

早出川における新たな自然再生技術「拡縮流路」の取り組み

北陸地方整備局 阿賀野川河川事務所 調査課 清水 一浩
北陸地方整備局 阿賀野川河川事務所 事務所長 正会員 石川 俊之
北陸地方整備局 阿賀野川河川事務所 工務課長 浅見 和人
北陸地方整備局 阿賀野川河川事務所 調査課長 高橋 明

1. はじめに

新潟県を西流する阿賀野川において、国土交通省では自然再生を進めており、うち支川の早出川では、多様な流れの再生を目的として、拡縮流路の考え方に着目した新しい河道維持管理技術について平成 25 年度より新潟大学との共同研究により検討している。

早出川では、流下能力確保のため平成 12 年に捷水路を整備したが、直線化され流れが単調化したことで、多様な流れやワンド、淵等の多様な水辺環境の減少等が河川管理上の課題となっている。

2. 拡縮流路による多様な流れの再生

2. 1. 拡縮流路とは

従来の河道設計は、主に洪水疎通を目的とし横断形を縦断方向に連ねるため、流路の平面形状は縦断的に均一な流路幅となる。そのため、直線河道においては、平面形状が流れを直線的に矯正するため、トロのような単調な流れとなったり、交互砂州が形成される場合でも、単列化・固定化が顕著となり、河岸沿いの深掘れによる比高差の拡大、砂州の固定化・陸生化、更に樹林化が進行する。

一方で拡縮流路は、平面形状の縦断方向の変化の繰り返し流れの空間的な不均一性（いわゆる不等流状態）をもたらす、自然発生する砂州と河道湾曲部にみられる平面形状によって形成される砂州の両者を混成した河床形状を形成し、斐伊川などの様に、結果として複列砂州状の底面起伏が形成され、その後も維持される流路形態である。

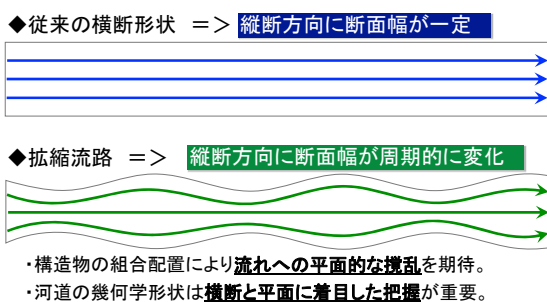


図1 拡縮形状のイメージ

2. 2. 拡縮流路効果検証の模型実験の概要と結果

(1) 模型実験概要

新潟大学との共同研究で、数値解析、模型実験等により、砂州の形成状況の確認、施設（水制）の形状、構造諸元、設置位置、間隔等を設定した。実験模型は相似比率 1:200 とした実験水路を用い、実験条件は、河道形成に影響大きい融雪期最大流量を想定した。摩擦速度/限界速度及び川幅水深比を一致させる水理条件を設定し、構造物の形状および諸元、箇所数、設置間隔を複数変えた実験を実施した。

(2) 模型実験その 1：配置間隔の違い

まず、現在の早出川にどのような交互砂州が形成されるか、直線水路にて実験した。結果、150cm（実スケールでは 300m）ほどの波長の交互砂州が形成されることが分かり、早出川に形成されている交互砂州と同程度であることを確認した。

次にこの波長を基準として、50cm, 100cm, 150cm, 350cm の 4 つにて実験した。結果、どの配置間隔でも共通した傾向として、構造物の下流側が堆積傾向、流心で洗掘傾向となることを確認した。

このような洗掘と堆積が生じる理由としては、構造物の配置により、流れを流心に誘導する効果がもたらされ、その結果、流心での洗掘の傾向、岸沿いでの堆積の傾向が見られるものと考えられる。

なお、構造物設置による堰上げの影響については、流心の洗掘が相殺する役割を果たし、模型実験の範囲では大きな問題とはならなかった。

- ・実河川波長と同等か短い設置間隔 50,100,150cm
⇒ 構造物下流側に堆積傾向
- ・実河川波長と同等 150m
⇒ 構造物上流側の流心部が堆積傾向
- ・実河川波長よりも長い
⇒ 構造物配置効果なし。現状と同じ交互砂州

(3) 模型実験その2：流量規模の違い

構造物配置によって、形成される底面形状が固定化してしまう可能性があるかどうかについて、流量を増減させる模型実験にて検証した。

融雪出水期最大流量→平均年最大流量の発生順、及びその逆順のいずれの場合でも、初期河床の形状にかかわらず各流量規模に応じた底面形状が形成された。すなわち、洪水の規模に応じて底面形状の形成に与える影響は異なり、底面形状が固定されることなく土砂輸送は続き、流水と流砂の新陳代謝が維持される。

(4) 模型実験に基づく拡縮流路の効果のまとめ

この模型実験では交互砂州の波長を構造物の配置間隔の基準値としていることに大きな特徴がある。

交互砂州は自然発生するものであるから、流路毎の固有の性質が表出したものと解釈できる。このため、交互砂州の形成に対して抑制効果を期待でき、また、従来の水制の設置とは本質的に異なるものであると言える。

また、構造物の設置の結果、流心で洗掘傾向、岸沿いで堆積傾向となる理由としては、構造物の配置により、流れを流心に誘導する効果もたらされるため、その結果、流心での洗掘の傾向、岸沿いで堆積の傾向(図2)が見られるようになっていいると考えられる。

この傾向は、構造物の配置間隔次第で能動的に底面形状を制御できる可能性があると言え、交互砂州の波長より配置間隔が同程度かある程度狭い場合では岸州が形成され、特に治水の上で有利となる底面形状が形成され、逆にある程度長い場合では構造物の下流側には岸州とそのさらに下流側では中州も形成され、多様な流れ

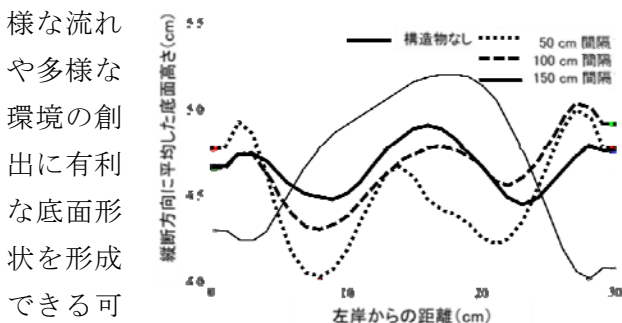


図2 構造物配置による断面の堆積・洗掘

3. 試験施工と設置後の状況

3. 1. 水制の形状と配置

(1) 施設諸元設定の対象流量

本水制工の設置目的は、平面的な攪乱を起こし、河床の更新を促すことである。そのため、発生頻度の少ない洪水を対象とするのではなく、北陸地方で特徴的な毎年発生する融雪出水を対象とすることとし、融雪期平均年最大流量 $220\text{m}^3/\text{s}$ を設計対象流量とした。

(2) 平面配置

現況の河道の交互砂州の波長及び構造物設置の波及範囲、構造物設置数と河床形態を数値解析、模型実験の結果を勘案して200mとした(図3)。

また、複列砂州の形成に影響する橋脚などの構造物が下流に存在しない範囲に設置した。

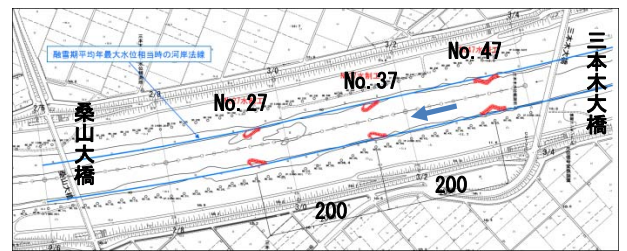


図3 平面配置

(3) 横断配置

水制は低水路内に設置する。河岸からの張り出し量については、融雪期平均年最大流量流下時の水面幅と左右岸の水制間幅の比率を「拡縮率」と定義し(図4)、拡縮率60%、70%、85%について水制上下流の波及範囲を模型実験により検証し、現地河道の状況等を勘案した結果、拡縮率70%が有効と判断した。

なお、水制工の河積阻害は、H.W.L以下の河積を基準に、河川管理施設等構造令を遵守した阻害率5%未満とし、洪水時の水位堰上げは生じない範囲とした。

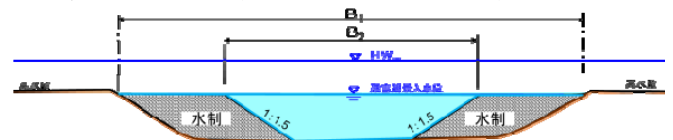


図4 拡縮率の考え方

(4) 構造および諸元

河川縦横断方向の延長と張出し角度は、模型実験をもとに河床形状に与える影響を勘案し1:2(約 27°)とした。水制基礎部の張出し幅は10m、延長は40mとした。

上流側(No.47)の水制は、上下流対象形の「二等辺三角形」とし、下流側(No.37, No.27)は、「半割型」で下流側によどみを持たせる構造とした(図5)。水制本体は、①施工性及び経済性、②形状の変形容易性、

③礫河原との一体性, ④補修のし易さの観点から捨石工を基本とした。基礎の根入深は、模型実験での先端部の最大洗踏まえて設定した。基礎部周囲は、局所洗掘対策及び河岸の多孔性を確保するため袋詰め玉石工を設置した。

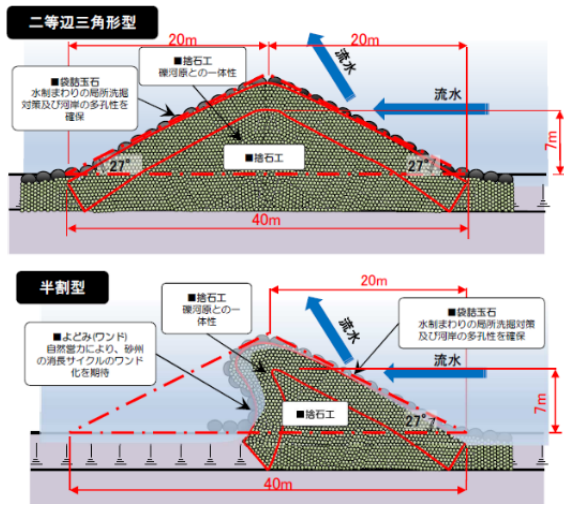


図5 水制工構造平面図



写真1 二等辺三角形



写真2 半割型

(5) 既設護岸への影響

模型実験の結果、局所洗掘は水制先端部のみで生じており低水護岸側には水衝部が発生しないことから、懸念される低水護岸前面の洗掘の可能性はないと考えている。

(6) 設計諸元まとめ

表1の諸元としたが、今後のモニタリングなどにより必要に応じて変更する。

表1 水制工設置諸元

設計対象流量	220m ³ /s	融雪期年平均最大流量
平面設置	200m	現況単列砂州波長、水理解析、模型実験より設定
拡縮率	70%	融雪期最大水位の水面幅 (B ₁) と水制間幅 (B ₂) の比率
水制天端高	融雪期最大水位相当	
水制形状	二等辺三角形型 (No. 47), 半割型 (No. 27, No. 37) 側面勾配1:1.5	
構造材料	φ200mm 内外玉石, 根固め工 (袋詰め玉石)	

3. 2. 設置後の状況

(1) 出水の状況

施工中の平成28年7月6日に高水敷上約1m冠水し、善願水位観測所で14.88m (22時30分流量1105m³/s) に上昇し、避難判断水位に達した。水制工

は千鳥で施工しており、当時先行していたNo.37左岸、No.27右岸は、捨石のマウンドのみで袋詰め玉石は設置していない状況であったが、捨石工の流出はなかった。

No.27, 37は、7月15日完成後の8月23日善願観測所で12.34m (23日1時流量161m³/s) の出水があった。

(2) 出水後の表面流速

8月23日出水の減水時 (流量約60m³/s) に水制上下流の流れをビデオ撮影し、画像解析 (STIV法) により表面流速分布を調査した。No.37の水制間では、1.8~2.4m/sの高流速であったのに対し、水制下流側では0.4~1.7m/sの低流速であった。ここで、0.4m/sは水制下流部のよどみ付近の流速である。

(3) 水制完成後の物理環境の変化

No.47水制は平成28年9月に完成し、3基完成後の河床は、共通して、河道中央部の浅瀬の形成、水制先端から下流への砂礫堆の発達、水制下流河岸側の緩流域化等の変化が確認された。完成後の大規模な出水は発生していないが、河床砂礫の変動が現地で認められた。このことは、模型実験結果のとおり、流量規模に限定されない自然の営力の作用により河床の更新が行われていることが示唆されるものと考えられる。

4. 現時点での拡縮流路の評価

設置後のモニタリング結果を踏まえ、従来工法との対比を交え、現時点での拡縮流路の評価をまとめる。

(1) 融雪出水を活かした確実な河床更新

一般に、みお筋や瀬・淵、砂州などの河川要素は、平均年最大流量以上の洪水により変化・消長するとされている。従来工法の水制では、出水時の水はねにより流心や対岸の河床を更新し、水制工周りの洗掘により淵を形成、また水制工周辺への堆積により固定砂州を形成する事を期待している。しかしながら出水は自然現象であるため、出水が発生しない年もある。

一方、早出川の拡縮流路は、出水を活用する事は同じであるが、さらに、雪国ならではの特徴である融雪出水を最大限に活用する設計としている点が異なる。融雪出水の発生頻度は毎年ほぼ100%であり、確実に出水営力を使うことができる。2つめは、融雪は1~2ヶ月間継続する高水位であり、数日で収束する通常出水と比べ、1~2ヶ月の長継続時も、河床の更新に有効であると考えている。

(2) 治水上の有効性

本水制工は、融雪期平均年最大流量（220m³/s）以上の中大出水時には全没する天端高、かつ、H.W.L. 時の断面障害率は 5%以下に抑えてあり、治水上の問題はない。

河川管理一般としての懸念事項は、局所洗掘、特に低水路河岸での洗掘である。従来工法の水制は、片岸もしくは左右交互に設置される。設置側の河岸は防護となるものの、大きな水制になると、水はねによる対岸側の洗掘が懸念事項となる。

早出川では、水制を左右ペアで設置しているため、水制同士の「縮」の部分で、流れは中央に集まり、河岸洗掘は生じないという大きな利点をもたらす。

水制の下流側は再び「拡」となり、数値解析等によれば、砂州の新たな形成が予想される。この場合“砂州が陸地化・樹林化し、砂州の迂回流により河岸洗掘が懸念されるが、同解析からは、砂州が形成されたとしても別の出水や異なる流況下で消失・変形すると予想されており、即ち「更新する砂州」となるため、この点からも治水上の課題はない。

(3) 河川環境面での効果

早出川のような中小規模・直線河道・単調な流れの川には、水制工などの流れに変化もたらす“仕掛け”が、河川環境の多様化・再生に有効である。しかし、従来工法と拡縮流路では、共に砂州や瀬を再生するものの、それが、「固定」なのか「更新する」のかに違いがある。

拡縮流路は、瀬や砂州の位置を固定させる設計ではなく、縦断方向に「拡と縮」を配置することで、副次的に瀬や砂州の形成をもたらす。かつ、その河床についても、流況によって流出・消失、位置が移動再形成されたりすることが、数値解析等から判明している。

この常に更新する河床は、生物からみても好環境であり、例えばアユは浮き石状態の瀬を産卵場とするが、浮き石状態は、河床の更新が維持されている健全な川でのみ形成される。

水制設置後の陸上からの視察では、水制下流側に瀬

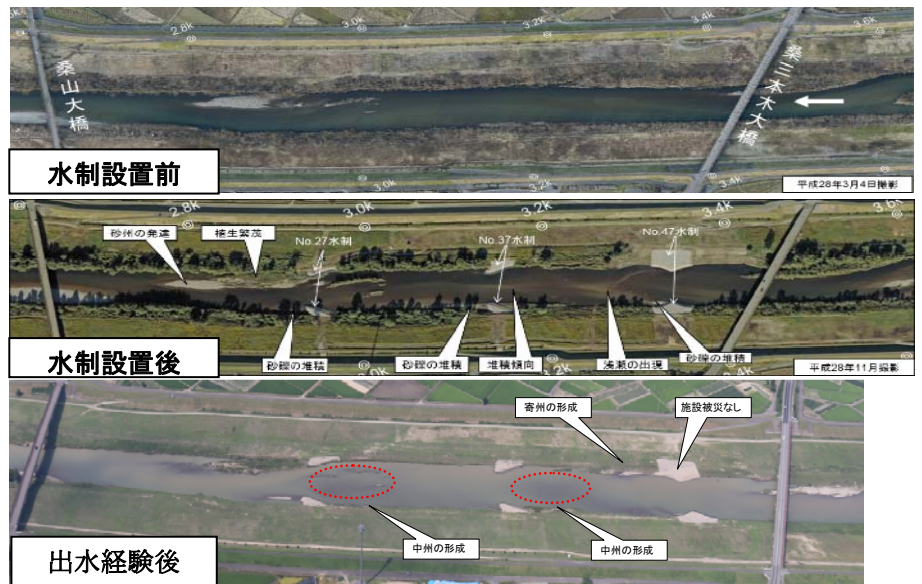


写真3 水制施工前後の空中写真（上段 H28. 3, 中段 H28. 11, 下段 H29. 7）

が形成され、良好な浮き石状態となっていた。また、地元漁業関係者からは、設置直後から高い評判を得ている。生物面からの評価については、モニタリングを踏まえ今後評価していく。

6. まとめと今後の展開

数値解析・模型実験を経て実際の現場での実証実験を行い、模型実験等での効果・現象がほぼ実証された。また、本事業は、自然環境の再生という観点で始めた取り組みではあるが、研究を進める中で治水面での効果も明らかとなった。平成 29 年 7 月 18 日には 1350m³/s（計画高水流量：1850m³/s）という既往最大規模の出水を受けたが、施設は破損することなく維持されており、河岸の局所的な洗掘も確認されていないことから、この治水的効果も実証された。

今後は、モニタリングを継続するとともに、治水計画の観点からの評価を含め「新たな自然再生技術」として一般化の検討を行い、他河川、特に早出川と同規模の中小河川への適用を目指した「手引き書」にとりまとめていく。

謝 辞

本論文の執筆にあたり、新潟大学安田准教授をはじめ、ご協力いただいた皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高橋 玄, 安田 浩保, 複列砂州の維持条件に関する一考察, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.I 961-I 966, 2012.