第Ⅴ部門　高炉スラグ微粉末の添加および養生条件がFA系ジオポリマーモルタルの高温抵抗性に及ぼす影響

関西大学大学院理工学研究科　学生会員　○ZHOU YUNRUI
関西大学環境都市工学部　正会員　鶴田 浩章
元関西大学大学院理工学研究科　谷　浩田

1. はじめに

本研究では，フライアッシュ（FA）および高炉スラグ微粉末（BFS）を有効利用したジオポリマー（GP）モルタルの高温抵抗性を評価した。セメント製造に伴う CO_2 排出量削減は喫緊の課題であり，GP は低炭素型結合材として注目される。特に，トンネル火災等の極高温環境下でのセメントコンクリートの劣化が問題となる中，GP は優れた高温抵抗性を示す可能性がある。BFS はカルシウムを多く含むため，常温でも反応性が高く，ジオポリマーの初期強度の向上や組織の緻密化が期待される。一方で，高温時には生成物の変化により高温抵抗性へ影響を及ぼす可能性がある。そのため，本研究は，BFS の置換率および養生湿度条件が GP モルタルの極高温域（最大 1150℃）における強度保持特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本研究で使用した材料を**表-1** に示す。アルカリ溶液には密度 1.6 g/cm³のケイ酸ナトリウム溶液（SS）および濃度 3.6 mol/L の水酸化ナトリウム溶液（SH）を使用した。活性フィラーにはフライアッシュ（FA）と高炉スラグ微粉末（BFS）を用い，細骨材には JIS 標準砂を使用した。

配合条件を**表-2** に示す。本研究では，アルカリ溶液条件（SH 濃度 3.6 mol/L，SS/SH=1.0）および L/P 比（1.00）を一定とし，BFS 置換率のみを 0%，10%，30%に変化させた。フライアッシュは JIS A 6201 II 種であり，主成分は SiO_2 および Al_2O_3 である。これらを用いて，BFS 置換率が FA 系ジオポリマーモルタルの高温抵抗性に及ぼす影響について検討した。

表－1 使用材料

項目	材料	記号
アルカリ溶液(L)	ケイ酸ナトリウム溶液 密度 1.6g/cm³	SS
	水酸化ナトリウム特級粒状薬品 (水道水で 3.6mol/L に希釈したもの) 溶液密度 1.13g/cm³, 濃度 3.6mol/L	SH
活性フィラー(P)	M 発電所　製 フライアッシュ JIS A6210-II 種 密度 2.21g/cm³	FA
	高炉スラグ微粉末 JIS A 6206 密度 2.91g/cm³, 比表面積 4050g/cm²	BFS
細骨材	標準砂 密度 2.63g/cm3, 吸水率 0.42	S

2.2 練混ぜ方法および養生

供試体は，**表-2** に示す配合に従い，モルタルミキサを用いて練り混ぜた後，φ50×100 ㎜ の円柱型枠に打設し，振動締固めを行った。打設後は温度 60℃, 相対湿度 78%以上で 18 時間加熱養生を行い，脱型後，20±2℃環境下において封緘養生および気中養生を行い，材齢 7 日まで養生した。

表－2　配合

供試体種類	SH 濃度	SS/SH	BFS 置換率	L/P	単位量 kg/m³				
					L		P		S
					SS	SH	FA	BFS	
FA100	3.6mol/L	1.0	0%	1.00	163	163	545	0	1309
BFS10	3.6mol/L	1.0	10%	1.00	163	163	493	55	1319
BFS30	3.6mol/L	1.0	30%	1.00	167	167	408	175	1350

3. 試験方法

3.1 高温抵抗性試験[1)]

供試体は材齢 7 日において，20℃，500℃，800℃および 1150℃まで加熱した。所定の温度まで加熱した後，炉内で自然冷却し，高温抵抗性における供試体を各試験に供した。

3.2 圧縮強度試験

Yunrui ZHOU, Hiroaki TSURUTA and Haotian GU

tsurutah@kansai-u.ac.jp

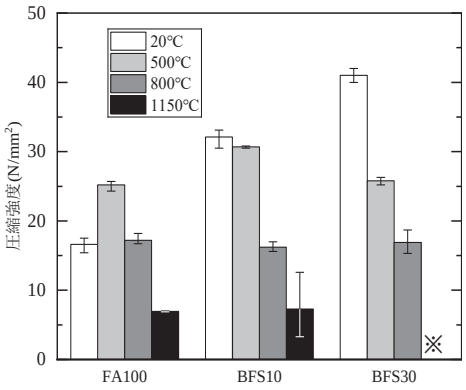
圧縮強度試験は，JIS A 1108 に準拠して実施した。供試体の上下端面を研磨して平滑に整形した後，万能試験機を用いて載荷した。供試体数は各条件 3 体とし，得られた圧縮強度の平均値を評価に用いた。

4. 実験結果および考察

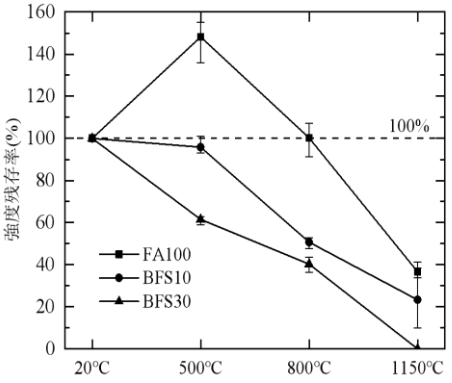
4.1 圧縮強度試験結果

図-1 に各配合の圧縮強度試験結果を示す。20℃では BFS 置換率の増加に伴い圧縮強度は向上した。500℃では FA100 の圧縮強度は増加した一方，BFS10 および BFS30 では低下した。800℃では FA100 は 20℃とほぼ同程度であったが，BFS10 および BFS30 では低下した。1150℃では著しい強度低下が認められた。特に BFS30 では供試体の溶融が著しく，圧縮強度を測定できなかった。

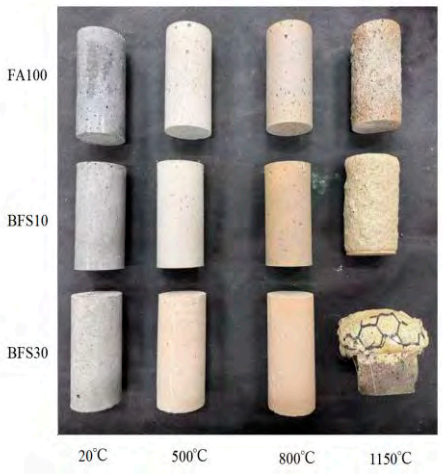
図-2 に各配合の強度残存率を示す。500℃では FA100 の強度残存率が 100%を超えた一方，BFS を置換した供試体では低下した。加熱温度の上昇に伴い，BFS を添加した全ての配合で強度残存率は低下し，では著しい低下が確認された。



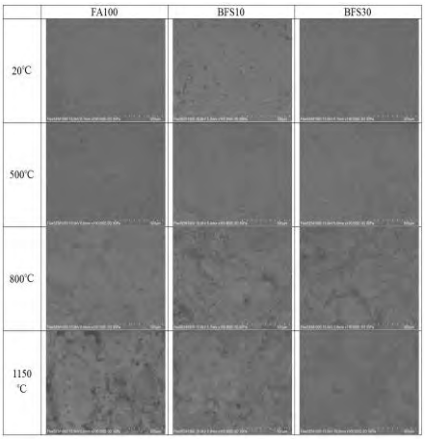
図－1 高炉スラグ微粉末の置換率ごとの圧縮強度



図－2 各配合における加熱後の強度残存率



写真－1 異なる BFS 置換率の加熱後の GPM



写真－2　各配合における加熱後の GPM の SEM 画像（100 倍）

4.2 外観観察

写真－1 に配合別に供試体を加熱した後の外観を示す。500℃では大きな外観変化は認められなかったが，800℃では表面の粗化が進行した。1150℃では形状崩壊や溶融が確認され，特に BFS30 では著しい溶融が認められた。

写真－2 に異なる加熱温度，配合別に供試体断面中央部の SEM 画像を示す。1150℃は FA100 および BFS10 では比較的連続した組織が確認されたのに対し，BFS30 では大きな空隙が多く観察された。このような微細構造の変化は，高温加熱後の力学特性の低下と対応する傾向を示した。

5. まとめ

1) BFS 置換率は，常温強度および高温抵抗性に影響を及ぼした。2) 加熱温度の上昇に伴い，圧縮強度および強度残存率は低下した。3) 高温加熱後は，外観および微細構造の変化が確認された。今後は，常温養生条件が FA 系ジオポリマーモルタルの高温抵抗性に及ぼす影響について検討する予定である。

参考文献　1）一宮一夫，原田耕司，池田 攻，津郷俊二：フライアッシュベースのジオポリマーの配合ならびに高温抵抗性，コンクリート工学年次論文集，Vol.36, No.1, pp.2230-2235, 2014.