

階段式魚道および呼び水の流れと魚の挙動

東洋大学 学生員 ○青木 宗之
 東洋大学 学生員 小原 誠
 東洋大学 学生員 染井 香栄
 東洋大学 正会員 福井 吉孝

1. はじめに

階段式魚道には、魚道下流入口へ魚を集める目的で、付帯設備として呼び水水路が設置されることが多い(図-1). 呼び水水路は、魚道と隣接して設けられ、呼び水流速 v_p は、一般的に魚道越流流速 v_f の2倍以上とするのが設計上の留意点である¹⁾とされているが、最適な v_p/v_f は分かっていない。一方、呼び水によって作り出される流況が、魚の遡上にとって有害になることがある。例えば、 v_p が本川流速 v_m 、または v_f より大き過ぎてしまう場合($v_p \gg v_m$ 、または $v_p \gg v_f$)、魚道下流に循環流が形成され、魚はその場に滞留し続ける可能性があり、遡上に障害が生じてしまう(図-2)。

そこで本研究では、遡上に最適な呼び水流速 v_p と越流流速 v_f との関係を見出すことを目的として、模型実験および数値解析を行った。

2. 呼び水について

呼び水とは、魚道下流入口付近に強い流れを与えることで、魚道下流入口の流れの影響範囲を下流域へ拡大させ、魚を魚道下流入口へ誘導する機能を有している²⁾。これは、魚の走流性を利用し、魚の頭を魚道下流入口方向へ向かわせ、遡上させるものである。

3. 模型実験

模型実験には図-3 に示すような階段式魚道モデルを設置した。魚道勾配は1/10、呼び水水路勾配は1/8である。実験ケースは表-1に示すとおりであり、流量 $Q=5.0\text{ l/s}$ および $v_f=35\text{ cm/s}$ を一定として、 v_p と v_f の比を変化させて実験を行った。 v_f の値は、今回使用した魚の体長(平均体長5.5 cm)の約7倍の値であり、魚が魚道へ進入しやすい値ということが我々の研究で分かっている。実験に用いた魚はウグイである。魚道下流域の水深 h は7.0 cmとした。実験は、水路下流端にウグイを10匹放流し、流水に馴れさせた。その後、ビデオカメラで30分間撮影した。なお、照度は200~250 lx、水温は14~17℃である。

実魚を用いたの模型実験では、河川構造物との相似性をどう考えるかが懸念されているが、魚の挙動は流速に大きく支配されることから、実際の場での流速を考慮した。そして、繰り返し実験を行うことで、魚の基本的な遊泳特性は十分に把握出来ると考えている。

図-4に v_p/v_f と遡上率および誘導率の関係を示す。なお、遡上率および誘導率は以下のように定義した。

$$\text{遡上率} = \frac{\text{遡上に成功した魚の個体数}}{\text{実験に使用した魚の個体数}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{誘導率} = \frac{\text{魚道下流入口まで行った魚の総個体数}}{\text{遡上を試みた魚の総個体数}} \times 100 \quad (2)$$



呼び水水路 階段式魚道
 図-1 階段式魚道と呼び水水路

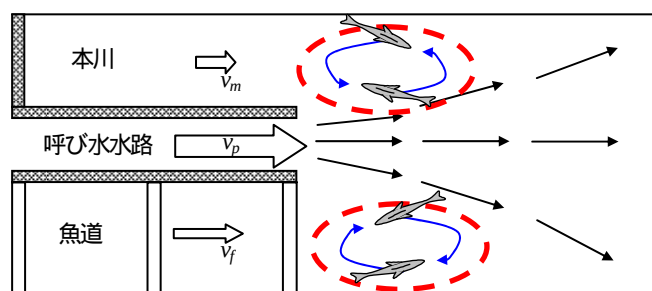


図-2 循環流のイメージ

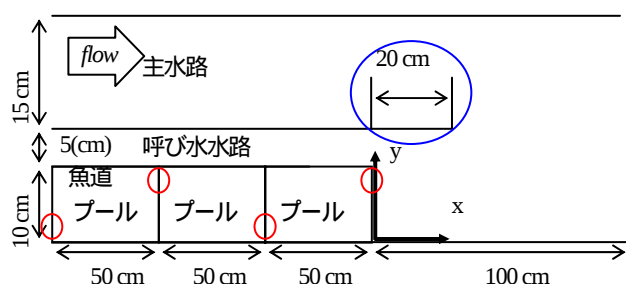


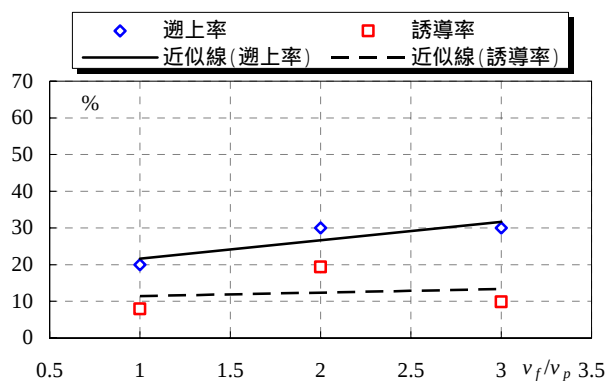
図-3 階段式魚道モデル

表-1 実験ケース一覧表

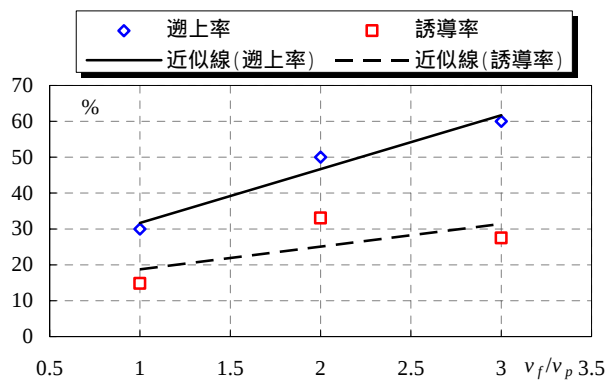
	流量 l/s	呼び水	導流壁	v_p/v_f
Case2-2-A	5.0	あり	0cm	1
Case2-2-B	5.0	あり	0cm	2
Case2-2-C	5.0	あり	0cm	3
Case3-2-A	5.0	あり	20cm	1
Case3-2-B	5.0	あり	20cm	2
Case3-2-C	5.0	あり	20cm	3

キーワード：呼び水、誘導、魚道、循環流、ウグイ

連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 TEL: 049-239-1404 E-mail: dd061001x@toyonet.toyo.ac.jp



a) Case2 (導流壁 0cm)



b) Case3 (導流壁 20cm)

図-4 v_p / v_f と遡上率および誘導率の関係

v_p / v_f が大きくなるにつれて、遡上率および誘導率は増加する傾向が見られた。遡上率は、 $v_p / v_f = 1$ から $v_p / v_f = 3$ になると1.5~2倍になっていることが分かる。これは、呼び水の流速が速くなったために、遡上意欲が増した結果だと考えられる。魚の遊泳速度のなかに、効率的に泳ぐ速度(巡航速度 U_c)と、瞬間的に泳げる速度(突進速度 U_b)がある。これらは、それぞれ体長の2~4倍、体長の10倍と言われている(図-5)。遡上意欲は、巡航速度を基準とし、それ以上の流速値になると増加する。また、それ以下の流速値では、静水中と同様な流れ場になることから、自由遊泳が可能となる。そして、遡上意欲は殺がれてしまう。つまり、魚が呼び水によって誘導され、遡上するには v_p / v_f が適度に大きいことが好ましい。なお、遡上率および誘導率は、 v_p / v_f と比例関係にあり、ここでは、 $v_p / v_f = 3$ が魚の誘導、遡上に良いという結果を得ている。

また、呼び水水路と主水路の間に導流壁を設けたCase3は、Case2に比べ遡上率および誘導率は1.5~2倍になっている。導流壁を設けることで、呼び水の流れは、魚道下流域の流れの影響範囲を拡大させることが可能になった。そのため、より下流にいる魚も、魚道下流入口を容易に把握することが出来、誘導率が増加し、遡上率も増加した。また、魚の遡上に障害となる循環流を抑制することも出来る(図-6)。表-2に v_p / v_m と循環流の形成状況を示す。Case2に比べCase3は、 v_p / v_m が0.3~0.5倍になり減少していることから、循環流が形成され難くなった。なお、循環流は v_p / v_m が約8以上になると発生することが分かった。

4. 数値解析

数値解析は、二次元浅水流方程式と連続式を用いて行った。ここでは平面的な流れに着目し、魚道下流域での流れの計算

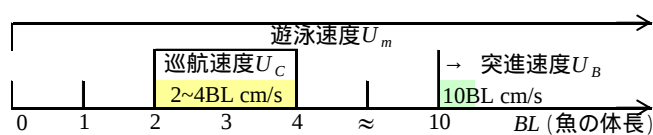
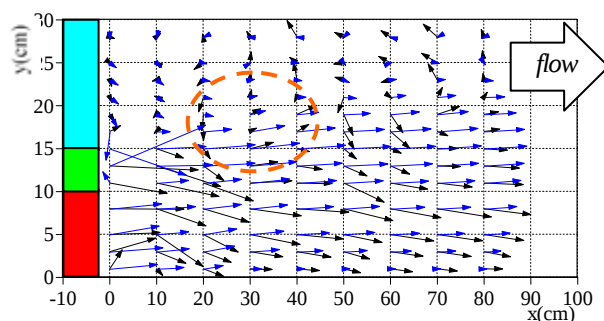
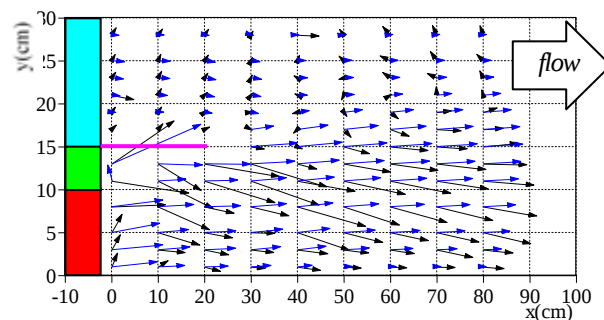


図-5 魚の体長と遊泳速度の関係



a) Case2-2-B → (実測値) → (計算値)



b) Case3-2-B → (実測値) → (計算値)

— 主水路 — 呼び水水路 — 魚道 — 導流壁 → (50cm/s)

図-6 流速ベクトル図

表-2 v_p / v_m と循環流の形成状況

	v_p / v_m	循環流はあるか？
Case2-2-A	7.7	○
case2-2-B	8.0	○
case2-2-C	12.8	○
case3-2-A	2.6	×
case3-2-B	3.2	×
case3-2-C	6.8	×

を行った。得られた流速ベクトルは図-6に示されており、循環流の形成など再現出来ている。

5. まとめ

v_p / v_f が大きくなると誘導率が増加することで、遡上率も増加する。特に、魚の遡上にとって良いのは、 $v_p / v_f = 3$ のときである。さらに、導流壁を設け循環流を抑制させることで、魚が遡上し易い環境になり、誘導率が増加し遡上率も増加する。ここでは、Case3-2-Cが良い。なお、循環流の発生条件は、 v_p / v_m が約8以上のときである。

数値解析には二次元浅水流モデルを用いたが、良好な結果を得ることが出来た。

参考文献

- 国土交通省河川局：魚がのぼりやすい川づくりの手引き、(財)リバーフロント整備センター、pp. 62-63, 2005
- (財)ダム水源環境整備センター：最新 魚道の設計 - 魚道と関連施設 -、信山社サイテック、pp. 165-191, 1998