水と屈折率の等しい真球透明体の製作と多孔質媒体中の流れ場の画像計測への適用

近畿大学大学院総合理工学研究科　学生員　○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
近畿大学理工学部　正会員　髙野　保英

1.はじめに

海岸では，消波や波による侵食を防ぐことを目的としたテトラポッドが設置されている。河川では，従来用いられていた不透水性の護岸や堰に変えて，自然石等を用いた透水性をもつものが用いられることが多くなった。これらをはじめとする，多くの間隙を有する物体の間隙中の水の流れを計測するのは困難である。センサーを間隙中に埋め込み計測する方法もあるが，この方法の場合，センサーにより間隙中の水の流れが乱されてしまう可能性があり，正確な計測ができない。そこで，間隙中を流れる液体の屈折率と同じ透明体をテトラポッドや捨石の代わりに用いて，光を透過させることで，光は屈折することなく直進するため，トレーサー粒子を用いて画像計測による流れ場の可視化が可能となる。

本研究では，間隙中の流れの可視化計測のために，真球透明体(以下球体と略記)を作製した。球体の素材には，低屈折率シリコンゴムを使用する。このシリコンゴムは，比較的屈折率が低い，透明度が高い，整形が容易，耐薬品性，耐熱寒性に優れている，などの特性を有する。

作製した球体の適用例として，近畿大学水工学研究室で開発された PTV アルゴリズム，屈折率整合技術により，多孔質媒体中の流れ場の画像計測を行った。

2.材料

球体の作製方法は,エタノール水溶液中にシリコンゴムを流し込み回転子により攪拌しシリコンゴムの表面張力により球体にする水中攪拌法と，球型の型枠内にシリコンゴムを流し込み硬化させる型枠法，この 2 種類について行った。表-1 に球体作製に使用した材料･器具を示す。

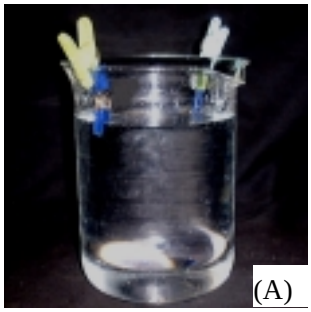

図-1　(A) フィン付きビーカー.
(B) 羽を付けた回転子

3.水中攪拌法

1)重量比 20:1 の割合でシリコンゴムと硬化剤を混合し混合液を作る。

2)混合液を真空ポンプで 30 分間脱気し，混合液の粘性を上げるため保管する。

3)シリコンゴムの比重(0.980)に合わせたエタノール水溶液と界面活性剤をビーカーに入れ真空ポンプで 1 時間脱気を行なう。

4)ガラス棒で混合液に気泡が混入しないように静かに流し込む。

5)フィン付きビーカーの中に羽を付けた回転子，シリコンと硬化剤の混合液，及びエタノール水溶液を入れ

表-1　使用材料・器具

使用材料・器具	製造元	備考
シリコン(KE108)	信越化学工業(株)	低屈折率シリコンゴム
シリコン(CAT108)	信越化学工業(株)	硬化剤
エタノール	和光純薬工業(株)	エタノール特級3L，純度；95.5%，比重；0.789
界面活性剤	市販	コンタクトレンズ用洗浄剤
真空ポンプ	真空機工(株)	ダイアフラム型ドライ真空ポンプ
真空デシケーター	井内盛栄堂社(株)	内寸法；210㎜×21㎜×210㎜，
		材質；透明アクリル，真空許容範囲；1mmHg
ビーカー	相互理化学硝子製作所(株)	容量；2000ml
標準比重計	井内盛栄堂社(株)	全長160㎜×φ150㎜，計測範囲；0.950～1.000
製氷皿	市販	直径約20㎜の球型製氷皿
回転子	井内盛栄堂社(株)	全長80㎜×φ10㎜，材質；弗素樹脂
スターラー	CORNING社	ホットプレート&スターラーPC320，
		調節温度域；45℃～450℃，回転数；100rpm～1700rpm

キーワード　真球透明体，低屈折率シリコンゴム，PTV アルゴリズム
連絡先　〒577-8502　大阪府東大阪市小若江 3-4-1　近畿大学水工学研究室　TEL06-6721-2332

24 時間攪拌し硬化させる。装置を図-1 の(A)，(B)に示す。
6)作製した真球透明体をふるいわけ，5mm 以上のものをとりだす。
・作製した球体の粒径別の割合を図-2 に示す。最大粒径は 13mm であった。作製した直径約 9mm の球体を写真-1(左)に示す。
表面の滑らかな球体を作ることができたが，以下の課題がある。
(1)直径 10mm 以上の球体を作ることが難しい。
(2)球体内に気泡やエタノール水溶液が混入する場合が多い。

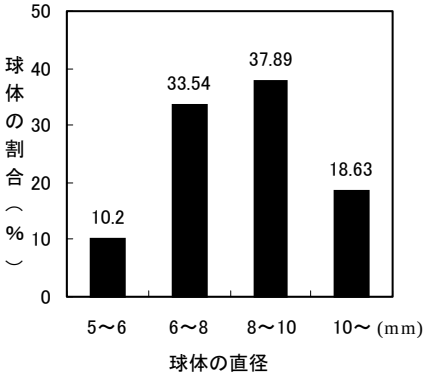

図-2　作製した球体の粒径別の割合

4 型枠法

1)重量比 20:1 の割合でシリコンゴムと硬化剤を混合し混合液を作り，混合液を真空ポンプで 30 分間脱気する。
2)気泡が混入しないよう型枠に混合液を流し込み，型枠の蓋が動かないように，24 時間放置し硬化させる。
・作製した真球透明体を写真-1(右)に示す。
・同直径の比較的大きい真球透明体を容易に作製することができた。
・球体表面に型枠の接合部跡が残るが，屈折率整合がほぼ完全な場合には可視化に影響はない。しかし，乱れの発生に影響を与えるのではないかと考えられる。

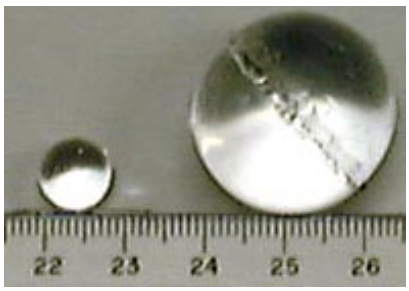

写真-1　作製した球体
(左)水中攪拌法により作製したもの
(右)型枠法により作製したもの

5.多孔質媒体中の流れ場の画像計測

多孔質媒体中の流れ場の画像計測をするにあたり，次の器材，薬品を用いた。コンピューター，CCD カメラ，ダブルパルス YAG レーザー，球体(直径約 20mm)，ポリ塩化ビニル粒子(トレーサー粒子)，NaI 水溶液，チオ硫酸ナトリウム(NaI 水溶液の黄濁を防ぐため)
1)試料充填部に，直径約 20mm の球体を詰め込む。
2)試料充填部に球体と屈折率の合わせた NaI 水溶液で満たし，攪拌し球体表面に付着した気泡を除去する。
3)レーザーシート光を試料充填部から鉛直上方に照射し撮影を行う。実験器具の配置を図-3 示す。
4)撮影画像を PTV アルゴリズムで解析し，流速分布図を作成する。
・得られた流速場の例を図-4 に示す。
・球体を取り巻くように流況が，良く再現されている。

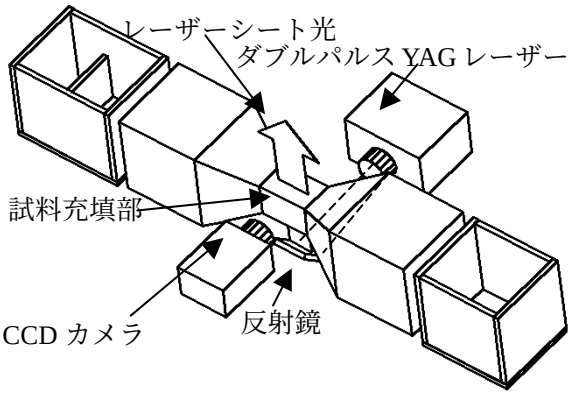

図-3 実験器具の配置図

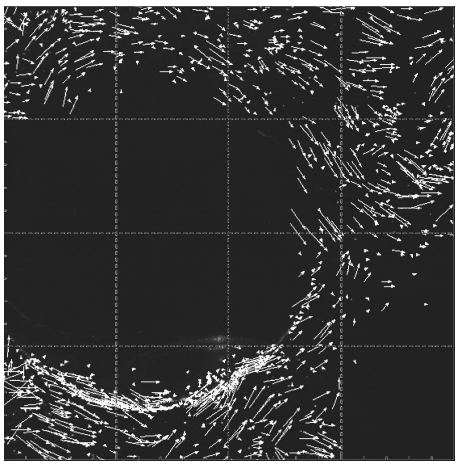
図-4　多孔質媒体中の流速分布の例

6.まとめ

球体の作製について以下に示す。
(1)水中攪拌法により作製した球体は直径 6〜10mm が全体の約 70%を占める。直径の比較的小さな球体を作製する場合に，この方法が適すると考えられる。
(2)型枠法では，比較的大きく同じ直径の球体を作製できる。しかし，接合部跡が残らない作製方法を開発することが重要である。
多孔質媒体中の流れ場の画像計測について以下に示す。
(1)型枠法により製作した球体，PTV アルゴリズム，及び屈折率整合技術を用いて，多数の球体まわりの流れを計測することに成功した。