

マイクロ X 線 CT を用いた LNAPL 汚染砂質土に対するエアスパーキング効果の可視化

熊本大学大学院 学生会員 ○杉村賢一 三上和昭

熊本大学大学院 正会員 棕木俊文 尾原祐三 熊本大学技術部 非会員 吉永 徹

1. はじめに

近年、油に代表される低密度難水溶性流体：LNAPL(Light Non-Aqueous Phase Liquid)による地盤汚染が各地で問題となっている。この地盤汚染は、地下水位の上昇により LNAPL が飽和帯にトラップされることで特に浄化が困難となる。そのような問題に対する浄化工法のひとつに、飽和帯に空気を注入し LNAPL を通気帯に流動させ汚染濃度を低減するエアスパーキング工法が挙げられる¹⁾。圧入された空気は、その流速と地盤の毛管力の相互作用を受けながら間隙径路を複雑に流動していくが²⁾、それに伴う LNAPL の流動機構に関する研究に関心が高まっている。本報では、新しく開発したマイクロ CT 用流動実験装置を用いて、空気注入による浄化プロセスにおける LNAPL の残留度の変化について報告するものである。

2. 実験概要

2.1 実験材料

表 1 に実験に用いた LNAPL の温度 20℃における主な物性を示す。本研究では、CT 画像上での液体の識別を容易にするため、水の代わりに密度 1.25t/m³、質量濃度 28%のヨウ化カリウム水溶液(以下、KI 水溶液)を使用した。供試体には標準豊浦砂を使用し、乾燥密度を 1.60t/m³、間隙率を 0.393 に設定した。また表 2 に撮影を行った際のマイクロ CT の主な条件を示す。

Table 1. LNAPL properties (20℃)

Component	Isoparaffin
Density (t/m ³)	0.750
Viscosity (mPa · s)	1.54
Surface tension (mN/m)	24.68
Interfacial tension with water (mN/m)	54.90

Table 2. Scan parameter

Voltage (kV)	180
Current (μ A)	200
Number of view angles	1500
Projection average	10

Table 3. Test cases

	Air-flow rate (ml/h)	Injecting amount (PV)
Case1	50	5
Case2	500	5

2.2 実験装置

図 1 は開発した流動実験装置の写真、図 2 は見取り図である。図 2 に示すように、シリンジポンプを用いて、一定流量で供試体に流体を注入できる。また圧力計と精密天秤を用いて、流動時の圧力変化と液体の排出量を測定することができる。

2.3 実験手順

- 1) 流入速度 25ml/h によって LNAPL を 5PV(Pore volume)分注入する。
- 2) 流量 25ml/h により KI 水溶液を 5PV 分注入し LNAPL をトラップさせ、汚染の初期状態とする。
- 3) マイクロ CT により撮影を行う。
- 4) 表 3 に示す各ケースの流入速度で、空気の注入を行う。
- 5) マイクロ CT により撮影を行う。

3. 実験結果

図 3 および図 4 は、それぞれ Case1、Case2 の空気注入中の圧力と液体排出量の時間変化である。両条件とも圧力が約 5kPa に達した状態から空気が供試体内に侵入し始め、液体の排出が開始している。Case2 の液体の排出量は Case1 の約 2 倍であり、定常に達した際の圧力の大きさは約 3.5 倍であった。図 5(a)および図 6(a)はそれぞれ Case1、Case2 の汚染の初期状態を表す。図 5(b)および図 6(b)はそれぞれ Case1、Case2 の空気注入

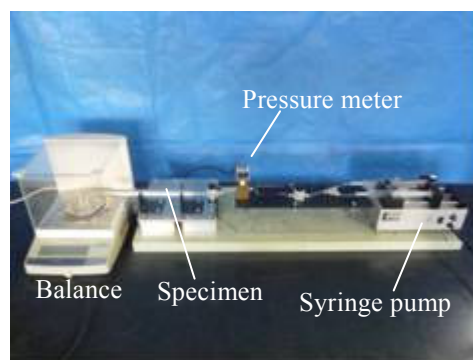


Figure 1. Entire system of test apparatus

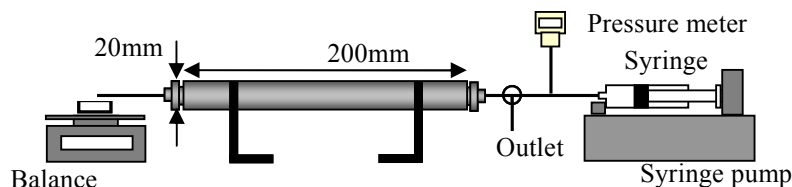


Figure 2. Schematic of test apparatus

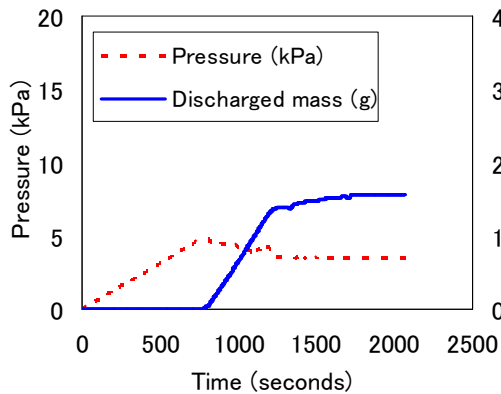


Figure 3. Pressure and mass (Case1 : 50ml/h)

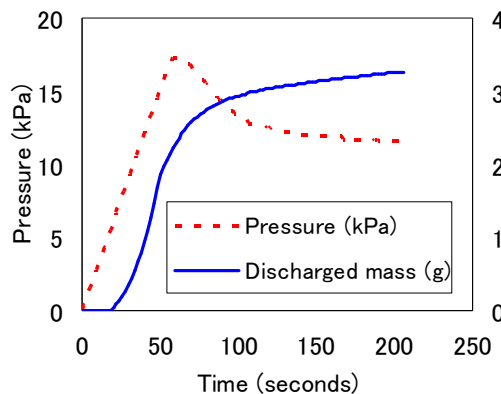
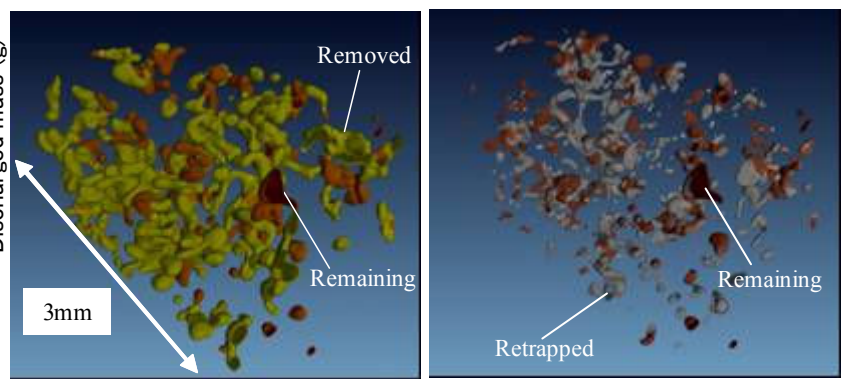


Figure 4. Pressure and mass (Case2 : 500ml/h)

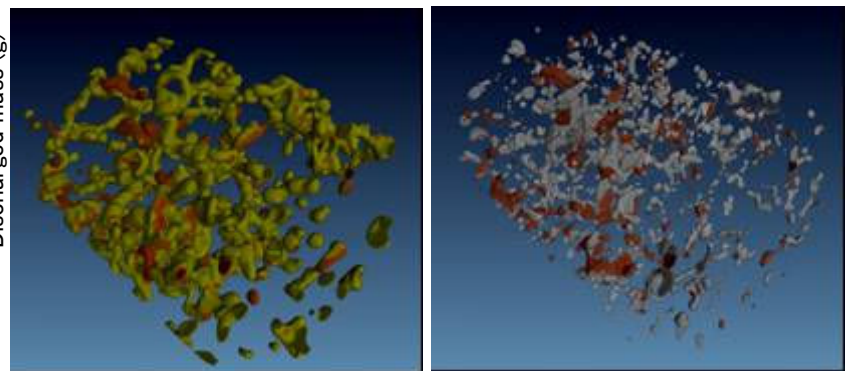
後の結果を示す。CT データを用いて両ケースの初期 LNAPL 量に対する浄化量の割合を比較すると Case1 が 39.5%、Case2 が 42.4%であり、空気の流入速度に 10 倍の差があるにも関わらず大きな違いはみられなかった。両条件の供試体材料と間隙率は等しいことから、供試体固有の地盤構造から発揮される毛管力の影響の方が、空気流速の差の影響よりも LNAPL の残留度に対し支配的であったことが原因であると考えられる。図 5(a)および図 6(a)の黄色で表示されている部分は、それぞれ Case1、Case2 の空気により間隙から押し出された LNAPL であり、赤色で示された部分は間隙に留まった LNAPL である。図 5(b)および図 6(b)の灰色で表示されている部分は、それぞれ Case1、Case2 の空気注入後に流動を行い新たな間隙にトラップされた LNAPL であり、赤色に表示された部分は間隙に留まった LNAPL である。図 7 に、間隙から押し出された LNAPL と、新たな間隙にトラップされた LNAPL の割合の、空気流入速度による変化を示す。図より、間隙から押し出された LNAPL の割合は流入速度 500ml/h が 50ml/h よりも 12%大きい値を示していること、また新たな間隙にトラップされた LNAPL の割合は 500ml/h が 50ml/h よりも 21%大きい値を示していることがわかる。以上の結果から、空気の流入速度よりも毛管力



(a) Initial LNAPL

(b) Remediated LNAPL

Figure 5. LNAPL distribution (Case1 : 50ml/h)



(a) Initial LNAPL

(b) Remediated LNAPL

Figure 6. LNAPL distribution (Case2 : 500ml/h)

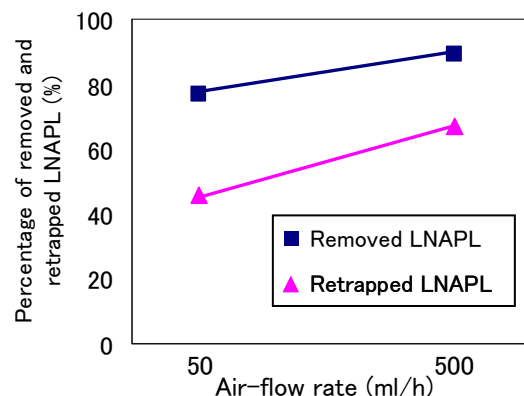


Figure 7. Change of Removed and retrapped ratio with change of air-flow

の影響が支配的な条件下においては、流動量が多くなることで新たな間隙にトラップされる LNAPL の量が増加する可能性があるといえる。

4. おわりに

流動実験から得られた CT データにより空気注入による LNAPL の残留度の定量的評価を行った。そして毛管力が支配的な条件において空気の流量を上げてても浄化率が大きく改善されないこと、また他の間隙へのトラップを促進させる可能性について検討を行った。

参考文献

- 1)小暮敬二：地盤環境の汚染と浄化修復システム,pp171-191, 2000.
- 2) Lenormand,R.& Zarcone,C. Numerical models and experiments on immiscible displacements in porous media. *J.Fluid Mech* , 189,pp165-187,1988.