

長崎大学工学部 正会員 野口 正人

同 上 学生員 金村 秀敏

同 上 柴田 清二

1. まえがき

ここ数年、全国的に多くの多目的ダムが建造されているが、これらの貯水池において受熱期に水温成層が形成されることはよく知られている。したがって、ダム管理はこれまで水量制御のみから行われていたが、最近では質的側面をも合わせ考えることが必要になってきた。ここでは、その一つとして濁度を取り上げ、水温成層の発達した貯水池内での濁水挙動について調べるため、数値シミュレーション・モデルを作成して濁度予測をするとともに、観測結果との比較を行った。

2. 基礎方程式とシミュレーション・モデル

成層化した貯水池内で濁水流を考える際には、流れの連続方程式・運動方程式とともに熱エネルギー式および濁度物質の保存式を与えられた初期条件と境界条件との下で解かなければならない。すなわち、後の式は

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + (\bar{V} \nabla) \bar{T} + \nabla (\bar{T} \bar{V}) = H \quad \dots\dots\dots (1) \quad \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + (\bar{V} \nabla) \bar{C} + \nabla (\bar{C} \bar{V}) = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

と書かれる¹⁾。ただし、 $\bar{V}$ ：速度ベクトル、 $\bar{C}$ ：濁度、 $\bar{T}$ ：水温であり、 H は単位時間・単位質量あたりの熱生成量である。とくに、濁度が低いときには(2)式は必要でなく、(1)式を使って水温予測が行われるが、この種の問題では池内の等温面はほぼ水平になり、1次元的な取り扱いが可能である。しかし、高濁度の流体に対しては特殊な場合を除いて、一般にはそのようなことが言えない。

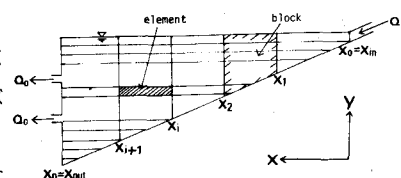


図-1 模式図

ここでは、図-1に示されたように貯水池を数個のブロックに分割し、流下方向の濁度変化について考慮するとともに膨大な計算を避ける試みを行った。このとき、(1)、(2)式は

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \left[\frac{D_{xy}}{A} B \frac{\partial T}{\partial x} \right]_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{D_{xy}}{A} \frac{\partial}{\partial y} \left(A \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \left[\frac{1}{A} u B T \right]_{x_i}^{x_{i+1}} - \frac{V}{A} \frac{\partial}{\partial y} (A T) + H \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \left[\frac{D_{xy}}{A} B \frac{\partial C}{\partial x} \right]_{x_i}^{x_{i+1}} + \frac{D_{xy}}{A} \frac{\partial}{\partial y} \left(A \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \left[\frac{1}{A} u B C \right]_{x_i}^{x_{i+1}} - \frac{V}{A} \frac{\partial}{\partial y} (A C) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial y} (v_0 A C) \quad \dots\dots\dots (4)$$

と書き改められる。ここに、 D は輸送係数であり、 B ：貯水池幅、 A ：貯水池境界面積、 v_0 ：土砂粒子の沈降速度である。このモデルでも、実際に計算を進める場合には運動方程式の代用として選択取水式を用いるが、ここではKohの式²⁾を使って取水層厚を流下方向に変化させた。さらに、層内での流速分布としては非対称な正規分布を採用することにより現実のものに近づけた。一方、懸濁物質の沈降速度は池内の濁度分布を求める上で非常に重要な因子であるが、本モデルでは近似的に静止流体中のStokesの式が使われている。また、拡散係数については空間的に大きく変化するが、ここでは表層混合の仮定を入れることにして分子拡散係数を用いた³⁾。

3. 貯水池内での濁度分布

荻瀬貯水池の観測⁴⁾においては、水温変化とともに光電池式水中濁度計(村山電機製作所製)を用いて濁度変化が求められたが、合わせてセッキ板による表面での透明度の測定がなされた。観測により求められた濁度分布は図-2に示されているが、このうち、8月28日と9月4日の両観測日は丁度1週間しか離れておらず、その間に降った100mmを越す雨による流出の影響を見るのに持都合である。すなわち、9月4日の濁度分布によれば、流入水が成層化した貯水池の等温度層に潜り込み、中抜けの状態が流れのあることがわかる。さらに、取水口付近では分離取水により生じた死水領域に濁水流入前の比較的清潔な水が残留していることが観察される。また、

9月24日の濁度分布は先の降雨前のものになりに似通った状態に回復しており、降雨による濁りの影響は見られない。さらに、ここには図示されていないが、10月23日の観測では流入水温が高いため、貯水池内で表層流が支配的となっており、池内の循環も起り始めている。とくに、池内での濁度変化については11月14日の観測で明らかであり、成層期の等濁度線が概ね水平であるのと対照的に貯水池の上流側で等濁度線が立ってきている。一方、セッキ板による透明度を透過水深で示せば図-4のようになるが、この大きさは日ざしの強さや太陽光線の入射角、雲量などや貯水池表面での濁りにより変化するものと思われる。したがって、濁度を透過水深で積分した値を求めると10~14 mgppmでほぼ一定となるが、観測した日がすべて薄曇りから晴れの状態で大差ないためと思われる。

つぎに、先のモデルで実際に数値シミュレーションを行なうには、気象データと合わせて流入条件たる水理諸量について知る必要があるが、貯水池上流での流入濁度についてはほとんど観測されていない。そのため、今回の計算では流入濁度を流量の関数として表わし、流入量が或る限界を越えたときにのみ濁水が貯水池に流入するものとした。計算は、基本時間間隔を1日とし、水深方向の距離間隔を1mにとって実行されたが、演算がexplicit型で行なわれたため、計算の安定条件を満たすよう適宜に時間間隔を縮めた。また、浮遊物質の沈降速度は、土砂粒子の比重2.65、粒径 6μ として計算した。以上のシミュレーション結果のうち、流出水温については別報⁴⁾の図に併記されている。また、観測の項で述べた9月初旬の流出の影響を見るため、今回のモデルで計算した9月7日の池内の濁度分布を示せば図-3のようである。観測日と計算日とが違い直接の比較はできないが、水温成層が発達した貯水池内での濁度分布の概要を示しうるものと思われる。しかしながら、土砂粒子の沈降速度や拡散係数を場所にとらず一定にしたことに伴う等濁度線の違いについては、今後、モデルを改良していくことが必要である。

4. あとがき

貯水池の水質制御を行なう上で重要なパラメーターたる水温・濁度の予測を行うため、2次元モデルを作成し、実際の貯水池で計算を行なった。これまでの計算では、実際現象を十分に説明するまでには到っていないが、ここに示されたモデルを一層改良することにより、十分な予測精度に高めるものと思われる。

○参考文献 1) Y. Iwasa and M. Noguchi, IAHS Symposium, Tokyo, 1975, 2) 水理公式集, 土木学会, 昭46, 3) W.C. Huber,

D.R.F. Harleman & P.J. Ryan, Proc. ASCE, HY4, 1972, 4) 野口, 松山, 甲斐崎, 土木学会西部支部発表会, 昭51,

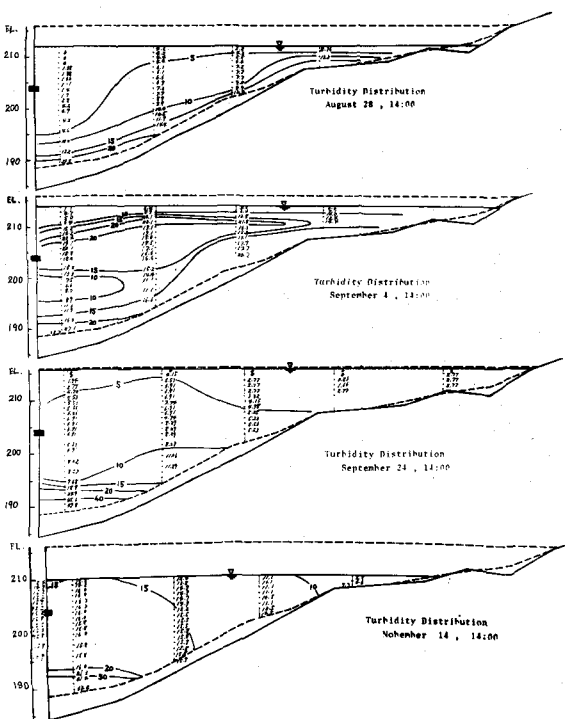


図-2 濁度分布(観測結果)

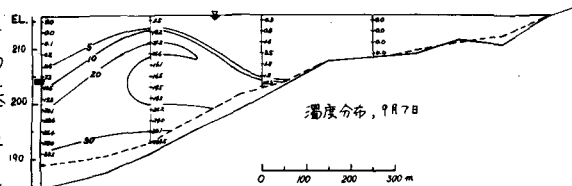


図-3 濁度分布(計算結果)

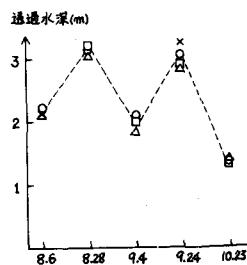


図-4 透過水深