

近畿大学理工学部

正会員 ○高野 保英

近畿大学大学院総合理工学研究科

田中 健司

近畿大学理工学部

正会員 江藤 剛治

近畿大学理工学部

正会員 竹原 幸生

1. はじめに

水の流れの観察・計測手段としては可視化計測、特にPTV (Particle Tracking Velocimetry) が有効であり、その計測技術も進歩している。しかしながら、砂礫のような浮遊物や構造物が存在する流れ場、あるいは多孔媒体中の流れ場においては、これらの物体による遮光を防ぐために、透明体を用いて計測を行う必要がある。この場合、水と透明体の屈折率が等しくなければ、透明体背後の粒子が歪んで見えることになり、正確な粒子の追跡および流れ場の計測は困難となる。

筆者らはこれまで、PTVの実用性向上を目的として、高速ビデオカメラ、粒子抽出・追跡アルゴリズムおよび比重整合トレーサ粒子など一連の技術開発を行ってきた^{1)~3)}が、水-透明体屈折率整合についても、低屈折率透明体(シリコンゴム)と高屈折率水溶液(ヨウ化ナトリウム水溶液、以下、NaI水溶液と呼称)の組み合わせを提案した²⁾。さらに、多孔媒体や砂礫河床などの模型実験に必要となる真球の透明体を、シリコンゴムを用いて作成する方法(水中攪拌法)も開発した。ただし、NaI水溶液濃度の微妙な誤差やシリコンゴムの品質の違いが屈折率に影響を与えるため、目視のみによる整合の確認には実験上の限界があり、効率的かつ合理的な確認方法の検討が課題となっていた。

本研究では、NaI水溶液とシリコンゴムの屈折率整合を高精度かつ容易に確認するための装置を作成するとともに、この装置により屈折率を調整した水溶液および真球透明体を用いて、浮上球体周りの流れ場計測を行ったので、ここに結果を紹介する。

2. 屈折率整合装置

2.1 装置の概要 屈折率の異なる媒質中を光が進むとき、スネルの法則に従って媒質の境界において光の屈折が生じる。以下に述べる屈折率整合装置は、この原理を応用したものである。

図-1に屈折率整合装置の概略を示す。アクリル製水槽(内寸法20×91×50mm)にNaI水溶液を注入し、水槽前面および前方にスリット孔を設け、後方には投影板を設置する。容器前方からアルゴンイオンレーザー光を照射し、投影板上の照射位置(基準点)を確認する。次に容器内にシリコンゴム製三角柱(プリズム)を5個設置し、同様にレーザー光を照射する。この時の投影板上の照射位置が基準点と一致する場合は、屈折が生じていないことを意味しており、NaI水溶液とシリコンゴムの屈折率が一致している。この方法による理論的な屈折率整合の精度は、約0.02%である。

2.2 実験結果 写真-1(a)はNaI水溶液とシリコンゴムの屈折率が整合した場合のレーザー光の様子を示しており、水溶液濃度は

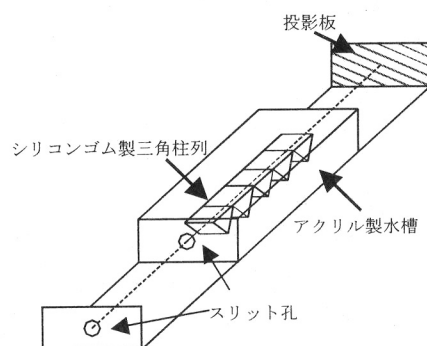
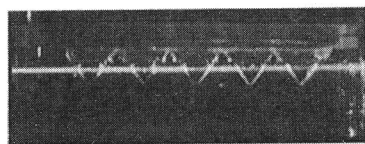
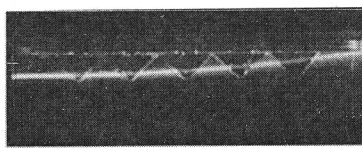


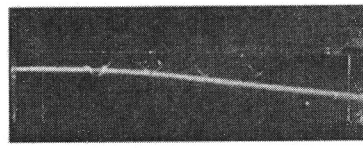
図-1 屈折率整合装置の概略図



(a) 屈折率整合時 (濃度 37.5%)



(b) 濃度 30%



(c) 濃度 50%

写真-1 NaI水溶液濃度によるアルゴンイレーザー光の屈折の違い

37.9%であった。また写真-1(b)および(c)は、濃度30%および50%の場合をそれぞれ示す。レーザー光は、濃度が低い場合には上方に、濃度が高い場合には下方にそれぞれ屈折しており、光の進行方向を屈折率の調整の指標とすることが可能である。

以上のように本装置により、高精度かつ容易に屈折率を調整し、整合を確認することが可能となった。

3. 浮上球体周りの流れ場計測

3.1 実験概要 図-2に浮上球体周り流れ場計測の概略を示す。上述の装置を用いて屈折率を調整したNaI水溶液をアクリル製水槽（内寸法160×160×400mm）に満たし、トレーサー粒子を混入する。ダブルパルスYAGレーザーによりレーザーシート光を一定の時間間隔で照射しながら、水槽低部より1個の球体（真球透明体）を自転しないように垂直に浮上させ、CCDカメラで粒子画像を撮影する。浮上させる真球透明体は、屈折率整合装置の透明三角柱と同じシリコンゴムで製作され、両者の屈折率は等しい。従って、NaI水溶液と真球透明体の屈折率も一致する。なお、球体の直径は15mm、平均浮上速度は約22cm/sであった。

実験で撮影された時刻の異なる2枚の粒子画像に、筆者らの開発したPTVアルゴリズム³⁾を適用することで、最終的に流速ベクトルの画像が求められる。

3.2 実験結果 写真-2に、浮上球体周辺の粒子画像（白色の点が粒子）の一例を示す。この画像では球体の輪郭が識別できるが、これは粒子表面での反射光により生じたと推察され、流速ベクトルの解析にはほとんど影響しない。図-3に、PTVアルゴリズムを適用して得られた浮上球体周辺の流速ベクトル図を示す。流速ベクトルがほとんど表示されていない円形の部分（中央やや上方）が、球体の部分である。同図より2種類の異なる流れ、すなわち、①球体上部から球体に沿って下方に向かい、球体下部で吸い込まれるような流れ、②水槽下方から球体下部へほぼ垂直に向かう流れ、の形成が認められる。

4. おわりに

透明体を用いたPTVによる流れ場計測の実用性向上を目的として、NaI水溶液とシリコンゴムの屈折率整合を効率的に確認するための装置を作成し、有効性を検討した。その結果、今回紹介した屈折率整合装置により、高精度かつ容易に屈折率を調整し、整合を確認できることが示された。またこの装置の成果を踏まえて、浮上球体周りの流れ場の画像計測を行い、流速ベクトル図を得た。

水-透明体屈折率整合技術は、物体背後の粒子の正確な追跡が可能とするものであり、流れ場可視化計測の進展に大きく寄与し得る。今後さらに、本研究で示した手法を利用しつつ、透明真球体による種々の流れ場の可視化計測を行う。

参考文献 1) 江藤剛治・竹原幸生：高速ビデオカメラの現状と水工学分野への適用，土木学会論文集，No.533/II-34，pp.9-20，1996. 2) 江藤剛治・竹原幸生・横山雄一・井田康夫：水流の可視化に必要な関連技術の開発—比重整合・屈折率整合・多波長計測—，土木学会論文集，No.533/II-34，pp.87-106，1996. 3) Takehara, K., Adrian, R. J., Etoh, G. T. and Christensen, K. T. : A Kalman tracker for super-resolution PIV, Experiments in Fluids, S34-S41, 2000.

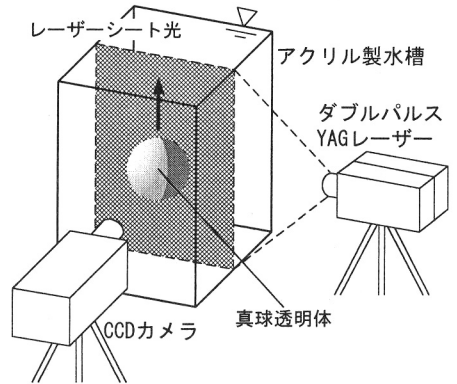


図-2 浮上球体周り流れ場計測の概略図

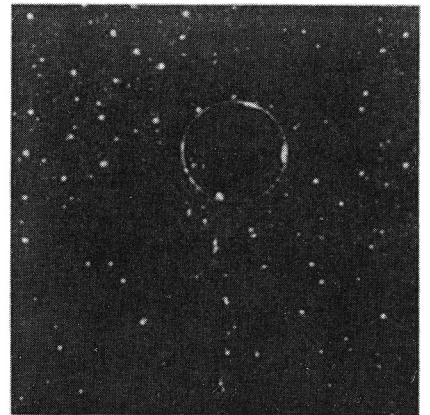


写真-2 浮上球体周辺の粒子画像

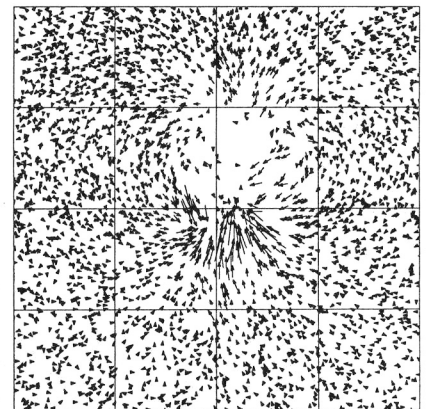


図-3 浮上球体周辺の流速ベクトル図