

H1-4

高温養生履歴がフライアッシュコンクリートの圧縮強度と空隙構造に及ぼす影響

The Effects of High Temperature Curing History on Compressive Strength and Void Structure of Fly Ash Concrete

○厚川匠汰¹, 佐藤正己², 梅村靖弘²

ShotaAtsukawa¹, MasakiSato², Yasuhiro Umemura³

Abstract: Nowadays, fly ash (FA) cement is also being used in precast (PCa) concrete products. In the production of general PCa concrete products, steam curing is carried out in curing PCa concrete. However, if the curing temperature is raised, there is concern about a decline in frost damage resistance. Therefore, the authors examined the effects of high temperature curing on compressive strength and void structure related frost damage resistance of PCa concrete using FA cement.

1. はじめに

循環型社会への移行が求められている中、建設業では産業副産物であるフライアッシュ (FA) の有効利用が求められている。一般にプレキャストコンクリート (PCa) 製品の製造では 1 日 1 サイクルの標準蒸気養生 (標準養生) が施されているが、製造効率を上げる必要がある場合は製造時間短縮のため、1 日 2 サイクルの促進蒸気養生 (促進養生) が行われている。荒川ら^[1]の研究では、FA セメントペーストの水和反応実験により養生温度が高い場合で FA のポゾラン反応が促進することが報告されている。また、PCa 製品は、蒸気養生温度を上げると連行気泡の摩滅により耐凍害性が低下する懸念がある。そこで本研究では、FA セメントを使用した PCa 製品の製造効率化を目的として蒸気養生最高温度を上昇させた場合の初期材齢強度の改善と耐凍害性に影響を及ぼす空隙構造について検討した。

2. 実験概要

使用材料を Table1 に示す。Table2 に示すようにコンクリート配合は、W/B=50%、FA のセメント内割置換率 30%、細骨材率(s/a)46%として配合を決定した。スランプ値は 10.5±2.5cm、空気量は下限 4.5~上限 6.0%に設定した。

Figure 1, Table 3 に蒸気養生プログラムのパターンを示す。養生プログラムは、最高温度 65℃とした標準養生と最高温度 80℃とした標準養生、すべての工程を短縮した 65℃促進養生、80℃促進養生の 4 水準とした。コンクリートの養生は蒸気養生槽を使用し、養生後は

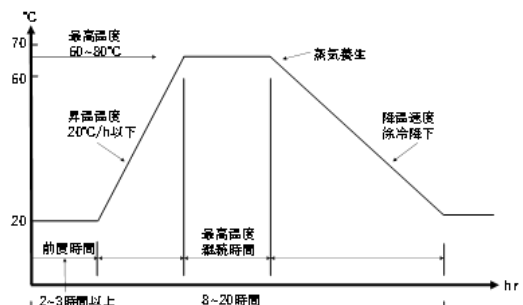


Figure 1. Steam curing program

Table 1. Materials

材料名	記号	材料の種類	備考
水	W	水道水	—
セメント	B	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
		FA	フライアッシュII種 密度=2.25g/cm ³ ブレン値=3700cm ² /g
細骨材	S	山砂	表乾密度=2.63g/cm ³ FM=2.34
粗骨材	G	石灰岩碎石	表乾密度=2.71g/cm ³ FM=6.87
混和剤	SP	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物とポリールの複合体
	AE	AE剤	変性ロジン酸化合物系

Table 2. Mix proportion of concrete

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					SP (B*) (%)	AE (B*) (%)
		W	B		S	G		
			C	FA				
50	46	145	203	87	855	1035	0.28	0.01

Table3. Steam curing program

熱養生パターン	前置時間 (h)	昇温時間 (h)	最高温度 継続時間 (h)	降温時間 (h)	合計時間 (h)
65℃標準	2	3	4	10	19
65℃促進	0.5	1.5	2	0*	4
80℃標準	2	4	4	13.3	23.3
80℃促進	0.5	2	2	0*	4.5

※常温20℃の環境条件下に暴露

アルミテープで覆い、試験材齢まで室温 20℃で封かん養生を行った。

3. 実験項目

(1) 圧縮強度試験：JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」にしたがって行った。試験材齢には、材齢 1 日、3 日、7 日、14 日、28 日とした。

1：日大理工・院(前)・土木 2：日大理工・教員・土木

(2) 気泡間隔係数測定試験：気泡間隔係数測定試験用の $\phi 100\text{mm} \times h200\text{mm}$ の円柱供試体を用い、ASTM C475「リニアトラバース法」に準拠して行った。

(3) 細孔径分布の測定：水銀圧入式ポロシメータを用いてコンクリート試験体内の細孔径分布を測定した。測定材齢は PCa 製品の出荷材齢である 14 日とした。

4. 実験結果と考察

Figure 2 に圧縮強度を示す。80°C標準養生では65°C標準養生と比較して材齢 1 日(脱型材齢)で約 1.5 倍となり、材齢 7 日以降に同等となった。一方、80°C促進養生では65°C標準養生と比較して、材齢 1 日(脱型材齢)と材齢 7 日で約 0.6 倍、材齢 14 日(出荷)で約 0.8 倍となり、さらに材齢 14 日以降で強度が停滞した。また、80°C促進養生は65°C促進養生とほぼ同じ強度となった。このことから、標準養生では最高温度を上げることで脱型強度の改善が見られた。

Figure 3 に材齢 14 日(出荷材齢)の気泡径分布と気泡間隔係数を示す。蒸気養生プログラムが気泡径分布に及ぼす影響として、気泡分布は、養生温度に関係なく標準養生が促進養生よりピーク値(0.03~0.3mm)付近の空気量が下回っており、耐凍害性を低下させる可能性があるエントレインドエア(気泡径 0.03~1mm)の摩滅が若干生じた。しかし、気泡間隔係数には大きな違いは見られず、泡間隔係数が 300 μm 以下²⁾であるため、十分な凍結融解抵抗性は得られていると考える。

Figure 4 に材齢 14 日(出荷材齢)の細孔径分布を示す。蒸気養生プログラムが細孔構造に及ぼす影響として、すべての養生プログラムにおいて 2 つのピークが存在しており、第 1 ピークは細孔系が 0.3~4 μm 、第 2 ピークは 0.05~0.08 μm 付近となった。同じ最高温度で比較すると促進養生に比べ標準養生の最高ピーク径が小さくなり、養生時間が長い方が細孔径分布のピーク径が小径化され、蒸気養生が細孔量に及ぼす影響として 0.01~0.1 μm 領域の細孔量は養生時間が短縮した促進養生では減少する傾向にあった。

圧縮強度と空隙構造を比較すると、最高養生温度 80°C と 65°C の標準養生と最高養生温度 80°C と 65°C の促進養生における各々の材齢 14 日の細孔径分布

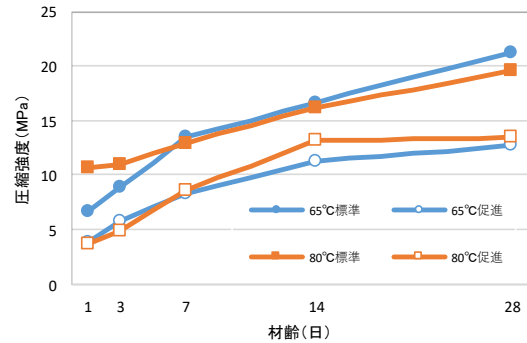


Figure 2. Compressive Strength

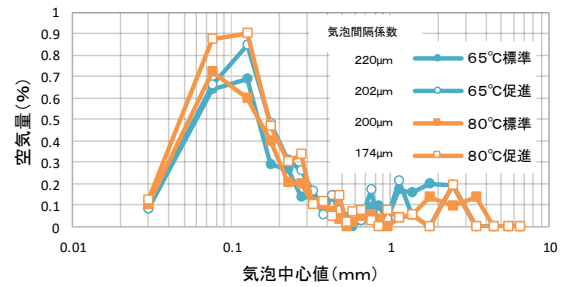


Figure 3. Bubble spacing factor

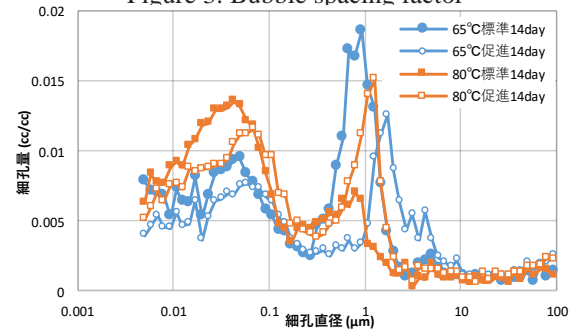


Figure 4. Pore size distribution

での第 1 ピーク、第 2 ピークの細孔径はほぼ同等となった。さらに、この場合と同じ材齢での圧縮強度は標準養生、促進養生各々において最高養生温度に関係なくほぼ同等となり、圧縮強度と第 1 ピーク、第 2 ピークの細孔径との関係が認められた。

5. まとめ

標準蒸気養生では促進蒸気養生に比べ初期強度の改善が見られ、気泡間隔係数は耐凍害性が確保される 250 μm 以下となった。また、標準蒸気養生では細孔径分布のピークが小径化および減少し緻密化した。

6. 参考文献

- [1]荒川理加ら：フライアッシュのポゾラン反応に及ぼす熱養生の影響，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，pp.987-988，2015
- [2]河野広隆ら：コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究報告，日本コンクリート工学会，Vol.30, No1, pp.41-50，20