

## II-53 密度差をともなう横拡散に関する実験

京都大学大学院 正員 八束正司夫

### 1. まえがき

河川への廃水は、河川の流水とは少し違った密度を有している。流入水の密度が流水のそれより小さい場合には、産業工業や火力発電所からの冷却廃水や河口への家庭や産業からの廃水である。流水の密度より大きい場合には、河川への高濃度物質を含んだ流入水、又は浮遊物質を含んだ流入水である。

この研究では、実験水路でトレーサーを用いて密度差の横方向への混合に対する影響を調べた。密度が同じ場合の横方向の混合は、乱流拡散で、密度差がある場合は横方向の密度勾配によって生じる静水圧の不均衡に起因する二次流によって混合が促進されることを実験で明らかにした。

### 2. 実験装置及び方法

水路として長と40m、幅1.10m、深さ61cmの底面ステンレス製の一部区間両面ガラス残りの水路を用いた。トレーサーの密度は、塩分濃度によって変化させ、トレーサー密度が流水のそれと同じかあるいは、小さいものは、メタノールを加えて軽くした。水路中心線上にトレーサー-source幅 $b=1.0\text{cm}$ を作り、そこでトレーサーが幅 $1.0\text{cm}$ 水深 $d$ の断面にわたって均一になるようにした。Sampling装置としてSuction型を用い、1断面40測点、すなわち1深さ方向5測点、横断方向8測点を同時にはかることができる。塩分濃度は電気抵抗ではかった。座標系はトレーサー-source中心底面上を原点ととり、下流方向にX軸、鉛直上向きにY軸、横方向にZ軸をとった。

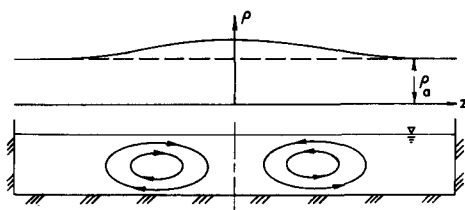


図1. 密度差による二次流

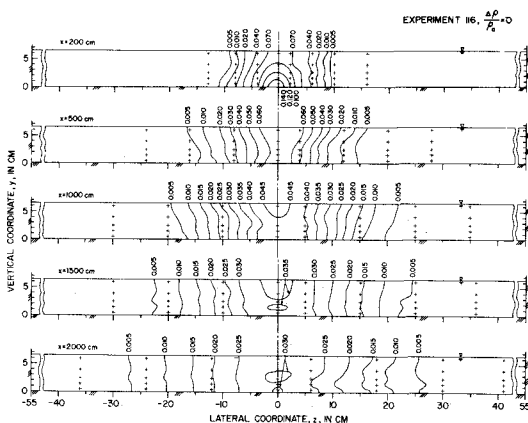


図2. 等相対濃度線  $b=1.0\text{cm}$

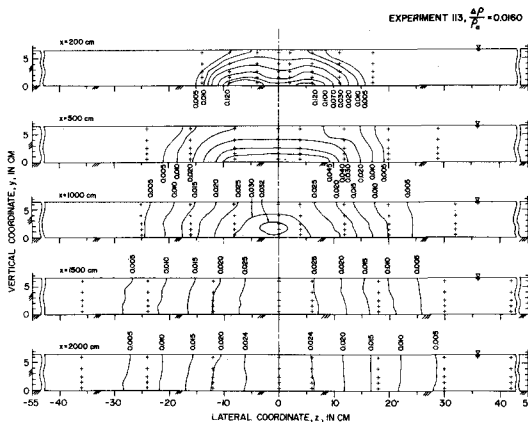


図3. 等相対濃度線  $b=1.0\text{cm}$

### 3. 実験結果及び考察

相対濃度  $C = \frac{C - C_a}{C_e - C_a}$  ここで  $C, C_a, C_e$  は各々 Sample, 流水及びトレーサの Mixing タンク中の塩分みかけ濃度である。  $\bar{C}$  は深さ方向に平均化した  $C$  を表わす。 $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_a$  で定義し,  $\rho_1$  はトレーサ source での密度,  $\rho_a$  は流水のそれである。

図 2.3 に同一水理条件—水深  $d = 6.55$  cm, 平均流速  $\bar{U} = 45.2$  cm/sec, マサリ速度  $U_{ms} = 2.27$  cm/sec—での下流断面での等相対濃度線を示している。これを比較してみると  $\frac{\Delta\rho}{\rho_a} = 0$  の場合は, 混合はまったく乱流拡散のみにより, 一方  $\frac{\Delta\rho}{\rho_a} = 0.0160$  のとき, ピーク濃度は減少し, 横方向への混合は, 図 1 に示すような密度差によって生ずる二次流によって促進されることかわかる。

図 4 に  $\frac{\Delta\rho}{\rho_a} = 0.0160$  の場合の  $\bar{C}$  と  $x$  の関係を示した。実線は実験データから得たもので 点線はその実線と同じ分散  $\sigma(x)$ , 重心及び面積を用いてつくったガウス曲線である。これよりトレーサ source の近くでは, ガウス分布とかけはなれているが下流ではガウス分布でかなり正確に推定できる。それゆえこのあたりでは密度差の影響はなくなり乱流拡散のみで Mixing が生じていることがわかる。

図 5(a) から  $\frac{\Delta\rho}{\rho_a} = 0$  のとき  $x$  と  $\sigma^2(x)$  の関係は linear であり,  $\frac{\Delta\rho}{\rho_a}$  が 0 のとき  $\sigma(x)$  は小さな  $x$  の値に対して non-linear である。これらから  $\sigma(x)$  の変化は  $\frac{\Delta\rho}{\rho_a} \neq 0$  によって生じる二次流の影響と考える。又大きな  $x$  の値に対して  $\sigma(x)$  の曲線は  $\frac{\Delta\rho}{\rho_a} = 0$  で得られた直線と平行となる。ある  $x$  の値に対して  $\frac{\Delta\rho}{\rho_a} = 0$  と  $\frac{\Delta\rho}{\rho_a}$  が 0 の分散の差  $\Delta\sigma(x)$  は  $\frac{\Delta\rho}{\rho_a}$  が大きくなるほど増加する傾向があり, 次元解析よりも  $\Delta\sigma(x)$  は, それに対応する  $|\frac{\Delta\rho}{\rho_a}|$  の大きさに関係することかわかった。図 5(b) に平均変動係数  $\bar{C}_v(x)$  と  $x$  の関係を示す。これよりも, トレーサ source の近くでは密度差による二次流の影響が強く表われることかわかる。ここで  $C_v(x,z) = \frac{\frac{1}{2} \int_0^d [C(x,y,z) - \bar{C}(x,z)]^2 dy}{\bar{C}(x,z)}$ ,  $C_v(x) = \frac{\int \bar{C}(x,z) C_v(x,z) dz}{\int \bar{C}(x,z) dz}$

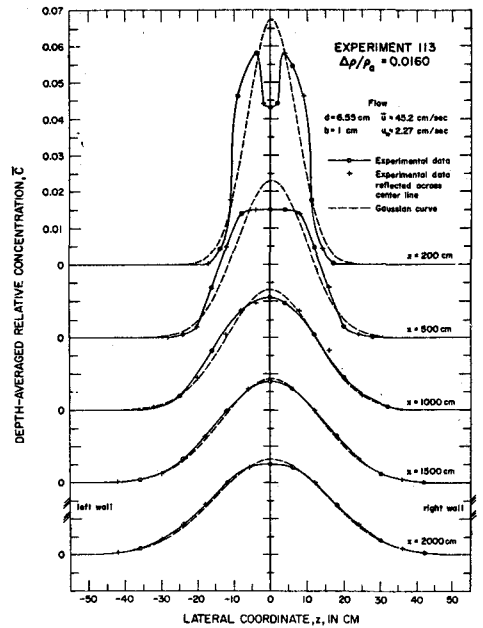


図 4. 濃度分布

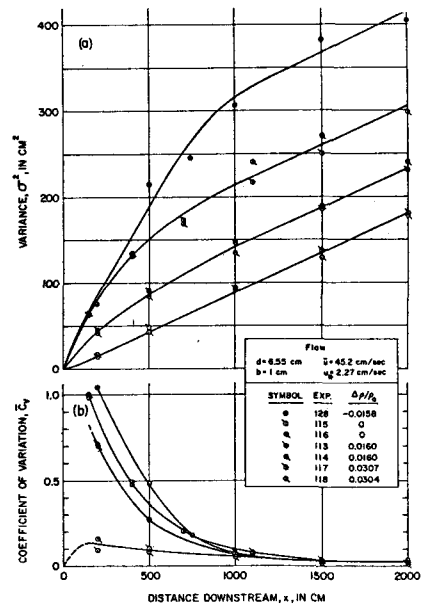


図 5(a).  $\sigma(x)$  と  $x$  の関係

(b).  $\bar{C}_v(x)$  と  $x$  の関係