

九州大学 工学部 正員 小松 利光
水資源開発公団 正員 小坪 洋己

1. はじめに

ここ数年、著者らは自由乱流の大規模渦の水理学的役割について研究を行ない、いくつかの知見を得てきたが、前報^{1,2)}において流れが simple で測定も容易な混合層に着目し、多変量の2点同時測定や同一点同時測定の結果と可視化法による空間的拡がりをもつデータを組み合わせて大規模渦の特性、進行との関連などについて報告した。その後、更に追加実験を行ない、大規模渦の2次元性やその内部構造について解析・考察したので報告する。

2. 実験方法

実験水路や実験条件は前報^{1,2)}と同じである。上下層の仕切り板の末端を座標原点とし、流下水平方向にx軸、鉛直上向きにy軸、奥行方向にz軸をとる。流速の測定は2方向V型 hot film 流速計と2方向X型 hot film 流速計を適宜組み合わせで同時測定した。

3. 実験結果とその考察

x軸に沿って測定した流速変動 u , v の周波数スペクトルの一例を図-1に示す。大規模渦の周期に対応する周波数のところに顕著なスペクトルピークが見られ、この周波数帯でエネルギーが卓越していることがわかる。このエネルギーピークから各点の大規模渦の周波数 f_L を読み取った。空間的拡がりをもつ大規模渦の構造を調べるため、流れ方向に $\Delta x = 0.5 \text{ cm}$ だけ離れた2つの hot film probe (前の probe の影響を避けるため $\Delta z = 0.3 \text{ cm}$) を用いて u , v の同時測定を行ない、クロススペクトル (u_1-u_2 , v_1-v_2) 及びコヒーレンスを求めた。 $x = 12 \text{ cm}$

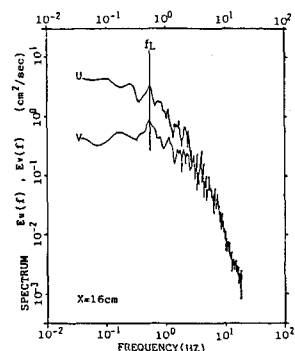


図-1 u , v のスペクトル

$y=0$ の点での1例を図-2に示す。クロススペクトルにおいても f_L の周波数帯に顕著なピークが見られ、この周波数の乱れが空間的拡がりをもつことがわかる。一方、 v_1-v_2 のクロススペクトルには2倍の $2f_L$ の周波数帯にも顕著なピークが現われており、 u -変動と v -変動の間に大きな違いが見られる。大規模渦といっても単純な回転運動では説明できないことがわかる。 f_L や $2f_L$ (v_1-v_2 のみ) の周波数帯ではコヒーレンスも高く大規模渦により2点の流速変動の間の相関が大きくなっていることを示

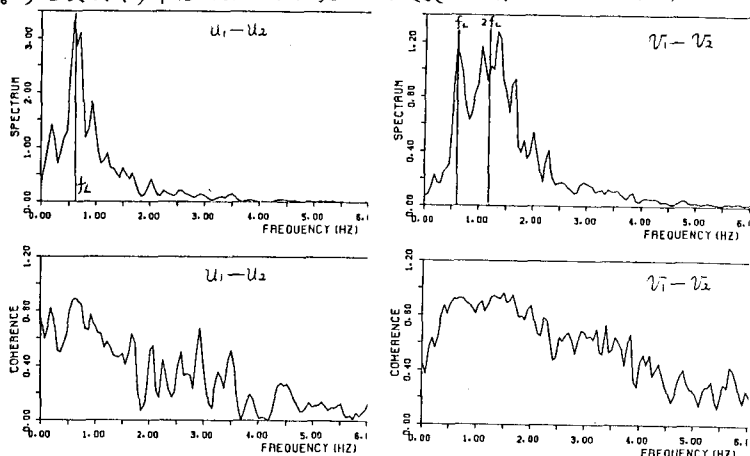


図-2 クロススペクトルとコヒーレンス

している。つづいて全周波数帯と4つの周波数帯で代表させ、それぞれの周波数帯の乱れの特性について検討を加えた。 $x = 12 \text{ cm}$ については $f_L = 0.64 \text{ Hz}$ なので f_L を含む $0.42 \sim 0.85 \text{ Hz}$ と $8 \sim 10 \text{ Hz}$ の周波数帯の2点の乱れの相互相関係数の最大値 $R_{uu}(T_m, y)$, $R_{vv}(T_m, y)$ を図-3に示す。大規模渦の周波数帯では混合層の中心付近で相関が弱く、中心から離れた平均流速分布がほぼ一様となる部分で相関が強い。大規模渦が周辺領

域で強い空間的広がりをもつことを示している。
一方、大規模渦より大きい周波数帯の乱れは中心付近で相関が強く、中心から離れると弱くなる傾向がある。

次に各周波数帯の乱れの強さと乱れエネルギーへの寄与率の断面変化を調べるため、 u - v 変動に関して各周波数帯の平均スペクトル $\bar{E}_0(f)$ と寄与率 $\bar{E}_0(f)/\bar{v}^2$ ($\bar{v}$ は基本周波数) を求め、図-4に示す。大規模渦を含む低周波の乱れは混合層の中心より低流速側で大きなエネルギーを有し、高周波側の乱れは混合層の中心付近にエネルギーが集中している。一方エネルギー $\bar{v}^2$ への寄与率については、大規模渦を含む低周波数帯の乱れは混合層中心付近で小さく、周辺領域で大きい。ところが高周波数帯の乱れの寄与率は中心付近で大きく、周辺領域で小さくなっており、図-3の結果とも対応して前述の考察を裏付けている。

次に大規模渦の2次元性を検討するため、 x, y は一致させ奥行方向に $\Delta z = 1.25 \text{ cm}$ だけ離れた2個の hot film probe を用いて流速変動 u, v を同時測定した。 $t=0$ の相互相関係数の断面分布を図-6に示す。中心から離れた高流速側で相関はかなり強く、ある程度の2次元性を示す一方、中心領域では相関は弱く、乱れは3次元性的であることがわかる。これは前述の中心付近で小規模で高周波数の乱れの寄与が比較的大きいということに対応している。

ところで、格子乱流では乱れの位相速度は局所的な平均流速ときれいに一致するが、混合層流では大規模渦の周波数帯の乱れの位相速度は局所的な平均流速と全く異った傾向性を示した。これは大規模渦による流体の回転運動に起因すると思われるが、この点を明らかにするため、一方の hot film を $x = 12 \text{ cm}, y = \pm 0.25 \text{ cm}$ に固定し、もう一方を $\Delta x = 0.5 \text{ cm}, 1 \text{ cm}, 1.5 \text{ cm}$ として y 方向に変化させ、流速変動の同時測定を行なった。得られたデータから大規模渦の周波数帯の乱れの位相速度と方向を求めた。結果を図-7に示すが、位相速度の速い部分を連ねると図中の曲線のようになり、これは流体が回転運動しながら平均流により流下する場合の軌跡に相当するものと思われる。

参考文献

- 1) 格・小松・行徳・小坪：第39回年講 pp.581~582, 1984.
- 2) 小松・柴田・小坪・行徳：第29回水講演文集 pp.791~796, 1985.

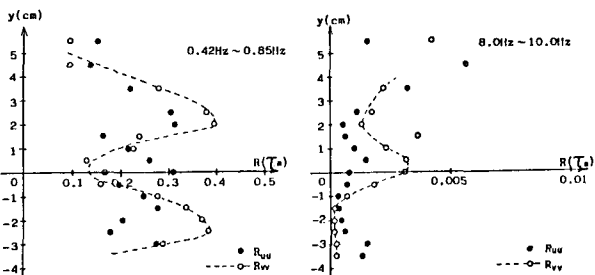


図-3 相互相関係数の最大値 $R_{uu}(t_m, y)$, $R_{vv}(t_m, y)$

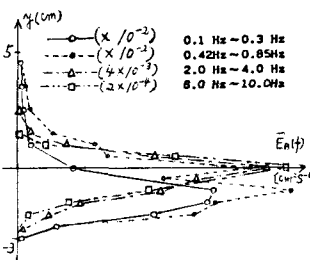


図-4 $\bar{E}_0(f)$ の分布

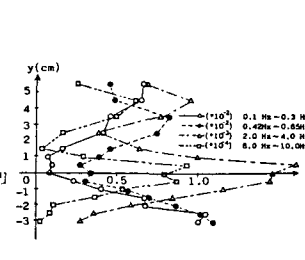


図-5 $\bar{E}_0(f)/\bar{v}^2$ の分布

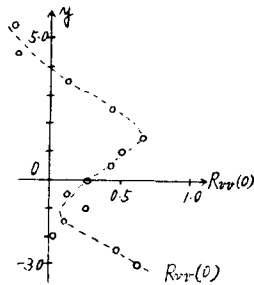
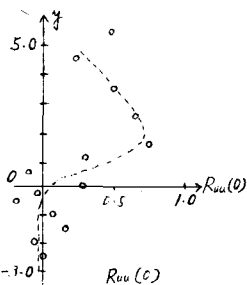


図-6 奥行方向の相互相関係数 $R_{uu}(0)$, $R_{vv}(0)$

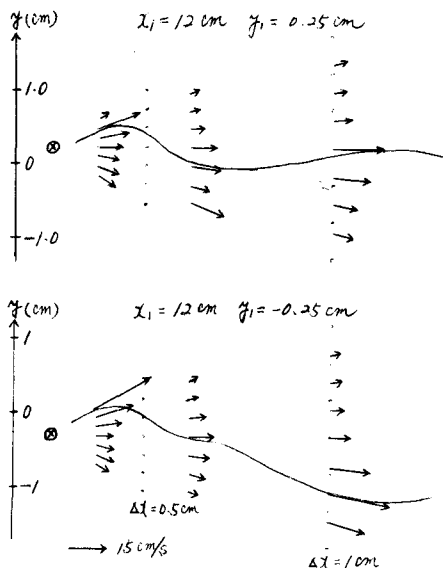


図-7 大規模渦の周波数帯の乱れの位相速度と方向 (u -変動)