

水銀汚染土壌運搬時における揮発ガス抑制効果に関する検討

株式会社大林組 正会員 ○日野 良太 正会員 日笠山 徹巳
正会員 三浦 俊彦

1. はじめに

水銀汚染土壌を掘削除去し、場外搬出する際は、揮発する水銀ガスに留意する必要があることから、水銀汚染土壌の掘削や場内仮置き、運搬時において、水銀ガスの拡散防止対策を求められることが多い。代表的な対策は、これらの作業を密閉式テント内で行うことである。その他に硫化物系薬剤の掘削時散布や掘削前に地盤混合攪拌することで、難溶性の硫化水銀に変換し、水銀ガスの揮発抑制技術も提案されている¹⁾。

土壌汚染対策法²⁾では、水銀及びその他の化合物による汚染土壌を運搬する際の適切な運搬容器の例として、内袋有のフレキシブルコンテナが示されている。しかし、フレキシブルコンテナへの土壌詰込は、施工効率の低下に加えて、積替等を行う際に容器が破砕するおそれもあると否定できない。

そこで、実際の水銀汚染土壌を対象に、運搬時の荷姿変更や揮発抑制剤の散布をパラメータとした水銀ガス濃度の測定を行った。また、測定結果を基に数値解析を行い、場外搬出時の揮発抑制効果について検討した。

2. 実汚染土壌を対象とした水銀ガス濃度測定

表－1 試料土の性状

2. 1. 試料土 測定には、現場から採取した3種類の土壌を使用した。表－1に試料土の土壌溶出量と土壌含有量及び土質性状を示す。汚染状態は、Aが土壌溶出量基準(0.0005mg/L以下)不適合、Bが第二溶出量基準(0.005mg/L以下)不適合であった。なお、いずれの試料土も土壌含有量基準(15mg/kg以下)適合であった。

項目	単位	A	B	C
土質の種類	—	砂質土	砂質土	シルト
含水比	%	36.8	21.0	30.6
粒度分布	2～75mm	%	1.5	41.4
	0.075～2mm	%	54.8	33.8
	<0.075mm	%	43.7	24.8
土壌溶出量(環告18号)	mg/L	0.0022	0.16	<0.0005
土壌含有量(環告19号)	mg/kg	0.03	15.0	0.47

2. 2. 測定結果 試料土及びフレキシブルコンテナは、4t ダンプトラック(荷台面積7.1m²)に積み込んだ。測定は、簡易型水銀ガス濃度測定器(EMP-2 日本インスツルメンツ株)を使用し、試料土の直上と地表面から1.5mの高さで行った。また、フレキシブルコンテナの開封時における水銀ガスの大気拡散の影響を把握するために、作業場所から0.5m離れた箇所で測定した。

表－2 試験ケースと測定結果

ケース	荷姿	備考	測定結果(μg/m ³)		
			1.5m 高さ	0m 高さ	密閉 装置
①	バラ積み	なし	1	7	18
②	バラ積み	シート掛け(厚み0.3mm)	0	0	2
③	フレキシブルコンテナ	密閉	0	0	0
④	バラ積み	揮発抑制剤(2L/m ²)	0	0	1
⑤	バラ積み	揮発抑制剤+シート掛け	0	0	0
参考	フレキシブルコンテナの開封時		19	—	

試料土表面から揮発する水銀ガスを直接測定するために、幅22cm×奥行15cm×高さ30cmの容器に攪拌ファンを設置した密閉装置¹⁾を使用し、この装置内において地表から15cm程度離れた箇所で5分間測定を行った。なお、測定時の天候は30℃の晴天、風速は地表から1.5mの高さで0.3～0.6m/sであった。

試験ケース及び測定結果を表－2に示す。各試料土で試験を行った結果、試料土AとCの水銀ガスは、0～2μg/m³と低濃度であることから評価対象外とし、試料土Bの測定結果を基に密閉装置で測定した値から単位面積当りの水銀揮発速度を算出した。

密閉装置を利用した場合、1～18μg/m³で検出され、ケース③及びケース⑤は検出されなかった。水銀揮発速度を計算すると、0.06～1.1μg/m²・minであった。

キーワード 水銀ガス、運搬、揮発抑制、大気拡散モデル

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 (株)大林組 エンジニアリング本部 TEL 03-5769-1057

3. 数値解析

3. 1. 数値解析方法 水銀ガス揮発量の予測は、大気拡散モデル³⁾を用いた。汚染土壌を運搬する際は、道路の走行に加えて交差点等での停止が想定される。そこで、走行時は式(1)の点源プルーム式、停車時は式(2)の点源パフ式を利用した。なお、拡散式を解く際、ガスの拡散は点源から連続的に行われ、ガスが地表面で反射することを想定した。

$$C = \frac{Q_p}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left\{-\frac{(H_e - z)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(H_e + z)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \tag{1}$$

$$C = \frac{2Q_p}{(2\pi)^{3/2} \alpha^2 \gamma} \frac{1}{\left(\frac{R^2}{\alpha^2} + \frac{H_e^2}{\gamma^2}\right)} \exp\left\{-\frac{1}{2T^2} \left(\frac{R^2}{\alpha^2} + \frac{H_e^2}{\gamma^2}\right)\right\} \tag{2}$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \alpha T \quad \sigma_z = \gamma T$$

ここで、 C は濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 Q_p は排出強度($\mu\text{g}/\text{min}$)、 u は風速(m/min)、 H_e は点源高さ(車高)(m)、 σ_y は奥行方向の拡散幅(m)、 y は奥行距離(m)、 σ_z は鉛直方向の拡散幅(m)、 z は測定高さ(m)、 R は点源と計算点の距離(m)、 T は無風継続時間(min)である。表-3は、計算で使用したパラメータであり、 σ_y と σ_z は安定度分類をAとしてパスキルの拡散幅より算出し、その他は実測値と仮定条件より設定した。排出強度は、前章で計算した水銀揮発速度に車両の荷台面積(7.1m^2)を乗じて算出した。風速(時速)は $40\text{km}/\text{hr}$ での走行を想定し、信号待ちに伴う停車は3分とした。

3. 2. 解析結果 図-1と図-2は、走行時と停車時の水銀ガス濃度の解析結果である。停車時の解析値は、ケース①(バラ積みシートなし)で発生源から距離100mにおいて $0.000025\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。ここで、本報での管理値は、環境省が提示する有害大気汚染物質測定方法マニュアル(2011年3月)に示されている指針値(年平均 $0.04\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)以下とし、停車時の解析値と管理値を比較すると、ケース①(バラ積みシートなし)は $1/1,500$ 、ケース②(バラ積みシート掛け)は $1/15,000$ 、ケース④(バラ積み揮発抑制剤)は $1/30,000$ であった。

管理値を超過する水銀揮発速度を逆解析した結果、走行時は $10,000\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{min}$ であり、停車時は $1,750\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{min}$ であった。ここで、水銀揮発速度が $1,750\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{min}$ を超過する場合、土壌から発生する水銀ガス濃度は $30,000\mu\text{g}/\text{m}^3$ であることが予測された。

4. おわりに

本報では、水銀汚染土壌の場外搬出時における揮発抑制案による水銀ガス揮発量を現地測定及び数値解析で検討した。その結果、シート掛け+揮発抑制剤散布によってフレキシブルコンテナと同程度の揮発抑制効果を確認できた。

今後の課題として、数値解析で使用した水銀揮発速度と土壌含有量の相関を明確にし、土壌含有量を閾値とした荷姿の検討を行う。また、ガイドラインに則ったフレキシブルコンテナ荷姿は、水銀ガス濃度が低濃度になることを確認したが、開封時に水銀ガス濃度が高くなる傾向があり、開封作業に伴う作業環境確保の検討が必要である。

【参考文献】

1) 三浦俊彦ほか：水銀汚染土掘削時の薬剤を用いた水銀気化抑制法，地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集，Vol.12，S5-19，2006。
2) 環境省：汚染土壌の運搬に関するガイドライン改訂第2.1版，2016.6。
3) 公害研究対策センター：窒素酸化物総量規制マニュアル[新版]，2000.12。

表-3 使用パラメータ

項目	単位	記号	値
排出強度	$\mu\text{g}/\text{min}$	Q_p	実測値
風速	m/min	u	660
車高	m	H_e	1.5
測定高さ	m	z	1.5
奥行距離	m	y	1.5
無風継続時間	min	T	3

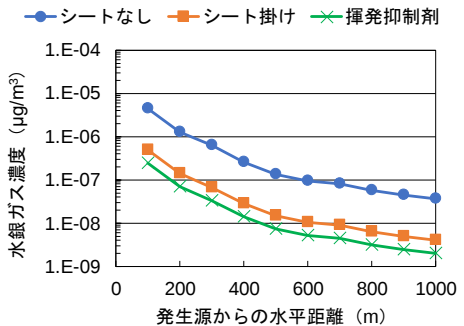


図-1 解析結果(走行時 バラ積み)

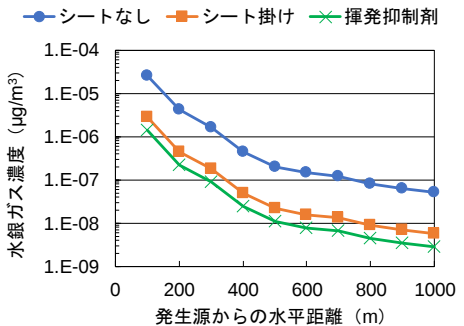


図-2 解析結果(停車時 バラ積み)