

# 阿賀川における礫河原再生に向けた河道整備

## RIVER IMPROVEMENT WORKS TOWARDS RESTORATION OF GRAVEL RIVERSIDE IN AGAGAWA RIVER

仲村学<sup>1</sup>・増田孝幸<sup>2</sup>・高橋昭一<sup>3</sup>・山邊満<sup>4</sup>・渡辺国昭<sup>5</sup>・澤井雄介<sup>6</sup>  
Manabu NAKAMURA, Takayuki MASUDA, Shoichi TAKAHASHI,  
Mitsuru YAMABE, Kuniaki WATANABE, Yusuke SAWAI

<sup>1, 2, 3</sup>前国土交通省北陸地方整備局阿賀川河川事務所（〒965-8567 福島県会津若松市表町2-70）  
<sup>4, 5, 6</sup>国土交通省北陸地方整備局阿賀川河川事務所（〒965-8567 福島県会津若松市表町2-70）

In Agagawa River, nature restoration works were carried out to restore gravel riverside, which is commonly seen in local river environment, by natural processes. This paper reports on the restoration of gravel riverside and the reduced impacts to eroded outer curves of meander bend after the floods in July and September 2011.

In those sections where gravel riverside was restored, the relative water depth was increased to between 0.3 and 0.4 after river improvement works were implemented. According to a study by Fukuoka, in meandering compound channels, the maximum flow velocity occurs on inner curves when a relative water depth is between 0.3 and 0.5. It is understood that the maximum flow velocity occurred on fixed point bars where an inner curve of meander bend was excavated, inducing flood disturbance on the point bars.

In future river improvement works, gravel riverside is expected to be restored and maintained by natural processes with channel excavation works which reflect the results obtained in this report.

**Key Words :** Restoration of gravel riverside, relative water depth, width-depth ratio, river channel design

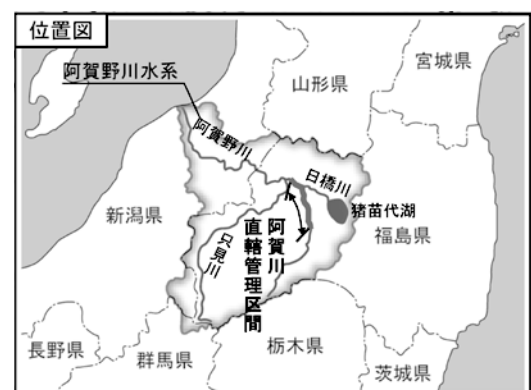
## 1. はじめに

かつての阿賀川は網状河道であったが、昭和40～50年代の砂利採取により低水路（常水路）が形成された。形成された低水路に中小洪水のエネルギーが集中し、河床低下、及び砂州と低水路の比高差拡大によって砂州上の洪水攪乱が減少し、砂州の固定化及び河道内樹木が繁茂した。その結果、阿賀川の特徴的な河川環境である礫河原が減少し、河川固有の生物生息環境も失われつつある。また、河道は低水路の固定化や蛇行の形成を招き、堤防の安全上支障となる水衝部や局所洗掘が発生している。

当事務所では、これまで直轄管理区間中流部にて、環境的課題である「礫河原の再生」及び治水的課題である「水衝部の解消」を図り、治水と環境が調和した川づくりを目標とする自然再生事業を実施してきた。このうち、水衝部解消を目的に低水路付け替えを行った事例の概要とその考え方については既往論文<sup>1)</sup>で報告している。

本報告では、自然再生事業として低水路蛇行区間の砂州の切り下げを行い、その後洪水を受け礫河原が再生された事例を紹介する。かつての礫河原河道と現在の河道の状態の変化、事業箇所における洪水前後の水理諸量

の比較、二次元解析による洪水時の流れの変化を整理し、事業効果の評価を行うとともに、阿賀川における礫河原再生の条件を整理するものである。



図－1 阿賀川位置図

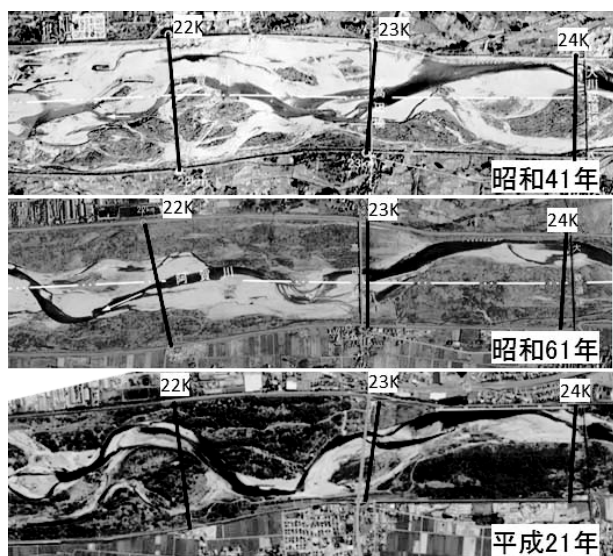
## 2. 礫河原当時からの河道及び環境の変化

### (1) 河道の変化

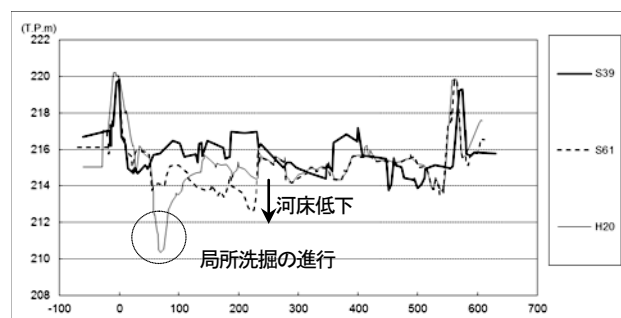
阿賀川は、阿賀野川の福島県内における名称である。

本川直轄管理区間31.6kmのうち、上流約19kmは扇状地を流下するセグメント1に分類される急流河川である。河床勾配は約1/200～1/300、河床材料の代表粒径 $D_{60}$ は約50mm～100mmである。また、当該区間は、川幅が約600mとなっており、直下流のセグメント2-1区間と比較し2倍程度広く、流下能力に関しては比較的余裕がある。

写真－1の変遷状況から見られるとおり、かつての複列砂州河道から単列砂州河道へ変化し、樹木繁茂、低水路蛇行による水衝部の形成が見られる。また、図－2に示す横断面図の経年変化においても低水路の形成、局所洗掘の発生、砂州と低水路の比高差の拡大がわかる。



写真－1 河道の変遷状況



図－2 代表断面の経年変化 (22.6k)

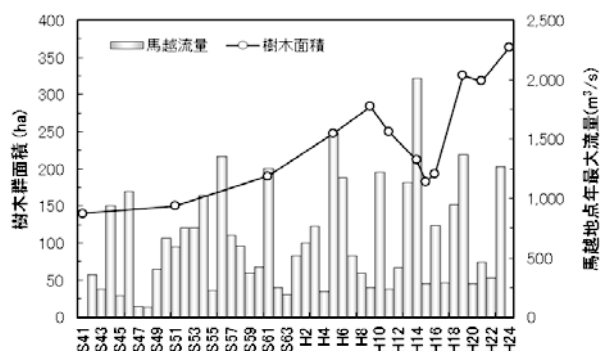
これら、比高差の拡大等の河道変化により樹木が河道内に繁茂し、阿賀川の特徴的な河川環境である礫河原が減少してきた。図－3は管理区間全川での樹木面積の推移であるが、河道内の樹木は昭和60年代以降に急激に増加し平成9年頃にピークとなった。その後、平成10年、平成14年洪水により流失し、樹木面積は減少したが、再び増加している。

## (2) 河川環境の変化

阿賀川の特徴的な河川環境は適度な攪乱によって生じ

る礫河原である。陸域の礫河原は、カワラニガナ、カワラヨモギ、カワラハハコ等適度な攪乱により維持される河原環境に依存する植物の生育環境となっている。水域の礫河床の浮石の比率が多い瀬は、カジカやアカザの生息場、産卵場となっている。また、礫河原に網目状に広がった流路や樹林内の細流により随所で湧水が生じて、陸封型イトヨの生息場を提供するとともに、出水時の魚類の避難場となっている。

しかし、現在は、攪乱の減少した高水敷で樹林化が進行し礫河原環境が減少している。樹林化が進行した河川環境には、かつて生息していなかった樹林性のミヤマシジミなどのチョウ類やヤマネズミなどの小動物が見られるようになった。



図－3 河道内樹木の経年変化

## 3. 自然再生事業の目的と概要

### (1) 自然再生事業の目的

自然再生事業は、樹木伐採・伐根後に砂州切り下げを行い、冠水頻度の低下した固定砂州上に洪水流を導き、洪水時の攪乱を誘発させるものである。洪水時の攪乱を利用し①礫河原再生、②樹木再繁茂の抑制、③みお筋を河道中央へ導き水衝部の解消を目的としている。

樹木伐採、河道掘削というインパクトに対し、自然営力による河道変化のレスポンスを利用して治水上、環境上の課題を解消するものである。

### (2) 自然再生事業の概要

自然再生事業は、セグメント1区間を対象区間としており、このうち樹木繁茂及び水衝部形成が著しい22K～27Kを優先して平成21年度より実施している。これまで三本松 (H21)、飯寺 (H21～22)、上米塚 (H22)、御用地 (H22)、中島 (H23) の5工区で実施している。

写真－2は、事業実施前の樹木繁茂・水衝部の状況及び事業位置を示したものである。

このうち、事業実施後の平成23年洪水で大きな河道変化があった三本松工区について詳細に報告する。

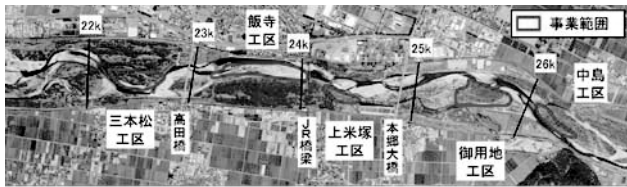


写真-2 自然再生事業箇所

#### 4. 三本松工区の事業及び洪水による河道の変化

##### (1) 平成23年7月洪水及び9月洪水の概要

阿賀川では平成23年においては7月及び9月の2度の洪水が発生した。図-4に事業区間の上流端に位置する馬越観測所における両洪水のハイドログラフを示す。

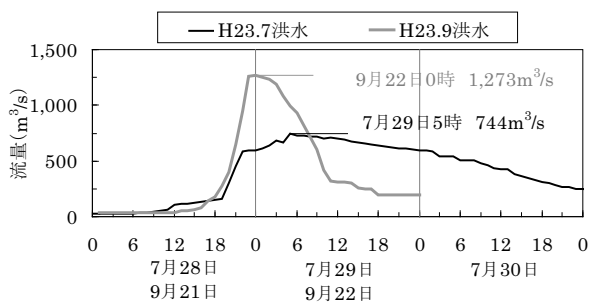


図-4 馬越観測所におけるハイドログラフ

平成23年7月洪水は、「平成23年7月新潟・福島豪雨」と呼ばれ新潟県、福島県に甚大な被害を与えた洪水である。阿賀川本川において大きな被害はなかったが、馬越観測所において744m³/sが観測されており、ほぼ平均年最大流量に相当する洪水であった。

平成23年9月洪水は、台風15号に起因するものであり、馬越観測所で1,273m³/sが観測されており、ほぼ超過確率1/10に相当する洪水であった。

##### (2) 三本松工区における洪水後の概要

三本松工区は、22.4Kから22.6K付近にかけて左岸に水衝部を形成しており、22.6Kの河岸部において約2.5mの局所洗掘が生じていた。また、河道中央部には樹木群が発達しているため、礫河原環境が失われていた。このため、水衝部の解消と礫河原の再生を目的として平成21年度に河道中央の樹木の伐採と砂州の切り下げにより、洪水攪乱を利用してみお筋を河道中央へ導くための事業を実施した。樹木伐採は約9ha実施し、伐採後には伐根も行っている。河道掘削は約49,000m³行い、これによって、最大約2m、平均約0.7mの砂州の切り下げを行った。

同工区の事業実施前及び洪水後の河道変化状況を写真-3に平成23年7月洪水直後の様子を写真-4に示すとともに本工区の代表断面である22.6K横断面図を図-5に示す。

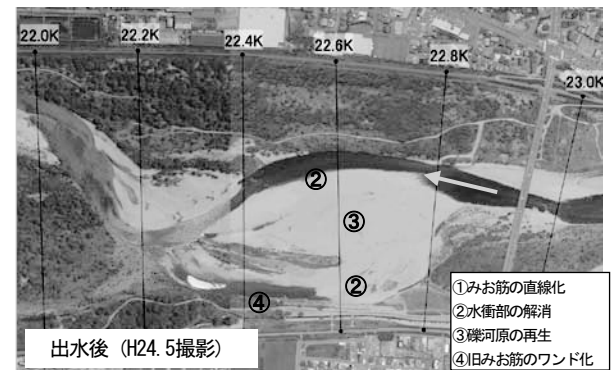


写真-3 三本松工区の比較写真

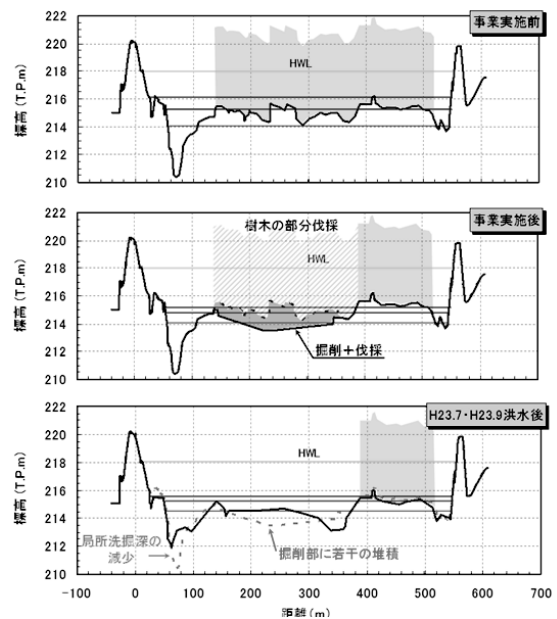


図-5 三本松工区横断面図 (22.6K)



写真-4 H23.7洪水直後の様子 (H23.8.3撮影)

平成23年7月洪水で工事で切り下げた砂州上に洪水が流れ、新たなみお筋ができた。その後の平成23年9月洪水で旧みお筋上流側に土砂が堆積し、みお筋が完全に切り替わった。これにより22.4Kから22.6Kにわたって形成されていた水衝部は解消するとともに礫河原が再生した。

旧みお筋の下流側には土砂が堆積せず、ワンドとして残り、新たな環境が創出されるという副次的な効果もあった。ワンド内では、オイカワ、アブラハヤ、ウグイの他にコイ、ナマズ、ヌカエビといった止水域を好む種も確認されている。ワンド内には湧水も湧出しており、阿賀川の特徴的な種である陸封型イトヨの生息環境としても適しており、今後の生息確認が期待できる。また、新たな河川利用の場として、盛夏には魚取りをする子供の姿が何度も見られた。

## 5. 事業効果の水理的評価

河道の形状、洪水時の流れの状態を示す水理諸量について、整理、比較し、礫河原河道の特性、事業実施の効果を評価を実施した。

### (1) 水理諸量設定の考え方

解析対象区間では、明確に低水路と砂州が区分できない箇所がある。水理諸量整理にあたっては、低水路と砂州を分ける必要があるため、本稿では以下のようにした。

低水路は、平均年最大流量の1/3流量（以下「1/3平均年最大流量」という）が流下時の水位より低い部分とした。図-6のとおり河道内の樹木はこの水位以上の標高に多く分布している。特に堤防間約600mの半分以上を樹木が占める箇所ではこの傾向が顕著であり、つまり、この水位より低い部分では、頻繁に洪水による攪乱作用を受け、高木の繁茂が抑制される低水路となっていると考えられる。

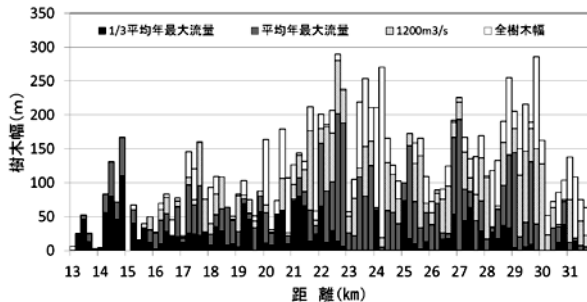


図-6 冠水する樹木幅の流量規模別変化

低水路より高い部分は砂州としているが公園等高水敷利用されている箇所や護岸等により防護されている箇所等は高水敷とし砂州とは区別している（図-7）。

水理諸量の検討にあたって、対象とする流量を以下のとおりとした。流量はセグメント1区間の最上流に位置

する馬越観測所のものである。

- ① 平均年最大流量：大川ダム運用開始後の昭和63年～平成23年までを用い、725m³/sである。
- ② 1/3平均年最大流量：約240m³/s。ほぼ年1回発生する洪水であり、融雪期の平均年最大流量に相当する。

水理諸量整理における対象流量は平均年最大流量としており、整理対象区間はセグメント1区間である13.6K～31.6Kを対象としている。礫河原河道評価のために整理した水理諸量を表-1に示す。

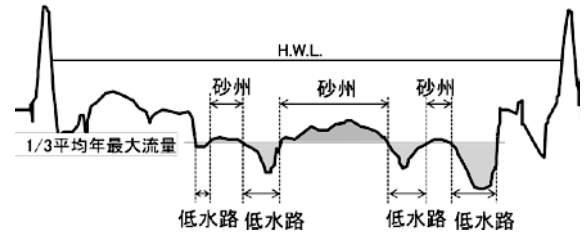


図-7 砂州、低水路区分の考え方

表-1 整理した水理諸量

| 項目           | 算定方法   |
|--------------|--|
| 低水路<br>平均河床高 | 1/3 平均年最大流量水位以下の平均高<br>(河積/水面幅)                                    |
| 平均砂州高        | 1/3 平均年最大流量水位以上の砂州の平均高   |
| 比高差          | 平均砂州高と低水路平均河床高の差   |
| 局所洗掘深        | 最深河床高と平均河床高の差  |
| 川幅水深比        | 平均年最大流量時の水面幅と平均水深の比  |
| 無次元<br>掃流力   | エネルギー勾配、平均水深、不等流計算結果から<br>代表粒径：現地状況から 37.5 mm (50%粒径)              |
| 相対水深         | 砂州上水深と低水路水深の比<br>砂州上水深：平均年最大流量水位－平均砂州高<br>低水路水深：平均年最大流量水位－低水路平均河床高 |

### (2) 平面二次元不定流モデルによる評価項目

平面二次元不定流モデル（以下「モデル」という）を用いて、事業実施前後の比較を行った。今回構築したモデルの概要を表-2に示す。なお、二次元不定流モデルによる評価は、流速ベクトルの平面分布状況、流量フラックス及び無次元掃流力の横断分布状況とした。

表-2 平面二次元不定流モデルの概要

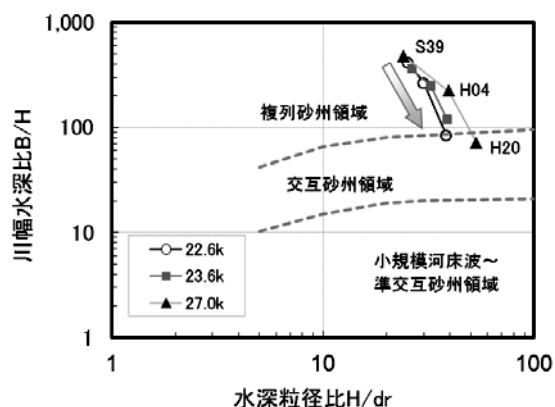
| 項目       | 適用  |
|----------|---|
| 水理解析手法   | 一般座標系による平面二次元不定流解析モデル   |
| モデル区間    | セグメント1区間 (12.0k～32.0k)  |
| 河道メッシュ分割 | 縦断方向：25m程度<br>横断方向：30分割 (10～20m程度)  |
| 河道メッシュ標高 | LPデータにより河道内標高を設定。LPデータの得られない水面以下については、H20定期横断測量データを使用<br>※自然再生事業実施前後をそれぞれモデル化 |
| 河道内樹木    | 冠水した樹木群は通水するものとし抵抗は透過係数で表す。<br>密な樹木群：10m/s、粗な樹木群：35m/s<br>※粗密の分類は航空写真による      |

### (3) 礫河原当時と現況河道の水理諸量の変化

整理した水理諸量をまとめ、礫河原河道について評価する。ここでは砂州の形態を特徴づける川幅水深比と蛇行流れを特徴づける相対水深について報告する。

#### a) 川幅水深比

図－8に川幅水深比と河床材料の関係から砂州形態の変化<sup>2)</sup>を示したものである。川幅水深比は、昭和41年当時から経年的に減少しており、中規模河床形態が複列砂州領域から交互砂州領域へ変化している。

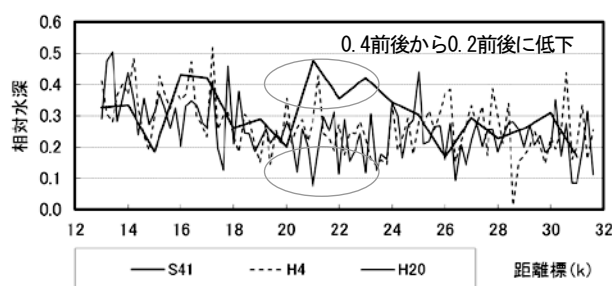


図－8 砂州形態の経年変化

#### b) 相対水深

相対水深の経年変化を図－9に示す。相対水深は経年的に低下傾向にある。

特に現在、蛇行に伴う水衝部及び局所洗掘の進行が著しい22Kから23Kに着目すると昭和41年当時相対水深が0.4程度であったものが平成20には0.2程度に減少している。



図－9 相対水深の経年変化

このように川幅水深比、相対水深の両水理諸量とも阿賀川の砂州形態、蛇行状態の変化をよく表している。

### (4) 事業実施前後・洪水後の水理諸量の変化

表－3は事業実施前後及び平成23年7月及び9月洪水後の主要水理諸量を三本松工区の代表断面である22.6Kのもので比較したものである。なお、川幅水深比、無次元掃流力、相対水深はH23.7洪水相当流量時の水深で算出

した結果である。

表－3 主要水理諸量の比較 (22.6K)

| 項目         | 事業前   | 事業後   | H23 洪水後 |
|------------|-------|-------|---------|
| 比高差 (m)    | 2.39  | 2.31  | 1.18    |
| 局所洗掘深 (m)  | 2.32  | 2.32  | 1.84    |
| 川幅水深比      | 84.0  | 315.5 | 315.3   |
| 砂州上の無次元掃流力 | —     | 0.052 | 0.044   |
| 相対水深       | 0.190 | 0.312 | 0.392   |

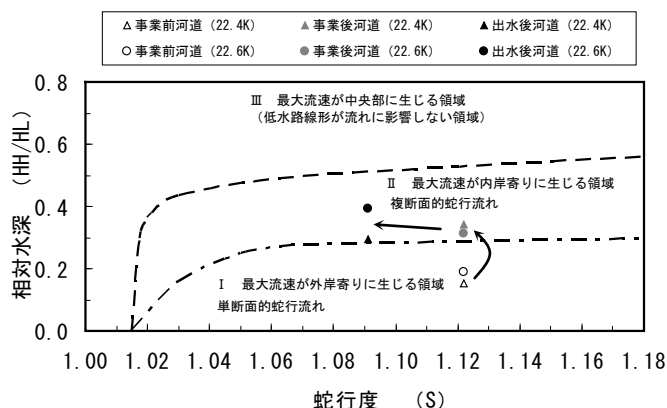
※事業前の無次元掃流力は、砂州上に樹木が繁茂しているため評価対象外とする。

事業の実施により川幅水深比、相対水深は大きく変化し、昭和40年代に近い値となり、洪水後も同等の値が維持できている。また、出水後の攪乱により比高差や局所洗掘深が改善されている。

事業後に0.3以上となった相対水深であるが、福岡らの研究によると低水路蛇行河川では、相対水深が0.3より小さいときは、流れの遠心力のため、単断面流れと同様に外岸側の流速が高くなり、相対水深が0.3以上では低水路と高水敷流れの混合により内岸寄りに最大流量が発生することを明らかにしている。<sup>3)</sup>

図－10は福岡らが整理した蛇行度と相対水深の関係図<sup>3)</sup>をもとに事業区間の値をプロットしたものである。これによると事業実施により、「Ⅰ 最大流速が外岸寄りに生じる領域」から「Ⅱ 最大流速が内岸寄りに生じる領域」へ変化したことがわかる。

切り下げた砂州は内岸寄りであり、この箇所に攪乱が生じ、みお筋の変化等が起こったものと考えられる。一方、外岸となる洪水前のみお筋部分は流速が遅くなり土砂堆積したものと推測される。



図－10 事業区間の洪水時の流動形態区分<sup>3)</sup>

### (5) 平面二次元解析による事業の評価

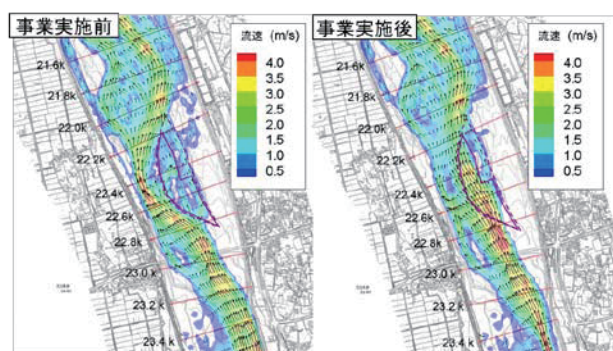
事業実施前後の河道に対して平面二次元解析を行い、洪水によって生じた河道及び洪水時の流れの変化を定量的に評価した。

図－11、12は、事業実施前後の平成23年7月洪水

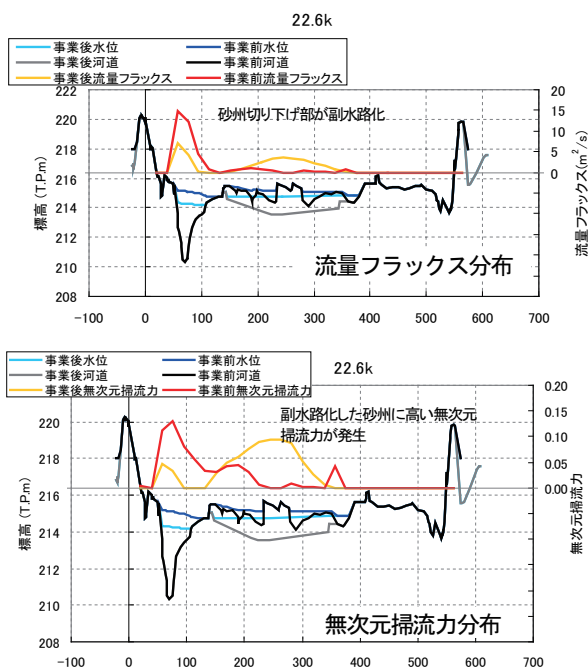
のピーク時の流速ベクトル及び流量フラックス、無次元掃流力の横断分布（22.6K）を示したものである。

事業実施後では、切り下げた砂州上が副水路（流量フラックスが第2位となる流路）となり、左岸寄りに発生していた最大流速が事業後では切り下げた砂州上に変化した。砂州上の最大流速は主水路である左岸みお筋よりも高く約3m/s、無次元掃流力は洪水攪乱発生の目安となる0.05を大きく上回る0.08程度となった。これにより砂州上で攪乱が発生し礫河原の再生が図れたものである。

左岸みお筋の高速流は約4m/sから約2m/sへ低減するとともに無次元掃流力も約0.1から約0.05へ低下した。これにより左岸水衝部が解消するとともに土砂堆積が進行したものである。



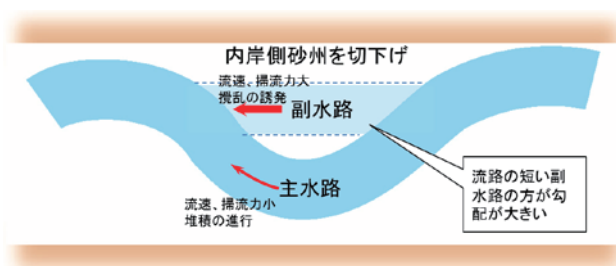
図－１１ 流速ベクトル図（平成23年7月洪水）



図－１２ 流量フラックス、無次元掃流力の横断分布

## 6. まとめ

阿賀川のような急勾配で低水路蛇行が発達している河川では、蛇行部の内岸側砂州を切り下げることが有効であることが得られた。これは、図－１３に示すとおり切り下げた砂州上が洪水時には副水路として機能するとともに、副水路の方が流路が短く勾配が大きいいため、砂州上に流速が高く掃流力の大きな流れが発生するためである。これにより切り下げた砂州上で攪乱が誘発し礫河原が再生するとともに旧みお筋部では土砂堆積が進行し局所洗掘や水衝部解消が図られるものである。



図－１３ 内岸側砂州切下げ効果のイメージ

また、湾曲部では砂州の切り下げ高を相対水深0.3以上となるようにすることで内岸寄りに最大流速が発生するため砂州上の攪乱作用をより大きくすることができる。

本報告において得られた知見は、今後の事業実施箇所の掘削断面設計に活用しているところである。今後も事業実施箇所のモニタリングを継続して行い、事業効果の把握に努めていきたい。

**謝辞：**本事業を実施するにあたり、中央大学研究開発機構福岡教授より多くのご指導を頂きましたことに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 貴家尚哉，佐々木健一，池田和也，田中聡：阿賀川における樹木管理と礫河原の再生について，河川技術論文集，第17巻，pp. 209-214，2011.
- 2) 建設省：河道特性に関する研究－その３－，～河床変動と河道計画に関する研究～，第46回建設省技術研究会報告，1992.
- 3) 福岡捷二：洪水の水理と河道の設計法－治水と環境の調和した川づくり－，森北出版，2005.

(2013. 4. 4受付)