

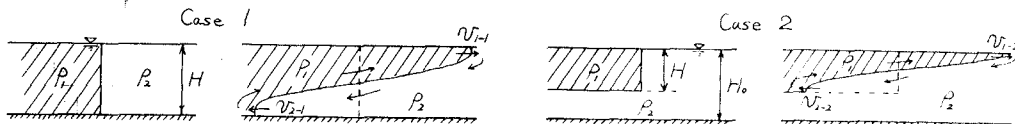
II-131 表層密度流による汚染物の輸送に関する研究

京都大学工学部 正員 岩井重久 井上頼輝 ○奇島泰
大阪工業大学工学部 学生員 高橋史雄

受容密度と比較して低密度の液体が放出される場合、初期混合が不完全であれば内部応力の差により、表層密度流が形成される。これは等長層流線、境界面を以て、内部境界に基づく速度との場合に生じる規模を減じやすく、我々はこれを非定常表層密度流に因り、特に次に述べるような初期、境界条件を有する場合について検討を行な、そので報告する。

Case 1 初期に全水深 H にあり左右に隔てられる場合の非定常表層流。

Case 2 初期に深さ H ($<$ 全水深) の部分のみに左右に隔てられる場合の非定常表層流。



Case 3 初期に半径 R 、深さ H の体積を有する低密度流体の形成する表層流。

先端流速 1~3 の場合における任意時刻における境界面形状、流速等を運動、連続方程式に基づいて解析する事は、内部応力が時間的、位置的に変化するため、内と外と不可能である。しかし境界面先端の速度について円半径を仮定、半理論的な取扱が可能である。1, 2 の場合については、予備実験の結果、上下部の先端流速は運動開始後短時間内に一定速度に達すること確かめられ、上下部の流動に関連する水深、密度差等を考慮して次元解析すると、上下部の先端流速 v_1, v_2 はそれぞれ

$$v_1 = k_1 \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} g H} \quad \dots (1) \quad v_2 = k_2 \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} g H} \quad \dots (2)$$

(1), (2) 式の右に表わされる。ここに k は次元無数であり、Poggi に依るとこの、境界面に因る、フルード数と同様な意義を有するものと思われ。 (1), (2) 式は、上下部の運動エネルギー源となる密度差に基づく最大の部圧 $(\rho_2 - \rho_1) g H$ と、最大流速やの運動量 $\rho_1 v_1^2, \rho_2 v_2^2$ の間に比例関係を設定すれば、同様に示す。

3 の場合については、cloud の半径が r 、おとび $r + dr$ の場合の先端速度を $v_r, v_r + dv_r$ とし、厚さ変化を無視、 $dr dv_r$ は微小量として近似的に無視すると (3) 式が成立し、これを (4) 式の関

$$r dv_r + v_r dr = 0 \quad \dots (3) \quad v_r \cdot r = C \quad \dots (4) \quad C = k \left\{ R^2 H \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \right) g \right\}^{1/2} \quad \dots (5)$$

係が得られる。 C は L/T なる次元を有するが、この表層流の運動に関連する浮力等の外力を考慮して次元的に解析すると (5) 式のように表わされ、これが先端速度 v_r は (6) 式で示される。ここに k は無

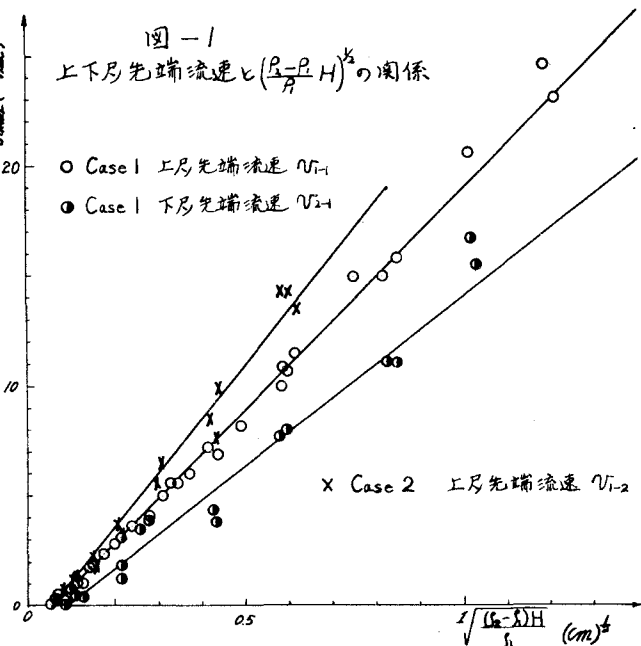
$$v_r = k \left\{ R^2 H \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \right) g \right\}^{1/2} r^{-1} \quad \dots (6) \quad r = C' t^{1/2} = k' \left\{ R^2 H \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \right) g \right\}^{1/4} t^{1/2} \quad \dots (7)$$

次元無数である。液体域の大きさは、 $v_r \cdot r = dr dt \cdot r = C$ (4) 式の関係より求められ (7) 式で示される。

実験結果と考察 Case 1, 2 については、巾 5cm、深さ 30cm、長さ 1m の水路を用い、 $\rho_2 - \rho_1 / \rho_1 = 0.001 \sim 0.137$ の間 8 段階、水深は 1 の場合 $H = 2.5, 5, 10, 15$ cm、2 の場合低密度流体の厚さ

$H = 1.25, 2.5, 5, 10 \text{ cm}$ で、この板の下部にある高密度流体の厚さは一律 5 cm とし、厚さ、密度差の各組合せに対して実験を行なう。密度差は食塩水で調整、低密度流体はラニンで着色し、2 流体の初期における分離は中実の仕切り板で行なう。各実験における上下両先端速度と $(\rho_2 - \rho_1)g \cdot H^{1/2}$ の関係を図-1 に示すが、Case 1, 2、いづれの場合もかなり直線的性が認められる。グラフの勾配を (1), (2) 式と見ると比例定数は定数と見られると、Case 1 における上層流、下層流、Case 2 における上層流に対してそれぞれ $0.66, 0.50, 0.80$ となる。また Y_{10} は、Case 1 の下層流に対して $k = 0.45$ 程度と推定されている。下層流の場合先端速度を (2) 式で表わせば $k = 0.63$ となり上層流先端速度も (1) 式で表わした場合の k と近い値となる。

図-1
 上下両先端流速と $(\rho_2 - \rho_1)g \cdot H^{1/2}$ の関係



Case 3 については、直径 1 m 、深さ 20 cm の円形水槽を用い、 $\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} = 0.0035 \sim 0.071$ 、半径 $R = 2.1 \text{ cm}$ 、水深 $H = 4.5, 9.5 \text{ cm}$ の各組合せに対して実験を行なう。上部を顕微鏡で先端境界面の拡大と時間平均根値との関係を $H = 9.5 \text{ cm}$ の場合について図示すると図-2 のようになる。かなり良い直線関係が得られる。 $H = 4.5, 9.5 \text{ cm}$ いづれの場合でも、密度差が小さい場合ほど、 k が大となる傾向がある。しかし、これらの値が小さく V_{10} は極めて小さくされており、実際的な問題では、溶剤拡散による輸送が支配的な過程に入っているであろうから、実際上の問題となるような V_{10} の範囲では (1) 式の関係が成立するものと考えられる。(1) 式と見ると

図-2
 流体半径と時間平均根の関係

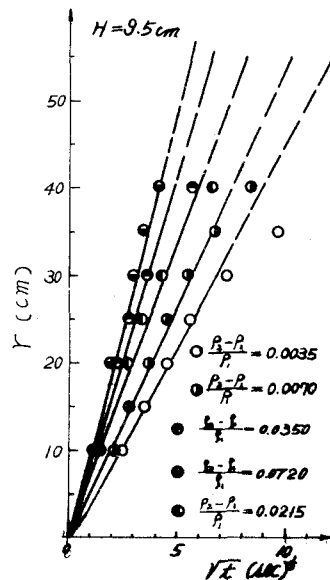
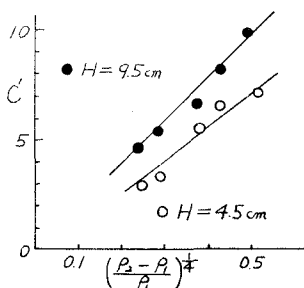


図-3
 C' と $(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1})^{1/4}$ の関係



考えられる。(1) 式と見ると

$$C' = k \left\{ R^2 H \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \right) g \right\}^{1/4}$$

したがって関係を整理すると、 C' と $(\rho_2 - \rho_1)^{1/4}$ の関係を図示すると図-3

のように $H = 4.5, 9.5 \text{ cm}$ いづれの場合も良好な直線関係がみられ $C' \propto (\rho_2 - \rho_1)^{1/4}$ となる。

C' と $(R^2 H)^{1/4}$ の関係、 k は無次元定数 k' の値について同様に変換する必要がある。

文献 1) H. Rouse, Engineering Hydraulics (1949), p. 764