

阿賀川礫河原再生事業における 中小洪水の重要性と事業効果

IMPORTANCE OF SMALL AND MIDDLE-SCALE FLOOD AND EFFECT OF THE PROJECT FOR GRAVEL BARS RESTORATION IN THE AGA RIVER

鈴木忠彦¹・原俊彦¹・古瀬修¹・福岡捷二²

Tadahiko SUZUKI, Toshihiko HARA, Osamu FURUSE and Shoji FUKUOKA

¹前 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)

²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)

In the upper reaches of the Aga River, the flood plain has been vegetated and the river bed topography has become single-row alternate bars. Therefore, by cutting trees and excavating the flood plain, the gravel bar with double-row was restored and the flow attacking point was mitigated. The gravel bar has been maintained by disturbance due to small and middle-scale floods.

In this paper, the effects of the restoration project are verified from the results of the monitoring survey and the flood flow analysis, and the importance of the small and middle-scale floods for the maintenance of the gravel bar was examined. In addition, we indicated the future direction of the management considering the flood characteristics and the characteristics of meso-scale river bed configuration in order to maintain the gravel bar.

Key Words : gravel bar restoration, flow attacking point mitigation, small and middle-scale flood, relative depth, width-depth ratio, sinuosity, channel width

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化され、図-1に示すように砂州が単列化すると共に、冠水頻度の低下した砂州上に主にヤナギ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った平成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する条件に着目し、砂州の切り下げによる河道設計を行った。

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、水衝部の緩和を図りつつ、阿賀川の特徴的な自然環境を保全することにある。

本報では自然再生事業による5年間の効果検証を行う。

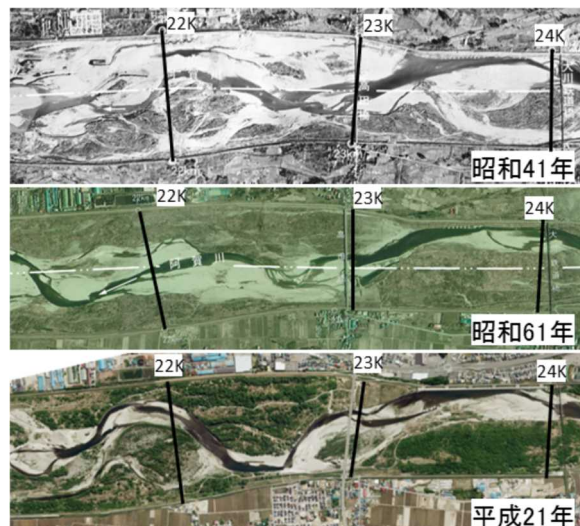


図-1 自然再生事業前の阿賀川中流部樹林化状況

これに伴い明らかとなった礫河原の維持・再生に対する中小洪水の役割とその重要性について考察し、阿賀川における良好な河道流路と河川環境維持の考え方を示す。

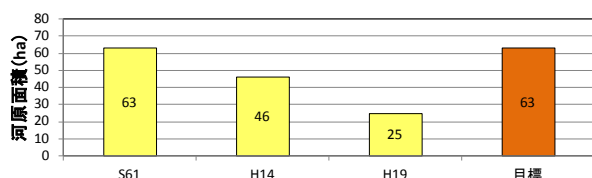


図-2 目標とする昭和60年代の礫河床面積

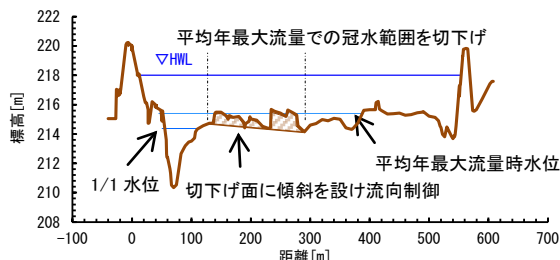


図-3 切り下げ実施方針のイメージ

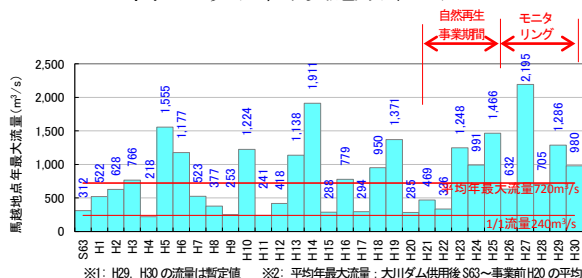


図-4 事業期間前後の馬越地点年最大流量

2. 自然再生事業の目的と本事業の概要

(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阿賀川の適切な河川管理を行うことを目指している。

阿賀川では河道全面が礫河原であった昭和40年代のような全域の礫河原化は困難であることから、本事業の目標を図-2に示す川幅の5割以上が砂礫で構成された昭和60年代当時の阿賀川の姿に設定し、自然再生事業の効果を調べた。

(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、樹木繁茂抑止、水衝緩和を図るため、樹木繁茂とみお筋の蛇行が顕著な阿賀川中上流部の21k～27k区間を対象とした。

事業はこれまで南四合、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。これまで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¹⁾、②平均年最大流量時における砂州とみお筋の水深の比（相対水深）が0.3程度である²⁾。①②を同時に満たすよう砂州の切り下げを実施し、更に図-3に示すように切り下げ面に傾斜を設けて

表-1 河床材料調査年月と最大流量の関係

調査時点	調査年月	調査年最大流量
H27出水前	H26. 8, H27. 6	1,466m³/s (H25. 9)
H27出水後	H27. 9	2,195m³/s (H27. 9)
H29出水後	H29. 11	1,286m³/s (H29. 10)
H30出水後	H30. 11	980m³/s (H30. 10)

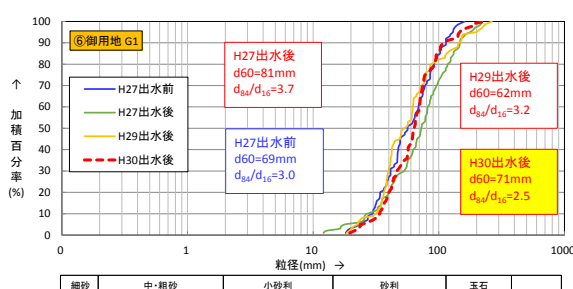
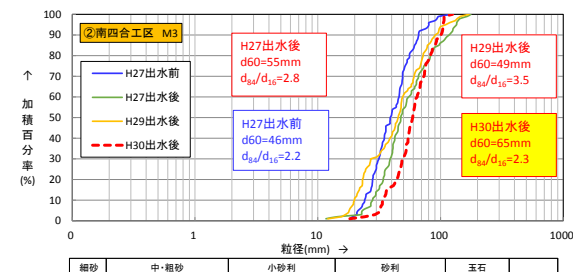


図-5 事業区間の河床材料の経年変化

流向を制御すると共に、水位に応じて水面幅が変化することで多様な水際が形成されるよう考慮した。

平均年最大流量時に相対水深が0.3以上となる区域では、砂州表層の土砂が移動に必要な無次元掃流力0.05が概ね得られることから、切り下げた礫河原は、洪水による攪乱で維持出来るものと考えられる。

3. モニタリング調査結果と自然再生事業効果検証

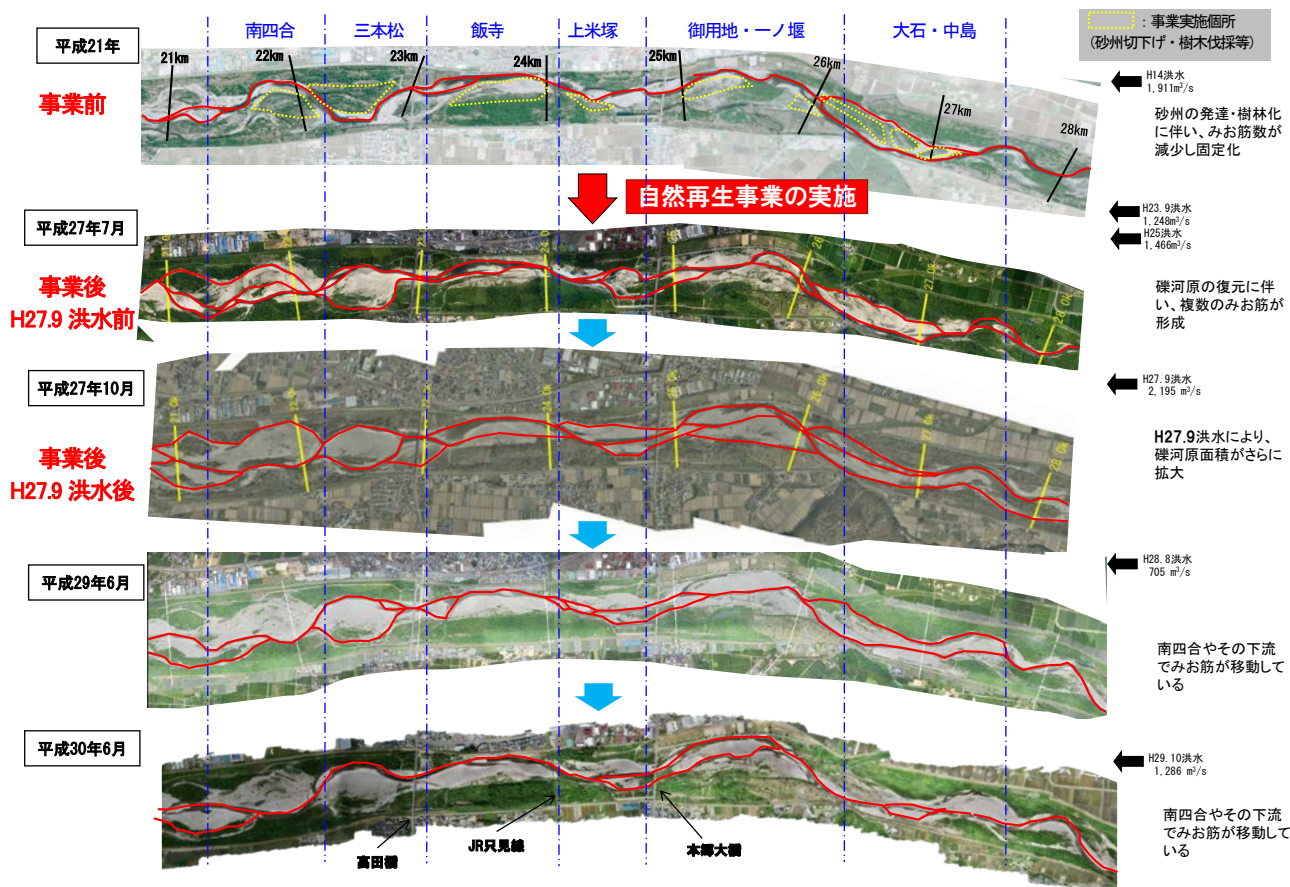
(1) 事業実施前後の出水状況

図-4に示すように、事業期間中から平均年最大流量720m³/sを上回る中小規模の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出水を受けている。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) 河道モニタリング調査

a) 河床材料調査

河床材料調査は面積格子法による調査を表-1に示す時点で実施している。南四合、御用地での調査結果を図-5に示す。中小規模洪水であるH29、H30出水後の河床材料は粗粒化の傾向が確認されるものの、その変化は小さいと言える。



b) 垂直写真比較による河道状況の変化

事業前から現在までに撮影された垂直写真による河道とみお筋の変遷状況を図-6に示す。

事業後、H23.9洪水、H25.9洪水等の中規模出水を受けて複数のみお筋が形成され、H27.9洪水前では、目標とするS60年代に近い河道が形成されていた。その後、1/20相当規模のH27.9洪水によって河道が大きく攪乱され、礫河原面積が広がった。さらにH28、H29に発生した中小規模の洪水の影響を受けて形成されたH30現在のみお筋は、複列蛇行をなす望ましい河道状況になっている。しかし、飯寺や御用地・一ノ堰では、河岸際に強い水衝部が再形成されている。

c) 水理解析による事業効果検証

平均年最大流量時の川幅水深比を図-7に示す。河道は事業前（H20）、事業直後（H25）、H27.9洪水後、H30.11の4時点で比較を行った。

事業は1/1確率流量を基準高さに掘削を実施した。これによって事業実施前（H20）と比較して効果は各工区で異なるが事業直後の河道は全体的に川幅水深比が増加しており、南四合や三本松では阿賀川における礫河原河道状態の目安である川幅水深比300を上回っている。平成27年9月洪水や平成29年11月洪水、平成30年11月洪水を経験したが、事業後に増加した川幅水深比は維持されている。

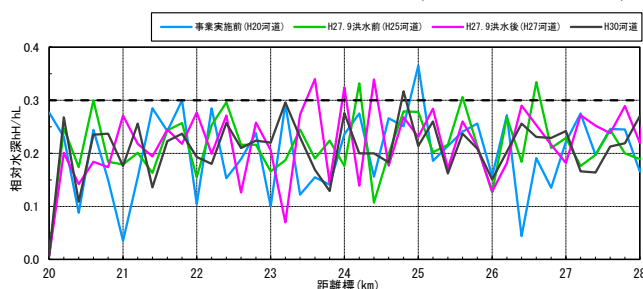
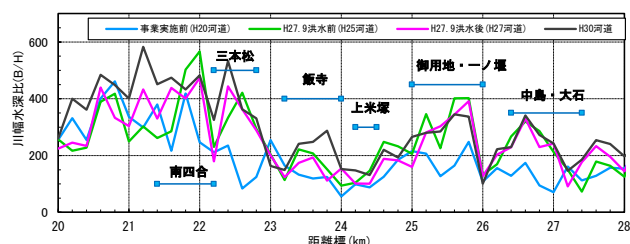


図-8に示す相対水深は過去4時点のほとんどの断面において、単断面的蛇行流れと複断面的蛇行流れを区分する値0.3よりも小さいが、事業前には相対水深が0.1以下と極端に小さかった南四合下流の21kや中島・大石の26.4kは相対水深が0.2まで増加した。事業によって単断面的な流れの傾向が緩和され、複断面的流れに変化していると言える。

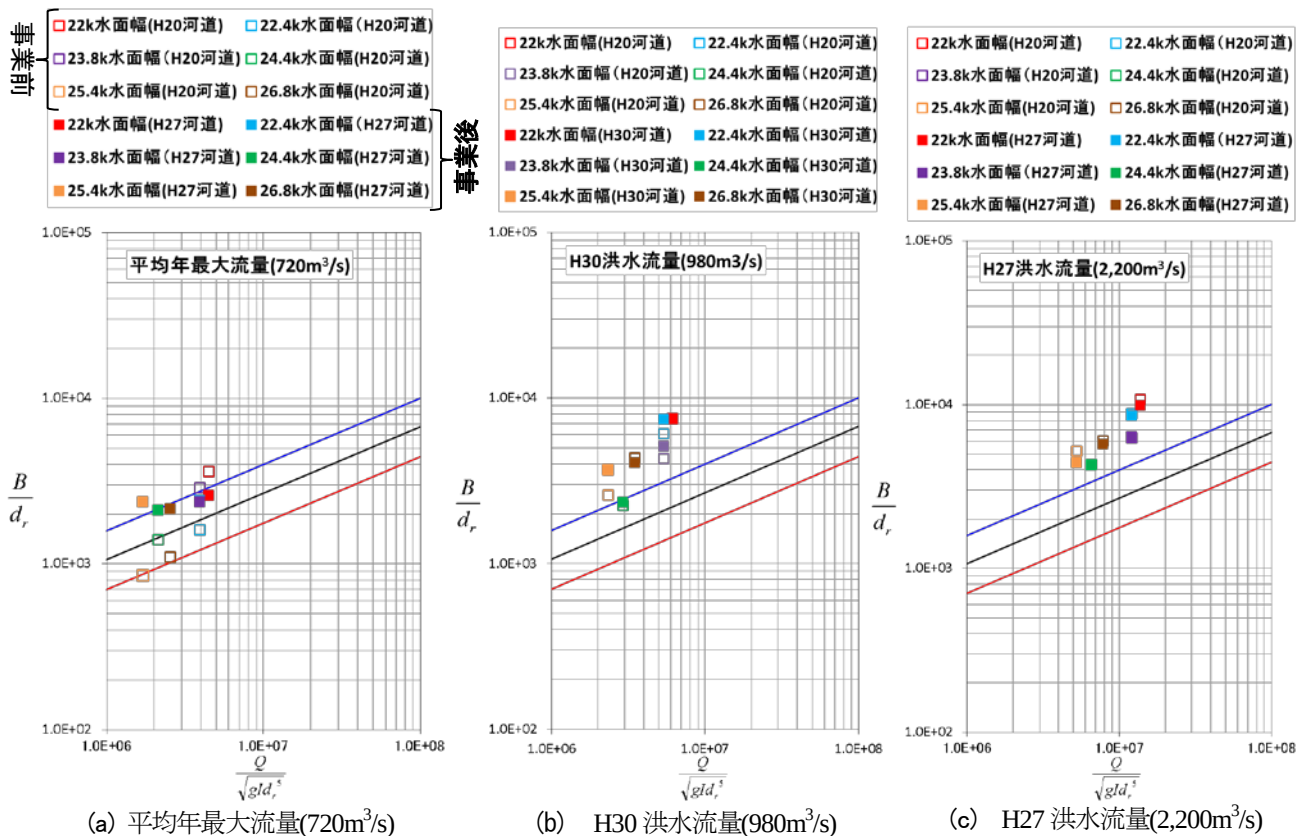


図-9 事業前後における無次元流量と無次元水面幅・無次元水深の関係

事業の効果を技術的に調べるため、福岡によって導かれた安定な沖積地河川の無次元流量と無次元水面幅の関係^{3) 4)}を用い、事業の効果を考察した。具体的には、事業前の河道(平成20年河道)と事業後の河道(平成27年河道、平成30年河道)について、平均年最大流量(720m³/s)、平成30年洪水流量(980m³/s)、平成27年洪水流量(2,200m³/s)を事業実施区間のそれぞれの河道に流下させ検討した。結果を図-9に示す。平均年最大流量の場合は前頁の水利解析結果を用い、平成30年洪水流量の場合は既往研究⁴⁾の粗度係数を用いて等流計算より水理量を概算した。平成27年洪水流量の場合は、平成27年洪水で痕跡水位が観測されていたことから、事業後の河道の水面幅は痕跡水位を用いて評価し、事業前の河道については等流計算より概算した。代表粒径は、図-5に示した河床材料調査の結果を用いた。

図-6と図-9(a)より、事業前の御用地・一ノ堰地区(25.4k)と中島・大石地区(26.8k)では、平均年最大流量時の無次元流量に対し、無次元水面幅が福岡の下限式付近にプロットされている。一方、事業後の同地区については、水面幅が広がったため上限式付近にプロットされ、平均年最大流量時の相対水深に基づいて砂州を切り下げた効果が確認出来る。一方、南四合地区(22k)では、後述のように、平成27年洪水により水面幅が減少しているものの、無次元水面幅は平均式付近にプロットされている。また、比較的規模の大きい洪水では、大部分の砂州上に洪水流が乗り上げるため、事業実施前後においても十分

な河幅を有していることが分かる。

d) 礫河原再生と中小規模洪水の関係性

阿賀川では自然再生事業の実施期間からこれまでに平均年最大流量を上回る洪水が数回発生している。図-10に事業前から現在までの河道横断面形の変化を示す。

平成27年9月洪水前時点での礫河原環境の再生は、自然再生事業と平成23年9月洪水や平成25年9月洪水等、事業直後に発生した中小規模洪水によってもたらされた⁵⁾。その後、平成27年9月洪水、平成29年10月洪水等によっても砂州表層は攪乱を受け、平成30年洪水後でも礫河原状態が維持されている。

後述の環境モニタリング結果と合わせ阿賀川の治水と環境の総合的判断に立つと、流路の改修と砂州の高さの切下げ、樹木伐採等によって、中小規模洪水時の水面幅を増大させることで礫河原の維持・再生を図る本事業の基本的な考え方は妥当であった。しかし、図-10に示すように南四合地区や三本松地区はH25河道(H27.9洪水前)時点で水面幅が大きく広がったが、洪水後は断面によっては土砂の堆積により、事業前と同程度の水面幅に戻っている。従って、過大な水面幅を維持・管理することは難しいことから、阿賀川では平均年最大流量～概ね1,500m³/s規模の洪水が管理上重要である。阿賀川の河道地形特性、今後は、特に砂州の挙動に注目し、必要に応じて砂州配列と形状が洪水流下に与える影響を考慮し管理する必要がある。

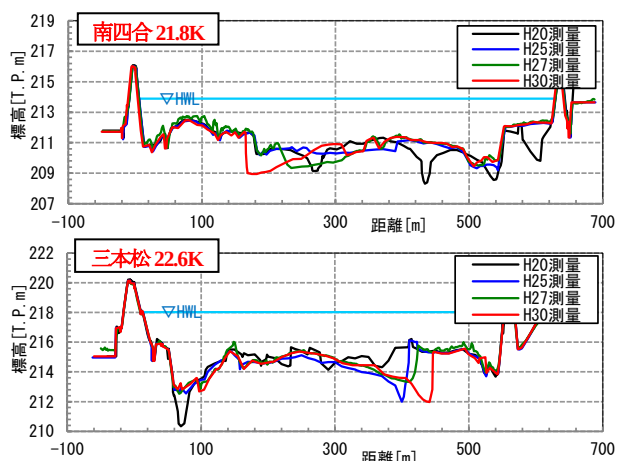


図-10 南四合（上）と三本松（下）の横断形状の変化

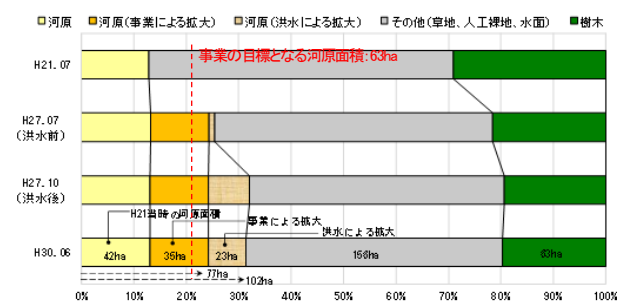


図-11 樹木面積・礫河原面積の推移

(3) 環境モニタリング調査

a) 樹木面積・礫河原面積

事業区間全体における樹木面積の減少及び礫河原面積の増大の推移を図-11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、目標である昭和60年代の63ha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礫河原となっ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大が見られ、事業完了後5か年を経て自然営力を活用した維持管理という目的がかなりの程度果たされてきている。

b) 礫河原指標種

生態系については、植物、魚類、昆虫類、鳥類を対象に礫河原環境の指標種を選定し、その生育・生息状況についてモニタリング調査を行い、環境面からの評価を行った。モニタリングは平成26年から開始し5ヶ年分実施している。

植物指標種であるカワラハハコは出水により群落面積が大きく減少したが、埋没個体由来の再萌芽及び種子由来の発芽によって1年から2年で分布が回復することが確認された。一時的な影響はあるが、事業及び出水による礫河原の増大がカワラハハコの生育に重要であることが示唆された。その他、カワラバタ、コチドリ等を地区別、経年的に調査した結果、生息数は増加している傾向が明らかになっており、出水による直接的な影響もみら

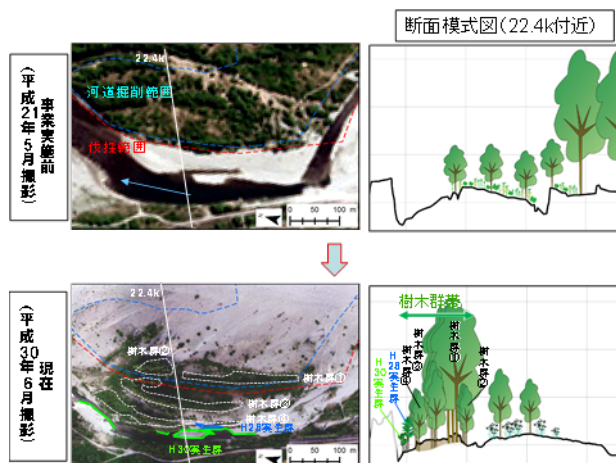


図-12 三本松工区の樹林化

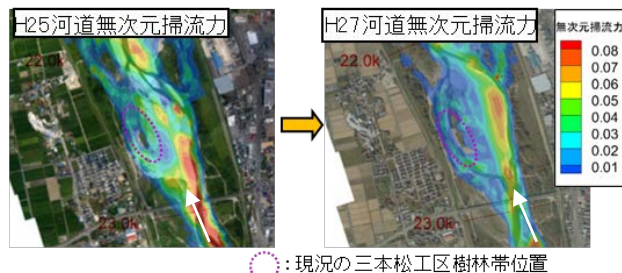


図-13 河道の違いによる無次元掃流力分布の変化

れたが、生息・生育環境である礫河原の増大に伴い個体数も増加している状況が確認されている。

c) 河道内樹木（ヤナギ類）

阿賀川の樹林化の主な原因はヤナギの繁茂であることから、ヤナギ類生育状況調査を実施した。

三本松工区では平成21年度に礫河原創出の自然再生事業が実施された。平成30年時点では礫河原が広がっているが、砂州の左岸側では樹林が形成されている（図-12）。この樹林は事業前の平成21年の航空写真にはなく、事業後に形成された樹林と推定される。平成30年の写真から樹林は4つの樹木群（①～④）が帯状に分布しており、さらに水際には平成28年調査時に発芽が確認され生長したヤナギ樹木群、平成30年調査時に発芽が確認されたヤナギ樹木群が分布していた。事業後の空中写真の判読から各樹木群は様々な時期に形成されており、事業後9年で実生等の繁茂により樹木群が徐々に形成され樹林化が進行していると推定された。三本松工区は礫河原面積が拡大しているが、同時に左岸側では樹林化が進行している状況が確認された。

樹林化が進行した図-10の平成25年、平成27年三本松工区の河道条件での平均年最大流量流下時の無次元掃流力分布を図-13に示す。H27.9洪水の土砂堆積の影響を受けたため、左岸側での無次元掃流力は低下している。樹林帯の一部は冠水しておらず、平均年最大流量規模では攪乱が期待できないため、樹林化がより進行する可能性は高い。樹林帯の拡大はさらに堆積により洪水時掃流力

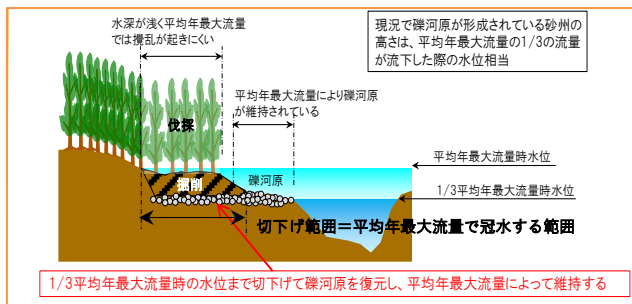


図-14 切下げ範囲・高さのイメージ図

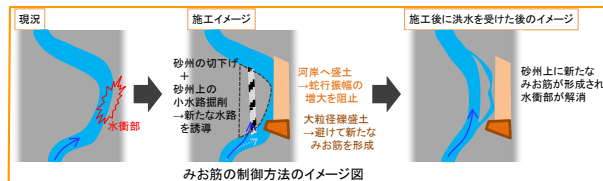


図-15 みお筋の制御方法のイメージ図

を低下させ、今後右岸側のみに流れが集中し蛇行部が形成される懸念が大きいことに注意が必要である。

4. 阿賀川の流路維持に関する今後の方向性

事業直後の阿賀川は、砂州の切り下げに加え、頻発した中小規模洪水による撓乱が奏功し、礫河原が拡大すると共にみお筋が複列化して水衝部が緩和された。しかし、その後の洪水において、流下した土砂が河道中央に堆積し、再蛇行を発生させる傾向にある。前章では、現在の流路幅が阿賀川の中小洪水において概ね適切な流路幅であると判断されたことから、今後この流路幅を維持するためには前項3.で考察したように、洪水流と交互砂州等の地形特性を考慮した河道管理が必要であり、その効果を把握するため、引き続き以下のモニタリングを続けていく。

- ① 管理流路幅を設定する。みお筋が河道中央に形成されている礫河原区間において、平均年最大流量時の相対水深が0.25程度以上、また、その値が最小でも0.2以下とならないよう流路幅を管理する。
- ② 管理流路幅はセグメント区分ごとに設定する。
- ③ みお筋が左岸際または右岸際に形成されている区間では、図-14、図-15に示すように河道中央の切り下げを行い、河岸際の深掘れを埋め戻すことで、みお筋の蛇行振幅の増大を阻止する。
- ④ 切り下げ高は、上記の通り相対水深が0.25程度以上となる高さ（≒1/1流量時の水位）とする。
- ⑤ 管理流路幅の外側となる区域については、平均年最大流量時の水位以上の高さに盛土し、草本類および樹木の繁茂を許容するが、流下能力については常にチェックする。
- ⑥ 管理流路幅外への盛土は、低水路際が最も低くなるよう勾配を設ける。水衝部となる箇所には大粒

径の礫を配置し、河岸を防護する⁶⁾。強い水衝作用がある飯寺工区等には、巨石付盛土砂州の施工を行い、堤防を防護する⁷⁾。

5. おわりに

阿賀川は水衝部の再形成が懸念されている。また、河岸際で冠水頻度の低い箇所ではヤナギ類の萌芽生育が見られ、再樹林化のおそれもある。これらの課題に対して、流路幅維持の考え方を基本として、阿賀川のもつ特徴を活かしながらかつてのとおり対応していく。

- ・水衝部のモニタリングによるデータの蓄積等により、定量的な維持管理基準を設定し、効率的な維持管理を実施する。
- ・礫河原の保全に関するモニタリングと、砂州の切り下げなどの試験施工を通じて、継続的に河川環境の保全を図る。

なお、礫河原の再生・維持にあたり実施する砂州の切り下げで発生した土砂は、局所洗掘箇所の埋め戻しに活用するなど、両課題に対しては有機的に、効率性、コスト等に配慮しながら継続的に取り組んでいく。

謝辞

本事業を実施するにあたり、「阿賀川自然再生モニタリング検討会」（座長 日本大学長林名誉教授）より多くのご指導を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 阿賀川河川事務所：阿賀川樹木群管理計画，2009。
- 2) 仲村学，増田孝幸，高橋昭一，山邊満，渡辺国昭，澤井雄介：阿賀川における礫河原再生に向けた河道整備，河川技術論文集，第19巻，pp.489-494，2013。
- 3) 福岡捷二：招待論文，温暖化に対する河川の適用技術のあり方ー治水と環境の調和した多自然川づくりの普遍化に向けて，土木学会論文集，F. Vol. 66 No. 4，pp. 471-489，2010。
- 4) 福岡捷二，坂口達哉：無次元流量に対する無次元河幅・水深のとり範囲と整備途上河川への適用，水工学論文集，第56巻，pp.I-1423-I-1428，2012。
- 5) 安井辰弥，見田弘幸，原俊彦，古瀬修，高水克哉，若狭甫，新井智之：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，河川技術論文集，第23巻，pp.615-620，2017。
- 6) 藤本昌利，大熊義史，皇中泰彦，福岡捷二：急流河川における高水敷上の自然段差を利用した堤防侵食対策工法の検討，河川技術論文集，第16巻，pp. 413-418，2010。
- 7) 国土交通省北陸地方整備局河川部：治水と環境の調和した新たな河岸防護技術の手引きー巨石付き盛土砂州を用いた河岸防護工ー，2013。

(2019. 4. 2受付)