

開水路流れにおける乱れのスペクトル相似則について (2)

一時空間構造のスペクトル特性一

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

著者らは、平均流に伴う種々のスケールごとの乱れの移流過程について次元解析的考察を加え、移流過程を特性づけるコヒーレンシおよびその積分値によって定義される寿命時間についての波数表示を行なったが¹⁾、本報告はこれらの波数表示の妥当性について実験的に検討したものである。なお、実験水路としては長さ13m、幅40cm、深さ20cmの直線水路が、また速度計測にはファイバー型ホットフィルム流速計が使用されており、データ処理においては計測値の信頼性を高めるため繰り返し回数を著しく増大させている。

1. 時空間スペクトルの相以則

波数 k の乱れの移流速度 $U_0(k)$ は、エネルギー・スペクトルについての波数表示と周波数表示との対応性より、 k にほとんど関係なく局所的平均速度 U に一致すると考えられる²⁾。

一方、流れ方向に x だけ離れた2点における乱れ速度間のコヒーレンシ $\text{Coh}(x; k)$ の特性は、既報において示したように、エネルギー・スペクトル $S(k)$ を規定する量のほかに x および移流速度 U_0 が加わったものによって定められるとすると、次元解析の手法により、表のような生成、慣性および粘性領域における $\text{Coh}(x; k)$ の相似則が得られる。また、寿命時間 $T_L(k)$ についても、 $S(k)$ に関する規定量とまったく同じ物理量によって規定されないと考えると、同表に示される相似則が得られる。 $T_L(k)$ の相似則は、各領域の $\{1 - \text{Coh}(x; k)\}$ を用いて、 $x=0$ から $\text{Coh}(x; k)=0$ となる x までの積分値を U_0 で割ったものとして導くこともできる。

2. 実験的検討

a) 移流速度、 $U_0(k)$: 図-1は位相スペクトルより与えられる移流速度 $U_0(k)$ の計測例として半水深におけるものを示したものであって、データ処理におけるサンプリング周波数 $f_s = 160\text{Hz}$ および 320Hz 、データ数 $N=500$ であり、繰り返し数 $N_R=25$ である。図より、 $U_0(k)/U$ は x あるいは k に関係なくほぼ一定値1をとっており、 $U_0(k)$ は局所的平均速度 U に一致していることが知れる。

b) コヒーレンシ、 $\text{Coh}(x; k)$: 図-2および図-3は $\text{Coh}(x; k)$ の計測例として滑面射流における半水深のものを示したものであって、 $\text{Coh}(x; k)$ と x との関係を示した図-2において、 $\{1 - \text{Coh}(x; k)\}$ はいずれの k についても x の増加に対して直線的に増加しており、 $\{1 - \text{Coh}(x; k)\}$ と x との関係は表に示したような1次式によって表わされることが確かめられる。

一方、図-3は $\text{Coh}(x; k)$ と k との関係を示したものであって、図において k の増加に伴う $\text{Coh}(x; k)$ の減衰は高波数領域ほど著しく、また、移流距離 x が短いものほど低波数領域より急激な減衰特性を示している。このような $\text{Coh}(x; k)$ の減衰過程において、 k にほとんど関係なく $\text{Coh}(x; k)$ がほぼ一定となる低波数領域、比

表

領域	$1 - \text{Coh}(x; k)$	$\text{Coh}(x; k)$	$T_L(k)$
生成	$\sim \frac{U_0' x}{U_c L}$	$\sim \frac{U_c L}{U_0' x}$	$\sim \frac{L}{U_0'}$
慣性	$\sim \frac{\varepsilon^{1/3} k^{2/3} x}{U_c}$	$\sim \frac{U_c}{\varepsilon^{1/3} k^{2/3} x}$	$\sim \frac{1}{\varepsilon^{1/3} k^{2/3}}$
第1粘性	$\sim \frac{\nu k^2 x}{U_c}$	$\sim \frac{U_c}{\nu k^2 x}$	$\sim \frac{1}{\nu k^2}$
第2粘性	$\sim \frac{\varepsilon^{-1/4} k^6 x}{U_c}$	$\sim \frac{U_c}{\varepsilon^{-1/4} k^6 x}$	$\sim \frac{1}{\varepsilon^{-1/4} k^6}$

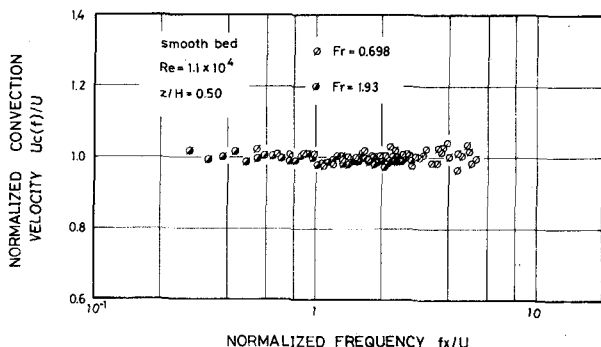


図-1

較的ゆるやかに減少する中間波数領域および急激に減少する高波数領域は、それぞれ、生成、慣性および第1粘性領域に対応するものと考えられるとともに、 $Coh(x;k)$ は慣性領域では k の $-2/3$ 乗に、第1粘性領域では k の -2 乗に比例して減少しており、 $Coh(x;k)$ の相似則として表に示したものがかなり有効であることが確かめられる。また、 $Coh(x;k)$ に関するこれらの3領域は、表からも知れるように、 k のみによって一義的に決定することはできず、 x の増加とともに低波数側に移行していく特性をもっている。

c) 寿命時間, $T_L(k)$: 図-4は、 $\{1 - Coh(x;k)\}$ と x との関係が直線的となることに着目し、波数 k ごとの $\{1 - Coh(x;k)\}$ に x の1次式を当てはめ、 $Coh(x;k) = 0$ となる x の値の $1/2$ を移流速度で割ったものを $T_L(k)$ として、 $T_L(k)$ と k との関係を示したものであって、 $T_L(k)$ が k の $-2/3$ 乗および -2 乗に比例して減少する慣性領域および第1粘性領域の存在が明確に示されており、 $T_L(k)$ についても表のような相似則が妥当であることが知れる。なお、図-4は半水深における計測結果を示したものであるが、種々の相対水深における計測値を考慮すると $T_L(k)$ のスペクトル定数として、慣性領域については0.33、第1粘性領域については0.013という値が得られる。

以上のような乱れの時空間スペクトルの特性より、乱れはそのスケールに関係なく局所的な平均速度で移流されつつ変形していくが、その変形過程はスケールによって大きく異なり、つぎのようであることが推論される。すなわち、小スケールの乱れは運動エネルギーを熱エネルギーへと逸散しつつより小スケールの乱れへと連続的に変形していくのに対し、大スケールの乱れは運動エネルギーを逸散することなくある一定寿命時間のうちに急激に別のスケール、たとえば乱流場を構成する平均スケール程度の乱れへと非連続的に変形していくと考えられる。

なお、今後は鉛直方向あるいは水路幅方向に離れた2点における乱れ速度間のコヒーレンシおよび位相差に関するスペクトル特性についても検討を加えていく予定である。

参考文献

- 1) 今本博健：開水路流れにおける乱れの移流過程について、土木学会第31回年講、Ⅱ-216, 1976.
- 2) 今本博健：開水路流れにおける乱れの位相速度について、土木学会関西支部年講、Ⅱ-13, 1971.

