

VOF 法を用いたアイスハーバー型魚道の三次元流況シミュレーション 3-D flow simulation of an ice-harbor type fishway using VOF method

藤原 正幸* 秋元 麻衣** 泉 完***
FUJIHARA Masayuki* AKIMOTO Mai** IZUMI Mattashi***

1. はじめに

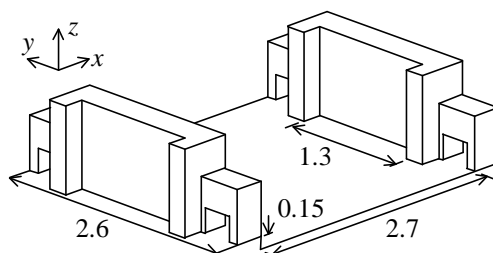
近年、魚道の流れ解析に数値シミュレーションがよく用いられるようになってきたが、そのほとんどは水平あるいは鉛直 2 次元モデルを用いたものである。わが国において圧倒的に多く採用されているのは切り欠きや潜孔を設けたプールタイプ魚道であり、このタイプの魚道は 3 次元水理構造を特徴としているので、本来 2 次元モデルでは対応できない。そこで本報では、アイスハーバー型魚道に VOF 法¹⁾を適用して、3 次元流況の再現性について検討したので報告する。

2. 数値モデル

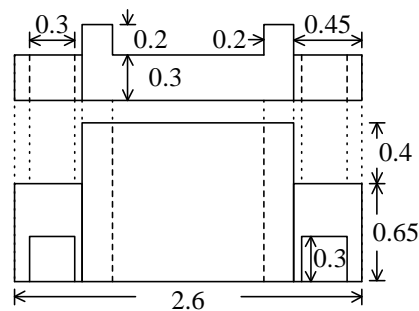
基礎方程式は、非圧縮性流体の連続式、N-S 方程式、VOF 関数 F の移流方程式である。基礎方程式の移流項は donor-cell 法、粘性項は中央差分により、スタッガード格子で離散化される。また、圧力場と流速場の収束には SOLA 法を、VOF 関数 F の移流計算には donor-acceptor 法を用いた。

3. アイスハーバー型魚道への適用

3.1 解析条件：図 1 に解析を行ったアイスハーバー型魚道の見取り図、図 2 に解析モデルの縦断面図を示す。1 辺 5cm の立方体セルを計算格子として用いた解析領域内に、赤石川赤石第 2 頭首工(青森県)に設置されているアイスハーバー型魚道を再現した。初期条件として、泉らの観測²⁾をもとにプール内水位を決定し、水を満たした状態で解析領域全体の流速を 0m/s とした。計算時間は 20.0 秒間であり、時間間隔 Δt はプログラム内で自動調整されるようになっている。流量に関しては、観測値をもとに流入境界において流速を調整した。計算ケースは、渦動粘性係数に一定値(0.001m²/s)を用いた Case1 と Smagorinsky モデルを用いた



(a) 概要図



(b) 正面図

図 1 解析モデル (単位: m)
Modelled ice-harbor type fishway

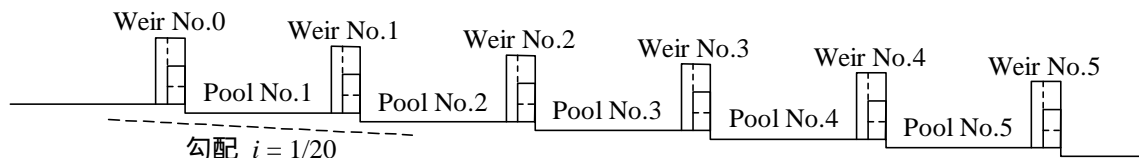


図 2 解析モデル縦断面図
Side view of the model

*愛媛大学農学部 (Faculty of Agriculture, Ehime Univ.), **愛媛大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agricultural Science, Ehime Univ.), ***弘前大学農学生命科学部 (Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University)
キーワード: 数値流体力学, Smagorinsky モデル, Modeling Efficiency,

Case2 の 2 種類である . 実測値との比較には Pool No.3 の結果を用いた . 解析結果は計算終了直前の 5 秒間の平均値である .

3.2 結果と考察：プール底面から 0.45m 上方の水平断面における解析結果を図 3 に示す . 現地観測結果と比較すると , 両ケースともに潜孔及び切り欠きが存在する主流域の速い流れと , 水路中央付近の逆流が再現できていることがわかった .

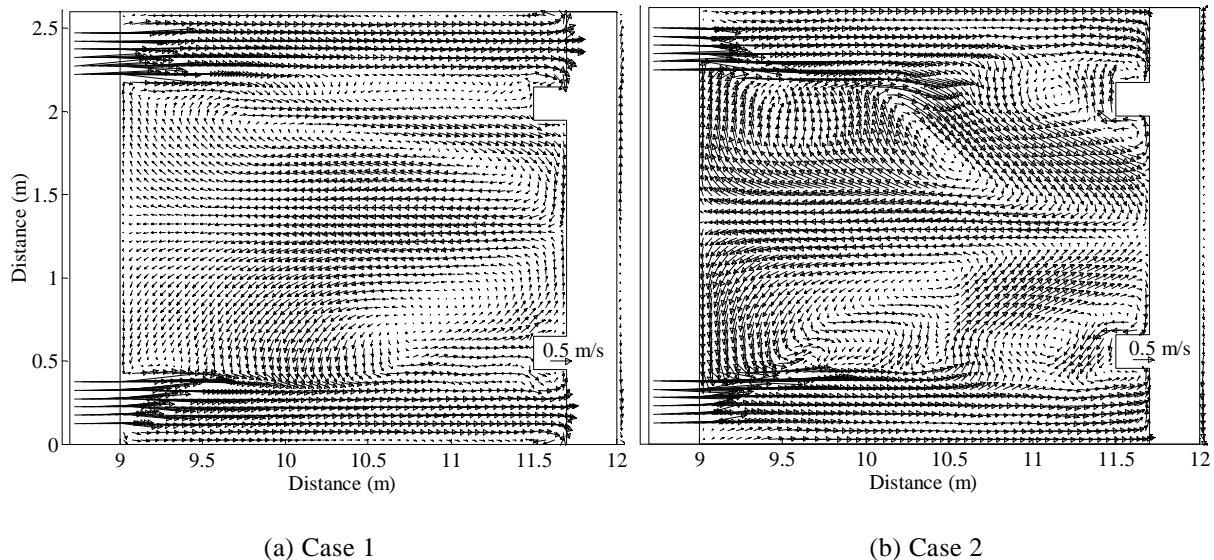


図 3 流速分布図
Velocity vectors

モデルの再現性は以下の式で表される Modeling efficiency (EF) で評価した . EF は 1 に近いほど計算値と観測値の差が小さいことになる .

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (h_o - \bar{h}_o)_i^2 - \sum_{i=1}^n (h_c - h_o)_i^2}{\sum_{i=1}^n (h_o - \bar{h}_o)_i^2} \quad (1) \quad \bar{h}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_o \quad (2)$$

ここで , h_o : 観測値 , h_c : 計算値 , n : データ数である .

表 1 に両ケースにおける流速成分及び合成流速の EF を示す . 表より , 流下方向成分 u と合成流速については比較的 1 に近い値となり , ある程度観測結果を再現できたと考えられる . また渦動粘性係数に一定値を用いたほうが観測

値に近い結果を得た . これは , 本モデルでは潜孔位置や隔壁形状が十分な精度で再現されていないため , 形状の再現性に起因する流れの誤差が , Smagorinsky モデルを用いた場合にはモデルを介して渦動粘性係数に反映され , それがさらに流れの誤差を拡大させてしまった結果であると推測される . 今後は魚道の形状を所要の精度で表現する格子生成手法の導入が必要である .

謝辞：計算に用いたプログラムに関して近畿大学農学部奥村博士に有益な助言をいただいた .

参考文献：1) B.D.Nichols. , C.W.Hirt. , R.S.Hotchkiss. (1980): SOLA-VOF: A Solution Algorithm for Transient Fluid Flow with Multiple Free Boundaries , Los Alamos Scientific Laboratory , LA-8355 . 2) 泉ら (2001): 赤石川赤石第 2 頭首工のアイスハーバー型魚道における魚類等の遡上・水理特性 , 農土論集 , No.215,pp.75-84.

表 1 EF 値

	流速成分			合成流速
	u	v	w	
Case 1	0.80	0.32	0.27	0.63
Case 2	0.66	-1.1	-0.59	0.52