

管および環状流路内の乱流構造(Ⅱ)

— 変動成分の組織的構造 —

宮下 尚, 柴田 良弘, 西村 龍夫

1. 緒 言

流路内流れの乱流構造の解明を目的として前報では、乱流強度分布とレイノルズ応力分布について、実験的に明らかにし考察を加えた。

前報のレイノルズ応力分布の測定結果からもわかるように、主流方向と半径方向のそれぞれの速度変動成分 u' 、 v' の積によって表現されるレイノルズ応力 $-\rho u'v'$ [Pa] は、同心、及び偏心二重管環状流路においては、流路中間点でのレイノルズ応力がゼロとなる地点を境として、外管壁へ向かうにつれて単調増加をし、また内管壁へ向かうにつれて単調減少をすることから、 u' と v' の間には、ある相関性が存在すると考えることは妥当である。そこで、流路内の乱流構造を二方向の速度変動成分間の相関性を、統計的な表現方法で表すことにより解明を試みる。その表現方法として相関係数がある。前報では、二方向速度変動成分の大きさから乱流構造を表現したが、ここでは、二方向速度変動成分間の相関の度合いから、乱流構造を表現する。本報では、同心、及び偏心二重管環状流路における分布を比較、検討する。

また、時間的な測定と空間的な測定を同時に行うという測定法を試み、着眼点を主にその時間的な変化に対して考察してみる。この測定法は、可視化実験のような定性的な性質も備えており、また瞬間的な流れの観察を行うことができるという点では、可視化実験では得られない、微小時間における乱れ構造を観察できるものと思われる。

また、バーストに関連した大規模な組織的構造が存在するかどうかを明らかにしようとするものであり、またバースト発生時における主流方向と半径方向の乱流成分の挙動を観察し、組織的構造の規模を明らかにしようとするものである。よって、時間的に組織性のあるコヒーレントな現象を定性的に観察し、レイノルズ応力、相関係数の結果への関連性を追求することを目的とする。

2. 装置および実験方法

2.1 装 置

実験装置は前報と同じもので、外管内径50mm、内管外径21.8mmの環状流路内流れについて、流路入口から3.9mの位置で測定を行った。速度場は、完全発達乱流となっていることを前報で確認済みである。測定には、熱線流速計(KANOMAX社・CTA System MODEL 7223)を用い、センサーとしてX型プローブを使用した。

2.2 実験方法

熱線流速計から同時刻に出力される主流方向速度変動成分 u' 、半径方向速度変動成分 v' 、及び速度相関値 $u'v'$ の信号を、3チャンネルトランジェント・メモリーに一旦入力させた後、レコーダ出力させる。これは、熱線流速計からの出力信号を従来のレコーダに直接入力させる記録方法では、高速変化信号を追従することができないためであり、また同時刻における変化を観察するためには、時間軸を拡大して記録することが必要なためである。トランジェント・メモリーのサンプリング周期は任意に選択することができるようになっており、この周期は熱線流速計から出力される信号の応答性を上回った値を選択して測定を行った。なお、ここでの実験結果は、レコーダ波形を観察し、波形から現象を読み出しサンプリングするという処理を行っているため、結果は定性的な表現となっている。

3. 実験結果

3.1 相関係数分布

相関係数は、主流方向と半径方向の速度変動成分 u', v' の積の時間平均を規準化した量

$$R_{uv} = \frac{u'v'}{\sqrt{u'^2} \sqrt{v'^2}} \quad (1)$$

で表現している。この表現方法によると、 u' と v' の間に相関性が全くない場合には、 $R_{uv} = 0$ となる。また、完全相関の場合には

$$u'v' = u'^2 = v'^2$$

となり、 $R_{uv} = 1.0$ と表現される。

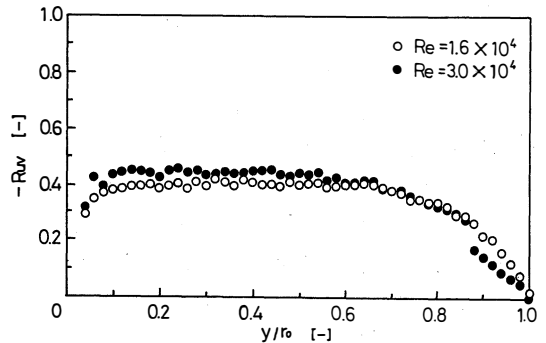
単一円管内流れでの相関係数分布を図1に示す。

図より流路中心軸上で、相関係数 $R_{uv} = 0$ の値をとることがわかる。これは、相関係数の表現方法の

Eq.(1)からも容易に想像されることである。Eq.(1)の右辺の分子は $u'v'$ であり、これは速度相関と一般に呼ばれる値であるが、この値は、前報のレイノルズ応力の結果からも表れているように流路中心軸では、壁面から中心軸へ向かう半径方向の速度変動成分 v' が、反対側の壁面から中心軸へ向かって発生した速度変動成分 v' と相殺し合い、理論的には中心軸では v' の存在がないため速度相関 $u'v' = 0$ となる。従って、相関係数 $R_{uv} = 0$ となるものである。

相関係数の分布形状は、両レイノルズ数ともほぼ同形状の分布をしていることから、レイノルズ数には依存していないことがわかる。また、流路中心から壁面へ向かってレイノルズ応力の分布のように一定の増加をする訳ではなく、壁極近傍での $y/r_0 < 0.1$ と、流路中心付近での $0.65 < y/r_0 < 1.0$ の範囲を除く、広い範囲で一定値をとることがわかる。そこで、分布形状を壁面近傍の $y/r_0 < 0.1$ と、 $0.1 < y/r_0 < 0.65$ と、流路中心付近の $0.65 < y/r_0 < 1.0$ の三つの範囲に分けて考察する。

壁近傍の $0 < y/r_0 < 0.1$ の範囲では、相関係数は一定値をとらずに壁面から離れるにつれて値は増加している。このことについては、先の乱流強度分布、レイノルズ応力分布に関しても当てはまることである。壁極近傍の粘性底層では主流方向の速度変動成分 u' 、及び半径方向の速度変動成分 v' は小さな値となるが、半径方向の速度変動成分 v' の値は壁の影響を受けるため極端に小さな値となるために、速度相関 $u'v'$ の値も極端に小さな値しか表れない。壁の影響を受ける壁面近傍の領域から、乱流コアへ向かうにつれ相関性が増加するものである。



Correlation coefficient profile in circular tube

図1

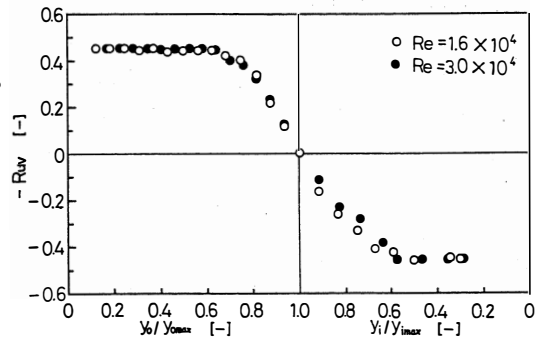
次に、 $0.1 < y/r_0 < 0.65$ の広い範囲で相関係数の値は、一定値をとり $-R_{uv} \approx 0.45$ となっている。この値はレイノルズ数には依存していない。長野らは、流体として空気を使用し、I型熱線とV型熱線をプローブとし、円管内乱流構造を測定した。結論として相互相関係数 $-R_{uv}$ は $0.1 < y/r_0 < 0.6$ の広い範囲で $-R_{uv} = 0.45$ で一定値をとり、その相関係数はレイノルズ数には依存していないものと報告している。またLuらは、平板乱流境界層においても $0.1 < y/\sigma < 0.6$ で、 $-R_{uv} = 0.44$ で一定であり、外層における u' と v' の関連はかなり普遍的な性格を有していると著している。本実験結果では、相関係数の一定値をとる範囲についても、また、 $-R_{uv}$ の値についても長野らの結果と、ほぼ一致した結果を得ていることから、相関係数の普遍的な性格の汎用性が確認された。

流路中心付近の $0.65 < y/r_0 < 1.0$ の範囲では、相関係数の値は一定値の $-R_{uv} = 0.45$ から、中心軸 $y/r_0 = 1.0$ で $-R_{uv} = 0$ をとる形で減少する。この中心軸付近の領域では、壁面から中心軸へ向かう半径方向の速度変動成分 v' が、反対側の壁面から中心軸へ向かって発生した速度変動成分 v' と相殺し合い、徐々に値は小さくなり、理論上では半径方向の速度変動が存在しない中心軸で、相関係数 $-R_{uv} = 0$ となるものである。

同心二重管環状流路内流れでの $-R_{uv} = 0$ の位置(この位置は最大流速位置と一致していることを確認している)を境とし、外管側と内管側を分けて表現をする。 $-R_{uv} = 0$ の位置より外管側を y_0/y_{0max} とし、内管側を y_i/y_{imax} と表し、図2に示す。この表現方法では、最大流速位置を境として分けた形になっているが、 $-R_{uv} = 0$ の位置は、最大流速位置と一致しているので結局は、 $-R_{uv} = 0$ の位置を境に分けた横軸と考えても全く問題はない。分布は、内管側については明らかではないが、外管側に関しては $y_0/y_{0max} < 0.65$ の範囲で一定値 $-R_{uv} = 0.45$ となっていることが観察される。前報の乱流強度やレイノルズ応力などは、乱れを速度変動成分の値自体で表現するものであったのに対し、相関係数は二方向の速度変動成分間の相関性を統計的处理をした値で表現されたものである。よって、ここで、空間的組織性のあるコヒーレントな現象は、単一円管流路、及び同心二重管環状流路にかかわらず類似した傾向となっているという結果を得た。

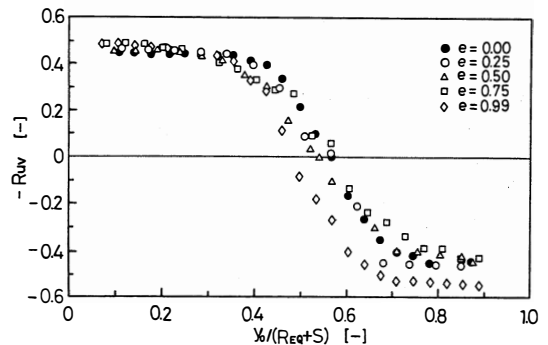
次に、偏心二重管環状流路最広部での相関係数分布と比較してみる。 $Re = 1.6 \times 10^4$ についての同心の場合と、偏心率 $e = 0.25, 0.50, 0.75, 0.99$ の流路最広部における分布を図3に示す。偏心率の違いによって分布形状に少々差異が見られる。相関係数 $-R_{uv} = 0$ となる位置は偏心率によって異なっている。このことについてはEq.(1)の相関係数の定義式からもわかるように、レイノルズ応力 $-\rho u'v' = 0$ となる位置と相関係数 $-R_{uv} = 0$ となる位置は同一地点であり、偏心率の増大に伴う相関係数 $-R_{uv} = 0$ の位置の変化については、前報のレイノルズ応力分布の結果で述べているので、ここでは省略する。

偏心率 $e = 0.99$ の場合は、やはり相関係数分布



Correlation coefficient profile in the region of outside and inside for coaxial double tube

図2



Correlation coefficient profile in eccentric annulus

図3

においても他の偏心率の場合とは異なった分布形状や、値を現している。偏心率 $e = 0.99$ の分布線は、外管側での一定値については他の偏心率の場合とはほぼ類似しているが、内管側での一定値については $|-Ruv| = 0.55$ という大きな値となっている。相関係数は、主流方向と半径方向についての速度変動成分のかかり合いを表現している値であり、この値が大きいうことは、偏心率 $e = 0.99$ の内管側での乱流構造はかなりの組織性を有しているものと予想することができる。実際、乱流強度分布、レイノルズ応力分布においても、偏心率 $e = 0.99$ の場合の内管側の分布は他の偏心率の場合とは異なった形状を現していたが、統計的な表現方法においては、より組織的な構造であるという結果を得た。

他の偏心率では、外管側での一定値と内管側での一定値はほぼ同じ値で、相関係数 $|-Ruv| = 0.45$ である。また、一定値をとる範囲は、外管側では低偏心率 $e = 0.25, 0.50$ の場合には広い範囲となる傾向がある。内管側でのこの範囲は、偏心率 $e = 0.25, 0.50, 0.75$ については、はっきりした違いは現れておらず、ほぼ類似した分布である。

以上のことから環状流路における相関係数の分布は、極端な高偏心率 $e = 0.99$ の場合を除いては、ほぼ形状が一致していることから、偏心率の増加による二重管環状流路最広部での乱流の組織的構造は、あまり影響を受けずに、ほぼ類似した構造であると考えられる。

3.2 変動成分の時間的变化

単一円管内における壁面近傍から管中心に至る代表的な位置での、主流方向速度変動成分 u' 、半径方向速度変動成分 v' 、及び速度相関値 $u'v'$ の同時測定を $Re = 1.6 \times 10^4, 3.0 \times 10^4$ について行った。ここでは、 $Re = 1.6 \times 10^4$ について、各代表位置における波形を図 4 ~ 9 に示す。各波形を横軸には時間 T [sec]、縦軸には速度変動成分 [cm/sec]、及び速度相関 [cm²/sec²] をとってある。

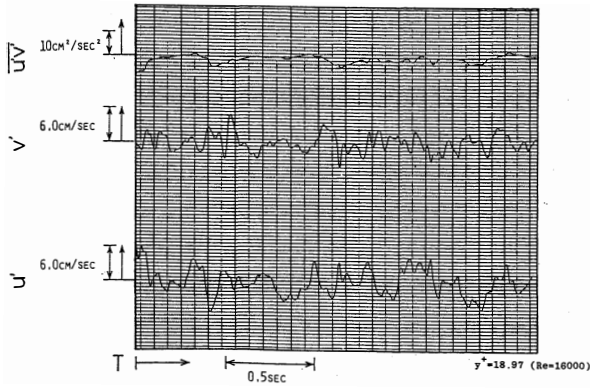
波形を全体的に観察すると、どの位置においても $Re = 1.6 \times 10^4$ では $Re = 3.0 \times 10^4$ の場合と比較し、変動が低周波であることがわかる。また、主流方向に比べ、半径方向の速度変動成分の方が高周波の変動をしている様子がよくわかる。以下では、各位置での波形を定性的に観察する。

まず、壁近傍の遷移層として、 $y^+ = 18.97$ の位置での波形を図 4 に示す。この位置では他の位置に比べ振幅も小さく、高周波成分も少なく、 u' 及び v' の変動はかなり低周波である。また速度相関の変動はかなり間欠的にピークが存在し、波形は偏っている。 $u'v' < 0$ となる比較的大振幅の変動は、高運動量流体 ($u' > 0$) が壁面へ向かう運動 ($v' < 0$) と、低運動量流体が壁面から放出される運動 ($u' < 0, v' > 0$) とが、同程度の強さと時間割合で発生している。この領域では u' と v' の符号は逆になるが、低周波の変動であり、かつその変動パターンはよく似ているために、前章で相関係数がこの位置で大きな値が現れたものと考えられる。

次に、壁領域の乱流域として、 $y^+ = 37.95$ の位置の波形を図 5 に示す。遷移層と比較すると、 u' も v' もかなり波形の振幅が大きくなっている。速度相関は $u'v' < 0$ となる場合が多いが、 $u'v' > 0$ の波形も現れており、高周波成分の存在が現れ始めて、 $u'v'$ のピークの周期はかなり短くなっている。この位置はレイノルズ応力が最も大きな値をとる位置であり、速度相関の波形からもそのことがよく現れている。また u' の波形については、比較的ゆっくりと減少した後で急激に増加するという Kastrinakis¹⁾、Wallance⁴⁾ によって示された、典型的なバースティング現象の変動パターンが見られる。

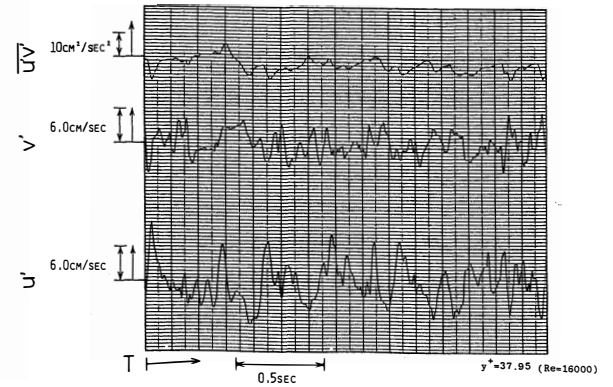
次に、乱流コアとして、 $y^+ = 113.84$ の位置の波形を図 6 に示す。壁から更に離れたこの領域では、速度相関が $u'v' < 0$ となる速度変動の組み合わせは、 $u' > 0$ と $v' < 0$ の運動よりも、壁面から中心へ向かう $v' > 0$ (よって $u' < 0$) の運動の組み合わせによるものの方が頻度が多くなっているが、速度相関 $u'v'$ と値は、壁領域と同様にやはり極めて間欠的にピークが現れている。

次に、前章の結果から求められた相関係数分布の変曲点の位置について、 $Re = 1.6 \times 10^4$ では y^+



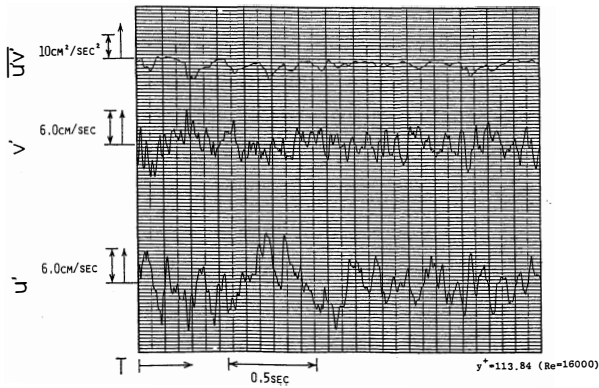
Behaviour of Z, r-direction velocity fluctuation and velocity correlation (circular tube)

図 4



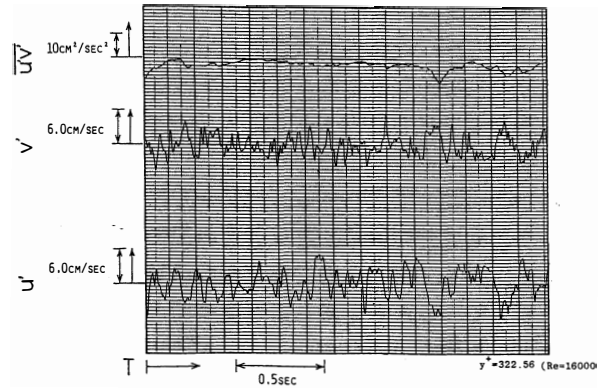
Behaviour of Z, r-direction velocity fluctuation and velocity correlation (circular tube)

図 5



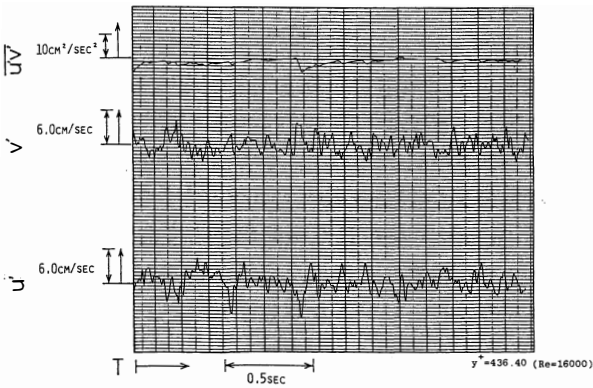
Behaviour of Z, r-direction velocity fluctuation and velocity correlation (circular tube)

図 6



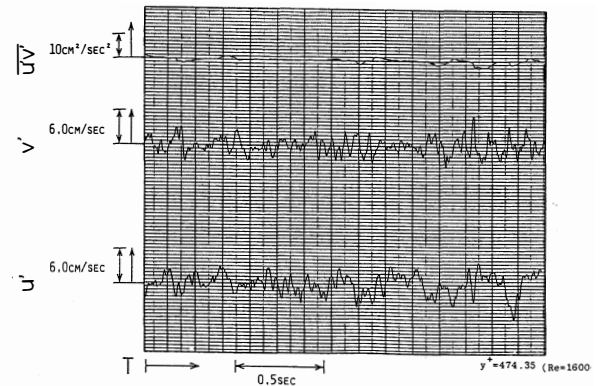
Behaviour of Z, r-direction velocity fluctuation and velocity correlation (circular tube)

図 7



Behaviour of Z, r-direction velocity fluctuation and velocity correlation (circular tube)

図 8



Behaviour of Z, r-direction velocity fluctuation and velocity correlation (circular tube)

図 9

= 322.56 の波形を図 7 に示す。この位置では速度相関の変動は、かなり間欠的にピークが現れながらも、なおピークの時点ではかなりの大振幅をしている。乱流コアでの性質と、次に示す乱流コアの管中心部の性質の両方の性質を兼ね備えた中間の性質を示しており、乱流構造の組織性が変化する位置であることがわかる。

次に、乱流コアの管中心部として、 $y^+ = 436.40$ の位置の波形を図 8 に示す。管中心に近いこの位置においては、速度相関が $u'v' < 0$ の変動だけでなく、 $u'v' > 0$ の変動が現れている。 $u'v' < 0$ となる大振幅変動は、低運動量流体 ($u' < 0$) の壁面近傍からの放出 ($v' > 0$) によるものであるが、 $u'v' > 0$ の変動は、 $u' < 0$ 、 $v' < 0$ の運動によるものである。この位置は管中心軸付近であるため、あらゆる方向の壁の影響が現れ、そのため Ejection ($u' < 0$ 、 $v' > 0$) 及び Sweep ($u' > 0$ 、 $v' < 0$) の存在だけでなく、これら二つの相互干渉によって生じると考えられる、Interaction ($u' > 0$ 、 $v' > 0$) 及び ($u' < 0$ 、 $v' < 0$) が発生するものである。

管中心軸は $y^+ = 474.35$ の位置であり、波形を図 9 に示す。この位置では、 $u'v' < 0$ と、 $u'v' > 0$ の振幅と頻度は等しくなり、速度相関の値は十分に長い時間平均値はゼロの値をとる。なお、 $u'v' > 0$ の大振幅は $u' < 0$ 、 $v' < 0$ の運動によるものが主であるが、これは反対側の壁面近傍から放出された低運動量流体が管中心部に達したためであり、内部流れの乱流特有の現象が観察される。

以上が、流路内代表位置における u' 、 v' 及び $u'v'$ の波形の観察であったが、このように速度変動成分の組織的な構造は、壁近くから管中心へ向かうにつれて、徐々に増加する Interaction の変動により、遷移層で見られた Ejection と Sweep に基づく組織的な変動が失われるように見え、管中心では一様な乱流に近づくことがわかる。

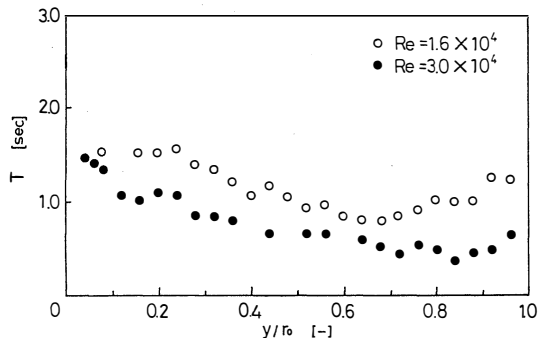
時間軸を拡大してレコーダから出力した二方向速度変動成分の信号、及び速度相関の信号を観察すると、レイノルズ応力、及び相関係数に大きな影響を与えていると考えられる速度相関の値が、周期的に大きな値を出力していることが認められる。またその周期も流路内の位置によって異なった時間間隔で現れている。

この速度相関の大振幅を出力する周期を観察する限りでも、バーストに関連する大規模な組織的構造の存在をうかがわせている。よって流路内の半径方向の各位置について、 $Re = 1.6 \times 10^4$ 、 3.0×10^4 についての速度相関の大振幅の周期を図 10 に表す。縦

軸に、各位置における平均大振幅周期 T [sec]、横軸に壁からの壁極近傍距離 y/r_0 [-] をとって表す。

この図より、両レイノルズ数とも管壁付近では周期は長く、管中心へ向かうにつれて徐々に周期は短くなっている。しかし、管中心付近では再び周期が長くなる傾向があるが、その周期は管壁付近での周期に比べると短いことがわかる。周期が最も短い位置は $Re = 1.6 \times 10^4$ 、 3.0×10^4 についてはほぼ同位置であり、 $y/r_0 \approx 0.75$ の位置である。この位置は、先の節で得られた相関係数の変曲点とほぼ一致していることがわかる。周期が最も短くなる位置、つまり頻繁に大規模な組織的構造の存在が現れる位置については、空間的組織性と時間的組織性の両方のコヒーレントな現象が観察されるという結果を得た。

この図は、速度相関が大振幅をする周期を波形からサンプリングをして、半径方向の各位置についてプロットした図であるが、この大規模な組織的構造は、速度相関の大振幅のピークを人為的にサンプリングしたものであるため、管中心では、周期が長くなっているように見える。つまり、大規模な



Time-smoothed-cycle of the large amplitude of velocity correlation (circular tube)

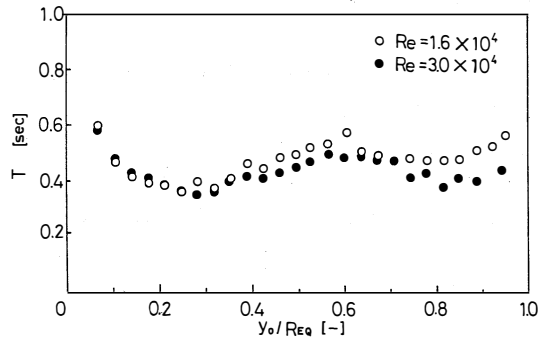
図10

組織的構造の頻度が少ないように見えるが、これは中心軸を境とした反対側の壁面からのバーストによる大規模な組織的構造の速度相関のピークの影響を受け、逆向きの大振幅同士が相互干渉によって打ち消し合うため、この位置で大振幅の存在が波形の上では現れ難く、そのため頻度が少なくなっているものと考えられる。

同心二重管環状流路内における、外管壁面近傍から内管壁面近傍に至る代表的な位置での、主流方向速度変動成分 u' 、半径方向速度変動成分 v' 、及び速度相関値 $u'v'$ の同時測定を、 $Re = 1.6 \times 10^4$ 、 3.0×10^4 について行った。各波形は、全体的に比較すると、単一円管流路の場合と同様に $Re = 3.0 \times 10^4$ の変動は $Re = 1.6 \times 10^4$ に比べ高周波変動である。また、主流方向に比べ半径方向の変動成分の方が高周波である。結果としては、外管壁近傍から最大流速位置までの各代表位置と、最大流速位置から内管壁近傍までの各代表位置の波形を比較すると、同じ代表位置では、振幅の大きさ、及び周波数には多少の違いはあるものの、傾向そのものは類似していることが確認された。

同心二重管環状流路内の各位置において、速度相関の値が大振幅をする平均周期を図化したものを図11に示す。縦軸に各位置における平均的な大振幅周期 T [sec]、横軸に外管壁面からの無次元距離 y_0/Re_Q [-] をとる。両壁面付近では、大振幅をする周期は長く、また、環状流路中間点付近の最大流速位置における周期も長くなっていることがわかる。周期の長さはどの位置においても、 $Re = 1.6 \times 10^4$ の場合は、 $Re = 3.0 \times 10^4$ と比較して長い周期をしていることも明らかである。これはレコーダからの波形を観察してもわかることであるが、 $Re = 3.0 \times 10^4$ での波形には、同じ位置での $Re = 1.6 \times 10^4$ での波形よりも、かなり高周波の変動が含まれていることから、レイノルズ数の大きい方が周期は短くなることがわかる。また、最大流速位置付近においては周期が長くなっている、つまり大振幅をする頻度が少なくなっていることもわかる。これは、先の単一円管流路の場合と同様なことが言える。即ち、最大流速位置では、外管と内管の両壁面からのバースト、及び内管壁へ向かう速度変動 ($v' > 0$) と外管壁へ向かう速度変動 ($v' < 0$) の相互干渉による打ち消し合いにより、半径方向の速度変動成分の絶対値 $|v'|$ は大きな値をもたなくなるため、速度相関の値はほとんど変動せず、大振幅周期は長くなったものである。

また、外管側、及び内管側において、それぞれ周期が最も短くなる位置、つまり速度相関の値の大振幅の頻度が最も多くなる位置は、レイノルズ数によって少し違うように見えるが、この位置は、各レイノルズ数における壁領域の乱流域と乱流コアとの境となる位置とほぼ一致している。このことから考察すると、この境となる位置より壁側の領域では、壁面より生じるバースト効果の影響を受け、またこの境となる位置より最大流速位置側の領域では、乱流コア中での速度変動による影響を受けているものと思われる。よって、境となるこの位置では、両方の影響を受け、頻度的には多くのピークが観察されるものである。



Time-smoothed-cycle of the large amplitude of velocity correlation (coaxial double tube)

図11

4. 結 論

単一円管流路，同心二重管環状流路，偏心二重管環状流路最広部における相関係数分布の測定から以下の結果を得た。

- 1) 単一円管流路内の相関係数分布は，レイノルズ数の違いによる影響はなく，流路内の広範囲において， $-R_{uv} = 0.45$ の一定値を有する。
- 2) 同心二重管環状流路内での相関係数は， $-R_{uv} = 0$ となる位置を境とした場合に外管側では $y_0/y_{0max} < 0.65$ の範囲で $-R_{uv} = 0.45$ と一定値を有する。しかし内管側については，一定値をとる範囲についての明確な結果は得られなかったが，一定値は相関係数の絶対値 $|-R_{uv}| = 0.45$ の値を有する。これらのことから $|-R_{uv}| = 0.45$ の値は，かなり普遍的な性質をもっており，空間的なコヒーレンスは類似していることが予想される。
- 3) 偏心二重管環状流路最広部での相関係数の分布は，各偏心率における $-R_{uv} = 0$ の位置を境とした場合，外管側の分布については，偏心率の違いによる影響は観察されないが，内管側については，内管の偏心により分布に変形が見られ，偏心率による影響が観察される。
- 4) 偏心二重管環状流路最広部での $-R_{uv} = 0$ となる位置より内管側の分布は，極端な高偏心率の $e = 0.99$ において， $|-R_{uv}| = 0.55$ というかなり大きな一定値が現れるが，これは流路の幾何学的複雑さにより，乱れ拳動が他の偏心率とは異なっており，かなり組織性をもった乱流構造となっているものと予想される。

単一円管流路，同心二重管環状流路における乱流成分の組織的構造の定性的な観察より以下の結果を得た。

- 1) 単一円管流路，及び同心二重管環状流路における主流方向，半径方向の速度変動成分と，速度相関値の波形を観察する限りでも，流路内各位置における特有の乱流構造の様子をうかがうことができる。
- 2) パースティング現象は，二種の流路形状とも遷移層から壁領域の乱流域に至るまでの範囲においてははっきりと観察されるが，それより流路中間点では Interaction の増大のために，観察され難くなる。
- 3) 遷移層では Interaction の存在が観察されず，振幅，頻度ともに同程度の Ejection と Sweep が支配し，非常に組織的な構造となっている。
- 4) 乱流域では Ejection が支配的である。
- 5) 同心二重管環状流路での，最大流速位置を境とした外管側と内管側での，それぞれ同じ代表位置についての主流方向，半径方向の速度変動成分と速度相関値の波形は，振幅，周波数とも異なっているが，これはその二地点での平均流速が違っているためであると思われる。
- 6) 流路内の各位置における，速度相関値に大振幅が発生する平均的周期は，レイノルズ数が小さい方が周期は長い。また壁面付近と最大流速位置では周期は長く，壁領域の乱流域と乱流コアの境となる位置では，頻繁に大振幅が観察される。この位置では，壁領域でのバースト効果と，乱流コアでの渦の効果の両方の影響を受けるために，短時間周期で速度相関が大きな値となるものと考えられる。
- 7) 本実験では，主に速度相関値の波形を基準とし，局所レイノルズ応力に正の寄与をする Ejection 及び Sweep と，負の寄与をする Interaction の存在を調べたが，二方向の速度変動成分を基準とし，その頻度と振幅によりレイノルズ応力への寄与率を測定することが可能であるならば，より詳細な乱流構造の測定を行うことができるものと思われる。また，大振幅の平均的周期だけではなく，平

均継続時間の測定を行うことにより組織的な構造の間欠性が観察できるものと思われる。

Nomenclature

e	: eccentricity	[—]
Re	: Reynolds number	[—]
R_{EQ}	: Width between inner and outer tube for coaxial double tube	[m]
R	: radius of tube	[m]
r_0	: radius of a circular tube	[m]
R_{uv}	: correlation coefficient	[—]
S	: distance between the center of inner and outer tube	[m]
u	: velocity (in z-direction)	[m/s]
u_{max}	: maximum velocity	[/s]
v	: velocity (in r-direction)	[m/s]
y	: distance from wall	[m]
y_{max}	: distance from wall to the location of the maximum velocity	[m]

Superscripts

'	: fluctuating
-	: time-smoothed

Subscripts

o	: outer tube wall
i	: inner tube wall

Literature cited

- 1) Kastrinakis, E.G. et al.: Structure and Mechanisms of Turbulence, 1, 175 (1978) Springer-Verlag.
- 2) Lu, S.S. and Willmarth, W.W.: J. Fluid Mech., 60, 481 (1973).
- 3) Nagano, Y., M.Hishida and Y.Morimoto: JSME, 46-408, B (1980).
- 4) Wallace, J.M. et al.: J. Fluid Mech., 83, 673 (1977)

Turbulence Structure in Circular and Annulus Ducts (Ⅱ)

— Organized Structure of Fluctuation Component —

Hisashi Miyashita, Yoshihiro Shibata, Tatsuo Nishimura

In previous paper, experimental studies were reported to examine the turbulence structure in circular and annulus ducts in turbulent flow region.

The behaviour of velocity profile, the turbulence intensity and Reynolds stress were measured by using 2-channel hot wire anemometer.

In this paper, flow fluctuation of turbulent component in the axial and radius direction were observed in order to study the scale of the organized structure of the fluctuation in both channels.

[英文和訳]

管及び環状流路内の乱流構造(Ⅱ)

— 変動成分の組織的構造 —

宮下 尚, 柴田 良弘, 西村 龍夫

前報では乱流域における管および環状流路内の乱流構造の実験的研究を報告した。そして2チャンネル熱線流速計によって速度分布, 乱流強度, レイノルズ応力が測定され, 検討を加えた。

本報では, 軸方向および半径方向の乱流成分の変動の挙動が, 両流路内の変動の組織的構造の規模を明らかにするために観察された。

(1988年10月31日受理)