

九州大学 工学部 正員 平野 宗夫
 " " " 羽田野 繁義
 建設者 " 古賀 省三

1. まえがき

近年、貯水池に関して濁水長期化という事が多方面で問題化してきた。濁水をもたらす洪水は受熱期に多発するが、この時期は貯水池内の取水口下方に2次躍層が発達することが多く、濁水の長期放流と躍層付近の濁質の挙動とは特に密接な関係にあることが報告されている。したがって、ここでは躍層の低下が濁水長期化に与える影響を考える1 Stepとして躍層の低下過程および中間層密度の時間的変化を評価するために簡単なモデル化を行ない、実験結果と比較した。

2. 密度躍層の低下および中間層密度の変化過程

図-1に示すモデルで考える。すなわち中間層先端付近において表層水がまき上げられ、ダム壁近傍において表層水が中間層内に侵入するものとする。また、密度の流れ方向の变化は考慮せず、時間的変化だけを考え水速は一定に保たれるものとする。

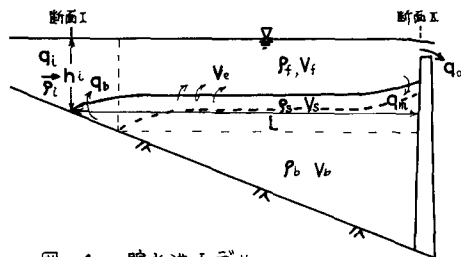


図-1 貯水池モデル

断面IとIIの間の領域を Control Volume とし、体積保存則および質量保存則を考えると、

$$\frac{d}{dt}(V_f + V_s + V_b) = 0 \quad (1) \quad \rho_b \frac{dV_b}{dt} + \rho_s \frac{dV_s}{dt} + V_s \frac{d\rho_s}{dt} + \rho_f \frac{dV_f}{dt} = \rho_i \rho_i - \rho_o \rho_o \quad (2)$$

上式より dV_b/dt を消去すると、

$$V_s \frac{d\rho_s}{dt} = (\rho_b - \rho_s) \frac{dV_s}{dt} + (\rho_b - \rho_f) \frac{dV_f}{dt} + \rho_i \rho_i - \rho_o \rho_o \quad (3)$$

一方、中間層上流端からのまき上げ量 q_b がどのような量に依存しているかが問題となるが、 $-\frac{dV_b}{dt}/L\bar{u}_f$ と $F_b^2 = \frac{\rho_i^2}{\rho_s \rho_f} g h_i^3$ の実測値をプロットしたのが図-2である。但し、 $\varepsilon = (\rho_b - \rho_s)/\rho_s$ 。図より $-\frac{dV_b}{dt}/L\bar{u}_f$ と F_b^2 との間には密度界面における連行の場合と同様の関係がみとめられる。また $-\frac{dV_b}{dt} = q_b$ であり、定数 C_1 を用いて次式となる。

$$\frac{q_b}{L\bar{u}_f} = C_1 F_b^2 \quad (4)$$

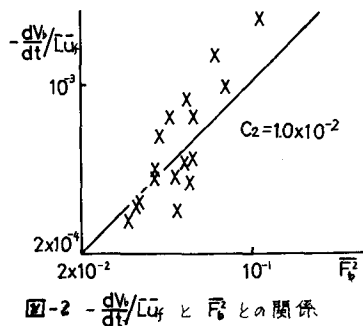


図-2 $-\frac{dV_b}{dt}/L\bar{u}_f$ と F_b^2 との関係

また、上記を考慮してダム壁近くのまきこみ量を q_m とし、断面IとIIの間の表層領域を Control Volume として体積保存則、質量保存則を考えれば次式のようになる。

$$\frac{dV_f}{dt} = v_e L - q_m + q_b \quad (5) \quad \rho_f \frac{dV_f}{dt} = (\rho_i \rho_i - \rho_o \rho_o) + \rho_s v_e L - \rho_f q_m + \rho_b q_b \quad (6)$$

但し、 v_e は中間層から表層への連行速度で、 C_2 を定数として $v_e = C_2 \bar{u}_i F_b^2$ (ここに、 $F_b^2 = \frac{\rho_i^2}{\rho_s \rho_f} g h_i^3$, $\varepsilon_o = (\rho_b - \rho_s)/\rho_f$) で与える。式(3)、(5) および (6) より

$$V_s \frac{d\rho_s}{dt} = (\rho_b - \rho_s) \frac{dV_s}{dt} + (\rho_b - \rho_s) v_e L + (\rho_f - \rho_b) q_m \quad (7)$$

また、断面IとIIの間の中間層領域を *Control Volume* とすれば体積保存則として式(8)、これと式(7)より式(9)が得られ、密度躍層の低下に対しては式(1)より(10)を得る。

$$\frac{dV_s}{dt} = \dot{q}_m - v_e L \quad (8) \quad V_s \frac{d\rho_s}{dt} = (\rho_f - \rho_s) \dot{q}_m \quad (9)$$

$$\frac{d\kappa_i}{dt} = \frac{g_b}{L} \quad (10) \quad \text{結局式(8),(9)および(10)を計算することにより躍層の位置}\kappa_i\text{および中間層密度}\rho_s\text{の時間的变化を求めることができるが、その際、まきこみ量}\dot{q}_m\text{の算定が必要となる。}$$

3. $\dot{q}_m$ の算定

$\dot{q}_m$ を評価するため、ダム壁近くを取水域とみなし、図-3に示すようにモデル化する。断面BDFをダム壁の直上流にとり、 $\dot{q}_f - \dot{q}_m = \dot{q}_0$ とし、現象が準定常であると考え、領域ABCDおよびCDEFについて運動量の定理を、またAB上でベルヌイの定理を適用し、アシネス近似および $\dot{q}_f - \dot{q}_m = \dot{q}_0$ の関係をを用いて整理すれば次のようになる。

$$\frac{(\dot{q}_0 + \dot{q}_m)^2}{\kappa_f} = \frac{\beta_2}{\beta_1} \frac{\dot{q}_0^2}{\kappa_f - \kappa_m - \kappa_e} - \frac{1}{2\beta_1} g \kappa_e (2\kappa_f - \kappa_e) + \frac{1}{2\beta_1} g \kappa_m^2 \quad (11)$$

$$\frac{\dot{q}_m^2}{\kappa_s} = \frac{1}{\beta_2} (2g \kappa_m - g \kappa_e) \kappa_s \quad (12)$$

$$\kappa_e = \frac{1}{2g} \left\{ \alpha_2 \left(\frac{\dot{q}_f - \dot{q}_m}{\kappa_f - \kappa_m - \kappa_e} \right)^2 - \alpha_1 \left(\frac{\dot{q}_f}{\kappa_f} \right)^2 \right\} \quad (13)$$

ここに、 α_1 および α_2 は各々AおよびBにおけるエネルギー補正係数、 β_1 および β_2 は各々AC, BDおよびCE上における運動量補正係数である。

4. 計算結果

式(8),(9),(10),(11),(12)および(13)を用いて κ_i および ρ_s の時間的变化を求めるが、中間層形成時における V_s , ρ_s , κ_i , κ_s , κ_f および L を実験から初期値として与え、式(11),(12)および(13)をくり返し計算することにより $\dot{q}_m$ を算定し、この $\dot{q}_m$ を用いて1 Step進んだ V_s , κ_s および κ_i を式(8),(9)および(10)より求める。

また C_1 は図-2より 1.0×10^{-2} とし C_2 は岩崎らの研究を参考にし $C_2 = 1.5 \times 10^{-3}$ とする。 α , β に対しては実験などから $\alpha_2 = 1.3$, $\beta_2 = 1.17$ としその他は1.0とした。

以上に従った計算結果が実験値とともに図-4, 5および6に示されている。それによると躍層位置は時間とともに低下するが、時間の経過とともに低下は鈍る傾向を示す。また中間層の密度は初め急激に減クレ、その後漸減する。いずれにおいても計算値と実験値とは比較的良好一致を示しており、このようなモデルでも密度躍層の低下をよく評価しうることを示している。

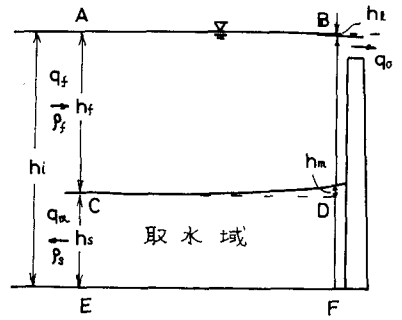


図-3 取水域モデル

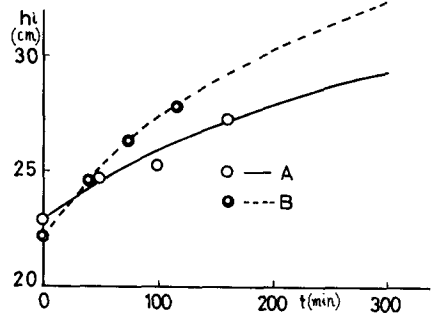


図-4 h_i の時間的变化

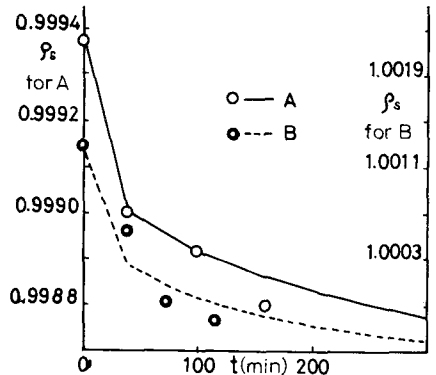


図-5 ρ_s の時間的变化

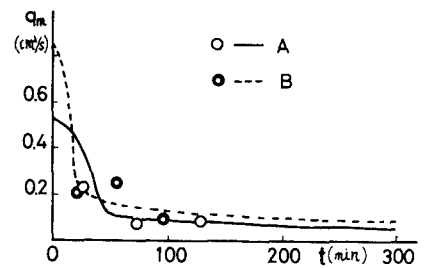


図-6 q_m の時間的变化