

土力学

SOIL MECHANICS

主编 龚文惠

普通高等院校土木专业“十一五”规划精品教材

Civil Professional Textbooks for the 11th Five-Year Plan

主审 王元汉

普通高等院校土木专业“十一五”规划精品教材

土 力 学

Soil Mechanics

丛书审定委员会：

王思敬 彭少民 石永久 白国良

李 杰 姜忻良 吴瑞麟 张智慧

本书主编：龚文惠

本书主审：王元汉

本书编写委员会：

龚文惠 贺建清 陈正发 冯玉芹

雷红军



华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土力学/龚文惠 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2007 年3 月
ISBN 978-7-5609-3929-2

I. 土… II. 龚… III. 土力学-高等学校-教材 IV. TU43

中国版本图书馆CIP 数据核字(2007)第 024212 号

土力学

龚文惠 主编

责任编辑:蒋玉霞

封面设计:张 璐

责任校对:张淑梅

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437,87557436

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:850×1168 1/16

印张:13

字数:252 000

版次:2007 年3 月第1 版

印次:2007 年3 月第1 次印刷

定价:25.00 元

ISBN 978-7-5609-3929-2/TU · 121

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书以土木专业指导委员会颁发的专业培养目标和课程教学大纲为依据,由富有多年教学和实践经验的作者编写而成。该书注重教材的科学性和实用性,力图体现学科发展的新水平,重视理论联系实际。通过本书的学习,读者可以了解土的成因和分类方法,熟悉土的基本物理力学性质,掌握土中应力、变形、渗流、强度、地基承载力、土压力等方面的基本理论和计算方法,掌握土坡稳定分析的方法,掌握一般土工试验方法,达到利用土力学基本原理和方法分析和解决实际问题的目的。

本书主要用于普通高等院校土力学专业作为授课教材,也可作为普通读者和相关领域的工作者的学习参考书。

总 序

教育可理解为教书与育人。所谓教书,不外乎是教给学生科学知识、技术方法和运作技能等,教学生以安身之本。所谓育人,则要教给学生做人道理,提升学生的人文素质和科学精神,教学生以立命之本。我们教育工作者应该从中华民族振兴的历史使命出发,来从事教书与育人工作。作为教育本源之一的教材,必然要承载教书和育人的双重责任,体现两者的高度结合。

中国经济建设高速持续发展,国家对各类建筑人才需求日增,对高校土建类高素质人才培养提出了新的要求,从而对土建类教材建设也提出了新的要求。这套教材正是为了适应当今时代对高层次建设人才培养的需求而编写的。

一部好的教材应该把人文素质和科学精神的培养放在重要位置。教材中不仅要内容上体现人文素质教育 and 科学精神教育,而且还要从科学严谨性、法规权威性、工程技术创新性来启发和促进学生科学世界观的形成。简而言之,这套教材有以下特点:

一方面,从指导思想来讲,这套教材注意到“六个面向”,即面向社会需求、面向建筑实践、面向人才市场、面向教学改革、面向学生现状、面向新兴技术。

二方面,教材编写体系有所创新。结合具有土建类学科特色的教学理论、教学方法和教学模式,这套教材进行了许多新的教学方式的探索,如引入案例式教学、研讨式教学等。

三方面,这套教材适应现在教学改革发展的要求,提倡所谓“宽口径、少学时”的人才培养模式。在教学体系、教材编写内容及数量等方面也做了相应改变,而且教学起点也可随着学生水平做相应调整。同时,在这套教材编写中,特别重视人才的能力培养和基本技能培养,适应土建专业特别强调实践性的要求。

我们希望这套教材能有助于培养适应社会发展需要的、素质全面的新型工程建设人才。我们也相信这套教材能达到这个目标,从形式到内容都成为精品,为教师和学生,以及专业人士所喜爱。

中国工程院院士 王思敬

2006年6月于北京

前 言

土力学是我国高等学校土木工程专业必修的一门专业基础课。本书是以土木专业指导委员会颁发的专业培养目标和课程教学大纲为依据编写而成的。编写时,广泛听取了各高等院校对近年来本课程的教学及教材的意见,并考虑了包括建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程等在内的新土木工程专业的需求。在编写过程中,编者依据多年的教学 and 实践经验,并参考了相关教材和文献资料,注重教材的科学性和实用性,力图体现学科发展的新水平,重视理论联系实际,在保证系统性的基础上突出重点,并力求做到叙述简明、文字简练。

本书采用了法定计量单位和新规范。为便于学习,每章末都归纳了学习要点,并附有思考题和习题,书末附有参考文献和习题参考答案。

全书共 11 章,第 1、4、5、8、9 章由华中科技大学龚文惠编写,第 2 章和第 11 章由山东理工大学陈正发编写,第 3 章由内蒙古科技大学冯玉芹和华中科技大学龚文惠编写,第 6、7 章由湖南科技大学贺建清编写,第 10 章由清华大学雷红军编写。全书由龚文惠完成统稿和修改工作。

本课程的先修课程主要有工程地质学、材料力学、弹性力学等,直接相关的后续课程为基础工程。学习时,应注意循序渐进,并将前后内容联系起来、融会贯通,还要注重理论联系实际。

通过本课程的学习,应了解土的成因和分类方法,熟悉土的基本物理力学性质,重点掌握土中应力、变形、渗流、强度、地基承载力、土压力等方面的基本理论和计算方法,掌握土坡稳定分析的方法,掌握一般土工试验方法,达到能利用土力学的基本原理和方法分析和解决实际岩土工程中地基的应力、变形、渗流、强度、稳定等基本问题的目的。

华中科技大学宁虎、刘军、陈锋、罗重阳及湖北省交通规划设计院黄燕宏为本书的文字录入和图形绘制做了大量工作,在此深表感谢。

本书由华中科技大学龚文惠任主编,贺建清、陈正发任副主编,华中科技大学王元汉教授主审。

由于水平有限,书中难免有不当或疏漏之处,恳请各位同行、专家和广大读者不吝指正。

编 者

2006.10

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 土力学的概念及研究对象	(1)
1.2 土力学学科的发展概况	(1)
第2章 土的物理性质及工程分类	(3)
2.1 概述	(3)
2.2 土的成因	(3)
2.3 土的三相组成	(5)
2.4 土的物理性质及指标	(13)
2.5 无黏性土的物理状态指标	(18)
2.6 黏性土的特性和物理状态指标	(20)
2.7 地基土的工程分类	(21)
本章要点	(25)
思考题	(25)
习题	(25)
第3章 土的渗透性	(27)
3.1 概述	(27)
3.2 地下水的埋藏类型	(27)
3.3 土中一维渗透及其规律	(28)
3.4 土中二维渗透及流网	(32)
3.5 渗透破坏及防治	(34)
3.6 毛细水	(37)
本章要点	(37)
思考题	(38)
习题	(38)
第4章 土中应力	(39)
4.1 概述	(39)
4.2 土中自重应力	(39)
4.3 基底压力和基底附加压力	(42)
4.4 均质地基中的附加应力	(46)
4.5 非均质地基中的附加应力	(62)
本章要点	(64)
思考题	(64)
习题	(64)

第5章 土的压缩性及地基沉降	(67)
5.1 概述	(67)
5.2 土的压缩性	(67)
5.3 有效应力原理及太沙基单向固结理论	(70)
5.4 地基最终沉降量的计算	(75)
5.5 应力历史对地基沉降的影响	(91)
本章要点	(95)
思考题	(95)
习题	(96)
第6章 土的抗剪强度	(98)
6.1 概述	(98)
6.2 土的抗剪强度理论	(98)
6.3 土的极限平衡条件	(100)
6.4 土的抗剪强度的测定方法	(103)
6.5 饱和黏性土的抗剪强度	(108)
6.6 无黏性土的抗剪强度	(114)
本章要点	(114)
思考题	(115)
习题	(115)
第7章 地基承载力	(116)
7.1 概述	(116)
7.2 地基的变形和失稳破坏形式	(116)
7.3 地基临塑荷载和临界荷载	(118)
7.4 地基极限承载力	(120)
7.5 地基承载力确定	(125)
本章要点	(131)
思考题	(132)
习题	(132)
第8章 土压力	(133)
8.1 概述	(133)
8.2 土压力的分类	(133)
8.3 静止土压力	(135)
8.4 朗肯土压力理论	(136)
8.5 库仑土压力理论	(140)
8.6 特殊情况下的土压力计算	(145)
本章要点	(154)
思考题	(154)

习题	(154)
第 9 章 土坡的稳定分析	(156)
9.1 概述	(156)
9.2 无黏性土坡的稳定分析	(157)
9.3 黏性土坡的稳定分析	(157)
9.4 渗流和地震条件下的土坡稳定分析	(169)
9.5 土坡稳定分析中的若干问题	(172)
9.6 土坡失稳的原因及防治措施	(174)
本章要点	(175)
思考题	(176)
习题	(176)
第 10 章 土的动力特性	(177)
10.1 概述	(177)
10.2 土的动强度	(177)
10.3 砂土的振动液化	(181)
10.4 动荷载下土的应力 - 应变关系	(183)
本章要点	(185)
思考题	(186)
第 11 章 试验	(187)
11.1 概述	(187)
11.2 土的物理性质试验	(187)
11.3 土的固结试验	(190)
11.4 土的直剪试验	(193)
思考题	(195)
习题参考答案	(196)
参考文献	(198)

第1章 绪论

1.1 土力学的概念及研究对象

土是地壳表层的整体岩石经历物理、化学和生物风化以及搬运、沉积作用后形成的松散堆积物。岩石成分和风化类型的不同,直接导致土体成分的差异。搬运和沉积过程中的自然条件和各种随机因素的作用,致使土体具有不同的结构和构造。从母岩到形成土,经历了很长的地质年代,其间的风化、搬运和沉积过程是交错进行的,并且每一过程都会对土的性质产生影响,因此土的类型及性质与其成因有直接关系。

自然状态下,土是由土颗粒和填充于土颗粒孔隙中间的水、气体组成的三相体。土颗粒是母岩风化的碎屑物,其矿物成分及粒径的大小,直接决定土的基本物理、化学和力学性质。土粒间的孔隙是连续的,因而土体具有渗透性。土中水的存在对土的性质特别是黏性土的力学性质有很大的影响,如可降低土的强度和地基承载力等。另外,同一种类型的土中,三相的组成比例不同,土的性质也会出现较明显的差别。

在工程建设中,土与结构物之间有着极其密切的关系。在修建建筑物、桥梁、道路、堤坝及其他结构物时,下部的土层作为地基,其作用是支撑上部建筑物等传来的荷载,此时土的应力、变形和强度是需研究的主要问题;在修筑道路、堤坝时,堤坝内的土体若被用作建筑材料,则土的组成、渗流、压实性等物理力学性质是需研究的主要内容;在建造隧道、涵洞、地铁及其他地下建筑时,土作为地下结构的周围介质或环境,其稳定性及其与结构的相互作用则成了主要的研究对象。

总之,土力学的研究对象是土。它是研究土的基本物理特性和在结构物作用下的应力、变形、强度、稳定性、渗流以及土与结构物之间相互作用的一门力学学科。

1.2 土力学学科的发展概况

土力学是伴随着地基基础技术的进步而发展起来的。在我国,地基基础是一门古老的工程技术。远在春秋战国开始兴建的举世闻名的万里长城,因其成功地穿越了各种复杂的地质条件,所以历经千百年而屹立至今。许多宏伟壮丽的宫殿、古塔寺,也因其奠基牢固方可经受住历史上多次强风、地震的袭击而安然无恙。现今河南开封市的开封寺北宋木塔的预倾斜工艺、郑州隋朝超化寺的木桩基础、河北隋朝赵州桥的粗砂地基处理等,无不体现了我国历代劳动人民地基基础工程实践的高超技艺。

作为地基基础工程的理论基础的土力学,其发端始于18世纪的欧洲。随着欧洲工业革命的兴起及不断发展的城市建设,在大量兴建的铁路、公路、桥梁和水利工程

中,出现了许多与土有关的问题,对这些问题的研究和解决,促使了土力学理论的产生。1773年,法国的库伦(Coulomb)通过试验得出了著名的砂土抗剪强度公式,提出了计算挡土墙后散体材料土压力的滑动楔体理论(后称库伦土压力理论);1855年,法国的达西(Darcy)创立了土的层流渗透定律;1869年,英国的朗肯(Rankine)提出了基于极限平衡理论的朗肯土压力理论;1885年,法国的布辛奈斯克(Boussinesq)求得了弹性半空间表面在竖向集中力作用下的应力、变形理论解;1915年,瑞典的彼得森(Petterson)提出了黏性土坡稳定分析的圆弧法;1922年,瑞典的费兰纽斯(Fellenius)将其发展为整体圆弧滑动面法;1920年,法国的普朗德尔(Prandtl)提出了地基剪切破坏时的滑动面形状和极限承载力公式。这些古典的理论和方法,为土力学的诞生奠定了基础,至今仍不失其理论价值和实用价值。

1925年,美国的太沙基(Terzaghi)总结和发展了以往的成就,创立了土的有效应力原理,将土的应力、变形、强度等力学性质联系起来,发表了第一部《土力学》专著,从此土力学成为一门独立的学科。

从20世纪50年代起,现代科技特别是电子技术成果的大量渗入,在试验测试技术实现自动化的同时,土力学的理论也有了显著的进展。1957年召开的第四届国际土力学与地基基础工程会议,标志着土力学发展的新时期的开始。自1936年在美国麻州坎布里奇召开第一届国际土力学及基础工程学术会议以来,至今已召开了十四届。土力学的理论和实践取得了突飞猛进的发展。20世纪70年代以后,随着计算机技术的日益推广和有限单元法等各种数值方法的普遍采用,关于土的变形和强度的统一、土的非线性、土的固结、土的结构、土坡的稳定、地基的承载力等诸多方面的问题都得到了较为广泛和深入的研究,并取得了大量的成果。

在我国,土力学的理论研究起步较晚,但我国一些学者的成就在国际上仍是有影响的。早在20世纪50年代,陈宗基院士关于土的流变学和黏土结构的研究,黄文熙院士对土的液化的探讨以及考虑土的侧向变形的地基沉降计算方法的提出,对现代土力学的发展都有所推动。1957年,中国土木工程协会设立了土力学及基础工程委员会,后于1978年成立了土力学及基础工程学会。近年来,随着我国房屋建筑、交通工程、水电工程、石油开采等大型工程的建设,对一大批涉及土力学的困难问题进行了深入研究,在广大科技工作者的辛勤努力下,土力学学科的发展在我国已经取得了长足的进步。

第2章 土的物理性质及工程分类

2.1 概述

土是岩石经风化、搬运、沉积所形成的产物,是由各种大小不同的土粒按各种比例组成的集合体,土粒之间的孔隙中包含着水和气体,因此是一种三相体系。不同的土其矿物成分和颗粒大小存在着很大差异,颗粒、水和气体的相对比例也各不相同。

土体的物理性质,如轻重、软硬、干湿、松密等在一定程度上决定了土的力学性质,它是土的最基本的特性。土的物理性质由三相物质的性质、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。

本章主要介绍土的成因、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。

2.2 土的成因

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。

2.2.1 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。三者经常是同时进行又相互加剧发展的。

1) 物理风化

长期暴露在大气中的岩石由于受到温度、湿度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,仅限体积大小和形状的改变,其化学成分没有发生变化,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、树根生长时施加给周围岩石的压力、鼠类等活动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,也促使岩石发生变化。

2.2.2 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。残积土与基岩之间没有明显的界限,一般分布规律为:上部为残积土、中部为风化带、下部为新鲜岩石。由于残积土没有层理构造,土的物理性质相差较大,且有较大孔隙,作为建筑物地基容易引起不均匀沉降。

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,最终沉积在较平缓的山坡上而形成的沉积物。坡积物随斜坡自上而下呈现由粗而细的分选现象。组成坡积物的颗粒粗细混杂,土质不均匀,厚度变化大,土质疏松,压缩性较大。

3) 洪积物

由暴雨或大量融雪骤然集聚而成的暂时性山洪急流,具有很大的剥蚀和搬运能力。它冲刷地表,将大量的基岩风化产物或基岩剥蚀、搬运、堆积于山谷冲沟出口或山前倾斜平原而形成洪积物。由于山洪流出谷口后,流速骤减,被搬运的粗碎屑物质先堆积下来,离山越远,颗粒越细,其分布范围也逐渐扩大。随着离山远近的不同,堆积体内土粒粗细不同,性质很不均匀。

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。随着从上游到下游流速的逐渐减小,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。

5) 其他沉积物

除了上述几种类型的沉积物外,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、冰川以及风化的地质作用而形成。

2.3 土的三相组成

土是松散的颗粒集合体,它是由固体颗粒、液体和气体三部分组成(也称为三相系)。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,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了土的物理性质。

2.3.1 土的固体颗粒

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,它们是构成土的骨架最基本的物质。土的无机矿物成分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(单位体积内颗粒的总面积)小,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 $2\text{ }\mu\text{m}$),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。黏土矿物主要有高岭石、伊利石和蒙脱石三类。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,同时,由于土粒的形状往往是

不规则的,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,又称为土的颗粒级配。

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。表 2-1 为一种常用的土粒粒组的划分方法。表中根据国标《土的工程分类标准》(GBJ145—1990),按新规定的界限粒径 200 mm、60 mm、2 mm、0.075 mm 和 0.005 mm 的大小,将土粒粒组先分为三个统称:巨粒、粗粒和细粒;再细分为六个粒组:漂石(块石)、卵石(碎石)、砾粒、砂粒、粉粒和黏粒。

表 2-1 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 ~ 60	
粗粒	圆砾或角砾颗粒	粗	60 ~ 20	透水性大,无黏性,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;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 ~ 0.25	
		细	0.25 ~ 0.075	
细粒	粉粒		0.075 ~ 0.005	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,往往由多个粒组混和而成。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。工程上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。

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。这里介绍累计曲线法。根据颗粒分析试验结果,可以绘制如图 2-1 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状,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2-1曲线B);反之,则颗粒均匀,级配不良(图2-1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 的计算公式分别为

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2.2.1)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (2.2.2)$$

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, C_u 越大,表示土越不均匀,即粗颗粒和细颗粒的大小相差越悬殊。曲率系数 C_c 描述了级配曲线分布的整体形态,反映了曲线的斜率是否连续,即表示是否有某粒组缺失的情况。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。

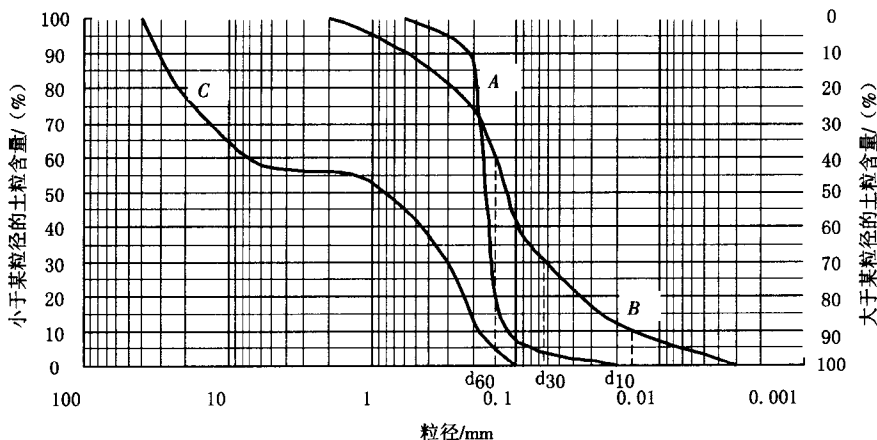


图 2-1 土的颗粒级配累计曲线

工程上对土的级配是否良好可按如下规定判断。

① 对于级配连续的土, $C_u > 5$, 级配良好;反之, $C_u < 5$, 级配不良。

② 对于级配不连续的土,级配曲线呈台阶状(见图2-1曲线C),采用单一指标 C_u 难以全面有效地判断土的级配好坏,则需同时满足 $C_u > 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件时,才为级配良好;反之则级配不良。

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：对粒径大于 0.075 mm 的土粒，常采用筛分法，而对于小于 0.075 mm 的土粒，则采用沉降分析法。

(1) 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。

(2) 沉降分析法

该法常用的有相对密度计法和移液管法。两种方法的理论基础都是依据斯笃克斯(Stokes)定律，即球状的细颗粒在水中的下沉速度与颗粒直径的平方成正比，用公式表示为

$$d = 1.126 \sqrt{v} \quad (2.2.3)$$

式中， d 称为水力直径，是指与实际土粒有相同沉降速度的理想球体的直径。

具体的试验过程是：将过筛的风干试样 $m_s(g)$ 盛入 1000 mL 的量筒中，注入蒸馏水搅拌制成一定体积的均匀浓度的悬浮液。停止搅拌静置一段时间 t 后，根据公式 (2.2.3)，在液面以下深度 L_i 以上的溶液中就不会有大于 d_i 的颗粒，如在 L_i 处考虑一小区段 $m \sim n$ ，则 $m \sim n$ 内的悬浮液中只有等于和小于 d_i 的颗粒，而且等于和小于 d_i 颗粒的浓度与开始时均匀悬浮液中等于和小于颗粒的浓度相等。其效果如同土样在孔径为 d_i 的筛子里一样。这样，任一时刻在任一 L_i 处悬浮液中颗粒 d_i 的浓度可用相对密度计法或移液管法测定。

相对密度计的读数既表示浮泡中心处的悬浮液密度 ρ_i ，又表示从悬浮液表面到浮泡中心处的沉降距离。速度 $v_i = L_i/t_i$ ； $d_i = 1.126 \sqrt{L_i/t_i}$ 。则在 L_i 深度处等于及小于 d_i 粒径的土粒质量 m_{si} 为

$$m_{si} = 1000 \frac{\rho_i - \rho_w}{\rho_s - \rho_w} \rho_s \quad (2.2.4)$$

式中： ρ_s ——土粒的密度， g/cm^3 ；

ρ_w ——水的密度， g/cm^3 。

那么，相应 $d_i(mm)$ 的土粒质量 m_{si} 占土粒总质量 m_s 的累计百分比 P_i (以 % 表示) 为

$$P_i = \frac{m_{si}}{m_s} \quad (2.2.5)$$

因此，在具体试验时，只要将悬浮液搅拌均匀后，放入相对密度计，隔不同的时间 t_i (1 min, 2 min, 5 min, 15 min, 30 min, 60 min, 240 min 和 1440 min)，测读相对密度计读数 ρ_i 及 L_i ，就能求出相应于不同时间 t_i 的一系列 d_i 和 P_i 值。关于具体的试验操作及