

開水路乱流の時系列特性に関する一考察

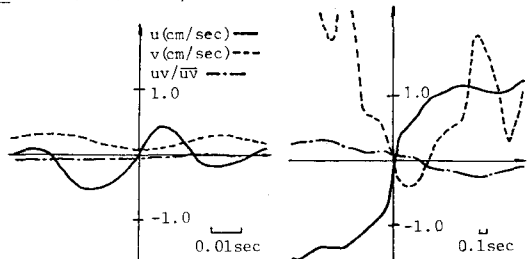
大阪大学工学部 正 員 室田 明
 大阪大学大学院 学生員 福原 輝幸
 大阪大学大学院 学生員 〇佐藤 勝

1. 緒 論: 著者等は点計測を用いた実験により開水路壁面近傍に存在する大規模かつ秩序だった乱流構造の特性を明らかにすべく研究を進めており、本研究では主にレイノルズ応力を構成する4事象の推移特性について得られた知見を報告する。

なお、実験は断面平均流速 $U_m = 10 \text{ cm/sec}$ 、水深 $H = 7 \text{ cm}$ 、レイノルズ数 $Re \equiv U_m H / \nu = 6760$ の水理条件下で、2成分熱線流速計を用いて測定を行った。

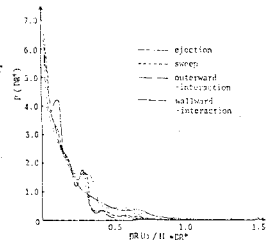
2. 条件付抽出法による結果およびその考察: まず最初に、乱れの時間規模の違いによる乱流構造の変化を、次の方法により調べた。

すなわち、流下方向変動流速 u の符号が正から負へ変化する点から次のその点までの時間（時間規模）を検出し、この2点の間で u が負から正へ変化する点の前後における u 、水深方向変動流速 v 、レイノルズ応力 uv のアンサンブル平均パターンを求める方法である。



その結果を図-1、図-2に示す。前者は時間規模が小さい場合、後者は時間規模の大きい場合の結果であり、両者を比較すれば時間規模と u, v, uv の変動量の大きさあるいは乱れの規則性 (u と v の相関) との間には正の相関があると思われる。次に、 u および v の両時系列を検出基準の対象として、 uv -時系列を① $u > 0, v > 0$: outward

interaction (io) ② $u < 0, v > 0$: ejection (ej) ③ $u < 0, v < 0$: wallward interaction (iw) ④ $u > 0, v < 0$: sweep (sw) の4事象に分割し、各事象間の推移特性を調べる。図-3は各事象の持続時間の確率密度分布を示しており、持続時間の短い所で密度が極めて大きい。なお、本文中で



用いる記号の説明を表-1、表-2に記す。図-4(a)は各事象毎に持続時間の大きさ（各事象の最大持続時間を5分割）によって標本を5ク

ラスに分類し、持続時間の最も短いクラス-1と持続時間の比較的長いクラス-3において、それぞれ u の符号変化による事象の推移 (TR1) および v の符号変化による事象の推移 (TR2) の頻度を示したものである。

なお、 u と v による符号変化による推移 (TR3) は頻度が低いために省略している。図中の矢印先端部の数字は矢印の向きに事象が推移する場合の確率を百分率で示したものである。図-4(b), (c) は変動量 $uv, \sqrt{u^2 + v^2}$ を用いて同様な解析を行った結果である。図-4(a), (b), (c) のいずれの場

図-3 持続時間の確率密度分布

表-1 事象の推移過程

TRANSITION	U	V
TR1	YES	NO
TR2	NO	YES
TR3	YES	YES

表-2 事象の推移過程

TRANSITION	E1 → E2 → E3
SAMPLING POINT	SP1 SP2

Akira Murota, Teruyuki Fukuhara, Masaru Sato

合においても、クラス-1では卓越した推移特性は容認し難いが、クラス-3では $\dot{v}$ の符号変化による事象の推移が起りやすいことが認められる。このことは、時間規模と種々の変動量の大きさの間には相関関係が存在するという前述の結果とも一致し、特に持続時間の短い事象に比べて持続時間の長い事象は規則的であることが知られ、極めて興味深い。そこで、以下では秩序だった乱れ特性を把握するために、持続時間の長い事象(クラス-3)のみに着目して、その前後の推移時における特性(事象が変化する時刻における u, v および時間微分 $du/dt \equiv \dot{u}, dv/dt \equiv \dot{v}$)を調べる。得られた結果を以下(i), (ii)(図-5参照), (iii)(表-3参照)に列挙する。(i) TR1の状態では事象が推移する際の絶対値 $|u|_{TR1}$ および $|\dot{u}|_{TR1}$ とTR2の状態では事象が推移する際の $|u|_{TR2}$ および $|\dot{u}|_{TR2}$ をそれぞれ比較すると、 $|u|_{TR2}/|u|_{TR1} \approx 2$ 、 $|\dot{u}|_{TR2}/|\dot{u}|_{TR1} \approx 2$ となる。(ii) u の符号変化($\dot{v}$ の符号変化)

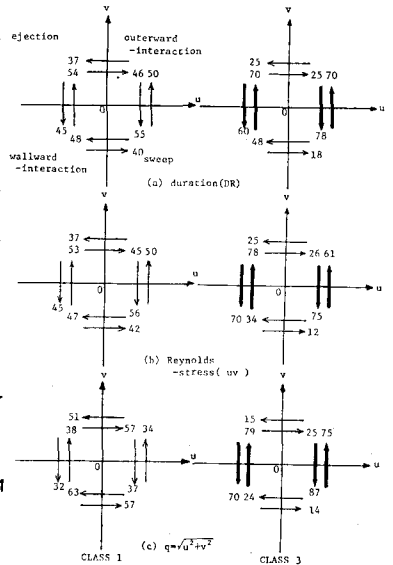


図4 事象の推移特性

により事象が推移する際の $\dot{v}(u)$ の値はあまり変化しないが、ejectionやsweepに関しては加速度ベクトル($du/dt, dv/dt$)を示す矢印の方向は一定の傾向を示す。すなわち、他の事象からejection(sweep)へ推移する場合、 $\dot{u}$ は負(正)になりやすく、逆にejection(sweep)から他の事象へ推移する場合、 $\dot{u}$ は正(負)かつ $\dot{v}$ は負(正)になりやすい。(iii) 各事象が推移する際の $\dot{u}, \dot{v}$ の比を表-3に示す。事象の推移(TR1)は条件付けに用いた事象(E_j)の前(sp1)と後(sp-2)でそれぞれ考えられるが、その際、 u の加速時における $\dot{u}$ と減速時における $|\dot{u}|$ の比 $|\dot{u}|_{\text{acc}}/|\dot{u}|_{\text{dec}}$ の値は、 iw を除きすべて1より大きい。これより、 u -時系列では減速よりも加速の方が急激であることがうかがえる。一方、 v についても同様の整理を行えば、 $|\dot{v}|_{\text{acc}}/|\dot{v}|_{\text{dec}}$ の値は各事象ともほぼ1程度であり、 u にみられるような明確な傾向は v -時系列では認め難い。特に、上述の u -時系列の変動特性は室田ら¹⁾のパターン認識法で得られた結果と一致する。併せて、事象の推移時における特徴的な変動特性は $\dot{v}$ よりはむしろ u の時系列に現われやすいことが推察される。

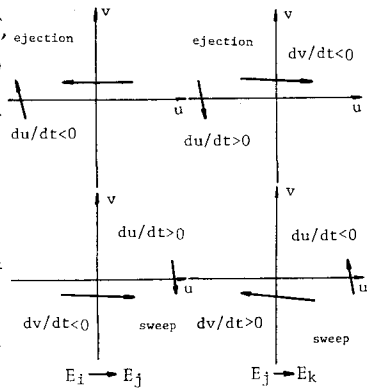


図5 事象推移時の加速度変化特性

表-3 事象推移時の $\dot{u}$ および $\dot{v}$ の比

$ \dot{u} _{\text{acc}}/ \dot{u} _{\text{dec}} / \dot{v} _{\text{acc}}/ \dot{v} _{\text{dec}}$						
$\sqrt{Re} E_j$	i_e	e_i	i_s	sw	$mean$	
0.04	1.10	1.32	0.79	1.13	1.11	
0.09	1.24	1.23	1.29	0.97	1.19	
0.17	1.10	1.43	0.30	1.60	1.12	
0.26	1.51	0.97	1.00	1.22	1.18	
0.37	1.58	1.63	0.34	0.91	1.24	
0.71	1.45	1.06	0.85	1.22	1.18	
mean	1.38	1.31	0.87	1.18	1.19	

$ \dot{v} _{\text{acc}}/ \dot{v} _{\text{dec}} / \dot{u} _{\text{acc}}/ \dot{u} _{\text{dec}}$						
$\sqrt{Re} E_j$	i_e	e_i	i_s	sw	$mean$	
0.04	0.97	0.92	0.40	1.32	0.94	
0.09	1.02	1.17	1.03	1.34	1.07	
0.17	0.98	1.21	1.13	1.29	1.10	
0.26	1.14	0.77	1.25	0.91	0.99	
0.37	0.99	0.32	0.87	0.52	0.80	
0.71	1.84	0.49	0.60	1.28	1.15	
mean	1.13	0.90	0.91	1.05	1.06	

3. 結論: 本研究により次の知見を得た。(1)乱れの時間規模と乱れの規則性、変動の大きさの間には正の相関関係がある。(2)大規模乱流に起因すると思われるような相対的に持続時間の長い事象の前後の事象の推移は、 $\dot{v}$ の符号変化による場合が卓越しており、規則的である。 <参考文献> 1) 室田・福原・小田：第25回水理講演会論文集，1981