

路堤荷载下地基土侧向位移 预测及计算分析

李飞 艾冰 著



河海大学出版社

Prediction and Calculation of Lateral Displacement of
Ground under Embankment Loads

路堤荷载下地基土侧向位移 预测及计算分析

Prediction and Calculation of Lateral Displacement
of Ground under Embankment Loads

李 飞 艾 冰 著

河海大学出版社

内 容 提 要

由于软土具有高含水量、高压缩性、低强度、低渗透性和高灵敏度等特点,在软土地区修建高等级公路时,地基变形通常较大。软土路基的变形除了竖向沉降外,还有侧向位移。本书总结了路堤荷载作用下软土地基侧向位移研究现状,结合沿海地区典型的软土地基处理工程实际,通过理论分析、数值模拟和工程实例分析等手段,对路堤下地基土中最大侧向位移与路中沉降的关系、路堤侧向位移的性状和预测、以及考虑侧向位移的路堤沉降计算等方面进行了系统的研究,取得了不少有益的研究成果。本书可作为土木工程、道路工程、水利工程等专业技术、教学、科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

路堤荷载下地基土侧向位移预测及计算分析/李飞,艾冰著. —南京:河海大学出版社,2006. 12
ISBN 7-5630-2314-3

I. 路... II. ①李... ②艾... III. ①路堤—软土地基—侧向位移—预测 ②路堤—软土地基—侧向位移—计算 IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 154629 号

书 名/路堤荷载下地基土侧向位移预测及计算分析
书 号/ISBN 7-5630-2314-3/TV·286
责任编辑/朱 辉
封面设计/黄 炜
出 版/河海大学出版社
地 址/南京市西康路 1 号(邮编:210098)
电 话/(025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)
印 刷/ 丹阳兴华印刷厂印刷
开 本/850 毫米×1168 毫米 1/32 5 印张 110 千字
版 次/2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷
印 数/1~3000 册
定 价/16.00 元

摘 要

我国高速公路建设正处于飞速发展的时期。由于软土的高压缩性、低渗透性、高含水率,固结变形需要的时间长,软土地区的高速公路常由于沉降不均匀或工后沉降过大破坏了路面的质量。在软土地区修筑高等级公路,路基的变形和稳定是最突出的两大问题。其中变形问题更为复杂。路堤下地基的变形包括竖向变形(即沉降)和水平向变形(即侧向位移)。本书在分析路堤荷载作用下软土地基侧向位移研究现状的基础上,通过理论分析、数值模拟和工程实例等手段,对路堤下地基土中最大侧向位移与路中沉降的关系、路堤侧向位移的性状及预测和考虑侧向位移的路堤沉降计算等方面进行了系统的研究,取得了以下主要的研究成果:

总结了软土地基下侧向位移的研究现状,从路堤中最大侧向位移和路中沉降之间的比例关系出发,进行了分析研究。运用有限单元法,建立了路堤下软土地基的计算模型。计算结果表明,在路堤填筑期间最大侧向位移和路中沉降的增量大致相等,而在固结期两者的比例关系在 0.14 左右。不同的加载方式对两者的比例关系

也有一定的影响。

分析了路堤下地基土路堤底面侧向位移沿路堤横向分布的特征,利用弹性力学公式给出了侧向位移沿路堤横向的解析公式,并建立了有限元计算模型进行计算分析,同时结合大量实测资料与前人的研究成果进行了对比分析,得出了侧向位移沿路堤横向的变化规律;在总结现有侧向位移沿深度分布的预测模型的基础上,提出了相应的预测模型,该模型较好的反映了侧向位移沿深度方向的分布特征,3个待定的参数 α 、 β 、 z_m 都有明确的意义,且都很容易求解;探讨了路堤下地基土最大侧向位移随时间的变化规律,提出了 Weibull 预测模型,给出了参数的求解方法。工程实例的应用说明了该方法的合理性。

在总结分析考虑侧向变形的沉降计算方法基础上,结合路堤下孔压的观测资料和理论分析,提出了一种新的考虑侧向位移的沉降计算方法。讨论了初始孔压对路堤下地基固结性状的影响,提出了合理的初始孔压分布形式,得出了路堤荷载下的固结度和最终沉降的计算公式。通过路堤荷载下地基土孔隙水压力的观测规律,得到了地基土中孔压的分布形式,得出了考虑侧向位移的沉降修正系数。

Abstract

With the demand of social economic development and the modernization of traffic, the construction of highway engineering in China has come into a fast period. For high compressibility, low permeability and high water content in soft soil, consolidation deformation always lasts a very long duration. The pavement of highway on soft ground may be destroyed because of large deformation. Deformation and stability are two key problems for the construction of highway over soft ground and the deformation is more complicated. Deformation in embankment is composed of vertical and horizontal deformation, namely, settlement and lateral displacement.

The state art of lateral displacement in soft ground of highway engineering is summarized and the key issues are put forward in the paper. Based on the previous researcher's work, the thesis studied the behavior

of lateral displacement under embankment through theoretical analysis, numerical simulation and field test. The main contents are as follows:

The present research condition of lateral displacement in soft ground under embankment is reviewed. The problem is investigated using the relationship between the maximum lateral displacement and settlement of embankment center. The calculated model is established with finite element method. The computed results show that during the loading period $\Delta y_m = \Delta S$ and during the period of consolidation $\Delta y_m = 0.14\Delta S$. The loading consequences also affect the ratio. The calculated results is helpful to the research on the lateral displacement. Differential load sequences affect the behavior of lateral displacement.

The behavior of lateral displacement in ground across embankment is studied. Based on the elastic formula, the solution of lateral displacement across the embankments at the surface is obtained. The finite element model is established to simulate the lateral displacement in embankment. Combined with plenty of observed data and late research achievements, the rule of lateral displacement across embankment is presen-

ted. Base on the distribution rule of lateral displacement with depth, one prediction model is presented. The model with a good adaptability is used to describe the lateral displacement. The model matches the behavior of lateral displacements with depth very well. 3 parameters α , β , z_m owe specific meanings and can be easily determined. The maximum lateral displacement along the toe in soft ground with time is also studied, the prediction model Weibull is put forward and the fitted method is also presented.

Based on observed data of excess pore water pressure under embankment and theoretical analysis, a new method of calculating settlement in embankment considering lateral displacement is presented. The effects of initial distribution of excess pore water pressures on the degree of consolidation and the ultimate settlement are fully discussed in the paper. the distribution of initial excess pore water pressures under embankment loads is presented, which can be fitted with a trapeziform or a polynomial distribution. The computed results demonstrate that it is necessary to adopt reasonable distributions of initial excess pore water pressures to analyze the performance of consolidation in embank-

ment engineering. The observed data show the distribution of excess pore water pressure along depth, which can be described as one function of the stress applied by the embankment. Using the above two excess pore water pressure along depth, a modified parameters on Skempton-Bjerrum method is presented.

目 录

摘要	1
Abstract	1
1 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 路堤下地基土侧向位移的研究现状	3
1.2.1 软土路基侧向变形研究方法途径	4
1.2.2 侧向位移的计算及预测方法	11
1.2.3 侧向位移对沉降的影响	19
1.3 本书研究课题的提出	22
1.4 本书主要研究内容	24
2 路堤下地基土侧向位移计算的有限元分析	
理论	26
2.1 引言	26
2.2 有限元计算分析理论	29
2.2.1 土的本构模型	30
2.2.2 比奥固结理论	39
2.3 本章小结	46

3	路堤下地基土侧向位移与沉降关系分析研究	47
3.1	引言	47
3.2	路堤下软土地基侧向位移与沉降的关系	47
3.2.1	传统的观点	48
3.2.2	Tavenas 等的研究观点	48
3.2.3	某现场实测结果	50
3.3	数值模拟分析	51
3.3.1	概述	51
3.3.2	一级加荷	52
3.3.3	二级加荷	59
3.4	本章小结	65
4	路堤下地基土侧向位移沿路堤横向预测分析	67
4.1	引言	67
4.2	路堤下地基土侧向位移沿路堤横向的 理论分析	67
4.2.1	路堤荷载下地基土侧向变形的理论 分析	67
4.2.2	路堤荷载下地基土侧向位移性状的 有限元模拟分析	72
4.2.3	工程实例分析	76
4.3	本章小结	79
5	路堤下地基土侧向位移随深度预测分析	81

5.1	引言	81
5.2	侧向位移沿深度方向的预测方法	85
5.2.1	预测方法一	85
5.2.2	预测方法二	87
5.2.3	预测方法三	88
5.3	侧向位移预测模型及工程实例分析	89
5.4	本章小结	92
6	最大侧向位移随时间的变化规律及预测	93
6.1	引言	93
6.2	沉降预测方法分析	93
6.2.1	对数曲线法	94
6.2.2	双曲线法	96
6.2.3	成长曲线法	98
6.3	侧向位移随时间的变化规律及预测模型 的建立	101
6.3.1	侧向位移—时间关系的特性分析	101
6.3.2	预测模型的求解	104
6.3.3	预测模型的拟合求解	106
6.4	工程实例分析	108
6.5	本章小结	111
7	考虑侧向位移影响的沉降计算方法	112
7.1	引言	112

7.2 考虑侧向位移的沉降计算方法现状	114
7.2.1 分层总和法三向变形公式	114
7.2.2 应力路径法	115
7.2.3 弹性理论法	118
7.2.4 侧向位移对固结沉降的影响及计算 ...	120
7.2.5 基于 $e-\lg(p)$ 的修正方法	123
7.3 本章提出的方法及应用分析	124
7.3.1 初始孔压分布规律对 Terzaghi 一维 固结性状的影响	124
7.3.2 路堤下地基土孔压分布	133
7.3.3 考虑侧向位移的沉降计算方法	136
7.4 本章小结	137
8 结论	138
8.1 本课题研究的主要结论	138
8.2 本课题研究的不足及展望	140
参考文献	141

1 绪 论

1.1 引 言

自 20 世纪 80 年代以来,随着交通现代化进程的加快,我国交通基础设施建设得到了加强,公路建设有了飞速的发展,以高速公路为标志的高等级公路从无到有,进入了一个飞速发展的时期^[1,2]。近几年,国家加大了对基础建设的投资,我国的公路事业又迎来了一个新的发展机遇,高速公路通车里程不断增加,覆盖区域逐步扩大,建设步伐日益加快。高速公路作为现代化的公路运输基础设施,其产生和发展是国民经济发展的必然结果。高速公路首先要满足高速,同时也要满足行车的舒适性和安全性。如果路面坎坷不平,就会影响行车的舒适性,同时也是提高车速的障碍。路面低凹处或桥头高差引起跳车而产生的冲击力,会使路面不平整进一步加剧,构成恶性循环。因此,解决路面的变形问题,是高速公路设计与施工的关键所在^[3,4]。

软土在我国的沿海与内陆地区都有相当大的分布范

围。由于软土路基的压缩性高,渗透性低,固结变形持续时间长^[5],在软土上修筑高速公路,常会由于软土路基的不均匀沉降问题破坏或降低公路的质量。如我国大陆第一条高速公路——沪嘉高速公路(1988年10月建成),在通车四个月,桥头错台大者达7~8 cm,使行车速度大为下降;又如江苏宁连一级公路,由于沉降问题,路面开裂,通车几年来一直小修不断。显然,对于交通量大,养护费用高的高速公路,软基沉降量及其速率的预估是工程设计中的主要问题^[6]。高速公路对运行期间路基的沉降量有着严格的要求,软土路基的设计由稳定控制转向变形控制是必然的趋势^[7]。因此,革新或改进估算路基沉降的计算方法具有重大学术价值与社会效益。

路堤下的地基变形包括竖向变形即沉降(由瞬时沉降、主固结沉降和次固结沉降等三部分组成)和水平向变形,即侧向位移^[8]。目前对沉降的研究比较深入透彻,正如 Longantham 和 Balasubramaniam^[9]所指出的那样,路基沉降计算理论尽管有了很大改进,但沉降的预估比一般的土工计算更具技术性,预估沉降与时间关系的能力仍然相当差,预估的沉降量与实测的沉降量仍然存在不小的偏差。所以,从工程建设的发展与需求来看,还需对现有的路基变形计算与预测理论作进一步的研究与改进,使计算值与实测值更为接近,从而更好地为工程建设服务。

江苏盐城市地处苏北沿海,近年来宁靖盐高速公路和新长铁路都过境兴建,2003 年还同时开工建设盐通、盐淮和盐连三条高速公路,总里程全长 500 多 km,投资 150 多亿元^[10]。由于该地区广泛分布较深厚的海相、滨海相淤泥和淤泥质软土,具有高含水量、高压缩性、低强度、低渗透性和高灵敏度等特点,地基稳定性差。软土路基的变形除了竖向沉降变形外,还有侧向变形。因为一般路段的长宽比 $L/B \geq 10$,属于平面应变问题,随着路基内竖向应力、水平应力和剪应力的增加和塑性区的开展,地基土产生侧向位移,并在施工期和运行期(工后)长期存在。地基土的侧向变形不仅导致路基沉降变形和降低路堤的稳定性,还对邻近建(构)筑物产生水平荷载、水平位移甚至破坏。因此,探讨软土路基侧向变形的研究方法和途径,掌握软土路基宏观的侧向位移分布规律,提出合适的侧向位移的计算及预测方法,对软土地区的高速公路建设具有现实意义^[11]。

1.2 路堤下地基土侧向位移的研究现状

侧向位移不仅会影响沉降的大小,更重要的是影响邻近的构筑物的受力,侧向变形过大还会影响到地基的稳定性。目前对侧向位移的研究现状如下所述。

1.2.1 软土路基侧向变形研究方法途径

1) 土体侧向变形特性的室内试验研究
要研究地基的宏观侧向位移,首先必须研究反映土体变形特征的参数、弹性模量和泊松比等,其中泊松比是反映土体侧向变形的重要参数。

(1) 常规三轴试验确定泊松比 ν ^[12]
土体常规三轴试验是在保持 σ_3 不变的情况下,加轴向应力($\sigma_1 - \sigma_3$),只在一个方向上施加应力增量,而其他方向无应力增量 $\sigma_2 = \sigma_3$,测出轴向应变 ϵ_a 和体积应变 ϵ_v ,又可推出侧向膨胀应变 ϵ_r 和泊松比 ν 。

常规三轴试验由于是轴对称条件,反映侧向变形的泊松比 ν 的物理意义只有一个,即切线泊松比,见图 1.1。

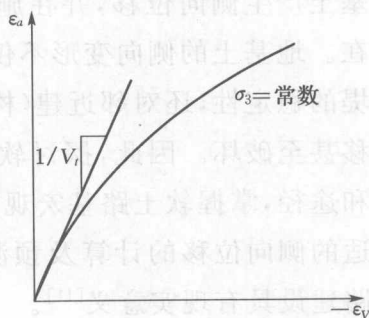


图 1.1 $\epsilon_a \sim \epsilon_v$ 关系曲线

1. σ_2 和 σ_3 方向侧向变形大小相同,实际上未考虑中主应力 σ_2 的影响。

$$\epsilon_r = \frac{(\epsilon_v - \epsilon_a)}{2} \quad (1.1)$$

$$\nu = -\frac{\Delta \epsilon_r}{\Delta \epsilon_a} = \frac{\partial(-\epsilon_r)}{\partial \epsilon_a} \quad (1.2)$$