

## 2次元解析モデルによる濁水シミュレーションの適用性について

中部電力(株) 正会員 土山茂希・正会員 後藤孝臣  
(株)CTI ○岩上泰弘

## 1.はじめに

湛水池による濁水の長期化に対応するため、電力会社等、ダム管理者は選択取水設備を設置するとともにダム運用を工夫し、濁水問題の解決に努めている。さらに、濁水低減のより効果的な実現を目指して、湛水池下流域への濁水影響や湛水池内の水質状況の予測など、濁水発生 の程度と継続時間の予測精度を上げるべく濁水解析手法の開発が各所で試みられ、ダムからの放流水の水質や放流時期について検討されている。

その解析モデルは、一般に鉛直1次元モデルが用いられている。しかし湛水池終端位置とダム取水口位置が離れている湛水池ではその間を濁水が移動する到達時間遅れが生じ、その時間遅れを鉛直1次元モデルでは考慮出来ないため、実現象を忠実に模擬できないことがある。

本研究では、河川環境に対する関心や要望の高まりとともに濁水解析精度の向上が望まれている現状と計算機の機能向上を踏まえて、2次元解析モデルによる濁水シミュレーションシステムを開発し、実際の湛水池を題材として、システムの有用性を検討した。

## 2.解析手法の概要

解析手法は Navier-Stokes の式を使った2次元差分近似モデルを用いて作成した。

基礎方程式を以下に示す。

## 1)水の連続式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \cdots \cdots (1)$$

## 2)運動方程式

・x方向

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (D_{mx} \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_{my} \frac{\partial u}{\partial y}) \cdots \cdots (2)$$

・y方向

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -\rho g \cdots \cdots (3)$$

## 3)濁度収支式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + (v + v_o) \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_{cx} \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_{cy} \frac{\partial C}{\partial y}) \cdots \cdots (4)$$

## 4)水温収支式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_{Tx} \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_{Ty} \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{H}{\rho_o C_w} \cdots \cdots (5)$$

ここに、x:流下方向、y:鉛直方向、u:x方向流速、v:y方向流速、t:時間、 $\rho_o$ :水の密度、p:圧力、 $D_{mx}$ :x方向運動量拡散係数、 $D_{my}$ :y方向運動量拡散係数、g:重力加速度、C:濁質濃度、 $v_o$ :濁質沈降速度、 $D_{cx}$ :x方向濁質拡散係数、 $D_{cy}$ :y方向濁質拡散係数、T:水温、 $D_{Tx}$ :x方向水温拡散係数、 $D_{Ty}$ :y方向水温拡散係数、H:発生熱量、 $C_w$ :水の比熱。

沈降速度は Stokes の式を、水表面の熱収支は近藤の式を使用した。河川巻き上げは電力中央研究所推奨の式を、発電巻き上げは観測データを分析して求めた関係式を使用した。

本研究で開発したプログラムでは、選択取水設備により時間的に取水標高が変動する計算、2つの湛水池

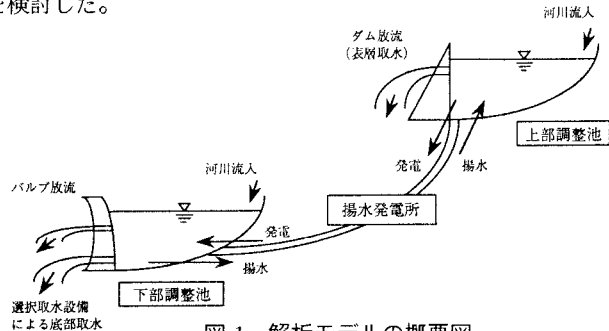


図-1 解析モデルの概要図

からなる揚水式ダムの計算、河川流入による底質の巻き上げ現象(河川巻き上げ)の計算、発電の放流水による底質の巻き上げ現象(発電巻き上げ)の計算が可能である。

### 3.解析モデルの概要

ケーススタディとして、上部と下部にそれぞれ湛水池を有する揚水式発電所を取り上げた。解析モデルの概要を図-1に示す。上部、下部湛水池にそれぞれ河川からの流入があり、ゲートやバルブからのダム放流がある。また発電・揚水の運用によって貯水は混合され、大気からの熱輻射、日射などにより、湛水池内の貯水は流動する。

湛水池形状は上部湛水池と下部湛水池とも、流下方向 500m、鉛直方向 2m に格子分割してモデル化した。

計算期間として洪水が発生し湛水池の濁りが収まるまでの 13 日間を設定し、入力データとして気象条件、流入水温・濁度、水位、流入量、流出量、粒度分布を与えた。

### 4.解析結果と考察

発電巻き上げの希釈パラメータ  $\alpha$ 、濁質水平拡散係数  $D$  を変化させて数種類の解析ケースを設定し濁質解析を行った。検討した数ケースの中では、 $\alpha=0.03$ 、 $D=10$  とした場合に濁度観測結果と解析結果との整合度が高かった。

下部湛水池からの放流濁度の経時変化を図-2に例示する。図-3に湛水池内濁質(解析結果)の縦断面 2 次元分布を例示し、その 1 日後の湛水池内濁質分布図を図-4に示す。濁度は湛水池への放水口周辺部で一時的に高くなり、時間と共に下流に移動していく様子が見えてくる。

### 5.おわりに

本研究で開発したプログラムにより、湛水池内の濁度分布や経時変化の状況の解析が可能であることを確かめた。今後は濁度観測結果と解析結果を詳細に対比することにより、解析精度や適用上の問題点などを明らかにするとともに、湛水池内での濁水発生メカニズムに対して検討・考察を加え、解析モデルに組み込んでいくことを考えている。さらに、解析に必要な各種パラメータや境界条件の設定などについても考察を加え、解析精度の向上、適用性の向上を図る計画である。

### 参考文献

- 1) 岩佐義朗・松尾直規: 湛水池水理の解析モデルとその水温予測への適用, 土木学会論文報告集第 308 号, 1981.4, pp.59~68.
- 2) 森北佳昭: 湛水池流れと水温・濁度の二次元数値解析モデル, 第 31 回水理講演会論文集, 1987.2, pp.521~526.
- 3) 宮永洋一他: 湛水池内流動形態のシミュレーション解析手法、電力中央研究所研究報告、1979.6

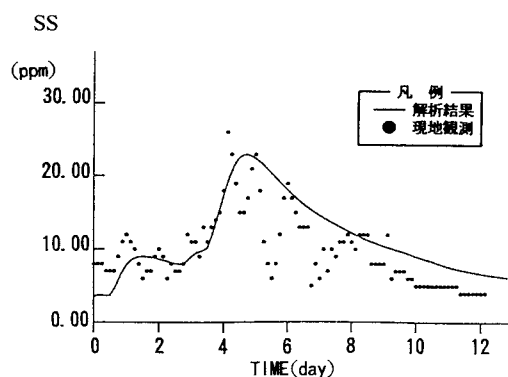


図-2 下部湛水池放流濁度

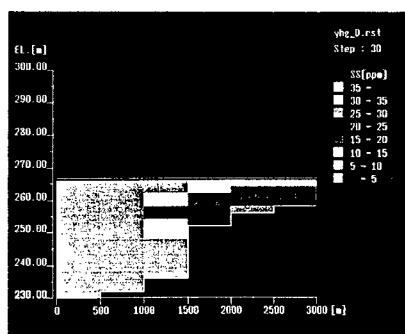


図-3 下部湛水池内濁度分布(11:00/9/24)

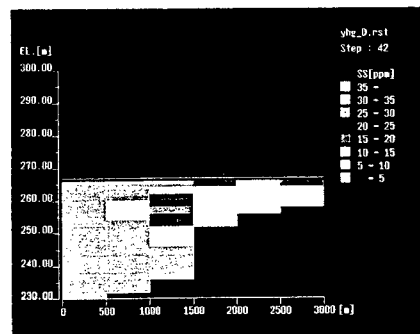


図-4 下部湛水池濁度分布(11:00/9/25)