

魚道カルテによる機能評価とサイフォン式 パイプ魚道による遡上モニタリング

和田 清¹・藤井 克哉²・寺町 茂³・太田有生夫⁴・馬淵 洋介⁵

¹正会員（独）国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 教授（〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2）

E-mail:wada@gifu-nct.ac.jp

²学生会員（独）国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 専攻科（同上）

E-mail:2014k13@edu.gifu-nct.ac.jp

³非会員 水圏環境研究会（〒501-0417 岐阜県本巣市屋井936-1）

E-mail:oc93161@fc4.so-net.ne.jp

⁴非会員 西日本工業大学 研究センター（〒800-0394 福岡県京都郡苅田町新津1-11）

E-mail: otayukio@sage.ocn.ne.jp

⁵非会員（公財）岐阜県建設研究センター・ふるさと地理情報センター（〒503-0807 大垣市今宿6-52-18）

E-mail: mabuchi23@gifu.crcr.or.jp

本研究は、岐阜県が管理する河川および砂防施設673箇所の魚道カルテ調査データを用いて、点検結果の分析と補修方法を検討するとともに、管路内に急拡急縮部を挿入して流速減勢を行い、魚類の突進速度以下にまで低減させたサイフォン式パイプ魚道を提案し、その仮設魚道の魚類遡上効果を検討した。その結果、魚道形式、魚道勾配、落差などから、緩勾配および低落差であるほど魚道の評価値は向上し、流量変動に対応するアイスハーバー形式が有利であること、補修方法では、土砂・流木対策、隔壁・粗石の補修、魚道下流部の河床低下などの対策の重要性が指摘された。さらに、魚道カルテ評価値の低い地点にサイフォン式パイプ魚道を仮設することにより魚類遡上の困難な地点が解消され、改善策の有効性が示された。

Key Words : fishway design ,evaluation of fishway, siphon ,migration, habitat, field observation

1. はじめに

魚道は、ダムや堰などの高低差が生じる場所において、魚類や甲殻類の遡上、降下を目的として設置される構造物である。しかしながら、経年的にその機能が失われて十分に機能していない魚道が数多く存在しているのが現状である¹⁾。岐阜県では「清流の国ぎふ」づくりに向けた取り組みとして、県内魚道における魚類等の遡上・降下環境を確保するために、魚道点検による効率的・効果的な魚道の機能を評価し、維持管理に向けた基礎資料の蓄積が2012年度から進められている²⁾。魚道は流域における生態系ネットワーク支援構造物であり、水系の連続性や外来種などを考慮して総合的に整備されるが、この魚道カルテは、魚道の現状を把握するための台帳整備（施設台帳）と概略点検（定期点検）を目的として、魚道施設を機能面から評価されたものである。

本研究は、岐阜県管理河川および砂防施設（673 箇所）

の魚道カルテ調査結果分析と補修工法を検討するとともに、設置が容易で低コストのサイフォン式パイプ魚道³⁾を対象にして、既設魚道が機能していない低落差の河川および魚道が設置されていない農業用水路における魚道機能の回復効果等について検討したものである。

2. 岐阜県における魚道カルテと機能回復

(1) 魚道カルテの概要

岐阜県の魚道カルテは、横断工作物や魚道の整備・改善において魚道の施設台帳が作成され、定期点検、洪水後などの臨時点検を経て、魚道本体の個別評価および河道地形や魚類などの移動性を考慮した総合評価から構成されている。定期点検はフィッシュウェイサポーター制度により年1回、3名以上、1魚道当たり20分程度が基本とされ、簡易的な維持管理作業が同時に行われている²⁾。このように魚道の機能回復と維持管理を強く意識した

PDCAの試みは全国的にも珍しく、既設魚道の改善・再生の継続的な取り組みの事例である。

2012年の魚道カルテ（計673箇所）を用いた点検結果の概要は以下のようなものである⁴⁾。図-1は、ArcGISにより魚道の総合評価指標をマッピングしたものである。魚道機能の総合評価は、A：現状で良好、B：経過を観察、C：調査・改善・改修を要する、の3段階で評価しており、評価A：142（21%）、評価B：258（38%）、評価C：273（41%）となっている。これらの結果から、経年変化とともに機能不全あるいは何らかの課題を抱えている魚道が80%近くに達していることがわかる。魚道形式は、階段式、アイスハーバー型、粗石付き斜路、柵田式、導流壁式などがあり、評価Aの割合が高い形式はアイスハーバー型、逆に評価Cは階段式の割合が多い。前者は比較的新しく設置されたことや、魚道本体が流量変動に対応できる点が有利になっていると考えられる。また、魚道が設置されている横断施設の落差については、評価Aは低落差（1m未満）、逆に評価Cは1m以上～3m未満の割合が多い。また、落差3～5m以上になると評価Aの割合が低落差の場合と同程度となり、洪水時を想定した魚道本体の耐久性や機能が維持しているものと考えられる。さらに、魚道勾配は約1/2～1/50と様々であるが、最も多い勾配は1/10～1/15である。緩勾配ほど評価Aが多く、急勾配になると評価Cの割合が増加する傾向にある。

魚道カルテの評価Cは、主に以下の原因が挙げられている。①魚道本体（隔壁や粗石）の破損、②魚道内の土砂・流木堆積、③魚道下流部の河床低下による落差増加、④魚道上下流の土砂堆積（砂洲）、⑤魚道内部の流量が過多・過少、⑥魚道隔壁形状による強い剥離流、⑦魚道が急勾配、⑧魚道本体の老朽化などである。①～⑤は、土砂移動の多い砂防ダムや上・中流部の河川などでは顕著であり、魚道出口における流量・流砂の一定の制御、河道の滞筋の変化を踏まえた魚道設置の重要性を示唆しているものと考えられる。なお、⑥、⑦は魚道設計において水理学的に解決しやすい課題である。

魚道の機能回復を図る補修工法として、以下の点が提案されている⁴⁾。①魚道本体（隔壁や粗石）の破損については、その原因を取り除くとともに繰り返し破損を伴わないこと、必要に応じて別の魚道形式を検討する。また、粗石の破損と植石については、素材が不均一であるため流量大小の水流をイメージした配置（流水抵抗、非越流部、石裏の窪み、鱗状の階段構造など）を現地で確認しながら施工することが必要である⁵⁾。②魚道内の土砂・流木堆積は人力撤去、上下流の砂洲は重機などによる掘削等を行う。なお、河道滞筋の変遷の観点から魚道位置の関連性についても検討する必要がある。③河床低下の対策として、魚道の下流部への延伸、河床洗掘防止の護床工ブロックなどを併設する。ただし、ブロックは、

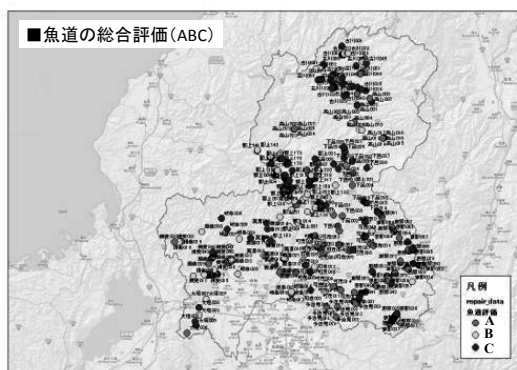


図-1 魚道カルテによる総合評価（ABC）のマッピング

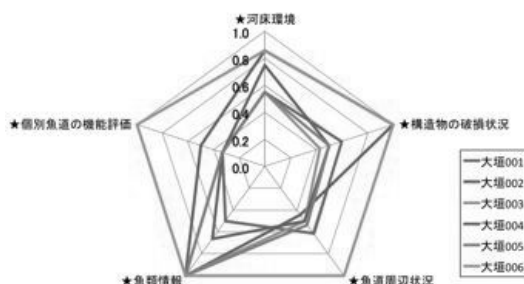


図-2 評価軸による要因分析（例：大垣市牧田川）

減勢効果や河床材の吸い出し防止などの工夫をして、さらなる河床低下を抑制する必要がある。

（2）魚道カルテによる機能回復

生態系ネットワークとしての魚道の機能について、河川の縦断的な連続性とその機能低下の要因を検討するために、一例として図-2のような5つの評価軸のレーダーチャートを用いて、機能低下の要因を抽出した。なお、大垣市牧田川の魚道群6箇所であり、No.6（最上流部）は評価A、No.2は評価B、それ以外は最下流部（No.1）を含めて評価Cである。同図から、評価AのNo.6はすべてにおいて評価値が高くなっているものの、No.2は魚道本体の評価（流況など）と魚道周辺状況（土砂・流木等の堆積など）があるために評価が低くなっている。また、他の地点では、構造物の破損状況や河床環境（滞筋変化、河床洗掘による落差など）のために、魚類情報（集魚や遡上状況）が劣化していることがわかる。このように、主要な評価軸の内、どの因子を補修・改善すれば個々の魚道の機能が回復し、水系の連続性が確保されるかをB/Cなどの指標も加えながら優先順位を付けて、詳細に検討する必要がある。さらには、この評価に基づいて改善された魚道の機能がどの程度回復、維持しているかの継続的なモニタリングも欠かすことができない⁶⁾。また、魚道カルテが抱える課題として、評価項目の過不足、妥

当性、評価者の経験や流量の異なる状況下におけるバラツキなどが考えられるが、今後、複数年の継続的なモニタリングの相互比較などから評価方法の信頼性を増すことが求められる。

3. サイフォン式パイプ魚道の概要

設置が容易な簡易魚道としては、木製の階段式水路魚道やパイプ魚道などが提案されている¹⁾。パイプ式魚道は、管路内に抵抗板などを挿入し、流れの集中と分散を創出して魚類の遡上機能を持たせたものである⁷⁾。

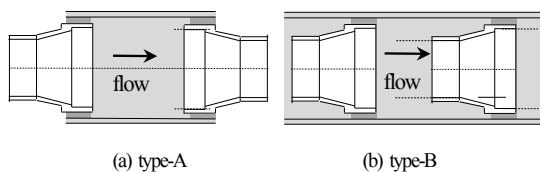


図-3 管路とリデューサーの配置状況

本研究で対象とするサイフォン式パイプ魚道は、図-3のように、塩ビパイプの異径管の継ぎ手として利用されるインクリーザーと管路を接続した流速制御構造である。以後、このインクリーザーは、流速低減に利用するためリデューサーと呼ぶ。このリデューサーにより管径が変化し、急拡大急縮の形状損失によりエネルギー減衰を発生させ、魚類が遡上可能となる所定の流速値まで減衰するものである。このリデューサーの個数を調整することにより、任意の流速まで減速することができる。

このパイプ魚道は、設置・取外しの着脱が容易で、設置地点を任意に選択できる魚道であることから、堰やゲートが多用される農業用水路などのように、魚道が設置されていない場所に遡上期間の一時的に設置することも可能である。また、通常、魚道は下流水位が低下すると入口部と下流水面に落差が生じて、魚道の機能を果たさなくなる。このような既設魚道においてサイフォン原理を利用することにより、堰からの越流が少ない場合でもパイプ内の流量は必要最小限に抑えることができ、遡上機能を維持できることが大きな特徴である⁷⁸⁾。

水理実験により、パイプ魚道に複合管（type-Bを基準）として用いるユニット数と水位差、管路急縮部（最大流速）流速の算定式が求められている³⁾。したがって、パイプ魚道の設置を想定した条件：水位差、設計流速が与えられれば、必要なユニット数が算定される。なお、魚類の体長をBLとした場合、突進速度は10～15 BL/s と近似されるので¹⁾、対象魚種を遡上させるためには、ボトルネックとなる管内流速をその値以下にする必要がある。なお、落差1mの場所に体長5cm程度の稚アユが遡上可能なユニット数は20個程度あればよいと計算される。

4. 現地河川における魚類の遡上実験

(1) 現地実験の概要

水理実験から、リデューサーを使用したパイプ魚道により、魚類が遡上可能な流速にまで減衰させることが可能であることが示された³⁾。このことを踏まえて、サイフォン式パイプ魚道を用いた現地実験を行った。現地河川への適合性・施工・管理の面も含めて検討を行い、在来魚（稚アユ、オイカワなど）の遡上を定量化し、パイプ魚道の機能の有効性を評価した。現地実験の対象地点は、岐阜県の一級河川である根尾川木知原地区の床固工周辺である。図-4は、現地実験の状況を示したものである。同図(a)から、この地点には、コンクリート製の階段式魚道が設置されているものの、魚道出口と上流水面との落差が大きく、魚類の遡上を困難にしている。実験は、同図(b)(c)に示すように、2013年6月22日、事前に仮組したパイプ魚道を現地において組立て設置し、6月29日に在来魚種を用いた遡上実験を行った。遡上実験は、11:50~13:04までの1時間14分である。パイプ魚道は、既設の階段式魚道に隣接する床固工に設置し、実験開始時の水位差は0.80m、パイプ魚道最大高さ 1.47m である。また、同図(d)に示すように、魚道入口部には土嚢とネットにより一定の水域を確保した。実験方法は、魚道入口部に在来魚を放流し、その遊泳行動を魚道入口部に設置した水中カメラおよび透明パイプの観察部2箇所（水平・出口）において、遡上実験開始と同時にビデオ撮影を行った。さらに、魚道出口にはトラップを仕掛けて遡上魚類を採捕した。遡上実験に使用した在来魚はオイカワ、アブラハヤなど19種類242個体である。

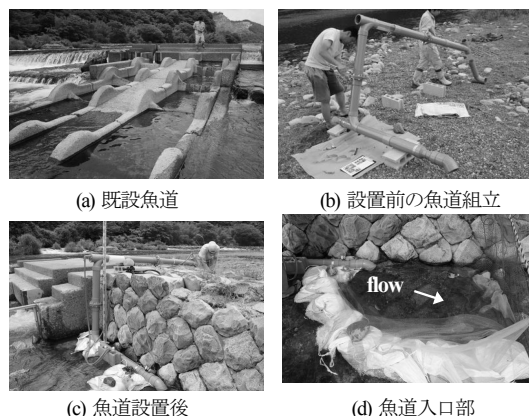


図-4 パイプ魚道の現地実験の概要

(2) 使用したパイプ魚道

図-5は、魚類の遡上状況を示したものである。同図(a)のように、実験に使用したパイプ魚道は、エアータキおよび魚類の休憩場所としての効果を意図して、45度の継

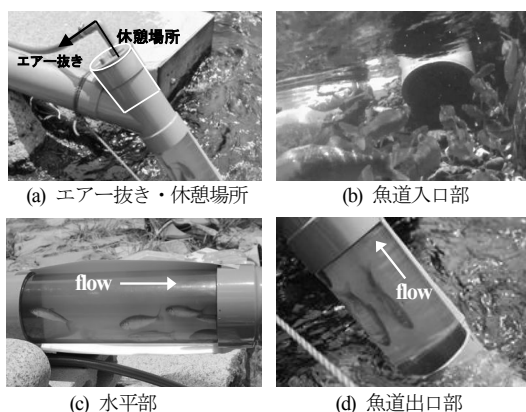


図-5 魚類の遡上状況

ぎ手塩ビ管を接合部に配置した。遡上実験において、外管にはVU100、リデューサーはVU75×50を使用し、最大水位差を1mとして、魚類が遡上可能となる流速まで減衰させるために必要となるリデューサー数を計算した。その結果、リデューサー高速部で平均流速1.09 m/s、低速部（魚道入口部）で平均流速0.30 m/sを条件として、管内にリデューサー22個を設置した。現地に設置し、エアー抜き等の作業を経て流水が完了した後に、電磁流速計（KENEK製、VP2000）による流速測定を行ったところ、魚道入口の末端流速は、0.308 m/sまで減衰されていることが確認された。

(3) 実験結果および考察

在来魚を用いた遡上実験放流後、最終的に魚道入口部と魚道出口（トラップ内）にいた魚類数から、パイプ内に残留した個体数を求めた。魚道入口部に在来魚を放流したところ、図-5(b)のように、短時間で魚道入口部からパイプ内に侵入する様子が確認された。放流後3～5分程度で水平部分の透明パイプに（同図(c)参照）、その後出口付近には最短1分以内で到達したオイカワが先頭個体として確認された（同図(d)参照）。その後も、オイカワを主体とする個体群がパイプ内を移動していく様子が確認された。

在来魚19種類のすべてがパイプ内に侵入し、その中でも、オイカワ、タカハヤ、アブラハヤ、カワヨシノボリはトラップにまで到達した。その他の魚種は、パイプ内に侵入後、管路の内部に留まっている。これは、遡上実験が1時間程度と短時間であり、魚類が管内に侵入したものの、出口まで辿り着くことを確認できなかった。

透明パイプの観察部である検査面（水平部と出口付近）におけるビデオ撮影によって得られた出現個体数を1分毎に示した結果によれば、水平部では、放流後15分から30分にかけて個体数のピークが見られる。その後、放流後40分から60分にかけて出口部を通過する魚類が増えて

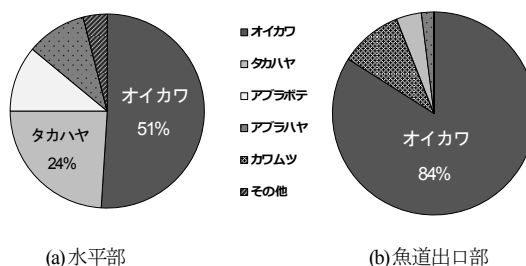


図-6 検査面を通過した魚種の割合

おり、入口部に放流した後、約1時間程度で、魚道出口部まで移動していると考えられる。ここで、ビデオ撮影によると、一気に上流まで通過する魚類の他に、透明パイプ内を通過した魚類が上流から再び透明パイプ内に戻る様子が確認されており、管内に侵入した魚類は、遡上・滞留・降下を繰り返しながら移動していることが確認された。

図-6は、検査面を通過した総個体数を、魚種別の内訳で示したものである。水平部で確認された魚種は、10種であり、オイカワ、タカハヤ、アブラボテ、アブラハヤ、カワヒガイ、ヤリタナゴ、タモロコ、コイ、アユ、ウグイである。出口部では、オイカワ、カワムツ、タカハヤ、アブラハヤの4種類のみ確認することができた。オイカワは魚道出口トラップでも確認された優占種であり、遡上した魚種に大きな偏りがあったことがわかる。また、製作したパイプ魚道内には休憩場所が少ないため、魚類が管内に遡上後、出口部で確認された魚種は、オイカワなどの比較的遊泳力の高い魚種に限定された。

今回用いた現地実験に用いたパイプ魚道は、外管にリデューサーを挿入する直線状の構造形式であるため、魚類の休憩場所が少なくなる。パイプ魚道内に休憩場所となるような連結部（止水域）を複数設置するなど、一時的に休憩可能な空間を組み込んだ構造形式を検討することが課題とされた。

5. 農業用水路における魚類の遡上実験

(1) 現地実験の概要

図-7に示すように、本県市内の農業用水路にパイプ魚道を設置した（2013年9月7日）。現地水位差は1.6m、



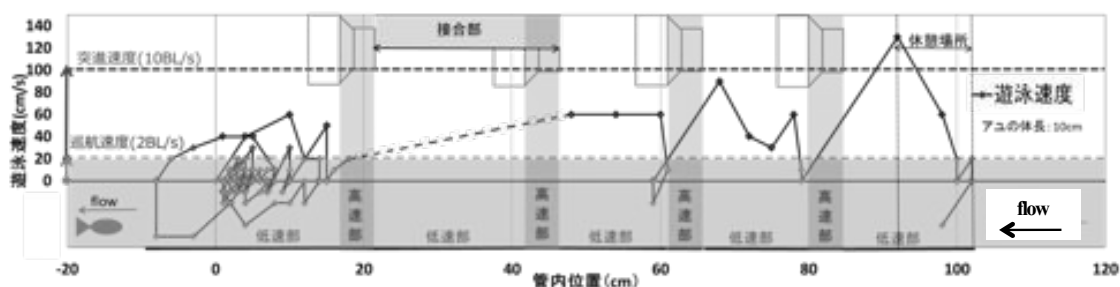


図8 パイプ魚道内における稚アユの遡上経路と遊泳速度

リデューサー数 31 個，設計流速は低速部で 0.36m/s，高速部で 1.30m/s とした。根尾川木知原地区での遡上実験の結果を受けて，魚類の遊泳行動を確認するために魚道全体に透明パイプを使用した。また魚道鉛直部に魚類の休憩場所となることを意図して，止水域となる箇所を 2 箇所設置した。休憩場所の長さはそれぞれ 20cm（下部），40cm（上部）とした。この魚道の遡上機能の確認後，一定期間パイプ魚道を設置することにより，在来魚の遡上種の確認およびサイフォン式パイプ魚道の維持機能を評価した。電磁流速計を用いて魚道入口の流速を測定した結果，0.363m/s まで減速していることを確認した。2 箇所設けた休憩場所のうち，上部に長く滞留する魚類が多く見られ（図-7 参照），下部に侵入する姿も見られたが短時間であった。さらに，モニタリング期間には，約 1 ヶ月間に渡りサイフォン効果が途切れることなく流水状況が続いた。また，現地の在来魚（オイカワなど）が上流部の水路まで遡上していることがトラップにより採捕され，本パイプ魚道の遡上機能が確認された。

(2) 管路内の稚アユの遡上行動

図-8 は，透明パイプ内を遡上する稚アユの経路をビデオ撮影により可視化し，管内を遡上する遊泳速度の変化を示したものである。使用したビデオカメラは 30fps，解析ソフト上 $\Delta t=0.1s$ に間引いて図化している。同図には，稚アユ（体長 $BL=10cm$ ）の巡航速度 2BL/s（20cm/s）と突進速度 10BL/s（100cm/s）が併記されている。接合部については，不透過のため 0.5s 間の平均速度で図示している。同図から，管内 0cm 付近で魚類が比較的長く滞留していることがわかる。これは急拡大部による局所渦流の影響や接合部（不透過）による魚類の明暗反応のためなどが考えられる。また，接合部を通過した後の魚類は短時間で休憩場所にまで遡上している。その過程は，リデューサー低速部（急拡大部）において巡航速度程度にまで減速して体勢を立て直し，その後突進速度まで加速して一気に高速部（急縮部）を通過しており，低速部での滞留と高速部での突進を繰り返しながら遡上している状況が明らかにされた。したがって，移動経路に隣接し

た適度な休憩場所の確保は，魚類にとってきわめて有効であることがわかる。

6. おわりに

本研究により，岐阜県管理河川および砂防施設の 673 箇所の「魚道カルテ」調査による魚道の機能回復の点検結果の分析と補修工法を検討するとともに，魚類生息環境の改善案としてリデューサーを設置したサイフォン式パイプ魚道の有効性が確認された。本研究で得られた結論は以下のようなものである。

魚道カルテの点検データ分析から，魚道形式，魚道勾配，落差などから，緩勾配，低落差であるほど評価値は向上すること，流量変動に対応するアイスバー型が有利であることなどが確認された。補修工法では，土砂・流木対策，隔壁・粗石の補修，魚道下流側の河床低下の対策などについて検討されるとともに，洪水時を意識した事前設計の重要性が指摘された。

既設魚道の機能が低下している現地仮設実験では，パイプ魚道による在来魚の遡上効果が確認された。また，魚種によるパイプ魚道の選択性があり，今回の水理条件ではオイカワが優占種であった。なお，短時間の遡上実験のために，多くの魚類が管内に留まった状態で，出口部では確認された魚種は 19 種のうち 4 種に限定された。さらに，魚道が設置されていない農業用水の落差にパイプ魚道を設置し，魚道全体を透明にして製作，遡上経路に隣接して休憩場所となる止水部を適宜配置し，魚類の遡上行動や休憩場所の利用状況などを詳細に検討した。農業用水路の落差工に設置した現地実験によって効果的な魚道構造形式の一案が示された。今後は，魚道カルテの評価軸の検証をモデル河川において実施し，機能再生策の妥当性を検討する予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり，岐阜県岐阜土木事務所河川砂防課，根尾川筋漁業協同組合，本築市役所建設課の多大な協力をいただいた。また，魚類遡上実験等では，

小木曾 雄平君（岐阜工業高等専門学校専攻科）の協力を得た。最後に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 中村俊六：魚道のはなし，リバーフロント整備センター，山海堂，225p., 1995.
- 2) 岐阜県自然共生工法研究会魚道研究専門 WG：清流の国ぎふ・魚道カルテ手引書（案），岐阜県自然共生工法研究会，28p., 2012.
- 3) 和田 清・田中俊吾・藤井克哉・太田有生夫・寺町茂：サイフォン式パイプ魚道の技術開発と魚類の遡上モニタリング-岐阜県根尾川を対象として-，土木学会第 41 回環境システム研究論文発表会講演集，pp.509-514, 2013.
- 4) 奥田好章：岐阜県内における魚道点検結果の分析と補修工法の提案（中間報告），岐阜県自然共生工法研究会，pp.3-10, 2013.
- 5) 浜野龍夫・高橋勇夫：水辺の小わざ，アユを育てる川仕事（古川彰・高橋勇夫編），築地書館，pp.104-115, 2010.
- 6) 国土交通省河川局，魚がのぼりやすい川づくりの手引き，155p., 2005.
- 7) 赤司信義・石川 誠・太田有生夫ほか：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実験，西日本工業大学紀要，第 41 巻，pp.51-58, 2011.
- 8) Yukio OTA, Nobuyoshi AKASHI et.al : Design of Siphon System Pipe-type Fishway and Installation in Indonesia, 西日本工業大学紀要，vol.42, pp.75-82, 2011.

(2014. 7. 11 受付)

EVALUATION OF FISHWAY AND DEVELOPMENT OF THE SIPHON-PIPE TYPE FISH PASSAGE WITH MONITORING OF ASCENDING INDIGENOUS FISH

Kiyoshi WADA, Takuya FUJII, Shigeru TERAMACHI, Yukio OTA
and Yosuke MABUCHI

In this study, the function of fishway was evaluated using preliminary data, the siphon-pipe type fish passage with cost performance and portability has been developed, and local river experiment with indigenous fish was conducted. The structure form that the flow velocity should be reduced below at the burst swimming speed of fishes was examined. As results, dissipative energy can be attenuated greatly by the form loss of joints. The calculation formula of the design flow velocity and the required number of joint was proposed. The siphon-pipe for fish was designed using this formula, and the amount of ascension of the indigenous fish by local river experiment was investigated. Although the complete range of the fishes used for the experiment permeated into the pipe, the Oikawa (*Zacco platypus*) ascended to exit of the fish passage for a short time, and it is the whole dominant species. This fish passage can be used for choosing fishes, as the predetermined flow velocity is changed. It was shown that the ascension difficulty of fishes is canceled by installation of the siphon-pipe type fish passage. Therefore, siphon-pipe fish passage is effective in improving the river ecological habitat.