

## 水銀汚染土壌からの水銀揮発抑制方法に関する検討

(株) 竹中工務店 正会員 ○奥田 信康  
 (株) 竹中土木 正会員 田邊 康太  
 (株) 竹中土木 菅沼 優巳

## 1. 目的

土壌汚染対策法（以下、法）で定められる第二種特定有害物質（以下、重金属等）の基準不適合土壌（以下、汚染土壌）の措置方法として掘削除去・場外搬出が採用されることが多い。多くの重金属等は常温では揮発しないが、水銀及びその化合物（以下、水銀）は揮発性を有することから、水銀汚染土壌の掘削作業時には水銀蒸気の発生が懸念される。このため、水銀汚染土壌の掘削、運搬作業時には水銀の環境への放出状況をモニタリングし、作業従事者等への安全対策として水銀蒸気の発生を抑制することが必要である<sup>1)</sup>。本報告では、水銀汚染土壌の掘削除去・場外搬出時における水銀の揮発抑制を目的として、室内試験で薬剤散布による水銀の揮発抑制効果の高い薬剤を選定し、さらに、水銀汚染土壌の対策現場にて選定した薬剤散布の試験施工を実施した結果について報告する。

## 2. 水銀の揮発抑制薬剤の選定試験

## 2.1 試験方法

本報告では、土壌表面からの水銀蒸気の発生量を水銀揮発 flux にて評価した。水銀揮発 flux の測定は、揮発 flux 測定用チャンバー（容積 1.7 L : W 18 cm × L 27 cm × H 3.5 cm）を測定対象土壌表面に設置し、風量 1.0 L/min で吸引した空気中の水銀蒸気濃度を水銀ガスサーベイメーター（EMP-2、日本インスツルメンツ(株)製）で測定した。本条件では、水銀蒸気濃度の測定値 1.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  の場合、水銀揮発 flux は 0.0206  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{min}$  となる。なお、測定時にはチャンバー内容積の 3 倍量を通気させ、水銀蒸気濃度が安定した状態での表示値を測定値とした。

試験用土壌は、水銀汚染土壌（砂質土、土壌含有量 230 mg/kg・土壌溶出量 0.17 mg/L・含水比 9.9%）と非汚染土を混合して水銀揮発 flux が 0.5  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{min}$ （水銀蒸気濃度 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）程度となるように作成した。試験は屋外（晴天、気温 26-29°C、湿度 40-60RT%）にて実施し、試験条件は表-1 に示す薬剤を各々 3.0 L/m<sup>2</sup> で土壌表面に散布し、散布前・散布直後・20 分後・40 分後・60 分後の水銀揮発 flux を測定し、薬剤の揮発抑制効果を評価した。

## 2.2 試験結果

水銀揮発 flux の測定結果を表-1 に示す。水散布のみのケース A2 は散布直後には最大 80% 程度の揮発抑制効果はあるが、土壌表面の乾燥に伴い揮発フラックスが増加し 60 分後には初期値と同等の値となり、長時間の揮発抑制の維持は難しいことを確認した。飛散防止剤を使用したケース B1 では 70~80 % の揮発抑制効果が得られ、散布 60 分後も湿潤状態が保たれ、抑制効果が維持された。B2,B3,B5 では 40~60% 程度の抑制効果に留まった。

本試験条件の中で不溶化剤のケース B4 が最も高く 90% 以上の水銀揮発抑制効果を示した。さらに同試験体は 24 時間後でも 90% 以上の揮発抑制効果が維持できることを確認した。以上より、水銀の揮発抑制効果が高く、効果が長時間持続する B4 の薬剤を、実汚染土壌からの水銀揮発抑制用候補として選定し、次の現地試験に用いた。

表-1 水銀の揮発抑制薬剤選定のための室内実験の結果

ケース	主成分	水銀揮発 flux ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{min}$ ) [散布前に対する増減率%]				
		散布前	散布直後	20 分後	40 分後	60 分後
A1	ブランク	0.469	0.516 [+10%]	0.656 [+40%]	0.634 [+35%]	0.623 [+33%]
A2	水	0.817	0.160 [-80%]	0.385 [-53%]	0.385 [-53%]	0.763 [-7%]
B1	天然ゴムラテックス	0.763	0.136 [-82%]	0.160 [-79%]	0.160 [-79%]	0.128 [-83%]
B2	天然高分子化合物	0.525	0.154 [-71%]	0.249 [-53%]	0.249 [-53%]	0.212 [-60%]
B3	粘土鉱物	0.835	0.527 [-37%]	0.416 [-50%]	0.364 [-56%]	0.265 [-68%]
B4	高分子系不溶化剤	0.424	0.058 [-86%]	0.031 [-93%]	0.031 [-93%]	0.029 [-93%]
B5	アクリル系重合体	0.387	0.212 [-45%]	0.239 [-38%]	0.239 [-38%]	0.208 [-46%]

キーワード 水銀汚染土壌, 掘削除去, 揮発 flux, 揮発抑制, 作業環境保全

連絡先 〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1 (株) 竹中工務店 技術研究所 TEL 0476-77-1265

### 3. 試験施工

#### 3.1 試験施工サイトの概要

試験施工サイトの工場は、土壌汚染状況調査の結果、水銀の土壌溶出量及び土壌含有量の基準不適合が確認され、解体工事に伴い、汚染土壌を掘削し場外搬出する予定である。試験施工時は掘削前で、汚染土壌は舗装で被覆された状況であった。汚染状況としては、水銀の土壌全含有量 15~97 mg/kg であった。

#### 3.2 試験方法

最高濃度検出区画で面積 1 m<sup>2</sup> の被覆を撤去して試験施工を行った。水銀汚染土壌の表面に室内実験で選定した薬剤 B4 を 3.0 L/m<sup>2</sup> で散布し、選定試験と同じく揮発 flux 測定用チャンバー及び水銀ガスサーベイメーターを用いて、薬剤散布による水銀揮発 flux の抑制効果の評価を行った。試験時の天候は晴れ（夏季の炎天下）、日中の最高気温 33.0 °C、試験対象土壌の水銀の土壌全含有量は 11 mg/kg、初期水銀揮発 flux は 0.20 µg/m<sup>2</sup>/min であった。

#### 3.3 試験結果

水銀揮発 flux の測定結果を表-2 に示す。薬剤の散布直後に測定装置の下限(0.1 µg/m<sup>3</sup>)未満まで低減し、その後 1440 分（1 日）後においても同レベルの揮発抑制効果が維持された。夏季の炎天下で土壌の表面温度が 40°C を超える条件においても薬剤散布により、97%以上の揮発抑制効果が維持されることが確認できた。

さらにより高濃度の土壌に対する抑制効果を把握するために、試験施工サイト土壌を用いて初期の水銀揮発 flux が 2.6 µg/m<sup>2</sup>/min（水銀蒸気濃度 130 µg/m<sup>3</sup>）の模擬汚染土壌を作成し、並行して薬剤散布による揮発抑制試験を実施した。その結果、散布直後から 60 分後において 93~97.3%の揮発抑制効果が維持されており、より高濃度の汚染土に対しても良好な揮発抑制効果が期待できることを確認した。

表-2 試験施工の結果

経過時間	水銀揮発 flux (µg/m <sup>2</sup> /min)	低減率 (%)
散布前	0.20	—
散布直後	<0.002	>99
30 分後	0.004	98
60 分後	0.004	98
160 分後	0.006	97
315 分後	0.002	99
1440 分後	0.006	97

### 4. 考察

水銀汚染土壌の掘削作業等における作業環境管理として水銀揮発 flux を用い作業環境目標値を 25 µg/m<sup>3</sup> と設定した場合の各作業条件における水銀揮発 flux 目標値の参考値を表-3 に示す。揮発 flux 目標値(µg/m<sup>2</sup>/min)は、屋外の作業時には、掘削エリアの面積 1000 m<sup>2</sup> 時に 85.4、100 m<sup>2</sup> 時に 270 となり、屋内作業では、換気有の場合に 8.33、換気なしの場合に 1.04 となった。以上より、

表-3 水銀揮発 flux 目標値の参考値

作業条件	屋外		屋内	
	大規模	小規模	換気あり	換気なし
面積	1000 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	500 m <sup>2</sup>	500 m <sup>2</sup>
風速	1.2 m/s	1.2 m/s	-	-
高さ	1.5 m	1.5 m	5 m	5 m
容積	1500 m <sup>3</sup>	150 m <sup>3</sup>	2500 m <sup>3</sup>	2500 m <sup>3</sup>
換気回数	136 回/hr	432 回/hr	4 回/hr	0.5 回/hr
作業環境目標値	25 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>
水銀揮発 flux 目標値 (µg/m <sup>2</sup> /min)	85.4	270	8.33	1.04
水銀蒸気濃度目標値 (µg/m <sup>3</sup> )	4,151	13,126	405	50.7

本提案の水銀揮発 flux 測定方法は、現地でリアルタイムに土壌表面からの揮発の影響を評価することができるため、作業環境管理の方法として有効であると考えられる。なお、表-3 の値は、あくまで仮条件での参考値であり、作業条件の各種設定値は、適用先の現場の現状を反映して作業管理者の責任で適切に設定する必要がある。

### 5. まとめ

- ・水銀汚染土壌からの水銀蒸気の揮発抑制方法として散水による湿潤化は、湿潤化が維持されれば揮発抑制効果があるが、土壌表面が乾燥すると揮発抑制効果が持続しない。
- ・室内試験で選定した薬剤の散布により、土壌表面が乾燥しても 1 日以上揮発抑制効果が維持できることを確認。
- ・土壌からの水銀揮発量を評価する方法として、揮発 flux の測定が有効である。

### 参考文献

- 1) 奥田信康・舟川将史 (2015) : 水銀汚染土壌対策における水銀蒸気濃度管理方法の検討,第 21 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会
- 2) 田邊康太・菅沼優巳・奥田信康 (2016) : 水銀汚染土壌に対する水銀蒸気抑制方法の検討,第 22 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 (原稿投稿済)