

第四紀火山噴出物を用いた地産地消低炭素型高性能コンクリート用混和材の開発

東京大学 ○友寄 篤 1*

コンクリート	火山ガラス微粉末	ポゾラン反応
活性度指数	耐久性	低炭素化

研究の目的

申請者らはこれまでに、南九州に堆積するシラスを対象として簡易な工業処理によって、ポゾラン反応性を有する火山ガラスを高純度を選別できる技術を開発した、また、選別された火山ガラスを粉砕した純国産の微粉末は超高強度コンクリートの製造に不可欠な全量輸入されている混和材であるシリカフェームと同等以上の性能を持つこと、普通コンクリートの高耐久化に寄与することなどを明らかにした、市場化への可能性が認められ、経産省の新市場創造型標準化制度に採択され、2020年3月に JIS A 6209 「コンクリート用火山ガラス微粉末」が制定された、しかしながら、1企業が採掘するシラス地山以外の火山性堆積物を原料とした場合の製造可能性などについては検証がされていない、

本研究では、シラス以外の国内火山噴出物を用いて JIS に適合する火山ガラス微粉末の製造方法を開発し、混和材としての強度発現性能や耐久性能を検証することを目的とする、地産地消低炭素型の高性能混和材が日本各地で製造可能であることが示されれば、資源小国と言われる日本における新たな無機資源となるためその意義と波及効果は大きく、更なるコンクリートの低炭素化および高耐久化に寄与し、優良な社会資本整備実現に貢献する、

研究の内容

本研究では、これまでにコンクリート分野や資源工学分野で何らかの検討がなされ、化学組成や噴出年代がシラスに近い北海道火山灰 2 種類と南九州の火山性堆積物 4 種類を対象に、エアテーブルによる火山ガラス微粉末の製造について検証した。北海道から北見市留辺蘂町および旭川市神居町の 2 箇所の火山灰、鹿児島県から鹿屋市串良町の 2 種類のシラス、霧島市国分および宮崎県えびの町の 1 箇所のシラス、合計 6 種類の火山性堆積物について、全て採掘業者から取り寄せたものを用いた。それぞれの原鉱から、風化が進んでいると思われる微粒分を集塵機で除去しながら高純度火山ガラスをエアテーブルにより選別した。各原料の粒度や鉱物組成が異なるため、エアテーブルの風速やメッシュの勾配を調整し、各原鉱に合わせた適切な条件を検証する。回収された VG のガラス含有率を測定し、90%を超えた VG を 1 次粉砕することで火山ガラス微粉末 VGR を製造した。留辺蘂火山灰、神居町火

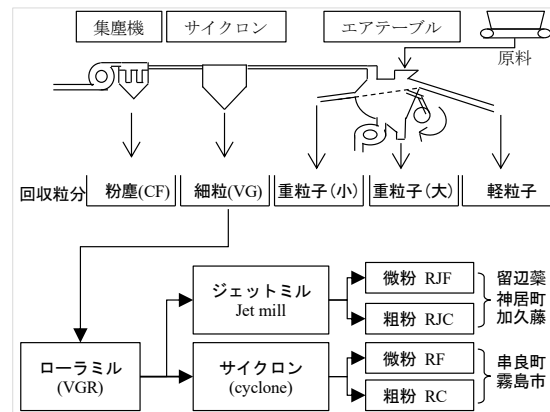


図 1 VGP の製造プロセス

山灰、加久藤シラスは VGR をジェットミルで 2 次粉砕し、その他は VGR をサイクロンで分級した。以下、これらの 6 種類の火山ガラス微粉末を VGP と称する。VGP の製造プロセスを図 1 に示す。

6 種類の VGP および原鉱に含まれる風化が進んだ微粒分 CF を対象に、JIS 適合性試験を行った。結果を表 1 に示す。なお、今回の実験は全て JIS に準拠した方法で実施していないが、表には JIS A 6209 で定められている項目についてはその規定値を示し、満たさない項目はセルをグレー表示、クラス分けされているものに関しては、I 種と II 種を満たす場合には、それぞれ赤色、橙色で色分けした。各地の原料から JIS に適合する火山ガラス微粉末を製造できることが示された。しかし、留辺蘂の全ての VGP、および神居町と加久藤の RJF では強熱減量が JIS に規定される 4.0%を上回った。入戸シラス以外の原鉱から VGP を製造した場合には SiO₂ および強熱減量が JIS を満たさなくとも性能として重要である活性度指数試験を満たす結果が得られており、今後の実用化を考えると、JIS A 6209 の規格値については更なる検証が必要であることが示された。また、図 2 に示す通り、化学組成としては SiO₂ と中間酸化物 (Al₂O₃+Fe₂O₃) に高い相関が確認され、風化の指標として利用できる可能性が示された。北海道火山灰を原料とした VGP を用いたコンクリート試験において、これまでと同様の強度発現性、流動性、耐久性を満たす結果が得られ、環境負荷低減効果も同程度であることが示された。

表 1 JIS 適合性試験の結果

		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	比表面積(cm ² /g)	活性度指数 (%)	
															7 日
留 辺 薬	RJF	69.5	0.11	12.9	1.77	0.06	0.43	0.88	3.35	5.59	0.02	5.45	215000	100.4	111.6
	VGR	71.1	0.08	12.4	1.38	0.05	0.27	0.76	3.54	5.79	0.01	4.60	93900	99.7	103.8
	RJC	71.4	0.07	12.3	1.34	0.05	0.25	0.75	3.55	5.81	0.01	4.42	73500	99.3	102.8
	CF	66.2	0.20	14.1	5.18	0.08	0.91	1.21	1.75	5.08	0.02	5.28	367900	80.9	87.4
神 居 町	RJF	69.8	0.23	15.0	1.86	0.09	0.49	0.80	3.10	3.92	0.02	4.71	212300	107.4	108
	VGR	73.0	0.17	13.7	1.28	0.07	0.30	0.76	3.30	4.11	0.02	3.29	82300	93.1	101.5
	RJC	73.7	0.15	13.3	1.13	0.07	0.26	0.74	3.36	4.17	0.02	3.03	65600	101.9	106.7
	CF	58.1	0.37	22.6	4.92	0.11	0.81	0.67	1.29	2.57	0.02	8.56	393400	87.3	94.9
加 久 藤	RJF	71.3	0.25	13.5	2.2	0.05	0.39	1.63	3.38	3.1	0.04	4.22	166000	103.3	107.5
	VGR	72.7	0.22	12.9	2.00	0.05	0.36	1.52	3.48	3.13	0.04	3.59	72400	99.7	101.8
	RJC	73.1	0.22	12.7	1.96	0.05	0.36	1.53	3.53	3.13	0.04	3.36	42900	97.1	98
	CF	63.1	0.43	17.9	5.73	0.08	0.72	1.11	1.47	2.64	0.06	6.81	334300	84.1	86.7
霧 島 国 分	RF	70.9	0.27	13.9	2.52	0.06	0.57	2.35	3.28	3.15	0.07	2.89	110017	100.17	104.00
	VGR	71.6	0.27	13.6	2.37	0.06	0.6	2.22	3.28	3.2	0.06	2.73	65700	96.75	98.79
	RC	72.0	0.27	13.4	2.22	0.06	0.58	2.08	3.28	3.30	0.06	2.81	42900	94.22	99.38
	CF	69	0.21	12.9	5.63	0.06	0.48	1.33	2.33	3.98	0.05	4.05	140292	-	-
串 良	RF	73.4	0.2	12.8	2.07	0.05	0.29	1.45	3.36	3.31	0.03	3.00	115800	99.01	102.27
	VGR	74.2	0.19	12.6	1.86	0.05	0.25	1.4	3.35	3.28	0.03	2.81	69400	84.35	101.61
	RC	74.3	0.19	12.5	1.78	0.05	0.26	1.36	3.38	3.32	0.03	2.84	45000	84.37	96.51
	CF	66.9	0.26	13.6	6.12	0.06	0.66	1.41	2.1	3.51	0.03	5.39	412280	-	-
串 良 黄 土	RF	71.4	0.23	13.6	2.55	0.06	0.37	1.53	3.21	3.08	0.02	3.94	126500	103.03	108.10
	VGR	72.6	0.22	13.2	2.25	0.06	0.34	1.44	3.34	3.23	0.02	3.3	76220	97.22	98.83
	RC	73.4	0.21	12.9	2.07	0.06	0.31	1.42	3.35	3.18	0.02	3.09	40790	94.67	97.59
	CF	65.7	0.29	15.7	4.57	0.08	0.62	1.35	2.11	3.03	0.02	6.58	390800	-	-
JIS A 6209															
I種													80000 以上	100 以上	105 以上
II種	70.0 以上		15.0 以下									4.0 以下	40000 以上	95 以上	100 以上
III種													10000 以上	90 以上	95 以上

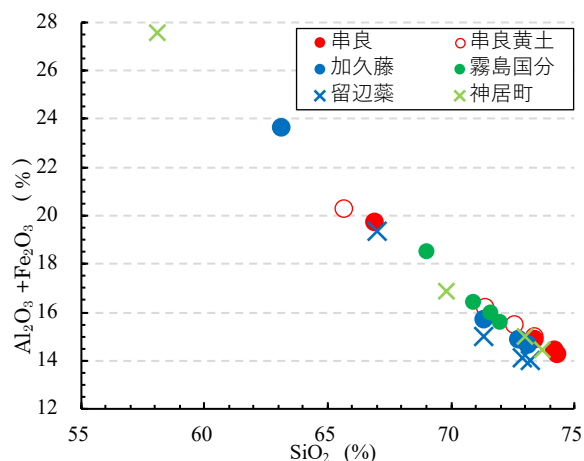


図 1 SiO₂ と Al₂O₃+Fe₂O₃ の関係

研究の成果, 新発見

・全国 6 種類の火山性堆積物を原料とした場合ニ、エアテーブルの風速調整などにより JIS A 6209 に適合する火山ガラス微粉末を製造することができた。ただし、一部の原鉱では強熱減量が JIS の規定値を上回るものの活性度指数試験を満たすものがあつたため、今後の実用化に向けた

JIS の改訂に対し、重要な知見が得られた。

・原料となる火山性堆積物および火山ガラス微粉末の風化度は、シリカアルミナ比で簡易に評価できるものの、母マグマが異なる場合など、シリカ中間酸化物比の方が幅広く適用できる可能性が示された。今後、さらなるデータの蓄積をすることで各地の火山性堆積物の風化度の指標を確立することができると考えられる。また、風化は粒子の表面から進行することを直接的に観察し、風化が進んだ部分ほど微粉末化しやすいことが示された。

・北海道の火山灰を原料とした火山ガラス微粉末を用いたコンクリートは、鹿児島の入戸シラスの場合と同様の強度発現性、流動性、耐久性を示すことが確認され、標準的な事務所ビルの新築工事における躯体工事と土工事に伴う二酸化炭素排出量を約 10%~15%できる結果が示された。

今後の予定

本研究で対象とした南九州、北海道の火山性堆積物に加え、北関東や東北など各地の火山性堆積物についてのデータの蓄積を進めるとともに、モルタル試験やコンクリート試験によらない効率的な資源選択のための評価手法の構築を進めて行く。

* 東京大学大学院 工学系研究科建築学専攻

* The University of Tokyo, Graduate school of Engineering, Department of Architecture