

溪流河川における魚道直上流部に 設置される水制工の効果

EFFECT OF A SPUR DIKE IMMEDIATELY UPSTREAM FROM THE FISHWAY IN MOUNTAIN STREAM ON TRANSPORT OF SEDIMENT AND DRIFTWOOD

森田 茂雄¹・安田 陽一²・浜本 聡¹

Shigeo MORITA, Youichi YASUDA and Satoshi HAMAMOTO

¹正会員 (独)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1-3)

²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 clarify transport of sediment and driftwood immediately upstream from the fishway in mountain stream, physical model experiments were conducted under the unsteady flow, and the transport of sediment and driftwood around the spur dike installed immediately upstream from the fishway was investigated.

When the distance of the spur dike from the side wall of the Sabo dam was 1.5 times that of the width of the fishway inlet, the sediment was not confirmed immediately upstream from the fishway after a flood stage. Furthermore, when the toe of the spur dike was located in the line with the toe of the side wall of the Sabo dam, driftwood did not approach the fishway inlet.

Keywords: spur dike, immediately upstream from fishway, mountain stream, sediment, driftwood

1. はじめに

近年、河川環境に対する関心の高まりから魚がのぼりやすい川づくりが進められている。魚がのぼりやすい川づくりを進めるにあたっては、河川の連続性が確保されることが必要であり¹⁾、この対策として河川横断工作物に数多くの魚道が整備されている^{2) 3)}。例えば、谷瀬ら⁴⁾が行った調査によると北海道内の魚道の総数は2,300基以上であり、その内の4割以上が砂防・治山関連の施設である。

溪流河川に施工された堰堤工作物に魚道が設置された場合、洪水時における砂礫や流木の生産により魚道流入口上流端にこれらが堆積し、魚道としての機能を失う場合がある。現在の対策としては、魚道流入口上流部に護岸工を設置したり、柵やスクリーンを設置するなどしているが、逆に堆積を促進させてしまう場合がある(写真-1, 2)。魚道施設における維持管理費の縮減や魚道の機能維持を考えると、溪流河川の堰堤工作物に設置される魚道においては、洪水時に輸送される砂礫や流木の対策を具体的に検討することは必要不可欠である^{5) 6)}。

従来の魚道に関する研究では、通常時の流量を対象に

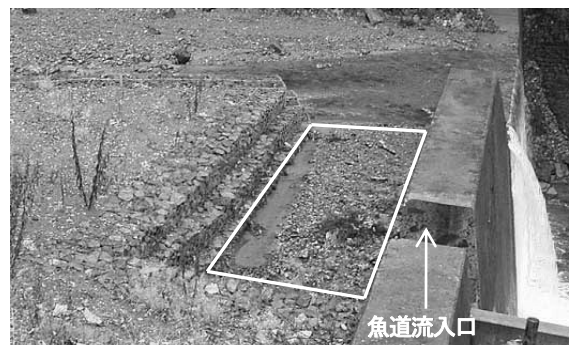


写真-1 砂礫が堆積した魚道流入口上流部



写真-2 流木が堆積した魚道流入口上流部

魚道の流況特性が検討されていることが多い⁷⁾。洪水時については、魚道断面を縦横断に台形断面とすることで砂礫が排出されやすいことは見いだされている⁸⁾。一方で、魚道流入口上流部に関しては、最近の研究において、土砂堆積防止用として水制工を設置した場合の洪水時における魚道流入口上流部の流況変化については検討された事例はあるが⁹⁾¹⁰⁾、魚道流入口上流部での砂礫の移動形態や流木の流下状況について示されていないため、土砂や流木が堆積しにくい適切な魚道流入口上流部の構造については把握されていない。

このような背景を踏まえ、本研究では、洪水後においても魚道機能が維持され、土砂や流木が堆積しにくい適切な魚道流入口上流部の構造を把握することを目的とし、堰堤工作物袖部を貫通させ設置された魚道を対象に、護岸対策として用いられる水制工に着目し、水制工の規模や設置位置の違いによる魚道流入口上流部での砂礫の移動形態、流木の流下状況について実験的に検討した。

2. 検討手法

(1) 検討手順

魚道流入口上流部における砂礫の移動形態、流木の流下状況は、魚道流入口構造 $((H-s)/h, s/h, b/B)$ 、水制工の規模や設置位置 $(L/b, (l-ba)/b)$ 、流量 (hc/b) により支配されると考えられる（記号は図-1参照）。このため、はじめに予備実験を固定床で実施した後、その結果を踏まえ、本実験における実験条件の絞り込みを行った。次に、絞り込まれた実験条件の下で本実験を移動床で実施し、魚道流入口上流部での砂礫の移動形態、流木の流下状況について検討し土砂や流木が堆積しにくい適切な魚道流入口上流部構造を把握することとした（図-2）。

予備実験および本実験は、長さ24.0m、幅1.0mの直線水路を用い、半断面の堰堤工作物模型を設置し実施した（図-3）。模型実験（1/15縮尺）は溪流河川の下流域における堰堤工作物を想定しており、河床勾配1/150でフルードの相似則を満足するものである。

(2) 予備実験

予備実験は固定床実験であり、本実験における実験条件の絞り込みを目的とし、直線水路にモルタルを敷均し（図-3）、表-1に示す実験条件および水量で①魚道流入口を通過する流量特性②水制設置位置や長さの違いによる魚道流入口上流部周辺での流況特性について整理した。

魚道流入口を通過する流量特性については、魚道流入口構造3ケースと実験流量3ケースを組み合わせ合わせた合計9ケースにおいて（表-1）、魚道流入口を通過する流量を測定し整理した。実験は定常流で実施し、魚道流入口を通過する流量は三角堰を設置し測定した。

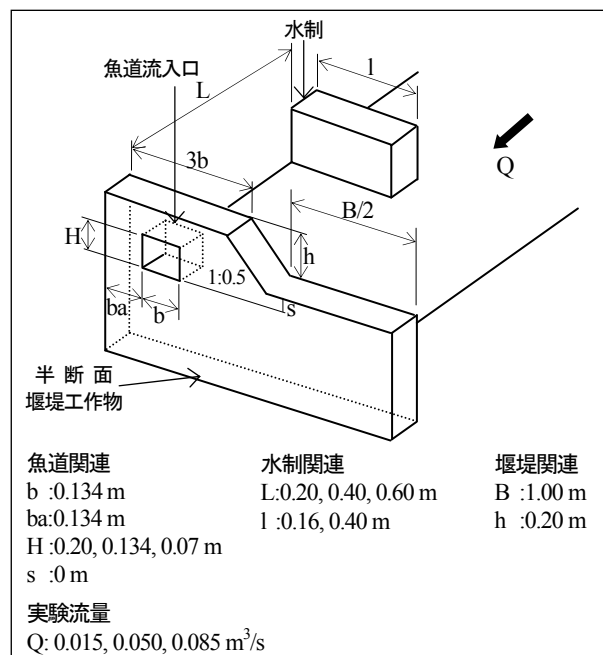


図-1 断面の堰堤工作物模型とその条件

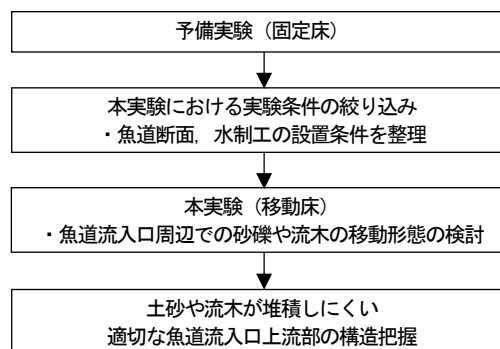


図-2 検討手順



図-3 模型実験水路の様子

表-1 予備実験の実験条件

魚道流入口構造			水制設置位置	水制長	流量
$(H-s)/h$	s/h	b/B	L/b	$(l-ba)/b$	hc/b
0.33	0	0.134	1.5	0.2	0.37-0.45
0.67			3.0	2.0	0.76-0.82
1.00			4.5		0.99-1.12

・実験流量は図-1に示す3ケースであり、本表では実験ケース毎に無次元化し、実験流量ケース毎に範囲で表示している
 hc ：魚道および水通しから流出する全流量から算定される限界水深

表-2 予備実験の整理と絞り込まれた本実験の実験条件

◆魚道流入口を通過する流量特性	
●予備実験の整理：	
・流量変化に伴い魚道流入口断面が水没する過程で、魚道流入口を通過する流量割合は大きく減少する。	
●絞り込まれた本実験の実験条件：	
・(H-s)/h=1.00, s/h=0	
・魚道流入口上流部で砂礫の堆積抑制を考える場合、流量変化に対し流れが急変しない構造が重要となる ³⁾ 。このことより、魚道流入口は水没しない開口構造とした。	
◆水制設置位置や長さの違いによる魚道流入口上流部周辺での流況特性	
●予備実験の整理：	
・水制先端で剥離した水流は、堰堤袖部と水制間で形成される滞留域を回り込むように魚道流入口に接近し、その流況はL/b=1.5とL/b=3.0, 4.5を比較すると大きく異なる。	
●絞り込まれた本実験の実験条件：	
・L/b=1.5, 4.5 (l-ba)/b=0.2, 2.0	
・魚道流入口上流部での砂礫の移動形態や流木の流下状況を考える場合、魚道流入口周辺で異なる流況特性を有する条件を比較し検討することが重要と考え、L/b=1.5と4.5を実験条件として抽出した。	

水制設置位置や長さの違いによる魚道流入口上流部での流況特性については、前述の9ケースと水制設置位置3ケース、水制長2ケースを組み合わせ合わせた合計54ケース（表-1）において、魚道流入口上流部周辺の流速を測定し整理した。流速の測定については3次元電磁流速計（アレック製）を用い6割水深で実施した。

(3) 本実験における実験条件の絞り込み

予備実験においては、以下のような流況特性が把握された。

- ・魚道流入口を通過する流量特性として、流量変化に伴い魚道流入口断面が水没する過程で、魚道流入口を通過する流量割合は大きく減少する。
- ・水制設置位置や長さの違いによる魚道流入口上流部周辺での流況特性として、水制先端で剥離した水流は、堰堤袖部と水制間で形成される滞留域を回り込むように魚道流入口に接近し、その流況はL/b=1.5とL/b=3.0, 4.5を比較すると大きく異なる。

以上の結果を踏まえ、絞り込まれた本実験の実験条件とその概略を表-2に示す。

(4) 本実験

本実験は移動床実験であり、実験流量については非常とし、前節の予備実験で用いた実験流量3ケースの内、中間のものを最大流量とするハイドログラフを作成した。作成したハイドログラフは、式(1)で表される無次元水深

表-3 本実験の実験条件

魚道流入口構造			水制設置位置	水制長	流量
(H-s)/h	s/h	b/B	L/b	(l-ba)/b	hc/b
1.00	0	0.134	1.5	0.2	Case1
			4.5	2.0	

Case1: 実験流量は図-4に示す非定常ハイドログラフである

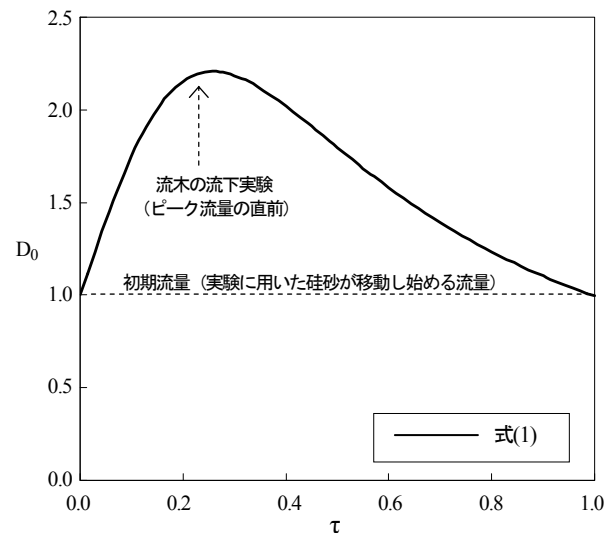


図-4 本床実験で用いた無次元水深ハイドログラフ

ハイドログラフ（図-4）であり¹¹⁾、ハイドログラフの継続時間は6時間である。なお、無次元水深ハイドログラフは、河川流域での流量波形（ここでは札内川ダムで2006年10月7日に観測された計画流量の80%程度の出水の流入量波形）の形状を参考とした。

$$D_0 = \left\{ \frac{\delta(\tau + \alpha)^2}{\tau^2 + \beta} - \gamma \right\}^{3/2} \quad (1)$$

なお、 D_0 : 初期水深 h_0 で無次元化した水深（ $D_0=h/h_0$ ）、 τ : ハイドログラフの継続時間Tで無次元化した時間（ $\tau=t/T$ ）、 $\alpha=0.522$, $\beta=0.131$, $\gamma=1.15$, $\delta=1.796$ である。

本実験の目的は魚道直上流部周辺での砂礫や流木の移動形態を把握することである。砂礫の移動形態については、魚道直上流部での砂礫の堆積の大部分は粒径20mm以下であり、この粒径の移動形態を把握することが重要と考える。このことより、河床材料については平均粒径1.46mmの均一な珪砂（実スケールでは21.9mm）を使用し、水制設置位置2ケース、水制長2ケースを組み合わせ合わせた合計4ケースにおいて（表-3）、ハイドログラフに対応した流量を流下させた後（図-4）、河床コンター図を作成し検討した。河床コンター図の作成にあたってはレーザー砂面計を用いた。流木の流下状況については、出水時に流出する流木の大部分は出水のピーク流量時より約1～2時間前に最大となることが知られている¹²⁾。また魚道直上流部での流木の堆積を検討する場合、魚道流

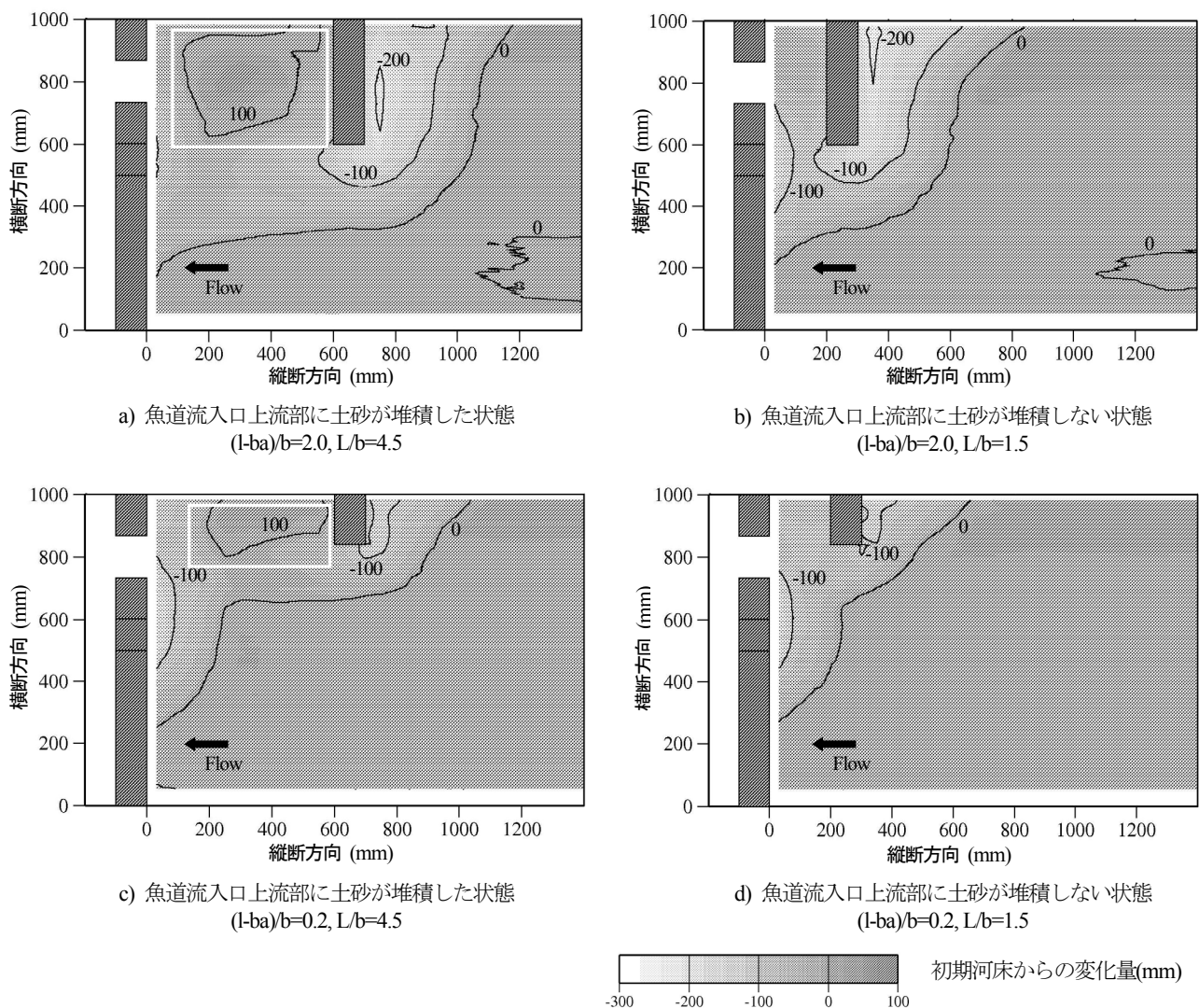


図-5 非定常ハイドロ流下後における河床コンター図

入口幅 b (図-1参照) より寸法が大きい流木に視点を置くことが重要と考える。このことより、魚道流入口上流部での流木の流下状況については、ハイドログラフ (図-4) におけるピーク流量直前に流木の流下実験を実施した。流下させた流木模型は、ポリプロピレン性の材料 (直径5mm, 長さ200mm, 比重0.89) を使用し、水制先端部の上流約2mの箇所より3本流下させ、魚道流入口に接近する状態について整理した。また、表面流況についても発泡スチロール球をトレーサーとして用い合わせて整理した。

3. 本実験結果・考察

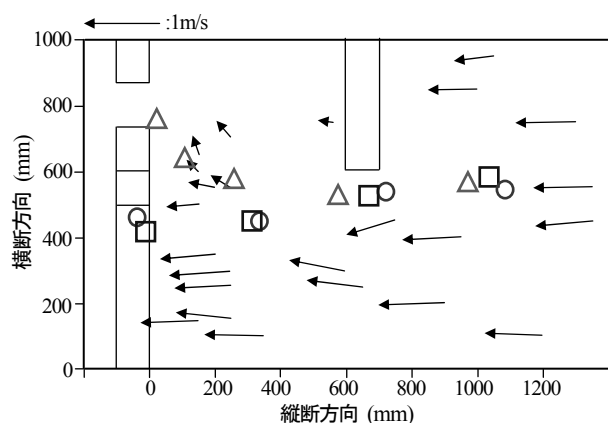
(1) 魚道流入口上流部での砂礫の移動形態

水制設置位置 L/b , 長さ $(l-ba)/b$ の違いによる魚道流入口上流部での砂礫の移動形態について検討を行った。非定常ハイドロ (図-4) を流下させた後の魚道流入口上流

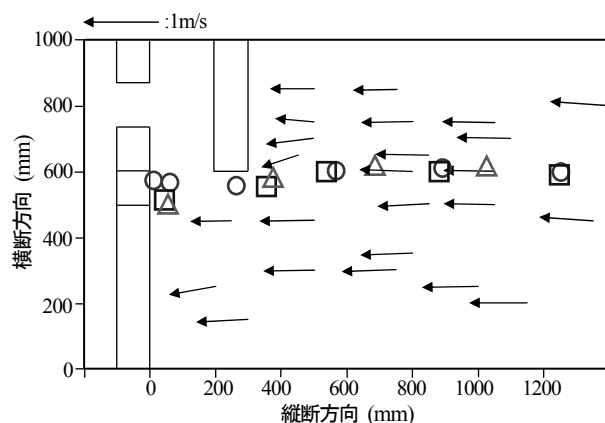
部での河床コンターを図-5に示す。

($l-ba/b=2.0$) の場合 (図-5a, b), $L/b=1.5$ と $L/b=4.5$ を比較すると、魚道流入口上流部での土砂堆積状況は大きく異なる。 $L/b=4.5$ (図-5a) では、魚道流入口上流部で大きな堆砂が生じた。一方、 $L/b=1.5$ (図-5b) では、魚道流入口上流部で大きな堆砂が生じなかった。

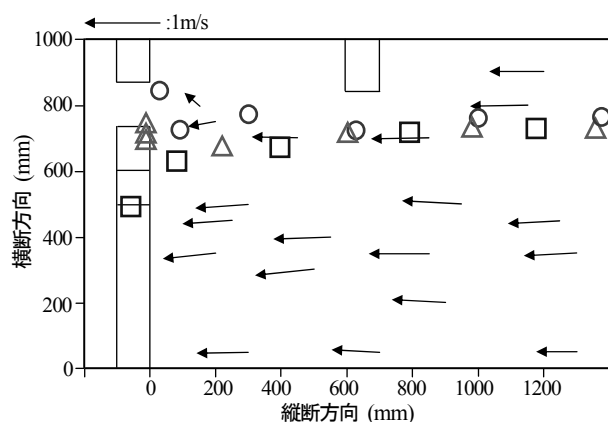
非越流を条件とした水制の既往研究において¹³⁾, 水制間隔と水制長の比 (ここでは L/l) を1.0以上とし、河床から4割水深で流速測定を実施したとき、水制間に形成される滞留域内において明瞭な循環流が形成されることが報告されている。本実験の $L/b=4.5$ (図-5a; L/l については1.5) の場合においても河床付近にこのような循環流が形成されていたと考えられる。このことより、 $L/b=4.5$ の場合、循環流の形成により水制と堰堤袖部によって形成される滞留域に土砂が供給されやすくなったことに加え、水制設置位置が魚道流入口から離れていたため、魚道流入口より土砂が良好に排出されなかったため魚道直上流部に土砂が堆積したと考えられる。一方、



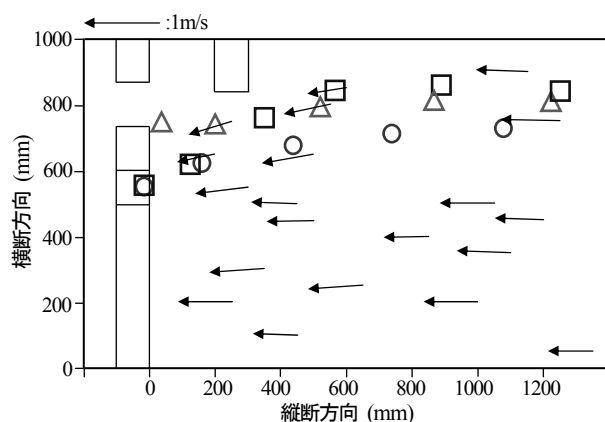
a) 水制により剥離した水流は魚道流入口に回り込むため流木模型の一部が魚道流入口に接近する状態
($(l-ba)/b=2.0$, $L/b=4.5$)



b) 水制により剥離した水流は直接水通し部に向かうため流木模型は魚道流入口に接近しない状態
($(l-ba)/b=2.0$, $L/b=1.5$)



c) 水制により剥離した水流は魚道流入口に回り込むため流木模型の一部が魚道流入口に接近する状態
($(l-ba)/b=0.2$, $L/b=4.5$)



d) 水制により剥離した水流は水通し方向に向かうが流木模型の一部が魚道流入口に接近する状態
($(l-ba)/b=0.2$, $L/b=1.5$)

図-6 非定常ハイドロのピーク流量直前における表面流速ベクトルと流木模型の流下軌跡
(図中の○□△は流木模型の中心の軌跡を示す)

$L/b=1.5$ (図-5b ; L/l については0.5) では、水制設置位置が魚道流入口に接近したため、循環流の形成も小さく、水制と堰堤袖部によって形成される滞留域に土砂が供給されにくくなったことに加え、魚道流入口から土砂が良好に排出されたため魚道直上流部に土砂が堆積しなかったと考えられる。また、 $(l-ba)/b=0.2$ の場合 (図-5c, d) においても $L/b=1.5$ と $L/b=4.5$ を比較した際、同様の結果が確認された。

このことより、水制と堰堤袖部によって形成される滞留域の大きさを小さくする (ここでは魚道流入口の幅 b に対する相対的な水制設置位置 L/b を1.5程度とする) ことにより、この滞留域に土砂が供給されにくくなることに加え、魚道流入口上流部において土砂が排出されやすくなり、魚道流入口上流部において土砂堆積が抑制されることが確認された。

(2) 魚道流入口上流部での流木の流下状況

水制設置位置 L/b 、長さ $(l-ba)/b$ の違いによって、魚道流入口上流部での流況および接近する流木模型の状況がどのように変化するのかについて検討を行った。非定常ハイドロ (図-4) のピーク流量直前時における表面流速および流木模型の流下状況を図-6に示す。

$(l-ba)/b=2.0$ の場合 (図-6a, b) , $L/b=1.5$ と $L/b=4.5$ を比較すると、魚道流入口上流部での表面流速および流木の流下状況は大きく異なる。 $L/b=4.5$ (図-6a) では、水制先端で剥離した水流は、水制が堰堤袖部から遠ざかっているため魚道流入口側に回り込む。これに伴い、流下する流木模型の一部は魚道流入口から排出された。一方、 $L/b=1.5$ (図-6b) では、水制先端で剥離した水流は、水制が堰堤袖部に接近しているため直接堰堤水通し部に向かう。これに伴い流下する流木模型はすべて堰堤水通し部から排出された。また、 $(l-ba)/b=0.2$ の場合 (図-6c, d) においても $L/b=1.5$ と $L/b=4.5$ を比較した際、表面流速については同様の結果が確認された。しかしながら、

$L/b=1.5$ の場合(図-6d), 流木模型の一部は堰堤水通し部から排出された。これは水制先端が魚道流入口の上流部に位置したことに加え, 実験時(非定常ハイドロにおけるピーク流量直前時)に水制先端で河床が洗掘されていたことにより, 水制先端から魚道流入口に直接向かう流れが生じ, この流れに干渉されたことによるものと考えられる。

このことより, 水制設置位置を堰堤袖部に接近させ(ここでは魚道流入口の幅 b に対する相対的な水制設置位置 L/b を1.5程度とする), 水制先端を堰堤構造物袖部の先端と同一線上に配置する(ここでは $(l-ba)/b=2.0$)ことにより, 水制より剥離した水流は直接堰堤水通し部を流下し, 魚道流入口上流部において流木の接近が抑制されることが確認された。

4. まとめ

本研究は, 堰堤工作物袖部の水通し袖部を貫通させて魚道が設置された場合を対象とし, 水制設置位置や長さの違いによって生じる魚道流入口上流部での砂礫の移動形態, 流木の流下状況について検討した。

本研究の特徴は, 予備実験(固定床)において, 流量変化に伴い魚道断面が水没する過程で, 魚道流入口を通過する流量割合は大きく減少することを見出し, 流量変化に対し, 魚道流入口が水没しない開口構造(ここでは $(H-s)/h=1.00$)で本実験を実施したことである。

本研究で得られた主な結果を以下にまとめる。

- (1) 水制設置位置 L/b に対する魚道流入口上流部での砂礫の移動形態について示した。特に, 水制設置長 $(l-ba)/b=2.0$ の場合, $L/b=1.5$ と $L/b=4.5$ を比較すると魚道流入口上流部での砂礫の移動形態は大きく異なり, $L/b=1.5$ の場合, 魚道流入口上流部において, 砂礫が堆積しないことが明らかとなった。
- (2) 水制設置長 $(l-ba)/b$ に対する魚道流入口上流部での流況特性および流木模型の流下状況について示した。特に, $(l-ba)/b=2.0$ で水制設置位置が $L/b=1.5$ の場合, 魚道流入口上流部に向かう表面流速ベクトルはほとんど確認されず, 流下させた3本の流木模型はすべて堰堤工作物水通しを流下することが明らかとなった。

以上のことより, 堰堤工作物袖部を貫通させ設置された魚道において, ①洪水時に魚道流入口断面を水没させない開口構造とすること。②水制設置位置を魚道流入口の幅 b に対する相対的な水制設置位置 L/b を1.5程度とすること(水制を堰堤工作物袖部から魚道流入口断面幅の1.5倍程度の距離に設置すること)。③水制先端を堰堤構造物袖部の先端と同一線上に配置することは魚道上流

部の土砂や流木の堆積を軽減する上で重要であることを示した。

これらの結果は, 土砂や流木が魚道上流部に堆積しにくい適切な魚道流入口上流部構造設計に対し有効な知見を提供するものと考えられる。

参考文献

- 1) 魚がのぼりやすい川づくりの手引き：国土交通省河川局, 155p., 2005
- 2) 今井貴, 四戸孝治：最新魚道の設計—魚道と関連施設—, 信山社サイテック, 581p., (財)ダム水源地環境整備センター編集, 1998
- 3) 安田陽一：魚道整備における工学と生態学との連携, 日本水産学会誌, Vo73(1), pp.116-119, 2007
- 4) 谷瀬敦, 山下彰司, 矢部浩規：北海道の魚道の特長, 土木学会北海道支部論文報告集, Vo62, CD-ROM.2-10, 2006
- 5) 原義文, 宮園正敏, 加藤英雄：砂防施設に設置する魚道の留意点, 砂防学会研究発表概要集, Vo54, pp.392-393, 2005
- 6) 安田陽一：多様な水生生物の遡上・降河に配慮した魚道の特長, 水利科学, No.288, pp.1-31, 2006
- 7) 安田陽一, 大津岩夫：洪水時における河川横断耕作物周辺の流況特性に対する魚道設置の影響, 河川技術論文集, Vol.13, pp.113-118, 2007
- 8) 安田陽一, 大津岩夫, 高橋正行, 三村進二, 原口哲幸：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, Vol.11, pp.435-440, 2005
- 9) 森田茂雄, 安田陽一, 新目竜一, 山下彰司：出水時の溪流河川における魚道直上流部の流況特性に対する水制工設置の影響：土木学会北海道支部論文報告集, Vol.64, CD-ROM.B-18, 2008
- 10) 森田茂雄, 安田陽一, 桑原誠, 山下彰司：出水後の溪流河川における魚道直上流部の土砂堆積に対する水制工設置の影響：土木学会北海道支部論文報告集, Vol.66, CD-ROM.B-7, 2010
- 11) 渡辺康玄, Tubino, M., Zollezi G：掃流砂により形成される交互砂州の非定常下での挙動, 北海道開発土木研究所月報, No576, pp.4-12, 2001
- 12) 佐藤徳人, 渡辺康玄, 白井博彰：橋脚周辺における流木の挙動監視調査, 河川技術論文集, Vol.13, pp.409-414, 2007
- 13) 池田俊介, 吉池智明, 杉本高：不透過水制群を有する流れ構造に関する実験的研究, 水工学論文集, Vol.43, pp.281-286, 1999

(2010. 4. 8受付)