

文章编号: 1000-7598-(2006) 11-2056-05

塑料排水带地基处理研究

李富强¹, 王 钊¹, 刘华清²

(1. 武汉大学 土木建筑工程学院, 武汉 430072; 2. 国电电力建筑研究所, 北京 100055)

摘 要: 在濒海某场地的塑料排水带地基固结试验中, 进行了孔隙水压力、沉降量、侧向位移等原型观测, 并按沉降计算固结系数和固结度。固结结束后, 用静力触探、十字板剪切仪、标准贯入和平板载荷试验检测处理效果。结果表明: 排水带在很短的时间 (50 d 内) 使加固的地基达到固结稳定, 说明在濒海软土地区采用排水带固结是有效的加固手段。

关 键 词: 塑料排水带; 原型观测; 孔隙水压力; 沉降; 固结; 原位试验

中图分类号: TU 470

文献标识码: A

Study on foundation treatment with prefabricated strip drains

LI Fu-qiang¹, WANG Zhao¹, LIU Hua-qing²

(1. School of Civil and Architectural Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. National Electric Power Construction Research Institute, Beijing 100055, China)

Abstract: Observations of pore water pressure, settlement and lateral displacement were carried out and consolidation coefficient and consolidation degree were calculated based on the observed data in a foundation treatment with prefabricated strip drains at a seaside ground. The results of static penetration test, vane shear test, standard penetration test and plate load test after consolidation indicated reinforcements of foundation and increases of stabilization in 50 days. It is shown that the reinforcing foundation with prefabricated strip drains is an effective measure at seaside ground.

Key words: prefabricated strip drains; prototype observation; pore water pressure; settlement; consolidation; in-situ test

1 引 言

1934 年瑞典的 Kiellman 首先提出了纸质排水带, 排水效果良好, 但因纸板的耐久性差, 容易腐烂, 限制了其应用。1971 年由维格(O.Weger)提出塑料带排水法, 其排水通道由聚氯乙烯或聚乙烯制成的排水芯带外套无纺布土工织物滤膜组成, 这种形式的排水带一经出现, 即被迅速推广应用^[1]。在我国塑料排水带也逐渐取代了带装砂井。

塑料排水带加固地基原理就是缩短排水距离, 使软土中的饱和水沿塑料排水带的纵向沟槽排出, 从而加速土的固结, 提高地基的承载力。用塑料排水带加固地基的优点是成本较低, 施工效率和质量较高。目前, 由于场地的不同而在进行塑料排水带地基处理时发生的各种情况会有所差异, 为了研究排水带在濒海地区地基处理的可行性, 为类似工程提供依据, 选取了一块场地进行地基处理研究。

某濒临海边的场地拟建电厂, 计划用塑料排水带加固地基, 预先消除部分沉降。本试验是在此场地选取 30 m×30 m 的试验区, 进行排水带加固试验^[2~6], 以验证用此方法加固地基的可行性。

2 试验概况

试验区原为海滨滩涂洼地, 地形平缓, 微倾向外海, 原地地面高程为 -0.8~-2.4 m。场地从 2003 年 8 月开始吹砂填海, 到 2003 年 12 月吹填工作基本完成, 平均吹填厚度为 6.0 m。经吹砂填海后, 试验区地面高程为 2.12~4.49 m。场地地层分布依次为: 人工填土(吹填砂)、第四系全新统海相沉积层 Q_4^m 、上更新统海相沉积层 Q_3^m , 下伏基岩为侏罗系中统第 2 组 J_2^2 地层。地基主要土层分布厚度和各层土的物理力学性质见表 1。

该试验选用 30 m×30 m 的试验区主要是针对表 1 中淤泥质粉质黏土、粉质黏土进行塑料排水带

地基处理。采用 SPB-II 塑料排水带, 板宽 100 mm, 板厚 4 mm。根据优化计算, 排水带的平面布置采用边长为 1.1 m 的梅花形排列, 打入排水带 946 条, 有效深度为 14.5 m, 穿过淤泥层与粉质黏土层。

表 1 试验区地层特性

Table 1 Sand and soil characteristics of testing site

土层	土层平均厚度 /m	密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	压缩系数 α/MPa^{-1}	压缩模量 E_s/MPa	垂直渗透系数 $k_v/10^{-6}\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	水平渗透系数 $k_h/10^{-6}\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
吹填砂	6.25	1.835		13.36	3 200	3 200
粉细砂	1.26	2.065	0.185	8.50	64	49
淤泥质粉质黏土	2.03	1.70	1.53	1.79	1.7	2.4
粉质黏土	1.68	1.98	0.40	4.53	69	120
粉细砂	1.78			10.00	640	490
中粗砂	1.4			14.57	1 000	1 000

3 原型观测项目及布置

在地基中埋设一套原型观测仪器, 在试验期间定期观测地基土的孔隙水压力、沉降(包括分层沉降)、侧向变形和水平位移。一般先选择若干个观测断面, 观测断面一般选择在最重要、最具代表性或估计最可能出现问题处, 如荷载最大断面、地形显著变化断面、地基土质变化的断面等。各观测仪器的平面布置图如图 1 所示。

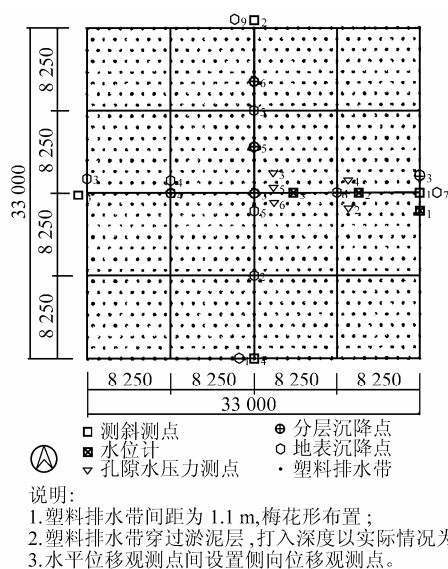


图 1 塑料排水带原型观测仪器平面布置图(单位: mm)

Fig.1 Apparatus arrangement of prototype observation on plastic draining plates(unit: mm)

3.1 孔隙水压力

地基中孔隙水压力是指在预压荷载作用下的超静水压力, 其增长与消散规律反映了软基的排水固结特性及有效应力变化规律。

在同一观测断面上, 在不同高程和位置分别布置测点, 使孔隙水压力反映地基的固结过程。本试验中采用 KY 型孔隙水压测试仪, 由测头和仪器两部分组成, 测头部分有高精度的传感器, 将测得的信息传给仪器。本试验区布置了 5 个孔压测头。

3.2 分层沉降

观测地基内部不同部位的沉降大小, 可以掌握各土层的变形特性和有效压缩层厚度, 了解地基的固结状况, 判断地基稳定性, 作为控制地基固结速度的依据。

本试验工程采用电磁式沉降仪, 依据布设原则在试验区选择了两个互相垂直的断面, 每个断面的试验区边界上和中心等主要位置各设了一个沉降管, 沉降管长 16 m, 共 6 个点。

3.3 地表沉降

该项测试用于观测荷载作用范围内地基的总沉降, 反映了地基土在荷载作用下的变形特性。

表面沉降观测的起测基点, 通常设置在观测目标区附近地基稳固可靠的地方。对于各测点高程差异较小、便于引测的目标, 仅需设置 1~2 个高程起测基点。

考虑到试验区面积不大, 设置了纵横两个观测断面, 每个观测断面上测点为 5 个; 起测基点设置 1 个, 水准基点 2 个。

3.4 侧向位移

侧向位移是分析预压荷载下地基的稳定性以及由于侧向位移所引起沉降大小的重要依据。本试验在方形试验区的周边对称性地布置了 4 个内部水平位移观测点, 观测深度为 14.5 m, 用 CX-03 钻孔测斜仪监测。

4 原型观测资料分析

4.1 孔隙水压力

从 2004 年 7 月 28 日开始试验区的孔压观测, 根据观测数据, 判断固结趋于稳定后, 于 9 月 12 日结束。孔压变化过程见图 2。1~3 号、5 号、6 号点的探头埋置深度分别为 15, 12, 12.5, 10.5, 9 m。1 号点的探头传感器于 8 月 15 日开始出现问题, 孔压开始急剧上涨, 不再反映地层真实的固结状况。

由于观测是在仪器安装好的当天或第 2 d 就开始观测的, 所以孔压都有一段增长的曲线(2 号点例外), 孔压一般从第 3 d 开始消散。从图 2 看出, 在经历了 30 d 的固结后, 各孔压趋于稳定, 表明软土层的固结完成。

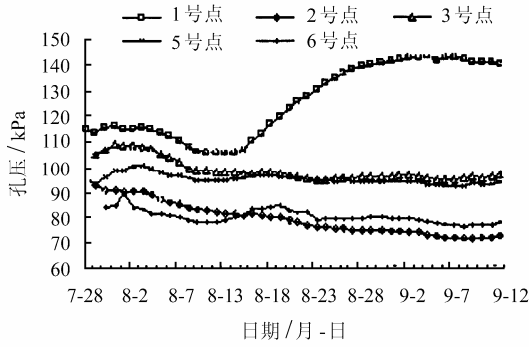


图2 孔压变化曲线图

Fig.2 Curves of pore pressure

4.2 地表沉降

从2004年7月27日开始试验区的地表沉降观测,观测结果见图3、图4。图中除了8号点以外,其他各点都在8月4日左右有明显下沉。8号点在8月3日开始有47 mm的隆起,隆起持续到8月11日突然下沉,表现为257 mm的沉降,可能是机械或人为的因素造成该测量点异常的变化。从试验结果发现试验区内的沉降明显,而试验区边缘地表沉降没有区内沉降明显。这一点很能说明排水带加快了软土地基的固结作用。

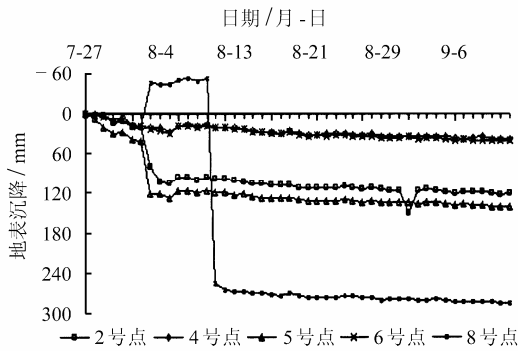


图3 试验区地表沉降

Fig.3 Settlement of experiment area surface

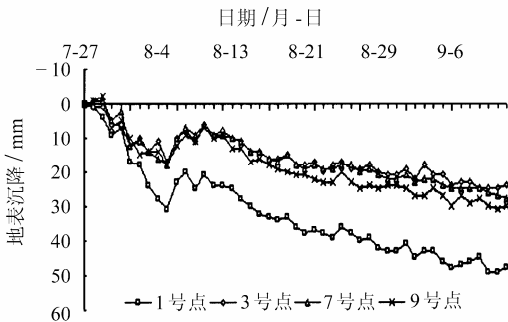


图4 试验区边缘地表沉降

Fig.4 Settlement of experiment area surface edge

塑料排水带范围内土层平均固结度 U , 按照砂井固结理论为

$$U = 1 - \alpha e^{-\beta t} \quad (1)$$

式中 α , β 均为和排水条件有关的系数。

通过实测沉降-时间曲线,应用指数曲线配合法^[3],得

$$\beta = \frac{\ln(S_2 - S_1) - \ln(S_3 - S_2)}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

按照向内径向固结排水^[2],有

$$\alpha = 1, \beta = \frac{8C_h}{F_n d_e^2} \quad (3)$$

根据式(2)、式(3)得出计算径向平均固结系数(见式(4))及计算地基平均固结度(见式(5))。

$$C_h = \frac{\ln(S_2 - S_1) - \ln(S_3 - S_2)}{\frac{t_2 - t_1}{8} \frac{F_n d_e^2}{\pi}} \quad (4)$$

$$U = 1 - e^{-\frac{\ln(S_3 - S_2) - \ln(S_2 - S_1)}{t_2 - t_1} t} \quad (5)$$

本试验中排水带平面布置边长 $l = 1.1 \text{ m}$; 等边三角形布置 $d_e = 1.050l = 1.155 \text{ m}$; $d_w = \alpha \frac{2(b+\delta)}{\pi}$, $b = 100 \text{ mm}$, $\delta = 4 \text{ mm}$, 取 $\alpha = 0.8$, 则 $d_w = 52.96 \text{ mm}$; $n = d_e / d_w = 1.155 / 0.05296 = 21.808$; $F_n = 2.560$ 。

计算点从7月27日开始,时间间隔选15 d,即 t_1 , t_2 , t_3 分别是8月11日、8月26日、9月10日, $t_2 - t_1 = 15 \text{ d}$ 。由于8号点的特殊性,该点不计入计算结果。

连同以上的数据代入式(4),得到固结系数。按照式(5)计算不同固结度所需要的时间,计算结果见表2。

表2 计算固结系数和固结度

Table 2 Consolidation coefficient and consolidation degree

测点号	C_h / $10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	达到不同固结度(%)所需时间/d			
		25	50	80	95
2	1.84	8	19	43	80
4	1.49	10	23	53	99
5	2.28	6	15	35	65
6	1.34	11	26	60	111
平均值	1.74	9	21	48	89

4.3 其他观测结果

整个试验的分层沉降由埋设的沉降环来观测,判断每一层的沉降情况。直至试验结束,可以很清

楚地发现沉降由粉质黏土层开始，到地表的每一层都有所沉降。

试验的侧向位移是通过方形试验区四边预埋的测斜管，用 CX-03 钻孔测斜仪监测而取得。测斜值为正值表示水平位移朝向试验区内。其中具有代表性的是图 5 所示测斜观测值。它比较真实地反映了不同深度处的水平位移值。从图中可以发现，深度 8 m 左右的软土层有向试验区外的位移，而 5 m 以上的砂层有向试验区内的位移，这是明显的试验区排水固结产生的结果。

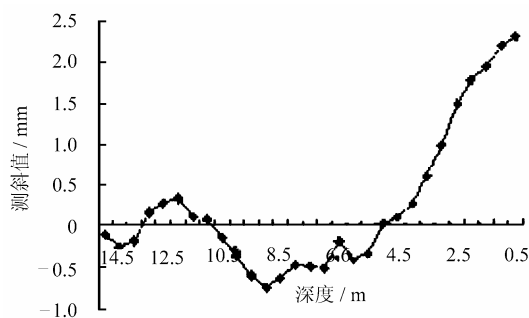


图 5 侧向位移变化

Fig.5 Variation of lateral displacement

5 现场原位试验

固结完成后，开始现场原位试验。包括：静力触探试验、十字板剪切试验、标准贯入试验和平板载荷试验^[7]。

5.1 静力触探试验

在试验区进行了 3 个静力触探试验。静力触探试验采用的是天津市国达测控技术有限公司生产的三桥探头(锥尖、侧壁和孔压)GQFU-1/2 和 4 功能静力触探仪 SJT-2。图 6、图 7 是试验中具有代表性的锥尖阻力与侧摩阻力分布图。

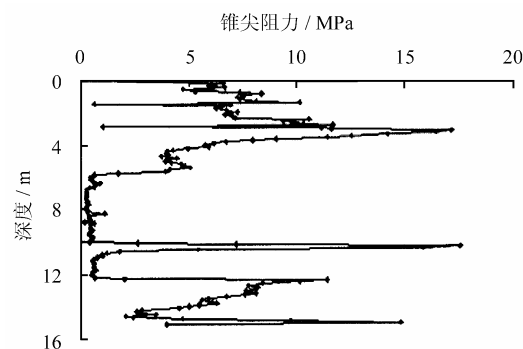


图 6 锥尖阻力分布图

Fig.6 Cone point friction distribution

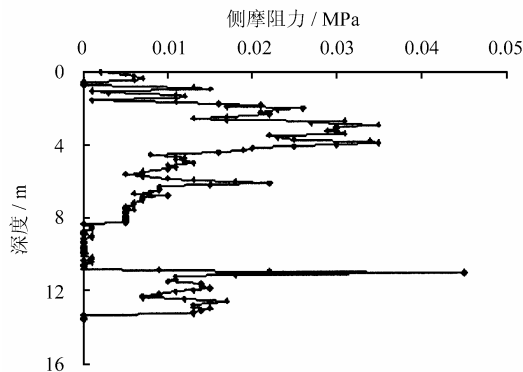


图 7 侧摩阻力分布图

Fig.7 Side friction distribution

从图 6、图 7 中可以看出各土层分布情况。静力触探砂层的平均锥尖阻力由试验前的 2.79 MPa 提高到 5.61 MPa，淤泥质黏土平均锥尖阻力为 0.391 MPa。

5.2 十字板剪切试验

十字板剪切试验采用的是 AS-1 型开口钢环式十字板剪力仪，十字板尺寸为 75 mm×150 mm。在试验区内进行了 3 个孔的剪切试验，结果见表 3。

表 3 十字板抗剪强度
Table 3 Vane strength value

孔号	深度 / m	十字板抗剪强度指标		
		原状土 c_u / kPa	重塑土 c'_u / kPa	灵敏度 c_u / c'_u
VST1	9.0	19.8	4.5	4.4
VST2	8.0	16.0	2.3	7.0
	9.2	18.1	5.5	3.3
VST3	8.1	17.6	4.6	3.8
	9.2	18.5	1.9	9.6

原状土的十字板抗剪强度平均值为 18 kPa，灵敏度平均值为 5.6。

5.3 标准贯入试验

标准贯入试验利用手拉落锤进行，试验区进行了 3 个点的标贯试验，标贯数见表 4。

表 4 标贯击数

Table 4 Number of standard penetration test		
孔号	深度 / m	标贯击数 / 次
SPT1	1.8	20
	4.0	19
	6.0	18
SPT2	1.8	16
	3.8	13
	6.0	19
SPT3	1.8	18
	4.5	9
	6.0	9

由于插管的振动作用,砂层的标贯击数平均值由试验前的 4.8 增加到 15.8,砂土由松散变为中密。

5.4 平板载荷试验

平板载荷试验采用武汉岩海工程技术开发公司生产的 RS-JYC 桩基静载荷试验分析测试仪,载荷板尺寸为 1 m×1 m。试验在 3 个试验点进行加载试验。

平板载荷试验结果见表 5,试验前的地基承载力标准值为 110 kPa,而在打入塑料排水带之后,地基承载力提高 180 kPa。

表 5 平板载荷试验结果
Table 5 Result of plate loading test

试验点号	终止荷载 /kN	最大沉降 /mm	地基承载力 特征值 /kPa	地基承载力 特征值平均值 /kPa
PSB1	600	37.99	200	180
PSB2	600	43.08	200	
PSB3	560	43.83	140	

6 结 论

本文分析了塑料排水带地基处理过程中的原型观测结果,结合原位试验得到以下结论:

(1)排水带固结根据砂井固结理论,加快了地基固结,提高了地基承载力。本文用沉降观测值计算固结系数和固结度。其计算结果符合固结的实际

情况。

(2)软土层被压缩产生向试验区外的位移,上部砂层产生向试验区内的位移。

(3)原位试验中,静力触探砂层的平均锥尖阻力由试验前的 2.79 MPa 提高到 5.61 MPa;地基承载力标准值由试验前的 110 kPa 提高到 180 kPa。说明经过排水固结,地基承载力提高。

(4)本次试验的结果,反映了排水带在很短的时间(50 d 内)使加固的地基达到固结稳定,说明在滨海软土地区采用排水带是有效的加固手段。

参 考 文 献

- [1] 徐岩. 塑料排水带在港口工程中的应用及发展[J]. 中国港湾建设, 2002, (2): 39—42.
XU Yan. Application and development of strip geodrain in harbour and port works[J]. China Harbour Engineering, 2002, (2): 39—42.
- [2] JGJ79—2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [3] GB50021—2001, 岩土工程勘察规范[S].
- [4] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [5] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [6] 顾晓鲁, 钱鸿缙, 刘慧珊. 地基与基础(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [7] 南京水利科学研究院土工研究所. 土工试验技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

中国土木工程学会第十届中国土力学及岩土工程学术会议定于 2007 年在重庆召开

由中国土木工程学会土力学及岩土工程分会主办, 中国人民解放军后勤工程学院承办的中国土木工程学会第十届中国土力学及岩土工程学术会议定于 2007 年 11 月 1~4 日在重庆召开。会议期间将举行中国土木工程学会土力学及岩土工程分会成立 50 周年庆典等活动。“第三届中日岩土工程学术研讨会”将同时举行。岩土工程界的老前辈和中外著名专家学者将出席会议, 这是岩土工程界的又一次学术盛会。

当前是我国工程建设飞速发展的黄金时期, 各种大型工程的建设规模之宏伟、投资金额之巨大、建设势头之迅猛是史无前例的。南水北调、西电东送、西气东输、青藏铁路、城市地铁、高速公路、高速铁路、高土石坝、填海造陆、超高建筑等重大工程, 提出了许多新的土力学及岩土工程问题, 第十届学术会议将以“地质灾害与岩土工程创新”为主题, 对我国近年来在土力学与岩土工程领域的最新研究进展进行广泛的学术交流。

会议内容: 会议以科学发展观为指导, 主要研讨土力学及岩土工程的基本理论、实践探索、新技术和新方法等, 具体议题包括: 岩土的基本性质和测试技术、基础工程、地基处理、地下工程及深基坑、土工建筑物与边坡、土动力学及地震工程、特殊土与非饱和土、环境岩土工程、岩土工程中的新技术与新材料、岩土工程中的信息化技术、重大工程实录、地质灾害与防治、重庆重大与特殊岩土工程问题等。

征文: 热忱欢迎在岩土工程各个领域的研究、设计、施工人员踊跃投稿。应征论文必须是没有发表过的有关岩土工程的理论、计算、重大工程实录及岩土工程中其他有意义的内容。

展览: 热忱欢迎从事岩土工程领域的新材料、新技术、新设备的开发、生产和运用的相关公司及单位踊跃报名参加技术展览。

重要日期: 2006 年 9 月 15 日前发布第一号征文通知; 2007 年 3 月 31 日前提交论文全文; 2007 年 5 月 31 日前通知是否录用; 2007 年 6 月 30 日前提交修改后论文。关于中日岩土工程学术会议的具体事宜将另行通知。

秘书处地址: 400041 重庆市渝州路 79 号, 解放军后勤工程学院建筑系地下工程教研室

联系人: 李秀地博士 刘元雪教授 陈正汉教授

电话: 023-68598052 023-68598367 023-68597849 13508386471

E-mail: librte@163.com, librte@sohu.com **传真:** 023-68598052