

マグネシウム系固化材を用いた重金属汚染土壌の固化・不溶化処理 Solidification/Stabilization Treatment for Heavy Metal-contaminated Soil Using the Magnesia-based Stabilizer

奥村 正孝*¹ 日高 厚*¹
Okumura Masataka Hidaka Atsushi
川西 順次*¹ 大山 将*¹
Kawanishi Jyunji Syo Ooyama

要旨

溶出量超過土壌に対する措置方法の一つである固化・不溶化処理には、従来セメント系固化材などを用いていたが、高アルカリになることや必要以上に強度発現すること、長期安定性などに課題があった。

当社が開発したマグネシウム系固化材は、これまで不溶化効果を得ることが困難であったふっ素やシアンによる汚染土壌や鉛を含む複合汚染土壌に対して優れた不溶化効果を発揮することが確認されている。

本報告では、マグネシウム系固化材を用いて実施した様々な室内不溶化試験結果および実際の施工例で得られた各種データ等について述べる。

キーワード：マグネシウム系固化材 土壌汚染 不溶化処理 重金属 長期安定性

1. はじめに

重金属等に汚染された土壌の不溶化処理は「土壌汚染対策法」において地下水リスクがある場合の措置方法の一つとされており、汚染物質の地下水への溶出を防止するための処理方法である。処理の前後で汚染物質の含有量（絶対量）が変化することはないが、物理・化学的に汚染物質の溶出を抑制することが可能である。

汚染土壌の固化・不溶化処理は、一般的には汚染土壌にセメント等の固化材を混合して強度をもつ固化体に改質して水密性を向上させるとともに、水和生成物の吸着作用、アルカリ雰囲気における水酸化物生成・沈殿や共沈などの物理的効果・化学的効果との相乗効果により汚染物質を固定化するものと考えられている。

筆者らはこれまで、重金属等により汚染された土壌に対して不溶化処理を環境リスク低減措置の一つとして位置付けて検討を進めてきた。その中で各種実汚染土壌に対する不溶化処理の適用検討のために MgO（酸化マグネシウム）を主成分とするマグネシウム系固化材や高炉セメント B 種を添加・混合した不溶化処理試験を行い、固化材による不溶化効果の違いやタンクリーチング試験による長期溶出挙動について比較検討を行ってきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

本報告では、マグネシウム系固化材を用いて実施した様々な不溶化処理試験結果例および実際の施工例において得られた各種データ等について述べる。

2. 固化・不溶化処理の概要

2.1 固化・不溶化処理の原理

固化・不溶化処理の原理は、以下のように考えられている。

- 1) 水和物の生成により、汚染物質を物理的に封じ込める（移動性・溶出性の縮小）
- 2) アルカリ雰囲気で重金属は水酸化物となり不溶化される（溶解度の減少）
- 3) 水和生成物は重金属を吸着する作用があり、重金属を固定する（吸着固定）

これらの相乗効果により、汚染物資が固定化されるものと見られる。

2.2 固化・不溶化処理の適用範囲

表 1 は適用区分ごとの処理目標を示している。固化・不溶化処理は、汚染物質の含有量が処理前後で基本的には変化が無いことから、平成 15 年 1 月の土壌汚染対策法施行以前は汚染土壌を埋め立て処分基準（概ね土壌溶出量基準の 30 倍）以下に不溶化し、管理型処分場などに搬出する手段として多く利用されてきた（区分①相当）。

表 1 固化・不溶化処理による処理目標

適用区分	埋め立て処分基準	土壌環境基準	処理目標	最終形態
①	● → ○	● → ○	溶出濃度を埋め立て処分基準以下まで低減	外部搬出(管理型処分場)
②	● → ○	● → ○	溶出濃度を土壌環境基準と同程度まで低減	原位封じ込め・遮水工封じ込め
③	● → ○	● → ○	溶出濃度を土壌環境基準以下まで低減	原位不溶化・不溶化埋め戻し(上面舗装や覆土等の措置)

【備考】 ●：初期溶出量 ○：不溶化処理後の溶出量

平成 15 年 1 月に施行された土壌汚染対策法では、地下水等の摂取によるリスクの観点から必要な措置として「原位置不溶化措置」および「不溶化埋め戻し措置」が規定されている。この中では第二溶出量基準（埋め立て処分基準と同等）以下の汚染土壌に対して土壌溶出量基準に適合するまで不溶化処理する方法が示されている。不溶化処理土は地下水位より上部の位置に埋め戻し、埋め戻したエリアの地下水流向下流側において水質モニタリングを年 4 回の頻度で実施する。さらに、地下水環境基準を超過しない状態が 2 年間継続することを確認することと規定されている（区分③相当）。

「原位置封じ込め措置」および「遮水工封じ込め措置」においても、第二溶出量基準（埋め立て処分基準と同等）を超過する汚染土壌に対しては第二溶出量基準に適合するまで不溶化処理することが求められている（区分①）。

また、原位置に埋め戻された処理後の土壌は上面を舗装などで覆うことにより地下水や雨水の影響により不溶化処理効果が低減しないよう適切に管理する必要がある。汚染物質の種類や性状、汚染状況等に応じて遮水工などの併用（区分②相当）や各種対策技術を組み合わせて実施することも可能である。

3. マグネシウム系固化材の特徴

マグネシウム系固化材は酸化マグネシウム (MgO) を主成分としており、セメントなどに微量に含まれる六価クロム等の重金属類を含まない。また、長期間に及ぶ土壌とのポゾラン反応が石灰類と同様に起こり、低アルカリ領域で耐久性のある硬化物が生成される。さらに、重金属等により汚染された土壌全般に対して優れた不溶化効果を発揮することを特徴としている。

マグネシウム系固化材には「通常用」と「高濃度用」があり、対象汚染物質、濃度、複合汚染の状況等に応じて使い分ける。



写真 1 マグネシウム系固化材

4. 不溶化処理室内試験

マグネシウム系固化材は、従来のセメント系固化材では不溶化効果が得るのが困難であったふっ素、六価クロム、あるいはシアンによる汚染土壌や鉛を含む複合汚染土壌に対して優れた不溶化効果を発揮することを確認している。

以下に、マグネシウム系固化材を用いて実施した室内不溶化処理試験事例における各種試験データを示す。

4.1 試験 1

鉛、ヒ素、セレンを含む複合汚染土壌に対し、不溶化処理の適用性を判断するために、マグネシウム系固化材を用いた不溶化処理試験を行った。処理目標は、土壌溶出量基準（全て 0.01mg/L）以下とした。表 2 にその結果を示す。また、図 1 にマグネシウム系固化材の添加量と、汚染物質（鉛、セレン）溶出量の関係を示す。

表 2 不溶化処理試験データ 1

添加量 (kg/m ³)	(原土壌)	マグネシウム系固化材		[処理目標] 土壌溶出量基準
		100	150	
鉛溶出量 (mg/L)	0.009 [790]	<0.005	<0.005	0.01
ヒ素溶出量 (mg/L)	0.25 [230]	<0.005	<0.005	0.01
セレン溶出量 (mg/L)	0.041 [24.8]	<0.005	<0.005	0.01

※原土壌の [] 内は含有量(mg/kg)、下線は基準値超過を示す。

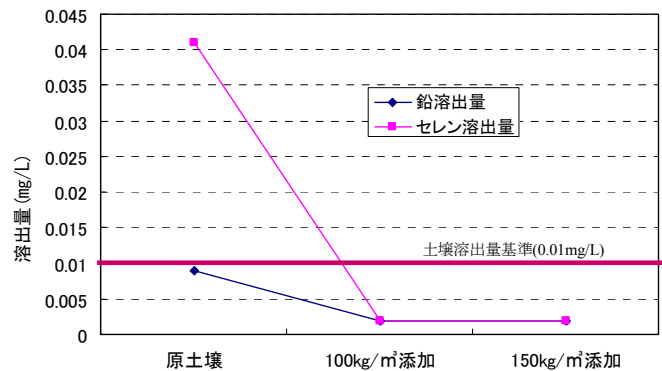


図 1 不溶化処理結果 1 (鉛、セレンのみ表示)

試験結果より、マグネシウム系固化材による不溶化処理では全ての添加量で汚染物質の溶出量が土壌溶出量基準以下まで低減し、優れた不溶化処理効果を発揮することが確認できた。また、セメント系固化材を添加した際に見られる「鉛の再溶出現象」も認められず、鉛を含む複合汚染土壌に対しても優れた不溶化処理効果を発揮することが確認された。

4.2 試験2

工場跡地から採取したシアン汚染土壌に対して、不溶化処理の適用性を判断するために、高炉セメントB種とマグネシウム系固化材を用いた不溶化処理試験を行った。処理目標は、土壌溶出量基準(検出されないこと)以下とした。

表3にその結果を示す。

表3 不溶化処理データ2

	(原土壌)	高炉セメント B種	マグネシウム系 固化材	[処理目標] 土壌溶出量 基準
	添加量 (kg/m ³)	—	150	
シアン溶出量 (mg/L)	<u>3.1</u> [37]	<u>0.14</u>	<0.005	検出されないこと

※原土壌の [] 内は含有量(mg/kg), 下線は基準値超過を示す。

試験結果より、マグネシウム系固化材はシアン汚染土壌に対しても優れた不溶化処理効果を発揮することが確認された。

4.3 試験3

工場跡地から採取した六価クロム汚染土壌に対して、不溶化処理の適用性を判断するために高炉セメントB種とマグネシウム系固化材を用いた不溶化処理試験を行った。処理目標は、土壌溶出量基準(0.05mg/L)以下とした。表4にその結果を示す。

表4 不溶化処理データ3

	(原土壌)	高炉セメント B種		マグネシウム系 固化材		[処理目標] 土壌溶出量 基準
	添加量 (kg/m ³)	100 (粉体添加)	100 (スラリー添加)	100 (粉体添加)	100 (スラリー添加)	
六価クロム 溶出量 (mg/L)	<u>0.29</u> [460]	<u>0.89</u>	0.04	0.01	<0.01	0.05

※原土壌の [] 内は含有量(mg/kg), 下線は基準値超過を示す。

試験結果より、高炉セメントB種を添加・混合した場合は、粉体混合では原土壌よりも溶出量が増加する結果であった。この結果は、六価クロム汚染土壌に対して高炉セメントB種を用いて固化・不溶化処理をする場合、その施工方法等に注意が必要であることを示している。

また、高炉セメントB種を用いたスラリー添加では添加量100kg/m³で目標値を満足しているが、土壌溶出量基準をわずかに下回る程度であった。

一方、マグネシウム系固化材を添加・混合した場合は、粉体・スラリー添加を問わず、基準値を満足している。

また、溶出量も土壌溶出量基準を大きく下回っており、マグネシウム系固化材は高炉セメントB種より優れた不溶化処理効果を示すことが確認できた。

4.4 試験4

売却予定地から採取したふっ素汚染土壌に対して、不溶化処理の適用性を判断するために、高炉セメントB種とマグネシウム系固化材を用いた不溶化処理試験を行った。処理目標は、土壌溶出量基準(0.8mg/L)以下とした。

表5にその結果を示す。

表5 不溶化処理データ4

	(原土壌)	高炉セメント B種		マグネシウム系 固化材		[処理目標] 土壌溶出量 基準
	添加量 (kg/m ³)	100	150	100	150	
ふっ素溶出量 (mg/L)	<u>2.7</u> [110]	0.47	0.31	<0.08	<0.08	0.8

※原土壌の [] 内は含有量(mg/kg), 下線は基準値超過を示す。

試験結果より、高炉セメントB種、マグネシウム系固化材ともに、ふっ素の溶出量を土壌溶出量基準以下まで低減できたが、溶出量を比較するとマグネシウム系固化材の方が大幅に低減されている。これより、ふっ素汚染土壌に対して、マグネシウム系固化材は高炉セメントB種より優れた不溶化処理効果を示すことが確認できた。

4.5 試験5

売却予定地から採取したふっ素汚染土壌に対して、不溶化処理の適用性を判断するために、高炉セメントB種とマグネシウム系固化材を用いた不溶化処理試験を行った。処理目標は、土壌溶出量基準(0.8mg/L)以下までとした。表6にその結果を示す。

表6 不溶化処理データ5

	(原土壌)	高炉セメント B種		マグネシウム系 固化材		[処理目標] 土壌溶出量 基準
	添加量 (kg/m ³)	50	80	50	80	
ふっ素溶出量 (mg/L)	<u>1.4</u> [100]	<u>1.0</u>	0.75	<0.08	<0.08	0.8

※原土壌の [] 内は含有量(mg/kg), 下線は基準値超過を示す。

試験結果より、高炉セメントB種では、一部のケースにおいてふっ素溶出量を土壌環境基準以下まで低減できない結果もあり、低減できたケースでも土壌溶出量基準をわずかに下回る程度であった。

一方、マグネシウム系固化材では、いずれのケースにおいてもふっ素溶出量を土壌溶出量基準以下まで低減できた。これより、マグネシウム系固化材は、ふっ素汚染土壌に対して高炉セメントB種より優れた不溶化処理効果を示すことが確認できた。

5. 実施工例

ふっ素汚染土壌のサイトにおいて、実際にマグネシウム系固化材を用いて、現場における固化・不溶化処理の実施工を行った事例について以下に示す。

5.1 概要

ふっ素汚染土壌は関東地区某所の躯体構造物建設工事で遭遇したものであり、対象土量は約 12,000 m³(最大深度 GL-2.4m)、事前調査結果ではふっ素溶出量は 0.81～2.7mg/L であった。

室内トリータビリティ試験において使用する不溶化材の種類と添加量の検討を行い、不溶化材としてマグネシウム系固化材を採用した。汚染土壌とマグネシウム系固化材の混合にはスタビライザを用いた。

不溶化処理土の品質管理として、施主と協議して定めた 1,000 m³に 1 回の指定頻度で公定法による分析を行い、土壌溶出量基準 (0.8mg/L) を満足することが要求された。

不溶化処理工は約 1 ヶ月間で実施し、不溶化処理土のふっ素溶出量は<0.08～0.33mg/L の範囲となり、土壌溶出量基準に適合した。

以下に本サイトに関わる室内トリータビリティ試験、現場試験施工、不溶化処理結果および不溶化処理土の長期安定性に関する検討結果を示す。

5.2 室内不溶化処理試験

室内不溶化処理試験では対象敷地内で実施された事前調査で超過データが確認されている 2 ヶ所より試験用の土壌試料を採取した。採取した土壌試料は試験室に送付し、夾雑物を除去して自然含水比状態で実験に必要な量をよく混合し、9.5mm フルイを通過したものを試料土とした。

表 7 に原土壌の分析結果を示す。含有量分析は 環境省告示 19 号により、溶出量分析は環境省告示 18 号により行った。pH は溶出操作後の検液を測定した。

原土壌の分析結果(表 7)によると、H15 環境省告示 19 号法によるふっ素含有量はともに<100mg/kg であるが、ふっ素溶出量は 2.2 mg/L、1.9mg/L と土壌溶出量基準(0.8mg/L)を 2.4～2.8 倍超過していた。

トリータビリティ試験で不溶化効果を確認する固化材として、高炉セメント B 種およびマグネシウム系固化材を選

表 7 原土壌分析結果(ふっ素汚染土壌)

試料 No	ふっ素		pH	含水比	地盤材料中分類
	含有 (mg/kg)	溶出 (mg/L)			
1	<100	2.2	7.3	22.7	SF (細粒分質砂)
2	<100	1.9	7.5	17.8	

定した。固化材添加量は高炉セメント B 種では 90、120kg/m³、マグネシウム系固化材では 30、60、90、120kg/m³と設定し、土壌に対して粉体添加し、ソイルミキサーにより混合した。処理後の土壌は、セメント系固化材による安定処理土の試験方法(セメント協会)に準じて供試体を作製した。20℃の恒温室内で材令 3 日、7 日および 28 日まで密封養生した後に一軸圧縮試験を行い、破壊供試体に対して環境省告示 18 号による溶出試験を行った (pH は溶出操作後の検液を測定)。高炉セメント B 種およびマグネシウム系固化材による不溶化処理試験結果を表 8 に示す。

高炉セメント B 種による不溶化処理の結果、ふっ素溶出量の低減効果は低く、添加量 120kg/m³ のケースにおいても材令 28 日で土壌溶出量基準 (0.8mg/L) 以下まで不溶化することができなかった。

一方、マグネシウム系固化材による不溶化処理試験の結果、処理後土壌の溶出量は全てのケースで土壌溶出量基準 (0.8mg/L) を満足した。

以上の結果より、実際の不溶化処理ではマグネシウム系固化材を使用することとした。施工機械はスタビライザとし、現場添加量は 実際の施工機械と試験時の混合機で混合効率が異なるなどの点を考慮して、割増率を加味し 40kg/m³ と設定した。混合方法(速度・回数)については試験施工により最適な不溶化処理効果が得られる条件を確認した。

表 8 不溶化処理後の分析結果 (ふっ素汚染土壌)

試料 No	高炉セメント B 種												マグネシウム系固化材											
	材令 3 日			材令 7 日			材令 28 日			材令 3 日			材令 7 日			材令 28 日								
添加量 (kg/m ³)	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	強度 q _v (MPa)	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	強度 q _v (MPa)	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	強度 q _v (MPa)	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	強度 q _v (MPa)	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	強度 q _v (MPa)	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	強度 q _v (MPa)						
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.47	10.1	—	0.52	9.8	—	—	—	—						
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	10.5	—	0.17	10.1	—	—	—	—						
90	1.6	11.8	0.62	2.6	10.8	0.64	1.0	11.9	0.80	0.11	11.0	0.37	0.11	10.2	0.53	0.15	10.8	0.87						
120	1.4	11.9	0.80	2.1	11.1	1.1	0.9	12.0	1.3	0.12	11.0	0.49	0.11	10.3	0.72	0.15	10.7	1.0						
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	10.3	—	0.21	10.1	—	—	—	—						
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	10.7	—	0.13	10.4	—	—	—	—						
90	1.5	11.7	0.64	1.8	11.2	0.65	0.85	12.1	1.0	<0.08	10.3	0.32	0.09	10.4	0.53	0.13	10.3	0.94						
120	1.2	12.1	0.72	1.5	11.5	0.91	0.84	12.1	1.1	<0.08	10.9	0.48	0.11	10.5	0.67	0.15	10.4	0.73						

【備考】 q_v、一軸圧縮強度

5.3 現場試験施工

実施工には混合深さ 600～1000mm、作業幅 2000mm のスタビライザを用いることになり、走行速度および回数については現場試験施工により最適な不溶化効果が得られる条件を確認した。



図 2 試験盛土状況

汚染箇所から土壌を掘削し、スケルトンバケットを装着したバックホウにより夾雑物を除去して図2に示す試験盛土(盛土高 1m)を作製した。図中にはスタビライザの走行速度および回数を記載している。添加量 40kg/m³となるようにマグネシウム系固化材を敷き均し、それぞれの条件に従って不溶化処理を行った。図中の①～⑥に示す条件で改良した範囲でそれぞれ 5 地点より土壌を採取して混合し、不溶化処理土の公定法による分析を実施した。溶出量分析は環境省告示第 18 号により行い、pH は溶出操作後の検液を測定した。

表 9 試験施工分析結果

試料 No	ふっ素溶出量 (mg/L)	pH
①	0.10	10.5
②	0.29	10.2
③	0.21	10.1
④	0.11	10.3
⑤	0.15	10.3
⑥	0.16	10.3

現場試験施工の結果は、以下の通りであった。

- ①スタビライザによる処理速度(走行速度)を速くすると粉じんの発生が増え、未改良の土塊の発生量が多くなる傾向が見受けられた。
 - ②混合回数については、処理後土壌を目視、手触りで観察した結果、2 回混合の方がより確実に混合されていることが確認された。
 - ③不溶化処理土の分析結果(表 9)は、①～⑥の全てのケースで土壌溶出量基準(0.8mg/L)を満足していた。
- 以上より、実施工における処理条件は、最も高い不溶化効果が得られた条件①の処理速度: 3.4m/分、混合回数: 2 回と設定した。

5.4 現場における不溶化処理の実施工

対象土量約 12,000 m³(最大深度 GL-2.4m)に対して、不溶化処理工は約 1 ヶ月の期間で実施した(写真 2)。

マグネシウム系固化材による固化・不溶化処理前後のふっ素溶出量を図 3 に示す(なお、原土壌の pH は不明であったため、表 7 の pH 値を参考に一律 7.5 と仮定して図中に示した)。

不溶化処理土 1,000 m³に 1 回の頻度で公定法による分析を行った結果、事前調査では 0.81~2.7mg/L であったふっ素溶出量は不溶化処理後には <0.08~0.33mg/L の範囲まで低下し、全て土壌溶出量基準(0.8mg/L)に適合した。なお、不溶化処理後の土壌は表面をシートで覆った形で現場敷地内に盛土状に仮置きした(写真 3)。

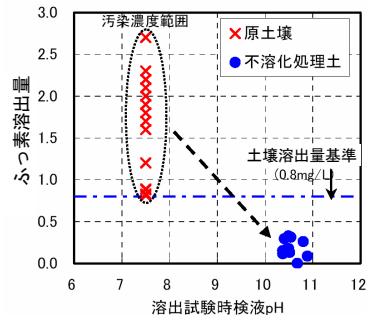


図 3 pH 値とふっ素溶出量



写真 2 不溶化処理施工状況



写真 3 不溶化処理土の仮置き状況

5.5 実施工結果および不溶化処理土の長期安定性

不溶化処理施工時に品質管理用に処理ヤードから採取した不溶化処理土のうち、2 種類についてその一部を試験室に持ち帰り、試料 1、試料 2 とした。

これらの試料土はビニル袋による密封状態で恒温室(20℃)にて保存し、処理後 28 日経過時に環告 18 号溶出試験に加えて(社)土壌環境センター・重金属等不溶化処理土壌の長期安定性に関する検討部会が提案する酸添加溶出試験 I およびアルカリ添加溶出試験 I⁵⁾⁶⁾を実施した。硫酸添加溶出試験および消石灰添加溶出試験は不溶化処理土から重金属等が溶出してくる環境条件の主要因を pH の変化とし、環告 18 号溶出試験の溶媒を所定濃度の硫酸溶液もしくは消石灰溶液として、同様に溶出操作を行い検液

中の濃度を測定するものである。

残りの試料は引き続き恒温室で保存し、処理後 1 年経過時に再度環告 18 号溶出試験を行った。結果を表 10 に示す。

表 10 不溶化処理施工時に採取した試料に関する各種溶出試験結果

溶出試験時期	調査時			施工管理結果						処理後 28 日経過時 [※]				処理後 1 年経過時 [※]	
	環告 18 号			環告 18 号			環告 18 号			酸添加溶出試験 I		7割り添加溶出試験 I		環告 18 号	
試料 No	ふっ素溶出 (mg/L)	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	ふっ素溶出 (mg/L)	pH	ふっ素溶出 (mg/L)	pH
1	0.81~2.3	0.13	10.5	0.16	9.9	0.30	9.9	0.15	10.0	0.17	9.2				
2	1.6~2.0	0.15	10.4	0.26	9.6	0.12	9.5	0.23	10.1	0.09	9.9				

※採取した試料は恒温室(20℃)にてビニル袋による密封状態で分析時期まで保存。

試料 1 は事前の調査でふっ素溶出量 0.81~2.3mg/L の範囲にある汚染土壌を不溶化処理したものであり、施工管理時の溶出試験では 0.13mg/L まで不溶化されていた。また、試料 2 は事前の調査でふっ素溶出量 1.6~2.0mg/L の範囲にある汚染土壌を不溶化処理したものであり、施工管理時の溶出試験では 0.15mg/L であった。

次に、処理後 28 日経過時に実施した環告 18 号溶出試験、酸添加溶出試験 I およびアルカリ添加溶出試験 I ではいずれも土壌溶出量基準を満足しており、さらに溶出液 pH が狭い範囲に集まり、溶出量の増減もあまり見られなかった。これは pH の変化に対する緩衝能力が高い結果であり、環境条件の変化による影響を受けにくいことを示しており、マグネシウム系固化材の特徴の一つであるとみられる。

また、処理後 1 年経過時に実施した環告 18 号溶出試験の結果、不溶化処理土は依然として土壌溶出量基準を満足しており、マグネシウム系固化材の不溶化効果が長期にわたり安定的に継続していることが確認できた。

6. おわりに

鉛・ヒ素・セレン複合汚染土壌、シアン汚染土壌、六価クロム汚染土壌、およびふっ素汚染土壌に対し、マグネシウム系固化材を用いた固化・不溶化処理について、室内不

溶化処理試験における処理効果の検討や現場における不溶化処理の実施工を行った。その結果、マグネシウム系固化材はセメント系固化材と比べて優れた不溶化処理効果を発揮すること、長期間にわたり不溶化効果を持続すること、品質のばらつきが少なく施工性が良いことが確認できた。

今後、より多くの実汚染土壌を対象に不溶化処理試験および現地試験を実施し、効果的な配合や薬剤の混合方法ならびに長期安定性を確保するための処理土壌の処置等について知見を高めていく必要があると考える。

不溶化処理による方法は、処理後にモニタリング管理が必要となるという点で敬遠されるケースが多い。今後いつそう円滑に固化・不溶化処理による方法が適用されるよう、処理効果に関わるデータや現場での処理実績を増やし、固化・不溶化処理による方法が有効な方法であることを示していく必要があると考える。

参考文献

- 1) 大山、奥村、小山、日高、三成：マグネシウム系固化材によるフッ素汚染土壌の固化・不溶化処理事例、第 11 回土壌地下水研究会、2005. 6
- 2) 大山、小山、山田、嘉門：重金属類汚染土壌の固化・不溶化処理に関する検討、第 13 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp. 1128-1130、2002. 11
- 3) 大山、小山：重金属類汚染地盤に対するセメントによる固化・不溶化効果に影響を与える要因について、第 5 回地盤改良シンポジウム発表講演論文集、pp. 265-270、2002. 11
- 4) 大山、小山、日高：マグネシウム系固化材による重金属等汚染土壌の固化・不溶化処理に関する検討、第 14 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp. 1228-1120、2003. 6
- 5) (社) 土壌環境センター：平成 13~14 年度自主事業報告書、重金属不溶化処理土の長期安定性に関する検討部会報告書、J02-02-01、2003. 3
- 6) 橋本：重金属不溶化処理土壌の長期安定性について、土壌環境センター技術ニュース、No. 9、pp. 65-71、2004. 11