

高温下におけるフライアッシュベースのジオポリマーの微細構造変化

大分高専専攻科 学生会員 ○上野 貴行, 大分高専 正会員 一宮 一夫
大分高専 非会員 大塚 明貴, 西松建設(株) 正会員 原田 耕司

1. はじめに

トンネル火災では内部の最高温度が 1000℃以上となるが、セメントコンクリートでは 500℃に達すると水酸化カルシウムの脱水分解が顕著となるので強度は急激に低下する¹⁾。そのため、表面被覆等の耐火工を施す必要があるが、メンテナンス上の障害となることから、構造体自体に高い高温抵抗性を持たせることができる技術が望まれている。一方、高温抵抗性に優れる材料としてはジオポリマー（以下、GP という）がある。GP はアルミナシリカ粉末とアルカリシリカ溶液の縮重合反応による固化体であり、カルシウムを必要としない。

本研究では、粉体にフライアッシュ（以下、FA という）と高炉スラグ微粉末（以下、BS という）を用い、FA に対する BS の置換率を変化させたモルタル供試体を製作し、同供試体の最高温度 1150℃までの強度変化を電子顕微鏡で撮影した微細構造との関係から説明した。

2. 実験概要

表 1 に使用材料を示す。配合は、GP モルタルでは粉体（以下、活性フィラーという）は FA をベースとし、強度向上のために BS を内割り置換（置換率は 0, 10, 20, 30%の 4 水準で、以下、それぞれを F100B0, F90B10, F80B20, F70B30 という）した。また比較のために普通ポルトランドセメント（以下、OPC という）を使用したモルタルも作成した。練り混ぜには、ホバート型ミキサー（容量 5 リットル）

を用いた。練混ぜ順序は、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 分間とした。その後、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→60℃：3 時間、60℃：3 時間、60℃→20℃：3 時間）をし、その後は室温（20℃、60%RH）で所定の材齢まで貯蔵した。

高温加熱には電気マuffle 炉を用い、材齢 7 日において実施した。最高加熱温度は 500℃、800℃、1150℃の 3 水準とし、加熱後の外観観察および圧縮強度測定をした。また、ペーストに対し、電子顕微鏡(以下、SEM という)を用いた微細構造観察と示差熱分析装置を用いた熱分析を行った。示差熱分析においては、標準試料をアルミナ粉末とし、空气中で最高温度 1200℃まで毎分 10℃の勾配で温度を上昇させた際の温度に対するペースト粉末の熱量変化（以下、DTA という）と重量変化（以下、TGA という）を測定した。

3. 実験結果

図 1 に各供試体の加熱後の圧縮強度の変化を示す。OPC は温度上昇に伴い強度低下が顕著であるのに対し、GP は 500℃において強度上昇を示している。800℃では強度低下に転じるが 20～30N/mm² を保持しており、GP の優位性を確認した。しかし 1150℃では、いずれの配合も 11N/mm²以下まで強度が低下した。

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		水ガラスと苛性ソーダ 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

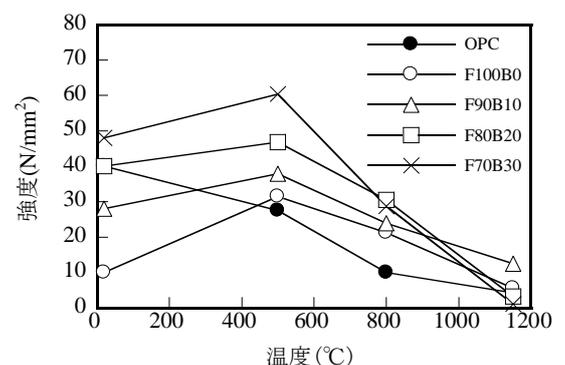


図 1 圧縮強度

図2, 図3に OPC と GP (F90B10) の加熱前後の SEM 画像を示す. OPC においては 20°C, 500°C, 800°Cでは微細構造に大きな変化が確認できなかった. また 1150°Cでは一部に焼結が見られた. 他方, GP の場合は, 20°Cと 500°Cはほぼ同じであるが, 800°Cで焼結した様子が確認でき, これが 800°Cにおける強度低下の主因で考えられる. さらに 1150°Cでは溶解し, その内部に大きな空隙が生成されている. 以上から OPC と GP の高温下での微細構造は大きく異なることが分かった.

図4に OPC ペーストと GP ペースト (F90B10) の示差熱分析の結果を示す. OPC ペーストの結果としては 100°C周辺, 450°C程度, 700°C周辺から 900°C程度における3点に吸熱側へのピークが確認できる. これらのピークはそれぞれ遊離水および結晶水の蒸発, 水酸化カルシウムの脱水反応, 炭酸カルシウムの脱炭酸反応を示したピークであり, 一般的に知られる OPC の高温下での示差熱変化と一致する. 一方, GP ペーストにおいては, 500°C以下においては 100°C付近での遊離水および結晶水の蒸発以外大きな変化は確認できない. しかし 600°Cを越えた辺りから吸熱側に DTA のグラフが下がり始めている. これは GP のガラス化が始まったものと思われ 900°C付近まで続いている. このガラス化が高温下における GP の焼結および溶解の要因であることが予測され, 強度低下に繋がるものが推察される. また GP は, 前述した SEM の画像と DTA の結果を照合すると 800°C以上の画像から焼結, 溶解が確認できるため高温下の性状変化が合致しており, SEM による微細構造観察は GP の強度推定や性状の確認を簡易的に行う場合に有効な手段として有効と考えられる.

4. まとめ

本研究で得られた主な知見を以下に示す.

- (1) GP の圧縮強度は 500°Cで加熱することで常温時の 1.1 ~ 3.0 倍に上昇し, 800°Cでも 20~30N/mm²を担保できる.
- (2)高温下における GP の強度低下の原因は 800°Cでは焼結, 1150°Cでは熔融によるものである.
- (3)加熱温度ごとの SEM 画像の特徴と示差熱分析の結果は関連性が高いことから, より高温抵抗性の高い材料設計に際しては SEM 観察が有効である.

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

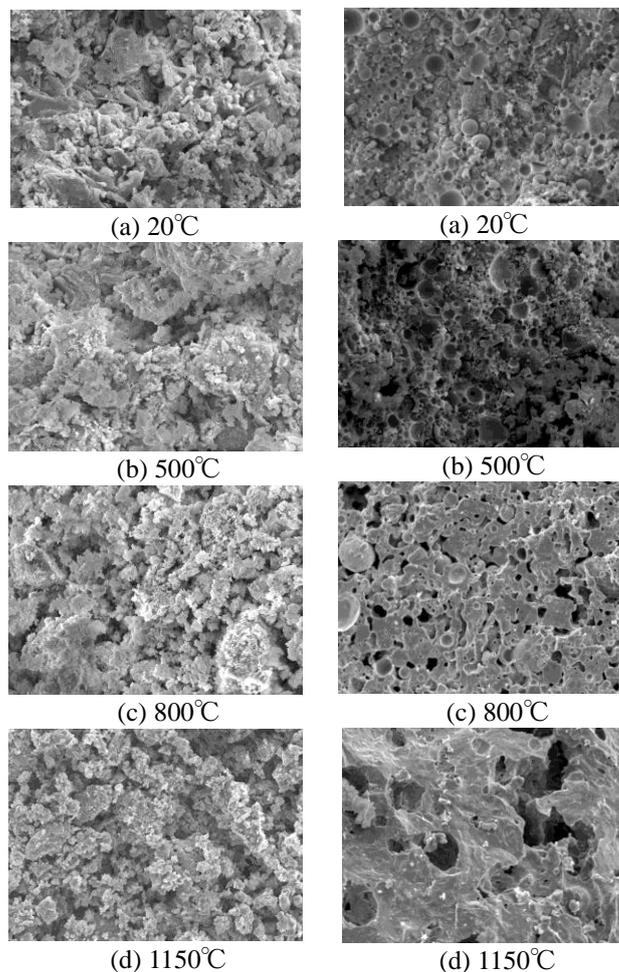
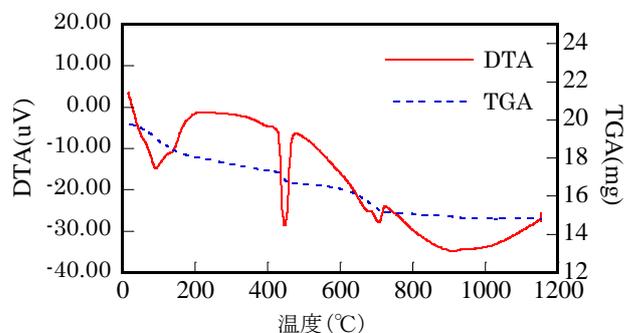
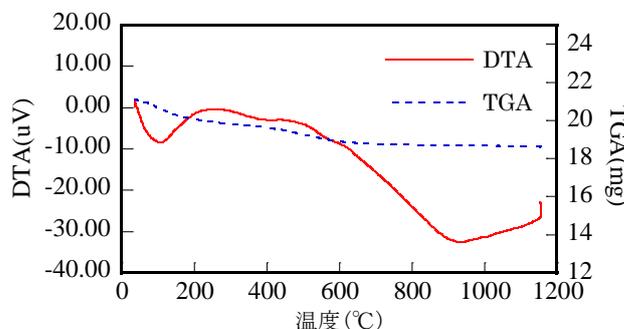


図2 SEM 画像 (OPC)

図3 SEM 画像 (F90B10)



(a) OPC ペースト



(b) GP ペースト(F90B10)

図4 示差熱分析結果