

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に及ぼす蒸気養生の影響

広島大学 学生会員 ○陰迫 良
 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

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るため、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で、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。

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。また、一般的に蒸気養生すると長期強度が 20℃封緘養生より低くなるが、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¹⁾。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ことが報告されている²⁾。しかし、これらの検討において、蒸気の影響、高温の影響、内部養生の影響等、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、蒸気養生の蒸気や高温、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。また、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により評価し、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、示差熱重量分析試験には 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。養生方法は一般的な蒸気養生、封緘状態で蒸気養生と同じ温度履歴を与える高温封緘養生とした。蒸気養生は、最高温度 50℃の温度履歴を与え、材齢 1 日で脱型後、温度 20℃、相対湿度 60%の恒温恒湿室に静置(気中曝露)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、示差熱重量分析により水酸化カルシウム量を定量し、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 に蒸気養生、図-2 に高温封緘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。また、材齢 1 日および 3 日においては、配合にかかわらず蒸気により 5~10%の強度増進があったが、材齢 28 日では F0 を除き、2~4%の強度増進に留まった。これは、蒸気供給による水和反応の促進およびこれに伴う強度増進は特に初期材齢に示され、長期においてはこの効果が小さくなることを示している。一方、廃瓦混入による強度増進は、配合によって若干の差はあるものの、材齢経過に伴い大きくなっている。すなわち、蒸気は供給された 1 日においてセメントおよびフライアッシュの水和反応を促進し、その後気中曝露および水和反応により消費された水を補うように内部養生水が供給され持続的に強度増進に寄与していると考えられる。

キーワード フライアッシュ、蒸気養生、内部養生

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 TEL 082-424-7786

図-3 に蒸気養生および高温封緘養生の k 値を示す。いずれの養生においてもフライアッシュ 20%置換のほうが 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の置換率が低い方が、フライアッシュに対してセメントが多く、CH を生成し、フライアッシュが反応して強度発現へ貢献したためと考えられる。高温封緘と比較すると、蒸気により k 値は材齢 1 日で 3~20%高くなった。また、廃瓦細骨材 20%置換した方が廃瓦無置換より k 値が高い。廃瓦細骨材の内部養生によりフライアッシュのポズラン反応が促進され、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 値の増加が大きい。廃瓦置換により長期的に内部養生が持続しポズラン反応が活性されたと考えられる。蒸気養生の方が高温封緘養生より材齢 28 日の k 値が高く、ポズラン反応に寄与したと考えられる。

図-4 に蒸気養生および高温封緘養生の 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%のほうが 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

蒸気養生の場合も高温封緘養生の場合も、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。強度発現へのフライアッシュの貢献度を示す k 値も廃瓦細骨材 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、内部養生の効果が継続している可能性が示唆された。さらに、蒸気養生した場合の圧縮強度と k 値は高温封緘養生より高く、蒸気養生は初期材齢においてセメントの水和反応のみならずポズラン反応を促進す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.

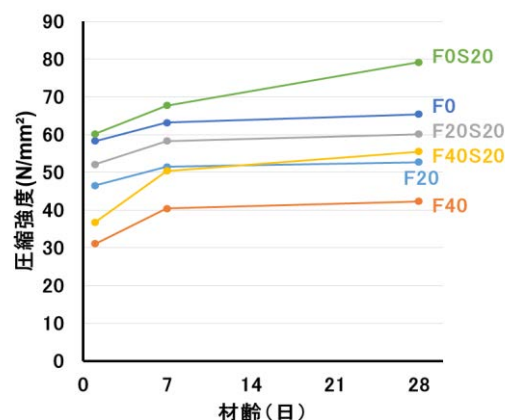


図-1 圧縮強度(蒸気養生)

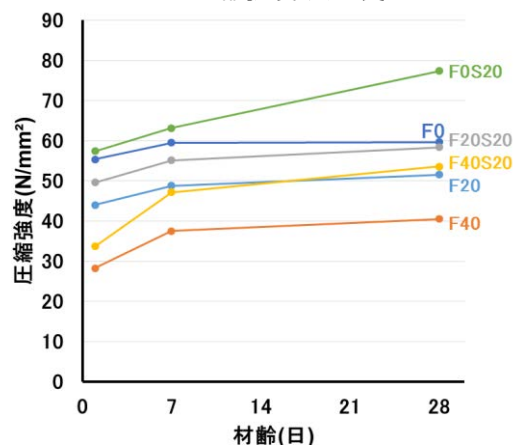


図-2 圧縮強度(高温封緘養生)

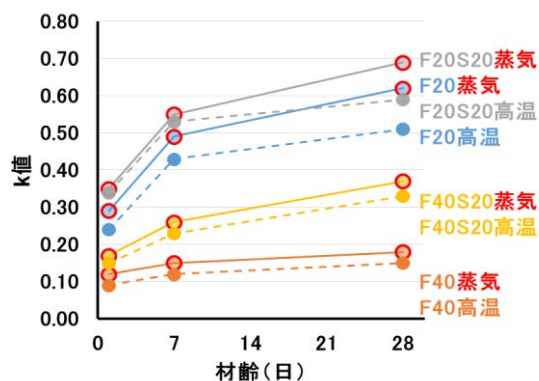


図-3 k 値

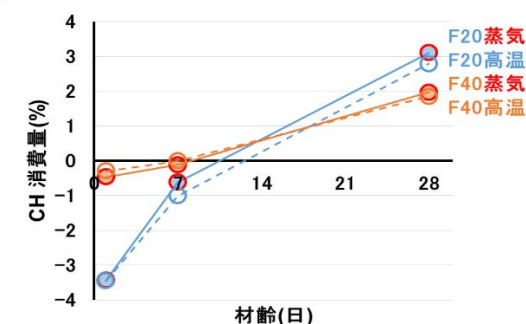


図-4 CH 消費量