

## 岩手・青森県境不法投棄現場（N地区）における汚染土壌対策について

## I 汚染土壌対策技術検討委員会での検討

## 1 経過

|             |        |                       |
|-------------|--------|-----------------------|
| 2月1日        | 第1回委員会 | ・委員委嘱、概況説明            |
| 3月27日       | 第2回委員会 | ・現地確認                 |
| 6月9日        | 第3回委員会 | ・技術提案、ヒアリング実施にあたっての検討 |
| 7月18日～8月31日 | 技術提案募集 | ・提案数17社               |
| 9月14日       | 第4回委員会 | ・提案検討、ヒアリング対象決定       |
| 9月29日       | 第5回委員会 | ・ヒアリング実施 ・ヒアリング数9社    |
| 10月20日      | 第6回委員会 | ・検討、とりまとめ             |

## 2 技術提案に係る検討結果

17社から技術提案があり、重複する技術を除いて9社からヒアリングを行った。  
なお、掘削・場外処理については提案がなかった。土壌の再利用、処理期間、安全性、経済性等を課題としてあげていた。

また、汚染を見逃さないため、各社とも、土壌汚染対策法（環境基準）に準拠して、対象場所及び周辺の調査を実施し、必要に応じて対象地域を追加して対策を実施することを提案していた。

## (1) 前提

- 対象技術 安全、確実に除去することができ、かつ、低コストである技術
- 対象場所 N地区で土壌汚染状況調査済みの約1,800m<sup>2</sup>
- 施工期間 平成20年度まで 浄化完了期間：平成24年度まで
- 特徴
  - ・ 対象物質は、ベンゼン及びジクロロメタン等多種類の有機塩素化合物を含む揮発性有機化合物（以下「VOC」という。）
  - ・ 汚染深度は、地下水面より上（以下「不飽和帯」という。）及び地下水面より下（以下「飽和帯」という。）を含み最大17m程度に至る。
  - ・ 主たる地層はローム層で、透水係数 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/secと透水性が低い。
  - ・ 周辺の条件として、貯水槽、道路等が隣接している。

## (2) 評価

## ア 総合評価（組合せ技術としての評価）

他に比較して著しく高い評価を得た提案はなかった。

多種類のVOCによる汚染が、透水性の低い地層で、飽和帯深部まで広がった特異な事例のため、単一の提案、技術で対応するより、複数の技術を組合わせて対応するほうが適切と考えられる。

## イ 個別評価（個別技術の評価）

- ア) 掘削・場内施設処理は確実性の点で高く評価されたが、地下水位が8 m程度と汚染範囲の中間部にあり、これ以下の掘削作業における仮設工事（矢板土留工等）、作業性、地下水処理等に課題がある。
- イ) 原位置浄化（分解）は比較的経済性が高い。しかし、汚染物質によって処理の有効性に違いがあり、またジクロロメタンに関する実績が少ないことから、本格実施前に現場適用性の調査が必要である。

微生物等の働きを利用した分解（以下「バイオレメディエーション」という。）は、中長期的には一定の効果が期待できるが、迅速性・確実性に課題がある。

※バイオレメディエーション：微生物等の働きを利用して汚染物質を分解等することによって土壌地下水等の環境汚染の浄化を図る技術のことをいう。

バイオレメディエーションには、微生物を利用する技術として、外部で培養した微生物を導入することにより浄化を行う「バイオオーグメンテーション」と、栄養物質等又は酸素を加えて浄化場所に生息している微生物を活性化することにより浄化を行う「バイオスティミュレーション」があるほか、植物を利用して土壌の浄化等を行う技術である「ファイトレメディレーション」が含まれる。

- ウ) 原位置浄化（抽出）は、物質の揮発性を利用した方法として一定の効果を期待できるが、迅速性・確実性は掘削・現地処理に比較してやや劣り、ジクロロメタンへの適用例が少ないことはイ)と同様である。ただし、物理化学的原理に基づくことからバイオレメディエーションよりは確実性が高いと考えられる。

## (3) 委員会からの提言

VOC汚染が地下17m程度に達していることから、地下水位（8 m程度）より上の不飽和帯と下の飽和帯に分けて処理技術を適用することを提言する。

不飽和帯、特に高濃度汚染については、掘削・除去し、ホットソイル工法等で場内処理することが適切である。

※ホットソイル工法：VOCで汚染された土壌を掘削し、水と発熱反応する無機化合物（製品名：ホットソイル）を混合し、土壌中のこれらの汚染物質を加熱・揮発させ、回収・処理する工法。（榊山化学工業研究所の特許）

飽和帯については、原位置において、揚水等による汚染の抽出処理とバイオレメディエーション等による原位置分解処理を併用することが適切である。

## 3 現場に適用するにあたっての留意事項

### (1) 囲い込みの施工の可否

#### ア 現状

掘削や吸引のための施工上の必要性、再汚染の防止等のため、多くの提案で鋼矢板等による対象場所の囲い込みを実施することとしていた。

平成24年度において工作物を撤去すること、浄化完了まで囲いを設置することによるコスト増等の課題がある。

また、対象場所の囲い込みを行いその内部のみ浄化した場合、西側県境部等の周辺井戸の水質改善に効果を及ぼすかどうかは明確に予測できない。

#### イ 対応

施工上必要な囲い込みで施工後直ちに撤去可能なものを除き、原則として対象場所の囲い込みは行わず、再汚染防止対策としてバリア井戸を設置することが適切である。

※バリア井戸：汚染拡散を防ぐために設置する井戸で、揚水又は注入を行い、複数の井戸を連携して運用することが多い。

#### ウ 理由

対象場所の囲い込みでなく、バリア井戸による再汚染防止を図りながら、飽和帯における揚水等による汚染の抽出処理とバイオレメディエーション等による原位置分解処理を併用し、より積極的かつ広範囲に対象場所周辺の浄化を行うとともに、西側県境部の水質改善を図ることが期待できる。

### (2) 施工対象範囲について

#### ア 現状

N地区で土壤汚染状況調査済みの約 1,800m<sup>2</sup> を対象として技術提案を募集した。

#### イ 対応

現状の施工対象範囲内及び隣接する場所について 10mメッシュ単位でボーリング調査を実施し、深度 1mごとに汚染状況を確認する。

#### ウ 理由

土壤汚染対策法に準拠し、かつ、汚染状況を把握するための詳細な調査を行う。

## II 県としての今後の方針

県は、以下の内容で汚染土壌対策工事を発注する。

- 1 調査済み地域約 1,800m<sup>2</sup> 及び隣接する場所について、ボーリングにより 10mメッシュ単位で深度 1mごとに汚染状況を調査し、土壌汚染対策法（環境基準）に基づき工事区域を確定する。  
あわせて、現場適用性を調査し、また、ボーリング後、揚水等による汚染の抽出処理、バイオレメディエーション等処理用井戸及びバリア井戸に活用する。  
必要に応じて、周辺部にバリア井戸を、西側県境部等下流部に揚水井戸を設置する。
- 2 不飽和帯の汚染域は、必要に応じて鋼矢板を打設して汚染土壌を掘削・除去し、ホットソイル工法で場内処理し、環境基準以下であることを確認後、埋め戻しに活用する。
- 3 飽和帯の汚染域は、原位置において、揚水等による汚染の抽出処理とバイオレメディエーション等による分解処理を併用する。

## 岩手・青森県境不法投棄現場（N地区）における汚染土壌対策について

## 参考資料1 実施計画（平成16年1月21日環境大臣同意）抜粋

## ・Ⅲ 3 (2) 基本的な処理方法

本県の特定産業廃棄物の処理に関する基本的方針は早期全量撤去であり、特定産業廃棄物に起因して汚染されている土壌の処理については原位置浄化手法の導入も考慮しながら、本現場における最も合理的な手法によりその処理を行う。

## ・Ⅲ 3 (3) ③処理 ウ. 有害土壌等の原位置浄化

有害土壌等を原位置で効率的かつ効果的に浄化できる方法については、今後の実証試験等の結果を踏まえ、撤去との費用対効果を比較衡量し、その導入について検討する。

## ・Ⅲ 3 (3) ③処理 エ. 覆土

特定産業廃棄物等の除去後は、土壌環境基準を満たす土砂等により覆土を行う。

## 参考資料2 場外搬出を提案しなかった理由（ヒアリング対象業者からの回答抜粋）

## ○（掘削後場内処理提案業者）

場外搬出と比較した場内処理のメリット

- ①場外搬出経路などの汚染拡散の懸念がない。
- ②現場以外の場所への環境負荷がない。
- ③場外処分コストがかからない。
- ④埋め戻し土壌の購入が不要

## ○（原位置浄化方法提案業者）

一般に掘削除去法は、汚染を確実に除去できる点で優れています。

しかし、当サイトでは、①既設構造物が近接しているため除去の確実性が低下する、②深い部分の掘削には適切な土留めが必要となりコスト高を招くというデメリットがあります。

## 参考資料3 用語集

### ○VOC

揮発性有機化合物 (volatile organic compounds) の略。

今回の報告では、地下水の環境基準が定められているジクロロメタン等の10種の揮発性有機塩素化合物及びベンゼンの総称として使用している。

### ○飽和帯／不飽和帯

地下水で満たされた地層を飽和帯、それより上（地下水面より上）の地層を不飽和帯という。

### ○掘削除去・場外搬出／掘削除去・場内施設処理

／原位置浄化（分解）／原位置浄化（抽出）

汚染土壌処理技術には、次の種類がある。

| 大分類   | 小分類          | 実例  |
|-------|--------------|---|
| 掘削除去  | 掘削後場外搬出      | ○掘削技術：開削、矢板＋切梁、ケーソン   |
|       | 掘削後場内処理・埋め戻し | ○場外処理：焼却、埋立（第2溶出基準値以下のみ）、セメント処理等<br>○場内処理：ホットソイル工法、過熱水蒸気による低温過熱工法 |
| 原位置浄化 | 原位置分解        | 汚染土壌・地下水に含まれる汚染物質を地下（原位置）で分解する技術                                  |
|       | 原位置抽出        | 汚染地下水または土壌中の汚染物質を地上に取り除く技術  |

### ○ホットソイル工法

VOCで汚染された土壌を掘削し、水と発熱反応する無機化合物（製品名：ホットソイル）を混合し、土壌中のこれらの汚染物質を加熱・揮発させ、回収・処理する工法。（株）片山化学工業研究所の特許。（出典：株片山化学工業研究所HPから抜粋）

### ○バイオレメディエーション

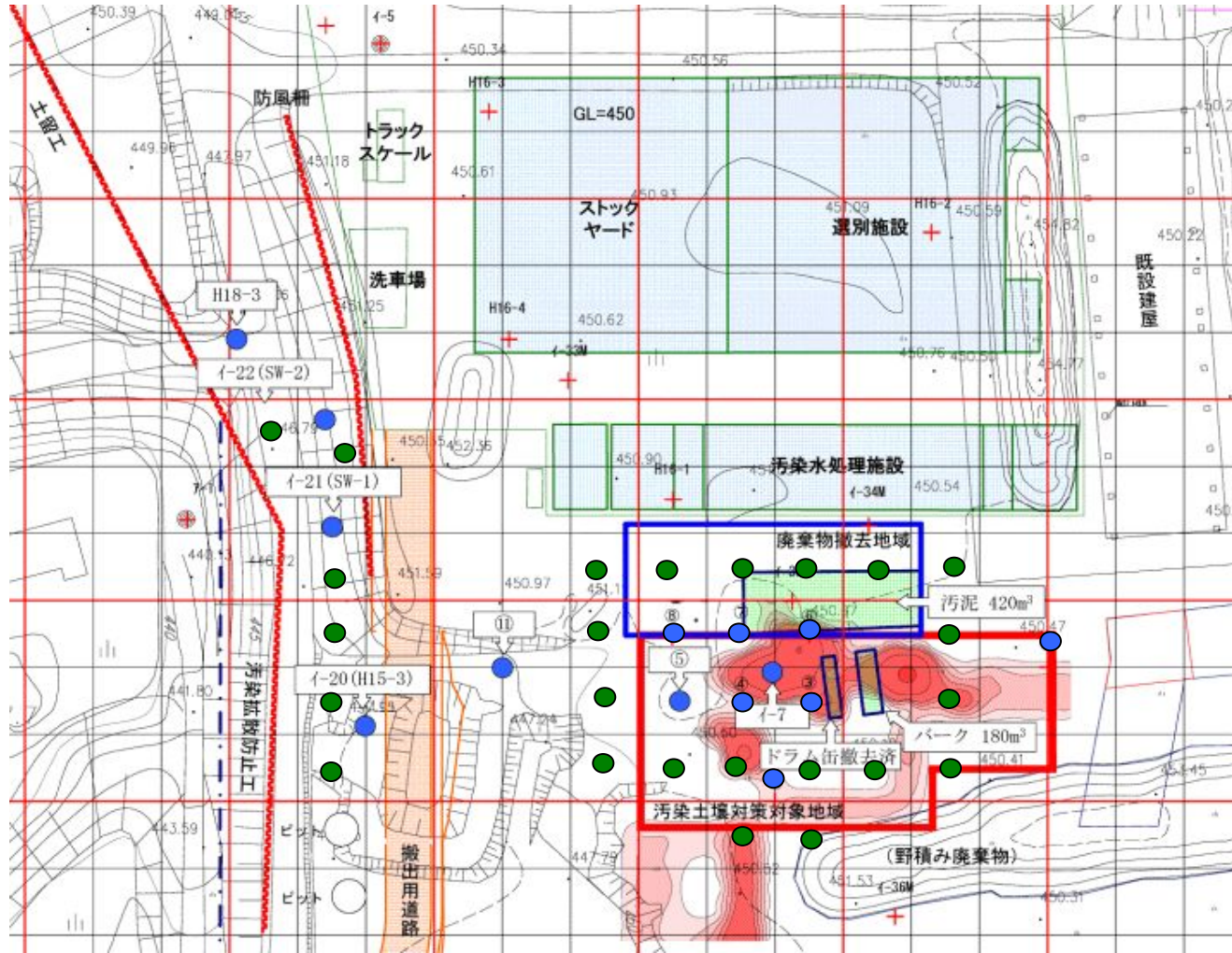
微生物等の働きを利用して汚染物質を分解等することによって土壌地下水等の環境汚染の浄化を図る技術のことをいう。

バイオレメディエーションには、微生物を利用する技術として、外部で培養した微生物を導入することにより浄化を行う「バイオオーグメンテーション」と、栄養物質等又は酸素を加えて浄化場所に生息している微生物を活性化することにより浄化を行う「バイオスティミュレーション」があるほか、植物を利用して土壌の浄化等を行う技術である「ファイトレメディエーション」が含まれる。（出典：環境省から抜粋）

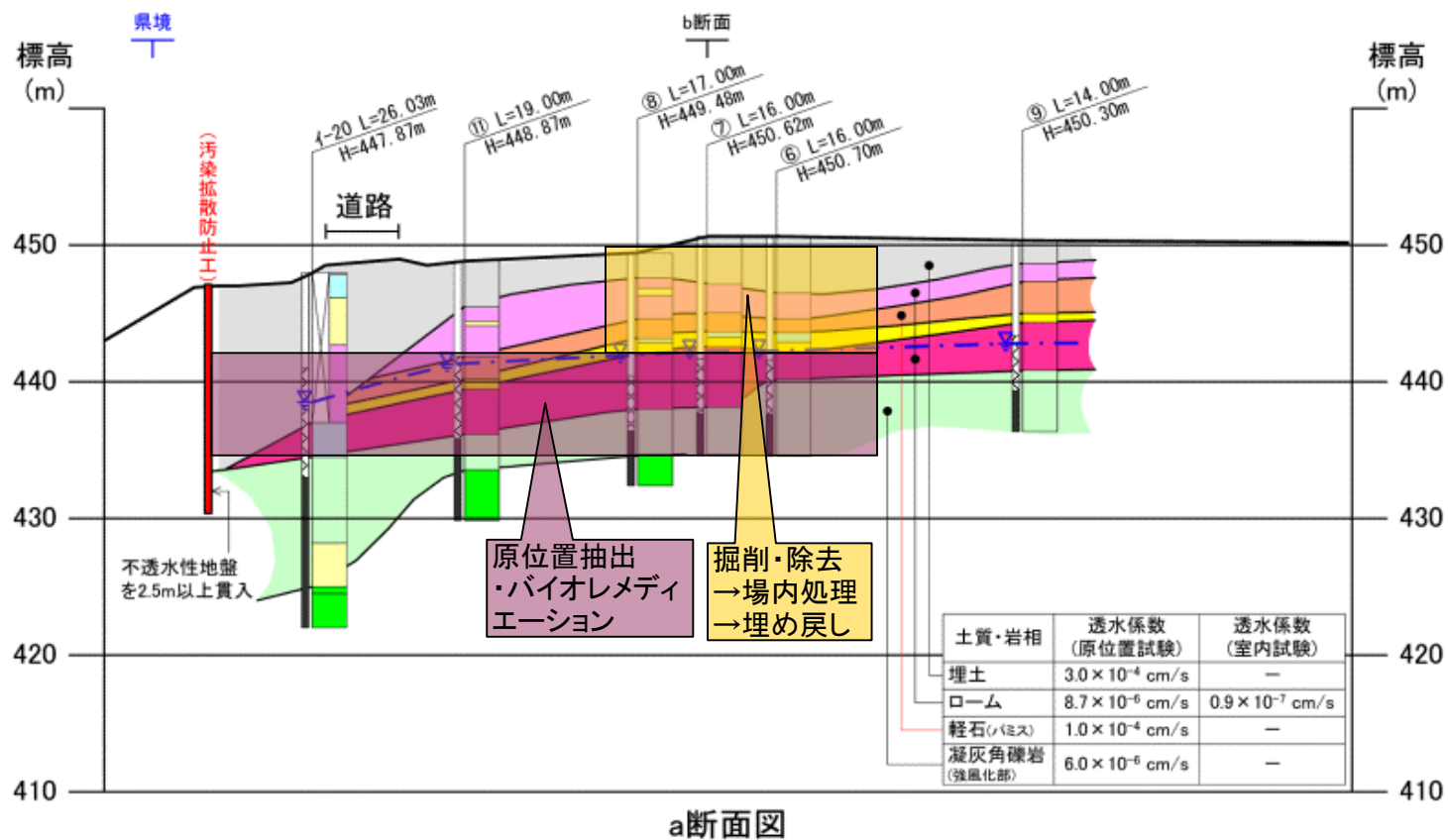
# 現場平面図(井戸の配置例)

● 既存井戸

● 新規井戸(例)



# 現場断面図(施工範囲例)





## I 総合評価

|         | ⑧                      | ④                                  | ⑦                           | ③                         | ⑤                        | ⑥             | ⑨                      | ②                               | ①                            | 平均    |
|---------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|
|         | 掘削・場内処理<br>開削+掘削<br>HS | 掘削・場内処理<br>+原位置浄化<br>上層掘削<br>揚水パイオ | 掘削・場内処理<br>ケーシング掘削<br>揚水後HS | 掘削・場内処理<br>全層掘削<br>過熱熱水蒸気 | 原位置浄化<br>全層石灰混合<br>吸引パイオ | 原位置浄化<br>全層吸引 | 原位置浄化<br>上層鉄粉<br>下層パイオ | 原位置浄化<br>噴出水流によ<br>る土壌攪拌、<br>浄化 | 原位置浄化<br>全層加熱<br>抽出<br>オゾン分解 |       |
| 有効性     | (1) 8.2                | (4) 7.4                            | (3) 7.6                     | (1) 8.6                   | 6.6                      | 5.4           | 5.8                    | 7.2                             | 6.2                          | 6.2   |
| 実用性     | (2) 8.0                | (4) 7.0                            | (3) 7.2                     | (1) 8.2                   | 6.8                      | 5.2           | 5.8                    | (4) 7.0                         | 5.4                          | 5.8   |
| 経済性     | 6.4                    | 7.0                                | (4) 6.6                     | 5.2                       | (2) 7.6                  | (1) 8.4       | (3) 7.4                | 4.2                             | 5.4                          | 5.3   |
| 環境負荷度   | (4) 7.0                | (1) 7.4                            | (1) 7.4                     | 6.8                       | 7.2                      | (1) 7.4       | 6.8                    | 6.4                             | 6.8                          | 6.8   |
| 合計      | 29.6                   | 28.8                               | 28.8                        | 28.8                      | 28.2                     | 26.4          | 25.8                   | 24.8                            | 23.8                         | 27.2  |
| //順位    | 1                      | 2                                  | 2                           | 2                         | 5                        | 6             | 7                      | 8                               | 9                            |       |
| 偏差値     | 211.6                  | 208.1                              | 206.4                       | 204.1                     | 203.9                    | 189.8         | 185                    | 183.3                           | 169.7                        | 195.8 |
| //順位    | 1                      | 2                                  | 3                           | 4                         | 5                        | 6             | 7                      | 8                               | 9                            |       |
| 偏差値標準偏差 | 11.0                   | 17.0                               | 9.9                         | 25.9                      | 10.0                     | 28.9          | 17.0                   | 25.0                            | 21.2                         | 18.4  |
| //順位    | 3                      | 5                                  | 1                           | 8                         | 2                        | 9             | 4                      | 7                               | 6                            |       |
| 参考      | 遮水壁撤去不可 全層掘削の評価が分かれる   |                                    |                             |                           |                          |               |                        |                                 |                              |       |

※ ①～⑨は、ヒアリング対象の提案の整理番号、  
(1)～(4)は有効性、実用性及び環境負荷度において上位1位を(1)、4位を(4)と表記したもの

- 1 ⑧、④の評価が比較的高い。
- 2 ⑦は遮水壁撤去不可能であることが問題となる可能性がある。
- 3 ③は全層掘削方法に検討を要する。
- 4 ⑤はボーダーライン上。
- 5 ⑥、⑨は有効性、実用性に難。
- 6 ②は経済性、環境負荷度に難。
- 7 ①は実用性、経済性に難。

※ HSは、ホットソイル工法

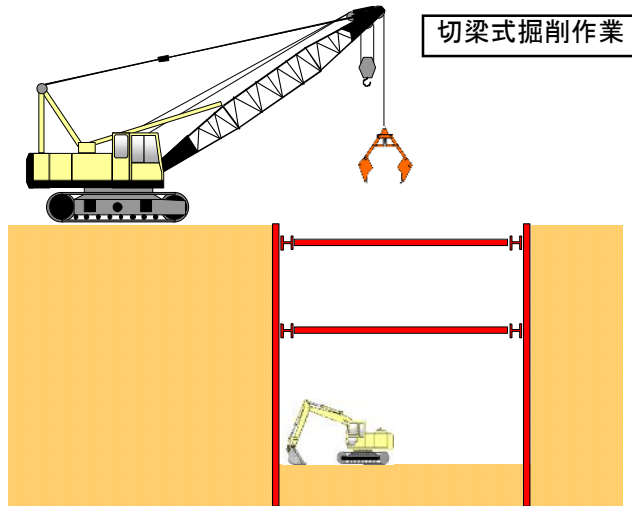
※ 原位置浄化は、①と②に分類される。

- ①原位置浄化(分解): 汚染された土壌を掘り起こさず、化学反応や生物分解により汚染物質を分解する方法
- ②原位置浄化(抽出): 汚染された土壌を掘り起こさず、土の中の水や空気を吸引し、地上で分離、分解処理する方法

## II 掘削

|     | ④<br>上層掘削<br>(切梁式) | ⑦<br>全層掘削<br>(ケーシング) | ⑧<br>全層掘削<br>開削+掘削 | ③<br>全層掘削<br>(切梁式) | 平均    |       |
|-----|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|
| 素点  | 有効性                | 8.3                  | 8.7                | 8.0                | 9.0   | 8.5   |
|     | 実用性                | 8.7                  | 8.3                | 8.0                | 8.0   | 8.3   |
|     | 経済性                | 7.0                  | 6.0                | 7.0                | 5.3   | 6.3   |
|     | 環境負荷度              | 6.7                  | 7.5                | 6.8                | 6.3   | 6.8   |
|     | 合計                 | 30.7                 | 30.5               | 29.8               | 28.7  | 29.9  |
|     | // 順位              | 1                    | 2                  | 3                  | 4     |       |
| 偏差値 | 偏差値                | 219.2                | 216.0              | 213.5              | 201.2 | 212.5 |
|     | // 順位              | 1                    | 2                  | 3                  | 4     |       |
|     | 偏差値標準偏差            | 6.8                  | 84.0               | 8.4                | 39.9  | 34.8  |
|     | // 順位              | 1                    | 4                  | 2                  | 3     |       |
| 参考  | 遮水壁撤去不可            |                      |                    | 全層掘削の評価<br>が分かれる   |       |       |

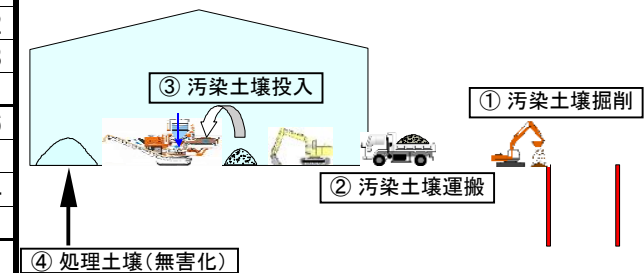
単なる全層掘削は検討を要する。



## III 掘削後場内処理

|     | ⑦<br>吸引後全層<br>ホットソイル         | ④<br>上層<br>ホットソイル | ⑧<br>全層<br>ホットソイル | ③<br>全層<br>過熱水蒸気 | 平均    |       |
|-----|------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------|-------|
| 素点  | 有効性                          | 8.3               | 8.0               | 8.2              | 8.6   | 8.3   |
|     | 実用性                          | 8.3               | 8.0               | 8.2              | 8.2   | 8.2   |
|     | 経済性                          | 7.3               | 7.2               | 6.4              | 5.6   | 6.6   |
|     | 環境負荷度                        | 7.3               | 7.2               | 7.2              | 7.0   | 7.2   |
|     | 合計                           | 31.2              | 30.4              | 30.0             | 29.4  | 30.3  |
|     | // 順位                        | 1                 | 2                 | 3                | 4     |       |
| 偏差値 | 偏差値                          | 222.6             | 219.6             | 215.0            | 209.0 | 216.6 |
|     | // 順位                        | 1                 | 2                 | 3                | 4     |       |
|     | 偏差値標準偏差                      | 58.8              | 5.5               | 8.6              | 20.8  | 23.4  |
|     | // 順位                        | 3                 | 1                 | 4                | 1     |       |
| 参考  | 飽和層でケミコイル 経済性が低い<br>(生石灰杭)処理 |                   |                   |                  |       |       |

飽和層のホットソイル処理は、前処理が必要。



#### IV 原位置浄化(分解)

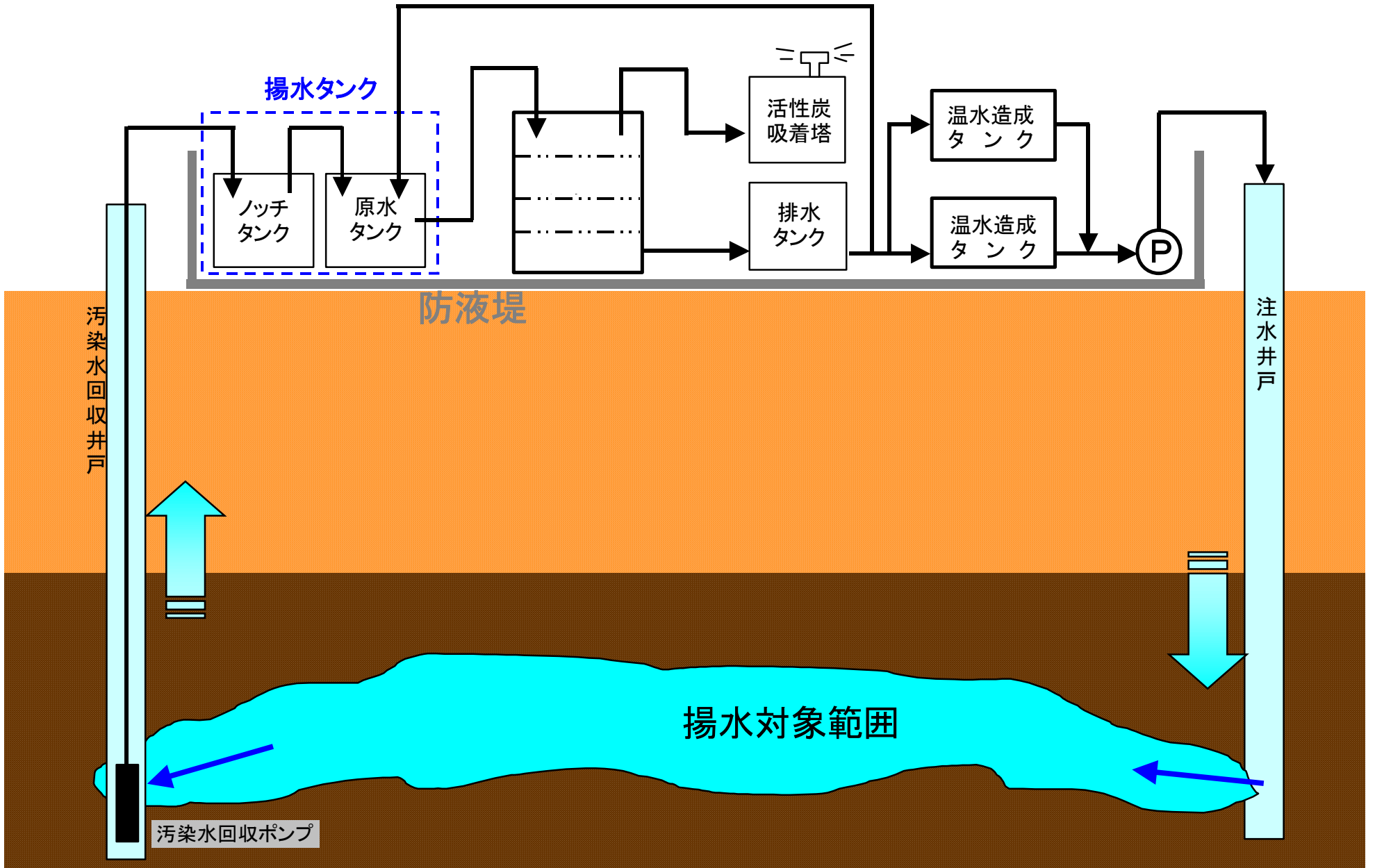
|         | ②<br>全層<br>通気改善後<br>好気性 | ⑨<br>飽和層<br>複合微生物製<br>剤 | ⑤<br>全層LAIM後<br>飽和層<br>嫌気性 | ⑨<br>不飽和層<br>鉄粉混合 | ④<br>飽和層<br>温水注入<br>嫌気性 | ①<br>全層<br>加熱後<br>嫌気性 | ②<br>全層<br>鉄粉・酸化剤<br>嫌気性 | 平均    |
|---------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|-------|
| 素点      |                         |                         |                            |                   |                         |                       |                          |       |
| 有効性     | 7.8                     | 6.0                     | 5.8                        | 5.8               | 5.8                     | 5.0                   | 6.3                      | 6.1   |
| 実用性     | 7.0                     | 6.0                     | 5.5                        | 5.8               | 5.0                     | 4.7                   | 5.7                      | 5.7   |
| 経済性     | 5.2                     | 7.8                     | 7.6                        | 7.5               | 7.5                     | 7.3                   | 5.0                      | 6.8   |
| 環境負荷度   | 6.8                     | 6.8                     | 7.2                        | 7.0               | 7.3                     | 7.7                   | 7.3                      | 7.2   |
| 合計      | 26.8                    | 26.5                    | 26.1                       | 26.0              | 25.5                    | 24.7                  | 24.3                     | 25.7  |
| //順位    | 1                       | 2                       | 3                          | 4                 | 5                       | 6                     | 7                        |       |
| 偏差値     | 198.1                   | 185.8                   | 192.7                      | 184.0             | 188.1                   | 177.6                 | 179.8                    | 186.6 |
| //順位    | 1                       | 3                       | 2                          | 4                 | 5                       | 7                     | 6                        |       |
| 偏差値標準偏差 | 42.5                    | 13.7                    | 44.4                       | 3.6               | 74.0                    | 15.4                  | 87.9                     | 40.2  |
| //順位    | 4                       | 2                       | 5                          | 1                 | 6                       | 3                     | 7                        |       |
| 参考      | 栄養塩注入                   | 複合微生物製<br>剤注入           | 栄養塩注入                      |                   | 栄養塩注入                   | 栄養塩注入                 |                          |       |

#### V 原位置浄化(抽出)

|         | ①<br>全層<br>揚水<br>ガス回収 | ⑦<br>ケーシング掘削<br>揚水加熱ばっ<br>気 | ④<br>飽和層<br>減圧吸引<br>温水注水 | ⑤<br>全層<br>石灰混合抽出 | ⑤<br>全層<br>吸引井戸 | ②<br>空気圧入 | ②<br>噴出水流によ<br>る<br>土壌攪拌、浄 | ①<br>オゾン処理 | ①<br>全層加熱 | 平均    |
|---------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------|-----------|----------------------------|------------|-----------|-------|
| 素点      |                       |                             |                          |                   |                 |           |                            |            |           |       |
| 有効性     | 8.3                   | 8.7                         | 7.8                      | 7.5               | 6.8             | 7.8       | 7.4                        | 6          | 6         | 7.4   |
| 実用性     | 8.7                   | 8.3                         | 7.8                      | 7.5               | 6.5             | 7         | 7                          | 6.3        | 6.3       | 7.3   |
| 経済性     | 7.3                   | 6                           | 6.8                      | 7.2               | 7.2             | 5.2       | 4.8                        | 5          | 4         | 5.9   |
| 環境負荷度   | 9                     | 7.5                         | 8                        | 7.4               | 7.2             | 6.8       | 6.2                        | 6.8        | 7         | 7.3   |
| 合計      | 33.3                  | 30.5                        | 30.4                     | 29.6              | 27.7            | 26.8      | 25.4                       | 24         | 23.3      | 27.9  |
| //順位    | 1                     | 2                           | 3                        | 4                 | 5               | 6         | 7                          | 8          | 9         |       |
| 偏差値     | 238.8                 | 223.8                       | 221.4                    | 214.5             | 199.4           | 198.1     | 187.1                      | 171.7      | 164.8     | 202.2 |
| //順位    | 1                     | 2                           | 3                        | 4                 | 5               | 6         | 7                          | 8          | 9         |       |
| 偏差値標準偏差 | 27.1                  | 57.7                        | 78.7                     | 48.3              | 41.2            | 42.5      | 35.0                       | 28.2       | 31.3      | 43.3  |
| //順位    | 1                     | 8                           | 9                        | 6                 | 4               | 5         | 4                          | 2          | 3         |       |
| 参考      |                       | 遮水壁撤去不                      |                          |                   |                 |           |                            |            |           |       |

※揚水ばっ気処理概念図は、次ページのとおり。

# 揚水ばっ気処理概念図



## VI 個別技術適用の検討

|     | 総合      |       | 掘削    |       | 場内処理  |          | 原位置浄化 |          | 原位置抽出 |          |       |
|-----|---------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|     | 平均      | 最大    | 平均    | 最大    | 平均    | 最大       | 平均    | 最大       | 平均    | 最大       |       |
| 素点  | 有効性     | 6.2   |       | 8.5   |       | 8.3      |       | 6.1      |       | 7.4      |       |
|     | 実用性     | 5.8   |       | 8.3   |       | 8.2      |       | 5.7      |       | 7.3      |       |
|     | 経済性     | 5.3   |       | 6.3   |       | 6.6      |       | 6.8      |       | 5.9      |       |
|     | 環境負荷度   | 6.8   |       | 6.8   |       | 7.2      |       | 7.2      |       | 7.3      |       |
|     | 合計      | 27.2  | 29.6  | 29.9  | 30.7  | (1) 30.3 | 31.2  | (3) 25.7 | 26.8  | (2) 27.9 | 33.3  |
| 偏差値 | 偏差値     | 195.8 | 211.6 | 212.5 | 219.2 | 216.6    | 222.6 | 186.6    | 198.1 | 202.2    | 238.8 |
|     | 偏差値標準偏差 | 18.4  | 11.0  | 34.8  | 6.8   | 23.4     | 58.8  | 40.2     | 42.5  | 43.3     | 27.1  |
|     | データ数    | 9     | 9     | 4     | 4     | 4        | 4     | 7        | 7     | 9        | 9     |
| 参考  |         |       |       |       |       |          |       |          |       |          |       |

- 1 有効性、実用性について、場内処理、原位置抽出、原位置浄化の順に評価が高い
- 2 経済性について、原位置浄化が最も良い。