

平成21年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査・対策技術検討調査 及びダイオキシン類土壤浄化技術等確立調査結果

代表機関名		技術の名称	
株式会社竹中工務店		重金属類汚染土壤のオンサイト洗浄工法	
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	化学分離	砒素	現場外

(技術の原理)

本技術は、対象敷地内に分散する重金属類汚染土壤（主に砒素）を掘削して遮水性能を有するピットに集約し、ピット内の汚染土壤に水酸化ナトリウム溶液の洗浄液を通過し、砒素等の溶出を促進させて汚染物質を除去する工法である。汚染物質を除去した土壤は、炭酸水などで土壤と間隙水を中和し、処理土の溶出特性を調整する薬剤を供給して、土壤からの溶出量を指定基準以下にする。

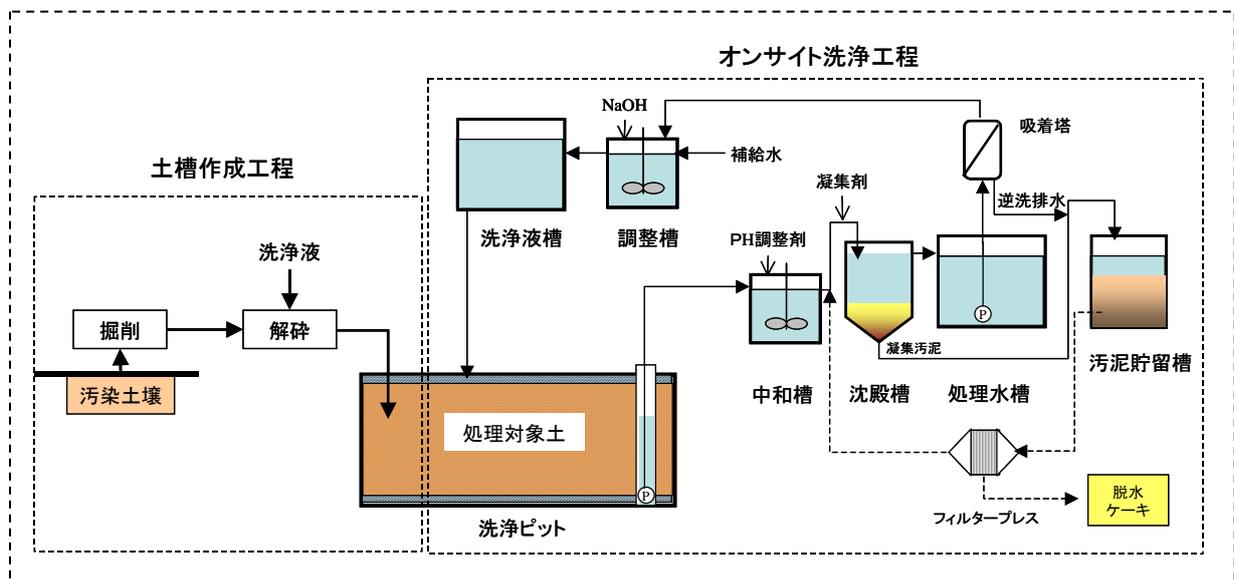


図1 オンサイト洗浄工法の模式図

技術保有会社のコスト・環境負荷低減の考え方

本工法では、対象敷地内でオンサイト処理するため、場外搬出土量と廃棄物発生量を削減できる。洗浄液には、安価な水酸化ナトリウム溶液を使用するとともに、洗浄液を処理して循環利用すること及び土壤との接触時間を長くすることにより薬剤使用量と排水処理量の低減化を図り、コストの削減ができる。

また、汚染土壤の洗浄中は、洗浄液の循環利用するための洗浄液処理装置が稼働するのみであり、騒音・振動は小さく、環境負荷の低い技術である。

調査結果の概要

(1) 実証調査方法

①実証調査条件

実証調査条件については、評価試験（室内）を実施してオンサイト洗浄条件（洗浄液濃度、通水量）を設定した。

表1 調査条件

実験ケース	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
試料土	試料土①	試料土①	試料土②	試料土③
処理量	3.4 t (1.8m ³)	4.1 t (2.2m ³)	2.9 t (1.7m ³)	2.9 t (1.6m ³)
汚染濃度 (砒素)	溶出量 0.025mg/L	溶出量 0.038mg/L	溶出量 0.021mg/L	溶出量 0.012mg/L
土質	細粒分質礫質砂	細粒分質礫質砂	砂質細粒土	細粒分質礫質砂
洗浄液	30mM NaOH 溶液 (38 日間) 300mM NaOH 溶液 (49 日間)	水道水 (83 日間)	30mM NaOH 溶液 (49 日間) 300mM NaOH 溶液 (15 日間)	30mM NaOH 溶液 (49 日間) 300mM NaOH 溶液 (15 日間)
平均通水速度	0.22m ³ /日	0.24m ³ /日	0.35m ³ /日	0.52m ³ /日
通水量	NaOH 14.6m ³ (浄化) 炭酸水 8m ³ (中和)	水道水 17m ³	NaOH 21m ³ (浄化) 炭酸水 3m ³ (中和)	NaOH 27m ³ (浄化) 炭酸水 8m ³ (中和)

②モニタリング方法

表2 モニタリング項目

項目	サンプリングポイント	測定・分析項目	測定・分析方法	頻度・試料数
排ガス	発生しない			
排水	土壤洗浄水・出口 4 箇所	砒素・pH (公定) 砒素・pH (簡易) 形態別砒素 (As (III), As (V)、MMA, DMA)	環告 64 号 ホルツメトリ-計 LC-ICP-MS 法	50 回×4 ケース 10 回×4 ケース 3 回×4 ケース
処理水	処理水 2 箇所 凝沈後 1 箇所	砒素・pH (公定) 砒素・pH (簡易)	環告 64 号 ホルツメトリ-計	20 回×3 箇所 20 回×3 箇所
汚染土	使用土壤 3 種類	溶出量 (第2種特定有害物質9種) 含有量 (第2種特定有害物質9種) 土の粒度試験 土壤有機炭素含有量 全含有量 (第2種特定有害物質9種) 形態別含有量 (砒素)	環告 18 号 環告 19 号 JIS A 1204 JGS 0231 底質調査方法 分別抽出法	各 1 検体×3 各 1 検体×3 各 1 検体×3 各 1 検体×3 各 1 検体×3
処理中 土壤 (混合)	洗浄中土壤 (2 ヶ月後) 4 ケース 5 箇所混合	溶出量 (第2種特定有害物質9種) 含有量 (第2種特定有害物質9種) 全含有量 (第2種特定有害物質9種) 形態別含有量 (砒素)	環告 18 号 環告 19 号 底質調査方法 分別抽出法	各 1 検体×4 各 1 検体×4 各 1 検体×4 各 1 検体×4
	洗浄後土壤 (4 ヶ月後) 4 ケース 5 箇所混合	溶出量 (第2種特定有害物質9種) 含有量 (第2種特定有害物質9種) 全含有量 (第2種特定有害物質9種) 形態別含有量 (砒素)	環告 18 号 環告 19 号 底質調査方法 分別抽出法	各 1 検体×4 各 1 検体×4 各 1 検体×4 各 1 検体×4
処理土	中和後土壤 (解体時) 4 ケース	溶出量 (砒素) 含有量 (砒素) pH	環告 18 号 環告 19 号 JGS 0211	各 36 検体×4 各 36 検体×4 各 36 検体×4
処理土 (混合)	中和後土壤 ・4 深度/ケース ・5 箇所混合	溶出量 (第2種特定有害物質9種) 含有量 (第2種特定有害物質9種) 全含有量 (第2種特定有害物質9種) 形態別含有量 (砒素) 重金属等不溶化処理土壤の pH 変化に対する安定性の相対的評価方法 (砒素)	環告 18 号 環告 19 号 底質調査方法 分別抽出法 硫酸添加溶出試験法 消石灰添加溶出試験法	各 4 検体×4 各 4 検体×4 各 4 検体×4 各 4 検体×4 各 4 検体×4 各 4 検体×4
廃棄物	排水処理後の 凝集沈殿汚泥	含有量 (砒素) SS 濃度、総容量	底質調査方法	3 回
周辺環境	運転時	騒音 振動	JIS Z8731 JIS Z8735	期間中 1 回 期間中 1 回
作業環境	土槽充填時	粉塵中砒素濃度	デジタル粉じん計 ローボリュームサンプラー	期間中 1 回

(2) 土壤の処理量及び性状等

- 1) 土質 : 砂質細粒土、細粒分礫質砂

- 2) 性状等 : 砂質細粒土 (砒素 0.021mg/L)、細粒分礫質砂 (砒素 0.012~0.038mg/L)
 3) 処理量 : 13.3 t (7.3m³)

(3) 有効性についての考察

①除去率

水酸化ナトリウム溶液洗浄後の砒素溶出量は、目標値の 0.01mg/L 以下を達成できなかった。

表 3 各ケースにおける砒素溶出量

試験ケース		単位	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
洗浄前	砒素溶出量	mg/L	0.025	0.038	0.021	0.012
	溶出液 pH	—	8.1	8.2	8.8	7.9
洗浄後	砒素溶出量	mg/L	0.19	0.067	0.053	0.027
	溶出液 pH ^{**}	—	9.3~10.1	7.7~8.5	9.2~9.9	8.1~10.1

※溶出量調査において作成した検液 (6 検体) の範囲。なお、中和時の土槽排水の pH は 6~7.5 であった。

なお、本実証調査では、砒素の物質収支において、約 1 割程度の砒素が除去されていることが推定される結果が得られた。また、溶出砒素試料を試験室で再度中和したところ、目標値以下となったものもあった。このことから、目標値が達成できなかった原因は、洗浄期間の不足と中和処理の不十分さが考えられる。

表 4 砒素の物質収支

		単位	ケース 1	ケース 3	ケース 4	合計
全含有量 (総重量)	処理前 (A)	g	125.0	21.7	21.7	168.4
	処理後 (B)	g	119.0	21.2	22.9	163.1
全含有量から求めた除去率 ((A-B)/A)		%	4.8	2.3	-5.5	3.1
排水中の除去量 (C)		g	20.4	0.338	0.465	21.2
排泥中の砒素量 (D) [*]		g	汚泥量 : 1.2m ³ 、SS : 59g/m ³ 砒素濃度 : 145mg/kg			10.3
排水から求めた除去率 (C/A)		%	-			12.6

※ : 排泥中の砒素量 (D) は排水中の除去量 (C) の内数

②処理水

pH : 中和処理により、pH5.8~8.6 の範囲に安定的に調整できた。

砒素 : 処理水の砒素濃度は 0.001mg/L 以下であり、排水基準以下であった。

③副生成物など

排水処理後の汚泥 4.6m³ は、産業廃棄物として処分した。

(4) 実用性についての考察

○安定性

透水性が小さい土壌では、必要な洗浄水量を確保するため、吸引ポンプを用いて浄化に必要な循環回数を確保する必要があった。

○安全性

実証期間中の粉じん濃度は 0.032~0.050mg/m³、大気中の砒素濃度は 0.0003mg/m³ 未満、発

生源から 5m 以内における騒音は 61dB 以下、振動は 30dB 以下であった。

(5) 経済性についての考察

本実証調査では砒素溶出量 0.01mg/L 以下に浄化することができなかつたため、経済性を算出する根拠を得ることができなかつた。10,000t を処理すると仮定して、十分な洗浄・中和期間を設けた試算では、15,500 円/t となつた。

(6) 周辺環境への負荷

①環境大気

○排出濃度・量：該当なし

○周辺大気中濃度への影響

実証調査時の粉じん濃度は 0.032～0.050mg/m³、大気中の砒素濃度は 0.0003mg/m³未満であり、粉じん濃度は大気環境基準、砒素濃度は管理濃度以下であった。

②排水

洗浄液を処理した排水は 10m³ 発生した。処理水中の砒素濃度は 0.001mg/L 以下、ふっ素濃度は 0.1～0.25mg/L であり、排水基準以下のため下水に放流した。

③騒音・振動

発生源より 5m 以内の騒音は 61dB 以下、振動は 30dB 以下であった。

④二酸化炭素排出量

本実証調査における二酸化炭素排出量は、223kg-CO₂/t であつた。10,000t を処理すると仮定して、十分な洗浄・中和期間を設けた試算では、17.4kg-CO₂/t であつた。

検討会概評

本技術は、砒素汚染土壌を掘削してピット内に集約し、安価な水酸化ナトリウム溶液を通水することにより砒素の溶出を促進させて汚染物質を除去する技術である。

実証調査では、目標の砒素溶出量 0.01mg/L 以下は達成できない結果となった。一方、周辺環境へ負荷を与えるような影響は見られなかった。

目標値まで浄化できなかった原因としては、洗浄期間が不足していたことの影響はあるが、処理後の中和処理が不十分であったこと、透水性の小さい土壌については隅々まで洗浄が行われにくいことが考えられる。

このため、本技術については、土壌と洗浄液との接触効率向上、処理後土壌の中和方法、適用可能な土壌の透水係数、適正な洗浄期間の設定などについての検討が必要である。

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	土壌溶出量 (砒素)	指定基準以下 (0.01mg/L)	本実証においては、浄化目標を達成できなかった。 このため、 ① カラム実験結果等も踏まえ、十分な通水量と洗浄期間の確保 ② 土壌洗浄液の均等接触のための注入ピッチの最適化 ③ 洗浄液の均等な浸透状況の適時確認 ④ 洗浄の最終段階における塩類の除去 ⑤ 排水出口の pH が 7 以下となったことの確認等の改善に向けた対策を図る必要があるとともに、追跡調査が必要である。
	処理の効率及びコスト	掘削除去での費用以下 (20,000 円/m ³ 以下)	本実証調査においては浄化目標を達成できなかったが、十分な洗浄・注水期間を設けた試算では、10,000t 処理時 15,500 円/t であった。 このため、本技術の実用化を図るための上記課題の解決に向けた対策を図る必要がある。
	土壌の pH	処理後、5～9 の範囲	pH が 9 を超過したため、排水出口の pH が 7 以下となったことの確認等の中和処理の改善に向けた対策を図る必要がある。
環境負荷	循環水の処理	放流時、排水基準以下 (有害物質、pH)	排水基準に適合したため、目標を達成。
	周辺環境影響	粉塵中砒素濃度 (特定有害物質作業環境基準以下) (0.003mg/m ³)	作業環境基準に適合したため、目標を達成。

別紙（技術の名称：重金属類汚染土壌のオンサイト洗浄工法）

1. 費用の算出

○実証対象技術のコストについて

コスト計算に当たっては、以下の条件を前提として試算している。

1) 試算前提の主要諸元

汚染土壌濃度（溶出量）	： 砒素 溶出量 0.1 mg/L
目標処理濃度（溶出量）	： 砒素 溶出量 0.01mg/L
処理量（t [*] ）	： 10,000 t
	※単位体積重量(t/ m ³)を1.6とした
処理能力（t/h）	： 土槽設置 60t/h、オンサイト洗浄 0.6t/h
運転時間（h）	： 土槽設置 8h/日、オンサイト洗浄 24h/日
稼働日数（日）	： 土槽設置 90日、オンサイト洗浄 730日
処理時間（年）	： 2年3ヶ月
処理条件	： 土壌見掛け密度 1.6t/m ³ 、土壌透水係数 10 ⁻⁴ cm/s 以上 土槽ピット（42m×42m×3.5mH）を敷地内に構築可能 地上部に洗浄液作成・排水処理・薬液貯留スペース 150m ² （10m×15m）が確保できる。 処理土壌 1m ³ に対し洗浄液 32m ³ を循環洗浄し、飽和炭 酸水 6m ³ を通水し中和する 浄化確認後の土壌及びピットは残置
減価償却期間（年）	： 工事期間で全損とする
工費の試算範囲内	： 汚染箇所の土壌掘削、埋め戻し、光熱水費、資機材費、 薬剤費、モニタリング経費、人件費、排水処理費、汚 泥処分費、ピット構築
工費の試算範囲外	： 事務所、共通仮設、浄化完了後のピット撤去費、経費

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様に算定された。

総費用（10,000t 処理時）	155,000,000 円
処理単価	15,500 円/t

2. 二酸化炭素排出量の算出

○実証対象技術の炭酸ガス排出量について

二酸化炭素排出量の計算に当たっては、以下の前提として試算している。

※地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条一のロ（平成14年12月19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。

算定根拠

汚染場所の掘削工事時の軽油使用量	： 19,000 L
ピット構築時の軽油使用量	： 9,500 L
実規模プラント運転時の軽油使用量	： 726 L
実規模プラント運転時の電力使用量	： 175,200 kWh

算出式

$$\begin{aligned} & \text{軽油使用量}(19,000 \text{ L} + 9,500 \text{ L} + 726 \text{ L}) \times \text{排出係数}(2.62 \text{ kg-CO}_2/\text{L}) \\ & + \text{電力使用量}(175,200 \text{ kWh}) \times \text{排出係数}(0.555 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh}) = 174,000 \text{ kg-CO}_2 \end{aligned}$$

総排出量 (10,000t 処理時)	174 t-CO ₂
排出原単位	17.4 kg-CO ₂ /t