

LNAPL を対象とした地盤内多相流の数値解析

熊本大学大学院 学生会員 ○植田 貴俊
 熊本大学大学院 正会員 椋木 俊文

1. はじめに

近年、揮発性有機化合物や油などの非水溶性液体 (Non-Aqueous Phase Liquid; NAPL) による地盤汚染が顕在化している¹⁾。地盤内に漏れ出した NAPL は、地盤内に存在する水や空気との相互作用によって、気液二相、気液液三相流などの多相流の複雑な挙動を示す²⁾。NAPL による地盤汚染に対して効率的な浄化修復対策を行うためには、地盤内における NAPL の挙動を適切に評価する必要がある。本報では、U.S.EPA から配布されている二次元差分プログラム NAPL Simulator を用いて、油に代表される水よりも密度が小さい NAPL (Light NAPL; LNAPL) による地盤汚染挙動について解析的に検討を行ったので報告する。

2. 解析方法

解析は仮想の鉛直二次元断面を作成して行った。表 - 1 は解析に使用した主な入力パラメータ、図 - 1 は境界条件を示している。解析の過程は 3 段階に分かれている。第 1 段階では、LNAPL 注入に適した地盤を作成するために、図 - 1 (a) に示す境界条件によって飽和した初期地盤の排水を 30 日間かけて促した。第 2 段階では、図 - 1 (b) に示す境界条件によって、14 日間かけて LNAPL の注入を行った。第 3 段階では、LNAPL の注入を停止して (図 - 1 (c))、注入停止後から 60 日間にわたる LNAPL の挙動についての検討を行った。

LNAPL が地盤内を浸透する際には、LNAPL の浸透経路の土粒子間隙に LNAPL の残留分が取り込まれる。間隙に残留した LNAPL は長期の地下水汚染を引き起こすため、LNAPL の地盤内浸透挙動を解析する際には、この LNAPL の残留分に影響するパラメータである残留飽和度 S_{Nr} を考慮することが重要となる²⁾。本解析では、残留飽和度を考慮した場合と考慮しない場合の 2 ケースについて解析を行った。Case 1 では $S_{Nr}=0.18$ とし、Case 2 では $S_{Nr}=0.00$ と設定した。

表 - 1 解析に用いた主な入力パラメータ

パラメータ	単位	数値
固有透過度 K	cm^2	1.18×10^{-9}
間隙率 n		0.49
乾燥密度 ρ_d	g/cm^3	1.34
LNAPL 密度 ρ_N	g/cm^3	0.79
残留 LNAPL 飽和度 S_{Nr}		0.18 or 0.00

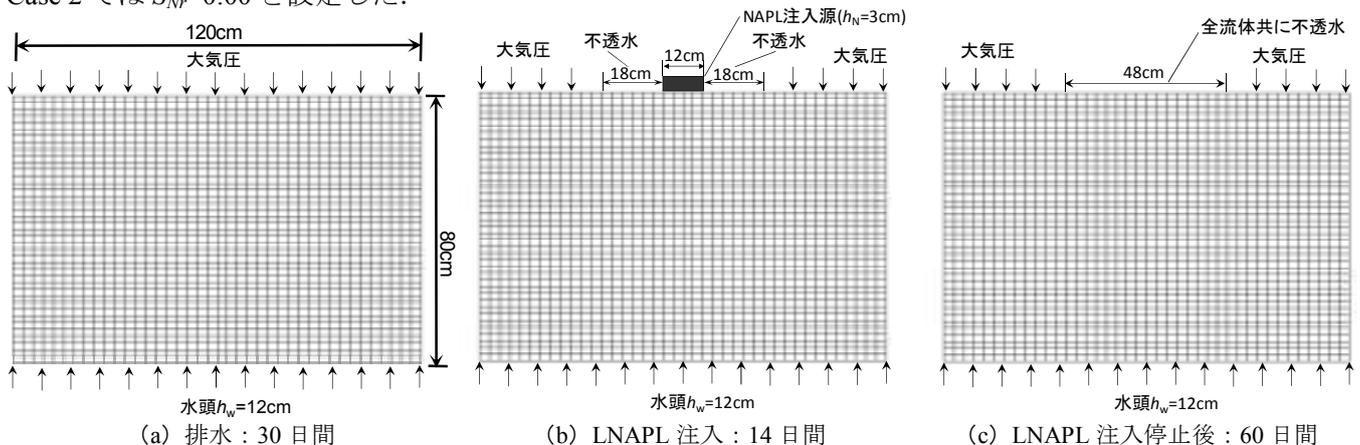


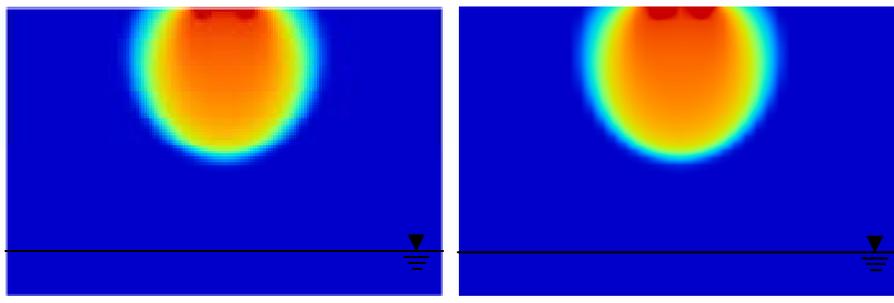
図 - 1 解析に用いた境界条件

3. 解析結果および考察

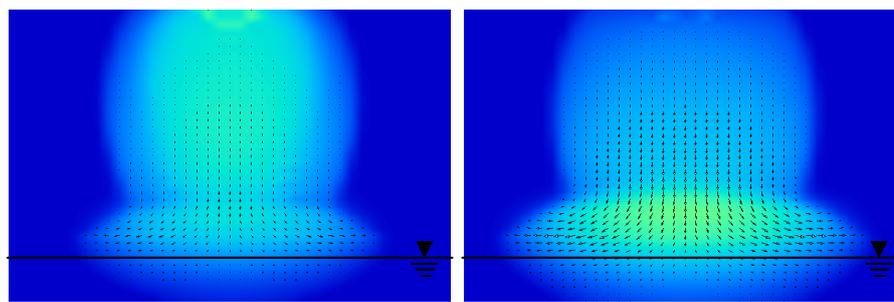
図 - 2 は LNAPL 注入停止直後の地盤内における LNAPL の飽和度分布である。注入停止直後においては、Case 1 と Case 2 で、地盤内の LNAPL の飽和度分布にほとんど違いが見られない。図 - 3 は地盤中心部における深さ方向への LNAPL の飽和度分布である。図 - 3 においても深さ方向への LNAPL 飽和度分布にほとんど

違いはない。地盤内への LNAPL の注入は、LNAPL が間隙に浸潤する湿潤過程であり、湿潤過程において残留飽和度は LNAPL の浸透挙動に影響を与えないため、Case 1 と Case 2 の解析結果にほとんど違いが生じなかったとすることができる。

図 - 4 は LNAPL の注入停止から 60 日経過後の地盤内における LNAPL の飽和度分布である。LNAPL は地下水面に到達すると水より軽いため地下水面以下には浸入することができず、地下水面上を水平方向へ移動し地下水面上に滞留している。図 - 5 に地盤中心部における深さ方向への LNAPL 飽和度分布を示す。Case 2 では Case 1 と比較して地下水面上の深さ 55cm 付近に滞留している LNAPL の飽和度が 10% 程度大きくなっている。一方、地表面付近の LNAPL 飽和度は Case 2 よりも Case 1 の方が 10% 程度大きくなっている。LNAPL が地盤内を広がっていく際に、間隙から LNAPL が抜ける過程を経る。これは LNAPL の排水過程であり、この時には残留飽和度の影響によって、いくらかの LNAPL が間隙に取り込まれる。残留飽和度を考慮した Case 1 では、LNAPL の浸透経路の間隙に LNAPL の残留分が取り込まれているために、Case 2 と比べて地表面付近の LNAPL の量が多くなり、その分地下水面に到達した LNAPL の量が少なくなったとすることができる。このように、Case 2 ではより深部に多くの量の LNAPL が到達する解析となり、地表面付近の汚染を過小評価し、深部の汚染を過大評価する可能性がある。実際には、Case 1 のように LNAPL が不飽和地盤に残留するため、残留飽和度を適切に考慮した解析が必要となる。



(a) Case 1 : $S_{Nr}=0.18$ (b) Case 2 : $S_{Nr}=0.00$
 図 - 2 解析結果 : LNAPL 注入停止直後



(a) Case 1 : $S_{Nr}=0.18$ (b) Case 2 : $S_{Nr}=0.00$
 図 - 4 解析結果 : LNAPL 注入停止から 60 日経過後

4. おわりに

本報では、NAPL Simulator を用いて LNAPL による地盤汚染解析を行い、LNAPL 汚染の解析において残留飽和度を考慮することの重要性について述べた。今後は、解析を三次元に拡張し、より実現象に近い LNAPL 汚染についての検討を行う予定である。

謝辞：本解析を行うにあたり、(独) 国立環境研究所の遠藤和人氏より多相流の解析手法についてご指導いただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 平田建正：地盤環境汚染のメカニズム解明から最新技術開発まで，土と基礎，Vol.52，No.10，pp.1-5，2004.
- 2) 遠藤和人：多孔質体中での多相流，地盤工学会誌，Vol.56，No.4，pp.41-42，2008.

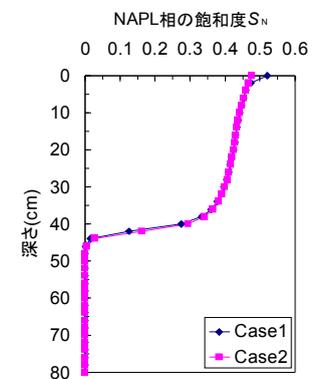


図 - 3 深さ方向への LNAPL の飽和度分布 : LNAPL 注入停止直後

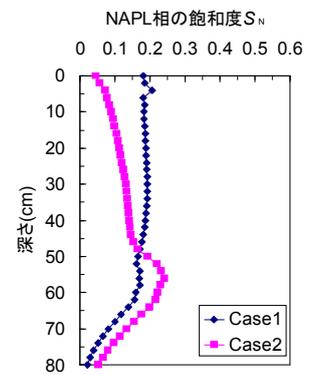


図 - 5 深さ方向への LNAPL の飽和度分布 : 60 日経過後