

# 土壤汚染対策における 環境負荷評価手法 ガイドライン

平成 27 年 3 月

東 京 都 環 境 局

独立行政法人産業技術総合研究所  
地 圏 資 源 環 境 研 究 部 門



## 目次

第 1 章 はじめに.....	1-1
1. はじめに .....	1-1
2. 本ガイドラインの目的 .....	1-2
3. 本ガイドラインの適用範囲 .....	1-2
第 2 章 環境負荷評価に関する国内外の動向の整理[1].....	2-1
1. 土壌汚染対策における環境配慮の取組 .....	2-1
2. グリーン・レメディエーション .....	2-3
2.1 土壌汚染措置に伴う環境負荷評価 .....	2-3
2.2 グリーン・レメディエーションの概念 .....	2-3
2.3 Best management practice .....	2-6
2.4 土壌汚染対策に伴う環境負荷の定量評価ツール .....	2-7
2.4.1 SEFA .....	2-7
2.4.2 SiteWise™ .....	2-9
2.4.3 RemS .....	2-9
2.4.4 COCARA .....	2-10
3. (参考) サステイナブル・レメディエーション .....	2-11
3.1 サステイナブル・レメディエーションの概念・目的 .....	2-11
3.2 サステイナブル・レメディエーションの対象範囲・評価項目 .....	2-11
3.3 サステイナブル・レメディエーションの課題 .....	2-13
第 3 章 土壌汚染対策における環境負荷の評価方法 .....	3-1
1. 概要 .....	3-1
2. 評価対象とする土壌汚染対策 .....	3-3
3. 評価対象とする環境負荷・影響領域 .....	3-5
4. 環境負荷の算定方法 .....	3-9
4.1 評価範囲の設定 .....	3-9
4.1.1 機能単位 .....	3-9
4.1.2 システム境界 .....	3-10
4.1.3 対象とするインベントリ・影響領域の選定 .....	3-12
4.2 各工法におけるプロセスフローの作成 .....	3-13
4.3 活動量の算定 .....	3-16
4.3.1 活動量の種類 .....	3-16
4.3.2 活動量の算定方法 .....	3-19
4.4 環境負荷原単位 .....	3-22

4.5	環境負荷の算定	3-26
5.	環境負荷の評価	3-27
5.1	インベントリ分析	3-28
5.2	特性化	3-29
5.3	統合化	3-30
6.	結果の解釈と不確実性について	3-33
6.1	データの質に起因する不確実性	3-33
6.2	環境負荷指標間のトレードオフ	3-34
6.3	統合化における不確実性	3-34
6.4	結果の解釈	3-34
7.	都評価ツールについて	3-36
7.1	評価ツールの入力情報	3-36
7.2	都評価ツール出力情報	3-37
7.3	評価結果の活用方法のイメージ	3-39
7.3.1	工法間の比較	3-39
7.3.2	特定の項目における入力値の比較	3-39
第4章	おわりに	4-1
第5章	引用・参考文献	5-1
参考資料	土壌汚染対策のプロセスフロー図	参考-1
1.	遮水工封じ込め	参考-2
2.	地下水汚染の拡大の防止 (A)揚水施設による地下水汚染の拡大の防止	参考-6
3.	地下水汚染の拡大の防止 (B)透過性地下水浄化壁による地下水汚染の拡大の防止	参考-8
4.	土壌汚染の除去 (A)基準不適合土壌の掘削による除去	参考-9
5.	土壌汚染の除去 (B)原位置での浄化による除去 (5工法)	参考-11
6.	遮断工封じ込め	参考-21
7.	不溶化 (A)原位置不溶化	参考-23
8.	不溶化 (B)不溶化埋め戻し	参考-25
9.	舗装	参考-27
10.	立入禁止	参考-28
11.	土壌入換え (区域外土壌入換え及び区域内土壌入換え)	参考-28
12.	盛土	参考-31

## 第 1 章 はじめに

### 1. はじめに

東京都では、「東京都環境基本条例」において、環境への負荷の少ない持続的な発展が可能な都市を構築することを目的として、全ての者の積極的な取組による環境保全を基本理念の一つとして掲げている。この理念のもとに、平成 20 年 3 月に策定された「東京都環境基本計画」では、都市づくり・都市活動のあらゆる場面での環境配慮を進めるための指針を示し、温室効果ガス（GHG）の排出抑制や大気汚染の防止などの配慮項目ごとに、配慮すべき具体的な配慮事項を挙げている。また、土壤汚染対策の施策の方向性としては、新たな土壤汚染を発生させない取組や土地利用に応じた適切な対策が迅速に行われる取組の推進を図っていくとしている。

現在、「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」（以下「東京都環境確保条例」という。）や「土壤汚染対策法」の適用を受けて都内で実施される土壤汚染に関する状況調査で、土壤汚染が判明する件数は 200 件（平成 24 年度）を超えている。人の健康に被害を及ぼすおそれがある場合には、摂取経路を遮断する措置を講じることが必要となる。その方法として、汚染を除去する掘削除去だけでなく、汚染土壌を現地で管理する原位置封じ込め、盛土、舗装等の種々の対策が認められている。これまでの傾向としては、都内、国内における対策事例の多くで掘削除去が選択されており、東京都環境確保条例や土壤汚染対策法の趣旨である摂取経路を遮断する措置としては、過剰な対策となっている場合が多い。掘削除去は、他の措置に比べて対策費用が割高となる場合が多いだけでなく、土壌の掘削・運搬に伴うエネルギー消費・二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出の増加や清浄土等の材料の使用、更に汚染土壌の移動に伴うリスクなど、環境配慮の観点からも懸念があり、必ずしも合理的な選択がなされているとは言えない状況である。

一方、海外においては、欧米を中心に、土壤汚染対策における環境負荷低減の動き（グリーン・レメディエーション）や環境面だけでなく社会面・経済面も考慮した土壤汚染対策の意思決定の動き（サステイナブル・レメディエーション）への取組が始まっている。

このような現状認識の下、東京都は平成 24 年 6 月に「土壤汚染対策における環境負荷評価手法検討会（座長 国立大学法人京都大学大学院教授 勝見 武）」（以下「検討会」という。）を設置して議論をしてきた。検討会では、環境負荷低減を考慮した合理的な土壤汚染対策を推進するため、土壤汚染対策措置に伴う CO<sub>2</sub> 排出をはじめとする土壤汚染サイト外部（公的環境）への環境負荷を適切に評価する手法について、2 年間にわたり専門的な見地から議論を行い、その内容を検討会報告書として取りまとめた。この中で、評価手法自体の考え方の整理、我が国において比較的簡便に利用できる複数の外部環境負荷の評価手法や評価ツールの必要性について、提言している。

本ガイドラインは、検討会の提言を受け、東京都と独立行政法人産業技術総合研究所地

圏資源環境研究部門（以下「産総研」という。）が共同研究として進めてきた成果に基づき、土壤汚染対策措置に伴う温室効果ガスや有害物質の排出量などの環境負荷を事業者が定量的に評価するための方法の整理として、現時点での知見を取りまとめたものである。また、東京都は、産総研の技術協力を得た上で、土壤汚染措置の環境負荷について、複数の環境負荷を容易に定量評価できるツール（以下「都評価ツール」という。）を開発した。本ガイドラインにおいては、都評価ツールの概念についても説明する。

事業者の方々が、本ガイドライン及び都評価ツールを広く活用し、環境負荷低減を考慮した合理的な土壤汚染対策が推進されることを期待する。

## 2. 本ガイドラインの目的

本ガイドラインは環境に配慮した合理的な土壤汚染対策の普及を進めるため、東京都内の土壤汚染対策に伴う温室効果ガスや有害物質の排出量などの環境負荷を定量的に評価するための指針である。

土壤汚染対策による環境負荷の評価方法や評価指標、評価結果の活用方法については、評価目的や評価機関により異なるのが実情である。本ガイドラインでは、日本において適用事例が少ないことも踏まえ、日本における土壤汚染対策における環境負荷評価の基本的な考え方や評価方法を示すことを目的とした。

第2章では、土壤汚染対策における環境負荷評価に関する国内外の動向の整理を行い、第3章では、土壤汚染対策における環境負荷の具体的な計算方法及び得られた結果の評価方法や不確実性について説明する。

## 3. 本ガイドラインの適用範囲

本ガイドラインでは、土壤汚染対策により生じる環境負荷を評価対象としており、残存する土壤汚染による環境影響や人の健康リスクについては対象としていない。健康影響・環境影響が生じないよう措置が行われることを前提に、複数の措置方法の検討時に外部環境負荷を一つの判断材料として提案していることに留意する必要がある。また、本ガイドラインを基にした評価結果については、第3章6節に示す不確実性を含んでいることから、評価結果を対策工法の比較等に用いる際には、その取扱いには細心の注意が必要である。

## 第 2 章 環境負荷評価に関する国内外の動向の整理[1]

### 1. 土壌汚染対策における環境配慮の取組

土壌汚染の調査・対策を実施する際には、土壌・地下水汚染による人の健康被害の防止、地下水汚染による周辺への環境影響の拡大防止といった汚染サイトに起因する環境汚染の防止、再開発の円滑な実施や不動産価値の保全などの経済的な影響への低減が重要視されてきた。

これに対して、近年、海外では土壌汚染対策の目的を満たしつつ、資源と廃棄物、エネルギー、大気、水、土地と生態系など土壌汚染対策による外部環境負荷の低減を目指すグリーン・レメディエーション（図 2-1）という取組が米国を中心に進められてきた。グリーン・レメディエーションは、土壌汚染措置に伴う環境影響の低減が目的である。既に、実務的に適用可能な評価手法やツールが国内外で複数提示されており、実際の評価が実施されている事業も米国を中心に多数ある。

また、環境だけでなく、社会的、経済的側面を含めて評価し、より持続可能な土壌汚染対策を目指す動きとして、サステイナブル・レメディエーション（図 2-2）と呼ばれる取組も進められている。サステイナブル・レメディエーションは、環境に限らず、社会・経済という人間にとっての利益を総合的に見て最大化することが目的とされている。欧州の The Network for Industrially Contaminated Land in Europe (NICOLE) [2]、The Sustainable Remediation Forum (SURF) [3]、Surf-UK などの団体が取り組んでいる。

グリーン・レメディエーションやサステイナブル・レメディエーションに取り組む海外の主な組織等としては以下のものが挙げられる。

#### ① U.S.EPA（米国環境保護庁）

- ・ グリーン・レメディエーションとして、（スーパーファンド法に関する対策を含む）土壌汚染対策の取組を推進している。

#### ② The Sustainable Remediation Forum (SURF)

- ・ アメリカでサステイナブル・レメディエーションを推進していくための研究者等の組織として設立されたフォーラム。類似の組織がカナダ、イギリス、オーストラリア&ニュージーランド等にも設立されている。

#### ③ The Sustainable Remediation Forum UK (SuRF-UK)

- ・ イギリスでサステイナブル・レメディエーションを推進していくための研究者等の組織として設立されたフォーラム。

#### ④ Network for Contaminated Land in Europe (NICOLE)

- ・ 欧州化学工業連盟（CEFIC）にて設立された、土壌汚染に関する様々な取組を推進していくための業界団体。サステイナブル・レメディエーションについても取組を開始している。

本章では、グリーン・レメディエーション、サステイナブル・レメディエーションの概念、各国の取組、研究事例を中心に紹介する。

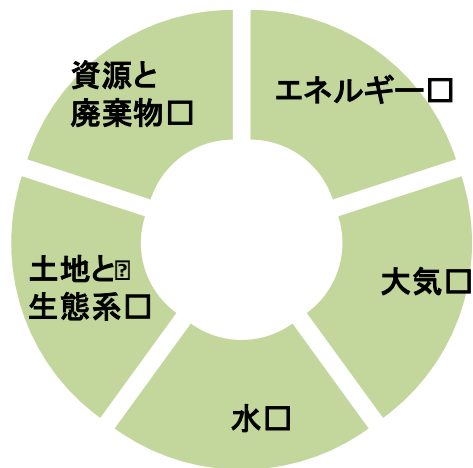


図 2-1 U. S. EPA のグリーン・レメディエーションのコア要素 (文献[4]の図を一部改変)

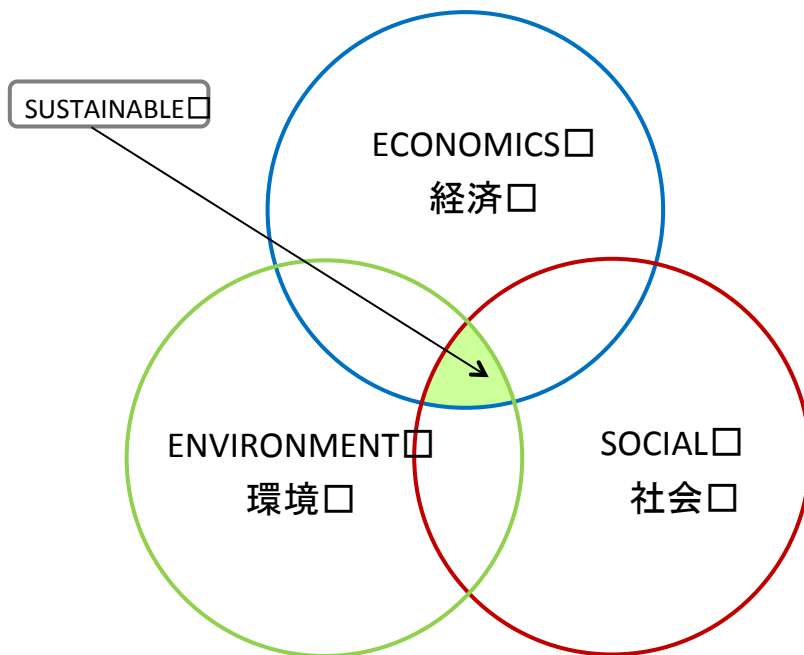


図 2-2 SuRF-UK フレームワークによるサステイナブル・レメディエーションの概念 (文献[5]の図を一部改変)



## 2. グリーン・レメディエーション

### 2.1 土壌汚染措置に伴う環境負荷評価

グリーン・レメディエーション（Green Remediation：以下一部では「GR」という。）は、土壌汚染に伴う人の健康リスクや生態リスクだけではなく、土壌汚染対策自体に伴い発生する外部環境負荷を考え、さらにそれを低減するための取組である。外部環境負荷を評価する手段としてはライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment：以下「LCA」という）等が用いられ、外部環境負荷の指標としては、CO<sub>2</sub>等の地球温暖化ガスの排出、ガソリン等のエネルギー消費などが用いられるケースが多い。

土壌汚染対策による環境負荷を定量評価する研究は、1990年代後半よりいくつかの研究が進められてきた。Volkweinらは、掘削除去、アスファルトキャッピング、熱及び生物分解処理の3工法の環境負荷を定量評価している[6]。また、Diamondら[7]は、掘削除去対策をはじめとした複数の対策方法について、外部環境負荷と対策方法の関係を定性的に整理・評価を、Pageら[8]、Bayerら[9]は、複数の対策方法について外部環境負荷の定量的な評価を試みている。また、我が国における研究も幾つかある[10-12]。例えば、保高ら（2009）は関東地方にある汚染サイトから1000m<sup>3</sup>の汚染土壌を掘削除去後、九州の管理型処分場に埋立を行う条件で二酸化炭素排出量の評価を行った。その結果、LCCO<sub>2</sub>（ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量）は約195,000 kg-CO<sub>2</sub>、1m<sup>3</sup>当りのLCCO<sub>2</sub>は222 kg-CO<sub>2</sub>と評価され、汚染土壌の移動、埋立処理が大部分を占めることを示した[11, 12]。

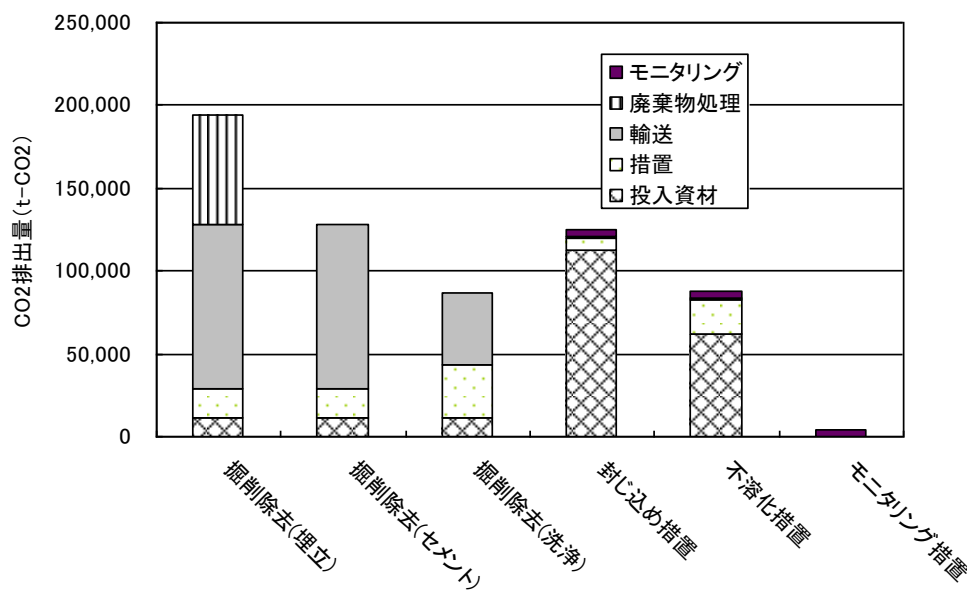


図 2-3 重金属汚染土壌の対策のCO<sub>2</sub>排出量の比較（文献[11]の図を改変）

### 2.2 グリーン・レメディエーションの概念

一方、各国の施策としては、米国環境保護庁（以下「U.S.EPA」という。）がグリーン・レメディエーションに対して積極的に取り組んできた。2008年から「Green remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites（土壌汚染地の対策への持続可能な環境活動の組込）」[13]及び「Principles for Greener Cleanups（よりグリーンな浄化のため

の原則)」[14]を公表してグリーン・レメディエーションの基本的な考え方、方針を公表している。

「Green remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites」[13]では「浄化による全ての環境影響を考慮すること、そして浄化活動に伴う環境フットプリントを最小化するためのオプションを取り入れることの実践」と定義されており、U.S.EPA が 2009 年に発行した「Principles for Greener Cleanups」[14]では、グリーン・レメディエーションの原則として、「従来からの法・規制における土壌・地下水汚染の浄化の要求事項である 4 点の遵守事項（人の健康被害の防止と環境保護、法・規制の順守、関係するコミュニティとの協議、将来の土地利用の考慮）を前提とした上で、環境フットプリントの低減に取り組むこと」、そして「人の健康と環境を保護し、コミュニティに対する環境影響を削減するための、土壌汚染対策の意思決定プロセスを改善することを意図する」としている。

「Principles for Greener Cleanups」では、環境に配慮した浄化を実施するために考慮すべき要素として、以下の 5 つの項目を挙げており、環境負荷評価と最良技法（Best Practice）において評価対象とする要素として、項目ごとに表 2-1 に示す要素を挙げています。

1. 総エネルギー使用量の最小化と再生可能エネルギー使用の最大化
2. 汚染物質及び温室効果ガス（GHG）排出量の最小化
3. 水消費量と水資源への影響の最小化
4. 材料と廃棄物の 3R の実施
5. 土地及び生態系の保護

また、2013 年には、米国材料試験協会（ASTM International）が主体となり、「Standard Guide for Greener Cleanups (E2893-13)」を規格化[15]するなど積極的な動きを見せています。さらにグリーン・レメディエーションの実施事例については、30 以上の事例が既に公開されており、個々の事例について、実践した最良技法（Best Management Practices ; 以下「BMPs」ともいう。）の内容とその効果（環境負荷やコストの削減量・率など）が U.S.EPA のホームページ上で公表されている（例えば、文献[16]）。

土壌汚染対策に伴う環境負荷の評価法・低減法は、主に定性的な低減策を示した BMPs と、定量的な環境負荷評価ツールを用いる方法の二つがある。これら二つについては次節以降に紹介する。

表 2-1 U.S. EPA によるグリーン・レメディエーションの評価対象（文献[14]を一部改定）

1. 総エネルギー使用量の最小化と再生可能エネルギー使用の最大化
・エネルギー消費の最小化（例：省エネ機器の使用）
・再生可能エネルギーを使用し動力使用機器をクリーンアップ
・再生可能資源による商用エネルギーの購入
2. 汚染物質及び GHG 排出量の最小化
・GHG 排出の最小化
・輸送に伴う大気汚染物質、塵の発生の最小化
・重機の効率的利用（例：ディーゼルエミッションの削減計画）
・先進的排出量管理機能のある機械器具の利用の最大化
・動力機器や補助機器によりクリーンな燃料の使用
・現場での二酸化炭素隔離（例：土壌改良や植物再生）
3. 水消費量と水資源への影響の最小化
・水使用と天然水資源消費の最小化
・水を再利用するための集積、再生、保存（例：帯水層への地下水涵養）
・植物再生における必要水量の最小化（例：地域固有種の採用）
・雨水管理への最良の管理技法の採用
4. 材料と廃棄物のリデュース・リユース・リサイクル
・バージン資源の消費量の最小化
・発生する廃棄物量の最小化
・再生製品や地域材料の使用
・廃棄物材料の有効活用（例：焼却灰からのコンクリート製造等）
・製品、インフラからの材料を分別、再利用、再生利用
5. 土地及び生態系の保護
・浄化活動範囲の最小化
・不必要な土壌や生物生息域の擾乱・破壊の最小化
・騒音や光害の最小化

## 2.3 Best management practice

土壌汚染対策による環境負荷を低減するための方策の一つが Best Management Practices の提供である。Best Management Practices は、各対策手法において環境負荷を低減するための具体的な手法を記載したツール集であり、U.S.EPA の「GR Best Management Practices」やイリノイ州環境庁 (Illinois EPA) の「Illinois' Greener Cleanups Matrix」などに整理されている。

U.S.EPA の「GR Best Management Practices」[16-21]には、掘削除去や調査、土壌ガス吸引&エアースパーキングなど、各対策手法の環境負荷を減らすための具体的な方策が記載されている。一例として、調査における環境負荷の削減方法を表 2-2 に示す。

表 2-2 調査段階における環境負荷の削減方法（文献[18]の表を一部改定）

方法	効果
適切な調査計画	無駄な調査による環境フットプリントの削減及び適切な浄化設計による浄化の環境フットプリントの削減
現場直接測定法（ダイレクトセンシング）、現地分析	輸送に伴うエネルギー消費削減、廃棄物量削減等
ハイブリッド車の使用	エネルギー消費削減、SPM 量削減等
ディーゼルフィルターの使用	SPM 量削減
現場資機材の再活用	廃棄物量の削減

## 2.4 土壌汚染対策に伴う環境負荷の定量評価ツール

土壌汚染対策による環境負荷を低減するためのもう一つの主要な方策が環境負荷の定量評価ツールの活用である。例えば、U.S. EPA は、LCA の概念を用いた外部環境負荷の定量評価ツールとして、スプレッドシート形式の「Methodology & Spreadsheets for Environmental Footprint Analysis (SEFA)」を公開している。また、Battelle 社、US Navy、US Army Corp が共同で開発した SiteWise™（現在はアクセスできない）、The Capital Region of Denmark, Environmental Department が開発した RemS (Remediation Strategy for Soil and Groundwater Pollution)、土壌環境センターが開発した COCARA などがある。

### 2.4.1 SEFA

SEFA (Methodology & Spreadsheets for Environmental Footprint Analysis) は、U.S.EPA が開発したスプレッド形式の土壌汚染対策に伴う外部環境負荷評価モデルである[22]。解析手順は表 2-3 に示す流れに従い実施する。

表 2-3 SEFA の解析手順 (文献[22]の表を一部改定)

ステップ 1:	解析のゴールと解析範疇の選定
ステップ 2:	浄化に関する情報の収集
ステップ 3:	現場で使用する材料と廃棄物量の定量評価
ステップ 4:	現場での水に関する影響の定量評価
ステップ 5:	エネルギーと大気環境に関する定量評価
ステップ 6:	生態系サービスへの影響の定性的な評価
ステップ 7:	結果の表示

入力項目は、各浄化手法により異なっており、例えば掘削除去だと、表 2-4 に示す情報を集める必要がある。また、評価対象は、表 2-5 に示す 5 つのカテゴリー、21 種類の環境負荷である。

表 2-4 ステップ 2 の段階において収集すべき情報の例 (掘削除去)

掘削する土量
有害廃棄物として処分/非有害物質として処分する割合 (土壌)
土の移動方法
処分施設
調査及び分析に関する内容
埋め戻しに使用する材料
脱水の必要性和水の涵養ポイント

表 2-5 SEFA (US-EPA) の評価指標 (文献[22]の表を一部改定)

区分	指標		評価単位
マテリアル 及び廃棄物	M&W-1	オンサイトでの精製材料 (refined materials) 使用	t
	M&W-2	精製材料使用のうちリサイクル・廃棄物からの割合	%
	M&W-3	オンサイトでの精製材料以外 (unrefined materials) の利用	t
	M&W-4	精製材料以外のうちリサイクル・廃棄物からの割合	%
	M&W-5	オンサイトでの有害廃棄物の発生量	t
	M&W-6	オンサイトでの非有害廃棄物の発生量	t
	M&W-7	オンサイトでの廃棄物のうち潜在的なリサイクル・リユース可能率	%
水	W-1~ W-4	オンサイトでの水使用 (用途等により 4 区分)	百万 gals
エネルギー	E-1	合計エネルギー使用量	MMBtu
	E-2A	再生可能エネルギーの自主的使用量 (オンサイトでの発電及びバイオディーゼル使用量)	MMBtu
	E-2B	再生可能エネルギーの自主的使用量 (自主的に購入した再生可能電力)	MWh
	E-2C	再生可能エネルギーの自主的使用量 (自主的に購入した再生エネルギー証書)	MWh
大気	A-1	オンサイトでの NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> 、PM <sub>10</sub> の排出量	lbs
	A-2	オンサイトでの (Clean Air Act に規定された) 有害大気汚染物質 (HAP) の排出量	lbs
	A-3	NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> 、PM <sub>10</sub> の排出量合計	lbs
	A-4	有害大気汚染物質 (HAP) の排出量合計	lbs
	A-5	温室効果ガス (GHG) の排出量合計	t-CO <sub>2</sub> e
土地及び生態系		定性評価	

## 2.4.2 SiteWise™

SiteWise™ は、Battelle 社、US Navy、US Army Corp が共同で開発したモデルであり、Navy の関連サイトでオンライン公開されている Excel ベースのモデルである。モデルの特徴は、処理工程をモジュール化していることで、全体のプロセスを 4 つのモジュールに区分した形式となっている。モジュールの組み合わせにより柔軟な条件で浄化工程を評価できるようになっており、ユーザーは必要な項目を選択し、ユーザー自身が持つ数値を入力することで排出量や消費量を算出する。LCA の基本的な進め方に近い形式のツールと言えるが、デフォルト値等は設定されていないため、ユーザーが全ての値を入力する必要があるため、初期段階での適用は困難と言える。なお、現在はアクセスできない。

## 2.4.3 RemS

RemS は、The Capital Region of Denmark, Information Centre on Contaminated Sites, Danish EPA などが共同して開発した、サステイナブル・レメディエーションのための意思決定ツールである[23]。浄化活動による環境負荷項目以外にも、費用・時間を含めた評価が可能である。

サイト調査で得られた地質、水系、汚染特性などのデータ、対象とする対策工法を入力データとしてモデルに入力する。RemS では標準的なデフォルト値が設定されており、施設建設や処理活動の状況を入力することで環境負荷について LCA 計算ができるようになっている。環境負荷の評価項目は、資源消費に加えて、環境影響項目として、資源消費、大気汚染、潜在的毒性、廃棄物発生となっている（表 2-6 参照）。また、エネルギー消費とカーボンフットプリントも計算される。

コストについても、LCA と同様のデータ入力で推計される。評価用のインベントリデータを詳細化することで、より精緻な推計を行うことも可能である。コストは、将来価値を割り引いて現在価値で推計する。これにより長期的な費用発生状況に応じた比較評価ができるようになる。

表 2-6 RemS の環境負荷の評価対象項目（文献[23]の表を一部改定）

資源消費	環境影響
<b>資源</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 原油 kg</li> <li>• 天然ガス kg</li> <li>• ウラン kg</li> <li>• 黒炭 kg</li> <li>• 褐炭 kg</li> </ul>	<b>大気放出</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 地球温暖化 kg CO<sub>2</sub>-eq</li> <li>• 酸性化 kg SO<sub>2</sub>-eq</li> <li>• 光化学スモッグ kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-eq</li> <li>• 富栄養化 kg NO<sub>3</sub>-eq</li> </ul>
<b>原料</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• アルミニウム kg</li> <li>• 鉄 kg</li> <li>• クロム kg</li> <li>• ニッケル kg</li> <li>• 銅 kg</li> <li>• マンガン kg</li> <li>• モリブデン kg</li> </ul>	<b>毒性</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 残留毒性 m<sup>3</sup></li> <li>• 生態毒性 m<sup>3</sup></li> <li>• 人間毒性 m<sup>3</sup></li> </ul>
	<b>廃棄物</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 全廃棄物量 kg</li> <li>• 有害廃棄物 kg</li> <li>• 放射性廃棄物量 kg</li> <li>• スラグ/焼却灰 kg</li> </ul>
<b>地域資源</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 砂と礫 kg</li> </ul>	

#### 2.4.4 COCARA

COCARA (life-cycle CO<sub>2</sub> Calculation tool for Remedial Activities) [24]は、一般社団法人土壌環境センターが開発した土壌・地下水汚染対策事業の12種類の工法を対象としたLCCO<sub>2</sub>計算ソフトである。土壌汚染対策法や東京都環境確保条例に定めた対策手法を対象としており、入力パラメータとしてサイト情報等を入れると、各対策の外部環境負荷としてCO<sub>2</sub>量が算定される。SEFAと同様にスプレッドシート形式となっており、取り扱い易いのが特徴である。



### 3. (参考) サステイナブル・レメディエーション

第2節においては、土壌汚染対策に伴う環境負荷の評価・低減を目的としたグリーン・レメディエーションについて国内外の状況を整理してきた。一方で、土壌・地下水汚染の対策に伴う意思決定においては土壌汚染対策に伴う環境負荷以外の社会的な要素、経済的な要素も重要となる。サステイナブル・レメディエーションとは、このように環境側面だけでなく、社会や経済的な要素も含めて評価し、対策の意思決定をサポートしていく、という考え方である。

サステイナブル・レメディエーションの定義や評価指標は、組織や団体により多少異なるものの、多くの場合、このような社会的な要素（地域住民や労働者の人の健康影響、事故等の安全性、地域コミュニティへの影響）、経済的な要素（直接コスト、間接コスト、残存する経済的なリスク）も含めて評価対象としている。

本節では、参考としてサステイナブル・レメディエーションについて SuRF や SuRF-UK の取組を中心に概説する。

#### 3.1 サステイナブル・レメディエーションの概念・目的

サステイナブル・レメディエーションの概念や目的について、SuRF や Surf-UK、NICOLA 等、様々な組織の中で議論・整理が試みられている。

例えば、SuRF White Paper では、「限られた資源を賢明に活用することで、人間の健康と環境の双方の純便益を最大化することをサステイナブル・レメディエーションと定義する。」と定義している[25]。

また、SuRF-UK は「A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation」[5]の中で、「経済（Economics）、環境（Environment）、社会（Social）の3つのバランスが成立する状況が持続可能性であり、レメディエーションを行う際にも持続可能性の要因を考慮することが重要だと認識している。」と述べており、サステイナブル・レメディエーションのキーとなる原則（Key Principles）として以下の6つを挙げている。

- 原則1：人の健康と幅広い環境を保護すること
- 原則2：安全性のある浄化作業が行われること
- 原則3：一貫性、透明性、再現性があり、証拠に基づく意思決定がなされること
- 原則4：記録を取り、透明性のある報告がなされること
- 原則5：適切な統治と利害関係者の参加がなされること
- 原則6：適切な科学性に基づいていること

#### 3.2 サステイナブル・レメディエーションの対象範囲・評価項目

次に、サステイナブル・レメディエーションとして提唱されている手法の内容、フレームワーク等について紹介する。

表 2-8 は SuRF-UK で提唱されているサステイナブル・レメディエーションの評価指標である。SuRF-UK では、社会の評価項目の中で人間健康、安全性や近隣・地区への影響（騒音等の環境影

響を含む。) が考慮されている。

表 2-7 浄化オプションの包括的なサステイナブル評価項目 (文献[26]の表を一部改変)

分野	区分	評価項目
社会	人間健康・安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロジェクト実施結果の健康被害リスク (及び管理)</li> <li>・プロジェクトによる健康被害リスク (労働者、近隣、公衆)</li> <li>・重機使用、交通等による副次的な影響</li> </ul>
	倫理性・平等性	(略)
	近隣・地区影響	(略)
	コミュニティとその関与	(略)
	不確実性・証拠	(略)
経済	直接的な費用・便益	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直接的に必要なとなる費用</li> <li>・浄化による直接的な便益</li> </ul>
	間接的な費用・便益	・事業の実施による長期的な間接的費用・便益
	雇用・雇用者人数	・雇用創出・人材育成効果
	波及的な費用・便益	(略)
	事業期間とその柔軟性	(略)
環境	大気	・GHG、・NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> ・PM (特にPM <sub>5</sub> 、PM <sub>10</sub> )
	土壌・土地状況 (ground condition)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌の質 (化学物質)・水の浄化機能、</li> <li>・土壌成分・有機物の質及び量、</li> <li>・表土流出、土壌安定性、・地質化学的特性</li> <li>・サイトの地理的特性に関する影響/利益</li> </ul>
	地下水・表層水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・利用可能な水質特性・法規制に適合した水質</li> <li>・生物的・化学的機能・溶解物の流動性</li> <li>・海域、淡水域、汽水域の水質・河川流量等の変化</li> <li>・洪水等の影響 (リスクの増加)</li> </ul>
	生態系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動植物相・食料サプライチェーン</li> <li>・生態系の構造や機能の重大な変化</li> <li>・生態系の擾乱・機材使用による動物相への影響</li> </ul>
	天然資源・廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土地や廃棄物資源への影響</li> <li>・一次資源消費 (リサイクル材使用を含む。)</li> <li>・エネルギー消費 (再生可能エネルギー消費を含む。)</li> <li>・オンサイト、オフサイトでの廃棄物処理</li> <li>・水資源の消費</li> </ul>

例えば、SuRF-UK は、ここで示した評価項目の定量的な評価可能性については、1) 金銭化を行い環境・社会・経済の統合的な評価、2) プロジェクト自体が適切に計画、管理、が評価のための必要条件として示している。

このように、サステイナブル・レメディエーションについては、概念及び評価項目についての整理は進んでいるものの、具体的な評価手法等までは現時点では定まっていないのが現状である。

なお、費用対便益の算定式としては、SuRF-UK においては先の各項目の定量評価可能性が満た

された場合という前提条件付きで、算定式として以下のものが提唱されている。(ただし、各項目の定量評価手法については、示されていない。)

$$SR = \sum_{i=1}^n \left( (Benefit_{environment} - Cost_{environment}) + (Benefit_{society} - Cost_{society}) + (Benefit_{economy} - Cost_{economy}) \right)$$

SR：サステイナブル・レメディエーション・スコア

- 基本的には、環境、社会、経済の項目ごとに便益 (benefit) と費用 (cost) を推計し、その差を取り合計することで SR を推計することとなっている。
- SR は処理オプションごとに計算されることとなり、かつ、環境・社会・経済の費用及び便益を加算可能な形で評価することが必要となる。

### 3.3 サステイナブル・レメディエーションの課題

SuRF の White Paper[25]には、サステイナブル・レメディエーションの実サイトへの適用に際しては、以下のような課題があると述べている。

- サステイナブル・レメディエーションを実行するための、多様性かつ新しい推進力を理解すること
- 技術の開発
- サステイナブル・レメディエーションに関する規制の側面への合意
- 適切な評価の活用
- 市場や政府への対応
- 排出権取引等への準備
- 異なる規模のサイトへの適用
- サステイナブル・レメディエーションのフレームワークの開発
- ビジョン達成のための戦略的実行

サステイナブル・レメディエーションに関する議論は、各国で始まっており、様々なコンセプトが提示されているものの、実務的に定量評価が可能な仕組みにまでは至っていないのが現状である。なお、上述の課題の中で、「市場や政府規制への対応」については、特に議論が進められており、各国政府や行政機関は、サステイナビリティ (持続可能性) に配慮した対策を行った場合への補助金や何らかのインセンティブを与えることについて関心をもっているとされる。すなわち、汚染土壌・地下水の分野に関わらず、サステイナビリティと密接な関係の“ガバナンス”に関わる議論である。本分野での“ガバナンス”は、「サステイナブル・レメディエーションの適用を加速する、あるいは減速するものである」と考えられており、SURF 等で盛んに議論されている。今後、各国の規制や補助金制度に反映される可能性もあることから、注視が必要である。

## 第3章 土壤汚染対策における環境負荷の評価方法

### 1. 概要

本章では、環境に配慮した合理的な土壤汚染対策の普及を進めるため、土壤汚染対策に伴う温室効果ガスや有害化学物質の排出量などの環境負荷を定量的に評価するための具体的な計算方法及び結果の評価方法について説明する。

まず前提として、本ガイドラインの対象としては、土壤汚染対策に伴う環境負荷の算定（第2章におけるグリーン・レメディエーション）を基本とし、土壤汚染対策に伴う社会・経済的な側面（第2章におけるサステナブル・レメディエーション）は含めないこととした。これは、サステナブル・レメディエーションについては、現時点では概念・項目等の整理が進んでいる段階でありフレームワークが定まっていない部分が多いこと、社会・経済的な項目の定量評価が難しいこと、が理由である。

土壤汚染対策の環境負荷の算定方法の基本式を式（1）に示す。

$$\text{活動量} \times \text{環境負荷原単位} \quad \dots \text{式（1）}$$

ここで活動量とは、対策を実施する際に投入される物質量や重機の使用台日数、重機やトラックが消費する燃料量などである。また、環境負荷原単位とは、例えば資材を1kg製造する際、燃料を1L消費する際に発生するCO<sub>2</sub>やNO<sub>x</sub>の量である。これらの活動量と環境負荷原単位を乗じることで、ある活動における環境負荷の算定が可能となる。土壤汚染対策の環境負荷の推定では、選択した工法の主要な工程の活動量の算定及び評価対象とする環境負荷の環境負荷原単位のデータの整備が必要となる。

また、これらの活動量算定、環境負荷原単位のデータを整備する前に、評価の前提条件の整理、評価対象とする対策方法のプロセスフローの整理が必要となる。図3-1に本ガイドラインにおける土壤汚染対策における環境負荷の評価方法の基本的な考え方を示す。

なお、本章では、一般的な土壤汚染対策における環境負荷評価方法について説明をするが、その考え方、手法の大部分は都評価ツールの評価方法と同じであり、異なる箇所については、その違いを説明することとした。

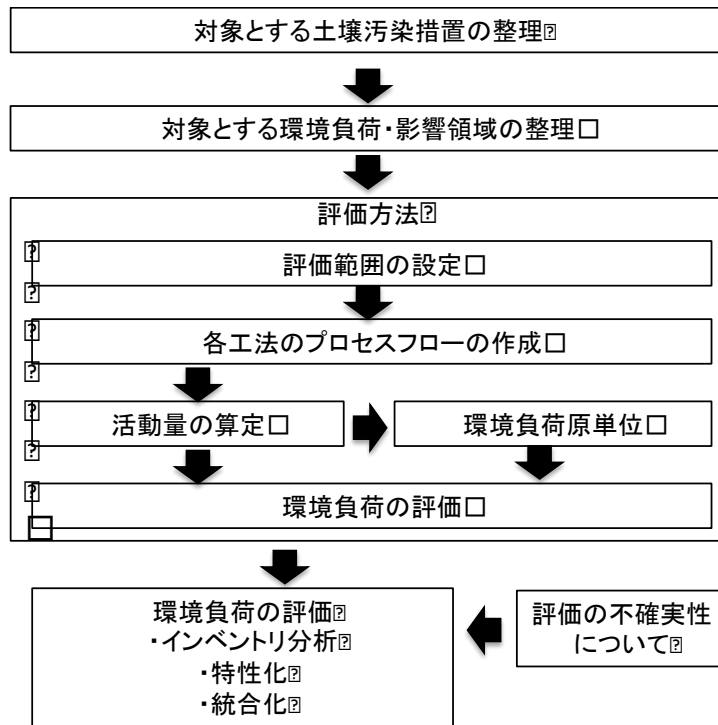


図 3-1 土壌汚染対策の外部環境負荷算出に係る基本的な考え方の整理の流れ

## 2. 評価対象とする土壤汚染対策

土壤汚染対策法では、土壤汚染状況調査の結果、土壤が汚染状態に関する基準に適合しない土地で、健康被害が生じるおそれがあるため汚染の除去等の対策が必要な区域は、要措置区域として指定される。要措置区域に指定された場合に講ずべき汚染の除去等の措置及びこれと同等以上の効果があると認められる汚染の除去等の措置（両者を合わせて「指示措置等」という。）は、表3-1の（ア）から（サ）に示す11種類ある。対策実施者は土地汚染状況によって、これらの対策を行う必要がある。

本ガイドラインにおいて評価対象とする対策手法は、土壤汚染対策法及び都民の健康と安全を確保する環境に関する条例において汚染の除去等の対策とされている11種類とした。

なお、本ガイドラインにおいては、外部環境負荷評価のための基本的な考え方を記載しているため、下表以外の新しい工法について外部環境負荷を評価する際にも参考になると考えられる。また、本ガイドラインで評価対象としているものの、現時点では評価の困難さや不確実性の観点から都評価ツールでは評価対象としていない土壤汚染対策に係る工法を表3-2に示す。

表 3-1 本ガイドラインで評価対象とする土壤汚染対策（参考資料にプロセスフローを作成）

土壤汚染対策に係る工法		
（ア）地下水の水質の測定		
（イ）原位置封じ込め		
（ウ）遮水工封じ込め		
（エ）地下水汚染の拡大の防止	a 揚水施設による地下水汚染の拡大の防止	
	b 透過性地下水浄化壁による地下水汚染の拡大の防止	
（オ）土壤汚染の除去	a 基準不適合土壤の掘削による除去	
	b 原位置での浄化による除去	土壤ガス吸引
		地下水揚水
		生物的分解
		化学的分解
原位置土壤洗浄		
（カ）遮断工封じ込め		
（キ）不溶化	a 原位置不溶化	
	b 不溶化埋め戻し	
（ク）舗装		
（ケ）立入禁止		
（コ）土壤入換え	a 区域外土壤入換え	
	b 区域内土壤入換え	
（サ）盛土		

表 3-2 都評価ツールの対象外とする土壌汚染対策

土壌汚染対策に係る工法		対象外とした理由	
(ア) 地下水の水質の測定		能動的に汚染に対処する工法ではないことから対象外とした。	
(エ) 地下水汚染の拡大の防止	a 揚水施設による地下水汚染の拡大の防止	工法としては原位置浄化における地下水揚水とほぼ同様と考えられるが、揚水作業の実施期間については揚水継続必要期間の設定が困難と考えられるため、対象外とした。	
	b 透過性地下水浄化壁による地下水汚染の拡大の防止	具体的な実施事例を対象とした評価例[27]は存在するものの一般化が困難であることから、対象外とした。	
(オ) 土壌汚染の除去	b 原位置での浄化による除去	土壌ガス吸引	吸引装置の規模や吸引作業の実施期間については不確実性が高く設定が困難と考えられるため、対象外とした。
		原位置土壌洗浄	洗浄作業の実施期間については不確実性が高く設定が困難と考えられるため、対象外とした。
(カ) 遮断工封じ込め		他の工法と比較してモジュールの構成が複雑であり、工期の算出にも不確実性が伴い設定が困難であると考えられるため、対象外とした。	
(キ) 不溶化	a 原位置不溶化	不溶化のために注入する薬剤の量については不確実性が高く設定が困難と考えられるため、対象外とした。	
(ケ) 立入禁止		能動的に汚染に対処する工法ではないことから、対象外とした。	

### 3. 評価対象とする環境負荷・影響領域

土壌汚染対策の各活動によって発生するPM<sub>10</sub>やCO<sub>2</sub>等の環境負荷物質の発生、消費されるガソリン等の資源の消費はインベントリと呼ばれる。これらのインベントリは、「地球温暖化」、「オゾン層破壊」、「大気汚染」などの影響領域と呼ばれる環境影響の原因となる。例えば、「地球温暖化」の評価においては、CO<sub>2</sub>やCH<sub>4</sub>等の各インベントリの排出量を評価し、LCIA（Life Cycle Impact Analysis）統合化手法を用いて、各物質の影響度合いを含め「地球温暖化」による影響の統合的な定量評価を行う。

また、これらの「地球温暖化」や「大気汚染」などの影響領域を更に統合化する代表的な手法としては、ライフサイクルにおける環境負荷を評価するインパクト評価（Life Cycle Impact Analysis）などの手法がある。例えば、日本におけるインパクト評価法としては、日本版被害算定型環境影響評価手法として開発されたLIME2（Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling 2：例えば、文献[28]）がある。LIME2では、活動により生じるインベントリを統合化した影響領域を基本として、影響領域を「人間健康」、「社会資産」、「生物多様性」、「一次生産」の4つの保護対象への被害評価を実施する。さらにその保護対象ごとの被害評価の結果を単一指標である「無次元のEco-index（環境指標）」と「金額（円）」の2つの指標で統合化が可能である。図3-2に土壌汚染対策にLIME2を適用する際のイメージ図を示す。

このように、環境負荷の評価方法は、(1) 単一又は複数のインベントリ評価分析、(2) 特性化評価（インベントリを影響領域に統合した評価）、(3) 単一統合指標評価などがあり、それぞれで評価対象とする環境負荷や影響領域が異なる（環境負荷の評価方法は第3章5節で詳しく述べる）。

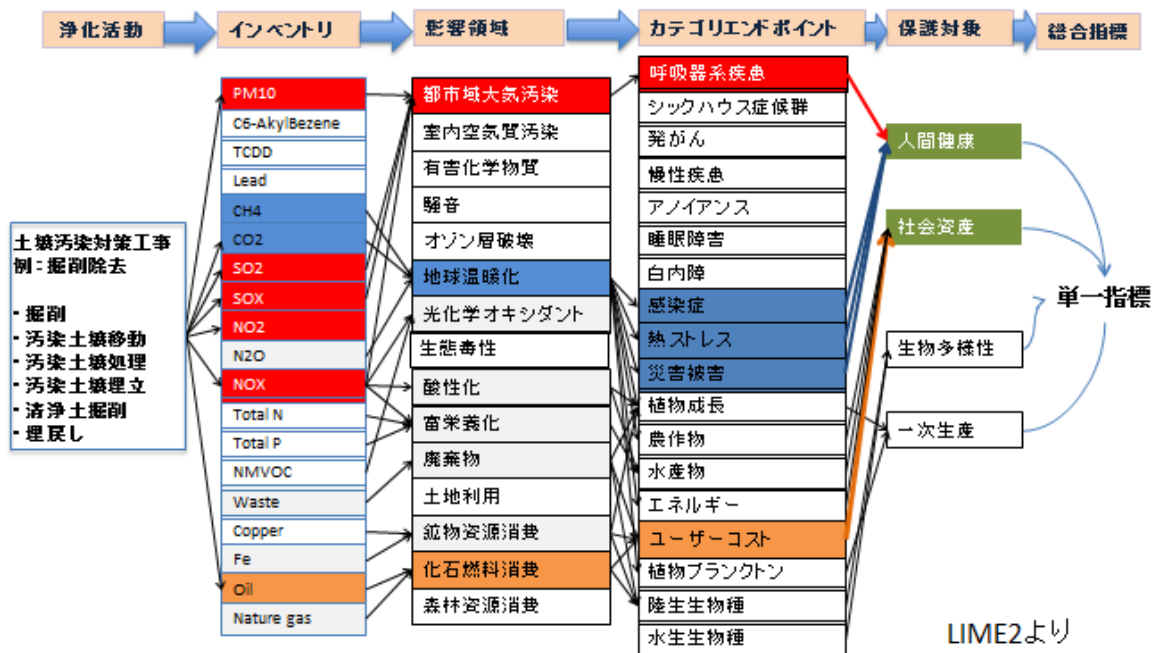


図3-2 土壌汚染対策にLIME2を適用する際のイメージ図（文献[28]の図を一部改変）



表 3-3 既存文献等で評価対象とされている影響領域の整理

※○は定量的評価を、△は定性的評価を示す。また、■は検討すべき環境負荷項目を、□は都道府県知事より指定された地域の場合に掲載する旨を示す。

	ガイドライン			主要な LCIA 手法及びそれを用いた研究論文						他の研究論文					
	環境報告 ガイドラ イン(環 境省)	ILCD handbook (欧州委 員会)	Paul J Favara et al, 2011 (SuRF)	LIME2	ReCiPe	Godin et al. 2004, Toffoletto et al. 2005	ScanRail Consult et al. 2000	Cadotte et al. 2007	Ribbenhed et al. 2002	Bayer and Finkel 2006	Beinat et al. 1997	Diamond et al. 1999	Page et al. 1999	Volkwein et al. 1999	
使用された LCIA 手法名	—	—	—	LIME2	ReCiPe	EDIP97	EDIP97	TRACI	USES-LCA	—	—	—	—	—	
環境影響	地球温暖化	■	■	■	○	○	○	○	○	○		△	○	○	
	オゾン層破壊		■	■	○	○	○	○	○	○		△			
	光化学オキシダント		■	■	○	○	○	○	○	○		△		○	
	酸性化		■	■	○	○	○	○	○	○		△		○	
	富栄養化		■	■	○	○	○	○	○	○		△			
	生態毒性	■	■	■	○	○	○	○	○	○		△			
	人間毒性を有する有害 化学物質	■	■		○	○	○	○	○	○	○		△	○	○
	廃棄物	■			○		○	○				○		○	
	表層水汚染											○			
	(都市域)大気汚染	■	■		○	○						○			
	土地利用		■		○	○						○	△		○
	悪臭	□						△							○
	騒音	□			○(道路騒 音)			△					△		○
その他サイト関連の環境影響	□ (振動)	■ (放射線)			○ (放射線)		○					△	○		
プラスの影響															
資源消費	化石燃料		■		○	○		○		○	○	△	○	○	
	鉱物資源		■		○	○		○							
	表層水、地下水	■ (排水量)	■			○					○	△	○	○	
	土、砂、砂利							○			○	△	○		

※LIME2 では室内空気質汚染も対象となっているが、土壌汚染対策との関係はほとんど無いと考えられるため、ここでは省略している。

表 3-3 は、国内外における既存の評価手法や土壌汚染対策の環境負荷を評価した研究事例等において対象とされている影響領域について整理したものである。対象とする影響領域は事例によって様々であるが、土壌汚染対策における環境影響評価においては、CO<sub>2</sub>やPM<sub>10</sub>等の単一又は複数のインベントリでの評価、地球温暖化、化石燃料消費などの領域については LCIA 手法などにより定量評価をした事例が多く、統合指標で示された事例は少ない。また、影響領域においても、悪臭や騒音、土地利用（開発に伴う自然の破壊・喪失等）などの領域は、定量的に評価された事例は少ない。単一統合指標又は悪臭、騒音等の影響領域の評価事例が少ないことは、評価に必要なデータの不足、定量化の困難さ、統合化指標等の不確実性等が理由と考えられる。

以下に、本ガイドラインが対象とするインベントリ、影響領域及び単一統合指標の評価方法について述べる。

### (1) インベントリ

対象とするインベントリは国内のデータベースとして、現時点で最新のデータベースの一つであり、かつ多くの環境負荷項目を網羅している LCI データベース IDEAv1.1（開発：（独）産業技術総合研究所、（一社）産業環境管理協会、参照：MiLCA ガイドブック）（以下「IDEA」という。）[28]で利用可能な約 130 を対象とした。

### (2) 影響領域

対象とする影響領域としては、これまでの文献、社会的に認知されている方法により、定量的に評価することができる領域を対象とすることとした。具体的には、LCIA の手法で定量評価が可能な LIME2 で評価対象としている影響領域の中から 9 影響領域（LIME2 では道路交通騒音は対象とされているが、工事騒音は対象には含まれていないため道路騒音は除いた<sup>1</sup>。また、オゾン層破壊と土地利用についても評価対象から除外した）を評価対象とした。表 3-4 に本ガイドラインで評価対象とする 9 影響領域と各影響領域に関連するインベントリの一例を示す。

表 3-4 評価対象とする 9 の影響領域と関係するインベントリの一例

影響領域	関係するインベントリの一例
地球温暖化	CH <sub>4</sub> 、CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> O、CFCs、HCFCs、SF <sub>6</sub> 、CCl <sub>4</sub> 、CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> 、PFCs、1,1,1-トリクロロエタン、クロロジフルオロメタン、ハロン-2402
光化学オキシダント	CH <sub>4</sub> 、非メタン炭化水素、VOCs、O <sub>3</sub> 、NO <sub>x</sub>
酸性化	NO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 、SO <sub>x</sub> 、塩化水素、アンモニア、塩酸
富栄養化	全リン、全窒素
生態毒性(大気・水圏)	鉛、2,3,7,8-テトラクロロジベンゾジオキシン、CCl <sub>4</sub> 、1,1,1-トリクロロエタン、プロモメタン、水銀、ニッケル、亜鉛、銅、クロム
人間毒性を有する有害化学物質(大気・水圏)	鉛、2,3,7,8-テトラクロロジベンゾジオキシン、ベンゼン、アクリルアミド、六価クロム化合物、アニリン
廃棄物	汚泥、金属くず、鉱さい、産業廃棄物
都市域大気汚染	NO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>2</sub> 、SO <sub>x</sub> 、PM10、PM2.5
資源消費	ガソリン、軽油、鉄

<sup>1</sup> 工事騒音の事前定量評価は難しいため本ガイドラインの対象外としたが、重要な項目であるので東京都の環境確保条例等の関係法令に従いつつ、影響が小さくなるよう努力されることが望ましい。騒音低減のための具体的な対応としては、サイト内部の騒音については、国土交通省が指定する低騒音型建設機械を使用する、などが考えられる。

### (3) 単一統合指標評価の方法

単一統合指標としては、LIME2 の考え方[29]を採用した。

なお、実際の環境負荷の算定においては、これらの約 130 のインベントリ、9 の影響領域全てを評価する必要はなく、評価の目的、使用可能なデータ、重要となる影響領域等を鑑みて、評価方法、評価対象とするインベントリ、影響領域を選定することが必要となる（これらの考え方の詳細は、5.で述べる。）

また、統合化により結果の表示の観点からはわかりやすくなるが、各種インベントリ推定精度の違いによる不確実性、統合化係数の不確実性（詳細は第 3 章 6 節で述べる。）、収集すべきデータ量の増大などの課題が生じる。

## 4. 環境負荷の算定方法

本章では、環境負荷の算定方法について説明する。

図 3-3 に土壌汚染対策の環境負荷の算定のフローを示す。まず、環境負荷評価の前提条件の整理を行い、評価範囲及び機能単位の設定を行う(第 3 章 4 節 1 項)。その後、各対策方法の工程を細かく分解し、プロセスフローの作成を行い(第 3 章 4 節 2 項)、各工程の活動量の推定(第 3 章 4 節 3 項)を行う。この活動量の推定においては、重機やエネルギー消費量等の積み上げを行う方法もあるが、敷地面積や汚染範囲等のデータから活動量を推定するモデルを活用する方法もある。また、各活動量に対する環境負荷原単位の整備を行い(第 3 章 4 節 4 項)、活動量に環境負荷原単位を乗じることで、環境負荷を算定する(第 3 章 4 節 5 項)。

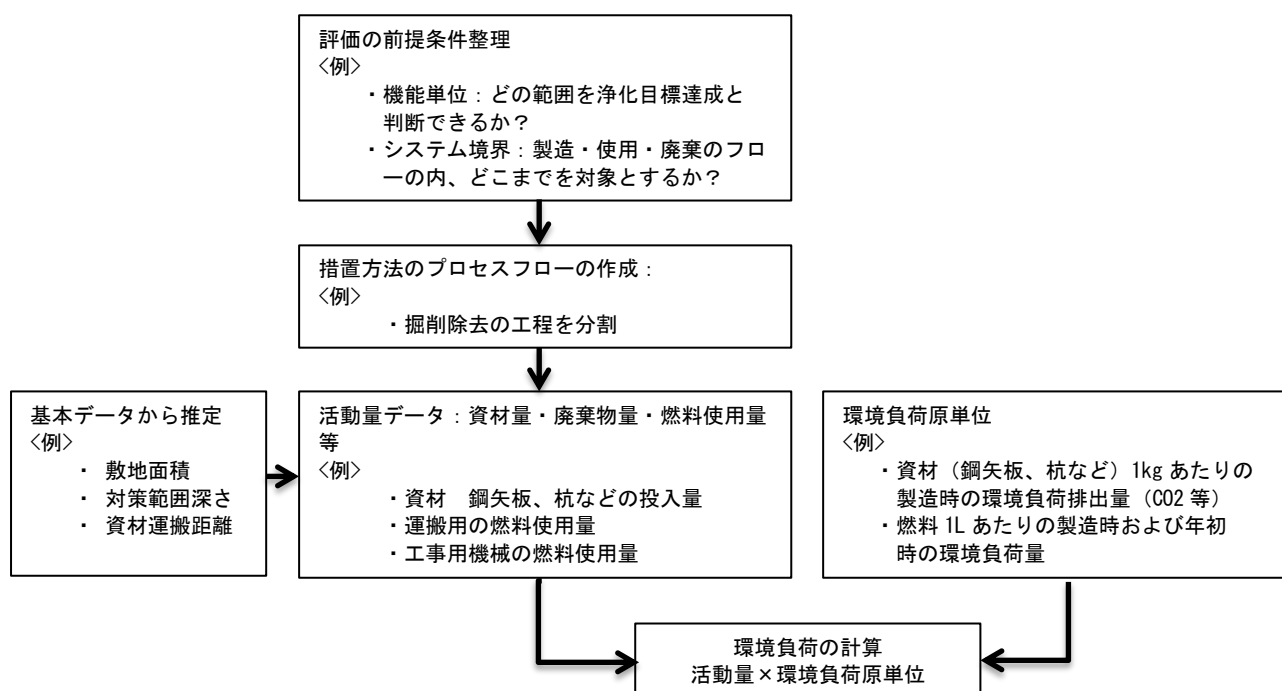


図 3-3 環境負荷の算定に関する考え方

### 4.1 評価範囲の設定

評価範囲では、機能単位、システム境界及び評価する環境負荷の3つの前提条件を定める必要がある。

#### 4.1.1 機能単位

LCAでは、機能単位を明確に決定することを求めている。機能単位とは、LCAにおける評価の前提条件として、製品やサービスの特定された機能(性能特性)を定量化する基準のことであり、環境負荷を評価する単位である。機能単位は、LCAの結果の比較可能性を確実にするために必要であり、異なったシステムを評価する場合には特に重要である。例えば、製品製造における環境負荷評価の機能単位としては、「冷蔵庫一台の生産」、「自動車を1台生産」の単位が用いられることが多い。これらの機能単位を統一することで、製品間の環境負荷の比較が可能となる。

土壌汚染対策の外部環境負荷の評価においても、複数の土壌汚染対策方法の比較を行う必要があることから、代替案（選択肢）となりうる複数の対策、工法について比較を行えるようにするために、機能単位を統一する必要がある。土壌汚染対策の機能単位としては、

- ・ 「対策の対象とした汚染土壌量」
- ・ 「浄化処理（掘削除去を含む。）した汚染土量」
- ・ 「汚染物質（特定有害物質）の除去量（処理土量×汚染物質の低減濃度）」
- ・ 「健康リスクの低減量」

などが考えられる。

「対策の対象とした汚染土壌量」を採用した場合、汚染の浄化処理を行わない封じ込め型の対策も評価対象とすることが可能であり、また評価者が比較的容易に定量把握することが可能である（なお、ここでいう「対策」は、要措置区域における土壌汚染対策の場合には、当然、指示措置又は同等以上の措置でなければならない）。

一方、「浄化処理した汚染土量」や「汚染物質の除去量」を機能単位とした場合は、原位置封じ込めや盛土など汚染土壌の浄化処理を伴わない対策については、汚染土壌を浄化処理しないことから、土壌汚染対策法等で認められている対策であるにもかかわらず評価することができない。

また、「健康リスクの低減量」については、我が国の法体系では土壌汚染による定量的な健康リスク評価は求められておらず、リスク評価手法も規定されていないことなどから、個々の汚染サイトについて対策前後の健康リスクを定量的に評価、把握することは困難であり、現時点で機能単位として用いることは難しい。

以上の理由により本ガイドラインでは、「対策の対象とした汚染土量」を機能単位とした。

なお、異なる汚染サイトにおける対策を比較する場合には、対象土量が異なることから、単位体積（例えば  $1\text{m}^3$  当たり）などを機能単位とする必要が生じるが、具体的にどのような機能単位を用いるべきであるかは評価の目的によって異なるため、状況に応じて設定することが必要である。

#### 4.1.2 システム境界

システム境界とは、評価するプロセスとその範囲のことである。本ガイドラインでは環境に配慮した合理的な土壌汚染対策の普及を進めるため、東京都内の土壌汚染対策の施工に伴う温室効果ガスや有害化学物質の排出量などの環境負荷を定量的に評価することを目的として製造、調達、輸送、使用、廃棄の各工程について、考慮するプロセスと範囲を選定する。ここで選定された考慮するプロセス・範囲が外部環境負荷の対象となる（具体的なプロセスは第3章4節2項を、各プロセスの活動量の算定は第3章4節3項を参照のこと）。

土壌汚染対策では、汚染サイト内での掘削作業等で使用される建設機材等のエネルギーだけでなく、サイト外において土壌の搬出入（輸送）や資材・建設機材等の製造が行われる。そのため、サイト内の活動だけでなく、資機材の製造や廃棄も含めた、ライフサイクル全般の評価が必要である。図3-4に土壌汚染対策における各活動量の製造から廃棄までのフローの例を示す。

(一例)□

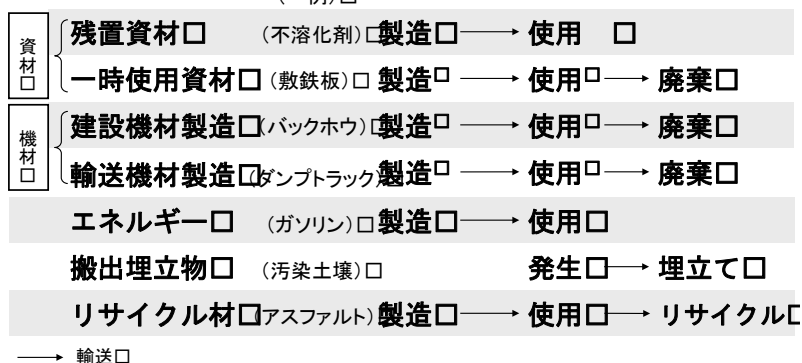


図 3-4 土壌汚染対策における各活動量の製造から廃棄までのフローの例

本ガイドラインでは、土壌汚染対策の環境負荷評価におけるシステム境界は、対策に係る資機材やエネルギー、廃棄物、汚染土壌等について、製造、調達、輸送、使用、廃棄等ライフサイクル全体を含めることを基本とし、必要に応じて境界の拡張や除外を行った。本ガイドラインで採用したシステム境界を表 3-5 に示す。

表 3-5 本ガイドラインにおけるシステム境界

項目		対象とするシステム境界				
資材	残置資材	製造	サイトへの輸送	使用		
	一時使用資材	製造◆1	サイトへの輸送	使用	サイト外への輸送	廃棄
機材	建設機材	製造◆1	サイトへの輸送	使用	サイト外への輸送	廃棄
	輸送機材	製造◆1	サイトへの輸送	使用	サイト外への輸送	廃棄
	浄化処理等装置	製造◆1	サイトへの輸送	使用	サイト外への輸送	廃棄
エネルギー		製造	サイトへの輸送	使用		
搬出埋立物				発生	サイト外への輸送	埋立て
廃棄物				発生	サイト外への輸送	処理
土壌	汚染土壌◆2			発生	[対象外：サイト外への輸送]◆3	浄化処理
	適合土		[対象外：サイトへの輸送]◆3	使用		
	清浄土	掘削	[対象外：サイトへの輸送]◆3	使用		
<p>◆1：耐用日数に対する使用日数の割合を考慮する。 機材のうち、恒久的にサイトで使用する場合には、耐用日数＝使用日数とする。</p> <p>◆2：セメント原料等にする場合は「リサイクル材」として扱う。</p> <p>◆3：システムの境界の対象外としたプロセス</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サイトで浄化処理等を行う場合は、「サイト外への輸送」は対象外。</li> <li>・サイトで浄化処理等を行った浄化土の場合は、「サイトへの輸送」は対象外。</li> <li>・サイトで入手した場合は、「サイトへの輸送」は対象外。</li> </ul>						

### 4.1.3 対象とするインベントリ・影響領域の選定

評価対象とするインベントリ、影響領域の選定は、採用する環境負荷の評価方法に応じて異なる。例えば、単一のインベントリのみで結果を評価する場合には、対象とするインベントリ（例えば、CO<sub>2</sub>）に関する情報のみが必要であるが、複数のインベントリから地球温暖化のような特性化評価をする場合には、各インベントリ及び特性化係数に関する情報が必要になる。さらに単一指標統合化をする場合には、インベントリ、特性化係数、統合化係数に関する情報が必要となり、評価が複雑化するとともに、不確実性も高まる。

本ガイドラインでは、「都評価ツール」において、基本データを入力することで、自動的に「インベントリ評価」、「特性化評価」、「単一統合化指標評価」の結果が得られることから、「3. 評価対象とする環境負荷・影響領域」で述べたとおり約 130 のインベントリ、9 の影響領域を全て対象としている。

## 4.2 各工法におけるプロセスフローの作成

環境負荷評価における活動量を算定する上で、まず各土壌汚染対策工法のプロセスフローを整理する必要がある。プロセスフローとは、各土壌汚染対策工法を工程ごとに分解し、各工程で使用される建設機材、資材等を整理したものである。通常プロセスフローとともに第3章4節1項で説明したシステム境界も含まれる。

一例として、「土壌汚染の除去 (a) 基準不適合土壌の掘削による除去」のプロセスフローとシステム境界を図3-5に、使用する建設機械、投入する資機材などを図3-6に示す。本例では、システム境界に建設・輸送機材や矢板等の一時使用資材等の製造から廃棄までが含まれている。この工法は、以下の手順で進められる。

- 1) 基準に適合しない汚染土壌を掘削して、場外又は場内で適正に処理する。
- 2) 掘削箇所は、浄化した土壌あるいは基準に適合する別の土壌（適合土）によって埋め戻す。
- 3) 対策の実施後、掘削時において地下水の汚染があった場合には2年間継続して、掘削時に地下水汚染がなかった場合には地下水汚染が生じていないことを1回確認する。

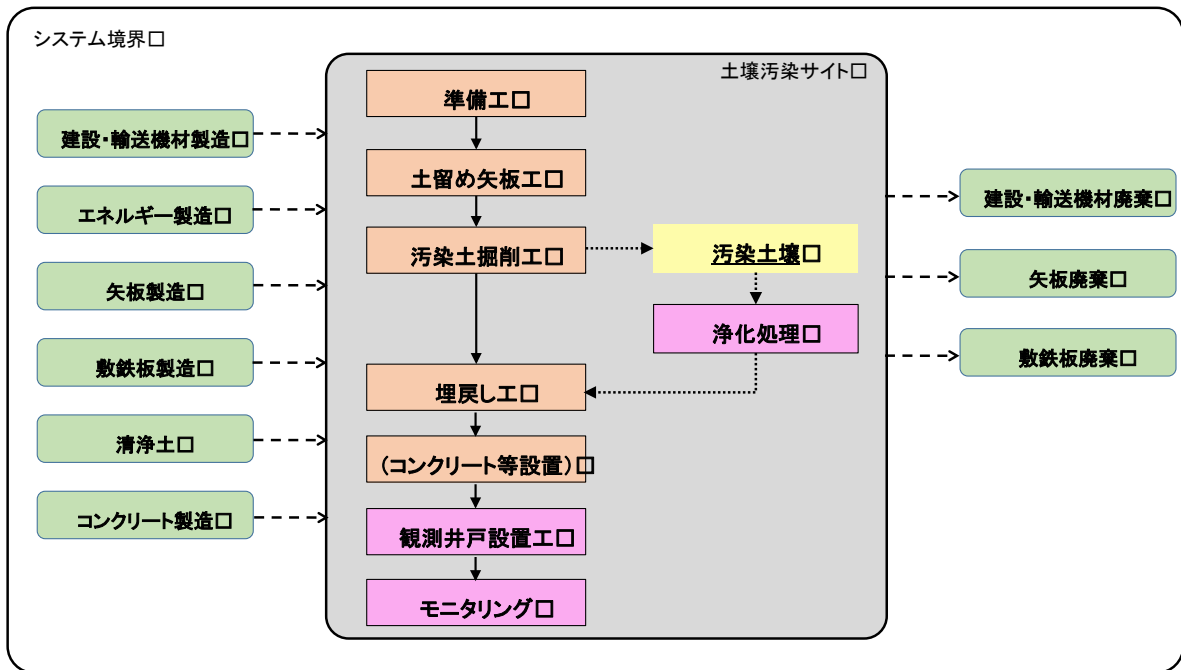


図 3-5 「土壌汚染の除去 (a) 基準不適合土壌の掘削による除去」のプロセスフローの一例

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	バックホウ、コンクリートカッター 等	- 敷鉄板
土留工	- 土留め矢板の施工	- クレーン+電動式バイプロハンマ (バイプロハンマ工)	- 矢板等
汚染掘削工	- 汚染土の掘削	- バックホウ	
埋戻し工	- 適合土による埋め戻し	- バックホウ、ブルドーザ	
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置		
モニタリング	- 継続的なモニタリング		

図 3-6 「土壌汚染の除去 (a) 基準不適合土壌の掘削による除去」で使用する建設機械・資機材



各工法のプロセスフロー及び使用する建設機械、投入する資機材などについて、土壤汚染対策法に基づく調査及び対策に関するガイドライン、中小事業者のための土壤汚染対策ガイドラインを参考にしたものを参考資料に示す。一般的な土木建設工事のいずれかの工種の施工内容に準じると考えられる工程と、土壤浄化に固有の工程又は一般的な土木建設工事の工種をかなり変更して活用していると考えられる工程への分類を試みており、図中ではその目安として色分けをしている。

また、各対策に含まれるプロセスフローの細分工程一覧を表 3-6 に整理した。なお、ここで示したプロセスフローは、環境負荷が大きいと考える主要な工程を抜き出したものであり、実際の土壤汚染対策工事に含まれる全ての詳細な工程を含んでいるものではない。さらに、地下水位が高い、地盤が硬い等、現場状況に応じて、ここで示した以外にも様々な工程が付加されることが想定される。

環境負荷評価時には、本プロセスフローを参考にしつつ、本プロセスフロー以外に現場状況に応じて環境負荷が大きいと考えられる工程がある場合には、それらの工程を付加して評価をする必要がある。

表 3-6 各対策における汚染土壌浄化処理の技術要素

土壌汚染対策に係る工法	プロセスフロー内の細分工程																				
	準備工	土留め矢板工	汚染土掘削工	掘削土の仮置き	浄化処理 (場内/場外)	不溶化処理 (場内/場外)	不溶化処理 (原位置)	遮水工施工	外部仕切り (遮断層)	遮水施設設置工	地下水浄化壁施工	埋戻し工	コンクリート蓋設置	舗装	盛土	吸引井戸／揚水井設	薬剤・栄養塩、薬剤	揚水・吸引ガス処理	観測井戸設置工	モニタリング	
遮水工封じ込め	◆		◆	◆				◆				◆		◆					◆	◆	
地下水汚染の拡大の防止*	a 揚水施設による地下水汚染の拡大の防止	◆														◆ 揚水		◆	◆	◆	
	b 透過性地下水浄化壁による地下水汚染の拡大の防止	◆								◆									◆	◆	
土壌汚染の除去	a 基準不適合土壌の掘削による除去	◆	◆	◆	◆							◆	◆						◆	◆	
	b 原位置での浄化による除去	土壌ガス吸引	◆														◆ 吸引		◆	◆	◆
		地下水揚水	◆														◆ 揚水		◆	◆	◆
		生物的分解	◆														◆ 注入	◆		◆	◆
		化学的分解	◆														◆ 注入	◆		◆	◆
原位置土壌洗浄	◆						◆								◆ 注入 揚水	◆	◆	◆	◆		
遮断工封じ込め*	◆	◆	◆					◆			◆	◆							◆	◆	
不溶化	a 原位置不溶化	◆	◆						◆			◆	◆						◆	◆	
	b 不溶化埋め戻し	◆	◆	◆		◆ 場内/ 場外								◆ 舗装/ 盛土/ 等	◆ 舗装/ 盛土/ 等				◆	◆	
舗装	◆												◆								
立入禁止*																					
土壌入換え	a 区域外土壌入換え	◆		◆	◆ 場内/ 場外		◆					◆									
	b 区域内土壌入換え	◆	◆	◆	◆							◆									
盛土	◆													◆							

\*「立入禁止」、「遮断工封じ込め」、「地下水汚染の防止の拡大」については、本ガイドラインで評価対象としているものの、都評価ツールでは評価対象としていない。

## 4.3 活動量の算定

### 4.3.1 活動量の種類

活動量は、例えば、資材（鋼矢板、杭）の使用量、運搬用の燃料使用量、工事中機械の燃料使用量など、土壌汚染対策の各プロセスフローで使用される資機材・エネルギー等の量である。

表 3-7 に土壌汚染対策の評価で必要となる活動量の種類、活動量の例を示す。主な活動量の種類としては、エネルギー、資材（一時使用・残置）、機材、廃棄物、リサイクル材等があげられる。

表 3-7 土壌汚染対策の評価で必要となる活動量の例

種類		活動量の例	環境負荷例と関係
エネルギー		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軽油（消費量）</li> <li>・ ガソリン（消費量）</li> <li>・ 電気（消費量）</li> </ul> （工程：工事、輸送等）	<b>【環境負荷】</b> エネルギー製造時、エネルギー使用時の環境負荷
資材	一時使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 削孔用ロッド（質量）</li> <li>・ 敷鉄板（質量）</li> </ul>	<b>【環境負荷】</b> 資材製造時の環境負荷
	残置資材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 不溶化剤（質量）</li> <li>・ 鋼矢板（遮水壁の場合）（質量）</li> </ul>	
機材		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ バックホウ</li> <li>・ 発電機（台数、質量）</li> <li>・ トラック（台数、質量）</li> </ul>	<b>【環境負荷】</b> 機材製造時の環境負荷（当該の工事に使用した分のみを計上）
埋立搬出物 （廃棄物）		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 汚染土壌</li> </ul>	<b>【環境負荷】</b> 埋立場所建設、維持管理
リサイクル材		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 再生アスファルト</li> <li>・ 土壌洗浄後の浄化土壌</li> </ul>	<b>【環境負荷】</b> リサイクル

以下に、資材、建設機材の製造、輸送機材の製造、エネルギー、埋立搬出物、リサイクル材に分類して述べる。

#### (1) エネルギー

エネルギーは、建設機材、作業用車両、汚染土壌運搬等で使用される。使用される代表的なエネルギーは、軽油（L）、ガソリン（L）、電気（kW・h）である。これらの活動量は、また、トラックや海運においては、エネルギーの消費量ではなく、質量・輸送距離（t・km）で活動量を算定する場合もあり[11]、この場合には、搬送物質量に移動距離を乗じて算出する。

表 3-8 エネルギーの活動量単位の例

活動量	数量単位
ガソリン	L
軽油	L
電気	kW・h

(2) 資材

資材は、その製造に必要な環境負荷を対象とする。対策終了後もサイト内で継続して使用する残置資材と、サイト内で対策期間のみ使用する一時使用資材に大別される。

残置資材は、不溶化剤や微生物分解促進用栄養剤（使用後には土壌との混合状態、又は別の物質となって現場に残留する）、コンクリート、遮水壁用の鋼矢板等が該当し、その多くの数量単位は資材質量 (kg) 又は資材体積 (m<sup>3</sup>) である。

一時使用資材は、敷鉄板、土留工資材等などが該当する。これらの一時使用資材については耐用年数に対して使用する期間が短い場合には、当該の資材・機材の活動量を耐用年数に対する作業時間の比率で配分をした値を用いることが一般的である。

表 3-9 資材の活動量単位の例

活動量	数量単位
鋼矢板	kg
不溶化剤	kg
埋戻し土	kg
コンクリート	kg
微生物分解促進用栄養剤	kg
アスファルト	kg
鉄粉	kg
過酸化水素	kg

(3) 機材

機材は、その製造に必要な環境負荷を対象とする。機材は、バックホウ、ブルドーザ、ボーリングマシン、ダンプトラック等が該当する。数量単位としては機材質量 (kg) 又は機材価格 (円) が用いられることが多い。

これらの機材については耐用年数に対して使用する期間が短い場合には、当該の資材・機材の活動量を耐用年数に対する作業時間の比率で配分をした値を用いることが一般的である。例えば、バックホウの耐用日数が 3103 日、使用日数が 70 日の場合、バックホウの製造時の環境負荷については、70/3103 分だけを計上する。

表 3-10 機材の活動量単位の例

活動量	具体的な機材	数量単位
建設機材	バックホウ、電動式バイブロハンマ、ブルドーザ、アスファルトフィニッシャ、コンクリートカッター、ボーリングマシン、自走式土質改良機	kg 又は 円
洗浄プラント	ベルトコンベア、洗浄装置、サイクロン、振動フルイ、磁力選別機、浮遊洗浄装置、ホッパー・フルイ、タンク（シクナー）、水処理設備、フィルタープレス、ポンプ	kg 又は 円
輸送機材：車両	ダンプトラック、10t トラック	kg 又は 円

(4) 廃棄物

廃棄物は、その処分時に発生する環境負荷を対象とする。一例としては、汚染サイトから搬出される汚染土壌や水処理工程から発生する汚泥等が該当する。

表 3-11 廃棄物の活動量単位の例

活動量	数量単位
汚染土壌、汚泥	kg

(5) リサイクル材

リサイクル材は、準備工程で発生するアスファルトやセメント原料となる汚染土壌等が該当し、工程内で発生してリサイクルされるものが該当する。資材に含めて評価するケースもある。

表 3-12 リサイクル材の活動量単位の例

活動量	数量単位
アスファルト	kg
土壌洗浄後の土壌	kg

### 4.3.2 活動量の算定方法

汚染サイトの情報から土壌汚染対策における活動量を算定するためには、実測法及びモデル法の2つの方法がある。以下、2つの方法をそれぞれ説明する。

#### (1) 実測法

実測法は、評価主体者が対象サイトの活動量を実測等で定量化したデータを用いる方法である。各対策のプロセスフロー内の各活動量を求める必要があり、実測値に基づくためその精度は高いものの、計画の早期段階における事前評価を行う場合、専門的知見を持たない事業者や自治体関係者、周辺住民などが評価を行う場合には、実測データを収集することは容易ではないなどの課題がある。

#### (2) モデル法

モデル法は、汚染サイトの情報から活動量を算出するためのモデルを構築し、基本データ（設定条件、パラメータ）を入力することで各活動量を算定する方法である。

モデル法は、比較的把握が容易なパラメータ（例：汚染の面積・深度、汚染の種類、移動距離など）を基に活動量を推定するモデルを用いる方法であり、容易に活動量を推定できるメリットがあるが、個別サイトや各対策工法の細かい特性については考慮できないというデメリットもある。

このような活動量を算定するモデルとしては、一般社団法人土壌環境センターが開発した土壌・地下水汚染対策事業の12種類の工法を対象とした無償のLCCO<sub>2</sub>計算ソフト「COCARA」がある[24]。都評価ツールでは、既に活動量評価において実績がある「COCARA」の活動量を参考にし、細分モジュールを組み合わせることで、20工法の活動量の算定モデルを構築した。具体的には、各工法において類似する工程（調査工程、仮設工事、掘削工事等）を含んでいることから、各工程を細分モジュール化し、モジュール単位で活動量を算定し、各モジュールを工法ごとに組み合わせる方法である。20工法で採用されたモジュールの一覧を表3-14に示す。

モデル法を用いた活動量の算定方法の例として、封じ込め（鋼矢板＋コンクリート舗装）における鋼矢板打設工事のエネルギー消費量について、インプット、活動量の算出に使用するパラメータを表3-13に示す。

鋼矢板及び油圧式圧入引抜機の搬入・搬出用のトレーラーのエネルギー消費量は、総移動距離をインプットデータとして、単位エネルギー消費量を乗じて使用に伴うエネルギー消費量を算定する。また、鋼矢板打設における圧入時の油圧式圧入引抜機のエネルギー消費量は、鋼矢板の枚数をインプットデータとして、時間当りの打ち込み可能枚数、機関出力、燃料消費率から使用に伴うエネルギー消費量を算定する。

同じく鋼矢板打設工事の機材資材損耗量について、まず、対策範囲（土量、汚染深さ等）、工期、施工歩掛をインプットデータとし、施工・運搬で使用される機材及び資材は、耐用年数（時間）に対する使用（稼働）時間の割合又は、耐用回数に対する使用回数の割合を損耗とし、機材・資材質量に耐用年数に対する稼働時間の割合を乗じて稼働に伴う機材資材使用質量を算定する。

表 3-13 封じ込め（鋼矢板+コンクリート舗装）における鋼矢板打設工事の活動量

算出区分1：エネルギー消費分

種目1	種目2	資材名称・機械名称	規格	インプットデータ	総稼働時間 [hr]	機関出力 [kW]	燃料消費率 [L/kWh]	単位エネルギー消費量	燃料種類	エネルギー消費量
建設機械・資材搬入・搬出	機械搬入・搬出（油圧式圧入引抜機）	トレーラ	20t 積	移動距離 80km 工期 300 日 対策範囲（土量）	-	-	-	0.382L/km	軽油	30.6L
	資材搬入（鋼矢板）	トレーラ	20t 積	移動距離 120km 対策範囲（土量）	-	-	-	0.382L/km	軽油	45.8L
鋼矢板圧入	機械組立・解体	油圧式圧入引抜機	排ガス対策型、質量 12.9t	台数（工期）	4.0	147	0.145		軽油	85.3L
		ラフテレーンクレーン	排ガス対策型、油圧式 25t 吊	台数（工期）	4.8	193	0.103		軽油	95.4L
	圧入	油圧式圧入引抜機	排ガス対策型、質量 12.9t	鋼矢板枚数（対策範囲）	240.0	147	0.145		軽油	5,120L
	圧入（補助）	ラフテレーンクレーン	排ガス対策型、油圧式 25t 吊	鋼矢板枚数（対策範囲）	240.0	193	0.103		軽油	4,770L

※鋼矢板打設工事の活動量の算定は 1)対策範囲（土量、汚染深さ等）、工期、施工歩掛をインプットデータとし、2)施工・運搬で使用される機材及び資材は、耐用年数（時間）に対する使用（稼働）時間の割合又は、耐用回数に対する使用回数の割合を損耗とし、機材・資材質量に耐用年数に対する稼働時間の割合を乗じて稼働に伴う機材資材使用質量を算定する。

算出区分2：機材・資材損耗分

種目1	種目2	資材名称・機械名称	規格	インプットデータ	数量	総稼働時間 [hr]	耐用年数	素材	使用質量 (kg)
資材損耗		鋼矢板	鋼矢板 VL 型 L=140m H=11m	対策範囲、圧入長（汚染深さ）	146.30	87,600	10.0	普通鋼型鋼	146,300
建設機械・資材搬入・搬出	機械搬入・搬出	トレーラ	20t 積	機械総質量（汚染土量等より算定）	15.90	4	11.0	トラック・バス・その他の自動車	9
	資材搬入	トレーラ	20t 積	資材総質量（汚染土量等より算定）	15.90	2	11.0	トラック・バス・その他の自動車	35
鋼矢板圧入	機械組立・解体	油圧式圧入引抜機	質量 12.9t	施工歩掛（圧入日当り施工枚数等）	12.90	4	8.4	鉱山・土木建設機械	8
		ラフテレーンクレーン	油圧式 25t 吊	施工歩掛（圧入日当り施工枚数等）	26.70	4.8	10.9	鉱山・土木建設機械	14
	圧入	油圧式圧入引抜機	質量 12.9t	稼働時間（鋼矢板枚数より算定）	12.90	280	8.4	鉱山・土木建設機械	538
	（補助）	ラフテレーンクレーン	油圧式 25t 吊	稼働時間（鋼矢板枚数より算定）	26.70	280	10.9	鉱山・土木建設機械	788

表 3-14 都評価ツールの 20 工法とモジュールとの対応一覧

土壌汚染対策に係る工法		モジュール																									
		概況調査(表層土壌調査)	概況調査(土壌ガス調査)	詳細調査	追加詳細調査	地下水調査	観測井戸設置	揚水井戸設置	注入井戸設置	仮設工事(土留め)	直接工事(掘削・埋戻し)	直接工事(遮水壁)	鋼矢板打設工事	連続地中壁工事	舗装工事	鉄粉注入攪拌	浄化作業	注入作業	地下水モニタリング	場外処分	洗浄処理	生石灰混合処理	不溶化処理	共通仮設工事	チェックボーリング	対策後調査	地下水モニタリング
掘削・場外搬出	セメント工場処理	◆		◆	◆		◆			◆	◆										◆				◆	◆	
	洗浄プラント処理	◆		◆	◆		◆			◆	◆											◆			◆	◆	
掘削・オンサイト処理	生石灰混合処理		◆	◆	◆		◆			◆	◆											◆			◆	◆	
	不溶化処理	◆		◆	◆		◆			◆	◆												◆		◆	◆	
原位置封じ込め	鋼矢板＋コンクリート舗装	◆	◆	◆	◆		◆					◆		◆											◆	◆	
	鋼矢板＋アスファルト舗装	◆	◆	◆	◆		◆					◆		◆											◆	◆	
	柱列壁＋コンクリート舗装	◆	◆	◆	◆		◆						◆	◆											◆	◆	
	柱列壁＋アスファルト舗装	◆	◆	◆	◆		◆						◆	◆											◆	◆	
原位置での浄化による除去	鉄粉原位置混合		◆	◆	◆		◆								◆										◆	◆	
	揚水		◆	◆	◆	◆	◆	◆								◆			◆						◆	◆	◆
	嫌気バイオ注入		◆	◆	◆	◆	◆	◆										◆	◆						◆	◆	◆
	フェントン注入		◆	◆	◆	◆	◆	◆										◆	◆						◆	◆	◆
遮水工封じ込め*	コンクリート舗装	◆	◆	◆	◆		◆				◆			◆											◆	◆	
	アスファルト舗装	◆	◆	◆	◆		◆				◆			◆											◆	◆	
舗装	コンクリート舗装	◆	◆	◆	◆		◆							◆											◆	◆	
	アスファルト舗装	◆	◆	◆	◆		◆							◆											◆	◆	
区域外土壌入換え	セメント工場処理	◆	◆	◆	◆		◆			◆	◆										◆				◆	◆	
	洗浄プラント処理	◆	◆	◆	◆		◆			◆	◆											◆			◆	◆	



#### 4.4 環境負荷原単位

4.3 で算定した活動量（例えば、軽油、ガソリン、鋼矢板（鉄製造）等）から土壌汚染対策の環境負荷を算定するためには、各活動量に対して評価対象とするインベントリ（例えば、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等）の原単位データを揃える必要がある。

##### (1) 活動量項目とインベントリデータ項目のマッチング

これらの環境負荷項目の原単位は、国内のデータベースとして、現時点で最新のデータベースの一つであり、かつ多くの環境負荷項目を網羅している IDEA が参考になる。IDEA では、多くの項目に対して、[エネルギー：例えばガソリン、灯油]、[製品：例えば砕石、酢酸、アスファルト、普通鋼型鋼]、[サービス：工業用水、廃棄物処分、セメント製造]等に分類されたインベントリデータが整備されている。これらの整備されているインベントリデータ項目の中から、活動量項目と同一又は類似した項目を探す必要がある。

表 3-15 に都評価ツールの活動量項目に対して、採用した IDEA のデータ項目の一覧を示す。例えば、都評価ツールにおいては、ガソリンのように活動量項目及び IDEA の項目にも同一のものがある場合には、当該項目を採用した。一方、活動量項目に対応する項目が IDEA のデータベースには存在しない場合には、類似した項目を設定した。例えば活動量の [鋼矢板] はデータベースに存在しないため、IDEA の [普通鋼型鋼] のデータを採用している。同一のものがない場合には、IDEA 等のインベントリデータベースのどの項目を採用するかにより結果が大きく変わることから、その選択においては注意が必要である。また、適切なインベントリデータベースがなく、活動量項目のマッチングの点で不確実性が大きいインベントリデータベース項目を採用した場合には、その旨を評価結果に記載するとともに、感度解析を実施して影響を確かめることが望ましい。

##### (2) インベントリデータの取得

表 3-16 に本ガイドライン及び都評価ツールが対象とする環境負荷項目の一覧を示す。IDEA を参照とした場合、各インベントリデータベース項目に対して、消費（資源消費など）項目、排出（環境負荷排出項目）項目と合わせて、約 130 の環境負荷項目が存在する。これらの項目の中から、外部環境負荷の評価対象とするインベントリデータを取得する。

##### (3) 整備されるデータ

これらのデータ整備により、表 3-17 のような各活動量と環境負荷原単位データが整備される。

表 3-15 都評価ツールの活動量項目に対して使用した IDEA のデータ

種類	活動量の名称	土壌・地下水汚染対策での活動量	単位	使用した IDEA のデータ項目及び換算方法
エネルギー	ガソリン	燃料	[-/L]	ガソリンの燃焼(単位: MJ)を L に換算
エネルギー	軽油	燃料	[-/L]	軽油の燃焼(単位: MJ)を L に換算
エネルギー	電気	電力	[-/kWh]	発電系統電力(単位: kWh)
製品	生石灰	ホットソイル薬剤	[-/kg]	生石灰の製造(単位: kg)
製品	砂利・砕石	埋戻、管巻	[-/kg]	骨材・山砂の製造(単位: kg)
製品	砕石	路盤	[-/kg]	砕石の製造(単位: kg)
製品	その他の非金属鉱物	ベントナイト	[-/kg]	ベントナイトの生産(単位: kg)
製品	Vegetable Oil(糖みつ)	栄養剤	[-/kg]	粗糖(糖みつ、黒糖を含む)の製造(単位: kg)
製品	その他の無機化学工業	薬品	[-/kg]	その他の他に分類されない無機化学工業製品の製造(単位: kg)
製品	過酸化水素	フェンソ薬剤	[-/kg]	過酸化水素の製造(単位: kg)
製品	クエン酸(発酵法)	フェンソ薬剤	[-/kg]	くえん酸発酵法の製造(単位: kg)
製品	塩化第二鉄(38%水溶液)	不溶化剤	[-/kg]	塩化第二鉄(38%水溶液)の製造(単位: kg)
製品	ポリエチレン(高密度)	薬液タンク	[-/kg]	高密度ポリエチレン(HDPE)の製造(単位: kg)
製品	塩化ビニル樹脂	井戸管、ホース	[-/kg]	塩化ビニル樹脂(PVC)の製造(単位: kg)
製品	アスファルト	アスファルト舗装	[-/kg]	アスファルトの製造(単位: kg)
製品	プラスチック板・管・棒	井戸材	[-/kg]	プラスチック管、塩化ビニルの製造(単位: kg)
製品	セメント	固化剤	[-/kg]	ポルトランドセメントの製造 <JCA>(単位: kg)
製品	生コンクリート	舗装材料	[-/kg]	生コンクリートの製造(単位: m <sup>3</sup> )を比重 2.3t/m <sup>3</sup> で換算
製品	活性炭	ガス処理	[-/kg]	活性炭の製造(単位: kg)
製品	普通鋼型鋼	鋼矢板、H 鋼、架台	[-/kg]	普通鋼形鋼の製造(単位: kg)
製品	普通鋼小棒	鉄筋、鉄網	[-/kg]	普通鋼棒鋼の製造(単位: kg)
製品	鉄粉	浄化用鉄粉	[-/kg]	鉄粉、純鉄粉の製造(単位: kg)
製品	電線・ケーブル	電気配線	[-/導体 kg]	電線・ケーブル(光ファイバケーブルを除く)の製造(単位: kg-導体)
製品	建設用金属製品	仮囲い	[-/kg]	その他の建設用金属製品の製造(単位: kg)
製品	ポンプ及び圧縮機	注入ポンプ、水中ポンプ	[-/kg]	耐しょく性ポンプ(化学工業用特殊ポンプ)の製造(単位: 台)を kg あたりに換算
製品	機械工具	ハンマードリル	[-/kg]	電動工具の製造(単位: 台)を kg あたりに換算
製品	鉱山・土木建設機械	掘削・埋戻機械	[-/kg]	その他の建設機械・鉱山機械の製造(単位: 円)を kg あたりに換算
製品	発電機器	発電機	[-/kg]	発電機(160-200MVA 級)の製造(単位: 台)を kg あたりに換算
製品	乗用車	ライトバン、ワンボックス車	[-/kg]	普通乗用車(気筒容量 2000ml を超えるもの)(シャシーを含む)の製造(単位: 台)を kg あたりに換算
製品	トラック・バス・その他の自動車	トラック、トレーラ	[-/kg]	トラック(けん引車を含む)の製造(単位: 台)を kg あたりに換算
製品	分析器・試験機・計量器・測定器	分析装置	[-/kg]	電気測定器の製造(単位: 台)を kg あたりに換算
製品	鋳鉄品	井戸ます	[-/kg]	鋳鉄铸件(鋳鉄管、可鍛鋳鉄を除く)の製造(単位: kg)
製品	ステンレス鋼板	活性炭塔	[-/kg]	ステンレス鋼板の製造(単位: kg)
製品	製缶板金製品	モルタルプラント	[-/kg]	製缶板金製品の製造(単位: 円)を kg あたりに換算
製品	その他の石油化学基礎製品	薬品 高分子	[-/kg]	石油化学系基礎製品(一貫して生産される誘導品を含む)の製造(単位: 円)を kg あたりに換算
サービス	工業用水	水	[-/ m <sup>3</sup> ]	工業用水道の供給(単位: m <sup>3</sup> )
サービス	廃棄物処分	廃棄物	[-/kg]	埋立処分(産廃)(単位: kg)を適用。ただし、基本フローとして計上される“汚泥(埋立)”については、産廃中間処理、汚泥(単位: kg)が適用されるものとした。
サービス	セメント工場処分		[-/ t]	セメント販売価格(10000 円/t)、汚染土壌受入価格(8000 円/t)、セメント中の土壌の割合(0.1)を元に、セメント製造プロセスに投入されるエネルギーに由来する環境負荷を配分

表 3-16 都評価ツールが用いた IDEA のデータベースに格納されたインベントリ

分類	環境負荷項目 (インベントリ) の名 称	採取圏 排出圏	小分類	分類	環境負荷項目 (インベントリ) の名 称	採取圏 排出圏	小分類
入力	一般炭, 25.7MJ/kg	陸域	非再生可能エネルギー	入力	カオリン	陸域	非再生材料
入力	原油, 44.7MJ/kg	陸域	非再生可能エネルギー	入力	ケイ砂	陸域	非再生材料
入力	原料炭, 29.0MJ/kg	陸域	非再生可能エネルギー	入力	タルク	陸域	非再生材料
入力	天然ガス, 54.6MJ/kg	陸域	非再生可能エネルギー	入力	ドロマイト	陸域	非再生材料
入力	天然ガス液, 46.5MJ/kg	陸域	非再生可能エネルギー	入力	ベントナイト	陸域	非再生材料
入力	ウラン,U3O8	陸域	非再生可能エネルギー	入力	ボーキサイト	陸域	非再生材料
入力	アンチモン	陸域	非再生可能元素	入力	塩化ナトリウム	陸域	非再生材料
入力	クロム	陸域	非再生可能元素	入力	珪石	陸域	非再生材料
入力	コバルト	陸域	非再生可能元素	入力	珪藻岩	陸域	非再生材料
入力	タングステン	陸域	非再生可能元素	入力	螢石	陸域	非再生材料
入力	チタン	陸域	非再生可能元素	入力	黒鉛鉱	陸域	非再生材料
入力	ニッケル	陸域	非再生可能元素	入力	蛇紋岩	陸域	非再生材料
入力	バナジウム	陸域	非再生可能元素	入力	石灰石	陸域	非再生材料
入力	バリウム	陸域	非再生可能元素	入力	長石	陸域	非再生材料
入力	ビスマス	陸域	非再生可能元素	入力	粘土	陸域	非再生材料
入力	ホウ素	陸域	非再生可能元素	入力	一次エネルギー(地熱)	陸域	再生可能 エネルギー
入力	マンガン	陸域	非再生可能元素	入力	フィールドラテックス	陸域	再生可能材料
入力	モリブデン	陸域	非再生可能元素	入力	一次エネルギー(水力)	水圏	再生可能 エネルギー
入力	リチウム	陸域	非再生可能元素	入力	かん水	水圏	再生可能材料
入力	リン	陸域	非再生可能元素	入力	海水	水圏	再生可能材料
入力	亜鉛	陸域	非再生可能元素	入力	地下水	水圏	再生可能材料
入力	鉛	陸域	非再生可能元素	入力	地表水	水圏	再生可能材料
入力	金	陸域	非再生可能元素	入力	一次エネルギー(太陽 光)	大気	再生可能 エネルギー
入力	銀	陸域	非再生可能元素	入力	空気	大気	再生可能材料
入力	砂	陸域	非再生可能元素	出力	2,3,7,8-テトラクロロ ジベンゾジオキシン	大気	不特定
入力	大理石	陸域	非再生可能元素	出力	CH <sub>4</sub> (発生源不特定)	大気	不特定
入力	鉄	陸域	非再生可能元素	出力	CH <sub>4</sub> (化石資源由来)	大気	都市域 (地表付近)
入力	銅	陸域	非再生可能元素	出力	CO	大気	不特定
入力	白金	陸域	非再生可能元素	出力	CO	大気	都市域 (地表付近)
入力	硫黄	陸域	非再生可能元素	出力	CO <sub>2</sub> (化石資源由来)	大気	不特定
出力	CO <sub>2</sub> (化石資源由来)	大気	都市域 (地表付近)	出力	acid (as H <sup>+</sup> )	水圏	不特定
出力	NH <sub>3</sub>	大気	不特定	出力	BOD	水圏	不特定
出力	NO <sub>2</sub>	大気	都市域 (地表付近)	出力	C6 アルキルベンゼン	水圏	不特定
出力	NO <sub>x</sub>	大気	不特定	出力	COD	水圏	不特定
出力	NO <sub>x</sub>	大気	都市域 (地表付近)	出力	アンモニウムイオン	水圏	不特定
出力	PM <sub>10</sub>	大気	不特定	出力	カドミウム	水圏	不特定
出力	PM <sub>10</sub>	大気	都市域 (地表付近)	出力	クロム	水圏	不特定
出力	SF <sub>6</sub>	大気	不特定	出力	コバルト	水圏	不特定
出力	SO <sub>2</sub>	大気	不特定	出力	ニッケル	水圏	不特定
出力	SO <sub>2</sub>	大気	都市域 (地表付近)	出力	ニッケル化合物	水圏	不特定
出力	SO <sub>x</sub>	大気	不特定	出力	ヒ素	水圏	不特定
出力	SO <sub>x</sub>	大気	都市域 (地表付近)	出力	フェノール	水圏	不特定
出力	カドミウム	大気	不特定	出力	フッ化水素	水圏	不特定
出力	クロム	大気	不特定	出力	ホウ素	水圏	不特定
出力	コバルト	大気	不特定	出力	マンガン	水圏	不特定
出力	ニッケル	大気	不特定	出力	亜鉛	水圏	不特定
出力	パーフルオロメタン	大気	不特定	出力	鉛	水圏	不特定
出力	ばいじん(> PM10)	大気	不特定	出力	処理済水	水圏	不特定
出力	バナジウム	大気	不特定	出力	水銀	水圏	不特定

分類	環境負荷項目 (インベントリ) の名称	採取圏 排出圏	小分類	分類	環境負荷項目 (インベントリ) の名称	採取圏 排出圏	小分類
出力	ヒ素	大気	不特定	出力	全リン	水圏	不特定
出力	フッ化水素	大気	不特定	出力	全窒素	水圏	不特定
出力	亜鉛	大気	不特定	出力	炭化水素	水圏	不特定
出力	鉛	大気	不特定	出力	銅	水圏	不特定
出力	塩化水素	大気	不特定	出力	浮遊物質(SS)	水圏	不特定
出力	塩素	大気	不特定	出力	硫酸	水圏	不特定
出力	揮発性有機化合物	大気	不特定	出力	汚泥(埋立)	陸域	管理域内
出力	水銀	大気	不特定	出力	金属くず(埋立)	陸域	管理域内
出力	水蒸気	大気	対流圏	出力	鉱さい(埋立)	陸域	管理域内
出力	炭化水素	大気	不特定	出力	低レベル放射性廃棄物	陸域	管理域内
出力	炭化水素	大気	都市域 (地表付近)	出力	土砂(埋立)	陸域	管理域内
出力	銅	大気	不特定	出力	その他の土壌排出物	-	-
出力	非メタン炭化水素	大気	不特定				
出力	硫化水素	大気	不特定				
出力	硫酸	大気	不特定				

データ：＜IDEA のバージョン情報＞IDEA Ver.1 (2012/07/10)

表 3-17 活動量と環境負荷原単位データ整備の一例  
(縦軸活動量、横軸各インベントリの環境負荷原単位)

土壌地下水汚染対策に おける活動量の項目	マッチングした インベントリデータベース の項目	環境負荷項目		
		出力	出力	.....
		CO <sub>2</sub> (化石資源由来)	PM <sub>10</sub>	.....
		大気	大気	.....
		不特定	都市域 (地表付近)	.....
		kg	kg	.....
電力 [kWh]	電力 [/kWh]	5.36.E-01	1.86.E-17	.....
ガソリン (L)	ガソリン (/MJ)	7.86.E-02	3.16.E-22	.....
アスファルト (kg)	アスファルト (/kg)	1.31.E-01	2.11E-21	.....
トラック、トレーラ (kg)	トラック・バス・その他の 自動車 (/kg)	3.52E+00	7.59E-17	.....
鋼矢板 (kg)	普通鋼型鋼 (/kg)	1.38E+00	7.94E-18	.....
浄化用鉄粉 (kg)	鉄粉 (/kg)	.....	.....	.....
汚泥埋立 (kg)	廃棄物処分(汚泥) (/kg)	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....

データ：＜IDEA のバージョン情報＞ IDEA Ver.1 (2012/07/10)より

#### 4.5 環境負荷の算定

環境負荷は、得られた各活動量に対して、環境負荷原単位を乗じ、それらを合計することで得られる（図 3-7）。例えば、汚染土掘削工の場合には、矢板等の資材投入量や運搬に必要な燃料、掘削に用いる重機の使用する燃料が活動量にあたる。これに対し、資材の単位数（1kg）あたりを製造するのに必要な環境負荷が環境負荷原単位（CO<sub>2</sub>-g/kg 等）となり、これらを乗じ、合計することで環境負荷を算出する。

また、簡易的・事前評価的に環境負荷を計算するためには、4.3.2 で述べたように、活動量推定モデルを用いた計算モジュール及び原単位 DB を準備しておき、全工法共通の入力項目（汚染面積、深さ等）と工法別の入力項目を入力することで、各種インベントリが計算できるようにすることが可能となる（図 3-8）。

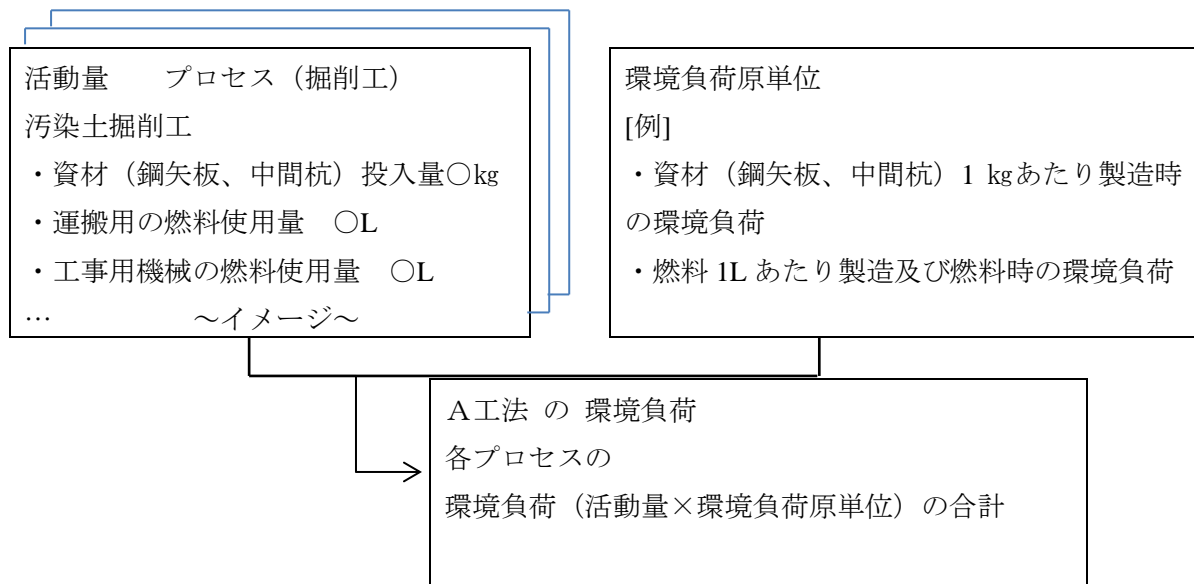


図 3-7 環境負荷の算定

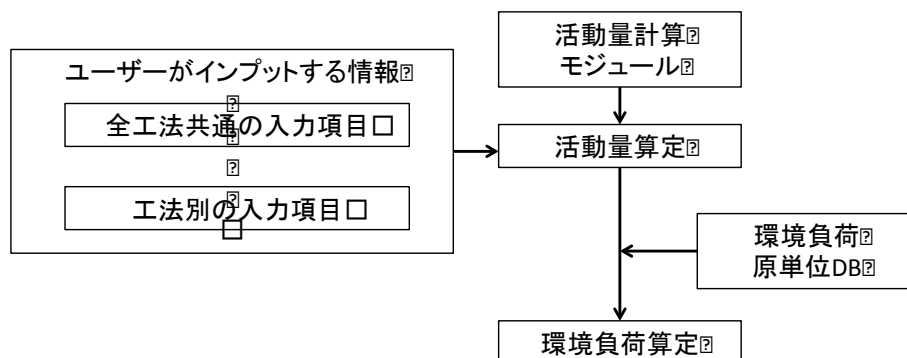


図 3-8 簡易的・事前評価的に環境負荷を計算するための概念図

## 5. 環境負荷の評価

インベントリ分析の結果を基に環境負荷を評価・解釈する方法を段階順に大別すると、(1)インベントリ分析、(2)特性化、(3)指標の統合化、となる。第3章4節1項3で述べたとおり、評価において、どのインベントリを評価に用いるのか、算定されたインベントリに対して特性化、統合化を実施するのか、インベントリのみで評価をするのか、評価の目的に応じて設定することが必要である。

初期の段階で、環境負荷の評価に関して「特定のインベントリ（例えば CO<sub>2</sub> 等）」しか評価しないことが決定している場合には、全てのインベントリ分析、特性化評価は実施する必要はなく、対象とするインベントリのみ評価を実施すればよい。

### (1) インベントリ分析

土壌汚染対策に係る環境負荷項目（CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等）を個別にライフサイクル全体で計算する。単一のインベントリのみで評価をする場合、複数のインベントリを評価する場合がある。インベントリ評価を採用するケースとしては、評価対象とする対策において重要となるインベントリが明確な場合、又はステークホルダーが重要視するインベントリが明確な場合が想定される。

US-EPA の SEFA はインベントリ分析による定量データを用いて、20 項目の評価指標に基づく定量評価ツールであり、一般社団法人土壌環境センターの COCARA はインベントリ分析による CO<sub>2</sub> 排出量の定量評価ツールである。

### (2) 特性化評価

各環境負荷項目の影響を、地球温暖化や人の健康影響等の影響領域ごとにまとめて算定する。個別の影響領域のみを評価する場合、複数の影響領域を評価する場合がある。特性化評価を採用するケースとしては、ステークホルダーの重要視する影響領域が明確な場合、影響領域ごとの環境負荷を個別に知りたい場合が想定される。

### (3) 単一統合指標評価（統合化）

各影響領域について、重み付け等を行い、一つあるいは少数の指標に統合化する。ステークホルダーが、より多くの環境負荷について統合評価を希望する場合には、単一統合指標評価を用いることが想定される。

それぞれの概要は、下記のとおりである。

## 5.1 インベントリ分析

表 3-18 に示すように、環境負荷項目（インベントリ）ごとの結果を示す方法である。あらかじめ重要な環境負荷項目（インベントリ）を絞り込んだ上で、それらの結果のみを用いて、土壌汚染対策の工法間の比較を行うことも可能である。

インベントリ分析の事例としては、COCARA（一般社団法人土壌環境センター[24]）や保高ら（2009）[11]は、影響領域として地球温暖化、指標とするインベントリとして CO<sub>2</sub> を選択している。また、US-EPA の SEFA は、インベントリ分析による定量データを用いて、表 2-5 に示す 20 項目の指標を用いて評価をしている。

重要な項目の絞り込み手法としては、各工法に対する感度解析を事前に実施し、重要な項目を抽出する手法が考えられる。例えば、保高（2014）は重金属汚染土壌に対する 5 つの対策方法に対して LIME2 を適用して統合評価を行った結果、影響領域としては地球温暖化・都市大気汚染・資源消費、インベントリとしては、CO<sub>2</sub> 排出、PM<sub>10</sub> 排出、原油消費、NO<sub>2</sub> 排出の 4 つが全体の環境負荷の 8 割以上を占めていることを示している[30]。このように、対象とする対策工法毎に、重要となるインベントリを事前に示すことで、評価対象とするインベントリを絞り込むことも可能となる。

表 3-18 インベントリ分析による工法間の比較（イメージ）

環境負荷項目	A 工法	B 工法	C 工法	…
CO <sub>2</sub>	40000	30000	20000	
NO <sub>x</sub>	100	100	500	
原油	400	500	200	
⋮				

（メリット）

多種多様な環境負荷項目（CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等）ごとに、排出量や消費量といった具体的な数量を把握することができるため、個々の項目の意味を理解しやすい。

（デメリット）

事前に評価対象とする環境負荷項目の絞り込みができなかった場合、評価主体者（評価実施者等）や結果の利用者は、多数の環境負荷項目の評価結果を基に意思決定をすることが必要となるため、意思決定が難しくなるケースも有る。

## 5.2 特性化

インベントリデータを、たとえば地球温暖化や都市域大気汚染等の影響領域ごとにまとめる。影響領域ごとに関係する環境負荷（例えば地球温暖化）について、特性化係数（例えば地球温暖化係数など）を用いて、共通の単位（例えばCO<sub>2</sub>相当量）に換算し、評価する方法である。これらの特性化は LIME2 にて特性化係数を用いることで計算可能となり、都評価ツールでは、LIME2 の特性化係数を組み込んでいる。

(メリット)

9 の影響領域に結果をまとめることで、判断に用いる指標の数を減らすことができる。指標の意味について、ある程度、具体的なイメージができる。基本的には、科学的な手法により係数を設定するものであり、たとえば地球温暖化の領域での特性化係数は、地球温暖化係数を利用するなど、社会的な理解や合意が得られているものも多い。また、主観的な要素が少なく、納得感が得られやすい。

(デメリット)

一方、廃棄物など情報や知見が多くなかったり、サイト毎に大きく数値がばらついたりすることなどから、統合化係数について不確実性が高い領域がある。また、依然として9指標が存在し、それぞれの指標間にトレードオフが含まれる場合も少なくないため、判断が難しい場合もある。

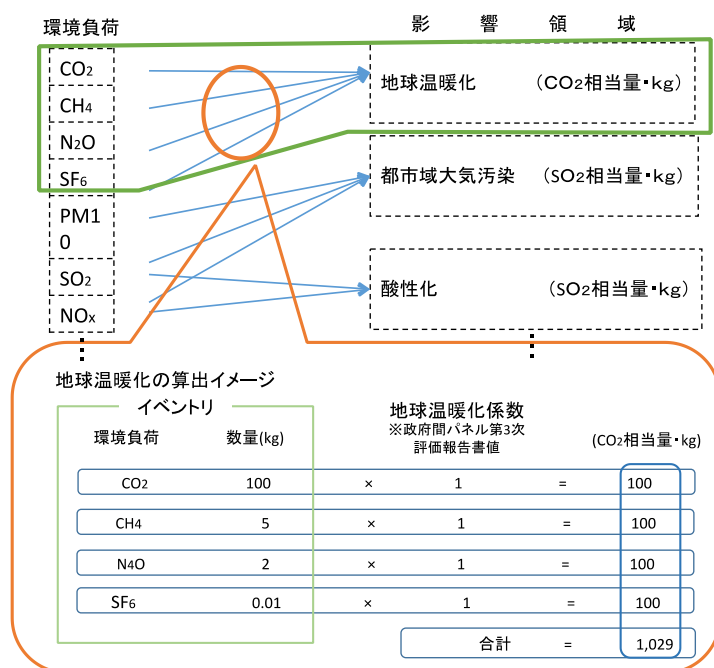


図 3-9 特性化 (イメージ)



### 5.3 統合化

インベントリ分析や特性化の結果を評価主体者や利用者、ステークホルダーの目的、選好に対して、適切な重み付け係数を用いて重み付けをする等して、一つあるいは少数の指標に統合化する方法である。図 3-10 には、統合化のイメージとして、インベントリ、特性化、単一指標への統合化をはかるイメージ図を示す。

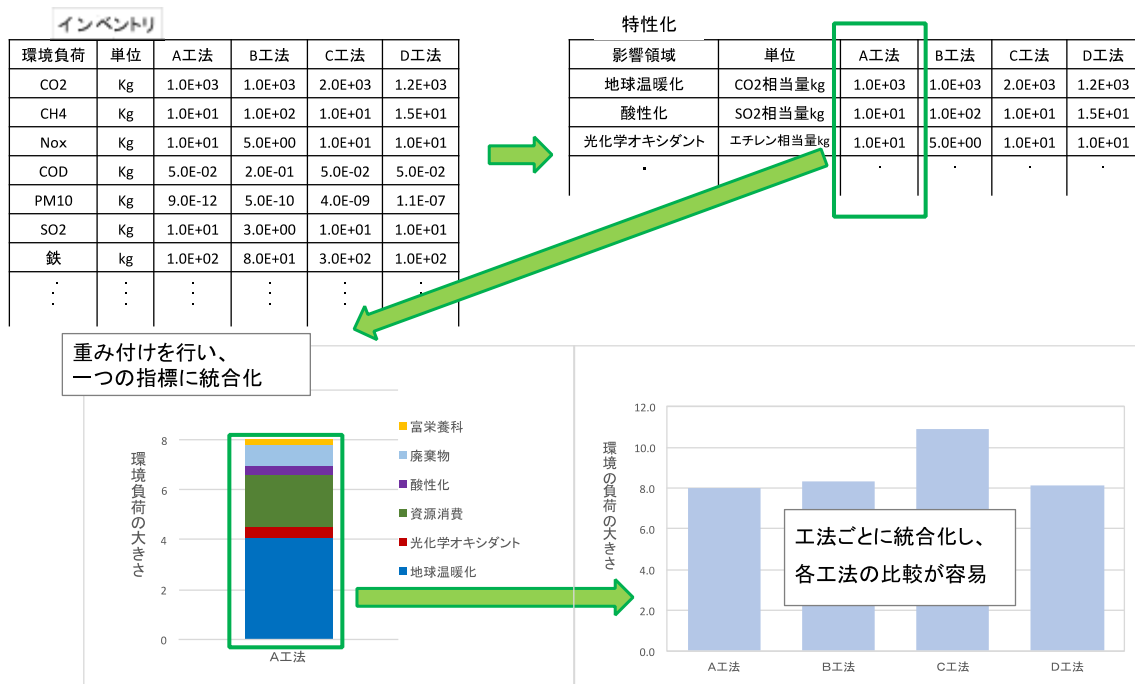


図 3-10 指標の統合化（イメージ）

（メリット）

評価主体者や利用者、ステークホルダーの目的、選好に対して適切な重み付けにより、トレードオフの関係にある場合も多い係数の指標を統合化することは、土壌汚染対策（工法）を比較する観点では、分かりやすい指標であり、利用者にとって活用しやすい。

（デメリット）

項目間のトレードオフに対する価値判断は、主観的なものであり、評価主体者や結果の利用者、ステークホルダーの立場、選好により重み付けは異なる。現時点では、土壌汚染対策の分野においても、社会的合意が得られた重み付け係数やそれを得る方法は存在しない。また、個々の項目に関する情報が見えなくなる。重み付けによる不確実性が大きくなる。

指標の統合化に用いることができる代表的な手法としては、インパクト評価（Life Cycle Impact Analysis）、費用便益分析（CBA）、階層分析法（Analytic Hierarchy Process: AHP）などの手法があるが、本ガイドラインでは日本におけるインパクト評価法として確立されたLIME2を用いることとする。

以下にLIME2の評価方法の全体像とLIME2における影響領域と排出先、被害との関係の一覧表を示す。LIME2では15の影響領域を基本として、カテゴリエンドポイントに対する被害評価を経て4つの保護対象への被害評価を実施し、さらにその保護対象ごとの被害評価の結果を単一指標として統合化される。単一指標としては、無次元のEco-indexと金額(円)の2つの指標が用意されている。また、LIME2では、統合化するための係数（統合化係数）だけではなく、多様なLCA実施者らの目的に対応することを配慮し、4つの保護対象に対する係数（被害係数）、15の影響領域に対する係数（特性化係数）が用意されている。LIME2の詳細については文献[28]を参照されたい。

また、日本において土壌汚染対策の外部環境負荷の統合化の研究事例としては、LIME2を使用した研究事例[30]、環境、経済、社会の категория と関係するパラメータを評価の簡便性という観点から選定し、環境負荷や残存の汚染物質質量に伴う対策に基づく外部費用と対策費用の合計を総費用として統合化した研究事例[31]がある。

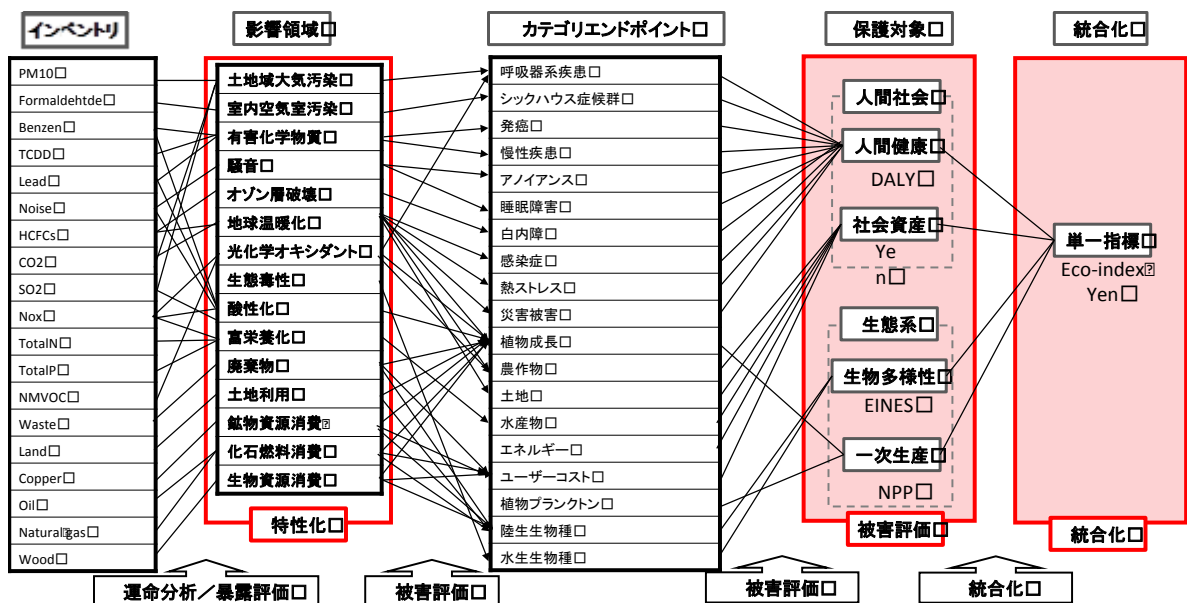


図 3-11 LIME2 の全体像 (文献[32]の図より引用)

表 3-19 LIME2 における影響領域・カテゴリエンドポイントの整理(文献 27 を参考に作成)

類	影響領域	評価項目例	排出先			保護対象ごとのカテゴリエンドポイント (ここでは特性化係数ではなく、被害係数を対象に整理)			
			大気	水域	土壌	人間健康	社会資産	生物多様性	一次生産
環境影響	地球温暖化	・CO <sub>2</sub> ・CH <sub>4</sub>	○			・熱ストレス ・感染症 ・災害被害 ・栄養不足・飢餓	・農業生産 ・エネルギー消費 ・土地損失		
	オゾン層破壊	・CFC-11 ・HCFC-22	○			・皮膚がん ・白内障	・農業生産 ・木材生産		・陸域生態系 ・水域生態系
	光化学オキシダント	・VOCs ・NO <sub>x</sub>	○			・呼吸器疾患	・農業生産 ・木材生産		・陸域生態系
	酸性化	・SO <sub>2</sub> ・NO <sub>2</sub>	○				・木材生産 ・漁業生産		・陸域生態系
	富栄養化	・T-N ・T-P		○			・漁業生産		
	生態毒性	・ホルムアルデヒド ・ベンゼン	○	○	○			・水域生態系	
	人健康毒性	・ホルムアルデヒド ・ベンゼン	○	○	○	・各種がん ・慢性疾患			
	廃棄物	・産業廃棄物(廃プラスチック類) ・産業廃棄物(金属くず)			○埋立		・埋立空間	・陸域生態系	・陸域生態系
	(都市域)大気汚染	・SO <sub>2</sub> ・NO <sub>2</sub>	○			・呼吸器疾患			
	土地利用	・土石採掘 ・荒地→建物用地						・陸域生態系	・陸域生態系
騒音(道路交通騒音)	・自動車騒音(小型車) ・自動車騒音(大型車)					・聴取妨害 ・睡眠・休養妨害			
資源消費	化石燃料	・原油 ・天然ガス					・資源ストックの消失	・陸域生態系	・陸域生態系
	鉱物資源	・銅 ・ニッケル					・資源ストックの消失	・陸域生態系	・陸域生態系

※室内空気汚染は土壌汚染対策との関係は小さいと考えられるため、上記の影響領域には含めていない。

## 6. 結果の解釈と不確実性について

第3章5節で示した外部環境負荷の評価は、①活動量推定や環境負荷原単位などのデータの質に起因する不確実性や②評価する環境負荷指標間のトレードオフ、さらに統合化をする場合には、③統合化方法や統合化係数に関する不確実性を含む。さらに、これらの不確実性や評価結果の解釈についても重要な注意が必要である。

### 6.1 データの質に起因する不確実性

データの質に起因する不確実性は、①活動量の不確実性、②原単位の不確実性などが存在する。

一つ目は活動量の信頼性である。活動量の推定では、事前評価として環境負荷を計算する場合において現地の調査データ（汚染土壌量や汚染深度）が不足していることが多く信頼性が低くなり易い。一方、現地の調査データや具体的な対策条件が決まってくると信頼性が高くなる。そのため、事前評価として、限られた調査データや対策条件しかない状況で、モデル法（第3章4節3項2参照）を用いて活動量を推定する場合には、不確実性が大きくなることをユーザーは理解しておく必要がある。

また、活動量を推定するモデル、例えば10tトラックでの移動に伴う軽油の消費量、各工事機材の使用に伴うガソリンや電気の消費量等については特定条件下での使用を想定した式を用いる。そのため、各個別サイトの状況を必ずしも正確に反映できない可能性があることにも留意が必要である。

二つ目は、原単位の不確実性である。活動量から環境負荷に換算する際に用いる原単位が、十分に当該環境負荷原単位の代表性を有するのか、という問題に起因する。原単位は、あくまで一般的な代表値であり、例えば、鉄の製造を個別の製造施設Aから別の製造施設Bに変更するような対応をした場合の影響は考慮できない。毎年数字が変化するものも多く、例えば、電気製造における原単位は中部電力、東京電力等、電力会社や製造年度によっても異なる。

このような環境負荷原単位は、本来は幅を持った値であり、状況によっては1オーダー程度数字が変化する原単位も存在することを理解し、一定の仮定を基に算出された代表値であることをユーザーは認識する必要がある。これらのデータの質に起因する不確実性を評価するためには、パラメータについて感度解析を実施することで、各パラメータの特徴（小さなパラメータの変化で大きく結果が変化するのか、大きく変化させても結果はほとんど変わらないのか）や重要度を理解できる。不確実性をより小さくするために、感度解析により理解された評価結果へ大きな影響を与えるパラメータについて、個別サイトや年ごとに環境負荷原単位を設定することも有効となる。

また、特定の不溶化材や鉄粉等の材料による環境負荷の軽減量を評価する場合には、一般的な原単位を用いるのではなく、当該材料の原単位を別途算定することが必要になる。

## 6.2 環境負荷指標間のトレードオフ

評価対象とする環境負荷指標が複数ある場合、各評価指標間にトレードオフが発生することがある。オンサイトで局所的に影響を与えるパラメータ、地域レベルで影響を与えるパラメータ（例えば、PM<sub>10</sub>）、全球レベルで影響を与えるパラメータ（CO<sub>2</sub>やCH<sub>4</sub>等の温室効果ガス）など、それぞれ影響を与える空間や時間レベルが異なる。特定の対策方法においてCO<sub>2</sub>排出量を削減するための工夫が、他の環境負荷指標の発生量を増大させることがある。また、工法間の比較においても、掘削除去ではエネルギーの消費量が大きいが、遮水工では原材料の消費量が大きいのというケースもある。これは、複数のインベントリを対象としたインベントリ評価や特性化評価を評価方法として用いた場合に生じる課題である。

このようなトレードオフが生じる場合においては、ステークホルダー間で複数の環境負荷指標、対策コスト、その他の意思決定に関する指標を共有し、優先順位を決めることが望ましい。また、このような問題を避けるための一つの方法としては、単一指標への統合化が考えられる（単一指標への統合化の不確実性は第3章6節3項で述べる）。

## 6.3 統合化における不確実性

「5.環境負荷の評価」で述べたとおり、環境負荷の主な評価方法として(1)インベントリ分析、(2)特性化評価、(3)単一統合指標評価、がある。このうち、(2)特性化評価、(3)単一統合指標評価は、特性化係数、統合化係数を使用する。本ガイドラインでは、LIME2の特性化係数、統合化係数を使用している。

それぞれの特性化係数には不確実性が含まれており、係数ごとに不確実性の大きさが異なるなどの課題も多い。また、統合化係数はアンケート結果をもとにした重み付け係数に依拠しており、個別サイトごとの過去の経緯や地域特性などを反映していない。特性化評価や単一統合指標評価を採用する際には、ユーザーは特性化係数や統合化係数に上記の不確実性があることを理解し、ステークホルダーと協議の上で、採否を決定する必要がある。統合化係数や特性化係数の特徴を知るためには、各パラメータの第3章6節1項で述べた感度解析の実施が重要となる。

## 6.4 結果の解釈

土壌汚染対策の環境負荷評価において得られた結果を解釈する際には、以下の点に注意が必要である。

一つ目は、複数の工法間の比較において、どの程度の差であれば結果に有意に差があるといえるのか、という点である。この点については、先に述べた「データの質に起因する不確実性」や「統合化における不確実性」に大きく依存する。不確実性が大きいデータ、不確実性が大きい統合化係数を用いれば、結果の比較をする際に有意差が有ると言えなく

なる。そのため、結果の比較はデータの質に起因する不確実性を感度解析等で考慮した上で、慎重になされるべきである。

二つ目は、結果の代表性についてである。先に述べたとおり、活動量推定モデルに用いるパラメータは、一般的な代表値が用いられており、特定のサイトや特殊な条件での使用を想定していない。また、サイトの状況に関する情報が不十分な場合には不確実性は増大し、原単位は一定の幅を持った代表値である。算出された数値は、あくまで上記の前提条件を持った条件で計算された数値である、ということを理解することが重要である。

三つ目は、対策の意思決定についてである。対策の意思決定は、ステークホルダー間で環境負荷指標、対策コスト、その他の意思決定に関する指標を共有し、優先順位を決めてなされることが想定される。その際、ステークホルダー毎に重要となる指標は異なってくる。環境負荷指標は、将来、地球環境に及ぼす影響を評価する指標であり、あくまで上記の意思決定をサポートするための一つの指標である、という認識が重要である。

第1章の適用範囲の項に示したように、ここでは各サイトで汚染による健康影響・環境影響が懸念される場合を想定していないこと、健康影響・環境影響が生じないよう対策が行われることを前提に、複数の対策方法の検討時に外部環境負荷を一つの判断材料として提案していることに留意する必要がある。

## 7. 都評価ツールについて

都評価ツールとは、土壤汚染サイトに関する基本的な情報から、土壤汚染対策の対策に伴う様々な環境負荷を、定量的に評価することができる計算ソフトである。活動量は一般社団法人土壤環境センターのCOCARAをベースとしてモジュール部の改良及び複数の工法の追加を行った。また、環境負荷原単位はIDEAのデータベースを活用し、独自に活動量項目に応じた環境負荷原単位項目の設定を行った。

土壤汚染サイトに関して、比較的把握が容易なパラメータを入力することで、工法に必要な工程の活動量を推定し、複数の工法の環境負荷評価を算定することができる。以下において、評価に必要な入力項目、評価結果及び評価ツールの活用事例について、説明する。

### 7.1 評価ツールの入力情報

#### (1) 基本入力パラメータ

環境負荷を評価するために、必要な入力項目を表3-20に示す。

表3-20 東京都評価ツールにおける必要な入力項目

項目		単 位	備考
敷地範囲	敷地長、敷地幅	m	
	敷地面積	m <sup>2</sup>	敷地長×敷地幅
調査関係	対象物質		重金属、VOC、重金属+VOCから選択
土壌対策 範囲	対策範囲長、対策範囲幅	m	
	対策範囲面積	m <sup>2</sup>	対策範囲長×対策範囲幅
	対策範囲深さ	m	
	対策範囲体積	m <sup>3</sup>	対策敷地面積×対策範囲深さ
地下水対 策範囲	対策範囲長、対策範囲幅	m	
	対策範囲面積	m <sup>2</sup>	
	対策範囲深さ	m	
	地下水面深さ	m	
	対策範囲体積	m <sup>3</sup>	
仮囲い	仮囲い種類		ネットフェンス、万能鋼板から選択

#### (2) 応用入力パラメータ

約800の任意の入力項目があり、各工法の詳細な実測値を入力することができ、より詳細な活動量に基づく環境負荷評価を算定することができる。なお、入力しない場合には、標準的な手順・方法で対策が行われると仮定して、自動計算された値が用いられる。

## 7.2 都評価ツール出力情報

都評価ツールを使用した場合に得られる評価結果について、以下に示す。

### (1) 主要な8つのインベントリの評価結果

主要な8つのインベントリについての工法間の比較結果が得られる。これらの主要なインベントリについては、今回の対象とする全インベントリから、既往論文でのインベントリ評価における影響が大きいインベントリ、海外での評価対象としているインベントリ情報を踏まえ、選択を行った。

表 3-21 工法ごとの主要なインベントリの評価（代表的な8項目のみ算定）

番号	工法	大気				エネルギー	マテリアル		廃棄物
		CO <sub>2</sub>	PM10	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	原油	鉄	砂	廃棄物の合計
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1	掘削・場外搬出（セメント）								
2	掘削除去（洗浄）								
～	～	～	～	～	～	～	～	～	～
20	遮水工封じ込め（アスファルト）								

※廃棄物の合計：汚泥（埋立）、金属くず（埋立）、鉱さい（埋立）、土砂（埋立）の合計値

### (2) 130のインベントリの評価結果

表 3-21 に示した代表的な8項目以外の評価対象とした130つのインベントリについての結果が得られる。

### (3) 特性化評価

11 の影響領域の結果が得られる。

番号	工法名	地球温暖化	酸性化	都市域大気汚染	光化学オキシダント	有害化学物質	有害化学物質	～	廃棄物
		—	—	—	—	HTP cancer	HTP cancer	～	重量体積換算係数
		—	—	—	—	大気排出	水域排出	～	—
		kg-CO <sub>2</sub> 相当量	kg-SO <sub>2</sub> 相当量	kg-SO <sub>2</sub> 相当量	kg-ethylene相当量	kg-benzene (air)相当量	kg-benzene (air)相当量	～	m <sup>3</sup>
1	掘削・場外搬出(セメント)	7.01E+05	5.33E+02	3.36E+02	2.14E-03	7.38E+01	8.45E-01	～	2.30E+01
2	掘削・場外搬出(洗浄)	4.67E+05	2.38E+02	1.33E+02	4.43E-03	1.59E+02	1.83E+00	～	7.93E+00
4	掘削・オンサイト処理(不溶化)	1.36E+05	5.90E+01	3.06E+01	1.67E-03	5.01E+01	7.24E-01	～	2.72E+00
5	原位置封じ込め(鋼矢板+コンクリート)	3.06E+05	1.34E+02	8.11E+01	1.04E-03	3.79E+01	3.87E-01	～	5.39E+00
6	原位置封じ込め(鋼矢板+アスファルト)	2.83E+05	1.18E+02	6.84E+01	9.84E-04	3.55E+01	3.59E-01	～	4.47E+00
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
20	遮水工封じ込め(アスファルト)	9.55E+04	4.15E+01	2.20E+01	8.49E-04	2.54E+01	3.43E-01	～	2.42E+00

図 3-12 特性化結果(対象物質「重金属」を選択の場合)



#### (4) 統合化評価

1つの環境指標として、統合化した結果（無次元）が得られる。

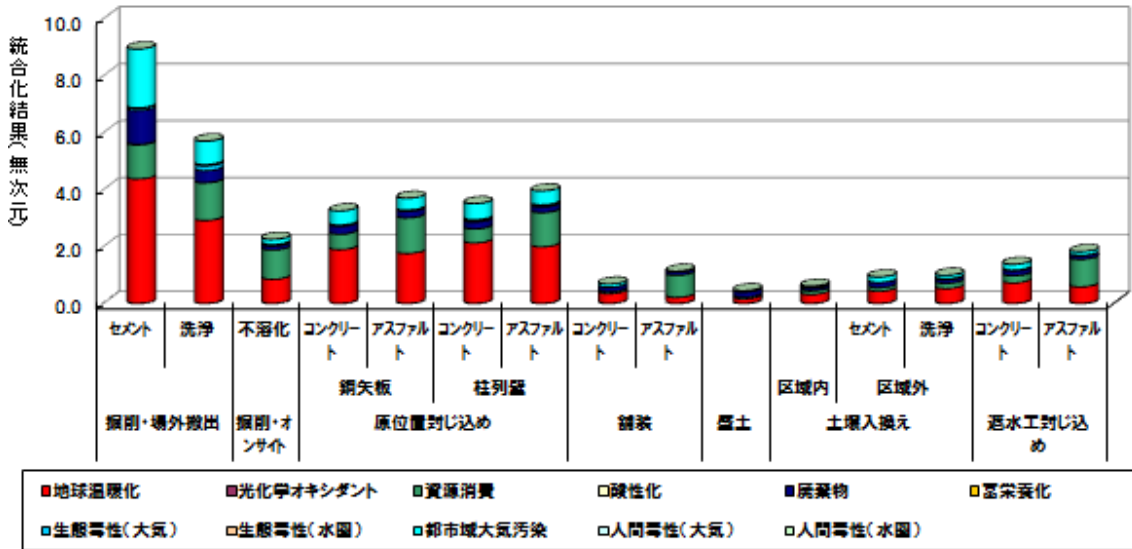


図 3-13 統合化結果(対象物質「重金属」を選択の場合)

### 7.3 評価結果の活用方法のイメージ

#### 7.3.1 工法間の比較

活用事例の一つ目としては、工法間の比較をすることが考えられる。工法間の比較に統合化結果（無次元）を用いた一例を図 3-14 に示す。比較に用いる指標は、ユーザーのニーズに合わせて選択する。なお、A 工法と B 工法の差を考えると、第 3 章 6 節で述べた不確実性について考慮をした上で、判断をする必要がある。

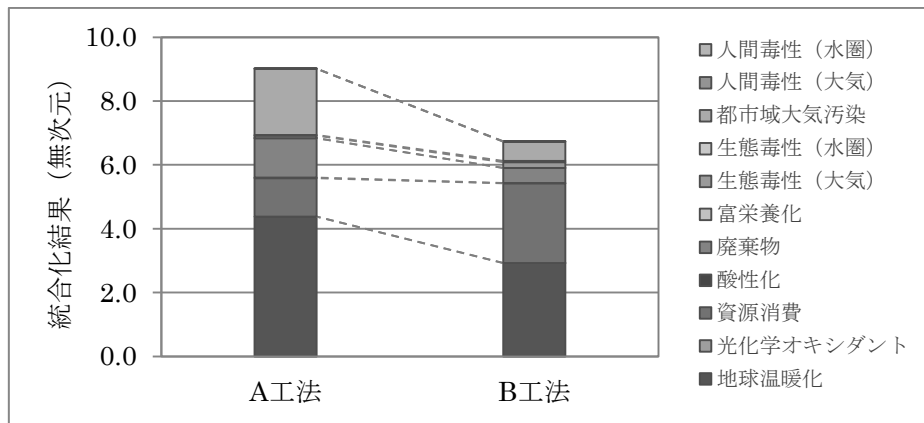


図 3-14 工法間の比較

#### 7.3.2 特定の項目における入力値の比較

活用事例の二つ目としては、特定項目の入力値を変化させた場合の影響を確認することが考えられる。例えば、土壌の移動距離による影響を見るなどの対応が考えられる。図 3-15 は、掘削除去（セメント）における汚染土壌の移動距離の違いによる環境負荷を比較した事例である。この場合、その他の諸条件については、同条件とした上で、土壌の移動距離を変更することで比較が可能である。

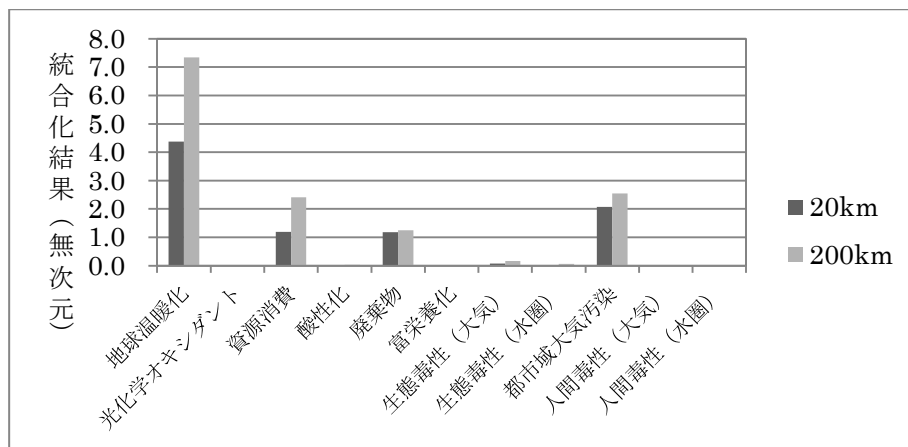


図 3-15 移動距離の違いによる影響領域の比較

## 第4章 おわりに

本ガイドラインにおいて、国内外の土壤汚染対策における環境配慮の考え方、目的、評価手法などを示すとともに、東京都が産総研から技術協力を得て作成した都評価ツールを紹介した。ここで示した評価ツールは、土壤汚染対策分野における最新の知見を一通り網羅したものであり、現時点で最も優れたツールの一つであると自負している。今後、この評価ツールを利用した具体事例を積み重ね、東京都、そして我が国における環境に配慮した土壤汚染対策が推進されることを期待するものである。

しかし、一方で、課題も残されている。都評価ツールの構築に当たっては、ゼネコンやコンサルタント会社だけでなく、広く都民の皆様にも広く使っていただくため、科学的な厳密性よりも使い勝手の良さを優先した。そのため、各種施工プロセスの設定や組合せにおける単純化や標準化等を避けられず、個別具体の汚染サイトへの適用において、不確実性を増大させている可能性がある。また、環境負荷の算出には、前述したとおり活動量の推定や原単位など、基礎データの質に起因する不確実性が存在するのに加えて、土壤汚染対策に伴う環境負荷を適切に削減・管理するのに必要となる、評価結果に基づくマネジメントの方法論も提示できていない。そういう意味で、都評価ツールは未だ発展途上の段階にあるといえる。将来、これらの課題を解決できるよう、国内外において、土壤汚染対策に係る基礎データを蓄積するとともに、マネジメントの方法論も含めて、環境評価に係る研究が更に進展することを期待したい。

近年、地球温暖化や資源枯渇に代表されるように、環境問題の影響範囲を地球規模で考え、かつ原因となる行為をライフサイクルで捉え、それへの対策を打つことが求められつつあり、この傾向は今後加速するものと考えられる。対策を検討するうえで重要となるのは、ある行為が環境、社会、経済にどのようなインパクトをどの程度与えるのかを正確に評価し、ステークホルダー間で議論することで、より良い対策を見出すことである。この意味で、環境負荷の評価に係る課題は、土壤汚染対策に限らず、環境対策に共通する課題であるといえる。これを機会に様々な分野で、環境負荷の評価についての議論が深まる契機となれば本望である。

最後に、本ガイドライン及び都評価ツールの作成にあたり、一般社団法人土壤環境センター及び一般社団法人産業環境管理協会からは、ツールの基礎的なスキーム及び土壤汚染対策に係る活動量や排出係数等の基礎データを御提供いただいた。

加えて、国立大学法人長崎大学大学院教授 大嶺 聖様、国立大学法人横浜国立大学大学院教授 小林 剛様、一般社団法人土壤環境センター 大村 啓介様（株式会社竹中土木）、清水建設株式会社 隅倉 光博様、国際航業株式会社 中島 誠様、株式会社大林組 日笠山 徹巳様、及び株式会社竹中工務店 古川 靖英様には、専門的な観点から大変有意義なご助言

を頂戴した。

東京都の趣旨及び目的を御理解のうえ、様々な御協力をいただいたこれらの方々に、心から感謝する次第である。

## 第 5 章 引用・参考文献

1. 保高徹生, 中島誠, 平田健正, 土壤・地下水汚染の原位置浄化技術、第 1 章 5, 土壤・地下水汚染対策と将来展望, 監修 中島誠. 平田健正. 2012: シーエムシー出版.
2. NICOLA, NICOLE Road Map for Sustainable Remediation. 2010.
3. SURF. SURF Homepage. [cited 2011 03/22]; Available from: <http://www.sustainableremediation.org/>.
4. U.S.EPA, Methodology for Understanding and Reducing a Project's Environmental Footprint. 2012.
5. SURF-UK, A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation. 2010.
6. S Volkwein, H.H., W Klöpffer, Life Cycle Assessment of Contaminated Sites Remediation. The International Journal of Life Cycle Assessment 1999. **4** (5): p. 263-274.
7. Miriam L. Diamond, C.A.P., Monica Campbell, Stephen Mckenna, Ronald Lall, LIFE-CYCLE FRAMEWORK FOR ASSESSMENT OF SITE REMEDIATION OPTIONS METHOD AND GENERIC SURVEY. Environmental Toxicology and Chemistry, 1999. **18**(4): p. 788-800.
8. Cynthia A. Page, M.L.D., Monica Campbell, Stephen Mckenna, LIFE-CYCLE FRAMEWORK FOR ASSESSMENT OF SITE REMEDIATION OPTIONS CASE STUDY. Environmental Toxicology and Chemistry, 1999. **18**(4): p. 801-810.
9. Peter Bayer and M. Finkel, Life cycle assessment of active and passive groundwater remediation technologies. Journal of Contaminant Hydrology, 2006. **83**: p. 171-199.
10. 井上康、片山新太, 地盤汚染浄化処理技術の包括的評価手法 (RNSOIL) への LCA 概念の適用. 第 12 回 地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会 要旨集, 2006: p. 687-692.
11. 保高徹生, 馬場陽子, 松本亨, 伊藤洋, LCCO2 適用による土壤汚染措置手法の比較評価. 土木学会論文集 G, 2009. **65**(4): p. 226-236.
12. 馬場陽子, 保高徹生, 松本亨, 伊藤洋, 掘削除去に関わる環境負荷に関する一考察. 土壤環境センター技術ニュース, 2009. **16**: p. 9-17.
13. U.S.EPA, Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites. 2008.
14. U.S.EPA, Principles for Greener Cleanups. 2009.
15. ASTM. ASTM WK23495 - New Guide for Green and Sustainable Site Assessment and Cleanup [cited 2011 03.22]; Available from: <http://www.astm.org/DATABASE.CART/WORKITEMS/WK23495.htm>.
16. U.S.EPA, Green Remediation Best Management Practices: Soil Vapor Extraction & Air Sparging. 2010.

17. U.S.EPA, Green Remediation: Best Management Practices for Excavation and Surface Restoration. 2008.
18. U.S.EPA, Green Remediation Best Management Practices: Site Investigation. 2009.
19. U.S.EPA, Green Remediation Best Management Practices: Pump and Treat Technologies. 2009.
20. U.S.EPA, Green Remediation Best Management Practices: Bioremediation. 2010.
21. U.S.EPA, Green Remediation Best Management Practices: Fact Sheets on Specific Remedies and Other Key Issues. 2011.
22. U.S.EPA. Methodology & Spreadsheets for Environmental Footprint Analysis (SEFA). 2014; Available from: <http://clu-in.org/greenremediation/methodology/index.cfm - gr-toolkit-name>.
23. The Capital Region of Denmark, Environmental Department, RemS User Guide, Remediation Strategy for Soil and Groundwater Pollution – RemS Decision Support Tool. 2011.
24. 一般社団法人土壌環境センター. LCCO2 計算ソフト「COCARA」. 2014; Available from: <https://www.gepc.or.jp/cocara/>.
25. SURF, Sustainable Remediation White Paper-Integrating Sustainable Principles, Practices, and Metrics Into Remediation Projects, ed. Remediation. 2009: John Wiley.
26. SURF-UK, Annex 1: The SuRF-UK Indicator Set for Sustainable Remediation Assessment. 2011.
27. 中島誠、根岸昌範, 零価鉄を用いた透過性地下水浄化壁の長期性能の評価. 地下水学会誌, 2009. **51**(4): p. 331-347.
28. 独立行政法人産業技術総合研究所、一般社団法人産業環境管理協会, LCI データベース IDEAver1.1 (開発: (独) 産業技術総合研究所、(一社) 産業環境管理協会、参照: MiLCA ガイドブック) .
29. 伊坪徳宏、稲葉敦, LIME2—意思決定を支援する環境影響評価手法 2010: 一般社団法人産業環境管理協会.
30. 保高徹生、張紅, 土壌汚染対策における外部環境負荷における重要指標となるインベントリに関する考察, in 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 講演要旨集 (0091) . 2014.
31. 古川靖英、保高徹生、大村啓介、小林剛, 揮発性有機塩素化合物実土壌汚染サイトを題材とした簡便な費用ベースのサステイナブルアプローチ手法の試み. 土木学会論文集, 2013. **69**(7): p. 461-472.
32. 伊坪徳宏. 生態系影響評価手法 LIME の考え方と事例. in 生態適応シンポジウム 2011. 2011.
33. 東京都環境局, 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン. 2010.

## 参考資料 土壤汚染対策のプロセスフロー図

## 1. 遮水工封じ込め

[土壌汚染対策の概要]

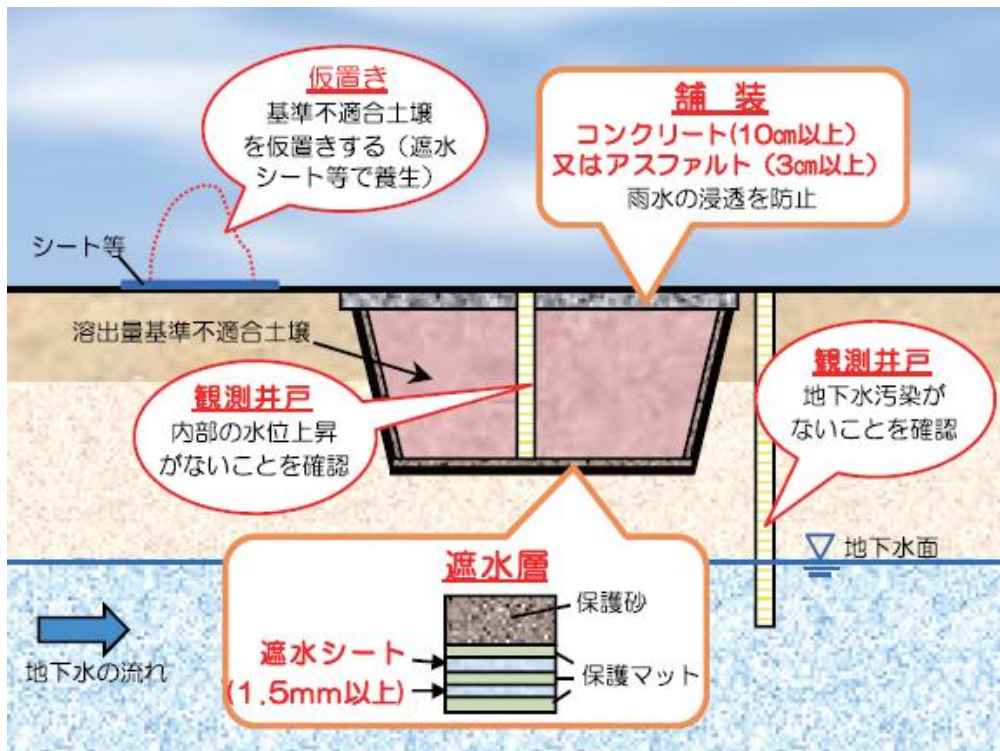
遮水工封じ込めの対策は、基準不適合土壌を掘削した上で、地下水の浸出を防止するための遮水層を設置し、遮水層の内部に掘削した基準不適合土壌を埋め戻すことにより、基準不適合土壌と地下水の接触を防止する対策である。

掘削した基準不適合土壌は遮水シートの敷設等の浸透防止対策を行って仮置きし、底面及び側面に遮水層を設置した掘削部に埋め戻す。埋め戻した基準不適合土壌の上部は、雨水の浸透を防止するために舗装等によって覆う。

本対策で設置する構造物は、当該土地に、不織布その他の物の表面に二重の遮水シートを敷設した遮水層又はこれと同等以上の効力を有する遮水層を有する遮水工となる。さらに埋め戻された場所を、厚さが 10 cm 以上のコンクリート又は厚さが 3cm 以上のアスファルトにより覆うことが必要となる。この覆いの損壊を防止するための対策を必要とする土地等や、表面をコンクリート又はアスファルトとすることが適当でない場合には、必要に応じて覆いの表面を基準不適合土壌以外の土壌により覆う。これらは、上面から雨水が浸透しないようにするためであり、十分な遮水効力及び対策実施後の上部の利用用途により破損しないような十分な強度を保つことが必要である。

対策後は、埋め戻された場所にある地下水の下流側当該場所の周縁に一つ以上の観測井を設け、所定の規則に従って地下水の水質を監視し、2年間継続して地下水汚染がないことを確認する。

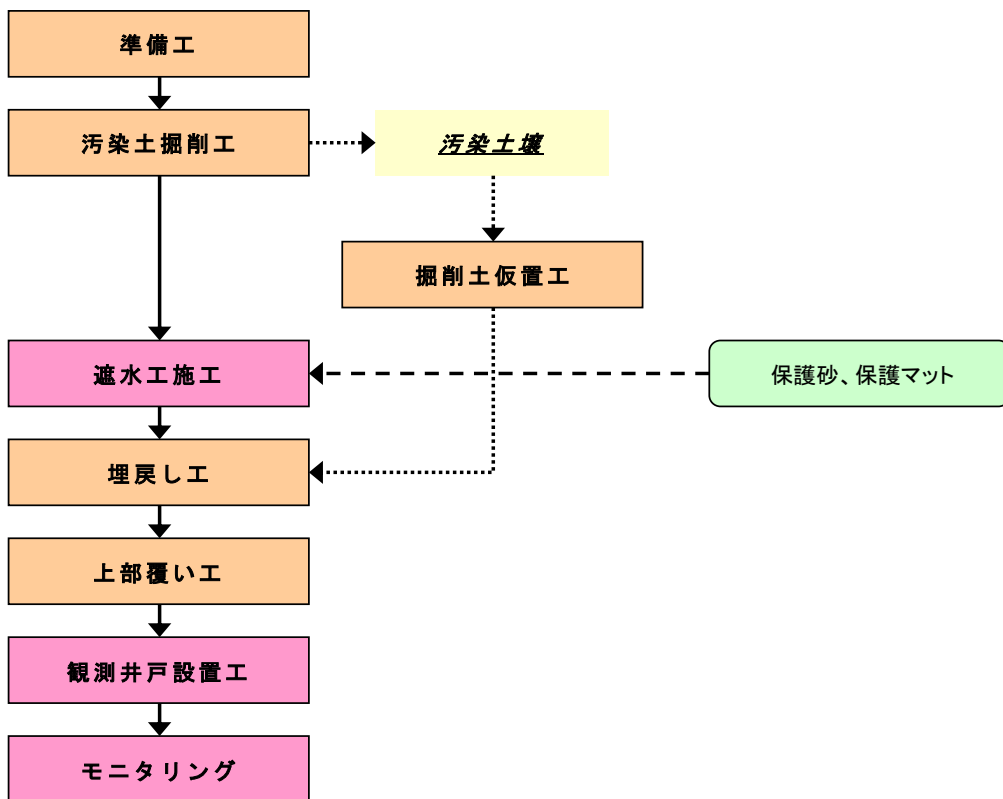




(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図参考-1 遮水工封じ込めの対策イメージ

[プロセスフロー]



[図内の表記について] (これ以降のプロセスフロー図に共通)  
 - 細鎖線は掘削土の動き、太鎖線は投入する資材を表す。  
 - 各ステップは、土壌汚染対策にある程度固有と考えられる工程をピンク色、一般的な土木工事と共通性が高いと考えられる工程を茶色に色分けした。

図参考-2 遮水工封じ込めのプロセスフロー

[使用する建設機械、投入する資機材など]  
 遮水工の構造には、以下の3種類がある。

	遮水工の構造の例	構造のイメージ
1	粘性土 (土質系遮水材料)	
2	水密性アスファルトコンクリート	
3	保護層	

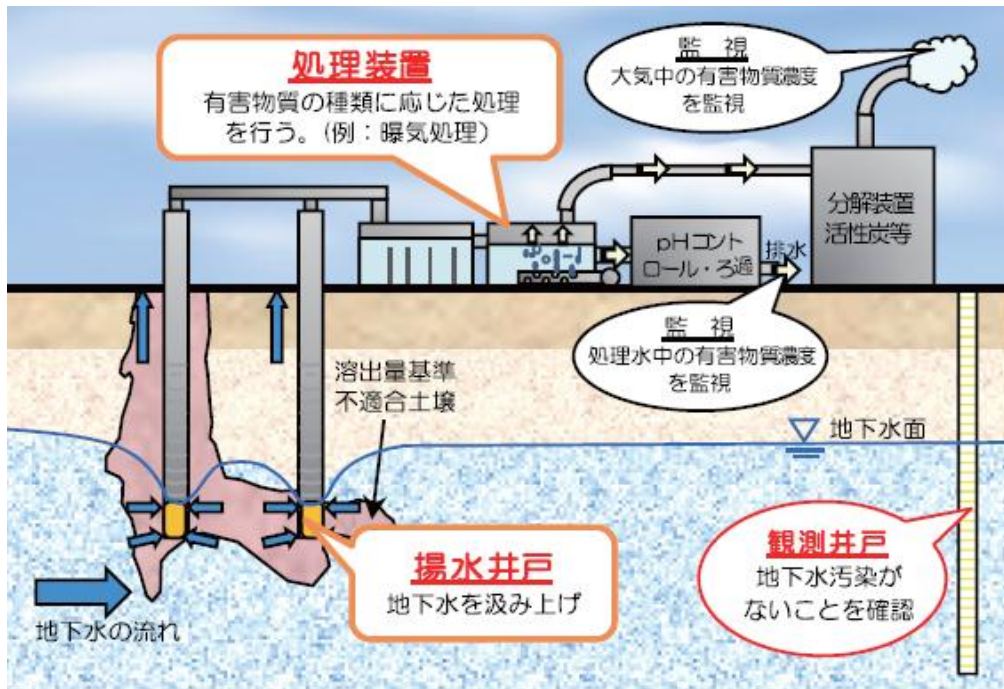
遮水シートの種類は、代表的な遮水シート材料として、合成ゴム系、合成樹脂系、アスファルト系、ベントナイト系及び積層タイプ複合系がある。それぞれに強度、耐薬品性及び施行性に特徴があり、目的に合った遮水シートが選択される。

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
汚染土掘削工	- 汚染土の掘削	- バックホウ など	
掘削土仮置工	- 遮水シートの布設等（浸透防止対策） - 汚染土の仮置き	- バックホウ など	- 遮水シート（一時）
遮水工施工	- 遮水層の設置	- （遮水工の構造による）	- 保護砂、保護マット（遮水工の構造による）
埋戻し工	- 汚染土の埋め戻し	- バックホウ、ブルドーザ など	
上部覆い工	- コンクリート蓋の設置		- コンクリート蓋
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置	- ボーリングマシン など	
モニタリング	- 継続的なモニタリング		

## 2. 地下水汚染の拡大の防止 (a)揚水施設による地下水汚染の拡大の防止

[土壌汚染対策の概要]

地下水面より下部にある基準不適合土壌の地下水流動の下流側に揚水井戸を設置し、水中ポンプによって、地下水をくみ上げ、有害物質の種類に応じた処理装置により有害物質を除去し、地下水汚染の拡大を防止する。くみ上げた地下水に含まれる有害物質を除去した後、公共用水域等へ排出する。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図-参考3 地下水汚染の拡大の防止の対策イメージ

[プロセスフロー]

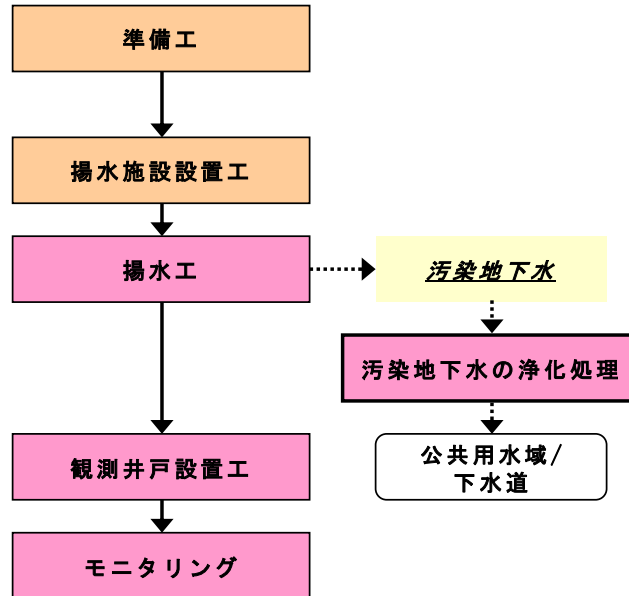


図-参考4 揚水施設による地下水汚染の拡大の防止のプロセスフロー

[使用する建設機械、投入する資機材など]

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
揚水施設設置工	- 揚水施設の設置	- クレーン、トラックなど	- 揚水施設
揚水工	- 揚水	- 揚水用ポンプなど	
浄化処理工	- 汚染地下水の浄化処理		- 浄化処理施設
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置	- ボーリングマシンなど	
モニタリング	- 継続的なモニタリング		

### 3. 地下水汚染の拡大の防止 (b)透過性地下水浄化壁による地下水汚染の拡大の防止

[土壌汚染対策の概要]

汚染地下水浄化壁中を透過することにより原位置で汚染物質を化学的に処理する。還元力を持つ浄化剤による脱塩素作用を活用することなどにより、揮発性有機化合物を無害化したり、重金属等を除去したりして、地下水に含まれる汚染物質が拡散・流出するのを防止する。

[プロセスフロー]

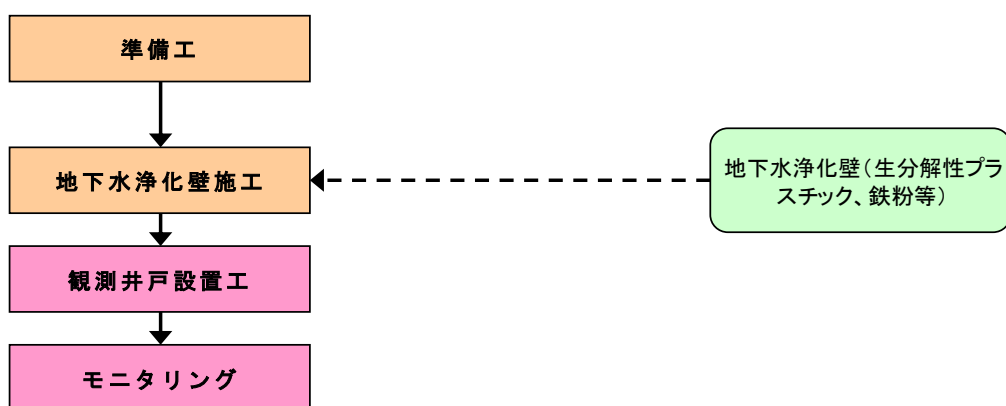


図-参考5 透過性地下水浄化壁による地下水汚染の拡大の防止のプロセスフロー

[使用する建設機械、投入する資機材など]

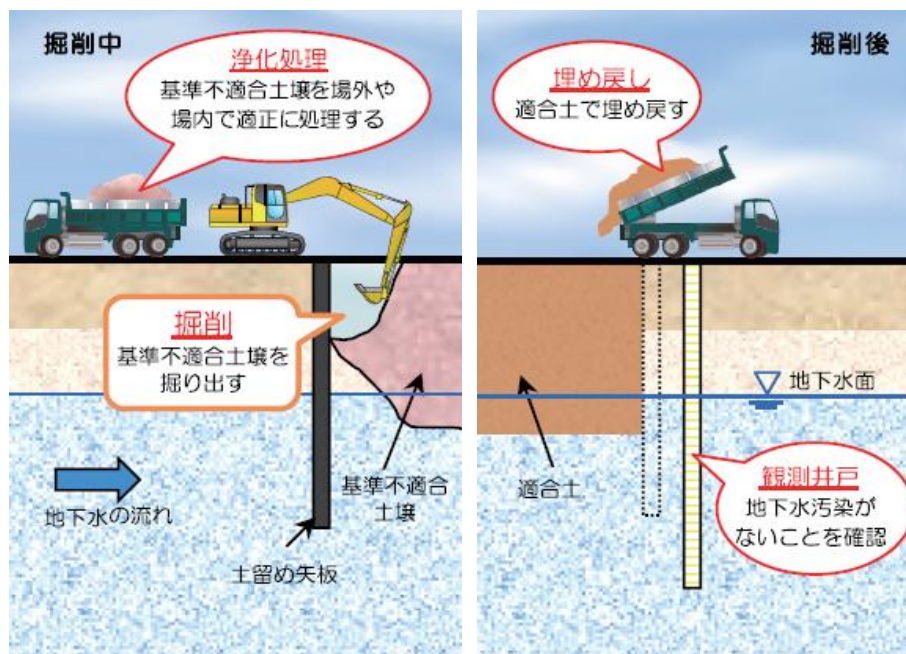
	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
地下水浄化壁工	- 地下水浄化壁の施工	- オールケーシングなど	- 地下水浄化壁の材料(浄化材)
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置	- ボーリングマシンなど	
モニタリング	- 継続的なモニタリング		

#### 4. 土壌汚染の除去 (a)基準不適合土壌の掘削による除去

[土壌汚染対策の概要]

基準に適合しない汚染土壌を掘削して、場外又は場内で適正に処理する。掘削箇所は、浄化した土壌、又は基準に適合する別の土壌（適合土）によって埋め戻す。

対策の実施後、掘削時において地下水の汚染があった場合には2年間継続して、掘削時に地下水汚染がなかった場合には地下水汚染が生じていないことを1回確認する。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図-参考6 掘削除去の対策イメージ

[プロセスフロー]

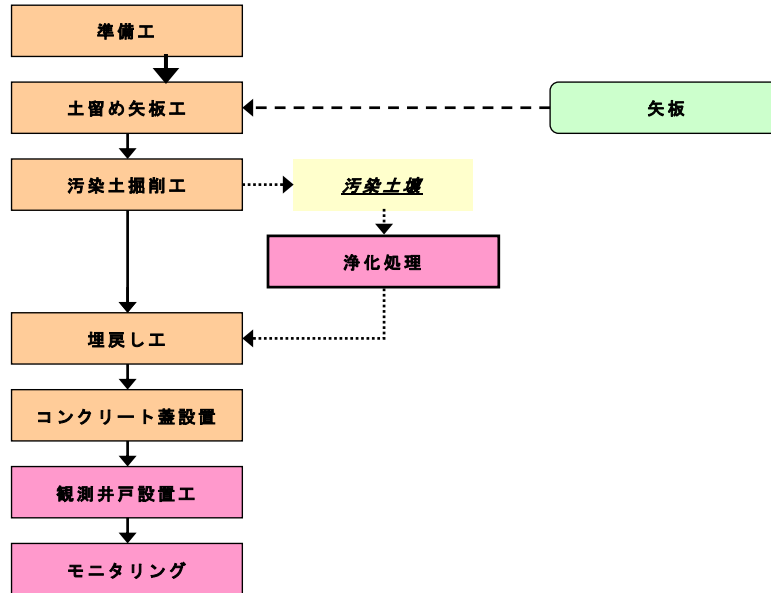


図-参考7 掘削除去のプロセスフロー

[使用する建設機械、投入する資機材など]

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
土留工	- 土留め矢板の施工	- クレーン+電動式バイプロハンマ (バイプロハンマ工)	- 矢板等
汚染掘削工	- 汚染土の掘削	- バックホウ	
埋戻工	- 適合土による埋め戻し	- バックホウ、ブルドーザ	
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置		
モニタリング	- 継続的なモニタリング		

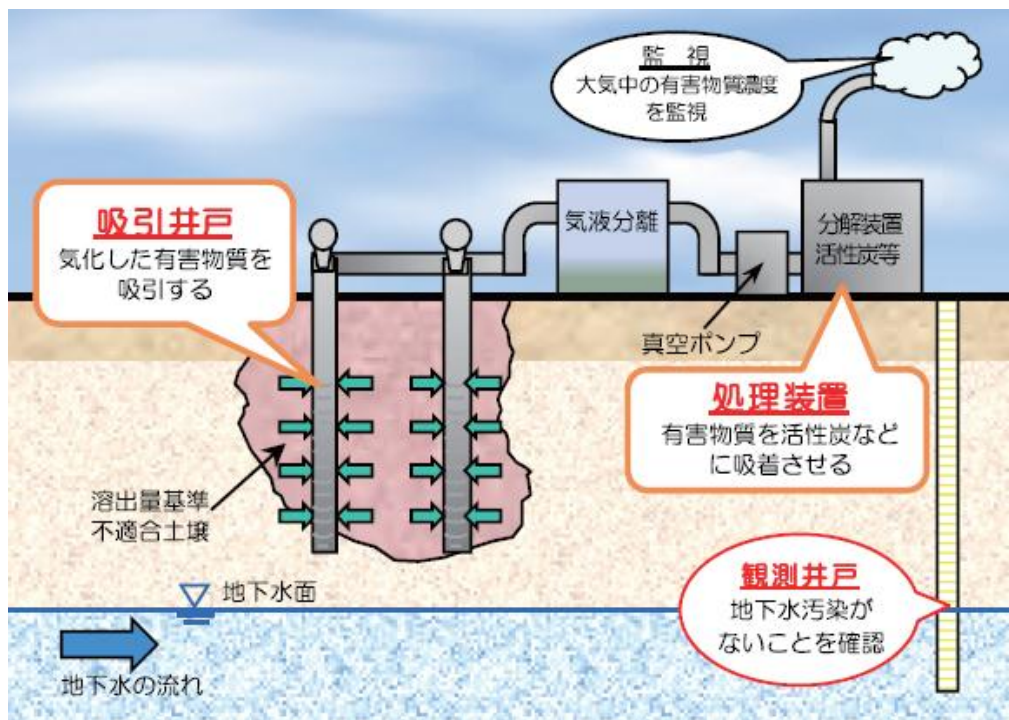


## 5. 土壤汚染の除去 (b)原位置での浄化による除去 (5工法)

[土壤汚染対策の概要]

<土壤ガス吸引>

地下水面より上部にある、基準に適合しない土壤の範囲等に吸引井戸を設置し、真空ポンプ等によって井戸の内部を減圧し、気化した有害物質を吸引後、活性炭吸着などの方法によって除去する。対策後は、対象土壤が基準に適合していることを確認し、2年間継続して地下水汚染が生じていないことを確認する。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壤汚染対策ガイドライン[33]

図-参考8 土壤ガス吸引の対策イメージ

[プロセスフロー]

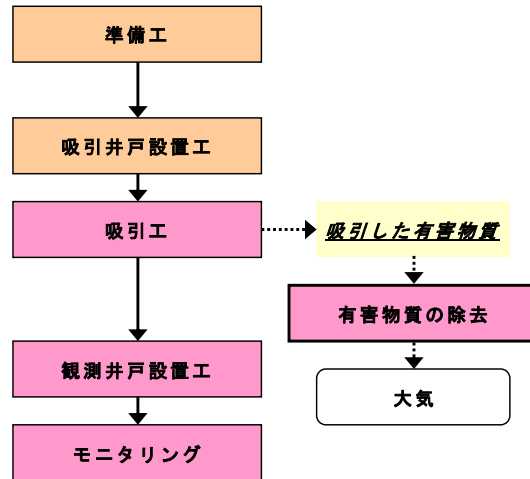


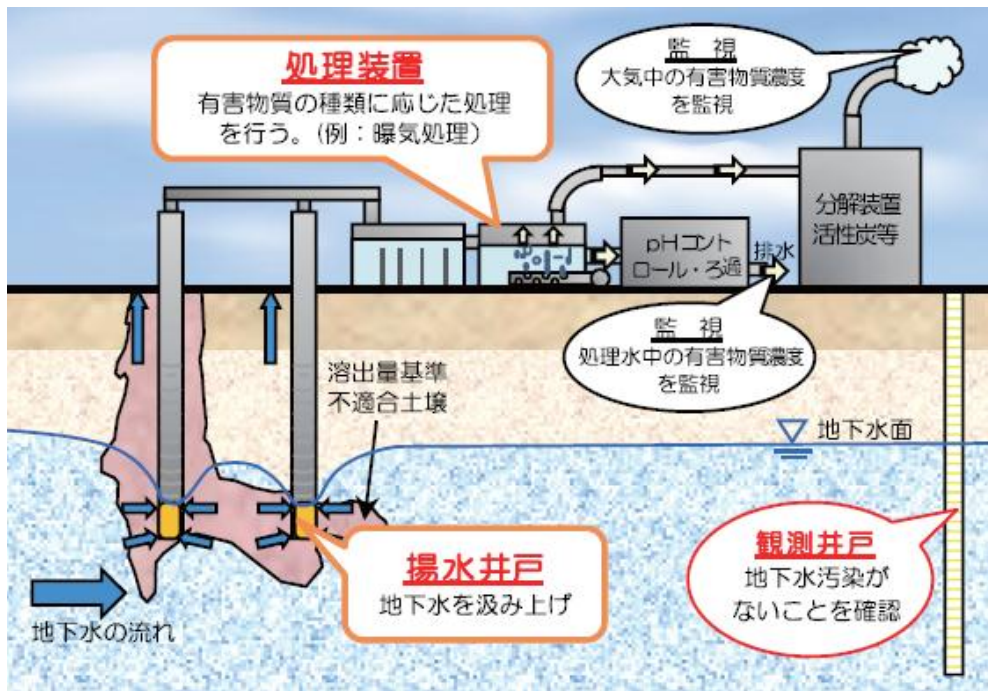
図-参考9 土壌ガス吸引のプロセスフロー

[使用する建設機械、投入する資機材など]

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
吸引井戸設置工	- 吸引井戸の設置	- ボーリングマシンなど	- 吸引井戸資材
吸引工	- 気化した有害物質の吸引	- 吸引ブロワなど	
浄化処理工	- 吸引した有害物質の浄化处理		- 浄化処理施設
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置	- ボーリングマシンなど	
モニタリング	- 継続的なモニタリング		

<地下水揚水>

地下水面より下部にある、基準に適合しない土壌の範囲等に揚水井戸を設置し、水中ポンプ等によって地下水をくみ上げ、有害物質の種類に応じて地上に設置した処理装置によって有害物質を除去する。対策後は、対象土壌が基準に適合していることを確認し、2年間継続して地下水汚染が生じていないことを確認する。拡散防止対策としても用いられる。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 10 地下水揚水の対策イメージ

[プロセスフロー]

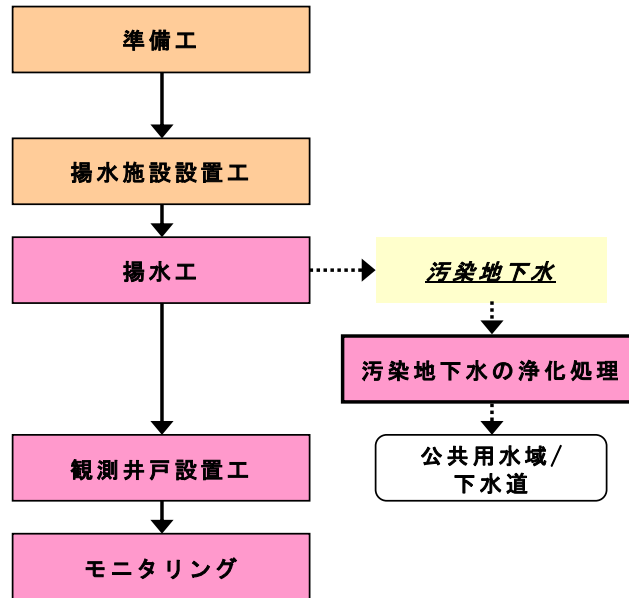


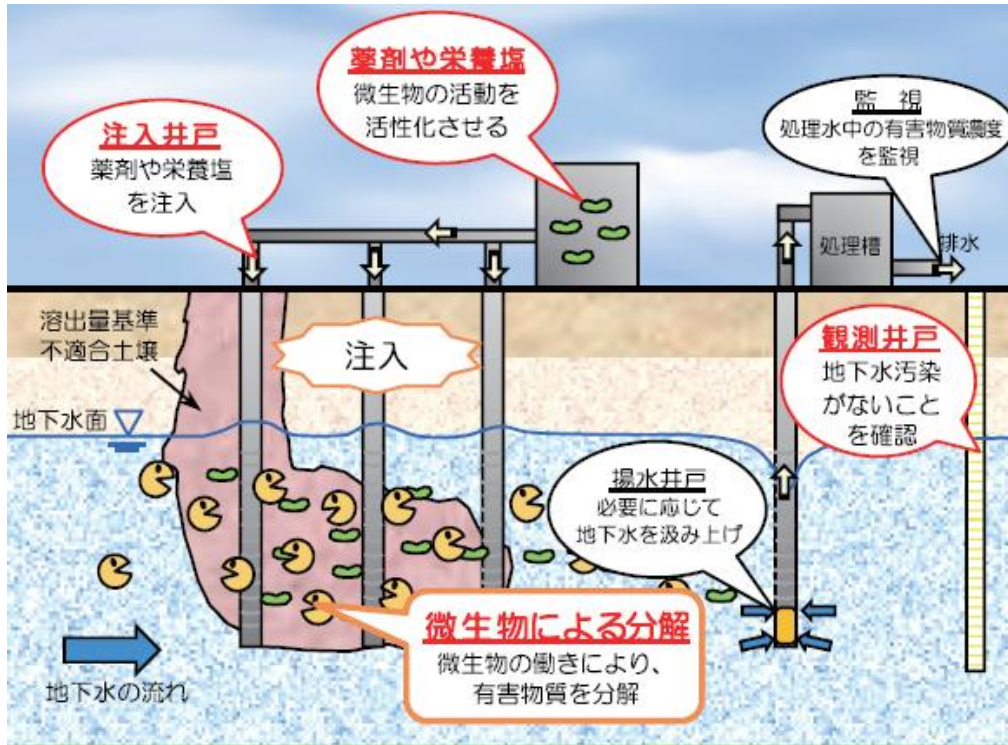
図-参考11 地下水揚水のプロセスフロー

[使用する建設機械、投入する資機材など]

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
揚水施設設置工	- 揚水施設の設置	- クレーン、ユニックなど	- 揚水施設
揚水工	- 揚水	- ポンプなど	
浄化処理工	- 汚染地下水の浄化処理		- 浄化処理施設
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置	- ボーリングマシンなど	
モニタリング	- 継続的なモニタリング		

<生物的分解（バイオレメディエーション）>

対策範囲内に注入井戸を設置し、微生物の働きを活性化させる薬剤や栄養塩や微生物そのものを注入し、微生物による有害物質（主に揮発性有機化合物を対象）の分解作用を促進することなどによって、汚染土壌を浄化する。注入する薬剤や有害物質が場外に拡散しないように、必要に応じて、遮水や揚水を行う。対策後は、対象土壌が基準に適合していることを確認し、2年間継続して地下水汚染が生じていないことを確認する。拡散防止対策としても用いられる。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 12 生物的分解の対策イメージ

[プロセスフロー]

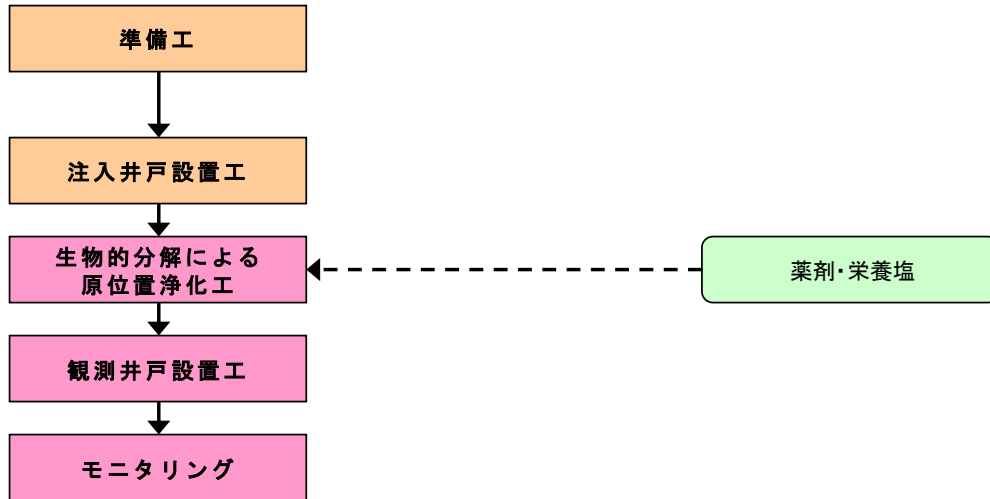


図-参考 13 生物的分解のプロセスフロー

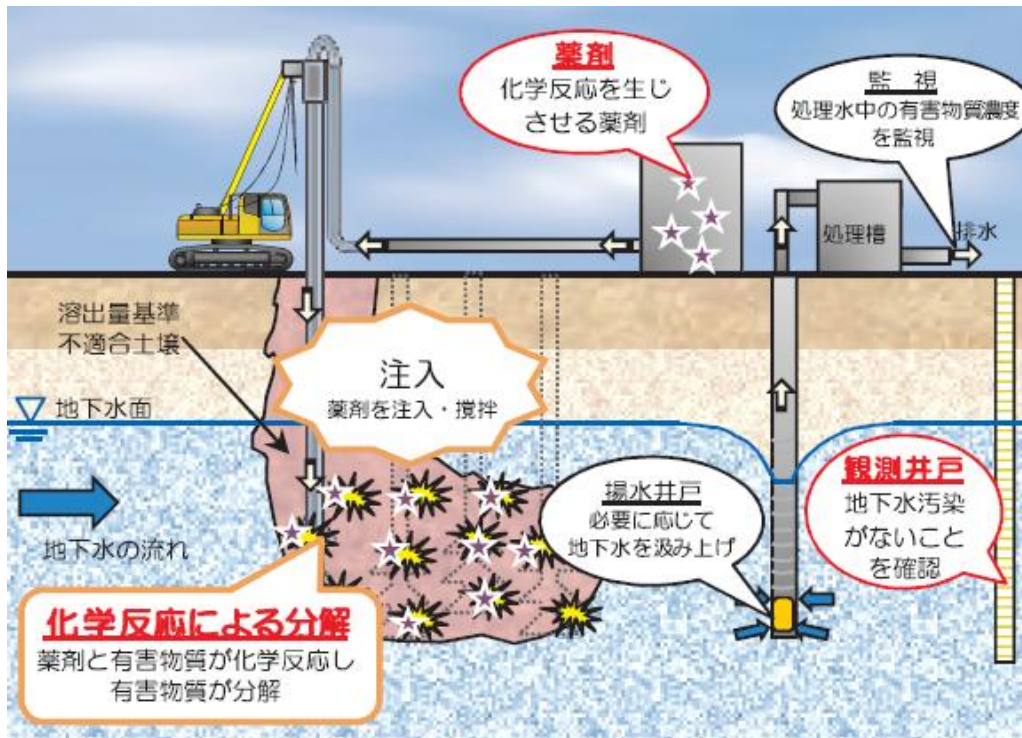
[使用する建設機械、投入する資機材など]

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
注入井戸設置工	- 注入井戸の設置	- ボーリングマシンなど	- 注入井戸資材
生物的分解による原位置浄化工	- 薬剤・栄養塩の注入	- ポンプなど	- 薬剤・栄養塩
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置	- ボーリングマシンなど	
モニタリング	- 継続的なモニタリング		



<化学的分解>

対策範囲に注入孔又は注入井戸を設置して薬剤を注入し、化学反応によって基準不適合の土壤に含まれる有害物質（主に揮発性有機化合物を対象）を分解することなどによって、汚染土壤を浄化する。対策後は、対象土壤が基準に適合していることを確認し、2年間継続して地下水汚染が生じていないことを確認する。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壤汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 14 化学的分解（酸化・還元分解）の対策イメージ

[プロセスフロー]

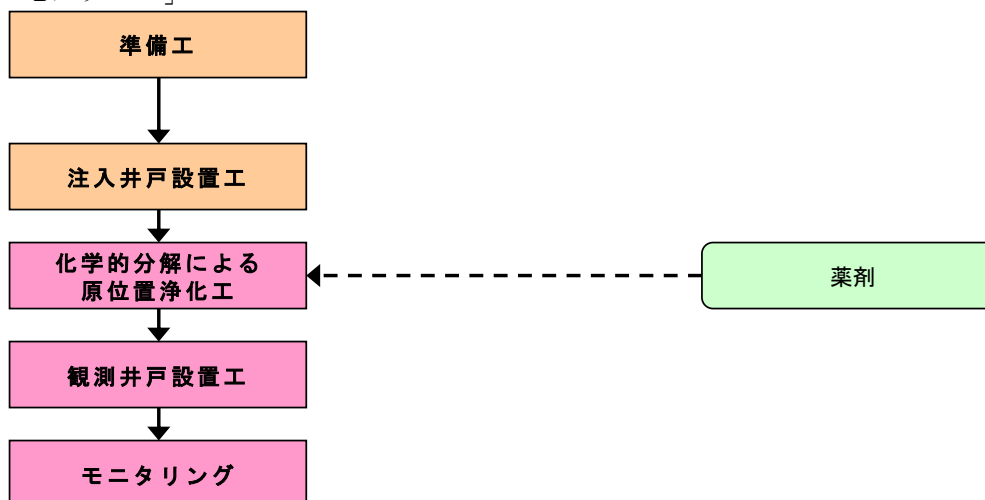


図-参考 15 化学的分解（酸化・還元分解）のプロセスフロー

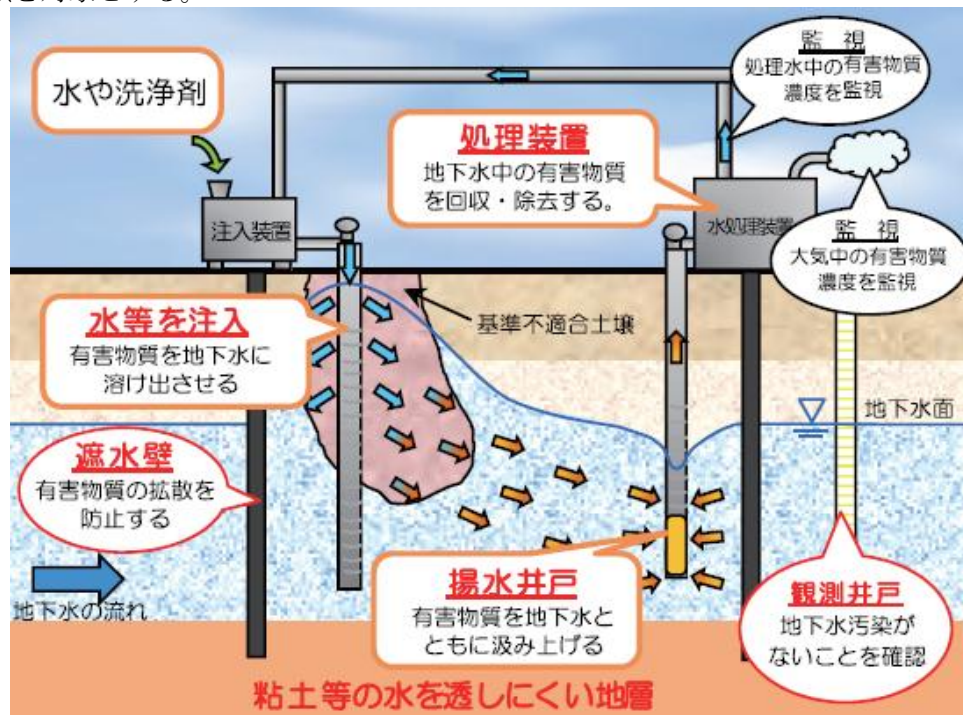
[使用する建設機械、投入する資機材など]

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
注入井戸設置工	- 注入井戸の設置	- ボーリングマシンなど	- 注入井戸資材
化学的分解による原位置浄化工	- 薬剤の注入	- 攪拌機、ポンプなど	- 薬剤
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置	- ボーリングマシンなど	- 井戸資材
(揚水井戸の設置)	- 揚水井戸の設置	- ボーリングマシンなど	- 井戸資材
モニタリング	- 継続的なモニタリング		



### <原位置土壌洗浄>

対象範囲に注入井戸を設置し、水などを注入して基準不適合の土壌に含まれる有害物質を地下水に溶出させる。その後、有害物質を含む地下水を揚水井戸からくみ上げ、有害物質に応じた処理装置を用いて有害物質を除去する。対策後は、対象土壌が基準に適合していることを確認し、2年間継続して地下水汚染が生じていないことを確認する。主に重金属類を対象とする。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 16 原位置土壌洗浄の対策イメージ

[プロセスフロー]

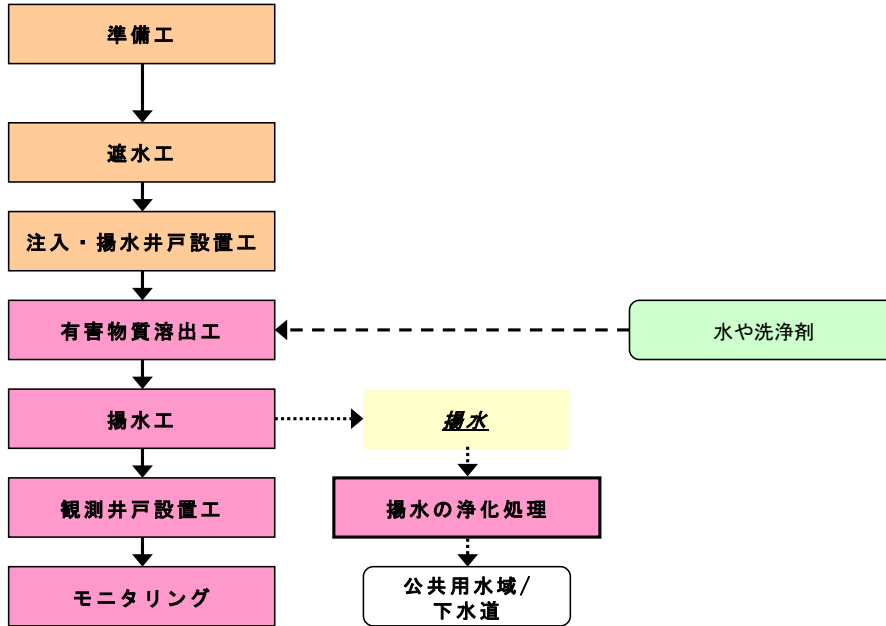


図-参考 17 原位置土壌洗浄のプロセスフロー

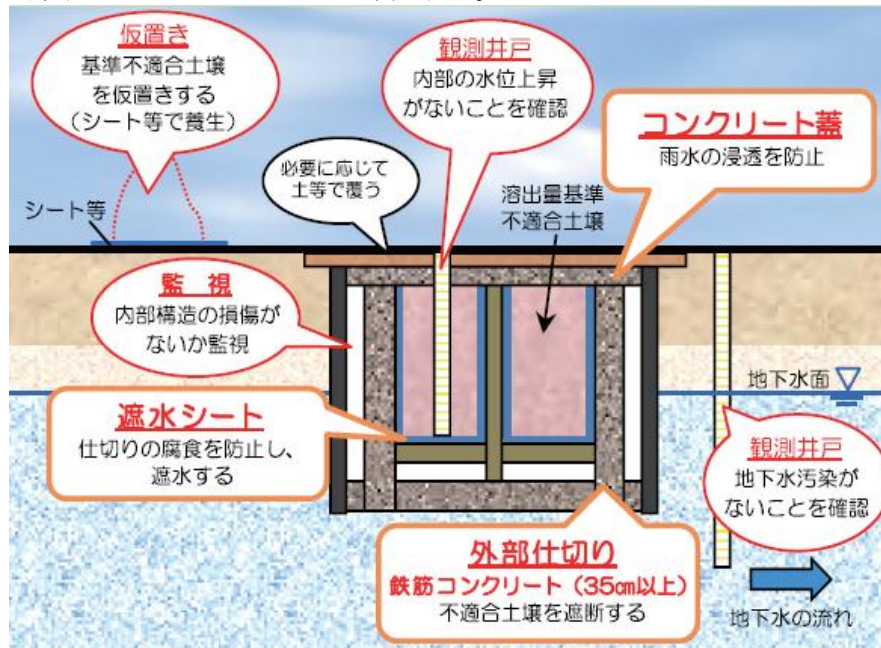
[使用する建設機械、投入する資機材など]

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
遮水工	- 遮水壁の設置		- 遮水壁資材
注入・揚水井戸設置工	- 注入井戸資材 - 揚水井戸資材	- ボーリングマシン等	- 注入井戸資材 - 揚水井戸資材
有害物質溶出工	- 水や洗剤の注入による有害物質の地下水への溶出	- 注入装置	- 水や洗剤
揚水工	- 揚水	- 揚水用ポンプ等	
浄化処理工	- 揚水の浄化処理	- プラント機器等	- 浄化処理施設
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置	- ボーリングマシン等	
モニタリング	- 継続的なモニタリング		

## 6. 遮断工封じ込め

[土壌汚染対策の概要]

基準不適合土をいったん掘削して、仮置きし、掘削部底面及び側面に鉄筋コンクリート等の外部仕切り（遮断層）を設け、埋め戻す。埋め戻した基準不適合土壌の上部には、雨水の浸透を防止するために舗装等で覆う。対策後は、地下水の水質を監視し、2年間継続して地下水汚染が生じていないことを確認する。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 18 遮断工封じ込めの対策イメージ

[プロセスフロー]

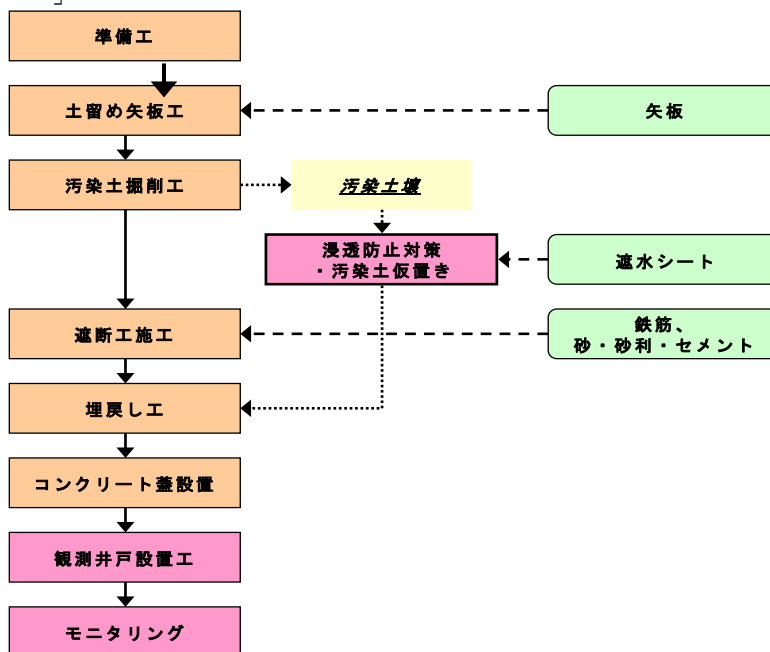


図-参考 19 遮断工封じ込めのプロセスフロー

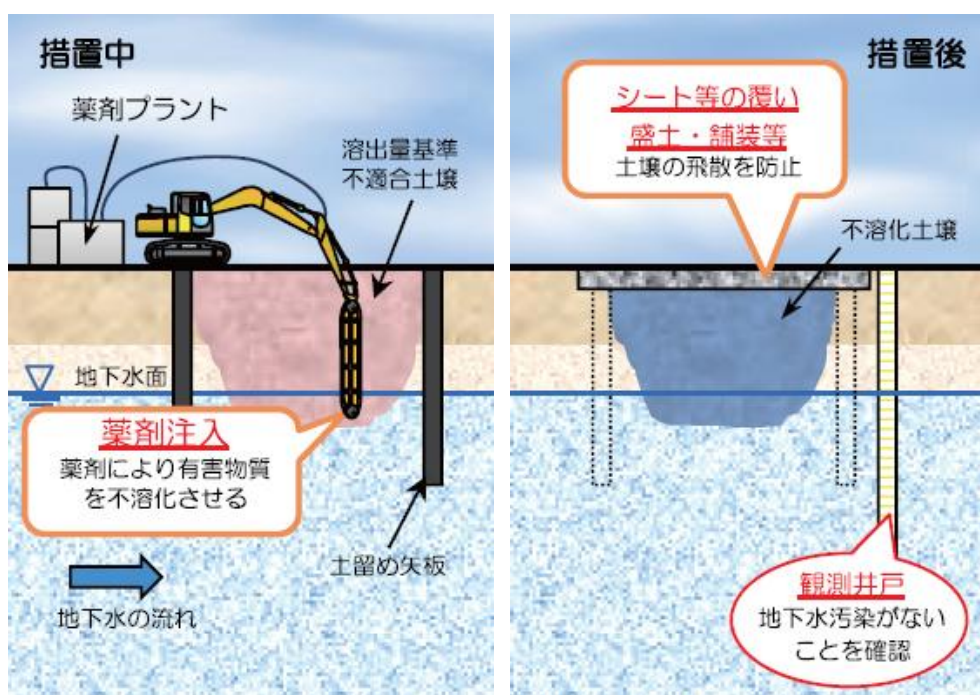
[使用する建設機械、投入する資機材など]

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
汚染土掘削工	- 汚染土の掘削	- バックホウ など	
掘削土仮置工	- 遮水シートの布設等(浸透防止対策) - 汚染土の仮置き	- バックホウ など	- 遮水シート (一時)
遮断工施工	- 遮水層の設置	- (遮水工の構造による)	- コンクリート等
埋戻し工	- 汚染土の埋め戻し	- バックホウ、ブルドーザ など	
上部覆い工	- コンクリート蓋の設置		- コンクリート蓋
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置		
モニタリング	- 継続的なモニタリング		

## 7. 不溶化 (a) 原位置不溶化

[土壤汚染対策の概要]

基準不適合土の存在範囲に、薬剤を注入攪拌し、土壤中の有害物質が水に溶け出さないように不溶化する。対策後は、地下水の水質を監視し、2年間継続して地下水汚染が生じていないことを確認する。主に重金属類を対象とする。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壤汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 20 原位置不溶化の対策イメージ

[プロセスフロー]

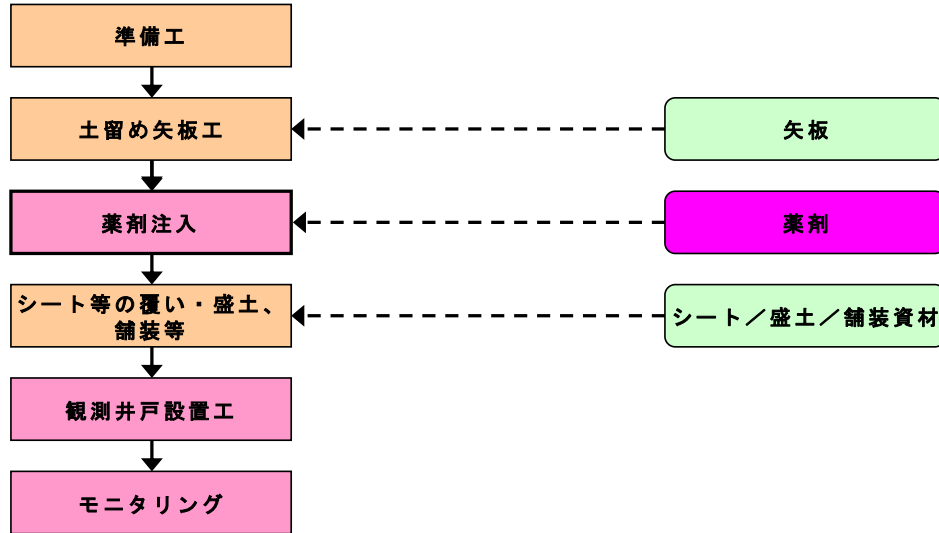


図-参考 21 原位置不溶化のプロセスフロー

[使用する建設機械、投入する資機材など]

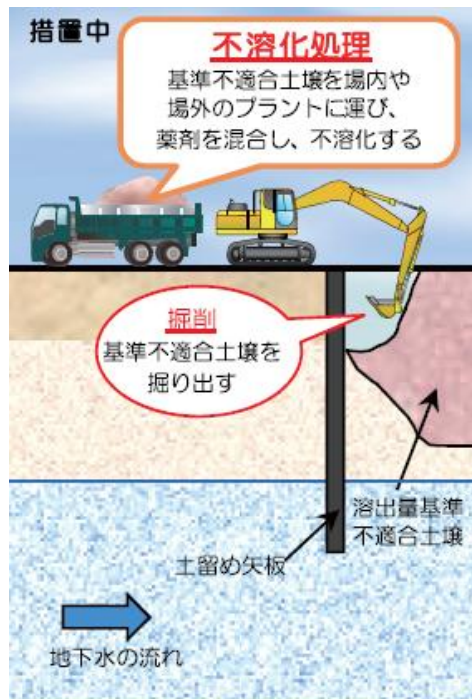
	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
鋼矢板工	- 鋼矢板の打設	- クレーン+電動式バイブロハンマ(バイブロハンマ工)、	- 鋼矢板
薬剤注入攪拌	- 原位置不溶化工の実施	- 注入のための機材	- 方法に応じた薬剤など
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置		
モニタリング	- 継続的なモニタリング		



## 8. 不溶化 (b)不溶化埋め戻し

[土壌汚染対策の概要]

基準不適合土をいったん掘削し、場外や場内のプラントで薬剤を混合し、不溶化する。溶出量基準に適合することを確認後、掘削範囲に埋め戻す。対策後は、地下水の水質を監視し、2年間継続して地下水汚染が生じていないことを確認する。主に重金属類を対象とする。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 22 不溶化埋め戻しの対策イメージ

[プロセスフロー]

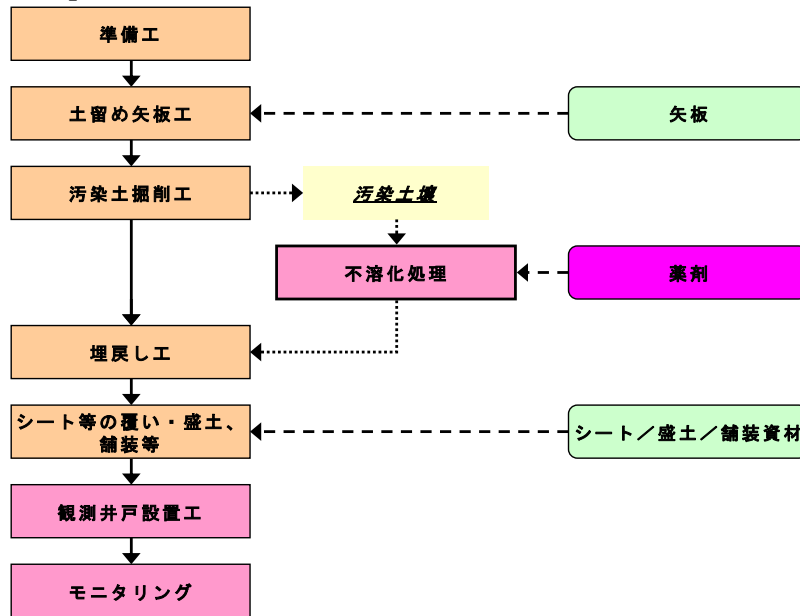


図-参考 23 不溶化埋め戻しのプロセスフロー

[使用する建設機械、投入する資機材など]

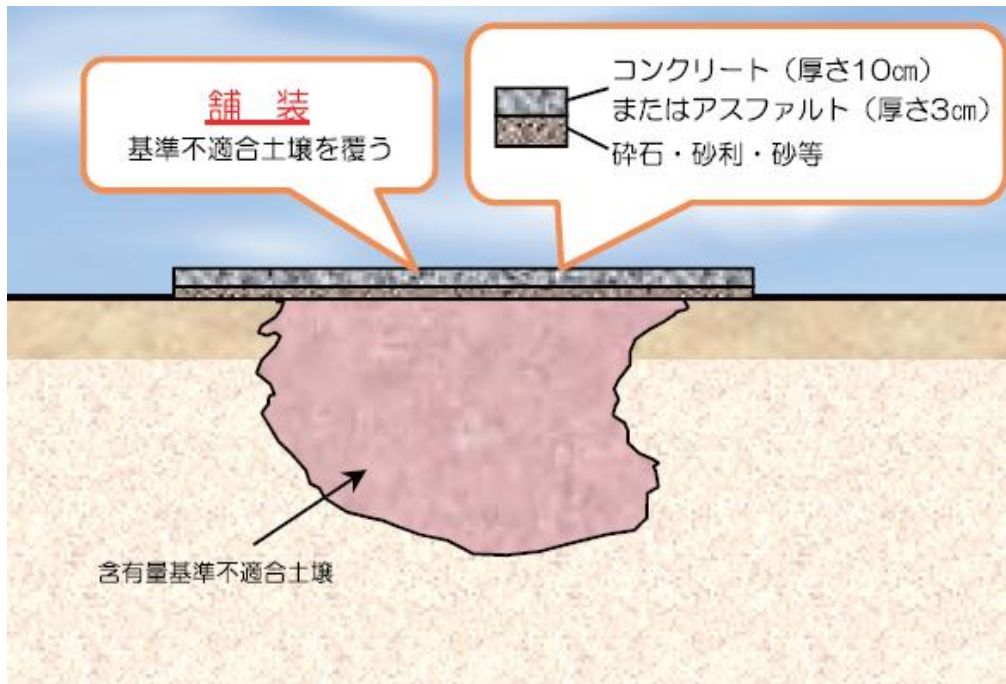
	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
鋼矢板工	- 鋼矢板の打設	- クレーン+電動式バイブロハンマ(バイブロハンマ工)、	- 鋼矢板等
掘削工	- 汚染土の掘削	- バックホウなど	
不溶化処理	- 掘削した汚染土壌の不溶化処理	- 不溶化処理のための機材	- 方法に応じた薬剤など
観測井戸設置工	- 観測井戸の設置		
モニタリング	- 継続的なモニタリング		
埋戻し工	- 不溶土の埋め戻し	- バックホウ、ブルドーザ など	



## 9. 舗装

[土壌汚染対策の概要]

基準不適合土壌の上面を、厚さ 10cm 以上のコンクリート又は厚さ 3 cm 以上のアスファルトで舗装し、基準不適合土に直接触れないようにする。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 24 舗装の対策イメージ

[プロセスフロー]

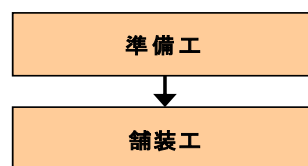


図-参考 25 舗装のプロセスフロー

[使用する建設機械、投入する資機材など]

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
舗装	- 舗装	- バックホウ、ブルドーザ	- アスファルト等

## 10. 立入禁止

[土壌汚染対策の概要]

基準不適合土壌の影響範囲への立入を禁止する。

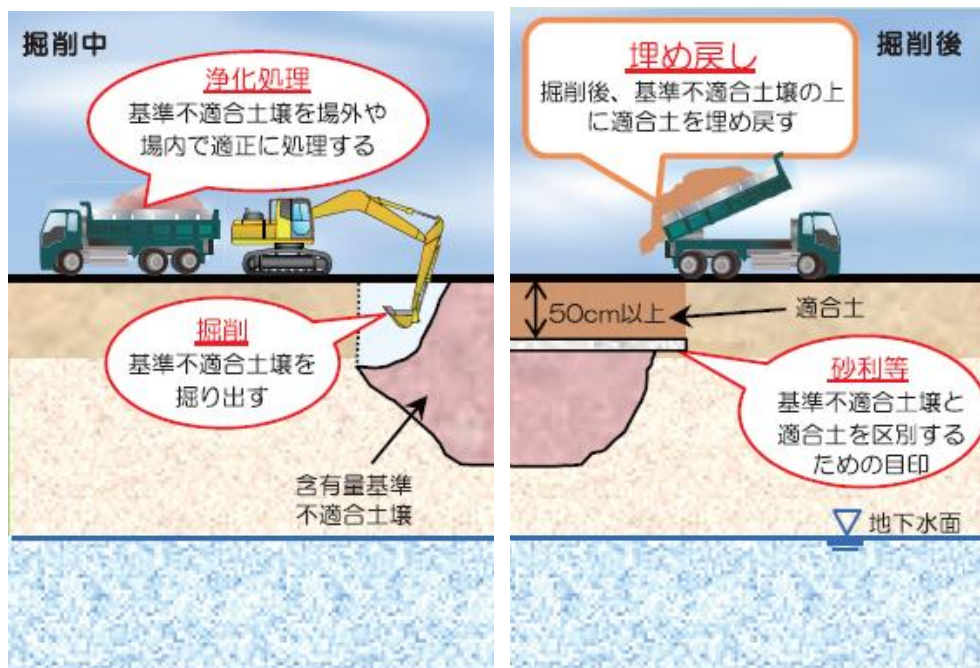
プロセスフロー、使用する建設機械、投入する資機材などは、省略する。

## 11. 土壌入換え（区域外土壌入換え及び区域内土壌入換え）

[土壌汚染対策の概要]

<区域内土壌入換え>

基準不適合土壌、及びその下の基準適合土をいったん掘削して、それぞれの土壌を仮置きし、基準適合土を深部に、適合土を浅部に入れ換えて埋め戻す（土壌含有量基準超過土壌のみ適用可能）。

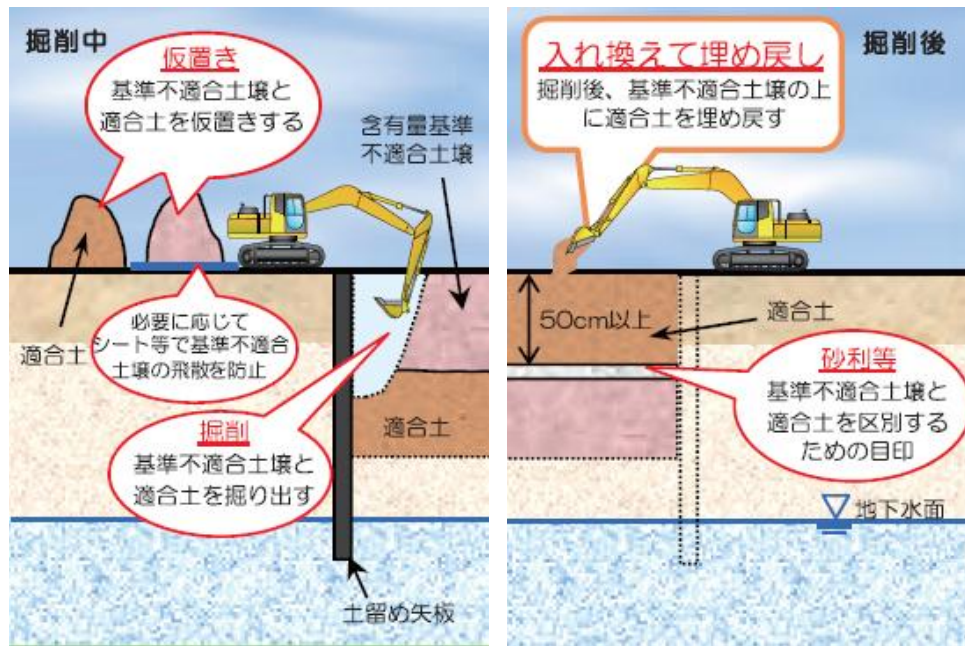


(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 26 区域外土壌入換えの対策イメージ

<区域外土壌入換え>

基準不適合土の上部を掘削後、区域外で適切に処理し、掘削した箇所を別の基準適合土で埋め戻す。基準適合土の厚さは、50cm以上とし、地表面は対策前と同じ高さにする。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 27 区域内土壌入換えの対策イメージ

[プロセスフロー]

<区域外土壌入換え>

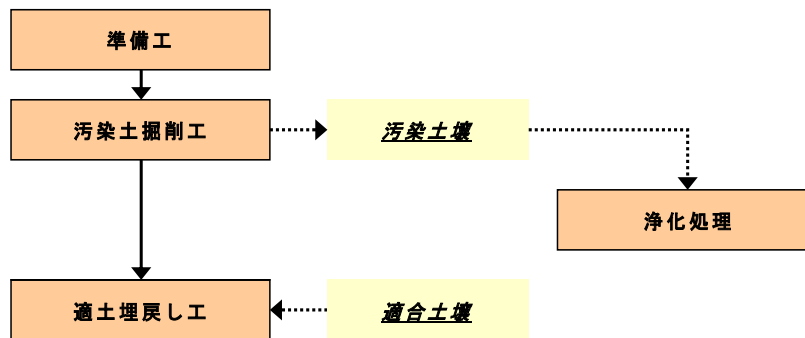


図-参考 28 区域外土壌入換えのプロセスフロー

[プロセスフロー]

<区域内土壌入換え>

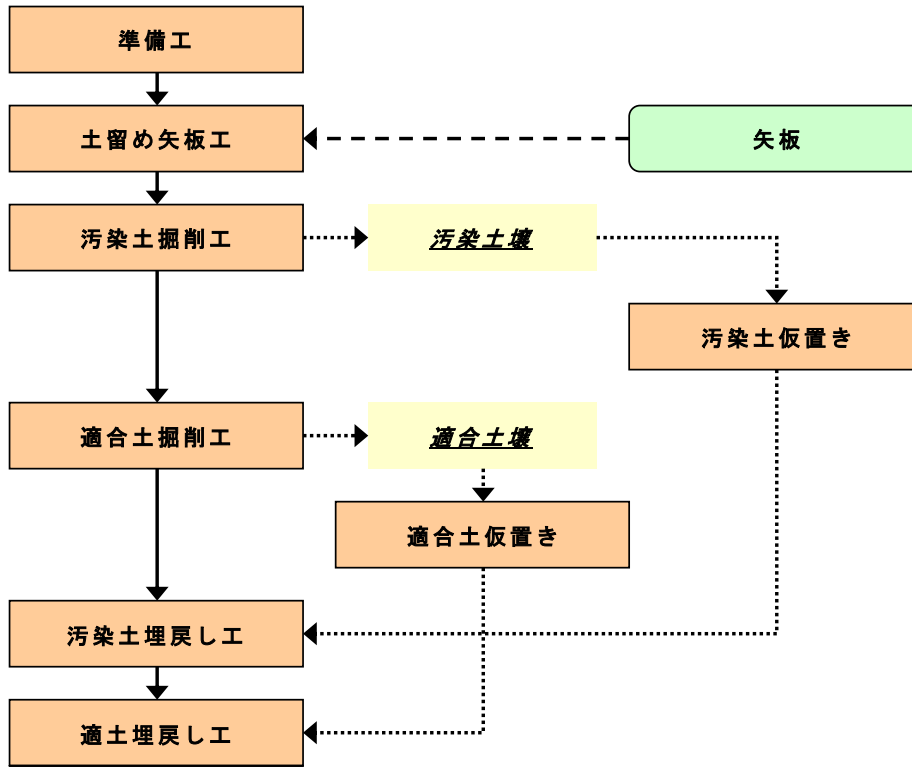


図-参考 29 区域内土壌入換えのプロセスフロー

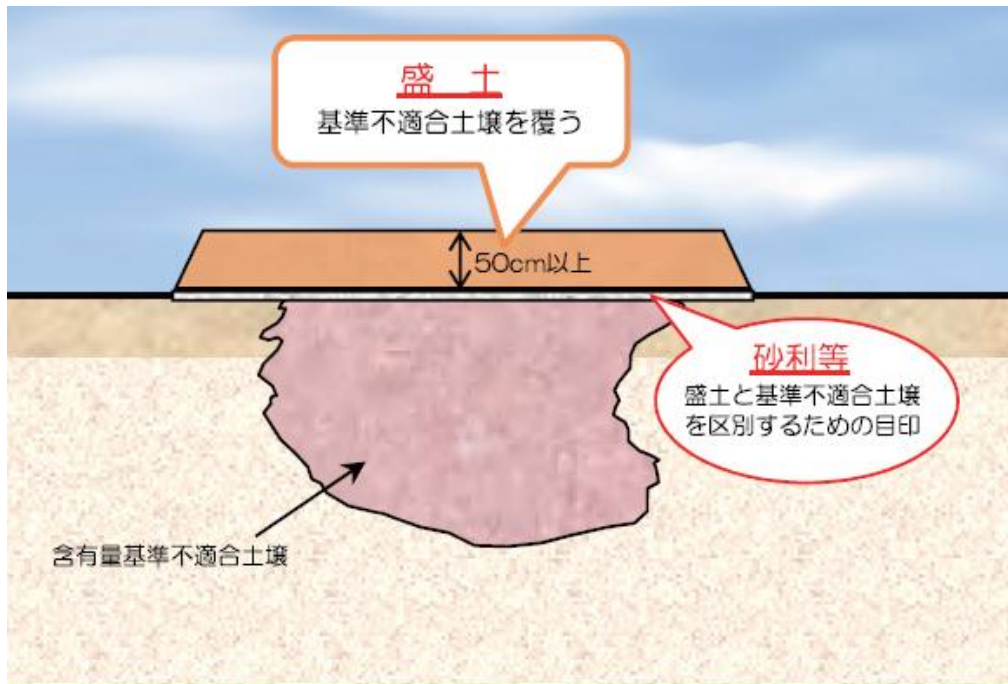
[使用する建設機械、投入する資機材など] (区域外土壌入換えの場合)

	各工程の具体的な内容	建設機材	一時使用資材
1	被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター	- 敷鉄板
2	土留め矢板の施工	- クレーン+電動式パイプロハンマ(パイプロハンマ工)	- 矢板等
3	汚染土の掘削	- バックホウ	
4	汚染土の仮置き	- バックホウ	
5	適合土の掘削	- バックホウ	
6	適合土の仮置き	- バックホウ、ブルドーザ	
7	汚染土による埋め戻し	- バックホウ、ブルドーザ	
8	適合土による埋め戻し	- バックホウ、ブルドーザ	

## 12. 盛土

[土壤汚染対策の概要]

基準不適合土壌の上に、基準に適合する土壌を厚さ 50cm 以上盛り、基準不適合土に直接触れることを防止する。



(出典) 東京都環境局 中小事業者のための土壤汚染対策ガイドライン[33]

図-参考 30 盛土の対策イメージ

[プロセスフロー]

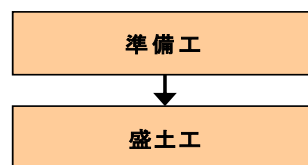


図-参考 31 盛土のプロセスフロー

[使用する建設機械、投入する資機材など]

	各工程の具体的な内容	主な建設機材	主な投入資材
準備工	- 被覆の撤去、敷鉄板の設置	- バックホウ、コンクリートカッター など	- 敷鉄板
盛土	- 盛土	- バックホウ、ブルドーザ	- 適合土等