

# 阿賀野川灰塚地区におけるベーン工による水衝部対策の効果

## EFFECTS OF BANK PROTECTION DUE TO VANE WORKS IN THE AGANO RIVER

石田 和典<sup>1</sup>・東川 敏<sup>2</sup>・服部 敦<sup>3</sup>・福岡 捷二<sup>4</sup>

Kazunori ISHIDA, Satoshi HIGASHIKAWA, Atsushi HATTORI and Shoji FUKUOKA

<sup>1</sup>非会員 国土交通省北陸地方整備局 阿賀野川河川事務所 調査・品質確保課長 (〒956-0032新潟市秋葉区南町14-28)

<sup>2</sup>非会員 国土交通省北陸地方整備局 阿賀野川河川事務所長 (〒956-0032新潟市秋葉区南町14-28)

<sup>3</sup>正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部河川研究室長 (〒305-0804茨城県つくば市旭1番地)

<sup>4</sup>フェロー 工博, Ph. D 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

The vane works have been carried out for the gently sloped river of segment 2-2 in the Agano river in order to prevent bank erosion of the river bends. The location and the configuration of the vane works were examined by physical model experiments and by riverbed variation analysis. The monitoring conducted after step by step installation of the vane works, Proved the effectiveness of design method and construction method of the vane works.

**Key Words** : curved chnnel, vane work, riverbed variation, experiment, riverbed variation analysis

### 1. はじめに

阿賀野川は、栃木県と福島県境の荒海山を源流とし、新潟県を流下し日本海に注ぐ、幹川流路延長210km、流域面積7,710km<sup>2</sup>の一級河川である。

阿賀野川の流路は、図-1に示すように河口から9km～22km区間で蛇行が著しく、河床勾配が1/5800の緩流部であり、大きな水衝部が3箇所存在している。その中でも10km附近の灰塚地区と14km附近の横越地区の2箇所は局所洗掘も進行しており、早急に対策が必要となっていた。

湾曲部の局所洗掘対策は、これまで水制工やベーン工が実施され、効果を上げてきている。建設省土木研究所では、9.0km～16.8km区間を対象とした大型移動床模型実験によって横越と灰塚地区の局所洗掘対策について検討を行い、横越地区では水制工、灰塚地区ではベーン工の整備を提案している<sup>1)</sup>。これは、灰塚地区は、湾曲河岸部の洗掘が大きく、低水路法線と堤防法線の位相がほぼ同じであり、また、上流に位置する横越地区の水制工により流況改善が成されるため、遠心力に起因する二次流が十分に発達することから、これに対して効果的な対策工としてベーン工を選定したものである。

本文では、建設省土木研究所(現 独立行政法人土木研究所)が実施したベーン工についての移動床模型実験について述べ、その実験結果をもとに、灰塚地区のベ-

ーン工の配置と施工順位を数値解析によって検討した。さらにベーン工の詳細設計、現場施工、施工後の現地モニタリング結果から、ベーン工の効果について考察する。

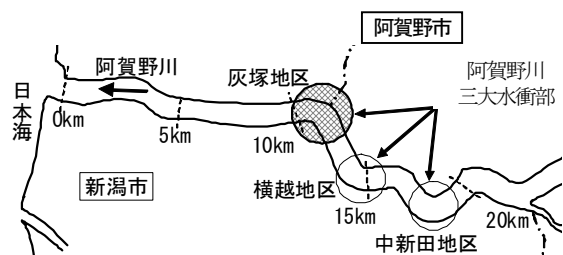


図-1 阿賀野川の平面形状と三大水衝部

表-1 実験ケース

ケース	主旨	ベーン工	初期河床	流量 (m <sup>3</sup> /s)
I	現況河床及び流況再現	—	河床整形	1,800 <sup>※1</sup>
			1800m <sup>3</sup> /s通水後	5,000—7,500 <sup>※2</sup>
II	流況改善効果の検証	4列	河床整形	1,800
			1800m <sup>3</sup> /s通水後	5,000—7,500
III	IIの問題点改善策後の流況改善効果の検証	6列	河床整形	3,900 <sup>※3</sup>
			1800m <sup>3</sup> /s通水後	5,000—7,500

※1 代表流量：横断方向流砂量が生じない、 $q_{bm}/q_{bs}=0$ となる流量とした

※2 洪水流量：ピーク流量が大きく洪水継続時間が長いハイドログラフを有する、1978年6月26日での洪水流量を段階的に分け設定した

※3 平均年最大流量

## 2. 模型実験によるベーン工の配置検討<sup>1)</sup>

### (1) 移動床模型実験の概要

建設省土木研究所では 9.0 km～16.8 km区間を対象に、水平方向は 1/70、鉛直方向は 1/40 の歪模型を作成し灰塚及び横越地区の局所洗掘対策工の計画立案のための実験を行っている。移動床材料は平均粒径 0.3mm の石炭粉（水中比重 $\approx 0.5$ ）を用いた。実験ケースは、表-1 に示すとおりである。

### (2) ベーン工の配置設計

ベーン工の配置設計は、ケース I での実験における河床形状、及び渡辺<sup>2)</sup>による設計法を用いて行った。ケース II のベーン工設置線形は図-2 に示すように湾曲部の上流端において流線がベーン工の内岸側に滑らかに接するように、最深部周辺ではベーン工の外岸側が T.P-4m の等高線に沿い、下流端は T.P-4m の等高線が存在する区間まで設置することを目安にして定めた。

ベーン工の寸法は現況の河床形状から判断した平均河床高 (T.P-1.2m) と 7,500m<sup>3</sup>/s 通水時の水深を用い設定し、福岡ら<sup>3)</sup>の提案に基づき形状寸法を設定した。

縦断配置間隔は相互作用の及ぶ範囲が長い 7,500m<sup>3</sup>/s 通水時に対して計算を行い 85m とした。横断間隔については、ベーン工による循環流のスケールが水深程度と考えられるため、これより大きい 14m とした。

ベーン工の配置列数は、二次流相殺係数  $\gamma$  をもとに決定した。渡辺<sup>2)</sup>は平均年最大流量時の値として  $\gamma = 0.4 \sim 0.5$  を推奨しているが、河床変動の状況は模型の特徴から強調されるので、この分を割り引いて考え、また利根川に対する模型実験結果<sup>4)</sup>により  $\gamma = 0.2 \sim 0.3$  にした実験で結果が良好であったことも参考に、7,500m<sup>3</sup>/s 通水時に  $\gamma \approx 0.35$  となるよう設定した。その結果ケース II の列数は 4 列となり、 $\gamma$  は 0.34 である。

設定したケース II の配列による実験結果を図-3 に示す。ベーン工により最深部の位置がベーン工の内岸側に移動しており、河岸近傍の局所洗掘の軽減効果が認められた。しかし、図-4 に示すように、11.0～11.4 km 区間でベーン工の上流端を外岸から内岸に向かって横切る流れが発生し、それによってベーン工周辺で局所洗掘が発生した。

上記問題点を解決するため、ケース III では 11.0 km～11.4 km 区間の線形を外岸側に約 70m 移動させ、さらにベーン工の列数を 6 列に増やし、循環流を生成させることによって、ベーン工内岸側の局所洗掘深を緩和させた。縦断配置間隔は 116m、横断間隔はケース II と同じ 14m とした。 $\gamma$  は 0.37 (7,500m<sup>3</sup>/s) である。実験結果を図-5 に示す。ベーン工を横切る流れは小さくなり、ベーン工線形と諸元が適切であることが確認された。

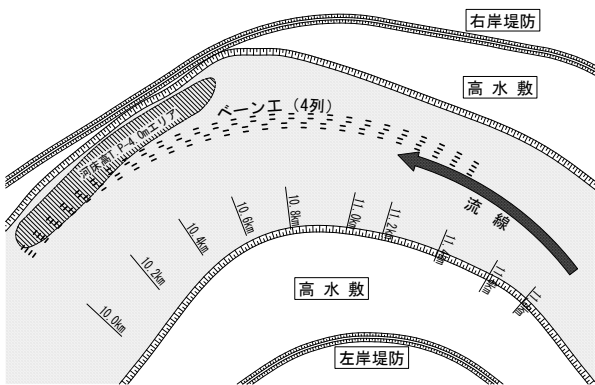


図-2 ケース I の流線とケース II のベーン工配置線形の関係

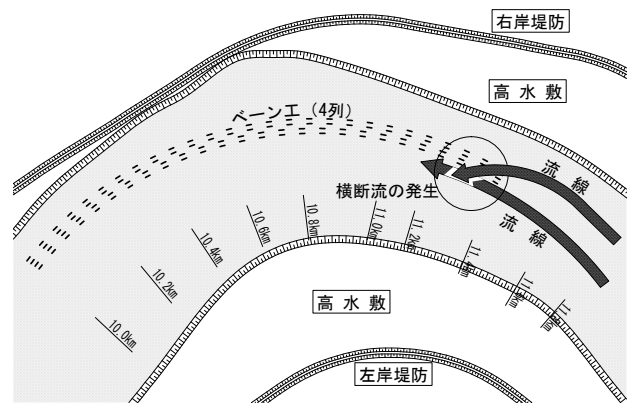


図-4 流線とベーン工の関係 (ケース II)

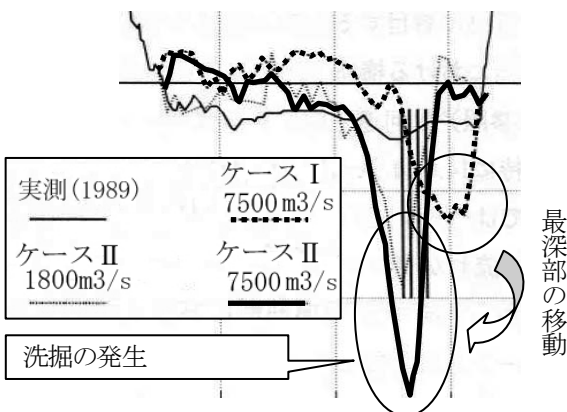


図-3 10.4km地点での河床横断形 (ケース II)

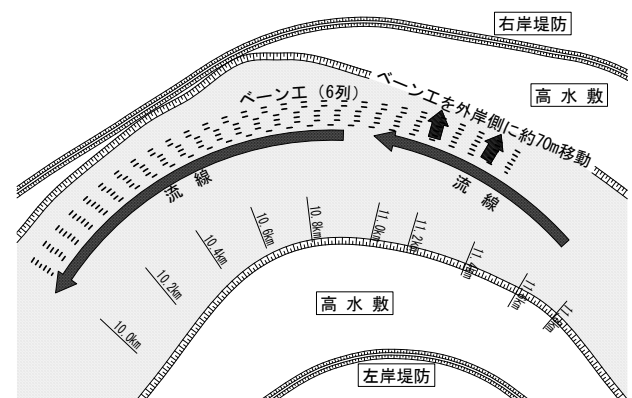


図-5 流線とベーン工の関係 (ケース III)

### 3. 数値解析によるベン工の配置検討

#### (1) 数値解析手法の概要

模型実験結果の検証と、実験後に変化した現地河床状況に対応したベン工の配置及び施工順位とその影響を数値解析により検討した。

解析は、福岡ら<sup>5)</sup>による横断一次元河床変動解析を使用し、ベン工の横断方向の位置（位置・列数等）を検討した。さらに、湾曲部の二次流等の流況を表現する実用的解析手法である準三次元流況モデル<sup>6)</sup>に河床変動モデルを組み合わせた手法を用い縦断方向の配置を検討した。ベン工は福岡ら<sup>5)</sup>の方法と同様に、ベン工が外力として流れに影響を及ぼすものとして取り扱った。

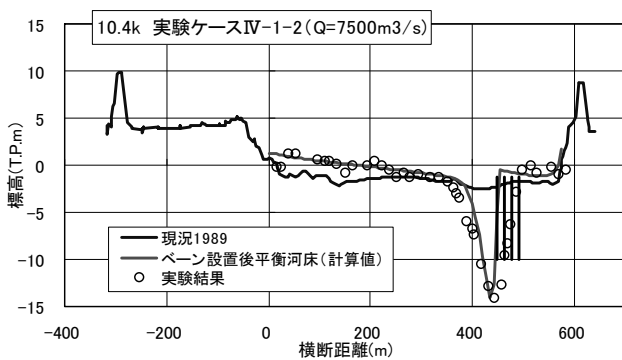


図-6 横断一次元河床変動解析による検証

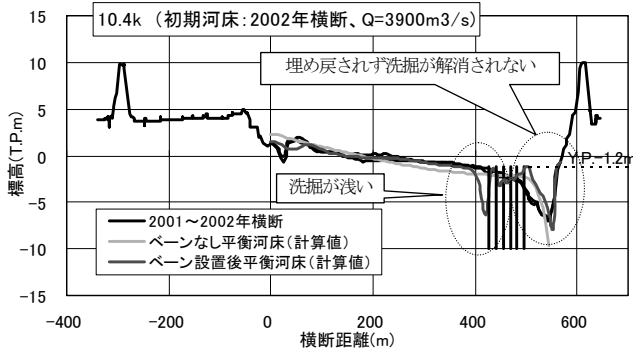


図-7 横断一次元河床変動解析による予測  
(平成14年現況河道、模型実験ケースⅢ配置)

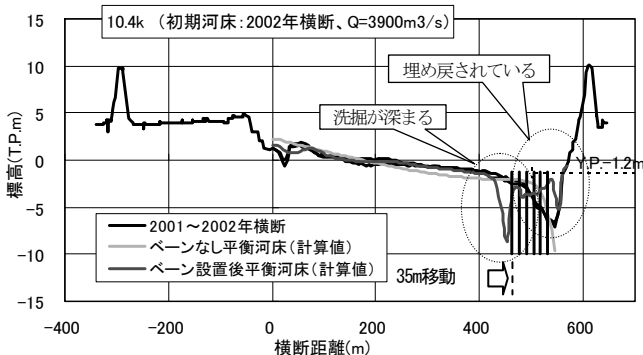


図-8 横断一次元解析による予測  
(平成14年現況河道、模型実験ケースⅢの配置より  
35m外岸へ移行した配置)

#### (2) 模型実験の検証

横断一次元河床変動解析による検証では、図-6に示すように、ベン工内岸側の洗掘と外岸側の堆積が表現され、模型実験と同様にベン工の効果と問題点として残されている内岸の局所洗掘も確認された。

ただし、模型実験の初期河床条件は、1989年の平坦に近い河道横断形状であり、ベン工突出高（ベン工天端高ー河床高）が約1m程度確保されている条件である。

現況河道（2002年）のように右岸（外岸）が洗掘され、左岸（内岸）が堆積した河道に当てはめ、模型実験と同じ配置でベン工を設置した場合、図-7に示すようにベン工突出高を十分確保できず内岸の洗掘は軽減されるが、外岸法尻部分を埋め戻すには至らないことが確認された。

#### (3) ベン工配置案の検討

ベン工突出高を確保するために、図-7の配置を変更し、35m右岸（外岸）へ移動させた。これによって、図-8に示すように、外岸側は河岸法尻附近も埋め戻されベン工の効果が確認された。また、内岸の洗掘量は増したが、模型実験のように根入れ下まで達しておらず許容範囲内であると考え、横断位置はこの配置案が適当であると判断した。

図-9は、ベン工設置前の2002年の河床高分布を示したものであり、9.8km~10.6km区間の右岸側に大きな深掘れが生じている。縦断配置は、準三次元河床変動計算モデルを用いて、この深掘れを少なくすることができる配置を検討した。横断配置は模型実験ケースⅢの線形を外岸側に35m移動した配置である。

図-10は、平均年最大流量の4,200m³/sを1週間通水した場合における河床変動の予測結果を示している。ベン工線形を変えるだけではベン工上流部の外岸側への

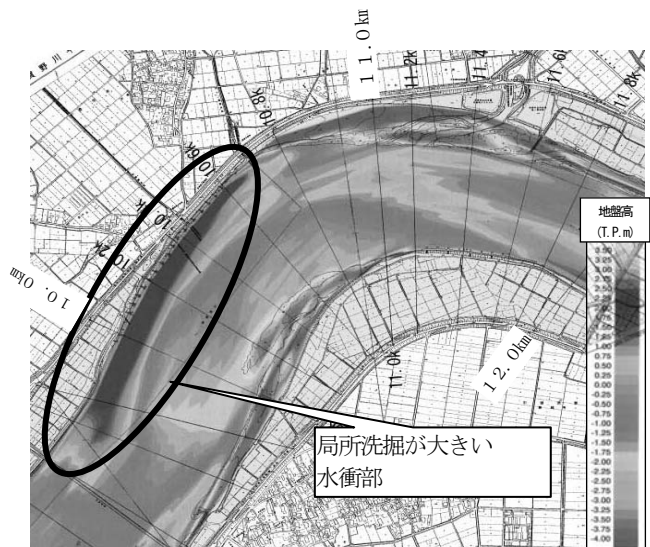


図-9 阿賀野川河床現況図（2002年）

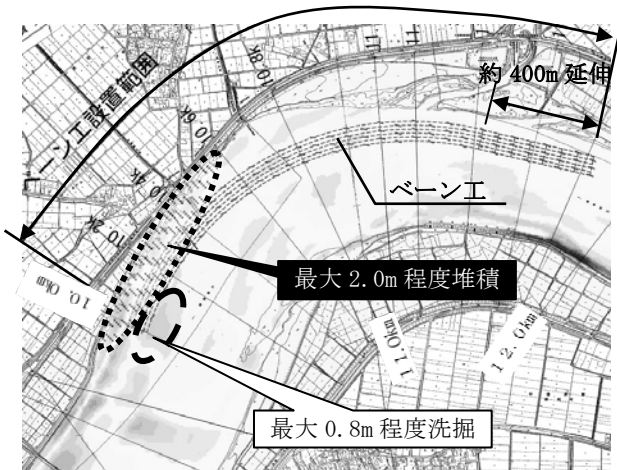


図-10 ベーン工設置後の河床変動予測

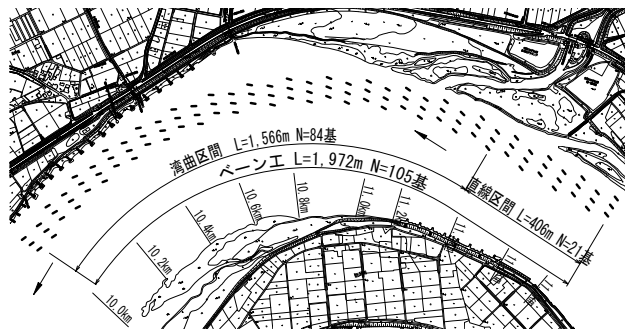


図-11 ベーン工計画平面図

	湾曲区間(下流)	直線区間(上流)
範囲	10.0km～11.4km	11.4km～11.8km
延長	1,566m	406m
基数	84基	21基
列数	6列	
配置形状	千鳥型配置	

表-2 ベーン工計画

流れを十分抑制できないことが判明した。このため、模型実験によるベーン工列の上流端をガイドベーンとして約400m上流へ延伸するよう配置した。図-10に示すように、初期河床に対し外岸側で最大2.0m程度の堆積、内岸側で最大0.8m程度の洗掘が見られ、ベーン工設置の効果が確認された。

#### 4. ベーン工の施工及び効果

##### (1) 施工方法

模型実験及び河床変動解析により灰塚地区のベーン工配置計画を表-2及び図-11に示す。一次施工箇所は、ベーン工の河床上の突出高が最も大きく効果の期待できる箇所を選定した。ベーン工の突出高が大きい箇所は、即ち現況河床高が低い箇所である。ベーン工計画区間の一次施工直後の河床形状をベースとした河床変動量を図-13～図-15に示す。図-13は2005年6月出水

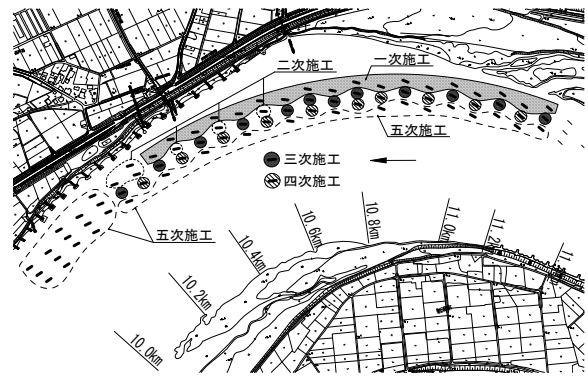


図-12 ベーン工施工順序

表-3 ベーン工施工とモニタリングの推移

年月	項目	特記
2004.12～ 2005.2	一次施工	18基(18) 外岸側10.4km～11.2km
2005.3	①横断測量	施工直後の河床状態を把握
2005.6	(1)出水	Q=4,320(m <sup>3</sup> /s)
2005.12	②横断測量	10.0km～10.4kmにかけて深堀れ部の堆積を確認
2006.3	ADCP	3次元の流況観測
2006.7	(2)出水	Q=4,840(m <sup>3</sup> /s)
2006.10	環境調査	魚介類の生息調査
2006.11	③横断測量	10.6km～10.8kmに堆積域が延伸
2006.12～ 2007.2	二次施工	6基(24) 中間部10.2km～10.6km
2007.6	(3)出水	Q=3,349(m <sup>3</sup> /s)
2007.10	④横断測量	堆積範囲の拡大を確認
2008.1～ 2008.3	三次施工	12基(36) 中間部10.2km～11.2km
2009.2	四次施工	10基(46) 内岸側10.0km～11.2km
2009.12～ 2010.1	五次施工	29基(75) 内岸側10.0km～11.2km

( )内は累計施工数

(Q=4,320m<sup>3</sup>/s)を経た河床形状(2005.12)を一次施工直後の河床形状(2005.3)と比較したものを示している。ベーン工に沿って深堀れが発生している一方で、ベーン工の外岸側には1m前後の堆積が確認できる。うち現況河床高が低い区間は、流れが集中する10.0km～10.6kmである。このうち、10.4km～10.6kmは高水敷幅が非常に狭小であり、堤防保安上重要な箇所であるため、図-12に示すように10.4km附近の外岸側のベーン工から着手し、その後モニタリングしながら上下流を段階的に施工するものとした。

ベーン工は、千鳥型6列配置を恒久的な配置形状として設定しているが、段階施工を行なう場合は必要最小限の基数で効果を発揮することが必要である。そこで、段階施工では二次流が働く千鳥型の2列以上の配置とした。

##### (2) ベーン工による河床形状の変化

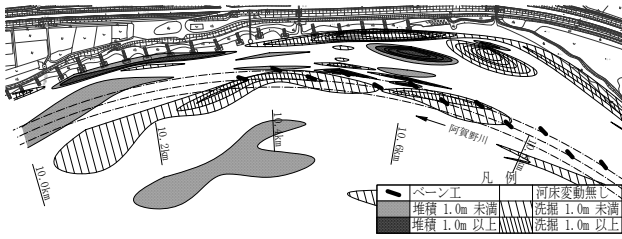


図-13 河床変動量(2005.3-2005.12)

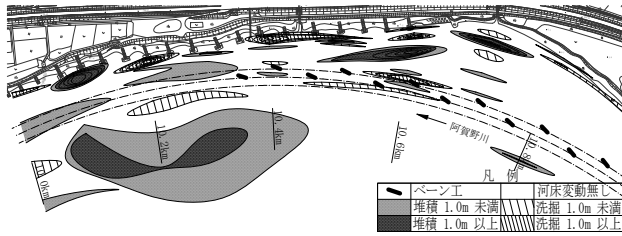


図-14 河床変動量(2005.3-2006.11)

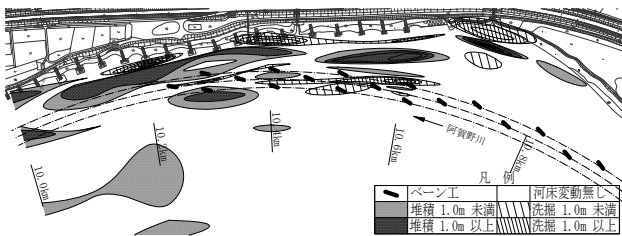


図-15 河床変動量(2005.3-2007.10)

ベーン工施工区間における河床形状の測量は、表-3に示すように4回実施している。一次施工直後の河床形状をベースとして、経年的な河床変動量から段階施工による河床洗掘軽減効果を検証した。

図-14に示す2006年7月出水(Q=4,840m<sup>3</sup>/s)を経た河床形状(2006.11)との比較では、図-13と比べ10.6km～10.8kmに堆積域が延伸している。

モニタリング結果から十分なベーン工の効果を確認出来たとして、2007年3月の二次施工ではベーン工を深堀れが生じている下流部に延伸(10.2km～10.4km)すると共に、流心をより内岸側に誘導するためベーン工を既設ベーン工の内岸側に設置した。図-15は二次施工後の2007年6月1回の出水(Q=3,349m<sup>3</sup>/s)を経た河床変動量を示す。図-14と比較し堆積域がベーン工の外岸側に拡大していることが確認できる。

### (3) 流況観測によるベーン工の効果の把握

ADCPによりベーン工を設置した河道断面内の流況を観測し、ベーン工による河床洗掘軽減効果を検証した。調査は一次施工後の出水後2006年3月に実施した。図-16に10.7km断面の水平流速分布、鉛直流速分布及び同測線の地形変化を示す。測線の直上流にベーン工があるもののベーン工の施工前後のため河床の地形変化は見られない。これは流心がベーン工周辺を通過していないため、流れ

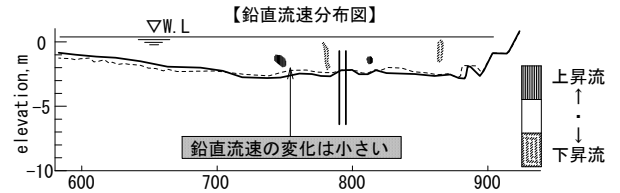
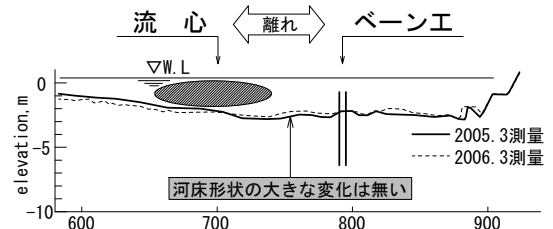


図-16 10.7km流速分布

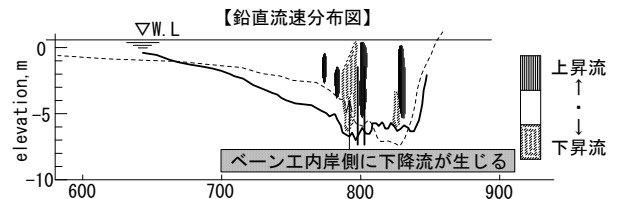
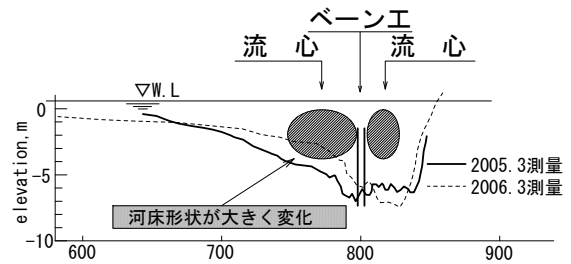


図-17 10.4km流速分布



図-18 ベーン工設置箇所のみお筋 (2010年3月)

が大きな影響を受けないためと考えられる。

一方、図-17に示すように、10.4km断面ではベーン工の施工前後で、ベーン工外岸部の堆積と内岸部の洗掘が見られる。これはベーン工を設置したことにより、河床の最深部が河道右側から河道中心へ変化したことを示す。また、鉛直流速が大きい箇所では河床形状変化が見ら

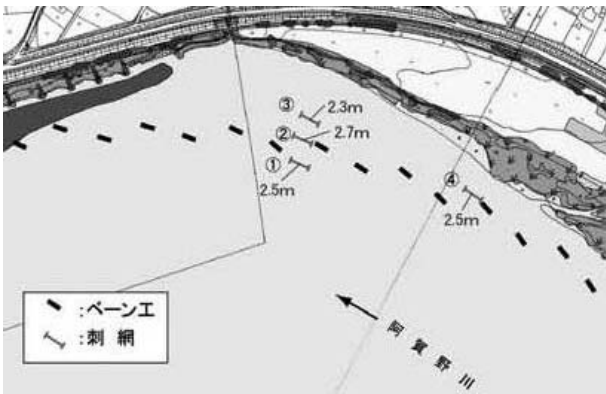


図-19 魚類の調査箇所

表-4 魚類調査結果

	ベーン工(10.7km)	横越地区(12.4km)
水深	3m程度	2m程度
ウグイ	5	1
ニゴイ	1	1
アユ	1	-

れ、ベーン工の効果が確認できる。

また、図-18は、2010年3月に撮影したベーン工設置箇所の表面流況を示す。通常時においてもベーン工の設置箇所に沿って水面に達する渦運動が見られ、ベーン工による河床及び流れの制御が確認できる。

#### (4) 生物環境への影響

ベーン工が魚介類の生息環境に与える影響を検証するため、魚類の捕獲調査を実施した。調査は一次施工から1年7ヶ月が経過した2006年10月に実施し、調査箇所は図-19および図-20中の①～③で示すようにベーン工の内岸側、直下流、外岸側とした。調査漁法は、流速が大きく水深があるため刺網とした。

調査結果を表-4に示す。本調査ではウグイ5個体、ニゴイ、アユを1個体ずつ捕獲した。調査箇所から上流1.7km地点で実施した刺網による捕獲結果と比較すると、遊泳魚であるウグイの捕獲数が増加している。これは、ベーン工の外岸側に流れの遅い静穏域が生じ、ウグイの休息場になったためであるためと考えられる。

本調査は、刺網の設置期間が1日であり、設置箇所は漁法条件から比較的流速の緩い箇所であったことから、今回の調査結果をベーン工全体の評価に当てはめることは難しい。今後、二次流発生箇所等で調査が実施できるよう漁法を工夫し、多くのデータを蓄積して再評価する必要がある。なお、地元の漁協では、ベーン工の下流域を新たな漁場として利活用している。

## 5. まとめ

緩流河川の湾曲部にある水衝部の河岸浸食防止対策工として、ベーン工の配置及び設置範囲を模型実験、数値解析により検討し、段階施工によって効果を検証しながら事業を完成させた。

本研究で得られた主な結論は以下のとおりである。

(1) 模型実験結果、数値計算及び施工後における現地調査結果は、ベーン工の流心側の深掘れと岸側の堆積についてはほぼ同様の結果を得ることができた。これにより模型実験および数値解析は、対策工の設計並びに効果把握に有効な手段となることが明かになった。

(2) ベーン工の施工計画に従って一括施工が出来ず、段階施工とならざるを得ない場合、工事対象区間の自然河岸が、不連続なベーン工配置によって侵食されないような段階施工計画、実施方法を示した。

(3) ベーン工周辺で行われた魚介類の生息状況調査では、他の調査箇所と比較して種数、捕獲数とも増加する等環境上の効果が現れていると思われる。

## 参考文献

- 1) 山本晃一, 宇多高明, 藤田光一, 坂野 章, 佐々木克也, 服部 敦, 平舘 治, : 阿賀野川中流部河道模型実験報告書 [1], 土木研究所資料, 第3307号, pp. 74-242, 1994.
- 2) 渡辺明英: ベーン工の設計法に関する調査, 土木研究所資料, 第2956号, p. 167, 1991.
- 3) 福岡捷二, 渡辺明英, 黒川信俊: ベーン工の洗堀軽減効果と設計法に関する研究, 土木研究所資料, 第2644号, p. 80, 1988.
- 4) 宇多高明, 藤田光一, 平林 桂, 服部 敦, 伊藤克雄: 利根川下流部洗堀対策模型実験報告書, 土木研究所資料, 第3267号, p. 150, 1994.
- 5) 福岡捷二, 渡辺明英: ベーン工の設置された湾曲部の流れと河床形状の解析, 土木学会論文集, No. 447/II-19, pp. 45-54, 1992.
- 6) 福岡捷二, 西村達也, 高橋晃, 川口昭人, 岡信昌利: 越流型水制工の設計法の研究, 土木学会論文集, No. 593/II-43, pp. 51-68, 1998.

(2010. 4. 8受付)