

VII-66

多孔体における有機塩素化合物の揮発に関する実験的研究

大阪大学大学院 学生会員 八木誠吾 田村道昭 李昌洙
大阪大学工学部 正会員 石井義裕 村岡浩爾

1. はじめに

揮発性有機塩素化合物の不飽和帯中におけるガス挙動の解析については、従来より研究が行われてきているが、汚染源からの揮発量を考慮した解析例では汚染源の濃度に関わらずその揮発量を一定として解析しているにとどまっている。そこで本研究では、汚染源の有機塩素化合物からの揮発に関する特性を調べるために、汚染源を溶液相と原液相の二つの場合に分け、気液界面からの揮発係数をそれぞれについて実験的に推定し、比較検討した。なお、有機塩素化合物としてトリクロロエチレン(TCE)を用いる。

2. 理論

不飽和帯中のTCEのガスの挙動は、1次元で考える場合次式で表される。

$$\frac{\partial(\theta_g C_g)}{\partial t} = \theta_g D_g \frac{\partial^2 C_g}{\partial z^2} + Y_o \quad (1)$$

ここで、 θ_g ：多孔体の空隙率、 C_g ：気相部分のTCEの濃度(mg/l)、 D_g ：気相部分におけるTCEガスの分子拡散係数(cm^2/sec)、 Y_o ：汚染源からの揮発量である。なお、 $z=0$ を気液界面とする。

Sleepら¹⁾は、TCE原液から気相への揮発量を次式で示している。

$$z=0 \text{において、} \quad Y_o = \theta_g k_N (C_{g\max} - C_g) \quad (2)$$

ここで、 $C_{g\max}$ ：TCEガスの飽和濃度(mg/l)、 k_N ：原液から気相への揮発係数(1/sec)である。

またSleepらは、TCE溶液相から気相への揮発量を次式で示している。

$$z=0 \text{において、} \quad Y_o = \theta_g k_{Lg} (C_L - C_g) \quad (3)$$

ここで、 C_L ：溶液相の代表濃度(mg/l)、 C_g ：気相界面と平衡になった液相界面での濃度(mg/l)、 k_{Lg} ：溶液相から気相への揮発係数(1/sec)である。

そこで本研究において、汚染源からの揮発量を考えるには溶液・原液それぞれの揮発係数についての実験を行い、その値の評価を行うこととする。

3. 原液から気相への揮発係数について

汚染源として原液相を考慮する場合において、1次元カラム実験を行って原液から気相への揮発係数 k_N を推定する。実験装置は図1のような円筒型真鍮製1次元カラム（内径10cm）を用い、不飽和帯部分（深さ50cm）となるカラム中にはモデル土壌としてガラスビーズ（粒径1mm、完全乾燥状態）を充填した。カラムの最下端には汚染源となる飽和帯部分としてトリクロロエチレン（以後TCEと略記）原液を貯留できるようになって折り、揮発による損失を考え深さは5cmとした。不飽和帯部分と飽和帯部分はスクリーンで分離されており、溶液の毛管上昇は生じていない。各設定時間(1, 2, 3, 6,

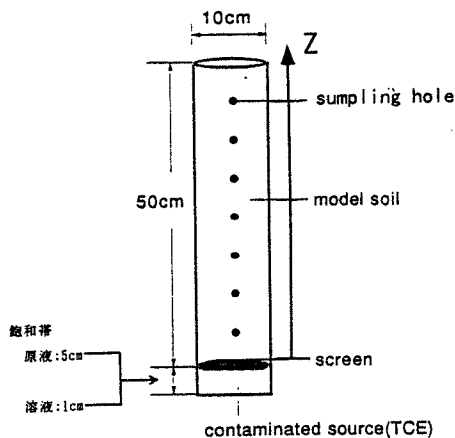


図1：実験装置（1次元カラム）

9, 12, 24時間)毎に不飽和帯部分で採ガス孔から採ガスをを行い、TCEガス濃度をガスクロマトグラフ(FID/ECD)を用いて測定し、飽和帯部分ではTCE原液の減少量を測定して揮発量を求めた。今回の実験は一貫して20℃の恒温室内で行っている。

この実験で得た値を式(2)にあてはめて揮発係数 k_N を求めると $k_N=7.4 \times 10^{-3} (1/sec)$ となる。この値を用い式(1)より不飽和帯中のガス挙動を計算した結果と実験結果を図2に示す。これより、ガス挙動は揮発係数 k_N を用いた計算により再現できており、揮発係数 k_N の値は確かな値であるといえる。

4. 溶液相から気相への揮発係数について

まず汚染源として溶液相を用いる場合、溶液初期濃度が溶液相から気相への揮発係数 k_{Lg} に与える影響を調べる実験を行った。シャーレ（内径8.8cm, 深さ1cm）に実際の汚染現場で見られるような範囲の初期濃度のTCE溶液を同量入れる。濃度測定は実験開始後1, 2, 4, 6, 9, 12, 24時間後に実施し、各測定時間に1枚のシャーレより溶液を採取して濃度を測定する。実験結果より揮発係数を求めると、図3のように溶液初期濃度と揮発係数 k_{Lg} の関係が示された。これより、この設定範囲の溶液初期濃度が揮発係数 k_{Lg} に与える影響は小さいことが分かる。但し、溶液量を変えた実験は行っていない。

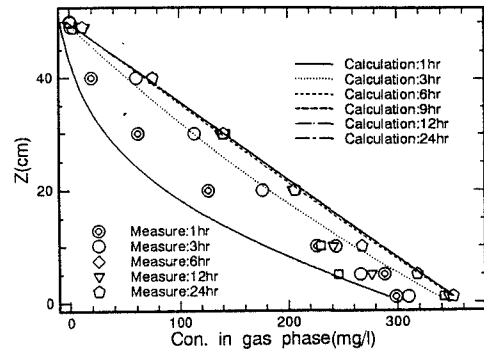


図2：実験結果と計算結果

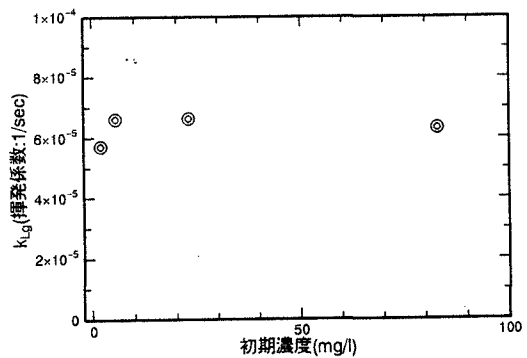


図3：揮発係数と初期濃度の関係

次に、1次元カラム実験を行って溶液相から気相への揮発係数 k_{Lg} を推定した。実験装置は先の実験と同様図1のものをを用いた。汚染源はTCE溶液（溶液初期濃度：25.6mg/l）を用い、飽和帯部分の深さは先のシャーレを用いた実験と同じく1cmとした。この実験結果より(3)式から $k_{Lg}=3.8 \times 10^{-5} (1/sec)$ となった。この値が図3の値より小さいのは、この実験が多孔体で行っているため揮発が抑制されたものと思われる。ただし、得られた揮発係数 k_{Lg} の値は、飽和帯部分の容液量により変化すると考えられ、この値を用いて不飽和帯中のガス挙動を正確に再現することはできない。

5. まとめ

本研究の結果、汚染源が溶液の場合と原液の場合では揮発係数のオーダーが大きく異なることが明らかになった。これにより不飽和帯中のガス挙動を解析する場合に、汚染源が原液か溶液かによって値の異なった揮発係数を用いて解析を行う必要があることがわかる。また溶液の場合、実際の汚染現場で見られるような範囲の濃度であれば揮発係数は同じ値をとるといえる。ただし、原液から気相への揮発係数の値は今回の実験で得られたものがほぼ正しいといえるが、溶液から気相への揮発係数は、本研究においては定性的な値の推定にとどまっており、今後はさらに実験を行って、定量的に溶液から気相への揮発係数を求めていくことが重要であろう。

参考文献 1) B. E. Sleep and J. F. Sykes: Modeling the Transport of Volatile Organics in Variably Saturated Media, WATER RESOURCES RESEARCH, Vol. 25, No. 1 pages 81-92, January 1989