

土壤汚染の未然防止等マニュアル

平成 26 年9月

環境省 水・大気環境局 土壤環境課

目次

はじめに	1
1. 有害物質の取扱い—人為的な漏洩等によって新たな土壤汚染の要因をつくらないために—	3
有害物質の取扱いに十分注意を払うべき理由	3
有害物質の取扱いについて	4
人為的な要因による漏洩等により土壤汚染を 新たに生じさせないための教訓となる事例情報	4
2. 土壤汚染をできるだけ早期に発見するためのチェックポイントについて	17
事前準備	18
設備、配管等の外観確認	19
作業工程の実態確認	20
設備周辺の状況確認	21
コラム：有害物質を誤って土壤に直接こぼしてしまった場合の応急措置事例	22
おわりに	24
参考資料	
a) 土壤汚染に係る基準	25
b) 土壤汚染調査の概要	26
c) 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法および浄化方法の概要と適用事例	27

はじめに

土壌汚染を一旦生じさせるとその対策に多大な費用と時間を要することになるため、「新たな土壌汚染を如何に生じさせないようにするか」、「もし不幸にして新たな土壌汚染を起こしてしまった場合には如何にその状況を早く発見するか」が重要です。

本マニュアルは、上記の課題に対して事業者の皆さま自らが具体的な対応措置を取っていただけるように、以下の2点の内容を図1に示すような構成でわかりやすく取りまとめました。

1. 有害物質の不適切な取扱い等が原因の漏洩等によって発生した典型的な土壌汚染事例に基づく有害物質の取扱いの教訓情報
2. 有害物質の漏洩等を事業者自らが五感等を活用して簡易に認識し、早期の土壌汚染調査に繋げられるチェックポイント

また、有害物質を土壌にこぼしてしまった場合の応急措置事例をコラム欄で取り上げました。

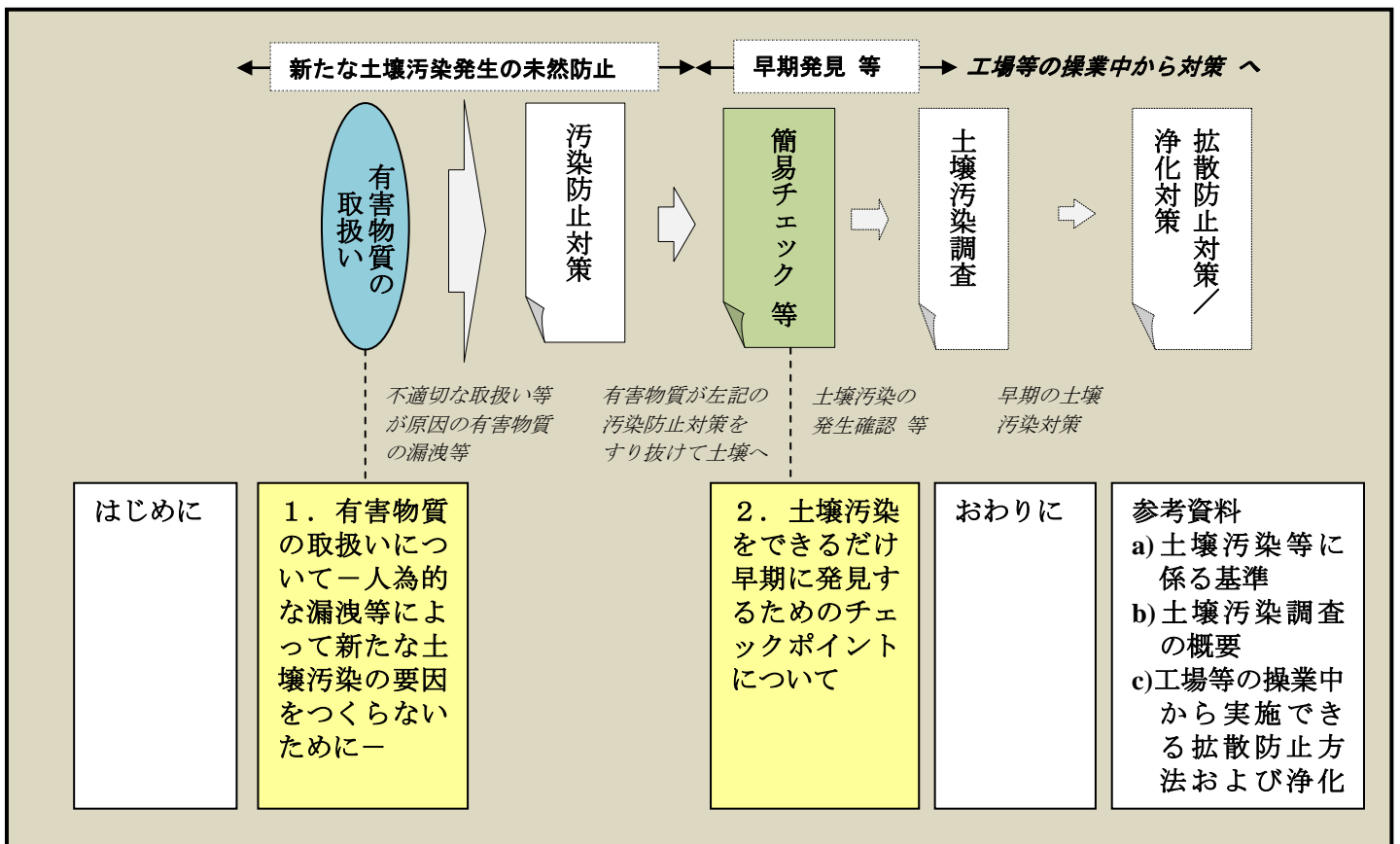


図1 本マニュアルの構成

土壌汚染対策法では、①有害物質を含む土壌を摂取すること、②土壌中の有害物質が地下水に溶出し、その地下水を摂取すること、の二つの経路に着目し、土壌に含まれることに起因して人の健康に係る被害を生ずるおそれがある有害物質として、表 1 に示す 25 物質が指定されています。(同法上では、これらの 25 物質を「特定有害物質」と称しています。)

本マニュアルは、これらの 25 物質を対象にしています。なお、25 物質そのものではなくとも、それらが含まれている物質は本マニュアルの対象となります。

表 1 土壌汚染対策法で指定されている特定有害物質

分類	特定有害物質の種類
揮発性有機化合物 (第一種特定有害物質)	四塩化炭素、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、 シス-1,2-ジクロロエチレン、1,3-ジクロロプロペン、ジクロロメタン、 テトラクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,1,2-トリクロロエタン、 トリクロロエチレン、ベンゼン 計 11 物質
重金属等 (第二種特定有害物質)	カドミウム及びその化合物、六価クロム化合物、シアン化合物、 水銀及びその化合物、セレン及びその化合物、鉛及びその化合物、 砒素及びその化合物、ふっ素及びその化合物、ほう素及びその化合物 計 9 物質
農薬等／農薬+PCB (第三種特定有害物質)	シマジン、チオベンカルブ、チウラム、有機りん化合物、 ポリ塩化ビフェニル (PCB) 計 5 物質

※上記の特定有害物質の特徴は、p. 26 の表 b-1 に記載していますので、そちらも参照してください。

上記の特定有害物質、または特定有害物質が成分として含まれる物質の中には、引火性、発火性が高く、消防法で「危険物」としてその貯蔵または取扱い方法が定められているものがあります。それらに該当する物質の取扱いに当たっては、火災予防上の観点から周囲に火気がないことを確認するなど、十分注意することが必要となります。

また、土壌汚染対策法で指定されていない物質であっても、環境中での分解性が低く、毒性の高い物質については、漏洩等に注意することが必要です。

1. 有害物質の取扱い—人為的な漏洩等によって新たな土壤汚染の要因をつくらないために—

【有害物質の取扱いに十分注意を払うべき理由】

図2は、都道府県及び政令市が把握している個別の土壤汚染調査・対策事例に基づき、平成3年度から平成20年度までの土壤環境基準等の超過事例（延べ4,085事例）における土壤汚染の“原因行為”を取りまとめたものです。（なお、土壤汚染調査等の実施により土壤環境基準等の超過が発覚して事業者等から都道府県及び政令市へ届出あるいは相談された段階で報告された事例の年度情報（⇒土壤汚染の発覚年度）であり、汚染原因行為が行われた年度ではありません。）

「⑧（原因）不明」が全体の半分近くありますが、原因が判明している事例のうちでは「②汚染原因物質の不適切な取扱いによる漏洩」が最も多く、全体の概ね1/4を占めています。つまり、新たな土壤汚染を生じさせないためには、有害物質の取扱いに十分注意を払い、有害物質の人為的な漏洩を起こさないようにすることが効果的な対応と考えられます。

なお、前述のとおり平成15年2月15日から土壤汚染対策法が施行されましたので、「②汚染原因物質の不適切な取扱いによる漏洩」はかなり減ってきていると思われませんが、都道府県等に平成20年度に届出あるいは相談された土壤汚染（発覚）事例の追跡調査を行った結果、同法の施行後にも「②汚染原因物質の不適切な取扱いによる漏洩」によって土壤汚染が実際に生じた事例が幾つも存在していることも確認されています。

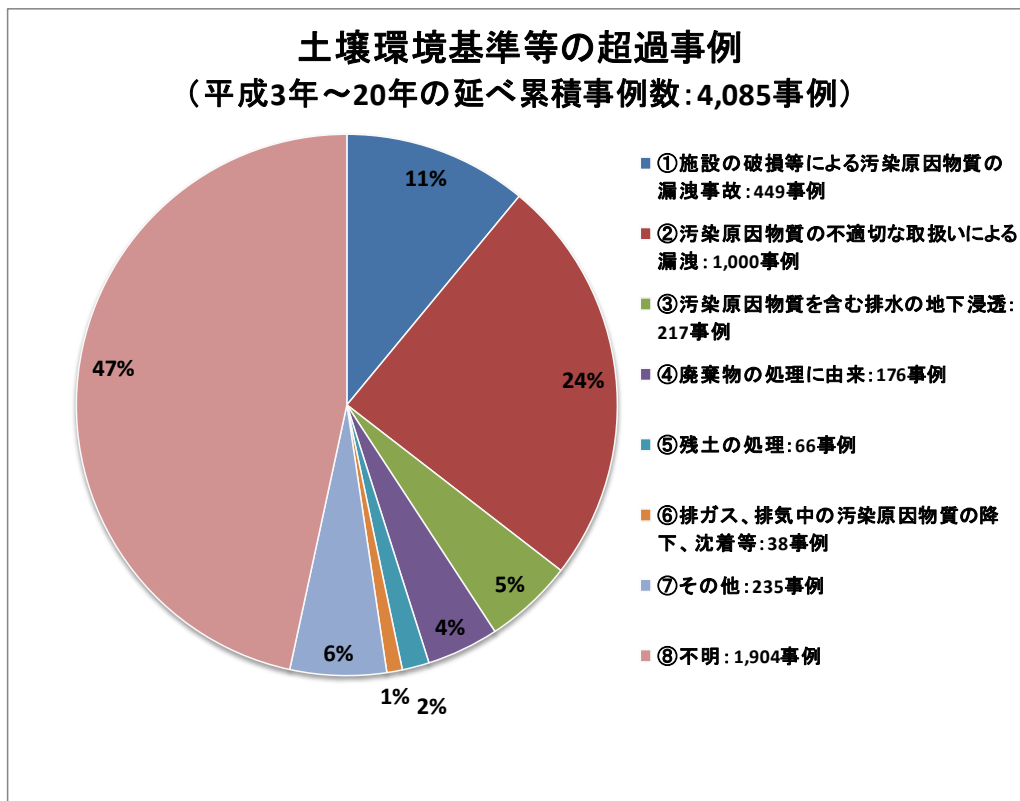


図2 土壤環境基準等の超過事例における原因行為

(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2月 環境省 水・大気環境局)

また、日々の有害物質の漏洩量は僅かであっても、その状況が長期間に及べば、少しずつ蓄積して土壤汚染に繋がるおそれが高まりますので、少量の漏洩であっても注意する必要があります。

【有害物質の取扱いについて】

「特定有害物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」（通称：PRTR法）の規定に基づいて定められた国の「化学物質管理指針」では、事業者の責務として、化学物質の取扱い等に係る管理を行うとともに、その管理の状況に関して国民の理解を深めるよう努めなければならないとされています。

有害物質の取扱い等に係る管理では、まず、どのような有害物質を製造、使用、保管あるいは廃棄しているか？を把握していることが基本となります。貴事業所内で製造、使用、保管あるいは廃棄している有害物質を調べるためには、PRTR法に基づく化学物質排出移動量届出制度の情報やMSDS（化学物質等安全シート。事業者が特定の化学物質を含んだ製品を他の事業者に出荷する際に添付しなければならない安全情報を記載したシート）などの情報が参考となりますので、活用してください。

また、化学業界のように業界全体で、化学物質を扱う企業が化学製品の開発から製造、使用、廃棄に至る全ての過程において自主的に環境・安全・健康を確保し、社会からの信頼性向上とコミュニケーションを行う活動であるレスポンシブル・ケア活動を実施している業界もありますので、貴事業所が所属する業界団体の活動も参考にしてください。

【人為的な要因による漏洩等により土壤汚染を新たに生じさせないための教訓となる事例情報】

工場等の現場では、労災事故を未然に防ぐことを目的に、朝礼や研修などの場で個々の作業等に潜む危険要因を簡潔にわかりやすくまとめたKY（危険予知）シートを活用した教育が日常的に行われています。（貴事業所でも、KYシートを活用した労災事故の未然防止活動が行われているかもしれません。）

次頁以降に、人為的な要因による漏洩等により土壤汚染を新たに生じさせないための教訓となるような、有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壤汚染や地下水汚染に繋がった典型的な事例に基づく情報を、上記のKYシートに似せた形式で簡潔にわかりやすくまとめましたので、労災事故の未然防止で使われるKYシートと同様に、朝礼や研修などの従業員の教育の場で活用してください。

なお、次頁以降に掲載したものはあくまでも典型的なサンプル事例ですので、貴事業所の工程や設備等の特徴、過去に経験された有害物質の漏洩等の事故や漏洩等の事故に繋がる可能性のあった事例（ヒヤリハット事例）、作業員の配置などに応じて書き換えて活用いただければ、同事例シートの実効性が高まります。

表2 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壌汚染や地下水汚染に繋がった事例その1

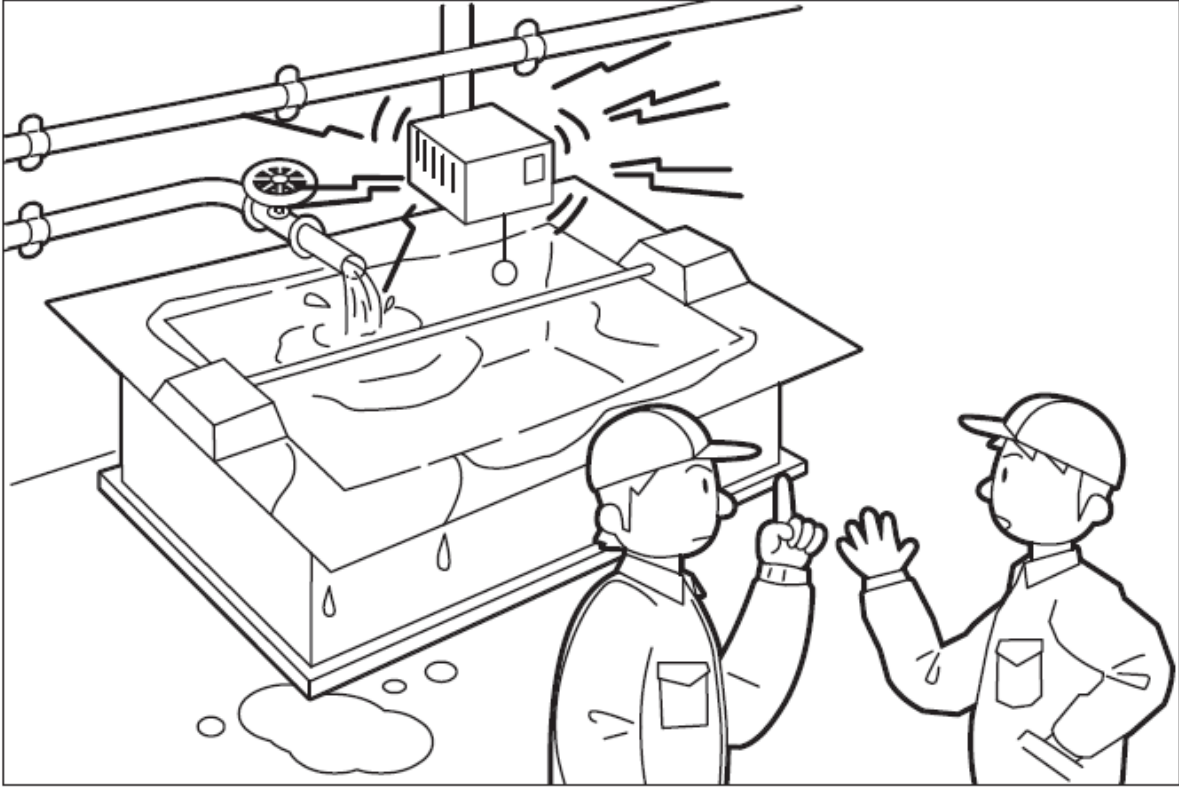
事例No.1	
漏洩	洗浄設備の操作ミスによりオーバーフローを起こして洗浄液を漏洩させてしまった
場所	洗浄液で金属部品や機械等を洗浄する洗浄設備
状況	<p>作業員の設備の操作ミスにより、洗浄液がオーバーフローして漏洩した・・・</p> 
原因	設備の操作ミス
教訓	操作ミスを極力起こさないような措置・工夫を行っているか？
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> ・決められた手順（操作マニュアル等）を遵守する ・持場を離れない ・操作において複数の人間によるダブルチェックを行う、あるいは、指差し確認などにより操作ミスが生じにくい操作ルールを導入する ・機器が正常に稼働していることを随時確認する ・洗浄槽などの液槽には自動停止機能付きの液面センサーを設置する

表3 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壌汚染や地下水汚染に繋がった事例その2

事例No.2	
漏洩	雑な取扱い、不適切な扱いにより廃液を漏洩させてしまった
場所	廃液の保管場所
状況	作業員が有害物質を含む廃液を雑に扱って漏洩させた・・・ 
原因	雑な取扱い、不適切な扱い
教訓	有害物質であることを認識し、適切に取り扱う
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> ・取り扱っている有害物質の性状や毒性などを理解し、適切に取り扱う ・有害物質の漏洩が土壌汚染・地下水汚染に繋がるおそれがあることを認識して有害物質を取り扱う ・防水（液）シートを敷いて作業する ・受け皿やバット（容器）等を利用する

表 4 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壤汚染や地下水汚染に繋がった事例その 3

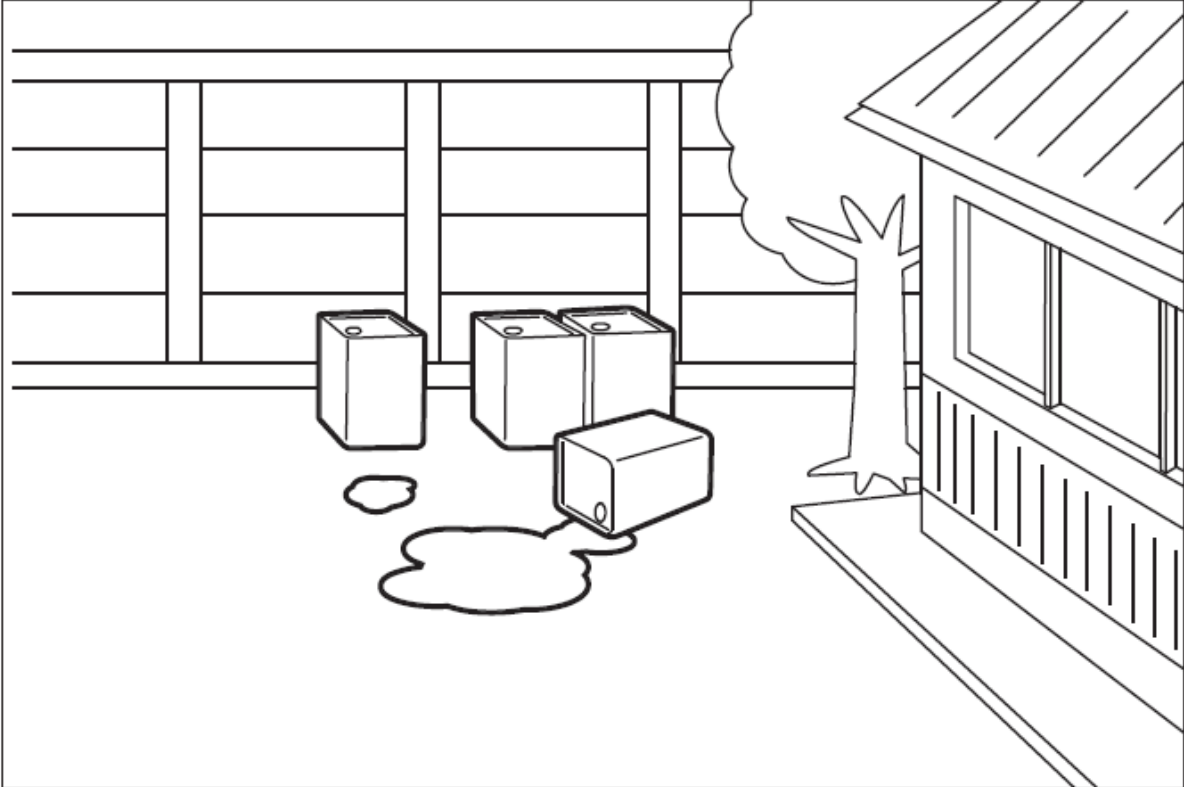
事例No.3	
漏洩	有害物質（有害物質含有物）の野積み、埋め立て、投棄等により漏洩させてしまった
場所	工場等の敷地
状況	<p>有害物質を残存していた容器を野積みしていたため、有害物質の漏洩が生じた・・・</p> 
原因	有害物質もしくは有害物質を含むものを野積みしたため
教訓	有害物質（有害物質含有物）は関係法令に則って適切に保管する
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> ・取り扱っている有害物質（有害物質含有物）の性状や毒性などを理解するとともに、関係法令に則って専用の保管場所に適切に保管する

表 5 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壤汚染や地下水汚染に繋がった事例その 4

事例No.4	
漏洩	措置済み製品からの滴の滴り落ちにより洗浄液を漏洩させてしまった
場所	洗浄液で金属部品や機械等を洗浄する洗浄設備
状況	<p>洗浄→滴落とし→エアブローでの乾燥過程を経ても、洗浄済みの製品から洗浄液が滴り落ちて漏洩した・・・</p> 
原因	滴り落ちる洗浄液のコンクリート床面への直接滴下の低減あるいは防止に係る工夫の未実施
教訓	滴り落ちる洗浄液がコンクリート床面に直接滴下しないような措置・工夫を行う
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> ・ 滴り落ち・液垂れが生じにくいように、液切り及び送風ー乾燥の時間を適度に設ける ・ 滴り落ち・液垂れ等の受け容器（オイルパン、トレイ・・・）を設置する ・ 滴り落ち・液垂れ等が生じる可能性がある場所の床面は、コンクリート舗装などの地下浸透防止対策を施す。また、同床面にひび割れ等が生じていないかを定期的に点検し、ひび割れ等が見つかった場合は速やかに補修する

表 6 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壤汚染や地下水汚染に繋がった事例その 5

事例No.5	
漏洩	吹き付け塗装により塗料を飛散させてしまった
場所	自動車整備場
状況	<p>車両の部分的な塗装部分の剥げなどの修復のため、スプレー缶による吹き付け塗装をしていたが、その折に飛散した塗料が床面に飛散してしまった・・・</p> 
原因	飛散塗料のコンクリート床面への直接落下の低減あるいは防止に係る工夫の不足
教訓	飛散した塗料などがコンクリート床面に直接滴下しないような措置・工夫を行う
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> ・ 飛散した塗料等がそのままコンクリート床面に落ちないように、吹き付け塗装する場合はビニールシート等を敷設する ・ (塗料の飛散や漏洩への床面对策等が講じられた) 所定の作業場所で作業する

表 7 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壌汚染や地下水汚染に繋がった事例その 6


事例No.6	
漏洩	有害物質を含む粉塵が飛散してしまった
場所	電気機械器具製品の組立場所
状況	<p>電気機械器具製品の組立において有害物質を含む粉塵が床面に飛散してしまった・・・</p> 
原因	組立作業中の有害物質を含む粉塵の飛散
教訓	有害物質を含む粉塵を日常的に取り除く措置・工夫を行う
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> ・有害物質を含む粉塵が飛散しそうな場所は、日常的に粉塵を吸引もしくは拭き取って取り除く ・有害物質を含む粉塵が飛散しそうな場所の床面は、コンクリート舗装などの地下浸透防止対策を施す。また、同床面にひび割れ等が生じていないかを定期的に点検し、ひび割れ等が見つかった場合は速やかに補修する

表 8 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壤汚染や地下水汚染に繋がった事例その 7

事例No.7	
漏洩	洗浄液を移し替え作業時に漏洩させてしまった
場所	洗浄液の移し替え場所
状況	<p>洗浄液を移し替え補充する折に手動ポンプを用いていたが、その移し替え時に手動ポンプに残っていたものが垂れてこぼれて、洗浄液が漏洩してしまった・・・</p> 
原因	移し替え作業時の注意不足、配慮不足
教訓	こぼさないように細心の注意を払うとともに、こぼれにくいように工夫する
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> ・有害物質を含む洗浄液の漏洩が土壤汚染・地下水汚染に繋がるおそれがあることを認識して、細心の注意を払って移し替え作業を行う ・移し替え先の容器、移し替え前の容器、移し替え作業に使う器具の形状や特徴等を考慮して、こぼれにくい作業となるような工夫を行う ・移し替え作業に使う器具や移し替え前の容器に残留している洗浄液から漏洩しないように注意する ・有害物質を含む洗浄液の移し替え作業を行う場所の床面は、コンクリート舗装などの地下浸透防止対策を施す。また、同床面にひび割れ等が生じていないかを定期的に点検し、ひび割れ等が見つかった場合は速やかに補修する

表 9 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壤汚染や地下水汚染に繋がった事例その 8

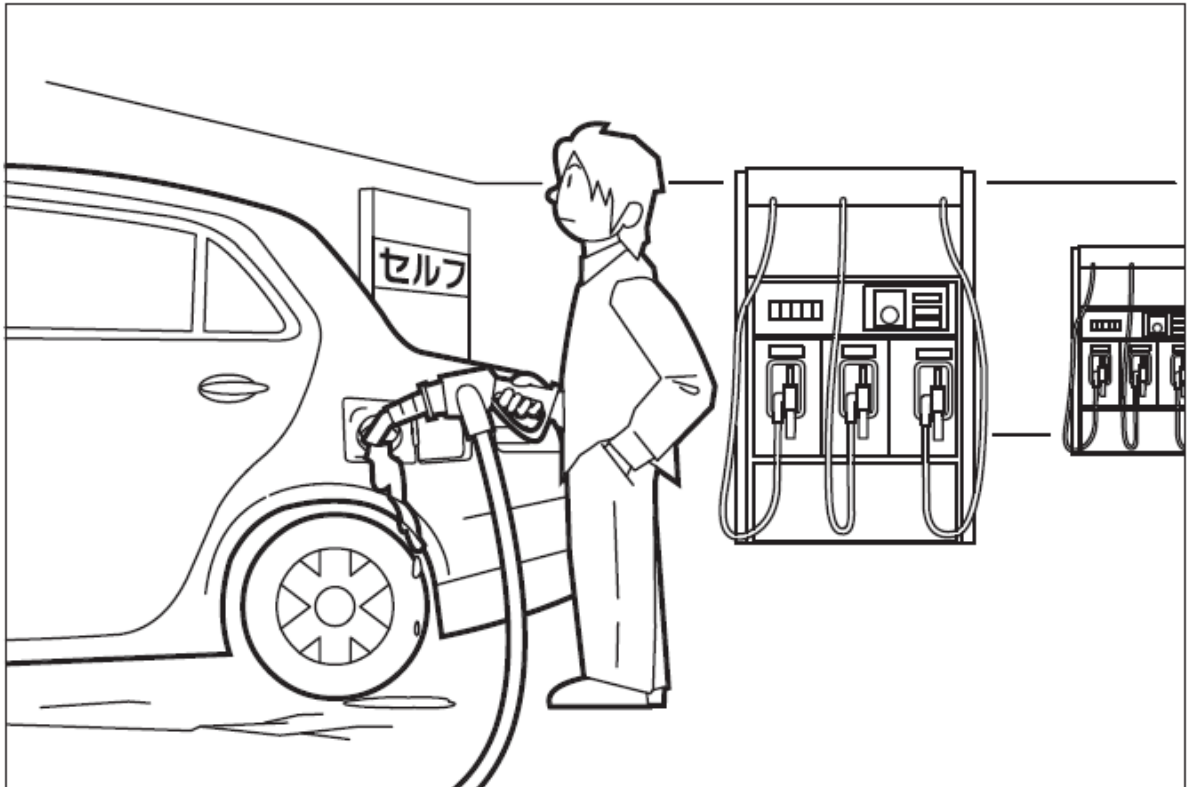
事例No.8	
漏洩	給油時に給油施設からガソリンを漏洩してしまった
場所	給油所
状況	給油時に給油ノズルからガソリンが吹きこぼれて漏洩してしまった（あるいは、給油時に給油ノズルからガソリンが滴り落ちた）・・・ 
原因	オートストップ後の継ぎ足し
教訓	給油時の注意事項を守る
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> 給油時の注意事項（継ぎ足しで給油しない、小流量で給油しない、給油ノズルは奥まで差し込んで給油する、よそ見をしない・・・）がきちんと守られるように周知する コンクリート床面にひび割れ等が生じていないかを定期的に点検し、ひび割れ等が見つかった場合は速やかに補修する

表 10 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壤汚染や地下水汚染に繋がった事例その 9

事例No.9	
漏洩	廃液や汚泥の抜き取り作業時に廃液や汚泥を漏洩させてしまった
場所	工場の排水処理施設
状況	<p>重金属類を含む排水を凝集中和沈澱処理し、溜まった汚泥を産廃処理業者に定期的にバキュームし、処理・処分して貰っていたが、その折のバキューム作業中に重金属類を含む汚泥が漏洩してしまった・・・</p> 
原因	廃液や汚泥の抜き取り作業時の注意不足、配慮不足
教訓	こぼさないように細心の注意を払うとともに、こぼれにくいように工夫する
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> ・有害物質を含む廃液や汚泥等の漏洩が土壤汚染・地下水汚染に繋がるおそれがあることを認識して、細心の注意を払って移し替え作業を行う ・移し替え先の容器、移し替え前の容器、移し替え作業に使う器具の形状や特徴等を考慮して、こぼれにくい作業となるような工夫を行う ・移し替え作業に使う器具や移し替え前の容器に残留している廃液等から漏洩しないように注意する ・規程された手順書に則った確実な作業に努める ・作業中は決して作業場所から離れない ・廃液や汚泥の抜き取り作業を行う場所の床面は、コンクリート舗装などの地下浸透防止対策を施す。また、同床面にひび割れ等が生じていないかを定期的に点検し、ひび割れ等が見つかった場合は速やかに補修する

表 11 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壌汚染や地下水汚染に繋がった事例その 10

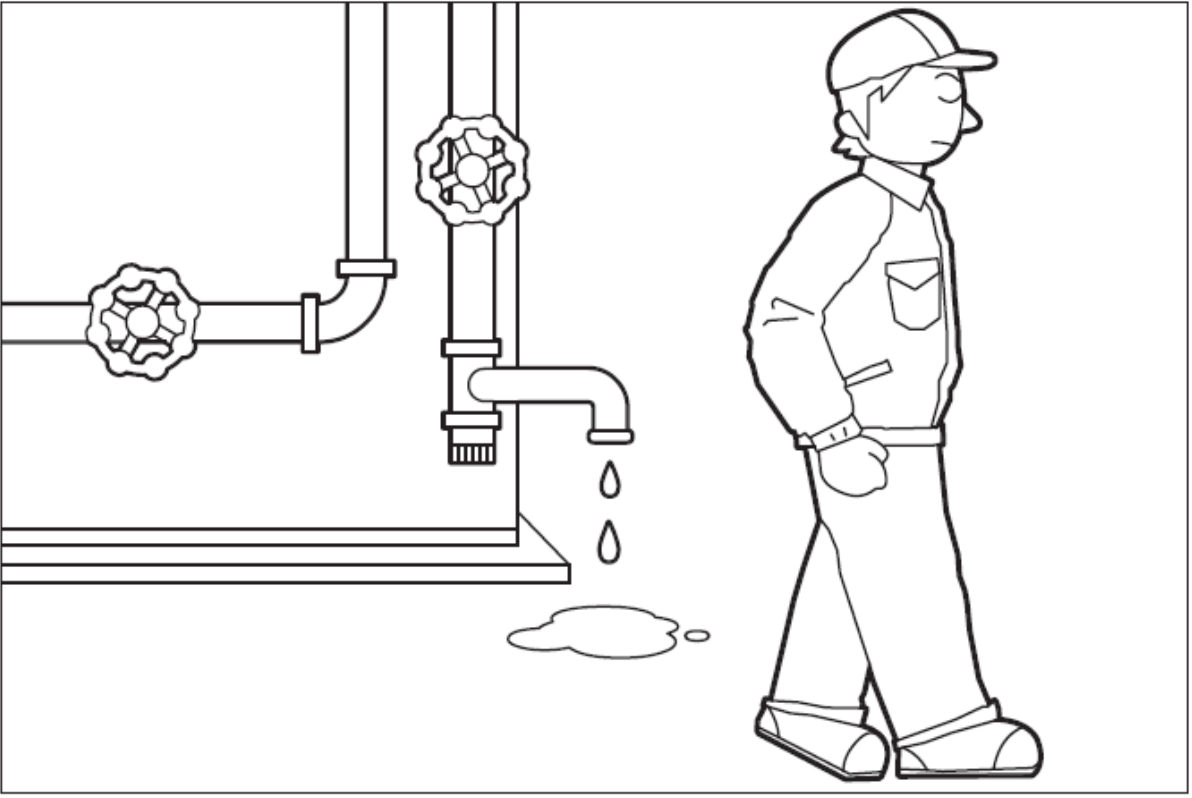
事例No.10	
漏洩	バルブの閉め忘れや弛みにより洗浄液を漏洩させてしまった
場所	液槽設備と配管の接合部分
状況	<p>排水設備と配管を接合する締め付け部分が緩んでおり、そこから廃液が漏洩した・・・</p> 
原因	バルブの締め付けが不足して緩んでいることを見逃した点検不足
教訓	機器等を稼働させる前には事前点検をキチンと行い、不具合等がないことを確認する
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> ・ 洗浄液等を使用している機器や配管について、バルブ等の閉め忘れや弛みがないことを事前確認した上で稼働させる

表 12 有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壌汚染や地下水汚染に繋がった事例その 11

事例No.11	
漏洩	劣化損傷のあるパッキンをそのまま放置して洗浄液を漏洩させてしまった
場所	液槽と配管を繋ぐバルブ
状況	<p>洗浄槽と配管を繋ぐバルブのパッキン部分から洗浄液が漏洩してしまった・・・</p> 
原因	バルブ交換時の作業不備あるいは点検不備
教訓	劣化や損傷等の不具合を定期的に確認し、必要に応じて部品を交換する
具体的な対策例	<ul style="list-style-type: none"> ・定期点検で劣化損傷したパッキンがないかを確認する ・劣化損傷したパッキンは速やかに交換する

前記した 11 事例と同じフォーマットの“空シート”を以下に載せますので、貴事業所で生じた有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等、あるいは、漏洩等に繋がる可能性のあった事例（ヒヤリハット事例）を基に、場所（設備・施設／工程等）、状況（経緯、実状等）、原因、教訓／対策などのポイントをわかりやすく A4 サイズ 1 枚にとりまとめて活用してください。

事例No.	
漏洩	
場所	
状況	
原因	
教訓	
具体的な 対策例	

2. 土壌汚染をできるだけ早期に発見するためのチェックポイントについて

前述した「1. 有害物質の取扱いについて一人為的な漏洩等によって新たな土壌汚染の要因をつくらないために」に挙げたような措置をすり抜けて、有害物質の漏洩等が生じて土壌汚染や地下水汚染まで至っている可能性があることを事業者の方々が自ら五感等（主に視覚と嗅覚）を活用して簡易に確認できるチェックポイントを、以下の①～④に分けて次頁以降に挙げます。

- ①事前準備
- ②設備、配管等の外観確認
- ③作業工程の実態確認
- ④設備周辺の状況確認

次頁以降に挙げたチェックポイントを確認した結果、有害物質の漏洩等が生じて有害物質が土壌まで達していることが憂慮される場合には、参考資料のb)に挙げた土壌汚染調査の実施を検討することが望まれます。

なお、次頁以降に挙げたチェックポイントは、あくまでも土壌汚染をできるだけ早期に発見するための典型的な事項ですので、貴事業所の工程や設備等の特徴、過去に経験された有害物質の漏洩等の事故や漏洩等の事故に繋がる可能性のあった事例（ヒヤリハット事例）、作業員の配置などに応じて書き換えて活用いただければ、同チェックポイントの実効性が高まります。

また、有害物質（あるいは有害物質を含む液状物等）を誤って土壌に直接こぼしてしまった場合は、こぼした有害物質が土壌や地下水に拡がってしまわないうちに応急措置を実施することが有効です。p.22 と p.23 のコラム欄で「有害物質を誤って土壌に直接こぼしてしまった場合の応急措置事例」を示しますので、参考にしてください。

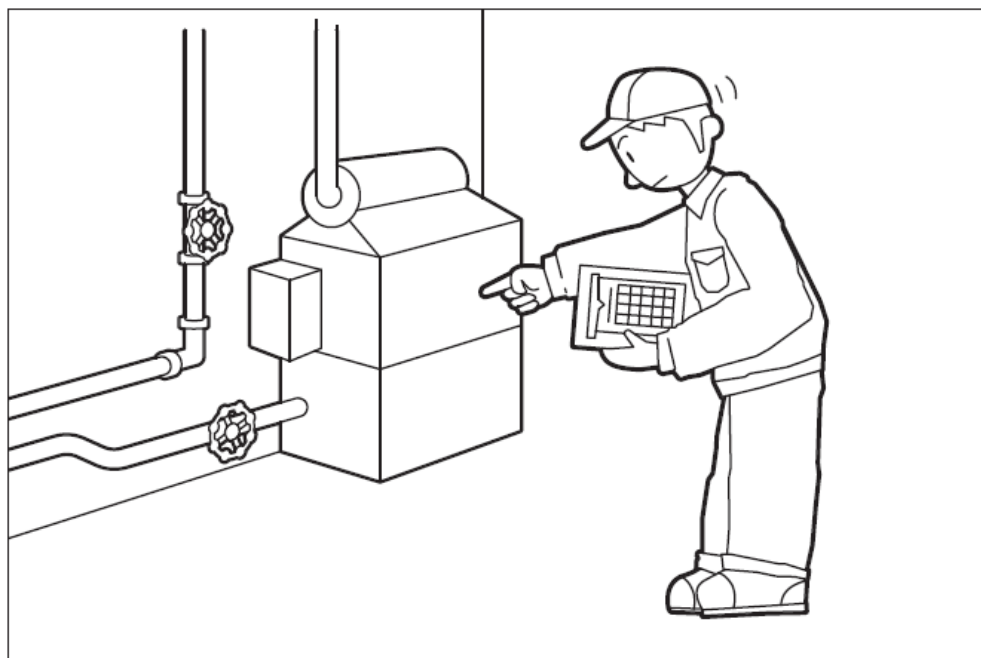
【事前準備】

	準備事項	確認欄
1	<p>貴事業所内で製造、使用、保管あるいは廃棄している有害物質を全て挙げてください。</p> <p>※貴事業所内で製造、使用、保管あるいは廃棄している有害物質を調べるためには、PRTR届出制度（化学物質排出移動量届出制度）の情報やMSDS（化学物質等安全シート。事業者が特定の化学物質を含んだ製品を他の事業者に出荷する際に添付しなければならない安全情報を記載したシート）などの情報が参考となりますので、活用してください。</p>	
2	<p>上記1で挙げた有害物質について、個別に性状や有害性・毒性等の概要を把握してください。</p> <p>○性状：常温では気体／液体／固体？ 同物質を通常取扱っている状態は気体／液体／固体？ （※例えば、常温で固体であっても、水溶液や溶媒に分散させて液状物として取扱っていないか？） 液体ならば、“さらさらして流れやすい”／“ねばねばして流れにくい”？ 水より重い／軽い？ 水に溶けやすい／溶けにくい？ 揮発しやすい／揮発しにくい？ 色は？ 臭いは？</p> <p>○分解性／残留性は？（土壌、水、大気などの環境中で分解されやすい物質か？／難分解性で環境中に残留しやすい物質か？）</p> <p>○有害性・毒性は？</p> <p>※有害物質の性状や有害性、毒性などを調べるためには、環境省の「化学物質ファクトシート」や独立行政法人 製品評価技術基盤機構の「化学物質総合情報提供システム（CHRIP）」などが参考になりますので、以下のサイトを参照してください。</p> <p>http://www.env.go.jp/chemi/communication/factsheet.html http://www.safe.nite.go.jp/japan/db.html</p>	
3	<p>上記1で挙げた有害物質は、主に、どの工程や設備、配管等に存在しているのかを確認してください。</p> <p>なお、地中に埋設された配管や排水枡（マス）、地下ピットなどは、一たび劣化・破損して有害物質が漏洩すると直ちに土壌汚染や地下水汚染に繋がりますので、特に注意して確認するようにしてください。</p>	



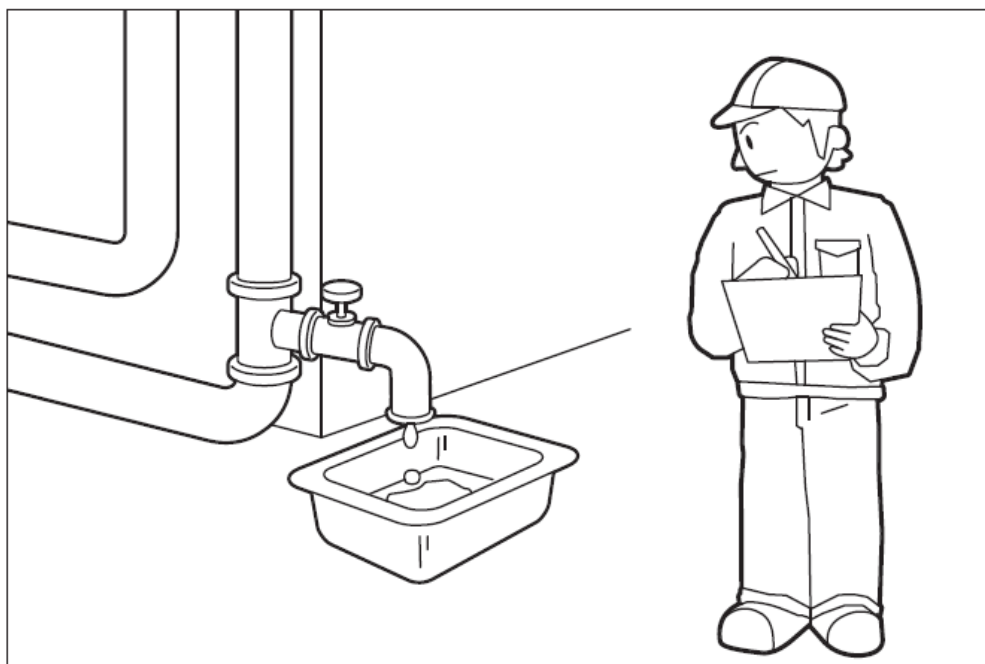
【設備、配管等の外観確認】

	確認項目	確認欄
1	設備、配管から液漏れは生じていないか？	
2	設備、配管に亀裂はないか？	
3	設備、配管が敷設された床面が液状物で濡れていないか？	
4	設備、配管が敷設された床面に亀裂はないか？	
5	設備、配管が敷設された床面に異臭（油臭、揮発性有機化合物の臭い等）や特異な色（例えば、油膜・油、黄色・六価クロム、青色・シアンの可能性あり）、粉塵などは付いていないか？	
6	地下ピットの表面に亀裂はないか？	
7	地下ピットの表面に異臭（油臭、揮発性有機化合物の臭い等）や特異な色（例えば、油膜・油、黄色・六価クロム、青色・シアンの可能性あり）、粉塵などは付いていないか？	
8	側溝の表面に亀裂はないか？	
9	側溝の表面に異臭（油臭、揮発性有機化合物の臭い等）や特異な色（例えば、油膜・油、黄色・六価クロム、青色・シアンの可能性あり）、粉塵などは付いていないか？	
10	倉庫など上記以外に有害物質が存在する可能性のある場所で液漏れは生じていないか？	
11	倉庫など上記以外に有害物質が存在する可能性のある場所の床面に亀裂はないか？	



【作業工程の実態確認】

	確認項目	確認欄
1	液垂れやオーバーフロー、飛散などが日常的に見られないか？	
2	液垂れやオーバーフロー、飛散などが生じにくい操作や工程となっているか？	
3	液垂れやオーバーフロー、飛散などが生じている（生じる可能性のある）ところには、漏れた液や飛散した粉塵を受ける容器類（オイルパン、トレイ、シートなど）が直下に備え付けられているか？その容量は十分か？	
4	液漏れが生じた場合に速やかに検知できるしくみ（例えば、漏洩検知ブザー等の設置）は付けられているか また、稼働しているか（スイッチは切られていないか）？	



【設備周辺の状況確認】

	確認項目	確認欄
1	施設周辺の土壤に異臭（油臭、揮発性有機化合物の臭い等）や特異な色（例えば、油膜・油、黄色・六価クロム、青色・シアンの可能性あり）などは付いていないか？	
2	施設周辺の地面で、周りは乾いているのに、局所的にそこだけが濡れていたり、湿っているようなところはないか？ （地下に埋設された配管等から汚水等が漏洩している兆候ではないか？）	
3	施設周辺の植物に立ち枯れ等の異常はないか？ 周りは雑草が繁茂しているのに、局所的にそこだけは雑草が全く生えていないようなところはないか？	



【コラム：有害物質を誤って土壌に直接こぼしてしまった場合の応急措置事例】

○有害物質を土壌にこぼしてしまった状況

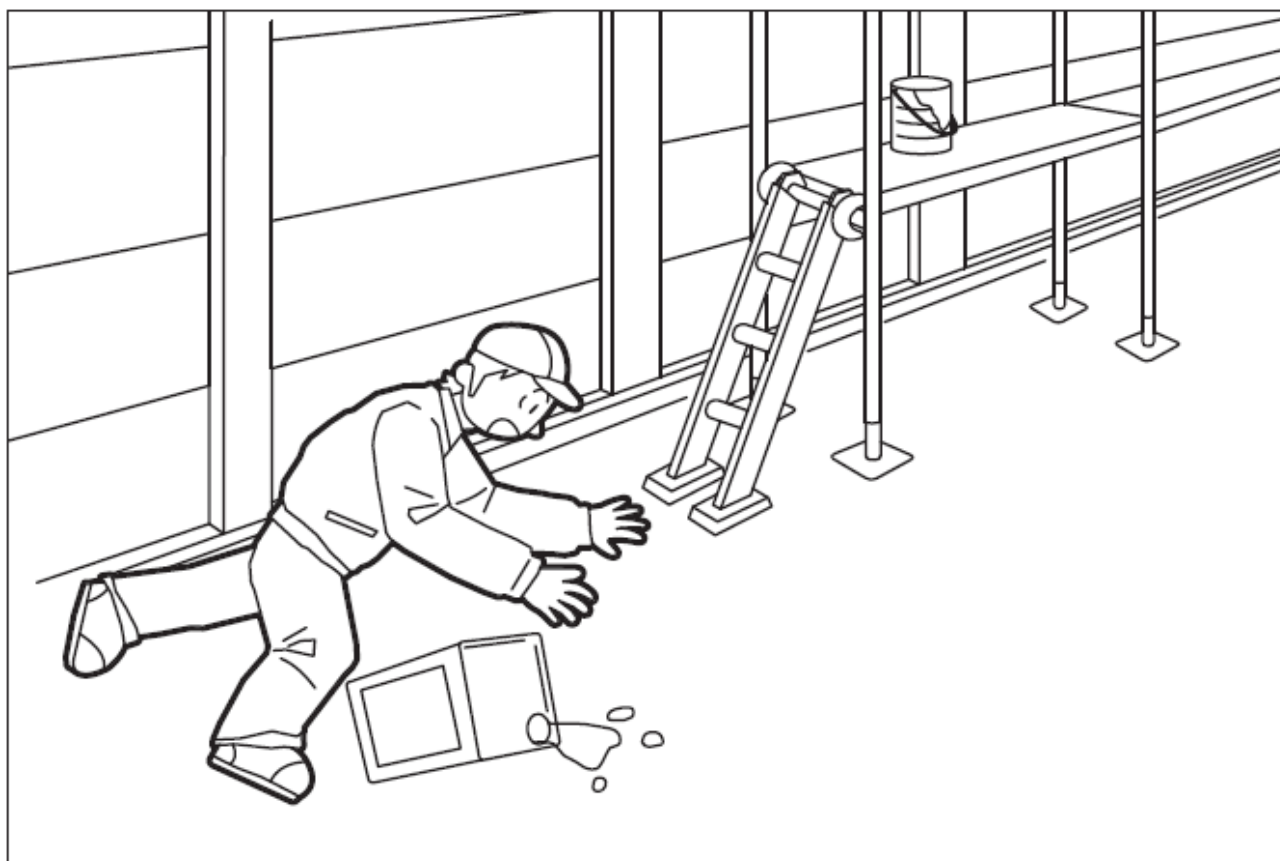
マンションの外壁の塗装作業中に塗料缶が倒れて、塗料を土壌にこぼしてしまった。

施主から、専門機関による土壌汚染調査を行って土壌汚染状況を確認するとともに、土壌汚染対策が完了するまで塗装作業を停止するよう指示された。

応急措置を含め、今後どのような対応をすればいいのかわからない。早く塗装作業を再開できるようにしたいのだが・・・

○有害物質を土壌にこぼしてしまった直接的な原因

- ①塗料缶を仮置きした場所は、地表面が凸凹であった。
- ②塗料缶を仮置きした場所にブルーシートを敷いておらず、バリケードで囲っていなかった。
- ③塗料缶の蓋をきちんと閉めていなかった。

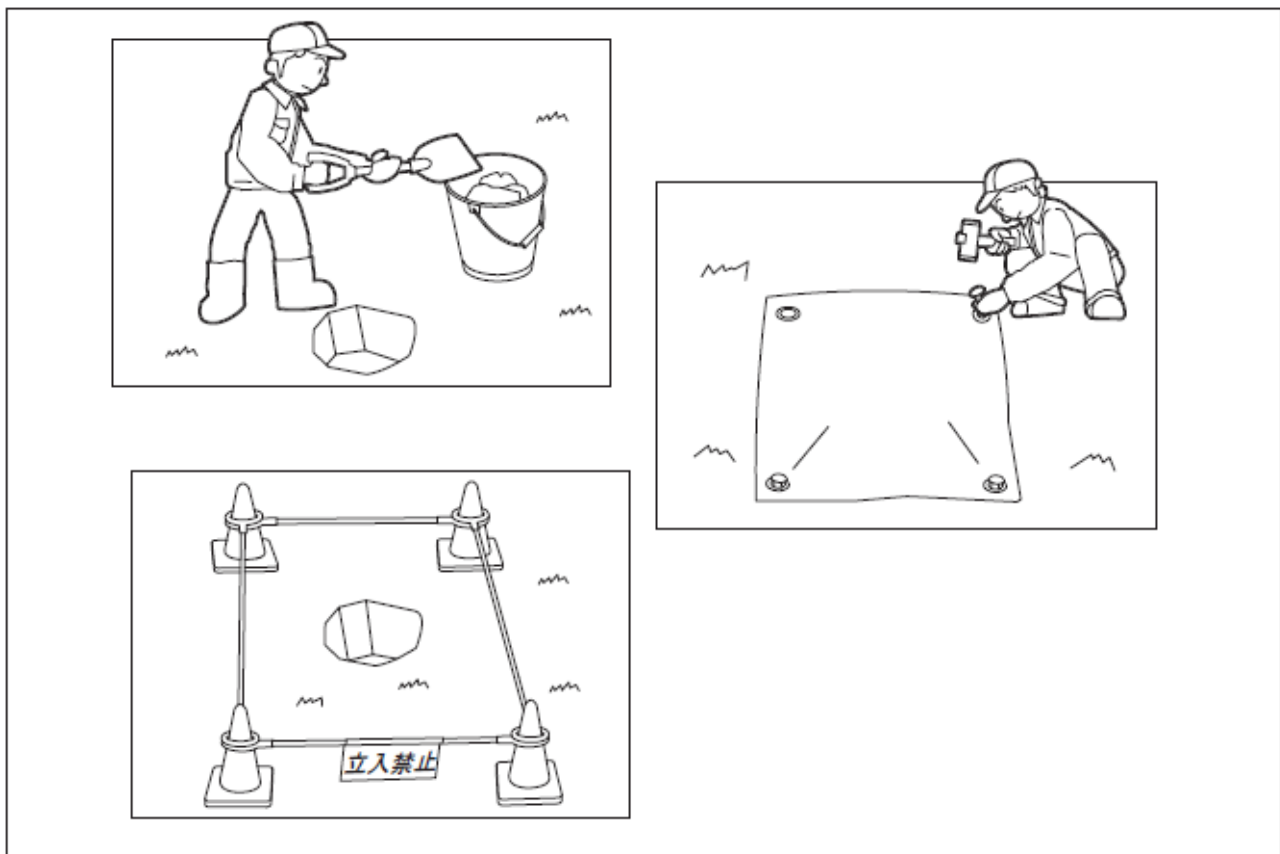


○応急措置

- ①こぼれた塗料をできるだけウェスで拭き取った。なお、使用したウェスは適正に処分した。
- ②こぼれた塗料は液体なので地中に浸透するが、こぼした直後はまだ深く浸透していない可能性が高いので、速やかに塗料が浸透したと思われる範囲の土壌を色や臭気で判断しながら掘り上げて、密閉容器に保管した。
- ③こぼれた範囲を速やかにバリケードで囲って立入禁止とした。
- ④こぼれた範囲を速やかにブルーシートで覆った。(雨水等による流出防止、土壌中への浸透防止、臭気防止等の影響を最小限にした。)
- ⑤その後、速やかに自治体の環境担当部局に状況を報告し、今後の対応を相談した。

○上記の応急措置の実施にあたって留意した事項

- ①こぼれた塗料の有害性、取扱の注意、廃棄する場合の留意点などについて MSDS (化学物質等安全シート。事業者が特定の化学物質を含んだ製品を他の事業者に出荷する際に添付しなければならない安全情報を記載したシート) 等で確認した。
- ②火気厳禁で作業した。
- ③掘り上げた土壌を密閉した容器は、関係者以外が立ち入れない場所に保管した。



おわりに

本マニュアルでは、有害物質の不適切な取扱い等による漏洩等が土壌汚染や地下水汚染に繋がった事例に基づく有害物質の取扱いの教訓情報、有害物質の漏洩等を事業者自らが五感等を活用して簡易に認識し、早期の土壌汚染調査に繋がられるチェックポイントなどを示しました。また、有害物質を誤って土壌に直接こぼしてしまった場合の応急措置事例もコラムとして掲載しました。

これらを参考にしながら、新たな土壌汚染を生じさせないように努めてください。

また、新たな土壌汚染を発生させてしまった場合には、速やかにその状況を把握するとともに、有害物質の汚染が土壌や地下水に拡がらないうちに迅速な対応を行ってください。

環境省 水・大気環境局 土壌環境課

代表：03-3581-3351

参考資料

a) 土壌汚染に係る基準

土壌汚染対策法で指定されている特定有害物質と汚染状態に関する基準などを下表に整理しました。
なお、同基準により、土壌汚染の有無や対策措置の内容などが判断されます。

表 a-1 土壌汚染対策法で指定されている特定有害物質と汚染状態に関する基準など

分類	特定有害物質の種類	土壌溶出量基準	土壌含有量基準	地下水基準	第二溶出量基準
(第一種特定有害物質) 揮発性有機化合物	四塩化炭素	0.002mg/L 以下	—	0.002mg/L 以下	0.02mg/L 以下
	1,2-ジクロロエタン	0.004mg/L 以下	—	0.004mg/L 以下	0.04mg/L 以下
	1,1-ジクロロエチレン	0.1mg/L 以下	—	0.02mg/L 以下	0.2mg/L 以下
	シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04mg/L 以下	—	0.04mg/L 以下	0.4mg/L 以下
	1,3-ジクロロプロペン	0.002mg/L 以下	—	0.002mg/L 以下	0.02mg/L 以下
	ジクロロメタン	0.02mg/L 以下	—	0.02mg/L 以下	0.2mg/L 以下
	テトラクロロエチレン	0.01mg/L 以下	—	0.01mg/L 以下	0.1mg/L 以下
	1,1,1-トリクロロエタン	1mg/L 以下	—	1mg/L 以下	3mg/L 以下
	1,1,2-トリクロロエタン	0.006mg/L 以下	—	0.006mg/L 以下	0.06mg/L 以下
	トリクロロエチレン	0.03mg/L 以下	—	0.03mg/L 以下	0.3mg/L 以下
	ベンゼン	0.01mg/L 以下	—	0.01mg/L 以下	0.1mg/L 以下
(第二種特定有害物質) 重金属等	カドミウム及びその化合物	0.01mg/L 以下	150mg/kg 以下	0.01mg/L 以下	0.3mg/L 以下
	六価クロム化合物	0.05mg/L 以下	250mg/kg 以下	0.05mg/L 以下	1.5mg/L 以下
	シアン化合物	検出されないこと	50mg/kg 以下 (遊離シアンとして)	検出されないこと	1.0mg/L 以下
	水銀及びその化合物	水銀が0.0005mg/L 以下かつアルキル水銀が検出されないこと	15mg/kg 以下	水銀が0.0005mg/L 以下かつアルキル水銀が検出されないこと	水銀が0.005mg/L 以下かつ、アルキル水銀が検出されないこと
	セレン及びその化合物	0.01mg/L 以下	150mg/kg 以下	0.01mg/L 以下	0.3mg/L 以下
	鉛及びその化合物	0.01mg/L 以下	150mg/kg 以下	0.01mg/L 以下	0.3mg/L 以下
	砒素及びその化合物	0.01mg/L 以下	150mg/kg 以下	0.01mg/L 以下	0.3mg/L 以下
	ほう素及びその化合物	0.8mg/L 以下	4,000mg/kg 以下	0.8mg/L 以下	24mg/L 以下
(第三種特定有害物質) 農薬等／農薬十PCB	シマジン	0.003mg/L 以下	—	0.003mg/L 以下	0.03mg/L 以下
	チオベンカルブ	0.02mg/L 以下	—	0.02mg/L 以下	0.2mg/L 以下
	テウラム	0.006mg/L 以下	—	0.006mg/L 以下	0.06mg/L 以下
	ポリ塩化ビフェニル (PCB)	検出されないこと	—	検出されないこと	0.003mg/L 以下
	有機りん化合物	検出されないこと	—	検出されないこと	1mg/L 以下

b) 土壌汚染調査の概要

土壌汚染対策法では、特定有害物質の特徴により、土壌汚染の有無を確認する調査方法が三つに分けられています。その概要を下表に整理します。

表 b-1 土壌汚染対策法における特定有害物質の分類毎の調査方法の概要

特定有害物質の分類	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)
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 揮発性の高い物質 汚染された土壌から溶出し、汚染地下水の摂取のリスクのある物質 	<ul style="list-style-type: none"> 土壌へ吸着しやすい物質 汚染された土壌を直接摂取するリスクのある物質 汚染された土壌から溶出し、汚染地下水の摂取のリスクのある物質 	<ul style="list-style-type: none"> 汚染された土壌から溶出し、汚染地下水の摂取のリスクのある物質
調査方法の概要	<p>土壌ガス調査 (※表層部分の土壌間隙空間に存在する気体の測定)</p> <p>↓</p> <p>ボーリング調査 (土壌溶出量調査) (※基本は深さ 10mまでボーリング。難透水層がある場合は帯水層の底面まで)</p>	<p>土壌含有量調査 土壌溶出量調査 (※汚染のおそれが生じた場所の位置(深さ)を基準とし、深さ 50cm までの土壌が対象。汚染のおそれが生じた場所の位置(深さ)が地表面と同一の場合又は不明の場合は、表層の土壌と深さ 5~50cm の土壌を均等混合)</p>	<p>土壌溶出量調査 (※汚染のおそれが生じた場所の位置(深さ)を基準とし、深さ 50cm までの土壌が対象。汚染のおそれが生じた場所の位置(深さ)が地表面と同一の場合又は不明の場合は、表層の土壌と深さ 5~50cm の土壌を均等混合)</p>

実際に土壌汚染調査を実施する場合には、その相談先・依頼先としては、同調査を適確かつ円滑に遂行するに足りる経理的基礎及び技術的能力を有し、同調査の公正な実施に支障を及ぼすおそれがないとして、国（環境省）から指定されている指定調査機関が相応しいと考えられます。

指定調査機関は、以下のサイトで探すことができます。

<http://www.env.go.jp/water/dojo/kikan/index.html>

c) 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法およ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および浄化方法の例

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	—
				g) 透過性地下水浄化壁法		事例 7
		生物処理	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、留意事項およ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および浄化方法の事例 1

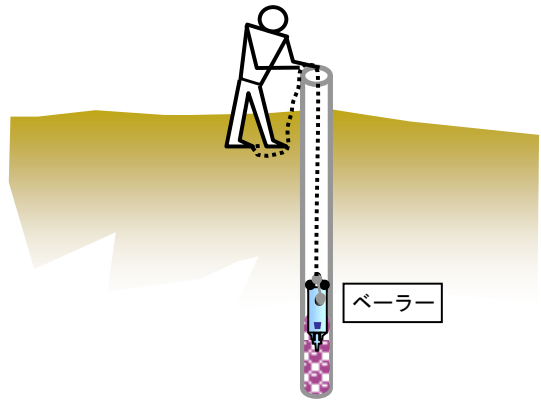
事例 1		
方法	地下水の水質の測定	
概要	<p>土壌の汚染状態が土壌溶出量基準に適合しないが、当該土壌の汚染に起因する地下水汚染が生じていない土地に対して適用される措置である。</p> <p>当該土地において土壌汚染に起因する地下水汚染の状況を的確に把握できると認められると考えられる地点に観測井を設け、当初 1 年は 4 回以上、2 年目から 10 年目までは 1 年に 1 回以上、11 年目以降は 2 年に 1 回以上定期的に地下水を採取し、所定の方法により測定する。(右図 参照)</p> <p>なお、地下水の水質の測定(地下水モニタリング)は、地下水汚染が生じないことを確認するものであることから、措置の期限は定められない。</p>	 <p style="text-align: center;">図 地下水の水質の測定の概要</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○適用可能な対象：VOCs、重金属等、農薬等により地下水が汚染されていないことの確認 ○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） ○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。 	
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	<ul style="list-style-type: none"> ○適用対象：油槽所（埋立地）／砒素およびその化合物による土壌汚染（土壌溶出量基準の約 4 倍）と鉛およ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 ○適用方法：地下水の水質の測定およびコンクリート舗装 ○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 ○所要期間：（コンクリート舗装は 40 日） ○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>（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-5 工場等の作業中から実施できる拡散防止方法および浄化方法の事例 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：地下水揚水法および土壌ガス吸引法 ○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>

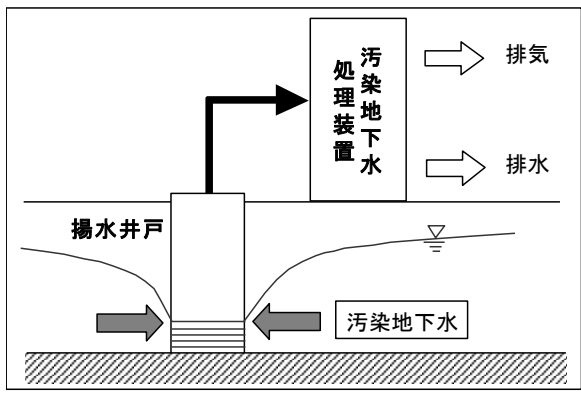


図 地下水揚水法の概要

表 c-6 工場等の作業中から実施できる拡散防止方法および浄化方法の事例 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) 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。 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="837 353 1417 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 およ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。 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。 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および浄化方法の事例 4

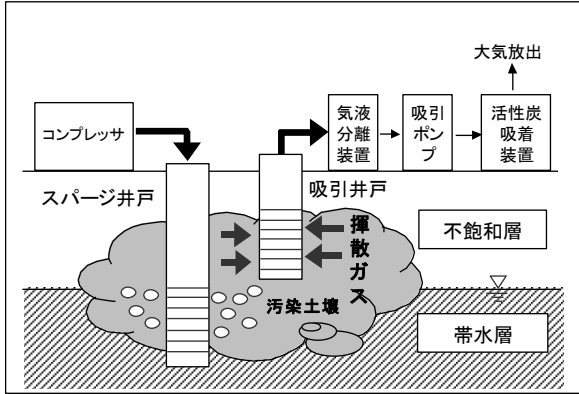
事例 4	方法 エアースパーキング法
概要	<p>飽和帯に空気を注入して地下水から VOCs や油分の揮発を促進し、上部においてガス吸引法によって揮散ガスを捕集する方法である。 (右図 参照)</p>  <p style="text-align: center;">図 エアースパーキング法の概要</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○適用可能な対象：VOCs や油分の揮発成分 ○適用可能な土質：主に土壌の汚染が地下水位以下の場合に用いられるが、不飽和帯への注入の例もある。 ○浄化期間の目安：数ヶ月と比較的短期間で浄化できる場合から数年と長期間を要する場合もある。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およびフェントン法 ○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およ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 工場等の作業中から実施できる拡散防止方法および浄化方法の事例 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>
特徴	<p>○適用可能な対象：VOCs</p> <p>○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。</p> <p>○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。</p>
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	<p>○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</p> <p>○適用方法：フェントン法</p> <p>○適用効果：基準以内に浄化</p> <p>○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))</p> <p>○所要費用：約 8,000 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>

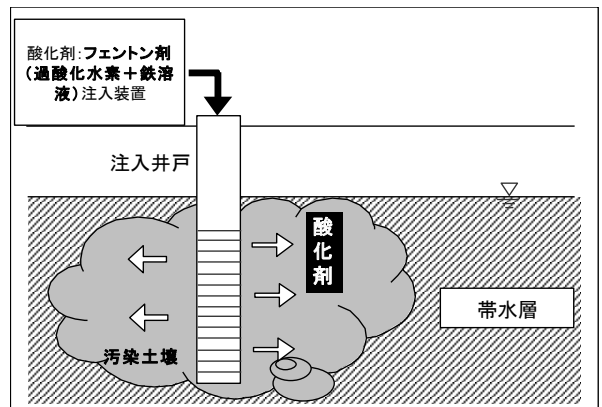


図 フェントン法の概要

表 c-9 工場等の作業中から実施できる拡散防止方法および浄化方法の事例 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 (C₂HCl₃) はエチレン (C₂H₄) になる。</p> <p>(右図 参照)</p> <div data-bbox="842 353 1428 750" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">図 鉄粉法の概要</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：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</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-10 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法および浄化方法の事例 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および不溶化、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>

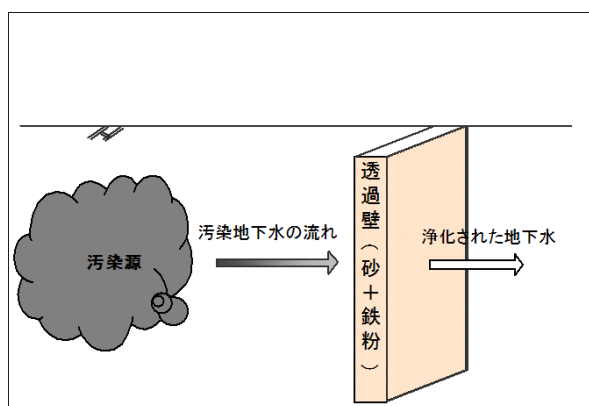


図 透過性地下水浄化壁法の概要

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

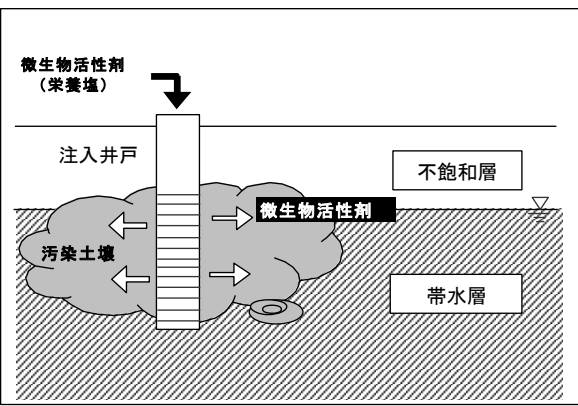
事例 8	嫌気性バイオレメディエーション
概要	<p>微生物活性剤を帯水層中へ注入し、嫌気性の微生物を活性化し、微生物の代謝による VOCs（但し、ベンゼン、四塩化炭素、1,3-ジクロロプロペンを除く。）の脱塩素反応を促進して分解する。</p> <p>微生物活性剤は、糖類、アミノ酸、ビタミン等からなり、色々な製品が開発されている。（右図 参照）</p>  <p style="text-align: center;">図 嫌気性バイオレメディエーションの概要</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○適用可能な対象：VOCs（但し、ベンゼン、四塩化炭素、1,3-ジクロロプロペンを除く。） ○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。 ○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。
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	<ul style="list-style-type: none"> ○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 ○適用方法：嫌気性バイオレメディエーション ○適用効果：基準以内に浄化 ○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） ○所要費用：約 2,000 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-12 工場等の操業中から実施できる拡散防止方法および浄化方法の事例 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。</p> <p>（右図 参照）</p> <div data-bbox="836 349 1422 752" style="text-align: center;"> <p>The diagram illustrates the process of aerobic bioremediation. It shows a cross-section of the ground with a water table. A vertical injection well is shown on the left, with arrows indicating the downward flow of '微生物活性剤 (栄養塩)' (Microbial activator (nutrients)) and '酸素 (空気)' (Oxygen (air)). The well is situated in a '汚染土壌' (Contaminated soil) area. To the right of the well, the ground is divided into two layers: the upper '不飽和層' (Unsaturated zone) and the lower '帯水層' (Saturated zone). Arrows show the flow of '微生物活性剤' (Microbial activator) from the well into the contaminated soil and into the saturated zone. The diagram also shows the flow of air from the well into the soil.</p> </div> <p style="text-align: center;">図 好気性バイオレメディエーションの概要</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／ベンゼンによる土壌汚染（基準の 100 倍）と地下水汚染汚染（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」の巻末資料一掘削除去以外による土壌汚染対策の実例）</p>

表 c-13 工場等の作業中から実施できる拡散防止方法および浄化方法の事例 10

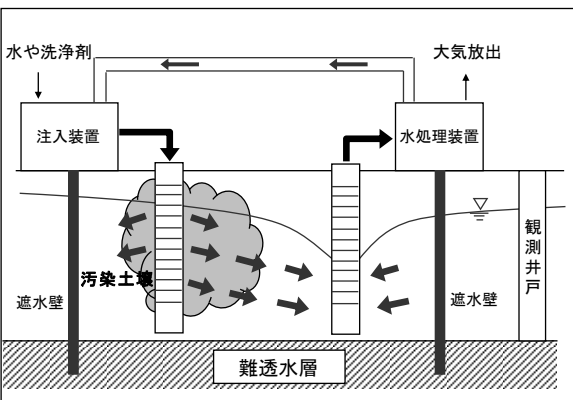
事例 10	原位置土壌洗浄法
概要	<p>汚染土壌中に清浄な水、または溶出を促進させる洗浄剤を溶解させた水等を注水し、同時に地下水を揚水することにより汚染土壌中の地下水の流速を高め、揚水した水から有害物質の濃度を低下させる。地上から散水する方法はソイルフラッシングと呼ばれることもある。 (右図 参照)</p>  <p style="text-align: center;">図 原位置土壌洗浄法の概要</p>
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○適用可能な対象：重金属等を中心に適用させるが、農薬等や VOCs、油分に対しても有効な場合がある。 ○適用可能な土質：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：原位置土壌洗浄法およびフェントン法 ○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 工場等の作業中から実施できる拡散防止方法および浄化方法の事例 11

事例 11		
方法	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	<p>○適用可能な対象：VOCs、重金属等、農薬等</p> <p>○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。</p> <p>○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。</p>	
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>	

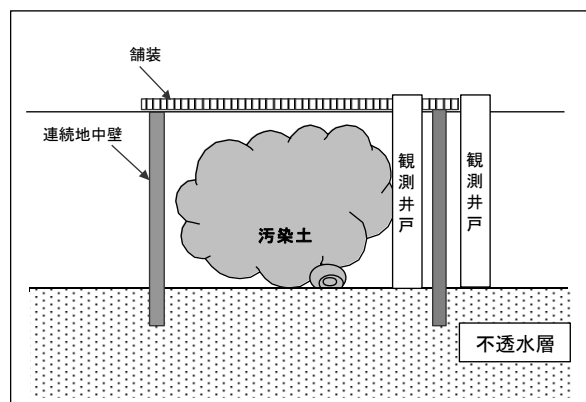


図 原位置封じ込めの概要

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 およびエアースパーキング法、土壌ガス吸引法</p> <p>○適用効果：原位置封じ込め後に、エアースパーキング、土壌ガス吸引によって、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、土壌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>
------	---