

公路

G o n g l u

地基处理

D i j i C h u l i

刘松玉 主编

东南大学出版社



公路地基处理

程松玉 主编

东南大学出版社

内 容 提 要

本书针对公路工程中出现的主要岩土工程问题,详细地介绍了当前国内外适合公路工程地基处理的新技术,主要包括换填法、深层密实法、排水固结法、加筋技术、化学加固法、现场测试技术、特殊地基土处理等,并阐明了以上各种地基处理方法的加固机理,设计、施工和质量检验方法。同时,各种地基处理方法均附有工程实例。

本书可作为交通土建工程本科专业的教材,也可供从事公路工程勘察、设计、施工的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

公路地基处理/刘松玉主编. —南京:东南大学出版社,2000.11
ISBN 7-81050-696-X

I. 公… II. 刘… III. 公路—地基处理
IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 56601 号

东南大学出版社出版发行

(南京四版楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 江苏如东县印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:15.75 字数:400 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月第 1 次印刷

印数:2 500 册 定价:24.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3792327)

前 言

我国自 1984 年开始兴建高速公路,至 1999 年底全国高速公路通车里程已达 11 605km,在世界高速公路排行榜中列第三位。但我国高速公路建设极不平衡,绝大部分建于东部沿海诸省。这些地区除个别地段外,大部分为淤泥质海岸,软土地基问题是影响高速公路建设的关键问题之一。近年来,我国对高速公路软土地基问题进行了一定的研究。结果表明,在我国长江流域、黄河流域还存在膨胀土、黄土等特殊地基,对公路工程质量有较大的影响。

目前,地基处理的方法很多,很多方法尚在不断发展之中,而且每一种处理方法都有它的适用范围和局限性。公路工程与一般工业与民用建筑工程不一样,主要有以下几个特点:

(1) 高速公路为大型线形工程,地基处理长度往往达几十公里,工程量大,地基处理设计参数的每一点变化都会引起较大的经济影响,常规方法如强夯法中的动力置换、塑料板排水等往往不适合。因此必须对地基处理方法进行优化。

(2) 高速公路沿线基础类型较多,如扩大基础、桩基础。一般路段堤高变化大(2~7m),对地基处理要求不一样,特别是一般路段和一般构造物常以变形作为设计控制指标,因此处理原则与方法应有针对性。

(3) 高速公路往往穿越多种地貌单元,土层条件多变。同一种地基处理方法,也应根据土层变化进行调整。同时,沿线施工环境变化大,在施工顺序和施工方法上应重视对邻近已建和在建构筑物的影响。

高速公路地基处理质量检验方法应根据面广量大的特点,采用快速、经济、有效的方法,而常规的载荷试验、标准贯入试验等受到一定的限制。

本书主要介绍了适合高速公路的常用地基处理方法,对各种地基处理的方法阐明其加固机理、设计和施工方法,每章后附以工程实例或算例,旨在提高学生分析高速公路建设中岩土工程问题的能力,增强该领域的专门知识,以适应高速公路建设的发展。最后一章介绍了地基处理的现场测试方法,对类似工程具有参考意义。

本书是在东南大学交通学院《公路地基处理》讲义的基础上补充而成。全书由交通学院岩土工程研究所部分老师编写。具体分工是:刘松玉(第 1、2、6、8 章)、石名磊(第 5 章)、邵俐(第 3 章)、邵信发(第 4 章)、缪林昌和杜延军(第 7 章)。本书由刘松玉主编,邵俐协助主编为本书出版付出了辛勤劳动。

书中参考和引用了部分其它文献资料,在此,谨向这些文献资料的作者致以衷心的感谢。

限于编者水平,本书不足和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2000 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
§ 1.1 公路地基处理的目的与意义	(1)
§ 1.2 软弱地基和特殊土地基的主要工程性质	(2)
§ 1.3 地基处理方法的分类	(5)
§ 1.4 地基处理设计原则	(7)
§ 1.5 地基处理技术的发展	(9)
第 2 章 换填土法	(11)
§ 2.1 概述	(11)
§ 2.2 土的压实原理	(12)
§ 2.3 垫层设计	(13)
§ 2.4 垫层施工要点	(17)
第 3 章 深层密实法	(22)
§ 3.1 概述	(22)
§ 3.2 强夯法	(23)
§ 3.3 碎(砂)石桩	(40)
§ 3.4 土(或灰土、双灰)桩	(56)
第 4 章 排水固结法	(62)
§ 4.1 概述	(62)
§ 4.2 堆载预压法设计计算	(67)
§ 4.3 砂井排水固结设计计算	(69)
§ 4.4 施工方法	(91)
§ 4.5 其它排水法	(101)
第 5 章 加筋技术	(104)
§ 5.1 加筋土挡墙	(105)
§ 5.2 土工聚合物	(141)
§ 5.3 土钉	(153)
第 6 章 化学加固法	(162)
§ 6.1 概述	(162)
§ 6.2 复合地基概论	(162)
§ 6.3 高压喷射注浆法	(171)
§ 6.4 水泥土搅拌法	(183)
第 7 章 特殊土地基处理与基础	(211)
§ 7.1 概述	(211)
§ 7.2 液化地基处理	(211)
§ 7.3 膨胀土地基处理	(220)
§ 7.4 湿陷性黄土地基处理	(228)
第 8 章 地基处理现场测试	(233)

§ 8.1 概述	(233)
§ 8.2 试验工程	(233)
§ 8.3 主要监测仪器与监测方法	(235)
参考文献	(246)

第 1 章 绪 论

§ 1.1 公路地基处理的目的与意义

自 20 世纪 30 年代美国及德国开始兴建,至 50 年代世界各国大力发展高速公路以来,目前,在全世界 60 多个国家共修建高速公路 14 万 km,公路客货运输比例大大增加,甚至超过了铁路。我国在 80 年代中期确立了发展高速公路的方针,1984 年开工建设大陆第一条高速公路——沪嘉高速公路并于 1988 年建成通车,之后,沈大、京津塘、沪宁高速公路相继建成投入使用,至 1999 年底,全国通车里程达 11 605km,在世界高速公路排行榜中列第三位,但绝大部分建于东部沿海诸省。

我国沿海诸省,除山东部分地段外,大部分为泥质海岸,土层多为淤泥、淤泥质粘土、淤泥质亚粘土及泥混砂层,属于饱和的正常压密软粘土。这种土类压缩性高(沉降量大),排水固结慢,地基稳定性差。

在我国长江、淮河流域,还经常分布有膨胀土、液化地基等,这些软弱地基、特殊地基的存在常导致高等级公路质量问题,往往是高等级公路设计、施工的关键问题。

表 1-1 是我国主要高速公路软土分布情况一览表。

表 1-1 我国主要高速公路软土分布情况一览表

分布情况		沪 宁 高速公路	京 津 塘 高速公路	杭 甬 高速公路	泉 夏 高速公路	佛 开 高速公路	广 佛 高速公路	广 深 高速公路
全长/km		274.08	142.48	144.99	81.1	80.0	15.07	122.0
软土长/km		92.29	48.0	91.64	17.45	12.98	7.0	34.0
软土厚/m	一般	6~15	8	30~40	2~8	4~6	4~6	
	最厚	30	13	>60	17	15	8	
软土占全长比/%		33.6	33.7	63.2	22.0	16.3	46.4	28.0

公路工程的地基问题概括起来有下列三个方面:

(1) 强度及稳定性问题。当地基的抗剪强度不足以承受路堤及路面外荷载时,地基可能会产生局部或整体剪切破坏,造成路堤塌方、失稳,桥台破坏。

(2) 沉降变形问题。当地基在上部荷载及外载作用下产生过大的沉降变形时,会影响道路的正常行驶。特别是产生过大的不均匀沉降时,路面会开裂破坏,构造物与路堤衔接处差异沉降,引起桥头跳车;涵身、通道凹陷、沉降缝拉宽而漏水;路面横坡变缓、积水等。

(3) 地震、车辆震动等动力荷载可能引起地基土特别是饱和无粘性土的液化、失稳及震陷等。另外,由于外界水循环变化、温度变化等引起的管涌、冻融等也可能引起地基强度和变形的显著变化,从而影响道路的正常行驶。

当道路工程特别是高等级公路工程中遇到上列问题之一时,必须采取地基处理措施,否则会引起质量问题。如日本常磐高速公路神田桥从1986年9月20日通车后,19个月中平均每月修补一次错台,严重影响了路面质量和通行能力;我国沪嘉高速公路通车4~5月后桥头错台大者达7~8cm,使行车速度大为下降;江苏宁连一级公路,由于软基沉降等问题,使路面开裂、桥头错台,通车几年来一直小修不断。

地基处理的目的是利用夯实、置换、排水固结、加筋和热力学等方法对地基土进行加固,以改善地基土的剪切性、压缩性、振动性和特殊地基的特性,使之满足道路工程的要求。显然,对于交通量大、养护时间难的高等级公路,地基处理的恰当与否直接关系到工程质量、投资和进度。因此,地基处理对节约基本建设投资,保证公路正常营运具有重要意义。

§ 1.2 软弱地基和特殊土地基的主要工程性质

一、软弱地基

软弱地基是指主要由淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其它高压缩性土层构成的地基。

1. 软土

在《公路工程名词术语》(JTJ002-87)中,软土定义为“由天然含水量大、压缩性高、承载能力低的淤泥沉积物及少量腐殖质所组成的土,主要有淤泥、淤泥质土及泥炭”。软土按沉积环境分为下列四类:滨海沉积、湖泊沉积、河滩沉积和沼泽沉积。软土的基本特性是:

(1) 具有高含水量、低密度、低强度、高压缩性、低透水性和中等灵敏度的特点,一般含水量高达45%~50%,大于液限,孔隙比大于1.0,塑性指数为20左右,强度为10~30kPa,压缩系数为0.5~1.0MPa⁻¹,固结系数为(0.1~1.0)×10⁻³cm²/s,灵敏度为4~8。因此,该类土压缩沉降量大,排水固结缓慢,地基稳定性差。

(2) 具有一定的结构性。结构性的形成随土的矿物成分、沉积环境、孔隙水的成分及沉积年代而不同。除南方湛江一带有高结构性土外,软土均具有一定的结构性。结构性的强弱可以用视超固结比来表示,结构性的主要作用是增大了土骨架的刚度,因此其力学特性与应力水平密切相关。应力水平较低时,土会呈现较好的力学特性;应力水平超过某临界值后,土的结构性破坏,使力学性质明显恶化,而且这种恶化是不可逆的,短期内很难恢复。此外,结构性粘土还具有剪胀性。

(3) 往往存在硬壳层。这是由地表部分风化、淋洗作用形成的,该硬壳层具有中等或低的压缩性、较高的强度、较强的结构性。硬壳层破坏后,加荷初期沉降、侧向位移、差异沉降均较大,因此在路堤高度为2~3m时,可充分利用硬壳层而不处理软土。

我国几条主要高速公路的软土特性见表1-2。

2. 冲填土

冲填土是人工填土之一。它是在疏浚江河航道或从河底取土时用泥浆泵将已装在泥驳船上的泥砂,直接或再用定量的水加以混合成一定浓度的泥浆,通过输泥管送到四周筑有围堤并设有排水挡板的填土区内,经沉淀排水后而成。

冲填土有别于素土回填,它具有一定的规律性。其工程性质与冲填土料、冲填方法、冲填过程及冲填完成后的排水固结条件、冲填区的原始地貌和冲填龄期等因素有关。

表 1-2 我国几条主要高速公路的软土特性

地点	土层	$w/\%$	$\gamma/$ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	E /MPa	$w_L/\%$	$I_P/\%$	$c_v/$ ($10^3 \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	C_r	c'/kPa	$\varphi'/(^{\circ})$	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
沪宁高速公路 昆山段	亚粘土 硬壳层	27	19.0	0.85	35.1	14.4	1.5	0.22				
	淤泥 质土	40	17	1.4	35	12	0.3	0.3	0	27		
		60	19	1.6	43	19	0.6	0.7		31		
	亚粘土	23 ~ 31	20	0.7 ~ 0.99	28 ~ 34	10 ~ 15	10 ~ 90	0.15 ~ 0.2	5 ~ 10	29 ~ 32		
同三国 道宁波 段	亚粘土 硬壳层	41	17.9	1.3	37	12	0.4	0.40				
		45	18		40	17	0.9	0.46				
	淤泥 质土	49	17.1	1.37	39	12	0.4	0.53	9	20		
		53	17.5	1.47	41	17	0.6	0.62	17	26		
	亚粘土	29	18.6	0.83	29	8	2	0.15	5	25		
		31	19.3	0.92	36	15	6	0.24	7	31		
沪嘉高 速公路	亚粘土 硬壳层	26.5	18.0	0.9	39	15					15.5	14.5
		38		1.06	45	19						
	淤泥 质土	40	17.3	0.96	40	18	3.9	0.37			8.3	7.0
		60		1.45	46	27	4.1	0.48			10.3	8.5
	亚粘土	24.1	18.3	1.03	30 ~ 39	12 ~ 14					44	13.5
杭甬高 速公路	淤泥 质土	40	16.2	1.3	36	12	0.38	0.30			16	9
		65	18.5	1.68	46	24	4.7	0.42			18	15
广佛高 速公路	淤泥 质土	95.7	15.0	2.36		21.2	0.78				14	15

其主要工程性质:

(1) 冲填土有的以砂粒为主,也有的以粘粒或粉粒为主。在冲填土的入口处沉积的土粒较粗,甚至有石块,顺着出口处逐渐变细,除出口处及接近围堰的局部范围外,一般尚属均匀,但在冲填过程中间歇时间过长,或土料有变化则会造成冲填土纵横向的不均匀性。

(2) 冲填土料粗颗粒比细颗粒排水固结快,在其下层土质具有良好的排水固结条件下所形成的冲填土地基的强度和密实度随着龄期增长而加大。

(3) 冲填土料很细时,水分难以排出。土体形成初期呈流动状态,当其表面经自然蒸发后,常呈龟裂,下面水分不易排出,处于未固结状态,较长时间内可能仍处于流动状态,稍加扰动,即呈触变现象。

(4) 如原始地貌高低不平或局部低洼,冲填后水分更不易排出,固结极为缓慢,压缩性高。而冲填在斜坡地段上,则其排水固结条件就较好。

(5) 冲填土与自然沉积的同类土相比,强度低,压缩性高,常产生触变现象。

3. 杂填土

其主要工程性质:

(1) 一般承载能力不高,压缩性较大,且不均匀,具体来说:①填料物质不一,颗粒尺寸悬殊,颗粒间孔隙大小不一;②回填前地貌高低起伏,形成填土厚薄不一;③回填时间常常先后不一;④取样不易,勘察工作困难,通常无法提出地基承载力值。

(2) 当杂填土加到某级荷载时浸水,变形剧增,有湿陷性。

(3) 填筑年代是评定杂填土的一个重要指标。填土层的密实度随年代而增加,但随外界因素如雨水、填土顶上的随机荷载等而有较大的变化。通常,砂性杂填土的填筑年代在 5 年以上,粘性杂填土则需更多时间,才能粗略地认为填土层自身压密已趋于稳定。

另外,饱和松散粉细砂(包括部分粉土)也应属于软弱地基范畴,在动力荷载(机械振动、地震等)重复作用下将产生液化,基坑开挖时也会产生管涌。

对软弱地基勘察时,应查明软弱土层的均匀性、组成、分布范围和土质情况。对冲填土尚应了解排水固结条件;对杂填土尚应查明堆载历史,明确自重下稳定性和湿陷性等基本因素。

二、特殊土地基

特殊土地基大部分带有地区特点,它包括湿陷性黄土、膨胀土、红粘土和冻土等。

1. 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共同作用下,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。

我国湿陷性黄土广泛分布在甘肃、陕西、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙、山东、河北、河南、山西、陕西、甘肃、宁夏、青海和新疆等地。由于黄土的浸水湿陷而引起建(构)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。

2. 膨胀土

膨胀土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,且变形往复的高塑性粘土。

我国膨胀土分布范围很广。在广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、河北、山东、陕西、江苏、贵州和广东等省均有不同范围的分布。利用膨胀土作为筑路材料或建(构)筑物地基时,如果不进行地基处理,常会造成较大的危害。

3. 红粘土

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,称为红粘土。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变化。

4. 季节性冻土

凡具有负温或零温,其中含有冰的各种土都称为冻土,而冬季冻结,夏季融化的土层,称为季节性冻土。对冻结状态持续 3 年以上的土层,则称为多年冻土或永冻土。

季节性冻土在我国东北、华北和西北广大地区均有分布,因其呈周期性的冻结和融化,对地基稳定性影响较大。

5. 岩溶

岩溶,或称喀斯特(Karst),主要出现在碳酸类岩石地区。其基本特性是地基主要受力层范围内受水的化学和机械作用而形成溶洞、溶沟、溶槽、落水洞以及土洞等。

§ 1.3 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在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。表 1-3 为按地基处理的作用机理进行分类的方法。实际上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、排水和加筋等多重作用;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,在使用时必须注意其加固机理、适用范围、优点和局限性。

表 1-3 地基处理方法分类表

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的杂填土地基	
	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,以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	

续表 1-3

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	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的震动和噪声,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
	挤密法(碎石、砂石桩挤密法及石灰、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,真空泵需长时间工作,耗电量较大; 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,耗电量较大
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	

续表 1-3

分类	处理方法	原理和作用	适用范围	优点及局限性
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	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	
	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;当用于处理的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 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富余热能的条件
	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,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

§ 1.4 地基处理设计原则

对必须进行地基处理的工程设计前,应进行以下工作:

一、调查研究

1. 设计要求

主要包括道路等级,桥梁及构造物结构、受力及使用要求,稳定安全系数和变形容许值等。

2. 工程地质条件

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不同也是多变的。特别是公路这种线形工程,即使同一种土质条件,也可能有多种地基处理方案。

3. 环境影响

在地基处理施工中应考虑对场地环境的影响。如采用强夯法和砂桩挤密法等施工时,振动和噪音对邻近构筑物和居民产生影响和干扰;采用堆载预压法时,将会有大量土方运进运出,既要有堆放场地,又不能妨碍交通;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;采用石灰桩或灌浆法时,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,妥善处理。

4. 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。工期不宜太紧,这样可有条件选择缓慢加荷的堆载预压法等方案,且施工期间的地基稳定性增大。但有时工程要求缩短工期,以早日完工投入使用,这样就限制了某些地基处理方法的采用。

(3) 工期用料。尽可能就地取材,如当地产砂,就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,就应考虑采用碎石桩和碎石垫层等方案。

(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、地基处理方案的确定

可按下列步骤进行:

(1) 搜集详细的工程地质、水文地质及地基基础的设计资料。

(2) 根据结构类型、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、周围和相邻建筑物等因素,初步选定几种可供考虑的地基处理方案。

(3) 对初步选定的各种地基处理方案,分别从处理效果、材料来源及消耗、机具条件、施工进度、环境影响等方面进行认真的技术经济分析和对比,而因地制宜是一项重要的方案选定因素,根据安全可靠、施工方便、经济合理等原则,从而选择最佳的处理方法。值得注意的是,每一种处理方法都有一定的适用范围、局限性和优缺点。没有一种地基处理方法是万能的。必要时也可选择两种或多种地基处理方法组成的综合处理方案。

(4) 对已选定的地基处理方法,可在有代表性的场地上进行相应的现场试验和试验性施工,并进行必要的测试以检验设计参数和处理效果。如达不到设计要求时,应查找原因采取措施或修改设计。

地基处理的设计程序参见图 1-1。

三、地基处理工程的施工管理

对于采用了的地基处理方案,必须严格施工管理,否则会丧失良好处理方案的优越性。

在施工中对各个环节的质量标准要严格掌握,施工时间要安排合理,因为地基加固后的

强度提高往往需要有一定时间。随着时间的延长,强度还会增长,变形模量也会提高。可通过调整施工速度,确保地基的稳定性和安全度。

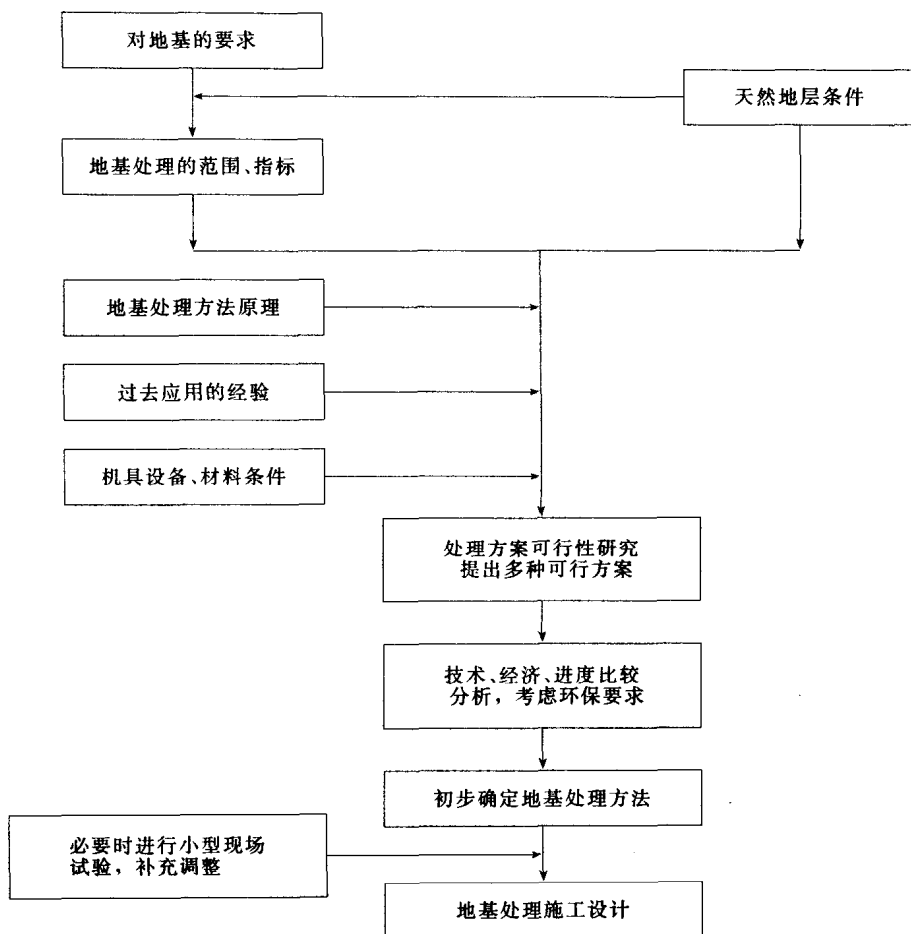


图 1—1 地基处理设计程序框图

一般在地基处理施工前、施工中和施工后,都要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,修正加固设计,调整施工进度。有时为了获得某些施工参数,多数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,为了保证邻近建筑物的安全,还要对邻近建筑物或地下设施进行沉降和裂缝等监测。

§ 1.5 地基处理技术的发展

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 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段,如能制造重达几

十吨的强夯起重机械;潜水电机的出现,带来了振动水冲法中振冲器等施工机械;真空泵的问世,建立真空预压法;生产了大于 20MPa 气压的空气压缩机,从而产生了高压喷射注浆法。

我国地基处理技术可以追溯到很久以前,但现代地基处理技术是伴随着我国现代化建设而大量发展起来的,特别是改革开放以后得到了飞速发展,表 1-4 是几种主要地基处理方法在我国开始应用的时间。

表 1-4 部分地基处理方法在我国应用的最早年份(据龚晓南,2000)

地基处理方法	普通砂井法	真空预压法	袋装砂井法	塑料排水带法	砂桩法	土桩法	灰土桩	振冲法	强夯法	高压喷射注浆法	浆液深层搅拌法	粉体深层搅拌法	土工合成材料法	强夯置换法	EPS 超轻质填料法	低强度桩复合地基法	刚性桩复合地基法	锚杆静压桩法	掏土纠倾法	顶开纠倾法	树根桩法	沉管碎石桩法	石灰桩法
年份	50 年代	1980 年	70 年代	1981 年	50 年代	50 年代中	50 年代中	1977 年	1978 年	1972 年	1977 年	1983 年	70 年代末	1988 年	1995 年	1990 年	1981 年	1982 年	60 年代初	1986 年	1981 年	1987 年	1953 年

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有专门的地基处理学术委员会。中国土力学与岩土工程学会 1984 年成立了地基处理学术委员会,并于 1986、1989、1992、1995、1997、2000 年分别召开了六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》,1990 年又开始出版了《地基处理》杂志,提供了推广和交流地基处理新技术的园地。我国建设部已颁发了《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91),交通部 1997 年颁发了《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》,对公路工程中软土地基处理设计、施工起到了重要指导作用。此外,对湿陷性黄土、膨胀土等也已出版了相应的规程。

总之,地基处理已成为土木工程建设中的热点之一,它已得到工程勘察、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,我国的地基处理水平总体上已处于国际先进水平。

第 2 章 换填土法

§ 2.1 概 述

当软弱土地基的承载力和变形满足不了设计要求,而软弱土层的厚度又不是很大时,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)或其它性能稳定、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换填法,它多用于公路构筑物的地基处理。

机械碾压、重锤夯实、平板振动可作为压(夯、振)实垫层的不同施工方法,这些施工方法不但可处理分层回填土,又可加固地基表层土。

按回填不同材料形成的垫层,命名为该种材料的垫层,如砂垫层、碎石垫层、素土垫层、干渣垫层和粉煤灰垫层。

虽然填不同材料的垫层,其应力分布稍有差异,但从试验结果分析其极限承载力还是比较接近的。通过沉降观测资料发现,不同材料垫层的特点基本相似,故可以近似地按砂垫层的计算方法进行计算。但对湿陷性黄土、膨胀土、季节性冻土等某些特殊土采用换土垫层法处理时,因其主要处理目的是为了消除或部分消除地基土的湿陷性、胀缩性和冻胀性,所以在设计时所需考虑解决问题的关键也应有所不同。

换填法的加固原理是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。

垫层的作用有下列几个方面:

1. 提高持力层的承载力

通过扩散作用使传到垫层下软弱层的应力减小。

2. 减少沉降量

一般地基浅层部分的沉降量在总沉降量中所占的比例是比较大的。以条形基础为例,在相当于基础宽度深度范围内的沉降量约占总沉降量的 50% 左右,如以密实砂或其它填筑材料代替上部软弱土层,就可以减少这部分的沉降量。由于砂垫层或其它垫层对应力的扩散作用,使作用在下卧层土的压力较小,这样也会相应减少下卧层土的沉降量。

3. 加速较弱土层的排水固结

不透水基础直接与软弱土层相接触时,在荷载的作用下,软弱土地基中的水被迫绕基础两侧排出,因而使基底下的软弱土不易固结,形成较大的孔隙水压力,还可能导致由于地基强度降低而产生塑性破坏的危险,砂垫层和砂石垫层等垫层材料透水性大,软弱土层受压后,垫层可作为良好的排水面,使基础下面的孔隙水压力迅速消散,加速垫层下软弱土层的固结和提高其强度,避免地基土塑性破坏。

4. 防止冻胀

因为粗颗粒的垫层材料孔隙大,不易产生毛细管现象,因此可以防止寒冷地区土中的冰