

飛灰の放射能濃度低減を目的とした造粒固化洗浄

三 浦 俊 彦 小 竹 茂 夫 高 田 尚 哉
(本社エンジニアリング本部) (本社エンジニアリング本部)

石 井 芳 明 青 山 裕 作 日笠山 徹 巳
(本社エンジニアリング本部) (本社エンジニアリング本部) (本社エンジニアリング本部)

Washing of Granulated Solidification Fly Ash Containing Radioactive Contaminants

Toshihiko Miura Shigeo Kotake Naoya Takada
Yoshiaki Ishii Yusaku Aoyama Tetsumi Higasayama

Abstract

Incineration fly ash produced from city garbage, water-and-sewage sludge, and wastes generated by radioactive decontamination activities tends to have a high concentration of radioactive materials, and radioactive cesium in fly ash has high solubility in water. In order to advance the safe processing of incineration fly ash, it is necessary to have a technology for reducing the cesium in the fly ash. Washing the fly ash with water is an effective way of reducing the amount of radioactive cesium. Then, this study developed a new method for washing fly ash after granulated solidification. Laboratory tests showed that 70% or more of the radioactive cesium was removed by washing of the granulated solidification fly ash adjusted into 1-9.5 mm diameter particles under the following conditions: flow rate (SV) $\leq 10\text{h}^{-1}$ and flow volume ≥ 10 times of fly ash volume. Demonstration tests also confirmed the effectiveness of washing and the reduction of the volume of radioactive wastes.

概 要

放射性物質を含む除染除去物や都市ごみ、上下水道汚泥の焼却時に発生する飛灰には、放射性物質が濃縮し、飛灰中の放射性セシウムは水への溶解度が高い特徴を持つ。飛灰の安全な処理を進めるためには、溶解性の高い放射性セシウムを除去して、放射性セシウム濃度を低減する技術が必要である。飛灰中の放射性セシウムを低減するためには、洗浄技術が有効である。従来の洗浄方法よりも、安価で簡易な手法を開発することを目的として、飛灰をセメントにより造粒固化した後に洗浄する方法を開発した。室内試験では、造粒固化飛灰の粒径を1～9.5mmに調整し、通水速度は1時間当りに固化体体積の10倍以下（SV＝10以下）、通水量は固化体体積の10倍以上（Q/V＝10以上）の洗浄条件で、放射性セシウムの70%以上を除去が可能であった。また、実規模の設備を用いた実証試験により洗浄効果を実証し、従来の洗浄方法よりも放射性廃棄物を減容化できることを確認した。

1. はじめに

東日本大震災を原因とする原子力発電所の事故により、福島県及び東北・関東地方の広範囲に放射性物質が飛散しており、除染工事が実施されている。除染工事に伴い除去した物（除染除去物）は、仮置き場への集積が進められ、中間貯蔵施設への運搬・処理が予定されているが、処理量が大きくなることから、可燃物については焼却処理が行われる予定である。焼却により大幅な減容化が見込まれるが、放射性物質を含む焼却灰（主灰と飛灰）が発生する。これら焼却灰のうち飛灰は、主灰と比べて放射性物質を濃縮しやすいこと、そして飛灰中の放射性セシウムは水への溶解度が高い特徴を持つ¹⁾。飛灰の安全な処理を促進するためには、放射能濃度を下げて減量化を図るとともに、セシウムの溶出量を低減する技術が必要である。

飛灰の放射性セシウム濃度を低減するためには洗浄技術が有効であり、技術開発が進められている。飛灰に水

を添加してスラリー状とし、飛灰中の放射性セシウムを水へ溶解させた後、フィルタープレス等で脱水する方法が一般的である。この方法で70～80%程度のセシウムが除去可能とされている²⁾。しかし、フィルタープレスの運転時には定期的な清掃が必要となることや、仮置き中の飛灰にはセメント等が混合されている場合があり、養生条件によっては固化しているため、スラリー化が難しく、従来の洗浄方法が適用できないといった課題がある。また、洗浄後の飛灰は脱水後でも強度が低く、埋立てやリサイクルの際にはセメント等の混合が必要となる。

そこで、洗浄のための高価なプラントを必要とせず、安価で簡易な洗浄方法を開発することを目的として、飛灰の造粒固化物を作製して洗浄する方法を考案し、実用化に向けた検討を進めている。本報は、造粒固化した飛灰を対象として、洗浄条件を調べた室内試験と、本技術の実用化を目的とした実証試験の結果について報告する。なお、実証試験については、環境省の平成24年度除染技術実証事業として実施したものである。

2. 造粒固化洗浄の概要

Fig. 1に造粒固化洗浄の処理フローを示す。

- 1) 放射性物質を含有する飛灰にセメントを添加混合し、一定の粒径に造粒する。造粒の方法には、セメントを混合しながら造粒機を用いる方法や、セメント固化体を作成した後に破砕する方法があり、対象飛灰の性状を考慮して選定する。
- 2) 造粒した飛灰を、水切りフレキシブルコンテナ（フレコン）等に入れ、洗浄設備へと投入し、一定時間洗浄した後に回収する。造粒固化物とすることでフィルタープレス等の脱水過程を省略でき、飛散や漏洩のない安全な作業環境の確保や積み込み、運搬時の取り扱いを容易にすることが可能である。
- 3) 洗浄後の造粒固化飛灰については、処分先または有効利用に適した含水比となるまで十分に水を切る。

3. 室内洗浄試験

造粒固化飛灰からの放射性セシウム溶出率や粒径の影響を調べるためにバッチ洗浄試験を実施した。また、実際の施工においては、洗浄水の入れ替え作業等が発生しない通水洗浄方式が適当であると考えられることから、通水洗浄における洗浄条件を調べるため、カラム洗浄試験を実施した。

3.1 方法

Table 1に造粒固化飛灰の作成条件を示す。バッチ洗浄試験とカラム洗浄試験で飛灰の初期放射性セシウム濃度や作成条件が異なるのは、飛灰の採取時期や含水比が異なっていたためである。飛灰に高炉セメントB種と水を添加してホバートミキサーで混合し、鋼製モールド（直径5cm、高さ10cm）に充填して、密封後20℃の恒温槽で7日間養生した。脱型後に固化物を粉砕して、粒径を2mm未満、2～9.5mm、9.5～19mmの3種類に調整した。バッチ洗浄試験では、JIS K 0058-1の溶出試験方法に準じて10分間溶出操作を行った。この洗浄を3回繰り返し、各洗浄溶液を0.45μmフィルターでろ過した後、ろ液中の放射性セシウム濃度を測定した。カラム洗浄試験では、直径10cmの円筒カラムに高さが10cmとなるように造粒固化飛灰を充填し、カラムの下部から上部に向けて純水を通水した。Fig. 2にカラム洗浄試験の装置を示す。通水速度は、SV（1時間当りの通水量を造粒固化飛灰の体積で除した値）＝5、10、20の3段階とし、通水後の溶液を採取してろ過した後、ろ液中の放射性セシウム濃度をゲルマニウム半導体検出器により測定した。

3.2 結果と考察

Fig. 3にバッチ洗浄試験の洗浄回数と放射性セシウムの溶出率の関係を示す。なお、同図には比較のため、固化処理前の飛灰の洗浄結果も示す。固化処理前の飛灰の放

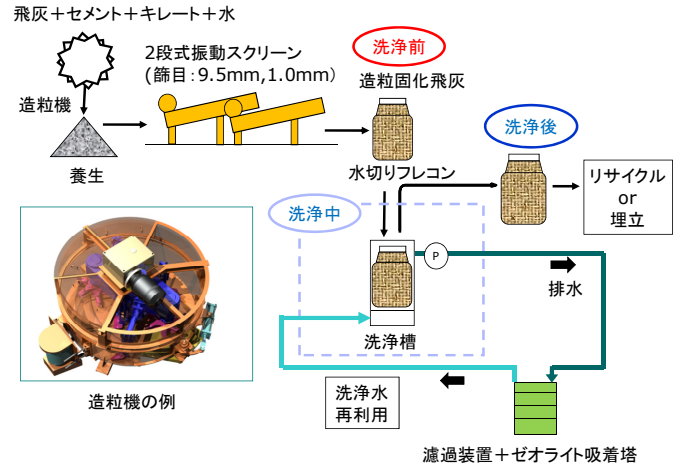


Fig. 1 造粒固化洗浄の処理フロー

The Processing of Washing for Granulated Solidification Fly Ash

Table 1 室内洗浄試験で用いた造粒固化飛灰の作成条件
The Conditions of Granulated Solidification Fly Ash

項目	単位	バッチ試験	カラム試験
初期飛灰の放射性セシウム濃度	Bq/kg	2,350	2,500
セメントの添加量	kg/t	150	150
水の添加量	kg/t	750	900
固化飛灰の放射性セシウム濃度	Bq/kg	1,237	1,220

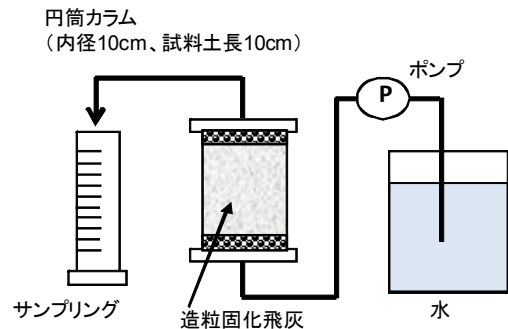


Fig. 2 カラム洗浄試験の装置
Device of Column Washing Tests

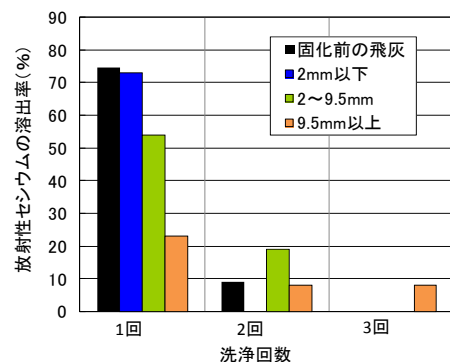


Fig. 3 バッチ洗浄試験の結果
Results of Batch Washing Tests

射性セシウム溶出率は、洗浄1回目で74.5%、2回目で8.9%を示し、累積溶出率は83.4%であった。粒径2mm未満の放射性セシウム溶出率は、洗浄1回目で72.8%、2回目以降は定量下限値未満であった。2～9.5mmの造粒固化飛灰は、

洗浄1回目は54.2%と低かったが、2回目で18.6%が溶出し、累積溶出率は72.8%であった。固化前の飛灰と比べると累積溶出率はわずかに低下するが、粒径が9.5mm以下であれば2回洗浄で70%以上の放射性セシウムを除去できた。一方で粒径9.5~19mmの造粒固化飛灰については、洗浄1回目の溶出率が22.7%と低く、3回洗浄しても累積溶出率は38.6%と低かった。この傾向は、飛灰のセメント成形固化体で放射性セシウム溶出率が低減する結果¹⁾と同じで、粒径が大きくなると溶出率が下がることを示している。

Fig. 4, 5にカラム洗浄試験の通水時間、通水量と放射性セシウムの累積溶出率の関係を示す。図中の通水量(Q/V)は、全通水量を造粒固化飛灰の体積に対する比で表した値である。いずれの通水速度においても、時間とともに放射性セシウムの累積溶出率は増加し、約50分で累積溶出率が70%以上に達した。この溶出率はバッチ洗浄試験と同程度であり、通水洗浄方式においても放射性セシウムを洗浄除去できることがわかった。通水速度の違いを比較すると、通水速度が最も早いSV=20で累積溶出率が少し低下した。したがって、通水速度はSV=10以下が望ましいと考えられる。通水量は、Q/V=10で累積溶出率がほぼ飽和に達することから、Q/V=10以上が適当であった。

4. 実証試験

室内洗浄試験ではセメント固化した飛灰を粉砕することにより造粒固化飛灰を作製したが、実証試験では混練造粒機を用いて造粒固化飛灰を作製し、その収率や強度を調査した。また、実規模の設備を設置して、通水洗浄方式における洗浄効果の確認や、使用水量を減らすことを目的として、洗浄水を再利用する循環通水方式の洗浄効果の確認を行った。

4.1 方法

4.1.1 造粒固化飛灰の作製

実証試験で用いた初期飛灰の性状をTable 2に、造粒固化飛灰の作製条件をTable 3に示す。造粒にはパン型混練造粒機を使用した。粉末状の飛灰に、鉛の不溶化剤であるキレート材とセメントを添加し、水セメント比で2~3倍の水量を添加しながら混合して造粒化を行った。室内試験では高炉セメントを使用した。できるだけ強度発現を早めるため、実証試験では早強セメントを使用した。造粒化して3日養生した後に分級を行った。室内洗浄試験で高い洗浄効果が得られ、かつ通水洗浄時に目詰まりしにくい1~9.5mmの粒径の試料を使用した。作製した造粒固化飛灰の粒度分布を測定し、収率を調査した。

4.1.2 強度評価試験

強度評価試験の項目をTable 4に示す。早強セメント100, 150kg/tを添加して作製した粒径1mm以上の造粒固化飛灰を対象に、3日養生試料の破砕率とコーン指数の測定を行った。破砕率試験は洗浄後の造粒固化飛灰の破砕されやすさを評価するために実施した。造粒固化飛灰を水浸さ

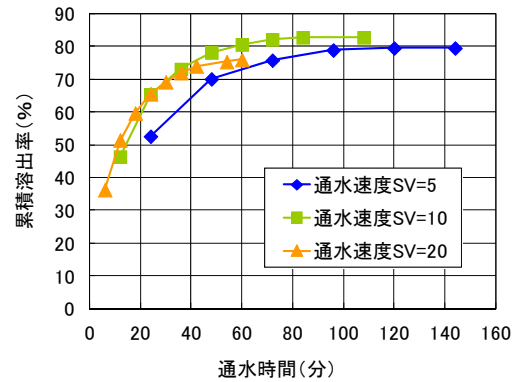


Fig. 4 通水時間と累積溶出率の関係
 Relations between Washing Time and Accumulation Leaching Time

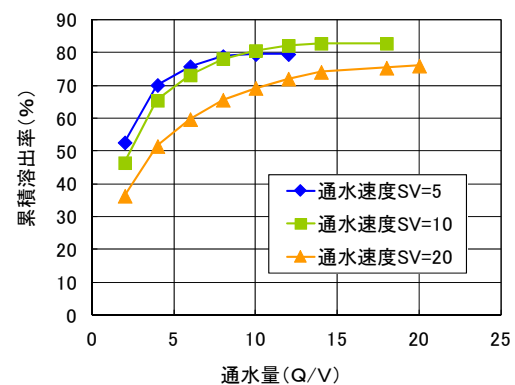


Fig. 5 通水量と累積溶出率の関係
 Relations between Flow Volume and Accumulation Leaching Time

Table 2 実証試験で用いた初期飛灰の性状
 Properties of Fly Ash

放射性セシウム濃度(Bq/kg)			JIS K 0058-1 溶出試験			
Cs-134	Cs-137	合計	セシウム(Bq/L)			鉛(mg/L)
			Cs-134	Cs-137	合計	
250	530	780	23	43	66	140

Table 3 造粒固化飛灰の作製条件
 The Preparation method of Granulated Solidification Fly Ash

セメント		水	キレート材	養生期間	造粒機	篩機
種類	添加量(kg/t)	添加量(kg/t)	添加量(kg/t)	(日)		
早強	100	300	100	3	パン型混練造粒機 有効容量60L	2段式振動スクリーン 篩目:9.5,1mm
	150					

Table 4 強度評価試験の調査項目
 Investigation Items of Strength Evaluation Tests

対象	調査項目	調査方法
早強セメント100kg/t 造粒固化飛灰	破砕率試験 コーン貫入試験	・破砕率はNEXCO試験方法109を参考に設定 ・コーン貫入試験は、JIS A 1210のA-c法で突き固めた試料をJIS A 1228で実施。
早強セメント150kg/t 造粒固化飛灰		

せて水切りを行った後、直径10cmのモールドに充填し、20kPaの荷重を載荷して沈下が安定した後の粒度分布を測定した。破砕率は、荷重を載荷した後の粒度分布から、1mm未満の粒度が増加した割合とした。コーン指数試験は、洗浄後の造粒固化飛灰を埋立て材として利用した際の強度を調べることを目的とした。造粒固化飛灰を水浸させて水切りを行った後、直径10cmのモールドに充填し、JIS A 1210で示されたA-c法で突き固めて、コーンペネトロメーターを貫入して測定した。

4.1.3 品質確認試験

造粒固化飛灰の品質の安定性を調べるため、後述する洗浄実証試験に用いた早強セメント100kg/t、粒径1mm以上の造粒固化飛灰を20点採取し、放射性セシウム濃度、JIS K 0058-1の放射性セシウム溶出量、pH、電気伝導度、鉛溶出量を測定した。

4.1.4 洗浄試験

洗浄試験のケースをTable 5に示す。Photo 1のように、造粒固化飛灰を底面透水フレコンに充填し、給水槽（容量20m³）、洗浄槽（容量20m³）、濁水処理装置（処理能力10~20m³/h）、ゼオライト吸着槽（ゼオライト充填量10t）で構成される実規模洗浄プラントに設置して洗浄を行った。通水速度はSV=5、10、20の3段階に設定した。全通水量は累積溶出量の限界が確認できるようにQ/V=40として、洗浄中に定期的に通水液を採取して浮遊物質量（SS）、放射性セシウム濃度、水素イオン指数（pH）、電気伝導度（EC）、鉛濃度を測定した。また、通水液を水処理せずに、再度洗浄用水として使用し、SV=20で循環通水洗浄したケースも実施した。通水量は室内試験の洗浄結果からQ/V=80として、最後に少量の水ですすぎ洗いを行った。洗浄終了後、Photo 2のように水切りを実施した後、造粒固化飛灰の上部1点、中間部3点、下部1点の合計5点から試料を採取し、放射性セシウム濃度、JIS K 0058-1による放射性セシウム溶出量、pH、EC、鉛溶出量を測定した。

4.2 結果と考察

4.2.1 造粒固化飛灰の作製

Fig. 6に造粒固化飛灰の粒度分布を示す。早強セメント100、150kg/tの両ケースとも、9.5mm以上が約10%、1mm未満が約5%発生し、収率は約85%であった。実施工においては、洗浄対象である1~9.5mm以外の粒子については、再度造粒機に通して全量を洗浄対象とする。

4.2.2 強度評価試験

Table 6に破砕率試験における荷重載荷前後の粒度分布、破砕率及びコーン指数の結果を示す。100kg/tと150kg/tの両ケースとも破砕率は5%未満であり、強度のある造粒固化飛灰を作製できた。コーン指数は1,000kN/m²以上で、埋立て材等の有効利用時において十分な強度を確保することがわかった。150kg/tの方が高いコーン指数を示したが、100kg/tでも十分な強度を示したことから、材料費と廃棄物発生量の削減の観点から、洗浄試験には早強セメント100kg/tで作製した造粒固化飛灰を使用した。

Table 5 洗浄試験のケース

The Cases of Washing Tests

No.	対象	造粒固化飛灰の使用量	通水方式	通水速度	通水量
1	早強セメント 100kg/t 造粒固化飛灰	0.7m ³	通水 (循環なし)	SV=5	Q/V=40
2		0.7m ³		SV=10	
3		0.35m ³		SV=20	
4		0.35m ³	循環通水	SV=20	Q/V=80



Photo 1 造粒固化飛灰の充填

Filling of Granulated Solidification Fly Ash

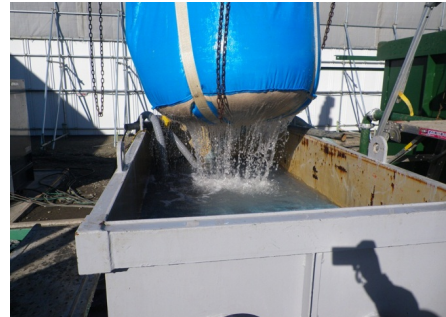


Photo 2 通水洗浄後の造粒固化飛灰の水切り

Drainage of Granulated Solidification Fly Ash after Washing

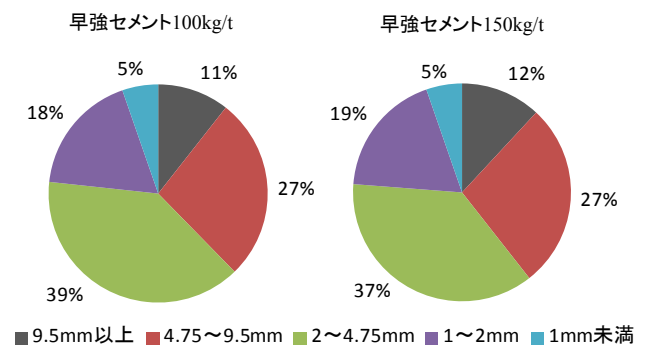


Fig. 6 実証試験で用いた造粒固化飛灰の粒度分布

Grain Size Distribution of Granulated Solidification Fly Ash

4.2.3 品質確認試験

Table 7に作製した造粒固化飛灰の放射性セシウム濃度とセシウム溶出量等を示す。放射性セシウム濃度は450~530Bq/kg、セシウム溶出率は38~50Bq/Lの範囲にあり、造粒固化飛灰の品質は安定していた。セシウム溶出率は、単位重量当たりの溶出量に換算すると390~500Bq/kgとなり、放射性セシウム濃度の約90%に相当した。造粒固化した飛灰中のセシウムには高い溶解性があり、洗浄除去が期待できると考えられた。

Table 6 強度評価試験の結果
Results of Strength Evaluation Tests

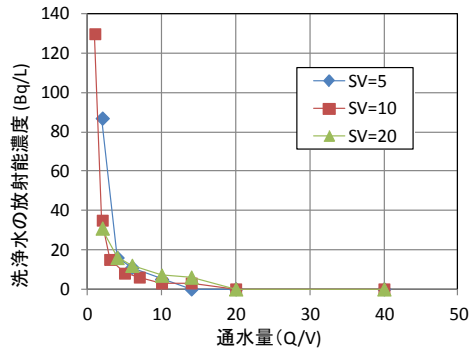
項目		単位	早強セメント100kg/t		早強セメント150kg/t	
			前	後	前	後
荷重載荷前後の粒度分布	4.75~9.5mm	%	32.3	26.7	33.2	28.1
	2~4.75mm	%	46.3	46.8	44.5	46.9
	1~2mm	%	21.4	22.5	22.3	22.3
	1mm未満	%	0.0	4.0	0.0	2.7
破碎率		%	4.0		2.7	
コーン貫入試験	含水比	%	49.7		46.8	
	湿潤密度	g/cm ³	1.508		1.415	
	乾燥密度	g/cm ³	1.007		0.964	
	コーン指数	kN/m ²	1923		3157	

Table 7 品質確認試験の結果 (n=20)

Results of Quality Evaluation Tests

放射性セシウム濃度(Bq/kg)			JIS K 0058-1 溶出試験					
Cs-134	Cs-137	合計	セシウム(Bq/L)			pH	EC (mS/m)	鉛 (mg/L)
			Cs-134	Cs-137	合計			
150 ~190 (166)	280 ~340 (314)	450 ~530 (480)	12 ~18 (16)	25 ~33 (28)	38 ~50 (44)	12.3 ~12.4 (12.4)	2800 ~3400 (3025)	すべて <0.01

※括弧内の数値は平均値を示す。

Fig. 7 通水量と放射性セシウム濃度の関係
Relations between Flow Volume and
Radioactive Cesium Concentration

4.2.4 洗浄試験

Fig. 7, 8に通水量, 通水時間と放射性セシウム濃度の関係を示す。いずれの通水速度においても, 洗浄水の放射性セシウム濃度は通水量や通水時間ともに低減し, 通水量は $Q/V=20$, 通水時間は約3時間で定量下限値以下となった。Fig. 9に循環通水洗浄における通水量と放射性セシウム濃度の関係を示す。洗浄水の放射性セシウム濃度は, 通水初期に約110Bq/Lまで増加した後, 通水量とともにやや低減した。これは洗浄初期に大部分のセシウムが除去されて, それ以降のセシウム除去量が少なかったことと, 試験中に洗浄用の原水を少量追加したためである。Table 8に洗浄液のSS, pH, EC, 鉛濃度の測定結果を示す。SSは通水速度が速いほど大きい傾向を示し, 通水初期に比較的大きく, 通水量が増加するとともに低減した。SSの発生源は造固飛灰に付着した細粒分であると考えられ, 洗浄水の凝集沈殿処理が必要であることがわかった。洗浄水のpHは12前後と高い値を維持していた。ECは通水とともに低減し, 飛灰中のその他の塩も放射性セシウムと同様に洗浄により一部除去された。鉛濃度は, 通水初期に少量検出されたが, 洗浄中は低い濃度で推移した。

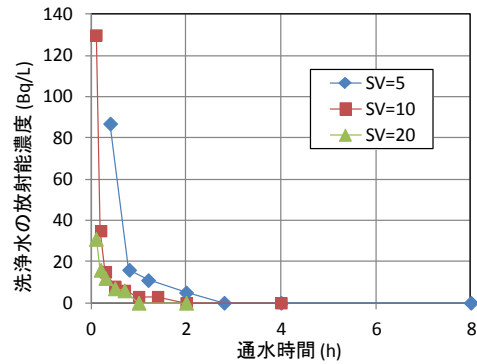


Fig. 8 通水時間と放射性セシウム濃度の関係

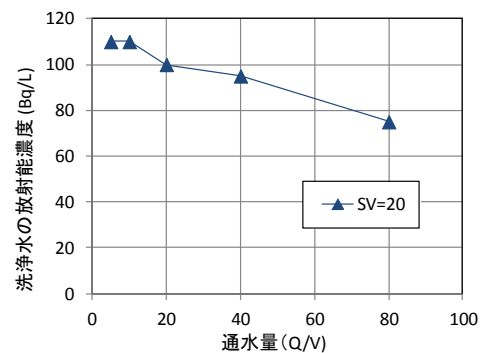
Relations between Washing Time and
Radioactive Cesium Concentration

Fig. 9 通水量と放射性セシウム濃度の関係 (循環通水洗浄)

Relations between Flow Volume and Radioactive
Cesium Concentration (Circulation Pour Washing)

Table 8 洗浄液の分析結果

Analysis Results of Washing Solution

No.	通水条件	通水量	放射性セシウム濃度(Bq/L)	SS (mg/L)	pH	EC (mS/m)	鉛 (mg/L)
—	—	原水	N.D.	95	5.7	280	<0.01
1	SV=5	2	87	130	12.0	3,600	0.02
		4	16	34	12.4	2,000	<0.01
		6	11	26	12.5	1,600	<0.01
		10	5	19	12.5	1,300	<0.01
		20	N.D.	18	12.4	1,100	<0.01
		40	N.D.	26	12.3	1,100	<0.01
2	SV=10	1	130	380	11.8	3,100	0.52
		3	15	180	12.1	1,900	0.11
		5	8	150	12.2	1,600	0.01
		7	6	130	12.3	1,500	<0.01
		10	3	110	12.3	1,400	<0.01
		20	N.D.	140	12.2	1,100	<0.01
3	SV=20	40	N.D.	100	12.2	1,400	<0.01
		2	31	250	11.8	2,000	0.06
		4	16	200	11.9	1,700	<0.01
		6	12	190	11.9	1,600	<0.01
		10	7	150	11.9	1,400	<0.01
		20	N.D.	140	11.9	1,500	<0.01
4	SV=20 循環通水	40	N.D.	120	11.8	1,300	<0.01
		5	110	290	11.9	3,600	0.03
		10	110	240	12.0	3,700	0.02
		20	100	130	12.0	5,400	0.01
		40	95	47	12.2	3,700	<0.01
		80	75	54	12.2	4,700	<0.01
—	—	すすぎ	13	260	12.2	2,300	0.23

Table 9に洗浄後の造粒固化飛灰の放射性セシウム濃度を示す。表中には示していないが、放射性セシウム溶出量は、いずれの試料も定量下限値未満であり、pHは12.5~12.7、ECは460~820mS/mで、鉛溶出量は0.01mg/L以下であった。洗浄後の放射性セシウム濃度は、SV=5の洗浄ケースで底部が少し高い値を示したが、それ以外については採取位置によって大きな差はなく、底面透水フレコン内の造粒固化飛灰を均一に洗浄できた。放射性セシウム濃度の減少率は、通水速度の速いSV=20のケースでやや小さい値を示したが、いずれのケースも75~85%を示し、通水洗浄により放射性セシウム濃度を低減できることがわかった。循環通水洗浄方式でも溶解性セシウムの除去が可能であり、洗浄水量の減少による水処理負担の低減やプラント設備のコンパクト化に有効であると考えられた。洗浄後の造粒固化飛灰の含水比は70~85%を示し、初期含水比の30%に比べて増加した。本試験では洗浄直後に測定しているため含水比が大きかったが、実施工においては運搬費用低減等の観点から、十分に水切りを行う等の含水比低減策が必要である。

Table 10に焼却飛灰の処理方法として定められている環境省の方針³⁾に従い、セメント固化した場合と、造粒固化洗浄をした場合の減容効果の比較を示す。対象となる焼却飛灰の初期放射性セシウム濃度を、指定廃棄物基準（放射性物質汚染対処特措法に基づく指定基準）の8,000Bq/kgよりも高い13,000Bq/kgと仮定して比較した。造粒固化洗浄は放射性セシウム濃度を低減するため、指定廃棄物体積はセメント固化処理の1.41m³に比べて、造粒固化洗浄は0.05m³となり、約96%削減できる。総廃棄物体積は、造粒固化洗浄では洗浄水中の放射性セシウムを除去するための吸着材が加わるが、セメント固化の場合とほぼ同量である。したがって、造粒固化洗浄は総廃棄物体積を増加させずに指定廃棄物体積を大きく減少させることが可能な技術である。

5. まとめ

造粒固化洗浄は、溶解性が高い放射性セシウムを含む焼却飛灰を対象に、セメントで造粒固化して洗浄することで、放射性セシウム濃度と放射性セシウム溶出量を低減することを目的とした技術である。洗浄対象となる飛灰を造粒固化して洗浄することで、フィルタープレス等の脱水機が不要となるため、焼却飛灰をそのまま洗浄する方法に比べて簡易で安価な洗浄処理ができる。

本試験結果から、早強セメント100kg/tの配合で、粒径1~9.5mmの造粒固化飛灰を作製し、通水洗浄することで、放射性セシウム濃度を70%以上低減できることを確認した。また、洗浄後の放射性セシウム溶出量を定量下限値まで大きく低減できる可能性があるため、安全な埋め立て処理が可能となる。洗浄条件は、通水速度がSV=10以下、通水量はQ/V10以上が望ましいが、SV=20でも同程度の洗浄可能であった。また、洗浄水を水処理せずに循環して

Table 9 洗浄後の造粒固化飛灰の分析結果
Analysis Results of Granulated Solidification
Fly Ash after Washing

No.	通水条件	採取位置	含水比 (%)	放射性セシウム濃度 (Bq/kg)				減少率 (%)
				Cs-134	Cs-137	合計	含水比補正	
—	洗浄前	—	30.1	166	314	480	625	—
1	SV=5	上部	72.5	23	40	63	109	82.6
		中央	74.4	27	57	84	147	76.5
		側部	72.1	23	44	67	116	81.4
		側部	76.5	26	51	77	135	78.4
		底部	84.4	36	82	120	222	64.5
2	SV=10	上部	72.3	23	38	60	103	83.5
		中央	70.1	24	47	71	120	80.8
		側部	82.8	18	35	53	96	84.6
		側部	81.0	20	35	55	100	84.0
		底部	75.8	19	36	55	100	84.0
3	SV=20	上部	63.9	27	59	86	141	77.4
		中央	69.1	35	55	90	153	75.5
		側部	70.3	23	59	82	139	77.8
		側部	74.2	31	57	88	154	75.4
		底部	69.4	25	54	79	134	78.6
4	SV=20 循環通水	上部	75.3	21	47	68	119	81.0
		中央	80.2	23	44	67	122	80.5
		側部	90.1	20	37	57	108	82.7
		側部	71.9	22	52	74	128	79.5
		底部	78.7	30	56	86	154	75.4

Table 10 造粒固化洗浄による廃棄物の減容効果
Reduction Effect of Waste Volume
by Washing of Granulated Solidification Fly Ash

項目	単位	セメント固化	造粒固化洗浄
初期飛灰の放射性セシウム濃度	Bq/kg	13,000	13,000
処理前飛灰体積	m ³	1	1
固化飛灰の体積	m ³	1.41	1.36
固化飛灰の放射性セシウム濃度	Bq/kg	8,387	8,667
固化飛灰の洗浄後体積	m ³	—	1.36
固化飛灰の洗浄後放射性セシウム濃度	Bq/kg	—	2,600
必要吸着材体積（水処理）※	m ³	—	0.05
指定廃棄物体積	m ³	1.41	0.05
指定廃棄物から除外される廃棄物体積	m ³	0	1.36
総廃棄物体積	m ³	1.41	1.41

※吸着材にはゼオライトを使用し、飛灰の20倍まで濃縮すると仮定。

利用しても、同等の効果が得られるため、使用する水量を少なくして水処理設備や洗浄水槽のコンパクト化を図ることも可能である。また、本洗浄方法は、セメント固化して処分場へ埋め立てる場合と比較して、指定廃棄物体積を96%削減できることが検証された。

参考文献

- 1) （独）国立環境研究所：放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（技術資料第三版），（2012）
- 2) 災害廃棄物安全評価検討会（第12回）資料14：8,000Bq/kg超のばいじんの洗浄技術について，（2012）
- 3) 8,000Bq/kgを超え100,000Bq/kg以下の焼却灰等の処分方法に関する方針について，環廃対発第110831001号，環廃産発第110831001号，（2011）