

软土路基沉降量差异的原因分析

梁 晨

(北京市市政工程设计研究总院, 北京市 100045)

摘 要:软土路基在施工期间若沉降量过大,会造成工程造价的大幅度增加。为避免这种现象发生,该文从理论和实践等几个方面分析沉降差异的原因,并根据工程经验提出解决方法。

关键词:软土路基; 沉降量; 固结沉降

中图分类号:U416.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1069-7716(2007)02-0020-03

0 前言

随着土力学的发展,软土地基的沉降计算、预测也得到相应的发展。从软土的工程物理性质出发,一些学者提出了软土地基沉降量的计算方法,包括分层总和法、应力路径法、差分法、有限单元法、曲线拟合法、反演分析法、人工神经网络法等。前四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。目前工程中最为常用的沉降预估的计算方法是分层总和法,该方法简单易用。上述其他方法或许计算精度很高,但由于计算过程过于复杂,对试验技术和参数选取的要求过高,或需要较高的数学理论,特别是在实际工程中容易引起争议,因此使用范围不大。

在工程实施过程中经常发现实际沉降量大于设计预估沉降值的现象,其结果是增加了路基填筑工程量,大幅度增加了工程造价。造成这种现象的原因是多方面的,包括计算理论、地质差异、工程操作等方法。设计人员了解这种现象的原因,有助于消除设计过程中带来的误差。本文结合工程实例从理论和实践等方面分析沉降差异的原因,并根据工程经验提出解决方法。

1 计算理论误差

软土地基在荷载作用下,沉降变形主要为固结沉降 S_c 、瞬时沉降 S_d 与次固结沉降 S_s ,软土地基的总沉降量 S 应为此三种沉降之和,即 $S=S_d+S_c+S_s$,但是由于瞬时沉降、次固结沉降的计算方法和理论尚处初步阶段,故工程上也常用一维固结沉降计算的结果 S_c 乘以一个沉降计算经验的修正系数 m_s ,计算总沉降量 $S=m_s \times S_c$ 。(在

《公桥基规》规定:当软土压缩模量 $E_s=1.0\sim 4.0$ MPa时, $m_s=1.1\sim 1.8$,以提高其计算精度)。但 m_s 是一经验系数,与地基条件、荷载强度、加荷速率因素有关,由于软土地基沉降的复杂性, m_s 的取值尚待补充完善。

目前一维固结沉降计算的理论是建立在所谓“太沙基”一维固结理论基础上,而该理论的成立是有条件的,其基本假设条件如下:

(1)土是均匀的、各向同性和完全饱和的。

(2)土粒和孔隙水都是不可压缩的。

(3)土中附加应力沿水平面是无限均匀分布的,因此土层的压缩和土中水的渗流都是一维的。

(4)土中水的渗流服从于达西定律。

(5)在渗透固结中,土中的渗透系数和都是不变的常数。

(6)外荷载是一次骤然施加的。

按照上述假设,“太沙基”一维固结理论认为处理范围内土层没有分层现象,土层内上部和下部的力学性质指标一致,只有一个排水方向,是一维的,水流出的速度是均匀的,在固结过程中,即使土粒间孔隙被压缩,水被排除,但压缩系数和渗透系数是不变的。

而实际土层不仅是分层的,而且即使同一土层,上部和下部受到土层自重影响,力学性质相差很大。一般来说,淤泥层下部受到长期上部土质压实作用,其力学性质一般要优于上部,具体表现就是淤泥较硬,标贯击数较高,而上部相对较软。另外道路工程中,即使沿道路纵向,由于填土厚度不同,沿纵向路基底部的附加应力也是不同的,而道路宽度以外范围,由于没有填土厚度,因此附加应力相差很大。孔隙水自然会向附加应力低的方向流动,这时的排水方向不仅是上下方向,还有水平方向,而且排水的速度不均匀,随固结程度提高,速度减慢(与达西定律不一样),同时压缩系数提高。

“太沙基”一维固结理论在土工试验中,相当于土质在有侧限的情况下成立的一种理论。这时

收稿日期:2006-12-06

作者简介:梁晨(1965—),男,北京人,高级工程师,从事道路交通设计工作。

孔隙水无法水平排出,只有上下方向排出,因此依靠这种理论计算的沉降只有垂直方向,计算的沉降值较实际情况偏小。而实际施工场地,在路基内的土质是没有侧限的,孔隙水在路基荷载作用下会沿各个方向排出,土粒间孔隙也会被压缩,土质不仅在垂直方向,在横向也有压缩变形,此时的沉降应该为垂直量加上水平变形而产生的沉降值,现场实测值往往偏大。

2 计算参数产生的误差

目前一维固结沉降计算比较常用的方法是“分层总和法”。该法的表达形式有多种,但原理基本相同,主要是将地层按其性质和应力状态进行分层,然后用测定的变形计算参数来计算地基的沉降量。最终沉降量计算是按照古典弹性理论,将土看作是一种完全弹性的、均质的、各向同性的连续体,以计算地基内的应力分布,并将非线性应力—应变关系作为线性增量处理的。对变形计算参数的选择,国内规范大多数选用压缩模量 E_s ,个别规范也推荐可考虑应力历史的压缩指数 C_c ,有的直接用各土层 $e-p$ 曲线上孔隙比 e 的减小推算沉降量,也有规范采用现场载荷试验测定的变形模量值 E 。

主固结沉降根据实验室得出的 $e-p$ 曲线进行计算。 $e-p$ 曲线的实验条件(天然状态的应力释放,室内固结试验的排水条件,加载速率,土样侧向变形限制条件)可知, $e-p$ 曲线只能分类区别各种土样压缩固结之差异,不可能真实地描述软土地基的主固结沉降特征。

计算沉降不管采用何种方法,都要用到孔隙比 e 和固结系数二个参数。设计人员采用的数值一般是由地勘部门提供的,而实际上地勘人员在现场取出土样的时候,该土样物理力学性质已经发生了变化,因为在地质深处,该土样受到各个方向的压力,其基本形式处于“压缩”平衡状态,一旦被取出地面,土样周围侧压力消失,土样处于“膨胀”状态,孔隙比 e 先是处于变大状态,当土样从现场到土工实验室的路途中,由于受到车辆颠簸等外来因素,受到了扰动,孔隙比 e 又从大变小,已不是原状土的孔隙比 e ,一般说根据土工实验室测得的孔隙比 e 比原状土的孔隙比 e 偏大,因此根据分层总和法公式计算出的沉降值往往偏大。渗透系数在取土样过程中会逐渐变小,因此计算的沉降量又偏小。此外压缩模量在取土过程中

沉降量也偏小。当温度高时,土样会有不同程度的固结、变硬,使得标贯击数偏大,从而影响土样的各项参数。

取土样时,为减少对土样的扰动,一般多采用“薄壁”取土器,且采集的土样很多,“薄壁”取土器较贵且易损坏,大多数勘察单位往往由于成本问题,很少使用“薄壁”取土器,因此对土质的扰动较大,不利于沉降计算。

3 地质勘探

当设计人员在计算路基沉降量时,往往以一个点的沉降量代表某个区域的沉降程度,而该区域的软基情况是否和计算点的地质相接近,和地质勘查的密度有关。软土地带软基的厚度在纵向和横向差异一般较大,因此规范上规定在这种情况下,其地勘的钻孔密度要高于常规路段,纵向间距一般在 50~80 m 之间,目的就是尽可能准确地查明地质情况。目前南方很多工程中,建设方为了降低工程造价,通常勘测的纵向间距不小于 100 m,而且往往只做到初勘阶段,或者直接进入到详勘阶段,经常要忽略某个过程。在这种条件下,计算的精度受到很大的干扰。

4 前期路基观测缺失

路基沉降量计算包括施工期间沉降和工后沉降。施工期间的沉降量是从路基范围内开始施加荷载那一刻计算,一般是路基填筑(附加荷载)时的沉降,因此理论上路基沉降观测应在工程实施前展开,在排水固结地段,包括埋设孔隙水压力计探头,表层沉降仪或分层沉降仪,边桩或在路基填筑一定厚度时埋设测斜仪。换填和复合地基地段埋设表层沉降仪等。但在实际操作过程中,这些观测设备在软基施工过程中(如:施工袋装砂井和深层搅拌桩等),很容易被损坏且干扰施工,观测单位和施工单位通常都没有布设,直到软基施工完成后才开始埋设有关仪器,因此造成了软基工程中前期的沉降数据的缺失,使得实际观测的沉降量比实际发生的沉降量值偏小。

5 加载方式和加载速率

采用不同的加载方式和加载速率对初期瞬时沉降有明显影响。由于软基的天然剪切变形强度较低,在施工加载过程中,过快和过大的荷载会使土体屈服,产生塑性剪切变形,使地基沉降增大。在实际工程中,出于各种原因,施工单位往往没有按照设计要求的填土速率和填筑厚度实施,虽然

也会变大,因此根据公式 $S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i}{E_{si}} \Delta h_i$ 计算的

表面上路基也未出现安全问题,但沉降的趋势和设计预估有偏差。

6 排水力度不足

在软基处理时,为节省资金,建设方通常采用排水固结方法。根据固结理论,软粘土固结所需时间的长短与其相对排水距离的平方成正比。为了加速地基的固结,最有效的方法就是增加土层的排水途径。袋装砂井或塑料排水板即为此目的而设置。只有切实有效地使土颗粒间的孔隙水通过插在软土层中的砂井,排出地层外面,才能使得土颗粒间位移密实,从而加速地基的固结与沉降,减少压缩性,降低孔隙比和含水量,增加土体密实度,在较短时间内达到较高的固结度,以提高软土路基的承载力和抗剪能力,从而保证路堤和地基的稳定。除了设置袋装砂井或塑料排水板竖向排水体外,在地表通常还设置砂垫层、盲沟、边沟和集水井等横向排水设施。

实际施工中,由于地基变形,容易使袋装砂井产生断颈、缩颈及塑料排水板堵塞等现象,不利于排水。盲沟排水能力不足,集水井内长时间无人抽水,使得大量孔隙水长时间滞留在砂垫层中,导致地质中的后续孔隙水无法排除,不能有效地降低孔隙比和含水量,增加土体密实度,路基的沉降速率和沉降量都存在偏低的现象。

佛山一环南线软基处理近10个月,路基沉降量只有设计值的30~60%,此时沉降速率也很低,集水井内存有大量积水。通过实施排水措施,路基沉降速率加快,沉降值在以后的4个月也有了明显增长,普遍满足了设计值。

7 建议与解决方法

7.1 压缩层的计算深度

根据《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》要求,对用于计算沉降的压缩层,其底面应在附加应力与有效自重应力之比不大于0.15处。按此方法计算,当软土厚度较大时,其压缩层厚度往往超过20 m,一旦需要软基处理的深度达20 m以上,会给施工带来很大难度。据国内一些高等级公路软土路基的试验资料显示,在深厚软土层发生的沉降主要集中在1~15 m之间,再往下的沉降量占总沉降量的比例很小。由于附加应力计算理论适用于理想的弹性体,而软土地基属于粘弹性体,地基中实际附加应力并没有传递到理论计算

的深度。因此按规范确定的压缩层深度偏保守,会导致沉降量偏大,造成工程浪费。

建议采用公式: $\Delta S_n' < \sum_{i=1}^n 0.025 \Delta S_i$ 。以地基

中某深度处向上取1.0 m土层的压缩量 $\Delta S_n'$,以及该深度范围土层的总压缩量 ΔS_i 之比来控制。该公式更接近于工程实际情况,较合理。有资料统计,按规范计算的压缩层厚度要比按公式:

$\Delta S_n' < \sum_{i=1}^n 0.025 \Delta S_i$ 计算的厚度大1/2~1/3。

7.2 侧向变形

在路基荷载的作用下,软土的固结过程中,不仅有竖向沉降,也有侧向变形,而且随着固结过程的逐渐完成,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、软土位置和路基高度等因素有关。如果在沉降计算中不考虑侧向变形的影响,会使计算沉降值与实际发生值出现偏差。

7.3 收集资料

目前高速公路路基设计一般以变形控制为主,对工后沉降的要求很高。因此建议设计时注意收集各地关于软基处理的沉降资料以及周边工程的观测记录,校证设计计算结果。例如厦门海沧地区通过海沧大道、沧林路、滨湖南北路等工程的实施,汇集了大量该地区的软基沉降的观测数据,统计的结果基本可以确定在厦门海沧地区软基厚度内每m沉降量约为10 cm。

7.4 加强排水措施

在工程实施期间,在排水固结区域要加强排水措施,并减少对观测设备的损毁。像孔隙水压力计探头这种观测设备灵敏度较高,价格昂贵,若埋设过程中操作不当,很容易造成探头“死亡”,无法传回数据,类似仪器还有测斜仪等,这些设备一般需要专业人员才能完成埋设。

参考文献

- [1]公路软土地基路堤设计与施工技术规范 JTJ017-96[S].北京:人民交通出版社.
- [2]地基与基础[M].北京:中国建筑工业出版社.
- [3]林炳伟.对软土路基沉降计算的讨论[J].广东交通职业技术学院学报.2005.6.
- [4]郑澄峰,王保田.软土路基沉降计算问题探讨[J].路基工程.2002.4.