

比表面積の相違する火山ガラス微粉末の置換率と水結合材比を変えた  
モルタルの材齢 91 日までの強度発現に関する研究

日大生産工(学部) ○田所 雅貴 日大生産工(院) 齊藤 功将 日大生産工(学部) 三塚 迅  
日大生産工(学部) 田中 幹太 日大生産工 杉橋 直行 日大生産工 山口 晋

1. はじめに

近年、コンクリート用火山ガラス微粉末(以下VGP)が日本産業規格(JIS)に制定された。このVGPは、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<sup>1)</sup>としており、セメントのような焼成の必要がないため、CO<sub>2</sub>排出量の削減が期待できる。また、国内に広く分布していることから、輸入に頼っているシリカフューム代替としての利用も期待できる。しかし、未だJIS規格品としての利用実績は少なく、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<sup>2)</sup>。

以上のことから我々は、CO<sub>2</sub>排出量の削減を目的とし、VGPの比表面積と置換率、水結合材比を変えた場合のモルタルのフレッシュ性状及び圧縮強度に関する研究を行った<sup>3)</sup>。本報告では、W/Bが30%,40%,50%の場合かつVGPを10～70%まで置換した場合の材齢91日までの強度発現性について検討したものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料及び配合

使用した材料の物性を表-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<sup>1)</sup>された比表面積の相違する3種類のVGPを使用した。実験は、W/Bを30%, 40%, 50%, VGPとセメントとの置換率を0, 10, 30, 50, 70%とし、(セメント+VGP):(標準砂):(水+混和剤)の質量比を、JIS規定を参考に設定した<sup>4)</sup>表-2～4に示すモルタル配合で実施した。ここで、VGPは、JIS A 6209における区分規定を参考に、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、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をⅠ種、粗粉分をⅢ種としている。表-1に示されていないJIS品質規定は活性度指数以外については、規定を満足していることを確認している。表-5には、試験項目と目標値ならびに材齢を示す。

表-1 使用材料

種類		密度 g/cm <sup>3</sup>	比表面積 (BET法) cm <sup>2</sup> /g	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	強熱 減量 %
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	105,000	72.6	13.4	0.35	2.8
	火山ガラス微粉末 Ⅱ種	2.40	60,000	73.9	12.8	0.30	2.3
	火山ガラス微粉末 Ⅲ種	2.40	37,000	74.2	12.8	0.25	2.6
	標準砂 JIS R 5201規格品	2.64	-				
混和剤	W/B30, 40% : 高性能AE減水剤 主成分：ポリカルボン酸エーテル系化合物						
	W/B50% : AE減水剤 主成分：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=30%の示方配合

記号 混和材種類 - W/B- 置換率I	W/B (%)	混和材 置換率 T (%)	水 W	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							細 骨 材 S
				結合材 B							
				セメ ント C	混和材：火山ガラス微粉末 V G P						
					Ⅰ種		Ⅱ種		Ⅲ種		
無混和-30	30	0	261	872							1221
				872	0	0	0	0			
Ⅰ-30-T10		10	259	864							1211
					778	86	0	0			
Ⅱ-30-T10					864						
					778	0	86	0			
Ⅲ-30-T10				864							
				778	0	0	86				
Ⅰ-30-T30		30	255	850							1190
					595	255	0	0			
Ⅱ-30-T30					850						
					595	0	255	0			
Ⅲ-30-T30				850							
				595	0	0	255				
Ⅰ-30-T50		50	250	836							1170
					418	418	0	0			
Ⅱ-30-T50				836							
				418	0	418	0				
Ⅲ-30-T50			836								
			418	0	0	418					
Ⅰ-30-T70	70	246	822							1151	
				247	575	0	0				
Ⅱ-30-T70				822							
				247	0	575	0				
Ⅲ-30-T70			822								
			247	0	0	575					

Study on the Strength Development up to 91 Days of Mortar Containing Volcanic  
Glass Powder with Different Specific Surface Areas, Replacement Ratios, and  
Water-to-Binder Ratios

Masaki TADOKORO, Kosuke SAITO, Hayato MITSUKA, Kanta TANAKA,  
Naoyuki SUGIHASHI and Shin YAMAGUCHI

表-3 W/B=40%の示方配合

記号 混和材種類 - W/B- 置換率T	W/B (%)	混和材 置換率 T (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							細骨 材 S
			水 W	結合材 B						
				セメント C	混和材：火山ガラス微粉末V G P					
					I 種	II 種	III 種			
無混和-40	40	0	256	640						1429
I-40-T10		10	254	640	0	0	0		1419	
II-40-T10				573	64	0	0			
III-40-T10				638						
I-40-T30				574	0	64	0			
II-40-T30		30	251	638				1400		
III-40-T30				574	0	0	64			
I-40-T50				630						
II-40-T50				440	190	0	0			
III-40-T50		50	248	630				1384		
I-40-T70				440	0	190	0			
II-40-T70				620						
III-40-T70				310	310	0	0			
I-40-T70		70	245	620				1367		
II-40-T70				310	0	310	0			
III-40-T70				612						
				184	428	0	0			
	184	0	429	0						
	613									
	184	0	0	429						

表-4 W/B=50%の示方配合

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 <sup>3</sup> )					細骨 材 S
				セメ ント C	結合材 B				
					混和材：火山ガラス微粉末 V G P				
				I種	II種	III種			
無混和-50	50	0	256	512				1536	
I-50-T10		10	255	512	0	0	0	1528	
II-50-T10				459	51	0	0		
III-50-T10				509					
I-50-T30				458	0	51	0		
II-50-T30		30	252	509				1513	
III-50-T30				458	0	0	51		
I-50-T50				504					
II-50-T50				353	151	0	0		
III-50-T50		50	250	504				1498	
I-50-T70				353	0	151	0		
II-50-T70				504					
III-50-T70				353	0	0	151		
I-50-T90		70	247	500				1483	
II-50-T90				250	250	0	0		
III-50-T90				500					
I-50-T100				250	0	250	0		
II-50-T100	70	247	500				1483		
III-50-T100			250	0	0	250			
I-50-T110			494						
II-50-T110			148	346	0	0			
III-50-T110	494								
I-50-T120	70	247	494				1483		
II-50-T120			148	0	346	0			
III-50-T120			494						
I-50-T130			148	0	0	346			

表-5 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	260±20mm (W/B=30%) 170±20mm (W/B=40、50%)
空気量	JIS A 1128	2.0%以下 (W/B=30%) 4.5±1.5% (W/B=40、50%)
圧縮強度	JIS A 1108	材齢7, 28, 91, 365, 730日

### 3. 実験結果と考察

#### 3. 1 フレッシュ性状

全配合の混和剤添加量とモルタルフロー、空気量の試験結果を表-6～8に示す。W/B=30%ではモルタルフロー値が260±20mm、空気量が2.0%以下、W/B=40%、50%ではモルタルフロー値が170±20mm、空気量が4.5±1.5%の目標値となるように混和剤添加量を調整できた。同一W/B、

同種VGPで比較した場合、全ての配合でVGP置換率が大きくなると混和剤添加量は増加する。

表-6 W/B=30%のフレッシュ性状

W/B 30%					
VGP 置換率 (%)	VGP 種類	高性能 AE減水材 B×%	空気量調整剤 B×%	フロー (mm)	空気量 (%)
0	—	1.6	0.06	269×268	1.3
10	I	1.3	0.06	276×274	1.6
	II	1.2	0.06	259×255	0.9
	III	1.3	0.06	241×240	0.7
30	I	1.5	0.06	242×240	1.0
	II	1.2	0.06	267×266	1.4
	III	1.3	0.06	261×256	1.4
50	I	2.0	0.06	279×278	1.5
	II	1.5	0.06	279×279	1.4
	III	1.8	0.06	267×265	1.7
70	I	3.0	0.06	279×277	1.7
	II	2.0	0.06	246×245	2.0
	III	2.3	0.06	256×255	2.0

表-7 W/B=40%のフレッシュ性状

W/B 40%					
VGP 置換率 (%)	VGP 種類	高性能 AE減水材 B×%	空気量調整剤 B×%	フロー (mm)	空気量 (%)
0	—	0.5	0.1	172×171	4.5
10	I	0.4	0.1	179×176	4.9
	II	0.4	0.1	180×176	5.9
	III	0.5	0.1	186×188	3.7
30	I	0.7	0.1	172×166	4.6
	II	0.5	0.1	156×154	4.2
	III	0.6	0.1	168×170	4.3
50	I	1.0	0.1	152×153	5.1
	II	0.7	0.1	152×152	5.0
	III	0.8	0.1	186×181	5.3
70	I	1.6	0.1	161×172	6.0
	II	0.9	0.1	151×152	5.1
	III	1.1	0.1	168×164	4.6

表-8 W/B=50%のフレッシュ性状

W/B 50%					
VGP 置換率 (%)	VGP 種類	AE減水剤 B×%	空気量調整剤 B×%	フロー (mm)	空気量 (%)
0	—	0.0	0.01	152×151	3.8
10	I	0.6	0.06	189×184	3.0
	II	0.7	0.06	186×184	4.4
	III	2.0	0.06	160×159	4.1
30	I	0.9	0.06	174×170	3.2
	II	1.1	0.06	182×178	3.2
	III	2.2	0.06	174×172	4.3
50	I	1.2	0.06	185×183	3.5
	II	1.5	0.06	188×186	3.9
	III	2.4	0.06	189×182	5.5
70	I	1.7	0.06	183×180	4.4
	II	1.8	0.06	155×152	4.5
	III	2.7	0.06	171×170	3.3

### 3. 2 圧縮強度試験結果

圧縮強度結果を図-1～9に示す。全ての配合で材齢91日まで強度が増進し、VGPの置換率30%以上で強度の増進効果が大きい傾向が認められる。置換率10%の場合、セメント単味と強度増進の傾向はあまり変わらない配合がほとんどで、材齢7日強度がセメント単味より小さいと材齢91日でセメント単味の強度に達しない配合がある。一方、置換率を70%まで大きくすると、材齢7日ではセメント単味の強度よりかなり小さくなるため、材齢91日もセメント単味の強度よりかなり小さくなる配合がほとんどであった。

それぞれの配合の材齢7日強度に対する材齢

91日強度の比を表-9に示す。置換率が同一の場合、Ⅰ種で置換率10%の場合とⅡ種を除いて、W/Bが大きくなると強度比は大きくなる。内部余剰水がポズラン反応による強度増進に影響を与えていると考えられる。別途実施した試験によるとⅡ種は粉体粒度構成がⅠ種、Ⅲ種と相違しており、これが強度発現の違いを生じた理由の可能性がある。

同一W/B、同種VGPで比較すると、W/B50%、Ⅰ種で置換率50%と70%の配合を除いて、VGPの置換率が大きくなると強度比が大きくなる。VGPのポズラン反応がセメントの水和反応より、材齢91日までの強度増進効果が大きいことを示している。

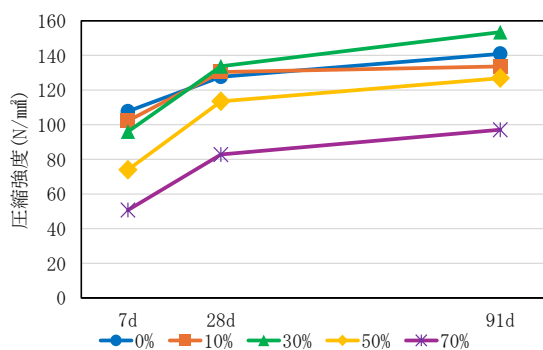


図-1 W/B30%Ⅰ種の圧縮強度

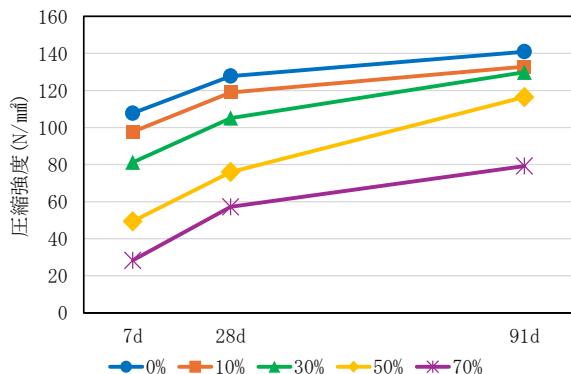


図-2 W/B30%Ⅱ種の圧縮強度

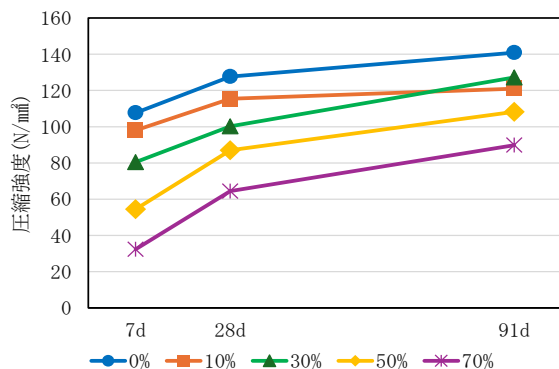


図-3 W/B30%Ⅲ種の圧縮強度

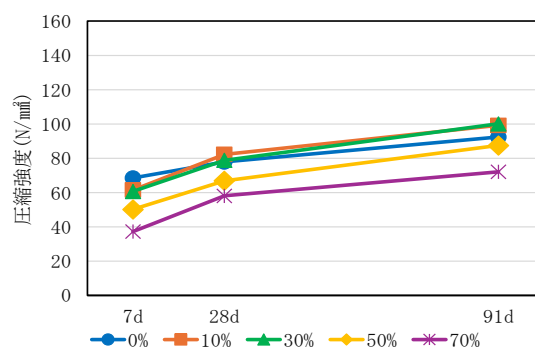


図-4 W/B40%Ⅰ種の圧縮強度

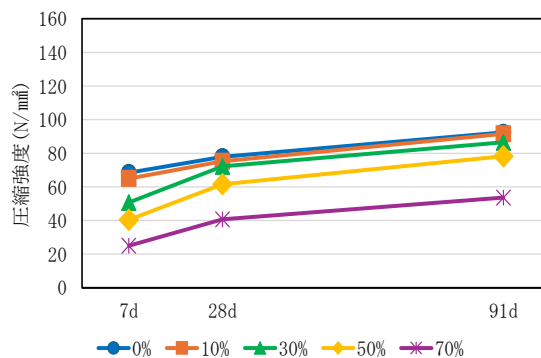


図-5 W/B40%Ⅱ種の圧縮強度

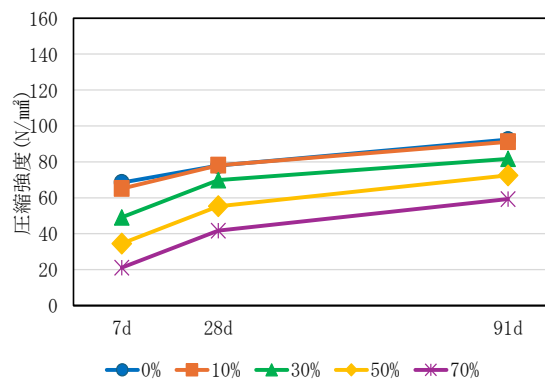


図-6 W/B40%Ⅲ種の圧縮強度

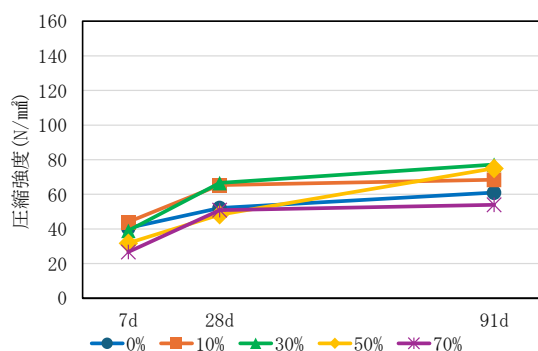


図-7 W/B50% I 種の圧縮強度

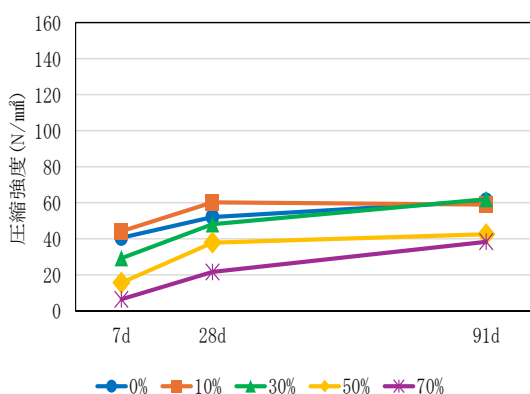


図-8 W/B50% II 種の圧縮強度

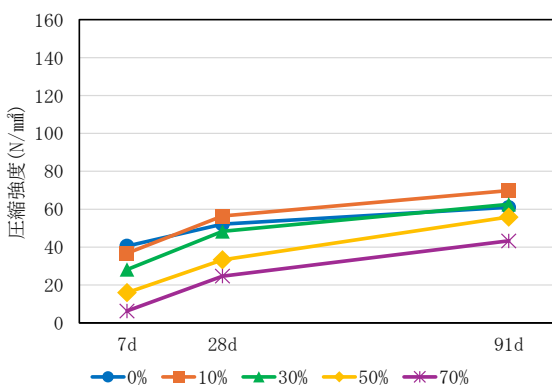


図-9 W/B50% III 種の圧縮強度

表-9 材齢7日に対する材齢91日の強度比

置換率	灰種	7 日	91 日		
			W/B30%	W/B40%	W/B50%
0	—	1.00	1.30	1.35	1.50
10	I		1.31	1.61	1.56
	II		1.36	1.41	1.34
	III		1.24	1.40	1.90
30	I		1.60	1.65	1.98
	II		1.60	1.71	2.12
	III		1.58	1.66	2.22
50	I		1.72	1.74	2.36
	II		2.36	1.94	2.72
	III		1.99	2.10	3.49
70	I		1.92	1.93	2.02
	II		2.80	2.14	6.00
	III		2.79	2.81	6.87

#### 4. まとめ

本実験の範囲で得られた知見を以下の通りまとめる。

- (1) 同一W/B, 同種VGPで比較した場合, 全ての配合でVGP置換率が大きくなると混和剤添加量は増加する。
- (2) 全ての配合で材齢91日まで強度が増進し, VGPの置換率30%以上で強度の増進効果が大きい。
- (3) 置換率10%の場合, セメント単味と強度増進の傾向はあまり変わらない配合がほとんどで, 材齢7日強度がセメント単味より小さいと材齢91日でセメント単味の強度に達しない。
- (4) 置換率を70%まで大きくすると, 材齢7日ではセメント単味の強度よりもかなり小さくなるため, 材齢91日でもセメント単味の強度よりもかなり小さくなる。

#### 5. 終わりに

今後, 材齢365日以降の長期材齢強度や塩分拡散係数, 空隙率について検討を進め, さらに, 練上り温度を10℃, 20℃, 30℃に変えた場合の圧縮強度の温度依存性を検討する。

#### 参考文献

- 1) 友寄篤, 野口貴文, 袖山研一, 東和朗: VGP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) 齊藤功将, 藏谷乙矢, 杉橋直行, 山口晋: VGP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, 日本大学生産工学部第57回学術講演会概要, pp. 364-367, 2024. 12
- 3) 藏谷乙矢, 杉橋直行, 山口晋: 比表面積の相違する 3 種類の VGP 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.
- 4) 藏谷乙矢, 杉橋直行, 山口晋, 齊藤功将: 比表面積の相違する火山ガラス微粉末の置換率を変えたモルタルに関する水和発熱温度特性と長期強度, コンクリート工学年次論文集, Vol. 47, No. 1, pp. 1446-1451, 2025.