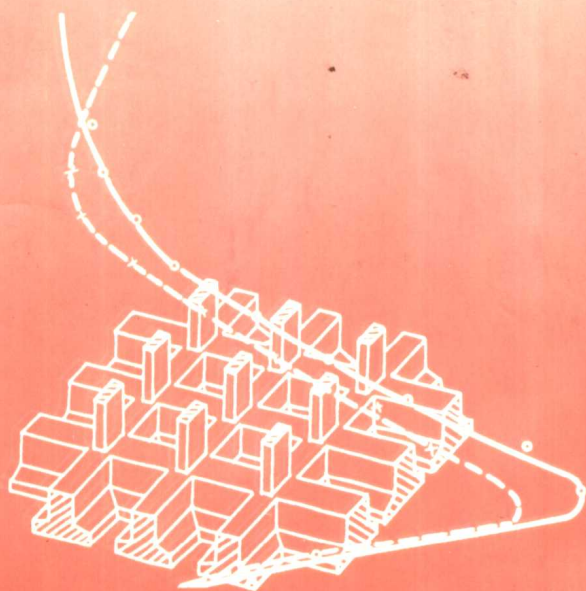


基础工程设计与地基处理

主 编：孙文怀

副主编：刘起霞 郝小红 郝小员 路新景



中国建材工业出版社

基础工程设计与地基处理

主 编 孙文怀

副主编 刘起霞 郝小红 郝小员 路新景

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国建材工业出版社

内 容 提 要

本书着重介绍基础工程设计与地基处理的基本知识和基本理论。其内容为:浅基础的常规设计;柱下条形基础、筏板基础、箱形基础的设计;深基础(桩基础、墩基础、沉井、地下连续墙)的设计;软弱土及特殊性土地基处理的方法、机理及设计计算;深基坑开挖与支护的方法与设计;地下防渗工程设计;动力基础设计简介;降排水设计与施工等。

本书可作为高等院校土木工程专业、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材参考书,此外还可作为土建类勘察、设计、施工技术人员参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程设计与地基处理/孙文怀编. - 北京:中国建材工业出版社, 1999.8

ISBN 7-80090-931-X

I. 基… II. 孙… III. ①地基-基础(工程)-建筑设计 ②地基处理 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 31302 号

基础工程设计与地基处理

主编:孙文怀

副主编:刘起霞 郝小红 郝小员

责任编辑:高峰

*

中国建材工业出版社出版发行

(北京市海淀区三里河路 11 号 邮编:100831)

新华书店经销

水利部黄委会勘测规划设计院印刷厂印制

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20.75 字数: 493 千字

1999 年 8 月第一版 1999 年 8 月第一次印刷

印数: 0001-1000 定价: 26.00 元

ISBN7-80090-931-X/TU·228

前 言

《基础工程设计与地基处理》是研究建筑工程中地下部分基础的类型、结构、构造、设计计算与地基土改性的一门科学。基础工程设计与地基处理是土木工程专业、地质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与地基处理的基本知识、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,基础设计还不能做的十分完美。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,基础工程设计理论与技术、地基处理技术与方法有了很大的发展,地基处理的新技术、新方法不断涌现,且实践效果相当好,同时产生了建筑地基基础设计规范(GBJ7-89)、湿陷性黄土地区建筑规范(GBJ25-90)、锚杆喷射混凝土支护技术规范(GBJ86-85),膨胀土地区建筑技术规范(GBJ112-87),高层建筑箱形基础设计与施工规程(JGJ6-80)、建筑地基处理技术规范(JGJ79-91)及建筑桩基技术规范(JGJ94-94)等。因此,我们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,着重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,编写时做到条理清楚、体系完整、内容精炼。

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,主编:孙文怀、副主编:刘起霞、郝小红、郝小员、路新景,参加编写的人员还有李志远、李民生等,各章节编写分工如下:

绪言孙文怀编写,第一章、第四章刘起霞编写,第二章孙文怀、李志远编写,第三章郝小红、路新景编写,第五章孙文怀编写,第六章郝小员编写,第七章李民生编写。

全书由孙文怀统稿,部分同志参加了图件清绘工作。

由于业务水平所限,书中难免有不妥之处,敬请批评指正。

编 者

1999.6

目 录

绪言	(1)
第一章 天然地基上浅基础的常规设计	(3)
第一节 概述	(3)
第二节 地基、基础与上部结构相互作用的概念	(5)
第三节 基础设计的基本规定	(11)
第四节 浅基础的类型及适应条件	(13)
第五节 基础埋置深度的选择	(19)
第六节 地基承载力的确定	(23)
第七节 基础底面尺寸的确定	(34)
第八节 地基变形验算及基底尺寸的调整	(39)
第九节 减轻建筑物不均匀沉降危害的措施	(45)
思考题与习题	(50)
第二章 柱下条基、筏板基础和箱型基础	(53)
第一节 概述	(53)
第二节 柱下条基、筏板基础和箱型基础基本概念及构造	(53)
第三节 地基计算模型与土参数的确定	(55)
第四节 文克勒(Winkler)地基上梁的计算	(68)
第五节 地基上梁的有限元数值分析	(74)
第六节 地基上板的有限元数值分析	(77)
第七节 刚性基础的基底反力、沉降和倾斜计算	(84)
第八节 柱下条基、筏板基础和箱型基础的设计	(86)
第九节 补偿性基础设计简介	(102)
思考题与习题	(105)
第三章 深基础	(106)
第一节 概述	(106)
第二节 深基础的类型及适用性	(106)
第三节 桩的类型	(108)
第四节 桩与土的相互作用	(114)
第五节 桩承载力的确定	(120)
第六节 桩基的沉降	(144)
第七节 桩基础的设计	(148)
第八节 其它深基础简介	(160)
思考题与习题	(171)
第四章 地基的抗震分析及动力基础	(172)
第一节 概述	(172)

第二节	地基的地震反应及动力参数	(173)
第三节	地基抗震验算	(180)
第四节	振动对地基影响及动力基础设计的步骤	(188)
第五节	动力基础在地基中引起的波动及防振措施	(192)
	思考题与习题	(195)
第五章	深基坑支护与防渗工程	(197)
第一节	支护结构的类型及适应条件	(197)
第二节	支护结构的破坏形式	(200)
第三节	支护结构的设计原理与计算方法	(201)
第四节	支护结构的稳定性验算	(207)
第五节	基坑周围土体变形计算	(209)
第六节	常见支护结构的设计	(210)
第七节	防渗工程设计	(229)
	思考题与习题	(234)
第六章	地基处理	(235)
第一节	概述	(235)
第二节	换填法	(236)
第三节	强夯法	(241)
第四节	排水固结法	(247)
第五节	复合地基理论	(259)
第六节	其他地基处理方法	(293)
	思考题与习题	(301)
第七章	降排水工程	(302)
第一节	概述	(302)
第二节	降排水的分类及适用条件	(302)
第三节	排水工程	(303)
第四节	降水工程	(308)
	思考题与习题	(324)
	参考文献	(325)

绪 言

一、地基与基础的概念

任何建筑物都是建筑在地层中或地层之上的,建筑物的荷载也是由地层来承担的,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称为基础。地基是由土和岩石组成的,土与岩石又是各种地质作用(诸如风化、搬运、沉积、成岩等作用)的产物。由于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。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,当天然地基很软弱,不能满足地基强度和变形等要求时,则要进行地基处理,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分析上部结构荷载及地基土特性来确定。

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,基础工程设计的合理与否及质量的好坏,直接影响建筑物的安危,由于地基基础设计的不完善,造成建筑物破坏的例子是很多的,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. 确定基础的类型时一方面取决于上部结构的体型状态,荷载大小等情况,更主要的取决于基础所在的地基土特性。在上部结构、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,实践证明适应用许多低层建筑且效果较好。对于重要的建筑物或高层建筑物,要充分考虑上部结构、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,如建在软粘土层上的建筑物,由于软粘土天然含水量高、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破坏。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,其主要原因是地基土的性质不良,容易产生强度不足,稳定性不好,变形过大,渗漏产生渗透破坏及液化产生地基失稳和震陷等,最终导致建筑物的破坏,因此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。

地基处理的方法很多,主要有强夯法、重锤夯实、超载、真空预压、排水固结、深层搅拌、高压旋喷、碎石桩、砂桩、灰土桩挤密等等,这些方法的加固机理、适应范围、设计与施工等在第六章中分类介绍。

四、本课程的特点

1. 详细介绍常规的基础设计方法

本书的第一章浅基础的常规设计,介绍了浅基础的类型、结构构造形式及内力分析,第二章介绍了柱下条形基础、筏板基础和箱形基础的结构构造要求,内力分析等设计方法,第三章介绍深基础的常规设计,内容较详细。

2. 简要阐述了基础工程设计与地基处理的新技术

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,第三章阐述了桩筏基础、桩箱基础的简要设计等。

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,如多分枝承力盘桩,桩底及桩侧的后注浆桩等。

③深基坑开挖支护新技术;深基础开挖与支护是高层、超高层建筑施工中普遍遇到的基础施工问题,近来了涌现了许多深基坑开挖与支护的新技术如土钉支护、锚杆支护、闭合拱圈支护、逆作法施工地下连续墙支护等,本书阐述了这些支护结构的设计计算与施工。

④地基处理的新技术;地基处理是近年来很活跃的课题,也是工程中广泛应用的课题,许多地基处理的新技术不断涌现且在工程中很适用,本书分类阐述了地基处理方法外,对CFG桩、深层搅拌水泥土桩、振冲碎石桩等地基处理新技术作了简要阐述。

3. 本书尽力按照国家现行的新规程与新规范编写。

4. 反应内容比较全面,本书阐述了基础工程的设计;软弱土、特殊土的地基处理;深基坑开挖与支护方法设计;地下防渗工程设计;动力基础设计;降排水设计与施工等。内容较全面。

2014.11.11

第一章 天然地基上浅基础的常规设计

地基基础设计是建筑物设计的一个重要组成部分,它对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。

基础按基埋置深度的不同,可分为浅基础和深基础两类,一般埋置深度在 5m 左右,能用一般方法施工的基础称为浅基础;当基础需要埋置在较深的土层上,采用特殊方法施工的基础则称为深基础,如桩基础、沉井和地下连续墙等。

地基按其处理与否,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,当基础埋置深度小于 5m,且基础下地基未经过人工处理,这样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,以选择其中最优方案。

第 一 章 概 述

一、基础设计的重要性、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于地基的桥梁,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。基础设计的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,同时补救将十分困难。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)基础设计的原则

基础的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。

(三)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. 选择基础的埋置深度(d);

3. 确定地基承载力(f);
4. 根据地基承载力,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

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(详见本章第二节)。这种简化法也经常用于许多连续基础的初步设计,特称为常规设计。至于复杂的、或大型的基础,其力学性状复杂,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(见第二章)。

设计浅基础一般要妥善处理下列几方面问题:

(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和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置深度。

(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,以便使地基的稳定性能得到充分的保证,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。故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

我国有五千多年文明历史,从史料记载以及发掘的古文化遗址看,早在五千年前人类已

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系用红烧土和陶片夯实而成;第二类为挖槽铺石墙基,洛阳王湾有一座 500m^2 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。浙江余姚河姆渡文化遗址中有跨距 $5\sim 6\text{m}$,联排 $6\sim 7$ 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高、重建筑的基础工程水平。

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 2000 年以上;罗马人早在两千年前就成功地修建了许多桥梁、道路和渠道工程。但直到 18 世界中叶,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,大量建筑物兴起,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,创立了达西定律;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(即摩尔圆),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 为解决铁路坍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。60 年代后,大型电子计算机问世及土工实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,是将土看作纯弹性体,而进行土体稳定分析和土压力计算时,又将土看作理想塑性体材料,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。借助于计算机及实验技术,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。

随着建国以来的经济发展,在勘察、测试技术、土的物理力学性研究、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

建筑结构设计通常总是把上部结构、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 1-1 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 1-1(b),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 1-1(c)所示),从而按直线分布假设计算基底反力,这样就不难求得起基础截面内力了。进行地基计算时,则将基底反力反向施加于地基(如图 1-1(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。

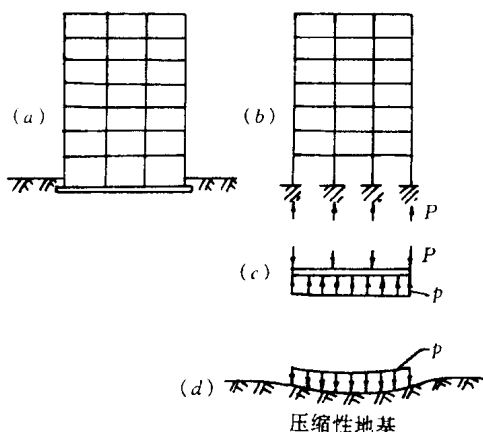


图 1-1 地基、上部结构的常规分析简图

从以上分析不难看出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 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。在第二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,除了与地基因素有关外,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 1-2 所示,柔性基础的抗弯刚度很小。它好比放在地上的柔软薄膜,可以随着地基

的变形而任意弯曲。基础上任一点的荷载传递到基底时不可能向旁扩散分布,就像直接作用在地基上一样。所以,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。

如果假设地基是均质的弹性半空间,则用角点法可求得柔性基础底面任意点的沉降。所得的计算结果以及工程实践经验都表明,均布荷载下柔性基础的基底沉降是中部大,边缘小(如图 1-2(a)所示)。由此可见,缺乏刚度的基础,由于无力调整基底的不均匀沉降,就不可能使基底的荷载改变其原来的分布情况。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,并使中部荷载的相应减少,这样,荷载和反力就变成如图 1-2(b)所示的非均匀分布的形状了。

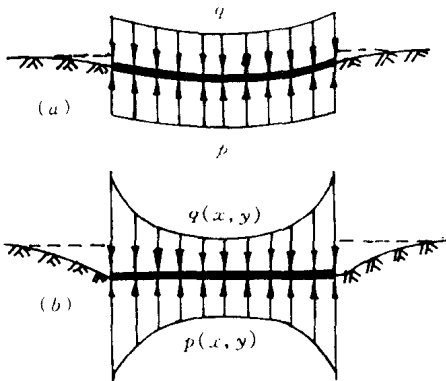


图 1-2 柔性基础

- (a) 荷载均布时, $p(x, y) = \text{常数}$;
- (b) 沉降均匀时, $p(x, y) \neq \text{常数}$;

(二) 刚性基础

刚性基础(如图 1-3 所示)具有非常大的抗弯刚度,受荷后基础不挠曲,因此,原来是平面的基底,沉降后仍然保持平面。如基础的荷载合力通过基底形心,刚性基础将迫使基底各点同步,均匀下沉。这样,根据以上柔性基础沉降均匀时基底反力分布不均匀的论述,可以推断,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 1-3(b)中实验所示的不对称形状了。由此可见,具有刚度的基础,在迫使基底沉降趋于均匀的同时,也使基底压力发生由中部向边缘转移。此处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”。

据弹性半空间理论,可以由地基与基础接触面的变形协调方程和基础的静力平衡方程联立求解得基底沉降 s 与压力 $P(x, y)$,其结果为边缘处反力无限大(如图 1-3 中实线反力图),然而,事实上由于地基局部剪切破坏,边缘处的接触压力不可能超过一定的数值,因而势必引起反力的重新分布,基底反力图如图 1-3 中虚线所示的马鞍形。

由此可见,在基础的架越作用以及由土中塑性区的开展而发生反力重分布这两方面的综合影响下,基底反力的分布规律变得更加复杂了。基底下塑性区发展的范围与荷载大小、土的抗剪强度、基础埋深(侧边超载)以及基底尺寸等因素有关。随着荷载的增加,邻近基底边缘的塑性区逐渐扩大,所增加的荷载必须靠基底中部反力的增大来平衡,于是,反力图可以由马鞍形逐渐变抛物线形。但是,一般说来,无论无粘性土或粘性土地基,只要基础埋深和基底面积足够大,而荷载不太大时,基底反力图均呈马鞍形。

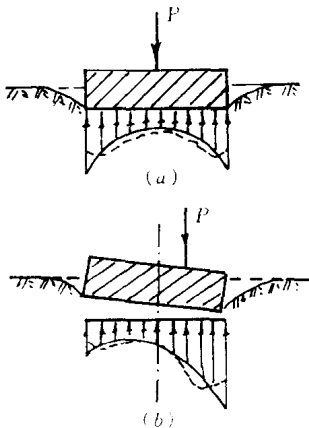


图 1-3 刚性基础

- (a) 中心荷载; (b) 偏心荷载

为了验证基底压力的分布,可于基底不同部位预埋土压力盒。它一般有应变片式和钢弦式两类。图 1-4 为一种钢弦式土压力盒,金属薄膜 1 内表面的二个支架 4 张拉着一根钢弦 3。当薄膜承受压力而挠曲时,钢弦绷紧伸长,其自振频率相应改变。根据预先标定的钢弦频率与薄膜盒面所受压力之间的关系,便可测得基底压力值。

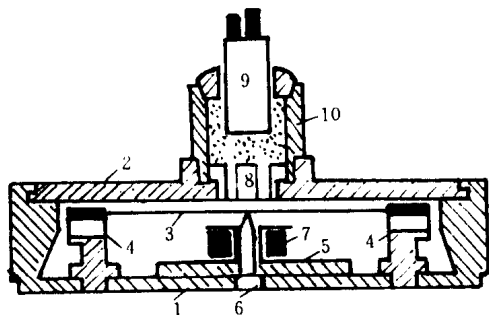


图 1-4 钢弦式压力盒示意图

- 1-金属薄膜;2-外壳;3-钢弦;4-支架;
5-底座;6-铁芯;7-线圈;8-接线栓;
9-屏蔽线;10-环氧树脂封口

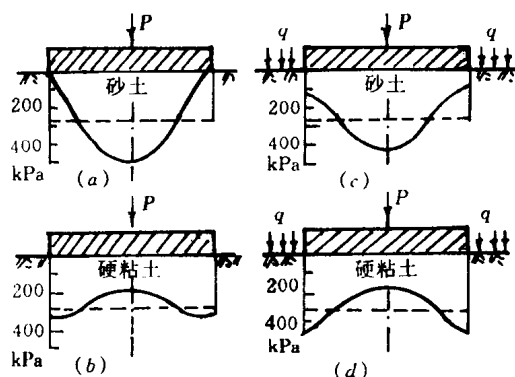


图 1-5 圆形刚性基础模型底面反力分布图
(a)、(b)无超载;(c)、(d)有超载

图 1-5 是分别置于砂土和硬粘土上的圆形刚性基础模型底面的实测压力分布图。当基础四周没有超载(相当于无埋深,图(a)和(b))时,基底边缘砂粒很容易朝侧向挤出,塑性区随荷载的增加迅速开展,基底反力呈抛物线形分布;而硬粘土具有较大的粘聚力,基底边缘可以承担一定的压力使反力分布呈马鞍形。当四周有超载(相当于有埋深,图(c)和(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。至于硬粘土上基础有、无埋深时的反力差别就不及砂土明显了。

(三)基础相对刚度的影响

综上所述:基础架越作用的强弱取决于基础与地基的相对刚度、土的压缩性以及基底下塑性区的大小。

图 1-6(a)表示粘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时,则基础的架越作用很强。随着塑性区的扩大,基底反力逐渐趋于均匀,在接近液态的软土中,则近乎直线分布了。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。

图 1-6(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二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开的现象。

至于一般粘性土地基上相对刚度中等的基础,其情况则介于上述两者之间。总之,当基础刚度相对愈大时,随着基础挠曲的减小,基底反力的分布与荷载的分布愈不一致,基础不利截面的弯矩和剪力也将相应增大。

(四)地基非均质性的影响

必须指出,以上讨论仅限于均质地基的情况。实际上,地基土层分布的变化和非均质性对基础挠曲和内力的影响可能很大,而应给予足够的重视。图 1-8 表示地基压缩性不均匀

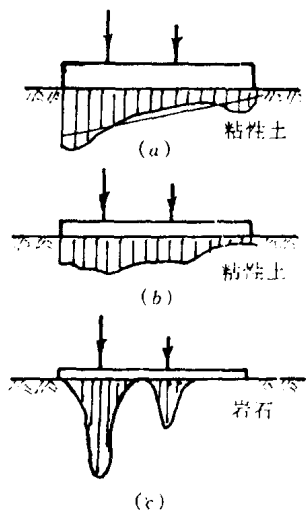


图 1-6 基础相对刚度对架越作用的影响

(a)刚度大;(b)刚度中等;(c)刚度小

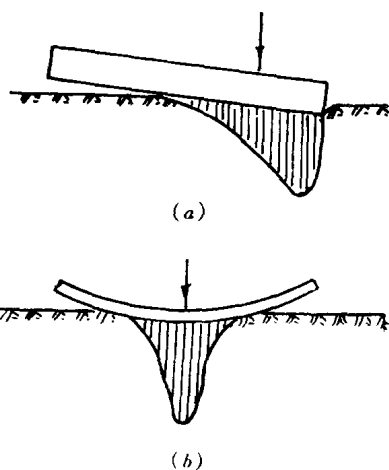


图 1-7 基础与地基脱离接触的情况

(a)相对刚性基础;(b)相对柔性基础

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,则二者弯矩图上的差别将更加突出。图 1-9 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。图中(a)和(b)的情况最为有利,(c)和(d)则最不利的。

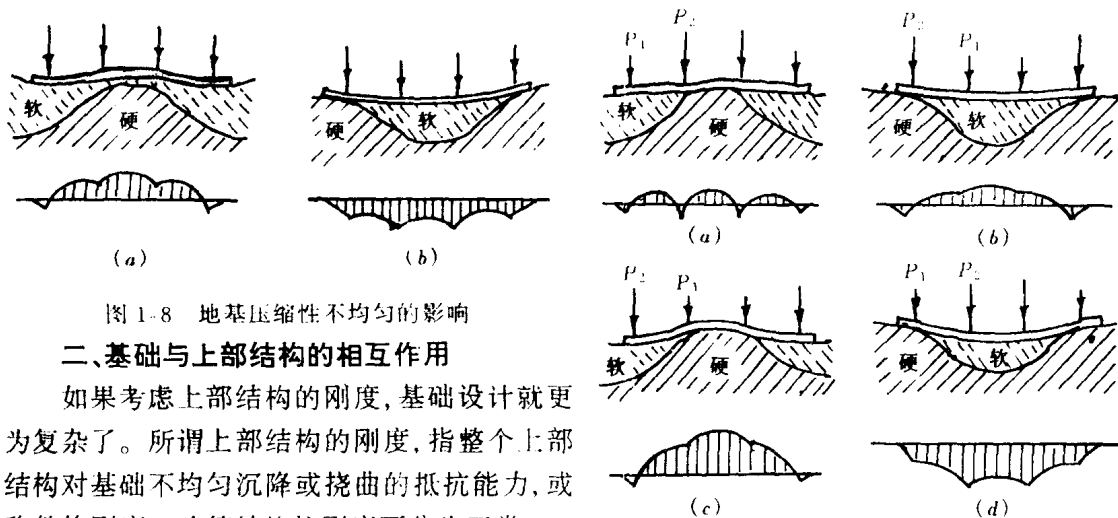


图 1-8 地基压缩性不均匀的影响

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,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

以屋架一柱一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 1-10 所示为二跨对称排架,设三个柱基的条件相同,由于屋架铰接于柱顶,整个承重体系对基础的不均匀沉降有很大的顺从性,故在图示柱顶荷载作用下发生的柱基沉降差不会引起主体结构附加应力,传给基础的柱荷载也不因此而有所变动。由此可见,一般静定结构与地基变形之间并不存在彼此制约,相互作用的关系,都可以划为柔性结构一类。这是最适合采用常规方法设计基础的结构类型。

图 1-9 不均匀地基上条基柱荷载分布的影响

实际上,高压缩性地基上的排架结构也会因柱基不均匀沉降而出现围护结构(当与主体结构有超静定联系时)的开裂损坏,以及其它结构上和使用功能上的问题(详见本章第八节)。因此,对这类结构的地基变形虽然限制较宽,但仍然不允许基础出现过量的沉降或沉降差。

(二)敏感性结构

最常见的砖石砌体承重结构和钢筋混凝土框架结构,对基础不均匀沉降的反应都很灵敏,特称之为敏感性结构。

一般房屋墙砌体的长高比(L/H)比普通梁构件要小很多,都具有相当的抗弯刚度。如将整个墙体(地基上的“深梁”)看成“基础”,并设想它在顶面上的均布荷载作用下发生纵向挠曲,此时由于架越作用,墙下基底反力将呈与荷载分布不一致的马鞍形,而使墙身产生前述柔性基础所没有的次应力。由于一般砌体的抗拉、抗剪强度都很低,墙身往往因此出现裂缝。随着长高比的降低,继续增强的架越作用虽然还会使砌体总内力有所提高,但次应力却随墙身的相对增高而降低了。这就是软土地基上体型简单的五、六层以上砌体结构房屋损坏率较低的主要原因。

综上所述,结构对不均匀沉降的敏感性是受与体型和变形性质有关的刚度以及建筑材料的强度这两方面因素控制的。由于问题的复杂性,对于房屋的承重墙基础的设计,目前还只能采用常规方法,为了防止不均匀沉降对建筑物的损害,必要时可从相互作用的有关概念出发,在建筑、结构、施工诸方面采取适当的经验性措施(详见本章第九节)加以解决。

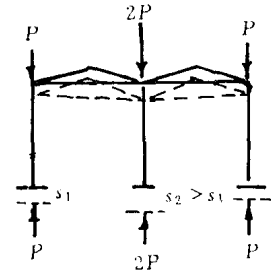


图 1-10 排架结构

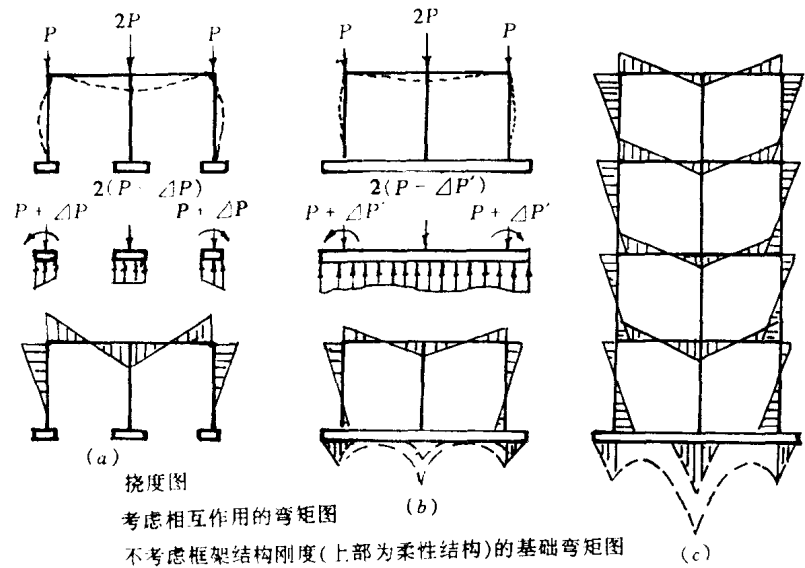


图 1-11 框架结构-基础-地基的相互作用
(a)扩展基础上的框架结构;(b)条形基础上的框架结构;
(c)条形基础上的多层框架结构

框架结构构件之间的刚性联结,使之在调整地基不均匀沉降的同时,也引起了结构中的次应力。现将图 1-10 的排架改为框架(如图 1-11(a)所示),如按支座固定,且不考虑梁柱轴向变形的假设进行常规分析,其结果将与上述排架无异(除柱受轴向压力外,各构件的弯

矩和剪力为零)。然而,事实上框架在按其整体刚度的强弱对基础不均匀沉降进行调整的同时,也可使中柱一部荷载向边柱转移,基础转动、梁柱挠曲而出现次应力,严重时可以导致结构的损坏,只不过框架的配筋使其结构刚度与强度之间的矛盾不象无筋砌体那样突出罢了。这就是软土地基上框架结构房屋的损坏率比砌体结构房屋低的缘故。框架的柱下扩展基础一般按常规设计,柱基的沉降差如超过一定的允许值,在某种程度上可先通过基础尺寸的调整加以解决。

如将图 1-11(a)中按柱分离配置的扩展基础改为三柱共用的条形基础(如图 1-11(b)所示),则可借助条形基础的抗弯刚度来加强框架结构调整各柱不均匀沉降的能力,并使框架的变形和次应力都得到改善。这样,条形基础的挠曲、基底反力以及弯矩分布图就不但与地基的变形特性有关,同时也受到框架刚度的制约。图中表示:由于地基、基础和框架三者相互作用的结果,中柱作用于基础的荷载向边柱有所转移,边柱柱脚出现减少基础正向挠曲的力矩增量,使柱间基础的弯矩图上移,从而减少了基础的正弯矩(图中虚线为不考虑框架刚度影响时的基础弯矩图)。

图 1-11(c)表示压缩性地基上只受有对称的柱顶竖向荷载的多层框架结构的情况。框架整体刚度和传至基础的柱荷载都随层数增加。在地基沉降和基础挠曲都相应增加的同时,框架与条形基础双方都将发挥与其刚度相适应的作用,共同参与调整地基的不均匀沉降。此时,基础分担内力的比例将随框架层数的增加而降低,简单说,就是出现了基础内力向上部结构转移的现象。这种转移的份额取决于框架结构、条形基础和地基的相对刚度,增加基础的抗弯刚度,则上部结构的次应力减少。

由此可见,对于高压缩性地基上的框架结构,按不考虑相互作用的常规方法设计,结果常使上部结构偏于不安全,而使柱下条基等连续基础的设计偏于不经济。如何适当选择连续基础的刚度,最好通过对相互作用的分析确定。第二章将讨论连续基础与地基的相互作用分析,以及粗略考虑上部结构刚度影响的简化方法。

(三)刚性结构

烟囱、水塔、高炉、筒仓这类的高耸结构物之下整体配置的独立基础与上部结构浑然一体,使整个体系具有很大的刚度,当地基不均匀或在邻近建筑物荷载或地面大面积堆载的影响下,基础转动倾斜,但几乎不会发生相对挠曲。

此外,体型简单、长高比很小,通常采用框架、剪力墙或筒体结构的高层建筑,其下常配置相对挠曲很小的箱形基础、桩基及其它型式的深基础,也可以作为刚性结构考虑。

对天然地基上的刚性结构的基础应验算其整体倾斜和沉降量。

显然,随着地基抵抗变形能力的增强,考虑地基—基础—上部结构三者相互作用的意义也将相应降低。可以说:在相互作用中起主导作用的是地基,其次是基础,而上部结构则是在压缩性地基上基础整体刚度有限时起重要作用的因素。

第三节 基础设计的基本规定

一、一般原则

基础在上部结构传来荷载及地基反力作用下产生内力,同时在基底压力作用下在地基内产生附加应力和变形。故基础设计不仅要使基础在内力或其它因素作用下本身应具有足