

大阪大学工学部 学生会員○有光 剛 大阪大学大学院 学生会員 李 昌洙
大阪大学工学部 正会員 石井義裕 大阪大学工学部 正会員 村岡浩爾

1. はじめに

TCE 等、揮発性有機塩素化合物による地下水・土壌汚染に対して効率的な浄化を行うためには、汚染物質の地下環境中での挙動を把握する必要があるが、その汚染物質の挙動に影響を与える機構の一つに遅れ現象が挙げられる。遅れ現象とは有機塩素化合物ガスの土壌間隙水への溶解、土壌間隙水に溶解した水溶液の土壌への吸着、ガスの土壌への吸着等によって、汚染物質の拡がりに遅れが生じることである。

本研究ではガスの土壌粒子への直接吸着に注目し、基礎実験を行った。まずパッチ実験によって TCE ガスのモデル土壌への吸着係数を測定し、遅れ係数の値を算出した。続いてその遅れ係数の適用性を調べるために、理論計算と 1 次元カラム実験を行い、結果を比較した。

2. 実験概要

2.1 パッチ実験：モデル土壌として、粒径 1mm のガラスビーズ、平均粒径 1mm の珪砂、平均団粒径 1mm の赤玉土、鹿沼土を用いた。これらの試料は全て完全乾燥状態とした。有機塩素化合物として TCE を用いて回分式吸着実験を行うことで、TCE ガスの土壌への吸着係数を求めた。

完全乾燥状態の土壌に対する TCE ガスの直接吸着による遅れを考慮した 1 次元拡散方程式は次のようになる。

$$\tau D \frac{\partial^2 C_s}{\partial x^2} = R \frac{\partial C_s}{\partial t} \quad (1) \quad R = 1 + \frac{1 - \theta_D}{\theta_D} \rho_s K_d' \quad (2)$$

ここで、 τ ：屈曲率、 D ：TCE ガスの拡散係数(cm^2/sec)、 C_s ：TCE 気相部分の濃度(mg/l)、 R ：遅れ係数、 θ_D ：気相部分の間隙率、 ρ_s ：土壌の乾燥密度(g/cm^3)、 K_d' ：ガスの土壌への吸着係数(ml/g)である。実験で得られたデータから吸着係数 K_d' を求める際には、Henry の吸着等温式と吸着前後の質量保存式から得られる次式を用いた。

$$\frac{V_B C_B}{V_S C_S} - 1 = K_d' \frac{M}{V_S} \quad (3)$$

ここで、 C_s ：吸着後に気相に残る TCE ガス濃度(mg/l)、 C_B ：試料を入れないビンの気相中の TCE ガス濃度(mg/l)、 V_S ：バイアル瓶中の気相体積(ml)、 V_B ：バイアル瓶の容量(ml)、 M ：試料の質量(g)である。また(2)式を用いて実験によって求めた K_d' から遅れ係数 R を計算することができる。

2.2 1 次元カラム実験： K_d' の値から計算した遅れ係数 R の適用性を調べるため、理論計算とカラム実験を行った。理論計算は(1)式を、初期条件： $C_s=0(t=0, 0 \leq x \leq L)$ 、境界条件： $C_s=0(t > 0, x=L)$ の下で計算した。1 次元カラム実験は図 1 に示す真鍮製円筒カラムを用いた。上部カラムに充填するモデル土壌として完全乾燥状態のガラスビーズ、珪砂、鹿沼土を用いた。下部カラムは汚染源から TCE 原液相とした。実験開始後 1,3,6,12,24 時間後に汚染源から 1,5,10,20,30,40,49,50cm の地点のガスを採取し、ガスクロマトグラフ(FID,ECD)で濃度を測定した。

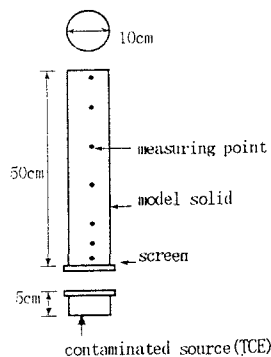


図1 カラム実験装置

Tsuyoshi ARIMITSU, Lee CHANGSOO, Yoshihiro ISHII, Kohji MURAOKA

3. 実験結果及び考察

図 2、3 に示す直線の傾きが K_d' である。赤玉土、鹿沼土に対する吸着係数はガラスビーズの場合に比べ、それぞれ 1000 倍、5000 倍程度の値となった。また遅れ係数としては 40 倍、100 倍となっている。これは TCE ガスの土壌への吸着が土壌の成分に関係しているためと考えられる。図 3、4 に示す 1 次元カラム実験結果はいずれも計算結果と同様の傾向を示しており、同時刻のガス濃度を比較すると、吸着係数の大きな試料ほど小さい。つまり吸着係数が大きい土壌ほどガス拡散に遅れが生じているといえる。ガラスビーズの場合ガス拡散にほとんど遅れの影響がないが、他の試料特に実際の粘土の場合は遅れが大きく生じており、ガスの土壌への吸着の影響を考慮する必要がある。

謝辞：本研究はウエスコ土木技術振興基金の研究助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表する。

表1 各試料の吸着係数(K_d')、遅れ係数(R)

	ρ_s	θ	K_d'	R
ガラスビーズ	2.51	0.40	0.0359	1.13
珪砂	2.47	0.44	0.504	2.58
赤玉土	2.54	0.76	47.5	44.1
鹿沼土	2.88	0.82	204	115

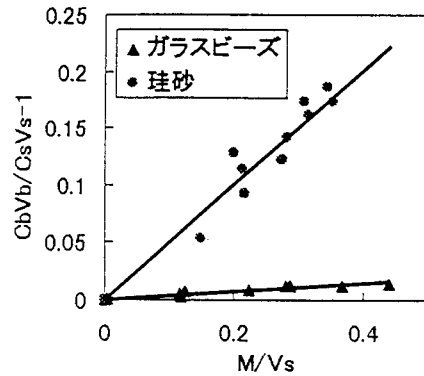


図2 バッチ実験結果(ガラスビーズ・珪砂)

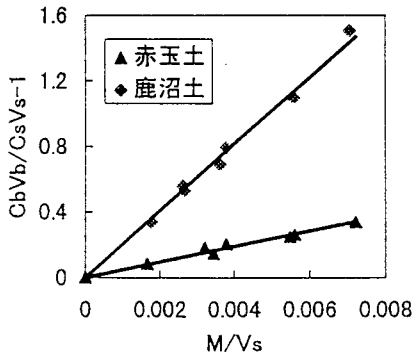


図3 バッチ実験結果(赤玉土・鹿沼土)

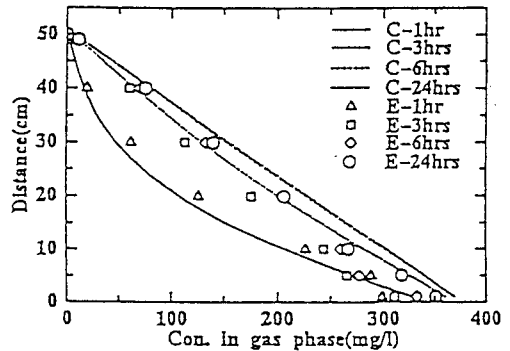


図4 カラム実験結果と計算結果(ガラスビーズ)

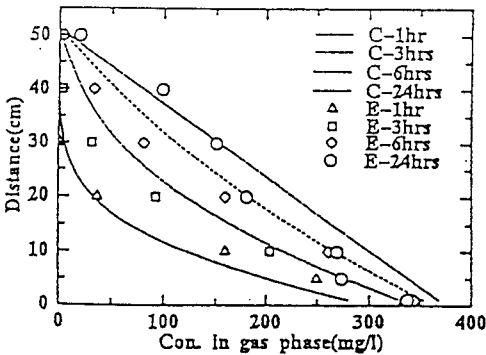


図5 カラム実験結果と計算結果(珪砂)

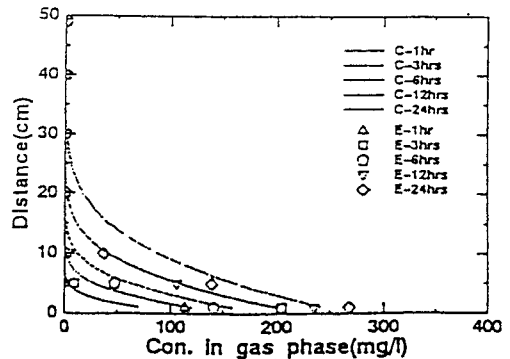


図6 カラム実験結果と計算結果(鹿沼土)