

第V部門

2024年9月6日(金) 11:10 ~ 12:30 C200(川内北キャンパス講義棟C棟)

新材料・新工法（材料）(7)

座長：一宮 一夫（大分工業高等専門学校）

11:20 ~ 11:30

[V-452] ジオポリマーの炭酸化養生適用による各種物性の把握

*内藤 雄也¹、楊 欽元、伊代田 岳史² (1. 芝浦工業大学大学院、2. 芝浦工業大学)

キーワード：ジオポリマー、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、炭酸化、XRD

持続可能な社会の実現に向け、土木分野では、エコ材料としてのジオポリマー（GP）に対する研究が進められている。本研究では、GPの炭酸化養生について検討を行い、炭酸化反応のメカニズムを推測した。炭酸化養生によりGP内のアルカリ刺激剤が炭酸化され、GPのpHが減少し、アルカリ刺激剤による水和反応が促進されなかったことから、強度発現が確認されなかった。また、高炉スラグ微粉末を使用したGPを炭酸化することによって収縮量が減少したことが確認され、鉄筋との併用やプレキャスト製品として適用可能性があることが確認された。

ジオポリマーの炭酸化養生適用による各種物性の把握

芝浦工業大学 学生会員 ○内藤 雄也

元芝浦工業大学大学院 楊 欽元

芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

持続可能な社会の実現に向け、土木分野では、エコ材料としてのジオポリマー（GP）に対する研究が進められている。GP は高炉スラグ微粉末（GGBS）やフライアッシュ（FA）のような産業副産物を利用すると同時に、セメントを使わないため、CO₂排出量の大幅削減が可能とされる。しかし、GP に関する研究はまだ初期段階にあり、多くの課題がある。まず、GP はセメントに比べて固化速度が遅い。そのため加熱養生が必要であり、施工条件が複雑で製造コストも高い。そのため、プレキャスト製品としての有用性を検討する必要がある。また、活性フィラーとして GGBS を添加すると、乾燥収縮が大幅に増加し、鉄筋との併用はできないと考えられる。さらに、GGBS の添加によって Ca⁺が多く含有され、吸水膨張や白華など現象も報告されている¹⁾。

本研究では、このような問題を解決するため、火力発電所から排出される FA、排熱、CO₂を直接利用し、GP の製造と炭酸化養生を考えた。GP を炭酸化改質し、低コストで高性能かつ安定した GP プレキャスト製品の製造が可能となれば効率化につながると考えた。そのため、本研究では、GP の炭酸化養生について検討を行い、炭酸化反応のメカニズムを推測し、この提案の可能性を検討した。

2. 使用材料および試験概要

本研究では表 1 に示すように GGBS 置換率と養生条件の異なる GP 供試体を作製した。活性フィラーとして FA II 種と GGBS を用いた。アルカリ刺激剤は水酸化ナトリウムと水ガラスとした。作製した GP モルタルは、1 日加温養生を行い、その後脱型して気中養生と炭酸化養生（温度 20°C、湿度 60%、CO₂ 濃度 5%）を施し、pH、圧縮強度、空隙率、長さ変化の測定を行った。また、反応解析のため作製した GP ペーストは、1 日加温養生を行い、その後、粉碎ミルで微粉碎したものを試料として気中養生と炭酸化養生（温度 20°C、湿度 60%、CO₂ 濃

表 1 ジオポリマーの配合

	GGBS置換率 (%)	L/S	A/W	Si/A	単用量 (kg/m ³)		
					JIS3号水ガラス	NaOH	水
FA100	0	0.5	0.119	0.619	213.56	39.42	106
FA80	20						
FA70	30						

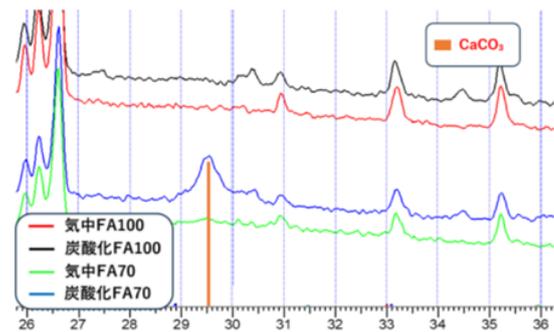


図 1 XRD 結果

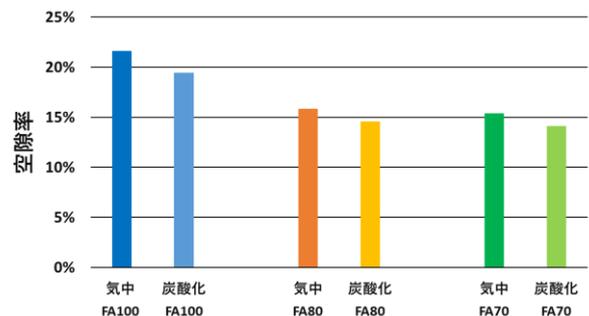


図 2 GP 空隙率

度 5%) を施し、XRD 分析を行った。

3. 試験結果と考察

3. 1 XRD と空隙率の結果と考察

ペースト試料の XRD 結果を図 1 に示す。FA100 の場合、炭酸化による全体のピークの変化が少ないことが確認されたことから、炭酸化による結晶性の生成物が少ないと考えられる。

FA70 の場合、CaCO₃ の生成が検出された。よって、GGBS 混和の GP では CaCO₃ の形式で Ca²⁺が CO₂ を固定したと推測することができる。

図 2 に材齢 7 日のモルタルの空隙率を示す。炭酸化養生を施した供試体は気中養生よりも空隙率が低くな

キーワード ジオポリマー、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、炭酸化、XRD

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 TEL:03-5859-8356 E-mail:ah20055@shibaura-it.ac.jp

る傾向が示された。XRDの結果と合わせると、FA70の場合は CaCO_3 が生成され、構造を緻密化したと考えられる。また、FA100の場合は非結晶質の炭酸化合物が生成され、構造を緻密化したと考えられる。

3. 2 炭酸化によるGPのpHと強度発現の考察

図3に強度発現と材齢14日の供試体のpH測定の結果を示す。GGBSの添加率が高いGPは強度が高くなった。これは、GP内のアルカリ刺激剤がGGBSと反応することによって強度が高くなったと考えられる。

また、炭酸化養生したGPにおいて、7日後と42日後の圧縮強度の変化が非常に小さいことから、炭酸化養生を行った場合、強度発現しないことが確認された。これは、炭酸化養生によりGP内のアルカリ刺激剤が炭酸化され、GPのpHが減少し、アルカリ刺激剤による水和反応が促進されなかったからであると考えられる。

3. 3 収縮量と質量変化率差による炭酸化メカニズムの推測

気中養生と炭酸化養生の供試体の収縮量を図4に示す。GGBSを混和しない場合、炭酸化が収縮量に及ぼす影響は確認できないが、GGBS混和の場合、炭酸化により収縮量が減少した。これは、強度発現の結果と同様に、GPの炭酸化によりアルカリ刺激剤による水和反応が抑制され、収縮量が減少したと推測する。

図5に気中養生と炭酸化養生を施した供試体の質量変化率の差を示す。質量変化率差は、水分逸散による減量と固定した CO_2 による増量の和と考える。

FA100の場合、気中養生と炭酸化養生を施した供試体の収縮量の結果は同等であることから、水分逸散速度も同等であると考えることができ、質量変化率の差は CO_2 固定量であると考えられる。 CO_2 固定量は材齢8日にピークに達し、その後徐々に低下した。強度発現の結果と合わせると、炭酸化によって CO_2 は炭酸化合物として固定されたが、炭酸化が進むにつれpHが低下し、炭酸化合物が溶解され、 CO_2 を放出した可能性が高いと考える。

GGBS混和の場合、 CaCO_3 の生成から構造が緻密化されるため、水分逸散速度が異なり、質量変化率の差は CO_2 固定量とみなすことはできないが、炭酸化が進むにつれて、質量変化率の差は安定している。これは、炭酸化によって CO_2 はGGBS中の Ca^{2+} を消費し、 CaCO_3 の形式で固定され、炭酸化によってpHが下がっても

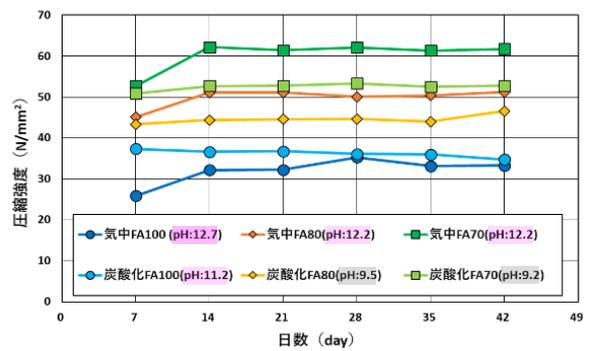


図3 GPのpHと強度発現

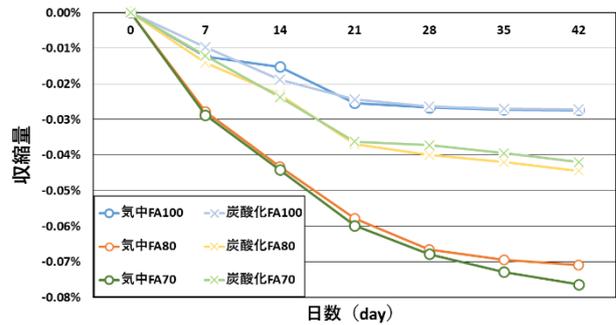


図4 収縮量

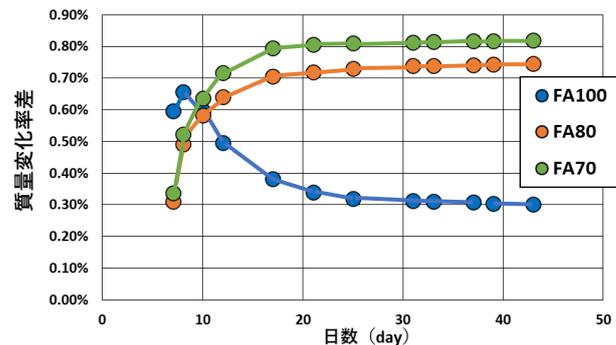


図5 質量変化率差

CaCO_3 は分解されないからであると推測する。

4. まとめ

GGBSを混和したGPに対する炭酸化養生は、強度を少し犠牲にするが、収縮率を大幅に減少することができたことから鉄筋との併用の可能性がある。さらに Ca^{2+} を安定的な CaCO_3 の形式で固定することに加え、GPの高いアルカリ性を低減し、環境汚染を防止できる。これよりプレキャスト製品に適用する可能性があると考えられる。

参考文献

- 山崎ら:接合剤及びアルカリ刺激剤の種類によるジオポリマーの炭酸化に関する研究, コンクリート工学年次論集, Vol.42, No.1, 2020