

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

Effect of settlement of the spur dike on flow characteristics at the upstream end of a fishway in a mountain stream during flood

寒地土木研究所

日本大学理工学部土木工学科

寒地土木研究所

寒地土木研究所

○正員 森田茂雄(Shigeo Morita)

正員 安田陽一(Youichi Yasuda)

正員 新目竜一(Ryuichi Shinme)

正員 山下彰司(Shoji Yamashita)

1. はじめに

魚類の遡上、降下環境の悪化は種々の要因によって生じるが魚が生活を全うするためには、河川の連続性が確保されなければならない¹⁾。溪流河川に施工された堰堤工作物に魚道を設置した場合、出水時の砂礫の生産などによって魚道直上流部に砂礫が堆積し、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直上流部に水制を設置したり、魚道直上流部に柵やスクリーンを設置するなどし、礫及び流木が魚道内に流入しにくいようにしているが、逆に堆積を促進させてしまう場合がある(写真-1,2)。

河川と魚道の連続性を確保し、魚道の機能を維持するためには魚道形状、魚道の流入・流出環境を常時良好にすることが重要である。

従来の魚道に関する研究では、通常時の流量を対象に魚道の流況特性が検討されていることが多い²⁾。出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³⁾。しかしながら、出水時における魚道の流入・流出周辺の水利特性が明らかにされていないため、魚道の流入・流出環境を維持するための水利設計は確立されていない。特に、溪流河川の堰堤工作物などに設置された魚道の直上流部に水制工が設置された事例はあるものの水制工設置位置、設置長さ、魚道の開口高さによって魚道直上流部の流れがどのように変化するか検討された例はない。また、堰堤の水通し袖部を貫通させて魚道が設置された場合の魚道の開口高さによって魚道内の流入流量がどのように変化するか明らかにされていない。

本研究では、水制工設置位置、設置長さ、魚道の開口高さによる魚道内の流入流量や魚道直上流部の流速変化特性を明らかにした。



写真-1 魚道直上流部砂礫堆積状況



写真-2 魚道直上流部流木堆積状況

2. 実験

実験水路は溪流河川の下流域を想定し勾配 1/150、長さ 24.0m、幅 1.0m、の直線水路にモルタルを敷均し、図-1 に示す半断面の堰堤工作物魚道模型を設置し実験を行った。また流況特性を把握するためデジタルカメラ及びデジタルビデオを用いた。水深及び流速の測定についてはポイントゲージ、3次元電磁流速計(アレック製)を用い、図-2 に示す模型平面図の箇所で測定を行った。流速については水深が 20cm 未満の場合は 6 割水深、20cm 以上の場合は 2 割、8 割水深で観測を行った。実験流量については、堰堤工作物魚道模型上流 3.0m において水制を設置しない状態で各魚道断面における H-Q 式を作成し管理した。魚道を通過する流量は下流に三角せきを設置し測定した。

模型実験(1/15 縮尺)はフルードの相似則を満足するものである。また魚道通過流量の変化、水制及び魚道直上流部周辺での局所流の流況や、流速特性を把握するため固定床で実験を行った。

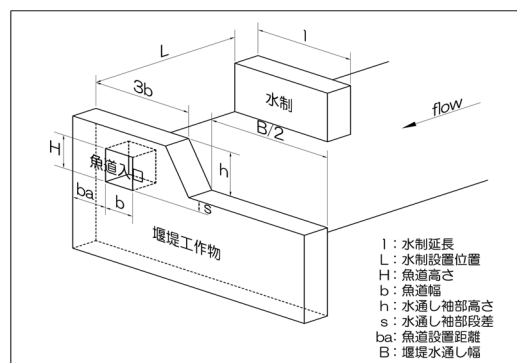


図-1 堰堤工作物魚道模型

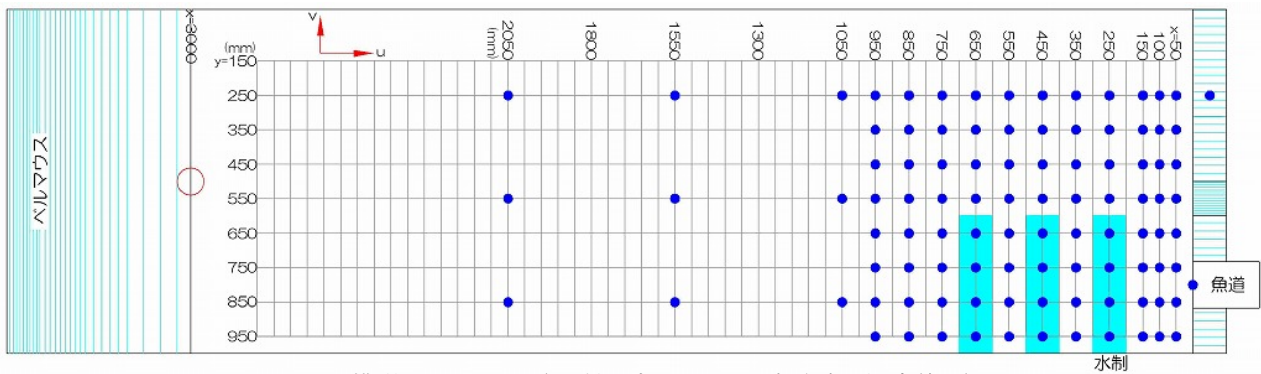


図-2 模型平面図 (●計測ポイント、○実験流量測定箇所)

3. 実験条件

水制及び堰堤工作物魚道周辺の流況は次元解析的な考察より、以下に示す無次元量により支配されるものと考え、表-1 に示す実験条件及び水理量で実験を行った。

$$\text{流況} = f(L/b, (l-ba)/b, (H-s)/h, s/h, b/B, hc/b)$$

表-1 実験条件及び水理量

水制設置位置	水制長	魚道断面				流量
L/b	(l-ba)/b	(H-s)/h	s/h	b/B	hc/b	
1.5	0.2	0.33	0	0.134	0.37-1.12	
3.0	2.0	0.67	0.1			
4.5		1.00				

hc:魚道及び水通しから流出する全流量から算定される限界水深

B:堰堤の水通し幅

4. 水制設置による魚道流入量の変化特性

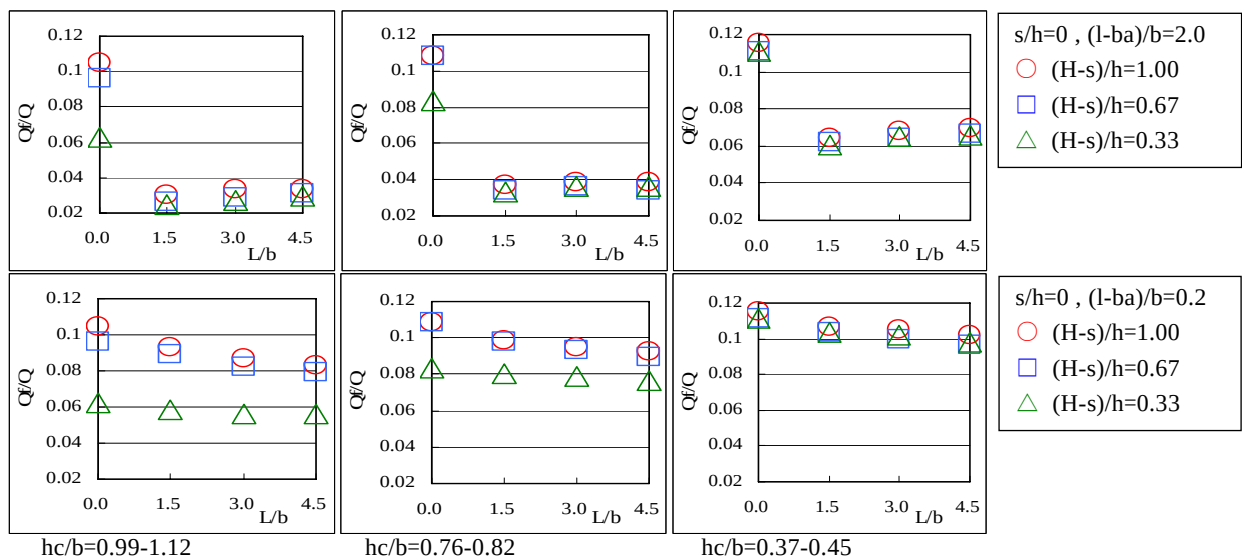
各魚道構造において魚道通過流量を Q_f 、全断面の流量を Q とし、 $Q_f/Q = f(L/b, (l-ba)/b, (H-s)/h, s/h, b/B, hc/b)$ の関係で整理したものを図-3 に示す。

水制がない場合 ($L/b=0$ の場合)、 hc/b の値が 0.76 以上

になると $(H-s)/h$ による Q_f/Q の違いが見られる。これは、 $(H-s)/h$ が小さくなるにつれて、魚道上流部の水位が魚道開口高以上になり、オリフィス構造となるため、 Q_f/Q の値が小さくなったものと考えられる。なお、 hc/b の値が 0.45 以下の場合、魚道流入部においてオリフィス構造にならなかったため $(H-s)/h$ による Q_f/Q の違いはない。

水制工が設置された場合 ($L/b > 0$ の場合)、 $(l-ba)/b=2.0$ の場合と 0.2 の場合を比較すると、 $(l-ba)/b=2.0$ の場合、与えられた L/b 、 hc/b に対して Q_f/Q は大幅に減少する。このことは hc/b が大きくなるほど顕著である。なお Q_f/Q に対する $(H-s)/h$ の影響は少ない。また L/b が小さいほど Q_f/Q は減少する。これは、水制設置位置が魚道流入口に近づくにつれ、魚道に直接向かう流れが遮られるため魚道直上流部の水位が低下し（写真-3）、 Q_f/Q の値が減少したものと考えられる。

$(l-ba)/b=0.2$ の場合、水制設置に伴い Q_f/Q は多少減少するが、水制がない場合と同程度の値を示す。これは水制先端が魚道流入口より突出していないため魚道に直接向かう流れを遮ることなく魚道に流入したためと考えられる。ただし、 L/b の値が大きいほど Q_f/Q の値は減少する傾向が見られる。これは、水制設置位置が遠ざかるほど、水制から剥離する流れの影響が大きいことによるものと考えられる。

図-3 魚道通過流量特性 ($L/b=0$ は水制がない場合である)

5. 水制設置による魚道直上流部での流況の変化特性

(1) $(l-ba)/b=2.0$ の場合

与えられた $L/b, (H-s)/h, s/h, b/B, hc/b$ の条件に対して、 hc/b の増加に伴い、水制上下流に水位差が生じ、剥離した水流は水制先端から河床方向に向かう強い流れとなる（写真-3）。すなわち、水制を横切る流れが魚道流入部側に回り込み、堰堤水通し袖部に衝突後、流脈が乱される流況となる（図-4）。 $1.5 \leq L/b \leq 4.5$ （本実験の範囲）でこのような流況が認められる。

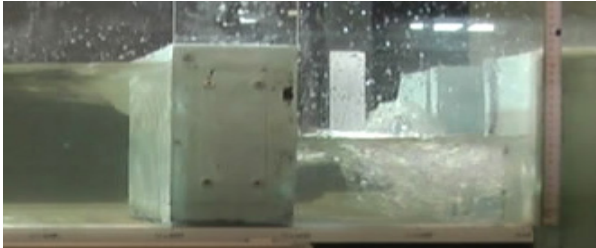


写真-3 水制上下流に生じた水位差により、水制先端から河床方向に向かう流れが形成される

($L/b=1.5, (H-s)/h=1.0, s/h=0, b/B=0.134, hc/b=1.10$)

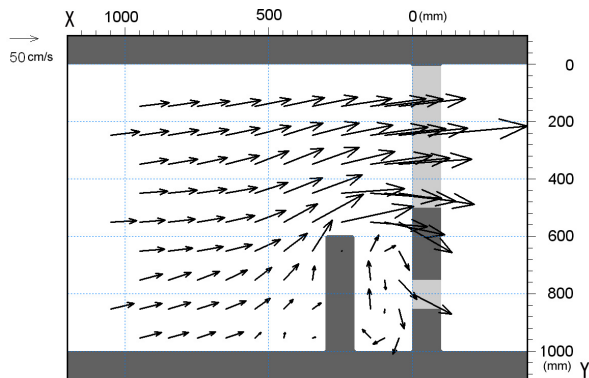


図-4 剥離した水流は堰堤水通し袖部に衝突後、流脈が乱される流況となる

($L/b=1.5, (H-s)/h=1.0, s/h=0, b/B=0.134, hc/b=1.10$)

(2) $(l-ba)/b=0.2$ の場合

与えられた $L/b, (H-s)/h, s/h, b/B, hc/b$ の条件に対して、 hc/b の増加に伴い、水制上下流に水位差が生じるが、水制上下流の水位差は小さく、水面に沿う流れとなり（写真-4）、流脈があまり乱されない流況となる。すなわち、水制を横切る流れは大きく偏向されることなく魚道流入部に流下する（図-5）。

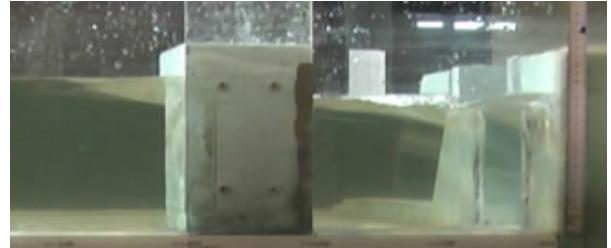


写真-4 水制上下流の水位差は小さく、水面に沿う流れが形成される

($L/b=1.5, (H-s)/h=1.0, s/h=0, b/B=0.134, hc/b=1.06$)

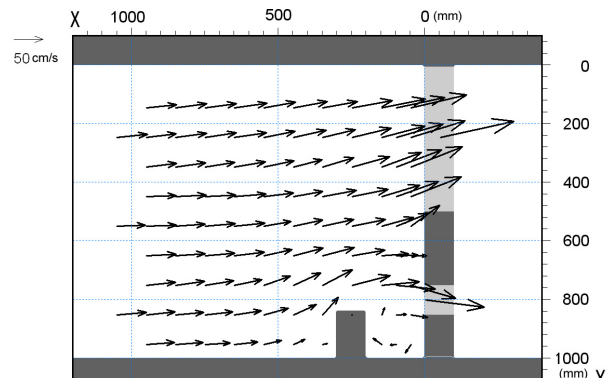


図-5 剥離した水流は流脈があまり乱されない流況となる

($L/b=1.5, (H-s)/h=1.0, s/h=0, b/B=0.134, hc/b=1.06$)

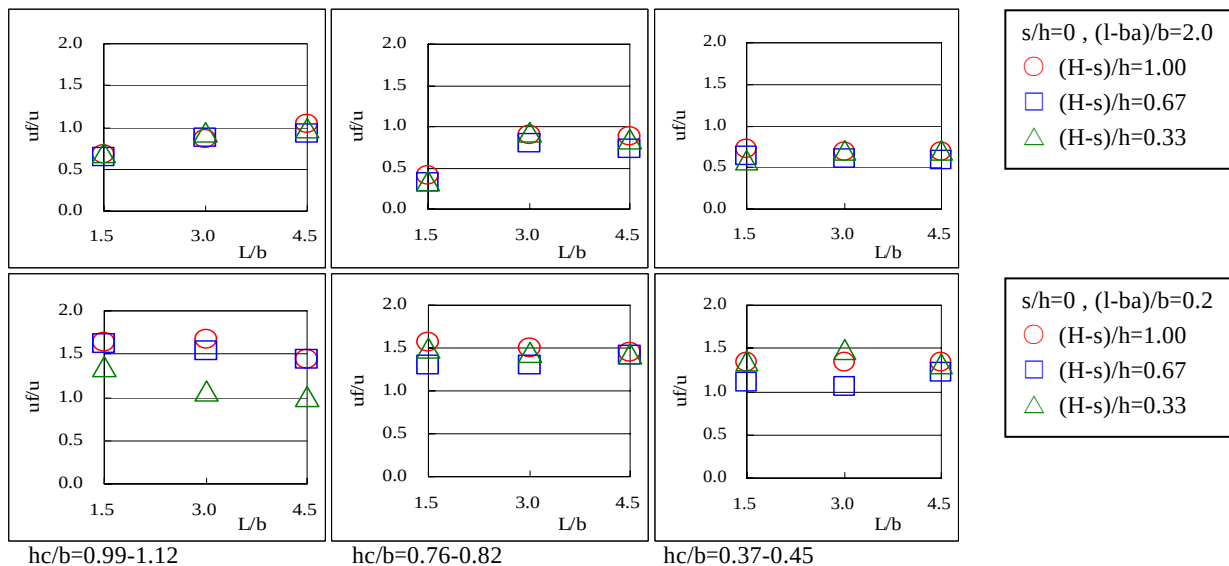


図-6 $X=50, Y=750$ における魚道直上流部の流速変化範囲

6. 水制設置による魚道直上流部での流速の変化特性

図-2 に示される $X=50, Y=750$ における水制がない場合の流下方向の流速を u 、水制を設置した場合の流下方向の流速を uf とし、 $uf/u=f(L/b, (l-ba)/b, (H-s)/h, s/h, b/B, hc/b)$ の関係で整理したものを図-6 に示す。

$(l-ba)/b=2.0$ の場合、水制設置に伴い、 uf/u が 1 以下となり魚道を通過する流下方向の流速が減少する。これは、水制長が長い場合魚道に直接向かう流れが遮られ、魚道への流入が制限されたため生じたものと考えられる。また hc/b の値が大きくなるにつれて、 L/b による uf/u の変化が見られる。特に $0.76 \leq hc/b \leq 1.12$ の場合、 L/b が大きくなるにつれて uf/u の値が大きくなる。なお $L/b=4.5$ において $uf/u \approx 1.0$ を示しているが、水制が設置されていない場合と流況は異なる。

$(l-ba)/b=0.2$ の場合、水制設置に伴い、 uf/u が 1 以上となり魚道を通過する流下方向の流速が増加する。これは、水制設置に伴い、水制先端付近で加速した流れが魚道内に直接流入したためと考えられる。また $(l-ba)/b=2.0$ と比較すると、 L/b による uf/u の変化は小さい。これは、 L/b による水制と魚道流入部間で形成される流況の変化が小さかったためと考えられる。

7. まとめ

堰堤工作物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に、魚道上流部側での水制設置の有無による出水時の流況特性の変化について、表-1 に示す実験条件のもとで検討した結果、得られたことを以下に要約して示す。

- (1) 水制が設置されていない場合の魚道流入流量 Q_f と魚道及び水通しから流出する全流量 Q との比 Q_f/Q が $(H-s)/h, hc/b$ によってどのように変化するかを明らかにし、水制が設置された場合、 $L/b, (l-ba)/b, (H-s)/h, hc/b$ によって流量比 Q_f/Q がどのように変化するかを実験的に明らかにした（図-3 参照）。
- (2) 水制設置による魚道直上流部での流況の変化特性を流況の撮影記録および水制周辺の平面流速ベクトルから示した。特に、 $(l-ba)/b$ の値が 2.0 の場合と 0.2 の場合とでは魚道に接近する流況が大きく異なる（

写真-3,4 参照）ことを示し、それぞれの流況の変化特性を明らかにすることができた。

- (3) 魚道直上流部（ $X=50, Y=750$ ）での流速について、 $uf/u=f(L/b, (l-ba)/b, (H-s)/h, s/h, b/B, hc/b)$ の関係で整理し、水制設置による魚道直上流部での流速変化特性を明らかにした。すなわち、 $(l-ba)/b=2.0$ の場合、魚道に流入する流れが水制によって遮られることから $uf/u < 1$ となることが示された。また $(l-ba)/b=0.2$ の場合、水制に遮られることなく魚道に流入し、水制先端の剥離によって流れが加速した影響で $uf/u > 1$ となることが示された。

今回の固定床実験においては、水制工がない場合の魚道の開口高さによる魚道への流入量の変化、水制工が設置された場合の水制工設置位置、設置長さ、魚道の開口高さによる魚道への流入量の変化や魚道直上流部の流速変化特性を明らかにした。今後は移動床の実験などを行い、土砂・流木が堆積しにくい水制工配置を検討する予定である。また河川の連続性を考える場合、出水に伴う魚道下流部の堆砂などは大きな問題であり、解決しなければならない課題である。これらについては今回の共同研究者である日本大学理工学部安田教授が実験研究を進めている。

謝辞：本研究は国土交通省北海道開発局からの受託研究費による補助を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表す。

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，155pages, 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，（財）ダム水源地環境整備センター編集，1998.6
- 3) 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, 2005.6