

放射性物質に汚染された農地の凍結土壌における冬期の表土剥ぎ取り工法の開発 A new method for removal of radioactive-contaminated topsoil in farm fields under soil freezing

○若杉晃介*, 原口暢朗*, 小倉 力*

○WAKASUGI Kousuke*, HARAGUCHI Noburo*, OGURA Chikara*

1. はじめに

原子力発電所の事故に伴い大気中に放出された放射性物質は地表から約 2、3cm に留まる例が多く報告されている。この問題に対する根本的な解決策は、放射性セシウムに汚染された農地土壌の表層 2~3cm を迅速、確実かつ低コストに剥ぎ取って除去することである。しかし、比較的放射線量が高い福島県飯舘村や川俣町などの山間部の多くは冬期（12 月下旬~3 月まで）の気温が氷点下になるため、表層から徐々に凍土が形成される。凍土は強度が強く、数センチ削り取るのは困難なため、この期間に除染事業が滞る可能性が高い。そこで、本研究では凍土が形成される冬期の表土剥ぎ取り工法の確立を目的とした。

2. 剥ぎ取り工法の開発

冬期に氷点下にさらされた農地の凍土形成に対する正確な予測や抑制は困難である。本研究では土壌水分の毛管上昇によって凍土形成が促されることに着目し、剥ぎ取る対象の土壌表層を事前に耕起し、多くの空隙を持つ土塊状態を作り出すことで毛管による水分上昇を抑制して凍土形成を制御することで、表土を容易に剥ぎ取る工法を開発した。

①**事前耕起**：凍土が形成される前に耕起を行う。ロータリーハローやバーチカルハロー、などを用いて、深さ 5cm 程度を耕起する。その際、細かく砕土しないように刃の回転数などを調整する。また、耕起から剥ぎ取りまである程度期間があるため、土壌によっては雨や積雪などで耕起層の構造が徐々に失われる可能性がある。そこで、耕起の際に固化剤散布やほ場内に繁茂する雑草の裁断、鋤込みなどによって構造の維持を図る。

②**剥ぎ取り**：耕起した層は板状の凍土にはならないため、容易に剥ぎ取りができ、さらに耕起深で剥ぎ取り厚さが制御できるため、均一に剥ぎ取ることができる。また、下層は板状の凍土層になっており、剥ぎ取る機械のバケットやブレードが深く入り込むことがないため、排土量の増加や取り残しの懸念が少ない。

3. 予備実験

①**簡易な一軸圧縮試験**：不攪乱土壌と粒径調整後に充填した攪乱土壌を凍結させ、一軸圧縮試験を行った。土壌は農村工学研究所内の火山灰土系と砂壤土系を用いた。攪乱土壌はフルイ（網目は 2mm 以下、2~4.76mm、4.76~9.52mm）によって粒径別に分類し、100cc の円筒コアサンプラーに詰め、-20℃の冷凍庫で凍結させた。

②**一面剪断試験**：後述の福島県飯舘村の現地圃場において、木枠（縦 25×横 25×高さ 20cm）を用いて不攪乱土壌を採取すると共に、同じ木枠に耕起後の土壌を詰め、-20℃で管理して凍結させ、一面剪断試験器で各 2 個体の試料の一面剪断応力を測定した。

4. 現地実証試験

福島県飯舘村飯樋八和木地区の現地圃場において、新工法の実証試験を実施した。事前耕起作業は平成 24 年 12 月 14 日、剥ぎ取り作業は平成 25 年 2 月 8 日、19 日に実施した。

* (独) 農研機構 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering.

キーワード：東日本大震災、放射性物質汚染、農地の除染、冬期除染、凍土

耕起作業はストローチョッパーで繁茂した雑草を裁断し、ロータリーハローを用いて約80m²耕起した。剥ぎ取り作業はバケット容量(0.28m³)、56.4PS、最大掘削力54.8kNの油圧ショベルを用いて剥ぎ取った。

5. 試験結果及びまとめ

(1) 予備実験

①一軸圧縮強度：粒径調整した攪乱土壌の一軸圧縮強度は、各土壌とも不攪乱土壌の

1/20～1/30程度の強度であった(表1)。各試料の物理性では、攪乱土壌は粒径が異なる場合でも乾燥密度(固相)と水分飽和度(凍結水分量)が不攪乱土壌の約1/2になっていた。

②一面剪断試験：不攪乱土壌の剪断応力は700～900kN/m²、耕耘土壌は200～250kN/m²であった(図1)。耕耘土壌は不攪乱土壌の約1/4の力で剪断可能であることが分かった。

(2) 現地実証強度

事前耕起を行った耕耘区は通常のバケットの操作で容易に剥ぎ取りが行われ、耕起層が10～20cm程度の土塊となって除去された(写真1)。一方で、不攪乱の無対策区では表層の凍土が堅く、たたき割って剥ぎ取るのに多くの時間を要しており、新工法の約10h/10aに対して3倍の約30h/10aであった(表2、写真2)。また、剥ぎ取り厚は凍土厚と同一となり、約10cmであった。なお、剥ぎ取り前の地表面の空間線量は2.8μSv/hであったが、剥ぎ取り後は0.5μSv/hに低下した。

(3) まとめ

事前耕起による部分的な土壌凍結制御に基づく新たな表土剥ぎ取り工法は、冬期に利用できる除染方法として活用できることが実証された。無対策の場合には、凍結深が5～10cm程度では凍土全部が剥ぎ取られ、排土量の増加が懸念されると推察された。また、新工法の剥ぎ取り時間は無対策の約1/3であり、作業能率から見た優位性も明らかであった。さらに、新工法における剥ぎ取り土は10～20cm程度の土塊であることから、大型土のう袋への詰め込みも問題なかった。特に新工法は特殊機械を用いないことから、低コストかつ汎用性が高く、除染を必要としながら、凍土によって除染作業が停滞する地域に広く適用することが期待できる。

謝辞：福島県飯舘村における現地実証試験の実施にあたって、現地農家の高野氏、飯舘村役場に多大なご厚意を頂いた。

表1 予備試験結果(火山灰土系)

	乾燥密度 (g/cm ³)	水分飽和度 (%)	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)
不攪乱土壌	0.9	78.4	28.7
攪乱土壌 (粒径調整)	2mm以下	0.4	30.9
	2-4.76mm	0.5	35.6
	4.76-9.52mm	0.5	36.2

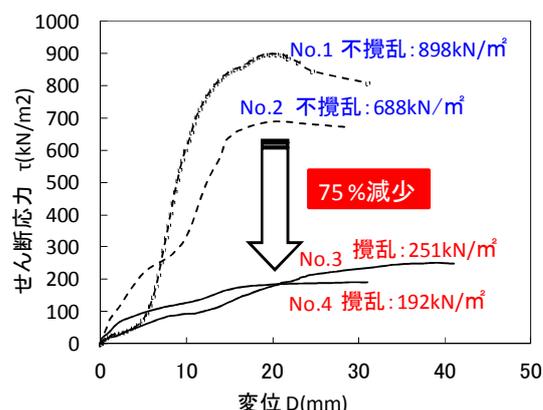


図1 凍土の一面剪断応力(水平変異曲線)



写真1 耕耘区の剥ぎ取り状況



写真2 無対策区の剥ぎ取り状況

表2 現地実証試験結果

	無対策区		耕耘区(新工法)		
	①	②	①	②	③
施工日	2月8日	2月19日	2月8日	2月19日	2月19日
区画	2×2m	2×2m	2×2m	2×2m	2×8m
作業時間	7分	7分	2.5分	2.8分	8.7分
作業効率(h/10a)	29.2	29.2	10.4	11.7	9.1
土壌硬度(kgf/cm ²)	63.0	43.1	28.5	41.3	34.8

土壌硬度は剥ぎ取り前の地表を山中式硬度計によって計測