

软土路基沉降与软土层厚度及填土高度的关系分析

王良民, 朱长歧, 阎 钊

(中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘 要: 本文就路基沉降观测资料进行深入分析, 总结出路基沉降与软土层厚度及填土高度的关系和规律, 并分析了原因, 推导出计算路基沉降的公式, 提出了判断填土速率快慢和填土高度变化大小的新方法。

关 键 词: 淤泥厚度; 填土高度; 沉降系数; 后期固结沉降系数; 沉降系数临界点; 压缩速率; 瞬时沉降; 固结沉降; 系数法

中图分类号: U 213.1⁺ 4

文献标识码: A

Analysis for settlement of embankment connected with soft soil thickness and fill depth on soft soil road bed

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

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

Abstract: On the base of analysis of observed data of Settlement on embankment, the relation between the settlement of embankment and the depth of subsurface soft soil and the depth of fill is investigated, the authors also derivated a new formula for calculation of settlement of embankment, and put forward a new method to control the rate and depth of fill construction.

Key words: depth of mucky soil; depth of fill; coefficient of settlement; Critical coefficient of settlement; rate of compressibility; Immediate settlement; coefficient of consolidation; method of coefficient

1 概 述

海沧大道全长 5.85 km, 道路红线宽度 63 m。路基软土层为海相淤泥和淤泥质土, 均为流塑状, 具有高压缩、低强度、低渗透性及高灵敏度等特征, 且埋深较浅。软土层之下为硬塑的粉质粘土或残积粘性土, 强度较高, 工程性能较好。设计中采用粉喷桩和袋装砂井预压加固, 在袋装砂井预压加固地段共布设了 40 多个观测断面对路基进行实时观测。实测路基沉降结果与理论计算结果悬殊较大。本次就路基沉降与软土层厚度(下称淤泥层)及填土高度的关系进行分析。

2 路基沉降与淤泥层厚度及填土高度的关系

路基的沉降随淤泥层厚度的增大及填土高度

的增高而增大, 在此先假设如下关系式:

$$s_t = k_s H_t h \quad (1)$$

$$s_c = k_c H h \quad (2)$$

式中 s_t 为某一时刻填土高度下, 沉降速率大于 3 mm/d 对应的总沉降量(cm); s_c 为路堤填筑完毕

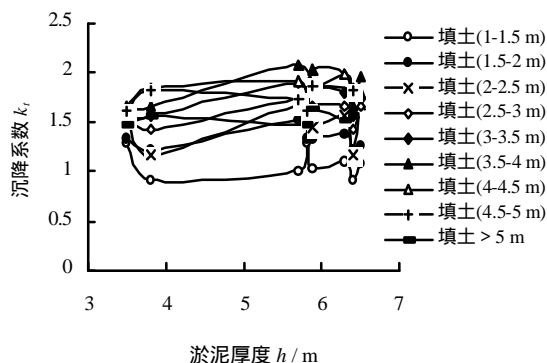


图 1 沉降系数 淤泥厚度关系图($h = 7.5$ m)

Fig. 1 Changes of Coefficient of Settlement with depth of Soft clay ($h = 7.5$ m)

后, 沉降速率在 3 mm/d ~ 0.3 mm/d 时的沉降量 (cm); k_i 为沉降系数; k_c 为后期固结沉降系数; H_t 为某一时刻的填土高度(m); H 为路堤填土总高度 (m); h 为淤泥层厚度(m)。

在此将淤泥层厚度划分为 7.5 m 和 >7.5 m 两个区域进行分析。

2.1 淤泥厚度 h 7.5 m 时

2.1.1 沉降系数 k_i 与淤泥厚度 h 的关系

为了便于分析, 将填土厚度平分为 9 层, 每层厚度为 0.5 m。

由图 1 可知: 当填土厚度一定时, 沉降系数 (k_i) ~ 淤泥厚度 h 曲线趋于一条水平直线, 说明沉降系数趋于一常数, 即沉降系数不随淤泥厚度的变化而变化。现对各个填土厚度的观测数据进行统计, 沉降系数 k_i 及后期固结沉降系数 k_c 见表 1。

从表 1 中可以看出, 变异系数介于 0.06 ~ 0.13 之间, 其变异性低 ~ 很低。说明可以作以上统计计算, 即假设的公式 $s_i = k_i H_i h$ 成立。

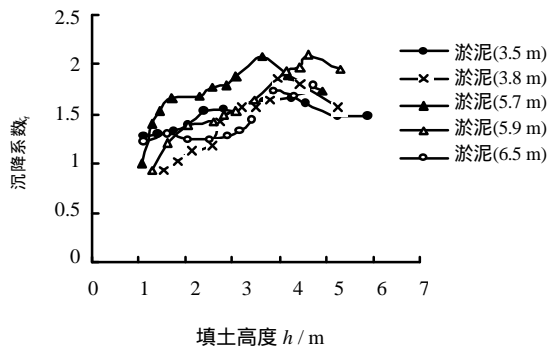


图 2 沉降系数 填土厚度关系图

Fig. 2 Changes of coefficient of settlement with depth of fill

2.1.2 沉降系数 k_i 与填土厚度 H 的关系

由图 2 可知: 沉降系数 k_i 随填土的增高而缓慢增大, 当填土高度 > 4.0 m 左右时, 沉降系数开始逐渐减小。对此作如下分析:

$$s_{i0} = k_{i0} h \tag{3}$$

$$s_{i1} = k_{i1} H_1 h \tag{4}$$

表 1 沉降系数 k_i 和后期固结沉降系数 k_c

Table 1 Coefficients of settlement (k_i) and critical Settlement (k_c)

剖面号	淤泥厚度 / m	沉降系数 k_i									后期固结沉降系数 k_c
		1.0 ~ 1.5	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0	3.0 ~ 3.5	3.5 ~ 4.0	4.0 ~ 4.5	4.5 ~ 5.0	>5.0	
K_2+000	5.9	0.924	1.201	1.421	1.499	1.646	1.937	1.971	2.107	1.947	0.515
K_2+100	6.5	1.22	1.234	1.246	1.279	1.448	1.731	1.681	1.786		0.556
K_2+200	5.7	1.007	1.525	1.680	1.722	1.884	2.072	1.905	1.734		0.525
K_2+280	3.5	1.274	1.332	1.531	1.550	1.549	1.617	1.663	1.612	1.478	0.456
K_2+520	6.4	1.026	1.337	1.453	1.648	1.828	2.035	1.822	1.877	1.642	0.586
K_2+600	6.3	1.091	1.387	1.564	1.669	1.801	1.985	1.985		1.521	0.534
K_2+700	3.8	0.922	1.029	1.178	1.422	1.574	1.650	1.856	1.814	1.557	0.452
K_2+800	5.8	1.073	1.258	1.682	1.668	1.761	1.963	1.790			0.532
	平均值 f_m	1.067	1.310	1.469	1.557	1.686	1.874	1.834	1.765	1.633	
	标准差 σ_f	0.128	0.110	0.185	0.151	0.155	0.180	0.121	0.100	0.186	
	变异系数 \bar{a}	0.119	0.084	0.126	0.096	0.092	0.096	0.066	0.057	0.114	
注:	修正系数 \bar{a}_s	0.919~ 1.081	0.943~ 1.057	0.915~ 1.086	0.935~ 1.065	0.938~ 1.062	0.935~ 1.065	0.956~ 1.044	0.962~ 1.054	0.923~ 1.108	
	标准值(f_i) k_i	0.981~ 1.153	1.236~ 1.384	1.344~ 1.594	1.456~ 1.659	1.581~ 1.791	1.752~ 1.996	1.752~ 1.916	1.697~ 1.860	1.507~ 1.810	
K_1+920	8.4	0.862	1.143	1.482	1.549	1.823	1.911	1.910			
K_4+500	8.8	0.860	0.960	1.001	1.296	1.420	1.671	1.658	1.700	1.578	
K_5+350	9.2	0.532	0.834	0.848	0.855	0.888	1.125	1.409	1.365		
K_5+250	14.50	0.525	0.636	0.766	0.808	0.900	1.070	1.124			
K_0+420	20.6	0.591	0.607	0.786	0.954	0.879					
	平均值(三组)	0.550	0.692	0.800	0.872	0.889					

$$s_{t1} = s_{t0} + \Delta s_1 \quad (5)$$

$$H_1 = H_0 + \Delta H_1 \quad (6)$$

当填土厚度 $H = 4.0 \text{ m}$:

$$k_{t1} > k_{t0} \quad (7)$$

联立(3), (4), (5), (6), (7)式得: $(\Delta s_1 / \Delta H_1) > s_{t0} / H_0$

由此类推得:

$$(\Delta s_n / \Delta H_n) > (\Delta s_{n-1} / \Delta H_{n-1}) \quad (8)$$

假设每次填土厚度相同即: $\Delta H_n = \Delta H_{n-1}$ 则 $\Delta s_n > \Delta s_{n-1}$ 当填土 $> 4.0 \text{ m}$ 左右时, 有 $s_n < s_{n-1}$ 。由以上推算结果可知: 当填土高度 $H = 4.0 \text{ m}$ 左右时, 沉降速率随填土增长较快; 当填土高度 $H > 4.0 \text{ m}$ 时, 沉降速率随填土减小较快。即在填土高度 $H = 4.0 \text{ m}$ 时, 随着填土的增高, 可能出现如下情况: (a) 淤泥层中由于填土引起的孔隙水压力消散速率增大; (b) 很短时间内, 由于剪应变引起淤泥层侧向挤压加大; (c) 每次填土后, 沉降速率衰减缓慢, 从而引起的沉降量较大。当填土高度 $> 4.0 \text{ m}$ 时, (a) 沉降速率衰减较快; (b) 软土层上部已达到一定程度的固结, 地基强度增长, 沉降速率开始减小, 引起沉降系数减小。淤泥层的排水、压缩程度及侧向位移速率可以从现场埋设的孔隙水压力计、分层沉降仪和测斜仪的观测数据表现出来。由沉降观测数据可知填土速率大, 分层填土厚度大时, 沉降系数 k_t 增长较快, 在沉降系数-填土高度关系曲线图上反映沉降系数 k_t 上升较快, 这是由于填土速率大或分次填土较厚时, 由于剪应变引起的淤泥层侧向变形较大, 造成瞬时沉降量较大。因此可用沉降系数的变化情况来判断填土速率和分次填土高度的大小。

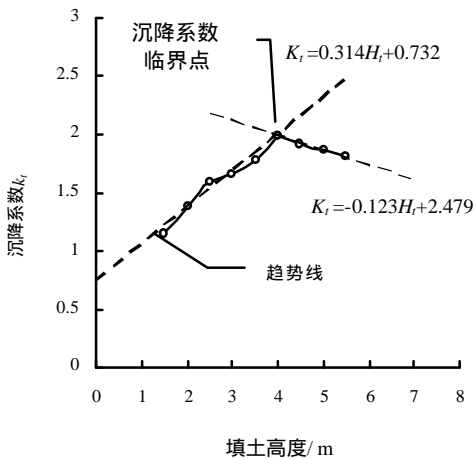


图3 修正沉降系数-填土厚度关系图
Fig. 3 Changes of modified coefficient of settlement with depth of fill

由图3可以看出, 沉降系数的变化与填土厚度成线性关系, 在填土高度为 4 m 左右时出现临界点。两个线性关系式为:

$$k_t = 0.314H_t + 0.732 \quad (H_t < 4.0 \text{ m}) \quad (9)$$

$$k_t = -0.123H_t + 2.479 \quad (H_t > 4.0 \text{ m}) \quad (10)$$

由图3可以看出, 沉降系数的变化与填土厚度成线性关系, 在填土高度为 4 m 左右时出现临界点。两个线性关系式为:

$$k_t = 0.314H_t + 0.732 \quad (H_t < 4.0 \text{ m}) \quad (11)$$

$$k_t = -0.123H_t + 2.479 \quad (H_t > 4.0 \text{ m}) \quad (12)$$

2.1.3 后期固结沉降系数 k_c 与淤泥厚度 h 的关系

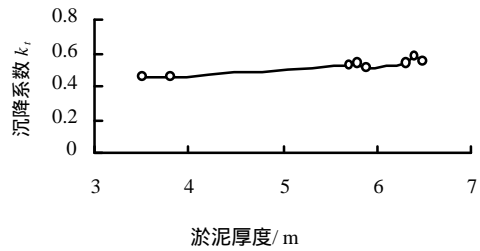


图4 后期固结沉降系数-淤泥厚度关系图 $h = 7.5 \text{ m}$
Fig. 4 Coefficient of critical settlement and depth of subsurface soft clay ($h = 7.5 \text{ m}$)

当淤泥厚度 $h = 7.5 \text{ m}$ 左右时, 从图4中可以看出后期固结沉降系数随淤泥厚度缓慢增大, 且沉降系数值较小, $k_c = 0.5 \sim 0.6$, 这是由于路堤填筑完后, 后期固结沉降量较小, 且其随淤泥厚度的变化量较小。由以上分析可知假设的公式 $s_c = k_c H h$ 成立。

2.1.4 最终沉降量计算(系数法)

最终沉降量(s_∞)计算包括两个方面; 即路堤填筑完后的总沉降量(s_t)和后期固结沉降量(s_c)。公式如下:

$$s_\infty = (k_t + k_c) H h \quad \text{其中: } s_t = k_t H_t h \quad (\text{此时 } H_t = H) \quad s_c = k_c H h, \text{ 即:} \quad (13)$$

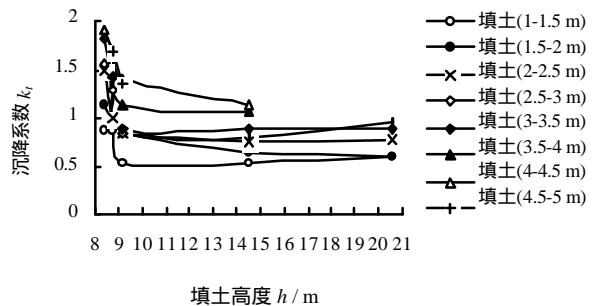


图5 沉降系数-淤泥厚度关系图 ($h > 7.5 \text{ m}$)
Fig. 5 Changes of coefficient of settlement with depth of subsurface soft clay ($h > 7.5 \text{ m}$)

k_i 取表 1 中的上限值或取公式(10)、(11)计算的沉降系数 k_i , 当淤泥厚度 $h \leq 5$ m 时 k_c 取 0.5 , 当淤泥厚度 > 5 m 时 k_c 取 0.6。经用实测数据验算 , 系数法计算结果与实测结果吻合较好。

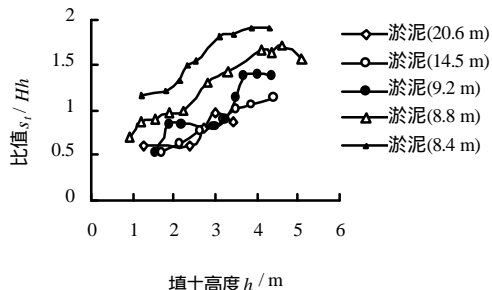


图 6 沉降系数 ~ 填土高度关系图($h > 7.5$ m)
Fig. 6 Changes of coefficient of settlement with depth of fill ($h > 7.5$ m)

2.2 淤泥厚度 $h > 7.5$ m 时

2.2.1 沉降系数 k_i 与淤泥厚度 h 的关系

从图 5 中可以看出 , 填土高度一定时 , 沉降系数 k_i 随淤泥厚度的增大而减小 , 淤泥厚度在 8~9 m 左右时沉降系数 k_i 减小速度较快 , 淤泥厚度 $h > 9$ m 时 , 沉降系数 ~ 淤泥厚度关系曲线趋于一水平直线 , 即 k_i 趋于一常数 , 计算平均值见表 1。

2.2.2 沉降系数 k_i 与填土高度 H 的关系

从图 6 中及表 1 中可以看出 填土高度 $H \leq 4.5$ m 左右时 , 沉降系数随填土的增高而增大 , $H > 4.5$ m 时 , 沉降系数减小 , 淤泥厚度 > 15 m 时 , 有待继续观测。

3 结 论

沉降系数 k_i 随填土高度 H 的增大而缓慢增大 , 填土高度增至一定高度时(4.0~4.5 m 左右) , 沉降系数缓慢减小 ; 填土高度一定时 , 当淤泥厚度 $h \leq 7.5$ m 左右 , 沉降系数 k_i 趋于一常数 ; 淤泥厚度在 8~9 m 左右时 , 沉降系数 k_i 衰减较快 , 淤泥厚度 $h > 9$ m 时 , 沉降系数 k_i 趋于一常数。

(2) 用沉降系数的变化情况可判断填土速率和分层填土厚度的大小。

(3) 计算最终沉降量时 , 路堤填筑完毕前运用公式(1)计算沉降量的条件为 : (a) 填土高度 ≤ 1.0 m ; (b) 沉降速率 > 3 mm/d。运用公式(2)计算后结沉降量的条件为 : 沉降速率 < 0.3 mm/d。沉降期固量计算值与实测值较吻合。尤其在填土速率较小(0.724~0.827 kPa/d)且填土时间间隔较为均匀时 , 两者更接近。

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[M]. 同济大学: 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.