

地下水汚染物質ガスの土壌吸着と遅れ係数に関する基礎研究

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

はじめに

土壌・地下水汚染の浄化方法として、現在では各種のいわゆるガス抜き法(SVE: Soil Vapor Extraction)が行われてきている。主な土壌・地下水汚染物質はトリクロロエチレンをはじめとする有機塩素化合物(VOCs: Volatile Organic Compounds)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が地下空間で土壌に吸着することにより、ガス流動に遅れが生じる現象に着目し、バッチ実験によりガスの土壌吸着現象の基礎的特性を調べた。

実験概要

実験には、VOCsとして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種類である。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。試料土を乾燥機で130℃、24時間乾燥させた状態を含水率を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1ケースにつき約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℃、24時間振動させた後、ヘッドスペースガスのガス濃度をガスクロマトグラフ装置で分析した。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ガス移動の遅延効果を遅れ係数 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。¹⁾

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

ここで、 D_{x_i} は土壌中でのVOCガス拡散係数 (cm^2/sec)、 θ_D は気相の間隙比、 C_G は間隙内でのVOCガス濃度 (mg/L)である。ここでは、遅れ係数 R はLeeら²⁾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、 ρ_s は土壌の乾燥密度である。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

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倍と大きい土壌の吸着係数は約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壌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、この土壌については赤玉土と比較すると約1/100と小さく、吸着し難い土壌であることがわかる。図-3は同一粒径の土壌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%の土壌(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、土壌水分の存在により、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ガスが吸着する土壌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

- 1)同一の種類の土壌において、粒径の違いにより吸着係数に差異が見られた。粒径が小さい土壌の方が吸着係数が大きくなる。
- 2)土壌水分の存在により吸着係数(固気分配係数)は小さくなる。今後、様々な含水率の土壌についても分析する予定である。
- 3)グラウンドの土のように多種の土壌が混在している土壌については、今後の検討が必要である。

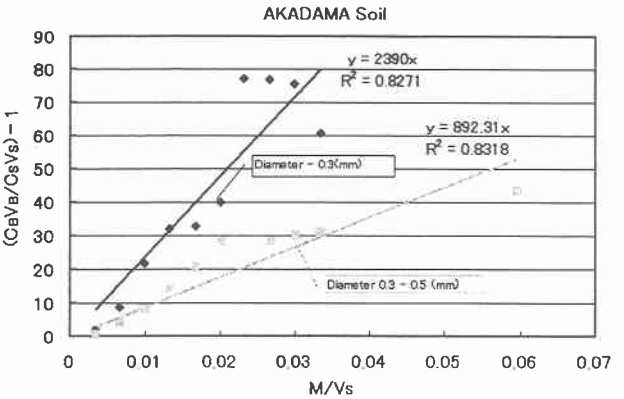


図-1 粒径による吸着係数の比較

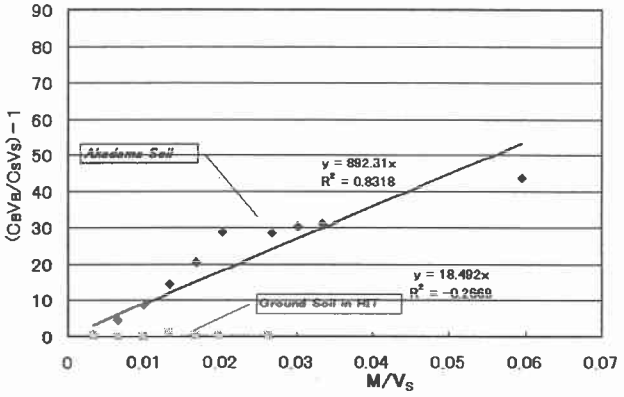


図-2 土壌による吸着係数の比較

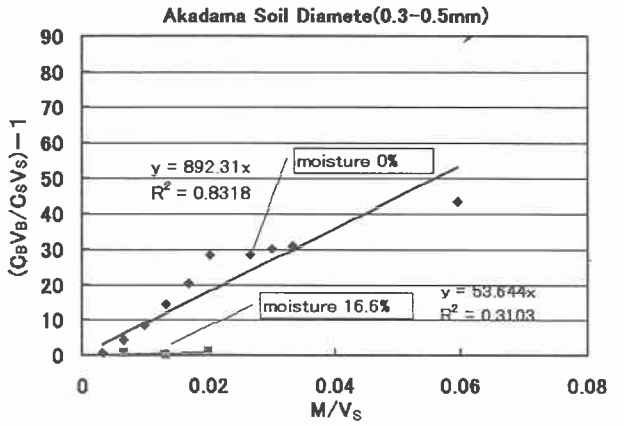


図-3 土壌水分の存在による吸着係数の比較

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 Porus 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 APR Conf., pp.1088-1095,1997.