

重金属による汚染土壌の不溶化処理工事事例

復建調査設計(株) 正会員 ○高宮 晃一
 復建調査設計(株) 正会員 菅野 雄一
 復建調査設計(株) 柴田 宣夫

1. まえがき

重金属による汚染土壌のうち、土壌溶出量基準を超過し、第二溶出基準未満である汚染土壌の対策手段のひとつに「不溶化埋め戻し」が挙げられる。不溶化処理に用いられる薬剤は対象とする汚染物質の種類等により異なるが、砒素を対象とした場合の代表的な薬剤として塩化第二鉄が一般的に知られている。

しかしながら、塩化第二鉄は液状であり添加量によっては不溶化処理土が泥状化し、強度付与のために別処理を要する。また、不溶化処理後の地盤環境の変化に起因して汚染物質が再溶出するといった長期安定性が懸念され、これに代わる薬剤が研究・開発されている。マグネシウム系固化剤もそのひとつである。マグネシウム系固化剤は白色系の粉末であり、土壌中の水との化学反応によって水和物を生成し、汚染物質を封じ込める効果を有する。

本報告では工事中に発見された汚染土壌の処理として、マグネシウム系固化剤を用いた不溶化処理を実施した工事例について述べる。

2. 汚染土壌の性状

処理対象となる汚染土壌は河川堤防の工事現場で発生した CDM による盛上り土（約 400m³）で、セメント分を含む土壌であった。土性は非常に粘性が高く、含水比の高い粘性土主体の土壌であった。

表-1 及び図-1 に土壌の性状を示す。本土壌は砒素及びその化合物に関する土壌溶出量が 0.062mg/L と土壌溶出量基準（0.01mg/L）を超過することが確認されていた。

3. 配合試験方法

不溶化処理に使用する薬剤及び添加量を決定するにあたり、配合試験を実施した。

配合試験のフローを図-2 に示す。不溶化薬剤はマグネシウム系固化剤（比重 3.4）及び塩化第二鉄（工業用 38%溶液、比重 1.42）の 2 種類を用いて配合試験を実施した。薬剤の土壌試料への混合にはソイルミキサーを用いて混練し、混合後は 7 日間の養生期間を設けた。

不溶化効果の確認は土壌溶出量試験（H15 環告 18 号）を行って確認した。さらに、今回の不溶化処理のケースでは不溶化処理後の pH 等、地盤環境の変化に起因した再溶出の問題についても考慮し、（社）土壌環境センターが提案する酸添加溶出試

表-1 汚染土壌の土質性状

土質性状 (工学的分類)	土粒子 の密度	含水比	湿潤密度
シルト(M)	2.661	40.2%	1.767g/cm ³

*土壌の物性は、配合試験に用いるため、9.5mm 以下に調整後の値である

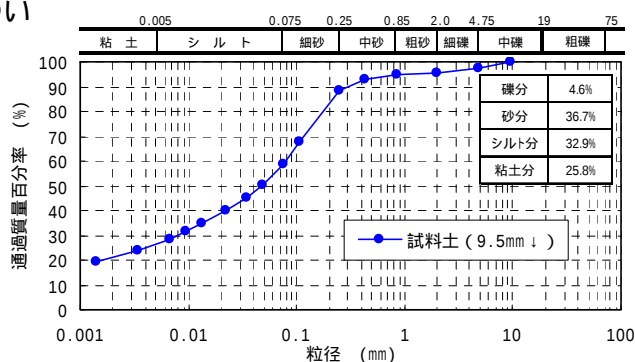


図-1 試料土の粒径加積曲

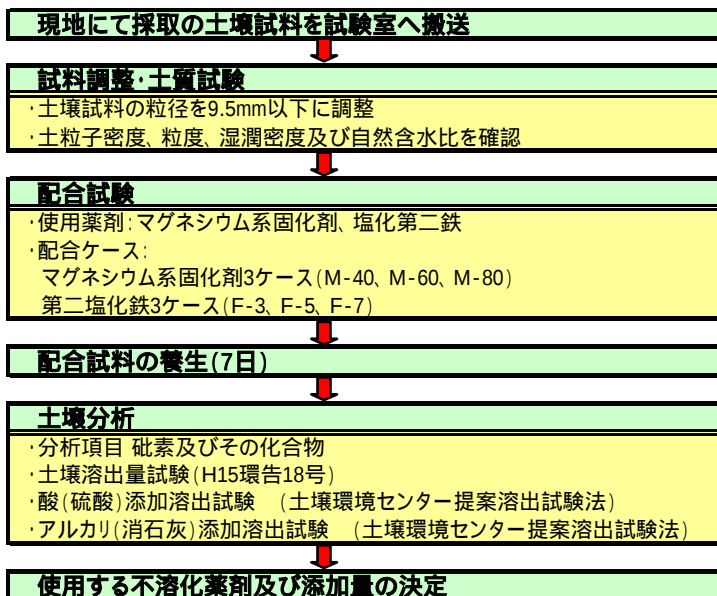


図-2 配合試験フロー図

キーワード 土壌汚染、重金属等、不溶化埋め戻し、マグネシウム系固化剤

連絡先 〒732-0052 広島市東区光町 2-10-11 復建調査設計(株) TEL 082-506-1860

験 及びアルカリ
添加溶出試験 を
行うことで長期の
安定性についても
評価した。

4. 配合試験結果

配合試験のケー
スと土壌分析結果
を表-2 に示す。

表-2 土壌分析結果

不溶化 薬剤	試料名	添加量	希釈液 添加量	土壌分析結果						判定	備考 土壌溶出 量基準 (mg/L)
				土壌溶出量試 験(環告18号) (mg/L)	検液 pH	酸添加溶出 試験 (mg/L)	検液 pH	アルカリ添加 溶出試験 (mg/L)	検液 pH		
マグネシウム系固化剤	M-40	40kg/m ³	-	<0.005	9.5	<0.005	9.5	<0.005	11.1		0.01
	M-60	60kg/m ³		<0.005	10.8	<0.005	10.7	<0.005	11.4	○	
	M-80	80kg/m ³		<0.005	11.0	<0.005	10.9	<0.005	11.5	○	
塩化第二鉄	F-3	3L/m ³	100L/m ³	0.015	7.9	0.019	7.8	0.019	10.6	×	
	F-5	5L/m ³		0.015	7.8	0.012	7.5	0.022	10.5	×	
	F-7	7L/m ³		0.007	7.3	0.010	7.2	0.020	10.2	×	

*塩化第二鉄の添加量:38%原液換算値
検液pH:各溶出試験時の検液pHを測定(JIS K 0102 12.1)

不溶化薬剤の添加量は実工事における最小程度の添加量を基準とした6ケースを設定した。土壌分析の結果、マグネシウム系固化剤を添加した場合は3ケースとも土壌溶出量基準を満足し、砒素及びその化合物に対する不溶化効果を長期にわたり安定的に維持することを確認した。

一方、塩化第二鉄を添加した場合は、F-3及びF-5について土壌溶出量基準を超過し、F-7ではアルカリ性の水に暴露された場合の長期安定性について懸念された。この問題の解決策には薬剤の添加量の増大が考えられるが、本土壌は含水が高くF-7の処理土は泥状であった。さらに薬剤の添加量を増やし、処理土の長期安定性を向上させたとしても盛土材として転用するには強度付与を要する。試験結果より、アルカリ側での溶出量が高い傾向を示すことから、強度付与の為のセメントの混合は汚染物質の再溶出を招くおそれがあり、不適切な方法であることも分かる。これより、長期安定性も踏まえた塩化第二鉄の使用には、不溶化処理後の土壌の含水比を低下させる別途処理が必要となり、時間の制約がある本現場での使用は困難であるものと考えられた。

したがって、本ケースではマグネシウム系固化剤の使用が適するものと判断した。なお、現場における添加量については各種施工機の攪拌・混合性の違いを考慮し、品質を確保する為に安全率を乗じた50kg/m³(40kg/m³×1.2)を現場の添加量として設定した。

不溶化工事における汚染土壌と薬剤との混合には三軸(ロータリーハンマ方式)タイプの施工機を用いた。不溶化処理工事の状況を写真-1に示す。不溶化処理後の効果の確認には100m³に1箇所5地点の不溶化処理土の採取・土壌分析を行って確認した。その結果、全ての試料は土壌溶出量基準未満であることを確認し、汚染土壌の処理工事を終えた。



写真-1 不溶化処理工事の状況

5. まとめ

本ケースではマグネシウム系固化剤を用いて、砒素及びその化合物による汚染土壌の不溶化処理を行った。汚染土壌と薬剤との混合・攪拌には三軸(ロータリーハンマ方式)タイプの施工機を用いて工事を実施した。

マグネシウム系固化剤による不溶化処理土は工事後の効果の確認により、土壌処理基準未満であることが確認され、配合試験から長期における安定性が確認されている。現段階では不溶化処理土の長期安定性について試験法が提案されているが、実現場にて必ずしも長期安定性を踏まえた薬剤の選定・配合が実施されている訳ではない。今後は、長期安定性も踏まえた汚染土壌の処理技術の更なる向上と評価の確立が望まれる。

参考文献

- 1) 山田 哲司, 松田 豊, 国松 勝一: マグネシウム系固化材の重金属汚染土壌に対する固化・不溶化効果について, 土木学会第58回年次学術講演会論文集, pp145-146, 2003.
- 2) 菅野 雄一, 田尻 宣夫, 高宮 晃一: 汚染コンクリートの不溶化処理事例, 第40回地盤工学研究発表会講演論文集, pp2603-2604, 2005.
- 3) (社)土壌環境センターホームページ: <http://www.gepc.or.jp/news/31-report2.html>