

揚水発電貯水池における水温と濁度の予測法に関する研究

舞鶴市役所 正員 ○桑田 健一
鳥取大学工学部 正員 道上 正規

1. はじめに ダム貯水池築造によるダム下流域の水温変化および濁水の長期滞留現象を予測評価することは環境保全の立場から、非常に重要なこととなっている。一方、近年発電の主力が水力と原子力に移行することにより、その余剰電力をより有効に使用するため、揚水発電所の重要性はますます増加する傾向にある。そこで、本研究では、揚水発電貯水池の水温および濁度の予測法を検討するため、表-1に示す広島県太田川水系に築造された南原ダムを下池、明神ダムを上池とする揚水発電貯水池の資料を用いて、水温および濁度の数値シミュレーションを行ない、計算値と実測値の比較検討した結果について述べる。

表-1 南原ダムおよび明神ダムの諸元

項目	単位	明神ダム	南原ダム
総容量	km ³	1.4	12.0
最大貯水量	m ³	528,500	234,000
最大水深	m	500.90	195.00
有効水深	m	28.50	39.00
水面面積	km ²	0.24	0.25
貯水容量	m ³	5,920,000	5,650,000
貯水容量	m ³	5,220,000	5,250,000

2. 水温のシミュレーション 揚水発電所では、通常上池と下池との間で揚水と発電を行なうため1日に2回多量の水の入れ換わりが生じる。そのため、上池と下池とはともに十分攪乱され水温の鉛直分布は一様分布になり、次の仮定が成り立つと考えることができる。 i) 貯水池内の水温の鉛直分布は一様である。 ii) 放流水温は下池のそれに等しいとする。以上の仮定のもとに、水温形成が気中・水面・水中間の熱エネルギーの流れと考える熱収支の方法でシミュレーションすることにより、揚水発電貯水池を図-1に示すようにモデル化し、1日を単位として 1) 揚水時、2) 発電時、3) 停止時ごとに水温と水の連続式を立てると以下のようになる。

$$1) \text{ 揚水時 } \text{下池: } d(C\rho V_1\theta_1)/dt = B_1A_1 + C\rho(Q_1\theta_1 - Q_0\theta_1 - Q_{p0}\theta_1) \quad (1)$$

$$\text{上池: } d(C\rho V_2\theta_2)/dt = B_2A_2 + C\rho Q_{p0}\theta_1 \quad (2)$$

$$2) \text{ 発電時 } \text{下池: } d(C\rho V_1\theta_1)/dt = B_1A_1 + C\rho(Q_1\theta_1 - Q_0\theta_1 + Q_{p1}\theta_2) \quad (3)$$

$$\text{上池: } d(C\rho V_2\theta_2)/dt = B_2A_2 - C\rho Q_{p1}\theta_2 \quad (4)$$

3) 停止時 $Q_{p0} = Q_{p1} = 0$ としたときである。

ここに、 B_1, B_2 ; 下池および上池の短波放射 I 、長波放射 R 、顕熱交換 H 、および潜熱交換 LE による熱収支の和、すなわち、 $B_1 = I_1 - R_1 - H_1 - LE_1$, $B_2 = I_2 - R_2 - H_2 - LE_2$, C, ρ ; 水の比熱および密度、 V_1, V_2 ; 下池、上池の貯水容量、 A_1, A_2 ; 下池、上池の湛水面積、 θ_1, θ_2 ; 流入、下池、および上池の水温、 Q_{p0}, Q_{p1} ; 揚水および発電流量である。(1)~(4)式の連続式を差分化し、昭和51年10月から翌年9月までの1年間にわたって水温の数値シミュレーションを行なった。

3. 水温のシミュレーション結果と考察 熱収支項のうち顕熱輸送量 H 、潜熱輸送量 LE の算定に次の(5),(6)式を用いて数値シミュレーションする方法をNO.1とする。ただし、他の項は従来の方法による。

$$H = h(\theta_w - \theta_a) \quad (5) \quad LE = k(e_w - e_a) \quad (6)$$

ここに、 θ_w, θ_a ; 表面水温および気温、 e_w, e_a ; 水面および大気の水蒸気圧、 h, k ; 熱および潜熱伝達係数である。図-2、3にNO.1によって求められた水温の計算値を示す。NO.1によって求められた計算値の変化曲線は、放流水温のそれと同様に

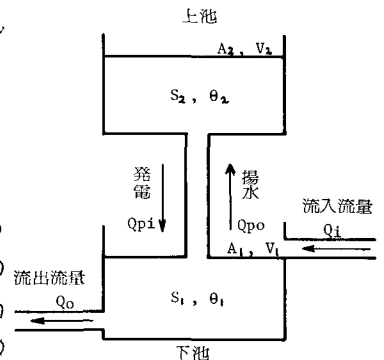


図-1 貯水池モデル

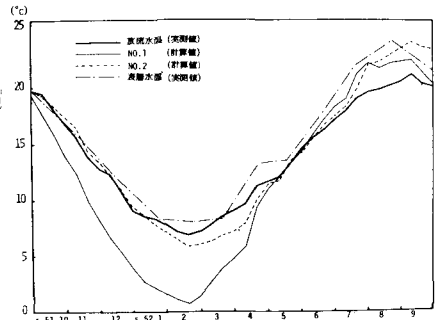


図-2 水温予測値および実測値 (南原ダム)

る月下旬に最低，9月初旬に最高となる一年周期の正弦曲線となし両者の位相には良好な一致がみられる。これは熱収支の概念が水温変化の現象を正しく表現していることを意味している。しかし、計算値の1年間にわたる変動幅は放流水温に比べてかなり大きく下池，上池ともに水温の最低時で約6℃，最高時で約9℃もの差が生じている。

つぎに、顕熱輸送量 H ，潜熱輸送量 LE の算定に次の(7)，(8)式を用いる方法を $NO \cdot 2$ とする。

$$H = \rho C_p C_H (Q_e - Q_a) U \quad (7)$$

$$LE = \rho L C_L \frac{0.622}{P} (e_e - e_a) U \quad (8)$$

ここに、 C_H ， C_L ；顕熱および潜熱輸送係数、 C_p ；定圧比熱、 P ；大気圧、 ρ ；空気密度、 L ；蒸発の潜熱、 U ；風速である。 C_H ， C_L はともに等しいとし、 1.1×10^{-3} の値を用いた。定数 ρ ， L ， C_p はそれぞれ、 $\rho = 1.25 \times 10^{-3}$ (g/cm^3)， $L = 586$ ($cal/^\circ C$)， $C_p = 0.24$ ($cal/g \cdot ^\circ C$) とした。また、大気圧 P の測定値がないため、1013mbの一定値をこるものとした。 $NO \cdot 2$ より求めた水温計算値も図-2・3に示されている。計算値の変化曲線は $NO \cdot 1$ と同様一年周期の正弦曲線となし、しかも、 $NO \cdot 1$ に比べて放流水温との対応はかなり良好な値となっている。しかし、6月下旬から9月にかけての受熱期間において、放流水温との差が著しくなり、計算値は放流水温よりもむしろ表層水温に近くなる傾向がある。これは、この期間においては上層部に弱い水温成層が形成されたためと考えられる。

4 濁度のシミュレーション 貯水池の濁度を生じさせる濁水源は河川からの流入濁度物質のみとし、水温の場合と同様に以下のような連続式を立て、その連続式を差分化して数値シミュレーションを行なった。

1) 揚水時 下池； $d(V_1 S_1)/dt = Q_0 S_0 - Q_1 S_1 - k w S_1 A_1 - Q_{p0} S_1$ (9)

上池； $d(V_2 S_2)/dt = Q_{p0} S_1 - k w S_2 A_2$ (10)

2) 発電時 下池； $d(V_1 S_1)/dt = Q_0 S_0 - Q_1 S_1 - k w S_1 A_1 + Q_{p1} S_2$ (11)

上池； $d(V_2 S_2)/dt = -Q_{p1} S_2 - k w S_2 A_2$ (12)

3) 停止時 $Q_{p0} = Q_{p1} = 0$ としたときである。

ここに、 S_0 ， S_1 ， S_2 ；それぞれ流入，下池および上池の濁度， w ；粒子の沈降速度， k ； $0 < k \leq 1$ の定数である。貯水池の濁水を生じさせるものは粒径約10 μ 以下の粒子とし、 $(2\eta - 1)\mu$ ；($\eta = 1 \sim 5$)の各粒径に対して連続式を立て、各粒径ごとに求められた値を合計して貯水池の濁度とした。

5 濁度のシミュレーション結果と考察 図-4・5には濁度の計算値と放流水濁度が示されている。図中の $NO \cdot 3$ は沈降速度を考慮した場合であり、 $NO \cdot 4$ は沈降速度を0とした場合の計算値を表わしている。沈降速度を考慮した計算値は実測値よりかなり小さな値となり、むしろ沈降速度を0としたほうが実測値に適応した値となっている。これは濁度予測を行なった対象期間における貯水池の濁度は最高でも5ppmに満たないような非常に小さな値であったためと考えられる。

しかし、一般に濁度が社会的に問題となるのは、洪水が発生し貯水池内の濁度が数10ppm以上となる場合であるが、このような場合には濁度物質の沈降速度は無視できないであろう。こうした場合については今後さらに検討する必要がある。

最後に、資料を提供していただいた、中国電力株式会社の関係各位に感謝の意を表します。

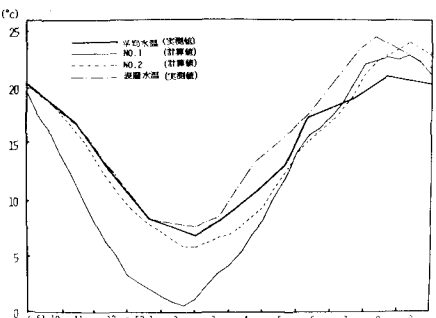


図-3 水温予測値および実測値 (明神ダム)

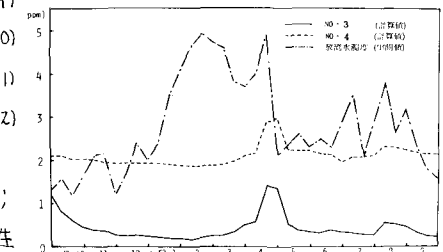


図-4 放流水濁度の実測値および計算値 (南原ダム)

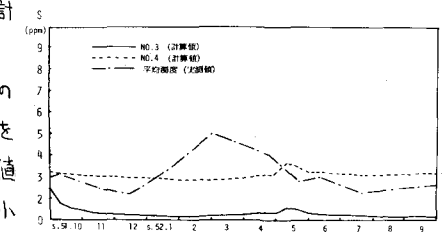


図-5 平均濁度の実測値および計算値 (明神ダム)