

開水路流れにおける乱れの時空間構造について —相関およびスペクトル解析による実験的検討—

京都大学防災研究所 正員 今本 博健
京都大学大学院 学員 茂野 富夫
京都大学大学院 学員 佐々木 健

著者らは従来より、開水路2次元流れにおける乱れの時空間構造について、フィルター操作を用いた相関解析によってスケール成分ごとの乱れ特性について実験的検討を加えてきたが、本報告においてはスペクトル解析による検討をも加えて、従来の相関解析による結果との比較を行なう。スペクトル解析に用いた実験ケースは、開水路流れを規定する要素としてReynolds数 Re 、Froude数 Fr および相対粗度高さを選り出し、任意の1量が独立に変化されるように流量、路床勾配および粗度高が適当に調節されている。

1. 相関解析およびスペクトル解析

乱流場内において流れ方向に x だけ離れた2点 x_0 および x_0+x における乱れ速度 u に関する時空間相関係数 $R(x; \tau)$ はつぎのように定義される。

$$R(x; \tau) = \frac{u(x_0; t) \cdot u(x_0 + x; t + \tau)}{u(x_0) u(x_0 + x)} \quad (1)$$

ここに、 τ は遅れ時間である。一般に、 $R(x; \tau)$ は2点間の距離に応じたある遅れ時間 τ_0 において1より小さな最大値 $R(x; \tau_0)$ を示すが、 τ_0 は最適遅れ時間あるいは位相差といわれ、また、 $R(x) = R(x; \tau_0)$ は最適相関係数といわれる。

一方、(1)式のFourier変換により相互スペクトル $S(x; f)$ がつぎのように定義される。

$$S(x; f) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} R(x; \tau) \exp(-i2\pi f \tau) d\tau \quad (2)$$

ここに、 f は周波数を表わす。

$S(x; f)$ は実数部 $P(x; f)$ と虚数部 $Q(x; f)$ とに分けられ、これらよりコヒーレンス $C^2(x; f)$ および位相差 $\phi(x; f)$ がそれぞれつぎのように定義される。

$$C^2(x; f) = \frac{P^2(x; f) + Q^2(x; f)}{S_1(f) \cdot S_2(f)} \quad (3)$$

$$\phi(x; f) = \tan^{-1} \frac{Q(x; f)}{P(x; f)} \quad (4)$$

ここに、 $S_1(f)$ および $S_2(f)$ は x_0 および x_0+x における自己スペクトルを表わす。

ところで、対象とする変動速度として u の特定周波数成分 f のみが抽出されたものを対象とすると、相関解析によって

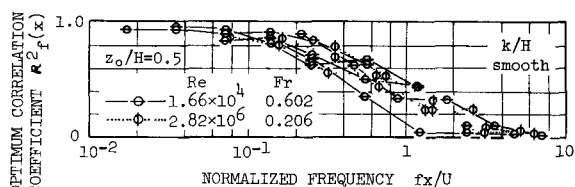


図-1 最適相関係数

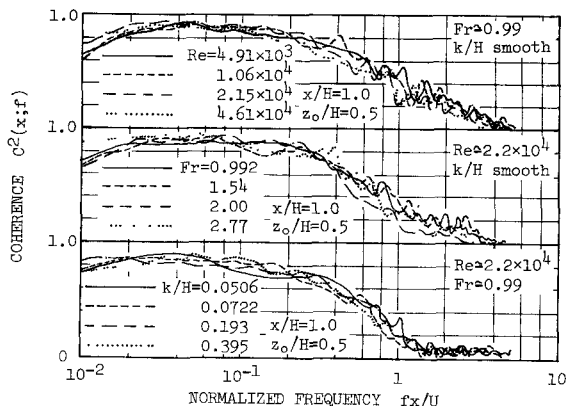


図-2 コヒーレンス

も周波数成分ごとの相関係数を導くことが可能であって²⁾、この場合の $R_2(x)$ は $C(x;f)$ に、 τ_2 は $\phi(x;f)$ に一致する。

2. 最適相関係数とコヒーレンス

図-1および図-2は $R_2(x)$ および $C^2(x;f)$ の計測例を示したものであり、両者とも z/H の小さな領域で1に近い値を示すが、 z/H が0.25付近より大きな領域では急激に減衰して0に近づいており、流下に伴う乱れの変形は流下距離が成長の0.25倍程度以上となると著しくなることが知れる。 $R_2^2(x)$ あるいは $C^2(x;f)$ と z/H との関係は互いに類似した特性を示し、相関解析とスペクトル解析との一致性がうかがえる。また、図-2は Re 、 Fr および k の各々を独立に変化させた場合について示してあるが、いずれについても $C^2(x;f)$ には顕著な差異が認められず、 $C^2(x;f)$ の概略は z/H のみによって表わされるものと考えられる。

3. 位相差

以上と同様の手法を横方向および鉛直方向に離れた場合に適用し、それぞれの方向の位相差の計測結果を図-3に示す。この図から、流れ方向の位相差は z とほぼ比例関係にあるのに対し、横方向のものは0のまわりにちらばっており、また鉛直方向については z の増加に伴って増加する傾向が知れる。

いま、 $\phi(x;f)$ より横流速速度 $U_c = 2\pi f \phi(x;f)$ を算定し、局所的平均速度 U との比を示すと図-4のようになり、 U_c は z にかかわらずほぼ U に等しいとみなせることが知れる。同様のことは、すでに著者らによっても確かめられている。²⁾

(τ_2)_zに関して著者らは次元解析により実験式、

$$(\tau_2)_z = C(H/U_f)^{2/3} \cdot (z/H)^{1/3} \cdot f^{-1/3} \quad (5)$$

を提案しているが、 C の係数は0.3~0.6程度と推定されている。¹⁾

本実験でのスペクトル解析による $\phi(z;f)$ の計測値を示すと図-5のようになり(5)の妥当性が確かめられ、 C についても上記の値がほぼ適用されることが知れる。

参考文献

- 1) 今本・浅野・佐々木;土木学会関西支部昭和41年度年次講演概要, II-9, 昭41. 5.
- 2) 今本・上野・浅野;京都大学防災研究所年報, 16B, pp. 505~519, 昭48. 4.

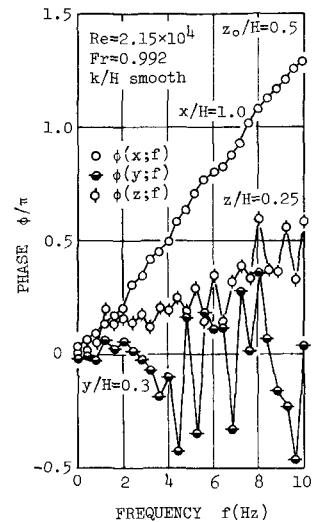


図-3 位相差

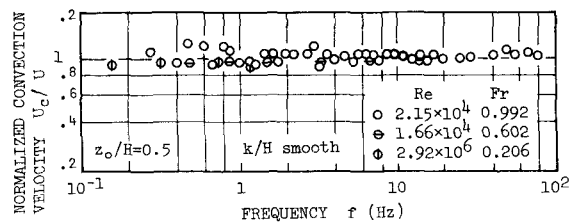


図-4 横流速速度

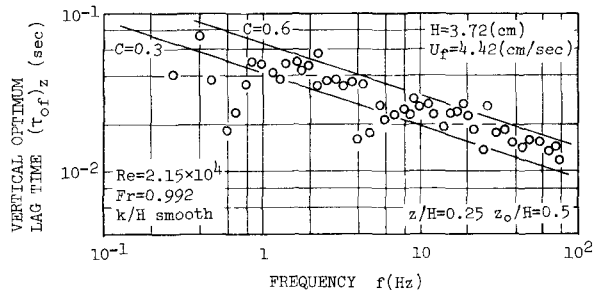


図-5 鉛直方向位相差