

1. まえがき

ダム貯水池の建設は、治水・利水の両面にわたり大きな効用をもたらす一方、自然の流況を変化させるために、利水・環境上各種の影響も生じさせる。とりわけ貯水池管理上重要なものに、冷濁水現象、富栄養化現象がある。本研究では、貯水池の冷濁水現象をとりあげ、その機構説明、事前予測・評価に資するための貯水池水理解析手法を提案し、その適用性について報告するものである。

2. 基礎式

冷濁水現象の水理解析モデルには、従来より差分法に基礎を置くものが存在し実用に供されているが、本研究では差分法に比べ種々の長所を有すると思われる有限要素法を用いてモデルの作成を行った。基礎式は、貯留水の非圧縮性およびエネルギー保存則において運動エネルギーに基づく項は無視されとし、以下の5式とした。ここでY方向の運動方程式は静水圧近似したものであり、各式は貯水池幅方向の諸量の一様性を仮定して貯水池幅方向(Z方向)に積分したものである。

$$(1) \text{ 水の連続式 } \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

(2) 運動方程式

$$X \text{ 分値 } \frac{\partial M}{\partial t} + u \frac{\partial M}{\partial x} + v \frac{\partial M}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} b \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$Y \text{ 分値 } \frac{\partial P}{\partial y} = \rho g \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$(3) \text{ 水温収支式 } b \frac{\partial T}{\partial t} + M \frac{\partial T}{\partial x} + N \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (K_{Tx} b \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{Ty} b \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{Hb}{\rho c_w} \quad (4)$$

$$(4) \text{ 濃度収支式 } b \frac{\partial C}{\partial t} + M \frac{\partial C}{\partial x} + (N+v_0 b) \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (K_{Cx} b \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{Cy} b \frac{\partial C}{\partial y}) \quad (5)$$

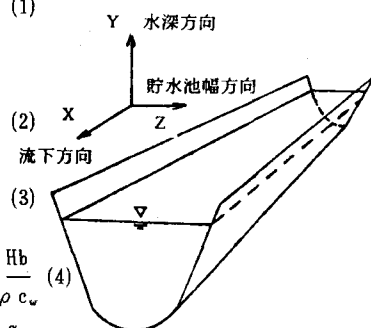


図-1 座標軸の方向

ここに、 u : x 方向流速 ($M=u \cdot b$)、 v : y 方向流速 ($N=v \cdot b$)、 b : 貯水池幅、 ρ_0 : 基準密度、 ρ : 密度、 P : 圧力、 ν : 動粘性係数、 g : 重力加速度、 T : 水温、 C : 濃度、 H : 単位容積、単位時間あたりの発生熱量、 c_w : 水の比熱、 v_0 : 沈降速度、 K_{Tx} 、 K_{Ty} : 水温に関する各方向の拡散係数、 K_{Cx} 、 K_{Cy} : 濃度に関する各方向の拡散係数

これら基礎式に加え、貯水池水面形状の考慮ならびに密度流現象の再現に対応するため貯水位 h 、水の密度 ρ を規定する式が必要となる。

$$(5) \text{ 自由表面の運動学的条件 } v_s = \frac{\partial h}{\partial t} + u_s \frac{\partial h}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$(6) \text{ 水の密度 } \rho \text{ を規定する式 } \rho = f(C, T) \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 u_s : 水表面における流下方向流速、 v_s : 水表面における流上方向流速 である。

上述の基礎式を有限要素法の中でも変分原理が存在しなくても定式化が可能な重み付き残差法(特に今回は Galerkin 法)を用いて離散化し、数値解析モデルを作成する。離散化式の詳細についてはここでは省略するが、本モデルの数値計算を各種境界条件のもとで実施すれば貯水池水理現象の解析が可能である。尚、計算時間間隔については、CFL条件を目安に計算が発散しない様、試行錯誤的に決定した。

3. モデルの適用例

本モデルの適用結果とその考察について以下に述べる。

3. 1 熱対流現象の再現

高さ8 m、長さ50 m、幅10 mの仮想水槽を考え、静止状態から水槽の一端に熱を与えて流動を生起させた。計算開始210秒後の水位と流速ベクトル図を図-2に示すが、水面形状、流速ベクトルともに定性的には熱対流現象を良好に再現できているものと思われる。

3. 2 実験貯水池への適用

本モデルを図-3に示す室内実験貯水池に適用し、その妥当性について検討を行った。実験貯水池の要素分割は三角形三節点要素で106節点171要素とした。

(1) 実験条件

実験は上部から熱量を与え水温成層を形成した後、通水するものである。流入量、取水量共1.0 l/sで取水口位置は水面下87cmの窓口とした。

(2) シミュレーション結果

20分間のシミュレーション後の流速ベクトル図と水面形状を図-4に、各断面の水温分布を図-5に示す。実験では流速が測定されていないため結果の妥当性を論じることは困難であるが、流入部から取水口に向けての流れが再現されているとともに、水温躍層（取水口位置付近）以下に死水域が形成されており定性的には概ね妥当である。水面形状については流入部と取水部で1.5mm程度の水位差が生じており、水面勾配による取水口に向けての流れも誘起されているものと思われる。一方、水温分布は取水口付近で測定されており実験値との比較が可能であるが、計算値は実測値に比べ高くなっている。この原因として、水表面での熱の境界条件の設定方法に問題があったものと考えられる。

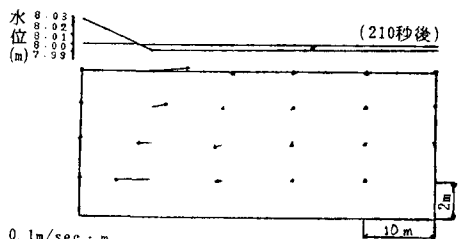


図-2 水位および流速ベクトル図
(熱対流現象再現結果)

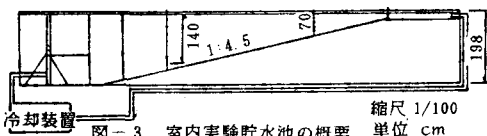
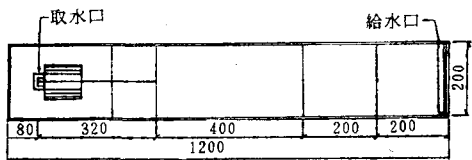


図-3 室内実験貯水池の概要 単位 cm

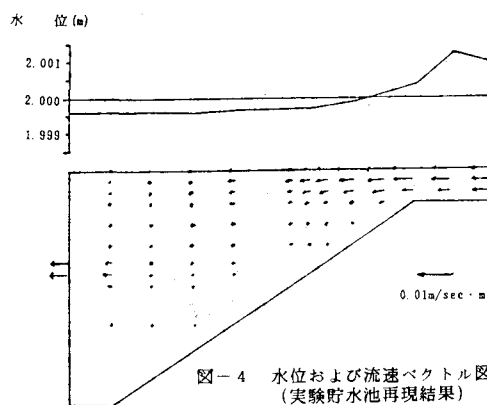


図-4 水位および流速ベクトル図
(実験貯水池再現結果)

4. あとがき

上述の計算例より本モデルの適用性が示されたと考えられる。しかしながら、現状では計算に相当の演算時間を要しており、モデルの実用化には要素分割、計算手法等にさらに工夫が必要である。今後、実験貯水池に適用しモデルの妥当性、

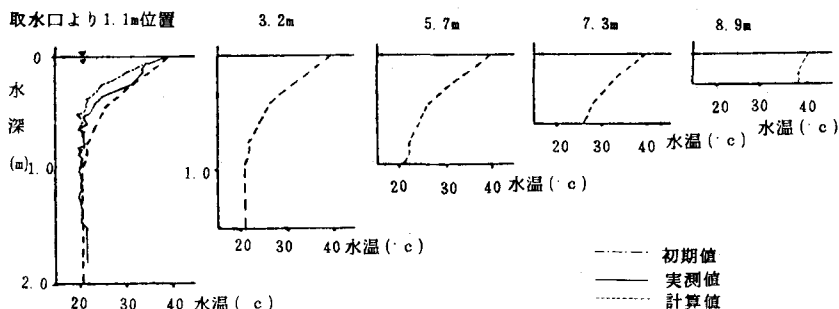


図-5 水温分布図 (実験貯水池再現結果)

実用上の問題点についてさらに詳細な検討を加えていく予定である。最後に、本研究の遂行に際し、御協力いただいた土研ダム水工研究室の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献) 今田、水谷、猪熊; トンネル抗口付近の排ガス拡散状況の予測手法 (その1, その2)

土木技術資料23-3、23-12(1981)