

飽和地盤における密度が異なる二流体挙動の可視化

熊本大学工学部 学生会員 ○植田 貴俊
 熊本大学大学院 学生会員 下屋敷 覚弘
 熊本大学大学院 正会員 椋木 俊文

1. はじめに

ガソリン油などの水の比重よりも軽い難水溶性有機化合物が、事故などの理由でいったん地盤内部に放たれてしまうと、地下水層まで到達後、地下水表面に貯留する。その後、地下水の挙動に影響を受けて地盤汚染が拡大していく¹⁾。このプロセスにおいて、地下水周辺の地盤は飽和度が高いため、油の輸送挙動は、二流体の密度差、粘性差、そして水と油の境界に働く界面張力の影響を受ける。油による汚染地盤をより効率的に浄化する手法を開発するためには、これらの二相流体の水理特性を把握することが重要である。そこで、本研究ではまず流体の密度差に焦点を絞り、油が飽和地盤の中へ流入していく現象を、間隙流体よりも軽い流体が間隙内へ流入していく現象と捉え、密度が異なる二流体挙動を可視化する基礎的実験を実施した。ここでは、30%濃度のヨウ化カリウム水溶液（以後KI水溶液と記す）の密度 $\rho_{KI}=1.25\text{g/cm}^3$ と水の密度 $\rho_w=1.00\text{g/cm}^3$ の大小関係 ($\rho_w < \rho_{KI}$) を利用して、KI水溶液で飽和した供試体への水の浸透現象を、産業用X線CTスキャナを用いて可視化する実験を実施した。

2. 実験概要

実験の概略図を図-1 に示す。マリオット管を用いて、水道水を定水位で供試体に通水した。供試体材料には硅砂 8 号を用い、相対密度 $Dr=60\%$ 、KI水溶液による飽和度 $S_{KI}=100\%$ となるように供試体を作製した。実験では、水頭差 $h=10\text{cm}$ の一定水頭で供試体に対して水平方向に透水させ、各経過時間後にX線CT撮影を行い、供試体が定常状態となったところで実験を終了した。X線CT撮影を行う際には、図-2 に示すように供試体中心 (0mmの位置) とその上下 10mm および 20mm の位置の計 5 断面を撮影した。X線CTスキャナにより密度に比例するパラメーターであるCT値が得られ、それをデジタル画像として表示したものがX線CT画像である²⁾。白黒の 256 階調濃淡レベルで表されており、高密度領域は白く、低密度領域は黒く表示される²⁾。

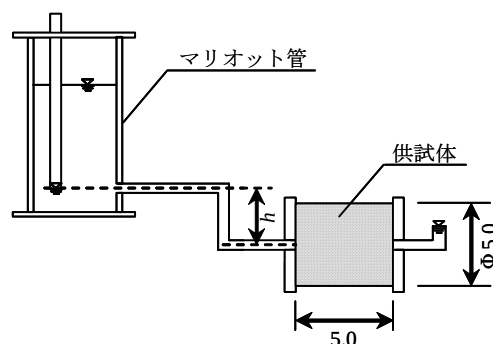


図-1 実験概略図 (単位: cm)

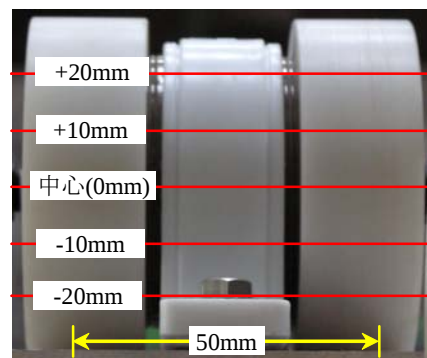


図-2 供試体の撮影位置

3. 実験結果および考察

図-3 は、各経過時間後において+20mm 断面を X 線 CT 撮影した原画像と 2 値化画像である。本結果では、初期の画像における供試体断面全体の平均 CT 値をしきい値として 2 値化処理を行った。2 値化処理を行うことによって、水の浸透領域が黒く鮮鋭化された。図-3 より水の浸透領域の時間変化をみることができるが、水の浸潤面は浸透方向に対して一様ではなく、かつ水の浸透領域、浸潤面の距離から浸透の時間変化を定量的に評価することは困難である。そこでここでは、CT 画像を用いて、各経過時間後における水の浸透領域の面積を、定常状態での水の浸透領域の面積で除し、これより求まる値を浸透率と定義した。その浸透率と時間の関係を示したものが図-4 である。図-4 より、+20mm の位置における水の浸透率は 80%までは線形的に増加していることが分かる。このことから、水平方向への水の浸透は一定の割合で進行すると判断できる。図-5 は、各経過時間後における+10、0、-10mm の位置における 2 値化画像である。図-5 より、時間の経過が

同じであっても、断面によって水の浸透状況が異なっており、高さ方向への分布があることが分かる。図-6は、先に述べた浸透率の高さ方向への分布を示したものである。本実験は、比重が小さい流体 A が、比重が大きい流体 B の存在する間隙内に浸入していく実験である。流体 A は重力の影響を受けて供試体上部を輸送している。いったん、供試体上部が流体 A でほぼ満たされても供試体は定常状態にはならず 図-6 に示すように流体 B が残留する領域に流体 A が侵入している。これは、KI 水溶液が水に溶解する物質であり、二流体の境界に界面張力が働かないため、このような挙動が起きると推測されるが、これについては今後実際の油を使用した実験を実施することで明らかにされる。しかしながら、この実験における密度差は 0.25 で、これは実際の油と水の密度差に相当することから、地盤内における油の水平輸送は、深さ方向に一樣にはならないことが推測される。

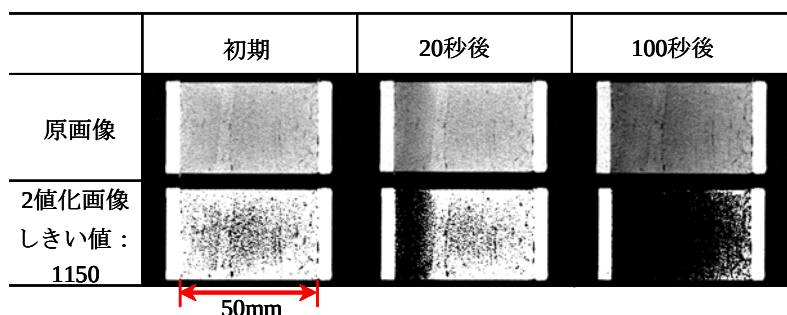


図-3 +20mmの位置における原画像および2値化画像

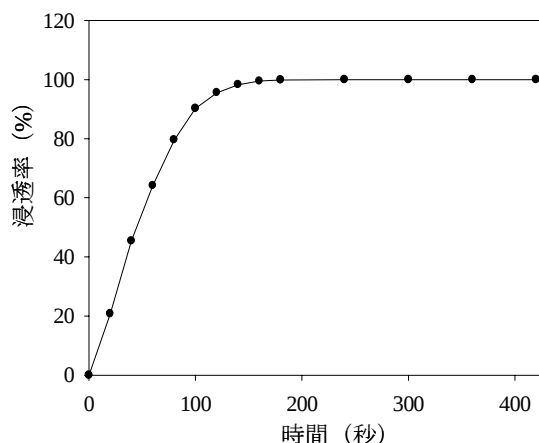


図-4 +20mm の位置における浸透率の時間変化

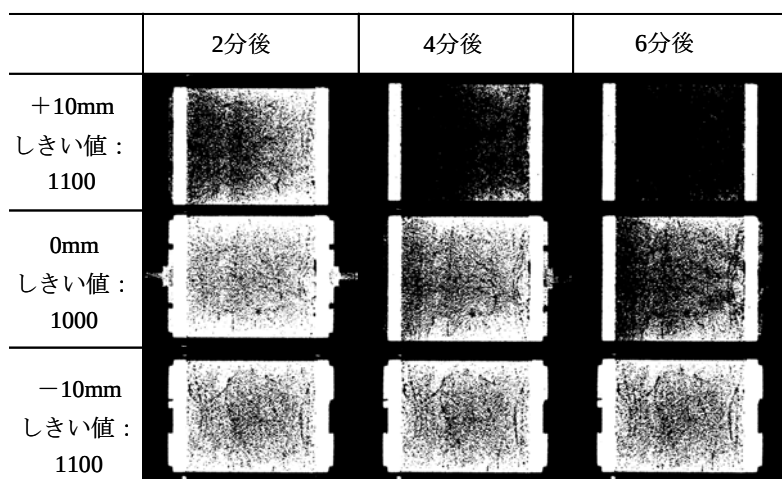


図-5 +10、0、-10mmの位置における2値化画像

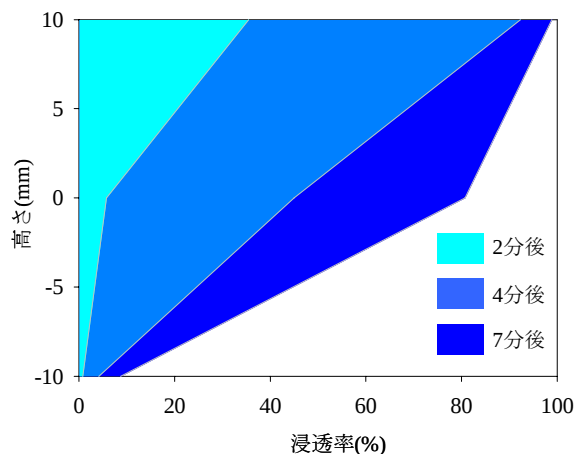


図-6 浸透率の高さ方向への分布

4. おわりに

本研究では、X 線 CT 法を用いて、比重が小さい流体が、比重が大きい流体の存在する間隙内に浸透する現象を可視化した。その結果、比重が小さい流体の浸透は水平方向に進行すると同時に、高さ方向にも分布を持つことが分かった。今後は、実際に油を使用して同様の実験を実施し、粘性と界面張力の影響を評価する所存である。

5. 参考文献

- 1) 西垣誠, 菅野雄一: 地盤内への油の浸透に関する基礎的研究, 土木学会論文集 C, Vol.63, No.1, pp.249-268, 2007.
- 2) 椋木俊文: 地盤工学における X 線 CT 法の適用に関する研究, pp.13-108.