

ジオポリマー硬化体の変質要因に着目した耐熱メカニズム

九州工業大学大学院 学生会員 ○古賀新悟
九州工業大学大学院 正会員 合田寛基 日比野誠
九州工業大学 非会員 松本隆成

1. 目的

ジオポリマー（以下、GP）はアルカリ溶液（以下、AS）とフライアッシュ（以下、FA）や高炉スラグ微粉末（以下、BFS）のようなアルミナシリカ粉末からなる縮重合反応によって無水ポリマーを形成する硬化体であるため、水和物由来の普通ポルトランドセメント硬化体よりも耐火性が優れていると報告されている。一方で、一宮らは¹⁾、1150℃でGPモルタルを加熱した時、GPの膨張によるひび割れを報告しており、その原因をFA中の未燃カーボンが高温化で炭酸ガスに変化し、部分溶解された供試体を発泡させたと推察している。ただし、実験に基づいた現象の解明に関する報告は少ない。そこで本研究では、FA中の未燃カーボンがGPの耐熱性に及ぼす影響について、1000℃以下における未燃カーボンをはじめとする諸成分の変性に着目して検討した。

2. 実験要領

2.1 使用材料および配合

表-1に使用材料、表-2にGPモルタル、比較用BFSGPの配合を示す。FA55とFA100Cは目標フロー値、FA70とFA80Cは目標圧縮強度をそれぞれ統一した配合である。なお、本実験では未燃カーボンを模擬するために活性炭を使用した。

2.2 供試体作製方法と養生方法

ホバート型ミキサ（容量：2L）を用いてGPモルタルを作製した。供試体は角柱（160×40×40mm）とし、テーブルバイブレータで振動を与えて締め固めた後、封緘処理を行った。養生方法は最高温度70℃、同保持時間12時間の加温養生を行った後、試験材齢まで20℃の恒温室内に静置した。

2.3 耐火試験および細孔量試験

本試験では、活性炭を置換したGPモルタルと活性炭を置換していないGPモルタル、比較用BFSGPモルタル（試験材齢7日）を対象に耐火試験を行い、加熱後の

キーワード ジオポリマー、耐火性、フライアッシュ、未燃カーボン

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学大学院 TEL093-884-3122

表-1 使用材料

| 使用材料 | 記号 | 密度 (g/cm ³) | 備考 |
|----------|-----|-------------------------|----------|
| アルカリ溶液 | AS | 1.40 | A/W=0.11 |
| フライアッシュ | FA | 2.27 | FAⅡ種 |
| 高炉スラグ微粉末 | BFS | 2.91 | 石膏なし |
| 細骨材 | S | 2.56 | 海砂 |
| 活性炭 | C | 1.87 | |

表-2 配合 (kg/m³)

| 記号 | AS | FA | BFS | S | 活性炭 |
|--------|-----|-----|-----|------|-----|
| FA55 | 294 | 508 | 27 | 1350 | 0 |
| FA100C | 382 | 327 | 19 | 1350 | 36 |
| FA70 | 331 | 449 | 24 | 1350 | 0 |
| FA80C | 348 | 372 | 22 | 1350 | 41 |
| BFSGP | 392 | 0 | 560 | 1350 | 0 |

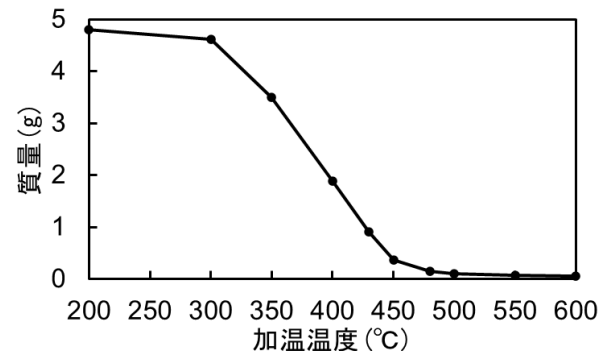


図-1 活性炭の質量と加熱温度の関係

供試体を用い、圧縮強度試験、アルキメデス法を用いた細孔量試験を行い、比較、検討を行った。また、活性炭5gを200℃から600℃まで加熱し、質量変化を測定した。加熱時の昇温速度は16.7℃/minとし、最高温度を2時間保持した後、常温まで自然放冷した。

3. 結果と考察

3.1 活性炭単体の耐火試験

図-1に活性炭を単体で加熱したときの質量と加熱温度の関係を示す。活性炭は300℃から質量が減少し始め、500℃以上で活性炭のほとんどが炭酸ガスに変化した。そのため、本実験で使用する活性炭は300℃付近で反応が始まり、約500℃で反応が完了することが分かった。

写真-1に加熱前後（500℃）の活性炭の外観を示す。

活性炭を加熱することで色が黒色から灰白色もしくは白色に変化した。

3.2 GP モルタル供試体の耐火試験

写真-2 に 500°C加熱前後の FA100C の供試体の外観、写真-3 に加熱後の FA100C の供試体断面を示す。加熱前の供試体は黒色であるが、500°C加熱後の供試体は白色に変化している。しかし、供試体断面を確認すると、中心付近は黒色を示す一方、表面に近づくにつれ白色に変化している。これは、供試体内部の温度が低かったため、活性炭がガス化しなかった。一方で、供試体の表面付近の温度は槽内温度と同程度まで上昇し、活性炭がガス化したと考えられる。高温状態が継続することで、供試体内全ての活性炭がガス化するものと考えられる。

図-2 に 500°Cでの加熱前後の供試体の空隙率の変化を示す。活性炭を入れると空隙率は増加傾向を示した。また、供試体を加熱することで、空隙率は増加傾向を示したが、条件を統一した供試体で比較すると、FA55 と FA100C は約 2%増加、FA70 と FA80C は約 3%増加と空隙率は同様に増加した。そのため、供試体に活性炭を入れると空隙率は増加するが、供試体に含まれる活性炭のガス化が加熱後の空隙率の増加に及ぼす影響は少ないと考えられる。

図-3 に常温 (20°C) での圧縮強度に対する FAGP 並びに BFSGP の圧縮強度比と加熱温度の関係を示す。同図より、300°Cにおける FA55 と FA100C の差は 0.15 である。また、500°Cでも同様に 0.15 であり、700°Cでは差が見られなかった。一方、300°Cにおける FA70 と FA80C の差は 0.10、500°Cおよび 700°Cは差が見られなかった。そのため、供試体を加熱することで供試体に含まれる活性炭がガス化するものの、それが圧縮強度の低下に及ぼす影響は小さい。また、BFSGP モルタルは加熱温度 500°Cから 700°Cにかけて圧縮強度が大きく低下した。これは、BFSGP モルタルの C-A-S-H が分解されたことが原因であると考えられる。一方、FAGP モルタルの圧縮強度は 500°Cから 700°Cにかけて大きく低下していない。これは BFSGP モルタルと比較して硬化体内に C-A-S-H の占める割合が少なかったためと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見以下に示す。

(1) 活性炭を含んだ供試体では、300°C以上に加熱する

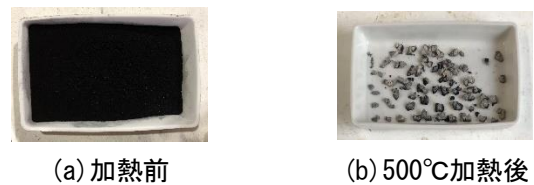


写真-1 活性炭の外観

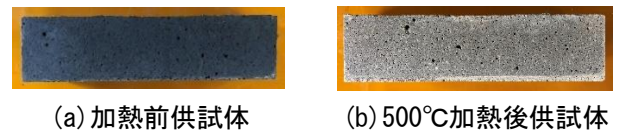


写真-2 加熱前後のFA100Cの外観



写真-3 500°C加熱後のFA100Cの供試体断面

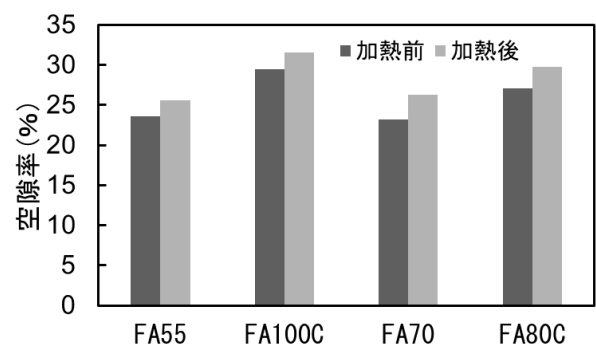


図-2 加熱前後(500°C)の空隙率の変化

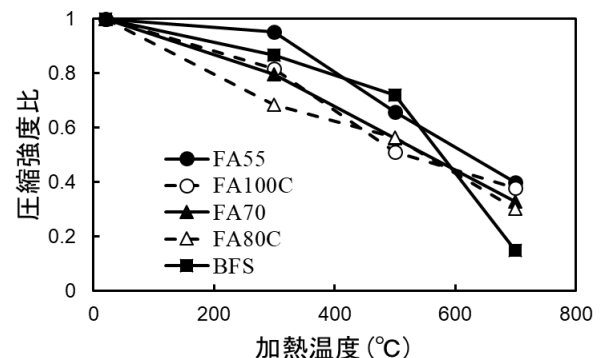


図-3 圧縮強度比と加温温度の関係

と表面付近から徐々に炭酸ガスが発生する

- (2) 加熱後の空隙率が増加する要因および加熱後の圧縮強度が低下する要因は活性炭のガス化ではなく、別の要因が考えられる。
- (3) FAGP は、500°CでFA中の未燃カーボンのガス化、700°CでC-A-S-Hの分解が起こると考えられる

参考文献

- 1) 一宮一夫：カリウム系溶液を用いたジオポリマーの高温下における物性変化，コンクリート工学年次論文集，Vol43，No.1，pp.1331~1336，2021