

急勾配沈砂池内の流れに関する数値解析

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 〇辻 貴仁 鳥取大学 フェロー 道上正規
サンイン技術コンサルタント(株) 正会員 中前和紀 鳥取大学工学部 正会員 檜谷 治
Department of Irrigation and Drainage Jalan Sultan Salahuddin 正会員 Md.Nasir bin Md.Noh

1.はじめに

流れ込み式水力発電所では、流入水に含まれる土砂による水圧管路や水車の磨耗を防止するために取水口に近接して沈砂池が設けられる。沈砂池では下流側を堰上げし、流速を減少させることにより、流入してくる土砂を沈砂池内に堆積させ除去している。通常、この沈砂池には排砂ゲートが設置され、ある程度土砂が堆積した場合、ゲートを開口し堆積土砂の排出を行う。一般的に、沈砂池の水路床勾配は急勾配で、排水時には跳水が発生する。また、沈砂池内の流況は図-3 に示すように左右非対称な状態となる。従来の研究¹⁾では、跳水の位置を制御することにより排砂ゲートを用いた沈砂池からの効率的な排砂方法を実験的に提案してきた。しかし、実験では排砂量の時間的・場所的変化を知ることは困難であるため、より詳しく効率的な排砂を行うには横断的な変化を表現することが可能な数値解析手法を用いた予測を行う必要がある。そこで本研究では、2次元浅水流モデルを用いて沈砂池内の流況を説明することができるような数値解析モデルの構築を目的とする。

2.実験および数値解析の概要

実験は、排砂ゲートと同形状であるスルースゲートを急勾配水路に直角に設置し水面形と流速分布の計測を行う。このスルースゲートはゲート開度が変化可能(最大開度 10.0cm)である。実験装置の概形を図-1 に示す。実験条件は表-1 に示すように、ゲート開度のみを変化させた3ケースとする。

数値解析に用いた基礎式は、右に示す連続式および運動方程式である。これらの式を、MacCormack 法により差分化し、数値的な不安定性を抑えるための人工粘性項としては拡散型のものを用いた。下流端の境界条件は、右に示すスルースゲートの流量公式より水深を与え、 uh は隣接する上流側のメッシュと等しいとし、 vh は 0 とする。流量係数に関しては、実験値より逆算した一定値を用いる。側壁に隣接するメッシュでは、流速の2乗に摩擦係数を乗じた抵抗を付加する。摩擦係数に関して、本研究では 0.003 としている。初期条件としては、水位を一定の状態とし、流速は解析領域内で流入流量から水深を用いて逆算した平均流速を与えた状態とする。計算条件は、実験条件と同様の3ケースとする。その他の計算条件については表-2 に示す。

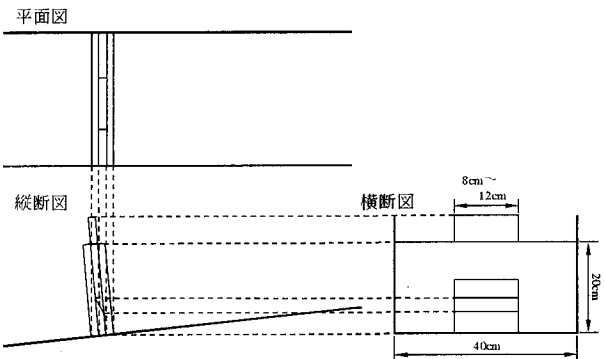


図-1 実験装置の概形

表-1 実験条件

EXP.No	水路床勾配S	流量Q (ℓ/s)	ゲート幅b (cm)	ゲート開度a (cm)
CASE.1	1/15	5.04	10.0	5.0
CASE.2	1/15	5.09	10.0	7.5
CASE.3	1/15	4.96	10.0	8.0

連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (uh)}{\partial x} + \frac{\partial (vh)}{\partial y} = 0$$

x方向の運動方程式

$$\frac{\partial (uh)}{\partial t} + \beta_{xx} \frac{\partial (u^2 h)}{\partial x} + \beta_{xy} \frac{\partial (uvh)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} + \epsilon \left(\frac{\partial^2 (uh)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (uh)}{\partial^2 y} \right) - \frac{\tau_{sx}}{\rho}$$

y方向の運動方程式

$$\frac{\partial (vh)}{\partial t} + \beta_{yx} \frac{\partial (uvh)}{\partial x} + \beta_{yy} \frac{\partial (v^2 h)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} + \epsilon \left(\frac{\partial^2 (vh)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (vh)}{\partial y^2} \right) - \frac{\tau_{sy}}{\rho}$$

スルースゲートの流量公式

$$Q = C_a b \sqrt{2gh}$$

ここに、h：水深、u：x方向の平均流速、v：y方向の平均流速、g：重力加速度、H：水位、ε：水平方向の渦動粘性係数、 τ_{sx} ：x方向の底面せん断応力、 τ_{sy} ：y方向の底面せん断応力、Q：流量、 C_a ：流量係数、a：ゲート開度、b：ゲート幅である。

表-2 計算条件

Cal.No	マンニングの粗度係数n	C_a	dt (sec)	dx,dy (cm)	人工粘性係数kv
Cal.1	0.0085	0.55	0.001	2.5	5.0
Cal.2	0.0085	0.49	0.001	2.5	5.0
Cal.3	0.0085	0.50	0.001	2.5	5.0

3. 実験結果および解析結果とその考察

図-3 に、実験による河床から 1cm 上方の流速ベクトル図を示す。図-3 より、ゲート開度が小さく堰上げ水深が大きい Exp.1 の場合において、沈砂池内の流況は非対称な流況となり、ゲート開度が大きく堰上げ水深が小さい Exp.3 の場合においては、主流が水路中央を流れ、両岸では逆流が生じ左右対称な流れとなっている。以上より、数値解析においては、沈砂池内にて発生する左右対称な流況と非対称な流況を再現する必要がある。図-4 に Cal.1 における流速ベクトル図を示す。ただし、フルード数が 1 以上の部分は表示していない。図-4 より、まず計算初期の跳水付近において、流れが水路中央部に集中し両岸で逆流が生じていることがわかる。そして、主流は蛇行した流れとなった後に、沈砂池内全体で主流が左岸側に偏向し、左右非対称な流況となった状態のまま安定した。次に、図-5 に Cal.2 における流速ベクトル図を示す。図-5 より、初期の状態から堰上げ水深が低下している間は、非対称な流況となる。そして、ある程度低下すると沈砂池内の流況は非対称から左右対称な流況へと変化する。Cal.3 においても同様の結果とり左右対称な流況が発生した。ここで、実験において Cal.2 の条件に相当する Exp.2 では非対称な流況が発生しているが、数値解析においては左右非対称な流況となっている。これは、本研究において設定している摩擦係数と、人工粘性項を計算する際に用いる人工粘性係数によるものと考えられる。逆流領域の規模についても同様の原因が考えられる。また、跳水位置は、実験に比べ解析のほうがどのケースにおいても上流側に発生している。これは下流端において堰上げ水深が実験値より大きくなったため、跳水の位置が上流側へと移動した結果となっている。この原因については、人工粘性項および下流端の境界条件による影響と考えられる。

4. おわりに

本研究における数値解析モデルでは、堰上げ水深が大きく左右非対称な流況から堰上げ水深を低下させることにより左右対称な流況への遷移過程を正確に説明することのできるモデルを構築することはできなかった。しかし、スルースゲートの流量公式の適用、および側壁で抵抗を付加することにより、2 次元モデルであっても、沈砂池内の流況を説明することができる可能性を示唆することができた。

【参考文献】 道上ら：スルースゲートによる土砂排出特性に関する実験的研究、第 53 回中支、pp125-126、2001

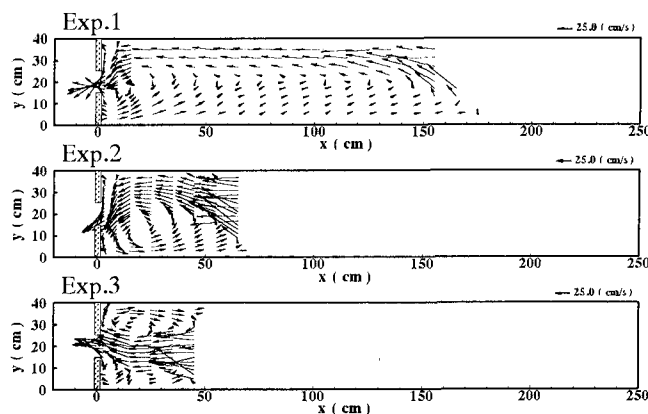


図-3 流速ベクトル図 (実験)

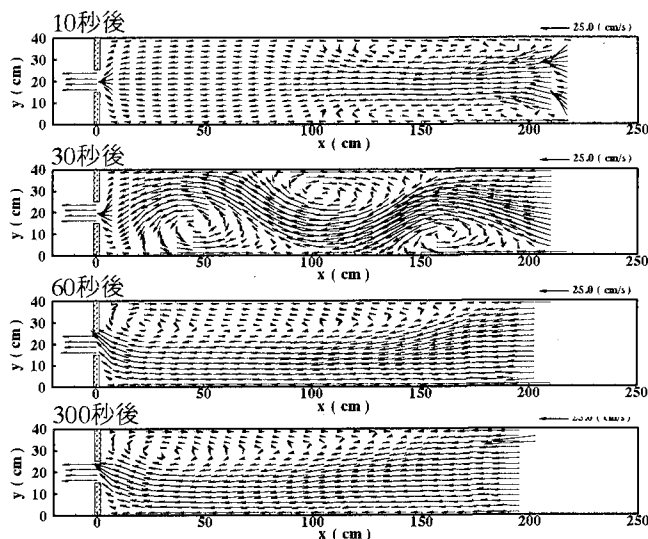


図-4 流速ベクトル図 (Cal.1)

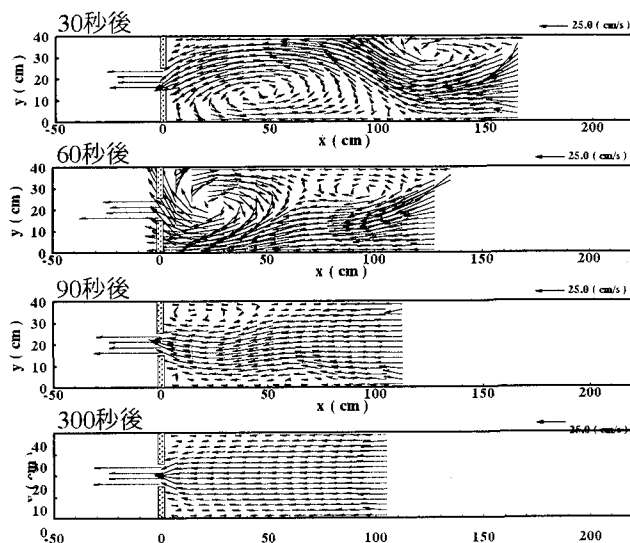


図-5 流速ベクトル図 (Cal.2)