

MPS 法による越流水落下軌跡の解析

株式会社キタック ○池田一, 涌井正樹
信州大学工学部 飯尾昭一郎, 片山雄介, 木本海花

1. はじめに

近年、地球温暖化が社会的課題となる中、地球温暖化対策のひとつとして環境負荷の小さい小水力発電、特に既設砂防えん堤の落差を利用した小水力発電施設は、河川工事をほとんど必要としないため、環境への負荷が少なく、また工費も軽減できることから、その有用さが見直されている¹⁾。

しかし、小水力発電施設設置後のモニタリング調査の結果、増水時等の流れの乱れにより、越流落水が水車を飛び越え、発電出力が低下するという問題が明らかとなっている²⁾。

本報告では、この問題を解決する目的から、粒子法 (MPS 法) を用いて、越流落水の軌跡がどの程度再現できるか、水理実験に合わせた形状と水理条件で数値シミュレーションを行い、計算結果の妥当性など粒子法 (MPS 法) の実設計への応用の可能性について検討した。

2. 水理実験の概要

2.1 実験方法

実験は信州大学工学部で実施した。実験装置を図-1、実験状況を図-2 に示す。実験は長さ 5.2m、幅 0.3m の直線水路と半径 0.2m の曲面水路を使用した。ピトー管により平均流速を測定すると共に、曲面水路曲率開始位置を $\theta = 0^\circ$ として、曲面水路上に 10° 刻みで 10 箇所の圧力測定孔を設け、流水のはく離状況を確認した。

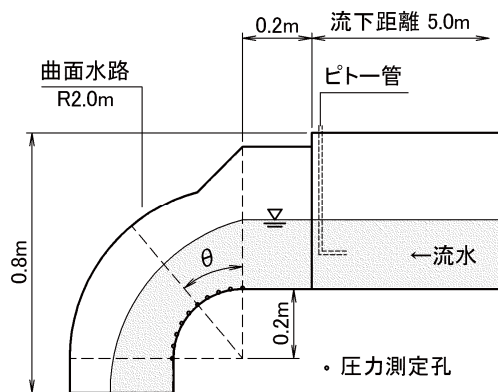


図-1 水理実験装置の概要

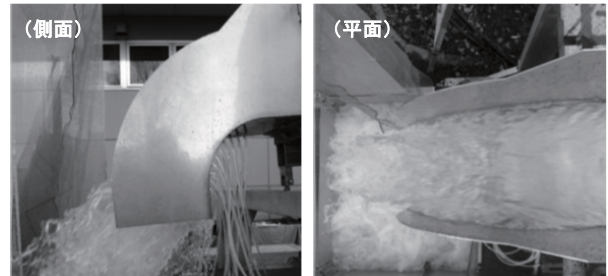


図-2 水理実験の状況

2.2 実験結果

水況を変化させはく離位置の確認を行った実験結果を表-1 に示す。はく離開始角度と水深には関係性は認められなかったが、流速が高くなるにつれてはく離開始角度は小さくなる。このことから、曲面水路への流水の付着には、水深よりも流速が大きく影響していると考えられる。

表-1 水理実験結果

ケース	平均流速 u [m/s]	水深 z [mm]	はく離開始 角度 θ [°]
1	0.96	100	はく離なし
2	1.02	95	〃
3	1.25	139	80
4	1.51	171	80
5	1.95	48	60
6	2.19	100	50
7	2.64	48	20
8	2.95	100	20

3. 数値解析の概要

3.1 数値解析方法

本報告では、非圧縮性流体の解析において定性的に精度の良い結果を示し、激しい水面の変化や飛沫の発生、水塊の分裂や合体も安定に解くことができる、越塚³⁾によって提案された MPS 法 (Moving Particle Semi-implicit) を使用する。

MPS 法は、計算領域に多数の粒子を配置して、個々の粒子の周囲に設定した影響域内の粒子間相互作用として、基礎式の各項が離散化される非圧縮性流れの解析手法であり、基本的な支配方程式としては、以下の連続の式 (質量保存則) およびナビエ・ストークス式 (運動量保存則) を用いる。

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0 \quad (1)$$

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

ここで、 D/Dt はラグランジェ微分を表し、 ρ は密度、 \vec{u} は速度、 P は圧力、 ν は動粘性係数、 \vec{g} は重力である。非圧縮条件は粒子数密度が一定であるという条件で表し、圧力項以外を陽的に、圧力項を陰的に解く。

計算粒子は、総粒子数 200,000 粒子を目安に、粒子間距離を 10mm、計算時間 5s、計算時間増分 2E-4s に設定した。

3.2 数値解析結果

水況を変化させ実施した数値シミュレーション結果を図-3 に示す。MPS 法による数値シミュレーションの再現性について、越流落水軌跡の実験結果と数値解析結果の比較検証を行った。

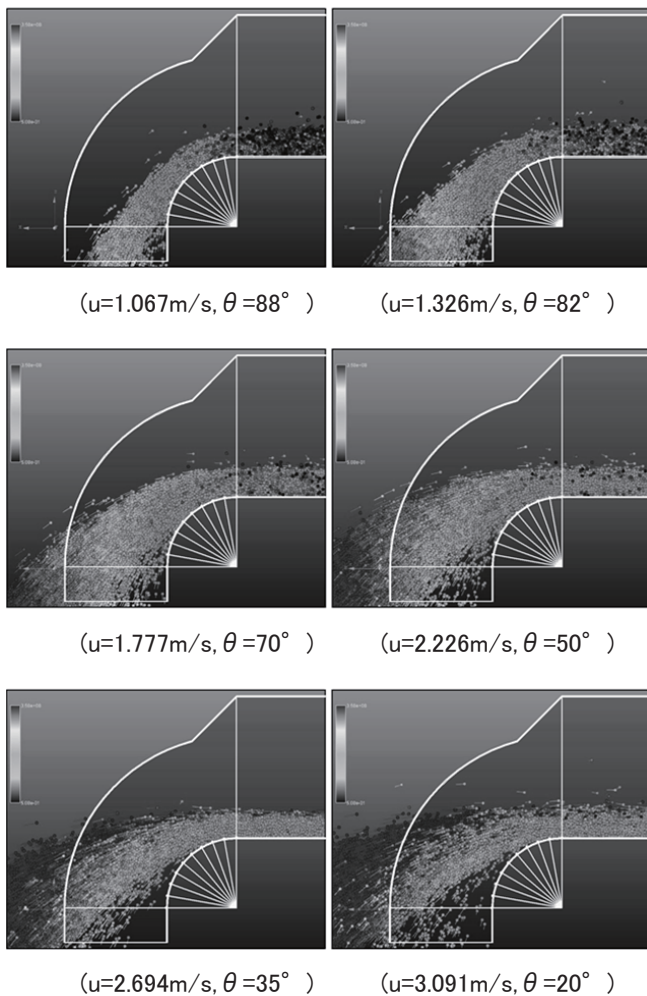


図-3 数値解析結果

図-4 に実験結果と数値解析結果（平均流速とはく離開始角度の関係）を示す。流速 2.6m/s 付近で実験結果と差がみられたが、概ね実験結果に近い結果となった。

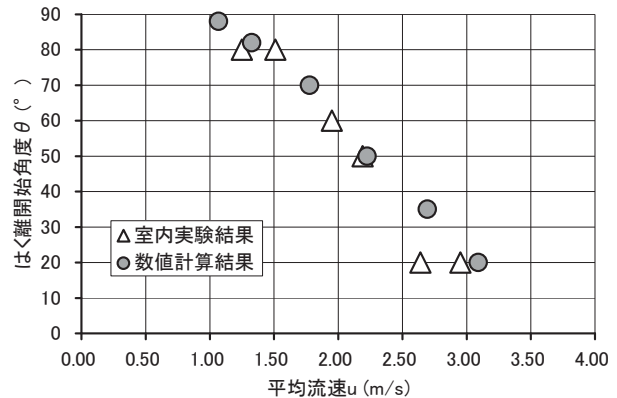


図-4 実験結果と数値解析結果の比較

4. まとめ

本報告では、MPS 法を用いてナビエ・ストークス式をラグランジェ的に離散化して、越流落水の水理実験に合わせた条件で、数値シミュレーションを行った。流速 2.6m/s 付近で実験結果と数値解析結果に差がみられたが、流体を粒子の集まりとして表現することで、自由表面を伴う越流落水の軌跡について、精度良く安定的に解析することができ、概ね実験結果に近い結果が得られた。MPS 法は実設計に十分適用できると考えられる。

今後は、既設砂防えん堤の落差を利用した小水力発電出力の安定化を目指し、流水取り入れ個所の形状を変化させた場合や、偏心方向から流入した場合など、流水の乱れの影響による越流落水軌跡の変化について、検討を継続したいと考えている。本報告をまとめるにあたり、国土交通省北陸地方整備局飯豊山系砂防事務所より貴重な資料のご提供をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 上原信司:砂防堰堤の落水を活用した小水力発電の取り組み, 砂防と治水 第206号 Vol.45.No.1 P 6-8, 2012
- 2) 涌井正樹, 上原信司, 山本敏一, 梅田ハルミ, 馬島大地, 飯尾昭一郎: 砂防堰堤の落水を利用したマイクロ水力発電のモニタリング結果, 平成 25 年度砂防学会研究発表会(静岡大会), 2013
- 3) 越塚誠一: 粒子法による流れの数値解析, 日本流体力学会誌 Vol. 21 No. 3 P 230-239, 2002