

III-B 389 低濃度テトラクロロエチレンの地盤中の挙動に関する研究

首都高速道路公団 正会員 宗像恵子
東北大学工学部 正会員 Park Chan Hoon
東北大学工学部 正会員 風間基樹
東北大学工学部 正会員 柳澤栄司

1. はじめに

近年、テトラクロロエチレン（PCE）等の揮発性有機塩素化合物による土壌・地下水汚染が問題となっている。これらの物質は発癌性物質であるため、地盤・地下水における挙動を十分に把握する必要がある。PCE等の原液は、水よりも重く、粘性や表面張力が小さいため不飽和土壌中を容易に通過し帯水層付近に滞留し、地下水汚染を引き起こすことが明らかにされている^{1) 2)}。今まで土質工学分野においては、土中の物質移動に関しては、重金属に関して多くの研究がなされている³⁾が、PCE等を扱ったものは少ない。こうした現状を踏まえ、室内実験によってPCE溶液の土中の移動特性を検討した。

2. 実験およびその考察

PCE等の有害化学物質を含む地下水の移動を検討する場合、溶質の移動は拡散・移流・土粒子への吸着などのそれぞれの挙動に関係する。また、PCE等の揮発性の高い物質を実験的に取り扱うためには、その揮発性をも明らかにする必要がある。そこで、本研究では図-1に示すような一連の実験を計画した。

溶解状態のPCEの揮発性を調べるための実験では、試料は全てPCE標準原液（PCE、1mg/1mlメタノール）を用いた。試験には円筒水槽を用い、その自由表面からの揮発を20度の恒温状態下で調べた。その結果、濃度勾配の大きいほど濃度減少速度が大きく、15分後には初期濃度の80%、2時間後には60%に減少した。また、油膜（植物油）を用いると揮散が防げる事がわかった。

また、溶液の濃度が低い場合を対象として、後述する溶出試験の滴下採水の際の濃度減少率も調べた。滴下採水の際の濃度減少はさらに大きく、10ml/3分の滴下で濃度は約4.9分の1に低下することがわかった。

次に、土粒子のPCEの吸着特性を調べるためのバッチ試験を行った。実験では、気乾状態の土（青葉山ローム、ピート、標準砂、カオリナイト、ガラスビーズ）を均質な粉末にしたものとPCE溶液（溶液濃度は20ppbから1000ppmまで8種類）を混ぜ合わせた土懸濁液を6時間振とうし（振幅4cm、100回/分）、土粒子がPCEを吸着する量を溶液の濃度変化から調べた。その結果、顕著な吸着特性の違いが見られなかった。

PCE溶液の移流・拡散特性を検討するため一次元鉛直カラムによる溶出実験を行った。試料はガラスビーズ（ $\phi=0.105\sim0.250\text{mm}$ ）とピートを用いた。用いたピートの有機物含有量は約90%、PH値は3.6から4.2であった。図-2は、実験に用いた装置である。実験では供試体作成後、一定の水頭差であらかじめ定常な流れが得られるまで通水した後、注入孔より注射器を用いてPCE溶液5mlを注入した。注入後、流出水を10ml毎にバイアル瓶に採取し、ただちに密栓し、恒温槽（27℃）内に1時間静置した後濃度を測定した。また、実験終了後、カラム内の間隙水及び試料に残留するPCE濃度を測定した。実験で変化させたパラメーターは、添加溶液濃度及び動水勾配である。実験条件の一覧表を表-1に示す。PCE濃度の測定は、液相の分析にはヘッドスペース法、土試料の分析には土壌中有機汚染物質の溶出試験方法を用いる³⁾。どちらも分析はガスクロマト分析を行った。分析条件を表-2に示す。

まず、ガラスビーズを用いた鉛直カラム溶出試験の結果を図-3に示す。棒グラフで示す実験結果の流出水濃度は、採水の際の濃度減少のため4.9倍の補正を行っている。溶質の移動速度は、水の透水速度0.49cm/minに対して若干早い0.47cm/minを得た。一方、ピートを用いた実験では、間隙水全量の5倍程度の流出水を調べたが、PCE流出はほとんど見られなかった。そこで、土試料を実験終了後5層に分割し、各層ごとに含まれる物質を分析した結果、PCEと1,1,1-トリクロロエタンと思われる物質が検出された（図-

表-1 実験条件一覧表

	初期濃度 (ppb)	移流速度 (cm/min)
case1.	50	0.49
case2.	200	0.49
case3.	500	0.49
case4.	200	0.19
case5.	200	1.00

表-2 分析条件

ガスクロマトグラム	; ヤナコ製 GC
検出器	; ECD
分析カラム	; DC-550, 3m, 1.2kgf/cm ²
キャリアーガス	; He 1.2kgf/cm ²
放電電圧	; 220V
試料気化室温度	; 200度
検出器温度	; 250度
カラム槽温度	; 90度

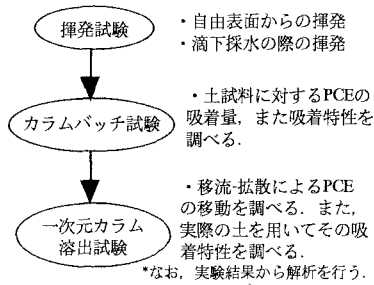


図-1 本研究における実験手順計画

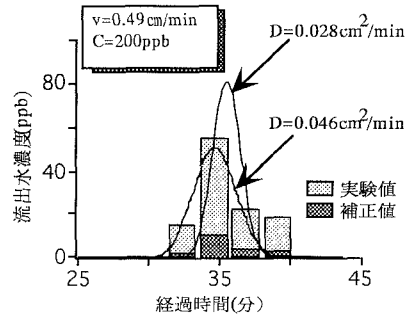


図-3 実験結果と解析結果

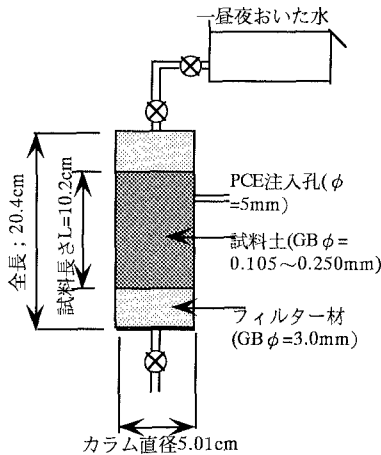


図-2 カラム溶出実験装置概略図

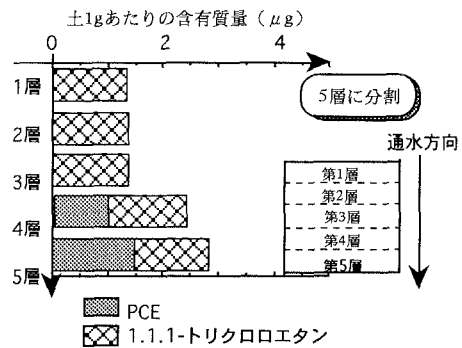


図-4 実験終了後の土カラム内の土1gあたりの物質含有量

4) . したがって、ピートはPCEを吸着し、さらに微生物などによると思われる脱塩反応を生じたと考えられる。

3. 溶出試験の解析

前述したガラスビーズを用いた溶出実験結果を、移流-拡散による溶質移動モデルの数値計算によって解析した。計算に用いた輸送の一次元方程式は右に示すとおりである。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) - v \frac{\partial C}{\partial x}$$

ここで、Cは溶質の濃度、Dは分散係数を表す。上式を差分法で、実験で用いた流速、濃度、カラム長さを与えて数値計算を行うと、分散係数の値を変えることにより、カラム流出口における様々な流出曲線が得られる。こうして実験結果の流出曲線のピーク値またはピーク幅を最もよく再現するD係数を求めることができる。その結果、流出曲線のピーク値からはD=0.046、ピーク幅からはD=0.028の値が得られた。これらの値を用いた流出曲線を図-3中に示した。このように求められた移流と拡散を含む分散係数から、移流による分散を除くと、拡散による分散係数が約0.02cm²/minと推定できた。

4. 結論

水に溶解した状態のPCEは、気体の接触する場所では容易に揮発し、その濃度は急速に低下する。また、バッチ試験から高濃度PCEの土に対する吸着特性を検討したところ、土による差が認められなかったが、カラム実験でピートを用いた場合、吸着・分解作用が見られた。また、ガラスビーズを用いた一次元カラム溶出試験結果から、吸着を考慮しない場合の溶解状態のPCEは、水とほとんど同じ移動をすることがわかった。さらに、この溶出試験の解析によって、拡散による分散係数を同定したところ約0.02cm²/minとなった。

参考文献：1) 環境庁国立環境研究所、土壌および地下水圏における有害化学物質の挙動に関する研究、SR-6-91、1985～1989。
2) 土質工学会編、環境地盤工学入門 3) 中杉修；土壌・地下水汚染の現状と対策、廃棄物学会誌、Vol.5、No.2、pp.164～173、1994。4) 浦野紘平、中杉修；有機塩素系化合物の土壌汚染等調査事例、1995、3