

河川渓流域における水制工による 魚道上流入り口の閉塞防止効果

THE EFFECT OF A SPUR DIKE TO PREVENT DEPOSITION UPSTREAM OF A FISHWAY INLET IN A MOUNTAIN STREAM AREA

矢野雅昭¹・矢部浩規²・森田茂雄³・安田陽一⁴
Masaaki YANO, Hiroki YABE, Shigeo Morita, Youichi YASUDA

¹正会員 土木研究所 寒地土木研究所 水環境保全チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

²正会員 博士(工学) 土木研究所 寒地土木研究所 水環境保全チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

³非会員 国土交通省 北海道開発局札幌開発建設部 幾春別川ダム総合建設事業所(〒068-2113 三笠市幾春別山手町91-1)

⁴正会員 博士(工学) 教授 日本大学理工学部土木工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8)

To investigate the effect of a spur dike installed to prevent the deposition of sediment or driftwood upstream of a fishway inlet, the survey of water level, cross section profile and grain size before and after flood events and the numerical analyses with or without the spur dike were conducted. We found no serious deposition upstream of the fishway inlet after the floods. The numerical analyses showed that water velocity upstream of the fishway inlet with the spur dike was higher than that without the spur dike and a deep scour beside the head of the spur dike was created. Thus, we concluded that the installation of the spur dike contributed to preventing the deposition of sediment by accelerating sediment discharge and lowering the riverbed around the spur dike.

Key Words : *Spur dike, Fishway, Sediment deposition*

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を、土砂堆積の視点から、現地調査・流況解析により検証するものである。

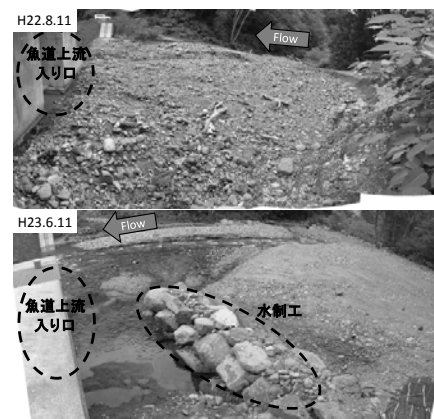


写真-1 上：H22. 7の出水により閉塞した魚道上流入り口
下：H22. 11に設置された水制工

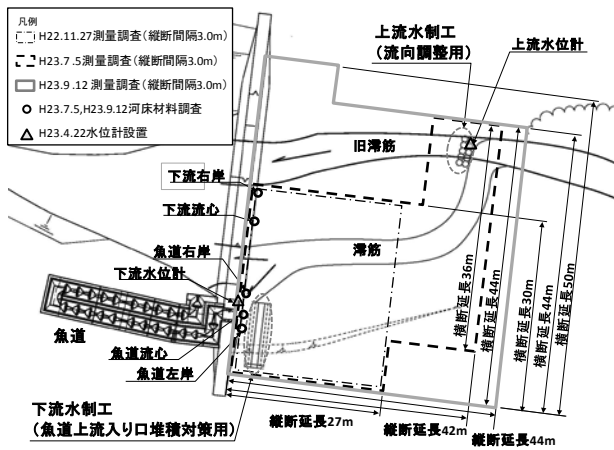


図-1 調査箇所概要図

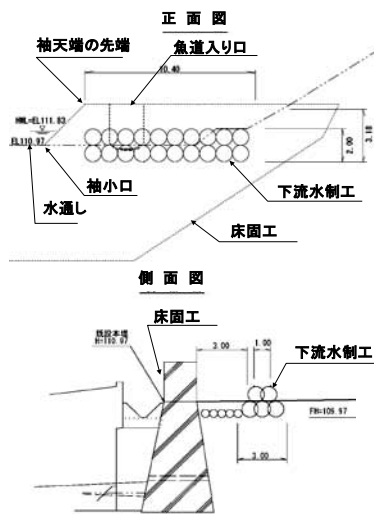


図-2 下流水制工の構造図

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、床固工設置個所の河床勾配は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⁾。

(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、平水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

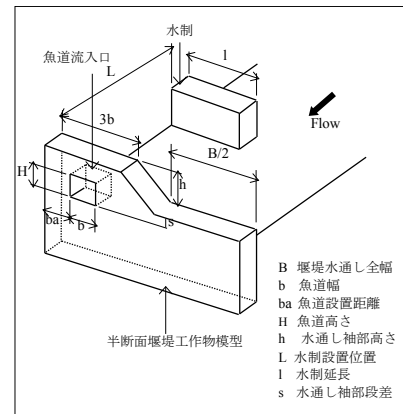


図-3 森田³⁾の模型実験での床固工と水制工の寸法概念

の延長は10.4m、上流水制工の延長は5mで、高さ1m（地下部を含めると2m）となっている。

水制工の設置方法は、森田らによる水理模型実験結果から、床固工からの水制工の距離が魚道幅bの1.5倍の位置で、さらに、水制工の先端位置が、袖天端の先端に横断上で一致する条件の水制延長lとした³⁾（図-3）。

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、出水規模を把握するため、床固工左岸袖部と上流水制工に水圧式水位計（光進電気工業MC1100W、精度±1cm）を設置した（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。

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

$$\begin{aligned} 0 < h/Lo \leq 0.1; C &= 1.642(h/Lo)^{0.022} \\ 0.1 < h/Lo \leq 0.4; C &= 1.552 + 0.083(h/Lo) \\ 0.4 < h/Lo \leq (1.5 \sim 1.9); C &= 1.444 + 0.352(h/Lo) \\ (1.5 \sim 1.9) < h/Lo; C &= 1.785 + 0.237(h/W) \end{aligned}$$

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

出水による地形変化を把握するため、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30mの範囲とした。

平成23年7月の調査は、流況を検討するため、上記範囲に加え、上流水制工までの滞筋箇所を加えた。平成23年9月の調査では、9月の大規模な出水により、上流水制工の下流部にも河床変動が生じたため、さらに河道幅全域で調査を行なった。

(3) 河床材料調査

現地の流況を考察するため、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75 μ m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で採取した。また、河床材料の採取深は、概ね表層下0.3mまでとした。粒度分析については、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解析

現地の流況と地形変化を検討するため、I-RIC2.0⁶⁾のソルバーのNays2Dにて流況解析および河床変動解析を行った。Nays2Dは2次流の影響を考慮した準3次元モデルである。下流水制工の天端高は、EL111.9m程度であり、非越流の水制工となる。そのため、準3次元モデルにより、水制工周辺の流れの把握が可能であると考えられる⁷⁾。流況解析の条件について、表-1に示す。設定流量は、融雪時最大流量の4m³/s、9月出水時の最大流量14m³/sとした。また、計算格子は平成23年7月と9月の地形の2条件を作成した。平成23年7月の地形の計算格子は、既往の平成22年の7月出水後に実施された床固工上流10m、20m地点の横断測量結果と、平成23年7月の地形測量結果により作成した。また、平成23年9月の地形の計算格子は、平成23年9月の測量結果から作成した。境界条件の下流端水位は、堰からの越流となるため、水通し部での限界水深（式(2)）を設定することとした。

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

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出水時流量の検討

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、降雨がない期間はEL110.7m程度の低い水位を保っている。7月以降は降雨の影響に

表-1 I-RIC2.0による流況解析条件

項目	設定条件	
	流況解析のみ	河床変動あり
ソルバー	Nays2D	Nays2D
計算格子(地形調査月)	7月、9月	9月
格子サイズ	0.5×0.5m	0.5×0.5m
マンニングの粗度係数	0.04(固定床部0.015)	0.04(固定床部0.015)
計算時間間隔	0.01秒	0.004秒
計算時間	3時間	3時間
乱流モデル	渦動粘性係数一定	渦動粘性係数一定
移流項の差分法	風上差分	CIP法
流量(経過時間)	定常流 ①4m ³ /s、②14m ³ /s	非定常 2m ³ /s→14m ³ /s→2m ³ /s (0h → 1h → 3h)
下流端水位	①111.10m、②111.27m	111.05m→111.27m→111.05m
植生	なし	なし
粒径	-	10%:10mm、50%:183mm、90%:281mm

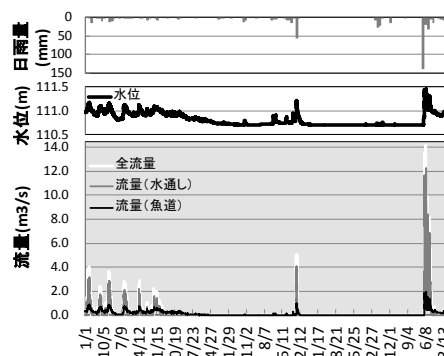


図-4 H23日雨量、下流水位計観測結果および算出流量

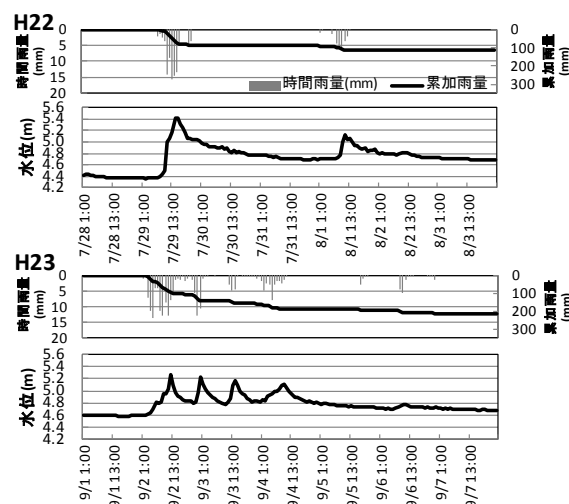


図-5 H22.7、H23.9出水時の時間雨量と河口付近観測水位

より水位上昇が確認され、9月上旬の出水ではEL111.4mを超える水位が観測されている。融雪期の最大水位はEL111.17m程度であり、この水位から式(1)により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EL111.46m程度であり、式(1)により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EL111.83mであり、平成23年の出水はこれを下回る規模であった。

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年の出水規模と、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より低く、時間雨

量についてもわずかに少ない。そのため、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) 地形調査結果

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、平成22年11月の測量範囲（図-1）での標高図を作成した（図-6）。標高図はI-RIC2.0により作成し、0.2×0.2m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±1m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、床固工と魚道上流入口の間に、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みると、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) 流況解析及び河床変動解析結果

地形変化の原因を把握するため、表-1の条件により、平成23年7月、9月の地形を用いて流況解析を行なった（図-9、10）。また、今後の地形変化を検討するため、平成23年9月の地形を用いて、河床変動解析を行った（図-11）。

a) 流況解析の精度

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。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条件の上流水位計は比較していない。観測水位に対する計算水位の差は、4m³/s条件の上流水位計では-28cmであり、4m³/s、14m³/s条件の下流水位計では+4cm、-15cmであった。このように、流況解析の結果は、実測水位との差が確認されたが、定性的な傾向を検討するため、検討に用いることとした。

b) 流況解析による地形変化の検討

流況解析の結果、全ての条件で上流水制工を越流し、

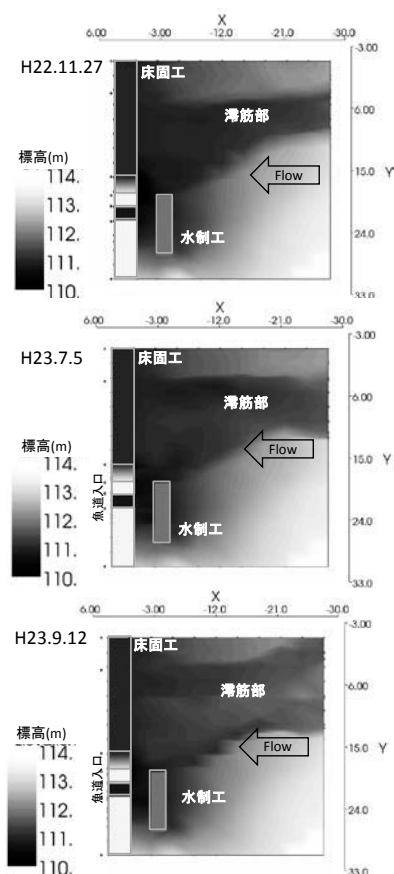


図-6 水制工周辺の地形調査結果
(I-RIC2.0を使用して作図 ※H22.11測量範囲)

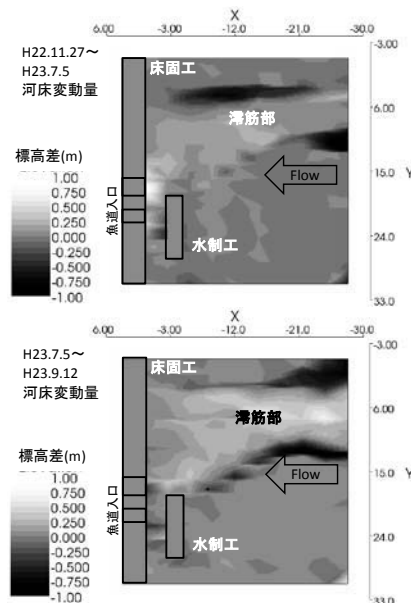


図-7 水制工周辺の河床変動量
(標高差をI-RIC2.0を使用して作図 ※H22.11測量範囲)

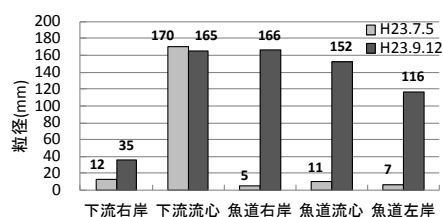


図-8 河床材料の平均粒径の比較

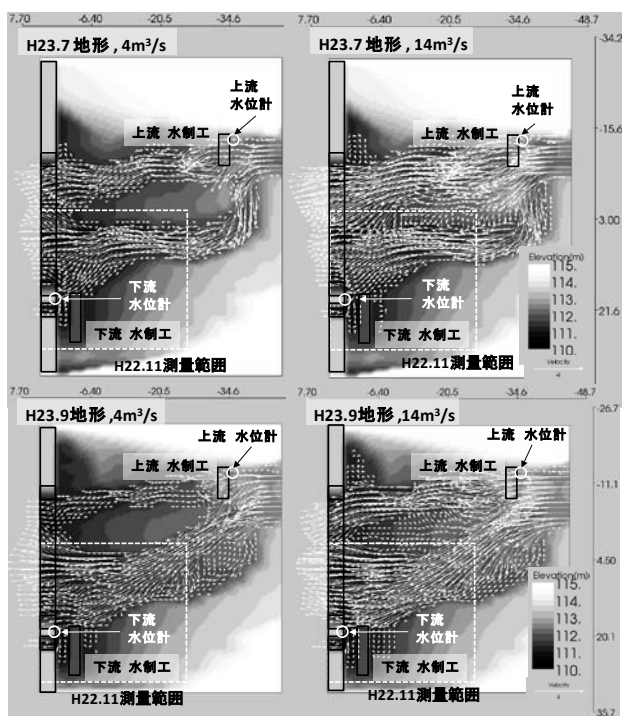


図-9 I-RICによる流況解析結果

滞筋以外にも流れが生じている（図-9）。平成23年7月の地形を用いた流況（4m³/s、14m³/s）では、滞筋部に河岸に衝突する速い流れが生じており、下流水制工や魚道入口の近傍では、主流部に比べ流れが遅い。9月の地形を用いた流況（4m³/s、14m³/s）では、上流水制工から下流水制工まで直線的な流れが生じ、下流水制工に速い流れが直線的に衝突する状況となっている。

c) 流況解析による水制工の効果の検討

地形調査の結果、出水後に魚道入口に大きな河床変動は確認されなかった（図-6, 7）。しかし、水制工がなかった条件での状況は不明で、水制工の効果は明らかではない。そのため、水制工設置の効果を検討するため、平成23年7月の地形において、下流水制工の有無により流況解析を行なった（図-10）。流況解析の結果、4m³/s、14m³/sの両条件で、下流水制工があるケースの方が、魚道近傍の流速が速い傾向となった。

d) 河床変動解析による今後の水制工周辺地形変化の検討

平成23年9月の地形を用いた流況解析では、出水時に速い流れが下流水制工に直線的に衝突する状況であり（図-9）、今後出水があった場合、下流水制工周辺に河床変動が生じることが考えられる。そのため、平成23年9月の地形を初期河床として、河床変動解析により、今後の地形変化の傾向を検討した（図-11①）。設定流量は、平成23年9月と同規模の出水の14m³/sとし、実際の第1波の洪水波を模し、表-1に示す非定常流にて通水した。河床材料は混合粒径とし、下流流心で採取した粒径分布を使用し、表-1に示す10%、50%、90%の粒径を設定した。また、水制工の効果について検討するため、下流水制工がない条件についても河床変動解析を行なった

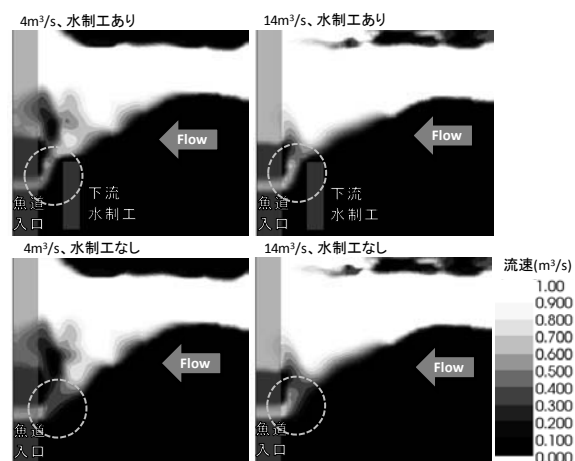


図-10 水制工の有無による魚道近傍の流速（※H22.11測量範囲）

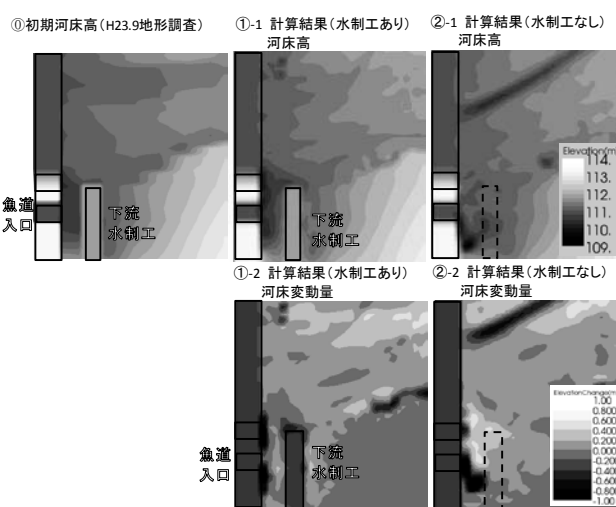


図-11 河床変動解析結果（※H22.11測量範囲）

（図-11②）。河床変動解析の結果、両条件で上流水制工から下流水制工に向かって、土砂堆積が確認された（図-11①-2、②-2）。また、現地の水制工設置条件では、水制工の先端に深掘れが確認され、比較的低い地盤が魚道まで連続した（図-11①-1）。水制工がない条件では、本来、下流水制工がある位置よりもわずかに下流まで土砂堆積が生じた（図-11②-2）。

5. 考察

(1) 地形変化の要因について

平成22年11月から平成23年7月の地形変化（図-7上）及び7月から9月の地形変化（図-7下）では、河岸浸食と河床部への土砂堆積が確認された。流況解析の結果から、河岸に衝突する速い流れが確認され（図-9）、これが河岸浸食に影響していることが考えられる。また、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、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滞筋部河床での土砂堆積も、河岸浸食により川幅が広がることにより生じたと考えられる。

魚道上流入り口近傍の地形変化については、平成22年11月から平成23年7月までの期間に、融雪出水の影響と考えられる土砂堆積が、床固工と魚道入り口の間に確認された。これは平均粒径5～11mmと細かい土砂である（図-8）。9月の出水があった平成23年7月から9月までの期間は、目立った土砂堆積はないが、河床材料の平均粒径が116～166mmと粗粒化した（図-8）。流れが速い個所では、より大きな河床材料となることから、平成23年9月の出水では、融雪出水よりも魚道入り口近傍に速い流れが生じていたと考えられる。これは流況解析の結果とも一致している。このような河床材料の粒径変化があったが、依然河床高が低いため、現状では魚道の機能に支障はないものと考えられる。

(2) 水制工による魚道上流入り口の閉塞防止効果

a) 土砂排出の促進

水制工の有無による流況の違いを、流況解析により検討した結果、下流水制工のある条件の方が、魚道入り口近傍の流れが速い傾向となった（図-10）。流速が速いほど、より土砂を移動させることから、水制工がある条件の方が、土砂が排出されやすい状況だと考えられる。森田らの模型実験による検討において、床固工と水制工の距離を長くすると（図-3で $L=4.5b$ ）、水制工と魚道入り口との間の滞留域が大きくなり、土砂が排出されにくくなることを述べている³⁾。これらのことから、魚道上流入り口に適切な位置で水制工を設置した場合、流速が増加し、土砂の排出が促され、堆積しにくくなると考えられる。

b) 土砂の堆積防止効果

平成23年9月の地形を用いて、今後、平成23年9月と同規模の出水が発生した場合の将来の地形変化を、河床変動解析により検討した。その結果、現状の下流水制工がある条件では、水制工先端に深掘れが生じ、魚道入り口まで比較的低い地盤が連続した状態となった（図-11①）。これは水深の深い場所が魚道入り口まで連続するため、魚類の容易な遡上に寄与するものと考えられる。一方で、水制工がない条件についても検討した結果、魚道の入り口近傍まで土砂堆積が生じ（図-11②）、平成22年7月の出水後の魚道上流入り口が閉塞した状況に近づいた。土砂が堆積する機構は、掃流力（流速）が低下し、土粒子の限界掃流力が、掃流力を上回ることにより、輸送されていた土粒子が移動を停止することによる。水制工がない条件では、構造物の影響を受け、掃流力（流速）が低下する位置が魚道入り口の直上流部になり、魚道入り口の近傍まで土砂が堆積したと考えられる。水制工の設置には、その上流に土砂を堆積させる効果があると考えられ、平成23年9月の出水により、上流水制工の直上流において、土砂堆積が確認されている（写真-2）。

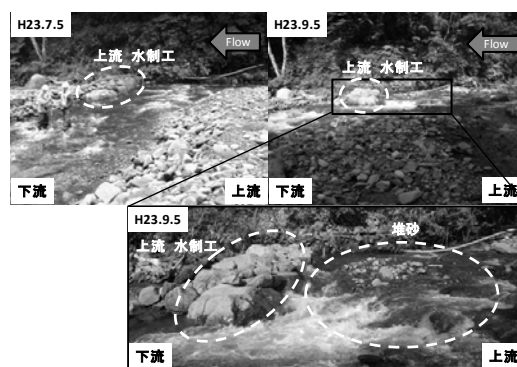


写真-2 上流水制工直上流の出水による土砂堆積状況

6. まとめ

本稿では、魚道上流入り口の閉塞防止対策を目的に、森田らが提案した水制工設置を実施した現場において、その効果を検証し、以下のことが確認された。

- ①融雪出水、大規模な夏期出水の影響により、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、大きな土砂の堆積は確認されず、魚道機能に支障はないと考えられる。
- ②出水前後の地形変化は、流況解析による考察と一致した。また、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、堆積しにくくなったと考えられる。
- ③平成23年9月の出水後の地形を用いた河床変動解析の結果、下流水制工の先端から魚道上流入り口にかけて深掘れが生じ、水深の深い個所が連続することから、今後も魚類の遡上に寄与することが考えられる。また、下流水制工を設置しない条件では、設置した条件よりも、土砂堆積が魚道入り口近傍まで接近した。これらのことから、下流水制工の設置は、魚道上流入り口の閉塞防止に、今後も寄与することが考えられた。

参考文献

- 1) 佐野誠三：サクラマスと生態と繁殖保護、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。

(2012.4.5受付)