

(18) 階段式魚道における潜孔の横断配置が 魚の遡上特性に及ぼす影響

鬼束幸樹¹・秋山壽一郎²・松田孝一郎^{3*}・寺島大輔⁴

¹九州工業大学大学院准教授, 工学研究院建設社会工学研究系 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

²九州工業大学大学院教授, 工学研究院建設社会工学研究系 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

³九州工業大学大学院, 工学府建設社会工学専攻 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

⁴大明株式会社, NCN 通信事業本部 (〒135-8112 東京都江東区豊洲 5-6-36)

* E-mail: matsukou.61@hotmail.co.jp

鬼束らは、魚の遡上に適した潜孔の横断位置が中央で、鉛直位置が底部であることを解明した。しかし、隣接する2つのプール間における遡上特性に着目した研究であり、連続遡上については検討していない。

本研究では、階段式魚道において潜孔を側壁側底部または中央底部に連続配置し、潜孔内流速を系統的に変化させてカワムツの遡上実験を行い、潜孔の横断配置および潜孔内流速が魚の連続遡上特性に及ぼす影響を検討した。その結果、潜孔内流速が魚の体長の10倍以下の条件において、潜孔を側壁側底部に連続配置することが、3つ以上のプール間を魚が連続して遡上するのに最適であることを解明した。

Key Words : pool-and-weir fishway, orifice, continuous migration, position of orifice

1. はじめに

我が国では治水および利水を目的としてダムや堰などが設置されてきた。これらの構造物を設置することによって生じる水位落差は、魚類等の河川縦断方向の移動を妨げる。これは特に、遡上および降下を行うアユやサケなどの通し回遊魚にとっては種の存続を左右する深刻な問題となる。そのため、水位落差を分割し、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。日本の河川に設置されている魚道の大半は階段式である¹⁾。階段式魚道の隔壁には切欠きだけでなく、堆砂を防ぐために潜孔が設置されることが多い¹²⁾。潜孔は魚の遡上経路としても有益であることが高嶋・中村³⁾や高崎ら⁴⁾によって解明されている。

泉ら⁵⁾は既設のアイスハーバー型魚道において水中カメラで潜孔内の魚類の遡上行動を撮影し、その挙動を解析した。その結果、遡上魚は潜孔内の底面隅角部を選好し、突進速度に近い遊泳速度で通過すること、潜孔は底生魚だけではなくアユやウグイといった遊泳魚も利用することを指摘した。佐倉ら⁶⁾は既設の階段式魚道において水中カメラで魚道内部のアユの遡上状況を撮影し、潜孔は側壁および底面に摺り付けて設置することが適切と

指摘した。高嶋・中村³⁾は潜孔に向かって遡上する魚の経路がほぼ同一であることを指摘した。泉ら⁵⁾は水路中央の切欠き部に向かって隔壁天端が傾斜し、また、隔壁の底部両側に潜孔を有するハイブリッド魚道において、高嶋・中村³⁾と同様な結論を得た。鬼束ら⁸⁾は階段式魚道において潜孔位置を鉛直方向に底部、中段、上部の3段階に、横断方向に側壁側および中央の2段階に変化させた合計6箇所それぞれに設置し、潜孔内流速を系統的に変化させてオイカワの遡上実験を行った。その結果、遡上に適した潜孔の横断位置は中央で、鉛直位置は底部であることを示した。続いて、潜孔を隔壁の片側または交互に配置し、潜孔内流速を系統的に変化させてアユの遡上実験を行い、遡上率の向上および速やかにアユを遡上させるには交互潜孔よりも片側潜孔の方が適していると指摘した⁹⁾。

以上のように潜孔を遡上する魚の遡上特性や潜孔の配置が魚の遡上特性に及ぼす影響に関する研究は幾分行われている。しかし、上記の多くの研究は隣接する2つのプール間の遡上に着目したものであり、3つ以上のプール間の遡上について検討したものではない。現地魚道ではプール数が3以上の場合が圧倒的に多く、連続遡上に適した潜孔の設計指針が必要である。ところが、各種魚

道設計マニュアル^{13,14)}において連続遡上に適した潜孔の配置等は記載されていない。

本研究では、連続遡上に適した潜孔の設計指針を示すため、階段式魚道の潜孔を側壁側底部または中央底部に連続配置し、さらに潜孔内流速を系統的に変化させてカワムツの遡上実験を行い、潜孔の横断配置および潜孔内流速が魚の連続遡上特性に及ぼす影響を解明した。

2. 実験装置および実験条件

図-1 に実験に使用した階段式魚道の概要を示す。流下方向に x 軸、鉛直上向きに y 軸、横断方向に z 軸をとった。プール長 $L_x = 0.9$ m, 魚道幅 $B = 0.8$ m, 隔壁厚 $\Delta x = 0.2$ m, プール間落差 $\Delta y = 0.15$ m とした。魚道の材料には黒に塗装した木材を用いたが、側壁方向からプール内の撮影を可能にするため、左岸側壁は透明なアクリル板で作成した。中村ら¹²⁾は水路上方からの視覚情報には魚は敏感だが、側壁および底面からの視覚情報には極めて鈍感と報告している。よって、側壁の一部にアクリル板を用いても実験値に与える影響はほとんどないと考えられる。また一般に、魚道に設置される潜孔の形状は正方形で、一辺の長さはプール幅の 10 % 前後のものが多く^{7, 9, 13, 14)}。そこで、本研究においても潜孔高および潜孔幅にプール幅の約 10 % 相当の 0.1 m を採用した。

潜孔、隔壁およびプール番号は下流から上流に向かって昇順と定義する。第 2 隔壁および第 3 隔壁の側壁側底部に潜孔を設置した場合を *edge orifice*、中央底部に潜孔を設置した場合を *center orifice* として 2 種類の潜孔配置を設定した。第 2 プールの水深 L_y は潜孔内流速および潜孔配置の変化によって 0.60 ~ 0.63 m の範囲で変化する。第 2 隔壁、第 3 隔壁ともに越流はなく潜孔のみの通水である。本来切欠きと潜孔を有する一般的な魚道形態を採用すべきである。しかし、切欠きと潜孔の両者を有する魚道で実験を行った場合、魚の遡上行動に及ぼす両者の影響を分離できず、遡上行動に及ぼす潜孔の影響を解明できない。そのため、本研究では潜孔のみの通水とした。また、第 1 および第 4 隔壁は越流のみ、第 2 および第 3 隔壁は潜孔のみの通水である。本来なら、第 1 および第 4 隔壁も潜孔のみとすべきであるが、そのように設定すると第 1 隔壁よりも下流および第 4 隔壁よりも上流にアユが移動した場合、実験装置の制約によりアユが死亡する可能性がある。そのため、上記のような条件を採用した。なお、一般に魚の遡上に支配的な影響を与えるのは上流からの強い流れであるため、第 1 隔壁の全断面越流よりも、第 2 隔壁に設置された潜孔からの高速流の方が遡上に支配的な影響を与えと考えられる。

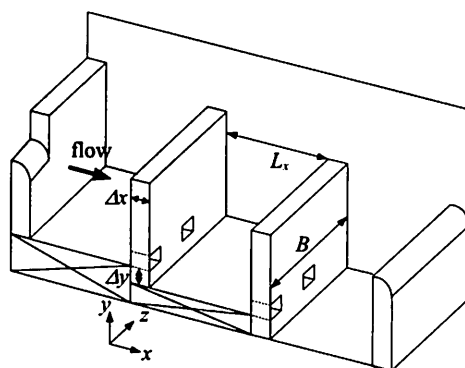


図-1 実験に用いた魚道の概要

(L_x : プール長, B : 魚道幅, Δx : 隔壁厚, Δy : プール間落差)

表-1 実験条件

U_m / \bar{B}_L (1/s)	3	5	7	10
edge orifice	E3	E5	E7	E10
center orifice	C3	C5	C7	C10

(U_m : 潜孔内流速, \bar{B}_L : カワムツの平均体長)

魚道の実験には通し回遊魚のアユなどを供試魚として用いるべきである。しかし、通し回遊魚は遡上期しか遡上欲がなく、長期の実験では遡上欲が変化することや疲労蓄積の問題があり信頼性の高いデータを得ることは容易ではない。そこで本研究では日本の代表的な遊泳魚であるカワムツを供試魚として選んだ。なお、オイカワやウグイなどの通し回遊魚でない魚を供試魚として採用した実験は多く存在する^{7, 9, 13, 14)}。表-1 に実験条件を示す。2 種類の潜孔配置において、潜孔内流速 U_m をカワムツの平均体長 $\bar{B}_L = 60$ mm の 3 倍(0.18 m/s), 5 倍(0.30 m/s), 7 倍(0.42 m/s), 10 倍(0.60 m/s)に変化させた合計 8 ケースの実験を行った。ケース名の頭文字は潜孔配置を示し、E(edge orifice)は潜孔配置が側壁側底部、C(center orifice)は中央底部を意味する。また、数字は体長倍表示による潜孔内流速を意味する。そのため、例えば E3 は潜孔配置が側壁側底部、潜孔内流速 U_m が平均体長の 3 倍(0.18 m/s)を意味する。

静水を貯留した第 1 プール内にカワムツ $N = 20$ 尾を入れ、流水を開始する。目視で定常を確認した後、第 1 潜孔に設置した遡上防止用ネットを除去する。第 2 プールを対象として、側壁および水路上部に設置した 1080 × 810 の画素数を有する 2 台のビデオカメラで 30 分間の撮影を 30 fps で行った。

撮影後、カワムツが第 1 プールから第 2 プールに遡上(第 1 遡上)した時刻、第 2 プールから第 3 プールに遡上(第 2 遡上)した時刻、および第 2 プール内のカワムツの

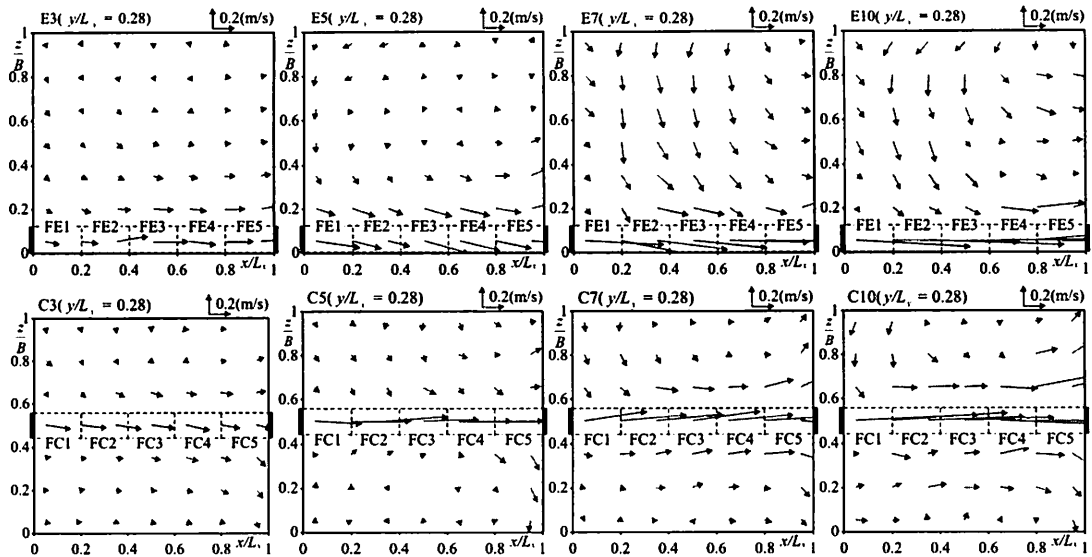


図2 第2プール内の水平面内流速ベクトル

(B :魚道幅, L_y :プール長, L_z :水深, FE1~FE5, FC1~FC5:潜孔下流領域を5等分した領域)

遊泳位置およびその時刻を解析した。

中村ら¹⁷⁾は潜孔がある魚道の場合、アユはプール底部付近を平面的に遊泳すると指摘した。本実験においてもカワムツは主にプール底部付近を平面的に遊泳していた。そのため半水深以下の範囲($y/L_y = 0.0 \sim 0.5$)において、 x , y , z 軸方向にそれぞれ $7 \times 7 \times 7$ のメッシュで構成される合計 343 点で、3 次元電磁流速計(東京計測株式会社, SF-3013 型)を用いて流速 3 成分を 0.05 s 間隔で 25.6 s 計測した。

3. 実験結果および考察

(1) 流況の概要および魚の遊泳軌跡

edge orifice および center orifice のいずれのケースにおいても、カワムツは第2プールの底部付近($y/L_y < 0.4$)を遊泳していることが目視で確認された。そこで、代表的な流況として $y/L_y = 0.28$ の水平面内($x-z$)の流速ベクトルを図-2に全ケースについて示す。高速流が edge orifice では右岸付近に、center orifice では中央付近に発生しており、潜孔内流速 U_m の増加に伴い高速流速が増加していることが確認される。これは、第1潜孔が $0 \leq y/L_y \leq 0.17$ 、第2潜孔が $0.17 \leq y/L_y \leq 0.33$ に位置するため、潜孔からのジェット流によって生じたものである。いずれのケースにおいても高速流以外の領域では流速が顕著に遅くなっている。なお、図中に点線で示された領域区分の説明は後述する。

図-3に edge orifice および center orifice におけるプール内のカワムツの遊泳軌跡の立面図($x-y$ 平面)および平面図

($x-z$ 平面)を示す。立面図に着目すると、先述したようにカワムツは主として $y/L_y < 0.4$ の領域を遊泳していることが観察される。一方、平面図に着目すると、ほぼ全ての $x-z$ 平面を利用していることがわかる。これは、アユは底部付近を平面的に遊泳するとの中村ら¹⁷⁾の指摘と同様の結果である。

(2) 第1遡上率および連続遡上率

第1遡上率を次式のように定義する。

$$\text{第1遡上率} \equiv n_1 / N \quad (1)$$

ここに、 n_1 は第1遡上を行った魚の尾数である。図-4(a)に edge orifice および center orifice における潜孔内流速と第1遡上率 n_1 / N との関係をそれぞれ示す。両潜孔配置において、第1遡上率 n_1 / N は潜孔内流速の増加に伴い減少する。これは潜孔内流速の増加に伴い遡上に必要な遊泳力が増加するため、遊泳力の小さな個体が遡上できなくなることが主要因である。また、center orifice の第1遡上率 n_1 / N は edge orifice よりも全ての流速において高い値を示している。これは edge orifice では魚が第1プール内の底部付近を平面的に遊泳する際に潜孔下流の高速流領域を通過する可能性が低いのに対し、center orifice ではその可能性が高く、そのため遡上欲が湧く機会が増加したことが原因と考えられる。

連続遡上率を次式のように定義する。

$$\text{連続遡上率} \equiv n_2 / n_1 \quad (2)$$

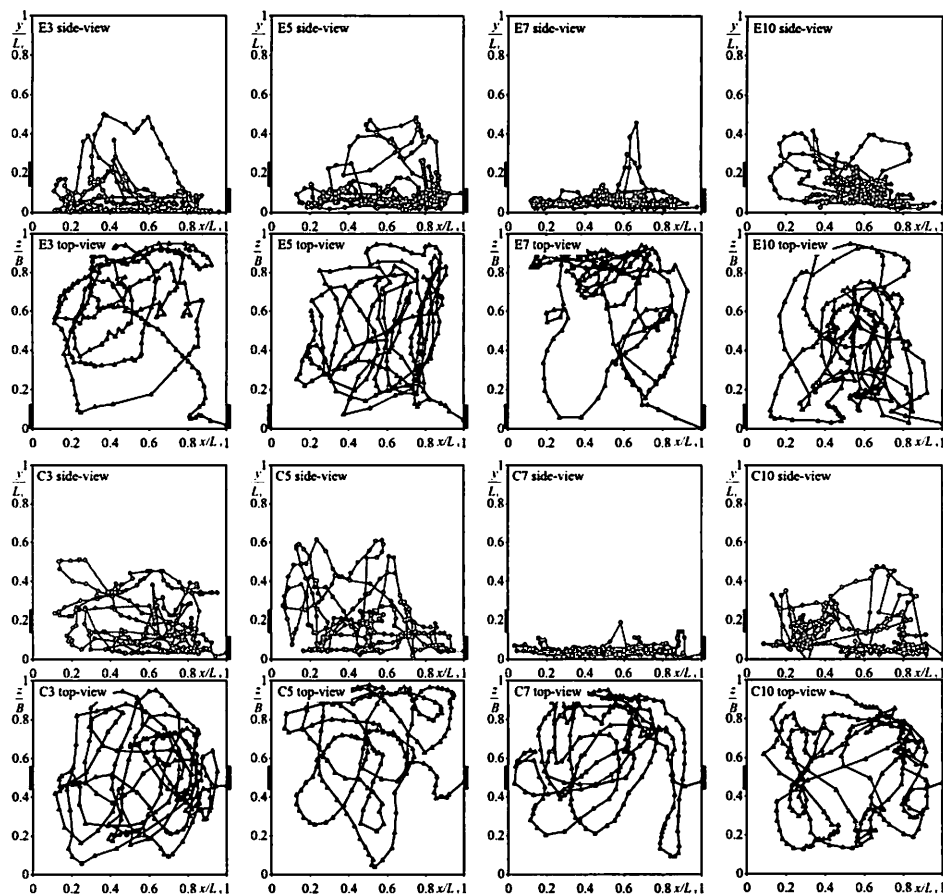


図3 第2プールにおけるカワムツの遊泳軌跡 (B : 魚道幅, L_x : プール長, L_y : 水深)

ここに, n_2 は第2 遡上を行った魚の尾数である. 図4 (b) に edge orifice および center orifice における潜孔内流速と連続遡上率 n_2/n_1 との関係をそれぞれ示す. 両潜孔配置において, 連続遡上率 n_2/n_1 の変化は潜孔内流速の変化に対して緩慢である. 一方, center orifice よりも edge orifice の連続遡上率 n_2/n_1 の方が全ての潜孔内流速において高い値を示している. この要因を以下のように考察する.

(3) 魚の降下率

第1 プールから第2 プールに遡上したカワムツは, 一部がさらに上流の第3 プールに遡上し, 一部が第1 プールに逆戻りし, 残りが第2 プール内に残留する. したがって, 第2 プールからの降下数が連続遡上率に影響を与える. 降下率を次式のように定義する.

$$\text{降下率} \equiv k/n_1 \quad (3)$$

ここで k は第1 遡上後に第1 プールに降下した魚の尾数である. 図4 (c) に edge orifice および center orifice における潜孔内流速と降下率 k/n_1 との関係をそれぞれ示す.

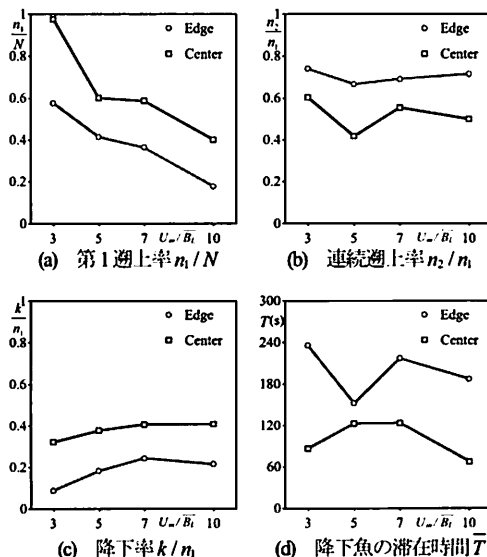


図4 潜孔内流速の変化による第1遡上率 n_1/N , 連続遡上率 n_2/n_1 , 降下率 k/n_1 および, 降下魚の滞在時間 \bar{T} の変化 (B : 魚道幅, L_x : プール長, L_y : 水深, N : 実験に用いたカワムツの尾数, U_m : 潜孔内流速, \bar{B}_L : カワムツの平均体長)

center orifice の降下率 k/n_i の方が edge orifice よりも全ての流速において高い値を示している。したがって、第1週上を終えた後に降下する割合が edge orifice よりも center orifice の方が高いため、center orifice では第2プールに残留する魚の尾数が減少し、連続週上率が低下した(図4(b))と判断される。

(4) 両潜孔配置における降下率相違の原因

横断方向に潜孔配置を変化させると降下率が変化する傾向が観察されたが、その原因は不明である。降下のしやすさを定量的に示すものとして、第1週上時刻から降下するまでの時間が挙げられる。なぜなら第2プールに滞在する時間が短い程、魚が降下しやすいことを示唆するからである。図4(d)に edge orifice および center orifice における第1週上時刻から降下するまでの時間の平均値 \bar{T} をそれぞれ示す。いずれの流速においても edge orifice よりも center orifice の方が平均滞在時間が短い。したがって、edge orifice よりも center orifice の方が降下しやすいと推測される。この原因を解明するために、魚の挙動に着目する。

プール内の魚の挙動は既に図3に示した。魚の平面的な挙動がプール内で完全にランダムなのか、それとも特定の領域を利用しているか否かを調査する。図2に示すように、潜孔をx方向に投影した領域を5等分し、上流側から edge orifice では FE1 ~ FE5 領域、center orifice では FC1 ~ FC5 領域と定義する。上記5つの領域全体を以下では潜孔下流領域と呼称する。図5に edge orifice および center orifice における各領域へ侵入する魚の割合 m_i/M を示す。 m_i ($i = 1, 2, \dots, 5$) は FE1 ~ FE5 または FC1 ~ FC5 の各領域に侵入した魚の尾数、 M は各ケースにおいて潜孔下流領域に侵入した魚の総尾数である。第1潜孔近傍の領域に着目すると、FE5(edge orifice)では $m_5/M = 0.1 \sim 0.17$ に対し、FC5(center orifice)では $m_5/M = 0.2 \sim 0.25$ となっており、後者の方が全ての潜孔内流速において大きな値を示している。これは、魚は側壁側に潜孔がある場合は下流側潜孔付近をあまり遊泳しないのに対し、中央に潜孔がある場合は頻繁に遊泳することを意味する。前者が生じた理由として、側壁に衝突することを避けることが挙げられる。図3の平面図に着目すると、カワムツは側壁付近だけでなく、上下流壁面付近も含め、壁面付近をあまり遊泳していないことが確認される。

図6に edge orifice および center orifice において降下した魚がその直前に進入した各潜孔下流領域の割合を全潜孔内流速で平均したものを示す。降下した魚のほとんどがその直前に FE5 または FC5 領域に進入している。図5の center orifice に着目すると、FC5 領域の値が $m_5/M =$

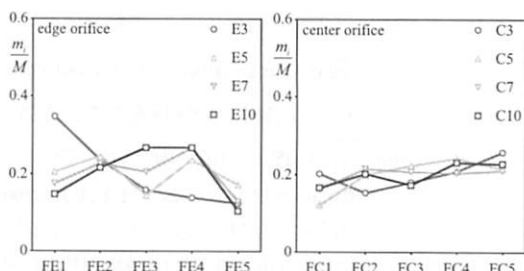


図5 潜孔下流領域への進入箇所割合 m_i/M のプール内での変化
(FE1 ~ FE5, FC1 ~ FC5: 潜孔下流領域を5等分した領域
 M : 潜孔下流領域に侵入した尾数)

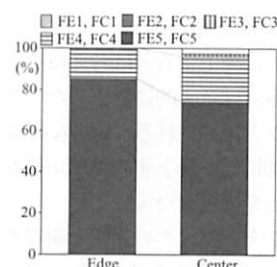


図6 降下する魚の潜孔下流領域への進入箇所
(FE1 ~ FE5, FC1 ~ FC5: 潜孔下流領域を5等分した領域)

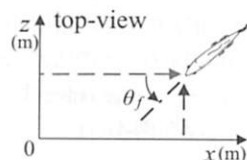


図7 魚向 θ_f の定義

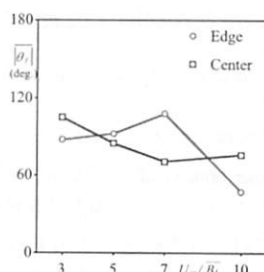


図8 降下魚が潜孔下流領域へ進入したときの魚向
(U_m : 潜孔内流速, B_L : カワムツの平均体長,
 $|\theta_f|$: 魚向 θ_f の絶対値の平均値)

0.2 ~ 0.25 に対し、FC4 領域の値が $m_4/M = 0.2 \sim 0.23$ と大差はない。それにも関わらず、降下した魚のほとんどがその直前に下流側潜孔付近の領域に進入しており、edge orifice においても同様の傾向を示している。この理由を解明するため、FE5 および FC5 領域における魚の挙動に着目する。

図7に示すように魚向 θ_f をx軸上流方向から反時計回にとり、 $-180^\circ \leq \theta_f \leq 180^\circ$ の範囲とする。魚が FE5 お

よび FC5 領域内に侵入する時の魚向 θ_f の絶対値の平均値 $|\theta_f|$ を算出した。図-8 に edge orifice および center orifice における潜孔内流速と魚向 $|\theta_f|$ との関係を示す。各潜孔状態において魚向 $|\theta_f|$ は $45^\circ \sim 105^\circ$ の値を示している。したがって、降下直前のカワムツの多くは下流方向 ($90^\circ \sim 180^\circ$) を向いていないことがわかる。カワムツに限らず目が体側についている魚の視野は視軸を中心に約 320° あり、後方の多くの領域を見ることができる。そのため、河川流水中のような 10 cm 程度の変化では空間構造の変化の乏しい状況では、上流を向いたまま下流に意図的に流されることがある。一方、本実験では後方の約 40° の死角内に潜孔が存在しており、視覚情報の無い後方に意図的に降下するとは考えにくい。したがって、降下した魚の多くは意図的に降下したのではなく、流れに押し流されたと推測される。図-4 (c) に着目すると、潜孔内流速の増加に伴い降下率の増加が観察され、上記の推測を裏付ける結果となっている。

以上のことから、壁面への衝突を避けるために魚は側壁近傍を遊泳せず、そのため、edge orifice よりも center orifice の方が下流側潜孔付近を遊泳する機会が増加する (図-5)。一方、降下欲のない魚 (図-8) が下流側潜孔付近を遊泳しているとき、潜孔内流速の増加に伴い潜孔へと押し流される割合が増加する。その結果、流速の増加に伴い降下率が増加し、また、edge orifice よりも center orifice の方が降下率が高くなる (図-4 (c))。

(5) 魚の連続遡上成功率

連続遡上成功率を次式のように定義する。

$$\text{連続遡上成功率} \equiv n_2 / s \quad (4)$$

ここに、 s は第 2 遡上を試みた尾数である。図-9 に edge orifice および center orifice における潜孔内流速と連続遡上成功率 n_2 / s との関係を示す。両潜孔状態において潜孔内流速の変化に対する連続遡上成功率 n_2 / s の変化は緩慢である。一方、edge orifice の連続遡上成功率 n_2 / s は全ての流速において center orifice の値より高い。このことも、edge orifice の連続遡上率が center orifice よりも増加 (図-4 (b)) した一因と考えられる。

edge orifice の連続遡上成功率が center orifice の値よりの高い理由を考察する。魚の遊泳速度には巡航速度 V_{JC} と突進速度 V_{JB} がある¹⁾。前者は 1 時間以上持続できる速度で、後者は数秒しか持続できない速度である。一般に巡航速度 V_{JC} は次式で与えられる¹⁾。

$$V_{JC} / B_L = 2 \sim 4 \quad (5)$$

突進速度 V_{JB} は次式で与えられる¹⁾。

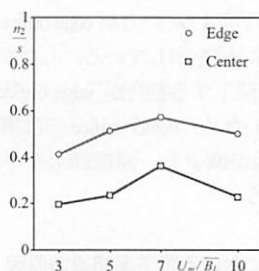


図-9 連続遡上成功率

(U_m : 潜孔内流速, B_L : カワムツの平均体長,
 s : 遡上を試みたカワムツの尾数)

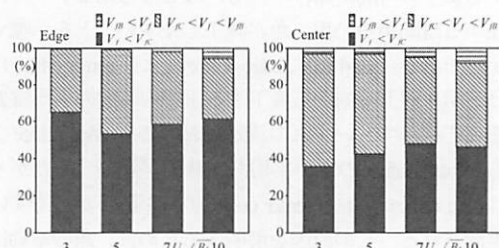


図-10 カワムツの遊泳速度、巡航速度

および突進速度と流速との関係

(U_m : 潜孔内流速, B_L : カワムツの平均体長)

$$V_{JB} / B_L = 10 \quad (6)$$

ただし、 B_L は cm 単位、 V_{JC} 、 V_{Jf} 、 V_{JB} は cm/s 単位である。魚は巡航速度以下で遊泳すると疲労が蓄積しない。第 2 プール内を遊泳する魚の対地速度を算出し、これに流速測定によって得られた流速を加味することで遊泳速度が算出される。得られた遊泳速度を巡航速度以下 ($V_{Jf} < V_{JC}$)、巡航速度と突進速度との中間 ($V_{JC} < V_{Jf} < V_{JB}$) および突進速度以上 ($V_{JB} < V_{Jf}$) に分類し、図-10 に edge orifice および center orifice それぞれについて示す。全ての潜孔内流速において、center orifice よりも edge orifice の方が巡航速度以下 ($V_{Jf} < V_{JC}$) で遊泳している魚の割合が多く、巡航速度以上で遊泳している割合が少ない。したがって、center orifice よりも edge orifice の方がプール内でより多く休憩できるため、連続遡上成功率が高くなったと考えられる。

4. おわりに

本研究は階段式魚道の潜孔を側壁側底部または中央底部に連続配置し、潜孔内流速を変化させてカワムツの遡上実験を行い、遡上特性に及ぼす潜孔配置および潜孔内流速の影響を検討した。得られた知見を以下に示す。

- (1) プール内の下流側潜孔付近では潜孔への流れ込みがあるため、降下欲のない魚が潜孔へと押し流される傾向がある。魚は壁面に衝突することを避けるために側壁付近を余り遊泳しない。そのため、潜孔を側壁側に設置する場合よりも中央に設置した方が、魚が下流側潜孔付近を遊泳する機会が増加するので降下率が増加する。
- (2) 潜孔を側壁側に設置する場合よりも中央に設置した方が降下する尾数が増加するため、プールに残留する尾数が減少する。その結果、次の遡上を試みる尾数が減少し、連続遡上率は減少する。
- (3) 現在、各種魚道設計マニュアル^{1), 10), 11)}において連続遡上に適した潜孔の配置等は記載されていない。本研究では、潜孔内流速が体長の10倍以下の条件において、潜孔を側壁側底部に連続配置することを提案する。
- (4) 下流側潜孔への流れ込みの流速は潜孔内流速の増加に伴い増加する。そのため、潜孔の横断配置に関わらず、潜孔内流速の増加に伴い降下率が増加する。
- (5) 潜孔を中央に設置する場合に比べて側壁側に設置する方が連続遡上成功率が増加する。これは潜孔を側壁側に設置した場合、プール内でより多く休憩できるためである。

参考文献

- 1) 中村俊六：魚道のはなし，山海堂，1995。
- 2) 中村俊六：魚道の設計，水工学に関する夏季研修会講義集，第27巻，A-6，pp.1-24，1991。
- 3) 高嶋信博，中村俊六：魚道内のアユの挙動に関する実験的研究，水理講演会論文集，第28巻，pp.353-358，1984。
- 4) 高嶋忠勝，土屋十圓，大竹義男：秋川における複合型魚道の効果，河川技術に関する論文集，第5巻，pp.165-170，1999。
- 5) 泉完，高屋大介，工藤明，東信行：赤石第2頭首工のアイスハーバー型魚道隔壁における魚類の遡上行動，水工学論文集，第47巻，pp.763-768，2003。
- 6) 佐合純造，本多卓志，大木孝志，田中直也：大田原堰魚道におけるアユの遡上実験報告，水工学論文集，第42巻，pp.493-498，1998。

- 7) 泉完，工藤明，東信行，佐藤正一：ハイブリット式魚道のプールタイプの流況におけるウグイの遡上行動実験，河川技術に関する論文集，第6巻，pp.131-136，2000。
- 8) 鬼東幸樹，秋山壽一郎，松田孝一郎，関強志，森悠輔：階段式魚道の潜孔位置が魚の遡上特性に及ぼす影響，環境工学研究論文集，第47巻，pp.31-38，2010。
- 9) 鬼東幸樹，秋山壽一郎，松田孝一郎，寺島大輔：潜孔の設置位置がアユの遡上特性に及ぼす影響，水工学論文集，第55巻，pp.1429-1434，2011。
- 10) 国土交通省河川局：魚がのぼりやすい川づくりの手引き，2005。
- 11) (財)ダム水源地環境整備センター編：最新魚道の設計，信山社サイテック，1998。
- 12) 中村俊六，高嶋信博，木村博：実物の魚を用いた河川構造物の模型実験手法について，第31回水理講演会論文集，pp.783-788，1987。
- 13) 農林水産省農村振興局整備部設計課：よりよい設計のために「頭首工の魚道」設計指針，社団法人農業土木学会，2002。
- 14) 佐合純造，本多卓志，大木孝志，田中直也：大田原堰魚道におけるアユの遡上実験報告，水工学論文集，第42巻，pp.493-498，1998。
- 15) 林田寿文，本田隆秀，荳場祐一，島谷幸宏：階段式魚道のプール内流況とウグイの遊泳行動，水工学論文集，第44巻，pp.1191-1196，2000。
- 16) 浪平篤，後藤真宏，小林宏康：勾配1/5の階段式魚道における流況とウグイの遊泳行動，水工学論文集，第52巻，pp.1189-1194，2008。
- 17) 中村俊六，高嶋信博，伊集院博：階段式魚道模型内でのアユの挙動，Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu，pp.361-366，1990。

(2011.5.24 受付)

Effects of Position of Orifice on Continuous Migration of Fish

Kouki ONITSUKA¹, Juichiro AKIYAMA¹, Koichiro MATSUDA¹, Daisuke TERASHIMA²

¹Civil Engineering, Kyushu Institute of Technology

²DAIMEI TELECOM ENGINEERING CORP.

Izumi pointed out that orifice is beneficial orifice is used by not only demersal fish but also non demersal fish. Onitsuka pointed out that suitable transverse position of orifice for migration of oikawa is center and suitable vertical position of orifice is bottom. However, there is little information on the suitable orifice position for continuous migration of fish. In this study, orifice in a pool-and-weir fishway is set up continuously on the edge or center of bulkhead. It was found that when orifice is set up continuously on the edge of bulkhead in fishway, continuous migration rate becomes high.