

# 屈折率マッチング材としてのハイドロゲル球の適用性

長岡技術科学大学	非会員	○関口	泰徳
長岡技術科学大学	非会員	塩原	祐希
長岡技術科学大学	正会員	福元	豊
長岡技術科学大学	正会員	大塚	悟

## 1. はじめに

内部浸食は土木構造物に被害を与える要因であり、不可視であることから直接観察が困難であり、土の侵食や流亡を扱う基礎的な知見が十分でない。透明な物体を用いて模擬実験を行うことで、内部侵食が発生・進行する様子を詳しく観察できる可能性がある。過去の研究により屈折率マッチング材としてアクリル球とシリコンオイルを用いた浸透流の直接的な観察方法はすでに検討してきた。実際の浸透流は水であるため、水と屈折率が近いハイドロゲル球を用いて、より実際の現象に近い状況での直接的な観察方法の確立を目指し、過去の研究と同様の水準での撮影が可能か検討する。ハイドロゲル球とは水を吸って膨らむ高吸水性樹脂であり、様々な名称で呼ばれているが本論文ではハイドロゲル球とする。ハイドロゲル球を図1に示す。

## 2. 透明砂の概要

内部を可視化させる為に RIMS(Refractive Index Matching Scanning)という方法を用いた。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。今回の実験では、水とハイドロゲル球の組み合わせを、過去の実験であるアクリル球とシリコンオイルの組み合わせと比較した。図2に屈折率マッチングの様子を示す。



図1 ハイドロゲル球



図2 屈折率マッチング  
(左:オイル 右:水)

## 3. 浸透流の模型実験

### (1) 実験装置

実験装置を図3に示す。直方体(内寸:縦80mm,横80mm,高さ295mm)の透明のアクリル製容器,一定量ポンプ,上部給水タンク,循環用タンク,PIVレーザー,高速度カメラ,光学フィルターで構成されている。断面レーザー照射の様子を図4に示す。

### (2) 実験方法

アクリル製容器内には、土粒子と見立てたハイドロゲル球を充填した。上部給水タンクにレーザーに反応するようにトレーサー粒子(図5)を混ぜた水を貯水し、水面を上げることで、アクリル製容器内を水で満たす。流量ポンプの回転数を変更することにより流量(ml/min)を325.6, 605.7, 870.9, 1126.7と変更しながら層流の範囲内で実験を行った。PIVレーザーを装置の上部に設置し、間隙流体を観察する断面は撮影する側面から奥行き方向に約5mmの断面とし、光学フィルター越しに高速度カメラを用いて流体を観察した。

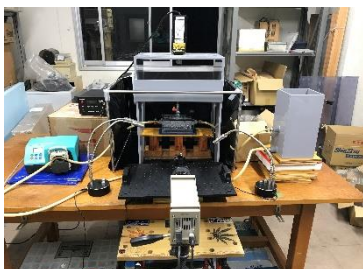


図3 実験装置

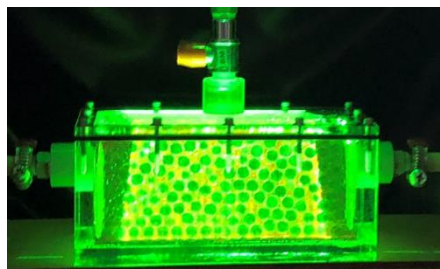


図4 断面レーザーの様子



図5 トレーサー粒子

### (3) 結果

水とハイドロゲル球の撮影結果を図 6 に、比較対象としてオイルとアクリル球を図 7 に示す。

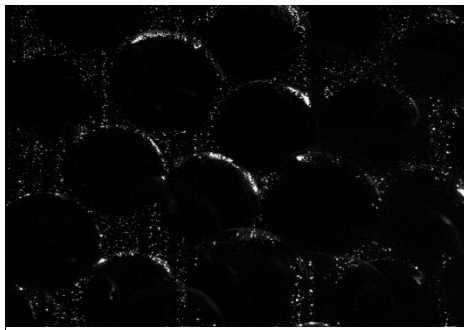


図 6 水とハイドロゲル球

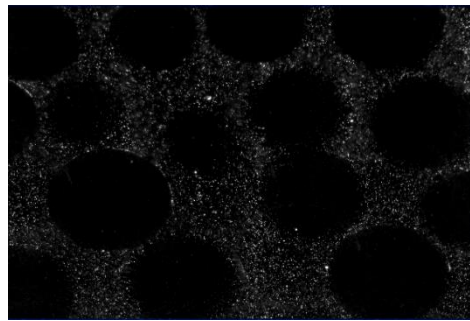


図 7 シリコンオイルとアクリル球

### 4. 過去の実験との比較

上記の結果を踏まえて、アクリル球とシリコンオイルで得られた撮影画像の流速解析結果との比較を行う。水とハイドロゲル球の流速解析を図 8 に、オイルとアクリル球の流速解析を図 9 に示す。一般的に間隙の中心ほど流速は早くなるが、図 8 と図 9 を比較すると水とハイドロゲル球ではオイルとアクリル球ほど顕著に表れなかった。これは図 5 からわかるように、トレーサー粒子がオイルには均等に混ざっているのに対し、水に対して溶けにくい為、偏ってしまうことが原因であると考えられる。ハイドロゲル球の表面にみられる強い反射部分についても同様のことがいえる。ハイドロゲル球の表面に溶け残っている粒子が付着し、強く反射することで他の部分の解析を妨げてしまっている。他に考えられる点として実験の容器がアクリル製である為、水とゲル球では屈折率が一致しておらず、その点が撮影結果に影響を及ぼしたとも考えられる。

水とハイドロゲル球の利点もみられた。オイルは水に比べて粘性を有しており、ポンプで送り込む際に脈動を打ってしまう。これは実際の浸透流と異なる動きであるため、実現象の再現として不十分であるが、水とハイドロゲル球を用いることで、その点を解決することができていた。

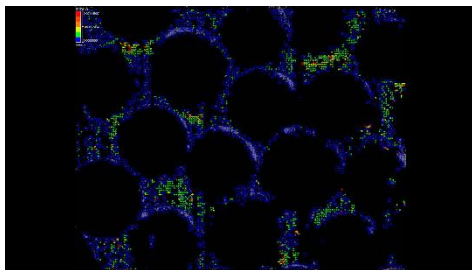


図 8 水とハイドロゲル球の流速解析

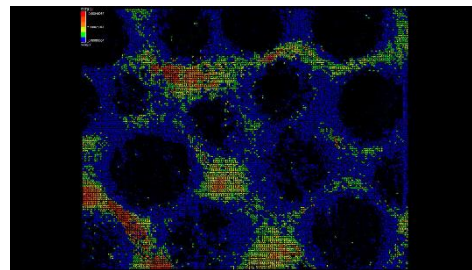


図 9 オイルとアクリル球の流速解析

### 5. まとめ

以上のことからハイドロゲル球と水を用いた実験は、直接観察は可能であるが、アクリル球とガラスビーズに比べて直接観察が難しいことがわかった。水とハイドロゲル球を用いるには、水と親和性の高い粒子の採用、ゲル球表面への付着の対策、容器と材料の屈折率の問題を解決する必要がある。

### 参考文献

- 1) 宇井智章, 清野颯, 福元豊, 大塚悟; 屈折率マッチング手法による地盤中の間隙流速の直接計測, 第 35 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 2017
- 2) 福元豊, 宇井智章, 清野颯, 大塚悟: 土骨格中の浸透流の直接的観察手法の検討その 2: 模型実験と数値解析の比較, 第 53 回地盤工学研究発表会 2018
- 3) Remi Beguin, Pierre Philippe and Yves - Henri Faure: Pore - Scale Flow Measurements at the Interface between a Sandy Layer and a Model Porous Medium: Application to Statistical Modeling of Contact Erosion, Journal of Hydraulic Engineering, 139(1): 1 - 11, 2013.