

各種超微粉末を用いた高強度コンクリートの耐火性能改善に関する一考察

(株)デイ・シイ 正会員 ○藤原 了

同上 正会員 三石 歩

同上 正会員 二戸 信和

宇都宮大学 地域デザイン科学部 正会員 藤原 浩巳

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の長寿命化や耐久性向上の観点から、高強度コンクリート構造物が増加している。しかし、高強度コンクリート構造物は、火災を受けるとコンクリートが爆裂し、かぶり部分が脱落して耐火性能が低下する。一方、これまでに筆者らは、フライアッシュや高炉スラグ微粉末を超微粉末化し、モルタルまたはコンクリートのフレッシュ性状、収縮特性および強度特性などを把握し、高強度コンクリート混和材として適用の可能性について検討した。今回は、これら超微粉末の耐火性能について確認した。

2. 実験概要

(1) 使用材料

本実験で使用した材料を表1に示す。50% 累積体積通過径である D_{50} はレーザー回折式粒度分布測定器によって測定を行った。異なる粒径のフライアッシュ超微粉末(FA)は、FA II種を原料とし、乾式粉碎または分級により製造した。高炉スラグ超微粉末(BF)も同様な方法により製造した。

(2) 実験水準および練混ぜ

本実験で比較した調合を表2に示す。SFを使用した水準のみ PP 繊維の有無について確認を行った。各混和材置換率は20%(SFのみ15%)とした。練混ぜ時は、強制二軸型ミキサーを用いて練量40Lとした。練混ぜの順序は、B+S投入後30秒→注水→モルタル化時間+60秒→G投入後120秒→5分静置→30秒練混ぜ→排出とした。ここで、「モルタル化時間」とは練混ぜ開始から目視により水と結合材が一体化し、その後一体化の状態がほとんど変化しないと判断される時間である。

(3) 実験項目および測定方法

実験項目および測定方法を表3に示す。耐火試験は、100×100×4000mmの供試体を1水準2本作成し、材齢28日まで封緘養生後に、写真1に示すように供試体を設置した加熱炉にて実施した。通気率は、φ100×200mmの供

表1 使用材料

名称	材料名	記号	密度 (g/cm ³)	D ₅₀ (μm)	強熱減量 (%)		
水	上水道水	W	1.00	-	-		
セメント	普通ポルトランドセメント	OPC	3.16	17.1	1.03		
	フライアッシュ超微粉末1	B	FA0.9	2.63	0.94	3.98	
	フライアッシュ超微粉末2		FA1.5	2.56	1.52	2.04	
	フライアッシュ超微粉末3		AD	FA3.0	2.53	3.01	2.00
	高炉スラグ超微粉末		BF	2.91	1.81	0.59	
	シリカフューム		SF	2.25	0.39	1.64	
細骨材	安山岩砕砂		S	2.62	吸水率2.58%		
粗骨材	安山岩砕石	G	2.63	吸水率2.41%			
繊維	ポリプロピレン繊維	PP	0.91	径65μm、長さ12mm			
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系				
	消泡剤	AE	ポリアルキレングリコール誘導体				

表2 実験水準

調合No.	W/B (%)	AD/B (%)	SP/B (%)	AE/B (%)	PP (vol%)	モルタル化時間(s)	単位量(kg/m ³)			
							W	B	S	G
SF-PP	17.5	15	2.90	0.03	0.2	100	150	857	569	868
SF			2.30		-	120			569	
FA0.9			1.25		-	60			584	
FA1.5			1.30		-	130			579	
FA3.0			1.40		-	780			577	
BF			1.05		-	180			600	

表3 実験項目および測定方法

試験項目	試験方法	目標および試験内容
スランブフロー	JIS A 1150	65±7.5cm
空気量	JIS A 1128	2.0%以下
圧縮強度	JIS A 1108	20°C水中養生(材齢28日)
耐火性 (質量変化率)	ISO-834-1 (3時間加熱)	質量変化率は、耐火試験前後における質量差を耐火試験前質量で除して算出。
通気率	JIS R 2115	加熱なし、300°C、600°C1時間保持の3条件。
含水率		φ100×200mmの供試体にて、耐火試験と同一材齢、養生後に定量になるまで105°Cで乾燥。含水率は乾燥前後における質量差を乾燥前質量で除して算出。
水酸化カルシウム量		耐火試験前の試料をXRD装置を用いて内部標準法にて算出。水酸化カルシウムの2θ = 18.1° のピーク面積I _{Ca(OH)₂} と内部標準に用いたα-Al ₂ O ₃ (10mass%)の2θ = 57.4° のピーク面積I _{Al₂O₃} の比で評価。

キーワード フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、水酸化カルシウム、耐火性、高強度コンクリート、通気率
連絡先 神奈川県川崎市川崎区浅野町 1-17 (株) デイ・シイ 技術センター TEL044-333-0618 FAX 044-355-4010

試体を耐火試験と同一材齢、養生後に、中央部を厚さ 40mm に 3 枚カットした。加熱なし、300°C 1h 保持、および 600°C 1h 保持の 3 条件とし、昇温速度は 600°C/h とした。

3. 実験結果

実験結果を表 4 に示す。含水率はすべての水準において 3% 程度となり、質量変化率との相関は確認できなかった。SF を用いた水準は、すべて爆裂し、質量変化率は 100% となった。通気率においても加熱 600°C は爆裂し、測定ができなかった。SF-PP の質量変化率は減少した。これは、PP 繊維の混和により加熱時の蒸気圧を緩和する十分な空隙が形成されたもの¹⁾と考えられる。

PP 繊維を混和しない水準の耐火性は、BF, FA3.0, FA0.9, FA1.5, および SF の順

で良好となった。とくに BF を用いた水準の質量変化率が小さくなった。ここで、図 1 に耐火試験前のモルタルに含有する水酸化カルシウム量と質量変化率との関係を示す。ピーク面積比 $I_{Ca(OH)_2} / I_{Al_2O_3}$ が大きいほど質量変化率が大きいと図 1 から分かる。水酸化カルシウム量が少ないほど耐火性が改善されることは、水酸化カルシウムの分解による結合水から発生した蒸気が爆裂現象の一因としている高野らの研究¹⁾と一致する。

表 4 より、通気率は加熱なしの条件ではすべて通気できなかったが、加熱 300°C、600°C と温度が高くなるほど通気率が大きくなった。図 2 および図 3 の各温度と通気率の関係より、通気率と質量変化率の相関が 300°C より 600°C の方が高いことが判断できる。水酸化カルシウムの分解温度が約 400~500°C であるため、加熱 600°C の通気率は水酸化カルシウムの分解後の通気率である。つまり、コンクリートの水酸化カルシウム量が少ないほど、質量変化率は小さくなり、耐火性は向上する傾向となることが分かった。これらの結果より、BF を用いた水準の耐火性が向上した理由として、水酸化カルシウムの分解による結合水から発生した蒸気による爆裂現象が生じにくかったことによると考えられる。

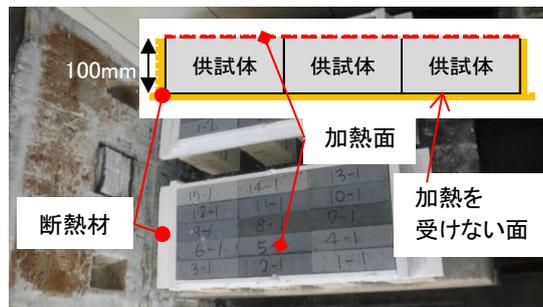


写真 1 耐火試験の供試体設置概要

表 4 実験結果

調合No.	フロー (cm)	空気量 (%)	含水率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	質量変化率 (%)	ピーク面積比	通気率 (× 10 ⁻¹⁵ m ²)		
							加熱なし	300°C	600°C
SF-PP	65.0	0.8	3.1	154	20.4	-	0.00	0.32	2.11
SF	63.0	1.9	3.3	145	100	0.63	0.00	0.05	爆裂
FA0.9	66.0	0.5	3.4	145	49.8	0.49	0.00	0.13	1.39
FA1.5	67.0	0.9	3.3	144	74.5	0.47	0.00	0.20	0.87
FA3.0	68.0	2.0	3.5	153	34.3	0.59	0.00	0.10	1.55
BF	69.0	0.8	3.1	157	15.6	0.36	0.00	0.54	3.16

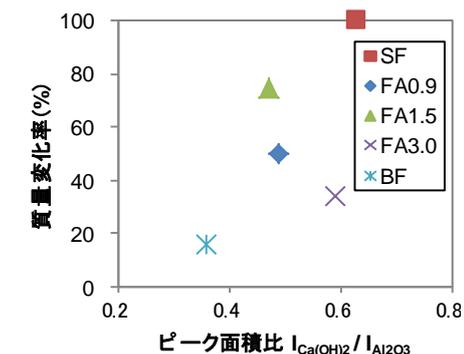


図 1 ピーク面積比と質量変化率

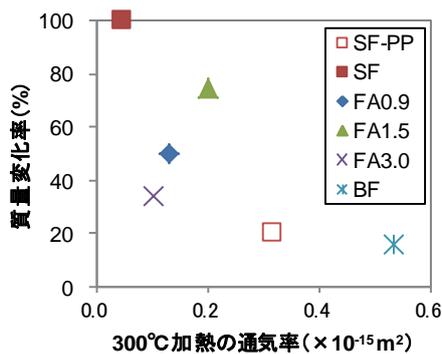


図 2 300°C加熱の通気率と質量変化率

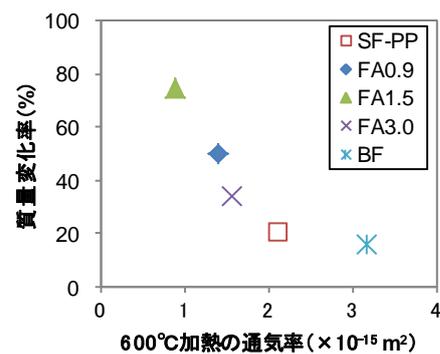


図 3 600°C加熱の通気率と質量変化率

4. まとめ

超微粉末化した FA および BF の耐火性を、SF を用いた高強度コンクリートと比較した結果、以下の知見を得た。

- (1) BF, FA, および SF の順で耐火性は良好となった。
- (2) 水酸化カルシウム量が少ないほど、通気率は大きくなり、耐火性は良好となった。

【参考文献】

- 1) 高野智宏ほか: 高温加熱を受ける高強度繊維補強コンクリートの耐火性能について, 土木学会論文集 E, Vol.63, No.3, pp.424-436, 2007