

新燃岳火山灰を用いたジオポリマーモルタルに関する基礎的研究

○宮崎大学大学院 学生会員 松岡 史也

宮崎大学工学教育研究部 正会員 尾上 幸造

Kangwon National University Yong-Seong KIM, Chung-Won LEE

1. はじめに

現在、環境に配慮したエココンクリートや新たな材料の開発に注目が集まっている。その中でも本研究では、ジオポリマー¹⁾ (以下、GP) に着目した。GP はセメントを使用せず、セメントの生産プロセスにおける二酸化炭素排出量を通常のコンクリートと比較して、約 80%削減できる低炭素技術²⁾として注目されている。

GP とはアルカリシリカ溶液 (水ガラスなど) と活性フィラー (アルミナシリカ粉末) との反応によって形成される非晶質の縮重合体の総称である。活性フィラーは、Si と Al が豊富でなければならず、天然のものとしてはカオリンや粘土があり、その他としてフライアッシュ (以下、FA)、シリカフューム、スラグ、もみ殻灰などの副産物も活性フィラーとして利用できる³⁾。

本研究では、主成分の割合が似ていることや、処理方法が確立しておらず、コンクリート分野での有効利用が期待されている宮崎県の新燃岳より噴出した火山灰 (以下、VA) および比較用として FA を用いた GP モルタルを作製し、それらの強度特性について比較検討した。

2. 実験概要

表-1 に VA と FA の化学成分を示す。VA と FA では SiO_2 や Al_2O_3 など主要な成分が類似していることから、VA を活性フィラーとして利用できる可能性がある。なお、本研究では、後述する Si 溶出試験を行い、その結果に基づいて VA 及び FA を活性フィラーとして用いた GP モルタルの圧縮強度について検討を行った。

GP モルタルの配合を表-2、表-3 に示す。GP 溶液は蒸留水：水酸化ナトリウム：水ガラス=265：100：787 の質量比で混合したものを使用した。VA に関しては、粉砕

し $150\mu\text{m}$ 以下に分級したものと未粉砕のものを使用し、粉砕による強度発現への影響を検討した。また、混和材として高炉スラグ微粉末

(以下、BFS) を使用した。BFS は活性フィラーに対して 0~30%の割合で容積置換し、置換率が強度に及ぼす影響について検討した。GP モルタルの練混ぜは、モルタルミキサを用い JIS R 5201 と同様の手順でおこなった。

図-1 に GP モルタルの養生条件を示す。FA ベースの GP モルタルでは、強度発現を促進させるため一般に蒸気養生を行う³⁾。本研究では恒温恒湿装置を用い、蒸気養生を模擬した。練り上がった GP モルタルを $10\times 10\times 40(\text{mm})$ の 3 連型枠に打設後、恒温恒湿装置に入れ、 20°C 、60%R.H から 3 時間かけて所定の温度 (60°C または 80°C)、90%R.H まで上昇させ、その後、所定の時間 (3, 6, 12 時間) 保持し、再び 3 時間かけて温度 20°C 、60%R.H まで下げるとい、最高温度 2 パターンと保持時間 3 パターンの計 6 パターンを養生条件とした。

Si 溶出試験はモリブデン青吸光光度法 (JIS K 0102 45.1) を用いて行った。活性フィラーを固液比 1：100 で蒸留水にビーカー内で浸漬し、ラップで密封した後に GP モルタルと同様の温湿度履歴を与えた。養生開始から 24 時間後に 5 種 B ($4\mu\text{m}$) のろ紙を用いて吸引ろ過を行い、ただちに Si 濃度の測定を行った。

養生開始から 24 時間後に GP モルタルを脱型し、ただちに強度試験を実施した (材齢 1 日)。曲げ強度の測定も実施したが、本稿では圧縮強度の結果についてのみ報告する。

表-1 VA と FA の化学成分

成分	VA	FA
SiO_2	58.9	55.4
Al_2O_3	19.4	26.9
Fe_2O_3	8.6	3.7
CaO	7.7	4.1
MgO	1.7	0.4
SO_3	0.5	0.7

(mass%)

表-2 GP モルタルの配合条件と単位量

BFS置換率	VAシリーズ (kg/m^3)				フロー値
	GP溶液	BFS	VA	細骨材	
0%	367	0	512	1350	185
30%	367	173.4	358.4	1350	226
BFS置換率	FAシリーズ (kg/m^3)				フロー値
	GP溶液	BFS	FA	細骨材	
0%	367	0	456	1350	268
30%	367	173.4	319.2	1350	244

表-3 BFS 置換率を変えた配合

BFS置換率	GP溶液	VA	BFS	細骨材	フロー値
	kg/m ³				
0%	367	512	0	1350	185
10%		460.8	57.8		192
20%		409.6	115.6		225
30%		358.4	173.4		226

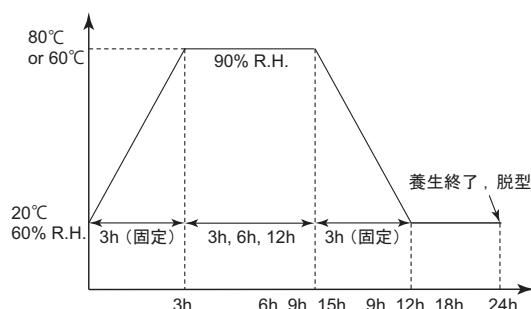


図-1 GP モルタルの養生条件

3. 実験結果

図-2 に積算温度と Si 溶出量の関係を示す。FA と VA で Si の溶出量に違いはあるものの、積算温度が増加するに従い、Si 溶出量が直線的に増加することが確認できる。本実験結果より、VA を GP の活性フィラーとして利用できる可能性があるといえる。なお、VA については粉砕したものの方が未粉砕のものと比較して Si 溶出量が増加する結果となった。

図-3 に粉砕した VA と未粉砕の VA を活性フィラーとする GP モルタルの圧縮強度の比較を示す。養生条件は 80℃, 12 時間保持とした。BFS の置換率によらず VA を粉砕した方が強度は高くなる傾向にある。これは前述のように粉砕した VA の方が同じ積算温度における Si の溶出量が多く、GP モルタルの硬化が促進されたためと考えられる。

BFS 置換率と GP モルタルの圧縮強度の関係を図-4 に示す。BFS 置換率が増加するに従って、GP モルタルの強度は直線的に増加することが確認できる。なお、活性フィラーとして VA を用いた場合には BFS の置換率が増加するとフロー値が増加したが、FA を用いた場合にはその逆となることが確認された。これは粉体の形状による影響と考えられる。既往の文献³⁾では BFS の置換率が増加すると急速に固化し始めることから作業に支障が出ると報告されている。今後、打設に影響を及ぼさない BFS の最適な置換率を検討する必要があると考えている。

図-5 に積算温度と GP モルタルの圧縮強度の関係を示す。活性フィラーの種類と BFS の置換率が同じであれば、GP モルタルの圧縮強度は積算温度と正の一次関係にある。しかし、配合ごとに回帰直線が異なることから積算温度によって圧縮強度を管理することは困難であると考えられる。

図-6 にモルタル 1 L あたりに含まれるフィラーからの Si 溶出量と GP モルタルの圧縮強度の関係を示す。BFS の置換率が同じであれば、活性フィラーの違いによらず 1 本の回帰直線で近似でき、その傾きもほぼ等しい。このことより、VA が GP モルタルの活性フィラーとして機能するといえる。

4. まとめ

本実験で得られた知見は以下の通りである。

- (1) 活性フィラーからの Si 溶出量は積算温度と正の一次関係にある。
- (2) 火山灰を粉砕することで Si 溶出量は増大する。
- (3) 積算温度が同じであれば、BFS 置換率と GP モルタルの圧縮強度との間には正の一次関係がある。
- (4) GP モルタルの圧縮強度は積算温度と正の一次関係にあるが、BFS 置換率や活性フィラーの種類ごとにその関係は異なる。
- (5) 活性フィラーからの Si 溶出量と GP モルタルの圧縮強度との間には、活性フィラーの種類によらず良好な正の一次関係がある。

以上より、新燃岳火山灰は GP モルタルの活性フィラーとして機能することが示された。今後、同 GP モルタルの長期的な安定性や耐久性について検討する予定である。

【参考文献】

- 1) J.Davidovits: GEOPOLYMERS, *Journal of Thermal Analysis*, Vol.37, 1991
- 2) 上原元樹, 東原実, 横川勝則: GP法による環境負荷低減PCまくらぎの作製, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.64, V-369, 2009
- 3) 一宮 一夫, 津郷 俊二, 原田 耕司, 池田 攻: ジオポリマーモルタルの配合ならびに製造法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, 2011

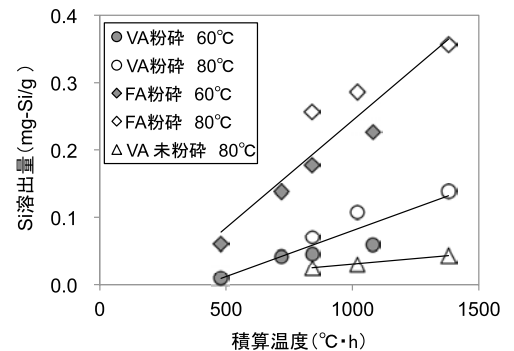


図-2 積算温度と Si 溶出量の関係

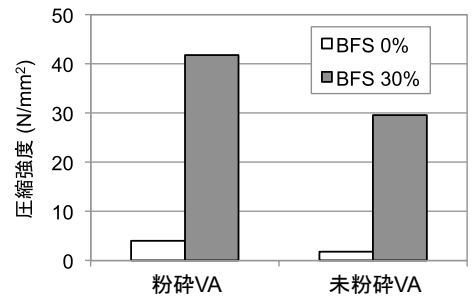


図-3 VA の粉砕が圧縮強度に及ぼす影響

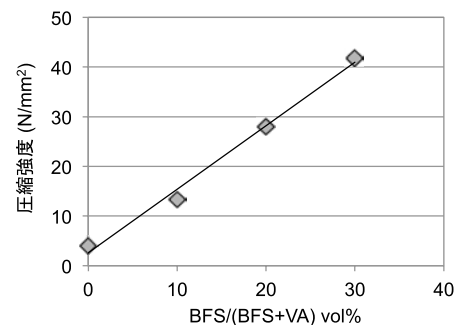


図-4 BFS の置換率と圧縮強度の関係

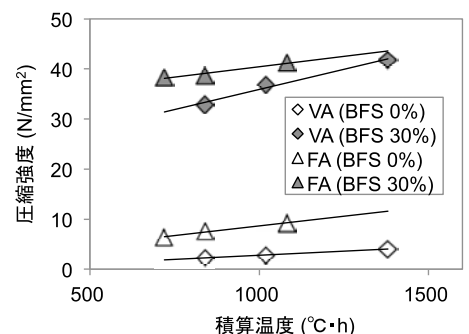


図-5 積算温度と圧縮強度の関係

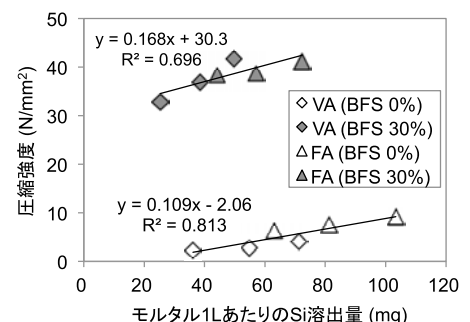


図-6 モルタル 1L あたりの Si 溶出量と圧縮強度の関係