

農地の物理的除染対策技術の開発

Development of Physical Decontamination Technologies for Farmland Soil

中 達 雄[†]
(NAKA Tatsuo)若 杉 晃 介[†]
(WAKASUGI Kousuke)原 口 暢 朗[†]
(HARAGUCHI Noburo)奥 島 修 二[†]
(OKUSHIMA Shuji)塩 野 隆 弘[†]
(SHIONO Takahiro)石 田 聡[†]
(ISHIDA Satoshi)吉 本 周 平[†]
(YOSHIMOTO Shuhei)今 泉 眞 之[†]
(IMAIZUMI Masayuki)

I. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出・拡散したセシウム (Cs-134, Cs-137) を主とする放射性物質の除染対策に関連して、(独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所 (以下、「農工研」という) では、平成 23 年度科学技術戦略推進費「圃場・農業用施設などの放射性物質を低減する技術」の研究の一部を担当した。本報では、実施した調査研究の中から、農地を対象とした除染対策のための、特に、表層土壌の削取り工法による物理的除染技術の開発について報告する¹⁾。なお、農工研が担当した本研究成果は、農林水産省から平成 23 年 9 月 14 日にプレスリリースされている²⁾。

II. 現地実証試験地および周辺の状況

1. 現地の状況

農工研では、平成 23 年 6 月から福島県飯舘村の現地調査を開始した。飯舘村は、4 月 22 日に「計画的避難地域」に指定され、原子力発電所から北西に約 30~50 km 離れた阿武隈高原に開かれた山間農林地域である。除染技術の開発のために発電所から北西に約 39 km に位置する飯舘村伊丹沢の標高約 500 m の

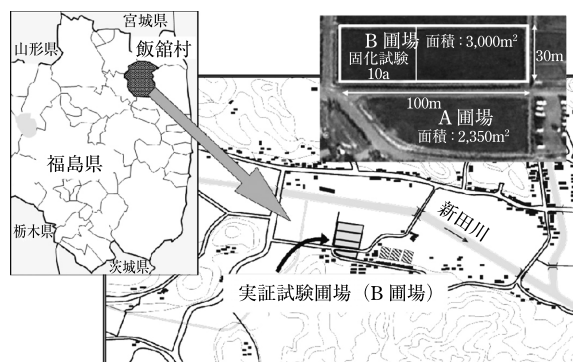


図-1 福島県飯舘村実証試験地の位置図

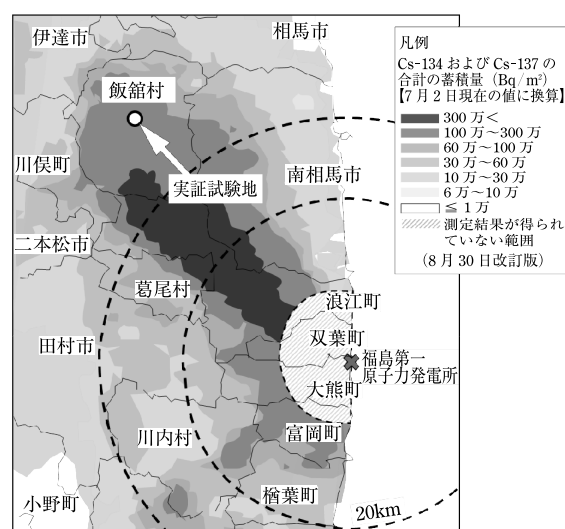
30 a 区画水田を現地実証試験地とした (図-1)。

飯舘村は、阿武隈山系の北部にあり、周囲をなだらかな山地に囲まれた標高 220~600 m の高原である。基盤整備された比較的平坦な水田は、飯舘村を西から東へ横断する新田川、飯舘川および比叡川の両岸に位置し、そのほかの小規模水田は、その支流の谷間に分布している。

2. 周辺の放射性物質の蓄積状況

放射性物質であるセシウムなどは、地表にチリや雨水とともに降下して、地表の土壌などに吸着して、その多くが地表に止まるとされている。文部科学省は、発電所から 80 km 圏内の地表の汚染地図を公表している³⁾。これは、地表 1~2 km メッシュで放射性物質の蓄積量を示している (図-2)。飯舘村の南部では、1 m² 当たり 300 万 Bq/m² 以上の蓄積量を示し、この値は、20 km 圏内の警戒区域などと同程度の汚染状態となっている。

農林水産省は、稲の作付け制限値である土壌中の放

図-2 実証試験地周辺の放射性物質の蓄積量の分布 (平成 23 年 7 月 2 日現在)³⁾[†] 農村工学研究所

水田土壌、放射性セシウム、物理的除染、表土削取り、固化剤、モニタリング

放射性セシウム濃度が 5,000 Bq/kg (0~15 cm 作土)以上の農地の面積を水田が 6,300 ha, 畑地が 2,000 ha と推計している²⁾。農工研は、平成 23 年 6 月に実証試験圃場内で表層から 15 cm 厚さの水田土壌をサンプリングし、耕起していない農地土壌の表面から 2.5 cm の深さに放射性セシウム (Cs-134 と Cs-137 の合計値, 以下同様) の 95% が存在することを明らかにした²⁾。また、この表層部の単位重量当たりの粒径ごとの放射性物質濃度を分析すると粗砂・細砂に比較して粘土・シルト分が高い濃度を示した⁴⁾。しかし、粘土などの微細な土壌の全体に占める組成率が低い場合には、粘土分のみを除去しても放射性物質の除去は限定的になることが示唆される。

III. 農工研所内および現地事前試験

1. 研究目的と方法

事前調査の知見から飛散・沈積した放射性物質は、農地土壌の最表層に集積しているとみられる。粘質で湿潤状態になりやすい水田において、土木機械などによりこの薄い層を選択的に削り取ることは困難である。また、耕うんや代かき、重機の走行などは、汚染範囲を深さ方向に拡大し、処理する土量を増加させるため得策ではないと考えられる。そこで、水田の最表層を攪乱せずに処理するために、この層を固化して選択的に削り取る工法に着目した。具体的には、最表層土の選択的な固化技術と固化の過程で土壌が収縮する特性を活用した削り取り技術の開発を目指した。

2. 所内圃場固化試験

平成 23 年 7 月に茨城県つくば市の農工研の圃場内において、固化剤粒子の粒径、固化剤混合スラリーの粘性、土壌の間隙径（透水性）および土壌水分などの適合条件を把握するために、2 種類の酸化マグネシウム系固化剤を用いて配合比を変えたスラリーを作成し、小プロット (1 m×1 m) への散布試験を行った。散布から 9 日後の各小プロットにおいて、固化剤粒子の浸透状況を観察し、適する固化剤混合比などを見いだした。人力による模擬的な削り取り作業を行った結果、土壌は、かさぶた状の厚さ 2~3 cm の小片に分離する可能性を確認した。

3. 現地試験圃場における土壌固化試験

飯館村の現地圃場において、上記と同様に小プロット内で固化試験を実施した。固化剤の固液比を変えて、7 月 6 日に固化剤混合スラリー予備試験を行い、7 月 15 日に固化後の状況を確認した。表土削り後の空間線量を計測し、表土の除去による効果を確認した。空間線量は、各プロット試験で平均 7.58 μ Sv/h から、4.58 μ Sv/h に低減した。本試験では、

【固化剤 2kg/m² : 水 4L/m² → 1 : 2】
→ 粘性が高く、スラリーの浸透が悪い
(浸透しないスラリーのため、表面が白っぽい)

【固化剤 2kg/m² : 水 8L/m² → 1 : 4】
→ スラリーは適度に浸透
(表面が白っぽくない)

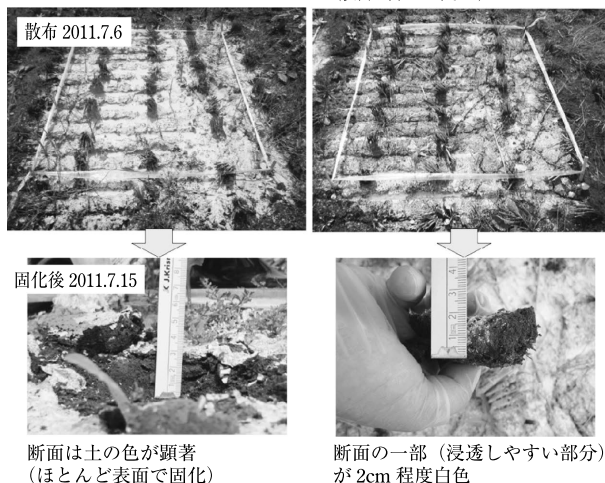


写真-1 現地圃場での固化剤の土壌への浸透状況

土壌表面は乾燥状態にあり、本条件下では固化剤と水の比は、1 : 4 で適度な浸透が確認できた (写真-1)。

4. 所内試験圃場における削り取り工法の開発

削り取りでは、油圧ショベルのバケットを水平方向にスイングさせることにより、削り取り厚を 2~3 cm 程度に制御し、かつ確実に削り取ることでできる新工法の開発を行った。また、バキュームカーによる収集や、アームに取り付けるアタッチメントを改良することで、作業性が向上するとともに、排除土壌の飛散を防止して安全性を高めることをねらいとした。削り取り深さは、従来のローダ+排土板+油圧ショベルの工法が、5.3 cm であったものが、新工法（ワイパー工法という）+バキューム吸引工法では、2.8 cm まで制御が可能となった (写真-2)。



アームを水平に移動させ、表層土壌を筋状に集積

写真-2 開発した削り取り工法の作業状況 (農工研)

IV. 削り取り工法の現地実証試験

1. 試験の概要

図-1 に示した B 圃場内の 1,000 m² (10 a) 部分に固化剤を土壌表面に吹き付け、その後、固化した表土を削り取り、土壌中の放射線量の低減効果を測定した。8 月 20 日に固化剤吹付け試験、8 月 30~31 日に

削取り試験を実施した。固化剤は、 1 m^2 当たり 2 kg を使用し、当日は、前日からの降雨の影響により土壌水分が高く土壌が湿潤であったため、所内試験時より少ない水量 6 kg (L) (固液比 $1:3$) で吹き付けた。試験前後の土壌採取は、試験区を9ブロックに区分し、それぞれ9つの試料を採取した。採取方法は、VU 200 を土壌に 15 cm 程度打ち込んで、その下から採取した。サンプルは、地表面から約 1 cm ずつ5層、残りは約 2 cm ずつ切断し濃度を分析した。

2. 実証試験結果

(1) 除染の効果 削取り前日に固化深さを測定し、約 2 cm 程度の固化を確認した。10 a 当たりの排土量は約 32 m^3 であり、削取りの推定厚さは約 3.0 cm であった。土壌の放射性セシウム濃度 ($0\sim15\text{ cm}$, 乾土) は、表層土を削り取ることにより、試験区画内の9ブロックの平均で $9,090\text{ Bq/kg}$ から $1,670\text{ Bq/kg}$ へ低減した (低減率 82%)。また、圃場内の地表面付近の空間線量は $7.76\text{ }\mu\text{Sv/h}$ から $3.57\text{ }\mu\text{Sv/h}$ へ低減した。削取り前後の試験区画中央部1点のサンプル土壌の深さ方向の放射性セシウム濃度の分布を図-3に示す。層厚平均のセシウム濃度は $9,390\text{ Bq/kg}$ から 319 Bq/kg へと大幅に減少し、表層土壌の除去がほぼ完全に行われ、また、深さ 3 cm 以下の下層部における土壌の攪乱も生じていない。

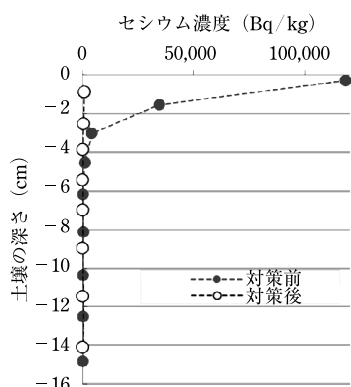


図-3 削取り前後の放射性セシウム濃度の鉛直分布の変化例

なお、土壌中の放射性物質の測定値は、各サンプルでバラツキが大きかった。このため、スポット的に採取した数少ない試料を用いた除染効果の評価には、注意が必要である。本試験区では、試験前後の各試料数9点の平均値を除染効果の評価値として整理した。

(2) 削取り・収集の作業工程 油圧ショベルの旋回機能を利用し、バケットを左右にスイングして表層土を削取り、汚染土壌をスジ状に集積する作業工程およびバケットのアームにバキュームの吸引ホースを接続する改良により、削取りと同時にバキューム車のタンクに汚染土壌を吸引・収集する作業工程を試験した



固化剤の散布作業



散布後の固化剤



改良したバケット



バキュームによる土壌の吸引

写真-3 削取り工法の現地試験の状況

(写真-3)。削り取った土壌は、耐候性のフレコンバックに入れ、一時圃場横に集積した後に搬出した。油圧ショベルのバケットの改良によって、削取り・収集・搬出の3工程で行う作業を1工程で行うことが可能となった。固化剤を用いる意義は、除染作業時の土壌の飛散防止と作業環境の安全の保持および作業による放射性物質の拡散防止にある。さらに、固化剤を散布することで表層土壌を白くマーキングすることとなり、削残しを目視により確認可能となり施工管理上も有効である。

3. 適用上の留意点

稲の刈り株や不陸のある田面でも適用が可能であるが、降雨後で圃場表面が湿潤な場合は、固化剤混合スラリーが所定の深度に浸透しない可能性があるため、圃場が乾燥した後に吹き付けることが望ましい。また、固化剤混合スラリーを吹き付ける際には、圃場内の雑草を事前に処理する必要がある。

ただし、発電所事故後に耕起した圃場では、放射性物質が土壌中に混合されていることから、表層土を除去する本工法の除染の効果は、期待できない。

V. モニタリング・評価する手法の適用

軽量放射線測定装置 (NaI) を気球および無人ヘリに搭載し、地表面から放射されるセシウムのガンマ線を連続測定するモニタリング手法の適用を検証した。本手法で評価したセシウムの除去率を見ると土壌中の放射性物質の濃度から評価した除去率 82% の値と同等な評価が可能である (図-4)。なお、本手法では、土壌地表面からの放射線を計数する手法であることから、表層土壌のみを削り取る手法には有効に機能した。しかし、土壌自体に放射性物質の遮蔽効果がある

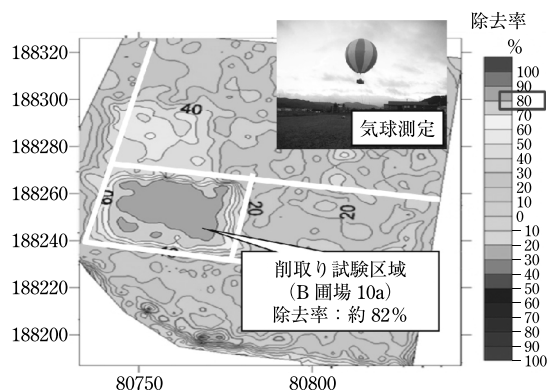


図-4 除染前後のセシウムの除去率の分布

ため、ある深さ方向の放射性物質の除去の効果については、土壌採取による濃度分析との併用が必要である。

VI. おわりに

表土掘取りは、耕うんされていない圃場に有効な手法であり、平成 23 年度に作付けが制限された農地などへの適用が期待される。一方、すでに耕うんがされた圃場などへの適用を想定し、水を利用した土壌攪拌方式による除染対策技術の開発についても平成 23 年度より実施している。なお、各工法による当面の作業手引きが農林水産省より公表されているので参考にされたい⁵⁾。

謝辞 現地試験の実施について、現地政府対策室、福島県飯館村役場および圃場を提供いただいた地権者の方々から多大なるご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

引用・参考文献

- 1) 若杉晃介, 原口暢朗, 瑞慶村知佳: 放射性物質に汚染された農地土壌の効率的な除染工法, 平成 23 年度農村工学研究所成果情報, (印刷中) (2012)
- 2) 農林水産省: 農地土壌の放射性物質除去技術 (除染技術) について, <http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/110914.htm>
- 3) 文部科学省: 文部科学省による放射線量等分布マップ (放射性セシウムの土壌濃度マップ) の作成結果を踏まえた航空機モニタリング結果 (土壌濃度マップ) の改訂について, http://radioactivity.mext.go.jp/ja/monitoring_around_FukushimaNPP_MEXT_DOE_airborne_monitoring/
- 4) 塩野隆弘, 奥島修二, 中 達雄, 今泉眞之, 吉本周平: 水田土壌における深度別および粒径クラス別の放射性セシウム濃度, 平成 23 年度農村工学研究所成果情報, (印刷中) (2012)
- 5) 農林水産省: 農地土壌の放射性物質除去技術 (除染技術) 作業の手引き 第 1 版, pp.11~15, 17~25 (2012)

[2012.5.30.受稿]

中 達雄 (正会員)



1954年 東京都に生まれる
1979年 東京農工大学農学研究科修士課程修了
農林水産省入省
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所水利工学研究領域長
現在に至る

略 歴

若杉 晃介 (正会員)



1976年 大分県に生まれる
2001年 宇都宮大学修士課程修了
(独) 農業工学研究所入所
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所農地基盤工学研究領域
現在に至る

原口 暢朗 (正会員)



1959年 埼玉県に生まれる
1982年 東京大学農学部卒業
農林水産省入省
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所農地基盤工学研究領域
現在に至る

奥島 修二 (正会員)



1957年 岡山県に生まれる
1980年 筑波大第2学群卒業
農林水産省入省
2006年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所企画管理部研究調整役
現在に至る

塩野 隆弘 (正会員)



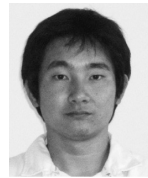
1966年 山形県に生まれる
1989年 北海道大学農学部卒業
農林水産省農業工学研究所
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所農地基盤工学研究領域
現在に至る

石田 聡 (正会員)



1962年 東京都に生まれる
1989年 東京大学理学部卒業
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所資源循環工学研究領域
現在に至る

吉本 周平 (正会員)



1980年 兵庫県に生まれる
2005年 京都大学大学院農学研究科修士課程修了
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所資源循環工学研究領域
現在に至る

今泉 眞之 (正会員)



1953年 千葉県に生まれる
1979年 千葉大学大学院理学部地学科修了
1982年 農林水産省関東農政局
2011年 (独) 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所資源循環工学研究領域長
現在に至る