

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) 齋藤 功将 日大生産工(学部) 三塚 遼
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°Cを超える地下のマグマが急冷された非晶質のアルミニノケイ酸塩を主成分¹⁾としており、セメントのような焼成の必要がないため、CO₂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²⁾。

以上のことから我々は、CO₂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³⁾。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山碎流堆積物の乾式比重選別¹⁾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⁴⁾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碎したサンプルがII種、粉碎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 ³	比表面積 (BET法) cm ² /g	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	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
細骨材	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T	W/B (%)	混和材 置換率 T (%)	水 W	単位量(kg/m ³)			細 骨 材 S	
				結合材 B				
				セメ ント C	混和材: 火山ガラス微粉末 VGP	III種		
無混和-30	0	261		872	872	0	1221	
I-30-T10	10	259	872	0	0	0	1211	
			864					
			778	86	0	0		
			864					
II-30-T10	30	255	778	0	86	0	1190	
			864					
			778	0	0	86		
			850					
I-30-T30	50	250	595	255	0	0	1170	
			850					
			595	0	255	0		
			850					
II-30-T30	70	246	595	0	0	255	1151	
			836					
			418	418	0	0		
			836					
III-30-T30	30	255	418	0	418	0	1151	
			836					
			418	0	0	418		
			822					
I-30-T50	50	250	247	575	0	0	1151	
			822					
			247	0	575	0		
			822					
II-30-T50	70	246	247	0	0	575	1151	
			822					
			247	0	575	0		
			822					
III-30-T50	30	255	247	0	0	575	1151	
			822					
			247	0	575	0		
			822					
I-30-T70	70	246	247	0	575	0	1151	
			822					
			247	0	575	0		
			822					
II-30-T70	30	255	247	0	575	0	1151	
			822					
			247	0	575	0		
			822					
III-30-T70	50	250	247	0	575	0	1151	
			822					
			247	0	575	0		
			822					

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/m³)					
			水 W	結合材 B			細骨 材 S	
				セメ ント C	混和材: 火山ガラス微粉末 VGP			
				I 種	II 種	III 種		
無混和-40		0	256	640	0	0	0	1429
I-40-T10		10	254	637	64	0	0	1419
II-40-T10		10	254	638				
III-40-T10		10	254	638	574	0	64	
I-40-T30	40	30	251	630	440	190	0	1400
II-40-T30	40	30	251	630	440	0	190	
III-40-T30	40	30	251	630	440	0	190	
I-40-T50	40	50	248	620	310	310	0	1384
II-40-T50	40	50	248	620	310	0	310	
III-40-T50	40	50	248	620	310	0	310	
I-40-T70	40	70	245	612	184	428	0	1367
II-40-T70	40	70	245	613	184	0	429	
III-40-T70	40	70	245	613	184	0	429	

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-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 (%)	単位量 (kg/m³)					
			水 W	結合材 B			細骨 材 S	
				セメ ント C	混和材: 火山ガラス微粉末 VGP			
				I 種	II 種	III 種		
無混和-50		0	256	512	0	0	0	1536
I-50-T10		10	255	510	459	51	0	1528
II-50-T10		10	255	509	458	0	51	
III-50-T10		10	255	509	458	0	51	
I-50-T30	50	30	252	504	353	151	0	1513
II-50-T30	50	30	252	504	353	0	151	
III-50-T30	50	30	252	504	353	0	151	
I-50-T50	50	50	250	500	250	250	0	1498
II-50-T50	50	50	250	500	250	0	250	
III-50-T50	50	50	250	500	250	0	250	
I-50-T70	50	70	247	494	148	346	0	1483
II-50-T70	50	70	247	494	148	0	346	
III-50-T70	50	70	247	494	148	0	346	

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-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、

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

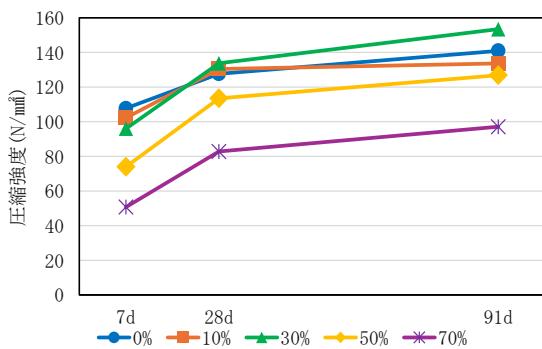


図-1 W/B30% I種の圧縮強度

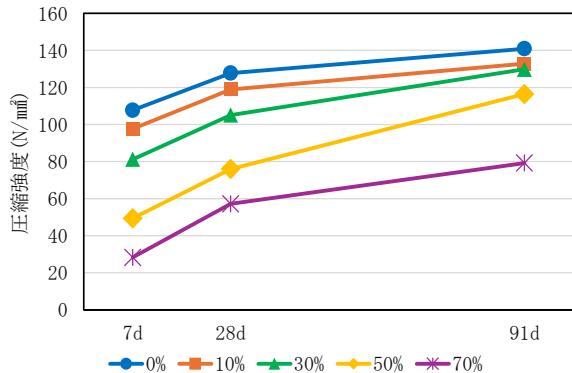


図-2 W/B30% II種の圧縮強度

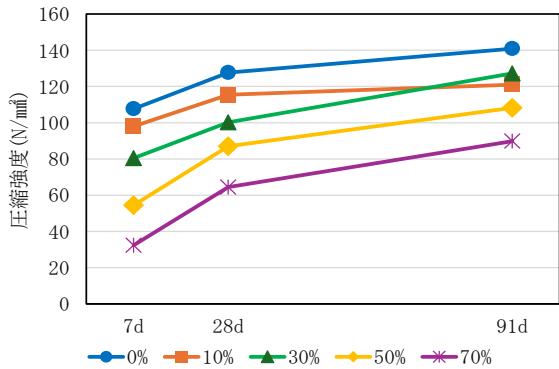


図-3 W/B30% III種の圧縮強度

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。内部余剰水がポゾ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のポゾ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。

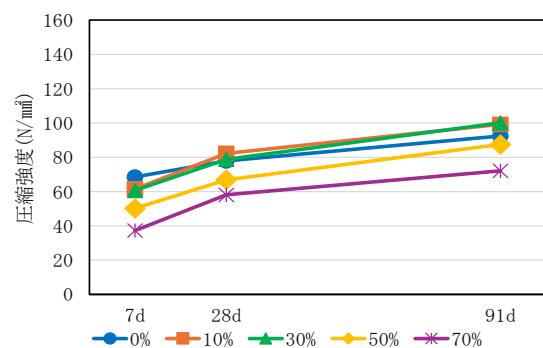


図-4 W/B40% I種の圧縮強度

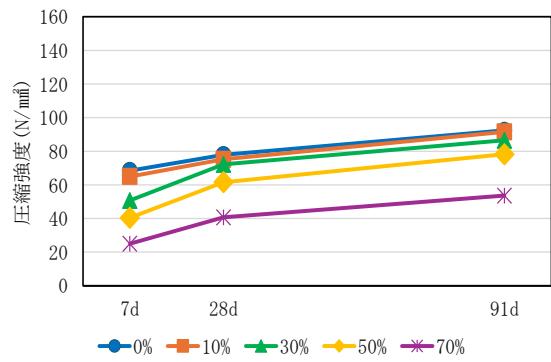


図-5 W/B40% II種の圧縮強度

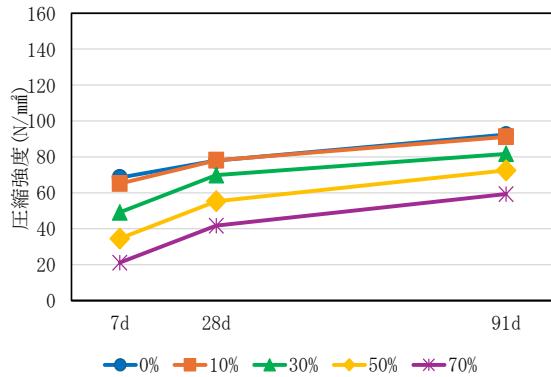


図-6 W/B40% III種の圧縮強度

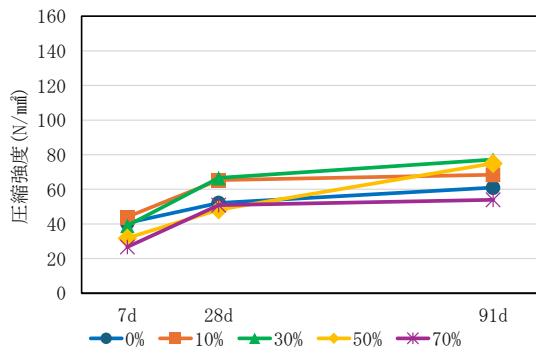


図-7 W/B50% I 種の圧縮強度

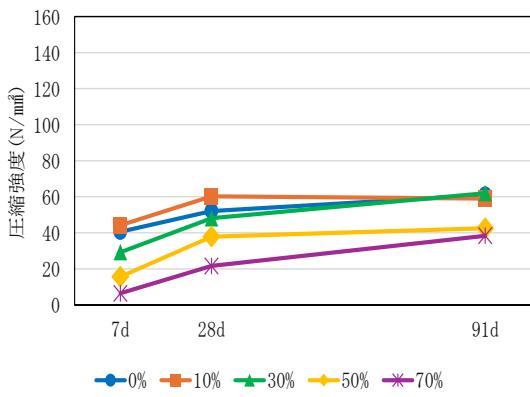


図-8 W/B50% II 種の圧縮強度

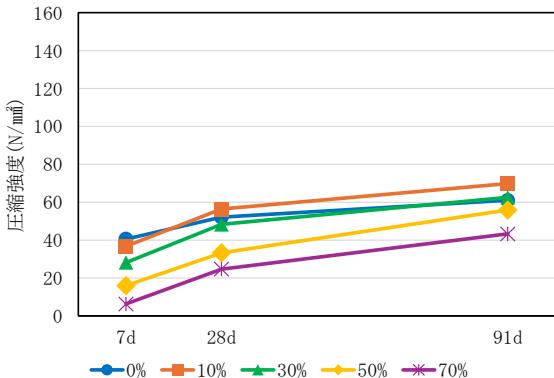


図-9 W/B50% III 種の圧縮強度

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
	I		1.31	1.61	1.56
	II		1.36	1.41	1.34
10	III		1.24	1.40	1.90
	I	1.00	1.60	1.65	1.98
	II		1.60	1.71	2.12
30	III		1.58	1.66	2.22
	I	1.00	1.72	1.74	2.36
	II		2.36	1.94	2.72
50	III		1.99	2.10	3.49
	I	1.00	1.92	1.93	2.02
	II		2.80	2.14	6.00
70	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°C, 20°C, 30°C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.