

< 総説 >

速やかに河道内の遡上環境を改善するための簡易魚道の提案と 現場での実証実験

高橋 直己*, 三澤 有輝**, 柳川 竜一*, 多川 正*

Proposal of Portable Fishways that Enables Quick Improvement of Migration Environment in River Channels and the Field Experiments

Naoki TAKAHASHI, Yuki MISAWA, Ryoichi YANAGAWA and Tadashi TAGAWA

* Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Kagawa College, 355 Chokushi-cho, Takamatsu, Kagawa 761-8058, Japan

** Advanced Course in Industrial and Systems Engineering, National Institute of Technology, Kagawa College,
355 Chokushi-cho, Takamatsu, Kagawa 761-8058, Japan

Abstract

The installation of portable fishways is one of the effective solutions to support the upstream migration of aquatic organisms. The authors have been tried to develop portable fishways for volunteer activities and the demonstration experiments. Local residents can handle those fishways even if they don't have the expertise. In some experiments, water depth and the flow velocity have been measured in fishway pools and partitions. Also, it has been confirmed in the field observation that the installation of the portable fishways enabled the upstream migration of small aquatic organisms such as juvenile Ayu fish and Gobies. This paper presents the flow characteristics of the portable fishways and the status of utilization of small aquatic organisms in several river fields.

Key Words: portable fishway, upstream migration, aquatic organisms, local flow, flow characteristics

1. はじめに

河川に生息する水生生物にとって、水系が連続していることは重要である。よって河川横断構造物には水生生物の移動に配慮した魚道が設けられる。近年では、傾斜側壁によって魚道両岸に緩やかな水際の流れを創出する台形断面魚道¹⁾などの、多様な水生生物の遡上を考慮した魚道が提案されている。一方で魚道整備の必要な現場は数多く存在し、コンクリートや巨石を用いる大規模な魚道（以降、恒久魚道と呼ぶ）の設置には労力・費用・時間・専門知識を要するため、恒久魚道のみで水系における水生生物の遡上環境を改善することは難しい。低落差の遡上阻害地点については、河川管理者と地域住民が連携して簡易的な魚道を運用することができれば、費用等の理由で恒久魚道の設置が難しい箇所に遡上環境を速やかに構築できると考えられる。そこで著者らは、地域住民によって運用可能な簡易魚道の実用化を目指し、試作魚道の製作と実証実験を行っている^{2),3),4)}。

簡易的に設置できる魚道については、安田らによる蛇籠を用いた梯子型魚道⁵⁾、浜野らによる粗石を用いた水辺の小わざ魚道⁶⁾、赤司らによる流速制御装置を取り付けたパイプ魚道⁷⁾など、さまざまな形式の魚道が提案されている。著者らの提案魚道の特徴は、製作・設置に高価もしくは特殊な材料と工法および専門知識を必要とせず、少人数での設置撤去が可能であるため、水系の環境保全を望む地域住民が自ら容易に簡易魚道を扱える点である。本稿では、一連の試

*国立高専機構 香川高等専門学校 建設環境工学科 〒761-8058 香川県高松市勅使町 355

*国立高専機構 香川高等専門学校 専攻科 創造工学専攻 〒761-8058 香川県高松市勅使町 355

作魚道の提案と実証実験に関する研究成果についてまとめる。

2. 速やかに遡上環境を改善するための簡易魚道の構想と試作

地域住民が自ら簡易魚道を製作・運用して水生生物の遡上環境を構築することによる流域環境の改善を実現するため、著者らは以下の特徴を持つ簡易魚道の開発を目指している。

- 1) 特殊な材料・工法を必要とせず、低コストかつ容易に作製することができる。
- 2) 持ち運ぶことが可能で、水生生物が集まりやすい場所に魚道の遡上入口を設けつつ、魚道勾配を容易に調整することができる。
- 3) 魚道の取り付けにアンカーなどの器具を必要とせず、設置箇所（堰堤など）を傷つけない。
- 4) 専門知識を持たない者でも簡単に扱うことができる。

上記のコンセプトにもとづく試作魚道として、高橋らにより、合板、単管パイプ、持ち運び可能な大きさの蛇籠および河原の石を用いて作製する簡易魚道が提案され、実証実験が行われている²⁾。この実証実験で用いられた簡易魚道を **Fig.1** および **Fig.2** に示す（以降、1号魚道と呼ぶ）。この魚道は、単管パイプで組んだフレームの上に、内部構造を構成する合板、石、蛇籠を配置することで完成する。越流堰下流部では遊泳魚が堰を越流する流れに誘導されやすく、堰から張り出した魚道では、遊泳魚が魚道の遡上入口を発見できずに越流堰直下へ迷入する可能性が高い⁹⁾。**Fig.2** に示すように、この簡易魚道は堰軸に平行に設置されるため、遊泳魚が迷入しやすい越流堰直下に遡上入口を設けることが可能である。さらにこの設置形式により、遡上入口を越流堰直下に設けた状態で魚道勾配を容易に調整することができる。堰越流斜面と魚道底面のなす角度は約 120° であり、合板の上に配置する蛇籠と石によって魚道内の流れが制御される。この魚道では、配置した石と合板の間のできる水際を、遊泳魚の主な遡上経路としている。また遡上時の休憩箇所として、石組みによって約 20 cm ごとに流れの穏やかな箇所を設けている。

本魚道については、実証実験（鳥取県八東川の堰堤にて実施）にて、魚道に進入したアユが石と合板の間のできる水際の流れ（流下方向の流速約 123 cm/s）と、休憩箇所の流れ（流下方向の流速約 28 cm/s）を交互に移動することで遡上に成功したことが確認されている。しかし、蛇籠や石の運搬に労力を要し、加えてそれらの部品を組み合わせる良好な流況を創出するには、部品の配置に関してある程度の専門知識と時間が必要であった。よって部品の配置に時間を要すること、またそれらの運搬に労力を要することが1号魚道の課題となった。

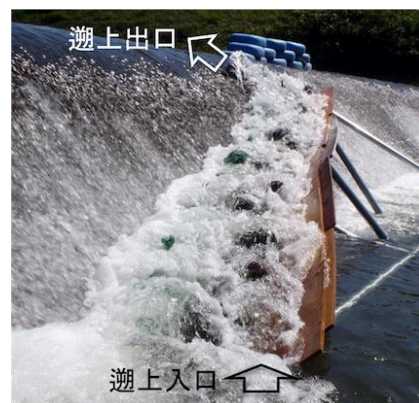


Fig.1 The first prototype of the proposed portable fishways.

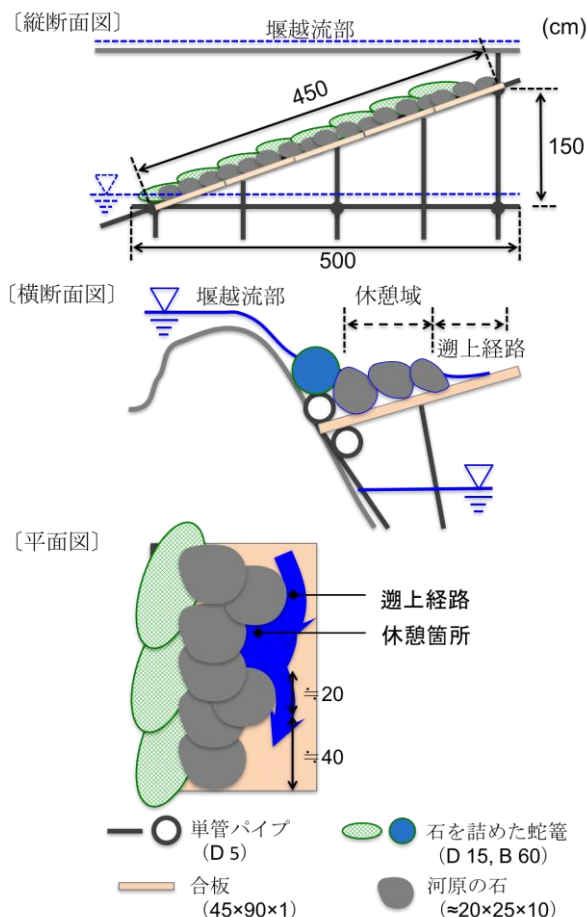


Fig.2 Specifications of the first prototype fishway.

3. 試作魚道の改良

3.1 魚道構造の改良点

1号魚道の課題について、高橋らは、Fig.3に示す構造に改良することで解決を試みている³⁾(以降、改良後の試作魚道を2号魚道と呼ぶ)。2号魚道は、直角に結合した合板に角材で作製した隔壁を打ち込み、休憩箇所と遡上経路となる隔壁両端からの流れを交互に形成する構造となっている。これにより、1号魚道で課題となった石の配置調整に要する時間を省くとともに、魚道内部構造を軽量化している。なお、1号魚道では魚道全体に堰からの越流を流入させたが、魚道内流況を安定させるため、2号魚道では魚道上流端のみから流入させる方式に変更した。1号魚道の設置は、大人2名で行う場合約30分の時間を要したが、内部構造を簡略化した2号魚道では、同条件における設置に要する時間を、約15分に短縮することができた。

3.2 2号魚道を用いた実証実験

2号魚道の実証実験(鳥取県八東川の堰堤にて実施)は、越流堰下流部にアユが滞留している現場にて行われた。現場の概要をFig.4に示す。また水深・流速の測点をFig.5に示す。平水時における堰上下流の水面差は約1.5mであり、越流面は1:0.68(鉛直:水平)の急勾配を有する。よって稚アユなどの小型遊泳魚にとって、対象の堰越流面を利用して遡上することは困難である。

3.3 2号魚道におけるアユの遡上状況と魚道内流況

魚道利用状況調査(2012年6月7日15:00~18:00, 実験時水温約21℃)での、2号魚道における稚アユ(*Plecoglossus altivelis altivelis*)の遡上状況をFig.6に示す。遡上数の計測では、簡易魚道の遡上入口周辺および魚道内部をビデオカメラで撮影し、記録した映像にて遡上出口から越流堰の天端を通過していくアユの個体数を計測した。図より、アユの群が漸続的に魚道を利用したことが分かる。また遡上入口から遡上出口に至るまで、アユの跳躍行動はほとんど観察されなかった。よって本魚道を利用することで、アユにとってより負担の少ない遡上が可能であり、鳥類などの天敵からも狙われにくいと考えられた¹⁾。

アユが2号魚道を利用して遡上した際の魚道内流量(約4L/s)の条件で実施された魚道内流況調査の結果を、Fig.7

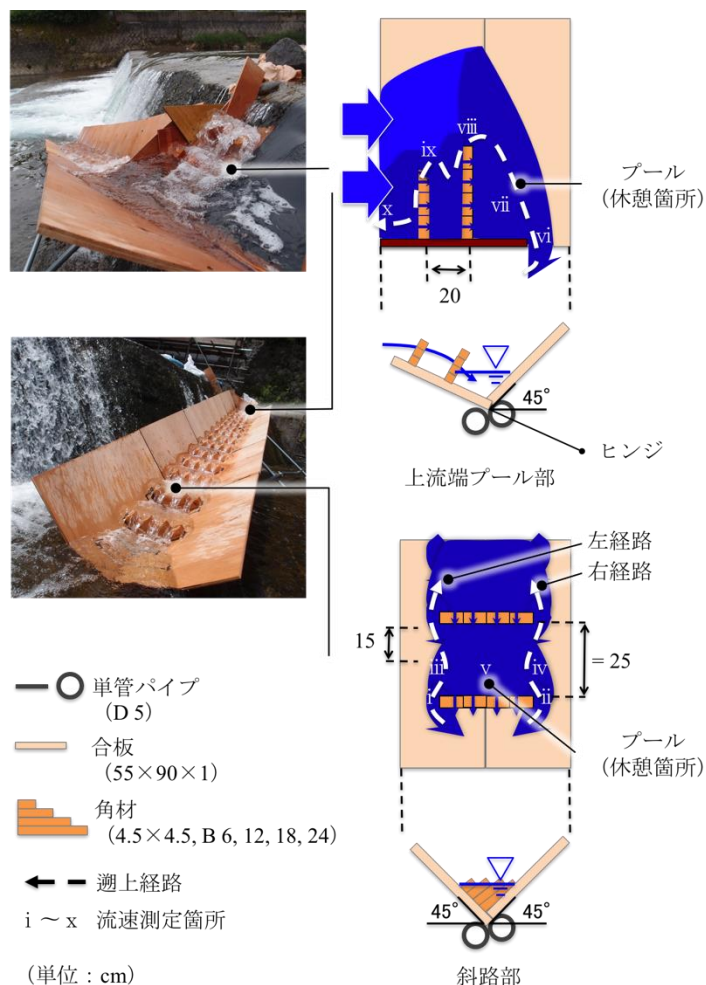


Fig.3 Specifications of the second prototype of the proposed portable fishways.

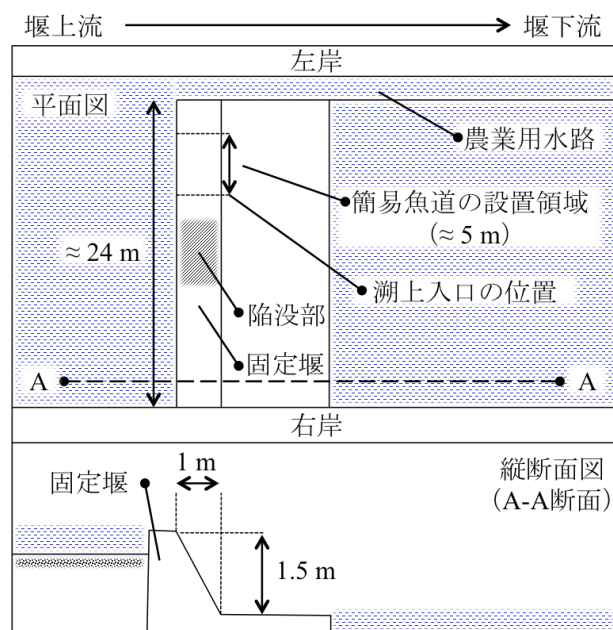
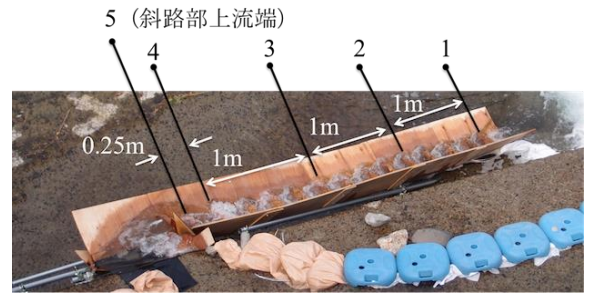


Fig.4 Outline of the field for the demonstration experiment of the second prototype fishway.



a) 設置状況



b) 斜路部における水深・流速の測点

Fig.5 Measurement points of water depth and flow velocity in the second prototype fishway.

と Fig.8 に示す (Fig.8 の流速値は、プロペラ式流速計 (KENEK VR-201) にて測定された、流下方向における 40 秒間の時間平均流速である)。各測点におけるプール最深部の水深は平均 18.4 cm であり、遡上入口から魚道上流端まで安定していた。

各測定箇所における流速の平均値は、右経路隔壁端 (i) で 51 cm/s, 左経路隔壁端 (ii) で 47 cm/s, 休憩箇所の右水際付近 (iii) で 10 cm/s であった。一方で休憩箇所の左水際付近 (iv) の流速は、測点 1~3 では右水際付近と同程度の値で安定していたが、測点 4 において 68 cm/s となった。2 号魚道では、上流端プール部からの流れが左経路側へ流入する。測点 4 で休憩箇所左水際付近の流速だけが大きくなっていったことから、上流端プール部からの流れが斜路上流端プールで減勢されず、測点 4 の左水際付近に流入した後に減勢されたと考えられる。ただし調査時の流況では、アユは比較的流れが乱れているこのような箇所でも遡上していた。休憩箇所では、水面近くに緩やかな流れが形成されており、流速は平均 9 cm/s であった。また全体的に底面付近の流速が大きく、上流側の隔壁から潜り込む流れが発生していたと考えられる。ただし上流端に近い測点では、中間付近の流速が大きかった。これについては、左側遡上経路の流況と同様に、上流端プール部からの流入が影響していると考えられる。

斜路部と上流端プール部の接続箇所 (vi) の流速は、84 cm/s であった。上流端プール部へ遡上したアユは、プール部 (vii:4 cm/s) で休憩した後、隔壁端 (viii:116 cm/s, ix:125 cm/s) および堰との接続部 (x:120 cm/s) を通過して堰上流側へ遡上した。

4. 多様な水生生物の遡上を考慮した提案魚道の隔壁形状に関する検討

4.1 隔壁の改良点

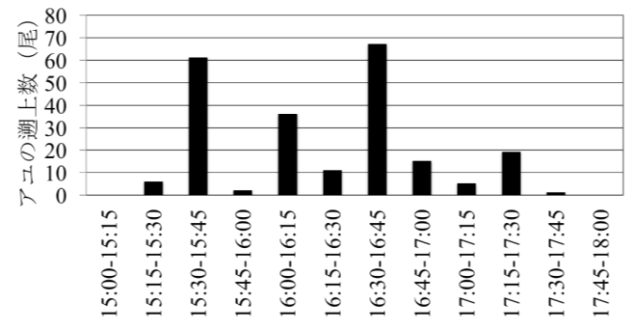
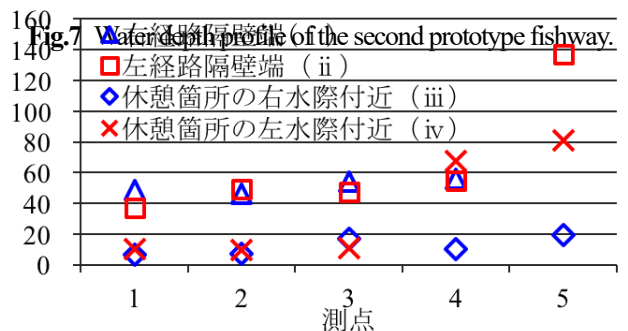
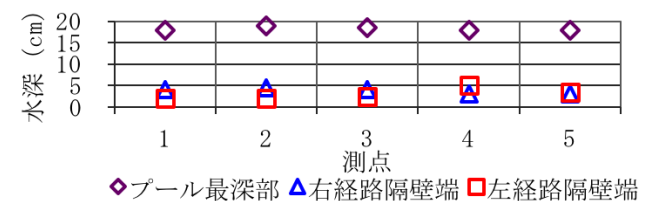
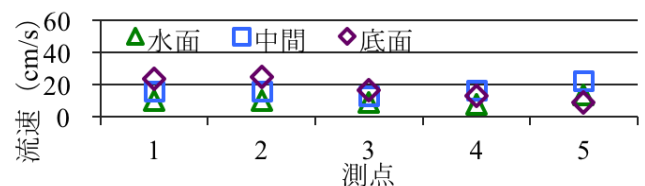


Fig.6 Numbers of juvenile Ayu fish that migrated to the upstream side of weir through the second prototype fishway.

また測点 4 は、斜路上流端プールの直下に位置する。



a) 遡上経路



b) 休憩箇所

Fig.8 Flow velocity profile of the second prototype fishway.

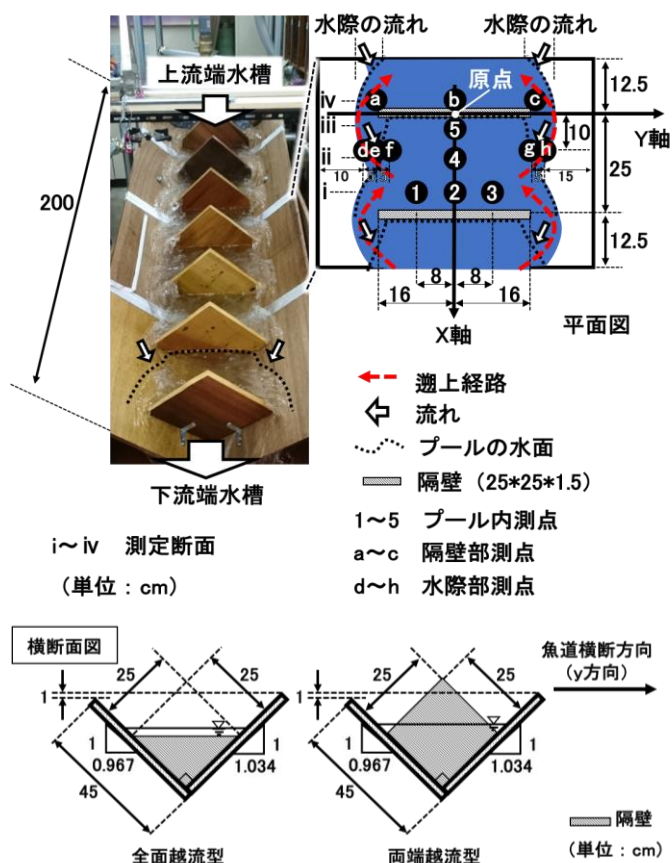


Fig.9 Specifications of the third prototype of the proposed portable fishways.

遊泳力が小さな水生生物が遡上する際は、魚道両岸の水際の流れが重要になる¹⁾。2号魚道の実証実験では、提案魚道の隔壁形状が、水生生物の移動経路となる魚道両岸の水際や、休憩用プールの流れに与える影響については十分に検討されていなかった。著者らは、Fig.9に示す菱形（両端越流型）隔壁によって魚道両岸の水深を増加させ、水際の領域を拡大させることを試み、隔壁形状と提案魚道の流況特性に関する実験的検討を行った⁴⁾（以降、両端越流型隔壁を用いた試作魚道を3号魚道と呼ぶ）。Fig.9に示す流速の測定断面は、プール内の最大水深となる測点2を有する断面をi、上流側の隔壁裏をiii、その中央をiiとし、隔壁の直上流をivとしている。なお2号魚道の実証実験では、角材を組み合わせた隔壁³⁾を用いたが、この実験では両隔壁型ともに耐水ベニヤ板で作製したものを使用して実験を行った。

4.2 隔壁形状が提案魚道内の流況に与える影響

Fig.10に、同一条件（水平面に対する魚道設置角 20° ，魚道内流量 4 L/s ）における、2号魚道（全面越流型）と3号魚道（両端越流型）の平面流速ベクトルを示す。図中の流速値は、2次元電磁流速計（KENEK VP2500，採取間隔 12.5 ms ）で測定した60秒間の時間平均流速を示している。流速ベクトルについては、プール内5割水深と隔壁部にて特徴的な変化がみられた。Fig.10に示すように、測点1, 2, 3では全面越流型の流速は両端越流型より大きく、5割水深の付近に上流側隔壁を越流した流れが集中していると考えられた。両端越流型では5割水深の流速が小さく、中層を泳ぐ遊泳魚にとってプール内の最大水深となる測点2は休息しやすい流速場になると考えられる。一方で図に示されるように、両端越流型の隔壁部では、越流する流れが両端に集まることで全面越流型より流速が上昇した。ただし図中の値は流速計プローブ（ 2 cm ）を挿入可能な箇所の測定値であり、測定箇所よりも側壁に近い領域に浅く緩やかな水際の

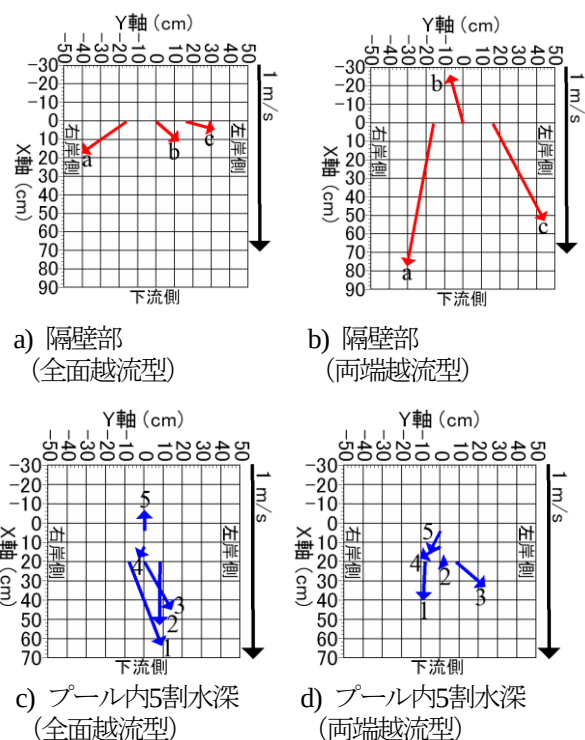


Fig.10 Flow velocity vector profile of the third prototype fishway at the partition and the pool.

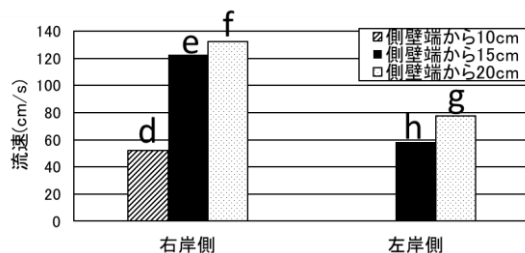


Fig.11 Flow velocity profile of the third prototype fishway near the water border at the both sides.

流れが形成されていることを、ピトー管（管径φ4、長さ 380 mm）を用いた流速測定により確認している。

Fig.11 に、両端越流型における水際部の流速分布を示す。図より、流心部の測点（e, f, g）と比べて、側壁端に近い測点（d, h）では流速の小さな箇所が存在し、魚道兩岸に多様な流速場が形成されていることがわかる。よって隔壁形状の変更による隔壁端部流速の上昇により、提案魚道の機能が損なわれることはないと考えられる^{1),3)}。

隔壁形状を両端越流型に変更した結果、休憩用プール間を繋ぐ越流水脈（遡上区間）の水深は約 4.5 倍大きくなった。よって両端越流型隔壁を使用することで、提案魚道の水際の領域を拡大させ、多様な水生生物の遡上に対応できると考えられた¹⁾。

4.3 3号魚道を用いた実証実験

Fig.12 に、3号魚道を用いた実証実験（島根県静間川の堰堤にて実施）の現場を示す。現場の水叩きから堰天端までの高さは約 1 m である。魚道は設置されておらず、平時時には 80 cm 以上の落差が生じているため、水生生物が遡上する際の障害となっている。Fig.13 に、現場に設置した 3号魚道を示す（魚道長 250 cm、水平面に対する魚道設置角 18°、魚道内流量約 4.5 L/s）。実験日（2016 年 5 月 21 日、実験時水温約 21℃）の、9:30 における堰越流部水深は約 6.5 cm、水叩き上の水深は約 18.5 cm であり、18:00 まで大きな水深変化はなかった。

魚道上流端からの流れ込みの影響がみられなくなった位置（Fig.13 の Pool5）にて水理量を測定したところ、プール内測点 2（Fig.9）の流速（プロペラ式流速計（KENEK VR-301）にて測定された、流下方向における 10 秒間の時間平均流速）は、2 割水深で 18 cm/s、5 割水深で 16 cm/s、8 割水深で 15 cm/s であり、隔壁裏は 8 cm/s であった。隔壁両端の流れは、右岸側が 138 cm/s（水深約 7 cm）、左岸側が 68 cm/s（水深約 5 cm）であった。室内実験時よりも流量が多く、魚道本体の若干の傾きにより右岸側に流れが集まっている様子がみられたが、魚道兩岸とも緩やかな水際部の創出に問題はなかった。Fig.14 に魚道内で確認された水生生物を示す。図より魚道下流端から上流端まで、底生魚であるウキゴリ類が利用していたことがわかる。Fig.15 に魚道内でみられたウキゴリ類の全長を示す



- ① 提案魚道の組み立て場所
- ② 提案魚道の設置場所

Fig.12 Outline of the field for the demonstration experiment of the third prototype fishway.

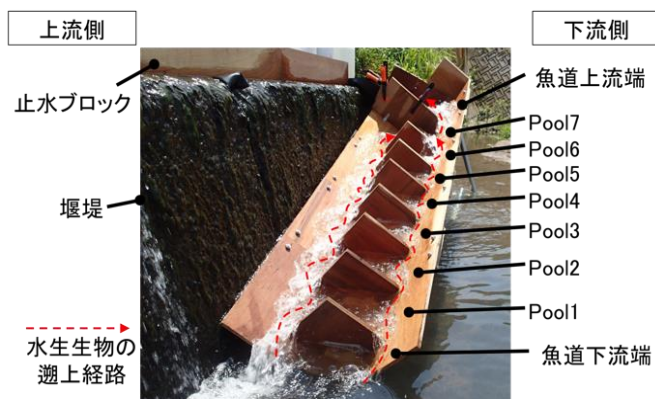
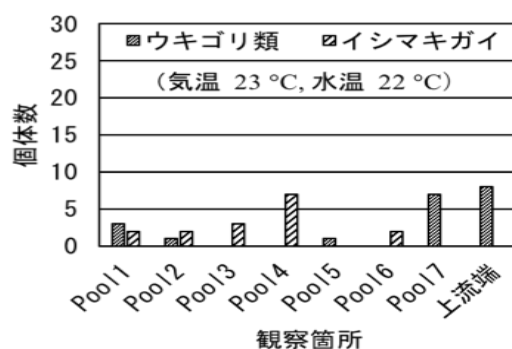
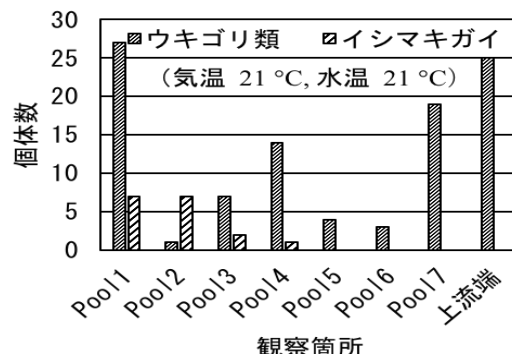


Fig.13 Measurement and observation points of water depth, flow velocity, and migration of aquatic organisms in the third prototype fishway.



a) 16:00



b) 18:00

Fig.14 Numbers of aquatic organisms observed in the third prototype fishway.

(採捕個体は全長測定後に現場に戻した)。測定したウキゴリ類の平均全長は 3.8 cm (標準偏差 0.26 cm) であり、採捕した個体の多くは遡上期のスマウキゴリ (*Gymnogobius petschiliensis*) であると考えられた。魚道内でみられたウキゴリ類およびイシマキガイ (*Clithon retropictus*) は回遊性の水生生物であり、提案魚道がこれらと同等の遡上能力をもつ小型水生生物の遡上環境構築において有効な手段であることが確認された。

Fig.16 に提案魚道内におけるウキゴリ類およびイシマキガイの遡上の様子を示す。調査時の魚道隔壁端の流速は右岸側が大きくなっていたが、撮影した映像を確認したところ、ウキゴリ類は右岸側を問題なく遡上していた。ウキゴリ類の遊泳能力については、矢田谷らにより体長 3 cm 台のウキゴリ類の遊泳速度は 56 ~ 107 cm/s であり、44 cm/s や 53 cm/s の流速条件にて、吸盤を使つての前進と吸着を繰り返すことが困難になることが報告されている⁹⁾。調査時の魚道右岸の流速はこれらの値を大幅に上回っていたが、ウキゴリ類は水際を遊泳行動のみで遡上して上流側プールへ進入する、もしくは隔壁端水際まで遡上して吸着行動をとった後にプール内へ進入する、という泳ぎ方で遡上していた。これについては、提案魚道内の移動区間が 20 cm 弱の短い距離であり、**Fig.11** に示したように、流速計で測定できない浅い水際の領域に緩やかな流れが創出されていたことが、ウキゴリ類のような遊泳力の低い魚種が遡上できた要因である考えられる。本実験後、提案魚道は地域住民による静間川流域の環境保全活動や環境教育をかねた観察会にて使用され、2016 年 5 月 22 日、6 月 11 日、6 月 12 日の魚道設置時 (設置条件は本調査時と同様) には、ウキゴリ類とイシマキガイに加え、ヨシノボリ類、ヌマエビ類、モクズガニ (*Eriocheir japonica*) が魚道を利用する様子が確認されている。また 2017 年 4 月 29 日には、アユの遡上阻害が発生している落差約 1 m の現場での実証実験 (高知県西谷川の落差工にて実施) にて、**Fig.17** に示すような本魚道を利用したアユの遡上を確認されている (魚道長 250 cm, 水平面に対する魚道設置角 17°, 魚道内流量約 5 L/s, 実験時水温約 24°C)。各実験で使用した 3 号魚道の製作費用は、約 1 万円である。これらの現場での実証実験から、安価かつ容易に製作・設置できる本魚道が、小型の遊泳魚、底生魚、甲殻類、貝類の遡上に対して有効であることが明らかとなった。

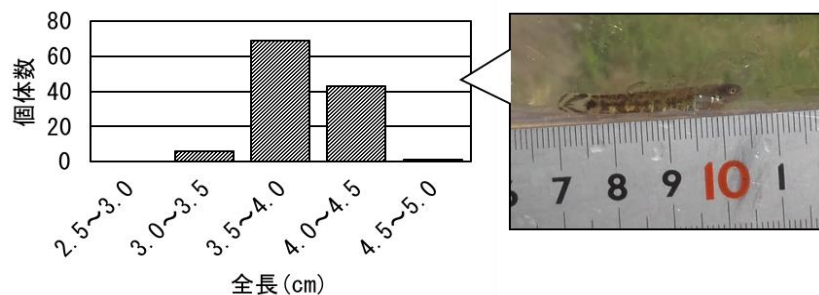


Fig.15 Distribution of total length of gobies that came into the third prototype fishway.

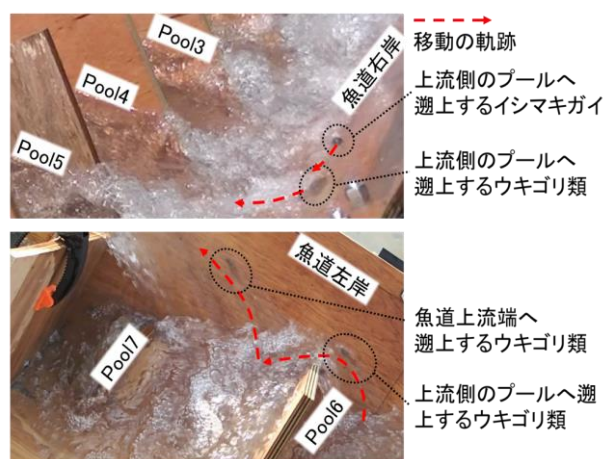


Fig.16 Migration of small aquatic organisms in the third prototype fishway.



Fig.17 Migration of juvenile Ayu fish in the third prototype fishway.

5. おわりに

本稿では、地域住民が自ら簡易魚道を製作・運用して水生生物の遡上環境を構築することによる流域環境の改善を実現するため、著者らが取り組んできた一連の試作魚道の提案と実証実験に関する研究成果についてまとめた。簡易魚道は、遡上阻害を解消するための暫定的な手段ではあるが、専門的な知識を持たなくても、もしくは重機等に関する特殊な技能を持たなくても、自ら製作・設置した魚道で水生生物の移動を助けるという体験ができる点において、恒久魚道には無い魅力がある。今後は、長期間における運用試験を実施し、加えて水系全体を考慮した恒久魚道との効果的な併用方法を検討することで、河川生態系の保全、地域の水産資源の保護、および環境教育の面で流域の環境改善に寄与する簡易魚道とその運用方法を提案していきたい。

謝辞

魚道開発に関して、安田陽一教授（日本大学）、北村義信特任教授（鳥取大学）、清水克之准教授（鳥取大学）より多くの助言を頂いた。香川高専高橋研究室学生諸氏、千代川漁業協同組合、奈半利川淡水漁業協同組合、およびNPO 法人緑と水の連絡会議の皆様からの協力を得て、本研究を実施できた。ここに記して謝意を表します。

参考・引用文献

- 1) 安田陽一（2011）：技術者のための魚道ガイドラインー魚道構造と周辺の流れからわかることー，コロナ社
- 2) 高橋直己，北村義信，清水克之，安田陽一（2012）：越流堰に適する平行設置式簡易魚道の提案，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.68, No.4, pp. I_673-I_678.
- 3) 高橋直己，北村義信，清水克之，安田陽一（2013）：溯上環境の速やかな構築を可能とする平行設置式簡易魚道の提案，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.69, No.4, pp. I_1309-I_1314.
- 4) 高橋直己，長尾涼平，林 和彦，多川 正（2017）：V 型断面簡易魚道の流況特性と小型水生生物の魚道利用状況，土木工学会論文集 B1（水工学），Vol.73, No.4, pp.I_391-I396.
- 5) Yasuda, Y., Ohtsu, I. and Takahashi, M (2004) : New portable fishway design for existing trapezoidal weirs, *Journal of Environmental Engineering and Science*, NRC (National Research Council Canada), Vol.3, No.5, pp.391-401.
- 6) 「水辺の小わざ」プロジェクトチーム（2007）：水辺の小わざ，山口県土木建築部河川課.
- 7) 赤司信義，石川 誠，太田有生夫，福田直三，若宮慎二（2011）：流速制御装置を取り付けたパイプ魚道の遡上機能に関する研究，西日本工業大学紀要，第 41 巻，pp.51-58.
- 8) 高橋直己，北村義信，清水克之（2012）：異なる河川流況下でのアユの遡上状況と遡上環境の評価ー八東川（千代川水系）永野堰の事例ー，農業農村工学会論文集，No.280, pp.1-6.
- 9) 矢田谷健一，泉 完，東 信行，丸居 篤（2016）：河川遡上期のウキゴリ類の遊泳能力に関する基礎実験，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.72, No.4, pp. I_1129-I_1134.