

成層密度流の界面連行に関する実験的研究 (第2報)

大阪大学工学部 正 員 室田 明
 大阪大学工学部 正 員 〇平田健正
 電源開発株式会社 正 員 沢田 隆

1. はじめに：成層化した密度場には発生する内部波は乱流拡散機構のみによるよりも、より多くの鉛直方向拡散を生ぜしめ、さらに内部波自身の挙動も付加されるため、界面連行機構を益々複雑化している。そこで本研究ではまず内部波の統計的性質を明らかにし、次に内部波による下層塩水の希釈効果に着目し、連行量を界面下の水理量、特に濃度勾配で整理し界面連行機構に接近する。

2. 実験装置と方法：実験に用いた水路は長さ10m、幅0.1m、高さ0.2mの側壁透明の塩化ビニル製である。上層流動、下層静止とし、塩水深の減少を防ぐため実験中適宜水路下流端より塩水の補給を行った。鉛直方向濃度分布はレーザスキャナ濃度計を、内部波形はサーボ式水位計、流速分布は水素気泡法を用いて計測した。また界面の変動流速は内径1mm、外径2mmのピトー管を、濃度変動はレーザビームを界面に固定して求めた。本実験は密度差 $\varepsilon = .0208 \sim .0268$ の6ケース、内部フルード数 $F_i = .40 \sim .60$ の範囲で行った。

3. 実験結果と解析

3.1 界面の変動量特性：図-1は界面近傍の変動流速、濃度および内部波形のスペクトルである。いずれもデータ数 $N=1000$ 、サンプリング間隔 $\Delta t = 1/2.5$ 秒、最大log数 $m=100$ で、B-T法で計算された。流速変動と内部波のスペクトルには大きな違いは認められない。ピーク周波数や減衰の勾配などはほぼ同じであり、いずれもbi-modalとなっている。一般に α_1 のピークは $0.2 \sim 0.3 \text{ Hz}$ 程度に現われる。これは波長が3¹⁾~5cmのinternal capillary waveに対応する。この α_1 のピークの後、急激な減少が起り、エネルギーレベルは少なくとも1オーダーは小さくなる。 α_2 のピークは $0.8 \sim 2 \text{ Hz}$ 付近に発生し、internal ripple²⁾に対応するものである。特に注目すべきは $0.8 \sim 2 \text{ Hz}$ のband幅での形状であり、この領域ではスペクトルの勾配が小さくなり、この周波数成分の卓越を示している。 α_2 のピークより高周波側には-5乗の平衡領域が存在し、Phillipsの海洋波の砕波に対応し、このrippleの砕波が直接上層への連行に寄与するものと考えられる。濃度変動についてはレーザビームを界面より若干上層に固定しているため、界面からの同方向的なcloudを抱えている。事実1Hz前後で卓越が見られ、内部波スペクトルと卓越周波数が一致しており非常に興味深い。

3.2 連行量について：図-2はレーザスキャナ濃度計より

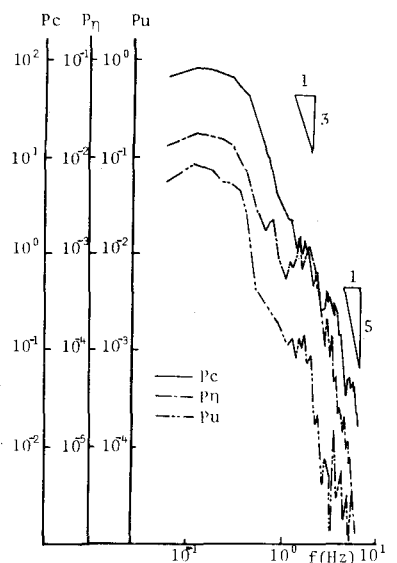


図-1 変動量スペクトル

得られた界面付近の濃度分布の典型的な例である。図-2-aとbの間には界面下の濃度勾配に顕著な差違が見られる。筆者らはcapillary waveの谷での砕波による下層塩水の希釈が界面連行の誘因になることを発表している¹⁾が、a図はその希釈効果が始まったばかりの状態であり濃度勾配も非常に大きい。b図の場合は塩水層の希釈が進み、濃度勾配もなめらかとなり、上層への連行量もかなり多いものである。図-3に連行量 g_e (単位時間に単位面積を鉛直方向に通過する塩水の質量)と界面下の濃度勾配 $d\bar{c}/dz$ の関係を示す。(なお、 $d\bar{c}/dz$ は図-2に併記した破線の勾配とした。)図からわかるように $d\bar{c}/dz > 50$ の範囲では g_e は $d\bar{c}/dz$ にほぼ比例して増加するが、 $d\bar{c}/dz < 50$ では、むしろその逆の傾向が存在する。このことは前報²⁾にも報告したが、連行量が 2×10^3 (gr/cm sec)を境にして連行機構そのものが異なるものと考えられる。そこでrippleの砕波による拡散効果に着目し、(1)式に示すフィック型の拡散モデルを設定する。

$$g_e = -\sqrt{w'^2} \cdot l \cdot d\bar{c}/dz \quad (1)$$

ここに w' : Z方向の乱れ速度、 l : 混合長。また w', l は(2)式に示す量に比例するものとする。

$$w' \propto \frac{D\eta}{Dt} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} \approx \frac{\partial \eta}{\partial t}, \quad l \propto L_0 = \left[\int z^2 \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} dz / \int \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} dz \right]^{1/2} \quad (2)$$

ここに η : 界面変位、積分の範囲は無流面から自由表面までである。さらに(1)式、(2)式より次式が得られる。

$$g_e \propto g' = -\sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial t}\right)^2} \cdot l_0 \cdot d\bar{c}/dz \quad (3)$$

g' は g_e に比例する量である。以上のようにして(1)式の関係を検証したのが図-4であり $g_e \sim g'$ をプロットしている。図-3から予想されたことであるが $g_e < 2 \times 10^3$ の範囲では図中の実線が示すようにフィック型モデルの適用の妥当性が示されているが、 $g_e > 2 \times 10^3$ ではデータのばらつきもあり明瞭な関係は見出せない。図-5は g_e と界面変動の標準偏差 σ_η の関係を示している。 $g_e < 2 \times 10^3$ では σ_η に伴い g_e は増加するが、 $g_e > 2 \times 10^3$ では逆に g_e の増加に伴い σ_η が減少する。筆者らは内部波のrégime毎に連行量を整理することを提唱したが以上の結果から少なくとも $g_e < 2 \times 10^3$ の領域では

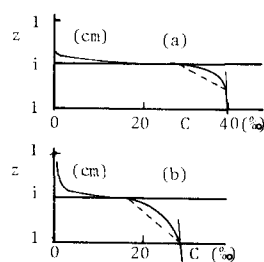


図-2 濃度分布

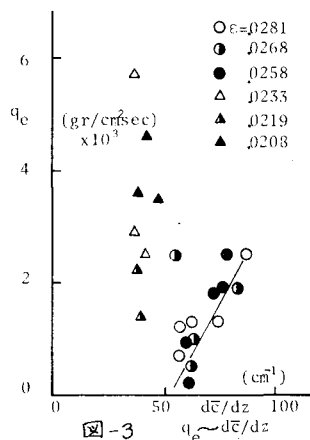


図-3

rippleの砕波による拡散効果が支配的と考えられる。

参考文献

- 1) 室田・平田・道興: 昭和52年 関西支部年講
- 2) 室田・平田・大田: 第31回 年講 全例大会

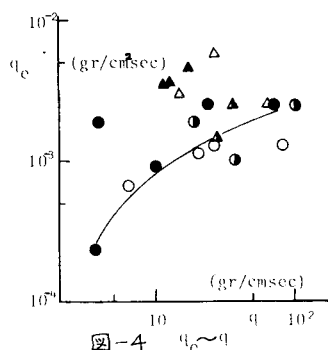


図-4

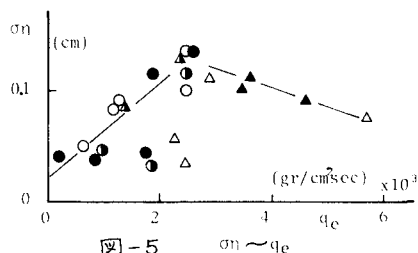


図-5