

大阪市立大学工学部 学生会員 ○岡田 祐也

大阪市立大学大学院工学研究科 学生会員 馬瀬 慎也

大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 重松 孝昌

1. はじめに

消波ブロックや石積み堤などの多孔質体構造物の安定性や消波機能は、その間隙部の微細な流動構造(乱流構造)と密接に関係しているため、間隙部における流動構造を把握することはきわめて重要な課題である。中條ら [1] は、多孔質体模型の素材と流体の屈折率を一致させる屈折率整合法を用いて、多孔質体を通過する流体運動の 2 次元計測を行い、多孔質体間隙部における乱流量と Re 数との関係を明らかにしている。本研究では多孔質体間隙部の 3 次元流速分布を、画像計測手法を用いて計測し、流れの 3 次元構造を把握することを目的とする。

2. 実験概要

実験は、図-1 のような U 字管水路を用いて行った。管路内の流れは管路の一端から溶液をポンプ揚水により注入し、他端で自由越流させることにより水路鉛直部の両端における水頭差が一定となるようにして、一方向定常流を発生させた。模型は直径 $D = 2.5 \times 10^{-2} \text{m}$ のシリコン球を図-1 のように $0.05 \times 0.05 \times 0.05 \text{m}^3$ の立方体になるように積み上げ、各シリコン球を同素材のシリコンで接着し、水路中央部に設置した。このとき、多孔質体模型の空隙率 ϕ は約 47% であった。液体には、重量濃度約 40% のヨウ化ナトリウム水溶液(動粘性係数 $\nu = 0.9 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$, 比重 1.33)を用いることによって、多孔質体模型と液体の屈折率を整合させた。液体中には、トレーサーとして粒径約 $50 \mu\text{m}$ のポリ塩化ビニル製の粒子(比重 1.33)を予め混入させ、その運動を同期を取った 2 台の高速度カメラ (FASTCAM-1280PCI1K-FM(1280×1080pixel), (株) フォトロン)で撮影し、撮影間隔・シャッターの開放時間はともに $1/125 \text{s}$ であった。なお、レンズには Ai Micro Nikkor 105mm/F2.8S((株) Nikon) を使用している。このようにして、2 台のカメラで撮影された流跡線画像を用いて、3 次元流跡線連結法 (3D-PLCV)[2] を適用するこ

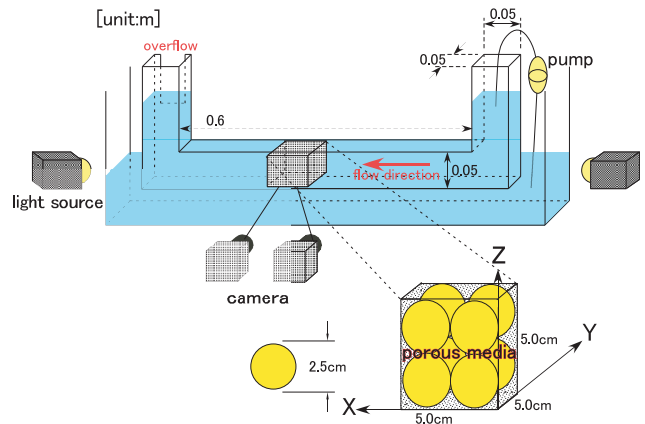


図-1 実験装置および模型の概要

とによって、多孔質体間隙部の 3 次元流速を求めた。3D-PLCV は流し撮影法により撮影した流跡線画像から露光時間中における移動距離(流跡線の始点・終点間距離)を求め、露光時間で除することによってトレーサーの存在位置における速度を求める方法である。そのアルゴリズムは、それぞれのカメラで撮影された連続する画像間で流跡線を対応付ける「時系列マッチング(TM:Temporary Matching)」と、異なるカメラで撮影された画像中の流跡線を対応付けて 3 次元空間座標を再構築するための「ステレオマッチング(SM:Stereo Matching)」から成る。SM は、Watanabe[3] の手法に従って行った。詳細については、中條ら [2] を参照されたい。なお、本研究では光源として 2 台のメタルハライドランプ (MID-25FC(250W), (株) 協和) を使用している。

3. 計測結果

多孔質体間隙部の瞬時流速の一例を図-2 に示す。図中の赤色の球体は多孔質体模型を、青色の矢印は計測結果の速度分布を接近流速 $V_0 = 1.06 \times 10^{-2} \text{m/s}$ で無次元化したものを示す。また、各座標はシリコン球の直径 D で無次元化している。なお、接近流速 V_0 , シリコン球の直径 D , 模型空隙率 ϕ から算出される粒子レイノルズ数 ($Re_p = \phi D V_0 / \nu$) は 138 であった。

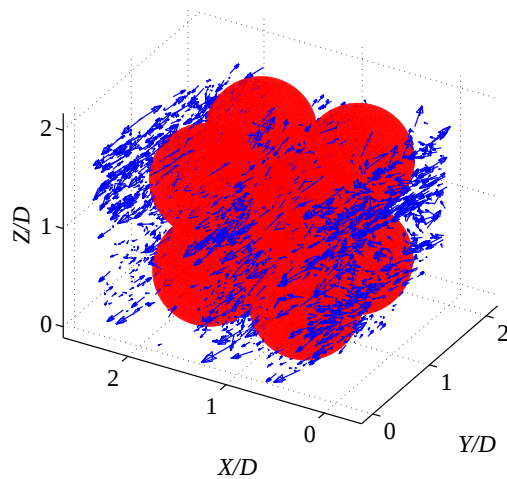


図-2 計測結果の一例 (瞬時流速)

図-2 から，多孔質体間隙部のような複雑な流れのメカニズムを理解することは困難である．そこで，ある任意の地点を中心に空間平均領域を設定し，その領域内に存在する流速の平均値をその地点の平均速度とし，多孔質体間隙部の流動のメカニズムの解明を試みる．

$$\langle V_s \rangle (x_c, y_c, z_c, t) = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M V_n(x_n, y_n, z_n, t)$$

ここで， M は空間平均領域内に存在する速度ベクトルの数， x_n, y_n, z_n は各速度ベクトルの位置， x_c, y_c, z_c は格子点位置， t は任意の時刻を示す．なお，本研究では空間平均領域の大きさは，各格子点から半径 $D/5$ の球内とした．空間平均速度の結果の一例を図-3, 4 に示す．

両図によると，大きな間隙部を有する断面では，間隙部およびその下流部で大きな流速が計測されていることがわかる．また逆に，小さな間隙部を有する断面では，間隙部およびその下流部で小さな速度が計測されていることがわかる．さらに，模型下流域では反流が見られるなど，乱れも大きくなっていることがわかる．なお，本計測結果によれば， Y 方向流速成分が比較的大きな値を有しており，この点については，今後検証する必要がある．

4. まとめ

本研究で得られた結論を要約すると以下のようなものである．

- 屈折率整合法と 3 次元流跡線連結法 (3D-PLCV) を併用することで多孔質体間隙部の 3 次元流速

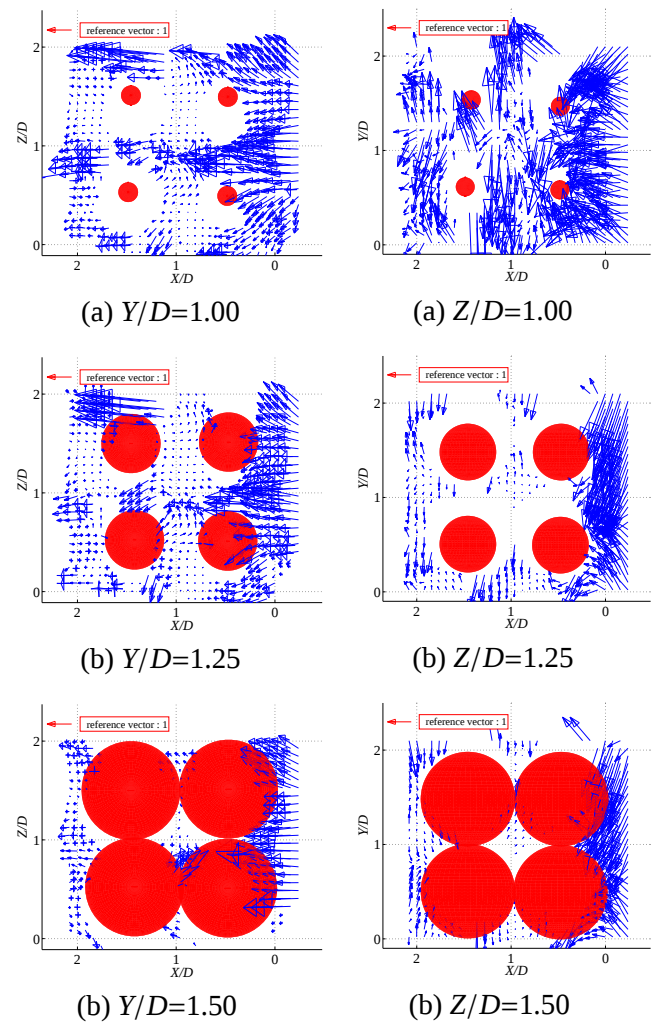


図-3 空間平均流速

図-4 空間平均流速

分布を計測することができた．

- 大きな間隙を有する断面になるほど，多孔質体模型間隙部では大きな速度が計測され，その下流部で反流が観察された．

参 考 文 献

- [1] 中條壯大, 重松孝昌, 辻本剛三, 竹原幸生. 多孔質体によって生成される乱流諸量に及ぼすレイノルズ数の影響に関する実験的研究. 海岸工学論文集, Vol.54, pp.801-805, 2007.
- [2] 中條壯大, 重松孝昌, 馬瀬慎也. 複雑流動計測のための二視点三次元 PTV に関する基礎的研究. 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.1464-1465, 2009.
- [3] Yasunori Watanabe, Yoshiyasu Hideshima, Takaaki Shigematsu, and Kohsei Takehara. Application of three-dimensional hybrid stereoscopic particle image velocimetry to breaking waves. Measurement Science and Technology, Vol.17, pp.1456-1469, 2006.