

## II-213 成層せん断流における乱流構造

九州大学 工学部 正員 ○小松 利光  
九州大学 工学部 正員 橋 東一郎  
運輸省 港務局 シ ハ尋 明彦

### 1. まえがき

成層化した密度場における乱れに関しては, Ellison, Townsend らによる研究以来, 多くの研究が行なわれ今日に至っているが, その多くは気象学の立場から大気の流れを取扱ったものであり, 自由水面を有する水流の成層せん断流における乱流構造は十分明らかにされているとはいえない。今回, 水流中に成層状態(安定・不安定)をつくり, 流速と密度を同時測定することにより, 強い成層化での乱れについて若干の知見を得たので報告する。

### 2. 実験装置および方法

実験装置の概要を図-1, 2に示す。用いた水路は長さ6 m, 幅25 cm, 高さ30 cmの両面アクリル製水路で, 流れを安定に成層化させるため, 水路底面より塩水を滲出させている。また不安定に成層化させる実験では水表面に設置した箱より定常的に塩水を供給している。水路底面には粗度として, 中心間隔0.9 cm, 径0.04 cmの金網をしきつめている。測定はV型 hot film 流速計プローブと塩分濃度計プローブを結合固定して使用し, 流速 $u$ ,  $w$ , 密度 $\rho$ のほは同一点・同時測定を行なった。

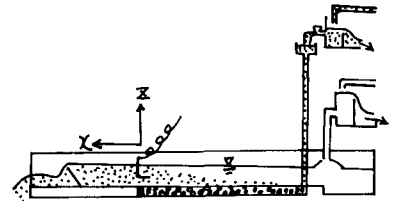


図-1 実験装置(安定流)

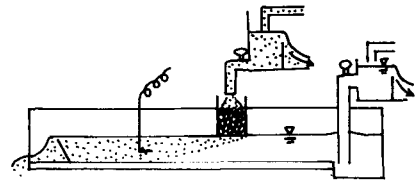


図-2 実験装置(不安定流)

### 3. 実験結果および考察

図-3, 図-4に安定流・不安定流の平均流速 $\bar{u}$ , 平均密度差 $\Delta\rho$ の代表的な分布を示す。図-4で $z/h > 0.8$ の領域では密度分布が逆転しているが, それ以下の領域ではなめら

かな分布をもつ不安定成層流となっている。図-5, 図-6に Reynolds 応力 $\overline{uw'}$ , 密度フラックス $\overline{pw'}$ の分布を示す。

Reynolds 応力の分布はほぼ直線的であり, 等流に近い流れとなっている。成層せん断流においては密度効果の程度を表わす局所的パラメータとして gradient Richardson 数  $Ri$  ( $= \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho / \partial z}{(\partial u / \partial z)^2}$ ), もしくは乱れエネルギーの式における浮力項と乱れ生成項の比である

flux Richardson 数  $Rf$  ( $= \frac{g}{\rho} \overline{pw'} / \overline{uw'} \frac{\partial \rho}{\partial z}$ ) が一般的によく

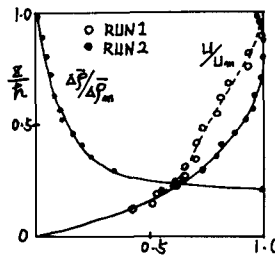


図-3 平均流速・平均密度の分布(安定流)

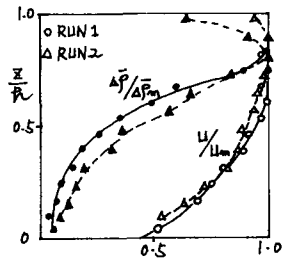


図-4 平均流速・平均密度の分布(不安定流)

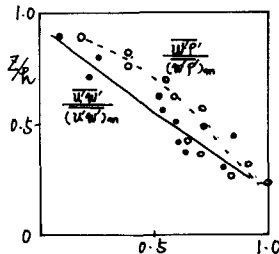


図-5 Reynolds応力・密度fluxの分布(安定流)

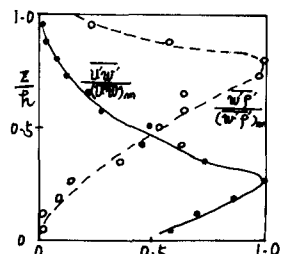


図-6 Reynolds応力・密度fluxの分布(不安定流)

用いられている。ここでは、物理的意味がより明瞭な  $R_f$  を用いて、得られた結果を整理する。図-7に成層流中での各方向の乱れ強度  $\bar{u}^2$ ,  $\bar{w}^2$  を乱れエネルギー長 ( $= \frac{1}{2}(\bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{w}^2)$ ) で無次元化した形で示す。ここで長を求めるときの  $y$  方向の乱れの測定実験(1979)より得られた  $\sqrt{\bar{u}^2}$ ,  $\sqrt{\bar{v}^2}$  の比  $\sqrt{\bar{v}^2}/\sqrt{\bar{u}^2} = 0.80$  を用いて算出した。安定度が増加するにつれて流れ方向の乱れの相対強度は増加し、不安定度が増すにつれて減少する。一方、鉛直方向の  $\bar{w}^2/k$  は  $R_f$  が増加するにしたがい浮力効果によって抑制されて減少し、不安定側では逆に増加する。図-8に相関係数  $\overline{uw}/\sqrt{\bar{u}^2}\sqrt{\bar{w}^2}$  と  $R_f$  の関係を示す。安定度・不安定度が増すにつれて  $\overline{uw}/\sqrt{\bar{u}^2}\sqrt{\bar{w}^2}$  は減少する。安定流においては Reynolds stress の減少が、不安定流では  $(\bar{u}^2\bar{w}^2)$  の増加が卓越しているためであると思われる。図-9に鉛直方向の密度フラックスの相関係数を示す。かなりのばらつきはあるが、 $R_f$  の増加とともに単調に減少しており、 $\overline{w'p'}/\sqrt{\bar{u}^2}\sqrt{\bar{p}^2}$  とは異なった特性を示している。図-10に相関係数  $\overline{w'p'}/\sqrt{\bar{u}^2}\sqrt{\bar{p}^2}$  を示す。 $R_f = 0$  の付近でかなり不連続的に変化しているが、安定度・不安定度が増すにつれて減少している。鉛直方向の密度フラックスと流れ方向の密度フラックスの比  $\overline{w'p'}/\overline{u'p'}$  を図-11に示す。 $R_f$  の増加とともにほぼ単調に減少しており、浮力効果により鉛直方向の拡散が抑えられている。一方、不安定な場合は鉛直方向の拡散は大きく助長されている。図-12には渦動拡散係数  $K_s$  と渦動粘性係数  $K_M$  の比  $K_s/K_M$  と  $R_f$  の関係を示している。 $R_f$  の増加にしたがって減少する傾向は見られるが大きく散らばっており、両者の間の一義的な関係性は認めがたい。これは密度効果を受けると、パラメータとして用いた  $R_f$  の分母も分子も同様に変化するため  $R_f$  の物理的意味が不明確になるためと思われる。 $R_f$  に代わる新しいパラメータの導入が必要に思われる。最後に、本研究遂行にあたり協力願った柴田敏彦(九州大学)、山本恵二(西日本技術開発)の両氏に謝意を表します。

| NO | 水深R(cm) | 平均流速U | 流量Q(l/s) | 密度差Δρ  |
|----|---------|-------|----------|--------|
| 1  | 7.4     | 7.36  | 1362     | 0.0    |
| 2  | 5.6     | 9.73  | 1362     | 0.0354 |
| 3  | 6.1     | 10.57 | 1612     | 0.0159 |
| 4  | 8.1     | 12.68 | 2568     | 0.0156 |
| 5  | 5.7     | 8.87  | 1264     | 0.0089 |
| 6  | 6.8     | 14.22 | 2418     | 0.0069 |
| 7  | 6.7     | 13.33 | 2232     | 0.0038 |
| 8  | 6.7     | 13.22 | 2214     | 0.0    |
| 9  | 7.1     | 16.60 | 2946     | 0.0275 |

表-1 実験条件(安定)

| NO | 水深R(cm) | 平均流速U | 流量Q(l/s) | 密度差Δρ  |
|----|---------|-------|----------|--------|
| 1  | 7.0     | 9.59  | 1678     | 0.0178 |
| 2  | 6.3     | 10.01 | 1577     | 0.0324 |
| 3  | 6.1     | 6.32  | 964      | 0.0442 |
| 4  | 6.5     | 7.90  | 1284     | 0.0442 |
| 5  | 6.6     | 7.90  | 1284     | 0      |
| 6  | 6.6     | 12.66 | 2089     | 0.060  |
| 7  | 6.7     | 12.34 | 2065     | 0.060  |

表-2 実験条件(不安定)

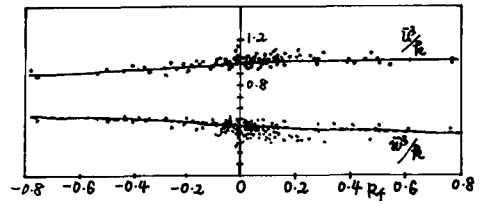


図-7  $\bar{u}^2/k$ ,  $\bar{w}^2/k$  と  $R_f$  の関係

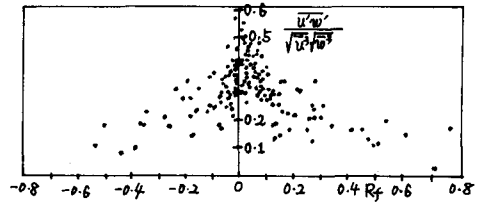


図-8  $\overline{uw}/\sqrt{\bar{u}^2}\sqrt{\bar{w}^2}$  と  $R_f$  の関係

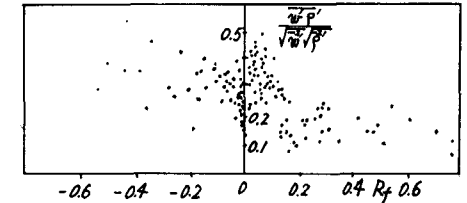


図-9  $\overline{w'p'}/\sqrt{\bar{u}^2}\sqrt{\bar{p}^2}$  と  $R_f$  の関係

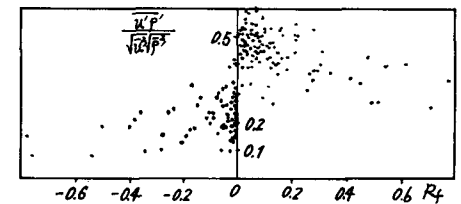


図-10  $\overline{w'p'}/\sqrt{\bar{u}^2}\sqrt{\bar{p}^2}$  と  $R_f$  の関係

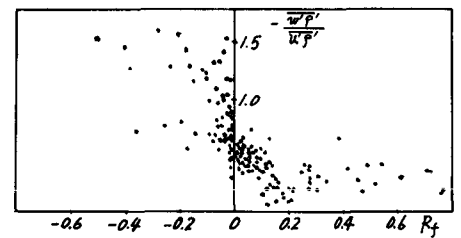


図-11  $-\overline{w'p'}/\overline{u'p'}$  と  $R_f$  の関係

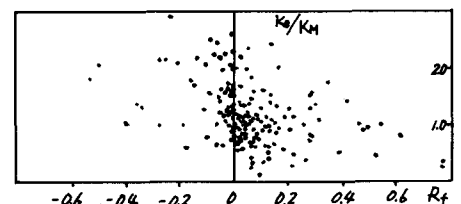


図-12  $K_s/K_M$  と  $R_f$  の関係