

論文 フライアッシュのポゾラン反応に及ぼす蒸気養生履歴の影響

鏡 健太^{*1}・佐藤 正己^{*2}・梅村 靖弘^{*3}

要旨：本研究は、フライアッシュを混入したモルタルを蒸気養生した場合の養生過程における前置時間、昇温速度、最高温度継続時間、降温速度が圧縮強度発現性とフライアッシュのポゾラン反応に及ぼす影響について普通ポルトランドセメントと比較し検討した。その結果、前置時間、昇温速度と比較して、最高温度継続時間と降温速度が圧縮強度に大きく影響していることが明らかになった。積算温度と圧縮強度発現性の相関は材齢 1 日では見られたが、材齢 7 日以降では見られなかった。さらに、蒸気養生を行うとフライアッシュのポゾラン反応が早期から活性化し始めていることがフライアッシュの反応率と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 存在量の関係から明らかとなった。

キーワード：プレキャストコンクリート、フライアッシュ、蒸気養生、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、ポゾラン反応、積算温度

1. はじめに

2006 年には石炭火力は、年間約 1000 万トンの石炭灰を発生させ、その量は年々増加する傾向にあり、石炭灰の大部分を占めるフライアッシュの処理が大きな課題となっている。そこで、フライアッシュを使用した混合セメントは、普通ポルトランドセメントに比較し生産工程における CO_2 発生量が少ないという特徴からグリーン購入法特定調達品目に指定され、消費促進がなされている。さらに、最近では、造り置きが可能で養生期間が施工工程に影響しないプレキャストコンクリート二次製品への利用が検討され、地方公共団体のリサイクル認定製品として優先利用されている先行事例もある¹⁾。一般にプレキャストコンクリート二次製品(PCa 製品)は、図-1 に示すプログラムに従った一般蒸気養生を行っており、土木学会のコンクリート標準示方書の施工編では、特に「温度ひび割れを考慮して養生室内の温度は徐々に下げ、外気の温度と大差がないようになってから製品を取り出す」としており²⁾、厳密な規定がなされていないのが現況であり、蒸気養生条件については、実際の工場では製造効率を上げ製品単価を低くするため早期に脱型する必要があることから、全体の蒸気養生時間を短縮した促進蒸気養生を行っている³⁾。促進蒸気養生は図-1 に示すように一般蒸気養生とは異なり、前置時間、昇温速度、最高温度継続時間を短縮し、最高温度から常温に取出し急激に冷却して全体の蒸気養生時間を短縮させ、蒸気養生終了直後に型枠を脱型することから、1 日 2 回工程の蒸気養生が可能である。蒸気養生プログラムの違いによる圧縮強度発現性の比較はセメント協会研究所の報告事例にもあるように普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、高炉セメントについて検討は行われているが⁴⁾、フライアッシュを用いたセメントの蒸気養生に関する研究事例が少ないのが現況である。一般にフライア

ッシュを混和したコンクリートは標準養生を行った場合にポゾラン反応の開始が遅いことから材齢 28 日および 91 日の活性度指数によって判断しているが⁵⁾、PCa 製品は出荷における基準材齢を 14 日としており²⁾、温度履歴を与えるとフライアッシュのポゾラン反応が増進することが既往の研究により報告されている⁶⁾。そこで、本研究は、蒸気養生したコンクリート二次製品へのフライアッシュの利用拡大を目的とし、蒸気養生履歴を与えるフライアッシュを混和したモルタルの圧縮強度発現性とフライアッシュのポゾラン反応に及ぼす影響について普通ポルトランドセメントと比較し、検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合条件

使用材料を表-1、モルタル配合を表-2 に示す。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。水結合材比は 50%とした。結合材(B)は、普通ポルトランドセメント(C)をフライアッシュ(FA)で重量比 30%内割置換した。圧縮強度試験をモルタル配合で行い、分析試験をペースト配合により行った。配合名はフライアッシュを用いた配合を FA、普通ポルトランドセメントを用いた配合を OPC とした。

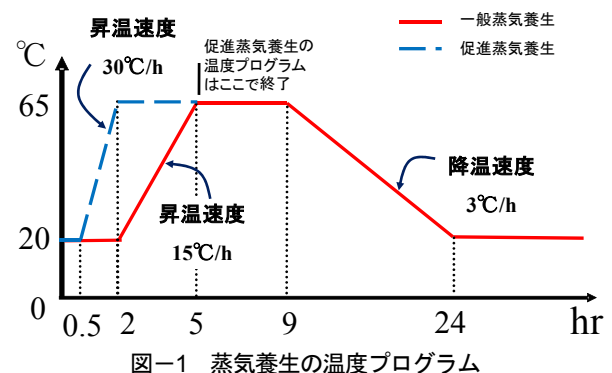


図-1 蒸気養生の温度プログラム

*1 日本大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 博士後期課程 (正会員)

*2 日本大学 理工学部土木工学科 助手 (正会員)

*3 日本大学 理工学部土木工学科 教授 博士(工学) (正会員)

2.2 蒸気養生方法

図-1 に示す蒸気養生槽内の温度プログラムにおいて、前置時間、昇温速度、最高温度継続時間、降温速度の4項目を変化させたプログラムを表-3 の様に 16 パターン設定し、圧縮強度を比較検討した。本研究では、前置温度を室温と同じ 20℃、最高温度は 65℃一定とした。そして、前置時間を 0.5h と 2h、昇温速度を 15℃/h と 30℃/h、最高温度継続時間を 2h と 4h、降温速度を 4.5℃/h の徐冷降下と最高温度から常温 20℃の環境条件下に暴露した急冷降下(実測モルタル内中心温度 45℃/h)したものに变化させた。終了後、室温 20℃の部屋で封緘養生を行った。

2.3 試験項目

(1) 圧縮強度試験

JISA 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じて行った。蒸気養生パターンごとにφ50×100mmの缶モールドにてモルタル供試体を作製し、蒸気養生終了後は試験材齢まで20℃一定の部屋で封緘養生とした。さらに、蒸気養生を行っていない、練混ぜ直後に室温20℃一定の部屋で常温養生(Normal Curing)した供試体を作製した。また、試験材齢は1, 3, 7, 14, 28日において測定した。

(2) 分析用試料調整

硬化したセメントペースト供試体をダイヤモンドカッターでカットし、その後2.5mm角に粉碎した試料をアセトンで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) フライアッシュ未反応量の測定

坂井らの研究を参考に、水和停止した試料1gを20ccの希塩酸(2mol/l)に入れ30分間攪拌し溶解後、不溶残分に5%の炭酸ナトリウム溶液を30cc入れて溶解させ、残った溶液を105℃で乾燥して不溶残分を測定した。これらの不溶残分は水和生成物の結合水量の補正を行う必要があるため、結合水量を補正した不溶残分を式(2)より求め、この結合水量を補正した不溶残分と普通ポルトランドセメントにフライアッシュを30%置換した未反応原材料を同様に溶解させ処理した残分との差分から式(1)よりフライアッシュの反応率を算出した⁷⁾。

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

$$a_d = a_d' / (1 - IG_d / 100) \quad (2)$$

b_d : 材齢 d 日の FA 反応率 (%)

a_0 : 未水和時の混合セメントの不溶残分 (%)

a_d : 結合水量を補正した不溶残分 (%)

a_d' : 材齢 d 日の試料の不溶残分 (%)

IG_d : 材齢 d 日の試料の強熱減量 (%)

(4) 水酸化カルシウム生成量の定量

水和停止した試料を、熱重量示差熱分析(TG-DTA)によって、分析用試料内の水酸化カルシウム(以下 $\text{Ca}(\text{OH})_2$)の存在量を測定した。

表-1 使用材料

材料名	略号	材料の種類	備考
水	W	水道水	
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度=3.16g/cm ³
			ブレン値=3260cm ² /g
混和材	FA	フライアッシュⅡ種	密度=2.21g/cm ³
			ブレン値=4030cm ² /g
細骨材	S	(社)セメント協会 セメント強さ試験用標準砂	表乾密度=2.62g/cm ³
			吸水率=0.42%

表-2 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
OPC			300	599	—	1348

表-3 蒸気養生条件

蒸気養生パターン	前置時間	昇温速度	最高温度継続時間	降温速度
	(h)	(°C/h)	(h)	(°C/h)
	A	B	C	D
A20B15C4D	2	15	4	4.5
A20B15C4	2	15	4	—
A20B15C2D	2	15	2	4.5
A20B15C2	2	15	2	—
A20B30C4D	2	30	4	4.5
A20B30C4	2	30	4	—
A20B30C2D	2	30	2	4.5
A20B30C2	2	30	2	—
A05B15C4D	0.5	15	4	4.5
A05B15C4	0.5	15	4	—
A05B15C2D	0.5	15	2	4.5
A05B15C2	0.5	15	2	—
A05B30C4D	0.5	30	4	4.5
A05B30C4	0.5	30	4	—
A05B30C2D	0.5	30	2	4.5
A05B30C2	0.5	30	2	—

表-4 圧縮強度試験結果 単位(N/mm²)

蒸気養生パターン	1day	3day	7day	14day	28day	
A20B15C4D	FA	20.1	25.0	28.7	34.1	39.3
	OPC	32.5	37.8	42.7	46.5	49.8
A20B15C4	FA	17.8	23.9	30.1	35.2	42.8
	OPC	30.3	39.8	44.6	49.6	54.4
A20B15C2D	FA	19.5	24.2	28.3	33.8	40.2
	OPC	30.7	36.7	41.5	46.0	52.0
A20B15C2	FA	14.9	22.1	29.4	34.2	42.3
	OPC	24.5	34.9	41.9	46.0	52.0
A20B30C4D	FA	20.2	24.4	30.4	35.4	42.0
	OPC	33.3	37.5	43.1	47.4	52.3
A20B30C4	FA	15.7	23.5	28.7	33.4	41.6
	OPC	25.7	37.0	43.2	47.7	51.1
A20B30C2D	FA	19.9	24.3	29.5	34.2	43.2
	OPC	31.4	37.7	43.0	46.4	51.4
A20B30C2	FA	13.5	21.1	27.9	33.9	40.3
	OPC	22.4	34.5	41.4	48.9	52.8
A05B15C4D	FA	19.5	25.5	29.9	35.1	42.1
	OPC	31.6	39.1	44.4	48.8	53.1
A05B15C4	FA	17.0	24.1	29.8	35.1	43.0
	OPC	27.8	36.8	40.9	47.3	52.1
A05B15C2D	FA	19.1	23.9	29.8	33.6	43.1
	OPC	31.4	38.9	43.5	47.0	54.4
A05B15C2	FA	14.0	21.8	29.2	33.6	42.8
	OPC	24.3	35.2	43.5	45.7	52.5
A05B30C4D	FA	19.0	23.5	29.3	34.4	41.4
	OPC	30.0	33.9	43.0	45.3	48.2
A05B30C4	FA	15.5	23.8	28.9	33.4	41.7
	OPC	25.3	37.0	40.5	46.6	50.8
A05B30C2D	FA	17.3	23.5	28.5	32.4	41.0
	OPC	31.3	37.6	39.2	45.7	49.8
A05B30C2	FA	12.7	20.2	27.5	32.5	40.3
	OPC	22.7	32.3	42.1	48.8	53.1
Normal Curing	FA	6.2	19.1	29.3	37.2	45.0
	OPC	12.3	31.4	48.2	55.7	62.7

3. 実験結果と考察

表-4 に蒸気養生条件全 16 パターンごとの圧縮強度試験の実験結果を示した。蒸気養生履歴が与える圧縮強度と FA 反応率について検討した。

3.1 圧縮強度に及ぼす前置時間の影響

昇温速度，最高温度継続時間，降温速度が同じ条件下での前置時間 0.5h と 2h 別の圧縮強度比較を図-2 に示す。前置時間 0.5h と 2h を比較すると，FA と OPC とともに全てのパターンでほぼ同等の圧縮強度となった。FA と OPC とともに前置時間を短くしても強度に差が出ない結果となった。従来，練混ぜ直後から昇温開始時間までの前置時間の設定については，異常硬化が発生しないように概ね使用セメントの凝結始発時間と合致するように考慮して設定がなされており，この考えに従い，本研究でも前置時間 2h を設定した。しかし，本試験結果では，前置時間を 2h から 0.5h に短くしても異常硬化の兆候は見られなかった。したがって，本研究は部材厚の薄い PCa 製品を対象としており，フライアッシュセメントと普通ポルトランドセメントの場合は，長期強度と DEF 膨張⁸⁾に影響が出ない範囲で，凝結始発時間より前置時間を短く設定しても圧縮強度発現性に影響が少ないものと考えられる。

3.2 圧縮強度に及ぼす昇温速度の影響

前置時間，最高温度継続時間，降温速度が同じ条件下での昇温速度を 15°C/h と 30°C/h に変化させた圧縮強度比較を図-3 に示す。15°C/h と 30°C/h を比較した場合，FA の配合では，ほぼ同等の圧縮強度となる結果が得られた。しかし，OPC の配合においては材齢 1 日で昇温速度 15°C/h に比較し 30°C/h にした場合に 94%と圧縮強度が低下する傾向が見られた。だが，その後の圧縮強度は 15°C/h と 30°C/h でほぼ同等の値となる結果が得られた。この結果から，昇温速度を 15°C/h から 30°C/h に短縮してもフライアッシュセメントでは圧縮強度発現性に影響がみられなかった。

3.3 圧縮強度に及ぼす最高温度継続時間の影響

前置時間，昇温速度，降温速度が同じ条件下での最高温度継続時間 2h，4h 別による圧縮強度比較を図-4 に示す。最高温度継続時間を 4h と 2h を比較すると，FA と OPC とともに最高温度継続時間を 2h にした場合に，初期強度材齢 1 日と 3 日では，圧縮強度が低下するが，材齢 7 日以降は 2h，4h とほぼ同等となった。

3.4 圧縮強度に及ぼす降温速度の影響

前置時間，昇温速度，最高温度継続時間が同じ条件下での降温速度別の圧縮強度比較を図-5 に示す。この結果を見ると，最高温度から常温 20°Cまで降温速度 4.5°C/h で徐冷した場合と，最高温度から常温 20°Cへ急冷降下した場合とで，明らかな違いが見られた。徐冷降下した場合の圧縮強度を基準にして常温 20°Cへ急冷降下した場合を比較すると，FA の場合では平均して初期材齢 1 日で 78%，材齢 3

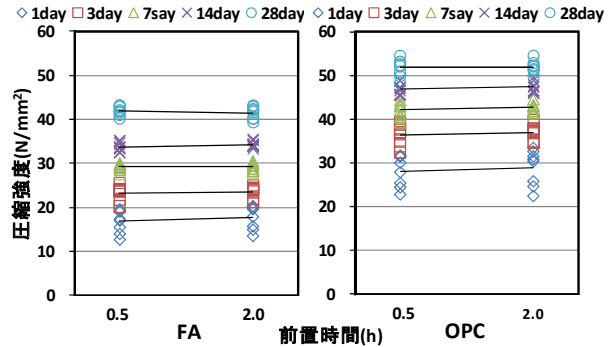


図-2 前置時間別による圧縮強度比較

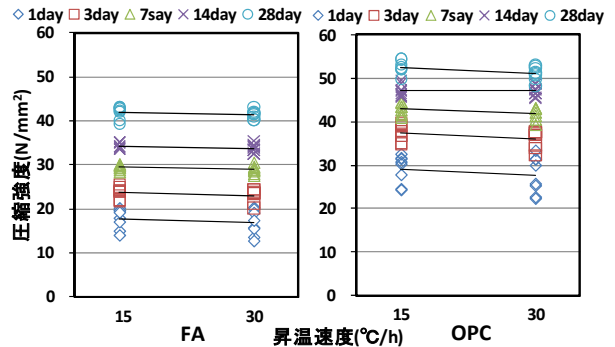


図-3 昇温速度別による圧縮強度比較

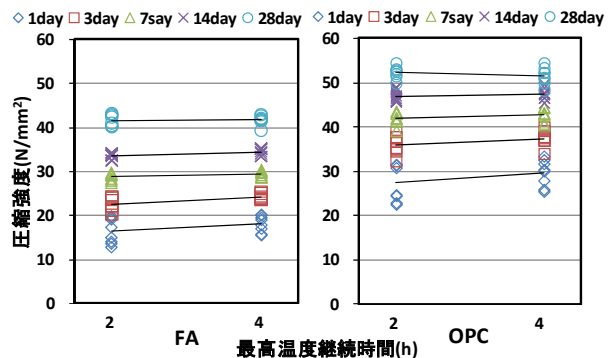


図-4 最高温度継続時間別による圧縮強度比較

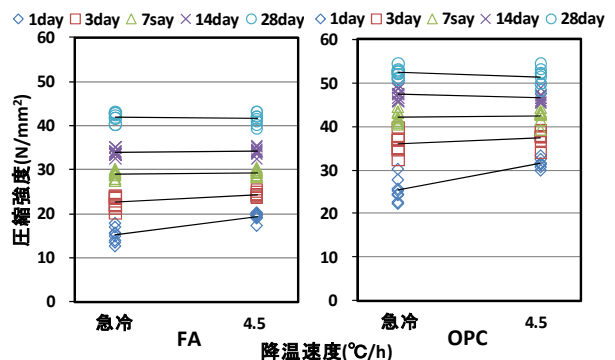


図-5 降温速度別による圧縮強度比較

日で 92%，材齢 28 日で 101%の強度比となっており，OPC の場合では平均して初期材齢 1 日で 80%，材齢 3 日で 96%，材齢 28 日で 102%の強度比となっている。すなわち，急冷降下した場合は徐冷降下した場合と比較して，初期材齢 1 日の圧縮強度が小さくなるが，材齢 28 日の圧縮強度は同等となる傾向を示した。

これらの結果を踏まえ，圧縮強度発現性に及ぼす蒸気養生

生条件の影響を積算温度および水和反応との関係から検討するため、脱型材齢である1日の初期圧縮強度が大きいパターンとPCa製品の出荷における基準材齢²⁾である14日までの強度発現の増進が大きいパターンの蒸気養生8パターンを選択した。選択した蒸気養生条件を表-5に示し、結果を検討していく。

3.5 積算温度と圧縮強度の関係

図-6および図-7に選択した各蒸気養生パターンでの積算温度と圧縮強度の関係を示す。なお、ここで用いた積算温度は-10℃を基準として20℃の前置時間から始まり、最高温度65℃から常温20℃までの徐冷降下の時間を含めた全19時間の温度として算出した。FAとOPCともに材齢1日目では積算温度が高いほど圧縮強度が大きい傾向にあるが、材齢7日ではほぼ同等となり、材齢14日以降では積算温度に関係なくほぼ同等の圧縮強度が得られた。降温速度を常温20℃に急冷降下にすることで、積算温度は小さくなったが、圧縮強度の低下が見られたのは材齢1日のみであり、7日以降は積算温度による圧縮強度の増減は見られなかった。降温速度を最高温度から常温20℃まで急冷降下させた蒸気養生を行った場合には、従来のフライアッシュや普通ポルトランドセメントにおける積算温度による圧縮強度予測方法は適用できないと考えられる⁴⁾⁹⁾。

3.6 フライアッシュの反応率に及ぼす蒸気養生履歴の影響

図-8と図-9に選択溶解法により測定したフライアッシュ未反応量の測定結果から算出したフライアッシュの反応率を示す。フライアッシュの反応率は選択溶解法より測定した不溶残分を前述した補正式により算出した。図-10にCa(OH)₂の存在量を示し、図-11にCa(OH)₂存在量とFA反応率の関係を示した。

(1) FA反応率への最高温度継続時間と降温速度の影響

圧縮強度に及ぼす蒸気養生プログラムでの各過程の影響については、圧縮強度発現性において前述したように前置時間と昇温速度の影響は小さく、最高温度継続時間と降温速度は初期強度発現で影響が認められたことから、フライアッシュ反応率では最高温度継続時間と降温速度の両方に着目し検討した。図-8は、前置時間、昇温速度が同じ条件下で最高温度継続時間が4hかつ降温速度が4.5℃/hの一般的な蒸気養生に近いパターン(以下GroupAパターン)と最高温度継続時間2hかつ降温速度を常温20℃へ急冷させた蒸気養生時間短縮のパターン(以下GroupBパターン)ならびに常温養生とのフライアッシュ反応率を個々に示す。前置時間が2h、昇温速度が15℃/hの条件下で最高温度継続時間と降温速度を変化させた場合、GroupBパターンの反応率はGroupAパターンに比較し、材齢1日で約10%低下し、材齢14日で4%低下するが、材齢28日には同等の反応率となった。前置時間が2h、昇温速度が30℃/hの条件下で最高温度継続時間と降温速度を変化させた場合、GroupBパターン

表-5 選択した蒸気養生パターン

蒸気養生パターン	前置時間	昇温速度	最高温度継続時間	降温速度
	(h)	(℃/h)	(h)	(℃/h)
	A	B	C	D
A20B15C4D	2	15	4	4.5
A20B15C2	2	15	2	-
A20B30C4D	2	30	4	4.5
A20B30C2	2	30	2	-
A05B15C4D	0.5	15	4	4.5
A05B15C2	0.5	15	2	-
A05B30C4D	0.5	30	4	4.5
A05B30C2	0.5	30	2	-

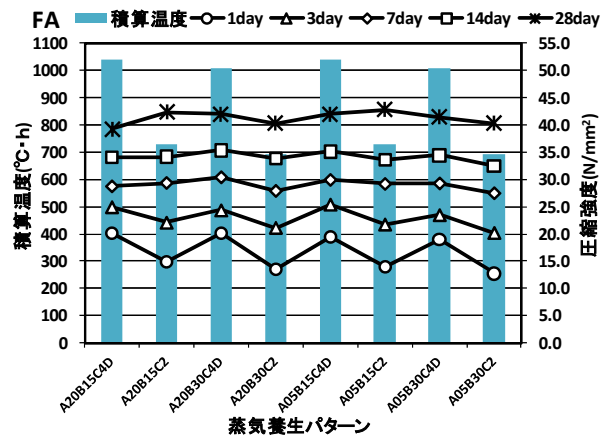


図-6 FAの積算温度と蒸気養生パターン別の強度比較

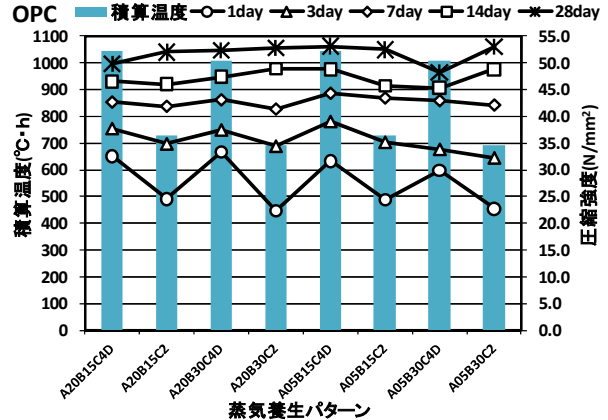


図-7 OPCの積算温度と蒸気養生パターン別の強度比較

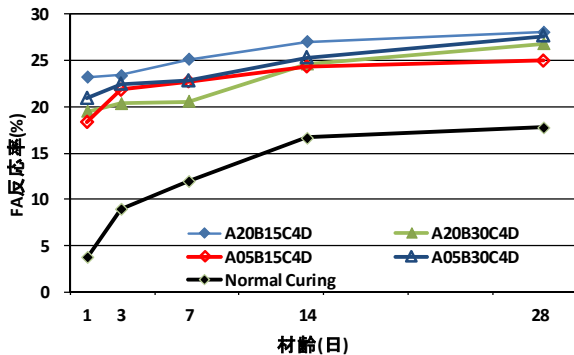
の反応率はGroupAパターンに比較し、材齢1日と3日で約5%低下するが、材齢7日以降では同等の反応率となった。前置時間が0.5h、昇温速度が15℃/hの条件下で最高温度継続時間と降温速度を変化させた場合、GroupBパターンの反応率はGroupAパターンに比較し、材齢1日と3日では9%低下し、材齢7日と14日では5%低下するが、材齢28日には同等の反応率となった。前置時間が0.5h、昇温速度が30℃/hの条件下で最高温度継続時間と降温速度を変化させた場合、GroupBパターンの反応率はGroupAパターンに比較し、材齢1日と3日では9%低下し、材齢7日と14日では5%低下するが、材齢の経過とともに反応率が増大し、材齢28日では3%低下する範囲まで増加した。

図-9 にフライアッシュの反応率を蒸気養生過程における GroupA パターンと GroupB パターンおよび常温養生のフライアッシュの反応率を示す。初期材齢 1 日では GroupA パターンで反応率が大きい結果が得られているが、材齢 28 日までの反応率の伸びは少なかった。一方、GroupB パターンにおいては GroupA パターンに比較し、材齢 1 日と 3 日の反応率は平均で約 7%低下しているが、その後の材齢に伴う反応率の伸びは大きく、材齢 14 日では約 5%の低下となり、材齢 28 日で GroupA パターンと同等の反応率が得られた。さらに、常温養生と蒸気養生した場合のフライアッシュの反応率を比較すると、材齢 1 日において常温養生は反応率が 5%以下と低く、その後も伸びはあるが全体的に蒸気養生を与えた場合に比較して 10%程度反応率が低い結果が得られた。つまり、蒸気養生履歴を与えることでフライアッシュのポゾラン反応が早期に開始していることが認められた。

(2) FA 反応率と Ca(OH)₂ 存在量への蒸気養生履歴の影響

1) Ca(OH)₂ 存在量に及ぼす蒸気養生履歴の影響

図-10 に熱重量示差熱分析(TG-DTA)試験によって求めた Ca(OH)₂ の存在量を示す。本研究の Ca(OH)₂ の存在量は、水和停止後のサンプル質量に対する測定値とした。グラフを蒸気養生条件別で見えていくと、GroupA パターンでは Ca(OH)₂ の存在量は材齢が進むに従って増加していくか徐々に減少していく結果となっており、Ca(OH)₂ 存在量も全体的に少ない結果となった。しかし、GroupB パターンは Ca(OH)₂ 存在量が材齢 7 日までは GroupA パターンよりも大きく増加しているが、材齢 14 日および 28 日になると Ca(OH)₂ 存在量が大きく減少している。この結果から、GroupB パターンは GroupA パターンに比較し、材齢 14 日からポゾラン反応が大きく増進していることが予想される。蒸気養生した場合を常温養生した場合と比較すると、常温養生した場合には Ca(OH)₂ 存在量の減少が見られないことから、フライアッシュのポゾラン反応が材齢 28 日では活性化していないことが考えられる。この結果は、前述したフライアッシュの反応率と同様の傾向が見られ、フライアッシュのポゾラン反応を初期に増進させるためには、蒸気養生履歴を与えることは効果的であると考えられる。



GroupAパターン

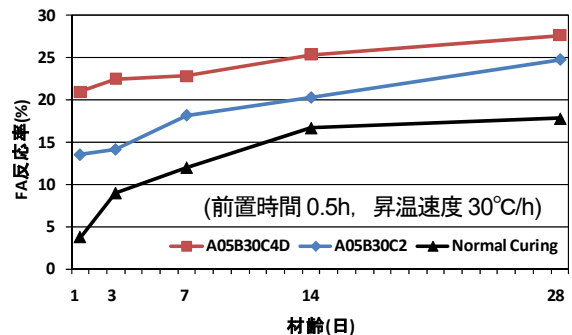
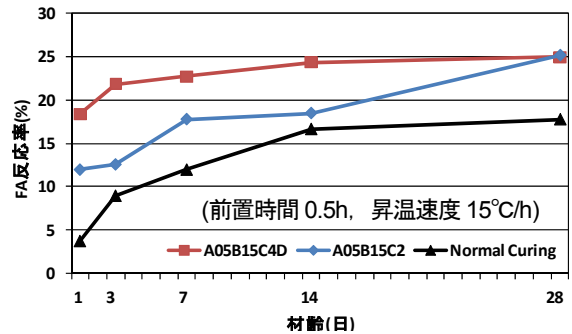
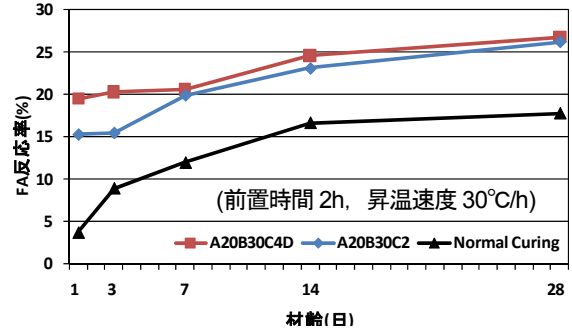
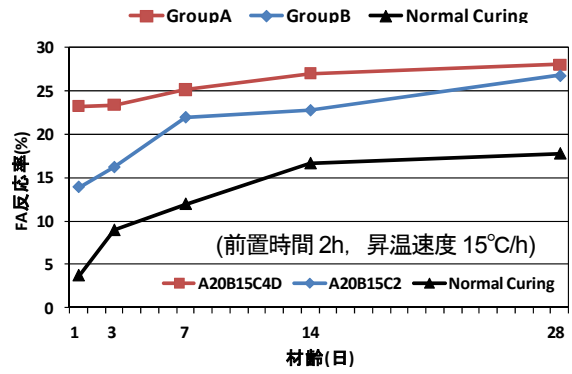
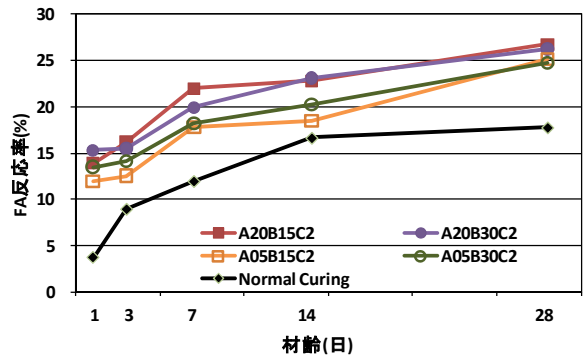


図-8 フライアッシュの反応率に及ぼす最高温度継続時間と降温速度の影響



GroupBパターン

図-9 蒸気養生履歴別のフライアッシュ反応率

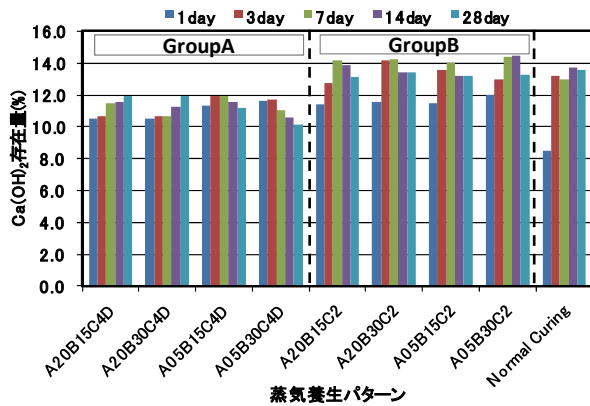


図-10 Ca(OH)₂存在量の比較

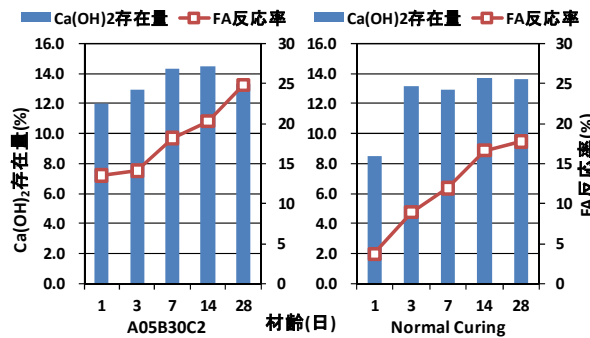


図-11 Ca(OH)₂存在量とFA反応率の関係

2) FA 反応率と Ca(OH)₂ 存在量の関係

図-11 に最も蒸気養生時間が短い A05B30C2 と常温養生の Ca(OH)₂ 存在量と FA 反応率の関係を示す。蒸気養生を行った場合、熱履歴を与えることで初期材齢 1 日の Ca(OH)₂ 生成量が大きく、初期の FA 反応率が高くなり、その後の FA 反応率の増加も大きいため、Ca(OH)₂ 存在量が材齢 14 日から減少している結果となった。一方、常温養生においては材齢 1 日から 3 日の Ca(OH)₂ 存在量の増加が大きく、材齢 3 日以降は Ca(OH)₂ 存在量の変化は見られなかったが、材齢に伴う FA 反応率の増加率は大きかった。

4. まとめ

本実験は、部材厚の薄い PCa 製品を対象として、蒸気養生履歴が材齢 1 日以降の圧縮強度発現性とフライアッシュの反応率に及ぼす影響についてモルタル及びセメントペーストを用いて検証した。本実験の範囲から、結果をまとめると次のようになる。

- (1) 前置時間を 2h から 0.5h に変化させても FA、OPC とともに同程度の圧縮強度となった。
- (2) FA の場合では昇温速度を 15°C/h から 30°C/h に変化させても圧縮強度は同程度となり、昇温速度を速めると材齢 1 日の圧縮強度が低下する傾向が見られた。
- (3) 最高温度継続時間を 4h から 2h に変化させると、FA と OPC とともに材齢 1 日と 3 日の圧縮強度は低下するが、材齢 7 日以降は同程度となり、2h に短縮した影響はなかった。

(4) 降温速度は徐冷降下した場合と比較して、常温 20°C に急冷降下した場合、FA、OPC とともに材齢 1、3 日の圧縮強度は低下するが、7 日で同程度となり、降温速度を短縮しても基準材齢以降の圧縮強度に影響は見られなかった。

(5) FA と OPC とともに積算温度の増加により、圧縮強度は材齢 1 日と 3 日で増加したが、積算温度に伴う材齢 7 日以降の圧縮強度の増加は見られなかった。

(6) フライアッシュの反応率は、蒸気養生過程における降温速度を徐冷降下した場合と比較し急冷にした場合には、材齢 1 日、3 日の反応率は低いが、その後の伸びが大きく、材齢 28 日で同程度の値となった。

(7) フライアッシュを用いたペーストに蒸気養生履歴を与えると、常温 20°C 養生と比較しフライアッシュの反応率が材齢 1 日から高いことが明らかとなった。

今回、PCa 製品の製造効率化の観点から蒸気養生履歴の再検証を行い、圧縮強度発現性の観点から、前置時間の短縮は影響が少なく、蒸気養生後の急冷降下は影響が大きい結果が得られた。今後はさらに、前置時間の短縮による DEF 膨張や部材厚および鉄筋拘束比等の条件で問題となる冷却時の熱ひずみによるひび割れについても検証し、蒸気養生履歴の短縮を図ることが必要であると考え。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：「プレキャストコンクリート製品の課題と展望」に関するシンポジウム報告書，2008.3
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編]，2007
- 3) 日本コンクリート工学協会：プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会報告書，2009.8
- 4) 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
- 5) 土木学会：C.L.132 「循環型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—利用拡大に向けた設計施工指針試案—」，2009.12
- 6) 小早川真，小津博，羽原俊祐，黄光律，友澤史紀：配合，養生温度がフライアッシュのポズラン反応率に及ぼす影響，太平洋セメント研究報告，No.139，2000
- 7) 小早川真，坂井悦郎，大門正機，佐藤道生：フライアッシュのポズラン反応がコンクリートの圧縮強度発現に及ぼす影響，無機マテリアル学会，Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan 15(334)，pp.137-145，2008
- 8) 池田隆徳，川端雄一郎，濱田秀則，佐川康貴：混和材による高温養生を行ったモルタルの DEF 膨張の抑制効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.1，pp.135-140，2008
- 9) 呉昊，遠藤友紀雄，森本博昭，小柳冷：蒸気養生中のコンクリートの力学的性質におよぼす温度履歴の影響，セメント・コンクリート論文集 No52，pp.592-597，1998