

屈折率等価性に基づく可視化実験を用いた間隙内空気流動の評価

熊本大学大学院 学生会員

○村田 宗一郎

正会員 椋木 俊文

熊本大学技術部 非会員 吉永 徹

1. はじめに

ハイテク産業の発展により、それらに用いられる電子部品等の洗浄に用いられる有機溶剤による地盤汚染が問題となってきた¹⁾。現在、有機溶剤による地盤汚染への浄化工法には、空気を圧入して有機溶剤を気化させ、その気体を回収する方法がある²⁾。しかし、地盤内の回収量の定量評価は困難であり、有機溶剤が部分的に残存する可能性が高い。そのため、地盤中に取り残された有機溶剤を効率的に回収するためには、地盤の間隙構造、流体の流動特性および注入流体と有機溶剤との相互作用を把握することが重要である。そこで、著者らは地盤中におけるガスの流動特性を、X線CT撮影および屈折率の等価性を利用した模型実験による注入ガスの可視化実験を組み合わせることによって評価することを検討している。本概要では、屈折率の等価性を利用した模型実験による注入ガスの可視化実験の結果を報告する。

2. 実験概要

表1に本実験で使用した試料の物理特性を示す。表1より、石英ガラスと流動パラフィンの屈折率がほぼ等しいことがわかる。人の目は光の反射を利用して物を識別するため、屈折率を調整することで見かけ上透明になる。この性質を利用すると、流動パラフィンで満たした容器に石英ガラスを充填することで透明の模型を作成することができる。写真1、2に流動パラフィン注入前後の様子を示す。このようにして、石英ガラスを充填した模型試料に、流動パラフィンを注入することで、屈折率の等価性により見かけ上透明の模型を作成することができる。この特性を用いて、屈折率が異なる空気のみを可視化することができ、その挙動を観察する。作成した模型地盤の寸法は、高さ200mm、幅100mm、厚さ3mmとし、間隙率37.7%に調整した。空気の注入流量は10ml/minとなるよう手動で60秒間注入した。

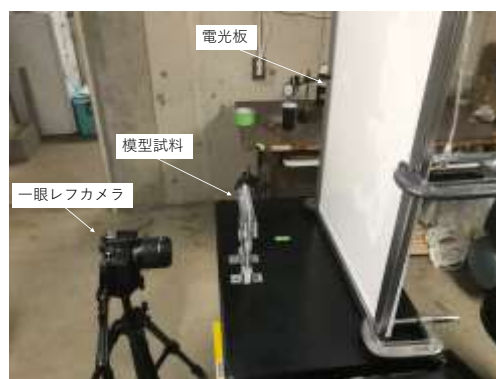


写真3 実験装置外観写真(側面)



写真4 実験装置外観写真(正面)

表1 試料の物理特性

	密度(g/m ³)	屈折率(-)	粒径(mm)
石英ガラス	2.210	1.4585	0.5-2.0
流動パラフィン	0.839	1.4588	-
空気	0.001	1.0000	-

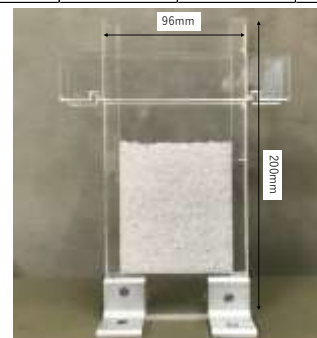


写真1 実験装置(流動パラフィン注入前)



写真2 実験装置(流動パラフィン注入後)

写真3および4は実験装置の外観を示している。模型地盤の後方に電光板を設置し、前方に設置している一眼レフカメラ(Canon EOS kiss X7(画素数:5184×3456))によって撮影を行った。撮影条件として、部

キーワード 屈折率, 有機溶剤, 間隙構造, 画像解析, マイクロX線CT,

連絡先

〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1 熊本大学大学院 TEL:096-342-3691(椋木教員室)

屋を暗くすることで光源を電光板のみとし、撮影する模型全体の照明度が一定となるようにしている．このような状況で、1秒間に4コマ撮影する．模型には外径2mmのチューブが設置してあり、これにより下方から空気を注入する．

3. 実験結果

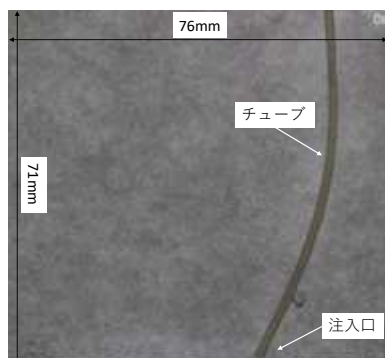


図5 空気注入実験(0s)



図6 空気注入実験(29.25s)



図7 空気注入実験(29.75s)



図8 流動経路観察(30.25s)



図9 流動経路観察(30.75s)



図10 流動経路観察(31.25s)

図5-10は、作成した模型の下方から空気を注入した際に、どのように上部に進んでいくのかを時間ステップで観察した画像である．画像はチューブ周辺の流路を選択しているものを抜粋している．このように、屈折率の異なる空気のみを可視化することに成功している様子がわかる．チューブ周辺に気泡が集まっている原因として、模型の作成時において、チューブ周辺の構造が緩詰になってしまったことが考えられる．図7から得られた白枠の3点目について、図6の時点で既に存在している経路に合流せず、別の経路を進んでいる様子が見て取れる．空気の経路は一つではなく、複数存在するということがわかる．今回は2秒間の空気の挙動を0.25秒間隔で撮影したものであるが、時間ステップをさらに短くすることで、詳細に空気の経路を特定できる．このような空気の流動経路については、間隙の形状と接続性の影響を受ける³⁾ため、次のステップとしてX線CT撮影により間隙構造を把握することで、空気の流動特性を評価することを計画している．

4. 今後の課題

今回の実験結果より、空気が局所的に注入されることが分かったことから、残存した油の回収が今後の課題である．これについては超音波により残存油を回収する手法について検討を開始している．今後は、今回提案した実験手法とX線CTを用いた内部可視化画像による画像解析手法の確立を目指し、油汚染地盤の浄化修復の定量評価を進める所存である．

参考文献

- 1) 吉田文和：ハイクテク汚染：岩波新書，3,20,1989
- 2) Kevin G. Mumford, James E. Smith, Sarah E. Dickson：New Observations of Gas-Phase Expansion above a Dense Nonaqueous Phase Liquid Pool：Vadose Zone Journal.org Vol.8, No.2, May 2009.
- 3) Hamamoto, S. Moldrup, M. Kawamoto, K. Sakaki, T. Nishimura, T. and Komatsu, T.：Pore network structure linked by X-ray CT to particle characteristics and transport parameters：Soils and Foundations, Vol.56(4), pp676-690,2016