

火山ガラス微粉末のジオポリマーへの適用

前橋工科大学 学生会員 ○吉野 千紘
前橋工科大学 正会員 佐川 孝広

1. 研究の背景・目的

日本は世界でも上位の火山大国であり、現在も豊富な火山灰(火山ガラス微粉末)が存在する。そこで火山灰を単に埋め立てるだけではなく、その特徴を活かし資源として活用することで資源循環・低炭素社会の推進に寄与できると考えられる。一方で、新たな建設材料技術においてジオポリマー(GP)が注目されている。代表的な GP の活性フィラーには高炉スラグ微粉末や、火力発電所から発生する石炭灰(フライアッシュ)などがあげられる。ここで、火山ガラス微粉末の主な化学成分はアルミニウムとシリカであり、活性フィラーとなる可能性がある。

本研究では火山ガラス微粉末の有効利用法の確立を目的に、GP への適用について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

試験は高炉スラグ微粉末 4000(BFS)、火山ガラス微粉末(ASH)またはフライアッシュ II 種(FA)、6 号珪砂を用いたモルタルによって行った。ASH および FA の粉末度、密度、ガラス化率を表 1 に示す。

2.2 配合

GP モルタルの配合は、活性フィラー(P)と GP 溶液(GW)の質量比はモルタル練り混ぜ時に流動性を調整し決定した。P の組成は、BFS と ASH の比率を変化させた 4 水準とした。GW の配合は、水ガラス 2 号の 0.9 倍希釈液(WG2)および 10 mol/L の NaOH 溶液(NH)を用い、WG2 単独、WG2:NH を質量比で 2:1 および 1:1 に混合した 3 水準とした。また WG2 と NH の質量比 2:1 のみ ASH の比較として FA についても評価した。モルタルの細骨材比は 2 とした。以上の GP の配合を表 2 に示す。なお、GW の配合記述法としてアルカリ水モル比(A/W)およびケイ素アルカリモル比(Si/A)がそれぞれ提案されており²⁾GW の A/W や Si/A が硬化体の強度や耐久性に影響

を及ぼすことが報告されていることから、表 2 には本実験での A/W、Si/A についても併記した。

表 1 ASH および FA の特性

	粉末度 (cm ² /g)	密度 (g/cm ³)	ガラス化率 (%)
ASH	3710	2.34	89.7
FA	4010	2.29	82.6

表 2 GP の配合(質量比)

灰の種類	GW/P	P(mass)		GW		A/W (mol/mol)	Si/A (mol/mol)
		BFS	ASH(FA)	WG2	NH		
ASH	0.65	1	0	1	0	0.101	1.262
		0.75	0.25				
		0.5	0.5				
		0.25	0.75				
	0.77	1	0	0.67	0.33	0.134	0.605
	0.76	0.75	0.25				
	0.82	0.5	0.5				
	0.92	0.25	0.75				
FA	0.77	1	0	0.5	0.5	0.150	0.394
	0.77	0.75	0.25				
	0.77	0.5	0.5				
	0.68	0.25	0.75				
ASH	0.70	1	0	0.5	0.5	0.150	0.394
	0.77	0.75	0.25				
	0.83	0.5	0.5				
	0.93	0.25	0.75				

2.3 試験方法

(1)モルタル圧縮強度

JIS A1108 に準じ、φ5×10 cm の試験体を用いて GP モルタルの圧縮強度を測定した。養生条件は、20℃封緘とし、測定材齢は 1、3、7 および 28 日とした。

(2)凍結融解試験

凍結融解試験は、15cm³のスチロール棒瓶に成型したモルタルを用いた。養生条件は、圧縮強度試験と同様とし、材齢 28 日にて脱型後、濃度 3 %の NaCl 水溶液に 48 時間吸水させ、表乾質量を測定後、凍結融解試験を行った。凍結融解の温度履歴は、-20℃で 16 時間凍結、20℃で 8 時間融解を 1 サイクルとした。所定の凍結融解サイクル終了毎に試験体の表乾質量を測定し、試験開始時の質量を 100%とした質量残存率(%)にて評価した。

3. 実験結果および考察

表 3 に圧縮強度試験結果を示す. いずれの A/W と
も BFS 置換率 1 の圧縮強度が最も高く, ASH や FA
の置換率が増すほど強度は低下した. また ASH と
FA を比較すると, これらの置換率が低い 0.25 での
強度はほぼ等しいのに対し, 置換率が高くなると FA
を用いた方が高い強度を示した. さらに, A/W の影
響については, 同一の活性フィラーで比較すると全
般に A/W=0.134 の強度が最も高くなった.

図 1 に A/W=0.101 と A/W=0.134 の圧縮強度を示
す. A/W=0.101 で ASH の置換率が 0.75 では, 材齢
28 日までほぼ強度発現しなかった. 同一の活性フィ
ラーで比較すると, A/W が高くなると材齢 1 日での
強度は高くなるが, その後の強度増進は停滞した.

図 2 に A/W=0.101 と A/W=0.134 の凍結融解試験
結果を示す. いずれの A/W とともに BFS 置換率 1 の
質量残存率が最も大きく, ASH や FA の置換率が 0.25
での低下は僅かであるが, 置換率が 0.5, 0.75 と増す
ほど質量残存率は大きく低下した.

ここで, 凍結融解に対する抵抗性の評価指標を,
凍結融解試験 10 サイクル時の質量残存率と定義し,
この値と圧縮強度との関係について検討した. 図 3
は材齢 28 日の圧縮強度と凍結融解試験 10 サイクル
時の質量残存率を示す. 図の(a), (b)のいずれも, 圧
縮強度と質量残存率は密接に関係し, 圧縮強度が
20N/mm² 程度以下では質量残存率はきわめて低く,
20-80N/mm² 程度の領域で, 圧縮強度が高いほど質量
残存率も高くなり, 80N/mm² 程度以上では質量残存
率はほぼ 100%となった. したがって, GW や活性フ
ィラーの組成にかかわらず, モルタルの凍結融解に
対する抵抗性は圧縮強度に依存すると考えられる.

4. まとめ

- (1) BFS-ASH 系活性フィラーでは, BFS を単独で
用いた圧縮強度が最も高く, ASH の混和により強度
は低下した. また ASH の強度は, FA より低かった.
- (2) 同一の活性フィラーで比較すると, GP 溶液中の
アルカリ水モル比が変化すると圧縮強度も変化した.
- (3) 凍結融解抵抗性は, GP 溶液や活性フィラーの組
成に関わらず圧縮強度に依存した.

参考文献

1) Patrick N. et al.: Synthesis and thermal properties of
inorganic polymers (geopolymers) for structural and
refractory applications from volcanic ash, Ceramics
International, Vol. 37, Issue 8, pp. 3011-3018, 2011
2) 前川明弘ほか: ジオポリマーの圧縮強度に関する基礎
的研究(その 1. 使用材料の影響), 日本建築学会大会学
術講演梗概集, pp.1383-1384, 2013
3) 佐川孝広: 木質バイオマス焼却灰のジオポリマー活
性フィラーへの適用, 日本建築学会大会学術講演梗概
集, pp.725-726, 2017

表 3 モルタル圧縮強度試験結果

A/W	Si/A (mol/mol)	P(mass)		GW/P	圧縮強度(N/mm ²)			
		BFS	ASH		1日	3日	7日	28日
0.101	1.262	1	0	0.65	24.3	55.6	76.2	108.4
		0.75	0.25	0.65	2.8	33.7	60.2	93.5
		0.5	0.5	0.65	0.0	0.9	27.9	60.4
		0.25	0.75	0.65				1.2
0.134	0.605	1	0	0.77	42.8	63.0	79.8	99.9
		0.75	0.25	0.76	30.7	47.4	63.9	83.0
		0.5	0.5	0.81	14.9	26.5	34.9	51.4
		0.25	0.75	0.92	4.1	7.3	10.6	17.0
0.150	0.394	1	0	0.70	43.4	54.4	66.4	88.0
		0.75	0.25	0.77	28.3	35.9	43.3	58.5
		0.5	0.5	0.83	14.7	19.4	22.8	30.5
		0.25	0.75	0.93	3.5	6.9	9.1	15.1

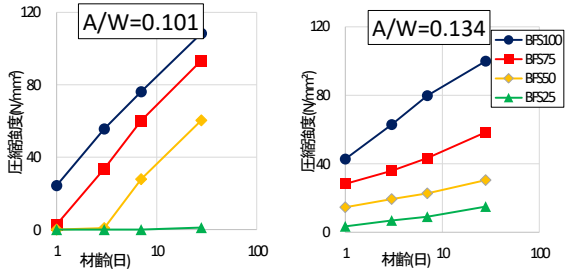


図 1 GP モルタルの圧縮強度

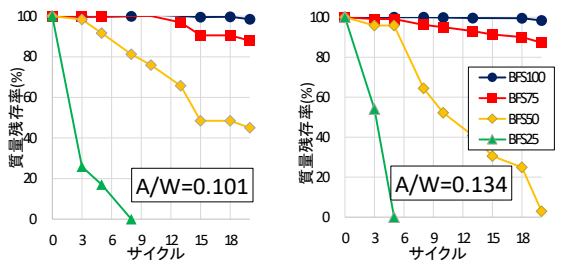


図 2 GP モルタルの凍結融解試験

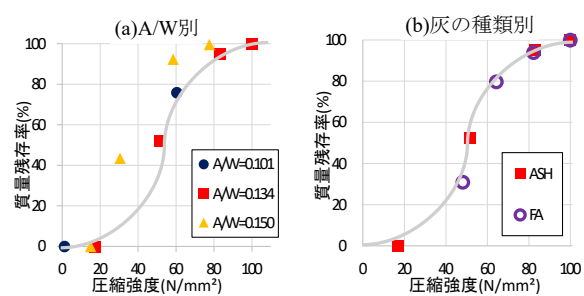


図3 凍結融解開始時の圧縮強度と質量残存率