

GONGLU GONGCHENG
RUANJI CHULI

公路工程

软基处理

刘玉卓 主编



人民交通出版社
China Communications Press

Gonglu Gongcheng Ruanji Chuli

公路工程软基处理

刘玉卓 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统地总结了公路软土地基实用处理方法,主要包括:软土科学分类与软土路基;软土地基处理的设计原则与计算方法;软土路基稳定性与沉降;各种实用处理方法使用条件与使用范围,并说明其工艺过程、材料要求、机具配套、施工要点、劳动组织及检测分析方法,每种实用处理方法附有相应的软土地基处理工程实例。

本书内容丰富、实用性强,适合于从事软土地基处理设计、施工单位技术及管理人员学习,也可作为大专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程软基处理/刘玉卓主编.-北京:人民交通出版社,2002.1
ISBN 7-114-04177-2

I.公… II.刘… III.道路工程-软土地基-地基处理 IV.U416.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第003260号

公路工程软基处理

刘玉卓 主编

正文设计:王静红 责任校对:宿秀英 责任印制:张 凯

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

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:19 字数:457千

2002年3月 第1版

2002年3月 第1版 第1次印刷

印数:0001—4000册 定价:32.00元

ISBN 7-114-04177-2

U·03057

《公路工程软基处理》编委会

主任:王志强

副主任:刘玉卓

委员:王志强 李振民 刘玉卓 王国清 李建军

《公路工程软基处理》编写组

主编:刘玉卓

副主编:王国清 李建军

编写人员:刘玉卓 王国清 李建军 周虎鑫 张君纬
刘秀菊 李池英 黄兆庚 孙进才 孙文进

我国幅员辽阔,地质情况复杂多变,其中软土在我国分布广泛,给公路工程建设和人工构造物带来较大的影响和隐患,成为公路工程关键问题之一。道路选线应尽可能避开软土地区,但有时不得不将路线选在明知是相当软弱的软土地基地区。在软土地区修建公路,高路堤存在稳定性差和过大的变形沉降,而低路堤在交通荷载作用下,常使道路沉降变形,严重影响道路的质量和使使用,由此造成的经济损失是巨大的。因此,软土地基上修建公路,特别是高等级公路,地基的处理和路基工程的施工,不但在勘察、设计、施工阶段,而且在养护期间,都要比一般路基工程地段难度更大,考虑的因素更全面、更慎重。

近20年来,在高等级公路建设中,对软土路基处理问题已成为影响工程造价和道路使用质量的突出矛盾之一。解决这一问题的关键是在正确认识软土路基的性质与危害性基础上,借鉴已有成果和资料,结合工程现场实际,合理选择一种或几种组合的处理方法,使处理后的路基满足建设工程各项要求。我国已建或拟建的高等级公路中,有数十条高等级公路不同程度、长短不一地修建在软土或软弱地基上。不同地区软土性质有较大差别,因而选用的处理方法也是因地制宜。对于高等级公路建设,软土地基处理虽已有成功的工程实例,但老问题总会出现新情况,各种处理方法也在不断发展和完善。目前,有的处理方法简便易行,便于操作且实用性强,能够很好地满足工程要求,这已在工程实践中得到证实。但是,目前系统介绍公路软土地基处理方面的交通专业技术出版物并不多见,只有一些技术人员发表的零散的科技论文。因此,河北省交通厅科教处组织有关人员,对公路软土地基处理进行专题应用技术研究。课题组搜集了国内外大量有关处理软土路基的资料,在已有成果和总结我省高等级公路软土地基处理的基础上,经研究整理编写出《公路工程软基处理》一书。主要内容包括:软土科学分类与软土路基;软土地基处理的设计原则与计算方法;软土路基稳定性与沉降;各种实用处理方法使用条件与使用范围,并说明其工艺过程、材料要求、机具配套、施工要点、劳动组织及检测分析方法,每种实用处理方法附有相应的软土地基处理工程实例。该书内容丰富,实用性强,对从事软土地基处理设计、施工单

位技术及管理人员和大专院校师生有一定的实用意义和参考价值。

该书由刘玉卓主编。第1、2、12、13章由刘玉卓编写;第3、4章由周虎鑫编写;第5、6、7、8、11、16章由李建军编写;第9、10章由王国清编写;第15章由张君纬编写;第14章由黄兆庚和刘玉卓编写。该书在编写过程中得到了河北省交通厅领导的大力支持和帮助,刘秀菊、李池英、孙进才、孙文进等几位同志在本书的编写过程中,做了大量工作,人民交通出版社吴有铭同志给予了具体指导,在此一并表示感谢!

该书在编写过程中参考了大量技术文献,恕不一一列出,谨对有关作者感谢!

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

2001年12月

第1章 土的基本特性与公路软土地基

1.1 土的基本特性和分类	1
1.1.1 土的组成与特性	1
1.1.2 土的工程性质	3
1.1.3 土的工程分类	10
1.2 软土及其特征	12
1.2.1 软土的概念	12
1.2.2 软土的类型及其特征	12
1.3 软土的鉴别及工程性质	14
1.3.1 软土的鉴别	14
1.3.2 软土的工程性质	17
1.4 特殊地基及其处理	17
1.4.1 人工填土地基	17
1.4.2 山区岩土地基	17
1.4.3 岩溶地基	18
1.4.4 多年冻土地基	20
1.4.5 湿陷性黄土地基	20
1.4.6 软土地基	22
1.4.7 膨胀土地基	23
1.5 公路软土路基	25
1.5.1 路基选线原则	25
1.5.2 路基设计原则	25
1.5.3 勘测要点	27
1.6 我国主要分布地区软土地基的工程特性	28
1.6.1 沿海地区软土地基的工程特性	28
1.6.2 珠江三角洲地区软土地基的工程特性	28
1.6.3 韩江三角洲地区软土地基的工程特性	29

第2章 公路软土地基处理方法

2.1 软土处理方法及其适用性	31
2.1.1 软土地基处理的概念	31

2.1.2	软土地基处理的对象与鉴定	31
2.1.3	处理方法及其适用性	32
2.1.4	选择处理方法时应考虑的条件	34
2.2	常用软基处理方法的比较	35
2.2.1	软土路基处理方案的选择	35
2.2.2	砂垫层与土工织物的比较	38
2.2.3	粉喷法和浆喷法的比较	38
2.2.4	塑料排水板与砂井的比较	39
2.2.5	塑料排水板与袋装砂井法的比较	39
2.3	几种特殊情况的处理方法	40
2.3.1	低填土	40
2.3.2	半挖半填	40
2.3.3	倾斜基岩上软土层地基处理	40
2.3.4	软土上构造物地基的处理方法	41
2.3.5	地基液化	43
2.4	常用的综合(组合)处治方法	43
2.4.1	常用软土地基处理方法的组合	43
2.4.2	常用软土地基处理方法的几种组合	44
2.5	国外几种软土路基施工法简介	45
2.5.1	轻型填方施工法	45
2.5.2	加固填方施工法	46
2.5.3	使用土工织物处理软土地基	47
2.5.4	深层拌和处理施工法	48
2.5.5	冻结施工法和注入化学药剂施工法	49
2.5.6	真空联合堆载预压处理软土地基	49
2.6	水运工程软土地基处理技术应用现状	51
2.6.1	换填法	52
2.6.2	排水固结法	53
2.6.3	水泥深层搅拌法	54
2.6.4	复合地基的处理方法	55
2.6.5	软基处理的监控与检验技术	55
2.7	软土地基处理新技术	56

2.7.1 CFG 桩	56
2.7.2 砂石桩与低强度混凝土组合型复合地基	57
2.7.3 高压水切割消淤	57
2.7.4 薄层轮加法填筑路堤	57
2.7.5 劈裂注浆技术	57
2.7.6 夯实扩底桩	58

第 3 章 路堤及构造物的稳定

3.1 稳定影响因素	60
3.2 稳定验算	61
3.2.1 均质土坡整体分析	61
3.2.2 圆弧滑动条分法	61
3.2.3 瑞典法	63
3.2.4 毕肖普法	64
3.3 稳定观测及特殊情况处理	65
3.3.1 地震对土坡稳定的影响	65
3.3.2 稳定观测	66
3.3.3 抗剪强度指标的选用问题	66
3.3.4 容许安全系数的取值	67
3.3.5 提高软基土坡稳定性的措施	67

第 4 章 路基沉降及验算

4.1 沉降一般规律	69
4.2 沉降计算	70
4.2.1 压缩试验与压缩曲线	70
4.2.2 压缩性指标	71
4.2.3 沉降计算方法	73
4.3 沉降系数的影响因素	74
4.3.1 荷载对沉降系数的影响	75
4.3.2 地基处理方法对沉降系数的影响	75
4.3.3 填土施工速率对沉降系数的影响	76
4.3.4 地质条件对沉降系数的影响	76

4.4 综合沉降系数的计算模式	76
4.5 沉降观测及特殊情况处理	77

第5章 软土路基设计处理原则

5.1 一般规定	79
5.1.1 软土路基的一般研讨	80
5.1.2 初步研讨	81
5.1.3 概略研讨	82
5.1.4 详细研讨	84
5.2 常见处理措施	87
5.2.1 垫层与浅层处理	87
5.2.2 轻质路堤	88
5.2.3 反压护道	88
5.2.4 加筋路堤	88
5.2.5 粒料桩	89
5.2.6 加固土桩	91
5.2.7 预压及超载预压	91
5.2.8 竖向排水体预压	92
5.2.9 综合(组合)处置设计	92

第6章 袋装砂井法处理公路软土地基

6.1 加固机理及加固作用	94
6.1.1 排水砂井的作用	94
6.1.2 袋装砂井	94
6.1.3 袋装砂井的承重作用	95
6.2 设计与计算	96
6.2.1 设计原则	96
6.2.2 袋装砂井地基的计算	97
6.2.3 地基抗剪强度的增加	101
6.3 袋装砂井的施工	103
6.3.1 材料	103
6.3.2 施工机械	103

6.3.3 施工工艺	104
6.3.4 施工质量控制	104
6.4 袋装砂井的质量检测	105
6.5 沉降与稳定观测	106
6.6 工程实例	109

第7章 塑料排水板法处理公路软土地基

7.1 塑料排水板的类型	115
7.2 塑料排水板处理软土地基的设计	115
7.3 塑料排水板施工	116
7.3.1 材料要求	116
7.3.2 施工机械	116
7.3.3 施工工艺	117
7.3.4 施工质量控制	118
7.3.5 施工中常出现的问题及解决方法	118
7.3.6 质量监控	119
7.4 工程实例	121
7.5 设计探讨	126
7.5.1 土的有效应力原理	126
7.5.2 理想井与非理想井的固结理论	127
7.5.3 涂抹影响	127
7.5.4 井阻影响	128
7.5.5 等效直径	128
7.5.6 固结系数	129
7.5.7 施工应用方面	129

第8章 钢渣加固桩处理软土地基

8.1 钢渣桩的概念	131
8.2 钢渣桩加固软土地基的特点	131
8.2.1 钢渣的化学成分	131
8.2.2 钢渣的力学性质	132
8.3 钢渣桩加固地基的机理	132

8.3.1 钢渣桩加固地基的特点	132
8.3.2 钢渣桩加固地基的机理与作用	132
8.4 钢渣桩的设计计算	133
8.4.1 加固软土地基的设计	133
8.4.2 复合地基的设计	135
8.5 钢渣桩的施工	136
8.5.1 材料要求	136
8.5.2 施工机具	137
8.5.3 施工工艺	137
8.5.4 施工方法	137
8.5.5 质量控制及检测	137
8.6 工程实例	138

第9章 夯实扩底灌注桩处理公路软土地基

9.1 夯实扩底灌注桩的基本原理及适用性	142
9.1.1 基本原理	142
9.1.2 适用条件及在公路工程中的应用范围分析	142
9.2 夯实扩底灌注桩的设计原理及基本构造	143
9.2.1 设计基本原理	143
9.2.2 桩基竖向承载力计算	144
9.2.3 桩基构造	147
9.2.4 桩基布置	149
9.2.5 沉降计算	150
9.3 施工工艺及质量控制	150
9.3.1 施工设备	151
9.3.2 工艺流程	151
9.3.3 质量检查与控制	152

第10章 高速公路中的注浆技术

10.1 压力注浆	154
10.1.1 压力注浆法加固地基机理	154
10.1.2 压力注浆法的分类	155

10.1.3 压力注浆方案选择	156
10.1.4 压力注浆边界范围	156
10.1.5 压力注浆材料选择	156
10.1.6 压力注浆参数的确定	157
10.1.7 注浆加固的地基与路基、构造物的关系	160
10.1.8 压力注浆施工工艺	161
10.1.9 压力注浆效果及质量评价	162
10.1.10 压力注浆施工质量通病与防治措施	164
10.2 高压旋喷桩	165
10.2.1 高压旋喷桩加固地基机理	165
10.2.2 旋喷注浆复合地基的力学特征	166
10.2.3 高压旋喷注浆方案选择	169
10.2.4 高压旋喷注浆材料	170
10.2.5 高压旋喷参数的确定	171
10.2.6 高压旋喷注浆施工工艺与技术要求	172
10.2.7 旋喷桩与路基、构造物的关系	174
10.2.8 高压旋喷注浆质量检测方法	174

第 11 章 粉喷桩处理公路软土地基

11.1 粉喷桩的应用概述	177
11.1.1 定义	177
11.1.2 粉喷桩的发展简况	177
11.1.3 适用范围	177
11.2 粉喷桩加固机理	178
11.2.1 石灰加固软土的机理	178
11.2.2 水泥加固软土的机理	178
11.3 粉喷桩的设计与计算	179
11.3.1 粉喷桩的设计	179
11.3.2 粉喷桩的计算	182
11.3.3 下卧层地基强度的验算	186
11.3.4 沉降计算	186
11.4 粉喷桩的施工	186

11.4.1 材料	186
11.4.2 施工机械	187
11.4.3 施工工艺	189
11.4.4 施工组织	190
11.4.5 粉喷桩施工常遇到的问题(故障)及排除方法	191
11.5 质量控制及检测	192
11.5.1 质量控制	192
11.5.2 质量保证措施	192
11.5.3 粉喷桩现场质量检测	193
11.6 工程实例	195

第 12 章 挤密桩处理公路软土地基

12.1 土(灰土)挤密桩处理软弱地基	203
12.1.1 加固原理	204
12.1.2 挤密桩设计	204
12.1.3 挤密桩法施工及机械设备	206
12.1.4 质量控制与检验	208
12.2 碎石挤密桩处理软土地基	209
12.2.1 加固机理	210
12.2.2 碎石挤密桩的设计	211
12.2.3 碎石挤密桩法施工	215
12.2.4 质量控制与检验	217
12.3 工程实例	218

第 13 章 换填法处理软土地基

13.1 换填法	221
13.1.1 换填法的原理及使用范围	221
13.1.2 垫层材料选择	222
13.1.3 垫层设计	223
13.1.4 垫层施工	226
13.1.5 质量控制与检验	228
13.2 挤淤置换法	230

13.2.1 原理及使用范围	230
13.2.2 施工工艺	231
13.2.3 工程实例	232
13.3 褥垫法	232
13.3.1 加固原理	232
13.3.2 施工及注意事项	233
13.3.3 质量控制和检验	234

第 14 章 土工合成材料处理公路软土地基

14.1 土工合成材料简介	236
14.1.1 土工合成材料的定义	236
14.1.2 土工合成材料的分类	236
14.1.3 土工合成材料的功能	237
14.1.4 与土相互作用的加筋机理	238
14.2 土工合成材料在公路工程中的应用现状	240
14.2.1 路堤加筋	240
14.2.2 台背路基填土加筋	240
14.2.3 过滤与排水	240
14.2.4 路基防护	241
14.2.5 路面裂缝防治	241
14.3 土工合成材料在公路软土地基中的应用	242
14.4 工程实例	242

第 15 章 固化土的原理及其应用

15.1 概况	250
15.2 固化剂的分类和固化原理	250
15.2.1 固化剂的分类	250
15.2.2 固化剂的固化原理	250
15.2.3 常用固化剂的种类	251
15.2.4 固化剂的适用性和比较	252
15.3 固化剂的试验与配合比设计	254
15.4 固化土的施工与技术要求	254

15.4.1 施工	254
15.4.2 注意事项	256
15.4.3 液体灌浆技术的施工	256
15.5 固化土施工的技术经济评价	257
15.6 工程实例	258

第 16 章 强夯法处理公路软土地基

16.1 强夯法概述	262
16.2 强夯法的加固机理	262
16.2.1 饱和土加固机理	263
16.2.2 非饱和土加固机理	264
16.2.3 强夯法的适用条件	264
16.3 强夯法的设计	265
16.3.1 有效加固深度	265
16.3.2 夯击能	266
16.3.3 夯击次数	267
16.3.4 夯击遍数	267
16.3.5 夯点间距确定	268
16.3.6 间歇时间	268
16.3.7 夯锤的选择	268
16.4 强夯法的施工	269
16.4.1 施工要点	269
16.4.2 施工质量控制	270
16.4.3 强夯的振动	270
16.4.4 施工机具的选择	271
16.5 质量检验	272
16.5.1 检验方法	272
16.5.2 现场试验	272
16.5.3 室内试验	272
16.6 工程实例	273

附录 一、我国沿海地区典型软粘土的物理力学性能指标(附表 1)

二、珠江三角洲典型工程土质物理力学性能指标(附表 2)

- 三、珠江三角洲饱和粘土微结构参数统计(附表 3)
- 四、我国部分地区软土物理力学性能指标(附表 4)
- 五、我国部分地区膨胀土的物理力学性能指标(附表 5)
- 六、我国红粘土主要分布区及其物理力学性能指标(附表 6)
- 七、我国湿陷性黄土主要分布区及其物理力学性能指标(附表 7)
- 八、我国新近堆积黄土分布区及其物理力学性能指标(附表 8)
- 九、黄土的物理力学性能指标(附表 9)