

## 高炉セメントの自己収縮に及ぼすスラグ化学組成の影響

前橋工科大学 学生会員 ○飯沼 祐介  
前橋工科大学 正会員 佐川 孝広

## 1. 研究の背景・目的

建設産業での CO<sub>2</sub> 排出量低減などの利点から、高炉セメントの利用拡大が期待されている。一方で高炉セメントを使用したコンクリートは著しいひび割れが見られる場合とそうでない場合があり、高炉セメントの銘柄等の相違により自己収縮特性が大きく異なることが指摘されている。しかし、メカニズムに基づき体積変化を評価する知見は少ない。

そこで本研究は、高炉セメントの自己収縮に及ぼすスラグ化学組成の影響を評価し、体積変化の少ない高炉セメントの材料設計を目的とする。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料と配合

試験は JIS A 6206 で示される塩基度(CaO+MgO+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/SiO<sub>2</sub>(CMA/S)が 1.73~2.03 の広範な化学組成の高炉スラグ微粉末(BFS)6種類を用いたモルタルによって行った。化学組成は表 1 に示す。配合は普通ポルトランドセメント(55%)、BFS(45%)、無水石膏(SO<sub>3</sub>)は BFS の内割置換とし、SO<sub>3</sub>換算で 2%とした。水結合材比 35%、5号珪砂を細骨材比 1.0、ポリカルボン酸塩系減水剤を流動性の調整のため、結合材の外割 0.05%用いた。また、各 BFS のブレン粉末度は 4,200cm<sup>2</sup>/g 程度に調整した。

## 2.2 自己収縮の測定

自己収縮の測定は φ50 x 100mm の円柱供試体を作製して行った。試験体を作製する際、型枠とモルタルの間に生じる摩擦を低減するために、型枠の内側に

表 1 高炉スラグ微粉末の化学組成 (%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	CMA/S
A	33.16	15.23	0.45	42.09	7.12	0.82	1.94
B	32.66	15.50	0.79	42.56	6.61	0.75	1.98
C	35.55	13.31	1.33	43.13	5.07	0.58	1.73
D	33.58	14.63	0.59	43.74	5.53	0.50	1.90
E	34.53	15.17	0.39	41.65	6.36	0.60	1.83
F	32.26	14.84	0.73	43.67	6.98	0.45	2.03

テフロンシートを敷いた。その後、型枠の中心部に埋込型ひずみゲージ(弾性係数 2.75GPa)を設置した。ゲージはモルタルの水分を吸い、測定に影響を与えるため、24 時間水に浸漬処理を行い使用した。ゲージが設置された型枠内にモルタルを打ち込み後、直ちにパラフィルムで蓋をし、水分の蒸発を防ぐためアルミテープを用いて密閉した。その後、20°Cの恒温槽に静置し、所定の材齢まで測定を行った。

## 3. 実験結果と考察

## 3.1 自己収縮の測定結果

材齢初期の自己収縮の測定結果を図 1 に示す。実験で使用したゲージは弾性係数が大きく、材齢初期での測定ができないため、測定から約 14 時間後、各供試体の最大膨張時以降の収縮ひずみを自己収縮ひ

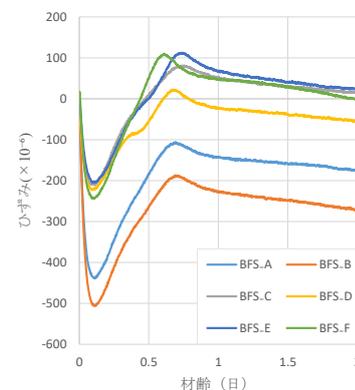


図 1 材齢初期の自己収縮ひずみ

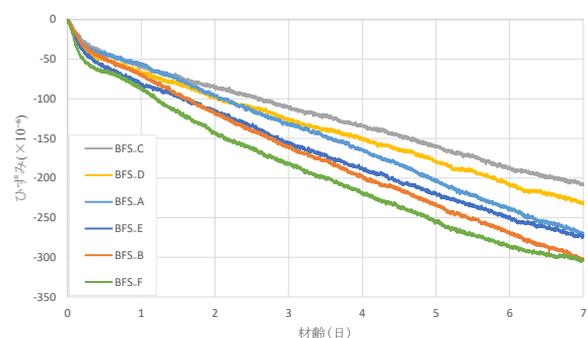


図 2 自己収縮ひずみの測定結果

キーワード 高炉セメント, 自己収縮, 塩基度, 化学組成

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1 前橋工科大学 TEL : 027-265-0111 E-mail : m1541003@maebashi-it.ac.jp

表 2 化学組成と自己収縮ひずみの寄与率

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	CMA/S	A/S	MA/S
R <sup>2</sup>	0.68	0.69	0.24	0.06	0.78	0.04	0.70	0.81	0.86

表 3 水和生成物と自己収縮ひずみの寄与率

	AFt7d	AFm7d	HT28d
R <sup>2</sup>	0.08	0.83	0.80

ずみとして整理した。自己収縮の測定結果を図 2 に示す。凡例は、材齢 7 日での自己収縮ひずみの順にした。各 BFS では自己収縮ひずみの経時変化が異なることがわかる。試験体の配合は同一であり、水セメント比、SO<sub>3</sub> 量等の影響ではなく、BFS の化学組成の相違による自己収縮ひずみの差であると確認された。

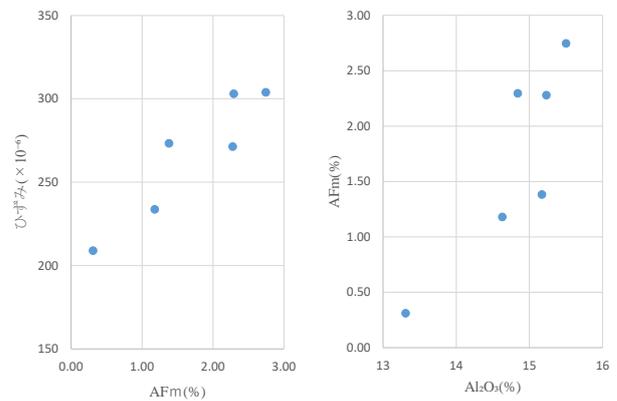
### 3.2 化学組成と自己収縮ひずみの関係

化学組成と材齢 7 日の自己収縮ひずみの回帰分析を行い、その寄与率(R<sup>2</sup>)を算出したものを表 2 に示す。SiO<sub>2</sub> (逆相関)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO と相関が高いことが分かる。一方で CaO との相関はないことが確認された。化学組成の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と MgO の割合が高く、SiO<sub>2</sub> の割合が低い BFS ほど自己収縮ひずみが大きくなる傾向があると考えられる。

また、CMA/S との相関が高いことが確認されたが、その中の CaO との相関がないことから、CaO を除いた場合の寄与率を算出した。その A/S と MA/S の寄与率は CMA/S より高くなった。このことから、一般に BFS の水和活性は JIS の塩基度である CMA/S にて評価されるが、自己収縮の観点からは CaO 量に対して Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や MgO 量の寄与が大きく、同一の塩基度の場合でも Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や MgO 量が少なく、CaO 量の多い BFS 組成が望ましいと考えられる。

### 3.3 水和生成物と自己収縮ひずみの関係

本実験で使用した BFS6 種類は文献 1) で研究された試験材料と同じであり、そこで得られた水和反応解析の結果を使用した。材齢 7 日での水和生成物と自己収縮ひずみの寄与率を前述と同様に算出した。表 3 に結果を示す。その中で、モノサルフェート (AFm) との相関が高いことが確認された。AFm 生成量と自己収縮ひずみの関係を図 3 に示す。既存の研究でセメント中のエトリンサイト (AFt) が AFm に転化することにより体積減少が起きる<sup>2),3)</sup>と言われて

図 3 AFm 生成量とひずみ 図 4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と AFm

いる。そのため、AFm 生成量が多いと自己収縮ひずみも大きくなると考えられる。また、図 4 に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と AFm の関係を示す。AFm と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の相関が高いことが分かる。BFS の化学組成 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の含有量が多いと、AFm 生成量も多くなると考えられる。結果として、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の含有量が多いと AFm の生成量が多くなり、自己収縮ひずみが大きくなると考えられる。

## 4. まとめ

本研究では、体積変化の少ない高炉セメントの材料設計を目的とし、JIS 塩基度が 1.73~2.03 の広範な化学組成の高炉スラグ微粉末(BFS)を用い、自己収縮ひずみを求めるとともに、化学組成、水和物組成との評価を行った。以下に得られた結果をまとめる。

- (1) BFS 組成の相違により自己収縮特性が異なる。
- (2) 自己収縮の観点からは同一の塩基度の場合、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や MgO 量が少なく、CaO 量の多い BFS 組成が望ましいと考えられる。
- (3) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量が多いと AFm 生成量が多くなるため、自己収縮ひずみが大きくなることが推察される。

## 参考文献

- 1) 佐川孝広ほか：高炉スラグ微粉末の塩基度と水和物組成，第 72 回セメント技術大会講演要旨 2018，pp.72-73
- 2) 原田克己ほか：高炉セメント使用コンクリートの高温化における歪み特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，2001，pp.901-906
- 3) 寺野宜成ほか：収縮低減剤の使用および石膏量が自己収縮ひずみに及ぼす影響について，コンクリート工学年次論文集，Vol.21，No.2，1999，pp.727-732