

## バイオ製剤と掘削除去を併用した土壌浄化事例

日本物理探査株式会社 ○古賀 文晴、伊藤 明、芳賀 紀行、植山 隆義  
株式会社バイオレンジャーズ 鴻野 雅一、岩橋 さおり

### 1. はじめに

土壌汚染対策法に指定されている有害な物質は、地下水、土壌中に留まり易い性質がある。特にジクロロメタンのような揮発性有機化合物は、地下水に溶け出すと地下深くまで浸透し、汚染が広がる可能性がある。地下深くまで浸透した揮発性有機化合物による汚染除去工事の費用は高額となる場合が多い。本調査・浄化工事は、工場跡地において、地下タンク内とその周辺に確認された揮発性有機化合物を含む汚染物質を掘削除去とバイオレメディエーションを併用し汚染を除去したものである。その際、浄化工事による経済的負担を低減することに成功したため、事例を報告する。

### 2. 汚染の状況

#### 2.1 調査結果

図-1に調査位置関係図を示す。調査はA、Bの2区画において特定有害物質全項目について実施し、下記の汚染が検出された。併せてノルマルヘキサン含有量試験（油）を実施した。

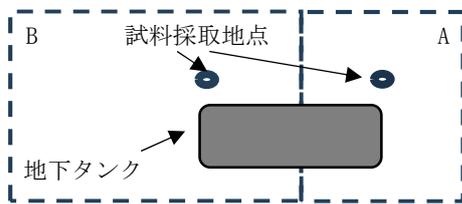


図-1 調査位置関係模式図

- (1) Aにおいては深度4～5mにジクロロメタンの汚染、深度1mにふっ素の汚染が確認された。確認されたジクロロメタンの濃度は基準値の2～3倍程度であり、ふっ素は基準値をわずかに超過する程度であった。また、ノルマルヘキサン含有量試験により、深度2mにおいて油汚染が確認された。
- (2) Bにおいては深度0～4mにおいて、最大で基準値の約200倍となるジクロロメタンの汚染が確認された。ふっ素、油の基準値を超えた汚染は確認されなかった。
- (3) A区画 G.L-2.2m、B区画 G.L-1.8mで採取された地下水については、どちらも基準値を超過する汚染は確認されなかった。

#### 2.2 対策工法の選定

以下条件を踏まえ、対策工法を検討した。

- (1) 周辺に主要道路、駅があり、交通量が多い。
- (2) 調査地の開発まで、10か月程度の余裕がある。
- (3) 工事にかかる費用は可能な限り抑えたい。

(4) 地下水位がG.L-2.0m付近にあり、掘削時には汚染水の処理対策が必要となる。

以上条件に基づき、掘削除去とバイオレメディエーション併用の2工法について検討した。バイオレメディエーションとは、微生物や菌類、植物の作用により揮発性有機化合物や油汚染を分解し、除去する技術である。

#### (1) 掘削除去案

Aは深度6mまで、Bは深度5mまで掘削除去を行う。

長所は、対策工事期間が短い。短所は地下水位が高く、山留工事、水処理が必要なため工事費が高くなる。

#### (2) 掘削除去+バイオレメディエーション併用案

Aは深度0.5～2mまでふっ素の汚染があるため掘削除去、深度2～6mまではバイオレメディエーションによる原位置浄化、Bは深度0～5mまでバイオレメディエーションによる原位置浄化を行う。

長所は、全てを掘削除去するより経済的であり、バイオレメディエーションにより油汚染も併せて浄化できる。短所は浄化に半年程度の期間が必要である。

掘削除去案、併用案の工事費を概算した結果、併用案が掘削除去案より約50%の費用の削減ができることが分かった。<sup>1)</sup>本工事では併用案を採用した。

### 3. 対策工事

#### 3.1 トリータビリティ試験

バイオレメディエーションによる浄化は、対象地の地質条件により処理可能か否かが決まる。本試験では、事前に調査地の土壌を用い、バイオ製剤による処理が可能か判定することを目的とした。

#### (1) 使用材料と添加量

使用した材料と添加量を表-1に示す。

表-1 材料及び添加量

材料	添加量	添加量 (/m <sup>3</sup> )
試験対象土壌	1.5 kg	
複合バイオ製剤テラザイム	1.80 g	2.0 kg
複合バイオ製剤フォーミュラCL	0.18 g	0.2 kg
栄養剤	1.80 g	2.0 kg
必須元素水溶液 (10倍希釈液)	450 μl	原液50 ml

## (2) 試験結果

ジクロロメタンの土壤溶出量の推移を図-2、全微生物数の推移を図-3にそれぞれ示す。

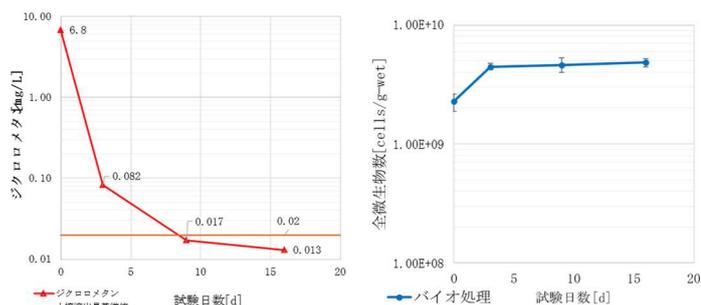


図-2 ジクロロメタン土壤溶出量 図-3 全微生物数の推移

トリータビリティ試験用に新たに採取した土壤試料には基準値の約340倍となる6.8mg/Lのジクロロメタンが検出されたが、3日後には0.082mg/Lまで減少、9日後には0.017mg/Lとなり、土壤溶出量基準を満たした。また、16日後には0.013mg/Lまで低減した。全微生物数は、初期値と比較し、3日後には約2倍に増加した。土壤のpHは試験前8.4、3日後8.2、9日後8.2、16日後8.2で安定しており、微生物の増殖に影響はなかった。

### 3)有効性の判定

全微生物数の増加とともにジクロロメタンの減少が確認されたため、使用したバイオ製剤による土壤の処理は可能であると判定するとともに添加する薬量を決定した。

## 3.2 バイオレメディエーション

対策工事は、掘削除去とバイオレメディエーションの併用で実施した。最初にジクロロメタンと油をバイオレメディエーションにより浄化した。Aについては、ジクロロメタン浄化後にふっ素で汚染された0.5m~2.0mの土壤を掘削除去し、指定の処分場において適切に処理を行った。また、表層部は角礫を多く含み、かなり固いため、ランドファーマリングにより浄化工事を行った。

### (1) 薬剤注入

土壤の掘進には、打撃式ボーリングマシンを用いた。Aは最大深度6mまで、Bは最大深度5mまで掘進した。その後、高圧ポンプにより、孔内に薬剤を注入した。

(写真-1) 薬剤注入状況

対象地区の地盤が軟弱の場合、薬剤注入作業時に空洞が発生する恐れがある。本工事は対策工事が終わり次第建物の建設が予定されていた。そのため、空洞発生の可能性を軽減するために、通常用いるポンプより弱い出力のポンプを選定した。その際、薬剤を均等に浸透させるために、攪拌中の薬剤を、各孔最大深度から注入を始め、注入量が規定に達したら注入を停止し、0.2m引き上げ、再度注入を行った。この工程を繰り返し、G.L-1.0mまで注入作業を行った。引上げ間隔0.2mは、調査地の土質と経験値から設定した。

### (2)ランドファーマリング

表層においては、土壤が固結しており、薬剤の噴霧効果が減少する恐れがあるため、ランドファーマリングを採用した。バックホウにより、G.L-1.0mまで土壤攪拌を行い、ホースで表層に薬剤を散布、攪拌を繰り返した。



写真-1 薬剤注入状況

### 3.3 掘削除去と汚染拡散防止

Aはふっ素が基準値を超過しており、深度2.0mまでの掘削除去が必要であった。H型鋼による親杭横矢板で山留した後、深度2mまでの土壤を搬出した。この工事は、建築基礎工事と合わせて実施し、効率化を図った。

掘削時に発生した滲出水は、別途ノッチタンクに貯め、汚染の拡散を防止するためバックテストによりふっ素の汚染がないことを確認した後、下水に放流した。

## 4 まとめ

全ての工程を終了したのち、1か月後、2か月後において再度土壤、地下水を採取し、分析した結果基準値を超過する汚染は検出されなかった。

トリータビリティ試験を行うことにより、適切な薬剤とその分量が選定されさらに、土壤注入とランドファーマリングを併用することで当初半年を想定していた浄化期間が、わずか1か月という短い期間において効率的な土壤浄化ができたと考える。土壤汚染対策工事は、発注者の要望や施工条件に応じて様々な工法を選定する必要がある。現状では、掘削除去による土壤汚染の除去実施措置が最も多い<sup>2)</sup>が、土壤汚染対策工事費が土地価格の20~40%を超えると土地売買が不成立になる場合が多い<sup>3)</sup>。発注者の経済的負担を軽減するために、施工条件の中で実施可能なより良い工法を提案することが重要である。

### 《引用・参考文献》

1) 環境省 (HP、2025、5、15閲覧):対策工事費と土地売却額との関係の試算

<https://www.env.go.jp/houdou/index.html>

2) 環境省 (HP、2025、5、16閲覧):令和5年度土壤汚染対策法の施工状況及び土壤汚染調査・対策事例等に関する調査結果 <https://www.env.go.jp/press/>

3) 環境省 (HP、2025、5、16閲覧):土壤対策工事の現状と課題 <https://www.env.go.jp/press/>