

文章编号:1005-0523(2018)02-0037-09

# 航道高强度塑钢组合板桩护岸变形监测研究

丁若雪<sup>1</sup>,徐鹏<sup>2</sup>,马晨<sup>3</sup>,蒋凯<sup>2</sup>

(江苏省交通规划设计院<sup>1</sup> 河海大学<sup>2</sup> 哈尔滨工业大学<sup>3</sup>)

**摘要:**以往河道护岸工程中多采用直立式混凝土挡土墙,在不同程度上对景观环境和生态产生了不良的影响。高强度塑钢板桩具有材质轻、耐久性较好、维护成本低、造价经济、施工方便快捷等优点,而且现场试验研究充分进行。设计并实施塑钢板桩护岸变形监测试验,论证了高强度塑钢联锁组合板桩生态护岸在航道工程中应用的可行性和创新性。

**关键词:**生态护岸;塑钢组合板桩;承载力试验;环保节能

**中图分类号:**U614

**文献标志码:**A

板桩护岸相对于重力式护岸具有结构简单、材料用量小、造价低对地基承载力要求低等优点<sup>[1]</sup>,相对于木材、混凝土和钢板桩等传统板桩,高强度塑钢板桩具有材质轻、耐久性较好、维护成本低、造价经济、施工方便快捷、节能环保等优点<sup>[2]</sup>,应用前景较好。目前,高强度塑钢板桩在国内尚未规模投入使用,针对性理论研究相对较少,现场试验研究未充分进行。

以往混凝土及钢板桩等传统桩的设计都是以强度作为理论设计的依据<sup>[3]</sup>,而复合材料板桩由于其一般具有较高的比强度和较低的抗弯刚度,使用时会产生比钢板桩大得多的变形,因而其设计方法有别于传统的设计方法。在荷载作用下,板桩的破坏并非由于应力破坏产生,而是由于变形过度所致。因此,复合材料板桩的设计宜采用变形控制设计的方法进行。

因此,采用新型结构高强度塑钢板桩施工的护岸工程,必须要求对该新型护岸进行了施工期变形监测,以便对该新型结构的适用性进行研究,以了解该新型护岸材料的性能及实用性,为设计提供必要的依据<sup>[4]</sup>。本文就笔者参与的两个试验段进行变形监测,变形监测结果为高强度塑钢板桩的深入研究及推广应用提供技术支持。

## 1 监测方案与实施

### 1.1 监测内容与方法

本论文针对护岸工程试验段变形监测主要包括桩顶竖向位移、桩顶水平位移和桩身深层水平位移等观测项目。

#### 1.1.1 桩顶竖向位移

目的为测定表面标点的高程变化,给出标点的沉降量和沉降速率在时间和空间二维坐标上的变化<sup>[5]</sup>。仪器设施采用水准仪(一光-DS05),工作基点和水准基点方面,通过埋设板桩墙体上或板桩混凝土压顶上采用冲击钻法在其表面成孔埋设,放入标志后固定。设立三个水准工作基点,组成复合水准网,监测点按照二等

收稿日期:2017-11-11

基金项目:河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室项目(201606)

作者简介:丁若雪,女(1989—),江苏省交通规划设计院股份有限公司水运研究院。

通讯作者:蒋凯(1994—),男,在读硕士,研究方向为智能交通与大数据。

水准观测要求,采用闭合水准路线方法为提高观测精度固定观测人员,固定仪器,固定转点和测站。

### 1.1.2 桩顶水平位移

目的为测定板桩顶部横向水平位移<sup>⑥</sup>。仪器设施采用全站仪(Leica-TS2003),工作基点和水准基点方面,方法沿监测点纵向建立一条轴线,通过测量固定方向与测站至监测点的小角度变化,并测得测站至位移点的距离,从而计算监测点的水平位移量。

### 1.1.3 桩身深层水平位移

目的为测定埋入土体中测斜管的角位移,推算板桩的水平位移和挠曲[7]。仪器设施采用伺服加速度式测斜仪。深埋式测斜管方法为埋设在观测的孔位点用测量方法定位,钻孔,孔径为 146 mm。测斜管接长,注意导向槽的对正不许偏扭,在管的下端口装上管座。在外边包以重 300 g 的无纺土工布,用塑料绳捆扎,防止泥砂从连管段进入管内。在钻孔中装测斜管,用经纬仪校正导向槽的方向,使其对正欲测斜的方向,用砂回填。

测量时,将测斜仪探头伸入测斜管内上下滑移,即可在测读仪上读得数据,经计算分析后可得板桩及其后部土体侧向变形量。

## 1.2 测点布置

### 1.1.1 A 段

A 河道段根据护岸的结构型式共设置 A,B,C,D 4 个变形监测段,规定河道侧为外侧,堤身侧为内侧。试验现场测点布置平面位置见图 1,观测项目汇总于表 1。

表 1 A 段变形监测点设置汇总表  
Tab.1 Deformation monitoring points in Section A

测点编号	监测指标	监测仪器	埋设位置
AB1	板桩顶竖向 合水平位移	水准仪、全站仪	步道内侧板桩压顶顶面
AB2			
AB3			
AL1	板桩顶竖向 合水平位移	水准仪、全站仪	步道外侧板桩顶
AL2			
AL3			
AX1	板桩深层水平位移	测斜仪	外侧板桩内
AX2			内侧板桩内
B1	板桩顶竖向 合水平位移	水准仪、全站仪	混凝土压顶顶面
B2			
B3			
BX1	板桩深层水平位移	测斜仪	板桩内侧
C1	板桩顶竖向 合水平位移	水准仪、全站仪	混凝土压顶顶面
C2			
CX1	板桩深层水平位移	测斜仪	板桩内侧
D1	板桩顶竖向 合水平位移	水准仪、全站仪	板桩桩顶
D2			
DX1	板桩深层水平位移	测斜仪	板桩内侧

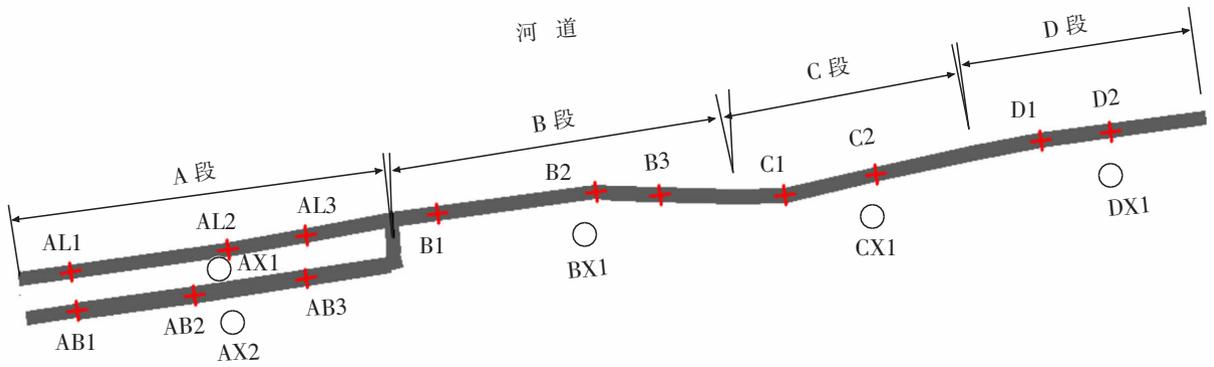


图 1 A 河道断面监测点布置图

Fig.1 Monitoring points layout of River A section

1.2.2 B 段

B 河道段共设置 E,F,G 3 处变形监测段和一处对比段 H,对比段为河道天然堤防,同样规定河道侧为外侧,堤身侧为内侧。试验现场测点布置平面位置见图 2,观测项目汇总于表 2。

表 2 B 段变形监测点设置汇总表

Tab.2 Deformation monitoring points in Section B

测点编号	监测指标	监测仪器	埋设位置
E1	板桩顶竖向	水准仪、全站仪	板桩桩顶
E2	合水平位移		
EX1	板桩深层水平位移	测斜仪	板桩内侧
F1	板桩顶竖向	水准仪、全站仪	板桩桩顶
F2	合水平位移		
FX1	板桩深层水平位移	测斜仪	板桩内侧
G1	板桩顶竖向	水准仪、全站仪	板桩桩顶
G2	合水平位移		
GX1	板桩深层水平位移	测斜仪	板桩内侧
HX1	板桩深层水平位移	测斜仪	天然护岸

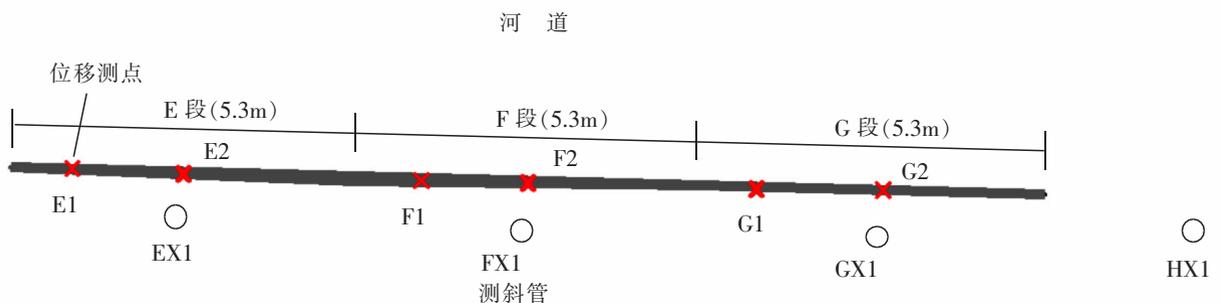


图 2 B 河道断面监测点布置图

Fig.2 Monitoring points layout of River B section

### 1.3 板桩加荷情况

A 段河道堤防为老堤,堤基和堤身土处于稳定状态。护岸变形监测采用重型车辆加荷,先后分两级加载,第一级荷载于秋季采用总载重 12 T 的混凝土泵车加载,第二级荷载于 2 日后采用总载重 26 T 的泵车加载。根据每段板桩护岸的长度,在每节堤防的堤顶停 2~3 辆混凝土泵车来模拟均布荷载。

B 段河道护岸在板桩后部堤身侧采用填土加荷。其中 E 段板桩高度 4.0 m,埋深 2.9 m;F 段板桩高度 3.0 m,埋深 2.3 m,G 段板桩高度 2.0 m,埋深 1.5 m。根据现场地形和施工条件分两层填土,第一层填土厚度约 50~60 cm。第二层填土至板桩顶,厚度约 50~60 cm。

## 2 监测结果与分析

A 河道护岸试验段观测周期为 7 d。B 河道护岸试验段观测周期为 6 d。所测位移值中水平位移正值为偏向河道侧,负值为偏向堤防侧;竖向位移向下为正值,向上为负值。

### 2.1 A 河道护岸监测结果

#### 2.1.1 桩顶竖向位移

监测期内竖向位移累计值汇总于表 3,监测日期为 2016 年 9 月 14 日—20 日。在 A 河道护岸试验段堤防顶部进行两次车辆加载后,板桩 A,B,C,D 试验段监测点沉降在 -2~+5 mm 之间,桩顶竖向位移非常小,各种结构型式护岸变形量无明显变化规律。

#### 2.1.2 桩顶水平位移

桩顶水平位移累计值汇总于表 4,监测日期为 2016 年 9 月 14 日—20 日。在 A 河道护岸试验段堤防顶部进行两次车辆加载后,板桩 A,B,C,D 试验段监测点水平位移在 -4.9~+10.7 mm 之间,变化量较小,各种结构型式护岸变形量无明显变化规律。

表 3 A 河道护岸试验段桩顶竖向沉降

Tab.3 Vertical settlement of pile top in revetment test section of River A

测点编号	累计沉降量/mm
AB1	2
AB2	3
AB3	0
AL1	5
AL2	4
AL3	2
B1	1
B2	2
B3	4
C1	-1
C2	1
D1	1
D2	-2

表 4 A 河道护岸试验段桩顶水平位移

Tab.4 Horizontal displacement of pile top in revetment test section of River A

测点编号	累计水平位移量/mm
AB1	8.8
AB2	2.1
AB3	8.9
AL1	5.8
AL2	7.5
AL3	4.1
B1	-2.6
B2	10.7
B3	10.6
C1	0.5
C2	-7.0
D1	1.8
D2	-4.9

### 2.1.3 桩身深层水平位移

桩身深层水平位移测值见表5,监测日期为2016年9月14日—20日。板桩A,B,C,D试验段测斜管水平位移值在1.98~10.41 mm之间,变化量较小,各种结构型式护岸变形量无明显变化规律。

## 2.2 B河道护岸监测结果

### 2.2.1 桩顶竖向位移

监测期内竖向位移累计值汇总于表6,变化过程线见图4。板桩E,F,G段测点桩顶竖向位移在-2~+14 mm之间,E,F,G各段板桩悬臂端高度分别为1.1,0.7和0.5 m,桩顶竖向位移变化量依次减小,和水平位移变化规律一致。

表5 A河道护岸试验段测斜管水平位移量

Tab.5 Horizontal displacement of measuring tube in revetment test section of River A

测斜管编号	累计侧向水平位移量/mm
AX1	1.98
AX2	3.42
BX1	10.41
CX1	2.93
DX1	9.96

表6 B河道护岸桩顶竖向位移

Tab.6 Vertical displacement of pile top in revetment of River B

测点编号	累计沉降量/mm
E1	7
E2	14
F1	6
F2	5
G1	-2
G2	2

### 2.2.2 桩顶水平位移

监测期内桩顶水平位移累计值汇总于表7,变化过程线见图5,监测日期为2016年9月20日—26日。板桩E,F,G段测点桩顶水平位移在41.1~110.9 mm之间,桩顶水平位移变化量依次减小,和竖向位移变化规律一致。

### 2.2.3 桩身深层水平位移

试验段桩身和堤防深层水平位移测值见表8,变化过程线见图6~图8,监测日期为2016年9月12日—26日。板桩E,F,G,H试验段桩身深层水平位移值在49.44~78.93 mm之间,试验段桩身深层水平位移变化量依次减小,和桩顶位移变化规律一致。未护岸段堤防深层水平位移值为73.91 mm。

表7 B河道护岸桩顶水平位移

Tab.7 Horizontal displacement of pile top in revetment of River B

测点编号	累计水平位移量/mm
E1	77.4
E2	110.9
F1	58.8
F2	56.5
G1	41.1
G2	43.0

表8 B河道堤防和护岸桩身深层水平位移

Tab.8 Deep horizontal displacement of embankment and revetment pile of River B

测斜管编号	累计侧向水平位移/mm
EX1	78.93
FX1	55.79
GX1	49.44
HX1	73.91

### 2.3 监测结果分析

现场分别对 A 河道和 B 河道护岸段堤防采用车辆加荷和填土加荷的方式，现场监测板桩变形情况<sup>[8]</sup>。监测结果表明：

1) A 河道四种结构型式板桩试验段堤防在 52T~78T 车辆载荷作用下，板桩桩顶竖向(水平)位移和桩身深层水平位移分别在-2~5 mm,-4.9~10.7 mm,1.98~10.41 mm 之间，位移变化量均较小均不明显，施打板桩对周围土体扰动较小。

2) B 河道 3 种结构型式板桩试验段在板桩后部堤身侧采用填土加荷，板桩桩顶竖向(水平)位移和桩身深层水平位移分别在-2~14 mm,41.1~110.9 mm,49.4~78.93 mm 之间。桩顶和桩身位移变化量均随板桩悬臂高度减少而依次减小。

3) B 河道 3 种结构型式板桩试验段在板桩后部堤身侧采用填土加荷，土厚度 50 cm 时，桩身深层水平位移在 46.3~52.7 mm 之间，未护岸段堤防深层水平位移为 73.1 mm。未护岸段堤防深层水平位移大于护岸段桩身深层水平位移，护岸有助于减小堤防土体水平方向变形。

限于篇幅关系，本文仅列出 B 河道部分图形曲线如下：

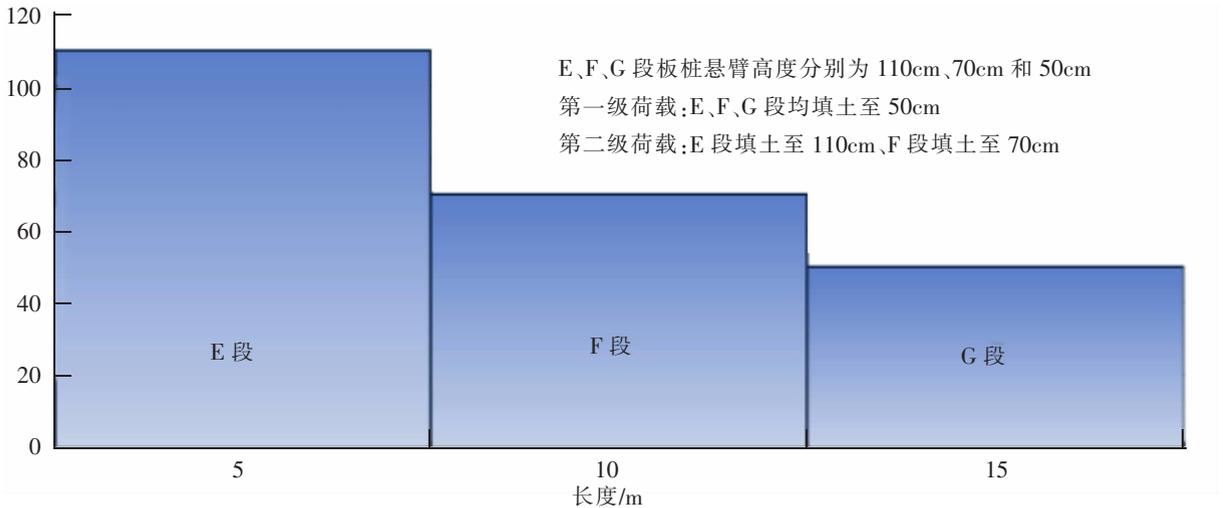


图 3 B 河道护岸加荷情况示意图

Fig.3 Revetment loading diagram of River B

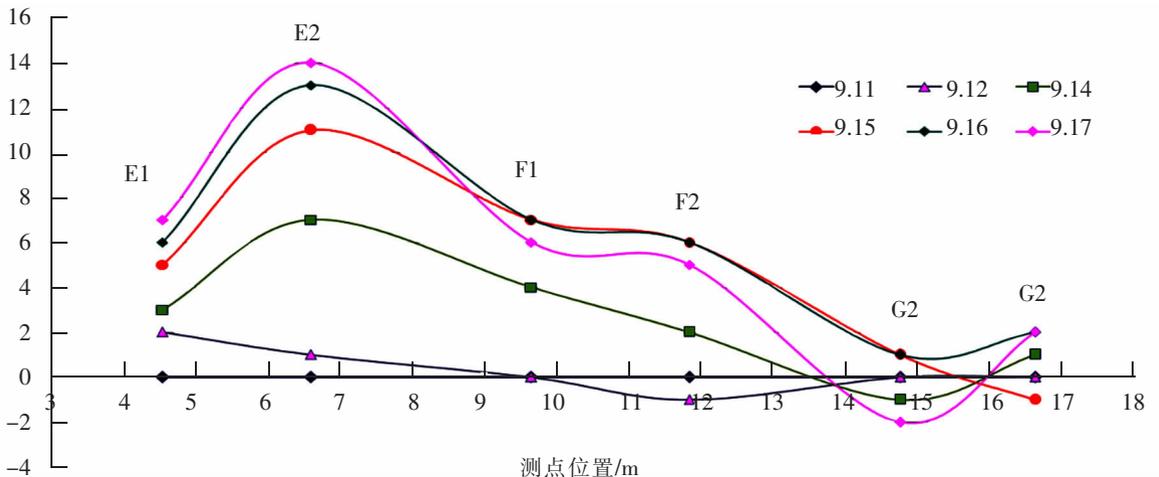


图 4 B 河道护岸桩顶竖向位移变化过程

Fig.4 Vertical displacement process of pile top of B river revetment

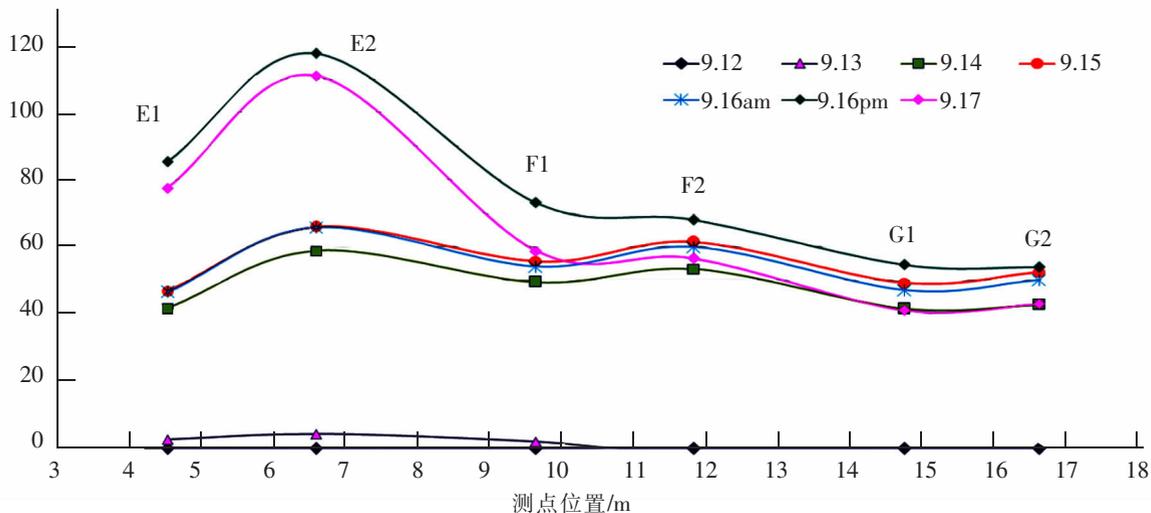


图 5 B 河道护岸桩顶水平位移变化过程

Fig.5 Horizontal displacement variation of pile top of B river revetment

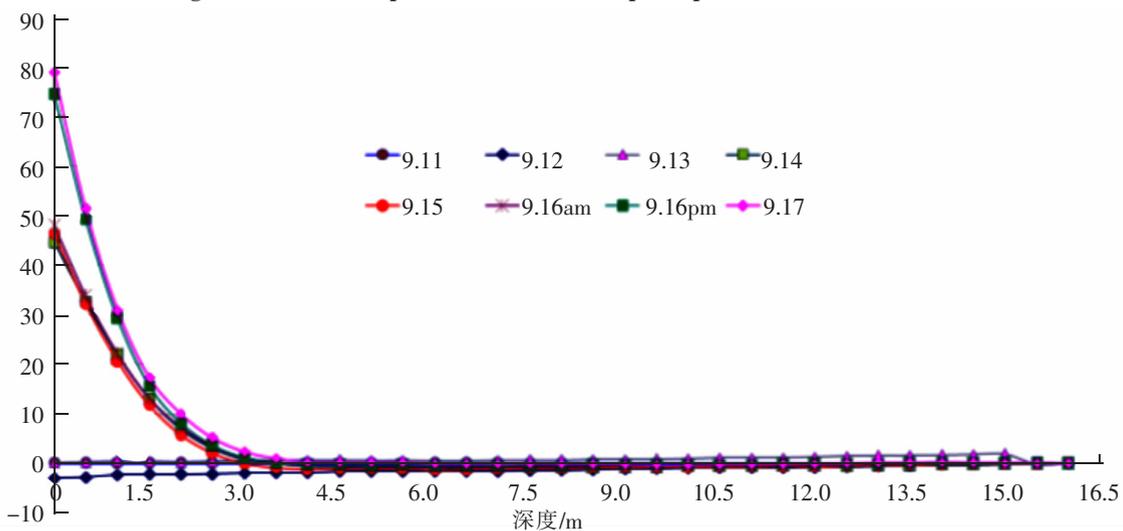


图 6 B 河道护岸 E 段桩身深层水平位移变化过程

Fig.6 Deep horizontal displacement process of section E of B river revetment

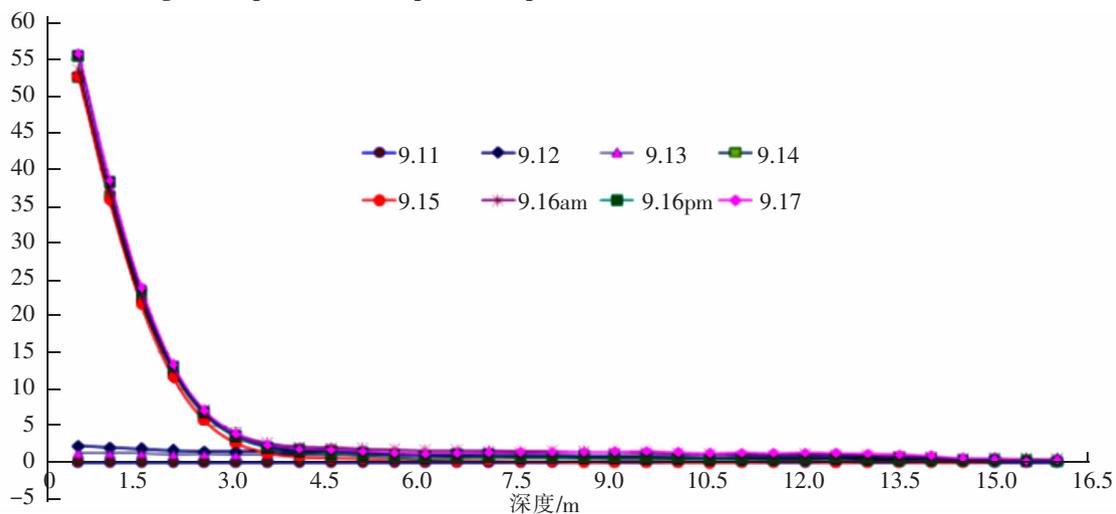


图 7 B 河道护岸 F 段桩身深层水平位移变化过程

Fig.7 Deep horizontal displacement process of section F of B river revetment

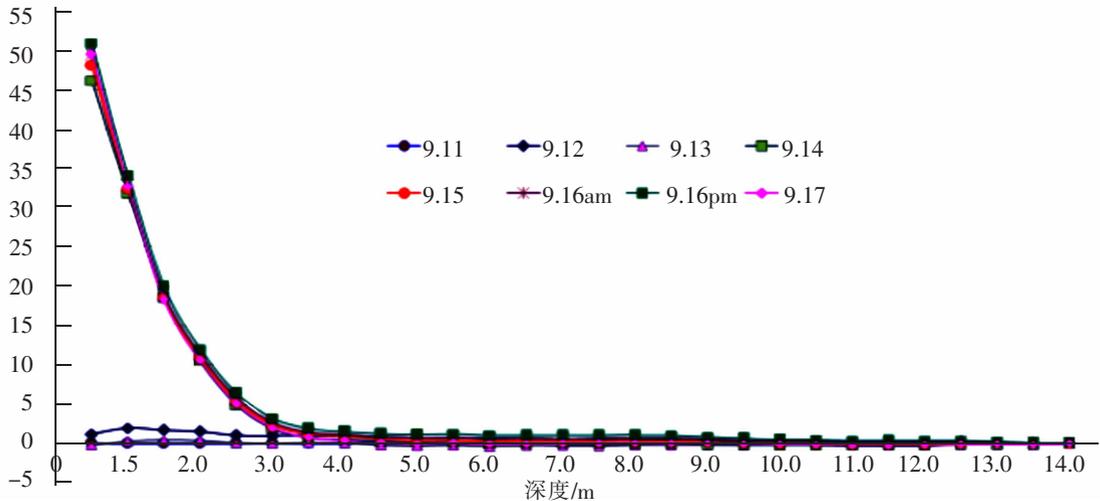


图 8 B 河道护岸 G 段桩身深层水平位移变化过程

Fig.8 Deep horizontal displacement process of section G of B river revetment

### 3 结论

通过实验可知:A 河道四种结构型式板桩试验段竖向位移和桩身深层水平位移变化量均不明显,B 河道三种结构型式板桩试验段桩顶和桩身位移变化量均随板桩悬臂高度减少而依次减小且未护岸段堤防深层水平位移大于护岸段桩身深层水平位移。

目前,高强度塑钢板桩在国内尚未规模投入使用,针对性理论研究相对较少,现场试验研究未充分进行,对于这种新型复合材料的护岸板桩位移监测和控制标准尚未有相应的规范要求,本研究针对河道采用的高强度塑钢板桩护岸,对施工期内板桩的变形情况进行现场监测,监测数据及方法可为设计单位提供参考。

### 参考文献:

- [1] 王新军,罗继润. 城市河道综合整治中生态护岸建设初探[J]. 复旦学报:自然科学版,2006,45(1):120-126.
- [2] 王浩. 中国水污染形势严峻[J]. 中国经济和信息化,2013,10(4):67-69.
- [3] 马玲,王凤雪,孙小丹. 河道生态护岸型式的探讨[J]. 水利科技与经济,2010,16(7):744-745.
- [4] SCHOLZ J G. Monitoring urban streams: Strategies and protocols for humid-region lowland systems[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2001,71:143-164.
- [5] ANDY G. Coir Rolls Combat bank erosion on monmouthshire & brecon Canal[J]. British Waterways,2005(6):1-4.
- [6] 夏继红,严忠民. 国内外城市河道生态型护岸研究现状及发展趋势[J]. 中国水土保持,2004(3):20-21.
- [7] 丁艳荣. 生态型河道护岸材料研究[D]. 湖北:湖北工业大学,2015:22-26.
- [8] 徐芳,岳红艳. 生态型护岸及其发展前景[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2005,24(5):148-150.

# Research on Revetment Monitoring of Reinforced High Strength Plastic Steel Composite Piles in Waterway

Ding Ruoxue<sup>1</sup>, Xu Peng<sup>2</sup>, Ma Chen<sup>3</sup>, Jiang Kai<sup>2</sup>

(Jiangsu Traffic Planning and Design Institute 1; Hohai University<sup>2</sup>; Harbin Institute of Technology<sup>3</sup>)

**Abstract:** The vertical concrete retaining walls are widely used in bank revetment projects, having detrimental impacts on landscape environment and ecology to varying degrees. High-strength plastic sheet pile has the advantages of light weight, good durability, low maintenance cost, economical cost and quick construction. In this study, the field test has been thoroughly carried out. It designed and implemented plastic sheet pile revetment deformation monitoring test, and demonstrated the feasibility and innovation of the application of high strength plastic steel interlocking composite sheet pile ecological revetment in waterway engineering.

**Key words:** ecological revetment protection; plastic composite sheet pile; carrying capacity test; environmental protection and energy saving