

复合地基 理论及工程应用

(第二版)

FUHEDIJI
LILUNJIGONGCHENGYINGYONG

龚晓南 编著

中国建筑工业出版社

TU472/23

2007

复合地基理论及工程应用

(第二版)

龚晓南 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

复合地基理论及工程应用/龚晓南编著. —2 版.

北京: 中国建筑工业出版社, 2007

ISBN 978-7-112-09574-2

I. 复… II. 龚… III. 人工地基-研究 IV. TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 125273 号

本书较全面地介绍了复合地基理论和工程实践方面的研究成果, 在《复合地基理论及工程应用》(第一版) 的基础上对复合地基理论框架作了进一步完善, 较系统地介绍了复合地基理论和实践的新发展。全书共 16 章: 绪论, 土和复合土的基本性状, 复合地基荷载传递机理和位移场特点, 复合地基的形成条件, 复合地基在基础工程中的地位, 复合地基常用形式及选用原则, 桩体复合地基承载力, 水平向增强体复合地基承载力, 复合地基沉降计算, 基础刚度对复合地基性状的影响, 垫层对复合地基性状的影响, 复合地基振动反应与地震响应, 复合地基和上部结构共同作用分析, 复合地基优化设计和按沉降控制设计, 复合地基工程应用及实例, 以及复合地基发展展望。

本书可供土木工程专业勘察、设计和施工人员在学习、应用复合地基技术时参考使用, 也可作为土木工程相关专业研究生的参考用书。

* * *

责任编辑: 赵梦梅

责任设计: 赵明霞

责任校对: 王雪竹 孟楠

复合地基理论及工程应用

(第二版)

龚晓南 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京密云红光制版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 20½ 字数: 400 千字

2007 年 9 月第二版 2007 年 9 月第四次印刷

印数: 5201—8700 册 定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-09574-2

(16238)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第二版前言

采用复合地基能够较好地发挥地基土体和增强体的承载潜能,具有较好的经济效益和社会效益,复合地基技术在我国工程建设中得到愈来愈多的应用。为了适应建筑工程、交通工程、市政工程和水利工程等土木工程建设需要,多种复合地基新技术得到发展。笔者在1992年出版的第一部复合地基专著《复合地基》中,首次提出复合地基理论体系,总结、介绍了复合地基基础理论。《复合地基》的出版有力地促进了复合地基理论的普及和发展,促进了复合地基技术的工程应用。2002年出版《复合地基理论及工程应用》,总结了十余年复合地基理论和实践的发展,进一步完善了复合地基理论体系。《复合地基理论及工程应用》的出版对复合地基理论研究和工程应用起了很好的促进作用。近五年多来,复合地基理论研究和工程应用发展很快,为了总结最新研究成果,满足工程建设的需要,决定出版《复合地基理论及工程应用》(第二版)。

第二版全书共16章:绪论,土和复合土的基本性状,复合地基荷载传递机理和位移场特点,复合地基的形成条件,复合地基在基础工程中的地位,复合地基常用形式及选用原则,桩体复合地基承载力,水平向增强体复合地基承载力,复合地基沉降计算,基础刚度对复合地基性状的影响,垫层对复合地基性状的影响,复合地基振动反应与地震响应,复合地基和上部结构共同作用分析,复合地基优化设计和按沉降控制设计,复合地基工程应用及实例,复合地基发展展望。前14章介绍复合地基技术的基本理论,第15章介绍各类复合地基工程实例,供应用时参考,最后一章介绍复合地基发展展望。

作者感谢学术界及工程界前辈和同仁的鼓励和帮助。书中引用了许多科研院所、高校、工程单位及研究生的研究成果和工程实例。在第二版的成书过程中博士研究生王志达和郭彪等帮助校稿、制图。在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

第一版前言

今天对土木工程师而言,复合地基已不是陌生的词汇,但是对什么是复合地基,无论是学术界,还是工程界至今尚无比较统一的认识。复合地基是一个新概念,正在不断发展之中。随着地基处理技术的不断发展和复合地基技术在土木工程建设中应用的推广,各种各样形式的复合地基在工程建设中得到应用,取得了良好的经济效益和社会效益。

1992年笔者在《复合地基》一书前言中谈到复合地基理论的发展远远落后于复合地基工程实践,十年过去了,这一状况至今尚未得到改变。不仅仅是理论研究进展不快,而且更为主要的是工程实践发展更快。理论研究进展没有工程实践发展快是造成这一状况的根本原因。目前在我国复合地基(composite foundation)、浅基础(shallow foundation)和桩基础(pile foundation)已成为常用的三种基础形式。复合地基在建筑工程、市政工程、道路工程,以及堤坝工程中得到广泛应用。近十几年来,笔者一直在学习、探讨、总结、宣传复合地基理论和实践的进步,促进复合地基技术的推广应用和应用技术水平的提高。本书较全面的总结了笔者在复合地基理论和实践方面的研究成果和心得体会。对笔者在《复合地基》中形成的复合地基理论框架作了补充和完善,较全面地介绍了复合地基技术的新发展和工程应用,对发展中存在的问题也作了论述。笔者认为复合地基的概念随着其实践的发展有一个发展过程。对复合地基概念的认识存在狭义和广义之分。广义复合地基概念侧重在荷载传递机理上来揭示复合地基本质。凡是在荷载作用下,地基中的增强体(桩体)和基体(桩间土)共同直接承担荷载则可归属于复合地基范畴。复合地基是指天然地基在地基处理过程中部分土体得到增强,或被置换,或在天然地基中设置加筋材料,加固区是由基体(天然地基土体)和增强体两部分组成的人工地基。复合地基能较好地发挥桩和桩间土的承载潜力,因此具有较好的经济效益和社会效益。本书是从广义复合地基概念出发讨论和分析有关问题的。

全书共十章:绪论,土和复合土的基本性状,桩体复合地基承载力,水平向增强体复合地基承载力,复合地基沉降计算,复合地基优化设计和按沉降控制设计,基础刚度对复合地基性状影响,复合地基在地基基础工程中的地位和评价,复合地基振动反应和地震响应,复合地基工程应用及实例。前九章介绍复合地基技术的基本理论,最后一章介绍各类复合地基工程实例,供应用时参考。

作者感谢国家自然科学基金会和浙江省自然科学基金会对复合地基理论研究的资助，感谢曾国熙教授和浙江大学岩土工程研究所同事们的鼓励和帮助。书中引用了许多科研院所、高校、工程单位及研究生的研究成果和工程实例。在成书过程中杨晓军博士，黄明聪博士，曾开华博士，博士研究生褚航，葛忻声等帮助校稿、制图。在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不当之处，敬请读者批评指正。

目 录

第二版前言

第一版前言

第1章 绪论	1
1.1 复合地基发展概况和广义复合地基概念的形成	1
1.2 复合地基定义和分类	3
1.3 复合地基的效用	5
1.4 复合地基的破坏模式	6
1.5 复合地基置换率、荷载分担比和复合模量的概念	8
第2章 土和复合土的基本性状	10
2.1 概述	10
2.2 土的基本性状	11
2.2.1 土的分类	11
2.2.2 土的应力应变试验与试验曲线	12
2.2.3 土的变形特性	16
2.2.4 土的强度特性	18
2.3 水泥土及其复合土的基本性状	25
2.3.1 水泥土的形成方法及硬化机理	25
2.3.2 水泥土的物理力学性质	26
2.3.3 水泥土—土复合体的强度特性	33
2.3.4 水泥土—土复合体的压缩特性	35
2.3.5 循环荷载作用下水泥土—土复合体性质	38
2.4 灰土基本性状	39
2.4.1 灰土的分类	39
2.4.2 生石灰成分、水化反应及其特性	40
2.4.3 粉煤灰的成分及性质	43
2.4.4 灰土形成方法和加固机理	43
2.4.5 灰土的强度和变形特性	45
2.5 土工合成材料复合土体性状	47
2.5.1 土工合成材料简介	47

2.5.2 土工合成材料的效用	48
2.5.3 加筋土强度特性	49
第3章 复合地基荷载传递机理和位移场特点	57
3.1 概述	57
3.2 复合地基荷载传递机理	57
3.3 复合地基位移场特点	64
第4章 复合地基的形成条件	68
4.1 概述	68
4.2 浅基础、桩基础和复合地基	68
4.3 复合地基的本质	70
4.4 复合地基的形成条件	70
第5章 复合地基在基础工程中的地位	73
5.1 概述	73
5.2 复合地基与地基处理	73
5.3 复合地基与浅基础和桩基础	75
5.4 复合地基与双层地基	76
5.5 复合地基与复合桩基	79
第6章 复合地基常用形式及选用原则	81
6.1 概述	81
6.2 复合地基常用形式分类	81
6.3 复合地基形式合理选用原则	84
第7章 桩体复合地基承载力	86
7.1 概述	86
7.2 桩体复合地基承载力计算	86
7.2.1 桩体复合地基承载力计算模式	86
7.2.2 粘结材料桩桩体承载力	89
7.2.3 散体材料桩桩体承载力	90
7.2.4 天然地基承载力	96
7.3 复合地基稳定分析	97
第8章 水平向增强体复合地基承载力	99
8.1 引言	99
8.2 加筋机理分析	100
8.3 加筋垫层路堤的破坏形式	104
8.4 几个承载力计算公式	105
8.5 加筋堤圆弧滑动稳定性分析	115

第 9 章 复合地基沉降计算	119
9.1 引言	119
9.2 复合地基沉降计算模式	119
9.3 复合地基有限单元法	125
9.4 复合地基固结分析	129
9.5 刚性桩复合地基沉降计算	130
9.6 柔性桩复合地基沉降计算	130
9.7 散体材料桩复合地基沉降计算	131
9.8 水平向增强体复合地基沉降计算	131
9.9 土工合成材料加筋路堤软基的性状	133
9.9.1 有限元计算模型	134
9.9.2 计算结果分析	135
9.9.3 软土层厚度及加筋刚度对加筋效果的影响	143
第 10 章 基础刚度对复合地基性状的影响	146
10.1 概述	146
10.2 模型试验研究	146
10.3 基础刚度对复合地基性状影响的数值分析	150
10.3.1 基础刚度对应力场和位移场性状的影响	150
10.3.2 桩土模量比 k 对复合地基性状的影响	152
10.3.3 置换率对复合地基性状的影响	153
第 11 章 垫层对复合地基性状的影响	155
11.1 引言	155
11.2 刚性基础下设置垫层对复合地基性状的影响	155
11.3 柔性基础下设置垫层对复合地基性状的影响	157
第 12 章 复合地基振动反应与地震响应	159
12.1 引言	159
12.2 动荷载的类型与动力问题的种类	159
12.3 理论基础和方法	160
12.3.1 复合地基动力学问题及其特点	160
12.3.2 基本方程与求解方法	161
12.3.3 材料的动力特性	161
12.3.4 地基的动力反应分析方法	162
12.3.5 振动弱化与地震永久变形	163
12.4 有限元程序的研制	163
12.4.1 有限元程序的功能	163

12.4.2	技术要点	164
12.5	周期荷载作用下的振动反应分析	165
12.5.1	动荷载形式及其在地基中引起的主要问题	165
12.5.2	竖向周期荷载作用下复合地基的振动反应分析	166
12.5.3	水平周期荷载作用下复合地基的振动反应分析	168
12.6	复合地基的地震响应分析	170
12.6.1	复合地基在地震作用下的线性黏弹性分析	170
12.6.2	复合地基在地震作用下的非线性分析	173
12.6.3	复合地基在地震作用下的有效应力分析	175
12.6.4	杭州某场地的分析预测	182
第 13 章	复合地基和上部结构共同作用分析	185
13.1	引言	185
13.2	考虑复合地基和上部结构共同作用的有限元分析 基本方程及解题步骤	185
13.2.1	考虑复合地基和上部结构共同作用的有限元分析基本方程	185
13.2.2	有限元分析的解题步骤	190
13.3	复合地基和上部结构相互作用的性状	192
13.3.1	基本假定和计算简图	192
13.3.2	上部结构刚度的变化对复合地基性状的影响	194
13.3.3	桩土模量比的变化对复合地基性状的影响	195
13.3.4	垫层的变化对复合地基性状的影响	197
13.3.5	置换率的变化对复合地基性状的影响	200
13.3.6	复合地基和上部结构共同作用主要性状	202
第 14 章	复合地基优化设计和按沉降控制设计	204
14.1	引言	204
14.2	最优设计理论	205
14.3	复合地基优化设计思路	207
14.4	按沉降控制的设计思路	209
14.5	按沉降控制复合地基优化设计	210
第 15 章	复合地基工程应用及实例	215
15.1	概述	215
15.2	挤密砂石桩复合地基	218
	【工程实例 1】 烟台工贸大厦振冲碎石桩复合地基	219
	【工程实例 2】 茂名一大型油罐挤密砂石桩复合地基	223
15.3	水泥搅拌桩复合地基	230

【工程实例 3】	浙江善高化学有限公司搅拌桩复合地基·····	230
【工程实例 4】	南京南湖地区水泥搅拌桩复合地基·····	238
15.4	低强度桩复合地基·····	242
【工程实例 5】	安徽铜陵金隆铜业有限公司精矿库二灰混凝土桩复合地基·····	243
【工程实例 6】	杭宁高速公路一通道低强度混凝土桩复合地基·····	250
【工程实例 7】	低强度桩复合地基加固高等级公路桥头段软基·····	262
15.5	刚性桩复合地基·····	269
【工程实例 8】	刚性桩复合地基在浙江医科大学一门诊综合楼基础 工程中的应用·····	271
15.6	长短桩复合地基·····	279
【工程实例 9】	兰盾大厦长短桩复合地基·····	280
【工程实例 10】	杭州白海荡小区商住楼长短桩复合地基·····	284
15.7	强夯块石墩复合地基·····	292
【工程实例 11】	强夯块石墩复合地基在停机坪地基加固中的应用·····	292
15.8	灰土挤密桩复合地基·····	298
【工程实例 12】	灰土挤密桩复合地基在建筑物地基加固中的应用·····	298
15.9	石灰桩复合地基·····	301
【工程实例 13】	石灰桩复合地基在建筑物地基加固中的应用·····	302
第 16 章	复合地基发展展望·····	305
	参考文献·····	308

第 1 章 绪 论

1.1 复合地基发展概况和广义复合地基概念的形成

今天对土木工程师而言,复合地基已不是陌生的词汇,但对什么是复合地基,无论是学术界,还是工程界至今尚无比较统一的认识。复合地基是一个新概念,正在不断发展之中。有人考证复合地基一词国外最早见于上世纪 60 年代。国内应用复合地基一词还要晚一些。不少地基处理技术是通过处理地基形成复合地基来达到提高地基承载力、减少沉降的加固目的。随着地基处理技术的不断发展和复合地基技术在土木工程建设中应用的推广,各种各样形式的复合地基在工程建设中得到应用。

复合地基的涵义随着其在工程建设中推广应用的发展过程有一个演变过程。在初期,复合地基主要是指在天然地基中设置碎石桩而形成的复合地基。那时人们的注意力主要集中在碎石桩复合地基的应用和研究上,国内外学者发表了许多关于碎石桩复合地基承载力和沉降计算的研究成果。随着深层搅拌法和高压喷射注浆法在地基处理中的推广应用,人们开始重视水泥土桩复合地基的研究。碎石桩和水泥土桩两者的主要差别为:前者桩体为碎石,碎石属散体材料,后者桩体为水泥土,水泥土为粘结体。碎石桩属于散体材料桩,而水泥土桩属于粘结材料桩。研究表明散体材料桩与粘结材料桩两者的荷载传递机理有较大差别。随着水泥土桩复合地基的推广应用,复合地基的概念发生了变化,由单纯为碎石桩复合地基这种散体材料桩复合地基概念逐步扩展到也包括粘结材料桩复合地基在内的复合地基概念。随着减少沉降量桩基和桩筏基础在工程中的应用的发展,以及各类低强度混凝土桩复合地基的应用,人们注意到粘结材料桩的刚度大小对桩的荷载传递性状有较大影响。于是又将粘结材料桩按刚度大小分为柔性桩和刚性桩两大类,提出了柔性桩复合地基和刚性桩复合地基的概念。这样复合地基概念得到进一步拓宽。随着土工合成材料在工程建设中的广泛应用,又出现了水平向增强体复合地基的概念。前面已经提到,目前对什么是复合地基,或者说哪些地基基础形式可以称为是复合地基,学术界和工程界看法是不一致的。一种意见认为各类砂石桩复合地基和各类水泥土桩复合地基属于复合地基,其他形式不能称为复合地基;另一种意见认为桩体与基础不连接是复合地基,相连接就不是复合地基

基,至于桩体是柔性桩、还是刚性桩并不重要;还有一种意见认为是否属于复合地基与桩体的刚度大小,与桩体与基础是否连接均无关系,而视其在工作状态下,能否保证桩和桩间土共同承担荷载。笔者认为对复合地基的概念认识上存在狭义和广义之分。上述第一种意见可认为是狭义的复合地基概念,更狭义的复合地基概念只认为砂石桩复合地基属于复合地基,或者说只有散体材料桩才能与地基土形成复合地基,其他形式均不应称为复合地基;第三种意见可认为是广义的复合地基概念。从发展趋势看,复合地基的概念在不断的被拓广。广义复合地基概念侧重在荷载传递机理上来揭示复合地基的本质。拙作是从广义复合地基概念出发讨论分析有关问题的。

我国软土地基类别多,分布广,自改革开放以来土木工程建设规模大,发展快。我国又是发展中国家,建设资金短缺。如何在保证工程质量前提下,节省工程投资显得十分重要。复合地基技术能够较好发挥增强体和天然地基两者共同承担建(构)筑物荷载的潜能,因此具有比较经济的特点。复合地基技术近年来在我国得到重视、发展与我国工程建设对它的需求是分不开的。近些年来我国不少专家学者在从事复合地基理论和实践研究。1990年在河北承德,中国建筑学会地基基础专业委员会在黄熙龄院士主持下召开了我国第一次以复合地基为专题的学术讨论会。会上交流、总结了复合地基技术在我国的应用情况,有力地促进了复合地基技术在我国的发展。笔者在复合地基引言(地基处理,1991~1992)和《复合地基》(1992,浙江大学出版社)中较系统地总结了国内外复合地基理论和实践方面的研究成果,提出了基于广义复合地基概念的复合地基定义和复合地基理论框架,总结了复合地基承载力和沉降计算的思路和方法。1996年中国土木工程学会土力学及基础工程学会地基处理学术委员会在浙江大学召开了复合地基理论和实践学术讨论会,总结成绩、交流经验,共同探讨发展中的问题,促进了复合地基处理理论和实践水平进一步提高。2002年笔者在《复合地基理论及工程应用》第一版中对在《地基处理》(1992)中提出的复合地基理论框架作了补充和完善,较全面地介绍了复合地基理论和工程应用的发展。近年来复合地基理论和实践研究日益得到重视,复合地基已成为一种常用的地基基础形式。

随着地基处理技术和复合地基理论的发展,近些年来,复合地基技术在我国各地得到广泛应用。目前我国应用的复合地基类型主要有:由多种施工方法形成的各类砂石桩复合地基、水泥土桩复合地基、低强度桩复合地基、长短桩复合地基和加筋土地基等。目前复合地基技术在房屋建筑(包括高层建筑)、高等级公路、铁路、堆场、机场、堤坝等土木工程建设中得到广泛应用。复合地基技术的推广应用产生了良好的社会效益和经济效益。

1.2 复合地基定义和分类

当天然地基不能满足建（构）筑物对地基的要求时，需要进行地基处理形成人工地基，以满足建（构）筑物对地基的要求，保证建（构）筑物的安全与正常使用。地基处理方法很多，按地基处理的加固原理分类，主要有下述六大类：置换，排水固结，振密、挤密，灌入固化物，加筋以及冷、热处理等。经过地基处理形成的人工地基大致上可分为均质地基、多层地基和复合地基三种形式。

人工地基中的均质地基是指天然地基在地基处理过程中加固区土体性质得到全面改良，加固区土体的物理力学性质基本上是相同的，加固区的范围，无论是平面位置还是深度，与荷载作用下对应的地基持力层或压缩层范围相比较都已满足一定的要求。如图 1-1（a）所示。例如：均质的天然地基采用排水固结法形成人工地基。在排水固结过程中，加固区范围内地基土体中孔隙比减小，抗剪强度提高，压缩性减小。加固区内土体性质比较均匀。若采用排水固结法处理的加固区域与荷载作用面积相应的持力层厚度和压缩层厚度相比较已满足一定要求，则这种人工地基可视为均质地基。均质人工地基的承载力和变形计算方法与均质天然地基的计算方法基本上相同。

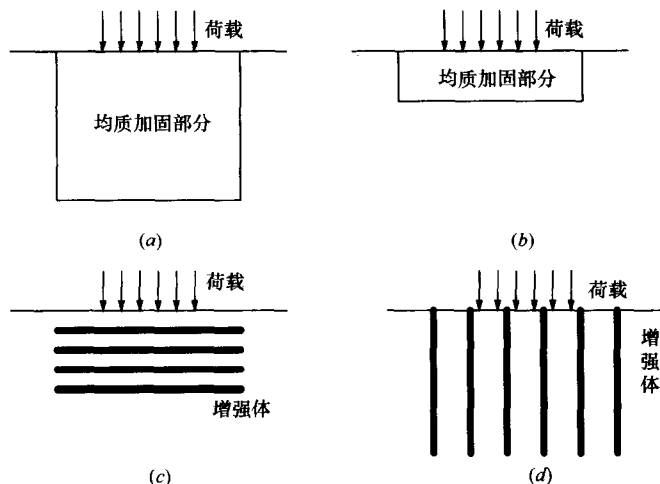


图 1-1 人工地基的分类

(a) 均质人工地基；(b) 双层地基；(c) 水平向增强体
复合地基；(d) 竖向增强体复合地基

人工地基中的双层地基是指天然地基经地基处理形成的均质加固区的厚度与荷载作用面积或者与其相应持力层和压缩层厚度相比较为较小时，在荷载作用影

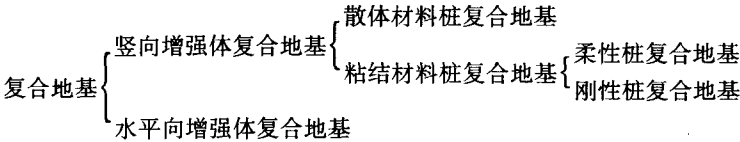
响区内,地基由两层性质相差较大的土体组成。双层地基如图 1-1 (b) 所示。采用换填法或表层压实法处理形成的人工地基,当处理范围较荷载作用面积大时,可归属于双层地基。双层人工地基承载力和变形计算方法与天然双层地基的计算方法基本上相同。

复合地基是指天然地基在地基处理过程中部分土体得到增强,或被置换,或在天然地基中设置加筋材料,加固区是由基体(天然地基土体或被改良的天然地基土体)和增强体两部分组成的人工地基。在荷载作用下,基体和增强体共同承担荷载的作用。根据地基中增强体的方向又可分为水平向增强体复合地基和竖向增强体复合地基。如图 1-1 (c) 和 (d) 所示。

竖向增强体习惯上称为桩,有时也称为柱。竖向增强体复合地基通常称为桩体复合地基。目前在工程中应用的竖向增强体有碎石桩、砂桩、水泥土桩、石灰桩、灰土桩、低强度混凝土桩和钢筋混凝土桩等。根据竖向增强体的性质,桩体复合地基又可分为三类:散体材料桩复合地基、柔性桩复合地基和刚性桩复合地基。散体材料桩复合地基如:碎石桩复合地基、砂桩复合地基等。散体材料桩只有依靠周围土体的围箍作用才能形成桩体,桩体材料本身不能单独形成桩体。对应于散体材料桩,柔性桩和刚性桩也可称为粘结材料桩。视桩体刚度不同将粘结材料桩分为柔性桩和刚性桩两种。也有人将其称为半刚性桩和刚性桩。柔性桩复合地基如水泥土桩复合地基、灰土桩复合地基等。刚性桩复合地基如钢筋混凝土桩复合地基,低强度混凝土桩复合地基等。严格讲,桩体的刚度不仅与材料性质有关,还与桩的长径比有关,应采用桩土相对刚度来描述。详细分析见第 3 章。

水平向增强体复合地基主要指加筋土地基。随着土工合成材料的发展,加筋土地基应用愈来愈多。加筋材料主要是土工织物和土工格栅等。笔者考虑在荷载作用下加筋土地基中筋材与土体的复合作用,故将加筋土地基也纳入复合地基的范畴。

复合地基中增强体方向不同,复合地基性状不同。桩体复合地基中,桩体是由散体材料组成,还是由粘结材料组成,以及粘结材料桩的刚度大小,都将影响复合地基荷载传递性状。根据复合地基工作机理可作下述分类:



若不考虑水平向增强体复合地基,则竖向增强体复合地基可称为桩体复合地基或简称为复合地基。本书主要论述桩体复合地基,对水平向增强体复合地基只作简要介绍。

桩体复合地基有两个基本特点:

(1) 加固区是由基体和增强体两部分组成的,是非均质的,各向异性的;

(2) 在荷载作用下,基体和增强体共同直接承担荷载的作用。

桩体复合地基的第(1)个特征使复合地基区别于均质地基,第(2)个特征使复合地基区别于桩基础。根据传统的桩基理论,桩基础在荷载作用下,上部结构通过基础传来的荷载先传给桩体,然后通过桩侧摩擦力和桩底端承力把荷载传递给地基土体。近年来在摩擦桩基础设计中考虑桩土共同作用,也就是考虑桩和桩间土共同直接承担荷载。因此可将考虑桩土共同作用的摩擦桩基也视为是一种刚性桩复合地基,采用复合地基理论计算。从某种意义上讲,复合地基界于均质地基和桩基之间。关于复合地基与均质地基和桩基础的关系将在第4章中进一步讨论。

前面已经提到人工地基中的均质地基,双层地基和复合地基如图1-1所示。大家知道,严格说来天然地基也不是均质、各向同性的半无限体。天然地基往往是分层的,而且对每一层土,土体的强度和刚度也是随着深度变化的。天然地基需要进行地基处理时,被处理的区域在满足设计要求的前提下应尽可能小,以求较好的经济效果。而且各种地基处理方法在加固地基的原理上又有很大差异。因此,对人工地基进行精确分类是很困难的。然而,上述的分类有利于我们开展对各种人工地基的承载力和变形计算理论的研究。按照上述的思路,常见的各种天然地基和各种人工地基粗略的可分为均质地基(或称为浅基础)、双层地基(或多层地基)、复合地基和桩基础四大类。以往对浅基础和桩基础的承载力和沉降计算理论研究较多,而对双层地基和复合地基的计算理论研究较少。特别是对复合地基承载力和沉降计算理论的研究还很不够。复合地基理论正处于发展之中,许多问题有待进一步认识,应加强研究。

1.3 复合地基的效用

复合地基的形式、组成复合地基增强体的材料、复合地基增强体的施工方法等均对复合地基的效用产生影响。复合地基的效用主要有下述五个方面。对于某一具体的复合地基可能具有以下一种或多种作用。

1. 桩体作用

由于复合地基中桩体的刚度比周围土体的刚度大,在荷载作用下,桩体上产生应力集中现象,在刚性基础下尤其明显,此时桩体上应力远大于桩间土上的应力。桩体承担较多的荷载,桩间土应力相应减小,这就使得复合地基承载力较原地基有所提高,沉降有所减少。随着复合地基中桩体刚度增加,其桩体作用更为明显。通过桩体将荷载传递到更深的土层。

2. 垫层作用

桩与桩间土复合形成的复合地基，在加固深度范围内形成复合土层，它可起到类似垫层的换土效应，减小浅层地基中的附加应力的密度，或者说增大应力扩散角。在桩体没有贯穿整个软弱土层的地基中，垫层的作用尤其明显。

3. 振密、挤密作用

对砂桩、砂石桩、土桩、灰土桩、二灰桩和石灰桩等，在施工过程中由于振动，沉管挤密或振冲挤密、排土等原因，可使桩间土得到一定的密实效果，改善土体物理力学性能。采用生石灰桩，由于其材料具有吸水、发热和膨胀等作用，对桩间土同样可起到挤密作用。

4. 加速固结作用

不少竖向增强体或水平向增强体，如碎石桩、砂桩、土工织物加筋体间的粗粒土等，都具有良好的透水性，是地基中的排水通道。在荷载作用下，地基土体中会产生超孔隙水压力。由于这些排水通道有效地缩短了排水距离，加速了桩间土的排水固结。桩间土排水固结过程中土体抗剪强度得到增长。

5. 加筋作用

形成复合地基不但能够提高地基的承载力，而且可以提高地基的抗滑能力。水平向增强体复合地基的加筋作用更加明显。增强体的设置使复合地基加固区整体抗剪强度提高。在稳定分析中通常采用复合抗剪强度来度量加固区复合土体的强度。加固区往往是荷载持力层的主要部分，加固区复合土体具有较高的抗剪强度，可有效提高地基的稳定性，或者说可有效提高地基承载力。

复合地基的效用应根据不同的地基处理形式，施工方法以及天然地基情况作具体分析。不同的工程地质条件下、不同形式的复合地基具有不同的效用，应具体问题，具体分析。

1.4 复合地基的破坏模式

竖向增强体复合地基和水平向增强体复合地基破坏模式是不同的。这里主要讨论分析竖向增强体复合地基的破坏模式，水平向增强体复合地基的破坏模式将在第8章中讨论。对竖向增强体复合地基，刚性基础下和柔性基础下复合地基的破坏模式也有较大区别。

竖向增强体复合地基的破坏形式首先可以分成下述两种情况：一种是桩间土首先发生破坏进而发生复合地基全面破坏；另一种是桩体首先发生破坏进而发生复合地基全面破坏。在实际工程中，桩间土和桩体同时达到破坏是很难遇到的。在刚性基础下的桩体复合地基，大多数情况下都是桩体先破坏，继而引起复合地基全面破坏。而在路堤下的复合地基，大多数情况下都是土体先破坏，继而引起复合地基全面破坏。