

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

本報告は、既報¹⁾に引き続き、2次元開水路流れにおける乱れ速度の時空間構造について、フィルター手法を応用した相関解析により若干の考察をするとともに、ホットフィルム流速計を用いた多点同時乱れ計測により時空間構造を記述するいくつかの特性量について実験的検討を行なおうとするものである。

1. 時空間相関特性量 流れ方向に x だけ離れた2点における T という特定周期成分の乱れ速度に関する時空間相関係数 $R_T(x; \tau)$ は、 x を一定とすると、 x に応じて定まるある遅れ時間(最遅れ時間) τ_x において最大値を示し、 τ_x が τ より離れるにしたがって周期 T の規則的变化を示しつつ減衰する特性を有している。 $\tau = \tau_x$ における時空間相関係数すなわち最遅れ相関係数 $R_T(x) = R_T(x; \tau_x)$ はスペクトル解析における coherence の平方根すなわち coherency に相当し、最遅れ時間 τ_x は位相差に相当するものと考えられる。一、 $x=0$ における時空間相関係数すなわち自己相関係数 $R_T(\tau) = R_T(0; \tau)$ もまた、 $R_T(x; \tau)$ と同様、 τ の増加に伴って周期 T の規則的变化を示しつつ減衰する特性を有しているため、 $R_T(x; \tau)$ の減衰特性と $R_T(\tau)$ のそれとの間に相似性を仮定すると、 $R_T(x; \tau)$ は近似的に次のように表わされる²⁾。

$$R_T(x; \tau) = R_T(x) R_T(\tau - \tau_x) \quad \dots\dots (1)$$

一、 $R_T(\tau)$ および $R_T(x)$ は、図-1に示された $R_T(x; \tau)$ の計測例よりも知れるように、それぞれ次の関数形によって近似される。すなわち、

$$R_T(\tau) = \exp\left(-\frac{|\tau|}{T_0}\right) \cos 2\pi \frac{\tau}{T} \quad \dots\dots (2), \quad R_T(x) = \exp\left(-\frac{x}{L_x}\right) \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 T_0 は $R_T(\tau)$ の減衰特性を示すものであって、減衰時間あるいは持続時間といわれる。また、 L_x は $R_T(x)$ に関する積分スケールであって、平均速度が乱れ速度に比し十分大きい場合、Lagrange 的平均スケールに一致する。

流れに垂直な方向の時空間相関係数についても、以上と同様にして、その特性はそれぞれの最遅れ相関係数に関する積分スケールおよび最遅れ時間によって記述される。ただし、相関特性量の物理的意義は流れ方向に関するものと流れに垂直な方向に関するものとでは異なり、前者が平均流に伴う移流特性を示すのに対し、後者における積分スケールは乱れの空間的広がり、また最遅れ時間は乱れの空間的ひずみの度合いを示す特性量である。

2. 実験的検討 以上に示された種々の特性量のうち、自己相関係数の減衰特性を示す減衰時間 T_0 、流れ方向および水深方向の最遅れ相関係数に関する積分スケール L_x および L_y 、ならびに水深方向における最遅れ時間 τ_y を取り上げ、2次元開水路流れにおける流れ方向の乱れ速度を対象とした場合のこれらの特性量について実験的検討を行なう。なお、乱れ計測にはホットフィルム流速計が用いられ、実験水路は長さ13m、幅40cm、路床勾配1/500の滑面直線水路である。また、実験時の水理条件は表-1に示される通りである。

減衰時間 T_0 の計測結果は図-2に示されるようであって、 T_0/T は $U_c T/H$ に関係なくほぼ1という一定値を示し、 $T_0 \approx T$ という関係は計測点の路床面からの距離あるいは実験条件に関係なく成立するようである。ここに、 H は水深、 U_c は乱れの移流速度であって、 U_c は局所的平均速度 U に等しいとして差し支えない。

最遅れ相関係数に関する積分スケールについて日野³⁾は、 $L_x/U \approx \text{const.}$ という関係式を提案し、Corcos による

表-1 水理条件

実験 ケース	水深 H (cm)	平均速度 U_m (cm/sec)	摩擦速度 U_τ (cm/sec)	$Re = \frac{U_m H}{\nu}$	$Fr = \frac{U_m}{\sqrt{gH}}$
1	2.02	26.1	1.37	4.43×10^3	0.586
2	4.09	40.1	1.74	1.41×10^4	0.633

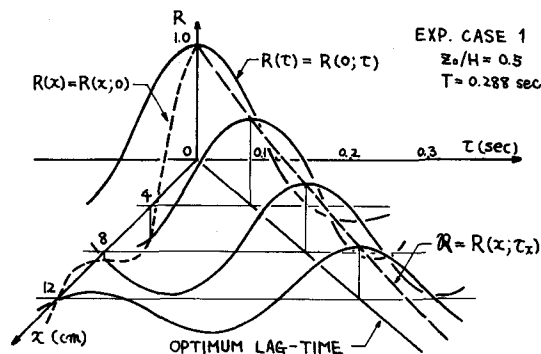


図-1 時空間相関係数

境界面における圧力変動に関する計測結果より流れ方向についての const. は 1.4 程度となることを示している。しかしながら、図-3に示された本実験結果によると、 L_z/U_cT は U_cT/H の小さい領域では一定となり、 U_cT/H が大きな領域では $(U_cT/H)^{1/2}$ に比例する様相を示し、 $L_z/U_cT \approx \text{const.}$ と見なせる領域においても、const. の値は路床面からの距離および水理条件によってかなり変化している。ただし、実験ケース1の $z_0/H = 0.1$ の場合の const. はほぼ 1.5 程度と見なされ、先の結果とかなりよい一致を示していることは興味深い。一方、水深方向を対象とした L_z/U_cT については対象とした周期領域全体にわたり、 $(U_cT/H)^{1/2}$ に比例しており、 L_z の値も L_x よりかなり小さいことがわかる。

また、水深方向における最適遅れ時間 τ_{opt} については、 $z \geq 0$ に応じて $\tau \leq 0$ (ここに $\tau > 0$ は位相の遅れを示し、自由表面側における乱れの位相が進んでいることになる) となることが知られているが、その特性については不明の点が多い。本研究においては次元解析の考察より τ に大きく関係する量として T および z を選び、これらの量を二次元開水路流れに関する代表的な水理量と見なされる H および U_c (摩擦速度) によって無次元化し、これらの無次元量と τ との関係を示すと 図-4 のようであり、両者を統合すると、

$$\frac{\tau}{T} \approx -\frac{1}{4} \left(\frac{U_c T}{H} \right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{z}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

という実験式が得られる。(4) は実験ケース2のみより得られた関係式であってその普遍性については今後之に詳細な検討が必要である。

参考文献:

- 1) 今本・上野・浅野 (1973): 昭和48年度土木学会関西支部年報, II-16.
- 2) 今本・上野・浅野 (1973): 京都大学防災研究所報, (49) 附刊.
- 3) 日野 (1972): 土木学会論文報告集, 202号.

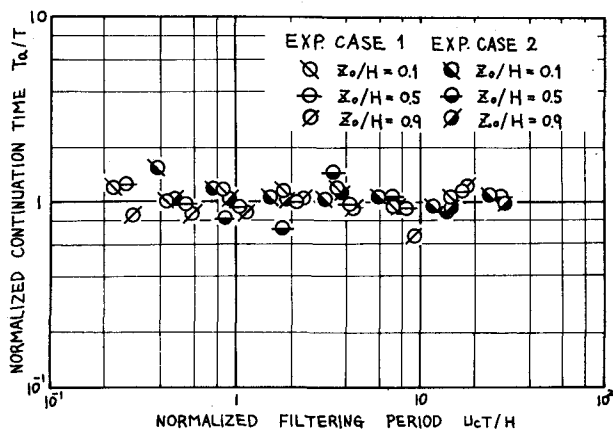


図-2 乱れの減衰時間

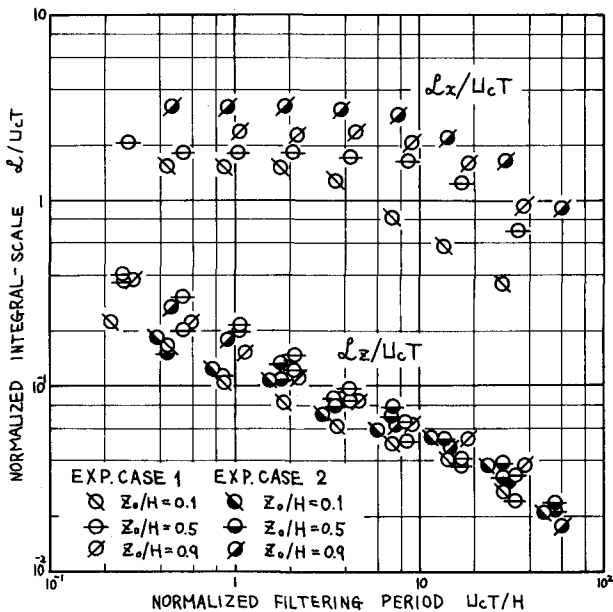


図-3 最適相関係数に関する積分スケール

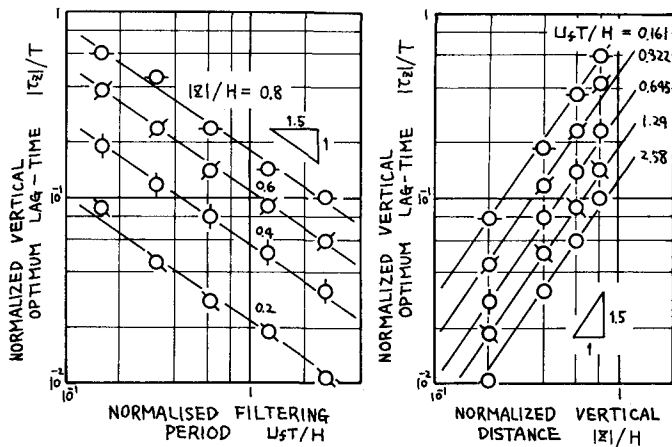


図-4 水深方向における最適遅れ時間