

蒸気養生・内部養生を施したフライアッシュモルタルの強度発現性能に対する セメント有効係数の検討

広島大学 学生会員 ○陰迫 良, 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

石炭火力発電の副産物であるフライアッシュは良質なポゾランであり、コンクリートに混和することで長期強度の増進や組織の緻密化といった利点が得られる。しかし、フライアッシュをセメントに置換することによる初期強度の低下が懸念され利用は進んでおらず、石炭灰の多くはセメント原料などに再利用されているのが現状である。

コンクリートの初期強度低下の改善策として、蒸気養生が挙げられ、蒸気養生したフライアッシュコンクリートの検討が進んでいる¹⁾。また、一般的に蒸気養生すると 20℃ で封緘養生した場合より長期強度が低くなるが、蒸気養生後に水中養生した場合にはフライアッシュのポゾラン反応が継続するとの報告がある²⁾。また、長期的な水分供給方法としては内部養生があり、内部養生材の混入により蒸気養生したフライアッシュコンクリートの強度が増進するという結果が報告されている³⁾ものの、要因分析は十分でない。

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 値を用いて、蒸気養生や内部養生がフライアッシュの強度発現性能に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とした。さらに、フライアッシュのポゾラン反応を水酸化カルシウム消費量の観点から評価し、強度発現性能との関係について検討した。

2. 実験方法

圧縮強度試験には、 $\Phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ のモルタル供試体を、示差熱質量分析試験には 16mL のポリプロピレン容器に打設したペースト供試体を用いた。セメントは早強ポルトランドセメント、フライアッシュは、JIS A 6201 の II 種品に相当するものを使用した。フライアッシュ置換率は、セメントの質量に対して 0%(F0)、20%(F20)、40%(F40)とした。細骨材の体積に対して廃瓦細骨材を内部養生材として 0%、20%(S20、モルタル供試体のみ)で置換した。養生方法は 20℃ で封緘した 20℃ 封緘養生、一般的な蒸気養生とした。蒸気養生では、最高温度 50℃ の温度履歴を与え、材齢 1 日で脱型後は、20℃、60% で気中養生した。モルタル供試体は、材齢 1、7、28 日で圧縮強度試験を行い、 k 値を算出した。セメントペーストは、材齢 1、7、28 日で水和停止し、水酸化カルシウム量を測定し、下式よりフライアッシュ単位量あたりの水酸化カルシウム(CH)消費量を算出した。なお、 r は置換率(%)を示す。

フライアッシュ $r\%$ 置換 CH 消費量(%)

$$=[\text{フライアッシュ無置換 CH 生成量}(\%) - \text{フライアッシュ } r\% \text{ 置換 CH 生成量}(\%) \times (1-r/100)] \times 100/r$$

3. 実験結果および考察

図-1 に 20℃ 封緘養生、図-2 に蒸気養生の圧縮強度試験結果を示す。いずれの養生方法、配合においても材齢に関係なく、廃瓦細骨材置換により 15~20% 圧縮強度が増加した。材齢 28 日ではフライアッシュ 20% 置換廃瓦細骨材 20% 置換(F20S20)はフライアッシュ無置換廃瓦細骨材無置換(F0)と同等の圧縮強度であった。また、フライアッシュ置換率が高くなると圧縮強度が低くなっている。これはフライアッシュ置換率が高くなると、セメントの水和による CH 生成量が減少し、CH を消費するポゾラン反応が満足に起こらなかったためと考えられる。F20S20 の 28 日強度は、20℃ 封緘養生の場合 F0 と同等であったが、蒸気養生の場合は F0 が低かった。これは蒸気養生が主にセメントの初期の水和反応を促進し、フライアッシュのポゾラン反応への効果は小さいことを示していると考えられる。

20℃ 封緘養生および蒸気養生した場合の k 値を図-3 に示す。蒸気養生の方が 20℃ 封緘養生よりも k 値が低くなった。これは蒸気養生が主にセメントの反応を促進し、フライアッシュ置換するとその分セメントの水和による強度

キーワード 蒸気養生, 内部養生, フライアッシュ, セメント有効係数 k 値, 圧縮強度, 水酸化カルシウム消費量

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山一丁目 4 番 1 号 広島大学工学研究科構造材料工学研究室 TEL082-424-7786

増進が小さくなるためと考えられる。いずれの養生においてもフライアッシュ 20%置換の方が 40%置換より k 値が高くなっている。これはフライアッシュ置換率の低い方が、フライアッシュに対するセメントの水和反応による CH 生成量が多く、フライアッシュの反応が促進され強度発現へ貢献したためと考えられる。また、廃瓦細骨材 20%置換した方が廃瓦無置換より k 値が高くなっている。すなわち、廃瓦細骨材の内部養生によりフライアッシュの反応が促進され、強度発現への貢献度が高くなったことを示している。そして、フライアッシュ 40%置換 (F40) とフライアッシュ 40%置換廃瓦細骨材 20%置換 (F40S20) を比較した場合、F40S20 の方が材齢 7 日から 28 日の k 値の増加が大きくなっている。これはフライアッシュ置換率が高い場合の方が、長期的に内部養生が持続しポズラン反応が継続的に活性されたと考えられる。

図-4 に 20℃ 封緘養生および蒸気養生の CH 消費量を示す。いずれの養生条件においても、材齢 28 日の場合、フライアッシュ置換率 20%のほうに 40%よりも CH 消費量が多い。材齢 1 日と 7 日の CH 消費量が負であることからフライアッシュの混和によりセメントの水和反応が促進され、フライアッシュを混和しない場合と比較して CH が多く生成されたと考えられる。

4. 結論

内部養生により、20℃ 封緘養生の場合も蒸気養生の場合も廃瓦細骨材 20%置換の方が廃瓦細骨材無置換より 15~20%圧縮強度が増加した。 k 値は廃瓦細骨材 20%置換の方が大きく、内部養生はセメントの水和だけでなくフライアッシュの反応にも寄与していることが示された。また、フライアッシュ 20%置換の材齢 7 日から 28 日の k 値の増分は廃瓦細骨材の有無によらず一定であったが、フライアッシュ 40%置換の材齢 7 日から 28 日の k 値の増分が廃瓦細骨材置換した方が大きくなり、長期材齢にわたり内部養生の効果が継続している可能性が示唆された。

蒸気養生した場合の k 値は 20℃ 封緘養生よりも小さく、CH 消費量によると蒸気養生はフライアッシュの反応促進に寄与しているものの、主にセメントの水和反応の促進に寄与していることが示唆された。

参考文献

- 1) 富山潤 他: 蒸気養生を受けるフライアッシュコンクリートの強度発現特性に関する基礎研究, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.359-366, 2012.
- 2) 村岸祐輔 他: 蒸気養生したフライアッシュコンクリートの耐久性に対する廃瓦粗骨材の内部養生効果, セメント・コンクリート論文集, Vol.68, pp.337-344, 2014.

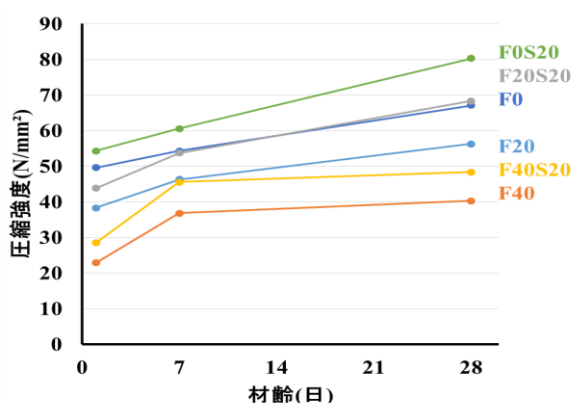


図-1 圧縮強度 (20℃封緘養生)

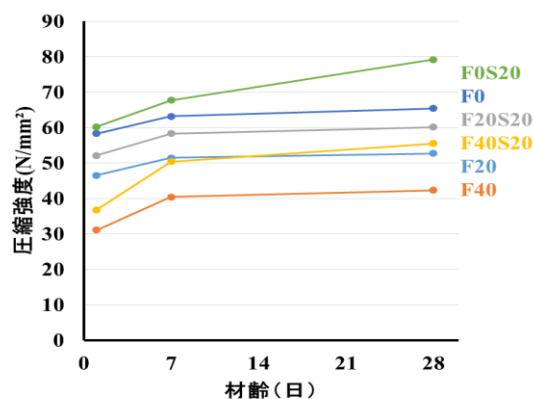


図-2 圧縮強度(蒸気養生)

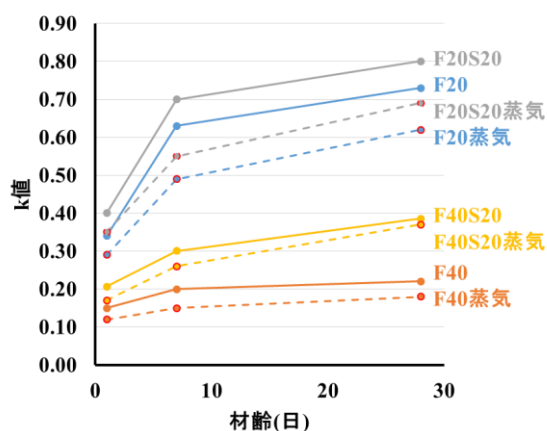


図-3 k 値(20℃封緘養生・蒸気養生)

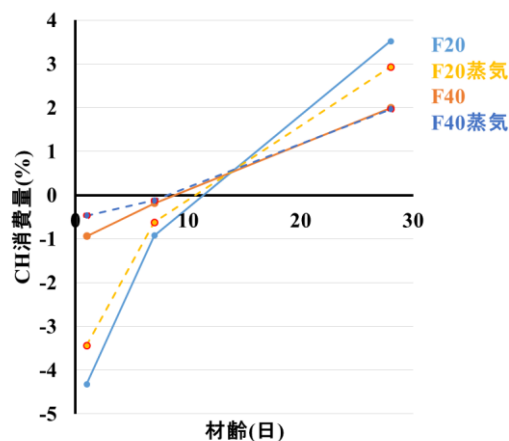


図-4 CH 消費量