

九州大学工学部 正員 平野宗夫
九州大学工学部 正員 金子 新
九州大学工学部 ○学生員 古賀省三

1. まえがき

我国の貯水池では、夏期において、取水口直下に顕著な温度躍層が発達し、洪水後躍層付近に濁質が長期間滞留して貯水池の利水機能のみならず漁業、観光面へも悪影響をおよぼすことが多い。ここでは、濁水長期化現象に重要な役割をはたす躍層付近の濁質の挙動を理論的に解明するため、密度躍層の発達した貯水池に簡単な二層流モデルが適用され、濁度解析および実験値との比較がなされた。

2. 解析

貯水池に洪水が流入した時の躍層の低下は流入初期に著しく、以後中間層の形成につれてほぼ定常的になることが知られている¹⁾。濁度解析を行う際には、躍層位置の低下を考慮せねばならないが、ここでは、躍層付近での濁質の挙動に着目しているなどの理由より、躍層位置の低下は一応無視することにする。実験結果などより貯水池内の流れは図-1のように模式化できる。

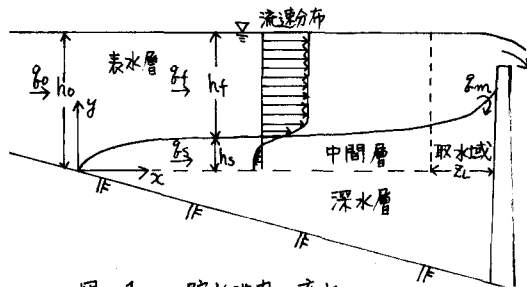


図-1 貯水池内の流れ

二次元の拡散方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + (v - w_p) \frac{\partial C}{\partial y} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 C は濁度、 w_p は濁質の沈降速度、 E_x および E_y は x 、 y 方向の渦動拡散係数。

式(1)を数値解析するわけであるが、ここに、表水層、中間層における流速分布および躍層形状を次のように与える。

表水層 ($h_s \leq y \leq h_0$) の流速分布: x 方向流速 u は、Wang の実験結果²⁾より式(2)のように仮定する。また、 y 方向流速 v は式(3)のように求める。

$$u = u_s f_1(\eta), \quad f_1(\eta) = 1 + \tanh\left(\frac{\eta-1}{\alpha}\right) \quad \text{--- (2)} \quad v = \int_y^{h_0} \frac{\partial u}{\partial x} dy \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 u_s は中間層上端 ($y = h_s$) の u 、 $\eta = y/h_s$ 、 h_s は中間層の厚さ、 $h_0 = h_s + h_f$ 、 h_f は表水層の厚さ。

中間層 ($0 \leq y \leq h_s$) の流速分布: u は実験より次のように仮定する。 v は次式のように求める。

$$u = u_s f_2(\eta), \quad f_2(\eta) = A + B \exp\left(\frac{\eta-1}{\beta}\right) \quad \text{--- (4)} \quad v = \int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} dy \quad \text{--- (5)}$$

ここに、 A および B は常数であり、次の条件より決定される。

$$f_1(1) = f_2(1), \quad f_1'(1) = f_2'(1) \quad \text{--- (6)}$$

α および β は実験よりそれぞれ0.047、0.05と与えている。

躍層形状: Wang の実験結果²⁾より次のように仮定する。

$$\frac{h_s}{h_0} = \beta \left(\frac{x}{h_0} \right)^n \quad \text{--- (7)} \quad \text{ここに } \beta \text{ および } n \text{ は常数であり、ここではそれぞれ } 0.1, 0.5 \text{ と与えている。}$$

式(1)の初期および境界条件は、それぞれ次式で与えられる。

初期条件: $t=0$ で $C=0$

境界条件: $x=0$ で $C=C_0(t)$

$x=L$ で $\partial C/\partial x=0$ ($h_s \leq y \leq h_o$)

$C=C_m(t)$ ($0 \leq y \leq h_s$)

$y=0$ で $\partial C/\partial t - W_p \partial C/\partial y = 0$

$y=h_o$ で $E_y \partial C/\partial y + W_p C = 0$

ここに, $C_m(t)$ は取水域の平均濁度であり, 取水域における濁質の保存則を考えることにより次のように求められる。³⁾

$$A_s \frac{dC_m}{dt} = g_m C_s - g_m C_m - W_p Z_L C_m \text{ --- (8)}$$

ここに, A_s, Z_L, g_m, C_s はそれぞれ取水域の面積, 長さ, 中間層への単位幅あたりの巻き込み量および取水域上面での濁度である。式(8)を $C_m=0$ ($t=0$) のもとで積分すると $C_m(t)$ が求まる。

また, 式(1)を数値解析するにあたって差分の安定条件は次式で与えられる。

$$\frac{|U|\Delta t}{\Delta x} + \frac{(V+W_p)\Delta t}{\Delta y} + \frac{2E_x\Delta t}{(\Delta x)^2} + \frac{2E_y\Delta t}{(\Delta y)^2} \leq 1 \text{ --- (9)}$$

数値解析において, 実験値と比較するため $W_p=0.003 \text{ cm/sec}$, $g_m=0.02 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $A_s=211.5 \text{ cm}^2$, $Z_L=10 \text{ cm}$, $L=300 \text{ cm}$, $C_0=60 \text{ ppm}$ とし, 90分後に濁質の供給を停止している。滑動拡散係数については芦田等の研究⁴⁾を参考にして, 中間層: $E_x=0.2 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $E_y=0.001 \text{ cm}^2/\text{sec}$, 表水層: $E_x=E_y=0.2 \text{ cm}^2/\text{sec}$ とした。

以上のような条件のもとで, 式(1)を数値解析した。

図-2に, 濁度分布の時間的変化についての計算値および実験値を示す。両者はほぼ同様な傾向を呈しておりこの濁度解析の妥当性を示している。また, 図-3~5には, 貯水池内の濁度分布状態を示すために, 計算値による等濁度線が与えられている。これらの図より, 中間層内は濁質の沈降, 拡散および巻き込みなどによって順次高濁度化し, 表水層の濁度は, 順次定常状態に近づいている。濁質の供給を停止した後, 表水層はすみやかに清澄化したのに対して, 中間層には, かなりの高濁度の濁水が貯留されていることがわかる。中間層内の高濁度化は, 濁質の供給を停止した後でもある程度の間, 中間層内の濁質の拡散, 沈降および循環などによって, 進行するものと考えられる。従って, 中間層の形成と濁水長期化現象とは密接な関係があると考えられる。

今後の課題として躍層位置の低下を考慮に入れた濁度解析および実際の貯水池への応用の検討が上げられる。

参考文献

- 1) 平野, 金子, 式: 第21回水理講演会論文集, 1977
- 2) Wang, Y: Journal of Fluid Mechanics, vol. 71, Part 3, pp. 563 ~ 575, 1975
- 3) 平野, 金子, 式: 土木学会西部支部論文集, 1977
- 4) 芦田, 江頭: 第20回水理講演会講演集, 1976

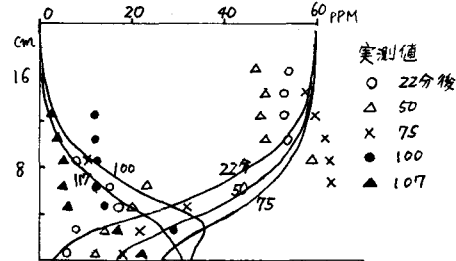


図-2 濁度分布の時間的変化 ($x=100 \text{ cm}$)

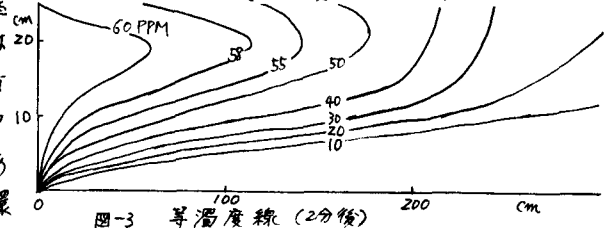


図-3 等濁度線 (2分後)

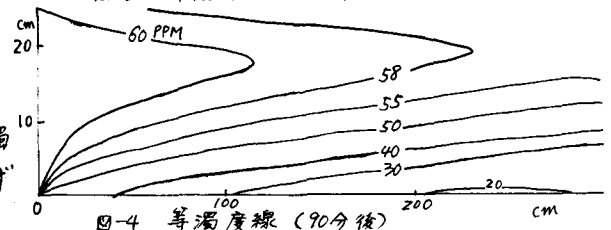


図-4 等濁度線 (90分後)

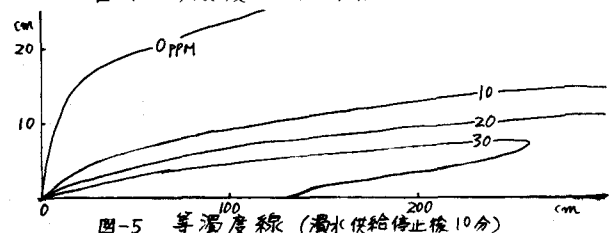


図-5 等濁度線 (濁水供給停止後10分)