

屈折率マッチング手法を用いた鉛直方向に流れる浸透流の計測

長岡技術科学大学 ○非会員 大下 倭駆
非会員 平田 壮
正会員 福元 豊
正会員 大塚 悟

1. はじめに

土木構造物が被害を受ける要因の一つとして内部侵食が挙げられるが、土中の内部は不可視であることから直接的に観察することが困難であり、土の侵食や流亡を扱う基礎的な知見が充分でない。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、アクリル球を用いた透明砂を土粒子、トレーサー粒子を浮遊させたシリコンオイルを間隙流体と仮定し、土中の内部を可視化することでレーザー断面の間隙流体の流れに対し直接的な撮影を行った。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。今回は特に鉛直方向と水平方向の浸透流の流れを計測し比較、検討した。

2. 透明砂の概要

内部を可視化させるためにRIMSと呼ばれる方法を用いた。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、直接見えない内部の断面を観察可能とする実験手法である。この手法は、屈折率マッチング手法の他に液浸法もしくは浸液透光法ともいわれている。今回の実験ではアクリル球とシリコンオイルの組み合わせを採用した。

3. 模型実験

(1) 実験装置

一定流量ポンプ、直方体の透明アクリル製容器でできた侵食コントロール装置（内寸：縦200mm、横60mm、高さ60mm）、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土粒子と見立てたアクリル玉を充填する。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

模型装置（侵食コントロール装置）内にアクリル球を入れシリコンオイルを流入した。アクリル球（比重：1.2、屈折率：1.49）とシリコンオイル（KF56）（屈折率：1.50）を使用し、ポンプを用いてシリコンオイルを循環させることで実験を行った。図-1に水平方向、図-2に鉛直方向に設置した侵食コントロール装置を示す。上部に設置したPIVレーザーを照射し、トレーサー粒子を可視化させ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、取得した画像に対しPIVに基づく解析を行い間隙流速の大きさを取得した。なお、浸透流が流れる進行方向をx方向とした。

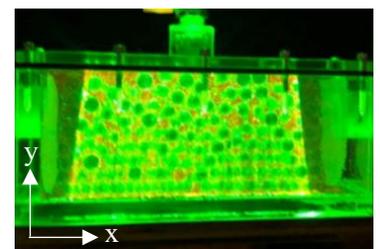


図-1 水平レーザー断面

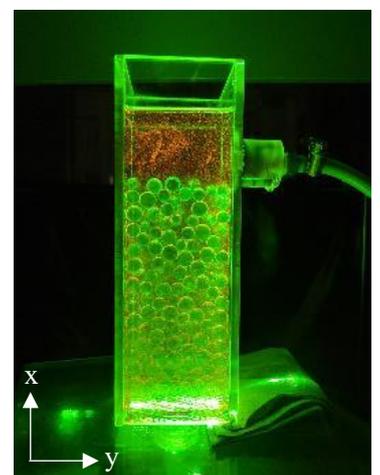


図-2 鉛直レーザー断面

4. 実験結果

ここでは、ポンプ流量 104ml/min (30rpm), 609ml/min (200rpm) で実施した実験の結果を示す。PIV 解析の結果得られた水平方向と鉛直方向で撮影した流速分布を図-3 に示す。なお、最小値は 0, 最大値は平均流速の 10 倍の範囲でカラーバーを設定した。

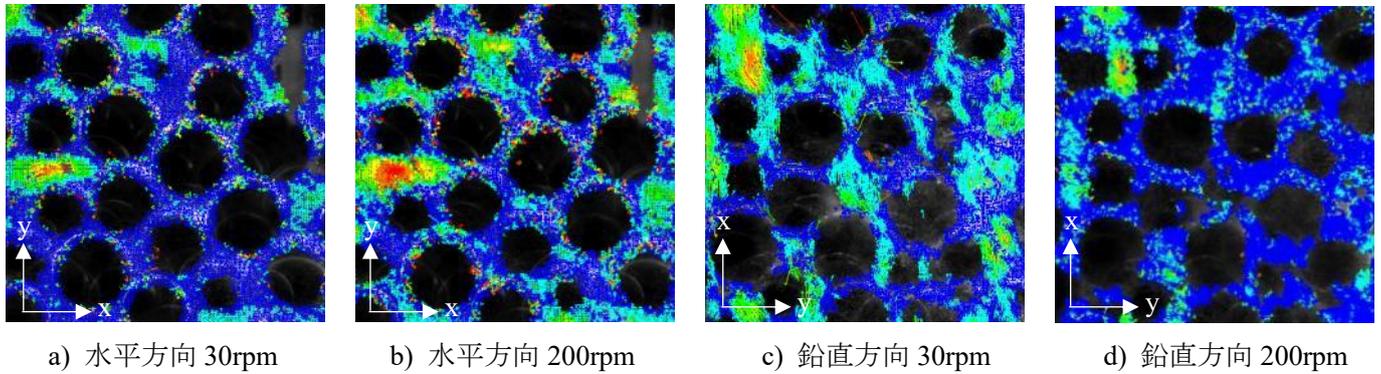


図-3 ベクトル図

ベクトル図からは垂直方向と鉛直方向ともに浸透流の流量を変化させたことによる間隙流速の分布に、大きな影響は無いと考えられる。ここで、画像解析によって得られた実測値の流速に基づくレイノルズ数を 30rpm で橙色、200rpm で青色に示し、それぞれの間隙流速を確率密度関数として頻度を分布させた図を作成した。なお、流入流量から求めたレイノルズ数の推定値は 30rpm で 2.242, 200rpm で 13.142 であった。図-4, 図-5 にそれぞれ水平方向、鉛直方向に設置した模型の x 方向に流れる流速の大きさの頻度分布図を示す。

実測値のレイノルズ数に着目し比較を行うと、水平方向と鉛直方向ともに推定値との乖離がみられる。ただ、これは撮影領域が狭く全体の流れの把握が困難であったことが原因であるといえる。また、鉛直方向のレイノルズ数が水平方向の 2~2.5 倍になっているのは、流速が 2~2.5 倍であったためであり、分布図の形状に関しても既往研究¹⁾と類似しておりピークが平均値に来る正規分布とは異なり多孔質層流速の頻度分布の特徴である不規則な形をとる点も一致しているため、侵食コントロール装置を鉛直方向に設置し行った本実験に関しても妥当性が高いといえる。

5. まとめ

今後は鉛直方向でステレオ撮影による 3 次元計測¹⁾を行う。本研究は、公益財団法人山口育英奨学会と公益財団法人ユニオンツール育英奨学会からの研究助成を受けた。

参考文献

- 1) 平田壮,関口泰徳,福元豊,大塚悟: 透明砂を使った土粒子の間隙における浸透流速の 3 方向成分の計測,地盤工学研究発表会発表要旨集,Vol.56,2021.
- 2) 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.

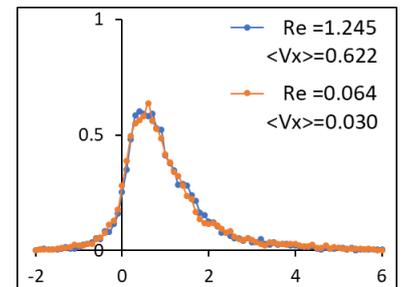


図-4 水平方向で x 方向流速の大きさの頻度を示す分布

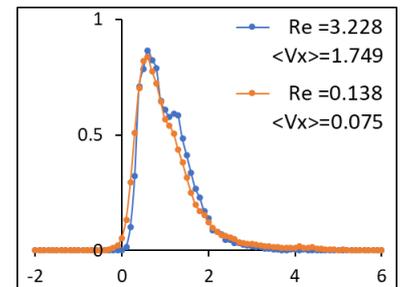


図-5 鉛直方向で x 方向流速の大きさの頻度を示す分布