

公路软土地基 超载预压控制沉降理论 研究与实践

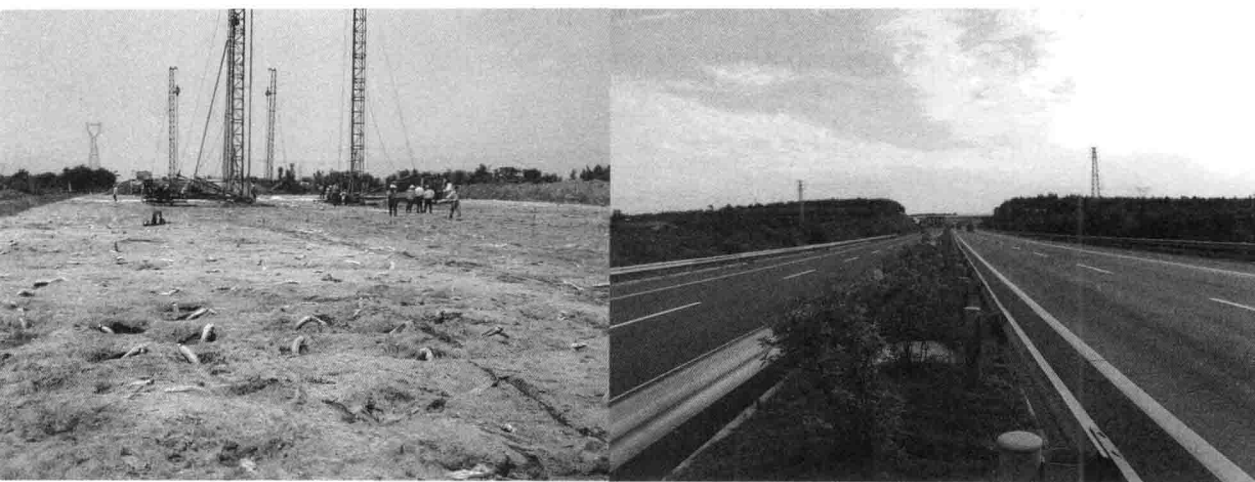
李国维 著



河海大学出版社
HOHAI UNIVERSITY PRESS

公路软土地基 超载预压控制沉降理论 研究与实践

李国维 著



内容简介

本书介绍作者对公路软土地基超载预压法控制沉降问题的研究成果。内容包括:超载预压方法控制软土的压缩变形、侧向变形,超载预压后软土的侧压力系数,以及运用实测沉降资料预测后期沉降的方法等,有工程背景、实验资料、理论研究和工程案例分析。

本书可供土木、水利、交通工程专业的工程技术人员阅读,也可供高等学校和科研院所相关专业的教师、研究生、本科高年级学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路软土地基超载预压控制沉降理论与实践 / 李国维著. —南京:河海大学出版社,2013.12
ISBN 978-7-5630-3578-6

I. ①公… II. ①李… III. ①公路路基—软土地基—路基沉降—超载荷—预压加固—研究 IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 292841 号

书 名/公路软土地基超载预压控制沉降理论与实践
书 号/ISBN 978-7-5630-3578-6/U·9
责任编辑/周 勤
装帧设计/周 贤
出版发行/河海大学出版社
地 址/南京市西康路 1 号(邮编:210098)
网 址/<http://www.hhup.com>
电 话/(025)83737852(综合部) (025)83722833(营销部)
经 销/江苏省新华发行集团有限公司
排 版/南京新翰博图文制作有限公司
印 刷/南京工大印务有限公司
开 本/787 毫米×960 毫米 1/16
印 张/11
字 数/208 千字
版 次/2013 年 12 月第 1 版
印 次/2013 年 12 月第 1 次印刷
定 价/34.00 元

作者简介

李国维,男,1964年生,黑龙江大庆市人,博士,副研究员,硕士研究生指导教师。主持完成国家自然科学基金面上项目(41272327)、江苏省自然科学基金面上项目(BK2011747)、广东省教育部科技部产学研项目(2009B090600111)。获省部级科技进步二等奖2项。发表期刊论文80余篇,其中核心期刊第一作者论文27篇,第一作者论文被SCI, EI收录20篇。获授权第一完成人国家发明专利7项。国际土力学及岩土工程学会(国际土协)成员,江苏省土木建筑学会地基基础学术委员会学术委员。

研究方向:土的静动力特性,路基工程

工作单位:河海大学土木与工程学院

联系电话:13805162119,025-83787561

电子邮箱:lgwnj@163.com

前言

自 20 世纪 80 年代末 90 年代初开始,我国大规模开展高速公路建设,尤其是东南沿海等经济发达地区建设规模大、发展速度快。高速公路为收费公路,工程投资大,工期短,效益直接,设计使用时间长,要求严格的工后沉降变形。沿海地区的公路沿线,广泛分布海相沉积的软土地层,在工程建设和运营期间发生了大量的软基路堤稳定和工后沉降变形超标、长期不收敛问题。随着国内已建成的高速公路运营时间的延续,工后沉降问题日渐凸显,国内近年来关于控制软基路堤沉降问题的技术、理论研究受到了工程建设单位的日益重视。堆载预压法用来解决软基路堤的稳定和沉降问题,相对于其他方法是经济有效的方案。采用堆载预压法处理软土路基,工后沉降的控制问题相对其他工法要复杂很多,目前还没有很好地解决。

自 1993 年始,作者在[姜朴]教授、殷宗泽教授的指导下开始了软土地基方面的工程实践和科学研究,连续 20 年从事软基路堤变形控制研究工作,在广东沿海地区参与了多条高速公路软基路堤沉降控制研究项目,掌握了大量的第一手工程资料,对软基路堤的工后沉降问题有深刻的认识,在堆载预压法控制沉降的技术方面,进行了系统的相关试验和理论研究,这些工作得到了国家自然科学基金面上项目、江苏省自然科学基金面上项目和多项广东省交通科技项目的资助。本书内容为作者带领的课题组多年从事软土路基工程的工程实践和教学科研工作的成果汇集。

全书共 6 章,作者依据工程实测资料和试验研究,针对堆载预压法处理软土路基存在的沉降控制问题,在超载预压方法控制软土的压缩变形、侧向变形,超载预压后软土的侧压力系数,以及运用实测沉降资料预测后期沉降的方法等几个方面进行了深入的探讨。第 1 章介绍了作者对软土路基超载预压的工程问题的分析,提出了需要进一步研究的科学问题。第 2 章介绍了软基路堤堆载预压控制沉降的作用。通过建立有效超载比和超载比的关系,对堆载预压法进行了确切的分类。通过模拟超载预压过程的一维固结试验,揭示了路基超载预压过程中超载大小和作用时间对软土层主固结变形和次压缩变形的控制作用,提出

了同时考虑荷载大小和作用时间的次压缩变形计算公式。第3章介绍了超载软土再压缩过程的次压缩变形规律。通过一维固结试验研究路堤软土层的工后次压缩变形问题,发现了卸荷回弹后再加荷过程的压缩变形规律。依据次固结系数的双曲线模型,提出了次压缩沉降计算的实用方法。第4章介绍了超固结软黏土一维蠕变次固结系数与侧压力系数的规律。通过固结原状土样一维蠕变试验,发现了超固结软土的次固结系数变化规律,提出了超固结软土蠕变过程的侧压力系数模型,建立了一维变形条件下超固结软黏土的次固结系数与广义剪应力和球应力比值之间的对应关系。第5章介绍了软土侧向变形性状及其对路堤沉降的影响。通过三轴蠕变试验和平面变形蠕变试验,揭示了路基软土侧向变形的机理,明确了软土侧向变形对工后沉降的影响作用。基于一维变形参数提出了平面变形沉降简化算法,并给出了利用实测沉降、测斜资料、软土性状特征计算沉降修正系数的方法。第6章介绍了软基路堤实测沉降数据预测模型的两种方法。提出了采用规范双曲线法提高预测精度的方法,基于传统的双曲线法,建立了软土地基上分级填筑路堤的沉降预测模型,考虑了地基土变形非线性和固结性质随荷载的变化,研究了超载状态下的实测沉降速率与卸荷后等载状态下的剩余沉降之间的关系,提出了公路软基超载预压卸荷时间确定的沉降速率法。

作者师承殷宗泽教授完成博士论文,构成了本书的主体框架,研究工作长期得到了老师的直接指导和参与,在此表示衷心的感谢!同时感谢多年来密切合作的杨涛教授在理论研究方面所做出的重要贡献,感谢余湘娟教授、朱俊高教授对作者的重要支持!课题组成员魏曙红、刘朝权、文斌在现场试验方面付出了辛勤劳动,为研究工作提供了大量的第一手资料。参与本课题业已毕业的硕士研究生有杨扣红、花剑岚、钱尼贵、贺冠军、单凌志、盛维高、蒋华中、刘宏、徐其富、鄂海清、刘玉俊、胡坚,他们对本课题的研究均做出了重要贡献,在此一并表示诚挚的谢意!

感谢河海大学岩土工程研究所的同事们在工作中给予的支持和理解;感谢国内外同行在本书内容方面所做的先期贡献,为作者的研究工作提供了坚实的基础。国家自然科学基金面上项目“堆石料和软土的流变机理与规律(50479019)、考虑蠕变三维效应和交通荷载的超固结软土沉降模型(41272327)”,江苏省自然科学基金面上项目“超载预压卸荷后海相软黏土的蠕

变特性试验研究(BK2011747)”,广东省交通厅科技项目“汕汾高速公路可液化砂土、软土双重地基综合处治试验研究(1999037)”,广东省交通厅科技重点项目“路基拼接及软土地基处治技术研究(20050201)”均先后资助了本课题的研究,同时广东省交通集团有限公司提供了多个高速公路项目的软基路堤沉降控制技术咨询服务的机会,上述资助使得本课题的研究获得了较好的成果,前期成果于2005年获得广东省科技进步二等奖,在此一并表示感谢!

由于作者的水平、能力和理解问题的角度的限制,本书内容难免存在缺陷。对于曾经在期刊上讨论的问题及回复内容,作者业已收编在书中,其他问题敬请广大读者给予指正!

	■.....	目 录
1	软土路基堆载预压的工程问题	001
1.1	工程背景	001
1.2	堆载预压法概述	003
1.3	堆载预压法的技术难点和研究现状	004
1.3.1	软土的固结过程.....	005
1.3.2	软土层的稳定压缩变形量.....	006
1.4	软基路堤工后沉降控制存在的问题	013
1.4.1	超载预压卸荷后的次压缩变形.....	013
1.4.2	软土侧向变形对工后沉降的影响.....	016
1.4.3	实测沉降资料的利用.....	019
1.5	作者的研究工作	021
1.5.1	软基路堤堆载预压控制沉降作用.....	021
1.5.2	超载软土再压缩过程的次压缩变形.....	021
1.5.3	软土侧向变形性状及其对路堤沉降的影响.....	021
1.5.4	软基路堤实测沉降数据的预测模型.....	022
	参考文献	022
2	软基路堤堆载预压控制沉降的作用	029
2.1	问题的工程背景	029
2.1.1	软基路堤堆载预压法分类.....	029
2.1.2	超载大小和作用时间对软土主固结、次压缩过程的 影响.....	030
2.1.3	超载大小和作用时间的等价关系.....	031
2.2	软基路堤堆载预压法分类	031
2.2.1	等载预压.....	032

2.2.2	超载预压	033
2.2.3	超载比	034
2.3	超载大小和作用时间对主固结、次压缩过程的影响	036
2.3.1	试验内容	036
2.3.2	超载过程对等载预压变形量的影响	037
2.3.3	超载过程对等载次压缩变形的影响	042
2.4	超载持续预压过程中的次压缩量	045
2.4.1	超载持续预压产生先期固结压力增长	046
2.4.2	超载持续预压消减工后次压缩沉降	047
2.5	超载大小、作用时间不同耦合下的变形过程	050
2.5.1	试验内容	050
2.5.2	卸荷后的变形趋势	051
2.5.3	荷载大小、时间的对应关系	053
2.5.4	超载过程的优化控制	056
2.6	本章小结	059
	参考文献	060
3	超载软土再压缩过程的次压缩变形	062
3.1	问题的工程背景	062
3.2	超固结软黏土一维蠕变的次固结系数特征	062
3.2.1	观点之一——次固结系数与固结压力无关	062
3.2.2	观点之二——次固结系数与固结压力相关	063
3.3	回弹再压缩试验	064
3.3.1	试验仪器	064
3.3.2	重塑试样制备	064
3.3.3	试验加载路径	065
3.3.4	试验读数方法	065
3.3.5	原状样次固结试验	065
3.4	再加荷后次压缩变形特征	066
3.4.1	回弹再压缩过程的主固结时间	066

3.4.2	次固结系数和预固结压力、再加荷压力	067
3.5	软土次压缩计算公式	069
3.6	关于 t_1, t_2 的确定方法	070
3.6.1	Yin & Graham (1994) 弹黏塑性“时间线”模型	070
3.6.2	模型参数确定方法	074
3.6.3	t_1, t_2 的计算思路	076
3.7	回弹再压缩软土的次压缩计算公式	077
3.8	工程算例	077
3.8.1	汕汾高速公路 K19+820~920 段软土弹黏塑性模型 参数	078
3.8.2	汕汾高速公路 K19+920 断面现场测试数据分析	079
3.8.3	汕汾高速公路 K19+920 断面软土回弹再压缩试验 及计算	084
3.9	次压缩变形计算方法比较	085
3.10	对几个问题的讨论	089
3.10.1	关于“绝对时间”	089
3.10.2	关于超固结土的次固结系数	091
3.10.3	关于超载预压 OPR 的合理控制	093
3.10.4	超载卸荷时的沉降速率与卸荷后的剩余主固结 沉降的关系	093
3.10.5	关于 t_c 的取值	094
3.11	本章小结	094
	参考文献	095
4	超固结软黏土一维蠕变次固结系数与侧压力系数	098
4.1	问题的理论研究价值	098
4.2	试验方案	099
4.2.1	一维蠕变试验	099
4.2.2	K_0 试验	100
4.3	试验结果分析	100

4.3.1	超固结软黏土一维蠕变特征·····	100
4.3.2	超固结软黏土蠕变过程的侧压力系数·····	103
4.3.3	软黏土次固结系数 C_α 与 q/p 的关系 ·····	108
4.4	本章小结 ·····	110
	参考文献 ·····	111
5	软土侧向变形性状及其对路堤沉降的影响 ·····	113
5.1	问题的工程背景 ·····	113
5.2	侧向变形机理试验方案 ·····	114
5.2.1	试验方法和土性参数·····	114
5.2.2	剪应力水平计算·····	115
5.2.3	侧向应变计算·····	115
5.3	三轴蠕变试验及成果分析 ·····	116
5.3.1	三联式三轴蠕变仪·····	116
5.3.2	瞬时沉降与侧向变形·····	116
5.3.3	排水条件与侧向变形·····	117
5.3.4	剪应力水平与轴对称变形软土的侧向变形·····	119
5.4	平面应变蠕变试验及成果分析 ·····	121
5.4.1	应力控制式平面应变仪·····	121
5.4.2	剪应力水平与平面变形软土的侧向变形·····	121
5.5	平面变形软土蠕变阶段的侧向变形与轴向变形 ·····	123
5.5.1	孔隙压力、侧向应变、体积应变与轴向应变·····	123
5.5.2	平面变形软土超载卸除后的沉降影响因素分析·····	128
5.6	平面变形土体沉降考虑侧向变形影响的简化算法 ·····	129
5.6.1	考虑剪应力影响的沉降计算方法简介·····	129
5.6.2	基于侧向变形实测资料的平面变形沉降计算方法·····	130
5.6.3	沉降修正系数影响因素的讨论·····	138
5.7	本章小结 ·····	139
	参考文献 ·····	140

6 软基路堤实测沉降数据的预测模型研究	142
6.1 基于双曲线法的分级填筑路堤沉降预测	142
6.1.1 双曲线法预测精度的影响因素	142
6.1.2 分级填筑路堤双曲线法沉降预测拟合方程	146
6.1.3 软土固结过程中固结系数的变化	147
6.1.4 预测模型参数的确定	148
6.1.5 实例分析	150
6.1.6 小结	152
6.2 公路软基超载预压卸荷时间确定的沉降速率法	153
6.2.1 超载沉降速率控制标准的建立	153
6.2.2 超载预压工况卸荷时间确定实例	156
6.2.3 小结	159
6.3 本章小结	160
参考文献	161

1 软土路基堆载预压的工程问题

1.1 工程背景

深厚软基工程的工后沉降可导致安全事故和重大损失。沿海地区深厚软土地基上的公路、铁路、港口码头和机场等,工后沉降问题普遍且长期存在,情况严重的将导致工程失效甚至灾难。2008年5月27日下午,粤东沿海某高速公路软基路段发生重大交通事故,大巴车侧翻至护栏外导致4死13伤。现场监控录像显示,事故起因于桥台跳车,藉此业主受到高额索赔。

此高速公路软基段软土厚16~21 m,桥头软基采用挤密砂桩处理,路基段采用袋装砂井处理,全部进行了超载预压,按照沉降速率和孔隙水压力消散程度控制超载卸荷时间。2001年底通车,截止到2010年底的监测资料显示,软基路段的沉降一直存在,沉降速率随时间衰减,工后3年内衰减明显,之后衰减缓慢,如图1.1所示。

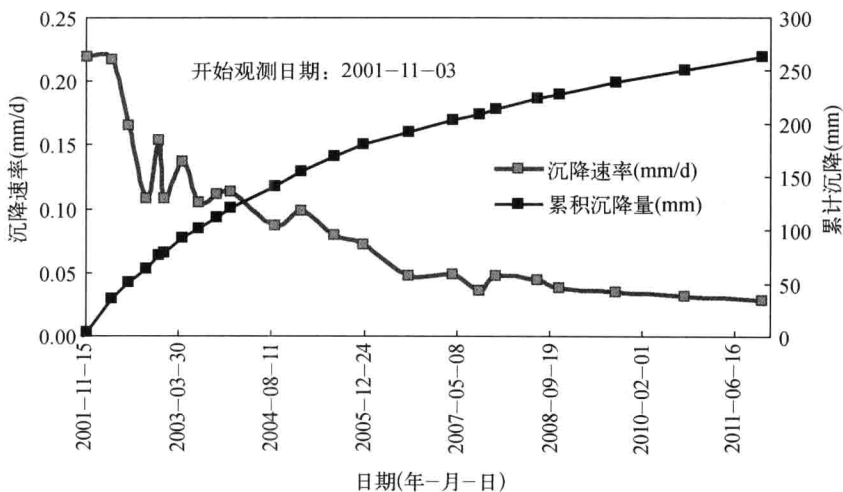


图 1.1 粤东沿海某高速公路软土路基工后沉降-时间曲线

此高速公路通车后软基桥头路段每隔 2~3 年就要进行一次路面加铺,为改善桥台跳车状况而投入的修缮费用累计金额可观。江苏、浙江和广东省等沿海地区,软土地层分布广泛,软基上的高速公路等工程因工后沉降造成的损失巨大,因此,研究深厚软基工程的工后沉降控制问题意义重大。

超载预压软基的工后沉降来自软土的蠕变变形。采用排水固结联合超载预压法处理深厚软土地基是被普遍应用且经济有效的手段。在工程应用中,在荷载预压一定时间后,一般采用的卸荷控制标准是:卸除超载后地基软土在永久荷载下的主固结过程至少应该结束,地基软土一般都处于不同程度的超固结状态,不再有主固结变形发生,地基的后期变形为超固结软土在恒载下的蠕变变形,蠕变总沉降须控制在限定值以内。对于较高路堤下的地基软土层,交通循环荷载的影响主要消耗在路堤中,未及软土层位深度,路基的工后沉降问题主要是超固结软土恒载下的蠕变沉降问题。

工程地基不同位置软土的受力条件有差异。软基路堤所发生的工后沉降大部分来自软土的次压缩变形,而桥台跳车则大多来自台后路基软土蠕变引起的沉降^[1]。软土的次压缩是一维蠕变问题,用一维方法研究路基软土的后期变形,实际上是对软基二维蠕变问题的简化,适用于处在路基中线附近的软土,而路堤边缘地基软土则是二维蠕变变形。桥台后路基下软土的变形是三维问题,蠕变过程是三维变形。

低路堤下软基浅层软土受交通荷载影响。现场实测表明^[2],交通荷载下衰减快,其有效影响深度为路面底基层顶面以下 2.5 m,即自路面起 3 m 深度以下的软土层,在路面完整正常交通荷载下不会受到影响。对于填筑厚度较小的软基低路堤,地基浅层软土会受到交通荷载的影响。采用超载预压法控制软基低路堤工后沉降,超载量须大于交通循环荷载幅值,超载卸除后,深层软土的变形为超固结软土在恒载下的蠕变;浅层软土的变形可分成两部分考虑,一是恒载下的蠕变,同深层软土,二是超固结软土在循环动荷载下的变形。

直接估算超载卸除后软基的蠕变和交通荷载变形是控制工后沉降的有效手段。控制工后沉降是深厚软基路堤工程的最终目标。在不能较好地实现控制施工过程中各时段地基沉降动态的情况下,若能较准确地估算出超载卸除后恒载下地基的工后沉降和循环荷载对超固结软土变形的影响规律,也可满足工程最终目标的需要。

由此,深厚软基工程的工后沉降问题普遍且长期存在,可导致安全事故和重大损失,研究深厚软基工程的工后沉降控制问题意义重大。深厚软土地基上的预压超载卸除后所发生的后期沉降,与超固结软土的蠕变变形有密切的关联。直接估算超载卸除后软基的蠕变量是控制工后沉降的有效手段。但只研究一维蠕变次固结变形是不够的,而研究多维蠕变过程引起的沉降变形是必要的。超

载预压软基低路堤工后沉降需要附加考虑浅层软土变形受交通荷载的影响。

1.2 堆载预压法概述

预压法即是在建筑物建造以前,在建筑场地进行加载预压,使地基的固结沉降基本完成和提高地基土强度的方法。对于在持续荷载下体积会发生很大的压缩和强度会增长的土,而又有足够的时间进行压缩时,此种方法特别适用。为了加速压缩过程,可采用比建筑物重量大的荷载进行预压,即超载预压^[3]。超载预压方法是堆载预压法应用的一种常用形式。

预压法可根据加荷形式分堆载预压和真空预压两类。根据堆载数量和形式,堆载预压法又可细分为自重预压、加荷预压和加水预压,本书主要讨论自重预压和加荷预压。

堆载预压方法是地基处理工程经常使用的传统方法,对于以解决承载力不足和地基稳定性差为主要目标的建筑物,如码头堆场、电厂煤堆场、某些围海造陆工程等大面积软基或超软地基,有稍大的工后沉降可以通过使用期的调整和维修予以解决,并不影响工程的使用安全。在工期上允许较长时间进行预压,这类工程从降低造价考虑,设计的预压荷载等于工程的运行荷载即足已,并规定施工期完成的固结度较低(一般为80%),允许的工后沉降也较大,这是堆载预压方法的一般用途^[4]。

堆载预压法最早用于处理美国加利福尼亚州的海湾公路,该公路的沼泽地段中约有2 mile处于高潮位以下,每当高潮位时,公路的下部被淹没并浸泡在水中,使面层粗糙和恶化,维护费用很高。公路改建时,为加高路堤,1934年11月和12月进行了3个断面的试验,采用的砂井间距10~12 ft,直径28 in,平均深度42 ft,经过堆载预压后取得了良好的效果。实测结果表明,保证了路基的稳定,防止了土体的侧向位移,消除了面层的不均匀沉降^[5]。

我国在1953年由南京水利试验处(现在的南京水利科学研究院)首次将砂井堆载预压法用于加固船台地基,而后在1954年、1955年又相继用于苏北大浦闸与汉江杜家台闸,截止到1956年搜集到国内外用预压法加固的工程实例共计52处^[6]。

国内于1959年将堆载预压法应用于宁波铁路路堤试验段和舟山、宁波冷库工程,以后推广至水工建筑、工业与民用建筑、铁路路基、港湾工程与油罐的软基工程中。1979年我国研制成功袋装砂井,1981年开发成功塑料排水带,使堆载预压法得到了更为广泛的推广应用^[5]。

自20世纪80年代末90年代初开始,我国大规模开展高速公路工程建设,尤其东南沿海等经济发达地区建设规模大、发展速度快。高速公路要求严格的工后

沉降变形,收费公路投资大,工期短,效益直接,设计使用时间长(百年),比之常规公路的投资策略更注重建设期的工程质量,目的是使工后沉降处于限定的范围内(见表 1.1^[7]),总体投资处于最优投资额附近的区间内,如图 1.2 所示。

表 1.1 公路容许工后沉降 单位:m

道路等级	桥台与路堤相邻处	涵洞或箱型通道处	一般路段
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	≤ 0.50

江苏、浙江、福建和广东等省沿海地区的公路沿线,广泛分布海相沉积的软土地层,在工程建设和运营期间发生了大量的软基路堤稳定和工后沉降变形超标、长期不收敛问题。堆载预压法用来解决软基路堤的稳定和沉降问题,相对于其他方法是经济有效的方案,因此,堆载预压方法被广泛地应用于高速公路建设的软基处理工程中。随着国内已建成高速公路运营时间的延续,工后沉降问题日渐凸显,工后沉降的控制水平直接关联工程造价(见图 1.2),采用堆载预压法处理软土路基,工后沉降的控制问题相对其他工法复杂很多,目前还没有很好地解决,因此,国内近年来关于堆载预压法控制软基路堤沉降问题的技术、理论研究受到了工程建设单位的日益重视。

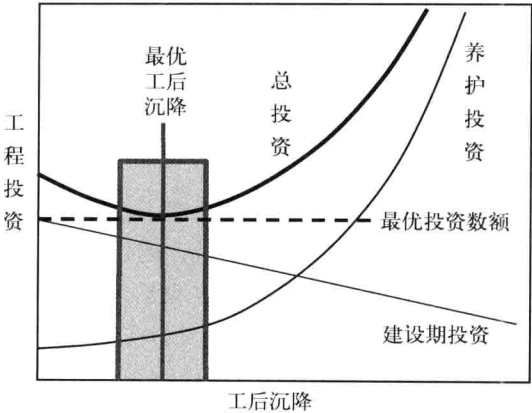


图 1.2 公路软基处理工程投资马鞍形分布曲线

控制水平直接关联工程造价(见图 1.2),采用堆载预压法处理软土路基,工后沉降的控制问题相对其他工法复杂很多,目前还没有很好地解决,因此,国内近年来关于堆载预压法控制软基路堤沉降问题的技术、理论研究受到了工程建设单位的日益重视。

1.3 堆载预压法的技术难点和研究现状

1956 年,朱维新、王正宏教授在研究软土的预压加固法时即指出,“预压加固法中,预先或至少在施工初期准确地知道加固所需的时间是头等重要的,所需要的准确时间的估算方法就显得特别重要,同时在这个方法中依据的稳定沉降的数量,也得有较可靠的估算方法”,即固结完成时间的确定和稳定沉降量的确定,是堆载预压法应用的技术难点。

1.3.1 软土的固结过程

1. 砂井地基固结理论日臻完善

对于设置了砂井的软土层,关于其固结沉降过程的研究,早在 1940—1942 年间,R. A. Barron 独立提出仅考虑径向渗流且认为砂井排水能力为无穷大的理想井理论^[8]。尽管 Rendulic 在 1935 年,Carrillo 于 1941 年已给出同样结论^[9],Kjellman 也自称于 1937 年即导出等应变条件下的理想井理论^[10],但以 Barron 的理论应用最广^[11]。之后在 1948 年,Barron 又进一步提出了等应变条件下考虑井阻作用的砂井理论,后人继续进行了更广泛深入的研究^[12]。

我国自 20 世纪 50 年代年开始也进行了砂井理论的研究和实践,且在这方面也取得了很高的成就。曾国熙教授(1959)带领的课题组较早地开始了这方面的研究,提出了砂井地基的若干计算方法,其中固结度的普遍表达式是最具代表性的成果^[13, 14]。王贻荪(1982)^[15]提出了自由应变条件下考虑砂井阻力的折减井径法。谢康和教授(1987—2007)自上个世纪 80 年代开始研究砂井地基固结理论,取得了丰硕的成果,得到了多种边界条件下、不同荷载条件下的理论解,使得砂井地基的固结沉降计算理论日臻完善^[15-17]。

关于固结理论的研究还引入了其他非弹性模型,许多学者也进行了研究,目前所采用的本构模型,可以考虑土体的弹性、塑性和黏性特征,对固结过程的分析既包含了主固结,也包含了次压缩过程^[18, 19]。

2. 固结计算结果与实际工程有偏差

关于软土地基固结及沉降的真实过程,朱维新、王正宏教授在 1956 年提出^[6],由于地层条件的复杂性、勘察取样工作的代表性和计算理论的偏差等问题的存在,导致运用测试得到的地质条件参数和沉降计算理论很难较准确地确定软土地基的沉降过程,往往计算模拟的结果和真实情况差距较大。真实的沉降速率在没有实测资料之前是无法知道的,沉降与时间的关系只有用实际观测资料来估计,即按施工初期的实测沉降曲线与稳定沉降量,用曲线配合法来预测不同沉降量所需要的时间。

1951 年,束克雷(W. G. Shockley)首先提出单向固结理论法,适用于固结度小于 60%的主固结过程;1955 年,尼契包洛维奇(A. A. Ничипорэвич)教授根据建筑物的实际沉降资料,提出用双曲线拟合沉降过程线,得到双曲线经验公式,预测总沉降;同年,亨德生(E. A. Henderson)提出三向固结理论法,可以考虑辐射向排水对固结过程的影响,计算主固结沉降^[6]。

土力学发展到现在,尽管对于土的本构关系的把握已有了很大的进步,目前的计算能力也今非昔比,但对于实际工程而言,数值模拟的结果和实际情况还是存在较大误差的。