

FA ベースのジオポリマーの高温抵抗性に及ぼすアルカリ溶液の種類の影響

大分高専 正会員 ○ 一宮 一夫, 西松建設 正会員 原田 耕司
日本興業 非会員 津郷 俊二, 山口大学名誉教授 非会員 池田 攻

1. はじめに

一般にコンクリートの耐火性に関する許容温度は 250～500℃以内と考えられているが, トンネル火災では 1000℃を超える高温に曝される場合もあり, そのために耐火工などの設置が必要となる¹⁾. 耐火工には耐火材料を吹付ける方法や耐火パネルを取り付ける方法があるが, 建設コストの増加やメンテナンス上の障害となる場合がある.

他方, 耐火性をはじめとした各種耐久性に優れる材料としてジオポリマー (以下, GP という) が注目されている. GP に使用するアルカリ溶液にはナトリウム系 (以下, Na 系という) とカリウム系 (以下, K 系という) があり, 耐火性については K 系の方が優位とされているが, 強度増進を目的に高炉スラグ微粉末 (以下, BS という) を添加したフライアッシュ (以下, FA という) ベースの GP の耐火性に関する知見は少ない. そこで本研究では, FA ベースの GP のトンネルのセグメントや吹付け材等への適用を目指し, FA の一部を BS で置換し, Na 系と K 系のアルカリ溶液を使用して製作したモルタル供試体を用い, GP の配合と高温抵抗性の関係を調べた.

2. 実験概要

表 1 に使用材料, 表 2, 表 3 に GP モルタルならびに OPC モルタルの配合を示す. 配合の選定にあたり, GP モルタルと OPC モルタルの細骨材量を同じにすることで, ペースト分の物性の違いが明瞭になる様に配慮した. また, FA に対する BS の置換率は (以下, BS 置換率という) は 0, 10, 20, 30% の 4 水準 (以下, BS0, BS10, BS20, BS30 という) とした.

練り混ぜにはホバート型ミキサ (容量: 5 リットル) を用い, 細骨材, FA, BS を入れて空練り 30 秒間, アルカリ溶液を入れて一次練混ぜ 1 分間, 掻き落とし 15 秒間, 二次練混ぜ 2 分間の順で練り混ぜた. その後, セメントの強さ試験用型枠 (4×4×16cm) に充填した.

養生は恒温恒湿装置を用いて行い, 90%RH の下で 3 時間かけて 60℃まで上昇させ, その状態を 3 時間保持し, 3 時間かけて温度 20℃まで下げ, その後は室温 (20℃, 60%RH) で所定の材齢まで貯蔵した.

供試体は材齢 7 日において曲げ試験機で長手方向に 2 分割し, 電気マッフル炉で図 1 の条件で加熱し, 終了後に外観観察な

表 1 使用材料

分類	項目	記号	材料
GP モルタル	活性 フィラー	FA	フライアッシュ 1 種, 密度 2.36g/cm ³ 比表面積 5327cm ² /g
		BS	高炉スラグ微粉末, 密度 2.92 g/cm ³ , 比表面積 4009cm ² /g
	アルカリ 溶液 (GPW)	GPW1	ケイ酸ナトリウムと水酸化 カルシウムと水の混合物 密度 1.27g/cm ³
		GPW2	ケイ酸カリウムと水酸化カリ ウムと水の混合物 密度 1.32g/cm ³
	細骨材	S	標準砂, 密度 2.64 g/cm ³
OPC モルタル	セメント	OPC	普通ポルトランドセメント 密度 3.15 g/cm ³
	水	W	水道水
	細骨材	S	標準砂, 密度 2.64 g/cm ³

表 2 GP モルタルの配合 (kg/m³)

記号	BS 置 換率 (%)	GPW	FA	BS	S
BS0	0	244	534	0	1535
BS10	10	244	480	66	1535
BS20	20	244	427	132	1535
BS30	30	244	374	198	1535

表 3 OPC モルタルの配合 (kg/m³)

記号	W	OPC	S
OPC	256	512	1535

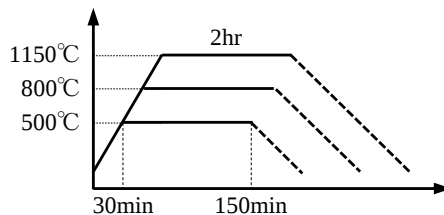


図 1 高温抵抗性実験の温度変化

キーワード ジオポリマー, フライアッシュ, 高炉スラグ微粉末, 高温抵抗性, アルカリ溶液

連絡先 〒870-0152 大分市牧 1666 番地 大分高専 都市・環境工学科 TEL 097-552-7664

びに圧縮強度の測定を行った。

3. 実験結果

図2に800℃、図3に1150℃の加熱後の外観を示す。なお、500℃については加熱前後の外観の変化はなかった。まず、800℃の場合は、GPは茶褐色となった。色の濃さはNa系がK系よりも濃く、BS添加率が高いほど薄い傾向にある。変色の原因は、FAやBSに含まれる鉄分が、温度上昇に伴い酸化第一鉄から酸化第二鉄になったためと推察される。図3の1150℃では、Na系の変状が著しく、変色に加えて膨張ひび割れが観察された。特にBS30では溶融ならびに膨張が著しい。図4は内部組織の観察用に製作したNa系GPペーストの破断面のSEM画像であるが、BS添加率が高いほど溶融度が高く、内部には比較的形の整った空隙が多数観察されることから、FAに含まれる未燃カーボンやBSに含まれる硫黄が、高温により二酸化炭素や亜硫酸ガスに変化したことで供試体が膨張した可能性がある。他方、図3(b)に示すK系ではNa系のような膨張は見受けられないが、BS0とBS10で収縮によると見られるひび割れが発生した。しかし、BS20とBS30では同様な現象は生じていないことから、BS置換率を20%にすることで1150℃でも変形抵抗性が担保できることが分かった。

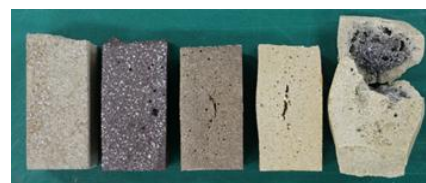


(a) Na系

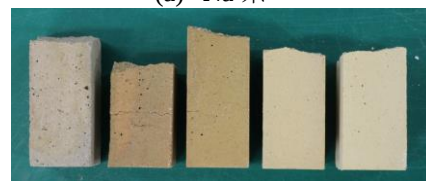


(b) K系

図2 加熱後の外観(800℃)

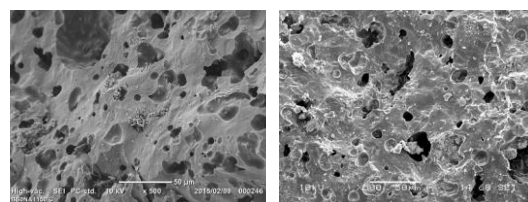


(a) Na系

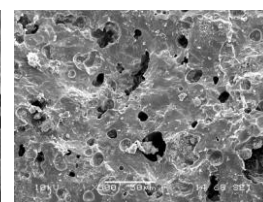


(b) K系

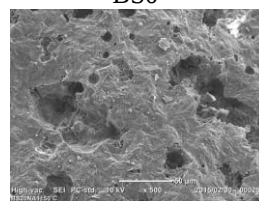
図3 加熱後の外観(1150℃)



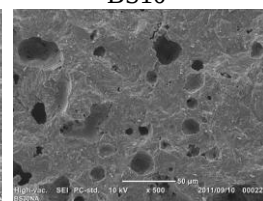
BS0



BS10



BS20



BS30

図4 Na系GPペーストのSEM画像
(1150℃, ×500)

強度試験の結果を図5と図6に示す。OPCは温度上昇にともない強度が著しく低下するのに対し、GPはNa系、K系のいずれも800℃までは強度は上昇傾向にある。他方、1150℃においてはNa系、K系ともに強度低下が確認されるが、K系ではBS置換率に関わらず20N/mm²以上の圧縮強度を保持しており、K系の優れた高温抵抗性を確認した。

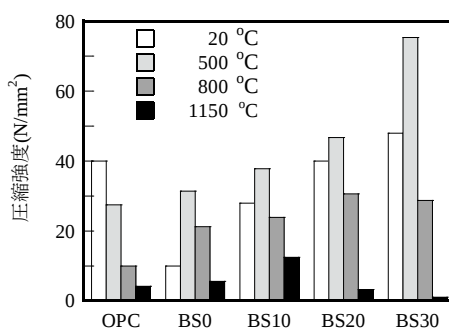


図5 圧縮強度の比較(Na系)

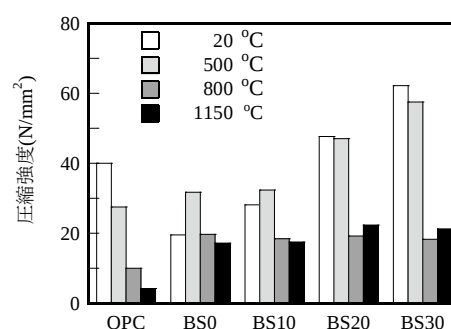


図6 圧縮強度の比較(K系)

4. まとめ

- (1) Na系のアルカリ溶液を使用した場合は、加熱前に比べて500℃では強度が上昇し、800℃でも70%以上の強度を担保できるが、1150℃では溶融や膨張が生じるために耐荷能力は期待できない。
- (2) K系のアルカリ溶液は、800℃以下ではNa系と同様の傾向を有し、1150℃においても形状変化はなく、20N/mm²以上の圧縮強度を得ることができる。

参考文献

- 1) 清宮理：耐火技術とコンクリート（土木），コンクリート工学，Vol.45，No.9，pp.8-13，2007