

II-256

噴水による貯水池の水質改善に関する基礎的検討

日本道路公団 正 員 保久原均
 神戸大学工学部 正 員 神田 徹
 神戸大学工学部 正 員 道奥康治
 神戸大学大学院 学生員 重村誠一

1. はじめに

成層化した貯水池や湖沼における水質改善策の一つとして底層水を揚水し水面から噴水状で散布する工法に関し、水理学的検討を行う。現在、数カ所の貯水池で同工法の現地実験が行われているが、噴水の水質改善効果に関する定量的評価が困難であり、水質拡散機構は明らかではない。噴水工法は、①噴水のポンプ加圧によるプランクトン細胞の圧壊、②噴水による表層曝気、③表層水温低下によるプランクトンの増殖抑制、④表層流動による植物プランクトンの集積防止と拡散、などの効果を持つと期待される。本研究では噴水により水面から散布された水塊の拡散過程に関する水理実験を行い、噴水の水質混合促進効果について検討する。

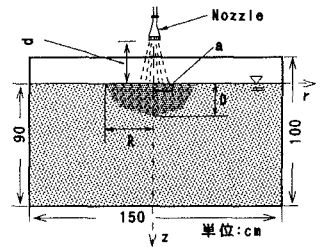


図-1 実験装置の概略図

2. 実験方法

図-1のような水槽に淡水(密度 $=\rho_0$)を満たし、水面からの高さ d に位置するノズルより、密度 ρ_1 の着色塩水を一定流量 Q で散布する。実験は、散水流量 Q 、塩淡水の相対密度差 $\varepsilon_0=(\rho_1-\rho_0)/\rho_0$ 、「ノズル-水面」間距離 d を変化させて行う。着色塩水の挙動はビデオカメラに集録する。また、電磁流速計と電気伝導度計を用いて、流速・濃度の経時変化を計測する。

3. 代表スケール

図-1に示すように鉛直下向きに z 軸を、 z 軸から半径方向に r をとる。現象は z 軸に関して軸対象である。散水流量 Q 、「ノズル-水面」間距離 d 、初期浮力差 $\varepsilon_0 g=(\rho_1-\rho_0)g/\rho_0$ 、水面における噴水の半径 a を用いて、[速度スケール]: $U_0=Q/(\pi a^2)(\text{cm/sec})$ 、[長さスケール]: $L_0=a(\text{cm})$ 、[浮力スケール]: $B_0=\varepsilon_0 g(\text{cm/sec}^2)$ [時間スケール]: $t_0=L_0/U_0(\text{sec})$ 、が代表スケールとして得られる。

4. 無次元化と支配パラメーター

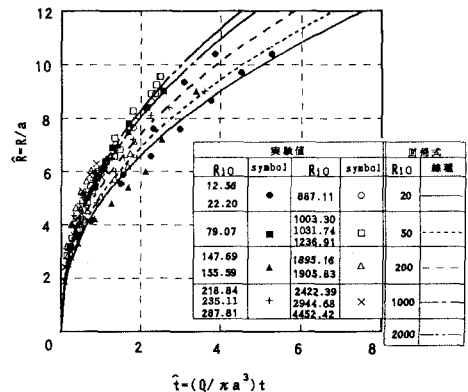
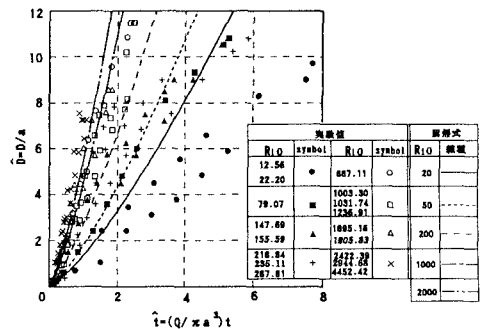
諸量は次のように無次元化される。

[座標] $\hat{r}=r/L_0=r/a$, $\hat{z}=z/L_0=z/a$, [時間] $\hat{t}=t/t_0$

$=Qt/\pi a^3$, [塩水塊形状] $\hat{F}(\hat{r}, \hat{t})=F(r/a, Qt/\pi a^3)/a$,

[水面での塩水塊の拡散径]

$\hat{R}(\hat{t})=R(t/t_0)/L_0=R(Q t/\pi a^3)/a$, [最大貫入水深] $\hat{D}(\hat{t})=\hat{F}(1, \hat{t})=D(t/t_0)/L_0=D(Q t/\pi a^3)/a$, [流速の(r , z)方向成分] $(\hat{V}_r, \hat{V}_z)=(V_r, V_z)/(Q/\pi a^2)$, [浮力] $\hat{B}(\hat{r}, \hat{z}, \hat{t})=B(r/a, z/a, Qt/\pi a^3)/(\varepsilon_0 g)$ 。これらより、

図-2 $\hat{R}(\hat{t}) \sim \hat{t}$ の実験値と回帰式図-3 $\hat{D}(\hat{t}) \sim \hat{t}$ の実験値と回帰式

次の三つの支配パラメーターが導出される。

- ① $\hat{d}=d/L_0=d/a$: 「ノズル-水面」間の無次元距離,
- ② $F_0=U_0/\sqrt{gL_0}=(Q/\pi a^2)/\sqrt{ga}$: 散水量に関するFroude数,
- ③ $R_{i0}=\frac{\epsilon_0 g a}{U_0^2}$: リチャードソン数.

このうち、ノズル形状が決まれば $\hat{d}$ と F_0 の間には一義的な関係が成り立ち、支配パラメーターは二つとなる。

5. 水質拡散過程

4. の議論に基づいて各諸量を無次元化する。水面における水塊の無次元半径 $\hat{R}(\hat{t})$ および無次元貫入水深 $\hat{D}(\hat{t})$ の経時変化を図-2と図-3に各々あらわす。図-2より拡散径 $\hat{R}$ は時間 $\hat{t}$ とともに増加するが、その増加率は時間とともに減少する。一方、貫入水深 $\hat{D}$ も $\hat{t}$ とともに増加するがその増加率は $\hat{t}$ にともない増加する。また、初期リチャードソン数 R_{i0} が大きい場合ほど、水平・鉛直両方向への拡散は速い。以上のように、池内における塩水塊の拡散挙動は R_{i0} に支配される。このようなブルーム的特性を考慮して、より合理的な規準化を考える。ChenとRodi¹⁾の定常鉛直ブルームの希釈混合過程に関する解析を参考にして、 R_{i0} を考慮した新たな規準化を次のように行う。[時間] : $t_* = R_{i0} \cdot \hat{t}$, [座標] : $r_* = R_{i0} \cdot \hat{r}$, $z_* = R_{i0} \cdot \hat{z}$, [拡散半径] $R_* = R_{i0} \cdot \hat{R}$, [貫入水深] : $D_* = R_{i0} \cdot \hat{D}$.

以上において*を付した量は新たな規準化物理量を、 $\hat{}$ を冠した項はこれまでの規準化に基づく無次元量をあらわす。また、(K, L, M, Q, S)は、経験定数である。今、(R, D)の経時変化に関して次のような関数形を仮定する。

$$R_* = A \cdot t_*^T \cdots (1), \quad D_* = B \cdot t_*^U \cdots (2)$$

実験値を回帰分析し、各係数は、 $A=4.16, B=0.53, K=0.20, S=-0.052, T=0.45, U=1.31, Q=0.038$, と決定される。以上を用いて (R_*-t_*) 、 (D_*-t_*) の関係をプロットすると図-4、図-5のようになる。

支配パラメーターとは独立に明確なべき乗則が成り立っており、式(1)、(2)は普遍的な関数形であることがわかる。式(1)、(2)を変形して $(\hat{R}-\hat{t})$ および $(\hat{D}-\hat{t})$ 間の関係が次式のようになる。 $\hat{R}=A \cdot R_{i0}^{(KT-Q)} \hat{t}^T \cdots (3)$, $\hat{D}=B \cdot R_{i0}^{(KU-S)} \hat{t}^U \cdots (4)$. 式(3)、(4)の関係を、図-2, 3中に曲線で示す。両式によって実験値は良好に再現されており、式(1)、(2)は噴水によって駆動されたStarting Plumeの拡散挙動をあらわす合理的な普遍的関数式であることが確認される。図-6は、時々刻々の $D(t)$ と $R(t)$ により無次元化されたPlume外縁形状の一例をあらわす。他のケースについてもほぼ相似な形状を保ちながら塩水塊が拡散する。散水塊の相似形状と式(1)、(2)の $R(t), D(t)$ から時々刻々の拡散挙動、平均濃度などを予測することが可能である。

参考文献：1)Chen, C. J. and Rodi, W. : Vertical Turbulent Buoyant Jets, A Review of Experimental Data", Pergamon Press, 83p., 1980.

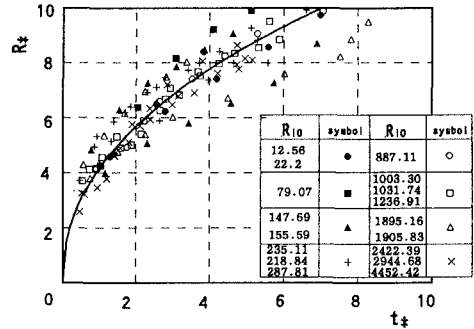


図-4 $R_* \sim t_*$ の実験値と回帰式

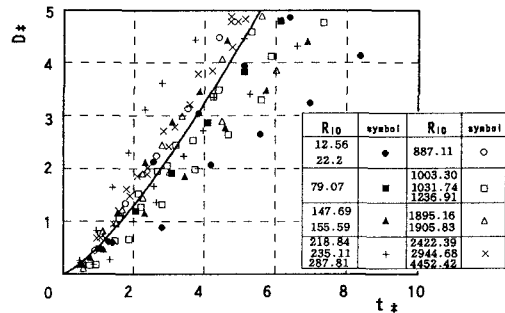


図-5 $D_* \sim t_*$ の実験値と回帰式

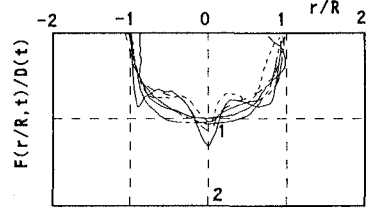


図-6 無次元化された塩水塊の形状
 $R_{i0}=1905.83$