



技术与管理丛书

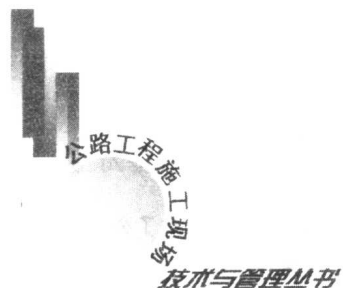
公路工程施工 常见地质灾害处治 技术



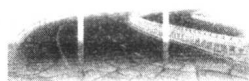
李上红 主编
蒋继昭 主审



人民交通出版社
China Communications Press



公路工程施工 常见地质灾害处治 **技术**



李上红 主编
蒋继昭 主审

 人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书系统地总结了公路工程施工常见地质病害处理方法,具有较强的实用性、先进性和可操作性。全书共分十章,主要包括软土病害、膨胀土病害、冻土病害、盐渍土病害、岩溶、滑坡、崩塌与岩堆地段路基、泥石流及其他病害。

本书内容丰富,全面反映了公路工程施工常见地质病害的处理方法,可供公路工程技术人员学习,也可作为大专院校师生的参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

公路工程施工常见地质病害处治技术/李上红主编. —北京:人民交通出版社, 2004.4

ISBN 7-114-04972-2

I. 公… II. 李… III. 公路路基-地质灾害-综合防治 IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 011299 号

公路工程施工现场技术与管理丛书

Gonglu Gongcheng Shigong Changjian Dizhi Binghai Chuzhi Jishu

公路工程施工常见地质病害处治技术

李上红 主编

将继昭 主审

正文设计: 彭小秋 责任校对: 刘 芹 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

开本: 787×960 1/16 印张: 17.25 字数: 298 千

2004 年 4 月 第 1 版

2004 年 4 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0 001 ~ 5 000 册 定价: 25.00 元

ISBN 7-114-04972-2

公路工程施工现场技术与管理丛书

编写委员会

主 任 委 员	梁志锐				
常务副主任委员	孙 玺				
副 主 任 委 员	于敦荣	文德云	刘元炜	刘 涛	
	李荣富	柴金义	黄腊泉	(以姓氏笔画为序)	
秘 书 处	陈志敏				

出版说明

由于公路工程项目具有施工周期长、专业分工明确等特点,工程技术人员很难在短期内积累公路、桥梁各类型工程的实践经验。为帮助公路工程技术人员克服现场实践经验有限,施工中处理实际问题能力不足的困难,人民交通出版社组织出版了本套“公路工程施工现场技术与管理丛书”,以期帮助现场技术人员解决实际问题。

本丛书为技术应用指导型图书,编写内容贴近现场实际情况,真实地反映了现场技术人员的深层需求,避免过多空洞、抽象的程序性理论阐述,注重实用性、可操作性和示范意义;以现场管理的控制点及关键环节为中心,以技术要点为主线,对常用技术、关键技术从广度和深度两方面进行分析、阐述,具有重点突出,详略得当,文字简洁的特点。

本丛书为开放型图书系列,首期推出以下书目,敬请关注。

- . 预应力混凝土桥梁施工技术要点
- . 新编公路建设项目竣工资料编制指南
- . 公路工程现场勘察与测量技术
- . 公路工程施工现场控制要点
- . 公路工程安全生产指南
- . 公路工程施工常见地质病害处治技术
- . 路基工程现场施工技术
- . 城市道路工程施工监理要点
- . 桥梁墩台施工技术要点

在此,我们也借机表达一个希望,希望工程界人士能够积极自荐或推荐相关选题纳入本套丛书,以使该丛书日臻完善,为普及推广工程技术的实际运用,提高工程技术人员解决问题的能力作出贡献。

(联系方式 Email: tumu@pcph.sina.net)

人民交通出版社

2004年3月

前言

我国幅员辽阔,地质情况复杂多变,有软土、膨胀土、冻土等各种病害,给公路工程建设带来较大的影响和隐患。本书系统总结了公路工程施工常见地质病害的处理方法,对刚参加工作的毕业生和具备一定专业基础知识的工程人员有较大的帮助。

本书旨在帮助现场技术人员解决实际问题,因此,编写的主导思想真实体现了现场基层技术人员的深层需求,凸显“实用性、先进性、可操作性和示范性”,避免过多空洞的、抽象的程序化和无特色的理论阐述,以贴近现场施工工作的实际情况,反映工程实际需要为最终目的。并且,全书以现场的管理与控制点及关键环节为中心,对常用技术、关键技术从广度和深度上进行技术点的分解与阐述,做到重点突出和详略得当等,力求文字简洁,表达到位。

本书由广西交通职业技术学院李上红主编,广西交通规划勘测设计研究院蒋继昭主审。第1、2章由李上红编写,第3、4章由广西交通职业技术学院刘芳编写,第5章由广西交通职业技术学院丁永灿、李上红编写,第6章由蒋继昭编著,第7、8章由广西交通职业技术学院莫品疆编写,第9章由丁永灿编写,第10章由广西大学唐春海编写。该书在编写中得到广西交通厅有关领导的大力支持。

该书在编写过程中参考大量技术文献,恕不一一列出,谨对有关作者表示感谢。

由于编写时间仓促,编写水平有限,谬误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2003年6月

目 录

第一章 软土病害

第一节 软土及其特征	1
第二节 垫层与浅层处治	7
第三节 竖向排水法	13
第四节 粉喷桩法	34
第五节 灌浆法	42
第六节 土工合成材料法	50

第二章 膨胀土病害

第一节 概述	54
第二节 膨胀土路基施工	58
第三节 膨胀土病害处理及其实例	66

第三章 盐渍土病害

第一节 概论	80
第二节 盐渍土的工程性质与路基病害	85
第三节 盐渍土地地区路基施工	89

第四章 多年冻土病害

第一节 概论	93
第二节 多年冻土地地区的特殊筑路问题	102
第三节 冻胀与翻浆路基	106
第四节 防治冻胀与翻浆的一般原则	110

第五章 黄土病害

第一节 概述	122
第二节 黄土路基施工	125
第三节 工程实例	138

第六章 岩溶

第一节 岩溶种类及其危害性	143
第二节 溶洞稳定性及其安全距离计算	152

第三节 岩溶病害处理及其实例	159
第七章 滑坡	
第一节 滑坡概述	175
第二节 滑坡防治	182
第三节 工程实例	193
第八章 崩塌、岩堆与隧道塌方	
第一节 崩塌地段路基	196
第二节 岩堆地段路基	206
第三节 塌方处隧道施工	213
第九章 泥石流	
第一节 概述	219
第二节 泥石流的防治	221
第十章 其他病害	
第一节 过湿土	237
第二节 易软(风)化岩石	248
第三节 采空区	252
第四节 雪崩	258
参考文献	265

—— 第一章

软土病害

在高速公路建设中,不可避免地会遇到软土地基问题。软土地基具有含水量高、天然孔隙比大、压缩性高、渗透性小、抗剪强度低、固结系数小等不利的工程性质,导致地基承载力往往不能满足工程设计的要求,因此,需要对地基进行人工加固处理。处理软土地基有多种方法,如果处理不当,就会直接影响路基失稳或过量沉降,出现路基纵、横向断裂等病害。本章主要介绍软土地基施工常用处理方法。

第一节 软土及其特征

一、软土的概念及鉴别

国内外对软土均无统一定义,不同的专业技术部门的解释也不尽相同。有的把软土视为软粘土的简称,有的把软土视为整个软弱土层的简称,有的把软土视为软弱土基的简称。

1. 我国交通部行业标准《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(JTJ 017—96)将软土定义为“滨海、湖沼、谷地、河滩沉积的天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的细粒土”。其鉴定标准如表 1-1。

2. 我国铁路部门建议下列物理力学指标作为区分软土的界限,具体描

描述为:

软土鉴别表

表 1-1

特征指标名称	天然含水量 (%)	天然孔隙比	十字板剪切强度 (kPa)
指标值	≥ 35 或液限	≥ 1.0	< 35

(1)天然含水量 w 接近或大于液限。

(2)孔隙比 $e > 1$ 。

(3)压缩模量 $E_s < 4000\text{kPa}$ 。

(4)标准贯入击数 $N_{63.5} < 2$ 。

(5)静力触探贯入阻力 $P_s < 700\text{kPa}$ 。

(6)不排水强度 $C_u < 25\text{kPa}$ 。

3.我国建设部颁布的《软土地区工程地质勘察规范》(JGJ 83—91)规定,凡符合以下三项特征即为软土:

(1)外观以灰色为主的细粘土。

(2)天然含水量不小于液限。

(3)天然孔隙比不小于 1.0。

其实无论软土还是软土地基,它的软硬都是相对的,在工程设计和施工时,不要拘泥于它们的定义,只要路堤或其他荷载在土基上有可能出现过大有害的变形与强度不足的问题,都应进行沉降、稳定验算,凡不能满足设计指标时均应进行处理。当稳定安全系数小于表 1-2 给出的容许值,或在路面设计使用年限内的残余沉降(简称工后沉降)不满足表 1-3 中的要求时,均需进行软基处治。

稳定安全系数容许值

表 1-2

计算方法	性能指标	稳定安全系数容许值
总应力法	快剪指标	1.10
	十字板剪切强度	1.20
有效应力法	快剪与固结快剪指标	1.20
	十字板剪切强度	1.30
准毕肖法	有效剪切指标	1.40

注:当需要考虑地震力时,稳定安全系数容许值应减少 0.1。

容许工后沉降 (m)	工程位置	桥台与路基相邻处	涵洞或箱型通道处	一般路段
道路等级				
高速公路、一级公路		≤ 0.10	≤ 0.20	≤ 0.30
二级公路(采用高级路面)		≤ 0.20	≤ 0.30	≤ 0.30

二、软土的类型及工程性质

1. 软土的类型

我国软土,按其成因可分为三大类,按其沉积环境的不同又可分为 7 种类型。详见表 1-4,软土的主要物理力学特性见表 1-5。

软土的类型及特征

表 1-4

类 型		厚度 (m)	特 征	分 布 概 况
滨海沉积	滨海相	6 ~ 200	面积广,厚度大,常夹有砂层,极疏松,透水性较强,易于压缩固结	沿海地区
	三角洲相	5 ~ 60	分选性差,结构不稳定,粉砂薄层多,有交错层理、不规则尖灭状及透镜体状	
	泻湖相	5 ~ 60	颗粒极细,孔隙比大,强度低,常夹有薄层泥炭	
	溺谷相		颗粒极细,孔隙比大,结构疏松,含水量高,分布范围较窄	
内陆平原	湖相	5 ~ 25	粉土颗粒占主要成分,层理均匀清晰,泥炭层多是透镜体状,但分布不多,表层多有小于 5m 的硬壳	洞庭湖、太湖、鄱阳湖、洪泽湖周边
	河床相、河漫滩相、牛轭湖相	< 20	成层情况不均匀,以淤泥及软粘土为主,含砂与泥炭夹层	长江中下游、珠江下游及河口、淮河平原、松辽平原
山地沉积	谷地相	< 10	呈片状、带状分布,谷底有较大的横向坡,颗粒由山前到谷中心逐渐变细	西南、南方山区或丘陵地区

软土的主要物理力学特征

表 1-5

类型	天然容重	含水量	孔隙比	有机质含	压缩系数	渗透系数	快剪强度		标准贯入 值 $N_{63.5}$
	γ (kN/m^3)	w (%)	e	量 (%)	a_{1-2} (MPa^{-1})	k (cm/s)	C_u (kPa)	φ_u ($^{\circ}$)	
软粘土	16 ~ 19	$w_L < w$ < 100	> 1.0	< 3	> 0.3	< 1×10^{-6}	< 20	< 10°	< 2
淤泥质土			1.0 ~ 1.5	3 ~ 10					
淤泥			> 1.5						
泥炭质土	10 ~ 16	100 ~ 300	> 3	10 ~ 50	> 2.0	< 1×10^{-3}	< 10	< 20°	
泥炭	10	> 300	> 10	> 50		< 1×10^{-2}			

2. 软土的工程性质

软土无论按成因还是按土质划分,种类较多,但它们都具有下列特性:

- (1)颜色以深色为主,粒度成分以细粒为主,有机质含量高。
- (2)天然含水量高,容重小,天然含水量大于液限,一般在 50% ~ 70% 之间,液限一般为 40% ~ 60%。
- (3)天然孔隙比大,一般大于 1.0。
- (4)渗透系数小,一般在 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-8} \text{cm}/\text{s}$ 之间。沉降速度慢,固结完成所需时间长。而大部分淤泥和淤泥质土地区,由于该土层中夹有数量不等的薄层或极薄层粉砂、细砂、粉土等,故在垂直方向的渗透性比水平方向要小。
- (5)压缩性高,淤泥和淤泥质的压缩系数 a_{1-2} 一般为 $0.7 \sim 1.5 \text{MPa}^{-1}$,最大达 4.5MPa^{-1} ,且随着土的液限和天然含水量的增大而增高。
- (6)抗剪强度低,软土的快剪粘聚力小于 10 kPa,快剪内摩擦角小于 5° ,固结快剪的强度略高,凝聚力小于 15 kPa,内摩擦角小于 10° 。
- (7)软土的灵敏度高,灵敏度一般在 2 ~ 10 之间,有时大于 10,并具有显著的流变特性。

3. 软土地基的技术要求

- (1)地基处理超载预压 10 个月 after 沉降速率不大于 $0.168 \text{mm}/\text{d}$,才能进行二次填筑,随后才能进行桥涵构造物和路基精加工、路面施工。
- (2)位移边桩控制每天不大于 3mm。
- (3)斜移管控制在每天不大于 5mm。
- (4)地基处理后剩余沉降量不大于 8cm,地基处理后地基承载力不小于 100kPa。

三、地基常用处理方法

软土地基处治的方法很多,各种方法都有它的适用范围。具体工程的

地质条件千变万化,对地基处理的要求不尽一致,而且施工部门采用的机具、当地的材料都会不同,因此必须具体分析,从地基条件、处理要求、处理范围、工程进度、材料机具等方面进行综合考虑,以确定合适的处治方法。

高等级公路软土地基常用地基处理方法、加固原理和适用范围如表 1-6。

高速公路软土地基常用处理方法

表 1-6

方 法	原 理	适 用 范 围
排水固结法(预压法)	在软土地基中设置竖向排水系统(如插置塑料排水板、袋装砂井、或设置普通砂井)和水平向排水系统(砂垫层),在逐级填筑路堤荷载作用下使地基土体排水固结,产生固结沉降使土体强度增长,地基承载力提高,有效减小工后沉降。若采用大于路堤及工作荷载的预压荷载则称为超载预压。超载预压可进一步减少工后沉降,并可减小次固结沉降	软粘土、淤泥和淤泥质土地基
强夯法	采用质量为 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振实和挤密,可提高地基承载力,减少沉降	碎石土、砂土、低饱和度的粉土、粘性土、湿陷性黄土、杂填土和素填土地基
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,形成水泥土桩复合地基,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,又称粉喷法和粉搅拌法	淤泥、淤泥质土和含水量较高的地基承载力标准值不大于 120 kPa 的粘性土、粉土等软土地基,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性
振冲置换法	利用振冲器在高压水流作用下在地基中振冲成孔,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,以提高地基承载力,减小沉降	不排水抗剪强度不小于 20 kPa 的粘性土、粉土、饱和黄土和人工填土地基
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,以提高地基承载力,减小沉降	同上
强夯置换法	边填碎石边强夯,在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,以提高地基承载力,减小沉降	人工填土、砂土、粘性土、黄土、淤泥和淤泥质土地基

续上表

方法	原 理	适 用 范 围
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掺合料,通过石灰的吸水膨胀、放热以及离子交换作用改善桩周土的物理力学性质,并形成石灰桩复合地基,可提高地基承载力,减小沉降	杂填土、软粘土地基
桩复合地基法 低强度混凝土	在地基中设置低强度混凝土桩,与桩间土形成复合地基	各类深厚软弱地基
EPS超轻质料填土法	聚苯乙烯板块(ESE)容重只有土的 1/50 ~ 1/100,并具有较好的强度和压缩性能,用于填土料可有效地减小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
加筋土法	在土体中埋置土工合成材料(土工织物、土工格栅等)、金属板条等形成加筋土垫层,增大压力扩散角,提高地基承载力,减小沉降	各种软弱地基

四、常用软土地基处理方法的组合

为同时解决软土路基沉降、稳定性或加强某一种软土地基处理方法的效果,一般不单独采用一种处理方法,多数采用两种以上组合方法处治软基,亦即软土的综合处理。设计综合处理时应遵循的原则是:加速排水固结的措施与增强软土地基强度的措施相结合;地上、地面处理与地下处理相结合;避免两种软土地基处理方法在施工上出现干扰及其作用上的相互抵消。其组合形式有以下几种:

(1)砂垫层与固结排水法并用。不仅施工机械作用容易,同时排水垫层也能起到一定作用。

(2)在填土中央采用竖向排水法,坡脚处采用砂子加实桩。其作用是竖向排水促进沉降,砂子加实桩达到稳定,如图 1-1 所示。

(3)反压护道法与竖向排水法并用。由反压护道获得软土路基的稳定,由竖向排水法促进软土地基固结,如图 1-2。

(4)填土预压法与反压护道法,或填土预压法与砂子加实桩法并用。由填土预压促进固结沉降,由反压护道或砂子加实桩达到软土路基的稳定。

(5)填土预压法与竖向排水井法,这两种方法并用可加速固结沉降。

(6)缓速填土加载法与竖向排水井法并用。以缓速填土加载达到软土

路基的稳定,以竖向排水井促进软土地基的沉降。

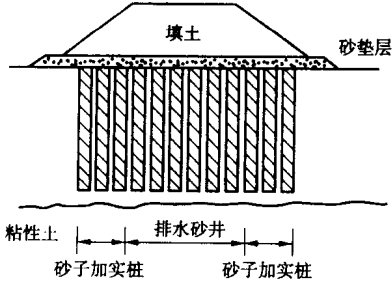


图 1-1 竖向排水井与砂子加实桩并用

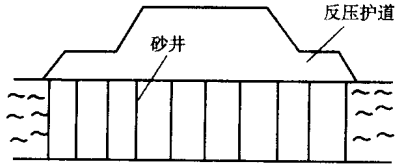


图 1-2 砂井与反压护道并用

(7)反压护道与砂垫层、砂垫层与抛石挤淤法、反压护道与换土等并用。
如图 1-3、图 1-4 和图 1-5。

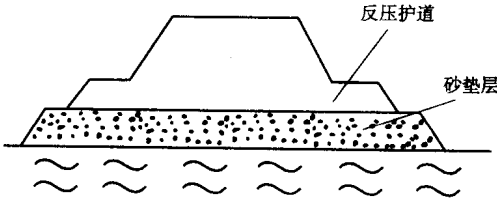


图 1-3 反压护道与砂垫层并用

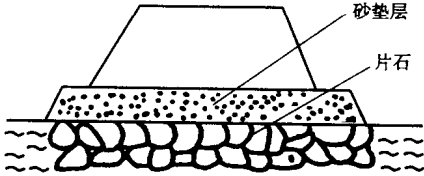


图 1-4 砂垫层与抛石挤淤并用

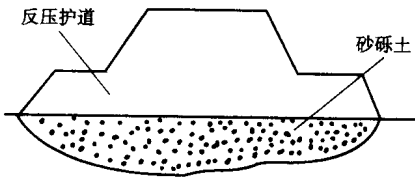


图 1-5 反压护道与换土并用

第二节 垫层与浅层处治

换填砂(石)垫层法是最简单、最古老的软基处理方法,是浅层软土地基的处理方法之一。其方法是将基础底面以下不太深的处理范围内的软弱土层挖去,然后以质地坚硬、强度较高、性能稳定好、具有抗侵蚀性的砂、碎石、卵石、素土、灰土、矿渣等材料分层换填,同时用人工或机械方法进行压、夯、振动等密实处理。处理深度一般控制在 3m 以内,但不宜小于 0.5m,如果垫层太薄,则换土垫层的作用不显著。

一、砂垫层法

砂垫层法施工简单,费用较低,不需特殊机具设备,占地较少,但需砂料较多,预压时间长。

1.适用范围

砂垫层法适用于填土高度小、软土层薄、埋深浅、无硬壳层、排水性好、砂源丰富、工期不紧的软土路基。

2.设计要点

(1)砂垫层厚度一般为 $0.6 \sim 1.0\text{m}$,宽度应超出其上填土 $0.5 \sim 1.0\text{m}$,具体视路堤高度和软土厚度及压缩性而定。

(2)砂垫层材料宜采用中砂及粗砂,不准掺有细砂及粉砂,含泥量不应超过 5% ,不得含有植物残体、垃圾等有机杂质。

3.施工要点

(1)砂垫层施工中的关键是将砂加密到设计要求的密实度,加密的方法常用碾压法、重锤夯实法和振动压实法三种。这些方法要求分层铺砂,然后逐层振密或压实,分层的厚度视振动力的大小而定,一般为 $15 \sim 20\text{cm}$ 。

(2)要求砂砾垫层无明显粗细粒料分离,最大粒径不宜大于 5cm ,且细料不宜过多。

(3)砂垫层宽度应宽出路基边脚 $0.5 \sim 1.0\text{m}$,两侧墙以片石护砌或采用其他方式防护,以免砂料流失。

(4)碾压法施工时最佳含水量一般控制在 $8\% \sim 12\%$ 。

4.施工方法

(1)当地基表层具有一定厚度的硬壳层,其承载力较好,能支撑一般运输机械时,一般采用机械分堆摊铺法,即先堆成若干砂堆,然后用机械或人工方式摊平。

(2)当硬壳层承载力不足时,一般采用顺序推进摊铺法。

(3)当软土地基表面很软,如新沉积或新吹填不久的超软地基,首先要改善地基表面的持力条件,使其能支撑施工人员和轻型运输工具。工程上常采用如下措施:

①地基表面铺荆笆。荆笆搭接处用铅丝绑扎,以承受垫层等荷载引起的拉力,搭接长度取决于地基土的性质,一般搭接长度为 20cm 。当采用两层荆笆时,应将搭接处错开,错开距离以搭缝之间间距的一半为宜,荆笆搭接如图 1-6 所示。

②表面铺设塑料纺织网或尼龙纺织网,纺织网上再作砂垫层,如图 1-7 所示。

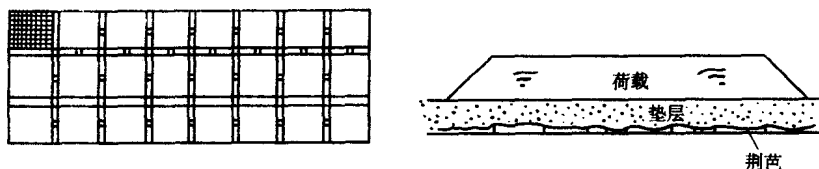


图 1-6 荆笆设置示意图

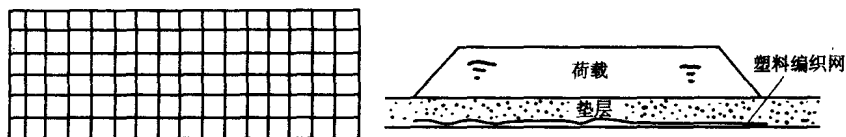


图 1-7 塑料纺织网铺设示意图

③表面铺设土工合成材料,土工合成材料上再铺排水垫层,如图 1-8 所示。

以上为目前超软地基上施工常用的方法,它们可单一使用,也可混合使用,还可根据当地材料来源,选择具有一定抗拉强度、断面小的材料。但应注意:

①饱水后材料要有足够的抗拉强度;

②当被加固地基处在边坡位置或将来有水平力作用时,由于材料腐烂而形成软弱夹层,给加固后地基的稳定性带来潜在影响。

④尽管对超软地基表面采取了加强措施,但持力条件仍然很差,一般轻型机械上不去时,通常采用人工或轻便机械顺序推进铺设,常用的有以下两种方式:a.用人力手推车运砂铺设;b.用轻型小翻斗车铺垫。

图 1-8 土工合成材料铺设示意图

5. 施工注意事项

(1)无论采用何种施工方法,在排水垫层的施工过程中都应避免各层的过大扰动,以免造成砂料和淤泥混合,影响垫层的排水效果。

(2)为确保路基稳定,砂砾石材料不宜过大。

(3)砂砾石垫层应分两层铺筑,分层压实。

(4)铺设砂砾石材料时,应从路基横向两侧向中间摊铺,厚度应均匀一致。

(5)砂砾石排水层,不得受泥土等杂物的污染,插入塑料排水板时所带的泥土应即时清除。

6. 质量控制与检验

(1)质量控制