

沪宁高速公路(江苏段)软土路基沉降 观测和稳定验证分析^①

⑨
36-39

徐泽中 白忠良 陈景扬 詹世富 厉渝生

(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)

U46.106
U412.366

摘要 对沪宁高速公路(江苏段)所有软土路基设置 700 个沉降观测点,分别在填筑期、预压稳定期、路面施工期、运用期进行观测;根据各观测期的沉降量级选择不同的观测频率,并相应采取 4~3 等水准精度测量;用已发生并实测到的沉降速率判断路堤沉降的稳定状况;以 0.3~0.5 cm/月沉降速率,在路床顶面、底基面、基底及面层等特征层,分别用动态控制法确定铺筑路面的时间,使全线路基一般路段和桥头路段均满足允许工后沉降量要求,缩短了工期。

关键词 软土地基 高速公路 沉降速率 特征层 沉降量 观测 沉降, 稳定验证。

沪宁高速公路江苏段全长 248.21 km,西起南京马群,东至昆山花桥与上海段连接。它是我国“八五”跨“九五”的重点工程,也是江苏第一条高速公路。其沿线大部分地区为河相、海相冲积平原,分布有大量的淤泥质粘土,地质情况复杂,有软土的地段长约 92.29 km,主要分布在苏州至丹阳地区(A 至 E 五个标段)。沿线软土层厚薄不均,最厚处超过 30 m,一般在 6~15 m,占 A 至 E 标段长度的 48%,占江苏段全长的 37.2%,是目前全国建成的高速公路中软土地基线路最长的一条。全线平均填土高度 3.7 m,最高处超过 10 m,设计估算最大沉降量 1.5 m 以上,一般为 0.35~0.60 m。

高速公路对地基要求很高,在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。高速公路对路面平

整度要求更高,其标准差应在 1.8 mm 以内,也不应出现“桥头跳车”。因而必须控制地基的工后沉降及其不均匀性,以避免影响路面的使用性能。如何采用合理的软基处理措施,降低公路使用期内的工后沉降量,成为沪宁高速公路工程成败的关键技术问题。沪宁高速公路可行性研究报告针对全线软基状况,建议对路面实施分期铺筑,以实现最后铺筑正式路面时,软基路段能满足允许工后沉降量的要求。

江苏省高速公路建设指挥部为了能使路面一次铺筑成功和验证、完善设计、指导施工、提高工程质量,在列出专题按不同处理方案进行典型试验的同时,将试验研究成果在全线推广,及时对设计进一步优化。用不同沉降估算方法对比全线软基特征段实测沉降成果后发现,单纯从理论上估算沉降量^[1],难

①参加工作的还有吴钰、周石金、周耀庭、朱勇、何良德等。

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。

以满足工程精度要求,加上公路沿线地基土勘察试验的数量有限,不可能对全线地基土层的性质了解得十分透彻。用动态观测成果来校核公路在实际施工周期下的沉降变化规律和判断路面稳定状态是一实用而有效途径。为此,河海大学和所在市高速公路建设指挥部共同承担了路堤施工全过程及建成后一年期的沉降监测任务。

1 全线沉降观测概况

沪宁高速公路路堤高度一般为3~4m,顶宽26m,路基设计底宽约38m,边坡1:1.5。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。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。

1.1 监测断面及沉降观测点布置

a. 软土路基一般每隔200m,非软土路基每隔1000m,评估沉降大于35cm的软土路基桥头10m范围内,只能在路基断面中心设置地面沉降标1只。经实施后统计,全线共设置700个观测点,用于及时了解地基沉降变化规律,校核设计预估沉降量,掌握沉降土方量,推算最终沉降值等。

b. 评估沉降小于35cm的软土路基和桥头及堤高大于5m的高填土的非软基,按上述规定的距离,在路基路床、底基层、基层等顶面的断面中-中位置,增设沉降桩,进行控制和测量相应顶面的沉降速率,推算达到运用期内的剩余沉降量满足允许工后沉降量要求的铺筑路面合适时间。

c. 中央分隔带人孔建成后,沉降标点全部转移至人孔顶中-中位置,作为长期观测之标点。

1.2 观测频率及要求

将整个观测期分为填筑过程期、预压稳定期、路面结构施工期及运用期等,根据各观测期沉降量级的不同选择不同的观测频率,并相应采取4~3等水准精度测量。

2 铺筑路面时间的动态控制

确定路面施工后的工后沉降必须准确把握“最终沉降量”和已发生的沉降量。为选择工后沉降精度、选择填筑路面的时间和制定施工控制条件,我们选择了不同软土特征断面和不同填筑高度的路段,用等载土模拟路面荷载,实测其沉降过程线;与一般堆载路堤沉降规律对比。在分析了大量的现场实测沉降曲线基础上,推算出满足工后沉降时对应的沉降速率值,将其作为施工控制条件。在考虑荷载、地质环境和处理方法的不同所带来的复杂影响后,选定路床顶面按0.5cm/月、路面结构各特征层按0.3cm/月实施动态控制。

上述沉降稳定动态控制法,其实质是用已发生并实测到的沉降速率来判断路堤沉降的稳定状况,控制路面铺筑时间,使路面完工后,其工后沉降达到高速公路质量标准。

3 观测成果分析

a. 综观A至E五个标段,约设置了700个观测点,覆盖了所有软土路基。按建成后路基在全荷载运行一年所观测到的沉降资料,推算求得的总工后沉降量与设计允许值比较后可知,所有桥头和一般路堤全部满足了设计要求。同时,统计成果表明,当建成后第一个月的沉降速率小于3~5mm时,所得工后沉降量不但满足了设计要求,且仅为允许设计值的50%~60%,但当建成后第一个月的沉降速率大于6mm后,推算工后沉降量已接近设计允许值的70%~90%,且建成后一年实测工后沉降量已达设计允许值的50%左右。

b. 至1996年8月底,路面施工完成及建成后一年,全线96%以上的软基实测沉降速率为0~3mm/月(见表1、表2)。由此可见,沪宁高速公路稳定质量已优于设计要求,能使道路竣工后正常运营状态的时间维持得更长。

c. 推算沉降量与估算沉降量比较接近(塑料排水板处理部位除外)。同时,由统计A至E标软土段所有观测点总沉降量的量级

表 1 建成后第一个月(1996 年 9 月)沉降速率变化

标段	观测点总数/个	长度/km	0~3 mm/月		3~5 mm/月		5~7 mm/月		7~10 mm/月		10~18 mm/月	
			测点/个	(%)	测点/个	(%)	测点/个	(%)	测点/个	(%)	测点/个	(%)
A	225	37.91	216	96	4	1.78	0	0	1	0.4	4	1.78
B	159	32.24	156	98.10	3	1.88	0	0	0	0	0	0
C	114	45.43	109	95.60	3	2.60	1	0.88	1	0.88	0	0
D	127	42.66	120	94.50	7	5.5	0	0	0	0	0	0
E	75	34.29	72	96	3	4	0	0	0	0	0	0
Σ	700	192.53	673	96.14	20	2.85	1	0.4	2	0.29	4	0.57

表 2 建成后第一年(1996 年 9 月~1997 年 10 月)沉降速率变化

标段	观测点总数/个	长度/km	0~3 mm/月		3~5 mm/月		5~7.7 mm/月	
			测点/个	(%)	测点/个	(%)	测点/个	(%)
A	225	37.91	207	92	10	4.4	8	3.6
B	159	32.24	159	100	0	0	0	0
C	114	45.43	112	98.3	2	1.7	0	0
D	127	42.66	127	100	0	0	0	0
E	75	34.29	75	100	0	0	0	0
Σ	700	192.53	680	97.14	12	1.71	8	1.14

后可知,总沉降量小于 35 cm 的点占 77.3%, 35~50 cm 的点占 88.5%, 50~100 cm 和大于 100 cm 的点分别占 9.8% 和 1.7%。这一规律与优化设计中提出的“地基主要由一般粘性土和粉土组成,天然含水量大多在 20%~40% 之间,少数高于 40%,为淤泥质土,其压缩性属中等,只有少数属高压缩性”的结论基本一致。

d. 沪宁高速公路沿线土层为成层地基,且大多间夹砂层或粉砂层,厚度从数厘米至 10 m 左右。计算分析表明,透水性强的夹砂土层,压缩稳定较快。它与从现场观测沉降求得的完建期推算路基的固结度已达 82% 以上的规律也一致。同时也验证了优化后软基处理简化为以堆载预压法为主(约占软基段总长的 72%),砂垫层和等、超载配以少量塑料排水板预压及极少桥头部位粉喷桩处理设计方案是完全正确的。

e. 采用动态控制法确定铺筑路面时间的沉降控制方法,使近 99% 的软土(见表 3)路基沉降速率满足 3~5 mm/月标准的路面设计标高(也包括路面各结构层的标高及相应厚度)得到了有效控制,从而保证了路线平、纵、横设计的布局及桥涵、通道等结构物、

路面排水和交通工程的实施等的使用功能和高速公路的服务水平。

f. 对于软基较深和预估沉降量大的路段,配以等、超预压者,可使沉降增量提前在预压期多产生,能有效消减工后沉降量(表 3)。

表 3 堆、等、超载预压法在不同时段的工后沉降量

桩号	部位	处理方法	等、超载	预压期沉降增量/mm	15 年工后沉降量/mm
K15+972	桥	砂垫层	超载	99	4
K95+400	路		堆载	19	227
K107+700	路		堆载	13	33.3
K3+030	路	塑板	堆载	296	223
K3+270	桥	塑板	超载	421	107

g. 塑料板排水固结辅以等载或超载预压法对处理高含水量、高压缩性、低强度软土是经济合理的有效加固措施,但会对软基产生一定的扰动,降低了软土的强度和增大路基的压缩性,从而引起总沉降量和工后沉降量的增大。其扰动程度则随孔隙比增大和排水板间距的减小而增强,表 4 为经塑料排水板处理的典型断面评估总沉降量与实测总沉降量对比结果。

h. 粉喷桩加固法具有能减少加固部分土层的总沉降量和缩短工期的优点^[2]。全线经过粉喷桩处理的路段和桥头路基经现场实测所得总沉降量均比估算沉降量小。据统计,实测总

表 4 塑料排水板处理的断面估算总沉降量与实测总沉降量对比

标段	桩号	软土范围 /m	孔隙比 e_0	压缩系数 a_{v1-2}	预估总沉降量 $s_{\text{预估}}/\text{cm}$	实测总沉降量 $s_{\text{实测}}/\text{cm}$	$m_s = \frac{s_{\text{实测}}}{s_{\text{预估}}}$
A	K0+144	6~12	1.446	1.353	37.0	78.7	2.13
A	K7+760	5~18	1.408	1.32	88.0	173.2	2.00
A	K8+243	0~30	1.240	0.70	78.0	119.6	1.53
C	K109+432	8~15	1.136	0.64	41.0	55.3	1.23
C	K110+106	0~10	1.033	0.59	61.0	74.1	1.21
D	K119+700	0~16	0.97~1.13	0.71~0.57	46.2	40.7	0.88
D	K137+066	0~12	0.94	0.58	33.0	29.7	0.90

表 5 粉喷桩加固处理的路基实测总沉降量与估算总沉降量比较

标段	桩号	堤高/m	实测总沉降量 $s_{\text{实测}}/\text{cm}$	预估总沉降量 $s_{\text{预估}}/\text{cm}$	$m_s = \frac{s_{\text{实测}}}{s_{\text{预估}}}$
A	K13+200	4.33	28.1	35	0.80
C	K103+660	8.4	29.2	89	0.33
D	K136+988	3.23	26.8	29	0.924
D	K137+830	5.6	28.5	52	0.55
D	K158+400	4.69	22.8	45	0.51

表 6 月沉降速率与工后沉降关系

位置	观测桩号	地基处理	建成后第一个月沉降速率 $^{\text{①}}/\text{mm}\cdot\text{月}^{-1}$	建成后一年的工后沉降增量/cm	15年内工后沉降量/cm
路	K0+011.24	塑板+等载	17 ^②	11.9	21.3
路	K0+195	塑板+等载	11	8.2	14.5
路	K6+875	自然沉降	10	5.5	10.7
路	K0+840	塑板	8	4.3	7.7
路	K7+302	塑板	6	3.7	5.2
桥头	K21+963	塑板+超载	5	3.9	5.0
通道	K7+096	塑板	3	2.0	4.0

注:①列出的沉降速率值是指加铺路面结构层才出现的,路床沉降均按 0.5 cm/月控制;②17 mm/月仅有一点。

沉降量仅为估算总沉降量的 50%~80%(表 5)。15 年工后沉降量也明显减小,一般只有设计工后沉降量的 40%左右。但在未打穿软土层的条件下,效果的发挥将会受到一定影响。

i. 由沉降观测资料分析可知,当建成后第一个月的沉降速率小于 3~5 mm,据推算,其工后沉降量不但满足了设计要求,15 年内最大工后沉降量也只有 4.0~7.0 cm。当建成后第一个月的沉降速率大于 6 mm 后,最大工后沉降量将会增大至 8~15 cm。这说明月沉降速率控制标准,桥头按 0.3 cm/月,一般路堤按 0.5 cm/月左右,在沪宁高速公路包括软土深厚的路基来说,是有足够安全度的(见表 6)。

4 结 语

a. 通过现场观测资料分析可知,桥头沉降

速率按 0.3 cm/月标准进行控制,路段按 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。

b. 通过近 5 年多来的现场观测,至 1997 年 10 月,全线软基路段实测推算工后沉降量均满足了设计要求。从而验证了优化设计所选择的处理方案是合理的,达到了加快、简化施工,节省投资和提高工程质量之目的。

参考文献

- 钱家欢.土工原理与计算.北京:中国水利电力出版社,1996.44~237
- 《地基处理手册》编写委员会.地基处理手册.北京:中国建筑工业出版社,1988.15~115,399~421

(收稿日期:1997-12-15 编辑:马敏峰)