ジオコンポジットライナーの敷設順序を考慮したジェット燃料の物質移動の評価

熊本大学工学部　学生員　○住野百合奈
熊本大学大学院　正会員　　椋木俊文

1. はじめに

2000 年にカナダの北極圏において、ジェット燃料の貯留タンクから燃料が漏出する地盤汚染問題が発生した [1)]。現地の施工環境を考慮して、汚染拡大防止の対策には、ジオメンブレンとジオシンセティッククレイライナー(以下､GCL)を併用したジオコンポジットライナーが適用された [1)]。組成が炭素と水素であるジオメンブレンは完全な疎水性を示すが、組成が炭化系水素であるジェット燃料は、原液がジオメンブレンに接触する場合には吸収され、また、間隙水中のジェット燃料は拡散現象によって物質輸送する [2)]。現地の施工は短期的には有効でも、長期的に見ると、ジェット燃料の原液がジオメンブレンを透過する状況が想定されるため、ジェット燃料に対する施工されたジオコンポジットライナーにおける遮水性能を評価することは重要である。

そこで、本研究では境界条件に着目したジオコンポジットライナーの物質輸送緩和効果の違いを数値解析により評価することを試みる。

2. 解析手法

本研究では、揮発性有機化合物(以下、VOC)が地下水に溶けて輸送される場合の線形現象を、トルエン水溶液を用いて実験し、その結果を数値解析により評価することで、使用した高密度性ポリエチレンメンブレン(以下、UGM)の拡散係数を評価した [3)]。

VOC 線形輸送解析は UGM と GCL で異なる支配方程式を持つ。UGM ではヘンリーの法則による吸着現象とフィックの第二法則による拡散現象から次の式で表される。

$$\frac{\partial c_g}{\partial t} = D\frac{\partial^2 c_g}{\partial z^2} \quad (1) \qquad c_g = S_{gf} c \quad (2)$$

各パラメータは c_g：UGM 中の VOC 溶媒の濃度[ML^{-3}]，t：時間[T]，D：有効拡散係数[L^2T^{-1}]，z：深さ[L]，S_{gf}：トルエン水溶液と UGM の吸着(分配)係数[-]である。(1)式と UGM を通過する質量フラックスの式をラプラス変換法で解き、UGM の拡散実験結果をモデル化する。

次に GCL は三層構造で、一層の質量保存則より

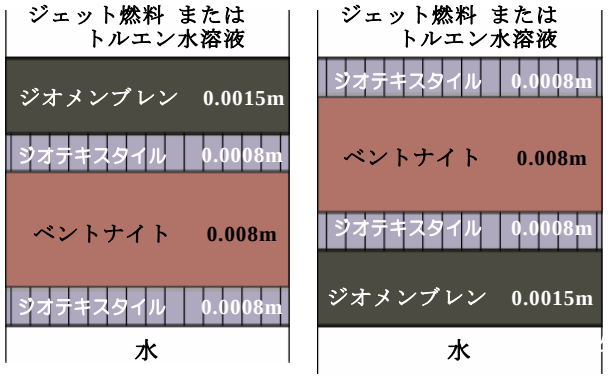
$$(n+\rho Kd)\frac{\partial c}{\partial t} = nD\frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (3)$$

(3)式と質量フラックスより UGM と同様に厳密解を求め、拡散実験結果をモデル化できる。なお、拡散実験方法については参考文献 1 と 4 を参照されたい。

3. 解析結果・考察

3.1　トルエン水溶液の拡散解析

トルエン水溶液を用いて行われたコンポジットライナーにおける拡散実験の境界条件を**図 1** に示す。**表 1** に示すパラメータは参考文献 1 と 4 を参考とした。**図 2** は、UGM/GCL (従来型) と GCL/UGM の順番におけるジオコンポジットライナーを想定した場合の解析結果を示す。GCL は不職布とベントナイトの三層構造と考えそれぞれ固有のパラメータ値を用いた [1)]。図 2 を見ると、黒で示すように、敷設順序を入れ替えると、従来型よりも平衡状態になるのが 260 日早い。また、平衡時におけるトルエン水溶液の正規化濃度は、従来では 0.0230 なのに対し、入れ替えた場合は 0.1784 と約 7.7 倍も高い。要因として、まず、GCL の吸着係数が UGM よりも小さくトルエン分子をより多く透過してしまうからである。次に、バリア材における拡散係数の違いが指摘できる。UGM の拡散係数は GCL よりも小さい。



(a)UGM/GCL(従来型)　　(b)GCL/UGM

図 1.ジオコンポジットライナーの各層の厚さ

表 1.トルエン水溶液を流入するときのパラメータの値

	拡散係数	吸着係数
UGM	$2.2\times10^{-13}(m^2/s)$	112(-)
ジオテキスタイル	$9.1\times10^{-10}(m^2/s)$	97.4(ml/g)
ベントナイト	$2.9\times10^{-10}(m^2/s)$	2.2(ml/g)

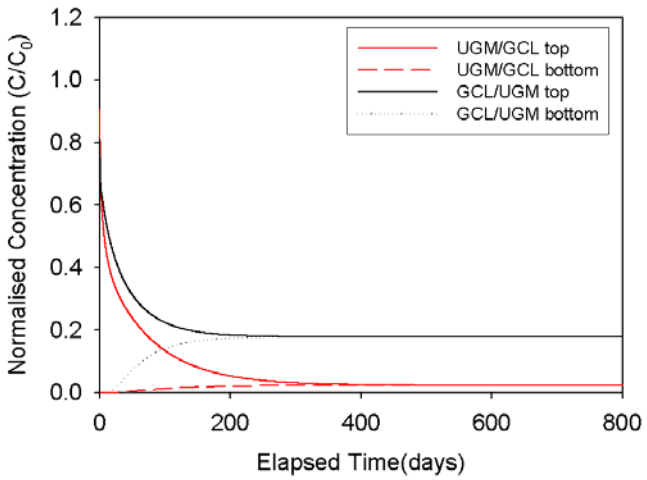


図 2.ジオコンポジットライナーにトルエン水溶液を流入したときの濃度変化

従来型では、トルエン分子は UGM 中をゆっくりと拡散し吸着されるため、汚染源側の濃度は減少する。一方、バリア材を入れ替えた場合ではトルエン分子は高濃度な状態で、より受容器側まで達し UGM 層に吸着されるため平衡状態の正規化濃度が高い。また、GCL は拡散係数が大きいため VOC 物質は流入開始後に短時間で UGM に至る。このことより、従来型のバリア材敷設順序が有効であることが分かる。

3.2 ジェット燃料を使用した拡散実験

次に高濃度ジェット燃料の原液が流入するときの拡散実験結果と数値解析結果を**図 3** に示す。ジェット燃料の原液を使用する場合、線形解析では汚染源の境界条件を濃度一定として数値解析を行うことができる。また、ここでは解析結果として GCL と UGM を入れ替えた線形解析を実施した。**表 2** は、これまでジェット燃料水溶液を用いて行われた実験結果より同定したパラメータである。**図 3** 中のプロットは、ジオコンポジットライナー内を輸送して受容器内の水に蓄積され、GC/FID 機器によって分析されたジェット燃料を限界溶解濃度で正規化した濃度である。グラフより、UGM と GCL を入れ替えると輸送緩和が大きくなるという結果が得られた。従来型が平衡状態に至ったと確認できた 425 日の濃度を比較すると、解析結果では 0.7165 であり、これは実験値の約 0.6 倍である。また、さらに解析を続けると入れ替えた場合は 2000 日を過ぎて平衡状態になった。従来型では非線形現象が起こり、UGM がある時点でジェット燃料により飽和状態となり、拡散係数が大きくなると考えられる。つまり、水で飽和した GCL を上部に持ってくると、水とジェット燃料は混ざらない性質から、GCL 中を拡散するジェット燃料の輸送量が減少する。その後、吸着係数が大きく、拡散係数が小さい UGM に到達するため輸送緩和が大きいと考えられる。

表 2.ジェット燃料の原液を流入するときのパラメータ値

	拡散係数	吸着係数
UGM	$1.4X10^{-12}(m^2/s)$	400(−)
GCL	$3.5X10^{-10}(m^2/s)$	48(ml/g)

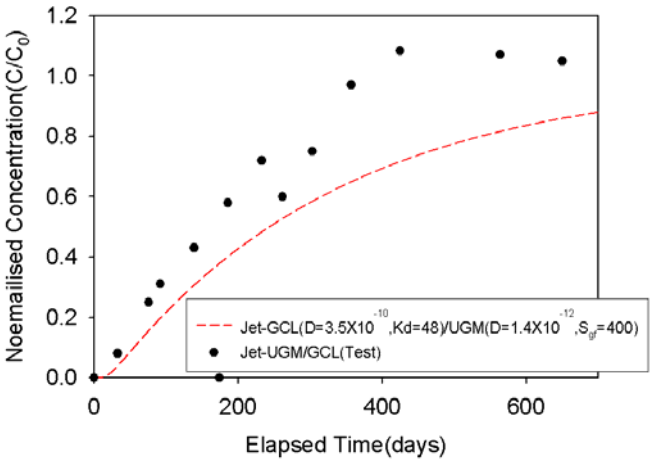


図 3.ジオコンポジットライナーにジェット燃料の原液を流入したときの濃度変化

4. おわりに

コンポジットライナー内のバリア材敷設順序を変えたときの物質輸送現象の把握を試みた。従来型における輸送現象との比較により、ジェット燃料の原液ではバリア材の敷設順序を変えたとき物質輸送緩和効果が大きく得られる可能性がある。今後は非線形現象であるジェット燃料の原液がジオコンポジットライナーに流入したときの現象を把握するため、解析手法の提案を行う。

参考文献

1) 椋木俊文, R. Kerry Rowe, Richard J. Bathurst Henri P. Sangam:ジオシンセティッククレイライナー中における揮発性有機化合物の輸送とその度特性, 土と基礎, Vol. 52, No. 7, pp20-22, 2004.

2) Henri P. Sangam, R. Kerry Rowe:Effect of Surface Fluorination on Diffusion though a High Density Polyethylene Geomembrane, Joural of Geothechnical and Geoenviromental Engineering, JUNE, pp. 694-704, 2005

4) Jae K. Park, Mir Nibras: Mass flux of organic chemicals though polyethylene geomembrane, Water Environment Research, Vol. 65, pp. 227-237, 1993.

3) 釘崎裕己:ジオメンブレンを対象とした揮発性有機化合物の吸着・拡散パラメータの評価, 熊本大学工学部平成 19 年度卒業論文, pp1-15, 2007.