

VII-17

有機塩素化合物ガスの土壌への吸着と土壌の種類・粒径の関係

大阪大学大学院 学生員 ○山内淳平, 大阪大学大学院 学生員 藤本裕昭
 広島工業大学工学部 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1つに土壌ガス汚染がある。土壌ガス汚染の浄化を効率よく行うためには、土壌中でのガス挙動を把握し、ガス流動モデルを構築することが重要である。また、ガスの流動過程において、ガスの間隙水への溶解、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るガス拡散の遅れを考慮する必要がある。本研究では、気相-土壌間の分配によるガス拡散の遅れに着目し、土壌の種類や粒径を変えたとき、あるいは異なる土を混ぜ合わせたときにガス拡散の遅れにどのような違いが生じるかを実験により確かめ、土壌特性が遅れに及ぼす影響について考察を行った。

2. 理論計算

完全乾燥状態での一次元拡散方程式は、気相-土壌間の分配によるガス拡散の遅れを考慮すると(1)式のよう表され、(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)、 C_g :気相部分の TCE ガスの濃度(mg/l)、 R :遅れ係数、 θ_d :間隙率、 ρ_s :土壌の乾燥密度(g/cm^3)、 K_d :気相-土壌分配係数(ml/g)である。

また Henry 型の吸着等温式と吸着前後の質量保存式から(3)式が得られる。

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

ここで、 M :土壌の乾燥質量(g)、 C_B :空のバイアル瓶中のガス濃度(mg/l)、 C_S :土壌が入ったバイアル瓶中のガス濃度(mg/l)、 V_B :空のバイアル瓶の容量(ml)、 V_S :土壌が入ったバイアル瓶のガス部分の容量(ml)である。実験結果から $[(C_B V_B / C_S V_S) - 1]$ 、 M / V_S の値を計算して(3)式に代入し、縦軸を $[(C_B V_B / C_S V_S) - 1]$ 、横軸を M / V_S としたときの回帰直線の傾きが K_d 値となる。さらにその K_d 値を(2)式に代入すると遅れ係数 R が求まる。

3. 実験の概要

実験に使用したガスは TCE ガスである。またモデル土壌として、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 の鹿沼土を用いた。それぞれのデータ数は 20 個である。全てのモデル土壌は、炉乾燥することによって含水率 0%とした。

回分式吸着実験の方法は、まずガラス製のバイアル瓶に完全乾燥状態の試料を計り取る。次に、このバイアル瓶に TCE 原液と平衡状態(20℃)にある TCE 蒸気 2ml をロック付きガスタイトシリンジ(容量 2ml)を用いて注入する。この試料の入ったバイアル瓶を 20℃, 30rpm で振とう器を用いて 24 時間振とうする。その後、土壌に吸着されず気相中に残存する TCE 蒸気をガスタイトシリンジ(容量 250 μl)を用いて採取し、その濃度をガスクロマトグラフ(検出器 FID)を用いて測定した。

4. 実験結果及び考察

(1)土壌の種類による比較

赤玉土、鹿沼土、畑の土(ともに平均粒径 1mm)の実験結果を図-1 に示す。このグラフから、同じ 1mm 粒

キーワード：トリクロロエチレン、吸着、土の種類・粒径・比表面積

〒565 大阪府吹田市山田丘 2-1 Tel:06-879-7605 Fax:06-879-7607

径でも土壌の種類によって吸着係数が異なることが分かる。

(2)粒径による比較

平均団粒径 0.7, 1, 3mm の赤玉土の実験結果を図-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 K_d' 値が大きくなっていることが分かる。

(3)同粒径の混合

ガラスビーズと赤玉土（ともに粒径 1mm）を同質量ずつ混ぜ合わせた土壌（以下、混合土とする）の実験結果を図-3 に示す。このグラフから、混合土の K_d' 値(51.2)はガラスビーズの K_d' 値(0.359)と赤玉土の K_d' 値(100)のほぼ中間の値になっている。赤玉土の半分がガラスビーズに置き換わった土壌を混合土と考えた場合、ガスのガラスビーズへの吸着量がほぼゼロなので、ガスはすべて混合土の赤玉土部分に吸着したと考えることができる。つまり、混合土と赤玉土は同質量でもガスの混合土への吸着量は赤玉土への吸着量の半分になる。従ってこのような結果になったと考えられる。

(4)比表面積との関係

ガラスビーズ、珪砂、赤玉土、鹿沼土、グラントの土（すべて粒径 1mm）について、 K_d' と比表面積の関係を直線回帰したグラフを図-4 に示す。この直線の相関係数は 0.93 となり、 K_d' と比表面積の相関が高いことが分かった。

5. まとめ

以上より、完全乾燥状態の土壌中では土の種類、粒径、比表面積がガス拡散の遅れに影響を及ぼすことが明らかになった。このことから、ガラスビーズのように K_d' 値が小さい場合は吸着によるガス拡散の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 K_d' 値から数種類の土、あるいは様々な粒径が混ざった土壌の K_d' 値を計算することによって、より実際の土壌に適応させる必要があると考えている。

なお、本研究は平成9年度文部省科学研究費補助金基盤研究(C)（研究代表者：石井義裕）の補助を受けた。

表-1 土の種類・粒径と吸着係数 K_d'

	3.0mm 径	1.0mm 径	0.7mm 径
ガラスビーズ	—	3.59×10^{-2}	5.12×10^{-1}
珪砂	—	5.04×10^{-1}	—
赤玉土	2.58×10	1.00×10^2	2.85×10^2
鹿沼土	—	2.04×10^2	—
畑の土	—	2.04×10	—
グラントの土	—	2.41	—
ガラスビーズ+赤玉土	—	5.12×10	—

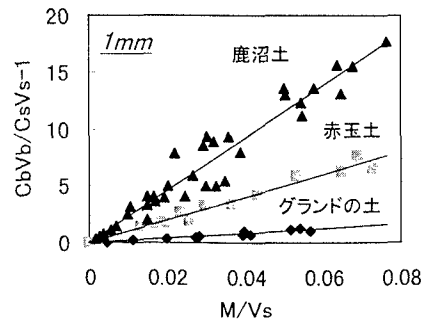


図-1 吸着等温線（赤玉土、鹿沼土、グラントの土 1mm）

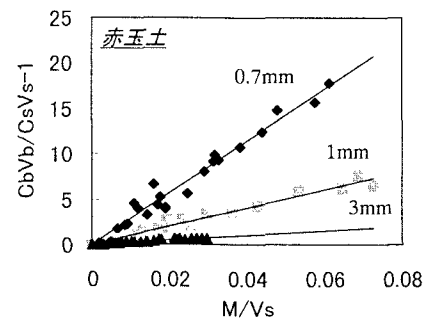


図-2 吸着等温線（赤玉土 0.7mm, 1mm, 3mm）

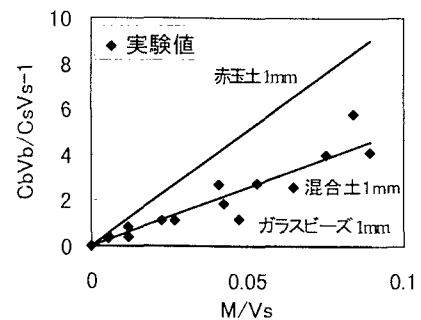


図-3 吸着等温線（混合土 1mm）
＜混合土 1mm＝ガラスビーズ 1mm＋赤玉土 1mm＞

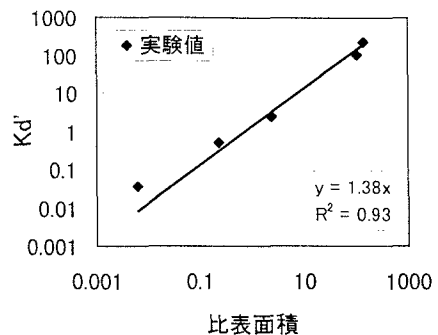


図-4 比表面積と K_d' の関係