

フライアッシュ及び高炉スラグを用いたセメントペーストの
圧縮強度発現と水和反応に及ぼす熱養生履歴の影響

日本大学大学院

学生会員

○新井 穂高

日本大学理工学部

正会員

梅村 靖弘

日本大学理工学部

正会員

佐藤 正己

1. はじめに

近年、環境負荷低減の観点から、グリーン購入法としてフライアッシュ(FA)・高炉スラグ (BS)といった産業副産物の有効利用が進められている。それらを混和したコンクリートは初期強度が低下する為、蒸気やオートクレーブなどの熱養生を行い、初期強度を増進させるプレキャスト(PCa)コンクリート製品への利用が期待されている。そこで、本研究では FA・BS を混和した場合の強度を改善するため、蒸気養生における最高温度の違いが FA および BS セメントペーストの圧縮強度、水和反応に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および試験条件

本試験で使用する材料を表-1、ペースト配合を表-2 に示す。セメントペースト(CP)は普通ポルトランドセメント(C)に対して、BS は B 種の想定として 45%内割置換, FA は C 種の想定として 30%内割置換し、水結合材比(W/B)を 50%とした。

熱養生プログラムは、土木学会コンクリート標準示方書に記載の常圧蒸気養生の一例を参考に設定した。最高温度を 65, 80℃に設定し、前置時間を 2h, 昇温速度を 15℃/h, 最高温度継続時間を 4h, 降温速度を 4.5℃/h とした。

熱養生後は所定の材齢(1, 3, 7, 14, 28, 91 日)まで室温 20℃の封緘養生を行った。所定の材齢に達したペースト試料は、ハンマーおよびボールミルで粉砕し、粉砕後アセトンを用いて水和停止操作を行った。

2.2 試験項目

圧縮強度試験は、硬化した CP 試料を 15×15×15mm の立方体に切り出し、圧縮強度を測定した。

間隙水量の測定は、蒸発皿に試料を量り取り、105℃の乾燥炉に入れ、質量減少量を間隙水量とした。熱重量示差熱分析(TG-DTA)による水酸化カルシウム(CH)および炭酸カルシウム(CC)量の測定は、水和停止後の試料を用いて TG-DTA により吸熱ピークに相当する質量減少量から求めた。

セメント鉱物および水和物の定量は、XRD/リートベルト法により解析ソフト TOPAS (Bruker AXS)を用いて測定した。内部標準物質として α-Al₂O₃ (10mass.%)を用いて、各セメント鉱物と結晶質水和物および非晶質相を定量した。

BS 残存量の定量は、石川ら¹⁾の方法を参考に 900℃に焼成した CP 試料中の結晶化したゲーレンナイト量、オケルマナイト量を XRD/リートベルト法で定量値とあらかじめ未水和試料で求めた検量線により求めた。

FA 反応率は、朝賀ら²⁾の方法を参考に塩酸(2mol/l)と炭酸ナトリウム溶液(5%)を用いた遠心分離による選択溶解法より算出した。以上の各試験により算出した定量値から相組成を算出した。

表-1 使用材料

材料	略号	材料の種類	諸元
水	W	蒸留水	—
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度 = 3.15 g/cm ³
			比表面積 = 3260 cm ² /g
混和材	B	高炉スラグ微粉末	密度 = 2.89 g/cm ³
			比表面積 = 4380 cm ² /g
	FA	フライアッシュⅡ種	密度 = 2.24 g/cm ³
			比表面積 = 3700 cm ² /g

表-2 配合表

配合名	W/B (%)	単位量(kg/m ³)			
		W	B		
			C	BS	FA
BB	50	602	662	542	—
FC		585	819	—	351

キーワード フライアッシュ、高炉スラグ、プレキャストコンクリート、熱養生履歴、水和反応

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 TEL/FAX 03-3259-0687

3. 実験結果と考察

3.1 熱養生履歴が圧縮強度発現性に及ぼす影響

BB, FC の圧縮強度を図-1 に示す. 最高温度 65°C と 80°C の圧縮強度を比較すると, BB, FC とともに最高温度を 80°C とした場合が, 材齢 1 日及び PCa コンクリート製品の出荷基準材齢 14 日での圧縮強度が大きくなった. しかし, FC の場合は材齢 28 日以降で最高温度を 65°C とした場合の強度が 80°C の場合を上回り, 材齢 91 日では最高温度 80°C を大きく上回る結果となった. BB の場合も材齢 91 日で最高温度 65°C と 80°C の圧縮強度が同程度となった.

BB, FC の圧縮強度増進率を図-2 に示す. 材齢 28 日までは BB の圧縮強度増進率が FC よりも大きくなったが, BB はその後の圧縮強度増進率が小さくなった. FC は材齢 28 日以降の圧縮強度増進率が大きくなった. BB の最高温度 65°C と 80°C の圧縮強度増進率を比較すると, 材齢 28 日までは最高温度 80°C が大きくなったが, それ以降は最高温度 65°C の圧縮強度増進率が大きくなり, 材齢 91 日では同程度となった. FC の最高温度 65°C と 80°C の圧縮強度増進率を比較すると材齢 14 日までは最高温度 80°C の圧縮強度増進率が大きいが, それ以降になると最高温度 65°C の圧縮強度増進率が大きくなり, 材齢 91 日では最高温度 80°C を大きく上回る結果となった.

3.2 熱養生履歴が水和反応に及ぼす影響

BB, FC の結合材反応率を図-3 に示す. BB の結合材反応率は材齢 1 日から 91 日にかけて, 最高温度 65°C と 80°C で同様の変化を示し, 材齢 1 日の反応率が 60% を超え, 材齢 28 日以降は 80% から 85% の範囲で一定となり大きなばらつきが生じなかった. このように最高温度 65°C と 80°C の結合材の反応率に大きな違いが生じなかった要因としては, 図-4 に示したセメント反応率が最高温度 65°C と 80°C で同様の反応率を示したことが考えられる. また, 図-5 に示した BS 反応率においても, 最高温度の違いによる大きな差が見られなかったことが考えられる. BS 反応率は, 図-2 に示した BB の圧縮強度増進率と高い相関性が認められた.

一方, FC は最高温度 65°C と 80°C で材齢 1 日の結合材反応率に大きな差が見られた. この要因としては, 図-6 に示した FA 反応率が BS 反応率と比較して小さく, ばらつきが大きかったことがあげられる. FA 反応率は図-2 に示した圧縮強度増進率と高い相関性が認められた.

4. まとめ

BB, FC とともに最高温度を 65°C から 80°C に上げることは, 初期材齢での強度の増大に有効であり, その傾向は FA の方が大きいことが明らかとなった. 材齢 28 日以降では BB, FC とともに最高温度 65°C の圧縮強度増進率が多いことから, 長期材齢では最高温度 65°C の圧縮強度が増進していくことが考えられる.

参考文献

- 1) 石川ほか: 加熱試料を用いた X 線回折-リートベルト法による高炉セメント中のスラグ反応率測定法の検討, Cement Science and Concrete Technology, Vol.69, pp76-81, 2015
- 2) 浅賀ほか: 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
- 3) 社団法人セメント協会: コンクリート専門委員会報告, 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

