

## 巻末資料

掘削除去以外による土壌汚染対策の実例



## 掘削除去以外による土壤汚染対策の事例

自治体を対象とした「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」における国への要望等において「対策事例の提供」を要望する自治体が多数あった。

本稿では、掘削除去以外による土壤汚染対策の事例として以下の13事例を紹介する。

ケース NO	題	対象物質	ページ
ケース 1	地下水の水質の測定及びコンクリート舗装	砒素及びその化合物 鉛及びその化合物	2
ケース 2	土壤ガス吸引法及び地下水揚水法による原位置浄化	テトラクロロエチレン	4
ケース 3	エアスパージング及び酸化分解(フェントン法)による原位置浄化	トリクロロエチレン	7
ケース 4	エアスパージング及びバイオレメディエーションによる原位置浄化	ベンゼン	10
ケース 5	酸化分解(フェントン法)による原位置浄化	テトラクロロエチレン トリクロロエチレン	14
ケース 6	酸化分解(フェントン法)による原位置浄化	油	17
ケース 7	酸化分解(フェントン法)、バイオレメディエーション及び土壤ガス吸引法による原位置浄化	トリクロロエチレン シス-1,2-ジクロロエチレン	20
ケース 8	還元分解(鉄粉法)及びバイオレメディエーションによる原位置浄化	テトラクロロエチレン トリクロロエチレン	23
ケース 9	還元分解(鉄粉法)による原位置浄化	テトラクロロエチレン トリクロロエチレン	28
ケース 10	還元分解(鉄粉法)による原位置浄化	トリクロロエチレン 1,1-ジクロロエチレン	32
ケース 11	バイオレメディエーションによる原位置浄化	テトラクロロエチレン トリクロロエチレン	35
ケース 12	バイオレメディエーションによる原位置浄化	トリクロロエチレン シス-1,2-ジクロロエチレン	38
ケース 13	不溶化処理後の原位置封じ込め	砒素及びその化合物	41

なお、これらの事例は以下の事業者より提供していただいたものである。

アジア航測(株)、(株)大林組、栗田工業(株)、国際環境ソリューションズ(株)、清水建設(株)、大成建設(株)、(株)テルム、日本地下水開発(株)、(株)NIPPO コーポレーション、前澤工業(株)  
(株)松村組 (ケース NO.順とは無関係。五十音順)

## ケース1 地下水の水質の測定及びコンクリート舗装

### 1. 土壤汚染現場の概要

#### (1) 背景

油槽所において土地所有者が変わる機会に自主的に土壤汚染の調査を実施した結果、砒素と鉛による土壤汚染の存在が判明した。

#### (2) 土壤汚染発生の原因

埋立地に立地していたことから埋立しゅんせつ土由来、事業由来、または、油槽所造成時の搬入土砂由来等の原因が考えられるが、詳細な原因の特定には至っていない。

#### (3) 土壤汚染の状況

土壤汚染の状況は次のとおり。

表 1-1 汚染状況

事業所の種類	油槽所	調査の契機	所有者変更に伴う自主調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	該当なし	敷地内地下水汚染	なし
敷地面積	約22,000㎡	周辺の地下水汚染	なし
汚染面積	7,200㎡	敷地内への人の立ち入り	できない
汚染深度	0.5m	周辺での地下水の飲用利用	なし
基準を超過した特定有害物質等の種類		基準項目等	濃度
砒素及びその化合物		溶出量	基準の約 4倍
鉛及びその化合物		含有量	基準の約 2倍

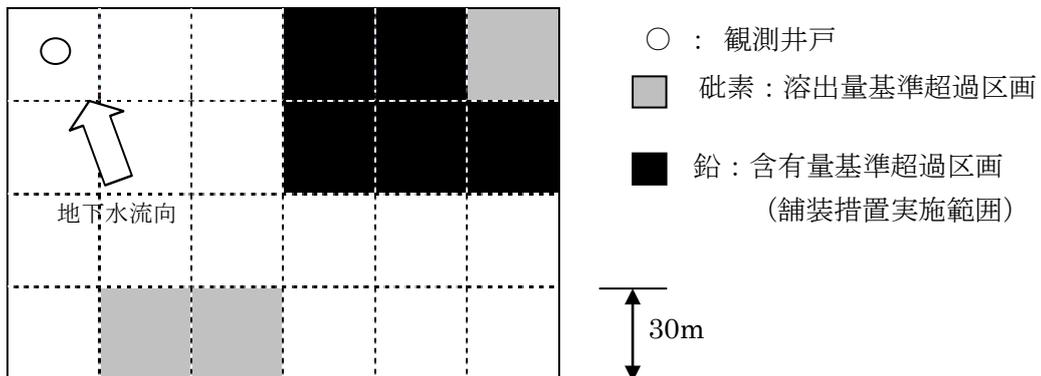


図 1-1 敷地と汚染範囲

## 2. 土壤汚染対策の概要

### (1) 措置の選定

#### ① 砒素対策

溶出量基準が超過していたことから地下水分析を実施したが地下水基準に適合していた。自治体の指導に従い、地下水流動方向を確認し、下流側の井戸において地下水の水質の測定を実施することとした。

#### ② 鉛対策

土地所有者が変わっても事業は継続すること、基準超過範囲には作業のために従業員が立ち入ることがあるため、直接摂取リスクに対するばく露経路遮断の措置としてコンクリート舗装を選択した。

## 3. リスクコミュニケーション

従業員に対して、調査結果、対策方法等について説明会を開催した。

#### ① 砒素対策

地下水を飲用することはないため、健康影響リスクはないことを説明し理解を得た。

#### ② 鉛対策

ばく露経路を遮断することにより、直接摂取リスクがなくなることを説明し理解を得た。

## 4. 工夫した点・苦慮した点

舗装範囲が広いとため、強度を保つため溶接金網の敷設、ひび割れ防止のための目地材を設置した。また、雨水排水のための勾配をつけ、排水溝を新設した。

## 5. 対策工事完了後の状況

現在、地下水の水質の測定を実施中であり、基準に適合している状況である。

## ケース2 土壌ガス吸引法及び地下水揚水法による 原位置浄化

### 1. 土壌汚染現場の概要

#### (1) 背景

自治体による地下水の常時監視において、民家の井戸でテトラクロロエチレンによる汚染が判明した。自治体による汚染原因調査により、地下水流向の上流側のクリーニング店に起因する汚染であることが判明した。

#### (2) 土壌汚染発生の原因

クリーニング店へのヒアリング調査の結果、過去にテトラクロロエチレンの使用履歴があり、地中への漏洩があったことが判明。また、溶剤を吸着させた活性炭を地上で風乾させていたことが判明し、これらが汚染発生原因と判断された。

#### (3) 土壌汚染の状況

土壌汚染の状況は次のとおり。

表 2-1 汚染状況

事業所の種類	クリーニング業	調査の契機	自治体による地下水監視
使用が廃止された有害物質使用特定施設	該当なし	敷地内地下水汚染	あり
敷地面積	約 500m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	あり
汚染面積	約 500m <sup>2</sup>	敷地内への人の立ち入り	できる
汚染深度	20m	周辺での地下水の飲用利用	あり
基準を超過した特定有害物質等の種類		基準項目等	濃度
テトラクロロエチレン		地下水	基準の約 1,000倍
		土壌ガス	PID-GCによるガス分析で500ppm

### 2. 土壌汚染対策の概要

#### (1) 措置の選定

作業中のクリーニング店であったことから、作業に支障をきたさないように、土壌ガス吸引対策を選定した。また、汚染地下水を敷地外に流出させないために、地下水揚水対策を選定した。

#### (2) 措置の実施方法の考え方

##### ① 土壌ガス吸引

クリーニング店の作業に支障をきたさないよう、建屋内(汚染源付近)に土壌ガス吸引井戸(φ 40mm、GL-2.0m)を複数本設置、建屋外に土壌ガス吸引装置を設置し、吸引井戸から吸引装置までの配管は地中または架空配管とした。

## ②地下水揚水措置

下流側敷地境界内に揚水井戸(φ200mm、GL-5.0m)を設置して敷地外への流出防止を図った。敷地外への流出監視は、敷地外に設けた観測井戸で行った。

## (3)対策措置の実施

措置の実施状況を図2-1に示す。

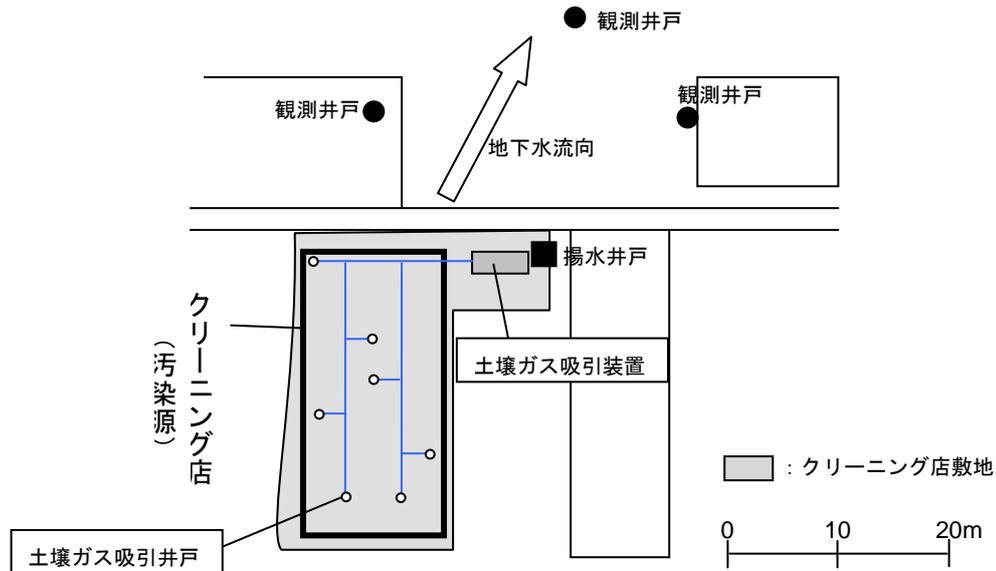


図 2-1 措置の実施状況

## 3. リスクコミュニケーション

本サイトは周辺に飲用井戸があったことから、自治体が主導となり、調査・対策が実施されてきた。また、調査結果は逐次、自治体に報告するとともに、対策方法の選定についても、自治体と協議を行って決定した。なお、周辺の飲用井戸(深井戸)では地下水汚染は確認されなかった。

## 4. 工夫した点・苦慮した点

- ①土壌ガス吸引対策 : 定期的に土壌ガス吸引装置の運転を停止した状態で吸引井戸の土壌ガス濃度を測定し、高濃度の土壌ガスが残存する地点からの吸引を行うことにより、浄化対策の促進を図った。
- ②地下水揚水対策 : 敷地が狭小であったため、現地の形状に合わせた曝気処理装置を設計・施工した。また、近隣に住宅があるため、ブロワについても低騒音型の機種を選定し、周辺住民に騒音被害が発生しないように考慮した。

## 5. 対策工事完了後の状況

- ①土壌ガス吸引対策 : 現在も実施しており、累積テトラクロロエチレン回収量は約 90kg に達している。
- ②地下水揚水対策 : 現在も実施しており、地下水汚染濃度は当初の 1/10 程度にまで低下している。また、汚染源周囲の観測井戸による汚染地下水の敷地外流出の監視も継続している。

## ケース3 エアスパーキング及び酸化分解(フェントン法)による原位置浄化

### 1. 土壌汚染現場の概要

#### (1) 背景

光学機器製造工場の廃止の際、数十年前に廃止された塗装施設が存在したことから自主的に土壌・地下水汚染の調査を行ったところ、トリクロロエチレンによる土壌・地下水汚染の存在が判明した。

#### (2) 土壌汚染発生の原因

土壌・地下水汚染の濃度分布から、第一帯水層についてはかつて塗装施設があった場所の周辺で最も高く、第二帯水層の地下水については流向下流側に汚染が拡散しており、上記の塗装施設に起因する汚染と推定された。

なお、第一帯水層の土壌汚染対策については別途に掘削除去工事が行われており、本件ではその後の第二帯水層地下水汚染対策について記載する。

#### (3) 土壌汚染の状況

土壌汚染の状況は次のとおり。

表 3-1 汚染状況

事業所の種類	光学機器製造業	調査の契機	工場廃止に伴う自主調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	不明	敷地内地下水汚染	あり
敷地面積	約 15,000m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	不明
汚染面積	約 4,600m <sup>2</sup>	敷地内への人の立ち入り	できない
汚染深度	7~18m	周辺での地下水の飲用利用	なし
基準を超過した特定有害物質等の種類		基準項目等	濃度
トリクロロエチレン		溶出量	基準の約 10倍
		地下水	基準の約 100倍

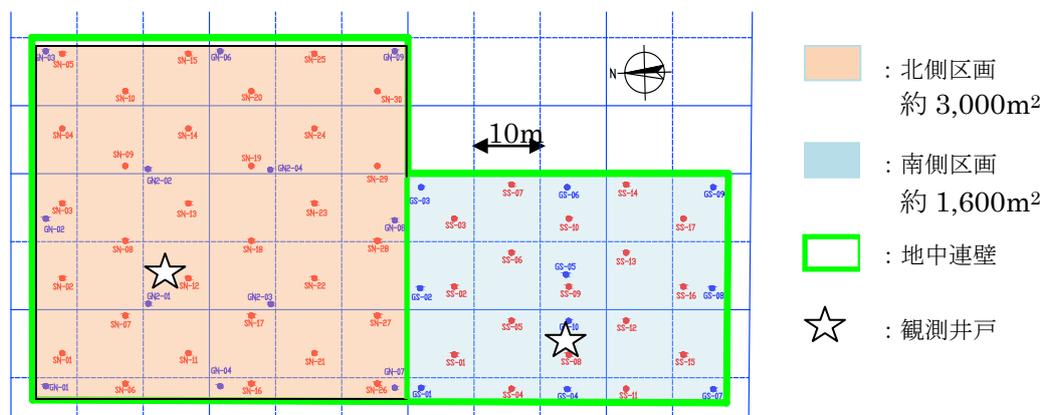


図 3-1 措置区域の範囲 (GN,GS:ガス吸引井戸、SN,SS:スパージ井戸)

## 2. 土壌汚染対策の概要

### (1) 措置の選定

このサイトでは、汚染されている地下水範囲が広いものの濃度的には比較的薄く、対象となる第二帯水層のほぼ全体が砂質土であったため、比較的低廉なコストで対策可能なエアスパージング+活性炭吸着処理を選定した。

また、対策期間が比較的短かったことから、汚染が相対的に残存した範囲については、補足的にフェントン法を適用した。

### (2) 措置の実施方法の考え方

#### ① エアスパージング+活性炭吸着処理による原位置浄化

図 3-1 に示すようにスパージ井戸とガス吸引井戸を配置し、スパージ井戸から空気を送り込んで地下水中のトリクロロエチレンを気散させ、これをガス吸引井戸から回収して活性炭吸着処理により吸着させた。

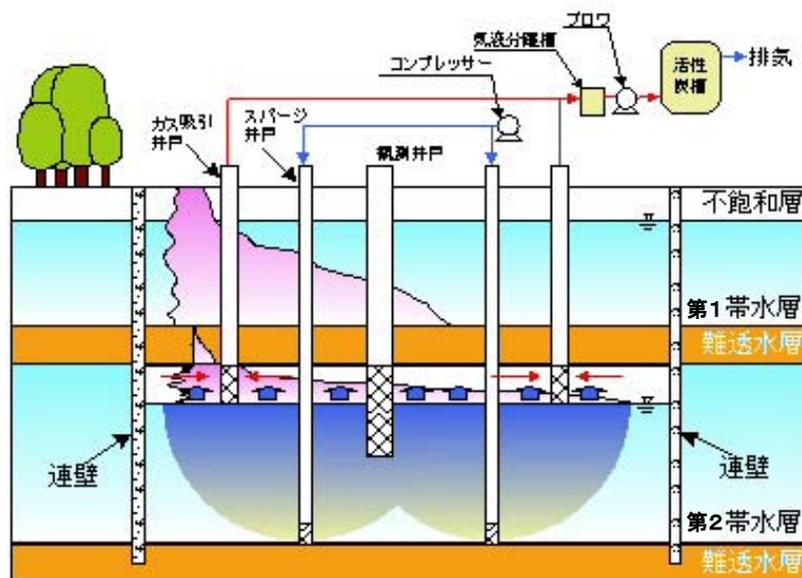


図 3-2 フロー図

#### ② フェントン法による原位置浄化

汚染が相対的に残存した範囲にフェントン注入井戸を多数設置し、第一鉄イオンの存在下で過酸化水素水を注入、発生するヒドロキシルラジカルにより残存するトリクロロエチレンを分解した。

### (3) 対策措置の実施

- ① 第一段階として図 3-1 に示す南側区画(約 1,600 m<sup>2</sup>)に対してエアスパージング法による対策を実施した。(約3ヶ月)
- ② 第二段階として北側区画(約 3,000 m<sup>2</sup>)に同様にエアスパージング法を適用した。(約2ヶ月)
- ③ 上記②の後に、南北両区画の汚染が残存する範囲にフェントン井戸を設置し、フェントン酸化処理を実施した。(約2ヶ月)

#### (4) 浄化が行われたことの確認

下記方法により浄化の進捗及び完了確認を行った。

- ①エアスパーキング法では定期的にガス吸引井戸からの採水による現場分析。
- ②フェントン酸化処理では注入完了数日後に注入井戸からの採水による現場分析。

### 3. リスクコミュニケーション

措置実施前に自治体と土地所有者、指定調査機関の間で協議を重ね、

- ①地域住民への事前説明
- ②措置内容・工事期間・施工時間等を明示した工事看板の設置
- ③第一帯水層掘削除去工事に先立って対象範囲周囲に第二帯水層下部不透水層まで地中連壁を構築し、措置による影響が範囲外に及ばないように配慮した。

### 4. 工夫した点・苦慮した点

敷地周辺は住宅地であったため施工時間の厳守、騒音発生設備の防音による騒音抑制等、周辺への騒音対策に対して注意・配慮した。

### 5. 対策工事完了後の状況

工事完了後、南北両区画に各1本設けた観測井戸にて4回/年の頻度で地下水モニタリングを継続中であり、地下水基準に適合していることが確認されている。

## ケース4 エアスパーキング及びバイオレメディエーション による原位置浄化

### 1. 土壤汚染現場の概要

#### (1) 背景

給油所の廃止に伴って、自主的な土壤汚染の調査を行った。その結果、ベンゼン及び油汚染が判明した。

#### (2) 土壤汚染発生の原因

配管等からの油漏洩と推定された。

#### (3) 土壤汚染の状況

土壤汚染の状況は次のとおり。

表 4-1 汚染状況

事業所の種類	給油所	調査の契機	廃止に伴う自主調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	該当なし	敷地内地下水汚染	あり
敷地面積	約 400m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	なし
汚染面積	約 300m <sup>2</sup>	敷地内への人の立ち入り	できない
汚染深度	9m	周辺での地下水の飲用利用	なし
基準を超過した特定有害物質等の種類	基準項目等	濃度	
ベンゼン	溶出量	基準の100倍	
	地下水	基準の400倍	

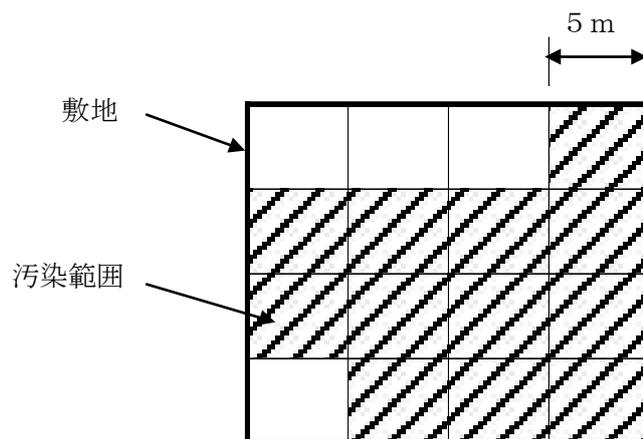


図 4-1 敷地面積と汚染範囲

## 2. 土壌汚染対策の概要

### (1) 措置の選定

給油所の廃止後は土地売却予定であったため、土壌汚染の除去を実施することとし、エアスパージング法等による原位置浄化とバイオレメディエーションの組み合わせによる措置を選定した。

### (2) 措置の実施方法の考え方

措置は、2期に分けて実施した。

- ①1期工事では、揚水ばっ気、エアスパージング及び土壌ガス吸引を組み合わせた複合原位置抽出工法を3か月間に渡って実施した。
- ②2期工事では、汚染が残った部分について、これらの工法に加えてバイオレメディエーションも組み合わせた措置を15か月間に渡って行った。バイオレメディエーションは、地下水循環装置に栄養塩を添加して、地中に設置した有孔管により土壌に注水した。
- ③浄化の確認は、まず月1回の頻度で地下水モニタリングを実施し、基準に適合していることを確認した。その後ボーリングにより土壌を採取して溶出量を測定し、基準に適合していることを確認後、措置を完了とした。

### (3) 措置の実施状況

1期工事の実施状況を図4-2に、2期工事の実施状況を図4-3に示す。



図4-2 措置の実施状況(1期工事)

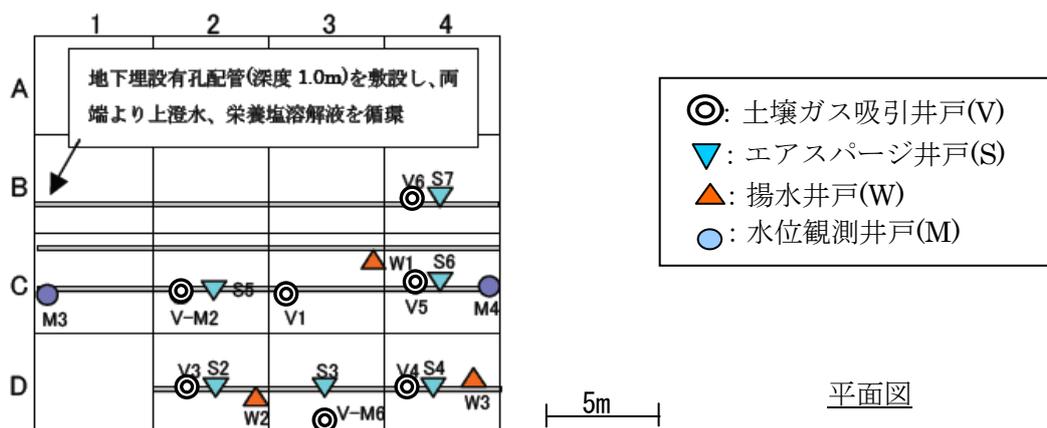
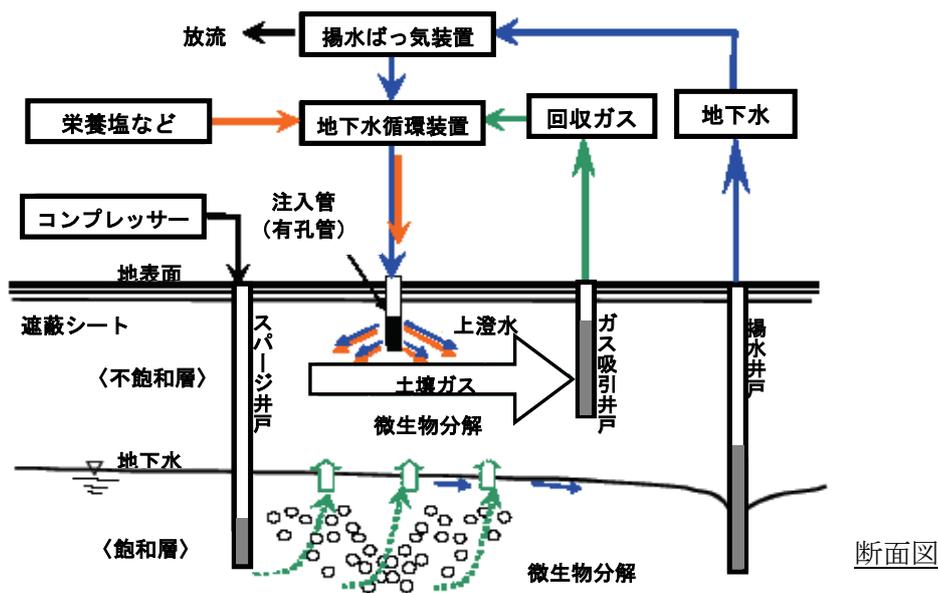


図 4-3 措置の実施状況 (2期工事)

### 3. リスクコミュニケーション

対策の進め方については、自治体、土地所有者及び施工業者の間で協議を実施した。

### 4. 工夫した点・苦慮した点

エアスパージング法により汚染物質が敷地外へ拡散するのを防止するために、措置実施区域周囲への矢板の打設を検討したが、本サイトの地質は玉石混じり礫質土であったため、矢板の打設が困難であった。そこで、敷地境界付近で揚水を行うとともに、敷地境界部に設置した水位観測井戸で地下水位を定期的に測定し、敷地境界部での水位が自然水位より低くなるように管理し、汚染の拡散を防止した。

## 5. 対策工事完了後の状況

売却予定地として、更地の状態である。

# ケース5 酸化分解(フェントン法)による原位置浄化

## 1. 土壌汚染現場の概要

### (1) 背景

化学メーカーの工場敷地において土地の売却を目的とした、自主的な土壌・地下水汚染の調査を行った。その結果、VOCの汚染が見つかり、対策することとなった。

### (2) 土壌汚染発生の原因

過去に存在した塗装工場で使用していた溶剤に起因すると考えられる。

### (3) 土壌汚染の状況

土壌汚染の状況は次のとおり。

表 5-1 汚染状況

事業所の種類	化学工業	調査の契機	土地売却に伴う自主調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	該当なし		
敷地面積	13,500m <sup>2</sup>	敷地内地下水汚染	あり
汚染面積	1,400m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	なし
汚染深度	5~14m	敷地内への人の立ち入り	できない
		周辺での地下水の飲用利用	なし
基準を超過した特定有害物質等の種類	基準項目等	濃度	
テトラクロロエチレン	溶出量	基準の 13倍	
	地下水	基準の 200倍	
トリクロロエチレン	地下水	基準の 約2倍	

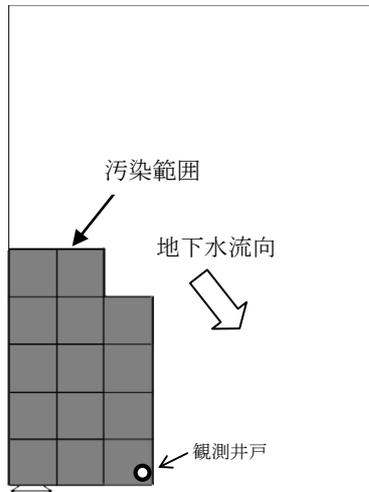


図 5-1 浄化対策範囲

## 2. 土壤汚染対策の概要

### (1) 措置の選定

周辺に井戸はあったが、飲用利用はしていなかった。地下水摂取リスクはないと考えられるが自主的に土壤・地下水汚染の除去措置を行うこととした。

また、コストを抑えた、できるだけ短期間の工法という土地所有者(事業者と同一)の要望や土質等を考慮し、その措置としてフェントン試薬を用いた化学的分解法を選定した。

### (2) 措置の実施方法の考え方

#### ① 化学的分解による原位置浄化

浄化対象サイトに注入井戸を設置して、フェントン試薬を注入した。フェントン試薬の添加量は、土壤調査時に土壤試料を採取し、事前に室内のトリータビリティテストで求めた。

フェントン試薬による汚染物質の分解原理を図 5-2 に示す。過酸化水素( $H_2O_2$ )と鉄塩(鉄イオン)が共存(フェントン試薬)する水中において、鉄イオンが過酸化水素の分解触媒として働くことで活性ラジカルが発生する。(この化学反応をフェントン反応と言う。)

この反応で発生したヒドロキシルラジカルは活性が非常に高いため、揮発性有機化合物の炭素-炭素結合や炭素-塩素結合など化学結合を解離させて分解することができる。

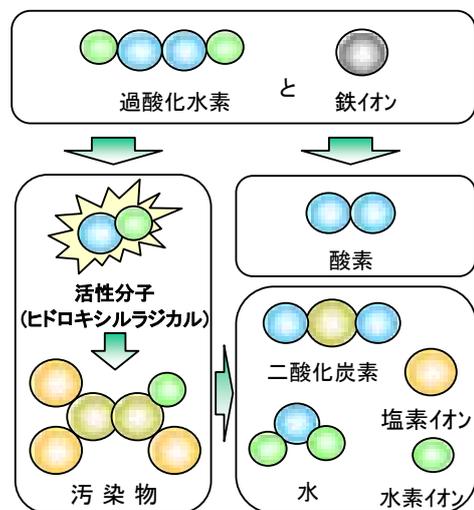


図 5-2 フェントン反応原理図

#### ② 浄化が行われたことの確認

浄化終了後に、 $100m^2$ に1地点の割合で措置対象深度まで1mごとに試料を採取し、それらが土壤溶出量基準に適合していることを確認した。また、 $100m^2$ に1本設置した観測井戸における地下水濃度が基準に適合していることを確認した。

#### ③ 観測井戸の設置

観測井戸を浄化対象範囲の下流側に1本設け、1年に4回、地下水のモニタリングを行っている。2年間継続する予定であり、現在実施中である。

### (3)実施フロー

土壤汚染状況調査からモニタリングまで実施フローを図 5-3に示す。

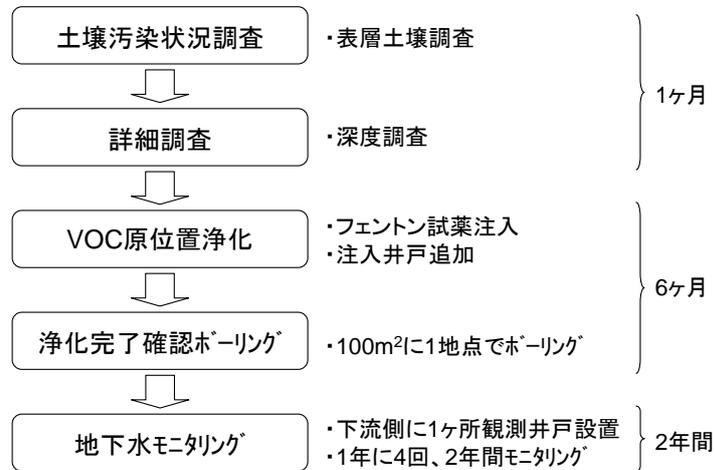


図 5-3 調査・対策実施フロー

### 3. リスクコミュニケーション

調査から対策措置まで、自治体と土地所有者(事業者と同一)と頻繁に協議を行い、内容を決定した。

周辺での地下水の飲用利用はないが、周辺住民への説明会を2回実施した。

### 4. 工夫した点・苦慮した点

浄化の対象とする土質がシルト質主体であったことから薬剤の浸透が難しく、注入井戸を追加で設置して浄化を達成した。

### 5. 対策工事完了後の状況

現在は、稼働中の工場敷地の一部である。

(売却を目的として対策工事を実施したが、売却時期や土地利用は未定である。)

## ケース6 酸化分解(フェントン法)による原位置浄化

### 1. 土壌汚染現場の概要

#### (1) 背景

ガソリンスタンドの全面改装計画に伴い、店舗解体前に、自主的に土壌・地下水汚染の調査を実施したところ、油分による土壌・地下水汚染の存在が判明した。

#### (2) 土壌汚染発生の原因

地下水位付近である深度 1.8m～2.3m 付近でのみ油汚染が確認された。したがって、土壌・地下水汚染発生の原因は、地中埋設配管からの油の漏洩であると推定された。

#### (3) 土壌汚染の状況

土壌汚染の状況は次のとおり。

表 6-1 汚染状況

事業所の種類	ガソリンスタンド	調査の契機	全面改装に伴う自主調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	該当なし		敷地内地下水汚染
敷地面積	約 1,800m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	あり
汚染面積	約 200m <sup>2</sup>	敷地内への人の立ち入り	できる
汚染深度	2.3m	周辺での地下水の飲用利用	なし
基準を超過した特定有害物質等の種類	基準項目等	濃度	
油	油・油膜	TPH : 2100mg/kg	

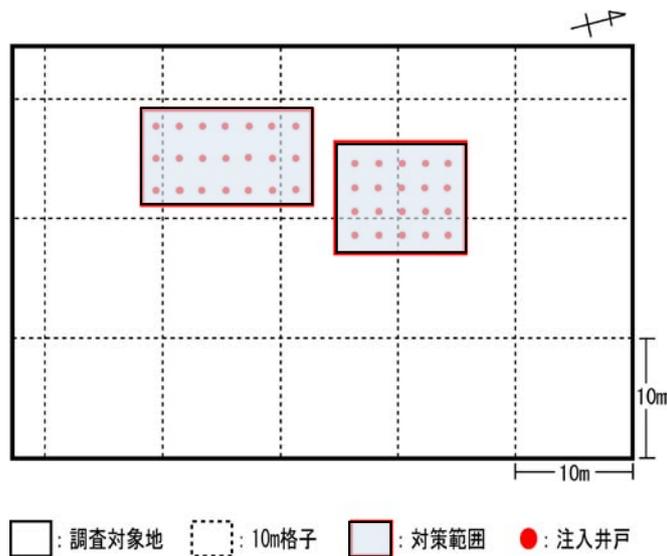


図 6-1 浄化対象面積の範囲

## 2. 土壌汚染対策の概要

### (1) 措置の選定

以下の事由により、化学的分解(フェントン法)による原位置浄化を選択した。

- ・土壌汚染だけではなく、地下水汚染も確認された。
- ・汚染土壌を掘削し、区域外へ搬出処分した場合よりもコストを抑制できる。
- ・掘削除去と比較して、搬出先の受入量の問題で工期的に差がない。

### (2) 措置の実施方法の考え方

#### ① 化学的分解(フェントン法)による原位置浄化

2.0mピッチでφ25mmの注入井戸(1.5～3.0mをスクリーン)を設置し、過酸化水素と鉄イオンからなるフェントン試薬をポンプを用いて注入し、土壌及び地下水を浄化した。

#### ② 浄化が行われたことの確認

フェントン反応剤を注入完了後翌日に、土壌・地下水をサンプリングし、油臭・油膜がないことを確認した後、TPH(Total Petroleum Hydrocarbon,全石油系炭化水素)の分析を実施し、浄化目標をクリアしていることを確認した。

### (3) 実施フロー

図6-2にこのサイトの調査から浄化工事完了までの実施フローを示す。

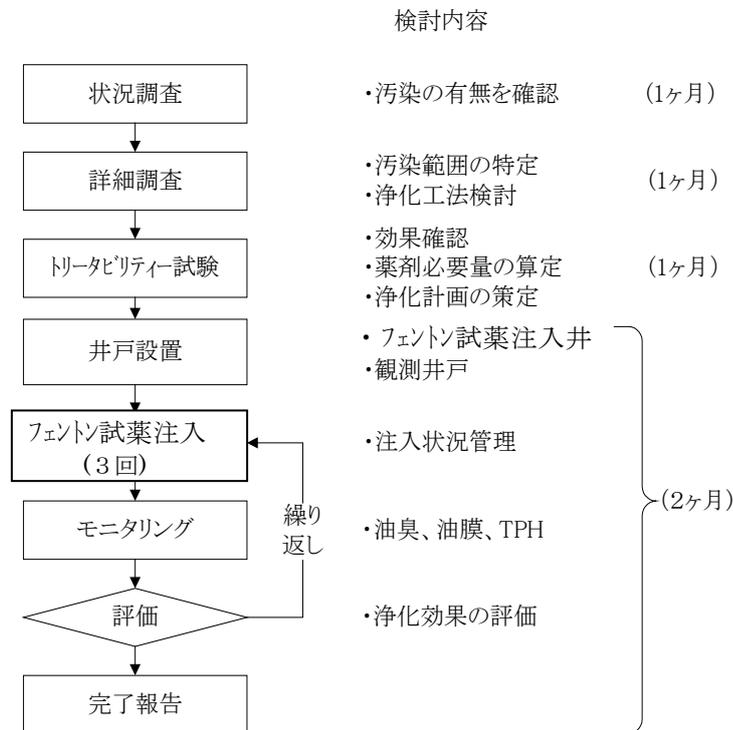


図 6-2 調査・浄化工事実施フロー

### 3. リスクコミュニケーション

行っていない。

### 4. 工夫した点・苦慮した点

当初、フェントン試薬は注入ポンプを使用して井戸から地中へ注入する計画であったが、注入前に粘性土分の含有が多い地点が確認され、ポンプ注入では十分な浄化効果が期待できない可能性が懸念された。地中にフェントン反応剤を効率的に浸透させるため、粘性土分の含有が多いと判断された範囲において、トレンチ(溝)を掘削し、そこからの自然浸透を実施した。

### 5. 対策工事完了後の状況

浄化工事完了後の敷地は、改築されて、ガソリンスタンドとして利用されている。

## ケース7 酸化分解(フェントン法)、バイオレメディエーション 及び土壌ガス吸引法による原位置浄化

### 1. 土壌汚染現場の概要

#### (1) 背景

スポーツ施設の閉鎖に当たり、自主的に当該地の土壌・地下水汚染の調査を行った。その結果、VOCによる土壌・地下水汚染が確認されたため、汚染拡散防止措置及び敷地内浄化を実施した。

#### (2) 土壌汚染発生の原因

対象地は、スポーツ施設の設置以前に鉄板加工工場用地として使用されており、VOC を使用していた可能性があった。一方、スポーツ施設として使用している期間は、VOC の使用履歴は無いことから、汚染原因は鉄板加工工場の操業に起因すると考えられる。

#### (3) 土壌汚染の状況

土壌汚染の状況は次のとおり。

表 7-1 汚染状況

事業所の種類	スポーツ施設	調査の契機	施設閉鎖に伴う自主調査
使用が廃止された 有害物質使用特定施設	不明	敷地内地下水汚染	あり
		周辺の地下水汚染	あり
敷地面積	6,800m <sup>2</sup>	敷地内への人の立ち入り	できる
汚染面積	約6,000m <sup>2</sup>	周辺での地下水の飲用利用	なし
汚染深度	約 2m		
基準を超過した特定有害物質等の種類	基準項目等	濃度	
トリクロロエチレン	溶出量	基準の約 19倍	
	地下水	基準の約 40倍	
シス-1,2-ジクロロエチレン	溶出量	基準の約 14倍	
	地下水	基準の約 190倍	

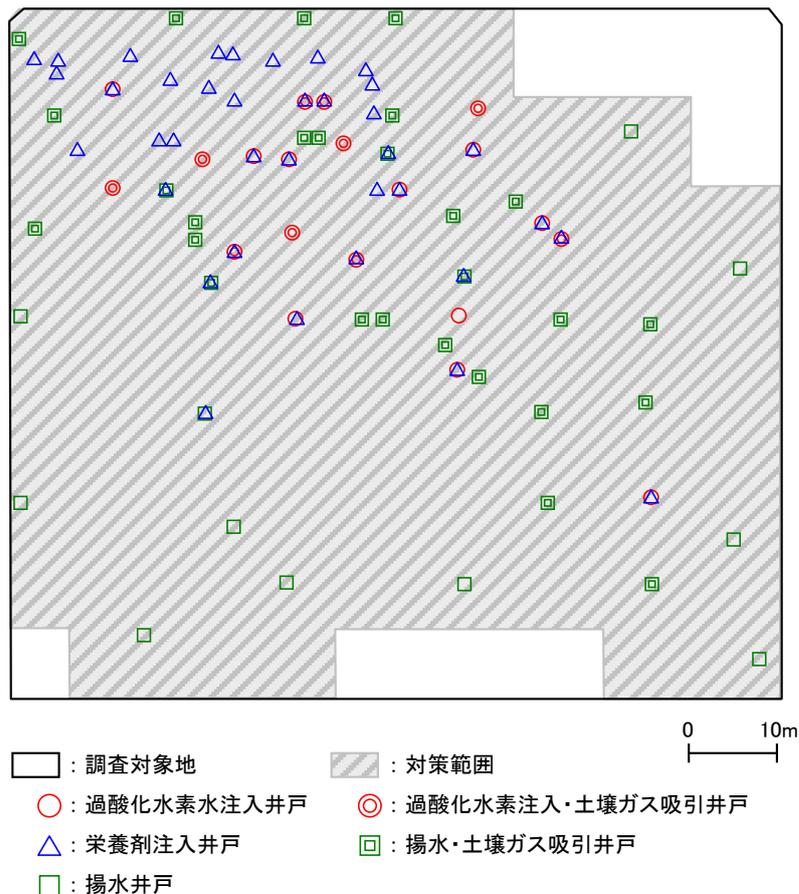


図 7-1 対策範囲

## 2. 土壌汚染対策の概要

### (1) 措置の選定

このサイトは、食料品を取り扱う商業施設としての利用が予定されており、土地所有者から汚染を残したくないとの要望があった。そこで、土壌汚染の除去措置を選ぶこととし、汚染土壌を掘削搬出処分する掘削除去措置よりもコストを抑制できる化学的分解、バイオレメディエーション、地下水揚水及び土壌ガス吸引による原位置浄化措置を選択した。

### (2) 措置の実施方法の考え方

#### ① 化学的分解（フェントン法）及びバイオレメディエーションによる原位置浄化

この手法は、土壌汚染対策範囲に注入井戸を設置し、まず、過酸化水素水と鉄イオンを地中に注入することによって、VOC を化学的に分解し VOC 濃度を低下させ、地中の VOC 濃度がある程度低下した段階で、既存の注入井戸及び追加設置した注入井戸から栄養剤を注入し、土壌中の VOC 分解菌を活性化させることによって、VOC を分解・浄化する方法である。

また、地下水汚染範囲には揚水井戸を設置し、汚染地下水を汲み上げることによって、VOC を回収・除去するとともに、注入した薬剤の拡散を防止し、汲み上げた地下水は、曝気等により適切な水処理をした後、下水放流するものである。

## ② 土壌ガス吸引による原位置浄化

この手法は、VOC の揮発性を利用したものであり、対策範囲に土壌ガス吸引井戸を設置して、地下水面より上の土壌中に存在する VOC を強制的に吸引する方法である。吸引ガス中の VOC は、活性炭で吸着除去する。

## ③ 浄化が行われたことの確認

浄化完了確認のための地下水モニタリングを年4回の頻度で行った。その結果、設置した全ての井戸の地下水 VOC 濃度が基準に適合した状態が2年間継続したことを確認したため、モニタリングを完了した。この結果は、適宜自治体に報告しており、終期に関しても協議の上、承認を得た。

それに加えて、事前の土壌ボーリング調査において最も高濃度の土壌溶出量が確認された地点等で、浄化確認のための土壌ボーリング調査を行い、汚染が認められた全深度で溶出量が基準に適合していることを確認した。

## (3) 対策措置の実施

対策工事の工程表を表7-2に示す。

表 7-2 工程表

工程	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月	7ヶ月	8ヶ月	9ヶ月	備考	
準備工事	■										
浄化設備設置工事		■								井戸55箇所 設備試運転	
浄化工事			■								過酸化水素水、栄養剤 注入及び土壌ガス吸引
浄化確認									■	土壌12m×1地点 地下水55地点	
撤去工事									■		
地下水モニタリング									■	敷地内に1箇所 年4回×2年間	

## 3. リスクコミュニケーション

調査実施前から対策措置の決定に至るまでに、自治体と土地所有者の間で頻繁に協議を行った。

また、土地所有者が自ら周辺住民に対する説明会(汚染の経緯、状況及び対策方法など)を行うとともに、新聞発表による情報公開も実施した。

## 4. 工夫した点・苦慮した点

過酸化水素水注入による VOC 分解効果の低下が認められた段階で、栄養剤注入によるバイオレメディエーションに切り替えることによって、浄化処理を停滞させることなく対策工事を行うことができた。

## 5. 対策工事完了後の状況

対策工事完了後の土地は、商業施設及び駐車場として利用されている。

(前述の浄化完了のモニタリングは、商業施設及び駐車場として利用されつつ実施した。)

## ケース8 還元分解(鉄粉法)及びバイオレメディエーションによる原位置浄化

### 1. 土壌汚染現場の概要

#### (1) 背景

道路建設に伴う道路用地内にクリーニング店の敷地が含まれており、土地所有者が法第3条に基づく土壌汚染状況調査を実施した結果、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、シス-1,2-ジクロロエチレン等による土壌汚染の存在が判明した。

#### (2) 土壌汚染発生の原因

土壌汚染の発生原因は、洗浄施設に起因すると考えられる。

#### (3) 土壌汚染の状況

土壌汚染の状況は次のとおり。

表8-1 汚染状況

事業所の種類	クリーニング業	調査の契機	法第3条に基づく調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	洗たく業の用に供する洗浄施設	敷地内地下水汚染	あり
敷地面積	約 350m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	不明
汚染面積	約 350m <sup>2</sup>	敷地内への人の立ち入り	できない
汚染深度	20m	周辺での地下水の飲用利用	なし
基準を超過した特定有害物質等の種類		基準項目等	濃度
テトラクロロエチレン	溶出量	基準の 約25,000倍	
	地下水	基準の 約20,000倍	
トリクロロエチレン	溶出量	基準の 約 110倍	
	地下水	基準の 約 130倍	
1,1-ジクロロエチレン	溶出量	基準の 約 1.7倍	
	地下水	基準の 約 1.4倍	
シス-1,2-ジクロロエチレン	溶出量	基準の 約 350倍	
	地下水	基準の 約 190倍	

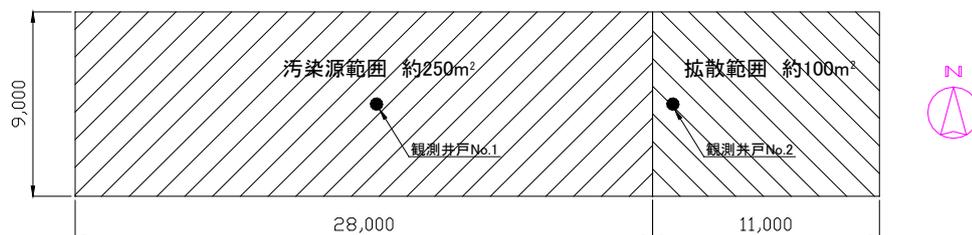


図 8-1 指定区域の範囲

### 2. 土壌汚染対策の概要

#### (1) 措置の選定

原位置浄化措置は、汚染土壌を掘削し、区域外へ搬出処分した場合よりも敷地外への拡散を防止し、措置コストを抑制できる。本サイトでは汚染源範囲に対して化学的分解(還元分解法)に

よる原位置浄化措置、拡散範囲に対してバイオレメディエーションによる原位置浄化措置を選定した。

## (2) 措置の実施方法の考え方

### ① 化学的分解による原位置浄化

本サイトで実施された化学的分解措置は還元分解法（鉄粉法）である。この手法は零価の鉄粉を土壤中に重量比で 1～数%程度混合し、テトラクロロエチレンやトリクロロエチレン等の VOC の脱塩素化を図り、無害なエチレンに分解する方法である。（図 8-2 参照）。鉄粉の混合方法としては、本サイトのように深い場合は、スラリー系機械攪拌式の深層混合処理工法による直接混合が適切な方法の 1 つである。また、鉄粉の添加量は事前に汚染サイトの土壌を用いてトリータビリティ試験を行い決定した。

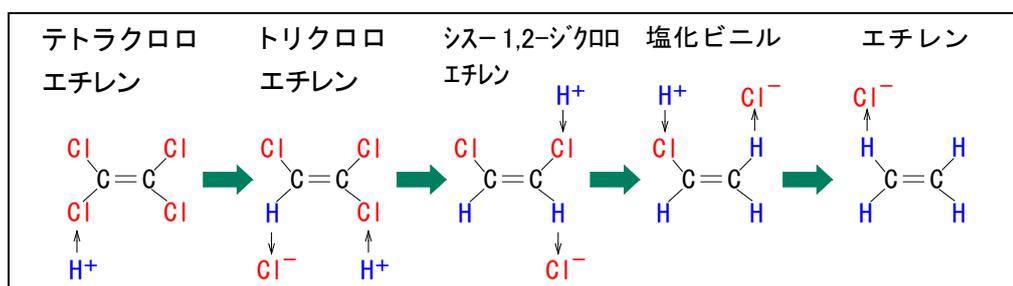


図 8-2 鉄粉を用いた還元分解の仕組み

### ② バイオレメディエーションによる原位置浄化

バイオレメディエーションは、微生物等の持つ特定有害物質の生分解性を活用し、汚染した土壌を浄化する手法で、土着微生物を活用するバイオスティミュレーションと土着でない微生物を用いるバイオオーギュメンテーションがある。本サイトで実施した措置はバイオスティミュレーションであり、この手法は汚染場所の土着微生物に酸素や栄養剤を与えることで微生物を活性化させ、浄化作用を促進させる方法である。バイオレメディエーションの模式図を図 8-3 に示す。

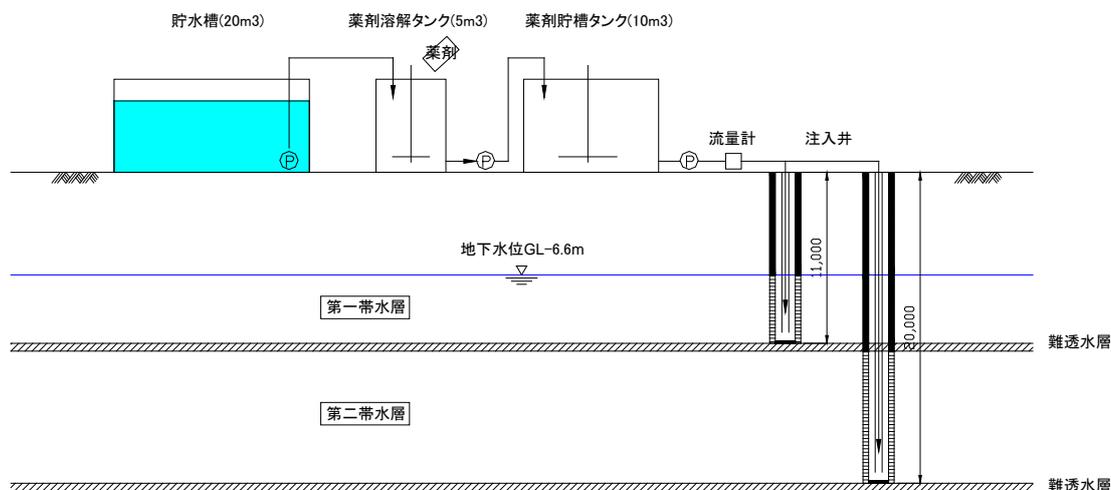


図 8-3 バイオレメディエーションの模式図

### ③浄化が行われたことの確認

化学的分解による原位置浄化は、施工終了後、ボーリングにより原位置浄化を実施した深度までの土壌及び地下水を採取・分析し、溶出量及び地下水濃度が基準に適合していること確認した。

バイオレメディエーションによる原位置浄化は、薬剤注入後、毎月1回の頻度で地下水を注入井戸より採水・分析し、地下水濃度が基準に適合していることを確認した。

### ④観測井戸の設置

観測井戸を汚染源範囲及び拡散範囲に各々1箇所ずつ設け、1年に4回地下水の水質を測定し、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予定である。

## (3)対策措置の実施

### ①化学的分解による原位置浄化

本サイトでは、周辺拡散防止のため対策措置外周に遮水壁を粘土層まで設置後、鉄粉混合工法を実施した。対策深度はGL-20mである。措置の実施状況を図8-4に、鉄粉混合工の施工手順を図8-5に、実施工程表を表8-2に示す。

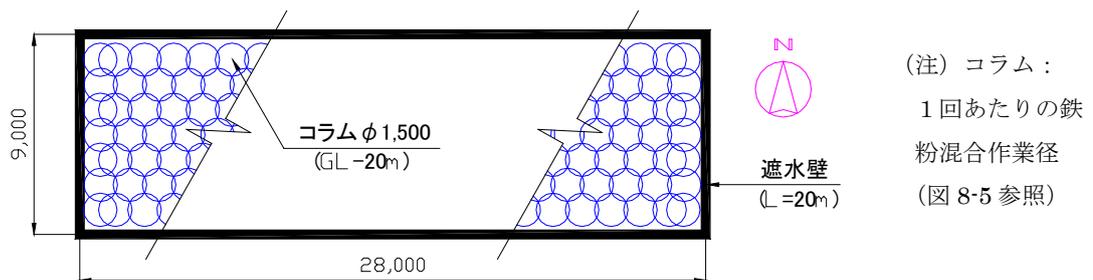


図8-4 措置の実施状況

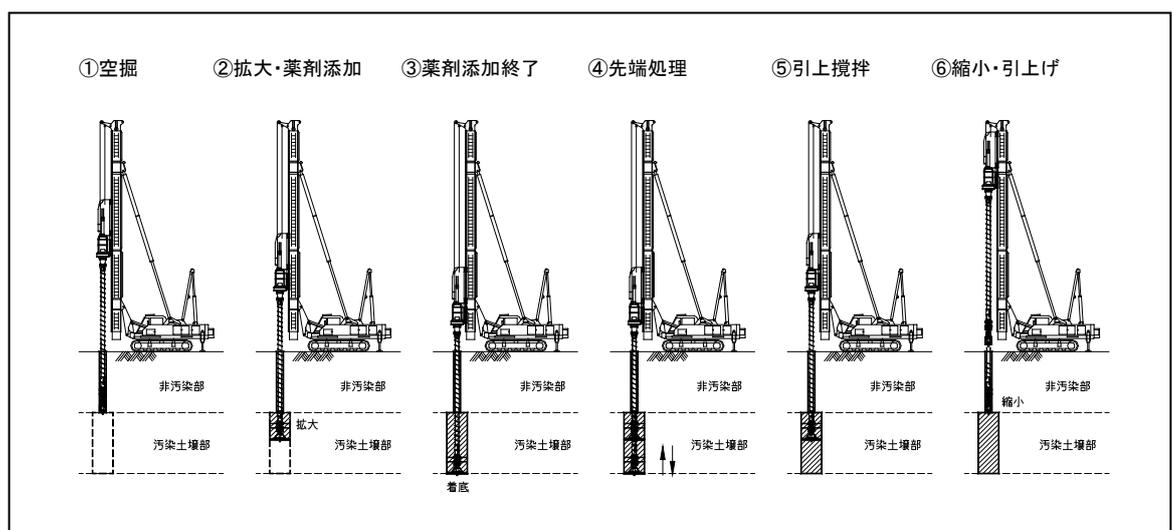


図8-5 鉄粉混合工の施工手順

表 8-2 実施工程表

工程		1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月	7ヶ月
トリータビリティ試験	試料採取(ボーリング)	■						
	試料調整・土壌分析	■	■					
準備工	重機・プラント組立			■				
	キャリブレーション			■				
浄化工	プレボーリング工			■				
	鉄粉混合工			■	■			
撤去工	重機・プラント解体				■			
反応期間	還元分解			■	■	■	■	■
浄化確認試験	土壌調査							■
	地下水調査							■
地下水モニタリング	観測井戸設置							■
	定期地下水調査							➡

② バイオレメディエーションによる原位置浄化

本サイトでは、注入井を9か所設置し、所定量の薬剤を地中に注入した。対策深度はGL-20mである。措置の実施状況を図8-6に、実施工程表を表8-3に示す。

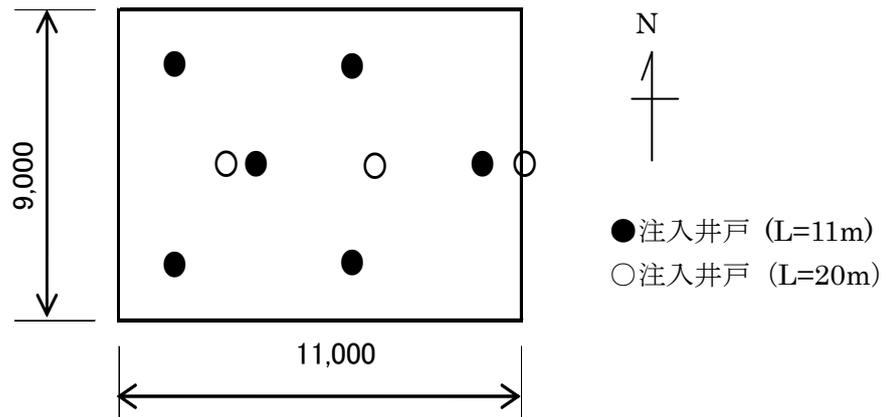


図 8-6 措置の実施状況

表 8-3 実施工程表

工程		1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月
トリータビリティ試験	試料採取(ボーリング)	■					
	試料調整・水質分析	■	■				
浄化装置設置工	井戸設置(ボーリング)			■			
	装置据付			■			
浄化工	薬剤注入			■	■		
撤去工事	浄化装置撤去				■		
反応期間	微生物分解			■	■	■	■
浄化確認試験	地下水調査			■	■	■	■
地下水モニタリング	観測井戸設置						■
	定期地下水調査						➡

### 3. リスクコミュニケーション

周辺の自治会及び自治体との定例会議を毎月1回以上の頻度で行い、積極的に情報公開を行った。定例会議の中で、モニタリングに際しては自治体から適切なアドバイスを受けた。住民説明会も行った。

また、本サイトと隣接する民地において、別途浄化対策工事を実施中であったため、施工に際しては、相互の連絡調整を密に行った。

### 4. 工夫した点・苦慮した点

①化学的分解による原位置浄化部では、対策措置外周を遮水壁で締め切り後に鉄粉スラリーを注入するため、遮水壁内の地下水位が上昇し、地表面を軟弱化する恐れがあった。そのため、事前に遮水壁内の地下水を揚水し、不飽和状態にすることで、地下水位の上昇を抑制した。また、揚水した汚染地下水は、無害化処理を行い、公共下水道に放流した。

②バイオレメディエーションによる原位置浄化部の土質はシルト質砂礫であり比較的透水性の低い地盤になっており、GL-11m 付近のシルト層を境に第一帯水層と第二帯水層に分かれていた。さらに、詳細調査の結果、VOC 濃度はエリア西側が高くなっていることもわかった。これらの状態を考慮し、注入井戸の仕様及び配置を決定した。

### 5. 対策工事完了後の状況

対策工事完了後の土地は、一般道路として利用されている。現在、地下水モニタリングが続けられ、地下水基準に適合した状態が2年間継続したことが確認できれば、指定区域の指定が解除される。

## ケース9 還元分解(鉄粉法)による原位置浄化

### 1. 土壤汚染現場の概要

#### (1) 背景

電気製品工場閉鎖に伴って、特定施設が廃止された。その際に、法第 3 条に基づく土壤汚染状況調査及び自治体条例に基づく土壤汚染の調査を行った結果、指定基準を超えるVOC(シス-1, 2-ジクロロエチレン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,1-ジクロロエチレン)、重金属等(六価クロム化合物、水銀、セレン、鉛及びその化合物、砒素、フッ素及びその化合物、ほう素及びその化合物)が検出された。

#### (2) 土壤汚染発生の原因

汚染の原因は各物質の使用履歴から工場内の各施設と推定されるが、詳細な原因の特定には至っていない。

#### (3) 土壤汚染の状況

土壤汚染の状況は次のとおり。

表 9-1 汚染状況

事業所の種類	電気製品製造業	調査の契機	法第3条及び条例に基づく調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	酸又はアルカリによる表面処理施設		
敷地面積	約 72,000m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	あり
汚染面積	約 45,000m <sup>2</sup>	敷地内への人の立ち入り	できる
汚染深度	9m(最大)	周辺での地下水の飲用利用	なし
基準を超過した特定有害物質等の種類	基準項目等	濃度	
テトラクロロエチレン	溶出量	基準の約 800倍	
トリクロロエチレン	溶出量	基準の約 350倍	
1,1-ジクロロエチレン	溶出量	基準の約 2倍	
シス-1,2-ジクロロエチレン	溶出量	基準の約 250倍	
六価クロム、ほう素他 重金属等	溶出量	基準の1.1~40倍	
	含有量	基準の 10~45倍	

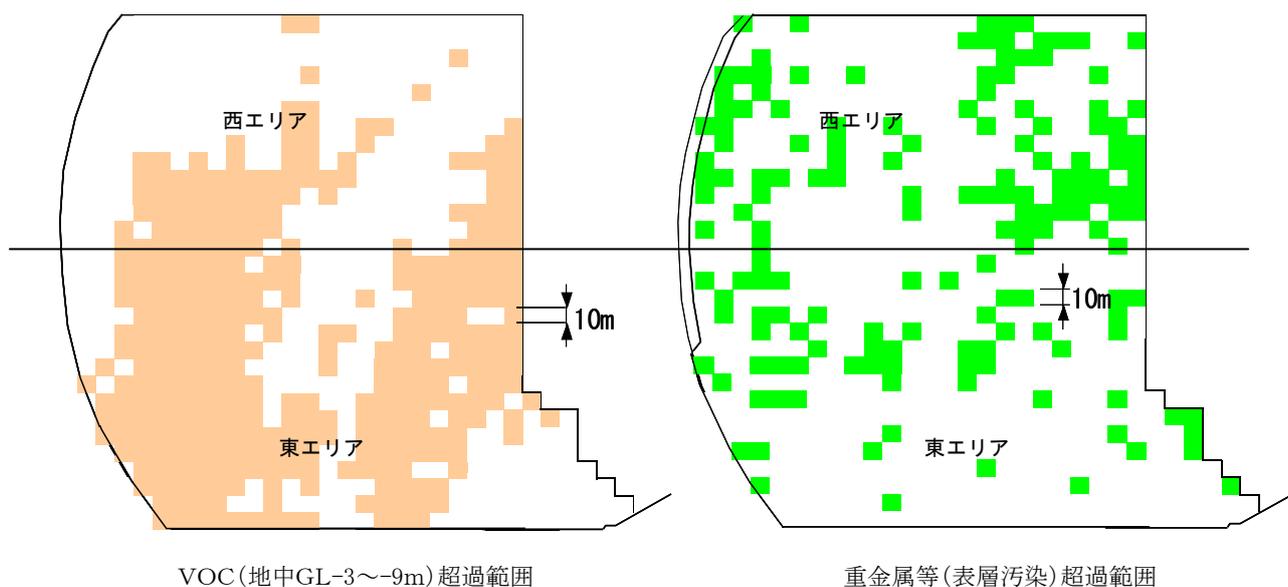


図 9-1 VOC及び重金属等の汚染範囲

## 2. 土壤汚染対策の概要

### (1) 措置の選定

このサイトは、土地売却予定であり売買当事者間での取り決めにより、土壤汚染の除去を実施することとなった。表層の重金属等の汚染土壌は掘削除去(直接摂取のリスク対応)したものの、深度GL-3m程度～GL約-9m程度までに拡散したVOC汚染に対しては、掘削除去より安価に対応できる鉄粉法による原位置混合攪拌工法を選定した。

### (2) 措置の実施方法の考え方

- ① 鉄粉の還元作用によるVOCの脱塩素分解は広く知られているが、この工法は、地中の土壌を掘上げずに、現地プラントで混合されたスラリー状の鉄粉を、混合攪拌機を使用して地中に均一に混合させ、地中のVOCを分解するものである。
- ② 混合攪拌機は単軸で直径約2mの改良体を地中に造成できる。実施に先立ち、試験室で原位置地盤と鉄粉の反応性の確認のためトリータビリティテストを行い、適切な配合量を設定した。さらに、現地での施工開始時には数か所で試験施工を実施し、VOC濃度の低減傾向の確認を先行して行った。
- ③ 浄化の確認は鉄粉混合後一定期間を置いてから、単位区画(10m×10m)で1箇所調査ボーリングを実施し、汚染物質が指定基準を下回っていることを確認することで実施した。  
自治体へは、これらの確認が完了してから、対策完了報告書を提出した。

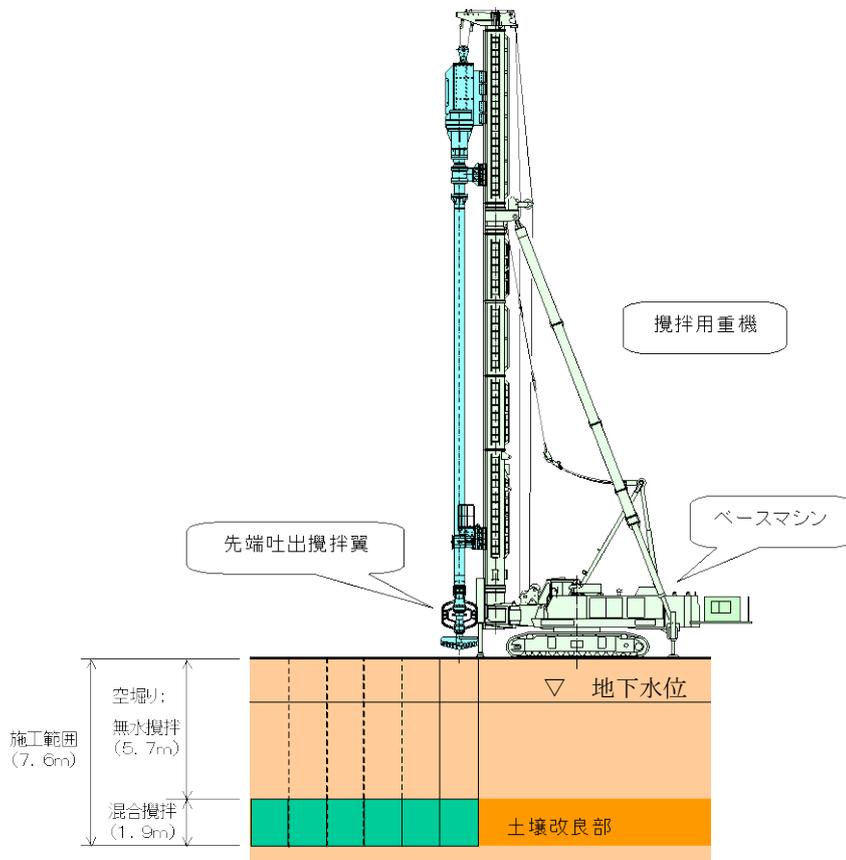


図 9-2 混合攪拌機の概要

(3) 対策措置の実施

実施の工程を表9-2に示す。

表 9-2 混合攪拌工法による浄化対策の工程事例

	1年目												2年目				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
準備工事	■																
基礎解体工事		■															
仮設物設置撤去工事		■													■		
汚染土壌掘削搬出工事		■															
混合攪拌工事							■										
浄化確認調査												■					

### 3. リスクコミュニケーション

事実施前に、土地所有者・施工業者とで協力し、住民説明会を実施した。

### 4. 工夫した点・苦慮した点

基礎解体工事との混在での施工となったため、大型重機の配置計画が煩雑になった。また、鉄道の営業線近接施工であったため、営業線に影響を与えない施工手順の検討が必要になった。

### 5. 対策工事完了後の状況

対策後指定区域は解除となり、土地は他社に売却され、現在新規工場が建設されている。

## ケース 10 還元分解(鉄粉法)による原位置浄化

### 1. 土壤汚染現場の概要

#### (1) 背景

精密機械部品製造工場の製造工程変更と地下水汚染の公表の機会に、自主調査として土壤汚染の調査を実施した結果、トリクロロエチレン等による土壤汚染が確認された。

#### (2) 土壤汚染発生の原因

土壤汚染のおそれの分類と土壤汚染の範囲が一致することから、工場内にあった洗浄施設や過去の汚染物質の不適切な取扱いに起因すると考えられる。

#### (3) 土壤汚染の状況

土壤汚染の状況は次のとおり。

表 10-1 汚染状況

事業所の種類	精密機械部品製造業	調査の契機	製造工程変更に伴う自主調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	該当なし		敷地内地下水汚染
敷地面積	33,800m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	あり
汚染面積	500m <sup>2</sup>	敷地内への人の立ち入り	できない
汚染深度	8.5m	周辺での地下水の飲用利用	あり
基準を超過した特定有害物質等の種類	基準項目等	濃度	
トリクロロエチレン	溶出量	基準の約 8倍	
1,1-ジクロロエチレン	溶出量	基準の約 175倍	

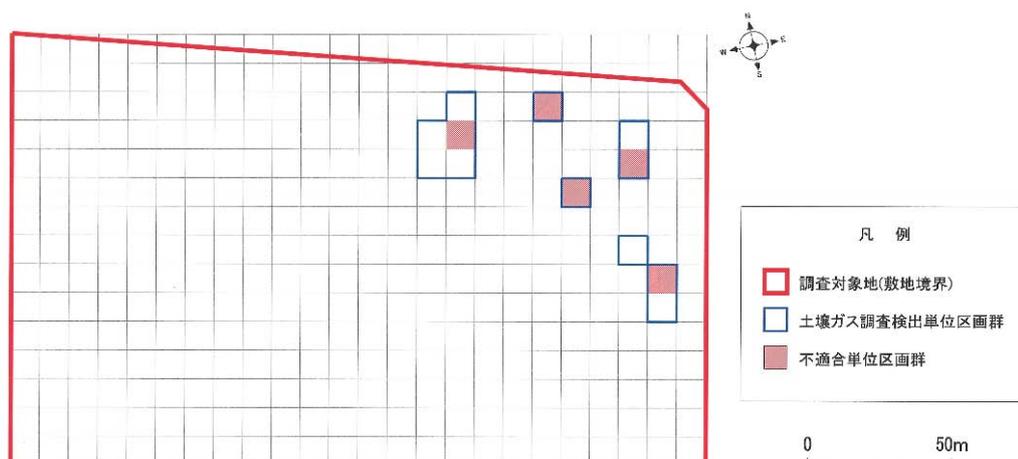


図 10-1 土壤汚染の範囲

## 2. 土壤汚染対策の概要

### (1) 措置の選定

このサイトでは、敷地外への汚染地下水の流出の可能性が懸念されたため、まずは対象地の最下流域に透過反応壁(鉄粉法)と遮水壁を設置し拡散防止対策を行なった。その後、土壤汚染の調査により不飽和層からの土壤汚染が確認され、地下水汚染の供給源と想定された1単位区画の土壤汚染の除去として、鉄粉法による原位置浄化を選定した。

### (2) 措置の実施方法の考え方

#### ① 透過反応壁(鉄粉法)と遮水壁

対象地の最下流域を遮水壁(鋼矢板)で囲み、地下水が抜ける部分に透過反応壁(鉄粉法)を設置した。鉄粉法による透過反応壁の適用可否と鉄粉量等は、事前にトリータビリティテストによって求めた。

#### ② 鉄粉法による土壤汚染の原位置浄化

不飽和層から深くまで土壤汚染が確認されていたため、掘削除去を避け、鉄粉混合法を選択した。土壤汚染が存在する措置対象範囲に土壤浄化用鉄粉を機械的に混合し、トリクロロエチレン等を還元的脱塩素反応プロセスによって分解した。鉄粉添加後、約1ヶ月で土壤溶出量は基準値以下となり浄化を確認した。

### (3) 対策措置の実施

措置の実施状況を図10-2に示す。

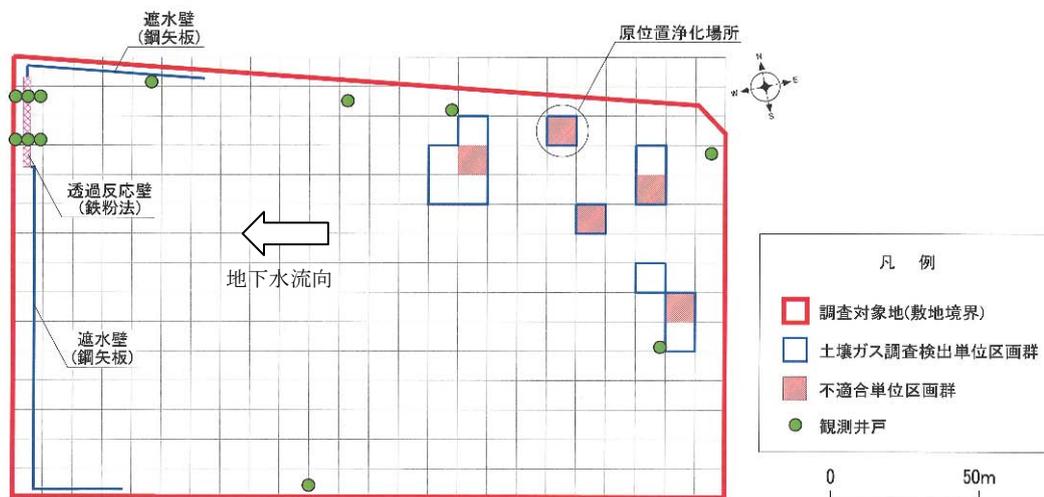


図 10-2 措置の実施状況

## 3. リスクコミュニケーション

周辺では地下水の飲用利用もあり、地下水汚染の敷地外への流出の懸念があったため、地域住民、特に農業関係者への慎重な対応が必要であった。第1回目の周辺住民に対する説明では、土地所有者(事業者と同一)と指定調査機関が主体となって、地下水汚染の情報と今後の調査、

措置の実施方針について説明を行い、その後は、土地所有者が戸別訪問により説明を行った。調査実施前から対策措置の決定に至るまで、自治体と土地所有者の間で頻繁に協議が行われ、また計画段階から周辺住民に逐次説明を行った。

#### **4. 工夫した点・苦慮した点**

当該サイトにおける鉄粉法の適用可否と設計条件を事前のトリタバリティテストの結果により確認し、適用決定を判断した。

対象地の周辺は農地が多く、住民説明会の際、VOCによる地下水汚染の農作物への影響について多くの質問が寄せられた。当該内容についての文献や報告等が少なく、大学等の専門家の意見等も参考としたが説明時には苦慮した。

#### **5. 対策工事完了後の状況**

土地所有者は対策工事完了後も事業活動を継続しており、対象地内に残存する地下水汚染を管理するため及び汚染が敷地外へ拡散しないことを監視するため、敷地内及び最下流域の透過反応壁前後の地下水モニタリングを継続している。

## ケース 11 バイオレメディエーションによる原位置浄化

### 1. 土壌汚染現場の概要

#### (1) 背景

工場の環境管理の一環として、自主的な土壌・地下水汚染の調査を実施した結果、テトラクロロエチレン及びその分解生成物による土壌・地下水汚染が判明した。

#### (2) 土壌汚染発生の原因

当該工場では、現在VOCの取り扱いはないが、過去には部品洗浄等のためテトラクロロエチレンやトリクロロエチレン等が使用されていた。このことから、過去の操業過程において地下に浸透したものと推定される。

#### (3) 土壌汚染の状況

土壌汚染の状況は次のとおり。

表 11-1 汚染状況

事業所の種類	機械製造業	調査の契機	企業の環境管理としての自主調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	該当なし		
敷地面積	約150,000m <sup>2</sup>	敷地内地下水汚染	あり
汚染面積	約 3,000m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	なし
汚染深度	約 20m	敷地内への人の立ち入り	できない
		周辺での地下水の飲用利用	なし
基準を超過した特定有害物質等の種類	基準項目等	濃度	
テトラクロロエチレン	溶出量	基準の約6,000倍	
	地下水	基準の約3,000倍	
トリクロロエチレン	溶出量	基準の約 250倍	
	地下水	基準の約 350倍	
シス-1,2-ジクロロエチレン	溶出量	基準の約 50倍	
	地下水	基準の約 300倍	

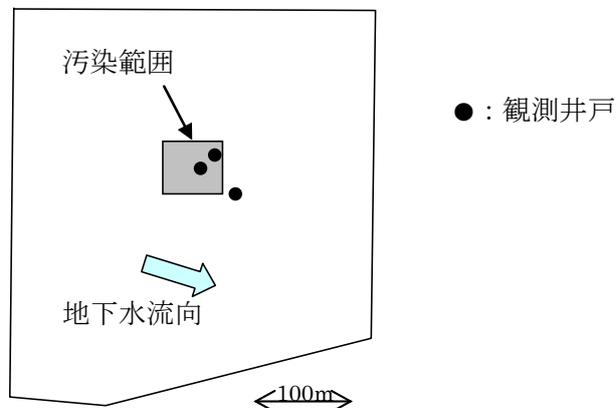


図 11-1 汚染範囲

## 2. 土壌汚染対策の概要

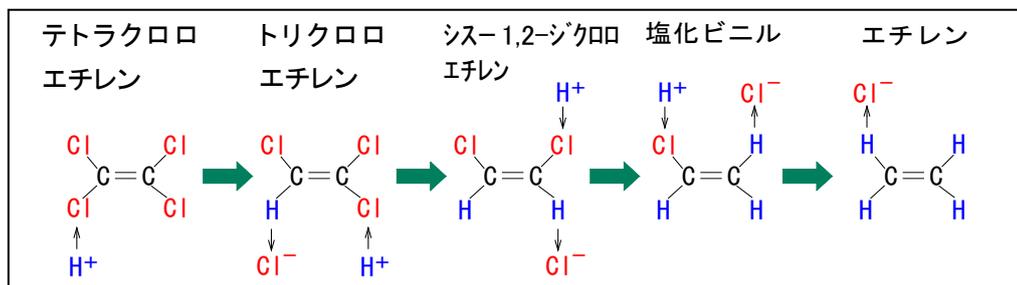
### (1) 措置の選定

操業中の工場であり対策範囲の大部分が工場建屋下となるため、原位置で浄化する必要があった。複数の工法について現地パイロット試験を実施したところ、浄化対象土壌に有機物が多く含まれており VOC の分解が計算通り進まなかった工法もあったため、現地への適応性が確認されたバイオレメディエーション法を選択した。

### (2) 措置の実施方法の考え方

#### ① バイオレメディエーション

対策範囲に注入井戸を一定間隔に設置し、希釈した栄養剤を地中に注入することで、土着の菌を増殖・活性化し、VOCを無害な物質にまで分解する方法である。



#### ② 浄化が行われたことの確認

5m間隔に設置した観測井戸において、テトラクロロエチレン及びその分解生成物(1,1-ジクロロエチレンや塩化ビニルも含む)が、地下水環境基準値に継続的に適合した段階で確認ボーリングを実施した。確認ボーリングは、100 m<sup>2</sup>に1箇所実施し、各深度(表層、0.5m、1.0m・・・20m)で採取した土壌が土壌溶出量基準値に適合していることを確認した。

#### ③ 施工後のモニタリング

浄化対策範囲内及び地下水流向下流側に地下水観測井戸を設置し、1年に4回以上地下水の水質を測定し、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した。

### (3) 対策工事の工程

対策工事の工程を表 11-2 に示す。

表 11-2 工程表

	1年目				2年目				3年目				4年目				5年目					
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12		
適応性試験	■																					
計画・準備		■																				
注入井戸の設置			■																			
栄養剤注入			■																			
浄化進捗モニタリング			■																			
浄化確認ボーリング											■											
地下水モニタリング											■											

### 3. リスクコミュニケーション

調査の段階から自治体と土地所有者(事業者と同一)の間で頻繁に協議が行われた。また、適宜、住民説明会を開催することにより、コミュニケーションを図るとともに、有識者へのヒアリングを行い適切なアドバイスを受けた。

### 4. 工夫した点・苦慮した点

透水性の悪い地層に高濃度のVOCが存在し、井戸からの注入のみでは栄養剤が十分には行き渡らなかったため、浸透性の高い栄養剤の使用や高圧水による攪拌工法を利用した栄養剤の添加を行った。

### 5. 対策工事完了後の状況

工場敷地として継続利用されている。

## ケース 12 バイオレメディエーションによる原位置浄化

### 1. 土壤汚染現場の概要

#### (1) 背景

当該工場では電子部品の洗浄にトリクロロエチレンを使用していた。企業の環境方針に従い、自主的に土壤・地下水汚染の調査を実施した結果、汚染が判明した。

#### (2) 土壤汚染発生の原因

洗浄装置及びその配管からのトリクロロエチレンの漏洩が原因と考えられる。

#### (3) 土壤汚染の状況

土壤汚染の状況は次のとおり。

表 12-1 汚染状況

事業所の種類	電子機器関連業	調査の契機	企業方針による自主調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	トリクロロエチレンによる洗浄施設(法施行前に廃止)		
敷地面積	18,000m <sup>2</sup>	敷地内地下水汚染	あり
汚染面積	4,000m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	あり
汚染深度	約 15m	敷地内への人の立ち入り	できない
		周辺での地下水の飲用利用	なし
基準を超過した特定有害物質等の種類	基準項目等	濃度	
トリクロロエチレン	溶出量	基準の約100倍	
シス-1,2-ジクロロエチレン	含有量	基準の約 10倍	

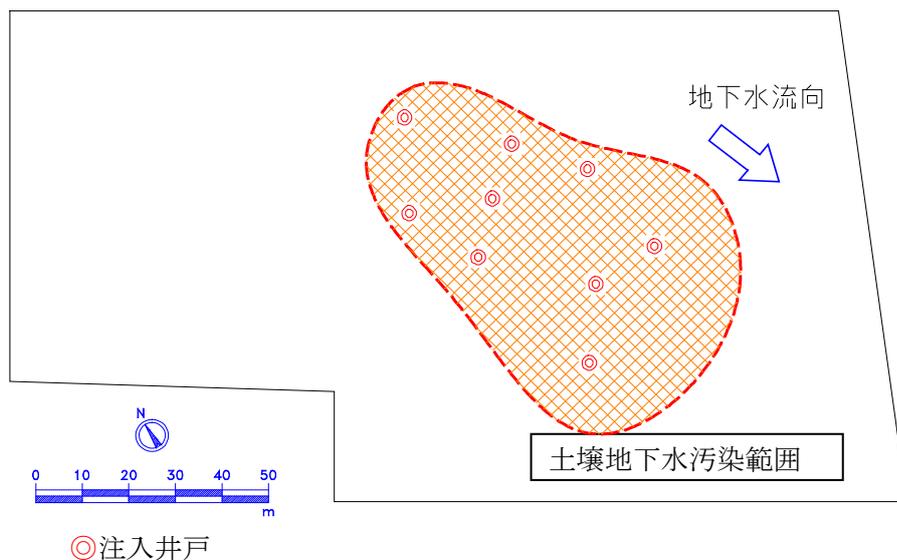


図 12-1 土壤地下水汚染範囲

## 2. 土壤汚染対策の概要

### (1) 措置の選定

以下の理由から、バイオレメディエーション(嫌気性バイオ法)による原位置浄化が最も経済的かつ効率的と判断し、採用した。

- ・当該工場は操業中であり、建物下にも汚染があり、大掛かりな土木工事は困難である。
- ・汚染深度が深く(GL-15 m 程度)、掘削工事では莫大な費用がかかる。
- ・適用性試験の結果、措置対象とする土壤中にトリクロロエチレンやその分解生成物であるシス-1,2-ジクロロエチレンや 1,1-ジクロロエチレンを分解できる嫌気性細菌が存在していることを確認した。

### (2) 措置の実施方法の考え方

#### ① バイオレメディエーション(嫌気性バイオ法)の概要

帯水層に設置した井戸より栄養剤を注入し、土壤地下水中の嫌気性細菌を増殖、活性化し、浄化対象とするVOCを分解する方法である。(図 12-2 参照)。

#### ② 浄化が行われたことの確認

栄養剤注入井戸及び観測井戸の地下水濃度が地下水基準に適合していることを確認した。

### (3) 対策措置の実施

対象範囲に9本の注入井戸を設置後(図 12-1 参照)、栄養剤を注入し、約1.5年で土壤地下水汚染を浄化した。

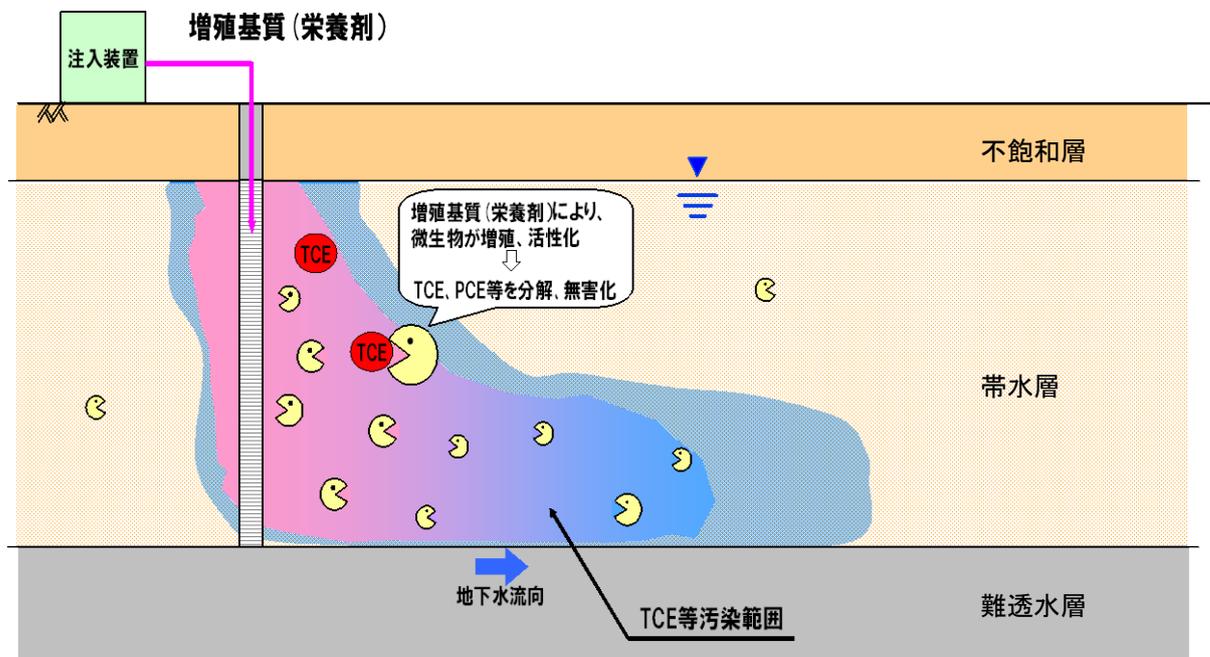


図 12-2 バイオレメディエーション(嫌気性バイオ法)の概要

### 3. リスクコミュニケーション

汚染の状況及び措置の内容を定期的に行政及び近隣の住民に報告した。

### 4. 工夫した点・苦慮した点

敷地の地下水流向上流側に、当該敷地に起因しないVOCによる地下水汚染があり、敷地内の地下水濃度が浄化によって一旦基準に適合しても、流入汚染によって再び基準を超過することが懸念された。自治体と協議した結果、敷地内の全井戸(栄養剤注入井戸及び観測井戸)が、一度基準に適合した段階で措置を終了するものとした。

### 5. 対策工事完了後の状況

現在は、関連会社に土地を売却し、建物を建て替えた後、工場として利用されている。

## ケース 13 不溶化処理後の原位置封じ込め

### 1. 土壌汚染現場の概要

#### (1) 背景

土地売買に伴い工場跡地について自主的な土壌汚染の調査を実施した結果、砒素による汚染が判明した。

#### (2) 土壌・地下水汚染発生の原因

工場稼動時に使用していた砒素の飛散・漏洩が原因と考えられる。

#### (3) 土壌・地下水汚染の状況

土壌汚染の状況は次のとおり。

砒素の土壌溶出量基準不適合の土壌は敷地のほぼ全域に存在し、また地下水汚染も敷地のほぼ全域に存在した。

表 13-1 汚染状況

事業所の種類	砒素使用工場	調査の契機	土地売却に伴う自主調査
使用が廃止された有害物質使用特定施設	該当なし		
敷地面積	63,000m <sup>2</sup>	周辺の地下水汚染	不明
汚染面積	9,600m <sup>2</sup>	敷地内への人の立ち入り	できない
汚染深度	土壌:5m, 地下水12m	周辺での地下水の飲用利用	なし
基準を超過した特定有害物質等の種類	基準項目等	濃度	
砒素及びその化合物	溶出量	基準の約 5,700倍	
	地下水	基準の約 19倍	

### 2. 土壌汚染対策の概要

#### (1) 措置の選定

第二溶出量基準超過土壌については不溶化埋め戻し措置を行い、敷地全体に対して封じ込め措置を採用した。また地下水汚染については透過反応壁法を採用した。選定理由は次の通り。

- ・掘削除去工事では莫大な費用がかかること。
- ・当該工場跡地に全域に地下水汚染があり、揚水処理等による地下水浄化では莫大な費用と期間を要すること。
- ・地下水モニタリング等の封じ込め措置に係るリスクについては売主のコンサルタント会社が負う契約となり、土地の買主が了解したこと。

## (2) 措置の実施方法の考え方

### ① 不溶化処理

汚染土壌を掘削し混合槽内で、バケットスタビライザーで不溶化処理剤を混合した。不溶化処理剤としては鉄酸化物薬剤とセメント系薬剤を使用し、水酸化物法・共沈法により砒素を不溶化処理した。

### ② 原位置封じ込め措置

敷地境界全域に遮水壁を設置し、汚染土壌・汚染地下水の封じ込めを実施した。

### ③ 透過反応壁

原位置封じ込め措置後、封じ込めを実施した内部にて雨水の浸透による地下水水位の上昇時に地下水水位を低下させる対策を講じる必要がある。揚水処理を選定した場合、地上に水処理設備が必要となりその維持管理が煩雑なものとなる。しかし、今回は地下水面付近に透過反応壁を設置し透過反応壁部を通して、周辺帯水層へ流出させることにより、メンテナンスフリーとしランニングコストを抑えた。

### ④ 実施された措置の確認

- ・不溶化処理土壌は、第二溶出量基準に適合していることを公定法で確認した。
- ・透過反応壁を介して、敷地外へ流出していく地下水をモニタリングし、地下水基準に適合している状態を確認した。

## (3) 対策措置の実施

### ① 不溶化処理

不溶化処理はバケットスタビライザーにて汚染土壌と不溶化処理剤を混合して実施した。第二溶出量基準不適合の砒素を第二溶出量基準適合にまで不溶化処理した。対象土量は41,000 m<sup>3</sup>であった。

### ② 原位置封じ込め措置

敷地境界に遮水壁を、深度 GL-12.5m、総延長 1000 m にわたり構築した。原位置封じ込め措置を行った土地の多くは大型物流倉庫建物あるいはアスファルト舗装道路として利用されるが、一部は植栽緑地として利用される予定であることから、雨水の浸透が避けられない。したがって、上面の覆いに替えて、雨水浸透による地下水水位上昇を防止するために透過反応壁を設置した。

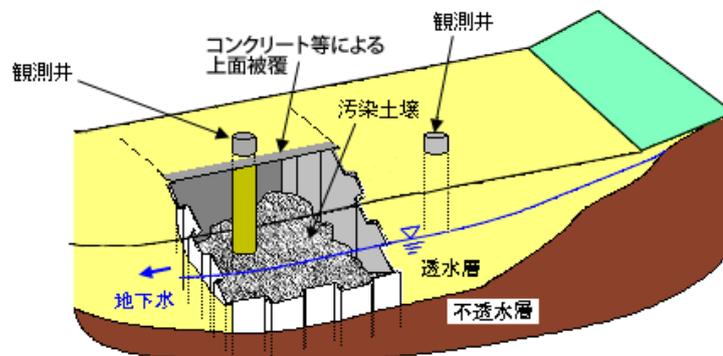


図 13-1 一般的な原位置封じ込め措置

### ③透過反応壁

透過反応壁を敷地内に2箇所設置した。透過反応壁は、1ユニット当たり約100 m<sup>3</sup>(長さ12 m×幅4 m×深さ2 m)の大きさとした。

雨水の浸透により増加する敷地内の地下水は、遮水壁ほぼ全周の内側に設けた集水路(粗砂および有孔配管からなる)を通して透過反応壁部に流入するようにした。

透過反応壁の内部では砒素除去剤により、地下水 pH が下水排除基準より高い値となるが、砒素除去材の後段に、中和槽を設置して高 pH となった地下水を中和し下水排除基準適合水質となるようにした。

### 3. リスクコミュニケーション

汚染の状況及び浄化の内容を行政に報告した。

### 4. 工夫した点・苦慮した点

当該土地は土壌・地下水汚染が広範囲に及んでいたため経済的な観点から掘削除去などの技術が適用できない土地であった。「不溶化埋め戻し+原位置封じ込め+透過反応壁」による手法を適用することにより汚染の管理が容易でありかつ安価に汚染の拡散を防止できた。

### 5. 対策工事完了後の状況

地下水を年4回の頻度で、2年間モニタリングし地下水基準に適合した状態を維持した。現在は土地の買主が大型物流倉庫として土地を利用している。