

火山ガラス微粉末の比表面積と置換率を変えた
水結合材比 50%モルタルの強度発現に関する研究

日大生産工(学部) ○齊藤 功将 日大生産工(院) 藏谷 乙矢 日大生産工(学部) 和山 勝
日大生産工(学部) 鈴木 怜恩 日大生産工(学部) 堀 新 日大生産工(学部) 小原 知恭
日大生産工(学部) 方波見 柊翔 指導教員 杉橋 直行 指導教員 山口 晋

1. まえがき

近年、日本産業規格(JIS)にコンクリート用火山ガラス微粉末が制定された。1000℃を超える地下のマグマが急冷された非晶質のアルミノけい酸塩を主成分とするためセメントのような焼成の必要がなく、さらに国内に広く分布していることから、例えばシリカフェームのような輸入も不要である。このため、火山ガラス微粉末をコンクリートの混和材として使用することで、そのCO₂排出量の削減が期待できる。しかしながら、未だJIS規格品としての利用実績はほとんどなく、特に高置換領域におけるモルタルやコンクリートの物性を研究した例は少ない。

このようなことから、我々はCO₂排出量の削減を目的とし、火山ガラス微粉末をセメント代替として10～70%まで置換した場合に、規定のフレッシュ性状を確保したうえで、強度発現性がセメント単味のものとは比べてどのように変化するか実験的に確認している²⁾。ここでは、このうち、水結合剤比(W/B)が50%の普通強度域における材齢7, 28, 91日の圧縮強度の研究結果について報告する。

2. 実験方法

使用した材料の一覧を表-1に示す。本実験で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の乾式比重選別³⁾された比表面積の相違する3種類の火山ガラス微粉末のサンプルを使用した。実験はJIS R 5201に示されるW/Bが50%の基準モルタル配合において、3種類の火山ガラス微粉末をセメントとの置換率を0, 10, 30, 50, 70%と変えて、質量比で(セメント+混和材1):(標準砂3):(水+混和剤0.5)とした表-2に示す配合について、強度発現性状がどのように変化するか確認した。

JIS A 6209における比表面積、I 種80,000cm²/g以上、II 種40,000cm²/g以上、III 種10,000cm²/g以上という区分規定を参考に、原鉱の5mm以下粒分についてエアテーブルを通過させ、通過した粉体分をさらにサイクロンで分粒し火山

ガラス質を収集、これをローラミル粉砕したサンプルがII 種に相当し、粉砕したサンプルをさらに汎用サイクロンで分粒した微粉分がI 種、粗粉分がIII 種となっている。表-1中のII 種の化学組成は、この製造方法とI 種とIII 種の化学組成がほぼ同等なことから、試験せずにIII 種と同等とした。活性度指数以外で、表-1に示されていないJIS品質規定については、原料同産地の別ロットにおける試料がその規定を満足していることから、大きく相違していないと想定している。

表-1 使用材料

種類		密度 g/cm ³	比表面積 (BET法) cm ² /g	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	ig. loss %
セメント	普通ポルトランドセメント JIS R 5210規格品	3.16	-				
混和材	火山ガラス微粉末 Ⅰ種	2.39	112,000	72.2	13.6	0.4	3.0
	火山ガラス微粉末 Ⅱ種	2.40	60,000	Ⅲ種比表面積と同等			
	火山ガラス微粉末 Ⅲ種	2.40	43,000	73.6	13.2	0.3	2.6
細骨材	標準砂 JIS R 5201規格品	2.64	-				
混和剤	W/B=50%：AE減水剤 変性リグニンスルホン酸化合物						
	空気量調整剤(消泡剤) ポリアルキレングリコール誘導体						

表-2 W/B=50%の示方配合

No.	記号 混和材種類- W/B- 置換率T	W／B (%)	混和材 置換率 T (%)	水 W	単位量(kg/m ³)						細骨材 S
					セメン ト C	結合材 B			混和材：火山ガラス 微粉末 VGP		
						I 種	II 種	III 種			
1	無混和-50	50	0	256	512						1536
2	I-50-T10		10	255	510						1528
3	II-50-T10				459	51	0	0			
4	III-50-T10				509						
					458	0	51	0			
					509						
					458	0	0	51			
5	I-50-T30		30	252	504						1513
6	II-50-T30				504						
7	III-50-T30				353	0	151	0			
					504						
					353	0	0	151			
8	I-50-T50		50	250	500						1498
9	II-50-T50				250	250	0	0			
10	III-50-T50	500									
		250			0	0	250				
11	I-50-T70	70	247	494						1483	
12	II-50-T70			148	346	0	0				
13	III-50-T70			494							
				148	0	0	346				

The specific surface area and substitution rate of volcanic glass powder were changed.
Study on the strength of mortar with a water binder ratio of 50%

Kosuke SAITO, Otoya KURATANI, Sho WAYAMA, Reon SUZUKI,
Arata HORI, Tomoyasu OBARA, Shuto KATABAMI,
Naoyuki SUGIHASHI and Shin YAMAGUCHI

試験項目を表-3に示す。モルタルフローは $170\pm 20\text{mm}$ ，空気量は $4.5\pm 1.5\%$ となるように混和剤添加量を調整した。圧縮強度の材齢は7，28，91，365，730日とした。なお，本報告では材齢91日までの結果について報告する。練混ぜは20ℓのホバート型のモルタルミキサーを用いてJIS R 5201に準拠して図-1のように行った。

表-3 試験項目と目標値

試験項目	試験方法	目標値・試験材齢
モルタルフロー	JIS R 5201	$170\pm 20\text{mm}$ (W/B=50%)
空気量	JIS A 1128	$4.5\pm 1.5\%$ (W/B=50%)
圧縮強度	JIS A 1108	材齢7, 28, 91, 365, 730日

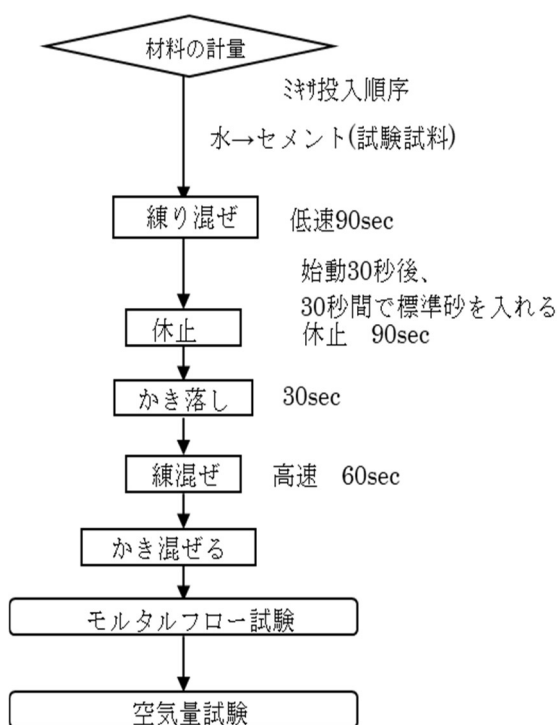


図-1 W/B=50%の練り混ぜ方法

3. 実験結果と考察

3.1 フレッシュ性状

B=50%のフレッシュ性状を表-4に示す。W/B=50%ではモルタルフロー値が $170\pm 20\text{mm}$ ，空気量が $4.5\pm 1.5\%$ となるように混和剤添加量を調整できた。混和剤添加量はⅠ種，Ⅱ種，Ⅲ種と増加していき，置換率では10，30，50，70%と置換率が高くなると混和剤の添加量も増加する傾向となった。

表-4 W/B=50%のフレッシュ性状

No.	種・W/B・置	W/B (%)	混和材 置換率 (%)	AE減水剤 B×%	空 気 量 調 整 剤 B×%	フ ロー (mm・mm)	空 気 量 (%)
1	Ⅰ-50-T0	50	0	0.0	0.01	152×151	3.8
2	Ⅰ-50-T10		10	0.6	0.06	189×184	3.0
3	Ⅱ-50-T10			0.7	0.06	186×184	4.4
4	Ⅲ-50-T10			2.0	0.06	160×159	4.1
5	Ⅰ-50-T30		30	0.9	0.06	174×170	3.2
6	Ⅱ-50-T30			1.1	0.06	182×178	3.2
7	Ⅲ-50-T30			2.2	0.06	174×172	4.3
8	Ⅰ-50-T50		50	1.2	0.06	185×183	3.5
9	Ⅱ-50-T50			1.5	0.06	188×186	3.9
10	Ⅲ-50-T50			2.4	0.06	189×182	5.5
11	Ⅰ-50-T70		70	1.7	0.06	183×180	4.4
12	Ⅱ-50-T70			1.8	0.06	155×152	4.5
13	Ⅲ-50-T70			2.7	0.06	171×170	3.3

3.2 圧縮強度試験結果

火山ガラス微粉末Ⅰ種，Ⅱ種，Ⅲ種の別に図-2～4に，置換率毎の材齢と圧縮強度の関係を示す。材齢91日において，Ⅰ種，Ⅱ種では置換率30%，Ⅲ種では置換率10%が最も強度が大きくなった。一般的なコンクリートの強度の基準材齢である材齢28日のセメント単味の強度と材齢91日の強度を比べると，Ⅰ種では置換率50%，Ⅱ種とⅢ種では置換率30%まで同等以上の強度発現が確認された。置換率別で見ると，全ての灰種で材齢7日より材齢28日の強度が大きくなる。それ以降強度があまり増加しないのは灰種に限らず10%しか置換しない場合で，Ⅰ種では70%置換した場合も強度増進が小さい。置換率が小さい10%の場合に材齢28日から材齢91日の強度増加が小さいのは，セメント単味の強度発現性状が支配的で，火山ガラス微粉末の長期強度増進の効果が十分に得られていない状態ではないかと考える。一方，Ⅰ種で置換率70%の場合に，材齢28日から材齢91日の強度増加が小さいのは，高活性なⅠ種のポズラン反応を起こすために必要なセメント水和生成物量が相対的に少ないためではないかと考えている。

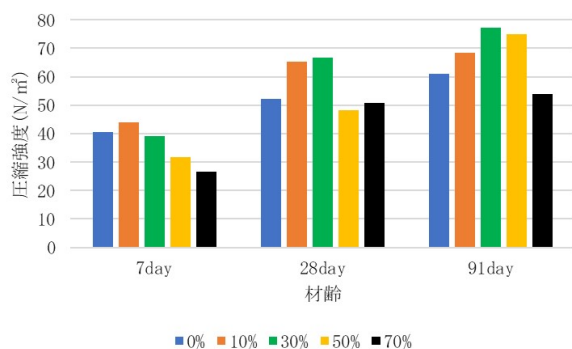


図-2 I種の材齢と圧縮強度

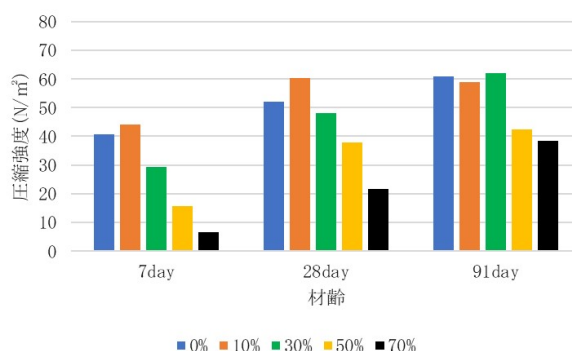


図-3 II種の材齢と圧縮強度

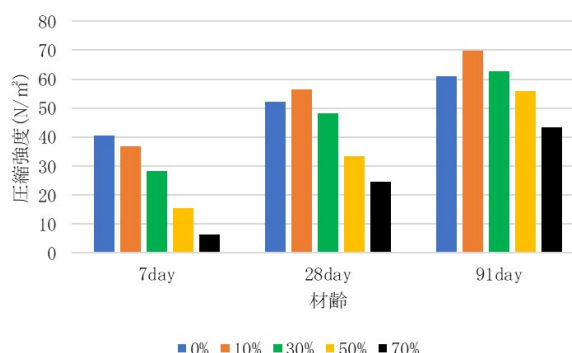


図-4 III種の材齢と圧縮強度

3.3 活性度指数結果

ここでは、基準モルタル(セメント単味)の圧縮強度に対する試験モルタル(火山ガラス微粉末を様々に変えて混和したモルタル)の圧縮強度の比を活性度指数として検討を行った。火山ガラス微粉末 I 種, II 種, III 種の別に図-5~7 に、置換率毎の材齢と圧縮強度の関係を示す。

灰の種類に関わらず、高置換率になるほど、材齢に伴う活性度指数の増加傾向が顕著に認められる。一方、置換率10%では I 種, II 種の場合、材齢28日時点の活性度指数が最大で、材齢91日になると活性指数は低下する。

活性度指数が100%を超えるのは、I 種の場合、置換率10%では材齢7, 28, 91日, 30%では材齢28, 91日, 50%では材齢91日となった。II 種の場合、置換率10%では材齢7, 28日, 30%では材齢91日であった。III 種では置換率10%の材齢28, 91日, 30%では材齢91日で活性度指数が100%を超えた。

材齢91日で設計できる場合、I 種で置換率50%, II 種とIII 種では30%まで活性度指数が100%を超えるため、強度確保の観点からはセメント代替としての使用が期待できる。

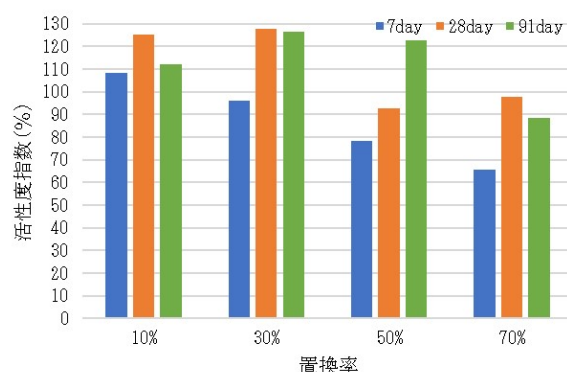


図-5 I種の置換率と活性度指数

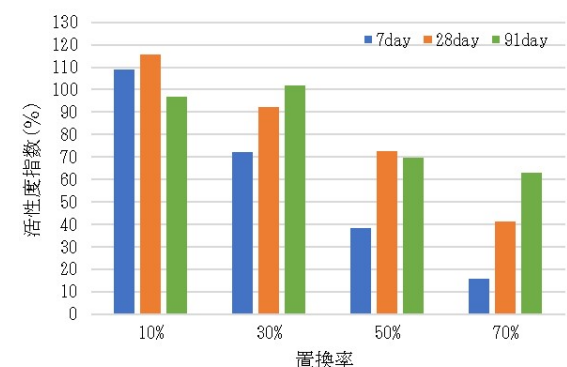


図-6 II種の置換率と活性度指数

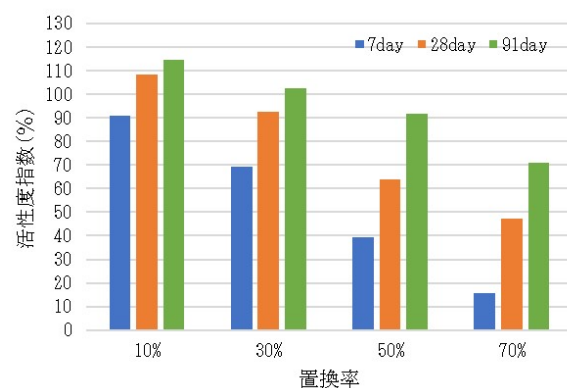


図-7 III種の置換率と活性度指数

3.4 CO₂排出量

W/B=50%におけるセメントと火山ガラス微粉末(VGP)のCO₂排出量の合計と置換率毎に算出した値とセメント単味で用いた場合からVGPで置換した場合のCO₂削減量を表-5に示す。普通ポルトランドセメントのCO₂排出原単位は2017年度実績に基づく769kg・CO₂/t⁴⁾を使用し、火山ガラス微粉末のCO₂排出原単位は既往の研究で示される製造工程全体における原料採取から粉砕までの合計88.8kg・CO₂/t⁵⁾を使用した。

表-8に示すとおり、W/B=50%の場合、強度的観点から仮に70%まで置換できたとした場合には249kg・CO₂/t削減できる。

今後、カーボンプライシング等が実現されれば、CO₂削減量が製造コストの目安となる日も来ると考えられる。品質を確保できる置換率とCO₂削減量、これに製造品質管理のコスト等の経済性を付加して火山ガラス微粉末の実用性をさらに検討していく必要性がある²⁾。

表-5 W/B=50%のCO₂排出量

置換率		0%	10%	30%	50%	70%
CO ₂ 排出量 (kg・CO ₂ /m ³)	OPC	404	362	278	197	117
	VGP	0	5	13	22	31
	合計	404	367	292	219	148
	削減量	—	37	112	184	256

4. まとめ

本実験範囲においては以下のことを考える。

- 1) 材齢91日においてⅠ種、Ⅱ種では置換率30%、Ⅲ種では置換率10%で最も強度が大きくなった。
- 2) 一般的なコンクリートの強度の基準である材齢28日のセメント単味である置換率0%と材齢91日を比べ、Ⅰ種では置換率50%、Ⅱ種とⅢ種では置換率30%まで同等以上の強度発現が確認された。
- 3) W/B=50%において活性度指数が100%を超えるのはⅠ種の場合、置換率10%では材齢7, 28, 91日、30%では材齢28, 91日、50%では材齢91日。Ⅱ種の場合、置換率10%では材齢7, 28日、30%では91日であった。Ⅲ種の場合、置換率10%の材齢28, 91日、30%では材齢91日であった。
- 4) 長期設計材齢で使用することを考えた場合、Ⅰ種では置換率50%、Ⅱ種とⅢ種では置換率30%までは活性度指数が100%を超えるため、製品としての活用が十分に期待することができる。

- 5) W/B=50%の場合、製品として活用することが期待される50%まで置換することができれば184kg・CO₂/tものCO₂排出量を削減できると考えられる。

5. おわりに

今回は材齢91日強度までの検討結果を報告した。今後材齢365日以降の長期材齢やW/B=40%での強度発現性、W/B=50, 40, 30%での温度依存性、空隙構造なども検討していく。

全国に広く分布しその埋蔵量も、膨大な純国産資源である火山ガラス微粉末の有効活用をコンクリートの性能向上と合わせて今後のCO₂削減効果などの検討に資する基本データの取得を目的として環境負荷低減の観点から今後も研究していく。

謝辞

大建工業株式会社様から火山ガラス微粉末のサンプルを提供頂いたことに感謝いたします。

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発現に及ぼす影響, *Cement Science and Concrete Technology*, Vol.73, pp.465-460, 2009
- 2) 藏谷乙矢, 杉橋直行, 山口晋: 比表面積の相違する3種類の火山ガラス微粉末を用いたモルタルの置換率による強度発現に関する基礎的研究, *コンクリート工学年次論文集*, Vol.46, No.1, pp.205-210, 2024
- 3) 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発現に及ぼす影響, *Cement Science and Concrete Technology*, Vol.73, pp.465-460, 2009
- 4) 友寄篤: コンクリート用火山ガラス微粉末の製造・性能・標準化・利用に関する研究, 博士論文, pp.113-114, 2019.2
- 5) 一般社団法人セメント協会: セメントのLCIデータの概要, https://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jg1i_01.pdf 2023.2.13, (閲覧日: 2024年10月10日)