

屈折率マッチング技術を利用した浸透流速の計測における撮影領域の影響

長岡技術科学大学 ○平田 壮
長岡技術科学大学 関口 泰徳
長岡技術科学大学 福元 豊
長岡技術科学大学 大塚 悟

1. はじめに

内部侵食は土木構造物に被害を与える要因の一つであるが、土中で起きる現象のため直接観測することが困難である。そこで、屈折率マッチング手法(RIMS ; Refractive Index Matching Scanning)と呼ばれる実験手法で、固体材料と液体材料の屈折率をマッチングさせて内部を可視化する透明砂の手法を用いることで、内部侵食現象の直接的な計測方法について検討した。今回はとくに、撮影領域の大きさを変えることによって浸透流速の計測結果に与える影響について考察した。

2. 模型実験

(1) 実験装置

実験装置は、一定流量ポンプ、侵食コントロール装置（内寸：縦 60 mm、横 150 mm、高さ 60 mm）、循環用タンク、PIV レーザー、高速度カメラ、光学フィルターの 6 つの部分により構成され、流量ポンプ、侵食コントロール装置、循環用タンクはチューブによって接続されている。侵食コントロール装置内にはアクリル球を充填する。循環用タンクにシリコンオイルを貯水し、流量ポンプの回転数（rpm）を制御することにより、流量を調節することができる仕組みになっている。

(2) 実験方法

図-1 に屈折率マッチングの様子を示す。屈折率マッチング手法である RIMS とは、対象物の屈折率と対象物を浸す液体の屈折率を近づけることで、内部を可視化する実験手法である。アクリル球（直径 9.5mm×300 個,8.0mm×450 個）を土粒子、蛍光粒子を浮遊させたシリコンオイルを間隙流体と仮定し、レーザー断面での間隙流体の流れを観察した。ポンプからの一定流量は 104 ml/min (30rpm)、609 ml/min (200rpm)、1225 ml/min (400rpm) で実験を実施した。図-2 のように PIV レーザーを侵食コントロール装置の上部から照射し、光学フィルター越しに高速度カメラを用いて浸透流の観察を行った。その後、取得した撮影画像に対して PIV (Particle Image Velocimetry) に基づく画像解析を行うことで、間隙流速の大きさを取得した。

(3) 撮影領域の変更

上記の実験装置・実験方法で、高速度カメラと侵食コントロール装置の間の距離を変えることによって、これまでの研究¹⁾に近い撮影範囲（縦 30mm 横 30mm）に加えて、近距離（縦 15mm 横 15mm）、遠距離（縦 50mm 横 50mm）での撮影をした。

3. 実験結果

ここでは、ポンプ流量 1225ml/min (多孔質体を平均化した流速から算出した場合、 $Re = \rho VD / \mu = 21.457$) について撮影範囲を変更した際の実験結果を示す。取得した画像を基にして PIV 解析を行った結果、図-3 の

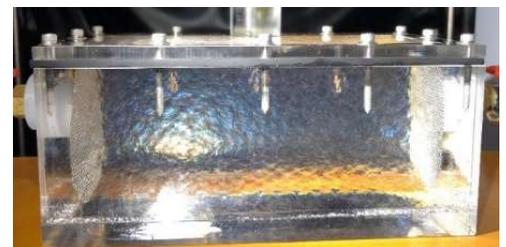


図-1 屈折率マッチング

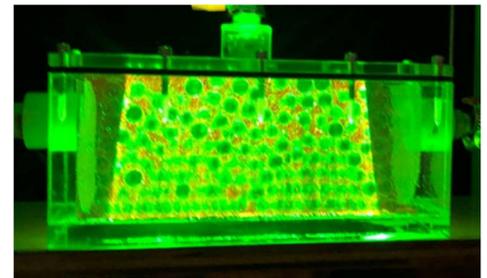


図-2 レーザー断面

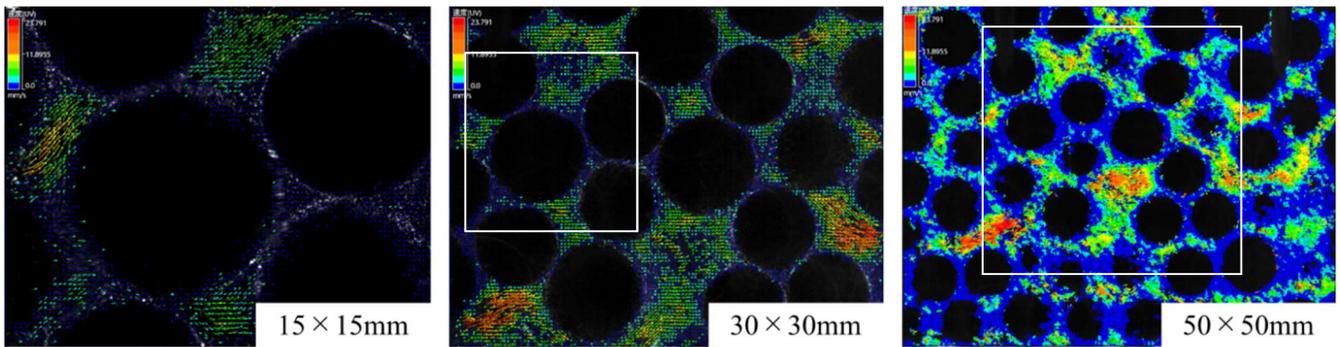


図-3 撮影範囲ごとの流速分布 (30×30mm の図中の白枠領域は 15×15mm, 50×50mm の図中の白枠領域は 30×30mm)

ようなベクトル図を得ることができた。最小値 0, 最大値 $2\langle V_y \rangle$ の範囲でカラーバーを設定した。図-3 のベクトル図からは、撮影範囲が変わることによって間隙流速の分布には大きな影響は無いと考えられる。また、間隙流速の分布の様子は、違う材料で行われた既往の研究²⁾によって得られた頻度分布とも類似している。図-4 に解析によって得られた間隙の流速を確率密度関数として頻度分布図を表した。図-4 からは撮影範囲が変わっても同じ流入流量であれば同様な頻度分布を示していることがわかる。また、流入流量から求めた理論上の流速と、解析によって得られた実測値の平均流速から、多孔質体のレイノルズ数を求めて、流速とレイノルズ数をまとめたものを表-1 に示す。理論値と実測値のレイノルズ数を比較すると、撮影範囲によって、得られる平均流速や導出されるレイノルズ数の値に違いが出ていることが分かった。また、実測値は 15mm の範囲では理論値のおよそ 1/6 倍の値、30mm の範囲では 1/3 倍、50mm の範囲では 1/4 倍という値をとっているということが分かった。どのケースにおいても理論上の値と比べると小さい値が得られたが、撮影領域の大きさによって得られる実測値にばらつきがあった。また、撮影領域が狭い範囲ではデータ数が少なく、全体の流れを代表する値を得ることは難しいが、局所的な流れの様子や間隙流速の頻度分布を得るには問題なく用いることができるといえる。

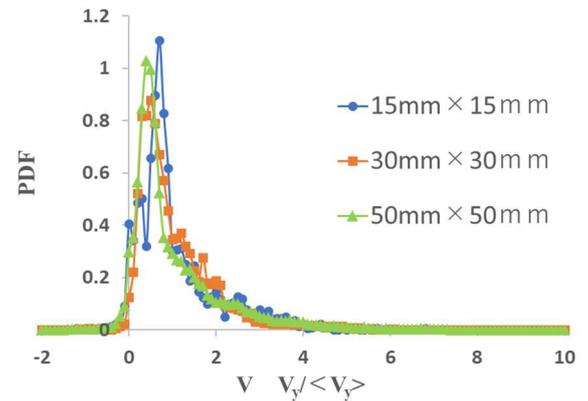


図-4 間隙流速の頻度分布図

表-1 浸透流速の理論値と実測値

| | 平均流速(mm/s) | Re |
|----------------------|------------|--------|
| 理論値 | 11.896 | 21.457 |
| 実測値 (15mm × 15mm) | 1.779 | 3.209 |
| 実測値 (30mm × 30mm) | 3.671 | 6.622 |
| 実測値 (50mm × 50mm) | 2.970 | 5.358 |

4. まとめ

実験結果から、撮影領域の大きさの変化による浸透流速の計測結果に与える影響について観察することができた。間隙を流れる様子や間隙流速の頻度分布を得るということに関しては、撮影領域の影響を大きくは受けないという結果が得られた。引き続き最適な撮影領域を模索するとともに、得られる流速の実測値の妥当性についても検討を進めていきたい。なお、本研究では「公益財団法人土科学センター財団」の研究助成を受けた。

参考文献

- 1) 塩原祐希, 宇井智章, 福元豊, 大塚悟: 透明砂を用いた浸透流の直接計測手法による層流-乱流域の観察, 地盤工学研究発表会発表要旨集, Vol.54, pp.873-874, 2019.
- 2) Harshani, H. M. D., Galindo-Torres, S. A., Scheuermann, A., & Muhlhaus, H. B. (2016). Experimental study of porous media flow using hydro-gel beads and LED based PIV. Measurement Science and Technology, 28(1), 015902.