

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 ー岐阜県根尾川を対象としてー

田中 俊吾¹・和田 清²・藤井 克哉³・太田有生夫⁴・寺町 茂⁵

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

E-mail:2012k11@edu.gifu-nct.ac.jp

²正会員（独）国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 教授（同上）

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

³学生会員（独）国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科（同上）

E-mail:2009c31@edu.gifu-nct.ac.jp

⁴正会員 西日本工業大学 研究センター 研究員（〒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 水圏域環境研究会 代表（〒501-0417 岐阜県本巣市屋井）

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

本研究は、河川生態系を保全するために、設置が容易で低コストのサイフォン式パイプ魚道の開発とその現地実験を行ったものである。管路内に複数配置された急拡大縮小（リデューサー）により流速減勢を行い、魚類の突進速度以下にまで低減するための流速制御の構造形式を考案し、現地設置方法を提案して魚類の遡上効果を検討した。その結果、サイフォン式パイプ魚道にリデューサーを配置することにより設計流速まで減速させることができ、現地実験による魚類遡上量を評価した。サイフォン式パイプ魚道の設置により魚類の遡上困難性が解消され、既設魚道の改善などに有効であることが示された。

Key Words : fishway design, siphon-pipe fishway, habitat, reducing joint pipe, field test

1. はじめに

河川の魚類生態環境を保全することは、河川の状態機能の維持改善に大きく関係しており、河川管理上重要な課題である。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十分に機能していない魚道が数多く存在している。その原因として、河床変動が大きい場合には、局所洗掘や河床低下によって魚道入口の落差が大きくなり魚道における水流の連続性が確保されない事例がある。また、魚道内に土砂が堆積する場合や、洪水などにより河川の滞筋が変化して、魚道入口の位置が適切でない場合など、数多くの理由があげられる¹⁾。

これらの機能低下した魚道では魚類の遡上が困難である。また、魚道の問題点が把握されても、コンクリート構造形式が一般的であり工事費が大きくなるために、改

修を容易に進めることができないのが現状である。

岐阜県恵那市の木曽川水系阿木川に建設された阿木川ダム湖岩村川貯留ダムには、魚類の遡上を目的とした階段式魚道が設置されている。多目的ダムのため取水時期になると水位変動が発生し、水位が低下すると魚道入口部とダム湖水面が不連続となる。このような状況下では、魚類は遡上することができず、取水時期と稚アユ遡上期が重なるため、改善策の実施が望まれている。

本研究では、魚道入口部と下流水面に落差が生じている場合の魚道改善案として、簡易的なサイフォン式パイプ魚道を提案する。主な材料は、市販の塩化ビニル樹脂(PVC)やコルゲート管などを利用することができ、直ちに既設魚道を改修することが困難な場合には、必要な時期に設置が容易で着脱可能のため、河川環境保全に寄与するサイフォン式パイプ魚道の開発と普及を目的としている。具体的には、流速低減装置の流水抵抗について水理実験によるエネルギー損失の評価を行い、実河川にお

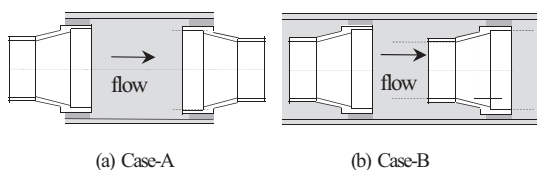


図-1 管路とリデューサーの配置状況

いて在来種を用いた遡上実験などから、1～2m程度の落差の堰において、管内流速を魚類が遊泳する突進速度以下に低減させる流速制御の構造形式を考案し、河川魚類の生息場ネットワークの改善方法として、サイフォン式パイプ魚道の有効性を評価しようとするものである。

2. パイプ魚道の適用例

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発生させて魚類の遡上機能を持たせたものである²⁾。

本研究で対象とするサイフォン式パイプ魚道は、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、急拡急縮部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低減するものである。このリデューサーの個数を調整することにより、任意の値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、魚道が無い場所において遡上最盛期に一時的な設置も可能である。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³⁾。

本研究では、2種類のパイプ魚道について検討を行った。図-1 (a) に示すようにリデューサーを向かい合うように設置し、それを外管となるパイプ（太管）に接合することで、急拡急縮を1つのユニットとして作製する。この急拡急縮部を、複数接続することでパイプ魚道とするものである。同図のように、リデューサーを用いた急拡急縮部を一樣断面の管路（細管）に接続した複合管となる。また、ユニット単位で局所損失を発生させているため、それぞれをコルゲート管などで接合し、可撓性を確保したフレキシブルな魚道を作製することができる。

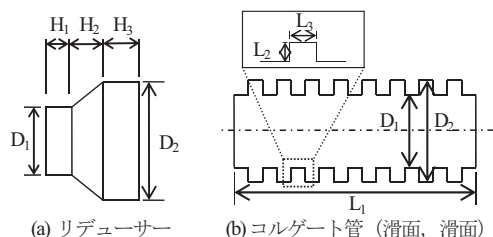


図-2 パイプ魚道に用いた管路の形状

表-1 管路の形状寸法 (単位: mm)

	リデューサー	滑面		粗面	
		細管	太管	細管	太管
D ₁	66	76	136	76	136
D ₂	123	-	-	89	166
H ₁	28	-	-	-	-
H ₂	24	-	-	-	-
H ₃	55	-	-	-	-
L ₁	-	600	300	600	300
L ₂	-	-	-	5	10
L ₃	-	-	-	5	10
粗度係数	-	0.01	0.01	0.02	0.016

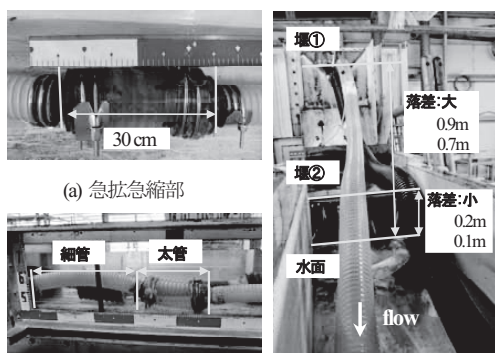
もう一つは、図-1 (b) に示すように、外管となるパイプ内にリデューサーを同方向に配置することで急拡急縮による流速を減衰させるものである。これは、共著者が開発したものであり³⁾、パイプ魚道内に挿入するリデューサーの個数を容易に増やすことにより、設計流速まで減衰させることを意図したものである。リデューサーとパイプの隙間は、クッション材で満たすことにより止水され、リデューサー自体を保持している。この2種類のパイプ魚道を作製し、水理実験と現地遡上実験を通して、サイフォン式パイプ魚道の有効性を検討した。

3. 水理実験

(1) 実験に使用したパイプ魚道

阿木川ダム湖に設置された魚道入口部に、パイプ魚道を設置することを想定し水理条件を設定した。その水位変動に対応するパイプ魚道と現地の設置方法を考慮すると、コルゲート管のようなフレキシブルな管路で接合する構造形式について検討した(図-1(a)参照)。図-2および表-1は、パイプ魚道に用いたリデューサー、コルゲート管の形状寸法を示したものである。コルゲート管を用いることにより、魚道自体に可撓性を確保しながら流速減衰を図り、凹凸面をもつコルゲート管の摩擦抵抗によるエネルギー損失の付加を期待した。

管路における摩擦および形状損失を含めた全エネルギー損失を把握するために、急拡急縮のユニット部と管路を接合したパイプ魚道（複合管）とコルゲート管のみの単管の2種類、管路内部を滑面と粗面に变化させた合計4パターンの水理実験を行った。この結果により、ユニット部、凹凸面の有無による流速変化とパイプ魚道の構造形式の関係を明らかにすることができる。



(b) 細管と急拡急縮部の接続 (c) 水位差の設定状況
図3 パイプ魚道の水理実験の状況

(2) 実験方法

実験は、急拡急縮部1ユニットを5組連結したパイプ魚道を全長15mの開水路に設置して行った。図-3に示すように、Case-Aの場合のリデューサー間隔は30cmであり、これらの太管をコルゲート管（細管、間隔60cm）で接続して5mの複合管のパイプ魚道とした。また、水槽への接続部として長さ5mのコルゲート管を接続し、全長10mに延長して水理実験に用いた。なお、エア抜き孔を付加してサイフォンが充分機能するようにした。

パイプ魚道を魚類が遡上するためには、魚道内の最大流速を魚類の突進速度以下に設定することが必要である。越流堰を設置して魚道入口までの水位差（ ΔH ）を4種類（0.1, 0.2, 0.7, 0.9 m）変化させ、末端流速を電磁流速計（KENEK 製、VP-2000）によって計測した。水理実験により水位差と末端流速、その流速とユニット個数との関係を求め、任意の水位差におけるユニット数を算定する換算式を求めた。

(3) 実験結果

a) 水位差と流速の関係

図-4は、水位差と末端流速の実験値とその近似式を示したものである。同図から、急拡急縮部の局所損失とコルゲート管（凹凸面）の摩擦損失により、粗面の複合管を用いる場合が最も末端流速を減速させることがわかる。滑面の単管を基準にすると、摩擦損失による減衰として約3割、単管から複合管にすることにより約7割の減衰効果が得られた。これらの結果より、パイプ魚道では凹凸面などの管路摩擦の減衰に比べて、リデューサー部によって生じる局所損失の方が、パイプ魚道全体のエネルギー減衰に大きく寄与していることが示された。

b) 最大流速とユニット数の関係

図-5は、パイプ魚道に複合管として用いるユニット数と、管路内の最大流速の関係を示したものであり、ユニットを1～20個まで接続した場合の算定式が併記されて

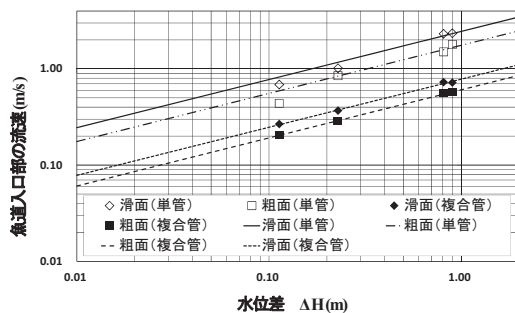


図4 水位差と流速の関係（実験値と近似式）

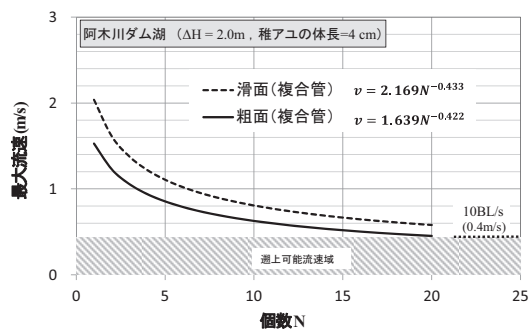


図5 最大流速とユニット数の関係（算定値）

る。同図から、設計流速（0.4 m/s）まで減衰させるには、粗面用複合管のユニットを20個接続することにより、所定の流速値まで減勢可能であることがわかる。阿木川ダム湖にパイプ魚道の設置を想定した条件として、水位差： $\Delta H=2.0$ m，設計流速：0.4 m/sを設定した。2012年6月に採捕された阿木川ダム湖の稚アユの体長BLは、 5.7 ± 1.2 cmであり、遡上初期の稚アユはBL≒4 cm程度である。突進速度を10～15 BL/sとすると、稚アユを遡上させるためには、管内流速を0.4 m/s以下にする必要がある。

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。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）の遡上量を評価し、パイプ魚道の機能の有効性を検討する。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-6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、魚道本体と上流水面との落

表-2 在来種を用いた遡上実験結果

No.	種名	放流数	トラップ内	パイプ内	入口部	遡上率(%)	侵入率(%)	残留率(%)
1	アユ	38		5	33	0	13	87
2	アブラハヤ	44	2	42		5	100	0
3	オイカワ	58	15	38	5	26	91	9
4	タカハヤ	7	2	3	2	29	71	29
5	アブラボテ	14		13	1	0	93	7
6	フナ	6		5	1	0	83	17
7	コイ	1		1		0	100	0
8	カワムツ	2		2		0	100	0
9	カワヒガイ	36		36		0	100	0
10	タイリクバラタナゴ	4		4		0	100	0
11	ヤリタナゴ	8		8		0	100	0
12	タモロコ	5		5		0	100	0
13	メダカ	1		1		0	100	0
14	ドンコ	1		1		0	100	0
15	カワヨシノボリ	12	1	11		8	100	0
16	ニゴイ	2		2		0	100	0
17	ウグイ	1		1		0	100	0
18	デズラ	1		1		0	100	0
19	スジマドジョウ	1		1		0	100	0
自然遡上	アジメドジョウ		1			-	-	-
合計		242	20	180	42	-	-	-

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、水位差は0.80m、パイプ魚道の最大高さ1.474m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・出口部）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。表-2に示すように、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。なお、同表には遡上実験結果が併記されている。

(2) 使用したパイプ魚道

図-7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、エア抜き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個を挿入した。現地に設置し、エア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まで減速されていることが確認された。

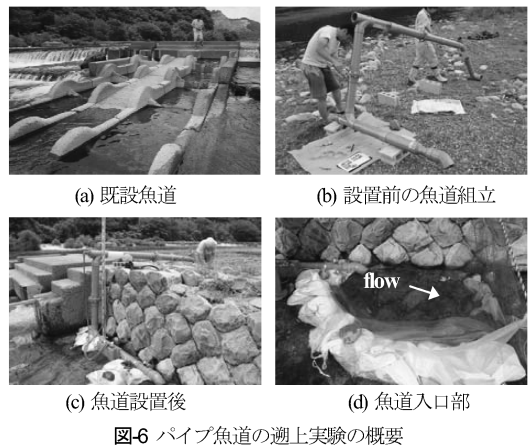


図-6 パイプ魚道の遡上実験の概要



図-7 魚類の遡上状況

(3) 実験結果

表-2に在来魚を用いた遡上実験の結果を示す。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ている。魚

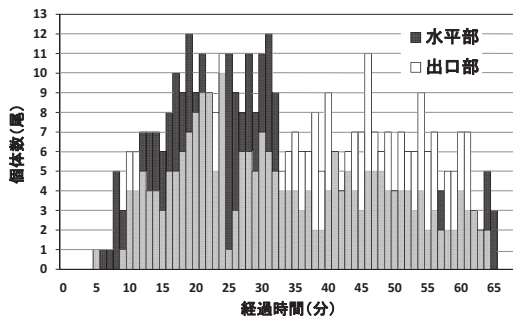


図-8 検査面に出現した全個体数

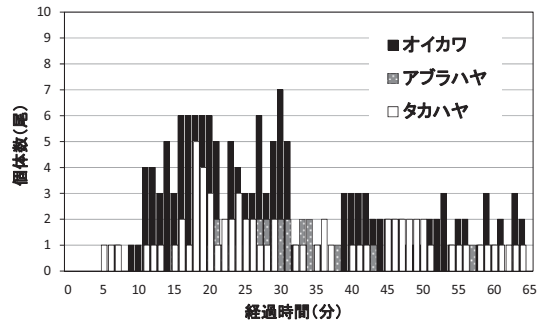
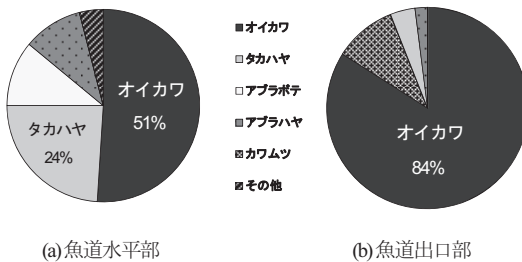


図-10 検査面（水平部）に出現した魚種の個体数



(a) 魚道水平部

(b) 魚道出口部

図-9 検査面に出現した魚種の割合

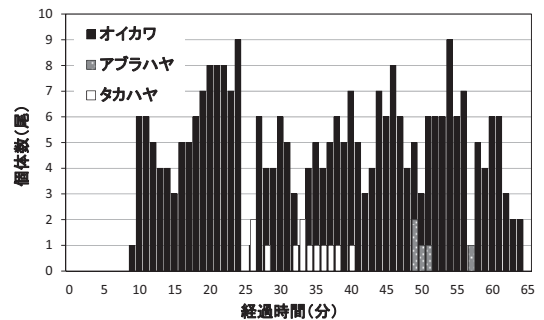


図-11 検査面（出口部）に出現した魚種の個体数

道入口部に在来魚を放流したところ、図-7(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分以内でオイカワが先頭個体として到達した（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。

同表から、在来魚19種類のすべてがパイプ内に侵入し、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。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。また、稚アユが魚道入口部に数多く留まる結果となっており、別の日程で稚アユのみを放流として遡上実験を行ったが、ほとんどパイプ内への侵入が確認されなかった。なお、共著者の実験²⁾によれば、サイフォン式パイプ魚道における稚アユの遡上が報告されている。全長22mのパイプ魚道を水位差1.7m、パイプ下流端流速0.55 m/sとした実験結果であり、本実験よりも水理学的に厳しい条件下において稚アユの遡上が確認されている。

図-8は、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分毎に示したものである。同図から、水平部では、放流後15分から30分にかけて個体数の出現ピークが見られる。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おり、入口部に放流した後、一定時間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個体の他に、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-9は、検査面を通過した全個体数の魚種別内訳を示したものである。水平部で確認された魚類は10種、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、魚類が管内に侵入後、出口部まで到達した魚種は、オイカワなどの比較的遊泳力の高い魚種であった。

図-10および図-11は、検査面（水平部と出口部）において出現したオイカワ、タカハヤ、アブラハヤの3種類の個体数の変化を示している。水平部では、オイカワ個体群の出現ピークが放流後30分まで見られ、以後はピークが低減している。そのため、管内に侵入したオイカワは、放流後30分以内に水平部に到達している。また、出口部では、オイカワがどの時間帯においても多く存在し

たことがわかる。オイカワを除いて水平部から出口部にかけて出現した魚種の割合が減っており、管内へ侵入後、入口部・水平部から出口付近にかけて多くの魚類が滞留していることを意味している。出口部管内には、リデューサーを設置していないため、魚類が定位しやすい緩やかな流れ（0.3m/s程度）となっている。また、出口にはトラップを設置してあるため、魚類の警戒を誘発した可能性もあり、オイカワの出現数が多く計測されたと考えられる。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い状態である。パイプ魚道内に休憩場所として止水域が生じる連結部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必要がある。

5. おわりに

本研究では、魚類生息環境の改善案としてリデューサーを複数配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である。

水理実験および遡上実験に用いた2種類のパイプ魚道は、管路の急拡大急縮の形状損失により流速減勢を大きく発生させ、魚類が遡上可能となる流速にまで低減できる。また、急拡大急縮部のユニット形状や管内に配置するリデューサーの個数を調整することにより、任意の流速まで減衰可能であり、その算定式が提案された。

現地遡上実験では、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、出口部において確認された魚種は19種のうち4種となった。今後は、魚類の遡上行動や休憩場所の機能などを詳細に検討するために、パイプ魚道全体を透明パイプにして製作、休憩場所となる止水部を適宜配置し、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の多大な協力をいただいた。また、河川の魚類遡上実験では、小木曾 雄平君（岐阜工業高等専門学校）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) 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.
- 3) 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.

(2013. 7. 19 受付)

DEVELOPMENT OF THE SIPHON-PIPE TYPE FISH PASSAGE AND MONITORING OF ASCENDING INDIGENOUS FISH - IN THE CASE OF NEO RIVER IN GIFU -

Shungo TANAKA, Kiyoshi WADA, Katsuya FUJII, Yukio OTA
and Shigeru TERAMACHI

In this study, 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.