

# アルカリ溶液中のアルカリ水比がジオポリマーモルタルの圧縮強度特性に及ぼす影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○伊東 奈月 九州工業大学大学院 正会員 合田 寛基  
AGC エスアイテック株式会社 非会員 井上 真樹 九州工業大学大学院 正会員 日比野 誠

## 1. はじめに

J.Davidovitz が提唱したジオポリマー(GP)は、フライアッシュ(FA)や高炉スラグ微粉末(BFS)といった産業副産物を活性フィラーとしていることから、環境負荷低減性に優れた建設材料として注目されている。国内では、GP に関する複数の研究委員会が設立され、フレッシュ性状、力学特性、耐久性等について多くの研究成果が集約されている。現時点で複数の実用事例が報告されている一方、建設材料として多岐にわたる要求性能に応える上で、材料特性を反映した配合設計法の確立が重要であると考えられる。

これまでに BFS の活性フィラー中の混和率(BFS/P)やアルカリ水比(A/W)が GP モルタルの強度特性に及ぼす影響が報告されているが、局所的あるいは限定的な検討に留まっている。配合設計を見据えた GP モルタルの特性の評価に対して、更なる検討を要している。

そこで本研究は、GP の配合設計手法の確立を目標とした基礎研究として、A/W をパラメータとしたアルカリ溶液を作製し、アルカリ溶液の特性が GP モルタルの強度特性に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料と配合

表-1 に使用材料、表-2 に配合例を示す。アルカリ溶液(AS)は汎用アルカリ溶液(AS0 : アルカリ水比(A/W=0.11))に水酸化ナトリウム(SO)または精製水(W)を添加して調整した。A/W は 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.11, 0.13, 0.15, 0.17, 0.19 の 9 水準、BFS/P は 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 の 4 水準とした。溶液粉体比(AS/P)は 0.57 とした。粉体と細骨材の質量比は、1:2.2 とした。

### 2.2 供試体作製方法と養生方法

ホバート型ミキサ(容量 2L)を用いて、1 バッチあたり 0.6L のモルタルを作製した。AS と SO および W は事前に混合し、マグネチックスターラーで攪拌した。練混ぜ方法は、FA, BFS と細骨材を入れて 30 秒間空練りし、溶液を入れて 1 分間練り混ぜ、搔落し後、さらに 1 分間練混ぜを行った。供試体は円柱供試体(φ50×100mm)とし、打込み後に封緘処理を行った。

表-1 使用材料

使用材料	記号	密度(g/cm <sup>3</sup> )	備考
アルカリ溶液(汎用)	AS0	1.37	A/W=0.11
フライアッシュ	FA	2.26	FAII 種
高炉スラグ微粉末	BFS	2.91	石こう無
細骨材	S	2.56	海砂
水酸化ナトリウム	SO	2.13	顆粒

表-2 配合例

記号	AS0	FA	BFS	S	W	SO
	kg/m <sup>3</sup>					
0.070-10	222.7	502	56	1228	95.3	0
0.11-20	329.0	462	115	1270	0	0
0.15-30	313.9	408	175	1284	0	19.1
0.19-40	298.7	354	23	1298	0	37.3

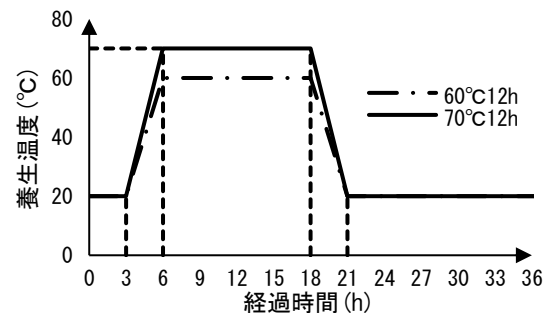


図-1 加温養生条件

養生方法は、プログラム式恒温機を用いた加温養生(最高温度 60°C or 70°C, 保持時間 12 時間)とした。

図-1 に加温養生の温度勾配を示す。

圧縮強度試験は JIS R5201 に準拠(材齢は 1 日)した。

## 3. 実験結果および考察

図-2 に A/W と圧縮強度の関係を示す。60°C/12 時間で加温養生をした GP モルタルは、A/W の増加に伴い圧縮強度も増加しているが、BFS/P > 0.20, A/W > 0.11 において、収束傾向が見られる。圧縮強度の最大値は、BFS/P=0.40, A/W=0.19 で、約 60N/mm<sup>2</sup>を示した。

70°C/12 時間で加温養生をした GP モルタルについても、A/W の増加に伴い、圧縮強度も増加している。一方で、BFS/P=0.10 では A/W=0.19 まで強度が概ね比例

増加し、最大で約 62N/mm<sup>2</sup>であった。70°C12 時間で加温養生をした GP モルタルにおける圧縮強度の最大値は、BFS/P=0.40, A/W=0.19 で約 85N/mm<sup>2</sup>を示した。

図-3 に各 A/W 間の圧縮強度の増加割合を示す。同一 BFS/P, 養生条件において、最小の A/W (養生温度 60°Cは A/W=0.08, 70°Cは A/W=0.06) から A/W=0.17 までの圧縮強度増加量を 100%とし、増加割合を求めた。BFS/P=0.10 では、A/W=0.15~0.17 間の高 A/W において、養生温度の影響が顕著である。養生温度 60°Cでは高 A/W となると強度増加割合が極めて小さくなるが、70°Cでは一定の強度増加割合を示す。一方で、BFS/P=0.30 では、A/W=0.08 以下の低 A/W において養生温度の影響が顕著であり、養生温度が高いと低 A/W における強度増加割合も大きい。

図-4 に 70°C12 時間で加温養生をした場合の BFS/P と圧縮強度の関係を示す。BFS/P の増加に伴い、A/W=0.06 では比例増加を示す。一方、A/W=0.06 以外では、A/W が大きくなるに伴って強度増加の割合が減少する。

上記の結果より、A/W が小さいとき、BFS 由来のケイ酸カルシウム水和物(C-A-S-H)の生成が支配的となるため、BFS/P が強度発現に寄与すると推察される。

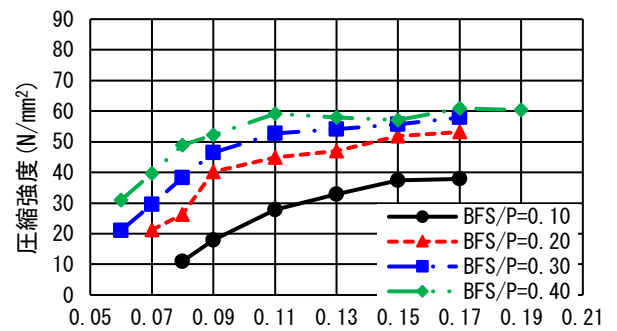
一方で、A/W が大きいときは、BFS/P が小さくても BFS と FA で生成される硬化体組織全体が十分な強度を発現する。FA の縮合重合反応は高 A/W の溶液により、FA 中の Si や Al を溶出させ、ケイ酸ナトリウム水和物(N-A-S-H)を生成すること、吸熱反応に必要な熱を供給することが重要である。つまり、BFS/P=0.10 でも、高 A/W の溶液と 70°Cの加温養生により、前文の条件が満たされ、N-A-S-H, C-A-S-H 双方の硬化体組織が高強度化すると考えられる。

本実験の A/W と BFS/P をパラメータとした強度の比較により、GP の配合設計における知見が得られたと考えられる。GP モルタルは Ca 由来の硬化体を減らすことにより、セメント硬化体と異なる特徴を活かすことができ、GP 特有の材料特性、適用分野の展開につながると考えられる。

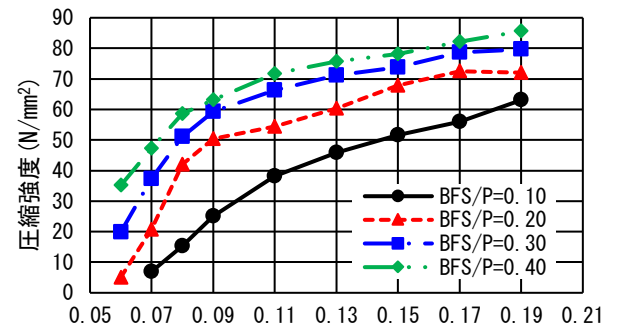
4. まとめ

本実験条件下で得られた知見を以下に示す。

- (1) 活性フィラーの強度発現に関して、A/W が小さいと BFS による強度発現が支配的である一方、A/W が大きくなると FA による強度発現も顕著になる。



(a) 加温養生条件 60°C12 時間



(b) 加温養生条件 70°C12 時間

図-2 アルカリ水比と圧縮強度

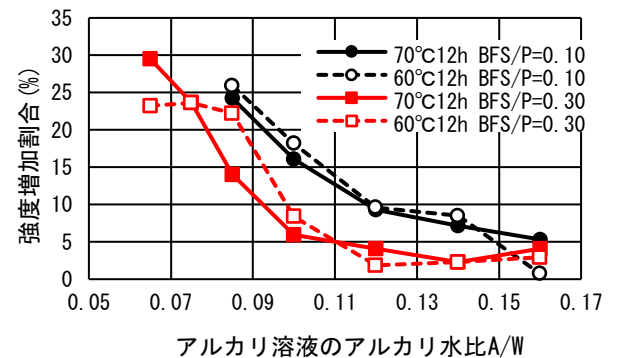


図-3 最小 A/W~A/W=0.17 の強度増加量に対する各 A/W 間の強度増加割合

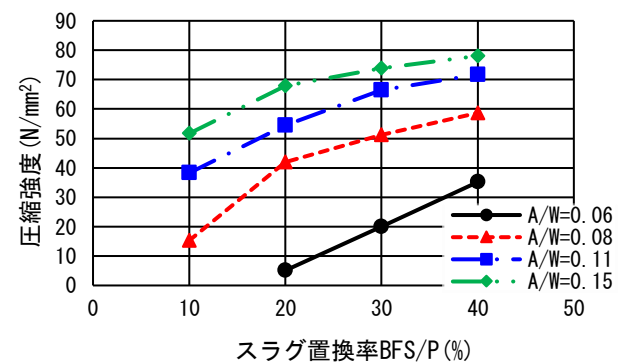


図-4 高炉スラグ微粉末の置換率 BFS/P と圧縮強度

- (2) A/W=0.19 の高 A/W のアルカリ溶液と 70°C以上の高温での加温養生により、低 Ca 量の BFS/P=0.10 においても 60N/mm<sup>2</sup> 以上の強度発現が可能となる。