

SHANDONG GONGLU YANGHU JISHU
YINGYONG YU YANJIU

◎ 主 编 王松根

◎ 副主编 马庆雷 张玉宏

山东公路养护技术 应用与研究



人民交通出版社
China Communications Press

Shandong Gonglu Yanghu Jishu Yingyong Yu Yanjiu

山东公路养护技术应用与研究

主 编 王松根

副主编 马庆雷 张玉宏

人民交通出版社

内 容 提 要

本书收录了来自山东公路养护一线的科技论文 80 余篇,全面反映了近几年以来山东省在公路养护新技术研究、新工艺探索、新设备推广、新材料应用方面取得的成果。

本书的论文是对山东省公路养护工作的总结,也可供其他省份公路养护技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

山东公路养护技术应用与研究/王松根主编. —北京:
人民交通出版社, 2005.9
ISBN 7-114-05770-9

I. 山... II. 王... III. 公路养护-新技术应用-
山东省-文集 IV. U418.4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 107635 号

书 名: 山东公路养护技术应用与研究

著 作 者: 王松根

责任编辑: 毛 鹏

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 26.25

字 数: 660 千

版 次: 2005 年 10 月第 1 版

印 次: 2005 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05770-9

印 数: 0001~3000 册

定 价: 48.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



前言

FOREWORD

随着国民经济的发展,公路建设事业的进步,人们对公路养护提出更高的要求,加上超限超载车辆的无度行使与破坏,公路养护不断遇到新的技术难题。面对困难和挑战,山东公路人积极探索,勇于创新,紧紧结合山东公路养护实际需求,针对长期困扰公路养护的技术难题,组织科技力量进行了专题研究,获得重大突破。“十五”以来,共获得国家科技进步二等奖两项,获山东省科技进步奖多项,公路养护技术有了新的突破和发展。与此同时,广大公路养护技术人员撰写的一些反映山东公路养护实际情况的技术论文,尤其是反映“新技术、新材料、新工艺、新设备”等四新成果的研究与应用方面的文章,相继被技术刊物、报纸、杂志收录发表。这些论文从新技术的研究、新工艺的探索、新设备的推广、新材料的应用以及养护管理的探讨等多方面、多层次、全方位地反映了山东公路养护的实际,反映了山东公路养护技术应用与研究的现状。

本书共整理收录来自公路养护生产一线的科技论文 80 余篇。该书着眼于既能够代表和反映山东公路养护的实际和水平,又能体现先进性、创新性,着眼于既能够进一步指导山东公路养护技术的推广应用,又能推动养护技术的进步和提高,着眼于既能为山东公路养护服务,又能为广大同仁提供参考的基础上,从已经发表和尚未发表的论文中精选而成。该书系统、全面反映了山东在路基养护、边坡防护、路面养护、桥涵加固、公路绿化以及养护管理等方面的养护技术应用与研究情况,是山东多年来公路养护技术的缩影;同时,也反映了山东公路人在公路养护中不断克服困难、战胜困难,积极推进养护技术进步的艰辛历程,对广大公路养护同仁有着重要的参考价值,值得广大公路养护工作者借鉴。

由于编写时间仓促,编者的水平有限,书中错漏之处在所难免,希望读者批评指正,以便于日后修订。

编 者

2005 年 7 月于济南



目 录

CONTENTS

第一篇 路基养护

公路工程中的地基处理技术综述	3
公路路基支挡结构物加固技术研究	11
公路路堑高边坡加固技术研究	18
公路路堑段地下水的反渗防治措施	24
公路路基侧滑失稳的防治技术研究	29
压密注浆处理高填土路基的应用探讨	35
高速公路高填方路基滑坡处理的探讨	38
高路基出现沉陷、滑坡的成因分析及其处治	42
袖阀管法压浆技术在处理路基沉陷中的应用	46
养护改建工程中拓宽新老路结合部的施工技术	50

第二篇 路面养护

高速公路沥青路面分期实施技术及应用	57
沥青路面养护管理与应用技术	62
大碎石沥青混合料柔性基层在路面补强中的应用研究	78
大粒径沥青碎石加铺层结构反射裂缝调查及应力分析	87
大粒径沥青混合料柔性基层在公路大修工程中的应用	93
沥青路面现场冷再生技术在老油路大修工程中的应用	97
沥青路面非荷载型裂缝灌缝技术探讨	102
改性沥青在路面养护工程中的应用	105
关于对应用改性沥青若干问题的探讨	109
阳离子乳化沥青稀浆封层应用技术	115
旧水泥混凝土路面碎石化后的沥青加铺层设计	118
国外水泥混凝土路面碎石化技术简介	126
水泥混凝土路面碎石化改造技术应用与探讨	132
基础软化后水泥混凝土路面板的力学分析	138
水泥混凝土路面沥青加铺层温度应力分析	142
水泥混凝土路面病害的成因及防治	148

解析水泥混凝土路面损坏原因及养护对策	152
旧水泥混凝土路面加铺水泥稳定半刚性基层裂缝的分析与防治	162
HFC 早强高韧性混凝土研制及在混凝土路面抢修中的应用	170
采用压浆工艺处理水泥混凝土路面板底脱空	177
低剂量水泥稳定粒料基本性能	181
水泥稳定碎石延迟实验探讨	185
水泥稳定碎石基层施工及质量控制	188
石灰砂桩在沥青路面养护中的应用	191
机械设备的调配对高等级公路平整度的控制	193

第三篇 桥涵养护

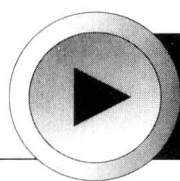
公路桥梁加固设计的基本原则与技术要求	199
钢筋混凝土桥梁上部结构综合加固技术与应用	204
CFRP 加固钢筋混凝土梁正截面强度计算方法研究	213
碳纤维片加固钢筋混凝土简支梁桥对比性试验研究	218
CFRP 加固混凝土梁各受力阶段的剥离机理	224
大跨径连续钢桁梁竖杆更换工艺与监控	232
千吨级大型设备公路运输路桥加固技术研究与实践	236
京杭运河大桥加固方案设计与施工控制	240
埠东大桥提高荷载承载能力的加固改造	245
超重车运输中桥梁承载能力的评估	252
大边梁加固技术在公路桥梁加固加宽中的应用	254
双曲拱桥上部构造渗水问题的防治	259
潍河特大桥加固技术介绍	263
大跨径斜拉桥的经常检查	265
平阴黄河公路大桥大修工程对钢桥涂装施工的工艺及体会	273
旧石拱桥维修加固方案	277
套拱法加固石拱桥	280
204 国道西一流高架桥悬臂牛腿修复技术研究	283
运用压浆技术加固桥梁基础	287
静压灌浆技术在桥梁加固中的应用	290
旧桥抬高中立柱破断施工实例	293
旧 T 梁桥伸缩缝改造	296
粘贴碳纤维技术在桥梁加固中的应用	298
浅议微膨胀混凝土在超长结构施工中的应用	304
先张预应力空心板早期裂缝成因与防治	308
现浇板梁底板裂缝成因分析及加固处治	312
旧桥病害检测及其维修措施	314
混凝土裂缝修补的新方法—壁可 (BICS) 法	319

第四篇 绿化及附属工程

山东公路特殊路段绿化实施技术	325
高速公路绿化改造工程设计与施工	328
保水剂在公路绿化中的应用技术研究	332
滨海盐碱地公路绿化植树对比试验初报	337
公路盐碱地栽植柞柳的技术探讨	341
济南市公路绿化苗木品种选择探讨	344
济宁地区高等级公路草坪绿化的研究	347
公路绿化施工中的反季节栽植技术研究	351
北方丘陵地区高速公路绿化树木养护管理	356
提高苗木成活率的措施	359
大树移栽七要素	360
滨博高速公路绿化工程技术研究	362

第五篇 养 护 管 理

公路养护从“畅洁绿美”到“畅安舒美”	369
开拓公路养护可持续发展之路	371
公路工程施工质量控制应建立第三方质量检测监督机制	379
关于公路工程施工招标“现场决标”评标方法的探讨	382
项目业主如何控制施工质量	385
加强养护大中修工程的合同化管理	389
养护监理制度的探讨	392
高速公路养护投资与效益分析	395
公路养护发展谏议	398
公路对环境的影响与保护措施	402
浅谈公路施工企业工程成本的控制	405
浅谈公路施工企业机械设备的管理	407



第一篇

PART 1

路基养护

公路工程中的地基处理技术综述

王松根¹ 宋修广²

1. 山东省交通厅公路局; 2. 山东大学

摘 要:公路建设面对的首要问题是对地基的处理,要根据不同的地质条件,特别是对软弱地基要进行加固处理。如果不进行处理或处理不当就会造成路基失稳或工后沉降过大,给以后公路的运营安全和养护管理留下隐患。本文针对山东省的地质条件和部分工程实例,综合论述了地基处理中常用技术和新技术,供同行在工程中参考。

关键词:公路工程 软弱地基 加固技术

1 概 述

在公路建设中,尤其是在修建高速公路时,对地基承载力的要求较高,对一些软土地基或不良地基往往要投入大量的资金对其进行加固处理。常用的地基处理方法有挖除换填、抛石挤淤、预压及超载预压、复合地基等。各种地基处理方法有其各自特点,不是哪一种技术都能适用于任何软基的处理,要根据不同地基的情况、工程的具体要求,因地制宜地选择处理方案。具体技术方案要充分考虑投资、工期、加固效果多方面的因素。山东地处黄河下游与黄海之滨,主要为滨海沉积、湖相冲积以及近代黄海三角洲海积冲积平原区。其中黄河冲积平原约占全省陆地面积的50%,该地区地质主要特点是河流、沟渠众多,分布广,地下水位高,土质含水量大,地基承载力低,土质稳定性差。分布在山东的深厚软土地基主要为沿海饱和软粘土层和沿黄河松散软土土层两大类地基。这两类土的物理、力学性质很不相同,在工程实践中必须注意它们的各自特性,根据工程的具体情况对几种地基处理方法进行技术、经济以及施工进度等方面的比较,选出技术上可靠,经济上合理,且能满足施工进度要求的最佳处理方案。

在以往公路的建设中,主要采用前面提到的几种地基处理方法,这在当时的条件下应该说设计的思路是正确的,有些路段的处理效果也是好的。但是,在实践中我们从全方位的角度来看也发现一些不尽人意的地方,离我们的质量目标还存在一定的距离。存在的主要问题是处理深度不够或效果不理想,使地基的工后沉降过大,工程使用后有以下几个方面表现:

(1)一些建于软基上的高速公路工后沉降大,进而影响到路面结构质量,竣工通车3~5年(个别的仅1~2年)后便要大修;

(2)路堤产生较大的不均匀沉降导致局部路面出现高低不平;

(3)部分桥头出现跳车现象,个别比较严重;

(4)局部路面在通道管涵地段出现横向贯穿裂缝;

(5)局部地段出现排水沟断裂、排水纵坡紊乱等。

出现这些问题的主要原因有:

(1)地基的软土深厚,而限于当时投资、施工机械的能力,处理深度尚嫌不够或处理技术不能满足要求;

(2)地基处理属隐蔽工程,对其施工的监督管理缺乏成熟、有效的经验;

(3)试验段提前时间太短,实时指导性不够;

(4)地基处理设计仅以控制稳定为主,工后沉降控制由于设计规范提供的计算方法不成熟和不准确而不能落到实处。

基于上述原因,我们必须在工程实践中不断地对地基处理技术进行探索研究,不断提高地基处理的技术水平,从而提高公路建设质量。

2 公路工程中地基处理技术

2.1 软弱地基处理技术

主要介绍换填法、堆载预压法、复合地基法、路面分期实施技术等。

2.1.1 换填法

当公路地基为软弱土,不满足上部路面结构对地基强度和变形的要求,而软弱土层的厚度又不是很大时,可采用换填法进行处理。换填法即将软土层的一部分或全部挖去,然后以质地坚硬、刚度大、变形小的砂、碎石、卵石、灰土、矿渣等材料分层充填,并以人工或机械的方式进行振动、夯实等密实处理,成为良好的人工地基。换填法适用于处理淤泥、淤泥质土、湿陷性土、膨胀土、冻胀土、杂填土地基,但它一般适用于软土厚度不是太大的情况,因此它的处理深度有限(一般不超过3m)。

工程实例:

日东高速公路和同三高速公路日照段沿线软土地基分布变化较大,淤泥质土层埋深在1.5~7m不等,对于软土层厚深不到3m以上的路段采用换填的方法进行处理,处理效果较好。

2.1.2 堆载预压法

堆载预压法是在软土中打设垂直塑料排水板,在填土荷载作用下,土中孔隙水慢慢排出,孔隙比减小,地基发生固结变形,超静水压力逐渐消散,土的有效应力增大,从而使地基土的强度逐步增强的一种地基加固方法。堆载预压法主要由排水系统和荷载系统两部分组成。目前,堆载预压又有等载预压法和超载预压法。但单纯使用堆载预压法存在加固期长、加固深度浅、工后沉降较大、施工过程中必须严格控制加载速率等问题。

工程实例:

烟台市滨海东路为滨海南路至养马岛的一条沿海旅游观光路,是烟台市重点工程项目,全长11.5km。其中K19+528~K21+500段为软土地基段。地质勘探表明,该段有厚度3~9m不等的新近海积泻湖相淤泥质土。由于淤泥质土层厚,强度低,稳定性差,在路基填筑过程中,出现了路堤侧向滑移破坏和沉降较大的等问题,侧滑路段路堤坡角隆起最高达1.5m左右,路堤出现纵向裂缝,最大宽处达40cm,沉陷最大约120cm。经方案论证采用反压护道+堆载预压方法进行处理,预压期为8个月,监测表明效果较好。

2.1.3 水泥土桩复合地基法

水泥土桩复合地基法是将特制的深层搅拌机插入地基内指定深度处,搅拌轴边旋转注浆管边喷出水泥浆或水泥粉等固化剂并与土强制搅拌成水泥土。水泥土桩法分为喷浆搅拌法和

喷粉搅拌法。喷浆搅拌法适用于处理淤泥、淤泥质土、粉土和地基承载力标准值不大于120kPa的粘性土等地基。当软土含水量大于50%,宜选用喷粉搅拌法。当地下水具有腐蚀性或处理有机质土、泥炭质土时应通过试验确定其适用性。水泥土桩复合地基可有效提高地基承载力和减少地基沉降,可用于构筑物基础、构筑物与土路堤连接段及高填方路段的地基处理。鉴于目前施工机械和技术水平,水泥粉喷桩可靠的加固深度在10~14m之间,浆喷桩较深一点,但不宜超过20m。

搅拌桩法加固软土地基的作用主要有两个方面:

(1)首先是置换作用,水泥土桩体强度和压缩模量比天然土体提高几倍至数十倍,复合地基承受的地面荷载大部分由桩承担并直接传递到下卧土层,有效地减少了桩间土的应力和压缩量;

(2)其次是对桩间土的加固作用,搅拌时水泥浆液部分向桩间土中渗透,桩间土也有一定的固化作用。

高速公路建设中的小型构筑物基础和部分地基处理广泛应用水泥土桩复合地基法,工期紧张情况下一般段落地基处理也常采用水泥土桩复合地基。水泥土桩复合地基法一般适用于加固淤泥、淤泥质土、粉土以及含水量较高而地基承载力不大的粘性土。存在的主要问题有:有效加固深度较浅;因配合比和施工工艺必须根据地质条件及时调整而对施工单位技术水平要求严格;施工质量难以保证等。

工程实例:

济南绕城高速公路东线有一路段穿越养鱼池,该段土质主要为淤泥质粉土,采用粉喷桩进行处理,共打桩110万延米。这是山东省高速公路应用复合地基处理技术加固处理软弱地基规模最大的工程之一,为此山东省交通厅公路局和河海大学联合进行了“水泥粉喷桩在高速公路地基加固中的研究与应用”课题研究,取得的主要成果有:

(1)首次对桩间土的改良影响进行了定量分析,得到了弹性模量变化的计算公式;

(2)对路堤荷载作用下的桩土应力分布规律进行了详细的试验研究,提出了桩土应力简化的经验计算公式;

(3)采用创新可靠的试验方法对试验桩进行现场足尺试验,揭示了水泥粉喷桩的工作特性和荷载传递规律;

(4)结合水泥粉喷桩的工作特性,推导出单桩桩侧摩阻力的理论计算公式,提出了水泥粉喷桩承载力的计算方法;

(5)建立了加固区复合模量的改进计算公式,提出了 Mindlin 解和 Boussinesq 解联合求解的方法计算水泥粉喷桩复合地基沉降变形的新思路。

2.1.4 路面分期实施技术

在软土地基或不良地基上修筑高速公路时,常常出现桥头跳车和路面早期损坏现象,主要原因是由于地基固结时间较长,土质不均匀,产生不均匀沉降,引发路面早期损害;或是地基加固处治后的工后沉降引起路面的变化。对一些非软基的地质不良路段,若采取地基加固处理措施,需要增加大量的工程费用并延长工期。黄河冲积平原地区地下水位高,土质含水量大,地基承载力较低,土质稳定性差,地基固结稳定时间长,工后沉降量较大,是一种典型的地质不良地区。根据长期的科学研究和工程实践,针对黄河冲积土的地质和高速公路路面结构的特点,利用堆载预压加固原理,提出了高速公路沥青混凝土路面分期实施技术,较成功地解决了这一难题。

分期实施是相对于一次性修建而言的,其路面结构各层次(包括面层、基层、底基层)的材料及厚度与一次性修建方案原则上基本相同,只是将沥青混凝土面层分2次铺筑。第一期工程只铺筑沥青混凝土面层的一部分,在满足分期修建时间间隔内正常通车的前提下,给地基一个较长的固结沉降时间,在第二期工程实施前,软土地基的排水固结已基本完成,从而确保第二期工程竣工后的通车质量。一般预留上面层作为二期工程实施。2000年由山东省交通厅公路局和山东大学联合进行了专项研究,其关键技术点为:

(1)首次对高速公路沥青路面分期实施技术进行了系统全面地研究,揭示了分期实施技术的机理,奠定了该技术的理论基础;

(2)针对黄河冲积平原土质特点,建立了适宜工程应用的简化沉降计算方法和表格;

(3)对分期实施技术地基固结的原理进行了分析研究,建立了便于指导工程实践的计算图表;

(4)对分期实施技术路面结构中的技术问题进行了分析研究,提出了具体的处理措施和建议;

(5)对分期实施技术中的相关管理问题进行分析研究,提出了相关的解决方法和途径。

分期实施技术中二期施工时应注意的以下一些重要问题。

1)分期实施的间隔时间的确定

分期实施的间隔时间由以下因素共同确定:

(1)路面结构由15cm改为11cm后,根据设计预测交通量确定一期路面的使用年限;

(2)根据运营实际交通量确定二期路面需要实施的时间;

(3)计算地基沉降固结计算时间确定固解度;

(4)一期工程现场观测路面、桥头等关键部位沉降稳定时间。

规范要求路基等载预压一般为180d,通过对黄河冲积平原的地质特性研究分析表明与规范要求基本吻合。分期实施的间隔时间就相当于对路基进行了等载预压。一般通车2~3年的等载预压路基已基本稳定,而一期工程路面设计能够满足3~5年的交通的需要,因此二期施工间隔时间一般不应超过5年。

2)一期病害的处理

二期工程施工时,应对一期工程中暴露出的道路病害如泛油、裂缝等予以彻底处治,尤其是对桥头、不稳定路段要采取压注水泥浆等措施予以处理,对沉降的桥头部分的路面工程,要先进行找平,然后再进行二期路面的施工。

3)一二期工程的结合

分期实施一二期工程的结合是工程成败的关键,粘层油的用量是控制的重点,多了易产生泛油、推移等病害,少了易造成脱皮、推移等病害。另外,二期工程施工前要彻底清除原道路标线,清扫道路垃圾,确保一二期工程良好结合。

4)二期工程实施时的交通管制

二期工程实施时要实行交通管制,可集中半幅施工半幅通车,同时,在通车的半幅中部设置简易交通隔离墩,在适当位置设置临时限速、警示标志,确保施工和道路运营安全。

工程实例:

山东省济聊高速公路位于黄河冲积平原地区,全长40km,路基设计宽度为24.5m,设计行车速度为100km/h。该路采用分期实施技术于1995年11月开工建设,一期工程于1997年11月2日通车,二期工程于2000年10月1日竣工。采用分期实施技术不但节省了大量的地基

处理费用,由于提前通车还产生了显著的经济社会效益。

2.2 特殊地基处理技术

山东省还分布有膨胀土、湿陷性黄土、岩溶区等特殊地基。公路修建通过该类地区时,也要进行加固处理。这里主要介绍强夯法、托底灌浆技术等。

2.2.1 强夯处理湿陷性黄土

强夯法又称动力固结法,是利用起重设备将 100 ~ 600kN 的钢或钢筋混凝土锤起吊至 6 ~ 40m 高空后自由落下,重锤撞击地面给地基以强大的冲击力,地基土被挤密,加固后土的压缩性减小,强度提高,湿陷性黄土的湿陷性消除,砂土的抗液化能力提高。强夯法常用来加固碎石土、砂土、低饱和度或塑性指数小于 10 的粘性土、素填土、杂填土、湿陷性黄土等。该种地基处理方法施工工艺简单,费用低廉,因此在公路工程中应用较广泛。目前我国在强夯法加固地基技术方面存在的主要问题是施工机具技术水平低,夯击能小,加固深度小(一般在 15m 以内),遇到地下水位高时还将产生施工困难、加固效果差等问题。

工程实例:

济南绕城高速公路南线有一路段为湿陷性黄土地基。该段为山前丘陵区,土质多为山间谷地堆积洪积物、坡洪积物及风化成因的黄土、亚粘土。黄土湿陷性较严重,且土层较厚。为了减小黄土的湿陷性,保证工程质量,不延误工期,采用强重夯法进行处理。强重夯法具有加固效果好,施工速度快,投资省等优点,是值得研究推广的方法之一。但由于强夯加固机理复杂,设计参数、施工工艺等需要试夯试验确定,其理论计算方法也相对落后,施工质量控制和检测手段等还需要完善和改进。由山东省交通厅公路局和山东大学共同立项进行“湿陷性黄土地基夯实处理方法的研究”,取得了一些有价值的成果。

(1) 对强重夯处理湿陷性黄土地基的施工工艺、控制参数等进行了系统的试验研究,提出了强重夯施工设计的指导原则。

(2) 在试验数据分析的基础上,建立了最佳夯击次数及夯后地基承载力等控制指标的计算公式,对有效加固深度计算公式进行了修正,为强重夯设计和施工提供了依据。

(3) 在分析强夯加固机理和特点的基础上,提出了几何非线性动力计算模型,建立了相应的理论计算公式,发展了强夯计算理论,提高了强夯计算理论的可靠性和合理性。

(4) 推导建立了用于数值计算的有限元计算公式,开发了相应的计算程序。计算对比表明,提出的动态有限元计算方法正确可行,提高了强夯计算成果的科学性和合理性。

(5) 首次对强夯的影响范围进行了研究,在数值计算和试验对比的基础上,提出了计算影响半径的计算公式,为强夯的设计提供了理论指导。

(6) 提出了强夯施工质量全过程控制的系统方法,并结合工程实际明确了相应的质量控制标准。

(7) 开发研制了智能计数器,为强重夯的推广应用提供了有力的保障,该成果为国内外首创。

2.2.2 岩溶区托底灌浆技术

我国可溶岩分布面积占整个国土面积的 1/3,是世界上岩溶塌陷发育最广泛的国家之一。据初步统计,有 22 个省区发生过岩溶塌陷灾害,其中尤以南方的桂、黔、湘、川、赣、滇、鄂等省区最为发育,北方的冀、鲁、辽等省也发生过严重的岩溶塌陷灾害。其中山东省现有岩溶地面塌陷 22 处,塌陷坑 400 个以上。济南、徐州和淮北一带为潜在岩溶塌陷区。

岩溶塌陷的产生与许多因素有关,其中人为因素是诱发岩溶塌陷的重要因素。过量抽取

岩溶地下水或修建建筑物等原因,是造成岩溶发育强烈及地面塌陷损失的主要原因。而人为因素诱发的岩溶塌陷具有持续性、重复性,发育时间及分布范围也比较集中,因此造成的危害也很大。全国每年因岩溶塌陷造成的直接经济损失在亿元以上。

岩溶塌陷发育的广泛性与危害性,已引起国际社会的普遍关注,如何有效减轻岩溶塌陷地质灾害已成为国内外学者和工程界的一项艰巨任务。

托底灌浆是一项新技术,还处在研究阶段,用于大孔隙介质的充填灌浆,构成一种悬挂式的水平帷幕。在遇深厚层大孔隙介质时,只需在有限厚度内进行灌浆加固,比传统的充填灌浆技术费用低、污染轻、工期短。

托底灌浆利用阻流与扩散原理,分两道工序进行,先进行阻流止漏托底,然后进行加压扩散固结。当遇大的空洞和裂隙时,投入适量的砂砾和稠浆后,能在有限的深度内,将通往底部的大空隙通道堵塞,阻止浆液向底部流失,形成托底帷幕。当托底稳定后,利用浆液的流动性,使用标准浆液,附加灌浆压力,向上部介质水平扩散,达到托底灌浆加固目的。

工程实例:

莱新高速公路水源地路段,路经岩溶地区,地表岩溶洞隙发育,并有岩溶塌陷现象;在莱钢水源地大量抽吸地下水,引起地下水位大幅度下降,地表沉降,加剧了岩溶发育,为岩溶易发地段,需要进行防预和加固。经过方案论证,采用托底灌浆加固技术进行处理。山东省交通厅公路局与山东大学局共同承担了“灌浆技术在岩溶塌陷防治中的应用研究”课题研究。取得了一些有价值的成果:

(1)利用阻流和扩散原理,提出托底灌浆新技术,该技术通过封堵岩溶入渗口防止岩溶塌陷,可在一定程度上用于解决高速公路岩溶塌陷问题;

(2)对托底灌浆新技术进行了试验研究,研究了相关的施工工艺和灌浆参数,提出了相关的检测手段,提出了质量验收标准,为以后推广应用提供了依据;

(3)经检测及工程应用表明,该技术具有投资省、技术可靠、施工快、污染轻、操作简便等优点,可在类似工程中推广应用。

2.2.3 膨胀土处理

膨胀土以粘粒成分为主,主要由亲水性矿物质如蒙脱石、伊利石和高岭石等组成,具有较大的吸水膨胀、失水收缩性能和强度衰减性。由于膨胀土对建筑物的危害,人们称膨胀土为“隐藏的危害”。对膨胀土的研究,在我国仅仅只有 20 余年的历史。膨胀土在我国分布广泛,以黄河以南地区较多,一般分布在山前地带及高级阶地。该类地基处理方法有:

(1)夯实法。击实膨胀土地基以增大地基土的干密度和减小地基土含水量,从而使其凝聚力 and 内摩擦角增大,地基承载力增加。

(2)物理改良法。在膨胀土中按一定的比例掺入无机料(如风积土、粉煤灰、矿渣、砂砾石和水泥等或其混合物)改善膨胀土的胀缩特性。

(3)化学改良方法。是用有机化学灌浆剂抑制膨胀土的胀缩性,改善膨胀土的工程性质。化学改良方法从理论上讲可以根本解决膨胀土的胀缩性,但目前仍处于试验阶段,需通过实践检验才能推广。

(5)保湿法。通过保持膨胀土地基中的水分不变来抑制地基的胀缩变形。目前比较成功的保湿方法有暗沟保湿、预湿和帷幕保湿等。

(6)换土法。用普通土或灰土来替换膨胀土,这一方法对膨胀土层较薄的地区较为可靠,可以彻底根治其危害;对膨胀土层较厚的地基可采用部分挖除,铺设砂、碎石垫层的方法抑制

因膨胀土的升降变形引起的危害。总之,各种方法的采用,应根据本地区的实际情况,以安全经济为出发点,对膨胀土进行改良。

3 新技术的应用

3.1 真空联合堆载预压

所谓的“真空联合堆载预压”是将真空排水预压固结和堆载排水预压固结相结合进行软弱地基加固的地基处理方法,在加固软土时分别产生负超静孔隙水压力和正超静孔隙水压力(堆载产生),而且两者可以叠加,最终使土体产生垂直压缩变形,使土体强度提高。从地基变形的角度分析,预压过程中,土体的沉降主要是土体中孔隙水的排出,孔隙比减小,土体压密所产生固结沉降。由于真空预压时土体固结为等向固结,不产生剪应力,即预压区周围不会产生剪切变形而引起的垂直向沉降。真空预压的侧向变形为向着加固区内的收缩变形,从而制约堆载过程中产生的地基向加固区外的侧向挤出变形。而联合堆载可以加大预压总荷载,提高加固效果。因此,将两者结合起来进行软土地基的加固可以发挥各自的优势,提高加荷速率、缩短工期、提高加固深度及减少工后沉降。真空预压方法早在 20 世纪 80 年代就在港口码头堆场、海堤等工程中得到较广泛应用,1997 年在京珠高速公路广(州)珠(海)东线率先将真空联合堆载预压方法推广应用于高速公路深厚软土地基的处理并获得成功,不仅缩短工期 8 个月,而且其工后沉降明显比超载堆载预压小得多。此后不久,该项技术因其加固效果显著和工期短等特点迅速在广东、浙江、上海、江苏、福建等省市高速公路建设和深圳、南京等地市政工程建设中得到推广应用。

3.2 爆夯

动力固结方法处理软基的工期较短,不需要预压土方,因而可以在很多紧急性工程中被采用。爆夯和强夯法均属于动力固结的范畴,经过多年的发展,强夯法已经比较成熟,但处理软基的深度有限。爆夯动力固结法处理软基技术是近几年才发展起来的一项新技术,具有工期短、费用低及不受处理深度限制等优点,具有很广阔的应用前景,目前正处在从研究到应用的阶段。

一般认为炸药爆炸能产生很高的能量,使土体结构产生破坏,使土体产生附加压缩这是主要的加固原理。另外爆炸振动波频谱范围很宽,含有大应变低频振动能量和小应变高频振动能量。大应变低频振动能量能使软土中的孔隙水产生高压增量,从而通过人为设置的排水通道排出,土体产生固结沉降而密实。小应变高频振动能量能使部分弱结合水分离转化为自由孔隙水,增加固结排水量和改善软土的渗透性,有利于孔隙水的排出。因此,利用爆夯动力固结法、结合砂垫层和塑料排水板的作用,可达到静力堆载长期作用后的效果,因而具有更广泛的应用前景。

该技术已经在佛山的高等级公路中软基处理工程进行应用,并取得成功。

3.3 高真空降水 + 强夯 + 冲击碾压

该项技术首先通过高真空降水降低地下水位,为强夯提供良好条件。先通过泵力,不断将土体中的地下水位及气体排出,使土体排水固结,地下水位下降(高真空降水方法可以下降到

6m 以下深处)。接着进行强夯,即通过冲击力,使土中孔隙水压力突然升高,土中自由水由高真空排水系统抽出使孔隙水压力又消散,土体也随之固结压密。最后采用冲击碾压加固表层 2~3m 强夯因表面波传播而无法密实的松土层,即依靠冲击压路机自身在行驶过程中对土体产生的冲击与搓揉作用,使土中孔隙水压力迅速逸出土层表面,而使垫层和软基表层进一步固结压密。软基加固处理过程中,在消除土体沉降变形方面,强夯和冲击碾压起主导作用,高真空降水则为前者创造良好工作条件的辅助作用,三者动静结合,相辅相成,形成“优势互补,强强联合”的软基处理新技术。

该技术已经在上海浦东国际机场跑道等软基处理中成功应用。

3.4 CFG 桩复合地基

CFG (Cement Flyash Gravel pile) 桩是在碎石桩的基础上掺加适量石屑、粉煤灰和水泥加水拌和,制成一种粘结强度较高的半刚性桩体,又称水泥粉煤灰碎石桩,是建筑行业已经推广应用的一种地基处理新技术。CFG 桩加固软弱地基主要有两种作用:桩体作用和挤密作用。CFG 桩可在全长范围内发挥其摩擦力和端承力,桩体强度具有可调性(通常在 C8~C15 之间变化),可避免散体材料桩(碎石桩、砂桩)及低强度材料桩(石灰桩、灰土桩)由于桩身材料强度的限制而使荷载传递深度受限的缺陷,可大幅度提高地基的承载力;成桩过程中桩周土体受到沉管挤压作用而密实,加上桩体压缩性小,复合地基的整体压缩模量很大,压缩量小。用 CFG 桩复合地基方法处理深厚软土地基可达到有效消除沉降和提高地基承载力的双重目的。CFG 桩属高粘结强度桩,和褥垫层、桩间土一起组成复合地基,通过调整桩长、桩距和褥垫层厚度,既可较好地满足承载力要求,也较容易调整天然地基和复合地基之间的差异沉降。该方法主要适用于软基性质很差、软土层深厚等情况下的桥头连接路段和涵洞、通道等小型构筑物的地基加固。

CFG 桩复合地基技术已经在广东新台、杭州绕城、杭州湾跨海大桥南接线、江苏淮盐和连盐等高速公路工程中成功得到应用。

4 结 语

岩土工程问题是一个十分复杂的问题,任何一项技术都有其优缺点,由于地质情况勘察不清或加固技术本身存在问题,软弱地基经过处理后,不一定完全解决问题,因此还需要加强观测、检测等工作,科学预测,改进地基处理技术。

我国公路建设方兴未艾,可谓任重道远,在未来的公路建设中会遇到更多、更难、更复杂的岩土工程问题,因此需要不断积累工程经验,完善和改进现有地基处理技术,加强新技术的研制和开发,满足工程建设的需要。

参考文献

- [1] 王松根,杨永顺,张玉宏. 粉喷桩在济南绕城高速公路路基加固中的应用[J]. 1999,117(2),61~63
- [2] 宋修广,王松根,杨永顺. 水泥粉喷桩荷载传递规律的试验研究岩土力学[J]. 1999,20