

# 浄化剤がトリクロロエチレンの土壤吸着へ与える影響

(株)竹中工務店 技術研究所 正会員 向井 一洋  
(株)竹中工務店 技術研究所 正会員 奥田 信康

## 1. はじめに

トリクロロエチレン(以下、TCE)等の有機塩素化合物による土壤地下水汚染対策技術の一つに、原位置嫌気性バイオスティミュレーションがある。原位置嫌気性バイオスティミュレーションでは、浄化剤として有機炭素を主成分とし、微生物増殖に必要な窒素・リン等の栄養源を含む資材を使用する。我々の経験では、帯水層へ浄化剤を注入した直後に、地下水中の汚染物質濃度が大幅に上昇する事例が確認されている。浄化剤の注入から微生物分解が開始するまでには時間の遅れがあるため、周辺への汚染拡散を助長する可能性がある。この場合、帯水層中に拡散した浄化剤が汚染物質の吸脱着に及ぼす影響を定量的に把握しておくことは、安全かつ効率的な施工を行う上で重要となる。本検討においては、汚染物質にはTCEを用いて、2種類の土壤への吸着実験を行い、浄化剤の添加の有無によるTCE濃度の上昇量について試算を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 対象試料

本検討ではローム土(市販の園芸用を破碎し、2mm以下に篩ったもの)と豊浦標準砂を用いた。土壤試料の性状を表1に示す。浄化剤には、食品添加物を主成分とする市販の浄化剤を用いた。

表1 土壤試料の性状

項目	土粒子密度	有機炭素含有量	含水比
単位	g/cm <sup>3</sup>	g/g-drysoil	%
ローム土	2.68	0.025	32
豊浦標準砂	2.64	0.0001	0.02

### 2.2 実験方法

本検討で実施した試験ケース一覧を表2に示す。

表2 試験ケース一覧

ケース名	土壤	TCE	栄養剤
CASE1-1	ローム土		
CASE1-2			
CASE1-3			
CASE2-1	豊浦標準砂		
CASE2-2			
CASE2-3			

⋯吸着等温線測定対象物質 ⋯栄養剤300mg添加

CASE1-1、CASE2-1では土壤に対するTCEの吸着量を把握することを目的とした。TCE 1000 mg/L-メタノール溶液をイオン交換水へ添加し、初期濃度で0.006, 0.01, 0.025, 0.05, 0.1, 0.3 mg/LとなるようにTCE水溶液を調整した。内容量120 mLのガラス製ねじ口瓶へ湿潤状態の土壤30 gを入れ、TCE水溶液を満水まで満たし密栓した。次に150 rpmにて往復振とう6時間、静置1時間後の上澄み液を採取しTCE濃度を測定した。TCEの測定方法はHS-GC/MS法(JIS-K0125)に準じた。

土壤に対するTCE吸着量は式1より算出した。また試験結果は、式2に示すヘンリー型の吸着等温線により整理した。

$$q_{TCE} = (c_{0-TCE} - c_{TCE}) \times v / m \quad \dots \text{式1}$$

$$q_{TCE} = k_{d-TCE} \times c_{TCE} \quad \dots \text{式2}$$

$q_{TCE}$ : TCE吸着量(mg/kg),  $k_{d-TCE}$ : TCEの土壤に対する分配係数(kg/L)

$c_{0-TCE}$ : 吸着前の液濃度(mg/L),  $c_{TCE}$ : 吸着後の液濃度(mg/L)

$v$ : 液量(L),  $m$ : 土壤乾燥重量(kg)

CASE1-2、CASE2-2では浄化剤添加時の土壤に対するTCE吸着量を把握するため、ねじ口瓶へ300 mgの浄化剤を添加し、CASE1-1、CASE2-1と同様の方法で吸着実験を行った。

CASE1-3、CASE2-3では土壤に対する浄化剤中のTOC吸着量を把握するため、TOC濃度で4000, 2500, 1800, 1200, 800, 500, 350, 250, 150 mg/Lの水溶液を調製し、湿潤状態で30 gの土壤が入った三角フラスコへ浄化剤の水溶液150 mLを投入し、150 rpmにて旋回振とう6時間、静置1時間後の上澄み液を採取し、TOC濃度を測定した。

土壤に対する浄化剤の吸着量は式3より算出した。また試験結果はTCEと同様に式4に示すヘンリー型の吸着等温線により整理した。

キーワード 原位置嫌気性バイオスティミュレーション、トリクロロエチレン、吸着等温線

連絡先 〒270-1395 千葉県印西市大塚1-5-1 (株)竹中工務店技術研究所Eコネクティング部門 TEL0476-77-1271

$$q_{TOC} = (c_{0-TOC} - c_{TOC-elu} - c_{TOC}) \times v / m \quad \cdot \cdot \text{式 3}$$

$$q_{TOC} = k_{d-TOC} \times c_{TOC} \quad \cdot \cdot \text{式 4}$$

$q_{TOC}$ : 有機炭素吸着量 (mg/kg),  $k_{d-TOC}$ : 有機炭素の土壌に対する分配係数 (kg/L)

$C_{0-TOC}$ : 吸着前の液濃度 (mg/L),  $C_{TOC}$ : 吸着後の液濃度 (mg/L)

$C_{TOC-elu}$ : 土壌からの有機炭素溶出濃度 (mg/L),  $v$ : 液量 (L),  $m$ : 土壌乾燥重量 (kg)

### 3. 実験結果

図2にローム土に対するTCEの吸着実験結果を示す。ローム土に対するTCEの分配係数  $k_{d-TCE}$  は、浄化剤無しで1.72 L/kg、浄化剤有りで1.63 L/kgとなり、差が認められなかった。

図3に豊浦標準砂に対するTCEの吸着実験結果を示す。豊浦標準砂では、浄化剤の添加によりTCEの吸着量が低下する傾向が確認された。TCEの分配係数  $k_{d-TCE}$  は、浄化剤無しで0.26 L/kg、浄化剤有りで0.13 L/kgとなった。

図4に土壌に対する浄化剤中TOCの吸着実験結果を示す。分配係数  $k_{d-TOC}$  はローム土に対して1.50 L/kg、豊浦標準砂に対して0.13 L/kgとなった。

### 4. 考察

Chiou ら<sup>1)</sup>は非イオン性有機化合物の土壌への吸着等温線が直線性を示すことから、非イオン性有機化合物の土壌への吸着は土壌と水との分配によるものであるとしている。本検討においても、全ての実験結果を線形のヘンリー型吸着等温線で近似できたことから、今回検討した濃度域では、TCE、浄化剤中のTOCともに土壌と水との分配によって吸着が生じていると考えられた。

表3に浄化剤添加時の土壌に対するTCEの分配係数  $k_{d-TCE}$  の実測値と浄化剤無しの分配係数及び浄化剤中TOCの分配係数から求めた浄化剤添加時の  $k_{d-TCE}$  の計算値の比較を示す。浄化剤添加の有無で、ローム土ではTCEの分配係数に差が見られず、豊浦標準砂ではTCEの分配係数が低下する傾向が一致した。

豊浦標準砂の実験結果から、実際の施工で用いられる浄化剤のTOC濃度域100~1000 mg/LでのTCE分配係数を算出した。間隙率0.4の地盤を想定し、浄化剤添加の有無でのTCE濃度の上昇率を試算した結果、3~17% TCE濃度が上昇する結果となった。

### 5. 結論

浄化剤添加の有無によるTCE濃度上昇について、

ローム土では差が認められなかった。豊浦標準砂では、実施工で用いる最大TOC濃度1000 mg/Lの浄化剤を添加した場合、TCE濃度は17%程度上昇すると推算された。

### 参考文献

1) Chiou et al.(1979), Science, 206, pp831-832

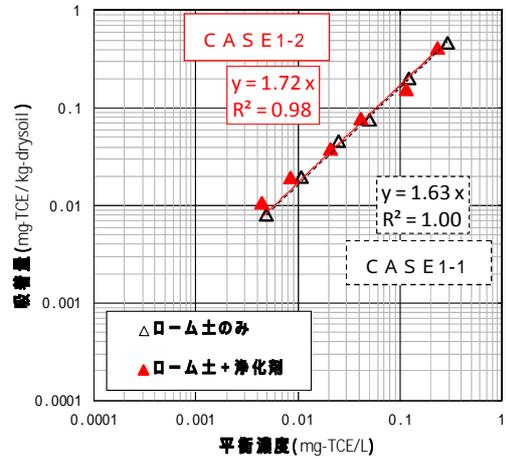


図2 ロームに対するTCEの吸着等温線

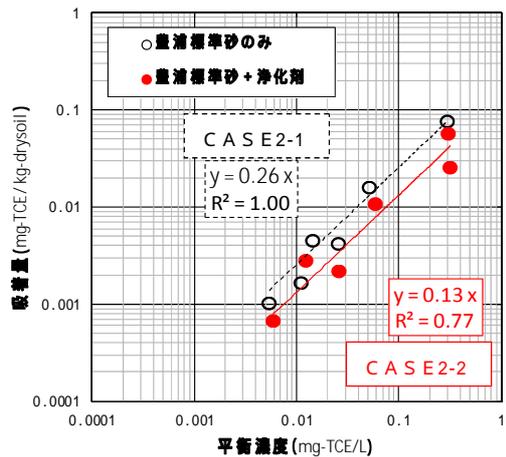


図3 豊浦標準砂に対するTCEの吸着等温線

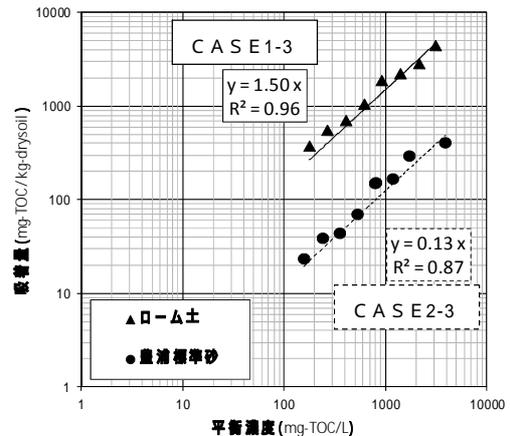


図4 浄化剤中TOCの吸着等温線

表3 浄化剤添加時のTCE分配係数の比較

単位	実測値(浄化剤無)		実測値(浄化剤有)		計算値(浄化剤有)
	L/kg		L/kg		L/kg
ローム土	CASE1-1	1.63	CASE1-2	1.72	1.63
豊浦標準砂	CASE2-1	0.26	CASE2-2	0.13	0.18