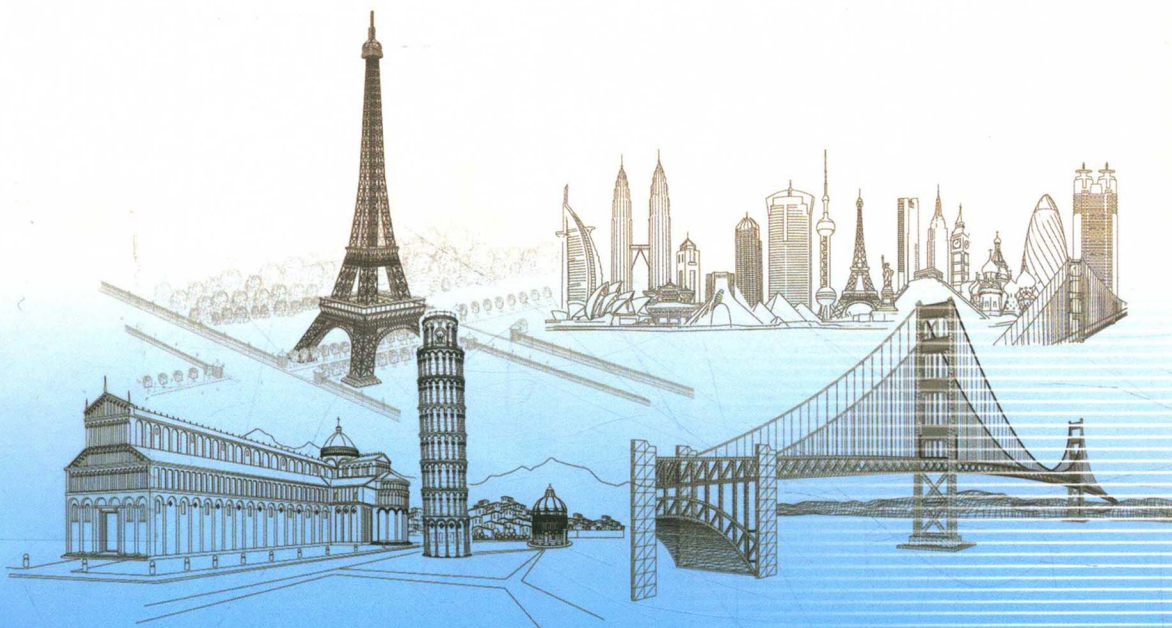


高等学校土木工程专业“卓越工程师”教育“十三五”规划教材
普通高等教育土木工程专业指导性规范配套“十三五”规划教材

土力学与基础工程

冯志焱 鄧彬 罗少锋 崔广芹 编



武汉理工大学出版社

土力学与基础工程

冯志焱 邗 彬 罗少锋 崔广芹 编

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

土力学与基础工程/冯志焱主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2018.1

ISBN 978-7-5629-5677-8

I. ①土… II. ①冯… III. ①土力学-高等学校-教材 ②基础(工程)-高等学校-教材 IV. ①Tu4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 294774 号

项目负责人:高 英 汪浪涛 戴皓华

责任编辑:高 英

责任校对:张莉娟

封面设计:橙子工作室

出版发行:武汉理工大学出版社有限责任公司

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:24

字 数:614 千字

版 次:2018 年 1 月第 1 版

印 次:2018 年 2 月第 1 次印刷

定 价:48.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

土力学与基础工程是土木工程专业的一门必修课程。本书根据国家建设需要和土木工程专业培养要求,结合作者多年教学改革和实践经验进行编写,主要介绍土力学与基础工程的基本内容和基础理论,涵盖建筑工程、公路与城市道路工程、桥梁工程、地下工程等不同领域中的土力学技术问题和岩土工程问题。书中内容包括“土力学”和“基础工程”两部分,可满足“土力学”和“基础工程”两门课程的使用要求。

本书力图结合新规范,反映土力学的成熟研究成果和工程实践中的成熟经验。全书重点突出、深入浅出,各章节之间衔接自然,符合知识点的逻辑关系,并且各章末附有思考题和习题。

本书编写人员单位及编写人员分工如下:

绪论及第1、3、4章由冯志焱(西安建筑科技大学)编写,第2章由崔广芹(内蒙古科技大学)和冯志焱编写,第5、6、10章由郅彬(西安科技大学)编写,第7、9章由罗少锋(西安建筑科技大学)编写,第8章由崔广芹编写。

限于水平有限,书中难免有欠妥之处,请读者不吝指正。

编 者

2017年6月

目 录

0 绪论	1
0.1 概述	1
0.2 土力学发展简要回顾	3
0.3 本课程特点及学习要求	4
1 土的物理性质与工程分类	5
1.1 土的形成及组成	5
1.1.1 土的形成	5
1.1.2 土的组成	7
1.2 土的三相物理指标	11
1.2.1 确定三相比例关系的基本试验指标	12
1.2.2 确定三相比例关系的其他常用指标	13
1.3 土的物理状态	16
1.3.1 粗粒土(无黏性土)的密实度	16
1.3.2 黏性土的物理状态	18
1.4 土的结构与结构性	20
1.4.1 土的结构	21
1.4.2 土的结构性	22
1.5 土的压实特性	22
1.5.1 压实原理	22
1.5.2 压实黏性土的工程性质	24
1.5.3 压实施工方法与压实效果评价	26
1.6 土的工程分类	27
1.6.1 根据土的颗粒级配或塑性指数分类	28
1.6.2 根据土的特殊性质进行分类	29
1.6.3 细粒土按塑性图分类	30
思考题及习题	30
2 土的渗透性与渗流	32
2.1 概述	32
2.2 土的渗透性	32
2.2.1 水力梯度概念	32
2.2.2 渗流基本规律——达西定律	35
2.2.3 渗透系数的测定	37
2.2.4 影响土渗透性的因素	38
2.3 二维渗流与流网	40
2.3.1 二维渗流基本方程	40
2.3.2 流网的性质及其应用	41
2.4 渗透力与渗透变形	42
2.4.1 渗透力	42

2.4.2	临界水力梯度	43
2.4.3	渗透变形(或渗透破坏)	44
	习题	46
3	土体中应力	48
3.1	地基中自重应力	48
3.2	基底压力及其简化计算	51
3.2.1	基底压力简化计算	53
3.2.2	基底附加压力	54
3.3	地基附加应力计算	55
3.3.1	集中力下地基附加应力	55
3.3.2	分布荷载下地基附加应力	57
3.3.3	地基附加应力分布的规律	70
3.3.4	非均质和各向异性对地基附加应力的影响	71
3.4	有效应力及有效应力原理	74
3.4.1	饱和土有效应力及有效应力原理	74
3.4.2	饱和土中有效应力的计算	75
3.4.3	孔压系数	78
	思考题及习题	80
4	土的压缩性和地基沉降	83
4.1	土的压缩性	83
4.1.1	压缩试验与压缩指标	83
4.1.2	载荷试验与变形模量	88
4.2	地基沉降量计算	90
4.2.1	地基沉降的弹性力学公式	91
4.2.2	分层总和法	92
4.2.3	规范分层总和法(应力面积法)	96
4.3	考虑应力历史的地基沉降计算	100
4.3.1	土层应力历史概念	100
4.3.2	考虑应力历史的地基沉降计算	103
4.4	地基变形与时间的关系	108
4.4.1	饱和土的渗透固结	108
4.4.2	饱和土的一维固结理论	109
4.4.3	固结度	111
4.4.4	地基沉降与时间的关系	114
	习题	115
5	土的抗剪强度	118
5.1	概述	118
5.2	土的莫尔-库仑破坏准则	119
5.2.1	库仑公式	119
5.2.2	莫尔-库仑强度理论	120
5.2.3	土的极限平衡条件	121

5.2.4	极限平衡条件的应用	123
5.3	抗剪强度的测定方法	124
5.3.1	直接剪切试验	124
5.3.2	三轴压缩试验	125
5.3.3	无侧限抗压强度试验	127
5.3.4	十字板剪切试验	128
5.4	土的排水和不排水强度	131
5.4.1	三轴试验应力条件下的孔隙水压力系数 B 和 A	131
5.4.2	饱和黏性土的抗剪强度	132
5.4.3	砂土的排水强度和不排水强度	135
5.4.4	排水和不排水强度指标的选择	136
5.5	应力路径	138
5.5.1	应力路径的概念	138
5.5.2	K_0 与 K_f 线	139
5.5.3	几种典型的应力路径	140
	思考题及习题	142
6	挡土结构上的土压力	144
6.1	概述	144
6.2	土压力分类和静止土压力计算	144
6.2.1	土压力的定义	144
6.2.2	影响土压力性质、大小及分布的因素	145
6.2.3	几种不同性质的土压力及其相互关系	145
6.2.4	静止土压力的计算	146
6.3	朗肯土压力理论	147
6.3.1	主动土压力	147
6.3.2	被动土压力	149
6.3.3	几种常见情况下的土压力	152
6.4	库仑土压力理论	157
6.4.1	库仑土压力理论的基本原理	157
6.4.2	库仑土压力理论的适用条件	158
6.4.3	主动土压力	158
6.4.4	被动土压力	164
6.4.5	黏性土土压力计算	165
6.5	挡土墙的类型及设计	167
6.5.1	挡土墙的类型	167
6.5.2	挡土墙的验算	170
6.5.3	挡土墙的构造措施	172
6.6	建筑基坑支护工程简介	173
6.6.1	概述	173
6.6.2	水泥土搅拌桩支护	175
6.6.3	排桩、地下连续墙支护	176

6.6.4 土钉墙支护	180
思考题及习题	181
7 地基承载力与土坡稳定	183
7.1 概述	183
7.2 地基的破坏形式	184
7.3 地基的临塑荷载及临界荷载	185
7.4 按理论公式计算地基极限承载力	187
7.4.1 普朗德尔-瑞斯纳公式	188
7.4.2 太沙基公式	190
7.4.3 汉森极限承载力公式	192
7.5 确定地基承载力的工程实用方法	194
7.5.1 按土的抗剪强度指标计算地基承载力特征值	194
7.5.2 按静载荷试验确定地基承载力特征值	196
7.5.3 经验方法确定地基承载力	197
7.5.4 地基承载力特征值的修正	197
7.6 无黏性土坡的稳定性分析	198
7.7 黏性土坡的稳定性分析	200
7.7.1 瑞典条分法	200
7.7.2 毕肖普法	202
7.7.3 普遍条分法(简布法)	204
7.7.4 不平衡推力传递法	206
思考题及习题	207
8 天然地基上的浅基础	208
8.1 概述	208
8.1.1 浅基础设计的内容及一般步骤	208
8.1.2 地基基础设计的基本规定	209
8.2 浅基础类型	213
8.2.1 无筋扩展基础	214
8.2.2 钢筋混凝土基础	217
8.3 基础埋置深度的选择	222
8.3.1 建筑物自身条件	222
8.3.2 场地环境条件	222
8.3.3 工程地质条件	223
8.3.4 水文地质条件	224
8.3.5 地基冻融条件	225
8.4 基础底面尺寸的确定	228
8.4.1 根据持力层承载力确定基础底面尺寸	229
8.4.2 软弱下卧层承载力验算	233
8.5 地基变形验算	236
8.6 扩展基础设计	238
8.6.1 构造要求	238

8.6.2 扩展基础的底板厚度及配筋计算	241
8.7 联合基础	252
8.8 地基、基础与上部结构相互作用的概念	255
8.8.1 地基和基础相互作用	256
8.8.2 地基变形对上部结构的影响	257
8.8.3 上部结构刚度对基础受力情况的影响	258
8.9 柱下钢筋混凝土条形基础	259
8.9.1 构造要求	259
8.9.2 柱下条形基础的内力计算方法	259
8.10 柱下十字交叉基础	266
8.11 筏形基础	266
8.11.1 筏形基础构造要求	267
8.11.2 筏形基础的设计内容和一般要求	269
8.12 箱形基础	274
8.12.1 箱形基础的埋置深度	274
8.12.2 箱形基础的构造要求	274
8.12.3 箱形基础基底压力分布	276
8.12.4 箱形基础内力计算	277
8.13 减小不均匀沉降危害的措施	278
8.13.1 建筑措施	279
8.13.2 结构措施	281
8.13.3 施工措施	282
思考题及习题	283
9 桩基础	286
9.1 概述	286
9.1.1 桩基础的使用	286
9.1.2 桩基设计一般规定	287
9.1.3 桩基设计内容	288
9.2 桩的类型	288
9.2.1 按桩的承载性状分	288
9.2.2 按桩的施工方法分	289
9.2.3 按成桩效应分	291
9.3 单桩的竖向承载力与质量检验	292
9.3.1 单桩轴向荷载的传递机理	292
9.3.2 单桩竖向承载力的确定	296
9.3.3 桩的质量检验	303
9.4 桩基竖向承载力	303
9.4.1 群桩基础的工作特点	304
9.4.2 桩基的承载力计算	305
9.4.3 桩基的沉降验算	307
9.5 桩的水平承载力	309

9.5.1	单桩在水平荷载下的计算	310
9.5.2	单桩水平静载荷试验	312
9.5.3	单桩水平承载力特征值	315
9.6	桩承台的设计	316
9.6.1	承台的尺寸和构造要求	317
9.6.2	承台受弯计算	317
9.6.3	承台受冲切计算	320
9.6.4	承台受剪计算	322
9.6.5	承台局部受压计算	324
9.7	桩基础设计	324
	习题	329
10	特殊土地基与地基处理	331
10.1	概述	331
10.1.1	特殊土及特殊土地基	331
10.1.2	地基处理的目与意义	331
10.1.3	地基处理的对象	332
10.1.4	地基处理的原理及方法分类	333
10.2	湿陷性黄土地基	335
10.2.1	黄土的特征和分布	335
10.2.2	湿陷发生的原因和影响因素	336
10.2.3	湿陷性黄土地基的评价	337
10.2.4	湿陷性黄土地基的工程措施	340
10.3	膨胀土地基	341
10.3.1	膨胀土的概念和分布	341
10.3.2	膨胀土的特征和影响因素	341
10.3.3	膨胀土地基的评价	343
10.3.4	膨胀土(岩)地基的工程措施	345
10.4	软土、红黏土、盐渍土地基	346
10.4.1	软土地基	346
10.4.2	红黏土地基	348
10.4.3	盐渍土地基	350
10.5	土的压(夯)实及预压固结	351
10.5.1	换填垫层法	352
10.5.2	强夯法	354
10.5.3	预压法	355
10.6	复合地基	357
10.6.1	复合地基概述	357
10.6.2	挤密法	359
10.6.3	水泥粉煤灰碎石桩法	362
10.6.4	水泥土搅拌法与高压喷射注浆法	364
	思考题	369
	参考文献	371

0 绪 论

0.1 概 述

人类所有的工程建设都离不开地球表层的岩土体,这些岩土体直接承受建造在其上的建(构)筑物(包括各类工业与民用建筑、公路、铁路、机场、桥梁、坝体等)的荷载,是保证建筑物安全的基础。在土木工程中,承受建筑物荷载的那一部分岩土体称为地基,设置于建筑物底部承受上部结构荷载并将上部结构荷载传递到地基土层的结构称为基础。地基、基础和上部结构构成了建筑物整体(图 0-1)。

在进行工程设计之前,必须先通过岩土工程勘察查清拟建场地的工程地质和水文地质条件,充分了解、研究地基土层成因、构造、物理力学性质、地下水的分布以及可能影响场地稳定性的不良地质现象等,对场地工程地质条件做出评价。岩土体是自然界的产物,由于形成环境与历史、物质组成等的复杂性,因此岩土体种类繁多、构造复杂、工程特性差异大,比如有各种坚硬的岩石,有按照不同地质构造组成的各种岩体,有颗粒粗细不同、成因不同的松散沉积土层(砾石、砂、粉土、黏性土等),还有各种环境下形成的软弱土(淤泥、淤泥质土等)以及区域性特殊土(膨胀土、湿陷性黄土、红黏土等)。这些都形成了极为复杂的工程地质条件和地质环境。对岩土体性质的了解是做好建筑物地基基础设计和施工的先决条件,它涉及工程地质学和土力学的基本知识内容。

建造建筑物会使地基中原有应力状态发生变化,可能会引起地基的强度失稳和变形(沉降)问题。因此,地基与基础设计必须满足两个基本条件:①要求作用于地基的荷载不超过地基的承载能力,保证地基具有足够的防止整体破坏的安全储备;②控制基础沉降使之不超过地基的变形容许值,保证建筑物不因地基变形而损坏或影响其正常使用。研究土体中应力、变形、强度和稳定性等的规律是学习土力学的主要任务,也是本课程的基础。就地基而言,未经人工处理就可以满足设计要求的地基称为天然地基。如果地基软弱,其承载力或变形不能满足设计要求时,则必须对地基进行加固处理(例如采用换土垫层、深层密实、排水固结等方法进行处理),此地基称为人工地基。

建筑物基础结构形式很多。设计时应选择能适应上部结构和场地工程地质条件、符合使用要求、满足地基基础设计两个基本要求,以及技术上合理的基础结构方案。一般应理

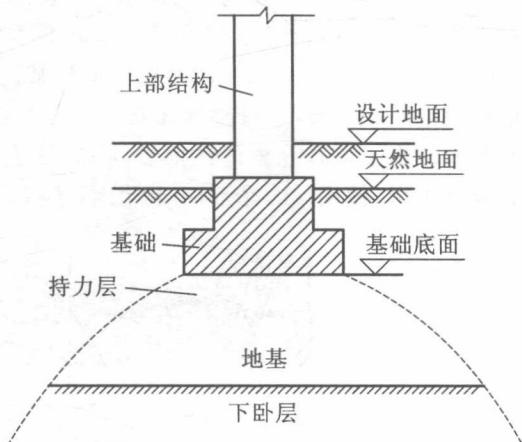


图 0-1 地基与基础示意图

入地下一定的深度,进入较好的地层。根据埋置深度不同,基础可分为浅基础和深基础。最经济、方便的是天然地基上的浅基础。通常把埋置深度不大,只需经过挖槽、排水等普通施工方法就可以建造起来的基础称为浅基础;反之,若浅层土质不良,必须把基础埋置于深处的良好地层时,就得借助于特殊的施工方法,建造各种类型的深基础(如桩基、墩基、沉井和地下连续墙等)。

地基与基础为建筑物的隐蔽工程,一旦失事,不仅损失巨大,且补救十分困难,因此,其在土木工程中具有十分重要的作用。因此,地基与基础的勘察、设计和施工都直接关系到建筑物的安危、经济性和正常使用。在勘察与设计阶段仔细、认真地工作会为后期工作带来很大方便,其较小的投入会给工程带来很大的效益;反之,可能会因为前期没有在勘察阶段进行必要的投入,而造成后期很大的浪费,或给工程留下隐患。

随着土力学及地基基础学科的发展,由于认识不足所造成的工程事故现在已经很少发生,但由于不按照程序、规范进行勘察、设计和施工,因地基基础方面失误而引起的建筑物事故仍时有发生。就具体情况而言,以下实例仍可以作为借鉴。

加拿大于1941年建造的特朗斯康谷仓(图0-2),宽23 m,由65个圆柱形筒仓组成,高31 m,其下为筏板基础,由于事前不了解基础下埋藏有厚达16 m的软黏土层,建成后初次贮存谷物时,基底平均压力(320 kPa)超过了地基极限承载力,致使谷仓西侧突然陷入土中8.8 m,东侧则抬高1.5 m,仓身整体倾斜斜近 27° 。这是地基发生整体滑动、建筑物丧失稳定性的典型实例。由于该谷仓整体性很强,筒仓完好无损。事后在筒仓下增设70多个支承于基岩上的混凝土墩,使用388个50 t千斤顶,才将筒仓纠正过来,但其标高比原来降低了4.000 m。

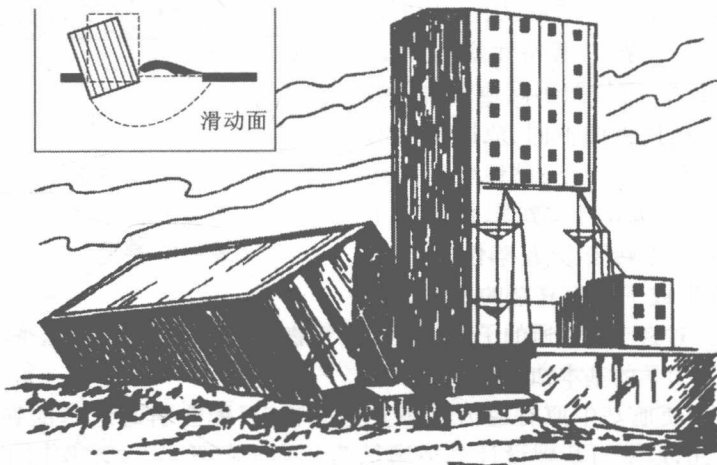


图0-2 加拿大特朗斯康谷仓的地基事故

北京饭店扩建工程主楼原设计23层,后改为17层,地下室3层,为框架-剪力墙结构,箱形基础,基础埋深11.3 m。建筑物基础平均宽度22 m,基底压力550 kPa。场地主要持力层为平均厚度约5.5 m(自基础底面下)的洪积砂砾石层,承载力特征值500 kPa;其下为平均厚度约4.5 m的粉质黏土层,承载力特征值230 kPa;再下为厚度约17 m的砂卵石层。显然,地基承载力受下卧粉质黏土层控制,而且洪积砂砾石层厚度仅为基础宽度的 $1/4$,基底压力几乎直接传递到下卧层。设计时,反复核实地基土层厚度与分布及各土层物理力学

性质,运用土力学原理对地基承载力进行基础宽度、下卧层深度修正,考虑到地下水升降的影响,通过仔细分析计算,确定地基承载力为 686.6 kPa,满足设计要求。该建筑物已使用几十年,一直安全稳定。这是根据建筑物基础结构类型、尺寸、埋深及荷载大小和地基层情况,运用土力学原理,综合分析地基承载力,做出合理设计的实例。

——土木工程建设各种制约因素非常复杂,千变万化,要根据具体情况,运用土力学及其他基本概念、基本理论进行科学分析,灵活采取措施,以避免不利情况的发生。2009年6月27日清晨5时30分左右,上海闵行区莲花南路、罗阳路口西侧“莲花河畔景苑”小区一栋在建的13层住宅楼全部倒塌,楼房底部原本应深入地下的数十根混凝土管桩被“整齐”地折断后裸露在外(图0-3)。“简直不敢相信,13层的楼房连根拔起,整体倒塌,却没有散架。从1956年开始研究房屋结构到现在,还没有见过房子这么倒下的”,有专家这么说。不管倒塌原因是什么,其教训是十分沉重的。



图 0-3 上海“莲花河畔景苑”小区倒塌建筑

0.2 土力学发展简要回顾

有了人类活动,就有土木工程,当然也离不开岩土工程。人类早期的伟大工程,诸如万里长城、大型宫殿、大运河、金字塔等,都是人类智慧的结晶,是人类直观思维和不断完善的工程经验的总结。由于社会的快速发展,大型建筑、铁路、公路、桥梁等工程对岩土工程提出了更高要求,人们对相关问题开始进行逻辑的、科学的研究。1773年,法国科学家Coulomb(库仑)提出了土的抗剪强度理论和刚性滑楔体理论计算挡土墙墙后土压力的方法;1855年,法国学者Darcy(达西)提出了土的渗透理论;1857年,英国的Rankine(朗肯)发表了土压力塑性平衡理论;1885年,法国的Boussinesq(布辛奈斯克)求得了弹性半空间无限体表面作用有竖向集中荷载时土中应力、位移的理论解答。20世纪,瑞典的Pettersson(彼得森)、Fellenius(费兰纽斯)和美国的Taylor(泰勒)提出、发展了土坡稳定性分析方法,Prandtl(普朗德)、Ressiner(瑞斯纳)、Terzaghi(太沙基)、Meyerhoof(梅耶霍夫)、Hansen(汉森)等对地基破坏模式及地基承载力进行了研究。1925年,美籍奥地利人Terzaghi(太沙基)发表了《土力学》一文,提出了饱和土的有效应力原理,阐述了土的主要力学性质及其

主要影响因素之间的关系,使得土力学成为一门独立学科。1963年,英国的 Roscoe(罗斯科)发表的《临界状态土力学》和他提出的剑桥模型标志着现代土力学的形成和发展。

在国内,黄文熙院士提出了考虑土侧向变形的地基沉降计算的方法,并于1983年主编土力学专著《土的工程性质》,被称为中国土力学的奠基人。此外,茅以升、陈宗基、汪闻韶、卢肇钧、沈珠江、周镜,以及俞调梅、陈梁生、陈仲颐、曾国熙、冯国栋、钱家欢、钱鸿缙、刘祖典、谢定义等为我国土力学学科建设和教育做出了贡献。

土力学发展离不开学术交流活 动。在国际和国内有各种定期或不定期的学术会议,其中影响最大的是国际和国内各自举办的“土力学及岩土工程学术会议”。此外,国内外各种土力学和岩土工程期刊代表了学科发展的方向和水平,如 *Canadian Geotechnical Journal* (《加拿大岩土工程学报》)、美国的 *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* (ASCE) (《岩土及环境岩土工程学报》)、英国的 *Geotechnique* (《土力学》)以及国内的《岩土工程学报》《岩土力学》《岩石力学与工程学报》《土木工程学报》等。

0.3 本课程特点及学习要求

本课程涉及工程地质、土力学和基础工程以及结构与施工的知识,内容广泛、综合性强,学习时要突出重点、全面兼顾。从土木工程建筑对地基基础的要求出发,重视工程地质基本知识,培养阅读和使用工程勘察资料的能力;掌握土的应力、变形、强度和地基计算等土力学基本原理,并运用这些基本概念和原理,结合建筑结构理论和施工知识,分析和解决地基基础问题。

本课程主要介绍土的物理性质(包括土的成因、物质组成、颗粒级配、三相物理指标、土的状态描述和分类等),土的力学性质(包括土中应力、土的变形、强度),以及作为建筑物地基基础设计与施工的基本概念和方法(包括浅基础、桩基础、地基处理等)。

土力学首先是为相关工程服务的,因此,它有充分的工程背景,既来源于工程,又服务于工程。和其他土木工程类似,它也要满足工程对象的承载力极限状态和正常使用极限状态的要求,体现在土力学中就是土的强度、变形和渗透特性及相应的工程稳定问题。

土的力学性质离不开土的物质特点,即土的多孔性、多相性和松散性,使得土在总体上具有“低强度、高压缩性、易渗透性”的特点。由于土的形成历史和环境的复杂性,使得土具有非常明显的时空变异性。

土力学的中心任务是研究不同条件下(应力变化、静荷载与动荷载、湿度变化、渗流情况等)土的强度和变形性质及其变化规律,以及在工程中的应用。

地基和基础工程则是土力学在工程中的具体应用。通过本课程学习,能了解地基基础设计的目的和原则、主要类型,掌握常见基础和地基处理的设计方法。

学习本课程时,必须自始至终地抓住土的变形、强度和稳定性问题这一重要线索,并特别注意土的多样性、易变性和实践性强的特点。概括地讲,土力学学科工作特点是以勘察、试验结果为依据,以土的工程性状及理论分析为核心,以工程应用为灵魂,以确保工程稳定为目的。学习的目的是为了解决工程问题,在掌握基本概念和理论的基础上,尽量增加实践机会,多接触实际工程问题,使二者有机结合,在实践与学习中思考、提高。

1 土的物理性质与工程分类

在漫长的地质岁月中,经内、外力综合作用形成了各种类型的岩石和土。土是第四纪以来(距今大约 100 万年)由组成地壳岩石圈的坚硬岩石,在表生作用带(指地表及地表以下不太深的环境条件)经风化、剥蚀、搬运、沉积作用所形成的且广泛分布的松散沉积物,故亦称第四纪沉积物。

土是各种工程的地基物质组成之一,其工程与力学性质对工程的稳定性有重要影响,而土的组成及物理性质又是影响其工程与力学性质的主要因素。对土的组成、主要物理性质和分类的认识,是认识、研究土的主要工程与力学性质的基础。

土的物质成分有土固体颗粒(固相)、孔隙中的水(液相)和气体(气相),通常称之为土的三相组成。因此,不同的土,其三相组成及三相质量、体积之间的数量有很大不同,也影响着土的工程与力学性质。

1.1 土的形成及组成

1.1.1 土的形成

地表岩石经物理(化学)风化、剥蚀成岩屑、黏土矿物及化学溶解物质,再经过搬运、沉积而形成土。根据岩屑搬运和沉积的情况不同,土可以分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、风积土等。

1.1.1.1 残积土(Q^{el})

残积土指原岩经风化、剥蚀而未被搬运,残留在原地的岩石碎屑。残积土的分布受地形控制。

一般来说,残积土是由于雨(雪)水流将细颗粒带走后残留的较粗颗粒的堆积物,其残留碎屑的矿物成分在很大程度上与下卧基岩一致。例如砂岩风化剥蚀后生成的残积土多为砂岩碎块。残积物由黏性土或砂类土以及具有棱角状的碎石所组成,有较高的孔隙度,没有经过搬运、分选,无层理,厚度变化大,一般在山坡处较薄,在坡脚或低洼处较厚。如以残积层作为建筑物地基,应当注意不均匀沉降和土坡稳定性问题。在我国南方地区,某些残积土有其特殊工程性质。如由石灰岩风化而成的残积红黏土,虽然其孔隙比较大,含水量高,但其结构性强因而承载力高;由花岗岩风化而成的残积土,虽室内测定压缩模量较低,孔隙比也较大,但其承载力并不低。

1.1.1.2 坡积土(Q^{dl})

山坡上方的岩石风化产物在重力作用下被缓慢流动的雨(雪)水流向下逐渐搬运,沉积

在较平缓山坡上而形成的堆积物称为坡积土。

坡积物的上部常与残积物相接,堆积的厚度也不均匀,一般上薄下厚(上部有时不足1 m,下部可达几十米)。坡积物底面的倾斜度取决于基岩,颗粒自上而下呈现由粗到细的分选现象,其矿物成分与其下的基岩无关。以坡积土作为地基时,由于坡积物的孔隙大,压缩性高,应注意不均匀沉降和地基稳定性问题。

由于坡积土形成于山坡,故较易沿下卧基岩倾斜层面发生滑动。在坡积土上进行工程建设时,除应注意不均匀沉降外,还应考虑坡积土本身滑坡的可能性及施工开挖后边坡的稳定性问题。

1.1.1.3 洪积土(Q^{pl})

由暴雨或骤然融雪而汇集于山谷后形成的山洪急流具有强大的搬运能力,在山洪急流搬运下沉积于山谷冲沟出口或山前倾斜平原上而形成的扇形堆积物称为洪积物。在地貌学上称为山麓洪积扇。

洪积土的分选作用较明显,离冲沟出口愈远,颗粒愈细。此外,由于洪水是呈周期性的,每次大小不尽相同,堆积下来的物质也不一样,常形成不规则交错层理构造,如具有夹层、尖灭或透镜体等。洪积扇的顶部(近山区)颗粒粗大、磨圆性差,透水性好,地下水位深,地层厚,常是优良的地基地层。洪积扇的前沿(远山区)沉积的主要是粉细砂、粉土、黏性土等细粒土。洪积扇的中部扇形展开很宽,沉积的砾石、砂粒、粉粒和黏土颗粒都有,地层呈交互层理构造,一般属于较好的地基地层;但当有泉水发育时,往往形成宽广的沼泽地带,属不良地基地层。

1.1.1.4 冲积土(Q^{al})

冲积土即河流冲积物。根据河流冲积土形成条件,可分为河床相、河漫滩相、牛轭湖相、河口三角洲相及溺谷相。

由于搬作用显著,碎屑物质由带棱角颗粒(块石、碎石、角砾)经滚磨、碰撞逐渐形成亚圆形或圆形颗粒(漂石、卵石、圆砾)。从上游到下游的冲积土具有明显的分选现象。上游沉积土多为粗大颗粒,中下游沉积土则大多由砂粒逐渐过渡为粉粒和黏粒。

在山区河谷,两岸陡峭,大多为河谷阶地,很少有河漫滩出现。山区河谷冲积物多由含纯砂的卵石、砾石等组成,其分选性也较平原河谷冲积物差。山区河谷冲积物的透水性很大,抗剪强度高,几乎不可压缩,是良好的地基地层。在高阶地往往是岩石或坚硬土层,若作为地基,其工程条件很好。在山区河谷地带进行工程建设时,必须考虑山洪和滑坡、崩塌等不良地质现象的发生。平原河谷冲积包括平原河床冲积物、河漫滩冲积物、河流阶地冲积物、牛轭湖沉积物、湖积物和三角洲沉积物等。沉积历史、沉积环境、沉积物质不同的平原河谷冲积物其工程性质差异巨大。河床冲积物大多为中密砂粒,若作为建筑物地基则承载力高,但需注意河流冲积作用可能导致地基毁坏以及凹岸边坡稳定问题。河漫滩冲积物其下层为砂粒、卵石等粗粒物质,上部则为淤泥和泥炭土,将其作为建筑物地基时应认真对待,尤其是在淤塞的古河道地区,更应慎重处理;如冲积土为砂土,则承载力可能较高,但开挖基坑时要注意流砂现象。河流阶地冲积土由河床沉积土和河漫滩沉积土演变而来,形成

时间较长,强度较高,可作为建筑物良好地基。

1.1.1.5 风积土(Q^{eol})

风积物(土)是指在干旱条件下,岩石的风化碎屑物被风吹扬,搬运一段距离后,在有利的条件下堆积起来的一类土。最常见的是风成砂(沙滩、沙丘)及风成黄土。黄土是一种特殊土,主要由粉粒和砂粒土组成,含可溶盐,孔隙比大,往往具有湿陷性。风成砂是一种不稳定的土层,随着风的吹扬迁移,在其上进行工程建设,常需采用固砂措施。

1.1.1.6 其他沉积土

除以上五种沉积土外,还有其他类型的松散堆积层,如湖泊地质作用形成的湖积土(Q^l)、海洋地质作用形成的海积土(Q^m)、冰川地质作用形成的冰积土(Q^gl)等。

按沉积过程中不同矿物成分和不同颗粒形状的土颗粒在水和空气介质中的相互作用分析,可形成颗粒间排列和连接形式不同的结构,如砂土的单粒结构、粉粒和细砂粒的蜂窝结构、黏土的絮状结构等。不同沉积环境下形成的土层一般具有不同的层状构造,既有一种土组成的厚层均质土层,也有由多种薄层土相互交替组成的复合土层,还有厚薄不均、局部尖灭、含透镜体等构造,以及不连续的裂隙构造等。这些不同成因、不同结构、不同构造的土层,具有程度不同的不均匀性、多变性、各向异性和不同的应力历史状态,以及各种性质的不确定性(模糊性)和概率性。这是分析各种工程地基破坏和沉降及不均匀沉降的客观条件。

1.1.2 土的组成

一般来说,土就是由颗粒(固相)、水(液相)和气(气相)所组成的三相体系。

不同的土体,其颗粒大小和矿物成分差别很大,各组成部分的数量比例也不相同,土粒与其周围的水又发生复杂的作用。因此,土体三相组成中每一相的特征及三相比例关系对土的性质有重要影响。

1.1.2.1 土的固体颗粒

在土的三相组成中,固体颗粒形成土的骨架,是决定土的工程性质的主要成分。

自然界中绝大多数土都是由大小不同的土粒组成的。土粒大小及其矿物成分的不同对土的物理力学性质影响极大。当土粒的粒径由粗到细逐渐变化时,土的性质也相应发生变化。随着土粒粒径变细,无黏性且透水性强的土变为透水性弱且具有黏性和可塑性的土。因而,在研究土的工程特性时,应将土中不同粒径的土粒,按某一粒径范围分为若干粒组,使每个粒组范围内的土具有相似的工程性质,不同粒组之间具有不同的特性。这种划分粒组的界限尺寸称为界限粒径。

(1) 土的粒组划分

目前,土的粒组划分方法并不完全一致,各个国家,甚至一个国家的各个部门或行业都有一些不完全相同的土颗粒划分规定。按照《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007)中的规定,把土粒划分为三大粒组:巨粒、粗粒和细粒,各大粒组又可细分。具体的粒组和颗