

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

鬼東 幸樹¹・秋山 壽一郎²・武田 知秀³・定地 憲人⁴・
内山 僚介⁵・泉 孝佑⁶

¹正会員 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)
E-mail: onitsuka@civil.kyutech.ac.jp

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

³非会員 清水建設株式会社 (〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16番1号)

⁴非会員 東急建設株式会社 (〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14 渋谷地下鉄ビル)

⁵非会員 株式会社あとらす二十一 (〒163-0428 東京都新宿区西新宿2-1-1 新宿三井ビル28階)

⁶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)

河川において魚がすみやすい環境を創出するためには、洪水時に魚の避難場所となりうる空間を確保する必要がある。既往の研究によって、わんどが洪水時の魚の避難場所として有効であることが解明されているが、魚の避難行動とわんどの幾何学形状との関係は十分には解明されていない。本研究では、わんどの開口部の向きおよび流速の変化がカワムツの避難行動に及ぼす影響について検討した。その結果、わんど開口部の向きが横断方向の場合と比べて、流下方向の場合では低速流域が広範囲に形成され、避難場所となる空間が増加することが明らかになった。また、わんど開口部の向きが流下方向のケースでは、カワムツが主として側壁および下流方向を向いて遊泳していることが解明された。

Key Words: *Candidia temminckii*, evasion behavior, wando, direction, flow velocity

1. はじめに

魚は洪水時に変動する流速や水深に対応し、避難場所を変化させる。これまで洪水時における魚の行動形態に関する調査が行われてきた。綾ら¹⁾は淀川において水位が上昇すると、フナ(*Crucian carp*)などの18魚種がわんどに避難することを解明した。東ら²⁾は出水で流下したウグイ(*Tribolodon hakonensis*)がわんどや植生帯に避難することをテレメトリー法を用いて確認した。青木ら³⁾は杭水制を設置した複断面開水路内でウグイを遊泳させ、水制域に移動した個体はその場に留まることを解明した。以上のように、わんどや植生帯、水制域など低流速の場所が魚の避難場所として有効であることが解明されている。

近年、洪水時における魚の避難場所を人工的に造成、維持・管理する取り組み⁴⁾が報告されている。佐川ら⁵⁾は自然共生研究センターの実験河川の側岸にわんどを設置し、増水の前後にサデ網で魚を確保した結果、増水時に稚仔魚が本川からわんどに忌避することを解明した。傳田ら⁶⁾は千曲川中流で出水

時に本川とわんどとの間で魚を採取し、本川との接合頻度の高いわんどでは魚の移動が活発なことを解明した。鬼東ら⁷⁾は開水路側壁に設置したわんど開口部の長さを系統的に変化させ、増水時におけるオイカワ(*Opsariichthys platypus*)⁸⁾の避難行動を調査した。その結果、開口部の長さの増加に伴いわんどに進入するオイカワの尾数が増加することを解明した。

わんどが魚の避難場所として適していることが解明されつつあるが、わんどの適切な幾何学形状は必ずしも明確ではない。わんどの幾何学形状を決定する要素として、わんど開口部の長さや向き、わんどの奥行き長さや水深等が挙げられる。その中でも、わんど開口部は本川とわんどが接する部分であるため、開口部の向きが本川を遊泳する魚のわんどへの避難行動に及ぼす影響は大きいと推定される。

本研究では、開水路内に設置したわんどの開口部の向きおよび流速の変化がカワムツ(*Candidia temminckii*)⁸⁾の避難行動に及ぼす影響について検討した。なお、向きというわんどの幾何学形状の要素の1つを検討することで実河川においてもわんどを適切な

幾何学形状にし、魚のすみやすい川づくりへの応用が期待できると考え本実験を行った。

2. 実験装置および実験条件

図-1 に本実験で用いた開水路の解析対象区間を示す。この解析対象区間は開水路の全長 3m の中で流れが安定した区間であり、区間長 $L=2\text{m}$ 、幅 $B=0.8\text{m}$ 、高さ 0.25m である。流下方向に x 軸、底面から鉛直上向きに y 軸、左岸から右岸への横断方向に z 軸をとる。表-1 に実験条件を示す。開水路上流端から 1m 下流に開口部が位置するように、横断方向長さ $B_w=0.4\text{m}$ 、流下方向長さ $L_w=0.4\text{m}$ のわんどの開口部の向きを横断方向(Crosswise)および流下方向(Downstream)の 2 通りに変化させるとともに、カワムツの体長倍流速を $U_m/\overline{B}_L=6, 8$ および $10(1/s)$ の 3 通りに変化させた合計 6 ケースの実験を行った。ここで、 U_m は断面平均流速を表している。これらの U_m/\overline{B}_L は本実験において、わんどへの避難行動を観察するために設定した。これは一般的に魚の遊泳速度は体長倍流速で 2~4 の維持速度を超えると疲労が蓄積することに由来する。本実験では体長 B_L が 57~62mm(平均体長 $\overline{B}_L=60\text{mm}$) のカワムツを用いたが、鬼束ら⁹⁾の研究によると体長約 5~6cm のカワムツの限界流速は 120cm/s ほどとされているため、本実験程度の体長差であれば遊泳能力に大きな違いは無いと考えられる。ケース名はわんど開口部の向き(Cr, Do)と体長倍流速 U_m/\overline{B}_L (6, 8, 10) との組み合わせによって命名した。また、各ケースにおける水深を $h\approx 0.07\text{m}$ とした。座標 $(x, z)=(0.5\text{m}, 0.2\text{m})$ の位置に直径 0.2m、高さ 0.2m の円筒形金網を設置し、カワムツ ($N=10$ 尾) を挿入した。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 20 分間撮影した。上記の実験を各ケース 1 回ずつ行った。したがって、全 6 ケースでカワムツを合計 60 尾用いた。合計 3 分間馴致した後、撮影後、カワムツの遊泳位置と魚向 θ を解析した。魚向 θ は始線を x 軸と平行にとり、反時計回りを正、時計回りを負とした。また、全ケースにおいて水温を 20°C に保ち、実験は 10:00~17:00 において行った。

わんど外においては x 軸方向に 0.2m、 z 軸方向に 0.1m 間隔、わんど内においては x 軸方向に 0.1m、 z 軸方向に 0.1m 間隔で、 $y/h=0.4$ における流速 3 成分を 3 次元電磁流速計を用いて 0.05s 間隔で 25.6s 計測した。 $y/h=0.4$ は開水路内に魚を挿入していない状態で断面平均流速とほぼ一致する高さである。

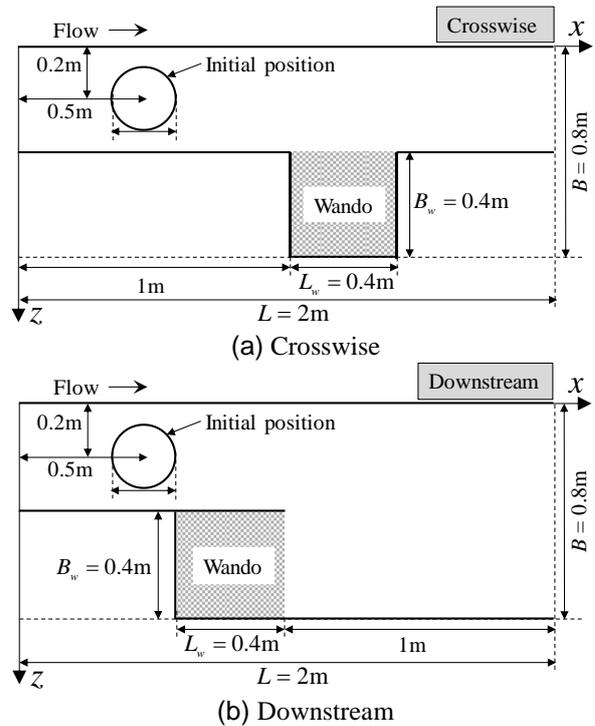


図-1 本実験で用いた開水路中の解析対象区間

表-1 実験条件

Flow velocity U_m/\overline{B}_L (1/s)	Direction of wando opening	
	Crosswise	Downstream
6	Cr-6	Do-6
8	Cr-8	Do-8
10	Cr-10	Do-10

計測後、 x, y, z 軸方向の時間平均流速 U, V, W から 3 次元合成流速 $V_v = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$ を算出した。なお、流速測定時には開水路にカワムツを放流していない。

3. 実験結果および考察

(1) 開水路内における流況

図-2 に全ケースにおける流速ベクトルを示す。開口部の向きが横断方向(Crosswise)の図-2(a)は、わんど外の領域 ($0 < z < 0.4\text{m}$) では $V_v/\overline{B}_L=4\sim 8(1/s)$ 、わんど内の領域 ($0.4 < z < 0.8\text{m}$) では $V_v/\overline{B}_L=1\sim 4(1/s)$ となっている。図-2(b)(c)は、わんど外の領域では $V_v/\overline{B}_L=4\sim 10(1/s)$ 、わんど内の領域では $V_v/\overline{B}_L=1\sim 6(1/s)$ となっている。

一方、開口部の向きが流下方向(Downstream)の図-2(d)は、わんど外の領域では $V_v/\overline{B}_L=4\sim 8(1/s)$ となっており、わんど内およびわんど開口部より下流側の領域 ($0.4 < z < 0.8\text{m}$) では $V_v/\overline{B}_L=1\sim 4(1/s)$ となっている。図-2(e)(f)は、わんど外の領域では

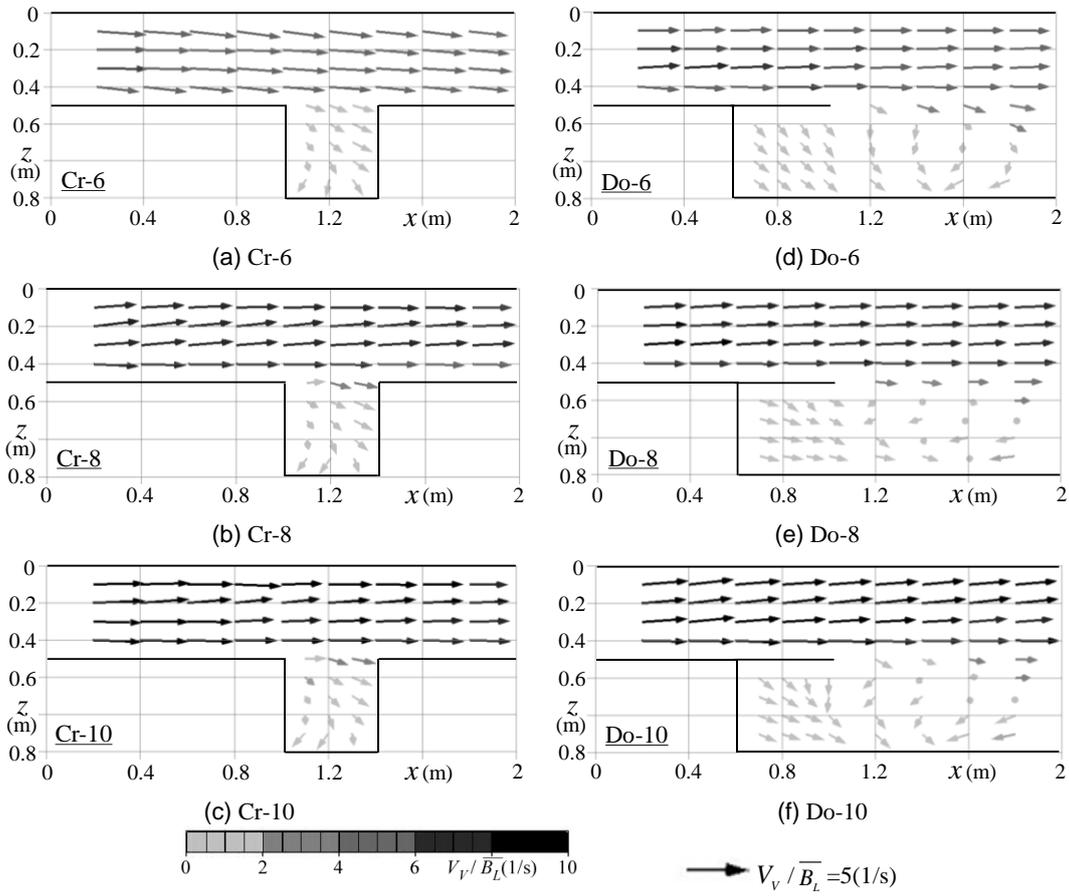


図-2 開水路内の流況

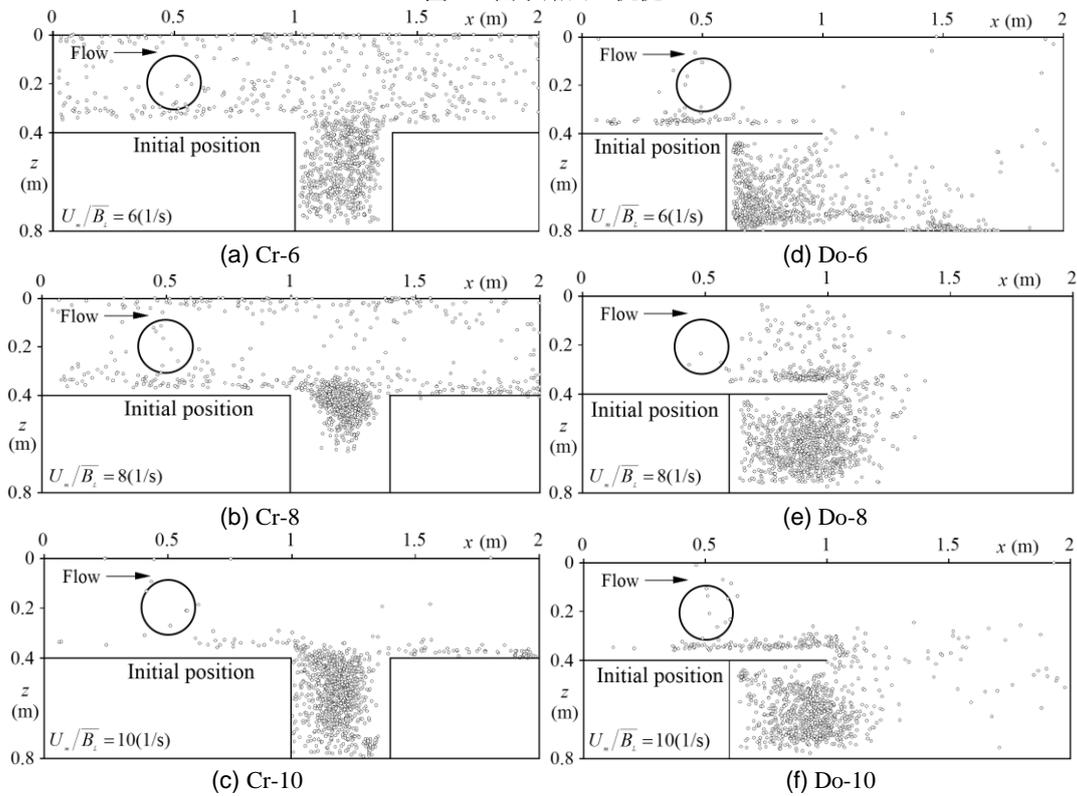


図-3 カワムツの遊泳位置

$V_v / B_L = 4 \sim 10 (1/s)$, わんど内の領域では $V_v / B_L = 1 \sim 4 (1/s)$ となっている。

一般に、魚は血合筋と普通筋の筋肉を有している。

血合筋を長時間使用しても疲労がほとんど蓄積しないが、普通筋を使用すると短時間で疲労が蓄積する。そのため、魚の遊泳速度は主として血合筋を用いる

維持速度 $2\sim 4(B_L/s)$ と、主として普通筋を用いる突進速度 $10(B_L/s)$ に大別される。一般に、魚は疲労が蓄積する突進速度を用いた遊泳を忌避する¹⁰⁾。そこで、 $V_v/\overline{B_L} \leq 4(1/s)$ の領域を低速流域、 $4(1/s) < V_v/\overline{B_L}$ の領域を高速流域と定義する。

わんど開口部の向きが横断方向のケース(Crosswise)では、 $0 < z < 0.4(m)$ のわんど外の領域がほぼ高速流域、 $0.4 < z < 0.8(m)$ のわんど内の領域がほぼ低速流域となっている。横断方向のケース(Crosswise)ではわんど内に小規模の渦が発生していることが観察される。一方、わんど開口部の向きが流下方向のケース(Downstream)においてはわんど下流域の $1 < x < 2(m)$ 、 $0.4 < z < 0.8(m)$ の領域にも低速流域が形成されている。そのため、わんど開口部の向きが横断方向のケース(Crosswise)より流下方向のケース(Downstream)の方が高速流からの避難が可能な空間が増加している。なお、 $V_v/\overline{B_L} \leq 4(1/s)$ である低速流域をカワムツが遊泳している場合を避難とした。わんど開口部の向きが流下方向のケース(Downstream)ではわんど内および下流側の低速流域の右岸側壁付近において渦が発生している。これらの渦は開水路全体からすると規模は大きくないものの、3.(3)で述べるカワムツの魚向に影響を与える。

(2) カワムツの遊泳位置

図-3に全ケースにおける10sごとのカワムツの遊泳位置を示す。わんど開口部の向きが横断方向(Crosswise)の図-3(a)~(c)に着目すると、カワムツは主に高速流域の壁面付近および低速流域で遊泳していることがわかる。また、体長倍流速 $U_m/\overline{B_L}$ の増加に伴い、低速流域のわんど内を遊泳するカワムツの尾数が増加している。一方、わんど開口部の向きが流下方向(Downstream)の図-3(d)~(f)に着目すると、カワムツは主に高速流域の右岸側および低速流域で遊泳していることがわかる。この遊泳位置の特性は、体長倍流速 $U_m/\overline{B_L}$ が異なってもほぼ同一である。また、図-3(a)(b)と図-3(d)(e)を比較すると、わんど開口部の向きが横断方向のケース(Crosswise)より流下方向のケース(Downstream)の方がカワムツが低速流域に集中して遊泳していることがわかる。図-3(c)と図-3(f)を比較すると、横断方向のケースおよび流下方向のケースともにカワムツは低速流域を遊泳していることがわかる。

開水路先端($x=0m$)から流下方向に0.2mずつ分割し、各範囲内に存在するカワムツの遊泳位置を10sごとにカウントすることで、時間平均尾数 n_{px}

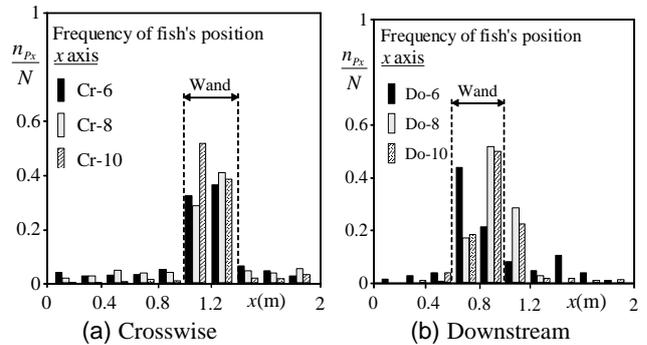


図-4 x軸方向の遊泳位置の頻度

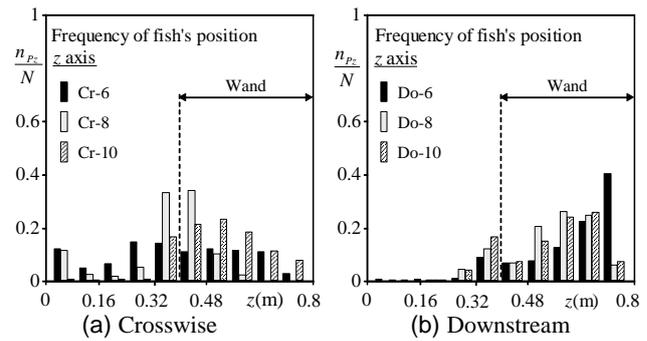


図-5 z軸方向の遊泳位置の頻度

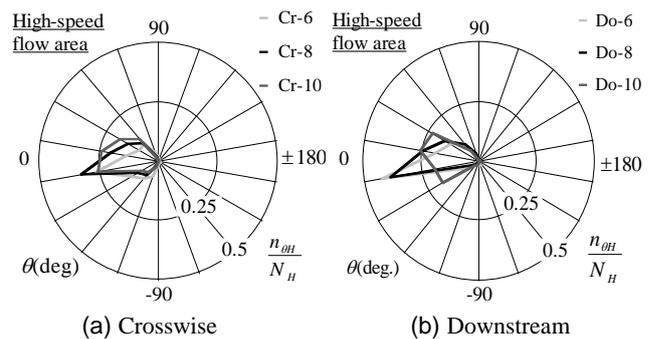


図-6 高速流域における魚向頻度

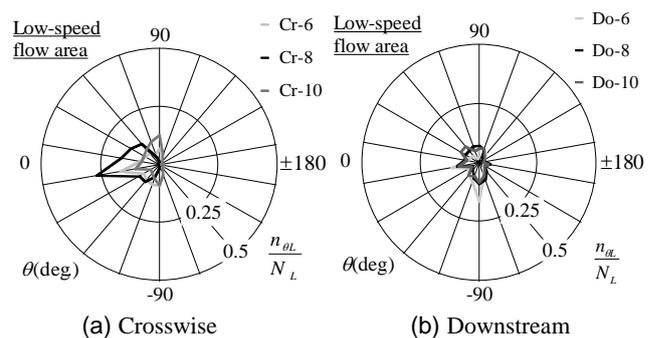


図-7 低速流域における魚向頻度

を算出した。時間平均尾数 n_{px} を実験尾数 N で除した値 n_{px}/N を x 軸方向の遊泳位置の頻度とした。図-4(a)(b)にカワムツの x 軸方向の遊泳位置の頻度 n_{px}/N をわんど開口部の向き別に示す。わんど開口部の向きが横断方向(Crosswise)の図-4(a)では $1.0 < x < 1.4(m)$ の領域で、わんど開口部の向きが流下方向(Downstream)の図-4(b)では $0.6 < x < 1.2(m)$ の領

域での遊泳頻度が顕著に高い。これは、いずれのケースにおいても、わんど内部あるいは開口部近傍における遊泳頻度が高いことが原因である。また、この遊泳頻度の傾向は、体長倍流速 U_m / \overline{B}_L が異なってもほぼ類似している。

同様に、開水路左岸側 ($z=0\text{m}$) から横断方向に 0.08m ずつ分割し、各範囲内に存在するカワムツの遊泳位置を 10s ごとにカウントすることで、時間平均尾数 n_{pz} を算出した。時間平均尾数 n_{pz} を実験尾数 N で除した値 n_{pz} / N を z 軸方向の遊泳位置の頻度とした。図-5(a), (b) にカワムツの z 軸方向の遊泳位置の頻度 n_{pz} / N をわんど開口部の向き別に示す。わんど開口部の向きが横断方向(Crosswise)の図-5(a)に着目すると、体長倍流速 $U_m / \overline{B}_L = 6(1/s)$ の Cr-6 では横断位置に対する遊泳頻度に顕著な傾向は見られない。一方、体長倍流速 $U_m / \overline{B}_L = 8, 10(1/s)$ の Cr-8 および Cr-10 では、 $0.4 < z < 0.8(\text{m})$ の低速流域における遊泳頻度が増加している。また、わんど開口部の向きが流下方向(Downstream)の図-5(b)に着目すると、体長倍流速 U_m / \overline{B}_L が異なっても $0.4 < z < 0.8(\text{m})$ の低速流域における遊泳頻度が高いことがわかる。したがって、わんど開口部の向きが横断方向のケース(Crosswise)より流下方向のケース(Downstream)の方がカワムツが低速流域を遊泳する傾向が強いことが明らかとなった。この低速流域では、(5)で述べるようにカワムツは横断方向のケース(Crosswise)、流下方向のケース(Downstream)ともに魚の疲労がほとんど蓄積しない遊泳速度 $2 \sim 4(1/s)$ で遊泳している。このような傾向の要因として、横断方向のケース(Crosswise)より流下方向のケース(Downstream)ではカワムツの遊泳に適した流速の範囲が大きく、それにカワムツが応答したことが考えられる。

(3) カワムツの魚向の変化

高速流域を遊泳するカワムツの 20° ごとの魚向別尾数を 10s ごとにカウントし、時間平均魚向別尾数 $n_{\theta H}$ を算出した。時間平均魚向別尾数 $n_{\theta H}$ を高速流域を遊泳するカワムツの時間平均尾数 N_H で除した値 $n_{\theta H} / N_H$ を高速流域における魚向頻度とした。図-6(a)(b) にカワムツの高速流域における魚向頻度 $n_{\theta H} / N_H$ をわんど開口部の向き別に示す。両者とも $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の範囲の魚向頻度が高くなっている。これは、わんど開口部の向きに関わらずカワムツは高速流域においては主として上流方向を向いて遊泳していることを意味する。

低速流域を遊泳するカワムツについても同様に、時間平均魚向別尾数 $n_{\theta L}$ を算出した。時間平

均魚向別尾数 $n_{\theta L}$ を低速流域を遊泳するカワムツの時間平均尾数 N_L で除した値 $n_{\theta L} / N_L$ を低速流域における魚向頻度とした。図-7(a)(b) にカワムツの低速流域における魚向頻度 $n_{\theta L} / N_L$ をわんど開口部の向き別に示す。図-7(a)と図-7(b)を比較すると、わんど開口部の向きが横断方向(Crosswise)ではカワムツの多くが上流方向の遊泳をしているのに対し、流下方向(Downstream)では $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の範囲の魚向頻度が高くなっている。これは流下方向(Downstream)では低速流域の流向が開水路右岸側壁および上流方向により向いているためと考えられる。したがって、低速流域における流向の影響でわんど開口部の向きが横断方向(Crosswise)より流下方向(Downstream)の方でカワムツは主として側壁および下流方向を向いて遊泳していることが明らかとなった。

(4) カワムツの対地速度の変化

高速流域におけるカワムツの遊泳位置の x 座標を 0.5s ごとに求めて対地速度 V_{GH} を算出し、対地速度 V_{GH} の平均値 $\overline{V_{GH}}$ をカワムツの平均体長 \overline{B}_L で除した体長倍対地速度の平均値 $\overline{V_{GH}} / \overline{B}_L$ を求めた。また、 V_{GH} の標準偏差 V'_{GH} をカワムツの平均体長 \overline{B}_L で除した体長倍対地速度の標準偏差 V'_{GH} / \overline{B}_L も求めた。図-8(a)に高速流域を遊泳するカワムツの体長倍対地速度の平均値 $\overline{V_{GH}} / \overline{B}_L$ および標準偏差 V'_{GH} / \overline{B}_L をわんど開口部の向き別に示す。わんど開口部の向きおよび体長倍流速 U_m / \overline{B}_L が異なっても、体長倍対地速度の平均値 $\overline{V_{GH}} / \overline{B}_L$ および標準偏差 V'_{GH} / \overline{B}_L に顕著な差異は見られない。

同様に、低速流域におけるカワムツの遊泳位置の x 座標を 0.5s ごとに求めて対地速度 V_{GL} を算出し、対地速度 V_{GL} の平均値 $\overline{V_{GL}}$ をカワムツの平均体長 \overline{B}_L で除した体長倍対地速度の平均値 $\overline{V_{GL}} / \overline{B}_L$ を求めた。また、 V_{GL} の標準偏差 V'_{GL} をカワムツの平均体長 \overline{B}_L で除した体長倍対地速度の標準偏差 V'_{GL} / \overline{B}_L も求めた。図-8(b)に低速流域を遊泳するカワムツの体長倍対地速度の平均値 $\overline{V_{GL}} / \overline{B}_L$ および標準偏差 V'_{GL} / \overline{B}_L をわんど開口部の向き別に示す。図-8(a)と同様に、わんど開口部の向きおよび体長倍流速 U_m / \overline{B}_L が異なっても、体長倍対地速度の平均値 $\overline{V_{GL}} / \overline{B}_L$ および標準偏差 V'_{GL} / \overline{B}_L に顕著な差異は見られない。

以上より、わんど開口部の向きはカワムツの対地速度にほとんど影響を及ぼさないことが明らかとなった。この要因として、低流速域では高流速域から避難してきたカワムツがその場所にとどまって疲労を回復し、高流速域では下流に流されないようにす

るためその場でとどまっているためと考えられる。

(5) カワムツの遊泳速度

3.(4)で算出した高速流域および低速流域におけるカワムツの対地速度 V_{GH} , V_{GL} と流速 V_v に基づき、遊泳速度 V_{SH} , V_{SL} を算出し、カワムツの平均体長 \bar{B}_L で除した体長倍遊泳速度 V_{SH}/\bar{B}_L , V_{SL}/\bar{B}_L を求めた。図-9(a)(b)に、高速流域における体長倍遊泳速度 V_{SH}/\bar{B}_L の頻度分布をわんど開口部の向き別に示す。わんど開口部の向きが横断方向(Crosswise)の図-9(a)に着目すると、体長倍流速 U_m/\bar{B}_L の増加に伴いカワムツの体長倍遊泳速度 V_{SH}/\bar{B}_L の最頻値が増加していることがわかる。わんど開口部の向きが流下方向(Downstream)の図-9(b)においても図-9(a)と同様に、体長倍流速 U_m/\bar{B}_L の増加に伴いカワムツの体長倍遊泳速度 V_{SH}/\bar{B}_L の最頻値が増加していることがわかる。

図-10(a)(b)に低速流域における体長倍遊泳速度 V_{SL}/\bar{B}_L の頻度分布をわんど開口部の向き別に示す。わんど開口部の向きが横断方向(Crosswise)の図-10(a)に着目すると、体長倍流速 U_m/\bar{B}_L が異なっても、カワムツの体長倍遊泳速度 V_{SL}/\bar{B}_L の頻度分布に顕著な差異は見られない。また、わんど開口部の向きが流下方向(Downstream)の図-10(b)においても図-10(a)と同様に、体長倍流速 U_m/\bar{B}_L が異なっても、カワムツの体長倍遊泳速度 V_{SL}/\bar{B}_L の頻度分布に顕著な差異は見られない。

以上より、流速の増加は高速流域を遊泳するカワムツの遊泳速度を増加させるが、低速流域を遊泳するカワムツに影響をほとんど及ぼさないことが判明した。また、わんど開口部の向きはカワムツの遊泳速度にほとんど影響を及ぼさないことが明らかとなった。

4. おわりに

本研究は開水路内に設置したわんど開口部の向きおよび流速の変化がカワムツの避難行動に及ぼす影響について解明した。得られた知見を以下に示す。

- (1) わんど開口部の向きが流下方向の場合では、低速流域がわんど下流域にも形成され、開口部の向きが横断方向の場合よりも避難場所となりうる空間が増加する。
- (2) わんど開口部の向きが横断方向の場合と比較して、流下方向の場合ではカワムツは低速流域を高頻度で遊泳する。また、流下方向の場合ではカワムツは主として側壁および下流方向を向いて遊

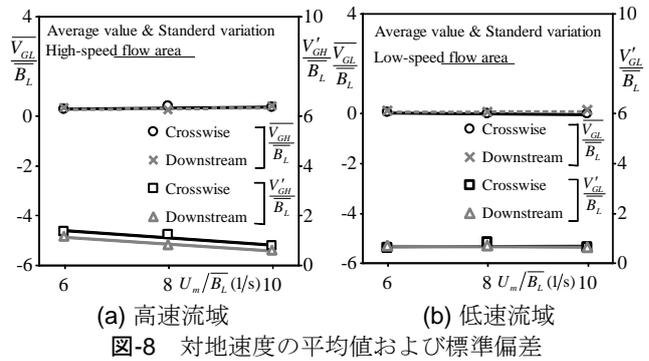


図-8 対地速度の平均値および標準偏差

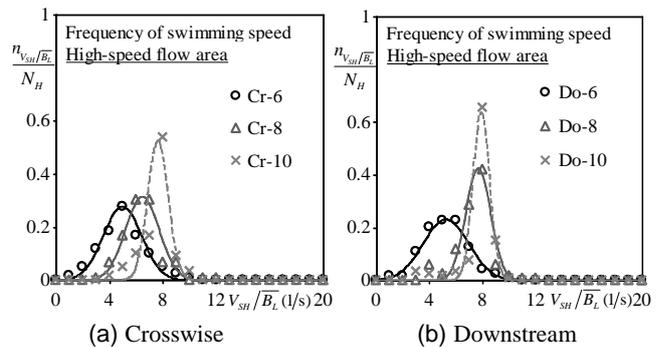


図-9 高速流域における遊泳速度の頻度分布

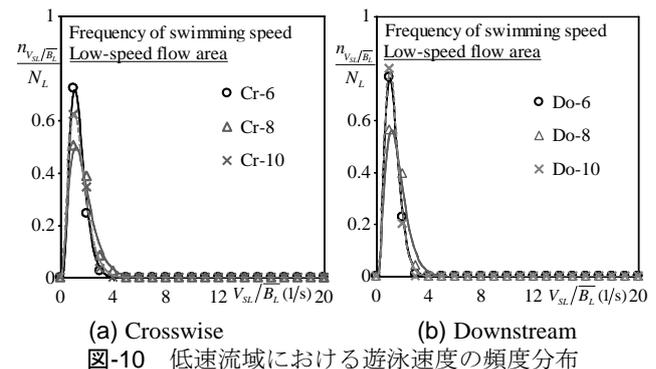


図-10 低速流域における遊泳速度の頻度分布

泳していることが明らかとなった。これは、カワムツはわんど開口部が流下方向の低速流域をより頻繁に避難場所として利用することを意味する。

- (3) わんど開口部の向きは、低速流域を遊泳するカワムツの対地速度および遊泳速度にほとんど影響を及ぼさないことが明らかとなった。

したがって、わんど開口部の向きが流下方向の場合ではカワムツの遊泳に適した流域が多く形成されたことが確認された。本実験では開水路内の流況や水深を考慮した結果、わんどの大きさが 0.4m 四方となった。しかし、このわんどの大きさは実河川規模のわんどを再現できておらず、実河川のわんどの幾何学形状や規模については今後検討が必要である。

謝辞：本研究を実施するに当たり、科学研究費補助金基盤研究(C)17K06580（代表：鬼束幸樹）の援助を受けた。

参考文献

- 1) 綾史郎, 河合典彦, 小川力也, 紀平肇, 中西史尚, 竜門俊次: 淀川における水位の変化と魚類の産卵行動, 河川技術論文集, Vol.10, pp.333-338, 2004.
- 2) 東信行, 鴨下真吾, 佐原雄二, 関泰夫, 渡辺勝栄: 増水時における河川魚類の挙動と河川構造, 環境システム研究論文集, Vol.27, pp.793-798, 1999.
- 3) 青木宗之, 瀬崎薫貴, 福井吉孝: 複断面開水路における流量変化と魚の行動に関する実験的研究, 土木学会論文集G(環境), Vol.69, No.4, pp.166-182, 2013.
- 4) 松崎浩憲, 玉井信行, 河原能久, 牧野一正, 佐藤康晴, 清川仁: 多摩川人工わんどの特性と維持管理への提言, 河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, Vol.3, pp.231-236, 1997.
- 5) 佐川志朗, 萱場祐一, 荒井浩昭, 天野邦彦: コイ科稚仔魚の生息場所選択—人工増水と生息場所との関係, 応用生態工学, Vol.7, No.2, pp.129-138, 2005.
- 6) 傳田正利, 山下慎吾, 尾澤卓思, 島谷幸宏: ワンドと魚類群集-ワンドの魚類群集を特徴づける現象の考察, 日本生態学会誌, Vol.52, pp.287-294, 2002.
- 7) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 宍戸陽, 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, 環境システム研究論文集, Vol.72, No.6, pp.143-148, 2016.
- 8) 中坊徹次: 日本産魚類検索, 東海大学出版会, pp.221, 2013.
- 9) 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.
- 10) 中村俊六: 魚道のはなし, 山海堂, pp.89, 1995.

(2018. 5. 17受付)

EFFECTS OF THE DIRECTION OF WANDO OPENING IN OPEN CHANNEL FLOW ON EVACUATION BEHAVIOR OF *CANDIDIA TEMMINCKII*

Kouki ONITSUKA, Juichiro AKIYAMA, Tomohide TAKEDA, Kento JOJI,
Ryosuke UCHIYAMA and Kosuke IZUMI

It is important to secure evacuation space for fish during floods to create comfortable environment. Evacuation area includes wando, groyne and vegetation. Wando is a dead water region connecting the main current of a river. However, little is known about the relationship between evacuation behavior of fish and geometric shape of wando. In this study, an investigation on evacuation behavior of *Candidia temminckii* was conducted under the condition that the direction of wando opening and also the flow velocity are changed. It was found that the low velocity area increased when wando opening was faced downstream, and this area became evacuation area for *Candidia temminckii*. Besides, it was shown that *Candidia temminckii* swim facing mainly the sidewall or downstream directions when the wando opening was faced downstream.