

地下水をきれいにするために

揮発性有機化合物、重金属、硝酸性窒素
及び亜硝酸性窒素による地下水汚染対策について



名水百選「塩釜の冷泉」

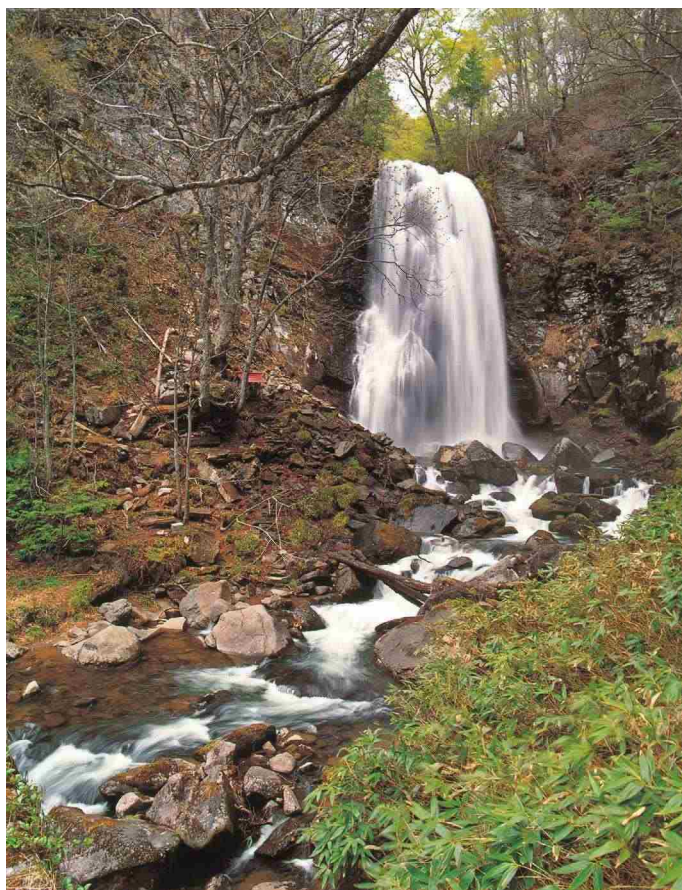
環境省 環境管理局 水環境部

はじめに

地下水は、温度の変化が小さく水質が一般に清浄であることから、飲料水、工業用水、農業用水等に幅広く用いられている貴重な水資源であり、災害時の水源としても重要な役割を果たしています。しかし、昭和50年代にトリクロロエチレン等による全国的な地下水汚染が明らかになり、大きな社会問題となりました。地下水はいったん汚染されると浄化することは容易ではなく、多額の費用を要するうえ非常に時間もかかります。地下水を保全するためには、汚染の未然防止が重要となりますが、有害物質の不適切な取り扱いなどによって地下水が汚染された場合には、その対策が求められることとなります。

環境省水環境部では、汚染された地下水を、より経済的・効率的に浄化する技術の開発・普及を図るため、これまでに数々の技術について実証試験を行ってきました。これらの一部は、平成11年度に作成した「地下水をきれいにするために」に掲載したところですが、今般、その改訂を行いました。改訂に当たっては、浄化技術を追加してより多くの技術を紹介するとともに、揮発性有機化合物に加え、重金属や硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染の現状を解説するなど、内容の充実を図っています。

近年は、民間企業における技術開発が盛んに進み、このパンフレットで紹介した技術以外にもさまざまな浄化技術があります。このパンフレットを通じ、行政の担当者をはじめ、事業者等の方々に地下水汚染をよく理解していただくとともに、地下水汚染対策を進めるにあたって活用いただければ幸いです。



名水百選より「小野川湧水」

地下水をきれいにするために

一揮発性有機化合物、重金属、硝酸性窒素及び
亜硝酸性窒素による地下水汚染対策について一

目 次

はじめに	
1. 地下水汚染のしくみ	1
2. 地下水汚染の状況	3
3. 地下水汚染に関する法体系	5
3.1 水質汚濁防止法による地下水保全対策のしくみ	5
3.2 地下水質の保全に関わるその他の法律	6
4. 自治体、事業者のとりくみ	7
4.1 自治体のとりくみ	7
4.2 事業者のとりくみ	9
5. 調査・対策技術	10
5.1 調査技術	11
5.2 対策技術	15
5.3 効果の確認	24
参考資料1 浄化対策に関する支援制度	25
参考資料2 汎用装置実証調査、新技術実証調査	28
参考資料3 参考文献等	64
付表1 汚染物質の主な物性、毒性、用途等	65
付表2 地下水の水質汚濁に係る環境基準	66
付表3 土壌汚染対策法対象物質と指定基準、第二溶出量基準	67
おわりに	68

1. 地下水汚染のしくみ

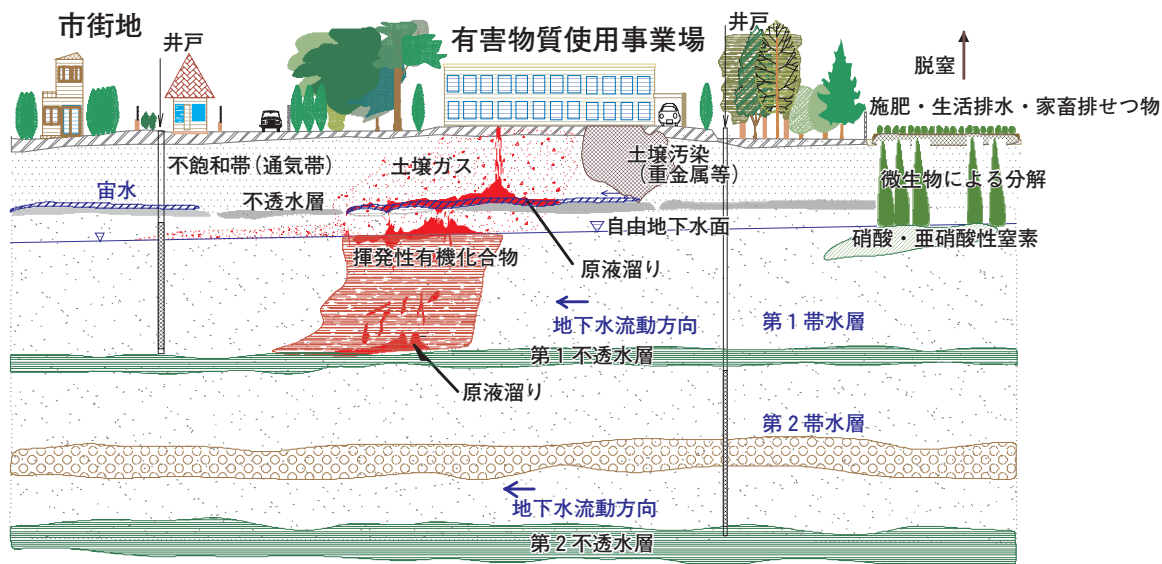
汚染の原因となる物質には、主として、揮発性有機化合物（以下、「VOC」という。）、重金属、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素（以下、「硝酸・亜硝酸性窒素」という。）があります。地下水は、いったん汚染されると浄化することが容易ではありません。また、物質の種類によって程度は異なりますが汚染が拡散することもあるので、早期の調査と対策が必要ですし有害物質の地下浸透を未然に防止することが何よりも重要です。

VOCは難分解性で土壤に吸着されにくいため土壤中を容易に浸透し、地下水の流れによって広範囲に汚染が広がるおそれがあります。また、土壤中に原液状で溜まったり、地質の状況によっては地下深部にまで汚染が広がることもあります。

重金属は、一般に土壤に吸着され易いため、汚染は深部にまで拡散しにくいという特徴があります。

硝酸・亜硝酸性窒素は、土壤に吸着されにくいため、地下水に移行し易く、一般に汚染が広範囲に及ぶという特徴があります。

地下水汚染は、汚染の原因となる物質によってその性質が異なるため、それぞれの汚染の性質に応じた対策を講じることが必要となります。



楡井1989を基に作成

図1-1 地下水汚染のしくみ

1. 地下水汚染のしくみ

地下水汚染の原因となる各物質の性質、汚染の原因や特徴は次のとおりです。

表1-1 物質ごとの地下水汚染の特徴

汚染物質	揮発性有機化合物 (VOC)	重金属	硝酸・亜硝酸性窒素
性質	揮発性、低粘性で水より重く、土壌・地下水では分解されにくい。土壌中を浸透し、地下水に移行しやすい（ベンゼンは水より軽く、他のVOCと比べると分解されやすい）。	水にわずかに溶解するが、土壌に吸着され易いため移動しにくい（重金属によっては水に溶けやすく、動きやすいものもある）。	土壌に吸着されにくく、地下水に移行しやすい。土壌中の微生物のはたらきにより、アンモニア性窒素等が酸化されて生じる。
汚染の原因	溶剤使用・処理過程の不適切な取扱い、漏出。廃溶剤等の不適正な埋立処分、不法投棄など。	保管・製造過程の漏出、排水の地下浸透、廃棄物の不適正な埋立処分、自然由来など。	過剰な施肥、家畜排せつ物の不適正な処理、生活排水の地下浸透など。
汚染の特徴	地下浸透しやすく深部まで汚染が広がることがある。 液状のままやガスとしても土壌中に存在する。	移動性が小さいため、一般に汚染が局所的で深部まで拡散しない場合が多い。自然由来（土壌からの溶出）によって地下水環境基準を超過することもある。	農地など汚染源そのものに広がりを持つため、汚染が広範囲に及ぶことが多い。
備考	トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン等は分解してシス-1,2-ジクロロエチレンや、1,1-ジクロロエチレン等に変化することがある。	六価クロム等の陰イオンの形態をとるものは、土壌に吸着されにくいため、地下深部まで汚染が及び、また広範囲に汚染が広がることもある。	土壌への窒素負荷を完全になくすことは、困難である。

2. 地下水汚染の状況

(1) 判明事例数と汚染物質

平成14年度末までに地下水汚染が判明した事例は3,719件（累積）ありますが、そのうち環境基準を超過している井戸が存在する事例は2,509件となっています。

VOC汚染の判明件数は、都道府県による地下水の常時監視が開始された平成元年に増加したほか、事業者による自主的な調査が増加した平成10年度にも増加がみられましたが、ここ数年は新たな汚染の判明は若干減る傾向にあります。また、平成11年度にふっ素、ほう素、硝酸・亜硝酸性窒素が環境基準項目に追加されて以降、地下水の常時監視による調査数が増加したことに伴って、これらの項目の超過事例が増加しています。

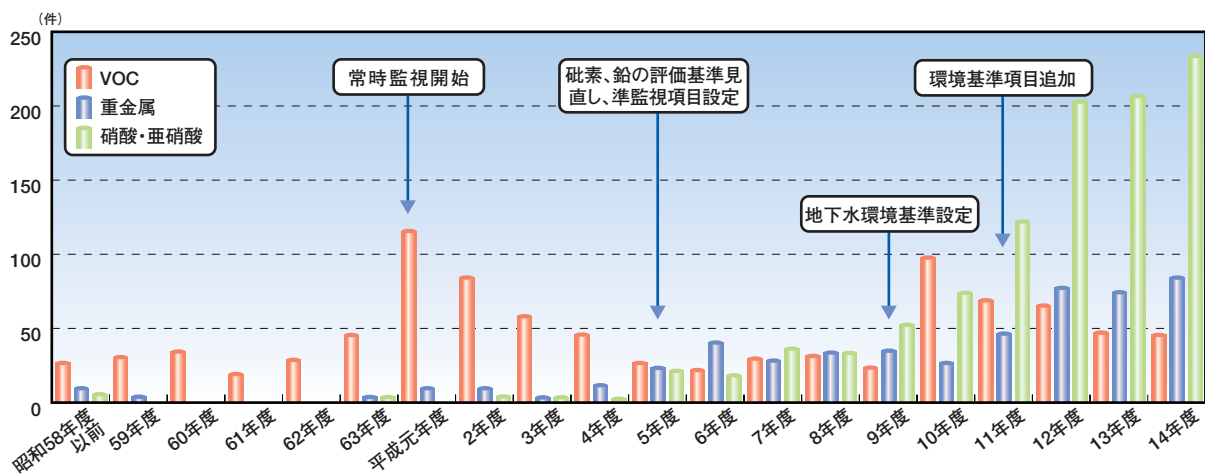


図2-1 年度別の超過事例数

超過事例2,509件を環境基準項目別にみると、硝酸・亜硝酸性窒素が最も多くなっています。また、重金属等では砒素、ふっ素、VOCではトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン及びその分解物のシス-1,2-ジクロロエチレンが多くなっています。

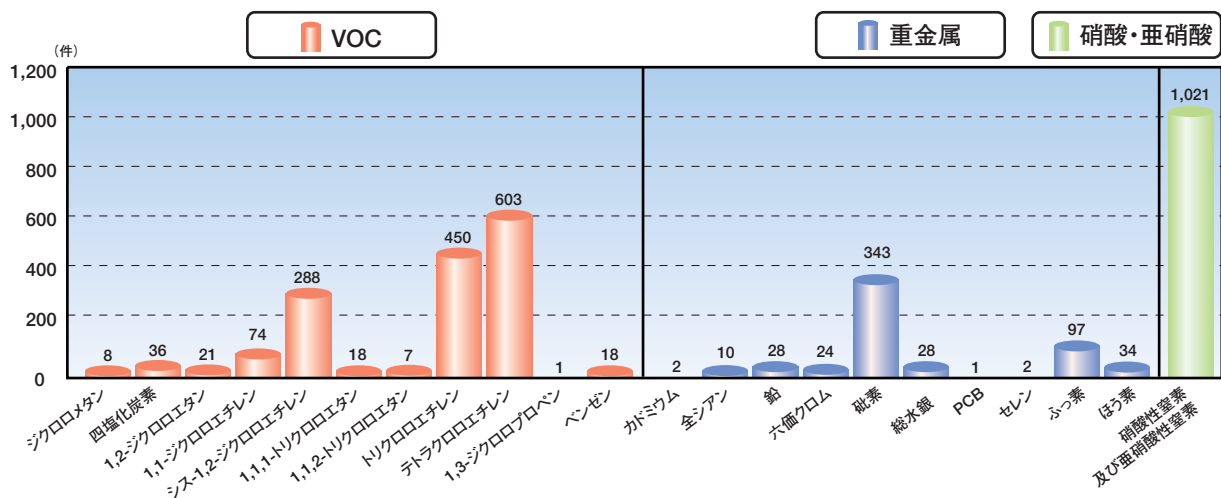


図2-2 項目別の超過事例数

2. 地下水汚染の状況

(2) 汚染判明の経緯

超過事例2,509件について、汚染判明の経緯をみると、表2-1のとおりです。

VOCによる汚染判明の経緯は、都道府県による水質汚濁防止法の測定計画に基づく調査のほか、測定計画外の調査、事業者等の自主的な調査によるものが多くなっています。一方、重金属等及び硝酸・亜硝酸性窒素による汚染判明の経緯は、水質汚濁防止法の測定計画に基づく調査が8割程度を占めます。

表2-1 汚染判明の経緯

汚染判明の経緯	VOC	重金属等	硝酸・亜硝酸	合計
水質汚濁防止法の測定計画に基づく調査	320	400	882	1,603
水質汚濁防止法の測定計画外の調査	309	47	116	474
事業者等の自主的な調査	181	35	1	228
地方公共団体による飲用井戸の調査	71	17	22	111
水質汚濁防止法等に基づく立入調査	48	3	0	51
住民からの申し出等	37	15	4	57
その他	39	7	0	50
合計	957	515	1,021	2,509

※経緯が複数ある場合があるため、各項目の件数の和は合計に一致しません。

(3) 汚染原因

超過事例2,509件について、汚染原因をみると、表2-2のとおりです。

VOCの汚染原因は、工場・事業場が最も多くなっています。重金属等による汚染原因は自然由来と判定された事例が約8割（原因が分からないため、自然由来と推定されている事例を含む）を占めます。硝酸・亜硝酸性窒素による汚染原因は、過剰な施肥、生活排水の浸透、家畜排せつ物の不適正な処理など原因が多様であるうえ、原因が不明とされている事例も多くあります。

表2-2 汚染原因

汚染原因	VOC	重金属等	硝酸・亜硝酸	合計
工場・事業場	486	34	0	532
自然由来	0	394	3	397
施肥	0	0	341	341
生活排水	0	0	158	158
廃棄物	131	13	0	146
家畜排せつ物	0	0	145	145
不明	424	78	639	1,143
その他	15	4	4	23
合計	957	515	1,021	2,509

※汚染原因が複数ある事例があるため、各項目の件数の和は合計に一致しません。

3. 地下水汚染に関する法体系

3. 1 水質汚濁防止法による地下水保全対策のしくみ

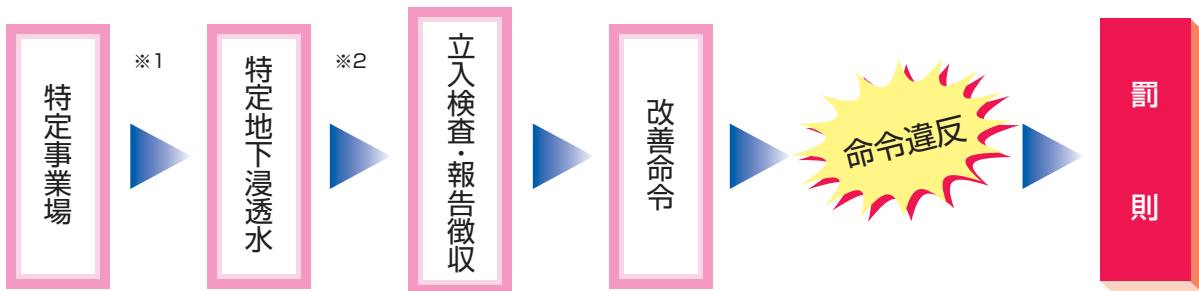
地下水質の常時監視 法第15条、16条、17条

都道府県知事等が地下水質の常時監視を行い、結果は公表されます。



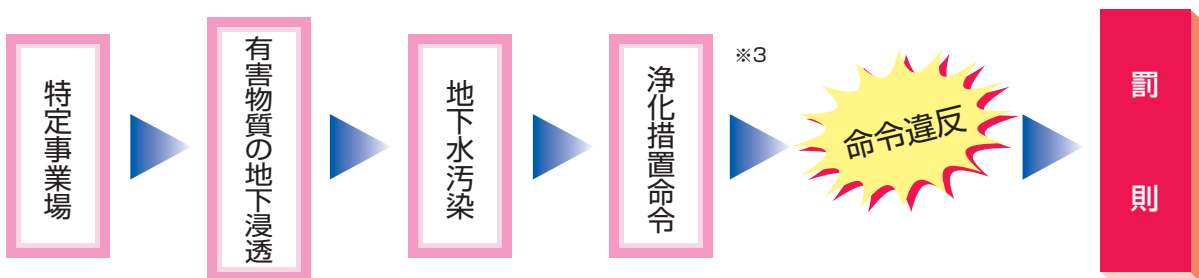
有害物質の地下浸透の禁止 法第12条の3

トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン等の有害物質を含む水の地下浸透は禁止されています。



汚染された地下水の浄化 法第14条の3

都道府県知事等が、汚染原因者に対して、汚染地下水の浄化措置を命令できることとなっています。



- 注) ※1 特定事業場：特定施設（水質汚濁防止法に基づいて定められた汚水又は廃液を排出する施設）を設置している工場又は事業場
※2 特定地下浸透水：有害物質の製造、使用又は処理を行う特定施設から地下に浸透する水
※3 浄化措置命令：地下水の浄化措置命令では、地下水を飲用に利用している地点等で地下水汚染が判明していることが必要です。一方、土壌汚染対策法の調査命令では、汚染のある地点と地下水の飲用等の地点が離れていても命令を行いうる点で、地下水の浄化措置命令とは異なります。

図3-1 水質汚濁防止法による地下水保全対策のしくみ

3. 地下水汚染に関する法体系

3. 2 地下水質の保全に関わるその他の法律

3.1で示すように、水質汚濁防止法では、有害物質を含む水の地下浸透を禁止することによって、地下水汚染の未然防止を図るとともに、汚染された地下水に関する浄化措置を命ずる制度を設けていますが、水質汚濁防止法以外にも、以下の法律が地下水汚染の未然防止や浄化に関わっています。

■土壌汚染対策法

有害物質による土壌汚染の状況の把握、汚染の除去等の措置を定めることにより、国民の健康を保護することを目的とする法律です。有害物質を使用等する施設の使用が廃止された場合など、一定の契機をとらえて土壌汚染の調査を行うとともに、汚染の除去等の措置を講ずることにより、地下水汚染の未然防止が図られます。

■大気汚染防止法

工場及び事業場における事業活動に伴って発生するばい煙の排出や粉じんの飛散等を規制すること、自動車排出ガスに係る許容限度を定めること等により、大気汚染の防止を図ることを目的とする法律です。大気中へのばい煙等の排出を規制することにより、土壌汚染防止、ひいては地下水汚染の未然防止に役立っています。

■廃棄物の処理及び清掃に関する法律

廃棄物の排出を抑制し、廃棄物の適正な分別、保管、収集、運搬、再生、処分等の処理をし、並びに生活環境を清潔にすることにより、生活環境の保全及び公衆衛生の向上をはかることを目的とする法律です。埋立処分に係る施設や維持管理の基準を定めるとともに、有害廃棄物の埋立処分を規制することにより土壌汚染を未然に防止し、ひいては地下水汚染の未然防止に役立っています。

■化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律

難分解性で人の健康を損なうおそれのある化学物質や動植物の生息・生育に支障を及ぼすおそれがある化学物質による環境の汚染を防止するため、新規の化学物質の製造又は輸入に際し事前にその化学物質が難分解性等の性状を有するかどうかを審査する制度を設けるとともに、化学物質の性状等に応じ、化学物質の製造、輸入、使用等について必要な規制を行うことを目的とする法律です。有害な化学物質の製造・使用等を規制することで間接的に地下水汚染の未然防止に役立っています。

■特定化学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

特定の化学物質の環境への排出量等の把握に関する措置並びに事業者による特定の化学物質の状況及び取扱いに関する情報の提供に関する措置等を講ずることにより、事業者による化学物質の自主的な管理の改善を促進し、環境の保全上の支障を未然に防止することを目的とする法律です。埋立処分などによる土壌への排出や廃棄物としての移動量を把握・報告させ、それらを抑制することで、間接的に地下水汚染の未然防止に役立っています。

4. 自治体、事業者のとりくみ

4.1 自治体のとりくみ

都道府県知事は、水質汚濁防止法に基づき地下水の水質測定を行い、その結果を公表しています。測定の結果、汚染が判明した場合は、汚染原因の調査を行い、汚染原因者の特定や汚染原因者に対して、汚染の防止や浄化の措置の指導を行っています。

また、近年独自に条例や要綱を定め、事業者等に汚染の調査・対策を求める地方自治体が増加しています。条例には、環境保全全般を対象とした条例の一部として地下水や土壌に関する規定を定めているものや、専ら地下水の保全を目的としたものがあり、各自治体の実情を反映したさまざまな特徴があります（表4-1～表4-3）。

表4-1 専ら地下水の保全を目的とした条例の例

自治体名	名称	地下水汚染に関わる主な内容
千葉県	地下水汚染防止対策指導要綱	<ul style="list-style-type: none"> 事業者は事業場で使用する対象物質による地下水汚染が確認された場合は、自らの責任において、汚染物質の除去に努めなければならない。 事業者は、対象物質及び対象物質を含む水等を公共用水域へ排出する場合はその排水、事業場内に井戸がある場合は井戸水の対象物質の濃度を定期的に測定して記録し、3年間保存するものとする。 上記の結果、基準に適合しない場合は直ちにその旨を管轄市町村長を経由して知事に報告する。あわせて原因を究明し、改善措置を講ずるとともに、その経緯を市町村長を経由して知事に報告する。 知事は上記の報告等を受け必要と認めるときは事業者に対し採るべき措置について指導を行う。
秦野市	地下水保全条例	<ul style="list-style-type: none"> 対象物質の使用事業場を設置している者は、毎年度の搬入量及び搬出量に関する物質収支を市長に報告しなければならない。 市長は、汚染のおそれがある土地について、汚染状態の概況を把握する調査（以下「基礎調査」という）を行うものとする。ただし市長以外の者が基礎調査を行うことを妨げない。 市長は基礎調査の結果等に基づいて、詳細調査を行わなければならない関係事業者を指定するものとする。 市長は、詳細調査の結果に基づいて、浄化事業を行わなければならない関係事業者を指定するものとする。指定を受けた関係事業者は、その日から3カ月以内に浄化事業の計画を定め、市長の承認を受けなければならない。 土地を所有し、又は占有する者は、市長の許可を受けなければ、その土地に井戸を設置することができない。 地下水の水質を保全する事業その他必要な事業を行うため、秦野市地下水汚染対策基金を設置する。
岐阜市	地下水保全条例	<ul style="list-style-type: none"> 対象物質の使用事業者は、使用事業場内の地下水等について、その濃度を年1回以上測定（自主検査）し、その結果を3年間保存するものとする。 使用事業者は、自主検査の結果が汚染基準を超えた場合、その結果を直ちに市長に報告しなければならない。 使用事業者は、使用事業場内の地下水等について、対象物質濃度が汚染基準を超えたことを知ったときは、その原因を究明し、地下水の汚染の拡大を防止する措置又は汚染を予防する措置を講じなければならない。 使用事業者は、対象物質の搬入量及び搬出量に関する物質の収支を記録し、保存するものとする。 掘削する深さが10mを超え、かつ建築面積が1,000m²を超える工事又は、掘削する深さが10mを超える砂利採取の場合は、その工事を開始する7日前までに、その内容について市長に届けなければならない。

4. 自治体、事業者のとりくみ

表4-2 環境保全全般を対象とした条例の中で土壌及び地下水汚染に関する規定を定めている例

自治体名	名称	土壌・地下水汚染に関わる主な内容
東京都	都民の健康と安全を確保する環境に関する条例	<ul style="list-style-type: none"> 知事は地下水の汚染が認められる地域がある場合は、有害物質取扱事業者に対し、その敷地内の土壌の汚染状況を調査し、その結果を報告するよう求めることができる。 知事は上記の調査の結果、汚染土壌処理基準を超える場合、有害物質取扱事業者に対し、汚染処理計画書を作成し、汚染土壌を処理することを命ずることができる。 3,000m²以上の土地の改変を行う者は、過去の有害物質の取扱事業場設置状況等について調査し、その結果を知事に届け出なければならない。 土地改変者は、調査の結果、汚染土壌処理基準を超えていることが判明したときは汚染拡散防止計画書を作成し、知事に提出しなければならない。
岡山県	環境への負荷の低減に関する条例	<ul style="list-style-type: none"> 有害物質取扱事業所を設置している者は、敷地内において、土壌又は地下水の汚染を発見したときは、速やかにその旨及び講じた応急措置の内容を知事に届け出なければならない。 知事は汚染の発見について届出があったときは、当該汚染の原因等を調査するものとする。当該届出をした者は、当該調査の実施に協力しなければならない。 調査の結果、有害物質取扱事業所の事業活動に起因して土壌又は地下水の汚染が生じていると認められるときは、有害物質取扱事業所を設置している者は、浄化対策計画を作成し、知事に報告しなければならない。

表4-3 環境保全全般を対象とした条例の中で土壌汚染に関する規定を定めている例

自治体名	名称	土壌汚染に関わる主な内容
大阪府	生活環境の保全等に関する条例	<ul style="list-style-type: none"> 土地の所有者等は3,000m²以上の敷地において土地の形質変更をしようとする場合には、過去の有害物質の使用状況その他の規則で定める事項（特定有害物質の製造・使用・処理の状況、ダイオキシン類の発生若しくは処理の状況等）を調査（以下「土地の利用履歴等調査」という。）し、その結果を知事に報告しなければならない。 土地の所有者等は、以下の場合には、規則で定める調査対象となる管理有害物質による土壌の汚染状況について、知事が指定する調査機関に調査させて、その結果を知事に報告しなければならない。 <ul style="list-style-type: none"> ①土地の利用履歴等調査の結果、管理有害物質が製造・使用・処理等された可能性がある場合。 ②有害物質使用届出施設、ダイオキシン特定施設（以下「管理有害物質」という）又は有害物質使用特定施設を設置している工場・事業所の敷地において、土地の形質変更をしようとする場合。 ③有害物質使用届出施設等が廃止された場合。 知事は土壌汚染状況調査の結果、当該土地の管理有害物質による汚染状態が規則で定める基準に適合しないと認める場合には、当該土地の区域をその土地が管理有害物質によって汚染されている区域（以下「管理区域」という）として指定するものとする。 知事は土壌の管理有害物質による汚染により、人の健康に係る被害が生じ、又は生ずるおそれがあるものとして規則で定める基準に該当する管理区域内の土地があると認めるときは、当該土地の所有者等に対し、相当の期限を定めて汚染の除去等の措置を講ずべきことを命ずることができる。
横浜市	横浜市工場等跡地土壌汚染対策指導要綱	<ul style="list-style-type: none"> 事業者は、工場等の跡地の汚染土壌については、その責任において必要な措置を講ずるとともに、横浜市が実施する汚染土壌に関する施策に協力するものとする。 跡地の所有者（事業者である所有者を除く）は横浜市が実施する汚染土壌に関する施策に協力するものとする。 事業者は、工場等の移転等をしようとする場合、跡地面積が1,000m²以上のもの（メッキ業又は表面処理業の跡地は1,000m²未満を含む）であるときは、速やかに当該跡地の利用経過等について土壌汚染概況調査票に必要事項を記入し、市長に報告する。 市長はこの報告を受けて、跡地の土壌に汚染がないことが明らかな場合を除き、事業者に対し、詳細調査として当該跡地に関する表土調査並びに必要な応じボーリング調査及び地下水調査を実施するよう指導するものとする。 事業者は調査の結果、土壌が土壌汚染の判定基準に掲げる物質について判定基準に該当する場合は、当該土壌を汚染土壌とし、あらかじめ市長の指導を受け、汚染土壌の処理対策を講ずるものとする。

4. 2 事業者のとりくみ

ISO14000シリーズに基づく環境保全に向けた国際的な動きを受け、事業者自らが自主的な調査・対策を実施しています。また、事業者自体の汚染による損害賠償、社会的信用問題等の事業リスクを回避するため対策にとりくむ例が増えています（表4-4）。

具体的なとりくみとして、自主的調査・対策の結果を環境報告書や人事・雇用や製品・サービス等の社会貢献活動や社会的側面からみた環境問題を報告する「サステナビリティ・レポート（継続可能性報告書）」のなかで公表している例があります。

有害物質を取り扱う事業者においては、自主的な調査によって汚染が判明した場合は結果をできるだけ速やかに公表することが望まれます。

表4-4 事業者のとりくみの例

事業者のとりくみ	とりくみの例
<p>有害物質の取り扱い 環境に対する企業の考え方を示します。</p>	<p>有害物質の取り扱い</p> <ul style="list-style-type: none"> ・汚染の未然防止に努めます。 ・汚染の早期発見・早期修復に努めます。 ・管理責任者の教育・訓練 ・汚染発生等のリスクを評価・認識し、実行体制の整備と共に、事業所内外のコミュニケーションの手順を確立し社員研修を行います。 <p>環境マネジメントシステム（ISO14001認証取得）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・環境方針の策定を行います。 ・環境マネジメントプログラムを作成します。 ・環境マニュアルの作成を行います。 ・環境報告書を発行するなど企業の考え方を社会に示します。 ・維持審査（サーベランス）は6ヶ月または、毎年行います。
<p>汚染の有無確認や 有害物質の漏洩事故等 汚染が発見されたとき</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・有害物質使用事業場では、汚染の有無を確認するため自主調査等を行います。 ・汚染が判明した場合は調査・対策方針を定め、浄化目標の設定を行い、損害を最小限に抑えるとともに、迅速・的確に対応します。 ・浄化対策を策定し、実施します。応急対策が必要な場合は優先します。 ・調査結果は、速やかに行政に報告します。 ・行政・専門家に相談して浄化対策を実施します。 ・有害物質が事業所外に拡散しないよう対策をとります。周辺環境へ有害物質が拡散していないか環境影響評価を行います。

5. 調査・対策技術

地下水汚染は都道府県等による地下水質の常時監視のほか、最近では、事業者による自主的な調査によって判明することが多くなっています。汚染が判明した場合には、一般的に以下に示すフローに従って調査・対策が行われます（図5-1）。

事業者が自主的に調査・対策を行う場合には創業時からの工場建屋・排水路や有害物質使用履歴、漏洩事故の有無、汚染範囲、汚染物質、濃度、地質等の状況を考慮して、効果的な調査手法、対策技術を適切に選定することが必要です。

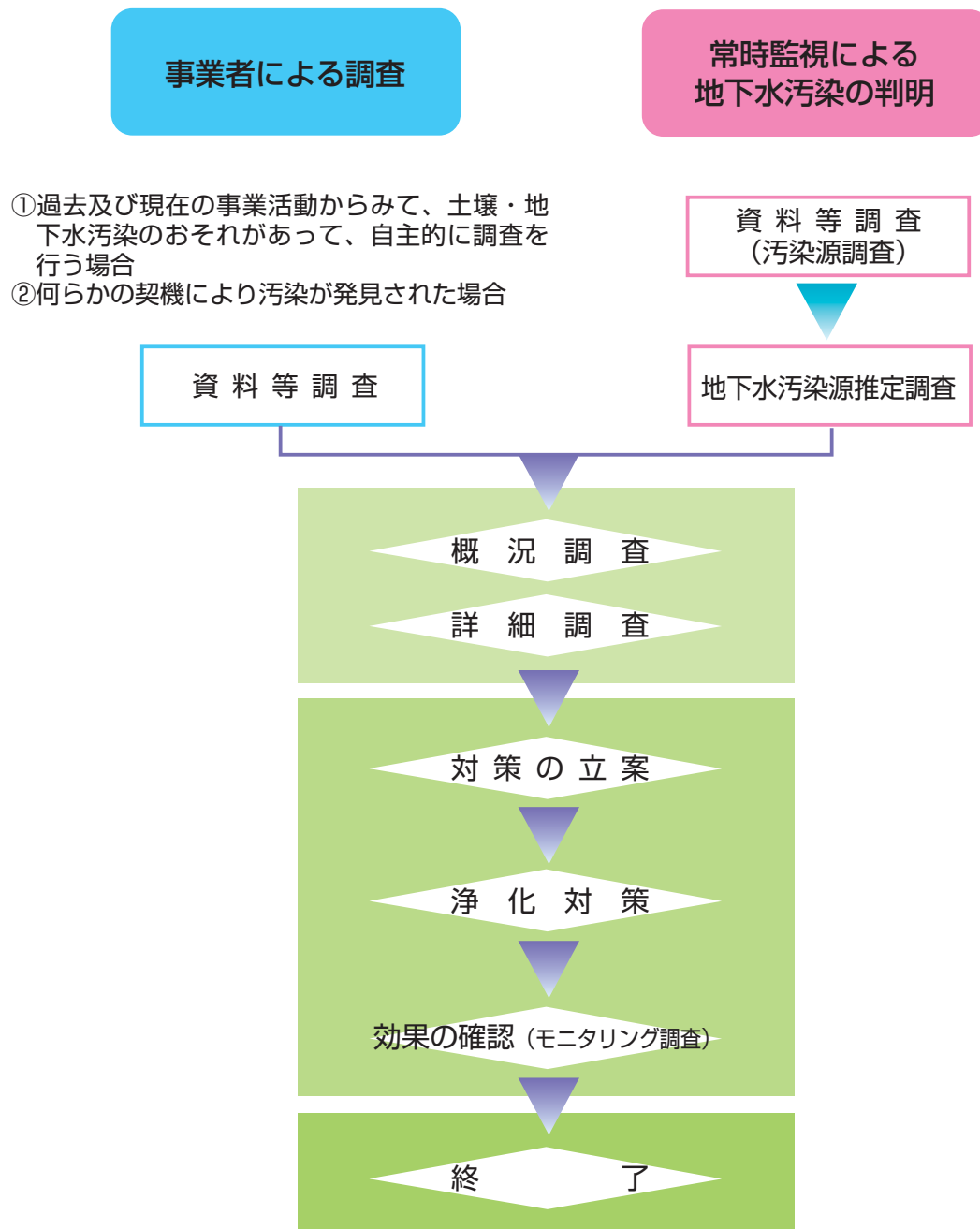


図5-1 地下水汚染判明時の調査・対策フロー図

5. 1 調査技術

(1) 資料等調査

資料等調査は、事業者が自ら行う調査と、汚染が発見され対象地を絞り込む場合によって調査内容が異なります。

事業所内の汚染状況を調査する際の項目及び汚染源の絞り込みにあたっては、事業所の履歴、とくに土地利用や有害物質の使用状況、排水路そして漏洩事故歴などを調べ有害物質の地下浸透箇所を把握します。また、水文地質状況（地形、地質等）、既設井戸の設置状況、井戸構造なども必要な調査項目としてあげられます。

汚染が発見された場合にも、汚染源の絞り込みを行い、汚染井戸周辺の土地の履歴を調べることとなります。例えば、過去の地形図や航空写真を用いて時系列的に比較すると汚染源の可能性のある事業所を見つけ出したり、調査対象地を絞り込むことができます（図5-2参照）。

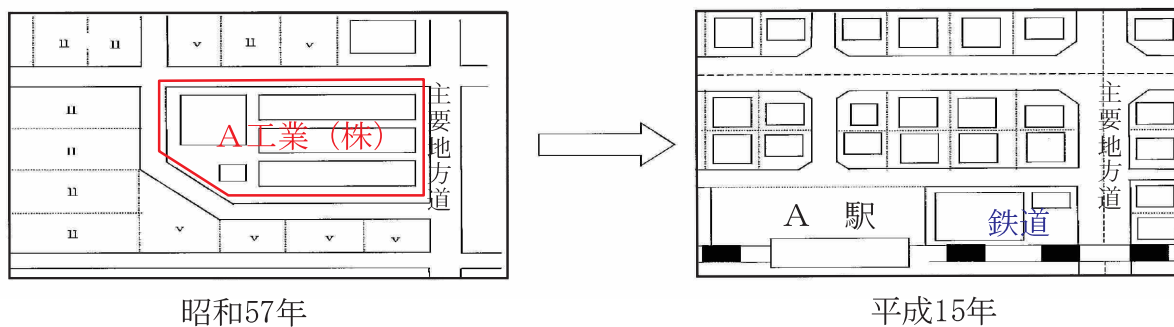


図5-2 時期の異なる地形図による土地の履歴調査の例

(2) 概況調査

概況調査は、対象地での汚染の概況を把握するために行います。地下水汚染の状況を判断するために一般的には、井戸の水位・水質分析、ストレーナの位置など井戸構造調査等を行います。また、地下水汚染を引き起こしている土壌汚染状況を判断するためには、例えば、VOCの場合は土壌ガス調査、重金属の場合は表層土壌試料採取及び分析を行います。

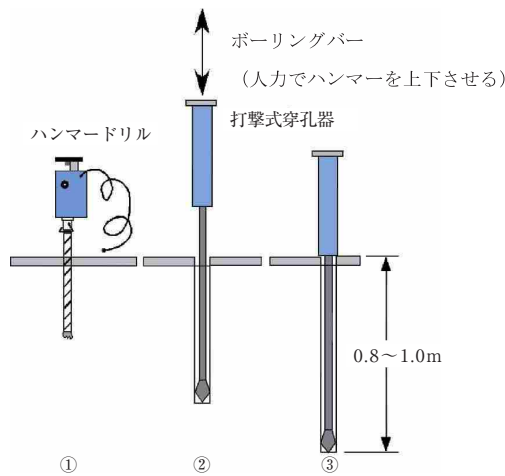
土壌ガス調査は、土壌中に存在するガス中のVOCの濃度を測定して、土壌汚染の有無を判定したり、高濃度汚染地点を見つけ出すために行います。一般には図5-3に示すように、ボーリングバーなどを使用して地中に深さ0.8~1m程度の孔をあけて土壌ガスを採取し、ガスクロマトグラフ等によりガス濃度の測定を行います。土壌ガスの簡易測定には、ガス検知管、ガスモニター等を使用できますが、土壌汚染対策法で土壌汚染の有無を判定する場合には、簡易測定の結果は使えません。土壌ガス測定結果は、ガス濃度分布図にまとめるとその後の詳細調査でのボーリング位置等を定めるのに有効です。

また、表層土壌試料は、表層土壌の土壌溶出量や土壌含有量を調査して土壌汚染の有無を判断するために行います。一般には手掘又はダブルスコップ等を使用して深さ50cmまでの試料を採取します。採取した試料で溶出試験を行ったり、含有量分析を行い、有害物質の濃度を測定します。

5. 調査・対策技術

ガス採取孔

直径15～30mm程度、深さ0.8～1mの裸孔で、鉄棒等の打込み等により穿孔します。地表面がアスファルト、コンクリート等で舗装されている場合にあつては、コアカッター、ドリル等で舗装面を削孔します(①～③)。



簡易測定を行う場合は、④～⑤の作業を行います。

土壌汚染対策法で土壌汚染の有無を判定する場合は⑥～⑩の作業を行います。

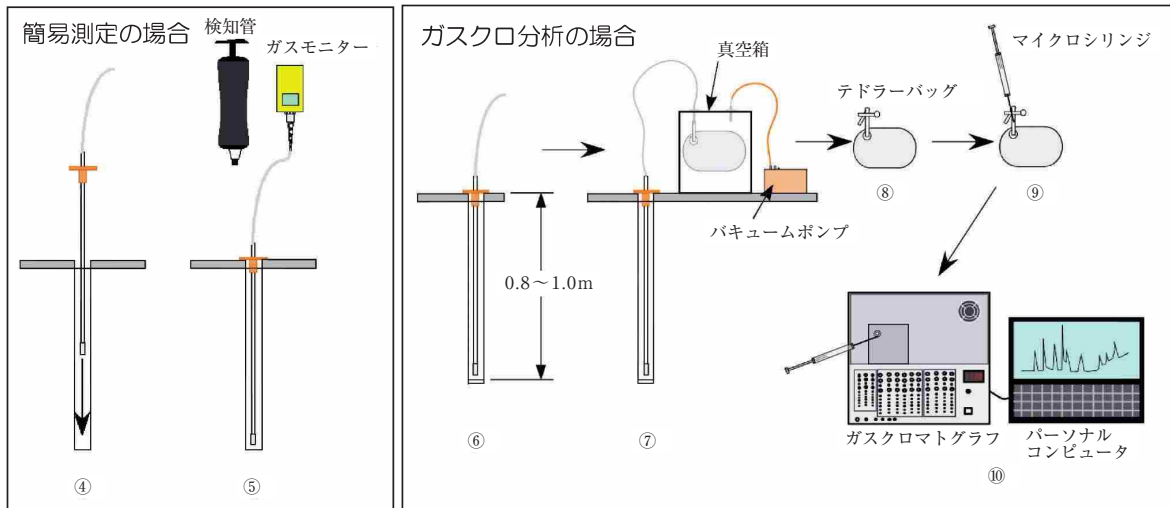


図5-3 土壌ガス調査方法



写真5-1 吸引器(上)とガス検知管



写真5-2 ガスモニター



写真5-3 ガスクロマトグラフ

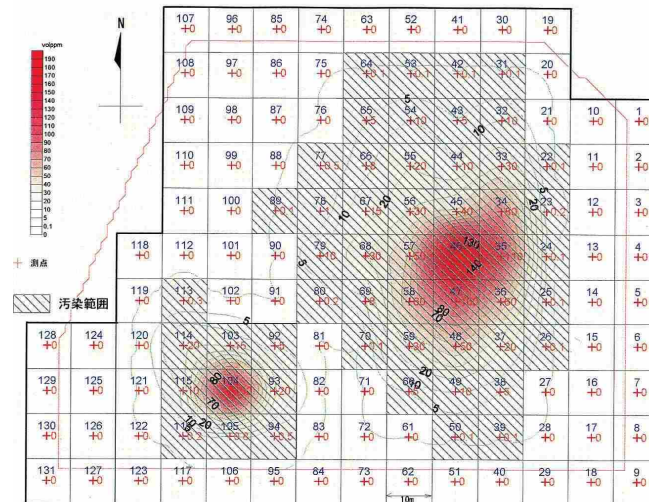


図5-4 土壌ガス濃度分布図の例

(3) 詳細調査

詳細調査は、対象地での汚染範囲を調べ、浄化等の有効な対策を立案するために行います。ボーリング調査は、一般に写真5-4のようなボーリング機械を使用して汚染状況と地質構成を調べるためにオールコアボーリング（連続的に地質試料を採取する方法）を行います。また地下水試料を採取して分析を行い、さらに地下水位測定に加えて流向・流速測定、透水試験、電気検層等の地下水流動状況調査を行うこともあります。

ボーリング調査は地層中に吸着している有害物質をそのままの状態で採取するために地下水面までは原則無水掘とします。地下水面付近や帯水層の底に有害物質が存在する場合は、掘削の仕方によっては汚染を拡大させてしまうことがあります。特に、水より重いVOCの場合で帯水層をまたいで調査を行うときは、汚染を縦方向に拡大させてしまうことがあるのでケーシングを挿入し遮水等細心の注意を払う必要があります。

ボーリングコアは掘削終了後所定の箱に整理し、柱状図及び地質断面図を作成します（図5-5）。

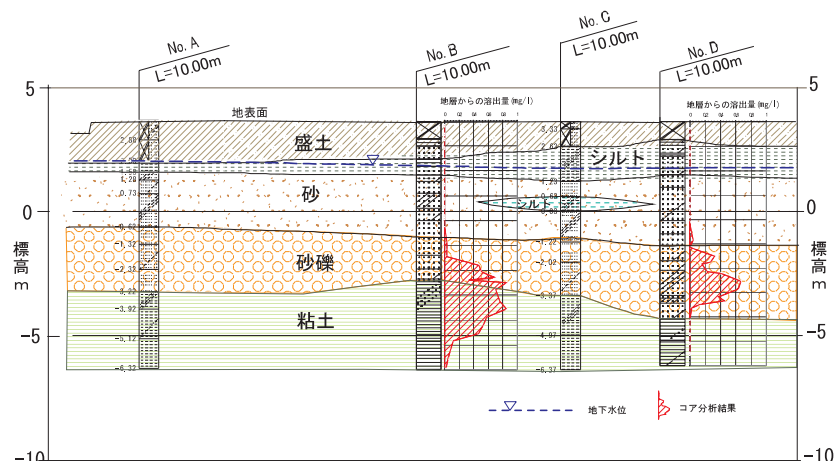


図5-5 地質断面図の例

5. 調査・対策技術



油圧式ハンマードリル



全油圧式パワードリル



簡易ボーリングマシン



ロータリー式ボーリングマシン

写真5-4 ボーリング機械の例

5. 2 対策技術

汚染の対策で最も効果的な技術は汚染をさせないという未然防止です。したがって有害物質を使用中に地下浸透させない、廃液の処理を確実にすることが重要です。

ここでは、あやまって有害物質を地下浸透させてしまったときの対策について述べます。

地下水汚染と土壌汚染は、汚染物質の性状や地質、汚染の深さや規模によって環境への負荷が大きく異なるので、それぞれに対応した対策を取る必要があります。汚染物質の種類、濃度、分布等の調査結果に基づき対策の緊急度や費用対効果の調査、事前の浄化試験（トリータビリティ試験）、周辺環境調査等を綿密に行い、より効果的な対策工法を立案します。

対策の方法はVOC、重金属、硝酸・亜硝酸性窒素でそれぞれ異なるため汚染物質に応じた対策技術を選定する必要があります。基本的には、原位置で浄化する技術と汚染物質を取り出す技術があり、汚染物質を取り出したものはそれぞれの状態に合わせて処理することになります。一般的な対策としては以下の技術が用いられます。

VOC

- 1) 汚染土壌・地下水を原位置で浄化する方法
- 2) 汚染土壌ガスを抽出する方法
- 3) 汚染地下水を揚水する方法
- 4) 汚染土壌を掘削除去する方法
などの方法があります。

重金属

- 1) 汚染土壌・地下水を原位置で浄化・処理する方法
- 2) 汚染地下水を揚水する方法
- 3) 汚染土壌を掘削除去する方法
- 4) 汚染土壌を固形化あるいは不溶化して封じ込める方法
などの方法があります。

硝酸・亜硝酸性窒素

- 1) イオン交換膜を通過させて、硝酸イオンを取り除く方法
- 2) 微生物の働きにより、硝酸イオンを窒素ガスに還元する方法

土壌汚染に係る措置は、大別して、土壌の摂取による健康被害を防止するための措置と地下水を経由した健康被害を防止するための措置の2つがあります。前者には汚染土壌の飛散防止を目的とした盛土、汚染土壌の除去が、後者には原位置封じ込め、遮水工封じ込め、土壌汚染の除去等の対策があります。

また、硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染は、発生源が面源で有効な対策が地域ごとに異なります。浄化の実施は、VOCや重金属に比べると一般的ではなく、各発生源からの窒素負荷を削減し汚染を未然に防止する対策が基本となります。

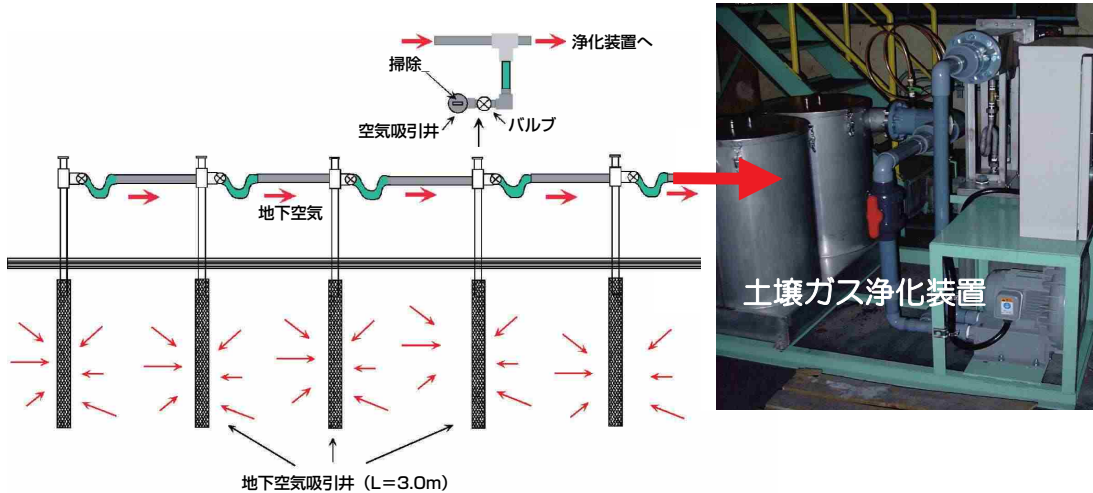
5. 調査・対策技術

(1) VOCの対策技術

対策技術には次のようなものがあります。

1) 土壌ガス吸引

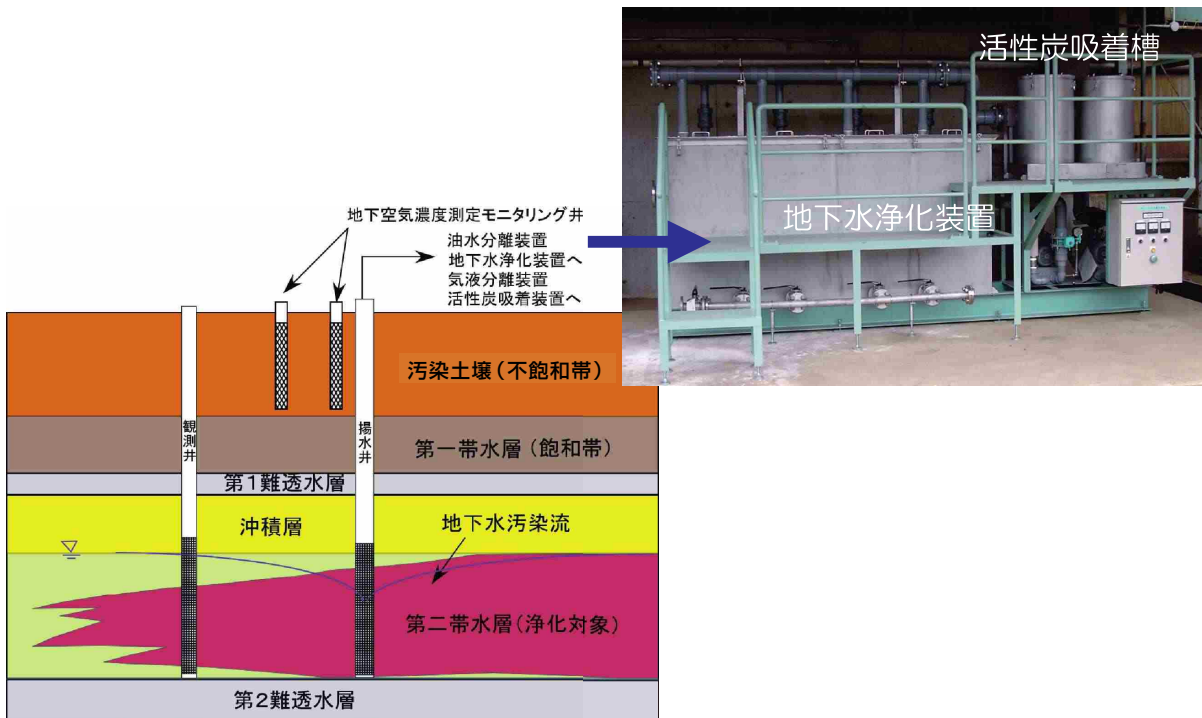
不飽和帯（地表面と地下水面の間の部分）に存在する対象物質を真空ポンプ、ブローア等で吸引除去し汚染土壌を浄化する技術です。



土壌ガス吸引の概念図

2) 地下水揚水

揚水した地下水を曝気処理して対象物質を地下水から分離して、活性炭等に吸着させることにより浄化する技術です。対象物質の処理方法には活性炭吸着処理のほか、紫外線分解等があります。最近では揚水した地下水を直接分解する技術も開発されています。

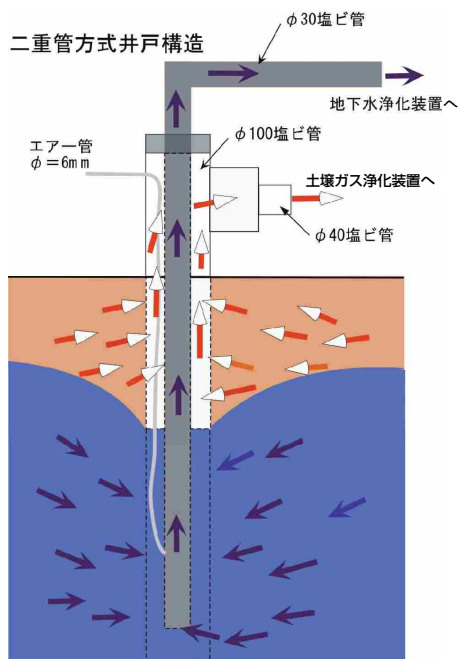


地下水揚水の概念図

3) 二重吸引法

地下水と土壌ガスを同時に吸引除去する技術です。揚水した地下水中の対象物質を分解あるいは曝気処理し、土壌ガスに含まれる対象物質は活性炭等に吸着させて除去する技術です。汚染物質が地下水表面付近に存在する場合に効果的です。

地下水が高濃度に汚染された現場では、エアースパーキング工法と併用すれば、さらに効果的です。

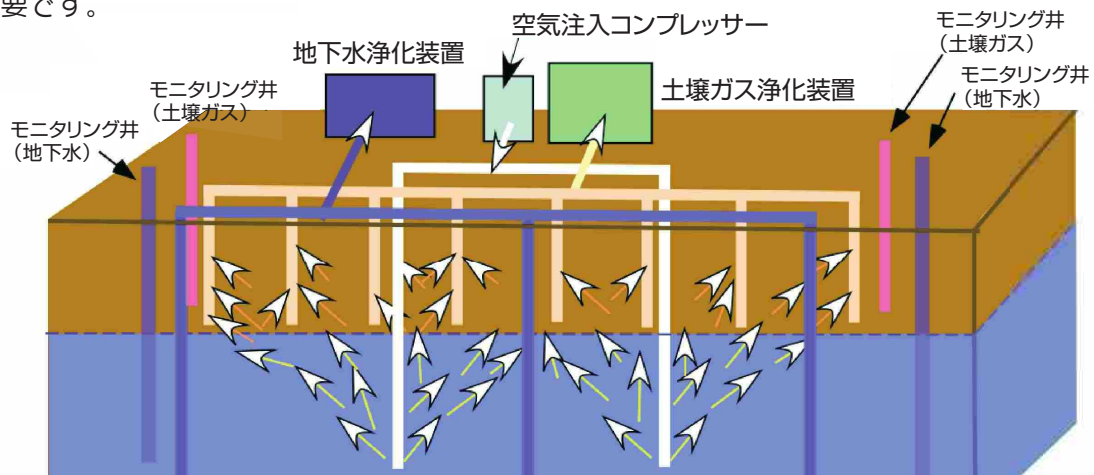


二重吸引井戸

二重吸引法概念図

4) エアースパーキング

土壌中あるいは地下水中に空気を注入してVOCの気化を促し土壌・地下水の浄化を促進する技術です。空気が通りやすい土壌に適します。空気の吹き込みにより汚染を拡散させないように配慮が必要です。



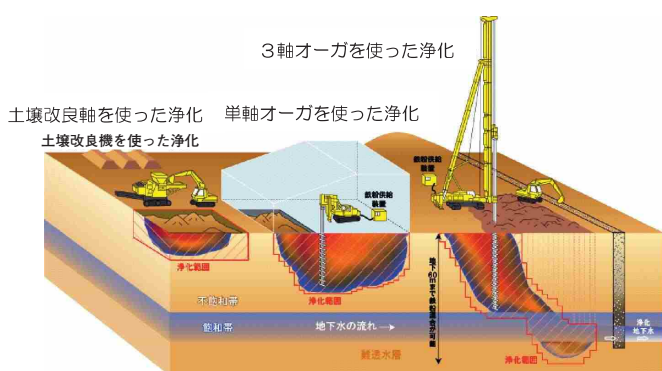
エアースパーキング工法概念図

5. 調査・対策技術

5) 鉄粉法

汚染された土壌や地下水に鉄粉を混合し、VOCを分解する方法で、汚染源対策と地下水対策の2つの方法に分けられます。

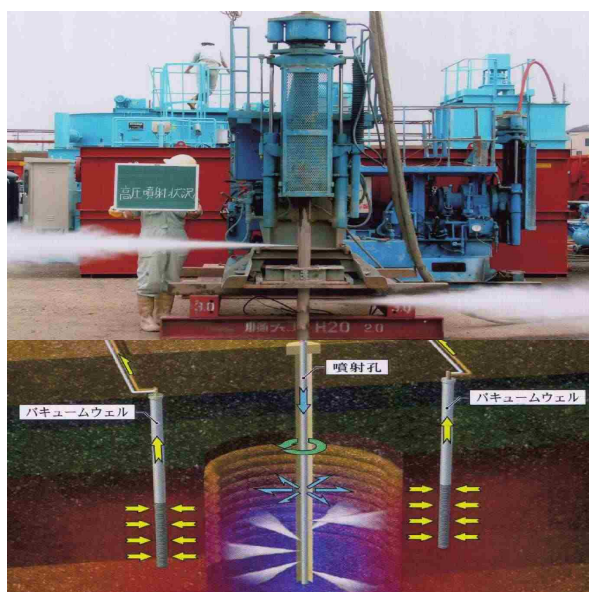
汚染源対策は、汚染土壌に直接鉄粉を混合する方式と微粒鉄粉の液状物を注入する方式があります。砂など、鉄粉と混ざりやすい土壌であると効果的です。地下水対策は、地中に鉄粉を保持した透過性の壁を作成して通過するVOCを分解する方式です。VOCなどの分解はオゾンや過酸化水素、過酸化マグネシウムを主原料（油汚染に利用）とする技術も開発されております。



鉄粉法の概念図

6) 高圧洗浄揚水曝気処理

土粒子に吸着している汚染物質を、高圧水と空気ですり洗い、曝気し浄化する技術です。注入した高圧水と空気を回収し、適切に処理する必要があります。また、周辺への影響を防ぐため浄化



装置と概念図

範囲を遮水壁で囲む必要があります。この技術は重金属の浄化に用いることも可能です。

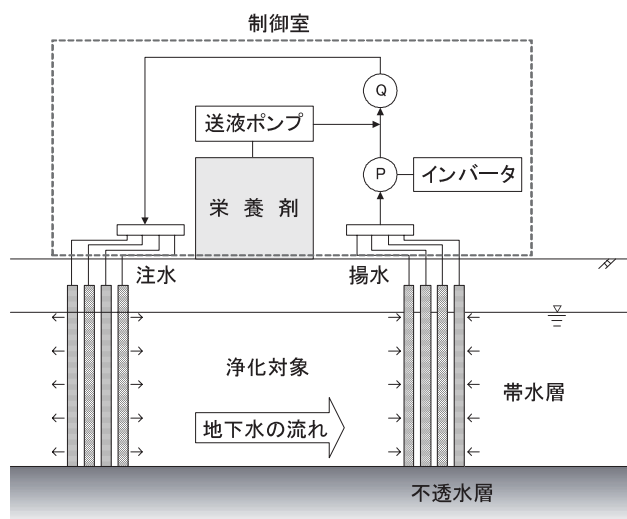
高圧洗浄のほか、高圧噴射置換洗浄工法やCJG（コラムジェット）工法などの技術もあります。

7) バイオレメディエーション

バイオレメディエーションとは微生物がもつ有害物質の分解能力を利用して、土壌や地下水を浄化する技術です。

土壌中の土着微生物に栄養分を与えて活性化し、汚染物質を分解する方法（バイオスティミュレーション）と汚染物質の分解に有効な微生物を注入して分解する方法（バイオオーギュメンテーション）があります。

微生物や栄養分の拡散に注意する必要があります。微生物を注入する場合は、注入した微生物が人の健康や生態系に及ぼす影響について、とくに十分に調査・解析を行い、手順を踏んで行う必要があります。



浄化概念図



浄化ユニット内装と外観

5. 調査・対策技術

(2) 重金属の対策技術

対策技術には次のようなものがあります。

1) 地下水揚水

汚染地下水を揚水し、対象物質を除去、回収します（この技術はVOCでも適用されます）。揚水した地下水は、一般に、地上に設置した設備で酸化、還元、中和、凝集沈澱、濾過及び吸着除去等の水処理技術を組み合わせて浄化します。



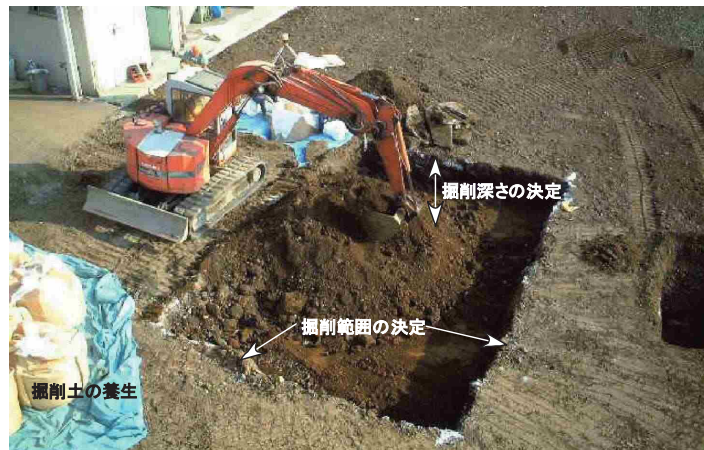
地下水揚水



酸化、中和、凝集装置

2) 掘削除去

汚染土壌を掘削して除去し、地下水への溶出を止めることによって地下水を浄化する技術です。掘削する範囲は、ボーリング等の調査で汚染範囲、深さを把握して汚染土壌を掘削する範囲を決定します。



掘削状況

掘削した汚染土壌は外部へ搬出する方法と現地処理する方法に大別されます。外部搬出土壌の処理方法は現在以下の3つの処理方法があります。

- ① 最終処分場への搬入又は埋立場所等への搬出
- ② 汚染土壌浄化施設における浄化
- ③ セメント工場等での原材料としての利用

なお、外部搬出する場合は飛散、こぼれ、漏洩等がないよう適切な対策を施した運搬容器及び車両を使用します。搬出する汚染土壌の処分に係る確認については「搬出汚染土壌管理票」を用いて管理します。

現地処理の方法には、洗浄、不溶化、封じ込め等の処理があります。

5. 調査・対策技術

☆洗淨処理

掘削した土壌を現場で洗淨、溶融固化、加熱脱着等により処理し、重金属濃度の高い部分と低い部分に分けます。土壌環境基準に適合したものは掘削された場所に埋め戻します。洗淨では、まず異物を除去した後、土壌を粒度等により分級して、汚染物質が濃縮している部分を分離します。



異物除去と汚染土壌の投入

粗粒部分級洗淨（トロンメル）



細粒部分級洗淨（分級機）



洗淨土

3) 不溶化

土壌を掘削せずに原位置のまま、あるいは掘削した土壌に不溶化剤などを混ぜて、汚染物質の溶出を抑制する技術です。比較的短期間に低コストで施工が可能です。事前に試験を行って効果を確認する必要があります。有害物質は除去されないため、不溶化後も溶出していないかを定期的に測定する必要があります。原位置不溶化は、第二溶出量基準（付表3参照）以下の重金属等による汚染土壌にのみ使用できます。



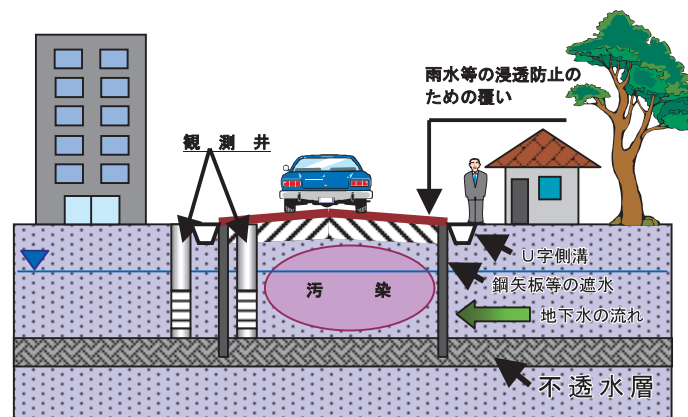
不溶化処理（改良材の散布）



不溶化処理（スタビライザーによる混合）

4) 封じ込め

汚染土壌を封じ込め、地下水との接触を断つことによって地下水を浄化していく技術です。原位置不溶化にあたっては、地盤の透水性等に配慮して、汚染物質が外部へ漏出しないような構造にすることが重要です。鋼矢板、コンクリート等で遮水壁を作り汚染土壌を封じ込めます。原位置封じ込めできる汚染土壌は第二溶出量基準以下の汚染土壌か不溶化处理により第二溶出量基準以下となった重金属等による汚染土壌が対象となります。



原位置封じ込め措置

5) 遮水工・遮断工封じ込め

汚染物質の漏出を防ぐ構造を持った施設の中に掘削した汚染土壌を封じ込める技術です。掘削土が土壤環境基準を超過し、第二溶出量基準を下回るものは原則として遮水工封じ込め措置を行うことができます。

第二溶出量基準を超過するものについては遮断工封じ込め措置を行います（第二溶出量基準値を超過したVOCは遮断工に封じ込めることはできません）。

5. 調査・対策技術

(3) 硝酸性窒素の対策技術

浄化対策

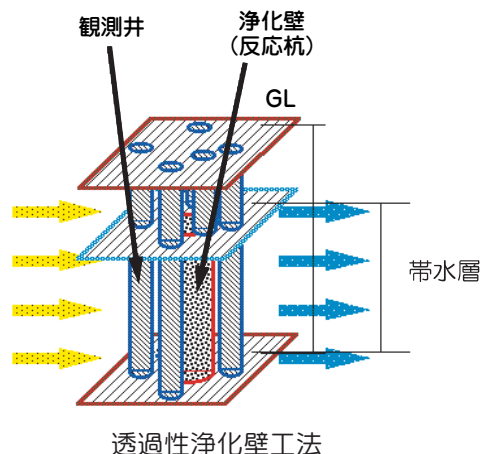
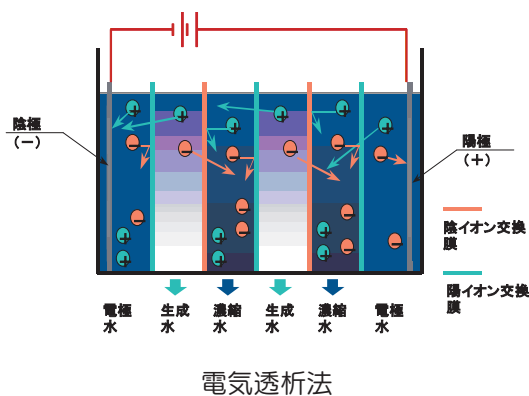
硝酸性窒素の除去技術は、物理化学的方法（イオン交換樹脂法、逆浸透膜法、電気透析法等）と生物的方法（従属栄養細菌や独立栄養細菌を用いた脱窒法）とに大別されます。

① 電気透析法

電気透析とは、イオン交換膜を用いて、イオンを分離除去する方法で、地下水中でイオンとして存在する硝酸・亜硝酸性窒素への応用が考えられます。硝酸・亜硝酸性窒素が陰イオンであることから揚水した地下水に陽極と陰極を入れ、その間に陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を交互に配列することによって、硝酸・亜硝酸性窒素の除去された浄化水（生成水）と濃縮水に分離することができます。

② 透過性浄化壁工法

透過性の浄化壁に生物学的脱窒を組み込むことにより、原位置で浄化を行う方法です。微生物の中には、酸素濃度の低い環境下において、酸素の代わりに硝酸を利用する硝酸呼吸に切り替えるものが存在します。体内に取り込んだ硝酸を有機物等を利用して還元し、最終的には窒素ガスの形で体外へ放出します。この微生物活動を浄化壁内で行わせることにより、地下水が浄化壁を透過する際に硝酸が無害な窒素ガスへと転換されます。



5.3 効果の確認

地下水の浄化においては、浄化を開始してからしばらくの間、汚染物質の濃度が変動することがあります。このため、濃度が十分に低下し、その変化が少なくなるまでは、季節変動等を把握できる頻度で水質を測定します。さらに、浄化対策の実施によってかえって地下水汚染が広がらないかどうかを監視するため、地下水の下流側の汚染が生じていない井戸においても定期的に水質を測定します。

土壌汚染の除去等の措置を実施した場合にも、措置を実施した場所にある地下水の下流側の周縁に観測井を設け、地下水汚染が生じていない状態を確認します。



地下水をきれいにするために

揮発性有機化合物、重金属、硝酸性窒素
及び亜硝酸性窒素による地下水汚染対策について

表紙写真/岡山県真庭郡八束村下福田
「塩釜の冷泉」(名水100選・選定地)

発行：平成16年7月

企画監修：環境省環境管理局水環境部

編集：(社) 土壌環境センター

〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2第二麹町ビル7階

Tel 03-5215-5955 Fax 03-5215-5954

URL <http://www.gepc.or.jp>



古紙配合率100%再生紙を使用しています