

浅谈软土地基路堤荷载作用的沉降计算

任东晓

(上海市市政工程勘察设计院有限公司, 上海市 200092)

摘 要:软土地基上的高速公路路堤荷载,其沉降计算结果与实测沉降值往往存在较大的差值,该文从竖向应力作用以及应力作用下各种类型的固结沉降、瞬时沉降、后期沉降的等方面,列举常用计算方法可能产生误差的诸多因素,提出观点,探讨如何使沉降计算值更接近于实际情况。

关键词:线状荷载;几何形态;压缩模量;渗透固结;压缩指数;瞬时沉降

中图分类号:TU433 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)04-0075-03

0 前言

高速公路路基常为高路堤路基,对于软弱地基土层,可能存在较大的变形,而控制路堤的沉降变形要求,十分严格,即施工期间加速变形,施工后期很少变形或不变形。因此设计施工时,对路堤沉降变形的幅度大小及作用时间,进行较为准确的估算,是保证公路设计质量的重要手段。

高路堤路基一般较宽,基底为柔性结构面,作为路堤下卧软弱地基土层,地基的最终固结沉降计算,常采用规范推荐公式(如模量法),以及考虑孔隙水渗出的渗透固结法或考虑应力历史作用的压缩指数法等,进行沉降变形估算。

综合上述三种不同的计算方法,对沪宁、沪杭高速公路路基沉降作用进行估算,对路基纵坡沉降值实测结果进行比较分析,见表 1。

上表内前三组数据为运用不同的思维方式,采用不同的计算公式及相应的压缩性指标作为计算参数,对同一地基土进行变形计算,计算结果不完全相同。最后一组为路基纵坡中部该孔路段的实测平均沉降值。

分析对比表内前三组数据,可以看出前两组计算结果比较接近。这是因为前两组数据计算公式原理相同,差别在于计算参数中,后者考虑了土在压缩固结过程中孔隙水的渗透作用,以及时间效应;而第三组计算结果,则是考虑了天然成层土的应力历史作用,计算值比较接近实测值,但还是存在着一定的误差,如对比于前两类计算结果,则差值更大,可达 20~40%。分析造成这种计算误差原因,大致可归纳为三种情况:(1)采集的附加应力参数由于存在多种不确定因数而沿纵断面频繁发生变化;(2)对压缩性指标的不同选择;(3)

人工排水手段运用和计算公式本身存在的不足。

1 线状荷载几何形态因素影响竖向应力分析

路堤荷载为线状荷载,但其宽度较大,一般理解为横断面呈梯形的条形均布荷载,而实际情况往往十分复杂。

1.1 计算断面的纵向变化

路堤高度的变化随着地形的变化而变化,由于原始地表的凹凸不平、倾斜、弯道及附属工程存在,路堤实际高低形态的差异,常常很悬殊,计算时则应换算成相应的等效梯形截面积,如简单地按同一梯形断面来计算附加荷载的应力,则计算结果与实际的变形情况显然存在一定的差值。

1.2 线荷载纵向为有限长条形荷载

一般认为,高路堤路基属无限延伸的条形荷载,但是全封闭的高等级公路由于功能上的需要,在横向通道和桥梁处,路堤是断开的。而且由于路段各处原始地貌的凹陷作用,路堤填筑高度按照公路质量要求及设计纵坡的变化要求,不同路段要求填筑的高度也不同,这种不同填筑高度的变化作用不容忽视,往往会导致线状单元受力作用的自然分段性。另一方面,由于功能需要,高速公路的设计路幅较宽,堆载路幅的下宽更大(一般为 50~60 m),故高路堤的长宽比(L/B),在很多路段 ≤ 10 ,因此附加应力的实际作用面相当于一个大面积堆场效应。

1.3 堆载预压效应差异影响

路堤填筑时,即使在同一地质区段、同一路段,当地形高差较大时,由于不同填筑高度,其超载预压效果的差异十分明显。而且在换填地段,路基深埋,沉入地面下的路基土容重比被清除的土要大,在计算竖向附加应力时,应考虑这方面因素的影响。

收稿日期:2006-05-11

作者简介:任东晓(1953-),男,上海人,高级工程师,主要从事市政工程岩土勘察工作。

表 1 路基纵坡沉降实测结果对比表

孔段	路堤高 (m)	压缩模 量法 (cm)	渗透固结法		压缩指 数法 (cm)	施工后期 实测值 (cm)	地质条件
			总沉降量 (cm)	固结度 U90 (cm)			
ZK31	3~4	83.90	83.3	74.9	71.5	69.8	正常沉积,具完整硬土组合,单向排水。
ZK142	5	135.96	121.65	109.5	99.05	74.9	古河道沉积,具② ₂ 层上排水通道。
ZK89	5.5	165.2	126.7	114.0	71.5	83.4	古河道沉积,具② ₂ 及⑤ ₂ 层双排水通道。
ZK219	6	178.35	174.04	156.6	115.1	133.3	古河道沉积,具⑤ ₂ 层下排水通道。
ZK245	6.5	206.9	173.54	156.2		124.3	正常沉积,具硬土⑦层下排水通道,地表设排水层,为双向排水。

2 固结沉降计算的影响因素分析

地基沉降计算目前均采用分层总和法,但不同的压缩性指标,计算侧重点不同,运用的思维方式也不同,其计算结果的差异当然也不言而喻。

2.1 压缩性指标的运用分析

一般情况下多采用规范推荐公式,在天然土层的分层 $e-p$ 曲线上求取的压缩模量,作为压缩性指标计算沉降。因此计算自然分层对应的两个应力 $p \sim p + \Delta p$ 范围所求得的 Δe 值为有侧限状态下的平均值,对应的 E_s 值是按线性内插求得,而软土地基的天然土层一般为非均质土层,往往存在粉砂、粉土等夹有物,且为无侧限状态,故以该方法计算的沉降值,会产生较大的偏差。因此规范中附加了一个经验系数修正值 ψ_s ,以消除沉降计算中各种无法预测的影响因素。但针对各区段不同地基土层组合,单一的经验修正系数往往无法综合反映诸的影响因素,实际情况是当压缩层厚度较大时,随着计算深度增加,其总沉降量计算值比实测沉降量明显偏大很多。

沉降计算中同时考虑土中水的渗流作用,并假定土层的压缩和土中水的渗流都是一维的,渗透固结中各天然土层的渗透系数 K 和压缩系数 a 为不变的常数,运用竖向固结理论公式,计算当固结度 $U = 90\%$ 时的结果。如压缩层厚度较大(约达 40 m 左右),由于土的压缩固结过程,水在多孔土体中渗入和渗出的流速,诸如流体的粘滞度、颗粒的孔隙比、土体的结构度、粘土颗粒所吸附的水层密度、离子浓度等因素,会随深度的增加而发生很大的变化。竖向固结理论计算地基土层的变形程度往往取决于多层土体的等效渗透性,即多层土体平均渗透率的变化。实际上多层天然土体的渗透系数 K 值的变化是极大的,而且渗流方向亦是多维的,故这种等效性并非是平均值的概念,因此计算值与实测值之间误差十分明显。

分析以上沪宁、沪杭高速公路路基沉降表内数据,对于压缩层厚度较大的地基土层,应考虑应

力历史的影响作用。压缩性指标计算,可采用各土层的 $e-\log p$ 曲线求取的压缩指数作为计算参数。实际地基土的压缩过程类似于先期固结压力作用下经再压缩之后的应力应变过程,在先期固结压力下的应力范围内, $e-\log p$ 曲线呈一直线,压缩性指标为线性的,不随应力状态、渗流作用的影响而变化,故该计算值误差相对较小,比较接近实测值,且方法简便实用。

考虑各类压缩性指标在取样和试验过程中的扰动作用,以及试验应力边界条件与实际情况存在的差异,指标本身并非完全代表现场状态下的土层情况。

2.2 压缩层深度 Z_n 的取值分析

一般规定软土地基的压缩层计算下限,位于附加应力等于土层自重应力 10% 处。事实上,对于类似于大面积堆场的荷载效应,如路堤填筑不高,下卧软弱层较厚,即压缩层下限还存在于淤泥质土时,计算值基本接近实际情况;而当路堤较高,软弱层中存在一定厚度的砂土、硬土序列土层,则计算值往往偏大。故沉降计算须考虑地基土中不同性质土层组合的影响作用,对地基土的应力计算中运用双层地基概念,则应力传递的变化较为符合实际的应力变化情况,因此,压缩层深度的确定宜采用现行规范中的变形计算深度 Z_n ,压缩层下限处 Δz 分层的变形值占总沉降量 2.5% 以下,作为控制压缩层厚度的下限值。

上海地区属典型的软土地区。在路堤荷载作用下的软土地基,其固结速度与渗径平方成反比,土层埋深越大,渗径越长,孔隙水排出就越困难,其固结时间可长达几十年,甚至上百年。为了加快高路堤路基的固结速度,一般会考虑相应的软基处理措施,如采用袋装砂井、碎石桩、插塑料排水板、地表铺设砂垫层等,变竖向排水为横向排水,以大幅缩小渗径距离,从而极大地缩短了排水固结时间,使大部分沉降可在施工期间完成。因此,对于进行软土地基处理的路基,压缩层深度应取软基处理措施的深度,处理深度以下土层由于上

覆附加应力的极度衰减,排水固结作用进行十分缓慢,压缩性一般可忽略不计。

2.3 压缩层分层厚度分析

采用分层总和法公式进行沉降计算,压缩层分层计算厚度多以自然分层为计算分层。考虑压缩层上部应变较大,且附加应力随深度衰变较快,因此可认为压缩计算分层越细,计算误差也越小。当附加压力与自重应力之比(σ_z/σ_{cz})减小到一定程度,则这种变化较为缓慢。在实际计算中,对于靠近地面处的计算层相对自然层位进行细分,而下部土层则可取自然分层厚度。

2.4 填筑施工时瞬时沉降因素分析

瞬时沉降对于饱和软粘土而言,沉降变形是通过剪应变引起的侧向挤出,是没有体积变形的形状变形,因此瞬时沉降应该包括侧向变形这一分量,应采用弹性理论公式来分析计算。而目前分层总和法及规范常用的计算公式,所运用的为单向压缩性指标,指标中不反映侧向变形,而通过附加计算经验系数 ψ_s ,来考虑瞬时沉降的共同影响作用。对高速公路的高路堤实测瞬时沉降量,分析表明,导致地基土剪切变形的因素很多,诸如多层土体不排水抗剪强度等效取值、路基填筑速率、软基处理类型及深度等。其中填筑速率起着决定性的作用。对于不同区段的不同地基土组合以及不同的软基处理类型,填筑速率是不同的。若填筑过快,土中孔隙水来不及排出,土的抗剪强度的提高不能满足荷载导致的剪切力,地基土则出现塑性区,侧向变形增大,沉降位移可持续较长时间,达不到稳定。故根据 E_s 值选取 ψ_s ,计算瞬时沉降量与实际观察情况相比较,偏差较大。

3 施工后期沉降估算分析

高等级公路建成后的质量评估,高路堤路基后期沉降推算,一般采用变形-时间曲线来估算建成后后期的沉降值,运用双曲线公式 $S(t)=t/(a+bt)$,对施工期间的沉降观测资料用最小二乘法进行线性回归求得 a 、 b 值。 $S(t)$ 函数曲线特征表示随着时间函数的递增,导函数递减,计算结果理论上讲,比较吻合实际沉降情况。

3.1 沉降观测值的离散性

路基在填筑过程中,在达到基本稳定之前,实际填筑的时间间隔和填筑厚度具有很大变化性与

不确定性,而且沉降后期的补填作用亦使荷载发生变化,故观测值连贯性必然也发生变化,因此获取的沉降观测资料必然具有相当的离散性,回归时须进行必要的资料整理,剔除异常数据,以减小偏离,提高拟合程度,使沉降曲线较为顺畅,求得的方差变化亦位于允许范围之内,以提高计算的准确度。

3.2 表达式本身的影响因素

双曲线方程表达的是变形与时间的数理变化规律,是现有路堤荷载下的沉降发展趋势,路堤荷载随着沉降发生,是一个减小过程。公式中没有反映与地基土性质、渗透固结作用相关的因子。此时沉降作用发生了根本的变化,由主固结沉降转化为次主固结沉降,沉降与时间的关系在半对数图上接近一条直线,较之主固结沉降曲线平缓的多。故推算所得结果往往会偏大。

4 结语

高速公路高路堤的沉降计算(包括固结沉降计算,瞬时沉降计算),对于路基总体,不同路段、不同区段的地基土具有不同的工程地质性质,不同的地基土组合,其渗透固结作用差异极大。如沪宁、沪杭高速公路的不同路段,在自然排水条件下,地基土固结所需的时间大致为6.1~97.6 a,采取相应排水措施,进行超载预压处理,准确估算各路段不同边界条件下的沉降量,对路堤工程的预算、分级填筑速率的确定以及路基边坡的设计,起着积极的指导性作用。如误差太大,虽可在沉降稳定期,根据沉降实测资料进行调整,但既影响了施工期,也增加了人力物力。

瞬时沉降的计算一般误差较大,由于影响计算的边界条件因素比较复杂,目前尚无成熟的计算方法,虽然弹性理论公式能够比较近似地进行拟合,但实际应用还有一定的困难,有待进一步研究。

后期次固结沉降推算误差,对高速公路使用过程中的路况质量影响很大,误差过大会影响竣工后的最终设计路面标高、纵坡和横坡,造成行车不适等公路病害。运用双曲线法计算虽具有较近似的拟合度,但公式本身还有不足,需要进一步完善。