

沪宁高速公路路基固结沉降规律分析研究

④
13-16

陈景扬 徐泽中[✓] 吴 钰

(河海大学 南京 210098)

U412.366
U466.1

摘要 应用太沙基一维固结理论,对沪宁高速公路沿线不同的地基生成条件、不同施工速率和不同的地基处理方法,在不同路堤高度时的地基沉降固结速度进行了分析研究。通过考虑水平渗透的二维比奥固结理论的有限元分析比较证明,用单向固结计算,会使沉降速率比实际慢许多,故最终路面层施工时间的确定,应当根据动态观测结果进行推算。

关键词 固结 工后沉降 路基 高速公路 填土速率

对高速公路路堤,在公路使用期内不致发生较大的沉降和不均匀沉降,是保证路面结构完整和车辆高速平稳行驶的关键。为此需要准确地评估地基固结状态和工后沉降是否小于允许值以及合理确定路面层施工时间。目前,固结计算仍然依据太沙基的单向固结理论,假定渗透和压缩变形只在竖向发生。本文应用上述理论对不同的地基土层生成条件、施工方法和不同的处理方案的沉降固结速度的变化规律,填土速率对预压期和总工期的影响,等超载预压对塑板处理地基工后沉降的影响以及不同土层分布对堆载预压的效果等方面进行了分析研究。与此同时,应用二维有限元进行计算对比后发现,与根据太沙基的单向固结理论的计算成果相比,二维有限元法固结度计算要快1~2倍,与实测值比较接近。但有限元法要求有高质量的土样和相应的测试手段相配合,要准确选择计算模型和计算参数更困难,这使得有限元法还不可能在地基设计中广泛应用。目前根据动态观测结果来修正简单方法仍然不失为一实用而较接近实际的途径。

1 太沙基固结计算方法

目前,设计单位主要是采用太沙基单向固结理论来评定固结时间和工后沉降能否满足设计要求。

单向固结微分方程为

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

式中 u 为超孔隙水压力; C_v 为固结系数。

粘土层处于双向排水的条件下,上下排水面的超孔隙水压为零。在荷载作用瞬间,荷载与超孔隙水压力平衡,若整个粘土层的孔隙压力的起始值 u_i 取一定值 u_0 ,根据初始条件和边界条件,有:①当 $t=0$ 和 $0 \leq z \leq H$ 时, $u = u_0$; ②当 $0 < t < \infty$ 和 $z=0$ 时, $u=0$; ③当 $0 < t < \infty$ 和 $z=H$ 时, $\frac{\partial u}{\partial z} = 0$; ④当 $t = \infty$ 和 $0 \leq z \leq H$ 时, $u=0$ 。采用分离变量法求得式(1)的特解,应用固结度的概念,建立固结度与孔隙水压力的关系式,使问题得到简化(详细推导可见有关资料)。

a. 式(1)土层瞬时加载的平均固结度解为

第一作者简介:陈景扬,男,副教授,从事航道工程设计、船舶水力学试验及岩土工程软土地基处理研究,曾发表《刘山船舶水力学试验研究》等论文。

$$U = 1 - \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp\left(-\frac{M^2 C_v t}{H^2}\right) \quad (2)$$

式中 $M = \frac{\pi}{2}(2m-1)$, m 为正整数; H 为最大渗径长度。

b. 在线性加载条件下的解为

$$U = \begin{cases} \frac{t}{T} - \frac{H^2}{C_v T} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{M^2} [1 - \exp(-\frac{M^2 C_v t}{H^2})] & (t \leq T) \\ 1 - \frac{H^2}{C_v T} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{M^2} [1 - \exp(-\frac{M^2 C_v t}{H^2})] \cdot \exp[-\frac{M^2}{H^2} C_v (t - T)] & (t > T) \end{cases} \quad (3)$$

式中 T 为加载历时; t 为加载过程中的某一时刻; H, M 意义同前。

若荷载是分级施加, 对第 i 级荷载可用式(3)计算, 整个加载过程可由式(3)叠加求得。

c. 砂井地基固结度的计算。当知道各级荷载下不同时间的固结度, 就可推算地基强度的增长, 从而可进行各级荷载下地基的稳定分析, 并确定相应的加载计划。已知固结度, 就可推算加荷期间地基的沉降量, 以便确定预压荷载的期限。

砂井地基的固结理论都是假定荷载是瞬时施加的, 然后根据实际加荷过程进行修正, 对砂井未贯穿整个受压土层平均固结度的计算, 可按图 1 所示, 根据下式计算:

$$\bar{U} = Q\bar{U}_n + (1-Q)\bar{U}_s \quad (4)$$

式中 $\bar{U}$ 为平均固结度; $\bar{U}_n$ 为打砂井部分土层的平均固结度, $\bar{U}_n = 1 - (1 - \bar{U}_s)(1 - \bar{U}_s)$; $\bar{U}_s$ 为砂井以下部分土层的平均固结度, 按单

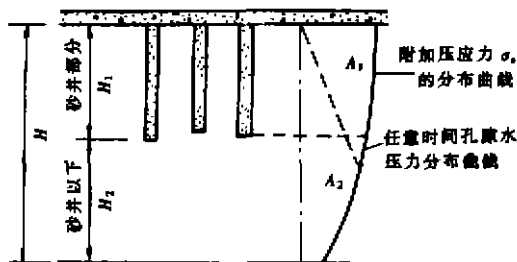


图 1 砂井未打穿受压土层的情况

向固结理论计算, 在计算中可将砂井底平面作为排水面; $\bar{U}_s$ 为径向平均固结度; $Q = A_1/(A_1 + A_2)$, 其中 A_1 为打砂井部分土层起始孔隙水压力分布曲线所包围的面积(取附加压应力 σ_z 分布曲线包围的面积), A_2 为砂井以下土层起始孔隙水压力分布曲线所包围的面积(取 σ_z 分布曲线包围的面积)。

在线性加载条件下的地基固结度的计算, 即 Barron 解的扩充(不考虑井阻)为

$$U = \begin{cases} \frac{t}{T} - \frac{1}{k_n T} [1 - \exp(-k_n t)] & (t \leq T) \\ 1 - \frac{1}{k_n T} [1 - \exp(-k_n t)] \cdot \exp[-k_n (t - T)] & (t > T) \end{cases} \quad (5)$$

式中 T 为加载历时;

$$k_n = \frac{(1+\nu)}{3 \cdot (1-\nu)} \cdot \frac{2C_h}{\mu r_e^2}$$

$$\mu = \frac{n^2}{n^2 - S^2} \ln \frac{n}{S} - \frac{3n^2 - S^2}{4n^2} + \beta \frac{n^2 - S^2}{n^2} \ln S$$

其中 ν 为泊松比; C_h 为水平向固结系数; r_e 为砂井的有效影响半径; n 为 r_e 与砂井半径 r_w 之比; β 为涂抹区渗透系数与原状土渗透系数之比; S 为涂抹区半径 r_s 与砂井半径 r_w 之比。

d. 当每层的 C'_v 不同时, 必须将土层按式(6)等代成 C'_v 的单一土层的厚度:

$$H'_i = H_i \sqrt{C'_v / C_{vi}} \quad (6)$$

式中 H'_i 为换算层厚, cm; C'_v 为等代固结系数, cm^2/d ; H_i 为换算前层厚, cm; C_{vi} 为 H_i 层的固结系数。

e. 对于单向固结, 土层的平均固结度也可用下式表示:

$$U = s_t / s \quad (7)$$

式中 s_t 为经过时间 t 后的地基固结沉降量; s 为地基的最终固结沉降量。

通过上述公式, 可以推算某一固结历时 t 的沉降 s_t , 或土层到达某一沉降 s_t 时所需的时间 t , 即所谓推求路堤预压时间和工后沉降量。

2 沪宁高速公路路基不同处理方法效果分析

我们应用太沙基的一维固结理论对沿线各个标段的不同路堤高度、不同的地基生成条件和不同处理方法的地基固结沉降速度的变化规律进行了分析研究。

2.1 填土速率对预压和总工期的影响

表1为影响填筑速率对预压时间和工后沉降的影响,由表1可知:堆载速度放慢一半,预压期可缩短60d左右,但总工期却延长了约180d,反之,可缩短总工期。说明路堤填筑速率对沉降过程是有影响的。因此,在确保路堤稳定的前提下,只要施工条件许可,适当加快路堤填筑速率,便可缩短路堤的总工期。

表1 路堤填筑速率对预压时间和工后沉降的影响

位置	堤高/m	路堤填筑时间/d	路堤预压时间/d	工后沉降/cm	总工期/d
K61+900	4.35	240	420	7.29	660
K61+900	4.35	480	360	7.15	840
K120+050	5.20	240	330	15.04	570
K120+050	5.20	480	270	14.92	750

2.2 堆载预压对塑料排水板处理的地基工后沉降的影响

图2为塑料排水板预压与单纯预压沉降过程的比较,由图可知,与单纯堆载预压的路

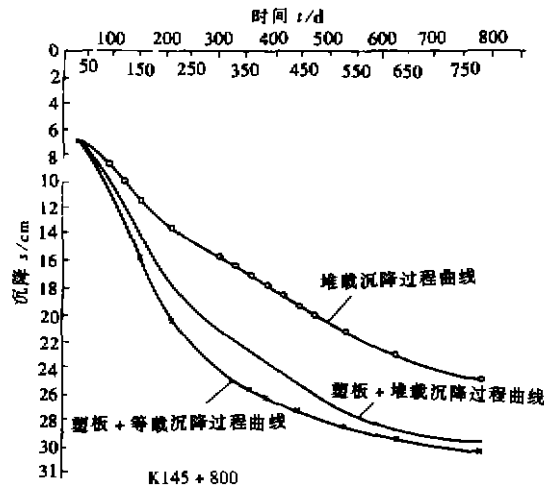


图2 塑料排水板预压与单纯预压沉降过程比较

堤相比,塑料排水板预压后,地基固结速率较快时段,主要反映在堆载预压的早期,当仅利用路堤自重进行预压时,经过一定预压期后,再行铺设路面,这部分路面自重引起的早期沉降量有时是可观的。因此在允许工后沉降量要求高的桥头部位和一般路堤,即使布设排水板也难以满足设计要求时,适当辅以等载或超载预压措施后,即增大压载强度,可明显减小工后沉降量(见表2)。

表2 不同填土高度经塑料排水板处理后的工后沉降量

位置	填土高/m	处理方法	工后沉降量/cm	
			路堤预压+路面重	等载预压+路面重
K119+000	3.60	塑板 2×18	15.1	7.1
K120+080	5.20	塑板 2×15	6.1	0.65
K133+750	5.12	塑板 1.5×11	12.1	7.04

2.3 土层分布和工程地质条件对预压效果的影响

地基土经自然沉积作用往往成层分布,其中连续粉砂层的存在尤为重要,它不但起排水界面的作用,而且会起到缩短排水距离加快地基固结的作用。由表3可知,在相同预压期作用下,工后沉降量可明显减小。

表3 地基砂层存在对工后沉降量的影响

序号	堤高/m	预压期/d	路面层施工起15年工后沉降量/cm	土层特点
1	5.0	480	20.51	无砂层
2	5.0	480	21.36	在原地面4m以下有砂层
3	5.0	480	27.10	在原地面15m以下有12m厚砂层
4	3.0	480	14.08	无砂层
5	3.0	480	13.30	在原地面4m以下有砂层

2.4 不同固结计算方法的成果分析

在K110+150, K21+880两个横断面上,用 $e \sim \lg p'$ 法和有限元法在预压时间上进行比较可知,达到相近工后沉降所需的预压时间,用有限元法要比 $e \sim \lg p'$ 法小得多(见表4)。主要原因是有限元法采用二维比奥固结理论,它不但可考虑垂直向的,还能考虑水平向渗透对沉降的影响,所以满足工后沉降要求所需的预压时间明显缩短。同时现场观测

也反映以一维理论估算的预压时间与实际相差甚远,在设计中只能作为方案的相对比较,因此在现阶段地质资料不全或不具备有限元核算情况下,实际的沉降速率还有赖现场实测加以修正,特别是铺筑路面层前的沉降稳定性观测更为重要。

表4 两种计算方法确定预压时间

位 置	有限元法		$e \sim \lg p'$ 法	
	预压时间 /d	工后沉降 /cm	预压时间 /d	工后沉降 /cm
K110+150	180	23	540	30
K21+880	270	40	450	40

3 结 语

a. 填土速率对总工期影响较大,只要稳定不受影响,适当加快填土速率,可以减少路堤预压稳定所需的总工期。

b. 凡经塑料排水板处理的桥头部位,最好配以等载或超载预压,可使由路面荷载引

起的固结沉降能在铺筑路面前提前完成,以便消除铺筑路面期发生的沉降量,进一步提高路堤沉降稳定质量。

c. 土层中夹有排水砂层时,可缩短固结排水距离,加快土层固结沉降的速度和土层的强度增长。

d. 实测成果证明,单向固结理论为基础的计算与实际相差太大,而有限元法却较接近实测成果。原设计成果仅可作方案比较应用,实际沉降速率还有赖现场实测加以修正后,再确定铺筑路面荷载的时间更为现实。

参考文献

- 1 吴钰,徐泽中,陈景扬.不同方法估算路基最终沉降量的分析研究.见:江苏宁沪高速公路股份有限公司,江苏省高速公路建设指挥部合编.沪宁高速公路江苏段建设论文集.北京:人民交通出版社,1997.97~105

(收稿日期:1997-12-15 编辑:熊水斌)

·简讯·

高速公路之最

▲最早的古代“高速”公路。我国古代建过一条世界上最长、最宽的道路,即秦始皇所建造的“秦直道”,公元前212年,秦始皇为快速集结、调动军队,便于运送军事物资,命大将蒙恬修建一条军事直道。此路建造费时4年,动用20万民工,全长1800km,宽达164m,可由40余辆马车并驱行驶,道路之宽使现代高速公路望尘莫及。

▲最早的现代高速公路。现代高速公路最早出现在1933年,那是希特勒为了发动侵略战争而修筑的,这条高速公路全长3876km。

▲高速公路最多的国家。美国在1991年时已有高速公路7.5万多公里,居世界首位。第二位为德国,第三位为法国,居第四位的是意大利。

▲已建成最长的高速公路。世界上已建成最长的高速公路要数美国纽约至洛杉矶的高速公路,全长4556km。

▲建设中最长的高速公路。于1986年开工、将在本世纪末建成的环欧高速公路,全长为1万多公里。这条高速公路始于波兰的格旦斯克,从古达尼斯克南下,穿越东欧,越过前捷克斯洛伐克、奥地利、匈牙利、前南斯拉夫、罗马尼亚、意大利、希腊诸国,终点在土耳其和伊朗交界处的戈尔布拉克。

▲中国最早的高速公路。我国最早建成的一条高速公路,是台湾省基隆至高雄的高速公路,1978年10月建成通车,全长373.4km,平均每公里造价300万美元。

▲中国大陆最早的高速公路。我国大陆上修建最早的高速公路是沪嘉高速公路。从上海的祁连山路到嘉定南门,1984年开工,1988年通车,全长20.5km。

▲我国最长的高速公路。我国目前最长的高速公路是辽宁省沈阳至大连的沈大高速公路,全长375km。这条高速公路把沈阳、辽阳、鞍山、营口、大连五个大中城市、三大港口和两个国际机场连接起来。此路于1984年开工兴建,1990年9月1日全线正式通车。

▲我国最早的环城高速公路。我国第一条环城高速公路是广东省广州市的环城高速公路。这条高速公路全长60km,首期工程在1989年建成通车,现已全线完工。

(摘自1997年第12期《科技简报》)