

## 貝殻砕粉を配合したフライアッシュ固化物の振動締固め法による調製

(一財)電力中央研究所 正会員 ○日恵井 佳子  
 正会員 山本 武志  
 布川 信

### 1. 目的

石炭火力発電所から発生する石炭灰は、約 990 万トン(平成 25 年度実績<sup>[1]</sup>)に達し、大量にかつ安定的に有効利用できる技術が求められている。当所では、海域での土工材利用に向けて、フライアッシュ(FA)、貝殻、副添加剤として消石灰、二水石膏を混練し加圧成型することによって、セメントの添加や加熱処理なく高強度の FA 固化物(貝殻含有 FA 固化物)を製造できること、配合している貝殻砕粉が材料強度の増大に寄与し、高強度が得られることを明らかにしている<sup>[2]</sup>。しかしながら、土工材として利用するためには、この加圧成型法で得られる材料特性を保ちながら、低コストで量産可能な製造方法を見出す必要がある。本研究では、この大量調製を可能とする振動締固め法を用いて貝殻含有 FA 固化物を調製し、土工材利用する際に重要な物性となる圧縮強度に対する原料配合比の影響について明らかにする。

### 2. 実験

#### (1) 原料

表-1 に試験に用いた FA 原粉の生成灰性状と物性を示す。FA の硬化に重要な Ca 源としては、FA 中の Ca のほかに、ホタテ貝殻(以下、貝殻)、二水石膏、消石灰を用いた。漁業系廃棄物である貝殻は、強度と靱性という相反する物性を両有する配向材料であり、固化物の強度増大への寄与を期待して原料として用いた。石膏については、エトリンガイトやモノサルフェートなどの水和反応生成物の形成に有効であるとともに、将来的に火力発電所から排出される脱硫石膏を利用することを念頭にそれぞれ原料の一つとして加えた。貝殻は、粉碎後 500 μm 篩下を全量用い、焼成せずにそのまま混合した。用いた貝殻は、炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)を 90 質量%以上含み、中位径 200 μm、見かけ密度は、2.38 g/cm<sup>3</sup>であった。

表-1 FA 原粉の性状と物性

	化学組成 [質量%]				強熱減量 [%]	中位径 [μm]
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>		
FA1	67	23	1.3	0.35	3.7	24
FA2	63	26	1.4	0.35	4.1	29
FA3	54	32	3.4	0.19	5.0	21
FA4	58	24	2.2	0.04	3.4	26

#### (2) FA 固化物の製造と物性評価方法

貝殻含有 FA 固化物の強度試験には、モルタルの強度試験用として用いられる 40×40×160 mm の角柱(4・4・16 硬化体, JIS R 5201 付属書 2 “セメント試験方法—強さ測定” 記載)を強度試験用の試験体として用いた。FA 固化物は、図-1 のようにコンクリートの養生法にならひ、恒温高湿養生(前養生)→水中養生または散水養生→気中養生を経て材齢 28 日で各種物性試験を実施した。水/原料比は、29%(質量%比)とした。

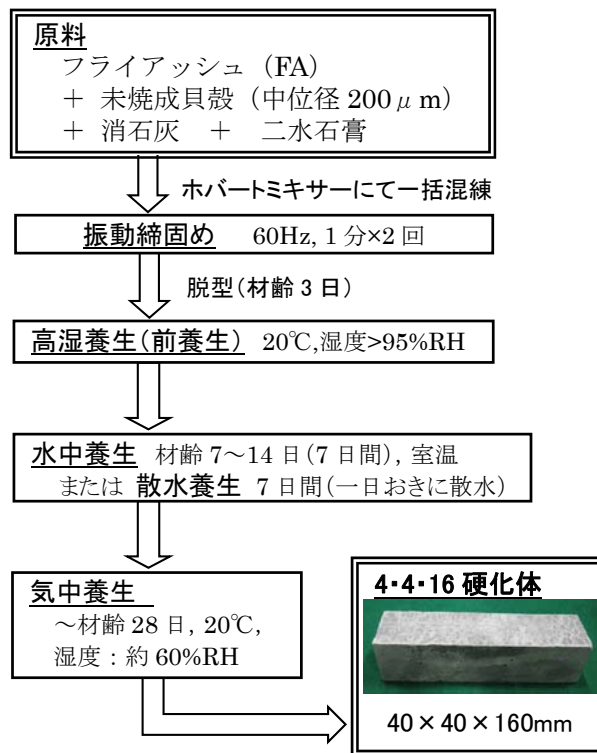


図-1 貝殻含有 FA 固化物の製造フロー

### 3. 圧縮強度におよぼす配合比の影響

加圧成型法により調製した FA 固化物の圧縮強度は、貝殻配合量の増大に伴い大きくなることわかっている<sup>[2]</sup>。そこで、振動締固め法を用いた調製方法においても、加圧成型法と同等の高強度を発現させるために、3種の配合条件で固化物を調製し、貝殻の配合比増大による圧縮強度の向上を試みた。図-2に表-1の FA1 を用い、散水養生で調製した固化物の圧縮強度におよぼす FA ならびに貝殻の配合比の影響を示す。これより、加圧成型法で作製した場合とは反対に貝殻の配合比増大とともに強度が著しく小さくなることわかった。また、圧縮強度と関連のある細孔空隙率は、貝殻配合比の増大とともに大きくなり、細孔径(50%径)も同様であった。これは、球状で中位径 24 μm の FA は、扁平な形状を有する貝殻(中位径 約 200 μm)に比べて小さいため、貝殻配合比が大きくなると固化物内に材料空隙が多く形成されるためと考えられる。また、振動締固め法は、加圧成型法と同じ型枠成型法の一つであるが、加圧成型のように混練物に強制荷重をかけ固化物内の大きな空隙を減じることができない。これが加圧成型固化物と異なり、貝殻配合比増大に伴い強度が低下した原因と考える。

表 1 の性状の異なる FA 原粉 4 種に対して、最も大きな強度が得られた原料配合比、FA:貝殻:二水石膏:消石灰 = 70:15 : 4 : 11(重量%比)で貝殻含有 FA 固化物を調製し、各 FA 固化物の圧縮強度を検討した。図-3 に示すように材齢 28 日における圧縮強度は、セメントの添加無く 14 N/mm<sup>2</sup> 以上の圧縮強度が得られたものの、使用する FA 種によっては、用途先の一つと考えている魚礁ブロックの基準強度(無筋コンクリート:異形ブロック 18 N/mm<sup>2</sup>)に達しないものもあった。しかしながら、材齢 91 日では、全ての FA 固化物においてさらに強度が大きくなり、軽量骨材並の強度を発現できることわかった。

### 4. まとめ

振動締固め法では、強度を有する貝殻の配合比増大よりも、球状で流動性の高い FA の空隙充填効果の方が強度増大に寄与することが明らかになった。また、本研究のような粒径差(形状差)のある FA と貝殻からなる混練物を振動締固め法で硬化させる際には、締固め方法の工夫でさらに強度を向上させる必要があるとわかった。

### 参考文献

[1] 財団法人 石炭エネルギーセンター, 石炭灰全国実態調査報告書(平成 25 年度実績), 2014 年 3 月。  
 [2] 日恵井佳子, 伊藤茂男, “フライアッシュ造粒固化物への未焼成貝殻の添加効果—固化物強度への影響”, 電力中央研究所報告, M12007, 2012。

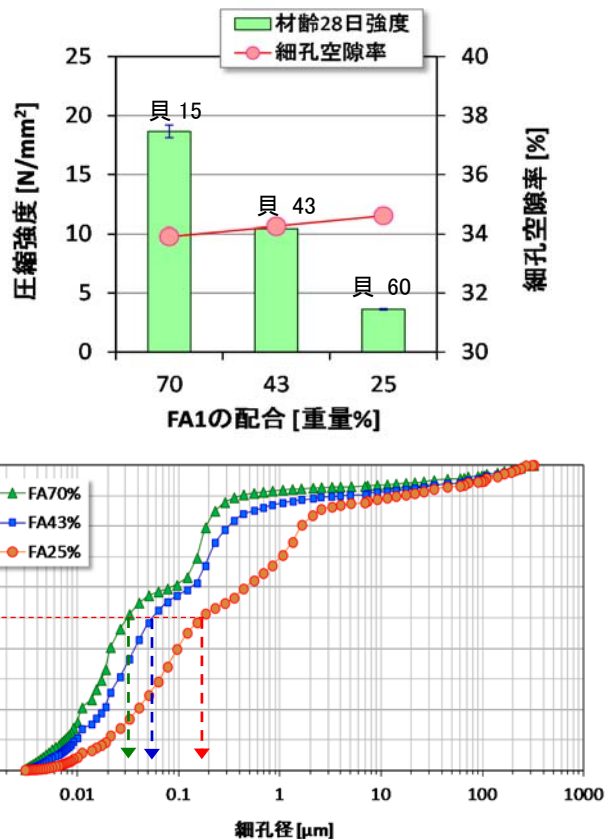


図-2 FA 固化物の圧縮強度におよぼす配合割合の影響と細孔径分布

配合) FA1 : 貝殻 : 二水石膏 : 消石灰  
 = 70 : 15 : 4 : 11  
 = 43 : 43 : 4 : 11  
 = 25 : 60 : 4 : 11  
 (二水石膏と消石灰の配合比一定)  
 養生方法) 散水養生

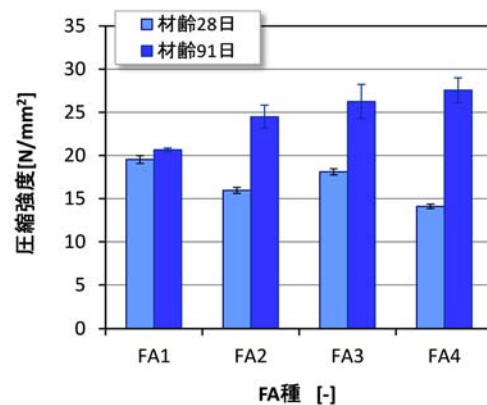


図-3 振動締固め固化物への FA 種の影響

配合) FA : 貝殻 : 二水石膏 : 消石灰  
 = 70 : 15 : 4 : 11  
 養生方法) 水中養生  
 圧縮強度) 平均値±標準偏差