

・PSII-8 混合せん断流における大規模渦の構造と役割

九州大学工学部 正員 〇小松利光
 国際協力事業団 正員 梅永 哲
 九州大学大学院 学生員 山本賢一
 九州大学工学部 正員 粟谷陽一

1. まえがき 著者らは今回混合せん断流における大規模渦の実験及び解析を進め、大規模渦構造の時間変化を得ることができた。ここでは大規模渦の時間的・空間的拡がりと連行や乱流特性との関係について考察を加えている。

2. 実験装置・実験条件 実験は長さ5m、幅15cm、高さ40cmの二次元水路を用い、混合層流れを作るため水平の仕切り板を水路床より25cmの所に設置した。上層流としては淡水を用い、下層流としては内部波高計で混合層の界面変動が測定できるように塩水を用いた。上下層は仕切り板の末端(この点を座標原点とし、流下水平方向にx軸、鉛直上向きにy軸をとる)で接触し速度差により激しい渦動状態を引き起こされ混合せん断層が形成される。混合層がほぼ直線的な拡がりをしめす $x \leq 30\text{cm}$ の領域では密度効果が無視できるとして、測定をこの領域に限定した。測定は2方向x型hot film流速計、密度は電気電導度計、界面変動は内部波高計を用いた。内部波高計を $x=7\text{cm}$ に固定し、ほぼ同一点として結合した電導度計とhot filmを内部波高計から Δx だけ離し、各々の Δx に対し鉛直方向に測線を取り、内部波高と流速と密度を同時測定した。得られたデータはデータレコーダに収録し、A-D変換の後統計処理を行った。サンプリング間隔は $\Delta t=1/125(\text{sec})$ 、データ個数は1測点当り $N=16,384$ 個とした。

3. 実験結果とその考察

(1) 大規模渦の周波数特性; 大規模渦の周波数特性を調べるため、流速変動 u 、 v と仮想内部界面の変位 η の時系列からFFT法により cross-spectrum を求めた。代表的な一例として $\eta-v$ について図-1に示す。 η との間で cross-spectrum をとったのは、大規模渦の特性が η の界面変動に顕著に表れるためである。

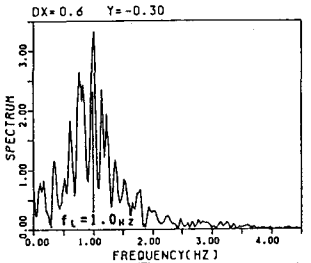


図-1 cross-spectrum($\eta-v$)

(2) 大規模渦と乱流 flux; Reynolds応力 \overline{uv} や質量 flux \overline{wv} 、 \overline{uv} などの乱流輸送現象において、大規模渦の果たす役割について卓越周波数 f_L に着目して考察すると、連行に直接関与する $\rho-v$ の co-spectrum より(図-2,3,4)、以下のようなモデルが考えられる。まず、連行速度 V_e により質量が下層から上層へ輸送される。そして、それが大規模渦により更に上層へ輸送される(図-2)。しかし、上方では様々な周波数の渦が存在するため、大規模渦の貢献はさほど大きいとは言えない(図-3)。一方、上層水と下層水との境界近く ($y=-1.2\text{cm}$ 付近に相当) では上層へ輸送された質量の一部は、大規模渦により再び下層へ輸送される(図-4)。

Reynolds応力 \overline{uv} 、flux \overline{wv} の spectrum でも上述の考察と同様のことが言える。

(3) 大規模渦の空間特性; 下層境界面 η と大規模渦の卓越周波数 f_L を用いた条件付サンプリング法によ

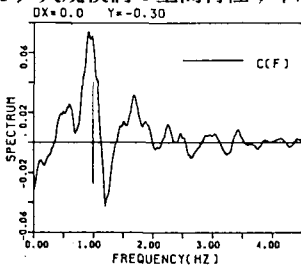


図-2 co-spectrum($\rho-v$)

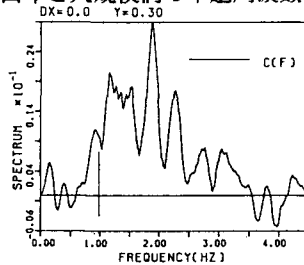


図-3 co-spectrum($\rho-v$)

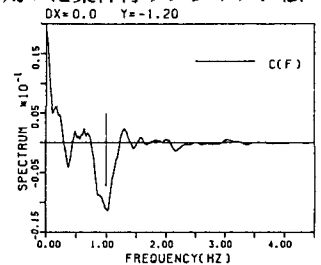


図-4 co-spectrum($\rho-v$)

り選び出された、 η の
時系列における極小、
極大及びその間にある
 $\eta=0$ の各々の点の前
後に渡って3 Δt 間隔で
 $\eta, u, v, \rho, \rho', uv$ につ
いてのアンサンブル平
均値(以後 \sim をつける)
を求めた。これらを時

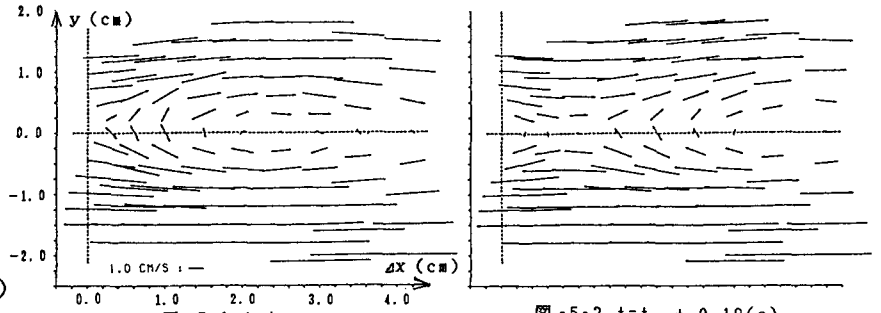


図-5-1 $t=t$.

図-5-2 $t=t + 0.19(s)$

図-5 流速変動のアンサンブル平均の分布

間的につなぎ合わせるにより、1周期Tにわたる各変動量の大规模渦による時間変動 pattern が得られる。以下、この条件付サンプリングにより得られたデータを基に考察を進める。図-5は $y=0$ での流速に乗って見た変動流速分布を描いたものである。回転渦形とそれが流下する様子が明瞭に認められる。以下の図はすべて図-5-1と同時刻、同座標に相当する。図-6に示す ρ' の分布は大规模渦により密度の大きい流体が侵入していく様子が認められ、 $\rho' > 0$ (実線)と $\rho' < 0$ (破線)を比較すると $\rho' > 0$ のピークの方が大きく、下層水を連行する現象が顕著である。下層水が上層水へ侵入する角度は 28.6° であった。また、 ρ' の変動は η, v の変動に対し時間遅れが存在している。図-7に質量flux $\rho'v$ を示す。 $\rho'v$ は連行と直接関係しており、 ρ' の図に対応してピークがあらわれている。ほぼ正の領域にあるが、 $\rho' > 0$ に対応する箇所は実質的な質量fluxの輸送であるのに対して、 $\rho' < 0$ に対応する箇所は見かけ上の輸送に過ぎない。また、図-7に示す Reynolds応力は渦の上昇部分と下降部分でピークを持つ。これらの事から、大规模渦は回転運動の上昇部分と下降部分で乱れ強度が強く、従ってその部分で鉛直方向に運動量や質量を大きく輸送していることが裏付けられた。図-9に示す \tilde{u} より、渦が形成されてもすぐに平均せん断で引き延ばされることがわかる。

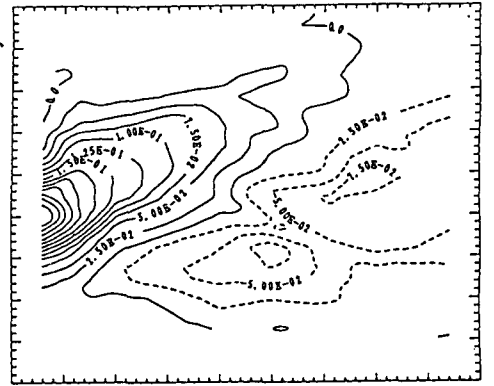


図-6 濃度差分布 ρ'

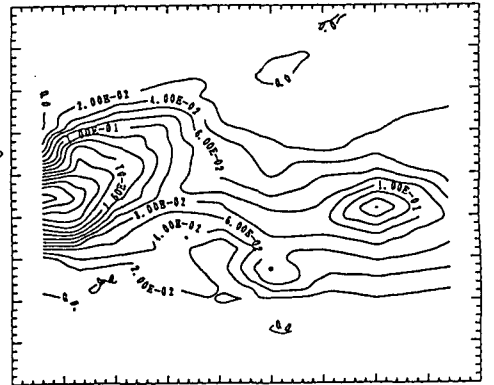


図-7 質量flux $\rho'v$

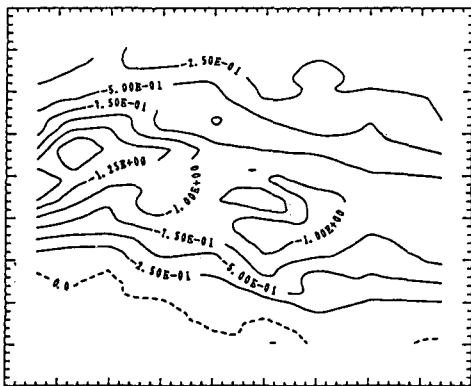


図-8 Reynolds応力 \tilde{u}

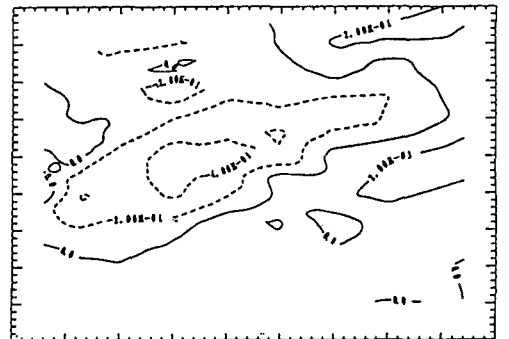


図-9 流速変動 \tilde{u}