

密度流界面波の三次元的特性

京都大学防災研究所 正員 村本嘉雄 正員 大久保賢治
 京都大学大学院 学生員 菅沼史典

1. はじめに 従来より河口密度流、特に塩水楔の界面現象は、鉛直2次元的研究が主であり、近年ようやく乱れの3次元性に視点をずらした界面現象の3次元的研究が見られるようになった。ここでは、特にアスペクト比の大きな水路実験をおこなない、界面波を対象とした可視化ならびに若干の計測結果から、その平面的な形態と挙動の特徴を考察した。

2. 実験方法 実験水路は全長8m、深さ25cm、幅100cmの塩ビ樹脂製で、側壁は透明としている。水路両端には導流堰を設け、貯水した塩水上に淡水を連続的に供給できる。今回実施した実験は、①交換型密度流実験、および②定常二層流実験の2種であるが、本論では可視化の不完全であった②には言及せず、①のみにについて述べることにする。①では、水路中央部に設けた隔壁の両側に

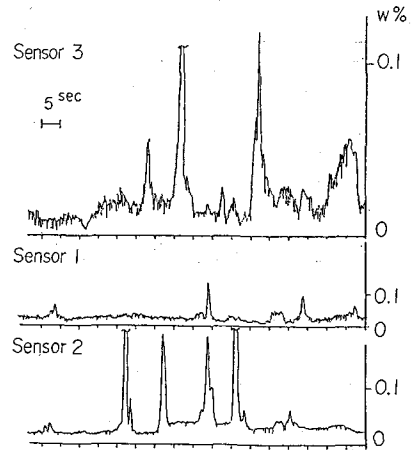


図-1 濃度変動時系列の例 ($\epsilon=0.010, H=8\text{cm}$)

塩淡水を貯水し、ロック長4mで実施した。実験条件は、密度差0.002~0.010、全水深4.6, 8cmとした。つぎに可視化と濃度計測について示す。可視化はNaOHと72-1-79ラインによる発色法を用いたが、この方法は定常二層流型実験では十分な成果が得られず、この点今後課題を残した。電導度測定的位置は、隔壁から下流(下層流)側150cmで、横断方向に10cm間隔で、3本のセンサを半水深位置に設置し、中央のセンサが水路中心線上にくるようにした。

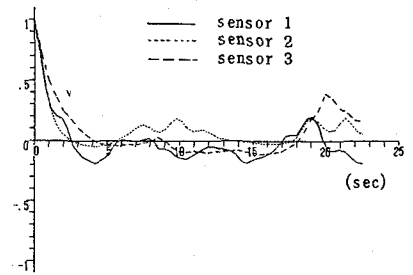


図-2 自己相関係数の例 (図-1 より)

3. 結果 図-1はペンレコーダ出力例である。Sensor 1が水路中心線上にある。記録は下層流フロントがプローブを通過後より開始しており、この記録範囲ではそれほど大きな平均界面位置の変化はみられない。各センサ記録の自己相関係数変化を図-2に示す。いずれの場合も、ほぼ7~10secの周期性がみられ、この変動は図-1中にみられる間欠的な濃度変化に対応していると考えられる。さらに、図-2からはより周期の小さな波動がこれに重畳している部分もみられるが、この計算ではデータのサンプリング間隔が十分小さいとは言えず、

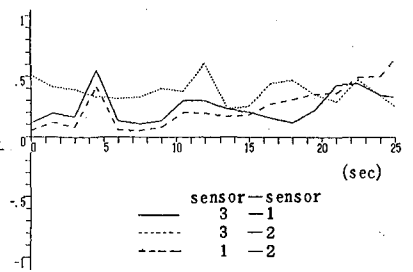


図-3 相互相関係数の例 (図-1 より)

(0.375~0.5sec) この点については明確に把握できない。つぎに図-1に示した記録について、センサ相互の相互相関係数の変化を図-3に示す。図-1について、間欠的に特に顕著な変動が

Yoshio MURAMOTO Kenji OKUBO Fuminori SUGANUMA

現われているが、各々の変動についてセンサごとの時間的な対応は良くなく、こうした変動の要因となる界面現象が、横断方向に必ずしも一様ではないことを示唆する。これは図-3からも理解できる。Sensor 3 は、Sensor 1 および 2 に対しては、各々比較的類似の傾向を示し、5秒付近に最初の強い相関を示しているが、Sensor 1 の Sensor 2 に対する相互相関は、上記2つの相関とはやや異なる傾向をもち、時間遅れゼロより比較的強い相関を示している。これより、Sensor 1 と Sensor 2 の変動は比較的同期性が存在するが、Sensor 3 に現われる変動は数秒の時間の進みを有することがわかる。つぎに、写真1〜3に下層流フロント付近の平面形態を示す。写真-1は、濃度変動記録例で示した実験におけるもので、ここではフロント直後に横断方向に伸張した帯状の発色域がみられ、可視化法の特徴から考えても、この部分には強い混合が生じていると思われる。今回の実験では side view を得ていないが、従来の研究から通常高 Reynolds 数で観察されるフロント後部より後方へ生じる巻き波様の形態に対応すると思われる。こうした帯状の発色域は、これより Reynolds 数の低い写真-2でも見られるが、ここでは横断方向のスケールはより小規模で、波峰の明瞭な小スケールの波と混在して断続的に分布している。この小スケールの波は自由せん断流境界付近でみられる K-H 型の非粘性不安定形態と酷似しており、帯状の発色域は、こうした不安定性による混合が極めて強い領域とみることができ、写真-3からは、別の特徴的な界面波を観察できる。ここでは、明瞭な波峰と有する波長の短い波動が、ウロコ状に広がっており、波峰は砂面上に形成される小規模河床形態と類似した、横断方向に一定の振幅をもつ周期性を有している。こうした波は、写真-2中でみられる波峰の明瞭な波とは異なり、粘性効果の大きな波が、碎波直前もしくは碎波段階にあるものと考えられる。side view としては、通常、三角形の波として観察される種類の波動であろう。写真-1 もしくは 2 に示した、初期 Reynolds 数の大きな実験においても、フロントが進行し、流速が低下した段階では、このようなウロコ状の波を観察することができ、いずれにしても、このような発色域の特徴は、従来は主として side view としてのみ観察されており、先述の濃度変動の場所的相関関係を含めて、アスペクト比の大きな水路実験での横断方向の非一様性に関するこうした知見が、密度流界面における混合過程解明の一助となる。

4. 今後の研究 今回は、初めに述べたように、平面的可視化法の問題点より、定常二層流の界面波には言及できなかったが、こうした平面可視化法の工夫とともに、実験で得たいくつかの界面形態について、それらの相互関連と、その時空間的スケールを定量的に考察していく必要がある。

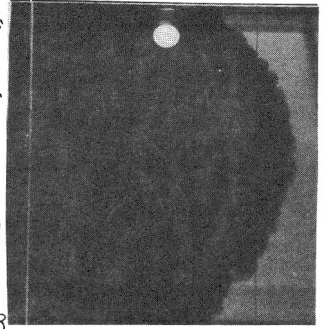


写真-1 $\epsilon = 0.010, H=3\text{cm}$

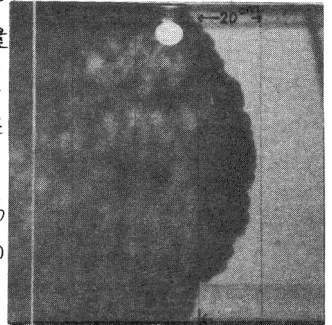


写真-2 $\epsilon = 0.006, H=3\text{cm}$

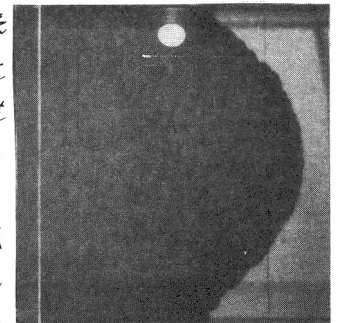


写真-3 $\epsilon = 0.004, H=3\text{cm}$