

## 有機塩素化合物汚染地盤での自然減衰について

鹿島建設(株) 正 伊藤圭二郎 正 河合 達司 正 川端 淳一

### 1. はじめに

トリクロロエチレン（以下 TCE）などの有機塩素化合物の自然減衰においては、脱塩素反応の反応速度について検討することが重要である。本稿では、2 サイトでの汚染調査データにおける TCE 濃度とジクロロエチレン（以下 DCE）濃度から自然地盤での分解速度を評価し、同時に脱塩素反応の進行を裏付けるデータとして水質分析も行った結果について紹介する。

### 2. 自然減衰の反応経路及び解析とサイト概要

嫌気的な自然地盤における TCE の分解は微生物的反応が卓越しているとされ、TCE から順に塩素が水素に置換され、最終的にはビニルクロライド（以下 VC）へ分解され、さらに VC がメタン、二酸化炭素などに分解されることが知られている<sup>1)</sup>。このため自然減衰の解析では移流分散に加えて分解を考慮する必要があり、ここでは分解も考慮可能な BIOCHLOR Ver.2.2<sup>2)</sup> を用いて解析を行った。解析での縦分散長、縦横分散長比の値については過去のモニタリングデータ<sup>3)</sup>や実験<sup>4)</sup>を参考にそれぞれ 3m 及び 1/25

を用い、透水係数・動水勾配・有機炭素含有量については地盤調査から求めた表 - 1 に示す数値を用いた。なお、自然減衰の評価を行った 2 サイトについては、敷地内の数本の観測井での測定結果から表 - 1 に併記した酸化還元電位・溶存酸素・pH の数値が得られている。

表 - 1 TCE汚染サイトの状況

	Aサイト	Bサイト
汚染物質	TCE	
確認された分解生成物	DCE, VC	
透水係数 (cm/s)	$5.0 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-3}$
動水勾配 (-)	1/300	1/500
帯水層厚さ (m)	5	4
酸化還元電位 (mV)	73 ~ 356	-165 ~ 48
溶存酸素濃度 (mg/L)	1.83 ~ 2.01	0.36 ~ 0.41
pH (-)	7.3 ~ 8.7	7.7 ~ 10.5
土壌の有機炭素含有量比 (%)	0.038	0.85

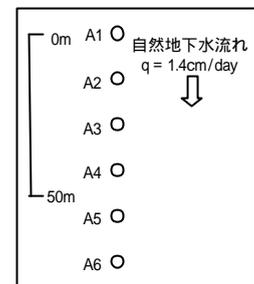


図 - 1 Aサイトでの地下水濃度測定位置

### 3. 分解による半減期の評価と水質分析結果

#### 3.1 Aサイト

Aサイトでの汚染調査時の地下水濃度測定位置を図 - 1 に示す。図 - 1 のように数 mg/L の TCE 濃度が検出されている A1 から地下水下流側にほぼ 14m 間隔でボーリングによる地下水採水を行い、TCE, DCE の地下水中の濃度を測定した。また、TCE 汚染源付近での揚水を約 3 年間行った後ではあるが、同一敷地内で過去に TCE 濃度が数 mg/L 程度であった別の観測井 AM1 と AM2、及びこれらの汚染範囲から離れている観測井 AM3 で、水質分析を行った。

A1 ~ A6 での TCE 濃度分析結果を、最上流側の A1 からの距離で整理して図 - 2 に示す。同図には、TCE から DCE への分解速度を実測値と合うように設定した半減期 0.7 年での解析結果も示す。同様に、DCE 濃度分析結果及び実測値と合うように設定した TCE 半減期 0.7 年かつ DCE 半減期 0.3 年での解析結果を図 - 3 示す。両図とも分析結果と解析結果はほぼ一致する傾向

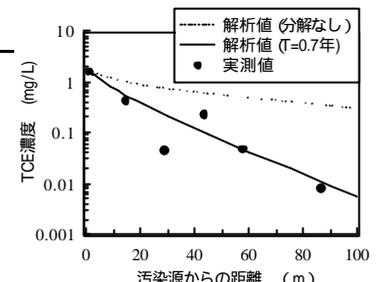


図 - 2 AサイトでのTCE濃度実測値と解析値

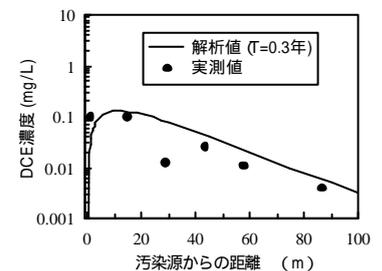


図 - 3 AサイトでのDCE濃度実測値と解析値

がみられ、調査範囲の地盤中においてある程度一定の速度で自然地盤での分解が生じてきたものと考えられる。DCE の方が TCE より半減期が短いことについては、DCE から VC への脱塩素反応以外に DCE が嫌気的に酸化されて二酸化炭素に分解される反応等の脱塩素反応以外の分解が生じていた可能性が考えられる<sup>5)</sup>。

次に、A・B 両サイトでの水質分析結果を表 - 2 に示す。過去に TCE が数 mg/L であった履歴のある AM1 においては、TCE は認められず、分解生成物である DCE・VC のみが検出され、揚水により汚染原因物質の

キーワード

自然減衰, 有機塩素化合物汚染, 反応速度, 分解生成物

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL0424-89-7730

供給が断たれたため、TCE の供給のない状態で分解が進行した傾向が現れている。さらに、AM1 ではメタンも生成していることから、当該地盤では VC 等の有害な副生成物が蓄積せ

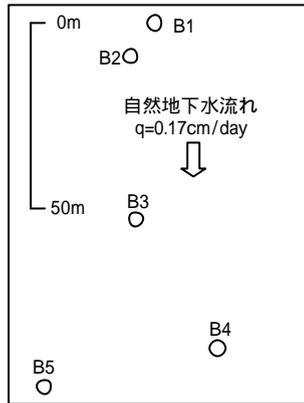


図 - 4 Bサイトでの地下水濃度測定位置

ずにメタンまで分解が進むことも推測された。TCE の分解生成物である DCE 類の中では cisDCE 以外は検出限界以下となっている。

### 3.2 Bサイト

Bサイトでの地下水濃度測定観測井配置を図 - 4 に示す。100mg/L を超える TCE 濃度が検出されている B1 から地下水下流側約 100m の B5 まで 5 本の観測井で数回地下水中の TCE・cisDCE 濃度分析を行い、また A サイトと同様に TCE 濃度の高い観測井 BM1 と BM2、及び汚染範囲から比較的離れた観測井 BM3 で水質分析を行った。

A サイトと同様に分析結果（約 1 年で数回行ったものの平均値）を B1 からの距離で整理して、図 - 5 及び図 - 6 に示す。両図中に併記した解析結果は A サイトと同様に実測値と合うように半減期を TCE と DCE 共に 0.9 年とした場合のものである。半減期 0.9 年での解析によりほぼ説明できる結果となっており、A サイトと同様に汚染範囲内である程度一定の速度で自然地盤での分解が生じていたと考えられる。

表 - 2 に示した水質分析結果によれば、高 TCE 濃度の井戸 BM1、BM2 の塩化物イオン濃度は BM3 と比較して高く、BM1、BM2 付近では TCE から DCE への脱塩素反応も数 10mg/L オーダーで生じていることから、脱塩素反応により生成した塩化物イオンによるものであると考えられた。A サイトでは塩化物イオン濃度が高い傾向はなかったが、B サイトは TCE 濃度レベルが非常に高いためバックグラウンド（BM3）濃度に対して B サイトのみで塩化物イオン濃度が高い傾向が現れたものと考えられる。DCE 類については A サイトと同様に cisDCE が卓越している傾向が確認され、TCE の脱塩素反応により cisDCE が生成する割合が高いことが確認された。

### 4. まとめ

初期の汚染調査結果から汚染原因物質とその分解生成物を把握できれば、汚染調査までの地下水流向や流速の履歴などの不確定要素は残るものの、ある程度自然減衰による分解速度も推定できると考えられる。今回は TCE と DCE の分解速度の検討のみであったが、同様の手法により地下水の流れに沿って毒性の高い VC 濃度なども測定すれば、無害化されるまでの分解速度について検討することができるものと考えられる。

### 参考文献

- 1) 微生物の利用大展開：エヌ・ティー・エス、pp.829-830、2002。2) Aziz, C.E., et.al. (2000) : BIOCHLOR Natural Attenuation Decision Support System User's Manual Version 1.0, EPA/600/R-00/008.3) W. キンツェルバッハ（上田年比古監訳）：パソコンによる地下水解析，森北出版，pp.169-171，1990。4) 小橋秀俊ほか：大型土槽実験に基づく汚染物質挙動の数値シミュレーションについて，第 3 回環境地盤工学シンポジウム，pp.211-214，1999。5) Brady, P.M., etc. :Anaerobic Oxidation of [1,2-<sup>14</sup>C]Dichloroethene under Mn( )-Reducing Conditions, Applied and Environmental Microbiology, pp.1560-1562, 1998.

表 - 2 A・Bサイト観測井での水質分析結果

測定項目	単位	Aサイト			Bサイト		
		AM1	AM2	AM3	BM1	BM2	BM3
PCE	( mg/L )	< 0.001	0.011	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
TCE	( mg/L )	< 0.001	0.027	< 0.001	25.8	9.94	0.067
cisDCE	( mg/L )	0.021	0.005	< 0.001	16.3	62.7	0.088
transDCE	( mg/L )	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.057	0.185	0.001
1,1-DCE	( mg/L )	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
VC	( mg/L )	0.12	< 0.001	< 0.001	0.111	1.36	0.02
クロロエタン	( mg/L )	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
エチレン	( mg/L )	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.1	< 0.1	< 0.1
メタン	( mg/L )	2.2	< 0.001	< 0.001	< 0.1	< 0.1	0.2
Cl <sup>-</sup>	( mg/L )	15	21	17	41	39	8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	( mg/L )	11.7	< 1.0	< 1.0	108	464	16.8
Fe <sup>2+</sup>	( mg/L )	0.47	< 0.05	< 0.05	0.5	< 0.1	0.2
Fe <sup>3+</sup>	( mg/L )	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.1	< 0.1	< 0.1
溶解性Mn	( mg/L )	1.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.06	< 0.05

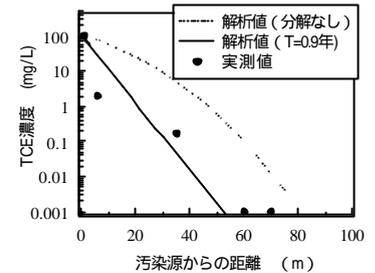


図 - 5 BサイトでのTCE濃度実測値と解析値

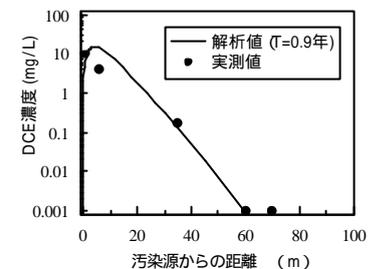


図 - 6 BサイトでのDCE濃度実測値と解析値