

温度躍層場における濁水の挙動に関する研究

京都大学防災研究所 正 菊田和男

同上 正〇江頭進治

1. まえがき 貯水池が微細粒子の沈下過程に与える影響は、貯水池堆砂の同題と濁水滞留の長期化に関連した同題に大別される。本論文は後者について、その機構解明の第一歩として、密度こう配が無視できる表水層、深水層および密度こう配が存在する変水層において密度場が表現される場合の鉛直拡散係数の推定法と、表水層と濁水が循環する場合の濁水の挙動に因する実験および理論的取り扱いについて若干の考察を試みる。

2. 各層における拡散係数の推定 系外からの熱の出入がないとする、連行モデルによる体積連続の関係および密度欠損則は次式のようになる。(図-1 参照)

$$\partial h_L / \partial t + \partial (\bar{u} h_L) / \partial x = W_e \quad \text{----- (1)}$$

$$\partial \bar{p}_1 / \partial t + \bar{u} \partial \bar{p}_1 / \partial x = (\bar{p}_2 - \bar{p}_1) W_e / h_L \quad \text{----- (2)}$$

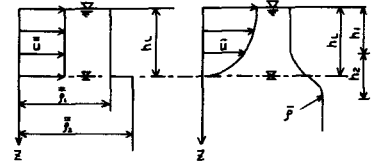


図-1. 連行モデルと拡散モデルによる密度あるが清水の場合の環境

ここに、 h_L : 自由表面から躍層面までの距離、 W_e : 連行速度、 $(\bar{\cdot})$: 断面平均値で、他は慣用記号。一方、二次元拡散モデルによる質量保存則は、

$$\partial \bar{p} / \partial t + \partial (\bar{p} \bar{u}) / \partial x + \partial (\bar{p} \bar{w}) / \partial z = \partial (\epsilon_x \partial \bar{p} / \partial x) / \partial x + \partial (\epsilon_z \partial \bar{p} / \partial z) / \partial z \quad \text{----- (3)}$$

で示される。ここに、 $(\bar{\cdot})$ は時間平均値で、他は慣用記号である。上式において、右辺第一項を省略し、自由表面から境界面まで積分し、これに(1),(2)式の関係を用いると、拡散係数と連行速度の関係が次式のように求まる。

$$\epsilon_z|_{z=h_L} = \epsilon_{h_L} = p_f / (\partial \bar{p} / \partial z)_{\max} \cdot W_e \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 $p_f \div \bar{p}_1 \div \bar{p}_2$ で、上式は流動層が深水層であっても成り立つ。 W_e は連行係数 E を用いて、 $W_e = E \bar{u}$ と表され、 E は overall Richardson 数の関数として知られている。 $\partial \bar{p} / \partial z$ は鉛直安定度で、一年もサイクルとして変動するが、代表的な貯水池においては推定

可能である。上記のように躍層面の拡散係数が推定できるので、つぎのような形式で各層の拡散係数の推定ができるものとする。すなわち、 $1 < n_1$, $0 \leq n_3 < 1$ とし、

$$\text{表水層: } \epsilon_{z1} = n_1 \epsilon_{h_L} , \quad \text{変水層: } \epsilon_{z2} = \epsilon_{h_L} , \quad \text{深水層: } \epsilon_{z3} = n_3 \epsilon_{h_L}$$

3. 実験および実験結果

使用した水路は図-2に示すもので、水路全体が厚さ 5cm の発泡スチロール板で断熱されている。太陽放射による加熱によって得られた温水と地下水を用いて適当な鉛直安定度をもつ躍層を作り、表層温水による躍層の低下に因する3ケースの実験(ここでは省略)と、表層温水に濁質を混入し、これを循環させて形成される濃度の鉛直分布の時間的变化に因する3ケースの実験が行われた。濁質の中央粒径の沈降速度は $w_0 = 0.02 \text{ cm/sec}$ (19.5°C, 分散処理) である。温度、濃度、流速および密度分布に因する実験結果の一例 ($Q = 4.1 \text{ l/sec}$, $C_0 = 1700 \text{ ppm}$) を図-3に示す。躍層の低下は turbulent entrainment に伴うものであり、実験開始後 147分には躍層が消滅している。濃度分布に因しては、守

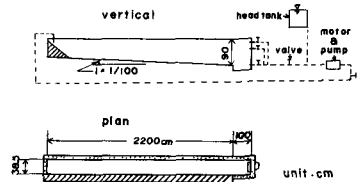


図-2. 実験水路

芸・白砂¹⁾の貯水池における調査研究や合田・海老瀬²⁾の実験結果にもみられるように躍層面より上方で濃度の最大値が現われ、変水層で急激に減少し、それより下方では沈降移動の様相を呈している。

4. 三層モデルによる解析理論 変水層の厚さ h_2 に関して十分な情報が得られないので、ここでは、 $L = \Delta \rho / (d\rho/dz)_{\max}$ ($\Delta \rho$: 表水層と深水層の密度差) とし、 $h_2 = \alpha L$ ($\alpha = 2 \sim 3$) で近似できると考える。実験は表層濁水も循環させる方法をとったので、ここでは一次元拡散式での取り扱いについて述べる。すると、基礎式は、

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(E_{zi} \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) / \rho_i - \omega_i \frac{\partial C_i}{\partial z}, \quad (i: \text{層番号}) \quad \text{--- (5)}$$

で示され、上式を解くため下表に示す初期条件 (i.c.) および境界条件 (b.c.) を与える。ここでは、下表の全2の条件について考察でき

	$i=1$ (表水層)	$i=2$ (変水層)	$i=3$ (深水層)
i.c.	$C_1(z, 0) = C_0(z)$ ($0 \leq z \leq h_1$)	$C_2(z, 0) = C_0(z)$ ($h_1 \leq z \leq h_1 + h_2$)	$C_3(z, 0) = C_0(z)$ ($h_1 + h_2 \leq z \leq h_1 + h_2 + h_3$)
b.c.	$E_{z1} \frac{\partial C_1(z, t)}{\partial z} - \omega_1 C_1 = 0, (z=0)$ $\frac{\partial C_1(z, t)}{\partial z} = 0, (z=h_1)$	$C_2(z, t) = C_1(z, t), (z=h_1)$ $\frac{\partial C_2(z, t)}{\partial z} = 0, (z=h_1 + h_2)$	$C_3(z, t) = C_2(z, t), (z=h_1 + h_2)$ $\frac{\partial C_3(z, t)}{\partial z} = 0, (z=h_1 + h_2 + h_3)$

ないので、b.c. $\frac{\partial C_i}{\partial z} = 0$ ($z = h_i$) について述べる。図-4に示すように、もし境界面が固定床であれば、図中の破線のような分布が考えられるが、躍層面を通過しての連行現象のため躍層近傍の濃度は減少し、躍層面上方で最大値が生ずることが推定される。図-5には、表水層 ($i=1$) に関して、 $E_{z1} = \alpha_1 E_{h1}$ ($\alpha_1 = 3, E_{h1} = 4 \text{ cm}^2/\text{sec}$), $h_1 = 28 \text{ cm}$, $h_2 = \alpha L$ ($\alpha = 2, L = 4 \text{ cm}$), $\omega_0 = 0.02 \text{ cm/sec}$ の諸量を用いた解析解と実験値とが示されている。解析解における濃度の減衰が極めて速い主な原因は、水路全長 23 cm に対して、躍層が存在する圧間は数 cm であり、しかも時間の経過とともにこれが減少するためである。

5. おまけ 以上、各層における拡散係数の推定法と表水層の濁水が循環する場合の実験ならびにその解析法について概括した。

図-5に示した解析解は水路全長にわたって躍層が存在すると仮定した場合のものであるので、これに因する補正と、二次元拡散モデルによる濁水挙動の取り扱いについては講演時に述べる。終りに、本研究は一部昭和49年度文部省科学研究費 (代表: 足立昭平) の補助を受けたいことも記し、関係各位に謝意を表す。

参考文献 1) 宇芸・白砂: 貯水池の流動形態と水質, 第18回水質, 1974, 2, pp 187~192

2) 合田・海老瀬: 貯水池の流動と水質との関係について, 第18回水質, 1974, 2, pp 193~198

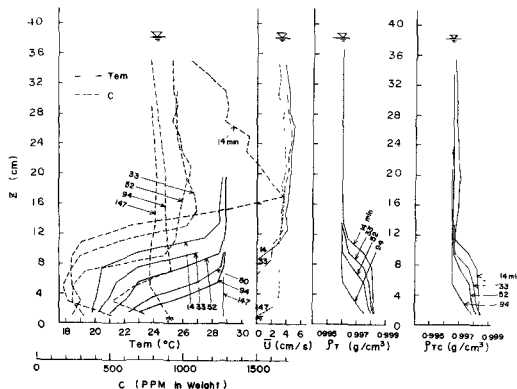


図-3. 実験結果の一例

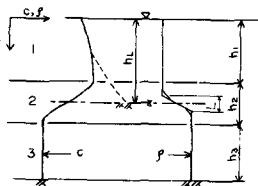


図-4. 三層モデル

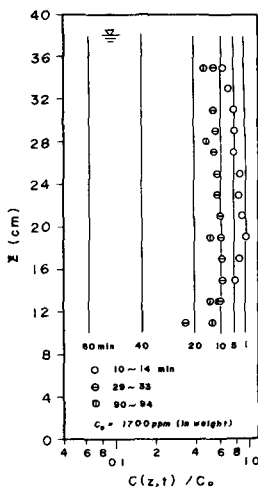


図-5. 実験値と解析解の比較