

成層流界面現象の三次元的特性

京都大学防災研究所 正員 村本嘉雄 正員 大久保賢治
運輸 省 正員 菅沼史典

1. はじめに

近年現地河口密度流との相似から、密度流現象の三次元性が注目されている。本研究は、水路幅・水深比の大きな交換密度流実験から主として可視化法を用いて、界面波ならびに流況の平面的特性をとらえ、これらが界面での混合過程に及ぼす影響について考察したものである。

2. 実験方法

水路は、全長4m、深さ25cm、幅70cmの塩ビ製で、中央に隔壁を設け、ロック長2mの交換密度流型実験が行なえる。界面の可視化はNaOHとフェニールフタレインによる発色反応を利用した。(写真3参照)
一方、流況は直径0.05mm、長さ約40cmの白金線を主流方向に直角に水平設置し水素気泡法で可視化した。

3. 実験結果と考察

1)

3-1 界面抵抗係数の推定 Abraham & Eysink は交換密度流のエネルギー的考察から、内部Froude数 $Fi=0.405$ について界面抵抗係数を推定しているが、これを北村が拡張した次式。

$$f_i = \{K_\lambda \cdot H/L - (1 + 2H/B)\lambda\} / 32, \quad K_\lambda = Fi/0.405$$

λ は壁面摩擦係数、 H は全水深、 L はロック長さ、 B は水路幅。を用いて計算したものを図1に示す。本実験では B/H が Keulegan, Barr の実験に比してほぼ10倍の値を持つが、これによる f_i の相違もほぼ上式で評価でき、 B/H が大なることで流れ場に何らかの組織性が生じて界面抵抗への影響は小さいことが予測される。ただし、今回の実験では必ずしも Reynolds 数が大きくないことに注意する必要がある。

3-2 界面波の横断スケール 本実験では平面写真から読取するために、写真3に示したような比較的波峰の明瞭な波を対象とし、その波峰長 λ_L を測定した。 λ_L の頻度分布例を図2に示す。ほぼ $\lambda_L = 2 \sim 3$ cm にピーク値をもつことがわかる。 $X \geq 80$ cm (X はフロントからの距離) では若干 λ_L の長い成分が増加しているが、こうした比較的長い波峰をもつ波も詳細に観察するとほぼ $2 \sim 3$ cm の小波峰長

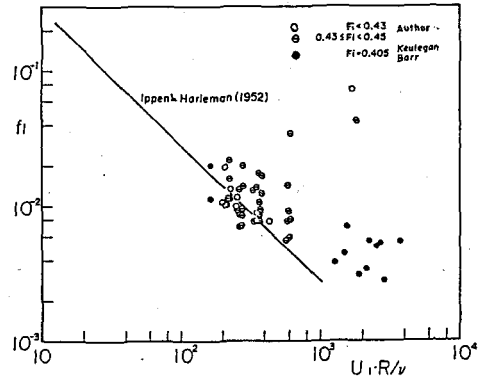


図-1 界面抵抗係数
(R は下層径深、 U_1 はフロント速度)

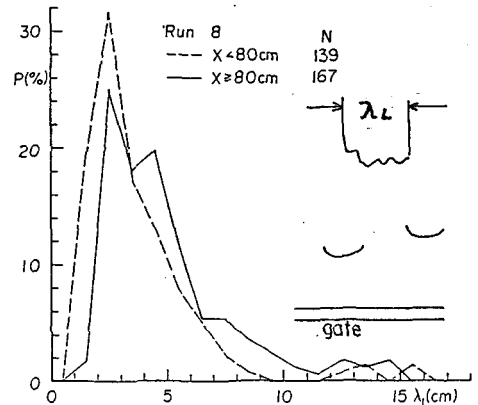


図-2 波峰長の定義と頻度分布 ($\Delta\rho/\rho = 0.010$, $H = 6$ cm)

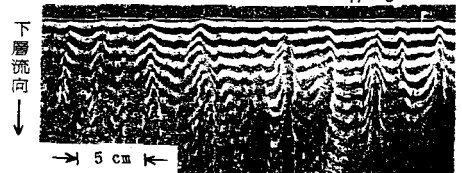


写真-1 下層流内流況 (底面上1cm)
($\Delta\rho/\rho = 0.010$, $H = 6$ cm)

Yoshio MURAMOTO Kenji OKUBO Fuminori SUGANUMA

の波が連続して構成されているのがわかる。

一方、写真1には図2と同様の条件下で下層流内流泥を水素気泡法で可視化した様子を示す。ここで見られる streak 間隔の頻度分布を図3に示す。図3は図2の界面波峰長の分布とよく似ており、界面波の横断スケールに対応しておりと考えられるが、実はこの streak は下層流フロント内の極めて乱れの強い領域で既に生じており、(写真2)、界面下 streak 間隔(従って界面波の横断スケールと考えられる)がフロント部分の渦塊のスケール(lobe と表現される³⁾)に強く依存していることが推定される。

このように界面波の横断スケールがフロント付近の乱れに強く影響されることは写真3からも類推できる。(a)と(b)とは、Keulegan 数 $\phi = (gU^2)/(\nu U)$ (U: フロント速度, g: 有効重力加速度) でみた界面安定度にはほとんど差がないが、波の横断方向スケールは、 V_Δ ($=\sqrt{gH}$) のより大きな(b)で小さい。従って密度差による乱れの抑制効果は不明であるが、 V_Δ の大きさとフロント乱れに相関があれば界面波の横断スケールのフロント乱れ強さへの依存が明確となろう。ただし、こうした横断スケールの相違で、Keulegan 数のみでは規定できない界面安定度の差が生じるかどうかは、この写真からは不明である。

3-3 界面現象と混合 写真4は下層流上の上層内流泥で、日野が示したものと類似の間欠的な乱れが生じている。この乱れが壁面境界層の bursting に類似のものかは不明であるが、界面での乱流構造と混合の関連を例えば Csanady が示したように有効粘性を用いた界面と壁面の相似性に基いて考察することも可能である。

4. あとがき

界面波の横断スケールは交換密度流ではフロントの乱れに影響されるが、界面安定性との係わりは不明であり、定常な塩水楔界面での混合現象と関連づけるには、三次元不安定の可能性も考慮し、横断スケールを制御できる実験も必要である。

- 1) Abraham & Eysink, J. Hyd. Res., 1971 4) Hino, 12th Congress, IAHR, 1967
2) 村本・大久保・北村、関西支部、1981 5) Csanady, J. Geophys. Res., 1978
3) Simpson, J.F.M., 1972 6) Yuen, WAVES ON FLUID INTERFACES, ed. Meyer, 1983

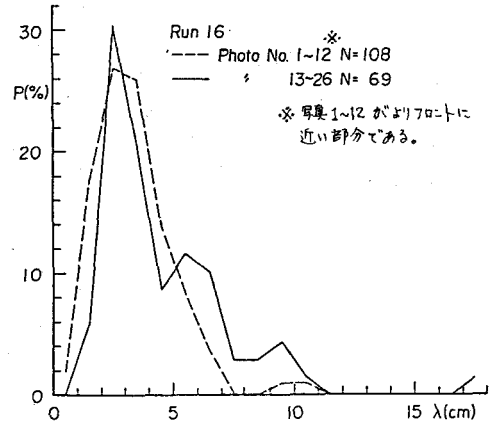


図-3 streak 間隔の頻度分布 (連続写真より)
(Run 8 と同条件) $\Delta\rho/\rho = 0.010$, $H = 6\text{ cm}$

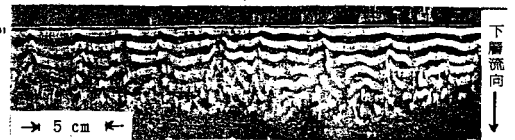


写真-2 下層流フロント内流況
($\Delta\rho/\rho = 0.010$, $H = 6\text{ cm}$)

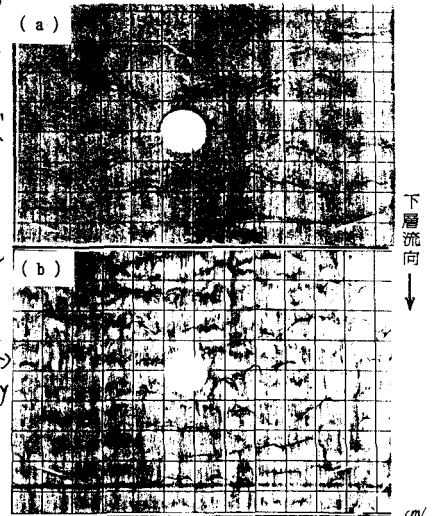


写真-3 (a) $\Delta\rho/\rho = 0.002$, $H = 6\text{ cm}$, $V_\Delta = 3.54\text{ cm/s}$
(b) $\Delta\rho/\rho = 0.010$, $H = 4\text{ cm}$, $V_\Delta = 6.28\text{ cm/s}$
(格子間隔は 5 cm)

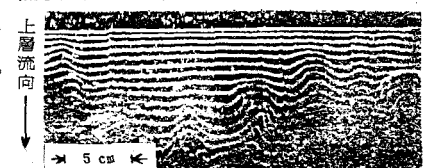


写真-4 上層流内流況 (底面上 5 cm)
($\Delta\rho/\rho = 0.010$, $H = 6\text{ cm}$)