

中間貯蔵施設における除去土壌の改質技術開発

浅田 素之 中島 均 佐藤 大樹 横山 勝彦 岩渕 雅和
(技術研究所) (技術研究所) (エンジニアリング事業本部) (土木技術本部) (土木営業本部)

Improvement of soil handling at interim storage facilities

Motoyuki Asada, Hitoshi Nakashima, Katsuhiko Yokoyama and Masakazu Iwabuchi

福島第一原子力発電所の事故で拡散した放射性物質の除染作業が順次進められ、除染作業から発生した除去土壌等の中間貯蔵事業が始まっている。受入・分別施設では、大量の除去土壌を分別するために改質材を添加して、土壌の粘性を調整し、分別作業を効率化している。本論文では、中間貯蔵施設のうち、受入・分別施設で活用している技術、および分別を容易にするための改質材 SC カラッ土®の開発、現場での土壌水分量の連続計測による添加管理方法について、紹介する。

Since the 2011 Tohoku earthquake, huge volumes of soil containing radioactive materials have been removed from many locations. For such large volumes, continuous handling is necessary, and the prevention of clogging is a key impact factor in optimizing facility efficiency. This paper describes the development of an additive that improves soil handling at interim storage facilities for removed soil. The additive, called SC-karat, improves the soil screening process and prevents clogging on the sieve. The precision of soil water content measurements has been improved to make additional dosage of SC-karat to the soil appropriately.

1. はじめに

東日本大震災後に発生した、福島第一原子力発電所事故で拡散した放射性物質の除染作業が順次進められて、帰還困難区域を除き面的除染がほぼ完了した。中間貯蔵施設事業については、福島県内の仮置場に保管されていた除染除去物を中間貯蔵施設予定地内保管場へ輸送するパイロット輸送・本格輸送に引き続き、仮置場から中間貯蔵施設への輸送、荷下ろし、破袋、分別、土壌貯蔵施設への保管を一連の作業として行う施設整備および受入・分別処理、貯蔵が進められている。

中間貯蔵施設は、大きく受入・分別処理施設と土壌貯蔵施設に分けられる。中間貯蔵施設に搬入される予定の1,400万m³に及ぶ除染除去物のうち、2018年10月時点で約10%の搬入が終了している。膨大な除染除去物の大部分を占める除去土壌等は、土壌貯蔵施設に分別・貯蔵されることになっており、大量の土壌等を安全に効率良く分別処理する技術が必須である。受入・分別処理施設では、前処理施設として様々な機械技術が中間貯蔵施設向けに開発されている¹⁾。写真-1に、第1期大熊2工区の受入・分別施設を示した²⁾。当社では、以前の研

究報告³⁾で紹介した、①土壌等が収納されている大型土のう袋を破袋する技術（フレコンクロスカター）、②土壌等と可燃物の分別を着実かつ効率的に行う分別技術（パワーグラインドスクリーン）、③土壌等を放射性物質濃度別に正確に分別する技術（セシウム土壌ソーター）を開発、実戦投入している。

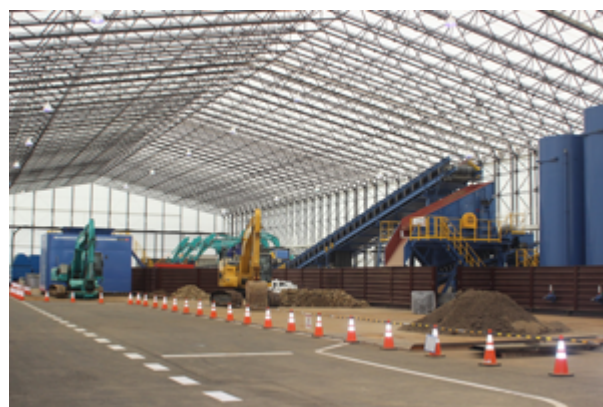


写真-1 受入・分別施設（第1期大熊2工区）²⁾

受入・分別施設では、大量の除去土壌を分別するために改質材を添加して、土壌の粘性を調整し、分

別作業を効率化している。改質材の添加量は、土壌水分量（含水率）により変化するため、含水率の変化に応じて適正量を添加する必要がある。大量土壌の連続・効率的な含水率測定法が不可欠である。

ここでは、土壌改質材（SC カラッ土®）の配合室内試験、試験改質機を用いたスケールアップ試験、および、SC カラッ土®の現場での添加管理方法、すなわち、中性子水分計を用いた、ベルトコンベア（ベルコン）で運搬される土壌の含水率連続計測方法に関する検討内容について、紹介する。

2. 受入・分別施設の概要と検討内容

2.1 受入・分別施設の設備

除染除去物は、各地の除染作業で大型土のう袋に収納され、保管されている。中間貯蔵事業では、大型土のう袋をダンプトラックで施設内に輸送、除去土壌を分別し、貯蔵している。

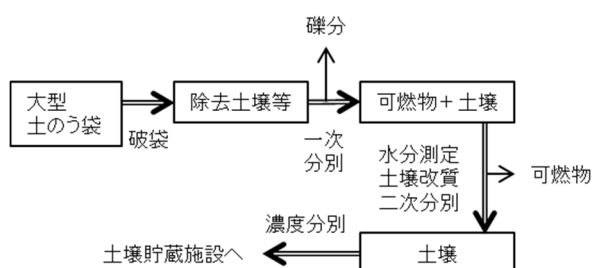


図-1 受入・分別施設の作業フロー

図-1 に、受入・分別施設の処理フローを示す。搬入された大型土のう袋は、フレコンクロスカタールで破袋後、礫分等を取り除いたのち、可燃物を除去する。分別後は、セシウム土壌ソーターで、放射性物質濃度ごとに分別し、土壌貯蔵施設に運搬する。図-2 に、各設備の配置図を示す。

大型土のう袋内には土砂等の不燃物のみが収納されていることになっているが、植物根等の可燃物も混在しており、可燃物と土壌等を分別する必要がある。一次分別（粗分別：約 100mm のふるい目）後に、改質・二次分別が行われる。二次分別では「パワーグラインドスクリーン（PGS）： 環テックス（株）との共同開発」を採用した。



解砕羽（中央半透明の部品）を外周に配した回転ドラムがふるいを有する回転ドラムの中に設けられている

写真-2 パワーグラインドスクリーン内側

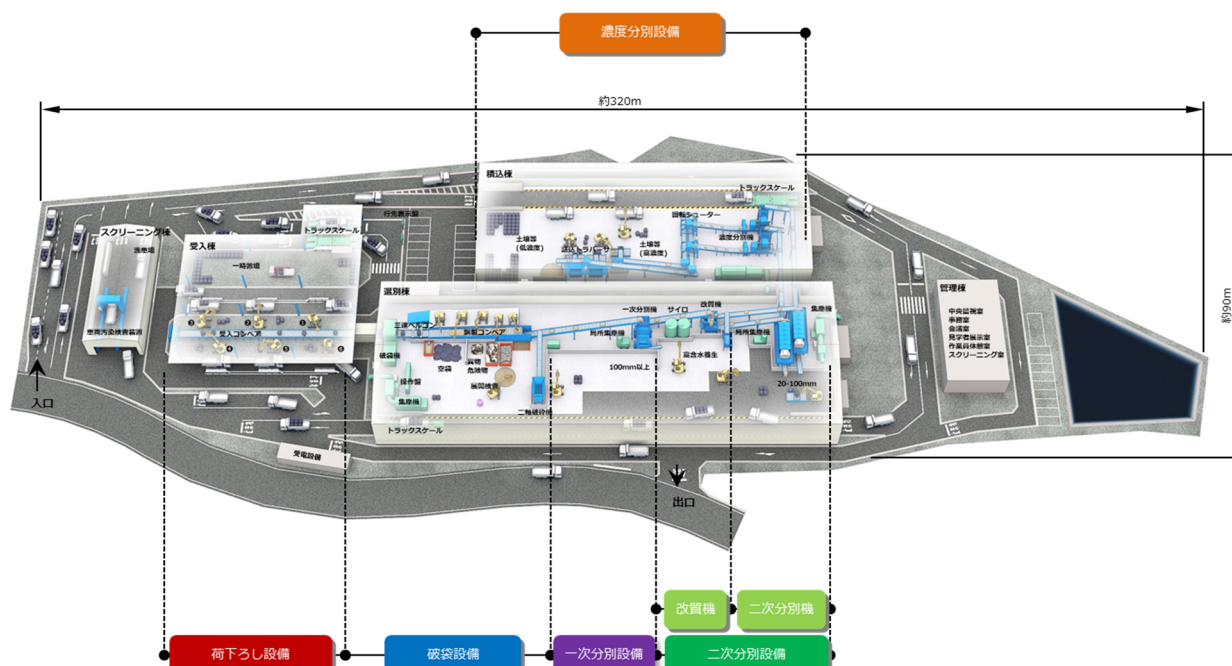


図-2 受入・分別施設 各設備の配置図

PGS は、円筒形の回転ふるい機であるトロンメルをベースに、横置き回転ドラムの内側に、解砕羽を外周に配した回転ドラムを設けた分別装置である。写真-2に、PGS の内部の様子を示す。解砕羽とドラムを反対方向に回転させ、解砕羽とドラムの間で植物質可燃物の土壌を解砕しながら分別を行うため、土壌が根に強く固着した植物質可燃物についても分別が可能である。処理能力は、1機あたり、70t/h 以上である。

なお、車両スクリーニング設備は、三菱電機プラントエンジニアリング（株）が開発した、車両汚染検査装置を導入し、大型土のう袋の荷下ろしが終わったダンプトラック車両の汚染検査を自動化する試みも行っている。

2.2 土壌改質材の必要性

PGS のふるい目は約 20mm であり、目詰まり等による分別効率の低下や土壌等の団粒化による誤分別が問題になる可能性がある。写真-3に、粘性の高い土壌を処理した際、PGS のうち、ふるいを有する回転ドラムが目詰まりした状況を示す。

第1期大熊2工区の受入・分別施設では、1日あたり 1,000 袋におよぶ大型土のう袋を受け入れ、140t/h の土壌処理速度が求められる。効率よく分級するためには、改質材により含水率に応じた適正な土質管理を行い、ふるいの目詰まりを防止する必要がある。そのために、二次分別装置である PGS の直前で添加し、土質を改質、PGS の目詰まりを防止する土壌改質材の開発が必要となった。

一般的には、生石灰・セメント系改質材が使用されるが、土壌をアルカリ性にし、貯蔵期間終了後の再利用に支障をきたす懸念がある。同業他社でも pH が中性の土壌改質材開発を進めていたが、当社独自の中性土壌改質材を検討する必要性が生じ、各材料の配合試験を実施した。

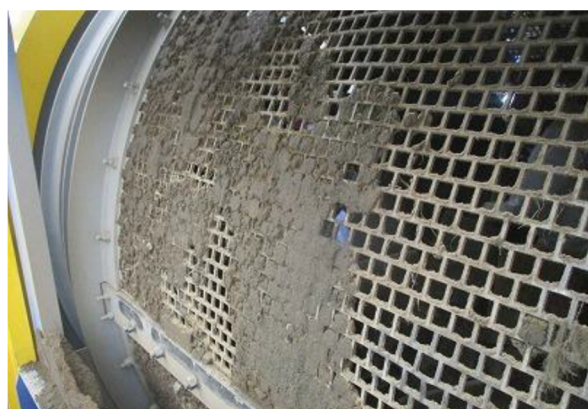


写真-3 PGS の目詰まり

2.3 土壌改質材の室内配合試験方法

改質材は、土質改良に関する既存の知見から、高分子ポリマーとシリカアルミナ鉱物を混合した材料を採用した。比較として、一般的な改質材である中性の石膏とアルカリ性の生石灰を用いて、室内配合試験により、強度やハンドリング性等を比較した。

除去土壌を管理している区域外に持ち出すことはできないため、含水率 29%に調整した畑土を元土として検討した。1バッチあたり 2kg の元土に対し、30～50kg/t の割合で各材料を適量添加、ホバートミキサーで混合した。混合土壌の含水率、pH、目視によるハンドリング性、突固め試料の強度、湿潤密度を確認した。

含水率は、JIS A1203:2009、pH は JGS0211:2009、湿潤密度は JIS A1225:2009 に準拠した。

強度は、H18.8.10 国土交通省通知「発生土利用基準について」に準拠した。φ 10cm のモールドにつめ、重さ 2.5kg のランマーで 1 層あたり 25 回 3 層転圧したのち、混合直後と、1 日後のコーン指数（JIS A1228:2009）を計測した。土質区分基準で、通常の施工性が確保される粘性土及びこれに準ずるものとされている、第3種建設発生土の基準（400 kN/m²）を目標強度とした。

2.4 デモ機を用いた改質実規模試験方法

配合検討した改質材の実規模での性能を検証するために、デモ改質機（ラサ工業（株）社製インパクトブレンダー）を用いた試験を行った。20kg の元土に対し、改質材を適量加え、瞬時の改質性能や篩分け性能を確認した。

2.5 土壌水分の連続計測方法検討⁴⁾

改質材の適正添加量は、除去土壌の含水率によって変化する。現場で効率よく除去土壌を分級するには、含水率に応じた改質材量を添加し、適正な土質管理を連続的に行う必要がある。大量の土壌がベルコン上で運搬される間に、瞬時に含水率を測定することで、添加量を最適化することが可能となる。

受入・分別施設での除去土壌含水率の連続計測データ検証を、平成 28 年度中間貯蔵施設土壌貯蔵施設等工事（第1期大熊2工区）で実施した。

含水率の連続計測装置として、ソイル&ロックエンジニアリング社のオンライン中性子水分計 CONG-II 骨材表面水量計を用いた。カリフォルニウム 252 (1.11MBq) を線源とする封入した中性子線散乱型水分計である。線源から発生した速中性子が土壌中の水素と反応し、生成した熱中性子を計測する。水分計を、写真-4 の通りベルコン下部に設

置し、含水率を連続的に計測した。ベルコンの土壌運搬速度は0.5m/s程度である。

ベルコン上から採取した除去土壌を、加熱乾燥式水分計で計測した含水率（採取試料含水率）と、中性子水分計で測定した含水率（水分計含水率）を、同時刻で比較した。

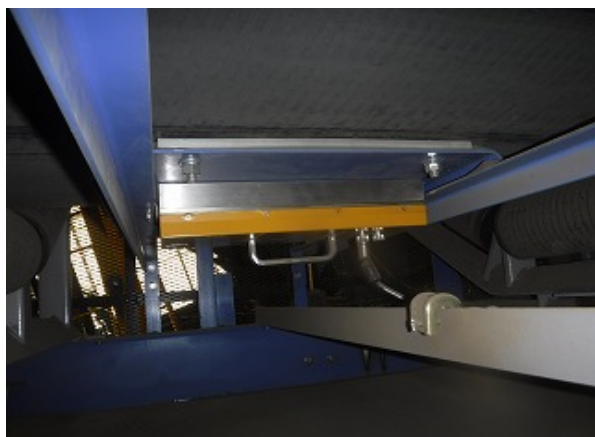


写真-4 中性子水分計（中央の黄色部分）

表-1 に、2.3～2.5 で示した各試験の対象土壌と試験規模を示す。

表-1 試験条件

試験名	対象土壌	試験規模
室内配合試験	畑土	2kg／1 バッチ
デモ改質機試験	畑土	20kg／1 バッチ
含水率計測試験	除去土壌	（処理速度 140t/h で計測）

3. 土壌改質材の試験結果

3.1 室内配合試験結果

写真-5 に、元土を示す。含水率 19.5%の畑土に加水し、含水率：29%として試験に供した。コーン指数は、225kN/m²であった。

写真-6 に、石膏 50kg/t を添加した改質土を示す。コーン指数は改質直後で 799kN/m²であり、目標とした第3種建設発生土の基準である 400 kN/m²を満たした。1日養生後は 1,123kN/m²で第2種建設発生土の基準である 800 kN/m²を満たした。混合攪拌するとムース状となったため、ハンドリング性は不良と判断した。pH は 7.3 で中性であった。

写真-7 に、生石灰を 50kg/t 添加した改質土を示す。コーン指数は改質直後で 2,108kN/m²と、十分な強度が得られたため、1日養生後のコーン指数測定は省略した。混合攪拌すると団粒化したため、ハ

ンドリング性は良好であると判断した。pH は 13.0 でアルカリ性であった。



写真-5 含水率 29%に調整した元土



写真-6 石膏添加改質土



写真-7 生石灰混合改質土

写真－8 に、シリカアルミナ鉱物と高分子ポリマーを混合したオリジナル材料を 30kg/t 添加した改質土を示す。コーン指数は改質直後で 694kN/m²であり、目標強度を満たした。1 日養生後のコーン指数は 830kN/m²で第 2 種建設発生土の基準である 800 kN/m²を満たした。混合攪拌すると団粒化したことから、ハンドリング性は良好と判断した。pH は 6.7 で中性であった。

以上の結果をまとめると、表－2 のとおりである。pH が中性で、改質直後に目標強度である 400kN/m²を発現する、オリジナル材料を採用することとし、名称を SC カラッ土®とした。



写真－8 SC カラッ土®改質土

表－2 改質材試験結果

試料名	元土	石膏	生石灰	SC カラッ土
添加量 kg/t	—	50	50	30
含水率 %	29.1	28.0	27.0	28.4
pH	6.2	7.3	13.0	6.7
湿潤密度 g/cm ³	1.67	1.70	1.71	1.71
コーン指数 ^{注)} kN/cm ²	225 —	799 1123	2108 —	694 830
ハンドリング性	×	×	○	○

注) 上段：改質直後、下段：1 日後

3.2 デモ機を用いた改質実規模試験結果

SC カラッ土®の実プラントへの適用性を確認するため、実プラントで用いる装置と同等の改質能力を持つデモ機を用いて、実規模試験を実施した。

写真－9 に、元土に SC カラッ土®を添加した様子を示す。また、写真－10 にデモ改質機を示す。1 バッチ 20kg の元土を用いて確認したが、2kg の土壌を用いた室内試験で確認した通り、ハンドリング性は良好で、実機にも十分適用できることが確認できた。



写真－9 元土に SC カラッ土®を添加した様子



写真－10 デモ改質機

3.3 土壌水分の連続計測結果⁴⁾

図-3に、中性子水分計を用いた1日の含水率連続計測結果を示す。含水率は1秒ごとに熱中性子のカウント数(CPS)から割り出しているが、ここでは、10秒平均の値として示している。当該装置を用いて、連続的に含水率を計測できた。

図-4に、採取試料含水率と、中性子水分計で測定した含水率を比較した。中性子水分計による測定では、一定時間ごとに核分裂する原子核の数、強度にゆらぎ(壊変揺動)がある。秒単位での土壌水分計測について、中性子の壊変揺動があるため、CPSおよびCPSから割り出した含水率にバラツキが見られるものの、壊変揺動のバラツキの範囲にとどまっており、実用上十分な相関性を持っていることが分かった。

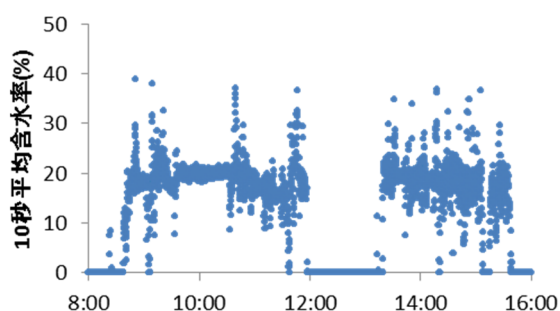


図-3 1日の含水率計測結果(例)

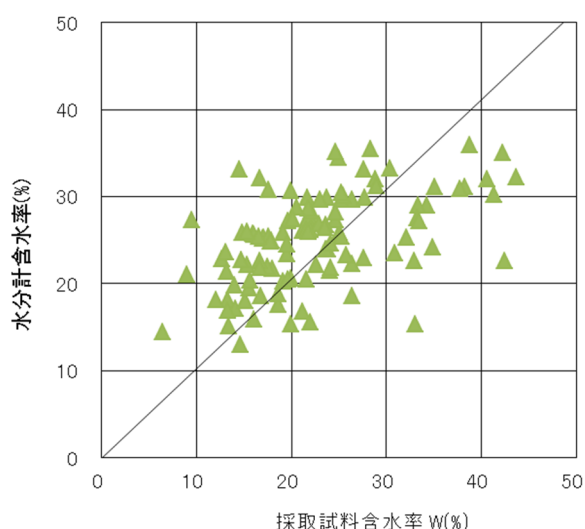


図-4 連続計測と採取試料での含水率比較

4. まとめ

中間貯蔵施設のうち、受入・分別施設において、除去土壌の分別処理を効率化するための、土壌改質材SCカラッ土®の配合、配合量を適正化するための現場での土壌水分連続計測方法を検討した。

改質材としては、生石灰・セメント系改質材が使用されるのが一般的であるが、土壌をアルカリ性にしてしまうため、貯蔵期間終了後の再利用に支障をきたす懸念がある。これに対し、SCカラッ土®は、中性のシリカアルミナ鉱物を主材とする環境安全性の高い改質材で、pHを中性に保ちながら、粘性の高い土壌を改質することができた。さらに、SCカラッ土®は、添加直後に効果を発現するために、連続処理を前提とした受入・分別処理工程でも、養生期間を必要とせず、処理のボトルネックとなることはないことが確認できた。

土壌水分の連続分析について、中性子水分計を用いることで、秒単位での含水率計測が可能であることを確認できた。

改質材によるハンドリング改善については、土壌水分以外にも、有機成分、粒度、土の温度等、様々な土質要因が大きく係わっており、運転を続けながら最適条件を探ることが欠かせない。

受入・分別施設、土壌貯蔵施設現場では、日々大量の土壌等の受入・分別・貯蔵作業を続けている。今後は最大440t/hという大量の受入・分別処理を実現する必要がある。現場のデータを丹念に確認しながら、作業効率の改善を続ける所存である。

<参考文献>

- 1) 横山勝彦、土田充、浅田素之：中間貯蔵施設における除去土壌等の受入・分別処理技術，デコミッションング技報第56号，pp.74-79，2017.
- 2) 環境省 中間貯蔵施設情報サイト
<http://josen.env.go.jp/chukanchozou/about/>
- 3) 川口正人、郷家光男、横山勝彦、樋口義弘、土田充：中間貯蔵施設における前処理技術の開発，清水建設研究報告，第93号，pp.19-28，2016.
- 4) 浅田素之、中島均、岩淵雅和、横山勝彦、山本中一：除去土壌水分の連続計測方法に関する考察，土木学会平成30年度全国大会第73回年次講演会 講演概要集，pp.105-106，2018.