

論文 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

藏谷 乙矢*1・杉橋 直行*2・山口 晋*3・齊藤 功将*4

要旨: 水結合材比 (W/B) が 30, 40, 50%のモルタルについて, 比表面積の相違する 3 種類の火山ガラス微粉末 (以降 VGP と呼ぶ) の置換率を 0, 10, 30, 50, 70%として, 材齢 365 日まで圧縮強度試験を実施し, 置換率 0, 10, 50%については簡易断熱温度上昇試験を実施した。W/B と VGP の種類に関わらず VGP を混和したモルタルは材齢 365 日まで強度が継続して増進した。VGPⅢ種で W/B30%の置換率 10%を除き, VGP の種類と W/B に関わらず置換率 30%まで材齢 91 日で, セメント単味の材齢 28 日強度と同等以上となった。簡易断熱温度上昇試験における最高温度は置換率 10%ではセメント単味と同程度で, 50%でセメント単味よりも 15~35℃も低くなった。

キーワード: 火山ガラス微粉末, 高強度, 低炭素, 簡易断熱, 置換率, 長期強度, シリカフェーム

1. はじめに

火山ガラス微粉末 (以降 VGP と呼ぶ) は火山噴出物を原料とする国内に幅広く分布する天然資源で, 2020 年に日本産業規格 (JIS) にコンクリート用火山ガラス微粉末が新たに制定され, ポゾラン反応性を持つコンクリート用混和材として利用が期待されている。コンクリートに混和すると強度発現や中性化抵抗性, 塩化物イオン浸透抵抗性などが混和していないものと同等以上になる¹⁾とされる。また原料の火山噴出物は 1000℃を超える地下のマグマが急冷された非晶質²⁾であり, セメントのように CO₂を多く排出する焼成工程が必要なく, CO₂排出原単位は普通ポルトランドセメントが 755.5 kg-CO₂/t (2022 年度実績)³⁾に対し, VGP は 88.8 kg-CO₂/t⁴⁾で 1/8 以下とされる。さらに VGP は, 代替することが期待されているシリカフェームと違い輸入も不要で, 環境負荷や輸送コストを低減する効果も期待できる。しかし, JIS 規格品 VGP としての利用実績はほとんどなく, 断熱温度上昇や長期強度等の物性を研究した例は未だ少ない。

このようなことから, 本研究は今後の 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, VGP をセメント代替として 10~70%まで置換したモルタルについて, 所要のフレッシュ性状を確保したうえで, 温度上昇特性や長期強度発現がセメント単味の場合と比較してどのように変化するかを実験的に確認した。

2. 実験方法

2.1 実験概要

実験は, 水結合材比(W/B)を 30%, 40%, 50%の 3 水準としたモルタルで, 比表面積が相違する 3 種類の VGP をセメントとの置換率を 0~70%に変えて, 圧縮強度を材

齢 365 日まで試験し, VGP 置換率 0, 10, 50%の配合については簡易断熱試験を実施し水和発熱温度特性を確認した。

2.2 使用材料

使用した材料の一覧を表-1 に示す。現在, VGP は JIS A 6209 を満足する工場製品として汎用的に製造されているものがほとんどない。このため, 本実験では南九州に膨大に堆積している入戸火砕堆積物を乾式比重選別²⁾したサンプルを使用した。JIS A 6209 における比表面積の区分規定 I 種 80,000cm²/g 以上, II 種 40,000cm²/g 以上, III 種 10,000cm²/g 以上を参考に乾式比重選別した表-1 に示す 3 種類の VGP を用いた。原鉱の 5mm 以下粒分についてエアテーブルを通過させ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を II 種, この II 種をさらに汎用サイクロンで分粒した微粉分を I 種, その粗粉分を III 種としている。活性度指数以外の JIS 品質規定は全て満足している。

表-1 使用材料 (VGP は 2 サンプルの平均)

| 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 | - | | | | |
| 火山 ガラス 微粉末 | I 種 | 2.39 | 105,000 | 72.6 | 13.4 | 0.35 | 2.8 |
| | II 種 | 2.40 | 60,000 | 73.9 | 12.8 | 0.30 | 2.3 |
| | 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 | 高性能AE減水剤 (W/B30, 40%で使用) 主成分: ポリカルボン酸エーテル系化合物 | | | | | | |
| | AE減水剤 (W/B50%で使用) 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 | | | | | | |

*1 日本大学大学院 生産工学研究科土木工学専攻 (学生会員)

*2 日本大学 生産工学部土木工学科教授 工博(正会員)

*3 日本大学 生産工学部土木工学科准教授 工博(正会員)

*4 日本大学 生産工学部土木工学科

2.3 示方配合

モルタルの示方配合を W/B=30, 40, 50%別に表-2, 表-3, 表-4 に示す。VGP の置換率は 0, 10, 30, 50, 70%とした。W/B=30%の配合は JISA 6209 に準拠し、VGP の置換率によらず、質量比で (セメント+VGP) 1 : (標準砂) 1.4 : (水+混和剤) 0.3, W/B=50%の配合は JIS R 5201 に準拠し、質量比で (セメント+VGP) 1 : (標準砂) 3 : (水+混和剤) 0.5 とした。W/B=40%の配合は結合材と標準砂の比率を W/B=30%と 50%の中間として (セメント+VGP) 1 : (標準砂) 2.2 : (水+混和剤) 0.4 とした。

2.4 試験方法

W/B=30%の配合は JISA 6209 に準拠して練混ぜ、同 JIS の規定値を参考にモルタルフローは 260±20mm, 空気量は 2.0%以下に調整した。W/B=40, 50%は JIS R 5201 に準拠して練混ぜ、スランプ 12cm 程度のコンクリート中のモルタルのデータを参考に、モルタルフローを 170±20mm, 空気量を 4.5±1.5%に調整した。モルタルフローは W/B=30, 40%では高性能 AE 減水剤, W/B=50%では AE 減水剤を用いて、空気量は空気量調整剤を用いて調整した。練混ぜは 20ℓ のホバート型のモルタルミキサーを用いて行った。全ての配合で、材齢 730 日まで試験を実施予定であるが、ここでは試験結果の出た材齢までを説明する。圧縮強度試験は W/B=40%では材齢 7, 28, 91 日まで実施し、W/B=30, 50%ではさらに 365 日まで実施した。供試体は所定の材齢まで標準養生した。置換率 0, 10, 50%の配合では発泡倍率 80 倍の発砲スチロールを用いた図-1 の簡易断熱試験装置を利用して温度上昇試験

を実施した。20℃恒温室に設置した簡易断熱試験装置内の φ10×20cm の円柱空洞に練混ぜ直後のモルタルを打込み、その中心温度を T 型熱電対により計測した。計測は打込み後 7 日間実施し、打込み後から 6 時間までは 1 時間ピッチ, 6 時間から 12 時間までは 2 時間ピッチ, 12 時間から 24 時間までは 3 時間ピッチ, 24 時間から 72 時

表-3 W/B が 40%の示方配合

| NO. | 記号 VGP種類- W/B- 置換率T | W/B (%) | VGP 置換率 T (%) | 水 W | 単位量(kg/m³) | | | | 細 骨 材 S |
|-----|------------------------------|------------|------------------------|--------|---------------|-----------------|-----|-----|------------------|
| | | | | | 結合材 B | | | | |
| | | | | | セメ ント C | 火山ガラス微粉末 VGP | | | |
| 1 | 無混和-40 | 40 | 0 | 256 | 640 | | | | 1429 |
| | | | | | 640 | 0 | 0 | 0 | |
| 2 | I-40-T10 | 40 | 10 | 254 | 637 | | | | 1419 |
| | | | | | 573 | 64 | 0 | 0 | |
| 3 | II-40-T10 | 40 | 10 | 254 | 638 | | | | 1419 |
| | | | | | 574 | 0 | 64 | 0 | |
| 4 | III-40-T10 | 40 | 10 | 254 | 638 | | | | 1419 |
| | | | | | 574 | 0 | 0 | 64 | |
| 5 | I-40-T30 | 40 | 30 | 251 | 630 | | | | 1400 |
| | | | | | 440 | 190 | 0 | 0 | |
| 6 | II-40-T30 | 40 | 30 | 251 | 630 | | | | 1400 |
| | | | | | 440 | 0 | 190 | 0 | |
| 7 | III-40-T30 | 40 | 30 | 251 | 630 | | | | 1400 |
| | | | | | 440 | 0 | 0 | 190 | |
| 8 | I-40-T50 | 40 | 50 | 248 | 620 | | | | 1384 |
| | | | | | 310 | 310 | 0 | 0 | |
| 9 | II-40-T50 | 40 | 50 | 248 | 620 | | | | 1384 |
| | | | | | 310 | 0 | 310 | 0 | |
| 10 | III-40-T50 | 40 | 50 | 248 | 620 | | | | 1384 |
| | | | | | 310 | 0 | 0 | 310 | |
| 11 | I-40-T70 | 40 | 70 | 245 | 612 | | | | 1367 |
| | | | | | 184 | 428 | 0 | 0 | |
| 12 | II-40-T70 | 40 | 70 | 245 | 613 | | | | 1367 |
| | | | | | 184 | 0 | 429 | 0 | |
| 13 | III-40-T70 | 40 | 70 | 245 | 613 | | | | 1367 |
| | | | | | 184 | 0 | 0 | 429 | |

表-2 W/B が 30%の示方配合

| NO. | 記号 VGP種類- W/B- 置換率T | W/B (%) | VGP 置換率 T (%) | 水 W | 単位量(kg/m³) | | | | 細 骨 材 S |
|-----|------------------------------|------------|------------------------|--------|---------------|-----------------|-----|-----|------------------|
| | | | | | 結合材 B | | | | |
| | | | | | セメ ント C | 火山ガラス微粉末 VGP | | | |
| 1 | 無混和-30 | 30 | 0 | 261 | 872 | | | | 1221 |
| | | | | | 872 | 0 | 0 | 0 | |
| 2 | I-30-T10 | 30 | 10 | 259 | 864 | | | | 1211 |
| | | | | | 778 | 86 | 0 | 0 | |
| 3 | II-30-T10 | 30 | 10 | 259 | 864 | | | | 1211 |
| | | | | | 778 | 0 | 86 | 0 | |
| 4 | III-30-T10 | 30 | 10 | 259 | 864 | | | | 1211 |
| | | | | | 778 | 0 | 0 | 86 | |
| 5 | I-30-T30 | 30 | 30 | 255 | 850 | | | | 1190 |
| | | | | | 595 | 255 | 0 | 0 | |
| 6 | II-30-T30 | 30 | 30 | 255 | 850 | | | | 1190 |
| | | | | | 595 | 0 | 255 | 0 | |
| 7 | III-30-T30 | 30 | 30 | 255 | 850 | | | | 1190 |
| | | | | | 595 | 0 | 0 | 255 | |
| 8 | I-30-T50 | 30 | 50 | 250 | 836 | | | | 1170 |
| | | | | | 418 | 418 | 0 | 0 | |
| 9 | II-30-T50 | 30 | 50 | 250 | 836 | | | | 1170 |
| | | | | | 418 | 0 | 418 | 0 | |
| 10 | III-30-T50 | 30 | 50 | 250 | 836 | | | | 1170 |
| | | | | | 418 | 0 | 0 | 418 | |
| 11 | I-30-T70 | 30 | 70 | 246 | 822 | | | | 1151 |
| | | | | | 247 | 575 | 0 | 0 | |
| 12 | II-30-T70 | 30 | 70 | 246 | 822 | | | | 1151 |
| | | | | | 247 | 0 | 575 | 0 | |
| 13 | III-30-T70 | 30 | 70 | 246 | 822 | | | | 1151 |
| | | | | | 247 | 0 | 0 | 575 | |

表-4 W/B が 50%の示方配合

| NO. | 記号 VGP種類- W/B- 置換率T | W/B (%) | VGP 置換率 T (%) | 水 W | 単位量(kg/m³) | | | | 細 骨 材 S |
|-----|------------------------------|------------|------------------------|--------|---------------|-----------------|-----|-----|------------------|
| | | | | | 結合材 B | | | | |
| | | | | | セメ ント C | 火山ガラス微粉末 VGP | | | |
| 1 | 無混和-50 | 50 | 0 | 256 | 512 | | | | 1536 |
| | | | | | 512 | 0 | 0 | 0 | |
| 2 | I-50-T10 | 50 | 10 | 255 | 510 | | | | 1528 |
| | | | | | 459 | 51 | 0 | 0 | |
| 3 | II-50-T10 | 50 | 10 | 255 | 509 | | | | 1528 |
| | | | | | 458 | 0 | 51 | 0 | |
| 4 | III-50-T10 | 50 | 10 | 255 | 509 | | | | 1528 |
| | | | | | 458 | 0 | 0 | 51 | |
| 5 | I-50-T30 | 50 | 30 | 252 | 504 | | | | 1513 |
| | | | | | 353 | 151 | 0 | 0 | |
| 6 | II-50-T30 | 50 | 30 | 252 | 504 | | | | 1513 |
| | | | | | 353 | 0 | 151 | 0 | |
| 7 | III-50-T30 | 50 | 30 | 252 | 504 | | | | 1513 |
| | | | | | 353 | 0 | 0 | 151 | |
| 8 | I-50-T50 | 50 | 50 | 250 | 500 | | | | 1498 |
| | | | | | 250 | 250 | 0 | 0 | |
| 9 | II-50-T50 | 50 | 50 | 250 | 500 | | | | 1498 |
| | | | | | 250 | 0 | 250 | 0 | |
| 10 | III-50-T50 | 50 | 50 | 250 | 500 | | | | 1498 |
| | | | | | 250 | 0 | 0 | 250 | |
| 11 | I-50-T70 | 50 | 70 | 247 | 494 | | | | 1483 |
| | | | | | 148 | 346 | 0 | 0 | |
| 12 | II-50-T70 | 50 | 70 | 247 | 494 | | | | 1483 |
| | | | | | 148 | 0 | 346 | 0 | |
| 13 | III-50-T70 | 50 | 70 | 247 | 494 | | | | 1483 |
| | | | | | 148 | 0 | 0 | 346 | |

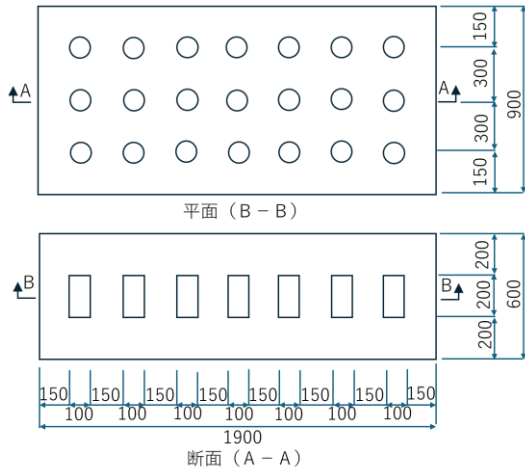


図-1 簡易断熱試験装置

間までは6時間ピッチ72時間から168時間までは12時間ピッチで行った。

3. 実験結果と考察

3.1 フレッシュ性状

W/B=30, 40, 50%のフレッシュ性状の試験結果をそれぞれ表-5に示す。全ての配合でモルタルフロー値と空気量の目標値を満足するように混和剤の添加率を調整できた。混和剤の添加率はVGP置換率が大きいほど増加する傾向となった。VGPの種類別にみると、高性能AE減水剤を使用したW/B=30, 40%の配合では、II種の混和剤の添加率が最も少なくなり、III種、I種の順に増加した。一方、AE減水剤を使用したW/B=50%の配合ではI種、II種、III種の順に添加率が増加した。II種はローラミル粉砕したサンプルで粒度分布はI種、III種と相違し粗細の二山を持ち、高性能AE減水剤では、その吸着量や分散効果に差が生じたと推察する。AE減水剤では、高性能AE減水剤のような差が生じずに、同一フローを得るための添加率が、VGP比表面積が小さく粗い順に、大きくなったと考えている。

表-5 フレッシュ性状試験結果

| VGP置換率 (%) | VGP種類 | W/B 30% | | | | W/B 40% | | | | W/B 50% | | | |
|------------|-------|--------------|------------|----------|---------|--------------|------------|----------|---------|-----------|------------|----------|---------|
| | | 高性能AE減水剤 B×% | 空気量調整剤 B×% | フロー (mm) | 空気量 (%) | 高性能AE減水剤 B×% | 空気量調整剤 B×% | フロー (mm) | 空気量 (%) | AE減水剤 B×% | 空気量調整剤 B×% | フロー (mm) | 空気量 (%) |
| 0 | — | 1.6 | 0.06 | 269×268 | 1.3 | 0.5 | 0.1 | 172×171 | 4.5 | 0.0 | 0.01 | 152×151 | 3.8 |
| | I | 1.3 | 0.06 | 276×274 | 1.6 | 0.4 | 0.1 | 179×176 | 4.9 | 0.6 | 0.06 | 189×184 | 3.0 |
| | II | 1.2 | 0.06 | 259×255 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | 180×176 | 5.9 | 0.7 | 0.06 | 186×184 | 4.4 |
| 10 | III | 1.3 | 0.06 | 241×240 | 0.7 | 0.5 | 0.1 | 186×188 | 3.7 | 2.0 | 0.06 | 160×159 | 4.1 |
| | I | 1.5 | 0.06 | 242×240 | 1.0 | 0.7 | 0.1 | 172×166 | 4.6 | 0.9 | 0.06 | 174×170 | 3.2 |
| | II | 1.2 | 0.06 | 267×266 | 1.4 | 0.5 | 0.1 | 156×154 | 4.2 | 1.1 | 0.06 | 182×178 | 3.2 |
| 30 | III | 1.3 | 0.06 | 261×256 | 1.4 | 0.6 | 0.1 | 168×170 | 4.3 | 2.2 | 0.06 | 174×172 | 4.3 |
| | I | 2.0 | 0.06 | 279×278 | 1.5 | 1.0 | 0.1 | 152×153 | 5.1 | 1.2 | 0.06 | 185×183 | 3.5 |
| | II | 1.5 | 0.06 | 279×279 | 1.4 | 0.7 | 0.1 | 152×152 | 5.0 | 1.5 | 0.06 | 188×186 | 3.9 |
| 50 | III | 1.8 | 0.06 | 267×265 | 1.7 | 0.8 | 0.1 | 186×181 | 5.3 | 2.4 | 0.06 | 189×182 | 5.5 |
| | I | 3.0 | 0.06 | 279×277 | 1.7 | 1.8 | 0.1 | 161×172 | 6.0 | 1.7 | 0.06 | 183×180 | 4.4 |
| | II | 2.0 | 0.06 | 246×245 | 2.0 | 0.9 | 0.1 | 151×152 | 5.1 | 1.8 | 0.06 | 155×152 | 4.5 |
| 70 | III | 2.3 | 0.06 | 256×255 | 2.0 | 1.1 | 0.1 | 168×164 | 4.6 | 2.7 | 0.06 | 171×170 | 3.3 |

3.2 圧縮強度

(1) 強度発現性状 (材齢と圧縮強度の関係)

W/B=30, 50%の配合について材齢と圧縮強度の関係をW/BとVGPの種類別に図-2~7に示す。

VGPを混和しないセメント単味ではW/Bに関わらず、

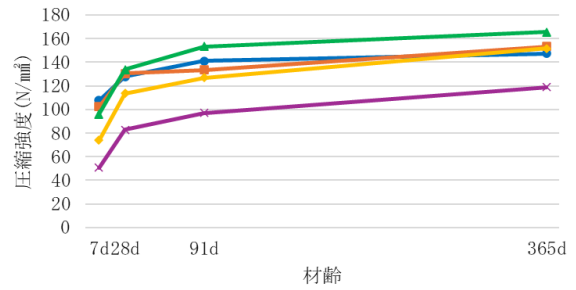


図-2 W/B=30%のVGP I種の材齢と圧縮強度の関係

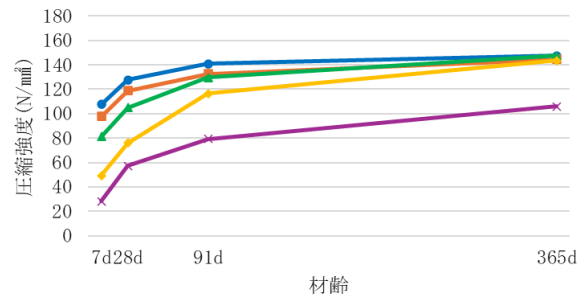


図-3 W/B=30%のVGP II種の材齢と圧縮強度の関係

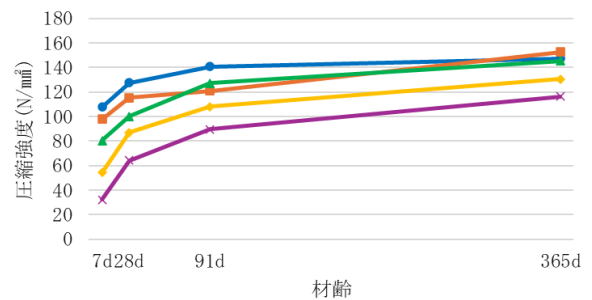


図-4 W/B=30%のVGP III種の材齢と圧縮強度の関係

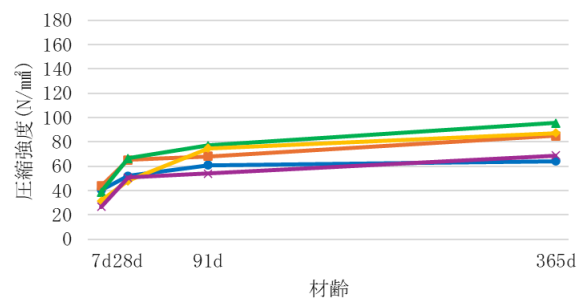


図-5 W/B=50%のVGP I種の材齢と圧縮強度の関係

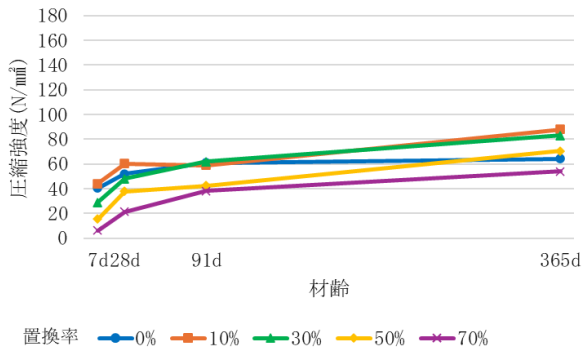


図-6 W/B=50%のVGPⅡ種の材齢と圧縮強度の関係

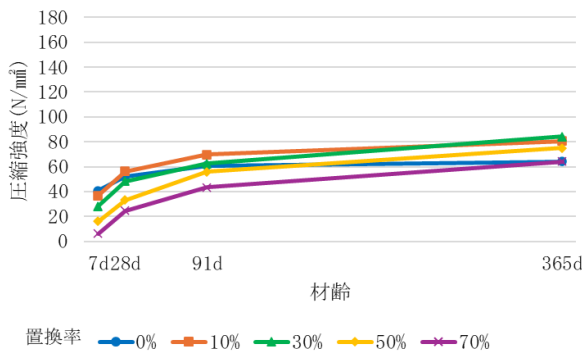


図-7 W/B=50%のVGPⅢ種の材齢と圧縮強度の関係

材齢 91 日以降強度の増加はほとんどない。一方で、VGP で置換した場合、置換率によらず材齢 365 日まで強度増加が認められた。材齢 28 日までは置換率が大きくなる順に強度は低下するが、材齢 91 日以降その差は小さくなっていく。この傾向は置換率 50%までは顕著であるが、置換率 70%になるとその差があまり縮まらない。さらに W/B が小さく、VGP の比表面積が大きい方がこれらの傾向は顕著である。W/B40%については紙面の関係上、図の掲載は割愛するが材齢 91 日まで同様の傾向であった。

(2) セメント単味の 28 日強度との比

前節で示したとおりセメント単味の場合、材齢 91 日以降ほとんど強度増加がなく、材齢 28 日でその 80%程度以上の強度発現が期待できる。このようなことや、構造物の工事期間や管理的な理由から、一般的な強度設計材齢は 28 日とされている。しかしながら、マスコンクリート等では現在でも水和発熱低減が可能であれば強度発現が遅くても、設計材齢を 91 日とした対応を採用することもある。ここでは、VGP を混和させた配合が、何かの付加価値を持ち、強度発現が材齢 91 日あるいは 365 日と遅延しても、材齢 28 日のセメント単味の配合と同等の強度を発現できて、その代用として採用できる可能性があるか検討した。

W/B=30, 50%の配合について VGP を混和した場合の

材齢 91 日と材齢 365 日の強度と、セメント単味の材齢 28 日強度との比を図-8~12 に示す。

材齢 91 日において強度比が 100%以上となるのは、W/B=30%で置換率 10%のⅠ種、Ⅱ種、置換率 30%の全灰種、W/B=40%で置換率 10, 30%の全灰種、置換率 50%のⅠ種、Ⅱ種、W/B=50%で置換率 10, 30%の全灰種、置換率 50%のⅠ種、Ⅲ種、置換率 70%のⅠ種である。さらに、材齢 365 日では、W/B=30%で置換率 10, 30, 50%の全灰種、W/B=50%で置換率 10~70%の全灰種において強度比が 100%以上となった。かなりの場合、強度発現の遅延を許容して、設計材齢を遅くすることができれば VGP がセメントを代替できる可能性が高いことが分かる。

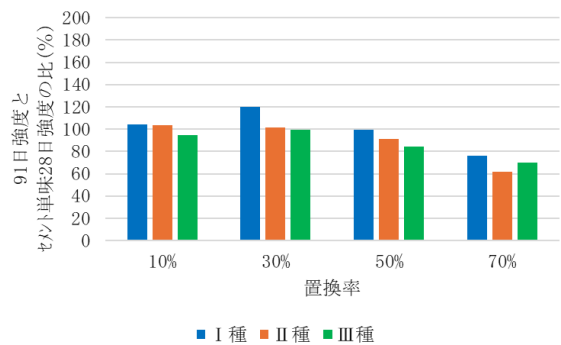


図-8 91 日強度とセメント単味 28 日強度の比 (W/B30%)

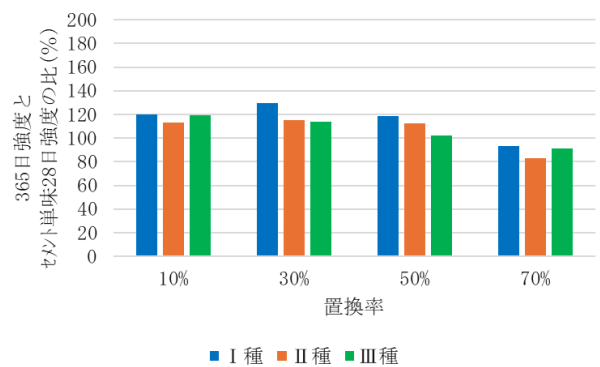


図-9 365 日強度とセメント単味 28 日強度の比 (W/B30%)

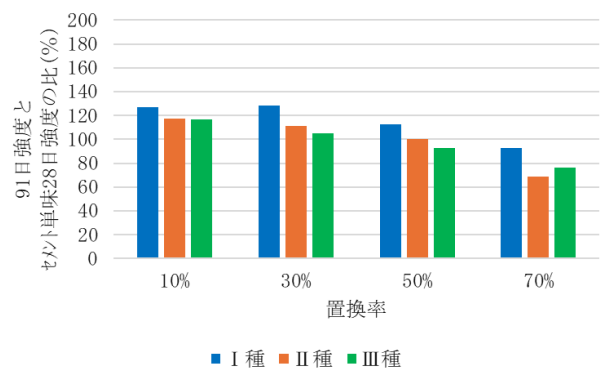


図-10 91 日強度とセメント単味 28 日強度の比 (W/B40%)

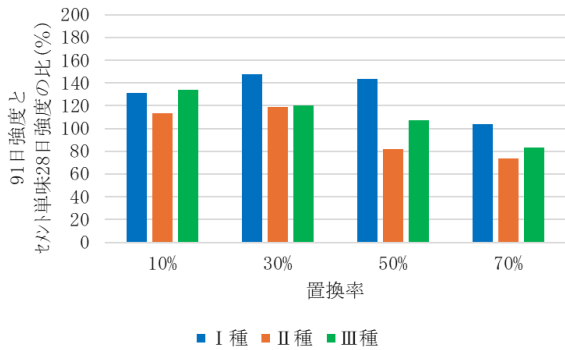


図-11 91日強度とセメント単味28日強度の比 (W/B50%)

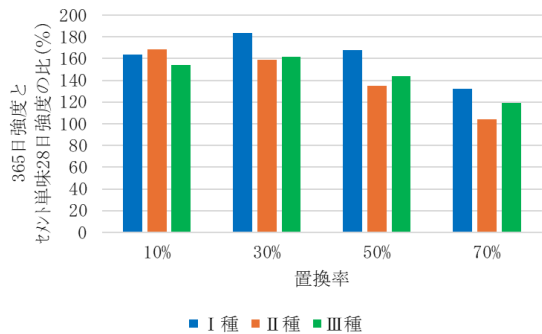


図-12 365日強度とセメント単味28日強度の比 (W/B50%)

VGPがI種の場合、W/Bと材齢に関わらず置換率30%の強度比が最も大きく、セメント水和反応とVGPのポゾラン反応を共に活かすためのバランスのよい置換率が存在すると推察される。一方、II種、III種ではこのような傾向は認めれず、置換率が大きくなると強度比が小さくなる傾向がある。

(3) 活性度指数

JIS A 6209ではW/B30%の基準モルタルの圧縮強度とVGP置換率10%とした試験モルタルの各材齢における圧縮強度の比を活性度指数と定義して、表-6のとおり規定している。JIS規定に準じて求めた本試験における活性度指数を図-13~15に示す。JIS規格を満足したのは既報⁵⁾のとおりIII種の材齢7日だけであったが、材齢365日ではI種で置換率50%、II種で置換率30%、III種で置換率10%の活性度指数が100%を超えている。VGPはシリカフェーム代替として期待されたため、JIS A 6209の活性度指数は材齢28日までの規定と推察しているが、前述のVGPの長期強度発現性を考慮すれば現JIS規定を満足しないVGPについてもシリカフェーム代替に限らず様々な利用できる可能性があると考えられる。

表-6 活性度指数 (%) の規定値

| VGP種類 | I種 | II種 | III種 |
|-------|-------|-------|------|
| 材齢7日 | 100以上 | 95以上 | 90以上 |
| 材齢28日 | 105以上 | 100以上 | 95以上 |

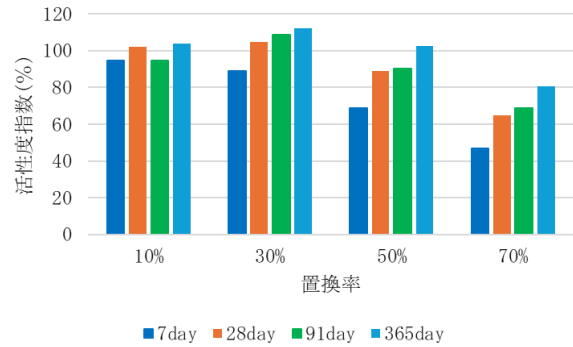


図-13 I種の置換率と活性度指数 (W/B=30%)

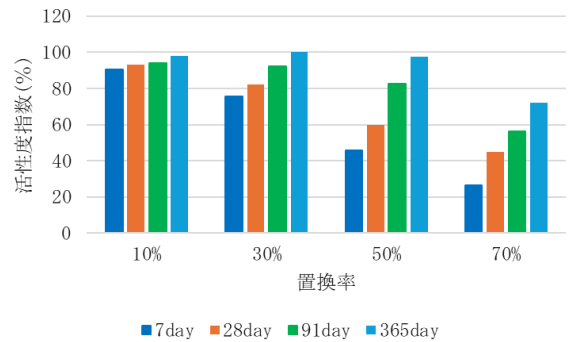


図-14 II種の置換率と活性度指数 (W/B=30%)

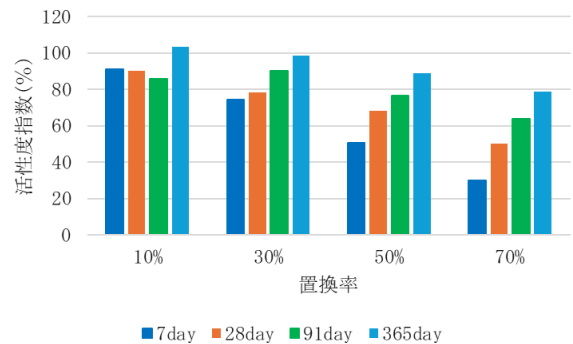


図-15 III種の置換率と活性度指数 (W/B=30%)

3.3 簡易断熱試験

簡易断熱試験結果を図-16~18に示す。セメント単味の最高温度はW/B30, 40, 50%の順に79.1℃, 66.2℃, 46.0℃となり、「マスコンクリートのひび割れ制御指針」の断熱温度上昇量推定式から算定した137.6℃, 110.8℃, 95.6℃に対して60~50%程度しか温度上昇していない。本試験装置の断熱効果は想定よりも小さかった。

最高温度はVGP種類にかかわらず置換率10%ではセメント単味と同程度で、置換率50%では15~35℃も低くなった。最高温度到達材齢は、W/B30%で置換率10%の場合、セメント単味と同程度であるが、その他はVGP種類、置換率に関わらずセメント単味よりも遅くなった。W/Bに関わらずIII種のVGPで50%まで置換するとセメント単味と比較して最高温度が半分以下となり、発生する温度応力はかなり低減できる。強度発現が遅く初期のひび割れに対して不利になるものの、弾性係数の発現も

遅いため発生応力は小さく、長期にわたり問題となる外部拘束ひび割れは、最高温度の依存性が大きいいため、高い温度ひび割れ抑制効果が期待できると考える。

最高温度と材齢毎の圧縮強度の関係をその回帰直線と相関係数の2乗と共に図-19に示す。材齢7日では非常に高い相関があるが、材齢91日になると相関は低く、材齢28日程度までの強度発現は数日内の発熱反応によるものが主体で、材齢とともに徐々にVGPのポズラン反応の強度発現への寄与が高まると推察される。

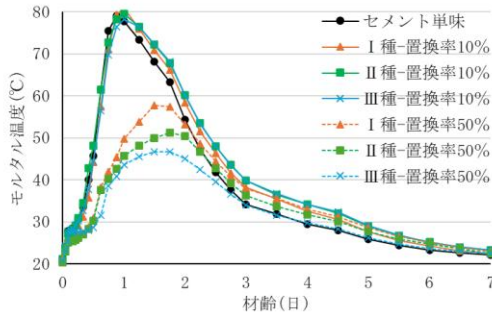


図-16 簡易断熱試験結果 (W/B=30%)

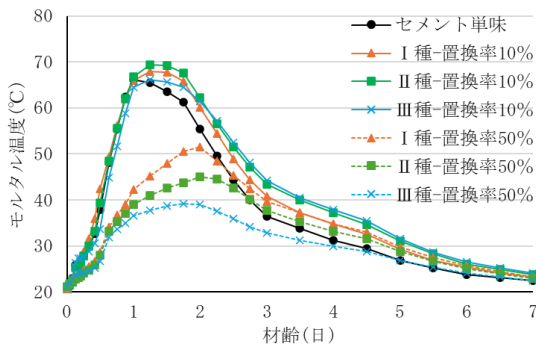


図-17 簡易断熱試験結果 (W/B=40%)

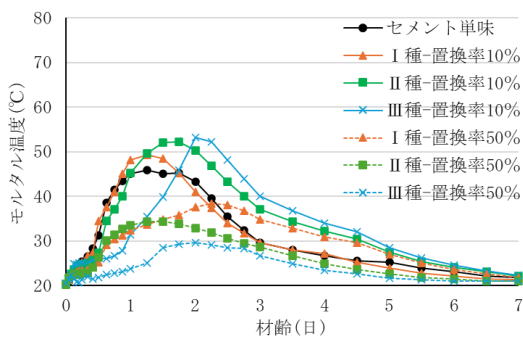


図-18 簡易断熱試験結果 (W/B=50%)

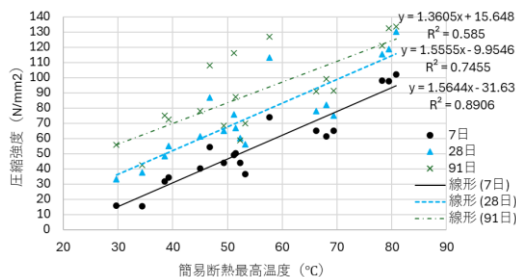


図-19 簡易断熱試験最高温度と圧縮強度

4. まとめ

本実験範囲において以下のとおりと考える。

- 1) W/B と VGP 種類に関わらず VGP を混和したモルタルは材齢 365 日まで強度が継続して増進している。
- 2) W/B30%置換率 10%III種を除き、W/B と VGP 種類に関わらず VGP 置換率 30%までは、材齢 91 日でセメント単味の材齢 28 日強度と同等以上となる。
- 3) 最高温度はセメント単味と比較して VGP 種類にかかわらず置換率 50%では低くなった。
- 4) 最高温度到達材齢は、W/B30%置換率 10%以外、VGP 種類、置換率に関わらずセメント単味よりも遅くなった。
- 5) W/B や VGP 種類と置換率に関わらず簡易断熱最高温度と材齢 7 日強度には高い相関がある。

5. おわりに

今後、材齢 730 日の強度や空隙構造他の物性も取得し、VGP の有効活用をコンクリートの性能向上、環境負荷低減の観点から研究していく。

謝辞

大建工業株式会社様から VGP 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: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp. 255 - 260, 2018
- 2) 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, セメント・コンクリート論文集, Vol.73, pp. 465 - 460, 2009
- 3) 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/jgli_01.pdf 2024.4.1, (閲覧日: 2024 年 12 月 31 日)
- 4) 友寄篤, 野口貴文, 袖山研一, 東和朗: 火山ガラス微粉末の利用による環境負荷低減効果に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp. 137 - 142, 2020
- 5) 蔵谷乙矢, 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