

九州大学 正 員 平野宗夫
 “ “ 金子 新
 “ 学生員 〇式 正治

1. まえがき

取水口直下に密度躍層の発達した貯水池においては、淡水後表層水が澄清化した後も躍層位置に高濁度水が長期滞留することはよく知られている¹⁾。この躍層位置での濁度の長期的な貯留は、貯水池の濁水問題において重要な位置をしめるものと考えられる。ここでは躍層位置における濁度の挙動を明らかにするため簡単化したモデルでの濁度の非定常解析がなされ同時に模型貯水池を使用した実験結果との比較がなされている。

2. 実験装置および方法

図-1に示すように模型貯水池として長さ400cm、幅20cm、越流ゼキ位置の深さ83cm、河床勾配1/481の水路を用いた。躍層は淡水と塩水の密度差よりつくられ塩水の供給は水路底下流端から行われた。

濁質としては平均粒径5 μ m(平均沈降速度0.002cm/s)のパールクレイを使用して濁質は攪拌槽で十分混合したものをポンプにより水路出入口まで導き水路幅一様に拡がるように傾斜板をへて流水中に投入された。塩分濃度は四電極低導度計により測定された。濁度は流水中から約15ccをサイフォンにより直接抽出し卓上濁度計により計測された。実験はまず模型貯水池に塩水を貯留しておき流入口の仕切板を取ることにより一定流量を流入させ濁質を実験開始と同時に流入させ始め躍層付近の密度と濁度の時間変化を測定した。それぞれの測定は躍層先端よりの距離 $x=180$ cm及び 280 cmで行われた。

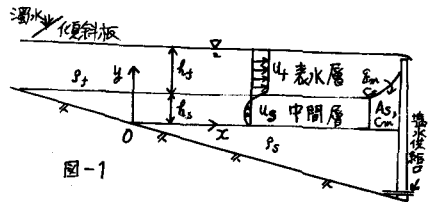


図-1

実験条件を表-1に示す。

流入流量 (cm ³ /s)	流入濁度 (ppm)	淡水密度 ρ_f (g/cm ³)	塩水密度 ρ_s (g/cm ³)	$\rho_s - \rho_f$
52.4	60.0	0.9998	1.0037	0.0039

3. 実験結果および解析

図-2には躍層付近での密度の時間変化が示されており、躍層位置は時間とともに徐々に低下し中間層が明瞭に形成されていく様子がわかる。このように躍層位置は変化するので解析を簡単にするため近似的に中間層厚及び表層層厚を実験時間中一定と考え濁度の非定常解析を試みる。

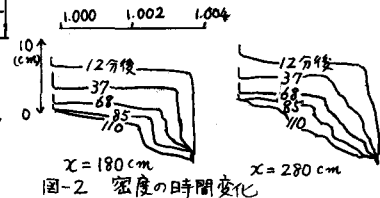


図-2 密度の時間変化

図-1のように座標軸をとれば表層層に対する2次元拡散方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_f \frac{\partial C}{\partial x} - w_p \frac{\partial C}{\partial y} = \varepsilon_{x1} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \varepsilon_{y1} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 C は濁度、 w_p は粒子沈降速度及び u_f は表層層平均流速であり、 ε_{x1} 及び ε_{y1} はそれぞれ表層層における水平及び鉛直拡散係数である。中間層に対する2次元拡散方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} - u_s \frac{\partial C}{\partial x} + (v - w_p) \frac{\partial C}{\partial y} = \varepsilon_{x2} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \varepsilon_{y2} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 u_s は中間層平均流速、 v は進行速度で近似的に $v = v_e / A_s \times y$ と与える。 v_e は界面における進行速度である。 ε_{x2} 及び ε_{y2} はそれぞれ中間層における水平及び鉛直拡散係数である。

次に、中間層下流端における表層水の中間層内への巻き込みを考慮して取水域における濁度の時間的変化を平均的に次式で与える。

$$\frac{d(C_m A_s)}{dt} = g_m C_s - g_m C_m \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 δ_m は中間層内への巻き込み量、 A_0 は図-1に示す取水域の面積で実験中ほぼ一定と考える。 C_m 及び C_0 はそれぞれ取水域での平均濃度及び取水域上面での濃度である。表水層及び中間層の境界条件及び初期条件を次のように与える。

(1)式では $t=0: C=C_0(t)$

$t=L: \frac{\partial C}{\partial z}=0$

$y=y_0+y_1: E_{y1} \frac{\partial C}{\partial y} + u_p C = 0$

$t=0: C=0$

(2)式では $t=0: \frac{\partial C}{\partial z}=0$

$t=L: C=C_m(t)$

$y=0: \frac{\partial C}{\partial y}=0$

$t=0: C=0$

解析においては実験より $u_1=3.2 \text{ cm/s}$, $u_2=0.01 \text{ cm/s}$, $A_0=211.5 \text{ cm}^2$ 及び $w_p=0.002 \text{ cm/s}$ を与え表水層における拡散係数は対数型流速分布からの類推より芦田、江頭ら²⁾が与えた $E_{y1}=\frac{1}{15} \sqrt{\frac{u_1}{2}} u_1 A_0$ より $E_{y1}=E_{y2}=0.2 \text{ cm}^2/\text{s}$ とする。 E_{y2} は中間層内での密度勾配を考慮すれば小さい値となることを予想され、芦田、江頭らの理論より $E_{y2}=0.001$ を与える。また $E_{y1}=0.2$ とする。 δ_m の評価については別に解析がなされており³⁾ それによって平均的に $\delta_m=0.1 \text{ cm}$ を採用する。(1)、(2)式を数値計算する際、解の安定条件として次式を満たす必要がある。

$$1 - \frac{\Delta t}{\Delta z} u_1 - \frac{\Delta t}{\Delta y} w_p - \frac{2\Delta t}{\Delta z} E_{y1} - \frac{2\Delta t}{\Delta y} E_{y2} > 0 \quad (4)$$

図-3～図-6には解析によって得られた貯水池内の濃度の分布状態を示すために等濃度線が与えられている。図-3及び図-4はそれぞれ濁水供給開始2分及び4分後の等濃度線が示されており濃度が輸送及び拡散により順次下流端に運ばれている様子がわかり、まだ中間層内には濁質があまり貯留されていないことがわかる。図-5は60分後における等濃度線であり図-4をあわせて考えれば表水層における濃度分布はほぼ定常状態に達しているものと考えられ、中間層内は濃度の拡散及び沈降によって順次高濃度化していることがわかる。図-6には濁水の供給を停止して10分後(実験開始後100分)における等濃度線が示されており、表層はかなり清浄化されるけれども中間層内には高濃度の濁質が貯留されている。

図-7及び図-8には $x=180 \text{ cm}$ 及び 280 cm 位置での濃度分布の時間変化が示され実験値との比較がなされているが、ほぼ実験値を説明しているように思われる。

予想に反して中間層濃度に及ぼす δ_m の影響は小さいものとなったが中間層密度の低下が δ_m に帰因することを考えれば、濃度にもある程度影響するものと考えられ今後検討を要する。

また、躍層位置の変化及び拡散係数の推定等今後検討を必要とするがこのような簡便化したモデルでも中間層内における濃度の貯留機構をある程度説明することができる。

参考文献 1) 芦田、江頭：非一様密度場における濃度物質の拡散と貯水機構、第20回水理講演会講演集、1976

3) 平野、金子、松田：選抜取水における中間層への混入量の評価について、1977年 西部支部講演集

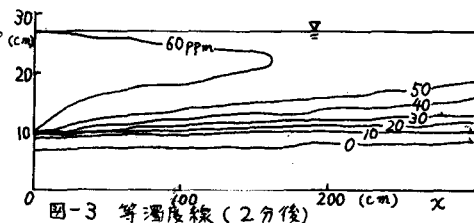


図-3 等濃度線 (2分後)

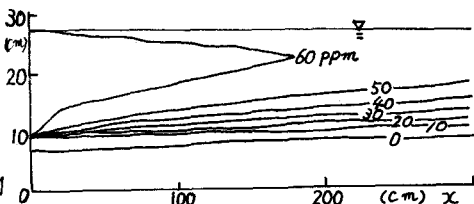


図-4 等濃度線 (4分後)

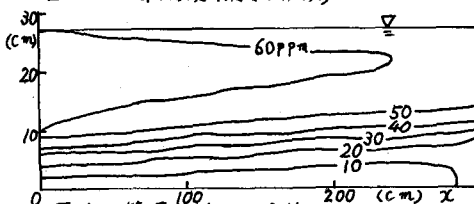


図-5 等濃度線 (60分後)

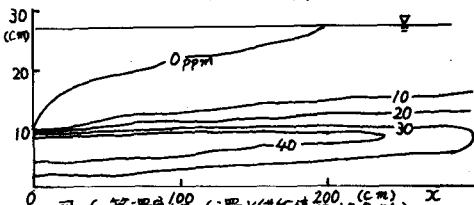
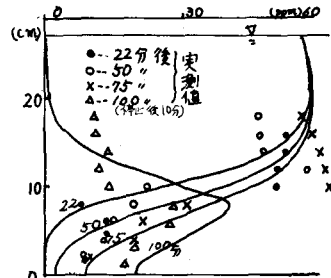


図-6 等濃度線 (濁水供給停止 10分後)



濃度分布 ($x=180 \text{ cm}$) 図-7

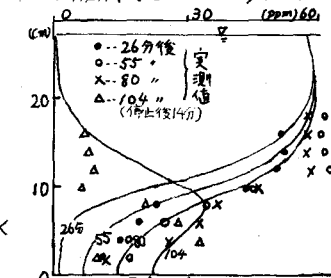


図-8 濃度分布 ($x=280$)