

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06580

研究課題名(和文) 階段式魚道における魚の遡上率の向上を目指した設計基準の提案

研究課題名(英文) Suggestion of suitable design standard of pool and weir fishway

研究代表者

鬼束 幸樹 (Kouki, Onitsuka)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：20293904

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：ダムや堰が人間活動への水供給のために日本の河川に設置された。そのような状況では魚は河川の上流に遡上することができない。これは、サケ、マス、アユといった回遊魚にとっては絶滅を意味する。そのため、ダムや堰のそばに魚道を設置する必要がある。ところが、魚の遡上に適した魚道の幾何学形状は不明である。本研究では、階段式魚道における適した幾何学形状が解明された。さらに、既存の水路に小さな工夫、例えば、粗石を既存の魚道底面に設置することで遡上率が向上することを解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

1997年に河川法が改正され、「河川環境の整備と保全」が法に明文化された。2006年には多自然型川づくりを見直した多自然川づくり基本方針が河川局長より通達された。ところが、河川に横断構造物が設置されると魚類の縦断移動が困難になる。この問題を解決するために魚道が設置される。しかし、魚の遡上に適した幾何学形状や水理条件などはほとんど明らかにされていない。本研究によって、魚の遊泳能力および魚の遡上に適した幾何学形状や、既設魚道において魚道内に突起物を設置するなど微細な工夫をすることによって魚の遡上率が向上することが解明された。そのため、特にサケやアユなどの遡上魚の種の保存につながる。

研究成果の概要(英文)：The dams and weirs were installed in Japanese rivers for the purpose of water supply for the human activity. In such situations, fish can not migrate to the upstream of the river. It means that the anadromous fish such as salmon, mass, ayu and so on become to extinction. It is necessary to construct the fishway side of dams and weirs. However, the suitable geometric shape of fishway for fish migration is unknown. In this study, the suitable geometric shape of pool-and-weir fishway was made clear. Further, if a little improvement, i.e., rough stones installed on the bed of existing fishway, is conducted, the migration rate became higher.

研究分野：水工水理学

キーワード：魚道 遡上 遊泳能力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1997年に河川法が改正され、「河川環境の整備と保全」が法に明文化された。2003年には自然再生推進法が施行され、2006年には多自然型川づくりを見直した多自然川づくり基本方針が河川局長より通達された。

堰やダムなどの河川横断構造物が河川に建設されると、河川横断方向に大きな水位落差が生じ、魚類等の遡上や降下が困難になる。そのため、水位落差を分割あるいは滑らかに接続し、魚類の遡上および降下を助ける魚道の設置が必要となる。

既設の階段式魚道において、魚の遡上が困難なものも多く存在する。魚の遡上が困難になる原因に、魚道の幾何学形状が適切でないことが挙げられる。したがって、魚の高い遡上率を確保するには、魚道の適切な幾何学形状の把握が必要である。魚道の設計指針を示したものとして、「魚ののぼりやすい川づくりの手引き」(国土交通省, 2005)、「よりよき設計のために「頭首工の魚道」設計指針」(農林水産省農村振興局, 2002)、「最新魚道の設計」((財)ダム水源地環境整備センター, 1998)、「農業水利施設の魚道整備の手引き」(農林水利施設魚道整備検討委員会, 1994)などが挙げられ、魚道の最適な幾何学形状が提示されている。しかし、必ずしもすべての適切な幾何学形状が解明されているわけではない。また、既設魚道に対する改善案も提案されていない。

2. 研究の目的

魚道の形式は、水路タイプ、プールタイプ、オペレーションタイプに大別される。我が国において最も採用例の多い魚道は階段式である。ところが、既設の階段式魚道において、魚の遡上が困難なものが存在するのが現状である。魚の遡上が困難となっている要因として、魚道内の流況が適切でないことが挙げられる。魚道内の流況を決定する最も大きな要因は、魚道の幾何学形状である。また、魚の遊泳能力が不明であるため、設計流速の設定が困難であることも挙げられる。本研究では、魚の遡上しやすい階段式魚道の幾何学形状を実験的に解明することを目的とした。

3. 研究の方法

(1)水路長 3.0m、幅 0.5m、高さ 0.25m の開水路を実験に用いた。開水路始端から 0.6m より流下方向に 2.1m の範囲において、白色に塗装した直径 0.1m の発泡スチロール球を配置した。粗石の横断方向の配置間隔は 0.05m で固定し、粗石の流下方向間隔を 0.1, 0.2, 0.3, 0.4m の計 4 通りに変化させた。全ケースにおいて、体長倍流速は $7(1/s)$ 、水深は 0.20m であり、発泡スチロール球は完全に水没していた。

実験には平均体長 70mm のオイカワを水路の下流端から 0.375m の位置の水路中央に直径 0.15m の円形金網を設置し、10 尾のオイカワを挿入する。挿入後 10s 間馴致した後に金網を取り上げ、右岸側および水路上部に設置したビデオカメラで 90s 間撮影した。撮影後、0.5s ごとの魚の遊泳位置を解析した。

(2)プール長 0.9m、プール幅 0.8m、隔壁厚 0.2m、落差 0.15m、切欠き幅 0.16m のプールが 3 つ連結された階段式魚道を実験に用いた。プール底面から切欠き下端までの高さ 0.3m とした。この諸元は、小規模河川に設置される魚道と同スケールである。

粗石がない状態、プール底面の全域にある配置、下流側のみにある配置、上流側のみにある配置の計 4 通りとした。粗石がない状態以外のケースでは、白色に塗装した直径 0.1m の発泡スチロール球を間隔 0.15m で配置した。各粗石配置において、流量を 1, 3 および 5(L/s) と変化させ、計 12 ケースの実験を行った。

第 2 プールに平均体長 70mm のオイカワを 20 尾放流し、3 分間馴致した後、左岸側および水路上部に設置した 2 台のビデオカメラで 30fps、30 分間の撮影を行った。撮影後、オイカワの遊泳位置を 10s ごとに解析すると共に、第 3 プールへの遡上数をカウントした。また、遡上に成功した個体については、遡上の 20s 前から上流側切欠きに到達するまでの遊泳位置を 0.5s ごとに解析して、遡上経路を求めた。

(3) 開水路底面の横断勾配を 0, 10, 20 および 30% の 4 通り、カワムツに対する断面平均体長倍流速を 2, 4 および 6(1/s) の 3 通りに変化させた合計 12 ケースの実験を行った。カワムツが開水路内全域を遊泳できるように水深の最小値をカワムツの平均体高の 2 倍以上である 0.05m、最大値を 0.2m に設定した。水路下流付近に 1 尾のカワムツを挿入した後、1 分間馴致させ、馴致が完了したと判断した後に実験を開始した。水路上部に設置した画素数 1440 × 1080、撮影速度 30fps のビデオカメラを用いて 1 分間撮影した。実験には 1 ケースにつき 1 個体のカワムツを使用した。また、1 ケースにつき

10 回の実験を 12 ケース行い，合計 120 尾を使用した．撮影後，0.5 秒ごとのカワムツの遊泳位置と魚向を解析した．

(4) 上流側と下流側に設置された長さ0.5m，幅0.5m，高さ0.5mの2つの水槽が，グレーに塗装された魚道幅0.3m，魚道長1.0m，側壁高さ0.3m，傾斜角10°の木製魚道によって連結されている．斜面上に配置した突起物は直径15mm，高さ50mmのポリ塩化ビニル製円柱突起物であり，「千鳥状タイプ(Zigzag type)」と「格子状タイプ(Grid type)」の2パターンを設定した．両タイプとも流下方向の突起物間隔は15mmとし，横断方向の突起物間隔も15mmである．魚道内の突起物の配置を千鳥状タイプ(Zigzag type)と格子状タイプ(Grid type)の2通りに変化させると共に，流量を80，160および240(ml/s)の3通りに変化させた合計6通りの実験を行った．上流側水槽に水を供給し下流側水槽からの排水量を調整することで，下流側水槽の水面が魚道下端と下流側水槽が接続している箇所に位置するように流側水槽の水深を0.25mに保持した．また，水温は20°Cに保持した．

下流側水槽にウナギ未成魚(25尾)を投入し，30分間の遡上実験を各ケースで3回ずつ行った．魚道上部に画素数1440×1080，撮影速度30fpsのビデオカメラを設置し，ウナギ未成魚の挙動を撮影した．撮影後，2sごとに分割した画像をもとにウナギ未成魚の遊泳位置を解析すると共に，上流側水槽まで到達したウナギ未成魚の遡上数をカウントした．

4. 研究成果

(1) オイカワの遊泳位置は粗石頂部以下に集中しており，粗石の流下方向間隔が広がると，オイカワの遊泳位置が高くなることが明らかとなった．また，粗石の流下方向間隔が狭い方が，オイカワが粗石を利用して休憩するため停滞率が高くなる傾向があることが判明した．これは，粗石配置が疎になることで，粗石前後における低流速域の減少によりオイカワの遊泳頻度が減少し，側壁付近での遊泳頻度が増加するためである．

(2) プール内において，底面全域に粗石が配置されている場合は，オイカワはプール中央付近の狭い範囲で遊泳すること，底面に粗石無しおよび下流側に粗石が配置されている場合は，オイカワはプール壁面に沿って遡上すること，底面の上流側に粗石が配置されている場合は，流量が増加するとオイカワは粗石間の低流速域を利用して休憩を行うことが解明された．

(3) 開水路底面の横断勾配の増加に伴い，最深部付近でのカワムツの遊泳が増加する．開水路底面の横断勾配および流速の変化はカワムツの対地速度の最頻値にほとんど影響を及ぼさない．ただし，開水路底面の横断勾配を有する場合は横断勾配が無い場合と比較すると，カワムツの対地速度は次第に変化しにくくなる．以上のように，本研究では底面の横断勾配がカワムツの遊泳特性に影響を及ぼすことが確認された．また，横断勾配が0，10，20，30%と増加するにつれて，カワムツの遊泳位置が変化することが確認された．よって，魚道内の横断勾配を増加させることでカワムツのような遊泳力の低い魚が最深部付近で休憩することが可能になると考えられる．

(4) 本実験条件の流量80～240(ml/s)の範囲では，格子状配置と比較して千鳥状配置の方が二ホンウナギの遡上率および平均遡上速度は高い．千鳥状配置と比較して格子状配置では，水流を阻害する配置の突起物が少なく，魚道内の流速が軽減されにくい．そのため，格子状配置では二ホンウナギは流されやすい．千鳥状配置では二ホンウナギは体を大きく屈曲させるが，格子状配置では体を屈曲させることは少なく，直進的に遡上する．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 鬼束幸樹, 泉孝佑, 窄友哉, 峰下颯也, 宮川智行, 本松七海	4. 巻 74
2. 論文標題 ウナギ用魚道に設置したブラシ束の間隔と傾斜角がウナギの遡上特性に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_439-I_444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 内山僚介, 緒方亮	4. 巻 74
2. 論文標題 開水路底面の横断勾配がカワムツの遊泳特性に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集G(環境)	6. 最初と最後の頁 III_477-III_483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 武田知秀, 定地憲人, 内山僚介, 泉孝佑	4. 巻 74
2. 論文標題 わんど開口部の向きがカワムツの避難行動に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集G(環境)	6. 最初と最後の頁 III_463-III_469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 藤木翼, 窄友哉	4. 巻 74
2. 論文標題 静止流体中に照射した光の色がウナギの遊泳特性に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集G(環境)	6. 最初と最後の頁 III_181-III_185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 武田知秀, 泉孝佑, 内間志和, 窄友哉	4. 巻 74
2. 論文標題 ウナギ用魚道内の突起物の直径と単位幅流量がウナギの遡上特性に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集(B1水工学)	6. 最初と最後の頁 I_403- I_408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 定地憲人, 緒方亮, 内山僚介, 小柳雄基, 下山慶大	4. 巻 74
2. 論文標題 開水路底面に設置した粗石の流下方向間隔がオイカワの遊泳特性に及ぼす影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集(B1水工学)	6. 最初と最後の頁 I_409- I_414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 野口翔平, 三原和也, 内田和馬, 武田知秀	4. 巻 74
2. 論文標題 体長の異なる同魚種に対するオイカワの行動特性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集(B1水工学)	6. 最初と最後の頁 I_415- I_419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 武田知秀, 泉孝佑, 窄友哉, 内間志和	4. 巻 74
2. 論文標題 散水が及ぼすウナギの集魚効果に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集(B1水工学)	6. 最初と最後の頁 I_421- I_426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 三原和也, 鋸敬介, 定地憲人	4. 巻 73
2. 論文標題 アユに対するオイカワの忌避行動に及ぼす体長の影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集G(環境)	6. 最初と最後の頁 111_247-111_252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 穴戸陽, 武田知秀	4. 巻 73
2. 論文標題 白色光の配置変化によるアユの遊泳挙動への影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集G(環境)	6. 最初と最後の頁 111_253-111_260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 武田知秀, 國崎晃平, 泉孝佑	4. 巻 73
2. 論文標題 斜面に設置した粗石の粒径がウナギの登坂特性に及ぼす影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集G(環境)	6. 最初と最後の頁 111_345-111_350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 定地憲人, 緒方亮	4. 巻 73
2. 論文標題 階段式魚道底面の粗石配置位置の変化がオイカワの遡上特性に及ぼす影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集G(環境)	6. 最初と最後の頁 111_357-111_364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 鋸敬介, 西川貴大, 定地憲人, 泉孝佑, 緒方亮	4. 巻 23
2. 論文標題 橋脚周りの河床変動に伴う魚類の生息域変化に関する調査	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 645-650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----