

階段式魚道内のアユの挙動と水理量との関係

九州工業大学工学部	学生員	○杉本寿郎・関強志
九州工業大学大学院	学生員	森悠輔
九州工業大学大学院	正会員	鬼束幸樹
九州工業大学大学院	フェロー会員	秋山壽一郎

1. はじめに

ダムや堰が設置された後でも魚類等が河川を縦断方向に移動できるように魚道が設置される¹⁾。魚道の機能に求められる高い遡上率を得るためには魚の挙動と魚道内の水理量との関係を知る必要がある。以前より遡上に挑む魚道内の魚の挙動を解明した研究は多く存在するが、魚道内の魚の瞬間的な魚の向いている方向(以後、魚向と表示する)や遊泳速度を詳細に解析し、流速、流向といった水理量と比較した研究はほとんどない。本研究は階段式魚道内を遊泳するアユの挙動を撮影すると共に流速3成分を計測し、両者の関係を詳細に検討したものである。

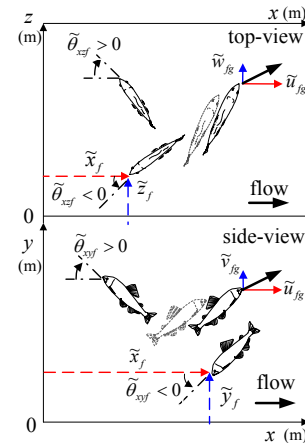


図-1 魚の瞬間諸量模式図

2. 実験装置および実験条件

プール長 $L_x=0.48\text{m}$ 、プール高さ $L_y=0.4\text{m}$ 、魚道幅 $L_z=0.4\text{m}$ の亚克力製プールを5つ連結させた全面越流型階段式魚道を実験に用いた。隔壁厚 Δx は 0.1m 、隔壁形状はWadaが推奨する傾斜角 60° のR型を採用し魚道勾配が $1/12$ になるようにプール間落差 $\Delta y=0.04\text{m}$ とした。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。

流量 $Q=0.5\text{ l/s} \sim 14.5\text{ l/s}$ を8通りに変化させて、平均体長 $B_L=8.3\text{cm}$ のアユ100尾を用い遡上数を求めると、プランジングフローにおいては流量 Q が $4.5(\text{l/s})$ の時に、

ストリーミングフローにおいては流量 Q が $12.5(\text{l/s})$ の時に遡上率が最大となった。そこで水路の側壁および下部方向にビデオカメラを設置し、アユを20尾挿入して流量を $4.5(\text{l/s})$ および $12.5(\text{l/s})$ とし、30Hzで20分間の同時撮影を行う実験を改めて行った。撮影後、得られた画像から図-1に定義する瞬間諸量を $1/6\text{s}$ ごとに算出した。ここで、鬼束ら³⁾は切り欠きのない魚道の水理諸量は横断方向にほぼ同様と述べているため、 $z/L_z=0.5$ を代表断面として採用し、 x 、 y 軸方向にそれぞれ12点のメッシュをとった合計144点において、3次元電磁流速計を用いて瞬間流速を 0.05s 間隔で51.2s計測した。

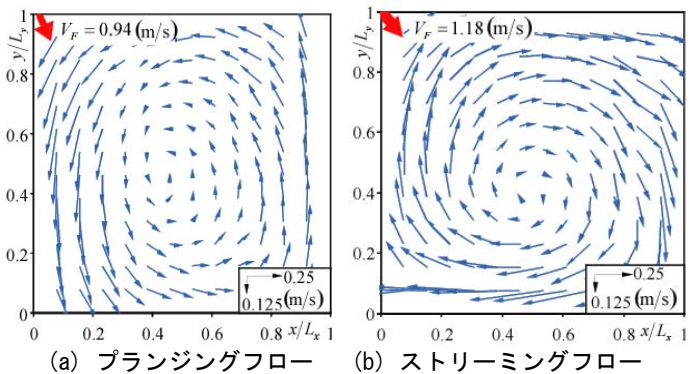


図-2 プール内の流速ベクトル

3. 実験結果および考察

図-2にプール内の流速ベクトルを示す。流量 Q が $4.5(\text{l/s})$ の時はプランジングフロー、流量 Q が $12.5(\text{l/s})$ の時はストリーミングフローに属していることがわかる。

プール内を x 、 y 軸方向をそれぞれ6等分した36エリアを設定し、図-3に各エリア毎の平均魚向 Θ_{xyf} を示す。

図-3(a)においては上流側隔壁近傍で水平方向を向いており、図-3(b)においては下流側隔壁近傍でほぼ水平方向を向いているが、目視では瞬間的な魚向にばらつきが見られ、平均値のみで魚の遊泳形態を理解することは困難である。そのことから瞬間的な挙動を解明する必要があると示唆された。特徴的な魚の挙動を示した上流域の底面付近 (bed area) および水面付近 (surface area)、上流側隔壁近傍 (downward area) および下流側隔壁近傍 (upward area) の4エリアを定義し、図-4に図示する。

瞬間遊泳速度は瞬間対地速度に瞬間流速を加えて求められる。瞬間遊泳速度 $\tilde{u}_f$ を式(1)で算出した。

$$\tilde{u}_f = \tilde{u}_{fg} + U \quad (1)$$

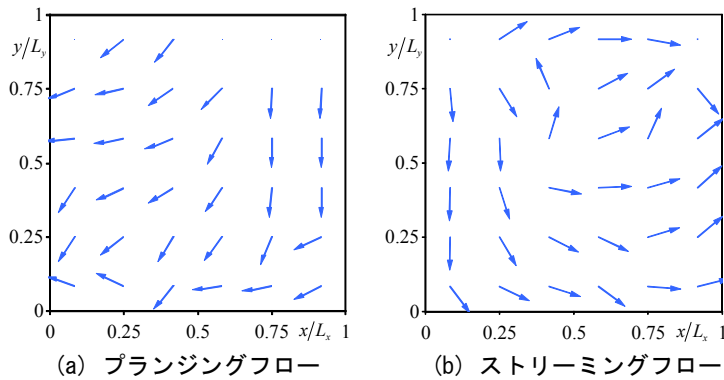
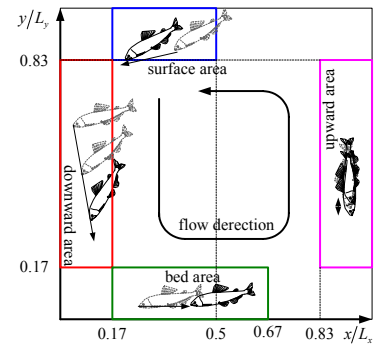
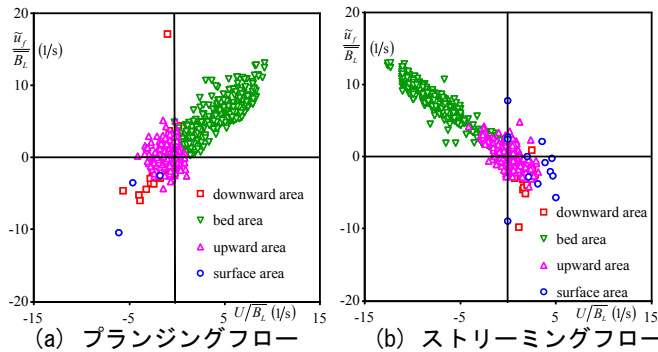
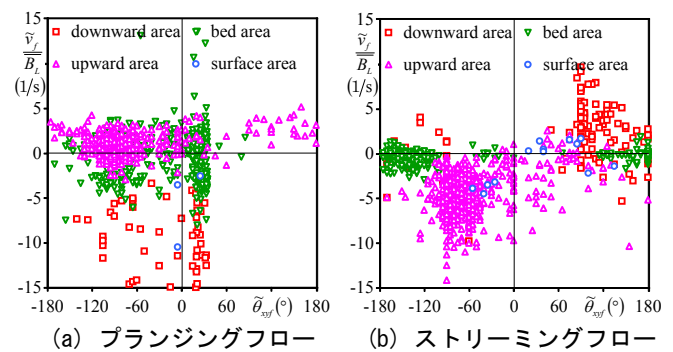
図-3 エリア別平均魚向 Θ_{xyf} ベクトル

図-4 プール内のエリア定義模式図

図-5 流速 U と瞬間遊泳速度 $\tilde{u}_f$ の関係図-6 瞬間魚向 $\tilde{\theta}_{xyf}$ と瞬間遊泳速度 $\tilde{v}_f$ の関係

$\tilde{v}_f$ および $\tilde{w}_f$ も同様に得ることができる。図-5に x 軸方向流速 U と瞬間遊泳速度 $\tilde{u}_f$ との関係を、図-6において瞬間魚向 $\tilde{\theta}_{xyf}$ と瞬間遊泳速度 $\tilde{v}_f$ との関係を示す。

図-5において、bed areaについてはどちらも流速 U に対する遊泳速度 $\tilde{u}_f$ の大きさが同程度であり、プランジングフローおよびストリーミングフロー共に流れに向かって遊泳する「正の向流性」が確認される。

surface areaについてはプランジングフローでは第3象限にプロットが位置し、ストリーミングフローでは、第4象限にプロットの多くが位置している。アユが流れに乗って移流していることを意味しており、どちらの流況でも「負の向流性」が確認される。

downward areaおよびupward areaについてはプランジングフローおよびストリーミングフロー共に $\tilde{u}_f$ は小さく、 x 軸方向に対する移動は小さいことがわかる。以上のことから、 x 軸方向に対するアユの挙動は流況に左右されず、底面付近では「正の向流性」、水面付近では「負の向流性」を示すことが明らかになった。

図-6においてdownward areaについてはプランジングフローにおいて魚向が上向きの場合、その角度は小さいが、下向きの場合、その角度は大きくなっている。それに対してストリーミングフローにおいては、魚向が上向きおよび下向きの場合共にその角度は大きい。これらのことは図-3のエリア別に平均された魚向では確認できない。

upward areaについてはどちらも-90度付近にプロットが集中しており下向きに、つまり流れに向かって遊泳していることがわかる。しかし、遊泳速度 $\tilde{v}_f$ を見るとプランジングフローでは水面方向に流されているが、ストリーミングフローでは底面方向に遊泳しており、遊泳速度に差が見られた。これにより、アユの挙動を理解するためには時間平均のみではなく、瞬間的な挙動についても解析を行う必要があること、また、アユの挙動は流況には左右されず、底面付近では「正の向流性」、水面付近では「負の向流性」があることが判明した。今回得られた挙動を図-4に示す。

4. おわりに

本研究では、魚道内の魚の瞬間的な魚向や遊泳速度を詳細に解析し、流速、流向といった水理量との関係を検討したものである。以下に結論を示す。

- (1) 時間平均された魚向や遊泳速度の情報からでは魚の挙動を理解することは困難で、瞬間的な挙動を解析する必要があることが示された。
- (2) 瞬間的には「正の向流性」だけでなく、「負の向流性」を示す場合があり、その頻度はプール内の領域に依存すること、それは流況には左右されないことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 中村俊六：魚道のはなし，山海堂，1995。
- 2) 鬼束幸樹，秋山壽一郎，木内大介，川良典彰：水工学論文集，第49巻，pp.817-822，2005。