

塑料排水板间距对真空预压加固时间的影响

任文芳

(天津港务局, 天津 300456)

摘要:对采用排水固结法加固饱和软粘土地基来说,在理想井的情况下减小排水板间距可有效地缩短固结时间,在非理想井情况下如有涂抹作用存在时,排水板间距不能无限制地减小。文章通过实际工程的分析说明了在天津港南疆港区这种地质条件下,当塑料排水板间距小于 0.7 m 时,进一步减小塑料排水板间距对缩短固结时间的效果不明显。

关键词:加固时间;固结;涂抹作用

中图分类号: TU472.33

文献标识码: A

文章编号: 1003-3688(2005)03-0030-02

Influence of Spaces between Prefabricated Vertical Drains upon Time of Consolidation of Soil Improved by Vacuum Preloading

REN Wen-fang

(Tianjin Port Authority, Tianjin 300456, China)

Abstract: For saturated soft clayey foundations consolidated with the water discharging method, reducing the spaces between the prefabricated vertical drains may effectively shorten the time for consolidation of soil wherever there are ideal wells. If there are no ideal wells available and there exists the smear effect, the spaces between the prefabricated drains should not be reduced unrestricted. The paper illustrates on the basis of analyses of practical cases that, when the space between prefabricated drains is smaller than 0.7 m in the case of the geological conditions in the Nanjiang Port Area of Tianjin Port, further reduction of the space between prefabricated drains will produce no remarkable effect on shortening of time of consolidation.

Key words: consolidation time; consolidation; smear effect

1 引言

对排水固结法加固饱和软粘土地基来说,塑料排水板的布置方式与间距是影响固结时间的重要因素。根据理想井的固结计算结果,在一定的土质条件下,减小塑料排水板间距可有效地缩短固结时间,但是,某些非理想井的理论分析表明,在有涂抹作用存在的情况下,减小塑料排水板间距并不能象理想井那样有效地缩短固结时间。因此,一方面,人们普遍承认减小塑料排水板间距可以缩短地基的固结时间,另一方面,却又不清楚在什么范围内调整塑料排水板间距对缩短加固时间最为有效,也不知道塑料排水板间距实际上究竟可以减小到何种程度。为此笔者专门对天津港南疆港区的十几项真空预压法加固地基工程的塑料排水板间距和预压时间的关系进行分析研究。我们选择土质条件基本相同的加固工程进行了计算分析,初步整理出塑料排水

板间距与加固时间的关系,证实了在一定范围内调整塑料排水板间距对缩短加固时间是有效的。

2 塑料排水板间距和固结时间之间的理论关系

砂井地基的固结属三维问题,对较厚的饱和粘性土地基,径向固结起主要作用。根据 Hansbo 公式,饱和软粘土地基在深度 Z 处的径向排水平均固结度表达式见式 (1)。

$$U_r = 1 - e^{-\frac{8T_h}{F}} \quad (1)$$

式中: T_h 为径向排水固结因子, $T_h = \frac{C_h t}{d_e^2}$; F 为综合参数,其表达式为 $F = F_n + F_s + F_r$, 下标 n, s, r 分别表示井径比、涂抹作用、井阻作用的影响, $F_n = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$, $F_s = \left(\frac{K_h}{K_s} - 1 \right) \ln S$, $F_r = \pi z (2H - z) \frac{K_h}{q_w}$; 井径比 $n = \frac{r_e}{r_w}$; d_e, r_e 为砂井影响范围的直径和半径,当塑料排水板按正方形布置时, $d_e = 1.13 l$, 按三角形布置时, $d_e = 1.5 l$; r_w 为砂井半径; t 为固结时间; K_h, K_s 为原状土和扰动土的渗透系数; S 为扰动区半径; H 为砂井贯穿土层最大排水距离; C_h 为水平

收稿日期: 2005-04-08

作者简介: 任文芳 (1965—), 女, 高级工程师, 水利水电建筑工程专业。

向固结系数; l 为塑料排水板间距; q_w 为竖向排水通水量。

从式中可以看出,在不考虑涂抹和井阻作用的情况下,要达到相同的加固效果,其固结时间和塑料排水板间距的平方成正比,即排水间距越大,固结时间越长。

3 天津港南疆港区地基处理

天津港南疆港区位于天津港进港主航道南侧,上世纪90年代后成为天津港的发展重点区域,进行了大量的软土地基的加固处理,地基处理方法主要为真空预压法。根据工程工期要求的不同,采用了多种塑料排水板间距,满足了工期要求,其中具有代表性的十几项工程见表1。

4 塑料排水板间距对加固时间的影响

由表1可以看出南疆港区真空预压加固工程中塑料排水板间距多采用1.0 m和0.8 m。工程实践证明,在南疆港区的土质条件下,这样的塑料排水板间距能够同时满足大多数工程对加固效果、工期所提出的要求,而且造价合理。但是,对于一些工期要求较紧的工程,不得不采用减小塑料排水板间距的方法加速固结,以便满足工期要求。如,在南疆翻车机房地基加固中,塑料排水板间距采用0.7 m;在石化码头成品油库区地基加固中,塑料排水板间距采用0.85 m与0.5 m。

为揭示塑料排水板间距与加固时间的关系,以下将对土质条件基本相同,塑料排水板间距不同的北方石油库区地基加固工程、南疆翻车机房地基加固工程、石化码头成品油库区地基加固工程和11号泊位铁路车场地基加固工程等4项工程的有关资料进行整理,绘制塑料排水板间距与固结时间关系曲线,并与理论曲线进行对比,以供今后实际工程应用与理论研究参考。

表1 不同板距真空预压加固工程一览表

序号	工程名称	加固面积 (万 m ²)	排水板	
			间距 (m)	长度 (m)
1	石化码头原油库区地基加固工程	5.5	1.0、 1.1	20.0
2	污水处理中心地基加固工程	1.4	1.0	20.0
3	石化码头成品油库区地基加固工程	2.8	0.5、 0.85	18.0
4	南疆翻车机房地基加固工程	3.0	0.7	20.0
5	北方石油库区地基加固工程	5.0	1.0	20.0
6	CCT工程地基加固	6.0	1.0	20.0
7	美孚石油地基加固工程	5.0	1.0	20.5
8	壳牌润滑油库区地基加固工程	5.0	1.0	20.0
9	35 kV变电站地基加固工程	1.7	0.7	21.0
10	煤码头堆场地基加固工程	4.0	1.3	21.0
11	9~10号泊位后方堆场地基加固工程	14.0	0.8	20.0
12	11号泊位铁路车场地基加固工程	16.8	0.8	18.0
13	皮带走形线地基加固工程	4.7	0.8	19.0
14	11号泊位陆域堆场地基加固工程	18.0	0.8	19.0

注:排水板布置形式均为正方形。

4.1 地质条件

本区域地基土主要由Q4后期沉积土和吹填土构成,加固范围内的土层分为淤泥、淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土,具有渗透系数小、沉积历史短的特点。加固土层平均厚度20 m。层底标高略有变化。最小加固深度为18.0 m,最大加固深度为21.0 m,各土层的主要物理力学指标见表2。

表2 天津港南疆港区地质情况简表

土名	标高 (m)	含水量 (%)	重度 (kN/m ³)	孔隙比	塑性指数	液性指数	水平向固结系数 (10 ⁻⁴ cm ² /s)	三轴不排水剪强度	
								C (MPa)	φ (°)
吹填土	+5.3~+0.5	49.8	17.2	1.432	2.2	1.55	54	13.0	0
淤泥质粉质粘土	+0.5~-6.0	45.6	18.5	1.126	14.5	1.46	16	18.0	0
淤泥质粘土	-6.0~-13.0	51.1	16.8	1.496	24.3	1.21	5	17.9	0
粉质粘土	-13.0~-21.5	30.6	18.9	0.860	12.2	0.91	35	32.0	0

4.2 所选工程概况

4.2.1 北方石油库区地基处理工程

工程总面积5万 m²,塑料排水板按正方形布置,间距为1.0 m,长度为20 m。2003年1月开始抽真空,10 d后膜下真空度达80 kPa以上,5月份沉降稳定,停止抽气,加固完成。打板期间沉降量为27 cm,施工期间沉降量为98 cm,总沉降量为125 cm。根据实测沉降曲线推算,加固完成时固结度已达86.3%,固结度达到85%的时间为110 d。

4.2.2 南疆翻车机房地基加固工程

本加固工程总面积3万 m²,塑料排水板按正方形布置,间距为0.7 m,长度为20 m。本工程1994年10月26日开始抽真空,20 d后膜下真空度达80 kPa以上,1995年2月12日沉降稳定,停止抽气,加固完成。打板期间沉降量

为41 cm,施工期间沉降量为103 cm,总沉降量为144 cm。根据实测沉降曲线推算,加固完成时固结度已达98%,固结度达到85%的时间为43 d。

4.2.3 石化码头成品油库区地基处理工程

本加固工程总面积2.8万 m²,塑料排水板按正方形布置,间距为0.85 m,在要求固结度较高的泵房区间距为0.5 m,塑料排水板长度为18 m。本工程1991年8月21日开始抽真空,20 d后膜下真空度80 kPa以上,10月10日停止抽气,加固完成。打板期间沉降量为42 cm,施工期间沉降量为97 cm,总沉降量为139 cm,泵房区总沉降量为149 cm。根据实测沉降曲线推算,加固完成时全区平均固结度为75%,泵房区固结度为85%,塑料排水板间距为0.85 m时,

(下转第52页)

的 10 击以上,多数达到 15 击以上的中密状态。标贯 (SPT) 检测结果汇总见表 4,静载试验检测结果见表 5。

表 4 验收区块标贯检测统计汇总表

区域	验收区块数	标贯检测点数	合格点	不合格点	合格率 (%)	平均标贯击数	最高标贯击数	最低标贯击数
汇总	64	76	73	3	96	19	34	10
振冲 I 区	15	19	18	1	95	19	30	12
振冲 II 区	36	40	39	1	98	19	33	10
强夯 I 区	13	17	16	1	94	19	34	10

表 5 静载试验检测统计

编号	设计值 (kPa)	压板面积 (m ²)	最大试验荷载 (kN)	残余变形 (mm)	最大试验荷载沉降量 (mm)	地基土承载力特征值 (kPa)
1	200	1	450.0	5.92	8.56	225
2	200	1	450.0	6.61	10.33	225
3	150	1	337.5	4.41	7.21	169
4	200	1	450.0	5.19	8.03	225
5	150	1	337.5	4.44	6.4	169
6	150	1	337.5	5.18	7.33	169

(上接第 31 页)

加固区达到固结度 85% 所需要的时间为 66 d。

4.2.4 11 号泊位铁路车场地基加固工程

本加固工程总面积 16.8 万 m²,塑料排水板按正方形布置,间距为 0.8 m,长度为 18 m。本工程 2003 年 9 月各区陆续开始抽真空,一般 7 d 后膜下真空度达 80 kPa 以上,12 月份沉降稳定,停止抽气,加固完成。打板期间沉降量为 41 cm,施工期间沉降量为 138 cm,总沉降量为 179 cm。根据实测沉降曲线推算,加固完成时固结度已达 91.2%,固结度达到 85% 的时间为 60 d。

4.3 塑料排水板间距与加固时间的关系

将上述 4 项工程中表层沉降观测资料进行整理,可得出各工程固结度达到 85% 的时间 t_{85} ,以 t_{85} 为纵坐标,塑料排水板间距 D (正方形布置) 为横坐标绘制 $t_{85} \sim D$ 关系曲线,如图 1 所示。图中同时给出了理想井与考虑一定涂抹影响井的相应曲线。

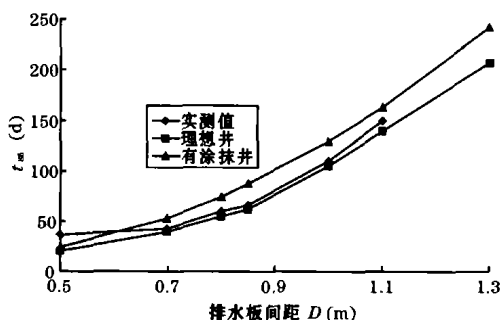


图 1 固结时间 t_{85} ~ 排水板间距 D 的关系图

4 结语

(1) 对于贝壳含量小于 30 % 的贝壳砂场地采用强夯法 (8 m 以下浅区) 和振冲法 (8 m 以上深区) 均可行。

(2) 对于振冲法,振冲设备对施工场地的适应性以及如何利用好水,对于确保顺利造孔和振密质量非常关键。

(3) 振冲法除严格按施工工艺参数进行施工外,增加横向辅助水和孔口外辅助水等措施也能有效地提高密实效果。对于难成孔,特别是电流不高,但无法成孔的孔位,可采取乘潮作业 (从接近高潮位时开始作业直到低潮位,一般低潮位到高潮位期间,成孔较困难)。

(4) 强夯法标贯检测反应出,采取 2 000 kN · m 夯能的影响深度在 5 m 左右; 3 000 kN · m 夯能的影响深度可达到 8 m。对于底部为硬层部位,强夯效果更好。

(5) 对于本场地不管是振冲法还是强夯法,密实处理后场地总的沉降量为填砂厚度的 6 % ~ 8 %,从沉降量中可以看出,密实质量效果非常好。

(6) 贝壳砾砂采取振冲密实处理的工程成本较高,相对来说,强夯法成本较低,工效也高。

由图 1 可以看出,塑料排水板间距与固结时间的实际曲线介于理想井与涂抹井的理论曲线之间,更靠近理想井,当塑料排水板间距小于 0.7 m 时实测曲线偏离理论曲线较大,说明再减小排水板间距对加固时间的影响不明显。上述结果表明,在实际工程中可以利用减小塑料排水板间距来缩短加固时间。但是,当塑料排水板间距小于 0.7 m 时,进一步减小塑料排水板间距的实际效果不明显,应谨慎使用。

5 结语

天津港南疆港区十几项真空预压加固工程实测结果表明,减小塑料排水板间距可明显缩短固结时间,塑料排水板间距与固结时间的关系与理论计算结果基本一致。但是,当塑料排水板间距小于 0.7 m 时进一步减小塑料排水板间距的实际效果不明显,在实际工程中应慎用。

目前,塑料排水板间距 $D \leq 0.7$ m 的实测资料不多,统计结果也许不很准确,今后应注意收集更多的小排水板间距工程的实测资料,进一步进行分析,指导设计和施工。

参考文献:

- [1] 刘爱民. 北方石油库区地基处理加固效果检验报告 [R]. 天津港湾工程研究所, 2003.
- [2] 于志强. 天津港南疆石化码头成品油库区软基加固效果检验报告 [R]. 天津港湾工程研究所, 1993.
- [3] 陈永源. 天津港南疆煤码头翻车机房软基加固效果检验报告 [R]. 天津港湾工程研究所, 1995.
- [4] 刘爱民. 天津港南疆 11 号通用散货泊位工程铁路车场区地基处理加固效果检验报告 [R]. 天津港湾工程研究所, 2003.