

不溶化処理土の長期安定性に関する検討

○松山祐介・守屋政彦
太平洋セメント株式会社

1. はじめに

平成15年の土壤汚染対策法施行を契機に汚染土壌に対する数多くの処理方法および材料が開発されてきた。不溶化処理は第2種特定有害物質として規定されている重金属等の地下水経路の摂取防止に関する措置の一つとして挙げられ、地盤改良機械を用いた施工が可能であること、短期間で大量の処理が可能であること、更に掘削除去処理に比べて比較的安価¹⁾に対策を実施できるなどの特徴がある。しかし、不溶化は処理後も原位置に汚染物質が残存するため、ゼロリスクな対策ではない。また、法においても不溶化処後に形質変更時要届出区域として扱われるため、不動産価値の高い都市部では適用に至るインセンティブが低く、さらに再溶出など長期的な安定性を懸念してその適用が控えられるケースもある。不溶化効果の安定性については、(一社)土壤環境センターから「重金属等不溶化処理土壌のpH変化に対する安定性の相対的評価方法」²⁾が提案されているが、長期的な安定性に関する試験方法は現時点で提案されていない。

そこで、本報告では不溶化処理の懸念事項の一つである長期的な挙動を明らかにするため、酸化マグネシウム系の不溶化材を用いた不溶化処理土の室内試験結果や過去に施工された現場の追跡調査を行い、処理土の長期安定性について検討を実施した。

2. 試験概要

2.1 室内配合試験

表-1に示す試験試料(汚染土/ずり)を用い、不溶化試験を実施した。不溶化材には酸化マグネシウムを主成分とする重金属不溶化材「デナイト」(太平洋セメント社製)を用いた。混合は対象土と表に示す添加量の不溶化材を粉体で添加し、ソイルミキサーを用いて3分間混合して供試体を作製した。作製した供試体は、所定の材齢まで乾燥を防ぐ目的でナイロン袋に密封し、温度20℃、湿度80%以上の恒温室で養生・保管した。所定材齢後、環境省告示第18号(平成15年3月6日)「土壤溶出量調査に係る測定方法を定める件」に準じて溶出検液を作成し、検液の分析を表-2に示す方法で実施した。

表-1 対象土(汚染土/ずり)

土壤番号	対象元素	湿潤密度(g/cm ³)	性状/由来	不溶化材添加量(kg/m ³)	試験材齢(日)
1	鉛	2.08	砂質土/射撃場	100, 200	7, 28, 91, 182, 365
2	ひ素	1.86	土丹/自然由来	50, 100, 150	7, 28, 91, 182, 365, 2年
3	ひ素, ふっ素	1.34	浚渫土/自然由来	50, 100, 150	7, 28, 91, 182, 365, 2年
4	ひ素	1.85	ずり/自然由来	30, 50, 70	7, 28, 91, 182, 365
5	ひ素	1.78	ずり/自然由来	30, 50, 70	7, 28, 91, 182, 365
6	ひ素, セレン	1.97	粘性土/自然由来	30, 50, 70	7, 28, 91, 182, 365
7	ひ素	1.95	ずり/自然由来	30, 50, 70	7, 28, 91, 182, 365
8	セレン	1.76	ずり/自然由来	50, 100, 150	7, 28, 91, 182, 365
9	ふっ素	1.53	粘性土/工場跡地	100, 200	7, 28, 91, 182, 365, 7年
10	ほう素	1.44	粘性土/工場跡地	100, 200, 300	7, 28, 91, 182, 365

表-2 各元素の測定方法

元素	測定方法	試験規格
鉛	ICP発光分光分析法	JIS K 0102-2008・54.3
ひ素	ICP質量分析法	JIS K 0102-2016・61.4
セレン	ICP質量分析法	JIS K 0102-2016・67.4
ふっ素	イオンクロマトグラフ法	昭和46年12月環境庁告示第59付表6
ほう素	ICP発光分光分析法	JIS K 0102-2016・47.3
pH	ガラス電極法	JIS K 0102-2016・12.1

The research for long-term stability of immobilized soil with MgO-based material.

Yuusuke Matsuyama, Masahiko Moriya (Taiheiyō Cement)

KEY WORDS: immobilize, MgO-based material, leaching, long-term stability

2.2 実現場の追跡調査

2.1.1 施工概要

酸化マグネシウム系不溶化材を用いて施工7年以上が経過した2つのサイトよりボーリングマシンを用いて試料を採取した。採取には各現場の事前調査で溶出量が高い位置を選択した。各現場の施工概要を表-3、施工状況を写真-1～写真-2に示す。なお、各現場における詳細な結果等については報告^{3) 4)}を参照頂きたい。

表-3 施工概要

サイト名	A	B
対象元素	砒素(As), ふっ素(F)	鉛(Pb)
最大溶出量 (施工前)	As:0.075(mg/L), F:1.7(mg/L)	0.022(mg/L)
不溶化材	酸化マグネシウム系不溶化材 太平洋セメント社製「デナイト®」 ⁵⁾	酸化マグネシウム系不溶化材 太平洋セメント社製「デナイト®」
現場添加量	100 (kg/m ³)	100 (kg/m ³)
添加方法	スラリー (水粉体比 100%)	スラリー (水粉体比 100%)
施工方法	ロータリー式攪拌	トレンチャー式攪拌
調査年数 (施工後)	7年	7年5ヶ月



写真-1 サイトA 施工状況



写真-2 サイトB 施工状況

2.2.2 試験方法

(1) 溶出量試験

図-1に示す試験フローで得られた溶出試験用試料を用い、環境省告示第18号(平成15年3月6日)「土壌溶出量調査に係る測定方法を定める件」に準じて溶出検液を作製し、表-2に示す方法で各元素の溶出量を測定した。なお、実現場の追跡調査で比較として使用した未処理土の溶出量は、不溶化処理の施工前の分析結果である。

また、材齢7年以上が経過した処理土の酸性雨やアルカリ材等の外的要因によるpH変化に対する安定性を確認するため、(一社)土壤環境センターから提案されているGEPC・TS-02-S1「重金属不溶化処理土のpH変化に対する安定性の相対的評価方法」についても実施した。

(2) 不溶化材の混入量の推定

処理土に含まれるMgO含有量から不溶化材の混入量を推定するため、図-1に示すフローで試料を調整した。混入量推定試料からのMgO含有量の測定は、試料1gを100倍希釈の塩酸で30分間、マグネチックスターラーにより攪拌溶解し、5種Cろ紙を用いてろ過した検液についてICP発光分光分析によりMg濃度を測定した。なお、フローの各工程に示した質量、水分量、MgO含有量に加え、処理土の単位体積重量および不溶化材中のMgO含有量から不溶化材の混入量を算出した。

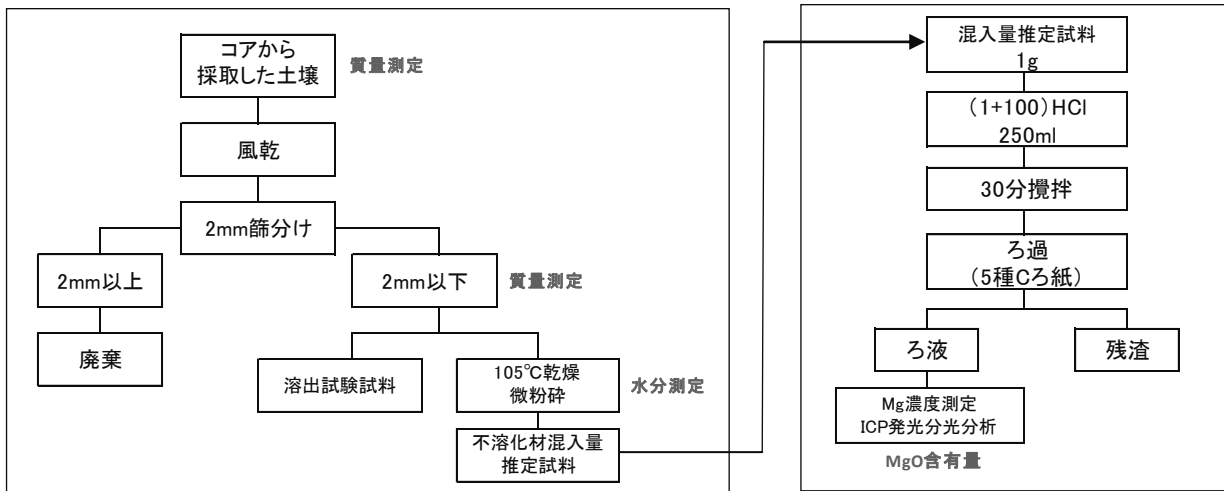


図-1 不溶化材混入量の推定のための試験フロー

(3) 逐次抽出試験

未処理土中に存在する重金属等の形態および材齢経過による処理土中での形態変化を確認するため、逐次抽出法⁶⁾を適用した。試料は同一の単位区画内で採取した未処理土、未処理土を不溶化材添加量 100kg/m^3 で不溶化した後3日もしくは7日間経過した処理土および実現場より採取した材齢7年以上経過の処理土の3水準とした。なお、未処理土の溶出量は、不溶化処理の施工前の分析結果である。

逐次抽出試験の分析フローを図-2に示す。転倒攪拌には(株)杉山元医理器製のGB型攪拌装置を使用し、回転数30rpm/分で16時間の攪拌を実施した。攪拌後の懸濁液の固液分離は、遠心分離機を用いて10000Gの速度で10分間行い、上澄み液の濃度を分析した。測定方法は表-2とし、ふっ素は蒸留分離後に測定した。全含有量は、図-2と同一試料でI-51-1981「セメント協会標準試験方法」に準拠し、酸分解・アルカリ溶融後にICP質量分析法(鉛)および水素化物発生原子吸光法(ひ素)で測定した。ふっ素は、熱加水分解後にJIS R9301-3-11 4「イオンクロマトグラフ法(B法)」に準拠して測定した。なお、本試験における残渣の含有量は、全含有量から各画分の逐次抽出で得られた含有量の総和を差し引いた値とした。

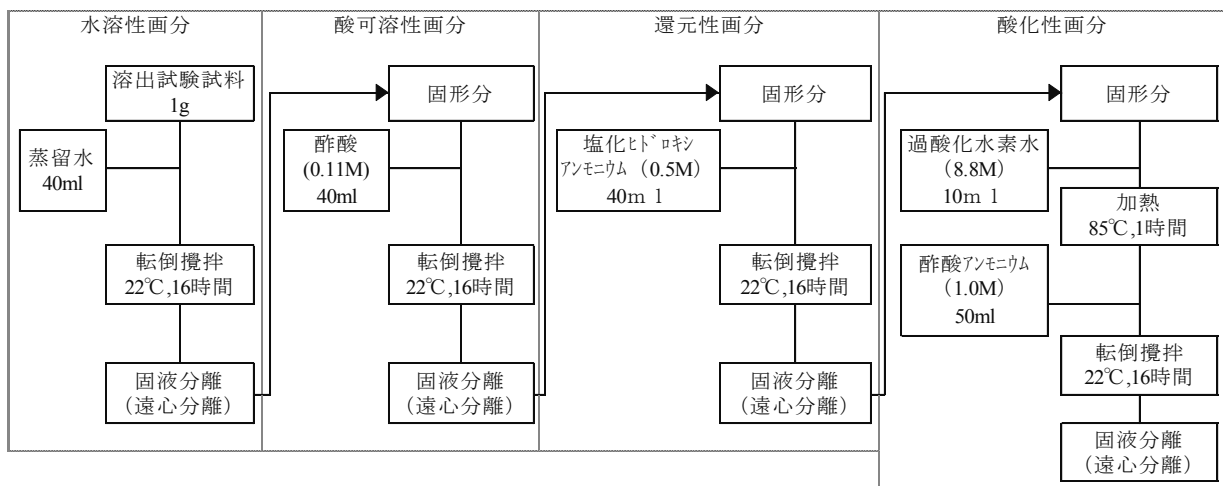


図-2 逐次抽出の分析フロー

3. 試験結果

3.1 室内配合試験

室内で不溶化処理を行った各材齢における溶出試験結果を表-4、検液の pH 結果を表-5 に示す。未処理の溶出量が溶出量基準を超過する試験試料において、材齢 7 日以降から長期材齢（365 日以上）経過後も高い不溶化効果が維持されている事が確認された。室内配合試験における養生環境では降雨や乾湿繰り返しなどの外部環境の影響を受けないことから、不溶化メカニズムに変化がなければ、本試験のようにその効果が持続されるものと考えられる。

また、検液の pH は材齢 7 日に比べて材齢 365 日では低下する傾向が認められた。pH が低下する原因としては、ポゾラン反応が考えられる。ポゾラン反応とは、2 価水和物（水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム）と土壌中の水溶性アルミニウムやシリカが反応するものであり、土壌中でアルカリ成分である 2 価水和物が消費されることで反応が進行する。本試験でも酸化マグネシウムの水和物である水酸化マグネシウム（飽和 pH：10.5）が徐々に消費されることで、検液 pH が低下したのと考えられる。

表-4 溶出試験結果

番号	対象元素	添加量 (kg/m ³)	溶出量 (mg/L)								環境基準 (mg/L)
			未処理	7 日	28 日	91 日	182 日	365 日	2 年	7 年	
1	鉛	100	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	—	—	0.01
		200		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	—	—	
2	ひ素	50	0.028	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	—	0.01
		100		<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.002	—	
		150		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	—	
3	ひ素	50	0.016	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	—	0.01
		100		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	—	
		150		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	—	
	ふっ素	50	1.8	0.10	<0.08	<0.08	0.09	0.09	0.10	—	0.8
		100		0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	—	
		150		<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	—	
4	ひ素	30	0.028	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	—	0.01
		50		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	—	
		70		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	—	
5	ひ素	30	0.017	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001	—	—	0.01
		50		0.001	0.002	0.002	0.001	<0.001	—	—	
		70		<0.001	0.002	0.001	0.001	<0.001	—	—	
6	ひ素	30	0.019	0.008	0.009	0.007	0.006	0.004	—	—	0.01
		50		0.003	0.006	0.006	0.005	0.005	—	—	
		70		0.001	0.004	0.005	0.004	0.004	—	—	
	セレン	30	0.013	0.007	0.005	0.005	0.005	0.004	—	—	0.01
		50		0.008	0.005	0.004	0.004	0.002	—	—	
		70		0.007	0.005	0.004	0.004	0.002	—	—	
7	ひ素	30	0.012	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.001	—	—	0.01
		50		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	—	
		70		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	—	
8	セレン	50	0.016	0.007	0.006	0.007	0.007	0.005	—	—	0.01
		100		0.005	0.004	0.004	0.004	0.002	—	—	
		150		0.004	0.004	0.004	0.003	0.002	—	—	
9	ふっ素	100	6.26	0.30	0.36	0.34	0.33	0.37	—	0.36	0.8
		200		0.10	0.28	0.26	0.21	0.16	—	0.16	
10	ほう素	100	11.0	5.3	4.8	4.2	3.9	3.7	—	—	1.0
		200		2.0	1.6	1.3	1.2	1.1	—	—	
		300		1.1	0.9	0.9	0.8	0.7	—	—	

表-5 検液の pH 結果

番号	対象元素	添加量 (kg/m ³)	検液 pH							
			未処理	7日	28日	91日	182日	365日	2年	7年
1	鉛	100	8.3	10.3	10.2	9.8	9.8	10.5	—	—
		200		10.4	10.3	10.1	10.0	10.5	—	—
2	ひ素	50	8.2	10.0	9.8	9.8	9.7	9.1	9.2	—
		100		10.3	10.2	10.1	9.8	9.6	9.5	—
		150		10.4	10.4	10.3	10.2	10.0	9.9	—
3	ひ素 ふっ素	50	7.5	9.6	9.3	8.9	8.9	8.8	8.4	—
		100		10.1	9.8	9.3	9.0	9.0	8.7	—
		150		10.4	10.0	9.8	9.3	9.3	9.0	—
4	ひ素	30	10.1	10.3	10.5	10.0	10.0	9.5	—	—
		50		10.5	10.3	10.2	10.3	9.8	—	—
		70		10.5	10.3	10.3	10.3	10.0	—	—
5	ひ素	30	10.5	10.4	10.3	10.1	10.2	10.0	—	—
		50		10.5	10.4	10.2	10.3	10.2	—	—
		70		10.6	10.4	10.3	10.6	10.3	—	—
6	ひ素 セレン	30	9.4	10.5	10.0	9.9	10.0	9.8	—	—
		50		10.6	10.2	10.0	9.9	9.9	—	—
		70		10.8	10.2	10.0	10.1	9.9	—	—
7	ひ素	30	10.3	10.5	10.9	10.9	10.7	10.7	—	—
		50		10.6	10.9	11.0	10.7	10.6	—	—
		70		10.8	11.0	11.0	10.7	10.6	—	—
8	セレン	50	10.2	10.4	10.2	10.2	10.2	9.9	—	—
		100		10.6	10.5	10.4	10.4	10.2	—	—
		150		10.9	10.7	10.5	10.5	10.4	—	—
9	ふっ素	100	7.5	—	10.6	—	—	10.4	—	10.0
		200		—	10.7	—	—	10.6	—	9.9
10	ほう素	100	6.9	9.5	9.2	9.2	9.1	9.1	—	—
		200		10.0	9.7	9.5	9.5	9.4	—	—
		300		10.3	10.0	9.8	9.6	9.8	—	—

3.2 実現場の追跡調査

3.2.1 溶出試験および不溶化材混入量結果

各サイトの施工後7年以上が経過した処理土の溶出試験結果および不溶化材混入量結果を表-6に示す。サイトや元素によらず、調査したすべての箇所・深度で溶出量基準を満足し、高い不溶化性能が維持されている事が確認された。

また、不溶化材の混入量は未改良土が混入する可能性のある施工深度の上端もしくは下端の一部を除き、調査したすべての水準において、室内試験で確認された必要添加量（Aサイトで60kg/m³、Bサイトで50kg/m³）以上となり、スラリー施工および添加量の割増率を考慮した施工方法の採用により、高い混合精度が得られていることを確認した。

したがって、酸化マグネシウム系の不溶化材を用い、混合精度が確保された処理土における鉛、ひ素およびふっ素の不溶化効果は、長期間にわたって持続することが確認された。

表-6 溶出試験および不溶化材混入量結果

サイト名	地点	元素	試験試料の採取深度(m)	処理前の溶出量(mg/L)	処理後7年～7年5ヵ月		不溶化材混入量(kg/m ³)	土壌溶出量基準(mg/L)	
					溶出量(mg/L)	検液pH			
A	a	ひ素	0.00～0.30	0.018 ～0.075	<0.001	11.2	16	0.01	
			0.30～0.55		0.001	10.6	69		
			0.80～1.05		0.004	10.5	123		
			1.30～1.50		0.005	10.6	77		
	b		0.00～0.25	0.011 ～0.019	0.001	10.0	106		
			0.25～0.50		<0.001	10.0	125		
			1.00～1.25		0.001	9.9	120		
			1.50～1.75		<0.001	9.8	111		
	c	ふっ素	0.00～0.20	0.92 ～1.1	<0.08	9.8	139		0.8
			0.20～0.30		<0.08	10.0	117		
			0.30～0.55		0.12	10.0	61		
			0.55～0.80		<0.08	9.6	127		
d		0.00～0.20	0.89 ～0.96	<0.08	10.4	80			
		0.20～0.45		0.12	10.6	106			
		0.45～0.70		0.13	11.2	92			
		0.70～1.00		0.15	10.9	13			
B	e	鉛	0.00～0.25	0.018	<0.001	8.7	-	0.01	
			0.25～0.50		<0.001	8.6	-		
			0.50～0.75		<0.001	8.3	-		
			0.75～1.00		<0.001	8.6	-		
			1.00～1.25		<0.001	9.7	-		
			1.25～1.50		<0.001	9.7	-		
			1.50～2.00		<0.001	9.8	73		
			2.00～2.25		<0.001	9.2	-		
	f	鉛	0.00～0.25	0.022	<0.001	8.4	-	0.01	
			0.25～0.50		<0.001	8.1	-		
			0.50～0.75		<0.001	8.4	-		
			0.75～1.00		<0.001	8.3	-		
			1.00～1.25		<0.001	8.3	-		
			1.25～1.50		<0.001	10.0	-		
			1.50～2.00		<0.001	10.0	130		
			2.00～2.25		<0.001	9.9	-		
	g	鉛	0.00～0.25	0.018	<0.001	8.5	-	0.01	
			0.25～0.50		<0.001	8.8	-		
			0.50～0.75		0.004	8.1	-		
			0.75～1.00		<0.001	9.5	-		
			1.00～1.25		<0.001	10.0	-		
			1.25～1.50		<0.001	10.1	-		
			1.50～2.00		0.001	10.0	150		
			2.00～2.25		<0.001	10.1	-		

3.2.2 pH 変化に対する安定性

酸アルカリ溶媒を用いた溶出試験結果を表-7 に示す。サイトや元素によらず、調査したすべての箇所・深度で酸やアルカリを使用した溶媒の pH 変化による再溶出は確認されなかった。

したがって、酸化マグネシウム系の不溶化材を用いた処理土は、施工後 7 年以上経過しても、pH 変化に対して高い安定性を有していることが確認された。

表-7 酸アルカリ溶媒を用いた溶出試験結果

サイト名	地点	元素	溶媒 / 試験方法	不溶化材混入量 (kg/m ³)	処理前の溶出量 (mg/L)	処理後 7 年～7 年 5 ヶ月		土壌溶出量基準 (mg/L)
						溶出量 (mg/L)	検液 pH	
A	a	ひ素	純水 / 環告 18 号	69	0.018 ～0.075	0.001	10.6	0.01
			酸 / GEPC			0.001	10.6	
			アルカリ / GEPC			<0.001	11.4	
	純水 / 環告 18 号		125	0.011 ～0.019	<0.001	10.0		
	酸 / GEPC				<0.001	10.0		
	アルカリ / GEPC				<0.001	11.2		
	b	ふっ素	純水 / 環告 18 号	127	0.92 ～1.1	<0.08	9.6	0.08
			酸 / GEPC			<0.08	9.3	
			アルカリ / GEPC			0.08	10.5	
	c		純水 / 環告 18 号	92	0.89 ～0.96	0.13	11.2	
			酸 / GEPC			<0.08	11.1	
			アルカリ / GEPC			<0.08	11.6	
B	e	鉛	純水 / 環告 18 号	73	0.018	<0.001	9.8	0.01
			酸 / GEPC			<0.001	9.5	
			アルカリ / GEPC			<0.001	10.1	
	純水 / 環告 18 号		130	0.022	<0.001	10.0		
	酸 / GEPC				<0.001	9.8		
	アルカリ / GEPC				<0.001	10.1		
	f	純水 / 環告 18 号	150	0.018	<0.001	10.0		
		酸 / GEPC			<0.001	9.8		
		アルカリ / GEPC			<0.001	10.3		
g								

3.2.3 逐次抽出による不溶化形態と材齢による変化

未処理土、若材齢（材齢 3～7 日）および処理後 7 年～7 年 5 ヶ月経過した処理土の逐次抽出結果を表-8（ひ素）、表-9（ふっ素）および表-10（鉛）を示す。未処理土では溶出しやすい形態と言われる水溶性画分が確認されたが、若材齢では未処理土より低減する傾向を示した。また、処理後 7 年～7 年 5 ヶ月経過した処理土では、若材齢と同等程度の値となっている事が確認された。

酸化マグネシウムによる各種重金属等の不溶化メカニズムは、ひ素やふっ素でヒ酸マグネシウム水和物等の難溶性塩類の生成や水酸化マグネシウムによる吸着・固定、鉛では水酸化物イオンの供給による難溶性水酸化物の生成が考えられる⁷⁾。さらに酸化マグネシウムを添加することにより土壌自体の性質が変化し、含有する鉄イオンによる鉄塩沈降物への吸着固定さらには表面錯体の形成による固定など異なるメカニズムも作用するものと考えられる⁸⁾。本試験では長期的な材齢の経過による水溶性画分の再溶出が確認されなかったことから、これらの作用は長期的に作用しているものと考えられる。

表-8 逐次抽出試験結果（サイト A・地点 b：ひ素）

溶媒	画分	形態	含有量 (mg/kg)		
			未処理	材齢 3 日	材齢 7 年 地点 b
蒸留水	水溶性	イオン交換	0.15	<0.01	0.01
酢酸	酸可溶性	炭酸塩	0.07	0.03	0.10
塩化ヒドロ	還元性	鉄・マンガンの水和、酸化物結合	0.33	0.23	0.13
酢酸アモ	酸化性	硫化物、有機物	0.07	0.08	0.10
—	残渣	残留	8.0	6.7	6.9
全含有量			8.6	7.1	7.3

表-9 逐次抽出試験結果 (サイトA・地点d:ふっ素)

溶媒	画分	形態	ふっ素含有量 (mg/kg)		
			未処理	材齢 3日	材齢7年 地点d
蒸留水	水溶性	イオン交換	6	<1	1
酢酸	酸可溶性	炭酸塩	7	13	12
塩化ヒドロ	還元性	鉄・マンガノ水和,酸化物結合	9	9	21
酢酸アノモ	酸化性	硫化物,有機物	43	<1	<1
—	残渣	残留	234	287	339
全含有量			299	310	372

表-10 逐次抽出試験結果 (サイトB・地点e, 地点g:鉛)

溶媒	画分	形態	鉛含有量 (mg/kg)			
			未処理	材齢 7日	材齢7年5ヶ月 地点e	材齢7年5ヶ月 地点g
蒸留水	水溶性	イオン交換	0.04	<0.01	<0.01	<0.01
酢酸	酸可溶性	炭酸塩	0.49	0.02	<0.01	0.01
塩化ヒドロ	還元性	鉄・マンガノ水和,酸化物結合	0.04	0.02	<0.01	<0.01
酢酸アノモ	酸化性	硫化物,有機物	3.7	4.8	3.6	4.2
—	残渣	残留	11	8.1	10.0	6.0
全含有量			15	13	14	10

4 まとめ

本報告では不溶化処理の懸念事項の一つである長期的な挙動を明らかにするため、室内配合試験ならびに酸化マグネシウム系の不溶化材を用いた施工後7年以上が経過した2つのサイトの追跡調査を行い、処理土の期安定性について検討を実施した。

室内配合試験の結果、酸化マグネシウム系不溶化材を用いた処理土の不溶化効果は長期にわたって持続していることが確認された。また、実現場においても、混合精度が確保された不溶化処理土におけるひ素、ふっ素および鉛の不溶化効果は、溶出試験ならびに逐次抽出試験から材齢7年以上の長期間にわたって安定していることが確認された。さらに、材齢7年以上を経過した時点においても、酸やアルカリ等の外的要因によるpH変化に対して安定性を維持していることが確認された。

今後は、酸化マグネシウム-重金属等-土壌の3成分系における不溶化メカニズムを検討するとともに、それら作用機構と長期の安定性の関係についてデータの蓄積を検討していく。

参考文献

- 1) 東京都環境局：中小事業者のための土壌汚染対策ガイドライン改訂版,pp.36,2014
- 2) (一社)土壌環境センター：重金属等不溶化処理土壌のpH変化に対する安定性の相対的評価方法 GEPC・TS-02-S1,2009
- 3) 松山祐介・守屋政彦・長瀬孝宏・小向雄人：不溶化処理土の混合精度と長期安定性に関する現場調査事例、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,pp.213-218,2016
- 4) 松山祐介・守屋政彦・中島之幾・大住学・竹田敏彦：不溶化処理土の混合精度と長期安定性に関する現場調査事例(その2)、第23回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会,2017、投稿中
- 5) 松山祐介・守屋政彦・諸角富美男：重金属不溶化材デナイトシリーズ,Arice情報,No.118,pp.20-27,2015
- 6) 貫上佳則・毛利光男・加瀬隆雄：改良BCR逐次抽出法による汚染土壌中の重金属の形態と溶出特性の評価、土木学会論文集,vol.64,No.4,pp.304-313,2008
- 7) 小嶋芳行,大島史也,松山祐介,守屋政彦：酸化マグネシウムによる重金属イオンの不溶化機構の解明、無機マテリアル,vol.19,pp.15-22,2012
- 8) 和田信一郎,森下智貴：酸化マグネシウムによる重金属類汚染土の不溶化処理と土壌中での鉱物化学反応、粘土科学,第51巻,第3号,pp.107-117,2013