開水路流れにおける乱れの空間構造について
― 乱れの広がりに関する実験的検討 ―

京都大学防災研究所　正員　今本博健
京都大学防災研究所　正員　上野鉄男
京都大学 大学院　学生員○浅野富夫

1. はじめに　乱流状態における流速は時間的・空間的に不規則かつ偶然的な変動をしており，乱流現象の取り扱いにおいては乱れの時空間構造の解明が必要とされる。本研究は開水路流れにおける乱れの時空間構造のうちとくに空間的広がりについて実験的に検討しようとするものであって，乱れ計測にはホットフィルム流速計が，またデータ解析にはフィルター化乱れ速度による時空間相関解析法が用いられている。

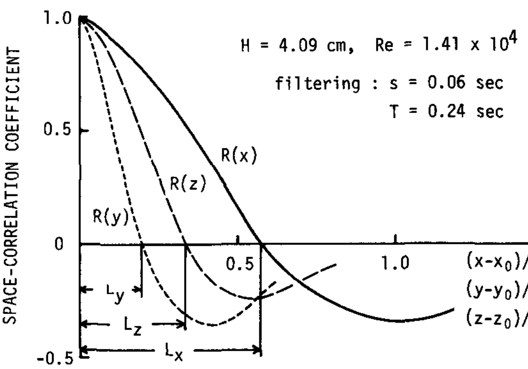
2. 時空間相関解析法　フィルター化乱れ速度による時空間相関解析法は，バンドパスフィルター操作により真の乱れ速度から対象とする周波数成分のもののみを抽出し，抽出された乱れ速度（フィルター化乱れ速度）について相関解析を行なうものである。本研究におけるフィルター操作としては時間的移動平均法が用いられたが，この場合，フィルター化乱れ速度 $u_f(t)$ は真の乱れ速度 $u(t)$ の s および T 時間移動平均値 $u_s(t)$ および $u_T(t)$ の差によって定義され，$u_f(t)$ に関するスペクトルは $u(t)$ に関するスペクトルに次のフィルター関数 $G(s,T;f)$ が乗じられたものとなる。[1] すなわち，

$$G(s,T;f)=\left\{\frac{\sin\pi fs}{\pi fs}-\frac{\sin\pi fT}{\pi fT}\right\}^2$$

本研究においては $T/s=4$ としたフィルター化乱れ速度が用いられたが，この場合の $G(s,T;f)$ は上式より明らかなように理想的フィルター関数とはかなり異なった特性を有するため，解析結果の定量性については若干の問題が含まれていることに注意しなければならない。

3. 実験装置および方法　実験水路は長さ13 m，幅40 cm，高さ20 cmの長方形断面の滑面直線水路であって，路床勾配は1/500に設定されている。ホットフィルムプローブは流れへの影響を少なくするためファイバー型のものを用いたが，センサー部の直径および長さは，それぞれ，70 μm および 1.25 mm である。ホットフィルム流速計の出力は一旦データレコーダに記録されたのち，A−D変換器によって数値化されたが，数値化におけるサンプリング周波数は解析の対象とする乱れの周波数に適応して選定し，データ数は1000とされている。

4. 実験結果および検討　乱れの空間的広がりを表わすスケールとしては従来より各種のものが提案され，なかでも積分スケールがよく用いられているが，フィルター化乱れ速度による時空間相関解析法が用いられる場合，一般に，時空間相関係数は時間的・空間的に周期的に符号が変化するため，積分スケールの方法は必ずしも良好ではない。本研究においては，流れ方向ならびにそれに垂直な方向に離れた2点にお



図−1　同時空間相関係数

ける同時空間相関係数に基づき次のようにして決定されるスケールを用いることにする。すなわち，図-1は，水路中央部路床面上を原点にとり，流れ方向，水路幅方向，水深方向をそれぞれ x, y, z としたとき，$x_0/H=y_0/H=0$ および $z_0/H=0.1$（H:水深）を基準点としたときのそれぞれの方向における同時空間相関係数を示したものであるが，このような空間相関係数が最初に0を切る距離によって L_x, L_y, L_z を定義すると，これらはそれぞれの方向において正の相関を有する空間的広がりの半径を意味する。なお，L_x は，$R(x)$ の特性より容易に知れるように，フィルター操作の特性より定まる周期 T_0 と移流速度 U_c との積の1/4となるから，L_y および L_z は流れ方向の半径が L_x というスケールの乱れの y および z 方向の広がりに対する半径と解釈される。

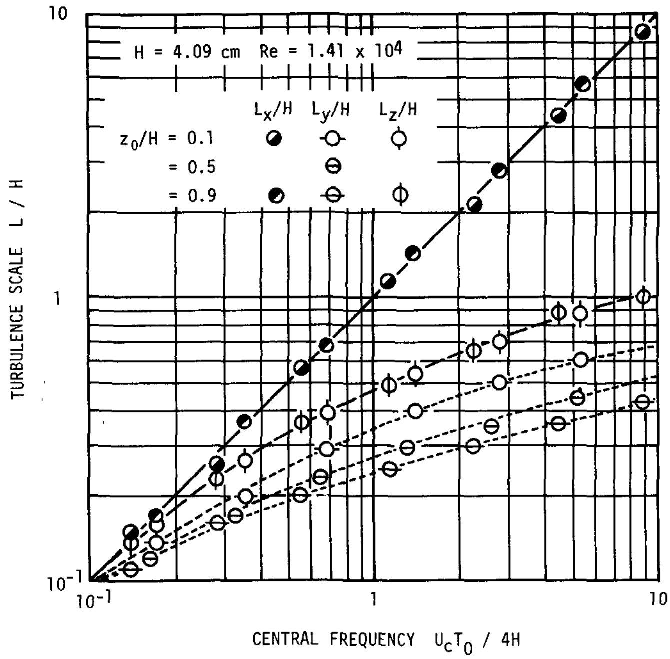


図-2　乱れのスケール

図-2は，図-1の定義に基づいて得られた L_x, L_y および L_z とHとの比を縦軸に，$U_cT_0/4H$ を横軸にとって解析結果を整理したものであるが，この図より次の事項が類推される。すなわち，1)乱れの水路幅あるいは水深方向の広がりは流れ方向に大きな広がりをもつものほど大きいが，流れ方向の広がりの増加に比し水路幅あるいは水深方向の広がりの増加の度合いは徐やかである。2)流れ方向の広がりが一定の乱れについての水深方向の広がりは基準点 z_0/H にほとんど関係しないが，水路幅方向の広がりは z_0/H が大きくなるほど，すなわち，自由表面近傍ほど大きい。3)きわめて小さなスケールの乱れについては，L_x, L_y, L_z ともほぼ等しくなり，乱れの空間構造は球体モデルによく表現される。4)大きなスケールの乱れについては $L_x > L_y > L_z$ となり，水路幅方向に偏平な楕円体モデルによる表現が妥当のようである。このような乱れの空間的広がりに関する定性的特性は他の実験ケースについてもほぼ同様であり，2次元開水路流れに関する一般的特性と考えられるが，定量的特性についてはさらに詳細な検討が必要である。

5. おわりに　開水路流れにおける乱れの空間構造を解明するには，本研究において対象とした流れあるいは流れに垂直な方向における乱れの空間的広がりのほか，位相差を考慮した空間的広がりの解明が必要であり，さらには移流に伴う変形過程の解明も必要とされる。これらの目的を達成するには乱れ計測法ならびにデータ処理法などについての検討が不可欠であり，今後の研究により，より一般的な特性の解明へと努めたい。

参考文献　1) 今本博健・上野鉄男：開水路流れにおける乱れの空間構造について(2)—平均流による乱れの移流過程—，京都大学防災研究所年報，15B，昭和47.4