



高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

Foundation Engineering

基础工程

· 平台课课程群 ·

■ 主编 戴国亮 程 晔
■ 主审 龚维明 施 峰



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

基 础 工 程

主 编 戴国亮 程 晔

副主编 章定文

主 审 龚维明 施 峰



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/戴国亮,程晔主编. —武汉:武汉大学出版社,2015.9
高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材
ISBN 978-7-307-16057-6

I. 基… II. ①戴… ②程… III. 基础(工程)—高等学校—教材 IV. TU47

* 中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 121438 号

责任编辑:李嘉琪 孙 丽 责任校对:邓 瑶 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:虎彩印艺股份有限公司

开本:880×1230 1/16 印张:16.75 字数:539千字

版次:2015年9月第1版 2015年9月第1次印刷

ISBN 978-7-307-16057-6 定价:35.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

主要编写及审稿人员简介



戴国亮，博士，东南大学教授、博士生导师，国家一级注册结构工程师和注册土木工程师（岩土）。2010—2011年美国普渡大学访问学者。中国建筑学会地基基础分会理事，中国岩石力学与工程学会青年工作委员会委员；中国土木工程学会土力学及岩土工程分会软土工程专业委员会委员。主要从事桩基础及深基础研究，主持和参与973计划课题、国家自然科学基金、国家科技支撑计划项目、交通运输部重大专项、交通运输部西部课题、省自然科学基金等纵向项目10多项。获江苏省科技进步一等奖1项，二等奖3项和三等奖3项。在国内外核心期刊发表论文110余篇，SCI、EI、ISTP检索论文40余篇；出版专著、教材和规程17本。



程 晔，博士，南京航空航天大学副教授。主要从事桩基础研究，近年来主持了国家自然科学基金、中国博士后基金、江苏省博士后基金等项目，参与了国家863计划课题、国家科技支撑计划课题、国家自然科学基金等多个纵向项目的研究，获得江苏省科技进步二等奖1项。



龚维明，博士，教授，博士生导师，国家一级注册结构工程师和注册土木工程师（岩土）。1985年毕业于浙江大学，获学士学位；1987年毕业于同济大学，获岩土工程硕士学位；1996年毕业于东南大学，获结构工程博士学位。自1987年以来一直从事地基基础设计、研究、教学、检测、咨询工作，主要对单、群桩承载力，基础沉降，桩—土—承台共同作用，桩底压浆技术，施工逆作法工艺及桩自平衡测试技术进行了研究。主持和参加多项973、863课题及国家与省级科技项目，获国家、省部级奖10余次，发表论文150余篇，出版专著5本，参编教材和规范、规程10多部。



施 峰，教授级高级工程师，国家注册土木工程师（岩土）。1986年毕业于北京大学力学系，1989年毕业于同济大学，获岩土工程硕士学位。现任福建省建筑科学研究院总工程师、地基基础研究所所长、福州大学兼职教授。2004年入选福建省第六批百万人才工程人选。2012年赴美国普渡大学做访问学者。担任中国土木工程学会土力学及岩土工程学会桩基础学术委员会委员、中国标准化协会地基基础专业委员会委员，福建省土木建筑学会岩土与基础工程分会副会长，国际土力学与岩土工程协会会员等。主持和参与国家及行业标准10余项，发表论文30余篇。

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

学术委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:周创兵

副主任委员:方 志 叶列平 何若全 沙爱民 范 峰 周铁军 魏庆朝

委 员:王 辉 叶燎原 朱大勇 朱宏平 刘泉声 孙伟民 易思蓉
周 云 赵宪忠 赵艳林 姜忻良 彭立敏 程 桦 靖洪文

编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:李国强

副主任委员:白国良 刘伯权 李正良 余志武 邹超英 徐礼华 高 波

委 员:丁克伟 丁建国 马昆林 王 成 王 湛 王 媛 王 薇
王广俊 王天稳 王曰国 王月明 王文顺 王代玉 王汝恒
王孟钧 王起才 王晓光 王清标 王震宇 牛荻涛 方 俊
龙广成 申爱国 付 钢 付厚利 白晓红 冯 鹏 曲成平
吕 平 朱彦鹏 任伟新 华建民 刘小明 刘庆潭 刘素梅
刘新荣 刘殿忠 闫小青 祁 皑 许 伟 许程洁 许婷华
阮 波 杜 咏 李 波 李 斌 李东平 李远富 李炎锋
李耀庄 杨 杨 杨志勇 杨淑娟 吴 昊 吴 明 吴 轶
吴 涛 何亚伯 何旭辉 余 锋 冷伍明 汪梦甫 宋固全
张 红 张 纯 张飞涟 张向京 张运良 张学富 张晋元
张望喜 陈辉华 邵永松 岳健广 周天华 郑史雄 郑俊杰
胡世阳 侯建国 姜清辉 娄 平 袁广林 桂国庆 贾连光
夏元友 夏军武 钱晓倩 高 飞 高 玮 郭东军 唐柏鉴
黄 华 黄声享 曹平周 康 明 阎奇武 董 军 蒋 刚
韩 峰 韩庆华 舒兴平 童小东 童华炜 曾 珂 雷宏刚
廖 莎 廖海黎 蒲小琼 黎 冰 戴公连 戴国亮 魏丽敏

出版技术支持

(按姓氏笔画排名)

项目团队:王 睿 白立华 曲生伟 蔡 巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录www.stmpress.cn下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

丛书序

土木工程涉及国家的基础设施建设,投入大,带动的行业多。改革开放后,我国国民经济持续稳定增长,其中土建行业的贡献率达到1/3。随着城市化的发展,这一趋势还将继续呈现增长势头。土木工程行业的发展,极大地推动了土木工程专业教育的发展。目前,我国有500余所大学开设土木工程专业,在校生达40余万人。

2010年6月,中国工程院和教育部牵头,联合有关部门和行业协(学)会,启动实施“卓越工程师教育培养计划”,以促进我国高等工程教育的改革。其中,“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划”由住房和城乡建设部与教育部组织实施。

2011年9月,住房和城乡建设部人事司和高等学校土建学科教学指导委员会颁布《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,对土木工程专业的学科基础、培养目标、培养规格、教学内容、课程体系及教学基本条件等提出了指导性要求。

在上述背景下,为满足国家建设对土木工程卓越人才的迫切需求,有效推动各高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,促进高等学校土木工程专业教育改革,2013年住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会启动了“高等教育教学改革土木工程专业卓越计划专项”,支持并资助有关高校结合当前土木工程专业高等教育的实际,围绕卓越人才培养目标及模式、实践教学环节、校企合作、课程建设、教学资源建设、师资培养等专业建设中的重点、亟待解决的问题开展研究,以对土木工程专业教育起到引导和示范作用。

为配合土木工程专业实施卓越工程师教育培养计划的教学改革及教学资源建设,由武汉大学发起,联合国内部分土木工程教育专家和企业工程专家,启动了“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材”建设项目。该系列教材贯彻落实《高等学校土木工程本科指导性专业规范》《卓越工程师教育培养计划通用标准》和《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准》,力图以工程实际为背景,以工程技术为主线,着力提升学生的工程素养,培养学生的工程实践能力和工程创新能力。该系列教材的编写人员,大多主持或参加了住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会的“土木工程专业卓越计划专项”教改项目,因此该系列教材也是“土木工程专业卓越计划专项”的教改成果。

土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,需要校企合作,期望土木工程专业教育专家与工程专家一道,共同为土木工程专业卓越工程师的培养作出贡献!

是以为序。



2014年3月于同济大学四平路校区

前 言

本书是住房和城乡建设部 2013 年度土建类高等教育教学改革项目土木工程专业卓越计划专项系列规划教材之一,是为了满足本科宽口径、大土木的专业需要,结合现代基础工程的发展趋势,按照土木工程专业培养卓越工程师的要求进行编写的。

基础工程是土木工程专业的一门主要课程,是以建筑物的地基、基础为对象,应用土力学的基本原理和方法来研究建筑物地基和基础的承载力和变形等问题,从而保证建筑物的安全和正常使用。随着我国现代化建筑事业的突飞猛进,人们在基础工程领域内取得了许多新的成就。编者在读者已掌握土力学基本理论的前提下,参照最新国家规范和规程编写了本书。各章编者结合长期的教学经验,在编写时充分考虑了教学的要求,强调对基本知识和应用技能的讲解,力求体系完整、内容精炼和图表准确。通过本课程的学习,学生应掌握地基基础设计的基本原则,具有进行一般土木工程基础选型、设计和评价的能力,同时具备从事基础工程施工管理的能力,能对常见的基础工程事故作出科学的分析,提出可行的处理方案。

本书共分 8 章。各章主要内容是:第 1 章绪论,介绍土木工程对地基的要求和基础工程的重要性,基础工程的发展概况,基础工程课程的特点及学习方法。第 2 章地基基础设计,介绍地基基础设计的基本原则和规定,地基与基础的类型,常规设计方法和合理设计方法的各自特点,以及地基、基础与上部结构的共同作用;第 3 章浅基础,介绍基础埋置深度选择、地基承载力的确定、基础底面尺寸的确定,以及浅基础的设计计算;第 4 章桩基础,主要介绍桩基础分类、桩基础承载力计算及桩基础设计等;第 5 章地基处理,介绍复合地基理论,常用的地基处理方法等;第 6 章挡土墙与基坑支护,主要介绍挡土墙、边坡的特点及计算要点等;第 7 章特殊土地基基础工程,介绍软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土、多年冻土及盐渍土等几种特殊土地基特性;第 8 章地基基础的抗震,主要介绍场地类别与震害表现,地基基础抗震设计及液化判别与抗震措施。为便于读者学习,每章后附有知识归纳、独立思考。

本书由戴国亮、程晔担任主编,章定文担任副主编,由邹新军、梁发云、童小东担任参编。具体编写分工为:前言、第 1 章和第 2 章由戴国亮(东南大学)编写;第 3 章和第 8 章由程晔(南京航空航天大学)编写;第 4 章由邹新军(湖南大学)编写;第 5 章由章定文(东南大学)编写;第 6 章由梁发云(同济大学)编写;第 7 章由童小东(东南大学)编写。全书由东南大学龚维明和福建省建筑科学研究院施峰担任主审。

在编写过程中,编者参阅了相关资料和一些院校的优秀教材,均在参考文献中列出,在此向有关作者表示谢意。由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请各位读者批评指正。

编 者

2015 年 7 月

目 录

1 绪论	(1)	2.5.3 地基、基础与上部结构的共同作用	(27)
1.1 概述	(2)	2.6 地基变形验算与不均匀沉降控制 ...	(28)
1.1.1 地基	(2)	2.6.1 地基变形特征	(28)
1.1.2 基础	(3)	2.6.2 建筑物地基的允许变形	(30)
1.2 基础工程的重要性	(3)	2.6.3 压缩变形与回弹变形的计算 ...	(31)
1.2.1 地基基础事故	(3)	2.6.4 不均匀沉降控制和减轻措施 ...	(32)
1.2.2 典型事故	(4)	知识归纳	(37)
1.3 基础工程的发展概况	(6)	独立思考	(37)
1.3.1 基础工程学科	(6)	3 浅基础	(38)
1.3.2 基础工程现状	(6)	3.1 概述	(39)
1.3.3 基础工程发展方向	(7)	3.2 基础埋置深度的选择	(39)
1.4 本课程的特点和学习要求	(7)	3.2.1 建筑结构条件	(40)
1.4.1 基础工程课程特点	(7)	3.2.2 工程地质条件	(40)
1.4.2 学习要求	(8)	3.2.3 水文地质条件	(40)
知识归纳	(8)	3.2.4 地基冻融条件	(41)
独立思考	(9)	3.2.5 场地环境条件	(42)
2 地基基础设计	(10)	3.3 地基承载力	(42)
2.1 概述	(11)	3.3.1 地基承载力的概念	(42)
2.2 地基基础设计的基本原则和规定 ...	(11)	3.3.2 地基承载力特征值的确定	(42)
2.2.1 地基基础设计内容	(11)	3.4 浅基础设计计算	(46)
2.2.2 地基基础设计等级	(12)	3.4.1 地基持力层承载力验算	(46)
2.2.3 地基基础设计方法	(12)	3.4.2 软弱下卧层承载力验算	(48)
2.2.4 地基基础设计的基本规定	(13)	3.4.3 稳定性验算	(50)
2.3 地基与基础类型	(15)	3.4.4 无筋扩展基础设计	(51)
2.3.1 地基类型	(15)	3.4.5 钢筋混凝土扩展基础设计	(53)
2.3.2 基础类型	(16)	3.4.6 柱下条形基础的分析与设计 ...	(63)
2.4 地基的计算模型	(21)	3.4.7 柱下十字交叉梁基础的计算 ...	(74)
2.4.1 文克勒地基模型	(21)	3.4.8 筏形基础与箱形基础设计	(78)
2.4.2 弹性半空间地基模型	(22)	知识归纳	(93)
2.4.3 有限压缩层地基模型	(24)	独立思考	(94)
2.5 地基、基础与上部结构共同作用	(24)	4 桩基础	(97)
2.5.1 地基与基础的相互作用	(25)	4.1 概述	(98)
2.5.2 基础与上部结构的相互作用 ...	(27)		

4.1.1 桩基础及其应用	(98)	5.1.2 常用地基处理方法分类	(148)
4.1.2 桩基础设计原则	(98)	5.2 换填法	(150)
4.2 桩基础和桩的分类	(99)	5.2.1 换填法的原理	(150)
4.2.1 桩基础的分类	(99)	5.2.2 换填法的设计计算方法	(150)
4.2.2 桩的分类	(100)	5.2.3 垫层施工与检测	(152)
4.3 桩的竖向承载力	(105)	5.3 排水固结法	(153)
4.3.1 桩的荷载传递机理	(105)	5.3.1 排水固结法的原理	(153)
4.3.2 桩的荷载传递	(105)	5.3.2 排水固结法的设计计算方法	(155)
4.3.3 桩侧摩阻力和桩端阻力	(106)	5.4 复合地基	(161)
4.3.4 单桩的破坏模式	(106)	5.4.1 复合地基的概念与分类	(161)
4.3.5 单桩竖向抗压承载力	(107)	5.4.2 复合地基的形成条件	(162)
4.3.6 单桩竖向抗拔承载力	(116)	5.4.3 复合地基作用机理与破坏 模式	(163)
4.3.7 桩的负摩阻力	(117)	5.4.4 复合地基的设计计算	(164)
4.3.8 群桩基础	(118)	5.5 强夯法	(171)
4.3.9 基桩竖向承载力验算	(122)	5.5.1 强夯法的原理	(171)
4.3.10 桩基的沉降	(124)	5.5.2 强夯法的设计计算方法	(174)
4.4 桩的水平承载力	(124)	5.5.3 质量检测	(178)
4.4.1 水平荷载作用下桩的工作 性状	(124)	5.6 其他地基处理方法简介	(179)
4.4.2 水平受荷桩的理论分析	(125)	5.6.1 灌浆法	(179)
4.4.3 单桩水平静载荷试验	(128)	5.6.2 托换技术	(179)
4.4.4 桩基水平承载力验算	(130)	知识归纳	(180)
4.5 承台的计算	(132)	独立思考	(181)
4.5.1 构造要求	(132)	6 挡土墙与基坑支护	(182)
4.5.2 承台的内力计算	(133)	6.1 概述	(183)
4.5.3 受冲切计算	(133)	6.1.1 按挡土结构的刚度分类	(183)
4.5.4 受剪计算	(135)	6.1.2 按挡土结构的力平衡方式 分类	(183)
4.5.5 局部受压计算	(135)	6.1.3 按支锚结构的形式分类	(183)
4.5.6 受弯计算	(135)	6.2 挡土墙	(184)
4.6 桩基础设计	(136)	6.2.1 挡土墙的结构形式及破坏 模式	(184)
4.6.1 资料收集	(137)	6.2.2 挡土墙的稳定验算	(185)
4.6.2 桩型、桩长和截面尺寸选择	(137)	6.2.3 重力式挡土墙的设计与 验算	(186)
4.6.3 桩的平面布置	(137)	6.2.4 悬臂式挡土墙的设计与 验算	(189)
4.7 桩基检测	(142)	6.3 基坑支护的形式及特点	(191)
4.8 桩基新技术	(143)	6.3.1 板式支护结构	(191)
知识归纳	(145)	6.3.2 重力式水泥土墙	(195)
独立思考	(146)		
5 地基处理	(147)		
5.1 概述	(148)		
5.1.1 软弱地基与特殊土地基	(148)		

6.3.3 土钉墙	(196)	7.8.1 盐渍土概述	(232)
6.4 基坑支护的设计与施工	(196)	7.8.2 盐渍土地基上建(构)筑物的 设计原则及设计、施工措施 ...	(234)
6.4.1 板式支护结构设计	(196)	7.9 残积土	(236)
6.4.2 水泥土桩墙支护结构设计	(204)	7.9.1 残积土概述	(236)
6.4.3 基坑施工与监测概述	(208)	7.9.2 残积土地基处理的设计原则和 施工措施	(236)
知识归纳	(210)	7.10 污染土	(237)
独立思考	(211)	7.10.1 污染土概述	(237)
7 特殊土地基基础工程	(213)	7.10.2 污染土的腐蚀作用机理	(237)
7.1 概述	(214)	知识归纳	(237)
7.2 湿陷性土	(214)	独立思考	(238)
7.2.1 湿陷性黄土概述	(214)	8 地基基础的抗震	(239)
7.2.2 湿陷性黄土地基的评价	(215)	8.1 概述	(240)
7.2.3 湿陷性黄土地区建(构)筑物的 设计、施工措施	(218)	8.1.1 地震的概念	(240)
7.3 红黏土	(220)	8.1.2 震级与烈度	(240)
7.3.1 红黏土概述	(220)	8.2 地基基础的震害现象	(241)
7.3.2 红黏土地区建(构)筑物的设计 原则	(221)	8.2.1 地基的震害	(241)
7.4 软土	(222)	8.2.2 建筑基础的震害	(241)
7.4.1 软土概述	(222)	8.3 地基基础抗震设计	(242)
7.4.2 软土地区建(构)筑物的设计 措施	(223)	8.3.1 抗震设计的任务	(242)
7.5 填土	(224)	8.3.2 抗震设计的目标和方法	(242)
7.5.1 填土概述	(224)	8.3.3 建筑场地选择	(243)
7.5.2 素填土、杂填土、冲填土	(224)	8.3.4 地基基础方案选择	(246)
7.5.3 压实填土	(226)	8.3.5 天然地基承载力验算	(247)
7.6 多年冻土	(227)	8.3.6 桩基础验算	(249)
7.6.1 多年冻土概述	(227)	8.4 液化判别与抗震措施	(250)
7.6.2 多年冻土地基的设计原则	(229)	8.4.1 液化判别和危险程度估计 方法	(251)
7.7 膨胀土	(230)	8.4.2 地基的抗液化措施及选择	(253)
7.7.1 膨胀土概述	(230)	知识归纳	(254)
7.7.2 膨胀土地基处理的设计原则和 设计、施工措施	(231)	独立思考	(255)
7.8 盐渍土	(232)	参考文献	(256)

绪 论

课前导读

▽ 内容提要

本章主要介绍地基基础的概念及重要性、基础工程的发展概况及学科特点。

▽ 能力要求

通过本章的学习，学生应了解基础工程的重要性及发展概况，掌握基础工程课程特点及学习要求。

1.1 概 述 >>>

基础工程的研究对象是地基与基础问题。地基是支承基础的土体或岩体,基础则是将结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分。

1.1.1 地基

任何建筑物(构筑物),如房屋、桥梁、码头、堤坝、地铁等,都建造在地面以下一定深度的地层上(土层或岩层),通常把受建筑物作用影响的那一部分地层称为地基(subgrade),将结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分称为基础(foundation)(图 1-1)。作为建筑地基的岩土,可分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土和人工填土。地基应满足强度、变形和稳定性要求,基础应满足强度、刚度和耐久性要求。

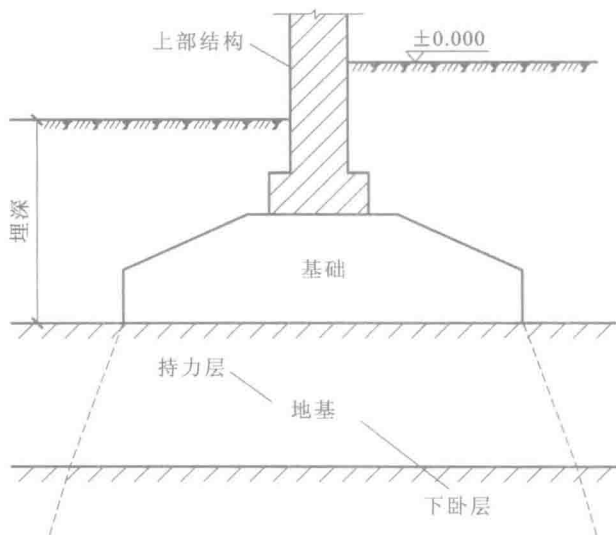


图 1-1 地基基础示意图

地基是由土和岩石组成的,土与岩石又是各种地质作用(包括风化、搬运、沉积等作用)的产物。地质作用导致了岩土物质成分和工程特性的复杂性及空间分布的不均匀性和差异性。土的工程特性指标可采用强度指标、压缩性指标、渗透性指标、静力触探探头阻力、动力触探锤击数、标准贯入试验锤击数、载荷试验承载力等特性指标表示。因此,地基岩土的性质很大程度上决定了基础的设计。根据土力学原理,上部结构的荷载通过基础传递给地基,到一定深度范围后其影响微小,一般说来,其影响深度范围为基础宽度的 1.5~5 倍,宽度范围为基础宽度的 1.5~3 倍,视基础的形状与荷载而异。基础底面下直接承受荷载对地基起主要作用的土层,称为地基的持力层;而其下受荷载影响较小的土层,称为地基的下卧层。应该注意的是,地基土层可能不止一层,凡在持力层下面的土层均称为下卧层。

根据地基的性质,地基可分为土基(soil subgrade)和岩基(rock subgrade);按照地基处置方式,地基可分为天然地基(natural subgrade)和人工地基(artificial subgrade)。当基础直接建造在未经加固的天然土层上时,这种由天然状态岩土体构成的地基称为天然地基。当天然地基软弱,不能满足地基强度、变形或稳定性等要求时,则要进行地基处理(例如,采用排水固结、换土垫层、深层密实、化学加固、加筋等处理方式),经地基处理后再建造基础,这种地基称为人工地基。显然,采用天然地基是最经济的。

1.1.2 基础

基础是建筑物在地面以下的结构部分。基础的作用是支撑上部结构荷载,并将荷载传给地基。基础应有一定的埋置深度,使基础底面进入到好的土层中。基础根据埋置深度(从室外地面到基底的距离,如图 1-1 所示),可分为浅基础和深基础。基础埋置深度不大(小于或相当于基础底面的宽度),只需进行挖槽、排水等普通施工工序就可建造起来的基础称为浅基础;需要埋置于较深土层、采用专门的施工方法和机具建造的基础称为深基础。浅基础有无筋扩展基础、扩展基础及连续基础等。深基础有桩基础、沉井基础、地下连续墙基础等。采用何种基础形式要根据上部结构和地基土特性综合考虑确定。

1.2 基础工程的重要性 >>>

地基与基础是建筑物的根基。它的勘察、设计和施工质量直接关系建筑物的经济与安全。随着高层建筑及大跨度、大空间结构的应用,基础工程的重要性及技术上的难度进一步增加,基础工程一般占建筑物工程造价的 20%~30%,工期占总工期的 25%~30%。因为基础工程属于隐蔽工程,一旦地基基础发生事故,补救非常困难,往往要花费大量的财力,有些几乎无法补救,所以基础工程的重要性是显而易见的。因此,准确地了解地基情况,选择合理的基础形式,进行可靠的设计,有着重要的技术和经济意义。

1.2.1 地基基础事故

国内外建筑工程事故调查表明,多数工程事故源于地基基础问题,特别是在软弱地基或不良地基地区,地基基础问题更为突出。一般主要反映在地基的强度破坏或地基产生过大的变形。常见的地基基础工程事故分类如下。

(1) 地基强度造成工程事故

结构物作用在地基上的荷载超过地基承载力,地基将产生剪切破坏,包括整体剪切破坏、局部剪切破坏和冲切剪切破坏三种形式。地基产生剪切破坏而使建筑物倒塌或破坏,这是重大的工程事故,后果是灾难性的。

(2) 地基变形造成工程事故

地基在建筑物荷载作用下产生沉降,一般包括瞬时沉降、固结沉降和蠕变沉降三部分。当总沉降量或不均匀沉降量超过建筑物允许沉降值时,会影响建筑物正常使用,从而造成工程事故。特别是不均匀沉降,可能会导致建筑物上部结构产生裂缝,整体倾斜,严重的会造成结构破坏。建筑物倾斜导致荷载偏心,将改变荷载分布,严重时可导致地基失稳破坏。

(3) 地基渗流造成工程事故

地基中渗流可能造成两类问题:一类是因渗流引起水量流失,另一类是在渗透力作用下产生流土、管涌。地下水位下降引起地基中有效应力改变,导致地基沉降,严重的可造成工程事故。

(4) 边坡滑动造成工程事故

建在边坡上或边坡坡顶和边坡坡脚附近的建(构)筑物会因边坡滑动产生破坏。造成边坡滑动的原因很多,除坡上加载、坡脚取土等人为因素外,土中渗流改变土的性质,特别是降低土层界面强度,以及土体强度随蠕变降低等都是重要原因。

(5) 地震造成工程事故

地震对建筑物的影响不仅与地震烈度有关,还与建筑场地效应、地基土动力特性有关。

唐山大地震后调查发现,普遍存在同一烈度区内建筑物破坏程度有显著差异。对于同一类土,因地形不同,可以出现不同的场地效应,房屋的震害因而不同。在同样的场地条件下,黏土地基和砂土地基、饱和

土和非饱和土地基上房屋的震害差别也很大。地震对建筑物的破坏还与基础形式、上部结构、体形、结构形式及刚度有关。

(6) 特殊土地基工程事故

这里特殊土地基主要是指湿陷性黄土、红黏土、软土、填土、多年冻土、膨胀土、盐渍土、残积土、污染土等。特殊土的工程性质与一般土不同,特殊土地基工程事故也有其特殊性。

湿陷性黄土在天然状态上具有较高的强度和较低的压缩性,但受水浸湿后结构迅速破坏,强度降低,产生显著附加下沉。在湿陷性黄土地基上建造建筑物前,如果没有采取措施消除地基的湿陷性,则地基受水浸湿后往往会发生事故,影响其正常使用和安全,严重时甚至导致建筑物破坏。

土中水冻结时,其体积约增加原水体积的 9%,产生冻胀;在融化时,产生收缩。土体冻结后,抗压强度提高,压缩性显著减小。土体融化时具有较大的流变性。冻土地基因环境条件改变,地基土体产生冻胀和融化,导致建筑物开裂,甚至破坏,影响其正常使用和安全。

盐渍土含盐量高,固相中有结晶盐,液相中有盐溶液。盐渍土地基浸水后,因盐溶解而产生地基溶陷。另外,盐渍土中盐溶液将导致建筑物材料腐蚀。地基溶陷和对建筑物材料腐蚀都可能影响建筑物的正常使用和安全,严重时可导致建筑物破坏。

(7) 其他地基工程事故

除了上述原因外,地下工程(地下铁道、地下商场、地下车库和人防工程等)的兴建,地下采矿造成的采空区,均可能导致影响范围内地面下沉,造成地基工程事故。另外,各种原因造成的地裂缝也将造成工程事故。

1.2.2 典型事故

地基和基础工程的质量因其不可预见因素太多,而且都是地下隐蔽工程,完工后不易检查,使用期间出现问题也不易察觉,如果处理不好,轻则导致墙体和楼板等开裂,影响其使用和安全耐久性,重则造成建筑物倾斜,甚至倒塌。下面是几个典型的地基和基础工程事故实例。

意大利的比萨斜塔,位于意大利托斯卡纳省比萨城北面的奇迹广场上。1173 年动工,1178 年建至第 4 层中部,高度约 29m,因塔明显倾斜而停工。1272 年复工,经 6 年时间,建完第 7 层,高 48m,再停工中断 82 年,于 1360 年再复工,至 1370 年竣工。全塔共 8 层,高度 55m。全塔总荷载约 145MN,基础底面平均压力约 50kPa。地基持力层为粉砂,下卧层为粉土和黏土层。因地基压缩层不均匀,排水缓慢,北侧下沉 1m 多,而南侧下沉近 3m。南北两端沉降差 1.80m,塔顶离中心线已达 5.27m,倾斜 5.5°。1932 年灌注 1000t 水泥也未纠偏奏效。1990 年 1 月停止对游客开放。1992 年 7 月,加固塔身,用压重法和取土法进行地基处理成功,2001 年 12 月再次向游客开放。

建于 1913 年的加拿大特朗斯康谷仓(Transcona Grain Elevator),长 59.4m,宽 23.5m,高 31.0m,共由 65 个圆筒仓组成。采用钢筋混凝土筏板基础,厚 61cm,埋深 3.66m。自重 200000kN。建成后装载 318220kN 谷物时,1h 竖向沉降达 30.5cm,24h 倾斜 26°53′,西端下沉 8.8m,东端上抬 1.5m,上部钢混筒仓完好无损。原因是地基土事先未进行调查,据邻近结构物基槽开挖取土试验结果,计算地基承载力应用到此谷仓。1952 年经勘察试验与计算,地基实际承载力远小于谷仓破坏时发生的基底压力。因此,谷仓地基因超载发生强度破坏而滑动。事后在下面做了 70 多个支撑于基岩上的混凝土墩,使用 388 个 500kN 千斤顶及支撑系统,才把仓体逐渐纠正过来,但其位置比原来降低了 4m。

上海展览中心馆原称上海工业展览馆,位于上海市区延安中路北侧。展览馆中央大厅为框架结构,箱形基础,展览馆两翼采用条形基础。箱形基础为两层,埋深 7.27m。箱形基础顶面至中央大厅顶部塔尖,总高 96.63m。地基为高压缩性淤泥质软土。展览馆于 1954 年 5 月开工,当年年底实测地基平均沉降量为 60cm。1957 年 6 月,中央大厅四周的沉降量最大达 146.55cm,最小为 122.8cm。到 1979 年,累计平均沉降量为 160cm,1957—1979 年(共 22 年)的沉降量仅 20cm 左右,不及 1954 年下半年沉降量的一半,说明沉降已趋于稳定。但由于地基严重下沉,不仅使散水倒坡,还使建筑物内外连接的水、暖、电管道断裂。

位于墨西哥国家首都的墨西哥城艺术宫,是一座巨型的具有纪念性的早期建筑。此艺术宫于1904年落成,至今已有110余年的历史。该市处于四面环山的盆地中,古代原是一个大湖泊。因周围火山喷发的火山沉积和湖水蒸发,经漫长年代,湖水干涸形成目前的盆地。地表层为人工填土与砂夹卵石硬壳层,厚度为5m;其下为超高压缩性淤泥,天然孔隙比高达7~12,天然含水量高达150%~600%,为世界罕见的软弱土,层厚达25m。因此,这座艺术宫严重下沉,沉降量竟高达4m。临近的公路下沉2m,公路路面至艺术宫门前高差达2m。参观者需步下9级台阶,才能从公路进入艺术宫。这是地基沉降最严重的典型实例。下沉量为一般房屋一层楼有余,造成室内外连接困难和交通不便,内外网管道修理工程量增加。

2009年6月27日,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,管桩折断。莲花河畔小区共有5幢住宅楼,其中倒塌楼房距防汛墙最近。调查结果显示,倾覆主要原因是,楼房北侧在短期内堆土高达10m,南侧正在开挖4.6m深的地下车库基坑,两侧压力差导致土体产生水平位移,过大的水平力超过了桩基的抗侧能力,导致房屋倾倒(图1-2)。同时,10m高的堆土是快速堆上的,这部分堆土是松散的,在雨水的作用下,堆土自身会滑动,滑动的动力水平作用在房屋的基础上,不但使该楼水平位移,更严重的是这个力与深层的土体滑移力引成一对力偶,加速桩基继续倾斜。高层建筑上部结构的重力对基础底面积形心的力矩随着倾斜的不断扩大而增加,最后使得高层建筑上部结构向南迅速倒塌。

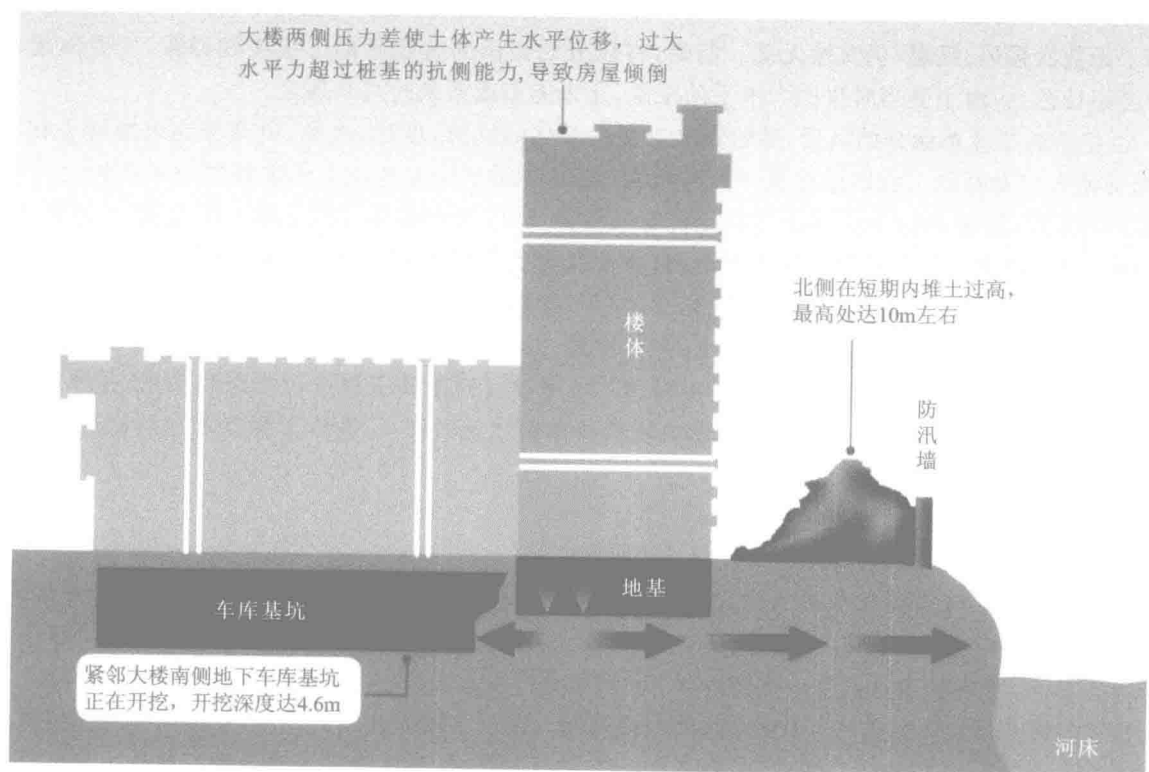


图 1-2 楼房整体倒塌示意图

以上所列举的一些工程事故,特别是地基基础方面的原因分析,不仅使人们充分认识到基础工程的重要性,还给人们留下许多有益的思考,并能使人们从中吸取经验和教训。只有深入地了解地基情况,掌握勘察资料,经过精心设计与施工,才能保证基础工程经济合理、安全可靠。随着我国经济建设的发展,相信会碰到更多的基础工程问题,也会不断出现新的热点和难点需要解决,而土力学和基础工程将在克服这些热点和难点的基础上得到新的发展。

1.3 基础工程的发展概况 >>>

1.3.1 基础工程学科

基础工程学研究对象是各类建(构)筑物(房屋建筑、桥梁建筑、水工建筑、隧道工程等)的地基基础和挡土结构物的设计和施工,以及为满足基础工程要求进行的各种地基处理方法。基础工程是岩土工程的一个重要组成部分,即用岩土工程的基本理论和方法去解决地基基础方面的工程问题。因为基础是建筑物结构的一部分,在基础设计中需要大量的结构计算,所以基础工程学也与结构计算理论及计算技术密切相关。

基础工程是土木工程学科的一个重要分支,是人类在长期的生产实践中发展起来的一门应用学科,是一门古老的工程技术和年轻的应用科学。追本溯源,世界文化古国的先民,早在史前的建筑活动中就创造了自己的基础工程工艺。早在50万年前,北京周口店“北京猿人”洞穴建成;4200年前,大禹治水工程完工;4000年前,黄帝古都的古城建成(河南古城寨村),采用10m深填土夯实后作为墙基。2000多年来在世界各地建造了宫殿楼宇、寺院教堂、长城运河、码头堤岸等工程,如我国的都江堰水利工程、举世闻名的万里长城、隋朝南北大运河、黄河大堤、赵州石拱桥及许许多多宏伟壮丽的宫殿寺院、高塔,等等,都因奠基牢固,虽然经历了无数次强风、强震,仍安然无恙。但是,古代劳动人民的大量基础工程实践经验,主要体现在能工巧匠的高超技艺上,由于受当时生产力水平的限制,还未能形成系统的科学理论。

18世纪欧洲工业革命开始以后,随着资本主义工业化的发展,城建、水利、道路等建筑规模也在不断扩大,从而促使人们对基础工程加以重视并开展研究,当时体现在作为基础工程学科理论基础的土力学方面的工作。1773年,法国Coulomb提出了砂土抗剪强度公式,1776年提出了挡土墙土压力理论,1857年Rankine从另一途径提出了挡土墙的土压力理论,有力地促进了基础工程的发展。19世纪末,美国采用人工挖孔桩;1899年,俄国提出了混凝土灌注桩技术;1901年,美国提出了沉管灌注桩技术。1925年,太沙基归纳了以往在土力学方面的主要成就,发表了《土力学》专著;1936年,国际土力学与基础工程学会成立,并举行了第一届国际土力学及基础工程会议,从而也带动了各国学者对基础工程进行研究和探索,并取得了进展,推进了本学科的发展。20世纪50年代后,随着现代科学新成就的渗入,基础工程技术与理论得到了进一步发展,成为较成熟的独立的现代科学。

1.3.2 基础工程现状

对场地条件较好、上部结构简单的建筑物和构筑物,一般采用基础工程的常规分析方法,即不考虑地基土、基础及上部结构的相互作用。从20世纪50年代开始,上部结构、基础与地基共同作用的研究课题就引起了国内外学者的重视。研究内容从最初的弹性地基上的梁板分析发展到非线性地基模型上的子结构分析。

大量工程涉及各类软弱地基与不良地基的处理问题。在土质较为软弱的地区,复合地基处理越来越成为地基处理的主要形式,广泛用于房屋建筑、铁路与公路、码头与堆场、油罐等的地基处理。在软土地区路堤柱体式加固方法中常用的竖向加固体有碎石桩、挤密砂桩、石灰桩、深层搅拌桩、旋喷桩、混凝土桩、预制桩、PCC(大直径薄壁筒桩)、Y形灌注桩及其他复合加固体。土工合成材料在地基处理中的应用越来越广泛,对地基特别是铁路、公路路基的承载力、沉降的研究已取得深入成果。近几年来,地基处理发展的一个典型趋势就是在既有的地基处理方法基础上,不断发展新的地基处理方法,特别是将多种地基处理方法进行综合使用,形成了极富特色的复合加固技术。这些复合加固技术发展特点主要体现在如下5个方面:①由单一加固技术向复合加固技术发展;②复合地基的加固体由单一材料向复合加固体发展;③复合地基加固技术与非复合地基加固技术的结合;④静力加固与动力加固技术的结合;⑤机械加固与非机械加固的结合。

自1962年以来,我国召开了全国土力学与基础工程会议,并建立了许多地基基础研究机构、施工队伍和试验室,培养了大批地基基础专业人才。不少学者对基础工程的理论和实践作出了重大贡献,受到了国际