

東京工業大学 正員 吉川秀夫

建設省土木研究所 正員 ○山本晃一

1. 緒言 近年、水の量のみならず質に対する要求が強くなっている。ダム築造による水質の問題は、冷水放流による稲作に対する被害、長期濁度放流など社会的な紛争にさえなった。今後のダムはさらに下流の方に建設されるようになり、一方では住民の水質に対する認識の深化は、水質の問題をより深刻化するだろう。ここではダム構築による河川水の水質変化の内、水温、濁度について我々が研究したものを簡単に述べる。

2. ダム構築による放流水温の予測 我々は、野尻湖、品木ダム貯水池、小河内貯水池、その他全国の貯水池の水温、濁度、PH 値などを調査したものを、詳細に検討し、又貯水池水の流動の熱的、及び力学的な解析を少々試み、貯水池築造による水質変化の予想を試みた。ここで我々の対象にするのは、小河内貯水池的な規模である。

ダム築造前に手に入る情報量、河川水水温、流量、気温の三つより放流水温、貯水池水温分布を決定するのである。又放流量は、ダム操作を決めれば決まる。次のような手順で行なう。

- (1) 水位貯留量曲線と流入量、放流量よりダム貯水位周年変化図を作成する。(グラフ A)
- (2) 一年の気温変化図を作る。それは一日の変化でなく月平均の変化をとるべきである。
- (3) 受熱期(一般に3月~8月)は、貯水池表面水温と気温と同一とする。放熱期(一般には9月以降)には、気温 θ_a と表面水温とは一次関係 $\theta_w = a\theta_a + b$ が成立するとする。(小河内では $a=0.65$; $b=8.6$ である。)ここでは対象ダム近くのダムの資料の採集の必要がある。あるいは月約4回ずつ表面水温を下げて良いだろう。表面水温をグラフ A に記入する。(単位として1℃)
- (4) 底層水温を決める。一般には7~8℃として良い。
- (5) 河川水温変化図を作る。河川水温は日によって又時刻によって変化するが、平均的な曲線を引く。(グラフ C) 水温は定時に測定されるべきであり、小河内では p.m.10 である。
- (6) 初期水温分布の決定、流入水温が底層水温 C_0 ℃(一般に7~8℃)より高くなる日、を初期日 T_0 (計算を始める日)とする。この時 C_0 ℃の水温位置は、この日までの水面の水温、風速、池形状、日照条件、放流量に左右されるが、その位置の決定は困難である。小河内では水深約10~15mの位置にあり($T_0=4$ 月15日、 $C_0=8$ ℃)他貯水池でもこのくらいであろう。これと表面水温が知れているからその間は水温が直線的と仮定する。1℃ごとにグラフ A に記入する。

(7) 温度躍層位置の決定、A・Craya によれば、密度が異なる二相の液体がある時、下の液体をすいこまないための、ポイントシンクから二液境界面までの距離 Z_0 は、 $Z_0 = KE^{-\frac{1}{3}} Q_c^{\frac{2}{3}}$ である。

ここで $K = (\frac{4}{6}\pi)^{\frac{2}{3}} g^{\frac{1}{3}} = 0.436$ 、 $E = 2(\rho_2 - \rho_1) / (\rho_1 + \rho_2)$ 、 $C = 3.25$ 、 Q_c 流量である。

この式より、水温差5~10℃、放流量を洪水時に多量に放流されるものを除き、日平均放流量の大きい方から10番目ぐらいまでの平均値を取っておけば良いであろう。勿論それぞれのダム貯水池の特徴を考慮して目的にあった位置を決めるべきである。

(8)時刻 T における、温度 C (整数) と $C-1$ の間を一つの層と考え、その層間の池水量を $QT(T, C)$ とする。流入水温が $C-1$ から $C-2$ の間なら流入量 (単位 1 日) を $QI(T, C)$ とする。又放流水は温度躍層面にある池水が引きだされるとし、もし、その池水の温度が $C-1$ から C であれば、放流量 $QH(T, C)$ とする。そうすると $QT(T_2, C)$ は、 $QT(T_2, C) = QT(T_1, C) + \sum_{T=T_1}^{T=T_2-1} QT(T, C) - \sum_{T=T_1}^{T=T_2-1} QH(T, C)$ となる。つまり流入水温は流入口で 1 度上昇したことになる。又洪水時には流入水温が低いから流入水温をグラフ C より数度 (1 ~ 2 度) 下げてやる。

(9)貯水位貯留量曲線 (グラフ D) と温度 C までの貯留量 $QT_C(T, C) = \sum_{C=C_0}^C QT(T, C)$ に相当する水位を求め、グラフ A に記入し、前に決まった温度 C の位置を結ぶ。(10日単位に計算すれば充分である。)

(10)表層からの影響の修正、表面からの熱移動は水深 10m までとし、10 日毎に (8) で計算した $QT(T, C)$ の内、水深 10m に当る $QT(T, C)$ より 10m 水深を C_1 とする。これと (9) で決めた表面水温 C_a との差 $C_a - C_1$ を 10m で割ったものが 10m までの水温勾配とする。これより新しい $QT(T, C)$ を池底から表面まで決め、10 日前の等しい水温の位置と結ぶ。これをくりかえす。

(11)放熱期に入ったら、表面水温が、循環層水温と等しくする。

次にこのモデルによって小河内の例を示す。 T_0 として 5 月 1 日、又流入量が $40 \frac{m^3}{s}$ を越えたものは、グラフ C より 1 度下げた。図 1、図 2、図 3 に結果を示す。この様な簡単な方法によっても、かなり正確に水温を予測することができる。ここで温度躍層位置は、放流口中心より 5 m 下にできるとしている。又 T_0 の水温分布は小河内貯水池における実測値より計算を始めている。この方法の問題点としては、洪水時における高濁度の密度増加による温度躍層の破壊、洪水時、貯留することなく放流してしまう様な貯水池では、放流量の増加による温度躍層位置の低下等である。

図1 S.37年ダム前定點における水温(°C)の垂直方向周年変化

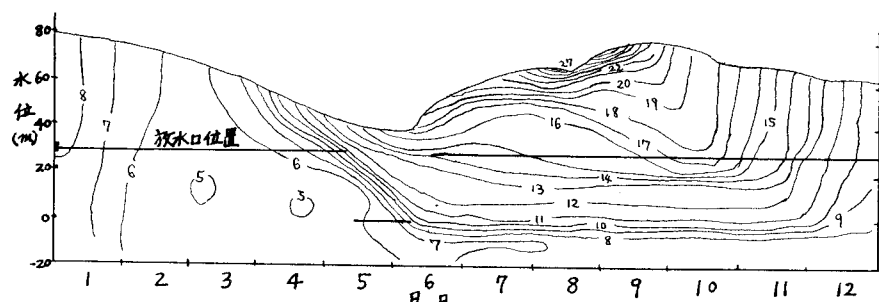


図2 モデル計算による水温(°C)の垂直方向周年変化 グラフA

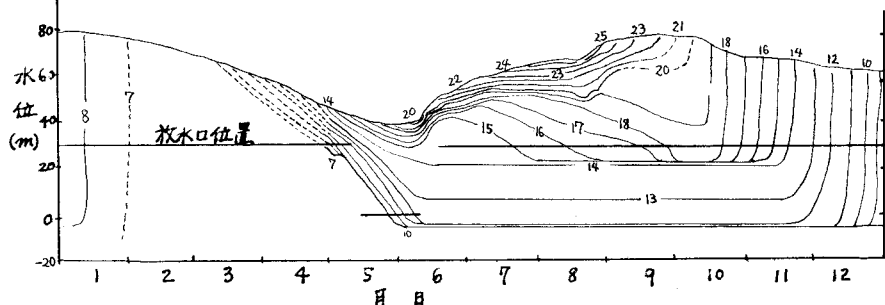
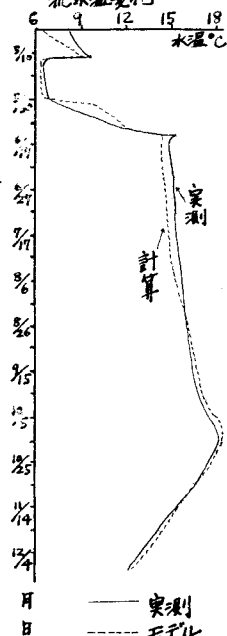


図3 昭和37年度
小河内貯水池放
流水温変化



3. ダム構築による放流濁度の予測

貯水池において濁水の発生源となるものは二つ考えられる。①貯水位の低下によって流入口付近の沈積土砂が再浮遊するもの、②洪水水によって貯水池の中に運びこまれるもの。①によるものは日本では春先に特に起り、この時流入水はまだ冷たく池底をはうため、貯水池底層には濁った水が存在するが、放流口から出てこないことが多い。②のものは、放流濁度に大きな影響を与え、数ヶ月も濁った水が放流されることがある。②のものは、一般に二つの層にわかれる傾向がある。(④洪水直後の高濃度土砂水によって温度躍層を突き抜けるもので底層の水温を上昇させる原因となる。しかし量的には少ない。⑤温度躍層上に入って長期滞留する。)

一般には濁水は貯水池の同一密度層に入りこもうとし、土砂の一部を沈降しながら温度を小さくしていく。

○放流濁度の予測

我々は放流濁度を予測するにあたって、次の様なモデルを考えた。現在ダムがあって、放流濁度の資料のある場合、次の様な方法で、濁水がどれだけ続くか。ピーク濁度がどの位か知ることができる。洪水後濁水がすぐでてくる時の放流濁度最大値 D_{max} と流入流量ピーク Q_m より D_{max} と Q_{max} の関係図を作り、これより洪水が放流口下の温度躍層上に進入した場合の放流最大濁度を知る。次に放流濁度ピークまでの日数(普通2~3日)を調べ、次に流入洪水量を α 倍(1.1~1.2)、これと計画放水によって、放流される池水量が等しくなる日を求める。次に平常時放流濁度を知る。これより放流濁度ピークまでは直線的に増加し、放流濁度低下時には $D = ae^{-bt}$ 型の分布形で、平常時放流濁度とピーク濁度を接続する。この様にして、大略値を知れる。しかし、この方法は単に経験の集積に過ぎず、特別の条件の場合にしか成立たないし、ダム築造前に放流濁度を知ることができない。次にこの方法について考えてみよう。次の様な条件の下で考える。i)濁水は洪水水によって運びこまれる。ii)濁水はちょうど取水口下の温度躍層上に進入する。iii)貯水池は密度成層して循環していない。計算の考え方は次の如くである。流入土砂量は流量によって支配され全土砂量(浮遊砂を考えておけば良い) $D_t = a_t Q^{bt}$ とする。 Q は流量、又粒径 d 以下の土砂濃度 D_d は、 $D_d = a_d Q^{bd}$ と考えよう。 a_d 、 b_d は粒径 d によって変るが流量によって変らない量とする。濁水は混合によって α 倍(1.1~1.2)され、又 $(1-\beta)Q$ だけが温度躍層下に入る。(β は1に近い)洪水で流入水温は一定であり濁度が高ければ下に入る。放流される池水は下層から順番に引きだされる。沈降の影響を次の様に決める。ストークスの法則より距離 H 、時間 T 、粒径 d とすると $d = \sqrt{H/C_T}$ ここで $C = \text{const}$ (温度によって少し変化する)。今 H として濁水層厚さの半分をとり、そうすると $d_c = \sqrt{0.5/C_T}$ (L ; 濁水層厚さ)以上の粒子は温度躍層下に入って沈降してしまい、これ以下の粒子は放流されると考え、放流濁度を $D_{dc} = r \cdot a_d Q^{bd_c}$ とする。(Q は放流位置に相当する層の流量)そうすると、図4のフローチャートとなる。ここで $N.M.$ H_1 は、データ数、 $A = a_t$ 、 $B = bt$ 、 $C = 3.7 \times 10^{-3}$ $H = \alpha$ 、 $E = \beta$ 、 $G = r$ 、 $DT = 3600 \text{ sec}$ 、 $DTH = 86400 \text{ sec}$ 、 $M2$ = 濁度 peak までの日数(2~3)日位)、 $MOKULE$ = 洪水濁水が温度躍層上に入らなかった時の補正日数、 $Q(I)$ = 流入量、 $QH(I)$ = 放流量である。洪水濁水が温度躍層のすぐ上に入らなかった場合、洪水濁水がどこに入るかは温度分布の予測より知ることができるから、この時、温度躍層面と濁水進入層との間の貯留量が洪水 peak 時からの放流によって放流され終る日までの日数を $MOKULE$ とすれば

MOKULE 以後の放流濁度が図4の flow chart で計算できる。

4. 結 語

以上簡単にダム築造による、水質変化（温度と濁度）を述べた。これらの結果を応用すれば他の水質についても大略的な予想ができよう。しかしここで取り扱われた方法は経験主義的な色彩が強く、もっと力学的な考察が必要とされるし、又計算途中の仮定についての実証的な検討も良くされていず、まだ未完成といってよい。この予想法を批判的に摂取されることを望む。終りに、資料を提供して頂いた、水資源公団、東京都水道局小河内管理事務所の皆様に深く感謝いたします。

図-4 flow chart

参考文献

- 1. 小河内ダム管理年表 昭和35年～41年 東京都水道局
- 2. 多目的ダム管理年表 昭和40年度版
- 3. 水温に関する研究報告集第Ⅰ、Ⅱ集
- 4. 大西外明日野幹雄 深層取水の流れへの考察(1)

