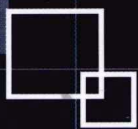


 普通高等教育规划教材



地基处理

陈文化 编 著



人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育规划教材

Foundation Treatment

地基处理

陈文化 编著

人民交通出版社

前言

Foreword

编著本书的主要目的是为土木、交通等相关学科的大学本科、工程硕士或研究生提供一本简明扼要的教材。

本书主要介绍了目前国内常用的地基处理或土质改良技术的方法,全书共分5章。第1章为绪论;第2章重点介绍了置换法、排水固结法、注浆加固法、挤密法、土工合成材料、复合地基、强夯法等常用地基处理方法;第3章重点介绍特殊土的改良和处理技术,如膨胀土、液化土、盐渍土、湿陷性黄土、冻土;第4章介绍了特殊条件下的地基处理技术和特殊环境的地基处理;第5章重点介绍重大工程的地基处理问题,如地铁地基加固施工,高速铁路、高速公路、城市垃圾处理,古代建筑、文物保护和拯救中涉及的地基加固问题等。前3章适合本科生学习,后面主要是一些可讨论的问题,益于研究生思考。

地基处理技术日新月异,应用的领域越来越广,如公路、高速铁路、桥梁、工业与民用建筑、城市地铁、环境保护,城市垃圾处理与填埋。这些行业都为地基处理技术提供了广阔市场和研究平台。因此,国内越来越重视对本科生和研究生进行地基处理方面的教育。但目前突出问题是可选教材很少,且主要适合工民建方向,适用于铁路、公路、桥隧等专业方向的教材较少。

作者从2000年开始为土木工程专业本科生和交通土建两学科的工程硕士开设地基处理课程,期间,铁道部第一设计院、铁三院、隧道工程局、中铁总公司等为本教材提供了大量实例和课题,同时受益于来自一线的设计和施工技术人员的启发,以及作者在几个大型场地(40万 m^2 以上)的地基处理实践,逐渐提高了认识,才完成了本书初稿。

本书大量参考了国内外一些科研成果、著作和教材,同时也体现了作者的研究成果,如:①水下地基处理技术;②爆破法加固地基;③爆夯法;④冷冻法的起源之说;⑤振冲—真空联合预压法;⑥地基隔震(减震)技术;⑦高速铁路的路(地)基问题;⑧防洪中用到反压置换法;⑨地基抗震(尤其抗液化)处理。这些方法无疑是重要的,而且为本书增添了活力和亮点。其中爆夯法、冷冻法起源之说、振冲—真空联合预压法、DDC法、地基隔震(减震)技术、高速铁路的路(地)基问题、防洪中用到的反压置换法、水下地基处理技术,首次一次性在教材中体现也是本书的主要价值所在。

常用的地基处理或土质改良技术方法很多,目前流行的案例作品能直接为学生理解的不多,所以,本书的案例选择和教学十分慎重,采取举一反三的方法,简单明了。

地基处理,既是一门技术,又是一门工艺活动,没有定式,千变万化,但万变不离其宗,同时并不是每种方法都能完全圆其理,因此复杂性和难度是客观存在。地基处理必将随其他学科和技术的发展而不断优化,因此这本书也将随技术的进步而不断完善。紧跟最新发展形式,尤其是西部大开发、青藏铁路、奥运工程,突出体现交通、城市环境保护(防渗、垃圾处理)、地铁和工业民用建筑领域内最新技术和成果,突出交通大学的大土木、大交通、大环境背景下涉及的科研进展和新技术是编写此书的最初想法。

囿于编者水平有限,书中存在不足、问题或错误恳请读者指出,以利于进一步完善。

编者

2011年7月

目录 contents

第1章 绪论	1
1.1 地基处理的概念	1
1.2 特殊土地基	2
1.2.1 软土	2
1.2.2 湿陷性黄土	3
1.2.3 膨胀土	3
1.2.4 季节性冻土和多年冻土	4
1.2.5 冲填土	4
1.2.6 杂填土	4
1.2.7 可液化土	4
1.2.8 红黏土	4
1.2.9 污染和有毒土	4
1.3 地基处理的目的	4
1.4 地基处理方法的分类	5
1.5 地基处理方案的选择和设计原则	8
第2章 常见的地基处理方法	10
2.1 置换法	10
2.1.1 浅层换土法	12
2.1.2 局部深层换土回填	12
2.1.3 减震(振)层	13
2.2 排水固结法	14
2.2.1 堆载预压法	16
2.2.2 真空预压法	17
2.2.3 真空—振动预压法	21
2.3 强夯法	24
2.4 挤密法	31
2.4.1 挤密法处理地基	31
2.4.2 振冲法处理液化地基	41
2.4.3 挤密砂桩作用机理	44
2.4.4 人工夯实和机械压密法	46
2.5 复合地基	46
2.5.1 复合地基的分类	47
2.5.2 复合地基作用机理	49

2.6	土工聚合物	60
2.6.1	土工合成材料	60
2.6.2	加筋土	62
2.6.3	土工聚合物的作用机理	63
2.7	注浆加固法	64
2.7.1	高压注浆法	65
2.7.2	灌浆法	89
2.7.3	深层搅拌法	97
2.8	深地层孔内强夯桩法	102
2.8.1	深层地层的孔内强夯桩法加固机理	103
2.8.2	深层地层的孔内强夯桩法技术特点	106
第3章	特殊土地基处理	109
3.1	湿陷性黄土的处理方法	109
3.1.1	湿陷性黄土的物理和力学特性	110
3.1.2	湿陷性黄土的处理方法	111
3.2	盐渍土分布情况	116
3.2.1	盐渍土物理与力学特点	116
3.2.2	盐渍土地基处理方法	118
3.2.3	植物改良盐渍土	121
3.3	膨胀土地基处理技术	121
3.3.1	膨胀土概述	121
3.3.2	膨胀土的工程和力学特性	122
3.3.3	膨胀土处理	124
3.4	冻土地基处理	133
3.4.1	季节性冻土	134
3.4.2	多年冻土问题	144
3.5	土壤(或地基)液化处理与地基抗震	147
3.5.1	地基抗震的基础资料	149
3.5.2	地基抗震主要问题	151
3.5.3	地基抗震设计与措施	156
3.5.4	地基抗震处理	158
第4章	特殊条件下的地基处理技术	165
4.1	水下地基处理	165
4.1.1	水下挤淤方法	165
4.1.2	挤淤置换法	170
4.2	冷冻法施工	178
4.3	建筑物纠倾技术	183
4.4	托换技术	203
4.5	建筑物移位技术	205
4.5.1	概述	205

4.5.2 既有建筑移位	207
4.6 爆破法加固地基	209
4.6.1 爆破方法加固地基的基本机理	209
4.6.2 爆夯法	209
4.6.3 水下爆破	210
第5章 城市交通、环境和重大工程中的地基处理	217
5.1 地铁地基处理技术	217
5.1.1 车辆段地基处理	217
5.1.2 区间隧道穿过不良土层	217
5.1.3 区间隧道地基处理技术	223
5.1.4 车站地基加固	225
5.1.5 保护既有铁路、公路和地铁	234
5.1.6 联络通道等加固技术	235
5.1.7 盾构穿越已建隧道地基处理技术	235
5.2 南水北调中遇到的地基处理问题	257
5.3 地基处理在环境工程中的应用	263
5.3.1 人类工程活动引起的环境岩土工程问题	263
5.3.2 城市固体垃圾处置	267
5.3.3 最具挑战性的环境岩土工程	268
5.4 高速公路地基处理方法	271
5.4.1 高速公路的发展现状	271
5.4.2 高速公路的特点	272
5.4.3 修建高速公路可能遇到的地基问题	273
5.4.4 高速公路常用的处理方法	274
5.5 高速铁路的路基处理方法	275
5.5.1 高速铁路发展状况	275
5.5.2 运营中的高速铁路路基的特点	275
5.5.3 高速铁路路基处理技术	276
5.6 沙漠中修筑公路、铁路的路基及地基处理技术	277
5.6.1 沙漠中砂层力学与工程特点	277
5.6.2 沙漠中砂层一些病害和工程危害	278
5.6.3 沙漠中修筑公路、铁路常遇到一些难题	278
5.6.4 沙漠中修筑公路、铁路地基处理技术及进展	279
5.7 古代建筑物的地基加固与拯救	283
5.7.1 建筑物的沉降与倾斜问题	283
5.7.2 古代建筑物的地基问题	284
5.7.3 原因分析	284
5.7.4 吸土技术	285
参考文献	287

第 1 章 绪 论

1.1 地基处理的概念

我国地域广大、幅员辽阔,自然地理环境差异较大,土质与岩土条件呈区域性,且赋存规律复杂,由此形成的地基情形差异较大。随着国民经济的发展,适合建筑物的天然、良好的和地质条件简单的场地越来越少,越来越多的建筑物修建在地质和岩土条件较差的地方;另外,随着科学技术的发展,建筑物、结构物形式日新月异,结构物的荷载日益增大;对变形要求也越来越严,因而原来一般可被评价为良好的地基,也可能在特定条件下非进行地基处理不可。所以针对不同的地质条件、不同的结构物选定最合适的基础形式、尺寸和布置方案,同时要掌握地基加固与地基设计技术,选取最恰当的地基处理方法。

场地是不受上部建筑物的附加应力场作用的地层,它不仅代表着所划定的土地范围,还应涉及某种地质现象和工程地质问题所概括的地区,在地质条件复杂的地区,还应包括该面积在内的某个微地貌、地形和地质单元。地基是指承托建筑物基础的这一部分很小的场地。建筑物的地基所面临的一般有以下问题:

①强度和稳定性,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,地基就会产生局部和整体剪切破坏;

②变形,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,会影响结构物的使用功能;当大于建筑物所能容许的不均匀沉降时,结构可能开裂;

③渗漏,由于地下水在运动中会产生水量的损失,或因潜蚀和管涌而可能导致建筑物发生事故;

④液化,在动力荷载作用下,会引起饱和松散粉细砂或部分粉土产生液化,使土体失去抗剪强度呈近似液体特性的现象,从而导致地基失稳和震陷。

基础是指建筑物向地基传递荷载的下部结构。它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共同作用下,承受由此而产生的轴力、剪力和弯矩。另外,基础底面的反力反过来又作为地基上的荷载,使地基土产生应力和变形。

地基处理也称地基加固,是人为改善岩土的工程性质或地基组成,使之适应基础工程需要而采取的措施。经过处理的地基一般称之为人工地基,以便与天然地基相区别。当天然地基很软弱,不能满足地基承载力和变形的设计要求,地基需经过人工处理后,再建造基础者,欧美国家称为地基处理,亦有称地基加固。地基处理的对象主要是软弱地基和特殊土地基,软弱地基指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性土层构成的地基。地基处理方法按其原理和作用可分为碾压及夯实、换填、排水固结、振密挤密、置换及拌入、加筋法及其他方法七类。同一地基处理方法具有多种处理效果,如碎石桩具有置换挤密、排水和加筋的多重作用,石灰桩有挤密、吸水的作用,吸水后进一步密实等。

1.2 特殊土地基

特殊土地基带有地区性特点,它包括软土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土和冻土等地基。

1.2.1 软土

软弱土是指淤泥、淤泥质土和部分冲填土、杂填土及其他高压缩性土。由软弱土组成的地基称为软弱土地基。淤泥和淤泥质土一般是第四纪后期在滨海、湖泊、河滩、三角洲、冰碛等地质环境下沉积形成的,还有部分冲填土和杂填土。这类土的物理特性大部分是饱和的,含有机质,天然含水率大于液限,孔隙比大于1。当天然孔隙比大于1.5时,称为淤泥;天然孔隙比大于1而小于1.5时,则称为淤泥质土。

软土是淤泥和淤泥质土的总称。它是在静水或非常缓慢的流水环境中沉积,经生物化学作用形成。在外荷载作用下地基承载力低、地基变形大,不均匀变形也大,且变形稳定历时较长,在比较深厚的软土层上,建筑物基础的沉降往往持续数年乃至数十年之久。设计时宜利用其上覆较好的土层作为持力层;应考虑上部结构和地基的共同作用;对建筑体型、荷载情况、结构类型和地质条件等进行综合分析,再确定建筑和结构措施及地基处理方法。施工时应注意对软土基槽底面的保护,减少扰动。对荷载差异较大的建筑物,宜先建重、高部分,后建轻、低部分。对活荷载较大,如料仓和油罐等构筑物或构筑物群,使用初期应根据沉降情况控制加载速率,掌握加载间隔时间或调整活荷载分布,避免过大不均匀沉降。

软土的特性是天然含水率高、天然孔隙比大、抗剪强度低、压缩系数高、渗透系数小,并具有结构性,广泛分布于我国东南沿海地区和内陆江河湖泊的周围,是软弱土的主要土类,通称软土,一般具有下列工程特性:

(1) 含水率较高,孔隙比较大

因为软土的成分主要是由黏土粒组和粉土粒组组成,其中黏土粒的矿物晶粒表面带负电荷,它与周围介质的水分和阳离子相互作用并吸附形成水膜,在不同的地质环境中沉积形成各种絮状结构,所以这类土的含水率和孔隙比都比较高,根据统计,一般含水率为35%~80%,孔隙比为1~2。软土的高含水率和大孔隙比不但反映土中的矿物成分与介质相互作用的性质,同时也反映软土的抗剪强度和压缩性的大小,含水率越大,土的抗剪强度越小,压缩性越大。《建筑地基基础设计规范》利用这一特性按含水率确定软土地基的承载力基本值。从软土的天然含水率可以略知其强度和压缩性的大小,欲要改善地基软土的强度和变形特性,首先应考虑采用何种地基处理的方法,降低软土的含水率。

(2) 抗剪强度很低

根据土工试验的结果,我国软土的天然不排水抗剪强度一般小于20kPa,其变化范围约在5~25kPa,有效内摩擦角约为20°~35°,固结不排水剪内摩擦角12°~17°。正常固结的软土层的不排水抗剪强度往往是随距地表深度的增加而增大,每米的增长率约为1~2kPa。在荷载的作用下,如果地基能够排水固结,软土的强度将产生显著的变化,土层的固结速率越快,软土的强度增加越快,加速软土层的固结速率是改善软土强度特性的一项有效途径。

(3) 压缩性较高

一般正常固结的软土层的压缩系数约为0.5~1.5MPa,最大可达到4.5MPa,压缩指数约

为 0.35~0.75。天然状态的软土层大多数属于正常固结状态,但也有部分是属于超固结状态。近代海岸滩涂沉积为欠固结状态,欠固结状态土在荷重作用下产生较大沉降。超固结状态土,当应力未超过先期固结压力时,地基的沉降很小。因此研究软土的变形特性时应注意考虑软土的天然固结状态。先期固结压力和超固结比是表示土层固结状态的一个重要参数,影响土的变形特性和土的强度变化。

(4) 渗透性很小

软土的渗透系数一般约为 $10^{-8} \sim 10^{-6}$ cm/s,所以在荷载作用下渗透性增大,特别是含有水平夹砂层的软土层更为显著,这是改善软土层工程特性的一个有利因素。

(5) 具有明显的结构性

软土一般为絮状结构,尤以海相黏土更为明显。这种土一旦受到扰动(振动、搅拌、挤压等),土的强度显著降低,甚至呈流动状态。土的结构性常用灵敏度表示。我国沿海软土的灵敏度一般为 4~10,属于高灵敏土。因此,在软土层中进行地基处理和基坑开挖,若不注意避免扰动土的结构,就会加剧土体的变形,降低地基土的强度,影响地基处理的效果。

(6) 具有明显的流变性

在荷载的作用下,软土承受剪应力的作用产生缓慢的剪切变形,并可能导致抗剪强度的衰减,在主固结沉降完毕之后还可能继续产生可观的次固结沉降。

根据上述软土的特点,以软土作为建筑物的地基是十分不利的。由于软土的强度很低,天然地基上浅基础的承载力基本值一般为 50~80kPa,这就不能承受较大的建筑物荷载,否则可能出现地基的局部破坏乃至整体滑动;在开挖较深的基坑时,就可能出现基坑的隆起和坑壁的失稳现象。由于软土的压缩性较高,建筑物基础的沉降和不均匀沉降是比较大的,对于一般四层至七层的砌体结构房屋,最终沉降约为 0.2~0.5m,对于荷载较大的构筑物(储罐、粮仓、水池)基础的沉降一般达 0.5m 以上,有些达到 2m 以上。如果建筑物各部位荷载差异较大,体形又比较复杂,那就要产生较大的不均匀沉降。沉降和不均匀沉降过大将引起建筑物基础标高的降低,影响建筑物的使用条件,或者造成倾斜、开裂破坏。由于渗透性很小,固结速率很慢,沉降延续的时间很长,给建筑物内部设备的安装和与外部的连接带来许多困难;同时,软土的强度增长比较缓慢,长期处于软弱状态,影响地基加固的效果。由于软土具有比较高的灵敏度,若在地基施工中产生振动、挤压和搅拌等作用,就可能引起软土结构的破坏,降低软土的强度。因此,在软土地基上建造建筑物,则要求对软土地基进行处理。

1.2.2 湿陷性黄土

天然黄土在上覆土的自重应力作用下,或在上覆土自重应力和附加应力作用下,受水浸湿后土的结构迅速破坏而发生显著附加下沉的黄土,称为湿陷性黄土。由于黄土浸水湿陷而引起建筑物的不均匀沉降是造成黄土地区事故的主要原因,设计时首先要判断是否具有湿陷性,再考虑如何进行地基处理。应根据建筑物的类别,湿陷性黄土的特性、施工条件和当地材料,并经综合技术经济比较确定地基处理方法。

1.2.3 膨胀土

膨胀土是指黏粒成分主要由亲水性黏土矿物组成的黏性土。它是一种吸水膨胀和失水收缩、具有较大的胀缩变形性能,且是变形往复的高塑性黏土。利用膨胀土作为建筑物地基时,

如果不进行地基处理,常会对建筑物造成危害。

1.2.4 季节性冻土和多年冻土

冻土是指在负温条件下,含有冰的各种土。季节性冻土是指该冻土在冬季冻结,而夏季融化的土层。多年冻土是指冻结状态持续三年以上的土层。季节性冻土因其周期性的冻结和融化,因而对地基的不均匀沉降和地基的稳定性影响较大。

1.2.5 冲填土

冲填土是指整治和疏浚江河航道时,用挖泥船通过泥浆泵将泥砂夹大量水分吹到江河两岸而形成的沉积土,南方地区称吹填土。如以黏性土为主的冲填土,因吹到两岸的土中含有大量水分且难于排出而呈流动状态,这类土是属于强度低和压缩性高的欠固结土。如以砂性土或其他粗颗粒土所组成的冲填土,其性质基本上和粉细砂相类似而不属于软弱土范畴。冲填土是否需要处理和采用何种处理方法,取决于冲填土的工程性质中颗粒组成、土层厚度、均匀性和排水固结条件。

1.2.6 杂填土

杂填土是指由人类活动而任意堆填的建筑垃圾、工业废料和生活垃圾。杂填土的成因很不规律,组成的物质杂乱,分布极不均匀,结构松散,因而强度低、压缩性高和均匀性差,一般还具有浸水湿陷性。即使在同一建筑场地的不同位置,其地基承载力和压缩性也有较大差异。对有机质含量较多的生活垃圾和对基础有侵蚀性的工业废料,未经处理不应作为持力层。

1.2.7 可液化土

饱和松散粉细砂包括部分粉土,在动力荷载(机械振动、地震等)重复作用下将产生液化;在基坑开挖时也会产生管涌。

1.2.8 红黏土

红黏土是指石灰岩和白云岩等碳酸盐类岩石在亚热带温湿气候条件下,经风化作用所形成的褐红色黏性土。通常红黏土是较好的地基土,但由于下卧岩面起伏及存在软弱土层,容易引起地基不均匀沉降。

1.2.9 污染和有毒土

由于战争或人为形成的土质被有毒生物、化学物质污染的土,如战场、废弃化学物品仓库。

1.3 地基处理的目的

根据工程情况及地基土质条件或组成的不同,地基处理的主要目的有:

提高土的抗剪强度,使地基保持稳定;

降低土的压缩性,使地基的沉降和不均匀沉降减至允许范围内;

降低土的渗透性或渗流的水力梯度,防止或减少水的渗漏,避免渗流造成地基破坏;

改善土的动力性能,防止地基产生震陷变形或因土的振动液化而丧失稳定性;

消除或减少土的湿陷性或胀缩性引起的地基变形,避免建筑物被破坏或影响其正常使用。

对任一工程来讲,处理目的可能是单一的,也可能需同时在几个方面达到一定要求。地基处理除用于新建工程的软弱和特殊土地基外,也作为事后补救措施用于已建工程地基处理,目的是采取各种地基处理方法以改善地基条件,这些措施包括以下五个方面内容。

(1)改善剪切特性

提高土的抗剪强度,使地基保持稳定。地基的剪切破坏表现在建筑物的地基承载力不够;由于偏心荷载及侧向土压力的作用,使结构物失稳;由于填土或建筑物荷载,使邻近地基产生隆起;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在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增加地基土的抗剪强度。

(2)改善压缩特性

地基的高压缩性表现在:建筑物的沉降和差异沉降大;由于有填土或建筑物荷载,邻近地基产生固结沉降;作用于建筑物基础的负摩擦力所引起的建筑物沉降;大范围地基沉降或不均匀沉降;基坑开挖引起邻近地基沉降;由于降水产生地基固结沉降。地基的压缩性反映在地基土的压缩模量指标的大小。因此,需要采取措施以提高地基土的压缩模量,借以减少地基的沉降或不均匀沉降。另外,防止侧向流动(塑性流动)产生的剪切变形,也是地基处理加固的目的。

(3)改善透水特性

地基的透水性表现在:堤坝等基础产生的地基渗漏;市政开挖工程中,因土层内常夹有薄层粉砂或粉土而产生流砂和管涌。以上都是在地下水的运动中所出现的问题。为此,必须研究需要采取何种地基处理措施使地基土不透水或减小其水压力。

(4)改善动力特性

地基的动力特性表现在:地震时饱和松散粉细砂(包括部分粉土)将会产生液化;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,需要研究采取何种措施防止地基土液化,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

主要是指消除或减少黄土的湿陷性和膨胀土的胀缩性等地基处理的措施。

1.4 地基处理方法的分类

地基处理的历史可追溯到古代,我国劳动人民在地基处理方面有着极其宝贵和丰富的经验,许多现代的地基处理技术都可在古代找到它的雏形。根据历史记载,早在两千年前就已采用了软土中夯入碎石等压密土层的夯实法;灰土和三合土的垫层法,也是我国古代传统的建筑技术之一;我国古代在沿海地区极其软弱的地基上修建海塘时,就是采用每年农闲逐年填筑而成,这就是现代堆载预压法中称为分期填筑的方法,利用前期荷载使地基逐年固结,从而提高土的抗剪强度,以适应下一期荷载的施加。近年来地铁、高速公路、高速铁路、大型体育设施等许多重大的工程和复杂的工程在软弱土地基上兴建,工程实践的要求推动了软弱土地基处理技术的迅速发展,地基处理的途径越来越多,考虑问题的思路日益新颖,老的方法不断改进完善,新的方法不断涌现。

地基处理方法的分类可谓多种多样。如按时间可分为临时处理和永久处理；按处理深度可分为浅层处理和深层处理；按处理土性对象可分为砂性土处理和黏性土处理，饱和土处理和非饱和土处理；也可按照地基处理的作用机理进行分类。按作用机理进行地基处理的分类的方法较为妥当，它体现各种地基处理方法的主要特点。地基处理的基本方法，无非是置换、夯实、挤密、排水、胶结、加筋和冷热等处理方法。这些方法也是千百年以前以至迄今仍然有效的方法。

值得注意的是，严格地按照地基处理的作用机理进行分类也是困难的，很多地基处理的方法具有多种处理的效果。如桩具有置换、挤密、排水和加筋的多重作用；石灰桩又挤密又吸水，吸水后进一步挤密软弱土地基。荷载引起的地基附加应力随深度增大而扩散，直至趋近于零，故地基上部一定深度内的土层为主要受力层。

一般情况下，地基的变形和稳定性主要取决于该深度内土的性质。若地基主要受力层是由软弱土组成，则为软弱地基。所谓软弱土，一般是指淤泥、淤泥质土、松散杂填土、欠固结冲填土以及其他高压缩性土。软弱地基承载力一般较低，沉降和不均匀沉降往往较大。若主要为淤泥、淤泥质土，地基沉降会持续较长时间才能稳定。对冲填土和杂填土，计算沉降时还可能需要考虑其自重下的压密变形。若主要受力层是由湿陷性黄土、膨胀土等性质特殊而对工程不利的土层组成的地基，山区土岩组合地基以及岩溶、土洞地基时，都需要进行地基处理，使其成为可靠的地基持力层。

另外，如地基主要受力层内有粉砂、细砂或塑性指数较小的粉土层，当其处于饱和状态，需要考虑动力荷载时易震陷或液化，也应视之为不良地基。因为在结构物传来的机器振动、车辆荷载或波浪力等动力荷载反复作用下，或受到地震力作用时，处于饱和状态的上述土类有可能产生相当大的震陷变形或液化，导致地基承载能力丧失。

地基处理不当常常是造成各种土木工程事故的主要原因，并与整个工程的质量、投资和进度等密切相关。因此，在建筑物的设计和施工过程中都应予以高度重视。对于新建工程，原则上首先应考虑利用天然地基，对于淤泥和淤泥质土宜利用其上覆较好土层作为地基持力层，当上覆土层较薄，应注意避免施工时对淤泥和淤泥质土的扰动；对于冲填、杂填建筑垃圾和性能稳定的工业废料，当均匀性和密实度较好时，均可利用其作为地基持力层；对于有机质含量较多的生活垃圾和对基础有腐蚀性的工业废料等杂填土，未经处理不宜作为地基持力层。若地基软弱，不能满足要求，则需进行处理。

地基处理方法分类事实已不好准确划分，各方法相互借鉴。同时也没有必要将方法分得过多和过细。地基处理的方法详见表 1-1。

地基处理方法的分类 表 1-1

名 称	分 类
排水固结法	常载预压法
	超载预压法
	真空预压法
	电渗排水法
	降低水位法
	真空—振动联合预压法
	塑料排水带排水法

续上表

名 称	分 类
注浆加固法	深层搅拌法(湿法)
	高层喷射注浆法
	渗入性灌浆
	压密灌浆法
	劈裂灌浆法
	电化学灌浆法
热力学法	热加固法
	冷冻结法
土工聚合物法	加筋土
	土工织物
	树根桩
	锚固法
置换法	粉体喷射法
	碎石桩
	CFG 桩
	钢渣桩
	石灰桩
	二灰桩、褥垫
	强夯置换
	换土回填
	低强度水泥砂石桩
	钢筋混凝土疏桩
	砂桩
挤密法	平板振动法、机械碾压法
	重锤夯实法
	振冲法
	干振碎石桩
	沉管挤密碎石桩
	土桩与灰土桩
	渣土桩
	沉管砂桩
强夯法	强夯法
爆破法	爆破法、爆夯法
联合方法	强夯法与置换,强夯法与桩基,挤密法与置换法,三种以上方法同时使用

1.5 地基处理方案的选择和设计原则

各种地基处理方法,都有各自的特点和作用机理,在不同的土类中产生不同的加固效果和局限性。没有哪一种方法是万能的,具体的工程地质条件是千变万化的,工程对地基的要求也是不相同的,而且材料的来源、施工机具和施工条件也因工程地点的不同又有较大的差别。因此,对于每一工程必须进行综合考虑,通过几种可能采用的地基处理方案的比较,选择一种技术可靠、经济合理、施工可行的方案,既可以是单一的地基处理方法,也可以是多种地基处理方法的综合处理。地基处理的效果能否达到预期的目的,首先有赖于地基处理方案选择的是否得当、各种加固参数设计的是否合理。地基处理方法虽然很多,但任何一种方法都不是万能的、都有其各自的适用范围和优缺点。具体工程条件和要求各不相同,地质条件和环境条件也不相同,此外,施工机械设备、所需的材料也会因提供部门的不同而产生很大差异,施工队伍的技术水平、施工条件和经济指标不同都会对地基处理的最终效果产生很大的影响。

应选择地质及岩土条件良好,满足结构物、建筑物的条件和规模,安全性和重要性要求,不污染环境和不会产生噪声、材料的供给充足、动力与交通便利,成本合理,技术先进,质量、工期有保证的处理方法。一般地说,在选择确定地基处理方案以前,应充分地综合考虑以下几个方面的因素:

①地质及岩土条件:地形,地质,土的物理与力学性质,地下水条件。

②结构物、建筑物的条件:规模、安全性要求,重要性。

③环境条件:气象条件;噪声、振动情况,振动、噪声可能对周围居民或设施的影响;加固过程中对邻近构筑物是否有影响,以及相应的对策;应查明上下水道、煤气、电信电缆管线的位置,以便采取相应的对策;机械作业、材料堆放过程中涉及施工机械作业和大量建筑材料进场堆放。为此,要解决道路与临时场地等问题,电力与供水条件。

④材料的供给情况,材料的供给、动力与交通情况,尽可能地采用当地的材料,以减少运输费用。

⑤机械施工设备和机械条件。在某些地区有无所需的施工设备和施工设备的运营状况,采用何种加固措施的关键。

⑥工程费用的高低。

⑦操作熟练程度。这也是确定经济技术指标的高低,是衡量地基处理方案选择的是否合理的关键指标。在地基处理中,一定要综合比较能满足加固要求的各种地基处理方案,选择技术先进、质量保证、经济合理的方案。

⑧工期要求:应保证地基加固工期不会拖延整个工程的进展;另一方面,用这段时间,使地基加固后的强度得到提高。由于各地基处理问题具有各自独特的情况,所以在选择和设计地基处理方案时,不能简单地依靠以往的经验,也不能完全依靠复杂的理论计算,还应结合工程实际,通过现场试验、检测并分析反馈不断地修正设计参数,尤其是对于较为重要或缺乏经验的工程,施工前,应先利用室内外试验参数按一定方法设计计算,然后利用施工第一阶段的观测结果进行必要调整。

不同地基处理对土质种类的适用范围,如图 1-1 所示。

砾砂	砂	粉土	黏土
振动压实			
振动挤密压实			
渗透注浆(颗粒)			
化学注浆			
		置换注浆	
		堆载预压	
		动力固结	
			电渗排水
		加筋法	
			冷热处理
		转换法	
			浸水预湿

图 1-1 地基处理方法对土壤颗粒的适应

第 2 章 常见的地基处理方法

常见的地基处理方法主要有置换法、排水固结法、注浆加固法、挤密法、土工合成材料、复合地基、强夯法等方法。而且,不同的行业规范、不同的设计、施工、科研人员有时对同一方法叫法不同。同时,桩基无一例外的可以用来处理地基,但它是一门专门技术,这里不予列出。每种方法又分出许多子方法,也不做详细介绍。

2.1 置 换 法

置换法常分为石灰桩、二灰桩、砂桩、褥垫、粉体喷射法、振冲置换碎石桩、CFG 桩、钢渣桩、低强度水泥砂石桩、钢筋混凝土疏桩等方法,见表 2-1。

置 换 法

表 2-1

方 法	加 固 原 理	适 用 范 围
振冲置换碎石桩	利用振冲器或沉桩机,在软弱黏土地基中成孔,再在孔内分批填入碎石等坚硬材料,制成桩体,与原地基土构成复合地基,从而提高地基承载力	不排水剪切强度 $20\sim 50\text{kPa}$ 的饱和软黏土、饱和黄土和冲填土。对不排水剪切强度 $c_u < 20\text{kPa}$ 的地基,应慎重对待。能使天然地基承载力提高 $20\%\sim 60\%$ 左右
CFG 桩	利用振动打桩机沉 $\phi 300\sim 400\text{mm}$ 的桩管,在管内边振边填入碎石、粉煤灰、水泥和水按一定比例的配合材料,形成半刚性桩体,提高地基承载力	淤泥、淤泥质土、杂填土、饱和及非饱和的黏性土、粉土。能使天然地基承载力提高 70% 以上
钢渣桩	用振动打桩成孔灌注工艺将废钢渣分批投入并振密直至成桩,与地基土一起提高地基承载力	淤泥、淤泥质土、饱和及非饱和的黏性土、粉土。适合于七层以下的建筑物
石灰桩	利用打桩机成孔过程中,沉管对土体的挤密作用和新鲜的生石灰成桩时对桩周土体的脱水挤密作用使周围土体固结;同时由于一系列的物理—化学反应、桩身与桩周土硬壳层组成变形模量较大的桩体,以置换部分软土,提高了地基承载力	渗透系数适中的软黏土、杂填土、膨胀土、红黏土、湿陷性黄土。不适合地下水位以下的渗透系数较大的土层。当渗透系数太小时,软土脱水加固效果不好、对浓酸碱侵蚀的土层宜慎重使用。一般适用于七层以下的工业与民用建筑
二灰桩	以部分粉煤灰代替石灰,利用沉桩过程中对土体的挤密作用和离子交换、胶凝、碳化作用,形成较大强度的桩体,以置换部分软土,提高地基承载力	同上。与石灰桩相比,二灰桩的吸水胀发作用较小
强夯置换	利用数吨或数十吨的重锤从数十米的高空落下,在夯出的直壁夯坑中,倒入置换材料,并连续夯击,逐渐形成直径约 2m 的碎石桩体	饱和软黏土,一般适合于 $3\sim 6\text{m}$ 的浅层处理
换土回填	将软弱土层挖除,回填性质较好的材料,分层夯实,形成坚硬的垫层,利用垫层本身的高强度和低压缩性,以及扩展附加应力的性能,减少沉降,提高地基承载力	淤泥、淤泥质土、湿陷性黄土、素填土、杂填土地基及暗沟、暗塘等浅层处理,最大深度为 3m

方 法	加 固 原 理	适 用 范 围
低强度水泥砂石桩	用振动打桩成孔灌注工艺,将以砂石为主、掺入少量水泥、粉煤灰等其他工业废料注入土中,形成低强度的水泥砂石桩,同承担上部荷载	淤泥、淤泥质土、饱和及非饱和的黏性土、杂填土、粉土地基
钢筋混凝土土疏桩	采用较大桩距(一般大于 5~6 倍桩径)布置的钢筋混凝土小直径摩擦群桩,使之与承台底土共同承担上部结构的荷载	淤泥、淤泥质土、饱和及非饱和的黏性土、杂填土
褥垫	在同一建筑中,如遇到软硬相差较大的地基时,在较硬的部分铺设一定厚度的土料,形成具有一定压缩性的垫层,使整个建筑物的变形相适应	一部分为岩石或孤石,另一部分为一般土
砂桩	用水力振冲器或沉桩机成孔,填以砂料,使之置换部分软弱黏土并使土中水分逐步排出而固结,从而提高地基承载力	软弱黏性土。但宜慎重,且需要较长的时间,对不排水剪切强度 $c_u < 15\text{MPa}$ 的软土,应采用袋装砂桩

当软弱土地基的承载力和变形不能满足建筑物要求,而软弱土层厚度又不很大时,可将基础底面下处理范围内的软弱土层部分或全部挖去,然后分层换填强度较大的砂、碎石、素土、灰土、高炉干渣、粉煤灰,或其他性能稳定、无侵蚀性的材料,并压(夯、振)实至要求的密实度为止,这种地基处理方法称为置换法。置换法能提高持力层的地基承载力,减少沉降量,加速排水固结,消除或部分消除土的湿陷性和胀缩性,防止土的冻胀作用,同时,改善土的抗液化性能,是浅层地基处理的一种常用和有效的方法。

置换法适用于淤泥、淤泥质土、湿陷性黄土、素填土、杂填土地基及暗沟、暗塘等的不良地基的浅层处理。换土垫层法是置换法中最常见的一种地基处理方法,按回填材料可分为砂垫层、碎石垫层、素土垫层、灰土垫层等。下面以换土砂垫层法为例介绍置换法一些原理和注意事项,砂垫层的主要作用和作用机理如下。

(1)提高地基承载力

地基中的剪切破坏是从基础底面开始,随着基底压力的增大,逐渐向纵深发展,故用强度较大的砂石等材料代替可能产生剪切破坏的软弱土,就可避免地基的破坏。

(2)减少地基沉降量

一般基础下浅层部分的沉降量在总沉降量中所占的比例较大,若以密实的砂石替换上部软弱土层,就可减少这部分沉降量。以条形基础为例,在相当于基础宽度的深度范围内沉降量约占总沉降量的 50%左右,同时由侧向变形而引起的沉降,理论上也是浅层部分占的比例较大,若以密实的砂代替了浅层软弱土,那么就可以减少大部分的沉降量。此外,砂石垫层对基底压力的扩散作用,使作用在软弱下卧层上的压力减小,也相应地减少软弱下卧层的沉降量。

(3)垫层用透水材料可加速软弱土层的排水固结

透水材料做垫层,为基底下软土提供了良好的排水面,不但可以使基础下面的孔隙水迅速消散,避免地基土的塑性破坏,还可加速垫层下软土层的固结及提高强度,但固结效果仅限于表层,对深部的影响并不显著。垫层设计的主要内容是确定断面的合理宽度和厚度。建筑物的不透水基础直接与软弱土层接触时,在荷载的作用下,软弱土地基中的水被迫绕基础两侧排出,因而使基底下软弱土不易固结,形成较大的孔隙水压力,还可能导致由地基土强度降低而产生塑性破坏的危险。砂垫层提供了基底下的排水面,在各类工程中,砂垫层的作用是不同的