

第Ⅱ部門 粒子法によるプール型魚道の3次元流況解析

京都大学大学院工学研究科	正会員	後藤 仁志
京都大学大学院工学研究科	学生会員	五十里 洋行
京都大学大学院工学研究科	フェロー	酒井 哲郎
京都大学工学部地球工学科	学生会員	○小林 雄貴

1. 研究の概要 魚道における流れの解析手法として、流体の運動方程式を粒子間相互作用モデルを通じて離散化する MPS 法に着目し、実験等との比較を通じて、その有効性を検討する。

2. MPS 法の概要 MPS 法とは粒子法の一つであり、自由表面流解析手法である。空間の離散化については連続体を有限個の粒子で表すことで定義する。粒子は流体とともに移動させ、Lagrange 的に扱う。連続体の離散的な計算を粒子間相互作用モデルを通じて行う。

3. 全面越流型プールタイプ魚道の流況再現

3.1 概要 Katopodis ら¹⁾は水理実験を基に、全面越流型プールタイプ魚道の流況判別式

$$C_b = Q / (b \times S \times L^{3/2} \times \sqrt{g}) \quad (1)$$

を提案している。ここで Q : 流量, g : 重力加速度 ($=9.8\text{m/s}^2$), S : 勾配, b : 水路幅, L : プール長である。 $C_b < 0.22-0.31$ を満たすと落下流状態であり、それ以外の場合は表面流状態である。本章では、プールタイプ魚道の最もシンプルな全面越流型魚道において、MPS 法による計算結果と上記の判別式との対応を確認する。

3.2 計算条件 境界条件は2タイプ用意し、魚道の斜面勾配 $S=1/8$, 水路幅 $b=0.1\text{m}$, プール長 $L=0.4\text{m}$ は両タイプとも共通に設定した。隔壁の高さはタイプ1では 0.1m に、タイプ2では 0.2m とした。上流流入流量は、タイプ1では $q=0.02277\text{m}^2/\text{s}$ に、タイプ2では $q=0.03960\text{m}^2/\text{s}$ にする。粒径は 0.01m に設定した。

3.3 計算結果

3.3.1 落下流状態タイプ タイプ1の境界条件で計算を実施した。 $t=2.9\text{ s}-3.0\text{ s}$ における1秒間の時間平均流速ベクトルを図3-1に示す。図3-1を見ると、水流が落下して、プールの底面に衝突し、およそ $(x, z)=(0.55, 0.17)$ あたりを中心に時計回りの渦が発生している。これらから判断すると、流況として落下流状態になっているといえる。この計算では $C_b=0.23$ であり、Katopodis らの判別式を用いると落下流状態に属する。したがって、シミュレーション結果はKatopodis らの提唱する判別式と一致した流況を示したと言える。

3.3.2 表面流状態タイプ タイプ2の境界条件で計算を実施した。 $t=4.7\text{ s}-4.8\text{ s}$ における1秒間の時間平均流速ベクトルを図3-2に示す。図3-2を見ると、プール上に連続した表面流が形成され、プール下側ではおよそ

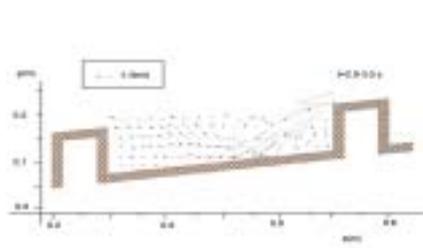


図 3-1 時間平均流速

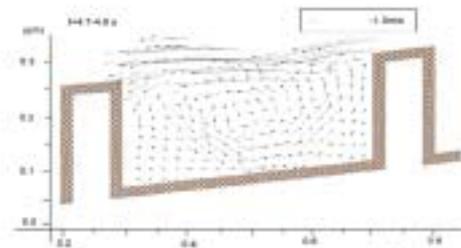


図 3-2 時間平均流速

$(x, z)=(0.50, 0.20)$ あたりを中心に反時計回りの渦が発生している。これらから判断すると、流況としては表面流状態になっているといえる。この計算では $C_b=0.40$ であり Katopodis¹⁾らの判別式では表面流モードに属する。このように、数値シミュレーション結果が Katopodis らの提唱する判別式と矛盾しない流況を示している。

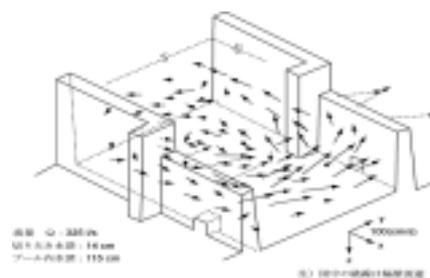


図 4-1 観測結果 (タイプ 1)

4. 部分越流型プールタイプ魚道の流況再現

4.1 概要 青森県三ツ目内川にはアイスハーバー型の部分越流型プールタイプ魚道が設置されている。本章ではこの魚道を基に数値魚道を構築し、泉ら²⁾の観測結果と比較して流況の再現性を確認する。

図 4-1 は、越流部及び潜孔から流下するケース、図 4-2 は、潜孔のみから流下するケースの プール内の流況を 3 次元ベクトル流速分布で概括的に示したものである。

4.2 計算条件 魚道の水路幅 $B=0.3$ m, プール長 $L=0.25$ m, 隔壁の切り欠き部分の高さ $h_{wall1}=0.10$ m, 隔壁の非越流部の高さ $h_{wall2}=0.20$ m, 隔壁の切り欠き側の底面中央にある潜孔 $x_h \times y_h=0.03 \times 0.03$ m², プール間の高低差 $\Delta h_p=0.02$ m である。越流部及び潜孔から流下するケースをタイプ 1, 潜孔のみから流下するケースをタイプ 2 とし, タイプ 1 ではプール内の初期水深 $h=0.10$ m, タイプ 2 では $h=0.05$ m とした。流入流量は, タイプ 1 では $q=0.008862$ m²/s, タイプ 2 では $q=0.001449$ m²/s にする。模型縮尺は 1/10 である。粒径は 0.01m に設定した。

4.3 計算結果 タイプ 1 の観測結果と計算結果を図 4-1 と図 4-2 に示す。そして、タイプ 2 の観測結果と計算結果を図 4-3 と図 4-4 に示す。両タイプとも流況が観測結果と良好に対応している。越流側では上流から下流へと流速の大きい流れが発達し、非越流側では反時計回りの渦が形成され、その流速は越流側に比べて小さい。また非越流側では流速が極めて小さい死水域が形成され、その領域は大きい。よって、切り欠きや潜孔を含んだ比較的複雑なプールタイプ魚道においても、本手法が定性的にはあるが流況を再現できることが示せた。

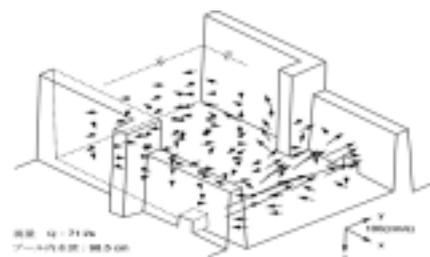


図 4-2 計算結果 (タイプ 1)

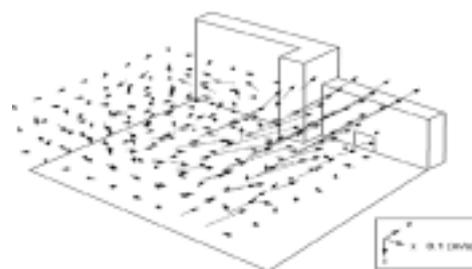


図 4-3 観測結果 (タイプ 2)

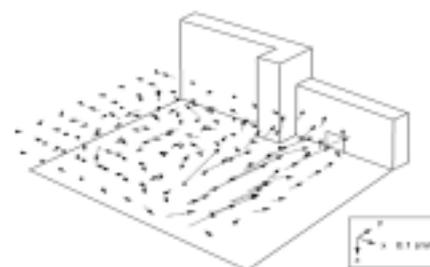


図 4-4 計算結果 (タイプ 2)

5. 結論 3 章では、プールタイプ魚道の最もシンプルな全面越流型において、Katopodis らの提唱する判別式を満足する流況の再現に成功した。また 4 章では、比較的複雑な潜孔や切り欠きを含んだ部分越流型において、泉らの観測結果に合致する流況を再現することができた。従って、プールタイプ魚道に対する解析手法として、MPS 法の有効性の一端が示された。また今後の課題としては、より詳細な検討を行った上で、他のプールタイプ魚道についても流況再現計算を実施したい。そして、魚の通り易い理想的な魚道の構築のための解析ツールとして役立てたい。

6 . 参考文献 1)Rajaratnam,N.and Katopodis,C.:Plunging and Streaming flows in pool and weir fishways,*J.Hyd.Eng.,ASCE*,Vol.114,No.8, pp. 939-994,1998. 2)泉完・工藤明・東信行：三ツ目内頭首工のアイスハーバー型魚道における魚類の遡上実態とその水理特性, 水工学論文集, 第 43 巻, pp.989-994,1999.