加剧发展的进程。

(1) 物理风化。

长期暴露在大气中的岩石由于受到温度、湿度变化等各种气候因素的影响,体积经常膨胀、收缩,从而逐渐崩解、破裂,或者在运动过程中因为碰撞和摩擦而破碎,形成大小和形状各异的碎块,这个过程称为物理风化。物理风化的过程仅使岩石机械破碎,仅限于体积大小和形状的改变,其化学成分并没有发生变化。风化产物的矿物成分与母岩相同,称为原生矿物,如石英、长石和云母等。砂、砾石和其他粗粒土即无黏性土就是物理风化的产物。

(2) 化学风化。

地表岩石在水溶液、氧气、二氧化碳以及有机物、微生物的化学作用或生物化学作用下引起的破坏过程称为化学风化。它不仅破坏岩石的结构,而且使其化学成分改变,从而形成与原来岩石颗粒成分不同的新的矿物,称为次生矿物。化学风化所形成的细粒土之间具有黏结能力,该产物为黏土矿物,如蒙脱石、伊利石和高岭石等,通常称为黏性土。化学风化主要有氧化、水化、水解、溶解和碳酸化等作用。

(3) 生物风化。

生物活动过程中对岩石产生的破坏过程称为生物风化。如穴居地下的蚯蚓的活动、树根生长时施加给周围岩石的压力、鼠类活动等都可以引起岩石的机械破碎。生长在岩石表面的细菌、苔藓类植物分泌的有机酸溶液可产生化学作用,分解岩石的成分,促使岩石发生变化。

2) 土的沉积

土在地表分布极广,成因类型也很复杂。不同成因类型的沉淀物,各具有一定的分布规律、地形形态及工程性质,下面简单介绍几种主要类型。

(1) 残积物。

残积物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,如图 1-1 所示。其分布主要受地形的控制,如在宽广的分水岭地带及平缓的山坡,残积土较厚。残积土与基岩之间没有明显的界线,一般分布规律为,上部残积土、中部风化带、下部新鲜岩石。

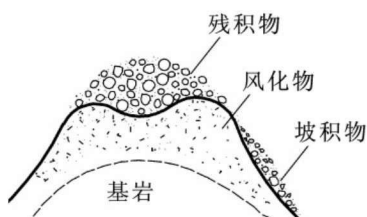
残积物的主要工程特性:①颗粒矿物成分与下卧基岩相同;②厚度变化大,均匀性差;③孔

隙大,易透水和产生不均匀沉降。

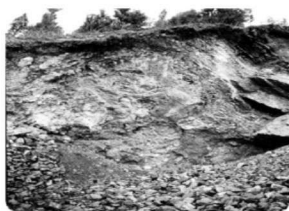
(2) 坡积物。

坡积物是指由于雨雪水流的地质作用将高处岩石的风化产物缓慢地冲刷、剥蚀或由于重力的作用,顺着斜坡向下逐渐移动,沉积在较平缓的山坡上而形成的沉积物,如图 1-2 所示。

坡积物的工程性质特征:①颗粒随斜坡自上而下呈现由粗而细的分选现象;②颗粒成分与坡上的残积土基本一致,与下卧基岩没有直接关系,这是它与残积物明显的区别;③组成物质粗细颗粒混杂,土质不均匀,并且其厚度变化很大(上部有时不足一米,下部可达几十米),尤其是新近堆积的坡积物,土质疏松,压缩性较高;④由于坡积物形成于山坡,常常发生沿下卧基岩倾斜面滑动。



(a)残积土示意图



(b)石灰岩残积物

图 1-1 残积物示意图

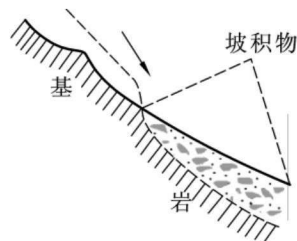


图 1-2 坡积物示意图

(3) 洪积物。

碎屑物质经暴雨或大量融雪骤然集聚而成的暂时性山洪急流挟带在山沟的出口处或山前倾斜平原堆积形成的洪积土体称为洪积物。山洪携带的大量碎屑物质流出沟谷口后,因水流流速骤减而呈扇形的沉积体,称为洪积扇,如图 1-3 所示。

洪积物的工程特征:①具有分选性;②常具有不规则的交替层理构造,并具有夹层、尖灭或透镜体等构造;③近山前的洪积物具有较高的承载力,压缩性低;④远山地带的洪积物颗粒较细,成分较均匀,厚度较大。



图 1-3 洪积物示意图

(4) 冲积物。

河流两岸的基岩及其上部覆盖的松散物质,被河流流水剥蚀后,经搬运、沉积于河道坡度较平缓的地带而形成的沉积物称为冲积物。冲积物的特点是具有明显的层理结构,经过长距离的搬运过程,颗粒磨圆度好。随着从上游到下游的流速逐渐减慢,冲积物具有明显的由粗到细的分选现象,常形成砂层和黏性土层交叠的地层。

冲积物的工程特征:①分布在河床、冲积扇、冲积平原或三角洲中,冲积层的成分非常复杂,河流汇水面积内的所有岩石和土都能成为该河流冲积层的物质来源;②分选性好、层理明显、磨圆度高;③分布广,表面坡度比较平缓,多数大、中城市都坐落在冲积层上;④冲积层中的砂、卵石、砾石层常被选用为建筑材料。

(5) 其他沉积物。

除了上述几种成因类型的沉积物外,还有海洋沉积物、湖泊沉积物、冰川沉积物、海陆交互相沉积物和风积物等,它们分别是由海洋、湖泊、冰川及风化的地质作用而形成。

湖浪冲蚀湖岸而形成的碎屑物质在湖内或湖心沉积下来而形成湖相沉积物。在靠近湖岸地段沉积下来的多是粗颗粒的卵石、圆砾和砂土。远岸或湖心沉积下来的则是细砂或黏土,因此,近岸地区土的强度较高,而湖心最差。

2. 土的三相组成

土是由固体颗粒、水和空气组成的三相体系。固体部分一般由矿物质所组成,有时含有有机质。土中的固体矿物构成土的骨架,骨架之间贯穿着大量的孔隙,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,另一部分被空气占据,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。这三种组成部分本身的性质以及它们之间的比例关系和互相作用决定土的物理性质。

1) 土的固体颗粒

土的固相物质包括无机矿物颗粒和有机质,是构成土的骨架最基本的物质,称为土中的固体颗粒(土粒)。

(1) 土粒的矿物成分。

土的固体颗粒包括无机矿物颗粒和有机质,是构成土的骨架最基本的物质。土的无机矿物可分为原生矿物和次生矿物两大类。

原生矿物是岩石物理风化生成的颗粒,其矿物成分与母岩相同,土粒较粗,多呈浑圆状、块状或板状,比表面积小(单位体积内颗粒的总面积),吸附水的能力较弱,性质稳定,无塑性。漂石、卵石、砾石(圆砾、角砾)等粗大粒组都是岩石碎屑,它们的矿物成分与母岩相同。砂粒大部分是母岩中的单矿物颗粒,如石英、长石、云母等也都是原生矿物。

次生矿物是指岩石中矿物经化学风化作用后形成的新的矿物,性质与母岩完全不同,如三氧化二铝、三氧化二铁、次生二氧化硅及各种黏土矿物。由于其粒径非常小(小于 $2\mu\text{m}$),具有很大的比表面积,与水作用能力很强,能发生一系列复杂的物理、化学变化。次生矿物主要是黏土矿物,主要有高岭石、蒙脱石和伊利石三类,如图 1-4 所示。高岭石是在酸性介质条件下形成的,它的亲水性弱,遇水后膨胀性和可塑性小;蒙脱石亲水性强,遇水后具有极大的膨胀性与可塑性;伊利石的亲水性介于高岭石与蒙脱石之间,膨胀性和可塑性也介于高岭石与蒙脱石之间,比较接近蒙脱石。

(2) 土粒的粒组划分。

天然土由无数大小不同的土粒组成,土粒的大小称为粒度。土颗粒的大小相差悬殊,有大于几十厘米的漂石,也有小于几微米的胶粒,随着土粒的粒径由粗变细,土的性质相应地会发生很大的变化,如土的渗透性由大变小,由无黏性变为有黏性等。同时,由于土粒的形状往往是不

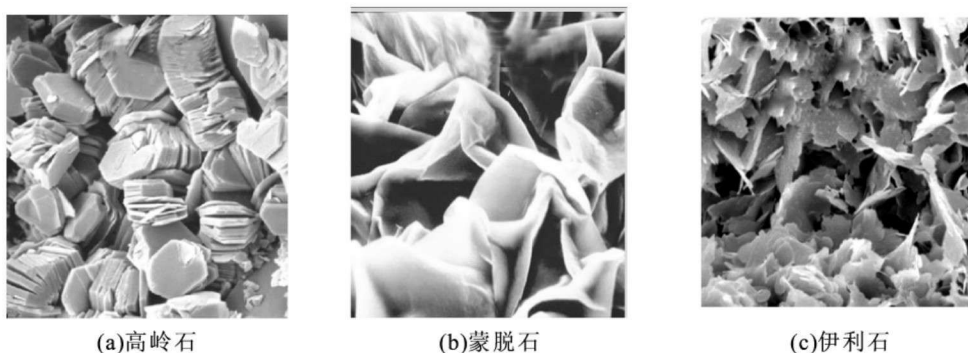


图 1-4 三种黏土矿物形状

规则的,很难直接测量土粒的大小,故只能用间接的方法来定量描述土粒的大小和各种颗粒的相对含量。工程上常用不同粒径颗粒的相对含量来描述土的颗粒组成情况,这种指标称为土的粒度成分又称土的颗粒级配。

天然土的粒径一般是连续变化的,为了描述方便,工程上常把大小、性质相近的土粒合并为组,称为粒组。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。对于粒组的划分,各个国家,甚至一个国家的各个部门,可能有不同的规定。土粒的粒组的划分方法如表 1-1 所示,表中根据国家标准《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007),按新规定的界限粒径 200 mm、60 mm、2 mm、0.075 mm和 0.005 mm,分别将土粒粒组先分为巨粒、粗粒和细粒三个粒组统称,再细分为六个粒组,即漂石(块石)、卵石(碎石)、砾粒、砂粒、粉粒和黏粒。

表 1-1 土粒的粒组划分

粒组统称	粒组名称		粒径范围/mm	一般特征
巨粒	漂石或块石颗粒		>200	透水性很大,无黏性,无毛细水
	卵石或碎石颗粒		$200\sim60$	
粗粒	圆砾或角砾颗粒	粗	$60\sim20$	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	$20\sim5$	
		细	$5\sim2$	
	砂粒	粗	$2\sim0.5$	易透水,当混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加;无黏性,遇水不膨胀,干燥时松散;毛细水上升高度不大,随粒径变小而增大
		中	$0.5\sim0.25$	
		细	$0.25\sim0.075$	
细粒	粉粒		$0.075\sim0.005$	透水性小,湿时稍有黏性,遇水膨胀小,干时稍有收缩;毛细水上升高度较大较快,极易出现冻胀现象
	黏粒		<0.005	透水性很小,湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著;毛细水上升高度大,但速度较慢

(3) 土的颗粒级配。

自然界里的天然土很少是单一粒组的土,往往由多个粒组混合而成。因此,为了说明天然

土颗粒的组成情况,不仅要了解土颗粒的大小,而且要了解各种颗粒所占的比例,工程中常用土中各粒组的相对含量占总质量的百分数来表示,称为土的颗粒级配。这是决定无黏性土工程性质的主要因素,是确定土的名称和选用建筑材料的重要依据。

常用的颗粒级配的表示方法有表格法、累计曲线法和三角坐标法,下面仅介绍累计曲线法。根据颗粒分析试验结果,可以绘制如图 1-5 所示的颗粒级配累计曲线。因为土粒粒径相差常在百倍、千倍以上,所以表示粒径的横坐标常用对数坐标。曲线的纵坐标则表示小于某粒径的土粒质量含量百分比。对于不同的土类,可以得到不同的级配曲线。

根据粒径级配曲线的形态,可以大致判断土样所含颗粒的均匀程度。如曲线平缓表示粒径大小相差悬殊,颗粒不均匀,级配良好(如图 1-5 曲线 B);反之,则颗粒均匀,级配不良(如图 1-5 曲线 A、C)。为了定量说明问题,工程中常用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 来反映土颗粒级配的不均匀程度。 C_u 和 C_c 的计算公式如下。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (1-2)$$

式中: d_{60} ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 60% 的粒径,称为限定粒径,mm;

d_{10} ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 10% 的粒径,称为有效粒径,mm;

d_{30} ——小于某粒径的土粒质量占土总质量 30% 的粒径,称为中值粒径,mm。

不均匀系数 C_u 反映了大小不同粒组的分布情况:土的粒径范围窄,分布曲线陡, d_{10} 和 d_{60} 靠近,土的不均匀系数 C_u 小,表示土粒均匀;土的粒径范围宽,分布曲线缓, d_{10} 和 d_{60} 相距远,土的不均匀系数 C_u 大,表示土粒不均匀,即粗颗粒和细颗粒的大小相差越悬殊,土的级配越良好。但如果缺失中间粒径,土粒大小不连续,则形成不连续级配,级配曲线上呈台阶状(如图 1-5 中的曲线 C),此时需同时考虑曲率系数。故曲率系数 C_c 是描述累计曲线整体形状的指标。一般工程中将 $C_u < 5$ 的土称为匀粒土,属级配不良; $C_u > 10$ 的土称为级配良好土。考虑累计曲线整体

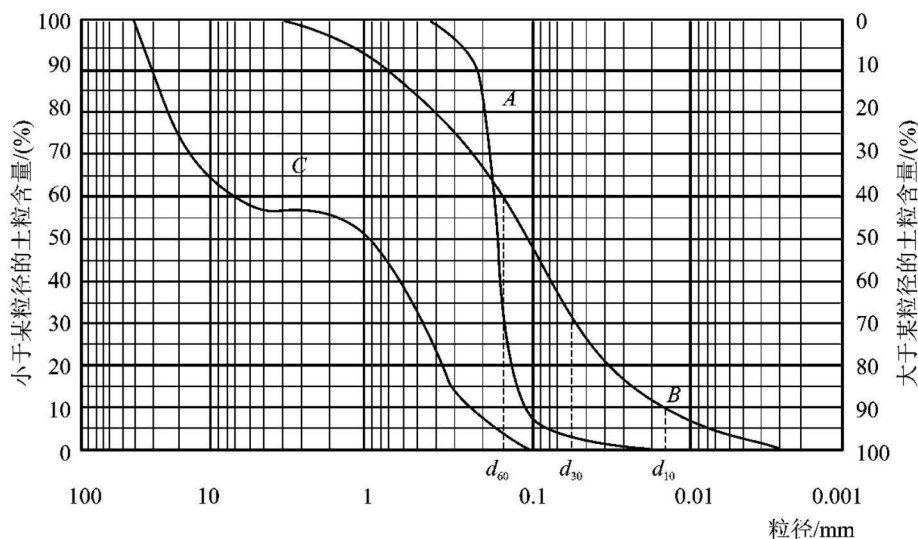


图 1-5 土的颗粒级配曲线

形状,则一般认为,砾类土或砂类土同时满足 $C_u > 5$ 及 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件时,称为级配良好。

对于级配良好的土,较粗颗粒间的孔隙被较细的颗粒所填充,因而土的密实度较好,相应的地基土的强度和稳定性也较好,透水性和压缩性也较小,可作为路堤、堤坝或其他土建工程的填方土料。

(4) 土的颗粒分析试验。

土的颗粒粒径及其级配是通过土的颗粒分析试验测定的。常用的方法有两种,即筛分法和密度计法。对粒径大于 0.075 mm 的土粒,常用筛分法。

筛分法是用一套不同孔径的标准筛,将风干、分散的具有代表性的试样,放入一套从上到下、孔径由粗到细排列的标准筛进行筛分,然后分别称出留在各筛子上的土重,并计算出各粒组的相对含量,由颗粒分析结果可判断土的颗粒级配及确定土的名称。标准筛孔径由粗筛孔径(60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm)及细筛孔径(1 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.1 mm、0.075 mm)组成,如图 1-6 所示。

2) 土中水

土中水是指存在于土孔隙中的水。土中细粒越多,水对土的性质影响越大。按照水与土相互作用程度的强弱,可将土中水分为结合水和自由水两大类。

(1) 结合水。

结合水是指在电分子引力下吸附于土粒表面的水。由于土粒表面一般带有负电荷,围绕土粒形成电场,在土粒电场范围内的水分子和水溶液中的阳离子一起被吸附在土粒表面。极性水分子被吸附后呈定向排列,形成结合水膜,如图 1-7 所示。在靠近土粒表面处,静电引力最强,能把水化离子和极性水分子牢固地吸附在颗粒表面上形成固定层。在固定层外围,静电引力较小,水化离子和极性水分子活动性比在固定层中大些,形成扩散层。固定层与扩散层中的水分分别称为强结合水和弱结合水。

强结合水是指紧靠土粒表面的结合水,受表面静电引力最强。这部分水的特征是没有溶解盐类的能力,它因受到表面引力的控制而不能传递静水压力,只有吸热变为蒸汽时才能移动,没有溶解盐类的能力,性质接近于固体。密度约为 $1.2 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$,冰点为 -78°C ,具有极大的黏滞性、弹性和抗剪强度。如果将干燥的土样放在天然湿度和温度的空气中,土的质量增加,直到土中强结合水达到最大吸着度为止。土粒越细,土的比表面积越大,则土的吸着度越大。黏性土只含强结合水时,呈固体状态。

弱结合水是紧靠于的强结合水外围的一层结合水膜。在这层水膜范围内的水分子和水化阳离子仍受到一定程度的静电引力,随着离开土粒表面的距离增大,所受静电引力而迅速降低,距土粒表面稍远的地方,水分子虽仍为定向排列,但不如强吸结合水那么紧密和严格。这层水仍然不能传递静水压力,但弱结合水可以从较厚水膜处缓慢地迁移到较薄的水膜处。密度约为 $1.0 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ 。当土中含有较多的弱结合水时,则土具有一定的可塑性。砂土比表面积较小,几乎不具有可塑性,但黏性土的比表面积较大,弱结合水含量较多,其可塑性范围较大,这就是黏性土具有黏性的原因。

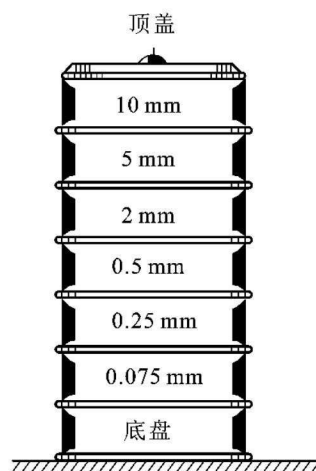


图 1-6 标准筛

弱结合水离土粒表面越远,其受到的电分子引力就越弱,并逐渐过渡为自由水。

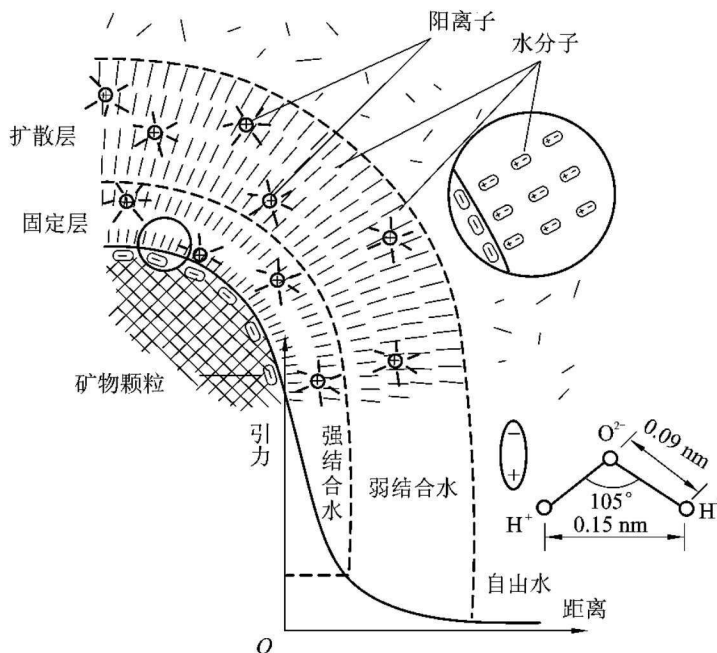


图 1-7 结合水分子定向排列及其所受电分子力变化的简图

(2) 自由水。

自由水是存在于土孔隙中土粒表面电场影响范围以外的水。它的性质与普通水一样,能传递静水压力,具有溶解能力,冰点为 0°C 。按照其移动所受作用力的不同,可分为重力水和毛细水。

在重力或水位差作用下能在土中流动的自由水称为重力水。它与普通水一样,具有溶解能力,能传递静水压力和动水压力,对土颗粒有浮力作用。它能溶蚀或析出土中的水溶盐,改变土的工程性质。当它在土孔隙中流动时,对所流经的土体施加渗流(亦称动水压力、渗透力),计算中应该考虑其影响。重力水对基坑开挖时的排水、地下构筑物的防水等产生较大影响。

毛细水是受到水与空气界面处表面张力作用的自由水。毛细水存在于地下水位以上的透水层中。土体内部存在着相互贯通的弯曲孔道,可以看成是许多形状不一、大小不同,彼此连通的毛细管。由于水分子和土粒分子之间的吸附力及水、气界面上的表面张力,地下水将沿着这些毛细管被吸引上来,而在地下水位以上形成一定高度的毛细水带。这一高度称为毛细水上升高度。它与土中孔隙的大小和形状,土粒的矿物质成分以及水的性质有关。土颗粒越细,毛细水上升越高,黏性土的毛细水上升较高,可达几米。而对孔隙较大的粗粒土,毛细水几乎不存在。在毛细水带内,只有靠近地下水位的一部分土的孔隙才被认为是被水充满的,这一部分就称为毛细水饱和带。

在毛细水带内,由于水、气界面上弯液面和表面张力的存在,使水内的压力小于大气压力,即水压力为负值。

在潮湿的粉、细砂中孔隙水仅存在于土粒接触点周围,彼此是不连续的。这时,由于孔隙中的气与大气连通存在毛细现象,因此,孔隙水的压力将小于大气压力。于是,将引起迫使相邻土

粒相互挤紧的压力,这个压力称为毛细水压力,如图 1-8 所示。由于毛细水压力的存在,增加了粒间错动的摩擦阻力。这种由毛细水压力引起的摩擦阻力犹如给予砂土以某些黏聚力,以致在潮湿的砂土中能开挖一定高度的直立坑壁。但一旦砂土被水浸饱和,则弯液面消失,毛细水压力变为零,这种黏聚力也就不再存在。因而,把这种黏聚力称为假黏聚力。

在工程中,应特别注意毛细水上升对建筑物地下部分的防潮措施、地基土的浸湿及地基与基础的冻胀的重要影响。

(3) 土的冻胀。

地面下一定深度的水温,随着大气温度的改变而改变。当大气负温传入土中时,土中的自由水首先冻结成冰晶体,随着气温的继续下降,弱结合水的最外层也开始冻结,使冰晶体逐渐扩大。这样使冰晶体周围土粒的结合水膜减薄,土里就会产生剩余的分子引力,另外,由于结合水膜的减薄,使得水膜中的离子浓度增加,产生了渗透压力(即当两种水溶液的浓度不同时,会在它们之间产生一种压力差,使浓度较小溶液中的水向浓度较大的溶液渗流)。在这两种引力的作用下,下卧未冻结区水膜较厚处的弱结合水被吸引到水膜较薄的冻结区,并参与冻结,使冰晶体增大,而不平衡引力却继续存在。假使下卧未冻结区存在着水源(如地下水距冻结区很近)及适当的水源补给通道(即毛细通道),能够源源不断地补充到冻结区来,那么未冻结区的水分(包括弱结合水和自由水)就会不断地向冻结区迁移和集聚,使冰晶体不断扩大,在土层中形成冰夹层,土体随之发生隆起,即产生冻胀现象。这种冰晶体的不断扩大,一直要到水源的补给断绝后才停止。

当土层解冻时,土中集聚的冰晶体融化,土体随之下陷,即出现融陷现象。土的冻胀现象和融陷现象是季节性冻土的特征,亦即土的冻胀性。

可见,冻胀和融陷都会对工程产生不利影响。特别是高寒地区,发生冻胀时,使路基隆起,柔性路面鼓包、开裂,刚性路面错缝或折断;修建在冻土上的建筑物,冻胀引起建筑物的开裂、倾斜甚至使轻型构筑物倒塌。而发生融陷后,路基土在车辆的反复碾压下,轻者路面变得较软,重者路面翻浆,也会使房屋、桥梁、涵管发生大量下沉或不均匀下沉,引起建筑物的开裂破坏。

3) 土中气体

土中气体是指充填在土的孔隙中的气体,包括与大气连通的和不连通的两类。

与大气连通的气体对土的工程性质没有多大的影响,当土受到外力作用时,这种气体很快从孔隙中挤出;但是密闭的气体对土的工程性质有很大的影响,密闭气体的成分可能是空气、水汽或天然气等。在压力作用下这种气体可被压缩或溶解于水中,而当压力减小时,气泡会恢复原状或重新游离出来。封闭气体的存在,增大了土的弹性和压缩性,降低了土的透水性。

土中气体的成分与大气成分比较,主要区别在于 CO_2 、 O_2 及 N_2 的含量不同。一般土中气体中含有更多的 CO_2 ,较少的 O_2 ,较多的 N_2 。土中气体与大气的交换越困难,两者的差别就越大。

含气体的土称为非饱和土,非饱和土的工程性质研究已经形成土力学的一个新的分支。

4) 土的结构

土的结构是指土粒的大小、形状、相互排列及其连接关系的综合特征。一般分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型,如图 1-9 所示。

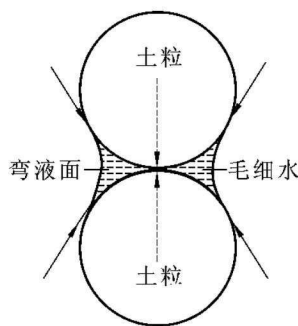


图 1-8 毛细水压力示意图

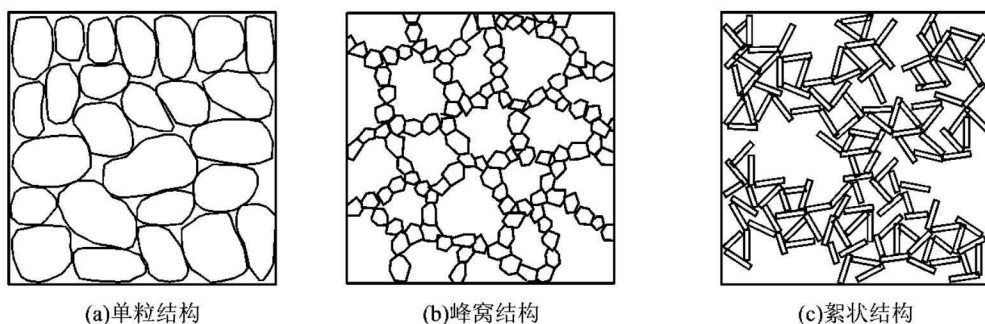


图 1-9 土的结构

(1) 单粒结构。

单粒结构是无黏性土的结构特征,是由粗大土粒在水或空气中下沉而形成的。其特点是土粒间没有连接存在,或者连接非常微弱,可以忽略不计。

土的密实程度受沉积条件影响。如土粒受波浪的反复冲击推动作用,其结构紧密,强度大,压缩性小,是良好的天然地基。而洪水冲积形成的砂层和砾石层,一般较疏松,如图 1-10 所示。由于孔隙大,土的骨架不稳定,当受到动力荷载或其他外力作用时,土粒易于移动,从而趋于更加稳定的状态,同时产生较大变形,这种土不宜做天然地基。如果细砂或粉砂处于饱和疏松状态,在强烈的振动作用下,土的结构会突然破坏,在瞬间变成了流动状态,即所谓“液化”,使得土体强度丧失,在地震区将产生震害。1976 年唐山大地震后,当地许多地方出现了喷砂冒水现象,这就是砂土液化的结果。

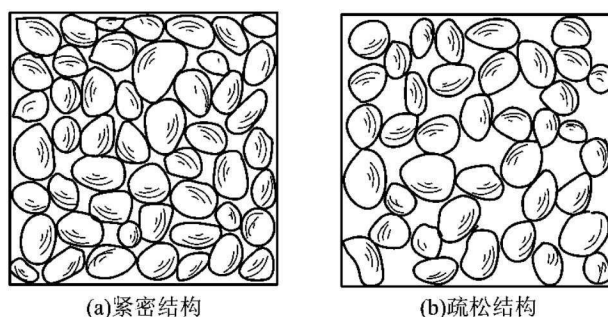


图 1-10 单粒结构

密实状态的单粒结构,其土粒排列紧密,强度较大,压缩性小,是较为良好的天然地基。单粒结构的紧密程度取决于矿物成分、颗粒形状、颗粒级配。片状矿物颗粒组成的砂土最为疏松;浑圆的颗粒组成的土比带棱角的容易趋向密实;土粒的级配愈不均匀,结构愈紧密。

(2) 蜂窝结构。

蜂窝状结构是以粉粒为主的土的结构特征。粒径在 $0.075 \sim 0.005 \text{ mm}$ 左右的土粒在水中沉积时,基本上是单个颗粒下沉,当碰上已沉积的土粒时,由于土粒间的引力大于其重力,因此颗粒就停留在最初的接触点上不再下沉,形成大孔隙的蜂窝状结构,如图 1-11 所示。

(3) 絮状结构。

絮状结构是黏土颗粒特有的结构特征。悬浮在水中的黏粒(粒径 $< 0.005 \text{ mm}$)被带到电解

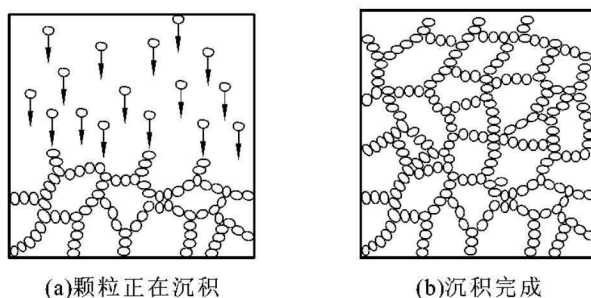


图 1-11 蜂窝结构

质浓度较大的环境中(如海水),黏粒间的排斥力因电荷中和而破坏,土粒互相聚合,形成絮状物下沉,沉积为大孔隙的絮状结构,如图 1-12 所示。

具有蜂窝结构和絮状结构的土存在大量的细微孔隙,渗透性小,压缩性大,强度低,土粒间连接较弱,受扰动时土粒接触点可能脱离,导致结构强度损失,强度迅速下降;而后随着时间增长,强度还会逐渐恢复。其土粒之间的连接强度往往由于长期的压密作用和胶结作用而得到加强。

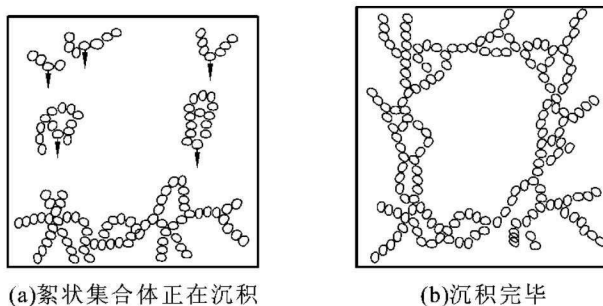


图 1-12 絮状结构

5) 土的构造

土的构造是指同一土层中土颗粒之间的相互关系特征。通常分为层状构造、分散构造和裂隙构造。

层状构造是指土粒在沉积过程中,由于不同阶段沉积的物质成分、粒径大小或颜色不同,沿竖向呈现层状特征。层状构造反映不同年代不同搬运条件形成的土层,是细粒土的一个重要特征。

分散构造的土层中的土粒分布均匀,性质相近,常见于厚度较大的粗粒土。通常其工程性质较好。

裂隙构造是指土体被许多不连续的小裂隙所分割。某些硬塑或坚硬状态的黏性土具有此种构造。裂隙的存在大大降低了土体的强度和稳定性,由于其增大了透水性,对工程不利。

三、任务实施

【例 1-1】 某三种土样,筛分结果如表 1-2 所示。试绘制级配曲线,并计算 C_u 和 C_v 。