S2-19　実施措置等の適用可能性試験の手引き（事例集）に関する検討

〇山崎将義[1]・羽渕博臣[1]・大久保敬祐[1]・森岡錦也[1]・西田憲司[1]・
土壌汚染の除去等の措置の適用可能性試験に関する調査・検討部会（第2期）[1]
[1]土壌環境センター

部会HP
関連情報掲載中

1. 背景・目的

土壌汚染対策法（以下、法）において実施措置として土壌汚染の除去等の処理方法（以下、処理技術）を適用する場合、予め適用可能性試験等を行い措置技術の適用性を確認することが規定されているが、その具体的な手順等は示されていない。

⇒土壌環境センター（以下、センター）では、適用可能性評価のための室内試験（以下、室内試験）の方法・手順について検討を行い、これまでにオンサイト洗浄処理をはじめ、計5つの措置技術について室内試験の具体例を提示した。

本検討の目的：適用可能性試験の具体例の活用促進・普及

オンラインで利用でき手元に置いて使える試験の手引き（事例集）を検討

2. 手引き（事例集）の概要

2.1 手引き（事例集）とは？

本書は、実施措置や自主対策に適用する処理技術を選ぶ場合に候補の技術を対象に適用可能性試験を計画・実施するにあたり、参考になる試験方法（室内試験）の具体例を示したツール。

⇒土壌汚染対策法に基づく調査及び措置ガイドライン（以下、ガイドライン）や環境省の区域内措置優良化ガイドブック（以下、ガイドブック）の副読本として活用することを想定し作成。（図1：目次案参照）

⇒行政等との打合せで参考資料として活用される場面も想定し、適用可能性試験の位置付けを深く理解できる内容を「概説」に掲載。

2.2 汚染除去等計画に記載する事項

法に基づく実施措置を行う場合、措置実施者は予め適用可能性試験等を行い、適用性を確認した結果を汚染除去等計画に記載し、行政に提出して確認を受けなければならない。

【計画に記載する事項：5項目】
①実施措置の種類、②処理の種類、③処理方法の区分、
④処理の対象、⑤適用性の確認方法。

⇒⑤「適用性の確認方法」に、適用性を確認した試験等の方法と結果を記載（表1）。

2.3 適用可能性試験（室内試験）の位置付け

- 本書に例示する室内試験は、処理技術の検討プロセスにおいて、実施措置に用いる技術を選定する段階で活用（図2）。
- 参考情報として適用性の確認が必要な実施措置をリストアップし、室内試験で確認する項目・方法を整理した一覧表（表2）を掲載。

2.4 基本書式・構成（例：オンサイト洗浄処理）

【本書の基本書式・構成】
①イメージ図/技術の概要/室内試験概要フロー
②試験フロー例（留意点含む）
③参考文献
④試験チェックリスト
（上記①、②は図3参照）

【特長】
- オンライン利用時は、試験のフローと留意点のページ間をクリックボタンで相互アクセス可能。本書の目次（図1）にもクリックボタンを配備し、閲覧したいページに直接アクセス可能。
- 参考資料として、ガイドブックに基づいた試験チェックリストの例を掲載。（報文の表3ご参照）

目次

1.　概説

1-1. 本書の背景・目的・・・・・・・・・・・・・・（頁番号省略）
1-2. 本書の適用対象・・・・・・・・・・・・・・・
1-2-1. 汚染除去等計画に記載する事項 ・・・・
（法による規定）
1-2-2. 適用性の確認の方法、確認すべき項目 ・
1-2-3. 処理技術の検討プロセスフロー ・・・・
1-2-4. 適用可能性試験の定義等 ・・・・・・・
1-3. 用語の定義（一覧表）・・・・・・・・・・・

2. 処理技術の適用可能性試験の手引き

2-1. オンサイト洗浄処理・・・・・・・・・・・・
イメージ図/技術の概要/室内試験概要フロー・・
試験フロー
1. 試験前の確認（前提条件等）・・・・・・ フロー 留意点
2. 試料採取 ・・・・・・・・・・・・・・・
3. 試料調整 ・・・・・・・・・・・・・・・
4. 事前分析 ・・・・・・・・・・・・・・・ フロー 留意点
5. 洗浄処理試験 ・・・・・・・・・・・・・ フロー 留意点
6. 結果まとめ（適用性の評価）・・・・・・ フロー 留意点
参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・
試験チェックリスト ・・・・・・・・・・・・

2-2. 原位置生物処理 ・・・・・・・（以下略 ∵準備中）

図1　手引き（事例集）の目次案

表1　適用性の確認方法および確認する項目
（ガイドライン Appendix-22より引用）

適用性の確認方法（適用性を確認するための試験等の結果）	①現地採取試料を用いた室内試験結果 ②現地で行ったパイロット試験（掘削した土壌を用いて現地に設置した処理施設で行う試験や、土壌を掘削せずに原位置で行う試験等）や試験施工の結果 ③同一事業所において、過去に適用性を確認した結果あるいは汚染除去等工事の実施結果 ④措置対象地と同様な地盤環境（同様な地質や地下水環境、土壌の汚染状態である場合をいう。）を有する土地において、過去に適用性を確認した結果あるいは汚染除去等工事の実施結果 ⑤その他、上記①～④と同等あるいは同等以上の結果
適用性を確認する項目	①汚染の除去等の処理対象となる特定有害物質（土壌汚染状況調査等において基準不適合となった特定有害物質及び汚染の除去等の処理の過程で基準不適合となるおそれがある特定有害物質）及び土壌の汚染状態（土壌溶出量及び土壌含有量） ②汚染の除去等の原理及び処理フロー ③汚染の除去等の処理対象となる地質及び地下水に係る情報（土質の種類、地下水の有無及びpH等の地下水環境に係る情報等） ④汚染の除去等の処理の適用性を確認できる試験結果（土壌溶出量及び土壌含有量等）及び処理に要する期間 ⑤実績の有無

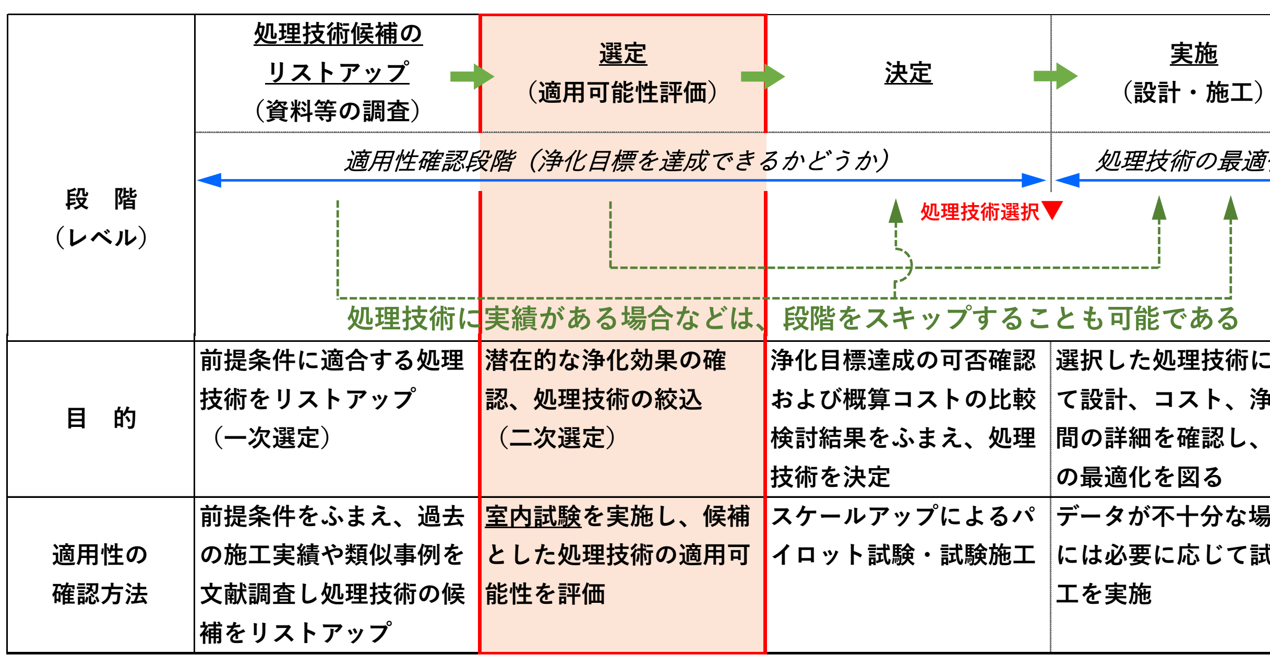

段　階
（レベル）
処理技術候補のリストアップ
（資料等の調査）
選定
（適用可能性評価）
決定
実施
（設計・施工）
適用性確認段階（浄化目標を達成できるかどうか）
処理技術の最適化
処理技術選択
処理技術に実績がある場合などは、段階をスキップすることも可能である
目　的
前提条件に適合する処理技術をリストアップ（一次選定）
潜在的な浄化効果の確認、処理技術の絞込（二次選定）
浄化目標達成の可否確認および概算コストの比較検討結果をふまえ、処理技術を決定
選択した処理技術について設計、コスト、浄化期間の詳細を確認し、処理の最適化を図る
適用性の確認方法
前提条件をふまえ、過去の施工実績や類似事例を文献調査し処理技術の候補をリストアップ
室内試験を実施し、候補とした処理技術の適用可能性を評価
スケールアップによるパイロット試験・試験施工
データが不十分な場合等には必要に応じて試験施工を実施

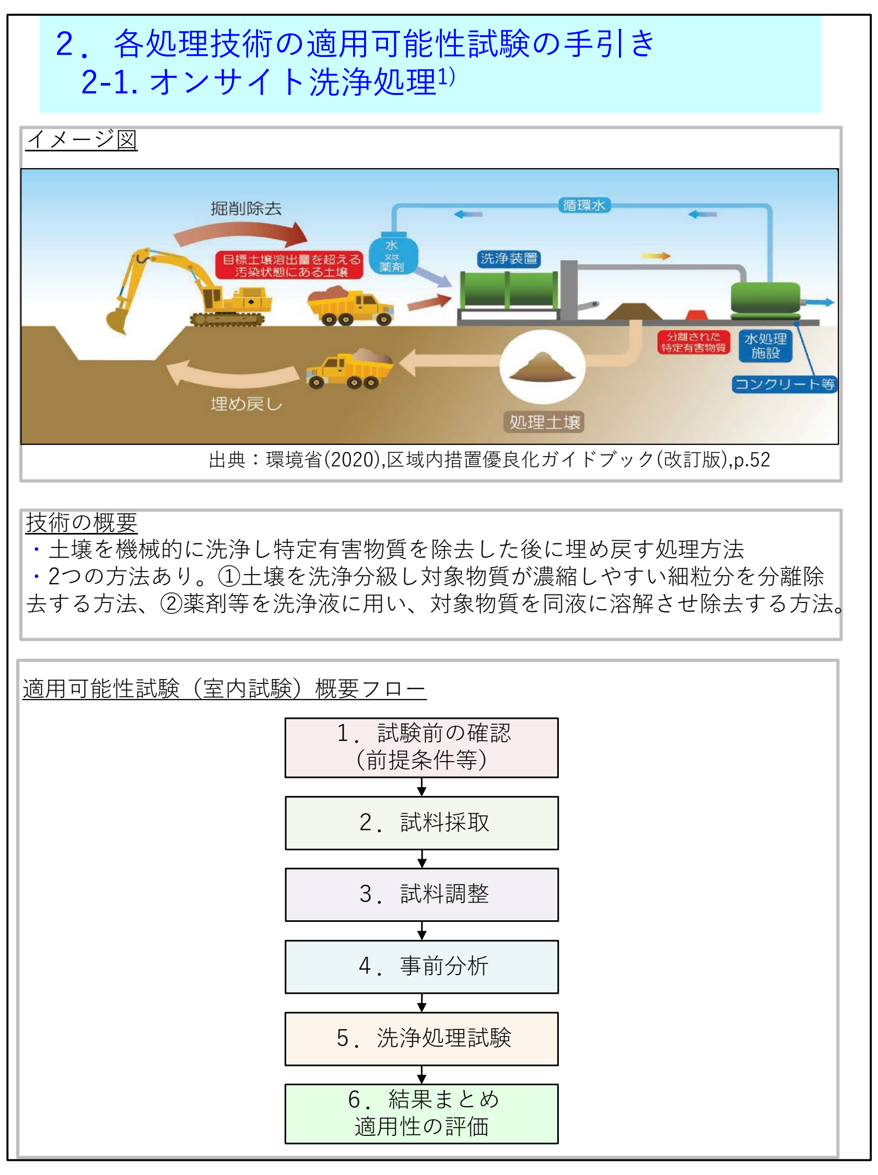
図2　処理技術の検討プロセスフロー

（出典：岡田ら（2024），第29 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，S1-06）

表2　適用性の確認が必要な実施措置

分類	実施措置の種類	対象の特定有害物質※1			適用可能性試験によって確認する事項※2	
		第一種	第二種	第三種	チェック項目	チェック方法
土壌汚染の管理	原位置封じ込め	○	○	○	第二溶出量基準に適合していない土壌は、第二溶出量基準に適合させるようになっているか	不溶化等に係る適用可能性試験による確認
					底部層等が所定の遮水効果を有するような遮水構造になっているか	透水試験等による透水係数の確認
	遮水工封じ込め	○	○	○	第二溶出量基準に適合しない汚染状態にある土壌は、第二溶出量基準に適合する汚染状態にすることができるか	不溶化等に係る適用可能性試験による確認
					遮水構造物が所定の遮水効果を有するようになっているか	材料証明書や透水試験等による透水係数の確認
	透過性地下水浄化壁	○	○	○	浄化壁の厚さは、浄化壁下流側において特定有害物質（原理が分解の場合は分解生成物も含む）の地下水濃度が目標地下水濃度を超えない（分解生成物は地下水基準に適合する）汚染状態となる設計となっているか	適用可能性試験が現地の地下水濃度、地下水環境、pH、酸化還元電位、妨害物質等、地下水流速を反映した内容となっているかの確認
	不溶化埋め戻し	－	○	－	適用可能性試験で効果を確認できたか	現地の土壌の使用、不溶化の可否、不溶化剤の混合比率、不溶化対象物質以外の特定有害物質の溶出量変化等についての確認
					安定性確認試験を行ったか	pH の変化等に対する安定性が確認されているかについて確認
	原位置不溶化	－	○	－	適用可能性試験で効果を確認できたか	現地の土壌の使用、不溶化の可否、不溶化剤の混合比率、不溶化対象物質以外の特定有害物質の溶出量変化等についての確認
					安定性確認試験を行ったか	pH の変化等に対する安定性が確認されているかについて確認
					強度試験は必要ないか。固化材は弊害を生まないか	適用可能性試験結果報告書の確認
土壌汚染の除去／オンサイト浄化	熱処理（加熱脱着・熱抽出）	○	△ 水銀、シアン化合物	○	必要に応じ、事前に小規模の試験機等で適用性を確認しているか	現地で採取した土壌を用いて小型試験機で試験を行い、浄化効果、物質収支の検討、適用性、浄化期間の予測を実施
	洗浄処理（土壌洗浄）	×	○	○	事前に適用可能性試験等で適用性を確認しているか	現地で採取した土壌を用いて洗浄処理試験を行い、浄化効果、物質収支の検討、適用性、浄化期間等の予測を実施
	化学処理	○	△ シアン化合物	○	適用可能性試験で効果を確認できたか	現地で採取した土壌を用いた適用可能性試験にて検証
	生物処理（ランドファーミング）	○	△ シアン化合物	△	事前に適用可能性試験等で適用性を確認しているか	現地で採取した土壌を用いて生物処理試験を行い、浄化効果、物質収支の検討、適用性、浄化期間の予測を実施
	抽出処理（生石灰混合）	○	×	×	適用可能性試験で効果を確認できたか	現地で採取した土壌を用いた適用可能性試験にて検証
	磁力選別	×	△ ほう素除く	×	事前に適用可能性試験等で適用性を確認しているか	現地で採取した土壌を用いて磁力選別試験を行い、浄化効果、物質収支の検討、適用性、浄化期間等の予測を実施
土壌汚染の除去／原位置浄化	加熱脱着※3（原位置抽出）	○	△ 水銀	△ PCB	（記載なし） ［参考］設計条件のチェック項目として以下の記載あり ・抽出した有害物質の回収方法は妥当か ・特定有害物質を処理できるか（処理量・処理濃度） ・処理において副次的に有害な物質や臭気が発生しないか ・騒音・振動レベルを把握しているか	（記載なし） ［参考］設計条件のチェック方法として以下の記載あり ・機器性能の確認（左記全項目共通）
	化学処理（原位置分解）	○	△ シアン化合物	△	適用可能な効果を確認できたか。分解生成物は生じたか	現地で採取した土壌・地下水を用いた適用可能性試験にて検証、あるいは実績を確認
					現地にて設計の妥当性を確認できたか	現地にて原位置試験を行い、効果、計画量の注入、影響範囲等の設計の妥当性を検証
	生物処理（原位置分解）	○	△ シアン化合物	△	・適用可能性試験で効果を確認できたか ・適切な栄養物質等を選定できたか ・（バイオオーギュメンテーションの場合）適切な微生物を選定できたか	現地で採取した土壌や地下水を用いた室内試験等で検証
					現地にて設計の妥当性を確認できたか	現地で原位置試験を行い、効果及び設計条件の妥当性を検証
	ファイトレメディエーション	△	△	△	事前に適用可能性を確認しているか	施工計画書の確認
	原位置土壌洗浄	○	○	○	溶出促進剤の種類と濃度は適切か（溶出効果はあるか、土壌中で安定か）	適用可能性試験結果、既存文献等の確認
					設計どおりの仕様で揚注水・薬剤供給・水処理ができるか	実績や現場試験等の確認

注 ※1. 対象物質凡例　○：全ての物質に適用可、△：一部の物質に適用、×：適用できない、－：対象外
※2. チェック項目とチェック方法は、区域内措置優良化ガイドブックにおける各実施措置のチェックリスト例より室内試験と適用可能性試験の部分を抜粋
※3. ガイドラインの本編には掲載されていないが、同Appendix-22に最新技術として掲載されている


2．各処理技術の適用可能性試験の手引き
2-1. オンサイト洗浄処理[1)]

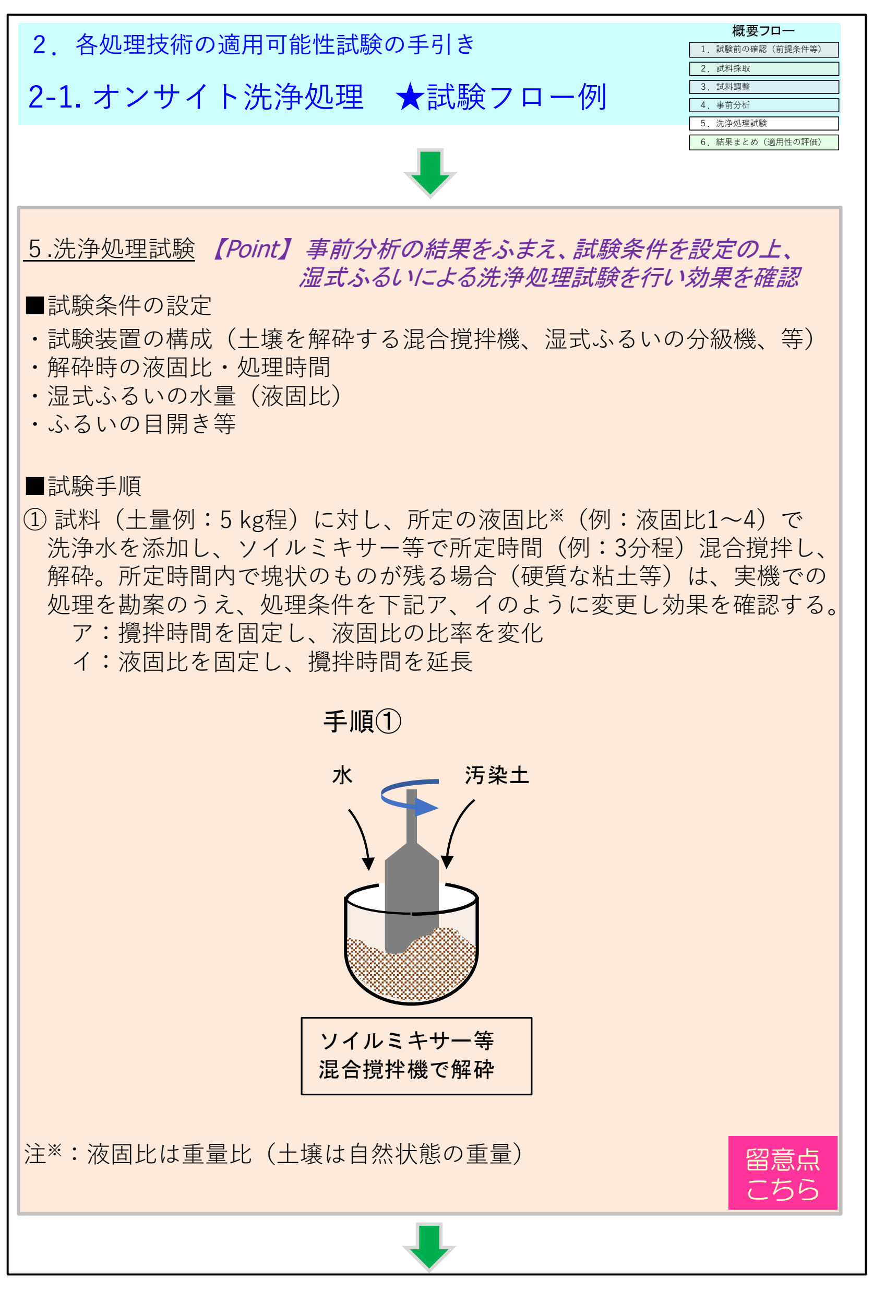
イメージ図

出典：環境省(2020),区域内措置優良化ガイドブック(改訂版),p.52

技術の概要
・土壌を機械的に洗浄し特定有害物質を除去した後に埋め戻す処理方法
・2つの方法あり。①土壌を洗浄分級し対象物質が濃縮しやすい細粒分を分離除去する方法、②薬剤等を洗浄液に用い、対象物質を同液に溶解させ除去する方法。

適用可能性試験（室内試験）概要フロー
1．試験前の確認（前提条件等）
2．試料採取
3．試料調整
4．事前分析
5．洗浄処理試験
6．結果まとめ　適用性の評価

(a) イメージ図／技術の概要　／室内試験概要フロー


2．各処理技術の適用可能性試験の手引き
2-1. オンサイト洗浄処理　★試験フロー例

5.洗浄処理試験　*【Point】事前分析の結果をふまえ、試験条件を設定の上、湿式ふるいによる洗浄処理試験を行い効果を確認*

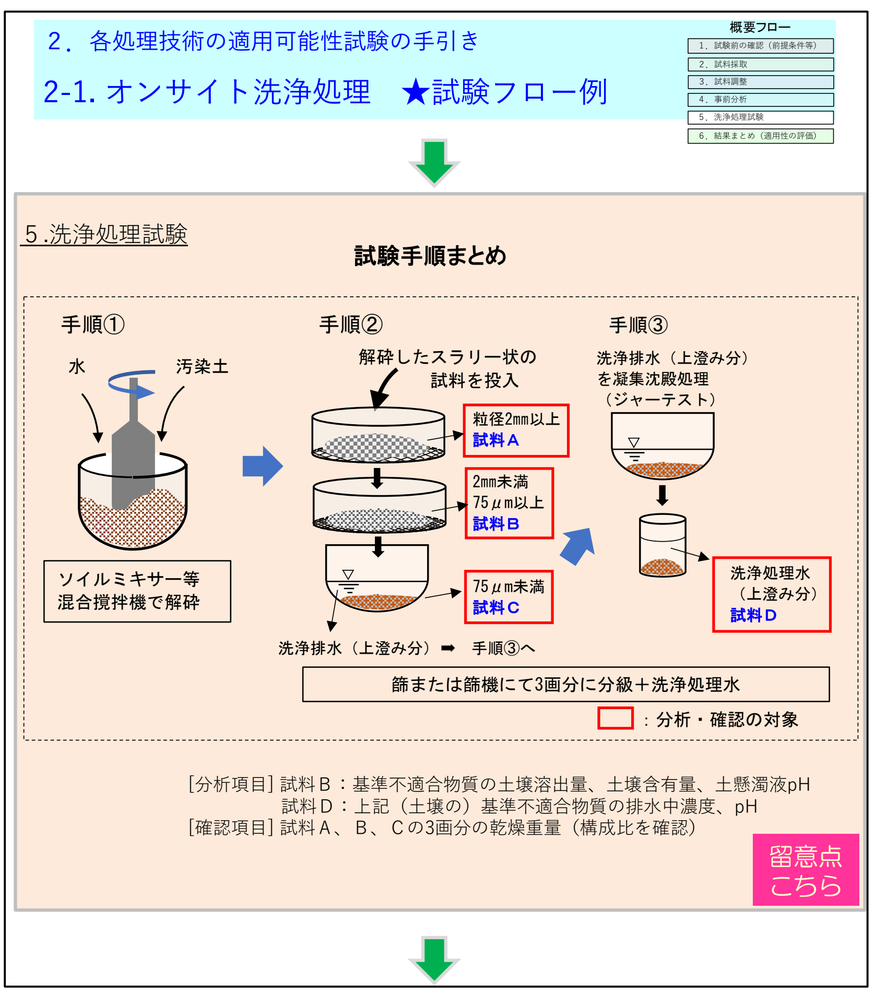
■試験条件の設定
・試験装置の構成（土壌を解砕する混合撹拌機、湿式ふるいの分級機、等）
・解砕時の液固比・処理時間
・湿式ふるいの水量（液固比）
・ふるいの目開き等

■試験手順
① 試料（土量例：5 kg程）に対し、所定の液固比※（例：液固比1～4）で洗浄水を添加し、ソイルミキサー等で所定時間（例：3分程）混合撹拌し、解砕。所定時間内で塊状のものが残る場合（硬質な粘土等）は、実機での処理を勘案のうえ、処理条件を下記ア、イのように変更し効果を確認する。
ア：撹拌時間を固定し、液固比の比率を変化
イ：液固比を固定し、撹拌時間を延長

注※：液固比は重量比（土壌は自然状態の重量）

留意点こちら

(b) 試験フロー例（抜粋1）


2．各処理技術の適用可能性試験の手引き
2-1. オンサイト洗浄処理　★試験フロー例

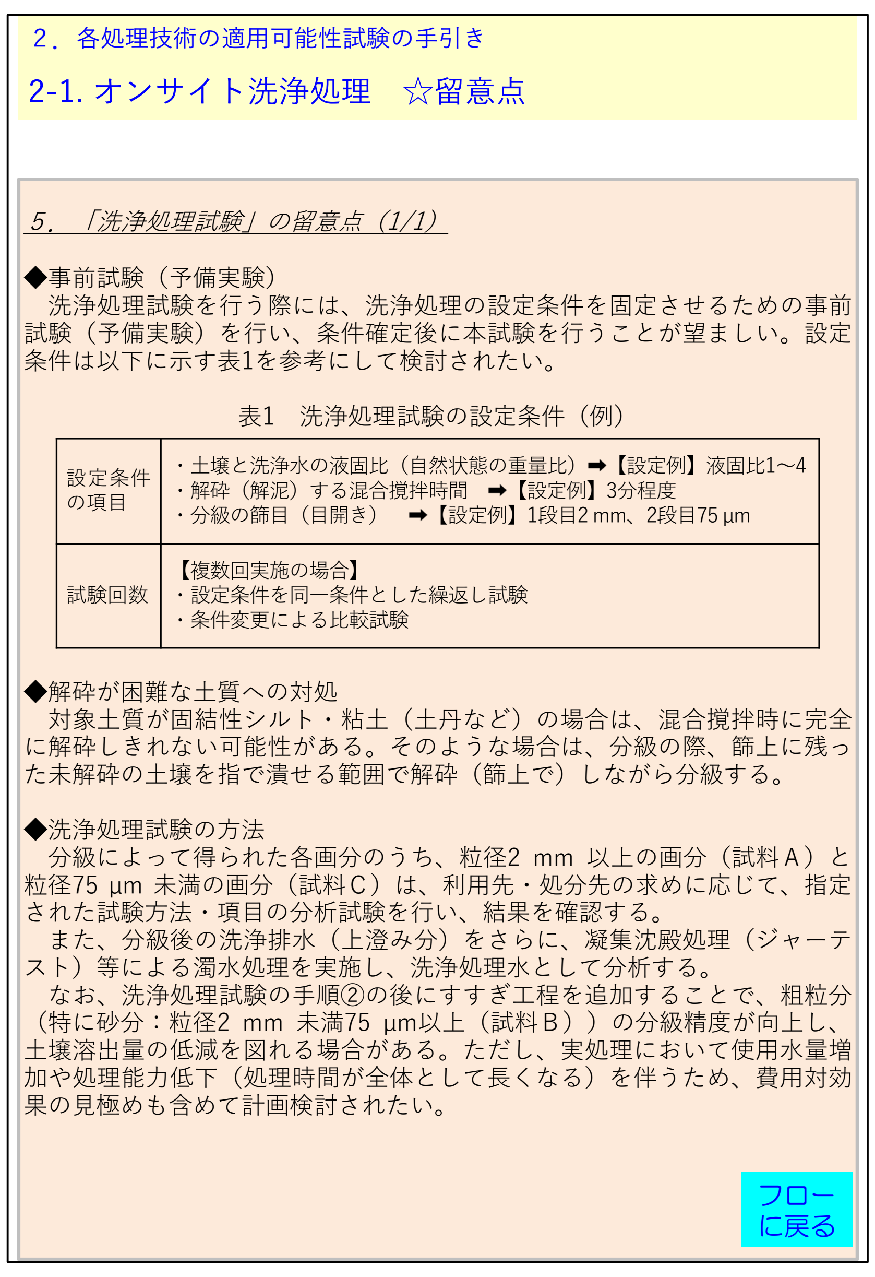
5.洗浄処理試験

試験手順まとめ

［分析項目］試料Ｂ：基準不適合物質の土壌溶出量、土壌含有量、土懸濁液pH
試料Ｄ：上記（土壌の）基準不適合物質の排水中濃度、pH
［確認項目］試料Ａ、Ｂ、Ｃの3画分の乾燥重量（構成比を確認）

留意点こちら

(c) 試験フロー例（抜粋2）


2．各処理技術の適用可能性試験の手引き
2-1. オンサイト洗浄処理　☆留意点

5.　「洗浄処理試験」の留意点（1/1）

◆事前試験（予備実験）
洗浄処理試験を行う際には、洗浄処理の設定条件を固定させるための事前試験（予備実験）を行い、条件確定後に本試験を行うことが望ましい。設定条件は以下に示す表1を参考にして検討されたい。

表1　洗浄処理試験の設定条件（例）

設定条件の項目	・土壌と洗浄水の液固比（自然状態の重量比）➡【設定例】液固比1～4 ・解砕（解泥）する混合撹拌時間　➡【設定例】3分程度 ・分級の篩目（目開き）　➡【設定例】1段目2 mm、2段目75 μm
試験回数	【複数回実施の場合】 ・設定条件を同一条件とした繰返し試験 ・条件変更による比較試験

◆解砕が困難な土質への対処
対象土質が固結性シルト・粘土（土丹など）の場合は、混合撹拌時に完全に解砕しきれない可能性がある。そのような場合は、分級の際、篩上に残った未解砕の土壌を指で潰せる範囲で解砕（篩上で）しながら分級する。

◆洗浄処理試験の方法
分級によって得られた各画分のうち、粒径2 mm 以上の画分（試料Ａ）と粒径75 μm 未満の画分（試料Ｃ）は、利用先・処分先の求めに応じて、指定された試験方法・項目の分析試験を行い、結果を確認する。
また、分級後の洗浄排水（上澄み分）をさらに、凝集沈殿処理（ジャーテスト）等による濁水処理を実施し、洗浄処理水として分析する。
なお、洗浄処理試験の手順②の後にすすぎ工程を追加することで、粗粒分（特に砂分：粒径2 mm 未満75 μm以上（試料Ｂ））の分級精度が向上し、土壌溶出量の低減を図れる場合がある。ただし、実処理において使用水量増加や処理能力低下（処理時間が全体として長くなる）を伴うため、費用対効果の見極めも含めて計画検討されたい。

フローに戻る

(d) 留意点（抜粋3）

図3　手引きの基本書式イメージ（オンサイト洗浄処理の例）

3. オンライン掲載のイメージと利点

◆ 本書はオンラインで手軽に利用でき、試験時に手元に置いて使えるツールとして、センターHPに掲載することを計画している。まずはセンター会員専用サイトに設置し試験運用を行い、不具合の有無や使い勝手等を確認し改善を図る。次段階として将来的に一般公開を目指す。

◆ オンラインの特長を活かし、公開されている参考文献はURLリンクを付けて簡便に参照できるようにし、実務効率化を図る予定である。

4. おわりに

今後、室内試験例を作成済の他の処理技術（原位置生物処理、透過性地下水浄化壁、原位置化学処理、原位置加熱脱着処理）についても、手引き（事例集）として活用できるように仕上げて、これらの事例集をセンターHPに掲載する予定である。

一般社団法人
土壌環境センター
GEPC Geo-Environmental Protection Center

【参考：当部会の他の発表】
S2-18　透過性地下水浄化壁（分解）に関する適用可能性試験の検討
S3-23　原位置化学処理（酸化分解）に関する適用可能性試験の検討
S4-19　原位置化学処理（還元分解）に関する適用可能性試験の検討 －第2報－
S4-20　原位置加熱脱着処理に関する適用可能性試験の検討 －第2報－