

## 養生方法の異なるジオポリマーモルタルの長期における強度発現特性

### Long Term Strength Characteristics of Geopolymer Mortar with Different Curing Methods

○周藤 将司\*, 三代 龍之輔\*\*

SUTO Masashi and MISHIRO Ryunosuke

#### 1. はじめに

ジオポリマー (GP) は、セメントを使用しない固化体として近年注目されている建設材料である。GP を建設材料として用いるためには、材料特性を明らかにしておく必要がある。GP に関する研究としては、材料や配合の違いによる強度発現特性に関するものが多く、その他には耐久性に関する研究<sup>例え 1)</sup>が行われている。しかし、長期材齢における強度発現特性に着目した研究は少なく、長期材齢において配合や養生方法が強度発現特性にどのような影響を与えているのかは明らかになっていない。

そこで、本研究では、GP モルタルの長期にわたる強度発現特性を明らかにすることを目的として研究を行った。著者らの既往の研究<sup>2)</sup>では、高炉スラグ微粉末を添加した配合で、初期の蒸気養生の有無による強度発現性を確認した。その結果、蒸気養生を施すと初期の強度発現は良好であるものの、その後の材齢を経ることによる強度増進は小さいことなどを明らかにした。本研究では、配合や養生方法の種類を増やし、試験材齢も半年までとして、GP モルタルの圧縮強度の発現性を確認した。

#### 2. 研究概要

本研究で作製した GP モルタルの配合を Table 1 に示す。活性フィラーは、JIS フライアッシュ II 種 (FA) をベースとし、FA に高炉スラグ微粉末 (BFS) を体積内割り度で 0, 10, 20, 30% 置換した配合でモルタルを作製した。なお、表中の質量は GP モルタル 1L を作製するために必要な量を示している。練混ぜには、卓上モルタルミキサー (最大練混ぜ容量: 15 リットル, 主軸回転数: 37rpm, 副軸 111rpm) を用いた。練混ぜ後は、φ50×100mm の円柱型枠に 2 層に分けて打設し、打設後直ちにラップして封緘状態として養生を開始した。

養生方法を Table 2 に示す。Case 1 と Case 2

Table 1 配合表  
Mix proportion of geopolymer mortar

BFS 置換率 (%)	活性フィラー		アルカリ溶液		W	S
	FA	BFS	WG	NaOH		
0	516	0				
10	464	72				
20	413	143	155	52	141	1297
30	361	215				

(単位: g)

FA: JIS フライアッシュ II 種, BFS: 高炉スラグ微粉末 (粉末度 4000, 石こう無し), WG: 1 号水ガラス, NH: 水酸化ナトリウム水溶液 (10mol/L), W: 上水, S: セメント強さ試験用標準砂

Table 2 養生条件  
Curing condition

Case 1	実験室内で気中養生 (室温 20~25°C)
Case 2	60°C, 95% R.H., 温度上昇勾配 20°C/h、 等温保持時間 24h で蒸気養生 → 実験 室内で気中養生
Case 3	水中養生 (水温 20°C, 材齢 3 日から開始)

の養生期間中の供試体は、常に封緘状態であり、強度試験直前に脱型した。Case 3 の供試体は、材齢 3 日で脱型して養生を開始した。なお、Case 3 では水の循環は行っておらず、養生槽内の pH は供試体浸水後、程なくして 13 程度の値を示し、それ以降は pH の値は変動しなかった。なお、BFS 無置換の配合では、Case 3 の試験を実施していない。試験材齢は、1, 7, 14, 28, 56, 91, 182 日であり、試験時にはアンボンドキャッピングを用いて圧縮強度試験を実施した。

#### 3. 結果と考察

圧縮強度試験結果を Fig.1 に養生条件ごとに示す。Case 1 と Case 3 では、初期の強度は小さいものの、材齢を経るごとに強度が増進していることが分かる。一方、Case 2 では、初期の強度発現は良好であるが、材齢に伴う強度の増進

\*松江工業高等専門学校 環境・建設工学科, Department of Civil and Environmental Engineering, National Institute of Technology, Matsue College, \*\*松江工業高等専門学校専攻科 生産・建設システム工学専攻, Advanced Production and Construction Systems, National Institute of Technology, Matsue College, キーワード: ジオポリマー, 蒸気養生, 圧縮強度

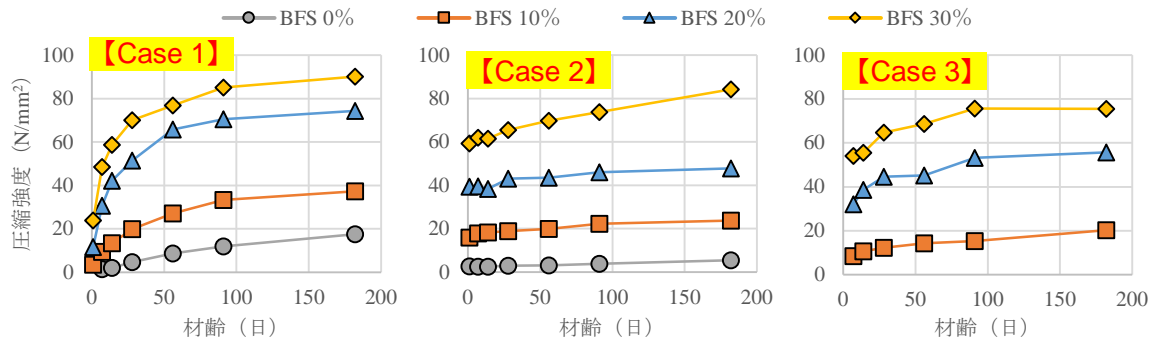


Fig.1 養生条件と圧縮強度の関係  
Relationship between curing conditions and compression strength

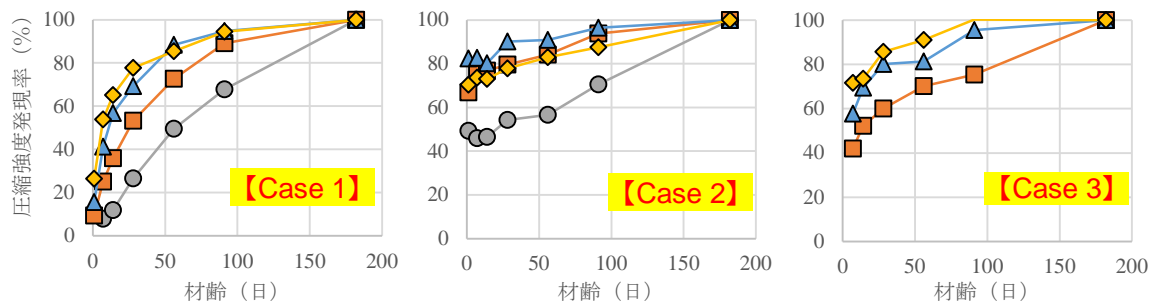


Fig.2 材齢による圧縮強度の発現率  
Compressive strength development ratio by material age

は少ないことが分かる。GP 反応は常温では比較的緩慢に進行するため、一般的に、蒸気養生によって初期の強度発現を促す。ここで、Case 1 の圧縮強度が Case 2 と同等になる試験材齢は、概ね 28 日であった。この日数は、BFS 置換率に関係なく、同様であることが明らかになった。

Fig.2 に材齢 182 日の圧縮強度を基準とした場合の材齢による強度発現率を示す。結果より、Case 1 と Case 3 では、BFS 置換率が小さいほど、緩やかに強度発現する傾向が確認された。Case 1 と Case 2 の結果から、特に BFS 無置換の配合では初期の強度発現が鈍く、材齢とともに緩やかに強度発現を得ている。無置換の配合は、GP 反応のみに強度発現を依存しており、このことから、GP 反応が水和反応よりも緩慢な強度発現性を有していることが分かる。

Case 3 の水中養生は、Case 1 と比較して小さい強度であった。養生槽内の pH が高いことから、GP モルタルからアルカリ分が溶け出していることは明らかである。したがって、GP モルタルのアルカリ濃度が低下したことが、強度が低下した要因であると言える。また、BFS 置換率が高いほど Case 1 との差が小さくなる傾向を示した。これは、BFS のカルシウム分による

水和反応が生じているためである。

#### 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 気中養生した供試体の圧縮強度が、初期に蒸気養生を施した供試体の圧縮強度と同等になるのは、概ね材齢 28 日時点である。これは BFS 置換率に関係しない。
- (2) BFS を使用しない配合は、使用する配合と比較して初期の強度発現は鈍く、その後徐々に強度発現する。これは、養生方法に関係しない。
- (3) 水中養生では、気中養生と比較して強度が小さい。これは、アルカリ分の溶出によるものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 合田寛基ら：フライアッシュ II 種を用いたジオポリマーの材料特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.37, No.1, pp.1993-1998, 2015
- 2) 周藤将司，三代龍之輔：養生方法とジオポリマーの硬化時に生じる生成物に関する実験的検討，平成 30 年度農業農村工学会講演要旨集，pp.594-595, 2018