

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

鬼東 幸樹¹・秋山 壽一郎²・武田 知秀³・藤木 翼⁴・國崎 晃平⁴

¹正会員 九州工業大学大学院准教授 建設社会工学研究系 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)
E-mail: onitsuka@civil.kyutech.ac.jp

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

³学生会員 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学生会員 九州工業大学大学 工学部建設社会工学科 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

高い遡上率を有する魚道を設計するには、魚道の適切な幾何学形状の把握が必要となる。本研究では、階段式魚道のプールの底面を上流側に下り勾配とし、勾配および流量を変化させ、カワムツの遡上特性の解明を試みた。その結果、底面勾配の増加によりプール内の下流域における遊泳可能なスペースが減少し、そこでの流速が増加することが判明した。この影響でカワムツの定位位置が変化し、切欠きまでの遡上距離が減少し、低流速域を通過して遡上する頻度が増加することで、遡上率が増加することが解明された。

Key Words: *Candidia temminckii*, upstream migration, pool-and-weir fishway, down slope

1. はじめに

河川にダムや堰が建設されると魚類等の遡上や降下が困難になるため、魚道の併設が望まれる¹⁾。魚道において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求められる。国内外において最も採用例の多い²⁾階段式魚道において魚の遡上率に影響を与えると推定される幾何学条件は、プール間落差、切欠き形状、プール長、プール水深等である。

浪平ら³⁾はプール間落差またはプール長を変化させてウグイの遡上実験を行った結果、魚道内に低流速域を確保、あるいは隔壁からの落下流を減勢すると遡上率が高くなることを示した。和田⁴⁾は隔壁形状が45°傾斜型で、隔壁天端流速を0.4(m/s)に固定した場合は、プール間落差が0.25mが最適であるが、流量変動を考慮するとプール間落差は0.1~0.2mが適していると述べている。

Wada⁵⁾は切欠き形状を直角型、傾斜型、突出型、丸型に変化させてアユの遡上実験を行った結果、傾斜型および丸型形状の遡上率が高いことを示し、鬼東ら⁶⁾はその形状を定式化した。

Noonan *et al.*⁷⁾はプール長の増加に伴い遡上率が増加する傾向があることを示した。久保田⁸⁾はプール長を変化させてイワナの遡上実験を行い、プール長がイワナの体長の2倍以上の時に遡上率が高くなることを示した。林

田ら⁹⁾はプール長およびプール水深を変化させてウグイの遡上実験を行い、プール長とプール水深との比が1から増加するに伴い遡上率が増加することを示した。和田¹⁰⁾は片側切欠き付き階段式魚道において、プール長を3.0mに固定し、プール水深を0.4、0.8および1.2mの3通りに変化させてアユの遡上実験を行った結果、水深の増加に伴い遡上率が低下することを示した。鬼東ら¹¹⁾はプール長を固定した状態でプール水深を0.2~0.8mの範囲で変化させてアユの遡上実験を行い、プール水深が0.2~0.4m付近の遡上率が高いことを示した。

現在、様々な魚道の設計指針が公表されているが^{12)~16)}、これらの設計指針において階段式魚道のプールの底面はほぼ水平であることが前提である。しかし、階段式魚道のプール底面がほぼ水平が適切かどうかを確認した研究はほとんどない。現に、横断方向に湾曲させた方が良いと有賀ら¹⁷⁾は提案している。鬼東ら¹⁸⁾は4つのプールを持つ階段式魚道のうち、下流から2つ目のプールの底面を水平、上流方向に40°の上り勾配、および下り勾配に変化させてアユの遡上実験を行った。その結果、上流側に40°の下り勾配で、休憩場所から上流側切欠きまでの距離が小さくなることなどの理由で遡上率が最も高くなることを明らかにした。しかし、底面の傾斜角が40°のみの実験であり、傾斜角の最適値は解明されていない。

我が国では水産資源保全の観点から、通し回遊魚のア

ユヤサケ等を対象として魚道が設置されてきた。しかし、本来は河川に生息する全ての魚類が魚道を利用できることが望ましい。本研究は片側切欠き付き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カワムツ(*Candidia temminckii*)¹⁹⁾の遡上実験を行い、遡上特性を解明したものである。カワムツの遊泳型はアユと同じ準アジ型だが、アユに比べて遊泳力が低い²⁰⁾。また、カワムツは西日本に広く生息し²¹⁾、遊泳魚の指標として使用しやすい。よって、カワムツが遡上可能な魚道を設計することでその他多数の魚種での適用が期待できる。

2. 実験装置および実験条件

図-1 に本実験で用いた片側切欠き付き階段式魚道の概要を示す。左岸側壁は撮影のために透明なアクリル板で作製した。プール長 $L=0.9\text{m}$ 、プール幅 $B=0.8\text{m}$ の 3 つのプールを隔壁厚 $\Delta x=0.2\text{m}$ 、落差 $\Delta y=0.15\text{m}$ 、切欠き幅 $\Delta z=0.16\text{m}$ 、プール底面から切欠き下端までの高さ $H=0.3\text{m}$ として連結した。また、切欠き形状は R 型とした¹³⁾。切欠き角度は鬼束ら⁸⁾が解明した切欠き形状を参照し、 60° とした。

プール番号は下流から上流に向かって昇順とし、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。今回は二つのプール間の遡上に注目したものであり、カワムツが魚道内に進入したと仮定し、第 1 プールは魚道外を想定して実験を行った。図-2 のように第 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。表-1 に実験条件を示す。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。プール内の最大水深 h はケースによって異なり、0.33~0.37m の範囲であった。なお、今回の実験はすべて屋内で行い、照度は第 2 プール中央の水面付近で約 330lx であった。

第 2 プールに、北九州市の板櫃川で採取した平均体長 $B_L=70\text{mm}\pm 10\text{mm}$ のカワムツ $N=30$ 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。なお、各実験で異なる個体を使用し、水温は 21°C のほぼ一定に設定した。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。魚向は $x-z$ 水平断面では x 軸負の方向を 0° とし、 z 軸の正および負の方向にそれぞれ $0\sim 180^\circ$, $0\sim -180^\circ$ とした。 $x-y$ 鉛直断面では x 軸負の方向を 0° とし、鉛直上向きおよび下向きにそれぞれ $0\sim 180^\circ$, $0\sim -180^\circ$ とした。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。

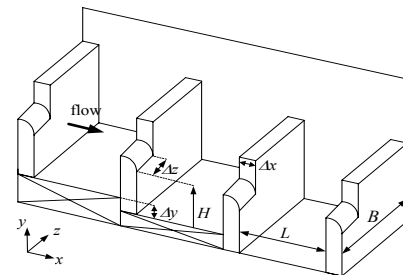


図-1 実験に用いた魚道の概要

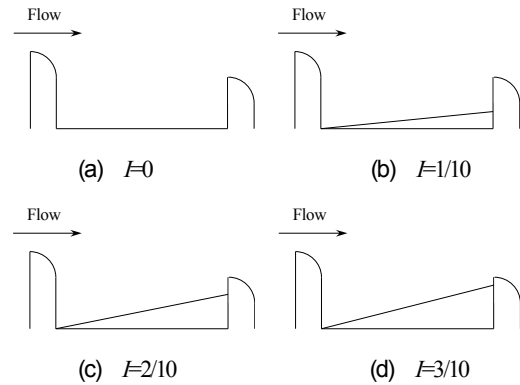


図-2 底面勾配の概要

表-1 実験条件

Q (l/s)	angle of down slope of bottom			
	$I=0$	$I=1/10$	$I=2/10$	$I=3/10$
1	0-Q1	1-Q1	2-Q1	3-Q1
3	0-Q3	1-Q3	2-Q3	3-Q3
5	0-Q5	1-Q5	2-Q5	3-Q5

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、 $I=0$ では全 343 点、 $I=1/10$ では 294 点、 $I=2/10$ では 238 点、 $I=3/10$ では 196 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 U , V , W および合成流速 $V_r = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$ を算出した。なお、流速測定時には魚道内にカワムツを入れていない。

3. 実験結果および考察

(1) プール内の水理特性

図-3 に勾配 I が 0 および 3/10、流量 Q が 1 および 5(l/s) の場合の、最も底面に近い位置で計測された流速の $x-z$ 断面、 $x-z$ 傾斜断面内のベクトルと、 $z/B=0.1$ における $x-y$ 鉛直断面内のベクトルをそれぞれ示す。

底面が水平 ($I=0$) で流量 Q が 1(l/s) のケース 0-Q1 の $x-z$ 断面(図-3(a))に着目すると、全体的に右岸から左岸に流れが生じていることが観察される。 $x-y$ 鉛直断面(図-3(b))に着目すると、切欠きからの落下流が底面に衝突した後、底面に沿った水平方向よりもやや上向きに流れが生じている様子が観察される。

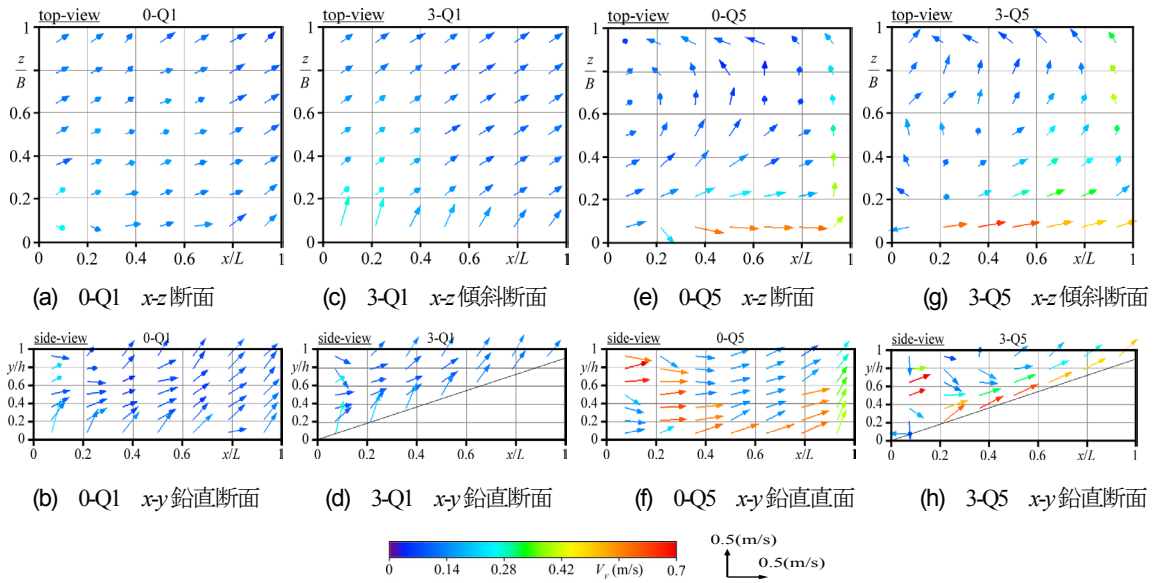


図-3 プール内の流速ベクトル

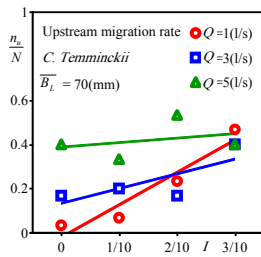


図-4 流量および各底面勾配と遡上率との関係

底面が最大($I=3/10$)で流量 Q が $1(l/s)$ のケース 3-Q1 の $x-z$ 傾斜断面(図-3(c))に着目すると、全体的に流向がケース 0-Q1 の結果と類似しているが、流速値は増加していることがわかる。これは、勾配がある場合、流下方向に断面積が減少することで生じたと考えられる。 $x-y$ 鉛直断面(図-3(d))に着目すると、底面に沿った方向よりもさらに上向きに流れが生じている様子が観察される。

一方、流量 Q が $5(l/s)$ の場合(図-3(e)~(h))については、流量 Q が $1(l/s)$ の場合(図-3(a)~(d))と定性的には類似の傾向を示している。

(2) 流量および底面勾配と遡上率との関係

遡上率を次式のように定義する。

$$\text{遡上率} = \frac{\text{遡上に成功した尾数 } n_u}{\text{実験に用いた尾数 } N (=30)} \quad (1)$$

図-4 に勾配 I と遡上率 n_u/N との関係を流量 Q ごとに示す。全ての流量 Q で、勾配 I の増加に伴い遡上率が増加する。また、勾配 I の増加に伴う遡上率の増加率は、流量 Q の増加に伴い減少する。したがって、勾配 I が小さいほど遡上率が低くなる傾向があり、流量が小さくなればその傾向が顕著になることが明らかになった。

(3) カワムツの定位位置

プール内を流下方向 x に $0.09m$ 、鉛直方向 y に $0.033 \sim 0.037m$ 、横断方向 z に $0.08m$ 間隔のメッシュで区切り、各メッシュ内の $10s$ ごとの尾数を数え、時間平均尾数 $\overline{n_m}$ を算出した。図-5 に勾配 I を 0 および $3/10$ 、流量 Q を 1 および $5(l/s)$ とした場合の存在率 $\overline{n_m}/N$ を、 $x-z$ 水平断面および $x-y$ 鉛直断面に投影したコンターを示す。

同一流量で異なる勾配 I の $x-z$ 水平断面における存在率 $\overline{n_m}/N$ (図-5(a), (c), (e), (g))に着目すると、勾配 I が 0 の時よりも $3/10$ の時の方が、存在率の高い領域が左岸側に接近している。これは図-3 に示した切欠き付近やその流下方向に広がる高流速域をカワムツが避けるためと考えられ、カワムツは流れの緩やかな淵に多く生息する²⁾という生態的特性とも一致する。

同一流量で異なる勾配の $x-y$ 鉛直断面における存在率 $\overline{n_m}/N$ (図-5(b), (d), (f), (h))に着目すると、勾配 I が 0 の場合、両流量とも比較的下流の底面付近で存在率が高い。これは切欠きから落下する高速流を避けるためと考えられる。一方、勾配 I が $3/10$ の場合、両流量とも比較的上流の底面付近で存在率が高い。なお、カワムツの選好水深は冬季から夏季にかけて低水深から中水深に移行する²⁾が、本実験は夏季に集中して行ったため季節による選好水深の変化は無視できる。また、両流量とも勾配 I が 0 の時と比べ、 $3/10$ の時の方が、存在率の高い領域が狭い。この理由として、次の2つが考えられる。まず、底面が勾配を有し流下方向に断面積が減少するため、下流域においてカワムツが遊泳できるスペースが減少することが挙げられる。また、流下方向に断面積が減少するために下流域で流速が増加し、比較的流速の遅い上流域にカワムツが移動すると考えられる。

(4) 魚向と遡上率との関係

図-6 に $x-z$ 水平断面内および $x-y$ 鉛直断面内の魚

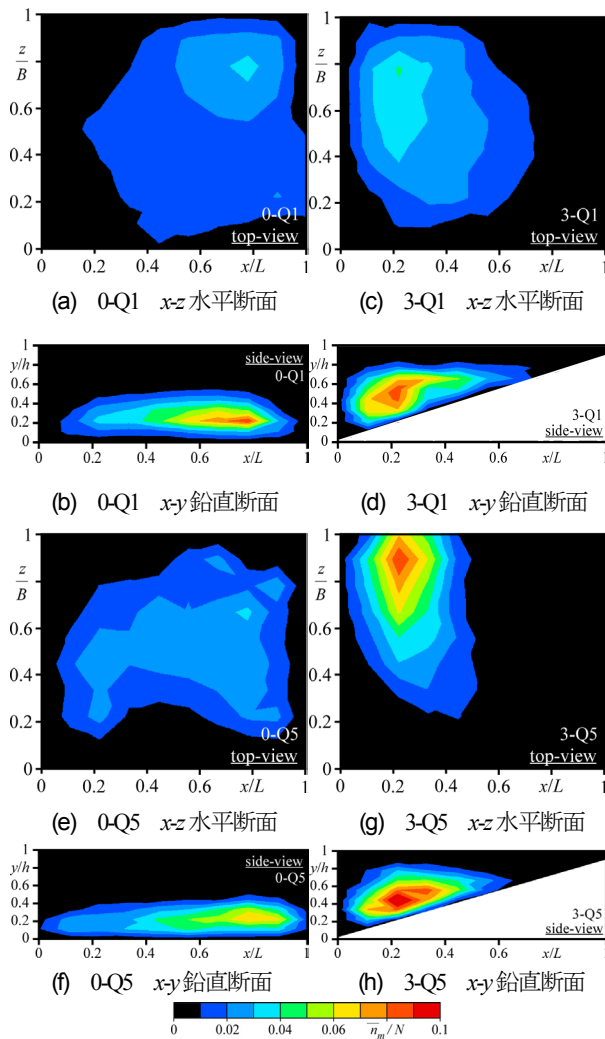


図-5 カワムツの存在率カウンター

向頻度 n_θ / N_θ および n_ϕ / N_ϕ を流量 Q ごとに示す。ここに、 n_θ は水平方向の魚向が θ である個体の度数、 N_θ は個体数の合計、 n_ϕ は垂直方向の魚向が ϕ である個体の度数、 N_ϕ は個体数の合計とする。図-6(a)~(c)の $x-z$ 水平断面に着目すると、全流量において勾配が変化しても一定方向での魚向の集中は観察されない。一方、図-6(d)~(f)の $x-y$ 鉛直断面に着目すると、全流量において勾配の増加に伴い $\pm 90^\circ$ 付近で頻度が低く、 0° 付近の頻度が高い。また、この傾向は流量の増加に伴い顕著となり、特に、 0° 付近の頻度が高い。これは勾配が増加すると多くのカワムツが上流側切欠き方向を向くことを示し、その傾向は流量の増加に伴い顕著となる。カワムツは正の向流性を有するため、上流側切欠きを認識しやすくなり遡上率の増加に繋がったものと考えられる。

勾配が増加すると、図-5 で観測されたようにカワムツの定位位置は左岸側かつ上流側に移動する。しかし、図-3 の流速ベクトルの向きに注目すると、 $x-y$ 鉛直断面では鉛直下向きを示すベクトルの割合が高いのに対し、 $x-z$ 断面および $x-z$ 傾斜断面での流速ベクトルの向きの変化はみられない。この違いにより、鉛直断面でのみ魚向の変化が生じたと考えられる。

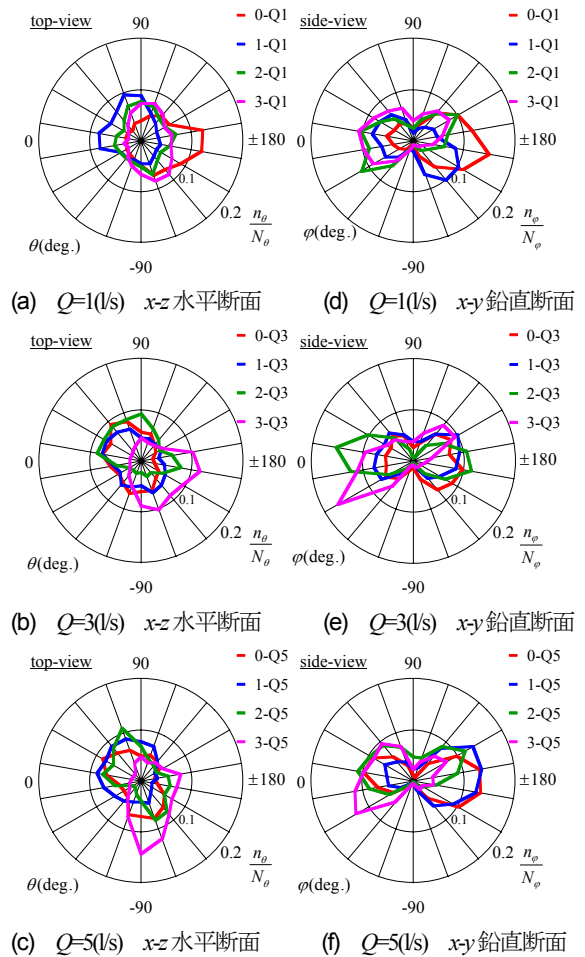


図-6 各流量における魚向頻度

(5) 遡上経路の比較

図-7 に勾配 I を 0 および 3/10 とした場合について、遡上前 10s 間の $x-z$ 水平断面に投影された経路の例を示す。同一流量で異なる勾配 I の遡上経路に着目すると、勾配 I が 0 の時よりも 3/10 の方が、遡上経路が x/L の値が小さな領域に存在し、遡上開始地点の x/L の値が小さくなっている。これは勾配 I が 0 の時は上流側切欠きの下流側の流速の大きな領域から遡上を開始しているのに対し、勾配 I が 3/10 の時は上流側左岸の流速の小さな領域から遡上を開始していることを示している。

図-3 で観測されたように、切欠きからの落下流が着水する付近では流速が高速となる。そこで、遡上する直前の遊泳を考慮するために、落下流の着水場所付近の $z/B = 0 \sim 0.2$ および $x/L = 0 \sim 0.2$ を満たすエリアを「高速領域」と定義した。高速領域の下流境界面 ($x/L = 0.2$, $z/B = 0 \sim 0.2$) を通過して高速領域に進入した尾数と、左岸境界面 ($x/L = 0 \sim 0.2$, $z/B = 0.2$) を通過して高速領域に進入した尾数をそれぞれ数え、図-8 に通過境界面の選択比率を流量 Q ごとに示す。

全ての流量で、勾配の増加に伴い左岸境界面から進入する比率が増加している。この理由として、次の2つが考えられる。まず、図-5 で観測されたように勾配がある場合、カワムツの定位場所が上流側左岸に移動する

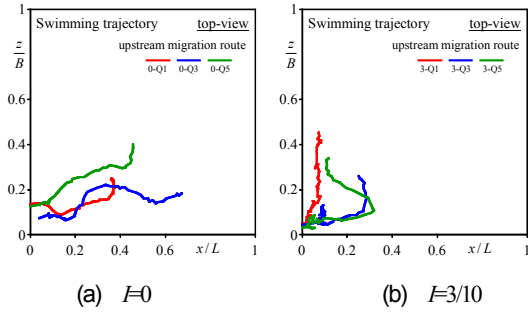


図-7 x - z 水平断面内における遡上経路の一例

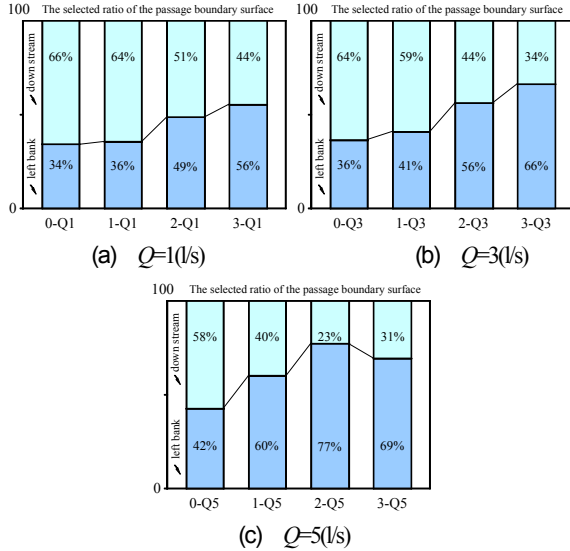


図-8 高速領域進入時の通過境界面の選択比率

ため、上流側切欠きまで最短距離で遊泳すると左岸境界面を通過する頻度が必然的に増加することが挙げられる。また、図-3で観察されたように、勾配を有すると上流側切欠きからの流向が左岸方向に向き、正の向流性を有するカワムツが上流を認識しやすくなったと考えられる。

(6) カワムツから上流側切欠きまでの距離

図-9に各カワムツの個体から上流側切欠きの中央までの水平距離 L_{xz} および鉛直距離 L_{xy} を平均体長 $\overline{B_L}$ で除した値 $(L_{xz}/\overline{B_L}, L_{xy}/\overline{B_L})$ の頻度分布を流量 Q ごとに示す。無次元水平距離 $L_{xz}/\overline{B_L}$ および無次元鉛直距離 $L_{xy}/\overline{B_L}$ の頻度分布が非対称となっているため、式(2)、(3)のガンマ分布を適用し、係数 α 、 λ を最小自乗法より求め、図-7中に実線で示した。

$$f(L/\overline{B_L}) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \alpha^\lambda (L/\overline{B_L})^{\lambda-1} e^{-\alpha L/\overline{B_L}} \quad (2)$$

$$\Gamma(\lambda) = \int_0^\infty e^{-x} x^{\lambda-1} dx \quad (3)$$

図-9(a)~(c)の無次元水平距離 $L_{xz}/\overline{B_L}$ に着目すると、全ての流量、全ての勾配でほぼ同一の分布形状となっており、明確な変化は観察されない。これは図-5で観測されたように、勾配が変化するとカワムツの定位場所が左岸側および上流側に移動するため、両者の位置で構成される無次元水平距離 $L_{xz}/\overline{B_L}$ がほと

んど変化しなかったと考えられる。

一方、図-9(d)~(f)の無次元鉛直距離 $L_{xy}/\overline{B_L}$ に着目すると、勾配の増加に伴い $L_{xy}/\overline{B_L}$ の最頻値が減少していることが確認される。

図-10に各カワムツの個体から上流側切欠きの中央までの水平距離 L_{xz} および鉛直距離 L_{xy} の最頻値を平均体長 $\overline{B_L}$ で除した値 $(\hat{L}_{xz}/\overline{B_L}, \hat{L}_{xy}/\overline{B_L})$ を流量 Q ごとに示す。図-10(a)の x - z 水平断面に着目すると、流量および勾配変化に伴う $\hat{L}_{xz}/\overline{B_L}$ の変化はほぼ認められない。一方、図-10(b)の x - y 鉛直断面に着目すると、各流量において、勾配の増加に伴い $\hat{L}_{xy}/\overline{B_L}$ が減少する傾向にある。これは勾配の増加に伴い、カワムツと上流側切欠きまでの鉛直距離が減少することを示す。

4. おわりに

本研究では、階段式魚道のプールの底面を上流側に下り勾配とし、勾配および流量を系統的に変化させ、勾配がカワムツの遡上率に及ぼす影響を検討した。得られた知見を以下に示す。

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。今回の実験では1種のみを対象としたが、今後河川に生息する全ての魚類にとって適切な魚道を設置するためには、多種との比較検討を重要な要素として研究を進める必要がある。

謝辞：本研究を行うに当たり科学研究費補助金基盤研究(C)26420500（代表：鬼東幸樹）の援助を受けた。

参考文献

- 1) 安田陽一：水生生物の湖上行動からみた魚道からの流れ、ながれ、第33巻、No.4, pp.343-348, 2014.
- 2) Katopodis, C. and Williams, J.G.: The development of fish passage research in a historical context, *Ecological Engineering*, Vol.48, pp.8-18, 2012.
- 3) Fuentes-Pérez, J.F., Sanz-Ronda, F.J., Azagra, A.M. and García-Vega, A.: Non-uniform hydraulic behavior of pool-weir fishways, *Ecological Engineering*, Vol.86, pp.5-12, 2016.
- 4) 中村俊六：魚道のはなし、山海堂、1995.
- 5) 浪平篤、後藤眞宏、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、

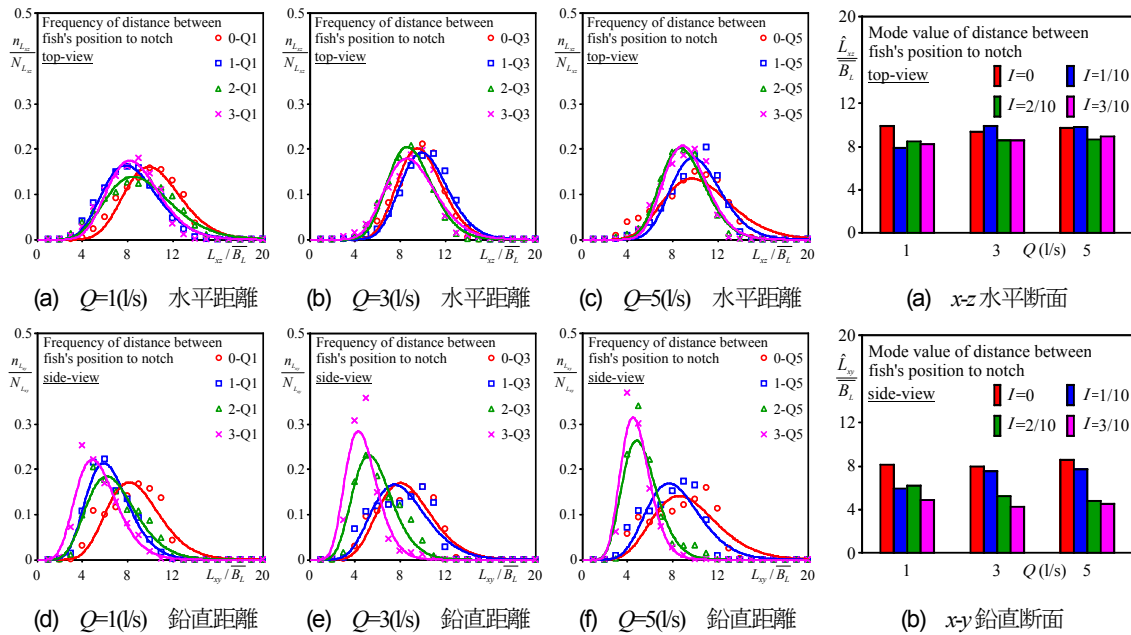


図-9 各流量におけるカワムツから切欠きまでの距離の頻度分布

図-10 切欠きまでの距離の最頻値

- pp.1189-1194, 2008.
- 6) 和田吉弘：魚道の設計で知っておきたいこと，応用生態工学，Vol.3, No.2, pp.225-230, 2000.
 - 7) Wada, Y.: Relation between the ascending path of ayu and fishway structure, *Proc. of the International Symp. on Fishways '90 in Gifu, Japan*, pp.445-450, 1990.
 - 8) 鬼束幸樹，秋山壽一郎，森悠輔，関強志，松田孝一郎：階段式魚道の切欠き角度が魚の遡上特性に及ぼす影響，水工学論文集，第54巻，pp.1303-1308, 2010.
 - 9) Noonan, M., Grant, J.W.A. and Jackson, C.D.: A quantitative assessment of fish passage efficiency, *Fish and Fisheries*, Vol.13, pp.450-464, 2012.
 - 10) 久保田哲也：砂防施設の魚道における渓流魚の行動と魚道の実態，水工学論文集，第42巻，pp.487-492, 1998.
 - 11) 林田寿文，本田隆秀，萱場祐一，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.
 - 12) 鬼束幸樹，秋山壽一郎，松田孝一郎，藏本更織，野口翔平：階段式魚道におけるプール水深がアユの遡上特性に及ぼす影響，土木学会論文集G（環境），Vol.68, No.6, pp.11-25-II_31, 2012.
 - 13) 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.
 - 14) 農林水産省農村振興局：よりよき設計のために「頭首工の魚道」設計指針，農業土木学会，2002.
 - 15) (財)ダム水源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.
 - 16) 農林水利施設魚道整備検討委員会，農林水産省構造改善局，水産庁振興部：農業水利施設の魚道整備の手引き，農業水利施設魚道整備検討委員会，1994.
 - 17) 有賀誠，安田陽一，金子直樹：治山ダムにおける魚道の設置ポイント，水利科学，No.347, pp.62-77, 2016.
 - 18) 鬼束幸樹，秋山壽一郎，野口翔平，宍戸陽：階段式魚道内の底面傾斜がアユの遡上特性に及ぼす影響，土木学会論文集G（環境），Vol.70, No.6, pp.115-II_121, 2014.
 - 19) 中坊徹次：日本産魚類検索-全種の同定 第三版-，東海大学出版会，2013.
 - 20) 鬼束幸樹，秋山壽一郎，山本晃義，渡邊拓也，脇健樹：河川に生息する数魚種の突進速度に関する研究-アユ，オイカワ，カワムツ，ギンブナを対象-，土木学会論文集B，Vol.65, No.4, pp.296-307, 2009.
 - 21) 川那部浩哉，水野信彦：日本の淡水魚，山と溪谷社，2001.
 - 22) 鬼束幸樹，秋山壽一郎，松田孝一郎，臼杵幸平，竹内光：板櫃川における魚類生息域の季節変化の調査，土木学会論文集B1（水工学），Vol.68, No.4, pp.1_703-I_708, 2012.

(2016.9.30 受付)

EFFECTS OF DOWN SLOPE OF BOTTOM IN POOL-AND-WEIR FISHWAY ON MIGRATION RATE OF *CANDIDIA TEMMINCKII*

Kouki ONITSUKA, Juichiro AKIYAMA, Tomohide TAKEDA,
Tsubasa FUJIKI and Kohei KUNISAKI

Clarifying appropriate geometric configuration is required when the fishway with high migration rate is set up. In this study, effects of bottom slope in pool-and-weir fishway on migration rate of Kawamutsu (*Candidia temminckii*) were investigated by changing bottom slope and discharge. As a result, it was found the migration rate becomes higher with the increase of the slope. It's because not only the migration distance decreases but Kawamutsu migrate through the slow flow area as the slope become larger.