

## クリンカー鉱物組成を調整したフライアッシュセメントの特性

足利工業大学 学生会員 ○ 趙 騰

足利工業大学 正会員 宮澤 伸吾

## 1. はじめに

本研究の目的は、セメントのクリンカー鉱物組成を調整することによってフライアッシュセメントの各性能を改善し、普通セメントに代わる新たなフライアッシュセメントを提案することである。エーライト量を高めに調整したセメント（高エーライトセメント）を実機プラントで試作し、このセメントを基材セメントとしたフライアッシュセメントの強度発現性、発熱性および収縮ひび割れ抵抗性について実験的に検討した。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料および配合

本研究に使用した各セメントの比表面積および Bogue 式により求めたクリンカー鉱物組成を表-1 に示す。N は市販の普通ポルトランドセメントであり、A(1)、A(2)、A(3)はセメント工場の実機プラントにより試作したエーライト量の高いセメントである。

コンクリートの配合を表-2 に示す。フライアッシュ(FA)を混入したセメントは JIS の FA セメント B 種規格を満足し、置換率を 15%~20%とした。目標スランプは  $18 \pm 2.5 \text{ cm}$  とし、目標空気量は  $4.5 \pm 1.0\%$ として設定した。

表-1 セメントのキャラクター

| セメント | ブレン (cm <sup>2</sup> /g) | SO <sub>3</sub> (%) | f.CaO (%) | 鉱物組成(%)          |                  |                  |                   |
|------|--------------------------|---------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
|      |                          |                     |           | C <sub>3</sub> S | C <sub>2</sub> S | C <sub>3</sub> A | C <sub>4</sub> AF |
| N    | 3350                     | 2.32                | 0.5       | 60.1             | 13.1             | 9.0              | 9.8               |
| A(1) | 4190                     | 2.49                | 1.2       | 65.4             | 7.3              | 9.8              | 8.6               |
| A(2) | 4800                     | 2.58                | 3.2       | 69.3             | 2.7              | 9.8              | 8.9               |
| A(3) | 4820                     | 3.36                | 3.0       | 72.0             | -0.4             | 9.4              | 8.4               |

表-2 コンクリートの配合

| セメント種類    | W/B (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |     |     | AE 剤 B×% |
|-----------|---------|---------|--------------------------|-----|----|-----|-----|----------|
|           |         |         | W                        | C   | FA | S   | G   |          |
| N         | 55      | 46      | 180                      | 327 | 0  | 800 | 957 | 1.0      |
| A(1)      |         |         | 185                      | 336 | 0  | 790 | 945 |          |
| N-FA18    |         |         | 175                      | 261 | 57 | 802 | 959 |          |
| A(1)-FA18 |         |         | 180                      | 268 | 59 | 791 | 947 |          |
| A(2)-FA20 |         |         | 180                      | 262 | 65 | 801 | 944 |          |
| A(3)-FA15 |         |         | 180                      | 278 | 49 | 802 | 946 |          |

## 2.2 試験方法

## (1) 圧縮強度試験

コンクリートの圧縮強度試験は JIS A 1108 により実施した。20℃で水中養生を行い、材齢 3, 7, 28, 91 日に圧縮試験を実施した。

## (2) 断熱温度上昇試験

コンクリートの断熱温度上昇試験は 600×600×600mm (内寸法 200×200×200mm) の発泡スチロールを保温型枠として用いた簡易な断熱温度上昇試験（簡易断熱試験）で行った。文献<sup>2)</sup>の方法より簡易断熱試験の測定値から断熱温度上昇量を推定し、式  $Q(t) = Q_{\infty} [1 - \exp\{-r(t - t_0)\}]$  で近似した。

ここに、 $t$ : 材齢 (日)、 $Q(t)$ : 材齢  $t$  日までの断熱温度上昇量 (°C)、 $Q_{\infty}$ : 終局断熱温度上昇量 (°C)、 $r$ : 断熱温度上昇速度に関する係数、 $t_0$ : 発熱開始材齢 (日)

## (3) 拘束ひび割れ試験

寸法 100×100×1100mm の角柱の供試体を各配合 3 本ずつ作製して供試体断面の中心の軸方向に異形鉄筋 D25 を埋設し、拘束ひび割れ試験を行った。鉄筋は中央部 300mm 区間のリブと節を切削加工してφ22mm とし、相対する 2 面にひずみゲージを貼り付けた。材齢 3 日まで型枠中でシール養生を行い、その後脱型して 20℃、60%R.H.の恒温恒湿室内に設置し、乾燥を開始させた。乾燥期間中に測定した鉄筋のひずみの値からコンクリートに発生する拘束応力を算出するとともに、ひび割れが発生する乾燥期間を測定した。

キーワード：フライアッシュ、クリンカー、圧縮強度、断熱温度上昇量、収縮ひび割れ

連絡先：〒326-8558 栃木県足利市大前町 268-1 TEL. 0284-62-0605 E-mail: smiyazaw@ashitech.ac.jp

3. 結果および考察

3.1 圧縮強度試験結果

コンクリートの圧縮強度試験の結果を図-1に示す。A(1)を用いたコンクリートの圧縮強度は初期で極めて高いが、28日以降はほとんど増大が見られなかった。A(1)-FA18の初期強度はNより少し小さいが、通常のFAセメントN-FA18より大きかった。材齢28日でNと同等となり、91日ではNを上回り、A(1)と同等となった。それに対して、A(2)-FA20とA(3)-FA15はNよりかなり高かった。また、A(1)-FA18はA(2)-FA20およびA(3)-FA15と比較し、初期強度はかなり低いですが、91日では両者とほぼ同等となった。

3.2 断熱温度上昇試験結果

断熱試験上昇量に関する係数を表-3に示す。A(1)を用いたコンクリートの終局温度上昇量が最も大きく、Nより約2℃高く、初期の温度上昇速度も速かった。高エーライトセメントを用いたFAセメントの場合には、終局温度上昇量がN-FA18より高いが、Nと比べて温度上昇量がかなり抑えられ、約2.5~5.5℃低かった。

3.3 拘束ひび割れ試験結果

表-4は各供試体が乾燥開始からひび割れ発生するまでの日数を示すものである。各配合3個の供試体の試験結果は大きなばらつきが存在しているが、A(1)を用いたコンクリートのひび割れ発生日数はN-FA18とほぼ同じであり、早く出ました。A(1)-FA18およびA(2)-FA18の発生日数は大きい差がなく、Nと比べるとひび割れ発生が若干早いですが、N-FA18より約10日間遅かった。SO<sub>3</sub>量が高く設定されたA(3)-FA18の発生日数はNの約3倍であり、ひび割れ抵抗性が大幅に増加された。

4. まとめ

- (1) 高エーライトセメントを用いたFAセメントは普通ポルトランドセメントと比べて、初期強度発現が同等以上であり、長期強度が増加された。なお、高エーライトセメントのC<sub>3</sub>S量が多いほど初期強度が大きく、長期材齢での強度増加も良好であった。
- (2) 高エーライトセメントを用いたFAセメントの温度上昇量は普通ポルトランドセメントよりかなり低く、温度ひび割れの低減効果が期待される。
- (3) SO<sub>3</sub>量を高めに設定した高エーライトFAセメントは普通ポルトランドセメントと比較して収縮ひび割れに対する抵抗性が顕著に改善された。
- (4) セメントのクリンカー鉱物組成を調整することにより、初期強度が高く、ひび割れ抵抗性に優れたフライアッシュセメントを開発する可能性が示唆される。

謝辞：本研究は、(株)デイ・シイおよび太平洋セメント(株)のご協力を得て行ったものであり、ここに謝意を表す。

参考文献：1)宮澤伸吾，横室隆，坂井悦郎，二戸信和：高エーライトセメントを用いたフライアッシュコンクリートの特性，セメント・コンクリート論文集，Vol.69(2016)，掲載決定 2)葛西康幸ほか：簡易な断熱試験による高強度コンクリートの断熱温度上昇特性の推定に関する検討，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，V-584，pp.1167-1168(2002)

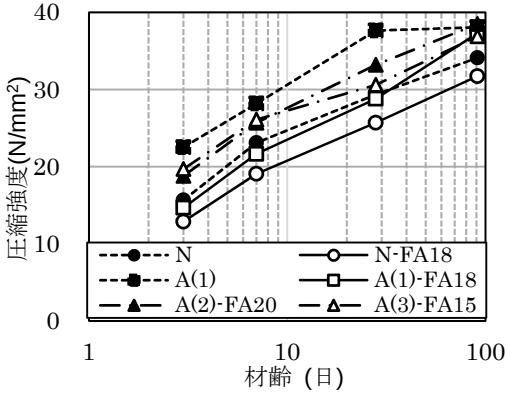


図-1 圧縮強度試験結果

表-3 断熱温度上昇量に関する係数

| セメント      | Q <sub>∞</sub> | r    | t <sub>0</sub> |
|-----------|----------------|------|----------------|
| N         | 52.3           | 1.47 | 0.14           |
| A(1)      | 54.5           | 1.59 | 0.18           |
| N-FA18    | 45.2           | 1.33 | 0.11           |
| A(1)-FA18 | 46.7           | 1.48 | 0.12           |
| A(2)-FA20 | 49.8           | 1.48 | 0.14           |
| A(3)-FA15 | 48.3           | 2.36 | 0.11           |

表-4 ひび割れ発生した乾燥期間（日）

| セメント      | No.1 | No.2 | No.3 | 平均  |
|-----------|------|------|------|-----|
| N         | 32   | 64   | 32   | 42  |
| A(1)      | 32   | 16   | 20   | 23  |
| N-FA18    | 24   | 19   | 25   | 23  |
| A(1)-FA18 | 44   | 31   | 27   | 34  |
| A(2)-FA20 | 28   | 37   | 41   | 35  |
| A(3)-FA15 | 89   | 136  | 138  | 121 |