

加圧流動床灰のポゾラン反応に及ぼす養生温度の影響

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○野田 翼
 広島大学大学院工学研究科 学生会員 田中 雅章
 中国電力(株)技術研究センター 正会員 中下 明文
 広島大学大学院工学研究科 フェロー会員 佐藤 良一

1. はじめに

加圧流動床灰(PFBC 灰)は CaO 及び SO_3 を多く含み、 SiO_2 の含有量が少ないことが特徴であり、現在のフライアッシュ(FA)の JIS 規格を満足していない。PFBC 灰は SiO_2 の含有量が少ないことより FA と比較しポゾラン反応性が低下する可能性がある。本研究では、PFBC 灰を混入したセメントの養生温度の相違がポゾラン反応に及ぼす影響について FA と比較し検討した。

表-1 PFBC 灰及びフライアッシュの化学成分

種類	化学成分(%)			
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	SO_3
PFBC 灰	42.40	12.60	24.10	5.71
フライアッシュ(JIS)	64.60 (≥ 45)	25.00	1.10	0.30

注) (JIS)：フライアッシュ JIS 規格（二種 JIS A 6021）

2. 実験概要

2. 1 使用材料

PFBC 灰及び FA の化学成分を表-1 に示す。

2. 2 セメントペーストの配合及び養生方法

セメントペーストの配合を表-2 に、養生方法を図-1 に示す。水結合材比 (W/B) を 45%に設定した。

表-2 セメントペーストの配合

配合名	単位量 (kg/m^3)			
	W	C	PFBC	FA
P0	165	367	-	-
P30	165	257	110	-
P50	165	184	184	-
F30	165	257	-	110

2. 3 実験方法

(1) 結合水量及び水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) 量

結合水量及び $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量を熱分析装置(TG-DTA)により測定した。結合水量及び $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量は、ペースト試料の 1000°C の値に対する量として示した。

(2) ポゾラン反応率

JIS R 5202 に準拠し不溶残分を測定した。水和の進行により減少する不溶残分から、強熱減量を補正することにより求められるポゾラン反応率¹⁾を式(1)のように定義した。

$$b_d = (a_0 - a_d) / (f_r \times f_i / 100) \quad (1)$$

ここに、 b_d は不溶残分より求めた反応率 (%) (材齢 d 日)、

a_0 は未水和時の不溶残分、 a_d は材齢 d 日の不溶残分 / $(1 - \text{IG}_d / 100)$ 、 IG_d は材齢 d 日の強熱減量 (%), f_r は灰置換率 (%), f_i は未水和時の灰の不溶残分 (%) である。

3. 実験結果及び考察

3. 1 結合水量

図-2、図-3 及び図-4 に 20°C 、 60°C 及び 80°C 養生における結合水量の経時変化を示す。各養生温度において PFBC30%置換(P30)は各材齢で無置換(P0)よりも小さい結合水量の値を示した。しかし、FA30%置換(F30)についてはさらに小さい値を示し、各材齢において PFBC50%置換(P50)と同程度となった。 60°C 及び 80°C 養生の場合、各配合において昇温開始直後から材齢 3 日までの高温養生期間に大きく結合水量が増加している。高温養生後は結合水量の増加量は小さくなり、材齢 28 日においては 20°C 養生よりも低下した。

3. 2 水酸化カルシウム

図-5、図-6 及び図-7 に、 20°C 、 60°C 及び 80°C 養生における水酸化カルシウム量の経時変化を示す。 20°C 養生の場合、P0 の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 生成量は材齢の経過に伴い増加する傾向にある。P30 及び F30 は材齢 7 日まで増加する傾向にあるものの、その後はほぼ一定となり、PFBC 灰及び FA のポゾラン反応による $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の消費

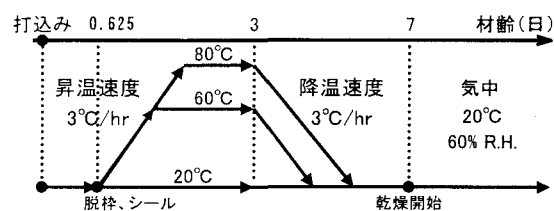


図-1 養生条件

とセメントの反応による $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 生成量とが均衡している状態となった。60℃養生の場合、P30 及び F30 において昇温直後より P0 と比較してセメント減量分以上の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の減量が確認され、高温養生によりポゾラン反応が促進されている。高温養生後、P30 においては、ほぼ一定となったが F30 については大きく減少し、材齢 28 日における $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量は P30 が 11.1%、F30 は 8.1%となった。PFBC 灰よりも FA の方がポゾラン反応性に富み、大きく $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を消費しているためであると考えられる。80℃養生の場合、材齢 7 日以降 P30 は、若干の増加傾向を示す。しかし、F30 は減少傾向を示し、ポゾラン反応が継続している。

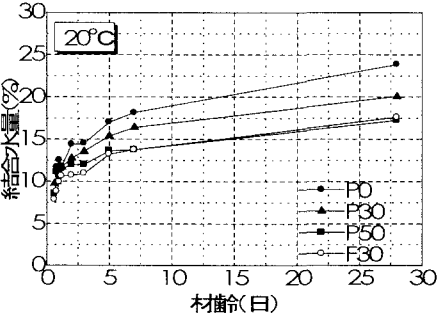


図-2 結合水量の経時変化 (20℃養生)

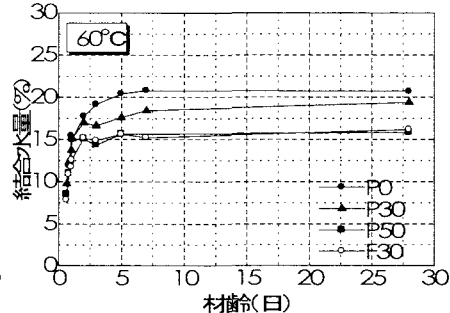


図-3 結合水量の経時変化 (60℃養生)

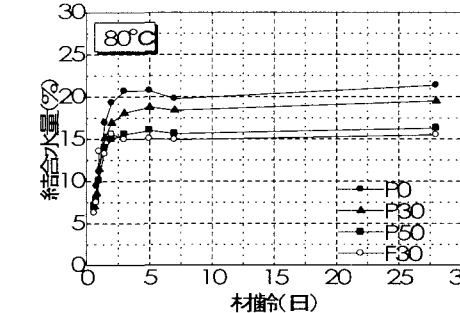


図-4 結合水量の経時変化 (80℃養生)

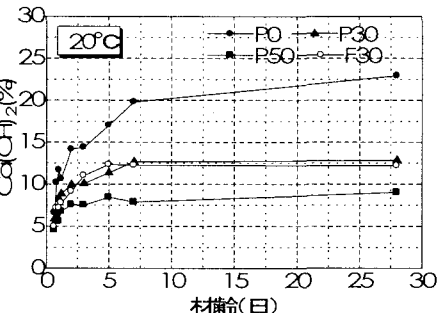


図-5 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量の経時変化 (20℃養生)

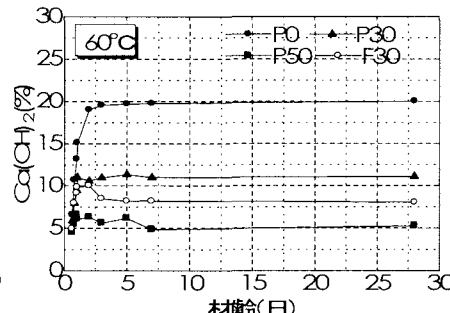


図-6 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量の経時変化 (60℃養生)

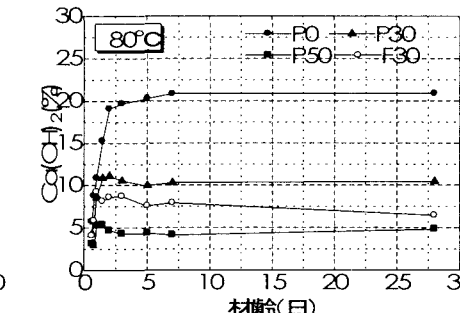


図-7 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量の経時変化 (80℃養生)

3. 3 ポゾラン反応率

PFBC 灰単体及び FA 単体の不溶残分を測定した結果、それぞれ 43.3%及び 93.1%となった。図-8 に材齢 28 日におけるポゾラン反応率を示す。20℃養生の場合、P30 は 5.0%、F30 は 4.6%となった。F30 の値は小早川ら¹⁾が示した値とほぼ一致した。60℃養生の場合、P30 は 18.9%、F30 は 24.1%となった。また 80℃養生の場合、P30 は 24.8%、F30 の場合は 26.9%となり、同一灰置換率において高温養生下における PFBC 灰のポゾラン反応率は FA と比較して低くなった。高温養生下のポゾラン反応率が長期における灰の反応性、つまり促進養生の役割を果たすと考え、PFBC 灰の長期材齢におけるポゾラン反応性が FA より若干低いことが考えられる。しかし、同置換率における PFBC 灰混入コンクリートの強度は FA 混入コンクリートより大きく²⁾、ポゾラン反応率のみでなく他の検討も必要と考えられる。

4. まとめ

PFBC 灰のポゾラン反応性は、20℃養生では FA と同程度となった。一方、60℃及び 80℃養生における PFBC 灰の反応率は、20℃養生の場合よりも大きく増加し、FA と同様に高い温度依存性を示すものの、FA の反応率より若干小さく、長期材齢では FA より緩やかなポゾラン反応が継続すると考えられる。

参考文献

- 1) 小早川真、黄 光律、羽原俊祐、友澤史紀：水比、混合率および養生温度がフライアッシュのポゾラン反応に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.21、No.2、pp121-126、1999
- 2) 中下明文、近藤慎也、田中雅章、佐藤良一：高温履歴を受けた加圧流動床灰混入コンクリートの強度発現性、コンクリート工学年次論文集、Vol.25、No.1、pp347-352、2003

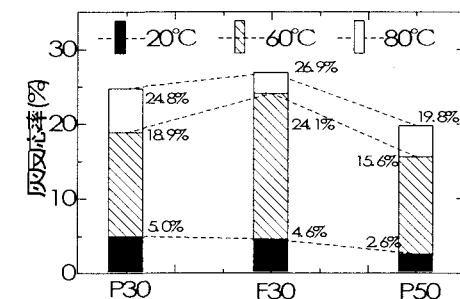


図-8 材齢 28 日における灰反応率