

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

Influence of the spur dike installation on sediment at the immediately upstream of the fishway in mountain stream after flood stages

(独) 土木研究所 寒地土木研究所

日本大学理工学部 土木工学科

(独) 土木研究所 寒地土木研究所

(独) 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 桑原 誠(Makoto Kuwahara)

正員 山下彰司(Shoji Yamashita)

1. はじめに

魚がその生活を全うするために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を設置した場合、出水時における砂礫の生産等により魚道上流端にこれが堆積し、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上流部に護岸工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事例が多く見受けられる(写真-1)。一方で、魚道上流部の法面对策として擁壁工を設置した場合、これが水制工として機能し、魚道上流部の土砂堆積を抑制している事例も少数ではあるが見受けられる(写真-2)。魚道上流部の維持管理を考える場合、魚道上流部に土砂が堆積しにくい構造とすることが重要であり⁵⁾、このためには出水時の魚道上流部における流況特性や土砂動態を解明し、土砂が堆積しにくい魚道上流部の構造を把握することが必要である⁶⁾。

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⁷⁾。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魚道から排出されやすいことは見いだされている⁸⁾。一方で、魚道上流部に関しては、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魚道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⁾、魚道上流部での土砂の動態について示されていないため、土砂が堆積しにくい適切な魚道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、本研究では水制工に着目し、出水後に土砂が堆積しにくい魚道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して設置された魚道において、水制工を設置した場合の水制構造や魚道流入口構造の違いによる魚道上流部での土砂動態を模型実験により検討した。

2. 模型実験手法

(1) 実験設備の概要

実験水路は溪流河川の下流域を想定し勾配 1/150、長



写真-1 魚道上流部の状況（護岸工を設置するも土砂が堆積している様子）



写真-2 魚道上流部の状況（擁壁が水制工として機能し土砂堆積が抑制されている様子）

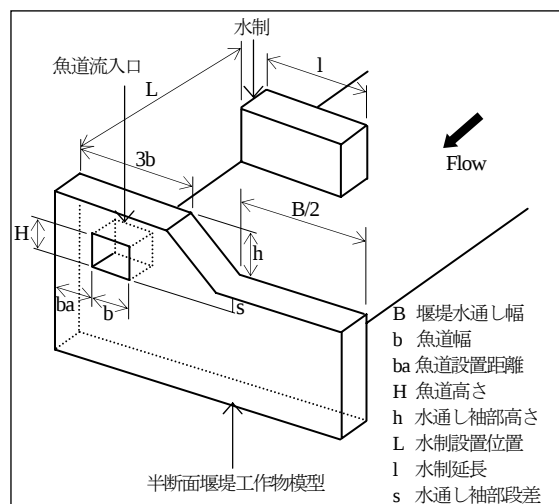


図-1 堰堤工作物魚道模型

さ 24.0m、幅 1.0m、の直線水路を使用し、半断面の堰堤工作物模型を設置した（図-1, 写真-3）。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。

(2) 模型実験の手順

はじめに、固定床模型実験により、出水時に魚道流入入口を通過する流量特性を整理し、土砂が魚道上流部に堆積しにくい流況が形成される魚道流入入口構造を抽出した。次に、抽出した魚道流入入口構造を用い、移動床模型実験により、水制工設置位置、設置長さの違いによる魚道上流部での土砂の動態について検討した（図-2）。

(3) 実験条件

水制および魚道上流部の流況は次元解析的な考察より、式(1)で表される無次元量により支配されるものと考え、表-1 に示す実験条件および水理量で実験を行った（記号については図-1 参照）。

$$\text{流況} = f(L/b, (l-ba)/b, (H-s)/h, s/h, b/B, hc/b) \quad (1)$$

(4) 固定床模型実験

直線水路にモルタルを敷均し、魚道流入入口構造 6 ケース（ $(H-s)/h, s/h, b/B$ を組み合わせたケース）と実験流量 3 ケースを組み合わせた合計 18 ケースにおいて（表-1）、魚道流入入口を通過する流量を測定し、その流量特性を整理した。実験は定常流で実施し、魚道流入入口を通過する流量は魚道流入入口下流に三角堰を設置し測定した。

(5) 移動床模型実験

実験は平均粒径 1.46mm の均一な珪砂を河床材料として使用し、水制設置位置 2 ケース、水制長さ 2 ケースと実験流量 1 ケースを組み合わせた合計 4 ケースにおいて（表-2）、魚道上流部での土砂の動態について検討した。実験流量については非定常とし、前節の固定床模型実験で用いた 3 ケースの実験流量の内、中間のものを最大流量とした式(2)で表される無次元水深ハイドログラフ（図-3）を用いた¹⁰⁾。また、ハイドログラフの継続時間は 6 時間とした。

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

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。

魚道流入入口構造については、前節の固定床模型実験の結果において、土砂が魚道上流部に堆積しにくい流況が形成された魚道流入入口構造（ここでは $(H-s)/h = 1.00$, $s/h = 0.1$ ）とした。

魚道流入入口上流部での土砂の動態については、ハイドログラフ（図-3）に対応した流量を流下させた後、河床コンター図を作成し検討した。河床形状の計測にあた



写真-3 模型実験水路の様子（固定床）

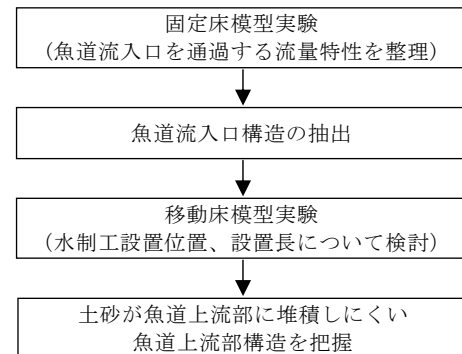


図-2 模型実験の手順

表-1 固定床実験における条件および水理量

水制設置位置	水制長さ	魚道流入入口構造			流量
L/b	$(l-ba)/b$	$(H-s)/h$	s/h	b/B	hc/b
		0.33	0	0.134	0.31-1.04
		0.67	0.1		
		1.00			

・ 実験流量は 3 ケースである

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 移動床実験における条件および水理量

水制設置位置	水制長さ	魚道流入入口構造			流量
L/b	$(l-ba)/b$	$(H-s)/h$	s/h	b/B	hc/b
1.5	0.2	1.00	0.1	0.134	*1
4.5	2.0				

*1 実験流量は図-3 に示すハイドログラフ 1 ケースである

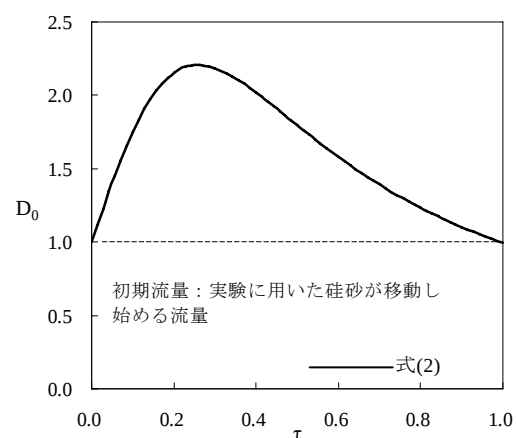


図-3 移動床実験の非定常ハイドログラフ

っては、レーザー砂面計（KEYENCE, LB300）を用いた。での土砂堆積を抑制する上で有効であると考えられる。

3. 模型実験結果・考察

(1) 魚道流入口を通過する流量特性

固定床模型実験において、各魚道流入口断面を通過する流量を Q_f 、水通し全断面および魚道流入口断面から流出する流量を Q とし、 $Q_f/Q=f((H-s)/h, s/h, b/B, hc/b)$ の関係で整理したものを図-4 に示す。

hc/b の値が 0.69 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、魚道流入口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 0.31 の場合、魚道流入口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。また、 $s/h=0.1$ においても同様の状況が確認された。

安田³⁾は、河川横断工作物における遡上・降河経路と河川との接続を良好にするためには、魚道流入口上流部では流れが急変しない工夫が重要であると示している。このことより、出水時に魚道流入口がオリフィス構造とならないよう配慮することは、堰堤工作物の魚道上流部

(2) 魚道流入口上流部での土砂の動態

移動床模型実験において、非定常の実験流量（図-3）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。

$(l-ba)/b=2.0$ （図-5a, b）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。これは、魚道流入口の幅 b に対し水制工が堰堤工作物袖部から遠ざかっていたため、水制と堰堤工作物袖部の間で形成される滞留域の長さが長く

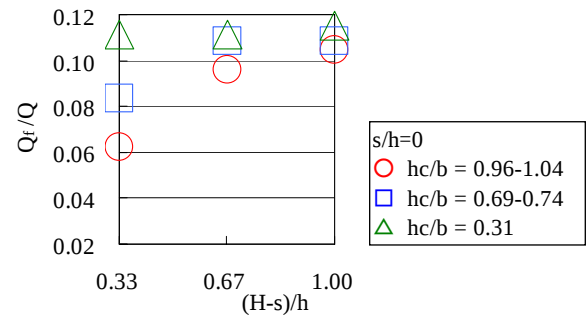


図-4 魚道流入口を通過する流量特性

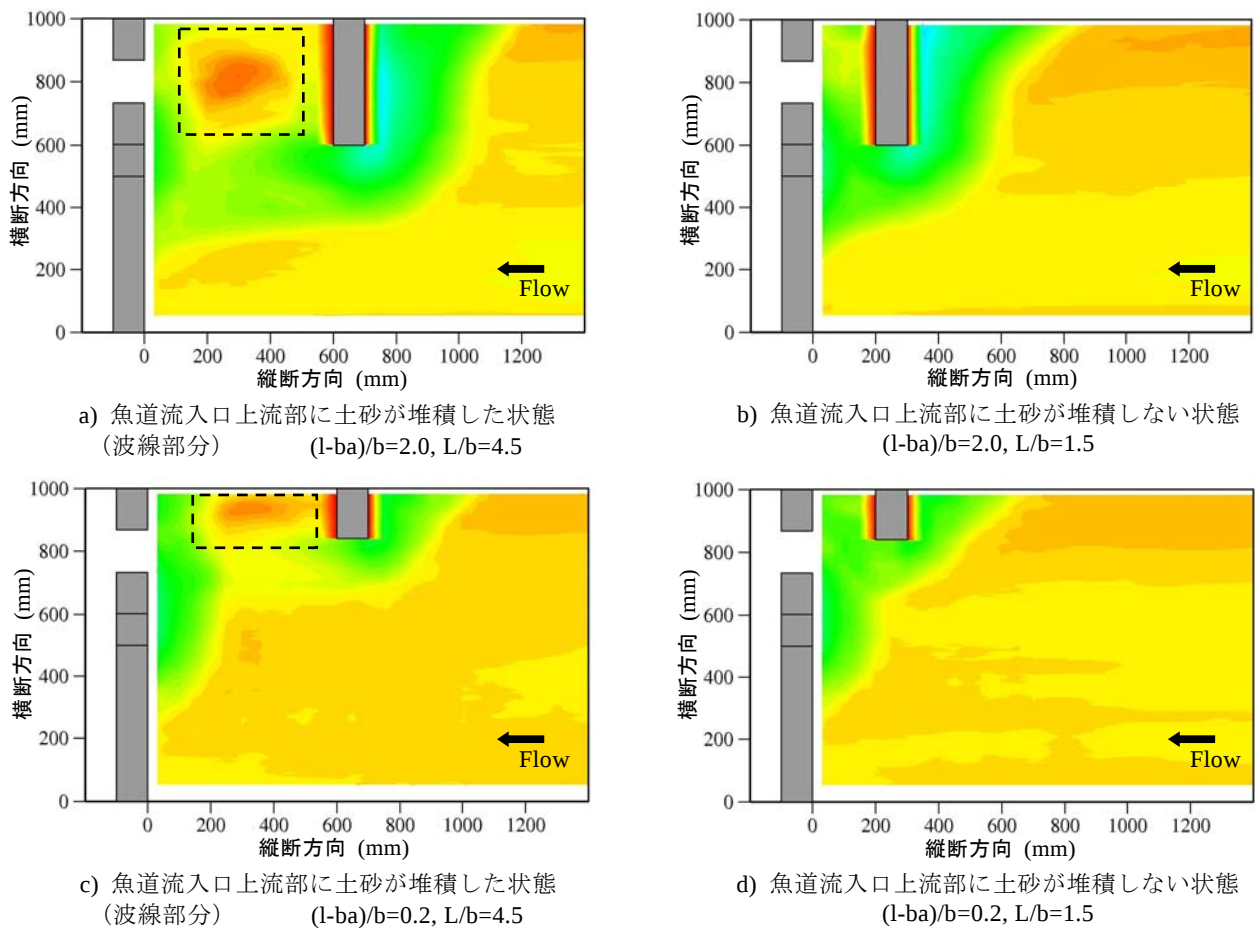


図-5 移動床実験後における河床コンター図

なり、この滞留長に対応した土砂排出機能が魚道流入口で確保されていないために生じたものと考えられる。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。これは、魚道流入口の幅 b に対し水制工が堰堤工作物袖部に接近していたため、水制と堰堤工作物袖部の間で形成される滞留域の長さが短くなり、この滞留長に対応した土砂排出機能が魚道流入口で確保されたためと考えられる。また、 $(l-ba)/b=0.2$ の場合 (図-5c, d) における魚道流入口上流部での土砂堆積については、 $(l-ba)/b=2.0$ の場合と同様の状況が確認された。このことより、水制工を堰堤工作物袖部から魚道流入口幅 b の 1.5 倍以下の距離に接近させることは溪流河川の魚道流上流部での土砂堆積を抑制する上で有効であると考えられる。

4. まとめ

堰堤工作物袖部を貫通して設置された魚道において、水制工を設置した場合の水制構造や魚道流入口構造の違いによる出水後の魚道流入口上流部での土砂動態を模型実験により検討した。

本研究の特長は、溪流河川における出水後の魚道流入口上流部での土砂堆積防止を図るために水制工に着目したこと。出水時に魚道流入口を通過する流量特性を固定床模型実験で整理した後、水制工設置位置、設置長の違いにより生じる魚道流入口上流部での土砂動態を検討したことである。

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 固定床模型実験において、水制が設置されていない場合の魚道流入口を通過する流量 Q_f と水通し全断面および魚道流入口断面から流出する流量 Q との比 Q_f/Q は $(H-s)/h$, hc/b に影響を受けることを明らかにし、魚道流入口の水位が魚道開口高以上になり、オリフィス構造となる場合、 Q_f/Q の値が小さくなることを示した。
- (2) 移動床模型実験において、魚道流入口構造を $(H-s)/h=1.00$, $s/h=0.1$ とし水制工を設置した場合の水制工設置位置、設置長の違いにより生じる魚道流入口上流部での土砂動態を明らかにし、水制工設置位置が堰堤工作物袖部に接近し、 $L/b=1.5$ 以下、すなわち水制工を堰堤工作物袖部から魚道流入口幅 b の 1.5 倍以下の距離に接近させた場合、魚道流入口上流部では大きな堆砂が生じないことを示した。また、水制長 $(l-ba)/b=2.0$ による違いはほとんど確認されなかった。

以上のことより、出水時に魚道流入口断面をオリフィス構造としないこと、水制工を堰堤工作物袖部から魚道流入口幅 b の 1.5 倍以下の距離に接近させることは溪流河川の魚道流上流部での土砂堆積を抑制する上で有効であると考えられる。また、今回の模型実験において、水制長の違いによる魚道流入口上流部での土砂動態の差はほとんど確認されなかった。しかしながら、出水時には土砂以外に流木等も流下する。このことを踏まえ、今後は移動床実験において水制長の違いによる出水時に流木が魚道流入口上流部に接近する状況について検討する予定である。

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, 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, 581pages, 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. II-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) 渡辺康玄, Tubino, M., Zolletti 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