

溶液のアルカリ水比を変化させたフライアッシュ系ジオポリマーの高温抵抗性

大分高専専攻科 学生会員 ○秋永 史也, 大分高専 正会員 一宮 一夫
大分高専 非会員 本田 信也, 西松建設(株) 正会員 原田 耕司

1. はじめに

フライアッシュ (FA) などの活性フィラーと水ガラスなどのアルカリ溶液を用いて製造されるジオポリマー (GP) は、硬化に必ずしもカルシウムを必要としないことから、ポルトランドセメント (OPC) を使用する従来のコンクリートに比べて、高い高温抵抗性を有することが知られている¹⁾。つまり、GP をトンネル構造体へ適用できれば表面被覆等の耐火工の簡略化が可能となり、建設ならびに維持管理コストの縮減につながる。他方、トンネル構造体への適用においては所要の強度と高温抵抗性を同時に担保する必要があるが、所要強度を得るためにアルカリ溶液濃度を高めると高温抵抗性が低下する可能性がある。

そこで本研究では、FA に対する高炉スラグ微粉末 (BS) の置換率とアルカリ溶液のアルカリ水比 (A/W) を変化させて製造したモルタル供試体の加熱冷却後の圧縮強度の違いから、FA, BS 併用系 GP の高温下での物性変化を調べた。

2. 実験概要

表 1 に使用材料、表 2 に配合を示す。活性フィラーには FA を基本に、強度増進のために BS を内割り置換（置換率は 0, 10, 20, 30% の 4 水準で、それぞれを F100B0, F90B10, F80B20, F70B30 と表記）した。アルカリ溶液には水ガラスと苛性ソーダの水溶液を用い、Na/H₂O（モル比、A/W と表記）を 0.095, 0.126, 0.187 に調整して用いた²⁾。細骨材には ISO 標準砂の粒度分布を参考に調整した混合珪砂を使用した。

練り混ぜには、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、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 分間の順で製造した。練り上がり後に、セメントの強さ試験用三連型枠（40×40×160mm）に充填した。

養生にはプログラム式恒温恒湿装置を用い、最高温度 60℃、湿度 90%RH の給熱養生（室温から 60℃まで 3 時間、60℃で 3 時間、60℃から 20℃まで 3 時間）を施し、その後は恒温室（20℃、60%RH）で所定の材齢まで貯蔵した。材齢 7 日で電気マuffle 炉により、最高温度 500℃、800℃、1000℃、1150℃（装置の最大加熱温度）で加熱（図 1）し、加熱冷却後の外観の観察と圧縮強度の測定をした。

3. 実験結果

供試体の外観は、当初は濃い灰色であったものが図 2 のように 800℃ではいずれも茶色に変化しており、色の濃さは BS 置換率が高いほど薄い傾向にある。変色の原因は FA と BS に含まれる鉄分の影響によるもので、2 価の酸化第一鉄（無色）が、

表 1 GP モルタルの使用材料

項目	記号	材料
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	水ガラス, 苛性ソーダ, 水の混合液 (1) A/W (Na/H ₂ O) 0.095 Si/A (Si/Na) 0.613 (2) A/W 0.126, Si/A 0.613 (3) A/W 0.187, Si/A 0.613
細骨材	S	混合珪砂, 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 (%)	アルカリ溶液	FA	BS	S
F100B0	0	295.0	640.3	0.0	1311.1
F90B10	10	295.0	576.4	79.2	1311.1
F80B20	20	295.0	512.3	158.4	1311.1
F70B30	30	295.0	448.2	237.7	1311.1

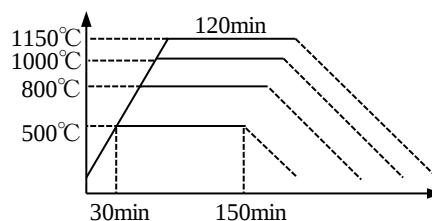


図 1 高温加熱の条件

より安定の3価の酸化第二鉄になった可能性がある。1000℃の結果は掲載していないが、800℃同様に形状変化は見受けられなかった。1150℃では多くの配合で膨張や溶融が発生した一方で、 $A/W=0.095$ の

F90B10とF80B20では形状変化がないことは特筆すべき点である。

図3にBS置換率ごとの圧縮強度と A/W の関係を示す。まず、(a)図の20℃の場合は、 A/W と圧縮強度は強い正の相関関係にあり、BS置換率が高いほど圧縮強度の水準が高い。

(b)図の500℃においては、F100B0とF90B10は20℃の場合と同様に A/W の増加とともに圧縮強度も上昇傾向にある。一方、F80B20とF70B30では $A/W=0.187$ で強度低下、 $A/W=0.126$ では同じくF70B30で強度が低下したのに対し、 $A/W=0.095$ では20℃の場合よりも強度が上昇しており、BS置換率が高い配合(F80B20とF70B30)で変化が生じた。

(c)図の800℃と(d)図の1000℃では A/W やBS置換率による強度の違いは小さくなる。また、(d)図に併記した1150℃で形状変化が生じなかった $A/W=0.095$ のF90B10とF80B20の強度は、いずれも800℃、1000℃とほぼ同水準であり、1150℃以上の超高温にも耐えられる構造材料開発の可能性を示唆するものである。

4. まとめ

本研究で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 高温冷却後のGPの色調や形態は A/W により異なり、800～1000℃以下では色調に違いはあるものの形状は安定する。一方、1150℃では配合によっては膨張または溶融し、 A/W が0.126以上では顕著となる。
- (2) $A/W=0.095$ のF90B10とF80B20は1150℃でも形状変化が生じなかった。このことは、 $A/W=0.095\sim0.126$ において、1150℃以上の高温に耐え、さらに構造体に求められる強度を担保できるGP開発の可能性を示唆するものである。

謝辞 本研究はJSPS科研費17H03291の助成を受けたものです。

参考文献 1) 橋本忍, 鎌田隼人, 山崎裕司, 武田はやみ: ジオポリマーの耐火材料への適用, 耐火物, Vol.64, pp.446-451, 2012, 2) 上原元樹, 南 浩輔, 平田紘子, 山崎淳司: ジオポリマー硬化体の配合・作製法と諸性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1987-1992, 2015

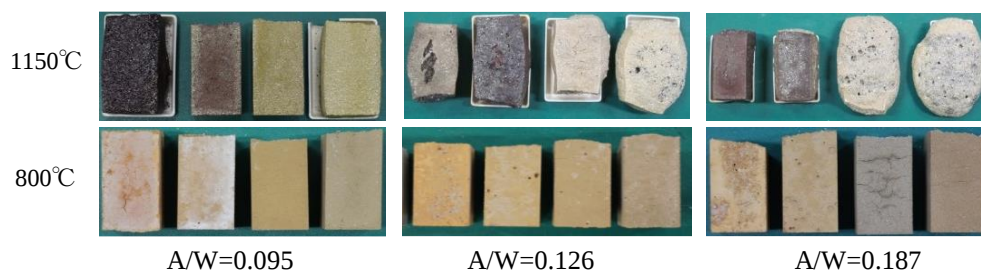


図2 加熱冷却後の外観 (左から F100B0, F90B10, F80B20, F70B30)

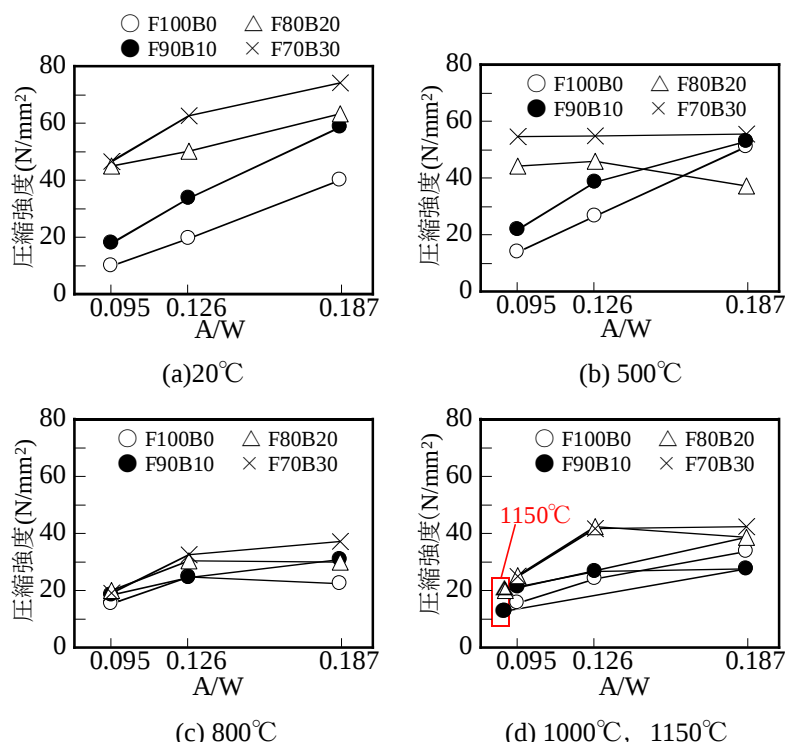


図3 加熱前ならびに加熱冷却後の圧縮強度と A/W の関係