

神戸大学工学部 正 員 寛 源亮
神戸大学大学院 学生員 ○藤田一郎

1. まえがき

この研究は、これまで行なってきたホログラフィ干涉を利用した流速測定法¹⁾を改良したものである。この方法により、乱流の測定を行なった。これまでの方法では、トレーサーとして水中に自然に混入しているミクロンオーダーの微細気泡群を用いていた。しかし、この方法では、流速測定に必要な二重露光による干涉縞は、低レイノルズ数の場合でしか明確に現われなかった。本研究では、レイノルズ数の大きい乱流の場合においても明確な干涉縞を得るために、微細粒子(土粒子、墨汁等)をトレーサーとして用いた。また、得られた干涉縞を用いて流速分布の三次元的な解析を行なった。

2. 実験

実験には、長さ220cm、幅10cmの開水路を用いた。ホログラフィ用光源として、ホログラム作成時にはダブルバルスルビーレーザー、再生時にはアルゴンレーザーを用いた。レンズ、ミラー等の光学系は前報と同様である。光膜を形成する平面光束は、流れに垂直に入射させた。実験は、トレーサーと干涉縞の鮮明度との関係を明確にするために、墨汁、或いは粒径、濃度の異なる土粒子等を流れに混入し、各々の場合の干涉縞の鮮明度を比較した。その結果を図1に示す。ここでは、現われた干涉縞の鮮明度を、

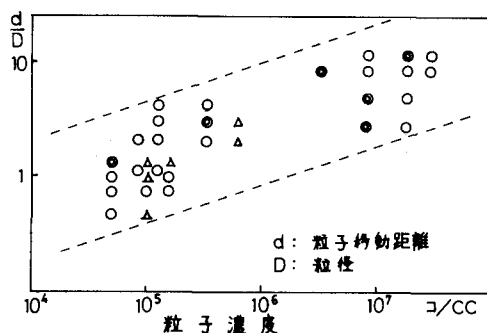


図1 粒子条件と鮮明度の関係

○、○、△の三段階に分類し、粒径、粒子濃度、粒子移動距離

との関係を示している。これより、干涉縞は図上の帯状の領域内で現われることがわかる。また、得られた干涉縞を比較することにより、鮮明度は土粒子よりも粒径が小さい墨汁を用いた場合の方が高くなることがわかった。これは、単に粒径だけでなく、物質の光に対する性質も大きく関係するものと思われる。

3. 解析および解析結果

解析には、鮮明度の最も高かった墨汁による光膜のホログラムを用いた。本研究では、前述のように微粒子による散乱光で構成された光膜を水路断面に形成させているが、数10μsec程度の露光間隔で二重露光によるこの光膜のホログラムを作成すると、ホログラムには光膜面内(厚さ0.5mm程度)に存在する個々の微粒子の二度の照射時における移動状態が三次元的に記録される。この場合、微粒子は $10^2 \sim 10^6$ コ/cm²程度の割合で光膜中に存在しているので、最初の照射と二度目の照射の間の個々の粒子の移動は、ちょうど光膜面が微小変位したのと同様とみなせる。従って、得られたホログラムに再生光を照射すると、変形の前後の面が同時に再生され、その二重像のつくる干涉縞が光膜面上に得られる。面上のある点の変位 d は光路差となり

$$\Delta = d(\cos\alpha + \cos\beta)$$

に相当する干涉縞が現われる。ここに、 α は入射角、 β は散乱角を表わす。一方、この点における縞次数を n とし、照射光の波長を λ とすると光路差は $\Delta = n\lambda$ で表わされる。従って、これらの式を用いると、その観測方向に関する変位成分が一つ得られる。従って、変位の三成分を得るには、他の二つの異なった観測方向から同様な測定をすればよい。このようにして変位の三成分が得られると、露光間隔が既知であるので流速の三成分を求めることができる。但し、解析に際しては、次の三点に注意しなければならない。その第1は、ホログラムの作成

時と再生時で用いるレーザー光の波長が異なるために、再生像の大きさや位置が元の像とは、わずかつ異なる点である。解析は、作成時における状態で行なわねばならないので、そのずれを修正する必要がある。そのために、図2を参照して、光膜中心点M、ホログラム上の点H、カメラのレンズ中心点Lの位置関係を、ホログラム作成時における関係に戻せばよい。 $\overline{MH}$ の距離は、作成時の値が既知であるから、実際の修正は、 $\overline{LH}$ の距離に幾倍率の逆数を掛けることにより行なう。第2の修正は、水による光の屈折について補正するものである。第1の修正では、光膜中心Mの位置は既知としているが、厳密には、実際に見えているのは、屈折により歪んだ光膜である。従って先に求めた修正レンズ位置は、そのずれを考慮して再修正しなければならない。第3に考慮すべき点は、流速解析に必要な散乱角 β の測定方法である。光膜から発した散乱光は、水路の壁面において、いわゆるSnellの法則を満たす角度で屈折され、カメラのレンズに向かっていく。従って、散乱角は、光膜上の点と水路壁面上における屈折点より求めなければならない。

以上のような点を考慮して解析を行なったが、用いた三枚の写真の一枚を写真1に示す。これを見ると、壁面付近に径が1cm程度の渦が数個存在しているのがわかる。また、干渉縞は近似的に一種の等流速線とみなすことができるが、壁面付近で縞の間隔が密になっていることより、そこでの流速勾配が大きく、また、境界層の厚さが1~2cm程度であることがわかる。次に、解析結果を示す。図3は、断面方向の流速成分を示したものである。写真と比較すると、明らかに渦の付近で流速が乱れていることがわかる。図4には、流速三成分の断面平均値を示す。

4. 結 論

本論文では、レイノルズ数の大きい乱流の場合にもトレーサーを用いて干渉縞が得られることを述べ、流速の三次元的な解析結果を示した。この解析を行なう場合に最も大きな誤差を伴うのは、縮次数に関してである。これは、光膜再生像の写真撮影技術や、次數の読み違いなどによるものと考えられる。従って、解析は特に、この点に注意して行なっていくべきである。また、この実験で用いた水路は短かったために、境界層の発達はあまりみられなかった。今後は、さらに長い水路を用い、境界層内における流速分布について、研究を行なっていく考えである。

参考文献

- 1) 筧, 木佐; 流速測定へのホログラフィの応用, 土木学会第31回年次学術講演会講演概要集, 1976

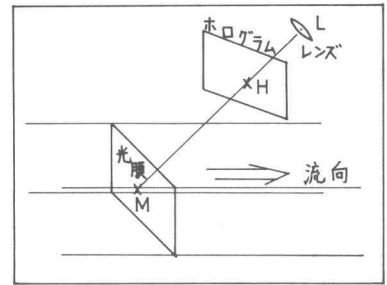


図2 光膜等の位置関係

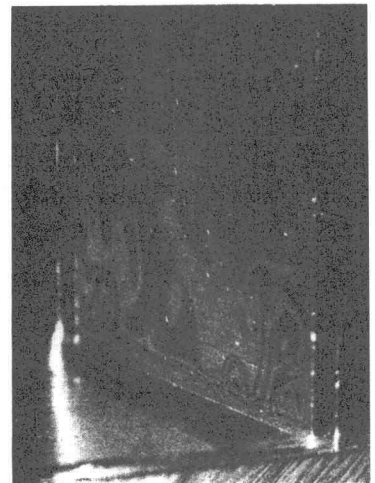


写真-1. 光 膜 ($Re = 4.0 \times 10^3$
露光間隔 70 μ s)

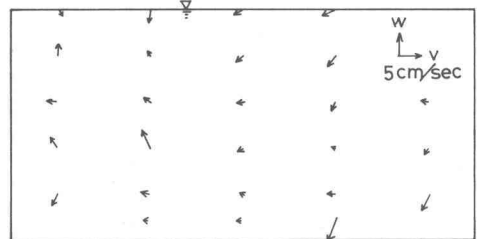


図3 断面方向の流速成分

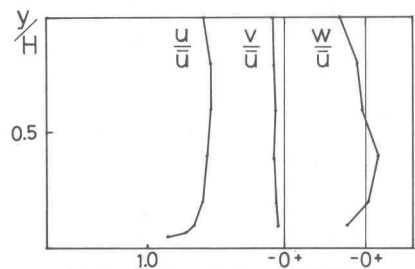


図4 流速三成分の断面平均