

九州大学 正員 平野 宗夫
 〇金子 新
 学生員 式正 治

1. まえがき

我國における通常の貯水池は、夏季に放流口の深さ付近に明瞭な温度躍層が発達することが多く、流れも密度流的流況を呈している。この様な状態にある貯水池に濁質が流入した場合、温度躍層付近に濁度の最大値をキつ特徴的な濁度分布を生ずることが確かめられている¹⁾。躍層付近の移流流速は、非常に小さいので濁水の流入が停止し表水層が清澄化した後でもかなり長期にわたって躍層付近に高濁度水が滞留することになる。このような濁水の挙動を調べるため実験を行い、若干の解析を行つてみた。

2. 実験装置および方法

図-1に示すように長さ6m、幅40cm、深さ30cmの可変勾配水路を使用し、模型貯水池とした。実験を通して、河床勾配は1/29に固定されている。躍層は、淡水と塩水の密度差よりつくられ、塩水の供給は、セキ下端のバルブを通して行なわれた。濁質は、水路上流端で傾斜板を経て供給され水路筋一様に拡がるようにしている。濁質としては、平均沈降速度 $w_p = 0.005 \text{ cm/s}$ のパールクレイを使用した。実験は、密度界面よりの連行量だけ塩水を補給した定常実験(実験[I])と、塩水を補給しない非定常実験(実験[II])の2種類行つた。塩分濃度は、四電極電導度計で判定され、濁度は、サイフォンで抽出し卓上濁度計で計測された。

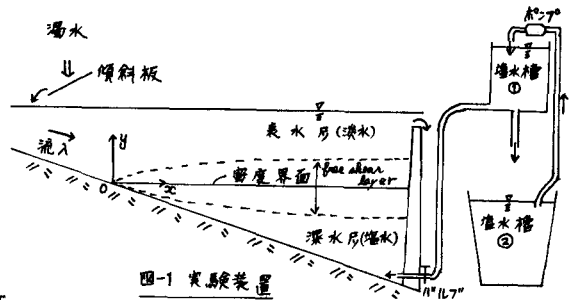


図-1 実験装置

実験	流入流量 [cm ³ /s]	流入濁度 [重量PPM]	淡水密度 ρ_f	塩水密度 ρ_s	$\rho_s - \rho_f$	流入口端 内部フィルド数
I	22.7	310	1.0012	1.0037	0.0025	0.3677
II	22.7	310	1.0012	1.0110	0.0098	0.1807 (実験開始時)

表-1 実験条件

表-1に各実験の条件を与える。図-2に、実験[I]のセキより上流50、150、300、350cm位置で測定された濁度および密度分布が示されている。free shear layerの上端あたりで濁度最大となり、深水域において濁度が減少する特徴的な濁度分布を示している。セキより上流100cm位置では、濁度が供給開始時より80、200分後の2回測定された両者に殆んど差がなくなりほぼ定常状態に達していることがわかる。

図-3は、実験[II]におけるセキより上流100cm位置における濁度および密度の時間変化を示している。180分後に濁水の供給を停止したため、その後表水層は急速に清澄化しているが、230分後においてもfree shear layer中には高濁度水が滞留しておりfree shear layer下部の移流流速が非常に小さいことがわかる。淡水側の密度界面付近での高濁度水の滞留は、温度躍層の発達する貯水池における放流水濁度の長期化に本質的に重要であると考えられる。

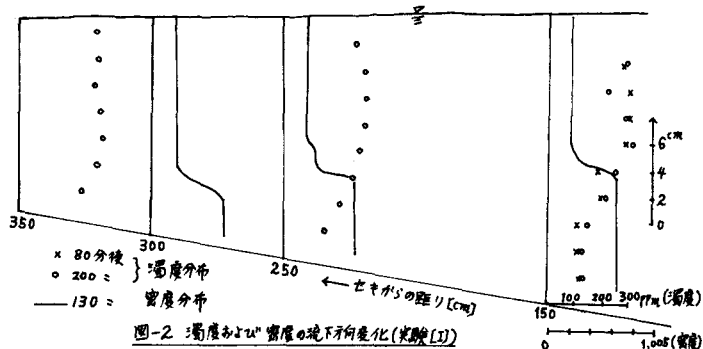


図-2 濁度および密度の流下方向変化(実験[I])

3. 解析

表水層と深水層の密度差が、表水層流速に比してかなり大きい場合、密度界面における連行はかなり小さく内部波がわずかに破壊する程度となる。このような流れを対象とすれば、階層先端より密度界面の上下に *free shear layer* が発達することになり、これが密度界面を通して濁質の沈降にかなり影響するものと考えられる。

図-1 のように x, y 軸をとり、 u, v 方向の流速をそれぞれ u, v として、流関数 ψ を次式で与える。

$$\psi(x, y) = (u_f / v_f x)^{1/2} \cdot f(\eta) \quad (1) \quad \text{ただし, } \eta = y (u_f / v_f x)^{1/2} \quad u_f: \text{表水層流速}$$

(1) より

$$u = u_f \cdot d f / d \eta \quad v = 1/2 \cdot (u_f / v_f x)^{1/2} \cdot (\eta d f / d \eta - f) \quad (2)$$

v_f : *free shear layer* 内の渦動粘性係数

を得る。濁質の渦動拡散係数 ϵ_s を *free shear layer* 内で一定とすれば、拡散方程式は、(2) 式を使用して次式で与えられる。

$$\frac{d f}{d \eta} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{u_f}{v_f} \right)^{1/2} \left(\eta \frac{d f}{d \eta} - f \right) - \theta \right\} \frac{\partial C}{\partial y} = \epsilon_s \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (3)$$

ただし、 $\theta = u_f / u_f$ である。*free shear layer* の上部界面における濁度 C_s の変化は、近似的に次式で与えられるものとする。

$$C_s / C_0 = \exp(-\alpha \theta \sqrt{u_f x / v_f}) = 1 - \alpha \theta \sqrt{u_f x / v_f} + \dots + (-1)^R / R! \cdot (\alpha \theta \sqrt{u_f x / v_f})^R + \dots \quad (4)$$

こゝに、 α は実験値と比較により決まる定数であり、 C_0 は $x=0$ における濁度を示す。(4) 式を考慮して、*free shear layer* における濁度分布を次式で与える。

$$C / C_0 = g_0(\eta) - \alpha \theta \sqrt{u_f x / v_f} \cdot g_1(\eta) + \dots + (-1)^R / R! \cdot (\alpha \theta \sqrt{u_f x / v_f})^R \cdot g_R(\eta) + \dots \quad (5)$$

(5) 式を (3) 式に代入して θ の各べきについて整理すれば、

$$R=0: \quad P_0 \frac{d^2 g_0}{d \eta^2} + f/2 \cdot \frac{d g_0}{d \eta} = 0 \quad (6)$$

$$R \geq 1: \quad P_0 \frac{d^2 g_R}{d \eta^2} + f/2 \cdot \frac{d g_R}{d \eta} - R/2 \cdot \frac{d f}{d \eta} \cdot g_R = R! / \alpha \cdot \frac{d g_{R-1}}{d \eta} \quad (7)$$

ただし、 $P_0 = \epsilon_s / v_f$ である。境界条件として

$$\left. \begin{aligned} R=0: & \quad \eta = \eta_s, \quad g_0 = 1 & \eta = -\eta_s, \quad g_0 = 0 \\ R \geq 1: & \quad \eta = \eta_s, \quad g_R = 1 & \eta = -\eta_s, \quad d g_R / d \eta = 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

free shear layer における流速分布は、ほぼ実験条件の等しい Wang²⁾ の研究より次式のように与える。

$$u / u_f = d f / d \eta = 1/2 \cdot (1 + \tanh \eta) \quad (9)$$

また、 $\eta=0$ で $f=0$ とすれば次式を得る。

$$f = 1/2 \cdot \{ \eta + \ln(\cosh \eta) \} \quad (10)$$

(9)、(10) 式を (6)、(7) 式に代入し、各 g_R を決定し、これを (5) 式に代入して得られた *free shear layer* 内の濁度分布が図-4 に示されている。計算は $R=4$ まで行ない $P_0 = \epsilon_s / v_f = 1.4, \alpha = 0.07, v_f = 0.022$ および $\eta_s = 3.913$ とした。同図には、同時に実験図におけるセキより上流 150cm 地点における実験値も示しており、両者はかなり一致している。最後に、実験に多大なる援助を頂いた奥村組中野孝和氏に感謝します。

参考文献 1) 芦田, 江頭: 第 20 回水理講演会論文集 PP. 173, 1976

2) Yu-Hwa Wang: Journal of Fluid Mechanics Vol. 71, Part 3 PP. 563 1975

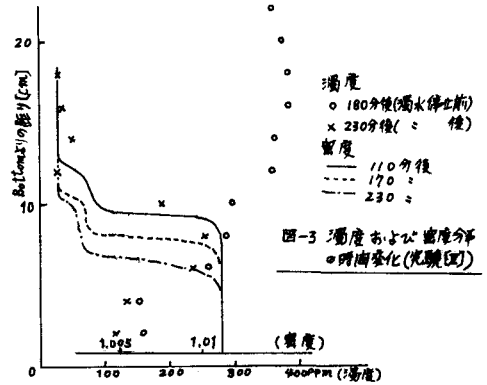


図-3 濁度および密度分布
○ 濁度変化(実験値)

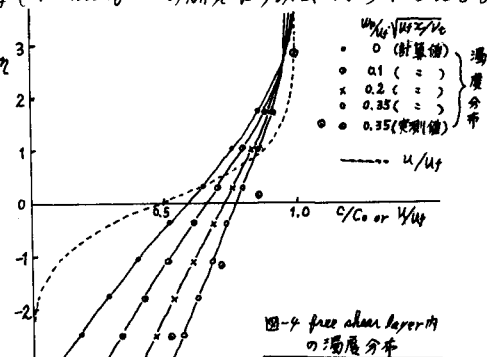


図-4 *free shear layer* 内の濁度分布