

ステッププールを利用した生息型魚道の設計指針の提案

Proposal of a design manual of inhabitable-fish-way with application of step-pool-systems in mountain stream

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 川村 信也 (Shinya Kawamura)
 北海道大学大学院工学研究科 学生員 鈴木 孝司 (Kouji Suzuki)
 北海道大学大学院工学研究科 正員 長谷川和義 (Kazuyoshi Hasegawa)
 株式会社野生物総合研究所 張 裕平 (Zhang Yuping)

1. はじめに

山地河川の小規模河床形態には階段状河床形状があり^{1) 2) 3) 4) 5) 6)}, 河川横断方向に直線状に構成砂礫が並ぶ「礫列」と、円弧状、もしくは楕円状にならぶ「礫段」の存在が知られている。これらを総称してステップ・プールと呼んでいるが、これらの河床形状により形成されるプール部は周囲の様々な水棲生物に良好な生活環境を提供しており、環境保全や周辺生物の生態を把握するためにも、礫列、礫段の構造を理解することは必要不可欠である。

竜澤・長谷川⁷⁾ は、これらの河床形態を魚道へ応用することを提案し、従来までの魚道とは異なる、近自然的生息型魚道の設計法の確立を目指している。これは、現在注目を集めてきている「自然再生」や「自然復元」に位置付ける事もできる。いままでに多くの現地調査や様々な条件下での水路実験が行われていて、ステップ・プール河床の波長・波高に関する推定式が提案されており(竜澤・長谷川⁸⁾, 長谷川^{4) 5) 9)} ステップの構成礫の配置の法則性¹⁰⁾なども明らかになっている。さらにはステッププール内の生態系に関する研究¹¹⁾も進められている。

本論文は、これまでの研究結果を元にした魚道の設計指針を提案し、その指針により設計された魚道と実際の河川との比較・検討を行おうとするものである。

2. 魚道設計指針

2.1 設計条件

魚道を設計するためには条件として河床勾配 I, ステッププール形成流量 Q, 粒径分布, 流路幅 B を与える必要がある。

本論文では比較対象河川である薄別川の現地データ(表-1, 図-1)を使用する。

ここで、ステッププール形成流量は藤田ら¹²⁾の研究を参考にして過去5年間での最大流量とすることにした。

2.2 波長・波高の決定

(1) 波長

波長に関しては Whittaker・Jaeggi¹⁾や江頭ら²⁾と同じく反砂堆の波長にほぼ等しいと考え、そこから導き出された波長の推定式(式1)を利用する。式の導入方法はここでは省略する。

表-1 設計条件(薄別川水理量)

河床勾配 I	1/46
ステッププール形成流量 Q(m ³ /s)	30
河道幅 B(m)	11.6

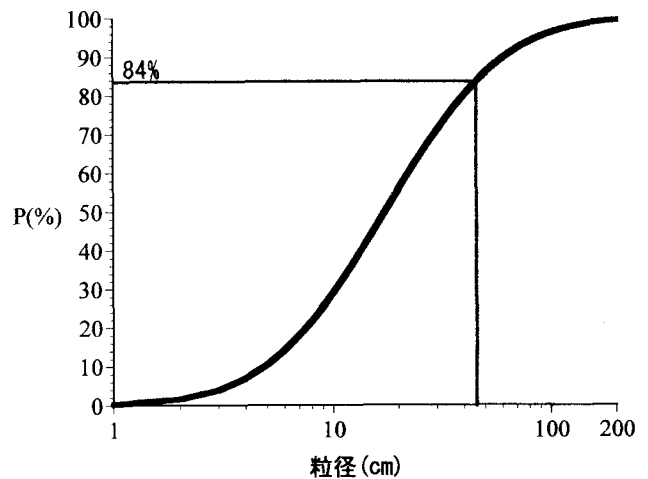


図-1 薄別川河床表層砂礫の粒径分布

$$\lambda = 3.36 \left(\sqrt{6.48\sqrt{I} - \frac{1}{3}} \right)^{-1} I^{-\frac{1}{6}} h_c \quad (1)$$

ただし, λ : ステッププール波長, I : 河床勾配

$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$: 限界水深, q : 単位幅流量, g : 重力加速度

(2) 波高

小規模河床形態の波高がアーマーコートの平均粒径に相当するという江頭ら^{2) 13)}の蒲田川での調査, ならびに波高が河床表層を構成している砂礫の中軸径の d_{84} 粒径にほぼ相当するという長谷川⁴⁾による豊平川水系の溪流での調査結果から

$$\Delta \approx d_{84} \quad (2)$$

とする。ただし, Δ : ステッププール波高

(3) 分散

ステッププールの波高・波長は対数正規分布によく載

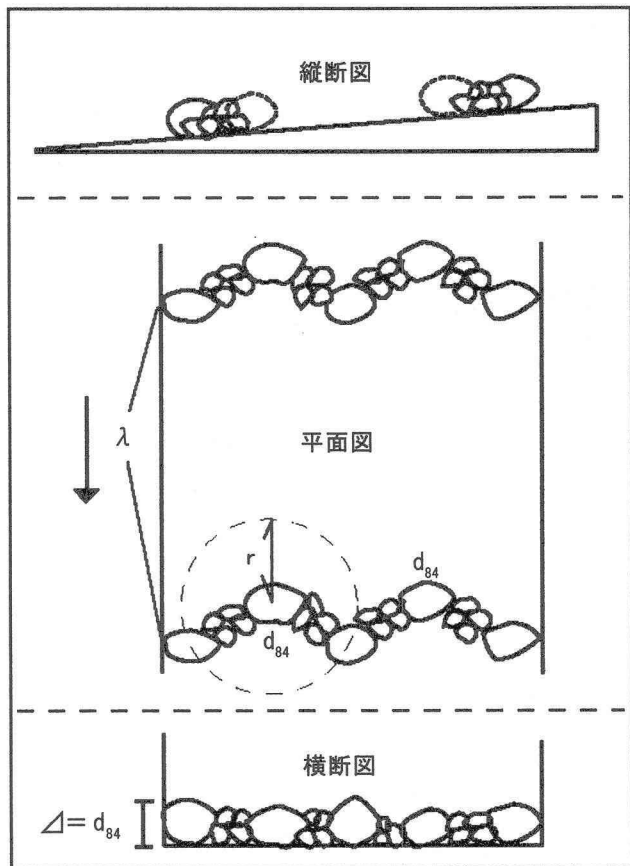


図-2 魚道設計図

ることが知られている⁴⁾。それを利用し、魚道の波高・波長は対数正規分布により乱数を用いて分散を伴う系列値をつくる。その際、対数正規分布の平均値 μ は先述の理論値を、分散値 σ^2 は式3を使用する。

$$\sigma^2 = k^2 \mu^2 \quad (3)$$

ここでの k は定数であり、過去の調査結果より約0.6となっている。

2.3 ステップ部の構造

(1) ステップ構成礫の配置

過去の研究から、ステップ部のトラップ効果が高いほど底生生物の個体数が増える事がわかっている¹¹⁾。底生生物の存在量は魚類の生息場として重要な指標である、よって本魚道はステップ部のトラップ効果を高めるために、波高に相当する d_{84} 粒径を横断方向に少しずつ配置し、ステップ部の基礎とする。 d_{84} 粒径の配置間隔 r は、著者ら¹⁰⁾の既往の研究においてバリオグラムによる解析から、同程度の粒径が5モードのステッププールの半波長程度の距離に配置されている事がわかっている。モード数とは図-3に示すように横断方向の礫の円弧の数に相当する。よって配置間隔 r は河道幅の1/10とする。 d_{84} 粒径の間には平均粒径程度の礫を多重構造(2重~3重)になるように敷き詰める。

(2) ステップ間の構造

ステップの間の空間は特に礫を固定したりはせずに、現地の粒径分布と同じ分布の混合砂礫または、Talbot

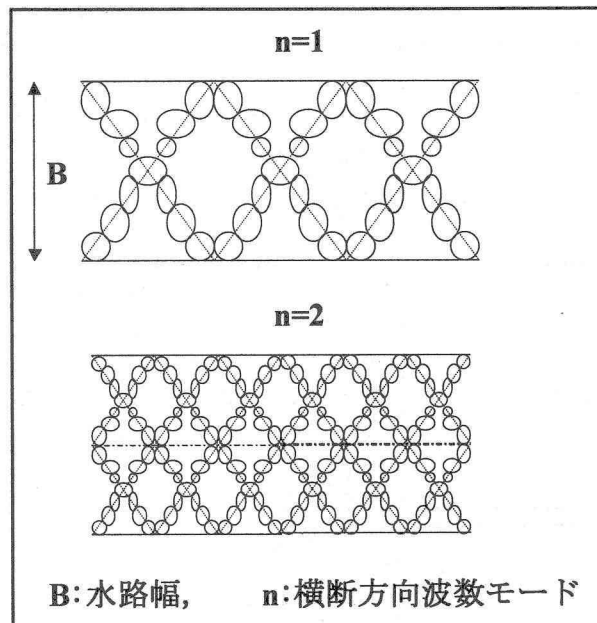


図-3 モード数の説明図

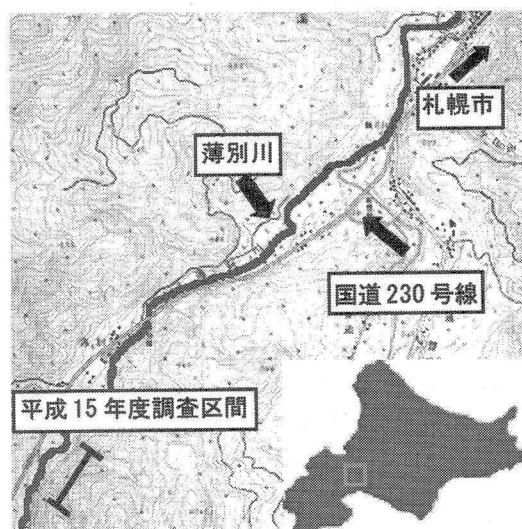


図-4 薄別川の位置

型分布砂礫¹⁴⁾を敷き詰める。

以上のような状況で形成流量を通水させ、プールの自然形成をはかる。

2.4 生息が予想される魚種

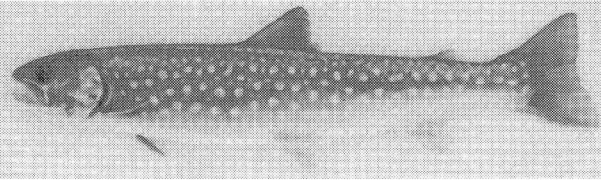
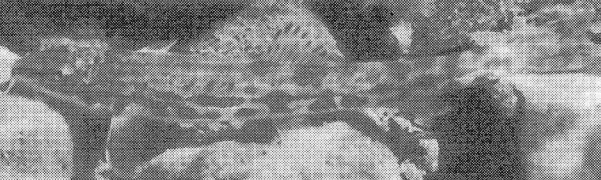
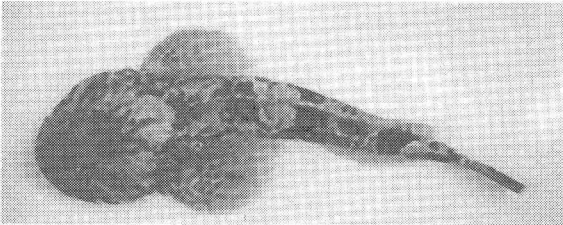
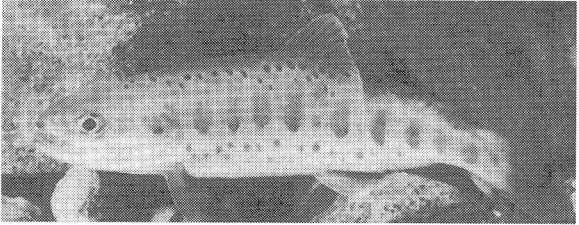
魚道を薄別川上流に先述した条件の下で設計した場合、北海道の溪流の上流域であること、砂礫河床であることなどを考慮すると表-2で示されるような魚種が生息すると予測される。いずれも北海道の河川上流に生息し、砂礫河床や礫河床を生息場としている。

これらの魚類は魚道内において、プール部を回遊しながらステップ部から流下してくる昆虫などを摂食しているものと予測される。

3. 実際の河川との比較

今回提案した設計指針の妥当性を検討するため、設計条件に利用した薄別川と比較する。

表-2 生息予想魚種

アメマス	体長	14~70cm程度	
	生息域	中流~上流	
	生息環境の特徴	礫底	
	遊泳のタイプ	遊泳型	
	適性水深	0.2m以上	
	適性流速	0.1~0.7m/s	
フクドジョウ	体長	20cm程度	
	生息域	中流~上流	
	生息環境の特徴	砂礫底・礫底	
	遊泳のタイプ	底生型	
	適性水深	0.2m以上	
	適性流速	0.01~0.6m/s以下	
ハナカジカ	体長	15cm程度	
	生息域	上流	
	生息環境の特徴	礫底	
	遊泳のタイプ	底生型	
	適性水深	不明	
	適性流速	0.3m/s以下	
ヤマメ	体長	30cm程度	
	生息域	中流~上流	
	生息環境の特徴	砂礫底	
	遊泳のタイプ	遊泳型	
	適性水深	0.2m以上	
	適性流速	0.1~0.5m/s以下	

3.1 比較対象河川

設計した魚道との比較対象河川は札幌市定山溪に位置する豊平川水系の薄別川である。図-4に調査流域図を示す。この河川は比較的的自然状態に近く急勾配(1/46)であるため、数多くの明瞭なステッププールが形成されている。ただし、調査区間の上流に発電ダムがあり、通常時の流量は0.4m³/s程度におさえられている。この状態は、魚道状態により近いものといえる。平成15年10月に約400mの区間で地形測量と線格子法で粒径分布を調べ、さらにその区間内において明瞭にステッププールが発達した70mの区間で魚類調査を行った。

3.2 調査概要

(1) 地形測量

400mの調査区間の河道中心線に沿って縦断標高(図-5)を測量し、同じく区間内の河道中心線に沿って表層砂礫の粒径を1mごとに計測した。さらに区間内で確認されたステッププールの波高と波長を測定した(図-6)。

(2) 魚類調査

区間内で電気ショックにより魚類の捕獲を行い、魚がショックにより水面に浮いてきた地点を記録した。全部で3種、50匹の魚類が確認された。

3.1 波長・波高の比較

前述した調査区間で確認されたステッププールの波

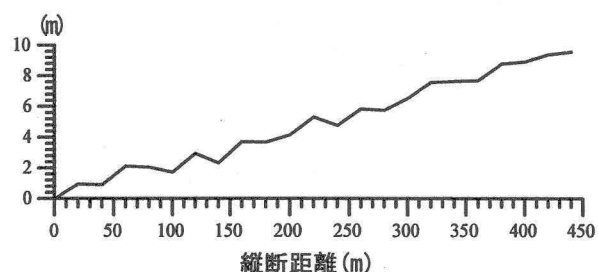


図-5 薄別川縦断形状

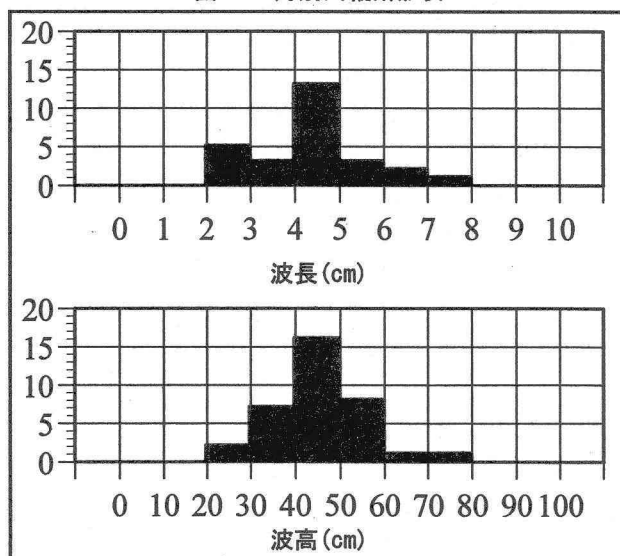


図-6 薄別川波高・波長頻度分布

表-3 波高・波長の比較

魚道波長 $\lambda(m)$	魚道波高 $\Delta(m)$
4.50	0.46
実測波長 $\lambda(m)$	実測波高 $\Delta(m)$
4.32	0.44

高と波長を調べ平均波長と平均波高を求めた。その結果と魚道の波高と波長を表-3に示す。表に示すとおり、平均波高0.44m、魚道波高0.46m、実測波長4.32m、魚道波長4.50mといずれも近い値を示しており、この設計方法で構造上は自然状態に近いものを設計できる事がわかる。

3.2 生息魚種の比較

魚類調査で確認された魚種と、魚道に生息すると予想される魚種を表-4に示す。予想した魚種の4種のうちヤマメ、アメマス、フクドジョウの3種が確認された。フクドジョウの数が他の種よりも多い事、ハナカジカが確認されなかった事は調査時期の影響と考えられる。

この結果からも、この設計方法で設計した魚道が比較的自然状態に近い事がわかる。

3.3 魚類の生息場所

魚類調査において、採取した全ての魚類の生息場所をステップ部とプール部にわけて比較したところ、表-5のようになった。2.3で予想したようにほとんどの魚類が主にプール部に生息していることがわかる。各魚類で見ると、遊泳型のアメマスとヤマメはほとんどプール部に生息していたのに対して、底生型のフクドジョウがステップ部に生息している割合が高いのがわかる。このことから、本魚道を施工した場合、遊泳型の魚種はプール部で休息しながら遡上し、底生型の魚種は魚道全体において生息するものと考えられる。ただし、電気ショックで魚類が水面に浮いてきた地点を採取地点としているため、その場所を生息場所として確定するには若干の不安が残る事を留意点としてあげておく。

4. おわりに

3章の結果から、今回提案した魚道の設計指針をもとに魚道を設計した場合、かなり自然状態に近いものを作ることができるものと考えられる。つまり、対象河川の粒径データ、河道幅、河床勾配、および過去の流量データの4点さえ与えられれば、その河川の自然状態に近い魚道を設計できるという事である。

ただし、この設計方法を実用化するためには今後もこの設計指針から設計した魚道の実験や数値計算などによって検証を進めていく必要がある。

謝辞：本研究は、平成15年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)(課題番号:13555139, 研究代表者:長谷川和義)の助成を受けて行われた。記して謝意を表す次第である。

表-4 魚種

予想魚種	薄別川魚種	個体数
ヤマメ	ヤマメ	3
アメマス	アメマス	10
フクドジョウ	フクドジョウ	37
ハナカジカ		

表-5 プール部とステップ部の比較

	プール部	ステップ部
フクドジョウ	25	12
アメマス	8	2
ヤマメ	3	0
計	36	14

参考文献

- Whittaker, J.G. and M.N.R. Jaeggi (1982): Origin of step-pool systems in mountain streams, Journal of Hydraulics Division, Proc. of ASCE, pp.758-773
- 芦田和男・江頭進治・安藤尚美(1984): 階段状河床形の形成機構と形状特性に関する研究, 第29回水理講演会論文集, pp.743-749
- 沢田豊明・芦田和男(1989): 山地溪流における流路形態と土砂流出, 第33回水理講演会論文集, pp.373-378
- 長谷川和義: 山地河川の形態と流れ, 水工学シリーズ88-A-8, pp.1-22, 1988.
- 長谷川和義: 溪流の淵・瀬の水理とその応用, 1997年度(第33回)水工学に関する夏期研修会テキスト, pp.A-9-1~A-9-20, 1997.
- 門田章宏・鈴木幸一・渡部誠司・森一庸: 重信川山地における河床形態に関する測量調査: 水工学論文集, 第44巻, pp.741-746, 2000.
- 竜澤宏昌・林日出喜・長谷川和義: 溪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.
- 竜澤宏昌・林日出喜・長谷川和義: 溪流の小規模河床形態に関する研究, 土木学会論文集, No.656/II-52, pp.83-101, 2000.
- 長谷川和義, 上林悟: 溪流における淵・瀬(ステップ・プール)の形成機構とその設計指針, 水工学論文集, 第40巻, pp.893-900, 1996.
- 川村信也, 長谷川和義, 田中航太: 群別川に見られる礫列の粒径特性と空間分布特性, 土木学会北海道支部論文報告集, 第58号, pp.382-385, 2002.
- 川村信也, 長谷川和義, 張裕平: 群別川におけるステップ・プール内の水理形態と底生生物の関係, 土木学会北海道支部論文報告集, 第59号, pp.286-289, 2003.
- 藤田正治, 道上正規: 千代川における淵の構造と魚類の生息, 水工学論文集, 第40巻, pp.181-187, 1996.
- 江頭進次, 芦田和男, 沢田豊明, 西本直史: 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.
- 田中航太・竜澤宏昌・長谷川和義: 最大粒径移動限界を超える流量による大波高礫列・礫段の形成, 水工学論文集, 第45巻, pp.745-750, 2001.