

海沧大道软土路基施工侧向位移数据分析

阎 钊, 朱长歧, 王良民

(中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘 要: 就路堤侧向变形观测数据进行整理分析, 探讨软土层厚度、反压护道、填筑速率对侧向变形的影响规律, 确定临界填土高度。

关 键 词: 软土层厚度; 反压护道; 临界填土高度; 填筑速率; 最大侧向位移部位; 侧向位移速率

中图分类号: U 213 **文献标识码:** A

Analysis of lateral displacement in soft soil deposits under fill construction of Haicang highway

YAN Ke, ZHU Chang-qi, WANG Liang-min

(Institute of Rock and Soil Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: According to the observed results of lateral deformation in soft soil sediment under the embankment of Haicang Highway, the relationship of the lateral deformation influenced by the thickness of soft soil, back berm and rate of fill construction is investigated and the value of critical depth of fill is also presented.

Key words: thickness of soft soil deposit; back berm; critical depth of fill; rate of fill construction; rate of lateral displacement

1 引 言

沿海地区大多沉积了较深厚的海相、滨海相淤泥及淤泥质软土, 且分布不均。软土地基均有高压缩、低强度、低渗透等特点, 在这种地基上修筑高速公路, 除了合理的道路设计外, 在路基施工过程中对施工方法及填筑速率也提出了很高的要求。本文基于海沧大道一期工程全标段不同地质条件下侧向位移观测数据的整理与分析, 就软土层的深度、反压护道的影响及不同的填筑速率对侧向位移的影响进行探讨, 达到信息化施工的目的。

工程沿线地层结构自上而下可划分为: 砂层, 厚 0.0.3.0 m, 人工堆填; 软土层, 厚 1.0.22.0 m, 为淤泥、淤泥质高液限冲填土, 绝大部分呈流塑状, 厚度变化大; 下卧层, 为残积粘性土或粉质粘土。根据软土层厚度的变化, 设计方案中对软土层厚度大于 15 m 的地段采用粉体深层搅拌进行处理,

对大部分厚度小于 15 m 的地段采用袋装砂并结合土工织物进行处理。该软土层物理力学特性见表 1。

表 1 软土层物理力学性质指标统计
Table 1 Properties of the soft clay

项 目	最小值	最大值	平均值
厚度 H/m	1.0	14.4	7.7
含水率 $w/\%$	38.1	93.8	60.0
重度 $r/kN \cdot m^{-3}$	14.6	18.1	16.0
孔隙比 e	1.04	2.57	1.76
液限 $w_L/\%$	40.2	54.6	49.8
塑限 $w_p/\%$	22.0	30.0	27.2
压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	0.59	3.76	1.53
固结系数 $C_v/cm^2 \cdot s$	4.83E-04	2.25E-02	2.65E-3
灵敏度 S_r			5.5

2 软土层厚度对侧向变形的影响

由于软土层具有高压缩、低强度、低渗透性和高灵敏度的特点, 因此是沉降变形与侧向变形的关键土层, 其厚度对侧向位移的大小、位移速率及最大侧向位移发生部位均有较大的影响。在海沧大道

软土路基施工监测中共布置了 44 个观测断面，各断面两个坡脚处各设置一个深层侧向位移计(该仪器是美国产 Sinco50325M 型，精确度 ±0.01 mm)共计 80 个观测点，已进行超载预压的断面有 12 个。

把各断面所得到的观测数据按照大致相同的填筑荷载及填筑速率进行分类整理，得出结果见表 2。

表 2 不同淤泥深度及侧向位移值统计表

Table 2 The lateral displacement and thickness of soft clay

	K1+200		K1+300		K1+900		K2+200		K4+210	
	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2	
软土层厚度 h/m	4.6	3.2	3.6	9.5	11.8	6.5	5.9	6.4	7.0	
最大侧向位移点/m	2.0	2.0	2.0	5.5	4.0	2.5	2.0	4	2.5	
侧向最大位移值/mm	176.8	40.1	167.4	294.6	381.9	321.7	170.4	137.1	148.1	
荷载值/kPa	96.5	96.3		83.0		96.3		96.5		

注：侧向最大位移点自软土层顶面为 ±0.00。

图 1 位侧向位移随时间的变化规律，可见侧向位移值沿着软土层深度方向成弓形分布，随着荷载的增加而增加。因反压护道的影响，在低荷载状态下，最大位移点首先发生在软土层中下部，此阶段位移量约占目前总位移量的 1/3；当荷载值超过 54.04 kPa 时(填土高度 $h=2.8$ m)，最大位移点随荷载增加而逐渐上移至中段，结合表 2 中的数据可知，最大位移大致发生在软土层的中段；尽管路基变形仍没有稳定，但在荷载、填筑速率与地质条件大致相同的情况下，侧向位移量随软土层厚度增加而变大的趋势十分明显。

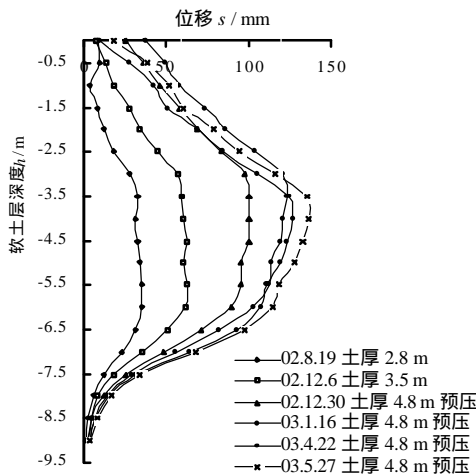


图 1 K4+210I₁ 侧向位移过程线

Fig. 1 Variation of lateral displacement profile at K4+210I₁

3 反压护道对侧向位移的影响

在海沧大道施工中，围堰除起着止水及施工临时道路的作用外，还起着反压护道的作用。护道顶

面大多宽 6~8 m，经大量抛石堆土填筑而成，其先期施工完成与自身的沉降对于路基侧向位移、位移速率及临界填土高度都有很大影响。因自然条件限制，某些段面只有临海一边设有反压护道，这为反压护道的作用提供了对比数据。

从表 3 中不难看出反压护道对侧向位移的产生较大的影响，在加载值、填筑速率与软土层厚度相差不大的情况下，各个断面有围堰与无围堰处最大侧向位移的比值介于 2.91~4.73 之间。

表 3 路基一侧设有反压护道的断面侧向位移值统计表

Table 3 Value of lateral displacement in soft clay be/or net adjacent to the cotterdam

段面号	测点	软土层厚度/m	反压护道	荷载值/kPa	最大位移值 S/mm	S _无 /S _有
K1+300	I_1	3.2	有	96.5	$S_{有} = 40.1$	4.17:1
	I_2	3.6	无	96.5	$S_{无} = 167.4$	
K3+300	I_1	4.9	无	106.2	$S_{无} = 452.2$	4.73:1
	I_2	5.0	有	106.2	$S_{有} = 95.7$	
K3+810	I_1	8.4	无	77.2	$S_{无} = 509.0$	2.91:1
	I_2	6.5	有	77.2	$S_{有} = 175.2$	
K4+010	I_1	10.5	无	75.3	$S_{无} = 489.3$	3.94:1
	I_2	12.4	有	75.3	$S_{有} = 124.3$	

为说明反压护道对临界填土高度和侧向位移速率的影响，就 K3+300 断面两个测点数据进行比较见图 2、图 3。

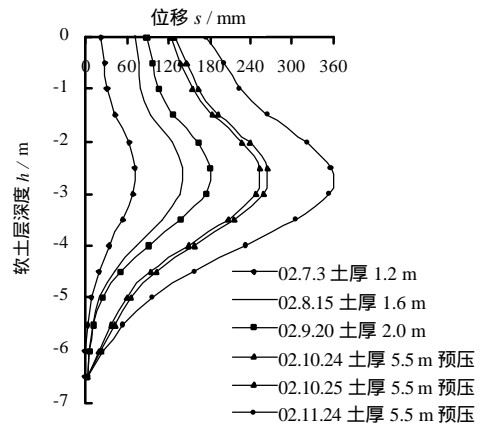


图 2 K3+300I₁ 侧向位移过程线(无反压护道)

Fig. 2 Variation of lateral displacement profile at K3+300I₁

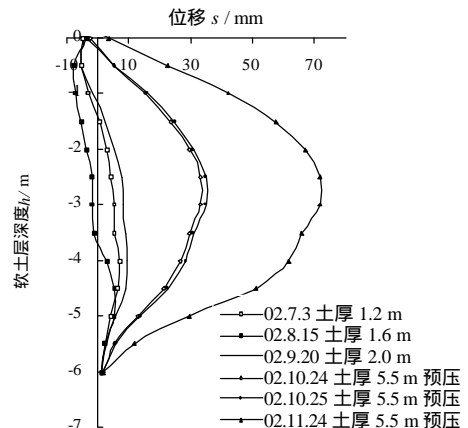


图 3 K3+300I₂ 侧向位移过程线(有反压护道)

Fig. 3 Variation of lateral displacement profile at K3+300I₂

对图 2、图 3 进行对比，两个测点的侧向位移量相差很大；当加载值小于 38.6 kPa 时(填土高度 $h=2.0$ m)， I_2 测点(有反压护道)位移值远远小于 I_1 测点(无反压护道)位移值，仅占其目前总位移量的 1/7，并且尚未达到临界填土高度；而 I_1 测点位移量却占了其目前总位移量的 1/3，已基本达到临界填土高度。

表 4 K3+300 断面侧向位移观测数据表
Table 4 The observed data of lateral displacement profile at K3+300

日期	本次填土厚度 /m	累计填土厚度 /m	累计位移值 /mm	平均位移速率 /mm·d	日期	本次填土厚度 /m	累计填土厚度 /m	累计位移值 /mm	平均位移速率 /mm·d
I_1 (无反压护道)					I_2 (有反压护道)				
6,8	/	0.9	47.1	/	6,8	/	0.9	3.5	/
7,3	0.3	1.2	70.6	0.78	7,3	0.3	1.2	4.4	0.03
8,15	0.4	1.6	138.7	1.62	8,15	0.4	1.6	7.90	0.08
9,20	0.4	2.0	174.7	1.0	9,20	0.4	2.0	7.55	-0.01
10,24	2.0	4.0	248.5	2.17	10,24	2.0	4.0	33.3	1.97
10,25	1.5	5.5	259.1	10.6	10,25	1.5	5.5	41.35	2.68
11,24	/	5.5	353.8	3.16	11,24	/	5.5	72.0	1.02

由表 4 数据比较可知,因为反压护道的作用, I_2 测点的总位移量、每级加载的位移速率及预压期平均位移速率均远远小于 I_1 测点；在施加较大的超载时,该测点的最大位移速率也低于道路施工规范所要求的 5 mm/d 的控制速率。可见，反压护道不仅显著降低了侧向位移及位移速率，减少附加沉降，还可以提高临界填土高度和填筑速率，加快施工进度；同时，该断面最后一次加载中，最大位移速率已达到了 10.6 mm/d，超出了规范要求，没有引起路基失稳，也反映了反压护道对于防止路基失稳作用明显。

4 临界填土高度与填筑速率对侧向变形的影响

对于软土路基而言，确定合理的临界填土高度和填筑速率是至关重要的，填筑速率应以临界填土高度为界采用不同值，填土高度低时采用较高的填筑速率，反之则降低填筑速率，使之与路基的强度增长相适应；过快的填土速度会破坏路基软土结构，加大瞬时沉降量。在本次施工中，K4+010 断面施工为抢进度，9 d 内填土高度为 2.2 m，填筑速率为 6.5 kPa/d，其实测侧向位移数据见图 4 及表 5。

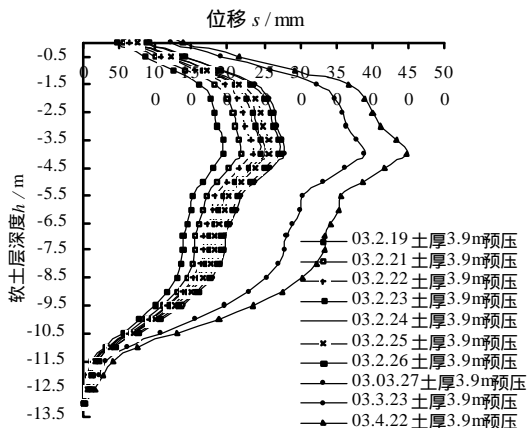


图 4 K4+010 I_1 侧向位移过程线
Fig. 4 Variation of lateral displacement profile at K4+010 I_1

表 5 K4+010 断面超载预压侧向位移观测数据表
Table 5 The observed data of lateral displacement profile at K4+010

项 目	日期月/日	累计位移	位移速率 /mm·d ⁻¹
本次填土厚度	2.19	194.75	/
	2.21	218.15	11.7
推 平	2.22	233.65	15.5
	2.23	243.6	9.95
本次填土厚度 1.2 m	2.24	250.55	6.95
	2.25	258.10	7.55
	2.26	272.05	13.95
	2.27	278.85	6.8
推 平	3.23	389.25	4.60
	4.22	448.65	1.98

由图 4 及表 5 可知，在高填筑速率、大荷载作用下，路基软土层中发生了很大的塑性变形，位移速率随快速加载而急剧上升；停止加载后，在头 2~3 d 里，速率的衰减也很快，但其后期的衰减变得缓慢，一个月后仍然维持在 4.6 mm/d 左右，比其它测点的同期位移速率高(约 2.38 mm/d)，加载的 9 d 内位移量占目前总位移量的 17%；虽然加载时，没有引起路基剪切破坏，这种填筑速率会加大附加沉降，对路基的固结沉降必然产生负面影响。

表 6 各段面侧向位移加载时期平均速率统计表
Table 6 The mean value of rate of lateral displacement

A	填土高度 h/m	$H < 1.0$	$1.0 < h < 2.5$	$2.5 < h < 4.0$	$4.0 < h$
B	加荷速率/ kPa·d	0.34	0.25	2.25	2.36
C	加荷速率/ kPa·d	0.34	0.25	2.25	2.36
D	C/B /mm·kPa	0.62	1.32	1.98	9.1

把各个断面加载的填土高度分成 4 个阶段，统计已施工断面各阶段的填筑速率和侧向位移速率于表 6 中，可以看出多数断面在填土荷载小于 48 kPa

震时由生产井释放孔隙水压力, 这一点对大堤的稳定也是有利的。

6 黄河大堤稳定性评价

开采条件下黄河大堤附近水位下降 3.8~10.1 m, 根据 Terzaghi 一维固结理论预测, 黄河大堤下土体的最终压密量为 13.50~22.23 cm, 由粘质粉土的压密固结曲线可知, 黄河大堤下土体, 在水源地开采水位稳定后很快就处于稳定状态。然而, 水源地投产后, 地下水稳定流场的形成是一个较长时间的渐变过程, 据水位预报资料, 开采 3 年后, 漏斗中心水位趋于稳定, 因此, 地面沉降也是一个较长时段的缓变过程。又因黄河大堤并非刚性体, 开采浅层地下水所诱发的地面缓慢沉降, 不会对大堤造成危

害。同时, 开采后黄河大堤地下水位降低可消除或减轻地震液化灾害, 对大堤稳定是有利的。通过对 95 滩、八堡、石桥水源地 10 年来的观测资料的分析, 与预测情况基本相符, 且大堤更趋于稳定。

参 考 文 献

- [1] 房佩贤, 卫中鼎, 廖资生. 专门水文地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [2] 陈书申, 陈晓平. 土力学与地基基础[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1997.
- [3] GB50287-99, 水利水电工程地质勘察规范[S].
- [4] GB50011-2001, 建筑抗震设计规范[S].

上接第 467 页

时(填土高度 $h=2.5$ m), 侧向位移速率随荷载的增加而缓慢增长, 路基处于弹性状态; 当填土荷载超过此值时, 即便填筑速率变化不大, 侧向位移速率也有明显增长, 路基进入弹塑性状态, 该值所对应的填土高度($h=2.5$ m), 应为临界填土高度, 这与分析沉降曲线和孔隙水压消散曲线得出的结果基本一致。

5 结 论

(1) 在地层结构、外加荷载及填筑速率大致相同的情况下, 侧向位移沿着软土层深度成弓形分布, 并随着深度增加而增大; 最大侧向位移发生在软土层中部。

(2) 反压护道在软土路基施工中作用明显, 不仅极大限制了侧向位移量和位移速率, 还显著提高

仅极大限制了侧向位移量和位移速率, 还显著提高临界填土高度。

(3) 过高的填筑速率会明显增加路基侧向位移及其速率, 加大附加沉降, 还严重影响着软土路基的稳定性。

参 考 文 献

- [1] 储岳虎, 赖永松. 厦门海沧大道岩土工程勘察报告[R]. 福建省地质工程勘察院, 2000.
- [2] 国家技术监督局, 中华人民共和国建设部. 岩土工程勘察规范[S]. 1994.
- [3] 高大钊. 土力学与基础工程. 同济大学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [4] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.