災害廃棄物処理業務（気仙沼処理区）における津波堆積物の重金属溶出抑制に関する検討

大成建設(株)　技術センター　正会員　○太田　綾子，石井　裕泰，海野　円
宇野　浩樹，根岸　昌範，高畑　陽
大成建設(株)　東北支店　正会員　升本　俊也，池田　千博

１．はじめに

東日本大震災による宮城県気仙沼地区の災害廃棄物処理においては，津波堆積物と混合廃棄物ふるい下の一部から砒素，ふっ素，ほう素が土壌溶出量基準値を上回ることが確認された（図-1）．調査結果から，いずれかの重金属の溶出量基準を超過する頻度は 30%程度であった．これらの災害廃棄物の再資源化に向けて，溶出量基準を超過するものについては改質処理に加えて別途不溶化処理を実施する必要があった．ここでは、現地発生試料を使用した不溶化材の選定試験結果および現地での施工結果を中心に報告する．

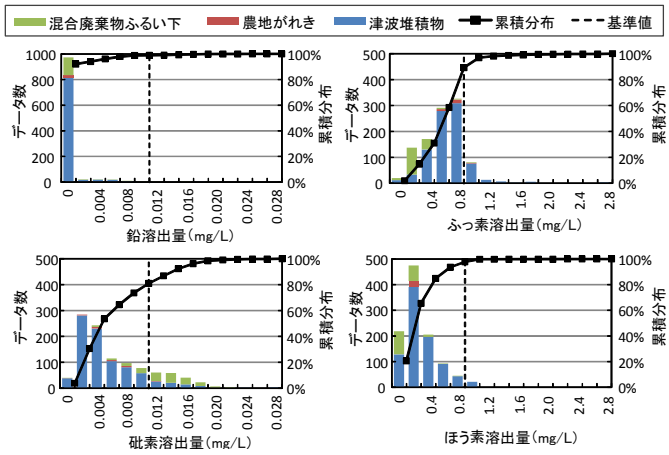

図-1　気仙沼地区の災害廃棄物溶出量調査結果

２．室内試験用試料の初期性状

室内試験には，現地にて採取した津波堆積物（試料 A，B，C）および現地にて石灰系改質材を 20kg/m^3 添加して改質後，分別した混合廃棄物ふるい下（試料 D）を用いた．初期性状を表-1 に示す．試料 A および C は，ふっ素の溶出量基準（0.8mg/L）を超過し，試料 D では砒素の溶出量基準（0.01mg/L）を超過した．pH は 7.6~10.7 で試料によりばらつきがあり、試料 A および試料 D ではもともとアルカリ性を示していた．

表-1　室内試験用試料の初期性状

	土壌溶出量(mg/L)				土壌含有量(mg/kg)				pH
	鉛	砒素	ふっ素	ほう素	鉛	砒素	ふっ素	ほう素	
試料A	<0.001	0.004	0.9	<0.1	16	<15	<100	<100	9.1
試料B	<0.001	0.001	0.6	0.7	75	<15	100	<100	7.6
試料C	<0.001	0.004	1	1.4	<15	<15	<100	<100	8.4
試料D	0.001	0.014	0.2	<0.1	109	<15	<100	<100	-
	-	0.018	0.6	-	-	-	-	-	10.7

※試料Dについては，上段：現場測定平均値(n=130)，下段：室内試験用試料測定値．
※土壌溶出量，土壌含有量の試験方法は土壌汚染対策法に準拠した．

３．不溶化材混合による効果確認試験

試料 A～D に不溶化材を混合し，最も出現頻度の高い砒素およびふっ素の溶出量抑制効果について確認した．検討した鉱物系の不溶化材 4 種類の主成分を表-2 に示す．試験方法は，試料（19mm ふるい通過分）と不溶化材を室内試験用ミキサーに投入し，約 1 分間練り混ぜ，1 週間養生後の土壌溶出量および pH を分析した．

表-2　検討した不溶化材

	主成分
不溶化材①	MgO，$MgCO_3$
不溶化材②	$CaCO_3$，MgO
不溶化材③	$CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$，$Ca(OH)_2$
不溶化材④	非晶質Si-Al鉱物(Fe：5%含有)

試料 A, B, C については，不溶化材①～④を試料に対して 50kg/m^3 添加し，ふっ素溶出抑制効果を検討した．不溶化処理土の分析結果から，全ての不溶化材でふっ素の溶出量を基準値以下まで低減できることが示された（表-3）．特に不溶化材①，②は，ふっ素の溶出量抑制効果が高いことを確認した．試料 D については，不溶化材①～④を試料に対して 20kg/m^3 および 30kg/m^3 添加し，砒素の溶出抑制効果を検討した．その結果，不溶化材①，②を 20～30kg/m^3 添加することにより，砒素の溶出量を基準値以下まで低減できた．不溶化材③，④では砒素の溶出量は低減したものの，基準値以下には達しな

表-3　不溶化処理土分析結果

		土壌溶出量 ふっ素(mg/L)	pH
試料A	不溶化材①	0.1	10.3
	不溶化材②	0.3	8.3
	不溶化材③	0.5	9.4
	不溶化材④	0.6	8.2
試料B	不溶化材①	<0.1	10.2
	不溶化材②	0.2	8.0
	不溶化材③	0.6	9.2
	不溶化材④	0.3	8.6
試料C	不溶化材①	<0.1	9.9
	不溶化材②	0.4	8.3
	不溶化材③	0.4	8.9
	不溶化材④	0.7	8.6

キーワード　津波堆積物，混合廃棄物ふるい下，不溶化
連絡先　〒240-0012　神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター　ＴＥＬ045-814-7217

かった（表-4）．以上の結果から，実施工においては，ふっ素および砒素の溶出抑制効果がともに高い不溶化材①（酸化マグネシウム系）を選定した．なお，不溶化材①を使用した場合の不溶化材処理土の pH は，初期値よりも上昇する傾向がみられた．

表-4　不溶化処理土分析結果

		土壌溶出量 砒素(mg/L)		pH	
		【添加量】20kg/m³	【添加量】30kg/m³	【添加量】20kg/m³	【添加量】30kg/m³
試料D	不溶化材①	0.009	0.007	9.5	10.5
	不溶化材②	0.009	0.006	8.5	9.1
	不溶化材③	0.012	0.013	8.8	10.6
	不溶化材④	0.010	0.011	8.5	10.2

４．砒素およびふっ素溶出挙動の pH 依存性

初期試料および不溶化処理試料の pH 依存性を確認する目的で，pH 依存性試験（EU 基準，CEN/TS 14429）を実施した．試験方法は，試料と溶媒を固液比 1：10 で混合し，48 時間振とう抽出後，液相の pH，ふっ素濃度および砒素濃度を分析するものである．48 時間後の pH が 4 以下および 12 以上の範囲でデータが得られるよう，純水に硝酸あるいは水酸化ナトリウムをあらかじめ添加して，pH を制御する溶出試験方法である．なお，本試験は土壌溶出量の試験方法とは異なり，あくまでも pH に対する相対的な溶出しやすさを評価する試験方法である．試験は，表-5 に示す 5 ケースについて実施した．

図-2 に示す試験結果から，ふっ素は pH4 以下の酸性側にシフトすると 1mg/L 程度溶出する傾向を示したが，中性からアルカリ性の領域では概ね低濃度を維持した．砒素については，酸側アルカリ側双方で溶出量が増加する傾向が確認された．また，改質材，不溶化材ともに添加していないケース 1，2 では pH8 から 12 にかけて急激な溶出量増大が確認されたが，改質材と不溶化材双方を混合したケース 3，4，5 では砒素の溶出増加が抑制されていることが確認できた．図-2 中に示したように、実際に現地にて不溶化処理した津波堆積土の pH 範囲は概ね p H9～12 程度であった．石灰系改質材および不溶化材の使用により，薬剤混合直後は高アルカリであっても，長期的には炭酸化等の進行によって pH は低下すると考えられることから，不溶化処理の効果は長期的にも安定であると考えられる．

表-5　pH 依存性試験ケース

	試料	改質材		不溶化材	
		種類	添加量	種類	添加量
ケース1	津波堆積物	なし	－	なし	－
ケース2	津波堆積物	なし	－	なし	－
ケース3	混合廃棄物（ふるい下）	石灰系改質材	20kg/m³	不溶化材①	20kg/m³
ケース4	混合廃棄物（ふるい下）		35kg/m³		60kg/m³
ケース5	津波堆積土		35kg/m³		60kg/m³

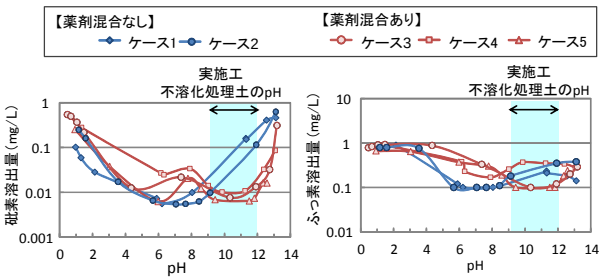

図-2　pH 依存性試験結果

５．現場での不溶化施工結果

室内試験結果に基づき，酸化マグネシウム系の不溶化材による津波堆積物の不溶化処理を実施し，900m³ に 1 回の頻度で土壌溶出量等を確認したところ，鉛，砒素，ふっ素，ほう素について，全て基準値を下回る結果となった（図-3）．ふっ素については，大部分が溶出量基準値の 50%以下まで不溶化することができ，砒素については大部分の津波堆積物で溶出量基準値の 70%以下までは不溶化することができた．なお，鉛については，アルカリ刺激により基準値以下で濃度が検出される場合が散見されたが，配合した薬材の炭酸化が進行すれば，溶出量はより減少すると考えられる．

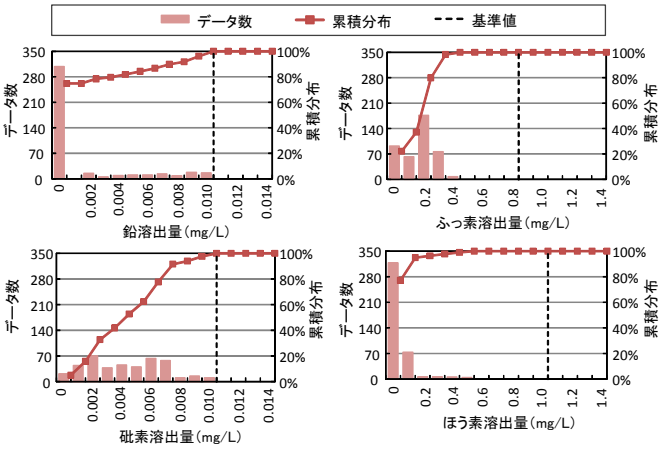

図-3　不溶化施工後の溶出量調査結果

６．まとめ

宮城県気仙沼地区の砒素およびふっ素の溶出量基準を超過する津波堆積物，混合廃棄物ふるい下に対して室内試験を実施し，酸化マグネシウム系の不溶化材を添加することにより，溶出量を抑制できることを確認した．また，改質材および不溶化材を添加していない試料と，添加した試料について pH 依存性試験を実施した．室内試験による選定結果から，酸化マグネシウム系不溶化材を使用して現場での不溶化処理を実施し，土壌溶出量が基準値以下まで抑制されたことを確認した．

参考文献：西村貴洋ら（2009）建設系再生製品の環境安全評価システムにおける環境溶出試験，千環協ニュース第 82 号