

論文 コンクリート用火山ガラス微粉末を用いたコンクリートの基本特性

友寄 篤*1・野口 貴文*2・袖山 研一*3・東 和朗*4

要旨: 標準化されることが決定した火山ガラス微粉末について、異なる方法で製造された BET 比表面積が異なる 6 種類を用い、コンクリートとしての強度・流動性・耐久性に関する検討を行った。その結果、W/B=20% では 10%置換すると BET 比表面積 12m²/g 以上の微粉末でシリカフェームと同等の性能を示し、W/B=50%では 25%置換すると BET 比表面積 3m²/g 程度の粗粉末でフライアッシュ II 種品と同等の性能を示した。中性化抵抗性と凍結融解抵抗性については 20%置換まで普通コンクリートと同等の結果が得られ、塩分浸透抵抗性については、10%置換で優れた性能を示した。

キーワード: 火山ガラス, ポズラン反応, 混和材, 圧縮強度, 流動性, 耐久性

1. はじめに

ポズラン反応性を持つ産業副産物の混和材利用は、環境負荷の低減およびコンクリートの耐久性向上にとって重要であるが、超高強度コンクリートの製造に必須であるシリカフェーム（以下、SF）は国内消費の全量を輸入に頼っている。筆者らは、南九州に堆積し膨大な埋蔵量を誇る入戸火砕流堆積物（入戸シラス）の乾式比重選別による全量活用に関する研究を進めているが、選別された純度の高い火山ガラス質を平均粒径 1μm 程度まで粉碎すると、SF の JIS の活性度指数の基準値を満たし、より高置換でさらに強度を発現し、W/B=20%のコンクリートでは SF より少ない化学混和剤量で同等以上の強度とスランプフローを得られることを示した¹⁾²⁾。全国に堆積する火山噴出物からエアテーブルと呼ばれる乾式比重選別装置と粉碎機を用いた純国産の高性能混和材製造とその市場展開への可能性が認められ、2017年7月には新市場創造型標準化制度を活用して「コンクリート用火山ガラス微粉末」として標準化が行われることが決定した。

しかし、混和材としてのコンクリート実験は少なく、二次粉碎機に用いたジェットミルは事業化するには消費電力が大きく処理量が少ない。そこで、本研究では実用化も想定した複数の方法で製造された異なる粉末度の火山ガラス微粉末を用いてコンクリート試験を行う。水結合材比 20%と 50%の 2 水準で強度及び流動性を副産物混和材と比較し、約 60%ではセメント単味と比較した基本的な耐久性試験も行い、その結果を副産物混和材と比較考察することで、火山ガラス微粉末を用いたコンクリートの基本特性全般を明らかにすることを目的とする。

本研究では、粉碎方法や粉末度を限定せずに、火山噴出物を原料とし、アルミノけい酸塩ガラス（火山ガラス）を主成分とした微粉末を火山ガラス微粉末とする。

2. 実験概要

2.1 使用した火山ガラス微粉末の製造方法

本研究では鹿児島県鹿屋市串良町の採掘業者より前処理なしの入戸シラスを取り寄せ、5mm のふるいを通過した粒分を原鉱とした。既報²⁾と同様に、含水率 1%以下とした原鉱からエアテーブルで分離回収した火山ガラス質（S80）を原料とし、ローラミルにより粉碎した微粉末（以下、R とする）をジェットミルで二次粉碎しバグフィルタに回収される微粉（RJF）、サイクロンに回収される粗粉（RJC）を使用した。以下、バグフィルタ回収品を微粉、サイクロン回収品を粗粉とする。また、R を気流分級機により分級した微粉（RAF）と粗粉（RAC）、R を汎用サイクロンにより分級した微粉（RGF）と粗粉（RGC）、これらの微粉 3 種類と粗粉 3 種類の合計 6 種類の火山ガラス微粉末を用いた。それぞれの火山ガラス微粉末の製造工程と回収率を図-1 に示す。

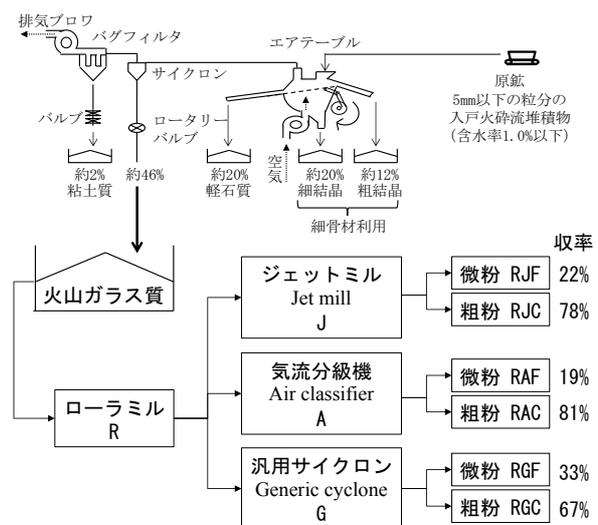


図-1 火山ガラス微粉末の製造工程

*1 東京大学大学院 工学系研究科建築学専攻学術支援専門職員 工修 (正会員)

*2 東京大学大学院 工学系研究科建築学専攻教授 工博 (正会員)

*3 鹿児島県工業技術センター 地域資源部シラス研究開発室長 工博 (正会員)

*4 (株) プリンシプル 代表取締役

表-1 火山ガラス微粉末の物性

R の基本物性		火山ガラス微粉末の基本物性			
密度(g/cm ³)	2.36	BET 比表面積 (m ² /g)	活性度指数		
ガラス率 (%)	88.6		JIS A 6207 附属書 C (%)	JIS A 6201 附属書 C (%)	
SiO ₂ (%)	73.7				
Al ₂ O ₃ (%)	12.4	RJF	16.1	98(7d) / 105(28d)	
Fe ₂ O ₃ (%)	1.75	RJC	4.2	97(7d) / 100(28d)	
MgO (%)	0.35	RAF	15.2	100(7d) / 100(28d)	
K ₂ O (%)	3.86	RAC	5.1	-	
Na ₂ O ₃ (%)	3.86	RGF	12.0	101(7d) / 103(28d)	
Ig.loss (%)	2.25	RGC	3.6	-	
				72(28d) / 89(91d)	

表-2 比較用混和材の基本物性

SF	BET比表面積：16.0m ² /g 活性度指数：97% (7日), 109% (28日) SiO ₂ ：93.76%, MgO：0.58%, SO ₃ ：0.27%, 強熱減量：1.91% 密度：2.25g/cm ³
FA	プレーン比表面積：3910cm ² /g, BET比表面積：1.4m ² /g (実測値) 活性度指数：82% (28日), 97% (91日) フロー値比：111% SiO ₂ ：64.9%, 湿分：0.2%, 強熱減量：1.7% 密度：2.28g/cm ³

表-3 使用材料

		物性など	記号
合材 結(B)	セメント	普通ポルトランドセメント	N
		低熱ポルトランドセメント	L
	混和材	火山ガラス微粉末 6種, SF, FA	SCM
	石灰砕砂	大分県津久見産, 密度 2.67g/cm ³	S1
	硬質砂岩砕砂	鹿児島県日置市産, 密度 2.62g/cm ³	S2
	硬質砂岩砕石	鹿児島県日置市産, 密度 2.64g/cm ³	G1
	石灰砕石	大分県津久見市産, 密度 2.70g/cm ³	G2
	高性能減水剤	超高強度用, ポリカルボン酸系	SP1
	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系	SP2
	AE 減水剤	高機能タイプ	SP3
	AE 剤	アルキルエーテル系	AE

表-4 調査条件

Series	W/B (%)	セメント	W (kg/m ³)	SCM/B (%)	細骨材 重量比	比較 混和材	化学 混和剤	目標 Air (%)	目標 スランブ (cm)
I	20	L	160	10	S1=4 S2=6	SF	SP1	2.0 ± 1.0	フロー 65±10
II	50	N	167	25	S1=2.5 S2=7.5	FA	SP2 + AE	5.0 ± 1.0	スランブ 18±2.5
III	61.2	N	183	0 10 20	S1=2.5 S2=7.5	-	SP3 + AE	5.0 ± 1.5	スランブ 18±2.5

表-5 RJF の基本物性

BET 比表面積 (m ² /g)	ガラ ス率 (%)	密度 (g/cm ³)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Ig.loss (%)
15.1	88.8	2.36	72.6	0.21	12.6	1.93	0.05	0.32	1.52	3.98	3.62	0.04	3.19

2.2 水結合材比 20%と 50%のコンクリート試験

1ロット2トンの原鉱より製造した6種類の火山ガラス微粉末と比較混和材としてSFとフライアッシュII種品(以下, FA)について, 2水準の水結合材比で実験を行った。一次粉砕品Rの密度と主な組成および使用した6種類の火山ガラス微粉末の物性を表-1に, 成績表による比較混和材の物性を表-2に示す。なお, 前報同様に重液分離により密度 2.4g/mm³以下をガラスとしてガ

ラス率を測定し, 活性度指数も前報同様に細骨材に石灰砕砂を用いたJIS A 6207附属書C準拠および陸砂を用いたJIS A 6201附属書C準拠の予備試験の結果とした。

練混ぜには強制二軸練りミキサーを用い, SFとFAのJISの活性度指数の試験方法を参考にW/B=20%では置換率10%とし, W/B=50%では置換率25%とした。使用材料と調査条件を表-3, 表-4に示す。W/B=20%の比較混和材はSFとし, 目標空気量は2.0%±1.0%, 目標スランブフローは65cm±10cmとした。W/B=50%の比較混和材はFAとし, 目標空気量は5.0%±1.5%, 目標スランブは18cm±2.5cmとした。目標空気量とスランブを満たす様に化学混和剤量を調整し, フレッシュ性状としてスランブ(W/B=50%のみ), スランブフロー, 空気量, コンクリート温度, 50cm通過時間とフロー停止時間(W/B=20%のみ)を試験した後に圧縮強度供試体(φ100×200mm円柱)を作製した。標準養生材齢1週, 4週, 13週で圧縮強度試験を実施した。

2.3 水結合材比 61.2%の耐久性用コンクリート試験

火山ガラス微粉末が耐久性に与える影響を検討するために前節とは異なるロットの原鉱から製造した表-5に示すRJFを用いた。調査は単位水量185kg/m³程度, 単位セメント量300kg/m³以下とし, 水結合材比約60%となる様に定め, 混和材置換率を0%, 10%, 20%とした。目標空気量は5.0%±1.5%, 目標スランブは18cm±2.5cmとした。使用材料と調査条件を表-3, 表-4に示す。強制二軸練りミキサーを用い, スランブ, スランブフロー, 空気量, コンクリート温度を試験した後に圧縮強度試験および浸漬法による塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験用のφ100×200mmの円柱, 促進中性化試験および凍結融解抵抗性試験用の100×100×400mmの角柱供試体を作製した。円柱供試体にて標準養生材齢1週, 4週, 13週で圧縮強度試験を実施した。

促進中性化試験はJIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠した。角柱試験体を用い, 前養生は脱型後材齢4週まで20℃水中養生, その後材齢8週まで20℃60%RHの恒温恒湿室に静置した。炭酸ガス濃度5%, 20℃, 湿度60%RHの中性化促進試験装置を用い, 促進材齢1, 4, 8, 13, 26週にて中性化深さを測定した。

塩化物イオン浸透抵抗性は「浸漬によるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法(案)(JSCE-G572-2003)」に準拠した。円柱供試体の上下25mmをカットして, 脱型後材齢4週まで20℃水中養生を行い, 打ち込み側の円形1面を残しエポキシ樹脂で被覆した供試体を温度20℃, 濃度10%の塩化ナトリウム水溶液中に202日間浸漬した。全塩化物イオン分布の測定は, 開放面からの深さ中心が5, 20, 35, 50mmの位置となるように厚さ10mmの円盤型試験片を切り出し, JIS A 1154「硬

化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠し、150 μ m以下に粉碎した試料を、イオンクロマトグラフ法により塩化物イオンを定量した。

耐凍結融解特性の試験方法および測定方法は JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠した。角柱試験体を用い、前養生は型枠を取り外し材齢4週まで20 $^{\circ}$ C水中養生とした。試験方法はB法とし、凍結温度を-18 $^{\circ}$ C、融解温度を5 $^{\circ}$ Cとした。1サイクルを4時間とし、36サイクルを超えない間隔で300サイクルまで13回測定した。測定項目は緒方らの方法³⁾を参考に超音波非破壊試験機を用いて超音波伝搬時間を測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 フレッシュ性状

W/B=20%のフレッシュ性状と化学混和剤添加率を表-6に、練混ぜ時間を図-2に示す。いずれの火山ガラス微粉末においてもSFより少ない添加率で同等以上のスランブフローが得られた。入戸シラスに含まれる風化した粘土質の微粉は、モルタルフローを著しく低下させる¹⁾ことが明らかになっているが、エアテーブルによる選別でこれが除去されている結果と言える。微粉3種類はSFに比べると50cm通過時間は長いものの、十分に実用的なコンシステンシーを得られ、SFの規格値であるBET比表面積15.0m²/gを下回る微粉のRGFもRJFとRAFと同等のフレッシュ性状を示している。汎用サイクロン分級されたRGFは、図-1から他の方法による微粉回収率に比べ10%ほど多く、BET比表面積も小さいことから、大きめの粒子もバグフィルタ側に混入したと考えられる。しかしセメント粒子間の空隙を埋める微粒子が十分に含まれているために、結合材充填率を高め同等のフレッシュ性状を得られたと推測される。

粗粉3種類では50cm通過時間が微粉より長くなり、セメントスコープではかなりの抵抗を感じる程の粘りとダイラタンシーを示した。粗骨材を投入する前のモルタルにおける練混ぜに必要な時間も微粉とSFに比べると2倍以上の時間が必要であった。今回の結果からW/B=20%程度のフレッシュコンクリートでは、BET比表面積12m²/g以上の微粉では流動性改善効果があり、BET比表面積5m²/g以下の粗粉では流動性改善効果は低いと判断される。

W/B=50%のフレッシュ性状と化学混和剤添加率を表-7に示す。全ての火山ガラス微粉末で同一の練混ぜ時間であった。微粉では目標スランブを得るための高性能AE減水剤添加率はFAより多く、粗粉では同一化学混和剤添加率で目標スランブと空気量が得られた。また火山ガラス微粉末を用いるとスランブフローは15%ほど小さく、降伏値の高いフレッシュコンクリートとなった。粒

表-6 W/B=20%のフレッシュ性状

SCMの種類/ BET比表面積 (m ² /g)	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	CT ($^{\circ}$ C)	50cm 通過 (秒)	停止 時間 (秒)	SP1 添加率 (B \times wt%)
RJF/16.1	74.0 \times 74.8	2.1	26	5.3	97	1.40
RAF/15.2	73.2 \times 75.0	2.1	27	5.8	118	1.40
RGF/12.0	73.8 \times 72.2	1.8	26	5.5	92	1.40
RJC/4.2	74.0 \times 73.8	1.8	27	6.3	95	1.30
RAC/5.1	72.4 \times 71.1	1.9	27	6.8	102	1.20
RGC/3.6	69.8 \times 68.2	1.9	27	8.3	103	1.20
SF/17.7	69.0 \times 68.0	2.9	26	4.3	79	1.60



図-2 W/B=20%の練り混ぜ時間

表-7 W/B=50%のフレッシュ性状

SCMの種類/ BET比表面積 (m ² /g)	スランブ (cm)	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	CT ($^{\circ}$ C)	SP2 添加率 (B \times wt%)	AE 添加率 (B \times wt%)
RJF/16.1	18.5	30.0 \times 29.5	5.8	24	1.10	0.40
RAF/15.2	19.5	32.5 \times 33.0	5.8	24	1.10	0.40
RGF/12.0	19.0	30.5 \times 30.0	5.6	24	1.10	0.40
RJC/4.2	19.5	31.0 \times 32.0	5.8	23	0.83	0.40
RAC/5.1	19.0	30.0 \times 29.0	5.7	23	0.83	0.40
RGC/3.6	18.0	29.0 \times 28.5	5.5	23	0.83	0.40
FA/1.4	20.0	36.0 \times 35.0	5.9	24	0.83	0.40

表-8 W/B=61.2%のフレッシュ性状

SCMの種類/ BET比表面積 (m ² /g)	スランブ (cm)	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	CT ($^{\circ}$ C)	SP3 添加率 (B \times wt%)	AE 添加率 (B \times wt%)
RJF-0%	18.0	31.0 \times 30.5	5.3	21	0.85	0.40
RJF-10%	17.0	28.0 \times 29.0	5.8	21	1.03	0.36
RJF-20%	13.0	-	4.9	21	1.20	0.40
RJF-20% (SP2後添加)	17.5	28.5 \times 29.0	5.1	21	1.48 (合計)	0.40

子が球状をしているFAに比べ、粉砕物である火山ガラス微粉末の粒子は角張って¹⁾いる影響が考えられる。しかし、BET比表面積5m²/g以下の粗粉ではFA同等の十分に実用的な粘性を示し、今回の結果からはW/B=50%程度のフレッシュコンクリートではフロー値比111%のFAII種品と同等の化学混和剤量で目標スランブと目標空気量を得られる結果と言える。

W/B=61.2%の結果を表-8に示す。20%置換では目標スランブを満たさなかったが、耐久性試験を主目的としたため、AE減水剤を後添加してスランブを調整した。セメント単味のコンクリートと同等のスランブを得るためにRJF置換率の増加に伴い高性能AE減水剤添加率は増え、スランブフローもW/B=50%と同様に小さくなった。

本研究の範囲ではW/B=50%以上の流動に十分な水がある調合では、BET比表面積12m²/g以上の微粉は置換率10%以上の範囲では置換するほどに目標スランブを得るための高性能AE減水剤量は増える傾向を示した。実測したBET比表面積からFAと粗粉に比べると、微粉の粒子は小さく既報¹⁾同様に平均粒径1.0 μ m程度と推測され、粒子の凝集による拘束水量も多くなり、高性能AE減水剤添加率が増えたと推測される。平均粒径0.1 μ m程度

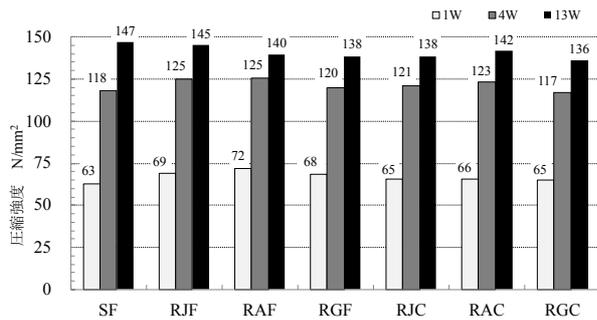


図-3 W/B=20%の圧縮強度

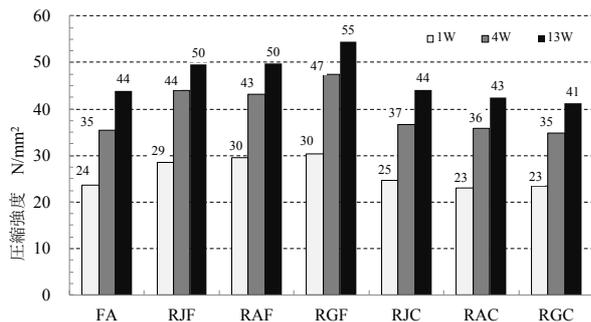


図-4 W/B=50%の圧縮強度

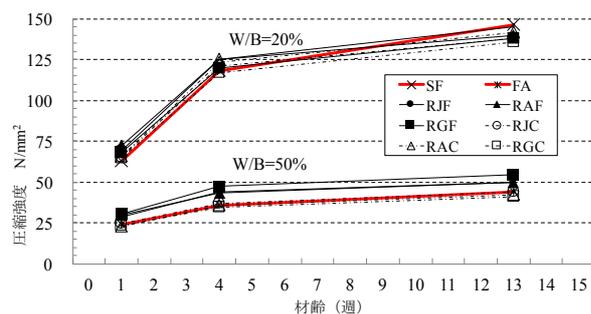


図-5 材齢と圧縮強度

とされる SF を用いた W/B=35~50%, 18cm±1.0cm を目標スランブとしたコンクリート実験を行なった研究⁴⁾では、置換率 0%, 4%, 8% の範囲で 4% の場合に 0% と 8% より高性能 AE 減水剤量が少なくなる傾向を示している。W/B=50% 程度の流動性改善という観点からは、微粉での置換率 10% 以下での検討を今後の課題とする。

3.2 強度試験結果

W/B=20% の圧縮強度を 図-3 に示す。材齢 4 週までは火山ガラス微粉末で SF 同等以上、材齢 13 週では同等以下の強度となった。W/C が一定であれば空気量 1% の増加によって強度は 4~6% 減少する⁵⁾とされるが、SF のフレッシュ性状では火山ガラス微粉末に比べると空気量が 1% ほど多く、強度減少を 5% としても、材齢 4 週までは概ね同等の強度と言える。W/B=50% の圧縮強度を 図-4 に示す。いずれの材齢でも微粉では FA より 2 割ほど大きくなり、粗粉では FA 同等という結果であった。表-

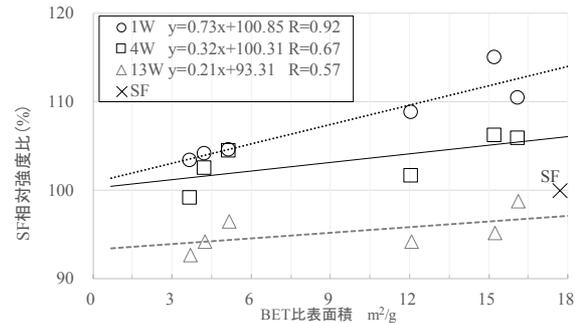


図-6 BET 比表面積と SF との相対強度

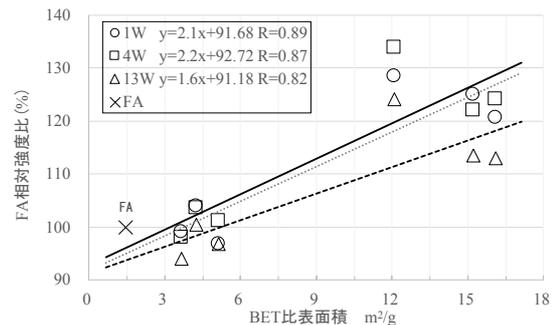


図-7 BET 比表面積と FA との相対強度

1 に示すモルタル活性度指数の予備試験では、W/B=30% の 28 日活性度指数は 105% 以下、W/B=50% の 91 日活性度指数は 92% 以下となっており、表-2 に示した SF の 109% (28 日)、FA の 97% (91 日) に比べると約 5% 以上小さい結果であったが、モルタルと同一置換率でのコンクリートではその差は見られなかった。

材齢と強度の関係を 図-5 に示す。W/B=20% の材齢 4 週から 13 週における SF の強度増進はいずれの火山ガラス微粉末より大きくなる結果であるが、材齢 7 日から 28 日では同程度の傾きを示し、W/B=50% では FA と火山ガラス微粉末の材齢経過に伴う強度発現性には同様の傾向が認められた。図-6 に W/B=20% における火山ガラス微粉末の BET 比表面積と SF との相対強度比を示す。材齢 1 週で最も BET 比表面積と良い相関があり 3 m²/g 程度でも SF 同等の強度、12 m²/g 以上では SF 同等以上の強度となるが、材齢経過につれ近似直線の傾きと相関係数はいずれも小さくなり、材齢 4 週ではいずれの比表面積でも SF と同等の強度、材齢 13 週では 15 m²/g 以上でも SF 同等以下の強度となった。10% 置換した W/B=22% のペーストのシリカフュームの反応率は材齢 7 日で大きく増加し以降はゆるやかになる⁶⁾。SF とはガラス率や化学組成が異なり強度発現メカニズムが異なる可能性もあるが、火山ガラス微粉末の比表面積に相関した材齢 1 週での強度試験結果は、反応に関係する比表面積に応じた強度発現を初期材齢では示し、材齢の進行に合わせて小さな比表面積では遅れて反応が進行した可能性が考えられ

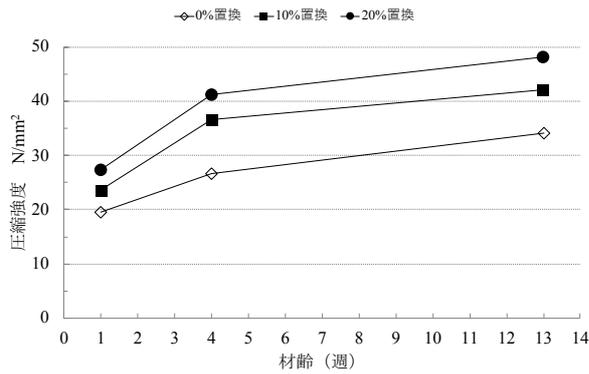


図-8 耐久性試験用の圧縮強度

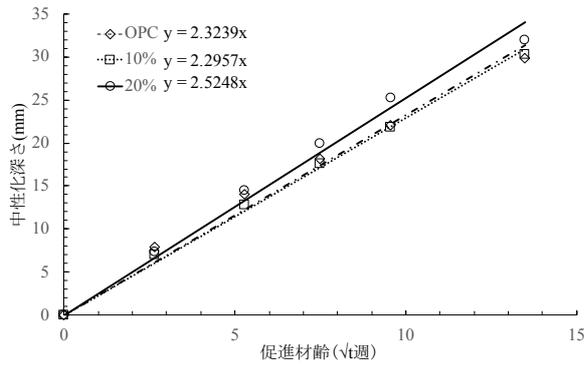


図-9 促進中性化深さ

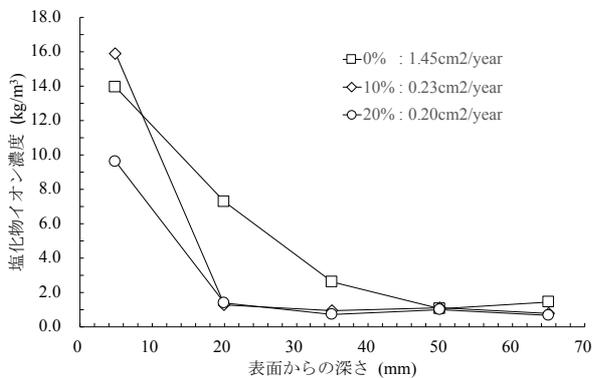


図-10 塩化物イオン濃度分布

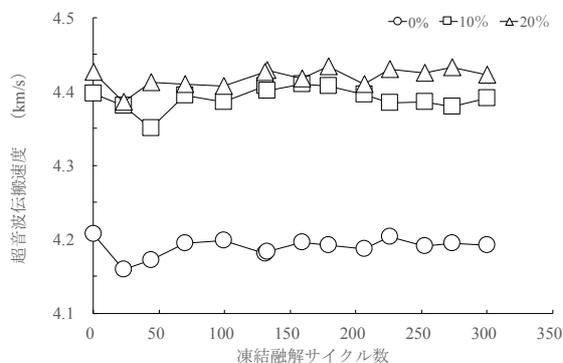


図-11 超音波伝搬速度の結果

る。しかし SF との強度比は 4 週までは 100%以上で、13 週では下回った結果は、反応だけでなく空隙率などを含めた要因が考えられ、材齢と強度発現メカニズム解明については今後の課題とする。

図-7 に W/B=50%における FA との相対強度比を示す。W/B=20%と比較すると、材齢 13 週で若干のばらつきがあるものの火山ガラス微粉末の BET 比表面積と FA 強度比との間に良い相関が見られる。W/B=40%で 20%置換したペーストにおける既往研究⁷⁾では、フライアッシュ II 種品の反応率は材齢 7 日で 10%程度、その後材齢 555 日では 42%~53%となるとされ、ガラス相量やその化学組成、粉末度が影響することが明らかになっている。6 種類の火山ガラス微粉末では粉末度以外に大きな差はないため、粉末度と関係が高い BET 比表面積に応じた強度発現が得られたと考えられるが、材齢 13 週の FA 強度比がやや低下する傾向を示したことから、今後の長期材齢における観察を続け、強度発現メカニズムについても今後の課題とする。

3.3 耐久性試験結果

W/B=61.2%の圧縮強度を図-8 に示す。置換率 20%では化学混和剤を後添加しているものの、材齢 91 日まで RJF 置換量が 20%までは強度が上がっている。促進中性化試験の結果を図-9 に示す。促進材齢の平方根と中性化深さはほぼ線形にあることが確認され、図に示す線形近似した直線の式から、中性化速度係数はセメント単味より 10%置換で僅かに小さく、20%置換では 8%大きくほぼ同程度の結果を示した。強度試験の結果から考えると、ポゾラン反応により水酸化カルシウムは消費されていると考えられるが、反応による緻密化の影響が大きいと推測される。W/B=60%においてフライアッシュ II 種品を 15%および 25%置換した促進中性化試験では、中性化速度係数は 15%置換では 50%以上、25%置換では 100%以上それぞれ大きくなると報告されている⁸⁾。僅かに W/B が異なり置換率も同一ではないが、火山ガラス微粉末 RJF は FA に比べると中性化抵抗性がかなり高い水準にあると見なせる。

コンクリート中の全塩化物イオン濃度分布の結果を図-10 に示す。10%置換では表面の濃度は 0%に比べ僅かに高くなり、コンクリート内部へ塩化物イオンが浸透しにくくなったことで表層部に蓄積されたと考えられるが、20%置換では表層部への浸透も抑制するほどの結果となった。図に示す見掛けの拡散係数は 10%置換では約 1.5 割、20%置換では約 1 割に低下し、火山ガラス微粉末 RJF を混和することで、優れた塩分浸透抵抗性が得られることが分かった。シリカリウムを用いた W/B=35~50%、置換率 0%、4%、8%の同様の浸せき期間 2 年の実験⁹⁾では、水結合材比ごとに若干のばらつきはあるものの見掛

けの拡散係数は置換率 4%で 4 割程度、置換率 8%では 2 割程度まで低下した結果を示しており、火山ガラス微粉末でもより低い置換率でも効果が期待できる。

超音波電波速度の結果を図-11 に示す。火山ガラス微粉末を置換したコンクリートでは超音波伝播速度が 5%ほど大きいという結果であり、動弾性係数も大きいと考えられる。いずれの置換率でも 300 サイクルまで特に低下は認められなかった。空気量を十分に確保すれば、火山ガラス微粉末を混和しても普通コンクリートと同様に凍結融解による劣化は生じないと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた火山ガラス微粉末を用いたコンクリートに関する知見を以下に示す。

(1) 流動特性について

W/B=20%程度では BET 比表面積 12 m²/g 以上で流動性改善効果があり、BET 比表面積 5 m²/g 以下では改善効果は低いと判断される。

W/B=50%程度以上では、BET 比表面積 12 m²/g 以上では 10%を超えて置換すると目標スランプを得るための化学混和剤量は増えるが、BET 比表面積 5 m²/g 以下では 25%置換でフライアッシュ II 種品と同程度の化学混和剤量で目標スランプと目標空気量を得る。

(2) 強度特性について

W/B=20%程度では、材齢 1 週で BET 比表面積と強度に相関が見られ、5 m²/g 程度で SF 同等の、12 m²/g 以上で SF 同等以上の強度発現性能が認められる。材齢 4 週では BET 比表面積と強度の相関は低くなり、SF 同等の強度発現性能が認められる。材齢 13 週では BET 比表面積との相関はさらに低くなり SF 同等以下の強度となる。

W/B=50%程度以上では BET 比表面積 3 m²/g 程度でフライアッシュ II 種品と同程度の強度が得られ、12 m²/g 以上では強度は 2 割程度大きく、材齢 91 日まで BET 比表面積と強度には相関が見られる。

(3) 耐久特性について

中性化抵抗性は 20%置換したコンクリートでは、普通コンクリートと同程度を示し、塩化物イオン浸透抵抗性

は 10%置換で十分な改善効果が得られた。耐凍結融解性については、普通コンクリートと同様に十分な空気量が得られれば劣化は生じないと考えられる結果が得られた。

参考文献

- 1) 友寄篤, 野口貴文, 袖山研一, 東和朗: 入戸シラスから乾式比重選別した火山ガラス質に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.151-156, 2017.7
- 2) 袖山研一, 友寄篤, 野口貴文, 東和朗: 乾式比重選別と粉砕によるシラスの建設材料への全量活用, 「材料」, Vol.66, No.8, pp.574-581, 2017.8
- 3) 緒方英彦, 服部九二雄, 高田龍一, 野中資博: 超音波法によるコンクリートの耐凍結融解特性の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1563-1568, 2002
- 4) 嶋毅, 佐伯竜彦, 吉澤啓典, 山本佳城: シリカフェームコンクリートの塩分浸透抵抗性, セメント・コンクリート論文集, Vol.63, pp.414-420, 2009.3
- 5) 日本コンクリート工学協会: コンクリート技術の要点 07', p.57(2007)
- 6) 佐藤正己, 梅村靖弘, 小泉公志郎: シリカフェームを添加した低熱ポルトランドセメントの水和およびケイ酸構造への水結合材比の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.65, pp.456-463, 2011.3
- 7) 大塚拓, 森慎一郎, 石川元樹, 坂井悦郎: フライアッシュの鉱物組成とボゾラン反応性, セメント・コンクリート論文集, Vol.63, pp.16-21, 2009.3
- 8) 親本俊憲ほか: 混合セメントを用いたコンクリートの耐久性能 (その 4 促進中性化試験結果), 日本建築学会大会学術公園梗概集 (関東), pp.713-714, 2015.9
- 9) 川原真一, 佐伯竜彦, 嶋毅, 吉澤啓典: シリカフェームコンクリートの塩分浸透抵抗性および鋼材腐食に関する基礎的研究, セメント・コンクリート論文集, Vol.65, pp.360-367, 2011.3