

成層界面における混合機構について

大阪大学工学部 正員 室田 明
大阪大学工学部 正員 平田 健正

1: はじめに; 成層界面での混合機構について, 著者らは界面不安定理論に基づく内部波発生機構とは別の手法で, 計測機器の開発も兼ね, 実験的に研究を進めてきた。¹⁾特に, シュリーレン装置を用いた界面近傍の可視化実験により, 界面下に混合層が発達すること, および, 密度界面における混合は internal ripple の砕波に起因することが判明しており, この小規模な内部波の発生・発達が発混合量に大きく反映することは明白である。そこで, 本研究は internal ripple が発生した際, 1 個の internal ripple が混合量に寄与する割合つまり, 混合の発生原単位とも言うべき水理量に着目し, 成層密度流れでの混合量の算定を試みた。

2. 実験および解析: 実験方法は, 昨年度関西支部年講²⁾と同様である。今回は, シュリーレン像を 16mm シネフィルムに記録し, フィルムモーションアナライザーで解析を行なった。

2.1. 内部波の発達: 写真-1(a),(b),(c) はシュリーレン像の一例であり, 中央の白い band は界面, 上・下層中の黒い部分は密度が急激に変化する領域, つまり混合状態を示している。写真-1(a) は i.c. 波 (internal capillary wave) の trough の砕波により, 重い流体の塩水側に封入された淡水塊が, 界面下の流速分布のために引伸ばされる状態を表わし, 界面下に混合層が発達していく過程が理解できる。cusping ripple および bursting ripple は, それぞれ写真-1(b),(c) に示しているが, いずれも, crest 付近で砕け, その塩水塊が流下方向に巻き込まれていく様子が見える。特に, 写真-1(b),(c) において, 界面下の無流面近くには一種の波動が観測されるが, 本実験の範囲では, 発達することではなく安定であった。また, 混合層内については目視的にも観測される内部重力波が通過しない限り, シュリーレン写真にも見られる通り, 大規模な渦構造をもつことはなかった。

つぎに, internal ripple (以下 i.r. 波と省略) が, 密度界面での混合の本質である故に, i.r. 波の発達が, 界面での混合量を規定するものと考えられる。そこで, 映画画面上の基線を通過する i.r. 波の個数に着目し, 4 丹念に実測した。図-1 はレイノルズ数 $Re (=U_1 h_1 / \nu)$, U_1 : 上層の平均流速, h_1 : 上層水深) の相違による

0.25 秒単位での i.r. 波の通

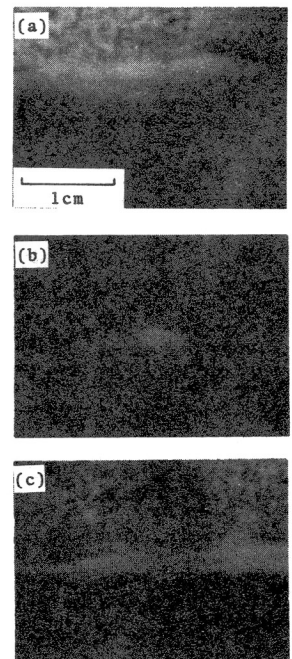


写真-1 シュリーレン写真

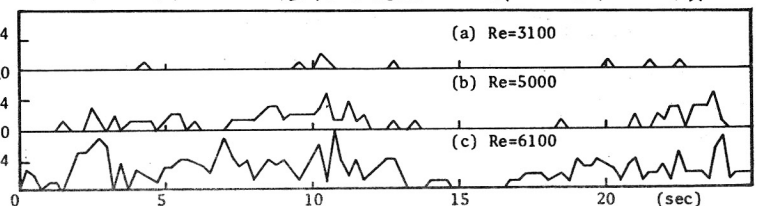


図-1 i.r. 波の通過個数

過個数の時間変化を示す。 $Re=3100$ 程度ではi.c.波は水路全域ではなく局所的に存在しており、cusping ripple が間歇的に通過する。 Re 数の増加に伴ないi.r.波の通過個数に卓越した周期成分が現われ、徐々にbursting ripple の支配的な領域へと遷移する。つぎに、単位時間に通過するi.r.波の個数 n/T (T :計測時間, n : T 時間に通過する個数)と Re 数の関係を示せば図-2の様である。図中のシンボルは相対密度差 ε ($=(\rho_2-\rho_1)/\rho_1$, ρ_1, ρ_2 :上下層の密度)を表わす。密度差による差違は、あまり見られないが、 n/T は Re 数の増加に非常に敏感に応答し、 $Re=3000\sim 5000$ の間で1オーダー大きくなる。このi.r.波の発達過程は混合量 g_e と上層平均流速 U_1 との関係にも顕著に現われている。¹⁾

2.2 混合量について；可視化実験において強い乱流拡散は観測されていない事実から、i.r.波の発生頻度を捉えれば、混合量の算定は可能となる。そこで、i.r.波の発生頻度を単位時間当りのi.r.波の通過個数で評価し、波形を三角形近似とする。さらに、波長 λ および波高 H を平均値で代表すると混合量 g_{ei} は

$$g_{ei} \propto \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot H_{50} \cdot L_{50} \cdot (n/T) \propto g_e \quad (1)$$

と表現できる。i.r.波の波速 Cr は U_1 と正の相関を持つことから

$$L_{50} = Cr \times T_{50} \propto U_1 \times T_{50}$$

ここに T_{50} はi.r.波の平均周期で、 $g_{ei}/\rho U_1$ で定義される連行係数 E_i は

$$E_i \propto \frac{1}{2} \cdot H_{50} \cdot T_{50} (n/T) \propto E \quad (2)$$

となる。ここに $E = g_e/\rho U_1$ である。つぎに、i.r.波が1個発生した時、i.r.波の全volumeのうち、混合量に寄与する割合、すなわち発生原単位 β を導入すると(2)式は次式となる。

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot H_{50} \cdot T_{50} \cdot (n/T) \propto E \quad (3)$$

砕波を伴うcusping rippleについてのみ、2次元的ではあるが、i.r.波のtotal volumeと混合しているmixing volumeを求めると図-3となる。ばらつきは示すものの、total volumeの増加に伴ないmixing volumeも増加の傾向を示す。図中の実線より平均的な発生原単位 β を求めると本実験の場合0.15となる。この $\beta=0.15$ を用いて(3)式より E_i を試算し、実測の E と図-4に比較している。 E_i は E より1オーダー大きい値を示すが、これは本来3次元的なi.r.波に対し、2次元的に求めた β を用いたためと考えられる。発生原単位 β については現在検討中である。

参考文献

- 1) 室田平田: 第22回水理講演会論文集
- 2) 道奥室田平田: 昭和52年関西年講

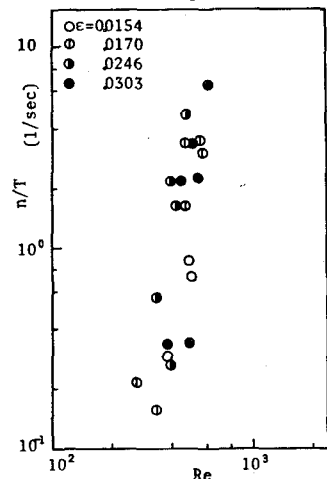


図-2 n/T と Re 数

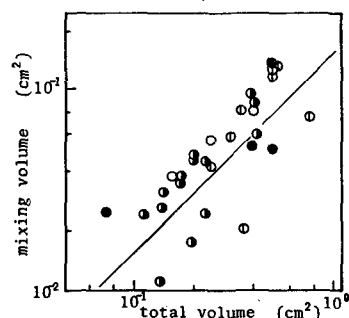


図-3 mixing volume と total volume

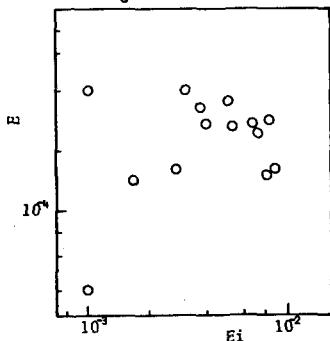


図-4 E と E_i