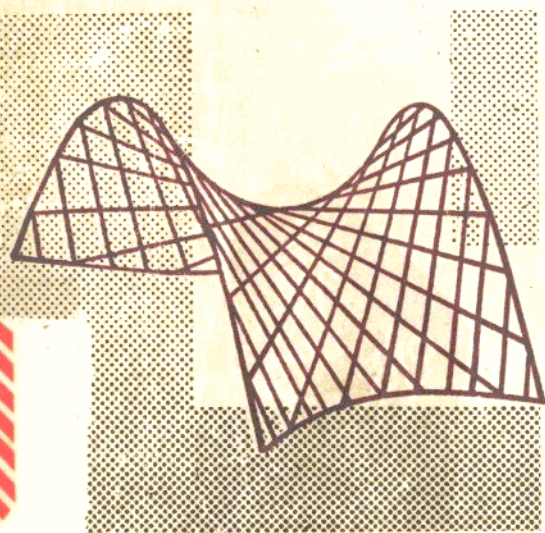


高等学校建筑工程专业系列教材

地基处理

同济大学 叶书麟 编
叶观宝

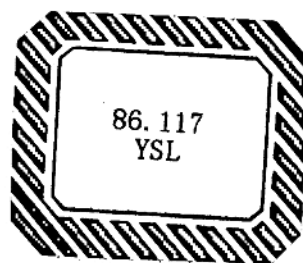
● 中国建筑工业出版社



高等学校建筑工程专业系列教材

地 基 处 理

同济大学 叶书麟 编
叶观宝



中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目(CIP) 数据

地基处理/叶书麟, 叶观宝编. -北京: 中国建筑工业出版社, 1997

高等学校建筑工程专业系列教材

ISBN 7-112-03183-4

I. 地… II. ①叶… ②叶… III. 地基处理-高等学校-教材

N. TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 04286 号

本书详细介绍了当前国内外地基处理的新技术, 如砂(或砂石、碎石)垫层、粉煤灰垫层、干渣垫层、素土(或灰土、双灰)垫层、强夯、碎(砂)石桩、石灰桩、土(或灰土、双灰)桩、水泥粉煤灰碎石桩、堆载预压、真空预压、灌浆、高压喷射注浆、水泥土搅拌桩、加筋土、土工合成材料、土层锚杆和土钉等技术, 并阐明以上各种地基处理方法的加固机理、设计、施工和质量检验等内容。各章末附有各种地基处理方法的典型工程实例, 还附有思考题与习题, 以便复习和自学。

本书可供建筑工程专业学生作教材, 也可供土木工程范围内各专业的勘察、设计、施工技术人员参考。

高等学校建筑工程专业系列教材

地 基 处 理

叶书麟 编
同济大学 叶观宝

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市富生印制厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24³/₄ 字数: 602 千字

1997 年 12 月第一版 1999 年 12 月第二次印刷

印数: 4001 - 7000 册 定价: 30.10 元

ISBN 7-112-03183-4

TU · 2452 (8323)

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)

前言

我国地域辽阔、幅员广大、自然地理环境不同、土质各异、地基条件区域性较强；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地方进行修建，因此就需对天然的软弱地基进行处理。

地基处理的主要目的是指提高软弱地基的强度、保证地基的稳定；降低软弱地基的压缩性、减少基础的沉降和不均匀沉降；防止地震时地基土的振动液化；消除特殊土的湿陷性、胀缩性和冻胀性。

目前国内外地基处理方法众多，很多方法还在不断发展和完善中。每一种地基处理方法都有它的适用范围和局限性，因而选用某一种地基处理方法时，一定要根据地基土质条件、工程要求、工期、造价、料源、施工机械设备条件等因素综合分析后确定。

本教材是根据建筑工程专业教学计划进行编写的；结合过去的地下建筑工程、工程地质和水文地质、岩土工程三专业所需要的内容，自1978年来在以上三专业试用铅印教材后，于1988年8月正式出版《地基处理》（建筑工程施工技术丛书）（中国建筑工业出版社）^[3]第一版。此后，积极收集资料，并广泛征求多数院校的意见，吸收国内外比较成熟的新内容，以适应我国基本建设中现代化的需要和教学需要，改编成本教材。

本教材的编写有以下特点：

1. 当前我国《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79—91）^[12]已正式颁布。为此，本书编写时是根据该规范要求 and 符号进行编写的，以使学员在今后工作中参考使用时较为方便；

2. 鉴于当前地基处理技术发展情况，为反映国内外最新技术成果，对原《地基处理》（第一版）^[3]内各章进行了补充和加深，力求使本教材全面反映先进性和完整性；

3. 本书遵照全国土力学基础工程学会下“土力学基础工程名词委员会”编制的《土力学及基础工程名词》（汉英及英汉对照）（中国建筑工业出版社出版，1983）一书统一全书专业技术名词，有的地基处理技术名词还注出英语原文，并简要阐明其术语定义。

4. 本书各章节安排乃按地基处理的作用机理进行分章列节，作者认为可体现各种地基方法的主要特点和将某些地基处理方法的共性归纳入同一章内，以示科学性。但考虑学员阅读各章节时保持各章节的独立性，因而个别章节内容上不免有极少部分的搭接。

5. 鉴于《地基处理》（第一版）问世后，除了有很多大专院校将它作为必修课和选修课教材外，还有作为成人教学的培训教材。因此，编写过程中根据作者对本门“地基处理”教学的多年实践经验，对各种地基处理方法阐明其加固机理，设计、施工和质量检验，每章尽可能结合实践附以工程实例、算例、思考题与习题，并对各种地基处理方法进行比较和综合考虑。

本书共分六章，第一、二、六章由叶书麟编写；第三、四、五章由叶观宝编写，全书由叶书麟担任主编，由赵志缙教授担任主审。

本书编写过程中引用了许多科研单位和工程单位的一些科研成果和技术总结，谨向这些单位和同志致以衷心的感谢。

限于作者水平，本书不足和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

1997年1月

· 1 ·

著

目 录

第一章 绪言	1
第一节 地基处理的含义	1
第二节 地基处理的对象及其特性	1
第三节 地基处理的目的	3
第四节 地基处理方法的分类	4
第五节 地基处理方案选择	8
第六节 地基处理效果检验	9
第七节 地基处理的监测和监理	10
第八节 地基处理技术的国内外发展情况	10
思考题与习题	11
第二章 换填	12
第一节 概述	12
第二节 压实原理及压实参数	13
第三节 砂(砂石、碎石)垫层	15
第四节 粉煤灰垫层	21
第五节 干渣垫层	27
第六节 土(素土)、灰土和二灰土垫层	29
思考题与习题	33
第三章 深层密实	34
第一节 强夯	35
第二节 碎(砂)石桩	52
第三节 石灰桩	82
第四节 土(或灰土、双灰)桩	89
第五节 水泥粉煤灰碎石桩	96
思考题与习题	106
第四章 排水固结	108
第一节 概述	108
第二节 加固机理	109
第三节 设计与计算	112
第四节 施工方法	142
第五节 质量检验	166
第六节 工程实例	166
思考题与习题	174
第五章 化学加固	175
第一节 灌浆法	175
第二节 水泥土搅拌法	221

第三节 高压喷射注浆法	264
思考题与习题	299
第六章 加筋	300
第一节 加筋土	300
第二节 土工合成材料	332
第三节 土层锚杆	350
第四节 土钉墙	376
思考题与习题	389
参考文献	390

第一章 绪论

言

888

100
86
671

评估 { 第一节 地基处理的含义
有什么不良地质条件
用什么方法处理

场地 (Site) 是指工程建设所直接占有并直接使用的有限面积的土地。场地范围内及其邻近的地质环境都会直接影响着场地的稳定性。场地的概念是宏观的, 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。所以“场地”不能机械地理解为建筑占地面积, 在地质条件复杂的地区, 还应指包括该面积在内的某个微地貌、地形和地质单元。

地基 (Foundation, Subgrade) 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四方面问题: 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产生事故; 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近似液体特性的现象, 从而导致地基失稳和震陷。

基础 (Foundation, Footing) 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相互作用下, 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 (Ground Treatment) 是指天然地基很软弱, 不能满足地基承载力和变形的设计要求, 而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 (Ground Improvement)。

我国地域辽阔、幅员广大、自然地理环境不同、土质各异、地基条件区域性较强, 因而使地基基础这门学科特别复杂。随着我国国民经济的发展, 不仅事先要选择在地质条件良好的场地上从事建设, 而且有时也不得不在地质条件不良的地基上进行修建; 另外, 随着科学技术的日新月异, 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。所以我们不仅要善于针对不同的地质条件、不同的结构物选定最合适的基础型式、尺寸和布置方案外, 而且要善于选取最恰当的地基处理方法。

第二节 地基处理的对象及其特性

地基处理的对象是软弱地基 (Soft Foundation) 和特殊土地基 (Special Ground)。

一、软弱地基

我国的《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)^[13]中明确规定:“软弱地基系指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其它高压缩性土层构成的地基”。

(一) 软土

软土 (Soft Soil) 是淤泥 (Muck) 和淤泥质土 (Mucky Soil) 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。

软土的特性是天然含水量高、天然孔隙比大、抗剪强度低、压缩系数高、渗透系数小。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。

(二) 冲填土

冲填土 (Hydraulic Fill) 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。

如以粘性土为主的冲填土, 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。如以砂性土或其它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。

(三) 杂填土

杂填土 (Miscellaneous Fill) 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。

(四) 高压缩性土

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。

二、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、红粘土和冻土等地基。以下简要阐明它们的特性。

(一) 湿陷性黄土

凡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（Collapsible Loess）。

由于黄土的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。选择地基处理方法，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，湿陷性黄土地基的处理方法可按表 1-1 选择。

湿陷性黄土地基常用的处理方法 表 1-1

处理方法		适用范围	一般可处理（或穿透）基底下的陷湿性土层厚度 (m)
垫层法		地下水位以上局部或整片处理	1~3
夯实法	强夯	$S_r < 60\%$ 的湿陷性黄土，	3~6
	重夯	局部或整片处理	1~2
挤密法		地下水位以上局部或整片处理	5~15
桩基础		基础荷载大，有可靠的持力层	≤ 30
预浸水法		Ⅲ、Ⅳ级自重湿陷性黄土场地，6m 以上，尚应采用垫层法处理	可消除地面下 6m 以内全部土层的湿陷性
单液硅化或碱液加固法		一般用于加固地下水位以上的既有建筑物地基	一般小于 10m，而单液硅化加固的最大深度可达 20m

(二) 膨胀土

膨胀土（Expansive Soil）是指粘粒成分主要由亲水性粘土矿物组成的粘性土。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粘土。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。

(三) 红粘土

红粘土（Red Clay）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粘性土。通常红粘土是较好的地基土，但由于下卧岩面起伏及存在软弱土层，一般容易引起地基不均匀沉降。

(四) 季节性冻土

冻土（Frozen Soil）是指气候在负温条件下，其中含有冰的各种土。季节性冻土（Seasonally Frozen Ground）是指该冻土在冬季冻结，而夏季融化的土层。多年冻土或永冻土（Permafrost）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。

第三节 地基处理的目的

地基处理的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：

一、改善剪切特性

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以增加地基土的抗剪强度。

二、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，使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，需要采取何种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，也是地基处理的加固目的。

三、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变成不透水或减少其水压力。

四、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。

五、改善特殊土的不良地基的特性

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。

第四节 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的丰富经验许多现代的地基处理技术都可在古代找到它的雏型。根据历史记载，早在二千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，就是采用每年农闲时逐年填筑而成，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，这就是我国劳动人民在软土地基上从实践中积累的宝贵经验。

地基处理方法的分类可有多种多样。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粘性土处理，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。作者认为按地基处理的作用机理进行分类的方法较为妥当，见表 1-2，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。如碎石桩具有置换、挤密、排水和加筋的多重作用；石灰桩又挤密又吸水，吸水后又进一步挤密

等反复作用；在各种挤密法中，同时都有置换作用。可见，每一种处理方法可能具有多种处理的效果。

对每种地基处理方法使用时，必须注意每种地基处理方法的加固机理、适用范围、优点和局限性。

地基处理方法的分类及其原理和作用、适用范围、优点及局限性 表 1-2

分类	处理方法	原理 和 作用	适 用 范 围	优 点 及 局 限 性
换土垫层法	机械碾压法	挖除浅层软弱土或不良土，分层碾压或夯实土，按回填的材料可分为砂（石）垫层、碎石垫层、粉煤灰垫层、干渣垫层、土（灰土、二灰）垫层等。 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	常用于基坑面积宽大和开挖土方量较大的回填土方工程 适用于处理浅层非饱和软弱地基、湿陷性黄土地基、膨胀土地基、季节性冻土地基、素填土和杂填土地基	简易可行，但仅限于浅层处理，一般不大于 3m，对湿陷性黄土地基不大于 5m 如遇地下水，对重要工程，需有附加降低地下水位的措施
	重锤夯实法		适用于地下水位以上稍湿的粘性土、砂土、湿陷性黄土、杂填土以及分层填土地基	
	平板振动法		适用于处理非饱和和无粘性土、或粘粒含量少和透水性好杂填土地基	
	强夯挤淤法	采用边强夯、边填碎石、边挤淤的方法，在地基中形成碎石墩体 可提高地基承载力和减小变形	适用于厚度较小的淤泥和淤泥质土地基，应通过现场试验才能确定其适用性	
	爆破法	由于振动而使土体产生液化和变形，从而获得较大密实度，用以提高地基承载力和减小变形	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	
深层密实法	强夯法	利用强大的夯击能，迫使深层土液化和动力固结，使土体密实，用以提高地基承载力和减小沉降、消除土的湿陷性、胀缩性和液化性 强夯置换是指对厚度小于 6m 的软弱土层、边夯边填碎石，形成深度为 3~6m，直径为 2m 左右的碎石柱体，与周围土体形成复合地基	强夯一般适用于碎石土、砂土、素填土、杂填土、低饱和度的粉土与粘性土、和湿陷性黄土 强夯置换适用于软粘土	施工速度快，施工质量容易保证，经处理后土性较为均匀，造价经济，适用于处理大面积场地 施工时对周围有很大振动和噪声，不宜在闹市区施工 需要有一套重锤、起重机等强夯施工机具

续表

分类	处理方法	原理和作用	适用范围	优点及局限性
深层密实法	挤密法(碎石、砂石桩挤密法)(石灰、土、灰土、二灰桩挤密法)	利用挤密或振动使深层土密实,并在振动或挤密过程中,回填碎石、砾石、砂、石灰、土、灰土、二灰等材料,形成碎石桩、砂桩、砂石桩、石灰桩、土桩、灰土桩、二灰桩等,与桩间土一起组成复合地基,从而提高地基承载力,减少沉降量,消除或部分消除土的湿陷性或液化性	砂(砂石)桩挤密法、振动水冲法、干振碎石桩法,一般适用于杂填土和松散砂土,对软土地基经试验证明加固有效时方可使用 石灰桩适用于软弱粘性土和杂填土 土桩、灰土桩、二灰桩挤密法一般适用于地下水位以上深度为5~10m的湿陷性黄土和人工填土	经振冲处理后,地基土性较为均匀
排水固结法	堆载预压法 真空预压法 降水预压法 电渗排水法	通过布置垂直排水井,改善地基的排水条件,及采取加压、抽气、抽水或电渗等措施,以加速地基土的固结和强度增长,提高地基土的稳定性,并使沉降提前完成	适用于处理厚度较大的饱和软土和冲填土地基,但对于厚度较大的泥炭层要慎重对待	需要有预压时间和荷载条件,及土石方搬运机械 对真空预压,预压力达80kPa不够时,可同时加土石方堆载,真空泵需长时间抽气,耗电较大 降水预压法无需堆载,效果取决于降低水位的深度,需长时间抽水,耗电较大
加筋法	土工合成材料	在人工填土的路堤或挡墙内铺设土工合成材料、钢带、钢条、尼龙绳或玻璃纤维等作为拉筋,土锚、土钉和锚定板都是提高土体的自身强度和自稳能力;或在软弱土层上设置树根桩、碎石桩、砂(石)桩等,使这种人工复合土体,可承受抗拉、抗压、抗剪和抗弯作用,用以提高地基承载力、减少沉降和增加地基稳定性	土工合成材料适用于砂土、粘性土和软土	
	加筋土、土锚、土钉、锚定板		加筋土适用于人工填土的路堤和挡墙结构 土锚、土钉和锚定板适用于土坡稳定	
	树根桩		树根桩适用于各类土,可用于稳定土坡支挡结构,或用于对既有建筑物的托换工程	
	碎石桩、砂石桩、砂桩		碎石桩、砂石桩、砂桩适用于粘性土、疏松砂性土,人工填土,对于软土,经试验证明施工有效时方可采用	
胶结法	注浆法	通过注入水泥浆液或化学浆液的措施,使土粒胶结,用以提高地基承载力,减少沉降、增加稳定性、防止渗漏 尿素 and 脲尔马林溶液 甲醛	适用于处理岩基、砂土、粉土、淤泥质粘土、粉质粘土、粘土和一般人工填土,也可加固暗浜和使用在托换加固工程	

分类	处理方法	原理和作用	适用范围	优点及局限性
胶结法	高压喷射注浆法	将带有特殊喷嘴的注浆管,通过钻孔置入要处理的土层的预定深度,然后将水泥浆液以高压冲切土体,在喷射浆液的同时,以一定速度旋转、提升,即形成水泥土圆柱体;若喷嘴提升而不旋转,则形成墙状固结体。加固后可用以提高地基承载力,减少沉降,防止砂土液化、管涌和基坑隆起、建成防渗帷幕	适用于处理淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土、黄土、砂土、人工填土等地基。当土中含有较多的大粒径块石、坚硬粘性土、大量植物根茎或有过多的有机质时,应根据现场试验结果确定其适用程度 对既有建筑物可进行托换加固	施工时水泥浆冒出地面流失量较大,对流失水泥浆应设法予以利用
	水泥土搅拌法	水泥土搅拌法施工时分湿法(亦称深层搅拌法)和干法(亦称粉体喷射搅拌法)两种。湿法是利用深层搅拌机,将水泥浆与地基土在原位拌和;干法是利用喷粉机,将水泥粉或石灰粉与地基土在原位拌和。搅拌后形成柱状水泥土体,可提高地基承载力、减少沉降、增加稳定性和防止渗漏,建成防渗帷幕	适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土和含水量较高,且地基承载力标准值不大于120kPa的粘性土地基 当用于处理泥炭土或地下水具有侵蚀性时,宜通过试验确定其适用程度	经济效果显著,目前已成为我国软土地基建造6~7层建筑物最为经济合理的处理方法之一 不能用于含石块的杂填土
热学方法	热加固法	热加固法是通过渗入压缩的热空气和燃烧物,并依靠热传导,而将细颗粒土加热到100℃以上,则土的强度就会增加,压缩性随之降低	适用于非饱和粘性土、粉土和湿陷性黄土	加固工程所在地区要有提供余热能的条件
	冻结法	采用液体氮或二氧化碳膨胀的方法,或采用普通的机械制冷设备与一个封闭式液压系统相连接,而使冷却液在内流动,从而使软而湿的土进行冻结,以提高地基土的强度和降低土的压缩性	适用于各类土,特别在软土地质条件,开挖深度大于7~8m,以及低于地下水位的情况下是一种普遍而有用的施工措施	要求有一套制冷设备,耗电量大,通常用于采矿系统的工程

托换技术或称基础托换(Underpinning)是指解决对既有建筑物的地基需要处理和基础需要加固的问题;和对既有建筑物基础下需要修建地下工程以及其邻近需要建造新工程而影响到既有建筑物的安全等问题的技术总称。

托换技术是一种建筑技术的难度较大、费用较贵、工期较长和责任性较强的特殊施工方法。托换技术需要应用各种地基处理方法,因而很多地基处理著作中都列入了托换技术

内容,当前中华人民共和国行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》也即将问世,因限于篇幅,托换技术这一内容可参见有关著作^{[1];[2];[5];[7];[14]}。

第五节 地基处理方案选择

一、地基处理方案选择前调查研究

调查研究的内容有:

(一) 结构条件

建筑物的体型、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、天然地基承载力和变形容许值等。

(二) 地基条件

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。

各种软弱地基的性状是不同的,现场地质条件随着场地的位置不同也是多变的。即使同一种土质条件,也可能具有多种地基处理方案。

如果根据软弱土层厚度确定地基处理方案,当软弱土层厚度较薄时,可采用简单的浅层加固的方法,如换土垫层法;当软弱土层厚度较厚时,则可按加固土的特性和地下水位高低采用排水固结法、水泥土搅拌桩法、挤密桩法、振冲法或强夯法等。

如遇砂性土地基,若主要考虑解决砂土的液化问题,则一般可采用强夯法、振冲法或挤密桩法等。

如遇软土层中夹有薄砂层,则一般不需设置竖向排水井,而可直接采用堆载预压法;另外,根据具体情况也可采用挤密桩法等。

如遇淤泥质土地基,由于其透水性差,一般应采用竖向排水井和堆载预压法、真空预压法、土工合成材料、水泥土搅拌法等。

如遇杂填土、冲填土(含粉细砂)和湿陷性黄土地基,在一般情况下采用深层密实法是可行的。

(三) 环境影响

在地基处理施工中应考虑场地的环境影响:如采用强夯法和振动砂桩挤密法等施工时,振动、噪音和挤土对邻近建筑物和居民会产生影响和干扰;

如采用堆载预压法时,将会有大量土方运进输出,既要有堆放场地,又不能妨碍交通;

如采用真空预压法或降水预压法时,往往会使邻近建筑物周围地基产生附加下沉;

如采用高压喷射注浆法或石灰桩时,有时会污染周围环境。

总之,施工时对场地的环境影响也不是绝对的,应慎重对待和妥善处理。

(四) 施工条件

(1) 用地条件。如施工时占地较大,对施工虽较方便,但有时却会影响经济造价;

(2) 工期。从施工观点,若工期允许较长,这样可有条件选择缓慢加荷的堆载预压法方案。但有时工程要求工期较短,早日完工投产使用,这样就限制了某些地基处理方法的采用;

(3) 工程用料。尽可能就地取材,如当地产砂,则应考虑采用砂垫层或挤密砂桩等

方案的可能性；如当地有石料供应，则应考虑采用碎石桩或碎石垫层等方案；

(4) 其它。施工机械的有无、施工难易程度、施工管理质量控制、管理水平和工程造价等因素也是采用何种地基处理方案的关键因素。

二、地基处理方案确定步骤

(一) 在选择地基处理方案前应具备的资料

(1) 如果勘察资料不全，则必须根据可能采用的地基处理方法所需的勘察资料作必要的补充勘察；并须搜集地下管线和地下障碍物分布情况的资料；

地基处理施工时可能对周围环境造成影响；噪声会影响附近居民休息、学习和工作；振动和挤土会导致邻近建筑物和地下管线的开裂、附加沉降和不均匀沉降；

(2) 对地基处理设计，除应满足地基土强度、变形、抗液化和抗渗等要求外，尚应确定地基处理范围，通常对柔性桩都要较原定建筑物基础轮廓线范围外放大若干尺寸，以满足土体中的应力扩散和抗液化要求；

(3) 某一地区常用的地基处理方法往往是该地区的设计和施工经验的总结，它综合体现了材料来源、施工机具、工期、造价和加固效果，故应重视类似场地上同类工程的地基处理经验至为重要。

(二) 在确定地基处理方案时，可按下列步骤进行：

(1) 根据搜集的上述资料，初步选定可供考虑的几种地基处理方案。

(2) 对初步选定的几种地基处理方案，应分别从预期处理效果、材料来源和消耗、施工机具和进度、对周围环境影响等各种因素，进行技术经济分析和对比，从中选择最佳的地基处理方案。每一个设计人员首先必须明确，任何一种地基处理方法不可能是万能的，都有它的适用范围和局限性。另外也可采用两种或多种地基处理的综合处理方案。如对某冲填土地基的场地，可进行真空预压联合碎石桩的加固方案，经真空预压加固后的地基容许承载力约可达 130kPa，在联合碎石桩后，地基容许承载力可提高到 200kPa，从而可能满足了设计对地基承载力较高的要求。

选择地基处理方案时，尚应同时考虑加强上部结构的整体性和刚度。工程实践表明，在软土地基上采用加固上部结构的整体性和刚度的方法，能减少地基的不均匀沉降，这项技术措施，对经地基处理的工程同样适用，它会收到技术经济方面的显著效果。

(3) 对已选定的地基处理方案，根据建筑物的安全等级和场地复杂程度，可在有代表性的场地上进行相应的现场实体试验，以检验设计参数、选择合理的施工方法（其目的是为了调试机械设备，确定施工工艺、用料及配比等各项施工参数）和确定处理效果。现场实体试验最好安排在初步设计阶段进行，以便及时地为施工设计图提供必要的参数，为今后顺利施工创造条件、加速工程建设进度、优化设计、节约投资。试验性施工一般应在地基处理典型地质条件的场地以外进行，在不影响工程质量问题时，也可在地基处理范围内进行。

第六节 地基处理效果检验

对地基处理效果检验，应在地基处理施工结束后经一定时间的休止恢复后再进行检验。因为地基加固后有一个时效作用，复合地基的强度和模量的提高往往需要有一定的时间，随

着时间的延长,其强度和模量在不断的增长。因此,地基处理施工应尽量提早安排,并通过调整施工速度,用以确保地基的稳定性和安全度。

效果检验的方法有:钻孔取样、静力触探试验、轻便触探试验、标准贯入试验、载荷试验,取芯试验等措施。有时需要采用多种手段进行检验,以便综合评价地基处理效果。

在地基处理设计时,对加固后地基必须满足有关工程对地基土的强度和变形要求。通常设计人员只注意地基承载力的要求,而忽视同样应满足变形要求。要充分认识到,有的工程经地基处理加固后还有一定数量的沉降和不均匀沉降,因而核算沉降仍然是一项十分重要的工作;当地基处理深度未贯穿压缩层下限,而在压缩层范围内存在软弱下卧层时,则仍需验算软弱下卧层地基承载力是否符合设计要求。

第七节 地基处理的监测和监理

施工过程中,施工单位应有专人负责质量控制和自监的监测,并做好施工记录。当出现异常情况时,须及时会同有关部门妥善解决。保证施工质量的关键在于抓好施工组织和施工管理,并应将测试工作看成是地基处理的组成部分。尚应制订监测控制标准和控制不良现象发展的措施。

由于地基处理是一项隐蔽工程,施工时必须重视施工质量监测和质量检验的方法,只有通过施工全过程的监理,才能保证质量,及时发现问题和采取必要的措施。为了了解工程建设在施工和使用过程中是否稳定,是否可能由于地基的变形而导致上部结构的倾斜和开裂;是否影响邻近建筑物或地下管线安全,为此需要进行沉降和位移观测。其沉降和位移观测结果,是地基基础工程质量检验的主要依据,也是检验设计、施工质量和进行科学研究的重要资料。

沉降和位移的观测周期,应根据观测目的、工程要求、沉降和位移速率等具体情况确定,以便能以较小的工作量,获得最大限度的观测信息,而又能反映变形特征为原则。对重要的或对沉降有严格限制的建(构)筑物,尚应在使用期间继续进行沉降观测,直至沉降稳定为止。

沉降和位移观测的基本精度要求,应根据建筑物地基容许变形值,并考虑建筑类型、变形速率和沉降周期等因素综合分析进行确定。一般分为高精度和中等精度两种。高精度标准是用于对变形特别敏感的建筑物或重要的工业与民用建筑物,沉降观测中误差应小于0.20mm;位移观测中误差应小于2mm。中等精度标准是用于一般建筑物,沉降观测中误差应小于0.5mm;位移观测中误差应小于5.0mm。

第八节 地基处理技术的国内外发展情况

近40年来,国外在地基处理技术方面发展十分迅速,老方法得到改进,新方法不断涌现。在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排水固结这一基本观点出发,发展了土工合成材料、砂井预压和塑料排水带;从如何进行深层密实处理的方法考虑,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,国外现代工业的发展,对地基工程提供了强大的生产手