

## 活性化したフライアッシュと下水汚泥焼却灰の圧縮強度と強度発現機構の解明

日大生産工(院) ○石井 佑佳 日大生産工 鶴澤 正美

## 1. 緒言

フライアッシュ (以下FAと略記) は石炭火力発電などによる微粉炭燃焼灰であり, セメント分野などで利用されている資源である. 現在, 東日本大震災の影響により原子力発電所の稼働が大幅に縮小しており, その補填として石炭火力発電が多く利用されている. ゆえに副産物であるFAの排出量が急増しており, 近年の年間排出量は概ね1207.1万t程度である.<sup>1)</sup> FAの使用用途は主に2つあり, セメント原料やセメント・コンクリート用混和材として利用されている. しかし, 資源として利用しきれておらず, 最終的に埋め立て処分されている.<sup>1)</sup>

下水汚泥 (以下SAと略記) は, 下水処理の過程で処理場の沈殿池や反応タンクで生じる汚泥のことであり, 減容化のために脱水・焼却したものが下水汚泥焼却灰である. 近年の年間排出量は概ね228万t程度である.<sup>2)</sup> SAの使用用途は主に3つあり, 建築材料としての利用, 緑農地やエネルギー分野での利用である. しかし, 資源として利用しきれておらず, 約3割が埋め立て処分されている.<sup>2)</sup>

本研究では, 福永らのSAの最適ボールミル混合条件<sup>3)</sup> と同条件でFA混合モルタルを作製し, 圧縮強度試験を行った. この圧縮強度試験結果とSA混合モルタルの圧縮強度試験結果<sup>3)</sup> を比較した. また, 粉末X線回折装置(Rigaku社製MiniFlexII, 以下XRDと略記)を用いて解析し, 強度発現機構について検討を行った.

## 2. 実験方法

## 2.1 圧縮強度の比較

使用材料は, FA II種(密度 $2.23\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 活性化指数85.0%), 普通ポルトランドセメント(C: 密度 $3.16\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), 上水道水(W), 標準砂(セメント協会強さ試験用), 水酸化カルシウム飽和溶液(関東化学株式会社, 特級試薬を溶解)である. 供試体の作製は, JIS R 5201に準拠し行い, 材齢期間, 養生条件, 添加率, 最適ボールミル混合条件等は, 福永らのSA混合モルタルによる最適条件<sup>3)</sup>で行った. 表1にFA混合モルタルの配合表<sup>3)</sup>, 表2に最適ボールミル混合条件<sup>3)</sup>を示す. 圧縮強度試験はJIS R 5201に準拠し行った. 供試体は, 6本ずつ測定を行い, その平均を測定値とした.

表1 FA混合モルタルの配合表

FA / C / mass%	Components / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$			
	W	C	FA	S
0	225	450.0	0	1350.0
5	225	450.0	22.5	1327.5
10	225	450.0	45.0	1305.0
20	225	450.0	90.0	1260.0

表2 最適ボールミル混合条件

FA / C / mass%	W / ml	sat. Ca(OH) <sub>2</sub> * / ml	FA / g	S / g	Rotation speed	Mixing time
					/ rpm	/ h
5	40.5	9.0	22.5	13.5	40	1
10	81.0	18.0	45.0	27.0	40	1
20	162.0	36.0	90.0	54.0	40	1

\* : Calcium hydroxide saturated solution

## 2.2 強度発現機構の検討

使用材料は, FA II種(密度 $2.23\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 活性化指数85.0%), SA(密度 $2.60\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), 普通ポルトランドセメント(C: 密度 $3.16\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), 上水道水(W), 水酸化カルシウム飽和溶液(関東化学株式会社, 特級試薬を溶解)である. ペースト供試体は, 青木らの作製方法<sup>4)</sup>と同様に行った. 各材齢の試料に対してXRDを用いて, エーライト(C<sub>3</sub>S)の同定を行った. 測定条件は, 走査速度 $2^\circ\cdot\text{min}^{-1}$ , 管電圧30kV, 管電流150mAとした. FAの走査範囲は青木ら<sup>4)</sup>と同様の $31.0^\circ\sim 34.5^\circ$ , SAは $50.0^\circ\sim 55.0^\circ$ の範囲で回折線の積分強度を算出することにより, 水和反応の変化量を検討した.

## 3. 実験結果

## 3.1 圧縮強度の比較

図1にFA混合モルタルの養生時間と圧縮強度との関係, 図2にSA混合モルタルの養生時間と圧縮強度との関係を示す. 図1, 図2から, 各材齢, 各添加率において, FAとSAともに, ボールミル混合法によって, 活性化処理を行った方が, 未処理より圧縮強度が高くなるという結果が得られた. また, 活性化処理を行ったことによる強度増進効果は, SAの方が大きいと考えられる. さらに, 添加率に対して, SAの方が高い圧縮強度を得られたことから, SAはFAよりも混和の強度増進効果が大きいと考えられる.

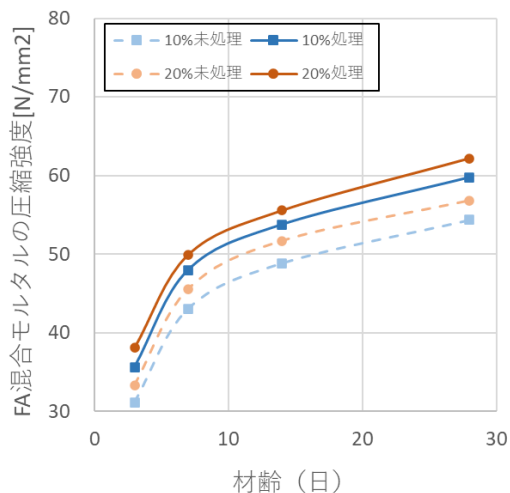


図1 FA混合モルタルの養生時間と圧縮強度との関係

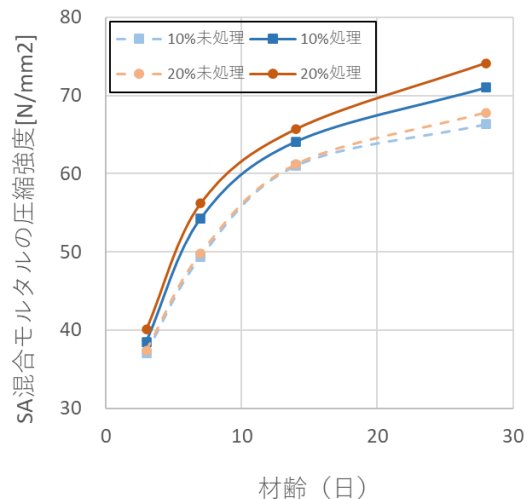


図2 SA混合モルタルの養生時間と圧縮強度との関係

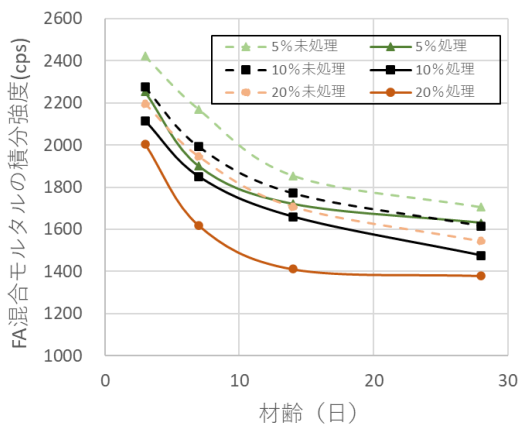


図3 FA混合モルタルの養生時間と積分強度との関係

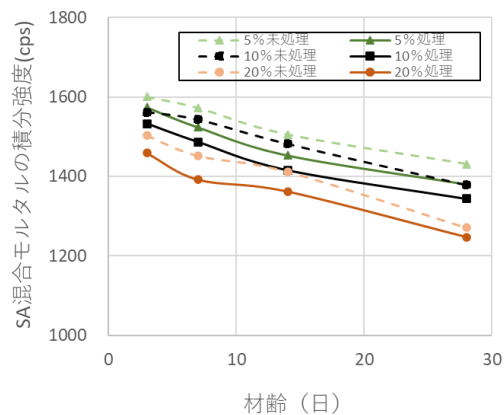


図4 SA混合モルタルの養生時間と積分強度との関係

### 3.2 強度発現機構の検討

図3にFA混合モルタルの養生時間と積分強度との関係、図4にSA混合モルタルの養生時間と積分強度との関係を示す。図3、図4から、各材齢、各添加率において、FAとSAともに、ボールミル混合法によって、活性化処理を行った方が、未処理より積分強度が低くなるという結果が得られた。FA混合モルタルの積分強度は、材齢14日までに急激な低下を示していることから、ポズラン活性が旺盛で、活性化処理を行った方がその傾向が高まることが判明した。一方でSA混合モルタルの積分強度は、直線的に減少している。このことから、FAと同じような圧縮強度増進カーブを描くSAには、Aliteの水和の加速によるポズラン活性だけでなく、他の水和活性が関わっている可能性があると考えられる。

### 4. 結言

SAの強度増進は、ポズラン活性と潜在水硬性の両方の活性によって、成立している可能性もあるとして、今後は高炉スラグ細骨材の場合の検討も行う。

### 参考文献

- 1) 一般財団法人石炭フロンティア機構 石炭灰全国実態調査報告書(令和2年度実績)p.9, (2020).
- 2) 国土交通省「脱炭素/エネルギー利用」(2020).[https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd\\_sewerage\\_tk\\_000124.html](https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html)
- 3) 福永晃久, 鶴澤 正美 修士論文概要集(令和4年度) p.9-12
- 4) 青木康平, 鶴澤正美, 矢島典明, Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan 29, 132-139(2022).