

フライアッシュセメントの水和反応と圧縮強度発現性に及ぼす熱養生履歴の影響

日本大学大学院理工学研究科 ○学生会員 篠田 康人  
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

一般的にプレキャストコンクリート(PCa)は、一般的に最高養生温度 65℃において 1 日 1 サイクル工程の標準熱養生(標準養生)で製造されており、製品工場では、製造効率化のため 1 日 2 サイクル工程の促進熱養生(促進養生)も経験則的に行われている。また、近年では PCa 製品においてフライアッシュ(FA)が利用されつつあるが、初期材齢である脱型強度の低下を抑制することが課題となっている。FA のポズラン反応は温度依存性が大きく、荒川らの研究<sup>1)</sup>において、FA の反応が養生温度 65℃よりも 80℃でさらに活性化することが明らかになっている。このことにより PCa 製品の製造において FA を適用した際は通常の最高養生温度である 65℃から 80℃へ上げることで FA のポズラン反応が活性化し、初期材齢強度の向上に寄与することが予想された。本研究では、最高養生温度の違い(65℃, 80℃)と促進養生が与える影響について、セメントと FA の水和反応と圧縮強度発現性から比較検討を行うことを目的とした。

2. 実験概要

表-1 に使用材料を、表-2 にセメントペースト配合を示す。表-3 に使用した熱養生プログラムを示す。本研究では、最高養生温度 80℃(以下 80℃)、最高養生温度 65℃(以下 65℃)における標準養生と、標準養生のうち、降温工程を急冷としたものを 80℃標準養生改、全ての工程を短縮したプログラムを 65℃促進養生と 80℃促進養生とする。熱養生を用いて練混ぜ後の最高養生温度の違いによる影響を検討した。

2.1 セメントと FA の水和反応分析

熱養生後 80℃一定で封緘養生をした硬化 FA ペースト試料を粉碎し、水和停止前の試料を乾燥炉(105℃)に入れ、質量減少から間隙水量を測定した。水和反応分析用試料は、粉碎した試料にアセトンを用いて水和停止したものとした。この分析試料を用いて選択溶解法から FA 反応率を算出した<sup>2)</sup>。α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を内部標準物質として添加した内部標準法を用いて XRD/リートベルト法により、各未反応セメント鉱物、FA の結晶質相、エトリンガイト(Aft)、ケイ酸カルシウム水和物及び FA を含む非晶質相を同時に測定した。熱重量示差熱分析により水酸化カルシウム量及び炭酸カルシウム量を測定した。

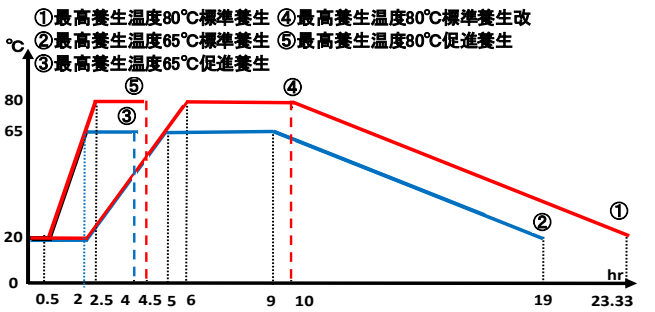


図-1 熱養生プログラム

表-1 使用材料

| 材料名          | 略号 | 備考                       |
|--------------|----|--------------------------|
| 普通ポルトランドセメント | C  | 密度=3.16g/cm <sup>3</sup> |
|              |    | ブレン値=3260cm <sup>3</sup> |
| フライアッシュⅡ種    | FA | 密度=3.16g/cm <sup>3</sup> |
|              |    | ブレン値=3700cm <sup>3</sup> |
| 水            | W  | 蒸留水                      |

表-2 セメントペースト配合

| W/B(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |
|--------|-------------------------|-----|-----|
|        | W                       | B   |     |
|        |                         | C   | FA  |
| 50     | 585                     | 819 | 351 |

表-3 熱養生プログラム一覧

| 熱養生パターン    | 前置時間(h) | 昇温速度(°C/h) | 最高温度継続時間(h) | 降温速度(°C/h) |
|------------|---------|------------|-------------|------------|
|            | A       | B          | C           | D          |
| ① 80℃標準養生  | 2       | 15         | 4           | 4.5        |
| ② 65℃標準養生  | 2       | 15         | 4           | 4.5        |
| ③ 65℃促進養生  | 0.5     | 30         | 2           | ※          |
| ④ 80℃標準養生改 | 2       | 15         | 4           | ※          |
| ⑤ 80℃促進養生  | 0.5     | 30         | 2           | ※          |

※常温20℃の環境条件下に暴露

用いて水和停止したものとした。この分析試料を用いて選択溶解法から FA 反応率を算出した<sup>2)</sup>。α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を内部標準物質として添加した内部標準法を用いて XRD/リートベルト法により、各未反応セメント鉱物、FA の結晶質相、エトリンガイト(Aft)、ケイ酸カルシウム水和物及び FA を含む非晶質相を同時に測定した。熱重量示差熱分析により水酸化カルシウム量及び炭酸カルシウム量を測定した。

2.2 FA セメントペーストの圧縮強度測定

硬化 FA ペースト試料をダイヤモンドカッターで 15mm 四方の正立方体に切り出し、端面研磨した供試体の圧縮強度を測定した。

キーワード フライアッシュ、プレキャストコンクリート、養生、ポズラン反応、水和反応

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

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 最高養生温度の違いにおける影響

標準養生におけるFA反応率, セメント反応率, 結合材反応率, 圧縮強度を図-2(1)~(4)に示す. FA反応率は, 80℃標準養生が65℃標準養生に対して材齢1日で4倍, セメント反応率が1.3倍となり, 材齢3~28日では同等となった. 結合材反応率は80℃標準養生が材齢1日で65℃標準養生の1.5倍, 材齢28日では同等となった. 圧縮強度は, 80℃標準養生が材齢1~3日において65℃標準養生の2倍となり材齢28日では同等になった. 以上のことから最高養生温度を80℃から65℃に上げることで材齢1日のFAとセメントの反応率が大きくなり脱型強度が改善されると予想される.

#### 3.2 熱養生時間の短縮による影響

図-2に80℃標準養生改, 80℃促進養生, 65℃促進養生のFA反応率, セメント反応率, 結合材反応率, 圧縮強度を加えた図を図-3(1)~(4)に示す. FA反応率は80℃標準養生改が材齢1日で65℃促進養生と80℃促進養生に対して5倍, 材齢28日で1.5倍となった. セメント反応率は材齢1日で65℃促進養生に対し80℃標準養生改が1.4倍, 80℃促進養生が1.2倍となり, 材齢14日から同等となった. 結合材反応率は65℃促進養生に対し材齢1日で80℃標準養生改が1.4倍, 80℃促進養生が1.1倍となり, 材齢14日から同等となった. 圧縮強度は80℃標準養生改が材齢1日で65℃促進養生に対して3倍, 80℃促進養生に対して2倍となり, 材齢28日では同等となった. 80℃促進養生は, 材齢1日で65℃促進養生に対して2倍, 65℃標準養生の0.8倍となり, 材齢3日以降は65℃促進養生と同等となった. 以上のことから, 80℃促進養生は65℃促進養生より効果的であることが明らかとなった.

#### 4. まとめ

- (1)標準養生では最高養生温度 80℃の場合は 65℃の場合と比較して FA とセメントの反応率が大きくなり圧縮強度は脱型強度となる材齢1日では2倍となり, その後, 材齢28日では同等になった.
- (2)促進養生では 最高養生温度 80℃の場合は 65℃の場合と比較してセメントの反応率が大きくなり, 材齢1日強度が1.8倍となり 65℃の標準養生の0.8倍となった.

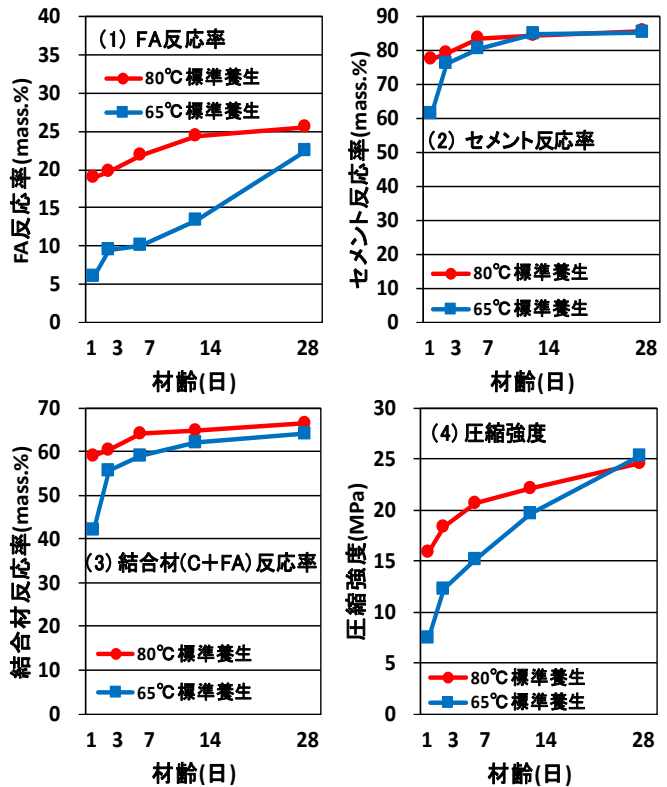


図-2 最高養生温度の影響

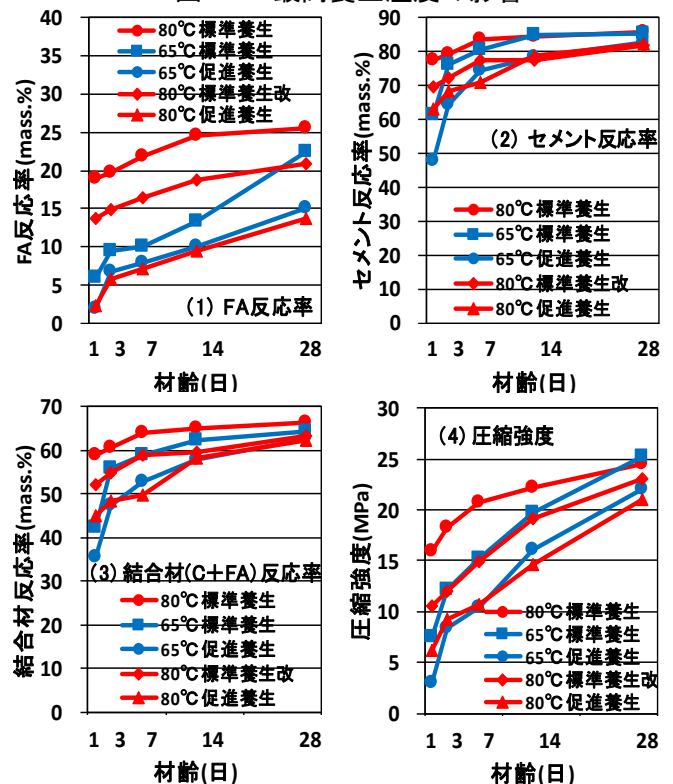


図-3 熱養生時間短縮の影響

#### 【参考文献】

- 1)荒川理加ほか：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)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, pp. 397-400, 1982