

異なる養生温度におけるフライアッシュモルタルの強度発現性能に対するセメント有効係数およびフライアッシュの反応率の検討

広島大学 学生会員 ○三吉 勇輝

広島大学 HUYNH T PHAT

広島大学 正会員 小川由布子

広島大学 フェロー会員 河合 研至

1. はじめに

フライアッシュコンクリートの強度発現はフライアッシュの強度発現性能を示すセメント有効係数(k 値)を用いることが検討されているものの¹⁾、活用および利用促進に繋がっているとは言いがたい。また、フライアッシュのセメント有効係数に対する置換率および養生温度の影響についての研究はあるが、フライアッシュの反応率等を含めて総合的に検討しているものは少ない。そこで本研究では、フライアッシュの結合材としての強度発現性能を表すセメント有効係数 (k 値) に対する養生温度の影響を検討するとともに、水酸化カルシウム(CH)含有量・消費量およびフライアッシュ反応率を用いて考察した。

2. 実験方法

2. 1 供試体概要

本研究では、普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³、比表面積 3290cm²/g)および JISA6201 のⅡ種に分類されるフライアッシュ(密度 2.23g/cm³、比表面積 3503cm²/g)を用い、圧縮強度試験用のモルタル供試体とフライアッシュ反応率および CH 量測定用のペースト供試体を作製した。フライアッシュの主な化学成分は、SiO₂ : 53%、Al₂O₃ : 28%、Fe₂O₃ : 5.2%、CaO : 3.1%、MgO : 1.2%である。全ての供試体は、水結合比を 0.50 とし、フライアッシュ置換率は 0、10、20、40mass%とした。フライアッシュ無混和のモルタルについては、k 値を算出する際に用いる等価セメント水比を求めるため、水セメント比を 0.40、0.60 の配合も用意した。モルタルはΦ50×100mm の型枠に打ち込み、ペーストは 16mL のポリプロピレン容器に打ち込み、打ち込み直後から 20℃および 40℃の封緘養生を行った。

2. 2 試験方法

モルタルの圧縮強度試験は、JSCE-G505 に従い材齢 3、7、28 日に行った。フライアッシュ無混和の配合において、圧縮強度とセメント水比の関係を養生温度および材齢ごとに求め、フライアッシュモルタルの圧縮強度に対する等価水セメント比((C/W)_{eq})を求めた。この((C/W)_{eq})およびセメント水比(C/W)、置換率(r)を用いて、式[1]により k 値を算出した。

$$k = \{(C/W)_{eq} / (C/W) - 1\} \times \{(1 - r) / r\} \quad [1]$$

CH 含有量は、材齢 3、7、14、28 日にアセトン浸せきにより水和停止を行ったペーストを 150 μm 以下に粉砕し、示差熱重量分析により測定した。また、式[2]を用いて CH 消費量を算出した。

$$CH_A = CH_{OPC} \times (1 - r) - CH_{FA} \quad [2]$$

ここで CH_A: フライアッシュが消費する CH 量、CH_{OPC}: フライアッシュ置換率 0%のペースト中の CH 含有量、CH_{FA}:置換率 r でフライアッシュを混和したペーストの CH 含有量、である。

フライアッシュの反応率は、CH 含有量測定のための試料と同じ粉末試料を使用し、塩酸および炭酸ナトリウムを用いた選択溶解法²⁾によって求めた。

3. 実験結果および考察

3. 1 セメント有効係数 k 値

図 1 に k 値の経時変化を示す。養生温度 20℃において、置換率 10%の場合に材齢 28 日で k 値が 1 を超える
キーワード セメント有効係数 k 値, 水酸化カルシウム含有量・消費量, フライアッシュ反応率

連絡先 739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学院工学研究科 082-424-7786

たが、置換率 20%および 40%では 0 付近に留まった。40℃では、20℃に比べ全体的に大きく、置換率 10%では材齢 7 日以降、置換率 20%では材齢 14 日以降で k 値が 1 を上回った。これは、養生温度が高い方が、フライアッシュの反応が早期に活発化したためと考えられる。また、低置換率である方がフライアッシュが水酸化カルシウムと活発に反応し強度発現に貢献したと考えられ、この結果 k 値が大きくなった。これは既往の研究³⁾と整合した。

3. 2 フライアッシュ反応率

図 2 にフライアッシュ反応率の経時変化を示す。各置換率におけるフライアッシュの反応率は、20℃では材齢 28 日において置換率に関わらず 20%の反応率に留まっている。一方、40℃の場合、フライアッシュ反応率は、置換率 40%の高置換率であっても材齢 28 日において 30%を示し、置換率が低くなるにつれて反応率が高い。20℃と比較すると、2 倍以上高い値を示した。

3. 3 CH 消費量と反応率の関係

図 3 に CH 消費量と反応率の関係を示す。40℃の CH 消費量および反応率は、20℃に比べ高い値となった。これは、養生温度が高いほど、フライアッシュの反応が早期から活発化し CH 生成量および消費量が増加したためと考えられる。また、同じ養生温度で比較すると、フライアッシュ置換率が低い方が CH 消費量は少ないにも関わらず、反応率は高い値を示した。これは、フライアッシュの置換率が増加すると、セメントによる CH 生成量が減少するため、フライアッシュが満足に反応できなかったことが原因と考えられる。

3. 4 反応率と k 値の関係

図 4 に反応率と k 値の関係を示す。図より、反応率が高いほど k 値も増加していることが分かる。特に、養生温度 40℃の材齢 3 日を除くと、置換率および温度に関わらず、 k 値とフライアッシュの反応率は直線関係にある。つまりフライアッシュの反応を示すフライアッシュ反応率と、フライアッシュ単位量の強度発現への貢献度が対応していることを表しており、養生温度が高く低置換率である方がフライアッシュの反応が活発となり、 k 値が大きくなることを示していると考えられる。

4. 結論

養生温度 40℃の場合、20℃と比較して、フライアッシュの反応が早期から活発となり、モルタルの強度発現に貢献できる。 k 値と反応率の関係は置換率や温度に関わらず直線で表せる可能性がある。

参考文献

- 1) 土木学会：循環社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術、2010。
- 2) 大沢栄也ほか：フライアッシュ・セメント系水和におけるフライアッシュの反応率、セメント・コンクリート論文集、No.53、pp96-101、1999。
- 3) 小川由布子ほか：フライアッシュの結合材としての性能に対する養生温度の影響、土木学会論文集、E2、Vol.67(2)、pp.482-492、2011。

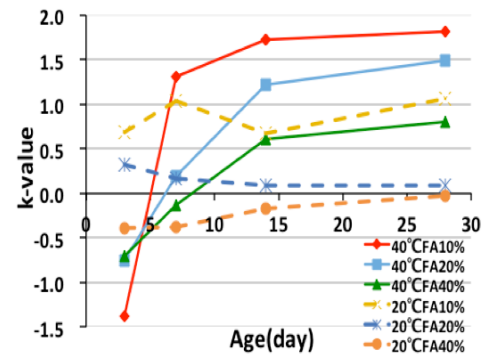


図 1 セメント有効係数 k 値

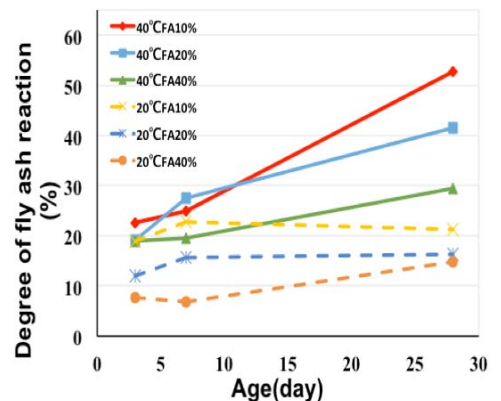


図 2 フライアッシュ反応率

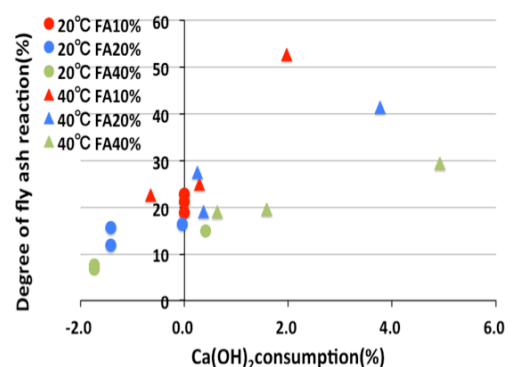


図 3 CH 消費量と反応率の関係

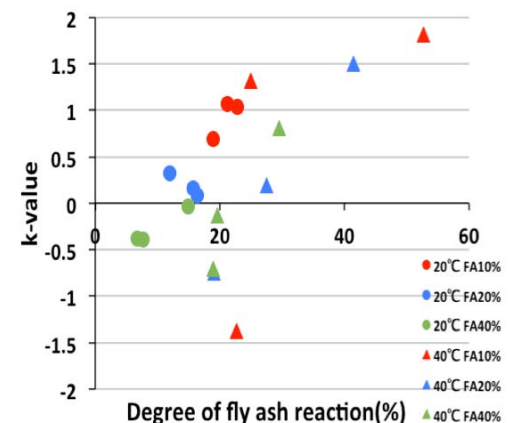


図 4 反応率と k 値の関係