

## 画像計測を用いた多孔質体間隙部およびその周辺の流動場に関する研究

大阪市立大学大学院 学生会員 ○中條壯大  
 大阪市立大学大学院 正会員 重松孝昌

### 1.はじめに

防災や沿岸域の有効利用を主眼に設計・施工された不透過構造物によって、港湾などの閉鎖性水域の海水交換が妨げられ、その結果として生物の良好な生育・生息環境が損なわれてしまった。このような状況を修復する為、透過性構造物に対する関心が高まりつつある。その一つである石積み堤は懸濁物質の補足機能、微生物による礫間接触機能をも備えており、美しく豊かな海を取り戻すため、その効果が大きいと期待されている。これらの効果はどれも、間隙部を通過する流況の影響を受けるが、透過性構造物内部の流れに関する十分な知見は得られていない。また、構造物近傍の物質の拡散には、間隙部からの乱れを伴う流れによって誘起される乱流が支配的要因であると考えられるが、透過性構造物間隙部やその周辺場における乱流現象に関する知見は十分とは言えない。

重松ら<sup>1)</sup>は透過性構造物による乱れの生成・減衰機構の解明と定式化を目標とし、屈折率整合法を用いた画像計測を行い、多孔質体間隙部およびその周辺の流況の把握を試みている。しかし、時間解像度は1/15sと粗く、したがって乱流諸元を十分な精度で把握するに至っていない。また、高速ビデオカメラ1台によって上流部、間隙部、下流部の個別撮影を行っているが、1台のカメラでは約10cm四方の狭小領域でしか計測できていない。本研究では3台の高速ビデオカメラを同期させて、空間解像度0.012cm/pixel、時間解像度1/125sで多孔質体間隙部およびその周辺の流況を計測し、従来にはほとんど例のない広領域・高時間解像度のPIV解析を行った。

### 2. 実験概要および実験条件

多孔質体は直径  $D=2.0\text{cm}$  の球を41個接着して長さ12cm、高さ5cm、幅5cmとなるようにして製作した(図-1参照)。球はシリコン(信越化学:KE108)を用いて製作した。このシリコンの屈折率は、重量濃度約40%のヨウ化ナトリウム水溶液のそれと同じである。シリコン球で製作された多孔質体を図-1に示すようなU字型管路の中央部に固定し、その一端から前述のヨウ化ナトリウム水溶液を注入し、他端より自由越流させて一方向定常流を発生させ

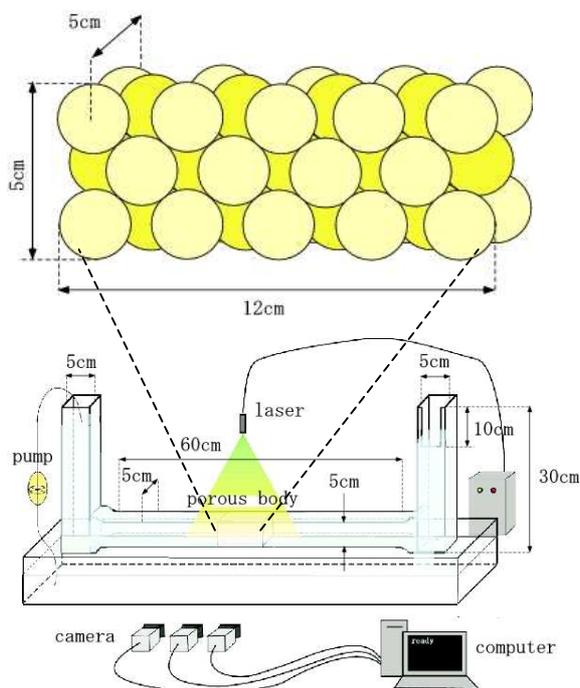


図-1 実験装置

表-1 実験機器

Photron 社製 PCI high speed camera (1280×1024pixel)3台
Japan laser 社製 Continuous diode laser (532nm,5W)
Nicon 社製 Ai Micro Nikkor レンズ

た。本研究で行った実験では  $Re=611$  (ヨウ化ナトリウムの動粘性係数,  $0.90 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$ ) となるように設定した。ここで  $U$  は多孔質体上流部における平均流速である。実験で使用した主な機器を表-1に示す。実験は暗室で行い、シート状のレーザー光を管路の上方から照射し、計測断面(管路中心線)内のレーザーに照らされた粒子のみを撮影した。トレーサー粒子には比重1.4、粒径約  $50 \mu\text{m}$  のポリ塩化ビニル製の粒子を用いた。撮影は上流部、間隙部、下流部に分けて、3台のカメラで同時に撮影した。撮影間隔は125frame/sで、合計約24秒間の撮影を行い、カメラ1台あたりの撮影画像は3000枚である。撮影された画像のサイズは1280×1024画素である。

### 3. 解析概要

画像解析には竹原ら<sup>2)</sup>が開発した Super-Resolution KC 法を用いた。任意の位置で求められた各トレーサー粒子

の速度情報を基に、格子点における瞬間流速を距離加重法によって補間して(補間領域の大きさは半径 0.15cm)求めた後、時間平均操作を行って平均流速を求めてレイノルズ分解を行った。

#### 4.実験結果

瞬時補間流速の一例を図-2に、瞬時補間流速から求めた流線の一例を図-3に示す。両図に示すように上流部、多孔質体間隙部、下流部にわたる高解像度広領域のPIV計測が行えるようになった。特に流線図からは、多孔質体通過前は層流であった流れが、多孔質体を通過することで、大小の渦が発生する乱流場に変化する様子が確認できた。図-4に管路断面平均の乱れ運動エネルギー  $k$  の流下距離に伴う変動を示す。 $k$  は多孔質体流入部 ( $x=0$ )で急増し、間隙部で大きく変動しながら上昇し、多孔質体流出部( $x=12$ )以降は一定値を示すが、さらに流下すると ( $x=18$ )、再び乱れ運動エネルギーは低下する。このように乱れの諸量の流下に伴う変動は重松ら(2000)の結果と同様の傾向であった。

任意の点における約 24 秒間の補間流速を用いてスペクトル解析を行った結果を図-5に示す。上流域の点  $P_1$  (-3, 0)における流れは層流であるとする、5Hzより高波数域に計測されているスペクトル(約  $0.1\text{cm}^2$ )は、白色ノイズであると考えられる。多孔質体間隙部の点  $P_2$  (1.5, 0),  $P_3$  (4.5, 0),  $P_4$  (6.7, 0),  $P_5$  (9.5, 0)のスペクトル解析結果を見ると、多孔質体を流下するにつれて、高波数域における値が大きくなるのがわかる。さらに、下流域の点  $P_6$  (14, 0)における解析結果を見ると、大規模な渦の存在を示す低周波数領域でエネルギーが増加しているとともに、Kolmogorov 則に沿って、スペクトルが減衰していく様子がわかる。すなわち、多孔質体間隙部では、小規模な(間隙スケール)の渦構造のみが、また下流域では、それよりも大きなスケールの渦構造も計測できていると考えられる。

#### 5.結論

3台の高速ビデオカメラを用いて、高時・空間解像度でPIV計測を行い、多孔質体の上・下流域を含む広領域の流速場を同時に計測した。その結果、多孔質体内を流下するとともに高周波の乱れが生成され、下流域では比較的大規模な渦が形成されていることや、Kolmogorov 則にほぼ従うようなスペクトルの減衰傾向がみられ、十分な時・空間解像度で計測ができたと考えられる。

**謝辞:** 本研究は、科学研究補助金(基盤研究(B)(2): 15360269)の支援を受けて行われたものである。ここに記

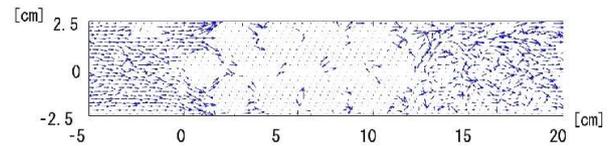


図-2 瞬時補間流速

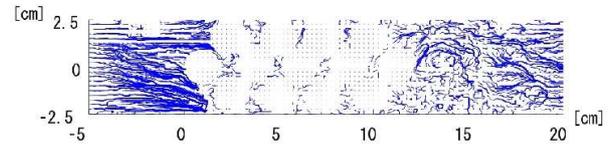


図-3 瞬時補間流速から求めた流線

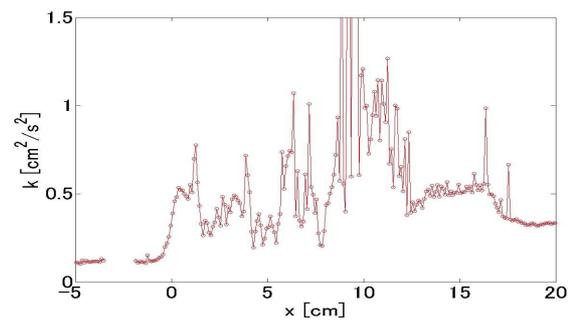


図-4 断面平均乱れ運動エネルギー  $k$

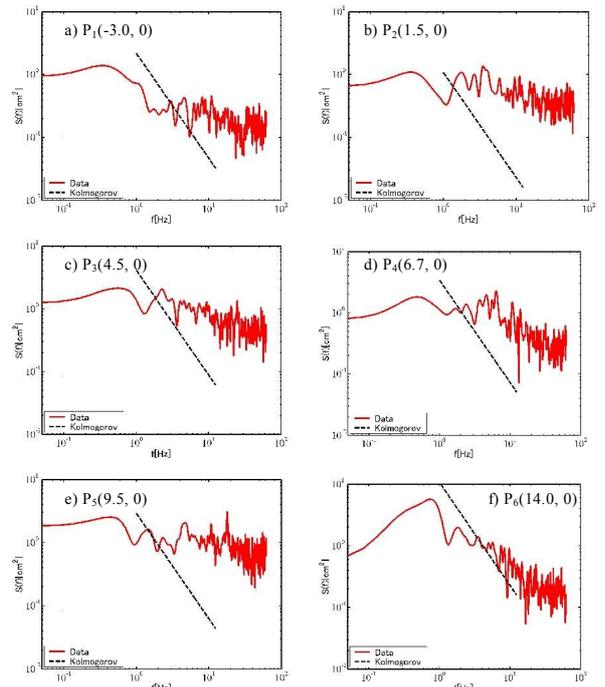


図-5 定点における流速変動のパワースペクトル

して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 重松ら(2004), 海岸工学論文集, 第15巻, pp.661-665.
- 2) 竹原ら(2000), 水工学論文集, 第44巻, pp.431-436.