

# 農地汚染対策技術のカドミウム汚染水田への適用性の検証

## Verification of the Applicability of Countermeasure Technology to a Cadmium Polluted Rice Field

笹木 弘<sup>※</sup> 中原 博史<sup>※</sup>  
Hiroshi Sasaki Hirofumi Nakahara

### 【要旨】

鉍害によるカドミウム汚染水田の対策は従来より行われているものの恒久的な対策が見つかっていない。そこで、当社の保有する土壌汚染対策技術の一つであるシーリングソイル工法を農業分野への適用を企画し、実圃場においてカドミウム汚染水田への適用性の検証を行った。3年間の水稲栽培を行なった結果、改良した水田で栽培した水稲の玄米は未改良水田のものよりカドミウム含有濃度は少なく、シーリングソイル工法による玄米へのカドミウム汚染の低減効果が確認された。

【キーワード】 土壌汚染 不溶化 農業 水田 カドミウム汚染

### 1. 背景

土壌汚染対策の技術に関しては、さまざまな工法が提案されている。当社でも関連する技術の開発を行っているが、保有している技術の1つに「シーリングソイル工法」という不溶化処理技術がある。この技術は環境に対して安全性のある材料を用いているところが特徴であり、その特徴を利用して汚染土壌に関連する分野への利用拡大を図ることを検討している。その検討の中で、鉍害のひとつであるカドミウム汚染水田に注目した。カドミウム汚染水田の問題は全国で従来から続いている問題で、これまで様々な対策方法が取られてきたが、それぞれにまだ問題を抱えており恒久的な対策は見つからないのが現状である。

【従来の対策方法の問題点】は以下の通りである。

- ・ 天地返し・・・ 再溶出、表層汚染に限定、地力低下
- ・ 客土入替・・・ 対策費が高額、地力低下
- ・ pH調整材散布・・・ 短期の材料補給
- ・ 水位管理・・・ 耕作作業困難、収穫作業に支障

今回、それらの問題を解決する対策方法として、水田土壌中のカドミウムをシーリングソイル工法で不溶化し、水中への溶出を抑制させることで水稲への吸収量を減少させる方法を提案し効果の検証を行った。

検証は実圃場を使って平成16年度から平成18年度までの3年間に渡り実証実験を行ったもので、この度、3年間の結果を整理したのでここに報告する。

### 2. 工法説明

図-1にシーリングソイル工法の不溶化メカニズムのイメージ図を示す。当工法は天然鉍物であるゼオライトや火山灰質粘性土の持つ陽イオン交換機能や吸着機能結晶化を活用するものであり、短期的な不溶化はゼオライトや粘土粒子にカドミウムを吸着・固定化して水に溶けださなくするものである。更に、長期的不溶化のメカニズムは火山灰質粘性土に含まれる珪酸および鉄・アルミナなどの含水性非晶質物やアロフェン、イモゴライトなどの低結晶性の鉍物が一定雰囲気（pHや濃度）の水溶液中に滞留することで長時間必要なものの溶解・再合成を起こしながら再結晶化させその中に固定化させるものである（新鉍物相形成反応）。シーリングソイル工法による汚染土壌処理件数は過去に30件以上の実績を持っており、カドミウム汚染土壌の不溶化についても実績がある。

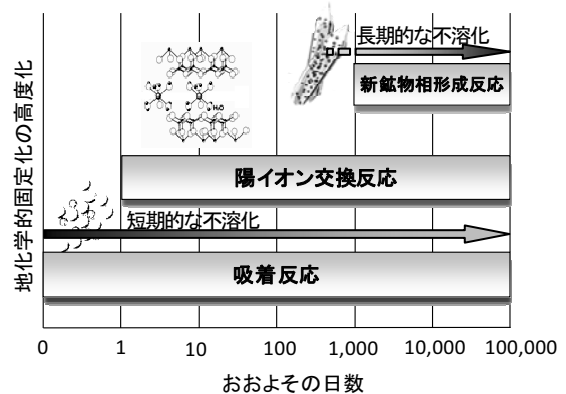


図-1 固定化メカニズムのイメージ

しかし作物への吸収抑制としての適用例はなく、新たに下記の確認が必要である。

- a. 土壌不溶化により生育させた水稻に吸収するカドミウムを抑制させることの確認
  - b. 水田に供給される水で不溶化土壌が洗浄されても長期的に不溶化効果が持続することの確認
- そこで、今回、実圃場でこれらの項目を確認することとした。

### 3. 実験概要

実験は東北地域においてカドミウムを含有している実圃場 10 a を借用した。

実験概要を下記に示す。

#### 3.1 圃場汚染濃度

表-1 に借用した実圃場のカドミウム含有量、溶出量を示す。汚染土壌の基準は溶出量が 0.01mg/l 以上、および含有量が 150mg/kg 以上であることから、当圃場の土壌は非常に小さい数値であり一般土壌では清浄土の範疇に入る。

表-1 実験水田のカドミウム濃度

水田処理効果			
処理前		処理後	
含有量 mg/kg	溶出量 mg/L	含有量 mg/kg	溶出量 mg/L
3.13	<0.002	3.02	<0.002

#### 3.2 実験ケース

実圃場を 1 区画 10m×12m の実験単位区画として 5 区画作成し、それぞれの区画について無改良、配合を変化させたシーリングソイル工法そして従来技術 (pH 調整方法) の計 5 ケースの実験を 3 年間行った。図-2 に各区画の実験ケース位置を、表-2 に各実験ケースの内訳を示す。

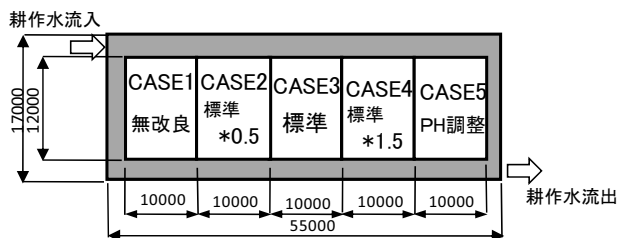


図-2 実験圃場改良区画概略図

表-2 実験ケース

ケース名	資材添加率 (乾燥土重量比)			
	ゼオライト	ドロマイト	粘性土	消石灰
Case1 無改良	—	—	—	—
Case2 標準配合*0.5	2.0%	1.0%	5.0%	—
Case3 標準配合*1.0	4.0%	2.0%	10.0%	—
Case4 標準配合*1.5	6.0%	3.0%	15.0%	—
Case5 pHコントロール配合	—	—	—	0.1%

#### 3.3 土壌改良概要

均質に改良資材を混合するため各区画を 2m×2m に細分割し各分割に投入資材を正確に分配して混合した。なお、土壌改良深さはトラクターで掻き起される深さである 15cm までとした。

#### 3.4 水管理

1 年目の H16 年度は通常通りの管理としたが、2 年目以降はカドミウムの吸収を促進させるため圃場に暗渠を設置して水供給を制限してカドミウムの吸収を促進させた。

#### 3.5 計測項目

実証実験における計測項目は、以下の通りである。

- ・圃場水位、水の酸化還元電位
- ・水稻に吸収されたカドミウム量

## 4. 実験結果

#### 4.1 水位変化

水とカドミウム吸収の関係を把握するため、平成17年度および平成18年度に、写真-1 に示すような自動水位計を設置して水田の水位変化を測定した。水田の中干しをするために水田の水を排水する「落水」後は、降雨による一時的な水位上昇はみられるものの、稲刈りまでは改良深度の15cm以下を保持しており、土中は酸化状態となっていることがわかる。(図-3 参照)



写真-1 自動水位測定器設置状況

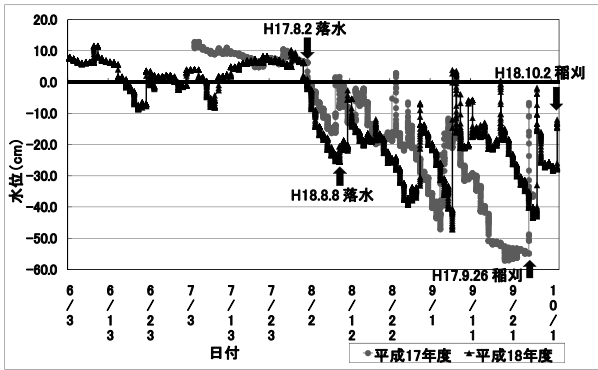


図-3 実験圃場水中水位変化

#### 4.2 水の酸化還元電位

稲の栽培では、水田の水の酸化が進むと稲へのカドミウムの吸収が促進され、また、還元状態に保つことで硫化カドミウム等の形態を生じ不溶となることが知られており、その目安は水の酸化還元電位が200mVとされている。そこで、平成17年度～平成18年度では稲の生育時の土壌間隙水の酸化還元電位の測定を行った。

計測は、写真-2に示す採水器を用いて圃場内の間隙水を採取し酸化還元状態を調べた。

平成17年度の結果を図-4に示す。



写真-2 採水器設置状況

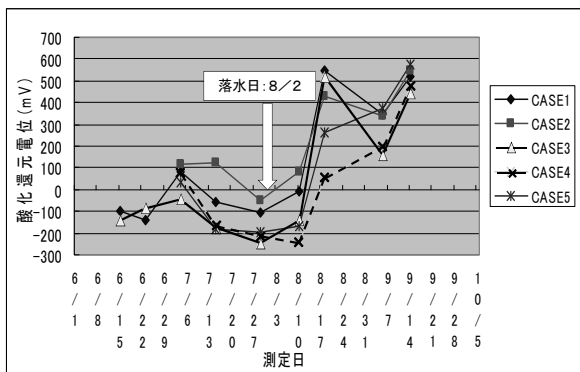


図-4 水田土中の酸化還元電位変化

間隙水の電位変化の挙動は、8月2日の落水前までは-200～100mVと還元状態（200mV以下）を保持していたが、落水後2週間程度で500mV以上に急上昇し300～

600mVと酸化状態になった。これらの挙動から水稻の根周辺は落水前は水中のため還元状態にあり土中のカドミウムは硫化カドミウムとして不溶化状態で存在していたが、落水により間隙水が空気に触れることにより急激に酸化状態となりその結果カドミウムが間隙水中に溶出するようになったと推定される。

#### 4.3 カドミウム吸収時期

水稻へのカドミウムの吸収時期を把握するため生育中の穂(玄米)、茎、葉、根のカドミウム濃度を測定した。

図-5に平成17年度の水稻の根のカドミウム含有量の経時変化をグラフ化した。

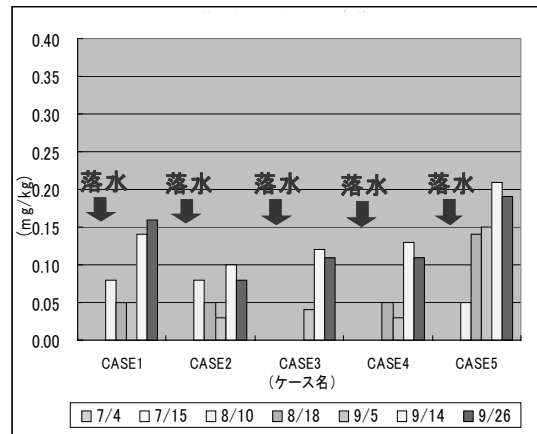


図-5 落水時期と水稻根中のカドミウム量の関係 (平成17年度)

図-5を見ると水稻がカドミウムを吸収するのは生育中中等ではなく落水時期以降である。

この現象は水位や間隙水の酸化還元電位の挙動からも推測される。また、カドミウムの吸収量については、無改良区≒pH調整区>改良区の順となりシーリングソイル工法による改良区では吸収抑制される結果が得られた。

#### 4.4 玄米中のカドミウム量

稲刈り後の玄米中のカドミウム含有量を比較した。図-6に結果を示す。

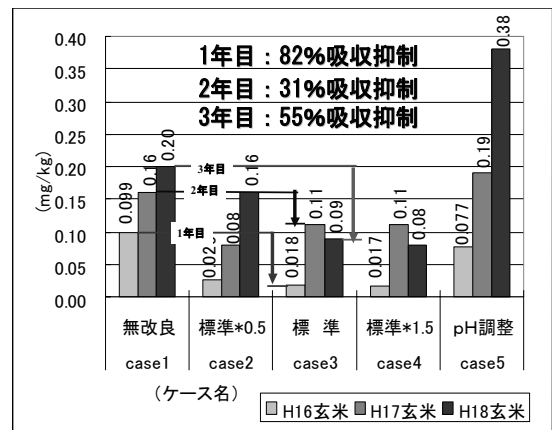


図-6 玄米中のカドミウム含有量

シーリングソイル工法で改良した水田で栽培した水稲の玄米(標準配合)は無改良と比較すると1年目が82%, 2年目が31%, 3年目が55%と3年間継続して吸収抑制効果が認められた。年度経過とともにカドミウム含有量の増加傾向が見られるが,これは2年目以降の実験では,カドミウムの吸収を促進させるため水供給を制限し吸収促進を図った結果である。配合別では標準×0.5でも抑制効果は認められるものの年度経過とともに抑制効果が衰えており長期的持続性が心配されることから標準以上の配合が妥当と考えられる。一方, pH調整区域の玄米は経年につれて吸収量が増加しており無改良と比較すると初年度は効果が認められるものの2年目以降は効果の減少が見られた。

## 5. まとめ

3年間の実験から次のような結果が得られた。

- ① シーリングソイル工法はカドミウム吸収抑制効果を3年間は持続できる。
- ② シーリングソイル工法の配合は標準以上が必要である。
- ③ 水稲へのカドミウムの吸収は水と密接に関係しており極力水の供給を保持することが必要である。

実験により,当初期待された成果が得られたことで,今後実圃場へのシーリングソイル工法の適用も可能と考えられる。ただし,その適用に当たっての留意点は,以下のとおりである。

「シーリングソイル工法は結晶化の発達とともにその不溶化効果は高まるが,劣悪な水田環境では効果も低下する可能性もあるので,改良後も一般の水田管理と同等の管理を継続して行うことが望ましい。」

今回の実験はシーリングソイル工法のカドミウム汚染水田に対する適用性および基本性能の確認の位置づけであり,今後は3年以上の長期検証が必要である。

**謝辞:** 当実験は(社) 県農業公社, 日本試錐工業(株), 飛島建設(株)の3者により「水田土壌環境対策研究会」を足させ,さらに県の農業試験場からの技術指導を得ながら実施したものである。ここに,記して感謝の意を表します。

**Summary** Although countermeasures for cadmium polluted rice fields caused by mining pollution have been addressed previously, a permanent countermeasure has yet to be found. As such, application of sealing soil method, a soil pollution countermeasure technique for agricultural fields by our company was planned, and verified the applicability to a cadmium polluted rice field using an actual cultivated field. As a result of 3 years of wet cultivation, brown rice cultivated in the improved rice field had a lower cadmium density than that of the unimproved rice field, and efficacy in the reduction of cadmium pollution in brown rice as a result of the sealing soil method could be confirmed.

**Key Words:** Soil contamination, Cadmium pollution, Insolubilizing Technology, Agriculture, Soil of Rice Field