

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420500

研究課題名(和文) 魚の遊泳特性の解明と遡上率の高い階段式魚道の幾何学形状の解明

研究課題名(英文) Investigation on characteristics of swimming behavior of fish and suitable geometric shape of fishway for high migrating rate

研究代表者

鬼束 幸樹 (ONITSUKA, Kouki)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：20293904

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：片側切欠き付階段式魚道において、上流側への下り勾配および流量を系統的に変化させてカワムツの遡上実験を行った結果、勾配の増加に伴い遡上率が増加することが解明された。階段式魚道の底面に設置する粗石の間隔がオイカワの遡上特性に及ぼす影響を検討した結果、粗石間隔の増加に伴い遡上率が増加することが解明された。静止流体中を遊泳するアユの遊泳特性に及ぼす濁度および尾数の影響を検討した結果、清水中に比べ、濁水中では魚群が分裂する傾向が高くなることを解明した。

研究成果の概要(英文)：The migration rate was counted in the fishway with alternated notch under the condition that the slope of bed is positive and also negative in several discharge. The migration rate is higher in the case of slope of bed is positive. The migration rate was counted in the fishway with rough boulders. The migration rate increases with an increase of distance between rough boulders. The effects of turbidity on fish behavior were investigated. It was found that the fish school was splitted in turbidity water.

研究分野：水工水理学

キーワード：魚道 魚群 遊泳挙動

1. 研究開始当初の背景

ダムや堰などの河川横断構造物が河川に建設されると、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。

我が国の既設の魚道形式の多くは階段式である。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。魚の遡上が困難になる原因に、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因子として、魚道の幾何学形状が挙げられる。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。

2. 研究の目的

ダムや堰などが河川に設置されると、水位落差が生じ、魚類等の遡上や降下が困難になる。よって、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可能にする魚道の設置が望まれる。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。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) プール番号は下流から上流に向かって昇順とした。第2プール底面および第3プール底面を下り勾配とし、その勾配 I を 0, 1/10, 2/10 および 3/10 の4つに変化させた。4つの各底面勾配において流量 Q を 1, 3 および 5 (l/s) の3通りに変化させた合計 12 ケースの実験を行った。

第2プールに平均体長 70mm のカワムツ 30尾を挿入し、5分間馴致させた馴致の間、切欠きを覆うように、たも網を設置しカワムツの遡上を防いだ。その後、たも網を取り除くと同時に、第2プールの左岸側および上部に設置した2台のビデオカメラで 30fps, 30分間の撮影を開始した。撮影後、第2プールの全カワムツの遊泳位置および魚向を 10s ごとに解析した。また、30分間の撮影時間中に第3プールへ遡上したカワムツの数をカウントした。

x, y, z 軸方向にそれぞれ 7, 7, 7 のメッシュで構成される測定点の内、196-343 点において、3次元電磁流速計を用いて流速 3成分を 0.05s 間隔で 25.6s 計測した。

(2) 粗石形状として、四角柱や三角柱などが存在するが、本研究では基本形状であることおよび自然石に近い形状である球を採用した。また、佐合らによる粗石の密度が高いほど遡上率が向上するとの指摘から、最密充填の配列方法を採用した。階段式魚道のプール底面に直径 0.1m の球を配列した。底面に粗石がある場合とない場合の2形態について、流量を 1~9 (l/s) の範囲で5通りに変化させた合計 10 ケースの実験を行った。

下流から2番目のプールに平均体長が 80mm のオイカワを 30尾放流し、室温 20、水温 17 の条件で実験を行った。目視で定常を確認した後、切欠きに設置した遡上防止用ネットを除去すると共に、プールの側壁および上部に設置した2台のカメラで 30fps で 20分間の撮影を行なった。撮影後、オイカワの遊泳位置を 10s ごとに解析すると共に、遡上数をカウントした。

x, y, z 軸方向にそれぞれ 7, 5, 7 点のメッシュで構成される合計 245 点において、3次元電磁流速計を用いて流速 3成分を 0.05s 間隔で 25.6s 計測した。計測後、 x, y, z 軸方向の時間平均流速を算出し、合成流速を得た。

(3) 清水および墨汁を用いた4濃度の濁水の合計5濃度を採用した。濁度の測定は以下のように行った。清水および4種の濁水を透明な容器に入れ、120W の光源からの光が容器を 0.25m 透過した後の照度を照度計で計測した。

実験には直径 1.83m、高さ 0.38m の青色の円形プールを用いた。カルキ抜きした水温 24 の水道水を円形プールに入れ、水深を 0.04m に設定した。それぞれ円形プールに貯水し、挿入するアユの尾数を 3, 5 および 7 尾の3通りに変化させた。ケース名は濁度および尾数に基づき命名した。実験に用いた養殖アユの平均体長は 80mm であった。

円形プールに 3~7 尾のアユを挿入し 5~10s 間ほど馴致させた後に、画素数 1440×1080、撮影速度 30fps のビデオカメラで1分間撮影する。この撮影を各ケースでそれぞれ 30回(合計 450回)行った。撮影した動画を1秒間隔で画像に分割した。静止画像および座標プロットソフトを用いてアユの遊泳座標を取得し、魚群内尾数、個体間距離、魚群半径の解析を行った。

(4) プール左岸はアクリル製で、それ以外は Munsell 表示で N4.5 に相当するグレーに塗

装された木製である。Munsell 表示とは色を色相、明度、彩度の順に表示する方法であり、N4.5 は色相が N で明度が 4.5 で彩度が 0 であることを示す。プールの側壁は上流、下流、左岸、右岸の 4 つ存在する。鬼束らは右岸側に片側切欠きを有する階段式魚道において、上流プールへの遡上入口である切欠きから、遠い下流および左岸の側壁を赤で塗装することで、アユが両壁面を忌避し、その結果、切欠きに接近するために遡上率が向上することを解明した。そのため、下流と左岸の側壁に忌避色あるいは、上流と右岸の側壁に選好色を塗装すれば遡上率の向上が望まれる。

塗装色にはアユの忌避色の赤色(Munsell 表示で 5R4/14)、およびそれに伴い色相が均等に变化するように青色(4B4/8)、紫色(2P2/8)、黄色(8Y8/14)の 4 色を採用した。下流と左岸(DL)および上流と右岸(UR)の 2 組の各側壁の底面から 2 割以下の範囲をそれぞれ上記の 4 色で塗装し、合計 8 ケースの実験を行った。全ケースにおいて、切欠きの越流流速が体長倍流速で 10l/s(突進速度)となるように流量 5l/s を与えた。

下流から 2 番目のプールに平均体長 80mm のアユを 30 尾放流し、プールの左岸側および上部に設置した 2 台のカメラを用いて 30fps で 20 分間の撮影を行なった。撮影後、アユの遊泳位置を 10s ごとに解析すると共に、遡上数をカウントした。

x, y, z 軸方向にそれぞれ 7 点のメッシュで構成される合計 343 点において、3 次元電磁流速計を用いて流速 3 成分を 0.05s 間隔で 25.6s 計測した。計測後 x, y, z 軸方向の時間平均流速を算出し、合成流速を得た。

(5) 流量を 1, 3, 5, 7 および 9(l/s) の 5 通りに変化させて、アユまたはオイカワを対象とした合計 10 ケースの実験を行った。水温約 17 で室内実験を行い、観察時間帯は 12 時から 15 時までとし、室内の照度は 500lx 程度であった。また、アユは養殖魚で、オイカワは天然魚である。両魚種ともに、体長は 65~90mm (平均体長 80mm) であった。

流水を開始した後、下流から 2 番目のプールにアユまたはオイカワを 30 尾放流した。目視で定常を確認した後、遡上防止用ネットを切欠きから除去すると共に、カメラを用いて 30fps 30 分間の撮影を行った。カメラの設置箇所は、側壁から 1.7m 離れた位置および水路上部から 1.7m 離れた位置の 2 箇所とし、鉛直および水平方向から撮影を行った。また、下流から 2 番目のプールで流速測定を行った。x, y, z 軸方向にそれぞれ 7 点のメッシュで構成される合計 343 点において、3 次元電磁流速計を用いて流速 3 成分を 0.05s 間隔で 25.6s 計測した。計測後、x, y, z 軸方向の時間平均流速から 3 次元合成流速を算出した。

4. 研究成果

(1) 勾配の増加に伴いプール内の下流域において遊泳可能なスペースが減少するのに加え、その領域における流速が増加する。そのため、カワムツの定位位置は上流側かつ切欠きから遠い左岸側に移動する。また、勾配の増加に伴いカワムツが上流側切欠きを向く傾向が強くなるため、切欠きの位置を認識しやすくなる。上流側切欠きからの落下流は高速であるが、勾配を有する場合、カワムツの定位位置が高速流の下流側から左岸側に移動しているため、高速流を通過する距離が減少する。そのため、遡上率が増加したと考えられる。

(2) 階段式魚道の底面に設置した粗石が魚の遡上特性に及ぼす影響を実験的に解明した。本研究より得られた知見は以下の通りであり、小規模河川に設置される魚道に対して有用な知見であると考えられる。まず、階段式魚道のプール内に粗石を設置すると、オイカワの遊泳位置は底面付近に集中し、水平方向に広がることを解明した。また、オイカワは流速の低下した粗石の隙間を選好して遊泳すること、プール内の底面に粗石を設置した場合、オイカワは粗石を利用して遡上していることを解明した。また、短い遡上経路で遡上可能になることを解明した。

(3) 静止流体中において濁度および尾数を変化させて、アユの魚群の挙動に及ぼす影響を実験的に検討した。その結果、以下の知見が得られた。清水中に比べ、濁水中では魚群が分裂する傾向が高くなる。この傾向は濁度の増加に伴い顕著となる。清水中に比べ、濁水中では魚群内の個体間距離および魚群半径が減少する。この傾向は濁度の増加に伴い顕著となる。これは、濁水中では隣接する個体を認識できる距離が減少するために生じたと考えられる。

(4) プールの下流と左岸の側壁および上流と右岸の側壁をそれぞれ赤色、青色、黄色、紫色で塗装し、階段式魚道においてアユの遡上実験を行い、アユの遡上率を向上させる方法を探求した。その結果、以下の知見が得られた。アユは赤色塗装を忌避し、黄色塗装を選好することが判明した。片側切欠き付階段式魚道において、切欠きを隅角部とするプールの上流および側壁に黄色で塗装すると、アユは黄色を選好するため遊泳位置が切欠き付近に移動する。すると、落下流を認識しやすくなり、遡上率が向上することが解明された。

(5) 階段式魚道におけるアユおよびオイカワの遡上特性を比較、検討した。その結果、以下の知見が得られた。流量が増加すると、アユおよびオイカワの遡上率が増加することが判明した。流量の増

加に伴い、プール内の流速が速くなる。そのため、魚が上流方向を認識しやすくなり、遡上が誘発された。プール内において、アユは魚向が不揃いで、上流方向を認識して遊泳していない。一方、オイカワは魚向が揃っており、上流方向を認識して遊泳することが判明した。アユは流速が速い落下流内を通過して遡上するのに対して、オイカワは流速が遅い上流側隔壁に沿って遡上する。また、アユはオイカワと比較して遡上経路長が長い。以上の要因により、アユは疲労が蓄積されやすいため遡上率が低く、オイカワは疲労が蓄積されにくいいため遡上率が高くなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計17件)

鬼束幸樹，秋山壽一郎，定地憲人，泉孝佑，緒方亮，西川貴大：開水路流の急拡大部の拡大率がオイカワの休憩特性に及ぼす影響，土木学会論文集(B1 水工学)，査読有，Vol.73, No.4, 2017, I_379-I_384.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，定地憲人，緒方亮，西川貴大：増水時における流速と加速度がオイカワの遊泳特性に及ぼす影響，土木学会論文集(B1 水工学)，査読有，Vol.73, No.4, 2017, I_385-I_390.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，有須田朋子，定地憲人，緒方亮：階段式魚道の底面に設置した粗石の間隔がオイカワの遡上特性に及ぼす影響，土木学会論文集(B1 水工学)，査読有，Vol.73, No.4, 2017, I_409-I_414.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，武田知秀，角田裕香：階段式魚道におけるアユおよびオイカワの遡上特性の比較，土木学会論文集(B1 水工学)，査読有，Vol.73, No.4, 2017, I_415-I_420.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，武田知秀，藤木翼，國崎晃平：階段式魚道における底面の下り勾配がカワムツの遡上特性に及ぼす影響，土木学会論文集(B1 水工学)，査読有，Vol.73, No.4, 2017, I_421-I_426.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，穴戸陽，定地憲人：植生密度の変化がオイカワの遊泳特性に及ぼす影響，土木学会論文集 G(環境)，査読有，Vol.72, No.7, 2016, pp.III_475-III_479.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，白岡敏，銚敬介，桃谷和也：開水路に設置した遮蔽板の横断方向間隔の変化がアユの遊泳特性に及ぼす影響，土木学会論文集 G(環境)，査読有，Vol.72, No.7, 2016, pp.III_403-III_409.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，穴戸陽，武田知秀：減速時の加速度と流速がカワムツの

遊泳挙動に及ぼす影響，土木学会論文集 G(環境)，査読有，Vol.72, No.7, 2016, pp.III_397-III_402.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，穴戸陽，武田知秀：増水時のオイカワの避難行動に及ぼすわんど開口部長さの影響，土木学会論文集 G(環境)，査読有，Vol.72, No.6, 2016, pp.II_143-II_148.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，高松周平：階段式魚道の壁面色がアユの遡上特性に及ぼす影響，土木学会論文集 G(環境)，査読有，Vol.72, No.6, 2016, pp.II_127-II_132.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，銚敬介，小原徳晃，桃谷和也，定地憲人：濁度が静止流体中を遊泳するアユの魚群の挙動に及ぼす影響，土木学会論文集 G(環境)，査読有，Vol.72, No.6, 2016, pp.II_119-II_125.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，穴戸陽，高松周平，角田裕香，有須田朋子：階段式魚道のプール底面に設置した粗石が魚の遡上特性に及ぼす影響，土木学会論文集(B1 水工学)，査読有，Vol.72, No.4, 2016, pp.I_1135-I_1140.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，銚敬介，桃谷和也，小原徳晃，定地憲人：開水路流中の気泡に対するアユ魚群の忌避特性，土木学会論文集(B1 水工学)，査読有，Vol.72, No.4, 2016, pp.I_1141-I_1146.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，藏本更織，穴戸陽，角田裕香：階段式魚道内に設置した仕切り板によるオイカワの休憩場所の制御に関する検討，土木学会論文集 G(環境)，査読有，Vol.71, No.6, 2015, pp.III_415-III_421.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，平野陽一，銚敬介，桃谷和也，古里佳子：増水がオイカワの遊泳挙動に及ぼす影響，土木学会論文集 B1(水工学)，査読有，Vol.71, No.4, 2015, pp.I_1075-I_1080.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，穴戸陽，有須田朋子，高松周平：アユの忌避色を利用した階段式魚道における遡上率改善策，土木学会論文集 B1(水工学)，査読有，Vol.71, No.4, 2015, pp.I_1087-I_1092.

鬼束幸樹，秋山壽一郎，平野陽一，銚敬介，古里佳子，桃谷和也：開水路流中の気泡に対するアユの忌避行動，土木学会論文集 B1(水工学)，査読有，Vol.71, No.4, 2015, pp.I_1093-I_1098.

[学会発表](計15件)

武田知秀，鬼束幸樹，秋山壽一郎：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，平成28年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，II-068, pp.233-234, 2017.3.4 九州大学(福岡県福岡市)。

泉孝佑，定地憲人，鬼束幸樹，秋山壽一郎：ウナギ用魚道の傾斜と突起物の間隔がウナギの遡上特性に及ぼす影響，平成

28年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, II-069, pp.235-236, 2017. 3.4 九州大学(福岡県福岡市).

國崎晃平, 武田知秀, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 斜面に設置した粗石の粒径がウナギのよじ登り特性に及ぼす影響, 平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, II-070, pp.237-238, 2017. 3.4 九州大学(福岡県福岡市).

定地憲人, 泉孝佑, 緒方亮, 西川貴大, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 橋脚周りの深掘れおよび堆積による魚類の生息域の季節変化についての調査, 平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, II-071, pp.239-240, 2017. 3.4 九州大学(福岡県福岡市).

西川貴大, 定地憲人, 泉孝佑, 緒方亮, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 開水路に設置した遮蔽板の設置角度がオイカワの遊泳特性に及ぼす影響, 平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, II-072, pp.241-242, 2017. 3.4 九州大学(福岡県福岡市).

緒方亮, 定地憲人, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 階段式魚道の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, 平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, II-073, pp.243-244, 2017. 3.4 九州大学(福岡県福岡市).

藤木翼, 國崎晃平, 武田知秀, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 静止流体中を単独で遊泳するウナギの遊泳特性に及ぼす光の色の影響, 平成 28 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, II-074, pp.245-246, 2017. 3.4 九州大学(福岡県福岡市).

鋳敬介, 桃谷和也, 定地憲人, 小原徳晃, 秋山壽一郎, 鬼束幸樹: 橋脚周りにおける魚類の生息域の変化についての調査, 平成 27 年土木学会西部支部研究発表会, pp.127-128, 2016.3.6 九州産業大学(福岡県福岡市).

穴戸陽, 武田知秀, 定地憲人, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 開水路に設置したワンド入口部の幅が増水時のオイカワの避難行動に及ぼす影響, 平成 27 年土木学会西部支部研究発表会, pp.117-118, 2016. 3.6 九州産業大学(福岡県福岡市).

高松周平, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 階段式魚道の壁面色がアユの遡上特性に及ぼす影響, 平成 27 年土木学会西部支部研究発表会, pp.119-120, 2016. 3.6 九州産業大学(福岡県福岡市).

小原徳晃, 定地憲人, 鋳敬介, 桃谷和也, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 気泡の発生間隔がオイカワの遊泳特性に及ぼす影響, 平成 27 年土木学会西部支部研究発表会, pp.131-132, 2016. 3.6 九州産業大学(福岡県福岡市).

定地憲人, 穴戸陽, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 植生密度がオイカワの遊泳挙動に及

ぼす影響, 平成 27 年土木学会西部支部研究発表会, pp.125-126, 2016. 3.6 九州産業大学(福岡県福岡市).

武田知秀, 穴戸陽, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 減水時の加速度と流速がカワムツの行動特性に及ぼす影響, 平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会, pp.121-122, 2016. 3.6 九州産業大学(福岡県福岡市). 有須田朋子, 角田裕香, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 階段式魚道の底面における粗石の配置が魚の遡上特性に及ぼす影響, 平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会, pp.121-122, 2015.3.7 琉球大学(沖縄県中頭郡西原町).

平野陽一, 桃谷和也, 鬼束幸樹, 秋山壽一郎: 増水における流速と加速度の違いがオイカワの遊泳特性に及ぼす影響, 平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会, pp.123-124, 2015. 3.7 琉球大学(沖縄県中頭郡西原町).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://dragon.civil.kyutech.ac.jp/pub/onitsuka/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鬼束 幸樹 (ONITSUKA, Kouki)
九州工業大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 20293904

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：

(4)研究協力者
()