



21世纪交通版高等学校教材

特殊地区基础工程

Foundation Engineering in Special Areas

冯忠居 编 著
赵明华 主 审

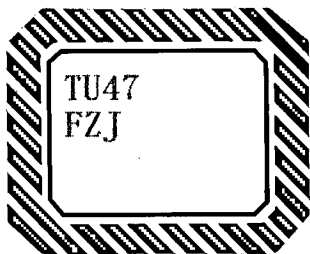
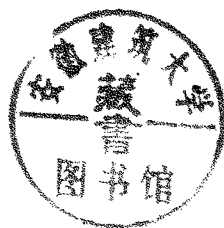


人民交通出版社
China Communications Press

21 世纪交通版高等学校教材

特殊地区基础工程

冯忠居 编著
赵明华 主编



人民交通出版社

内 容 提 要

本书在介绍软土区域、地震区域、膨胀土区域、填土区域、湿陷性黄土区域、冻土区域、盐渍土区域、岩溶区域和山区等区域工程特性的基础上,结合公路工程及结构物的特点,系统地介绍位于特殊地质区域合理的结构物基础工程设计计算的原则与方法,并给出相应的工程实例。

该书适用于土木工程专业的本科生、研究生、大学教师及有关科研、设计方面的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

特殊地区基础工程/冯忠居编著. —北京:人民交通出版社,2008.7
ISBN 978-7-114-07100-3

I. 特... II. 冯... III. 地基—基础(工程) IV. TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第053259号

21世纪交通版高等学校教材

书 名:特殊地区基础工程

著 者:冯忠居

责任编辑:丁润铎

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010) 59757969, 59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.75

字 数:413千

版 次:2008年7月第1版

印 次:2008年7月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07100-3

定 价:29.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版
高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

顾问:王秉纲 (长安大学)

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

王 炜 (东南大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐 岳 (长安大学)

梁乃兴 (重庆交通大学)

韩 敏 (人民交通出版社)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王殿海 (吉林大学)

叶见曙 (东南大学)

石 京 (清华大学)

向中富 (重庆交通大学)

关宏志 (北京工业大学)

何东坡 (东北林业大学)

陈 红 (长安大学)

邵旭东 (湖南大学)

陈宝春 (福州大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

陈静云 (大连理工大学)

赵明华 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

袁剑波 (长沙理工大学)

黄晓明 (东南大学)

符铎砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (哈尔滨工业大学)

颜东煌 (长沙理工大学)

秘 书 长:沈鸿雁 (人民交通出版社)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入WTO,中国经济已融入到世界经济的发展的进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在1998年7月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养21世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套21世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000年6月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的12所高校的专家学者组成21世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约130种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近20所高校的百余名教授承担约130种教材的主编工作。2001年6月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

21世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能力的

培养,为学生知识、能力、素质的综合协调发展创造条件。基于这样的考虑,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

21世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001年12月

前 言

本书的“特殊地区”是软土、填土、湿陷性黄土、膨胀土、冻土、盐渍土、岩溶、山区滑坡、泥石流、地震等软弱土地地区、不良土地地区和地震地区的总称。

特殊地区的土或岩具有不同于其他土或岩的工程特性,公路在穿越该地区时桥梁基础工程的计算理论、设计方法及施工技术大大复杂化。近年来的公路迅猛发展,使桥梁基础穿越特殊地区土或岩的工程实际已十分普遍。但工程技术人员在处理相关技术问题时,由于没有一套完善的特殊地区基础工程方面的基础理论作为参考,往往不知所措,即使进行了相关的计算、设计与施工,仍因对相关基础理论知识了解不系统或较少,而心存疑虑和不安。作者希望通过编写该教材,在给介绍系统理论知识的同时,能对实际工程起到指导与借鉴作用,有助于复杂地质条件下桥梁基础工程方面有关问题的解决和处理。

软土、填土、膨胀土、湿陷性黄土、冻土、盐渍土、岩溶地区、山区滑坡等土或岩区域的基础工程与地震地区的基础工程中,桩-土工作理论机理及其地基处治技术、基础施工工艺等还需要进一步研究,不同土类或地质条件下的工程处治技术也有待于进一步补充和完善。要解决这些问题,对有关已成熟的理论知识和工程技术的系统了解和掌握十分必要。

本书编写参阅了公路、铁路、工业与民用建筑等行业大量的文献和资料,在对相关资料整理和编写中,吸收了当前公路建设中桥梁基础工程设计与施工的新技术与新工艺,同时编入了编者近年来的部分研究成果。为便于读者对有关理论知识和相关技术的理解和掌握,在各章最后一节,编入了具有代表性的工程实例。

本书由长安大学冯忠居编著。第一、三、九章由冯忠居、任艺宏、门小雄编写;第二、七章,由冯忠居、任艺宏、张福强编写;第四、五、六章由冯忠居、任艺宏、张长安编写;第八章由冯忠居、任艺宏、谢富贵编写。全书由湖南大学赵明华教授主审。

在本书脱稿之际,特向参考文献中的编者与作者深表谢意。由于时间紧迫、水平所限,书中不足之处在所难免,敬请读者指正。

编著
2008年4月

目 录

绪论	1
第一章 软土地区基础工程	3
第一节 概述	3
第二节 软土的工程特性	5
第三节 软土地区基础工程设计计算	6
第四节 软土地基设计中应采取的措施	13
第五节 工程实例	14
参考文献	22
第二章 盐渍土地区基础工程	25
第一节 概述	25
第二节 盐渍土的工程特性	31
第三节 盐渍土的毛细性与冻结深度	42
第四节 盐渍土地区基础工程	46
第五节 工程实例	50
参考文献	55
第三章 膨胀土地区基础工程	57
第一节 概述	57
第二节 膨胀土的物质特征及判别	58
第三节 膨胀土的主要工程指标	62
第四节 膨胀土地区基础工程设计	64
第五节 工程实例	70
参考文献	73
第四章 冻土地区基础工程	75
第一节 概述	75
第二节 冻土的工程特性	77
第三节 季节性冻土地区基础工程	81
第四节 多年冻土地区基础工程	84
第五节 融沉与冻胀	91

第六节 工程实例	97
参考文献	105
第五章 湿陷性黄土地区基础工程	107
第一节 概述	107
第二节 湿陷性黄土的特征和分布	107
第三节 黄土湿陷性的判定及地基评价	111
第四节 湿陷性黄土地基的容许承载力和沉降计算	115
第五节 湿陷性黄土地区桩基础	117
第六节 湿陷性黄土地基处理技术	121
第七节 工程实例	123
参考文献	138
第六章 填土地区基础工程	142
第一节 概述	142
第二节 填土地基处治技术	145
第三节 填土地区基础工程	150
第四节 工程实例	152
参考文献	160
第七章 山区基础工程	163
第一节 概述	163
第二节 山区不均匀岩土上的基础工程	164
第三节 岩石上的基础工程	167
第四节 采空区的基础工程	170
第五节 滑坡区的基础工程	172
第六节 崩塌和泥石流区的基础工程	179
第七节 工程实例	182
参考文献	191
第八章 岩溶地区基础工程	193
第一节 岩溶的形成及特征	193
第二节 岩溶地基的工程勘察	195
第三节 岩溶地基的稳定性评价	197
第四节 岩溶地基的处理	201
第五节 土洞及其处理方法	203
第六节 岩溶地区的基础工程设计	206
第七节 工程实例	211
参考文献	222

第九章 地震地区基础工程	224
第一节 概述	224
第二节 地基与基础的震害分析	226
第三节 土的地震反应	228
第四节 场地地震效应	229
第五节 场地选择	230
第六节 地震区地基与基础的设计	231
第七节 基础工程抗震技术	247
第八节 工程实例	247
参考文献	253

绪 论

基础工程是指构筑物埋置在地表以下的部分,是桥梁等构筑物的重要组成部分。基础工程承受着桥梁等构筑物上部结构的各种荷载,它和上部结构的相互关系体现在以下三个方面:基础工程的勘察、设计和施工质量直接关系到桥梁等构筑物的安全和正常使用;基础工程受桥梁等构筑物上部结构功能与地质条件等因素的影响,造价高、工期长,在大江大河或特殊地质区域的施工难度大;基础工程位于地面以下,属于隐蔽性工程,其质量问题不易被发现,一旦发生,处治技术难度较大。

基础工程与周围岩、土体之间的相互影响十分复杂。实际工程中,桥梁等构筑物上部结构形式与荷载特性完全一致,受地质、地形等因素的影响,其基础的类型也会不同,即使采用同一种基础形式,其几何尺寸或布设方式也相差甚大。

当桥梁等构筑物位于软土、填土、湿陷性黄土、膨胀土、冻土、盐渍土、岩溶、山区滑坡、泥石流、地震带土或岩地基上时,因这些地基土或岩的工程特性各不相同,如软土、填土的次固结特性,膨胀土的胀缩特性,盐渍土的溶陷性和盐分对结构的腐蚀性,黄土的湿陷性,冻土的冻胀和融沉性,山区的滑坡、采空区、坍塌及泥石流等工程灾害及地震产生的特殊荷载等,都会使基础工程的设计计算与施工技术大大复杂化。软土、填土、湿陷性黄土会使基础产生较大的变形或导致桩基础产生负摩阻力而降低基础的承载力;膨胀土的胀缩和冻土的冻胀与融沉影响基础的承载力与变形特性;盐渍土的融沉影响基础的承载特性而盐分对基础有腐蚀作用;岩溶或土洞的发育程度与规模影响基础设计计算的可靠性且在很大程度上增加施工难度;滑坡、地震大大限制了桥梁等构筑物基础的选择性。

一般地基上的基础工程是按天然地基上的基础工程进行设计计算和施工的;但大量的桥梁等构筑物涉及的各类软弱地基或不良地基上的基础工程则需按照人工地基上的基础工程进行设计计算与施工。这就使得这些区域的基础工程在考虑基础结构设计计算理论和施工技术的同时,还必须掌握有关地基处理的设计计算理论和施工技术。

针对特殊地区基础工程的复杂性,在进行相应的设计计算时,现场实际的工程地质勘察和试验参数的获取就显得更加必要和重要。勘察的目的是查明特殊地质区域的工程地质环境;分析场地土的工程特性并评价场地的工程地质特点与地基的稳定性;监测和检验大型、特大型桥梁等构筑物基础工程的设计与施工,以确保工程的安全可靠。事实上,欧美、日本等发达国家针对特殊地质区域大型、特大型桥梁的地质勘察早已不局限于常规的手段和方法。为获取更加符合工程实际的强度指标,不采用直剪试验而用三轴试验成果,以考虑应力路径、应力主轴旋转、应力历史、排水条件等,为复杂的土的本构模型提供可靠的理论计算参数。

基础工程的测试是检验基础工程设计计算的准确性与施工质量可靠性的重要而直接的手段。由于基础工程属隐蔽工程,基础工程的测试手段较繁,不少专家、学者和工程技术人员专门致力于基础工程的测试工作。由于现场试验投入大、周期长、费用高、可重复性差且工后测试受限制,模型试验特别是离心模型试验用于基础工程的研究在国内外都有不少应用。对于特殊地区基础工程的测试,除了考虑上述因素外,还需考虑这些地质区域地基处理效果的测试

与评价。地基处理的测试与检测技术包括施工过程的监控技术,如注浆压力、土中孔隙水压力、土层位移等,以及信息化施工所需的其他监控参数;地基处理施工质量的检测技术;地基处理后承载力、变形模量及其他参数检测的各种原位测试方法与相应测试成果分析方法等。

基础工程的抗震问题,实质上是地基基础的抗震问题,有关专家、学者和工程技术人员根据大量的地震、滑坡等灾害信息,经过修正、检验和完善,形成了较为系统的地基基础抗震理论,包括地基的动极限承载力的研究、砂土液化的研究、结构物隔震研究、边坡在地震荷载下的稳定性分析等。

本书共包括九个方面的内容,其中各章节之间既相互独立又相互联系。第一章软土地区基础工程,着重介绍软土的工程特性,软土地区基础工程设计计算,软土地基设计中应采取的措施。第二章盐渍土地区基础工程,着重介绍盐渍土工程性质,盐渍土的毛细性与冻结深度,盐渍土地区基础工程。第三章膨胀土地区基础工程着重介绍膨胀土的物质特征及判别,膨胀土的主要工程指标,膨胀土地区基础工程设计。第四章冻土地区基础工程,着重介绍冻土的工程特性,季节性冻土地区基础工程,多年冻土地区基础工程,融沉与冻胀。第五章湿陷性黄土地区基础工程,着重介绍湿陷性黄土的特征和分布,黄土湿陷性的判定及地基评价,湿陷性黄土地基的容许承载力和沉降计算,湿陷性黄土地区桩基础,湿陷性黄土地基处理技术。第六章填土地区基础工程,着重介绍填土地基处治技术,填土地区基础工程。第七章山区基础工程,着重介绍山区不均匀岩土上的基础工程,岩石上的基础工程,采空区的基础工程,滑坡区的基础工程,崩塌和泥石流区的基础工程。第八章岩溶地区基础工程,着重介绍岩溶的形成及特征,岩溶地基的工程勘察,岩溶地基的稳定性评价,岩溶地基的处理,土洞及其处理方法,岩溶地区的基础工程设计。第九章地震地区基础工程,着重介绍地基与基础的震害分析,土的地震反应,场地地震效应,场地选择,地震区地基与基础的设计,基础工程抗震技术。

特殊地区基础工程实践性与理论性都很强,要掌握地基处理技术和基础工程设计计算理论,必须加强与工程实际的联系,通过工程实际对理论深入理解、修正或改进,再用修正后的理论指导工程实际,验证其科学性和实用性。

第一章 软土地区基础工程

第一节 概 述

1. 软土的定义

关于软土的定义各专业技术部门不尽相同,国内外也无统一的标准。有的定义为软土作为一种简称,主要由细粒土组成。有的定义为软土一般是含水率高,孔隙比大,抗压强度低,渗透系数小,且压缩性、灵敏度高的黏性土的统称。还有的将软土泛指为近代沉积的剪切强度低、压缩性高的软弱土层,主要为饱和软黏土,在天然地层剖面上,它往往与泥炭或粉砂交错沉积。还有的定义为软土一般是静水或缓慢水流中以细颗粒为主的近代沉积物,即流速减缓与温度变化使微细粒径的黏土矿物和有机质在悬浮液溶解力与黏滞性降低的条件下,逐渐沉积的饱和软弱黏性土。还有的定义为软土是指天然含水率大、压缩性高、承载能力低的一种软塑到流塑状态的黏性土,如淤泥、淤泥质土以及其他高压缩性饱和黏性土、粉土等。我国《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)中规定:天然孔隙比大于或等于1.0,且天然含水率大于液限的土应判定为软土,包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭土等,其压缩系数大于 0.5MPa^{-1} ,不排水抗压强度小于 30kPa 。我国铁路部门对软土的界定为:天然含水率接近或大于液限,孔隙比大于1.5,压缩模量小于 40MPa ,标准贯入击数小于2,静力触探贯入阻力小于 700kPa ,不排水强度小于 25kPa 。我国建设部《软土地区工程地质勘察规范》(JGJ 83—1991)规定凡符合以下标准的可定义为软土:外观以灰色为主的细黏土;天然含水率大于或等于液限;天然孔隙比大于或等于1.0。但无论软土还是软土地基,其软硬都是相对的。因此软土应是与土质、工程性质相关的大孔隙比、高含水率、低强度、高压缩性及低渗透性的以黏性土为主的软弱土层的统称。

软土包括沿海的滨海相、三角洲相、内陆平原或山区的河流相、湖泊相、沼泽相等主要由细粒土组成的土,具有孔隙比大(一般大于1.0)、天然含水率高(接近或大于液限)、压缩性高($a_{1-2} > 0.5\text{MPa}^{-1}$)和强度低的特点,多数还具有高灵敏度的结构性,主要包括淤泥、淤泥质黏性土、淤泥质粉土、泥炭、泥炭质土等。

淤泥是指天然含水率大于液限,天然孔隙比大于等于1.5的黏性土。淤泥质土是指天然孔隙比小于1.5但大于等于1.0的黏性土。当土中有机质含量小于5%时为无机土;小于等于10%且大于等于5%时称为有机质土;小于等于60%且大于10%时称为泥炭质土;大于60%时则称泥炭。泥炭是在潮湿和缺氧环境中未经充分分解的植物遗体堆积而成的一种有机质土,呈深褐色或黑色。其含水率极高,压缩性很大,且不均匀。泥炭往往以夹层构造存在于一般黏性土层中,对工程危害严重。

软土按沉积环境分类主要有:

(1) 滨海沉积

①滨海相:常与海浪暗流及潮汐的水动力作用形成粗、中、细砂颗粒相掺杂,不均匀且极松

软,增强了淤泥的透水性能,易于压缩固结。

②泻湖相:颗粒微细、孔隙比大、强度低、分布范围较广,常形成海滨平原。在泻湖边缘,表层常有厚约0.3~2.0m的泥炭堆积,底部含有贝壳和生物残骸碎屑。

③溺谷相:孔隙比大、结构松软、含水率高,有时甚于泻湖相。其分布范围略窄,在边缘表层也常有泥炭沉积。

④三角洲相:由于河流及海潮的复杂交替作用,使淤泥与薄层砂交错沉积,受海流与波浪的影响,分选程度差,结构不稳定,多交错成不规则的尖灭层或透镜体夹层,结构疏松,颗粒细小。

⑤浅海相:位于海湾区域内,河流入海携带的动植物残骸经生物化学作用,形成灰色或灰绿色淤泥和淤泥质土。

(2) 湖泊沉积

湖泊沉积是近代淡水盆地和咸水盆地的沉积。沉积物中夹有粉砂颗粒,有明显的层理。淤泥结构松软,呈暗灰、灰绿或暗黑色,厚度一般为10m左右,最厚者可达25m。

(3) 河滩沉积

河滩沉积主要包括河漫滩相和牛轭湖相。其成层情况较为复杂,成分不均一,走向和厚度变化大,平面分布不规则,一般常呈带状或透镜状,厚度不大,一般小于10m。

(4) 沼泽沉积

沼泽沉积又称沼泽相,分布在地下水、地表水排泄不畅的低洼地带,多以泥炭为主,且常出露于地表,下部分布有淤泥层或底部与泥炭互层。

软土由于沉积年代、环境的差异且成因的不同,其成层情况、粒度组成、矿物成分有所差别,使工程性质有所不同。不同沉积类型的软土,有时其物理性质指标虽较相似,但工程性质并不很接近,切勿借用。

2. 软土的矿物成分

黏土矿物常呈薄片状、管状或板状存在于黏土中,是非晶态或者结晶的水化铝、水化镁或水化铁的硅酸盐。黏土矿物包括高岭石、埃洛石、蒙脱石、伊利石、蛭石及绿泥石等,但以高岭石、伊利石、蒙脱石为主。

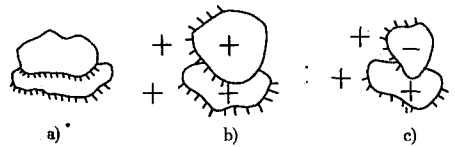


图 1-1 黏土颗粒间结合的基本类型

a) 面接触; b) 线接触; c) 点接触

软土的组构与其沉积环境及分散、凝集和固结的

进程有关。图 1-1 是表征黏土颗粒间结合的三个基本类型,其中 a) 为面-面凝聚的面接触; b) 为棱-面凝聚的线接触; c) 为点-面凝聚的点接触,又称分散结构或空间结构。

3. 软土在我国的分布

软土在我国滨海平原、河口三角洲、湖盆地周围均有分布。我国软土的形成,绝大部分在全新世的中、晚期。一部分软土层埋藏在密实的硬土层之下,如上海的软土层在暗绿色硬黏土之下;广东肇庆在红黏土层之下仍有软弱黏土层。

沿海软土:渤海湾的津沽地区,海州湾的连云港,杭州湾的杭州,甬江口的宁波、镇海,舟山群岛的舟山,温州湾的温州,三都澳的宁德、三都,泉州港的泉州,厦门港的厦门,闽江口的福州、马尾,汕头附近的柏林湾,湛江,多属于泻湖相、溺谷相或滨海相。泻湖相和溺谷相沉积深厚、核粒含量高,如在宁波、温州,软土厚达 35~40m。滨海相沉积常夹有较粗颗粒,深度常小于 25m。

长江三角洲的上海,珠江三角洲的广州,是典型的三角洲的沉积。粉砂微层的分布在上海更为突出。上海埋深达 30m,而广州最大埋深只有 1m。上海表层硬壳层厚为 2~3m。

沿海一带地面高程低于 5m 的广阔平原上,绝大部分有软土分布。只是一些硬壳较厚的地区,如天津硬壳厚度平均为 6~7m,地基的软弱程度略低。

河谷平原上的软土,如长江中下游的武汉、芜湖、南京,珠江下游的肇庆、三水,多为河漫滩相或牛轭湖相沉积。软黏土层中常有粉细砂层夹层,肇庆一带且含有植物残骸。软土层埋深常小于 15m。

湖泊周围也常有软土分布,如洞庭湖滨的岳阳、太湖边的湖州。山间谷地软土分布范围较小,但不均匀性十分突出,我国云贵高原,昆明、贵阳以西水域附近的烂坝都有软土分布。谷地软土底部常有明显倾斜的坡度。

沼泽相的软土分布非常广泛,沼泽是湖盆地、海滩,由于低洼积水,喜水植物孳生,经年淤积,逐渐衰退形成。如沿海自渤海湾的海河口至莱州湾的潍河口,自黄海的海州湾至川腰港;苏北的射阳湖畔,高邮湖白马湖盆地;东北嫩江河谷,松花江、乌苏里江河谷,小兴安岭的汤旺河谷;西南岷江上源等地。一些由牛轭湖衰退形成的沼泽也零散分布,它们常常是以泥炭沉积为主,夹有软黏土、腐泥或砂层。

由于成因和沉积环境的区别,软土性质及其成层条件也各有其特点。气候、水文条件也有影响,如严寒地区的软土,其工程特性常被冻土的工程特性所掩盖。

第二节 软土的工程特性

1. 含水率较高,孔隙比较大

软土含水率在 35%~80% 之间,孔隙比一般在 1.0~2.0 之间。软土的这一特性反映了土中矿物成分与介质相互作用的性质。在软土中黏土粒组和粉土粒组的含量相对较高,黏土矿物颗粒加剧了土粒与水的作用,使含水率较高;土颗粒粒组较小,宜形成具有较大孔隙的各种絮状结构。软土的基本物理特征直接影响到土的压缩性和抗剪强度,其含水率越大,土的抗剪强度愈小、压缩性越大。因此,降低含水率和缩小孔隙比是软土地基处理的重要内容。

2. 抗剪强度低

软土的天然不排水抗剪强度一般为 $C_u = 5 \sim 25 \text{kPa}$,且正常固结软弱土的不排水抗剪强度往往随距地表深度的增加而增大,一般每米深度增长 1~2kPa。在外荷载作用下,软土的渗透固结,会使其强度显著增长。因此,加速软土层渗透固结的速率,是改善软土强度特征的有效途径。软土抗剪强度试验值与试验方法、排水条件等密切相关,如采用固结不排水剪, c 、 φ 值将有所增大。

3. 压缩性高

一般正常固结软弱土层的压缩系数为 $a_{1-2} = 0.5 \sim 1.5 \text{MPa}^{-1}$,最大可达 4.5MPa^{-1} ;压缩指数 C_c 约为 0.35~0.75,且压缩指数与含水率的经验关系为: $C_c = 0.0147w^{-0.213}$ 。天然软土一般为正常固结土,也有部分软土层处于超固结状态,但近代海相或河湖相沉积物,一般处于欠固结状态。软土固结状态对地基的沉降变形特性有着重要的影响。在其他物理性质指标相

同情况下,软土液性指数越大,压缩性越高,这是因为土颗粒矿物成分对其压缩性具有明显影响。

4. 渗透性小

软土层的渗透系数一般为 $k = 10^{-6} \sim 10^{-8} \text{ cm/s}$,当有机质含量较高时, k 值还会下降。软土在外荷载附加应力作用下的渗透固结速率很慢,当软弱土层较厚时,往往需要数年或更长的时间才能达到较大的固结度。一般软弱土层的渗透性具有明显的各向异性,水平向渗透系数往往高于竖向渗透系数,当存在水平砂夹层时更为明显。我国沿海地区和部分内陆沉积往往有薄层粉土或细砂层与软黏土交替呈层状,此时水平渗透系数 k_H 常较竖向渗透系数 k_V 大得多,有利于地基的预压加固。

5. 结构性明显

软土一般为絮凝结构,尤以海相软土更为明显。这类结构性强的土,一旦其结构受到扰动或破坏,土体强度将明显降低,甚至呈现流动状态。我国沿海软土的灵敏度 $S_i = 4 \sim 8$,属于高灵敏土。软土扰动后,随静置时间的增长,其强度能有所恢复,但极缓慢且一般不能恢复到原有结构的强度。因此在软土土样的钻取、搬运、切削、制备等过程中土样结构会受到不同程度的扰动,使试验结果(强度指标)偏低,不能完全反映土的实际强度,宜尽量采用原位测试方法如十字板剪切试验、标准贯入试验等测定其强度,或将原位测试与室内试验结果互相分析补充。在地基处理或地基基础施工中,如何减小对这类结构性强的土层的扰动,将直接影响到施工效果。

6. 流变性

在外荷载作用下,土体的主(渗透)固结已完成,虽荷载保持不变,但土体在长期荷载作用下,因土骨架黏滞蠕变而发生随时间而变化的变形,土内黏土颗粒含量越多,这种特性越明显。蠕变的速率一般都很小,且随土中剪应力值而变化。有试验表明当应力低于不排水剪切强度 5% 时,蠕变最后趋于稳定;应力高于不排水强度的 70% 时速率保持不变,继续产生可观的次固结沉降甚至渐增直至破坏。因此软土地基中除应充分创造排水固结条件外,还应考虑将影响蠕变的剪应力适当控制在临界抗剪强度(长期强度)内。

在软土较厚处,表层软土长期经受气候影响,含水率降低,发生收缩固结,形成强度较高、压缩性较低的非饱和土层,俗称“硬壳层”,厚度一般为 0.5 ~ 3.0m,有时可作为小桥涵基础等浅基础的持力层。

第三节 软土地区基础工程设计计算

在软土地基设计计算中,由于它的工程特性常需解决地基承载力、沉降和稳定性的计算问题,故与一般地基土的计算有所区别。

1. 软土地基的承载力计算

在荷载作用下,地基问题包含两个方面:一是因地基土的压缩变形而引起的基础沉降和沉降差,如果沉降或沉降差过大,超出了构造物的允许范围,则可能导致上部结构开裂、倾斜甚至毁坏;另一种是如果荷载过大,超过了地基的承载能力,将使地基产生破坏,即地基的承载能力不足以承受如此大的荷载而导致构造物破坏。因此,进行地基基础设计时,必须满足:①构造

物基础的沉降或沉降差在该构造物所允许的范围内;②构造物的基底压力在地基的容许承载力能力范围内。此外,对某些特殊的构造物而言,如堤坝、码头等还应满足抗渗、防冲等特殊要求。

试验研究和工程实例表明,由于地基承载力不足而遭破坏的实质是基础下面持力土层的剪切破坏。剪切破坏的形式可分为三种,即整体剪切破坏、局部剪切破坏和冲剪破坏。

地基的破坏形式主要与地基土的性质尤其是其压缩性有关。一般而言,对于较坚硬或密实的土,具有较低的压缩性,通常呈现整体剪切破坏。对于软弱土或松砂土地基,具有中高压缩性,常呈现局部剪切破坏或冲剪破坏。由于整体剪切破坏有连续的滑动面,较易建立理论研究模型,已有一些地基承载力的计算公式。局部剪切破坏和冲剪破坏的过程和特征比较复杂,目前理论研究方面还未能得到地基承载力的计算公式,而是将整体剪切破坏计算公式进行适当的修正后加以应用。

确定地基承载力的方法有:①静载荷试验或其他原位试验;②规范查表方法;③理论公式方法;④在地质条件相同的情况下,参照临近结构的地基承载力。这些方法确定的地基承载力不可能完全相同,尚需结合区域地质条件参照经验综合确定。

软土地基承载力应根据地区建筑经验,并结合下列因素综合确定:①软土成层条件、应力历史、力学特性及排水条件;②上部结构的类型、刚度、荷载性质、大小和分布,对不均匀沉降的敏感性;③基础的类型、尺寸、埋深、刚度等;④施工方法和程序;⑤采用预压排水处理的地基,应考虑软土固结排水后强度的增长。

(1) 根据极限承载力理论公式确定

饱和软黏土上条形基础的极限承载力 p_u ,可按普朗特-雷斯诺(Prandtl-Reissner)极限荷载式(1-1),由 $\varphi = 0, q = r_2 h$ 确定为:

$$p_u = 5.14 C_u + r_2 h \quad (1-1)$$

式中: C_u ——软土不排水抗剪强度,可用三轴仪、十字板剪切仪测定,也可取室内无侧限抗压强度 q_u 之半计算;

r_2 ——基底以上土的重度(kN/m^3),地下水位以下为浮重度;

h ——基础埋置深度(m),当受水流冲刷时,由一般冲刷线算起。

考虑矩形基础的形状修正系数及水平荷载作用时的影响系数,并考虑必要的安全系数,《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)提出软土地基容许承载力 $[f_a]$ (kPa)为:

$$[f_a] = \frac{5.14}{m} k_p C_u + r_2 h \quad (1-2)$$

式中: m ——抗力修正系数 1.5~2.5,软土灵敏度高且基础长宽比小者用大值;

k_p ——基础形状及倾斜荷载的修正系数,属半经验性质的系数,当矩形基础上作用有倾

斜荷载时, $k_p = \left(1 + 0.2 \frac{b}{l}\right) \left(1 - \frac{0.4}{bl} \frac{H}{C_u}\right)$ 。

b ——基础宽度(m);

l ——垂直于 b 边的基础长度(m),当有偏心荷载时, b 与 l 由 b' 与 l' 代替, $b' = b - 2e_b$,

$l' = l - 2e_l$, e_b, e_l 分别为荷载在 b 方向、 l 方向的偏心距;

H ——由作用(标准值)引起的水平力(kN)。

(2) 根据土的物理性质指标确定

软土大多是饱和的,天然含水率 w 基本反映了土的孔隙比的大小,当饱和度 $S_r = 1$ 时, $e =$