

路基沉降监测技术在软土路基施工中的应用

刘 鹏

(上海交通大学 上海 200000)

摘要详细阐述了南京某市政道路工程路基在路堤填筑和路面修筑完成后的地表沉降、孔隙水压、水平位移及深层沉降的监测过程。监测结果分析,科学地指导了路堤填筑和路面修筑的施工;总结了路堤施工中监测工作对施工安全、方案选定、施工设计和施工时机选定等的重要性。

关键词 软土 路基 沉降 监测 技术

1 工程概况

南京某市政道路工程,全长约2 400m。其中桥梁长580m,剩余为软基地面道路,长约1 820m。软土厚4.7m~40m。设计采用塑料排水板作为排水通道,上加荷载进行预压处理,预压期为6个月。路幅宽40m~52m。该工程为南京市市政重点项目之一。

工程位于长江低漫滩之上,地势低洼,除表层人工填土外,在勘探深度范围内均为长江冲淤积形成的软弱粘性土及粉砂层,分述如下:

①-1 素填土:褐黄色亚粘土,为新近填积,层厚0.9m~1.4m。

①-2 淤泥质填土:灰色,流塑,少数孔含大量碎石、垃圾,埋深1.1m~1.4m,层厚0.4m~1.3m。

①-3 素填土:灰黄色,以硬塑亚粘土为填料,埋深0.3m,层厚0.7m。

②-1 亚粘土:灰色,软塑,埋深1.0m,层厚1.0m。

②-2 淤泥质亚粘土:灰色,流塑,夹薄层亚砂土、粉砂(厚约1mm~10mm)及淤泥质粘土,埋深0.9m~2.4m,层厚4.7m~15.7m。

②-3 淤泥质亚粘土~淤泥质粘土:灰色,流塑,土质较均匀,埋深14.4m~14.5m,层厚10.7m~14.4m。

②-4 亚砂土~粉砂:灰色,松散,夹薄层亚粘土,埋深5.9m~12.6m,层厚大于3.3m。

②-5 粉细砂:灰色中密,埋深9.0m~31.4m,未钻穿。

以上可见,场地主要软弱地基土层为淤泥质亚粘土层,厚度由西向东逐渐增大,从4.7m增大至40.0m左右。主要土层的主要物理力学指标见表1。

表1 主要土层的物理力学指标

层号	W/%	γ /(kN/m ³)	e	I_p	I_L	α_{1-2} /MPa ⁻¹	E_{s1-2} /MPa	C_u /kPa	φ /(°)	K_v $\times 10^{-6}$ /(cm/s)	K_H $\times 10^{-6}$ /(cm/s)
②-2	44.0	17.7	1.219	15.8	1.44	0.809	2.841	9.15	19.2	1.76	7.84
②-3	39.8	17.5	1.224	16.8	1.19	0.680	3.338	7.57	18.2	2.55	7.50
②-4	31.4	18.2	0.961	7.0	1.22	-	-	-	-	60.70	124.00

工程于1999年11月开工,2000年2月开始路堤填筑,4月除K1+250~K1+480路段外,已达设计标高并超高0.2m;7月全线路堤填筑完毕并开始铺设管线;2000年9月开始进行路面施工。

2 监测方案

2.1 监测断面

综合考虑填土高度、软土层厚度和施工现状,设监测断面3个,分别位于K0+520、K0+790和K1+740处,各观测断面测点布置及数量见图1和图2。在K0+040、K0+220、K0+325、K0+440、K0+630、K0+950、K1+100、K1+250、K1+330、K1+

430、K1+480、K1+560、K1+675处各设沉降板一个。

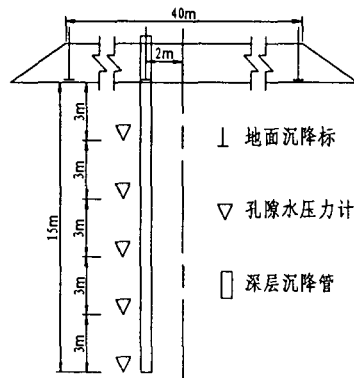


图1 K0+520/K0+790断面测点

2.2 监测项目和方法

根据工程的监测目的和现场条件,监测项目和方法主要有:

①路基表面沉降监测(沉降标)。监测路基的地表沉降速率和总沉降,控制填土速率和高度,推算路基的残余沉降;

②路基孔隙水压力监测(钢弦式孔隙水压力计)。监测路基软土层在填土荷载作用下的孔隙水压力变化情况,确定软土层的固结度;

③路基分层沉降监测(沉降管)。监测路基软土层不同深度的沉降,确定路基的分层沉降和压缩层厚度;

④路基深层水平位移监测(测斜管)。监测路基软土层不同深度的水平位移,确定路基的填筑速率;

⑤路面沉降监测(沉降标点)。监测路面施工完成后路面的沉降,推算沉降速率和工后沉降。

2.3 监测进展

整个监测过程分为两个阶段。第一阶段为施工期的路基监测,以控制填筑速率,确保施工安全,确定路面施工的时间,并推求路基残余沉降量为主;第二阶段为路面完成后的路面沉降监测,以推求路面沉降速率和工后沉降量。

第一阶段:自 2000 年 1 月埋点监测开始到 9 月初开始上路面时结束。观测结果见表 2。各断面路基的沉降分析结果均以截止日期所取得的结果为依据。

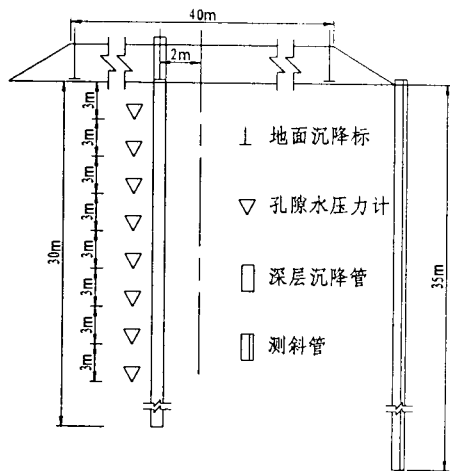


图 2 K1+740 断面测点布置图

第二阶段:2000 年 10 月初路面施工基本结束,随即进行路面沉降标点的布置,开始进行路面沉降观测。2001 年 2 月完成监测任务。

3 观测成果与分析

3.1 施工期路基监测

3.1.1 沉降观测结果与分析

a. 地表沉降

监测断面的实测沉降过程线可绘制成 $P-S-T$ 曲线(典型 $P-S-T$ 曲线见图 3)。根据实测沉降过程线,用双曲线法推求的最终沉降值(推求值)列于表 3(该值为路堤荷载作用下路基的最终沉降值)。

表 2 各监测断面的观测截止日期和实际观测结果

沉降标号	桩号	地表沉降观测截止日期	地表沉降量/mm
C1	K0+040	2000.8.12	183
C2	K0+220	2000.7.11	160
C3	K0+325	2000.9.08	290
C4	K0+440	2000.7.18	227
C5-南	K0+520	2000.6.14	130
C5-中	K0+520	2000.8.28	219
C5-北	K0+520	2000.8.28	149
C6	K0+630	2000.9.08	140
C7-南	K0+790	2000.8.12	204
C7-中	K0+790	2000.9.08	234
C7-北	K0+790	2000.8.28	147
B1	K0+950	2000.6.14	220
B2	K1+100	2000.8.28	229
B3	K1+250	2000.7.18	211
B4	K1+480	2000.8.28	428
B5	K1+560	2000.8.28	455
B6	K1+675	2000.8.28	322
B7-南	K1+740	2000.4.30	133
B7-中	K1+740	2000.9.08	377
B7-北	K1+740	2000.7.04	203
B8	K1+330	2000.7.04	87
B9	K1+430	2000.8.12	89

要确定路面施工的时间,必须推断出路基在路面施工前的残余沉降量、沉降速率和工后沉降量。

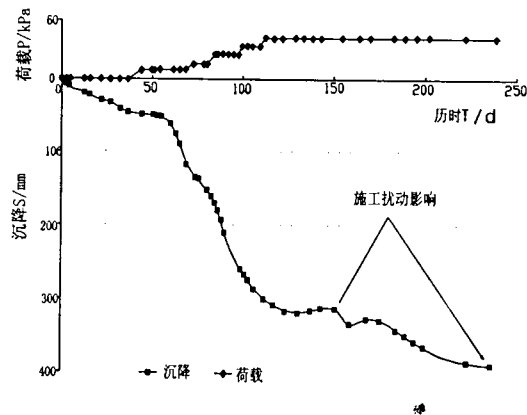


图 3 典型 $P-S-T$ 曲线

对于监测结果异常和观测资料不完整的标,可根据观测结果的拟合曲线及 $t/s \sim t$ 线性关系的特点推断出各点在路面施工前的合理沉降量,由路基在路堤荷载作用下的最终沉降量和路面施工前的沉降量进

而计算出各标路基的残余沉降值,其结果见表3。因B8、B9点观测时间较短,曲线难以拟合,无法用

实测值推断路面施工前的沉降量和最终沉降量,故这些点按理论计算进行分析。

表3 铺设路面时各断面路基沉降值

断面	桩号	上路面时沉降值/mm	上路面时沉降速率/(mm/d)	双曲线法推求沉降/mm		理论计算沉降/mm	
				路堤作用的总沉降	路堤作用的残余沉降	路面作用的附加沉降	工后沉降
C1	K0+040	172	0.3	195	23	105	128
C2	K0+220	151	0.2	171	20	79	99
C3	K0+325	206	0.3	216	10	59	69
C4	K0+440	213	0.2	221	8	82	90
C5	K0+520	197	0.3	210	13	91	104
C6	K0+630	94	0.1	99	5	110	115
C7	K0+790	234	0.3	271	47	78	125
B1	K0+950	214	0.1	299	85	86	171
B2	K1+100	230	0.3	282	52	81	133
B3	K1+250	218	0.3	255	37	85	122
B4	K1+480	430	1.2	590	160	94	254
B5	K1+560	453	1.0	523	70	141	211
B6	K1+675	303	0.5	318	15	141	156
B7	K1+740	368	0.7	469	101	115	216
B8	K1+330	198	-	302	104	82	186
B9	K1+430	268	-	398	130	85	215

从表3可以看出,到2000年9月初,K0+040~K1+250路段的平均沉降速率已小于每天0.3mm,桩号大于K1+250路段的平均沉降速率每天在0.5mm~1.2mm;根据实测曲线拟合推求的沉降量,到2000年9月初,全线路基在路堤荷载作用下其残余沉降均小于20cm,但由于停载时间不长,且受到其他施工等因素的影响,推求最终沉降量时主要是依据最后一级加载后稳定的观测结果。因此,据此期间观测数据所推求的最终沉降量可能与实际最终沉降有偏差。

为确定工后沉降,必须计算出路基在路面荷载作用下的附加沉降值,用分层总和法计算出该附加沉降值列于表3。由附加沉降与残余沉降即可得到路基的工后沉降值。考虑路面施工时路基仍会发生沉降,因此,实际发生的工后沉降量应比理论计算的值小。综合考虑理论计算值、推算值、已完成的沉降、沉降速率、观测时间和工程地质等条件,到2000年9月上旬,桩号K0+000~K1+250段进行路面施工是可行的,而桩号大于K1+250段的工后沉降虽小于30cm,但其沉降速率仍较大,建议先使用临时过渡路面。

b. 深层沉降

根据桩号K0+520、K0+790、K1+740处深层沉降过程可绘制成S-T曲线。K0+520断面的压缩变形主要发生在标高为4.0m~-2.0m之间,占总沉降量(15.8cm)的95%;K0+790断面的压缩变形主要发生在4.0m~-2.0m,占总沉降量(21.5cm)的85%;K1+740断面的压缩变形主要发

生在5.0m~-10.0m,占总沉降量(32.5cm)的80%。以上结果与勘探结果基本吻合。

3.1.2 孔隙水压力观测结果与分析

孔隙水压力典型孔压—时间由线见图4。由于路堤填筑厚度不大(平均约1.4m),且填筑时间很长(2000年2月上旬到4月下旬),加上土层本身的固结系数较大,并打设了塑料排水板,因此,孔隙水压力在施工期间变化不大,整个施工期间孔隙水压力系数B一直小于0.2。截止2000年8月下旬,超静孔隙水压力消散度达80%以上。

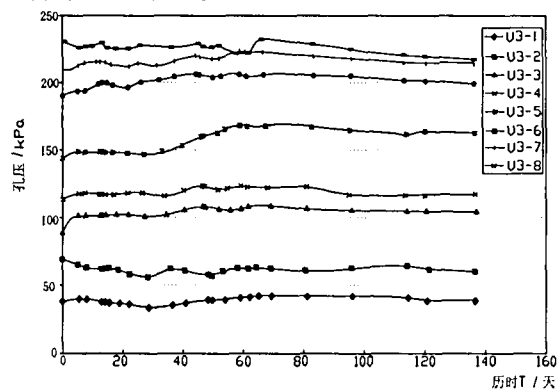


图4 典型孔压—时间曲线

3.1.3 水平位移观测结果与分析

K1+740断面典型水平位移工程线可绘制成深度(m)与位移(mm)曲线。由于路堤填筑厚度不大,且填筑速率较小,施工期深层水平位移较小,最大水平位移发生在地表,2000年4月下旬路基施工

完毕时,最大水平位移为7.0cm,整个施工期间水平位移速率小于每天0.5mm。

3.2 路面沉降监测

不同时期监测得到路面的典型沉降量和沉降速

率见表4。从表4中可以发现 K0 + 000 ~ K1 + 250 段的沉降量已趋于稳定,而大于 K1 + 250 段的沉降速率仍较大,部分段大于每天0.3mm,这与施工期的监测结果是相一致的。

表4 不同时期路面典型沉降结果

断面	桩号	2000.10.16		2000.12.05		2000.12.27		2001.02.02	
		沉降量 /mm	沉降速率 /(mm/d)	沉降量 /mm	沉降速率 /(mm/d)	沉降量 /mm	沉降速率 /(mm/d)	沉降量 /mm	沉降速率 /(mm/d)
B1	K0 + 950	2	0.20	12	0.20	16	0.18	24	0.10
B2	K1 + 100	4	0.25	11	0.16	13	0.10	20	0.10
B3	K1 + 250	15	0.28	25	0.22	27	0.10	31	0.10
B4	K1 + 480	16	0.53	46	0.44	55	0.41	72	0.36
B5	K1 + 560	4	0.58	26	0.50	37	0.50	47	0.34
B6	K1 + 675	6	0.33	16	0.28	22	0.27	31	0.22
B7	K1 + 740	6	0.43	26	0.39	33	0.32	41	0.30
B8	K1 + 330	15	0.35	29	0.24	31	0.10	39	0.10
C1	K0 + 040	2	0.17	5	0.06	5	0.00	7	0.01
C2	K0 + 220	4	0.21	8	0.08	8	0.00	10	0.01
C3	K0 + 325	0	0.00	1	0.02	3	0.10	5	0.04
C4	K0 + 440	0	0.00	5	0.15	6	0.14	9	0.10
C5	K0 + 520	4	0.20	6	0.15	8	0.10	11	0.07
C6	K0 + 630	1	0.08	3	0.12	5	0.10	8	0.06
C7	K0 + 790	0	0.00	3	0.11	6	0.10	9	0.07

4 结论与建议

①本工程路基采用塑料排水板堆载预压法处理,经过近120天的自载预压,路堤填筑引起的超静定孔隙水压力已基本消散,地基的固结度已达80%以上。这说明在这种地质、施工条件下采用塑料排水板堆载预压法是成功的,且预压期可以缩短到4个月,这与规范要求至少6个月相比少了2个月,大大的缩短了工期。这也是采用监测技术指导施工的结果;

②堆载预压后路基的沉降量达115mm ~ 462mm,基本上是随着软土层厚度的增大而变大;

③深层位移监测结果表明,施工期深层水平位移较小,最大水平位移发生在地表,最大水平位移为7.0cm,整个施工期间水平位移速率没有超过0.5mm/天,对路基的影响不大;

④深层沉降监测的结果表明,地基的沉降量主要发生在路基上部的淤泥质亚粘土层之中,其压缩变形量约占总沉降量的80%以上;

⑤通过对路基超静孔隙水压力消散度、沉降速率、沉降量、监测时间和压缩层厚度的监测,适时的指导了路面施工的时机、施工方案和施工段落的选择,避免了盲目施工,确保了施工质量,减少了投入;

⑥由地质勘探、现场情况和监测结果知,桩号大于K1 + 440段的软弱层较厚,路堤荷载较小,而路面荷载相对较大,附加荷载对路基沉降会产生较大

影响,且理论计算的工后沉降较大,故应加强对这些部位的监测,以确保安全;

⑦通过对路面沉降的监测结果分析进一步验证了施工期的监测结果,检验了路面施工时机、施工段落、施工方案选择的正确性;

⑧综上所述,地基监测技术在该工程的应用成功,说明信息化对指导软土路基施工、选择合理的施工时机和施工方案、验证软土处理技术成败起到一定的作用,有利于节约投入,确保施工质量和施工安全。值得大力推广。

参考文献

- 1 白冰,肖宏彬. 软土工程若干理论与应用. 北京:中国水利水电出版社,2002
- 2 徐永福. 土体施工扰动特点的研究. 第8届全国土力学与岩土工程会议论文集. 北京:中国建筑工业出版社,1999
- 3 张得焯. 塑料排水板工法中的粘土固结系数的评价方法. 第七届全国青年岩土力学与工程学术研讨会论文集. 北京:地质与勘探编辑部,2003

作者简介:刘鹏,男,1973年12月生,1997年毕业于石家庄铁道学院交通工程系交通土建工程专业隧道与地下工程方向,学士学位,工程师,在读硕士。