

長崎大学工学部 学生員 ○仲田 彰暢

“ 黒崎 広美

“ 正員 野口 正人

1. まえがき；温度成層の発達した貯水池に洪水時の濁水が流入した場合、貯水池内には洪水後も濁水が滞留し、下流河川水の利用上から好ましくないことはよく知られている。本論では、池内の濁水滞留現象を調べるため、貯水池水理実験装置を用いて得られた実験結果について考察する。

2. 実験方法；実験装置については既に報告されているので¹⁾ここでは説明を省略する。ただ今回の実験では、濁度測定にあたって投げ込み型と併用してサンプリング型の積分球式濁度計が用いられた。実験は、温度成層を発達させた貯水池水槽に洪水を想定した流量を流入させ、濁度を補給することにより行われた。今回は、最初、洪水後における流出濁度の低減傾向を調べるため行われたが、他方、洪水時における貯水池流入部での泥水巻き込み量(連行量)を求めるため、流下方向の濁度変化を詳しく測定した実験も行われた。

3. 濁水滞留現象；実験は取水口の位置を変えるとともに、洪水後の温度成層発達に関する条件を変化させて行われた。図1(a), (b)には、実験の一例として、中段取水口を用いたときの流入水温と濁度とが示されている。洪水後における流出濁度の低下に係わる時間的变化は、もちろん、池内の濁度分布に関係している。すなわち、洪水規模が大きく、その期間が長ければ、濁水を排出するに要する時間も長くなる。これは、また、洪水後の成層発達過程とも関連しており、温度成層が発達すれば流出濁度の低下も著しい。この問題は、池内の複雑な水理機構と密接に関係しているため、その予測は容易でない。とくに、濁水滞留に及ぼす重要な因子として池内の乱れが挙げられていることを考えれば、この種の実験の適否も問題になってくる。以下では、著者の一人らが提案した簡単なモデル²⁾を用いて、洪水後における濁水滞留の様子を調べる。

図2に示されたように、洪水前に温度成層の発達していた貯水池を考える(図a)。洪水時に水温 T_2 の流入があり、洪水直後に図bのような温度分布をしたものとする。まず、洪水後の流入水温が洪水時のものと同じで、温度成層が発達しない場合を取り挙げよう。このとき、流入濁度が比較的小さければ、内都境界面より上層を一つのブラック・ボックスとした取り扱いができる。濁水層の体積を V 、流出流量を Q_{out} とすれば、流出水の濁度は、

$$C = C_0 \exp(-Q_{out}t/V) \quad \text{-----(1)}$$

で表わされる。一方、洪水時の流入濁度が大きく、洪水後の流入水との密度差が無視しえなくなると、流入水は濁水層の上部に層をなすと考えられる(図c)。したがって、内都境界面がスヶ所に存在し、上の境界面では密度が ρ_2 から ρ_1 に変わっており、下では密度が ρ_2 から ρ_0 に変わっている。洪水後の流出流量により選択取水の限界時

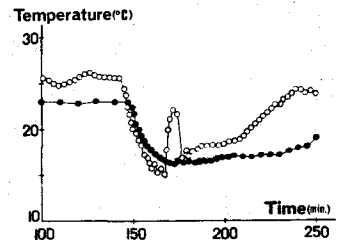


図 1. (a)

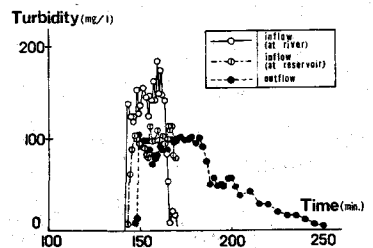


図 1. (b)

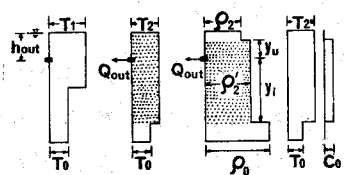


図 2.

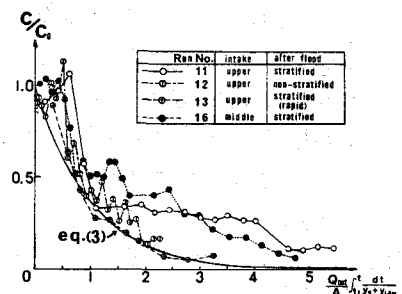


図 3.

における水深 $y_{u,lin}$, $y_{e,lin}$ を求めれば, Caga の式を使い, づごのように表わされる。 $y_{u,lin} = (Q_{out}/2.55\sqrt{\epsilon_u \cdot g})^{2/5}$,
 $y_{e,lin} = (Q_{out}/2.55\sqrt{\epsilon_e \cdot g})^{2/5}$. ただし, $\epsilon_u = (\rho_2' - \rho_2)/\rho_2$, $\epsilon_e = (\rho_2 - \rho_2')/\rho_2$ ----- (2) 洪水が長く続
 いて, $y_{u,0} > y_{u,lin}$, $y_{e,0} > y_{e,lin}$ なる場合には, 時間 $t = \{ \min(h_{out}, y_{u,0}) - y_{u,lin} \} A / Q_{out}$ だけ継続する。ここで,
 A は貯水池水平面積である。その後は, 上・中層の混合取水になる。取水層内での流速分布を一樣とすれば,
 流出水の濁度は,

$$C = C_0 \cdot \exp \left\{ - \frac{Q_{out}}{A} \int_{t_i}^t \frac{dt}{y_u + y_{e,lin}} \right\} \text{ ----- (3)}$$

と表わされる。今回なされた実験

値を, (3) 式と比較したのが図3である。ただし, No. 2 の実験のみは洪水後に流入水温が上昇せず, もしろ低下し
 たため, 横軸は $Q_{out} \cdot t / V$ に取られている。図3より明らかなように, 実験値は, No. 13 のものを除いて, いずれ
 も計算値より大きくなっており, 流出濁度が単に移流項のみから予測されないことがわかる。同種のモデルは,
 淡・塩水実験における流出密度を精度よく予測すること²⁾を考慮すれば, 今回の実験でも流出水濁度の低減を妨げ
 る機構が存在したものと思われる。このことは, 無次元時間が1より大きなところでその傾向が大なること, さ
 らには, 洪水後に急速に温度成層を発達させた No. 13 の実験値はほぼ(3)式を満たしていることを合わせ考えれば, よ
 り明らかである。この原因としては, やはり流動層の乱れが考えられるが, 室内実験では, その効果はあまり期
 待できず, 上層に残された濁質の沈降や貯水池流入部での混合によるものと思われる。

4. 貯水池流入部での混合; 前述されたように, 洪水後の濁水滞留時間
 を求めるにあたって, 予じめ洪水直後における濁水の状態を知る必要が
 ある。濁水密度流の運動を一次元的に取扱えば(図4, 参照), 連行量を
 q として, 内部境界面の位置は次式で求まる。

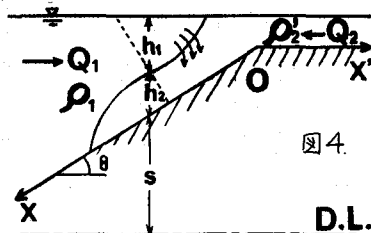


図4.

$$\frac{dh_2}{dx} = \frac{1}{\Xi(x)} \left\{ \left(1 - \frac{dQ_1^2}{gB^2h_1^3} \right) \left(\sin\theta - \frac{dh_2}{dx} - \frac{d(qQ_2)}{gB^2h_2^3 \cos^2\theta} \right) \right. \\ \left. - (1-\epsilon) \left(\sin\theta - \frac{dh_1}{dx} - \frac{d(qQ_1)}{gB^2h_1^3 \cos^2\theta} \right) \right\} \text{ ----- (4)}$$

ただし, $\epsilon = (\rho_2' - \rho_2)/\rho_2'$

$$\Xi(x) = \epsilon - \frac{dQ_1^2}{gB^2h_1^3} - \frac{dQ_2^2}{gB^2h_2^3 \cos^2\theta} + \frac{dQ_1^2}{gB^2h_1^3} \cdot \frac{dQ_2^2}{gB^2h_2^3 \cos^2\theta}$$

なお, 式中の損失水頭は, 摩擦によるものと連行量によるもの

との和で表わされる。これより, 連行流量 q がわかれば, 内部境界面形状は(4)式ならびにその対の式を数値積分
 して求めることができる。今回の実験では, 流入水濁度 (C_i) と連行後の濁度 (C_r) を用い, 間接的に連行流量が求
 められた。すなわち, 連行流量と流入流量との比は, $r = qC_i / Q_2 = C_r / C_i - 1$ で計算される。この値を, 内部フル
 ード数との関係で示したのが図5である。貯水池流入部での連行量は, 内部フルード数以外因子によっても変
 化するため, r と Fr_i との関係式を直ちに示すことはできなかった。しかし, エネルギー的考察のもとにしばしば
 論議される関係³⁾, $r \propto R_c^{-1} = Fr_i^2$ は, 今回の実験でも成立するように思われた。この点については, より詳細
 な実験を行い, さらに検討する必要がある。

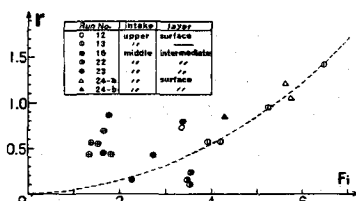


図5.

5. あとがき; 洪水後における貯水池からの流出水濁度を求めるために, 室内水理実験装置を用いての水理実験
 を行った。この結果, 室内実験であるという制約はうけるが, この方法によっても貯水池内での濁水滞留効果が
 確かめられた。

- (参考文献) 1) 野口正人: ダム貯水池における温度成層流の模型実験, 土木学会第32回年講, 昭52
 2) 岩佐義朗, 井上和也, 野口正人: ダム貯水池の成層化過程, 京大防災研年報第16号B, 昭48
 3) J.S. Turner: Buoyancy Effects in Fluids, Cambridge, 1973.