



TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

地基处理与加固

FOUNDATION TREATMENT
AND REINFORCEMENT

主 编 李 静

副主编 杨文东 张 媛



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS



TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

地基处理与加固

主 编 李 静

副主编 杨文东 张 媛



中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

图书在版编目(CIP)数据

地基处理与加固/李静主编. —东营:中国石油
大学出版社,2015.8

ISBN 978-7-5636-4905-1

I. ①地… II. ①李… III. ①地基处理 IV.
①TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 200285 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名:地基处理与加固

主 编:李 静

副 主 编:杨文东 张 媛

责任编辑:秦晓霞(电话 0532—86983567)

封面设计:赵志勇

出 版 者:中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者:沂南县汶凤印刷有限公司

发 行 者:中国石油大学出版社(电话 0532—86981531,86983437)

开 本:185 mm×260 mm 印张:11.5 字数:274 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:23.00 元

前言

随着我国国民经济以及科学技术的迅猛发展,结构物的荷载日益增大,对变形的要求也越来越严,原来一般可评价为良好的地基,在特定条件下却需要进行地基处理。在土木、水利、交通等各类工程中,地基问题常常是引起各类工程事故的主要原因之一。因此,不仅要针对不同的地质条件、不同的结构物选取最合适的基础方案,还要善于选取最恰当的地基处理方法。地基处理的目的是利用换填、夯实、挤密、排水、胶结、化学和加筋等方法对地基土进行加固,用以改造地基土的剪切性、压缩性和特殊地基的特性。

目前国内外的地基处理方法很多,每一种地基处理方法都有它的适用范围和局限性。结合《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)的技术要求,本书详细介绍了土木工程中常用的地基处理方法,阐明了各种地基处理方法的加固机理、设计计算方法、施工工艺以及质量检验方法,每种地基处理方法均附有工程实例。

本书共分为六章,按地基处理的作用机理进行讲述,包括砂(砂石、碎石)垫层、粉煤灰垫层、强夯、碎(砂)石桩、石灰桩、水泥粉煤灰碎石桩、堆载预压、真空预压、高压喷射注浆、水泥土搅拌桩、加筋土挡墙等技术。第一~第四章由李静编写,第五章由杨文东编写,第六章由张媛编写,全书由李静统稿。

本书参考和引用了许多科研机构、高校以及工程单位的研究成果和工程实例,张艳美副教授、井文君讲师为本书的编写提出了许多宝贵意见,硕士研究生韩晨、彭成乐、范作松、王昌、侯江朋协助完成了部分插图的制作以及校对工作,在此一并表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中不当和错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正,我们将不胜感激。

编者

2015年6月

目 录

■ 第1章 绪 论	1
1.1 地基处理的目的和意义	1
1.2 地基处理方法分类及应用范围	2
1.3 地基处理的基本原则	7
1.4 地基处理工程的施工管理与效果检验	8
1.5 地基处理技术国内外发展现状	8
■ 第2章 换填垫层	10
2.1 概 述	10
2.2 压实机理	11
2.3 垫层设计	12
2.4 垫层施工	17
2.5 工程实例	23
■ 第3章 振密、挤密	26
3.1 强夯法	26
3.2 碎(砂)石桩	37
3.3 石灰桩	61
3.4 水泥粉煤灰碎石桩	69
■ 第4章 排水固结	81
4.1 概 述	81
4.2 加固机理	82
4.3 设计与计算	84
4.4 施工方法	97

4.5 质量检验 105

4.6 工程实例 106

■ 第 5 章 | 化学加固法 109

5.1 水泥土搅拌法 109

5.2 高压喷射注浆 129

■ 第 6 章 | 土的加筋 142

6.1 加筋土挡墙 143

6.2 土工合成材料 155

6.3 土钉技术 168

■ 参考文献 178

1.1 地基处理的目的和意义

任何建(构)筑物的荷载最终都将传递给地基,并由地基承担。地基是指承托建筑物基础的那一部分范围很小的场地,即承受由基础传来荷载的土(或岩)层称为地基。位于基础底面下的第一层土层称为持力层,在其以下的土层统称为下卧层。我国地域辽阔,自然地理环境不同,土质各异,地质条件区域性较强,使地基处理成为一门复杂学科。随着我国经济建设的蓬勃发展,除了在地质条件良好的场地从事建设,有时也不得不在地质条件不好的场地进行建设;另外,随着高层建筑的迅猛发展,结构物的荷载日益增大,对变形的要求也越来越严格,因此必须对地基进行处理与加固。

目前地基所面临的问题主要有以下四个方面:

(1) 承载力及稳定性问题。当地基的抗剪强度不足以支承上部结构的自重及外荷载时,地基就会产生局部或整体剪切破坏。

(2) 沉降及不均匀沉降问题。当地基在上部结构的自重及外荷载作用下产生过大的变形时,就会影响结构物的正常使用,特别是超过建(构)筑物所能容许的不均匀沉降时,结构物可能会发生开裂破坏。沉降量过大时,不均匀沉降往往也较大。湿陷性黄土遇水而发生剧烈的变形就属于这一类地基问题。

(3) 地基的渗漏问题。地基的渗透量或水力坡降超过容许值时,会发生较大水量损失,或因潜蚀和管涌使地基失稳而导致建(构)筑物破坏。

(4) 地基的液化问题。地震、机器以及车辆的振动、海浪作用和爆破等动力荷载可能引起地基土,特别是饱和无黏性土的液化、失稳和震陷等危害。这类地基问题也可分别概括于上述稳定和变形问题中,只不过它是由于动力荷载引起的。

在土木工程建筑中,当天然地基存在上述四种问题之一或者其中几个时,就需要采用相应的地基处理措施,以保证建筑物的安全与正常使用。

根据调查统计,世界各国的土木、水利、交通等工程中,地基问题常常是引起各类工程事故的主要原因。地基问题的处理恰当与否,直接关系到整个工程建设质量的可靠性、投资的合理性以及施工进度。因此,地基处理的重要性已经被越来越多的人所认识 and 了解。

地基处理是利用换填、夯实、挤密、排水、胶结、加筋和热学等方法对地基土进行加固,用以改良地基土的工程特性,从而提高地基承载力,减小地基沉降,有时也为了减小地基的渗

透性。地基处理的目的主要表现为以下几个方面:

(1) 提高地基土的抗剪强度。地基的剪切破坏表现为:建(构)筑物的地基承载力不够;偏心荷载及侧向土压力的作用使建(构)筑物失稳;填土或建(构)筑物荷载使邻近的地基土产生隆起;土方开挖时边坡失稳;基坑开挖时坑底隆起。地基的剪切破坏反映了地基土的抗剪强度不足,因此,为了防止剪切破坏,就需要采取一定措施以增加地基土的抗剪强度。

(2) 降低地基的压缩性。地基的压缩性表现为:建(构)筑物的沉降和差异沉降较大,填土或建(构)筑物荷载使地基产生固结沉降;作用于建(构)筑物基础的负摩擦力引起建(构)筑物的沉降;大范围地基的沉降和不均匀沉降;基坑开挖引起邻近地面沉降;由于降水,地基产生固结沉降。地基的压缩性反映在地基土压缩模量指标的大小上。因此,需要采取措施以提高地基土的压缩模量,从而减少地基的沉降或不均匀沉降。

(3) 改善地基土的透水特性。地基的透水特性表现为:堤坝等基础产生的地基渗漏;基坑开挖工程中,因土层内夹薄层粉砂或粉土而产生流砂和管涌。这些都是地下水的运动中所出现的问题。为此,必须采取措施使地基土降低透水性和减少其上的水压力。

(4) 改善地基的动力特性。地基的动力特性表现为:地震时饱和松散粉细砂(包括部分粉土)将产生液化;由于交通荷载或打桩等原因,使邻近地基产生振动下沉。为此,需要采取措施防止地基液化并改善其振动特性,以提高地基的抗震性能。

(5) 改善特殊土的不良地基特性。主要是消除或减弱黄土的湿陷性和膨胀土的胀缩特性等。

天然地基是否需要地基处理取决于地基土的性质和建(构)筑物对地基的要求两个方面。地基处理的对象是软弱地基和特殊土地基。

软弱地基(soft foundation)是指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。

特殊土地基(special ground)的大部分具有地区性特点,具体包括软土、湿陷性黄土、人工填土、膨胀土、有机土和泥炭土、红黏土、冻土、岩溶土和垃圾填埋土等。

1.2 地基处理方法分类及应用范围

灰土垫层基础和短桩处理技术在我国应用历史悠久,可追溯到数千年以前,而大量应用的地基处理技术是伴随现代文明而产生的。现有的地基处理方法很多,新的地基处理方法还在不断发展。地基处理方法可以从地基处理的原理、地基处理的目的、地基处理的性质、地基处理的时效和动机等不同角度进行分类。这里仅根据地基处理的作用机理进行分类如下。

1.2.1 换填垫层法

换填垫层法的基本原理是挖除浅层软弱土或不良土,分层碾压或夯实换填材料。垫层按换填的材料可分为砂(或砂石)垫层、碎石垫层、粉煤灰垫层、干渣垫层、土(灰土)垫层等。干渣分为分级干渣、混合干渣和原状干渣;粉煤灰分为湿排灰和调湿灰。换填垫层法可提高持力层的承载力,减少沉降量;消除或部分消除土的湿陷性和胀缩性;防止土的冻胀作用及

改善土的抗液化性。常用机械碾压、平板振动和重锤夯实方法进行施工。该法常用于基坑面积宽大和开挖土方较大的回填土方工程。一般适用于处理浅层软弱土层(淤泥质土、松散素填土、杂填土、浜填土,以及已完成自重固结的冲填土等)与低洼区域的填筑,处理深度一般为2~3 m,还适用于处理浅层非饱和和软弱土层、湿陷性黄土、膨胀土、季节性冻土、素填土和杂填土。

1.2.2 置换法

置换法的基本原理是以砂、碎石等材料置换软土,与未加固部分形成复合地基,达到提高地基强度的目的。

(1) 振冲置换法(或称碎石桩法)。

振冲置换法是利用一种单向或双向振动的振冲器,在黏性土中边喷高压水流边下沉成孔,然后边填入碎石边振实,形成碎石桩。桩体和原来的黏性土构成复合地基,从而达到提高地基承载力和减小沉降的目的。该法适用于地基土的不排水抗剪强度大于20 kPa的淤泥、淤泥质土、砂土、粉土、黏性土和人工填土等地基。对不排水抗剪强度小于20 kPa的软黏土地基,采用碎石桩时须慎重。

(2) 石灰桩法。

通过机械或人工成孔的方法,在软弱地基中填入生石灰(或生石灰与其他活性掺合料粉煤灰、煤渣等),通过生石灰的吸水、膨胀、放热以及离子交换作用改善桩间土的物理力学性质,使桩体与土形成复合地基,从而提高地基承载力,减少沉降。该法适用于软黏性土地基和杂填土。

(3) 强夯置换法。

对厚度小于7 m的软弱土层,边强夯边填碎石,形成深度3~7 m、直径2 m左右的碎石墩体,碎石墩与周围土体形成复合地基以提高承载力,减小沉降。该法适用于软黏土地基和粉砂土地基等。

(4) 换土垫层法。

将软弱土或不良土开挖至一定深度,回填抗剪强度较高、压缩性较小的岩土材料,如砂、砾、石渣等,并分层夯实,形成双层地基,提高地基承载力、减小沉降。该法适用于各种软弱地基。

(5) 挤淤置换法。

通过抛石或夯击回填碎石置换淤泥达到加固地基的目的,也有采用爆破挤淤置换的。该法适用于淤泥或淤泥质黏土地基。

(6) 褥垫法。

当建(构)筑物地基的一部分压缩性小,一部分压缩性大时,为避免不均匀沉降,在压缩性较小的区域,通过换填法铺设一定厚度可压缩性土料形成褥垫层,以减小沉降差。该法适用于建(构)筑物部分坐落在土上,部分坐落在基岩上,以及类似情况。

1.2.3 振密、挤密法

振密、挤密法的原理是采用振动或挤密的方法使未饱和土密实,使地基土体孔隙比减

小,达到提高地基承载力和减小沉降的目的。

(1) 土桩、灰土桩法。

采用沉管法、爆扩法和冲击法在地基中设置土桩或灰土桩,在成桩过程中挤密桩间土,由挤密的桩间土和密实的土桩或灰土桩形成土(或灰土)桩复合地基,以提高地基承载力和减小沉降,有时也为了消除湿陷性黄土的湿陷性。该法适用于位于地下水位以上的湿陷性黄土、杂填土和素填土等地基。

(2) 夯实水泥桩法。

在地基中人工挖孔,然后填入水泥与土的混合物,外层夯实,形成水泥土桩复合地基,提高承载力和减小沉降。该法适用于地下水位以上的湿陷性黄土、杂填土和素填土等地基。

(3) 柱锤冲扩桩法。

在地基中采用直径 300~500 mm,长 2~5 m,质量 1~8 t 的柱状锤,将地基土层冲击成孔,然后将拌合好的填料分层填入桩孔夯实,形成柱锤冲扩桩复合地基,以提高地基承载力和减小沉降。该法适用于地下水位以上的湿陷性黄土、杂填土和素填土等地基。

(4) 孔内夯扩法。

根据工程地质条件,采用人工挖孔、螺旋钻成孔或振动沉管等方法在地基成孔,回填灰土、水泥土、矿渣土、碎石等填料,在孔内夯实填料并挤密桩间土,由桩间土和夯实的填料形成复合地基,以达到提高承载力、减小沉降的目的。

(5) 爆破法。

利用爆破产生振动使土体产生液化和变形,从而获得较大的密实度,提高地基承载力和减小沉降量。该法适用于饱和净砂、非饱和但经灌水饱和的砂、粉土和湿陷性黄土。

(6) 重锤夯实法。

利用重锤自由下落时的冲击能来击实浅层土,使其表面形成一层较为均匀的硬壳层。该法适用于无黏性土、杂填土、非饱和黏性土及湿陷性黄土。

(7) 表层密实法。

采用人工(或机械)夯实、机械碾压(或振动)对填土、湿陷性黄土、松散无黏性土等软弱或原来比较疏松的表层土进行压实,也可采用分层回填方法压实加固。该法适用于含水量接近于最佳含水量的浅层疏松黏性土、松散砂性土、湿陷性黄土及杂填土等。

1.2.4 排水固结法

排水固结的基本原理是软黏土地基在荷载作用下,土中孔隙水慢慢排出,孔隙比减小,地基发生固结变形。同时,随着超静水压力逐渐消散,土的有效应力增大,地基土的强度逐步增大,以达到提高地基承载力、减少工后沉降的目的。排水固结法主要包括以下几种:

(1) 堆载预压法。

在建造建(构)筑物以前,通过临时堆填土石等方法对地基加载预压,预先完成部分或大部分地基沉降,并通过地基土固结提高地基承载力,然后撤除荷载,再建造建(构)筑物。临时的预压堆载一般等于建(构)筑物的荷载,但为了减小由于次固结而产生的沉降,预压荷载也可大于建(构)筑物荷载,称为超载预压。该法适用于软黏土、杂填土和泥炭土地基等。

(2) 真空预压法。

在黏性土层上铺设砂垫层,然后用薄膜密封砂垫层,用真空泵对砂垫层及砂井抽气和抽

水,使地下水位降低,同时在大气压力作用下加速地基固结。该法适用于能在加固区形成稳定负压边界条件的软土地基。

(3) 砂井法(包括袋装砂井、塑料排水带等)。

在软黏土地基中,设置一系列砂井,在砂井之上铺设砂垫层或砂沟,人为地增加土层固结排水通道,缩短排水距离,从而加速固结,并加速强度增长。砂井法通常辅以堆载预压,称为砂井堆载预压法。该法适用于透水性低的软弱黏性土,但不适用于泥炭土等含有机质沉积物的土层。

(4) 降低地下水位法。

降低地下水位虽然不能改变地基中的总应力,但能减少孔隙水压力,使有效应力增大,促进地基固结。该法适用于砂性土或透水性较好的软黏土层。

(5) 电渗法。

在地基中形成直流电场,在电场作用下,地基土体产生排水固结,达到提高地基承载力、减小工后沉降的目的。该法适用于饱和软黏土地基。

1.2.5 胶结法

胶结法的基本原理是在软弱地基中部分土体内掺入水泥、水泥砂浆以及石灰等固化物,形成加固体,与未加固部分形成复合地基,以提高地基承载力和减小沉降。主要有以下几种方法:

(1) 深层搅拌法。

用深层搅拌机将水泥浆或水泥粉和地基土原位搅拌形成圆柱状、格栅状或连续墙水泥土增强体,形成复合地基以提高地基承载力,减小沉降,也常用它形成水泥土防渗帷幕。深层搅拌法分喷浆搅拌法和喷粉搅拌法两种。该法适用于淤泥、淤泥质土、黏性土和粉土等软土地基,有机质含量较高时应通过试验确定其适用性。

(2) 高压喷射注浆法。

此法过去称为旋喷桩。先利用钻机把带有喷嘴的注浆管钻入土中预定位置,以高压喷射直接冲击破坏土体,使水泥浆液或其他浆液与土拌和,凝固后成为拌和桩体。在软弱地基中设置这种柱体群,形成复合地基或挡土结构。该法适用于黏性土、冲填土、粉细砂和砂砾石等各种地基。

(3) 灌浆法。

灌浆法是用压力泵把水泥或其他化学浆液灌入土体,以达到提高地基承载力、减小沉降、防渗、堵漏等目的。该法适用于处理岩基、砂土、粉土、淤泥质土、粉质黏土、黏土和一般人工填土,也可加固暗浜和在托换工程中应用。

1.2.6 加筋法

加筋法是在地基中设置强度高的土工聚合物、拉筋、受力杆件等模量大的筋材,以达到提高地基承载力、减少沉降的目的。强度高、模量大的筋材可以是钢筋混凝土,也可以是土工格栅、土工织物等。它主要包括以下几类:

(1) 土工合成材料。

利用土工合成材料的高强度、高韧性等力学性能,扩散土中应力,增大土体的抗拉强度,改善土体或构成加筋土以及各种复合土工结构。该法适用于砂土、黏性土和填土,或用作反滤、排水和隔离材料。

(2) 加筋土。

把抗拉能力很强的拉筋埋置在土层中,通过土颗粒和拉筋之间的摩擦力使拉筋和土体形成一个整体,用以提高土体的稳定性。该法适用于人工填土的路堤和挡墙结构。

(3) 土钉墙法。

通常采用钻孔、插筋、注浆在土层中设置土钉,也可直接将杆件插入土层中,通过土钉和土形成加筋土挡墙以维持和提高土坡稳定性。该法适用于开挖支护和天然边坡的加固。

(4) 锚杆支护法。

锚杆通常由锚固段、非锚固段和锚头三部分组成。锚固段处于稳定土层,可对锚杆施加预应力,用于维持边坡稳定。该法适用于需要将拉力传递到稳定土体中的工程,在软黏土地基中慎用。

(5) 树根桩法。

该法是在地基中沿不同方向,设置直径为 70~250 mm 的小直径桩,可以是竖直桩,也可以是斜桩,形成如树根状的群桩,以支撑结构物,或用以挡土,稳定边坡。该法适用于软弱黏性土和杂填土地基。

1.2.7 冷热处理法

(1) 冻结法。

冻结法是通过人工冷却,使地基温度降低到孔隙水的冰点以下,使之冷却,从而具有理想的截水性能和较高的承载能力。该法适用于饱和的砂土或软黏土地层中的临时处理。

(2) 烧结法。

烧结法是通过渗入压缩的热空气和燃烧物,并依靠热传导,将细颗粒土加热到 100℃ 以上,从而增加土的强度,减小变形。该法适用于非饱和黏性土、粉土和湿陷性黄土。

1.2.8 纠倾与迁移

(1) 加载纠倾法。

通过堆载或其他加载形式使沉降较小的一侧产生沉降,使不均匀沉降减小,以达到纠倾目的。该法适用于深厚软土地基。

(2) 掏土纠倾法。

在建筑物沉降较小部位以下的地基中或在其附近的外侧地基中掏取部分土体,迫使沉降较小的部分进一步产生沉降以达到纠倾的目的。该法适用于各类不良地基。

(3) 顶升纠倾法。

在墙体中设置顶升梁,通过千斤顶顶升整栋建筑物,不仅可以调整不均匀沉降,还可整体顶升至要求标高。该法适用于各类不良地基。

(4) 综合纠倾法。

将加固地基与纠倾结合,或将几种方法综合应用。如综合应用静压锚杆法和顶升法、静压锚杆法和掏土法。该法适用于各类不良地基。

(5) 迁移。

将整栋建筑物与原地基基础分离,通过顶推或牵拉移到新的位置。该法适用于需要迁移的建筑物。

应该指出的是,对地基处理方法进行严格的分类是十分困难的。不少地基处理方法同时具有几种不同的作用。例如,碎石桩具有置换、挤密、排水和加筋等多重作用;石灰桩具有挤密土体又吸水的作用,吸水后又进一步挤密土体等。此外,还有一些地基处理方法的加固机理和计算方法目前尚不十分明确,有待进一步探讨。

1.3 地基处理的基本原则

地基处理的核心是处理方法的正确选择与实施。选用地基处理方法要力求做到安全适用、经济合理、技术先进、确保质量,但是每种方法都有它的适用范围、局限性和优缺点,没有一种方法是万能的。工程地质条件千变万化,各工况对地基的要求也不同,而且机具、材料等条件也会因地区不同而有较大的差别。因此,对每一个工程都要进行具体、细致的分析,在引用某一方法时应克服盲目性,在选择处理方法时需要综合考虑各种影响因素,如建(构)筑物的体型、刚度、结构受力体系、建筑材料和使用要求,荷载大小、分布和种类,基础类型、布置和埋深,基底压力、天然地基承载力、稳定安全系数、变形容许值,地基土的类别、加固深度、上部结构要求、周围环境条件,材料来源、施工工期、施工队伍技术素质与施工技术条件、设备状况和经济指标等。对地基条件复杂、需要应用多种处理方法的重大项目,还要详细调查施工区内地形及地质成因、地基成层状况、软弱土层厚度、不均匀性和分布范围、持力层位置及状况、地下水情况及地基土的物理和力学性质;施工中需考虑对场地及邻近建(构)筑物可能产生的影响、占地大小、工期及用料等;另外,要注意保护环境,避免水污染和噪音污染。只有综合分析上述因素,坚持技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的原则拟订处理方案,才能获得最佳的处理效果。

地基处理方案的选择和确定可根据下列步骤进行。

(1) 收集详细的岩土工程勘察资料、上部结构及基础设计资料。它包括:建筑物场地所处的地形及地质成因、地基成层情况,软弱土层厚度、不均匀性和分布范围,持力层位置的状况,地下水情况及地基土的物理力学性质等。

(2) 根据建筑物结构类型、荷载大小及使用要求,结合地形地貌、地层结构、土质条件、地下水特征、环境情况和对相邻建筑物的影响等因素,初步选出几种可供考虑的地基处理方法。

在选择地基处理方法时,应该同时考虑上部结构、基础和地基的共同作用,也可选用加强结构措施(如设置圈梁和沉降缝等)和处理地基相结合的方案。

(3) 在因地制宜的前提下,对提出的多种地基处理方案进行技术、经济、进度等方面的比较分析,并考虑环境保护要求,确定采用一种或几种地基处理方法,这也是地基处理方案

的优化。

值得注意的是,每一种地基处理方法都有一定的适用范围、局限性和优缺点,没有哪一种地基处理方法是万能的,必要时可以选择两种或多种地基处理方法组成的联合方法。

(4) 对初步确定的地基处理方案,根据需要决定是否进行小型现场试验或进行补充调查;然后进行施工设计,再进行地基处理施工,施工过程中要进行监测、检测,如有需要还应进行反分析,根据情况可对设计进行修改、补充。

1.4 地基处理工程的施工管理与效果检验

地基处理的施工技术,可以体现处理设计的意图。应该引起注意的是:有时设计人员虽然采用了较好的地基处理方法,但由于施工管理不善,如施工时对黏性土结构的扰动,或者由于机械行走的路线不太合理,使地基加固出现不均匀等情况,也就丧失了采用良好地基处理方法的优越性。因此,必须在施工中和施工后加强管理和检验。需要注意以下几点:

(1) 在地基处理施工过程中,只让现场人员了解如何施工是不够的,还必须使他们很好地了解所采用的地基处理方法的加固原理、技术标准和质量要求;经常进行施工质量和处理效果的检验,使施工符合规范要求,以保证施工质量。在地基处理施工中,应该严格掌握处理方法的各个环节的质量标准要求,如换土垫层法,填土压实时要达到最大干重度和最优含水量的要求,堆载预压的填土速率和边桩位移的控制,碎石桩的填料量、密实电流和留振时间的控制等等。

(2) 地基处理的施工要尽量提早安排,因为地基加固后的强度提高往往需要一定时间,大部分地基处理方法的加固效果并不是在施工结束后马上就能全部发挥出来,而是需要在施工完成后经过一段时间才能逐步达到加固地基的效果。地基加固后有一个时效作用,随着时间的延长,加固后的地基强度会逐渐增长,变形模量也会提高。因此,可以通过调整地基处理的施工速度来确保地基的稳定性和安全度。

(3) 在地基处理施工前、施工中和施工后,均须对被加固的地基进行现场测试,以便及时了解地基土加固效果,修正设计方案,调整施工进度。有时为了获得某些施工参数,还必须于施工前在现场进行地基处理的原位试验。有时在地基加固前,为了保证邻近建(构)筑物的安全,还要对邻近建(构)筑物或地下设施进行沉降和裂缝等监测。

1.5 地基处理技术国内外发展现状

早在 2000 多年前,人们就开始通过向软土中夯入碎石等材料来挤密软土,由此可见,我国地基处理有着悠久历史。随着地基处理工程实践的发展,人们在改造土的工程性质的同时,不断丰富了对土的特性的认识,从而进一步推动了地基处理技术和方法的更新,因而使其成为岩土工程领域中一个具有非常强的生命力的分支。

多年来,国外在地基处理技术方面的发展十分迅速,老方法得到改进,新方法不断涌现。在 20 世纪 60 年代中期,从如何提高土的抗拉强度这一思路中发展了土的“加筋法”;从如何

有利于土的排水和加速固结这一基本观点出发,采用了土工聚合物、砂井预压和塑料排水板等材料和工艺对地基土进行排水固结处理;从对深层地基土如何进行密实处理这一角度考虑采用加大击实功的措施,发展了“强夯法”和“振动水冲法”等。另外,现代工业的发展为地基工程提供了强有力的生产手段,能制造出重达几十吨的专用地基加固施工机械(采用强夯法时的起重机械);潜水电机的出现使振动水冲法的振冲器施工机械也随之产生;真空泵的问世使真空预压法可以实现;大于 200 atm 的空气压缩机的产生使“高压喷射注浆法”随之产生。

近 20 年来,我国的地基处理技术的发展主要体现在三个方面:

- (1) 地基处理技术得到普及和提高。
- (2) 地基处理队伍不断壮大。
- (3) 地基处理理论不断发展。

目前地基处理已成为土力学与岩土工程领域的一个主要分支学科,国际土力学与岩土工程协会下设专门的地基处理学术委员会。中国土力学与岩土工程学会于 1984 年成立了地基处理学术委员会,1986—2014 年已召开了 13 届全国地基处理学术讨论会。1988 年编著出版了《地基处理手册》,其后,又于 2000 年和 2008 年修订出版了该手册的第二、第三版。1990 年《地基处理》杂志创刊,提供了推广和交流地基处理新技术的园地。1991 年建设部发布了《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—1991),2012 年又修订出版了《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)。1997 年交通运输部发布了《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(JTJ 017—1996),2013 年又发布了《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02—2013),对公路工程中软土地基处理设计与施工起到了重要指导作用。

总之,地基处理已成为土木工程建设中的热点之一,已得到勘察、设计、施工、监理、教学、科研和管理部门的重视。地基处理技术的进步已产生了巨大的经济效益和社会效益,我国的地基处理技术总体上已处于国际先进水平。

地基处理领域是土木工程中最为活跃的领域之一,非常具有挑战性。复杂的地基以及现代土木工程对地基日益严格的要求,给广大的土木工程师,特别是岩土工程师提出了一个又一个新课题,这将极大地促进地基处理技术的发展。

第 2 章

换填垫层

2.1 概 述

当建筑物的地基土为软弱土或湿陷性土、膨胀土、冻土等不能满足上部结构对地基强度和变形的要求,而软土层的厚度又不很大(如不大于 3 m)时,常采用换填垫层法处理,与其他地基处理方法相比,此法能取得良好的经济效益。

换填垫层法又称开挖置换法、换土垫层法,简称换填法、换土法、垫层法等。该法是将基础下的软弱土、湿陷性土、膨胀土、冻土等的一部分或全部挖去,然后换填密度大、强度高、水稳性好的砂土、碎石土、灰土素土、矿渣以及其他性能稳定、无侵蚀性的材料,并分层振(压)实至要求的密度。其加固机理是根据土中附加应力分布规律,让垫层承受上部较大的应力,软弱层承担较小的应力,以满足设计对地基的要求。

根据换填的材料不同,垫层可分为砂石(砂砾、碎卵石)垫层、土(素土、灰土、二灰土)垫层、粉煤灰垫层、矿渣垫层、加筋砂石垫层等。

换填垫层法适用于淤泥、淤泥质土、湿陷性黄土、素填土、杂填土地基及暗沟、暗塘等浅层软弱地基及不均匀地基的处理。在用于消除黄土湿陷性时,还应符合国家现行标准《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004)中的有关规定。在采用大面积填土作为建筑地基时,应符合国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)的有关规定。换填时应根据建筑体型、结构特点、荷载性质和地质条件,并结合施工机械设备与当地材料来源等综合分析,进行换填垫层的设计,选择换填材料和夯压施工方法。

换土垫层与原土相比,具有承载力高、刚度大、变形小的优点。砂石垫层还可以提高地基排水固结速度,防止季节性冻土的冻胀,消除膨胀土地基的胀缩性及湿陷性土层的湿陷性,还可用于暗浜和暗沟的建筑场地。另外,灰土垫层还具有促使其下土层含水量的均衡转移的功能,从而减小土层的差异。在不同的工程中,垫层所起的作用也不同。一般房屋建筑基础下的砂垫层主要起换土作用,而在路堤或土坝等工程中,砂垫层主要是起排水固结作用。换土垫层视工程具体情况而异,软弱土层较薄时,常采用全部换填;若土层较厚时,可采用部分换填,并允许有一定程度的沉降及变形。

垫层的设计与施工应根据上部建筑物的结构特点、荷载特性、基础形式及埋深、场地土质、地下水条件和当地施工队伍的技术装备、施工经验、材料来源以及工程造价等技术、经济分析论证后确定。

工程实践表明,在合适的条件下,采用换填垫层法能有效地解决中小型工程的地基处理问题。本法的优点是:可就地取材,施工方便,不需特殊的机械设备,既能缩短工期,又能降低造价。因此,换填垫层法得到较为普遍的应用。

2.2 压实机理

土的压实机理就是当黏性土的土样含水量较小时,粒间引力较大,在一定的外部压实功能作用下,如不能有效地克服引力而使土粒相对移动,这时压实效果就比较差;当增大土样含水量时,结合水膜逐渐增厚,减小引力,土粒在相同压实功能条件下易于移动而挤密,所以压实效果较好;但当土样含水量增大到一定程度后,孔隙中就出现了自由水,结合水膜的扩大作用不再显著,因而引力的减小也不显著,此时自由水填充在孔隙中,从而阻止了土粒移动的作用,所以压实效果又趋下降。

在工程实践中,对垫层碾压质量的检验,要求能获得填土的最大干密度 $\rho_{d \max}$ 。其最大干密度可用室内击实试验确定。在标准的击实方法条件下,对于不同含水量的土样,可得到不同的干密度(ρ_d),从而绘制干密度(ρ_d)和制备含水量(ω)的关系曲线,如图 2-1 所示,在曲线上 ρ_d 的峰值即为最大干密度($\rho_{d \max}$),与之相应的制备含水量为最优含水量(ω_{op})。从图中可看出,理论曲线高于试验曲线。其原因是理论曲线是在假定土中空气被全部排出而孔隙完全被水所占据的条件下导出的,但事实上空气不可能被完全排出,因此实际的干密度就比理论值小。

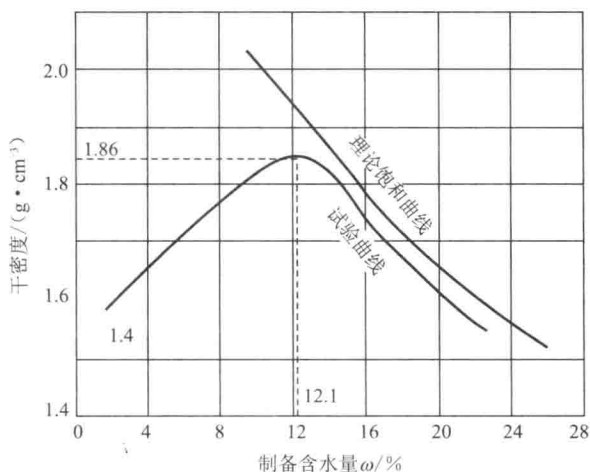


图 2-1 某一土样含水量和干密度关系曲线

相同的压实功能对不同土料的压实效果并不完全相同,黏粒含量较多的土,土粒间的引力就较大,只有在比较大的含水量时,才能达到最大干密度的压实状态。

对于同一种土,用不同的功能击实,得到的击实曲线如图 2-2 所示。曲线表明,在不同的击实功能下,曲线的形状不变,但最大干密度的位置却随着击实功能的增大而增大向左上方移动。这就是说,当击实功能增大时,最优含水量减小,相应最大干密度增大。所以在工程实践中,若土的含水量较小,应选用击实功能较大的机具,才能把土压实至最大干密度;在