

再利用を目的とした掘削土およびその他の材料の特性評価（ISO 15176）について

○河合達司¹・中島 誠¹・平田 桂¹・肴倉宏史^{1,2}・ISO/TC190 検討部会¹

¹ 土壤環境センター・² 国立環境研究所

1. 背景および目的

土壤およびその他の土壤材料を再利用する際には、これらの材料が再利用目的に求められる品質や特性を有している事を示す必要がある。ISO 15176（以下本規格）は、これらの品質や特性を示すために必要な試験の考え方や試験項目等を示した規格である。本規格は、試験結果に基づき土壤材料の再利用への適合性を判断し、再利用の行為により生じる可能性のある環境影響を評価することに役立つ。

本規格では、土壤およびその他の土壤材料として、自然土壤を掘削した土壤や人為的に改良した人工土壤、港湾や河川などからの浚渫土、汚染物質を除去した土壤（浄化等済土壤）等の幅広い土壤材料が対象となっている。

本稿では、本規格で規定されている土壤およびその他の土壤材料の再利用の際に求められる土壤材料の品質や特性の評価方法に関する情報を示すとともに、国内への本規格の適用性や将来の国内での土壤資源のリサイクル利用の浸透や新たなビジネスチャンスの創出へ寄与する可能性について考察した結果を報告する。

2. 調査の基本的な考え方

本規格での再利用の用途として、建設工事以外に耕作農業や家庭菜園への利用など様々な用途を対象としている。これらの用途に応じて再利用の適合性を判断する際に、まず再利用場所の特性を把握した後、必要な試料を適切に採取し、土壤および土壤材料の品質や特性を化学的、物理的、生物学的な側面で評価し、土壤管理計画に反映して計画的に進める必要がある。

本規格では調査が必要な状況として、下記の3つの状況を想定している。

- ① 人為由来の潜在的な汚染物質等が、入手可能な情報からは高濃度では存在していないと判断できるが、実際の濃度は不明である土壤を再利用する場合
 - ② 自然由来の潜在的な汚染物質や有機物、硫化物の濃度レベルが高い地域の土壤を再利用する場合
 - ③ 人為由来の潜在的な汚染物質等により土壤が汚染されていることが明らかな土壤を再利用する場合
- このうち、主に②自然由来または③人為由来により濃度が高い場合に求められる調査が示されている。

調査は、段階的に進めることが基本とされている。まず、第一段階として、予備調査（ISO 18400-202）、続いて詳細調査（ISO 18400-203）を実施し、サイトの地歴や地質学的または水文地質学的な包括的全体像を把握し、サイト概念モデル（ISO 21365）構築し、その後の調査戦略を策定する。次に、第二段階として探索的調査では、予備調査から得られた仮説を検証し、その結果に基づき、再利用のための土壤材料の適合性評価などの評価を行い、必要に応じて補足調査も実施しながら評価を進める。調査に際しては、再利用の適合性を評価するために必要な情報とデータを、調査を開始する前に可能な限り特定しておくことが重要であるとされている。

3. 試料採取の基本的な考え方

調査に必要な試料採取や分析、試験の項目や内容を計画する上で必要な情報として、下記の項目が示されている。なお、土壤材料を掘削するサイトで必要な調査項目などは、本規格の付属書Cに示されている。

- ① 土壤を掘削または浚渫された場所の地歴
- ② 過去に実施した調査結果
- ③ 土壤材料の性質と種類
- ④ 土壤材料の使用量
- ⑤ 土壤材料に適用された処理方法

Introduction of ISO 15176 :2019 Guidance on characterization of excavated soil and other materials intended for re-use

Tatsushi Kawai¹, Makoto Nakashima¹, Kei Hirata¹, Hirofumi Sakanakura^{1,2}

and Study group on ISO/TC 190¹ ・ (¹GEPC, ²NIES)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-5 （一社）土壤環境センター

TEL 03-5215-5955 FAX 03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

- ⑥ 土壌材料の使用目的
- ⑦ 掘削サイトから再利用サイトまでの土壌材料の輸送／保管方法
- ⑧ 対象サイトの地歴と現状
- ⑨ 再利用サイトの使用目的
- ⑩ データの品質に関わる目標

汚染されている可能性のある場所から掘削された土壌材料を再利用する際の調査の進め方を、図-1 のフロー図に示す。試料採取のみならず、調査、分析、試験の進め方を決定するには、信頼できるガイダンスに従う必要があり、関連する国際基準や国内のガイドライン、基準に添付されているガイダンスを参照する必要があるとしている。

試料採取の対象としては、使用対象の土壌とともに使用先の土壌、これらに接する可能性のある地下水や表層水等とされている。これらの試料採取方法の国際基準として、土壌 (ISO 18400 の一部)、地表水 (ISO 5667-4、ISO 5667-6)、地下水 (ISO 5667-11)、堆積物 (ISO 5667-12) 等が示されている。

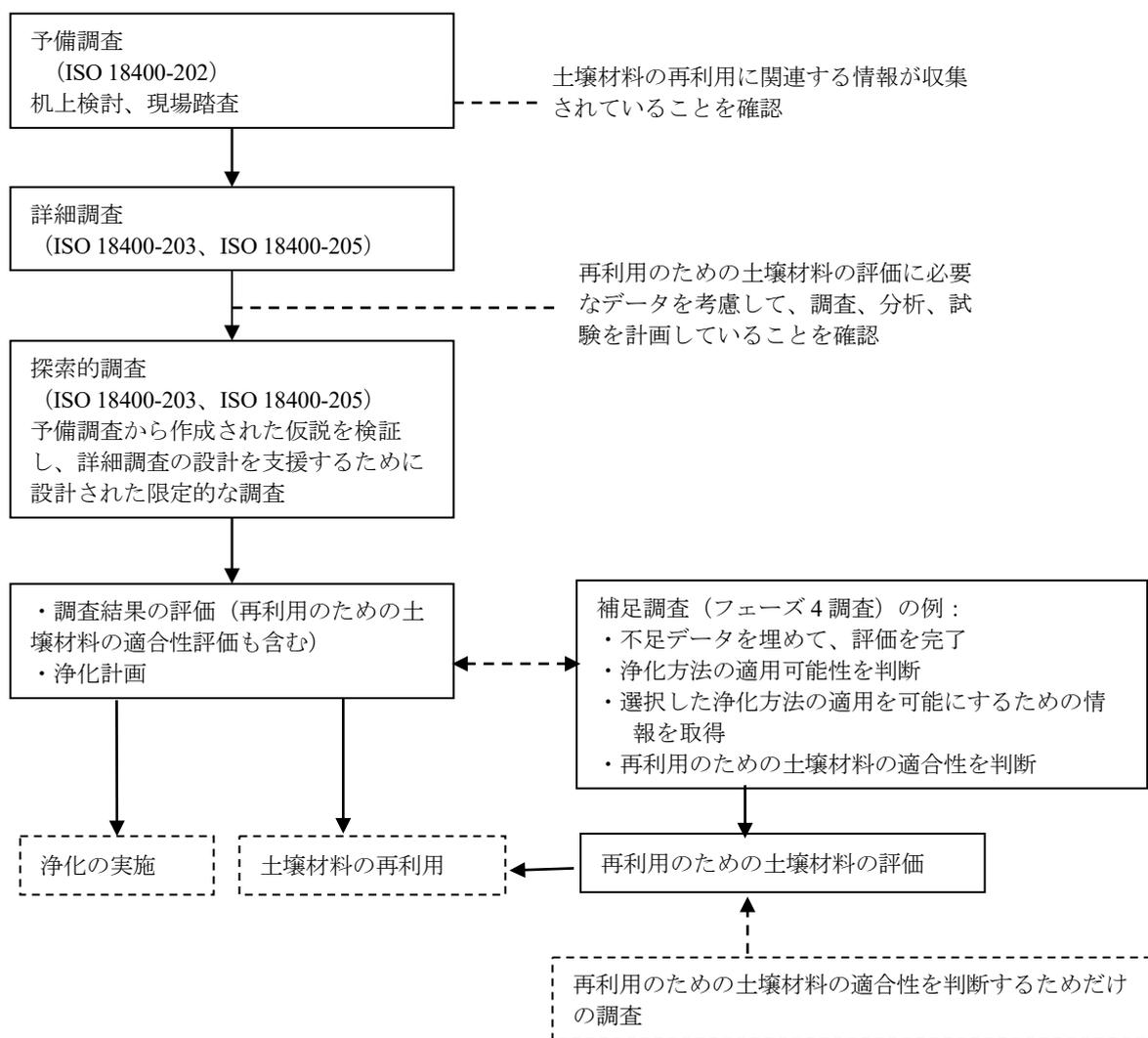


図-1 汚染されている可能性のある場所から掘削された土壌材料の再利用評価の進め方を示すフロー図¹⁾
(※比較対象として、再利用の適合性のみを評価するためだけの調査も図中に示す)

1) ISO15176 2002 Soil quality — Characterization of excavated soil and other soil materials intended for re-use

4. 土壌材料の特性評価

土壌材料の特性評価には、使用目的に応じて、pH などの土壌の基本的な特性に加えて、化学的、物理的 (地層・地盤も含む)、地盤工学的、生物学的、および放射化学的の特性を明らかにする必要があるとしている。各々のサイトでどの項目を調査すべきかは、付属書 A の表に対応する ISO の規格番号とともに示されている。

土壌の基本的な特性として評価すべき項目として、付属書 A の表 A.1 に pH や酸化還元電位、塩類濃度、ナトリウム濃度、TOC、有機炭素（二クロム酸カリウム酸化分解）、強熱減量、陽イオン交換容量、含水率、乾燥重量、炭素含有量、比電気伝導度、交換酸度、加水酸度（加水分解酸度）、酸可溶性硫酸塩、水溶性硫酸塩が示されている。

4.1 化学的特性

化学的特性評価では、農業利用の観点での植物に対する栄養素と微量元素、土壌汚染の観点での潜在的な有害物質を評価する。化学的特性を評価する分析では、前処理（例：粉砕、サブサンプリング）と対象物質を検出する分析方法について各々そのサイトに適した方法を選択し、両者を組み合わせて行う。前処理の方法は、ISO 11464（物理化学的分析のためのサンプルの前処理）および ISO 14507（有機汚染物質の測定のための前処理）に記載されている。サンプルの前処理に関して特定の要件が決められている分析方法に関しては、確かな技術的理由がない限り、この前処理を用いて分析する必要がある。従わない場合は、その理由を分析結果とともに報告することが求められている。

栄養素として評価すべき項目として、付属書 A の表 A.2 に植物の生育に必要な窒素化合物やリン化合物、硫黄化合物、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、カリウムが示されている。農業など生産活動への再利用でなくとも、これらの栄養素が過剰な濃度で地表水や地下水に浸出ししない事が求められる場合は、評価する必要がある。

微量元素として評価すべき項目として、付属書 A の表 A.3 に植物の生育に必要なほう素、コバルト、銅、鉄、マンガン、モリブデン、セレン、亜鉛が示されている。これらは、植物の生育には微量な濃度が必要であるが、特定のレベルを超える濃度では、さまざまな生態系に有害性を示す可能性があり、留意が必要である。

潜在的な有害物質として評価すべき項目として、付属書 A の表 A.4~11 に無機化合物および有機化合物別に代表的な物質が示されている。無機化合物の全含有量分析は、蛍光 X 線分析やフッ化水素酸と過塩素酸の混合物を溶媒に用いる方法などを使用する。また、全含有量の 70~90%程度の値を示す「疑似」全含有量分析の手法も紹介されている。なお、全含有量分析でも、全含有量分析と疑似全含有量分析では異なる分析結果が得られる可能性があるため、ガイドラインの基準と分析結果を比較する場合には、この観点からどの分析方法を選択すべきかを判断することが重要である。例えば、植物への取り込みやすさ（バイオアベイラビリティ）を評価する場合は、ジエチレントリアミン五酢酸（DTPA）などのキレート剤と塩化カルシウム溶液などの弱い抽出剤で抽出する。一方、環境への潜在的な溶出の程度を評価する際には、水抽出による溶出量で評価するが、硫酸カルシウムのようにその塩の一部が溶けずに沈殿した状態で溶出する場合は、みかけの溶出量は液固比に依存することに留意する等の注意点が示されている。

なお、潜在的な有害物質としての有機化合物は、現実的には極めて多種に渡っており特定することは難しいため、本規格では、国際規格として分析方法が決められているもの、もしくは決まりつつあるものに限定して示されている。また、セメントや金属、プラスチックなどからなる建設資材に対して、土壌中の酸可溶性硫酸塩や水溶性硫酸塩、酸化還元電位、炭化水素（有機物）が影響を与える可能性があることが示されており、自然環境だけでなく人工構造物への影響も対象範囲に加えていることは興味深い。

4.2 物理的特性

物理的特性として評価すべき項目として、付属書 A の表 A.12 に、透水係数や間隙水圧など現場試験で取得すべきパラメーターと粒度分布や含水率、圃場容水量など室内試験で取得すべきパラメーターが示されている。

4.3 生物学的特性

生物学的特性として評価すべき項目として、付属書 A の表 A.13 に呼吸商（1 分間あたりに消費される酸素量と二酸化炭素産生量の比）、有機化合物の無機化速度等の微生物活性や植物や微生物に対する毒性、線虫や真菌等の有害生物の存在、微生物量、土壌生態系（マクロファウナ）に対する毒性などが示されている。土壌材料を再利用する際に、これらの生物学的特性の評価が常に必要になるわけではないが、土壌材料の毒性を評価するためにこれらの生物学的特性を評価することが役に立つ場合があるとしている。以下に生物学的特性を評価することが役に立つ可能性がある場合を示す。

- ① 亜鉛やニッケル、銅は、理論的には植物への毒性の可能性があるので、場合によっては費用のかかる対策が必要となる。しかしながら、単独もしくは他の化合物との組み合わせの状態では実際の毒性効果が低減している場合や pH や有機物、粘土鉱物の存在によって毒性が軽減される可能性もある。従って、毒性を直接測定することで、濃度が高くても実際の毒性が低いことを示すことで費用のかかる対策を回避できる可能性がある。

- ② ①と同様に、処理後に基準値を超える物質（炭化水素など）が残留しても、別途毒性試験を行うことで、実際には残留毒性はないことを実証できる場合がある。
- ③ 処理により生成する中間体や最終生成物の特定が困難な場合には、化学分析が困難なため、生物学的特性により評価する。
- ④ ③と同様に特定が困難な処理により生成する中間体や最終生成物に対する対応策による効果を検証する場合には、生物学的特性により評価する。

生物学的特性の評価について、注意すべき点として、以下の2点が示されている。

- ① 条件は時間とともに変化する可能性があることに留意する。例えば、有機物の分解やpHが変化する場合、これにより生体内へ毒性物質が取り込まれる程度（バイオアベイラビリティ）も変わる可能性があり、場合によっては時間経過とともに毒性が増加することもありうる。一方、生分解などの自然減衰のメカニズムにより、毒性物質の濃度が低下することで、全体的に毒性が低下する可能性もある。これらの特性を考慮して、数年後に再度生物学的特性を評価することが望ましい場合がある。
- ② 植物への毒性がないからといって、必ずしも土壌が「健康」であるとは言い切れない。土壌微生物への毒性は、植物に直接影響を与える濃度よりも低い濃度で生じる可能性があり、これは全体的な意味での土壌の「健康」に悪影響を及ぼし、結果的に植物も含めた生態系の生産性を低下させる可能性があるためである。

5. データの品質

使用する土壌材料の適合性について判断を下す前に、使用するデータが必要な要件を十分満たしている（十分性）ことを評価する必要があるとされている。その際には、データの種類（例：化学物質の場合：全量、疑似全量、場合によっては水溶性成分のみ）、データ数（例：サンプリングのケース数とケースごとのサンプル数）、試験や分析及び評価の品質、適切なサンプリングや分析法が実施されていることなどを評価する。

データの十分性ととも、データの代表性や妥当な統計処理方法の選択も重要とされている。農業目的では平均値を用いることが多く、統計処理の方法はISO 18400-104（土壌試料採取の考え方）およびISO 18400-205（自然地盤等及び農用地での土壌調査の手引き）を参照する。人への健康評価では、「平均の95%上限信頼水準」や「最大観測値」などの統計が必要になる場合が多く、前述のISO 18400-104等を参照する。

データの品質を保証するための具体的な方法として、以下の項目が示されている。

- ① 精度や再現性などのデータ品質目標の設定
- ② 国際標準の分析方法や試験方法の使用
- ③ 国際標準の方法が利用できない場合は国内の標準または同等の機関によって公開されている方法の使用
- ④ ISO/IEC 17025（試験所認定）の要件を満たす認定を受けた試験所での実施
- ⑤ 関連する技能試験スキームに参加している研究所での実施
- ⑥ 独自の品質保証手順を採用している分析会社での実施

なお、多くの場合、評価結果を示すレポートは、行政や一般市民を含む当事者以外の利害関係者によって精査されるため、技術的な高さだけでなく、様々な一般読者層にも理解できるよう表形式での要約やグラフ化などの配慮に努め、わかりやすくデータを提示する事が求められている。

6. 付属書

この規格に関する詳細で有用な情報が、以下の付属書A~Eに示されている。

- ① 付属書A：再利用する材料の化学的、物理的、生物学的特性評価に必要なパラメーター。分析項目を(1)基本特性、(2)植物の主要な栄養素、(3)植物の微量栄養素、(4)潜在的に有害な無機物質（全含有量）、(5)潜在的に有害な無機物質（疑似全含有量）、(6)潜在的に有害な無機物質（キレート抽出）、(7)潜在的に有害な無機物質（弱い抽出剤での抽出）、(8)潜在的に有害な無機物質（水溶出）、(9)潜在的に有害な有機物質群、(10)潜在的に有害な個別の有機物質、(11)水に可溶性潜在的に有害な有機物質群および個別の有機物質、(12)物性値、(13)農用地の生物学的評価項目に分け、各々農用地利用と土木資材利用での評価の必要性、評価方法と対応するISO規格名が表で整理されている。
- ② 付属書B：土壌材料の再利用におけるグッドプラクティス。この付属書では、土壌や土壌材料を問題なく再利用するために必要な技術的要因が列記されている。長期的に再利用が問題ないことを確実にするため、再利用後の継続的なモニタリング要件も提案されている。

- ③ 付属書 C：土壤材料の掘削前に必要な調査範囲の決定に関するガイダンス。再利用に用いる土壤を掘削する前に、その必要性を評価し、その範囲を決定するために必要な技術的手順が解説されている。
- ④ 付属書 D：土壤およびその他の土壤材料の分類と評価の例。土壤やその他の土壤材料を、特定の用途での再利用の適合性の観点から、物理的特性や潜在的に有害な物質、栄養素の含有量、母材の種類/組成、サイトの諸条件に基づいて、再利用形態を4つに分類（(1)制限のない再利用、(2)制限付き再利用、(3)特定の安全対策を施しての制限付き再利用、(4)再利用不可（廃棄物扱い））している。
- ⑤ 付属書 E（情報提供のみ）：汚染物質群に属する元素および化合物の例。汚染物質群として、塩素系揮発性有機化合物、塩素系半揮発性有機化合物、非塩素系揮発性有機化合物、非塩素系半揮発性有機化合物、PCB、農薬、無機化合物、腐食性物質、ダイオキシン/フラン類に関して、どのような元素や化合物が含まれているかを、米国 EPA（Environmental Protection Agency：環境保護庁）での定義に従って列記している。

7. 我が国における本規格の適用性について

国内においては、建設資材として再利用する際に必要な要求品質の適合/不適合を判定するための評価基準は、様々な指針やマニュアルで定められている。これらの指針やマニュアルは、再利用する対象ごとに定められており、法や条例、省庁の検討委員会、学会の検討会等により制定されている。国内の主な再利用指針/マニュアルの一覧を表-1に示す。これらは、建設発生土や建設汚泥、災害廃棄物、汚染土壤を再利用の対象とし、その多くは建設工事資材での再利用を目的とし、農業目的の再利用は含まれていない²⁻⁶⁾。なお、各自治体が定める土砂等の埋立て等による土壤の汚染および災害の発生防止に関する条例（残土条例）の申請の手引きの中には、農用地造成も再生利用目的とし、農用地の土壤の汚染防止等に関する法律（農用地土壤汚染防止法）と同じ基準を設けているものもある⁷⁾。

表-1 国内の主な再利用指針/マニュアル一覧

再利用指針/マニュアル名称	主な内容
建設発生土管理基準（平成 18 年 8 月 10 日） ²⁾	建設工事に伴い副次的に発生する土砂や汚泥の土質特性に応じた区分基準および各々の区分に応じた適用用途標準
建設汚泥処理土利用基準（平成 18 年 6 月 12 日） ³⁾	建設工事に伴い副次的に発生する建設汚泥の処理土の土質特性に応じた区分基準および各々の区分に応じた適用用途標準
東日本大震災津波堆積物処理指針（平成 23 年 7 月 13 日） ⁴⁾	市町村等が津波堆積物の撤去・処理を実施するに当たっての参考となる基本的な考え方や留意事項
災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン（2014 年 10 月） ⁵⁾	災害廃棄物から再生した資材であるという特性を踏まえて、復興資材等の品質管理や環境安全性の考え方や設計施工を行う上での技術的事項
汚染土壤の処理業に関するガイドライン（平成 30 年 3 月） ⁶⁾	基準不適合土壤を処理する際の基準等
千葉県 土砂等の埋立て等による土壤の汚染および災害の発生防止に関する条例 申請の手引き ⁷⁾	土砂等の埋立て等の事業を実施するため、各自治体の定めた土砂等に求められる安全基準

一方、本規格では、再利用の用途も土木的な再利用だけでなく、農業への再利用も同等の位置づけで記載されている。現在、国内での処理土の農業利用の可能性は、福島県飯舘村長泥地区での除去土壤の再生資材で盛土した上で覆土することによる農用地等の造成の可能性が検討されているものの、国内での検討事例は、東京都による浄水施設からの汚泥（浄水場発生土）を改質し、園芸用土に有効活用する事例⁸⁾など数は少ない。このような観点では、現時点で国内適用に直結するような国内ニーズの高い規格ではない。この相違は、EUを中心に海外では、農業利用に適した土壤資源自体が潤沢でない地域があり、このような地域では限られた土壤資源を再利用により有効活用する機運が高いことなど現時点でのニーズの違いに起因すると考えられる。

将来に目を転ずると、地球規模の気候変動や温暖化のリスクとして、国内での土壤浸食の加速による耕作地の減少や砂漠化などの可能性が考えられる。このように、将来、国内においても、農業利用も含めて土壤資源のリサイクルに対する機運が高まり、適用用途に応じて土壤の機能を評価することが重要であることが認識され、新たなビジネスチャンスが生じる可能性も考えられる。その際に本規格等の情報が役立つことがあれば、幸いである。

参考文献

- 1) International Organization for Standardization (2002) : ISO 15176 Soil quality - Characterization of excavated soil and other soil materials intended for re-use, p12.
- 2) 国土交通省 (2006) : 建設発生土管理基準/
- 3) 国土交通省 (2006) : 建設汚泥処理土利用基準.
- 4) 環境省 (2011) : 東日本大震災津波堆積物処理指針.
- 5) 公益社団法人 地盤工学会復興資材提言委員会 (2014) : 災害廃棄物から再生された復興資材の有効活用ガイドライン.
- 6) 環境省 水・大気環境局 土壤環境課 (2018) : 汚染土壤の処理業に関するガイドライン.
- 7) 千葉県 (2021) : 土砂等の埋立て等による土壤の汚染および災害の発生の防止に関する条例申請の手引き.
- 8) 東京都 水道局 (2016) : 環境報告書, p42.