

汚染対策 ◆ VOC

VOCおよび油系汚染物質の 汚染対策工法の概要

大澤武彦 ● (株)アイ・エス・ソリューション

汚染の形態、汚染物質の 性質と対策技術

土壌汚染は蓄積性の汚染で、汚染状態を改善する対策法の選定には、汚染物質の化学的性質や汚染物質が土壌に存在するのか、地下水中に存在するのかを知らなければならない。トリクロロエチレンに代表される揮発性有機化合物（以下、VOCという）は化合物自体の比重が大きく粘性が小さい、土壌の吸着性が小さい、そのうえ揮発性が高い性質のため、土壌に侵入したVOCは土粒子の空隙にガスとして存在するほか、比重の大きい液状のVOCは間隙を抜け、やがては地下水に入り地下水汚染を生じる（図1¹⁾）。したがって、地下水汚染が判明した場合には、土壌汚染が必ず付随するということがある。このVOC汚染に有効な対策には大きく3通りの方策がある。1番目は土壌中のVOCを原位置で土壌空隙中のガス状のVOCを吸引・分離する、あるいは揚水した地下水よりVOCを分離する方法である。2番目は原位置で直接VOCを分解する方法で、土壌中の微生物を利用するバイオレメディエーション技術、あるいは土壌・地下水中に酸化剤あるいは還元剤を注入して分解させる化学的酸化・還元分解技術がある。3番目の方法は、VOC汚染土壌を掘削して、

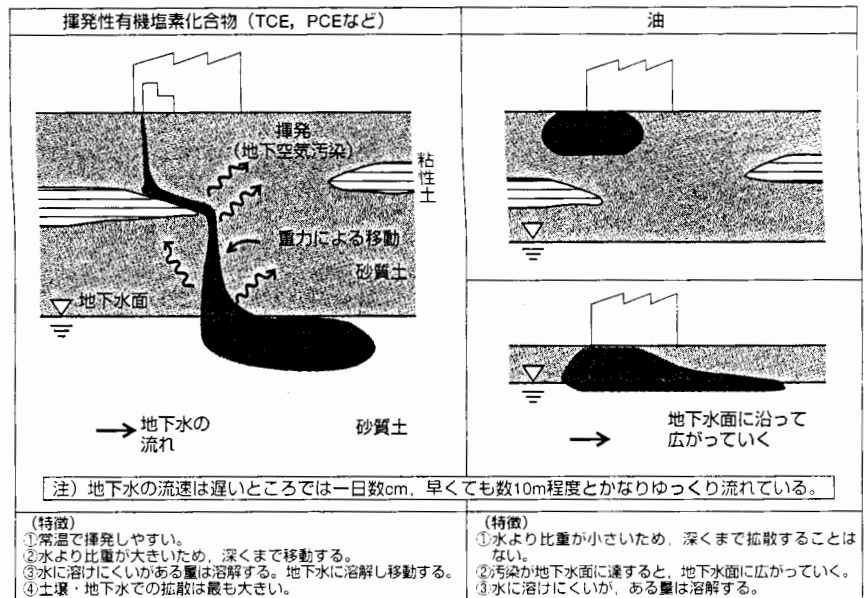


図1 地盤汚染模式図

地上で加熱装置あるいは生石灰を土壌に混合し、その反応熱でVOCを土壌より分離する、その他に鉄粉などの還元剤と混合し、VOCを脱塩素分解する技術である。

燃料油や潤滑油などの石油系油分は比較的粘性が高く、土壌に吸着しやすい性質があるので、土壌中に侵入した場合も広く拡散せず、土壌中に留まっていることが多い（図1¹⁾）。油分汚染土壌の対策には、焼却・分解、洗浄による分離、微生物による分解がある。

対策技術の適用性

対策技術は、上述したことに基

く選定のほかに、「土壌汚染対策法」を考慮した選定および対象地のスペース、あるいは建屋の直下の汚染など対象地の条件、あるいは対策後の土地を住宅地として利用するかなどの土地利用計画を考慮した選定が必要となる場合がある。

本年2月より施行された「土壌汚染対策法」では有害物質を扱っていた事業場を閉鎖し、土地を用途転用する場合には、土壌汚染の調査が義務付けられ、汚染が判明した場合、指定地域（汚染した土地）として登録・公告される。この登録が解除されるには、対象とする土地の土壌中の汚染物質の含有量・溶出量の両方が指定基準以下となっていなければ

表1 土壤汚染対策技術一覧

浄化技術の分類と概要			土壌・地下水適用性		対象汚染物質の適用性			サイト条件からの適用性	
原理	名称	概要	土壌	地下水	揮発性有機化合物	油	重金属	原位置浄化	掘削浄化
遮断・遮水	隔離封じ込め	コンクリート槽へ封じ込め、遮水	○	×	×	○	○	○	○
	原位置封じ込め	地盤汚染部分を鋼矢板・鉄筋コンクリート壁により遮水	○	×	×	○	○	○	○
		地盤汚染部分をモルタル連続壁により遮水	○	×	×	○	○	○	○
固化・不溶化	固化	セメントなどによる原位置あるいは掘削土壌を攪拌固化	○	×	×	△	○	○	○
	化学的不溶化	水に不溶性の物質へ変換（酸化・還元反応利用）	○	×	×	×	○	○	○
熱分解・固化	熔融固化	熔融スラグ化による汚染物質揮散と固形化	○	×	○	○	○	○	○
	ガラス固化	原位置あるいは掘削土壌での電極による熔融ガラス固化	○	×	○	○	○	○	○
分解	焼却	ロータリーキルンなどによる焼却・揮散	○	×	○	○	○	○	○
	化学的酸化・還元	過マンガン酸カリ（酸化）または鉄粉（還元）などによる分解	△	○	○	○	×	○	○
	バイオレメディエーション	微生物による分解（土着微生物を活性化、特定微生物添加）	○	○	○	○	×	○	○
	透過性浄化壁	地下に構築した鉄粉を含む浄化壁、杭により脱塩素	×	○	○	×	×	○	○
分離・除去	土壌掘削除去	汚染土壌の除去、敷地外での最終処分、セメント原料へ利用	○	×	○	○	○	○	○
	地下水揚水・水処理	汚染地下水を揚水、汚染物質に適した水処理で除去	×	○	○	○	○	○	○
	土壌洗浄	掘削汚染土壌を酸、界面活性剤などにより洗浄	○	×	×	○	○	○	○
	土壌洗浄・浮上	土壌洗浄後、遊離物を浮上除去	○	×	×	○	○	○	○
	原位置地盤洗浄	原位置で水注入・揚水により洗浄	○	×	△	○	○	○	○
	加熱吸引	生石灰、アルミの酸化反応熱による揮発性物質の抽出	○	×	○	△	×	○	○
	土壌ガス吸引	地盤中のガスを真空吸引し、汚染ガスを抽出・吸着・放出	○	×	○	△	×	○	○

ならないとされている。

現在、実績のある土壤汚染対策技術を表1¹⁾に示す。VOCに汚染された土地を指定地域指定から解除される対策技術とは、いわゆる浄化技術といわれる分解および分離・除去原理に属する技術で、その他に土壌掘削除去技術がある。

本項の後頁で主要な浄化技術を紹介する。

VOC汚染対策の実施上の課題

VOC汚染は早くから顕在化し、土壌ガス吸引、揚水・水処理法を中心に対策が講じられてきた。この2件の技術は間接的に土壌・地下水よりVOCを分離・除去するために、浄化が完了するのに長期を要することが多い。事前の調査を充実させることはすべての汚染対策技術を適用するに際しての共通の課題ではあるが、原位置対策技術には水文・地質調査の充実は大きな課題である。

最近、短期に対策を完了させる技

術として、地下水中に酸化剤を注入してVOCを分解することが行われているが、未反応酸化剤の敷地外への流出を防止することに留意しなければならない。本法は原位置対策技術で、早期に対策が完了する技術であり、今後適用が期待される。

土壌微生物を利用してVOCを脱塩素分解する技術を適用する場合には、分解過程で毒性の高いVOC、例えば、塩化ビニルモノマーが副生し、残存しないような微生物管理およびモニタリングが必要である。

石油系物質汚染対策の実施上の課題

燃料油や潤滑油などは多くの工場、事業場で使用されていることより、タンク・配管からの漏出、不適切な廃棄などにより土壌が汚染されていることは想像に難くない。現在、石油系物質に対し油分として環境基準は定められていないが、土地取引の場合には、油臭がする、油膜が生じるなどの土壌は生活環境上好まし

くないことから対策が講じられたことが多い。

汚染土量が少ない場合には、焼却処分されることがあるが、汚染が軽度で微生物が分解できる油分でかつ土量が多く、掘削土を仮置きできるスペースがある場合には、バイオレメディエーションが採用されることがある。

本法は土着の微生物を利用するためコストがかからない反面、分解に時間がかかる、冬季の低温時には分解が低下するという技術の特性がある。本法を採用するにあたっては、十分なバイオトリータビリティテスト（分解性評価試験）をしなければならない。本法が適用できるのは油分が多くて5%程度以下の土壌である。5%以上の高油分汚染土壌では本法の前段で、あらかじめ界面活性剤などで洗浄をして油分含有量を減じる。この場合には廃水処理が必要となる。

バイオレメディエーションはコストが安く、環境にやさしい技術であ

表2 バイオレメディエーションの適用性

	一次プロセス					二次プロセス			
	自浄作用	ランド ファームिंग	バイオ ベンディング	スパージング	栄養塩等薬液 注入法	土壌 リアクター	スラリー リアクター	液相 リアクター	気相 リアクター
不飽和帯 ・表層 (60cm以下) ・60cm以深	M M	H NA	L-H H	L M-H	NA NA	H H-M	H H-M	NA NA	NA H
飽和帯(帯水層) ・溶解 (60cm以下) ・NAPLS(残留)	M L	NA NA	NA NA	H M	H M-H	NA NA	NA NA	H H	NA NA
透水性 ・ 10^{-4} cm/sec以上 ・ 10^{-4} cm/sec以下	M L	H M	H M	H L-M	H L	H M	L M	NA NA	NA NA
有機物含有量 ・低含有量 ・高含有量	NA NA	H M	H M	H M	H L	H M	H M	H H	H H
二次処理に対する 要求事項	不要または 揚水処理	不要	排出ガス	必要に応じ、 排出ガス、 揚水処理	回収水	排出ガス	廃水 排出ガス	排出ガス	NA
コスト ・イニシャルコスト ・ランニングコスト (モニタリング、管理)	L M-H	L M	L L-M	M L-M	H H	M L	M-L H	L-M L-M	M L
浄化時間	遅い	中/速	中	中/速	遅い	中	速	速	速
技術選定に当たっての 主要検討事項	酸素の浸透 性、規則	揮発性、サイト への接近の しやすさ、 スペース	地下水位まで の深さ、 透水性	透水性と不均 一性、地下水 位までの深さ	透水性、鉄、 カルシウム、 マグネシウム、 酸素要求量	透水性、 土の搬出入性	処理量、 揮発物	濃度操作と モニタリング コスト	処理ガス量、 処理速度

凡例: VL, 非常に低, 小 L, 低, 小 M, 中 H, 大, 速い NA, 不適 NAPLS, 非水溶性液体

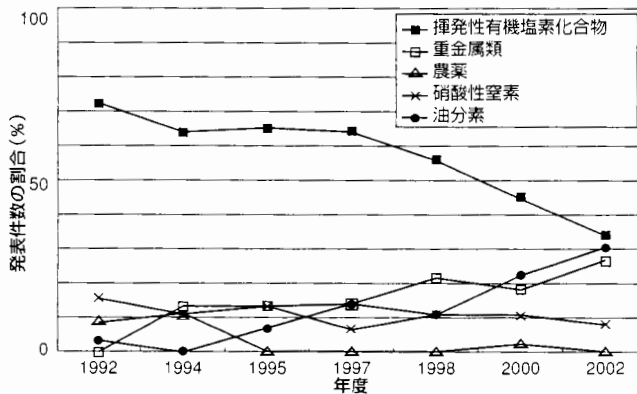


図2 VOC関連の研究目的別発表件数割合の年度推移

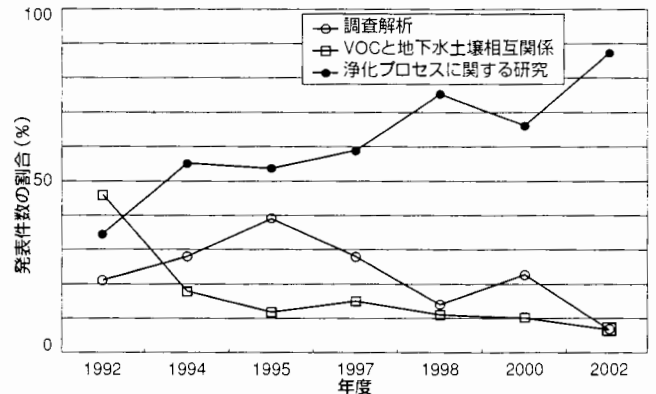


図3 汚染物質ごとの発表件数割合の年度推移

り、欧米では種々の方法が開発されている。それらの適用性を表2にまとめた。

将来、多環芳香族炭化水素化合物(発ガン性を示す化合物もあり、米国では16種の化合物が規制対象とされている。略してPAHsという)が環境基準に加わることになれば、バイオレメディエーションはより適用性の高い技術として普及すると思われる。

米国では、PAHsに汚染された土壌に対して、バイオレメディエーションが適用されることが最も多く、BTEX(ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン)汚染土壌に適用されることも多い。

研究開発動向

土壌汚染関連研究の動向を「地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会」の発表テーマから見ることにする。「地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会」とは土壌・地下水汚染とその対策に特化した研究発表会で、1991年に第1回が開催され、第8回が2002年に開催されている。

汚染物質から見た研究動向

VOCに関する研究が最も多く、1997年までは発表の大半を占めていたが、1997年以降年々発表件数は減り、その発表件数の割合(%)は2002年ではVOC、重金属および油分

がほぼ拮抗している。

今後は、油分および重金属に関する研究が増加することが予想される(図2)。

VOC関連研究の動向

VOC関連研究発表における研究の目的別の年度推移(図3)を見ると、調査解析およびVOCと地下水・土壌との相互関係に関する基礎的な研究は減少傾向にある。

現在、研究の主流はVOCの浄化プロセスに関する研究にシフトしている。

油分関連研究の動向

油分関連の研究は上述の研究集会の発表に見る限り、研究は潜在化していたのであろうが、VOCに比べ発表され始めた時期は遅く、1995年以

表3 VOC浄化技術研究の年度毎発表件数

年度	土壤ガス吸引	揚水曝気	スバージング	土壌化学反応加熱	低圧加熱	ガラス固化	紫外線酸化	化学酸化	化学還元	電気化学	光媒介	鉄粉還元	バイオ	HRC・ORC	MNA	オフガス処理	地中壁(透水)	浄化壁	その他	合計
1992	1	1					1				1		4							8
1994	2	1			1		2	1	1				6		2					16
1995	6	1	1		1		5	1		1			5					1		22
1997	3	2	1		1	1	5			1		1	1		2	2	1			21
1998	5	2	2				4					4	8		1		1			27
2000	4	0	3	1			1	2		1	1	4	5		1	1	2			26
2002	0	0	1		1			1				4	6	3	5	2	1	3	1	28

表4 油分浄化技術研究の年度毎発表件数

年度	発表件数	調査・解析・分析	対策検討	バイオレメディエーション				洗浄			UV		MNA	電気化学・バイオ	処理士の評価プロセス管理
				スクリーニング	ソイルパイル	バイオベンディング	バイオスパーシング	洗浄	洗浄・バイオ	洗浄・浮上	UV	UV・バイオ			
1992	1		1												
1994	0														
1995	5	2		1					2						
1997	8	1		1	1				3	1	1				
1998	6	2			1				2		1				
2000	19	3			7			2	2	2	1	1			1
2002	28	7		2	8	2			2	1		1	1	1	3

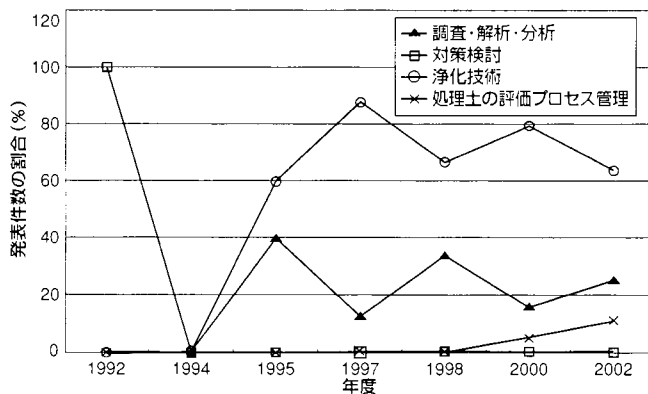


図4 油関連の研究目的別発表件数割合の年度推移

降である(図4)。これは油分が環境基準に定められていないこと、それに引き換え1991年にはVOCが環境基準に新たに加えられたこと、また1991年以降VOC汚染が各地で判明しだし、VOC対策の緊急性が認識されたことによるのであろう。

油分は土地取引において浄化の対象となることが多く、油分関連研究は今後多くなると思われ、浄化技術に関する研究が主流となることであろう。

浄化技術の開発の動向

浄化技術の開発が活性化するトレンドがうかがえ、開発のターゲットをVOCおよび油分について下記に述べる。

1) VOC浄化技術の開発動向

現在まで、最も適用実績のある土壤ガス吸引法および揚水・水処理に関する研究は一段落した感がある。バイオレメディエーションに関する研究は毎回多くの発表がなされている。

表3からでは読みとれないが、発表の多くは、技術開発のベースとなる微生物のスクリーニングや分解性に関わるものが多い。

研究集会の発表(表3)でいえば、浄化技術研究の主流は、化学的原理をベースとする化学酸化法、鉄粉還元法、バイオレメディエーション、HRC(水素徐放性物質)・ORC(酸素徐放性物質)添加法(土壤微生物がVOC分解するのに必要とする酸素、水素を発生させる薬剤を地下水中に

添加する方法)および透過性浄化壁であろう。

浄化技術としてオーソライズされていないが、監視をしながら自然の浄化機能を活用するMNA(Monitored Natural Attenuation)の発表がされていることは、将来のVOC浄化技術の新メニューを予感させるものである。米国ではすでに市民権を得た技術として採用されている³⁾。

2) 油分浄化技術の開発動向

油分に関する浄化技術開発は、1995年以降技術開発が顕在化している(表4)。開発技術としてはバイオレメディエーションが主流であり、土壤洗浄とバイオあるいは浮上法との組合せ技術も開発されている。

(おおさわ たけひこ)

【引用文献】

- 1) 大澤武彦：汚染地盤の浄化対策技術，高分子学会，高分子材料と加工研究会講演会，平成15年2月27日
- 2) 大澤武彦：微生物を利用した土壤汚染浄化技術について，INDUST. Vol.14, No.1, 1999年
- 3) 「Treatmet Technologies for Site Cleanup : Annual Status Report (Tenth Edition)」 EPA-542-R-01-004, February, 2001, p-32,