

ハイブリッド浄化工法による重金属汚染土壌浄化施工例 水と天然鉱物によるオンサイト環境修復技術

高田 史朗・岡見 智章・和田 信彦

ハイブリッド浄化工法とは分級洗浄工法と天然鉱物資源を利用した地化学的固定化工法（シーリングソイル工法）を組み合わせた“水”と“天然鉱物”によるオンサイト環境修復技術である¹⁾。洗浄後に発生した汚染物質を高濃度に溶出または含有する濁水は、天然鉱物からなる水処理剤 TRP を利用した処理を行い洗浄用水として再利用した。本報ではハイブリッド浄化工法による鉛と砒素汚染土壌の浄化施工事例について記述した。

キーワード：土壌浄化，重金属汚染水処理，鉛，砒素，天然鉱物，オンサイト

1. はじめに

対象地は社宅として利用されており対象有害物質の取り扱い履歴はないため、建築時もしくはそれ以前に埋め戻された盛土が汚染源と考えられた。工事で用いた技術は、鉛および砒素汚染土壌を分級洗浄工法にて含有量と溶出量を減量し、分級洗浄後土壌にゼオライト等の天然鉱物資源を利用した重金属汚染土の地化学的固定化工法（シーリングソイル工法）により将来に渡って再溶出の無い土壌に改良を行う低負荷型のオンサイト汚染土浄化技術である。

施工に先立ち事前調査による分析資料を基に、鉛・砒素の含有量基準値を超過した汚染土壌 900 m³ については場外搬出とし、溶出量基準値を超えた土壌についてはハイブリッド浄化工による改良を行った。

砒素および鉛等重金属類を含む土壌を掘削し、トロ



写真-2 重力沈降分離式土砂脱水篩機

ンメル（写真-1）にて洗浄分級し、5 mm 以上の礫を回収した。次に重力沈降分離式土砂脱水篩機（写真-2）において 75 μm ~ 5 mm の砂を回収した。洗浄土はシーリングソイル工法を用いて安定化処理後、汚染原土とハイブリッド浄化後の各試料を適時採取し公定法分析により鉛および砒素が基準値以下（0.01 mg/l 以下）となっていることを確認し埋め戻した。本工事のフローを図-1 に示し、設計条件を表-1 に示した。

2. 洗浄処理および水処理技術の概要

(1) 洗浄工法による含有量低減原理

土壌に含まれる重金属の原子はおおむね 75 μm 以下の土粒子に吸着して存在する。



写真-1 トロンメル

表一 1 設計条件

1) 設計条件

①処理土量 25 m³ / 時 × 8 時間 = 200 m³ / 日

②原土条件と処理目標値

項目	原土土質	土壤環境基準値 (目標値)
鉛	0.063mg/l (最大溶出量)	0.01mg/L 以下
ヒ素	0.085mg/l (最大溶出量)	0.01mg/L 以下

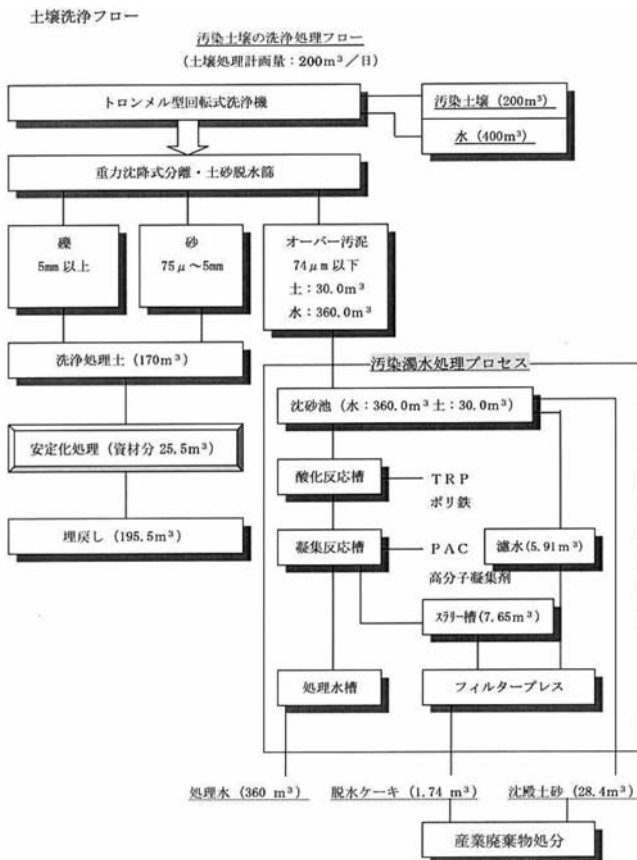
③処理水量 16.7 m³ / 時 × 24 時間 = 400 m³ / 日

④原水 (土壤洗浄水) 水質条件と処理目標値

項目	原水水質 (仮定)	処理水質 (最大)
pH	6 ~ 8	5.8 ~ 8.6
SS (沈砂後)	3,000 mg/l (沈砂後)	30 mg/L 以下
鉛	0.5 mg/l (仮定)	0.1 mg/L 以下
ヒ素	0.5 mg/l (仮定)	0.1 mg/L 以下

⑤処理期間: 5 ヶ月

⑥敷地条件: 地耐力 5 t/m² 以上, 必要面積 500 m² 以上



図一 1 本工場のフロー

本洗浄工法はこの 75 μm 以下の土粒子群を洗浄分離することにより現存中の汚染物質を取り除き減量を行うものである。土壤洗浄により減量化された対象物質は沈砂池堆積物となり適時場外搬出される。また洗浄後の水は汚染物質を高濃度に溶出または含有する濁水である為に浄化処理が必要である。その処理に除外

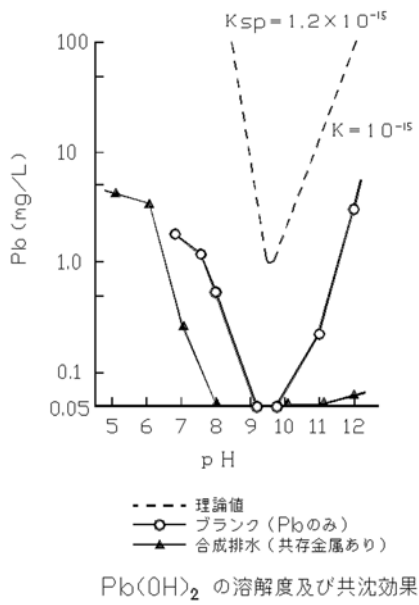
設備を設け対応する。除外設備において濁水中の鉛、砒素は下記に示した処理原理により脱水ケーキとして回収され場外搬出の対象となる。

(2) 重金属含有濁水処理原理

微量成分として、重金属類は様々な形態で存在する。陽イオンである鉛は土壤中の粒形 75 μm 以下の粘土成分にイオン交換等の作用により吸着され易い。

鉛イオンを含む排水は、pH を 9 から 10 に上げていくと、金属イオンと OH イオンが反応して、水酸化物の沈澱を生じる。これは、pH を上げることにより、水酸化物イオン濃度が高くなり、金属イオンの溶解度が小さくなる為である。そこでアルカリ性であり、且つ不溶化した重金属を効率的に沈殿分離するために強力な凝集能を有し、鉛イオン交換能も有する TRP を使用した。但し、鉛のような両性金属は pH を 10 以上に上げすぎると再溶解する為、pH コントロールは注意を要する。図一 2 に水酸化鉛の溶解度および共存効果グラフ²⁾を示した。

また、砒素は、鉄、アルミニウム、カルシウム、マグネシウム等の水酸化物に吸着固定化され易い。例えば砒鉄比と pH の関係³⁾を表した図一 3 を参考にすると砒素の濃度に関係なく、砒鉄比が 50 になると、完全に除去されることが示されている。しかしながら濁水中では共存成分が多く存在するため、経験上鉄だけの処理では充分ではない。そこでカルシウム、マグネシウム等に富んだ天然ミネラル水処理剤 TRP を利用することで、排水中より砒素およびその化合物を完全に除去する。以上の化学的原理を用いて濁水中から汚



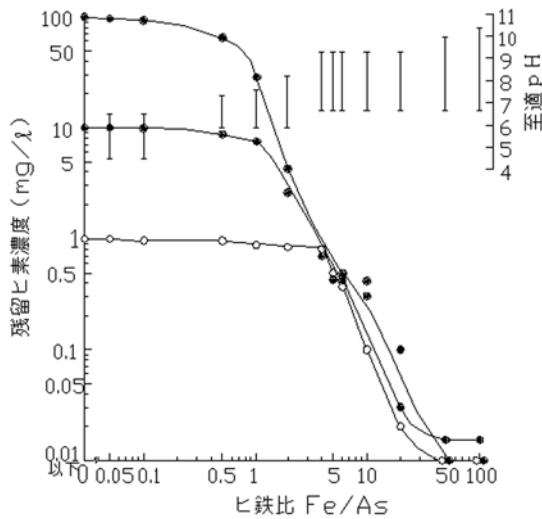
図一 二 水酸化鉛の溶解度および共沈効果グラフ

染物質を分離除去した。除外設備を写真一 3 に示した。

3. シーリングソイル工法の概要⁴⁾

(1) 短期的固定化

天然ゼオライトがもつ吸着機能・陽イオン交換機能により、重金属の速やかなる固定化を図る。陰イオンの砒素については、前処理として必要最小限の硫酸鉄等を加えて吸着機能の効率化を図る場合がある。砒素汚染土の改良例を図一 4 に示した。措置後は砒素溶出量がすべて基準適合である。pH 値は吸着機能・イオン交換機能がもっとも効率的に発揮できる弱アルカリ (pH8 から pH9) に調整改良され、植栽や土木工事に再利用しても影響はない。



水酸化鉄(Ⅲ)フロックによる砒素の除去
ヒ鉄比と残留砒素濃度及び至適 pH 範囲

難溶性ヒ酸塩の溶解度積

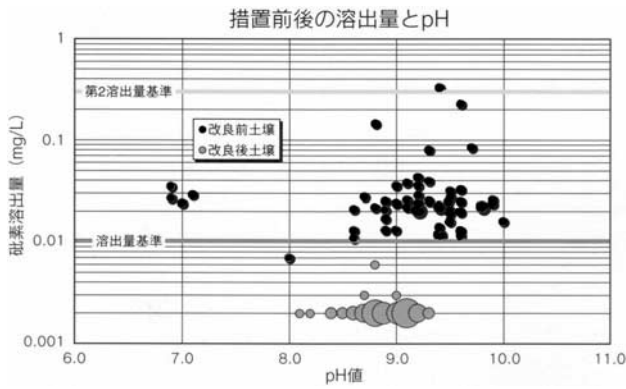
化合物	溶解度積 pK_{sp}
$(Al)_3 (As_4O_2)$	20
$(Fe)_3 (As_4O_2)$	20.2
$(Ca)_3 (As_4O_2)$	18.2
$(Mg)_3 (As_4O_2)$	19.7
$(Cu)_3 (As_4O_2)$	35.1
$(Zn)_3 (As_4O_2)$	27.0
$As_2S_3^*$	0.8

* 溶解度 (mg/l)

図一 三 砒鉄比と pH の関係



写真一 3 除外設備



図一4 砒素汚染土の改良例⁴⁾

(2) 長期的固定化

風化粘性土に含まれるアロフェンやイモゴライトも、砒素イオンに対する吸着機能を発揮する。また、風化粘性土に含まれる珪酸および鉄・アルミナ等の含水非晶質物やアロフェン等低結晶性の粘土鉱物が、長時間を経て高度に結晶化するに伴い重金属等を長期に固定化することも期待できる。

(3) 施工方法

シーリングソイル工は、100 m³（長さ 30 m 幅 6.6 m 高さ 0.5 m）に洗浄土を敷き均し、各資材を散布後スタビライザーにより攪拌混合し行われる。本件でスタビライザーを選定した理由としては、敷地に余裕がありかつ 1 日約 200 m³ の土量を処理する必要があったからである。スタビライザーによる資材混合状況を写真一4に示す。改良レーンの設置は工事期間中において如何に効率良くまた関連工程に支障が無いかを考慮しレーンの設計が行われた。基本的に土壤の搬入出や資材の受け入れなど車両の出入りが頻繁な上、1 日あたりの施工量も最低限 200 m³ は必要なことからレーン外周部を車両動線と考えその内側に 2 つ



写真一4 スタビライザーによる資材混合状況

のレーンを設けた。

レーンの設置にあたっては土量管理が行い易く、他の土壌との接触が起き難い平坦な舗装路盤等が適している。幸いなことに現地には計画段階より対処不用個所が存在しその場所が駐車場の用地であった為レーン設置には適所であった。ここにレーンを仮設するとともに外周部は万能鋼板、防塵シートで遮蔽し、近隣対策を施した。

4. ハイブリッド浄化工法による処理結果

表一2に汚染原土（原土と表記）とハイブリッド浄化土（処理土と表記）中鉛、砒素の溶出量および含有量を示した。これらの値は各試料を第三者機関である計量証明事業所に送付し分析を行って頂いた結果である。原土1については、鉛、砒素の溶出量だけではなく鉛の含有量も 180 mg/Kg と基準値（150 mg/Kg）を超過していたが、処理土1では鉛溶出量 0.005 mg/L 以下、砒素溶出量 0.005 mg/L 以下、鉛含有量 27 mg/Kg といずれも基準値を満たした。また含有量基準値以内の原土についても、処理土において含有量低下が見られた。また原土2、原土4においては砒素溶出量のみが基準値を超過していたが、処理土においてはいずれも砒素溶出量基準を満たした。最後に原土3では砒素溶出量が 0.16 mg/L と設計条件（0.085 mg/L）の約2倍も超過していたが、処理土3では 0.005 mg/L 以下と検出限界以下にまで浄化されたことが確認された。これらの結果より分級洗浄工法と天然鉱物資源を利用した地化学的固定化工法（シーリングソイル工法）を組み合わせたハイブリッド浄化工法は、基準値を超過した汚染土壌中の鉛および砒素の含有量および溶出量を基準値内とする効果を有していることが示された。

表一2 汚染原土処理結果

	鉛溶出量 mg/L	鉛含有量 mg/Kg	砒素溶出量 mg/L	砒素含有量 mg/Kg
原土1	0.013	180	0.025	15
処理土1	<0.005	27	<0.005	2.0
除去率	100 %	85 %	100 %	87 %
原土2	0.007	37	0.043	9.3
処理土2	<0.005	7.3	0.006	1.6
除去率	100 %	80.3 %	86.1 %	82.8 %
原土3	0.016	58	0.16	20
処理土3	<0.005	11	<0.005	4
除去率	100 %	81.0 %	100 %	80.0 %
原土4	0.009	49	0.024	6.8
処理土4	<0.005	38	<0.005	4.1
除去率	100 %	22.5 %	100 %	39.7 %

表—3 高濃度濁水処理結果

	SS mg/L	鉛濃度 mg/L	砒素濃度 mg/L
原水 1	70900	1.4	<0.005
処理水 1	13	<0.005	<0.005
原水 2	126000	3.7	0.012
処理水 2	32	<0.005	<0.005
原水 3	190000	14	4.8
処理水 3	7.9	<0.005	0.006
原水 4	380000	5.1	1.2
処理水 4	11	<0.005	<0.005
原水 5	170000	22	1.1
処理水 5	8.6	<0.005	<0.005
原水 6	160000	2.1	4.4
処理水 6	5	<0.005	<0.005

また洗浄後の高濃度濁水処理の結果を表—3に示した。これらの結果から分かるように土壌洗浄後の濁水中には最大でSS38万mg/L、鉛22mg/L、砒素4.8mg/Lと高濃度の汚染が存在する。そのため洗浄濁水を浄化し洗浄用水として常時供給するためには高度で安定した水処理技術が必要となる。処理水結果より2.で示した天然鉱物水処理剤TRPを使用した本水処理システムで基準値を満たした良質な洗浄用水の供給が可能となった。

5. おわりに

本工法においては汚染源である土壌を直接掘削したことによりその土質や粒度等を適時判断することが可能であり、過去に埋め戻された土壌の層厚や経緯等も垣間見ることが出来たことが実施工を行う上で非常に有用であった。

また掘削除去とは違い、場外搬出による持ち出し

(当該地よりの拡散)を最小限とし、土壌および水処理とも天然鉱物を用いた工法である故、環境に低負荷型な方法で健全な土壌に回復できた。

紙幅の都合上、シーリングソイル工法の安定化原理詳細を割愛したが、詳しくは下記ホームページなどでご覧頂くことができます。

<http://www.sealingsoil.gr.jp/>

JICMA

《参考文献》

- 1) シーリングソイル協会、ハイブリッド浄化工法&シーリングソイル工法パンフレット
- 2) 公害防止の技術と法規編集委員会、公害防止の技術と法規水質編、社団法人産業環境管理協会、p235
- 3) 公害防止の技術と法規編集委員会、公害防止の技術と法規水質編、社団法人産業環境管理協会、p256
- 4) シーリングソイル協会技術資料

【筆者紹介】



高田 史朗 (たかだ しろう)
株式会社アステック
技術部
チーフ



岡見 智章 (おかみ ともあき)
株式会社アステック
地質環境事業部
チーフ



和田 信彦 (わだ のぶひこ)
株式会社アステック
技術顧問