

セメントをフライアッシュで置換したモルタルのオートクレーブ養生による圧縮強度特性と微細構造変化

日大生産工(院)

○高田 卓志

日大生産工

鶴澤 正美

1. 緒言

フライアッシュ (以下 FA) は石炭火力発電所で排出される石炭灰である。東日本大震災の影響で原子力発電所の稼働率が大幅に低下したため、火力発電所の稼働が増加し、排出される FA が急増している。そのため、FA の有効利用の研究は急務である。FA に含まれる特にガラス質の二酸化ケイ素 (SiO_2) は Fig. 1 のようにセメントと水の水和反応によって生じた水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) とポゾラン反応を引き起こすが、これをオートクレーブ養生下で研究した例は少ない。本研究は FA をセメントに代替した場合の強度発現メカニズムを解明し、新たな環境負荷軽減策の創出を目的としたものである。

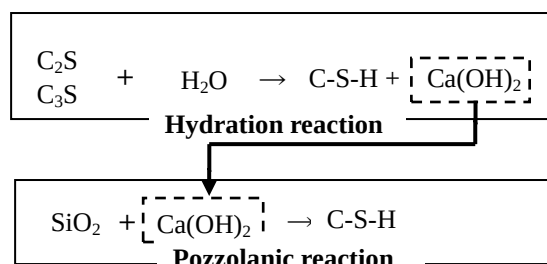


Fig. 1 Hydration reaction and Pozzolanic reaction.

2. 実験方法

実験の使用材料と配合を Table 1 に示す。供試体は $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$ の円柱供試体を用いた。

養生方法を $180^\circ\text{C} 10$ 気圧のオートクレーブ養生 (以下 AC 養生) と 65°C の蒸気養生の 2 水準、FA 添加率を 0, 5, 10% の 3 水準の計 6 水準とした。

圧縮強度試験では、端面を研磨した養生後の供試体を用い、載荷速度を 0.4 kN/sec とし、試験を行い 3 本の供試体の平均値を結果とした。

粉末 X 線回折測定では $\text{CuK}\alpha$ 線を使用し、走査範囲 $5 \sim 60^\circ$ 、走査速度 $2^\circ/\text{min}$ とした。

微細構造の解析では水銀圧入式ポロシメータを用い、細孔直径測定範囲を $3 \text{ nm} \sim 100 \mu\text{m}$ とした。

走査型電子顕微鏡観察では、観察倍率を 1000 倍、3000 倍、5000 倍の 3 倍率とした。

Table 1 Composition of hardened mortar.

W/C (%)	Fly ash content (%)	(kg/m ³)					
		Water	Cement	Quartz powder	Silica sand	Fly ash	Water reducing agent
30	0	163	650	197		0	33
	5	144	600	242	1398	30	36
	10	127	550	294		55	39

3. 試験結果及び考察

3.1 圧縮強度に関する検討

Fig. 2 に圧縮強度の試験結果を示す。セメントを FA と置換した場合、蒸気養生では FA 置換率増加による強度変化に差異が確認されなかったが、AC 養生では FA 置換率 10% で強度が増加した。このことから、AC 養生ではセメントを FA で置換することで強度を増加させられることが明らかとなった。

3.2 粉末 X 線回折に関する検討

Fig. 3 に粉末 X 線回折結果を示す。水酸化カルシウムの回折角度 (18° ; Fig.3 実線部) から、FA 置換率の増加により、そのピークの減少が確認された。この結果は、水和反応により生成された $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が、 SiO_2 の増加に伴い、ポゾラン反応に多く使用されたことを示唆している。よって、強度源である C-S-H は FA 添加により多く生成されたと考えられる。他方、アルミナ成分は、強度低下を招くハイドロガーネット (17.31° ; Fig. 3 点線部) の生成が危惧されるが、本実験の範囲ではその増加が確認されなかった。故に、3 時間程度の AC 養生では、ハイドロガー

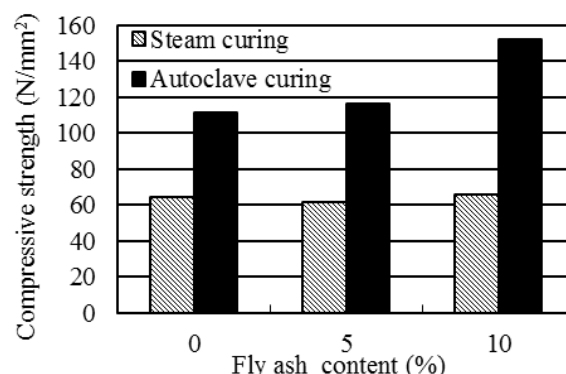


Fig. 2 Relationships between fly ash content and compressive strength.

Change in Microstructure and Compressive Strength Property of Mortar Substituted Fly Ash for Cement by Autoclave Curing

Takashi TAKADA and Masami UZAWA

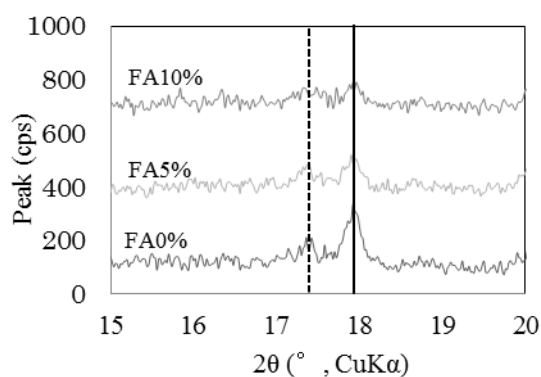


Fig. 3 X-ray diffraction patterns of hydrogarnet and Ca(OH)_2 in the hardened mortars.

ネットは生成しにくいものと推察した。なお、クォーツについてはケイ石粉末と同位置にあるため確認できなかった。

3.3 微細空隙構造に関する検討

Fig. 4 に水銀圧入法によって解析した空隙径分布を示す。FA の置換に伴い、3-6nm のゲル空隙が増加し、10-50nm の空隙が減少する傾向が認められた。どの場合においても全空隙量は一定であった。また、Fig. 5 に圧縮強度とゲル空隙

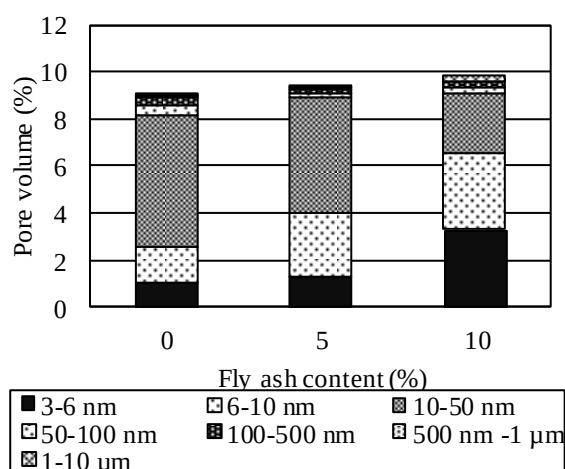


Fig. 4 Pore volume diagrams for the hardened mortars.

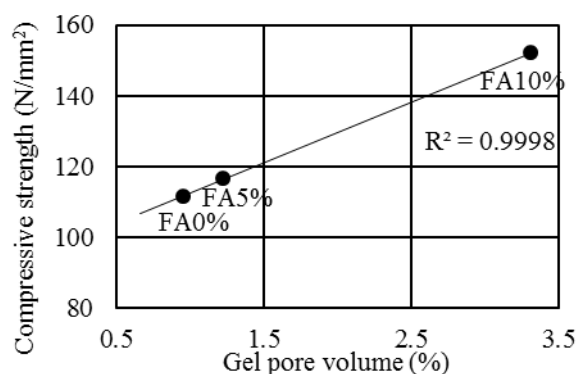


Fig. 5 Relationships between compressive strength and gel pore volume.

量の関係を示す。この結果から、両者には相関性があり、圧縮強度の増加はゲル空隙量に大きく依存している。この結果は既往の研究と同様の傾向を示しており¹⁾、FA の増加による C-S-H の増加、すなわちポゾラン反応の進行が促進されたためと考察した。

3.4 走査型電子顕微鏡観察

Fig. 6 に走査型電子顕微鏡による観察画像を示す。粒状の C-S-H が FA を置換することによってやや鱗片状となっていることが観察された。これはポゾラン反応の進行が生じたことによるものと考えている。

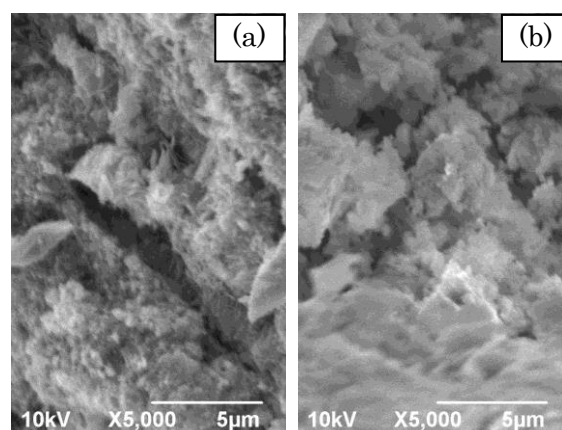


Fig. 6 Scanning electron microscope image of the hardened mortar with (a) FA 0% (b) FA 10%.

以上から、AC 養生下に限定されるものの、セメントを FA で置換することが可能であることが判明し、その強度メカニズムも解明した。これは AC 養生を利用すると、セメント量の低減による環境負荷低減コンクリートの製造の可能性を示唆する萌芽的な研究と位置付けている。

今後、AC 養生のみで起こる強度増進のメカニズムをさらに詳細に解明していくとともに、ケイ石粉末の配合量が強度増進に関わると推測しているため、種々の配合での検証を行っていく予定である。

4. 結 言

- 1) AC 養生では、セメントを約 15% 減じ代わりに FA を添加したとしても FA 未添加時よりも、強度増進効果が見られた。
- 2) FA 増加に伴いゲル空隙が増加し、圧縮強度が増加した。ゲル空隙の増加はポゾラン反応により C-S-H が生成したためである。

参 考 文 献

- 1) 山口 晋, 鶴澤正美, 岩崎直郁, 小川洋二, 伊藤義也, 町長治, 材料, 62, 615-620 (2013).