

ジオメンブレン中における揮発性有機化合物の輸送とその温度特性の評価

熊本大学 工学部 学生会員 下屋敷 寛弘

熊本大学 大学院 正会員 椋木 俊文

QUEEN'S University 非会員 R.K. ROWE

1.はじめに

カナダのバフィン島（北極圏）において、燃料貯蔵タンクからのジェット燃料の流出が確認された。地下水の挙動に伴ってジェット燃料が地盤内を移動するのを防ぐために、現地には高密度ジオメンブレン（以下 GM）を含む遮水壁が設置された。これにより、汚染物質の移動は、吸着を伴う拡散現象が支配的となる。一方、現地の気象条件を考慮すると、夏季の冰雪融解時に汚染地下水が最も移動すると推測されるため、本研究では温度が汚染物質の輸送に与える影響を検証する。ここでは、室温(22℃)と現地の夏季の平均気温である7℃において、ジェット燃料中に微量に含まれ、かつ分子量が軽く地盤内を早く移動可能な Benzene、Toluene、ETB、m&p-Xylene、o-Xylene を対象とした、BTEX 希釈水溶液を用いた拡散実験(Fig.1)、吸着実験が行われた。また現場で使用された GM がフッ素加工されたものであることから、その効果を評価するためにフッ素加工されていない GM(以下 UGM)とフッ素加工された GM(以下 TGM)(Fig.2)を使用した実験を実施した。本報では、これらの実験結果に基づいて輸送パラメータである拡散・吸着係数を評価している。実験方法については参考文献 1)を参照されたい。

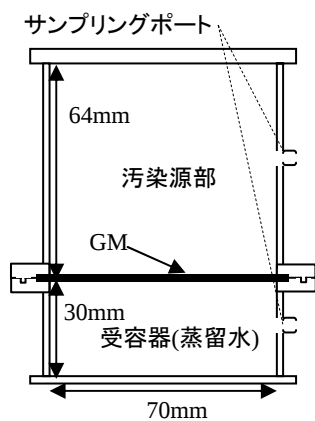


Fig.1 拡散実験装置

2.解析方法

GM 中における BTEX の物質輸送は、ヘンリーの法則に従う吸着（分配）現象とフィックスの第二法則に従う拡散現象として以下の式で説明できる。

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

各パラメータは c_g : ジオメンブレン中の BTEX の濃度、

t : 時間[T]、 D_g : 有効拡散係数[L²T⁻¹]、 z : 深さ[L]、 S_{gf} : BTEX 水溶液と GM 間の吸着（分配）係数、 c : 汚染源の濃度である。また、GM を通過する質量フラックス f は次式で表される。

$$f = -D_g \frac{dc_g}{dz} = -S_{gf} D_g \frac{dc}{dz} \cdots (3)$$

本研究では、式(1)と(3)をラプラス変換により線形微分方程式として厳密解を求める Finite Layer Analysis を用いて GM を用いた拡散実験結果をモデル化した²⁾。この解析では S_{gf} は、吸着実験より得られるため、まず UGM の拡散係数(D_g)のみを未知パラメータとする繰返し計算を実施し、実験結果をうまく評価する D_g を二乗誤差の総和により決定した。続いて TGM の解析では、TGM が Fig.2 に示すように UGM の両面をフッ素加工された 3 層構造を有する GM であることから、UGM の解析で決定された D_g を使用し、フッ素層の拡散係数 D_f を未知パラメータとして繰返し計算を実施した。

3.実験および解析結果

Table. 1 は、吸着実験から得られた吸着係数、実験値との比較から得られた拡散係数 D_g およびフッ素加工 GM のフッ素層の拡散係数 D_f を示している。拡散係数は物質の種類による変化は小さいが、吸着係数においては Benzene と m&p-Xylene において 8.48 倍もの差が見られる(22℃時)。Fig.3 および 4 は、それぞれ 22℃における UGM の汚染源と受容器内における BTEX の濃度変化を示している。縦軸は、各時間における BTEX の濃度を各初期濃度により正規化しており、横軸は経過時間を示している。Fig.4 から、120 日における Benzene と m&p-Xylene の受容器の濃度差は、3.41 倍であった。

次に温度による比較を行うと、Table. 1 より、低温化に伴い吸着・拡散係数は低下している。また Fig.5 および 6 において、UGM, TGM 共に低温条件の方が受容器の濃度は小さくなっている。これらの結果は、低温条件が、拡散係数に関しては汚染物質の輸送抑制に有利

に働き、吸着性の低下は物質輸送の遅延化について不利な条件となり、互いに異なる特性を引き出していることを示している。しかし、Fig. 5、6 より低温における受容器内の BTEX の濃度が小さいことから、拡散係数の低下が GM 内の物質輸送をより支配していることがわかる。さらに、120 日後における UGM(Fig.5)と TGM(Fig.6)の受容器内の濃度を比較すると、TGM を使用した場合、さらに 4 分の 1 の濃度低下をもたらしており、フッ素加工した GM を適用することは有効であることがわかる。

4.まとめ

温度低下が汚染物質の輸送抑制に良い影響を与えることが明らかになった。今後は、ジオコンポジットライナー中の輸送について解析していくことで、長期遮水性能を評価していく。

<参考文献>

- 1) 棕木俊文 and R.Kerry Rowe, R and J.Bathurst, H.P.Sangan ”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温度特性”、土と基礎、pp20～22, 2004
- 2) R.K.Rowe ,R.M.Quigley ,etc ”Barrier System for waste Disposal Facilities”, Capter 6 , 7 , 8 2004

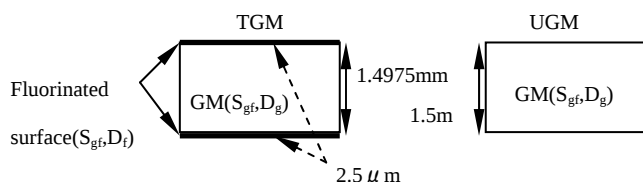


Fig.2 Structure of UGM and TGM

Table.1 Sorption Coefficient and Diffusion Coefficient

		UGM		TGM
		S_{gf}	$D_g(\times 10^{-13})(m^2/s)$	$D_t(\times 10^{-16})(m^2/s)$
22 C	Benzene	40	2.60	6.0
	Toluene	112	2.20	6.0
	ETB	309	1.80	4.5
	m&p-Xylene	339	1.90	5.0
	o-Xylene	249	1.70	4.0
5 C		S_{gf}	$D_g(\times 10^{-13})(m^2/s)$	$D_t(\times 10^{-16})(m^2/s)$
	Benzene	21	1.00	2.5
	Toluene	87	0.65	2.5
	ETB	242	0.40	2.0
	m&p-Xylene	267	0.50	2.5
	o-Xylene	184	0.45	2.0

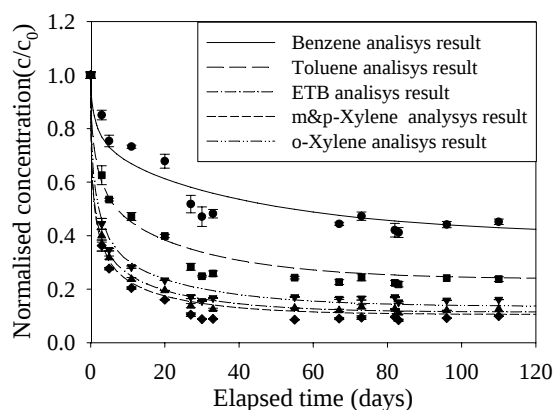


Fig.3 UGM 22 chemical comparison source side

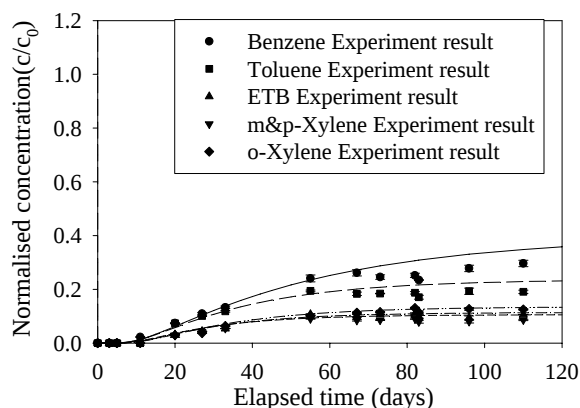


Fig.4 UGM 22 chemical comparison receptor side

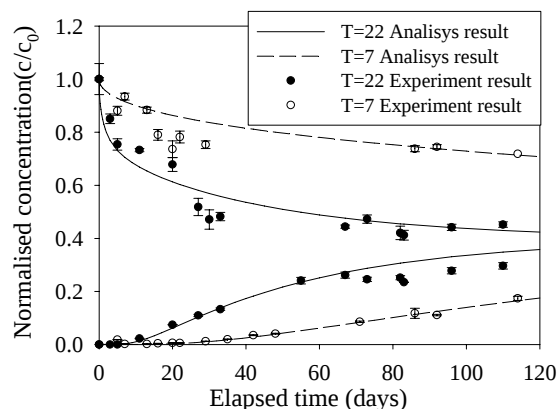


Fig.5 UGM Benzene Comparison of Temperature

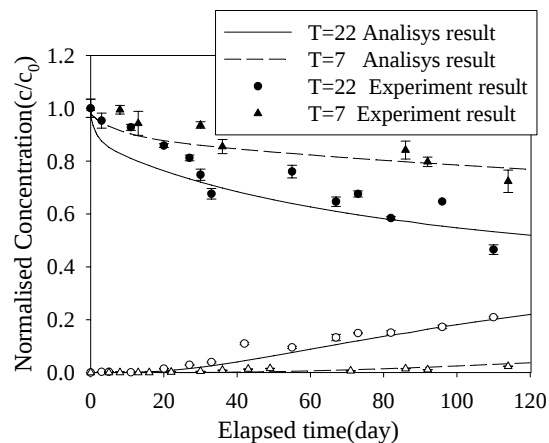


Fig.6 TGM Benzene Comparison of Temperature