

異なる粒径の境界部における浸透流の微視的な観察

長岡技術科学大学 ○山本 七輝
大下 倭駆
福元 豊
大塚 悟

1. はじめに

土構造物に被害を与える要因の一つとして内部浸食があるが、これは土中における浸透流の作用によって発生する現象であるため、直接観察することは困難である。そこで、屈折率マッチング手法 (RIMS : Refractive Index Matching Scanning) によって浸透流を可視化し、粒子画像流速測定法 (PIV : Particle Image Velocimetry) によって画像解析を行うことで浸透流速を測定した。本実験では異なる粒径を持つ粒子の境界部における浸透流の流れを微視的に観察し、粒子の分布条件が浸透流へ及ぼす影響を検討した。

2. 実験の概要

2.1 実験方法

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、本来観察することはできない内部の観察を可能とする手法である。本実験では屈折率の近いアクリル球とシリコンオイルを土粒子と間隙流体とみなして実験を行った。実験装置は一定流量ポンプ、浸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、光学フィルターによって構成されている。浸食コントロール装置内にアクリル球を充填し、循環用タンク内にはトレーサー粒子の入ったシリコンオイルを貯水し、一定流量ポンプの回転数 (rpm) を制御することによって浸食コントロール装置内の流量を調節する仕組みとなっている。

2.2 実験条件

異なる粒径を持つ粒子の境界部における浸透流の流れを観察するため、浸食コントロール装置内の下部に直径 12.7 mm のアクリル球を 165 個、上部に直径 6.35 mm のアクリル球を 1000 個充填し、シリコンオイルを流入した。ポンプの流量 (ml/min) は、103.9 (30 rpm)、164.4 (50 rpm)、315.9 (100 rpm)、618.9 (200 rpm)、921.8 (300 rpm)、1224.8 (400 rpm) の 6 通りについて実験を行った。図-1 に示すように、浸食コントロール装置に PIV レーザーを照射し、光学フィルターを取り付けた高速度カメラによって X-Z 断面の撮影を行った。浸透流を観察する断面は浸食コントロール装置の下から 20 mm~40 mm 間を 5 mm 間隔で観察した。その後、撮影画像 (図-2) に対して PIV に基づく画像解析を行い流速を取得した。

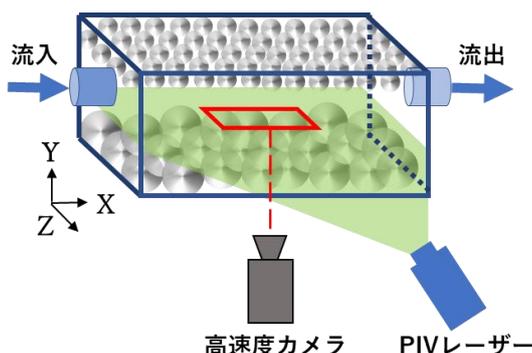


図-1 X-Z 断面の撮影方法

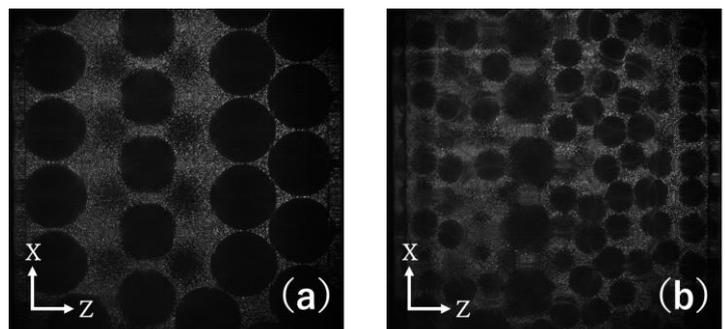


図-2 撮影画像

(a) 装置の下から 20mm 断面 (b) 装置の下から 40mm 断面

3. 実験結果

図-3 に浸食コントロール装置の下から 30 mm における X-Z 断面の流速のベクトル図, 図-4 に X 方向と Z 方向の浸透流速の大きさの頻度分布を表す確率密度関数を示した. 横軸は X 方向の流速 v_x と Z 方向の流速 v_z を X 方向の流速の平均値 $\langle v_x \rangle$ で正規化した値で, 縦軸はその頻度を表している. 多孔質層の流速の頻度分布は既往の研究¹⁾から, X 成分の流速については $v_x/\langle v_x \rangle$ が 0~1 の間で頻度のピークを持つ不規則な形をとることが分かっており, Y 成分の流速については $v_z/\langle v_x \rangle$ が 0 付近に頻度のピークを持つ左右対称な分布になることが分かっている. 図-4 から既往の研究¹⁾と同様の頻度分布の概形が得られたことが分かり, 他の断面においても同様の特徴が見られた.

図-5 に 5 つの X-Z 断面における流量と Tortuosity (以下, T と呼ぶ) の関係を示した. T は浸透流の屈曲度を表す指標で値が大きいほど屈曲した流れであることを示している. T は (1) 式で計算される.

$$T = \frac{\sum v}{\sum v_x} \quad (1)$$

ここで, v は X-Z 断面における浸透流速の大きさ, v_x は X 方向の浸透流速である. 図-5 から T の値は撮影断面の高さによって異なり, 1.0 から 1.3 の範囲にあることが分かる. 数値解析上の理想的な多孔質体流れでは T がおよそ 1.0 から 1.2 の値を取ることが報告されており²⁾, これに近い範囲を実験的に得ることができた. 装置の下から 20 mm における断面は粒径の大きい粒子が多いため T が小さくなり, 装置の下から 40 mm における断面は粒径の小さい粒子が多いため T が大きくなったと考えられる. また, 装置の下から 35 mm における断面の T が最も大きくなったのは, 異なる粒径の境界部のため屈曲した流れになったためだと考えられる. Re が 1.179 の時の T を除くと, 概ね流量が大きくなるにつれて, T が小さくなる傾向が得られた.

4. まとめ

本実験では異なる粒径の境界部における浸透流の観察を実施した. 今後の展望としては X-Y 断面における撮影や, 様々な粒度分布での撮影を実施する予定である. なお, 本研究では, 「科研費 22K04307」と「土科学センター財団研究助成」の支援を受けた.

参考文献

- 1) 大下倭駆, 平田壮, 福元豊, 大塚悟: 透明砂による間隙中の浸透流の異なる断面からの観察, 地盤工学研究発表会発表要旨集, Vol.57, [20-10-3-07], 2022.
- 2) M. Aminpour, S. A. Galindo-Torres, A. Scheuermann, L. Li: Pore-Scale Behavior of Darcy Flow in Static and Dynamic Porous Media, Phys. Rev. Applied 9, 064025, June 2018

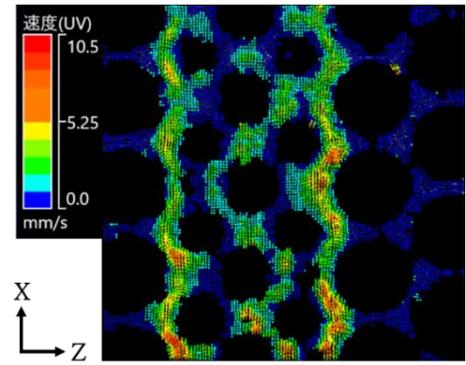


図-3 X-Z 断面の流速のベクトル図

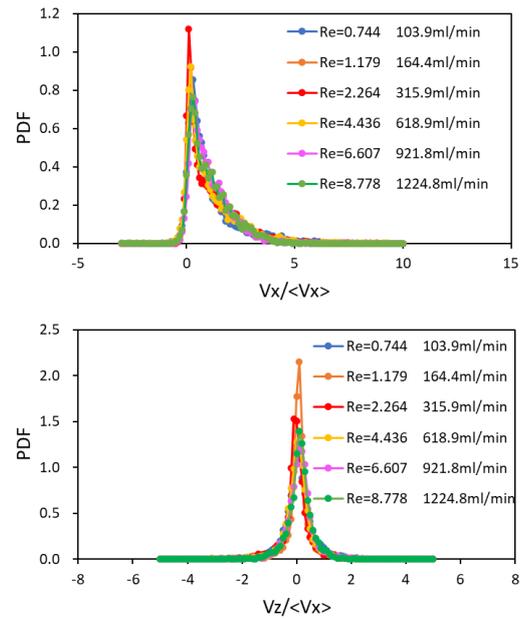


図-4 X 方向と Z 方向の浸透流速の頻度分布

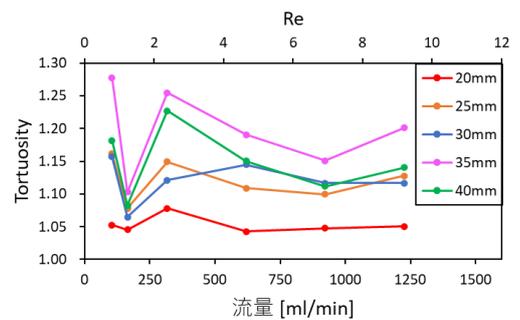


図-5 流量と Tortuosity の関係