

公路软土地基路堤 设计与施工关键技术

徐泽中 著



人民交通出版社

China Communications Press

Key technology for design and construction of highway embankment on soft ground

公路软土地基路堤设计与施工关键技术

徐泽中 著



人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统总结了我国高速公路软土地基沉降、地基处理和施工控制方面的理论原理、计算方法、信息化施工与检测技术,以及软土地基高速公路扩建拼接工程地基设计与施工的新鲜经验,并附有大量实例。

全书共分七章,包括:总论、地质勘察、路堤的稳定验算和沉降计算、高速公路软土地基处治方法、路堤施工期的沉降与稳定动态观测、路堤沉降预报与施工控制,以及试验工程等内容。各章末均附有参考文献。

本书可供从事公路地基设计、施工、监理、检测的技术人员使用,亦可供土木建筑勘察、设计、施工技术人员以及大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路软土地基路堤设计与施工关键技术/徐泽中著.
北京:人民交通出版社,2007.5
ISBN 978-7-114-06509-5

I.公... II.徐... III.①高速公路-软土地基-路堤-设计②高速公路-软土地基-路堤-施工技术 IV.
U412.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 053935 号

书 名:公路软土地基路堤设计与施工关键技术

著 译 者:徐泽中

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.ccpres.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、交通书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:27.75

字 数:691 千

版 次:2007 年 5 月 第 1 版

印 次:2007 年 5 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-06509-5

印 数:0001-4000 册

定 价:52.00 元

、(如有印刷、装订质量问题,由本社负责调换)

作者简介

徐泽中,1936年8月25日生,江苏常州人,河海大学教授,江苏省交通基础技术工程研究中心主任,南京河海交通基础技术有限公司总经理。近二十年来主要从事交通土建软土地基处理理论和施工方法研究。主持过沪宁高速公路新建和拓宽扩建工程、沂淮江、苏嘉杭、苏州绕城、湖北荆东和浙江杭浦等高速公路达十余项科研与试验工程的研究;主编《交通土建软土地基工程手册》。获部、省和市级科技进步三等奖7项,交通部优秀教材一等奖1项,江苏省科技进步特等奖1项,国家科技进步一等奖1项,江苏省交通行业科技项目优秀成果奖1项。公开发表学术论文50余篇。

前 言

随着国民经济的飞速发展,软土地基上修建高速公路的数量越来越多,各建设部门依托工程对我国不同性质的软土进行了大量的科学研究和工程实践工作,取得了许多可喜成果,积累了丰富的经验,地基处理水平得到很大提高。作者结合多年从事软土地基处理的实践,重点对地质勘察评估、沉降和稳定正反分析方法、选择比较成熟的垫层与浅层处治预压法、排水固结预压法和复合地基置换处理法,以及轻质路堤等软基处治方法的设计技术和路堤施工、运行期的动态观测和控制等内容进行总结和介绍。

由于高速公路沉降和稳定观测是一项复杂的工作,为了确保工程质量,必须规范沉降观测工作,正确控制路基稳定性。我们通过近十五年的实践,对观测要求、频率、观测仪器、沉降稳定预测和控制等作了规定。目前,高速公路的沉降观测和动态分析尚无专门规范可循,本书可作为高速公路新建和改扩建工程软土地基上路堤信息化设计与施工指南,可供高等级公路建设中参照使用。

全书由河海大学徐泽中主笔,其中河海大学许永明、王斌、何良德、雷金波、苏超、方军和殷佩生分别参加了第三、四、五、六章的部分编写工作。

撰著过程中得到了参与相关科研与试验工程的同志的大力支持与帮助。特别感谢江苏省高速公路建设指挥部、苏州市高速公路建设指挥部、江苏沪宁高速公路扩建工程指挥部等单位多年来在项目研究中给予的指导与支持,在此一并致谢。

本书由河海大学殷宗泽、方涤华、白忠良和江苏省交通厅蔡家范担任主审,他们提出了宝贵的改进意见,至为铭感。限于作者水平,本书难免有欠妥之处,恳望读者予以指正。

著 者

2007年1月于南京

目 录

第一章 总论	1
第一节 现状与发展	1
第二节 我国沿江、沿海已建高速公路软基的基本特点	2
第三节 路堤的稳定和沉降分析方法现状	4
第四节 细粒土的工程分类及软土鉴别	5
一、细粒土的工程分类	5
二、软土类型和鉴别	7
第五节 填方路基的压实	8
一、土的压实性	8
二、影响土压实性的主要因素	10
三、填方路基的最小强度和压实度要求	11
四、砌石和填石路堤	14
五、粉煤灰路堤	16
六、挖方路基	17
第六节 软土路基承受的荷载及其对软基稳定和沉降的影响深度的确定	18
一、软土路基的作用荷载及稳定验算时应考虑的荷载	18
二、沉降估算应考虑荷载及影响深度	19
三、行车荷载的影响深度	20
第七节 高速公路扩建工程	21
一、研究现状	21
二、双侧拼接加宽对原路基的影响	25
三、沪宁高速公路双侧拼接加宽设计和施工实践经验	25
参考文献	27
第二章 地质勘察	28
第一节 勘察的依据和目的	28
第二节 软土地基工程地质勘察中的勘探与取样评估	28
一、选择合适的勘探手段	28
二、钻探	29
第三节 现场原位测试	30
一、静力触探试验	30
二、标准贯入试验	34
三、十字板剪切试验	37
第四节 室内试验	39

一、概述	39
二、土的物理性质试验	40
三、公路路基工程力学性质的试验项目	40
第五节 沪宁高速公路软基勘察评估实例	48
一、试验要求	49
二、测试项目及方法	49
三、试验成果总表	50
四、勘察成果评估分析	50
五、评估小结	56
参考文献	56
第三章 路堤的稳定验算和沉降计算	57
第一节 路堤稳定验算	57
一、稳定分析方法	58
二、十字板强度换算	60
三、算例	60
第二节 沉降计算方法综述	62
一、瞬时沉降(S_{it})	63
二、次固结沉降(S_{st})	65
三、固结沉降(S_{ct})	66
第三节 地基沉降固结有限元计算	74
一、地基沉降固结有限元正分析方法	74
二、算例	75
三、总结	78
第四节 沪宁高速公路软基按不同方法估算路基最终沉降量的分析研究	79
一、几种方法估算沉降的成果分析	79
二、沉降估算方法建议	81
第五节 带帽刚性组合单桩复合地基变形机理及沉降计算	82
一、带帽刚性组合单桩复合地基思路形成过程	82
二、PTC 型带帽组合单桩复合地基试验	85
三、压桩对桩周土体的扰动影响	91
四、带帽刚性组合单桩复合地基变形及作用机理分析	94
五、垫层下带帽刚性组合单桩复合地基复合桩土应力比	97
六、沉降计算模式的确定	103
七、垫层下带帽 PTC 型刚性组合单桩复合地基沉降计算	106
八、垫层下带帽刚性组合单桩复合地基设计优化	108
九、应用于沪宁高速公路拓宽工程效果评价	109
十、应用于苏沪、苏昆太新建高速公路效果评价	109
十一、总结	113

参考文献	113
第四章 高速公路软土地基处治方法	115
第一节 概述	115
第二节 垫层与浅层置换预压法	116
一、砂垫层法	116
二、浅层置换预压处理法	116
三、反压护道法	117
四、土工织物加固地基法	117
五、轻质路堤	118
六、浅层置换处理沉降观测成果实例	121
第三节 设置竖向排水系统处治深厚软基预压法	125
一、概述	125
二、常规排水预压加固机理和计算	128
三、真空排水预压法加固机理和固结计算	137
四、施工	145
五、工程实例	151
第四节 复合地基处理软土地基	177
一、定义和分类	177
二、复合地基承载能力机理分析	178
三、振冲碎石桩和水泥搅拌桩复合地基法的设计和施工	183
四、路堤下带帽刚性组合单桩复合地基加固软基的设计与施工	196
第五节 EPS 轻质路堤设计与施工	214
一、概述	214
二、EPS 的路用特性	215
三、EPS 轻质路堤的类型及结构要求	218
四、EPS 轻质路堤设计	222
五、EPS 轻质路堤施工	233
第六节 锡澄与沪宁高速公路拼接段隔离墙地基处理技术	239
一、概述	239
二、沉降控制标准和分析方法	240
三、拼接段处理设计	243
四、现场生产试验	244
五、工程质量评定	247
六、拼接段计算与实测对比分析	248
七、总结	249
第七节 各深层软基处理方案经济性比较	250
一、水泥土搅拌桩与塑板排水固结法预压法的经济比较	250
二、真空预压、真空联合路堤预压与塑板预压法的经济比较	250

三、高速公路拼接路堤软基处理不同方案的经济比较	251
四、新建公路带帽刚性组合单桩、水泥土搅拌桩及 EPS 轻质填料处理软基的 经济比较	252
参考文献	262
第五章 路堤施工期的沉降与稳定动态观测	267
第一节 总则	267
一、概述	267
二、基本要求	268
三、施工观测分期及准备	270
四、水准点布设和保护	270
五、水准测量的精度与等级	271
六、五固定的观测原则和外业手簿	274
第二节 路堤填筑期的沉降观测及资料整理	275
一、观测点布置原则	275
二、沉降标的制作及埋设和加接	275
三、水准仪的检验与校正	277
四、观测频率和技术指标	278
五、资料整理	279
六、施工控制标准	279
七、沉降观测用表及月度报告	279
第三节 预压期的沉降观测及资料整理	280
一、路堤预压期施工参数的确定	280
二、预压土方控制标准及验收程序	281
三、观测精度与观测频率	284
四、接管与水准点移设及观测简图绘制	284
五、稳定卸载标准	284
六、预压土方卸载程序及要求	285
七、沉降观测工作的交接	285
八、资料整理	286
第四节 底基层和基层施工期的沉降观测及资料整理	286
一、观测频率和精度	286
二、沉降观测点的转置	286
三、底基层和基层控制标准	288
第五节 沥青面层施工期的沉降观测及资料整理	288
一、观测频率及精度	288
二、测线观测段绘制及资料整理	288
三、稳定标准	289
第六节 水平位移观测	289

一、概述	289
二、工作基点与边桩观测点的埋设要求	289
三、观测仪器和频率及精度	290
四、水平位移观测设计与观测方法	291
五、土体内部水平位移观测方法	295
第七节 高速公路拓宽工程沉降观测	297
一、目的和内容	297
二、拼接拓宽路基施工控制标准	297
三、沉降观测	299
四、拓宽工程观测断面布设与技术设计	303
五、拓宽工程沉降观测外业	306
六、资料整理	308
参考文献	308
第六章 路堤沉降预报与施工控制	309
第一节 观测资料整理分析	309
一、附表填写说明	309
二、数据整理	310
三、分析报告	310
第二节 路堤填筑过程中路堤稳定与沉降预测	311
一、填筑过程的稳定控制	311
二、填筑过程沉降量预测	311
三、应急情况处理	311
第三节 路堤预压期和路面施工期动态控制	311
一、荷载恒定后工后沉降量推算和各级加载过程沉降预测	312
二、按沉降速率的控制方法	321
第四节 非线性和黏弹性有限元反演和预测软基沉降方法	331
一、应用二维比奥固结非线性有限元反演和预测软基沉降	331
二、应用三元件黏弹性反演和预测软基沉降	335
参考文献	340
第七章 试验工程	342
第一节 总则	342
一、基本要求	342
二、试验工程地质勘察	342
三、试验工程设计	343
第二节 试验工程观测	344
一、观测内容	344
二、仪器设备	344
三、资料整理分析	344

四、观测报告	345
第三节 变形观测	346
一、概述	346
二、垂直沉降观测	346
第四节 作用力观测	348
一、概况	348
二、土压力观测	348
三、孔隙水应力观测	350
四、混凝土应力观测	351
五、裂缝及伸缩缝观测	355
第五节 桩的荷载试验和大型剪切试验	361
一、桩的荷载试验	361
二、现场大型剪切试验	376
参考文献	377
附录一 土工试验成果总表	378
附录二 外业观测用表	424

第一章 总 论

第一节 现状与发展

自改革开放以来,我国实施扩大内需的积极财政政策,对基础设施投资的力度日益增大,我国国民经济步入前所未有的高速发展时期,区域间的经济合作往来日益密切,交通量增大,一般的低等级公路已不能满足要求,作为快捷、便利和具有“门到门”运输功能的高速公路建设已成为经济发展的迫切需要。高速公路建成通车后,投资环境发生了巨大变化,原地区的经济得到迅速发展。20世纪90年代至今我国的公路基础设施实现了跨越式发展,取得了举世瞩目的成就,缓解了对经济发展的“瓶颈”制约。截至2005年底,全国等级公路里程159.18万公里,占公路总里程的82.5%。其中二级及二级以上高等级公路里程32.58万公里,占公路总里程的16.9%。按公路技术等级分组,各等级公路里程分别为:高速公路41005km、一级公路38381km、二级公路246442km、三级公路344671km、四级公路921293km,等外公路338752km。

我国高速公路建设实现历史性突破,“十五”期间建成高速公路2.47万公里,是“七五”、“八五”和“九五”建成高速公路总和的1.5倍。2005年,全国新增高速公路通车里程6717km。河南、广东、内蒙古、江苏、河北、浙江、山西和甘肃八省区全年新增高速公路通车里程均超过300km。截至2005年底,全国有29个省(市、区)的高速公路里程均超过500km。高速公路突破千公里的省(区、市)上升到19个,分别是:山东(3163km)、广东(3140km)、江苏(2886km)、河南(2678km)、河北(2135km)、浙江(1866km)、辽宁(1773km)、四川(1758km)、山西(1686km)、湖北(1649km)、江西(1559km)、安徽(1501km)、云南(1421km)、广西(1411km)、湖南(1403km)、陕西(1226km)、福建(1208km)、甘肃(1006km)和内蒙古(1001km)。

公路客货运量已稳列各种运输方式的首位。京哈、京沪和京珠高速公路实现了全线贯通,在我国华北、东北、华东和华南之间形成了多条相互贯通的公路运输大通道。尤其是交通部制订的公路交通发展三阶段的目标,为我国今后高速公路建设勾画出宏伟蓝图,届时我国高速公路总里程将达到8.5万公里,公路总里程将超过300万公里,高速公路将覆盖全国20万以上人口的中等城市,将会彻底改变省际间交通运输的宏观格局,有力地促进我国经济的腾飞,为社会发展作出突出贡献。我国沿海地区几个省市的土地面积只占国土的13.8%,但人口占全国的41%,工农业总产值约占全国的60%以上。其中珠江三角洲、长江三角洲、京津地区、山东半岛、辽东半岛是我国经济繁荣,资金、技术与智力高度密集的地区。该地区对高速公路的需要更迫切,建成后的经济效益和社会效益更大,因此,初期绝大部分的高速公路建于此地区。

我国沿海,除山东部分地段外,大部分的海岸线为淤泥质海岸。特别是大江、大河河口附近多为河相沉积层,在地质上属第四系全新统 Q_4 土层,土的类别多为淤泥、淤泥质黏土、淤泥质亚黏土,在南方少数地区还有淤泥混沙层。我国大陆最早建成通车的高速公路,如沪嘉、京津塘、广佛、杭甬、沪宁等高速公路均建于沿海或沿江地区,20%以上甚至100%路段通过软土

段。在软土地基上修建高速公路的实践,促进了公路岩土工程的发展,以适应兴建高速公路的科学技术发展需求。软土的成因、结构和形态虽然不同,但都具有含水量大、压缩性高、强度低和透水性差的特点,将直接影响这些地区的高速公路工程的稳定性和耐久性。另外,通过软土地基的路堤标高受到立交桥、跨河桥、通道等影响,新建设的高速公路往往以比较高的路堤和较重的荷载穿过软基,若软基处理不当,将会严重影响工程的质量和使用功能,甚至造成工程事故。另一方面由于连网建设的需要,在两路各自结合点——匝道处会要求按不影响老路正常运行的技术要求进行基础和路基的安全拼接施工。比较典型的实例如京沪高速公路与沪宁高速公路间锡澄与沪宁高速公路拼接后相互贯通的互通式立交工程,是两条软土地基上高速公路的局部拼接。

在早期已建成使用的高速公路中,由于交通量增加迅猛,如广佛、沪杭甬、沪宁等高速公路(见表 1-1)开通不久部分路段交通量很快超过四车道通行能力,需要拓宽至 6~8 车道以缓解日趋紧张的交通压力,这些高速公路大都有约占总长度一半或一半以上的路基是通过软土路基的。拼接路堤自重对老路基产生的附加沉降增量所引发的新老路肩与原路堤中心间形成的差异沉降量是新老路面凹凸不平及路面开裂的主要原因,防止差异沉降及其控制标准、拼接路基软基处理方法的优选是拼接式高速公路扩建工程成败的关键技术问题。进入 20 世纪 90 年代后,各省依托实体工程开展了软土地基设计和处治的专题研究,为土力学及基础工程的发展提供了有利机遇,也提出了更高的要求,以适应兴建和扩建高速公路的需要,所积累的设计、施工等研究成果无论在理论上还是在实践上都有了新的突破。

国内扩建的高速公路和扩建方案

表 1-1

序 号	扩 建 工 程	原设计方案	扩 建 方 案	加 宽 方 式
1	广佛高速公路	双向四车道	部分双向八车道 部分双向六车道	两侧拼接加宽
2	海南环岛东线	右半幅二车道	左半幅扩建二车道	单侧拼接加宽
3	杭甬高速公路	双向四车道	双向六车道	两侧拼接加宽
4	沪宁高速公路	双向四车道	双向八车道	两侧拼接加宽为主,局部加宽
5	沈大高速公路	双向四车道	双向八车道	两侧拼接加宽

第二节 我国沿江、沿海已建高速公路软基的基本特点

我国大陆沿江、沿海最早建成的高速公路是沪嘉高速公路。该路全长 15.9km 均为软土段,1984 年 12 月 21 日开工,1988 年 10 月 31 日正式通车。之后,相继建成京津塘、广佛、佛开、杭甬、广深、沪宁、甬台温、杭宁、沪杭、上三、苏嘉杭、苏沪、苏昆太、京珠等多条高速公路。由表 1-2 可见,我国的高速公路建设是在软土地区发展起来的。

沿江、沿海高速公路软土段情况

表 1-2

项目 \ 路名	沪嘉	京津塘	杭甬	佛开	广佛	沪宁	泉厦	沪杭
全长(km)	15.9	142.48	144.988	80.0	15.072	274.08	81.1	
软土长(km)	15.9	48.0	91.64	12.98	7.0	117.29	17.45	

续上表

项目 \ 路名	沪嘉	京津塘	杭甬	佛开	广佛	沪宁	泉厦	沪杭
软土占全长百分比(%)	100	33.7	63.2	16.3	40.4	42.8	22.0	
一般厚(m)	8.8~12	8	30~40	4~6	4~6	6~15	2~8	10~15
最厚(m)	16	13	>60	15	8	35	17	45
建成时间	1988.10.31	1993.9	1996.12			1996.9		

我国沿海大江、大河河口附近多为河相、海相或泻湖相沉积层,绝大部分海岸线又多为淤泥质海岸,地质成因复杂,已建高速公路软基多呈第四系下更新统 Q_3^1 、第四系上更新统 Q_3^2 、第四系全新统 Q_4 等多层重叠,软土为巨厚型,如浙江杭甬、甬台温及正在建设中的杭浦高速公路软黏土厚达 40~60m,沿江的沪宁等高速公路软土属第四系全新统 Q_4 ,但苏州段最厚也达 35m,上述部位土的类别多为淤泥、淤泥质黏土、淤泥质亚黏土,在南方少数地区还有淤泥混沙层,见表 1-3。这类软基路堤的主要特点可归结为:

部分已建高速公路沿线软黏土物理力学性质指标汇总 表 1-3

工程名称	土名	含水量 (%)	重度 (kN/m^3)	孔隙比	压缩系数 (MPa^{-1})	固结系数 ($10^{-3} cm^2/s$)	抗剪强度		灵敏度
							$c(kPa)$	$\varphi(^{\circ})$	
京津塘高速公路塘沽段	淤泥	50~60	17.0	1.50	1.28	0.5	5~22	5	
连徐高速公路连云港段	淤泥	54~85.8	15.1~16.81	1.55~2.40	1.55~2.97	0.28~0.79	2~17	1.1~5.7	
沪宁高速公路昆山段	淤泥质土 淤泥	40~60	17~19	1.0~1.6	0.5~1.0	0.3~0.6	0	26.6	
沪杭高速公路	淤泥质黏土	36~45	17~18	1.0~1.5	0.8~1.2	0.4~0.6	10~20	1.9~6.0	2.6~3.5
杭甬高速公路余姚段	淤泥	58.3~65.3	16.2~16.5	1.63~1.68	2.14~2.16	0.38~0.47	5~15	0~3.5	2.0~4.0
甬台温高速公路乐清、温州段	淤泥	50~77	16.4~17.0	1.7~2.2	1.75~2.73		6~11	0~2.6	2.7~5.5
深汕高速公路梅陇农场段	淤泥	58.8~65.7	15.9~17.0	1.71~1.81	1.6~2.5	0.25~1.79	6.55~11.7	0	
杭金衢高速公路	淤泥质黏土	43~56		1.1~1.5	0.9~1.3		10~16	2.0~7.0	2.5~3.6
杭宁高速公路	淤泥质黏土 及淤泥	47~60		1.5	1.43		7~17	0~1.5	2.4~4.7

(1) 具有高含水量、大孔隙比、低密度、高压缩性、低透水性、中等灵敏度的特点,一般含水量高达 40%~60%,高于液限,孔隙比大于 1.0,塑性指数约 20 左右,十字板剪切强度 $C_u = 10 \sim 30 \text{ kPa}$,压缩系数 $a_v \geq 0.5 \sim 2.0 \text{ MPa}$,固结系数 $C_v = 10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$,灵敏度约 4~8。这类土基承载后呈现出沉降量大、排水固结缓慢、地基稳定性差的特点。

(2) 表层一定深度内存在超固结特性的土层。我国大多数软黏土的超固结比为 1.5~2.5,最小厚度在 1~2.0m,湛江黏土可达 10m 左右。超固结软黏土层有以下特点:①其力学特性与应力水平有密切关系,应力水平较低时(如堤高 1~1.5m)地基土的压缩性较低,应力水平较高时(如堤高超过 2.0m)压缩性较大,二者可以相差 3~5 倍,甚至更高;②超固结软黏土层受到破坏,不可逆转(如选择打设塑板等处理施工),从而加大了土的压缩量;③超固结软黏土的应力-应变关系具有一定的剪胀特性;④大部分地区地表由于干燥、淋洗作用而存在较薄的超固结土层,只有在 1~2.0m 的情况下又称硬壳层,该土层具有中等或低的压缩性、较高的强度,如在工程上合理加以利用,可望降低总沉降量。

(3) 沿线结构物密布,路堤高,取土困难。高速公路所经区域多为经济发展较快地区,沿线城镇村密布,河网密集,沿线结构物据统计平均每公里多达 2~4 个,致使公路填筑高度居高不下,一般平均填土高度在 3~3.5m 以上。所经平原又多为良田,取土困难,大多需开山运取土石混合料填筑,使填土荷载增加 10%~25%,加重了软基处理的难度。

第三节 路堤的稳定和沉降分析方法现状

在软土地基上修建高速公路,常会遇到稳定和沉降等工程问题。一般高速公路的路堤高度不大,平均堤高只有 3~4m,稳定问题不突出,但对沉降量控制的要求很高,关系到行车的安全和平稳、舒适。由于软基在我国的沿海和内陆地区都有相当大的分布范围,地质条件复杂多变,增大了技术的难度。20 世纪 80 年代以来,有些建成的高速公路运行不久就因存在较大的差异沉降量,引发路面横向裂缝和纵向呈“马鞍型”的路面变形,破坏了路面的平整性,造成行车颠簸等问题的发生,在桥头甚至因桥路错位而产生跳车。回顾这些工程,软土地基的沉降计算理论,仍停留在以 Terzaghi(1923)的一维固结理论为基础的半经验、半理论阶段,和世界各国工程界一样,均以规范形式,按规范的计算方法,在统一勘察取样方法、标准、现场测试和室内试验方法前提下,通过实体工程现场检测结果与估算的沉降量进行对比分析,提出合适的沉降修正系数。随着我国高速公路建设和经验积累,已能够较精确地预估最终沉降量,它从宏观地质和土的母岩成分与沉降条件出发,进一步分地区对土的工程物理力学性质进行系统的内外试验成果积累,在逐步掌握各类区域性土的基本性质基础上,研究描述能反映相应复杂土类特性本构关系,为推动理论土力学、实验土力学、应用土力学和计算土力学等各学科间相互沟通和发展创造了条件;也为解决复杂土工问题进行数值或模拟试验提供了深化研究的途径,从而进一步完善计算方法和提高计算精度,为设计优化地基处理施工方案提供依据。但是由于岩土性质的复杂性,路堤填筑速度快慢不一,预估随时间变化的规律误差仍然很大,还需依靠在施工期间实施动态观测和控制,以便修正估算固结沉降,确保路面完工后,工后沉降量得到有效控制。

第四节 细粒土的工程分类及软土鉴别

一、细粒土的工程分类

1. 分类要素

细粒土指粉土和黏土的总称。细粒土的分类以土的塑性指标(塑性指数和液限)为依据。

《土的分类标准》(GBJ 145—90)规定,试样中细粒组($d < 0.075\text{mm}$)质量多于或等于总质量的 50% 的土称为细粒土。

从粒径方面来分析,细粒组由粉粒组($0.005 \sim 0.075\text{mm}$)和黏粒组($< 0.005\text{mm}$)组成。一般洪冲积成因的细粒土主要由砂粒组、粉粒组和黏粒组组成,其性质和土类主要取决于这三种粒组的多寡及水理特性。在这三种粒组中,黏粒与水的相互作用最活跃,都与黏性土的许多工程特性有关。粉粒与水的作用较弱,但含粉粒较多的土呈现出不良的水理特性,如液化、振荡析水等现象。砂粒与水几乎没有理化作用,含砂粒较多的土呈现出砂土的特性。由于这三种粒组与水作用的活跃程度相差很大,因此三种粒组含量多少对土性的影响是很不相同的,黏粒含量 20% 左右已可使土具有黏性土的性质,黏粒含量对于细粒土的分类有着十分重要的作用。

土的塑性指标,或称为阿太堡界限是综合表征土中黏粒含量与黏粒中亲水矿物含量的敏感指标,是细粒土分类的最重要依据。用塑性指标对细粒土进行分类有两个不同的体系,一种是用塑性指数 I_P 对土进行分类;另一种是用塑性指数 I_P 和液限 w_L 两个指标对细粒土进行分类,这就是塑性图的方法。《岩土工程勘察规程》(GB 50021—94)采用前一种分类体系,而《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)采用后一种分类体系。

根据公路工程经验和细粒土的主要特征,可按表 1-4 进行分类。

公路路基土分类表

表 1-4

编号	土组	土的名称	颗粒组成(按重量%计)				塑性指数 I_P	液限 (%) w_L
			>2 mm	砂粒 ($2 \sim 0.05\text{mm}$)	粉粒 ($0.05 \sim 0.005\text{mm}$)	黏粒 ($< 0.005\text{mm}$)		
1	石质土	×石土 碎(砾)石质 ××土	>50 $25 \sim 50$ 50	碎(砾)石土分类表				
2	砂土	粗砂 中砂 细砂 粉砂	<25	$>0.5\text{mm}$ 者多于 50 $>0.25\text{mm}$ 者多于 50 $>0.10\text{mm}$ 多于 75 $>0.10\text{mm}$ 多于 75	>80	$0 \sim 20$	$0 \sim 3$	<1 <16
3	砂性土	粉质砂土 粗亚砂土 细亚砂土	<25	粗砂含量多于细砂 细砂含量多于粗砂	$50 \sim 80$ >50 >45	$20 \sim 50$ 少于砂粒含量 少于砂粒含量	$0 \sim 3$ $3 \sim 10$ $3 \sim 10$	>1 $1 \sim 7$ $1 \sim 7$ >16 $16 \sim 20$ $21 \sim 25$

续上表

编号	土组	土的名称	颗粒组成(按重量%计)				塑性 指数 I_P	液限 (%) w_L
			>2 mm	砂粒 (2~0.05mm)	粉粒 (0.05~0.005mm)	黏粒 (<0.005mm)		
4	粉性土	粉质亚砂土		20~50	多于砂粒含量	0~10	<7	>21~25
		粉土		<20	多于砂粒含量	0~10	<7	>20
		粉质轻亚黏土		<40	多于砂粒含量	10~20	7~12	>26~32
		粉质重亚黏土	<25	<40	多于砂粒含量	20~30	12~17	>33~39
5	黏性土	轻亚黏土		多于粉粒含量		10~20	7~12	26~32
		重亚黏土		多于粉粒含量		20~30	12~17	33~39
		轻黏土		多于粉粒含量		30~50	17~27	40~52
		重黏土	<25			>50	>27	>52

注:①编号2~5中各土组均应以<2mm颗粒作为100%计,根据粒径由大到小,以最先符合者定名。

②当细粒土中粒径大于2mm的颗粒含量在25%~50%时,先按细粒土的分类定名,然后在土名前加上砾石或碎石质字样,如粉土、黏性土中砾石或碎石含量为35%时,则土名为砾石质粉土或碎石质黏性土等。

③本表塑性指数与液限系按76g平衡锥试验。

2. 各土组的主要工程性质

石质土:粒径大于2mm的碎(砾)石,其含量由25%~50%及大于50%两部分组成。土的力学强度与碎(砾)石的含量、密实度和充填物的性质有关。碎(砾)石的含量越高,石质土的空隙度越大。石质土透水性强,压缩性低,内摩角大,强度高,是良好的筑路材料和地基基础。一般基岩风化碎石和山坡堆积之石质土,含粉土、黏土较多,比较松散,遇水易造成边坡的坍塌。

砂土:无塑性,但透水性良好,毛细水上升高度很小,具有较大的摩擦系数。采用砂土修筑路基,强度高,水稳性好。但砂土黏结性小,易于松散,车辆通过时容易产生较深车辙。为克服此缺点,可添入适当的黏性土,以改善路基质量。

砂性土:为修筑路基的良好材料。砂性土含一定数量的粗颗粒,使路基获得足够的内摩阻力,又含一定数量的细颗粒,使之具有一定的黏聚力,不致过分松散。砂性土一般遇水干得快,不膨胀,干时有足够的黏结性,扬尘小,因此,雨天不泥泞,晴天不扬尘。砂性土颗粒组成级配较好,因而用其修筑路基,在行车作用下易被压实,并易构成平整坚实的表面。

粉性土:因含有较多的粉土粒,干时虽具有黏结性,但因易被压碎,扬尘大,浸水时很快被湿透,易成流体状态(稀泥),为最差的筑路材料。粉性土的毛细水上升高度大,在季节性冰冻地区更容易使路基产生水分累积,造成严重的冬时冻胀、春时翻浆,故又称翻浆土。如遇粉性土,特别是在水文条件不良时,应采取一定措施,以改善其工程性质。

黏性土:透水性很差,黏聚力大,因而干时坚硬,不易挖掘。它具有较大的可塑性、黏结性和膨胀性,毛细管现象也很显著,用来筑路比粉性土为好,但不如砂性土。黏性土浸水后能比较长时间保持水分,因而承载力很小。对于黏性土,如在适当含水量时加以充分压实,并有良好的排水设施,筑成的路基也较稳定。

重黏土:塑性指数与液限都很高。其工程性质与黏性土相似,但受黏土矿物成分影响较大(前已述及,含高岭土最好,伊里土次之,蒙脱土最差)。重黏土不透水,黏聚力特强,干时很坚硬,很难挖掘,膨胀性和塑性都很大。