

透明地盤実験における材料の組み合わせの検証

環境防災研究室 LAOLUE CHERXIONG

指導教員 福元 豊

1. はじめに

地盤の内部浸食は土構造物の崩壊の原因の一つであるが、地盤内部で発生する現象であるため、直接観測することが困難となっている。本研究では土中で発生する現象を可視化するため、屈折率マッチング手法 (RIMS, Refractive Index Matching Scanning) を用いて、ハイドロゲル球を土粒子、水を間隙流体と仮定し、透明地盤実験を行った。間隙中の浸透流の水理的屈曲度に着目し、PIV (Particle image Velocimetry) で撮影した断面の画像解析を行って、透明地盤実験の精度を検討した。攪拌混合実験においては材料の組み合わせを検討し、同様に PIV に基づく画像解析を行い、個体の挙動を観察した。

2. 実験方法 (浸透流透明地盤実験)

チューブで浸食コントロール装置と循環用タンクを接続し、水とハイドロゲル球 (直径: 10.66mm) を浸食コントロール装置に入れ、タンクに水を入れる。その後、光学フィルターをタンクに入れ混ぜる。ポンプの回転数を設定、PIV レーザーを浸食コントロール装置の横部に設置し、高速度カメラを浸食コントロール装置の下部に設置している。ポンプから一定流量で実験を行った。PIV レーザーを照射、高速度カメラで浸食コントロール装置の中の任意断面における浸透流を観察し、浸透流の画像を撮影した。

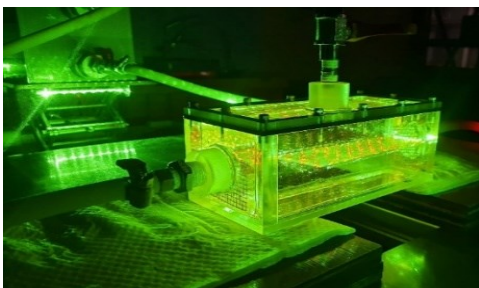


図-1 断面の撮影方法

3. 実験結果と考察

本実験では、浸食コントロール装置の断面 (25 mm、28 mm、33 mm、36 mm) においてポンプからの一定流量は (43.26ml、156ml、324ml) で実験を行った。PIV 解析を行った結果、図-2 の間隙の流速を頻度分布図が得られた。この図は確率密度関数となっており、横軸は各方向の速度を、水平方向速度の各平均値 $\langle VX \rangle$ で正

規化した値、縦軸が各成分の流速の頻度を表している。図-2 により、浸透流速の頻度分布は 0 付近に頻度のピークを持つ非対称なグラフになっていることが分かった。これにより、撮影断面と流入流量が変化しても同様な頻度分が得ることが分かった。

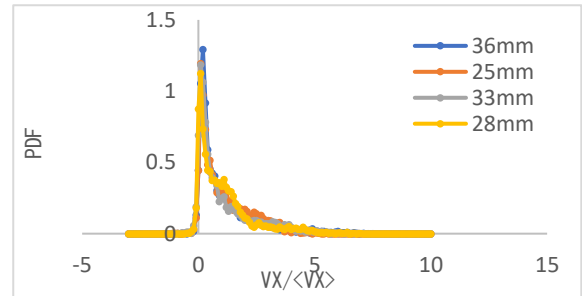


図-2 X 方向における浸透流速の頻度分布

図-3 は [アクリル球とシリコンオイル] と [ハイドロゲル球と水] のレイノルズ数 Re が同じ場合に対して、屈曲度を比較した図である。図により、アクリル球とシリコンオイルの屈曲度 τ は 1.1 ~ 1.2 の間に分布しており、どの断面には大きい変化が見られない。ハイドロゲル球と水の屈曲度は 1.1 ~ 1.2 の間に分布しているが、一つの断面における屈曲度が高かったと見える。それはハイドロゲル球の柔らかく変形しやすいため、間隙を埋めてしまうと考えられる。これにより、ハイドロゲル球を用いた透明地盤実験は精度が下がるといえる。

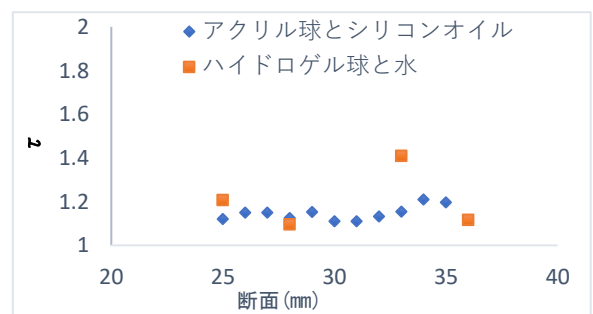


図-3 各断面における屈強度

図-4 に各流入流量におけるレイノルズ数 Re の分布を示した。既往の研究により、アクリル球とシリコンオイルの研究では本研究の同じ流入流量で Re が大きくても 5 程度である。しかし、本実験では Re が 100 程度まで得られ、乱流が発生しやすいと分かった。図-4 により、一定流量 (43.26ml) の場合は層流であり、一

定流量（156ml, 324ml）の場合は乱流と考えられる。

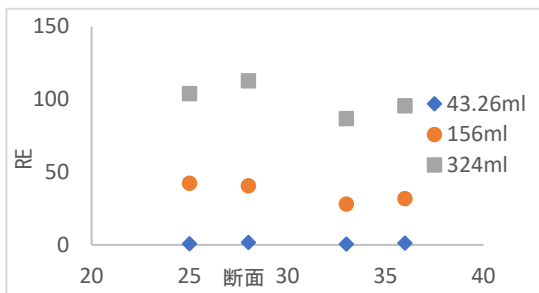


図-4 各断面におけるレイノルズ数

4. 実験概要（攪拌混合実験）

流動パラフィンと石英ガラスの屈折率が異なることで、間隙流体として株式会社 MORESCO 製の 2 種類の流動パラフィン（P-40、P-55）を混合した屈折率を検討した。また、アクリル製の円柱型容器に屈折率を一致させた石英ガラスおよび流動パラフィン（P40、P55）をそれぞれ 4:1 の場合で混合したものを入れてブレードを用いて攪拌実験を行った。屈折率マッチング手法を用い、4 方向から LED ライトを照射し、横から PIV レーザーを照射し、装置下から高速度カメラで断面の画像を撮影した。撮影した画像を PIV 解析で画像を処理できる手法を用いて個体の挙動を観察した。

5. 実験結果（攪拌混合実験）

石英ガラスと流動パラフィンの屈折率が異なるため、流動パラフィンと石英ガラスの屈折率が等しくなるように、2 種類の流動パラフィン（P40、P55）を用いて混合することにした。図-5 により、P40 と P55 をそれぞれ 4:1 の場合では、流動パラフィンの屈折率が 1.4585 であり、石英ガラスの屈折率と等しくなったことで、プラスチックコップの底の文字をよく確認することができ、透明地盤実験の透明度が最も高いと得られた。



図-5 透明度

図-6 は攪拌実験の PIV による画像解析結果を示す。ブレードの先端の付近に個体の移動の速度が一番早いと見られ、中心に近くなるほど個体の移動の速度が遅くなると観察できた。解析画像の下側に大きなベクトルが集中しており、よく確認できたが、上側のベクトルには大きな変化が確認できなかった部分がある。これは照射している光の強さが一定ではないことで、下側の方が上側に比べて相対的に強いため、影になった上側が解析の際に個体の移動が確認できづらい状態であったからと考えられる。

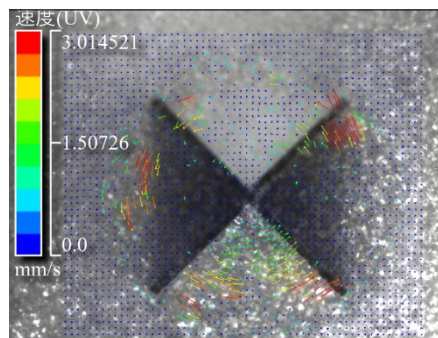


図-6 PIV 解析

6. まとめ

本実験では、透明地盤実験により、材料の組み合わせを検討した。水とハイドロゲル球の組み合わせは透明度が高いと分かり、水の粘性が低いため、大きなレイノルズ数の条件まで計測できた。ハイドロゲル球は非常に柔らかく変形しやすいため、観察や解析の精度が低くなることが分かった。攪拌混合実験では、石英ガラスと流動パラフィンの組み合わせで透明地盤実験の最も高い透明度が検討できた。固体（土粒子）の移動を直接的に観察できる可能性を示す。今後の研究では異なる粒径のハイドロゲル球を充填した二層構造において、透明地盤実験を行う。

参考文献

1. Laolue Chexiong, 渡邊 尚幸, 山本七輝, 福元 豊, 大塚 悟: 浸透流の直接計測における屈折率マッチング材の組み合わせの検討, 第 3 回 JGS 北陸支部ユースネットワーク研究発表会, オンライン開催, 2023.
2. 山本七輝, 大下倭駆, 福元 豊, 大塚 悟: 水理的屈曲度に着目した透明砂による異粒径の境界部の観察, 地盤工学研究発表会発表要旨集, Vol.58, [13-4-1-02], 福岡国際会議場 (福岡市), 2023.
3. 宇井智章: RIMS による土骨格内部の浸透流の直接計測, 2018