

プールタイプ魚道の流れの数値シミュレーション

岡山大学大学院 学生員 ○尾上 博則
 岡山大学環境理工学部 正会員 前野 詩朗
 岡山大学環境理工学部 正会員 名合 宏之
 サンエー設計(株) 正会員 佐藤 昌治

1. はじめに

魚類が河川を遡上・降下する際に、障害となるダムや堰などの河川横断施設に様々なタイプの魚道が設置されるようになってきている。これら魚道の中でも現在多く用いられているアイスハーバー型の魚道は形状が複雑であることにより、その水理特性については未解明な部分が多いのが現状である。そこで、本研究では、アイスハーバー型魚道を対象として数値シミュレーションを行い、魚道内の流れに対する数値解析の有効性について検討を行う。また、昨年度提案したアイスハーバー型魚道の流量公式と比較を行い、数値解析による流量推定法の可能性について検討を行う。

2. 数値解析法の概要

本研究では、自由表面の表現方法として VOF (Volume of fluid) 法を採用している FUJI-RIC/ α -FLOW の“自由表面を含む非圧縮性流体解析モジュール”を用いて解析を行う。VOF 法は、複雑な自由表面形状を有する問題や 3 次元問題に適用可能である。基礎式としては、運動の式と連続の式を用いる。VOF 法では流体の存在比率を VOF 関数 F として表し、これでもって自由表面の形状を記述しようとするものである。すなわち、 F に関する移流方程式は式(1)に示すようになる。差分法により基礎式を離散化し、SMAC 法を用いて時間積分を行う。また、VOF 関数 F の移流方程式にドナーアクセプタ法と呼ばれる移流方法が用いられている。

【 F に関する移流方程式】

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

ここに、 F は次のように定義される。

- $F=0$: 流体が存在しない気体セル
 $0 < F < 1$: セルが自由表面に接している表面セル
 $F=1$: 流体で満たされている流体セル

3. 上流端に設置されるプールの流況解析

図 1 は解析対象モデルを示している。アイスハーバー型魚道は、中央断面をはさんで左右対称な形状をしているため、中央より右岸側で解析を行った。図に示すように魚道を 3 段設置し、解析領域を 1cm メッシュに分割した。初期条件は、図に示すように水を満たしておき、領域全体の流速を 0 としている。上流端からの流入流速 v は、実験で得られた流量と上流端水深を考慮して与えた。なお、渦粘性係数は、水の粘性係数を 10 倍としたものを用いた。主な解析条件を表 1 に示す。

図 2 は Run 3 の場合に、実験より得られたプール中央部・堰頂部の水深と解析結果とを重ね合わせたものである。図より、下流端の水深は計算結果の方が実験結果よりも小さくなっていることが分かる。これは、下流端を自由流出にしたために、流量が増加しても下流端の水位が上がらなかったものと考えられる。しかし、それより上流側のプールおよび堰頂部における水深は実験値とほぼ一致していることが分かる。

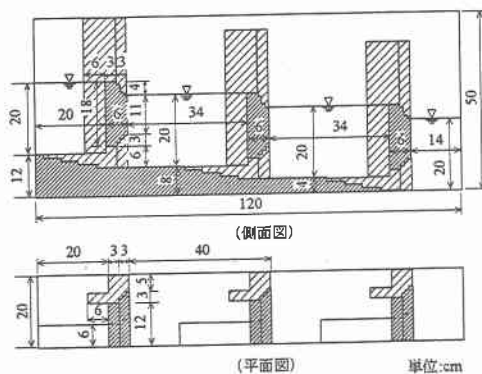


図 1 解析対象モデル

表 1 解析条件

Run	v (cm/s)	Q (l/s)	下流端	底面・堰	その他
Run 1	7.77	7.460	自由流出	ノンスリップ	$\rho:1000(\text{kg/m}^3)$ $\mu:0.01(\text{Pa}\cdot\text{s})$ $g:9.8(\text{m/s}^2)$
Run 2	9.81	10.200			
Run 3	11.49	12.413			

図3は、プール No.1 における越流部および潜孔部流量の解析値と実験値とを比較したものである。これらの図より、上流端に設置されるプール No.1 では、越流部および潜孔部の解析流量は実験値をほぼ再現できていることが分かる。

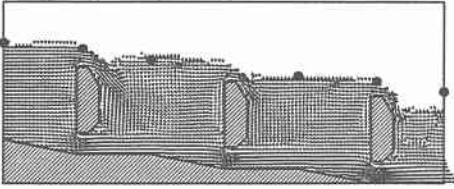


図2 解析結果と実験結果の比較

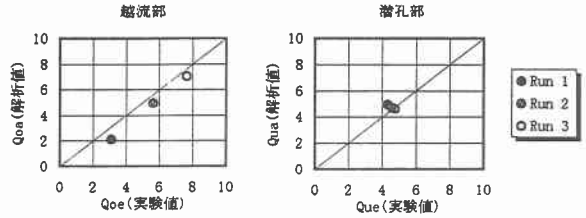


図3 実験流量と解析流量の比較

4. 連続したプールの流況解析

図4は解析対象モデルを示している。プールについては1つのプールで代表させ、モデルの上流側および下流側境界面には周期境界条件を適用した。図に示すように解析領域を設定し、1cmメッシュに分割した。初期条件は、図に示すように水を満たしておき、領域全体の流速を0としている。主な解析条件を表2に示す。

図5は、Run 1の場合の3次元流速分布を示している。上流側の堰を越流した水脈がプール内に潜り込むように流入することによって、反時計回りの大きな渦が発生していることが分かる。この落下流の流速はかなり大きい、堰に沿う部分の流速は小さくなっており、突進速度が比較的小さい魚類であっても、この堰に沿った部分を遡上可能であると考えられる。また、プール内には非越流部の上流側を中心に流速の小さい静穏域が形成されており、遡上する魚類の休息場所になるものと考えられる。

図6は、越流部、潜孔部および両者を合わせた流量の解析値とアイスハーバー型魚道の流量公式による値とを比較したものである。これらの図より、解析流量と流量公式による値はほぼ一致しており、解析結果は越流部および潜孔部の流量配分特性をほぼ再現できていることが分かる。

5. まとめ

本研究により、VOF法による解析結果は自由表面形状および魚道内の流況を再現できることが明らかにされた。また、越流部および潜孔部の流量配分特性もよく再現できることが明らかにされた。

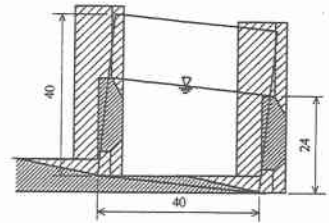
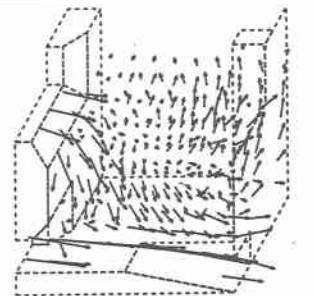


図4 解析対象モデル

表2 解析条件

Run	初期水位	上流端・下流端	底面・堰	その他
Run 1	堰頂より+2cm	周期境界条件	ノンスリップ	$\rho:1000(\text{kg/m}^3)$ $\mu:0.01(\text{Pa}\cdot\text{s})$ $g:9.8(\text{m/s}^2)$
Run 2	堰頂より+3cm			



0.5 (m/s) —

図5 3次元流速分布

参考文献

名合・前野・荻田・末次：
アイスハーバー型魚道の水理
特性に関する実験的研究，第
49 回中国支部研究発表会概
要集，pp.137-138，1997。

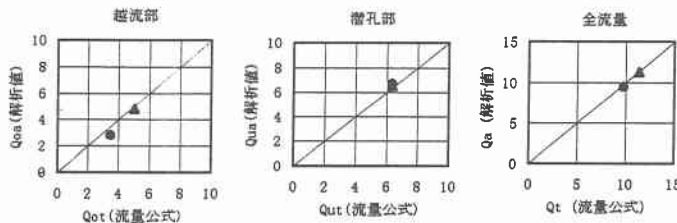


図6 流量公式による流量と解析流量の比較