

水と屈折率の等しい透明球体を利用した流れ場画像計測の実験的研究

近畿大学理工学部	正会員	高野 保英*
大阪市立大学工学部	正会員	重松 孝昌**
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*
近畿大学大学院総合理工学研究科		田中 健司*

1.はじめに

筆者らはこれまで、流れ場画像計測手法の一つであるPTV (Particle Tracking Velocimetry) 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量整合トレーサー粒子など一連の技術開発を行ってきた^{1)~3)}。

PTVの対象となる流れ場としては、開水路/管路、層流/乱流、単相流/混相流など種々の条件が考えられるが、浮遊物や構造物周りあるいは飽和多孔媒体中の流れ場では、これらの物体による遮光を防ぐために、透明体を用いた画像計測が必要となる、この場合、水と透明体の屈折率が等しくなければ、透明体背後の粒子位置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。

このような問題を踏まえて、筆者らは上述の技術開発の過程で、水-透明体屈折率整合に関する実験的研究を行い、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、屈折率整合を高精度かつ容易に確認するための装置⁴⁾および真球に近い透明体を作成する方法(水中攪拌法)も開発した。

以上のような筆者らが開発した方法により作成した真球透明体およびNaI水溶液を用いて、浮上球体周りおよび飽和多孔ブロック中の流れ場計測を行ったので、ここに結果を紹介する。

2.実験概要

2.1 浮上球体周りの流れ場計測 図-1に浮上球体周り流れ場計測の概略を示す。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、水槽底部より1個の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とNaI水溶液の屈折率は、事前に等しくなるように調整されている。なお、球体の直径は15mm、平均浮上速度は約22cm/sであった。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。

2.2 飽和多孔媒体中の流れ場計測 直径約1cmの真球透明体約125個を用いて、写真-1に示すような5×5×5cmの多孔ブロックを作成する。このブロックを循環水槽の中央部に設置し、水槽内にNaI水溶液を満たしてブロックを飽和させた後、トレーサー粒子を混入する。上述の浮上球体実験と同様、透明体と水溶液の屈折率は予め等しくなるように調整される。ポンプによりNaI水溶液を一定の流速で循環させ、多孔ブ

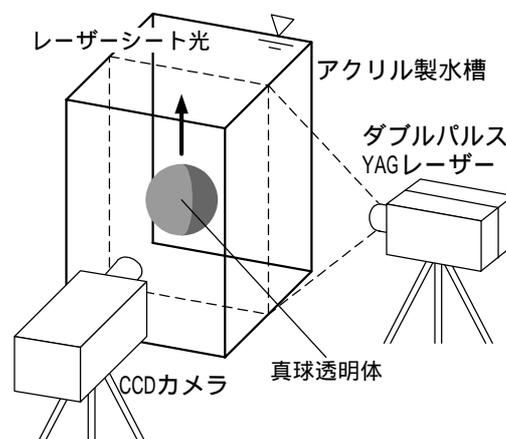


図-1 浮上球体周り流れ場計測の概略図



写真-1 真球透明体の多孔ブロック

キーワード：PTV, 透明体, 球体周り流れ, 飽和多孔媒体流れ

* 〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1 TEL. 06-6370-1762 FAX. 06-6730-1320

** 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 TEL. 06-6605-2733 FAX. 06-6605-2733

ロック上部からアルゴンイオンレーザーシート光を照射し、側面から高速ビデオカメラでブロック内の粒子画像を撮影する。2.1と同様、時刻の異なる2枚の粒子画像にPTVアルゴリズムを適用することで、多孔ブロック内の流速ベクトル画像が得られる。

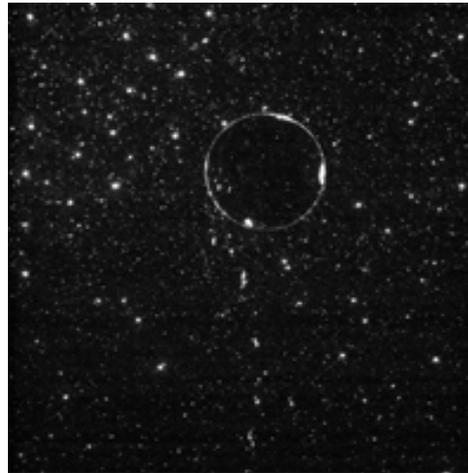


写真-2 浮上球体周辺の粒子画像

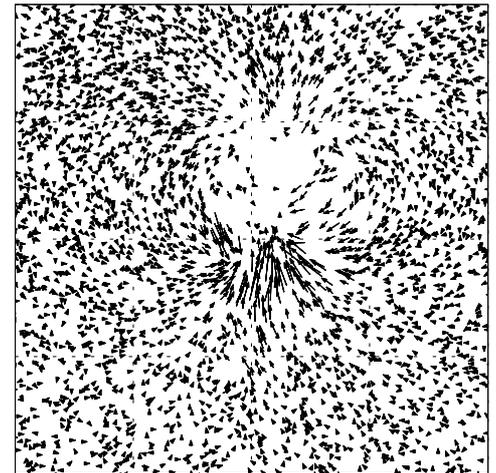


図-2 浮上球体周辺の流速ベクトル図

3. 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-2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、a.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、b.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。

写真-3に多孔ブロック中の粒子画像の一例を、図-3にその流速ベクトル図をそれぞれ示す。流れは左から右に向かって生じている。実験の際に、ブロック間隙内に幾つかの気泡が認められたが、これらは画像上では粒子と同じように白色の点として写るため、解析により得られた流速ベクトルにも誤差が生じたことが懸念される。計測の精度を高めるために、気泡の除去が今後の課題として残ったものの、今回の実験により真球透明体を利用した飽和多孔媒体中の流れ場の画像計測が基本的に可能であることが示された。

4. おわりに

筆者らが開発してきた一連の水 - 透明体屈折率整合技術の応用として、真球透明体とNaI水溶液を用いた浮上球体周りおよび飽和多孔ブロック中の流れ場のPTVによる画像計測を行い、流速ベクトル図を得た。今後は、本研究で明らかとなった問題点を改良し、飽和多孔媒体中の流れを中心に真球透明体を用いた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 比重量整合・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. 4) 高野保英・田中健司・江藤剛治・竹原幸生：屈折率整合技術の開発および浮上球体周りの流れ場計測への適用，平成13年度関西支部年次学術講演概要（投稿中）



写真-3 多孔ブロック中の粒子画像

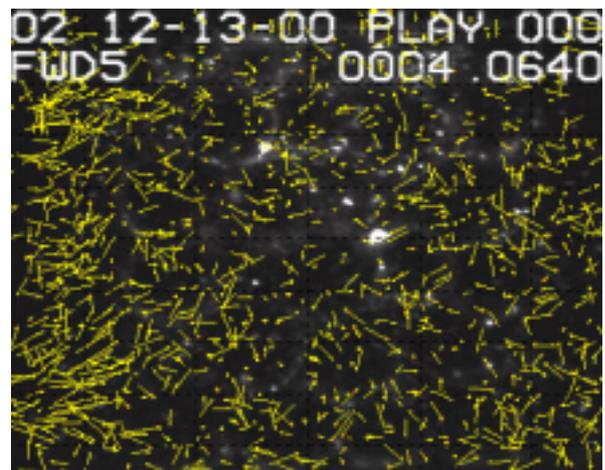


図-3 多孔ブロック中の流速ベクトル図