

阿賀川における礫河原再生事業と 自然環境の復元に関する一考察

Restoration of bare gravel bars for river improvement
and ecological conservation in the Aga River

安井辰弥¹・見田弘幸¹・原俊彦²・古瀬修²・高水克哉³・若狭甫³・新井智之³

Yasui Tatsuya, Mita Hiroyuki, Hara Toshihiko, Furuse Osamu, Takamizu Katsuya, Wakasa Hajime, Arai Tomoyuki

¹北陸地方整備局（〒950-0954 新潟県新潟市中央区美咲町1-1-1）

²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）

³株式会社 東京建設コンサルタント（〒170-0004 東京都豊島区北大塚1丁目15-6）

Environmental degradation has been an issue in upstream and midstream of the Aga River by several problems such as river-bed degradation and growth of vegetation due to removal of gravel, and formation of water colliding front due to river deflection. The cut-down of sandbars project therefore was conducted aimed to restoration of gravel river beds and nature in multiple row stream.

In the present paper, the overview of the project and results from three-year monitoring of the effects of floods on water-route and the ecological environment were reported, and river-channel management in the Aga River were considered from the view of hydraulics and vegetation ecology.

Key Words : Restoration of gravel river bed, environmental conservation, relative water depth, riparian forest management, water colliding front, stickleback, spring water, willow

1. はじめに

扇状地河川である阿賀川中上流部では、昭和40年代には複列砂州が一面に形成されていたが、砂利採取等を契機に流路が固定し、砂州が単列化すると共に、冠水頻度の低下した砂州上に樹木が繁茂するようになった。

これに対し、平成14年～17年に実施した樹木伐開事業は、樹林化進行の抑止には至らなかったが、比較的大規模な出水である平成14年洪水、平成16年洪水では樹木の流出に伴う礫河原化が一部で確認された。また、樹木繁茂面積が拡大する中、砂礫河原を維持している区域が見られた。これより、阿賀川自然再生事業では、樹木群を流出させる流量および自然状態で礫河原を維持しうる条件に着目して河道を設計し、砂州の切り下げを行った。

その後発生した5回の出水により、現在も礫河原が維持され、更に礫河原固有の自然環境も形成されている。

阿賀川における河川管理は、単に樹木繁茂を抑止して礫河原化を目指すものではなく、阿賀川の特徴的な自然環境を保全することにある。

本報は、本来の阿賀川が有する自然環境の分布特性と水理的特性との関係について整理し、環境保全を目的とした河道管理手法のあり方について考察するものである。

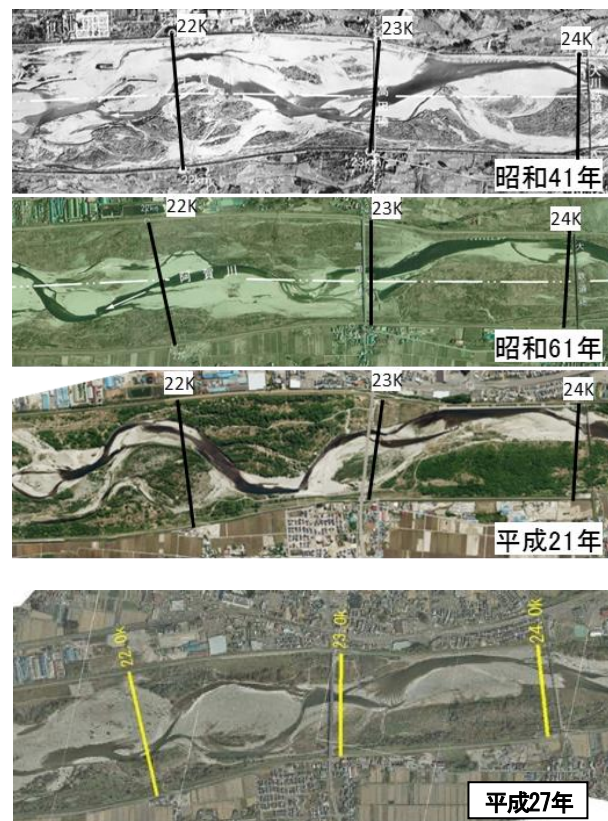


図-1 河道の変遷状況

2. 自然再生事業の目的と概要

(1) 自然再生事業の目的と目標

自然再生事業は、樹木の繁茂する砂州の切り下げと洪水による攪乱の誘発、及びこれによる①礫河原の復元再生、②樹木の再繁茂の抑制、③単列砂州により蛇行したみお筋の直線化と砂州の複列化及び水衝部解消等を目的とし、更に事業(人為的インパクト)に対するレスポンスを利用して治水・環境上の課題を解決するものである。

河道全面が礫河原であった昭和40年代と比較して河床高がフラットでない現在では、全域の礫河原化は困難であることから、本事業での目標を、川幅の5割以上が砂礫で構成された昭和60年代当時の姿に設定した。

(2) 自然再生事業の概要

自然再生事業は、上述のようにセグメント1区間で生じやすい洪水時の攪乱現象を利用して礫河原再生、樹木繁茂抑制、水衝緩和を図るものであることから、樹木繁茂とみお筋の蛇行が顕著な21k～27k区間を対象とした。

これまで南四合、三本松、飯寺、上米塚、御用地(一ノ堰)、及び中島の6工区で実施している。図-3に事業実施前後の樹木繁茂状況とみお筋変化状況を示した。

自然状態で礫河原が維持できている区域では、①年1回程度発生する流量で冠水する、あるいは②砂州とみお筋の水深の比(相対水深)が0.3以上であることが確認された。これより、①②のいずれかを満たすよう砂州の切り下げを実施し、更に図-4に示すように、切り下げ面に傾斜を設けて流向を制御した。

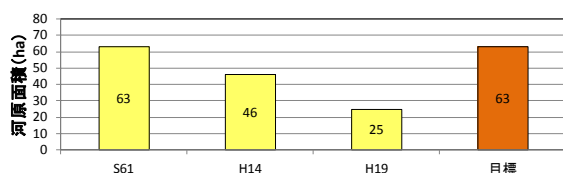


図-2 目標とする昭和60年代の礫河原面積

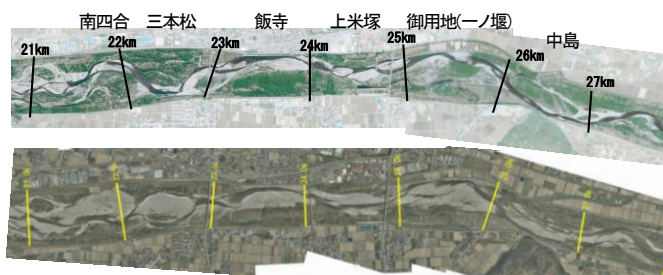


図-3 事業実施前後の対象区間の状況(上: H21/下: H27.10)

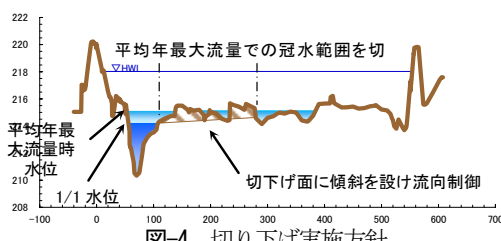


図-4 切り下げ実施方針

なお、切り下げにより人為的に創出した礫河原の維持は、平均年最大流量の攪乱によって維持するものとし、その冠水範囲を対象区域とした。これにより目標とする昭和60年代の礫河原状態が概ね復元可能となる。

3. 事業着手から現在までの河道及び環境変化

(1) 事業実施前後の出水状況

図-5に示すように、事業期間中から平均年最大流量を上回る洪水が発生している。平成23年は図中の最大流量1,248m³/sの2ヶ月前にも平均年最大流量相当の720m³/sが発生している。平成27年9月には1/40相当規模の洪水が発生し、大規模な攪乱により河道が大きく変化した。

(2) 事業後の河道変化

事業前に樹林化とみお筋の蛇行が最も顕著であった南四合と三本松について、事業前(H20)、事業後(H25)、H27.9洪水後の蛇行度と相対水深の関係を図-6に示す。

自然再生事業の実施により蛇行が大幅に解消され、蛇行度が低減すると共に、最大流速が湾曲の内岸寄りに生じる領域に遷移している。また相対水深も最大0.3までに増大している。この意味では事業を契機に、平成27年以前に発生した洪水の作用により目標とする礫河原および水衝緩和がなされたと言える。

但し、H27.9洪水により再度蛇行度の増大と相対水深の低下が生じている。

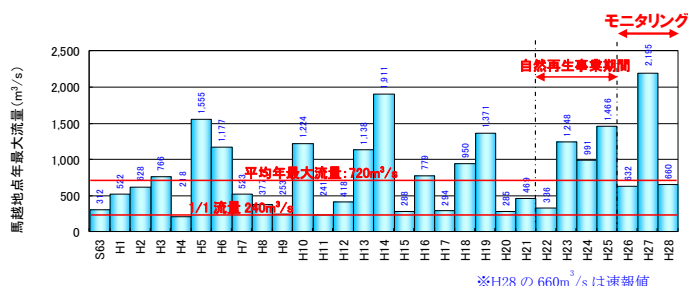


図-5 事業期間前後の年最大流量

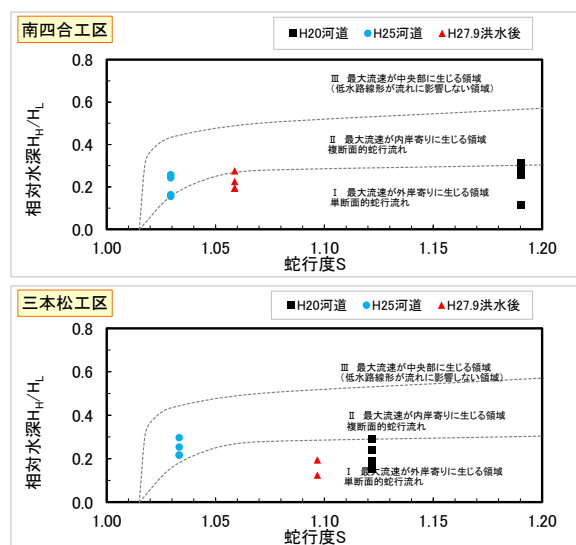


図-6 事業区間の蛇行度と相対水深の関係

同様に、平均年最大流量時の低水路幅と水深の比について見たものが図-7である。事業によって川幅は大きくなり、平均水深は小さくなったが、H27.9洪水後には川幅がやや狭い場合の水深が増大している。

また、図-8に見られるように、H27.9洪水後には砂州の構成材料も粗粒化している

(3) 礫河原再生後の自然環境の評価

a) 樹木面積・礫河原面積

事業区間全体における樹木面積及び礫河原面積の推移を図-9に示す。礫河原面積は事業によって42ha(平成21年)から77ha(平成27年7月)に増大し、目標である60年代を上回った。更に平成27年9月洪水を受けて102ha(平成27年10月)に拡大している。規模の大きいH27.9洪水で大規模攪乱が生じたことは明白であるが、その他の中小洪水でも樹木群の減少と砂州部の拡張が見られ、自然営力を活用した維持管理という目的が果たされている。

特に南四合、三本松の湾曲が顕著であった工区では効果が大きい(図-10)。

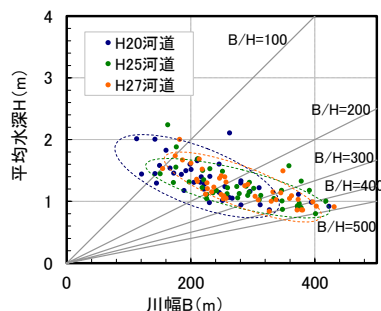


図-7 事業前後及び洪水後の川幅と水深の関係

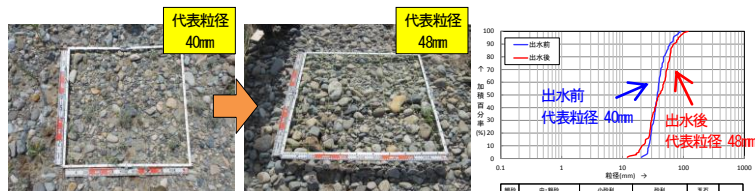


図-8 H27.9洪水前後の砂州表層の河床材料(南四合)

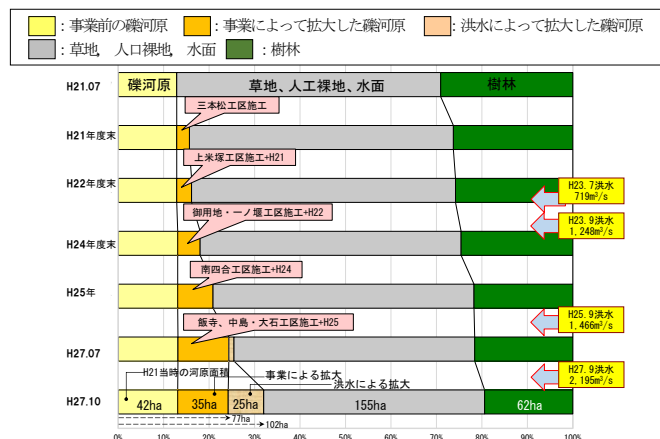


図-9 事業区間全体 (21k~27k) の
樹木面積・礫河原面積の推移

b) 生態系の評価のための礫河原指標種の選定

生態系については、植物、魚類、昆虫類、鳥類を対象に礫河原の指標種を選定し、その生育・生息状況についてモニタリング調査を行い、礫河原を評価した。モニタリングは、5ヶ年計画のうち平成28年度末時点で3ヶ年が実施されている。ここでは、特に平成27年9月出水に着目し、礫河原の拡大と指標種の生育・生息状況について報告する。指標種に関する調査内容を表-1に示す。

なお、魚類については礫河原との直接的な関係はないが、阿賀川の多様な水域環境を利用する4種を注目種として選定した。本論文においては、植物指標種のカワラハハコ、カワラアカザ、カワラニガナ、マルバヤハズソウの分布状況と生理特性、並びに湧水環境を好むイトヨの生息状況と湧水環境の保全について述べる。

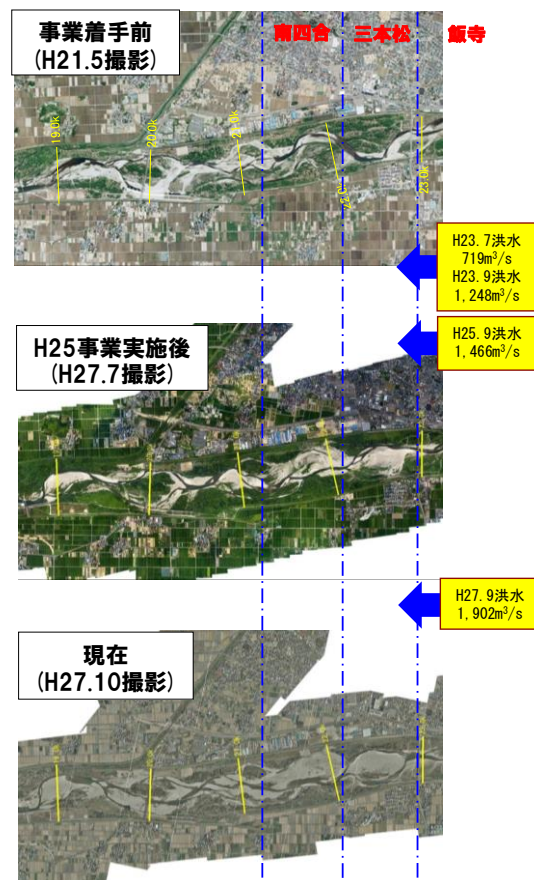


図-10 南四合・三本松における礫河原の拡大

表-1 礫河原指標種のモニタリング調査

分類	礫河原指標種	調査内容
植物	カワラハハコ、カワラアカザ、カワラニガナ、マルバヤハズソウ	分布、被度 (ライントランセクト・コードラート調査)
鳥類	コチドリ、イカルチドリ等のシギ・チドリ類、セキレイ類	確認個体数、産卵環境
昆虫類	カワラバッタ	分布、個体数
魚類	イトヨ、ウケクチウグイ、アユ、カジカ	分布、生息環境

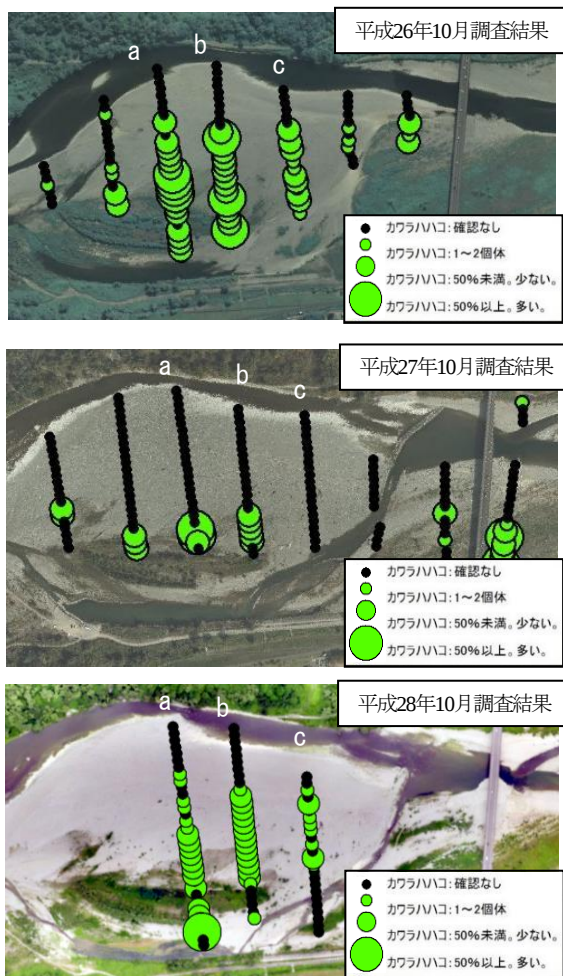


図-11 三本松工区のカワラハハコの分布変化

c) カワラハハコの生育状況（植物）

植物指標種の調査は、コドラート法により指標種の被度を記録した(平成28年調査は各工区3ライン=a, b, c). 指標種のうち、三本松工区におけるカワラハハコの3ヶ年の生育分布の推移を図-11に示す. 平成26年10月調査では、a, bにおいて調査ラインの中央付近でカワラハハコの被度50%を超えるコドラートがみられたが、右岸に近いみお筋付近では個体は確認されなかった. 平成27年10月では、前月の出水を受け顕著に減少している. 調査ラインaでは被度50%を超えは1箇所のみで、礫河原の中央付近からみお筋にかけて個体が消失した. 調査ラインb, cにおいても同様に被度は減少した. 消失の原因は、礫の堆積によるもので、図-12に示す通り、カワラハハコが残存した範囲と消失した範囲が明確に区分された.

平成28年10月では、前年調査より確認箇所が拡大し、被度も増加した箇所が多く、分布域が回復している状況であった. 分布が回復している箇所では、個体の体高は10cm程度と小さく、実生由来か埋没個体由来か判断するため、堆積した礫を数カ所掘り起こした. その結果、20cmから50cmの深さの位置に埋没した個体が確認され(図-13)、地上部の個体が埋没個体由来であることを確認した. 数十cmの礫の堆積により一時的に消失したが、

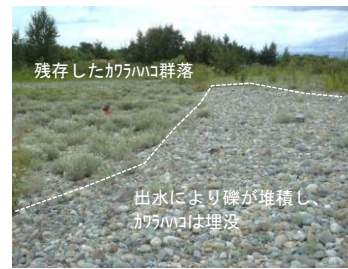


図-12 出水による堆積によりカワラハハコが埋没した箇所
(三本松工区)



図-13 回復したカワラハハコ



図-14 埋没個体由来の個体

1年で芽を出し回復することが明らかとなった.

その他の指標種のうち、カワラアカザは平成27年出水後、顕著に分布域が減少しており、回復状況はみられなかった. カワラニガナ、マルバヤハズソウは、カワラハハコ同様に出水後回復する傾向が確認された.

d) イトヨの生息分布と湧水環境（魚類）

イトヨは、湧水や伏流水のある細流部やワンドに生息する種であり、それらの環境指標となり得る種である. 阿賀川を含む会津盆地においては、近年湧水環境が減少傾向にあり、その保全は阿賀川の自然再生事業の課題である¹⁾. 礫河原面積の拡大と共に、多様な水域環境の形成が期待されていることから、イトヨが生息できる湧水環境か否かについて調査を実施した.

図-15は、全面礫河原当時(S41)、事業着手前(H21)、平成27年9月洪水後の航空写真を判読し、ワンド位置を特定したものであり、昭和41年には6箇所、平成21年には5箇所、平成27年洪水後には7箇所と、事業後、ワンド箇所は増加していた. また、同一箇所のワンドが維持されているのではなく、位置は変化しながら、ワンド環境が維持されていることが明らかとなった.

三本松工区に着目すると、右岸側の樹木伐採で形成された礫河原において、平成27年10月では左岸側の旧みお筋跡に新規ワンドが形成されていた(図-16、図-17).

また、ワンド内の湧水の有無を把握するため、平成27年12月空撮の熱赤外線画像(図-18、図-19)を解析し、本川または周囲より水温の高い箇所を湧水と推定した結果、湧水箇所は事業区間において6箇所であった(図-15青星印). 熱赤外線画像解析結果及びワンド位置の判読結果をもとに、平成28年7月及び10月に湧水箇所(推定)とワンドを対象に潜水観察及び環境測定し、イトヨの生息確認及び水温等を記録した.

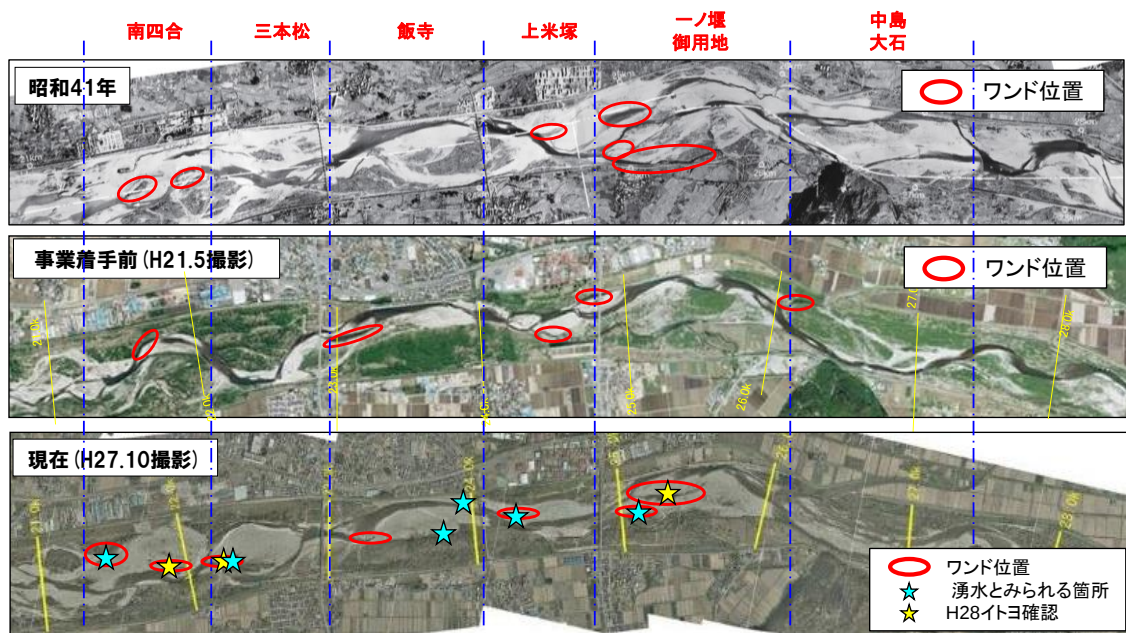
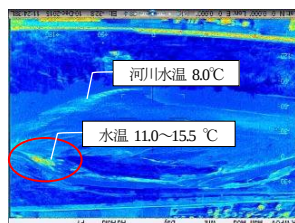


図-15 礫河原再生事業区間における事業実施前と事業後のワンド位置の変化

図-16 事業前の三本松工区
(H21.5撮影)図-17 事業後の三本松工区
(H27.10撮影)図-18 三本松工区における
熱赤外線画像 (H27.12撮影)図-19 三本松工区における
航空写真 (H27.10撮影)

調査の結果、確認されたイトヨの位置は、図-15の黄色星印で示すように、事業区間において3箇所であった。確認個体数は、南四合工区で3個体、三本松工区で400個体以上、御用地工区で1個体であった。最も多く確認された三本松工区においては体長2cm程度の稚魚が300匹以上、3~4cm程度の個体が100匹以上確認された。南四合工区では体長2cm程度の稚魚、御用地工区では体長の確認箇所は、体長3.6cmの個体が確認された。

三本松工区のイトヨ確認位置においては、7月の底層水温が14℃、中層が17℃、表層が19℃で、底層と表層の水温差がみられ、河床の目視観察では、藻類のゆらぎにより湧水が確認された。このワンドは熱赤外線画像解析結果でも湧水箇所と推定されており、解析結果と一致し

ている。河床は礫混じりの砂地であった。また南四合工区及び御用地工区の確認箇所では、水温差がなく湧水環境は確認されなかった。確認個体数は三本松工区と比較し少ないことから、流下してきた個体の可能性がある。

三本松工区のワンドはイトヨの稚魚が多数確認され、再生産の環境として適していることがうかがえる。

一方、礫河原再生事業区間外においても同様のイトヨ調査を実施したところ、区間外の下流域で、数百個体のイトヨの稚魚が見られるワンドが複数箇所を確認された。確認されたワンドは、三本松工区のイトヨ確認ワンドと同様な湧水環境と河床が広がっていた。これらもふまえると、阿賀川の礫河原が広がる区間におけるイトヨの稚魚の生息環境としては、湧水によって低水温域が形成された細やかな礫が混じる砂地環境のあるワンドということが明らかとなった。

礫河原再生事業区間のワンド環境は、事業及び出水にともない位置が変化しながら維持されている(図-15)。

礫河原の再生により、出水ごとのみお筋を含む河床の変化が期待され、変動性のあるワンド環境が維持されと考えられる。ワンド環境の変動にともない湧水位置も変化することが推察され、阿賀川の礫河原再生事業区間においては、湧水環境が保全されていることがうかがえる。阿賀川のイトヨは、変動的な湧水環境を利用しながら個体群を維持していると推察される。

4. 環境保全の観点による河道管理の課題

(1) 洪水の水理と礫河原における自然環境の関係

砂州の切り下げにより人為的に形成された礫河原は、中小規模の洪水によって攪乱を受け、みお筋も半強制的

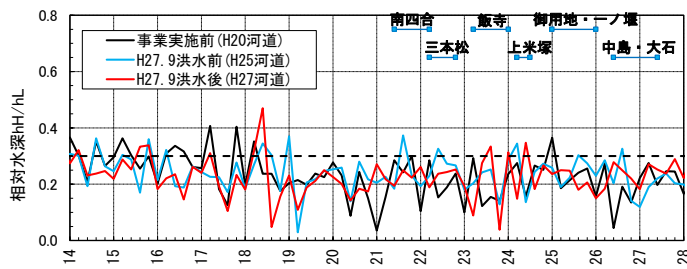


図-19 事業前後及びH27.9洪水前後の相対水深



図-20 H28出水(660m³/s)によるヤナギ実生の流出状況
(三本松工区)

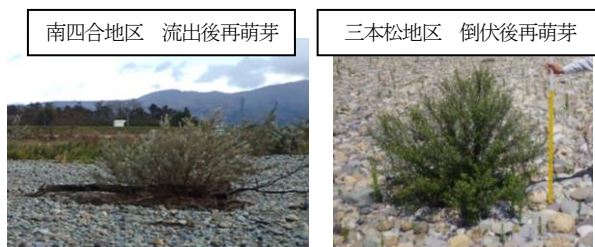


図-21 ヤナギの再萌芽状況(南四合, 三本松)

ではあるが直線化し、更に川幅水深比が増大することにより複列化しやすくなる。これと共に、旧みお筋跡ではワンドが形成されてイトヨ等、阿賀川固有の魚類が息し、また主流から離れ、直接的な掃流力を受けにくい砂州上では、礫河原に固有の植物が出現する。

一方、H27.9洪水のような大規模出水の後では、樹木を流出させて川幅を広げるが、洪水後期には砂州上に粗粒化した土砂を堆積させるため、砂州上水深および攪乱が生じる掃流力の確保が困難となるほか、過大な川幅水深比となり、自然営力が弱まる方向となる。

このため、礫河原固有環境の保全を目的とした河道管理上の課題は、①主流が蛇行の外岸側に発生しない相対水深を確保し、同時に②阿賀川が複列砂州河道を形成するに相応しい川幅水深比を確保することである。

(2) 砂州高・砂州幅の維持と樹木管理

大規模出水あるいは出水ごとの微小な変化により砂州高・砂州幅が維持されなくなると、最初に発生する問題は樹木繁茂である。特に阿賀川に多くみられるヤナギは、実生のうちであれば平均年最大流量程度の出水で流出することがモニタリングで確認されている(図-20)。

ヤナギの実生が流出した区域の無次元掃流力を算定すると、概ね $\tau_{*R} > 0.05$ である。しかし、旧みお筋付近やH27.9洪水により砂州高が局所的に上昇している区域で

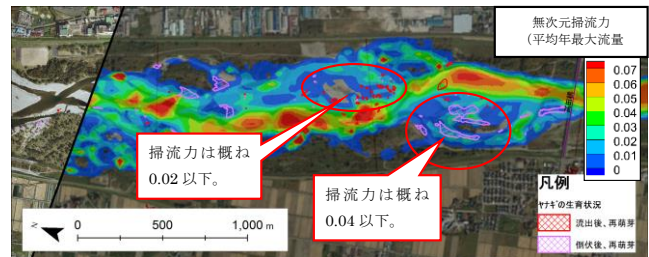
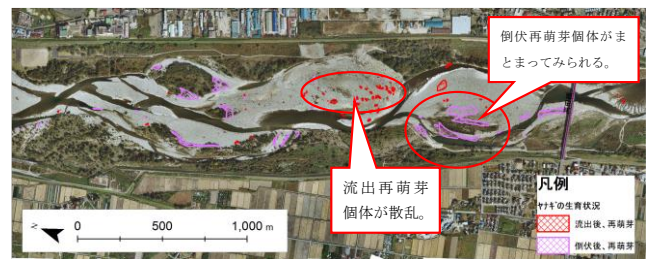


図-22 三本松・南四合における再萌芽個体確認位置(上)と
平均年最大流量時の無次元掃流力の分布(下)

は、図-21、図-22に示すように τ_{*R} は低く、ヤナギは流出・倒伏後も礫河原に残存し再萌芽している。

従って樹木管理については、日常監視等を通じて実生の発育状況に留意すること、年1度はUAV等による簡易測量を実施し水理解析を通じて平均年最大流量時の水深分布、掃流力分布、あるいは相対水深、川幅水深比等の岸の指標をチェックする必要がある。

また、完全に自然営力だけで礫河原を維持することは困難であり、適切な礫河原対象範囲を守ると共に、粗粒化した土砂の除去や、洪水の直線的流下を促すための小水路の掘削等、人為的な補助が必要と考えられる。

5. おわりに

阿賀川の自然環境モニタリングは5年を計画しており、これまでに3年が経過したが、出水のない期間を経験していないため、樹木の回復状況を把握することが今後の課題となる。また、出水が発生した場合には、攪乱による砂州上の土砂がどの程度置き換わるのかを把握しておく必要があり、今年度調査を実施する予定である。

謝辞

モニタリングおよび水理検討を進めるに当たり、数々の助言を下された「阿賀川モニタリング検討会」の座長である長林日本大学名誉教授を始め、委員の先生方に謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省 阿賀川河川事務所: 阿賀川自然再生計画(案), 平成29年1月
- 2) 原俊彦, 古瀬修ら: 阿賀川自然再生モニタリング結果の中間報告 平成28年度北陸地方整備局事業研究発表会, 平成28年7月

(2017. 4. 3受付)