5 白色光スペckル写真法による 有限波列ぜん動流路内流速分布計測

(第二報：最大ヘッド差状態の流れ)

埼玉大工 川橋正昭、細井健司*、豊岡了、鈴木允

Measurement of Velocity Distributions of Flow
in a Peristaltic Pump by Means of White-Light Speckle Method

(2nd report: zero-mean-flow state)

Masaaki KAWAHASHI*, Kenji HOSOI*, Satoru TOYOOKA*

and Makoto SUZUKI

Applicability of the white-light speckle method (WLSM) for fluid measurement has been investigated on various flow fields. As the results, some superior features of this method has been confirmed, but it is necessary to continue investigation on some practical problems. The selections of optimum scattering particles and films are most important things to get a good specklegram.

In the present paper, the WLSM is applied to the measurement of velocity distributions of an oscillatory flow in a peristaltic pump of zero-mean-flow state, and the follow-up characteristics of tracer particles to the flow and the clarification of Young's fringes are discussed.

1. まえがき

著者等は、白色光スペckル写真法(WLSM)による流れの可視化法および流速分布計測法の開発を行い、様々な流れ場への適用例を示してきたが^{(1)~(3)}、さらにこの方法の適用範囲を拡大するためには、検討すべき点がいくつかある。とくに、非定常流の計測に適用する場合の、トレーサ粒子の大きさとスペckルグラムとの関係、およびヤング縞法での縞の明瞭度などの検討は十分でない。そこで本報告では、流れのモデルとして、逆流部を含む複雑な流動状態を示す、ぜん動流路内の振動流状態(最大ヘッド差状態)を例にとり、流速分布の計測を行う。

一方、ぜん動流路内流れの解析は、生理学的興味から、特殊流体の輸送など工学的応用の問題へとその範囲を拡げつつある。しかし流路内の流速計測は困難であり、流動状態の把握は理論解析によるところが大きい。それらの解析結果の妥当性を検討するために、LDVによる計測⁽⁴⁾⁽⁵⁾や流れの可視化⁽³⁾⁽⁶⁾が行われているが、二次元流速分布の定量的検討に難点がある。前報⁽³⁾では、WLSMをぜん動流路内流速分布計測に適用し、最大流量状態の計測例を示した。

本報告では、前述のように最大ヘッド差状態におけるぜん動流路内流れの、流速分布計測にWLSMを適用し、レイノルズ数による変化、および微細なトレーサ粒子を用いたときのスペckルグラムの特性などについて検討した。その結果、流れに追従性の良い平均径数 μm のトレーサを用いて、良好なスペckルグラムが得られることを明らかにした。

* Faculty of Engineering, Saitama University.

2. 実験結果

本実験に用いた片壁ぜん動半円弧状の三波列近似二次元流路がFig. 1に示されている。装置の主要寸法は前報のものとはほぼ同じであるが、流路内の非ぜん動領域の影響を少なくするため流路高さを200 mmから250 mmにするなど、一部改良されている。流速分布計測は、流路の高さ方向中央部で行う。スペckルグラムは、流路幅方向をシート状パルス光により短い時間間隔で2回光切断したときの、懸濁粒子からの散乱光を流路上方から撮影して得られる。用いた光源の発光時間は約1 msであり、発光パルス間隔は流速に応じて定める。

WLSMでは、レーザ光源を用いて得られるコヒーレントスペckルと異なり、流体中の懸濁粒子の分布をスペckルパターンとして撮影するため、トレーサ粒子の選択が最も重要な要素となる。したがって、高速流や流速変動への追従性を考慮して微細な粒子をトレーサとして用いると、粒子径と使用するフィルムの解像度や感度の限界値、それに撮影倍率などとの関係が、得られるスペckルグラムの特性や流速情報回復時の縞の明瞭さを決定する。

前報ではトレーサにアルミ粉を用いたが、粒子形状が鱗片状であるため、せん断流部分で散乱光の撮影方向成分が減少することなどによりスペckルグラムにむらが生じ、流速情報が欠落する部分が存在した。また、粒子径が約 $50\mu\text{m}$ であることから、追従性にも問題がある。そこで、粒子径が小さく方向性のない何種類かのトレーサを用いて、得られたスペckルグラムの特性を検討した結果、ナイロン粒子（平均径約 $10\mu\text{m}$ 、比重1.14）と二酸化チタン（使用時の平均径数 μm 、比重4.26）が適当であることが明らかになった。そこで、本実験ではナイロン粒子および二酸化チタンをトレーサとしてスペckルグラムを撮影し、同時にそれらの粒子の流れへの追従性を検討した。

実験条件は、前報と同様にぜん動流路の幾何形状を、振幅（ b ）10 mm、平均流路深さ（ a ）20 mm、ぜん動波長（ λ ）400 mm、振幅比（ b/a ）0.5、波数（ a/λ ）0.05に固定し、レイノルズ数（ ca/ν 〔 c ：ぜん動波進行速度、 ν ：動粘性係数〕）を200～800の範囲で変化させた。なお、ぜん動流路内の流れは周期的現象であるから、一波長分のスペckルグラムを得るには、一波長を10の領域に分割し、撮影位置を固定して時間をずらしながら各領域を撮影する。一波長にわたっての流速分布は、それらのスペckルグラムを接続して得られる。

WLSMによる計測例として、レイノルズ数を500としたときに得られたぜん動波の山部のスペckルグラムをFig. 2に示す。図の（a）および（b）は、それぞれナイロン粒子お

Fig. 1. Schematic view of experimental apparatus.

よびを二酸化チタンをトレーサとしたときの結果である。なお、撮影倍率は0.54、発光パルス間隔は8.0 msである。ナイロン粒子および二酸化チタンを用いて得られたスペックルグラムを比較すると、前者ではトレーサの分布にややむらを生じるが、後者では全体に一樣なスペックルパターンが得られている。この結果、ナイロン粒子を用いた場合には、流速情報が欠落する部分がある。またFig.2のスペックルグラムを顕微鏡で観察すると、流速が反転する領域での粒子の追従性においてもナイロン粒子にはやや問題がある。

そこで、二酸化チタンをトレーサとしたときのスペックルグラムにヤング縞法を適用して得られる縞写真の例を、Fig.3に示す。粒子径が小さいほどハローの領域が広がるため縞の明瞭度もナイロン粒子の場合と比較して向上している。これらの結果から、流速が大きく変動する領域を含むような流れでは、平均径が数 μm で、方向性がなく、散乱効率の高い粒子の選択が必要であり、二酸化チタン粒子が、ほぼこの条件を満たしていることが分かる。

つぎに、トレーサに二酸化チタンを用いたときのヤング縞法によるぜん動流路内流れの、一波長にわたってのベクトル線図をFig.4に示す。この結果は、最大ヘッド差状態のぜん動流路内流動状態の特徴を良く表わしている。また、同一スペックルグラムに白色光空間フィルタリング法を適用させて得られた、流路方向等成分速度分布図をFig.5に示す。なお、空間フィルタの光軸からの設定位置は3mmである。Fig.5の結果では、成分速度0の白縞が明瞭に観察され流路内逆流領域が可視化されている。さらに色縞から逆流流速の最大値を見積もると、ぜん動波の進行速度の約1.3倍であることが分かる。

これらの結果を、数値解析の結果¹⁴⁾と比較すると、流速値がやや大きく、逆流部の位置が固定壁に近づいている。この傾向は、レイノルズ数が増加してくると、流路の半円弧形状の影響が現れてくるためと思われる。

Fig. 2. Specklegrams

Fig. 3. Young's fringes.

Fig. 4. Velocity vector diagram obtained by Young's fringe method.

Fig. 5. Equi-velocity map obtained by spacial filtering method.

3. まとめ

ぜん動流路内最大ヘッド差状態の流速分布計測に、WLSMを適用したときのトレーサ粒子の追従性、ヤング縞法による縞の明瞭度などを検討した。その結果、二酸化チタンのように方向性がなく径の小さい粒子をトレーサとして用いると、流路軸方向および幅方向に大きく変動する流れ場の二次元流速分布計測でも、WLSMが有用であることが明らかになった。なお本研究は、昭和60年度文部省特定研究の一部として行われた。

参考文献

- 1) M. Suzuki, K. Hosoi, S. Toyooka & M. Kawahashi, Experiments in Fluid, 1(1983)79.
- 2) 細井、川橋、豊岡、鈴木：流れの可視化、3(1983)247.
- 3) 細井、川橋、豊岡、塩崎、鈴木：流れの可視化、4(1984)307.
- 4) 川橋、田中、鈴木：機論、49-442(1983)1125.
- 5) 高島、鮎川、根木：機論、50-459(1984)2560.
- 6) 高島、鮎川、丸山、根木：流れの可視化、4(1984)17.