

デニール式魚道における螺旋渦流の構造と稚アユの遡上行動

岐阜高専・環境都市工学科 正 和田 清

岐阜高専・環境都市工学科 学 ○高原 良将

1. はじめに： 魚道の設計手法を確立するためには、水理特性の把握に加えて、単に魚類の遡上量だけではなく、一体どのような理由でそのような遡上行動をしたと考えられるかを、流れ場と関連づけて明らかにする必要がある。低落差の堰の仮設用魚道として用いられているデニール式魚道は、阻流板によって流れの集中と緩い水流を生じさせる構造なので、水路内に生じる螺旋渦流が強い場合には魚類の遡上を阻害することになる。本研究は、デニール式魚道がもつ螺旋渦流の水理特性を、不均一な流れ場を遡上する稚アユの行動と関連づけて議論しながら、魚道設計において重要な遡上経路の連続性の観点から考察したものである。

2. 実験の概要： 実験は、岐阜高専水理実験室内において、デニール式の魚道ユニット（幅30cm×高さ30cm×長さ90cm）を並列に5組（鋼製4組、透明アクリル製1組）連結したものを、1/5勾配に設置して行われた。流速測定はセンサー部が球形（直径2cm）の3次元電磁流速計（Alec ACM-300、応答時間0.5s）を用いた。また、計測断面はほぼ等流区間に位置するアクリル製魚道ユニット部分において阻流板と平行な断面を設定し、阻流板内の断面（上流端から $x=1.50\text{m}$ の地点）、および阻流板同士の間断面（ $x=1.58\text{m}$ ）の計2断面を、2cm（幅方向のピッチ）×3cm（阻流板に沿う方向）のメッシュ間隔で計測した。計測時間は30秒、データはAD変換して信号処理された。なお、魚道内の流量は16ℓ/sである。一方、室内遡上実験は、同一魚道模型を用いて、1998年7月30日に行われた。稚アユは琵琶湖産姉川に天然遡上した約300尾（平均体長BL: $7.5 \pm 0.6\text{cm}$ 、平均体重: $4.4 \pm 1.2\text{g}$ ）を用い、魚道下流に設置されたプール内に約1時間馴致して、稚アユの遡上実験を行った。なお、実験中の水温は20℃であった。遡上行動を観察するために、透明アクリル製の魚道を底面および側面から同時にビデオ撮影して、その画像解析から、遡上経路、平均遡上速度、休憩時間などを計算した。

3. 実験結果および考察： (1) 螺旋渦流の構造 デニール式魚道は、断面中央では水面で流速が大きく底部で遅い流速分布をもち、両側壁の阻流板背後で強い下降流が生じる螺旋渦流を形成している¹⁾。図-1および図-2は、阻流板に直交する時間平均流速成分（U）のコンター（同図(a)）と阻流板に平行な2次流ベクトル（V, W：同図(b)）を、阻流板内部と中間断面について示したものである。図-1(a)からわかるように、阻流板内部の主流速（U）は、水面付近と阻流板V字カット部直上で速く、その中間の領域では40cm/s以下の緩い流れが形成されている。さらに、図-1(b)の2次流ベクトルを見れば、水面付近では下降流、阻流板V字カット部直上では上昇流が形成されており、その中間では2次流ベクトルが生じない領域が生じている。この阻流板に沿う2次流成分がほとんどない地点と、緩い主流速の形成地点は同じ領域で発生しており、阻流板内部への流れの縮流効果によって、阻流板に直交する流れだけが生じる領域がV字部のやや上側に形成されている。阻流板の中間断面の流速分布を示した図-2から、この緩い主流速（40cm/s以下）の領域は、阻流板内部の位置よりもさらに下側に形成されていることがわかる。しかも、両側の阻流板背後では、強い下降流が同時に形成されているので、中央部の主流速が緩く2次流が弱い領域（阻流板に直交する緩い流れの卓越域）が、遊泳魚にとって阻流板内部へ進入しやすい遡上経路を提供しているものと考えられる。

(2) 稚アユの遡上行動 図-3は側面のビデオ画像解析から得られた稚アユの遡上経路の代表例を示したものである。阻流板の間で渦流に巻き込まれながらも遡上した個体（図中□■）、巻き込まれずほぼ直進した個体（図中○●）などのパターンに分類される。阻流板内部を通過する場合において、その進入位置z（阻流板に沿った斜距離）および進入角度 θ （ $\theta=90^\circ$ ：阻流板に直角）、瞬間最大遡上速度 V_i （ビデオ画像1コマ：1/30s間）の関係を示したものが図-4である。同図からわかるように、ほとんどの個体は阻流板への進入角度が40～90°の範囲であり、水路と平行あるいはやや阻流板底面付近から進入する。これは、渦流に

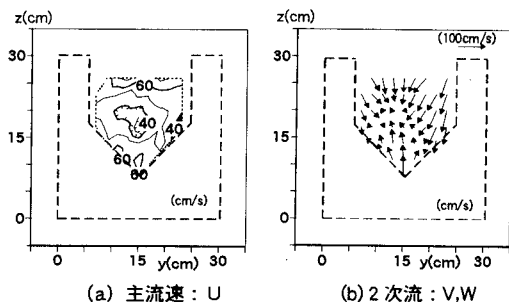


図-1 阻流板内部 (x=1.50m)

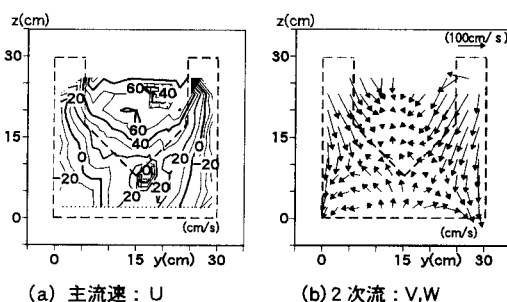


図-2 阻流板の間 (x=1.58m)

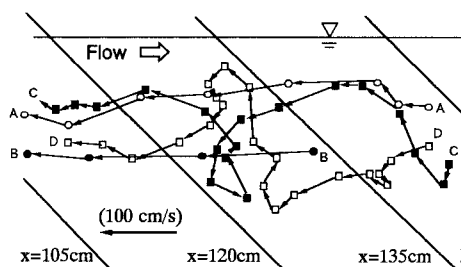
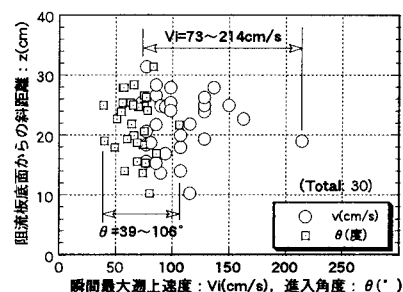


図-3 稚アユの遡上経路 (ビデオ解析)

図-4 瞬間最大遡上速度と進入角度
(阻流板内部通過時)

巻き込まれた場合には下方に流されるので、体勢を立て直して下から再び進入することを示している。また、瞬間最大遡上速度は70~215cm/sである。これは体長(BL)の倍数として表される突進速度²⁾(稚アユの場合: 10BL=75cm/s)に比べて大きな値となっている。突進速度は持続時間の設定によって値が大きく変化するので、一般に用いられている突進速度は1~数秒間持続する速度²⁾と理解すれば、図示した瞬間最大遡上速度は1/30s間に魚が発揮しうる最大遊泳速度であり、隘路となる阻流板内部では一気に遡上することがわかる。

また、瞬間最大遡上速度が200cm/sを超えて一気に遡上した個体は、 $z=20\text{cm}$ 付近を通過しており、この地点は上述した阻流板に直交する緩い流れの卓越域($z=15\text{--}25\text{cm}$)に対応している。図-5は、2つの阻流板の間(区間長: 15cm)を通過した平均遡上速度 V_m を示したものである。同図から、渦流に巻き込まれず、阻流板に直交する緩い流れの卓越域を通過した場合が最も速い($V_m=116\text{cm/s}$)。渦流に巻き込まれた場合には遡上速度は小さくなるものの、やがて緩い流れの卓越域を遡上するので、全体の平均遡上速度は47cm/s程度となる。したがって、デニール式魚道では、この阻流板に直交する緩い流れの卓越域を如何に連続して確保するかが重要である。

4. おわりに: 以上、デニール式魚道において流れ場の3次元的な分布と稚アユの遡上行動について述べた。魚道設計において標準型デニール式を基に相似形となるように決める場合が多いが、単に流量や中央の流速分布だけではなく、実際に生じる3次元的な流速分布を吟味して遡上経路をどのように想定するかが重要にあると思われる。今後、乱れ成分を含めた検討を進める予定である。

【参考文献】1) 和田 清・東 信行・中村俊六: 水工学論文集第42巻, pp.499-504, 1998.

2) 塚本勝巳: 魚からみた魚道設計, 砂防学会論文集No.2 (砂防学会ワークショップ), pp.5-21, 1991.

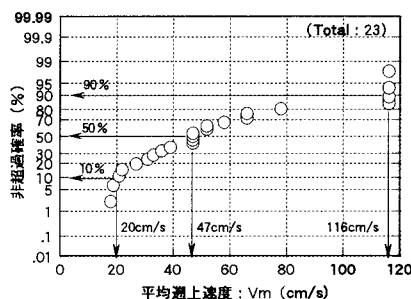


図-5 平均遡上速度 (阻流板間)