

c) 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の概要と適用事例

土壌汚染対策法では、地下水の飲用等によるリスクへの対応措置と土壌の直接摂取（風等で飛散した土壌粒子を鼻や口から吸い込んだり、手等に付いた土壌粒子を舐めてしまうことなど）によるリスクへの対応措置を、特定有害物質の特徴や基準の適合性により分けて定めています。その概要を表 c-1 と表 c-2 に整理します。

表 c-1 地下水の飲用等によるリスクへの対応措置

措置の種類	VOCs (第一種特定有害物質)		重金属等 (第二種特定有害物質)		農薬等 (第三種特定有害物質)	
	第二溶出量基準		第二溶出量基準		第二溶出量基準	
	適合	不適合	適合	不適合	適合	不適合
原位置封じ込め	◎	◎※	◎	◎※	◎	-
遮水工封じ込め	◎	◎※	◎	◎※	◎	-
地下水汚染の拡大の防止	○	○	○	○	○	○
土壌汚染の除去	○	○	○	○	○	○
遮断工封じ込め	-	-	○	○	○	◎
不溶化	-	-	○	-	-	-

◎講ずべき汚染の除去等の措置（指示措置）

○環境省令で定める汚染の除去等の措置（指示措置と同等以上の効果を有すると認められる措置）

※汚染土壌の汚染状態を第二溶出量基準に適合させた上で行うことが必要

なお、上表では「地下水の水質の測定」は除いてあります。

表 c-2 土壌の直接摂取によるリスクへの対応措置

措置の種類	通常の土地	盛土では支障がある土地※ ¹	特別な場合※ ²
舗装	○	○	○
立入禁止	○	○	○
盛土	◎	-	-
土壌入換え	○	◎	-
土壌汚染の除去	○	○	◎

◎講ずべき汚染の除去等の措置（指示措置）

○環境省令で定める汚染の除去等の措置（指示措置と同等以上の効果を有すると認められる措置）

※¹：「盛土では支障がある土地」とは、住宅やマンション（一階部分が店舗等の住宅以外の用途であるものを除く。）で、盛土して50cmかさ上げされると日常生活に著しい支障が生ずる土地

※²：乳幼児の砂遊び等に日常的に利用されている砂場等や、遊園地等で土地の形質の変更が頻繁に行われ盛土等の効果の確保に支障がある土地については、土壌汚染の除去を指示することとなります。

表 c-1 と表 c-2 のうち、工場等が操業中でも実施できる措置として土壌汚染の現場で一般的に用いられるようになってきている拡散防止方法や浄化方法をピックアップして、表 c-3 に示します。

表 c-3 工場等の操業中でも実施できる拡散防止方法及び浄化方法の例

対策方法		汚染の種類			
		VOCs (第一種 特定有害物質)	重金属等 (第二種 特定有害物質)	農薬等 (第三種 特定有害物質)	
地下水の水質の測定		a) 地下水の水質の測定		事例 1	
土壌汚染の除去／地下水汚染の拡大の防止	原位置抽出法	b) 地下水揚水法	事例 2		
		c) 土壌ガス吸引法	事例 3	—	
		d) エアースパージング法	事例 4	—	
	原位置分解法	化学処理	酸化分解	e) フェントン法	事例 5
			還元分解	f) 鉄粉法	事例 6
		生物処理	g) 透過性地下水浄化壁法		事例 7
			バイオ スティミ ュレーシ ョン	h) 嫌気性バイオレメディエーション	事例 8
				i) 好気性バイオレメディエーション	事例 9
			j) バイオオーグメンテーション		—
			k) ファイトレメディエーション		
	l) 原位置土壌洗浄法		事例 10		
m) 掘削除去※1)					
舗装	n) 舗装※1)				
盛土	o) 盛土 ※1)				
原位置封じ込め	p) 原位置封じ込め		事例 11		

※1 汚染場所が敷地の隅などにあり、汚染場所の直上部に工場等の建屋が存在しない場所では、工場等の操業に支障なく、掘削除去や舗装、盛土などの措置を部分的に採ることも十分可能です。

※2 「—」表示部分は、対策方法の特徴上、当該の汚染の種類には適用できないと考えられる方法です。

表 c-3 の中で事例 1～事例 11 として挙げた、個別の拡散防止方法や浄化方法の概要や特徴、留意事項及び適用事例をとりまとめた個別表を次頁以降に示しますので、工場等が操業中から土壌汚染の拡散防止対策や浄化対策を実施する場合は参考にしてください。

表 c-4 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 1

事例 1	地下水の水質の測定
概要	<p> 土壌の汚染状態が土壌溶出量基準に適合しないが、当該土壌の汚染に起因する地下水汚染が生じていない土地に対して適用される措置である。 </p> <p> 当該土地において土壌汚染に起因する地下水汚染の状況を的確に把握できると認められると考えられる地点に観測井を設け、当初 1 年は 4 回以上、2 年目から 10 年目までは 1 年に 1 回以上、11 年目以降は 2 年に 1 回以上定期的に地下水を採取し、所定の方法により測定する。(右図 参照) </p> <p> なお、地下水の水質の測定(地下水モニタリング)は、地下水汚染が生じないことを確認するものであることから、措置の期限は定められない。 </p>
特徴	<p> ○適用可能な対象：VOCs、重金属等、農薬等により地下水が汚染されていないことの確認 </p> <p> ○適用可能な土質：恒常的に地下水が存在する帯水層（恒常的に地下水が存在すれば宙水層も対象） </p> <p> ○措置期間の目安：地下水汚染が生じないことを確認するものであることから、措置の期限は定められない。 </p>
留意事項	<p> 地下水の水質の測定における土壌汚染に起因する地下水汚染を的確に把握できる地点とは、対象とする土地の土壌溶出量基準に適合しない地点のうち、最も土壌溶出量が高い地点を基本とする。また、地下水の流れからみた下流側にある地点にも配置することが望ましい。 </p> <p> 土壌汚染が存在する工場・事業場の場合には、盛土・切土等の改変や杭基礎や地下ピット等、自然の地下水流動に大きな影響を及ぼす要因が考えられることにも留意すること。 </p>
適用事例	<p> ○適用対象：油槽所（埋立地）／砒素及びその化合物による土壌汚染（土壌溶出量基準の約 4 倍）と鉛及びその化合物による土壌汚染（土壌含有量基準の約 2 倍）／汚染面積：約 7,200m²、汚染深度:0.5m </p> <p> ○適用方法：地下水の水質の測定及びコンクリート舗装 </p> <p> ○適用効果：地下水基準には適合し、地下水汚染が生じていないことは確認中 </p> <p> ○所要期間：（コンクリート舗装は 40 日） </p> <p> ○所要費用：（コンクリート舗装は 800 万円（地下水の水質の測定は現在の継続中のため含まず））地下水の水質の測定は 1 回あたり 2 万円 </p> <p> （出典：「平成 19 年度 土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果 平成 21 年 3 月 環境省 水・大気環境局」の巻末資料－掘削除去以外による土壌汚染対策の実例） </p>

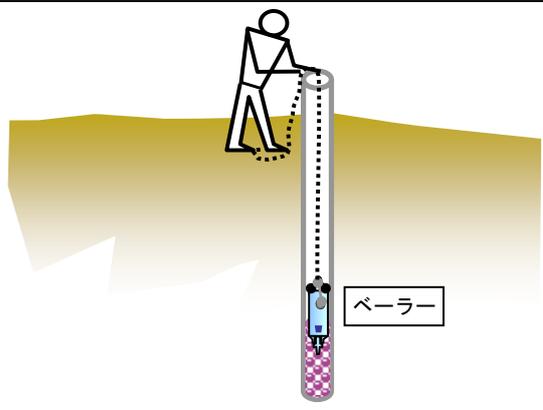


図 地下水の水質の測定の概要

表 c-5 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 2

事例 2	地下水揚水法
概要	<p>汚染源及びその周辺の帯水層に揚水井戸を設置し、土壌から溶出してくる有害物質を地下水と一緒に汲み上げて回収して処理することにより、土壌中の有害物質を徐々に除去する方法である。</p> <p>揚水した地下水の処理法は種々あるが、VOCs については曝気－活性炭吸着処理、紫外線分解、オゾン分解法等が、重金属等については凝集沈殿法等が、油分については油水分離－活性炭吸着法等がそれぞれ利用されている。</p> <p>(右図 参照)</p> <p>なお、地下水汚染の拡大を的確に防止できると認められる地点に揚水井戸を設置して地下水を揚水し、当該土地からの汚染地下水の拡大を防止する場合もある。</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○適用可能な対象：VOCs、重金属等、農薬等による汚染地下水 ○適用可能な土質：透水性の良い砂質土に適用され、透水性の悪いシルト・粘土層への適用は困難 ○浄化期間の目安：浄化期間は、設計した揚水設備の有害物質の回収効率（透水性、土質、揚水井戸の設置本数と配置、揚水量、有害物質の地下中での移動特性等から決まる。）によるが、浄化終了までに、数年から数十年を要することもある。
留意事項	<p>深さ方向の地層構造などを事前に調査し、揚水井戸の配置等の浄化計画を設計することが重要である。</p> <p>揚水開始によって地下水の流れる方向や速さが変わるおそれがあり、これにより汚染の拡大を引き起こさないよう、揚水井戸や周辺の観測井戸の地下水モニタリングを定期的に行う必要がある。</p> <p>揚水量が多ければその分早く浄化されるわけではなく、有害物質の回収効率を考慮して揚水量を決める必要がある。大量の揚水は地盤沈下を招くおそれがあるため、定期的に水準測量等を行い、地盤沈下有無のモニタリングを行うことも必要である。</p>
適用事例	<ul style="list-style-type: none"> ○適用対象：クリーニング事業所／テトラクロロエチレンによる地下水汚染（基準の約 1,000 倍）／汚染面積：約 500m²、汚染深度：20m ○適用方法：地下水揚水法及び土壌ガス吸引法 ○適用効果：実施中 ○所要期間：現在対策開始から 10 年目 ○所要費用：初年度 1,400 万円、2 年目以降は毎年度 約 700 万円/年（ランニング・メンテナンス・モニタリングコストを含む） <p>（出典：「平成 19 年度 土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果 平成 21 年 3 月 環境省 水・大気環境局」の巻末資料－掘削除去以外による土壌汚染対策の実例）</p>

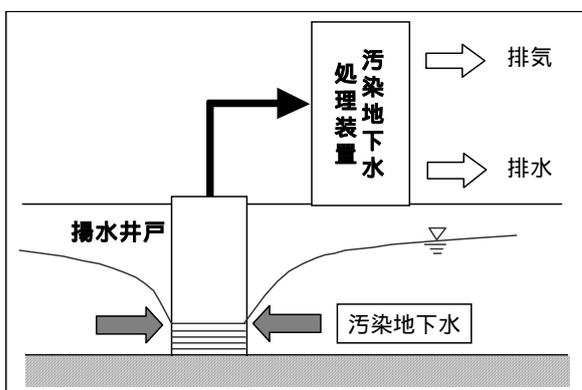


図 地下水揚水法の概要

表 c-6 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 3

事例 3	<p>方法 土壌ガス吸引法</p>
概要	<p>ガス吸引用の井戸を地下水面より浅い位置に設置して土壌中の空気を吸引し、気化した化合物を土壌中から回収・除去する。吸引した土壌中の空気は、VOCs や油分の揮発成分をガス処理設備で処理した後、大気に排出される。 (右図 参照)</p> <p>ガス処理設備の処理方式は、活性炭へ吸着させる方法が主流だが、近年は、紫外線による分解処理技術などが開発されている。</p> <p>なお、水蒸気と空気の混合気体を浄化対象範囲に注入し、土壌を加熱することによってVOCs 等の揮発速度を高め、土壌ガス吸引による浄化効率を高める工夫がなされる場合もある。</p> <div data-bbox="836 353 1418 752" data-label="Diagram"> </div> <p style="text-align: center;">図 土壌ガス吸引法の概要</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○適用可能な対象：VOCs や油分の揮発成分 ○適用可能な土質：地下水面より浅い部分にある VOCs 及び油分の揮発成分の汚染土壌。通常、透気性の良い砂質土層に適用され、透気性の悪いシルト・粘土層への適用は困難。 ○浄化期間の目安：数ヶ月と比較的短期間で浄化できる場合から数年と長期間を要する場合もある。地中の透気性、土質、吸引井戸の設置本数と配置、吸引量、吸引圧、有害物質の地下中での移動特性等により、浄化に要する期間が変わる。
留意事項	<p>ガス吸引用の井戸の最適配置を行うことが重要である。</p> <p>吸引ガス処理設備においては、処理ガスを定期的にモニタリングし、VOCs や油分の揮発成分が大気放散されていないことを確認する必要がある。</p> <p>また、引火性、爆発性のあるガスを回収する場合には、ガス検知装置を設置したり、金属製の配管を用いる等の安全対策を講じる必要がある。</p>
適用事例	<ul style="list-style-type: none"> ○適用対象：給油所／ベンゼンによる地下水汚染（基準の約 8 倍）／汚染面積：25m²、汚染深度：約 2～14m ○適用方法：土壌ガス吸引法 ○適用効果：基準以内に浄化 ○所要期間：22 日間（水蒸気と空気の混合気体を浄化対象範囲に注入し、土壌を加熱することによって VOCs 等の揮発速度を高め、土壌ガス吸引による浄化効率を高める工夫と地下水揚水法も併用） ○所要費用：約 700 万円 <p>（出典：「平成 20 年度 土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果 平成 22 年 3 月 環境省 水・大気環境局」の巻末資料－狭隘な土地における土壌汚染対策事例）</p>

表 c-7 工場等の作業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 4

事例 4	方法 エアースパーキング法
概要	<p>飽和帯に空気を注入して地下水から VOCs や油分の揮発を促進し、上部においてガス吸引法によって揮散ガスを捕集する方法である。 (右図 参照)</p> <p style="text-align: center;">図 エアースパーキング法の概要</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○適用可能な対象：VOCs や油分の揮発成分 ○適用可能な土質：主に土壌の汚染が地下水位以下の場合に用いられるが、不飽和帯への注入の例もある。 ○浄化期間の目安：数ヶ月と比較的短期間で浄化できる場合から数年と長期間を要する場合もある。地中の透気性、土質、吸引井戸の設置本数と配置、吸引量、吸引圧、有害物質の地下中での移動特性等により、浄化に要する期間が変わる。
留意事項	<p>この方法は地下に圧力をかけた空気を吹き込むことになるため、現地の地質構造等によっては、吹き込み空気が VOCs 等を汚染されていない場所に移動させてしまう可能性があり、対策範囲の広さ、地質構造等を踏まえて、適切な周辺拡散防止措置等を併用しながら実施することが必要である。</p>
適用事例	<ul style="list-style-type: none"> ○適用対象：光学機器製造工場敷地／トリクロロエチレンによる土壌汚染（基準の約 10 倍）と地下水汚染（基準の約 100 倍）／汚染面積：約 4,600m²、汚染深度：7～18m ○適用方法：エアースパーキング法及びフェントン法 ○適用効果：基準以内に浄化 ○所要期間：約 5 ヶ月 (地中連壁構築期間は除く「南側エアースパーキング 3 ヶ月+フェントン 2 ヶ月」の合計 5 ヶ月) ○所要費用：約 1 億円 (エアースパーキング法及びフェントン法の工事費、地中連壁構築は含まず) <p>(出典：「平成 19 年度 土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果 平成 21 年 3 月 環境省 水・大気環境局」の巻末資料－掘削除去以外による土壌汚染対策の実例)</p>

表 c-8 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 5

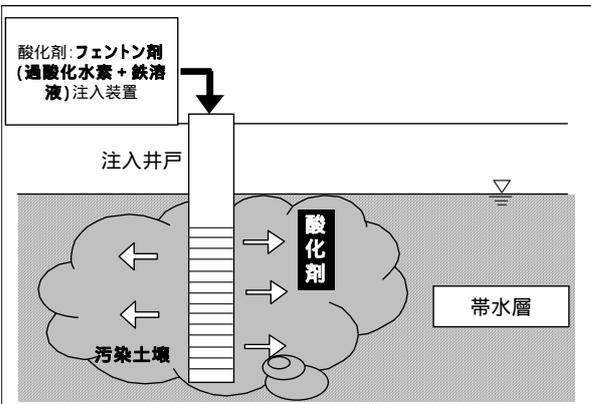
事例 5	フェントン法
概要	<p>汚染源及びその周辺の帯水層に揚水井戸を設置し、土壌から溶出してくる有害物質を地下水と一緒に汲み上げて回収して処理する。</p> <p>汚染土壌中に酸化剤を注入し、その強い酸化力によって化学的に VOCs を酸化分解する方法の一つであり、酸化剤には過酸化水素と鉄溶液を用いる。</p> <p>過酸化水素と鉄溶液のフェントン反応によって、酸化力の強いヒドロキシルラジカル ($\cdot\text{OH}$) を発生させ、そのヒドロキシルラジカル ($\cdot\text{OH}$) がトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンなどの VOCs を二酸化炭素と水及び塩類に分解する。</p> <p>(右図 参照)</p>  <p style="text-align: center;">図 フェントン法の概要</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○適用可能な対象：VOCs ○適用可能な土質：地下水の流れを利用して酸化剤を拡散させるため、主に透水性の良い砂質土層に適用され、透水性の悪いシルト層・粘土層には一般に適用されない。 ○浄化期間の目安：「酸化剤注入」－「地下水及び土壌のモニタリング」のサイクルを複数回繰り返して行うのが一般的で、1 サイクルは通常 1～3 ヶ月程度で計画され、浄化は数ヶ月から 1 年以内で終了することが可能である。但し、汚染地の土質、有害物質の種類と初期濃度によって浄化期間が数年間と長期化する場合がある。
留意事項	<p>酸化剤を対象地の外側へ拡散しないようにする対策が必要となる場合がある。対象地の下流側で地下水の利用がある場合は特に注意が必要である。</p> <p>酸化剤を注入した直後は、地下水中の有害物質濃度が急速に低下するが、土壌（特にシルト・粘土）中に吸着されていた VOCs の溶出が起こる場合がある。そのため、地下水モニタリングを行い、地下水が環境基準に適合していることを確認する必要がある。</p>
適用事例	<ul style="list-style-type: none"> ○適用対象：化学工場敷地／テトラクロロエチレン、トリクロロエチレンによる土壌汚染（基準の 13 倍）、地下水汚染（基準の 200 倍）／汚染面積：1,400m²、汚染深度：5～14 m ○適用方法：フェントン法 ○適用効果：基準以内に浄化 ○所要期間：6 ヶ月 (その後に浄化後の地下水モニタリングを実施中 (2 年間)) ○所要費用：約 8,000 万円 <p>(出典：「平成 19 年度 土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果 平成 21 年 3 月 環境省 水・大気環境局」の巻末資料－掘削除去以外による土壌汚染対策の実例)</p>

表 c-9 工場等の作業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 6

事例 6	鉄粉法
概要	<p>VOCs（但し、ベンゼン、四塩化炭素、1,3-ジクロロプロペンを除く。）による汚染土壌に対して、鉄粉を数%混合又は注入すると脱塩素反応が起こり、土壌中の対象物質が最終的にエチレンやエタンに変化する。</p> <p>例えば、鉄粉によるトリクロロエチレンの脱塩素化反応では、鉄（Fe）との反応により、トリクロロエチレン（C_2HCl_3）はエチレン（C_2H_4）になる。</p> <p>（右図 参照）</p> <div data-bbox="842 353 1422 748" style="text-align: center;"> </div>
特徴	<p>○適用可能な対象：VOCs（但し、ベンゼン、四塩化炭素、1,3-ジクロロプロペンを除く。）</p> <p>○適用可能な土質：工法は、鉄粉を直接地下に注入し、混合する工法であることから、一般に透水性の良い砂質土層に適用される。（なお、シルト・粘土層に適用する場合は、通常一旦土壌を掘削し、地表で鉄粉と混合することによる浄化することになる。）</p> <p>○浄化期間の目安：浄化期間の目安として、鉄粉の混合/注入工事の完了後3ヶ月程度として浄化計画を立案する。但し、使用する鉄粉の性能、混合量/注入量、有害物質の初期濃度等によってこの浄化期間の長さは変化するため、個別の事例毎に浄化期間を検討することが必要である。</p>
留意事項	<p>pHの高い土壌（セメントが混入した土壌等）、油分を多く含む土壌には適さない場合がある。事前に試験を実施し、鉄粉の適用性を確認しておくことが必要である。</p> <p>鉄粉の製品によっては、土壌の性質により脱塩素反応が進みにくい物質（例えば、シス-1,2-ジクロロエチレン、ジクロロメタン及び1,2-ジクロロエタン）もあるため、事前に現場の汚染土壌に対する適用性試験を行うことが必要である。</p>
適用事例	<p>○適用対象：クリーニング事業所／テトラクロロエチレンによる土壌汚染（基準の約40倍）／汚染面積：154m²、汚染深度：2.5m</p> <p>○適用方法：鉄粉法</p> <p>○適用効果：基準以内に浄化</p> <p>○所要期間：2.5ヶ月 （工事後にモニタリングを年4回、2年間実施し、浄化確認の上で完了）</p> <p>○所要費用：約550万円 （出典：「平成20年度 土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果 平成22年3月 環境省 水・大気環境局」の巻末資料－狭隘な土地における土壌汚染対策事例）</p>

表 c-10 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 7

事例 7	透過性地下水浄化壁法
概要	<p>VOCs（但し、ベンゼンを除く。）による帯水層の土壤や地下水汚染について、地下水の下流側に鉄粉、その他の吸着材などを含む透過壁を設置し、地下水と一緒に流れてきた有害物質を透過壁内で分解又は吸着し、無害化した地下水を下流側に流す。透過壁内での浄化の原理は、VOCs の場合には化学的な分解処理だが、重金属等の場合は吸着もしくは還元である。（鉛、砒素、ふっ素などは吸着。六価クロムは三価クロムへの還元。）</p> <p>主に敷地外への地下水汚染の拡大の防止対策として適用される。設置後のメンテナンスが不要であり、地下水の流れを変えないことから透過壁上流に汚染が広がらないという利点がある。</p> <p>（右図 参照）</p>
特徴	<p>○適用可能な対象：VOCs（但し、ベンゼンを除く） 鉛、砒素、ふっ素や六価クロムなどの重金属等への適用も可能</p> <p>○適用可能な土質：帯水層の地下水を対象としており、汚染源の土壤を浄化する方法ではない。</p> <p>○浄化期間の目安：年 4 回以上 2 年間の地下水モニタリングで十分な地下水汚染の拡大防止の効果が確認できた場合でも、本措置で発揮される期限が有限であること、また、地下水の流動状況も変化するものであることから、本措置の効果が維持されていることを地下水モニタリングにより確認し続けることが必要である。</p>
留意事項	<p>事前に地下水の流向・流速、透水係数、土質、有害物質濃度を把握し、使用する鉄粉や吸着材の種類、設置する壁の形状を決定する必要がある。</p>
適用事例	<p>○適用対象：砒素使用工場敷地／砒素及びその化合物による土壤汚染（基準の約 5,700 倍）と地下水汚染（基準の約 19 倍）／汚染面積：9,600m²、汚染深度：土壤 5m、地下水 12m</p> <p>○適用方法：透過性地下水浄化壁法及び不溶化、原位置封じ込め</p> <p>○適用効果：観測用井戸で年 4 回の地下水モニタリングを 2 年間実施し、地下水基準に適合していることは確認済（現在は当該敷地を物流倉庫として土地利用中）</p> <p>○所要期間：約 6 ヶ月</p> <p>○所要費用：約 11 億円</p> <p>（出典：「平成 19 年度 土壤汚染対策法の施行状況及び土壤汚染調査・対策事例等に関する調査結果 平成 21 年 3 月 環境省 水・大気環境局」の巻末資料一掘削除去以外による土壤汚染対策の実例）</p>

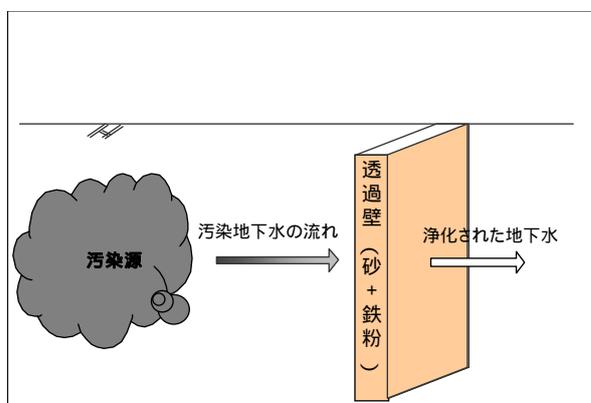


図 透過性地下水浄化壁法の概要

表 c-11 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 8

事例 8	嫌気性バイオレメディエーション
概要	<p>微生物活性剤を帯水層中へ注入し、嫌気性の微生物を活性化し、微生物の代謝による VOCs（但し、ベンゼン、四塩化炭素、1,3-ジクロロプロペンを除く。）の脱塩素反応を促進して分解する。</p> <p>微生物活性剤は、糖類、アミノ酸、ビタミン等からなり、色々な製品が開発されている。（右図 参照）</p>
特徴	<p>○適用可能な対象：VOCs（但し、ベンゼン、四塩化炭素、1,3-ジクロロプロペンを除く。）</p> <p>○適用可能な土質：透水性の良い砂質土層に適用される。シルト・粘土層への適用は困難である。</p> <p>○浄化期間の目安：「微生物活性剤の注入」→「地下水及び土壌のモニタリング」のサイクルを複数回繰り返して行うことが一般的である。1 サイクルは通常 1～3 ヶ月程度で計画され、1 年程度以内で終了することが可能である。但し、土質、注入井戸の本数、有害物質の種類と初期濃度によっては浄化期間が数年と長期化する場合もある。</p>
留意事項	<p>土壌中の微生物により有害物質の分解が困難な場合あるいは無害な物質まで分解が進まない場合があるため、必要に応じて事前に試験を行って浄化が可能であるかどうか確認する必要がある。</p> <p>嫌気状態で分解が進むため、悪臭が発生することがあり、悪臭対策と、処理地下水の対象地外への拡散防止対策が必要となる場合もある。</p>
適用事例	<p>○適用対象：機械工場敷地／シス-1,2-ジクロロエチレンによる土壌汚染（基準の約 20 倍）と地下水汚染汚染（基準の約 80 倍）／汚染面積：約 3,500m²、汚染深度：4～8m</p> <p>○適用方法：嫌気性バイオレメディエーション</p> <p>○適用効果：基準以内に浄化</p> <p>○所要期間：約 4 ヶ月 （その後に浄化後の地下水モニタリングを実施中）</p> <p>○所要費用：約 2,000 万円</p> <p>（出典：「平成 20 年度 土壌汚染対策法の施行状況及び土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果 平成 22 年 3 月 環境省 水・大気環境局」の巻末資料－狭隘な土地における土壌汚染対策事例）</p>

表 c-12 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 9

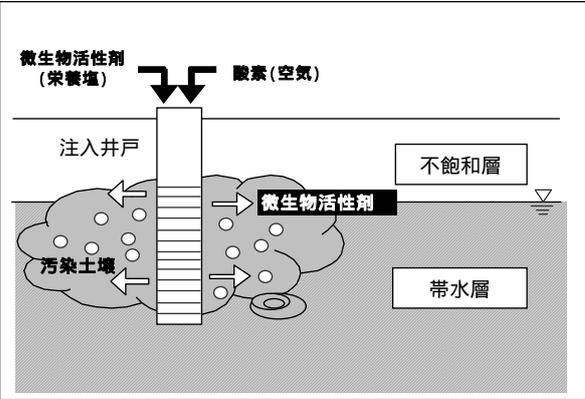
事例 9	好気性バイオレメディエーション
概要	<p>汚染土壤中に酸素や栄養塩を供給して、好気性の微生物を活性化し、ベンゼンや油分を分解する方法である。</p> <p>なお、帯水層中へ酸素（空気）や栄養塩を供給する方法として、地下に圧力をかけた空気を吹き込むエアースパージング法と栄養塩を注入する方法を組み合わせた方法が採られることが多い。 （右図 参照）</p> 
特徴	<p>○適用可能な対象：ベンゼン</p> <p>○適用可能な土質：好気性を保つことが必要であり、透気性及び透水性の良い砂質土に向いている。また、有害物質の原液が存在するなど濃度の高い汚染部に対しては適用が難しく、そのような部分は適切な除去対策等との併用を考慮することが必要である。</p> <p>○浄化期間の目安：「栄養塩の注入」→「地下水及び土壌のモニタリング」のサイクルを複数回繰り返して行うことが一般的である。1サイクルは通常1～数週間程度で計画され、浄化期間は数ヶ月を要する。但し、土質、注入井戸の本数、有害物質の種類と初期濃度により浄化期間が異なる。</p>
留意事項	<p>地下に圧力をかけて空気を吹き込むエアースパージングや栄養塩の注入により、有害物質の拡散が生じないように、対象とする地質構造や地下水流動を充分把握して、鋼製矢板などによる囲い込みや吸引井戸の設置等の対策などを講じる必要がある。</p> <p>また、対策の実施中は地下水の水質の測定をしながら、進行状況の監視を行っていく必要がある。</p>
適用事例	<p>○適用対象：給油所／ベンゼンによる土壤汚染（基準の100倍）と地下水汚染（基準の400倍）／汚染面積：約300m²、汚染深度：9m</p> <p>○適用方法：好気性バイオレメディエーション</p> <p>○適用効果：基準以内に浄化</p> <p>○所要期間：18ヶ月</p> <p>○所要費用：7,500万円</p> <p>（出典：「平成19年度 土壤汚染対策法の施行状況及び土壤汚染調査・対策事例等に関する調査結果 平成21年3月 環境省 水・大気環境局」の巻末資料「掘削除去以外による土壤汚染対策の実例」）</p>

表 c-13 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 10

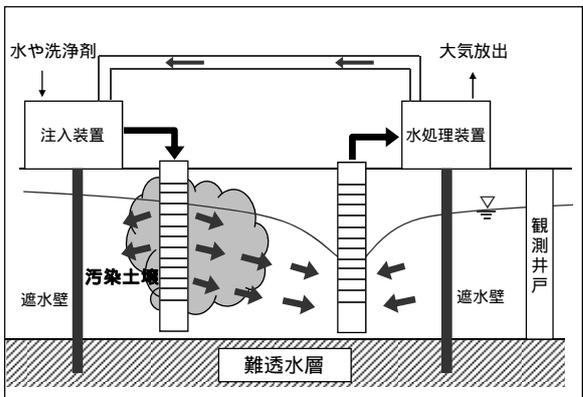
事例 10	原位置土壌洗浄法
概要	<p>汚染土壌中に清浄な水、または溶出を促進させる洗浄剤を溶解させた水等を注水し、同時に地下水を揚水することにより汚染土壌中の地下水の流速を高め、揚水した水から有害物質の濃度を低下させる。地上から散水する方法はソイルフラッシングと呼ばれることもある。 (右図 参照)</p>  <p style="text-align: center;">図 原位置土壌洗浄法の概要</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○適用可能な対象：重金属等を中心に適用させるが、農薬等や VOCs、油分に対しても有効な場合がある。 ○適用可能な土質：透水性の良い砂質土に適用され、透水性の悪いシルト・粘土層への適用は困難 ○浄化期間の目安：浄化期間は、設計した設備による有害物質の回収効率（透水性、土質、有害物質の地下中での移動特性、注水量と揚水量、水処理能力等から決まる。）によるが、浄化終了までに、数週間から数ヶ月を要することもある。
留意事項	<p>有害物質を一旦液体の中に溶出させることが前提であるので、注入した水等を確実に集める必要がある。 高濃度の有害物質を含む溶液を地下水中に溶出させることになるため、場合によっては、原位置封じ込めと同等の拡散防止のための措置を併用して行うことが必要となる。</p>
適用事例	<ul style="list-style-type: none"> ○適用対象：シス-1,2-ジクロロエチレンによる土壌汚染（基準の約 10 倍）、ベンゼンによる土壌汚染（基準の約 2 倍）／浄化対象処理量：5,400m³ ○適用方法：原位置土壌洗浄法及びフェントン法 ○適用効果：基準以内に浄化 ○所要期間：80 日 ○所要費用：約 1 億 5,100 万円 <p>（出典：「平成 21 年度 低コスト・低負荷型土壌汚染調査・対策技術検討調査及びダイオキシン類汚染土壌浄化技術等確立調査」対象技術の評価結果等について 平成 22 年 12 月 28 日 環境省 水・大気環境局 土壌環境課）</p>

表 c-14 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法及び浄化方法の事例 11

事例 11	原位置封じ込め
概要	<p>土壌溶出量基準に適合しない汚染土壌を原位置において封じ込めることにより、当該汚染土壌から溶出した特定有害物質が外の地下水を汚染し、地下水汚染を経由した健康被害が生じることを防止することを目的に実施するものであり、具体的には、土壌汚染の範囲及び当該範囲内における土壌汚染の深さをボーリング調査により確認し、土壌汚染の範囲を囲むようにして、地中壁、鋼製矢板、薬液注入などの各種工法を使って汚染土壌の下の最初の不透水層まで遮水壁を打ち込み、土壌汚染が当該範囲外に拡がるのを防ぐ。</p> <p>さらに、当該範囲内に降雨等の浸透による封じ込め内部の地下水位への影響が生じないように、遮水機能を保有する材料で封じ込め上面を覆う。上面は舗装措置と同様に厚さが 10cm 以上のコンクリートの層、又は厚さが 3cm 以上のアスファルトの層により覆うものとし、さらに必要に応じて土による覆いの措置を行うこととなる。</p> <p>(右図 参照)</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○適用可能な対象：VOCs、重金属等、農薬等 ○適用可能な土質：汚染土壌の下の最初の不透水層まで壁式の地中壁を連続して打ち込む必要があるため、その対象となる不透水層が地表面から比較的浅い位置に存在することが望ましい。 ○浄化期間の目安：土壌汚染の範囲を囲むようにして、汚染土壌の下の最初の不透水層まで遮水壁を打ち込む工事と水機能を保有する材料（アスファルトやコンクリート）で上面を覆う工事に要する期間は施工規模等によって異なる。なお、原位置封じ込め措置を行った場所の周縁の地下水の下流側に 1 箇所以上の観測井を設け、地下水中の有害物質の濃度を 1 年に 4 回以上定期的に測定し、地下水基準に適合した状態が 2 年間継続することを確認する必要がある。
留意事項	<p>地中壁工法は、各種掘削機械で一定幅の溝を必要な深さまで掘削して、その溝にコンクリート等の遮水材料を投入することにより、地中に壁を設ける工法である。連続地中壁工法は最も信頼性の高い遮水壁を最も深くまで施工できる技術であり、鉄筋等を挿入することにより構造物としての機能も期待できる。</p> <p>鋼製矢板工法は、比較的容易に措置実施ができることや、後で撤去が容易なことから応急的に遮水する場合にも良く使用されるが、適切な処理により長期的な使用も可能である。一般的には振動や圧入により地盤に差し入れるが、地盤強度が大きい場合や礫地盤では事前にオーガー等の補助工法が必要となる。オーガー等の補助工法を不透水層への打ち込みに利用した場合は不透水層と鋼製矢板の隙間にグラウト材を注入して水密性を改良する必要がある。</p> <p>薬液注入工法は、注入する薬剤のほとんどはアルカリ性を呈し、第二種特定有害物質においては溶出性を変化させるので、基本的に汚染されている土壌内への注入は行わない。また、施工にあたっては余剰汚泥が排出されるが、余剰汚泥は、産業廃棄物の無機性汚泥に該当し適正に処分する必要がある。</p>

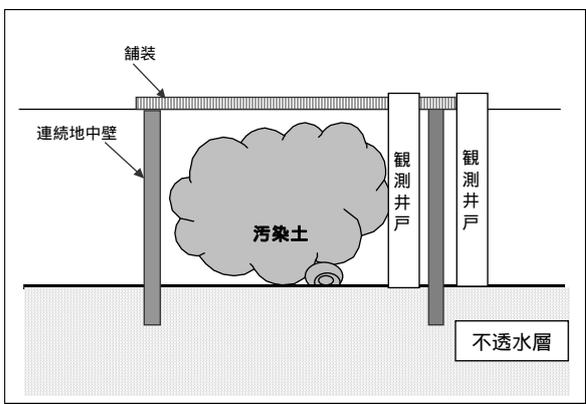


図 原位置封じ込めの概要

適用事例	<p>○適用対象：ガソリンスタンド／ベンゼンによる地下水汚染（基準の約 100 倍）／汚染面積：500 m²、汚染深度：7m</p> <p>○適用方法：原位置封じ込め 及びエアースパーキング法、土壤ガス吸引法</p> <p>○適用効果：原位置封じ込め後に、エアースパーキング、土壤ガス吸引によって、ベンゼンを不検出状態まで浄化</p> <p>○所要期間：原位置封じ込め工事は 1 ヶ月 （但し、原位置封じ込め後に実施したエアースパーキング法、土壤ガス吸引法も含めると 13 ヶ月）</p> <p>○所要費用：4,500 万円</p> <p>（出典：「平成 20 年度 土壤汚染対策法の施行状況及び土壤汚染調査・対策事例等に関する調査結果 平成 22 年 3 月 環境省 水・大気環境局」の巻末資料－狭隘な土地における土壤汚染対策事例）</p>
------	--