

扬州南绕城公路路基沉降分析

邓建义 韩建文

(铁道第三勘察设计院地路处 天津 300142)

摘 要 从扬州南绕城公路路基沉降设计和实际观测成果对比分析出发,指出针对该地区地层的特点,采用石灰土封闭软土路基基底,沉降系数在 1.7 左右;采用塑料排水板处理软土地基,沉降系数在 1.4 左右;一般地段的路基沉降值在 20cm 左右,沉降均可在一年内完成。

关键词 二灰土 沉降值 观测 沉降系数

1 本线概况

扬州南绕城公路起自宁扬公路八字桥半互通式立交,讫于扬江一级公路原廖家沟收费站,线路全长 17.915 km。全线设八字桥、廖家沟定向式、通港路互通立交各一座,匝道总长 4.521 km。该公路技术标准为全部控制出入口的一级汽车专用公路,双向四车道,预留六车道,路基面顶宽 26.5 m 设计行车时速 100 km/h,设计荷载汽—20 级,挂车—120。全线路基土方总数为 267 万 m^3 ,路堤填高 0~9.25 m,平均填高 4.50 m。

该工程于 1997 年 2 月份全面开工,至 1997 年底完成路基土方 215 万 m^3 。按计划 1998 年 6 月份工程全部结束,交工通车。实际于 1999 年底正式通车,通车以来,运营良好。

扬州南绕城公路地处长江下游冲积平原高漫滩,地质调绘及勘探揭示:该区域内地层除地表覆盖第四系全新统人工填筑土外,其余均为第四系全新统冲积层,地质条件较差,其中软土路基分布里程为:

八字桥向式互通立交匝道 $ZK = 0 + 000 \sim +870.139$;

主线 $DK0 + 000 \sim DK + 050$;

主线 $DK2 + 390 \sim +720$;

主线 $DK8 + 762 \sim DK12 + 992$;

主线 $DK13 + 708.07 \sim DK16 + 010.68$ 。

软土路基地段累计总长约 8 873m。层厚一般为 1~4 m,多处于地表下 2~5 m 以下,全线地下水位埋深 0.6~2.3 m,水位变化幅度 1~2 m。从指标来看,该段均属非典型软土,其塑性指数较小,砂性较大,饱水性较强,持水性较差。

1.1 设计思路

基本上是桥头路基基底采用粉喷桩处理,其余地段采用塑料排水板处理。后来在甲方再三指示下,参照地方成功经验,沿线大部采用了石灰土封闭基底措施,具体如下。

(1) 对京杭运河特大桥两端、古运河桥东端、八字桥立交匝道桥两端高路堤采用水泥粉喷桩处理地基,桩间距 1.0 m,深 5.0~6.5 m。

(2) 对京杭运河特大桥两端紧接粉喷桩处理地段施打塑料排水板,间距 1.4 m,深 5.0 m。

(3) 对其余软土地段,清除路堤底部种植土后,于基底填筑 1.0 m 厚 8% 的石灰土(施工时部分路段改为 0.4 m 厚 5% 的水泥加 0.6 m 厚 5% 的石灰土。)

设计文件要求在软土地段施工中,要按照路基施工规范设置沉降板、观测桩,按竖向位移 0.02 m/d 和横向位移 0.01 m/d 控制填土速率,并且在路堤填至设计标高后,继续观测其沉降直至预压期结束。

施工单位从 1997 年 4、5 月份起,填土不到 1.0 m 时组织了专业测量队,于全线路基中线上布设了 40 个观测点,开始沉降观测。1997 年底到 1998 年初又陆续增加了 14 个观测点,其中 10 个设在非软土地段。

施工中由于操作不慎,12 个观测点遭到破坏,其余 42 个观测点资料较全;从观测曲线来看,截止 1998 年 9 月,各观测曲线已趋平缓。

1.2 观测情况

由于本项目为地方投资,对沉降的认识并不深刻,后来沉降观测的目的也主要是为了控制填土速率、指导后续面层施工,因此,无论是设计还是观测成果均存在一定的误差。主要原因如下。

(1) 勘探深度不足,沿线路基勘探孔深一般 8~10 m,小桥涵勘探孔深一般 10~12 m;而当路基填高 5 m 时,要求计算深度达 40 m,其中大部分沉降发生在 0~25 m 之内;此外,软土试样塌陷失水现象也较多。

(2) 设计理论较为落后,采用石灰土封闭基底情况下,横向排水成为主要通道,有关这方面沉降计算理论尚不成熟。本线所处地层水平固结系数较大,实际沉降完成时间远远小于计算值。

(3) 观测桩的布设和观测是在填土 1 m 厚开

始的,虽然此时沉降很小,依然存在误差。

尽管如此,由于本线所处地段地层比较单一,观测资料较为翔实,通过对计算和实际观测成果的分析,仍然可以得到一些规律。

2 计算值与实测值对比

表 1~表 8 中沉降系数为实际沉降值与计算主固结之比。

2.1 K0+000~K1+050 段软土路基

地层情况如表 1。对比见表 2。

表 1 K0+000~K1+050 地基土物理指标

序号	土层描述	层厚/m	$\omega/\%$	e_0	$\gamma/(t \cdot m^{-3})$	I_p
1	低液限黏土(硬壳层)	2.2~3.9	22.8~28.3	0.73~0.77	1.93~1.96	13.0~13.9
2	低液限黏土(软土层)	1.0~5.8	40.5~41.2	1.08~1.13	1.80~1.83	16.7~18.6
3	低液限黏土(下卧层)		33.5~33.6	0.96~1.00	1.78~1.85	10.0~13.9

$$C_v = 12 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}; C_h = 13 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$$

加固措施:挖除地表 0.8 m 种植土后,填筑 1.0 m 厚二灰土。

K0+400 处沉降值明显偏大,主要原因是填土较矮,施工荷载对基底松软土层影响较大造成。

表 2 计算值与实测值对比表

观测点桩号	K0+400	K0+850	K1+030
填土高度/m	0.85 (1.65)	4.10 (4.90)	5.76
硬壳厚度/m	2.60	3.20	2.80
软土层厚度/m	3.80	2.00	1.00
计算主固结(填土)/cm	15.80	45.50 (56.8)	18.60
沉降计算深度(填土)/m	22.00	48.00	5.70
计算最终主固结/cm	28.00	55.50 (67.0)	18.60
实测沉降值(填土)/cm	39.80	50.20	17.50
沉降系数(填土)	2.52	1.10 (0.88)	0.94

备注:括号内值=填土高度值+二灰土层厚度

2.2 K8+700~K12+350 段软土路基

地层情况如表 3。对比见表 4。

表 3 K8+762~K12+350 地基土物理指标

序号	土层描述	层厚/m	$\omega/\%$	e_0	$\gamma/(t \cdot m^{-3})$	I_p
1	低液限黏土(硬壳层)	2.2~3.9	22.8~28.3	0.71~0.81	1.90~1.96	10.8~14.2
2	低液限黏土(软土层)	1.0~5.8	30.8~48.0	1.08~1.13	1.74~1.90	12.7~18.6
3	低液限黏土(下卧层)		23.5~35.8	0.67~0.91	1.78~1.90	10.0~14.3

$$C_v = 12 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}; C_h = 13 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$$

本段软土路基加固措施:挖除地表 0.3 m 种植土后,填筑 1.0 m 厚二灰土。

表 4 计算值与实测值对比表

观测点桩号	K8+700	K9+200	K10+750	K11+350	K12+150
填土高度/m	3.63	4.26	6.04	4.69	4.99
硬壳厚度/m	4.20	2.80	3.10	108.00	2.80
软土层厚度/m	0.40	1.40	1.50	4.20	0.80
计算主固结(填土)/cm	31.00	29.00	29.00	23.80	27.60
沉降计算深度(填土)/m	42.00	40.00	48.00	42.00	44.00
计算最终主固结/cm	38.00	35.70	33.30	28.90	32.10
实测沉降值(填土)/cm	58.10	37.80	42.50	45.00	45.20
沉降系数(填土)	1.87	1.30	1.46	1.89	1.64

2.3 K13+800~K14+000 段软土路基

地层情况如表 5。路基加固措施:基底铺设

0.50 m 中粗砂,其下打设塑料排水板,间距 1.40 m,深 5.0 m,计算值与实测值对比见表 6。

表 5 K13+800~K14+000 地基土物理力指标

序号	土层描述	层厚/m	$\omega/\%$	e_0	$\gamma/(t \cdot m^{-3})$	I_p
1	低液限黏土(硬壳层)	1.4~5.3	27.3~28.0	0.73~0.77	1.95~1.95	13.6~15.7
2	低液限黏土(软土层)	0.0~4.3	34.6~39.5	0.91~1.09	1.81~1.89	10.3~17.7
3	低液限黏土(下卧层)		21.9~31.0	0.70~0.74	1.92~2.02	7.5~11.4

$$C_v = 12 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}; C_h = 13 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$$

表 6 计算值与实测值对比表

观测点桩号	K13+855	K13+900
填土高度/m	7.38	6.96
硬壳厚度/m	2.80	2.00
软土层厚度/m	2.20	2.00
计算主固结(填土)/cm	58.20	55.60
沉降计算深度(填土)/m	50.00	50.00
计算最终主固结/cm	64.30	61.80
实测沉降值(填土)/cm	88.50	79.10
沉降系数(填土)	1.52	1.42

2.4 K14+000~K16+630 段软土路基

软土路基指标同 K13+800~K14+000 段。

加固措施:挖除地表 0.3m 种植土后,填筑

1.0 m 厚二灰土。对比见表 7。

表 7 计算值与实测值对比表

观测点桩号	K14+600	K15+520	K16+630
填土高度/m	4.97	4.56	4.11
硬壳厚度/m	2.50	2.70	3.10
软土层厚度/m	1.10	1.80	1.60
计算主固结(填土)/cm	38.4	38.60	34.10
沉降计算深度(填土)/m	46.00	44.00	40.10
计算最终主固结/cm	44.60	47.70	43.20
实测沉降值(填土)/cm	66.80	68.10	59.10
沉降系数(填土)	1.74	1.76	1.73

2.5 一般地段

一般路基地段,观测结果见表 8。

表 8 一般路基观测结果

观测点桩号	K4+680	K4+730	K7+354	K8+479	K8+527	K8+554	K17+327	K17+384	K17+436	K17+522
填土高度/m	6.96	7.10	8.02	6.04	6.08	5.59	8.23	7.80	7.74	6.58
实测沉降值/cm	16.10	37.30	28.10	15.80	18.20	25.20	57.80	33.80	22.20	20.70
沉降比	0.02	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.07	0.04	0.03	0.03

3 针对该段沉降的分析

3.1 影响软土沉降的因素

(1) 加固措施。基底填筑 1.0m 二灰土的软土路基,由于封闭了上下排水通道,孔隙水排入路堤两侧地基内,侧向变形增大,使得路基本体沉降增加;相比之下,采用塑料排水板处理的软土路基,孔隙水可以向上排出,侧向变形影响较小。

(2) 施工工艺。填筑速率不当,会严重破坏土层整体性,无论是对于一般路基还是软土路基,都会造成额外的附加沉降。因此,在可能的情况下,尽量延长填土间隔时间,减少每次填筑高度,增加填筑次数,利用土层的整体性,使变形均匀发生。减少附加沉降。

低矮路堤填筑时,施工机械的干扰显著增加了软土路基的附加沉降。

(3) 换填土层对沉降的影响。地基表层沉降最大,对计算结果影响很大。当挖除地基的硬壳换填时,应将换填部分作为地基的一部分,按该部分沉降为零来考虑;当挖除地基的表层种植土、淤泥层换填时,则应将换填部分作为填筑土的一部分来考虑。

3.2 软土沉降量的分析

按正常的施工工艺操作,一般路基地段,填筑 6~8 m 时,沉降值在 0.15~0.30 m 之间。

地基表层以二灰土处理时,若采用挖除 0.8 m 表层土换填 1.0 m 二灰土措施,沉降系数介于 0.95~1.10 之间,若采用挖除 0.3 m 表层土换填 1.0 m 二灰土措施,沉降系数介于 1.30~1.87 之间,平均约 1.70。

地基以砂井处理时,沉降系数取值 1.4~1.5 之间。

3.3 软土固结过程中横向排水的作用。

传统软土固结理论虽然不否认横向排水,但其理论只是为砂井计算而建立的,对于上下层均封闭的软土层,按此理论计算,排水效果与实际相差悬殊。就本段软土而言,二灰土、粉喷桩形成了封闭层,大部分粉喷桩长度仅有 6.5 m,塑料排水板长度也仅有 5.0 m,按上述理论计算,包括施工工期在内一年半时间,远不能完成沉降。

而实际上,由于本段软土水平固结系数达 $C_h = 13 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。持水能力较差,因此,在荷载竖向应力的作用下,软土中水在很短的时间内沿水平方向排水完成固结沉降。