

階段式魚道に設置されたスロープが魚の遡上特性に及ぼす影響

九州工業大学工学部 正会員 ○鬼束幸樹 秋山壽一郎
九州工業大学名誉教授 正会員 浦 勝

1. はじめに

ある一級河川の階段式魚道において、貯水位と第1プールとの水位落差が大きな状況が発生し、魚の遡上が全く不可能となっていた。そこで、浦ら¹⁾の提案した傾斜角45°のスロープを実際に施工し、魚の遡上率に及ぼす影響を検討した。

2. 対象魚道の概要と計測内容

対象魚道は18個のプールと19個の隔壁によって構成され、プール幅2.0m、プール長1.7mである。上流付近の概略を図-1に示す。流下方向をx、鉛直上向きをy、横断方向をzとした。天端高は第1隔壁で23.0mであり、それ以降は0.2mずつ低くなっている。隔壁に交互に設置される切欠き幅は全て0.7mである。切欠き深さは第3隔壁以下では0.2mだが、第1、2隔壁ではそれぞれ0.6、0.4mである。ただし、第1隔壁の切欠き部に角落しが天端高まで入れられている。なお、第2隔壁以降は切欠き部の反対側の天端から0.7m下に0.2×0.2mの潜孔がある。この魚道の第1隔壁に浦らの提案した傾斜角45°のスロープを著者らが平成14年10月に取り付けた。

平成15年7月7日における貯水位は23.15mで、越流水深 H_0 は0.15m(=23.15m-23.0m)であり、貯水位と第1プールとの水位落差 ΔH_1 は0.42mであった。

第1隔壁の上方にビデオカメラを設置して約93分間遡上状況を録画した。録画後に第1隔壁上の $x=0$ を遡上する魚数、体長、横断方向位置を解析した。電磁流速計を用いて第1プール内において、x、y、z方向に4×5×4点の格子点である80点と第1隔壁上における流速3成分を計測した。計測間隔、計測時間は0.1s、40.96sとした。なお、x、y軸方向の瞬間流速を $\vec{u} \equiv U+u$ 、 $\vec{v} \equiv V+v$ 、時間平均流速をU、V、変動成分をu、v、乱れ強度を u' 、 v' とした。

3. 計測結果および考察

遡上に挑んだ魚数は458で遡上に成功した魚数Nは398であり、遡上率(=遡上に成功した魚数/遡上に挑んだ魚数)はスロープ設置前¹⁾の7%から87%に向上した。図-2に各体長 B_L の遡上数の横断方向変化を示す。いずれの体長の魚についても、左岸側壁付近での遡上数が極めて多い。

図-3に第1隔壁上の $z/B=0.05, 0.3$ における流速ベクトル(U, V)を示す。 x' 、 y' はそれぞれ第1隔

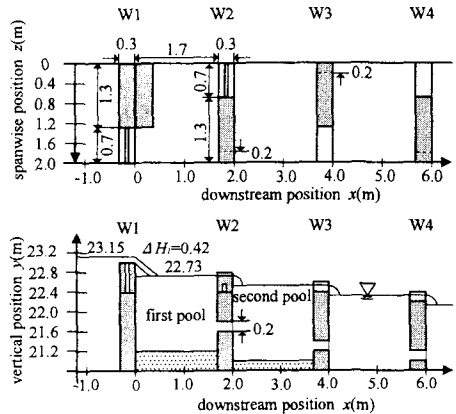


図-1 対象魚道の概要(貯水池から第3プールまで)

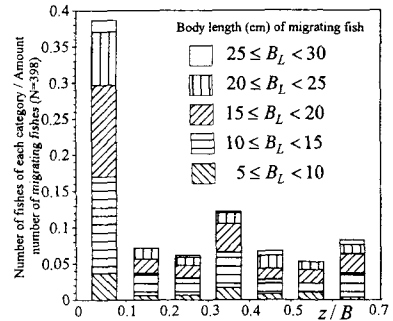


図-2 第1隔壁における遡上場所と遡上数

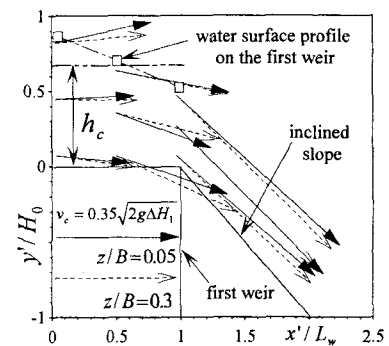


図-3 第1隔壁上の時間平均流速ベクトル

壁から流下および鉛直上向きの座標である。両断面の時間平均流速はほぼ同程度である。図-4に第1プール内の $z/B=0.05, 0.3$ における時間平均流速ベクトルを示す。落下流の影響を最も受ける $x'/L_w=0.24$ 、 $y'/h=0.89$ の点に着目すると、左岸側壁付近の断面($z/B=0.05$)における落下流速は1.62m/sで、スロー

ブ中央付近の断面($z/B=0.3$)では1.87m/sである。魚の突進速度は体長の10倍程度²⁾であり、 $z/B=0.05$ および0.30の断面ではそれぞれ体長が16cmおよび19cm以下の魚が遡上不可能という結論に達する。しかし、図-2に示したように16cm以下の魚が遡上に成功しており、8~16cmの体長を有する魚の遡上を説明できない。また、図-2より $z/B=0.05$ 付近の遡上数が0.30付近の遡上数より遙かに多いが、両断面の流速差は1割程度であり、この流速差によって魚の遡上数の相違を説明するのはいささか無理がある。

魚は時間平均流速でなく、瞬間流速を感じているものと考えられる。そこで、流速 $\vec{s} = \sqrt{\vec{u}^2 + \vec{v}^2}$ について、最小流速 S_{min} を次式のように定義した。

$$S_{min} = \frac{1}{T} \int_0^T (\vec{s} \cdot \vec{i}) dt \{ \text{if } \vec{s} \cdot \vec{i} < (S - 2s') \text{ then } i = 1 \text{ else } i = 0 \} \quad (1)$$

図-5に $\sqrt{2g\Delta H_1}$ で無次元化された $z/B=0.05, 0.3$ における最小流速 S_{min} を示す。 $x/L=0.24, y/h=0.89$ の断面における最小流速 S_{min} は、 $z/B=0.05$ では約0.65m/s、 $z/B=0.3$ では約1.37m/sとなっており、5割もの差が生じている。最小流速発生時において、 $z/B=0.05$ の断面では体長6.5cm以上、 $z/B=0.3$ の断面では体長13.7cm以上の魚の突進速度が落下流速を上回ることがわかる。

魚の遊泳に関する第1定理²⁾を考慮すると、瞬間流速が魚の突進速度を下回るだけでなく、瞬間流の渦スケールが魚の体長スケール以下の必要がある。現在、式(1)で定義される最小流速の渦スケールを算出する方法は確立されていない。そこで、以下のように概算する。 x 軸と y 軸とによって構成される θ_{xy} 軸方向の瞬間流速を $\vec{u}_{xy} = U_{xy} + u_{xy}$ と定義する。

$$\vec{u}_{xy} = \vec{u} \sin \theta_{xy} + \vec{v} \cos \theta_{xy} \quad (2)$$

θ_{xy} 軸方向の平均渦の長さ L_{xy} は次式で表される。

$$L_{xy} = U_{xy} \int_0^{\infty} R(\tau) d\tau \quad (3)$$

$$R(\tau) = \frac{u_{xy}(t_0) \times u_{xy}(t_0 + \tau)}{u_{xy}^2} \quad (4)$$

ここに、 $R(\tau)$ は自己相関係数、 t_0 は基準時間、 τ は遅れ時間、 u_{xy}' は変動成分 u_{xy} の乱れ強度である。図-6に $x/L=0.24, y/h=0.89$ の断面における θ_{xy} 軸方向の平均渦スケール L_{xy} を示す。 $z/B=0.05$ および0.30の点において、最小流速 S_{min} の方向における平均渦スケール L_{xy} はそれぞれ $1.08\Delta H_1, 2.20\Delta H_1$ となっている。ここで、次式を仮定すると最小流速の渦スケール ℓ_{xy} が算出される。

$$\ell_{xy} = L_{xy} \times S_{min} / \sqrt{U^2 + V^2} \quad (5)$$

すると、 $x/L=0.24, y/h=0.89$ の断面における

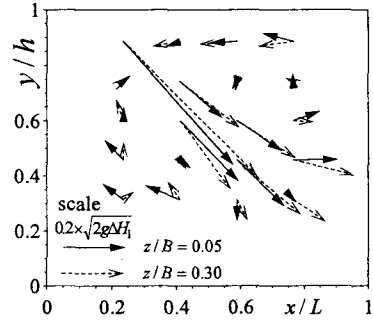


図-4 第1プールにおける時間平均流速ベクトル

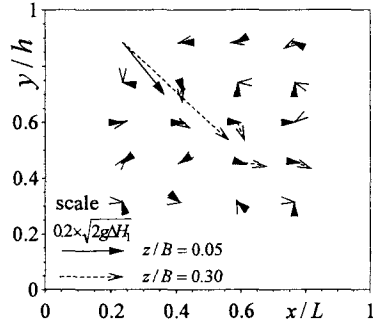


図-5 第1プールにおける最小流速ベクトル

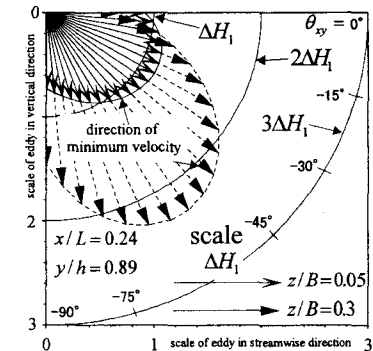


図-6 落下流の落下点付近における平均渦スケール

$z/B=0.05$ および 0.30 の点での最小流速の渦スケールはそれぞれ、18.2cm、67.7cmと算出される。すなわち、これらの長さ以下の体長の魚は、全身で最小流速を感じることができる。したがって、 $z/B=0.05$ の断面において最小流速が発生した瞬間に体長が6.5cm以上の魚が遡上可能となることが証明された。

4. おわりに

遡上がほとんど不可能であった現地魚道において、浦ら¹⁾の提案した傾斜角 45° のスロープを設置することで遡上率の大幅な改善が認められた。また、魚の遡上を説明する上で、瞬間流況を考慮する必要性があることが指摘された。

参考文献

- 1) 浦 勝ら, 水工学論文集, 第47巻, 2003.
- 2) 中村俊六: 魚道のはなし, 山海堂, pp.42-49, 1995.