

Gaodeng Xuexiao Jiaotong Yunshu yu Gongchenglei
ZhuanYe Guihua Jiaocai

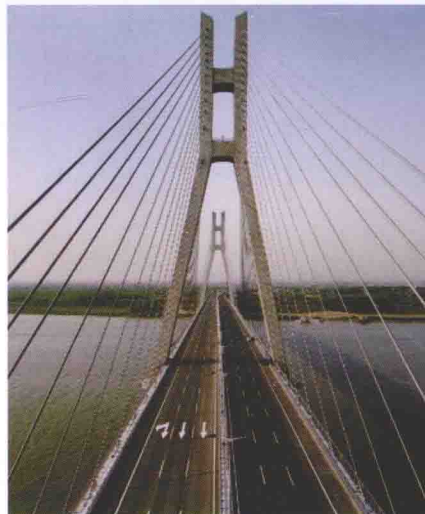
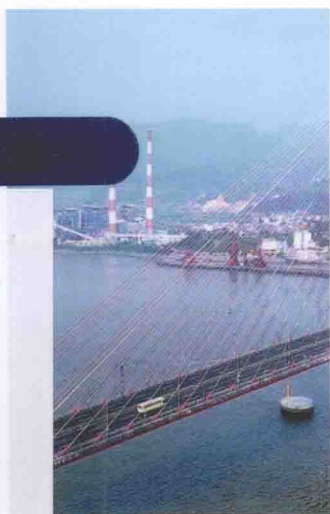
■ 高等学校交通运输与工程类专业规划教材
高等学校应用型本科规划教材

Foundation Engineering

基础工程

(第二版)

主编 / 赵 晖 刘 辉 主审 / 陈文胜



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校应用型本科规划教材
高等学校交通运输与工程类专业规划教材

Foundation Engineering

基 础 工 程

(第二版)

主 编 赵 晖 刘 辉

主 审 陈文胜

人民交通出版社股份有限公司

内 容 提 要

本书依据最新标准规范进行编写,注重加强以实际图片、图表、计算示例、工程实例等方式,详细介绍了天然地基浅基础、桩基础、沉井基础、地基处理和特殊地区基础工程等内容,使学生更易于理解和掌握知识点,以及了解知识点与工程实际的关系。

本教材可供高等学校应用型本科土木工程专业(路桥方向、房建方向)的学生学习使用,亦可供相关工程技术人员参考借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程 / 赵晖, 刘辉主编. — 2 版. — 北京 : 人民交通出版社股份有限公司, 2015. 8

ISBN 978-7-114-11902-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 201477 号

高等学校应用型本科规划教材

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

书 名: 基础工程(第二版)

著 作 者: 赵 晖 刘 辉

责任编辑: 刘永超 李 瑞

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 17.25

字 数: 441 千

版 次: 2008 年 8 月 第 1 版 2015 年 8 月 第 2 版

印 次: 2015 年 8 月 第 2 版 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11902-6

定 价: 32.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

高等学校应用型本科规划教材

编 委 会

主任委员:张起森

副主任委员:(按姓氏笔画序)

万德臣	马鹤龄	刘培文	伍必庆
汤跃群	张永清	吴宗元	杨少伟 杨渡军
武 鹤	赵永平	谈传生	
倪宏革	章剑青		

编写委员:(按姓氏笔画序)

于吉太	于少春	王丽荣	王保群
朱 霞	张鹏飞	陈道军	谷 趣
赵志蒙	查旭东	唐 军	曹晓岩
葛建民	韩雪峰	蔡 瑛	

主要参编院校:

长沙理工大学	长安大学
重庆交通大学	东南大学
华中科技大学	山东交通学院
黑龙江工程学院	内蒙古大学
交通运输部管理干部学院	辽宁省交通高等专科学校
鲁东大学	

秘 书 组:李 喆 刘永超(人民交通出版社)

前 言

本书第一版自2008年出版以来,承蒙读者的厚爱,先后已印刷七次,累计发行册数超2万册。本次修订再版,编者广泛吸纳了有关学校和单位对教材编写的意见和建议,对原书作了修改与补充。除保留第一版注重理论联系实际,相关图片、图表及工程实例较多的特点外,为便于学生加深对相关知识点的理解,在部分章节增加了相应的例题。基础施工部分的知识也根据2011年颁布的《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)进行了修订。具体修订内容如下:

在第一章绪论中增加了“作用的分类及代表值、作用效应组合与极限状态设计及有关水的浮力计算的规定”等内容。第二章在“地基承载力容许值的确定及地基基础的验算”部分增加了相关例题。在“明挖基础施工”部分根据《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)进行了修订,并将有关“钢板桩围堰和双壁钢围堰”的内容移至第三章第三节“水中桩基础”施工部分,在“基坑排水”中增加了“帷幕法排水”。第三章在“钻孔方法”中增加了“旋挖钻进成孔法”,“横向受荷桩内力和位移计算”补充了相应的计算表格,为方便学生进行课程设计增加了“双柱式桥墩钻孔灌注桩算例”。第四章及第五章按《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)对计算公式及符号表示做了修正。第六章增加了“膨胀土地基”及“湿陷性黄土地基”的相关例题。

本教材第二版由长沙理工大学土木与建筑学院岩土与隧道工程系赵晖担任主编,刘辉担任副主编,参加修订的编者有:长沙理工大学陈文胜(第一章)、张军(第三章)、周德泉(第五章)、赵晖、刘辉(第二章、第四章及第六章)。本书由长沙理工大学陈文胜教授共同担任本书主审。

限于编者水平,书中不妥之处在所难免,恳请读者提出批评和指正。

编 者

2015年于长沙理工大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 基础工程内容	1
第三节 基础工程设计中作用的确	2
第四节 基础工程的发展简介	6
第五节 本课程的特点和学习要求	7
思考练习题	8
第二章 天然地基上的浅基础	9
第一节 天然地基上浅基础的类型及构造	9
第二节 基础埋置深度的确定及基础尺寸的拟定	12
第三节 地基基础的验算	16
第四节 明挖基础施工	30
第五节 板桩墙的计算	38
第六节 埋置式桥台刚性扩大基础算例	46
思考练习题	56
第三章 桩基础	58
第一节 概述	58
第二节 桩和桩基础的类型及构造	59
第三节 桩基础的施工	66
第四节 单桩承载力	80
第五节 横向受荷桩内力和位移计算	96
第六节 群桩基础承载力验算及承台的计算	107
第七节 桩基础设计	110
第八节 双柱式桥墩钻孔灌注桩算例	115
思考练习题	124
第四章 沉井基础	125
第一节 沉井的基本概念、作用及适用条件	125
第二节 沉井的类型和构造	126
第三节 沉井施工	130
第四节 沉井的设计与计算	139
第五节 圆端形沉井计算算例	155

思考练习题	169
第五章 地基处理	170
第一节 概述	170
第二节 软土地基	173
第三节 换土(垫层)法	179
第四节 排水固结法	184
第五节 桩体复合地基理论	192
第六节 挤(压)密法	199
第七节 搅拌桩法(深层搅拌法)与灌浆胶结法	212
第八节 土工合成材料加筋法	226
思考练习题	231
第六章 几种特殊地基上的基础工程	232
第一节 膨胀土地基	232
第二节 湿陷性黄土地基	237
第三节 冻土地区基础工程	243
第四节 岩溶地区基础工程	251
第五节 地震区的基础工程	253
思考练习题	265
参考文献	266

第一章 绪 论

第一节 概 述

任何建筑物,如住宅楼、办公楼、厂房、桥梁、码头、水电站、高速公路等,都是建造在一定的地层上的。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则称为**基础**。

基础的结构形式很多,设计时应选择既能适应上部结构要求,同时也能适应场地工程地质条件,并经技术和经济比较合理的方案。当选定合适的基础形式后,若地基不加以处理就可以满足设计要求的,这种地基称为天然地基;反之,当地基强度不足或压缩性很大而不能满足设计要求时,则需对地基进行处理,经过处理后的地基则称为人工地基。

基础工程是隐蔽工程,影响因素很多,如有缺陷,较难发现,也较难弥补和修复;而这些缺陷往往直接影响整个建筑物的使用甚至安全,稍有不慎就有可能给工程留下隐患。大量工程实践表明,整个建筑物工程的成败,在很大程度上取决于基础工程的质量和水平,建筑物事故的发生,很多与基础工程问题有关。由此可见,基础工程设计与施工质量的优劣,直接关系到建筑物的安危。此外,基础工程的进度,经常控制着整个建筑物的施工进度;基础工程的造价通常在整个工程造价中占有相当大的比例,尤其是在地质条件复杂的地区或深水中修建基础更是如此,其节省建设资金的潜力很大。因此,基础工程在整个建筑工程中的重要性是显而易见的,对基础工程必须做到精心设计、精心施工。

建筑物通常是由上部结构、基础和地基两部分所组成的。这两部分虽然各自功能不同,但彼此却是相互影响、共同作用的,它们之间互为条件,相互依存。因此,在进行基础工程设计和施工时,应该从上部结构与地基基础共同作用的整体概念出发,全面地加以考虑,如此才能收到比较理想的效果。

第二节 基础工程内容

基础工程包括基础的设计、施工和监测。基础工程中的一些内容,如柱下单独基础的承载力和配筋计算、浅基础的施工方法与技术等,在混凝土结构学和建筑施工课程中都已涉及,这里不作展开论述。那些与岩土工程紧密相关的内容,如基础埋置深度、地基承载力、地基变形验算,基坑和基础的稳定分析、基坑支护结构、地基基础相互作用和地基处理等,本教材都将进行重点讨论。

基础工程设计包括基础设计和地基设计两大部分:

(1)基础设计包括基础形式的选择、基础埋置深度及基底面积大小、基础内力和断面计算等。如果地下部分是多层的结构,基础设计还包括地下结构的计算。

(2)地基设计包括地基土的承载力确定、地基变形计算、地基稳定性计算等。当地基承载力不足或压缩性很大而不能满足设计要求时,需要进行地基处理。

基础结构的形式很多。设计时应选择能适应上部结构、符合使用要求、满足地基基础设计基本要求以及技术上合理的基础结构方案。

基础的功能决定了基础设计必须满足以下三个基本要求:

(1) **强度要求** 通过基础传递作用在地基上的荷载不能超过地基的承载能力,保证地基不因地基土中的剪应力超过地基土的强度而破坏,并且应有足够的安全储备;基础本身的强度满足要求。

(2) **变形要求** 基础的设计还应保证基础沉降或其他特征变形不超过建筑物的允许值,保证上部结构不因沉降或其他特征变形过大而受损或影响正常使用;地基及基础的整体稳定性有足够保证。

(3) **上部结构的其他要求** 基础除满足以上要求外,还应满足上部结构对基础结构的强度、刚度和耐久性要求。

设计基础时必须掌握足够的资料,这些资料包括地质、水文资料和有关上部结构资料两大部分。对这些资料的要求可根据需要而有所区别。对复杂的建筑物如大型桥梁或者高层建筑可能要求比较多的资料;对一般中、小型建筑物只需要少量的资料,设计人员应根据实际情况提出要求。在分析地质资料时应注意对地基类型进行判别,并考虑可能发生的问题,还要研究土层的分布,查明地下水及地面水的活动规律,还应调查拟建建筑物周围及地下的情况。在分析上部结构时应特别注意建筑物的重要性、建筑物体型的复杂程度和结构类型及其传力体系。

第三节 基础工程设计中作用的确定

一、作用的分类

公路桥涵的地基基础必须满足强度、刚度、稳定性和耐久性的要求,因此须对其在各种条件下的作用进行验算。作用即施加在结构上的一组集中力或分布力,或引起结构外加变形或约束变形的原因;前者称直接作用,也称之为荷载,后者称间接作用。作用的种类很多,特性也各有不同。在现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中,将作用分为永久作用、可变作用和偶然作用三类。

永久作用包括结构物的自重(包括结构附加重力)、预加力、土的重力、土侧压力、混凝土收缩及徐变作用、水的浮力、基础变位作用;可变作用包括汽车荷载、汽车冲击力、汽车离心力、汽车引起的土侧压力、人群荷载、汽车制动力、风荷载、流水压力、冰压力、温度(均匀温度和梯度温度)作用、支座摩阻力;偶然荷载包括地震作用、船舶或漂流物的撞击作用,汽车撞击作用。

二、作用代表值的选取

公路桥涵设计时,不同的作用应选择不同的代表值进行计算,而每种代表值必须按照规范规定来选取,见表 1-1。

三、作用效应组合

同时作用在结构上的几种作用分别产生的效应的随机叠加称为作用效应组合。地基与基础设计应考虑整个结构上可能同时出现的作用(如:除永久作用外,可能同时出现汽车荷载、

人群荷载等可变作用),按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用效应组合,求其总的作用效应,同时考虑到作用出现的变化性质(包括作用出现与否及作用出现方向),应在必须考虑的所有可能的组合中,取其最不利效应组合进行设计。最不利作用效应组合是指所有可能的作用效应中对结构或结构构件产生的总效应最不利的一组作用效应组合。作用效应组合条件如下:

作用代表值的选取 表 1-1

作用分类	代表值的选取	代表值的确定
永久作用	作用标准值	对结构自重(包括结构附加重力),可按结构构件的设计尺寸与材料的重力密度计算确定
可变作用	作用标准值 (承载能力极限状态设计及按弹性阶段计算结构强度时采用)	作用标准值
	作用频遇值 [正常使用极限状态按短期效应(频遇)组合设计时采用]	作用频遇值 = 作用标准值 × 频遇值系数 ψ_1
	作用准永久值 [按长期效应(准永久)组合设计时采用]	作用准永久值 = 作用标准值 × 准永久值系数 ψ_2
偶然作用	作用标准值	根据调查、试验资料,结合工程经验确定

(1)只有在结构上可能同时出现的作用,才进行其效应的组合。当结构或结构构件需做不同受力方向的验算时,则应以不同方向的最不利的作用效应进行组合。

(2)当可变作用的出现对结构或结构构件产生有利影响时,该作用不应参与组合。实际不可能同时出现的作用或同时参与组合概率很小的作用,按规范上规定的情况不考虑其作用效应的组合,见表 1-2。

可变作用不同时的组合表 表 1-2

作用名称	
汽车制动力	不与该作用同时参与组合的作用
流水压力	流水压力、冰压力、支座摩阻力
冰压力	汽车制动力、冰压力
支座摩阻力	汽车制动力、流水压力
	汽车制动力

(3)施工阶段作用效应的组合,应按计算需要及结构所处条件而定,结构上的施工人员和施工机具设备均应作为临时荷载加以考虑。组合式桥梁,当把底梁作为施工支撑时,作用效应宜分两个阶段组合,底梁受荷为第一个阶段,组合梁受荷为第二个阶段。

(4)多个偶然作用不同时参与组合。

四、承载能力极限状态设计

承载能力极限状态是指结构或构件达到最大承载能力,或达到不适于继续承载的变形的极限状态。对应于结构或构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形,包括结构件或连接因强度超过而破坏,结构或其一部分作为刚体而失去平衡(倾覆或滑移),在反复荷载下构件或连接发生疲劳破坏,结构或结构构件丧失稳定(如压屈),地基丧失承载能力而破坏(如

失稳)等。

公路桥涵结构按承载能力极限状态设计时,应根据不同的设计要求采用基本组合和偶然组合两种作用效应组合。

1. 基本组合

即永久作用的设计值效应与可变作用设计值效应相结合。这种组合用于结构的常规设计,是所有公路桥涵结构都应该考虑的,其效应组合表达式为:

$$\gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qjk} \right) \quad (1-1)$$

$$\text{或} \quad \gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m S_{Gid} + S_{Q1d} + \psi_c \sum_{j=2}^n S_{Qjd} \right) \quad (1-2)$$

式中: S_{ud} ——承载能力极限状态下作用基本组合的效应组合设计值;

γ_0 ——结构重要性系数,对应于设计安全等级一级、二级和三级分别取 1.1、1.0 和 0.9;

γ_{Gi} ——第 i 个永久作用效应的分项系数,应按表 1-3 的规定采用;

S_{Gik} 、 S_{Gid} ——第 i 个永久效应的标准值和设计值;

γ_{Q1} ——汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)的分项系数,取 $\gamma_{Q1} = 1.4$ 。当某个可变作用在效应组合中其值超过汽车荷载效应时,则该作用取代汽车荷载,其分项系数应采用汽车荷载的分项系数;对专为承受某作用而设置的结构或装置,设计时该作用的分项系数取与汽车荷载同值;计算人行道板和人行道栏杆的局部荷载,其分项系数也与汽车荷载取同值。

S_{Q1k} 、 S_{Q1d} ——汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)的标准值和设计值;

γ_{Qj} ——在作用效应组合中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)、风荷载外的其他第 j 个可变作用效应的分项系数,取 $\gamma_{Qj} = 1.4$,但风荷载的分项系数取 $\gamma_{Qj} = 1.1$;

S_{Qjk} 、 S_{Qjd} ——在作用效应组合中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)外的其他第 j 个可变作用效应的标准值和设计值;

ψ_c ——在作用效应组合中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)外的其他可变作用效应的组合系数,当永久作用与汽车荷载和人群荷载(或其他一种可变作用)组合时,人群荷载(或其他一种可变作用)的组合系数取 $\psi_c = 0.80$;当除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外尚有二种其他可变作用参与组合时,其组合系数取 $\psi_c = 0.70$;尚有三种可变作用参与组合时,其组合系数取 $\psi_c = 0.60$;尚有四种及多于四种的可变作用参与组合时,取 $\psi_c = 0.50$ 。

设计弯桥时,当离心力与制动力同时参与组合时,制动力标准值或设计值按 70% 取用。

2. 偶然组合

即永久作用标准值效应与可变作用某种代表值效应、一种偶然作用标准值效应相组合。这种组合视具体情况,也可不考虑可变作用效应。作用效应偶然组合用于结构在特殊情况下的设计,所以不是所有的公路桥涵结构都要采用的,一些结构可以通过采取构造或者其他的预防措施来解决。偶然作用的效应分项系数取 1.0;与偶然作用同时出现的可变作用,可根据观测资料和工程经验取用适当的代表值。地震作用标准值及其表达式按现行《公路桥梁抗震设计细则》(JTG B02-01—2008)规定采用。

五、正常使用极限状态设计

正常使用极限状态指结构或构件达到正常使用或耐久性能中某项规定限度的状态。公路桥涵结构需要按承载能力极限状态设计时,应根据不同的设计要求采用作用短期效应组合和作用长期效应组合两种效应组合。

永久作用效应的分项系数

表 1-3

编 号	作 用 类 别	永久作用分项系数	
		对结构的承载能力不利时	对结构的承载能力有利时
1	混凝土和圬工结构重力(包括结构附加重力)	1.2	1.0
	钢结构重力(包括结构附加重力)	1.1 或 1.2	
2	预加力	1.2	1.0
3	土的重力	1.2	1.0
4	混凝土的收缩及徐变作用	1.0	1.0
5	土侧压力	1.4	1.0
6	水的浮力	1.0	1.0
7	基础变位作用	混凝土和圬工结构	0.5
		钢结构	1.0

注:本表编号 1 中,当钢桥采用钢桥面板时,永久作用效应分项系数取 1.1;当采用混凝土桥面板时,取 1.2。

1. 作用短期效应组合

永久作用标准值效应与可变作用频遇值效应组合,其效应组合表达式为:

$$S_{sd} = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{1j} S_{Qjk} \quad (1-3)$$

式中: S_{sd} ——作用短期效应组合设计值;

ψ_{1j} ——第 j 个可变作用效应的频遇值系数,汽车荷载(不计冲击力) $\psi_1 = 0.7$,人群荷载 $\psi_1 = 1.0$,风荷载 $\psi_1 = 0.75$,温度梯度作用 $\psi_1 = 0.8$,其他作用 $\psi_1 = 1.0$ 。

$\psi_{1j} S_{Qjk}$ ——第 j 个可变作用效应的频遇值。

2. 作用长期效应组合

永久作用标准值效应与可变作用准永久值效应组合,其效应组合表达式为:

$$S_{ld} = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} S_{Qjk} \quad (1-4)$$

式中: S_{ld} ——作用长期效应组合设计值;

ψ_{2j} ——第 j 个可变作用效应的准永久值系数,汽车荷载(不计冲击力) $\psi_2 = 0.4$,人群荷载 $\psi_2 = 0.4$,风荷载 $\psi_2 = 0.75$,温度梯度作用 $\psi_2 = 0.8$,其他作用 $\psi_2 = 1.0$ 。

$\psi_{2j} S_{Qjk}$ ——第 j 个可变作用效应的准永久值。

六、有关水浮力计算的规定

水浮力是作用在建筑物基底面的由下向上的水压力,等于建筑物排开同体积水的重力。基础工程设计时对水的浮力的计算可按以下要求进行处理:

(1) 基础底面位于透水性地基上的桥梁墩台,当验算稳定时,应考虑设计水位的浮力;当

验算地基应力时,可仅考虑低水位的浮力,或不考虑水的浮力。

(2)基础嵌入不透水性地基的桥梁墩台不考虑水的浮力。

(3)作用在桩基承台底面的浮力,应考虑全部底面积。对桩嵌入不透水地基并灌注混凝土封闭者,不应考虑桩的浮力,在计算承台底面浮力时应扣除桩的截面面积。

(4)当不能确定地基是否透水时,应以透水或不透水两种情况与其他作用组合,取其最不利者。

总的来说,需根据结构的特性和设计的实际情况确定组合作用效应,通过计算才能确定最不利作用效应组合。汽车荷载在公路工程结构中通常被视为主导的可变作用,在设计表达式中与永久作用一样单独列出。有汽车荷载横向分布系数和汽车荷载纵向折减系数。桥梁设计时,为取得主梁的最大受力,汽车荷载在桥面上需要偏心加载,可用车辆荷载偏心加载确定其横向分布系数。在实际桥梁上通行的车辆不一定都能达到规范规定的汽车标准值,特别是大跨径的桥梁,所以采用纵向折减的方法确定。

许多可变作用的作用方向有横桥向和纵桥向两种,因此地基与基础需要按照这两种不同方向进行计算,大多数按纵桥向计算。较大的横桥向水平力,如风荷载,船舶撞击力等需要进行横桥向计算。横桥向的风荷载是在基本风速的基础上,乘以风荷载阻力系数和地形条件系数取得。跨越江、河、海湾的桥梁,必须考虑船舶或漂流物对桥梁墩台的偶然作用。内河船舶对桥梁墩台的撞击作用标准值可以按“静力法”,即假定作用于桥梁墩台上的有效动能全部转化为静力功并采用一些经验系数经计算得到。顺桥向撞击力标准值约为横桥向撞击力标准值的 $3/4$ 。

第四节 基础工程的发展简介

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。我们的祖先早在史前的建筑活动中就创造了自己的基础工程工艺,如宏伟的宫殿寺院和巍巍耸立的高塔,因为基础牢固,方能历经千百年而留存至今。1300多年前隋朝时所修建的赵州安济石拱桥,在地基基础的处理上非常合理,该桥桥台坐落在较浅的密实粗砂土层上,沉降很小,现反算其基底压力为 $500 \sim 600\text{kPa}$,与现行的各设计规范中所采用的该土层容许承载力的数值(550kPa)极为接近。在世界各文明古国数千年前的建筑活动中,也有很多关于基础工程的工艺技术成就。但由于受当时社会生产力和技术条件的限制,在相当长的时期内发展很缓慢,仅停留在经验积累的感性认识阶段,还未能提炼成系统的科学理论。

国外在18世纪工业革命以后,随着资本主义工业化的发展,城建、水利、道路等建筑的规模也在不断地扩大,从而促使人们对基础工程加以重视并开展研究,对有关问题开始寻求理论上的解答。当时在作为本学科理论基础的土力学方面获得了一些突破,例如,法国科学家C·A·库仑(Coulomb)在1773年提出了砂土抗剪强度公式和挡土墙土压力的滑楔理论;英国学者W·朗金(Rankine)又从另一途径建立了土压力理论;法国工程师H·达西在1856年提出了层流运动的达西定律等。20世纪20年代,以太沙基发表第一本著作《土力学》(1925年),标志着基础工程领域终于拥有比较系统完整的专著。太沙基在1948年发表的《工程实用土力学》中,将理论、测试和工程经验密切结合,推动了土力学和基础工程学科的发展。1936年在美国哈佛召开了第一届国际土力学与基础工程会议,至今已17届,特别是在20世纪70年代以来,基础工程与现代科学理论相结合,在理论上,从以饱和砂土的有效应力原理和

线弹性力学为基础的土力学,逐渐发展为考虑土的结构影响的黏弹塑性体的应力、应变、强度的数学模型;从饱和土为主的理论,发展到非饱和土,还发展了土的动力特性。

近几十年来,由于土木建设的需要,特别是电子计算机和现代计算技术的引入,使基础工程,不论在设计环节,还是在施工技术方面都得到了迅速的发展,出现了如桩筏基础、桩箱基础、浮式沉井等基础形式。与此同时,在地基处理技术方面,如强夯法、砂井预压法、真空预压法、振冲法、旋喷法、深层搅拌法等都是近几十年来创造和完善的方法。另外,由于深基坑开挖支护工程的需要,还出现了地下连续墙、深层搅拌水泥土挡墙、锚杆支护及加筋土等支护结构形式。一些国家采用了概率极限状态设计方法,将高强度预应力混凝土应用于基础工程,基础结构向薄壁、空心、大直径发展,采用的管柱直径达6m,沉井直径达80m(水深60m),在水深流急处采用水上自升式平台进行沉桩(管柱)施工等。在基础工程应用技术上,地面出现了数百米高的超高查建筑物,地下有百余米深地下多层基础,条件复杂的高速公路路基,跨海大桥的桥梁基础等工程技术,使桩基、墩基、地基处理,不断革新,走向现代。我国改革开放以来,大规模的现代化建设,深圳、上海浦东,以及沿海的中等城市,数以万计的高层建筑,南水北调工程,三峡水利工程,青藏铁路,各省市高速公路等工程项目的成功实践,有效地促进了我国基础工程现代化的发展。20世纪50年代起,现代科学新成就的渗入,使基础工程技术与理论得到更进一步的发展与充实,成为一门较成熟的独立的现代学科。

但是,由于基础工程是地下隐蔽工程,再加上工程地质条件又极其复杂多样,虽然日前基础工程设计理论和施工技术比几十年前有突飞猛进的发展,但至今在设计理论、施工技术及测试工作中,仍存在不少有待进一步完善和解决的问题,有许多问题值得深入研究和探讨。基础工程设计理论和施工技术仍将随着其他相关学科和现代技术的发展而持续发展。

第五节 本课程的特点和学习要求

太沙基曾指出:“土力学是一门实用的科学,是土木工程的一个分支,它主要研究土的工程性状,解决工程问题”。这一论述阐明了学科的性质是实用科学,是土木工程的分支,同时也指出了土力学和基础工程的任务。据此,第一届国际土力学会议定名为土力学及基础工程(Soil Mechanics & Foundation Engineering),基础工程是指与土有关的工程问题。后来欧洲国家(法、英、德)用拉丁语表达为 Geotechnique 土工学。20世纪70年代后,国际会议把 Soil Mechanics & Foundation Engineering 改为 Geotechnique。因此,可以这样理解:土力学是学科的理论基础,作为工程载体岩土的特性及其应力应变、强度、渗流的基本规律;基础工程则为在岩土地基上进行工程的技术问题,所以“基础工程”就是岩土地层中建筑工程的技术问题。

基础工程是土木工程专业的一门重要的技术基础课,主要向读者系统地介绍基础工程的设计原理和方法。本课程要求比较广泛的先修课知识,涉及工程地质学、材料力学、土质学与土力学、弹性力学、结构设计和施工等学科领域,特别是土力学,是本课程重要理论基础。

基础工程是一门实践性很强的学科,在学习本课程时,必须紧密联系和结合工程实践。同时,工程建设对新技术提出了越来越高的要求,工程技术的不断创新也极大地推动了工程建设的进步。

基础的设计和施工,不仅要考虑上部结构的具体情况和要求,还要注意地层的具体条件。基础和地基相互关联,基础的设计与施工必须考虑土层原有状态的变化以及可能产生的影响。同时应了解在建筑物设计之前需要进行的勘察工作的内容,掌握地基土野外鉴别能力,学会使

用工程地质勘察报告书,依赖土力学基本原理的运用和实践经验,正确合理地解决基础设计和施工问题。

由于地基土性质的复杂性以及建筑物类型、荷载情况可能各不相同,因而在基础工程中不易找到完全相同的实例。读者要充分认识本课程的特点,采用理论联系实际,注意掌握岩土地层工程性质的识别与应用;充分利用勘探与试验资料;重视基础工程结构物与岩土地层共同作用的机理及其工程性状,认真掌握其变形与稳定性的分析方法,以及各项基础工程和地基处理的技术措施,注重实际效果的检验及工程经验的积累。

我国地域辽阔,由于自然地理环境不同,分布着多种多样的土类。某些土类(如湿陷性黄土、软土、膨胀土、红黏土和多年冻土等)还具有不同于一般土类的特殊性质。作为地基,必须针对其特性采取适当的工程措施。因此,地基基础问题的发生和解决具有明显的区域性特征,各地应根据本地区地基土特点和自然地理环境不同,结合实际进行教学。

最后,基础工程课程的学习,要紧密联系有关规范和最新的学科进展。本书是按 2007 年颁布实施的《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)进行编写,该规范在修订过程中吸取了国内外有关科研院校、设计、检测等单位的研究成果和工程经验,并参考借鉴了国外先进的标准规范。在学习过程中读者应对该规范进行相应的学习和了解。

思考练习题

1. 基础工程的特点有哪些? 应该如何学习本课程?
2. 基础设计必须满足哪些基本要求?

第二章 天然地基上的浅基础

浅基础是指埋入地层深度较浅,施工一般采用敞开挖基坑修筑的基础。与深基础相比,浅基础在设计计算时可以忽略基础侧面土体对基础的影响,基础结构形式和施工方法也较简单。

第一节 天然地基上浅基础的类型及构造

一、刚性基础与柔性基础

基础按照受力特点与材料性能可分为刚性基础与柔性基础。

1. 刚性基础

地基承受了基础传来的荷载作用后,在基础底面将产生地基反力 σ ,在该反力作用下基础悬出部分[图 2-1b) $a-a$ 断面左端]的受力可视为承受均布荷载作用的倒置的悬臂梁,其荷载强度为 σ 。在均布荷载作用下, $a-a$ 断面将产生弯曲拉应力和剪应力。当基础圬工具有足够的截面使材料的容许应力大于由地基反力产生的弯曲拉应力和剪应力时, $a-a$ 断面不会出现裂缝,这时,基础内不需配置受力钢筋,这种基础称为刚性基础[图 2-1b)]。它是桥梁、涵洞和房屋等建筑物常用的基础类型。其形式有:刚性扩大基础[图 2-1b) 及图 2-2],单独柱下刚性基础[图 2-3a) 和图 2-3d)]、条形基础(图 2-4)等。

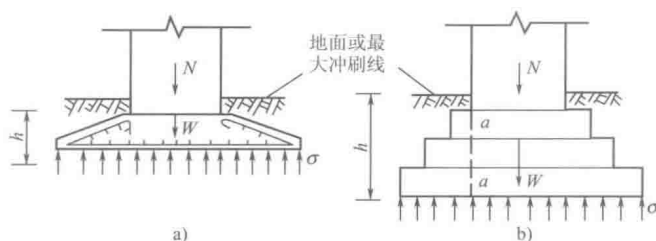


图 2-1 基础类型

刚性基础一般用素混凝土、砖、毛石、片石混凝土、灰土砌筑,这些材料的抗压强度高,而抗拉、抗剪强度较低。设计时必须保证发生在基础内的拉应力和剪应力不超过相应的材料强度值。这种保证通常是通过对基础构造的限制来实现的,即基础每个台阶的宽度与其高度之比(宽高比)都不得超过规范规定的台阶宽高比的允许值。在这样的限制下,基础的相对高度较大,在荷载作用下几乎不发生挠曲变形。

刚性基础的优点是稳定性好,施工简便,能承受较大的荷载。缺点是自重较大,不适用于荷载大或上部结构对沉降差较敏感的建筑物,以及持力层的土质较差又较厚的情况。

2. 柔性基础

若上部结构荷载较大或基础悬出部分过长,基础在基底反力的作用下,在图 2-1b) 中 $a-a$

断面产生弯曲拉应力和剪应力,就有可能超过了基础圬工的强度极限值,而使基础在 $a-a$ 断面开裂甚至断裂。为防止出现这种破坏,需要在基础中配置足够数量的受力钢筋,以抵抗弯曲拉应力和剪应力。这种配置了一定受力钢筋的基础称为柔性基础[图 2-1a)]。柔性基础主要是用钢筋混凝土浇筑,常见的形式有柱下扩展基础、条形和十字形基础(图 2-5 和图 2-6)筏板及箱形基础(图 2-7 和图 2-8),其整体性能较好,抗弯刚度较大。与刚性基础相比,柔性基础抗弯、抗剪性能好,在荷载作用下产生挠曲变形。

二、浅基础的构造

(一) 刚性扩大基础

将上部结构传来的荷载,通过向侧面扩展成一定底面积,使作用在基底的压应力不大于地基土的容许承载能力,而基础内部的应力同时满足材料本身的强度要求,这种起到压力扩散作用的刚性基础称为刚性扩大基础(图 2-2)。作为刚性基础,每边扩大的最大尺寸应受到材料刚性角的限制,一般最小为 0.20~0.50m;当基础较厚时,可在纵横两个剖面上都做成台阶形,以减少基础自重,节省材料。

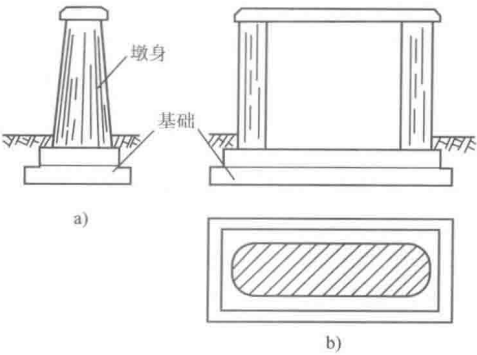


图 2-2 刚性扩大基础

(二) 单独基础和联合基础

1. 单独基础

单独基础是立柱式桥墩和房屋建筑常用的基础形式之一。它的纵横剖面均可砌筑成台阶式[图 2-3a)和图 2-3d)]，当柱下单独基础用石或砖砌筑时，则在柱子与基础之间用混凝土墩连接。个别情况下柱下单独基础用钢筋混凝土浇筑时，其剖面也可浇筑成锥形[图 2-3c)]。

2. 联合基础

当为了满足地基土的强度要求,必须扩大基础平面尺寸,相邻的单个基础在平面上相接甚至重叠时,则可将它们连在一起成为联合基础[图 2-3b)]。

(三) 条形基础

条形基础(图 2-4)分为墙下和柱下条形基础,墙下条形基础是挡土墙下或涵洞下常用的基础形式。其横剖面可以是矩形或将一侧筑成台阶形。如挡土墙很长,为了避免在沿墙长方向因沉降不匀而开裂,可根据土质和地形予以分段,设置沉降缝。有时为了增强桥柱下基础的

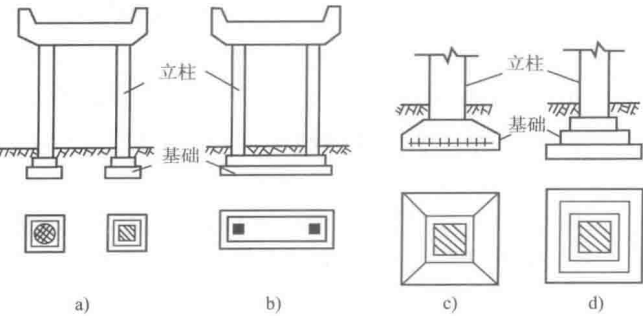


图 2-3 单独和联合基础

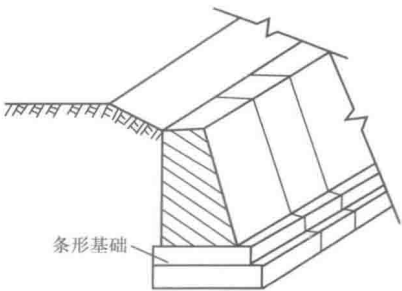


图 2-4 挡土墙下条形基础