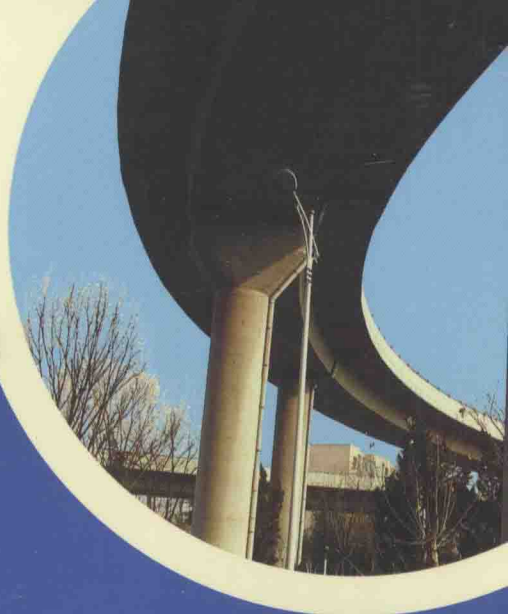




全国高职高专教育“十一五”规划教材



高职高专教育“道路桥梁工程技术专业”系列教材

土力学与 基础工程

吴银柱 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育“十一五”规划教材
高职高专教育“道路桥梁工程技术专业”系列教材

土力学与基础工程

Tulixue yu Jichu Gongcheng

吴银柱 主 编
薛 倩 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书力求体现高职高专教育特色,做到以应用为目的,以必需、够用为度;力求内容精炼、推导简化,叙述内容由浅入深,概念清楚、层次分明、重点突出、理论联系实际。书中附有大量插图,直观表达了所讲述的内容和感性认识。

本书系统地阐述土的物理性质与工程分类,土体中的应力计算,土的压缩性及变形计算,土的抗剪强度与地基承载力,土压力与土坡稳定,天然地基上浅基础,桩基础,沉井工程与地下连续墙,软弱地基处理及特殊土地基等内容。每章正文之前有学习目标,重点与难点,每章正文之后有精选的思考题与习题。本书还配有相应的电子教案。

本书可作为高职高专院校道路桥梁工程技术专业及交通运输、土建类相关专业及成人教育铁道工程、桥梁与隧道工程等专业的教学用书,也可供相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与基础工程/吴银柱主编. —北京:高等教育出版社, 2012. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 028350 - 1

I. ①土… II. ①吴… III. ①土力学—高等职业教育—教材②基础(工程)—高等职业教育—教材 IV.

①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第272584号

策划编辑 张骁军

责任编辑 毛红斌

封面设计 张志

版式设计 余杨

插图绘制 尹莉

责任校对 胡美萍

责任印制 田甜

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京宏伟双华印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 18.75
字 数 450千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landrac.com>
<http://www.landrac.com.cn>
版 次 2012年1月第1版
印 次 2012年1月第1次印刷
定 价 32.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 28350-00

前 言

“土力学与基础工程”是道路桥梁工程技术及相关专业的一门技术基础课,课程具有较强的实践性。本教材着重论述土力学和地基、基础的基本概念、基本原理和分析计算方法,同时力求突出训练学生的实践技能,加强对学生的基础知识和基本能力的培养,提高学生的综合素质。

本书针对高职高专道路桥梁工程技术专业的学生及相关技术人员编写。编写过程中兼顾了高职高专学生能力培养的需要,根据道路桥梁工程技术专业的职业岗位要求从内容的广度和深度进行把握,做到以应用为目的,以必需、够用为度,力求内容精炼、推导简化,叙述内容由浅入深,概念清楚、层次分明、重点突出、理论联系实际,书中附有大量插图,直观表达了所讲述的内容和感性认识。同时考虑到教材内容的稳定性与超前性,以“土体、地基与基础一体化”的宏观思维为指导,介绍成熟稳定的技术和理论知识,全面反映已颁布实施的最新规范标准。教材的编写体现了实用、新颖、鲜活、可读的特点,在每一章的开头,提出本章学习目标和重点与难点,正文后附有相应思考题和习题,便于学生自学与练习。

本书绪论、第七章和第八章由长春工程学院吴银柱编写,第一章、第二章由长春工程学院黄静莉编写,第三章由浙江交通职业技术学院郑晓国编写,第四章、第五章由浙江交通职业技术学院薛倩编写,第六章由长春工程学院吴丽萍编写,第九章、第十章由长春工程学院彭第编写。全书由吴银柱统稿,担任主编,薛倩任副主编,吉林建筑工程学院城建学院常福德教授任主审。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者提出宝贵意见,以便改正。

编 者

2011 年 11 月

目 录

绪论	1	本章小结	31
第一节 土力学与地基基础的概念	1	思考题	31
一、土的概念和特点	1	习题	32
二、地基与基础的概念	2	第二章 土体中的应力计算	33
三、土力学与基础工程的基本内容	2	第一节 自重应力	33
四、基础工程设计计算的原则	3	第二节 基底接触应力	36
第二节 本课程主要内容和学习要求	3	一、基底压力的概念	36
第三节 本学科发展简介	4	二、基底压力的简化计算	37
第一章 土的物理性质及工程分类	6	三、基底附加压力	39
第一节 土的组成与结构	6	第三节 附加应力	39
一、土的组成	6	一、竖直集中荷载下的附加应力	40
二、土的结构	11	二、矩形面积竖直均布荷载作用时的 附加应力	42
第二节 土的物理性质指标	12	三、条形面积竖直均布荷载时的附加 应力	47
一、基本指标	13	四、圆形面积竖直均布荷载时中心 点下的附加应力	48
二、换算指标	14	本章小结	50
第三节 土的物理状态指标	16	思考题	50
一、黏性土(细粒土)的物理状态指标	16	习题	51
二、无黏性土(粗粒土)的物理状态指标	18	第三章 土的压缩性及变形计算	52
第四节 土的击实性	19	第一节 土的压缩性	52
一、击实试验	19	一、概述	52
二、影响土击实的因素	20	二、压缩试验及压缩性指标	53
第五节 土的工程分类	21	第二节 地基沉降的计算	56
一、土的分类标准	22	一、分层总和法	56
二、建筑地基基础设计规范	24	二、应力面积法(规范法)	59
第六节 土的渗透性	25	第三节 地基沉降与时间的关系	64
一、达西定律	25		
二、渗透系数及其确定方法	27		
三、渗透力与渗透变形	29		



一、单向固结理论	65	第六章 天然地基上的浅基础	118
二、渗透固结沉降与时间的关系	69	第一节 概述	118
本章小结	71	第二节 浅基础的分类	119
思考题	72	一、刚性基础和柔性基础	119
习题	72	二、浅基础的结构类型	121
第四章 土的抗剪强度与地基承载力	74	第三节 基础埋置深度的确定	124
第一节 土的强度理论	74	一、工程地质条件	124
一、土的抗剪强度	74	二、水文地质条件	125
二、土的极限平衡条件	76	三、上部结构条件	125
第二节 强度指标的测定方法	80	四、当地的地形条件	126
一、直接剪切试验	80	五、地基冻融条件	126
二、三轴压缩试验	82	第四节 基础底面尺寸的确定	127
三、无侧限压缩试验	84	一、按持力层承载力确定基础底面尺寸	127
四、十字板剪切试验	85	二、基底合力偏心距验算	129
五、强度试验方法与指标的选用	86	三、地基软弱下卧层承载力验算	130
第三节 地基承载力	87	四、基础稳定性和地基稳定性验算	130
一、地基的破坏形式	87	五、基础沉降验算	132
二、理论法确定地基承载力	89	第五节 天然地基上的浅基础施工	135
三、按极限荷载确定地基承载力	92	一、旱地浅基础的施工	135
四、按荷载试验确定地基承载力	94	二、水中浅基础的施工	139
五、按规范确定地基承载力	94	本章小结	141
本章小结	99	思考题	141
思考题	100	习题	141
习题	100	第七章 桩基础	143
第五章 土压力与土坡稳定	102	第一节 概述	143
第一节 土压力的基本概念	102	一、桩基础的定义和作用	144
一、土压力的分类	103	二、桩基础的特点及适用条件	145
二、三种土压力的相互关系	104	三、桩基础的应用范围	147
第二节 静止土压力计算	105	第二节 桩和桩基的分类	148
一、计算原理	105	一、桩基的分类	148
二、计算公式	105	二、按桩受力条件的分类	149
三、静止土压力计算公式的应用	105	三、按施工方法分类	151
第三节 朗肯土压力理论	107	四、按桩的设置效应分类	154
一、基本原理	107	第三节 桩基础施工技术	155
二、朗肯主动土压力计算	108	一、钻孔灌注桩的施工	155
三、朗肯被动土压力计算	113	二、挖孔灌注桩	168
本章小结	115	三、预制桩施工技术	170
思考题	116	四、桩基施工质量检验	176
习题	116	第四节 单桩容许承载力的确定	177
		一、单桩轴向力传递机理	177

二、按土的支承确定单桩轴向容许承载力	180	本章小结	228
第五节 基桩内力和位移计算	190	思考题	228
一、基本概念	190	第九章 软弱地基处理	230
二、“ m ”法弹性单排桩内力和位移计算	193	第一节 概述	230
第六节 群桩的基础验算	194	一、概念	230
一、群桩基础的工作原理	194	二、地基处理的目的	231
二、群桩基础承载力验算	196	三、地基处理方法的分类及适用范围	231
三、群桩基础沉降验算	197	第二节 换填法	232
第七节 桩基础设计简介	197	一、概述	232
一、桩基础类型的选择	198	二、设计计算	233
二、桩径、桩长及单桩容许承载力的确定	199	三、垫层的施工	234
三、基桩数确定及平面布置	199	四、垫层质量检查	235
四、桩基础设计方案检验	200	第三节 挤密压实法	236
本章小结	201	一、强夯法	236
思考题	202	二、碎(砂)石桩	239
习题	202	三、石灰桩	244
第八章 沉井工程与地下连续墙	203	四、土桩和灰土桩	246
第一节 沉井的基本概念、作用及适用条件	203	第四节 排水固结法	247
第二节 沉井的类型及一般构造	205	一、概述	247
一、沉井的类型	205	二、排水固结法的原理	248
二、沉井基础的一般构造	207	三、竖井排水预压法	249
第三节 沉井的施工	209	四、真空预压法	252
一、沉井施工的一般规定	210	第五节 深层搅拌法	253
二、旱地上沉井的施工	210	一、概述	253
三、水中沉井施工	214	二、加固原理	254
四、沉井下沉过程中遇到的问题及处理	215	三、设计计算	254
第四节 地下连续墙的概念、特点及分类	216	四、深层搅拌桩的施工	256
一、地下连续墙的特点和应用范围	216	五、质量检验	258
二、地下连续墙的分类	217	第六节 其他地基处理方法	258
第五节 地下连续墙的施工	217	一、高压喷射注浆法	258
一、导墙施工	218	二、灌浆法	260
二、泥浆护壁	219	三、土工合成材料	261
三、槽段开挖	221	四、CFG 桩	263
四、钢筋笼的制作与吊装	224	本章小结	265
五、水下混凝土浇筑	225	思考题	266
第六节 地下连续墙施工注意的问题	228	习题	266
		第十章 特殊土地基	267
		第一节 软土地基	267
		一、软土及其特性	267
		二、软土地基处理的主要措施	269



第二节 湿陷性黄土地基	270	一、概述	281
一、湿陷性黄土的特性和分布	270	二、场地土与地震灾害的关系	283
二、黄土湿陷性评定	271	三、地基与基础的震害	284
三、黄土湿陷性评价	272	四、地基基础抗震设计	285
四、湿陷性黄土地基的处理	275	五、地基基础抗震措施	287
第三节 冻土地基	277	本章小结	288
一、冻土地基特性及对建筑物的危害	277	思考题	289
二、季节性冻土	278	习题	289
三、多年冻土	278	主要参考文献	290
第四节 地震区的基础工程	281		

绪论

本章概述

本章主要介绍了土、土力学、地基、基础的概念和特点,研究的内容和学科的发展概况,以及课程在专业中的重要性。

学习目标

- (1) 熟练掌握地基与基础的概念、地基与基础设计的基本要求。
- (2) 掌握本课程的特点、要求和学习方法。
- (3) 了解地基与基础在工程中的重要性;了解学科发展概况。

重点与难点

重点是掌握土力学、地基、基础的概念和特点,掌握本课程的特点、要求和学习方法;难点是土力学、地基、基础的概念和特点。

第一节 土力学与地基基础的概念

土力学与地基基础由不可分割的三部分组成,即土力学、地基、基础。地基由土组成,并用于支撑基础,基础用于传递上部荷载。

一、土的概念和特点

地球表面多由岩石和土组成。未经风化的岩石矿物颗粒间有较强的联结,具有较高的强度、压缩性、透水性弱,一般为坚硬的块体。土是由于岩石经历物理、化学、生物风化作用以及剥蚀、搬运、沉积作用在自然环境中所形成的各种沉淀物。土一般为三相系,由固体矿物质、颗粒孔隙间的水和气组成。当土体处于饱和水状态或干旱状态时,则为二相系,即有土颗粒和水或土颗粒和气体。土具有颗粒性、孔隙性、多样性、透水性、压缩性、易变性、可移动性等特点。

工程中常将土作为地基(如房屋、水闸、码头、道路、桥梁等)或作为建筑材料(路基、土坝、堤防等),或作为建筑物周围环境(如隧道、涵洞、运河以及其他地下建筑物),因此,土与土木工程建筑有着密切的联系,在建筑物设计前,必须对建筑场地土的成因、工程性质、地下水状况和场地



的工程地质等进行评判,密切结合土的工程性质进行设计和施工。

二、地基与基础的概念

建筑物的全部荷载都由它下面的地层来承担,受建筑物影响的那一部分地层称为地基;建筑物向地基传递荷载的下部结构就是基础(图0-1)。由图可以看出,在地面以上的上部结构所有的荷载都是由基础结构传入地下土层,而基础结构底下的地下土层受上部结构荷载扰动的这一部分就是地基,而把上部结构的所有荷载传给地基的这个中介结构就是基础。桥梁上部结构为桥跨结构,而下部结构包括桥墩、桥台及其基础。

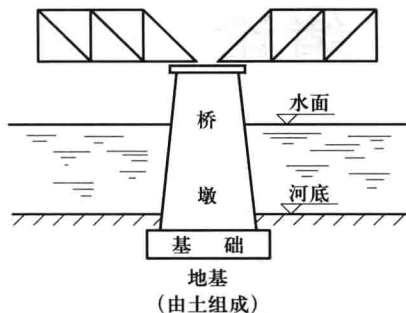


图0-1 地基与基础示意图

基础工程学研究的对象是地基与基础问题。通常把直接承受建筑物荷载,并受其影响的那一部分地层称为地基。未经人工处理就可以满足设计要求的地基称为天然地基。若天然地层较软弱,其承载力不能满足设计要求时,则需先经人工加固,再修建基础,这种地基称为人工地基,例如采用换土垫层、深层密实、排水固结、化学加固、土工聚合物加筋等方法处理过的地基。天然地基施工简单,经济性好,而人工地基一般比天然地基施工复杂,造价高。条件允许情况下,应尽可能采用天然地基。

基础是建筑物的下部结构,根据基础的埋置深度不同,可分为浅基础和深基础。通常将埋置深度不超过3~5m,只需普通施工程序就可以建造的基础称为浅基础。桥梁及各种人工构造物常用天然地基上的浅基础。如果浅层土质不良,需要把基础埋置于深处较好地层,常借助特殊的施工方法建造的基础称为深基础,如桩基础、沉井、地下连续墙等,而我国公路桥梁应用最多的深基础是桩基础。

三、土力学与基础工程的基本内容

土力学是运用力学的基本原理和土工测试技术研究土的物理性质、物理状态,以及土的应力、变形、强度和渗透等力学特性的一门学科,通过土体的变化规律讨论地基的承载力、沉降量、土压力等工程实际问题。土力学是力学的一个分支,是本课程的理论基础。由于土体的多孔性,使得土体具有易变性、多样性,其物理、化学和力学性质与一般刚性或弹性固体有所不同。因而目前在解决土工问题时,尚不能像其他力学学科一样具备系统的理论和严密的数学公式,而必须借助经验、现场试验以及室内试验以进行理论计算。因此土力学是一门实践性很强的应用学科。

土力学部分主要研究土的基本物理力学法则,为地基基础和土工结构的设计计算以及不良地基的处理提供基本理论基础。

地基与基础统称为基础工程,基础工程是研究建筑物地基与基础受到上部结构荷载作用后的性状的学科,主要包括是地基的受力性状、地基处理方法、基础型式等。如浅基础设计、桩基础、沉井与地下连续墙、地基处理、特殊地基上的基础工程。因此基础工程是土力学在土木工程中的具体应用。

由于基础工程是在地下或水下进行,因此施工难度大。在桥梁工程中,基础工程的造价占总造价的比重大。当采用深基础或人工地基时,其造价和工期所占的比例更大。此外,基础工程为



建筑的隐蔽工程,一旦失事,不仅损失巨大,且补救十分困难,因此地基与基础的设计与施工十分重要。

在道路工程和桥梁工程实践中存在着大量与土有关的工程技术问题。道路工程中土是修筑路堤的基本材料,同时它又是支承路堤的地基。路堤的临界高度和边坡坡度都与土的抗剪强度指标及土体的稳定性有关;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,而碾压土体的质量控制又以土的击实特性为依据;挡土墙设计的侧向土压力需根据土力学的土压力理论来计算。近年来,我国大量高速公路的修建,对路基的沉降控制提出了很高的技术要求,而解决沉降问题需要对土的压缩性以及沉降与时间的关系进行深入的研究。土基的冻胀与翻浆在我国北方地区是非常突出的问题,防治冻害的有效措施需要以土力学的原理为基础。

目前深层搅拌水泥土桩在公路的软基处理中得到了广泛的应用;对于超静定的大跨度桥跨结构,基础的沉降、倾斜或水平位移是引起结构过大次应力的重要因素;软土地区高速公路建设中的“桥头跳车”是影响工程正常使用技术难题,解决这一难题的技术关键在于如何合理控制桥墩与路堤之间的沉降差,这一问题涉及桩基础和路堤的沉降计算与控制、填土的碾压质量控制以及软基的加固处理等知识。

由于土力学与基础工程有着不可分割的内在联系,土力学是理论基础,基础工程是利用土力学知识,结合结构计算和施工知识,合理地解决基础工程问题。

因此,本书将二者合编为一。学好本课程不仅为学习其他专业课程打下良好的理论基础,更是为今后从事专业技术工作,解决有关地基与基础工程技术问题奠定良好的基础。

四、基础工程设计计算的原则

基础工程设计计算的目的是设计安全、经济和运行可靠的地基基础方案,以保证结构物的安全和正常使用。地基与基础设计应满足以下基本要求:

① 地基承载力要求:应使地基具有足够的承载力($\geq$ 基础底面的压力),在荷载作用下地基不发生剪切破坏或失稳。

② 地基变形要求:不使地基产生过大的沉降和不均匀沉降($\leq$ 建筑物的允许变形值),保证建筑的正常使用。

③ 基础结构本身应具有足够的强度和刚度,在地基反力作用下不会发生强度破坏,并且具有改善地基沉降与不均匀沉降的能力。

第二节 本课程主要内容和学习要求

本书根据道路桥梁工程技术等专业的教学要求,并兼顾扩大知识面的要求编写。教材包括土力学和基础工程两部分内容,土力学部分内容包括:土的物理性质与工程分类,土的应力计算,土的压缩性及变形计算,土的抗剪强度与地基承载力,土压力与土坡稳定;地基基础部分着重学习运用土力学理论解决工程设计中的地基基础问题,内容包括天然地基上的浅基础设计,桩基础,沉井基础及地下连续墙,软弱地基处理及特殊地基处理等内容。

土力学与基础工程涉及工程地质学、土力学、结构设计和施工几个学科领域,所以内容广泛、综合性强,学习时应该突出重点,兼顾全面。从本专业的要求出发,学习本课程时,应该重视工程

地质的基本知识,培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力,要求树立土体、地基与基础一体化的宏观思维,同时必须牢固地掌握土的应力、变形、强度和地基计算等土力学基本原理,从而能够应用这些基本概念和原理,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:

(1) 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。掌握每种测试技术和现场的模拟相似性。

(2) 重视地区经验

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。

(3) 考虑地基、基础与上部结构的共同作用

由于土的复杂性和区域性特点,在解决地基问题时带有一定的经验性,存在大量的经验公式,因此在土力学参数选择、地基基础设计中应充分重视地区经验。

(4) 施工质量的重要性

基础工程是隐蔽的,由于它埋置于地下,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相比上部结构,更应受到足够的重视。

土力学与基础工程不仅要重视理论知识学习,还要重视土工试验和工程实例的分析研究,只有通过土工试验,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,而是要搞清楚土力学的概念,而不是死记硬背。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。理论是实践的基础,没有正确的理论,就没有正确的实践。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,在学习土力学理论时就要牢固建立这一思想。

第三节 本学科发展简介

由于生产的发展和生活上的需要,人类很早就已创造了自己的地基基础工艺。我国的都江堰水利工程,万里长城,南北大运河,黄河大堤,赵州石拱桥以及遍布全国各地的宏伟壮丽的宫殿和寺院等,都是由于奠基牢固,即使经历了无数次的地震、强风都安然无恙。由于当时生产力发展水平的限制,“土力学”还未能成为系统的科学理论,直到18世纪中叶人们对土在工程建设方面的特性尚停留在感性认识阶段。18世纪工业革命以后,大规模的城市建设和水利、铁路的兴建,大大促进了土力学理论的产生和发展。1773年,法国库伦根据试验创立了著名的土的抗剪强度公式和土压力理论;1857年,英国朗金通过不同的假设提出了另一种土压力理论;1885年,法国布辛尼斯克求得了半无限弹性体在垂直集中力作用下应力和变形的理论解答;1922年,瑞典费伦纽斯为解决铁路塌方,研究出土坡稳定分析法。这些理论和方法至今仍在广泛的应用。1925年,美国科学家泰沙基发表土力学专著,至此土力学成为一门独立的学科。1936年以来,已召开了十多届国际土力学和基础工程会议,涌现了大量论文、研究报告和技术资料,很多国家定



期出版土工杂志。世界各地也都召开了类似的专业会议,总结和交流本学科的研究成果。

近 60 年来,随着我国社会的大发展,土力学与地基基础学科经历了迅速地发展。全国各地有关生产、科研单位和高等院校总结实践经验,开展现场测试、室内试验和理论研究,在解决工程实践问题的同时也为土力学的理论研究做出了突出贡献。近年来,世界各地高土坝(坝高大于 200 m)、高层建筑与核电站等巨型工程的兴建和强烈地震的发生,促使土力学进一步发展。有关单位积极研究土的本构关系、土的弹塑性与黏弹性理论和土的动力特性。同时,各单位研制成功了各种各样的勘察、试验与地基处理的设备,如自动记录的静力触探仪、现场孔隙水压力仪、大型三轴仪、振动三轴仪、真三轴仪、流变三轴仪、深层搅拌器、塑料排水插板机等,为土力学研究和地基加固提供了良好的条件。随着我国基础建设的向前发展,对地基基础要求日益提高,我国土力学与地基基础学科也必将得到更快、更大的发展。

第一章

土的物理性质及工程分类



本章概述

本章介绍土力学与基础工程的主要研究对象——土。土是由土颗粒、水和空气组成的三相松散堆积物,其成分、结构和性质千变万化。土的性质对工程具有非常重要的影响。本章主要介绍土的组成与结构,土的物理性质及状态指标,土的击实性及工程分类等。



学习目标

- (1) 熟悉土的相关概念,了解土的散体特性、三相体特性和自然变异特性,掌握颗粒级配分析曲线的绘制方法及其应用。
- (2) 熟练掌握土的三相图和三相比指标的概念、测试方法及换算关系。
- (3) 熟悉土的物理状态指标的概念、测试方法及判断标准。
- (4) 掌握土的工程分类方法,了解国内不同规范的分类标准。
- (5) 熟悉达西定律,了解室内试验测定渗透系数的方法,熟悉渗透力和渗透变形的概念。



重点与难点

重点是土体的复杂特性,难点是不同类型的土体对工程有何重要影响。

第一节 土的组成与结构

土是自然历史的产物。地壳表面的岩石在风化作用下形成大小悬殊的颗粒,经过不同的搬运方式,在各种自然环境中堆积形成的松散颗粒集合体,称之为土。与铁或水不同,土体不是由单纯的某种物质组成的,通常是由土颗粒、水和空气组成的三相混合体。土体中土颗粒大小的不同,含水量多少的不同,都对土的工程性质具有较大的影响。

一、土的组成

经过风化、搬运、堆积后形成的土,由于其母岩成分、风化作用、搬运途径和堆积地点的不

而形成具有各种不同工程性质的土体。不同土体的性质不同,其根本原因在于组成土体的物质不同。土是一种松散的颗粒堆积物,通常由固体颗粒、液体和气体三部分组成。土的固体颗粒一般由矿物质组成,有时含有胶结物和有机物,这一部分构成土的骨架。土的液体部分是指水和溶解于水中的矿物质。空气和其他气体构成土的气体部分。随着三相物质的成分和比例的不同,土的性质也就不同。因此,了解土体的物理力学性质,就一定要了解土体的三相组成物质。

1. 土的固体颗粒

土的固体颗粒包括无机矿物颗粒和有机质,是构成土骨架的基本物质。土骨架对土的物理力学性质起决定性的作用。分析研究土的状态,就要研究固体颗粒的状态指标,即粒径的大小及其级配,固体颗粒的矿物成分,固体颗粒的形状。

(1) 固体颗粒的大小与粒径级配

土中固体颗粒的大小及其含量,决定了土的物理力学性质。颗粒的大小通常用粒径表示。天然土的粒径一般是连续变化的。为了描述方便,工程上常把大小相近的土粒合并为组,称为粒组。粒组间的分界线是根据粒组性质的变化人为划定的。对粒组的划分,不同国家,不同部门均有不同的划分方法。实际工程可以根据情况选取不同的划分标准。如表 1-1 为按照《土的分类标准》(GBJ 145—90)划分的各粒组及粒径范围。

土中各粒组的相对含量(各粒组占土颗粒总质量的百分数)称为土的颗粒级配。土的粒径级配直接影响土的性质,如土的密实度、土的透水性、土的强度、土的压缩性等。要确定各粒组的相对含量,需要将各粒组分离开,再分别称重。这就是工程中常用的颗粒分析方法,试验室常用的有筛分法和比重计法。

表 1-1 土的粒组

粒组名称			粒径范围/mm
巨粒组	漂石(块石)粒		> 200
	卵石(碎石)粒		60 ~ 200
粗粒组	砾粒	粗砾粒	20 ~ 60
		细砾粒	2 ~ 20
	砂粒	粗砂粒	0.5 ~ 2
		中砂粒	0.25 ~ 0.5
		细砂粒	0.075 ~ 0.25
细粒组	粉粒		0.005 ~ 0.075
	黏粒		0.002 ~ 0.005
	胶粒		< 0.002

筛分法适用粒径大于 0.075 mm 的土。利用一套孔径大小不同的标准筛子,如图 1-1 所示,将称过质量的干土过筛,充分筛选,将留在各级筛上的土粒分别称重,然后计算小于某粒径的土粒含量。

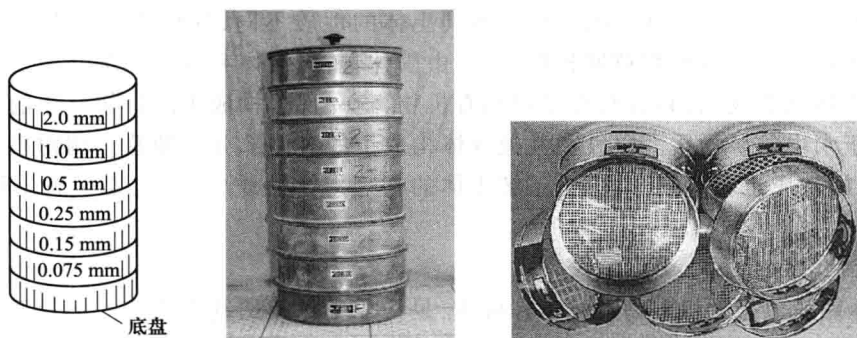


图 1-1 筛子

比重计法适用于粒径小于 0.075 mm 的土。基本原理是颗粒在水中下沉速度与粒径的平方成正比,粗颗粒下沉速度快,细颗粒下沉速度慢。根据下沉速度就可以将颗粒按粒径大小分组,如图 1-2 所示。

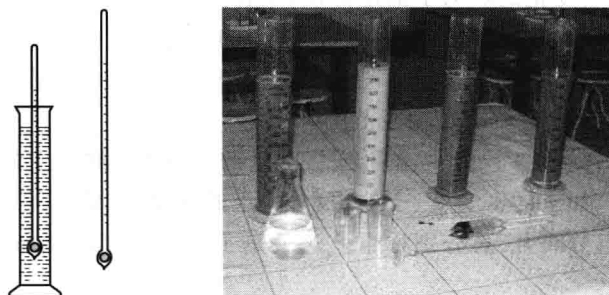


图 1-2 比重计法

当土中含有颗粒粒径大于 0.075 mm 和小于 0.075 mm 的土粒时,可以联合使用比重计法和筛分法。

工程中常用颗粒级配曲线直接了解土的级配情况,如图 1-3 所示。曲线的横坐标为土颗粒粒径的对数,单位为 mm ;纵坐标为小于某粒径土颗粒的累积含量,用百分比($\%$)表示。

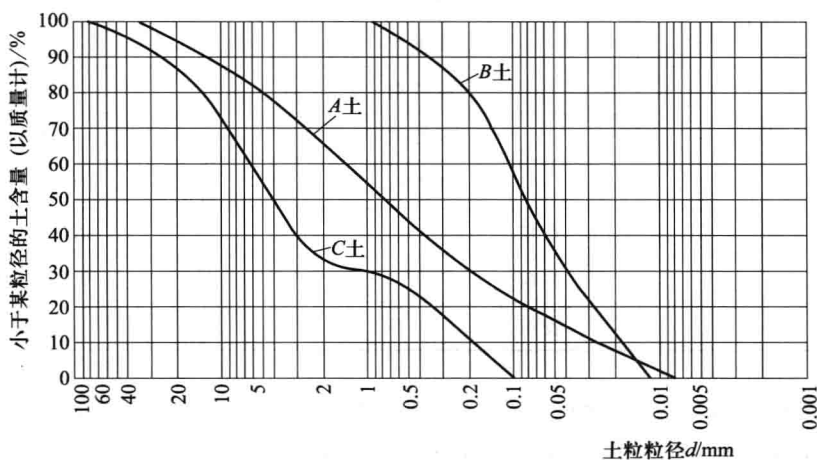


图 1-3 颗粒级配曲线

颗粒级配曲线在土木、水利电力等工程中经常用到。从曲线中可直接求得各粒组的颗粒含量及粒径分布的均匀程度,进而估测土的工程性质。其中一些特征粒径可作为选择建筑材料的依据,并评价土的级配优劣。特征粒径有:

d_{10} ——土中小于此粒径的土的质量占总土质量的 10%,也称有效粒径;

d_{30} ——土中小于此粒径的土的质量占总土质量的 30%;

d_{50} ——土中小于此粒径的土的质量和大于此粒径的土的质量各占 50%,也称平均粒径,用来表示土的粗细;

d_{60} ——土中此粒径土的质量占总土质量的 60%,也称限制粒径。

粒径分布的均匀程度由不均匀系数 C_u 表示:

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

C_u 愈大,土愈不均匀,也即土中粗、细颗粒的大小相差愈悬殊。

若土的颗粒级配曲线是连续的, C_u 愈大, d_{60} 与 d_{10} 相距愈远,则曲线愈平缓,表示土中的粒组变化范围宽,土粒不均匀;反之, C_u 愈小, d_{60} 与 d_{10} 相距愈近,曲线愈陡,表示土中的粒组变化范围窄,土粒均匀。

工程中,把 $C_u > 5$ 的土称为不均土, $C_u \leq 5$ 的土称为均匀土。

若土的颗粒级配曲线不连续,在该曲线上出现水平段,水平段粒组范围不包含该粒组颗粒。这种土缺少中间某些粒径,粒径级配曲线呈台阶状,土的组成特征是颗粒粗的较粗,细的较细,在同样的压实条件下,密实度不如级配连续的土高,其他工程性质也较差。

土的颗粒级配曲线的形状,尤其是确定其是否连续,可用曲率系数 C_c 反映:

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

若曲率系数过大,表示粒径分布曲线的台阶出现在 d_{10} 和 d_{30} 范围内。反之,若曲率系数过小,表示台阶出现在 d_{30} 和 d_{60} 范围内。经验表明,当级配连续时, C_c 的范围在 1~3。因此,当 $C_c < 1$ 或 $C_c > 3$ 时,均表示级配曲线不连续。

由上可知,土的级配优劣可由土中土粒的不均匀系数和粒径分布曲线的形状曲率系数衡量。我国《土的分类标准》(GBJ 145—90)规定:对于纯净的砂、砾石,当实际工程中, C_u 大于或等于 5,且 C_c 等于 1~3 时,它的级配是良好的;不能同时满足上述条件时,它的级配是不好的。

(2) 固体颗粒的成分

土中固体颗粒的成分绝大多数是矿物质,或有少量有机物。颗粒的矿物成分一般有两类,一类是原生矿物,另一类是次生矿物。

原生矿物是岩浆在冷凝过程中形成的矿物,常见的有石英、长石、云母等,如图 1-4 所示。原生矿物颗粒是原岩经物理风化形成的,其矿物成分与母岩相同,颗粒较大,与水相互作用的能力弱,物理化学性质较稳定。由原生矿物构成的粗粒土工程性质较稳定,若级配好,则土的密度大、强度高、压缩性低。

次生矿物是原生矿物经化学风化后形成的新矿物,主要有黏土矿物(图 1-5)、氧化物和盐类等。次生矿物颗粒细小、一般呈片状或针状,是黏性土固相的主要成分。由于其粒径很小,因此比表面积(单位体积中土颗粒的表面积总和)很大,具有较强的亲水性(与水相互作用的难易