

京都大学防災研究所 正員 今本博健
 京都大学大学院 学生員 浅野富夫
 京都大学大学院 学生員 ○佐々木 健

著者らは従来より開水路流れにおける乱れの時空間構造を明らかにするため相関解析あるいはスペクトル解析を用いて実験的検討を加えてきたが、時空間構造を記述する特性量と水理条件との関係については一部のものを除いて明らかにするに至っていない。本研究は2次元開水路流れを対象とし相関解析の手法を用いて乱れの広がりおよび移流過程に関する特性量と水理条件との関係を実験的に解明しようとしたものであって、乱れの広がりに関する特性量としては流れ(x), 横(y) および鉛直(z) 方向の空間的広がりを示す Euler 的平均スケール L および広がりのひずみ度を表わす最適遅れ時間 (位相差) τ_y , τ_z を、移流過程に関する特性量としては乱れの移流に伴う変形を表わす Lagrange 的平均時間スケール T_L および移流速度 U_0 を、それぞれ、とりあげている。

1. 実験装置および方法

実験水路は長さ13m, 幅40cm, 深さ20cmの長方形断面を有する可動こう配の滑面直線水路である。速度計測にはファイバー型プローブを用いた2台のホットフィルム流速計が使用されており、同時計測された速度変動記録はA-D変換器により数値化され、電子計算機によって統計処理されている。なお、解析に際しては、対象とする乱れの最大スケールを水深の10倍とし、平均値評価時間としては最大スケールの乱れが10個通過する時間、すなわち、 $(10H/U_m) \times 10$ 秒のデータを1ブロックとし、最低5ブロックの平均化により計測値の信頼性が高められている。ただし、 H は水深、 U_m は断面平均速度を表わす。

2. 乱れの広がり

Euler 的平均スケール L は、図-1 に示されるような空間相関係数 $R(r)$ の積分スケールによって定義されるものであって、一般に、 $R(x)$ および $R(z)$ は距離の増加とともに正の値を保ちつつ比較的単調に減少して0に漸近するのに対して、 $R(y)$ は y の増加とともに減少し負の極小値を示したのち増加して0に漸近する傾向をもっている。¹⁾ このため、 L_x および L_z の算定には $R(r) = \exp(-r/L)$ という関数近似法が用いられているのに対して、 L_y には $R(y)$ の数値積分法が用いられている。

図-2 は、Euler 的平均スケール L を $H(U/U_f)$

で無次元化し相対水深 z/H との関係を示したものである。ここに、 U は局所平均速度、 U_f は摩擦速度を示す。図において $z/H = 0.5$ における $L/(H(U/U_f))$ は、いずれの方向についても H/U_f の値にほとんど関係なくそれぞれ一定値をとり、Euler 的スケール L の普遍関数表示法としては $L/(H(U/U_f))$ が妥当であることが知れる。さらに、 $H/U_f = 103$ 秒のケースより各方向の平均スケール L の普遍関数形を決定するとつぎのようになる。

$$\frac{L_x}{H(U/U_f)} = C_{Lx} \quad C_{Lx} \approx 0.12 \quad (1)$$

$$\frac{L_y}{H(U/U_f)} = C_{Ly} \left(\frac{z}{H}\right)^{2/3} \quad C_{Ly} \approx 0.021 \quad (2)$$

$$\frac{L_z}{H(U/U_f)} = C_{Lz} \quad C_{Lz} \approx 0.025 \quad (3)$$

なお、定数 C_{Lx} は Euler 的平均時間スケール T_E の普遍関数表示における定数 0.15 ²⁾ に比し若干小さいようであるが、この原因としては上流側のプローブの影響および平均値評価時間の妥当性などがあげられよう。

一方、乱れの広がりのひずみ度を表わす最適遅れ時

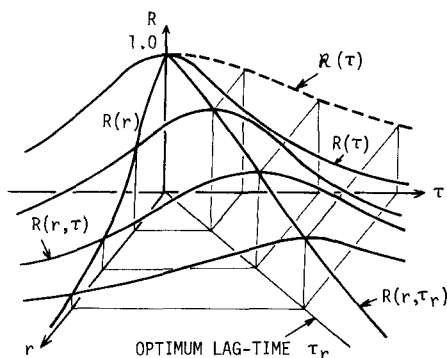


図-1 時空間相関係数 $R(r, \tau)$, 空間相関係数 $R(r)$, 時間相関係数 $R(\tau)$, 最適相関係数 $R(r, \tau_r)$ および Lagrange 的相関係数 $\tilde{R}(\tau)$.

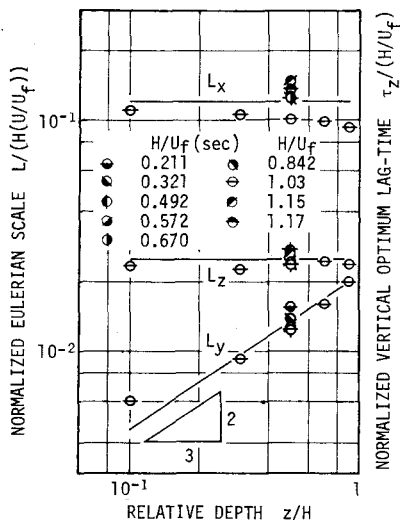


図-2 Eulerの平均スケール

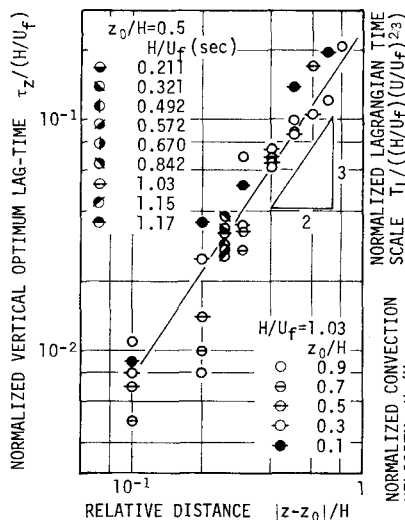


図-3 鉛直方向最適遅れ時間

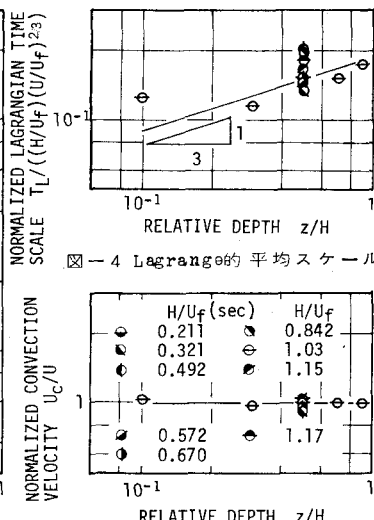


図-4 Lagrangeの平均スケール

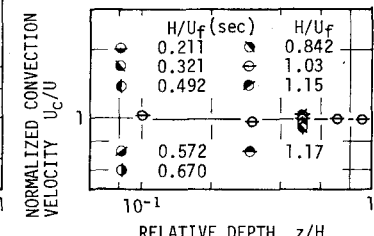


図-5 移流速度

間には図-1 に示される時空間相関係数 $R(r, \tau)$ が最大となる遅れ時間 τ_r によって与えられるが、横方向の最適遅れ時間 τ_y は従来より、

$$\tau_y = 0 \quad (4)$$

が得られている。また、鉛直方向の τ_z については周波数成分ごとの乱れについてすでに得られている普遍関数表示^{3,4)}に基づき、 $|\tau_z|/(H/U_f)$ と $|z-z_0|/H$ との関係を図示すると図-3 のようになる。ここに、 $|z-z_0|/H$ は基準点からの相対距離である。 $|z-z_0|/H = 0.25$ における $|\tau_z|/(H/U_f)$ は水理条件に関係せず、 $|\tau_z|$ は H/U_f で無次元化することが適当であることが知れるとともに、 $|\tau_z|$ が周波数成分ごとの乱れと同様に $|z-z_0|/H$ の3/2乗に比例することより、鉛直方向最適遅れ時間 τ_z の普遍関数表示として、

$$\frac{|\tau_z|}{H/U_f} = C_{\tau_z} \left(\frac{|z-z_0|}{H} \right)^{3/2} \quad C_{\tau_z} \approx 0.25 \quad (5)$$

が得られる。

3. 乱れの移流過程

図-1 に示される時空間相関係数の最大値は最適相関係数とよばれ、とくに流れ方向の最適相関係数 $R(\tau)$ は、乱れ速度が平均速度に比し充分小さい場合Lagrangeの相関係数に相当するものである。したがって、Lagrangeの平均スケール T_L は $R(\tau)$ の積分スケールとして推定される。 T_L の無次元化の方法はEulerの平均時間スケール T_E および乱れの強さ u' に関する普遍関数表示²⁾をHay-Pasquillの式 $T_L/T_E = \alpha(U/u')$ に適用することにより $T_L/((H/U_f)(U/U_f)^{2/3})$ と推定される。図-4 に示される $z/H =$

0.5 における値よりこのような T_L の無次元化の方法の妥当性が確認されるとともに、 T_L の普遍関数表示式として次式が得られる。

$$\frac{T_L}{(H/U_f)(U/U_f)^{2/3}} = C_{T_L} \left(\frac{z}{H} \right)^{1/3} \quad C_{T_L} \approx 0.19 \quad (6)$$

T_L , T_E および u' の普遍関数表示式における実験定数からHay-Pasquillの関係式における比例定数を逆算すると $\alpha \approx 0.45$ となり、従来より用いられている値ときわめてよく一致している。

また、流れ方向の最適遅れ時間 τ_x より得られる移流速度 U_c については図-5 に示されるように、水理条件あるいは相対水深に関係なく

$$\frac{U_c}{U} = 1 \quad (7)$$

が成立し、乱れは局所的平均速度で移流されるとして差し支えない。

以上のように、乱れの時空間構造特性量はかなり解明されてきたが、それらの普遍関数形あるいは実験定数についてはさらに多くの水理条件のもとでの実験的検討が必要である。

なお、周波数成分ごとの乱れの時空間構造特性については別の機会に発表する予定である。

参考文献

- 1) 今本, 浅野, 佐々木: 第29回年講, 1974.
- 2) 今本: 土木学会論文報告集, 197, 1972.
- 3) 今本, 浅野: 第28回年講, 1973.
- 4) 今本, 浅野, 佐々木: 関西支部年講, 1975.