

## (S3-02) 重金属汚染土壌のオンサイト処理に関する適用可能性試験の検討

○森岡錦也<sup>1</sup>・佐藤 毅<sup>1</sup>・山崎将義<sup>1</sup>・田村和広<sup>1</sup>・西田憲司<sup>1</sup>・  
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<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>土壌環境センター

### 1. はじめに

平成29年に改正された土壌汚染対策法（以下「法」という）の第2段階施行（平成31年4月1日）により、汚染除去等の措置としてオンサイト又は原位置での浄化処理や不溶化処理を採用しようとする場合、その処理方法を適用するにあたり、事前に適用可能性試験等を行ってその効果を確認し、試験結果等を汚染除去等計画に記載しなければならないこととされた<sup>1)</sup>。適用性を確認する基本的な考え方については、土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン（改定3.1版）<sup>2)</sup>（以下「調査及び措置ガイドライン」という）の「汚染除去等計画を作成するに当たり、汚染の除去等の処理方法の適用性を確認する方法」において、措置の種類毎に「適用性が確認できる」とはどのような状態であるか、が示されている。さらに、Appendix 22に対象となる実施措置、適用性を確認する方法および適用性を確認する項目について示されているものの、実施措置の処理対象となる土質の種類、汚染状態等に応じて適正な処理の方法が異なるため、処理の方法を省令で一律に定めることは難しいことから、具体的な方法や手順等は示されていない。

このような背景から適用可能性試験は、現状、各社の裁量や工夫により実施していると考えられる。よって、ステークホルダーへの説明に際し適用可能性の根拠が示せない、適用可否の判断方法や判断基準をその都度検討する必要性が生じる等非効率で、対策着手に遅延が生じる懸念もある。そのため、適用可能性を判断する方法を具体化しておくことが重要であり、その標準化が望まれる。そこで、標準的な方法や手順等を提案することを目的として、土壌環境センター（以下「センター」という）に設置した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（以下「適用性試験部会」という）にて、オンサイト浄化と原位置浄化を対象に調査・研究を行っている。

本報では、オンサイト浄化、原位置浄化のうち、重金属等汚染土壌のオンサイト処理に関し、適用可能性試験の手順の一例および留意点等について検討結果を報告する。

なお、原位置浄化における適用可能性試験について別途、「塩素化エチレン類による土壌・地下水汚染の原位置生物処理に関する適用可能性試験の検討」<sup>3)</sup>として投稿しているので、標準化を目指す議論のため本報と合わせて参考にされたい。

### 2. 適用可能性試験に関する資料整理

汚染除去等計画の作成の対象となる実施措置および処理の種類、適用性の確認方法、要求品質事項および留意点等について、調査及び措置ガイドラインと区域内措置優良化ガイドブック<sup>4)</sup>（以下「ガイドブック」という）を対象に整理した。

#### 2.1 調査及び措置ガイドライン

調査及び措置ガイドライン Appendix 22 では、適用性を確認する必要がある実施措置の種類、汚染除去等計画に記載する項目が示されている。また、実施措置としてオンサイト浄化による掘削除去等を実施しようとする場合の留意点が示され、汚染の除去等の処理方法の選定にあたっては、同 Appendix 22 を参考にし、その適用性について確認することが望ましいとされている。

##### 2.1.1 適用性を確認する必要がある実施措置の種類

地下水の摂取等および直接摂取によるリスクに係る実施措置うち、土壌汚染の除去において適用性を確認する必要がある実施措置の種類を表-1に示す。

---

Study on applicability test for on-site purification of heavy metal-contaminated soil

Kinya Morioka<sup>1</sup>, Takeshi Sato<sup>1</sup>, Masayoshi Yamazaki<sup>1</sup>, Kazuhiro Tamura<sup>1</sup>, Kenji Nishida<sup>1</sup> and Study Group on  
Applicability test of measures such as removal of soil contamination<sup>1</sup> (<sup>1</sup>GEPC)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-5 KS ビル 3F （一社）土壌環境センター

TEL03-5215-5955 FAX03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

表－1 土壌汚染の除去において適用性を確認する必要がある実施措置の種類<sup>2)</sup>  
(地下水の摂取等および直接摂取によるリスクに係る実施措置)

分類		実施措置の種類
土壌汚染の除去	掘削除去 (オンサイト浄化)	熱処理、洗浄処理、化学処理、生物処理、抽出処理 <sup>※1</sup> (生石灰添加、真空抽出、磁力選別)
	原位置浄化	原位置抽出 <sup>※1</sup> (地下水揚水 <sup>※2</sup> 、加熱脱着)、原位置分解 (化学処理、生物処理)、ファイトレメディエーション、原位置土壌洗浄

※1 地下水の摂取等によるリスクに係る実施措置のみに適用

※2 揚水設備における地下水の揚水能力に係る確認は除く

### 2.1.2 汚染除去等計画に記載する内容

汚染除去等計画への記載例として、実施措置の種類、処理の種類、処理の区分方法、処理の対象及び適用性の確認方法の4項目が示されているとともに、適用性を確認する項目についても記載する必要があるとされている。適用性の確認方法及び適用性を確認する項目を表－2に示す。

表－2 適用性の確認方法及び適用性を確認する項目<sup>2)</sup>

適用性の確認方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>①現地採取試料を用いた室内試験結果</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> </ul>
適用性を確認する項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>②汚染の除去等の原理及び処理フロー</li> <li>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)</li> <li>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</li> <li>⑤実績の有無</li> </ul>

### 2.2 ガイドブック

ガイドブックでは、各措置技術の概要をはじめ、各措置技術を適正に実施するための要求品質事項や施工管理上のポイント、措置選定の条件および留意点等が解説されている。

また、措置技術毎のチェックリスト例は事前検討の設計段階から施工中、施工後に至るまでのチェック項目および方法が示されており、措置実施者が実サイトの条件に応じたチェックリストを作成する上で参考となる。

### 3. 適用可能性試験の検討対象

重金属等汚染土壌のオンサイト処理において、適用可能性試験の検討対象とする措置方法は、土壌「洗浄処理」とした。土壌環境センター技術委員会実態集計分科会がセンター会員企業を対象に継続的に実施しているアンケート調査<sup>5)</sup>において、表－1の掘削除去 (オンサイト浄化) に該当する「掘削除去－区域内処理」は各年とも回答件数が少なく、実施された措置の種類に明確な傾向はみられないとされている。しかし、汚染の除去等の措置の種類のうち「洗浄処理」が第二種特定有害物質 (重金属等) やその他の物質に対して汎用性が高いことから、適用可能性試験の検討対象とした。

#### 4. 重金属汚染土壌のオンサイト洗浄処理の適用可能性試験手順(案)の作成

洗浄処理方法は、土壌を粒度により分級（湿式洗浄分級）し、特定有害物質が吸着・濃縮しやすい細粒分を抽出（分離）させて除去する方法と、土壌中の特定有害物質を薬剤などの溶媒を用いて洗浄液中に溶解させて除去する方法が一般的である。そして、汚染の状態、土質、規模等、実サイトの条件によって、処理方法（手順、装置構成等）は措置実施者毎に異なることから、事前に行われる適用可能性試験においても試験の諸条件（手順、試験装置、規模等）は統一されたものではないと考えられる。

また、適用可能性試験は実サイトでの処理を想定し、その処理方法をスケールダウンした形で実施されるが、その実施内容や規模は、「①室内試験」、「②現地でのパイロット試験および試験施工」（表-2の適用性の確認方法）により、適用性の確認方法（試験レベル）等に大きな差がある。

本報では、洗浄処理方法として「湿式洗浄分級」を選定、適用性の確認方法を「室内試験」と設定し、試験手順の作成・整理を行った。ただし、以下に示す試験手順（案）は、室内試験として標準的なものではなく、湿式洗浄分級における適用可能性試験の一例であることを留意されたい。

なお、適用可能性試験手順（案）の作成にあたっては、ガイドブック、センター会員企業における実績および知見等を参考に、試験の目的や対象物質を整理するとともに試験手順および留意点等の洗い出し、整理を行った。図-1に室内試験フロー（案）を示す。

##### 4.1 適用可能性試験の目的

本試験は、オンサイトでの洗浄処理について、現地で採取した土壌試料を用いた湿式洗浄分級の室内試験により、処理後の土壌が浄化目標値に適合するか確認することを主目的とする。処理後の分離物、濃縮物および排水等の性状も把握し、現地における処理条件の整理結果と合わせ、物質収支の検討、浄化期間の予測および浄化費用の算出を行うための基礎データ等を収集し、設計（実サイトにおける処理フローや処理プラント設計）に繋げる。

##### 4.2 対象物質

本試験では第二種特定有害物質（重金属等）を対象物質とする。

第二種特定有害物質のうち、シアン化合物、六価クロム化合物および水銀及びその化合物については、適用にあたり以下の点に留意<sup>6)</sup>が必要である。

- ・シアン化合物、六価クロム化合物：洗浄処理により排水側へ移行しやすい
- ・水銀及びその化合物：洗浄処理により揮散しやすい

##### 4.3 室内試験フローの概要

室内試験フロー（図-1）は6つの手順で構成され、各手順における確認項目や実施項目等を図中に示している。

まず、試験前の確認（前提条件等）として、汚染状況および現場・環境条件等を確認・整理する。次に現地にて室内試験用の土壌試料を採取し、試験土壌の性状および汚染状態を土質試験・事前分析にて確認する。それらの結果を踏まえて洗浄処理試験を行い、試験の結果をまとめる。得られた結果をもとに適用性の検討、評価を行い、後の設計条件へフィードバックする。

##### 4.4 適用可能性試験における留意点

適用可能性試験における留意点について、室内試験方法、手順および室内試験設備等が図-1と異なる場合であっても、必須事項として確認が必要なものと確認が望ましいものとに分類・整理した。

###### 4.4.1 確認が必要な留意点

###### ①試料の化学的性質の事前確認

洗浄処理試験前の処理前土壌の化学分析に用いる試料は、環境省告示18号および19号、調査及び措置ガイドライン Appendix9 および Appendix10 の記述に準じて保管および分析を行う。

###### ②試験結果における確認・把握すべき項目

「5 洗浄処理試験」で行う試験方法や手順が、一例で示した内容と異なる場合においても、試験結果から洗浄処理後の土壌および分離物、濃縮物および排水等の性状を確認・把握できるようにする。

###### ③試験結果以外における確認・把握すべき項目

試験結果以外に実サイトの条件も勘案し、対象土量など「1 試験前の確認」で列記した複数の要素や脱水ケーキ発生量などを検討する。

###### ④試験に用いた試料の取り扱い

試験に用いた試料、洗浄処理水および洗浄後の土壌については、法令に従い適切に処理をする。

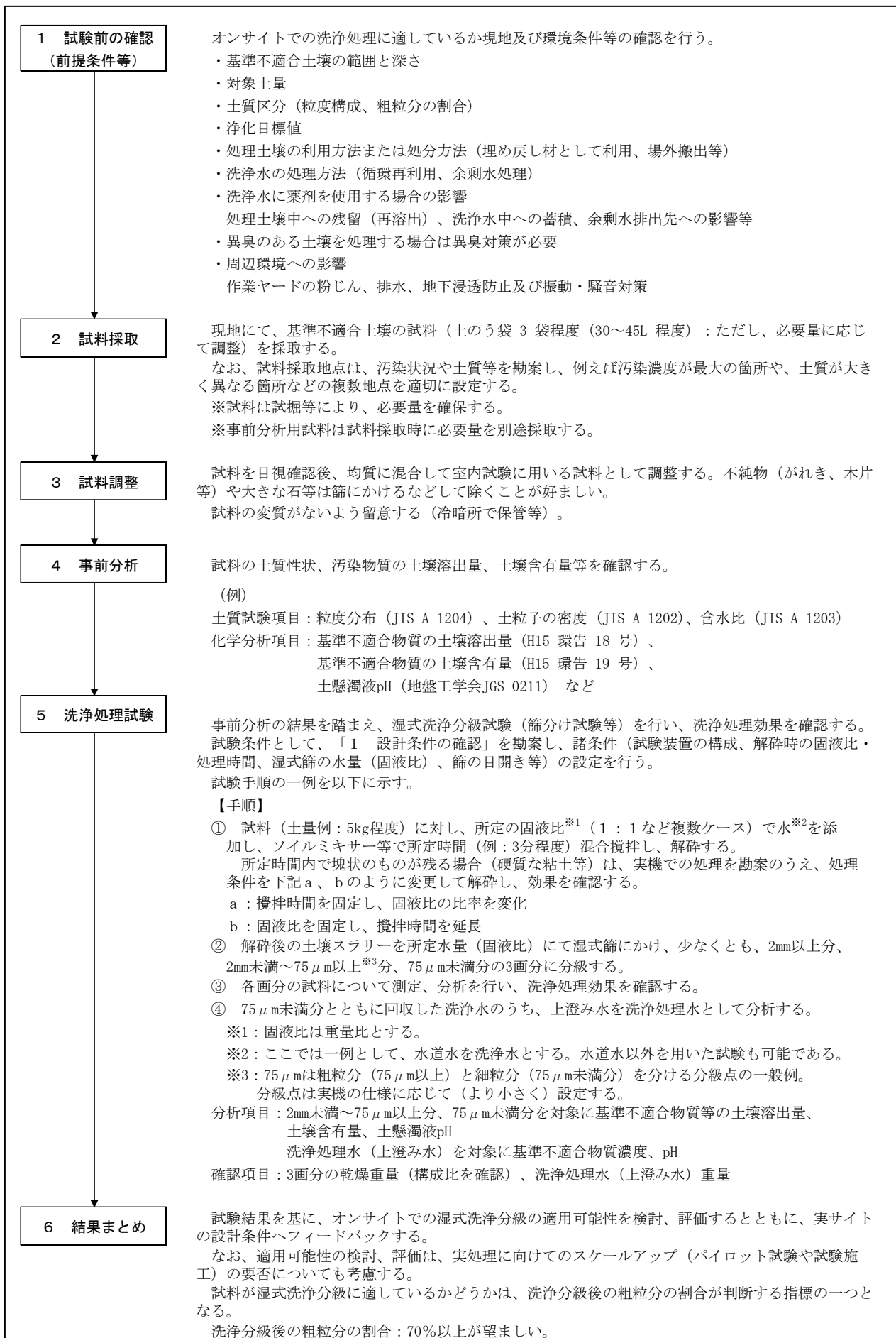


図-1 オンサイト浄化-洗浄処理 適用可能性試験 室内試験フロー (案) の一例<sup>6,7)</sup>

ただし、細粒分（75 $\mu$ m未満：脱水ケーキ）を、土壌もしくは廃棄物として取り扱うかについては、事前に自治体へ確認することが望ましい。

#### ⑤処理後の土壌の取り扱い

処理後の土壌を埋め戻し材として使用する場合は、特定有害物質の浄化確認に加え、細粒分の抜けた粒度分布となり液状化等の懸念があることから、室内試験による確認が必要である。

#### ⑥コンタミネーションの防止

試験に使用する機材、機器等は、その都度洗浄、取り替えるなどコンタミネーションの発生を防止する。

### 4.4.2 確認が望ましい留意点

#### ①処理条件の再検討

1回の処理で洗浄しきれない場合は、複数回洗浄の可否を検討する。ただし、処理コスト・処理時間の増加による経済性・効率性の低下を勘案のうえ判断する必要がある。

#### ②細粒分の処理の検討

細粒分（75 $\mu$ m未満：脱水ケーキ）には一般的に基準不適合物質が濃縮されやすいので、土壌溶出量が第二溶出量基準に適合しない場合も考えられることから、不溶化処理等の検討が必要となる場合がある。

#### ③薬剤を使用する場合の影響

洗浄水に薬剤を使用する場合は、洗浄後の土壌に新たな基準不適合（とくに土壌溶出量）が生じないかを確認しておく。なお、浄化土を埋め戻し材として流用する場合は、薬剤の浄化土への残留についても確認しておく。また、洗浄水の水処理にも影響（方法、工程等）が及ぶことを想定し、排水処理に関する試験等を合わせて検討し実施する。

#### ④水道水以外を洗浄水として使用する場合

実サイトにおいて洗浄水に河川水や地下水の使用を検討する場合、それらを利用して室内試験を行うことが望ましいが、試験実施までに用意が困難な場合は、まず水道水による試験を行い、次に河川水や地下水で試験を行い、水質等の違いによる洗浄効果の比較検討をする。

## 5. おわりに

本報では、土壌汚染の除去等の措置のうち、第二種特定有害物質（重金属等）による汚染土壌のオンサイト処理に関する適用可能性試験の手順および留意点等について、洗浄処理方法の一つである湿式洗浄分級の室内試験の手順を一例として、調査及び措置ガイドライン、ガイドブック、センター会員企業における実績および知見等を参考に検討を行った。今回示した手順の一例、留意点等については、今後、会員企業をはじめとした皆様との意見交換や討議を進めながら標準的な考え、手順（案）に仕上げていきたい。

## 参考文献

- 1) 環境省（2007）：土壌汚染対策法施行規則，別表第7の5の項中欄1のト、別表第7の5の項中欄2のホ。
- 2) 環境省（2022）：土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン（改訂第3.1版），5.4 措置の実施，Appendix22\_4,5.
- 3) 羽瀧博臣・伊藤雅子・金井良太・西田憲司・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（2023）：塩素化エチレン類による土壌・地下水汚染の原位置バイオ処理に関する適用可能性試験の検討，第28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，投稿中
- 4) 環境省（2020）：区域内措置優良化ガイドブック（改訂版）—土壌汚染対策法に基づくオンサイト措置及び原位置措置を適切に実施するために—，pp.55.
- 5) 山下巧・阿部美紀也・河内幸夫・加洲教雄・技術実態集計分科会（2022）：土壌・地下水汚染の対策時の技術適用に関するアンケートの集計結果について（経年変化とその考察），第27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，pp.265-270.
- 6) 環境省（2020）：汚染土壌処理業の許可審査に関する技術的留意事項（令和2年12月改訂），pp.25-26.
- 7) 秦浩司・大山将・鈴木義彦・片岡昌裕・技術標準化部会（2014）：重金属等不溶化処理の適用性確認試験手順（案）の作成および不溶化処理土壌の安定性に関する既往研究事例の調査，第20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，pp.255-260.