

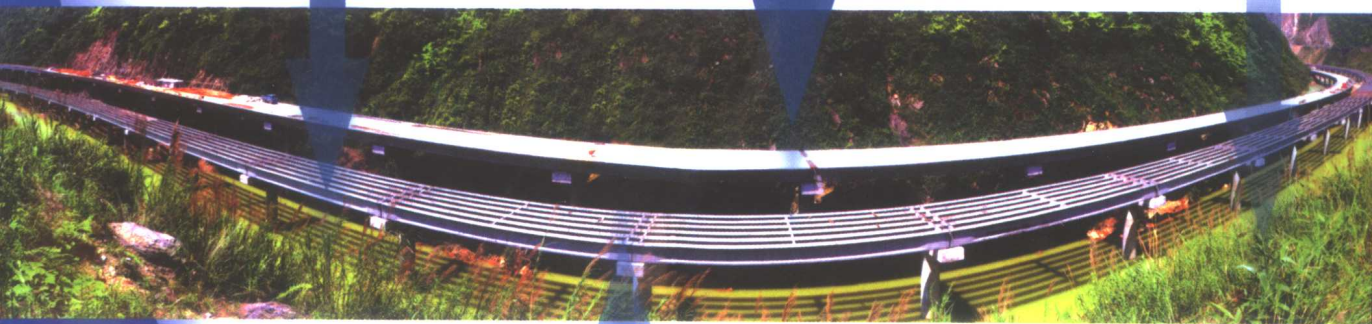
高等学校教材

土力学与地基基础

◎ 唐 芬 唐德兰 主 编

◎ 牛 霞 谢远光 副主编

◎ 杨渡军 主 审



人民交通出版社
China Communications Press

高等学校教材

Tulixue Yu Diji Jichu

土力学与地基基础

唐 芬	唐德兰	主 编
牛 霞	谢远光	副主编
杨渡军		主 审



人民交通出版社

内 容 提 要

本教材主要内容包括上篇“土力学”和下篇“基础工程”,共分十二章:土的物理性质及工程分类;土中水的运动;土中应力;土的压缩性与沉降;土的抗剪强度;土压力;土的稳定性;地基承载力;天然地基上的浅基础;桩基础;地基处理;沉井基础。

本教材适用于大专院校公路与桥梁等专业的学生使用,也可作为相关专业从业人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/唐芬,唐德兰主编. —北京:人民交通出版社, 2004.8

ISBN 7-114-05161-1

I. 土… II. ①唐… ②唐… III. ①土力学②地基—基础(工程) IV.TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 072653 号

书 名: 土力学与地基基础

著 作 者: 唐 芬 唐德兰

责任编辑: 钱悦良

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京明十三陵印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 20.25

字 数: 504 千

版 次: 2004 年 9 月第 1 版

印 次: 2004 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

书 号: ISBN7-114-05161-1

印 数: 0001—4000 册

定 价: 38.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

本教材主要根据道路、桥梁等专业的教学要求,针对高职学生、应用技术本科学生及施工技术人员而编写,在编写时,兼顾了扩大知识面的要求,力图知识面涵盖范围广。主要内容包括上篇“土力学”和下篇“基础工程”。为了让学生易于理解和自学,在编写过程中尽量编写得详尽、浅显易懂,并加入了大量典型例题。为了便于学生复习,在各章节末增附了大量的思考题和习题。

本教材以“土体、地基与基础一体化”的宏观思维为指导,结合道路工程、桥梁工程和工业与民用建筑工程的特色,注重理论与工程实践的有机结合。

本教材由重庆交通学院道桥系道桥教研室编写,编写人员为:绪论由重庆交通学院陈洪凯教授编写;第一章、第七章由牛霞老师编写;第三章由谢远光副教授编写;第五章、第六章和第八章,第九章由唐德兰老师编写;第十章由张凤龙老师编写;第二章、第四章、第十一章、第十二章由唐芬老师编写。

全书由唐芬、唐德兰主编,牛霞、谢远光副主编,杨渡军(重庆交通学院)主审。

在本书编写过程中,重庆交通学院陈洪凯教授给予了热情指导,在此表示衷心感谢。

限于编者的水平,本书一定存在不少缺点,热切希望读者提出批评和建议。

目 录

绪论	(1)
----	-----

上篇 土 力 学

第一章 土的物理性质及工程分类	(7)
1.1 土的组成	(7)
1.2 土的三相指标	(12)
1.3 无粘性土的密实度	(17)
1.4 粘性土的物理特征	(20)
1.5 土的工程分类	(22)
习题	(28)
第二章 土中水的运动	(30)
2.1 土的渗透性	(30)
2.2 渗透破坏与控制	(37)
2.3 土的毛细性	(40)
思考题与习题	(43)
第三章 土中应力	(45)
3.1 土中自重应力	(46)
3.2 基底应力	(49)
3.3 土中附加应力	(52)
思考题与习题	(65)
第四章 土的压缩性与沉降	(67)
4.1 土的压缩性	(67)
4.2 饱和土中的有效应力	(73)
4.3 土的单向固结理论	(74)
4.4 地基的最终沉降量	(79)
思考题与习题	(90)
第五章 土的抗剪强度	(92)
5.1 土的抗剪强度理论	(93)
5.2 抗剪强度计算示例	(98)
思考题与习题	(99)
第六章 土压力	(100)
6.1 挡土墙的形式及土压力分类	(100)
6.2 静止土压力	(102)
6.3 朗金土压力理论	(104)
6.4 库仑土压力理论	(111)

思考题与习题	(116)
第七章 土坡的稳定性	(117)
7.1 砂性土坡的稳定分析	(117)
7.2 粘性土坡的稳定性分析	(118)
思考题与习题	(126)
第八章 地基承载力	(128)
8.1 按规范方法确定地基容许承载力	(128)
8.2 地基承载力的理论公式	(131)
8.3 极限荷载计算	(135)

下篇 基础工程

第九章 天然地基上的浅基础	(143)
9.1 浅基础分类	(143)
9.2 浅基础的地基破坏模式	(145)
9.3 天然地基上浅基础的常用形式及构造类型	(147)
9.4 基础埋置深度的确定及刚性扩大基础尺寸的拟定	(149)
9.5 刚性扩大基础的施工	(158)
思考题与习题	(177)
第十章 桩基础	(179)
10.1 桩和桩基础的类型及构造	(179)
10.2 桩基础的施工	(184)
10.3 单桩承载力	(197)
10.4 基桩内力和位移计算	(213)
10.5 群桩基础的竖向分析及其验算	(234)
10.6 承台的计算	(238)
10.7 桩基础的设计	(240)
第十一章 地基处理	(245)
11.1 概述	(245)
11.2 换土(垫)法	(247)
11.3 密实法	(249)
11.4 排水固结法	(260)
11.5 化学加固法	(271)
思考题与习题	(275)
第十二章 沉井基础	(276)
12.1 沉井的基本概念、作用及适用条件	(276)
12.2 沉井的类型和构造	(276)
12.3 沉井的施工	(280)
12.4 沉井的设计与计算	(284)
附表	(298)
参考文献	(315)

绪 论

一、土力学与基础工程的研究对象与发展简史

土质学与土力学是以土体作为建筑物的地基、材料或介质来研究的一门学科,主要研究土体的物理、力学性质,研究土体的变形及强度规律;三相理论、强度理论、变形理论及渗透理论构成土质学与土力学的四大核心。而土坡稳定、土压力及地基承载力主要利用强度理论分析土木工程中的具体问题,基础工程则是土力学理论在建筑工程中的实际应用。

土力学的研究始于 18 世纪工业革命时期,由于工业发展的需要,建筑的规模扩大了,更由于铁路修筑出现了一系列路基问题。因此最初的土力学理论多与解决路基问题有关。1773 年法国的 C. A. Coulomb 创立了著名的砂土抗剪强度公式,并由 Mohr 加以发展构建了土的 Mohr-Coulomb 强度理论,为土压力、地基承载力和土坡稳定分析奠定了基础。1776 年 Coulomb 发表了建立滑动土楔平衡条件分析了挡土结构物上的土压力理论(Coulomb 土压力理论)。1857 年 Rankine 提出了建立在土的极限平衡条件基础上的土压力理论(Rankine 土压力理论)。1885 年 Bousinesq 和 1892 年 Flamant 分别提出了均匀的、各向同性半无限体表面在竖直集中力和线荷载作用下的位移和应力分析理论。这些早期的著名理论奠定了土力学的基础,可称之为古典土力学时期。20 世纪初,Prandtl 根据塑性平衡的原理,研究了坚硬物体压入较软的、均匀的、各向同性材料的过程,推导得出著名的极限承载力公式,Terzaghi、Meyerhof、Vesic 和 Hansen 等分别对 Prandtl 极限承载力公式进行修正、补充和完善;Fellenius 提出了著名的瑞典圆弧法用于分析土坡稳定;特别是 Terzaghi 建立了饱和土的有效应力理论和一维固结理论;Biot 建立了土骨架压缩和渗透耦合理论。20 世纪中叶 Terzaghi 的《理论土力学》以及 Terzaghi 与 Peck 合著的《工程实用土力学》的出版,标志着近代土力学时期的结束。

近数十年来,由于土木工程建设的需要,尤其是计算技术和手段的引入,使土力学与基础工程得到快速发展。目前已经可以把变形和强度问题统一起来进行分析,并可考虑土的非线性应力应变性状,基础工程和地基处理技术,无论在理论上还是施工技术方面,都有了高度发展。目前有一个倾向,把工程地质勘察、基础工程和地基处理三个方面的工作结合起来,统称岩土工程。

二、课程的性质、地位和任务

土力学是一门以土体作为研究对象,研究与土的工程问题有关的学科,属于岩土工程学科的重要组成部分,是工程力学与地质学有机结合的边缘学科,基础工程则是土力学理论在土木工程中的具体应用。显然,土力学与地基基础是土木工程学科的重要专业基础课,是岩土工程学科的重要专业课。

从事道路工程、桥梁工程和工业与民用建筑工程的技术人员在工程实践中将会遇到大量的与土有关的工程技术问题。

在路基工程中,土是修筑路堤的基本材料,同时又是支撑路基的地基。路堤的临界高度和

边坡的取值都与土的物理力学指标相关;为了获得具有一定强度和良好水稳定性的路基,需要采用碾压的施工方法压实填土,而碾压的质量控制方法是基于对土的击实性的研究成果;挡土墙基础形式、土压力计算、软土地基的工程特性、不同土体的筑路性能等均与土力学与地基基础密切相关。

在道路工程中,道路的冻胀与翻浆在我国北方地区是非常突出的。土体的冻胀力学,防治冻害的有效措施也是以土力学原理为基础的;稳定土是比较经济的基层材料,是根据土的物理化学性质提出的一种土质改良措施;道路一般在车辆的重复荷载作用下工作,因此需要研究土体在重复荷载作用下的变形特性。

在桥梁工程中,基础工程常常是能否在预选桥址建桥的技术关键,基础类型、尺寸及持力层的选择等均依赖于土力学与地基基础理论知识,基础工程的造价占总造价的比重很大,一般在30%~50%;对于超静定的大跨度桥梁结构,基础的沉降、倾斜或水平位移是引起结构过大应力的重要原因,因此,桥头跳车本质是桥墩与高填土之间的差异沉降。

综上所述,土力学与地基基础在交通土建及土木建筑工程中具有重要的地位。本课程的主要任务是为本土木工程专业学生比较全面、深入地讲述土体的三相理论、变形理论、强度理论、渗透理论及其工程应用的基本原理和基本方法。

三、课程的内容、要求和学习方法

本书根据道路、桥梁等专业的教学要求,并兼顾扩大知识面的要求编写。内容分上、下两篇,包括土的物理性质及工程分类、水在土中的运动、土中应力、土的压缩性与沉降、土的抗剪强度、土压力、土坡的稳定性、地基承载力、天然地基上的浅基础、桩基础、地基处理、沉井基础等章节。

学生在学习过程中,要求树立土体、地基与基础一体化的宏观思维,牢固掌握土的性质、应力、变形、强度和地基计算等土力学基本原理,从而能够应用这基本概念和原理,结合有关的力学和结构理论,以及施工知识,分析和解决地基基础问题。学习时需要重视以下几个方面:

第一,重视土工试验方法

土力学计算和基础设计中所需的各种参数,必须通过室内及原位土工试验。掌握每种测试技术与现场的模拟相似性。

第二,重视地区经验

土力学与地基基础是一门实践性很强的学科,又由于土的复杂性,目前在解决地基基础问题时,还带有一定的经验。土力学与地基基础中,存在有大量的经验公式,尤其在土体力学参数选择、地基基础的设计中,应该充分重视地区经验。

第三,考虑地基、基础与上部结构的共同作用

地基、基础和上部结构是一个共同的整体,它们相互依存,相互影响。设计时应该充分考虑三者的共同作用。

第四,施工质量的重要性

基础工程是隐蔽工程,正由于它是埋置于地下,往往被人们所忽视,基础工程存在问题的后期补救比上部结构困难得多,因此,基础工程的施工质量与上部结构一样,应受到足够的重视。

土力学与地基基础不仅要重视理论知识的学习,还要重视土工实验和工程实例的分析研究,只有通过土工实验,通过工程实例的分析,才能加深对土力学理论的认识,才能不断地提高

处理地基基础的能力。土的种类很多,工程性质很复杂,重要的不是一些具体的知识,而是要搞清土力学中的一些概念,而不要死记硬背某些条文和数字,土力学是一门技术学科,重要的是要学会如何应用基本理论去解决具体工程问题。学习某种分析方法,不仅要掌握计算方法本身,而且要搞清分析方法所应用的参数以及参数的测定方法,还要搞清它的适用范围。应用土力学解决工程问题要重视理论、室内外试验测试和工程经验三者相结合,在学习土力学基本理论时就要牢固建立这一思想。

上篇 土 力 学

第一章 土的物理性质及工程分类

本章主要讨论土的物质组成以及定性、定量描述其物理组成的方法,包括土的三相组成、土的三相指标、土的结构构造、粘性土的界限含水量、砂土的密实度和土的工程分类等。这些内容是学习土力学原理和基础工程设计与施工技术所必需的基本知识,也是评价土的工程性质、分析与解决土的工程技术问题时讨论的最基本的内容。

1.1 土的组成

自然界的土是由岩石在风化作用下形成的大小悬殊的颗粒,经过不同的搬运方式,在各种自然环境中生成的无粘结或弱粘结的沉积物。因此,母岩成分、风化性质、搬运过程和堆积的环境是影响土的组成的主要因素,而土的组成又是决定地基土工程性质的基础。在天然状态下,土体一般由固相(固体颗粒)、液相(土孔隙中的水)和气相(土孔隙中的气体)三部分组成,简称为土的三相体系。土中固体颗粒的矿物成分各异,其土粒间的联结也比较微弱。在外力作用下,土体并不显示出一般固体的特性,土粒间的联结也并不像胶体那样易于相对位移,也不表现出一般液体的特性。因此,在研究土的工程性质时,既有别于固体力学,也有别于流体力学。

在古典土力学中,研究土的各种工程性质时,首先注意到土粒的物理特性(例如土粒的大小、形状等)、土的物理状态以及土的三相比例关系。而在近代土力学中,还要注意到土的三相在空间的分布、排列以及土粒间的联结对土体的性质的重要影响。

1.1.1 土的三相组成

1. 土中固体颗粒(固相)

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,称为土粒。无机矿物颗粒由原生矿物和次生矿物组成。

原生矿物是指地壳岩浆在冷凝过程中形成的矿物,如石英、长石、云母等。原生矿物颗粒是原岩经物理风化(机械破碎的过程)形成的,其物理化学性质较稳定,其成分与母岩完全相同。原生矿物经化学风化作用发生化学变化而形成新的次生矿物,如三氧化二铁、三氧化二铝、次生二氧化硅、粘土矿物、碳酸盐等。次生矿物按其与水的作用可分为可溶的或不可溶的。可溶的次生矿物按其溶解难易程度又可分为易溶的、中溶的和难溶的。次生矿物的成分和性质均较复杂,对土的工程性质影响也较大。

在风化过程中,往往有微生物的参与,在土中产生有机质成分,如多种复杂的腐殖质矿物。此外,在土中还会有动植物残骸体等有机残余物,如泥炭等。有机质对土的工程性质影响很大。但目前对土的有机质组成的研究还很不够。

2. 土中水(液相)

土中的水可以处于液态、固态或气态。不同形态的水,在一定条件下会相互转化,并对土

的性质起着重要作用。一般液态水可视为中性、无色、无味、无臭的液体,其质量密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$,重力密度为 $9.81\text{kN}/\text{m}^3$ 。实际上,土中水是成分复杂的电解质水溶液,它和亲水性的矿物颗粒表面有着复杂的物理化学作用。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

当土粒与水相互作用时,土粒会吸附一部分水分子,在土粒表面形成一定厚度的水膜,成为结合水。结合水是指受电分子吸引力吸附于土粒表面的土中水,或称束缚水、吸附水。这种电分子吸引力高达几千到几万个大气压,使水分子和土粒表面牢固地粘结在一起。结合水受土粒表面引力的控制而不服从静水力学规律。结合水的密度、粘滞度均比一般正常水偏高,冰点低于 0°C ,且只有吸热变成蒸气才能移动。以上特征随着离开土粒表面的距离而变化,愈靠近土粒表面的水分子,受土粒的吸引力愈强,与正常水的性质差别愈大。因此,按这种吸引力的强弱,结合水进一步可分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膜,亦称吸着水。它的特征是没有溶解盐类的能力,不能传递静水压力,只有吸热变成蒸气时才能移动。这种水极其牢固地结合在土粒表面,其性质接近于固体,密度约为 $1.2\sim 2.4\text{g}/\text{cm}^3$,冰点可降至 -78°C ,具有极大的粘滞度、弹性和抗剪强度。如果将干燥的土置于天然湿度的空气中,则土的质量将增加,直到土中吸着水达到最大吸着度为止。强结合水的厚度很薄,只有几个水分子厚度,但其中阳离子的浓度最大,水分子的定向排列特征最明显。粘性土中只含有强结合水时,呈固体状态,磨碎后则呈粉末状态。

弱结合水是紧靠于强结合水的外围而形成的结合水膜,亦称薄膜水。它仍然不能传递静水压力,但较厚的弱结合水膜能向邻近较薄的水膜缓慢转移。当土中含有较多的弱结合水时,土则具有一定的可塑性。弱结合水离土粒表面愈远,其受到的电分子吸引力愈弱,并逐渐过渡到自由水。弱结合水的厚度,对粘性土的粘性特征及工程性质有很大影响。

(2)自由水

自由水是存在于土粒表面电场影响范围以外的水。它的性质和正常水一样,能传递静水压力,冰点为 0°C ,有溶解能力。自由水按其移动所受作用力的不同,可以分为重力水和毛细水。

重力水是存在于地下水位以下的透水土层中的地下水,它是在重力或水头压力作用下运动的自由水,对土粒有浮力作用。重力水的渗流特征,是地下排水工程和防水工程的主要控制因素之一,对土中的应力状态和开挖基槽、基坑以及修筑地下构造物有重要的影响。

毛细水是存在于地下水位以上,受到水与空气交界面处表面张力作用的自由水。由于表面张力的作用,地下水沿着不规则的毛细孔上升,形成毛细水上升带,其上升高度与孔隙的大小有关。孔隙过大,不会形成毛细现象,孔隙过小则孔隙易被结合水填满。毛细水通常存在于 $0.002\sim 0.5\text{mm}$ 的孔隙中,如砂土、粉土及粉质粘土中。毛细水的上升会使地基润湿,降低强度,增大变形。毛细水上升到地表易使地表沼渍化、盐渍化,在寒冷地区还会加剧土的冻胀作用。

3. 土中气(气相)

土中的气体存在于土孔隙中未被水占据的部位。

在粗颗粒土中,常见到与大气相连通的气体,其含量决定于孔隙的体积和孔隙被水所填充的程度。在外力作用下,连通气体极易排出,所以它对土的工程性质影响不大。在细颗粒土中,则常存在与大气隔绝的封闭气泡。在外力作用下,土中封闭气体易溶于水,外力卸除后,溶

解的气体又重新释放出来,使得土的弹性增加,压缩性增大,透水性减小。另外,在淤泥、泥炭等有机质土中,由于微生物的活动,常积聚一定量的可燃性气体(如硫化氢、甲烷等),使土体在自重作用下长期得不到压密而形成高压缩性土。

土中气成分与大气成分比较,土中气含有更多的 CO_2 , 较少的 O_2 , 较多的 N_2 。土中气与大气的交换愈困难,两者的差别愈大。与大气连通不畅的地下工程施工中,尤其应注意氧气的补给,以保证施工人员的安全。

4. 土的结构和构造

土的结构是指土的物质组成(主要指土粒,也包括孔隙)的空间相互排列,以及土粒间的联结特征的综合。它对土的物理力学性质有重要的影响。

土的结构,按其颗粒的排列及联结,一般分为单粒结构、蜂窝结构及絮状结构三种基本类型。

单粒结构是由粗大土粒在水或空气中下沉而形成的,土颗粒相互间有稳定的空间位置,为碎石类土和砂类土的结构特征。因其颗粒较大,土粒间的分子引力相对很小,所以颗粒间几乎没有联结。只有在浸润条件下(潮湿而不饱和),粒间会有微弱的毛细水联结。因其生成条件不同,单粒结构可以是疏松的[图 1-1a)],也可以是紧密的[图 1-1b)]。疏松的单粒结构,土粒间排列疏松,孔隙较大,当受到振动或其他外力作用时,土粒易于发生移动,产生较大的压缩变形,因此该类土层如果未经处理,不宜作建筑物的天然地基;紧密的单粒结构,由于其土粒排列紧密,在动、静荷载作用下都不会产生较大的沉降,所以强度较大,压缩性较小,是较为良好的天然地基。

蜂窝结构是主要由粉粒组成的土的结构形式。粉粒粒间力大于重力作用。当其在沉积过程中碰到已沉积的土粒时,会受粒间引力作用而停留在土粒表面不再下沉,形成了具有很大孔隙的蜂窝结构,如图 1-1c)所示。

絮状结构是由更细的粘粒组成的土的结构形式。这些粘粒悬浮在水中,不会因自重而下沉。当悬浮液中电解质浓度达到一定程度,粘粒间的排斥力因电荷中和而遭到破坏,粘粒便凝聚成絮状的集合体,当汇聚到一定质量时,在重力作用下沉,并与已沉积的絮状集合体接触,形成孔隙很大的絮状结构,如图 1-1d)所示。

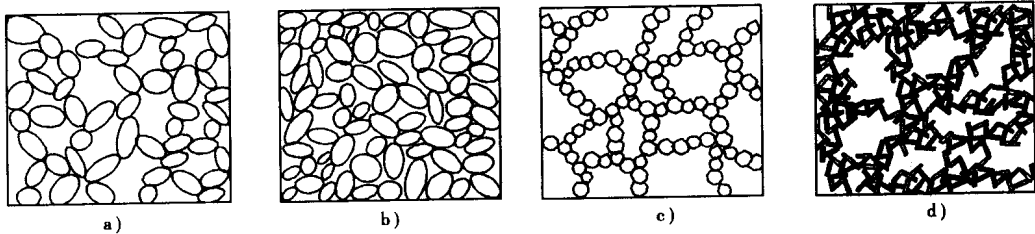


图 1-1 土的结构

a)、b)单粒结构;c)蜂窝结构;d)絮状结构

土的三种结构中,密实的单粒结构强度高,压缩性小,工程性质良好;具有蜂窝结构和絮状结构的土,颗粒间孔隙大,压缩性大,强度低,透水性差,土粒间联结较弱且不稳定,在外力扰动时(如施工影响)土粒接触点可能脱离,土结构遭到破坏,从而导致土的强度迅速降低。另外,具有这两种结构的土,其粒间的联结力会由于长期的压密作用和胶结作用而得到加强。

在同一土层的物质成分和颗粒大小等都相近的各部分之间的相互关系的特征称为土的构

造。土的构造最主要的特征就是成层性,即层理构造。它是在土的生成过程中,由于不同阶段沉积的物质成分、颗粒大小或颜色不同,而沿竖向呈现的成层特征。土的构造的另一特征是土的裂隙性,如黄土的柱状裂隙。裂隙的存在大大降低土体的强度和稳定性,增大透水性,对工程不利。此外,也应注意到土中是否有包裹物(如腐殖物、贝壳、结核体等)以及天然或人为的孔洞存在。这些构造特征都造成土的不均匀性。

1.1.2 土粒粒度成分分析方法

在自然界中存在的土,都是由大小不同的土粒组成。土粒的粒径由粗到细逐渐变化时,土的性质相应的发生变化。土粒的大小称为粒度,通常以粒径表示。界于一定粒度范围内的土粒,称为粒组。各个粒组随着分界尺寸的不同,而呈现出一定质的变化。划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。土的粒组划分方法各行业部门并不完全一致,表 1-1 是一种常用的土粒粒组的划分方法,表中根据国标《土的分类标准》(GBJ 145—90)新规定的界限粒径 200、60、2、0.075 和 0.005mm 把土粒粒组分为巨粒、粗粒和细粒三个统称,再分为六大粒组:漂石或块石颗粒、卵石或碎石颗粒、圆砾或角砾颗粒、砂粒、粉粒及粘粒。

土粒的大小及其组成情况,通常以土中各个粒组的相对含量(是指土样各粒组的质量占土粒总质量的百分数)来表示,称为土的颗粒级配或粒度成分。

土 粒 粒 组 的 划 分 表 1-1

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,无粘性,无毛细水
	卵石或碎石颗粒		200 ~ 60	
粗 粒	圆砾或角砾颗粒	粗	60 ~ 20	透水性大,无粘性,毛细水上升高度不超过粒径大小
		中	20 ~ 5	
		细	5 ~ 2	
	砂 粒	粗	2 ~ 0.5	易透水,当混入云母等杂质时透水性减小,而压缩性增加,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 ~ 0.25	
		细	0.25 ~ 0.075	
细 粒	粉 粒		0.075 ~ 0.005	透水性小,湿时稍有粘性,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
	粘 粒		< 0.005	透水性很小,湿时有粘性、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

注:①漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆状(圆形或亚圆形),块石、碎石和角砾颗粒均呈棱角状。

②粉粒或称粉土粒,粉粒的粒径上限 0.075mm 相当于 200 号筛的孔径。

③粘粒或称粘土粒,粘粒的粒径上限也有采用 0.002mm 为标准的。

1. 颗粒分析试验

土的颗粒级配或粒度成分是通过土的颗粒分析试验测定的,常用的测定方法有筛分法和沉降分析法。前者是用于粒径小于等于 60mm、大于 0.075mm 的粗粒组,后者用于粒径小于 0.075mm 的细粒组。当土内兼含大于和小于 0.075mm 的土粒时,两类分析方法可联合使用。沉降分析法有密度计法(比重计法)、移液管法等。

筛分法试验是将风干、分散的代表性土样通过一套自上而下孔径由大到小的标准筛(例如

60、20、2、0.5、0.25、0.1、0.075mm), 称出留在各个筛子上的干土重, 即可求得各个粒组的相对含量。通过计算可得到小于某一筛孔直径土粒的累积重量及累计百分含量。

沉降分析法的理论基础是土粒在水中的沉降原理, 如图 1-2 所示。将定量的土样与水混合倾注量筒中, 悬液经过搅拌, 使各种粒径的土粒在悬液中均匀分布, 此时悬液浓度(单位体积悬液内含有的土粒重量)在上下不同深度处是相等的。但静置后, 土粒在悬液中下沉, 较粗的颗粒沉降较快, 图中在深处 L_i 只含有 $\leq d_i$ 的土粒, 悬液浓度降低了。如在 L_i 深度处考虑一小区段 mn , 则 mn 段悬液的浓度(t_i 时)与开始浓度($t=0$)之比, 即可求得 $\leq d_i$ 的累计百分含量。关于 d_i 的计算原理, 土粒下沉时的速度与土粒的形状、粒径、质量密度以及水的粘滞度有关。当土粒简化为理想球体时, 土粒的沉降速度可以用 G.G. 斯笃克斯(Stokes, 1845)定律计算:

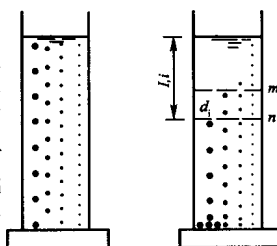


图 1-2 土粒在悬液中的沉降

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\eta} g d^2 \quad (1-1)$$

式中: v ——土粒在水中的沉降速度, cm/s;

g ——重力加速度, 0.0981 cm/s^2 ;

ρ_s, d ——土粒的密度, g/cm^3 和直径, cm;

ρ_w, η ——水的密度, g/cm^3 和粘滞度, $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。

进一步考虑将速度 v 和土粒密度 ρ_s 可表达为:

$$v = \frac{\text{距离}}{\text{时间}} = \frac{L}{t} \text{ 和 } \rho_s = G_s \rho_{wl} \approx G_s \rho_w$$

代入式(1-1), 可变换为

$$d = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\rho_w g}} \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (1-2)$$

水的 η 值由温度确定, 斯笃克斯定律假定: ①颗粒是球形的; ②颗粒周围的水流是线流; ③颗粒大小要比分子大得多。理论公式求得的粒径并不是实际的土粒尺寸, 而是与实际土粒在液体中具有相同沉降速度的理想球体的直径(称为水力当量直径)。此时, 土粒沉降距离 L 处悬液密度, 可采用密度计法(即比重计法)或移液管法测得, 并可由此计算出小于该粒径 d 的累计百分含量。采用不同的测试时间 t , 即可测得细颗粒各粒组的相对含量。

2. 颗粒级配累计曲线

根据颗粒分析试验结果, 常采用累计曲线法表示土的颗粒级配或粒度成分。该法是比较全面和通用的一种图解法, 其特点是可简单获得定量指标, 特别适用于几种土级配好坏的相对比较。累计曲线法的横坐标为粒径, 由于土粒粒径的值域很宽, 因此采用对数坐标表示; 纵坐标为小于(或大于)某粒径的土重(累计百分)含量, 见图 1-3。由累计曲线的坡度可以大致判断土粒的均匀程度或级配是否良好。如曲线较陡, 表示粒径大小相差不多, 土粒较均匀, 级配不良; 反之, 曲线平缓, 则表示粒径大小相差悬殊, 土粒不均匀, 即级配良好。

根据描述级配的累计曲线, 可以简单地确定土级配的两个定量指标, 即: 不均匀系数 C_u 及曲率系数 C_c , 其定义分别见表达式(1-3)和式(1-4)。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-3)$$