

フライアッシュセメントペーストの水和反応と圧縮強度に及ぼす蒸気養生履歴の影響

日本大学大学院理工学研究科

学生会員

○鏡 健太

日本大学理工学部

正会員

佐藤 正己

日本大学理工学部

正会員

梅村 靖弘

1. はじめに

プレキャストコンクリート(PCa)製品の蒸気養生による強度発現性については、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、高炉セメントで検討は行われているが、フライアッシュを混和したコンクリートでの蒸気養生に関する研究事例が少ないのが現況である¹⁾。そこで、本研究は、蒸気養生履歴がフライアッシュを混和したセメントペーストの水和反応と圧縮強度に及ぼす影響について比較検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合条件

モルタル配合を表-1に示す。普通ポルトランドセメント(C:密度3.16g/cm³、ブレン値3260cm²/g)に対するフライアッシュⅡ種(FA:密度2.62g/cm³、ブレン値4030cm²/g)の内割置換率は重量比で30%とした。細骨材はISO 砂(S)を用いた。水結合材比(W/B)は、50%とし、ペースト配合はモルタル配合から細骨材を除いたものとした。練混ぜは、セメントの物理試験(JIS R 5201-1997)に準拠した。

2.2 蒸気養生方法

図-1と表-2に示す一般的蒸気養生の温度プログラム(A20B15C4D)と前置時間(A)、昇温速度(B)、最高温度継続時間(C)、降温速度(D)の4項目を短縮させた実工場で行われている促進蒸気養生プログラム(A05B30C2)の2パターンを設定した。降温速度については4.5℃/hの徐冷降下と最高温度から常温20℃へ暴露した急冷降下(実測モルタル降下温度45℃/h)を設定した。

2.3 試験項目

- (1) 圧縮強度試験：JIS A 1008に準拠し、材齢1, 3, 7, 14, 28日において、測定を行った。φ50×100mmの缶モールドにてモルタル供試体を作製し、蒸気養生終了後、試験材齢までは20℃で封緘養生とした。
- (2) 分析用試料調整：硬化したセメントペースト供試体を2.5mm角に粉砕し、試料をアセトンで1日浸漬させ、40℃乾燥炉内に1日入れてアセトンを蒸発させた試料を分析用試料とした。
- (3) 水酸化カルシウム(以下：CH)の定量：分析用試料を材齢1, 3, 7, 14, 28日において、熱重量示差熱分析(TG-DTA)によって、フライアッシュのポゾラン反応と関係するCH存在量を測定した。
- (4) フライアッシュ未反応量の測定：浅賀らの遠心分離法²⁾による選択溶解法を行い、材齢1, 3, 7, 14, 28日における分析用試料の不溶残分を測定し、フライアッシュの反応率を算出した。
- (5) セメント鉱物および水和物の定量：XRD/リートベルト法によりTOPAS(Bruker AXS)を用い星野ら³⁾の手法に従った。定量は、シリケート相(C₃S, C₂S)、間隙質(C₃A, C₄AF)、石こう(二水、半水)、水酸化カルシウム(CH)、エトリンガイト、モノサルフェートの各セメント鉱物、水和物と内部標準物質としてα-Al₂O₃(10mass%)を定量対象としC-S-HおよびFAを含む非晶質を同時に測定した。その定量値と間隙水量、選択溶解法によるFA量、熱重量示差熱分析によるCH量から相組成を求めた。試験材齢は1, 3, 7, 14, 28日において測定した。

表-1 モルタル配合

配合	W/B (%)	S/B	単位量(kg/m ³)			
			W	B		S
				C	FA	
FA	50	2.25	292	410	175	1316

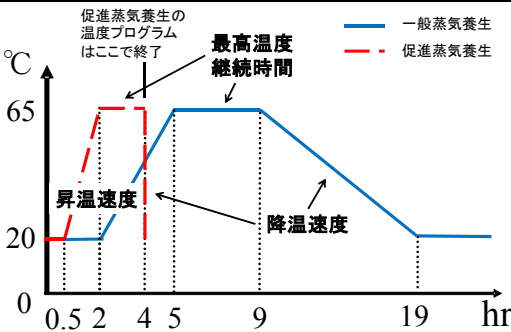


図-1 蒸気養生の温度プログラム

表-2 蒸気養生パターン

蒸気養生パターン	前置時間(h)	昇温速度(℃/h)	最高温度継続時間(h)	降温速度(℃/h)
	A	B	C	D
A20B15C4D	2	15	4	4.5
A05B30C2	0.5	30	2	—

3. 試験結果および考察

図-2に圧縮強度の比較を示す。圧縮強度は、A20B15C4D に比較し A05B30C2 は材齢 1 日では 40%、材齢 3 日では 20%低下したが、材齢 7 日以降では同等の圧縮強度となった。

図-3に C_3S 反応率の比較を示す。A20B15C4D は初期材齢 1 日から C_3S 反応率が 90%以上と高いのに対し、A05B30C2 は材齢 1 日と 3 日において反応率が低下したが、材齢 7 日以降は同等となった。

図-4に C_2S 反応率の比較を示す。材齢 3 日では、A20B15C4D と比較し A05B30C2 は 10%以上反応率が低下したが、材齢 14 日では反応率が増進しほぼ同等の値となり、材齢 28 日では A20B15C4D よりも反応率が高くなった。

図-5にリートベルト法により求めた C-S-H 生成量の比較を示す。A20B15C4D と比較し A05B30C2 は、材齢 1 日において C-S-H 生成量が 10%程度低く、材齢 3 日においても差は変化しないが、材齢 7 日以降から大きく増進し、材齢 28 日で同等となった。

図-6に A20B15C4D と A05B30C2 の FA 反応率と CH 量の関係を示す。A20B15C4D は初期材齢から反応率が高く、材齢の経過に伴い緩やかに反応率が増加しており、CH 量も緩やかに増加する結果が認められた。一方、A05B30C2 は A20B15C4D に比較し初期材齢の反応率が低い、材齢の経過に伴い反応率の増進が認められた。CH 量は材齢の経過に伴い増加したが、材齢 28 日には減少した。これは、FA のポゾラン反応が増進したことで、CH 量生成量よりも消費量が上回り、CH 存在量が減少したと考えられる。

この結果から、蒸気養生時間の長い A20B15C4D は初期材齢 1 日から C_3S 反応率が 90%以上、FA 反応率が 20%、 C_2S 反応率が 15%と高く、C-S-H の生成が活性化して、初期材齢から圧縮強度が高い結果となった。一方、蒸気養生時間を短縮した A05B30C2 は A20B15C4D に対し、材齢 1 日の C_3S と C_2S と FA の反応率は各々 10%程度低下するが、 C_3S 反応率は材齢 3 日で同等となり、 C_2S 反応率と FA のポゾラン反応は材齢 3 日以降から増進したことで、C-S-H の生成が材齢 3 日以降から活性化して圧縮強度が増進したと考えられる。

4. まとめ

一般蒸気養生は、 C_3S と C_2S と FA の反応が材齢 1 日から高く、C-S-H の生成が活性化したことで、圧縮

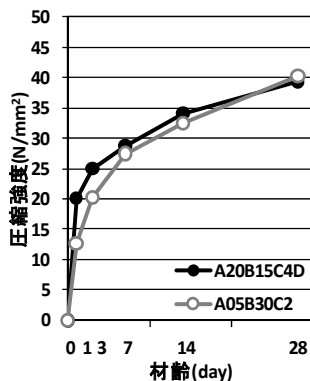


図-2 圧縮強度の比較

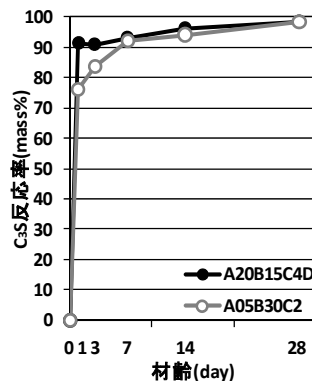


図-3 C_3S 反応率の比較

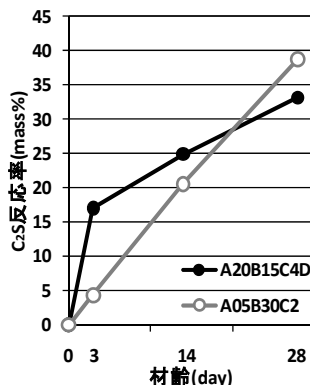


図-4 C_2S 反応率の比較

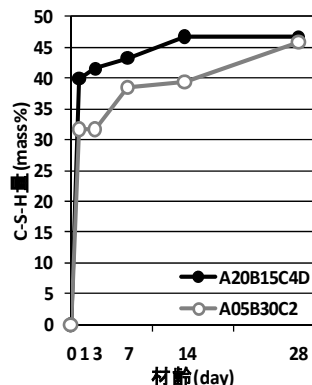


図-5 C-S-H 量の比較

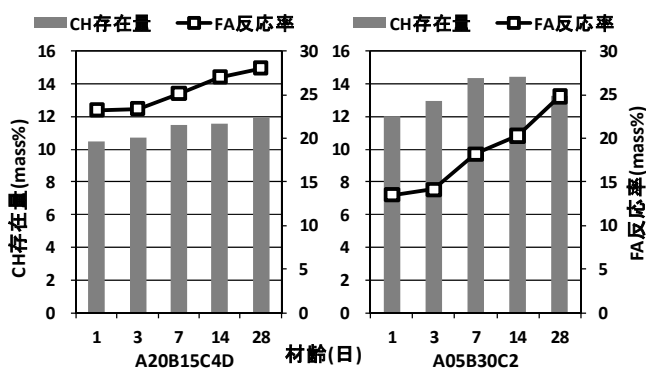


図-6 FA 反応率と CH 量の関係

強度が初期材齢から高い結果が認められた。一方、1 日 2 サイクル工程の促進蒸気養生は、初期材齢では C_3S と C_2S と FA の反応が低下するが、材齢の経過とともに C_3S と C_2S の反応率と FA のポゾラン反応が増進し、圧縮強度も増進する結果となり、工場製品の出荷材齢 14 日には一般蒸気養生と同等の圧縮強度となった。

5. 参考文献

- 1) 社団法人セメント協会:コンクリート専門委員会報告 F-53 「蒸気養生条件がコンクリートの強度発現に及ぼす影響」, 2006.3
- 2) 浅賀喜与志ほか:セメント - 石英系水熱反応における未反応石英の定量, 窯業協会誌 No.90, pp397-400(1982)
- 3) 星野清一ほか:石灰石微粉末を添加したセメントの X 線回折 / リートベルト法による水和反応解析と強度発現機構に関する検討, セメント・コンクリート論文集, No.60, 2006, pp47-54