

棒状ペースト供試体によるジオポリマーの高温時の強度推定

大分高専 正会員 ○一宮 一夫, 大分高専専攻科 学生会員 秋永 史也
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

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は, 受熱温度が 500℃に達すると強度がおおよそ 50% まで低下することが知られている。それに対して, 硬化に必ずしもカルシウムを必要としないジオポリマー (GP) は高温抵抗性に優れており, 高度な耐火性が求められる道路トンネル等の構造体に適用することができれば, 表面被覆等の耐火工の簡略化による建設コスト縮減やメンテナンス時の目視観察の精度向上が期待できる。他方, 従来のコンクリートの加熱時と加熱冷却後の強度は加熱時の方が 10%程度大きい, GP における加熱時と加熱冷却後の強度の関係についての知見は見受けられない。既往において加熱時のコンクリート強度を直接測定する方法はいくつか提案されているが, いずれも特殊な専用装置が必要である¹⁾。

そこで本研究では, 棒状のペースト供試体を製作し, 加熱時の形状安定性と強度測定用モルタル供試体 (4×4×16cm の角柱を長手方向で 2 分割) の形態の関係から, 加熱冷却後の強度から加熱時の強度の目安を推定することの適否を検討した。

2. 実験概要

表 1 に使用材料, 表 2 に配合を示す。活性フィラーにはフライアッシュ (FA) を基本に, 強度増進のために高炉スラグ微粉末 (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⁾。細骨材には混合珪砂を用い, 流動は ISO 標準砂の粒度分布を参考に調整した。練り混ぜには, ホバート型ミキサー (容量 5 リットル) を使用して行い, 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。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, その後は恒温温室 (20℃, 60%RH) に貯蔵した。材齢 7 日において電気マuffle 炉で, 最高温度 500℃, 800℃, 1150℃で加熱 (図 1) し, 加熱冷却後の外観を観察した。また, モルタル配合から細骨材を除いた配合のペースト供試体を製作し, 上記同様の方法で加熱し, 電子顕微鏡 (SEM) による内部構造観察と高温下での形状保持能力を評価した。図 2 に供試体製作時に使用した型枠 (製氷皿) と加熱前の供試体の設置状況を示す。なお, ペーストはプリンカップを用いて 3 分間手練りして製造した。

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

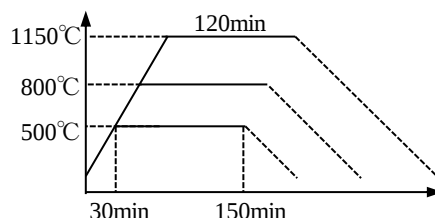


図 1 加熱条件



図 2 棒状ペースト供試体用の型枠ならびに加熱前の状態

3. 実験結果

OPC コンクリートやモルタルでは高温に曝されると、主に脱水により微細構造の変化に伴い強度が低下し、500℃では加熱前強度のおよそ 50%になることが知られている。一方、1150℃でも供試体表面の色や形状の顕著な変化はない。前述のように、加熱時と加熱冷却後の強度を比較すると加熱時の方が 10%程度高いことから、OPC コンクリートやモルタルの高温抵抗性の評価においては、加熱冷却後の強度を用いることは安全側の評価となる。

他方、図 3 のように OPC と GP では高温時における内部組織の形態は異なる。すなわち、OPC が加熱温度に関わらず、ほぼ同様な状況であるのに対して、GP では 20℃と 500℃では内部構造の変化はなく FA 粒子がはっきりと確認できるが、800℃では焼結、1150℃では溶融している。このように、GP では高温時と加熱冷却後の強度

度は OPC 以上に乖離する可能性があるが、GP の高温時における強度に関する知見は見受けられない。そこで、本研究では、棒状の氷用の製氷皿で製作したペースト供試体の高温時の形状安定性を調べることで加熱前と同じ形状であれば、熱冷却後の強度と過熱時の強度はほぼ同水準と判断することにした。

図 4 と図 5 に加熱冷却後のモルタルとペースト供試体の外観を示す。1150℃においてはモルタル供試体とよく一致しているのに対して、800℃ではモルタル供試体の変形は見受けられないが、ペースト供試体の A/W=0.187 では全供試体が溶融し、A/W=0.126 の F100B0 と F90B10 ではひび割れが生じた。このように一部の配合で、ペースト供試体の変形してもモルタル供試体に形状変化が生じないのは、細骨材の存在が形状安定に寄与したことや、モルタル供試体は底面全体が耐熱皿で支持されており、自重による変形が生じにくいことなどが理由と考えられた。

4. まとめ

本研究の結果、GP では使用材料や配合によって、受熱温度が 800℃以上で焼結や溶融が生じ、加熱時の強度は加熱冷却後の強度よりも小さい可能性があり、高温下での強度を直接測定して確認する必要があることがわかった。一方、棒状ペースト供試体の高温下での形状安定性を調べることで、加熱冷却後の強度を高温時の強度推定に利用することの適否の判定に用いられる可能性がある。

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)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研究委員会報告書、公益社団法人 日本コンクリート工学会、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

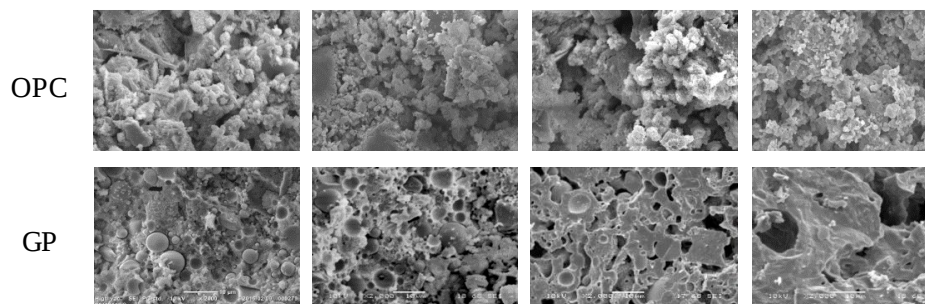


図 3 OPC と GP (F90B10) の加熱温度ごとの SEM 画像

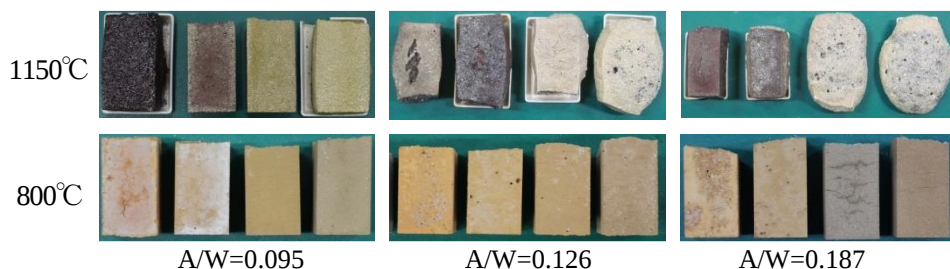


図 4 加熱冷却後の外観 (モルタル供試体)

(左から F100B0, F90B10, F80B20, F70B30)

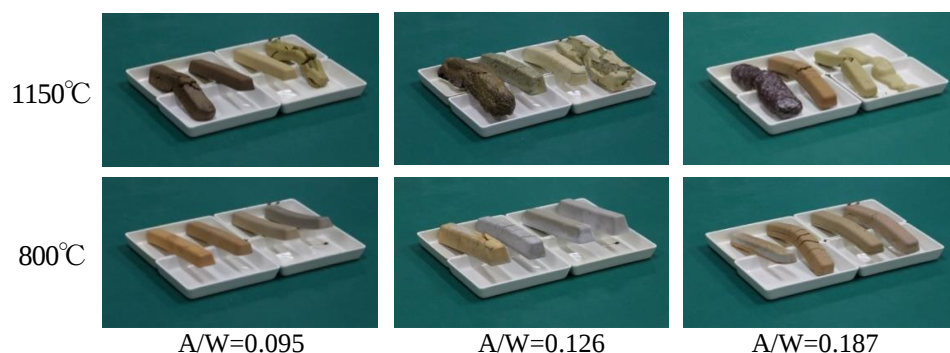


図 5 加熱冷却後の外観 (ペースト供試体)

(左から F100B0, F90B10, F80B20, F70B30)