

沪宁高速公路软基路堤沉降动态控制方法研究

徐泽中 何良德 濮伯泉

(河海大学 南京 210098)

吴赞平 华斌 赵佳军 侯宓 李捷

(江苏宁沪高速公路股份有限公司 南京 210049)

摘要 以 1.0 cm/d 和 0.3 ~ 0.5 cm/月 沉降速率, 分别对路基填筑和底基层、基层及面层等特征层次实施动态控制, 合理确定铺筑路面时间, 科学安排施工, 有效地减少工后沉降量, 全线在获得高标准的稳定路基和平整路面的情况下, 同时达到了缩短工期、节省投资的目的。

关键词 沉降速率 工后沉降量 动态控制 软土地基 路堤 高速公路

高速公路对地基要求甚高, 在设计使用年限内, 一般规定路面的工后沉降量应小于 30 cm, 桥头路堤应小于 10 cm。高速公路平整度要求更高, 其标准差应在 1.8 mm 以内, 不应出现人工构造物与路堤衔接处产生差异沉降, 引起跳车及路面的破坏。因此, 必须对引起路面变形的工后沉降量加以控制。为达到上述目的, 应精确掌握最终沉降量和求得路堤在不同加载强度下地基的固结度。然而, 在设计阶段, 总沉降量及其工后沉降量的大小是通过沉降固结计算求得的, 估算结果是否与今后实测值相符, 涉及很多因素, 如钻探取样的数量和质量; 土工试验技术和成果的分析整理; 计算参数的选取和估算方法; 荷载强度和加荷速率等。因此, 估算值与实测值之间往往有一定差距, 均需经过实体工程观测检验修正。若按估算沉降规律机械地安排施工, 其结果不是把路堤的填筑和预压时间拖得很长, 延误工期, 就是在路基尚未稳定就仓促铺设路面, 引起运用期内路面发生不均匀沉降, 甚至出现因地基抗剪强度不够而引

发路堤侧向整体滑动, 边坡外侧土体隆起, 桥头路堤纵向沿路线向河床方向产生整体滑动, 导致桥台的破坏等。本文通过沪宁高速公路软基研究与施工实践, 探索出一套将沉降与稳定动态观测和控制贯穿于路堤施工的全过程, 从而合理确定铺筑路面时间的沉降动态控制法。通过 5 年多的现场观测验证, 全线软基路段实测推算工后沉降量均满足设计要求。全线在获得高标准的稳定路基和平整路面的同时, 取得了缩短工期、节省投资的效果。

沪宁高速公路延伸范围长, 其中软基横贯苏州、无锡、常州、丹阳四市, 沿线大部分地基属长江三角洲近代河相、海相沉积地层, 分布有大量的淤泥质粘土, 地质情况复杂。沿线软土层厚薄不均, 最厚处大于 30 m, 一般为 6 ~ 15 m。经验算, 大多数路段地基的强度与稳定性均能满足设计要求, 但也存在含水量高、孔隙比大、压缩性高、承载力低的深厚软土层, 实测沉降量高达 173.2 cm, 沉降量已超过设计路堤高度的 1/3 (断面桩号为 K7 +

第一作者简介: 徐泽中, 男, 教授, 从事土与结构相互作用研究, 曾发表《江海船闸闸首计算机辅助设计系统》等论文。

760)。综观全线,软基给工程带来的主要问题是沉降及其各种处理条件下的固结速度问题,为确保在要求的工期内的路堤施工质量和制定指导全线软基路堤施工控制标准,我们选择了不同软土特征断面和填筑高度等,填土模拟路面荷载,实测其沉降过程,与类似路堤沉降规律进行对比,在分析了大量的现场实测沉降曲线基础上,推算路堤各特征填筑层面满足路基稳定和允许工后沉降量时对应的沉降速率值,作为动态控制和指导约4000万m³的软基和非软基路堤土方的填筑顺序,科学安排76cm厚的路面的铺设时间。下面分述路堤填筑加载期和预压期的动态控制方法。

1 路堤填筑期(含等、超加载期)动态控制

在路堤的实际施工中,大多采用多级加载方式,各级荷载的起始时间一般相差较长,再加上软土层埋深的不同,现场实测沉降过程线大多成多折式沉降递增型曲线,每加一次荷载,就出现沉降量明显加快的过程,若不再加载,经历一定历时后,沉降速率随之减慢。现场实测和估算分析均表明,在同一观测断面,在软基处理方法预压期和允许工后沉降量的控制量值相同情况下,若延长填筑期,虽可相对减少路堤的预压时间,但总工期反而会增加。只要路堤施工过程能满足整体稳定要求,加快填筑期填土速度,可缩短路堤施工和预压的总工期,但必须控制最大沉降速率。

1.1 路堤地基整体稳定验算与控制

软基、路堤整体稳定验算在设计阶段是必须进行的,具体验算应按成层地基采用圆弧条分法、总应力法或有效固结应力法进行。选用固结快剪、十字板剪试验测定抗剪强度(直剪快剪不宜采用)。

1.1.1 路堤填筑期稳定验算

当采用固结快剪强度指标作稳定性验算时,假定路堤施工速度快,来不及在滑动面上

引起有效应力增加,因此在抗滑力矩的计算中,只计及地基土的有效重量 W_1 ,不计路堤重 W_2 (图1),但路堤部分仍计及凝聚力,计算公式为

$$K_1 = \frac{\sum W_1 \cos \alpha \tan \varphi_{cu} + \sum c_{cu} l_i}{\sum (W_1 + W_2) \sin \alpha} \quad (1)$$

当采用十字板剪强度 s_{ui} 时,计算公式为

$$K_1 = \frac{\sum s_{ui} l_i}{\sum (W_1 + W_2) \sin \alpha} \quad (2)$$

式中 l_i 为第 i 土条的弧长,m; W_1 为第 i 土条地基土重力,kN/m; W_2 为第 i 土条路堤土重力,kN/m; α 为第 i 土条弧线中点切线与水平线的夹角; c_{cu} , φ_{cu} 为第 i 土条滑动面上土的抗剪强度指标,kPa,(°); s_{ui} 为第 i 土条滑动面上土的十字板剪强度,kPa。

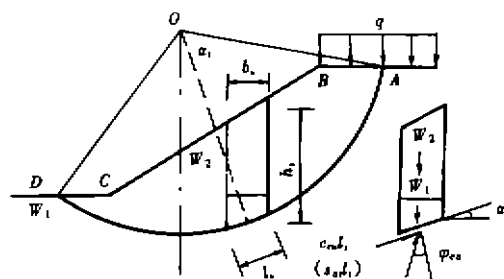


图1 圆弧滑动稳定验算

1.1.2 路面铺筑期稳定验算

假定在路面铺筑前,路堤重量在地基土中引起的孔隙水压力已部分得到消散,强度得到增长,因此,在计算抗滑力矩时,除了地基土自重 W_1 外,还应加上路堤重 W_2 与平均固结度 U 的积,平均固结度可按固结估算或现场实测沉降曲线求得的地基固结度确定。路面上的活荷载假定来不及引起滑动面上有效应力增加,在抗滑力矩中不予考虑,但在滑动力矩中计及,验算公式为

$$K_2 = \frac{\sum (W_1 + W_2 U) \cos \alpha \tan \varphi_{cu} + \sum c_{cu} l_i}{\sum (W_1 + W_2 + q_i b_i) \sin \alpha} \quad (3)$$

式中 q_i 为第 i 土条顶面作用的活荷载,kN/m²; b_i 为第 i 土条的宽度,m。允许安全

系数为: $K_1 = 1.10$, $K_2 = 1.25$ 。

1.1.3 填筑过程动态控制

a. 最大沉降速率的动态控制。对软基路堤而言,该时段重点应限制路堤填筑最高速率,防止施工期内路基失稳。经有限元分析并参考国内已建工程的经验,为便于施工操作,一般路堤填筑速率按沿路堤中线原地面沉降速率每昼夜不宜大于 1.0 cm ,坡脚水平位移每昼夜不宜大于 0.5 cm ,而且每填一层应测定一次,进行动态控制。对桥头路堤,因桩柱式桥台具有可直接在已成路堤上钻孔成桩,施工快捷简便的优点,故在高速公路桥台基础中经常被采用,但也存在抗推刚度小及要求土体填筑后土体基本固结和稳定后才能进行成桩施工的弱点。因此,桥头填土时建议从严控制最快地面沉降速率,即按一般路堤的 $1/2$ 允许沉降速率控制,以便减小填土填筑时对桥台桩基的侧推力。纵观沪宁高速公路江苏段全线软基填筑期的最高沉降速率,大多小于 0.5 cm/d ,一般仅有 $0.1 \sim 0.3\text{ cm/d}$ 。现场观测资料表明,地基在路堤荷载作用下,土体最大水平位移发生在地面以下 $5 \sim 8\text{ m}$ 的范围内,且位移最大值要比地表的位移大 $5 \sim 10$ 倍。然而,在路堤脚外设边桩的方法虽然简易,但由于埋深浅、位移量小,必须用精密水准仪方能进行观测。因此,一般工程大多不设边桩,而在特殊部位,为掌握分层位

移量和推求土体剪切破坏的位置,可改用埋设在堤脚边的地下水平位移计,直接用测斜仪量测沿深度变化的分层水平位移量的变化。一般情况,可以通过下述沉降速率的改变率来间接判断。

b. 通过分析沉降观测过程中沉降速率的改变率来判断和控制。每加一级荷载后,若路堤在没有施加第二级荷载前,当其断面中心地表测得沉降量随时间的变化收敛于某一数值时,即可说明软基是处于稳定状态中,反之则可认为软基处于不稳定状态中(见图2)。该方法主要应用于沉降速率大于 10 mm/d 时,为判断其严重性和是否需要采用应急措施所采取的快速分析手段。

2 路堤预压期动态控制

在工程设计阶段,一般以允许工后沉降量作为选择地基处理方案,决定预压期长短和铺筑路面时间的依据,但在具体施工时,实质上是路堤需经历多长的实际预压时间,使路堤在路堤荷载(包括等、超载)作用下,完成工前沉降量,以便在路面铺筑完成后满足设计要求。为此,必须利用实测沉降曲线进行延长推求总沉降量和预压时间等反映地基变形规律的特征参数。

2.1 最终沉降量的推算^[1]

为提高推算成果的质量,首先必须十分

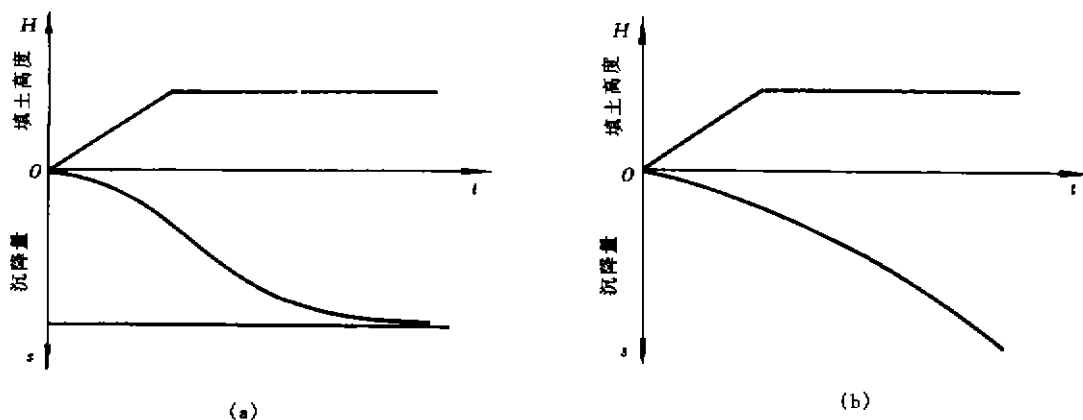


图2 沉降量随时间变化与基础稳定状态的关系

(a) 稳定状态; (b) 不稳定状态

重视沉降板、杆的埋设和连接质量以及沉降观测的精度,只有在地基经受包括路面荷载在内的全荷载作用时,当沉降曲线出现反弯点后具有精度较高的3次历时3个月左右的沉降观测成果基础上方能外延和推算,否则推算结果会出现较大偏差。我们在沪宁高速公路软基段选择了多种方法的试算,认为假定沉降平均速度以双曲线形式递减的双曲线法(图3)较适用,自填土到顶后的任意时刻,地基沉降量 s_t 可由下式求得

$$s_t = s_0 + \frac{t}{a + bt} \quad (4)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时,最终沉降量为

$$s_{\infty} = s_0 + \frac{1}{b} \quad (5)$$

式中 s_0 为路面竣工时的沉降量($t=0$); t 为预压时间,以填土(含当量路面荷载在内的全荷载)施工结束日为起算日($t=0$); a, b 为由实测值求得的待定系数。

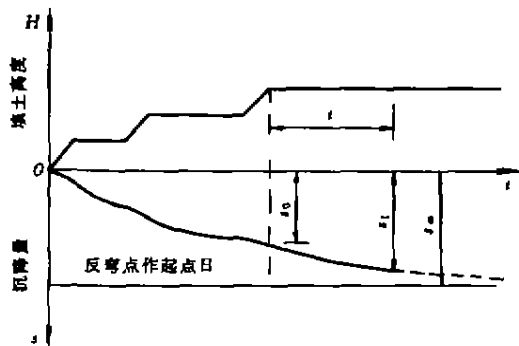


图3 按双曲线法推测沉降量

2.2 工后沉降量及沉降速率的推算

设计规定15年运营期内的沉降增量必须小于允许工后沉降量,即

$$\Delta s = s_{t=15a} - s_0 \quad (6)$$

当 $\Delta s < \Delta s_{15a}, t < t_{设计15a}$ (7)

即可判断路面铺筑完成后,满足设计要求(其中 Δs_{15a} 和 $t_{设计15a}$ 分别为15年允许工后沉降量和预压时间)。

通过实测沉降量过程线推算工后沉降量和预压时间,作为衡量是否满足设计要求的控制方法,理论上是合理的,但在实际操作时

很不方便。实践表明,改用与预压时间末相对应的沉降速率作为直接指导和判断路堤沉降是否稳定的控制标准非常直观,即当预压时间已知,在满足预压时间点前后可求得相应点平均沉降率,其日和月的表达式分别为

$$\bar{v}_{s,日} = \frac{ds}{dt} = \frac{s_{t_{12}} - s_{t_{11}}}{t_{12} - t_{11}} \quad (8)$$

$$\bar{v}_{s,月} = \frac{s_{t_{12}} - s_{t_{11}}}{t_{12} - t_{11}} \times \text{每月的天数} \quad (9)$$

据此,只要通过不同典型断面观测曲线的推算,即可求得满足工后沉降所需的预压期末 t 时刻对应的沉降速率,作为控制铺设路面时间的依据。该法可直接应用于等载或超载(忽略回弹影响)工况。

对于堆载预压情况,当路堤施工至路床顶面后,随即进入预压期,此时路面荷载尚未施工,一旦铺筑路面荷载又会引起新的沉降过程。该情况可分别视为地基在路床以下荷载作用下,经过预压期后,按双曲线拟合法求出最终沉降过程线及最终沉降量的同时,求出加荷过程地基平均固结度 C_u ,再用 C_u 求得路面荷载铺筑后的沉降过程线,只要将两个过程线进行叠加,以叠加曲线推算满足工后沉降量所需预压期 t 时的沉降速率,作为控制铺筑路面时的标准。这一过程见图4。

图4中, $\nabla 1$ 为路堤施工至路床顶面后进入预压期的顶面高程; $\nabla 2$ 为铺筑路面顶面高程; $OABCDE$ 为路基在路堤施工至路床顶面,经过预压期间实测沉降曲线 CD ,应用双曲线拟合,推算出地基固结完成过程线 DE ; $OABCDE'$ 为又在上述路床顶面,铺加路面荷载后,由曲线反演的地基平均固结系数 C_u 推算出地基固结完成过程线 DE' ; DE'' 分别为 DE, DE' 曲线的叠加曲线。上述即为堆载预压处理方法、最终沉降量及其过程推算方法。

2.3 沉降速率法动态控制

在分析大量沪宁高速公路现场实测沉降曲线基础上,推算了各典型断面观测点满足工后沉降时对应的沉降速率值,以其作为施

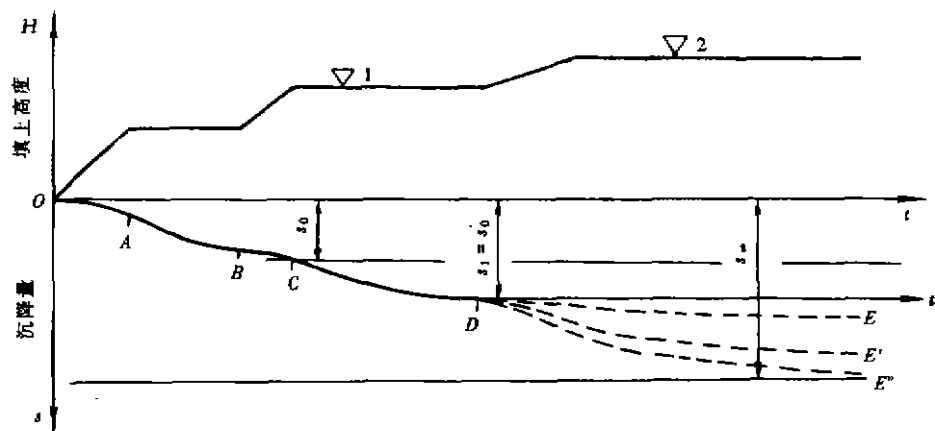


图4 堆载预压法推算沉降拟合过程线

工控制条件;又考虑到荷载、地质和处理方法的不同所带来的复杂影响,选定在路堤填筑期的地基最大垂直沉降速率,按不大于10 mm/d(一般路堤)和5 mm/d(桥头路堤)进行控制;预压期填筑底基层的条件为:路床顶面的沉降速率连续两个月的观测值小于5 mm/月;填筑沥青混凝土面层的条件为:基层的沉降速率连续两个月的观测值应小于3 mm/月。以上述标准,对路堤施工全过程实施动态控制。

沪宁高速公路经过1年多的工后沉降量实测成果验证,表明全线软基段在路面完工后,其工后沉降量均达到高速公路质量标准。推算所得设计年限内的工后沉降量90%以上仅为允许值的50%~70%。

3 结 语

a. 本文介绍的沉降速率动态控制法,经沪宁高速公路的实践证明,具有操作方便,直观等优点,在各特征层面采用不同控制指标是合理的。

b. 经过沪宁高速公路竣工后1年的观测验证,路面沉降速率按0.3 cm/月,路床顶面按0.5 cm/月标准进行控制,可以获得较小的工后沉降量、高标准的稳定路基和平整的路面。

c. 沉降速率动态控制法也为验证设计的合理性及进一步优化设计提供了依据,进

而达到节省投资和保证工程质量之目的。

参考文献

- 1 交通部第一公路勘察设计院.公路软土地基路堤设计与施工技术规范(JTG017-96).北京:人民交通出版社,1996

(收稿日期:1997-12-25 编辑:张志琴)

简讯

运用旋喷浆法处理断桩

断桩是钻孔灌注桩施工中极为严重的质量事故,若在施工时发现断桩,可采用接桩法补救,但很多断桩是在验桩时才发现,此时桩已形成,不宜再用接桩法。核工业部长沙工程勘察院采用旋喷注浆法处理断桩,效果比较理想。在基桩有抽芯验证孔的情况下可直接下旋喷钻具进行旋喷;没有抽芯孔时要另钻孔,后旋喷。其方法是,在断桩的桩柱中心钻一小孔,小孔直径根据桩径和抽芯要求而定。小孔钻至断桩部位以下后,将带有特殊喷嘴的旋喷钻具下到断桩部位,先用清水高压冲孔,清除断桩部位的充填物,然后用高强度水泥浆液喷灌,边喷边回转,并在断桩部位上下活动几次,即可边喷浆边提钻,直到地面,从而使断桩部位重新固结,保证了桩身的完整性和基桩的质量。

(摘自1997年第2期《黑龙江水利科技信息》)