

地下水流による多孔体中のトリクロロエチレン塊からの溶け出しについて

(株)熊谷組 正員○大西 淳
 大阪大学工学部 正員 玉井昌宏
 大阪大学工学部 正員 村岡浩爾

1. まえがき トリクロロエチレン(TCE)、テトラクロロエチレン(PCE)などの有機塩素化合物による地下水の汚染が全国各地で大きな問題となっている。有機塩素化合物は水になじみにくい難溶性物質であり、水に比べ比重が大きく、粘性が小さく、揮発性が高いという特徴をもっている。地下水に溶解した後の汚染物質の拡散現象に関しては、これまでの拡散理論で追跡し得る。しかしながら、汚染の動向を定量的に予測するためには、多孔体中に存在する原液からの溶出量に関する情報が不可欠である。本研究では、小さい塊の状態で多孔体中に停滞した有機塩素化合物の溶解現象を解明するために、基礎的なカラム実験を行った。

2. 実験の概要 有機塩素化合物は土壤中を移動する際に多孔体の間隙程度のスケールの小さい塊に分離すると考えられる。ガラスビーズを用いた多孔体中において有機塩素化合物の原液は、それがビーズに近い体積を有する場合、球状塊となってビーズの間隙に静止した状態になる。図-1は粒径3mmのビーズを水で満たし、その上に40 μ lのTCEの粒塊を置いた果である。多孔体中においても同様な存在状態が生じているものと仮定して、カラム実験を行った。実験の概要を図-2に示す。ガラスカラムにガラスビーズ(粒径1mm、3mm)を充填したものをモデル土壌として、カラム上部から1/4の水平断面内にTCE粒塊を設置した。定量ポンプによりカラム下方から純水を送り込み、上端からの浸出水を定期的に採取した。溶解しているTCEの濃度をガスクロマトグラフ(FID検出器)により測定した。

原液からの溶解量には様々なパラメータが関与すると考えられるが、その中でも特に(1)汚染物質原液粒塊のスケール、(2)地下水流速、(3)物質の飽和溶解度の三つに着目した。(1)に対しては粒子塊の体積を1.5 μ l、40 μ lの2種類を設定した。これは用いるガラスビーズの粒径がそれぞれ1mm、3mmであることを勘案して決めたものである。(2)に対してはダルシー流速を23.3~452.2(cm/day)間で5段階に変化させた。(3)に対しては飽和溶解度の150、1100、8150(mg/l)と異なるPCE、TCE、クロロホルム(CFM)を用いた。

3. 実験の結果と考察 カラムからの浸出水の濃度を図-3に示す。原液はTCEである。(a)、(b)はそれぞれ1mmビーズ、3mmビーズを用いたケースの実験結果である。全てのケースにおいて、実験開始直後には濃度は急激に増大し、極大値を示した後に減少する傾向を示している。原液粒塊が全て溶けきり、濃度が0となるまでの時間は、ダルシー流速が大きいほど短くなっている。最大濃度は流速が小さいほど大きくなっており、濃度の減少率は速度が大きくなるのにもとまらず小さくなっている。(a)、(b)の比較から原液の粒塊が小さくなれば溶出量も小さくなることがわかる。

一方、(c)は上述の3つの物質を用いた実験結果を併せて示している。飽和溶解度の大きなCFMは実験開始直後に高濃度となり、その後、急激に濃度が減少している。TCE、PCEと飽和溶解度が小さくなるのにしたがって、より低濃度となり、長期間の溶出が続いた。

ここで仮に、原液の粒子の体積の単位時間当りの減少量がその粒塊の表面積と周囲流体の流速に比例するとすれば、下式が成り立つ。

$$-\frac{dV}{dt} = \alpha u S$$

ここにVは粒塊の体積、uはダルシー流速、Sは粒塊を球としたときの表面積である。 α は溶解の大きさを表すパラメーターであり、溶出係数と定義する。

実験の結果から時々刻々の原液の粒子の体積さらに α を求めた。図-4は時間平均した溶出係数 $\bar{\alpha}$ のダルシー流速にともなう変化を示している。 $\bar{\alpha}$ はガラスビーズの粒径にはあまり影響されない。また、ダルシー流速が増加するにともなう、 $\bar{\alpha}$ は減少していることがわかる。つまり、平均溶出係数 $\bar{\alpha}$ は原液のスケールに関わらず同様な値をとり、浸透流の速度が増加するにしたがって減少する傾向があることがわかる。

Jun OHNISHI, Masahiro TAMAI and Kohji MURAOKA,

図-5は3つの物質に対し $\bar{\alpha}$ をもとめた結果である。横軸は個々の物質の飽和溶解度、縦軸には $\bar{\alpha}$ である。 $\bar{\alpha}$ は物質固有の値をもち、飽和溶解度の増加にともない概ね増加していることが予想される。すなわち、他の汚染物質に対する溶出係数を求める場合には、その飽和溶解度がひとつの目安となることがわかる。

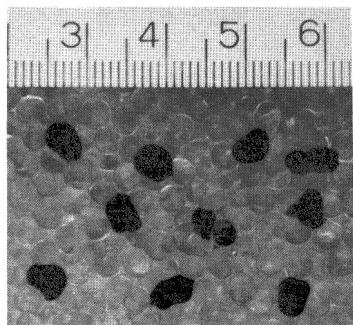


図-1 ガラスビーズ上のTCE原液

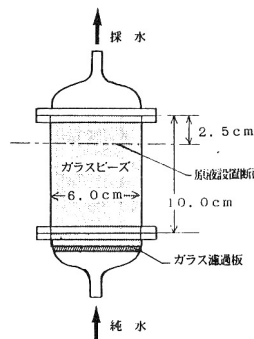
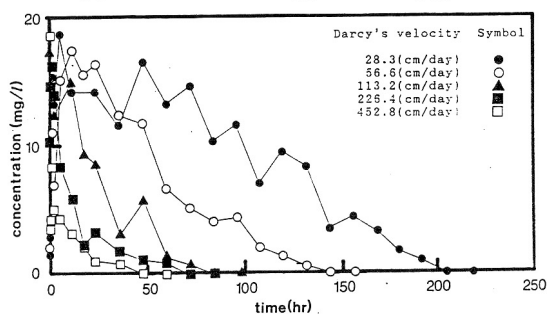
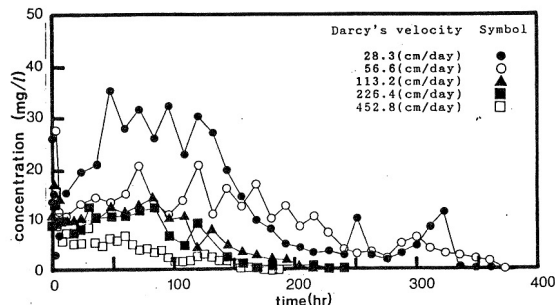


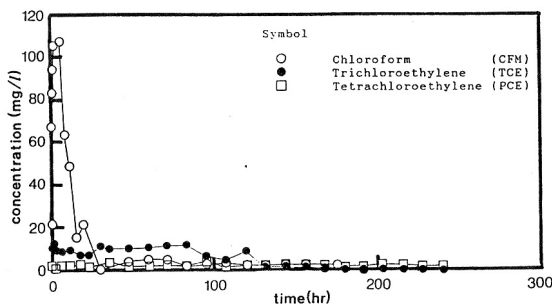
図-2 実験装置の概要



(a) 3mmビーズ: $40\mu\text{l} \times 7$



(b) 1mmビーズ: $1.5\mu\text{l} \times 37$



(c) TCE・PCE・CFM

図-3 浸出水の濃度の時間変化

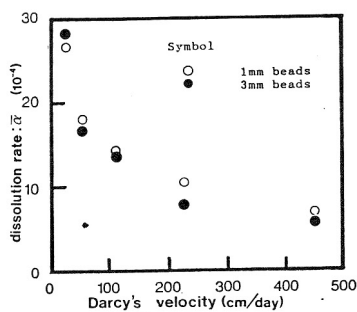


図-4 平均溶出係数 $\bar{\alpha}$ とダルシー流速の関係

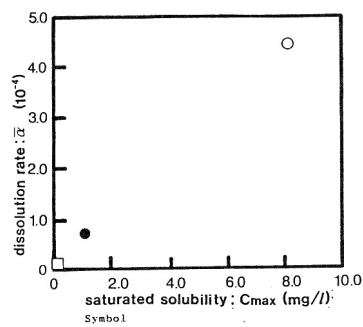


図-5 平均溶出係数 $\bar{\alpha}$ と飽和溶解度の関係