

火薬工場跡地における高濃度水銀汚染土壌の不溶化事例

(株)大林組 正会員 ○福武 健一 正会員 日野 良太
正会員 三浦 俊彦 正会員 日笠山徹巳

1. はじめに

過去に雷管等を製造していた火薬工場跡地に高濃度の水銀汚染土壌が判明した。聴取調査の結果、この汚染土壌に爆発性のある雷汞（らいこう、Hg(ONC)₂）が含まれるおそれがあることがわかった。今般、当該汚染土壌を掘削除去することとなり、行政協議により現地プラントにて不溶化处理し、第二溶出量基準適合状態にしたうえで埋立処理施設に搬出処理することとなった。不溶化处理は、工事前に現地の土壌試料を用いた室内試験により、不溶化剤としてチオ尿素（CH₄N₂S）の適用可能性を確認したものの、工事中に一部の汚染土壌に対しては、不溶化が困難な事が認められた。そこで、この不溶化困難な土壌に対し、原因を考察し実施した室内試験により、チオ尿素にマグネシウム系材料を追加添加することが有効であることを確認した。本稿は、当該汚染土壌を対象とした不溶化事例及び不溶化困難であった汚染土壌対応について報告するものである。

2. 地盤条件及び汚染状況

対象地の代表的な地盤構成図を図-1に示す。GL-1mまでは盛土層、GL-3mまではシルト質砂層、GL-18mまでは一部砂層を挟みながら砂混じりシルト層が占め、それ以深は岩盤であった。掘削除去の対象となった最大深度は、GL-8mであった。

土壌汚染調査の結果、土壌汚染が確認されたのは水銀及び鉛であった。いずれも最大値を示すが、水銀の土壌溶出量で7.9mg/L、土壌含有量17mg/kg、鉛の土壌溶出量で0.73mg/L、土壌含有量21,000mg/kgであった。

3. 室内配合試験結果

室内配合試験結果を表-1に示す。不溶化剤として高炉セメントとチオ尿素の組合せた結果、すべての試料で第二溶出量基準適合を達成できた。添加量はコスト等を考慮し、高炉セメントB種80kg/tとチオ尿素（CH₄N₂S）2kg/tの組合せが最適であると判断した。また、高炉セメントから六価クロムの溶出が懸念されたため、効果確認分析では六価クロムも合わせて実施したが、定量下限値以下であった。

4. 不溶化困難な汚染土壌への対応

4.1 概要 掘削した汚染土壌を原位置プラントにて不溶化处理を行った際、一部の土壌において標準配合で不溶化困難な土壌が存在することが判明した。そこで、室内試験による原因追及と対応を検討した。

4.2 室内試験による原因追及 不溶化困難な土壌を対象に、土壌中の水銀の存在形態を明らかにするため逐次抽出試験を行った。残渣分を除く4区画分内の割合を図-2に示すが、全般的に有機物結合態が多く存在している一方、不溶化困難な土壌は不溶化可能な土壌と比較して水抽出態の存在割合が少な



表-1 室内配合試験結果

図-1 地盤構成図

試料名	初期土			不溶化处理土					
	含水比 (%)	pH	土壌溶出量(mg/L)	標準配合(kg/t)				pH	土壌溶出量(mg/L)
			水銀	薬剤名	添加量	薬剤名	添加量		水銀 六価クロム
X	34.0	7.5	11	高炉セメント	80	チオ尿素	2	11.7	0.0017 <0.01
Y	13.7	7.8	0.17					12.0	<0.0005 <0.01
Z	14.1	7.6	0.19					11.9	0.0030 <0.01

表中赤文字: 第二溶出量基準不適合

キーワード 水銀、不溶化、存在形態、火薬、工場跡地、土壌汚染対策
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティーB棟 (株)大林組 TEL03(5769)1054

いことがわかった。

次に、水溶性水銀の形態を確認するために、環告 46 号において酸分解を省略して水銀濃度を分析し、環告 46 号による分析値と比較した。その結果を表-2 に示すが、酸分解の有無により水銀濃度に大きな差異が認められた。

これらの結果、有機物結合画分の水銀が認められたこと、そして水溶性水銀においても、単体でイオン化している水銀は少なく、むしろ酸化分解しないと検出されない水銀（有機物等と錯イオンを形成しているもの）が多くを占めており、チオ尿素との反応を阻害している可能性が考えられた。因みに、このような存在形態の水銀は、雷汞由来の可能性もあると考えられる。

4.3 実施工への対応 三浦らの研究¹⁾によれば、水抽出態の存在割合が少ない水銀汚染土壌に対して、チオ尿素とマグネシウム系材料（以下、Mg 系薬剤）との複合薬剤が不溶化効果のあることが報告されている。そこで、標準配合に Mg 系薬剤の添加した室内配合試験を行った。表-3 に示す通り、不溶化困難な土壌に対してチオ尿素に Mg 系薬剤を添加することで不溶化効果が得られることがわかった。

5. 不溶化困難な汚染土壌を対象とした試験施工

実施工に当たり使用する Mg 系薬剤は、水酸化物・共沈法による効果が期待した水酸化系と硫化物法により不溶化効果の向上を期待した硫酸系がある。そこで、5m³の土壌 3 ロットに対して各種 Mg 系薬剤による不溶化処理に係る試験施工を行った。薬剤の選定の指標は、不溶化効果及び薬剤の混合性状（チオ尿素溶液と Mg 系薬剤の攪拌状態、溶液状態、Mg 存在率）である。

試験施工の結果を表-4 に示す。試験ケース B は、薬剤混合の際、ダマが発生し、攪拌状態が不均一であった。また、試験ケース C は、十分な混合性状が得られるものも、溶液の底面で結晶化するため十分な混合状態を確保できなかった。したがって、不溶化困難な汚染土壌を対象とする場合、確実な不溶化効果と均一な薬剤攪拌が可能な試験ケース A を現場配合とした。

6. 不溶化処理の施工概要

掘削した第二溶出量基準不適合土壌は、対象地内に設置した汚染拡散防止テント内で自走式土質改良機を用いて不溶化処理を行った。処理能力は最大 135m³/hour であるが、実施工では、不溶化効果を 100m³に 1 度の頻度で確認する必要があるため、仮置（養生）や分析期間の制限等があり、処理実績は 40 m³/hour であった。

7. おわりに

- ・高濃度水銀汚染土壌に対して、高炉セメント及びチオ尿素を用いることで不溶化処理が可能であった。
- ・施工前に、混合性状（チオ尿素溶液と Mg 系薬剤の攪拌状態、溶液状態、Mg 存在率）の確認が必要である。
- ・不溶化困難な土壌に対して原因を追究し、土壌中水銀の存在形態として比較的に水抽出態の存在割合が少ない土壌に対して、Mg 系薬剤を追加添加することにより、不溶化効果を向上させることができた。

参考文献

- 1) 三浦俊彦, 他 3 名：有機水銀化合物を含む汚染土の不溶化特性, 第 46 回地盤工学研究発表会, 2011.

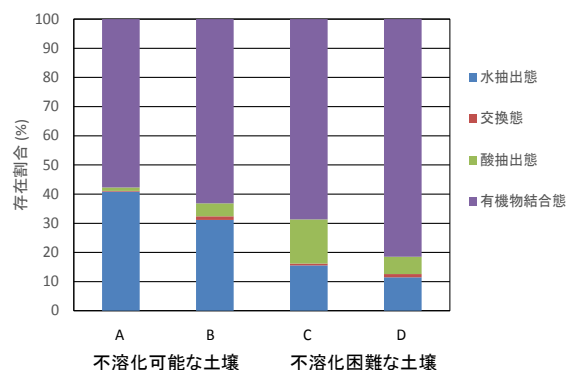


図-2 逐次抽出試験結果（4 区分分）

表-2 酸分解の有無による溶出量の比較（単位：mg/L）

試料名	酸分解あり (環告 46 号)	酸分解なし
X	11	0.53
Y	0.17	0.012
Z	0.19	0.01

表-3 室内配合試験結果その 2

ケース	薬剤配合 (kg/m ³)		土壌溶出量 (mg/L)	
	チオ 尿素	Mg 系 薬剤	水銀	鉛
初期	—	—	0.052	0.020
1	3.4	—	0.022	0.027
2	3.4	17	0.008	0.011
3	3.4	34	0.005	0.012

表中 赤文字：第二溶出量基準不適合

表-4 マグネシウム系材料の選定比較表

試験ケース		A	B	C
項目	単位	水酸化 Mg 系	水酸化 Mg 系	硫酸 Mg 系
添加量	kg/m ³	34	51	34
攪拌状態	—	均一	不均一	均一
溶液状態	—	懸濁	懸濁	結晶化
Mg 存在率 ¹⁾	%	94.5	97.8	37.9
不溶化前 ²⁾	mg/L	0.0041	0.014	0.082
不溶化後	mg/L	<0.0005	0.0021	<0.0005

1)不溶化処理土中のマグネシウム量の割合

2)表中 赤文字：第二溶出量基準不適合