

高炉スラグ微粉末を混和したフライアッシュベースのジオポリマーの高温抵抗性

大分高専専攻科 学生会員○岡本 稜, 大分高専 正会員 一宮 一夫
大分高専専攻科 学生会員 後藤 洸一, 西松建設(株) 正会員 原田 耕司

1. はじめに

セメントコンクリートの圧縮強度は、500℃で常温時のおよそ8割に低下し、その後は温度上昇とともに低下を続け、800℃では2割程度となる¹⁾。従って、トンネル等では耐火被覆などの対策が必要となるが、建設コスト増やメンテナンス上の障害となる。

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）があり、近年では我が国でも関心が高まっている。GP はアルミナシリカ粉末（以下、活性フィラーという）とアルカリシリカ溶液（以下、GP 溶液という）の反応で形成される非晶質の縮重合体（ポリマー）であり、活性フィラーにはフライアッシュ（以下、FA という）等が使用される。FA ベースの GP をトンネルのセグメント等に使用できる水準の強度を得る方法として、FA の一部を高炉スラグ微粉末（以下、BS という）で置換する方法があるが、BS 添加に伴う Ca の増加は GP の高温抵抗性の低下につながる事が予想される。

そこで、本研究では BS 置換率 0%～30%の FA ベースの GP の常温、500℃、1150℃における変状や強度の比較から GP の高温抵抗性を検討した。

2. 実験概要

(1)使用材料ならびに配合

表 1 に使用材料、表 2 と表 3 に配合を示す。なお、GP では活性フィラーに対する BS の内割り置換率（以下、BS 置換率という）は 0%、10%、20%、30%の 4 水準（以下、BS0、10、20、30 という）とした。

(2)練り混ぜおよび打設

ホバート型ミキサー（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、GP 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、モルタル用三連型枠（40×40×160mm）に充填した。

(3)養生

GP モルタルは脱型後直後から 90%RH の下で 3 時間かけて 60℃まで上昇させ、その後 3 時間その条件で養生し、再び 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。一方、OPC モルタルは所定材齢まで標準養生を行った。

(4)高温抵抗性試験

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	FA1	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
	GP 溶液	GPW	水ガラスと苛性ソーダと 水の混合物、 密度 1.27g/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)

BS 置換率 (%)	GPW	FA	BS	S
0	244.2	533.6	0.0	1535.4
10	244.2	480.3	66.0	1535.4
20	244.2	426.9	132.0	1535.4
30	244.2	373.6	198.0	1535.4

表 3 OPC モルタルの配合(kg/m³)

W	OPC	S
255.9	511.8	1535.4

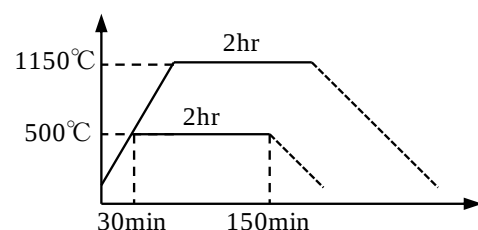


図 1 高温抵抗性実験の温度変化

加熱には電気マuffle炉を使用し、供試体は長手方向を曲げ強度試験と同じ方法で2分割した片方を用いた。加熱温度はトンネル火災の最高温度を想定した1150℃とOPCコンクリートの強度低下が顕著となる500℃の2水準とした。図1に炉内の温度変化を示す。

3. 実験結果

加熱後の供試体の外観を図2、図3に示す。まず、図2の500℃の場合は、いずれの配合も濃いグレーで加熱前の外観との違いはほとんど見受けられない。それに対して、図3の1150℃では外観が配合により異なった。OPCはわずかに赤みかかっているが形状の変化はないのに対し、GPはいずれの場合も膨張が生じている。膨張の程度はBS30が最も大きく、次がBS0で、BS10とBS20は同程度である。このことからGPの膨張の原因はFAに起因するものとBSに起因するものの2種類があると予想される。まず、FAに起因する原因には未燃カーボンがあり、高温条件のもとで炭酸ガスとなったためと考えられる。一方のBSに起因する原因としてはBSに含まれる硫黄が同じく高温条件のもとで亜硫酸ガスとなった可能性がある。図4は1150℃におけるBS30の断面の画像であるが、内部にガスにより発生したと思われる空隙が多数観察できる。

図5は高温抵抗性実験前後の配合別の圧縮強度である。なお、図3のように1150℃ではGPは供試体打込み面から下面方向にひび割れがあるが、通常のセメントの強さ試験に準拠して供試体側面に対して荷重を加えて圧縮強度を測定した。同図よりOPCは500℃で既に常温の強度の40%以下に低下しているが、GPの500℃における強度低下は僅少であることから、GPは高い高温抵抗性を有することが分かる。他方、1150℃ではGPでも強度低下が顕著となるが、BS10では常温強度の70%を有していることは特筆すべき点である。

4. まとめ

常温と500℃の圧縮強度を比較すると、加熱によりOPCが40%まで低下するのにに対し、BS置換率30%以下のGPは90%以上の強度を有しており、GPの優れた高温抵抗性を確認した。また、1150℃でもBS置換率10%のGPは常温の70%の強度を有することが分かった。さらに、1150℃ではGPは膨張するが、未燃カーボンの少ないFAや硫黄の少ないBSを用いることで改善できる可能性がある。

謝辞 本実験は大分高専学生の上野貴行君の協力で行いました。また、実験結果の評価は山口大学名誉教授の池田攻先生にご助言をいただきました。紙面を借り深謝いたします。

参考文献 1) 日本コンクリート工学会, コンクリートの高温特性とコンクリート構造物の耐火性能に関する研究委員会報告書, 2012



図2 加熱後の供試体の外観 (500℃)

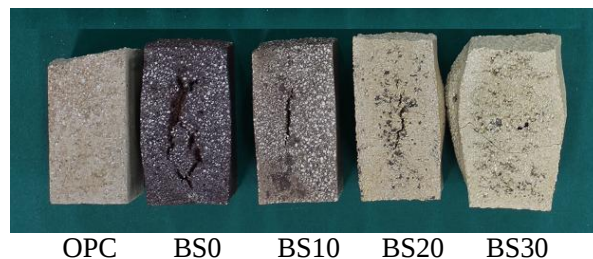


図3 加熱後の供試体の外観 (1150℃)



図4 加熱後の供試体の変状 (1150℃, BS30)

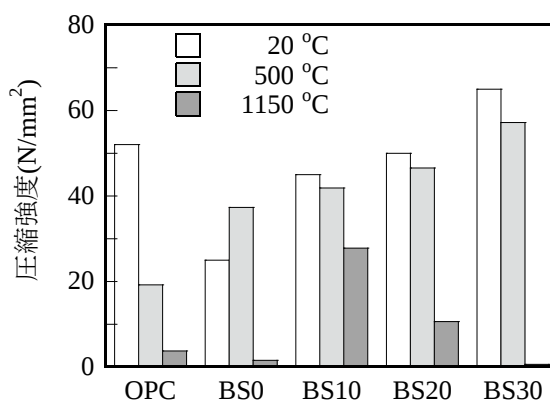


図5 加熱前後の強度