

岐阜大学 工学部 正 員 増田 重臣
学生員 〇坂 明憲

1. はじめに

ダム貯水池内の水温分布に関する研究は、冷水放流による農作物への被害、濁水長期化現象、貯水池内水質劣化などの問題を契機として、現在、多方面で行われているが、対象とする貯水池の特性がそれぞれ同じでないため、自然湖沼における水温分布の研究と異なったさまざまな問題を含んでいる。とりわけ、揚水発電併用のダム貯水池では、成層型貯水池の水温分布の特徴のひとつである取水口付近の2次躍層が形成されることは少なく、独特な分布形態をしている。本報告は、ある揚水併用式発電用ダム貯水池における水温分布の現象論的考察と水温予測の一方法について述べたものである。

2. 水温分布の考察

当貯水池は、流域面積160km²、総貯水容量43.6×10⁶m³の揚水発電併用式ダム貯水池である。

ダム前面定点100mの水温鉛直分布をあらわした図1をみると、受熱期に輻射熱の影響により表層に成層が形成されるが、多くの貯水池にみられる取水口付近の2次躍層や中・深層部での成層は明確なものでなく、底層水温が年間を通じて大きく変化しており、混合型貯水池の分布形態であることがうかがわれる。

貯水池は成層特性で分類され、(貯水池年間総流入量)/(総貯水容量)の比が一般に10以下で成層型、20以上で混合型とされている¹⁾が、当貯水池では1973年～1976年の平均で7.21であるのに成層型分布とはなっていない。これは水温形成におよぼす揚水の影響の大きさをあらわしているものと考えられよう。

成層状態を調べるため次のパラメータを用いた。

$$S = \bar{\theta} / \theta_s \quad \text{--- (1) , } \theta = \bar{\theta} / \theta_b \quad \text{--- (2)}$$

ここに、 $\bar{\theta}$:平均水温、 θ_s :表面水温、 θ_b :底層水温

図2はこれをあらわしたものであるが、受熱期中期までは明りょうな成層状態がみられ、その後は等温化の方向にむかっている。この変化は表面水温と底層水温の変化のしかたにズレがあるためで、これは輻射熱と移流熱の相互作用によると考えられる。

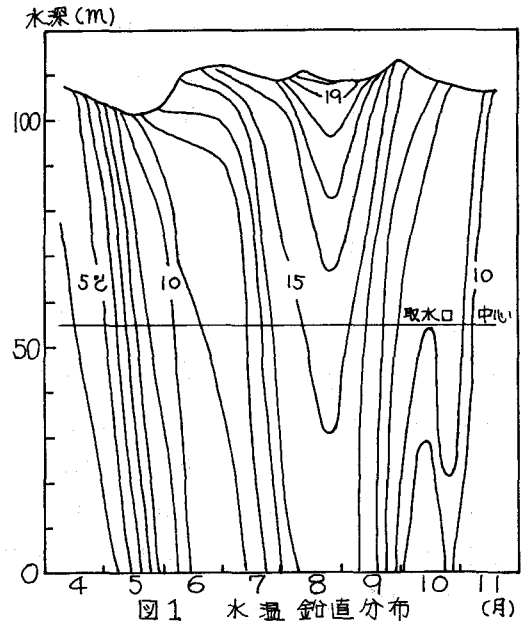


図1 水温鉛直分布 (月)

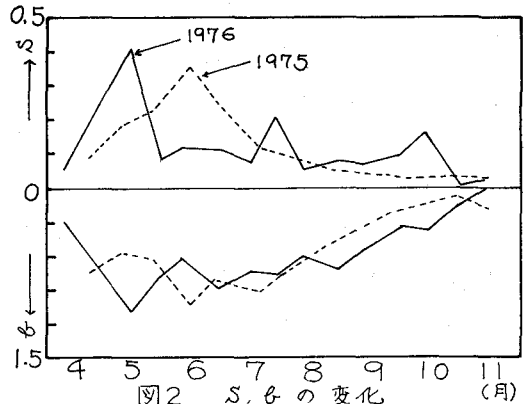


図2 S, θ の変化 (月)

3. 水温予測

貯水池水温 T は、輻射熱と移流熱によって形成され、各々により形成される水温を T_R 、 T_A とすると

$$T = T_0 + T_R + T_A \quad (3)$$

であらわすことができる。ここに、 T_0 :初期水温

T_R は、池内水温分布を考慮して、輻射熱の水中への配分が指数関数的であるとするれば、密度 ρ 、比熱 c を一定とし、表面より下向きに z をとると

$$\frac{\partial T_R}{\partial z} = \alpha \frac{\partial^2 T_R}{\partial z^2} + \eta [(1-\beta) \frac{\phi_0}{\rho c}] e^{-\eta z} \quad (4)$$

であらわれ、²⁾この解は

$$T_R = \frac{2\beta(1-\sigma)\phi_0(\alpha t)^{\frac{1}{2}}}{\rho c \alpha} \{ \text{ierfc}(\zeta) \} + \frac{(1-\beta)\phi_0}{\rho c \alpha} \left\{ 2\delta \cdot \text{ierfc}(\zeta) - e^{-\eta z} + \frac{1}{2} e^{\frac{\delta^2}{\alpha t}} [e^{-\eta z} \text{erfc}(\delta - \zeta) + e^{\eta z} \text{erfc}(\delta + \zeta)] \right\} \quad (5)$$

となる。ここに、 ϕ_0 :輻射熱、 ϕ :表面からの損失熱、 α :分子拡散係数、 β :表面で吸収される ϕ_0 の割合、 η :水中吸収係数
 $\sigma = \phi / \beta \phi_0$, $\zeta = z/2(\alpha t)^{\frac{1}{2}}$, $\delta = \eta(\alpha t)^{\frac{1}{2}}$

T_A は、移流熱が水中で一様に配分されると考えれば

$$\frac{\partial T_A}{\partial z} = \frac{\phi_A}{\rho c H} \quad (6)$$

であらわれ、境界条件、初期条件は

$$\frac{\partial T_A}{\partial z} = 0 \quad (7) \quad T_A(z, 0) = 0 \quad (8)$$

である。ここに、 ϕ_A :移流熱、 H :貯水池平均水深。 ϕ_A は、

$$\phi_A = \rho c [q_{in}(\theta_{in} - \bar{\theta}_0) + q_{out}(\bar{\theta}_0 - \theta_{out}) + q_e(\theta_e - \bar{\theta}_0)] / S_0 \quad (9)$$

であらわされる。ここに、 q :流量、 θ :水温(添字, in:流入, out:流出, e:揚水)、 S_0 :貯水池表面積、 $\bar{\theta}_0$:基準水温。

条件、式(7)、式(8)のもとで式(6)を解くと、時間 t 時間の q 、 θ の平均量を $\bar{q}$ 、 $\bar{\theta}$ とすれば

$$T_A = [\bar{q}_{in}(\bar{\theta}_{in} - \bar{\theta}_0) + \bar{q}_{out}(\bar{\theta}_0 - \bar{\theta}_{out}) + \bar{q}_e(\bar{\theta}_e - \bar{\theta}_0)] t / V_0 \quad (10)$$

である。ここに、 V_0 :貯水池容量($V_0 = S_0 \cdot H$)

以上より水温 T は予測できるが、 $\alpha = 0.0014 \text{ cm}^2/\text{s}$, $\beta = 0.4$,

$\eta = 0.125 \text{ m}^{-1}$, $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$, $c = 1.0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ として、4月13日を初期値とした7月14日の水温を予測した計算結果を図3に実線であらわした。図中、水深50mの横線は取水口中心位置である。

この図から、揚水の影響を受け混合型水温分布を形成する当貯水池では、表層水温に問題は残すものの、この方法で一応の予測ができることが明らかになった。

1) 安芸・山内: 貯水池漏水現象の調査と解析(その1), 電力中央研究所報告, 74505, 1974, PP. 1-29

2) Dale Hurlleman; Thermal Stratification in Lakes: Analytical and Laboratory Studies, Water Resources Research, 1969, vol. 5, No. 2, PP. 489-495

3) 新井・西沢; 水温論, 共立出版, 1974, PP. 27-45

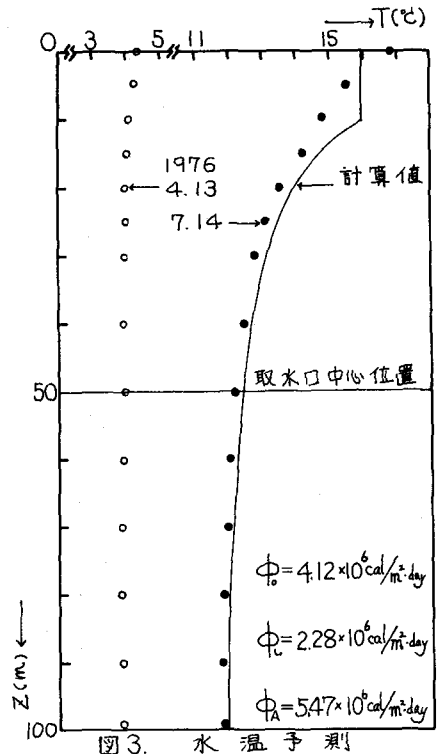


図3. 水温予測