

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

日本大学大学院理工学研究科 学正会員 ○厚川 匠汰
 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

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空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

2.1 使用材料と配合条件

使用材料を表-1 に示す。表-2 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 ± 2.5 cm，空気量は下限 4.5～上限 6.0% に設定した。

2.2 蒸気養生方法

図-1、表-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、すべての工程を単縮にした 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。

2.3 実験項目

(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。

(2) 気泡間隔係数測定試験：気泡間隔係数測定試験用の $\phi 100$ mm×h200 mm の円柱供試体を用い、ASTM C 475 「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。

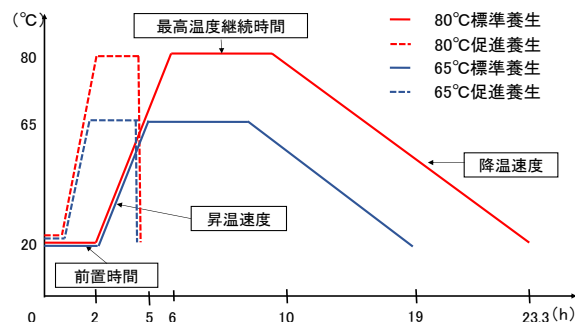


図-1 蒸気養生プログラム

表-1 使用材料表

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 = 3.16 g/cm^3 ブレン値 = $3260 \text{ cm}^2/\text{g}$
		FA フライアッシュII種	密度 = 2.25 g/cm^3 ブレン値 = $3700 \text{ cm}^2/\text{g}$
混和材	S	山砂	表乾密度 = 2.63 g/cm^3 FM = 2.34
粗骨材	G	石灰岩碎石	表乾密度 = 2.71 g/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

表-2 コンクリート配合表

W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					SP (B*) (%)	AE (B*) (%)
		W	C	FA	S	G		
50	45	145	203	87	855	1035	0.28	0.01

表-3 蒸気養生プログラム

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

定材齢は PCa 製品の出荷材齢である 14 日とした。

キーワード フライアッシュ、プレキャストコンクリート、蒸気養生、気泡径分布、細孔径分布

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部土木工学科 TEL/FAX 03-3259-0682

3. 実験結果と考察

3.1 圧縮強度発現性

図-2 に圧縮強度を示す。80℃標準養生では 65℃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℃促進養生では 65℃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℃促進養生は 65℃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脱型強度の改善が見られた。

3.2 蒸気養生プログラムが気泡径分布に及ぼす影響

図-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。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。そのため、蒸気養生時間が長くなると影響を受けると考えられる。しかし、気泡間隔係数には大きな違いは見られなかった。気泡間隔係数が 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。

3.4 蒸気養生プログラムが細孔構造に及ぼす影響

図-4 に材齢 14 日(出荷材齢)の細孔径分布を示す。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た。また、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。

3.6 圧縮強度と空隙構造の比較

最高養生温度 80℃と 65℃の標準養生と最高養生温度 80℃と 65℃の促進養生における各々の材齢 14 日の細孔径分布での第 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。

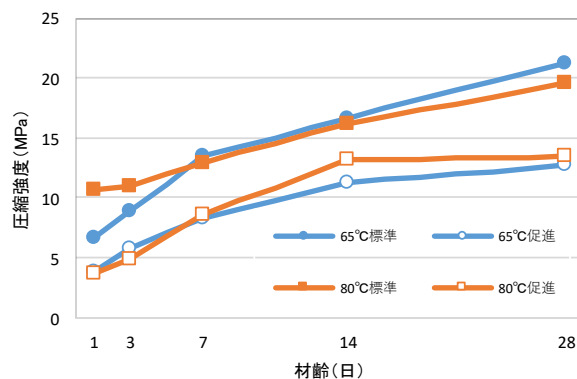


図-2 圧縮強度

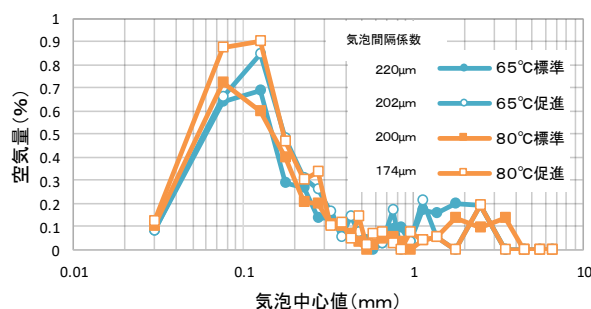


図-3 気泡径分布と気泡間隔係数(材齢 14 日)

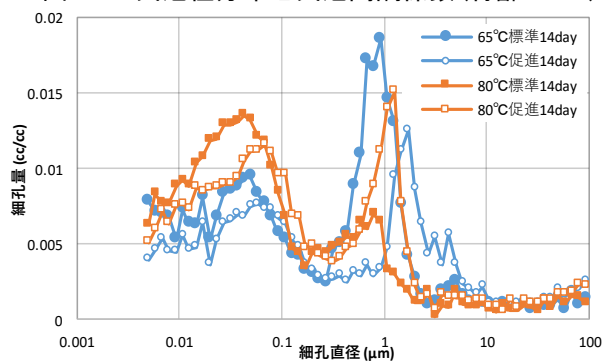


図-4 細孔径分布(材齢 14 日)

4. まとめ

- (1) 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た。
- (2) 気泡間隔係数は耐凍害性が確保される 300 μm 以下となった。
- (3) 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。

【参考文献】

- 1) 荒川理加ら：フライアッシュのポズ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.41-50，2008