

## 平成22年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査・対策技術検討調査 及びダイオキシン類汚染土壤浄化技術等確立調査実証試験結果

代表機関名		技術の名称	
大成基礎設計株式会社		VOC汚染土の強制浄化装置による浄化	
技術の概要			
調査／対策	技術の区分	実証試験の対象物質	実証試験の場所
対策	ガス吸引による分離除去	ジクロロメタン、トリクロエチレン、 テトラクロエチレン、ベンゼン	現場外

### (技術の原理)

ラミネート内張をしたフレキシブルコンテナに汚染土壤を詰め、汚染土壤にブロワーの熱によって昇温した空気を上方から通すことによって、土壤の温度の上昇、含水率の低下及び透気性の向上を起し、有害物質の揮発を促すと同時に、下方から空気を吸引することにより、土壤から揮発した第一種特定有害物質を活性炭を通して除去し、再度上方から空気を送って空気を循環させることにより、土壤を乾燥させながら有害物質を吸引除去する技術である。なお、汚染土壤の通気効率を上げるために、有孔管を使用する。

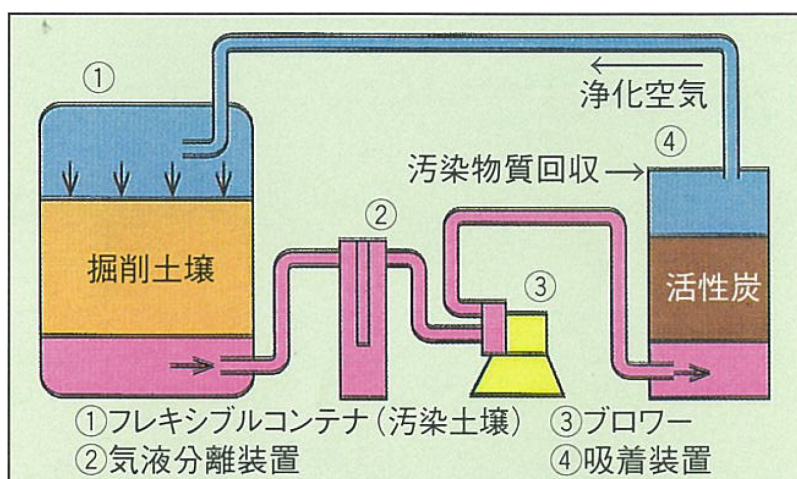


図1 強制浄化装置の概念図

### 技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方

本技術は、一般に装置の設置場所が限られ浄化が困難な狭隘地でのオンサイト浄化が可能である。汚染土壤を現場外へ持ち出さずに現場内で浄化を行い、浄化後に土壤を現地に埋め戻すことにより、運搬や場外処分に係るコストを削減することができる。装置は内部で空気を循環するクローズドシステムとなっており、周辺環境への影響は小さい。

### 調査結果の概要

#### (1) 実証調査方法

##### ①実証調査条件

有孔管の使用による汚染土壤の通気効率向上の成果を検証するため、同じ性状の土壤について、有孔管を設置した場合としない場合との2条件で実証試験を行った。

表1 実証試験条件

	ケース1	ケース2
処理土量	420kg	550kg
汚染濃度	ジクロロメタン 0.75mg/L トリクロロエチレン 0.71mg/L テトラクロロエチレン 0.17mg/L ベンゼン 0.021mg/L	同左
土質	礫混じり砂質細粒土 (細粒分 70%)	礫混じり砂質細粒土 (細粒分 69%)
有孔管の設置の有無	無	有
通風量	1.2~1.3 m <sup>3</sup> /min	1.2~1.3 m <sup>3</sup> /min

②モニタリング方法

本技術による汚染土壌の処理状況、及び本技術の施工に伴う周辺環境への影響を評価するため、表2及び図2に示す項目についてモニタリングを実施した。

表2 モニタリング項目一覧

測定対象	測定項目	分析方法	測定頻度	検体数	地点名	全検体数
汚染土壌の物理特性	土粒子の密度	JIS A 1202及びJSF T111「土粒子の密度試験」	2回	3検体/回	2上	6検体
	含水比	JIS A 1203及びJSF T121「含水比試験」			2中	6検体
	粒度	JIS A 1204及びJSF T131「粒度試験」			2下	6検体
	湿潤密度	JSF T191「湿潤密度試験」	2×2回	3検体/回		12検体
汚染土壌の化学特性	土壌汚染対策法で定められた全25種類の特有害物質	土壌溶出量調査に係る測定方法(平成15年環境省告示第18号)及び土壌含有量調査に係る測定方法(平成15年環境省告示第19号)	1回	3検体/回 1検体/回	試験前土壌 処理後土壌	3検体 1検体(処理後)
	全有機炭素(TOC)	JGS 0231-2000「土の有機炭素含有量試験」	1回	3検体/回	試験前土壌	3検体
	強熱減量(IL)	JSF T221「強熱減量試験」				3検体
装置内ガス(活性炭前)	対象汚染物質濃度	土壌ガス調査に係る測定方法(平成15年環境省告示第16号)	21回	1検体/回	G-OUT	42検体
		PIDカスモーター				42検体
	ガス流量	デジタル流速計				42検体
装置内ガス(活性炭後)	対象汚染物質濃度	土壌ガス調査に係る測定方法(平成15年環境省告示第16号)	21回	1検体/回	G-IN	42検体
		PIDカスモーター				42検体
試料土壌	対象汚染物質濃度(溶出量)	土壌溶出量調査に係る測定方法(平成15年環境省告示第18号)	3回	・試験開始時及び試験終了時：各9検体 ・試験中(試験開始から7.5時間後)：3検体	1上	42検体
	塩化ビニルモノマー(溶出量)	土壌の汚染に係る環境基準について(平成3年環境庁告示第46号)「付表2」に掲げる検液作成方法で検液を作成後、地下水の水質汚濁に係る環境基準について(平成9年環境庁告示第10号)「付表」に掲げる方法により分析			1中 1下 2上	42検体
	対象汚染物質濃度(溶出量)	簡易分析法(GC-PID法)	7回	・試験開始時及び試験終了時：各9検体 ・試験中：3検体	2中 2下	66検体
	対象汚染物質濃度(全含有量)	「底質調査方法」(平成13年、環境省水環境部水環境管理課)	2回	・試験開始時及び試験終了時：各9検体	3上	36検体
	塩化ビニルモノマー(全含有量)	「底質調査方法」(平成13年、環境省水環境部水環境管理課)により試験溶液を作成後、GC/MS法で分析			3中 3下	36検体
	温度	土壌水分・温度センサー	21回	1検体/回	s上	126検体
	水分	土壌水分・温度センサー	21回	1検体/回	s中	126検体
					s下	
		JIS A 1203「土の含水比試験方法」	7回	・試験開始時及び試験終了時：各9検体 ・試験中：3検体	1上、1中 1下 2上、2中 2下	66検体
	湿潤密度	JSF T191「湿潤密度試験」	2回	・試験開始時及び試験終了時：各9検体	3上、3中 3下	36検体

測定対象	測定項目	分析方法	測定頻度	検体数	地点名	全検体数
ドレン水	対象汚染物質濃度	揮発性有機化合物はJIS 0125「用水・排水中の揮発性有機化合物試験方法」	実験Ⅰ：4回、実験Ⅱ：3回採水	実験Ⅰ：4検体、実験Ⅱ：3検体	SW	7検体
	塩化ビニルモノマー	地下水の水質汚濁に係る環境基準について（平成9年環境庁告示第10号）「付表」に掲げる方法	実験Ⅰ：4回、実験Ⅱ：3回採水	実験Ⅰ：4検体、実験Ⅱ：3検体		7検体
	水量	メスシリンダ*	実験Ⅰ：4回、実験Ⅱ：3回採水	実験Ⅰ：4検体、実験Ⅱ：3検体		7検体
	水素イオン濃度	ガラス電極pH計、JIS K 0102 12.1	実験Ⅰ：4回、実験Ⅱ：3回採水	実験Ⅰ：4検体、実験Ⅱ：3検体		7検体
	電気伝導度	ECメーター、JIS K 0102 13	実験Ⅰ：4回、実験Ⅱ：3回採水	実験Ⅰ：4検体、実験Ⅱ：3検体		7検体
活性炭	対象汚染物質	溶媒抽出により対象汚染物質を抽出した後、GC/MS法で分析	1回	3検体/回+プランク計1検体	C上 C中 C下	7検体
	塩化ビニルモノマー	溶媒抽出により対象汚染物質を抽出した後、GC/MS法で分析				7検体
実証試験前テント外排出口排ガス	大気有害物質※1	大気有害物質の量の測定方法（平成22年環境省告示第25号）※2	試験前に1回	1検体/回	テント外排出口付近	1検体
実証試験中テント外排出口排ガス			試験中に1回			1検体
実証試験後テント外排出口排ガス			試験後に1回			1検体
実証試験前の地下水	対象汚染物質並びに鉛及びその化合物	地下水に含まれる試料採取等対象物質の量の測定方法（平成15年環境省告示第17号）	試験前に1回	2検体/回	モニタリング井戸	2検体
	塩化ビニルモノマー	地下水の水質汚濁に係る環境基準について（平成9年環境庁告示第10号）「付表」に掲げる方法				
装置稼働時の地下水	対象汚染物質並びに鉛及びその化合物	地下水に含まれる試料採取等対象物質の量の測定方法（平成15年環境省告示第17号）	装置稼働時に1回			2検体
	塩化ビニルモノマー	地下水の水質汚濁に係る環境基準について（平成9年環境庁告示第10号）「付表」に掲げる方法				
実証試験後の地下水	対象汚染物質並びに鉛及びその化合物	地下水に含まれる試料採取等対象物質の量の測定方法（平成15年環境省告示第17号）	テント撤去後に1回			2検体
	塩化ビニルモノマー	地下水の水質汚濁に係る環境基準について（平成9年環境庁告示第10号）「付表」に掲げる方法				
騒音	暗騒音、強制浄化装置の稼働に係る騒音	JIS Z 8731「環境騒音の表示・測定方法」	試験前と試験中の2回	2検体/回	負圧テント内、敷地境界	2地点×2回

※1 大気有害物質は汚染土壌処理業に関する省令第4条第1号又(1)カドミウム及びその化合物、(2)塩素、(3)塩化水素、(4)ふっ素、(5)鉛及びその化合物、(6)窒素酸化物並びに1,2ジクロロエタン、ジクロロメタン、水銀及びその化合物、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、ベンゼン、PCB及びダイオキシン類とする。

※2 1,2ジクロロエタン及びジクロロメタンについてはJIS K0305、水銀及びその化合物についてはJIS K0222、テトラクロロエチレン及びトリクロロエチレンについてはJIS K0305、ベンゼンについてはJIS K0088、PCB及びダイオキシン類についてはJIS K0311に準拠

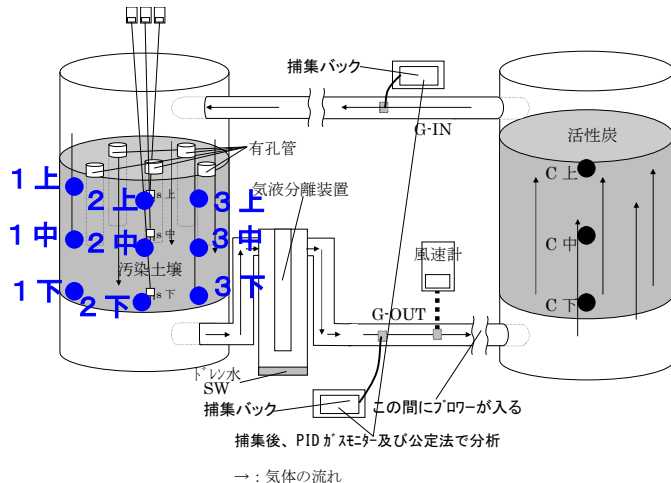


図2 モニタリングポイント（処理状況）

(2) 土壌の処理量及び性状等

- 1) 土質：礫混じり砂質細粒土（細粒分約70%）
- 2) 性状等：汚染濃度（土壌溶出量）ジクロロメタン 0.75mg/L、トリクロロエチレン 0.71mg/L、  
テトラクロロエチレン 0.17mg/L、ベンゼン 0.021mg/L
- 3) 処理量：420～550kg

(3) 有効性についての考察

①除去率

対象土壌のモニタリング地点において、土壌溶出量基準を超過していたジクロロメタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン及びベンゼンの地点については、いずれも試験終了時の土壌溶出量は土壌溶出量基準に適合した。また、土壌溶出量の平均値（公定法分析値において定量値が得られた地点の平均値）の減少率は、ケース1では、ジクロロメタンで99.4%、トリクロロエチレンで99.1%、テトラクロロエチレンで98.6%、ベンゼンで87.3%であり、ケース2では、ジクロロメタンで99.6%、トリクロロエチレンで98.8%、テトラクロロエチレンで92.1%、ベンゼンで90.0%であった。

有孔管の設置効果については、表3の「2上中下」地点における試験中（開始から7.5時間後）の結果からは、必ずしもケース2がケース1よりも浄化時間が短縮されたとはいえず、明確には確認されなかった。

表3 対象汚染物質の浄化結果（土壌溶出量）

単位:mg/L

モニタリング地点	ケース1											
	ベンゼン (土壌溶出量基準 0.01mg/L)			ジクロロメタン (土壌溶出量基準 0.02mg/L)			トリクロロエチレン (土壌溶出量基準 0.03mg/L)			テトラクロロエチレン (土壌溶出量基準 0.01mg/L)		
	開始時	試験中	終了時	開始時	試験中	終了時	開始時	試験中	終了時	開始時	試験中	終了時
1上	0.002		<0.001	0.12		<0.002	0.097		<0.003	0.040		<0.001
1中	0.0033		<0.001	0.22		<0.002	0.21		<0.003	0.063		<0.001
1下	0.0046		<0.001	0.23		<0.002	0.16		<0.003	0.087		0.0015
2上	0.0011	<0.001	<0.001	0.098	<0.002	0.0021	0.04	0.0059	<0.003	0.017	0.0093	<0.001
2中	0.0043	<0.001	<0.001	0.23	<0.002	<0.002	0.20	0.0072	<0.003	0.067	0.0087	0.0022
2下	0.0082	<0.001	<0.001	0.30	0.0068	<0.002	0.23	0.036	<0.003	0.077	0.027	0.0012
3上	0.0017		<0.001	0.12		<0.002	0.11		<0.003	0.049		<0.001
3中	0.0042		<0.001	0.17		<0.002	0.20		<0.003	0.094		<0.001
3下	0.0060		<0.001	0.23		<0.002	0.24		<0.003	0.089		<0.001
全体	平均値※	0.0039		0.0005	0.19		0.0011		0.0015	0.065		0.0009
	減少率			87.3%			99.4%		99.1%			98.6%

※ 定量下限未満の場合は、定量下限値の2分の1の値として取り扱った。

単位:mg/L

モニタリング地点	ケース2											
	ベンゼン (土壌溶出量基準 0.01mg/L)			ジクロロメタン (土壌溶出量基準 0.02mg/L)			トリクロロエチレン (土壌溶出量基準 0.03mg/L)			テトラクロロエチレン (土壌溶出量基準 0.01mg/L)		
	開始時	試験中	終了時	開始時	試験中	終了時	開始時	試験中	終了時	開始時	試験中	終了時
1上	<0.001		<0.001	0.10		<0.002	0.0030		<0.003	<0.001		<0.001
1中	0.0011		<0.001	0.19		<0.002	0.065		<0.003	0.021		<0.001
1下	0.0037		<0.001	0.23		<0.002	0.22		<0.003	0.059		0.0044
2上	<0.001	<0.001	<0.001	0.12	<0.002	<0.002	0.0058	<0.003	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001
2中	0.0055	<0.001	<0.001	0.35	0.0041	<0.002	0.21	0.017	<0.003	0.077	0.014	0.0039
2下	0.0045	<0.001	<0.001	0.36	0.028	<0.002	0.16	0.069	<0.003	0.058	0.039	0.0095
3上	<0.001		<0.001	0.18		<0.002	0.0083		<0.003	<0.001		<0.001
3中	0.0011		<0.001	0.20		<0.002	0.08		<0.003	0.022		0.0043
3下	0.014		<0.001	0.48		<0.002	0.37		<0.003	0.11		0.0047
全体	平均値※	0.0050		0.0005	0.25		0.001		0.0015	0.06		0.0046
	減少率			90.0%			99.6%		98.8%			92.1%

※ 定量下限未満の場合は、定量下限値の2分の1の値として取り扱った。

開始時に定量下限未満であった項目は除いて平均値を算出した。

注) 赤字＝土壌溶出量基準を超過した地点。青字＝土壌溶出量基準を下回るが定量下限値を上回った地点。

注) いずれも公定法分析値による。

## ②処理水

気液分離装置から排出されるドレン水が、ケース 1 及びケース 2 を通して、9.1 L 発生した。

## ③副生成物

ケース 1 及びケース 2 を通して、使用済活性炭 222kg が発生した。

## (4) 実用性についての考察

### ○安定性

ケース 1 及びケース 2 を通して、計 101 時間の運転（昼間のみの間欠運転）を行い、途中、装置内活性炭通過後のガスにジクロロメタンが検出されたため活性炭の入替のための一時停止があった。実用化においては活性炭の吸着能力の管理について留意が必要である。

## (5) 経済性についての考察 ※有孔管を使用するケース 2 の試算による。

### ○効率性

実証調査における汚染土壌 1t 当たりの投入エネルギー効率は 1.26MJ/kg<sup>\*</sup>であった。実証調査における作業効率は、8.53kg/人・h<sup>\*</sup>であった。

### ○経済性

実証調査における汚染土壌の処理費用は、16,700 円/kg<sup>\*</sup>と試算された。ただし、本試算は、実規模で実施するよりも、周辺環境への影響の防止対策が過大であり、かつ、調査測定についても詳細な項目で頻度高く実施した結果得られたものである。

実規模（9t を処理すると仮定した場合）における処理費用は 32,300 円/t と試算された。（別紙参照）

## (6) 周辺環境への負荷

### ①環境大気

仮設テント内からの排気中の大気有害物質濃度は、いずれも汚染土壌処理業に定める許容限度及び大気環境基準を満たしており、周辺大気環境への影響は確認されなかった。

### ②排水

装置からのドレン水は、ケース 2 で 1 回ジクロロメタンの水質汚濁に係る環境基準を超えたため、実用化に当たっては、ドレン水における有害物質の処理について留意する必要がある。

### ③騒音・振動

暗騒音が 60dB であり、実証試験中の敷地境界での騒音は 61dB となったが、暗騒音が無視できる程度の大きさの場所で本技術を用いた場合には、環境基準に適合する可能性が推察される。

### ④二酸化炭素排出量 ※有孔管を使用するケース 2 による。

本実証調査における二酸化炭素排出量は、194.5kg-CO<sub>2</sub>/t<sup>\*</sup>であった。9t を処理とした場合の実規模での排出量は、55.7kg-CO<sub>2</sub>/t と試算された。（別紙参照）

## 検討会概評

本技術は、フレキシブルコンテナ内に封入した汚染土壌について、ブロワーで循環する空気のみで土壌中の第一種特定有害物質を吸引除去する工法を採用することにより、装置のコンパクト化と施工の簡易化を実現し、狭隘な土地での適用を目指した技術である。

実証調査では、ジクロロメタン等 4 種類の第一種特定有害物質が土壌溶出量基準を超過した土壌を対象に実証試験を行った結果、ジクロロメタン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン及びベンゼンが試験前に土壌溶出量基準を超過していた地点の全てで土壌溶出量基準を達成した。一方、有孔管の設置により明確に浄化期間が短縮されることは確認されなかった。このように、本実証試験では有孔管無しの条件でも浄化できているが、有孔管なしの条件では浄化効率が下がる場合に、特定有害物質の種類や土壌の性状、有孔管の設置方法等、有孔管の設置が有効となる条件について検討することが、本手法を現場で適用していく上での課題として挙げられる。

本実証調査においては、昼夜連続運転ではなく 1 日 8 時間での運転となったことなどから、処理コストや二酸化炭素排出量において、目標を達成することができなかつたため、経済性及び低負荷性の向上に必要な土壌温度の管理をはじめとする施工方法や適用条件を検討する必要がある。

### 実証試験の目標値及び評価

	評価項目	目標値	評価
浄化効果・コスト	土壌溶出量（第一種特定有害物質）	土壌溶出量基準の 2 分の 1 以下	1 地点でテトラクロロエチレンが目標値を超過（土壌溶出量基準には適合）したが、その他の全ての地点で目標値に適合しており、ほぼ目標を達成した。
	有孔管の設置効果	有孔管を設置しない場合と比較して浄化期間が短縮されること	特定有害物質の種類やフレキシブルコンテナ内の位置によって結果にバラツキがあったため、有孔管の設置により明確に浄化期間が短縮されることは確認されなかった。 このため、特定有害物質の種類や土壌の性状、有孔管の設置方法等、有孔管の設置が有効となる条件について検討する必要がある。
	処理コスト	掘削除去と比較して 50%以上削減	処理コストが掘削除去と比較して 19.6%削減となり、目標を達成できなかったため、昼夜連続運転の採用等により浄化効率の向上を図る必要がある。
環境負荷	環境への負荷	掘削除去と比較して 70%削減（二酸化炭素排出量）	二酸化炭素排出量が掘削除去を上回り、目標を達成できなかったため、昼夜連続運転の採用等により浄化効率の向上を図る必要がある。

		<p>①排ガス濃度：許容限度以下</p> <p>②地下水濃度：地下水基準以下</p> <p>③騒音：暗騒音が環境基準値以下(昼間 60dB 以下)の場合、敷地境界で環境基準以下とする。暗騒音が環境基準を超過している場合は現況非悪化</p>	<p>①全ての項目で基準を満たし、目標を達成した。</p> <p>②全ての項目で基準を満たし、目標を達成した。</p> <p>③暗騒音が 60dB であり、実証試験中の敷地境界での騒音は 61dB となったため、目標の達成については評価できなかったが、暗騒音が無視できる程度の大きさの場所で本技術を用いた場合には、環境基準に適合する可能性が推察される。ただし、狭隘地では、土地境界と極めて近い状況でブローワーを稼働するケースも想定されることから留意する必要がある。</p>
--	--	---	--

別紙（技術の名称：VOC汚染土の強制浄化装置による浄化）

## 1. 費用の算出

○実証対象技術のコストについて

コスト計算に当っては、以下の条件を前提として試算している。

### 1) 試算前提の主要諸元

汚染土壌濃度（溶出量・含有量）	: ジクロロエチレン 0.75mg/L、トリクロロエチレン 0.71mg/L テトラクロロエチレン 0.099mg/L、ベンゼン 0.021mg/L
目標処理濃度（溶出量・含有量）	: 土壌溶出量基準以下
処理量（t）	: 9t（5m <sup>3</sup> ）
処理能力（t/日）	: 1.5t/日
運転時間（h）	: 48h
稼働日数（日）	: 6日
処理条件	: 有孔管を設置
工費の試算範囲内	: 人件費（掘削及び埋め戻し作業費を含む）、 装置損料、消耗品、電気代、浄化確認分析 費、廃棄物処分費
工費の試算範囲外	: 装置運搬費

### 2) 処理費用の算出

上記を基に本実証試験で得られたデータから経済性を試算すると以下の様に算定された。

<u>総費用（9t 処理時）</u>	<u>290,587 円</u>
<u>処理単価</u>	<u>32,300 円/t</u>

## 2. 二酸化炭素排出量の算出

○実証対象技術の炭酸ガス排出量について

二酸化炭素排出量の計算に当っては、以下の前提として試算している。

※地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条第一項（平成18年4月1日一部改正）の排出係数一覧表の数値を用いて二酸化炭素排出量を算出した。

<u>総排出量（9t 処理時）</u>	<u>501kg-CO<sub>2</sub></u>
<u>排出原単位</u>	<u>55.7kg-CO<sub>2</sub>/t</u>