

一般曲線座標系における VOF 法を用いた階段式魚道内の流況解析

Flow analysis of pool and weir type fishway using VOF method in generalized curvilinear coordinates

浪平篤・高木強治・小林宏康

NAMIHIRA Atsushi, TAKAKI Kyoji and KOBAYASHI Hiroyasu

1. はじめに

近年、魚道の必要性が生態系全般の問題として見直されている。しかし、魚道の中には完成時点において魚類が遡上可能な流れを有さないものもある。魚類は魚道内の微妙な流況に対応して遊泳するため、設計段階で魚道内の流況を正確に把握するとともに、流況と遊泳行動の関係について十分に検討する必要がある。本研究では、その第一段階として、数値解析による魚道内の流況把握を試みる。

2. 対象魚道型式

国内で建設されている魚道には種々あるが、適用実績の多い階段式魚道を対象にすることとした。階段式魚道では、1/10 より急勾配となると、隔壁からの流れが落下流とならず表面流となるため魚類の遡上が困難になるといわれている¹⁾。しかし、1/10 より急勾配とせざるを得ない現場も存在すると推察され、このことが可能であれば、施工コスト等の面から今後の適用範囲の拡大に繋がると考えられる。そこで本研究では、図1および表1の諸元を対象とした。勾配 1/10 のケース A は、既往の研究等¹⁾²⁾から適切と考えられる構造および水理条件を満足するように設定した。但し、隔壁天端²⁾については、格子形成上の都合により上流側は円弧形状としなかった。ケース B および C は、ケース A の諸元のうちそれぞれ ΔH , L を変化させて勾配を 1/5 とした。

3. 数値解析方法

階段式魚道の流れの解析には、曲面を有する構造物および自由水面の変動の表現が可能でなければならない。前者に対しては格子形成を一般曲線座標系で行い、後者に対しては VOF 法を用いるのが適切と考えられる。

なお、VOF 法による階段式魚道の解析事例はあるが³⁾⁴⁾、それらはデカルト座標系もしくは円筒座標系におけるものである。また、Lagrange 型解析方法の一つである MPS 法⁵⁾を用いた事例⁶⁾もあるが、計算機的能力から、

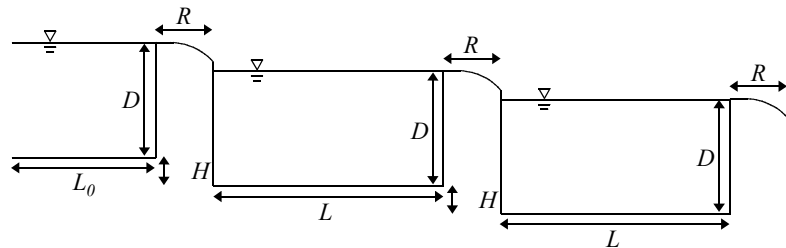


図1 階段式魚道の構造

表1 階段式魚道の諸元(単位: m)

ケース	L_0	L	R	D	ΔH	I ¹⁾	h ²⁾
A	0.5	0.8	0.2	0.4	0.1	1/10	0.1
B	0.5	0.8	0.2	0.4	0.2	1/5	0.1
C	0.5	0.3	0.2	0.4	0.1	1/5	0.1

1 魚道勾配を表す ($I = \Delta H / (L + R)$)

2 最上流隔壁の天端における越流水深を表す

当該手法の設計への適用は現状では困難と考えられる。

階段式魚道内の流れは 2 次元性が強いと考えられることから，流れの基礎式は鉛直 2 次元非圧縮性の Navier-Stokes 方程式と連続式とした．一般曲線座標系における各変数の配置方法としてコロケート格子を適用し，圧力場と連続式のカップリングには部分段階法，圧力方程式の解法には BiCGSTAB 法を用いた．乱流モデルとして標準型 $k-\epsilon$ モデルを適用した．

境界条件として，入力境界には最上流隔壁の天端における越流水深が表 1 の値となるように一定の水深，流速を与えた．流出境界は自由流出とした．壁面に対しては対数則を適用した．

4. 数値解析結果

解析結果の評価は，図 1 のうち下流側のプール内について行う．ケース A ~ C においてほぼ定常と見なせる状態となった流速ベクトルを図 2 ~ 4 に示す．ケース A および B ではともに落下流状態となり，プール内で循環流が形成されている．しかし，ケース B ではプール内に突入した落下流は高速のまま隔壁および水路底に沿って進むのに対し，ケース A では落下流は比較的減速されている．ケース C では表面流状態となり，水面付近で高速の流れが生じている．

5. まとめ

本研究では，一般曲線座標系における VOF 法を用いて階段式魚道内の流況解析を行った．既往の研究では殆ど見られない組合せであるが，適切に境界条件を与えることにより，安定した解析が可能となった．今後は，模型実験との比較により解析結果の再現性について検討を行う(発表時に紹介予定)．さらに，流況と魚類の遊泳行動との関係を解析する予定である．

参考文献

- 1)ダム水源地環境整備センター編：最新 魚道の設計 - 魚道と関連施設 - ，信山社サイテック，1998.
- 2)高須ら：階段式魚道の水理特性に関する研究，水工学論文集 38，pp.351-356，1994.
- 3)諏訪ら：らせん魚道のプール内流況に関する数値シミュレーション，国際魚道会議'95 ぎふ，pp.97-92.
- 4)前野ら：VOF 法による階段式魚道の流れの数値解析，水工学論文集 45，pp.421-426，2001.
- 5)越塚：数値流体力学 インテリジェントエンジニアリングシリーズ，培風館，1997.
- 6)後藤ら：急激な水面変動を伴う流速場の Lagrange 型数値解析，水工学論文集 43，pp.509-514，1999.

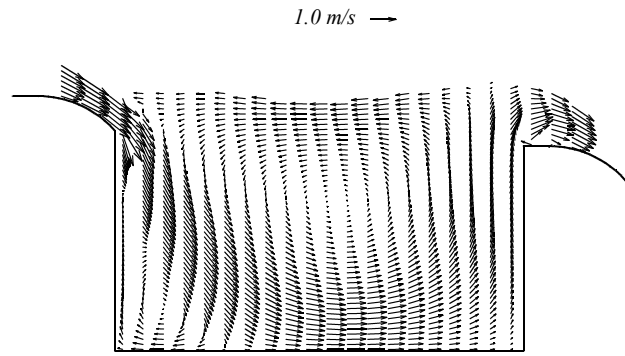


図 2 ケース A の流速ベクトル

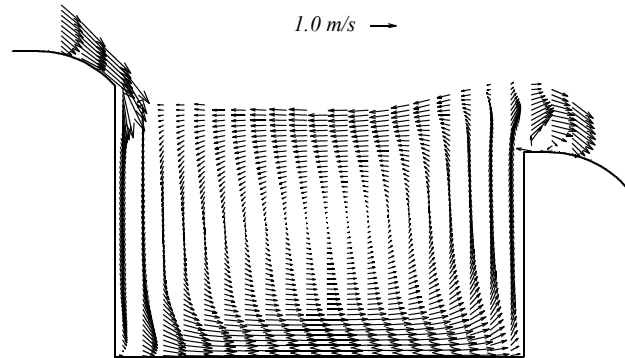


図 3 ケース B の流速ベクトル

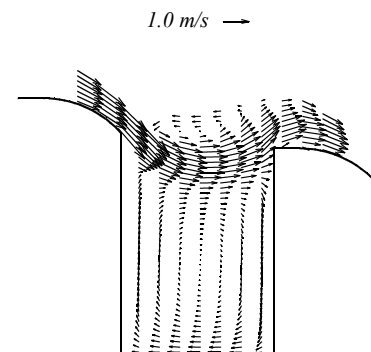


図 4 ケース C の流速ベクトル