

DIJICHULI SHIYONG JISHU

地基处理实用技术

左名麒 刘永超 孟庆文 编著
刘克玲 于文著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

TU472
14

地基处理实用技术

于文著
孟庆文
左名麒
刘克玲
刘永超
编著

中国铁道出版社

2005年·北京

内 容 简 介

本书系统地阐述了国内外常用的地基处理方法及方法适用范围。全书共十章,分别是:绪论,特殊土地基的特性与处理,换土夯实法,排水固结法,挤密桩法(其中含5种不同材料的方法),水泥土搅拌桩法(含干、湿法),低强度混凝土桩法,强夯法及强夯置换法,高压喷射注浆法,灌浆法等。书中针对加固方法论述了各种加固方法原理,设计计算和施工方法,处理效果的检验及质量验收等,便于设计、施工人员参考。

本书可供土建专业和从事岩土工程勘察、设计研究、施工、监理以及其他管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

地基处理实用技术/左名麒等编著. —北京:中国铁道出版社,2005.5

ISBN 7-113-06440-X

I. 地… II. 左… III. 地基处理—技术 IV. TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 039930 号

书 名:地基处理实用技术

著作责任者:左名麒 刘永超 孟庆文 刘克玲 于文著

出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:许士杰 编辑部电话:路(021)73142,市(010)51873142

封面设计:马 利

印 刷:化学工业出版社印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:21 字数:517 千

版 本:2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~1500 册

书 号:ISBN 7-113-06440-X/TU·805

定 价:39.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

发行电话:路(021)73169,市(010)63545969

前 言

我国幅员辽阔,地理条件和土质差别很大,因而给从事岩土工程领域工作的同行们提出了许多新的课题。随着国民经济的发展,我国建筑事业正在蓬勃发展,常常需要在各种复杂的地质条件下建造工程,不仅要事先选择地质条件良好的场地,有时不得不在条件不好的地段进行建设。有时还需要对天然的不良地基进行处理或加固等。各种不良地基需用不同的方法,书中论述了十几种国内外常用的地基处理方法可供参考。

地基加固的目的是指提高软弱地基的强度,保证地基的强度,保证地基的稳定性,降低地基的压缩性,减少基础的沉降尤其是不均匀沉降;提高土质的抗剪强度,防止地基受到震动作用时产生液化现象,消除湿陷性黄土的湿陷性和胀缩性土的胀缩性等。

目前,国内外地基处理方法很多,且在不断发展中。每一种地基处理方法都有其各自的适用范围和一定的局限性,本书就各种方法的适用范围作了论述,供读者参考。

为了更好地为国民经济建设服务,本书针对各种地基处理方法阐明了加固原理、设计计算方法和施工方法、处理效果及检验方法以及方法的适用范围,力求在内容上体现实用性和先进性。在参阅本书发现新旧规范不符之处,请遵守国家或地方现行规范。

全书共分十章,第一章绪论,第二章特殊土地基的特性与处理,第三章换土夯实法,第四章排水固结法,第五章挤密桩法,第六章水泥土搅拌桩法,第七章低强度混凝土桩法,第八章强夯法及强夯置换法,第九章高压喷射注浆法,第十章灌浆法等。

本书由左名麒、刘永超、孟庆文、刘克玲、于文著合作完成。其中,第一、三、四、五、七、八、十章由左名麒、于文著编写。第二章由刘克玲、孟庆文编写。第六、九章由刘永超编写。书稿校对由高延霞、江志安完成。

本书部分书稿及插图的整理由左仲涛、赵军两位同志协助完成,在此表示感谢!

由于作者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2004年9月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 地基、基础的概念	1
第二节 地基处理的目的和意义	2
第三节 地基处理的方法与分类	5
第四节 地基处理方法的设计	9
第五节 地基处理技术的发展	11
第二章 特殊土地基的特性与处理	13
第一节 软 土	13
一、软土的成因类型和工程性质	13
二、软土地基评价	16
第二节 黄 土	18
一、黄土的成因、时代和分布	18
二、湿陷性黄土的基本性质	20
三、新近堆积黄土	24
四、黄土湿陷性评价	25
五、饱和黄土	26
六、黄土地基的承载力	27
七、黄土地基的变形计算	31
八、湿陷性黄土地基处理原则	32
第三节 膨胀岩土	32
一、膨胀岩土的判别及类型	32
二、膨胀土地基上建筑物的变形	35
三、膨胀土地基评价	36
四、膨胀岩土地区的工程措施	38
第四节 冻 土	40
一、冻土的分类	40
二、冻土的物理力学及热学性质	41
三、冻土的工程性质及地基评价	42
四、冻土地基的设计与防冻害措施	44
第五节 填 土	46
一、填土的分类及工程性质	46
二、填土地基的评价	48
三、填土地基的利用、处理与检验	49

第六节 红黏土	50
一、红黏土的形成和分布	50
二、红黏土的工程地质特征	50
三、红黏土的岩土工程评价	53
第七节 盐渍岩土	54
一、盐渍岩土的形成和类型	54
二、盐渍岩土的工程性质	56
三、盐渍岩土的工程评价	57
四、盐渍岩土的地基设计与防护措施	57
第八节 混合土	58
一、混合土的特征和分类	58
二、混合土的评价	59
三、混合土的处理措施	59
第九节 污染土	60
一、污染土对地基的腐蚀作用	60
二、污染土地基的评价	60
三、污染土的防治处理措施	63
第三章 换土夯实法	65
第一节 概 述	65
第二节 换填土、石材料	65
第三节 设计计算	67
一、垫层厚度的确定	67
二、垫层宽度的确定	69
三、垫层承载力的确定	70
四、沉降计算	71
五、垫层设计算例	72
第四节 换填施工工艺	73
一、换填垫层压实方法介绍	73
二、各种垫层的施工	76
三、垫层的施工验收	81
四、垫层施工中常见的质量问题及处理措施	82
第五节 使用范围	82
第四章 排水固结法	84
第一节 概 述	84
第二节 排水固结法原理	85
第三节 设计计算	87
一、排水固结法的理论计算	87
二、排水固结设计	100
第四节 排水固结法施工	109
一、平排水砂垫层施工	109

二、竖向排水体施工	109
三、施加预压荷载	115
四、质量检验	117
第五节 适用范围	117
第五章 挤密桩法	118
第一节 碎石(砂)桩挤密法	118
一、概 述	118
二、加固机理	119
三、设计计算	121
四、施工工艺	132
五、质量检验	148
第二节 土桩及灰土桩挤密法	150
一、概 述	150
二、加固机理	151
三、设计计算	158
四、施工工艺	166
五、质量检验	174
第三节 石灰桩挤密法	178
一、概 述	178
二、加固机理	180
三、设计计算	183
四、施工工艺	188
五、质量检验	194
六、提高石灰桩复合地基承载力的途径	195
第四节 适用范围	197
一、碎石桩和砂桩挤密法	197
二、土桩和灰土桩挤密法	197
三、石灰桩挤密法	197
第六章 水泥土搅拌桩法	198
第一节 概 述	198
一、湿 法	198
二、干 法	198
三、两种方法的差别	199
第二节 原 理	199
一、加固机理	199
二、水泥搅拌桩的加固土的物理力学特性	200
第三节 设计计算	203
一、水泥土桩复合地基的承载力计算	203
二、水泥土复合地基的变形计算	204
第四节 施工工艺	205

一、粉体搅拌桩法(DJM 法)	205
二、水泥浆液搅拌桩法(CDM 法)	208
三、施工质量及加固效果检验	210
四、水泥土桩施工管理软件	216
五、工程实例	218
第五节 适用范围	221
第七章 低强度混凝土桩复合地基法	222
第一节 概 述	222
第二节 加固机理	223
一、桩体的排水作用	224
二、震动挤密作用	224
第三节 设计计算	224
一、桩身材料及配比设计	224
二、复合地基承载力计算	228
三、复合地基沉降计算	230
四、CFG 桩复合地基设计参数	231
第四节 施工工艺	234
一、施工设备	234
二、施工程序	237
三、施工中的有关注意事项	239
四、施工中常见的问题及处理措施	240
五、质量检验	241
第五节 适用范围	242
第八章 强夯法及强夯置换法	243
第一节 概 述	243
第二节 加固机理	244
一、动力密实	244
二、动力固结	245
三、动力置换	246
四、震动波压密理论	247
第三节 强夯法设计	250
一、有效加固深度及范围的确定	251
二、夯击能量的确定	252
三、夯击点布置及间距	254
四、夯击次数和遍数	254
五、两边夯击间歇时间	255
六、垫层铺设	255
第四节 强夯法施工	256
一、施工机具和设备	256
二、夯前试验	259

三、强夯法施工要点	260
四、强夯置换法施工	261
五、质量检验	261
第五节 适用范围	262
第九章 高压喷射注浆法	263
第一节 概 述	263
一、高压喷射注浆法的工艺类型	263
二、高压喷射注浆法的特征及适用范围	264
第二节 加固机理	266
一、高压水喷射流性质	266
二、高压喷射流的种类和构造	266
三、加固地基的机理	268
四、加固土的基本性质	269
第三节 设计计算	271
一、旋喷直径确定	271
二、地基承载力计算	271
三、地基变形计算	272
四、防渗堵水设计	272
五、浆量计算	273
六、浆液材料与配方	273
第四节 施工工艺	277
一、施工机具	277
二、施工顺序	277
三、施工技术要求	279
四、质量保证措施	279
五、质量检验	279
六、旋喷桩止水性能及防渗处理	280
七、型钢旋喷桩做竖向承载桩的应用	282
八、工程实例	282
第五节 适用范围	286
第十章 灌 浆 法	287
第一节 概 述	287
第二节 原 理	287
一、渗透性灌浆原理	288
二、劈裂灌浆原理	289
三、压密灌浆原理	290
四、电动化学灌浆原理	290
第三节 设计计算	292
一、设计程序和内容	292
二、灌浆方案选择	292

三、灌浆标准	293
四、浆材及配方设计原则	295
五、确定扩散半径	296
六、孔位布置	298
七、灌浆压力	299
八、其 他	302
第四节 施工工艺	302
一、灌浆材料	302
二、浆液材料选择要求	311
三、施工方法分类	312
四、注浆施工的机械设备	319
五、灌 浆	319
六、灌浆质量检验	320
第五节 适用范围	321
参考文献	323

第一节 地基、基础的概念

地基是指承托建筑物基础的这一部分范围很小的场地。也就是说承受由基础传来荷载的土层(或岩)称为地基。位于基础底面下第一层称为持力层,在其以下的土层统称为下卧层。

我国土地辽阔、幅员广大、自然地理环境不同,土质各异、地质条件区域性较强,因而使地基基础这门学科特别复杂。随着当前经济建设的蓬勃发展,不仅事先要选择在地质条件良好的场地从事建设,而且有时也不得不在地质条件不好的场地进行建设,为此必须对地基进行地基处理。

建筑物的地基所面临的问题有以下四方面:

1. 地基承载力及稳定性

地基承载力及稳定性是指地基在建(构)筑物荷载(包括静、动荷载的各种组合)作用下能否保持稳定,若地基承载力不能满足要求,在建(构)筑物荷载作用下地基将会产生局部或整体剪切破坏,影响建(构)筑物的安全与正常使用,严重的会引起建(构)筑物的破坏。天然地基承载力主要与土的抗剪强度有关,也与基础型式和埋深有关。天然地基承载力不能满足要求时,需要进行地基处理,形成人工地基,以满足建(构)筑物对地基承载力的要求。

2. 沉降、水平位移及不均匀沉降

在建(构)筑物的荷载(包括静、动荷载的各种组合)作用下,地基沉降或水平位移,或不均匀沉降会超过相应的允许值。若地基变形超过允许值,将会影响建(构)筑物的安全与正常使用,严重的会引起建(构)筑物的破坏。天然地基变形主要与荷载大小和土的变形特性有关,也与基础型式有关。若天然地基变形不能满足要求,则需要进行地基处理,形成人工地基,以满足建(构)筑物对地基变形的要求。

3. 渗漏

渗漏主要分两类:一类是堤坝蓄水构筑物地基渗流量超过其允许值时,其后果是造成较大水量损失;另一类是地基中水力比降超过其允许值时,地基土会潜蚀和管涌产生破坏而导致建(构)筑物破坏造成工程事故。天然地基渗漏问题主要与土的渗透性有关。若天然地基不能满足要求,则需对地基进行改良,减小土的渗透性,或在地基中设置止水帷幕,拦截渗流。

4. 液化

在动荷载(地震、机器以及车辆振动、波浪和爆破等)作用下,会引起饱和松散粉细砂(包括部分粉土)产生液化,它是使土失去抗剪强度近似液体特性的一种现象,并会造成地基失稳和震陷。

基础是具有承上启下的作用。它处于上部结构的荷载及地基反力的相互作用下,承受由此而产生的内力(轴力、剪力和弯矩)。基础是建筑物十分重要的组成部分,没有一个坚固而持久的基础,上部结构就是建造得再结实,也是要出问题的。基础是承受上部结构荷重,并将其传递到下卧土层的结构,它的主要功能有以下几点:

(1)通过扩大的基础底板或桩基础等形式将上部结构传来的荷载,如轴向力、水平力和弯矩等传递到持力层和下卧层上,以满足地基承载力要求。

(2)根据地基可能出现的变形及上部结构特点,利用基础所具有的刚度,与上部结构共同调整基础的不均匀变形,使上部结构不致产生过多的次应力。

(3)当上部结构受到较大的水平力,如风压、水压、土压以及地震力的作用时,采用挡土墙、板桩或锚杆等可起一定的抗滑或抗倾覆作用。

(4)作为震动设备的基础还具有减振的功能。

上部结构的荷重通过基础传至土体后,便继续向土体深部扩散。由于土体是半无限空间体,土中应力随扩散深度而逐渐减少,到某一深度后,由于上部荷载所增加的土中应力甚小,对工程实际已无意义。

基础设计时,除保证基础结构本身具有足够的刚度和强度外,同时还需选择合理的基础尺寸和布置方案,使地基的强度和变形满足规范的要求。因此,基础方案的论证常是地基评价的自然引伸和必然结果,地基和基础的设计往往是不可截然分割的。

凡是基础直接建造在未经过加固的天然土层上时,这种地基称之为天然地基。当天然地基不能满足建(构)筑物对地基稳定、变形以及渗透方面的要求时,则事先要经过人工处理再建造基础,这种地基加固称为地基处理。

第二节 地基处理的目的和意义

在土木工程建设中,当天然地基不能满足建(构)筑物对地基的要求时,需要对天然地基进行地基处理,形成人工地基,以满足建(构)筑物对地基的要求,保证其安全与正常使用。

建筑物的地基问题,主要有以下四个方面:

(1)强度及稳定性问题。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)压缩及不均匀沉降问题。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,会影响结构物的正常使用,特别是超过建筑物所能容许的不均匀沉降时,结构可能开裂破坏。沉降较大时,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也可包括在这一类地基问题中。

(3)地基的渗漏量或水力比降超过容许值时,会发生水量损失,或因潜蚀和管涌而可能导致失事。

(4)地震、机器以及车辆的振动、波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。

当建(构)筑物的天然地基存在以上四类问题之一或其中几个时,即须采用这种或那种地基处理措施以保证建筑物的安全与正常使用。有的可在上部结构上采取一些措施,地基与建(构)筑物的关系极为密切。

地基问题的处理恰当与否,关系到整个工程质量、投资和进度。因此,其重要性已越来越多地被人们所重视。

我国地域辽阔,从沿海到内地,由山区到平原,分布着多种多样的地基土,其抗剪强度、压缩性、以及透水性等,因土的种类不同而可能有很大差别。各种地基土中,不少为软弱土和不良土,主要包括:软黏土、人工填土(包括素填土、杂填土和冲填土)、饱和粉细砂(包括部分轻亚黏土)、湿陷性黄土、有机质土和泥炭土、膨胀土、多年冻土、岩溶、土洞和山区地基等。而我国的新建设工程越来越多地遇到不良地基。因此地基处理的要求也就越来越迫切和广泛。下面分别简单介绍:

1. 软黏土

软黏土是软弱黏性土的简称,有时还简称为软土。它是第四纪后期形成的海相、泻湖相、三角洲相、溺谷相和湖泊相的黏性土沉积物或河流冲积物,有的属于新近淤积物。大部分是饱和的,其天然含水量大于液限,孔隙比大于1.0。当天然孔隙比大于1.5时,称为淤泥,当天然孔隙比大于1.0而小于1.5时,称为淤泥质土。软黏土的特点是天然含水量高,一般为35%~80%,天然孔隙比大,一般为1.0~2.0,抗剪强度低,不排水抗剪强度约在5~25 kPa,压缩系数高,一般为 $\alpha_{1-2} = 0.5 \text{ MPa}^{-1} \sim 1.5 \text{ MPa}^{-1}$,最大可达到 4.5 MPa^{-1} ,渗透系数小,一般约 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 。在荷载作用下,软黏土地基承载力低,地基沉降变形大,不均匀沉降也越大,而且沉降稳定历时比较长,在比较深厚的软黏土层上,结构物基础的沉降往往需要几年,甚至几十年。软黏土地基是在工程建设中遇到最多需要处理的软弱地基,它们广泛地分布在我国沿海以及内地河流两岸和湖泊地区。例如:天津、连云港、上海、杭州、宁波、温州、福州、厦门、湛江、广州、深圳、珠海等沿海地区,以及武汉、南京、马鞍山和昆明等内陆地区。

2. 人工填土地基(包括素填土、杂填土和冲填土)

人工填土按照物质组成和堆填方式可以分为素填土、杂填土和冲填土三类。按堆填时间分为老填土和新填土两类。黏性土堆填时间超过10年,粉土堆填时间超过5年,称为老填土。

素填土:是由磷石、砂或粉土、黏性土等一种或几种材料组成的填土,其中不含杂质或含杂质较少。若分层压实则称为压实填土。其性质取决于填土性质,压实程度以及堆填时间。

杂填土:是人类活动形成的无规则堆积物,由大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾组成,其成分复杂,成层有厚有薄,性质也不相同,且无规律性。在大多数情况下,杂填土是比较疏松和不均匀的。在同一场地的不同位置,地基承载力和压缩性也有较大的差异。

冲填土:是由水力冲填泥砂形成的。冲填土的性质与所冲填泥砂的来源及冲填时的水力条件有密切关系。含黏土颗粒较多的冲填土往往是欠固结的,其强度和压缩性指标都比同类天然沉积土差,粉细砂为主的冲填土,其性质基本上和粉细砂相同。

3. 饱和粉细砂

指饱和的粉砂土、饱和的细砂土和砂质粉土。粒径大于0.25 mm的颗粒不超过全重的50%,粒径大于0.075 mm的颗粒超过全重的85%称为细砂土。粒径大于0.075 mm的颗粒不超过全重的85%,但超过50%称为粉砂土。粒径大于0.075 mm的颗粒不超过全重的50%,而粒径小于0.005 mm的颗粒含量不超过全重的10%,塑性指数 I_p 小于或等于10的称为砂质粉土,处于饱和状态的细砂土、粉砂土和砂质粉土在静载作用下虽然具有较高的强度,但在机器振动、车辆荷载、波浪或地震力的反复作用下有可能产生液化或大量震陷变形。地基会因液化而丧失承载能力。如需要承担动力荷载,这类地基也需要进行处理。

4. 湿陷性土

湿陷性土包括湿陷性黄土、粉砂土和干旱、半干旱地区具有崩解性的碎石土等。是否属湿陷性土可根据野外浸水载荷试验确定。当在200 kPa压力作用下附加变形量与载荷板宽之比大于0.015时称为湿陷性土。在工程建设中遇到较多的是湿陷性黄土。

湿陷性黄土是指在覆盖土层的自重应力或自重应力和建筑物附加应力综合作用下,受水浸湿后,土的结构迅速破坏,并发生显著的附加下沉,其强度迅速降低的黄土。由于黄土湿陷而引起建筑物不均匀沉降是造成黄土地区事故的主要原因。由于大面积地下水位上升等原因,部分湿陷性黄土饱和度达到80%以上,黄土湿陷性消退,转变为低承载力(100 kPa)和高压缩性土。饱和黄土既不同于软土,也不属湿陷性黄土。它兼具两者特性,这类地基的处理问题逐渐增多。黄土在我国特别发育、地层多、厚度大,广泛分布在甘肃、陕西、山西大部分地区,以

及河南、河北、山东、宁夏、辽宁、新疆等部分地区。当黄土作为建筑物地基时,首先判断它是否具有湿陷性,然后才考虑是否需要地基处理以及如何处理。

5. 有机质土和泥炭土

土中有机质含量大于 5% 时称为有机质土,大于 60% 时称为泥炭土。

土中有机质含量高,强度往往降低,压缩性增大,特别是泥炭土,其含水量极高,压缩性很大,且不均匀,一般不宜作为天然地基,需要进行地基处理。

6. 膨胀土

膨胀土是一种吸水膨胀、失水收缩,具有较大胀缩变形性能,且变形往复的高塑性黏土。利用膨胀土作为建(构)筑物地基时,如果没有采取必要措施进行地基处理,常会给建(构)筑物造成危害。膨胀土在我国分布范围很广,根据现有资料,广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、河北、山东、陕西、江苏、贵州和广东等地均有不同范围的分布。

7. 多年冻土

多年冻土是指温度连续三年或三年以上保持在 0℃ 或 0℃ 以下,并含有冰的土层。多年冻土的强度和变形有许多特殊性。例如,冻土中因有冰和未冰水存在,故在长期荷载作用下有强烈的流变性。多年冻土作为建(构)筑物地基需慎重考虑,需要采取处理措施。

8. 岩溶、土洞和山区地基

岩溶或称“喀斯特”,它是石灰岩、白云岩、泥灰岩、大理石、岩盐、石膏等可溶性岩层受水的化学和机械作用而形成的溶洞、溶沟、裂隙、以及由于溶洞的顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等现象和作用的总称。土洞是岩溶地区上覆土层被地下冲蚀或被地下水潜蚀所形成的洞穴。岩溶和土洞对建(构)筑物的影响很大,可能造成地面变形,地基陷落,发生水的渗漏和涌水现象。在岩溶地区修建建筑物时要特别重视岩溶和土洞的影响。

山区地基地质条件比较复杂,主要表现在地基的不均匀性和场地的稳定性两方面。山区基岩表面起伏大,且可能有大块孤石,这些因素常会导致建筑物基础产生不均匀沉降。另外,在山区常有可能遇到滑坡、崩塌和泥石流等不良地质现象,给建(构)筑物造成直接的或潜在的威胁。在山区修建建(构)筑物时要重视地基的稳定性和避免过大的不均匀沉降,必要时需进行地基处理。

改革开放和加入 WTO 以后,更快地促进了国民经济飞速发展,土木工程建设规模日益扩大,要求越来越高,难度也不断加大。土木工程功能化,城市建设立体化,交通高速化和改善综合居住条件成为现代化土木工程的特征。现代化土木工程建设对地基提出了更高要求。随着现代化建设事业的发展,越来越多的土木工程需要天然地基进行处理。

除了在上述各种软弱和不良地基上建(构)筑物时需要考虑地基处理外,当旧房改造、加层,工厂设备更新等造成荷载增大,对原来地基提出更高要求,原地基不能满足新的要求时,或者在开挖深基坑,建造地下铁道等工程中有土体稳定、变形或渗漏问题时,也需要进行地基处理或土质改良。

在现代建设中,土木工程量巨大且面广、投资大、参与的劳动力多,全国东西南北中,到处见工地,土木工程是现代化建设中最活跃的领域之一。土木工程领域中,与上部结构比较,地基不确定因素多、问题复杂、难度大。地基问题处理不好,后果严重。据调查统计,世界各国发生的各种土木工程建设中的工程事故,地基问题常常是主要原因。地基问题处理好,不仅安全可靠而且具有较好的经济效益。需求促进发展、实践发展理论,近些年来我国地基处理技术发展很快,地基处理队伍不断壮大,地基处理水平不断提高,地基处理已成为活跃的土木工程领域中的一个热点。总结国内外地基处理方面的经验教训,推广和发展各种地基处理技术,提高地基处理水平对加快基本建设速度,节约基本建设投资具有特别重要的意义。

第三节 地基处理的方法与分类

当天然地基不能满足建(构)筑物对地基稳定、变形以及渗透方面的要求时,需要对天然地基进行处理,以满足建(构)筑物对地基的要求。地基处理方法,可以按地基处理原理、地基处理的目的、地基处理的性质、地基处理的时效、动机等不同角度进行分类。已经发展的地基处理方法很多,新的地基处理方法还在不断发展。要对各种地基处理方法进行精确的分类是困难的。根据地基处理的原理进行分类。下面据此作简要介绍,具体各种地基处理方法,详见以后各章。

1. 置换

置换是用物理力学性质较好的岩土材料置换天然地基中部分或全部软弱土或不良土,形成双层地基或复合地基,以达到提高地基承载力、减少沉降的目的。它主要包括换土垫层法、挤淤置换法、褥垫法、振冲置换法(或称振冲碎石法)、沉管碎石桩法、强夯置换法、砂桩(置换)法、石灰桩法,以及 EPS 超轻质料填土法等。

2. 排水固结

排水固结的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长。以达到提高地基承载力、减少工后沉降的目的。它主要包括加载预压法、超载预压法、砂井法(包括普通砂井、袋装砂井和塑料排水带法)、真空预压与堆载预压联合作用,以及降低地下水位等。

3. 振密、挤密

振密、挤密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,强度提高,达到提高地基承载力和减小沉降的目的。它主要包括表层原位压实法、强夯法、振冲密实法、挤密砂桩法、爆破挤密法、土桩和灰土桩法。

4. 灌入固化物

灌入固化物是向土体中灌入或拌入水泥,或石灰,或其他化学浆材在地基中形成增强体,以达到地基处理目的。它主要包括深层搅拌法、高压喷射注入法、渗入性灌浆法、劈裂灌浆法、挤密灌浆法和电动化学灌浆法等。

5. 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。它主要包括加筋法、土钉墙法、锚固法、树根桩法、低强度混凝土桩复合地基和钢筋混凝土桩复合地基法等。

6. 冷热处理法

冷热处理是通过人工冷却,使地基温度低到孔隙水的冰点以下,使之冻结,从而具有理想的截水性能和较高的承载能力。或焙烧、加热地基主体改变土体物理力学性质以达到地基处理目的。它主要包括冻结法和烧结法两种。

7. 托换

托换是指对原有建筑物地基和基础进行处理、加固或改建,在原有建筑物基础下需要修建地下工程以及邻近建造新工程而影响到原有建筑物的安全等问题的技术总称。它主要包括基础加宽法、墩式托换法、桩式托换法、地基加固法以及综合加固法等。

8. 纠偏

纠偏是指对由于沉降不均匀造成倾斜的建筑物进行矫正的手段。主要包括加载纠偏法、掏土纠偏法、顶升纠偏法和综合纠偏法等。

各类地基处理方法的简要原理和适用范围如表 1—3—1 所列。

表 1—3—1 地基处理方法分类及其适用范围

类别	方 法	简 要 原 理	适 用 范 围
置 换	换土垫层法	将软弱土或不良土开挖一定深度,回填抗剪强度较大,压缩性较小的土,如砂砾、石渣等,并分层夯、压密实,形成双层地基。垫层能有效扩散基底压力,可提高地基承载力,减少沉降	各种软弱土地基
	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目的	厚度较小的淤泥地基
	褥垫法	当建(构)筑物的地基一部分压缩性很小,而另一部分压缩性较大时,为了避免不均匀沉降,在压缩性很小的区域,通过换填法铺设一定厚度可压缩性的土料形成褥垫,以减少沉降差	建(构)筑物部分坐落在基岩上,部分坐落在土上,以及类似情况
	振冲置换法	利用振冲器在高压水流作用下边振边冲在地基中成孔,在孔内填入碎石、卵石等粗粒料且振密成碎石桩。碎石桩与桩间土形成复合地基,以提高承载力,减小沉降	不排水抗剪强度不小于 20 kPa 的黏性土、粉土、饱和黄土和人工填土等地基
	沉管碎石桩法	采用沉管法在地基中成孔,在孔内填入碎石、卵石等粗粒料形成碎石桩,碎石桩与桩间土形成复合地基,以提高承载力,减小沉降	同上
	强夯置换	边填碎石边强夯地基中形成碎石墩体,由碎石墩、墩间土以及碎石垫层形成复合地基,以提高承载力,减小沉降	人工填土、砂土、黏性土和黄土、淤泥和淤泥质土地基
	砂桩(置换法)	在软黏土地基中设置密实的砂桩,以置换同体积的黏性土形成砂桩复合地基,以提高地基承载力。同时砂桩还可以同砂井一样起排水作用,以加速地基土固结	软黏土地基
	石灰桩法	通过机械或人工成孔,在软弱地基中填入生石灰块或生石灰块加其他掺和料,通过石灰的吸水膨胀,放热以及离子交换作用改善桩土的物理力学性质,并形成石灰桩复合地基,可提高地基承载力,减少沉降	杂填土、软黏土地基
	EPS 超轻质料填土法	发泡聚苯乙烯(EPS)重度只有土的 1/50 ~ 1/100,并具有一定的强度和压缩性能,用于填土料,可有效减少作用在地基上的荷载,需要时也可置换部分地基土,以达到更好效果	软弱地基上的填方工程
排 水 固 结	加载预压法	在建造构筑物以前,天然地基在预压荷载作用下,压密、固结,地基产生变形,地基土强度提高,卸去预压荷载后再建造建(构)筑物,工后沉降小,地基承载力也得到提高,堆载预压有时也利用建筑物自重进行	软黏土、粉土、杂填土、泥炭土地基等
	超载预压法	原理基本上与堆载预压法相同,不同之处是其预压荷载大于建(构)筑物的实际荷载。超载预压不仅可减少建(构)筑物工后固结沉降,还可消除部分工后次固结沉降	同上
	砂井法(含普通砂井、袋装砂井、塑排水带法)	在软黏土地基中设置竖向排水通道—砂井,以缩短土体固结排水距离,加速地基固结。在预荷载作用下,地基土排水固结,抗剪强度提高,可提高地基承载力,减少工后沉降	淤泥、淤泥质土、黏性土、冲填黏性土地基等

续上表

类别	方 法	简 要 原 理	适 用 范 围
排水固结	真空预压法	在饱和软土地基中设置砂井和砂垫层,在其上覆盖不透气密封膜。通过埋设于砂垫层的抽气管进行长时间不断抽气,使垫层和砂井中造成负气压,而使软黏土层排水固结,负气压形成的当量预压荷载可达到85 kPa	同上
	真空预压与堆载联合作用	当真空预压达不到要求的预压荷载时,可与堆载预压联合使用,其预压荷载可叠加计算	同上
	降低地下水位法	通过降低地下水位,改变地基土受力状态其效果如堆载预压,使地基土固结。在基坑开挖支护建(构)筑物设计中可减少建(构)筑物上作用力	砂性土或透水性较好的软黏土层
灌入固化物	深层搅拌法	利用深层搅拌机将水泥或石灰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。深层搅拌法分喷浆搅拌法和喷粉搅拌法两种	淤泥、淤泥质土和含水量较高地基承载力标准值不大于120 kPa的黏性土、粉土或地下水具有侵蚀性时宜通过试验确定其适用性
	高压喷射注浆法	利用钻机将带有喷嘴的注浆管钻进预定位置,然后用20 MPa左右的浆液或水的高压流冲刷土体,用浆液置换部分土体,形成水泥土增强体。高压喷射注浆法有单管法、二重管法、三重管法。在喷射浆液同时通过旋转、提升可形成定喷、摆喷和旋喷。高压喷射注浆法可形成复合地基提高承载力,减少沉降。防渗帷幕也常用它形成	淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、黄土、砂土、人工填土和碎石土等地基,当土中含有较多的大块石或有机质含量较高时,应通过试验确定其适用性
	渗入性灌浆法	在灌浆压力作用下,将浆液灌入土中填充天然孔隙改善土体的物理力学性质	中砂、粗砂、砾石地基
	劈裂灌浆法	在灌浆压力作用下,浆液克服地基土中初始应力和抗拉强度,使地基中原有的孔隙或裂隙扩张,或形成新的裂缝和孔隙,用浆液填充,改善土体的物理力学性质。与渗入性灌浆相比,其所需灌浆压力较高	岩基、砂、沙砾石、黏性土地基
	挤密灌浆法	通过钻孔向土层中压入浓浆液,随着土体压密将在浆液点周围形成浆泡。通过压密和置换改善地基性能。在灌浆过程中因浆液的挤压作用可产生辐射状上抬力,可引起地面局部隆起。利用这一原理可以纠正建筑物不均匀沉降	常用于中砂地基,排水条件较好的黏性土地基
	电动化学灌浆法	当在黏性土中插入金属电极并通以直流电后,在土中引起电渗,电流和离子交换等作用,在通电区含水量降低,从而在土中形成浆液“通道”。若在通电同时向土中灌注化学浆液,就能达到改善土体物理力学性质的目的	黏性土地质
振密、挤密	表层原位压实法	采用人工或机械夯实、碾压或振动,使土密实。密实范围较浅	杂填土、疏松无黏性土、非饱和黏性土、湿陷性黄土等地基的浅层处理
	强夯法	采用重量为10~40t的夯锤从高处自由落下,地基土在强夯的冲击力和振动力作用下密实,可提高地基承载力,减少沉降	碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土,湿陷性黄土、杂填土和素填土等地基
	振冲密实法	一方面依靠振冲器的张力振动使饱和砂层发生液化,砂颗粒重新排列孔隙减小,另一方面依靠振冲器的水平振动力,加回填料使砂层挤密,从而达到提高地基承载力,减少沉降,并提高抗液化能力	黏粒含量小于10%的疏松砂性土地基