

平成 24 年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査対策技術検討調査

実証試験結果

| 代表機関名 | | 技術の名称 | | |
|--|----------------------------|--------------------------------|---------|---|
| 株式会社大林組 | | 微細な酸化鉄粒子の注入による 汚染拡散防止壁の実証試験 | | |
| 技術の概要 | | | | |
| 調査／対策 | 技術の区分 | 実証試験の対象物質 | 実証試験の場所 | |
| 対策 | 原位置封じ込め | 砒素 | 現場内 | |
| (技術の原理) | | | | |
| <p>砒素に対して高い吸着力を持つ微細な酸化鉄粒子（フィックスオール FB 材）の均一な懸濁液（以下「薬剤」という。）を汚染範囲の境界部に設置した井戸から地盤内へ注入して薬剤の壁を構築し、注入箇所での透水性の低減効果と、注入した薬剤の砒素吸着効果を併せて用いることにより、汚染地下水による汚染拡散を防止する。</p> | | | | |
| | | | | |
| 図 1 汚染拡散防止壁の概念図（左：断面図、右：平面図） | | | | |
| 技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方 | | | | |
| <p>薬剤の注入のみによって汚染拡散防止壁を構築するため、従来技術である遮水壁工法と比較して施工が簡易であり、大型重機の使用等も不要となるため、施工コスト及び環境負荷を抑えることができる。なお薬剤は、主成分を酸化鉄とする無害な無機物で構成されているため、環境に悪影響を及ぼすものではない。</p> | | | | |
| 調査結果の概要 | | | | |
| (1) 実証試験方法 | | | | |
| ①実証試験条件 | | | | |
| <p>初期状況の確認、薬剤注入による砒素吸着効果の確認、遮水効果の確認の各目的に合わせて、表 1 のとおり、4 工程で構成される試験を実施した。</p> | | | | |
| 表 1 実証試験条件 | | | | |
| 試験 | 注入地点(*) | 注入量 | 注入速度 | 確認事項と内容 |
| T1 | — | — | — | 試験サイトの土壌及び地下水の初期状況の確認 |
| T2 | I-2 | 470L/箇所 | 3L/分 | 薬剤注入中及び注入後の地下水監視及び薬剤注入後の土壌溶出量分析による砒素吸着効果の確認 |
| T3 | I-1,3,4,5,6,7,8,9,51,52,53 | 470L/箇所 | 3L/分 | 汚染サイトの境界部を囲うように薬剤を注入し、薬剤による壁の構築 |
| T4 | — | — | — | 汚染サイト内部で地下水揚水し、薬剤による壁の遮水効果の確認 |
| (*) 図2-2,図2-3を参照 | | | | |

②モニタリング方法

本技術による汚染拡散防止壁の構築効果を評価するため、表2に示す項目について、図2-1～2-3に示す地点でモニタリングを実施した。評価の指標として、薬剤による砒素の吸着効果は、地下水環境基準及び土壌溶出量基準値以下とすること、遮水効果については、試験サイト内部で地下水揚水することによる壁の内外の水位変動で評価することとした。

表2 モニタリング項目一覧

| 目的 | 試験 | 項目 | 注入地点 | 測定地点 | 頻度 | 方法 |
|--------|--------|-----------------|-------------------------------|--|------------------------------|------------|
| 初期状況確認 | T1 | 初期状況 | — | I-1,3,4,51 K-1,2,11,22,23 P-1 (地下水) | 注入前 | 地下水濃度測定 |
| | | | | K-1,2,11,23, P-1 (土壌) | 注入前 | 土壌溶出量測定 |
| 効果評価 | T2 | 薬剤浸透能力 | I-2 | I-1,3,4,51 K-1,2,11,22,23 P-1 (地下水) | 注入中 ^{(*)1} 及び注入後 | Fe、Mnの監視 |
| | | 砒素吸着効果 (不溶化) | I-2 | I-1,3,4,51 K-1,2,11,22,23 P-1 (地下水) | 注入中 ^{(*)1} 及び注入後 | 砒素の地下水濃度測定 |
| | T3 | 薬剤浸透能力 | I-1,3 | K-1,2,11,I-4,51,P-1 (地下水) | 注入中 ^{(*)1} | Fe、Mnの監視 |
| | | | I-4,51 | K-11,I-5,52,P-1 (地下水) | | |
| | | | I-5,52 | K-11,I-6,53,P-1 (地下水) | | |
| | | | I-6,53 | I-7,9,P-1 (地下水) | | |
| | | | I-7,9 | I-8,P-1 (地下水) | | |
| | | | I-8 | K-31,P-1 (地下水) | | |
| | T3 | 砒素吸着効果 (不溶化) | I-1,3,4,5,6,7, 8,51,52,53 | K-11,P-1 (地下水) | 注入中 ^{(*)1} 及び注入後 | 砒素の地下水濃度測定 |
| | | | I-1,3,4,5,6,7, 8,51,52,53 | B-3a ^{(*)2} (土壌) | 注入後 | 土壌溶出量の測定 |
| T4 | 遮水性 | (P-1から揚水) | K-11,22,23,31,32 (水位変動) | 揚水中 揚水後 | 揚水試験による水位測定 | |
| | 砒素吸着効果 | — | K-1,2,11,22,23,31,32 (地下水) | 揚水中 揚水後 | 砒素の地下水濃度測定 | |

(*)1 薬剤による着色状況を監視し、着色が見られた地点について、20～30分毎に採水・測定

(*)2 薬剤注入による着色が確認された地点を選定

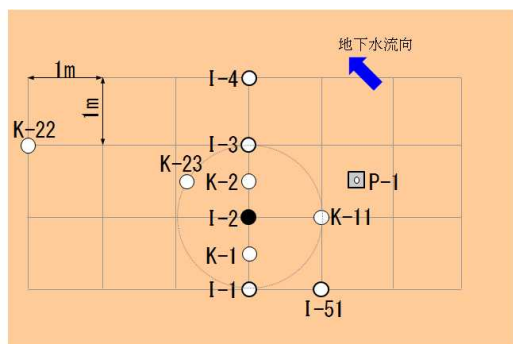


図2-1 モニタリング地点 (T1)

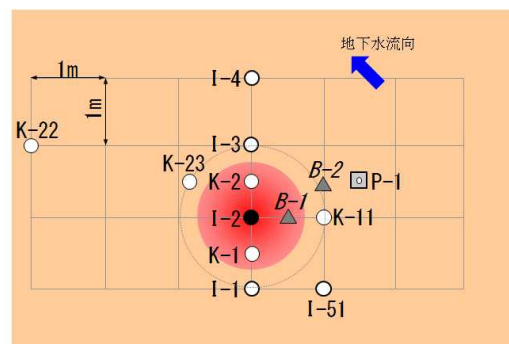


図2-2 モニタリング地点 (T2)

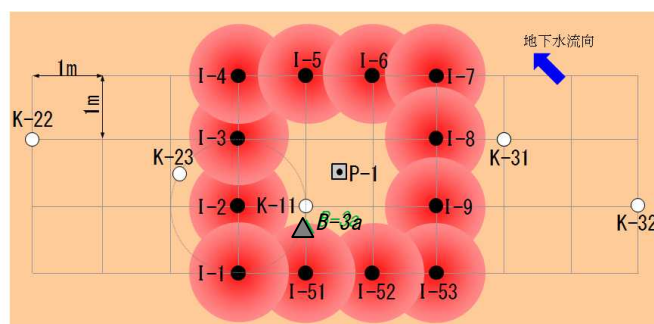


図2-3 モニタリング地点 (T3, T4)

(2) 対策の対象土壌量及び性状等

- ①土質： 礫混じり砂質土（透水係数： $4.1 \times 10^{-3} \sim 4.2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ ）
- ②性状等： 土壌溶出量（砒素） 0.066～0.37mg/L
- ③対象土壌量： 9 m^3 （面積 $9 \text{ m}^2 \times$ 深度方向 1m（GL-3～-4m））

(3) 結果

1) 有効性について

①薬剤浸透能力

地盤中に薬剤の壁を構築するため、注入した薬剤の浸透状況を、T2 における薬剤注入中及び注入後の地下水 SS 中の Fe と Mn の濃度で監視したところ、注入地点からの距離 50cm の地点において、注入直後から濃度の上昇が見られ、薬剤が浸透していることが確認された(図 3)。なお、T3 において注入地点からの距離 75cm の地点で薬剤注入中及び注入後の地下水 SS 中の Fe と Mn の濃度を監視したところ、注入開始後 9 日目で濃度の上昇が見られたことから、75cm 距離でも一定日数を経過することにより薬剤が浸透する可能性があることが示唆された。

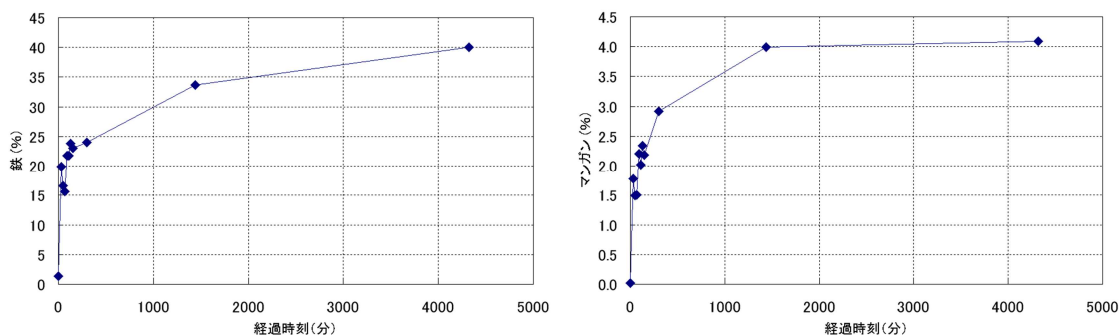


図 3 注入地点から 50cm における Fe と Mn の濃度変化
〔T2 注入地点 I-2、測定地点 K-1〕

②砒素吸着効果（不溶化）

地盤に浸透した薬剤の砒素吸着効果を、T2 における砒素の地下水濃度及び土壌溶出量で見たとところ、地下水濃度、土壌溶出量ともに、注入地点からの距離 50cm の地点において基準値以下（0.01mg/L 以下）となった。なお、T3 においては、注入地点から 75cm 地点で地下水濃度及び土壌溶出量基準値以下となる地点があったことから、75cm の距離でも砒素吸着効果を発揮できる場合があることが示唆された（図 4、表 3）。

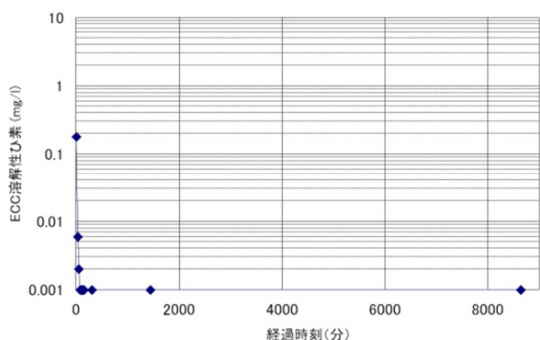


図 4 注入地点から 50cm における
地下水濃度の変化
〔T2 注入地点 I-2、測定地点 K-1〕

表 3 注入地点から 50cm における
土壌溶出量の変化
〔T2 注入地点 I-2、測定地点 B-1〕

| | 注入前* | 注入 6 日後 |
|-----------------|---|-------------|
| 土壌溶出量 (mg/L) | 0.12 (K-1) 0.37 (K-2) 0.10 (K-11) | 0.001 (B-1) |

* 注入後の採取地点 (B-1) 近傍の K-1、K-2 (ともに注入井から 50cm) 及び K-11 (注入井から 1m) を初期値と仮定した。

③遮水性

T3において試験サイト内の境界部四方に薬剤を注入・浸透後、T4において汚染サイト内部から揚水を行い、サイト内外の水位変動を見たところ、揚水量に合わせて、サイト内部の地点、外部の地点ともに水位が低下し、揚水を停止したところ全ての地点で元の水位に回復した。透水係数は、初期透水係数 ($4.1 \times 10^{-3} \sim 4.2 \times 10^{-3} \text{m/s}$) と比較して、薬剤注入後透水係数 ($4.0 \times 10^{-4} \sim 4.7 \times 10^{-4} \text{m/s}$) となり、1 オーダー低下が見られたが、地盤への薬剤浸透による遮水効果は確認できなかった (図 5)。

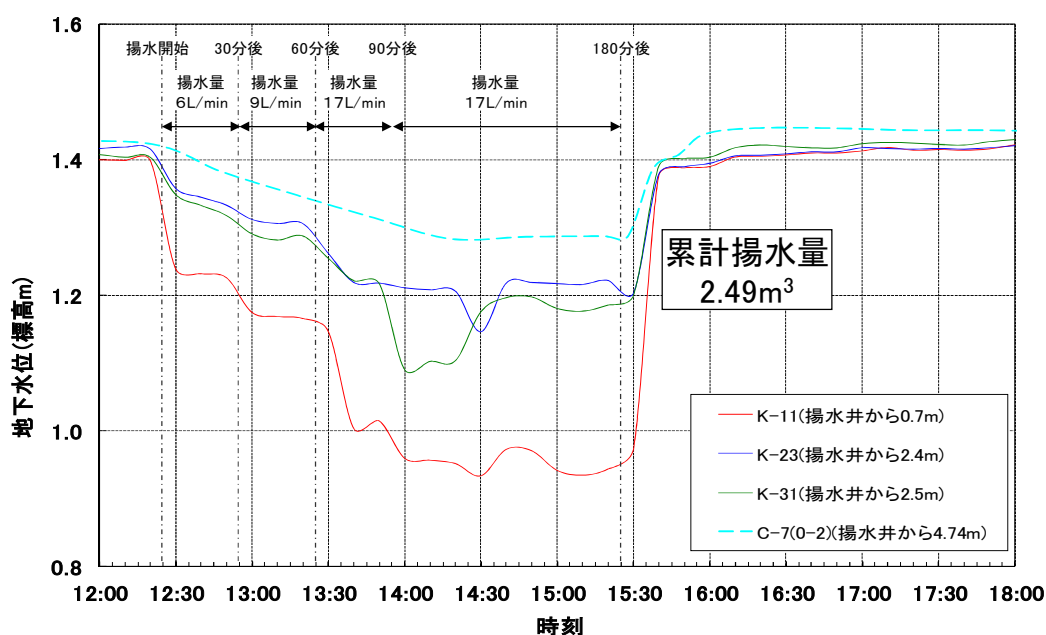


図 5 揚水試験における地下水位の変動

②処理水、副生成物など

土壌中に注入した薬剤については、地下水流向下流側地点 (K-22) で地下水を監視した結果、色及び Fe、Mn 濃度について変化、上昇は認められなかった。

本技術の適用に当たって、排水や廃棄物などの副生成物は発生しないが、実証試験で揚水後の地下水は、共同実施事業者の施設内の排水処理設備で適切に処理された。

2) 実用性について

①安定性

薬剤の注入は、重機等を使用せず作業者の手によって地盤へ注入しており、試験期間を通して注入ができなくなるなどのトラブルは発生しなかった。

②安全性

薬剤は、主成分を酸化鉄とする無害な無機物で構成されているため、環境に悪影響を及ぼすものではない。

3) 経済性について

①効率性

実証試験における土壌 1 m^3 当たりの投入エネルギー効率は 342 MJ/m^3 、 1 人/m^3 であった。

②経済性

実証試験における土壌 1 m^3 当たりの対策費用は、 810 千円/m^3 と試算された。実規模とし

て 15,000 m³の砒素汚染サイトで汚染拡散防止対策を行うと仮定した場合の費用は、2 千円/m³と試算された（別紙参照）。

4) 周辺環境への負荷

①二酸化炭素排出量

実証試験における二酸化炭素排出量は、0.023t-CO₂/m³であった。実規模として 15,000 m³の砒素汚染サイトで汚染拡散防止対策を行うと仮定した場合の排出量は、0.0002t-CO₂/m³と試算された（別紙参照）。

検討会概評

本技術は、砒素で汚染されたサイトの周囲を、薬剤注入壁で囲い、内部の汚染が外部に拡散することを防ぐこと（汚染拡散防止壁の構築）を目的とした技術である。

実証試験では、注入した薬剤が 50cm 範囲の地盤に浸透し、地下水中の砒素濃度及び土壌溶出量を基準値以下に低減させる砒素吸着効果が確認されたものの、薬剤注入壁による汚染拡散防止機能（遮水性等）は確認できなかった。

この要因として、注入した薬剤が、試験サイトの土質（粒度等）に対応できず、目詰まり効果が得られなかったことが考えられる。本技術の適用対象土壌は、透水係数 1×10^{-6} m/s 以上の土壌としているが、試験サイトの土壌は $4.1 \times 10^{-3} \sim 4.2 \times 10^{-3}$ m/s と計測されており、このような透水性の高い土壌には、例えば薬剤の粒径が大きいものを使用するなどの調整が必要であった可能性がある。

本技術の適用に当たっては、薬剤注入による汚染拡散防止壁を構築しようとする地盤の土壌を十分に確認し、その土質に合わせた薬剤を適用し、予め適用確認試験を行った上で施工する必要があると考えられる。また、薬剤注入による不溶化効果の持続性について引き続き検証していくとともに、汚染サイトを薬剤注入壁で囲うことによる汚染拡散防止機能について検討していくことが望まれる。

実証試験の目標値及び評価

| | 評価項目 | 目標値 | 評価 |
|----------|------------------------|--------------------------------|---|
| 浄化効果・コスト | 薬剤浸透能力 | 注入井から半径 0.5m | 周辺地下水 SS 中の Fe 及び Mn 濃度の測定の結果、目標を達成した。 |
| | 遮水性 | 薬剤注入後において透水係数 10^{-7} m/s 以下 | 薬剤注入後の透水係数は $4.0 \times 10^{-4} \sim 4.7 \times 10^{-4}$ m/s であり、目標を達成できなかった。土質に合わせた薬剤を注入する必要がある。 |
| | 砒素吸着効果 (土壌中の砒素の不溶化) | 環境基準値 (0.01mg/L) 以下 | 注入地点から 50cm の地点において、環境基準値 (0.01mg/L) 以下となり、目標を達成した。 |
| | 低コスト性を評価 | 10,000 円/m ³ 以下 | 実証試験で得られたデータを基に実規模 15,000 m ³ の汚染サイトで対策を行うとした場合の試算額は 2,000 円/m ³ となり、目標を達成した。 |

| | | | |
|--------------|----------------------------|--|---|
| 環境 負 荷 | 燃料使用等による二酸化 炭素排出量の削減を評価 | 25kg-CO ₂ /m ³ 以下 (従来比 50%以下) | 実証試験で得られたデータを基に 実規模 15,000 m ³ の汚染サイトで対 策を行うとした場合の試算値は 0.2kg-CO ₂ /m ³ となり、目標を達成し た。 |
|--------------|----------------------------|--|---|

別紙（微細な酸化鉄粒子による汚染拡散防止壁の実証試験）

※以下の試算は、実証試験と同等の薬剤量で汚染拡散防止効果を発揮できる対象土壌条件及び適用方法（注入方法、注入箇所等）が整えられたと仮定した場合の試算である。

1. 費用の算出

○実証技術のコストについて

コスト計算に当っては、以下の条件を前提として試算した。

1) 試算前提の主要諸元

| | |
|-----------------|--------------------------|
| 汚染土壌濃度（溶出量） | : 0.1mg/L（砒素） |
| 汚染土壌の性状 | : 礫混じり砂質土 |
| 目標処理濃度（溶出量） | : 0.01mg/L以下（砒素 ※薬剤注入箇所） |
| 対策対象土量（ m^3 ） | : 15,000 m^3 |
| 薬剤注入量（L） | : 752L |
| 薬剤注入時間（h） | : 2,560h（延べ） |
| その他の処理条件 | : 薬剤は注入井から 0.5m 範囲に浸透 |
| 工費の試算範囲内 | : 井戸設置費、薬剤注入費 |

2) 処理費用の算出

上記を基に本実証試験で得られたデータから経済性を試算すると以下のように算定された。

| | |
|------|-------------|
| 総費用 | 29,000 千円 |
| 処理単価 | 2 千円/ m^3 |

○従来技術のコストについて

上記の汚染土壌の条件で遮水壁工法を実施した場合のコストは、以下のように試算された。

| | |
|------|---------------|
| 総費用 | 26,000 千円 |
| 処理単価 | 1.7 千円/ m^3 |

2. 二酸化炭素排出量の算出

○実証技術の二酸化炭素排出量について

二酸化炭素排出量の計算にあたっては、上記 1. の条件を前提として試算した。

※地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条第一項（平成 18 年 4 月 1 日一部改正）の排出係数一覧表の数値を用いて二酸化炭素排出量を算出した。

| | |
|-------|---------------------------------|
| 総排出量 | 2.7t-CO ₂ |
| 排出原単位 | 0.0002t-CO ₂ / m^3 |

○従来技術の二酸化炭素排出量について

上記 1. の汚染土壌の条件で遮水壁工法を用いて処理した場合の二酸化炭素排出量は、以下のように試算された。

| | |
|-------|--------------------------------|
| 総排出量 | 16.7t-CO ₂ |
| 排出原単位 | 0.001t-CO ₂ / m^3 |