

九州大学 工学部 正 員 金子 新

" 学生員 〇式 正治

" 学生員 横田 洋文

1. まえがき

貯水池内の水温分布による密度流的流動形態は懸濁物質の挙動に大きな影響を及ぼすことはよく知られている。本文では南畑ダムにおける水温変化を明らかにするため、昭和47年の流入量、放流量、流入水温等の観測値をもとにして南畑ダムの水温分布及び放流水温を求め観測値と比較している。数値解析においては温度躍層を境に表水層と底水層に分け、流入、流出による熱の移流及び躍層位置の変化を考慮モデル化しモデル及び数値解析の適合性を論じている。

2. 数値解析の方法

ダム築造による貯水池の幾何形状は一般には非常に複雑である。図-1に南畑ダムにおける水位～貯水量曲線より、南畑ダムでは水位～貯水量の関係は近似的に次式で表現できる(図-1参照)。

$$V = 25H^3 \quad (1)$$

(1)式でVがHの3乗に比例するという事は、貯水池の幾何形状をほぼ図-2のようなモデルで表現できることを示している。このモデルにより水位～貯水量曲線を求めれば次式のようになる。

$$V = \tan\theta \cdot H^3 / 2l_b \quad (l_b: \text{貯水池平均縦断面勾配}) \quad (2)$$

ここに、南畑ダムでは $\tan\theta / 2l_b = 21.0$ となっている。

次にモデル化した貯水池の縦断面図を図-3に示す。図-3を参照して連続の式として、水表面よりの降水、蒸発散及び漏水を無視し移流のみを考えると、

$$dV/dt = Q_i - Q_o \quad (3) \quad \text{となる。}$$

放流口位置に安定した二次躍層を形成している貯水池では、流入水は表水層に流入し、底層水を連行混合して二次躍層上を流れることになるが洪水後はその規模にもよるが底層水温が多少上昇することが認められている。この場合、熱保存則として貯水池表面からの日射による熱の収支を無視すると、表水層における熱の保存則は

躍層位置の変化による熱の移流を考えると次式で与えられる。

$$\frac{d}{dt} \{ T_m (V_s - V_b) \} = Q_i T_i - Q_o T_m - \frac{d}{dt} (V_s T_o) \quad (4)$$

底水層における熱の保存則は、貯水池底よりの熱損失を無視し

i) 流入水量が減少して躍層位置が上昇するとき ($dV_s/dt > 0$) は

$$\frac{d}{dt} (V_s T_o) = \alpha T_m \frac{dV_s}{dt} \quad (5)$$

ii) 流入水量が増加して躍層位置が低下するとき ($dV_s/dt < 0$) は

$$\frac{d}{dt} (V_s T_o) = T_o \frac{dV_s}{dt}, \quad \frac{dT_o}{dt} = 0 \quad (6) \quad \text{となる。}$$

α は $0 \leq \alpha \leq 1$ の値を取り、躍層位置が上昇した場合の底層に残される熱量の割合を示し、底層水温の観測値との比較により決定される。南畑ダムの場合は $\alpha = 0.07$ を用いた。

次に貯水池の二次躍層位置は Q_o と $(T_m - T_o)$ より決定されようと考え躍層位置を求めるために選択取水における Craya の式⁽¹⁾を用いて躍層位置を決める。Crayaによれば図-4のような条件下で選択取水されるための条件

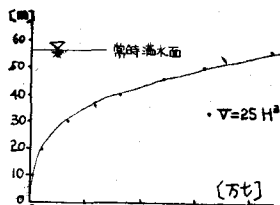


図-1 水位貯水量

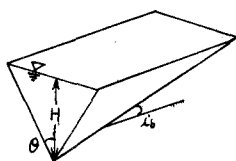


図-2 貯水池モデル

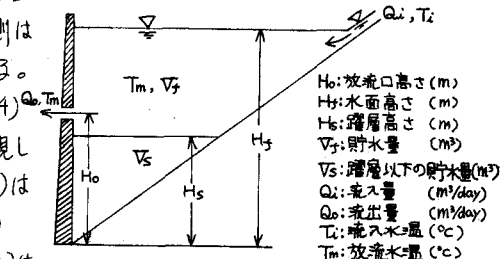


図-3

として内部フルード数 $Fi = Q_0 / h^2 \sqrt{(g \rho / \rho_0) g h} = 2.55$ を与えている。これより躍丹位置を求めれば $H_0 - H_s = 0.6877 (Q_0 / \sqrt{(\rho_0 - \rho_m) g / \rho_0})^{2/5}$ (7) となる。

ここに ρ_m : 表水層密度 ρ_0 : 底水層密度

ところで密度 ρ と水温 T の関係は $4^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ の範囲では近似的に次式で与えられる。

$$\rho = 1.0 - 0.0000072(T - 4)^2 \quad (8)$$

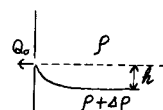


図-4

(3), (4)式より T_m を求めると

$$T_m = e^{-\int_{V_f}^{V_s} \frac{Q_0}{V_f - V_s} dt} \left[\frac{V_0 - V_0}{V_f - V_s} T_0 + \frac{1}{V_f - V_s} \int_0^t Q_0 T_i - \frac{d}{dt} (V_0 T_0) \right] e^{\int_0^t \frac{Q_0}{V_f - V_s} dt} \quad (9)$$

となる。ここに、初期条件として $t=0$ で $V_f = V_{f0}$, $V_s = V_{s0}$, $T_m = T_s$ としている。

3. 結果及び考察

(9)式を数値計算するに当り、昭和47年3月27日を計算開始日として観測値より初期条件を与え、その後の計算を進め同年の12月31日まで計算を行なった。モデル化して数値計算した値と観測値をそれぞれ水位、放流水温及び水温分布について比較したのが図-5、図-6、図-7、図-8、図-9及び図-10である。

図-5より観測値と計算値はほぼ一致しており連続の式に表面からの蒸発散、降水及び底面からの漏水等と無視して流入、流出量だけで連続の式を考えても差しつかえないことがわかる。

図-6は放流水温の計算値と観測値の比較で、両者はほぼ一致していることがわかり、南畑ダムのような小規模な貯水池では貯水池表面からの日射による影響及び探さ方向の連続的な水温変化などを無視してもかなりの精度で放流水温を予測できることがわかった。図-7、8、9、10の水温分布図より平均的に計算値は観測値と良く一致しているし、受熱期から放熱期にいたる貯水池の躍丹の消滅する過程を良く表わしている。

また、図-9より放流口位置が7月25日に $H_0 = 25\text{m}$ から $H_0 = 36\text{m}$ に切り換えられたため、新たに放流口位置に躍丹が形成されたことも良く説明している。

以上、流入量、放流量及び流入水温をもとにして数値計算を行ない観測値と比較してきたが、このような簡単な解析でも比較的小規模な南畑ダムにおいてはかなりの精度で水温変化を予測できることがわかり、それ以上複雑な解析を行なってもあまり意味がないものと考えられる。

4. あとがき

本研究における南畑ダムの観測値の資料は福岡市水道局より提供されたものであり、ここに心から感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 水理公式集

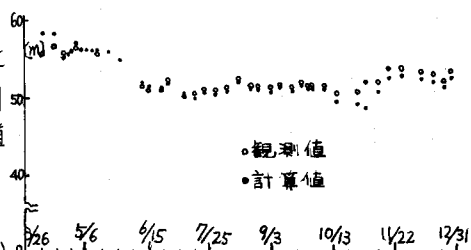


図-5 水位

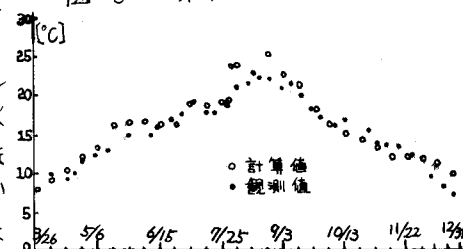


図-6 放流水温

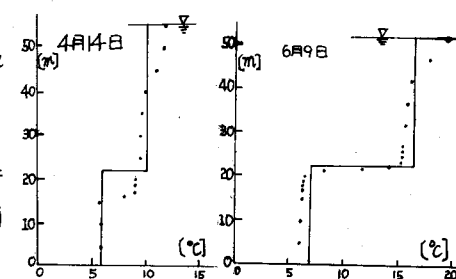


図-7 水温分布

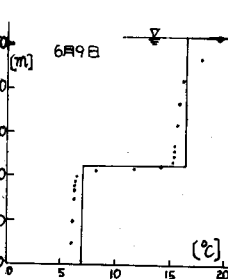


図-8 水温分布

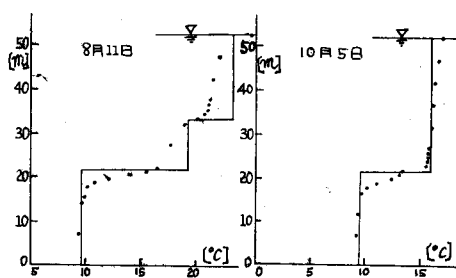


図-9 水温分布

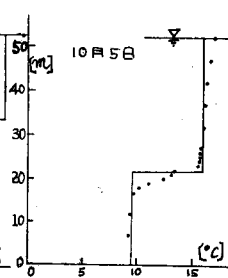


図-10 水温分布