

高等学校教材

Jichu Gongcheng

基础工程

(公路与城市道路、桥梁工程专业用)

凌治平 主编
易经武
洪毓康 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材系统介绍公路桥梁及人工构造物常用的各种类型地基和基础的设计原理、计算理论和方法及施工技术。教材共分六章包括天然地基上的浅基础、桩基础、沉井基础及地下连续墙、地基处理及几种特殊地区的基础工程。刚性扩大基础、桩基础、沉井基础都附有较全面、详细的算例。

本教材为高等学校公路与城市道路、桥梁工程专业教学用书,亦可供其他专业大专师生和从事基础工程的技术人员参考。

高等学校教材

基础工程

(公路与城市道路、桥梁工程专业用)

凌治平 易经武 主编 洪毓康 主审

插图设计: 版式设计:崔凤莲 责任校对:张莹

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{10}$ 印张: 字数: 千

1997 年 月 第 1 版

1997 年 月 第 版 第 次印刷

印数:0001- 册 定价: 元

ISBN 7-114- -

前 言

1986年出版的高等学校教材《基础工程》到现在已应用了十年。为了充分反映近年来本学科科学技术发展新水平,反映国内外公路建设有关的理论和实践新成果,采纳各院校应用该教材的经验和提出的要求,更好的满足教学需要,本教材对该版《基础工程》根据已审定的教学大纲进行了修订、补充和重新编写,要点如下:

天然地基浅基础增添了水中基础围堰的计算和施工技术;桩基础增加有关钢管桩的内容以及基桩质量检测新技术,并适当充实了基桩轴向荷载传递机理;在深基础中增加了各种深水基础施工技术的简要介绍和地下连续墙的内容;在地基处理方面增加深层搅拌桩、粉喷桩等以及复合地基理论;补充了软土地区基础工程的内容;根据近年来新订的设计规范对关于湿陷性黄土地区和地震地区基础工程内容进行了调整和补充;对地基按极限状态设计理论也结合我国实际情况进行了介绍。本教材在修订中对部分内容根据现代科学技术发展和教学需要进行了删繁就精、突出重点、兼顾全面的调整,以有利于学习。

为了便于复习和自学,本教材在各章(除第一章导论)末均增附了思考题和习题,此外根据已审定的教学大纲本课程应安排的刚性扩大基础、单排桩基础、多排桩基础课程设计(作业)(桥梁工程专业还应有沉井基础课程设计)仍应按原安排进行。

本教材编写人员为:第一章王晓谋(西安公路交通大学);第二章于书翰(西安公路交通大学);第三章易经武(同济大学);第四章姚代录、刘松玉(东南大学);第五章马尔立(西安公路交通大学);第六章凌治平(西安公路交通大学)。全书由凌治平、易经武主编,由洪毓康(同济大学)主审。

热切希望读者批评指正。

编 者
1996年9月

目 录

第一章 导论.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 基础工程设计和施工所需的资料及计算荷载的确定.....	2
第三节 基础工程设计计算应注意的事项.....	6
第四节 基础工程学科发展概况.....	7
第二章 天然地基上的浅基础	10
第一节 天然地基上浅基础的类型及构造	10
第二节 基础埋置深度的确定及刚性扩大基础尺寸的拟定	13
第三节 刚性扩大基础的验算	17
第四节 刚性扩大基础施工	26
第五节 板桩墙围堰的计算	34
第六节 埋置式桥台刚性扩大基础计算算例	40
第三章 桩基础	52
第一节 概述	52
第二节 桩和桩基础的类型及构造	53
第三节 桩基础的施工	61
第四节 单桩承载力	77
第五节 基桩内力和位移计算.....	102
第六节 群桩基础的竖向分析及其验算.....	128
第七节 承台计算.....	131
第八节 桩基础的设计.....	133
第四章 沉井基础及地下连续墙.....	141
第一节 沉井的基本概念、作用及适用条件	141
第二节 沉井的类型和构造.....	142
第三节 沉井的施工.....	146
第四节 沉井的设计与计算.....	151
第五节 圆端形沉井计算算例.....	166
第六节 地下连续墙.....	179
第五章 地基处理.....	186
第一节 概述.....	186
第二节 换土(垫层)法.....	187
第三节 挤(压)密法.....	189
第四节 排水固结法.....	195
第五节 搅拌桩法(深层搅拌桩)与灌浆胶结法.....	201

第六节 复合地基.....	205
第六章 几种特殊地基上的基础工程.....	210
第一节 软土地基.....	210
第二节 湿陷性黄土地基.....	218
第三节 冻土地区基础工程.....	223
第四节 地震区的基础工程.....	230
附表.....	241
主要参考书目.....	258

第一章 导 论

第一节 概 述

任何结构物都建造在一定的地层上,结构物的全部荷载都由它下面的地层来承担。受结构物影响的那一部分地层称为地基,结构物与地基接触的部分称为基础。桥梁上部结构为桥跨结构,而下部结构包括桥墩、桥台及其基础,如图 1-1 所示。基础工程包括结构物的地基与基础的设计与施工。

图 1-1 桥梁结构各部立面示意图

1-下部结构; 2-基础; 3-地基; 4-桥台; 5-桥墩; 6-上部结构

地基与基础受到各种荷载后,其本身将产生附加的应力和变形。为了保证建筑物的使用与安全,地基与基础必须具有足够的强度和稳定性,变形也应在允许范围之内。根据地层变化情况、上部结构的要求、荷载特点和施工技术水平,可采用不同类型的地基和基础。

地基可分为天然地基与人工地基。直接放置基础的天然土层称为天然地基。如天然地层土质过于软弱或有不良的工程地质问题,需要经过人工加固或处理后才能修筑基础,这种地基称为人工地基。

基础根据埋置深度分为浅基础和深基础。将埋置深度较浅(一般在数米以内),且施工简单的基础称为浅基础;由于浅层土质不良,需将基础置于较深的良好土层上,且施工较复杂的基础称为深基础。基础埋置在土层内深度虽较浅,但在水下部分较深,如深水中桥墩基础,称为深水基础,在设计和施工中有些问题需要作为深基础考虑。公路桥梁及其人工构造物常用天然地基上的浅基础。当需要设置深基础时常采用桩基础或沉井基础,我国公路桥梁现今最常用的深基础是桩基础。目前我国公路结构物基础大多采用混凝土或钢筋混凝土结构,少部分用钢结构。在石料丰富的地区,按照就地取材原则,也常用石砌基础。只有在特殊情况下(如抢修、建临时便桥)采用木结构。

工程实践表明:结构物的地基与基础的设计和施工质量的优劣,对整个结构物的质量和正常使用起着根本的作用。基础工程是隐蔽工程,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结构物的使用甚至安全。基础工程的进度,经常控制整个结构物的施

工进度。下部工程的造价,通常在整个结构物造价中占相当大的比例,尤其是在复杂的地质条件下或在深水中修建基础更是如此。因此,对基础工程必须做到精心设计、精心施工。

本课程向公路与城市道路工程专业和桥梁工程专业的学生,系统地介绍桥梁、道路及其他人工构造物地基与基础的有关设计基本理论、计算方法和施工要点。

在学习中,应理解问题的实质,掌握原理,搞清方法步骤,其中天然地基浅基础、桩基础和沉井基础,应较全面掌握其设计基本理论、具体计算方法。教材中所述的理论和方法,虽多以桥梁的基础工程问题举例说明,但一般也适用于道路及其他土建工程的有关基础工程问题。

本课程的内容涉及其他学科较多,因而要求有较广泛的先修课知识,如工程地质、土质学与土力学、桥涵水文、材料力学、结构力学、结构设计原理和桥梁工程,尤其是土质学与土力学,为本课程的重要基础理论,应注意紧密联系。

《基础工程》是一门比较年轻的学科,地基土又是自然历史的产物,复杂多变,因此,为使基础工程问题得到切合实际的、合理的和完善的解决,除需要丰富的理论知识外,还需要有较多的工程实践知识。在学习时应注意理论与实际的关系,通过各个教学环节,紧密结合工程实践,才能提高对理论的认识,增加处理基础工程问题的能力。

第二节 基础工程设计和施工所需的资料及计算荷载的确定

地基与基础的设计方案、计算中有关参数的选用,都需要根据当地的地质条件、水文条件、上部结构型式、荷载特性、材料情况及施工要求等因素全面考虑。施工方案和方法也应该结合设计要求、现场地形、地质条件、施工技术设备、施工季节、气候和水文等情况来研究确定,因此,应在事前通过详细的调查研究,充分掌握必要的、符合实际情况的资料。本节对桥梁基础工程所需资料及计算荷载确定原则作简要介绍。

一、基础工程有关设计和施工需要的资料

桥梁的地基与基础在设计及施工开始之前,除了应掌握有关全桥的资料,包括上部结构型式、跨径、荷载、墩台结构等及国家颁发的桥梁设计和施工技术规范外,还应注意地质、水文资料的搜集和分析,重视土质和建筑材料的调查与试验。主要应掌握的地质、水文、地形等资料如表 1-1 所列,其中各项资料内容范围可根据桥梁工程规模、重要性及建桥地点工程地质、水文条件的具体情况和设计阶段确定取舍。资料取得的方法和具体规定可参阅工程地质、土质学与土力学及桥涵水文等有关教材和手册。

(一)桥位(包括桥头引道)平面图及拟建上部结构及墩台型式、总体构造及有关设计资料

大中型桥梁基础在进行初步设计时,应该掌握经过实地测绘和调查取得的桥位地形、地物、洪水泛滥线、河道主河槽和河床位置等资料,及绘成的地形平面图,比例为 1:500 ~ 1:5000,测绘范围应根据桥梁工程规模、重要性和河道情况确定。若桥址有不良工程地质现象,如滑坡、崩坍和泥石流等以及河道弯曲、主流会合、河岔、河心滩和活动砂洲等,均应在图上示出。

桥梁上部结构的型式、跨径和墩、台的结构型式、高度、平面尺寸对地基与基础设计方案的选择,具体的设计计算都有很大的制约作用,如超静定结构的上部结构对地基、基础的沉降有

较严格的要求,上部结构、墩、台的恒载、活载是地基基础的主要荷载,除了特殊情况,基础工程的设计荷载标准、等级应与上部结构一致,因此应全面取得上部结构及墩台的总体设计资料、数据、设计等级、技术标准等。

(二) 桥位工程地质勘测报告及桥位地质纵剖面图

这是对桥位地质构造进行工程评价的主要资料,它包括河谷的地质构造,桥位及附近地层的岩性,如地质年代、成因、层序、分布规律及其工程性质(产状、构造、结构、岩层完整及破碎程度,风化程度等),以及覆盖层厚度和土层变化关系等资料,应说明建桥地点一定范围内各种不良工程地质现象或特殊地貌如溶洞、冲沟、陡崖等的成因、分布范围、发展规律及其对工程的影响(小型桥梁及地质条件单一的地点、勘测报告可以省略)。

(三) 地基土质调查试验报告

在进行施工详图及施工设计时,应该掌握地基土层的类别及物理力学性质,它是在工程地质勘测时通过调查、钻(挖)取各层地基土足够数量的原状土(岩)样,用室内或原位试验方法得到各层土的物理力学指标如:粒径级配、塑性指数、液性指数、天然含水量、容重、孔隙比、抗剪强度指标、压缩特性、渗透性指标以及必要时的荷载试验、岩石抗压强度试验等的结果。并应将这些结果编制成表,在绘制成的土(岩)柱状剖面图中予以说明。

因为需要根据土质调查试验报告评定各土层的强度和稳定性,报告中应有各层土的颜色、结构、密实度和状态等的描述资料,对岩石还应包括有关风化、节理、裂隙和胶结质等情况的说明。地基土质调查资料还应包括地下水及其随季节升降的标高,在冰冻地区应掌握土层的冻结深度、冻融情况及有关冻土力学数据。

如地基内遇到湿陷性黄土、多年冻土、软粘土、含大量有机质土或盐碱土、膨胀土时,对这些土层的特性还应有专门的试验资料,如湿陷性指标、冻土强度、可溶盐和有机质含量等。

(四) 河流水文调查资料

设计桥梁墩台基础,要有通过计算和调查取得的比较可靠的设计冲刷深度数据,并了解设计洪水频率的最高洪水位、低水位和常年水位及流量、流速、流向变化情况,河流的下蚀、侧蚀和河床的稳定性,架桥地点河槽、河滩、阶地淹没情况,并应注意收集河流变迁情况和水利设施及规划。在沿海地点尚应了解潮汐、潮流有关资料及对桥梁的影响关系。还应有河水及地下水侵蚀的检验资料。详见表 1-1。

二、计算荷载的确定

桥梁的地基与基础承受着整个建筑物的自重及所传递来的各种荷载,作用在地基与基础上的计算荷载有各种不同的特性,各种荷载出现的机率也不相同,因此需将作用荷载进行分类,并将实际可能同时出现的荷载组合起来,确定设计时的计算荷载。

(一) 荷载分类与计算

为了便于设计时应用,将作用在桥梁及道路构造物上的各种荷载,根据其性质分为恒载、可变荷载和偶然荷载三类。

1. 恒载(永久荷载)

指长期作用着的荷载和作用力,包括结构物的自重、土重及土的自重产生的侧向压力、静水压力与浮力,预应力结构中的预应力,超静定结构中因混凝土收缩徐变和基础变位而产生的影响力。

2. 可变荷载

指经常作用而作用位置可移动和量值可变化的荷载,按其对结构物的影响程度可分为活载(基本可变荷载)和其他可变荷载两部分。活载包括汽车荷载及其引起的冲击力、离心力、土侧压力,人群荷载和平板挂车或履带车及其引起的土侧压力。其他可变荷载包括汽车制动力、风力、冰压力、流水压力及支座摩阻力。

基础工程有关设计和施工需要的地质、水文、地形及现场各种调查资料 表 1-1

资料种类	资料主要内容	资料用途
1. 桥位平面图(或桥址地形图)	(1)桥位地形 (2)桥位附近地貌、地物 (3)不良工程地质现象的分布位置 (4)桥位与两端路线平面关系 (5)桥位与河道平面关系	(1)桥位的选择、下部结构位置的研究 (2)施工现场的布置 (3)地质概况的辅助资料 (4)河岸冲刷及水流方向改变的估计 (5)墩台、基础防护构造物的布置
2. 桥位工程地质勘测报告及工程地质纵剖面图	(1)桥位地质勘测调查资料包括河床地层分层土、(岩)类及岩性,层面标高,钻孔位置及钻孔柱状图 (2)地质、地史资料的说明 (3)不良工程地质现象及特殊地貌的调查勘测资料	(1)桥位、下部结构位置的选定 (2)地基持力层的选定 (3)墩台高度、结构型式的选定 (4)墩台、基础防护构造物的布置
3. 地基土质调查试验报告	(1)钻孔资料 (2)覆盖层及地基土(岩)层状生成分布情况 (3)分层土(岩)质物理、力学试验资料 (4)荷载试验报告 (5)地下水位调查	(1)分析和掌握地基的层状 (2)地基持力层及基础埋置深度的研究与确定 (3)地基名土层强度及有关计算参数的选定 (4)基础类型和构造的确定 (5)基础下沉量的计算
4. 河流水文调查报告	(1)桥位附近河道纵横断面图 (2)有关流速、流量、水位调查资料 (3)各种冲刷深度的计算资料 (4)通航等级、漂浮物、流冰调查资料	(1)确定根据冲刷要求基础的埋置深度 (2)桥墩身水平作用力计算 (3)施工季节,施工方法的研究
5. 其他调查资料	(1)地震记录 (2)震害调查	(1)确定抗震设计强度 (2)抗震设计方法和抗震措施的确定 (3)地基土振动液化和岸坡滑移的分析研究
(1)地震	(1)就地可采取、供应的建筑材料种类、数量、规格、质量、远距等 (2)当地工业加工能力、运输条件有关资料 (3)工程用水调查	(1)下部结构采用材料种类的确定 (2)就地供应材料的计算和计划安排
(2)建筑材料	(1)当地气象台有关气温变化、降水量、风向力等记录资料 (2)实地调查采访记录	(1)气温变化的确定 (2)基础埋置深度的确定 (3)风压的确定 (4)施工季节和方法的确定
(3)气象	(1)附近桥梁结构型式、设计书、图纸、现状 (2)地质、地基土(岩)性质 (3)河道变动、冲刷、淤积情况 (4)营运情况及墩台变形情况	(1)掌握架桥地点地质、地基土情况 (2)基础埋置深度的参考 (3)河道冲刷和改道情况的参考
(4)附近桥梁的调查		(1)施工方法及施工适宜季节的确定 (2)工程用地的布置 (3)工程材料、设备供应、运输方案的拟定 (4)工程动力及临时设备的规划 (5)施工临时结构的规划
(5)施工调查资料		

3. 偶然荷载

偶然荷载是指在特定条件下才可能出现的较强大的荷载,如地震荷载或船只或漂浮物的

撞击力(施工荷载也属于此类)。

以上各种荷载及作用力的计算方法在规范中均有具体规定,《桥梁工程》和《土质学与土力学》教材中也有介绍,可查阅。

对在水下的土中结构物和地基土的浮力计算,是一个至今还存在不同意见的问题。从安全角度出发,基础工程设计时对浮力的计算可以作如下处理:

第一、置于透水性地基上的桥梁墩台基础,当验算稳定性时应考虑采用设计水位时水的浮力;当计算基底应力时可仅考虑低水位(包括地面水和地下水)时水的浮力或不考虑水的浮力;

第二、置于不透水性地基(密实粘性土地基,较完整、裂隙较少的岩石地基)上,且基底与地基接触良好的桥梁墩台基础,可不考虑水的浮力;

第三、当不能肯定地基是否透水时,应以透水和不透水两种情况与其他荷载组合,取其最不利者;

第四、作用在桩基承台底面的浮力,应考虑全部底面积;但桩嵌入岩层并灌注混凝土者,在计算承台底面浮力时应扣除桩的截面积。

水对水下墩台及基础或土的固体颗粒的浮力作用,可采用墩台及基础的圬工浮容重或土的浮容重来反映。圬工的浮容重等于圬工容重减去水的容重,土的浮容重可以根据土质勘测资料得到的物理性质指标如土的天然容重,天然含水量、土粒容重或土的饱和容重来计算。

(二)荷载组合原则

按照各种荷载特性及出现的机率不同,在设计计算时应考虑各种可能出现的荷载组合,一般有以下几种:

组合 I 由恒载中的一种或几种,与一种或几种活载(平板挂车或履带车除外)相组合。如该组合中不包括混凝土收缩、徐变及水的浮力引起的影响力时,习惯上也称为主要组合;

组合 II 由恒载中的一种或几种,与活载中的一种或几种(平板挂车或履带车除外)及其他可变荷载的一种或几种相组合;

组合 III 由平板挂车或履带车与结构物自重、预应力、土重及土侧压力中的一种或几种相结合;

组合 IV 由活载(平板挂车或履带车除外)的一种或几种与恒载的一种或几种与偶然荷载中的船只或漂流物撞击力相组合;

组合 V 施工阶段验算荷载组合,包括可能出现的施工荷载如结构重、脚手架、材料机具、人群、风力和拱桥单向推力等;

组合 VI 由地震力与结构重、预应力、土重及土侧压力中的一种或几种组合。

组合 II、III、IV、V、VI 习惯上也称为附加组合。当组合 I 中包括混凝土收缩、徐变及水的浮力引起的荷载效应时也称为附加组合。因为附加组合中考虑的荷载的出现机率比主要组合小些,设计时不必要求过大的安全储备,因此,当按容许应力法计算时,设计规范在取安全系数时均比主要组合小些,地基的容许承载力均允许提高一定数值。在地基与基础的设计计算中,应分别在各种组合的荷载作用下,进行各项验算,计算结果均应分别满足设计规定的要求。

为使设计比较合理,切合实际情况,在荷载的组合中,有些荷载不需同时考虑,如:

1. 考虑汽车制动力时,不计支座摩阻力,流水压力、冰压力,考虑支座摩阻力时不计汽车制动力。

2. 考虑冰压力时,除不计制动力外,还不计流水压力;同样,考虑流水压力时,也不计汽车制动力和冰压力;

3. 地震力、船只或漂浮物撞击力、施工荷载三者不同时考虑,它与恒载和可变荷载的组合方法,各种抗震规范都有具体规定。

为保证地基与基础满足在强度稳定性和变形方面的要求,应根据结构物所在地区的各种条件和结构特性,根据上述各种荷载组合方法,按其可能出现的最不利荷载组合情况进行验算。所谓“最不利荷载组合”,就是指组合起来的荷载,应产生相应的最大力学效能,例如用容许应力法设计时产生的最大应力;滑动稳定验算时产生最小滑动安全系数等。因此不同的验算内容将由不同的最不利荷载组合控制设计,应分别考虑。

一般说来,不经过计算是较难判断哪一种荷载组合最为不利,必须用分析的方法,对各种可能的最不利荷载组合进行计算后,才能得到最后的结论。由于活载(车辆荷载)的排列位置在纵横方向都是可变的,它将影响着各支座传递给墩台及基础的支座反力的分配数值,以及台后由车辆荷载引起的土侧压力大小等,因此车辆荷载的排列位置往往对确定最不利荷载组合起着支配作用,对于不同验算项目(强度、偏心距及稳定性等),可能各有其相应的最不利荷载组合,应分别进行验算。

此外,许多可变荷载其作用方向在水平投影面上常可分解为纵桥向或横桥向,因此一般也需按此两个方向进行地基与基础的计算,并考虑其最不利荷载组合,比较出最不利者来控制计算。桥梁的地基与基础大多数情况下为纵桥向控制设计,但对于有较大横桥向水平力(风力、船只撞击力和水压力等)作用时,也需进行横桥向计算,可能为横桥向控制设计。

第三节 基础工程设计计算应注意的事项

一、基础工程设计计算的原则

基础工程设计计算的目的是设计一个安全、经济和可行的地基及基础,以保证结构物的安全和正常使用。因此,基础工程设计计算的基本原则是:

1. 基础底面的压力小于地基的容许承载力;
2. 地基及基础的变形值小于结构物要求的沉降值;
3. 地基及基础整体稳定有足够保证;
4. 基础本身的强度满足要求。

地基与基础方案的确定主要取决于地基土层的工程性质与水文地质条件、荷载特性、上部结构的形式及使用要求,以及材料的供应和施工技术等因素。方案选择的原则是:力求使用上安全可靠、施工技术上简便可行和经济上合理。因此,必要时应作不同方案的比较,从中选出较为适宜与合理的设计方案和施工方案。

二、考虑地基、基础、墩台及上部结构整体作用

结构物是一个整体,地基、基础、墩台和上部结构是共同工作且相互影响的,地基的任何变形都必定引起基础、墩台和上部结构的变形;不同类型的基础也会影响上部结构的受力和工作;上部结构的力学特征也必然对基础的类型与地基的强度、变形和稳定条件提出相应的要求,地基和基础的不均匀沉降对于超静定的上部结构影响较大,不大的基础沉降差就能引起上

部结构产生较大的内力。同时恰当的上部结构、墩台结构型式也具有调整地基基础受力条件,改善位移情况的能力。因此,基础工程应紧密结合上部结构、墩台特性和要求进行;上部结构的设计也应充分考虑地基的特点,把整个结构物作为一个整体,考虑其整体作用和各个组成部分的共同作用。全面分析结构物整体和各组成部分的设计可行性、安全和经济;把强度、变形和稳定紧密的与现场条件、施工条件结合起来,全面分析,综合考虑。

三、基础工程极限状态设计

极限状态设计在结构工程中是一种运用较久的设计方法。我国在 80 年代建筑结构工程设计与国外一样采用以概率理论为基础的概率极限状态设计方法,如《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JT J023- 85)以分项系数描述设计表达式代替原来的以总安全系数的设计表达式,从而对计算结果赋予概率的含义,对结构设计结果的可靠度有科学的预测。

我国现行的地基基础设计规范,除个别的已采用概率极限状态设计方法(如 1995 年 7 月颁布的建筑桩基技术规范 JG J94- 94)外,桥涵地基基础设计规范等均还未采用极限状态设计,产生地基基础设计与上部结构设计在荷载计算、材料强度、结构安全度等不协调的情况。

我国桥涵地基设计规范尚未采用极限状态设计,主要原因是岩土设计参数的概率特性比上部结构材料要复杂得多,需要大量的测试与分析工作,以积累足够的数据和经验。我国在这方面起步较晚,但工作已较快开展。国外有些国家已建立地基按半经验半概率的分项系数极限状态设计标准,我国随着结构设计,在地基设计中采用按极限状态设计工作已提到议事日程上。

第四节 基础工程学科发展概况

基础工程与其他技术学科一样,是人类在长期的生产实践中不断发展起来的。在世界各文明古国数千年前的建筑活动中,就能发现有关基础工程的工艺技术成就,但由于当时受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。国外在 18 世纪产业革命以后,城建、水利、道路建筑规模的扩大,促使人们对基础工程的重视与研究,对有关问题开始寻求理论上的解答。此阶段在作为本学科的理论基础的土力学方面,如土压力理论、土的渗透理论等有局部的突破。基础工程也随着工业技术的发展而得到新的发展,如 19 世纪中叶利用气压沉箱法修建深水基础。本世纪 20 年代,基础工程有比较系统、比较完整的专著问世,1936 年召开第一届国际土力学与基础工程会议后,土力学与基础工程作为一门独立的学科取得不断的发展。本世纪 50 年代起,现代科学新成就的渗入,使基础工程技术与理论更得到进一步的发展与充实,成为一门较成熟的独立的现代学科。

我国是一个具有悠久历史的文明古国,我国古代劳动人民在基础工程方面,也早就表现出高超的技艺和创造才能,许多宏伟壮丽的中国古代建筑逾千百年仍留存至今安然无恙的事实就充分说明了这一点。例如,远在 1300 多年前隋朝时所修建的赵州安济石拱桥,不仅在建筑结构上有独特的技艺,而且在地基基础的处理上也非常合理。该桥桥台座落在较浅的密实粗砂土层上,沉降很小,现反算其基底压力约为 500kPa ~ 600kPa,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。在当时就能如此充分利用天然地基的承载力,真令人赞叹不已。在桩基础和地基加固方面,我国自古已有广泛运用,具有悠久的历史。

由于我国封建社会历时漫长,且近百余年来遭受帝国主义侵略和压迫,再加当时国内统治阶级的腐败,本学科和其他科学技术一样,长期陷于停滞状况,落后于同时代的工业发达国家。中华人民共和国成立后,在中国共产党的英明领导下,社会主义大规模的经济建设事业飞速发展,促进了本学科在我国迅速发展,并取得了辉煌的成就。例如,在桥梁基础工程方面,为充分利用天然地基承载力,改进和发展了多种结构型式的浅基础,以适应不同地基土质和不同荷载性质及上部结构使用要求;为缩短工期,降低造价和适应大型及大跨度桥梁的建设,大力发展了深基础技术。随着在各种土层、不同深度中施工经验和设计技术的积累,桩基础尤其是钻孔灌注桩成为我国最广泛采用的深基础。已建成的桥梁钻孔桩最大桩径达 2.6m,钻孔深度超过百米;在保证基桩质量及动力方法测定轴向承载能力方面也取得了可喜成就;对提高基桩承载能力,减少沉降采用扩底和压浆等措施也取得了很好的经验。沉井基础在轻型、薄壁、助沉技术、机械化施工及沉井与桩、管柱组合式深水基础等方面开展了许多工作。近年来我国高速公路,高等级公路发展迅速,在长江、黄河等大江大河和近海区域修筑的大型桥梁工程中采用了大直径钻孔灌注桩、预应力管桩、管柱、钢管桩、多种型式的浮运沉井、组合式沉井、各种结构类型的单壁、双壁钢围堰等一系列新型深基础、深水基础,成功地解决了复杂地质、深水、大型桥梁基础工程问题。在软土地基上修筑桥梁等结构物,结合软土特性处理沉降和稳定问题取得了丰富经验。近几十年来我国人工地基及地基加固技术发展较快,在吸收国外新成就的基础上,发展了符合我国国情,充分利用我国材料特点,采用新的施工工艺的堆载预压,深层挤压、搅拌桩、强夯(动力加固法)等,并在地下连续墙、深基坑支护等方面扩展了它的应用范围。

我国许多设计单位对常用的主要的基础类型结构设计已有较完备的计算机辅助设计系统,基本上实现了电算化。

国外近年来基础工程科学技术发展也较快,许多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)并以大口径磨削机对基岩进行处理,在水深流速较大处采用水上自升式平台进行沉桩(管柱)施工等。

基础工程既是一项古老的工程技术又是一门年轻的应用科学,发展至今在设计理论和施工技术及测试工作中都存在不少有待进一步完善解决的问题,随着祖国现代化建设,大型和重型建筑物的发展将对基础工程提出更高的要求。我国基础工程科学技术可着重开展如下工作:

(一)开展地基的强度、变形特性的基本理论研究

由于天然地基中土层较复杂,具有明显的非线性和各向异性,粘性土更具有回滞性及时间效应,因此,地基土的强度、变形的基本理论及计算方法的研究,应结合岩土力学的新成果、现代计算方法和计算工具的发展而提高。同时要加强对地基土的试验研究,尤其是原位测试的研究。考虑土的不均匀性,采用数理统计的分析方法,具有较大的实用价值。

我国土地辽阔,幅员广大,地基土的种类繁多,性质相差悬殊,很多土具有区域性特征,因此,应加强对软土、黄土、膨胀土和多年冻土等区域性特殊土的基本理论、特性和处理措施的研究。

(二)进一步开展各类基础型式设计理论和施工方法的研究

桩基础是我国采用较多的深基础型式,其结构轻巧且形式多样,便于因地制宜,适应性较强,也便于机械化施工。因此,应大力发展桩基础技术,进一步发展各种桩基础结构型式,通过试验和理论研究进一步明确各种条件下荷载传递机理,桩土共同作用关系,桩基础沉降计算,完善桩基础的设计计算理论。

采用新材料和新工艺,发展便于施工和使用的新型、轻型基础结构,是基础工程在发展中的重要方面。采用新的结构理论和符合实际状态的力学分析方法是日益增长的大型、重型深水桥梁基础设计工作的重要环节。

基础施工方面,应加强施工机械化、自动化及各种新技术应用于施工工艺的研究,以提高施工效率、缩减工期和改善劳动条件;为保证工程质量应进行隐蔽工程质量检查的可靠简便方法的研究。

由于电子计算机的发展与运用,可研究应用最优化方法来设计基础,求得在技术上先进可靠,经济上合理,施工方便的设计方案。

人工地基——地基加固目前发展动向为:加固方法和应用范围不断的扩大;由静力加固向动力加固发展,向机械化施工发展以达到快速和经济效果;设计理论进一步提高和完善。

上部结构与基础(对桥梁为下部结构)与地基是既相互影响又协同工作的,应根据地基土的性状,上部结构及基础的结构特性,三者在各部接触处的受力和变形协调关系,通过测试和理论分析,逐步提出考虑——地基——基础——上部结构共同工作的设计计算关系。

结构抗震理论当前正在不断发展,对建筑物抗震性能至关重要的地基基础抗震理论现在还不太成熟,落后于建设的需要。应进一步运用现代化计算工具和测试手段开展各类基础和地基土的动力分析的理论 and 科学试验。

第二章 天然地基上的浅基础

天然地基上的基础,由于埋置深度不同,采用的施工方法、基础结构形式和设计计算方法也不相同,因而分为浅基础和深基础两类。浅基础埋入地层深度较浅,施工一般采用敞开挖基坑修筑基础的方法,故有时称按此法施工的基础为明挖基础。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。深基础埋入地层较深,结构形式和施工方法较浅基础复杂,在设计计算时需考虑基础侧面土体的影响。在深水中修筑基础,有时也可以采用深水围堰清除覆盖层,按浅基础形式将基础直接放在基岩上。但施工方法较复杂。

天然地基浅基础由于埋深浅,结构形式简单,施工方法简便,造价也较低,成为建筑物最常用的基础类型。

第一节 天然地基上浅基础的类型及构造

一、浅基础常用类型及适用条件

天然地基浅基础,根据受力条件及构造可分为刚性基础和柔性基础两大类。当基础在外力(包括基础自重)作用下,基底承受着强度为 f 的地基反力,基础的悬出部分(图 2-1b)), a-a 断面左端,相当于承受着强度为 f 的均布荷载的悬臂梁,在荷载作用下, a-a 断面将产生弯曲拉应力和剪应力。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)单独柱下基础(图 2-3a)、d))、条形基础(图 2-4)等。

结构物基础在一般情况下均砌筑在土中或水下,所以要求所有材料要有良好的耐久性和较高的强度。刚性基础常用的材料有:

混凝土,这是修筑基础最常用的材料。它的优点是抗压强度高、耐久性好,可浇筑成任意形状的砌体,标号一般不宜小于 15 号。对于大体积混凝土基础,为了节约水泥用量,可掺入不多于砌体体积 25% 的片石(称片石混凝土)但片石的强度标号不应低于 25 号,也不应低于混凝土标号。

图 2-1 基础类型

粗料石或片石。采用粗料石砌筑桥、涵和挡墙等基础时,要求石料外形大致方整,厚度约 20cm ~ 30cm,宽度和长度分别为厚度 1.0 ~ 1.5 和 2.5 ~ 4.0 倍,石料标号不应小于 25 号,砌

筑时应错缝,一般采用 5 号水泥砂浆。片石常用于小桥涵基础,石料厚度不小于 15cm,标号不小于 25 号,一般采用 5 号或 2.5 号砂浆砌筑。

刚性基础的特点是稳定性好、施工简便、能承受较大的荷载,所以只要地基强度能满足要求,它是桥梁和涵洞等结构物首先考虑的基础形式。它的主要缺点是自重大,并且当持力层为软弱土时,由于扩大基础面积有一定限制,需要对地基进行处理或加固后才能采用,否则会因所受的荷载压力超过地基强度而影响结构物的正常使用。所以对于荷载大或上部结构对沉降差较敏感的结构物,当持力层的土质较差又较厚时,刚性基础作为浅基础是不适宜的。

基础在基底反力作用下,在 a-a 断面产生弯曲拉应力和剪应力若超过了基础圬工的强度极限值,为了防止基础在 a-a 断面开裂甚至断裂,必须在基础中配置足够数量的钢筋,这种基础称为柔性基础(图 2-1a))。

柔性基础主要是用钢筋混凝土灌筑,常见的形式有柱下扩展基础、条形和十字形基础(图 2-5)筏板及箱形基础(图 2-6、图 2-7),它整体性能较好,抗弯刚度较大。如筏板和箱形基础,在外力作用下只产生均匀沉降或整体倾斜,这样对上部结构产生的附加应力比较小,基本上消除了由于地基沉降不均匀引起结构物损坏的影响。所以在土质较差的地基上修建高层建筑时,采用这种基础形式是适宜的。但上述基础形式,特别是箱形基础,钢筋和水泥的用量较大,施工技术的要求也较高,所以采用这种基础形式应与其它基础方案(如采用桩基础等)比较后再确定。

二、浅基础的构造

(一)刚性扩大基础(图 2-2)

由于地基强度一般较墩台或墙柱圬工的强度低,因而需要将其基础平面尺寸扩大以满足地基强度要求,这种刚性基础又称刚性扩大基础。它是桥涵及其它构造物常用的基础形式,其平面形状常为矩形。其每边扩大的尺寸最小为 0.20m ~ 0.50m,视土质、基础厚度、埋置深度和施工方法而定。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(关于刚性角的讨论见本章第二节中刚性扩大基础尺寸的拟定)。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)单独和联合基础(图 2-3)

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、d)),但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。个别情况下柱下基础用钢筋混凝土浇注时,其剖面也可浇筑成锥形(图 2-3c))。

当为了满足地基强度要求,必须扩大基础平面尺寸,而扩大结果使相邻的单独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(图 2-4)

条形基础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。在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承载能力,将同

图 2-3 单独和联合基础

图 2-4 挡土墙下条形基础

一排若干个柱子的基础联合起来,也就成为柱下条形基础(图 2-5)。其构造与倒置的 I 形截面梁相类似,在沿柱子的排列方向的剖面可以是等截面的,也可以如图示那样在柱位处加腋的。在桥梁基础中,它一般是做成刚性基础,个别的也可做成柔性基础。

如地基土很软,基础在宽度方向需进一步扩大面积,同时又要求基础具有空间的刚度来调整不均匀沉降时,可在柱下纵、横两个方向均设置条形基础,这便成为十字型基础。这是房屋建筑常用的基础形式,它也是一种交叉条形基础。

图 2-5 柱下条形基础

(四) 筏板和箱形基础(图 2-6、图 2-7)

筏板和箱形基础都是房屋建筑常用的基础形式。

当立柱或承重墙传来的荷载较大,地基土质软弱又不均匀,采用单独或条形基础均不能满足地基承载力或沉降的要求时,可采用筏板式钢筋混凝土基础,这样既扩大了基底面积又增强了基础的整体性,并避免结构物局部发生的不均匀沉降。

图 2-6 筏板基础

图 2-7 箱形基础

筏板基础在构造上类似于倒置的钢筋混凝土楼盖,它可以分为平板式(图 2-6a))和梁板式(图 2-6b))。平板式常用于柱荷载较小而且柱子排列较均匀和间距也较小的情况。