

H1-3

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
The Effects of Heat Curing History on Hydration Reaction and Compressive Strength of Fly Ash Cement

○篠田康人¹, 佐藤正己², 梅村靖弘²

*Yasuto Shinoda¹, Masaki Sato², Yasuhiro Umemura²

Abstract: It is clear that the pozzolanic reaction of FA has a large temperature dependence and the reaction is activated at a curing temperature of 80°C. rather than 65°C. Therefore, by raising the curing temperature to 80°C, the pozzolanic reaction of FA was activated and it was expected to contribute to the improvement of the initial material age strength. In this study, we aimed to compare the difference of the maximum curing temperature and the effects of accelerated curing from the hydration reaction of cement and FA and the compressive strength development.

1. はじめに

プレキャストコンクリート(PCa)は、最高養生温度 65°Cにおいて 1 日 1 サイクル工程の標準熱養生(標準養生)で製造されているが、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、近年ではフライアッシュ(FA)が利用されつつあるが、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低いが、荒川らの研究^[1]では養生温度 65°Cよりも 80°Cで反応が活性化することが明らかになっている。このため最高養生温度を 80°Cへ上げることで FA のポズラン反応が促進し、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

Table 1.に使用材料を、Table 2.にセメントペースト配合を示す。Table 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°C(以下 80°C)、最高養生温度 65°C(以下 65°C)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°C標準養生改、全ての工程を短縮したプログラムを 65°C促進養生と 80°C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°C一定で封緘養生をした硬化 FA ペースト試料を粉砕し、水和停止前の試料を乾燥炉(105°C)に入れ、質量減少から間隙水量を測定した。水和反応分析

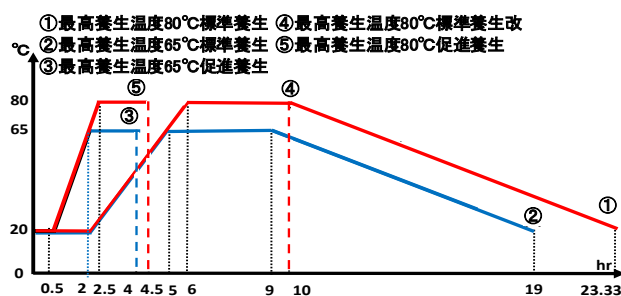


Figure 1. Heat Curing Program

Table 1. Materials

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 ³ ブレン値=3260cm ³
フライアッシュII種	FA	密度=3.16g/cm ³ ブレン値=3700cm ³
水	W	蒸留水

Table 2. Mix Proportion of Cement Paste

W/B(%)	単用量(kg/m ³)		
	W	C	FA
50	585	819	351

Table 3. Heat Curing Program

熱養生パターン	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)
① 80°C標準養生	2	15	4	4.5
② 65°C標準養生	2	15	4	4.5
③ 65°C促進養生	0.5	30	2	※
④ 80°C標準養生改	2	15	4	※
⑤ 80°C促進養生	0.5	30	2	※

※常温20°Cの環境条件下に暴露

用試料は、粉砕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^[2]。α-Al₂O₃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。

1 : 日大理工・院 (前) 2 : 日大理工・教員・土木

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。

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 Figure 2.(1)~(4)に示す。FA 反応率は、80°C標準養生が 65°C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°C標準養生が材齢 1 日で 65°C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°C標準養生が材齢 1~3 日において 65°C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°Cから 65°C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

Figure 2.に 80°C標準養生改、80°C促進養生、65°C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 Figure 2.(1)~(4)に示す。FA 反応率は 80°C標準養生改が材齢 1 日で 65°C促進養生と 80°C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°C促進養生に対し 80°C標準養生改が 1.4 倍、80°C促進養生が 1.2 倍となり、材齢 14 日からは同等となった。結合材反応率は 65°C促進養生に対し材齢 1 日で 80°C標準養生改が 1.4 倍、80°C促進養生が 1.1 倍となり、材齢 14 日からは同等となった。圧縮強度は 80°C標準養生改が材齢 1 日で 65°C促進養生に対して 3 倍、80°C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°C促進養生は、材齢 1 日で 65°C促進養生に対して 2 倍、65°C標準養生の 0.8 倍となり、材齢 3 日以降は 65°C促進養生と同等となった。以上のことから、80°C促進養生は 65°C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°Cの場合は 65°C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°Cの場合は 65°Cの場合と

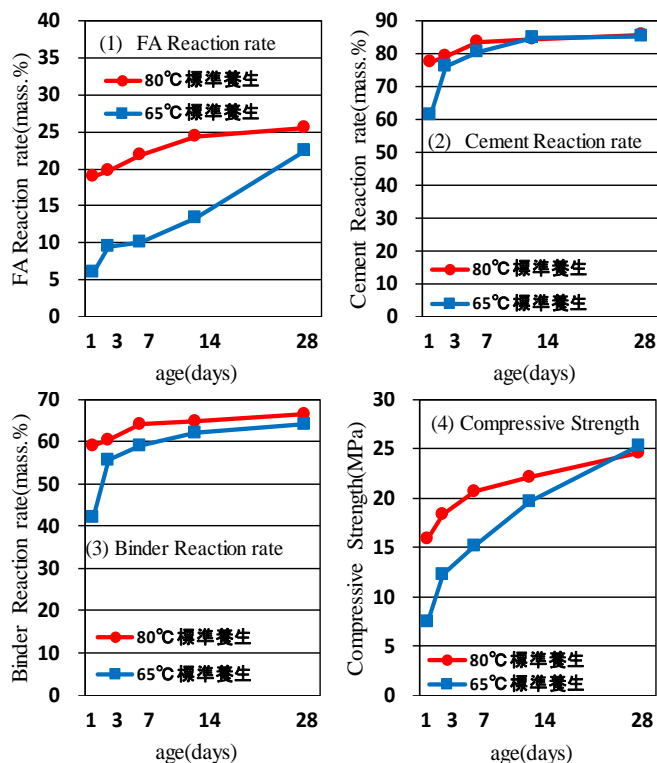


Figure 2. Effect of Maximum Curing Temperature

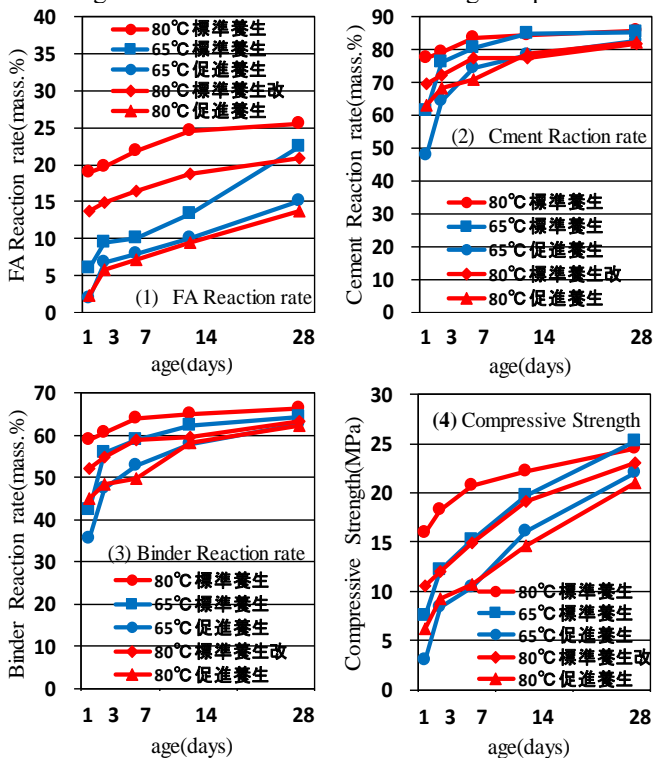


Figure 3. Effect of Shortened Heat Curing Time

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°Cの標準養生の 0.8 倍となった。

5. 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：セメントー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