

透明土を用いた土骨格構造の違いによる浸透流の変化の直接計測

環境防災研究室 修士2年 塩原祐希

主査 大塚 悟

副査 豊田浩史, 宮木康幸, 福元豊

1. はじめに

土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。内部侵食は、浸透流によって土構造物内部の土粒子が侵食され浸透流とともに流亡する現象を指す。内部侵食現象は地盤内部で発生するため被害の状況を直接的に確認することができない。また、土粒子の侵食や流亡といった地盤工学と浸透流といった流体力学の相互作用を扱うための基礎的な知見が乏しく、未だに解明されていない点が多い。そこで、本研究では屈折率マッチング手法を用いて直接見ることができない内部の浸透流を可視化させる実験方法を確立させ、簡易的な模型実験を通して浸透流の特性を把握することを目的としている。地盤内部を観察する方法としてはMRIやX線CTが存在するが、比較的高価であり容易に実験を行うことができない。また、レイノルズ数による流体の状態に応じた浸透流の特性を把握する研究が存在しているが、層流状態から乱流状態まで一貫して幅広い範囲で観察した研究は存在しておらず検討の余地が残されている今年度はとくに、土骨格構造の違いによる浸透流の変化に着目した観察をおこなった。

2. 屈折率マッチング手法

屈折率マッチング手法とは、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、通常は見ることのできない内部を可視化することができる方法である(図-1)。実験で使用する材料の選定としてアクリル球とソーダガラス球の屈折率マッチングの比較を行った結果アクリル球とシリコンオイルの組み合わせが最も透明度が高くなる結果となった。よって、本実験ではアクリル球とシリコンオイルの組み合わせで実験を行うことにする。

3. 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60mm,横150mm,高さ60mm)(図-1)、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。



図-1 侵食コントロール装置

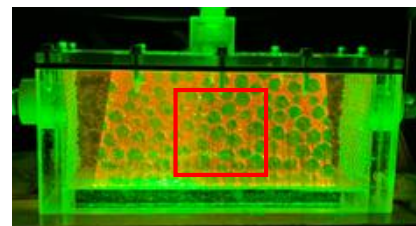
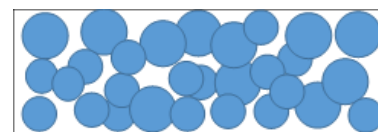
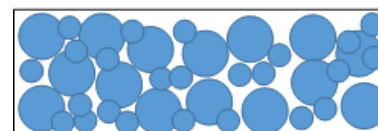


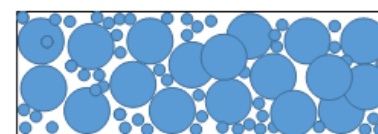
図-2 レーザー断面の様子



CASE1 (10mm×7.9mm)

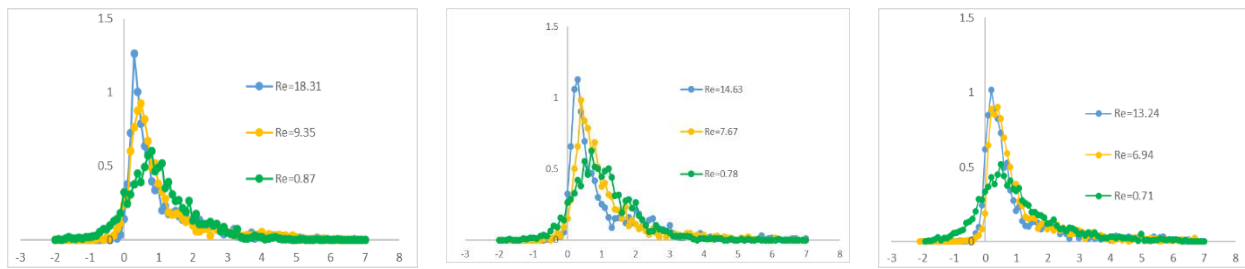


CASE2 (10mm×6.1mm)



CASE3 (10mm×3.0mm)

図-3 CASE1, CASE2, CASE3 の概要図



CASE1

CASE2

CASE3

図-4 水平方向流速の大きさの頻度を示す分布図

(2) 実験方法

侵食コントロール装置内に土粒子と見立てたアクリル球（直径 10mm, 7.9mm, 6.1mm, 3.0mm）を充填する。本実験では、土骨格構造による違いによる浸透流の変化の計測を測定するため、直径 10mm のアクリル球を基準とし、CASE1 (10mm×7.9mm), CASE2 (10mm×6.1mm), CASE3 (10mm×3.0mm) の 3 ケースを対象とした (図-3)。ポンプの流量 (ml/min) は 58 (15rpm) ~ 1230 ml/min (400rpm) と変更しながら実験を行う。PIV レーザーを侵食コントロール装置の上部から照射し、浸透流を観察する断面は撮影する側面から奥行き方向に約 10mm とし、ロングパス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 (図-2)。

4. 実験結果と考察

CASE1, CASE2, CASE3 の図-2 の赤枠で示した領域（縦 25mm, 横 25mm）を計測した結果を示す。取得した画像を基に PIV 解析を行った結果、浸透流のベクトル図を得ることができた。また、解析で得られた浸透流のベクトル図（流速）を頻度分布で表すと、図-4 のようなグラフが得られた。実験で得られた速度の平均値と最大値の比が 7~8 であり、既往の研究の頻度分布¹⁾と本実験から得られた頻度分布を比較すると、最頻値が平均値よりも小さい値でみられるという点で共通していることがわかった。また、流速が上昇するにつ

れてピーク値が 0 付近に近づきピーク値が上昇している点でも共通していることが分かった。水平方向において流量が多くなるにつれてピーク値が上昇している。これは、流量が大きくなるに伴い、浸透流の流速が平均流速より比較的小さな値や大きな値が多く存在することからピーク値が大きいグラフが得られたと考える。これらの結果は 3 ケース共に共通している結果であった。図-6 に CASE1 (Re=18.31, Re=0.87), CASE2 (Re=14.63, Re=0.78), CASE3 (Re=13.24, Re=0.71) の流速分布のコンター図を示す。微小領域で浸透流の流速に着目すると、3 ケースとも流量が大きくなるにつれて浸透流の平均流速場（緑色）の領域が減少し、高流速場と低流速場（赤色と青色）が増加している。このことから、大きなレイノルズ数を有する流体の頻度分布はピーク値が増加する傾向にあることがいえる。

5. まとめと今後の展望

土骨格構造の違いによる多孔質体流れの層流状態から乱流状態までの浸透流を観察することができた。レイノルズ数の大きさの変化に伴い、頻度分布のピーク値が上昇するといった流量を変更させた場合のグラフ傾向が得られた。また、その結果からレイノルズ数が大きくなるにつれて高流速場の領域が増加する傾向も得られた。さらに、将来的に数値解析と検証可能なデータを本実験から得ることができたといえる。

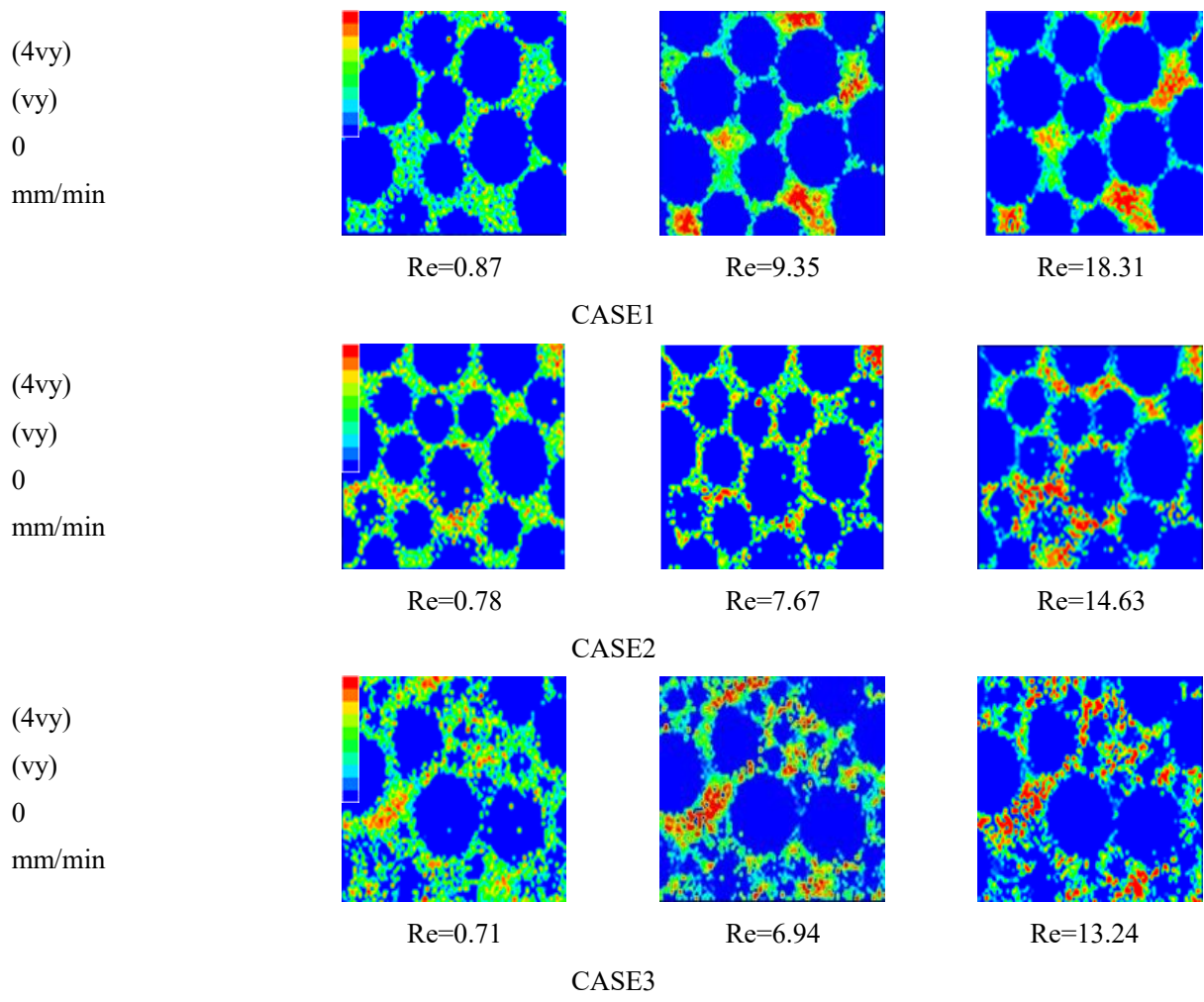


図-5 水平方向流速の大きさの分布図

参考文献

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.