

## 土壌粒径・土壌間隙水のVOCsガス土壌吸着係数に与える影響に関する基礎的研究

広島工業大学 正会員 石井義裕  
 広島工業大学 学生会員 西村俊彦  
 広島工業大学 上山真右

### はじめに

地下空間の土壌・地下水汚染は目に見えない環境問題として、我々の生活を脅かしている。土壌・地下水汚染の浄化方法として、現在では各種のガス抜き法(SVE)が行われてきている。除去しようとしている土壌・地下水汚染物質は主に有機塩素化合物であり、この物質をSVEを用いて効果的に除去するためには、地下空間におけるガス流動を明らかにすることが重要になる。本研究では有機塩素化合物ガス流動時に、有機塩素化合物ガスが土壌に吸着することで、ガス流動に遅れが生じる現象に着目し、パッチ実験によりガスの土壌吸着現象の基礎的な特性を調べた。

### 実験概要

実験には、有機塩素化合物(VOCs)としてトリクロロエチレン(TCE)を用い、その揮発ガスを使用した。試料土として用いた土壌は赤玉土と広島工業大学のグラウンドの土の2種類とした。この試料土をふるいを用い、平均粒径0.3(mm)以下、0.3~0.5(mm)、0.5~1.0(mm)に分けた。試料土は乾燥機で130°C、24時間乾燥させることで、含水率を0%とした。これらの試料土を電子天秤を用いてバイアル瓶に計り取る。試料土の質量は0.1~1.0(g)の間で約10サンプルとした。また標準試料として土壌の入っていないバイアル瓶を1サンプル用意した。TCEガス注入後、振とう器で20°C、24時間振動させた後、ヘッドスペースガスをガスクロマトグラフで分析をした。また土壌水分の存在により、吸着係数がどのような影響を受けるかを調べるために、乾燥土壌の実験とは別に乾燥土壌に水分を含ませた状態の試料土についても分析を行った。

VOCsのガス吸着等によるガス移動の遅延効果を

キーワード：土壌・地下水汚染、有機塩素化合物、吸着、遅れ係数  
 連絡先：〒731-5193 広島市佐伯区三宅2-1-1

遅れ係数Rとして考慮した1次元拡散方程式は式(1)のように表せる。<sup>1)</sup>

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( \theta_D D_{x_i x_i} \frac{\partial C_G}{\partial x_i} \right) - \theta_D V_{x_i} \frac{\partial C}{\partial x_i} + F = R \frac{\partial}{\partial t} (\theta_D C_G) \quad (1)$$

ここで、 $D_{x_i x_i}$ は土壌中でのVOCガス拡散係数( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )、 $C_G$ は間隙内でのVOCガス濃度( $\text{mg/L}$ )である。ここでは、遅れ係数RはLeeら<sup>2)</sup>の式を使用する。このとき、完全乾燥状態における遅れ係数Rは式(2)のように表現される。

$$R = 1 + \frac{(1 - \theta_D)}{\theta_D} \rho_s K_d' \quad (2)$$

ここで、 $K_d'$ は固気分配係数、 $\rho_s$ は土壌の乾燥密度、 $\theta_D$ は気相の間隙率である。今回の実験では完全乾燥状態を考えているので、Leeらの式に存在した気液分配係数、固液分配係数に関する項は考慮しないこととする。式(2)の $K_d'$ (固気分配係数)を吸着係数と呼ぶ。吸着係数を求めるためにHenry型の等温吸着式と質量保存則より式(3)が求められる。

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

ここで、Mは土壌の質量、Cはヘッドスペース部分のTCE平衡濃度、Vはヘッドスペース部分の体積である。添字B、Sはそれぞれ空のバイアル瓶、土壌の入ったバイアル瓶を表している。

### 実験結果と考察

式(3)により、吸着係数(固気分配係数) $K_d'$ は $(V_B C_B / V_S C_S) - 1$ と $M/V_S$ の傾きによって得られる。図-1に赤玉土の粒径による吸着係数を示す。図-1は赤玉土の場合について平均粒径0.3(mm)以下と0.3~0.5(mm)の2ケースを比較する。0.3(mm)以

下の吸着係数は約2390, 0.3~0.5(mm)の吸着係数は約890であり, 粒径が約2倍と大きい土壤の吸着係数は約1/3の値となり, 吸着は小さいことを表している. 図-2に同一粒径の赤玉土と広島工業大学のグラウンドの土の吸着係数について示す. 粒径は平均粒径0.3(mm)以下, 0.3~0.5(mm), 0.5~1.0(mm)の場合についてそれぞれ分析を行った. そのうち図-2には0.3~0.5(mm)の場合のデータを示してあるが, グラウンドの土は多種の土壤の集まりであるため測定データが散らばる傾向にある. グラウンドの土の吸着係数は約18と小さく, この土壤については赤玉土と比較すると約1/100と小さく, 吸着し難い土壤であることがわかる. 図-3は同一粒径の土壤に水分を含ませた場合の吸着係数を比較したものである. 今回の実験では, 含水比が16.6%の土壤(平均粒径0.3~0.5(mm))を準備した. 含水比16.6%の赤玉土の吸着係数は約53となり, 含水比0%の吸着係数(約890)の約1/15となり, 土壤水分の存在により, 固気分配係数としての吸着係数は大幅に小さくなっている. これはTCEガスが吸着する土壤部分が水で覆われたためであると考えられるが, TCEガスが水分に溶解する要素も存在するため気液分配係数の関連する項についての検討が必要である.

## まとめ

本研究において得られた知見は以下の通りである.

- 1)同一の土壤においても, 粒径の違いにより吸着係数に差異が見られた. 粒径が小さい土壤の方が吸着係数が大きくなる.
- 2)土壤水分の存在により吸着係数(固気分配係数)は小さくなる.
- 3)グラウンドの土のように多種の土壤が混在している土壤については, 今後の検討が必要である.

**謝辞** 本研究は平成11年度前田記念工学振興財団の研究助成を受けた. ここに記して謝意を表す.

参考文献: 1) Bear, J., "Dynamics of Fluids in Porous Media", New York, 1972. 2) C. S. Lee, K. MURAOKA and Y. ISHII, "Prediction of the Gaseous Volatile Organic compounds Behavior in the Unsaturated Zone Considering the Volatilization Rate from Source", Proc. of 6th IAWQ A PR Conf., pp.1088-1095,1997.

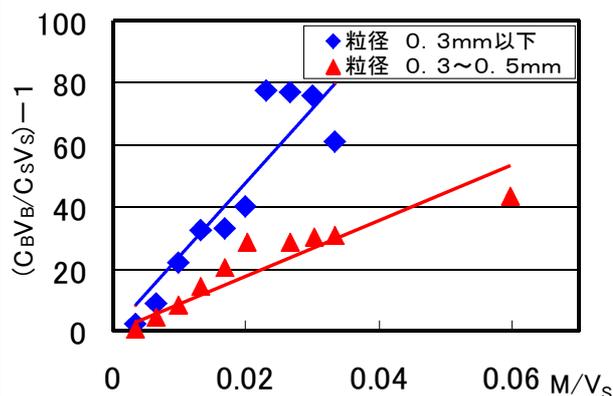


図-1 粒径による吸着係数の比較

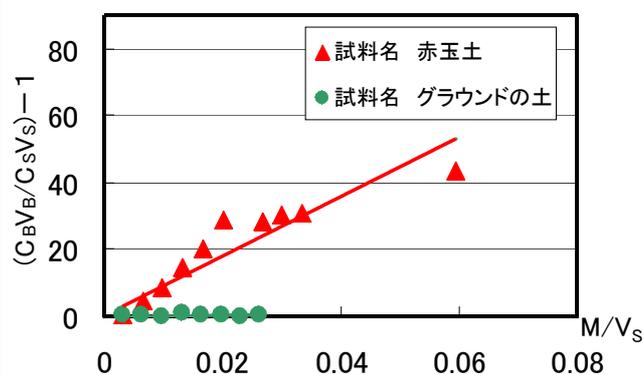


図-2 土壤による吸着係数の比較

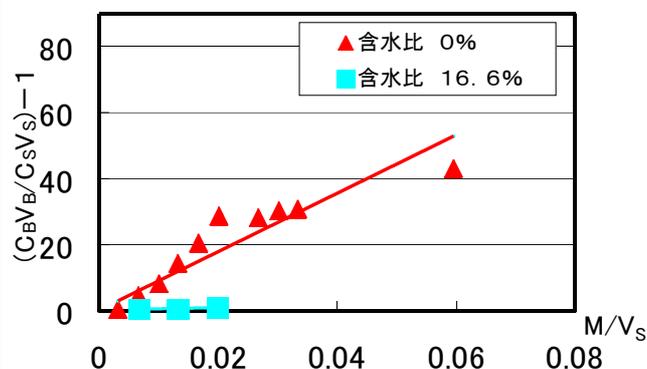


図-3 土壤水分の存在による吸着係数の比較

表-1 計測された吸着係数

	~0.3(mm)	0.3~0.5(mm)
赤玉土(0%)	2390	890
グラウンド土	----	18
赤玉土(16.6%)	---	53