

II-376

七ヶ宿貯水池における洪水時の濁質流動・堆積について

東京工業大学大学院 学生会員 梅田 信

東京工業大学大学院 学生会員 横山勝英

東京工業大学総理工 正会員 石川忠晴

1. はじめに

洪水時に多量に発生する微細な懸濁物質(濁質)は、貯水池に流入、堆積すると、放流水の濁りの長期化や有効貯水容量の減少などの問題を引き起こす。また、濁質に付着する栄養塩は、貯水池の水質環境にも長期的な影響を及ぼす。したがって、流入濁質の量や質、あるいは貯水池内での濁質の挙動について把握することは、貯水池管理上重要であると考えられる。

そこで本研究では、宮城県の七ヶ宿貯水池において、洪水時の濁質流入・堆積量についての現地観測を実施した。また濁水流動の数値シミュレーションを行い、観測結果との対応を調べた。

2. 観測の概要

観測対象は、宮城県七ヶ宿貯水池である。総貯水容量は約1億 m^3 、最大水深は約45m、湛水延長は約5kmである。図-1に貯水池平面図を示す。1996年9月の台風洪水時に、次に挙げる3通りの観測を実施した。

①流入水観測：図-1に示した副ダム地点において、流入水の水温、濁度の連続計測を行った。なお、測定には、それぞれMDS-T、MTB-16(共にアレック電子製)を用いた。

②濁水流動観測：洪水の翌日に、貯水池内の濁水の流入状況を捉えるために、ADCP(RD Instrument社製)を用いた流速測定、及び水質計(アレック電子製 ACL-1800)による濁度・水温等の直接測定を行った。

③貯水池内堆積物調査：洪水を含む約一ヶ月間(9/10~10/7)、図-1に示した地点の湖底付近に、沈殿物採取用のピンを設置し、当該洪水により貯水池へ流入した濁質の堆積量を調べた。

3. 観測結果(濁質堆積分布)

図-2に沈殿量分布の観測結果を示す。沈殿量には、地点ごとに大きな差が見られるが、顕著な傾向として、浅瀬側(旧河岸段丘上:Bシリーズ)に少なく、滞筋(旧河道:Aシリーズ、旧支川:Cシリーズ)に多い。また、滞筋沿いには下流ほど沈殿量が減少している。

4. 数値計算

洪水時に流入した濁質の運動と堆積過程を把握するために、数値シミュレーションを行った。

基礎方程式は以下のように、ブシネスク近似した運動方程式と連続式に、 $k-\epsilon$ モデル式と沈降を考慮した濁質の拡散方程式を加えたものである。

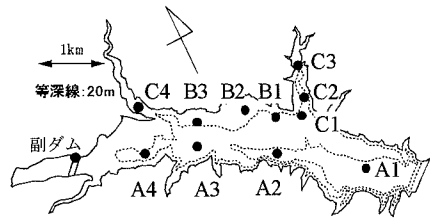


図-1 貯水池観測点

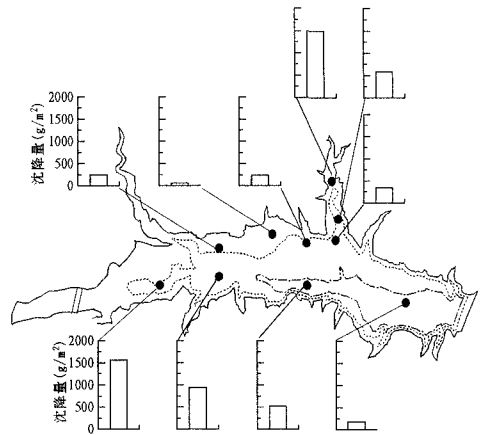


図-2 洪水時沈殿分布

キーワード：貯水池、濁質堆積、 $k-\epsilon$ モデル

連絡先：横浜市緑区長津田町 4259 番地 Tel 045-924-5515 Fax 045-924-5519

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\frac{Du}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_L \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_L \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_T \frac{\partial u}{\partial z} \right) = f_v - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$\frac{Dv}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_L \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_L \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_T \frac{\partial v}{\partial z} \right) = f_u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$$

$$\frac{Dw}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_L \frac{\partial w}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_L \frac{\partial w}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_T \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \delta g$$

$$\frac{Dk}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_L \frac{\partial k}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_L \frac{\partial k}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_T \frac{\partial k}{\partial z} \right) = P_k + G - \varepsilon$$

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) = C_1 \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}$$

$$\frac{D\delta}{Dt} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_\delta \frac{\partial \delta}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_\delta \frac{\partial \delta}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_\delta \frac{\partial \delta}{\partial z} \right) = S$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + (w - w_0) \frac{\partial C}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_L \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_L \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_T \frac{\partial C}{\partial z} \right) = -\frac{\partial}{\partial z} w_0 C$$

なお、

$$P_k = \nu_L \left[2 \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right\} + \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right\} \right]$$

$$G = -g \nu_\delta \frac{\partial \delta}{\partial z}, \quad \nu_T = \nu + \nu_L = \nu + C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad \nu_k = \nu_L, \nu_\varepsilon = 0.77 \nu_L, \nu_\delta = 1.2 \nu_L$$

ここで、 x, y は水平座標、 z は鉛直上向き座標、 u, v, w は、それぞれ x, y, z 方向の流速、 k は乱れエネルギー、 ε は粘性散逸の大きさ、 δ は相対密度差である。また p は圧力、 ν_L は渦動粘性係数、 ν_T は実効動粘性係数、 ν_L は水平方向の拡散係数、 L は計算メッシュサイズ(100m)、 f はコリオリ係数($8.6 \times 10^{-5} 1/s$)、 U_* は風応力、 C_1 は $k-\varepsilon$ モデル固有の係数であり、ここでは標準的な値を使用している。 g は重力加速度、 S は生成項である。

これらの式を有限体積法で三次元に離散化して SIMPLE 法で解いた。また湖底面においては静的沈降を仮定し $C_b \cdot w_0$ の鉛直下向きフラックスを与えた。ここに C_b は湖底面上の濁度、 w_0 は濁質粒子の沈降速度である。

貯水池内の沈殿物の粒度組成分析結果を参考に $13.5 \mu m$ の粒子を想定して、 $w_0 = 1.5 \times 10^{-4} m/sec$ とした。流入量と流入濁度及び水温の観測時系列を上流端で与え、水面は観測された風向風速に基づいて風応力を与えた。

滞筋上の観測点 (A1～A4) おける貯水池主軸方向流速の鉛直分布を図-3 に、濁度の鉛直分布を図-4 に示す。両図とも観測時点と同じ時刻の計算値を示しているが、ダムサイトに近い領域で多少の誤差はあるものの、計算結果と観測結果は概ね一致していることが分かる。

さて、計算終了時点 ($T=30$ 時間) には濁水流フロントがダムサイトに到達し、ほぼ水平な成層が形成された。そこで、以後は懸濁物質が垂直に沈降すると仮定し、計算終了時点で水中に浮遊している懸濁物質量とすでに堆積した量を合算し、図-2 に示した沈殿量分布と比較することとした。その結果を図-5 に示す。右斜めの支川 (これは計算に含まれていない) 近傍を除けば、計算結果は図-2 の観測結果と概ね一致していることが分かる。

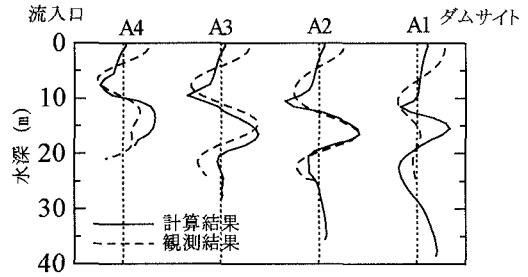


図-3 流速プロファイルの比較

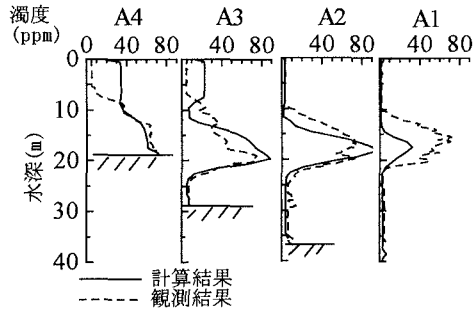


図-4 濁度プロファイルの比較

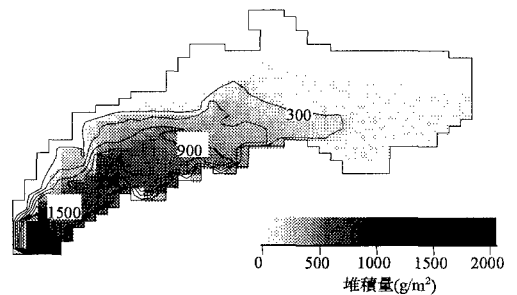


図-5 濁質堆積分布計算結果