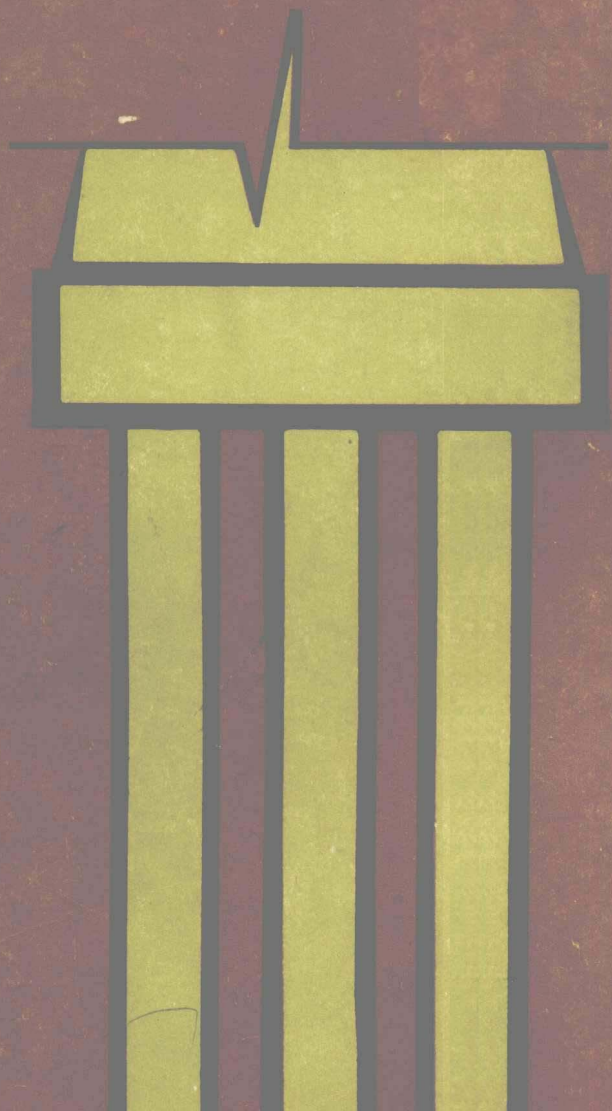


● 高等学校教材

基础工程

● (公路与城市道路、桥梁工程专业用)

凌治平 主编



人民交通出版社

高等学校教材

基 础 工 程

Jichu Gongcheng

(公路与城市道路、桥梁工程专业用)

凌 治 平 主 编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书介绍公路桥梁与人工构造物常用的各种类型地基和基础的设计理论、计算方法及施工技术,对刚性扩大基础、桩基础、沉井基础均有较详细的论述,并附有算例。

本书为高等学校公路与城市道路工程专业、桥梁工程专业教材,也可供有关专业工程技术人员参考。

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 主 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 15.5 字数: 387 千

1986年6月 第1版

1986年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—11,300册 定价: 2.55元

前 言

本书根据1982年交通部高等学校路、桥专业教材编审委员会制定的公路与城市道路工程、桥梁工程专业教学计划及教学大纲，在1979年出版的《桥梁工程》（下册）基础上修订补充而成。

补充修定的主要内容有：扩大基础增加了围堰支撑板桩设计和计算，柔性基础设计要点；桩基础适当增加了桩土相互作用的内容，以及“m”法为主的现行简化计算；沉井方面充实了计算内容，并补充了有关气压沉井的内容；增加和充实了软土地基、黄土地基、冻土地地区基础工程的处理，并增添了有关基础工程抗震计算的内容；对计算算例和有关施工技术内容也进行调正和补充；全书采用法定单位，并根据新颁的《公路桥涵设计通用规范》、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》、《公路钢筋混凝土和预应力混凝土桥涵设计规范》、《公路桥涵地基与基础设计规范》，对有关内容作了修定。

本书编写人员为：第一章由易经武（上海城市建设学院）、凌治平（西安公路学院）编写；第二章由郑襄朝（南京工学院）、易经武编写；第三章由易经武、江祖铭（西安公路学院）编写；第四章由姚代录（南京工学院）编写；第五章由姚代录、江祖铭编写；第六章由盛洪飞（哈尔滨建筑工程学院）、凌治平编写。全书由凌治平主编，由洪毓康（同济大学）主审。赵建春协助主编参加了有关工作。

热切希望读者提出批评和建议。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 地基与基础的概念	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 基础工程学科发展概况	6
第四节 本课程任务和特点	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、构造及适用条件	9
第二节 基础埋置深度的确定及刚性扩大基础尺寸的拟定	12
第三节 刚性基础基底应力计算及地基与基础的验算	16
第四节 刚性扩大基础的施工	27
第五节 板桩墙的计算	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	54
第一节 桩基础的组成、作用及适用条件	54
第二节 桩和桩基础的类型与构造	55
第三节 桩基础的施工	60
第四节 桩基础的设计	71
第五节 单桩容许承载力的确定	76
第六节 桩基础的计算	95
第四章 沉井基础及气压沉箱	142
第一节 沉井的基本概念、作用及适用条件	142
第二节 沉井的类型和构造	142
第三节 沉井的施工	145
第四节 沉井作为整体基础的设计及计算	149
第五节 沉井施工过程中的结构强度计算	154
第六节 圆端形沉井计算算例	166
第七节 气压沉箱	183
第五章 软弱地基的处理	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 浆液灌注加固法	199
第六章 几种特殊地基的处理	204

第一节 湿陷性黄土地基.....	204
第二节 冻土地区地基与基础.....	209
第三节 地震区的基础工程.....	218
附表.....	225
主要参考书目.....	242

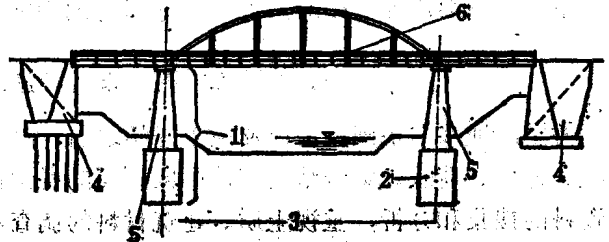
第一章 绪 论

第一节 地基与基础的概念

基础工程包括结构物的地基与基础的设计与施工。

任何结构物都建造在一定的地层(岩层或土层)上,基础是结构物直接与地层接触的最下部分,在基础底面下,承受由基础传来的荷载的那一部分地层称为该结构物的地基。基础是结构物下部结构的组成部分。桥梁上部结构为桥跨结构,而下部结构包括桥墩、桥台及它的基础,如图1-1为一座桥梁的立面布置示意图,它表示了桥梁下部结构与上部结构及地基间的相互关系。

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。为了保证结构物的正常使用和安



全地基与基础必须具有足够的强度和稳定性,变形也应在容许范围之内。根据地基土层的变化情

况,上部结构的要求和荷载特点,地基和基础可采用各种的类型。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。在一般情况下,应尽量采用天然地基。

基础根据埋置深度分为浅基础和深基础。一般将埋置深度在5m以内者称为浅基础;由于浅层土质不良,须把基础埋置于较深的良好地层上,埋置深度超过5m者称为深基础。基础埋置在土层内深度虽较浅(不足5m),但在水下部分较深,如深水中桥墩基础,称为深水基础,在施工、设计中有些问题需要作为深基础考虑。除了深水基础,公路桥梁及人工构造物最常用的基础类型是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。基础可由不同材料构筑,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。在石料丰富地区,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,建临时便桥等)根据实际条件采用钢、木结构。

地基与基础类型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、结构物的结构型式及使用要求,以及材料的供应和施工技术等因素。方案选择的原则是:力争做到使用上安全可靠、施工技术上简便可行、经济上合理。因此,必要时应作不同方案的比较,从中得出较为适宜与合理的设计方案与施工方案。

工程实践表明,结构物的地基与基础的设计与施工质量的好坏,是整个结构物质量的根本问题。基础工程因为是隐蔽工程,如有缺陷,较难发现,也较难弥补或修复,而这些缺陷往往直接影响整个结构物的使用甚至安危。基础工程施工的进度,经常控制整个结构物施工

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重，尤其是在复杂地质条件下或深水修筑基础更是如此。因此，从事这项工作必须做到精心设计、精心施工。

结构物是一个整体，上下部结构和地基是共同工作，互相影响的。地基的任何变形都必然引起上下部结构的相应位移，上下部结构的力学特征也必然关系到地基的强度和稳度条件，所以，地基与基础的设计、施工都应紧密结合结构物的特点和要求，全面分析，综合考虑。

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与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、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。

下面对桥梁基础工程所需资料及计算荷载确定原则作简单介绍。

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、施工技术规范外，应注意地质、水文资料的搜集和分析，重视土质、建筑材料的调查和试验。主要应掌握的资料如表1-1，其中各项资料内容范围可根据桥梁工程规模、重要性及架桥地点工程地质、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，桥涵水文等有关教材或手册。

(一)桥位(包括桥头引道)平面图

大中型桥梁在进行初步设计时，即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、河床位置等资料，并绘制成地形平面图，比例为1:500~1:5000，测绘范围应根据桥梁工程规模、重要性、河道情况确定。若桥址有不良工程地质现象，如滑坡、崩坍、泥石流等以及河道弯曲、主流汇合、河岔、河心滩、活动砂州等，均应在图上示出。

(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，桥位及其附近地层的岩性，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、土层变化关系等资料。应说明架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，勘测报告可省略)。

桥位(河床)地质纵剖面图除示出层序岩性外，应注意不同的地面水位和地下水位标高。

(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)取各层地基土的足够数量的原状土(岩)样，用室内或原位试验方法取得的。各层土的物理力学指标如：粒径级配、塑性界限、天然含水量、容重、

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) 地基各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) 通航条件、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	(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
(2) 建筑材料	(1) 就地可采取、供应的建筑材料种类、数量、规格、质量、运距等 (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
(3) 气象	(1) 当地气象台有关气温变化、降水量、风向风力等记录资料 (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
(4) 附近桥梁的调查	(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) 运营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
(5) 施工调查资料		(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

孔隙比、抗剪强度指标以及必要时的压缩试验、荷载试验、渗透试验、抗压强度试验等的结果，应编制表格，并在绘制成的土（岩）柱状剖面图中予以注明。

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、状态等的描述资料，对岩石还应包括有关风化、节理、裂隙、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、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置及规划。在沿海地点尚应了解潮汐、潮流有关资料与对桥梁的影响关系。还应有河水及地下水侵蚀的检验资料。

二、计算荷载的确定

桥梁的地基与基础承受着整个结构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，将作用在桥涵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（或称永久荷载）

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，在预应力结构中的预应力，以及在超静定结构中因混凝土收缩徐变、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，按其对环境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（基本可变荷载）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向压力。其它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。

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，如地震荷载和船只或漂浮物的撞击力（施工荷载也可属于此类）。

以上各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》《土质学与土力学》教材中也有介绍，可查阅。现仅对浮力计算作如下说明：

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。有些研究者认为：地下水或地表水能否通过土的孔隙，联通或渗入到基底是产生水的浮力的必要条件，因此只有土的固体颗粒间的接触面积很小，可以把它们作为点的接触时，才可以认为

土中结构物或土处于完全浮力作用状态（如砂性土，图1-2a）。假使土的固体颗粒之间的接触面或固体颗粒与结构物基底面之间的接触面相当大，而且各个固体颗粒的联结由胶结性连接而形成的（如原状、较密实的粘性土）见图1-2b），则土和结构物不会处于完全的浮力作用状态，因为水不能充分进入土与结构物之间，计算浮力时应乘以由实验来确定的小于1的系数。也有研究者认为实际上可以对各种土都考虑完全的浮力作用，因为即使对粘性土，这种差别也是很小的。

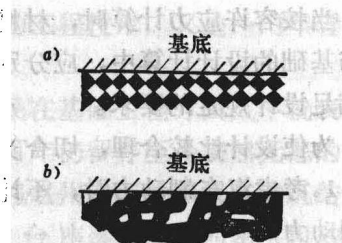


图1-2 土颗粒间及与基底接触示意图

从安全角度出发基础工程对浮力可以作如下处理：

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的水浮力，当计算基底应力时可不考虑水的浮力或仅考虑低水位（包括地面水和地下水）时的水浮力。

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、作用在桥墩台底面的浮力，应考虑全部底面积。但在嵌入岩层并灌注混凝土时，在计算墩台底面浮力时应扣除桩的横截面积。

水对水下墩台及基础或土的固体颗粒的浮力作用，对未灌注墩台及基础的圬工浮容重或土的浮容重来反应。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指标如土的天然容重、天然含水量、比重或饱和容重来计算。

（二）荷载组合原则

按照各种荷载特性及其出现的机率不同，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组合。

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、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相组合。

组合II、III、IV、V、VI习惯上称为附加组合。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，设计规范在取安全系数时均比组合I小

些,当按容许应力计算时,材料的容许应力及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,考虑支座摩擦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,它与永久荷载、可变荷载的组合方法,可参考有关规范。

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。例如用容许应力设计时产生的最大应力;滑动稳定验算时产生最大的滑动可能性等。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那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、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,一般也须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,比较出最不利者为控制计算。桥梁的地基与基础大多情况下为纵桥向控制,但对于有较大横桥向水平力(风力、船只撞击力、水流或水压力等)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。十八世纪产业革命后,城建、水利、道路建筑规模的扩大,促使人们对地基与基础重视与研究,对有关问题开始寻求理论上解释;此阶段在作为本学科的理论基础土力学方面,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,如十九世纪中叶利用气压沉箱法修建深水基础等,但此时在基础工程方面还未统一形成完整的理论,也未建立起独立的学科。本世纪20年代以后,地基与基础的研究有了较迅速的发展,随之有比较系统、比较完整的专著问世。1936年召开了第一届国际土力学与基础工程会议,土力学与基础工程就作为一门独立的学科而取得不断的进展。尤其是自本世纪50年代起,现代科学成就渗入土力学与基础工程的研究领域后,基础工程技术与理论得到进一步的发展与充实,使其成为一门较成熟的独立学科。但发展至今,在理论和实践中仍存在不少

问题,有待进一步发展完善。因此,基础工程既是一项古老的工程技术,又是一门年青的应用科学。

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,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点。例如,远在一千三百多年前隋朝所修建的赵州安济桥不仅在建筑结构上有独特的技艺,而且在地基基础处理上也非常合理。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 $500\sim 600\text{kPa}$,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,当时就能如此充分利用天然地基的承载能力,真令人赞叹不已。桩基础和地基加固等方面,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、压迫,再加国内反动派统治的腐败,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以后,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的飞跃发展,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。随着新的施工工艺的推广,钻挖孔灌注桩基础已成为广泛采用的桥梁深基础类型之一,我国已建的钻孔灌注桩基础最大桩径达 2.6m ,钻孔深度已超过百米;沉井基础也在轻型、薄型、机械化施工方面开展了不少工作,特别是在万里长江上所建成的十多座长江大桥及其他巨大工程中,采用了管柱基础、气筒浮运沉井基础、沉井套管柱和双承台管柱基础,以及泥浆润滑套法和空气幕法下沉井等等一系列新型深基础和深水施工新工艺,成功地解决了深水、复杂地质条件下大型桥梁基础工程问题,这些都充分说明了我国桥梁基础工程方面所取得的科学技术成就和所达到的科学技术水平。

目前所采用的地基与基础设计计算理论在不同程度上还偏离于实际,基础施工中也存在着有待进一步改善劳动条件、加快施工速度和提高工程质量等问题。随着祖国四个现代化建设,大型和重型建筑物的发展将对地基与基础提出更高的要求。展望今后发展的方向,基础工程科学技术当前可着重开展如下几方面工作:

(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。应准确地反映土的实际情况,逐步建立起土力学的基本法则,改变以往直接运用固体力学法则所作的近似假设,因此要加强地基土的试验研究,特别是原位的测试研究。

各种地基土的种类繁多,性质相差悬殊,尤其很多土具有区域性特征,因此应加强对软土、黄土、膨胀土等区域性特殊土的基本理论和处理措施的研究,并考虑土的不均匀性,采用数理统计的分析方法将具有很大实际意义。

(二)开展各类基础型式和施工方法及相应的设计理论研究

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。是实现基础工程工业化的方向之一。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,完善桩基础的设计计算理论。

采用新材料、新工艺,发展便于施工、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。这对于日益增长的大型、重型结构物基础来说,显得更为重要。例如前述适用于深水的双承合管柱大型桥梁基础就是采用了新工艺的一种将沉井和管柱联合起来的新型、较轻型的基础。

基础施工方面,应加强施工机械化和自动化,以及应用新技术简便施工工艺的研究,以提高施工效率、缩减工期、改善劳动条件;同时为提高工程质量应进行隐蔽工程质量检查的简便方法研究。

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,以使设计工作更切合实际、更经济、更快速。

(三)开展结构物上部结构、基础与地基的互相影响,共同工作的理论研究及地基基础抗震理论研究

上部结构和基础与地基是既互相影响又协同工作的。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、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—上部结构共同作用的设计计算关系。

结构抗震理论当前正在快速发展,但对结构物抗震性能至关重要的地基基础抗震理论现在还很不成熟,远远落后于建设的需要。在理论分析和科学实验方面都应进一步研究各类地基土与基础的地震反应和动力特性,运用现代化计算工具和测试手段开展动力分析,并重视对土的动态强度,砂土振动液化原因和预防措施方面研究。

第四节 本课程任务和特点

根据教学计划,本课程向公路与城市道路工程专业、桥隧工程专业的学生,系统的介绍桥梁、道路及其他人工构造物地基与基础的有关设计基本理论、实用计算方法和施工要点,为学生进一步全面掌握地基基础的规划、设计、施工等知识打下基础。

在学习中,应抓住重点,掌握原理,搞清方法步骤,其中天然地基浅基础、桩基础、沉井基础,应掌握其设计基本理论、具体计算方法。教材中所阐述的理论和方法,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。

本课程具有多方面的内容,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、桥梁工程等,尤其是土力学,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,因此为求得基础工程的切合实际的、合理的、完善的解决,除需要有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,重视采用各种学习方法,紧密结合工程实践,才能提高对理论的认识,增强处理地基基础问题的能力。

第二章 天然地基上的浅基础

天然地基上的基础，由于埋置深度的不同，采用的施工方法不同，基础的结构和设计计算原理也有所不同，因而分为浅基础和深基础两类。基础的埋置深度 h （无冲刷时从河底或地面至基础底面的距离，有冲刷时从最大冲刷线——包括河床自然演变冲刷、设计洪水位的一般冲刷深度及构造物阻水引起局部冲刷深度至基础底面的距离）小于5m的称为浅基础；埋置深度大于5m，则称为深基础。

浅基础由于埋入地层较浅，设计计算时可以忽略基础侧面土体对基础的影响，如不计基础侧边与土间的摩阻力等；施工方法也较简单，而深基础则在设计计算中需考虑侧面土的影响，施工方法也稍复杂。

天然地基浅基础是较经济、方便、最常用的基础类型。

第一节 天然地基上浅基础的类型、构造及适用条件

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 σ (Pa) 的地基反力，基础的悬出部分（图2-1a-a断面左端），相当于承受着强度为 σ 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

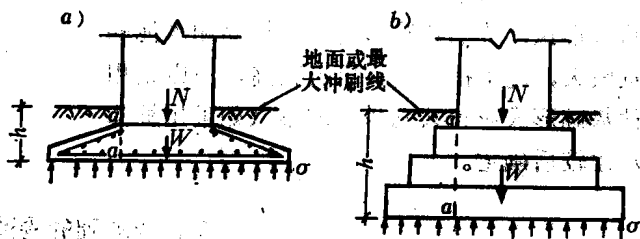


图2-1 基础类型

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、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，所以要求所有的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，可浇筑成任意形式的砌体，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，也不应低于混凝土的标号。

粗石料或片石，采用粗石料砌筑桥、涵挡墙等基础时，要求石料外形大致方整，厚度约

在200~300mm,宽度和长度分别为厚度的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150mm,标号不小于25号,一般采用5号或2.5号砂浆砌筑。

砖,它大多数用于砌筑房屋墙下或柱子下的基础,以及在缺乏石料地区的小桥和涵洞基础。要求砖的标号不应小于7.5号。它的特点是可以砌成任何形状的砌体,但缺点是抗水的腐蚀性(特别是在盐碱地区)和抗冻性都比较差,根据有关地区的经验,如将基础四周最外面一层用浸透沥青的砖来砌筑时,可以增强它的抗侵蚀的能力。

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,并且在持力层为软弱土时,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,上部结构对差异变形量的敏感性高的结构物,在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超过了基础材料的允许应力,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浇筑。常见的形式有柱下条形和十字形基础(图2-5),片筏及箱形基础(图2-6, 2-7)。它整体性能较好,抗弯刚度可以相当大,如片筏和箱形基础,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)比较后确定。

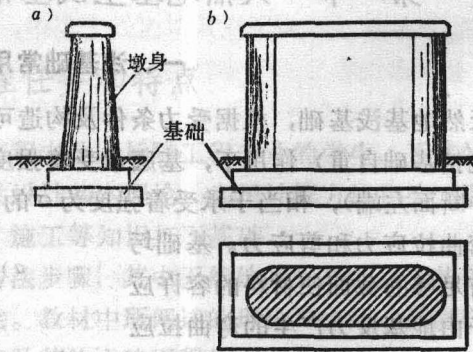


图2-3 柔性扩大基础

二、浅基础的构造

(一)刚性扩大基础(图2-2)

这是桥涵及其它构造物常用的基础,其平面形状常为矩形。基础平面尺寸,一般将柱上面结构物的底面(如墩、台底面)扩大,每边扩大的尺寸最小为0.20~0.50m,视土质、基础厚度、埋置深度及施工方法而定。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,见第二节中刚性扩大基础中的拟定)。当基础较厚时,可在纵横两个剖面上,都砌筑成台阶形,以减少基础自重,节省材料。

(二)单独和联合基础(图2-3)

单独基础是立柱式桥墩和房屋下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),但柱子下单独基础用砖或石砌筑时,则在柱子与基础之间用混凝土填实连接。个别情况下柱子下基础用钢筋混凝土浇筑时,其剖面也可浇筑成锥形(图2-3b)。

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，则可将它们联在一起成为联合基础（图2-3b）。

(三)条形基础（图2-4）

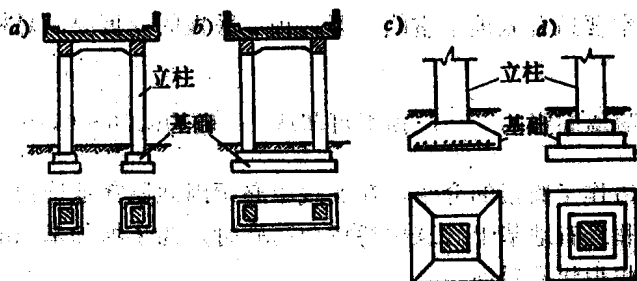


图2-3 单独和联合基础

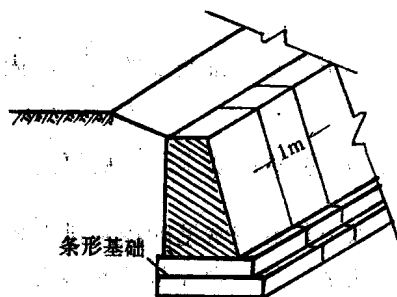


图2-4 挡土墙下的条形基础

它是挡土墙下或涵管下常用的基础形式。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均而开裂，可根据土质和地形予以分段，设置沉降缝。在受力分析时，可取单位长度进行。

有时为了增强桥柱下基础的承载能力，将同一排若干个柱子的基础联合在一起，也就成为条形基础（图2-5）。其构造与倒置的T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，个别的为柔性基础。

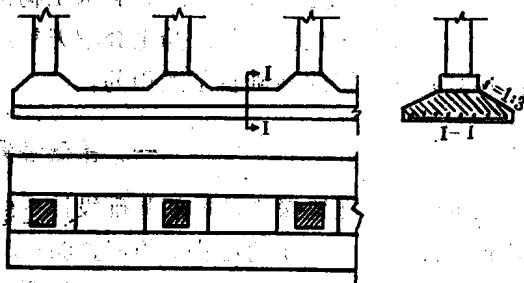


图2-5 柱下条形基础

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，这便成为十字形基础。这是房屋建筑常用的基础，它为柔性基础。

(四)片筏基础和箱形基础（图2-6，2-7）

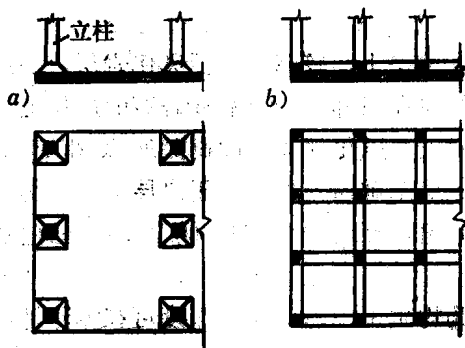


图2-6 片筏基础

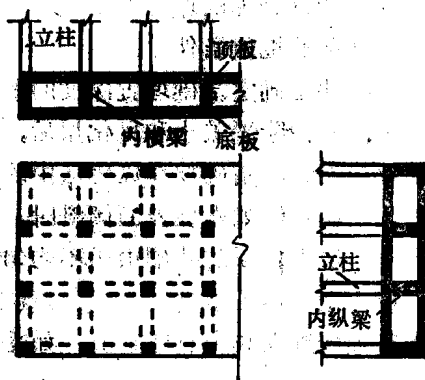


图2-7 箱形基础

片筏基础在构造上类似于倒置的钢筋混凝土的楼盖，它可分为平板式（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。片筏基础和箱形基础都是高层房屋建筑常用的基础类型。