

水制工による魚道上流側入り口の閉塞防止効果について

(独) 土木研究所寒地土木研究所 水環境保全チーム ○矢野 雅昭
(独) 土木研究所寒地土木研究所 水環境保全チーム 矢部 浩規
北海道開発局 札幌開発建設部 幾春別川ダム建設事業所 森田 茂雄

本稿では、横断工作物の魚道上流入り口の閉塞防止効果が期待される、水制工の設置を実施した現地において、水位観測、地形測量、河床材料調査、流況解析から検証を行なった。調査の結果、出水後においても魚道上流入り口周辺に大きな河床変動は確認されなかった。流況解析の結果、水制工を設置した場合、出水時の魚道上流入り口近傍の流速が速くなる傾向が確認され、土砂の排出効果の向上が想定された。

キーワード：保全・共生、自然環境、基礎技術

1. はじめに

河川に生息する魚類には、その生活史から、河川での縦断方向の往来を必要とするものが存在する。例えば、サクラマスはそのような魚類の一種で、河川渓流域で産卵し、孵化した雌の大部分と雄の一部は降海し、産卵のために再び河川に戻ってくる¹⁾。このような魚類にとって、河川の連続性は、その生存・繁殖に重要な要素である。こうした認識が広がり近年では河川横断工作物に、魚道を設けるなどの対策が取られている。地山の保全のため、砂防ダムや床固工が必要な河川渓流域では、魚道設置の他、スリット化などが行われている。しかし、セグメントMまたはセグメント1に当たる河川渓流域では、出水時の河床変動が大きく²⁾、魚道上流入り口付近が土砂堆積や流木により閉塞することがある。この対策として、魚道上流入り口の直上流に、適切に水制工を設置することが有効であることを、森田らが水理模型実験により示している³⁾。

北海道内のA川では、床固工に設置された魚道の上流入り口が、平成22年7月の出水による土砂堆積で閉塞した(写真-1上)。このような魚道上流入り口の閉塞対策として、同年11月に森田ら³⁾が提案した水制工による対策工が実施された(写真-1下)。その後、平成23年に融雪出水を経て、9月に同河川で大規模な出水があった。本稿は、この実河川での水制工設置による魚道上流入り口の閉塞防止効果について、現地調査・流況解析により検証するものである。

Masaaki Yano, Hiroki Yabe, Shigeo Morita



写真-1 上：H22. 7の出水により閉塞した魚道上流入り口
下：H22. 11に設置された水制工

2. 調査箇所

(1) 調査対象床固工

調査対象の床固工は、北海道内の流域面積8.5km²のA川の、河口から1.2km上流に位置し、床固工設置箇所の河床勾配は5%となっている。床固工の規模は、高さ7m(水通し～基礎)、堤長61.5m(水通し部23.0m)となっており、左岸部に魚道を有している。魚道の形式は、底生魚や甲殻類の遡上・降下が可能で、魚道内に土砂が堆積しにくい台形断面魚道となっている⁴⁾。

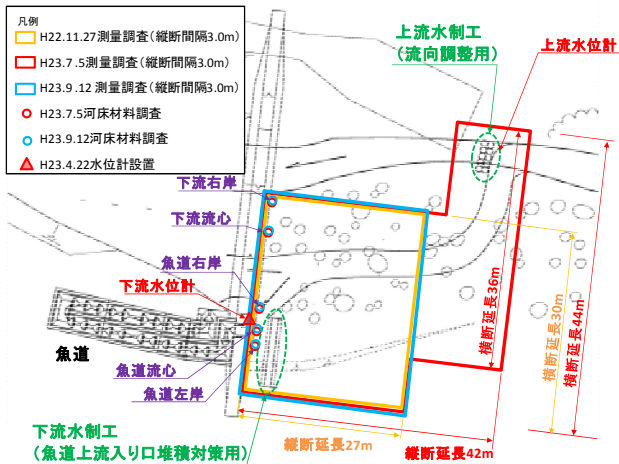


図-1 調査箇所概要図

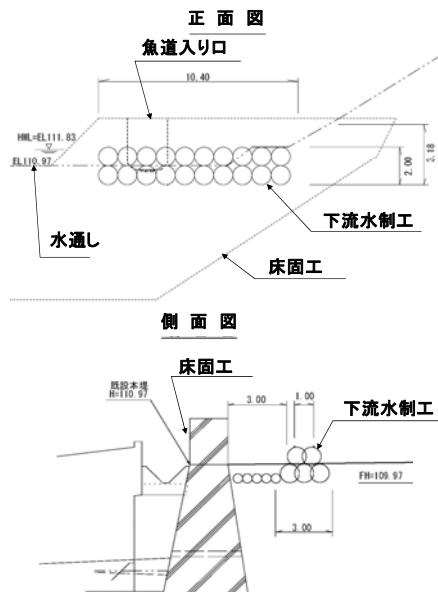


図-2 下流水制工の構造図

(2) 水制工の概要

水制工の設置位置と構造図を図-1, 2に示す。水制工は、平成22年11月に2箇所設置された。一つは本稿で検討の対象とする、魚道上流入り口の閉塞防止効果を期待したもので、床固工の3m上流左岸に設置されたものである（以降、下流水制工）。もう一つは、本稿で検討の対象としない、床固工の33m上流右岸に設置されたもので、平時時の流れを魚道側に導くためのものである（以降、上流水制工）。水制工の構造は、いずれも出水時でも移動しない径1m程度の巨石を使用したもので、下流水制工の延長は10.4m、上流水制工の延長は約5mで、高さ1m（地下部を含めると2m）となっている。

森田によると、水制工の効果は、図-3に示す床固工と水制工の寸法の、 l ：水制工長、 L ：水制工設置位置を、 $(1-ba)/b=2.0$ 、 $L/b=1.5$ の条件とした場合にあるとされ³⁾、A川に設置された水制工も、同条件となっている。

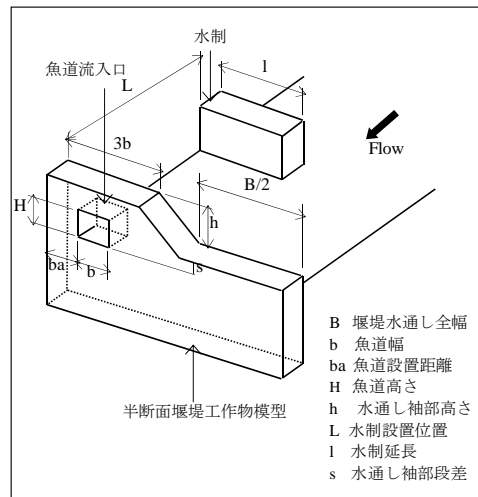


図-3 森田ら³⁾の模型実験での床固工と水制工の寸法概念

3. 調査方法

(1) 水位観測および流量の検計

平成23年4月22日から9月12日の期間において、現地の流況を検計するため、水圧式水位計（光進電気工業MC1100W、精度±1cm）を床固工左岸袖部と上流水制工に設置した（図-1、以降、下流水位計、上流水位計）。そして下流水位計の観測値から長方形せきの越流量式（1）⁵⁾により、水通し部流量、魚道部流量を算出し、それらを合計して全流量を算出した。

$$Q = CBh^{3/2} \quad (1)$$

$$0 < h/Lo \leq 0.1 ; C = 1.642(h/Lo)^{0.022}$$

$$0.1 < h/Lo \leq 0.4 ; C = 1.552 + 0.083(h/Lo)$$

$$0.4 \leq h/Lo \leq (1.5 \sim 1.9) ; C = 1.444 + 0.352(h/Lo)$$

$$(1.5 \sim 1.9) \leq h/Lo ; C = 1.785 + 0.237(h/W)$$

Q : 越流量 (m³/s)、 B : せきの幅(m)、 h : 越流水深(m)、 C : 流量係数(m^{1/2}/s)、 Lo : せき長(m)、 W : せき高(m)

また、経年的な流況を把握するため、潮位の影響のない河口付近においても、平成22年5月1日から平成23年12月2日の期間において、水圧式水位計（コーナシステムKADEC-MIZU、精度±1cm）による水位観測を行なった。

(2) 地形調査

平成22年11月27日、平成23年7月5日、9月12日に図-1に示す範囲の測量調査を行った。平成22年11月および平成23年9月の調査は、下流水制工周辺の地形変化を把握する目的で、床固工から上流27mの範囲に3m間隔で測線を設け、横断延長は30mとした。平成23年7月の調査は、流況を検計するため、上記範囲に加え、上流水制工までの滞筋個所を加えた。

(3) 河床材料調査

平成23年7月5日、平成23年9月12日に河床材料を採取し粒度分布を調査した。調査箇所は床固工の近傍とし、図-1に示す①下流流心、②下流右岸、③魚道右岸、④魚道流心、⑤魚道左岸とした。河床材料の採取は、スコップを使用して行なった。流れが速い箇所では、網目75μmのサーバーネットを採取箇所の直下流に設置し、河床材料をスコップで投入する方法とした。また、河床材料の採取深は、概ね表層下0.3mまでとした。粒度分析は、粒径100mm以下の河床材料はふるい分け分析を行い、それ以上の粒径は現地にて短径、長径を測定した。

(4) 流況解析および河床変動計算

I-RIC2.0⁶⁾のソルバーのNays2Dにて流況解析および河床変動計算を行った。Nays2Dは2次流の影響を考慮した準3次元モデルである。水制工周辺の流況は3次元なものであるが、2次流の影響を考慮した準3次元モデルでも、水制工周辺の流れの再現性があるといわれている^{7,8)}。流況解析の条件について、表-1に示す。格子は平成23年7月の測量結果と、平成22年の7月出水後に実施した床固工上流10m、20m地点の横断測量結果を使用して作成した。境界条件の下流端水位は、堰からの越流となるため、限界水深を設定することとし、式(2)にて算出した。

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}} \quad (2)$$

h_c : 限界水深(m)、 Q : 流量 (m³/s)、 B : 水路幅(m)

4. 結果

(1) 水位観測結果および流量の検討

A川近傍の気象庁による日雨量、下流水位計の観測結果および式(1)により算出した流量を図-4に示す。観測開始より、融雪の影響で水位が高い状態が続き、0.3m程度の水位変動が起きている。その後、5月中旬から6月中旬にかけて水位が低下し、降雨がない場合はEL110.7程度の低い水位を保っている。7月以降は降雨の影響により水位上昇が確認され、9月上旬の出水ではEL111.4を超える水位が観測されている。融雪期の最大水位はEL111.17程度であり、この水位から算出した水通し部流量は約3.2m³/s、魚道部流量は約0.8m³/s、全流量は約4.0m³/sであった。また、9月出水時の最大水位はEL111.46程度であり、この水位から算出した水通し部流量は約12.3m³/s、魚道部流量は約1.9m³/s、全流量は約14.2m³/sであった。床固工の計画高水位はEL111.83であり、これらの出水はこれを下回る規模であった。

表-1 I-RIC2.0による流況解析条件

項目	設定条件
ソルバー	Nays2D
格子間隔	縦95×横125
粗度	0.035
計算時間間隔	0.01秒
乱流モデル	渦動粘性係数一定
移流項の差分法	風上差分
流量	①4m ³ /s、②14m ³ /s
下流端水位	①111.10m、②111.27m
河床変動	なし
植生	なし

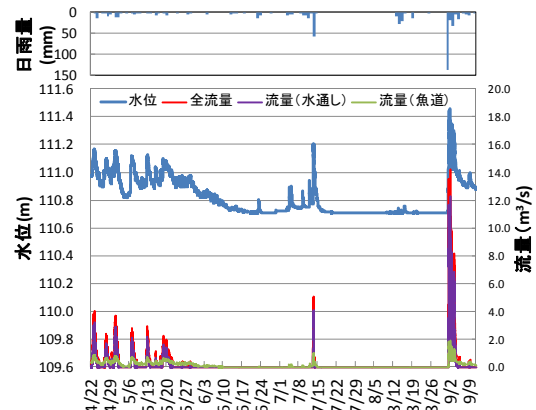


図-4 H23日雨量、下流水位計観測結果および算出流量

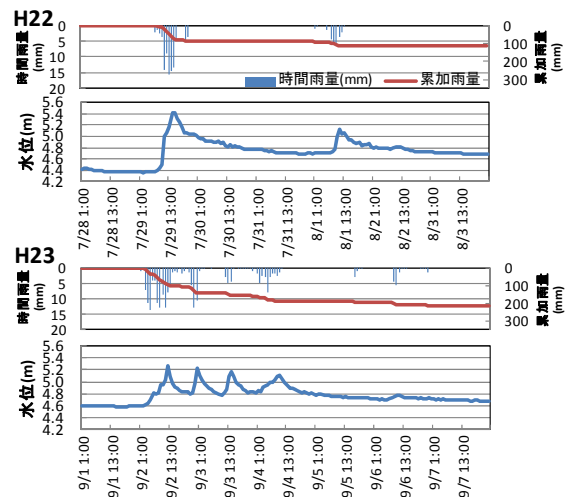


図-5 H22.7、H23.9出水時の時間雨量と河口付近観測水位

A川近傍の気象庁による時間雨量と、河口部での水位観測結果により、魚道上流入り口が閉塞した平成22年7月の出水規模と水制工設置後の平成23年9月の出水規模を比較した(図-5)。平成23年9月の最高水位は5.27mであり、平成22年7月の最高水位5.42mより低かった。また、時間雨量についても平成23年9月の出水の方がわずかに少なく、平成23年9月の出水は、平成22年7月の出水よりも、やや小規模であったと考えられる。

(2) 地形変化

水制工近傍の地形変化を把握するため、平成22年11月、平成23年7、9月の測量結果から、縦断方向が床固工から上流27mまで、横断方向が左岸から30m

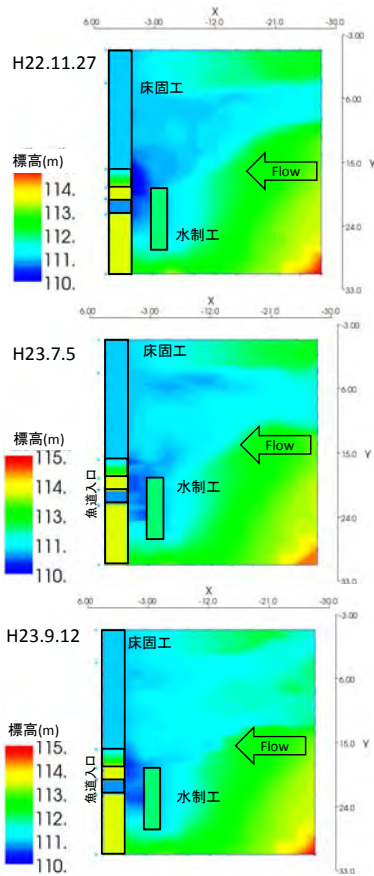


図-6 水制工周辺の地形調査結果
(I-RIC2.0を使用して作図)

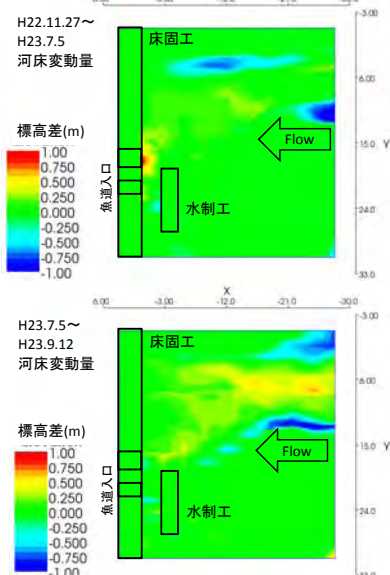


図-7 水制工周辺の河床変動量
(標高差をI-RIC2.0を使用して作図)

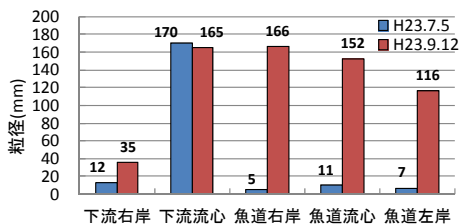


図-8 河床材料の平均粒径の比較

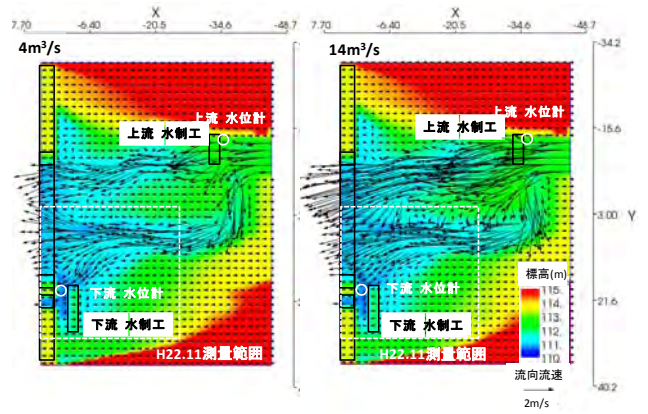


図-9 I-RICによる流況解析結果

までの範囲の標高図を作成した(図-6)。標高図はI-RIC2.0により作成し、 0.2×0.2 mの格子間隔とした。また、平成22年11月と平成23年7月の標高差および平成23年7月と9月の標高差を求め、I-RIC2.0を使用して ± 1 mの範囲で作図した(図-7)。平成22年11月から平成23年7月の河床変動をみると(図-7上)、滞筋部河床で0.25m程度の土砂堆積がわずかに確認され、滞筋部河岸には河岸浸食とみられる1m以上の河床低下が確認される。また、床固工の直上流の魚道上流入り口側に、0.7m程度の土砂堆積が確認される。平成23年7月から9月の河床変動をみると(図-7下)、滞筋部河床に最大0.7m程度までの土砂堆積が広範囲に確認され、滞筋部河岸に河岸浸食とみられる1m以上の河床低下が確認される。また、魚道上流入り口周辺では、大きな土砂堆積はない。

(3) 河床材料調査結果

平成23年7月と9月の河床材料調査結果から、平均粒径を算出した(図-8)。7月と9月で平均粒径の比較をすると、下流右岸はそれぞれ12mm、35mmであり、下流流心はそれぞれ170mm、165mmであり、大きな変化はない。一方、魚道右岸、魚道流心、魚道左岸は、7月の時点では5~11mmであったが、9月には116~166mmとなり、大きく粗粒化している。

(4) 流況解析結果

表-1の条件により、流況解析を行った結果を図-9に示す。融雪時最大流量の $4\text{m}^3/\text{s}$ 、9月出水時の最大流量 $14\text{m}^3/\text{s}$ の流況では、ともに上流水制工を越流し、滞筋以外にも大きな流れが生じている。また滞筋の蛇行部には、河岸にぶつかる流れが生じている。下流水制工や魚道入り口の近傍では、主流部に比べ流れが遅い。また、下流水制工の直上流では、上流からの流れは確認されない。

流況解析の精度を把握するため、現地に設置した上下流水位計の観測水位と流況解析による計算水位の比較を行なった(図-10)。なお、上流水位計の

観測値が、平成23年9月の出水途中で異常値を示しており、14m³/s条件の上流水位計については比較していない。比較の結果、全ての条件で実測水位の方が高い傾向にあり、4m³/s条件の上流水位計で差が31cmと大きかった。しかし、4m³/s、14m³/s条件での下流水位計では、4cm、17cmと差が比較的小さく、定性的な流況を把握するには問題ないと考えられる。

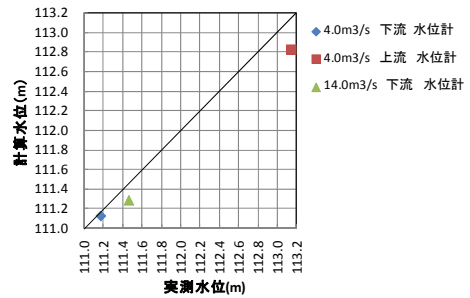


図-10 実測水位と計算水位の比較

5. 考察

(1) 河床変動について

河床変動について、流況解析の結果から考察すると、平成22年11月から平成23年7月に確認された側岸浸食は（図-7上）、外岸部に向かう流れの影響であると考えられる（図-9）。また、規模が大きくな出水があった平成23年7から9月の方が、河道の変化が大きいことが分る（図-7下）。セグメントMやセグメント1では、出水時の河岸浸食が大きく、また、川幅が広がる個所では土砂堆積が生じるとされている²⁾。本調査で確認された河床変動も、河岸浸食により川幅が広がり、河床に土砂が堆積するという過程で起きたことが考えられる。魚道上流入り口近傍の河床変動については、平成22年11月から平成23年7月の期間に、床固工直上流の魚道側で際立った堆積が確認される。しかし、依然周囲に比べ標高が低いため、魚道の機能に支障はないと考えられる。

(2) 魚道近傍の河床材料の粒径変化について

平成23年7月の河床材料調査の結果、魚道近傍では、平均粒径5～11mmと細かいものが確認されたが、9月には116～166mmと、より大きいものが確認された。粒径3mm以上の土砂が移動する限界摩擦速度は粒径に比例する。また、土砂を移動させる外力の摩擦速度は、水深のマイナス1/6乗と流速に比例する⁵⁾。平成23年9月の出水後では、より大きな粒径の土砂が輸送されたことから、7月の出水よりも魚道近傍に速い流れが生じていたと考えられる。

(3) 水制工の効果について

下流水制工周辺では、平成23年の出水後に大きな土砂堆積が確認されなかった。水制工の効果を検討するため、現状の地形で下流水制工がない条件の流況を、流況解析により検討した。検討は、4m³/sと14m³/sの水制工有無の条件で行なった（図-11）。その結果、下流水制工のあるケースの方が、魚道近傍の流速が速い傾向となった。このことから、水制工がある条件では、より土砂の排出が促され、堆積しづらくなる効果があると考えられる。森田らの模型実験による検討においても、堰堤袖部と水制工の

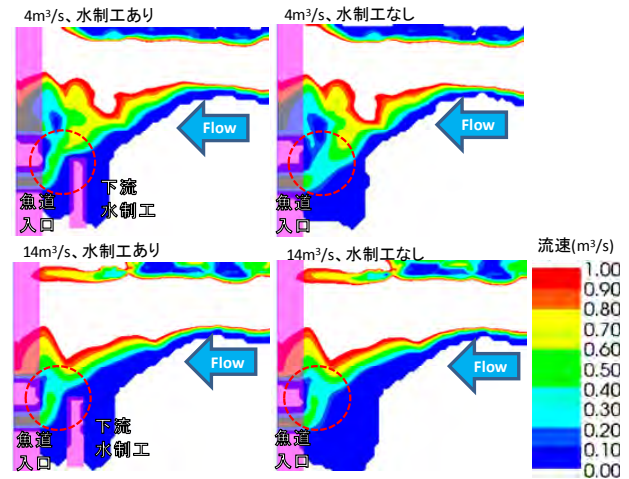


図-11 水制工の有無による魚道近傍の流速の違い

距離を短くすると（図-3でL/b=1.5）、滞留域が小さくなり土砂が供給されにくくなり、また、土砂が排出されやすくなることを述べている³⁾。

現地の写真により、平成23年9月出水後の上流水制工と下流水制工の様子を比較した。上流水制工の直上流には、掃流形態で輸送されたと考えられる大きな粒径の土砂堆積が確認され、直下流には確認されない（写真-2）。一方、下流水制工の直上流には、このような土砂堆積はない（写真-3）。流況解析結果では、上流水制工では上流からの速い流れが確認されるが、下流水制工には上流からの流れは確認されない（図-9）。このことから、上流水制工の直上流では、上流からの速い流れにより、掃流形態で輸送された大きな粒径の土砂が堆積したと考えられる。一方、下流水制工の直上流では流れがなく、このような土砂堆積が生じなかったと考えられる。下流水制工に上流からの流れが生じなかった原因として、下流水制工の直上流の地盤が高く、出水時においても流路とならなかったためと考えられる。下流水制工の直上流の高い地盤は、平成22年11月の水制工設置時に造成されたもので、平成22年7月の出水時にはなかったものである（写真-4上下）。平成22年7月出水での土砂堆積により、魚道上流入り口が閉塞した状況の写真を見ると、左岸部に河岸浸食の形跡がみられる（写真-4上）。また、堆積した土砂の粒径も、大きいものが含まれていることが分る（写真



写真-2 上流水制工 直上流の土砂堆積状況



写真-3 下流水制工 直上流の土砂堆積状況

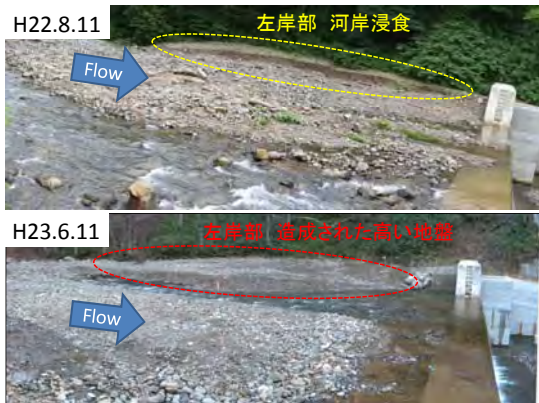


写真-4 上：H22.7魚道上流入り口閉塞時の左岸河岸浸食
下：下流水制工設置時に造成された高標高部

-1上)。このことから、平成22年7月出水では、速い流れが魚道の直上流まで生じ、掃流形態で大きい粒径の土砂が輸送され、魚道上流入り口が閉塞したと考えられる。平成23年9月の出水では、下流水制工の直上流の高い地盤の影響により、下流水制工の上流に流れが生じず、掃流形態での大きい粒径の土砂輸送が確認されなかった。しかし、出水の度に滞筋部河岸が浸食されており（図-7）、左岸の高い地盤は恒久的に存在する確証はない。そのため、滞筋が変化する可能性を考えると、下流水制工が今後も重要になると考えられる。なお今回、上流水制工の直上流で確認されたような、大きい粒径の土砂堆積は、森田ら³⁾の模型実験では確認されていない。また、給砂条件下での、越流水制工周辺の河床変動を対象とした他の模型実験の事例においても、水制工直上流が堆積傾向になることは確認されていない⁸⁾。森田らの模型実験は、実スケールで21.9mmの単一粒

径の土砂を対象としたものである³⁾。一方、今回の現地では、主流部で平均粒径が170mm程度の混合粒径である（図-8）。また、水制工の流況が越流堰の条件であることや、河道幅が広がる個所であることにも相違がある。これらの条件と水制工上流の土砂堆積について、今後さらに検討する必要があると考えられる。

6. まとめ

本稿では、森田らが提案した水制工設置による、魚道上流入り口の閉塞防止対策を実施した現場において、平成23年度の出水に対する効果を検証し、以下のことが確認された。

- ①出水の影響により、河道の滞筋部に河岸浸食や河床への土砂堆積が確認された。しかし、魚道上流入り口近傍では、大きな土砂の堆積・浸食は確認されず、魚道機能に支障はないと考えられる。
- ②流況解析により水制工の効果を検討した結果、水制工がある条件では、ない条件よりも、魚道上流入り口近傍の流速が速くなる傾向が確認された。そのため、魚道上流入り口から土砂が排出されやすく、堆積しづらくなったと考えられる。
- ③平成22年7月の出水では、床固工近くまで左岸部の河岸浸食が確認され、魚道上流入り口まで速い流速が生じていたと考えられる。これにより、掃流形態で輸送された大きな粒径の土砂が堆積し、魚道上流入り口が閉塞したと考えられる。一方、平成23年9月の出水では、平成22年7月の出水ような土砂堆積が生じなかった。その原因の一つとして、下流水制工の直上流の地盤が高く造成されていたことにより、上流からの流れが生じなかったことが考えられる。

参考文献

- 1) 佐野誠三：サクラマスの生態と繁殖保護，さけ・ます資源管理センター技術情報（愛称：魚と卵），第104号，pp1-7，1964.
- 2) 山本晃一：構造沖積河川学，山海道，2004.12.
- 3) 森田茂雄ら：溪流河川における魚道上流部に設置される水制工の効果，河川技術論文集，pp161-166，第16巻，2010.6.
- 4) 安田陽一ら：長崎県千綿川に設置された台形断面魚道の特徴と魚道設置の効果，河川技術論文集，第11巻，2005.6.
- 5) 水理公式集，土木学会，1999.
- 6) I-RIC HP：http://i-ric.org/.
- 7) 崇田徳彦ら：水制を含む流れの準3次元数値計算モデルの開発，土木学会論文集，No497/II-28，pp31-39，1994.8.
- 8) 福岡捷二ら：越流水制工周辺の流れと河床変動，水工学論文集，第42巻，pp997-1002，1998.2.