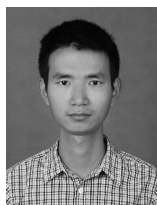


· 地基与基础 ·



# 高性能排水板在淤泥地基 筑堤工程中的应用效果\*

占鑫杰, 高长胜, 朱群峰, 杨守华, 张凌, 庞彬

(南京水利科学研究院, 水文水资源与水利工程国家重点实验室, 江苏南京 210029)

**摘要:** 为验证采用高性能排水板作为淤泥质土径向排水通道的适用性和效果, 在连云港徐圩港区设置一段高性能排水板试验段, 埋设部分原位观测仪器。通过高性能排水板和普通排水板标段地基固结度和深层水平位移的对比来研究高性能排水板的应用效果。对比结果表明: 高性能排水板应用效果良好; 同样工期内, 高性能排水板地基比普通排水板试验段地基的固结度高, 深层水平位移小。

**关键词:** 防波堤; 原位监测; 监测资料分析; 高性能排水板; 普通排水板

中图分类号: TU 472; U 6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)02-0130-05

## Application effect of high-performance prefabricated vertical drains for breakwater on soft clay

ZHAN Xin-jie, GAO Chang-sheng, ZHU Qun-feng, YANG Shou-hua, ZHANG Ling, PANG Bin

(Nanjing Hydraulic Research Institute, State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** To verify the suitability and application effect of high-performance PVD, a test section in Xuwei port is carried out, and in-situ instruments are installed. Comparing the consolidation degree and deep horizontal displacement, we know that the application effect of high-performance PVD is satisfactory. Comparing with the test section of common PVD, the consolidation degree of the high-performance PVD is higher, and the deep horizontal displacement is smaller.

**Keywords:** breakwater; in-situ monitoring; monitoring data analysis; high-performance PVD; common PVD

徐圩港区斜坡堤是集近期防浪、油气管廊基础和远期港区护岸为一体的综合性工程, 港区淤泥土质条件差, 地基固结变形复杂, 地基处理难度大, 给斜坡堤施工和安全带来不利。针对上述特点, 在斜坡堤初步设计阶段对工程建筑材料、施工条件、工期及造价等进行比较, 经综合分析后, 提出采用可多点铺开施工、少用开山石料、确保工期的“塑料排水板+砂被+抛石混合式斜坡堤”结构方案: 即首先在淤泥层表面铺设砂被,

随后在专用船上插设塑料排水板, 在砂被层表面抛石建设斜坡堤。

徐圩港区东斜坡堤地基平均分布 10~15 m 软弱淤泥层, 堤身填筑高度约为 9 m, 地基预计总沉降量在 1 m 以上。为进一步验证高性能排水板方案的适用性和效果, 在徐圩港区专门设置试验段, 埋设部分原位观测仪器。拟通过高性能排水板和普通排水板标段地基固结资料的对比, 掌握高性能排水板的应用效果。

收稿日期: 2016-06-17

\*基金项目: 南京水利科学研究院基本科研业务费专项资金 (Y315003, Y316004, Y316006)

作者简介: 占鑫杰 (1986—), 男, 博士, 工程师, 从事软基处理和环境岩土工程研究工作。

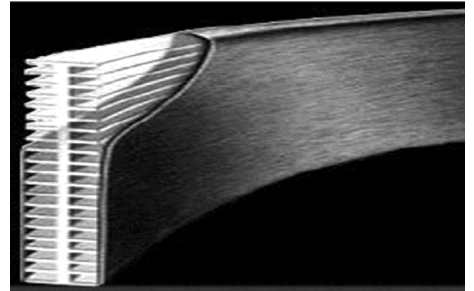
目前国内外对排水固结法开展了大量研究,并在软土、超软土加固工程中进行了推广应用<sup>[1-8]</sup>,但多数仅限于普通塑料排水板。高性能排水板在深厚软土地基工程中的应用研究有部分报道<sup>[9-10]</sup>,但在筑堤工程中的应用,以及普通排水板与高性能排水板应用效果对比未见报道。本文对比普通排水板和高性能排水板基本特性和通水量,对徐圩港区防波堤的原位监测资料进行整理分析,通过对比不同处理段地基的固结度和深层水平位移,系统分析连云港淤泥土质条件下高性能排水板对淤泥地基固结过程的促进作用。

### 1 高性能排水板与普通排水板的特性

普通塑料排水板包括 SPB-A、B、C 型。普通塑料排水板(图 1a))芯板和滤膜采用包裹方式,在淤泥侧压力作用下滤膜易发生内凹变形,且芯板刚度较小,易发生弯折变形影响整体通水能力。高性能塑料排水板(图 1b))的芯板采用纯新聚丙烯塑料,齿槽挺直、光滑,芯板和滤膜采用热粘合工艺,整体性较强。



a) 普通排水板



b) 高性能排水板

图 1 普通塑料排水板和高性能塑料排水板

采用徐圩港区筑堤工程中的 SPB-100 型普通塑料排水板和高性能排水板进行基本性能测试,测试方法参照 SL 235—2012《土工合成材料测试规程》<sup>[11]</sup>。测试结果见表 1、2。

表 1 普通排水板基本性能指标

复合体					滤膜						
单位长度质量/(g/m)	厚度/mm	宽度/mm	复合体抗拉强度/kN	复合体伸长率/%	单位面积质量/(g/m <sup>2</sup> )	厚度/mm	纵向干态抗拉强度/(N/cm)	纵向湿态抗拉强度/(N/cm)	横向湿态抗拉强度/(N/cm)	渗透系数/ $k_{20}$ /(cm/s)	等效孔径/mm
88	4.0	98.5	2.94	9.4	78	0.37	31.2	22.5	11.6×10 <sup>-3</sup>	<0.074	
				延伸率 10%					延伸率 10%	延伸率 15%	O <sub>98</sub>

表 2 高性能排水板基本特性指标

复合体					滤膜									
单位长度质量/(g/m)	厚度/mm	宽度/mm	复合体抗拉强度/kN	复合体伸长率/%	单位面积质量/(g/m <sup>2</sup> )	厚度/mm	干样抗拉强度/(N/cm)	湿样抗拉强度/(N/cm)	湿态断裂伸长率/%	纵向梯形撕裂强度/N	横向梯形撕裂强度/N	垂直渗透系数/(cm/s)	等效孔径/mm	
117	4.4	102	4	30	126	0.39	63.2	60.1	40	318	247	8.5×10 <sup>-3</sup>	0.1	
				延伸率 10%					延伸率 10%					

现行的排水板通水量测试方法是在排水板外侧套上乳胶膜,施加 350 kPa 侧压力,然后测试其通水量。该方法无法考虑板土相互作用以及排水板弯折后的实际通水能力。为模拟现场板土相互作用和排水板弯折特性,选用连云港现场淤泥,

分别开展真空预压和堆载预压模型试验,试验过程中排水板随着土体固结过程发生弯折。试验结束后从模型筒中切削以排水板为中心的土柱,采用研制的专用仪器<sup>[12]</sup>,测试堆载预压和真空预压后土柱中排水板的实际通水量,测试结果见表 3。

表3 高性能排水板和普通排水板的通水量对比

加载形式	高性能排水板		SPB-100 排水板	
	通水量/(cm <sup>3</sup> /s)	板弯曲率/%	通水量/(cm <sup>3</sup> /s)	板弯曲率/%
堆载预压	156.7	9.1	25.3	8.7
真空预压	153.1	12.1	8.5	14.9

注：排水板弯曲率=排水板弯曲长度（排水板实际长度-试验柱体长度）/排水板实际长度。

从表3可知，当排水板弯曲率约为10%时，高性能排水板通水量为156.7 cm<sup>3</sup>/s，SPB-100排水板通水量为8.5~25.3 cm<sup>3</sup>/s，高性能排水板的通水量远大于普通塑料排水板。其主要原因是：高性能排水板整体性强，布质硬挺，在地基土层侧压力作用和沉降弯曲变形条件下，滤膜仍能保持硬挺不内凹，排水通道较为通畅。而普通排水

板易发生弯折变形，部分排水通道不畅，导致通水能力急剧降低。

## 2 防波堤以及排水板试验段

### 2.1 防波堤结构

连云港30万吨级斜坡堤断面如图2所示，堤顶宽4.5 m，堤内、外侧高程2.5~2.0 m处设置镇压平台，平台宽度15 m；内坡坡度为1:1.5，外坡上坡坡度为1:1.5，下坡坡度为1:2。地基采用排水板+砂被处理，塑料排水板间距两侧1.2 m，中间间距1 m，按正方形布置。排水板的插设深度穿透软土层，板头露出砂被不小于0.20 m。砂被袋体采用机织布加筋充填袋。

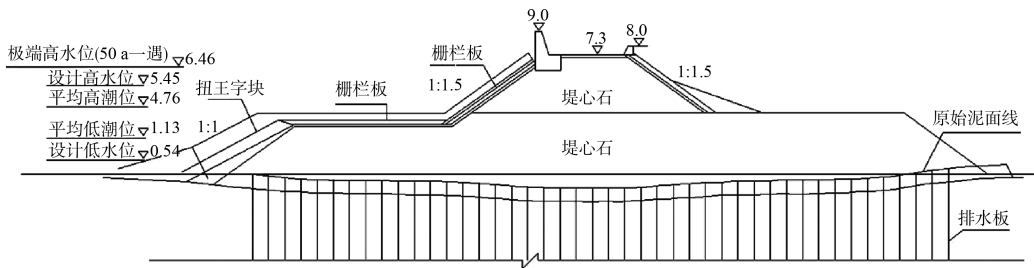


图2 防波堤断面（高程：m）

斜坡堤堤身采用开山石、块石混合结构，外坡采用四脚空心方块+栅栏板+扭王字块护面，护底采用抛石结构，防浪墙采用灌砌块石结构。每150 m设1个会车道，会车道宽5 m，长10 m，两侧通过10 m过渡连接。

### 2.2 普通排水板标段

普通排水板监测标段共3个，分别为W1.1、W2.1、W2.4标段。

W1.1标段位于连云港30万吨级航道徐圩港区旗台港区，监测断面包括S0+560、S0+940、S1+160、S1+400、S1+740。

W2.1标段位于连云港30万吨级航道徐圩港区围堤吹填区1区1#围堤，监测断面包括1W0+200、1W0+400、1W0+600、1W0+770、1W0+950、1W1+050、1W1+150。

W2.4标段位于连云港30万吨级航道徐圩港区

围堤吹填区2区西护岸西段、西护岸北段和2#围堤，共布置15个监测断面，分别为西护岸西段的XX0+200、XX0+500、XX0+800、XX1+100、XX1+400、XX1+709，西护岸北段的XB0+250、XB0+550、XB0+850、XB1+150、XB1+462、XB1+502、XB1+603，2#围堤的2W0+250、2W0+490。

### 2.3 高性能排水板试验段

高性能排水板试验段位于徐圩吹填区302标段4#围堤，共布置1个重点监测断面为4W0+400。

## 3 典型原位监测结果

### 3.1 表面沉降

典型断面实测地表沉降曲线如图3所示，历时1361 d，该断面总沉降量达953 mm。根据地基加固过程沉降曲线，采用双曲线法可推算地基最终沉降量<sup>[13-14]</sup>，进而获得不同时间点地基固结度。

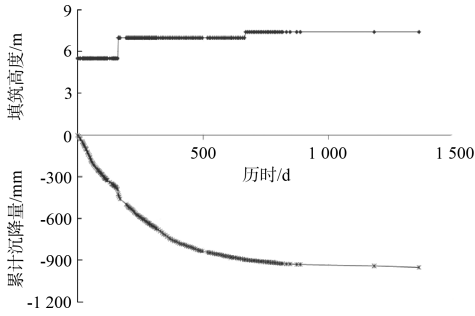


图 3 典型断面实测地表沉降曲线

如图 4 所示, 根据恒载后的沉降曲线并采用双曲线法推算断面最终沉降量为 970 mm, 据此可计算不同时间地基固结度:

$$U = \frac{S}{S_{\infty}} \quad (1)$$

式中:  $U$  为地基土层固结度;  $S$  为某时间点地基表面沉降;  $S_{\infty}$  为采用双曲线法推算的地基最终沉降。

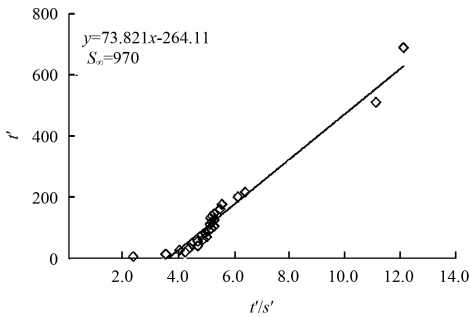


图 4 实测地表沉降曲线推算最终沉降量

### 3.2 深层水平位移

典型断面深层水平位移曲线如图 5 所示。随时间增长, 断面不同深度水平位移逐渐增大; 历时 1 195 d, 断面最大深层水平位移达 227.5 mm。

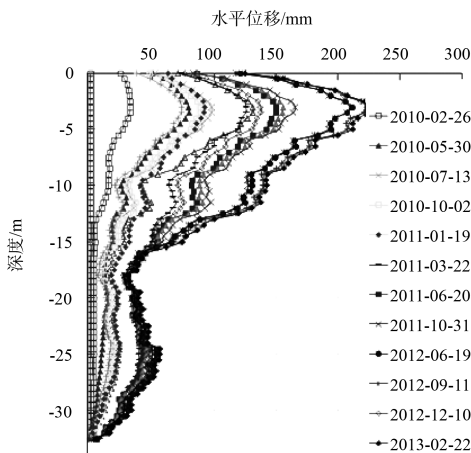


图 5 典型深层水平位移曲线

## 4 高性能排水板与普通排水板地基对比

### 4.1 地基固结度

高性能排水板试验段地基在 306 d 时的固结度如表 4 所示, 断面推求固结度为 84.2%。

表 4 306 d 地基推求固结度

排水板	标段	测点编号	实测沉降/mm	推求最终沉降/mm	推求固结度/%	
高性能排水板	302	W0+400	619.5	735.0	84.2	
		1W0+200	577.0	782.0	73.8	
		1W0+400	613.0	830.0	73.9	
		1W0+600	647.0	876.7	73.8	
	W2.1	1W0+770	564.0	1 130.0	50.0	
		1W0+950	531.0	982.0	54.1	
		1W1+050	494.0	960.0	51.5	
		平均值	571.0	927.0	61.6	
	普通排水板	W2.1	XX0+500	422.0	868.0	48.6
			XX0+800	548.0	1 075.0	51.0
W2.4		XX1+100	649.0	1 124.0	57.7	
		XX1+400	761.0	1 156.5	65.8	
		XX1+709	637.0	878.0	72.6	
W2.4		XB0+250	596.0	880.4	67.7	
		XB0+550	609.0	891.0	68.4	
		XB0+850	512.0	847.7	60.4	
		XB1+150	502.0	785.2	63.9	
		XB1+462	575.0	823.0	69.9	
W2.4	XB1+502	551.0	801.0	68.8		
	XB1+603	533.0	824.0	64.7		
	2W0+250	591.0	844.5	70.0		
	2W0+490	628.0	862.0	72.9		
	平均值	579.6	904.3	64.5		

普通排水板 W2.1 标段断面地基推求固结度为 50%~73.9%, 平均值为 61.6%; W2.4 标段断面地基推求固结度为 48.6%~72.9%, 平均值为 64.5%。对比结果表明: 同样工期内, 高性能排水板试验段地基固结度明显高于普通排水板标段地基固结度。其主要原因是高性能排水板芯板材料好, 抗弯折能力强, 其通水能力比普通排水板高。同时其滤膜孔径比普通排水板大, 在超软淤泥固结过程中, 排水通道不易发生阻塞和淤堵, 见表 2。

### 4.2 地基深层水平位移

高性能排水板与普通排水板地基最大深层水平位移如表 5 所示。4W0+400 断面堤中地基在 348 d 的最大深层水平位移为 72 mm, 4W0+400 断面坡脚地基在 373 d 的最大深层水平位移为 79 mm。

普通排水板标段(W1.1、W2.1、W2.4)地基最大深层水平位移为61~240 mm,平均值为120 mm。

表5 348 d地基最大深层水平位移

排水板类型	标段	测点断面及位置	历时/d	最大深层水平位移/mm
高性能排水板	302	4W0+400;堤中	348	72
		4W0+400;坡脚	373	79
普通排水板	W1.1	S0+560;堤中		100
		S0+940;堤中		112
		S1+400;堤中		65
		S1+740;堤中		143
	W2.1	1W0+770;堤中		147
		1W1+150;堤中		61
	W2.4	2W0+490;堤中		240
		XB0+250;堤中		102
		XB0+850;堤中		138
		XB1+462;堤中		157

普通排水板标段(W1.1、W2.1、W2.4)坡脚地基在373 d时的最大深层水平位移如表6所示。地基最大深层水平位移为43~143 mm,平均值为95 mm。

表6 373 d普通排水板试验段坡脚最大深层水平位移

测点标段	测点断面及位置	最大水平位移/mm
W1.1	S0+940;坡脚	120
	S1+740;坡脚	143
	S1+160;坡脚	85
W2.1	1W0+200;坡脚	160
	1W0+600;坡脚	126
W2.4	1W0+770;坡脚	43
	XB0+850;坡脚	135
	XB1+150;坡脚	53
	XB1+462;坡脚	44

对比表5、6可知,高性能排水板试验段地基的深层水平位移小于普通排水板标段地基的深层水平位移。其主要原因可能是高性能排水板段地基固结度高,地基强度增长快,因此水平位移小。

## 5 结论

1) 高性能排水板滤膜和芯板整体性强,在地基土层侧压力作用和沉降弯曲变形条件下,排水通道仍然较为通畅。堆载预压作用后,高性能排水板的通水量显著高于普通排水板。

2) 高性能排水板在斜波堤地基中的应用效果良好。306 d时,高性能排水板试验段地基的平均

固结度为84.2%,普通排水板标段地基的平均固结度为61.6%~64.5%。同样工期内,高性能排水板试验段地基固结度高于普通排水板标段。

3) 高性能排水板试验段堤中、堤脚在348 d的最大深层水平位移分别为72和79 mm;普通排水板标段堤中、堤脚在348 d的最大深层水平位移分别为120和95 mm。同样工期内,高性能排水板试验段地基的深层水平位移小于普通排水板标段地基的深层水平位移。

## 参考文献:

- [1] 夏玉斌,陈健,陈允进.直排式真空预压软基处理效果及经济性分析[J].水运工程,2011(9):224-229.
- [2] 唐彤芝,董江平,黄家青,等.薄砂层长短板结合真空预压法处理吹填淤泥土试验研究[J].岩土工程学报,2012,34(5):899-905.
- [3] 关云飞,唐彤芝,陈海军,等.超软地基真空预压浅层加固现场试验研究[J].岩土工程学报,2011,33(1):97-101.
- [4] 董志良,张功新,李燕,等.大面积围海造陆创新技术及工程实践[J].水运工程,2010(10):54-67.
- [5] 胡继业,王波,刘宏伟,等.惠州荃湾吹填淤泥地基表层真空预压[J].水运工程,2015(9):152-157.
- [6] 唐蔚东,李鼎鼎,彭西来.浅层处理无砂垫层真空预压施工工艺[J].水运工程,2015(8):155-157.
- [7] 袁保军,方伟.中厚层吹填淤泥超软地基一次真空预压处理现场试验[J].水运工程,2015(5):202-206.
- [8] CHU J, Yan S W, YANG H. Soil improvement by the vacuum preloading method for an oil storage station[J]. Geotechnique, 2000, 50(6): 625-632.
- [9] 毕平均.高性能塑料排水板在软基处理工程中的应用[J].水运工程,2012(2):134-137.
- [10] 刘金.软基处理中的高性能排水板应用分析[J].中国水运,2014,14(6):359-363.
- [11] 南京水利科学研究所.土工合成材料测试规程:SL 235—2012[S].北京:中国水利水电出版社,2012.
- [12] 南京水利科学研究所.高性能塑料排水板通水性能模型试验研究[R].南京:南京水利科学研究所,2014.
- [13] 朱群峰,何宁,王年香,等.超软淤泥地基最终沉降量探讨[J].中国水利水电科学研究院学报,2015,13(3):189-193.
- [14] 潘林有,谢新宇.用曲线拟合的方法预测软土地基沉降[J].岩土力学,2004,25(7):53-58.