

大阪大学工学部 学生員 ○藤本裕昭 大阪大学大学院 学生員 山内淳平
 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

トリクロロエチレン(TCE)等の揮発性有機塩素化合物による地下水・土壌汚染の浄化を効率よく行うためには、不飽和多孔体中での汚染物質の挙動を解明し、汚染の将来動向を把握する事が必要となる。その汚染物質の挙動に影響を与える要因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、土壌間隙水への溶解による水溶液相からの土壌への吸着、ガスの土壌への直接吸着などによって汚染物質が移動する際に遅れが生じる現象のことをいう。本研究では、土粒子と土壌ガス間の直接吸着による汚染源から不飽和多孔体中での汚染物質ガス輸送の遅れ現象に着目して、モデル土壌の種類や粒径をかえたとき、また土を混ぜ合わせたときに遅れ係数にどのような影響を及ぼすかに関して、バッチ実験を行い、土粒子の影響について比較、検討を行う。

2. 理論計算

完全乾燥状態における TCE ガスの土壌への吸着による遅れの影響を考慮した一次元拡散方程式は、(1)式のように表され、(1)式中の遅れ係数 R は(2)式で示される。

$$\tau D_g \frac{\partial^2 C_g}{\partial X^2} = R \frac{\partial C_g}{\partial t} \quad (1) \quad R = 1 + \frac{(1 - \theta_D)}{\theta_D} \rho_s K_d' \quad (2)$$

ここで、 τ ：屈曲率、 D_g ：気相部分における TCE ガスの拡散係数(cm^2/sec)、 R ：遅れ係数、 C_g ：気相部分の TCE ガスの濃度(mg/l)、 θ_D ：気相部分の間隙率、 K_d' ：TCE 気相から土壌への吸着係数(ml/g)、 ρ_s ：土壌の乾燥密度(g/cm^3)、また吸着係数 K_d' の値はバッチ実験の結果より、吸着等温線を得るために、Henry 型の吸着等温式と吸着前後の質量保存式から次のように表され、 $[(C_B V_B / C_S V_S) - 1]$ と M/V_S とを縦軸、横軸とする回帰直線の傾きによって求められる。

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

ここで、 M ：モデル土壌の質量(g)、 C_S ：吸着後のヘッドスペースの TCE 濃度(mg/l)、 C_B ：モデル土壌を入れない場合のバイアル瓶中の TCE 濃度(mg/l)、 V_S ：試料土の体積を除いたバイアル瓶の容量(ml)、 V_B ：バイアル瓶の容量(ml)、 K_d' ：TCE 気相から土壌への吸着係数(mg/g) 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。

3. 実験の概要

以下に示すような手順で吸着実験を行った。

ガラス製のバイアル瓶に完全乾燥状態の試料を計り取り、表面をテフロン処理したゴム栓とアルミキャップで密栓する。次に容量 2ml のロック付きガスタイトシリンジを用いて TCE 蒸気を 1ml 取り、サンプル瓶に注入する。この試料の入ったバイアル瓶をアルミ箔で覆い、 20°C 、30rpm で振とう器を用いて 24 時間振盪する。その後、容量 250 μl のガスタイトシリンジを用いてヘッドスペースのガスサンプルを採取し、その TCE 濃度をガスクロマトグラフ FID を用いて測定した。今回モデル土壌として、粒径 0.6mm、1mm のガラスビーズ、平均粒径 1mm の珪砂、平均粒径 1mm の阪大グラウンドの土、平均粒径 1mm の箕面市の畑の土、平均団粒径 0.7、1、3mm の赤玉土、平均団粒径 0.7、1、3mm の鹿沼土を用い、それぞれのデータ数は 20 個である。全てのモデル土壌は、24 時間炉乾燥によって完全乾燥状態とした。

Hiroaki FUJIMOTO, Junpei YAMAUCHI, Yoshihiro ISHII, Kohji MURAOKA

4. 実験結果及び考察

(1) 土壌の種類の比較

1mm 粒径のガラスビーズ、珪砂、グラウンドの土のバッチ実験の結果を図-1 に示す。図に示す直線の傾きが吸着係数 K_d' である。このグラフから同じ 1mm 粒径でも土の種類によって吸着係数が異なっていることが分かる。

(2) 粒径の比較

平均団粒径 0.7、1、3mm の赤玉土に対して行ったバッチ実験の結果をそれぞれ図-2 に示す。このグラフから土の種類が同じ場合でも土粒子の粒径が異なると吸着係数は異なる値を示し、粒径が小さいほど吸着係数の値が大きくなっていることが分かる。この結果は、一般に粒径が小さくなれば比表面積が大きくなることから、粒径による吸着係数の違いは比表面積の大きさに関係してくると思われる。

(3) 同粒径(1mm)の混合

ガラスビーズ 1mm と赤玉土 1mm を同質量ずつ混ぜ合わせたモデル土壌のバッチ実験の結果を図-3 に示す。このグラフから赤玉土 (1.0mm) とガラスビーズ (1.0mm) を混ぜた場合の吸着係数 (51.2) はガラスビーズの吸着係数 (0.359)、赤玉土の吸着係数 (100) のほぼ中間の値になっている。これはガラスビーズの吸着係数がほぼゼロであり、ガラスビーズには TCE ガスがほとんど吸着せず、赤玉土のみに TCE ガスが吸着したためと考えられる。

5. まとめ

以上より、完全乾燥状態の土壌中では土の種類により吸着係数の値が異なることが明らかになった。また土の種類が同じ場合は、土粒子の粒径が小さいほど吸着係数の値が大きくなる傾向が得られた。このことから、ガラスビーズのように吸着係数が小さい場合は吸着による遅れの影響を無視できるが、実際の土壌では考慮する必要があることが分かった。今後は土壌成分ごとの吸着係数 K_d' から数種類の土が混ざり粒径も様々な実際の土壌における吸着による遅れが計算でき、ガス輸送の将来予測に、より正確な適応ができると考えられる。

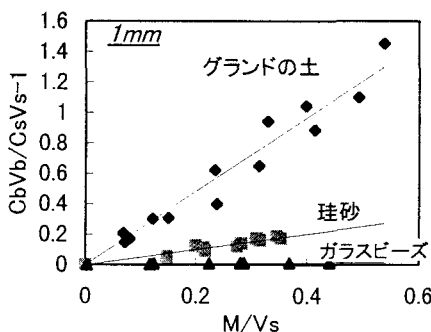


図-1 吸着等温線(ガラスビーズ、珪砂、グラウンドの土 1mm)

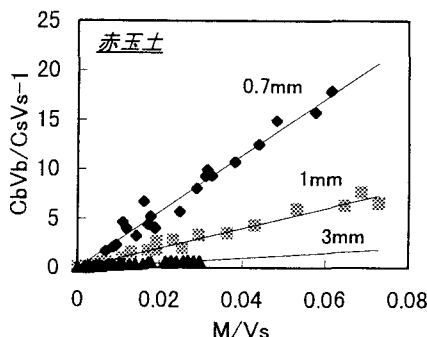


図-2 吸着等温線(赤玉土 0.7mm、1mm、3mm)

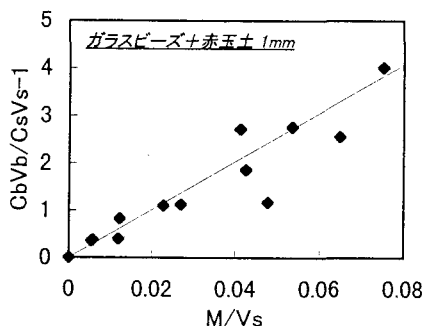


図-3 吸着等温線(ガラスビーズ 1mm と赤玉土 1mm 混合)

表-1 土の種類・粒径と吸着係数 K_d' 、遅れ係数 R

	3.0 mm 粒径		1.0 mm 粒径		0.7 mm 粒径	
	吸着係数 K_d'	遅れ係数 R	吸着係数 K_d'	遅れ係数 R	吸着係数 K_d'	遅れ係数 R
ガラスビーズ			3.59×10^{-2}	1.13	5.12×10^{-1}	2.91
珪砂			5.04×10^{-1}	2.70		
赤玉土	2.58×10	2.12×10	1.00×10^2	7.94×10	2.85×10^2	2.24×10^2
鹿沼土	2.96×10^2	9.47×10	2.04×10^2	6.56×10	2.45×10^2	7.86×10
畑の土			2.04×10	3.64×10		
グラウンドの土			2.41	5.24		
ガラスビーズ + 赤玉土			5.12×10			