

火山ガラス微粉末を用いたコンクリートに関する研究

金沢工業大学 准教授 花岡 大伸

概要：

火山ガラス微粉末の普及・展開に向け、産地、品種が異なる種々の火山ガラス微粉末を用いたコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度を調べた。その結果、鹿児島県産の火山ガラス微粉末は、N 配合と同程度の混和剤添加率で所定のフレッシュ性状を得ることができた。福島県産の火山ガラス微粉末は、所定のフレッシュ性状を得るには高性能 AE 減水剤が必要であった。また、火山ガラス微粉末の産地・品種やコンクリートの配合によって、フレッシュ性状や強度発現の傾向が異なることが分かった。また、福島県産の火山ガラス微粉末を混和したコンクリートにおいて、高い遮塩性と ASR 抑制効果を確認した。

キーワード：火山ガラス微粉末、産地・品種、フレッシュ性状、強度、耐久性

1. はじめに

近年、インフラの老朽化や建設業界の人手不足などの問題に対し、様々な混和材料を用いてコンクリート構造物の長寿命化が進められている。代表的な混和材として、フライアッシュや高炉スラグ微粉末が挙げられるが、カーボンニュートラルの施策により、これらの混和材が将来的に安定供給できなくなる可能性がある。このような背景を踏まえ、天然のポゾラン材料として、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。火山ガラス微粉末は、国内に埋蔵されている火山灰を原材料としているため、国内生産が可能である¹⁾。加えて、フライアッシュや高炉スラグ微粉末のように火力発電所や製鉄所の動向に影響されないという利点があり、資源循環型社会および脱炭素社会を目指すうえで大いに検討に値するとされている²⁾。本研究では、火山ガラス微粉末の普及・展開に向け、産地、品種が異なる種々の火山ガラス微粉末を用いたコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度を調べた。また、一部のコンクリートについては、耐久性試験を実施した。

コンクリート配合は、W/B=45%、55%のベース配合（N 配合）にセメント質量に対して火山ガラス微粉末を 10%、20%置換し、目標スランプ 12±2.5cm、目標空気量 4.5%±1.5%となるように混和剤で調整した。表-2 に試験練りで決定したコンクリートの配合を示す。また、圧縮強度は、打込みの翌日に脱枠し、材齢 7、28 日まで水中養生（20℃）を行った供試体（直径 100×高さ 200mm の円柱）で求めた。



図-1 火山ガラス微粉末の外観

2. 種々の火山ガラス微粉末を用いた実験

(1) 実験概要

本研究では、鹿児島県産の火山ガラス微粉末（I 種相当、III 種相当、以下、KI・KIII とする）と、福島県産の火山ガラス微粉末（I 種相当、II 種相当、以下、FI・FII とする）を用いて実験を行った。実験に用いた火山ガラス微粉末の外観写真を図-1 に、主な物性・化学組成を表-1 に示す。

表-1 火山ガラス微粉末の主な物性・化学組成

	BET比表面積 (cm ² /g)	密度 (g/cm ³)	化学組成(%)	
			二酸化ケイ素 (SiO ₂)	強熱減量 (ig.loss)
K I	97000	2.37	73.0	2.47
K III	32000	2.40	74.3	2.25
F I	99800	2.32	76.2	1.70
F II	99800相当	2.36	71.2	1.20

表-2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

配合	W/B(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)						混和剤添加率(%)		AE剤 (1A)	フレッシュ性状	
			W	C	VGP	S	G1	G2	AD	SP		SL(cm)	Air(%)
55%-N	55	43.5	167	304	—	789	520	518	1.00	—	1.5	12.5	4.2
55%-K I -10				274	30	783	517	515	1.00	—	4.0	11.5	5.3
55%-K I -20				243	61	783	515	513	1.20	—	4.0	12.5	5.0
55%-KⅢ-10				274	30	781	517	515	1.00	—	3.0	13.5	5.3
55%-KⅢ-20				243	61	783	516	514	1.00	—	3.0	12.0	4.5
55%-F I -10				274	30	783	517	515	—	1.25	4.0	10.0	3.9
55%-F I -15				258	46	781	516	514	—	1.80	5.0	12.5	3.8
55%-FⅡ-10				274	30	783	517	515	—	1.10	4.0	11.0	4.2
55%-FⅡ-20				243	61	781	515	513	—	1.80	5.0	11.5	4.1
45%-N	45	41.5	169	376	—	726	519	517	1.00	—	3.0	13.5	4.2
45%-K I -10				338	38	721	516	514	1.00	—	5.0	13.0	5.9
45%-K I -20				301	75	715	513	511	1.20	—	5.0	12.0	5.5
45%-KⅢ-10				338	38	721	516	514	1.00	—	4.0	12.5	5.5
45%-KⅢ-20				301	75	718	513	511	1.20	—	4.0	12.5	4.5
45%-F I -10				338	38	721	516	514	—	1.45	5.0	12.0	4.3
45%-F I -15				320	56	718	515	513	—	2.00	6.0	3.0	4.2
45%-FⅡ-10				338	38	721	516	514	—	1.20	6.0	10.5	5.7
45%-FⅡ-20				301	75	715	513	511	—	2.00	6.0	14.0	3.8

C:普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm³)、VGP:火山ガラス微粉末、S:混合砂 (密度 2.62g/cm³、粗粒率 2.59)、G1:2013 碎石 (密度 2.66g/cm³)、G2:1305 碎石 (密度 2.65g/cm³、粗粒率 6.68)、AD:AE 減水剤 (標準剤種)、SP:高性能 AE 減水剤 (標準剤種)、AE 剤:種

(2) 実験結果および考察

表-2 に示すスランブ試験の結果をみると、KI、KⅢでは、W/B=45%、55%の N 配合と同程度の AE 減水剤の添加率で、所定のスランブを確保できた。一方、FI、FⅡでは、N 配合と同じ AE 減水剤では所定のスランブを得ることができなかった。そのため、高性能 AE 剤を使用して調整を試みたが、FI を 20%置換した配合では、所定のスランブを得ることができず、置換率を 15%とした。また、置換率を 15%にしても W/B=45%の場合はスランブが 3.0cm しか得られなかった。このことから、KI、KⅢはコンクリートのフレッシュ性状に与える影響は少なく、FI、FⅡはその影響は大きいことが分かる。これは、火山ガラス微粉末の形状や湿分・粒度などが影響していると考えられる。なお、空気量はいずれの配合も AE 剤の調整で所定の値を得ることができた。

圧縮強度試験の結果を図-2 に示す。既存の研究³⁾では、W/B=30%のモルタルに BET 比表面積 150,000cm²/g の火山ガラス微粉末を 30%まで置換した場合や、BET 比表面積 40,000～70,000cm²/g 程度の火山ガラス微粉末を 15%まで置換した場合に、材齢 7 日でセメント単味以上、あるいは同程度の強度発現が得られると報告されている。しかし、今回の実験では、火山ガラス微粉末を添加したすべての配合は、材齢 7 日において N 配合よりも小さい圧縮強度となり、材齢 28 日では W/B=55%の KI、FI の 10%置換のみ、N 配合の圧縮強度と同等の値であった。また、W/B=55%の配合では、材齢 7 日で火山ガラス微粉末の置換率が大い

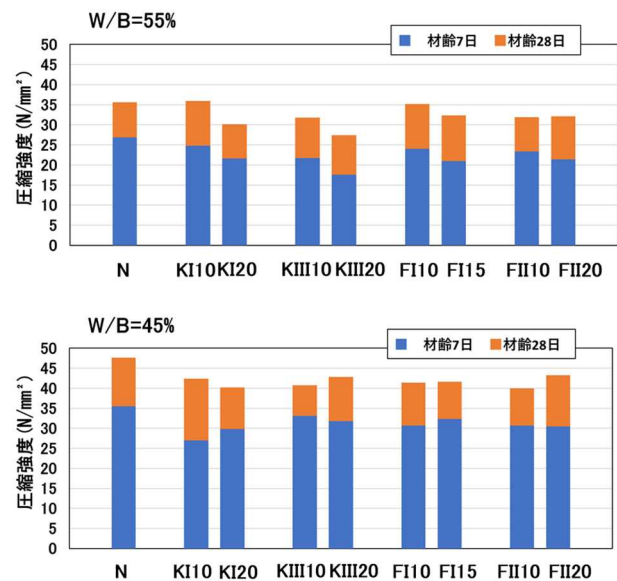


図-2 圧縮強度試験の結果 (材齢 7 日、材齢 28 日)

での強度増進はどの配合においても同じ傾向であった。しかし、W/B=45%の配合では異なる傾向がみられ、材齢 7 日において I 種相当の火山ガラス微粉末を 20%置換した場合は、10%置換よりも強度が大きくなっていることが分かる。これは、水結合材比が小さい配合では、火山ガラス微粉末の初期のポズラン反応が活性化すると考えられ、特に I 種相当の火山ガラス微粉末では、その傾向が顕著になると考えられる。また、材齢 28 日では 10%置換と 20%置換の圧縮強度の差が小さくなっている。以上のことから、火山ガラス微粉末の産地・品種やコンクリートの配合によって、フレッシュ性状や強度発現の傾向が異なることが分かった。

3. 耐久性試験

(1) 実験概要

福島県産の火山ガラス微粉末 (FI、FII) を用いたコンクリートの耐久性試験 (遮塩性試験、ASR 試験) を行った。コンクリートの水結合材比は 50% とし、ベース配合 (N 配合) のセメント質量に対して、火山ガラス微粉末を 10% 置換 (内割置換) とした。また、化学混和剤として、高性能 AE 減水剤 (標準型 A 種、ポリカルボン酢系)、AE 剤 (A 種、樹脂酸系界面活性剤) を使用し、スランブが $12 \pm 2.5 \text{ cm}$ 、空気量が $4.5 \pm 1.5\%$ になるように調整をした。コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表-3 に示す。また、遮塩性試験には高炉セメント B 種 (BB 配合) を、ASR 試験にはフライアッシュ (FA 配合) を比較用に用意して実験を行った。なお、ASR 試験に用いたコンクリートには、モルタルバー法 (JIS A 1146 2017) にて無害でないと判定された反応性骨材を用いて実験を行った。

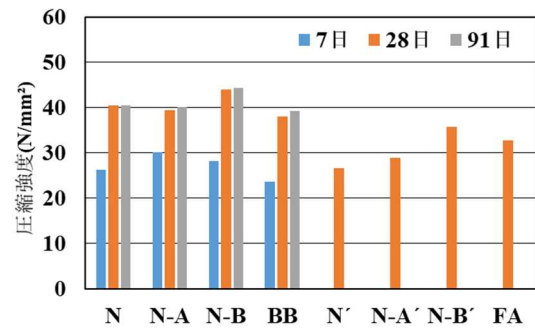


図-3 圧縮強度

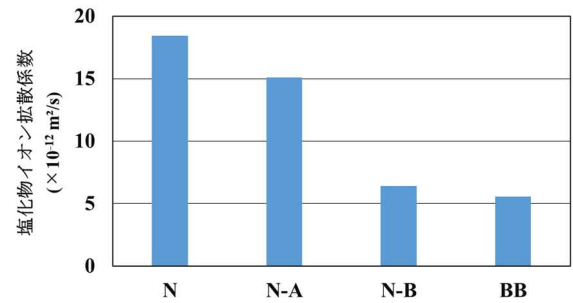


図-4 塩化物イオン拡散係数

(2) 実験結果および考察

図-3 に圧縮強度試験の結果を示す (ASR 試験の配合は材齢 28 日のみ実施)。火山ガラス微粉末を混和した N-A および N-B をみると、材齢 28 日以降の強度増加は確認できなかったが、ベース配合と同等あるいはそれ以上の圧縮強度であった。

図-4 に非定常電気泳動試験で求めた塩化物イオン拡散係数を、図-5 には濃度 3.0% の NaCl 溶液に 91 日間浸漬させた供試体の全塩化物イオン濃度の分布を示す。図-5 の結果から、火山ガラス微粉末を混和したことで、塩化物イオン拡散係数が小さくなることが確認された。また、浸漬法においても同様に遮塩性の向上がみられ、今回の配合では BB 配合に近い遮塩性を有していることが分かる。これらの結果は、火山ガラス微粉末のポゾラン反応により、コンクリート中の細孔組織が緻密になり、水分や塩分の浸透が抑制され、比表面積が大きい火山ガラス微粉末の方が遮塩

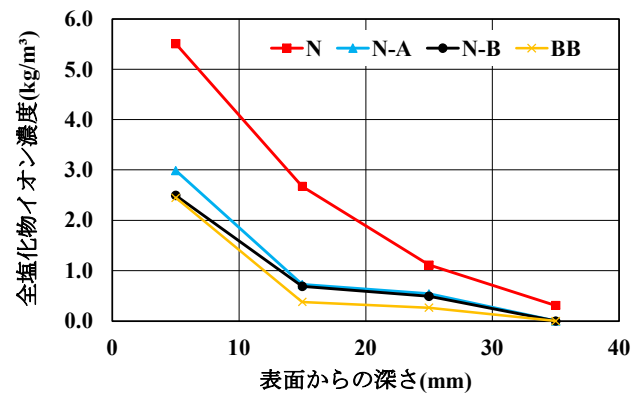


図-5 全塩化物イオン濃度の分布

性が高くなったと考えられる。

図-6 に ASR 試験 (デンマーク法) の結果を試験す。N 配合は浸漬期間 60 日あたりから膨張挙動を示し、100 日時点での膨張率は約 0.4% である。一方で、火山ガラス微粉末を混和した配合 (N-A'、N-B') や FA 配合では、浸漬期

表-3 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

配合	W/B(%)	s/a(%)	単位量(kg/m³)												スランブ (cm) 12±2.5	空気量 (%) 4.5±1.5
			W	C		FA	VGP	S-1	S-2	G-1	G-2	SP	AE-1	AE-2		
N	50	45	160	OPC	BB	-	-	802	-	984	-	1.70	0.48	-	12.5	4.5
N-A				320	-		-	798		979		4.32	0.64		14.0	4.5
N-B				288	-		32	798		979		5.76	1.28		14.5	4.9
BB				-	320		-	798		979		1.12	0.96		13.5	3.5
N'				320	-		-	-	845	-	996	1.57	0.96		14.5	5.7
N-A'				288	-		32	-	841		990	2.08	1.92		14.0	5.9
N-B'				288	-		-	-	-		-	3.84	1.92		14.0	5.8
FA				-	-	32	-	-	-		-	0.48	-	1.60	12.5	4.0

C:普通ポルトランドセメント (密度 3.16 g/cm^3 , ブレーン比表面積 $3340 \text{ cm}^2/\text{g}$), BB:高炉セメント B 種 (密度 3.08 g/cm^3 , FA: フライアッシュ II 種灰 (密度 2.30 g/cm^3 , ブレーン比表面積 $4440 \text{ cm}^2/\text{g}$), VGP:火山ガラス微粉末 A (密度 2.36 g/cm^3 , BET 比表面積 $186020 \text{ cm}^2/\text{g}$), B (密度 2.32 g/cm^3 , BET 比表面積 $430310 \text{ cm}^2/\text{g}$), S-1:細骨材 (密度 2.57 g/cm^3), S-2:反応性細骨材 (密度 2.708 g/cm^3), G-1:粗骨材 (密度 2.58 g/cm^3), G-2:反応性粗骨材 (密度 2.61 g/cm^3), SP:高性能 AE 減水剤 (SF500S), AE-1:AE 剤 (AE-4), AE-2:AE 剤 (AE-9B)

間 100 以降においても膨張率は 0.1% であることから、ASR の抑制効果が確認された。これは、火山ガラス微粉末およびフライアッシュを混和したコンクリートでは、単位セメント量の減少に加え、ポズラン反応に伴う細孔溶液中のアルカリ成分の吸着やコンクリートの緻密化によるものと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られて主な知見を以下に示す。

(1) 鹿児島県産の火山ガラス微粉末は、N 配合と同程度の混和剤添加率で所定のフレッシュ性状を得ることができた。福島県産の火山ガラス微粉末は、所定のフレッシュ性状を得るには高性能 AE 減水剤が必要であった。

(2) 火山ガラス微粉末の産地・品種やコンクリートの配合によって、フレッシュ性状や強度発現の傾向が異なることが分かった。

(3) 火山ガラス微粉末を混和したコンクリートは、遮塩性が向上し、比表面積が大きい火山ガラス微粉末の方が遮塩性の向上が大きい傾向にあった。

(4) 火山ガラス微粉末を混和したコンクリートは、フライアッシュと同様に、ASR の抑制効果があることが確認された。

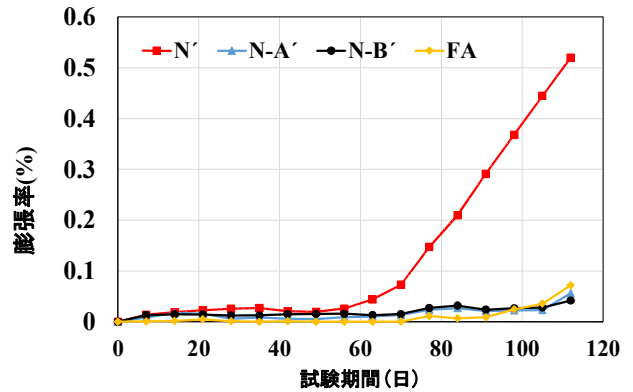


図-6 膨張率(デンマーク法)

参考文献

- 1) 友寄篤、野口貴文、袖山研一、東和朗：火山ガラス微粉末の粉末度と置換率が強度特性に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、Vol. 73, No. 1, pp. 465-470, 2019
- 2) 日本コンクリート工学会、火山性堆積物のコンクリート用混和剤としての高度利用に関するシンポジウム、委員会報告書、p. 1, 2022
- 3) 友寄篤、野口貴文、袖山研一、東和朗：火山ガラス微粉末と置換率が強度発現に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、Vol. 73, pp. 465-470, 2019