

中国地质大学“十五”规划教材
中国地质大学“211工程”专项资助教材

刘昌辉 时红莲 编著

基 础 工 程 学

中国地质大学出版社

中国地质大学“十五”规划教材
中国地质大学“211 工程”专项资助教材

基础工程学

刘昌辉 时红莲 编著

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

基础工程学/刘昌辉,时红莲编著. —武汉:中国地质大学出版社,2005.3

ISBN 7-5625-1989-7

I. 基…

II. ①刘…②时…

III. 地基-基础工程

IV. TU47

基础工程学

刘昌辉 时红莲 编著

责任编辑:徐润英

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮编:430074

电话:(027)87482760 传真:87481537

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cn

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:530千字 印张:20.5

版次:2005年3月第1版

印次:2005年3月第1次印刷

印刷:武汉中远印务有限公司

印数:1—4 000册

ISBN 7-5625-1989-7/TU·36

定价:32.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

基础是建筑结构的重要组成部分,它承受着建(构)筑物的全部荷载并将荷载传递给地基。建筑设计的成败,往往取决于基础设计方案的选取是否妥当,以及基础设计能否适应建筑场地的地基条件。掌握《基础工程学》的基本理论及设计计算方法,则是土木工程(岩土)专业人员必须具备的基本素质,所以,《基础工程学》也是土木工程(岩土)专业学生的必修课程。对于已学过工程地质类及建筑工程类基础课的高年级学生,在掌握工程勘察基本知识的基础上,则需要一本针对性强、内容较系统全面、能直接为生产服务又有一定理论深度的《基础工程学》教材。为了满足该专业的教学需要,根据中国地质大学土木工程(岩土)专业培养规格及教学基本要求,使该专业学生掌握基础工程的设计原则、基本理论及设计计算方法,特编写本教材。

《基础工程学》自1996年试用以来,已经两次修编。近年来,因国家最新颁布的岩土工程相关规范及标准相继实施,为了提高教材质量,使教材内容符合国家新的技术标准要求,以便学生更好地掌握本专业知识,现对2001年版本再次进行修改补充并正式出版。

教材遵照国家最新技术规范标准编写,基础内容广泛,针对性强,与岩土工程现状结合较紧密。由于我校相关专业开设有地基处理专业课,所以本教材未包含地基处理的内容,而主要讲授浅基础、箱形基础、深基础以及基坑开挖支护工程的设计计算和施工等,其中深基础及基坑支护工程的设计计算约占全书篇幅的2/3。本教材部分章节安排了一定份量的参考内容,以开阔学生的知识面,加强对工程实际的分析能力,对学生今后从事本专业实际工作具有指导意义。

本书由刘昌辉、时红莲编写。教材以土木工程(岩土)专业为使用对象,也适合建筑工程、地下工程、工程地质等专业方向的高年级学生及技术人员参考。同时,也可作为土木工程师(岩土)执业资格考试的考前参考书。

编写过程中,中国地质大学工程学院的王智济、杨裕云、谭松林、林彤、许英姿、李云安等教授对该书的相应内容进行了审阅并提出宝贵意见,实验室管理科文丽丽工程师及博士生张宜虎为本书精心绘制插图,最后经本校唐辉明教授、杨顺安教授及第一冶金建设公司教授级工程师程云程先生评审,笔者按评审意见对教材的相应内容进行了修改补充。同时,得到中国地质大学“211”地质工程学科群的经费资助。在此一并表示感谢,并对参考文献的原作者致以谢意。

由于笔者水平有限,书中必有不足之处,为使教材内容更完善合理,笔者将虚心等待老师、学生及其他热心读者的指教!

编著者

二〇〇五年一月

目 录

第一章 地基基础及其设计原则	(1)
第一节 地基及基础的主要类型	(1)
一、地基的主要类型	(1)
二、基础的主要类型	(4)
第二节 地基、基础与上部结构相互作用的概念	(7)
一、上部结构的刚度对基础受力状况的影响	(8)
二、基础刚度对基底反力分布的影响	(8)
三、地基条件对基础受力状况的影响	(10)
第三节 基础工程设计的基本原则	(11)
一、设计时需注意的主要事项	(11)
二、基础工程设计的基本原则	(13)
思考题	(15)
第二章 天然地基上的浅基础设计	(16)
第一节 天然地基设计计算	(16)
一、选择基础埋置深度	(16)
二、确定地基承载力	(21)
三、确定基础底面尺寸	(26)
四、地基变形计算	(29)
五、地基稳定性验算	(35)
第二节 无筋扩展基础(刚性基础)	(37)
第三节 钢筋混凝土扩展基础	(39)
一、钢筋混凝土扩展基础的构造要求	(39)
二、墙下钢筋混凝土条形基础	(41)
三、柱下钢筋混凝土独立基础	(43)
第四节 柱下钢筋混凝土条形基础	(50)
一、柱下钢筋混凝土条形基础的构造要求	(51)
二、柱下单向钢筋混凝土条形基础的内力计算	(51)
三、柱下十字交叉基础	(65)
第五节 筏板基础	(69)
一、概述	(69)
二、筏基的设计及构造要求	(70)
三、筏板基础内力计算——刚性板法	(71)
思考及习题	(76)
第三章 箱形基础	(79)
第一节 箱形基础结构设计及构造要求	(79)
第二节 箱基的内力分析	(80)
一、内力分析方法之一——按局部弯曲计算	(80)

二、内力分析方法之二——同时考虑局部弯曲及整体弯曲的计算	(82)
三、内力分析方法之三——简化计算法	(85)
第三节 地基验算	(86)
一、地基强度验算	(86)
二、地基稳定性验算	(87)
三、地基沉降分析	(88)
第四节 箱形基础设计应注意的其他问题	(90)
第五节 施工要求	(91)
思考题	(92)
第四章 沉井基础	(93)
第一节 沉井的类型及构造	(93)
一、概述	(93)
二、沉井的类型	(94)
三、沉井的构造	(96)
第二节 沉井的设计	(97)
一、确定沉井的几何尺寸	(97)
二、地基强度验算	(97)
三、确定下沉系数 K_1 、下沉稳定系数 K_1' 及抗浮安全系数 K_2	(98)
四、沉井施工过程中的结构强度计算	(99)
第三节 沉井的施工	(109)
一、旱地施工的准备工作的	(109)
二、制作第一节沉井	(110)
三、沉井入土下沉	(110)
四、沉井封底	(112)
五、水中沉井施工	(112)
思考题	(113)
第五章 桩基础	(114)
第一节 桩的分类与选型	(114)
一、桩基的适用范围	(114)
二、桩的分类	(116)
三、桩型及成桩工艺选择	(125)
第二节 竖向荷载下单桩的承载力	(127)
一、单桩承载力	(127)
二、单桩竖向承载力的确定	(132)
三、单桩竖向抗拔承载力	(142)
第三节 竖向荷载下的群桩基础承载力及沉降计算	(144)
一、群桩的工作性状	(144)
二、群桩承台土反力和承台分担荷载的作用	(146)
三、基桩、复合基桩及群桩基础承载力	(147)
四、桩基础的沉降计算	(153)

五、软弱下卧层承载力验算	(157)
第四节 桩的负摩阻力问题	(158)
一、产生负摩阻力的条件	(159)
二、负摩阻力的计算	(159)
三、考虑负摩阻力的桩基承载力及沉降	(162)
第五节 桩基的水平承载力	(162)
一、水平荷载下单桩的破坏性状	(162)
二、单桩水平承载力及水平位移的确定	(163)
三、水平荷载作用下的群桩承载力	(170)
第六节 桩身承载力验算	(172)
一、桩身轴心受压条件下的压曲验算	(172)
二、轴力、弯矩和水平力联合作用下弯矩、水平力作用平面内桩身强度的验算	(173)
第七节 桩基结构设计	(174)
一、资料准备	(175)
二、设计原则	(175)
三、桩基构造要求	(176)
四、桩基形式的选择及桩的布置	(180)
五、桩基础计算	(183)
六、桩基设计步骤及计算实例	(192)
思考及习题	(197)
第六章 基坑开挖支护及降水	(199)
第一节 边坡稳定性及边坡工程安全等级	(199)
第二节 支护结构的型式	(203)
一、基坑围护结构型式	(203)
二、基坑围护结构	(204)
第三节 支护结构的破坏形式及荷载计算	(207)
一、支护结构的破坏形式及计算内容	(207)
二、支护结构的荷载计算	(209)
第四节 浅基坑(槽)支护计算	(220)
一、基坑(槽)壁连续横向(水平)板式支撑	(220)
二、基坑(槽)壁连续竖直板式支撑	(225)
第五节 深基坑非重力式支护结构计算	(228)
一、板桩计算	(228)
二、钻孔灌注挡土桩支护计算	(242)
第六节 土层锚杆设计	(249)
一、锚杆布置	(249)
二、锚杆设计计算	(250)
三、单锚支护桩计算	(255)
四、锚杆的稳定性验算	(257)
第七节 重力式支护结构计算	(259)

一、传统设计计算法	(260)
二、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-99)设计计算法	(261)
第八节 支护结构施工	(264)
一、钢板桩施工	(264)
二、锚杆施工及试验	(267)
第九节 基坑降(排)水及土方开挖	(275)
一、基坑降(排)水方法	(275)
二、井点降水设计	(279)
三、因井点降水引起的地面沉降及其防治措施	(284)
四、基坑土方开挖	(285)
思考及习题	(286)
第七章 地下连续墙	(288)
第一节 地下连续墙的适用范围及类型	(288)
一、施工工艺原理	(288)
二、地下连续墙的适用范围	(288)
三、地下连续墙的类型	(290)
第二节 地下连续墙的内力计算及构造处理	(292)
一、确定地下连续墙的侧压力	(292)
二、地下连续墙的内力计算	(293)
三、地下连续墙的竖向承载力	(297)
四、构造处理	(297)
五、基坑稳定分析	(300)
第三节 地下连续墙的施工	(301)
一、准备工作	(301)
二、地下连续墙施工	(302)
思考题	(318)
主要参考文献	(319)

第一章 地基基础及其设计原则

建造在土层(或岩层)上的建筑物,可将其分为上部结构和下部结构两大部分。建筑物下面的土层或岩体承担着建筑物的全部荷载,将受到建筑物荷载影响的那一部分土层(相当于压缩层范围内土层)或岩层称为地基,而将建(构)筑物的下部结构称为基础。一般情况下,基础往往位于室外地面标高以下,它承受着上部结构的荷载,且将荷载传递到地基土中,其常见的功能主要有:

(1)以不同的基础型式,如不同的尺寸、刚度及埋深等,将上部结构传来的轴力、水平力、弯矩等荷载传递到地基中,以满足地基土承载力的要求;

(2)根据上部结构的特点以及地基可能出现的变形情况,利用基础所具有的刚度(经计算确定),与上部结构共同调整因荷载不均或地基土的不均匀性产生的变形,以便使上部结构不致产生过多的次应力。

从不同的角度(材料、构造形式、作用、施工方法及埋深等)可将基础分为多种类型。不同类型的基础,既要使自身强度满足上部结构的荷载要求,还需适应地基的强度和稳定性,所以,进行基础设计时,实际上是进行地基及基础的设计。

设计时,需对地基、基础及上部结构进行考虑,虽然这三方面各自的功能、工作性状及研究方法不同,但对同一建筑物而言,在荷载作用下,这三方面却是相互联系、相互制约的整体。目前,实践中还难以将这三方面完全统一起来进行设计计算,设计时仍较多地采用常规设计方法。但在处理地基及基础问题时,应将三方面作为一个整体进行统筹考虑,才能收到较理想的效果。

设计时,既要保证基底的压力不超过地基承载力特征值,又要使地基的变形量不超过建筑物的地基变形允许值,并且应对设计方案进行技术经济的分析,使设计成果既安全实用,又经济合理。

第一节 地基及基础的主要类型

一、地基的主要类型

(一)均质地基

土层分布较均匀的地基称为均质地基。其地基土层可能是单一的,也可能由多层土组成,当由多层土组成时,各土层的坡度一般小于10%,其中软土层坡度一般小于5%,地基土也可能夹有薄层透镜体。

由于土层分布较均匀,设计时主要考虑地基土的力学性质以及建筑物的特性。在多数情况下,采用天然地基可满足一般建筑物对地基的变形及稳定性要求。由于勘察工作的精度有限,地层浅部存在的局部软土、洞穴、树根等情况有时待基坑开挖时才发觉,甚至在使用过程中出现建筑物沉降不均时才引起注意。因此,基础施工前的基坑验槽工作必须慎重,应加强验槽

时的钎探工作,排除地基土中的各种隐患。

当地基土层分布无规律,各土层坡度较大,特别是软弱土层厚度变化大时,应视为非均质地基,设计时应根据土层具体情况区别对待。

(二)特殊性土地基

对一般性土地基(如粘性土地基、砂土地基、碎石土地基及岩石地基等)而言,特殊性土地基主要指湿陷性黄土地基、膨胀土地基、软土地基、冻土地基等。

1. 湿陷性黄土地基

湿陷性黄土的天然含水量较低,一般低于塑限,孔隙比稍高,约为 1 左右。该类土在天然状态下强度较高,压缩性较低,而当浸水后,粒间粘结力因可溶盐溶解而降低,在一定压力作用下土体将重新压缩,即产生湿陷。

黄土的湿陷性,由室内压缩试验,按在一定压力下测定的湿陷系数 δ_s 判定: $\delta_s < 0.015$ 时一般定为非湿陷性黄土; $\delta_s \geq 0.015$ 时一般定为湿陷性黄土。按土在饱和自重压力下测定的自重湿陷性系数 δ_{zs} 来判定时, $\delta_{zs} < 0.015$ 时定为非自重湿陷性黄土; $\delta_{zs} \geq 0.015$ 时定为自重湿陷性黄土。对施工现场土层的湿陷程度,可采用承压板(面积 0.25m^2 或 0.5m^2)试验,按压力 200kPa 时浸水载荷试验结果判定,以承压板为 0.25m^2 、压力为 200kPa 时浸水载荷试验为例,当附加湿陷量 $\Delta F_s > 7.5\text{cm}$ 时,可判定为湿陷程度很严重;当 $1.0 < \Delta F_s \leq 1.5\text{cm}$ 时,可定为轻微湿陷。

由于浸水后湿陷性黄土地基将产生较大沉降,按一般地基设计方法往往不能满足工程要求,而应按现行的国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》进行设计。又因为地基的变形与水的浸入量直接有关,设计及施工时,应对以下几方面进行考虑:①须判别黄土的湿陷性,预估浸水后可能造成的危害;②判定建筑施工及使用期间的用水量和浸入地下的可能性,以及浸入地下的水量(包括管道渗漏的影响);③考虑雨水汇集后可能渗入地下的深度,以及地下水上升的可能性和上升程度;④建筑物对变形的敏感性和容许变形量等。

在具体设计和施工时,应根据以上四项原则进行综合分析,再确定出相应的防治措施。基本措施主要有:

(1)防止水浸入地基。在建筑物的布置、场地及屋面排水、地面防水、散水、排水沟、管道敷设、管材及接口等方面采取防水措施;在防护范围内,对地下管道增设检漏管沟和检漏井;对防水地面、排水沟、检漏管沟、检漏井等设施提高设计标准。

(2)地基处理措施。为消除地基的部分或全部湿陷量,可采用的方法有:重锤夯实表层地基;采用土(或灰土)垫层;采用土(或灰土)桩挤密;采用预浸水法;采用桩基础穿透全部湿陷性黄土等。

(3)结构措施(包括减少建筑物的不均匀沉降和使其适应地基变形的措施)。选择适宜的结构和基础型式;加强结构的整体性及空间刚度;构件应有足够的支承长度;预留适应沉降的净空;建筑物体型力求简单,当体型复杂时应设沉降缝,将建筑物分成若干体型简单并具有较大空间刚度的独立单元。

2. 膨胀土地基

因膨胀土的粘粒成分主要由亲水矿物(如蒙脱石、水云母等)组成,吸水膨胀、失水收缩或反复胀缩是膨胀土地基的变形特点。由于地基土的密度、天然含水量不同,加上气候、覆盖条

件的差异,其变形可能是上升型变形,也可能是下降型变形,或者二者皆有。

地基土含水量的改变是引起地基变形的主要原因,含水量的改变及变化程度主要取决于降雨量及蒸发量、地温的变化程度及地基的覆盖情况,如房屋、地坪、草木的覆盖情况等等。地基变形引起的房屋变形,以反向挠曲变形居多,在某一时期某一具体条件下,也常表现为正向弯曲变形,坡地上的房屋还常出现局部倾斜并伴有水平变形。在膨胀土地基上的房屋,其损坏率较高,且损坏后的房屋不易修复。

根据以上基本特征,膨胀土地基的设计工作应按以下原则进行:

(1)根据拟建地区的气候、地形地貌条件、地基的膨胀性质等,判定地基在十年或更长时间可能发生的最大变形量及其变形特征。

(2)采取相应措施,使可能发生的变形量减少到房屋容许变形值范围之内。如:增加基底压力以限制其膨胀变形;为减小气候变化所产生的不利影响,对基础采用适当的埋深;采用覆盖设施,使蒸发所引起的干缩变形减至最小限度;改善地面排水及地下管道排水设施,防止向土中渗漏等。

(3)对处于坡地的房屋,设置挡墙维护边坡,以减少地基土中水分的侧向蒸发,防止地基因水平向变形而危害建筑物。

对膨胀土地基的变形特征判定,直接关系到膨胀土地基的设计是否正确,以及将采取的防治措施是否得当。例如,对膨胀变形为主的地基,用增加基底压力、防止水渗入地基的措施最可靠,而对含水量较高的膨胀土地基,增加基底压力的方法不能采用,应以减少蒸发,防止地基土收缩下沉为出发点才是正确的。

3. 软土地基

由淤泥、淤泥质土等高压缩性土层构成的地基属软土地基。因为在这类地基土上建造房屋会产生较大沉降,若将中、低压缩性土地基的一般设计方法直接用到软土地基的设计中,可能不满足建筑物的安全使用要求,所以,除按一般地基设计原则进行设计外,在某些方面还应采取特殊措施。

软土地基设计中必须慎重考虑地基土的变形,甚至当荷载未超过地基土的承载力特征值时,若未采取特殊措施,也会产生过大沉降及不均匀沉降,使房屋严重破坏。例如,建在中、低压缩性地基上的三层砖石结构,其沉降量一般不超过 10~20mm,若建在软土地基上,沉降量可达 100~500mm。又由于软土的渗透性弱,建筑物的沉降稳定时间少则几年,多则十几年,可见对软土地基进行设计时,需考虑采用相应的措施很有必要。其设计原则和措施主要有:

(1)提高建筑物的刚度,以利减小相对弯曲变形,使建筑物得以均匀下沉。

(2)利用补偿性基础设计方法,或采用筏板基础,以减小地基中的附加应力,使沉降量减小。

(3)使建筑物的体型及平面布置简单、荷载均匀,必要时按平面形状及高度差异,在适当部位设置沉降缝,以减少局部地基的不均匀变形,防止建筑物开裂和破坏。

(4)控制相邻建筑物的间距,以免因相互影响而产生附加不均匀沉降,防止相对倾斜。

(5)控制加荷速率,利用土的固结原理,使地基在压缩变形过程中相应提高地基承载力。

(6)利用地基处理的方法,如堆载预压、换土垫层等方法,以提高地基承载力。

(7)控制施工现场大面积堆载的范围及堆载量,以防邻近建筑物被破坏或者使基础产生不均匀下沉。

(8)当在软土地基上建造高重型建筑物时,一般采用深基础,如采用桩基础穿过软土层进入承载力较高的地基土中,甚至可进入深部基岩,使建筑物的沉降量不超过允许范围,且稳定性得到保证。但采用桩基础会使工程造价提高,需进行技术经济的比较后才能决定是否采用。

4. 冻土地基

在寒冷地区,土中液态水因温度低于 0°C 而结冰,因冰胶结土粒形成冻土。冻土的强度较高,压缩性很低,当温度升至 0°C 以上,土体因冰融化使强度大幅度降低,压缩性增强。冻土分为季节性冻土(冬季冻结,春季融化)和多年性冻土(在年平均气温低于 0°C 的地区,仅表层土因气温升高而融化,其下部土层终年处于冻结状态)。

在我国的高纬度高海拔地区进行铁道建设、油气管道、电站及特殊项目的施工中常遇到冻土地基,在这类地基上施工需解决的主要问题是防止冻土解冻,以及如何避免因地下水向地表上升而产生的冻锥对工程的危害。

地温升高将引起地基土解冻,如气温升高、建筑物覆盖地基、采暖等都会使地基土解冻。由于冻土中冰的体积大于融化后水的体积,使解冻后的地基产生塌陷现象,又因土体强度急剧降低,会使基础产生过量的或不均匀下沉。

为防止冻融对建筑物的危害,可将基础埋置于不解冻土层中(如采用钻孔灌注桩工艺),并设置地板架空层(对表层土隔热),可减小解冻的可能性。工程选址时,应避开可能产生冰锥的地区,并做好场地排水工作。冻土地基的设计详见第二章。

以上介绍了工程中常见的而且较典型的几种地基类型。地基还可按其他因素进行分类,例如,按地基土层的压缩性,可分为高压缩性地基、中等压缩性地基及低压缩性地基;按地基土层的处理与否,可分为天然地基和人工地基;还有特殊地质条件下的地基,如坡地型地基、岩土交错型地基、岩溶型地基等等。对各种地基的设计,应根据其分布情况及工程地质条件,按国家的有关规定,对地基的不安全因素制定出相应的防治措施,使地基的承载力、变形及稳定性能够满足工程建设的要求。

二、基础的主要类型

建筑物的基础可采用多种材料建造而成,常见的有砖基础、毛石基础、灰土基础(石灰:粘土为 $3:7$ 或 $2:8$)、三合土基础(石灰:砂:碎石为 $1:2:4$ 或 $1:3:6$)、混凝土基础、钢筋混凝土基础等等。工程中可从不同的角度将基础分为以下几种类型:

(一)按基础的受力性能分

1. 无筋扩展基础(刚性基础)

砖基础、毛石基础、灰土基础、混凝土基础等均属无筋扩展基础,也称刚性基础。基础自身的抗压强度远大于其抗拉、抗剪强度,能承受较大的竖向荷载,但不能承受因挠曲变形而产生的拉应力和剪应力。

由于基础的抗拉、抗弯曲强度较低,当上部荷载分布不均或地基土层强度不均时,一旦产生沉降不均,刚性基础易断裂,且刚性基础受刚性角的限制(详见第二章),其截面尺寸宜窄不宜宽,并应有足够的埋深。因此,当上部荷载不大且分布均匀、地基土为承载力较高的均质地基时,适宜采用刚性基础。

2. 柔性基础

对无筋扩展基础而言,钢筋混凝土基础属柔性基础。它不仅具有一定的抗压强度,能承受

较大的竖向荷载,且具有一定的抗拉、抗弯曲强度,能承受挠曲变形及其所产生的拉应力和剪应力,因而能抵抗一定的不均匀沉降。柔性基础不受刚性角的限制,可采用宽截面浅埋深的形式。例如,当地基承载力较低时,可加大基础宽度以减小基底单位面积荷载,使上部结构荷载与地基承载力相适应。

(二)按基础的构造及形式分

1. 墙下条形基础

墙下条形基础分刚性及柔性两种,柔性墙下条形基础见图 1-1。因刚性条基受刚性角的限制,适宜在承载力较大的均质地基且荷载分布较均匀的情况下采用。柔性条基能抵抗一定的不均匀沉降,且不受刚性角的限制,当上部荷载稍大而地基承载力稍低时,可采用增加基础宽度的办法以减小基底单位面积的荷载,使地基承载力满足上部荷载的要求。

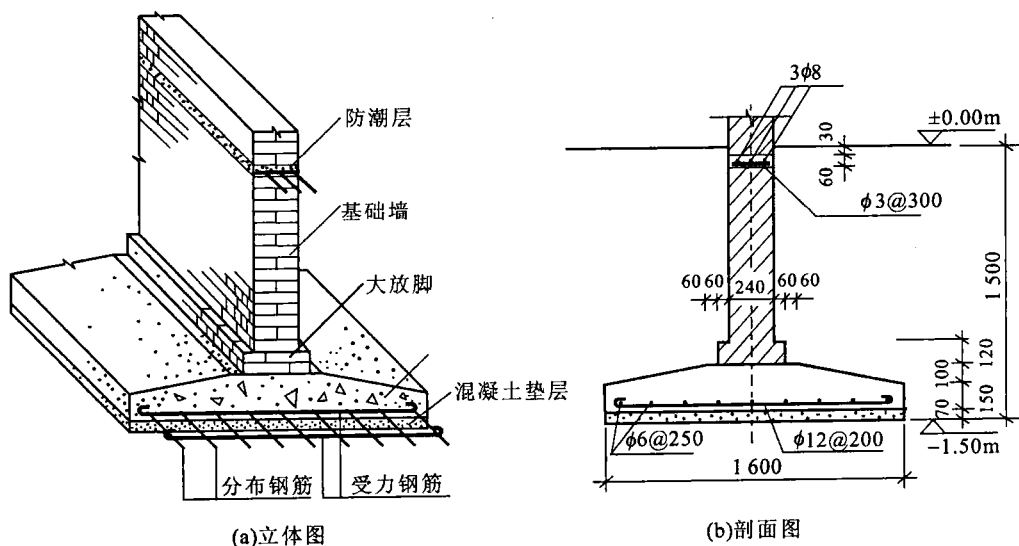


图 1-1 墙下条形基础详图

2. 单独(独立)基础

独立基础按基础形式又可分为墩式基础、杯形基础及壳体基础。常见的墩式独立基础有垂直式、斜坡式及阶梯式;杯形基础多用于装配式钢筋混凝土柱基,为了便于预制柱竖立于基础之上,在基础上预留出杯口,故称为杯形基础(图 1-2)。壳体基础常作为烟囱、水塔、料仓等筒形构筑物的基础。

独立基础用于一般厂房柱基及民用框架结构基础,并适宜在承载力较大的均质地基中采用。当地基承载力较低、需增加基底面积时,应采用柔性独立基础,以免受刚性角的限制。当基础上部荷载分布不均匀、地基土局部软弱时,可采用增加相应地段(荷载较大地段或地基土软弱地段)基底面积及埋深的办法,使基础受力及沉降趋于均匀。

由于基础之间互不联系,当各基础的荷载不同时,只能以调整各基础底面积的方法使各处地基变形趋于均匀。当地基土不均匀时,应对各独立基础的截面尺寸及埋深作相应调整,以免使各基础间出现较大的沉降差,对多跨厂房及框架结构,除基础底面积应适应地基承载力外,

还应对各柱基的沉降差,特别是边排柱与中排柱之间的沉降差进行验算。

3. 连续基础

为了满足地基承载力的要求,将基础底面积扩大,形成柱列(单向)或柱网(双向)下的条形基础,以及整片连续设置于建筑物之下的筏板基础、箱形基础等,均属连续基础。由于采用连续基础的建筑物其整体刚度加强,调整不均匀沉降的能力及抗震性能也显著提高。

(1) 柱下条形基础及柱下十字交叉基础。将柱下独立基础沿柱列(单向)连接起来的基础称为柱下条形基础(图 1-3);沿柱列的纵横向(柱网)将独立基础连接起来,即形成柱下十字交叉基础,也称格状或网状基础(图 1-4)。

当上部荷载较大,地基承载力低或地基土层不均,采用独立柱基时地基承载力及沉降不能满足要求,而增加基底面积及埋深又受到条件限制时,宜采用柱下条形基础,这样既减小了基底单位面积的荷载,又加强

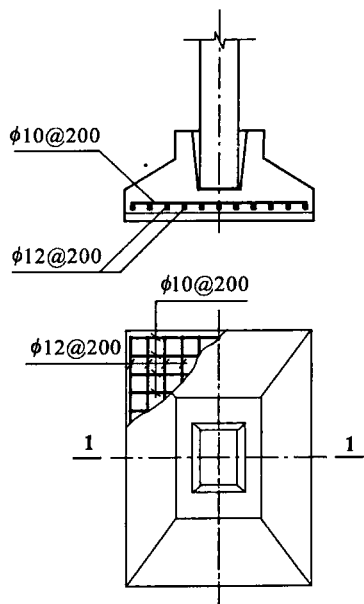


图 1-2 独立杯形基础

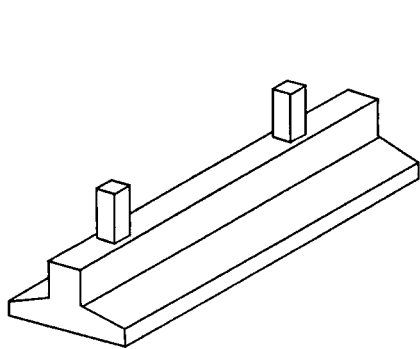


图 1-3 柱下条形基础

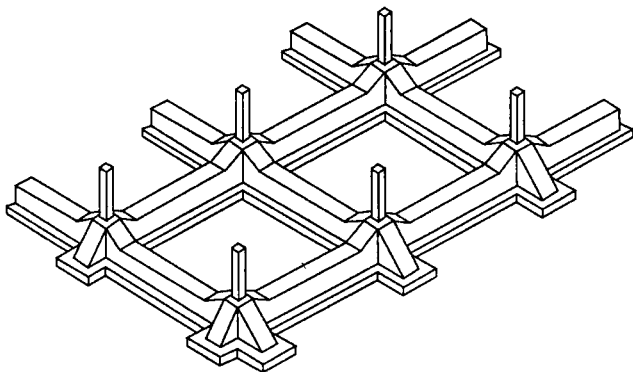


图 1-4 柱下十字交叉基础

了基础的刚度和整体性,且使调整不均匀沉降的能力得以提高。当采用柱下条形基础仍不能满足要求时,可采用十字交叉基础,使基底面积和整体刚度进一步增加,而且调整不均匀沉降的能力进一步提高。

(2) 筏板(片筏)基础。当采用十字交叉基础也不能满足地基承载力及容许变形要求时,可将基础建成一钢筋混凝土大板,使基底面积与底层面积相等甚至更大,即成为筏板基础。若在基础纵横向加肋梁,以加强底板刚度,减薄底板厚度,即为肋梁式筏板基础;无肋梁时即为平板式筏板基础。平板式筏板基础实际上是一厚度达 1~3m 的钢筋混凝土平板,施工方便,建造快,但混凝土用量大,国外高层建筑的基础采用平板式筏基的较多。

(3) 箱形基础。由钢筋混凝土顶板、底板以及外墙、纵横内隔墙组成的一空间整体结构基础,称为箱形基础。

箱形基础的整体刚度远大于上述各种基础,一般不会产生不均匀沉降,只能产生整体倾斜,当地基不均匀或基底压力不均时,它有很好的调整能力,甚至可架越地基中不大的洞穴。若地基土软硬不均,建筑物为面积不太大、平面形状较简单的重型建筑物,以及对不均匀沉降要求严格的建筑物,适宜采用箱形基础。

由于箱形基础的内部空间大,可减少大量的回填土,卸除了基底以上原有土层的自重,此时,相当于减小了基底附加压力,这对减小地基沉降及提高地基的稳定性非常有利。在地基承载力不高,地基为非均质时,对高层建筑物或高耸建筑物,以及有多层地下室的建筑物,多采用箱形基础。

(三)按基础的特殊作用及特殊施工方法分

(1)地下连续墙基础。既承受上部结构荷载作为基础使用,又承受侧向土压力、水压力的连续墙状结构称为地下连续墙,需配备专用机械才能施工完成。

(2)沉井基础。即采用沉井方法施工,施工完毕后以沉井作为基础使用。

(3)桩基础。即采用钻、冲、挖、锤击、静压等不同施工方法形成的各种灌注桩及预制桩基础。

(四)按基础的埋置深度分

(1)浅基础。即采用较简便的施工方法及常规的基坑开挖排水措施即可施工的基础,基底埋深一般不大于5m。一般的单独基础、条形基础及较多的连续基础均属浅基础。

(2)深基础。基底埋深一般大于5m,或者需采用特殊方法才能施工的基础。如地下连续墙、沉井、桩基均属深基础。

第二节 地基、基础与上部结构相互作用的概念

坐落在地基上的结构物,其重量由地基土的支承力及地下水的浮力来平衡,该静力平衡体系包括上部结构、基础及地基土三部分。当采用常规方法(主要是结构力学法)对基础进行分析及设计时,则是将三者视为各自独立的单元,分别进行力学分析,各自独立求解。

例如:图1-5(a)所示为高层框架结构。分析时先沿框架柱脚处切断,将上部结构视为柱脚固定(或铰接于不沉降的基础上)的独立结构,用结构力学方法求出外荷载作用下柱底反力和结构内力[图1-5(b)]。之后将求出的柱底固端力反向作用于基础梁上,并假定地基反力为直线分布,并仍按结构力学方法求解基础梁的内力[图1-5(c)]。进行地基计算时,按总荷载求出基底平均反力 $\bar{p}$ [图1-5(d)],并将 $\bar{p}$ 作为柔性荷载(不考虑基础刚度)来验算地基承载力和基础的沉降量。

这种计算方式只满足了总荷载与总反力的静力平衡条件,而上部结构与基础之间的连接点以及基底与土介质之间的接触点上位移连续的条件完全未能考虑。其实,不论是结构的支座反力,还是地基对基础的反力,都与上部结构、基础及地基三者的变形特征密切相关,三者各自的工作性状(例如变形和内力或应力),不仅取决于荷载的大小与分布,在一定意义上更取决于三者抵抗变形的刚度大小及其相互联系。工作时,三部分将按各自的刚度对变形产生相互制约作用,使整个体系的内力(包括柱脚及基底反力)和变形(包括基础的沉降)产生变化,这与按三者为各自独立的单元进行分析的情况明显不同。如果地基土软弱,结构物对不均匀沉降

敏感,按常规方法分析的结果与实际情况的差别就更加明显。

要反映在外荷载作用下三者的内力及变形的变化程度以及相互制约作用,并使三者同时满足静力平衡和变形协调条件,并按此原则对整个体系的相互作用进行分析,可想而知,这是相当复杂的力学问题。目前,对上部结构的分析一般仍未考虑与地基、基础的相互作用及共同工作,在梁板式基础的分析中,虽考虑了基础与地基的共同工作,但通常也未考虑上部结构刚度的影响。限于问题的复杂性,以下仅对上部结构、基础及地基三者的相互作用情况进行相应介绍。

一、上部结构的刚度对基础受力状况的影响

上部结构的刚度(整体刚度),即指整个上部结构对基础的不均匀沉降或挠曲的抵抗能力。现以绝对刚性和绝对柔性的两种上部结构对条形基础的影响为例进行说明。

图 1-6(a)中上部结构为绝对刚性,当地基变形时,各柱只能同时均匀下沉,若忽略各柱端的抗转动能力,则柱支座可视为条形基础(基础梁)的不动铰支座,基底分布反力可视为基础梁的外荷载,此时,基础梁如同倒置的连续梁,不产生整体弯曲,但在基底反力作用下会产生局部弯曲。

图 1-6(b)中上部结构为绝对柔性,它除将荷载传递给基础外,对基础的变形毫无约束作用,即柔性结构未参与共同工作,于是基础梁在产生局部弯曲的同时,还要经受很大的整体弯曲作用。

如图所示,两种极端情况下的基础梁,其挠曲形式及相应的内力所显示的图形明显不同。实际上,除了像烟囱、高炉等整体构筑物可认为是绝对刚性者外,绝大多数结构物往往介于绝对刚性和绝对柔性之间,要考虑其整体刚度相当困难,只能依靠计算机来分析。实践中,往往只能根据经验的定性判断,判定上部结构比较接近于哪种情况,例如:上部结构为剪力墙体系的高层建筑接近于绝对刚性,单层排架结构则接近于绝对柔性。当上部结构的刚度较大时,抵抗和调整地基变形的能力也较强,但会在结构内产生较高的次应力(附加应力)。反之,上部结构刚度愈小,次应力也愈小。

二、基础刚度对基底反力分布的影响

现以绝对柔性基础和绝对刚性基础为例,在只考虑基础自身刚度的情况下,说明地基与基础的相互作用。

1. 绝对柔性基础

因绝对柔性基础的抗弯刚度极小,当忽略上部结构刚度时,基础会随着地基的变形而弯

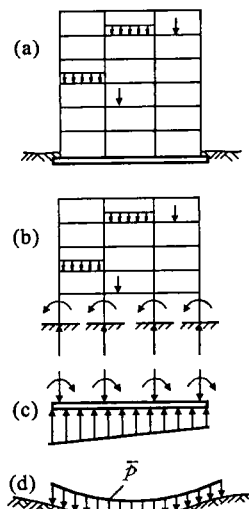


图 1-5 高层框架结构系统
不考虑共同作用的分析
方法示意图

(a) 高层框架结构系统简图
(b) 上部结构; (c) 基础结构;
(d) 地基计算

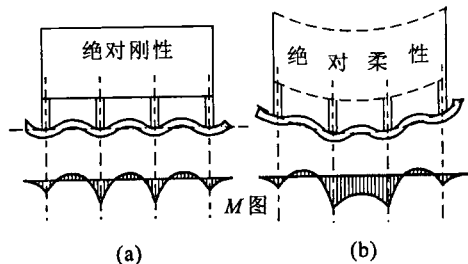


图 1-6 上部结构刚度对基础受力状况的影响
(a) 上部结构绝对刚性; (b) 上部结构绝对柔性

曲,基础上各处的荷载传递到基础底面时不可能向附近扩散,如同荷载直接作用于地基上。所以,柔性基础的基底反力分布与基础上的荷载分布一致,如图 1-7(a)所示,即反力分布 $p(x, y)$ 与荷载 $q(x, y)$ 大小相等,方向相反。若地基为均质弹性半空间,当基础承受均布荷载时,由角点法可计算出柔性基础基底沉降量是中部大、边缘小,即称之为“盆形沉降”。由于基础刚度太小,它不能调整这一沉降形态,也不能使基底的荷载分布情况有所改变。要使基础的沉降趋于均匀,若基础的刚度不变,唯一的办法就是使基础边缘的荷载增加,而基础中部相应减载,如图 1-7(b)所示。此时,基底面沉降趋于均匀,但基础上的荷载及基底反力呈非均匀状分布。

2. 绝对刚性基础

由于绝对刚性基础的抗弯刚度极大,受荷载作用后不产生挠曲变形,沉降后基底仍为一平面。由柔性基础沉降均匀时基底反力分布情况可推想,中心荷载作用下的刚性基础,其基底反力分布也应为中部小而边缘大,如图 1-8 所示。对具有一定刚度的基础,在调整基底沉降使之趋于均匀的同时,也使基底压力从中部向边缘相应地转移。工程中把刚性基础能跨越基底中部,将荷载相对集中地传递至基底边缘地基土的现象称为基础的“架越作用”。

刚性基础基底反力 $p(x, y)$ 边缘大、中间小的分布情况,以半径为 R 的圆形刚性基础为例,可按弹性理论导得的弹性半空间表面上的圆形刚性基础分布反力 $p(r)$ 的公式来表达:

$$p(r) = \frac{\bar{p}}{2\sqrt{1-(r/R)^2}} \quad (1-1)$$

式中: r ——计算点处半径;

R ——圆形基础半径;

$\bar{p}$ ——基底平均反力。

由式(1-1)可知,基底中心处反力 $\bar{p}(0) = \bar{p}/2$,基底边缘处基底反力 $\bar{p}(R) = \infty$ 。实际上,当荷载增至一定程度时,由于地基局部剪切破坏,边缘处的接触压力不会继续增加,当边缘处地基土产生塑性变形后,塑性区会发展至一定范围,此时基底反力将重新分布,最先出现塑性区的基底边缘处反力将减小,并向中部转移,即形成马鞍形分布,如图 1-8 中虚线所示。

一般情况下,在粘性土或非粘性土地基中,只要基础的底面积及埋深足够大,荷载不太大时,基底反力往往呈马鞍形分布。

3. 基底反力分布的规律

理论分析及试验研究表明,基底反力的分布,除了与基础刚度密切相关外,还受土的类型与变形特性、荷载大小与分布、土的固结与蠕变特性、基础埋深及基础形状等众多因素的影响,根据模型试验与大量现场实测资料分析,基底反力分布大致呈以下三种类型:

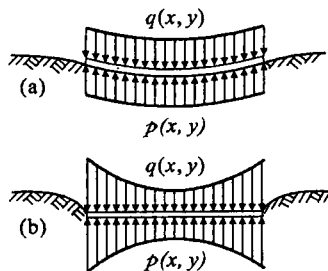


图 1-7 绝对柔性基础基底反力分布

(a) 均布荷载;

(b) 保持均匀沉降所需荷载分布形式

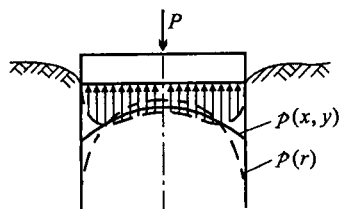


图 1-8 绝对刚性基础基底反力分布