

MPS 法による堰の越流シミュレーション

山口大学工学部 学生員 ○荒巻 英世
山口大学工学部 正 員 朝位 孝二

1. はじめに

堰やプール型魚道での越流水は水脈となって大気中に放出される。この現象を数値シミュレーションで再現することは非常に困難さを伴う。このような現象を再現することができる数値計算手法として越塚ら(1995)が開発した MPS 法が挙げられる。MPS 法とは、流体を粒子で表現し、粒子ごとに動きを計算し、流体現象の飛沫など実際の動きを再現できるという特徴がある数値計算法である。本研究は堰の越流に対して MPS 法を適用し、その結果の妥当性を検討するものである。

2. 計算方法

非圧縮性流体の支配方程式(式1, 2)は、粒子間相互作用モデルにより離散化される。

$$\nabla \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{\nabla P}{\rho} + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{g} \quad (2)$$

式(1)は、連続の式、式(2)はナビエ-ストークス方程式である。 ν は動粘性係数、 ρ は流体の密度、 $\mathbf{u}$ は流速ベクトル、 $\mathbf{g}$ は質量力(重力加速度)を表している。

計算アルゴリズムは次の通りである。粘性項と重力項を陽的に解いて仮の流速を求めて、粒子の移動計算を行う。次に粒子数密度の計算を行い、これを用いて圧力に関する Poisson 方程式を陰的に解いて圧力を求める。また流速を補正し粒子位置を補正する。これを所定の時間ステップまで繰り返す。

3. 計算条件

計算は、図-1 に示す形状の堰で行った。図中の h_1 と h_2 の値は図-2 に示す。 h_1 と h_2 の差を 0cm, 5cm, 10cm, 15cm のように変化させた。 h_1 を 25cm のままにしておくと h_2 が 10cm となり右側水槽の水深と等しくなり水脈が形成できなくなる。そこで、Case4 では全体的に 10cm ほど高くした。計算に用いた(単位幅)流量は $q=25, 50, 75, 100, 125$ (cm²/s) である。

左側タンクの底面を一定速度で上昇させることで一定流入流量を与える。この際、Gotoh ら(2001)が開発した soluble moving wall を使用した。また、計算機のメモリーを節約しかつ長時間の計算が行えるように、右側の計算領域から流出した粒子を、再び左側タンクに戻した。

4. 結果

図-3 は計算結果を描画した一例である(Case1, 単位幅流量 100cm²/s)。流れは、図面上左から右へ流れており、堰堤を越流した水脈が確認できる。また、図中の実線は、流体粒子と外郭を示している。本研究では、すべての Case において図-3 のように描画

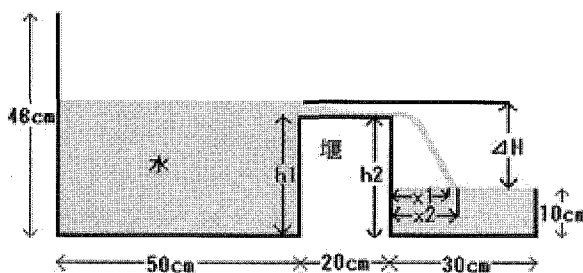


図-1 解析に用いた堰

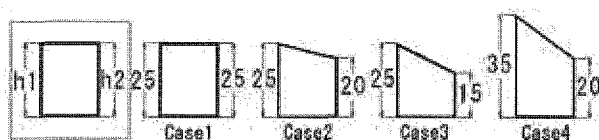


図-2 堰の形状(cm)

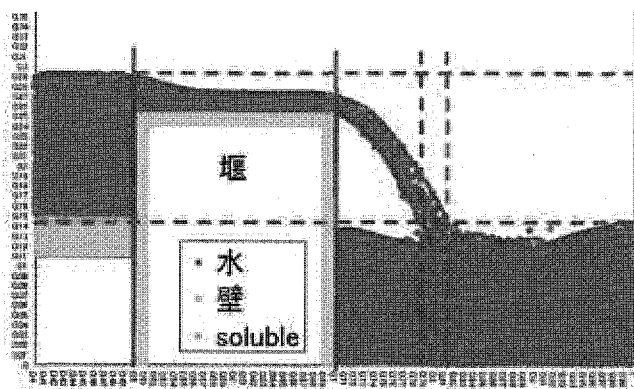


図-3 計算結果の一例

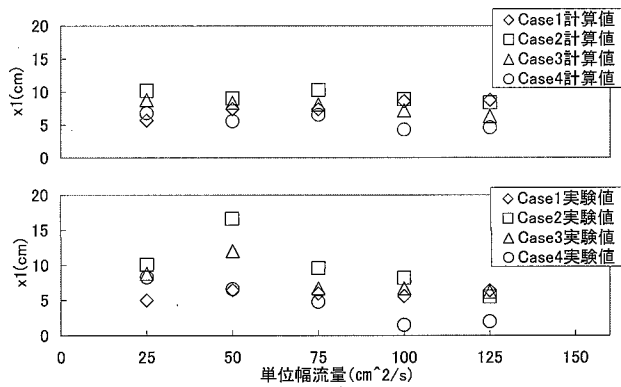


図-4 x1 の計算値と実験値

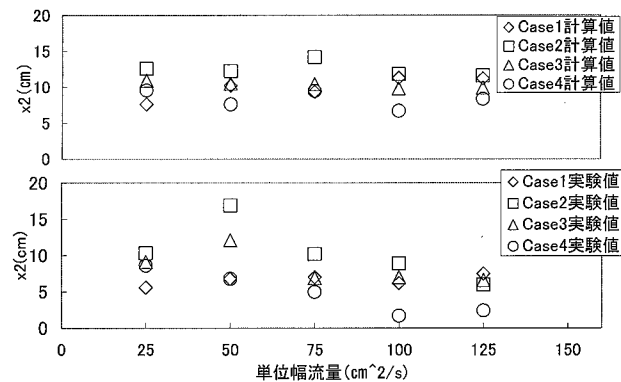


図-6 x2 の計算値と実験値

した後、これらの図から必要なデータを取得した。

x1 と流量の関係を示す。上図が計算値で、下図が実験値のものである。この図から、計算値は、実験値の結果に比べて、流量による違いが小さく、形状による違いも小さいことが確認できる。図-5 は図-4 で示した x1 の差（計算値－実験値）と流量の関係を示す。その結果、単位幅流量の少ない場合は、Case2～4 で計算値が実験値を下回る結果となった。また、単位幅流量が多くなると、すべての Case において計算値が実験値を上回る結果となった。

図-6 は、堰を越流する水脈の右面と堰堤との距離 x2 と流量の関係を示す。上図が計算値で、下図が実験値のものである。x1 時と同様の傾向が確認できる。図-7 は図-6 で示した x2 の差（計算値－実験値）と流量の関係を示す。その結果、流量の増加に比例してその差が大きくなった。

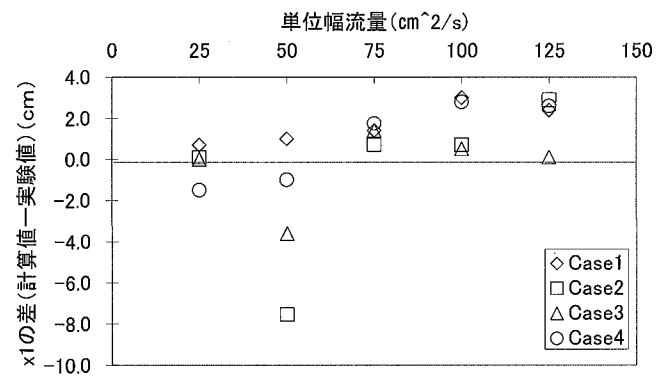


図-5 x1 の計算値と実験値との差

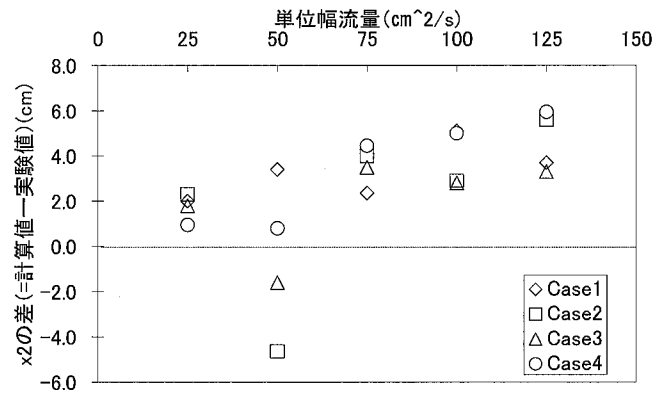


図-7 x2 の計算値と実験値の差

5. おわりに

本研究では、MPS 法を用いて堰を越える流れを計算により再現した。その結果、MPS 法で越流水脈の再現が可能であった。しかし、実験値との比較を行うと単位幅流量が大きくなるとその違いが顕著に現れた。

今後は、定量的な改良を施し、実験で得られるデータとの照合を綿密にする必要があると考えられる。最終的には魚道の設計に利用可能なモデルを構築したい。

参考文献

- 1) 越塚誠一：粒子法、丸善、2005
- 2) H.Gotoh,T.Shibahara,T.Sakaki:Sub-Particle-Scale Turbulence Model for the MPS Method -Lagrangian Flow Model for Hydraulic Engineering-, Computational Fluid Dynamics J, vol.9, No.4, pp.339-347, 2001