

神戸大学工学部

正員

松梨 俊三郎

〇 同上

正員

藤 信明

宝塚市

正員

渡辺 忠

1. まえがき 現在、環境水域保全のために排水の総量規制が法的に実施されるようになっている。この場合、重要なことは規制レベルとどのように設定するかである。本研究はそれに関わる基礎的研究であり、第1は開水路流水の流線中央に固定連続光源を設定し、下流の濃度分布と実測して、理論式との対応から三方向の拡散係数を求める。第2は開水路の片側壁に水深方向の標線を与え、下流の濃度分布と実測して、基礎式の数値解による検討を試みる。

2. 実験装置 実験水路(幅51cm, 深さ60cm, 長さ17m)の長方形断面水路を勾配1/1000に設置し、図-1のようなL字ガラス管($\phi=7\text{mm}$)を流線中央に設置し、濃度0.4%の食塩水と一定流量で放流した。濃度測定には導電率計(MK-106, 計測技術K.K.)を用い、測点は、 $x=5, 10, 15, 20, 25, 30\text{cm}$ の各断面内で、 $(y, z)=(0 \pm i\Delta y, 0)$ および $(y, z)=(0, 0 \pm j\Delta z)$ とした。ここに、 $i=j=0, 1, 2, 3, \dots, \Delta y=\Delta z=0.5\text{cm}$ 、また水と塩水の濃度差によって各断面濃度分布のピークの位置が若干下降する。 α はその下降量である。表-1の第1列は本実験における水理量であり、図-2および図-3はそれぞれy方向およびz方向の濃度分布を示す。拡散の基礎式は、

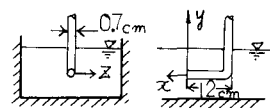


図-1

表-1

水理量	記号	第1列	第2列
流量 (cm^3/s)	Q	20531	5060
水温 ($^{\circ}\text{C}$)	T	6.2	16.5
平均水深 (cm)	h	20.0	13.7
平均流速 (cm/s)	$\bar{U}$	21.0	5.6
Reynolds 数	Re	15414	1032
Froude 数	Fr	0.19	0.05
塩水流速 (cm^3/s)	Q_m	7.90	62.5
塩水濃度 (%)	C*	4.0	2.0
噴出速度 (cm/s)	W_0	20.0	22.0

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial C}{\partial x} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad \text{----- (1)}$$

$Y=y(D_x/D_y)^{1/2}$, $Z=z(D_x/D_z)^{1/2}$ とおくと、式(1)の右辺は $D_x(\partial^2 C/\partial x^2 + \partial^2 C/\partial Y^2 + \partial^2 C/\partial Z^2)$ となり、これの定常解は

$$C(x, y, z) =$$

$$\frac{\dot{M}}{4\pi D_x (x^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}} \exp\left[-\frac{\pi}{2D_x} \{(x^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2} x\}\right] \quad \text{--- (2)}$$

となる。ここに $\dot{M}$ は単位時間当たりの放流食塩質量 (g/sec) であり、 $y=z=0$, $z=0$, および $y=0$ の場合の解はそれぞれ、

$$C(x, 0, 0) = \frac{\dot{M}}{4\pi D_x x} \quad \text{--- (3)}, \quad C(x, y, 0) =$$

$$\frac{\dot{M}}{4\pi D_x (x^2 + Y^2)^{1/2}} \exp\left[-\frac{\pi}{2D_x} \{(x^2 + Y^2)^{1/2} x\}\right] \quad \text{--- (4)}, \quad C(x, 0, z) = \frac{\dot{M}}{4\pi D_x (x^2 + Z^2)^{1/2}} \exp\left[-\frac{\pi}{2D_x} \{(x^2 + Z^2)^{1/2} x\}\right] \quad \text{--- (5)}$$

となる。まず式(3)と実験データとの対比により、 $D_x = 0.446 \text{ cm}^2/\text{sec}$ と求めた。これを式(4), (5)に代入すると、これはそれぞれ $C(x, y, 0) = f(D_y)$, および $C(x, 0, z) = \phi(D_z)$ となる。610のデータに基づき、それぞれから D_y , D_z を求め、平均して、

$$\left. \begin{aligned} D_y &= 0.728 \text{ cm}^2/\text{sec} \\ D_z &= 0.697 \text{ cm}^2/\text{sec} \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (6)}$$

と求めた。なお図-4のように分散曲線より求めると、

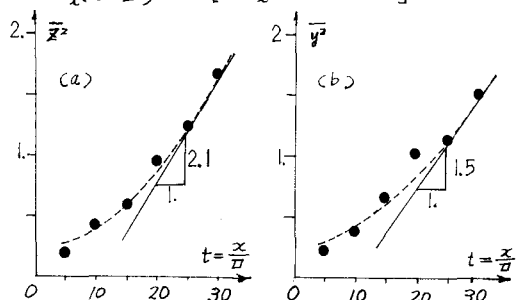
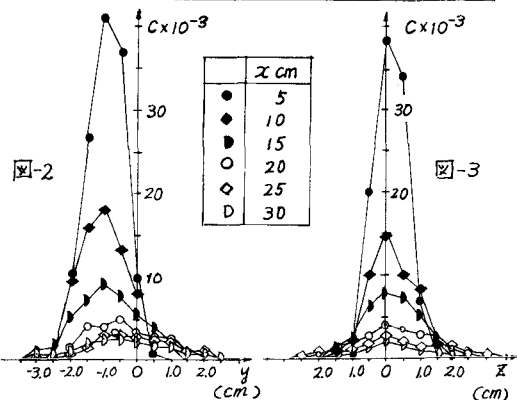


図-4

$$\left. \begin{aligned} D_y &= 0.75 \text{ cm}^2/\text{sec} \\ D_z &= 1.05 \text{ cm}^2/\text{sec} \end{aligned} \right\} \text{----- (7)}$$

3. 線源実験 図-5に示すように、水路の側壁に長方形のスリット(72mm×2mm)を設け、濃度0.2%の食塩水を一定流量で放流した。座標を図のように設定し、濃度の測定は $y=7, 10, 12 \text{ cm}$ の三水平面のそれぞれについて、 $x=i\Delta x$ ($i=0, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 11, 15, \Delta x=5 \text{ cm}$)、 $z=k\Delta z$ ($k=0, 1, 2, 3, \dots, 10, \Delta z=5 \text{ cm}$)の各格点とした。表-1の第2列は本実験における水理量である。三次元拡散と目標にしてゐるが、二二は一応水路方向に平均して現象の概要と把握するにとした。図-6は各格点(x, z)における y 方向に測定した濃度測定値の平均値を用いた場合の等濃度分布図である。この場合、表-1に示すように、 x 方向の平均流速 $U=5.6 \text{ cm/sec}$ 、放流塩水の出口流速 $W_0=22.0 \text{ cm/sec}$ である。したがつて、この場合の拡散の基礎式は

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + W \frac{\partial C}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \text{----- (8)}$$

一方、 $D_x=5.86hU_x$ 、 $\langle D_x \rangle = 0.068hU_x$ である。前節、実験結果からえられた $D_x=0.446 \text{ cm}^2/\text{s}$ と便重上 $\langle D_x \rangle = D_x$ とすると、 $U_x=0.479 \text{ cm/s}$ あり、 $D_x=38.0 \text{ cm}^2/\text{sec}$ となる。なお、 $D_{xz}=300\%$ とした。

数値計算はA・D・I差分法を用いた。この手法は

2段階差分法で、 $T_1=k\Delta t$ の解が既知であり、 $T_{1+1/2}=(k+1/2)\Delta t$ 後の解は、 C_{ij}^k を中心とする差分式、

$$\frac{2}{\Delta t} (C_{ij}^{k+1/2} - C_{ij}^k) + \frac{U}{\Delta x} (C_{i+1,j}^{k+1/2} - C_{i,j}^{k+1/2}) + \frac{W}{\Delta z} (C_{i,j+1}^k - C_{i,j}^k) = \frac{D_x}{(\Delta x)^2} \{ C_{i+1,j}^{k+1/2} - 2C_{i,j}^{k+1/2} + C_{i-1,j}^{k+1/2} \} + \frac{D_z}{(\Delta z)^2} \{ C_{i,j+1}^k - 2C_{i,j}^k + C_{i,j-1}^k \} \text{----- (9)}$$

と与えられた境界条件によつて計算する。つぎに、 $T_2=(k+1)\Delta t$

後の解は、 C_{ij}^{k+1} を中心とする差分式、

$$\frac{2}{\Delta t} (C_{ij}^{k+1} - C_{ij}^{k+1/2}) + \frac{U}{\Delta x} (C_{i+1,j}^{k+1/2} - C_{i,j}^{k+1/2}) + \frac{W}{\Delta z} (C_{i,j+1}^{k+1} - C_{i,j}^{k+1}) = \frac{D_x}{(\Delta x)^2} \{ C_{i+1,j}^{k+1/2} - 2C_{i,j}^{k+1/2} + C_{i-1,j}^{k+1/2} \} + \frac{D_z}{(\Delta z)^2} \{ C_{i,j+1}^{k+1} - 2C_{i,j}^{k+1} + C_{i,j-1}^{k+1} \} \text{----- (10)}$$

により、同じ境界条件で計算するわけである。 $\Delta x = \Delta y = 5 \text{ cm}$ 、 $\Delta t = 0.1 \text{ 秒}$ とした。図-7は計算領域と境界条件を示す。すなわち

$$\left. \begin{aligned} (\partial C / \partial z)_{z=0} &= (\partial C / \partial z)_{z=51} = 0 \\ (C)_{z=-30} &= 0, (\partial C / \partial x)_{x=200} = 0 \end{aligned} \right\} \text{----- (11)}$$

なお、放流渠における濃度は $C_0 = Q_m C^* / U_0 h$ と

した。二二に、 $U_0 = (U^2 + W_0^2)^{1/2} = \text{const.}$ 流況の場合について、一応二二は主流の流速 $U = \text{const.}$ とスリットによる噴流の流速 W とを適当と考慮して解析的に合成した。 W は次式で与えられる¹⁾

$$\frac{W}{W_0} = \left[\frac{1}{m/\pi} \frac{B_0}{z} \right]^{1/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2m^2} \frac{x^2}{z^2} \right\} \text{----- (12)}$$

二二に、 $m=0.109$ 、 B_0 は出口幅とする。図-8は計算結果で、図-6の実験結果とよく対応している。

本研究は川崎重工業K.K.の西川敬三氏の協力と得た。二二に記して謝意とする。

参考文献 1) R.L. Wiegel "Oceanographical Engineering", 1964.

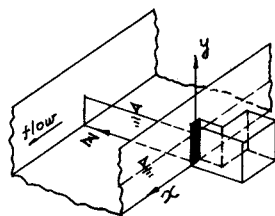


図-5

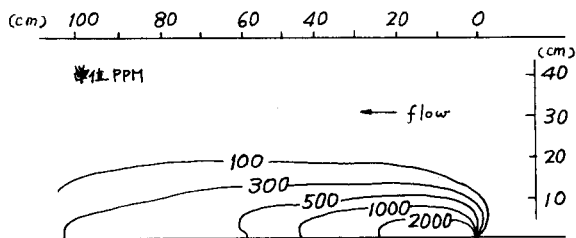


図-6

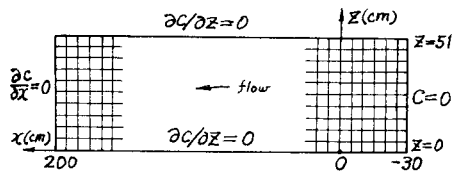


図-7

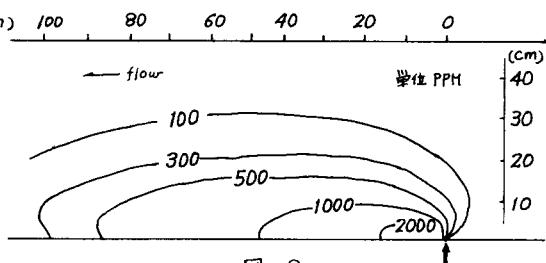


図-8