A 2 2 0

光の干渉縞を利用したスリットを通過する 液体の流動特性に関する研究

Study on the Flow Through a Slit Using the Interference Fringes of Light.

学 鈴木和也[○] (新潟大院) 正 長谷川富市 (新潟大工) 正 鳴海敬倫 (新潟大工)

Kazuya SUZUKI, Graduate School of Science and Technology, Niigata University
Tomiichi HASEGAWA, Faculty of Engineering, Niigata University
Takatsune NARUMI, Faculty of Engineering, Niigata University
8050, 2-no-chou, Ikarashi, Niigata
TEL, FAX: 025-262-6712 E-mail: f04b042a@mail.cc.niigata-u.ac.jp

ABSTRACT

The flow behavior known well of the fluid in ordinary scales is not necessarily similar in a minute scale. Therefore, it is necessary to examine the flow passing through a minute area in detail for so called Newtonian fluids as well as for complex fluids. This paper presents the result of optical experiments of flows through a slit. Ion Exchange Water, Silicone Oil and Liquid Paraffin were used as test fluids, and made to flow through a two-dimensional slit by using a pump of syringe type. We used Mach-Zehnder interferometer; and took a picture of the changes in the brightness and in the interference fringes with the digital video camera.

Key Words: Water, the Interference Fringes of Light, Slit

1. 緒論

一般的に知られている流体の挙動は微小な領域においても同様であるとは限らない¹⁾。従って水を代表とするニュートン流体においても微小領域を通る流れを詳細に調べる必要がある。本研究では二次元スリットを設けた流路にシリンジポンプから試験液体を供給、流動させ、そのスリット部にレーザー光を通し干渉させ、干渉縞の変化、明度変化などの画像をデジタルビデオカメラで撮影した。試験流体には水やシリコンオイル、流動パラフィンを用いて、二次元スリットを通過する際に見られた屈折率変化に伴う干渉縞変化をマッハツェンダー干渉計により調べる。

2. 実験方法

本研究では Fig.1 に示すマッハツェンダー干渉計を用いて実験を行った。マッハツェンダー干渉計は、流路内の屈折率分布をかなりの精度で求めることができる。しかし、光学装置の微妙な調整と、適用対象の二次元性が必要となる。

光源(He-Ne Laser)からの光線は、スペーシャルフィルター(Spatial filter)を通過することによってノイズが除去され、波面の整った拡大光となる。その後、平行レンズ(Lens1)を通過し平行光となる。そして、ハーフミラー(HM1)により透過光束(Beam1)と反射光束(Beam2)とに等分割される。透過光束は反射鏡(ミラー (M1))にて反射され、ハーフミラー(HM2)に達する。この光路を参照光路と呼ぶ。他方、HM1 により反射された光束はサンプル(Channel)を通り、ミラー(M2)にて反射されハーフミラー(HM2)に達する。この光路を試験光路と呼ぶ。両光路の光束が HM2 の後で再び結合する際に干渉が生じ、干渉縞を生成する。結合した光束は平行レンズ(Lens2)によって拡大され、スクリーン(Screen)上に写し出される。

流路内の屈折率の変化に基づく干渉光路と試験光路の光路差 (位相差) により、干渉縞に歪みや明度変化が生じる。干渉縞の歪みが大きいほど、流動に伴うその場所の屈折率変化が大きいことになる。

実験に用いた流路を Fig.2 に示す。この流路は真鍮製で、奥行きが 55mm、隙間が 1.2mm の 2 次元流路である。隙間部の角は 45° になっている。Fig.2 に示されるように、観察窓は隙間を中心に配置されており、流入域、隙間、流

出域の 3 ヶ所を同時に観察できるようになっている。レーザー光通過部には高精度平行平面ガラスを使用した。

流路にはシリンジポンプを使用して試験液体を供給した。ポンプの設定値を変えることによりスリット通過時の流速を調節することが可能である。

試験液体は蒸留とイオン交換を施した水 (以下蒸留水と呼ぶ (粘度 $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$) とシリコンオイル (粘度 $30 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$)、流動パラフィン (粘度約 $70 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$) である。どの試験液体でも実験装置に供給してから数十分間放置し、その後実験を開始した。

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Schematic figure of two-dimensional channel
(Unit: mm)

3. 実験結果

実験結果を Fig.3~Fig.7 に示す。図中の白線はスリットを示しており、試験液体は左から右に流動している。また、各図下の時間(s)は流動開始からの経過時間を示す。

まず試験液体を流速 0.01m/s で流した時の実験結果を述べる。それぞれの流動時間は12分間としている。

●蒸留水 (IEW) について (Fig.3)。スリット幅を代表長さにとったレイノルズ数 (Re) は約10である。

流動開始から数秒後に流動方向に対して逆向きに歪む変化 (以下凹の変化と呼ぶ) が現れ、徐々に小さくなるが実験終了までその変化が続いた。

●流動パラフィンについて (Fig.4)。Re=0.1

流動開始から数秒後に凹の変化が現れ、70秒後に流動方向に歪む変化 (以下凸の変化と呼ぶ) が起ったが、すぐにまた凹の変化が現れ (Fig.4(b))、徐々に変化は大きくなった。その際に上流側と下流側に明るい点が見られ (Fig.4(c))、実験終了まで凹の変化と共に続いた。

●シリコンオイルについて (Fig.5)。Re=0.4

流動開始から数秒後に圧力波のような明るいラインが丸みを帯びて広がっていく現象が起き、凹の変化が現れた (Fig.7(a)参照)。30秒後過ぎからは明るいラインのようなものが上流側から流れて来るのが見られた (Fig.5(b))。60秒後過ぎには流路の上半分は凸の変化を示し、下半分は凹の変化を示したが、徐々に全体が凹の変化へと移って、流動パラフィンに見られたような明るい点が見れ、実験終了までその変状態は続いた (Fig.5(c))。

次に流動パラフィンのみで見られた、時間の経過と共にある周期で縞が変化を変える現象について述べる。この時の流速は0.003m/sであり、流動時間は60分間である。

●流動パラフィン 0.003m/s について (Fig.6)。Re=0.04

流動開始から20秒後に凹の変化が現れ (Fig.6(b))、250秒後から凸の変化に変わり変化は大きくなるが (Fig.6(c))、720秒 (12分) 頃から再び凹の変化に変わる (Fig.6(d))。それがしばらく続き、2100秒 (35分) 頃からまた凸の変化が現れる (Fig.6(e))。そして3000秒 (50分) 頃から凹の変化に変わりそのまま終了した (Fig.6(f))。

●流動開始直後の変化について

流動開始直後の変化を Fig.7 に示す。シリコンオイルのところで述べたが、流動開始後に圧力波のようなものが見られた。Fig.7(a)がシリコンオイルの結果を示しており、他の試験液体と比べてははっきりと圧力波のようなものが見られる。他の試験液体では、この圧力波のようなものは明確に見られなかった。

4. 考察とまとめ

今回の実験では流速が 0.01m/s でそれぞれの試験液体の結果を比較している。また、シリコンオイルだけ 0.003m/s の時の実験結果についても載せている。

まず、流速が 0.01m/s の時の場合、蒸留水に関してはあまり大きい変化ではないが、縞に変化が見られる。流動パラフィンに関しては変化が大きく、ほぼ上下対称になっている。また明るい点の上流、下流に見られる。シリコンオイルに関しては筋のようなものが見られ、縞の変化は流動パラフィンのように上下対象ではなく上下で異なっていた。また、明るい紐状のものが見られた。

次に流速が 0.003m/s の時の流動パラフィンの結果では、凹と凸の変化が、ほぼ周期的に繰り返される結果が得られた。また、シリコンオイルに見られた圧力波は他の試験液体には見られない現象である。

このような変化の要因は、それぞれの液体の構造の違いによるものではないかと考えられるが、今後更なる研究が

必要と思われる。

次に、本研究における試験液体の温度変化による影響を検討する。試験液体がスリットを通過する際、圧力損失による液温上昇が発生する。その他にも外界からの影響で液温に変化が生じる可能性もある。今回の実験条件において生じる圧力損失が全て液温上昇に使われた場合、発生する温度上昇はおよそ $2.1 \times 10^{-6} [^{\circ}\text{C}]$ と算定される。一方、使用したレーザーの波長など干渉計の条件を考慮すると、試験液体の温度差が 0.1°C 生じた場合、密度変化によって生じる干渉縞の歪みは 0.7 縞分と算定される。今回の実験結果から干渉縞の歪みは 0.7 縞以上の変化を見せており、 0.1°C 以上の温度変化が生じていることになる。ところが実際は、高々 $2.1 \times 10^{-6} [^{\circ}\text{C}]$ 程度である。よって干渉縞の歪みは、スリット通過流れによる液温上昇のみでは説明がつかない。

今後、粘度や構造の違い試験液体を用いて検討する必要があると考えられる。

Fig.3 (IEW 0.01m/s) 液温 25.7—25.7 $^{\circ}\text{C}$

Fig.4 (Liquid paraffin 0.01m/s) 液温 23.5—23.4 $^{\circ}\text{C}$

Fig.5 (Silicone oil 0.01m/s) 液温 20.2—20.2 $^{\circ}\text{C}$

Fig.6 (Liquid paraffin 0.003m/s) 液温 23.6—23.7 $^{\circ}\text{C}$

Fig.7

参考文献

- 1) 'Anomaly of excess pressure drops of the flow through very small orifices.', Tomiichi Hasegawa, Masaki Suganuma, and Hiroshi Watanabe Phys.Fluids9(1), January 1997