

## FA モルタルのアルカリ量および養生温度が圧縮強度に及ぼす影響

九州大学大学院 学生会員 村上光樹, 正会員 佐川康貴, フェロー会員 濱田秀則  
九州大学大学院 学生会員 俵積田新也, 国立環境研究所 正会員 山田一夫  
九州電力株式会社 (元 九州大学大学院) 正会員 上野貴行

## 1. はじめに

フライアッシュ (FA) セメントには長期強度が増進する特徴があるが, 初期強度が低く, 特に低温環境では強度発現が鈍い<sup>1)</sup>。FA はアルカリシリカ反応 (ASR) を抑制することが知られているが, これはFA 中のシリカ成分がアルカリと反応しているためであり, ASR と FA のどちらの反応が速いかが重要となる。ASR はアルカリ量を増やすことで促進されることから類推して, FA の水和もアルカリ量増加により促進されるものと考えられる。しかし, アルカリ含有量が多いセメントは, 初期強度が増加するが, 長期強度の増加は期待できない<sup>2)</sup>。そこで, 本研究では, FA モルタルのアルカリ量および養生温度が強度発現性に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料および配合

表 1 に使用材料を, 表 2 にセメントとフライアッシュの化学組成を示す。セメントは JIS R 5210 に規定される普通ポルトランド (OPC) を, フライアッシュ (FA) は JIS A 6201 に適合するフライアッシュ II 種を, 細骨材は JIS R 5201 に規定される標準砂を使用した。配合は JIS R 5201 に準じて, 水結合材比を 0.50, 砂結合材比を 3.0 とした。FA による OPC の置換率は, 内割りで 0, 30mass% とした。アルカリ量の高いモルタルを模擬するため, アルカリを添加した「高アルカリ形モルタル」および, アルカリを添加していない「低アルカリ形モルタル」を作製し, 強度発

現を比較した。高アルカリ形モルタルでは練混ぜ水に 1mol/L の NaOH 水溶液を添加し, 結合材のアルカリ量 ( $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ ) を 1.06% に調整した。モルタルの養生温度は 5, 20, 40℃ とした。

## 2.2 練混ぜ・養生方法

練上り温度を養生温度に近づけるため, 使用材料を練混ぜ前日から各温度で保管した。モルタルの練混ぜは容量 10L の市販のミキサーを用い, 以下のように 2 段階練りをした。練混ぜ水の半分と標準砂を低速で 20 秒間練り混ぜた後, 結合材を投入し 90 秒間練り混ぜた。さらに残りの練混ぜ水を投入して高速で 30 秒間練り混ぜ, 90 秒間休止後, 高速で 60 秒間練り混ぜた。練り上がったモルタルを  $\phi 50 \times 100\text{mm}$  の型枠に打設し, 各養生温度で 24 時間静置し, 脱型した。脱型後は 12.5g の水道水を含んだ不織布 ( $177.5 \times 212.5\text{mm}$ ) およびプラスチックフィルムで水分の逸散が抑えられるように被覆し, 各養生温度で保管した。強度試験は材齢 7, 28, 91 日で行った。

## 3. 結果および考察

まず, 図 1 に養生温度ごとの強度発現性状を示す。図 1 より, 養生温度 5℃ のモルタルでは, いずれの材齢においても FA モルタルの強度は OPC モルタルと比べて低くなっていることが分かる。養生温度 20℃ では材齢 91 日で, 養生温度 40℃ では材齢 7 日で FA モルタルの強度が OPC モルタルの強度に近くなった。このことから, 20℃ 以上の環境では, FA モルタルの中長期の強度は OPC モルタルと同等以上になるが, 低温環境では FA モルタルでは長期材齢でも OPC モルタルより低いことが分かった。

また, 5℃ では, アルカリ量増加によって FA モルタルの 7 日強度が若干高くなっていたが, OPC モルタルより 7 日強度が  $6.5\text{N/mm}^2$  ほど低かった。また, 20℃ 以上では, OPC モルタルの強度はアルカリ添加によって大きく低下していたが, FA モルタルではアルカリ量増加による強度発現への影響は見られなかった。高アルカリ形モルタルにおいて, 20℃ では, FA モルタルと OPC モルタルの 7 日強度は同等であった。

表 1 使用材料

|              |                                                                                                                                                  |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| セメント : C     | 普通ポルトランドセメント<br>密度 : $3.16\text{g/cm}^3$<br>比表面積 : $3360\text{cm}^2/\text{g}$<br>アルカリ量 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ : 0.55%,                |
| フライアッシュ : FA | フライアッシュ II 種<br>密度 : $2.32\text{g/cm}^3$<br>比表面積 : $4310\text{cm}^2/\text{g}$<br>アルカリ量 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ : 1.57%<br>強熱減量 : 3.70% |
| 細骨材 : S      | 標準砂                                                                                                                                              |
| 水酸化ナトリウム     | 1mol/L NaOH 溶液                                                                                                                                   |

表 2 化学組成 (%)

|     | ig.loss | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | CaO   | MgO  | $\text{SO}_3$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{P}_2\text{O}_5$ | MnO  | Cl    | 計     |
|-----|---------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------|------|---------------|-----------------------|----------------------|----------------|------------------------|------|-------|-------|
| OPC | 2.44    | 20.29          | 5.11                    | 3.06                    | 64.65 | 0.90 | 2.04          | 0.33                  | 0.34                 | 0.28           | 0.47                   | 0.09 | 0.023 | 100.0 |
| FA  | 3.70    | 58.94          | 21.00                   | 3.73                    | 6.07  | 1.29 | 0.50          | 0.42                  | 1.75                 | 0.83           | 0.74                   | 0.04 | 0.00  | 99.01 |

キーワード : フライアッシュ, アルカリ量, 養生温度, 圧縮強度

連絡先 : 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 TEL : 092-802-3387

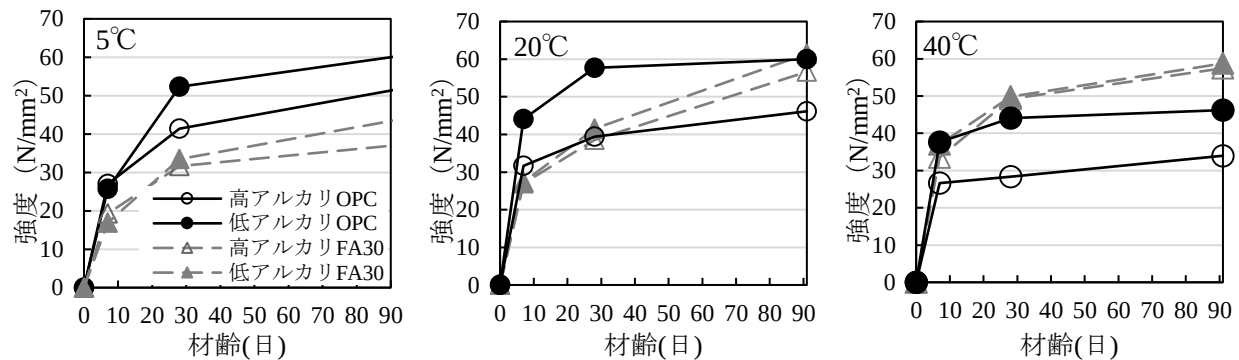


図1 養生温度ごとの強度発現性

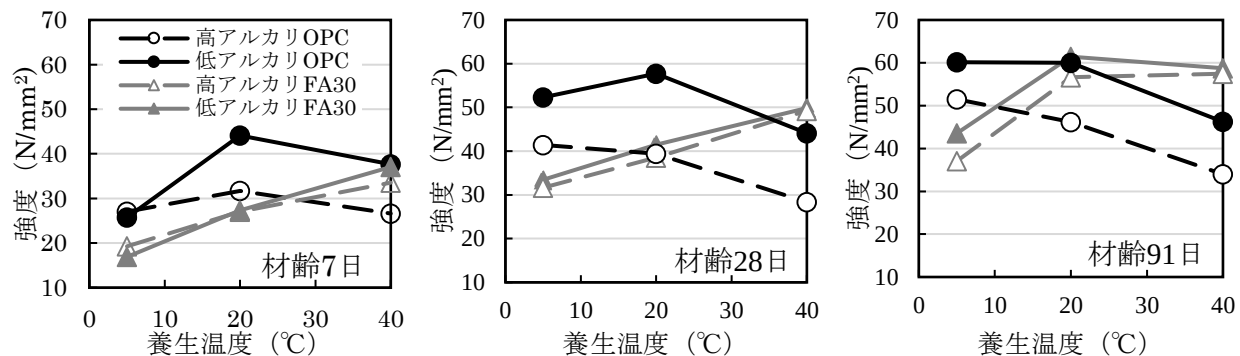


図2 各材齢における養生温度と強度の関係

次に、図2に各材齢における養生温度と強度の関係を示す。FAモルタルの強度は28日までは温度に比例して高くなった。材齢91日では、20℃と40℃のFAモルタルの強度が同程度となっており、温度による促進効果は認められなくなった。OPCモルタルの強度は、温度による促進効果は認められなかった。

今回の実験では、高アルカリ形モルタルにおいて、養生温度20℃ではFAモルタルとOPCモルタルで7日強度が同等となり、またFAモルタルでは長期強度の増加が確認できた。このことから20℃以上の環境では、欧州の一部で使用される高アルカリ形セメント<sup>3)</sup>にFAを添加して、初期材齢からOPCと同等の強度を発現し、長期材齢での強度増加も期待できることが分かった。

アルカリ含有量が多いと、ASRによる劣化が懸念されるが、FAを20mass%置換したアルカリ総量 $5.25\text{kg/m}^3$ のコンクリート中の水溶性アルカリ量は、アルカリ総量 $2.1\text{kg/m}^3$ のコンクリートと同様になり<sup>4)</sup>、またFAを20mass%置換することによって、ASRを抑制されることが確認されている<sup>5)</sup>。そのためFA添加によって、高アルカリ形セメントでもASRにより劣化する可能性は低くなると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) アルカリの添加により、OPCモルタルでは強度が低下するが、FAモルタルでは強度が低下しないことが確認できた。
- (2) OPCモルタルでは養生温度による強度発現の促進効果が確認できなかったが、FAモルタルでは材齢28日まで養生温度が高いほど、強度が高く

なった。

- (3) 5℃環境ではアルカリ量増加によりFAモルタルの強度は僅かに増加した。
- (4) 20℃以上の環境では高アルカリ形セメントにFAを添加することで高アルカリ形OPCセメントと初期材齢から同等の強度が得られることが分かった。

本研究ではNaOHを添加して高アルカリ形セメントを再現している。現実のセメントのアルカリは、クリンカ鉱物の固溶アルカリや硫酸アルカリとして存在するため、本実験の結果がそのまま高アルカリ形セメントに適用できるか検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 船本憲治, 松藤泰典, 小山智幸, 伊藤是清: フライアッシュ置換率40%までのコンクリートの初期性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.103-108, 1999
- 2) 馬場勇介, 大野浩継, 笠井哲郎, 田澤榮一: セメント中のアルカリ含有量が化学混和剤の性能に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.1, pp.217-222, 2005
- 3) 山田一夫: 欧州のセメント・コンクリート事情, コンクリート工学 Vol.49, No.9, pp.72-77, 2011.9
- 4) Y. Kawabata, K.yamada: Evaluation of Alkalinity of Pore Solution Based on the Phase Composition of Cement Hydrates with Supplementary Cementitious Materials and its Relation to Suppressing ASR Expansion, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.13, pp.538-553, 2015
- 5) 井上祐一郎, 濱田秀則, 佐川康貴, 川端雄一郎, 山田一夫: 高反応性骨材を用いたモルタルのペシマム現象とフライアッシュによるASR抑制効果, 土木学会第64回年次学術講演会講演概要集, pp.201-202, 2009.9