

物部川深淵床止め修繕における 魚ののぼりやすい魚道の改良について

高知河川国道事務所 河川管理課 池野 裕貴
高知河川国道事務所 地域防災調整官 富永 剛史
高知河川国道事務所 河川管理課長 山下 正浩

物部川の河口から約3kmに位置する深淵床止めでは2本の水路（魚道）により流水の連続性が確保されているものの、両水路とも延長が長く、流速が過大なため、稚アユ等の遊泳力が小さい魚介類の遡上障害となっていた。そこで、現地石材を用いる等、自然河道に近い水路構造となるよう修繕・整備した。その結果、流速の低減、魚介類の休息場所の形成、および新たな水路開削による流水の集中緩和と魚介類の移動ルートの多様化等の効果が確認され、稚アユ等の魚ののぼりやすい多自然型魚道に改良された。

キーワード 床止め修繕，現地石材，多自然型魚道，分散型落差工，
稚アユの遡上効果確認

1. はじめに

深淵床止めは、物部川で最も下流に建設された横断構造物で、河口から約3kmに位置する（図-1）。今回床止め直下の護岸工の修繕を実施するにあたり、既設魚道の改良を行ったものである。ここでは、平水前後の条件下において稚アユ等の回遊性魚介類の遡上障害となる問題がかねてより指摘されていた。一方、老朽化に伴い、平成26年度にはその一部が補修され、床止め中央付近に魚道機能を持つ2本の水路とそれらを繋ぐ連結水路からなる構造となり、平水位以下ではこれら水路が魚介類の移動ルートとなった。しかし、流水が水路に集中するため、流

速が過大となる上、両水路とも延長が長いことから、床止め直下に遡上中の稚アユが顕著に滞留する等、依然として魚介類の遡上に対する課題が残されていた。

このような背景のもと、床止めの機能を損なわないことを前提とし、極力、水路内の改修、つまり「最小限の対策で最大限の魚類遡上効果」を念頭に石材等を用いた改良を実施した。本稿では、このような多自然型魚道整備について、その設計、施工の内容を紹介するとともに、整備後における稚アユの遡上状況等に対する効果について報告する。

2. 整備前の現状

(1) 既設水路の構造

既設水路は、図-2 に示したとおり、中央水路と東水路を連結水路が最下流部で横断方向に繋ぐ構造となっている。そのため、中央水路の流水は水褥池（流水を減勢するための箇所）と連結水路を通じて全て東水路へ流入し、床止め下流に達する。水路幅は中央水路より東水路が広く、水路の天端高も東水路が0.3m低いいため、通常は東水路の流量が多い。水路勾配は、中央水路では上流の斜路部が1/25で、その下流は平坦となっている。一方、東水路では10m程度の平坦部を除き、勾配が1/25～1/27の斜路となっている。中央、東水路の延長はそれぞれ73.4m、97.8mで、東水路では直線状の斜路部が長く、流水も集中するため、特に流速が上昇しやすい特性にある。

(2) 水路内の水深・流速、魚類の分布状況

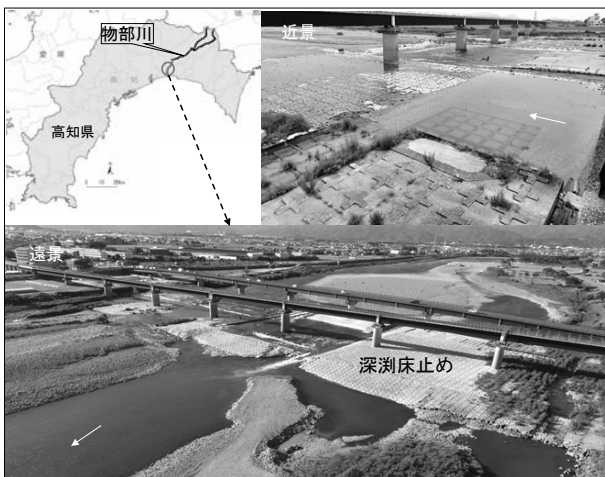


図-1 物部川深淵床止め

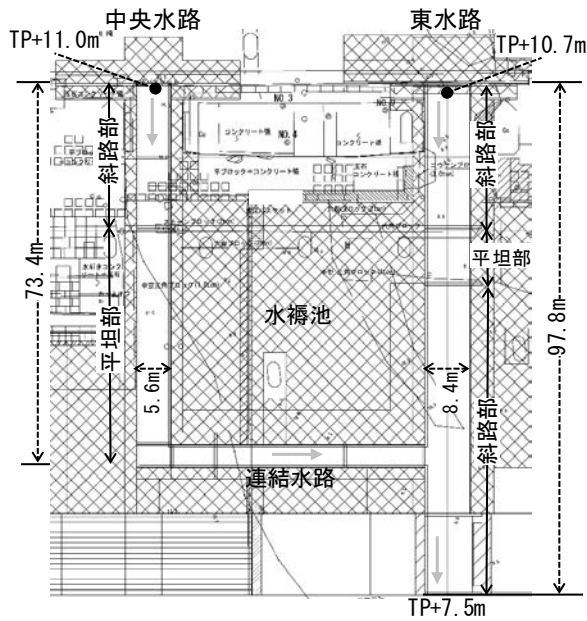


図-2 既設水路の構造

設計検討に先立ち、複数回に亘って現地調査を実施し、水路内やその周辺の流水状況、魚類の分布状況等の現状を確認した。

水路内の流速と水深分布をみると（図-3）、中央水路では上流域の斜路部の右岸側での流速が相対的高く、一部ではアユの突進速度である 1.8m/s^1 を上回っていた。また、水深は水路左岸側が一様に深く、 $0.4\sim 0.6\text{m}$ の範囲が大半を占めた。

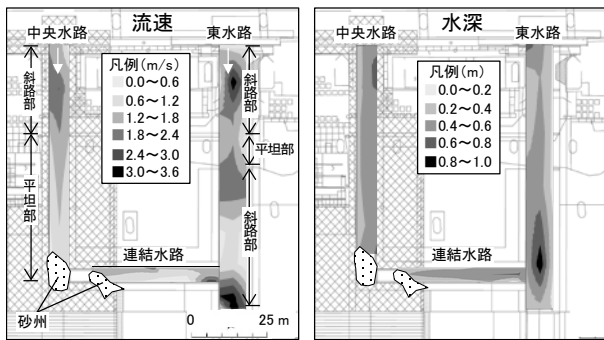


図-3 水路内の流速、水深分布
調査日：2019年6月26日（豊水位時）

東水路では、水路の上流端付近と中央付近、および下流端付近の計3区間に高流速部が形成されており、いずれも斜路部に位置する。このうち、上流と下流の高流速部では 2m/s を超える部分もあり、特に下流部では全面に亘ってアユの突進速度（ 1.8m/s ）を越えていた。なお、下流側斜路部の中央付近（連結水路合流点上流）は斜路部ながら流速が小さく、水深が深かった。これは、この範囲に流水が集中することにより、東水路下流端で小規模な堰上げ背水が生じたためである。また、東水路下流端の流速が特に高い特徴も、この堰上げによる水面勾配の増大が関与していると推察される。

上記調査と同時に実施した魚類の分布調査では、水路

内においてアユ、オイカワ、ヌマチチブ等の魚類が確認された。これら魚類は、前述した各高流速部の下流側において生息密度が高い傾向にあり、高流速によって遡上が制限されている状況が確認された。

3. 設計概要

(1) 改善すべき課題

前章までの既設水路の構造的特徴、および現地調査によって確認した現状から、深淵床止めにおいて魚介類を円滑に遡上させるために改善すべき課題を抽出した。その主要課題は以下のとおりであり、これらを解決するための対策を検討した。

- ①東水路の流水集中の緩和。
- ②水路内の流速低減。
- ③魚介類の休息場所の形成。

(2) 主な対策

設計の全体概要は図-4に示したとおりで、大きくは中央水路下流における新たな開削水路の形成と各水路部への石材を用いた対策工の設置である。このうち、後者については、設置範囲を図-4に示した4箇所の高流速部とすることで、最小限に止めた。なお、図-4にはその他対策工の配置理由も合わせて記載したので、参照されたい。以下、主な対策内容を記す。

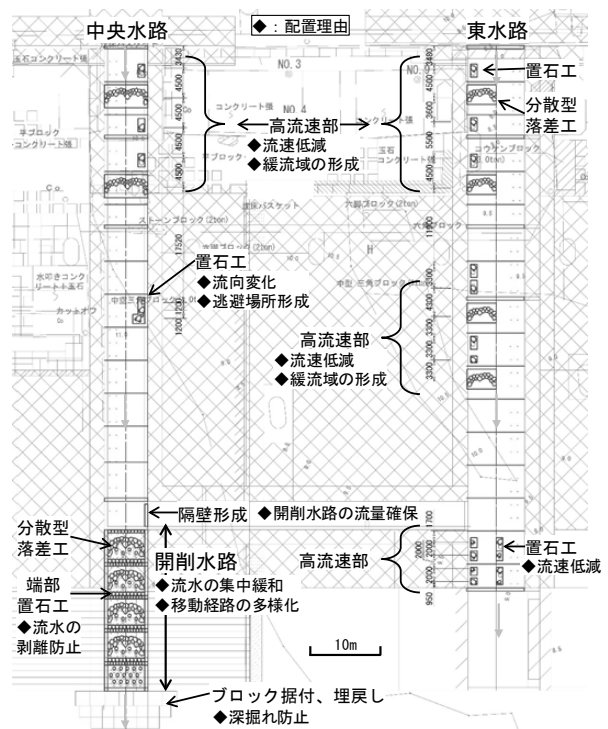


図-4 各対策工の配置場所とその理由

a) 東水路への流水集中の緩和

東水路への流水の集中は水路全体の流速を上昇させる

だけでなく、その下流端に局所洗掘を生じる要因ともなっていた。このため、中央水路下流に新たな水路を開削し、流水を分流するとともに、魚介類の移動ルートを増設した。その水路形状は施工性、経済性等から、直線状とし、下流端には局所洗掘対策も施した。

b) 自然石を用いた対策工

既に述べたとおり、既設水路の勾配は1/25程度であり、これは河川上流域（セグメントM・山地石礫河川）のそれに近い。ここには、自然地形としてステップ・プール構造が形成されており、水路構造がこのような自然形態と同様であれば、魚介類は円滑に移動できると考えた。そこで、主な対策工としては、現地石材を用いたより自然な地形に近い構造として分散型落差工を用い、これとより簡易な置石工を併用することとした。

これら対策工の構造と流れのイメージを図-5に示した。このうち、分散型落差工は主に力石、環石、鱗石から成る構造で、これら石材を下流に向けた円弧状に組み合わせることで下流にて流れを衝突させ、流速を低減させる機能を持つ。さらに、石組みの直上流にはプールが形成されるとともに、各石材の直下流には緩流域も形成される。これにより、自然の瀬に近い流れが創出でき、流速の低減と魚介類の休息場所の形成が可能と考えた。

使用するこれら石材は、耐久性にも優れている自然石とし、これらを施工現場周辺から収集することとした。また、その石材径は、一般的な安定理論（滑動・転倒に対する安定条件）と福留ら²⁾の理論式から、設計流速（8.0m/s）に対して安定するサイズとした。さらに、これら石材は上面を上流側の河床に向けて傾斜させる（のめり構造）ことにより安定を図るとともに、より一層の強化のため、差し筋で固定することとした。

なお、本来は、分散型落差工は波長に応じた間隔で設置することが望ましいが、施工性、経済性から全ての設置が困難であるため、その代用策として置石工を水路側壁に設置した。



図-5 分散型落差工と置石工の平面形状と流れのイメージ

4. 施工状況

前項の設計に基づき、2019年秋季より施工工事が行われ、2020年3月下旬に竣工した。この間の主な施工状況を図-6に示した。



図-6 施工状況

工事は、仮設・瀬替え工等を行った後、中央水路下流の開削水路部から開始された。ここでは、水路の底盤コンクリートを構築した後、その上に分散型落差工、端部置石工、植石工等の石組みが行われた。石組みが終了したのち、20cm厚でコンクリートを打設し、全ての石組みを固定した。その後、各石材を差し筋で固定し、側壁を構築するとともに、周辺に既設ブロックを据付け、2020年2月下旬までに完成した。

開削水路の工事がある程度進行した1月中旬には、その上流の中央水路部の工事が開始された。ここでは分散型落差工と置石工を設置する範囲において、既設水路のコンクリートを約20cm厚ではつり、その範囲に石組みを設置した。その後、コンクリートを再び20cm厚で打設するとともに、差し筋も用いて全ての石組みを固定した。なお、施工時には、流水が石組み上を滑らかに流れるよう、適宜、石材を追加する等、さらなる機能向上と施設の安定化が図られた。

5. 整備後の効果

(1) 流況解析による整備後の変化

主な対策工として用いた分散型落差工や置石工による流速の低減や休息場所となる緩流部の形成等の効果を定量的に確認するため、平面二次元解析によって整備前後の流速分布を対比した。なお、これら予測流速は実測値と対比し、その再現性は検証済である。その結果を図-7

に示した。これによると、整備後には各水路の両岸に沿って稚アユの突進速度を下回る流速帯 (1.2m/s以下) が連続的に形成されており、特に東水路では全体に亘って流速が低下している。これは、開削水路によって水量を分流した効果である。また、分散型落差工や置石工の上・下流には緩流部が不規則に形成されている。このような石材周辺の緩流部 (反転流が生じている箇所も含む) には、魚類が集まる状況が後述する潜水目視観察によっても確認されており、魚類の休息場所として重要な役割がある。

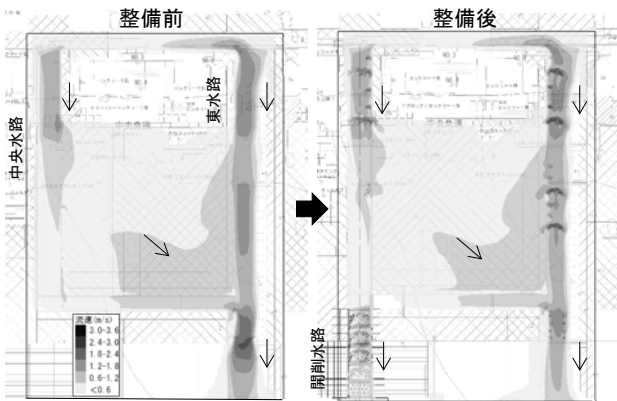


図-7 整備前後における流速予測

(2) 稚アユ等の遡上状況

整備後において、稚アユの遡上活動がほぼ盛期となった2020年4月30日に水路内およびその周辺の水深・流速の測定と稚アユを主体とした魚類の遡上状況を潜水目視による観察を行った。なお、調査時の流況は平水位に近い状態にあった。その結果、図-8に示したとおり、整備後の流速は前節の予測どおり稚アユの突進速度を下回る流

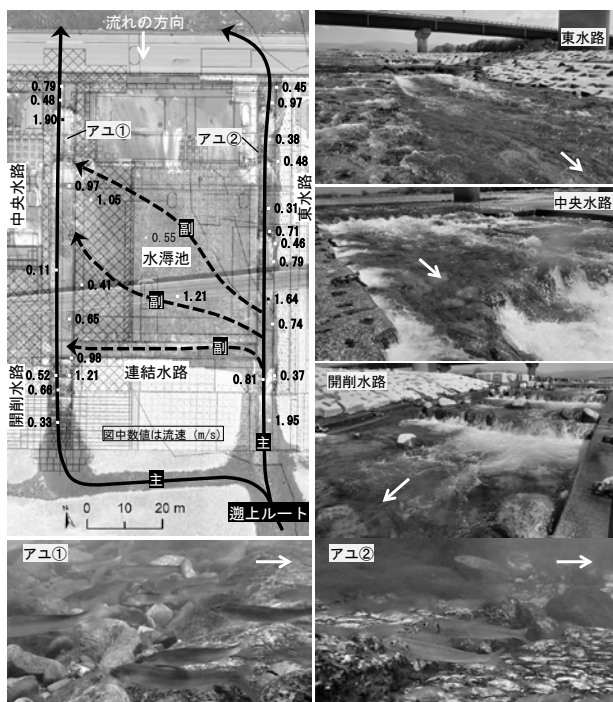


図-8 整備後における流れの状況と稚アユ等の遡上経路

速帯が連続的に形成されていた。それとともに開削水路および既設水路とも全域において稚アユ等の活発な遡上が確認され、整備した全ての水路が遡上経路として利用されていた。また、稚アユが著しく集積している場所は確認されず、遡上障害となっている箇所も認められなかった。さらに、稚アユより遡上力が劣ると推察されるスミウキゴリやヌマチチブ等の小型個体も遡上しており、当整備により、床止全体の遡上性が大きく改善されたと判断された。なお、4月中旬に物部川漁業協同組合が実施したアユの遡上調査によると、深淵床止め上流域において約5万尾の天然アユの生息が確認されており (物部川漁協HP参照)、この結果も稚アユが当床止めを遡上した事実を証明している。

このように、対策工設置による流速低減作用等は明瞭で、これら効果によって稚アユ等が円滑に遡上できるよう改良されたと判断してよい。さらに、上記のとおり稚アユより遊泳力が劣る小型魚の遡上も確認され、目的とした自然の瀬に近い流れの創出により、多様な魚介類の円滑な移動が可能となったと結論できる。

6. 終わりに

コンクリート構造物の老朽化に伴う床止めやその魚道施設の補修は全国的な課題といえる。今般の現地調達した自然石を用いた魚道の修繕は、流速の低減や緩流部の形成といった機能面を満足した上で、景観面、環境面、経済面等の多面的な効果が認められる。さらに、コンクリートや差し筋による補強により、高度な石組み技術が必要としない点も特筆され、今後、多自然型魚道として各地での応用が期待できる。

参考文献

- 1) ダム水源地整備センター：最新 魚道の設計，信山社サイテック，1998.
- 2) 福留脩文，有川崇，西山穂，福岡捷二：石礫河川に組む自然に近い石積み落差工の設計，土木学会論文集 F，66(4)，pp.490-503，2010.