

資 料

## 石炭灰洗浄装置の試作と洗浄効果

江木 俊雄\*・中島 剛\*・高橋 青磁\*・神門 誠\*\*・藤本 栄之助\*\*

### 1. 目 的

島根県浜田市三隅町で稼働している中国電力㈱の石炭火力発電所は、出力100万kWの電力を発生・供給している。2012年度に発生した石炭灰は約26.7万トンとなり、石炭灰(以下、FAと表記)の約49%の13.0万トンがセメント原料や土木資材に有効利用され、残りの13.7万トンが自社土地造成に使用されている<sup>1)</sup>。FAが配合されたセメントはフライアッシュセメントと呼ばれ、JIS R 5213ではFAの配合量に応じてA、B、C種の3種類を規定している<sup>2)</sup>。

FAは反応性の高いガラス質のシリカを大量に含んでおり、セメントに配合すると水酸化カルシウムと緩慢に反応して不溶性のけい酸カルシウム水和物を形成する性質(ポゾラン活性)がある<sup>2)</sup>。フライアッシュセメントの特徴として、1) 初期強度は低いが、長期にわたって強度が増進する、2) 水密性の大きいコンクリートをつくることができる、3) セメントの水和熱を低減させるのでマスコンクリートに適している、4) 初期養生を十分に行わないと強度の発現が阻害される、と記されている<sup>2)</sup>。他方、セメント、水、骨材以外の材料でコンクリートの性質を改善することを目的として、コンクリートの成分として加えられる材料を混和材料と称する。このうち、それ自体の容積がコンクリートの練りあがりの容積に算入されるものを混和材と呼び、FAや高炉スラグなどがある<sup>2)</sup>。

混和材としてのFAの品質に関してはJIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」において強熱減量、粉末度、フロー値、活性度指数が規定され、4種類のコンクリート用フライアッシュがある。これらは強熱減量という指標においては3.0%以下、5.0%以下、8.0%以下の3区分に分けられている。強熱減量が8.0%以下のFAは、JIS灰としてコンクリートに使用することは可能であるが、8.0%を超えると非JIS灰となり使用できない。強熱減量の大半はFAに含まれる未燃焼カーボンに起因し、コンクリートの耐凍害性向上のために、一般的に使用されているAE剤を吸着し、空気の連行を妨げる<sup>2)</sup>。またコンクリートのワーカビリティを改善し、所要のコンシステンシーを得るのに必要な単位水量を減じる作用を有する減水剤をも吸着する<sup>3)</sup>。そのため混和材としてFAを利用する場合には注意が必要

\*無機材料・資源科、\*\*株式会社藤井基礎設計事務所

とされている。

これらの問題点を解決するために松藤らは、簡素な構成でかつコンパクト・低コストの浮遊分離装置を開発し、FAから未燃焼のカーボンを取り除くことに成功している<sup>4)</sup>。さらに構造を変更した洗浄装置を用いて未燃焼カーボン量が7.7%のFAを洗浄すると、未燃焼カーボン量が1%強まで低減したことが報告されている<sup>5)</sup>。このことから松藤らが開発した装置と洗浄技術は、JIS灰のみでなく、強熱減量が大きく非JIS灰として処分されているFAの利用を可能とした。(株)藤井基礎設計事務所は、松藤らが開発した技術に着目し、コンクリートの混和材として未燃焼カーボンを除去したFAの活用普及を目指している。

本資料では、松藤らのFA洗浄装置<sup>5)</sup>を基にして、(株)藤井基礎設計事務所と共同で試作したFA洗浄装置の洗浄能力を、中国電力㈱三隅発電所産のFAを用いて確認した。以下に、FA洗浄装置による洗浄処理方法と洗浄前後のFAの品質について報告する。

### 2. 方 法

#### 2.1 FA洗浄装置の概要

図1に試作したFA洗浄装置の外観写真を示す。本装置はFAと未燃焼カーボンを分離させるための浮遊分離槽(材質:アクリル、内容量:100L)、FAが分散した被処理液

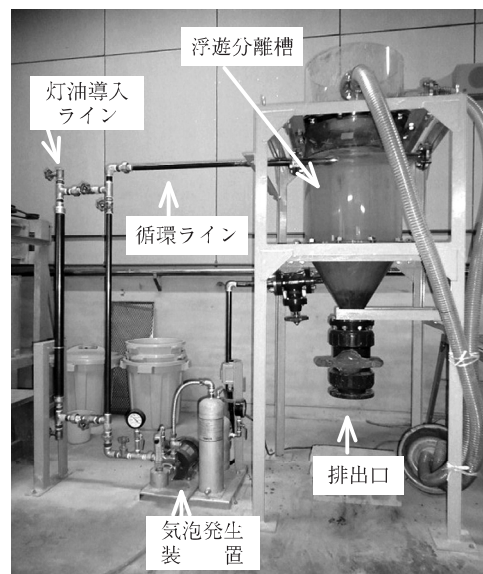


図1 試作したFA洗浄装置の外観写真

を循環させながら気泡（マイクロバブル）を導入する気泡発生装置（㈱ニクニ製，MBG20N07CE-1BH）とポンプから構成されている。

## 2.2 FAの洗浄方法

洗浄試験には中国電力㈱三隅発電所産のFA（規格：JIS II種適合品）を使用した。これを20kg量り取り，予め100Lの水を溜めた図1に示す洗浄装置の浮遊分離槽に投入し，ほぼ同時に浮遊分離槽と気泡発生装置の間に設けた灯油導入ラインから20kgのFAに対して1Lあるいは1.4Lの灯油と，気泡剤として灯油の量に対して5vol%の食用油をそれぞれ注入した。浮遊分離槽中のFAが浮遊した溶液（以降，FA浮遊液と表記する）は，槽の上方に設置されている循環ラインから吸入され，気泡発生装置を経由して浮遊分離槽の下部にある接続口から浮遊分離槽に戻される。FAの比重は2.2程度であるため，比較的早く浮遊分離槽の下部に堆積する。そこで循環を開始して15min経過した後，浮遊分離槽の最下部の排出口から凡そ30LのFA浮遊液を排出・回収し，浮遊分離槽の上部から槽内に戻した。この作業の15min後に循環を停止させ，その後10min静置した後排出口からFA浮遊液を排出・回収した。ただし，洗浄により分離された未燃焼カーボンはFA浮遊液の上澄みに含まれるため，回収液に混ざらないよう最後に回収する約15LのFA浮遊液は除外した。回収したFA浮遊液は，フィルタープレス装置（㈱牧野製工所製，M14）を用いて脱水処理した。

## 2.3 FAの分析

洗浄前後のFAについて，粒度分析装置（日機装㈱製，Microtrac MT3300EX II）を用いた粒度分布測定，蛍光X線分析装置（㈱Rigaku製，ZSX Primus II）を用いた簡易定量分析，および強熱減量の測定を行った。なお，蛍光X線分析に用いた試料は，残存する未燃焼カーボンと灯油の揮発の影響を避けるために，1050℃で2hの熱処理を行い，分析用試料として使用した。強熱減量は，110℃で2h以上乾燥させた試料を0.7g程度量り取り，1050℃で2h熱処理した後，熱処理前後の重量変化から算出した。さらに脱水処理後のFAの含水率測定を行った。含水率測定は，脱水処理後のFAを150g程度量り取り，110℃で12h以上乾燥した後重量を計測し，乾燥前後の質量差から湿重量基準で算出した。

# 3. 結 果

## 3.1 FAの分析結果

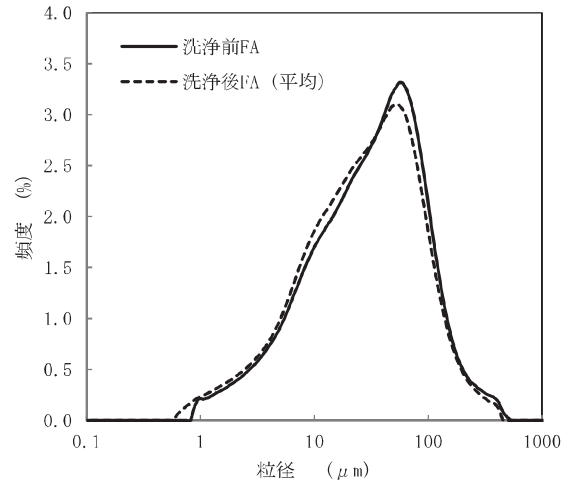


図2 洗浄前と洗浄後（6サンプル平均）のFAの粒度分布

図2に洗浄前のFAとバッチNo. 1～6の洗浄後のFAのそれぞれの粒度分布を平均化した2種類の粒度分布を示す。この図から洗浄後のFAの平均粒度分布は，洗浄前のFAよりも小粒径化している。これはFAの表面に付着していた未燃焼のカーボンが洗浄によって除去された，あるいは未燃焼カーボンを介して凝集していた微粒のFAが分散したためと推測される。

表1に灯油の配合量を1.0Lとし，連続で6バッチの洗浄を行い，その後に灯油の配合量を1.4Lに変更し連続で2バッチの洗浄を実施し，それぞれをフィルタープレスで脱水処理したFAの含水率と強熱減量を示す。なお，洗浄前のFAの強熱減量は3.1%前後であった。脱水処理後の全てのFAの含水率は26%前後と高く，その状態はやや硬めのクリーム状のスラリーであった。脱水処理時間を延長しても含水率に変化がなく，現状の当該装置で更に含水率を低下させることはできなかった。また強熱減量は1.6%前後で推移しており，バッチ間での差が小さいことから，試作した洗浄装置においては同一条件で洗浄した場合の洗浄能力に変化がなく，洗浄後のFAの品質が一定であることが確認された。また灯油の配合量を1.0Lから1.4Lに高めても強熱減量は変化しておらず，現行の洗浄方法では強熱減量が3.1%のFAの強熱減量を1.5%程度に低減するには1L程度の灯油添加で十分であることが判明した。

表2に表1で示した灯油の配合量が1.0Lの条件で洗浄したFAと洗浄前のFAの蛍光X線分析による簡易定量分析結果を示す。なお，表2にはFA中に0.1mass%以上含まれてい

表1 異なる灯油の配合量で洗浄したFAの含水率と強熱減量

灯油の配合量 (L)	1.0						1.4	
	1	2	3	4	5	6	1	2
バッチNo.								
含水率 (mass%)	26.28	26.33	26.09	26.06	25.84	26.36	26.87	26.05
強熱減量 (mass%)	1.48	1.58	1.57	1.52	1.64	1.76	1.69	1.48

表2 洗浄前後でのFAの蛍光X線分析による簡易定量値\* (mass%)

バッチNo.	洗浄前のFA	1	2	3	4	5	6
Na <sub>2</sub> O	0.543	0.486	0.465	0.517	0.528	0.494	0.514
MgO	0.635	0.606	0.609	0.619	0.622	0.596	0.614
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.900	27.300	27.200	27.300	27.300	27.200	27.200
SiO <sub>2</sub>	59.900	60.200	60.100	60.000	60.100	60.200	60.200
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.341	0.356	0.347	0.349	0.343	0.358	0.357
K <sub>2</sub> O	1.280	1.300	1.300	1.300	1.300	1.280	1.300
CaO	1.670	1.720	1.710	1.690	1.690	1.770	1.740
TiO <sub>2</sub>	1.860	1.920	1.970	1.920	1.920	1.900	1.890
MnO	-	-	0.102	-	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.190	5.380	5.480	5.580	5.470	5.420	5.390
NiO	0.110	0.114	0.113	0.112	0.109	0.115	0.111
SrO	0.118	0.124	0.124	0.122	0.121	0.120	0.122
ZrO <sub>2</sub>	0.121	0.131	0.132	0.132	0.133	0.122	0.128

\*含有量が0.1mass%以上の成分について示した。

る成分だけを示した。分析結果からFAの洗浄前後で成分の含有率に大きな変化はないが、Na<sub>2</sub>O、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の含有量が僅かに減少し、他の成分が増加している。FAに含まれるガラス成分からのNa、Mg、Al等の溶出が推察され、今後洗浄液中に含まれる成分分析を行い確認する予定としている。洗浄後のFAに含まれる成分は異バッチの6サンプルにおいてほとんど変化がないことから、未洗浄のFAの成分に変動がなければ洗浄後のFAの成分も大きく変動しないと考えられる。すなわち、洗浄後のFAの品質管理は比較的容易であり、洗浄後のFAの利活用にとって大きな支障は無いと考えられる。

### 3.2 まとめ

FA中の未燃焼カーボンを除去するためにFA洗浄装置を試作し、強熱減量が3.1%程度のFAの洗浄を行った。以下に、本試験で得られた知見と課題を示す。

- 1) 同一のFAを同一条件で洗浄すると、強熱減量およびFA中に含まれる成分の含有量の変動は小さい。このことから洗浄後のFAの品質管理は容易であり、利活用し易いことが分かった。
- 2) 洗浄したFAの用途としてコンクリートの混和材を想定した場合、コンクリートの練混ぜ水量の変動を最小限にするためにはFAを乾燥状態にする必要がある。そのためには洗浄後のFAを脱水するためのフィルタープレスの脱水能力を高める、あるいは他の手法による脱水を検討する必要がある。さらに脱水後のFAを絶乾状態にするためには加熱の必要性があり、加熱設備についても検討が必要である。
- 3) 洗浄後に回収した未燃焼カーボンには洗浄のために添

加した灯油、微粒子のFA、洗浄水が混在している。未燃焼カーボンについては焼却処理が可能と考えられるが、そのためには洗浄水との分離が最低限必要で、洗浄後のFAの脱水処理と同様に未燃焼カーボンの脱水処理方法の検討が必要である。

- 4) 試作した装置での洗浄により、FAの強熱減量は3.1%から1.5%程度に低下し、未燃焼カーボンの除去率は48%程度であった。混和剤に対する悪影響を低減するためには、強熱減量の更なる低減が効果的であり、浮遊分離槽中のFAの滞留時間を延長する、あるいはFA浮遊液の回収方法を検討する必要がある。

### 謝 辞

本報告は、平成25年度資源循環技術基礎研究実施事業による研究成果の一部である。実験で使用したFAは、中国電力㈱から提供を受けた。ここに記して謝意を表します。

### 文 献

- 1) 中国電力株式会社 三隅発電所. “2012年度 環境管理目標と実績”. 環境レポート2013. 2013, p. 4.
- 2) 小林一輔. “材料”. 最新コンクリート工学. 第5版. 森北出版株式会社, 2013, p. 7-51.
- 3) 松藤泰典, 小山智幸. セメント系組成物の製造方法. 特許第4028966号. 2007-10-19.
- 4) 松藤泰典, 廣岡利貞, 小山智幸. コンクリート用石炭灰の安定化処理方法及び装置. 特許第4210358号. 1999-06-29.
- 5) 独立行政法人科学技術振興機構, 財団法人北九州産業学術推進機構. 浮遊分離装置及び方法並びにその利用製品の製造方法. 特許第4802305号. 2011-02-03.