

放射性セシウム含有土壌・碎石の洗浄処理に関する基礎的検討 — 事故後 4 年経過時の洗浄処理効果の確認 —

(株)鴻池組 正会員 ○大山 将、中島卓夫、松生隆司、吉岡由郎

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故により環境中に放出された放射性セシウム(半減期が約2年のセシウム134(Cs-134)、約30年のセシウム137(Cs-137))による環境汚染に対して、放射性物質汚染対処特措法が平成23年に制定され、除染等の対応が進められてきた。除染作業の進捗に伴い大量の土壌や草木類等(除去土壌等)が発生しており、今後、中間貯蔵施設で保管・減容化の対象とされる除去土壌は最大1,977m³(平成27年1月現在)と推計されている¹⁾。中間貯蔵開始後30年以内に福島県外で最終処分するためには、膨大な量の除去土壌(放射性セシウム含有土壌)を減容化する必要がある。

筆者らは、平成23年8月から12月頃にかけて、実際の放射性セシウム含有土壌を用いた土壌洗浄処理(湿式分級処理)に関する室内試験や、粒子表面研磨等の物理的手法により除去効果の向上を目指した基礎検討を実施し、湿式分級処理により土壌細粒分(シルト・粘土)を除去することで一定割合の放射性セシウムを除去することが可能であること、粗粒分(礫・砂)にも放射性セシウムが無視できない程度吸着・残留しており、表面研磨等の物理的手法を組み合わせることが有効であることを示した²⁾。

本報告では、先の検討²⁾で使用した試料、および、新たに採取した試料を用いて、事故後4年が経過した平成27年5月に実施した土壌洗浄処理(湿式分級処理)や表面研磨処理に関する室内試験の結果について紹介し、時間経過が処理効果に与える影響について考察する。

2. 室内試験方法

2.1 放射性セシウム含有土砂・碎石

室内試験に用いた放射性セシウム含有土砂・碎石は、福島県内外から事故後に改変されていない箇所の表層1cm~5cmの部分から採取した(表-1)。A~Gは先の検討²⁾で使用した試料でポリ袋内で屋内保管していたもの、Hは平成27年3月に新たに採取したもので、それまで自然環境にばく露していたものである。今回の検討では、土

壌洗浄処理(湿式分級処理)に適していると考えられる砂質土や砂礫土を中心に使用することとし、碎石(F-②、H-②)や玉砂利(H-③)も使用した。試料の土質性状を表-2に示す。

表-1 試料土の概要

試料No.	試料採取箇所・土質概要	採取時期
A-①	民家の庭から採取。茶褐色の砂質土。(屋根なし)	H23.8
B-①	畑の畦から採取。黒褐色の砂質土。(畑に砂を入れていた模様)	H23.8
B-②	民家の庭(家庭菜園の近傍)から採取。黒褐色のシルト質砂。	H23.8
B-③	民家の庭(家庭菜園内)から採取。黒褐色の砂質土。	H23.8
D	民家の庭から採取。黒褐色の砂質土(腐葉土と礫混じり砂質土の混合土)。	H23.8
F-①	広場敷地の砕砂舗装部から採取。薄い灰褐色の砂質土。	H23.9
F-②	広場敷地の砕石敷設部から採取。紺青色の礫。	H23.9
F-③	広場敷地の客土部から採取。黄褐色の砂質土(まさ土)。	H23.9
F-④	民家の庭から採取。黄褐色の砂質土(まさ土)。	H23.10
F-⑤	民家の庭から採取。茶褐色の砂質土。	H23.10
G	民家の庭(雨樋の下)から採取。細粒分が多い黒褐色の砂質土。	H23.10
H-①	公園敷地の表土(未改変部)から採取。茶褐色の砂質土(山砂)。	H27.3
H-②	公園敷地の砕石敷設部(未改変部)から採取。灰青色の礫。	H27.3
H-③	民家の庭(未改変部)から採取。庭園用五色玉砂利。	H27.3

表-2 試料土の土質性状

項目	単位	A-①	B-①	B-②	B-③	D	F-①	F-②	F-③	F-④	F-⑤	G	H-①	H-②	H-③	
土質性状	—	砂質土 (庭土)	砂質土 (畑土)	シルト質砂 (畑土)	砂質土 (畑土)	砂礫土 (庭土)	砕砂 (舗装)	碎石 (舗装)	砂質土 (マサ土)	砂質土 (マサ土)	砂質土 (庭土)	砂質土 (雨樋下)	砂質土 (山砂)	碎石 (敷設)	玉砂利 (庭園用)	
含水比	%	19.9	16.9	29.7	26.4	26.8	8.87	1.79	15.6	4.66	8.64	31.1	24.7	0.63	0.46	
含水率	%	16.6	14.4	22.9	20.9	21.2	8.15	1.76	13.5	4.45	7.95	23.7	19.8	0.62	0.46	
土粒子密度	g/cm ³	2.587	2.625	2.603	2.584	2.545	2.695	2.932	2.666	2.634	2.599	2.625	2.613	—	—	
粒度分布	礫分 2mm以上	%	13.0	1.8	5.8	4.9	34.1	8.4	97.4	20.9	42.2	6.1	8.9	0.0	100.0	100.0
	砂分 0.075~2mm	%	60.6	84.3	47.0	56.8	34.8	70.0	1.1	65.3	51.6	76.4	56.5	78.4	0.0	0.0
	シルト分 0.005~0.075mm	%	13.7	6.3	32.9	26.8	15.7	10.3	1.5	7.9	1.4	9.2	20.0	10.7	0.0	0.0
	粘土分 0.005mm以下	%	12.7	7.6	14.3	11.5	15.4	11.3		5.9	4.8	8.3	14.6	10.9		
pH(JGS法)	—	6.6	6.5	6.7	6.6	5.1	7.2	9.0	7.0	7.0	7.0	7.2	—	—	—	
強熱減量(800℃、4時間)	%	7.60	4.84	9.15	7.41	11.8	11.3	0.95	2.08	1.97	3.41	8.36	—	—	—	

キーワード:放射性セシウム、土壌洗浄、湿式分級、碎石、表面研磨、時間経過

連絡先:〒136-8880 東京都江東区南砂 2-7-5 (株)鴻池組 土木事業本部 環境エンジニアリング部 Tel.03-5617-7793 Fax.03-5617-7789

2. 2 土壤洗浄処理 (湿式分級処理)

試料 200g(湿潤)に対して 60mL(試料重量の 30%)の水を加え、ミキサーで 1 分間攪拌後、バット等に試料を移し、使用水量が合計 0.6L(試料重量の 3 倍量)となるようにすすぎ洗いして、概ね 75 μ m フルイ残留物として洗浄処理土・砕石を回収した。洗浄処理後は 40℃ 炉乾燥、均質化して放射性セシウム分析に供した。

2. 3 表面研磨処理

礫に強固に吸着した放射性セシウムの除去効果の向上を図るため、物理的な除去手法として表面研磨の効果について検討した。表面研磨は砕石・玉砂利 200 g、水 200 mL をポリエチレン容器に入れ、振とう機で 24 時間振とうした後、すすぎ洗いして摩耗片と細粒分を除去した。40℃ 炉乾燥後、分析に供した。

2. 4 放射性セシウム濃度の測定

試料を U-8 容器に充填し、ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーにより Cs-134 および Cs-137 の濃度を測定した。測定結果は、乾燥質量あたりの濃度 (Bq/kg-dry) を表記している。

3. 室内試験結果

3.1 湿式分級処理結果

湿式分級処理試験結果を表-3 に示す。事故後 4 年が経過しても、湿式分級処理により土壤細粒分(シルト・粘土)を除去することで、ある程度の放射性セシウムを除去できることを確認した。平成 23 年と平成 27 年の試験結果(セシウム除去率)を比較すると(図-1)、時間が経過しても除去率が極端に悪くなることはなく、概ね同程度のセシウム除去率が得られているものと考えられる。しかしながら、多くのセシウムが洗浄処理土(礫・砂)に残留しており、除去率を向上するには表面研磨等の高度処理がさらに必要である。

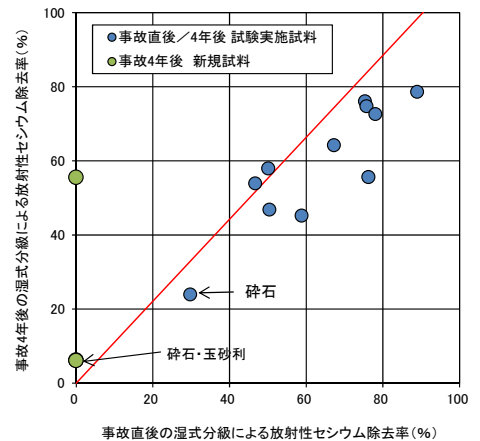


図-1 時間経過とセシウム除去率

表-3 湿式分級処理試験結果

項目	単位	A-①	B-①	B-②	B-③	D	F-①	F-②	F-③	F-④	F-⑤	G	H-①	H-②	H-③	
土質性状	—	砂質土(庭土)	砂質土(畑土)	シルト質砂(畑土)	砂質土(畑土)	砂礫土(庭土)	砕砂(舗装)	砕石(舗装)	砂質土(マサ土)	砂質土(マサ土)	砂質土(庭土)	砂質土(雨樋下)	砂質土(山砂)	砕石(敷設)	玉砂利(庭園用)	
試験実施時期	—	H23.7	H23.8	H23.8	H23.8	H23.8	H23.9	H23.9	H23.9	H23.10	H23.10	H23.10	—	—	—	
H23年試験	原土壌 Cs濃度	Bq/kg	13,500	6,210	8,030	12,310	16,740	13,270	7,340	8,310	27,800	29,400	24,600	—	—	—
	回収率(乾土ベース)	%	74.0	86.0	51.8	64.1	79.1	81.9	98.8	86.1	93.7	81.3	73.0	—	—	—
	洗浄処理土 Cs濃度	Bq/kg	1,500	3,310	1,983	2,990	3,690	6,580	5,160	4,150	11,440	6,990	8,070	—	—	—
Cs除去率	%	88.9	46.7	75.3	75.7	78.0	50.4	29.7	50.1	58.8	76.2	67.2	—	—	—	
試験実施時期	—	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	H27.5	
H27年試験	原土壌 Cs濃度	Bq/kg	8,990	4,462	5,760	8,470	13,110	10,910	5,510	7,950	20,120	20,970	15,470	14,000	44,090	19,390
	回収率(乾土ベース)	%	76.8	88.8	47.0	60.4	82.9	83.3	99.5	87.2	94.8	87.5	69.0	84.8	100.0	100.0
	洗浄処理土 Cs濃度	Bq/kg	1,921	2,055	1,376	2,138	3,591	5,800	4,191	3,342	11,020	9,300	5,530	6,220	41,360	18,210
Cs除去率	%	78.6	53.9	76.1	74.8	72.6	46.8	23.9	58.0	45.2	55.7	64.3	55.6	6.2	6.1	

※ Cs濃度の値は、Cs-134濃度およびCs-137濃度のそれぞれの値の単純加算値

※※ (Cs除去率%) = (原土壌のセシウム濃度 - 洗浄処理土のセシウム濃度) ÷ (原土壌のセシウム濃度) × 100

3.2 表面研磨処理の結果

細粒分がほとんどない砕石(F-②、H-②)、玉砂利(H-③)は湿式分級処理によるセシウム除去率は 6.1~23.9%と極めて低い。そこで、粒子表面研磨によるセシウム除去効果について検討した結果を表-4 に示す。

機械的表面研磨を想定した振とうによる衝突研磨ではセシウム除去率が大幅に倍増加した。湿式分級処理と表面研磨等の物理的除去手法を組み合わせることで、放射性セシウムの除去効果の向上が期待できることをあらためて確認した。

表-4 砕石・玉石試料の表面研磨処理結果

試料	F-②				H-②				H-③			
	H23.9		H27.5		H27.5		H27.5		H27.5		H27.5	
試験実施時期	H23.9		H27.5		H27.5		H27.5		H27.5		H27.5	
項目	処理前	洗浄処理後	処理前	洗浄処理後	処理前	洗浄処理後	処理前	洗浄処理後	処理前	洗浄処理後	処理前	洗浄処理後
		湿式分級		湿式分級		湿式分級		湿式分級		湿式分級		湿式分級
回収率 %	—	98.8	78.0	—	99.5	91.4	—	100	97.6	—	100	97.6
Cs濃度 Bq/kg	7,340	5,160	2,940	5,510	4,191	2,715	44,090	41,360	28,750	19,390	18,210	11,200
除去率 %	—	29.7	59.9	—	23.9	50.7	—	6.2	34.8	—	6.1	42.2
湿式分級処理後からの除去率 %	—	—	43.0	—	—	35.2	—	—	30.5	—	—	38.5

参考文献 1) 環境省: 減容処理技術の開発課題及び目標について、中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第2回)資料3、2015

2) 中島卓夫ら: 放射性セシウム含有土壌の対策技術に関する基礎的検討(その2)、第18回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集、pp.480-485、2012