

## II-224

## 溪流の小規模河床形態を模擬した新たな魚道設計法の提案

水資源開発公団試験研究所 正 員 竜澤 宏昌  
同 上 正 員 林 日出喜  
北大大学院工学研究科 正 員 長谷川和義

**はじめに** 溪流に立地するダムや砂防堰堤に設ける魚道は、周辺に生息する魚類等河川生物が移動するだけでなくその場を棲み場所とし得る機能をもつべきと考える。なぜなら、ダムや砂防堰堤が連続立地によって本来の姿(河床の形態)を失った溪流では、生物相がより下流の生態系に近いものに遷移したり、場合によってはかなり貧弱となる恐れがあるからである。こうした生物への影響を軽減するためには、まず、失われた魚類等の棲み場所を再生する必要がある。それを再生する場所として工作物各々に付属する魚道を利用できれば都合が良いと考える。こうした着想のもと、著者らは、溪流の単位形態である小規模河床形態の構造・形状に着目し、これを模擬した魚道の開発を進めてきた。本論では、現在著者らが考えている溪流の魚道を提案し、その機能を実験的に検証した結果を報告する。

**1. 小規模河床形態の形状特性** 小規模河床形態は、図-1に示すとおり、比較的大きな礫が並ぶ部分(「ステップ部」とそれらの間の小さな粒径の砂礫で河床が構成される部分(「プール部」)が交互に連なるところに特徴がある。著者らは、分級・反砂堆説に従い理論的に導いた式(1)、式(2)に示す小規模河床形態の波高 $\Delta$ および波長 $\lambda$ の推定式が移動床実験で得られたデータに適合することを確認している<sup>(1),(2),(3)</sup>。ここに、 $I$ : 河床勾配,  $hc$ : 限界水深,  $Q$ : 小規模河床形態形成時の流量,  $B$ : 流路幅,  $g$ : 重力加速度である。

$$\begin{aligned}\Delta &= 6.43 I^{5/6} hc & (1) \\ \lambda &= 3.36 \sqrt{6.48 \sqrt{I} - \frac{1}{3} I^{-1/6}} hc & (2) \\ hc &= \left( \frac{Q^2}{g B^2} \right)^{1/3} & (3)\end{aligned}$$

**2. 小規模河床形態と階段式魚道の比較** これら成果をもとに、小規模河床形態の一般的な形状諸元について、これに近い形状的な特徴をもつ階段式魚道との比較から考察してみる。図-2は、式(1)、式(2)から求められる小規模河床形態の $\lambda/\Delta$ (左縦軸)と勾配 $I$ との関係、ならびに、 $\delta h/\Delta$ (右縦軸)と勾配 $I$ との関係を示したものである。ここで、 $\delta h$ はプール間落差であり $\lambda I$ に等しい。図-2によると、魚道の一般的な勾配である $1/15 \sim 1/10$ の範囲においては、 $\lambda/\Delta$ が7~9程度、 $\delta h/\Delta$ が0.6~0.7程度の値をとる。実測例<sup>(4),(5)</sup>を参考に、波高 $\Delta$ を0.4m~1mとすれば、図-1に示したとおり、 $\lambda$ は3m~9m、 $\delta h$ は30cm~35cmとなる。一方、階段式魚道におけるプール深 $D$ は0.5m~1.0m、プール長 $L$ は2m~5mが一般的である。また、プール間落差 $\delta h$ は15cm~25cmが好ましいとされている<sup>(6)</sup>。魚道としてプール部が長ければ魚道内を移動しようとする魚の休息場所としての機能等を確保できるという利点が得られる。一方、プール間落差については、魚を上らせるという点で、大きくなるほど不利と言える。ただ、自然溪流にある礫列のステップはこれを構成している礫の互いに隣り合う部分が窪んでいたり大きさが違って横断的に様な高さではない。小規模河床形態を魚道形状として応用する場合には、ステップ部に並べる礫の大きさや配列方法を工夫する必要がある。

**3. 溪流の魚道設計法** 魚道の形状、すなわち、その設計波高 $\Delta$ および設計波長 $\lambda$ については、計画流量 $Q$ 、流路幅 $B$ 、および式(3)から求められる限界水深 $hc$ を式(1)、式(2)に代入して求められる。ここで、計画流量 $Q$ は小規模河床形態の形成流量に相当するものであるが、これをどう設定するかが設計上の重要なポイントとなる。まずは、既往の流量観測資料などから、魚道流量をどの程度確保できるのか、また、このとき、魚道内でどのような流れが得られるかなどを評価した上で決定するのがよい。流量観測資料が得られない場合には、予め経験的に設計波高 $\Delta$ を決めてしまうという方法も考えられる。魚道の構造は、図-3の概念図に示すように、比較的大きな礫を並べたステップ部とこれらの間のプール部から構成される。ステップ礫は、維持管理を考慮し、底部に何らかの方法で固定あるいは安定化させた方がよい。また、プール部については、自流的作用に応じて流入・堆積する土砂礫により自然に河床が形づくられることを期待しており、ある程度の大きさのポケットを設ければよい。予め河床を形づくる場合は、このポケットに $n=1/2 \sim 3/4$ のTalbot型の粒度分布砂礫を敷き詰める<sup>(3)</sup>。溪流の魚道は、以上のような形状・構造にすることで、周辺に生息する魚類等に対して、近自然的な生息域を提供し得ると思われる。特にダムや砂防堰堤に設けられる魚道は、内部への土砂礫の流入・堆積が避けられず、このために魚道としての機能が損なわれることが多い。この維持管理上の問題に対しても、提案した魚道は、その長所を発揮するものと期待される。

**4. 魚道機能の実験的検証** 以上で提案した溪流魚道の設計法とこれに期待される機能について、実際に魚道模型を用いた移動床実験を行って検証した。高さが19cmで、先端部に直径5cmの礫が6個並べられた構造のステップ模型

キーワード: 魚道 設計法 溪流 河床形態 階段状河床形 移動床実験

連絡先: 水資源開発公団試験研究所 (埼玉県浦和市大字神田 936 番地・TEL 048-853-1785・FAX 048-855-8099)

を幅 30cm の水路内に一定間隔で 14 基配置し、これらの間が満たされるように砂礫を敷き詰め、水締めを行い、砂礫面をほぼフラットな状態に整形した。敷き詰めた砂礫は  $d_{max}=3.0\text{cm}$ 、 $n=1/2$  の Talbot 型の粒度分布を有するものを用いている。そして、勾配  $I=1/10$ 、無給砂の条件下で通水を行い、河床変動の様子を観察した。また、通水量  $Q=11.5\text{l/s}$  は、波高  $\Delta=5\text{cm}$  程度の小規模河床形態が形成され得る流量として設定した。すなわち、 $Q$  は、 $\Delta=5\text{cm}$ 、 $B=30\text{cm}$  として式(1)から限界水深  $h_c$  を求め、これを式(3)に代入して得られる。また、この  $h_c$  を式(2)に代入して求められた波長  $\lambda=35\text{cm}$  をステップ模型の配置間隔としている。写真-1 は通水中の様子を撮影したものである。通水開始直後、水路全域で射流の状態であった流れはステップ直下部が 4cm~5cm 程度浸食されたところからプール内で跳水を伴う流れに変化した。そして、通水開始後 3 分を過ぎたあたりで全プールが跳水の状態に落ち着き、通水開始後 4 分になると、砂礫の移動が止まり、流れも跳水を伴ったまま定常状態に至った。通水後の河床で計測した波高  $\Delta$  値を平均すると 7.2cm であり、いずれも想定した  $\Delta=5\text{cm}$  を超えている。この実験から、魚道内が満砂状態にあっても、計画流量  $Q$  程度の流量を与えれば、設計波高  $\Delta$  以上の波高を有する河床形が再形成され得ることが示された。例えば、魚道の計画流量  $Q$  が 1 年ないしそれ以下の確率流量程度に対応するのであれば、自流により、年に数回程度は魚道内部に流入・堆積した土砂礫を排出できるはずである。

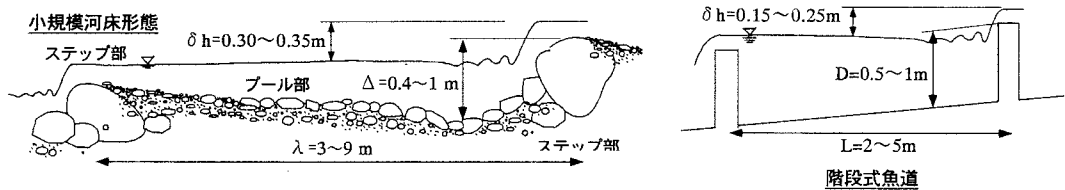


図-1 渓流の小規模河床形態と階段式魚道の比較

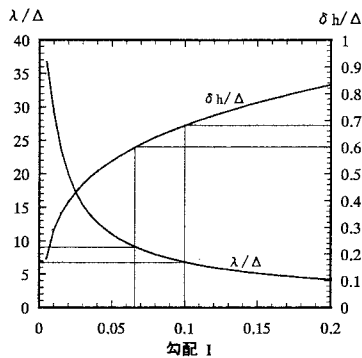


図-2 小規模河床形態の形状特性とプール間落差

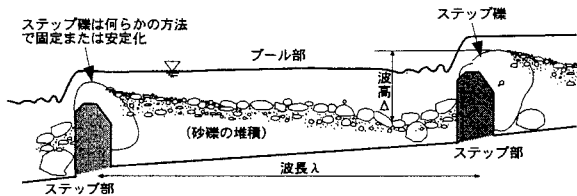


図-3 渓流魚道の概念図

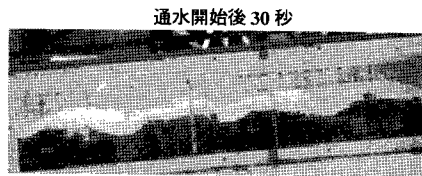


写真-1 渓流魚道の側面流況(模型)

-プール部満砂状態からの河床変動状況-

おわりに 特にダムや砂防堰堤が連続立地するようなところでは、それら工作物に付属する魚道を利用する以外に渓流特有の河床形態すなわち魚類等の棲み場所を再生する方法はないと思われる。提案した魚道は、魚類等に棲み場所を提供でき得る構造・形状であると同時に、内部へ流入・堆積した土砂礫を自流により排出できるという維持管理上の長所も持ち合わせている。

#### 参考文献

- 1) 長谷川：渓流の淵・瀬の水理とその応用，第 33 回水工学に関する夏期講習会テキスト，ppA-9 1-20，1997
- 2) 竜澤，林，長谷川：渓流河川における河床砂礫の混合特性と階段状河床形の形状特性，水工学論文集第 42 巻，pp.1075-1080，1998
- 3) 竜澤，林，森，藤田，長谷川：広水理条件下における小規模河床波の形成と形状特性，水工学論文集第 43 巻，pp.731-736，1999
- 4) 長谷川：山地河川の形態と流れ，水工学シリーズ 88-A-8 pp.1-22，1988
- 5) 江頭，芦田，沢田，西本：山地河道における階段状河床形の形状特性，第 29 回水理講演会論文集，pp.537-542，1985
- 6) (財)ダム水源環境整備センター編：最新魚道の設計-魚道と関連施設-，信山社サイテック，pp.234-235，1998