

壁面の凹凸形状に着目した魚類行動の複雑性に関する実験的研究

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 専攻科 学生会員 ○桑原 真吾
 同上 環境都市工学科 西尾 圭祐 ・ 正会員 和田 清
 水圏域環境研究会 寺町 茂

1.はじめに

改修工事に伴う河道断面の画一化は、河川がもつ環境機能の縮小を招き、水生生物の生息密度の減少や個体群の多様性の低下が指摘されている。そこで近年、河川や農業用水路の岸部に、洪水時の避難場所や幼生・稚魚の生育場としての機能を期待して、凹凸部や円柱群などを人工的に設けることが行われている。

本研究では、河川や農業用水路に生息する在来魚類を対象にして、魚類の体長スケールの凹凸といった微小なディテール要素が魚類の遊泳行動に与える影響を、水理特性と関連づけて明らかにすることを目的としている。壁面棧型粗度の存在が魚類の定位行動に与える効果について尾部振動数を用いて表すとともに、凹凸部の形状が魚類の遊泳行動にどのような影響を与えているかについて、アスペクト比の異なる条件において魚類個体群の非定常な行動の複雑性をフラクタル次元により定量的に把握したものである。

2.壁面に粗度がある場合の遊泳行動

2.1 実験装置および実験方法

可変勾配式アクリル製水路(長さ200cm×幅20cm×高さ15cm)において、壁面乱流場を与えるため、片側に棧型粗度を設置した。粗度は 2.7cm×2.7cm の角材を用いて、粗度間隔 $S=8.1, 16.2\text{cm}$ 、粗度指数(粗度間隔/粗度高さ) $I=3, 6$ の2種類とした。実験は、魚類を水路に放流し、水温 $15.9\pm 0.4^\circ\text{C}$ 、水路勾配 $I=1/500$ において、流量 $Q=8.95\text{L/s}$ 、 13.24L/s (水深 $h=14.0\text{cm}$) の2パターンにおける遊泳行動を、ハイビジョンビデオカメラ(SONY製、HDR-HC1)で撮影した。水路下側に鏡を斜め45度で固定することにより、3次元的な水路内の遊泳行動が把握できる。実験に用いた供試魚は遊泳魚であるアブラハヤ(体長 $BL=8.9\pm 1.6\text{cm}$)、オイカワ($BL=9.0\pm 0.9\text{cm}$)である。得られた映像はパソコンにHDV形式(1440×1080pixel, 30fps)で取り込み、数秒間定位している時の映像から約1秒間の尾鰭往復回数を計測することにより魚類の尾部振動数を測定した。水深・流速の測定は、容量式波高計および3次元電磁流速計を用いてデータロガーよりAD変換することにより行った。

2.2 実験結果および考察

図-1は、 $Q=8.95\text{L/s}$ (主流速 0.5m/s)、水温 $15.7\pm 0.3^\circ\text{C}$ 、粗度指数 $I=3, 6$ の2種類において、アブラハヤ($BL=6.0\text{cm}$ 、突進速度 $10BL=0.6\text{m/s}$)の定位状態における尾部振動数(約1秒あたりの尾びれ往復回数)を、粗度内・粗度側・主流域ごとに表したものである。このときの定位状態とは、ある位置で2~3秒間遊泳している状態である。一般に、尾部振動数が大きいほど激しく遊泳している。同図より、棧型粗度に近い領域ほど尾部振動数が小さくなっており、棧型粗度による緩流域の存在が、魚類が遊泳しやすい環境を作り出していることが確認できる。一方、粗度指数 $I=6$ の粗度間隔が大きい場合には、粗度内・付近での尾部振動数が小さくなっている。2種類の粗度は、供試魚の体長が粗度の凹部の間口より大きいのか小さいかという点で異なっており、粗度内に魚類が進入して定位できるかは粗度形状に左右されることになる。また、同じ粗度条件で流量を 13.24L/s (主流速 0.8m/s 、突進速度以上)に変化させると、尾部振動数以外にも尾びれの振れ幅や有効長さが変化していることなどが観察されている。なお、実験中、棧型粗度の内部に頭を突っ込み、吻部と体側面部の2点を粗

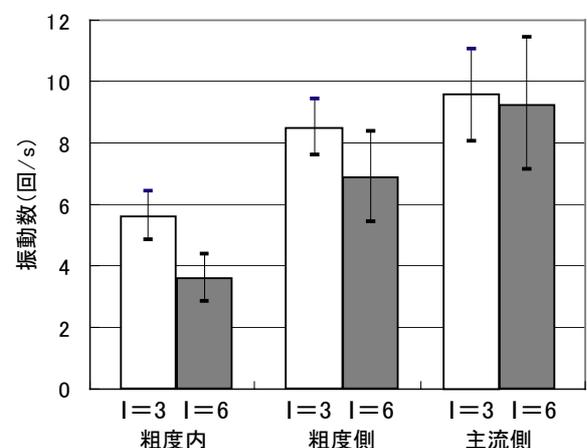


図-1 各定位領域の尾部振動数
 (アブラハヤ, $BL=6.0$, 水温 15.7°C)

度に押し付けてバランスをとり、数～数十秒間ほとんど尾鰭を振動させず定位するという特異な行動が頻繁に確認された。魚種や個体によっては、粗度形状を上手に利用し、流れに対して定位し一時的な休憩を行う個体が存在する。

3. 微小な空間スケールにおける個体群行動

3.1 実験装置および解析方法

実験は、小型回流水槽(パーソナルタンク)を用い、観察部(60cm×20cm×30cm)にアスペクト比が異なる凹凸部を4case 設定した。実験条件は水深 20cm、最大流速 60cm/s と、数分程度遊泳が可能な突進速度以下の値に設定し、凹凸部を避難場所として使用する頻度を多く期待できる値とした。観察部の直下には鏡を設置し、3 次元的な個体群の移動を撮影した。供試魚は、オイカワ(BL=8.3±0.9cm) 5 尾を 1 組とし、実験装置に対象魚を放流後 1 時間程度馴致して行動を観察した。観察部をデジタルビデオカメラにより約 30 分間撮影し、その映像をパソコンに取り込んだ。2 次元動画計測ソフトウェア(Move-Tr/2D)を用いて魚類の 3 次元位置座標の時系列データを求め、相関積分法によるフラクタル次元解析を行い魚類行動の複雑性を評価した。なお、解析にはカオス時系列解析ソフト(Sunday Chaos Times)を用いた。

3.2 実験結果および考察

図-2 は、各 Case における x-y 平面での魚類の位置座標を 1 秒間隔で 5 分間(300 点)プロットしたものと、そのフラクタル次元を示したものである。同図より、Case1(アスペクト比 0.6:1)では最下流の避難場所とその周辺、Case2(1.2:1)では下流部の避難場所とは反対側の主流側面付近、Case3(2.7:1)および Case4(1.3:1)では避難場所を中心にはほぼ全領域に個体群の存在が確認されている。同図中のフラクタル次元は、Case1 において他の Case よりも x 成分が小さく、y、z 成分が大きくなっている。巡回行動が困難な状況であり、吻部を側壁に向けたまま y 方向に往復運動をする遊泳行動や、水面からの飛び跳ね行動が観察された特異性によるものと考えられる。魚類の遊泳位置やその集中・分散の程度とフラクタル次元の大小関係は一致しており、魚類の遊泳行動の複雑性をフラクタル次元という指標を用いて表すことが可能であると考えられる。これを応用すれば、避難場所などの空間・配置などの適性について、魚類行動の複雑性を指標として評価することができる。さらに、2 に示したように、側壁に栈型粗度や凹凸部などを連続的に導入する場合には、Case3、4 のような魚類の体長の 2 倍以上の空間を確保すると魚類の一時的な休憩場所として有効に働くことが示唆される。

4. おわりに

以上の実験から、水路壁面に追加した魚類の体長スケールのディテール要素が、壁面に沿った緩流域を作り出し、魚類の休憩・遡上などが可能な領域として機能することが示唆された。また、体長スケールの凹凸部において、アスペクト比と魚類遊泳行動の関係について遊泳行動の複雑性をフラクタル次元として定量的に把握し、避難場所の評価を行うことができることが指摘された。さらに突進速度程度の流速になると、そのディテール要素が魚類の遊泳行動に大きな影響を与えており、体長の 2 倍以上の縦長スペースを設置すると有効に働くことが示唆された。今後、粗度間隔・粗度高さといった粗度条件や、流量・勾配などの水理条件が異なる場合においても実験を行い、魚類行動(定位場所・尾びれのビート振動数など)との関連性を考察する予定である。

参考文献

- 1) 和田 清・桑原真吾・稲川啓太・寺町茂：在来魚類の遊泳能力算定と農業用水路網の避難場所における個体群行動，河川技術論文集，第 12 巻，pp.371～376，2006。

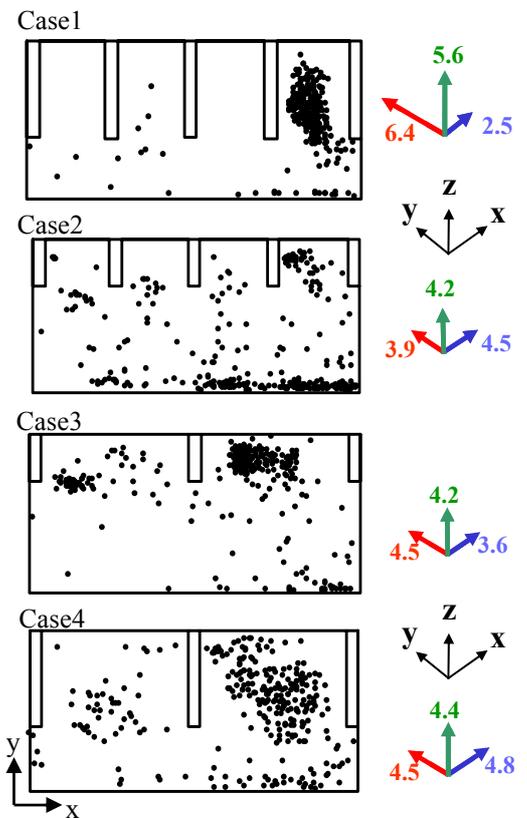


図-2 位置座標(x-y 平面)とフラクタル次元