

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
 日本道路公団 正 員 〇保久原均
 神戸大学大学院 学生員 重村誠一

1. はじめに

ダム貯水池や湖沼などの準閉鎖水域では、水の交換率が低減し、水温成層化によって鉛直混合が抑制され表層ならびに底層の水質が悪化する。貯水池の水質改善対策の一つとして、本報では図-1に示すように底層水を揚水し水面から散布する噴水工法に関して検討を行う。噴水によって、次のような水質改善効果が期待できる。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、etc.。本研究では、底層水の水面散布に関する基礎水理実験を遂行し、その拡散特性を水理学的に検討する。

2. 実験方法

図-2に示すように縦100cm×横150cm×高さ100cmの透明ガラス張り水槽に淡水（密度 $=\rho_0$ ）を満たし、模型貯水池とする。底層水と表層水の水温差による密度流的挙動を再現するために、底層水に相当する密度 ρ_1 の着色塩水を一定流量 Q でノズルより水面に散布する。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。散水水塊の拡散挙動はビデオカメラで観測し、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. 次元解析

現象はノズル軸に関して軸対象であり、座標は図-2に示すように鉛直下向きに z を、 z 軸から半径方向に r をとる。関連物理量として、散水流量 Q 、「ノズル-水面」間の距離 d 、初期浮力差 $\varepsilon_0 g=(\rho_1-\rho_0)g/\rho_0$ 、散水半径 a を用い、次のように代表スケールを定義する；[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] $:B_0=\varepsilon_0 g(\text{cm/sec}^2)$ （または[浮力フラックス] $:F_0=B_0 U_0(\text{cm}^2/\text{sec}^3)$ ）、[時間スケール] $:t_0=L_0/U_0(\text{sec})$ 。以上の代表スケールを用いて各諸量を次のように無次元化する； $\hat{r}=r/L_0=r/a$ 、 $\hat{z}=z/L_0=z/a$ ：座標、 $\hat{t}=t/t_0=Qt/\pi a^3$ ：時間、 $\hat{F}(\hat{r}, \hat{t})=F(r/a, Qt/\pi a^3)/a$ ：塩水塊の形状、

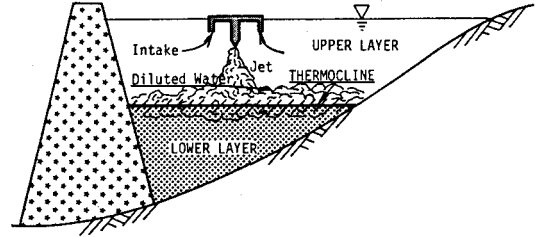


図-1 底層水の水面散布による水質改善の模式図

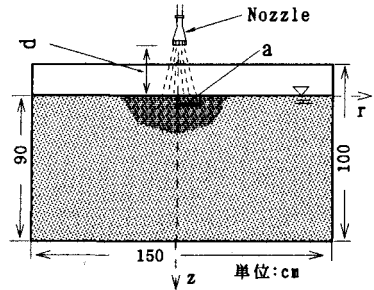


図-2 実験装置の概略図

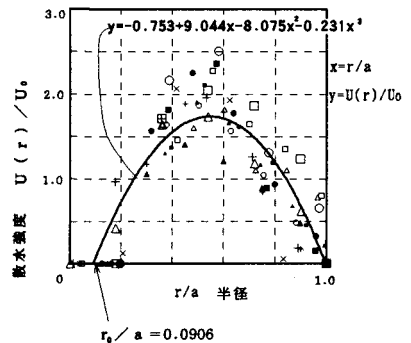


図-3 無次元散水強度の分布

$\hat{R}(\hat{t})=R(t/t_0)/L_0=R(Q t/\pi a^3)/a$: 水面での塩水塊の拡散径, $\hat{D}(\hat{t})=D(t/t_0)/L_0=D(Q t/\pi a^3)/a$: 貫入水深,

$(\hat{V}_r, \hat{V}_z)=(V_r, V_z)/(Q/\pi a^2)$: 流速の(r, z)方向成分,

$\hat{B}(\hat{r}, \hat{z}, \hat{t})=B(r/a, z/a, Q t/\pi a^3)/(\epsilon_0 g)$: 浮力.

次元解析より次の三つの無次元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 $F_0=U_0/\sqrt{gL_0}=(Q/\pi a^2)/\sqrt{ga}$: 散水量に関するフルード数

③ $R_{i0}=\frac{\epsilon_0 g a}{U_0^2}$: リチャードソン数

4. 散水ノズルの特性

まず水面における散水強度(単位面積・単位時間あたりの降水量: 雨量強度に相当) $U(r)$ の半径 r 方向分布を測定し, これを無次元表示したものを図-3に示す. 縦軸は, 平均散水強度 $U_0(=Q/\pi a^2)$ により規準化した無次元散水強度 U/U_0 , 横軸は無次元半径 r/a をあらわす. ノズル中心軸付近($0 \leq r/a \leq 0.091$)においては $U/U_0=0$ であり, r/a とともに散水強度は増加する. $r/a=0.5$ 付近で極大値をとり, $r/a=1.0$ で $U/U_0=0$ となる. データにばらつきがみられるが, 上記三つの無次元支配パラメータへの依存性は特に見られず, 図中の三次放物線によって無次元散水強度分布を近似することができる. 散水半径 a は, 散水流量 Q , 「ノズル-水面」間の距離 d によって規定されていると考えられ, 次元解析に基づいて次のような関数関係を仮定する.

$$\hat{a}=a/d=F_1(Q/\sqrt{gd^5}) \quad (1)$$

式(1)の関係をプロットすると図-4のようであり, およそ二次放物線に回帰される. また, 式(1)を変形すれば, 「ノズル-水面」間の無次元距離 $\hat{d}$ が第二の無次元パラメーター F_0 と一義的に次式のような関数関係を持ち, 上記三つの無次元パラメーターのうち, $\hat{d}$ は F_0 と関連づけられる(図-5).

$$\hat{d}=F_2\{(Q/\pi a^2)/\sqrt{ga}\}=F_2=(U_0/\sqrt{gL_0}) \quad (2)$$

結局, 散水塊の拡散過程は, $\hat{d}$ と R_{i0} の二つのパラメーターに支配される.

5. 池内での水質拡散過程

図-6は塩水塊外縁の経時変化をビデオ画像よりトレースした一例である. いずれの実験ケースにおいてもほぼ相似な形状を保ちながらStarting Plumeとして塩水塊が拡散していく. 図-7は水面における塩水塊の拡散半径 R の経時変化を, 図-8は中心軸上における塩水塊の貫入水深 D の経時変化をあらわす. このような塩水塊の拡散過程を上記無次元量で表現することにより, 散水塊の挙動を普遍的に記述することができる. 詳細は講演時に述べる.

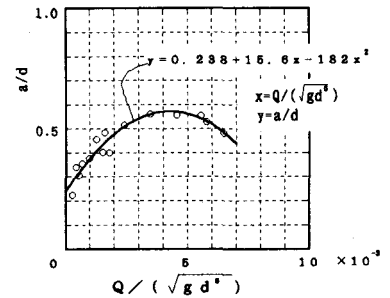


図-4 式(1)より求めた a, Q, d の関係と回帰曲線

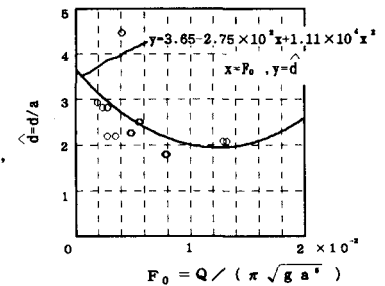


図-5 F_0 と $\hat{d}$ の関係

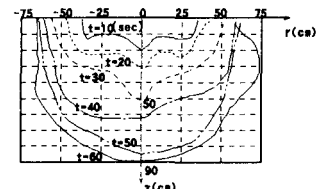


図-6 塩水塊の拡散過程 $R_{i0}=1905.83$

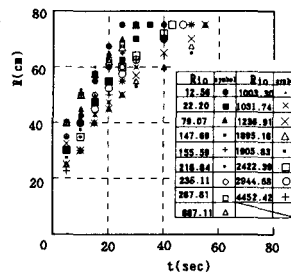


図-7 水面での塩水塊の拡がり

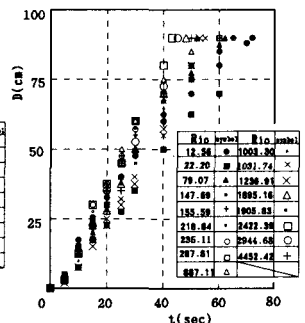


図-8 塩水塊の鉛直方向への拡がり