

〔報告〕

VOC 土壤汚染地における原位置浄化法の適用性調査

吉川 光英 藤波 浩美* 執行 響子* 高橋 明宏

(*非常勤研究員)

1 はじめに

現在の土壤汚染対策では、指定区域解除を目的とする場合、大半が掘削除去による措置を選択している。しかし、この方法は原位置浄化工法と比較してコストが高いため事業者への負担が大きく、都内で発生する中小事業者の工場跡地等における土壤汚染対策の円滑な実施を阻害していると考えられる。また、搬出に伴う汚染土壌の拡散やCO₂排出量の増加、搬出汚染土壌の不適切な処理といった問題も顕在化してきている¹⁾。このような背景から、低コストで汚染土壌を拡散する懸念の少ない原位置浄化法の普及が期待されているが、採用事例が少なく効果の検証が十分行われているとはいえない。また、対象とする地盤の構成成分や地層の不均一性などによりその浄化効果が変化するため、浄化措置期間の予測が難しいといった課題もある。そこで、本調査ではVOC土壤汚染の原位置浄化法として、エアースパーキングと土壤ガス吸引法を組み合わせた原位置抽出法と酸化分解反応を利用した原位置分解法の2つの浄化技術について、それらの対策効果や措置期間予測および土壌・地下水中のVOCの移動等について知見を得るため、VOC実汚染サイトで実証試験を行ったので報告する。

2 方法

(1) エアースパーキングと土壤ガス吸引法

エアースパーキングは、スパーキング兼用土壤ガス吸引井戸（以下、スパーキング井戸）から空気を飽和帯（地下水中）に吹き込んで揮発性有機化合物（VOC）を揮散させ、不飽和帯（土壌中）でガスとして回収する技術である。一方、土壤ガス吸引法は、不飽和帯に設置した土壤ガス吸引井戸（以下、吸引井戸）から真空ポンプ、ブロアー等を使用して土壌中の空気（以下、土壌ガス）を吸引し、土壌ガス中に含まれるVOCを回収する手法である。実証試験では、これら両法を組み合わせた浄化法を採用した（図1）。

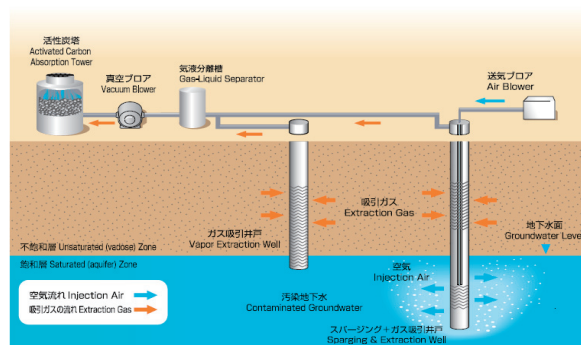


図1 エアースパーキング&土壌ガス吸引法の概要

ア 土壤汚染サイトの概況と浄化設備

土壤汚染サイトは、平成12年8月～平成20年2月に木材・木製品製造業の防腐・防蟻処理工程において、ジクロロメタンを188kg/日使用していた工場の敷地である。平成20年2月に行った土壤汚染対策法に基づく調査結果では、3区画でジクロロメタンの土壤溶出量が指定基準値を上回り指定区域となった。今回の実証試験では、この3区画を浄化対象エリアとし、浄化井戸の能力影響範囲を考慮して、図2に示すようにスパーキング井戸と吸引井戸を設置した。

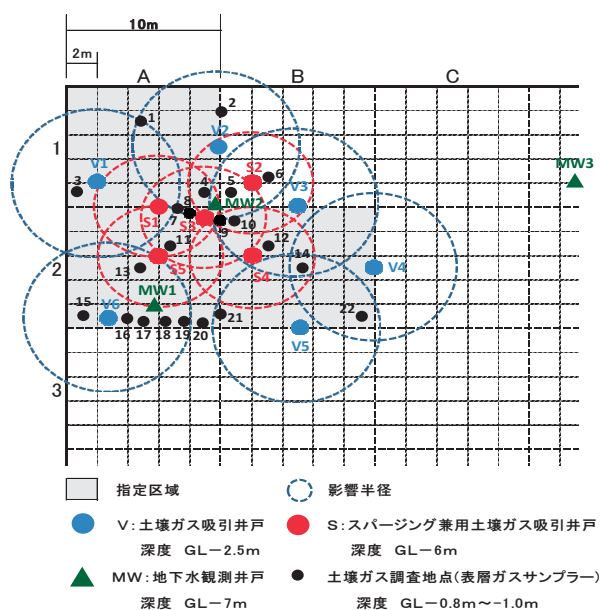


図2 浄化井戸配置と地下水・土壌ガス測定ポイント

イ モニタリング

22 箇所の表層ガスサンプラー（GL-0.8～-1.0m に設置）から採取した土壌ガスとスパージング井戸 5 箇所・吸引井戸 6 箇所から真空ブローで吸引されたガスおよび 4 箇所の地下水（MW4 は図 2 で MW3 から約 10m 右に設置）をモニタリングした。採取したガスサンプルは GC-PID、地下水サンプルは HSGC-MS でジクロロメタン濃度を測定した。また、浄化前後の土壌のボーリング調査を実施した。

(2) 酸化分解法（過酸化水素と第一鉄イオンの併用）

本法は、VOC で汚染された土壌中に、過酸化水素水（酸化剤）と第一鉄イオン溶液（触媒）を注入する。これらの薬剤は土壌中を移動拡散し、土壌に含まれる VOC と接することでこれを短時間で分解する。薬剤注入量は、事前に現場の土壌を用いてトリートビリティ試験を実施して決定した。

浄化対象地は、敷地面積約 40 m² の作業中のクリーニング店舗内である。ドライ洗浄にテトラクロロエチレンを使用し、平成 16 年 2 月の調査時に GL-0.5m で指定基準値をわずかに超えることが認められた。当該エリアに図 3 に示すように薬剤注入井戸を 4 箇所（IW-0,3,6,10）設置し、別途設置した土壌採取孔から検土杖で土壌を採取し、浄化確認のためのモニタリングとして公定法に準拠した溶出試験を行った。また、浄化試験前後のボーリング調査を実施した。

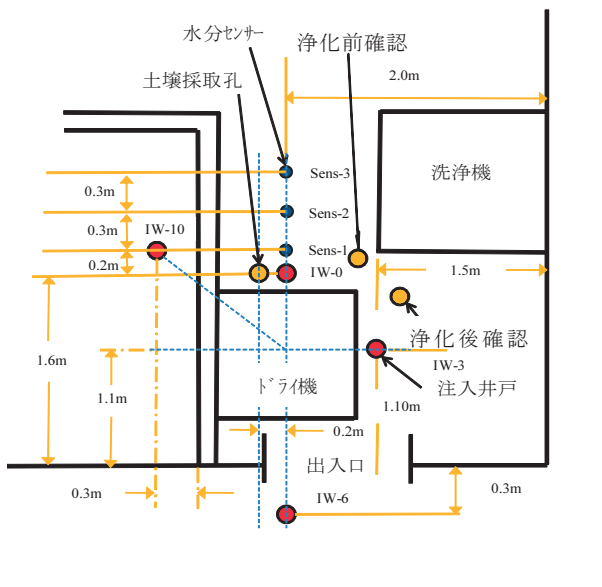


図3 浄化対象地の井戸設置状況

3 結果と考察

(1) エアースパージング&土壌ガス吸引法

スパージング井戸のガス濃度変化を図4に示す。ガス吸引開始直後、数時間でスパージング井戸のガス濃度は上昇をはじめた。その後（2日後）一度極小となり、再び（7日後）上昇に転じ、吸引開始後約1か月前後にピークを迎え、その後さらに約1か月かけて減少した。なお、吸引井戸のガス濃度もこれと同様の傾向を示した。これらの挙動は、ガス吸引開始後、最初に不飽和帯（土壌中）のジクロロメタンが抽出され、その後、スパージングの効果で深部の土壌や飽和帯（地下水）からジクロロメタンが気相に移行し、不飽和帯に滞留し始めたのち再び、ガス吸引により減少したと推定される。

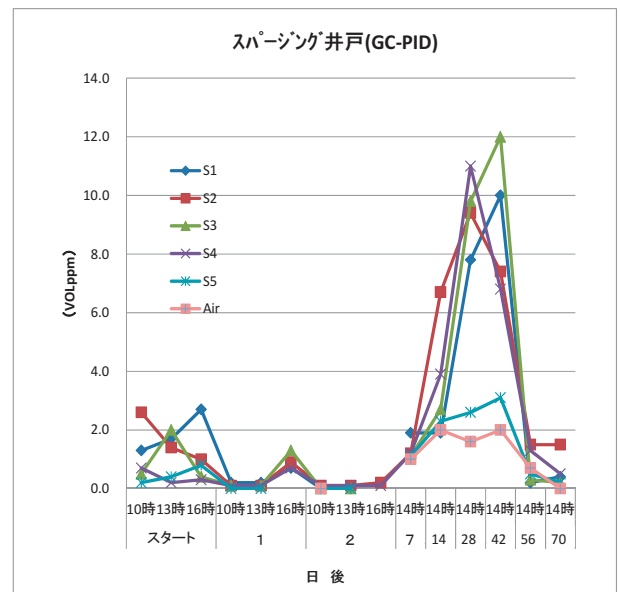


図4 スパージング井戸吸引ガス中ジクロロメタン濃度の変化

表層ガスサンプラーから採取した土壌ガスの濃度変化（図5）でも、スパージング井戸および吸引井戸の濃度変化とほぼ同期した推移が示された。ガス吸引開始後、不飽和帯のジクロロメタンが抽出され、8日後には測定点の約6割のポイントで0.1ppm以下になった。その後は、濃度上昇のピークを迎え、およそ2か月後には減少し収束している。この間のジクロロメタンの濃度変化は、最初に不飽和帯で真空抽出の効果が現れ、その後一定期間を経てスパージングの効果が顕著に表れたものとみることができる。スパージング効果でジクロロメタンの抽出が継続する間は、不飽和帯の土壌ガス濃度が一時的に高くなると考えられることから、今後も浄化の経過を把握するため、定期的

にジクロロメタン濃度を測定する必要がある。

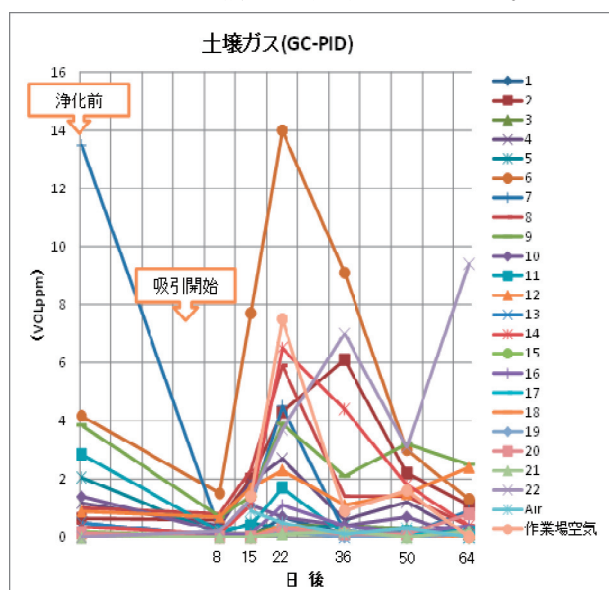


図5 土壌ガス中ジクロロメタン濃度の変化

スパージング井戸および吸引井戸から回収されたジクロロメタンの累計の推移を図6に示した。ジクロロメタンの回収量は、約2週目から4週目で急激に増加しており、その後は緩やかな増加傾向を示した。これは、土壌中の負圧伝搬状況や透気係数の変化によるものと考えられる。浄化措置期間の予測は、この累計回収量の変化量が極小になるポイントを求めることでおおよその推定が可能になるのではないかと考える。

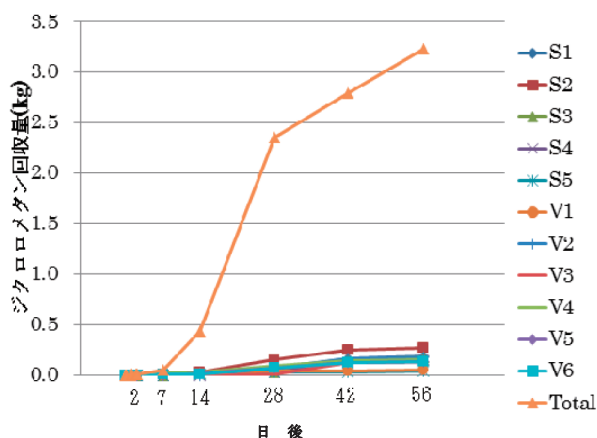


図6 ジクロロメタン回収量(累計)の推移

ボーリング調査は、2008年3月の事前調査当時の結果と本浄化実証試験直前に行った結果を表1および表2に示した。また、浄化開始から約2.5か月後に実施した確認ボーリングの結果を表3に示した。確認ボーリン

グは、図7に示すように2008年3月の調査で高濃度を示したA-2の近傍(C3)と浄化実証試験直前の調査スポット(S1~S5)の近傍で実施した。

2008年3月以降、浄化工事は実施されていないが、試験直前の調査では土壌溶出量基準を満足していた。この濃度変化の原因は不明である。確認ボーリングでは、C1の0.5mで基準値の約3倍の濃度が検出されたが、これはもともと、この地点の土粒子に吸着されていたものか、不飽和帯へ移動したものが再吸着されたかは不明であるが、このまま真空抽出を継続すれば浄化できるレベルであると考ええる。

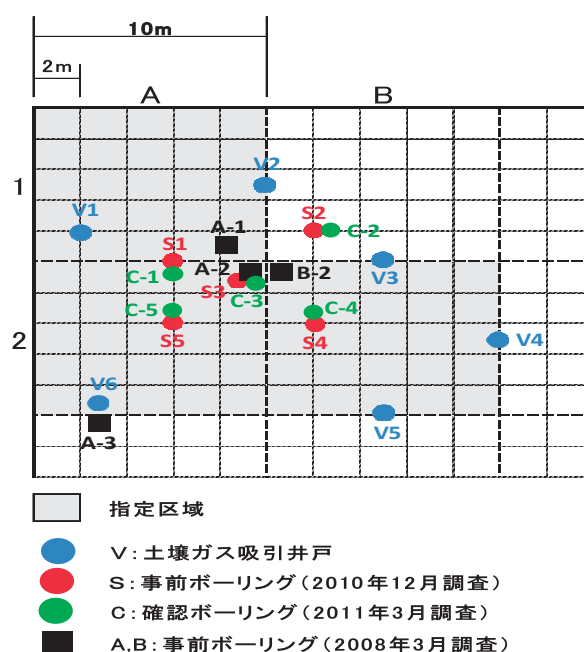


図7 ボーリング位置図

表1 土壌調査結果一覧(2008年3月調査)

項目	採取深度 (G.L.-m)	土壌溶出量試験 ジクロロメタン(mg/l)			
		調査地点			
試料名		A-1	A-2	A-3	B-2
表層	0	0.027	0.11	0.014	0.36
	0.5	0.029	0.064	0.015	0.20
1	1	0.019	0.26	0.012	N.D.
2	2	N.D.	0.031	0.002	0.004
3	3	N.D.	0.042	0.009	0.002
4	4	N.D.	0.073	N.D.	0.003
5	5	N.D.	0.068	N.D.	0.004
6	6	N.D.	0.097	N.D.	0.006
7	7	N.D.	N.D.	N.D.	0.002
8	8	N.D.	0.003	N.D.	N.D.
9	9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
10	10	N.D.	0.004	N.D.	N.D.
土壌溶出量基準		0.02			
定量下限値		0.002			

指定基準超過

表2 土壌調査結果一覧（事前ボーリング 2010 年 12 月調査）

項目		土壌溶出量試験 シクロロエチレン(mg/l)				
		調査地点				
試料名	採取深度 (G.L.-m)	S1	S2	S3	S4	S5
表層	0	0.002	0.007	0.003	0.004	0.013
0.5	0.5	0.011	0.007	0.002	0.003	N.D.
1	1	N.D.	0.005	N.D.	0.003	N.D.
2	2	0.004	0.003	0.002	0.002	N.D.
3	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4	4	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5	5	0.004	0.002	N.D.	N.D.	N.D.
6	6	N.D.	0.003	N.D.	0.002	N.D.
土壌溶出量基準		0.02				
定量下限値		0.002				

表3 土壌調査結果一覧（確認ボーリング 2011 年 3 月調査）

項目		土壌溶出量試験 シクロロエチレン(mg/l)				
		調査地点				
試料名	採取深度 (G.L.-m)	C1	C2	C3	C4	C5
表層	0	N.D.	0.020	0.002	0.004	N.D.
0.5	0.5	0.061	0.012	N.D.	0.003	N.D.
1	1	N.D.	0.003	N.D.	N.D.	N.D.
2	2	N.D.	N.D.	0.002	N.D.	0.002
3	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5	5	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.
6	6	N.D.	N.D.	0.003	N.D.	0.002
土壌溶出量基準		0.02				
定量下限値		0.002				

指定基準超過

地下水濃度は、浄化対策エリア内では、ほぼ一定であったが、対策エリア外では変化が見られた。今後の推移をモニタリングする必要がある。

(2) 酸化分解法

薬剤注入井戸 IW-0 から 20cm 離れた土壌採取孔（土壌浄化モニター）から検土杖を用いて土壌採取を行いテトラクロロエチレンの溶出量を測定した結果を図 9 に示した。1 回目の注入では薬剤が数か所から漏出し規定量には至らず、注入を中止したため、対策を講じた後、2 回目以降の濃度変化で評価を行った。土壌採取地点のわずかな違いによるバラつきがあるものと思われるが、全 5 回の注入により、汚染濃度は減少傾向にあり浄化効果は確認できた。しかし、表層部の GL-0.3m では土壌溶出量の指定基準を達成できなかった。

浄化前および浄化後の確認ボーリングでの土壌調査結果を表 4 及び表 5 に示す。土壌採取孔（土壌浄化モ

ニター）での測定結果同様、テトラクロロエチレン濃度の減少傾向は認められたが、指定基準を達成することはできなかった。

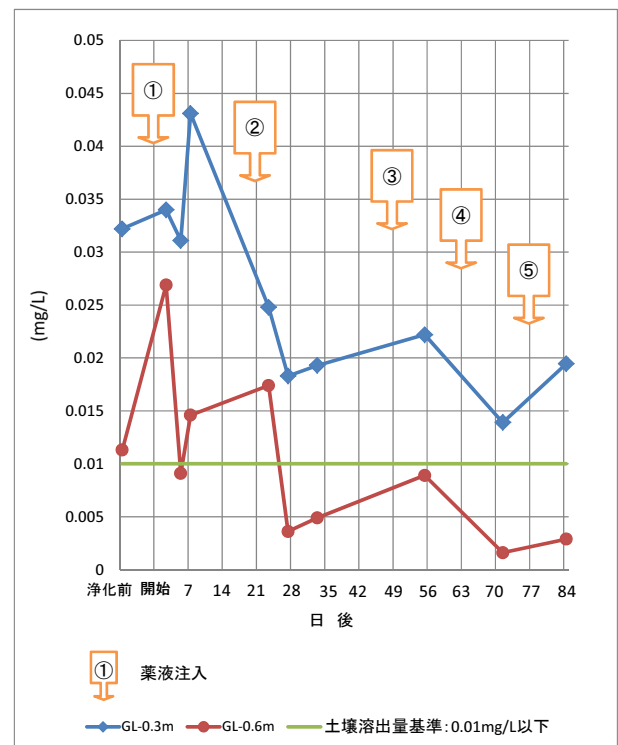


図9 土壌採取孔から採取した土壌中テトラクロエチレン

表4 浄化前土壌調査結果

採取深度(G.L.-m)	土質	土壌溶出量試験 テトラクロエチレン(mg/l)
0.10	埋土	0.038
0.35	埋土	0.047
0.50	黒ボク土	0.022
0.75	ローム	0.003
1.00	ローム	0.002
1.50	ローム	0.001
2.00	ローム	0.003
3.00	ローム	0.001
環境基準(mg/L)	0.01	

指定基準超過

表 5 浄化後土壌調査結果

採取深度(G.L.-m)	土質	土壌溶出量試験 トルクロヒレン(mg/l)
0.10	埋土	0.032
0.35	埋土	0.025
0.50	黒ボク土	0.021
0.75	ローム	0.006
1.00	ローム	0.002
1.50	ローム	0.003
2.00	ローム	0.002
3.00	ローム	0.002
環境基準(mg/L)	0.01	

 指定基準超過

4 まとめ

(1) エアースパージング&土壌ガス吸引法

土壌ガス、吸引井戸・スパージング井戸の吸引ガスモニタリングおよびボーリング調査を行った結果、本原位置浄化法による飽和帯、不飽和帯でのVOC汚染濃度の低減（対策効果）を確認した。しかし、濃度低下の範囲は本試験期間内では限定的であったことから、引き続き経過を把握する必要がある。

(2) 酸化分解法

土壌採取孔での土壌モニタリングから薬剤の段階的注入によるVOC汚染濃度の低減は確認できたが、浄化施工後の確認ボーリング調査では指定基準値を達成しなかった。この原因として、i)表層土壌への薬剤の浸透が十分ではなかった、ii)土壌中の有機分が多く、分解反応が十分ではなかった等の可能性が考えられる。

十分な効果を上げるためには、浄化前の事前調査として、薬剤の漏出が生じないよう対象地の地盤構成の状況を把握し対策を講じることや実汚染濃度を想定したトリータビリティ試験を実施して予め効果を検証することが必要であると考えられた。

参考文献

- 1) 土壌汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壌汚染対策法の施行について(環境省 環水大土発第 100305002 号)