

# 塑料板排水法在东北软土路基中的应用

杨文甫 佻 磊 李 勇

(吉林大学朝阳校区建设工程学院, 长春 130026)

**【摘要】** 该工程是塑料板排水法在东北寒冷地区高等级公路软土路基处理上的首次应用并取得了成功。通过研究得出塑料板排水固结与粘土层厚度的关系: 在一定厚度范围内粘性土土层越厚, 固结效果越好, 在土层较薄的情况下固结的效果不是很明显。此次的成功为以后塑料板排水法在东北地区的应用和推广提供一种参考。

**【关键词】** 塑料板排水; 粘土层厚度; 固结

**【中图分类号】** U 412

## Application of Prefabrication Drains in the Soft Soil Foundation in the Northeast

**【Abstract】** Prefabricated drains is successful applied as a drainage system in the soft soil foundation improvement in the northeast firstly. Through this project, the relationship between the consolidation of prefabrication drains and the thickness of clay is concluded; in some region, the more thickness of clay, the more effect we can found, on the contrary, the effect is not obvious in the thin clay. It can be refered for the similar engineering in northeast.

**【Key words】** prefabricated drains; thickness of clay; consolidation

### 0 引言

塑料板排水法源于美国丹尼尔·莫兰 (Daniel, E. Moran) 1925年提出的砂井预压固结法。塑料板排水法属于地基处理中的排水固结预压法。它是通过在饱和软土地基中打设可排水的塑料板, 使其与预先铺好的砂垫层共同组成排水系统, 然后在砂垫层上加载预压。软土中的孔隙水在水力梯度作用下, 通过塑料板向砂垫层排出, 超孔隙水压力逐渐消散, 地基排水固结, 强度得到增长, 沉降逐渐发展, 提高了地基的承载力和稳定性, 减少或消除了建筑物修建后的沉降和不均匀沉降。

塑料板排水法在我国有着许多成功的经验, 但在东北寒冷地区此种方法从没使用过, 此次塑料板排水加固路基的方法在东北寒冷地区尚属首次。

### 1 工程概况

研究区域位于哈尔滨绕城公路西段, 在桩号为 K47 与 K48 之间的路基上, 此段路基原为哈尔滨市民用与工业垃圾存放地, 路基附近有养鱼池。哈尔滨年温差超过  $70^{\circ}\text{C}$ , 最大冻深  $1.78 \sim 2.05 \text{ m}$ 。地下水稳定水位埋深  $0.46 \sim 1.35 \text{ m}$ 。场地内钻孔控制深度为第四纪松散堆积物, 主要为淤泥、粉质粘土、粉土和中细砂组成冲积相地层。各土层的特征如下:

第 I 层人工填土。人工填土是场地的表层覆盖土 (局部为杂填土), 其余为素填土。素填土以碎石、砂为主, 结构松散, 粒径为  $20 \sim 40 \text{ mm}$  的碎石约占总质量的三分之一左右。

第 II 层泥炭质淤泥。因先期施工对试验场地进行了处理, 所以钻孔所揭露的泥炭质淤泥层厚度变化较大, 在有些孔位未见该层土。

该层土呈黑色,含有腐烂植物根系。

第II层粉质粘土。粉质粘土层厚度变化不大,灰色,含有机质,局部夹细砂。

第IV层粉土。在该试验场地内,钻孔所揭露地层多处是粉质粘土与粉土互层,所以粉土层厚度变化较大,局部钻探孔处发生尖灭,灰色。

第V层中细砂。多数勘察孔揭露的细砂层与中砂层交互出现,土层上部多处夹粘土。灰色,饱水,松散程度从松散到中密不等。各土层物理力学性质见表1。

表1 各土层物理力学参数表

名称	厚度 $h/m$	孔隙比 $e$	压缩指数 $C_c$	压缩系数 $a_{1-2}/Mpa^{-1}$ (纵向/水平)	渗透系数 $k/(cm^2 \cdot s^{-1})$
人工填土	0.2~2.7	1.1	0.5		
泥炭质淤泥	1.5	0.901	0.24	1.38	$3.23 \times 10^{-7}$ $/3.84 \times 10^{-7}$
粉质粘土	0.4~0.7	0.839	0.2	0.55	$4.1710^{-6}$ $/1.66 \times 10^{-6}$
粉土	1.9	0.9	0.2	0.39	$8.55 \times 10^{-6}$
中细砂		0.71	0.5		$1.26 \times 10^{-4}$ $/1.49 \times 10^{-6}$

### 2 沉降量计算结果分析

路堤荷载分两次完成,第一次加至2.78 m高处,第二次加至10 m高处。路基的最后剖面图见图1。

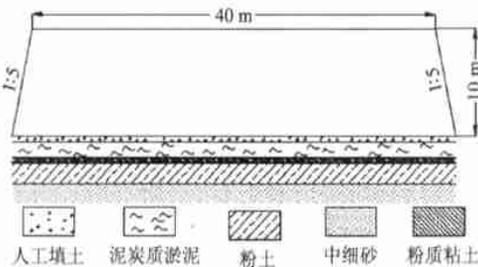


图1 路基剖面示意图

本次研究的最终沉降量计算采用分层总和法<sup>[1]</sup>:

$$s = \frac{a}{1+e_1} \sigma_z h = \frac{\sigma_z}{E_s} h \quad (1)$$

式中: $\alpha$ 和 $E_s$ 为压力由 $\sigma_{cz}$ 增加至 $\sigma_{cz} + \sigma_z$ 的压缩系数和压缩模量, kPa; 其中:

$\sigma_{cz}$ 为水平土层的平均有效自重压力(顶面与底面有效自重的平均值), kPa;

$\sigma_z$ 为水平土层基础中心轴线上的平均有效附加压力(顶面与底面有效附加压力的平均值), kPa;  $e_1$ 为相应的天然孔隙比;  $h$ 为水平土层的厚度, cm。

本次共计算了41个孔上的沉降量(轴线上17个,轴线外24个)。研究区内最终沉降量等值线见图2(图中单位cm)。轴线上17个孔的最终沉降量曲线见图3。

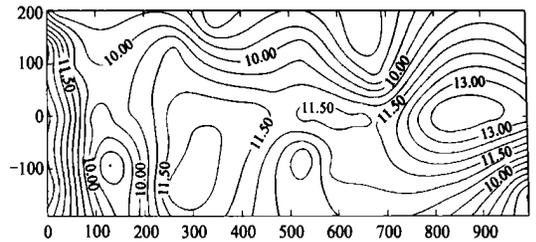


图2 总沉降量等值线图

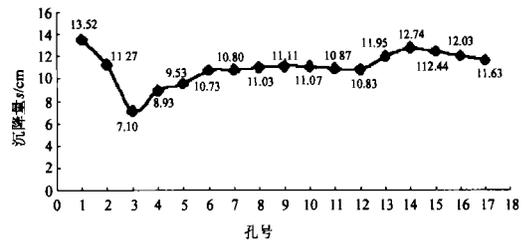


图3 轴线上17个孔的总沉降量曲线图

由图2可看出,路基中心轴线上的沉降量较大,向路的两侧逐渐减小。图3中1号孔及14号孔由于粘性土层较厚,所以其沉降量也较大。相反,3号孔粘性土层最薄,最终沉降量也最小,只有7.1 cm。

### 3 固结度计算结果及分析

考虑竖向和径向排水,固结度计算公式为<sup>[2,3]</sup>:

$$U_{rz} = 1 - (1 - U_z)(1 - U_r) = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\left[ \frac{8}{F(n)} \frac{C_h + \pi^2 C_v}{d_e^2 4H^2} \right] t} \quad (2)$$

$$F_n = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

$$d_e = \sqrt{\frac{4}{\pi}} l = 1.13 l;$$

$$n = d_e / d_w; T_h = \frac{Ct}{d_e^2}; d_w = \frac{2(b + \delta)}{\pi} \alpha$$

式中:  $d_w$  为塑料排水板等效直径;  $\alpha$  为换算系数(通常取 0.6~0.9, 本工程  $\alpha$  取 0.8);  $d_e$  为砂井的有效直径;  $C_h$ 、 $C_v$  分别为  $x$ 、 $y$  坐标方向的固结系数;  $l$  为砂井间距(本工程中  $l=1.0$  m);  $H$  为土层厚度;  $\delta$ 、 $b$  为塑料板的厚度和宽度(本工程中  $b=100$  mm,  $\delta=4$  mm)。

设置和未设置排水板在 80 d 时的固结度等值线图(图中单位为 cm) 见图 4、图 5。

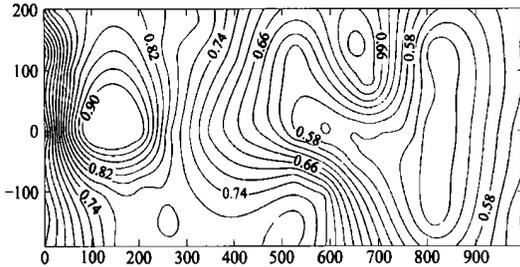


图 4 未设排水板时粘性土在 80 d 时的固结度等值线图

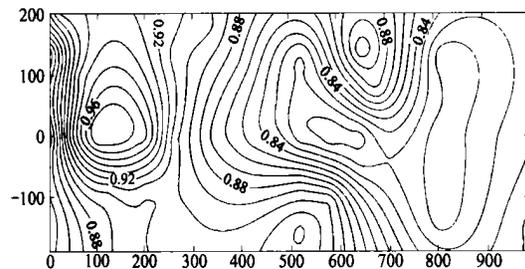


图 5 设排水板时粘性土在 80 d 时的固结度等值线图

图 4、图 5 中, 纵坐标为 0 的点对应路基轴线, 加排水板前后的等直线的形状基本相似, 两等值线图均对称于轴线, 固结度从轴线往两侧逐渐减少。不同的是在相同时间内(80 d), 设排水板之后的固结过程明显加快, 这种效果在粘性土较薄的地方((0, 200)、(0, -200)、(200, -200)、(200, 200) 围成的区域)不是很明显。在粘性土较厚的其它区域, 其影响效果是显而易见的, 固结度大约提高了

24 %。

#### 4 固结速率的计算结果及分析

由于砂土层的沉降主要是瞬时沉降, 加载后沉降在短时间内完成。因此可认为打排水板对砂土没有影响。在不同厚度的粘性土中, 排水板对其沉降速率的影响见图 6 图 7。

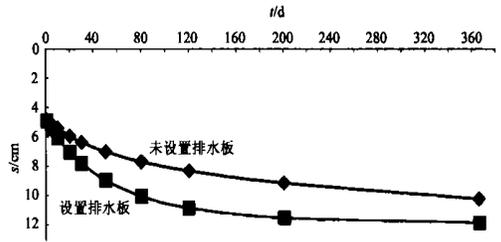


图 6 厚层粘性土加排水板前、后的  $s-t$  曲线

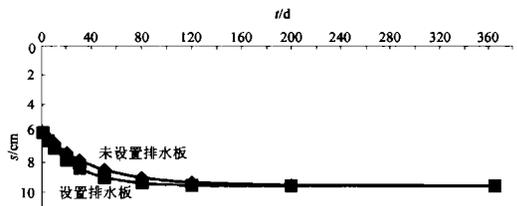


图 7 薄层粘性土加排水板前、后的  $s-t$  曲线

图 6、图 7 表明, 沉降量在加载初期变化均较大, 随着时间的推移, 沉降量增量逐渐减小, 从图中反映即为斜率逐渐减小, 直至达到稳定。加排水板之前, 厚层粘性土的  $s-t$  曲线较平缓, 斜率(完全固结之前的曲线斜率)较小, 说明其沉降较慢, 而薄层粘性土的  $s-t$  曲线则较陡, 斜率(完全固结之前的曲线斜率)较大。加排水板之后的  $s-t$  曲线均位于加排水板之前的  $s-t$  曲线之下, 也就是加排水板后, 在相同的时间内, 同一土层的沉降量(达到沉降稳定之前)明显增大。两曲线间距即为加排水板前、后同一时刻同一土层沉降量之差, 间距越大, 差值也越大。对厚层粘性土来说, 这一点尤为明显。图 8 的纵坐标值是加排水板前、后的固结度之差的绝对值除以加排水板前固结度的商。

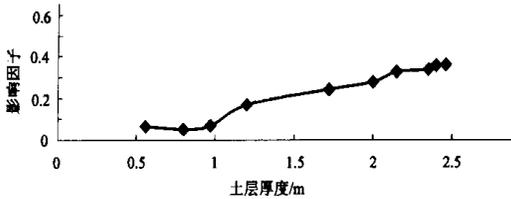


图8 排水板对不同厚度土层固结度(50 d)的灵敏度分析曲线

由图8可看出,在一定范围内(因为塑料排水板存在着最大影响深度),随着粘性土厚度的增大,排水板对固结速度的影响程度也逐渐增大。从微观上来看,加压初期,土体孔隙中以自由水—结合水为主,随着渗透固结的进行,孔隙水不断排出,孔隙比变化较大,从而导致渗透系数变化较大,固结度和沉降量均增加较快。当孔隙水转变为以结合水类型为主时,由于结合水具有一定的粘滞性和抗剪强度,故孔隙水不易排出,孔隙比变化较小,渗透系数的变化也很小。当固结到一定程度时,固结度和沉降量均增加较慢。

## 5 结论

1) 从计算分析中可发现粘性土厚度对塑料排水板加固效果的影响是:在塑料排水板的有效影响深度内,粘性土厚度越大,路基加固效果越明显,对饱和粘性土来说尤其如此。而当粘性土较薄时,其效果不甚明显。

2) 从各沉降等值线中可发现研究区域的路基沉降量基本对称于轴线,且路基中心线上的沉降较其两侧大,固结得也较快。

3) 本次利用塑料排水板堆载预压加固软土路基的试验方案效果较好,使最终沉降完成时间大大提前。

## 参考文献

- 1 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算.北京:水力电力出版社,1993.178~193
- 2 刘家豪.塑料板排水法加固软地工程实例集.北京:人民交通出版社,1999.2~5.
- 3 JTJ 017-96 公路软土路基路堤设计与施工技术规范

收稿日期:2003-03-26

(上接第162页)

高;而靠近主楼的裙房内第一跨地基反力减少的速度快于其他的跨。

2) 经与实际工程对比后指出:地基土变形模量的取值,可以放大3倍;对连体结构,由于在不同工程中,主楼的高度,地基土变形模量,筏板厚度都不相同;地基反力的分布也不同;所以在计算时,宜按弹性地基板理论进行计算<sup>[6]</sup>;在同一整体大面积基础上建有多栋高层和低层建筑,应该按照上部结构,基础与地基的共同作用进行变形计算<sup>[7]</sup>,才能得到正确的结果。

3) 模型分析同时指出,上部结构抵抗地基反力扩散时,筏板起主要的作用,而与裙房的层数关系较少;为了抵抗地基反力的扩散,要加强筏板,尤其要加强靠近主楼连体裙房内第一跨的筏板。

## 参考文献

- 1 American concrete institute. Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318M-89). 74
- 2 邱道怀. 高层建筑与裙房基础整体连接设计时基底反力和变形规律研究. 工业建筑, 2002, 32 (12): 10~11
- 3 宫剑飞. 高层建筑与裙房基础整体连接情况下基础的变形及反力分析. 土木工程学报, 2002, 35 (3): 46~49
- 4 [美]温特科恩 H F, 方晓阳主编. 基础工程手册. 钱鸿缙, 叶书等译校. 北京: 中国建筑工业出版社, 1975. 212
- 5 华南理工大学, 东南大学, 浙江大学, 湖南大学编. 地基及基础. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991. 72
- 6 JGJ 3-2002, J 186-2002. 高层建筑混凝土结构技术规程
- 7 GB 5007-2002 建筑地基基础设计规范

收稿日期:2003-02-24