

II-448 気相中トリクロロエチレンの湿った固形廃棄物への収着現象について

北海道大学工学部 学員○須賀研二* 学員 李 東勲
正員 田中信寿 正員 神山桂一

1. はじめに

最近、先進工業国ではトリクロロエチレン(以下TCEと書く)の様な非イオン性有機化合物が広い範囲の地下水層から検出されている。またこれらの物質は生物難分解性であり社会的にも関心が高まっている。また、アメリカやヨーロッパでは、都市廃棄物埋立処分地の浸出水や発生ガスからもその様な物質が検出されたという報告がかなりある⁽¹⁾。その様な背景から前報⁽²⁾では飽和水状態で廃棄物埋立処分地の廃棄物成分に対するTCEの収着特性を調べる基礎的研究を行った。しかし、現在問題となっているTCEの様な非イオン性有機化合物は、揮発性物質であるため、実際には不飽和土壌層や廃棄物層では、ガス状態で存在すると考えられる。従って本研究では廃棄物埋立層(不飽和水分状態)内部でのガス状態のTCEの収着現象や輸送現象について検討を行った。

2. 実験材料及び方法

実験材料は前報⁽²⁾と同様であり、適当な含水率に調整して冷蔵庫内に保管した。

2-1 回分式収着平衡実験 実験方法は昨年と同様であり、分配係数を求める実験である。

2-2 連続式収着-脱着速度実験 実験装置の概要を、図1に示す。所定量の収着剤を適当な含水率に調整してカラム4に充填して標準ガス発生装置3から標準ガス(一定濃度のTCEを含んだN₂ガス)を下方より供給し上部のサンプリング口5より100μLずつ採取し、濃度が標準ガスと同じか、あるいは一定になるまで分析を続ける(収着実験)。平衡に達したカラム4をそのまま用い、N₂ガスのみ通気して濃度がほぼ一定になるまで分析を続ける(脱着実験)。なお実験はすべて20℃で行った。

3. 結果及び考察

3-1 収着等温線の線形性 前報では、液相中TCEの固形廃棄物への収着に対する等温線は線形式で表わせると報告しているが、気相中TCEの湿固形廃棄物への収着に対する等温線も線形式で表わせることが分かった。すなわち 収着等温式は次のように表わせる。

$$S = K_p' \cdot C_g \quad (1)$$

ここで、S:湿った固形廃棄物中の平衡収着量[μg/g-wet]、K_p' :分配係数[L/g-wet]、C_g:気相の平衡濃度[μg/L]である。

3-2 含水率と分配係数の関係 含水率wに対するK_p'の実験結果を表1に示す。この表から含水率がほとんど0の場合を除いて、K_p'は含水率と共にわずかに減少するが、ほぼ一定の値をとっていることが分かる。K_p'は湿った固形廃棄物の分配係数であり、図2に示すような水、固相、気相の物理構造モデルに基づいて、次式のように水-固体

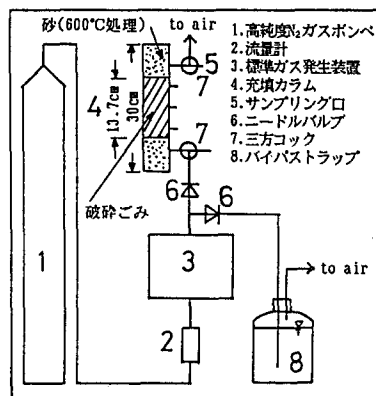


図-1 連続式収着-脱着実験装置

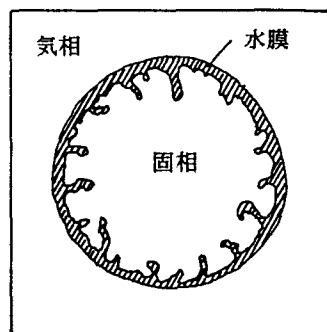


図-2 水-固-気 構造モデル

間の分配係数 K_p （前報）及び水-気体間の分配係数 K_H （筆者らの実測によれば、純水に対して $K_H=0.328(20^\circ\text{C})$ ）⁽³⁾）とから計算できる。ただし、この実験の範囲では（ $w \neq 0$ を除いて）水分中のTCE量は無視できる。

$$K_p' = \gamma (K_p / K_H) (1 - w) \quad (2)$$

ここで γ はTCEの溶解に対する水中共存物質の影響を示す補正係数であり、共存物濃度が0の時は、 $\gamma = 1$ である。ここで実測の K_p' と一致するように γ を定めてみた。その結果を表1に示す。各収着剤毎に γ を定め式(2)により K_p' を求めなおしたのが表1中の K_p' （計算値）である。以上のことから、 w の極端に小さな所を除いては、 K_p' は、式(2)により、基本的な物性値である K_p や K_H から推定することができ、水中共存物濃度が高い場合には $\gamma = 0.5 \sim 0.65$ とし、低い場合には $\gamma = 1$ とすればよいと思われる。

3-3 連続式収着-脱着実験 実験結果

一例を図3（破過曲線）、図4（脱着曲線）に示す。図3にはガスの混合を示すために N_2 ガスの破過曲線も併せて示す。実験精度については検討の余地があるが、両曲線には大きなヒステリシスはなく、収着量と脱着量は等しく、収着量から計算される分配係数は回分式収着平衡実験による分配係数とほぼ等しい。

ガスの流れを押出流れとしてTCEの濃度変化を示すモデル式を導出すると、

$$\frac{\partial \bar{C}_G}{\partial \tau} = \frac{\partial \bar{C}_G}{\partial \xi} - (1 - \varepsilon) / \varepsilon \times \rho_{sw} \beta K_p' (\bar{C}_G - \bar{S}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \bar{S}}{\partial \tau} = \beta (\bar{C}_G - \bar{S}) \quad (4)$$

ここで、 $\bar{C}_G$ ：無次元気相中TCE濃度

（ $\equiv C_G / C_G^0$ ）、 $\bar{S}$ ：無次元固相中TCE濃度

（ $\equiv S / (K_p' C_G^0)$ ）、 $\beta \equiv$

$K_{GS} a_s L / u$ 、 τ ：無次元時間（ $\equiv u t$

$/ L$ ）、 ξ ：無次元距離（ $\equiv z / L$ ）、 $K_{GS} a_s$ ：物質移動容量係数 $[h^{-1}]$ 、 ε ：気相率 $[-]$ 、 ρ_{sw} ：湿固体密度 $[g/cm^3]$ 、 L ：廃棄物充填長さ $[cm]$ 、 u ：ガスの間隙流速 $[cm/h]$ 、 t ：時間 $[h]$ 、 z ：流れ方向距離 $[cm]$ 、 C_G^0 ：入口の気相中TCE濃度 $[\mu g/L]$ である。上式において、パラメータ β のみが未知であるので、 β を変えて破過曲線を計算した。その結果を図3に線で示す。これから、 $K_{GS} \cdot a_s$ を求めると約 $0.8 h^{-1}$ となった。

本研究は文部省科学研究補助金を受けている。

引用文献（1）例えば、Gretchen V. Sabel and Thomas P. Clark; Was. Mangt. & Res., 2, 119/130 (1984) （2）李、田中、神山；衛生工学研究論文集、25、15/20 (1989) （3）李、田中、神山；水質汚濁研究に投稿中

表-1 K_p' と w の関係(20°C)

収着剤	K_p (cm^3/g)	含水率 w (%)	K_p' (cm^3/g)		補正係数 γ	
			実験値	計算値	実験値	平均値*
埋立焼却灰 < 0.5mm	35.0	1.8	188.0	-	(1.794)	0.977
		11.2	154.5	-	(1.631)	
		19.2	81.2	86.2	0.942	
		21.6	84.7	83.7	1.012	
破砕ごみ < 0.5mm	11.0	0.1	27.9	-	(0.833)	0.648
		1.2	20.6	21.5	0.621	
		11.9	18.6	19.1	0.629	
		20.0	19.3	17.4	0.719	
		21.8	16.3	17.0	0.621	
焼却灰A < 0.5mm	17.0	0.06	27.7	27.1	(0.535)	0.523
		11.7	25.2	23.9	0.551	
		18.8	20.8	22.0	0.494	
		21.2	21.4	21.4	0.524	
焼却灰B < 0.5mm	11.4	0.6	29.0	-	(0.840)	0.635
		5.3	20.0	20.9	0.608	
		10.2	18.4	19.8	0.589	
		17.1	19.8	18.3	0.687	
		23.7	17.4	16.8	0.656	

*：左らんの()値を除いた平均値

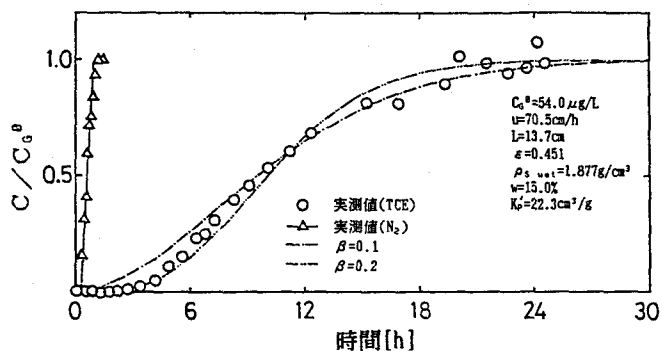


図-3 破過曲線（破砕ごみ）及びシミュレーション結果

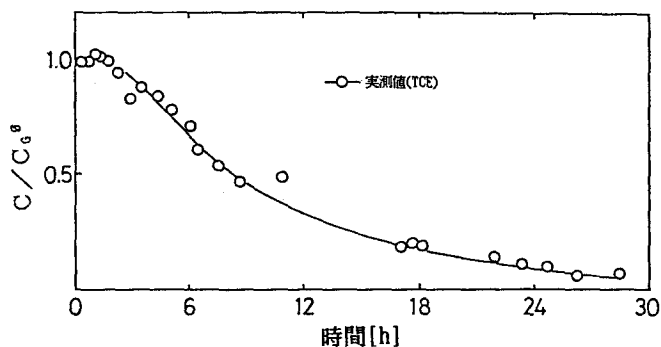


図-4 脱着曲線（破砕ごみ）