# 画像解析を用いた異なる温度条件下における砂中の有機溶剤の挙動の評価

熊本大学大学院 学生会員 〇竹中 亮 熊本大学大学院 正会員 椋木 俊文 熊本大学大学院 学生会員 塩田 絵里加 熊本大学技術部 非会員 吉永 徹

## 1. はじめに

有機溶剤による砂質系地盤の汚染浄化工法には、空気や水を注入し間隙中の有機溶剤を押し流す、あるいは 気化させ、そのガスを回収する方法がある<sup>1)</sup>. 砂質系地盤内に滞留した有機溶剤を効率的に回収するためには、 砂の間隙構造と、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. 著者 らは有効な浄化対策を提案することを目的として、熱流体の注入実験とマイクロ X 線 CT 撮影を用いて異な る温度条件下における砂中の有機溶剤の挙動を評価する研究に着手している. 本概要では、20℃と 60℃の環

境下において有機溶剤で飽和した砂供試体中へ水を注入する実験を実施 し、マイクロX線CTを用いて供試体内部の有機溶剤の回収量を定量評 価したので報告する.

## 2. 注入実験

図1は、実験装置の外観である.供試体には豊浦標準砂を用い、有機 溶剤として揮発性が小さい流動イソパラフィン(以下,IP)を用いた. 20℃における IP の比重は、0.75 である.注入する流体は CT 画像の輪郭 を強調するために重量パーセント濃度を 30%に調整したヨウ化カリウム 水溶液(以下:KI)を用いた.20℃における KI の比重は、1.25 である. 供試体内の流体は、供試体圧力容器上部から押し出され、精密天秤によ り回収量を計測した.作成した供試体の寸法は高さ 18.6cm、直径 0.1cm、 体積 14.61cm<sup>3</sup>で乾燥密度pd=1.55g/cm<sup>3</sup>、相対密度 Dr=71.9%、間隙率 42.8% とした.温度の設定は 20℃、60℃の 2 ケースとした.KI の注入流量は 25ml/h、注入時間は 5000sec とした.質量は精密天秤により 2sec 毎に記 録し、実験中の水温、制御層内の気温は温度計により観測した.

#### 3. CT 撮影と画像解析

CTの撮影は供試体中央部付近を、供試体作成直後の初期状態と、注入 実験終了後の計2回行った.撮影した画像から砂鉄、土粒子、KI、IPの CT値の閾値を設定し、それぞれ4、3、2、1として4値の画像とする. 4値化した画像に対してMukunoki<sup>2)</sup>らが提案したモルフォロジオープニ ング処理を元にした画像解析手法を適用し、3次元間隙径分布を求める. 注入前の画像に解析処理を行うと供試体の間隙分布が分かり、注入後の 画像の解析を行い IPのみを抽出することで、IPが残留している間隙の 大きさが分かる.これにより残留する IPの間隙径に対しての温度変化の 影響を評価することができる.

# 4. 画像解析による評価

最終的な回収質量が小さいほど、密度の小さい IP の回収量が多いこと になる. 注入開始から 5000sec 経過し実験を終了したとき、20℃では回 収質量は 40.807g であり、60℃では 41.872g であった.



実験装置外観写真

図 1



キーワード マイクロX線CT,画像解析,有機溶剤,間隙径,温度条件
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)



図 5 IP を含む間隙径分布 (20℃)

図 3, 図 4 は, KI 注入後に IP が残留した間隙部分を抽 出した 3 次元 CT 画像である. 20℃の画像は, IP が残留し た間隙の大きさが小さく, かつ領域全体に散らばっている 印象がうかがえる。一方, 60℃の画像は, IP を含む間隙 が比較的大きくかつ固まって分布している様子がわかる.



Case		平均值 (μm)	最頻値 (μm)	歪度 (-)	尖度 (-)
20°C	before	62.8	66	0.380	-0.09
	after	67.7	66	0.564	0.225
60°C	before	72.7	42	0.519	-0.018
	after	79.8	90	0.172	-0.524

画像解析の結果,20℃の条件下では KI の注入により 92.8%の IP が回収され,60℃の条件下では KI の注入 により 88.1%の IP が回収されていたということがわかった.図 5,図 6 は、画像解析により評価された注入 前後の IP の各間隙径ごとの体積を求め、全 IP 体積に対しての比を表したヒストグラムである.また,各間 隙径ごとの回収率を折れ線で表している.表・1 に、各ヒストグラムの形状を定量的に評価するための統計的 なパラメータを示している.表・1 より、KI 注入後における 20℃の歪度は 0.184 増加し、尖度は 0.315 増加し ている.これは平均値付近よりもより大きな間隙径の IP の回収率が高くなったことで、この結果 IP 残留間隙 径分布が右に歪み、平均値付近の割合が他の部分に対して高くなったという現象を説明している.また、60℃ の歪度は 0.347 減少し、尖度は 0.506 減少している.これは平均値以下の間隙径の IP の回収率が増加したため、 この結果、IP 残留間隙径分布の歪みが小さくなり、平均値付近の間隙径の MP の回収率が増加したため、 ことを説明している.これらの結果は対象領域の高温化により粘性と界面張力が低下することによって毛管力 が低下し、より小さな間隙径の IP が優先的に回収され、その結果いわゆる「水ミチ」を形成し、60℃の条件 下の方が IP の回収率が悪い結果を生じたことを示している.今後は、20℃と 60℃の中間の温度でも同様の 研究を行い粘度や界面張力の数値上の変化とその挙動への影響を定量的に検証していく.

## 5. 謝辞

本研究は、平成 27 年度日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 C(研究課題番号:26420483 研究代表者:椋木俊文)により行われた.ここに謝意を表する.

### 参考文献

Shiratori, T. (2003) : Contaminated Soil Remediation, journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan 119(8), pp441-450
Mukunoki, T. Miyata, Y. Mikami, K. and Shiota, E. (2016) : X-ray CT analysis of pore structure in sand, Solid Earth 7, pp929-942.