

塑料排水板深层处理方案沉降规律研究

⑩
40-43

徐泽中 方涤华 吴 钰

(河海大学 南京 210098)

周泉荪[✓] 伍育钧 田亚飞

(苏州市高速公路建设指挥部 苏州 215001)

U46.1

U412.366

摘要 通过对沪宁高速公路塑料排水板处理路段的现场沉降成果和补充钻探扰动土样的压缩试验对比分析,验证了塑料排水板的施工操作对地基土产生不同程度的扰动,造成总沉降量增加,其扰动程度与排水板间距、插板方式以及土的孔隙比有关,在同样条件下,也会加大路堤的工后沉降量。建议根据插板后扰动土样的压缩参数估算最终沉降量及其固结速度。

关键词 地基处理 沉降 扰动土 塑料排水板 压缩 高速公路,深层处理。

沪宁高速公路沿线大部分地区为河相、海相冲积平原,其中软土路段全长 92.29 km,主要分布在苏州至丹阳段。以允许工后沉降量为标准,对软基进行沉降稳定复核优化后的软基处理长度为 25.95 km,其中约有 8.1 km 的路堤软基处理方案选择的是塑料排水板处理方案,该方案是通过向天然地基内打设塑料排水板形成的竖向排水通道与地面水平排水砂垫层相连,组成排水系统,利用路堤自重进行堆载预压,促使地基土中孔隙水排出,超静孔隙水压力逐渐消散,孔隙比随之减小,在发生地基沉降的同时,相应的强度亦随之增长。

塑料排水板应用于软基加固,国内已有很多工程实例和成功的经验。由于国产排水板价格低廉,是目前深层软基处理措施中费用最低的一种产品,沪宁高速公路优先考虑采用该措施是完全合理的。

1 工程地质概况

全线属沉积地层,主要由亚粘土层、淤泥质土层、亚砂土层、粘土层和粉砂层等组成。按钻孔资料代表性的土层分布可分 A、B、C、D、E 五个标段,其中 A 标段的最大含水率超

过 50%,淤泥质土层出现在深度 30 m 左右范围内;B 标段的含水率大多小于 35%,几乎没有淤泥质土;C 标段最大含水率达 60%~70%,淤泥质土自 C₆ 标段开始大多在表层 2 m 以下 20 m 范围内;D 标段含水率大多小于 45%,淤泥质土在表层 5~12 m 深度内;E 标段土层中含多层粉土间夹薄淤泥质土层,其中薄淤泥质土层含水率一般为 30%~40%。大部分淤泥质土层属中等压缩性, a_{v1-2} 小于 0.5 MPa。A、B、C 标段有少数土样为高压缩性土。沿线地基土上部土层中的先期固结压力 p'_c 值大于覆盖压力,处于超固结状态,其程度由东向西逐渐增强,深度 7~20 m。超固结比的总趋势由上向下逐渐减小。

2 现场观测成果分析

各标段的现场观测表明,塑料排水板能加快非砂性土地基的固结速度,效果是好的,一般情况下,路基在预压后期固结度可达 85%~95% (见表 1)。但也发现凡经塑料排水板处理的路段,实测推算总沉降量大多比评估主固结沉降大,对照地质条件,这里土的孔隙比大多超过 1.0。孔隙比越大,软土层

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。

越厚,相差也越大。而未经塑料排水板处理的路段,实测推算沉降量大部分接近或小于评估值(见表2),说明施工机具的振动、插板扩孔等操作会对灵敏度较高的软基产生扰动,使土的强度降低,压缩性增大。为了估计软基受扰动的程度和探讨排水板处理地基沉降计算指标的选择,工程中选取 K2+700, K7+300, K7+096, K21+925, K21+965 五处做补充钻探,取样后做室内原状土和扰动土的压缩试验研究。

在正常情况下,钻探取样可分两个阶段进行,一是在排水板施工前进行钻孔取样,做室内压缩试验(图1中曲线3);二是在排水板施工后进行钻孔取样,做压缩试验(图1中曲线4),但这一阶段目前已无法补救。为了评估其扰动程度,研究中加做了重塑土的压缩试验(图1中曲线5),图1中曲线2为正常固结或超固结土做消除 p_c 影响的现场压缩

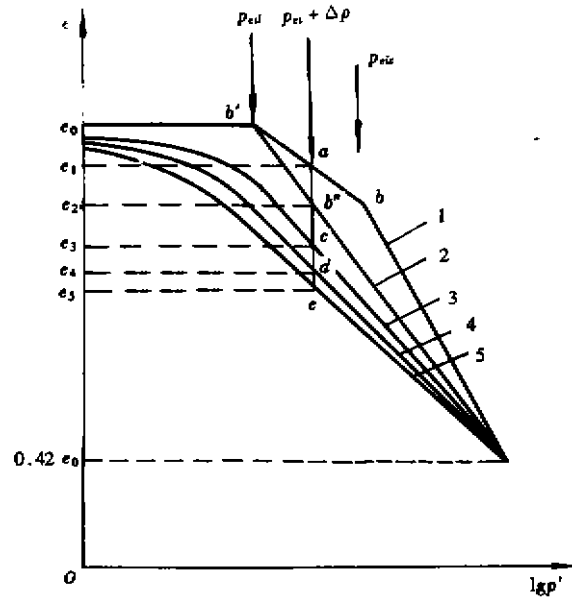


图1 压缩曲线

表1 A,B,C三标段塑料排水板处理各特征时段沉降量

塑料板尺寸 (间距×长度) /m×m	桩号	堤高 /m	期限 /d	施工期		运用期		实测推算 总沉降量 $s_{\text{实测}}/\text{cm}$	预估总沉 降量 $s_{\text{预估}}/\text{cm}$	$m_s = \frac{s_{\text{实测}}}{s_{\text{预估}}}$
				沉降量 /cm	平均固结度 (%)	沉降量 /cm	平均固结度 (%)			
1.6×11	AK0+850	3.5	934	92.1	86.0	15.0	100	107.1	71.0	1.51
1.5×15	AK7+300	3.5	880	127	85.8	21.0	100	148.1	72.0	2.06
2×7 (160等载)	CK96+400	6.3	620	84.6	95.6	3.9	100	88.5	66.0	1.34
2×9	CK118+000	4.8	759	77.2	84.8	13.8	100	91.0	88.0	1.03
2×12	DK119+073	3.6	930	42.4	83.1	8.6	100	51.0	60.7	0.84
2×12 (等载1.2)	DK119+700	3.0	1170	38.5	94.6	2.2	100	40.7	46.2	0.88

表2 A,B,C,D,E标段的其它处理方案各特征时段沉降量

处理方案	桩号	堤高 /m	期限 /d	施工期		运用期		实测推算 总沉降量 $s_{\text{实测}}/\text{cm}$	预估总沉 降量 $s_{\text{预估}}/\text{cm}$	$m_s = \frac{s_{\text{实测}}}{s_{\text{预估}}}$
				沉降量 /cm	平均固结度 (%)	沉降量 /cm	平均固结度 (%)			
砂垫层	AK4+450	2.86	1063	29.3	80.0	7.0	100	36.2	45.0	0.80
	AK16+250	6.24	847	86.9	94.8	4.7	100	91.6	76.0	1.20
堆载预压	AK11+400	3.62	1010	40.0	86.5	6.2	100	46.2	41.0	1.12
粉喷桩	AK13+200	4.32	963	23.6	83.9	4.5	100	28.1	35.0	0.80
堆载预压	BK60+472	4.81	1030	31.5	74.1	11.0	100	42.5	37.8	1.12
	BK66+470	3.51	930	35.5	93.9	2.3	100	37.8	35.4	1.07
砂垫层	CK95+400	4.30	345	33.2	68.9	15.0	100	48.2	46.0	1.05
粉喷桩	CK103+660	8.40	468	23.0	78.7	6.2	100	29.2	89.0	0.33
粉喷桩	CK158+400	4.69	837	21.6	94.7	1.2	100	22.8	45.0	0.50
砂垫层	DK119+800	4.20	1220	25.4	93.4	2.5	100	30.5	40.5	0.75
	EK177+680	6.32	760	24.3	85.6	4.1	100	28.4	42.0	0.68

曲线,曲线 1 为超固结土的现场压缩曲线。除曲线 1 之外其它曲线实质上都受到取样和试验操作时不同程度的扰动。

考察取自现场的原状试样,图 1 是初始孔隙比相同,但扰动程度不同的试样室内压缩曲线。可见,当把压缩试验结果绘在半对数坐标纸上时,试验曲线具有下列特征:①室内压缩曲线开始时平缓,随着压力的增大,明显地向下弯曲,继而近乎直线向下延伸;②不管试样的扰动如何,当压力较大时,它们的压缩曲线都近乎直线,且大致交于一点;③扰动越剧烈,压缩曲线越低,曲率越不明显。

因此,如果按通常的方法,直接利用室内压缩曲线选择沉降计算指标,则扰动程度越大,沉降越小,与实际情况正好相反。为了评估排水板引起的扰动程度和探讨沉降计算指标的选择,现以 K7+096, K7+302 两处典型断面的压缩试验成果进行分析讨论。

2.1 K7+302 断面分析

该断面地质剖面及物理力学指标如图 2 所示。通过压缩试验可得图 1 中试验曲线 3 (原状土样曲线)、曲线 5 及曲线 2,在 15 m 的软土层中共计做了 14 组试验。各层土的孔隙比在路基引起的附加应力作用下,可沿着不同的压缩途径 ($b' \rightarrow b''$, $b' \rightarrow c$, $b' \rightarrow e$) 减小,则 $\Delta e_2 < \Delta e_3 < \Delta e_5$,孔隙比大于 1.2 的土层累计达 11 m,表 3 为各土层在不同附加应力作用下孔隙比变化的结果。

表 3 在路堤附加应力作用下孔隙比的变化

土层 厚/m	e_0	e_2	e_3	e_5	Δe_2	Δe_3	Δe_5	$p_0 + \Delta p$
1.4	0.922	0.88	0.879	0.850	0.042	0.043	0.072	92.08
1.0	0.986	0.87	0.848	0.780	0.116	0.138	0.206	109.83
1.0	1.442	1.26	1.250	1.050	0.182	0.192	0.392	117.38
1.0	1.277	1.10	1.040	0.880	0.177	0.237	0.379	123.88
1.0	1.180	1.04	0.920	0.740	0.140	0.260	0.340	129.80
1.0	1.105	0.95	0.945	0.750	0.155	0.160	0.355	133.99
1.0	1.107	1.04	1.00	0.710	0.067	0.107	0.197	138.99
1.0	1.266	1.15	1.080	0.850	0.116	0.186	0.416	148.19
1.0	1.257	1.12	1.070	0.890	0.137	0.187	0.360	156.24
1.0	1.256	1.17	1.080	0.900	0.086	0.176	0.356	163.39
1.0	1.393	1.25	1.180	0.900	0.143	0.213	0.493	170.54
1.0	1.380	1.24	1.130	0.890	0.140	0.250	0.490	177.29
1.0	1.305	1.20	0.970	0.850	0.105	0.335	0.455	182.89
1.0	1.227	0.14	1.000	0.850	0.087	0.227	0.377	187.10

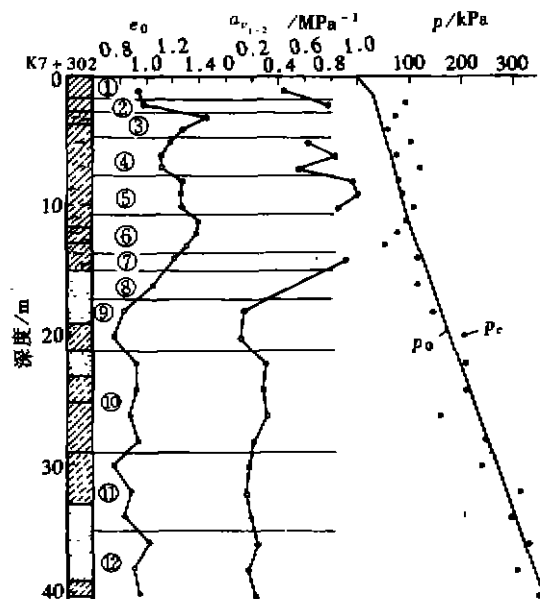


图 2 K7+302 断面土层柱状图物理力学指标
($H = 3.6 \text{ m}$)

注:① $\rho = 1.89$, $e_0 = 0.937$, $\alpha = 0.43$, $C_c = 0.308$; ② $\rho = 1.86$, $e_0 = 0.876$, $\alpha = 0.77$, $C_c = 0.3.8$; ③ $\rho = 1.72$, $e_0 = 1.376$, $\alpha = 1.51$, $C_c = 0.419$, $C_r = 1.14 \sim 1.54$; ④ $\rho = 1.80$, $e_0 = 1.132$, $\alpha = 0.66$, $C_c = 0.267$; ⑤ $\rho = 1.74$, $e_0 = 1.261$, $\alpha = 0.82$, $C_c = 0.379$; ⑥ $\rho = 1.72$, $e_0 = 1.353$, $\alpha = 1.28$, $C_c = 0.434$, $C_r = 1.33 \sim 1.40$; ⑦ $\rho = 1.76$, $e_0 = 1.211$, $\alpha = 0.89$, $C_c = 0.378$; ⑧ $\rho = 1.81$, $e_0 = 1.045$, $\alpha = 0.52$, $C_c = 1.179$; ⑨ $\rho = 1.89$, $e_0 = 0.793$, $\alpha = 0.11$, $C_c = 0.061$; ⑩ $\rho = 1.90$, $e_0 = 0.911$, $\alpha = 0.27$, $C_c = 0.154$; ⑪ $\rho = 1.89$, $e_0 = 0.816$, $\alpha = 0.16$, $C_c = 0.111$; ⑫ $\rho = 1.82$, $e_0 = 0.955$, $\alpha = 0.20$, $C_c = 0.154$ (单位: $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; α/MPa^{-1})

根据 Δe 值,求得不同扰动程度土的沉降量如下:原位为 72.0 cm,原状土为 131.8 cm,重塑土为 230.5 cm,实测沉降量为 148.1 cm。

可见, K7+302 断面的实测沉降量大于室内按原状土试验曲线计算的沉降量,说明塑料排水板的扰动影响较取样扰动为大,而实测沉降与正常固结土原位压缩的沉降相比,则大了 2.1 倍。这是不容忽视的,它不但增加填土方量,而且在其它条件都相同的情况下,为满足工后沉降量的要求不得不采用更高的固结度和延长预压时间的措施相配合,在沪宁高速公路沿线经塑料排水板处理的路段和桥头部位大多采用等载或超载预压措施来弥补。

2.2 K7+096 断面分析

K7+096 断面地质剖面及物理力学指标如图 3 所示。孔隙比大于 1.2 的土层累计仅有 6m。相应不同扰动程度的沉降量如下:原位为 33.0 cm,原状土为 100.7 cm,重塑土为 179.7 cm,实测沉降量为 61.2 cm。

可见,K7+096 断面沉降量仅大于原位压缩曲线求得的沉降量,说明在软土层不太厚的情况下,塑料排水板施工影响相对小得多。

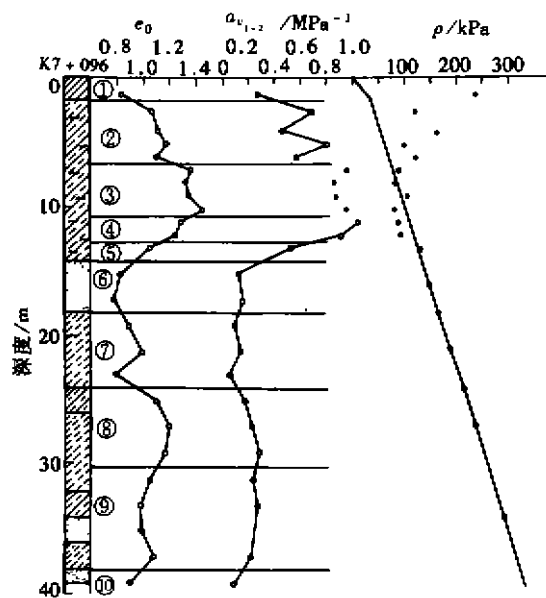


图 3 K7+096 断面土层柱状图物理力学指标
($H=3.3\text{ m}$)

注:① $\rho=1.92$, $e_0=0.832$, $a=0.20$, $p_c=2.38$, $C_c=0.229$; ② $\rho=1.81$, $e_0=1.113$, $a=0.63$, $p_c=1.27$, $C_c=0.277$, $C_c=1.36$; ③ $\rho=1.73$, $e_0=1.365$, $a=1.14$, $C_c=0.399$, $C_c=1.45$; ④ $\rho=1.75$, $e_0=1.268$, $a=0.98$, $C_c=0.355$; ⑤ $\rho=1.82$, $e_0=1.05$, $a=0.52$, $C_c=0.289$; ⑥ $\rho=1.89$, $e_0=0.805$, $a=0.14$, $C_c=0.072$; ⑦ $\rho=1.84$, $e_0=0.884$, $a=0.09$, $C_c=0.083$; ⑧ $\rho=1.76$, $e_0=1.10$, $a=0.23$, $C_c=0.140$; ⑨ $\rho=1.19$, $e_0=1.02$, $a=0.24$, $C_c=0.141$; ⑩ $\rho=1.82$, $e_0=0.90$, $a=0.09$, $C_c=0.64$ (单位: $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; a/MPa^{-1} ; p_c/kPa)

2.3 塑料排水板间距的影响

从实际和计算的沉降速率过程($v \sim t$)曲线来看,在不同的地基处理条件下,初期沉降速率相差较大,而持续一段时间后,沉降速率

很快衰减而相互接近。现场实测资料表明,1.5 m 和 3.0 m 井距的砂井处理地基后期的沉降增量和沉降速率相差甚微。表 4 列出了不同固结系数的软土层采用不同排水板间距达到 95% 固结度所需要的时间。排水板间距对固结速率的影响,主要反映在堆载预压的早期,只要经过一定时间,排水板间距的减小对固结度的增长影响甚微。因此,只要有足够的预压期,适当加大排水板间距,不会明显影响工后沉降量,反之,间距 1.5 ~ 1.6 m 比 2.0 m 的扰动影响要大得多。

表 4 软土层采用不同排水板间距达到

排水板 间距/m	95% 固结度所需要的时间 单位: d		
	$k_h=2.6$ $\times 10^{-3}\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$	$k_h=3.97$ $\times 10^{-3}\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$	$k_h=6.04$ $\times 10^{-3}\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$
1.0	10	30	25
1.3	75	45	30
1.6	110	80	60
2.0	190	130	85
2.5	350	200	150

3 结 语

a. 打设塑料排水板时,由于施工机具的振动、插板扩孔、上提等操作会对软土地基产生不同程度的扰动,增大了总沉降量和工后沉降量,这是不容忽视的。其扰动程度随孔隙比增大和排水板间距的减小而增强。为准确估算扰动的影响,应在插板后路堤填筑前钻孔取样,加做压缩试验,用取得的压缩参数估算总沉降量和验算工后沉降量。

b. 适当增大排水板的间距,对后期固结度的增长影响甚微,但可使插板对土基扰动引起增大沉降量的影响减小。

参考文献

- 1 《地基处理手册》编写组.地基处理手册.北京:中国建筑工业出版社,1989

(收稿日期:1997-12-15 编辑:张志琴)