

软土路基沉降计算问题探讨

郑澄锋

王保田

(南京水利科学研究院土工所) (河海大学岩土工程研究所)

摘 要 在软土地区修筑高速公路, 最重要的是控制路基沉降。探讨软土路基沉降的计算方法, 分析了影响沉降的一些主要因素, 并指出软土路基沉降计算存在的困难与问题, 最后提出了自己的建议。

关键词 软土 路基 沉降计算

1 引言

随着社会经济的发展, 为满足交通现代化的要求, 我国迫切需要建设高速公路网。路基的不均匀沉降会破坏或降低高速公路的质量, 影响行车的舒适性和安全性。在软土地区修筑高速公路, 最关键的问题就是控制路基的沉降。因此, 高速公路路基沉降的分析与计算已经引起广泛的关注。本文就软土路基的沉降计算问题做一些探讨。

2 软土路基的沉降计算

2.1 沉降的组成

在软土地区修筑高速公路, 必然导致路基的下沉。通常认为沉降是由瞬时沉降、主固结沉降与次固结沉降三部分组成。即

$$S = S_d + S_c + S_s$$

式中: S_d ——瞬时沉降, 由于土体的侧向变形引起的附加沉降;

S_c ——主固结沉降, 是加荷后土体的体积压缩变形引起的沉降;

S_s ——次固结沉降, 由于土体蠕变而发生的沉降;

由于土体侧向变形引起的那部分沉降, 其实并不是瞬时发生的, 它在沉降的整个过程显示出其影响, 文献 [1] 对此作了详细的论证。因此将瞬时沉降分量称为不排水沉降更为合适。

2.2 路基沉降计算方法

目前计算沉降及沉降速率的方法可归纳为以下几类。

2.2.1 常规计算方法

这是工程中最常用的计算方法, 按分层总和法计算最终沉降, 采用一维固结理论计算沉降速率。计算分层沉降时考虑不排水沉降 S_d 、主固结沉降 S_c 和次固结沉降 S_s 三部分沉降。不排水沉降 S_d 用弹性理论或一些经验公式计算, 较好经验公式的有: 我国《铁道工程设计技术手册》中推荐使用的公式, 张诚厚、戴济群 (1993 年) 根据实测侧向位移建立的半经验公式^[2]; 主固结沉降 S_c 的计算可用一维的 $e-p$ 曲线法或考虑土体应力历史的 $e-\lg p$ 曲线法, 也可用黄文熙提出的三维分析法 (1957 年) 或 Skempton 和 Bjerrum 法 (1957 年); 次固结沉降 S_s 采用次固结系数计算。工程实际中经常采用主固结沉降乘以一个修正系数 m_s 的办法来计算总沉降量。沉降速率则根据 Terzaghi (1923 年) 一维固结理论或 Gibson (1967 年) 一维有限非线性应变固结理论, 有限非线性应变固结理论考虑了土体压缩性和渗透性与孔隙比的非线性变化, 以及土体自重应力等方面的因素, 较 Terzaghi 一维固结理论合理。

2.2.2 应力路径法

Lambe (1967 年) 提出用应力路径法来计算沉降^[3]。软黏土受荷载作用后, 往往有两个过程: 首先是形变, 然后是体变。加荷初始, 孔隙水一时来不及排出, 孔隙水压力上升, 这就相当于固结不排水过程, 体积不变。随着孔隙水压力的消散, 体积压缩, 有效法向应力增加, 而偏应力不变, 这相当于固结排水过程。因此, 沉降就可分成两部分计算, 通过模拟现场实际加荷条件, 进行室内固结不排水和固结排水试验, 分别量测不排水应变和排水应变, 由此求得排水沉降与固结排水沉降。应力路径法对于认识沉降机理, 分析常规计算中可能产

生的误差趋势,都是很有益的。但该法使用较为麻烦,试验技术要求过高,目前尚未被工程界采用。

2.2.3 有限单元法

有限单元法可以考虑复杂的边界条件、土体应力应变关系的非线性特性、土体的应力历史、水与骨架上应力的耦合效应,可以模拟现场逐级加荷和处理超填土问题,能考虑侧向变形、三维渗流对沉降的影响,并能求得任一时刻的沉降、水平位移、孔隙应力和有效应力的变化,使得计算所得总沉降量及沉降速率等结果越来越接近实测结果^[4]。有限元分析时,将路堤和地基作为整体划分网格,取孔隙应力、竖向位移和水平向位移为基本未知量,采用理论上较严密的比奥固结理论,在路堤荷载作用下,根据土体的劲度和渗透性建立方程组,从而解得孔压与位移。有限元确实是一种较为完善的方法,但是由于其计算参数多,且需通过三轴试验确定,程序复杂难以为一般工程设计人员接受,在实际工程中没有得到普遍应用,只能用于重要工程、重要地段的路基沉降的计算。此外,有限元目前很难考虑大变形固结问题即几何非线性,往往使计算结果偏离较大。

2.2.4 曲线拟合法

根据现场前期实测沉降资料,用曲线拟合法,可以预测沉降发展规律,推算最终沉降量,由此确定路面铺筑时间。曲线拟合法有指数曲线法、双曲线法、高木俊介法或曾国熙 1975 年提出的高木俊介改进法等。高速公路软土路基沉降随时间的关系一般较符合双曲线形式^[5]。但也有人认为双曲线方程本身没有反映出地基土的固结速度,与沉降速率缺乏内在的联系,用指数曲线法拟合更恰当^[6]。宰金珉^[7]认为这些方法均难以反映全过程的沉降与时间的关系,建议用泊松曲线预测沉降,但也只适用一级线性加载情况。

2.2.5 反演分析法

反演分析法是近十几年发展起来的一项新技术,它通过已有的沉降观测资料,反演得到正分析中的某些输入参数,使正分析得到的结果与实测沉降充分接近。如可以通过反演分析确定原位固结系数,再根据 Terzaghi 的一维固结理论推算最终沉降量及沉降发展过程^[8]。黄少杰等(2000 年)^[9]用 Merchant 一维黏弹性固结模型进行了一维反演分析,在不考虑侧向变形的条件下,建立了沉降与沉降速率的计算式,该式包含四个计算参数,分别反

映主固结与次固结的沉降大小和发展快慢,用实测沉降进行反演分析,求得这些参数,即可计算总沉降量和沉降速率。由于采用黏弹性模型,次固结的影响可以得到考虑。

2.2.6 人工神经网络法

人工神经网络法自 20 世纪 80 年代中后期以来,迅速发展为一个前沿研究领域,并广泛应用于各个学科。目前,已有人将人工神经网络运用于路基沉降计算^[10]。神经网络具有集体运算和自适应能力,善于联想、综合与推断,能够对路基前期沉降资料进行分析,记忆存储路基填土的基本性质,通过模拟填土性质、加载与变形之间的复杂的函数关系,就可以进行路基沉降的预测。在用神经网络分析路基沉降问题时,只要取三层网络(输入层、中间层、输出层)。考虑到土的非线性,输出层取为荷载增量下的沉降增量;输入层则为反映路基沉降的主要因素(如施工加载方式、施工加载速率、施工间歇期、前期沉降值等);中间层为反映土的力学性质和变形特征(如土的重度、强度指标、压缩系数、渗透系数、固结系数等)。建立起反映路基沉降影响因素与路基沉量之间的映射关系的神经网络后,就可以用已有的沉降观测资料对网络进行学习训练,待到网络误差小于预先设定值时,网络就能够抽取并记忆填土的力学性质和变形特性,再输入要进行预测的加载情况,就可以通过网络预测出将要发生的沉降变形情况。神经网络法预测沉降尤其适合于只有一些沉降观测资料而无土性参数的情况,与实测沉降误差较小,有一定的发展前景。

2.3 沉降计算方法的讨论

以上介绍的六类方法中,前三类为沉降及沉降速率的预估,用于施工前的设计,而后三类根据前期沉降实测资料进行后期沉降的推算,指导后续施工,确定路面的最佳铺筑时间,减少工后沉降量。目前,工程中最为常用的沉降预估还是采用常规计算方法,沉降推算采用曲线拟合法,这是由于这两类方法较其它方法来得简单,工程技术人员便于应用。虽然其它方法可能精度更高,但由于过于复杂,对试验技术和参数选取的要求过高或需要高深的数学理论,因此即使在将来,也不会在工程中完全替代常规分析法。

3 影响软土路基沉降计算的一些主要因素

影响软土路基沉降计算的因素很多,本文着重

讨论以下几个方面:

3.1 土体自重应力的计算

软土地基中的地下水位通常很高, 对于地下水位以下的土体, 当其液性指数为 $0 < I_L < 1$ 时, 土颗粒是否受到水的浮力作用, 浮力多大, 尚无法确定, 从而影响到此种情况下的土中应力计算。目前只能按对工程不利情况考虑, 在沉降计算中是采用浮容重计算自重应力。

3.2 土中压力随沉降变化

当软土地基上的荷载是填土时, 一方面, 在施工期间的地基沉降由后继填土补填起来, 从而使实际填土荷载大于原设计荷载; 另一方面, 当地下水位很高时, 沉至地下水位以下的填土会受到浮力作用, 导致基底附加压力减少。常规计算很难考虑这两方面的影响。事实上, 由于路基沉降导致的超填荷载与填土浸水后受到的浮力作用, 对沉降量的影响具有互补性, 故在沉降分析中应对这两方面的影响综合考虑, 否则将会导致更大的误差。

3.3 侧向变形

软土变形中不仅包含弹性变形, 也包含塑性变形。路堤荷载作用下, 软土的固结过程中, 侧向变形也逐渐增大, 土体的沉降不仅由于主应力引起的排水固结, 还由于土体中不断发展的侧向变形。侧向变形的大小与土的性质、软土层的位置、路堤的高度等因素有关。如果在沉降计算中不考虑侧向变形的影响, 会使计算沉降与实测沉降出现较大偏差。

3.4 加载方式和加载速率

实际施工中的加载方式变化很大, 采用不同的加载方式和加载速率, 路基的沉降—时间曲线显著地不同。加载速率对初期沉降有明显影响, 而对后期沉降影响不大。填筑速率过快, 土体没有充分固结, 会造成较大的工后沉降。

4 小结与建议

(1) 目前工程中常用的软土路基沉降计算方法含有许多简化假定, 与实际情况不完全符合。进一步研究新的计算理论和计算方法, 尽可能考虑多种因素的影响, 又做到简单直观, 方便工程设计人员使用。

(2) 土力学问题的分析与计算, 目前仍处在半理论半经验阶段, 计算参数的选用可能比计算方法更为重要。建议进行广泛的试验研究, 深入了解各地区软土的基本特性。

(3) 由于高速公路路堤的设计一般以变形控制为主, 对工后沉降量的要求很高。因此有必要建立高速公路专家设计系统, 指导信息化施工, 有效地控制工后沉降量。

参考文献

- 1 周镜, 软土沉降分析中的某些问题, 中国铁道科学, 1999, 20 (2): 17~29。
- 2 张诚厚, 袁文明, 戴济群编著, 高速公路软基处理, 北京: 中国建筑工业出版社, 1997。
- 3 Lambe T W Stress path method, Soil Mech. and Found 1967, 93 (1): 309~331。
- 4 殷宗泽等, 沪宁高速公路地基沉降有限元计算分析, 水利水电科技进展, 1998, 18 (2): 22~26。
- 5 赵九斋, 连云港软土路基沉降研究, 岩土工程学报, 2000, 22 (6): 643~649。
- 6 王引生, 高速公路软土地基的沉降问题, 中国公路学报, 1993, 6 (1): 61~66。
- 7 宰金珉等, 全过程的沉降量预测方法研究, 岩土力学, 2000, 21 (4): 322~325。
- 8 魏汝龙, 从实测沉降过程推算固结系数, 岩土工程学报, 1993, 15 (2): 12~19。
- 9 黄少杰等, 一维反演分析预测汕汾高速公路软基沉降, 东南大学学报, 2000, 30 (3A): 111~115。
- 10 袁俊平等, 用神经网络预测路基总沉降和工后沉降, 东南大学学报, 2000, 30 (3A): 162~166。

收稿日期: 2001—06—25