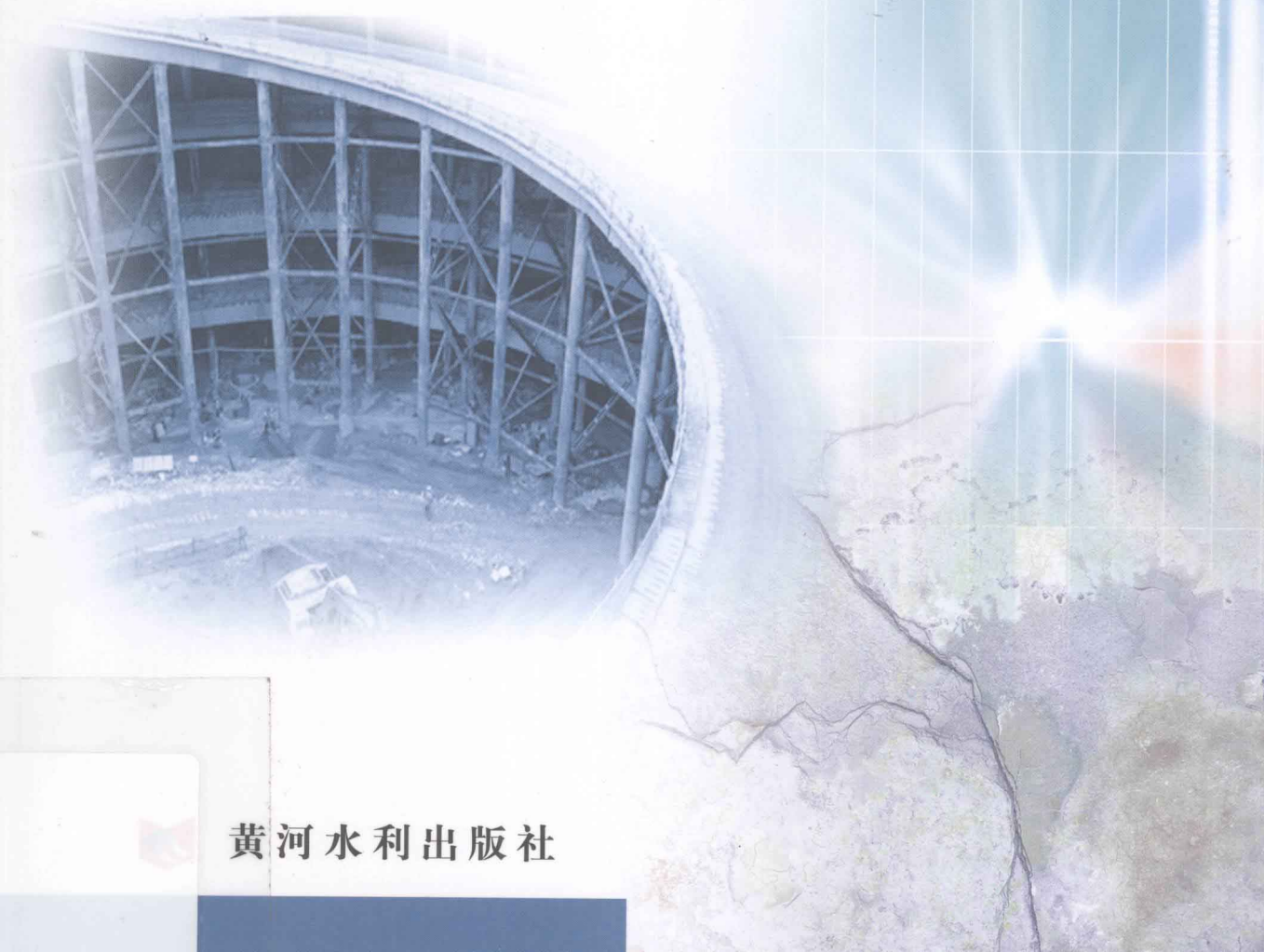


高等学校岩土工程（本科）规划教材

基础工程

孙文怀 主编

JICHU GONGCHENG



黄河水利出版社

普通高等学校岩土工程(本科)规划教材

基 础 工 程

主 编 孙文怀
副主编 郝小红 余建民 孙常新
李振灵 丛晓明

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书着重介绍基础工程设计的基本知识和基本理论。主要内容为:天然地基上浅基础的常规设计,柱下条形基础、筏板基础和箱形基础,桩基础,墩基础、沉井基础与岩石锚杆基础,抗震分析及动力机器基础设计,特殊土地基等。

本书可作为高等院校岩土工程专业、地质工程专业的教材,亦可作为中等专业学校、函授大学、职工大学有关专业的教学参考书,此外,还可作为土建类勘察、设计、施工技术人员的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/孙文怀主编. —郑州:黄河水利出版社,
2012. 7

普通高等学校岩土工程(本科)规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0253 - 4

I. ①基… II. ①孙… III. ①地基 - 基础(工程) -
高等学校 - 教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 093702 号

策划编辑:王志宽 电话:0371 - 66024331 E-mail:wangzhikuan83@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17.75

字数:410 千字

印数:1—3 100

版次:2012 年 7 月第 1 版

印次:2012 年 7 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

普通高等学校岩土工程(本科)规划教材

编审委员会

主任	刘汉东			
副主任	王复明	肖昭然	勾攀峰	杨小林
委员	李广慧	祝彦知	郭院成	乐金朝
	黄志全	姜宝良	孙文怀	闫富有
	李化敏	姜彤	孔德志	

前 言

基础工程是研究建筑工程中地下部分基础的类型、结构、构造、设计计算与地基利用的一门学科,是岩土工程专业、地质工程专业及土木工程专业的一门主要专业课。通过本课程的学习,要求学生掌握基础工程设计的基本知识、基本理论和基本方法,并具有设计地基与基础的基本能力。

基础工程设计在建筑工程设计中具有很重要的地位,目前,由于地基土体的复杂性,基础设计做得还不完美。复杂性地基土体改性的规律性也较差。近年来,随着我国经济的发展和基本建设规模的扩大,基础工程设计理论、技术与方法有了很大的发展,产生了《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004)、《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002)、《冻土地区建筑地基基础设计规范》(JGJ 118—98)、《动力机器基础设计规范》(GB 50040—96)及《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112—87)等。因此,在本书的编写过程中,按照国家新颁布的设计、施工规范、规程、标准,紧密结合生产实际,系统介绍基础工程设计与地基处理的基本知识和基本理论,力求反映国内外的先进技术,做到条理清楚、体系完整、内容精练。

本书由长期从事高等院校教学、科研、基础工程施工的同志共同编写,编写人员及编写分工如下:第一章由孙文怀编写,第二章、第五章由余建民编写,第三章由郝小红编写,第四章第一至三节及第七章由丛晓明编写,第四章第四至六节由李振灵编写,第六章由孙常新编写。全书由孙文怀统稿。

由于水平所限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者
2012年2月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第二章 天然地基上浅基础的常规设计	(4)
第一节 概 述	(4)
第二节 地基、基础与上部结构相互作用的概念	(7)
第三节 基础设计的基本规定	(12)
第四节 浅基础的类型及其适用条件	(14)
第五节 基础埋深的选择	(20)
第六节 地基承载力的确定	(26)
第七节 基础底面尺寸的确定	(29)
第八节 地基变形验算及基础底面尺寸的调整	(31)
第九节 减轻建筑物不均匀沉降的措施	(40)
思考题	(43)
习 题	(44)
第三章 柱下条形基础、筏板基础和箱形基础	(46)
第一节 概 述	(46)
第二节 柱下条形基础、筏板基础及箱形基础的基本概念及适用性	(47)
第三节 地基计算模型与土参数的确定	(50)
第四节 文克勒地基上梁的计算	(61)
第五节 柱下钢筋混凝土条形基础简化计算方法	(71)
第六节 柱下十字交叉条形基础设计	(80)
第七节 筏板基础设计	(85)
第八节 箱形基础设计	(94)
第九节 补偿性基础设计简介	(104)
思考题	(107)
习 题	(107)
第四章 桩基础	(108)
第一节 概 述	(108)
第二节 桩的类型	(109)
第三节 桩与土的相互作用	(116)
第四节 桩承载力的确定	(122)
第五节 桩基的沉降	(157)

第六节 桩基础的设计	(163)
思考题	(180)
习 题	(180)
第五章 墩基础、沉井基础与岩石锚杆基础	(181)
第一节 墩基础	(181)
第二节 沉井基础	(186)
第三节 岩石锚杆基础	(191)
思考题	(195)
第六章 抗震分析及动力机器基础设计	(196)
第一节 概 述	(196)
第二节 地基基础的震害现象	(202)
第三节 地基基础抗震设计	(203)
第四节 动力基础设计	(218)
第五节 锻锤基础设计	(229)
第六节 动力机器基础的减振与隔振	(240)
思考题	(243)
第七章 特殊土地基	(244)
第一节 概 述	(244)
第二节 湿陷性黄土地基	(244)
第三节 膨胀土地基	(250)
第四节 红黏土地基	(257)
第五节 岩溶与土洞	(260)
第六节 软土地基	(262)
第七节 其他特殊土地基	(267)
思考题	(272)
习 题	(272)
参考文献	(274)

第一章 绪 论

一、场地、地基与基础的概念

场地是指工程建设直接使用的有限面积的土地。场地范围内及其邻近地区的地质环境都会直接影响场地的稳定性。场地的概念是宏观的,它不仅代表着所划定的土地范围,还应扩大到涉及某种地质现象或工程地质问题所概括的地区。所以,场地的概念不能简单地理解为建筑占地场所,在地质条件复杂的地区还应包括该面积在内的某个微地貌、地形和地质单元。场地的评价对工程的总体规划具有深远的实际意义,关系到工程的安全性和工程造价。

建筑物是建造在地层中或地层之上的,建筑物的荷载也是由其下面的地层来承担的。受建筑物荷载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。地基是由土和岩石组成的,土与岩石又是各种地质作用(如风化、搬运、沉积、成岩等作用)的产物。地质作用形成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,如山前冲洪积地层与江河三角洲地层在工程性质上的差异是相当大的,基础的设计在很大程度上取决于地基岩土的性质。建筑物地基所面临的问题主要有强度和稳定性问题、变形问题、渗漏问题、液化问题及膨胀问题等。当基础直接建造在未经加固的天然土层上时,这种由天然状态土体构成的地基称为天然地基,当天然地基很软弱,不能满足地基强度稳定、变形、渗漏及液化等要求时要进行地基处理,经地基处理后再建造基础。

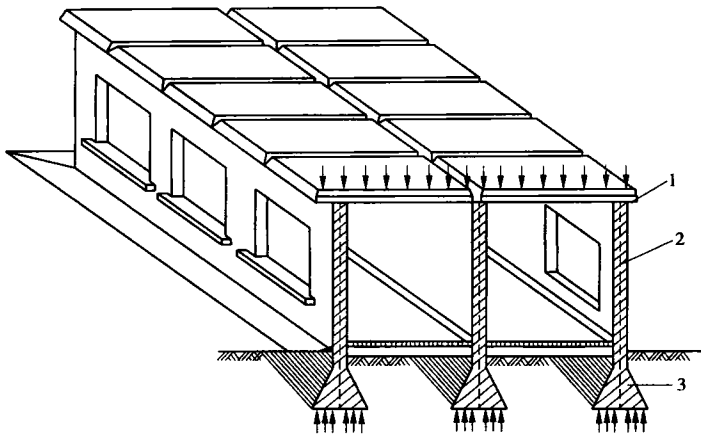
基础的形式很多,按基础埋深可划分为浅基础和深基础;按受力特征及刚度特征可划分为补偿基础、刚性基础和柔性基础;按基础材料可划分为砖基础、三合土基础、灰土基础、毛石基础、混凝土或毛石混凝土基础、钢筋混凝土基础;按基础的构造可划分为独立基础、条形基础、联合基础、扩展基础、筏板基础、箱形基础、沉井基础、沉箱基础、桩基础、墩基础、壳体基础、地下连续墙、锚杆基础等。采用何种基础形式要由上部结构荷载及地基土特性来确定。建筑荷载传递示意图、地基基础示意图分别如图 1-1、图 1-2 所示。

二、基础工程设计的要求与特点

基础工程设计主要是确定基础的类型、材料,基础各部分的尺寸、配筋和构造及基础内力分析计算。地基与基础是建筑设计的根本,又属于地下隐蔽工程。基础工程设计得合理与否及质量的好坏,直接影响建筑物的安危,由于地基基础设计得不完善,造成建筑物破坏的例子很多,财产损失也相当大。因此,基础的设计是相当重要的,且设计时要满足技术先进合理、施工技术可行、工程造价适当、环境效益好等要求。

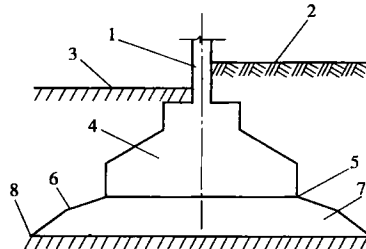
基础工程设计具有如下特点:

(1) 确定基础的类型时除取决于上部结构的体型状态、荷载大小等情况外,更主要地



1—钢筋混凝土板式屋顶;2—承重墙;3—基础

图 1-1 建筑荷载传递示意图



1—上部结构;2—室内地面;3—室外地面;4—基础;

5—基础底面;6—持力层受力范围;7—持力层;8—下卧层

图 1-2 地基基础示意图

取决于基础所在地的地基土特性。在上部结构的体型及荷载确定后,采用何种基础形式视土层特性而定,要充分考虑土层分布的不均匀性、压缩性、强度特征、水文工程性质及施工难易程度选择设计基础类型。

(2)常规的基础设计对地基作了许多简化,地基对基础的基底反力作了简化计算,实践证明此方法应用于许多低层建筑效果较好。对于重要的建筑物或高层建筑物,只有充分考虑上部结构、基础及地基的变形协调特性,应用近代计算科学即有限元数值分析法等,借助于计算机计算分析才能正确设计基础。

三、地基处理的必要性

地基处理是利用置换、夯实、挤密、胶结、加筋和热学等方法对地基进行加固,以改善地基土的特性。地基处理的对象是软弱土地基和特殊土地基。建筑在软弱土地基和特殊土地基上的建筑物,由于地基土不能满足上部建筑物对地基土承载力和变形方面的要求,而产生变形破坏,如建在软黏土层上的建筑物,由于软黏土天然含水量高、天然孔隙比大、抗剪强度低、压缩系数大、渗透系数小、地基承载力低,在外荷载作用下地基变形大,不均匀变形也大,且变形稳定历时较长,容易产生沉降过大或不均匀沉降;建在湿陷性黄土地

基上的建筑物容易产生建筑物不均匀沉降或附加沉降过大等;建在膨胀土地基上的建筑物,常使建筑物产生裂缝,对建筑物构成危害。总之,建筑在软弱地基或特殊土地基上的建筑物易产生破坏的例子是很多的,教训也是沉痛的。地基土的性质不良,容易产生强度不足,稳定性不好,变形过大,渗透破坏及地基失稳和震陷等,最终导致建筑物的破坏,为了改善地基土的特性,进行地基处理和加强基础结构的设计是很必要的。

四、本课程主要研究内容

本课程主要研究内容是基础的类型、结构形式及设计与计算。具体内容如下:

- (1)天然地基上浅基础的常规设计。
- (2)柱下条形基础、筏板基础和箱形基础的设计。
- (3)桩基础的设计。
- (4)墩基础、沉井基础与岩石锚杆基础的设计。
- (5)地基的抗震分析及动力机器基础。
- (6)特殊土地基。

五、本课程的特点

- (1)详细介绍常规的基础设计方法。

本书的第二章天然地基上浅基础的常规设计,介绍了浅基础的类型、结构构造形式及内力分析;第三章介绍了柱下条形基础、筏板基础和箱形基础结构构造要求,内力分析等设计方法;第四章介绍了桩基础的常规设计;第五章介绍了墩基础、沉井基础与岩石锚杆基础的设计,内容较详细。

- (2)阐述了基础工程设计新技术。

①地基、基础与上部结构相互作用数值分析新技术:第二章中阐述了地基计算模型,地基上梁与板的有限元数值分析,第三章阐述了筏板基础的简要设计等。②桩基新技术:近年来桩基发展很快,随着我国基础建设的实施,涌现了许多桩基新技术,如多分支承载力盘桩、桩底及桩侧的后注浆桩长螺旋压灌桩、预制空心管桩、预制空心方桩及预制X型桩等。

- (3)按照国家现行的新规程与新规范编写。

(4)内容较全面,阐述了基础工程(包括天然地基上浅基础、柱下条形基础、筏板基础和箱形基础、桩基础、墩基础、沉井基础与岩石锚杆基础等)的设计,动力机器基础设计等。

第二章 天然地基上浅基础的常规设计

第一节 概 述

地基基础设计是建筑物设计的一个重要组成部分,它与建筑物的安全和正常使用有着密切的关系。设计时必须结合工程地质条件、建筑材料及施工技术等因素,并将上部结构与地基基础综合考虑,使基础工程做到安全可靠、经济合理、技术先进和便于施工。

基础按埋深的不同,可分为浅基础和深基础两类:一般埋深在5 m左右,能用一般方法施工的基础称为浅基础;基础需要埋置在较深的土层上,需采用特殊方法施工的基础则称为深基础,如桩基础、沉井基础等。

地基按处理与否,可分为天然地基和人工地基两类:未经过人工处理的地基称为天然地基,经过人工处理加固过的地基则称为人工地基。

由上述概念可知,基础埋深小于5 m且基础下地基未经过人工处理的地基基础设计方案称为天然地基上的浅基础方案。天然地基上浅基础方案一般施工简单,工期短,工程费用少,而人工地基和深基础往往造价较高,施工复杂。因此,在保证建筑物的安全和正常使用的条件下,应优先选用天然地基上浅基础方案。若满足设计要求的方案不止一个,则应进行经济和技术方面的比较,以选择其中的最优方案。

一、基础设计的重要性、目的、原则及内容

(一) 基础设计的重要性

基础是建筑物的地下部分,属隐蔽工程,它是传递建筑物上部荷载与地基的桥梁,基础的选型、构造尺寸的确定及内力分析,取决于上部荷载情况(荷载大小、方向及作用位置)及地基土层特性,地基土层是复杂多变的,也就带来了基础设计的多样性。基础设计得不合理往往会导致事故的发生。据调查统计,在世界各国的工程事故中,以地基基础发生的事故最多,而且这类事故一旦发生,不仅损失巨大,而且补救将十分困难。因此,搞好基础设计做到技术先进合理、施工技术可行、工程造价适当、环境效益好是很重要的。

(二) 基础设计的目的

(1) 保证地基应具有足够的强度和稳定性,建筑物在荷载作用下,不会出现地基承载力不足而产生剪切破坏和失稳破坏。

(2) 保证地基的沉降不能超过其变形允许值,建筑物不因地基变形过大而毁坏或影响建筑物的正常使用。

(3) 基础的形式、构造和尺寸应能适应上部结构构造及使用要求,基础的结构应满足强度、刚度和耐久性的要求。

另外,满足设计要求的方案往往不止一个,应进行经济和技术方面的比较,选择其中

的最优方案。

(三) 基础设计的原则

基础设计与地基是分不开的,在基础设计中应遵循以下原则:

- (1) 在防止地基剪切破坏和丧失稳定性方面,应具有足够的安全度。
- (2) 控制地基变形量,使建筑物的变形量不超过允许值。
- (3) 基础的形式、构造和尺寸应能适应上部结构构造及使用要求,基础的结构应满足强度、刚度和耐久性的要求。
- (4) 经济合理。

(四) 基础设计的内容及步骤

- (1) 根据建筑物传来的荷载大小和地基条件提出基础类型及地基处理的初步方案,并考虑使用要求、施工技术、材料供应和造价等条件,综合分析比较确定。
- (2) 选择基础的埋深 d 。
- (3) 确定地基承载力 f_a 。
- (4) 根据地基承载力和作用在基础上的荷载,计算确定基础的底面尺寸,必要时进行地基软弱下卧层强度验算。
- (5) 对安全等级为一级或具有特殊情况的二级建筑物需进行地基变形验算。
- (6) 对建于斜坡上的建筑物,经常承受较大水平荷载的构筑物,需进行地基稳定性验算。
- (7) 确定基础的剖面尺寸,进行基础结构和构造设计计算。
- (8) 绘制基础施工图,编写施工说明。

二、基础设计存在的问题

(一) 常规设计

常用浅基础(如扩展基础、双柱联合基础等)体型不大,结构简单,在计算单个基础时,一般既不遵循上部结构与基础的变形协调条件,也不考虑地基与基础的相互作用。这种简化法也经常用于许多连续基础的初步设计,称为常规设计。至于复杂的或大型的基础,其力学性质复杂,宜在常规设计的基础上,区别情况采用目前可行的方法考虑地基、基础及上部结构的相互作用。

(二) 浅基础设计

浅基础设计一般要妥善处理以下五个方面的问题:

- (1) 充分掌握拟建场地的工程地质条件和地基勘察资料,例如,不良地质现象和发震断层的存在及其危害性、地基土层分布的均匀性、软弱下卧层的位置和厚度、各层土的分类及其工程特性指标。地基勘察的详细程度应与建筑物的安全等级和场地的工程地质条件相适应。

- (2) 了解当地的建筑经验、施工条件和就地取材的可能性,并结合实际考虑采用先进的施工技术和经济、可行的地基处理方法。

- (3) 在研究地基勘察资料的基础上,结合上部结构的类型,荷载的性质、大小和分布,建筑布置和使用要求以及拟建的基础对原有建筑或设施的影响,从而考虑选择基础类型

和平面布置方案,并确定地基持力层和基础埋深。

(4)按地基承载力确定基础底面尺寸,进行必要的地基稳定性和特征变形验算,以使地基的稳定性能得到充分保证,使地基的沉降不致引起结构损坏、建筑物倾斜与开裂,或影响其使用和外观。

(5)以简化的或考虑相互作用的计算方法进行基础结构的内力分析和截面设计,以保证足够的强度、刚度和耐久性。最后绘制施工详图,作出施工说明。

不难看出,上述各方面是密切关联、相互制约的,未必能一次考虑周详。因此,地基基础设计工作往往要反复进行才能取得满意的结果。对规模较大的基础工程,还宜对若干可能方案作出技术经济比较,然后择优采用。

当今,基础设计中多数是采用某些简化的设计理论和计算方法,不可否认这些理论与方法在工程实践中解决了大量的问题,发挥了也正发挥着重要的作用,但是,随着社会的发展,建筑物的上部结构在体型与构造上变化越来越多,在地质条件不良的地层上也要修筑建筑物,这给基础设计提出了许多新的课题。基础设计中存在许多难以预料的问题。因此,对基础设计不仅要重视以往的理论计算,而且还要求设计人员深入研究,综合判断实际工程的不同条件和相关因素,才能真正设计出经济、合理的基础工程。

(三) 基础设计的发展

我国有 5 000 多年文明历史,从史料记载以及发掘的古文化遗址看,早在 5 000 年前人类已进入房屋居住。当时基础很简单,主要有三类:第一类为夯土地基,如西安半坡村居民遗址中的基础是用红烧土和陶片夯实而成的;第二类为挖槽铺石墙基,如洛阳王湾有一座 500 m² 民居遗址,属仰韶文化期,墙下挖有槽,槽内填卵石,古埃及也有类似做法;第三类为埋木桩于地下,做成架空窝棚,这是桩基最早的雏形,如浙江余姚河姆渡文化遗址中有跨距 5~6 m,联排 6~7 间的房屋,底层架空于桩上。

春秋战国时期夯土基础乃至夯土城墙已达到相当高的水平。著名的万里长城当时实际上是土筑长城,玉门关一带的汉长城用砂、砾石和红柳或芦苇层层压实,与目前工程中广泛采用的土工织物以及锚拉墙相比,原理相同,只是材料及工艺不及今天而已。

故宫、天安门、前门等不仅在建筑上体现了中国古代建筑的独特风格,在地基与基础上也达到了很高的水平。在这组建筑群中,有木筏基础(前门)、群桩(天安门)、灰土台基(三大殿等),反映出几百年前在地质条件较差情况下修建高、重建筑基础工程的水平。

从世界范围来说,情况基本相同。如印度的某些土坝,至今已蓄水 2 000 年以上;罗马人早在 2 000 年前就成功地修建了许多桥梁、道路和渠道工程。但直到 18 世纪中叶,人们对土的工程特性的认识还只是停留在感性认识阶段。随着 18 世纪产业革命发展,大量建筑物兴建,积累了许多成功的经验,也总结了不少失败的教训,它促使人们寻求理论上的解释。如 1773 年法国科学家 C. A. Coulomb 发表了土的抗剪强度和土压力理论;1856 年 Darcy 研究了砂土透水性,提出了达西定律;1885 年 J. Boussinesq 给出了半无限弹性体中应力分布的计算公式;1882 年 Mohr 提出了分析某一点的应力图解方法(即莫尔圆法),与库仑的抗剪强度公式一起,至今仍被作为土的强度准则;1922 年,瑞典的 W. Fellenius 为解决铁路塌方问题提出了土坡稳定分析法;1925 年土力学奠基人 K. Terzaghi 的专著《土力学》问世,这本书总结了前人的经验,系统阐述了若干土力学原理问题,提出了著

名的太沙基有效应力原理,使土力学作为一门独立的学科出现在人们面前,以后在工程实践中不断丰富、不断提高。20世纪60年代后,大型电子计算机问世及土工试验设备及技术的迅速发展,推动了地基处理与基础设计工作的进一步深入,长期以来,在土力学理论中计算沉降时,将土看做纯弹性体,而进行土体稳定分析和土压力计算时,又将土看做理想塑性体材料,而实际上土的应力—应变关系具有非线性、剪胀性、加工硬化和软化等特性,不是弹性理论或塑性理论所能概括的,特别是对于那些超高层建筑物的基础设计,运用已有的理论已经远远不能满足要求。借助于计算机及试验技术,许多学者已开展了土的弹塑性应力—应变关系研究,提出了各种土的本构模型。此外,在固结理论方面也在探讨三维非线性固结问题,同时也加强了土的微观结构等方面的研究。

随着新中国成立以来的经济发展,在勘察、测试技术、土的物理力学性质研究、地基基础设计与施工技术等方面取得了很多科研成果和实践经验,例如,先后出现了锚杆工程、土钉技术、地下连续墙、旋喷桩、挖孔桩、土工织物加筋等一系列地基基础施工技术,相信随着我国社会发展,通过众多的高层建筑、大型水利工程、海洋采油平台、机场跑道、高速公路及铁路等工程的修建,必将进一步推动我国地基和基础工程学科更大的发展。

第二节 地基、基础与上部结构相互作用的概念

建筑设计通常是把上部结构、基础与地基三者作为彼此离散的独立结构单元进行力学分析的。以图2-1中条形基础上的平面框架的常规设计为例:分析时把框架分离出来后将底层柱脚固定(或铰接于不沉降的基础),如图2-1(b)所示,从而计算在荷载作用下的框架内力。再把与求得柱脚反力相等但方向相反的力系作为基础荷载(如图2-1(c)所示),从而按直线分布假设计算基底反力,这样就不难求得基础截面内力了。进行地基计算时,则将基底反力反向施加于地基(如图2-1(d)所示),并作为柔性荷载(不考虑基础刚度)来验算地基承载力和基础沉降。

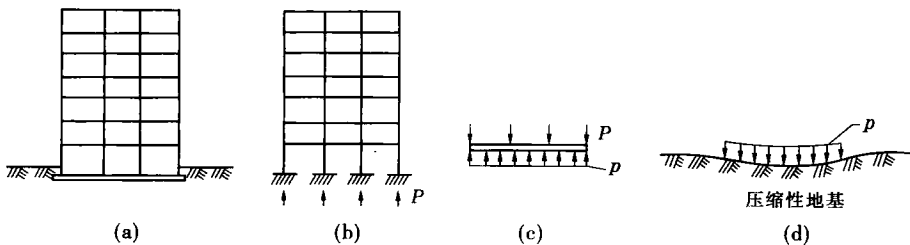


图 2-1 地基、上部结构的常规分析简图

从以上分析不难看出设计过程中存在不合理之处。因为地基、基础和上部结构沿接触点(面)分离后,虽然要求满足静力平衡条件,但却完全忽略了三者之间受荷前后的变形连续性。其实,地基、基础和上部结构三者是相互联系成整体来承担荷载而发生变形的。这时,三部分都将按各自的刚度对变形产生相互制约的作用,从而使整个体系的内力(包括柱脚和基底的反力)和变形(包括基础沉降)发生变化。显然,当地基软弱、结构物对不均匀沉降敏感时,上述常规分析结果与实际情况的差别就愈大。

由此可见,合理的分析方法,原则上应该以地基、基础和上部结构之间必须同时满足静力平衡和变形协调两个条件为前提。只有这样,才能揭示它们在外荷载作用下相互制约、彼此影响的内在联系,从而达到安全、经济的设计目的。可以想象,按这个原则进行整体的相互作用分析是相当复杂的。因此,这意味着不但要建立正确反映结构刚度影响的分析理论和便于借助电子计算机等有效计算方法,而且还要研究选用能合理反映土的变形特性的地基计算模型及其参数。正因如此,直至 20 世纪 60 年代后期,随着电算技术与方法的迅速发展,以及土的应力—应变关系探讨的继续深入,相互作用的研究才得以开展并受到重视。

至今,基于相互作用分析的设计方法已被称为“合理设计”,但毕竟还处于研究阶段,一般基础设计仍然采用本章所述的常规方法。在第三章中介绍的地基上梁和板的分析理论中虽然考虑了地基与基础的相互作用,但还未涉及上部结构刚度的影响。尽管如此,掌握地基—基础—上部结构相互作用的基本概念将有助于了解各类基础的性能、正确选择地基基础方案、评价常规分析与实际之间的可能差异、理解影响地基特征变形允许值的因素和采取防止不均匀沉降损害的措施等有关问题。以下先由地基与基础的相互作用入手,进而引入上部结构刚度的影响,以便阐明有关概念。

一、地基与基础的相互作用

建筑物基础的沉降、内力以及基底反力的分布,除与地基因素有关外,还受基础及上部结构的制约。此处只限于考虑基础本身刚度的作用而忽略上部结构的影响。为了建立基本概念,以下先讨论柔性基础和刚性基础两种极端情况。

(一) 柔性基础

如图 2-2 所示,柔性基础的基底反力分布与作用于基础上的荷载分布完全一致。

均布荷载下柔性基础的基底沉降是中部大、边缘小(如图 2-2(a)所示)。如果要使柔性基础底面的沉降趋于均匀,显然就得增大基础边缘的荷载,并使中部荷载相应减小,这样,荷载和反力就变成如图 2-2(b)所示的非均匀分布的形状了。

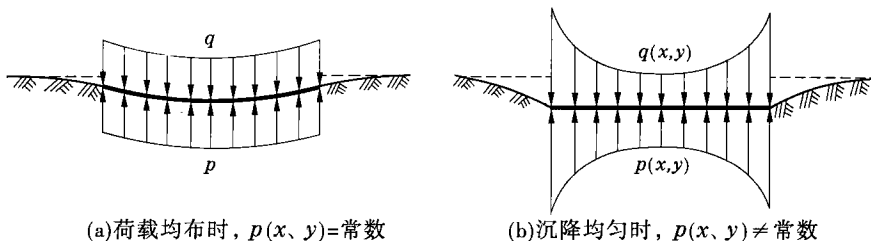


图 2-2 柔性基础

(二) 刚性基础

刚性基础(如图 2-3 所示)具有非常大的抗弯刚度,受荷后基础不挠曲,中心荷载下刚性基础基底反力的分布也应该是边缘大、中部小;而当荷载偏心时,沉降后基底为一倾斜平面,反力图就变成图 2-3(b)中试验所示的不对称形状了。把刚性基础能跨越基底中部,将所承担的荷载相对集中地传至基底边缘的现象叫做基础的架越作用。

当基础四周没有超载(相当于无埋深,图 2-4(a)、(b))时,基底边缘砂粒很容易朝侧

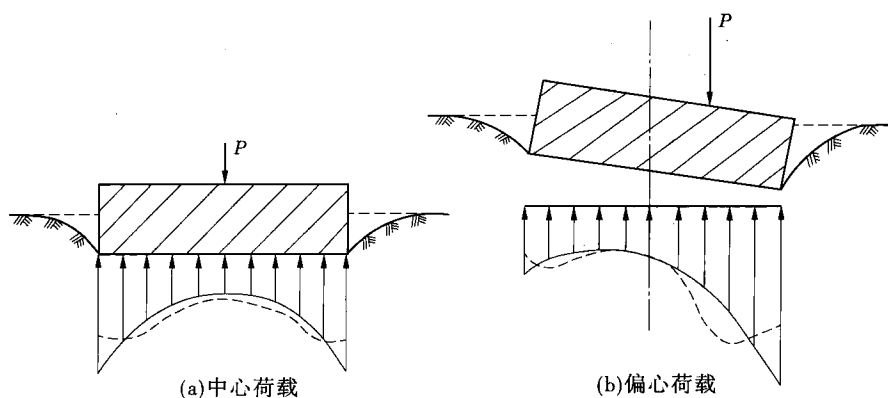


图 2-3 刚性基础

向挤出,塑性区随荷载的增加迅速开展,基底反力呈抛物线形分布;而硬黏土具有较大的黏聚力,基底边缘可以承担一定的压力,使基底反力分布呈马鞍形。当四周有超载(相当于有埋深,图 2-4(c)、(d))时,边缘砂粒较难挤出,塑性区较小,边缘反力增加,使它与基底中心的反力大小差别缓和。

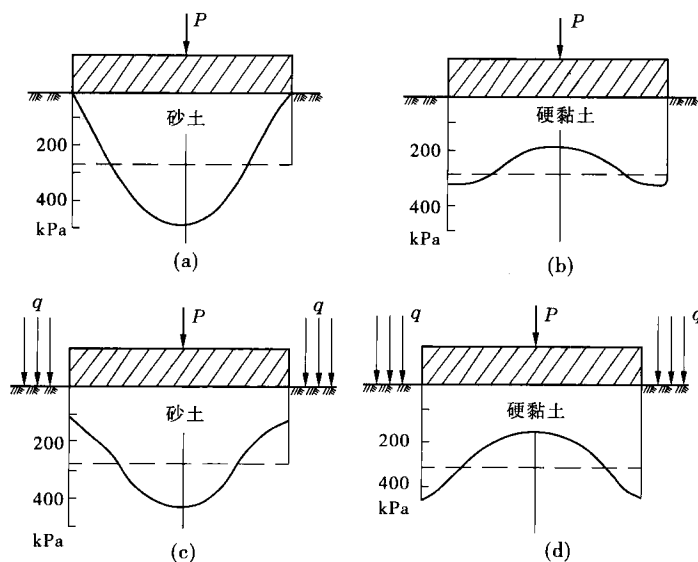


图 2-4 圆形刚性基础模型底面反力分布图

(三) 基础相对刚度的影响

基础架越作用的强弱取决于基础与地基的相对刚度大小、土的压缩性高低以及基底塑性区的大小。

图 2-5(a) 表示黏性土地基上相对刚度较大的基础,如土中不存在塑性区或基础范围相对很小,则基础的架越作用很强。刚性基础基底反力的分布只与基础荷载合力的大小和作用点位置有关,而与荷载的分布情况无关。当荷载合力偏心较大时,相反一侧的基底可能与地基脱离接触(见图 2-6(a))。

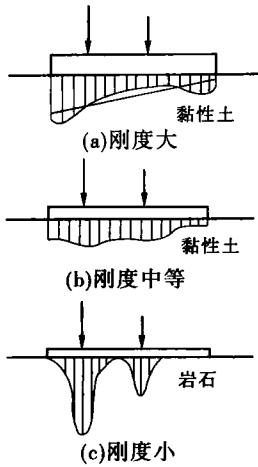


图 2-5 基础相对刚度对架越作用的影响

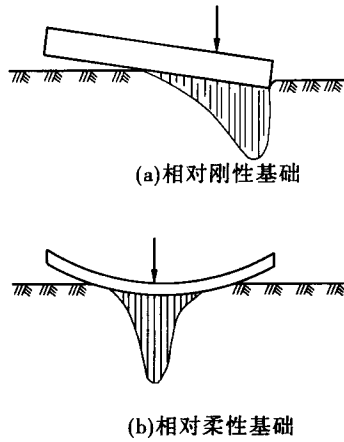


图 2-6 基础与地基脱离接触的情况

图 2-5(b) 则表示位于岩石或压缩性很低的地基上抗弯刚度相对很小的基础,其架越作用甚微。基础上的集中荷载直接传播到靠近荷载的窄小面积内。此时,基础荷载与基底反力两者的分布有着明显的一致性,因而基础的内力很小。相对柔性基础在远离集中荷载作用点的基底容易出现与地基脱离的现象(见图 2-6(b))。

(四) 地基非均质性的影响

图 2-7 表示地基压缩性不均匀的两种相反情况,两基础的柱荷载相同,但其挠曲情况和弯矩图则截然不同。此时,如增大基础刚度以调整不均匀沉降,则两者弯矩图上的差别将更加突出。图 2-8 则表示不均匀地基上基础柱荷载分布情况不同所造成影响的鲜明对照。图 2-8 中(a)和(b)的情况最为有利,图 2-8 中(c)和(d)的情况则是最不利的。

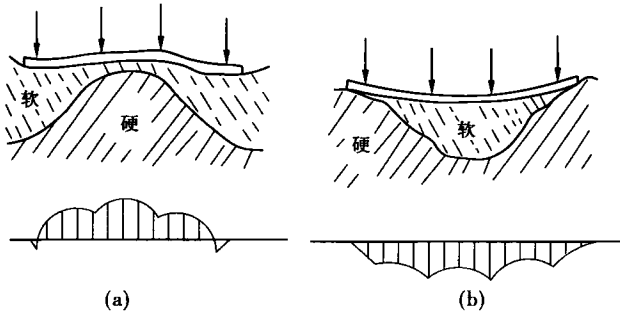


图 2-7 地基压缩性不均匀的影响

二、基础与上部结构的相互作用

如果考虑上部结构的刚度,基础设计就更为复杂了。所谓上部结构的刚度,是指整个上部结构对基础不均匀沉降或挠曲的抵抗能力,或称整体刚度。建筑结构按刚度可分为三类。

(一) 柔性结构

以屋架—柱—基础为承重体系的木结构和排架结构是典型的柔性结构。图 2-9 所示