II-176　開水路流れにおける乱れの広がりについて

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，2次元開水路流れの時空間構造について，主として時間的移動平均法を併用した相関解析により実験的検討を進め，乱れのスケール成分ごとの時空間特性を明らかにしてきたが，[1] 乱流現象に含まれる多様な不規則性にもとづくデータのバラツキが大きく，時空間構造の一般的特性について定量的評価を下すにはさらに多くの実験的検討が必要とされる。本報告は，相関解析において数多くの繰り返し解析を行なうことによりデータの信頼性を高め，種々のスケール成分より構成される乱れの流れ方向，横方向および鉛直方向の広がりについて実験的検討を加えたものであって，スケール成分ごとの解析については別の機会にゆずることにする。

1. 実験装置および方法

実験水路は，長さ13m，幅40cm，深さ20cmの直線水路であって，路床こう配は1/500に設定されている。速度計測には2台のホットフイルム流速計を用い，流体内の2点における同時計測が行なわれている。データ処理では磁気テープに記録された流速計の出力電圧をA-D変換器により数値化する方法を用いたが，このときのサンプリング間隔 $s=0.05sec$ である。本研究では対象とする乱れの最大スケールを水深の10倍とし，1ブロックのデータ数は最大スケールの10倍，すなわち，$N=(10H/U_m s)\cdot 10$ に選ばれ，5~90ブロックのデータについて相関解析が繰り返されている。ここに，H は水深，U_m は断面平均流速である。

2. 乱れの広がり

空間相関係数の一例として，$H=4.12cm$ ($Re=2.23\times 10^4$) の場合について，相対高さ $z/H=0.1$ における流れ方向，横方向および鉛直方向の空間相関係数 R(x)，R(y) および R(z) を示すと図-1のようであり，R(x) および R(z) が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，一の極小値を示したのちふたたび増加して0に漸近している。また，R(x) の減少度合いは他のものに比しはるかにゆるやかであり，流れ方向の広がりがもっとも大きいことが知れる。このような乱れの広がりを各方向の相関係数の平均スケール L_x，L_y および L_z で示すと図-2のようになる。なお，L_z は計測点より路床面側および自由表面側の2方向より計算されたものの平均値で示されているが，一般に自由表面側より得られたものが若干大きくなっている。図-2により，各方向のEuler的平均スケールについてはいずれの相対高さにおいても $L_y > L_z > L_x$ となり，L_y は他のものに比し自由表面に近づくにしたがって著しく増加する傾向のあることが知れる。

また，Reynolds数とEuler的平均スケールとの関係について $z/H=0.5$ の場合を示すと図-3のようにな

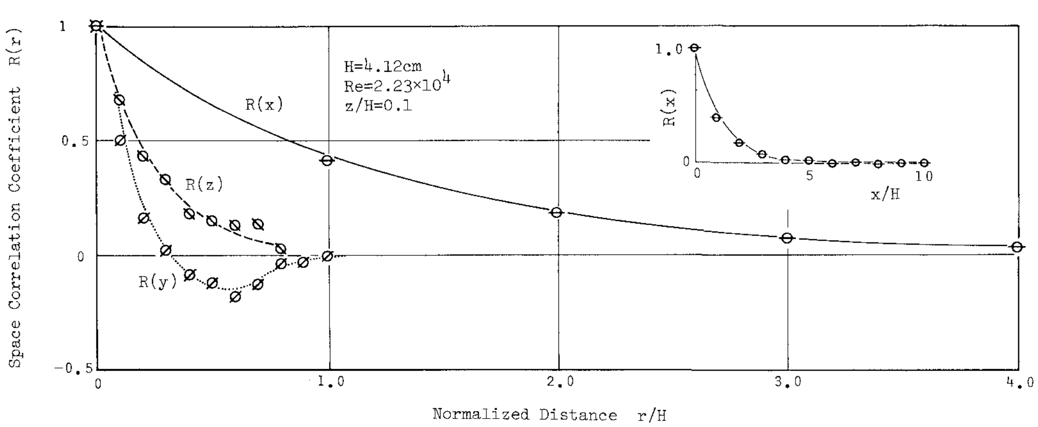

図-1　流れ方向，横方向および鉛直方向の空間相関係数

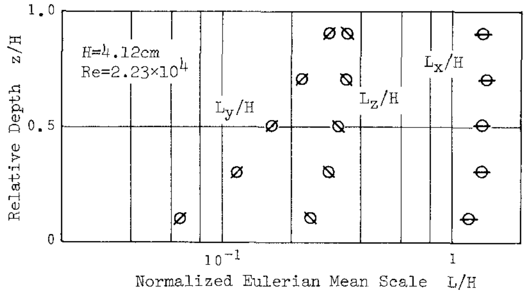

図-2 Euler 的平均スケールの鉛直分布

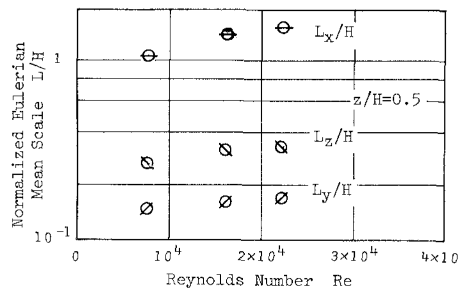

図-3 Euler 的平均スケールと Re 数との関係

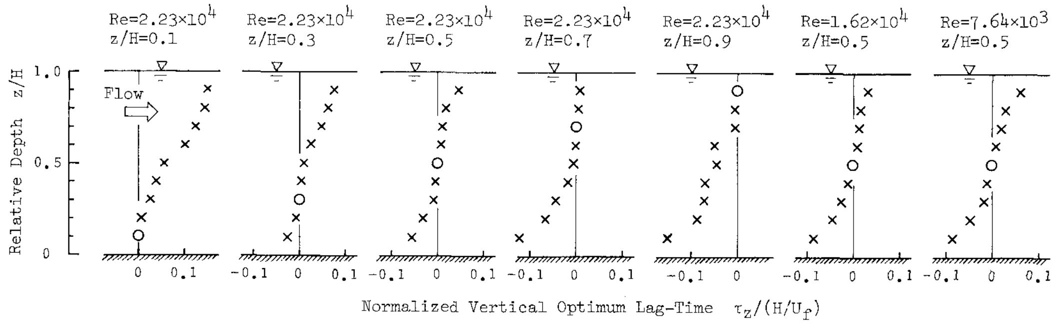

図-4 鉛直方向最適遅れ時間の鉛直分布および Re 数の効果

り，Euler 的平均スケールと水深との比は Re 数の増加とともに若干大きくなるようである。

さらに，流れ方向の平均スケールに Reynolds 数相似則に基づいた普遍表示を用いると，図-3 に示したものについてはいずれも $L_x/(HU/U_f) \approx 0.08$ となり，今本[2]による実験値 0.15 よりかなり小さくなっている。ただし，ここでは平均スケールを相関係数の積分操作より算定しているのに対し，今本はスペクトルに相似則を適用しスペクトル特性より平均スケールを算定しており，互いの算定法には差異があるため定数値の決定にはさらに詳細な検討が必要である。

3. 乱れの位相差

鉛直方向の時空間相関係数が最大となるときの遅れ時間（最適遅れ時間）τ_z を H およびU_fで無次元化すると図-4 のようになり，乱れの位相差はいずれの基準点からみても自由表面側ほど進み，路床面側ほど遅れていることが知れる。なお，ここに示した無次元化位相差は基準点の高さ，2点間の距離および流速差などに関係すると考えられるが，本実験値のみからこれらの関係式を決定することはできない。また，$z/H=0.5$ を基準点とした他の Re 数の場合との比較より，Re 数により無次元化位相差はそれほど変化しないように見えるが，これについても本実験結果のみから断定することはできない。

一方，横方向の時空間相関係数 $R(y,\tau)$ は，$y/H<0.2$ のとき $\tau\approx0$ においてかなり明確な極大値を示すが，2点間の距離が大きくなるにしたがって極大値の存在は不明確となり τ_y の推定が困難となる。さらにy/Hが増加すると $R(y,\tau)$ は $\tau=0$ において負の極小値を示すようになり，位相差の物理的意味は他の場合とは異なるものとなる。したがって，$R(y,\tau)$ が比較的明確な極大値を示す $y/H<0.2$ での最適遅れ時間より考えると，横方向の位相差は無視しうるとして差し支えないようである。

以上の結果を総合すると 2 次元開水路流れにおける乱れは，横方向，鉛直方向，流れ方向の順に広がりを大きくするとともに，鉛直方向のせん断力の存在のため位相は自由表面側で進みを，路床面側で遅れを示すようになり，自由表面側で若干下流に傾き流れ方向に偏平な乱れのモデルを描くことができる。

参考文献

1) 今本博健，上野鉄男，浅野富夫：開水路流れにおける乱れの空間構造について(3)，京大防災研年報，16B，pp.505~519，昭 48。4.
2) 今本博健：開水路流れにおける乱れの基本的特性について，土木学会論文報告集，197，pp。83~91，1972. 1.