

## スラグ化学組成の異なる高炉セメントの自己収縮に及ぼす無水石こうの影響

前橋工科大学 学生会員 ○横瀬 莉緒 前橋工科大学 正会員 佐川 孝広

## 1. 目的

高炉セメントは、産業副産物の有効利用、CO<sub>2</sub>排出量削減の観点から利用拡大が望まれている。しかし、高炉セメントを使用したモルタルの自己収縮はセメントの銘柄により大きく異なることが指摘されているが<sup>1,2)</sup>、そのメカニズムは明確になっていない<sup>3)</sup>。そこで本研究では、スラグ化学組成の異なる高炉スラグ微粉末(BFS)2種類を用いて作製した高炉セメントの、40°Cでのモルタルの自己収縮を測定し、BFS化学組成や石こう(以下SO<sub>3</sub>)の混和量、水和生成物量との関係について検討した。

## 2. 実験概要

## 2.1 モルタル試験

自己収縮の測定には JIS 塩基度の異なる BFS2 種類、普通ポルトランドセメント(石灰石微粉末の混合なし)、無水石こうを用いて高炉セメント B 種相当のセメントを作製した。BFSの化学組成を表1に示す。BFSのSO<sub>3</sub>量は2%(A, D)および3.5%(A+CS, D+CS)、BFS置換率は45%、BFSの粉末度は概ね4,300cm<sup>2</sup>/gに調製した。比較用に市販高炉セメント B 種(BB)も用いた。モルタルの配合は、水セメント比 35%、5号珪砂を細骨材比 1.0 で用い、ポリカルボン酸塩系減水剤にて流動性を調整した。自己収縮の測定は、既往の研究を参考にφ50×100mm試験体を用い、埋込型ひずみゲージ(弾性係数 2.75GPa)を用いて測定した。モルタルと型枠面との摩擦を除去するために底面および側面にフッ素樹脂シートを設置し、モルタルの打設後、水分逸散を防ぐためにパラフィンフィルムにて被覆しアルミニウムテープで封緘した。測定環境は40°C一定の封緘とした。また、同一養生条件で材齢28日の圧縮強度試験を行った。

表1 高炉スラグ微粉末の化学組成

	Chemical composition(%)						Basicity
	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	33.2	15.2	0.45	42.1	7.12	0.82	1.94
D	33.6	14.6	0.59	43.7	5.53	0.50	1.90

## 2.2 ペースト試験

BBを除き、モルタルと同一水セメント比のペースト硬化体を作製し、粉末 X 線回折(XRD)および強熱減量の測定を行った<sup>4)</sup>。ペーストは4×5.5cmのチャック付きポリ袋で約3mm厚の薄板状に成型し、材齢24時間で脱型後、チャック付きポリ袋に少量の水と共に密封した40°Cの水中養生を行った。測定材齢は3, 7, 28, および91日とした。

材齢の経過した試料は、多量のイソプロパノールにて水和停止後真空脱気し、40°C24時間の乾燥を行った。乾燥後の試料は遊星ミルにて微粉碎を行い、900°C30分の強熱減量およびXRD測定を行った。また、ペースト試料の表乾質量から40°Cおよび105°C24時間乾燥質量の減量を吸水率として測定し、ペーストの理論配合と強熱減量から硬化体の毛管空隙、ゲル空隙を算定した。

## 3. 実験結果および考察

## 3.1 自己収縮の測定結果

図1に材齢初期の長さ変化を、図2に自己収縮ひずみの測定結果をそれぞれ示す。凡例は材齢3, 28日での長さ変化の順に並び替えた。材齢初期の長さ変化は、ゲージとモルタルの弾性係数の差異から正確な測定は困難と考えられるが、既往の研究から初期膨張量の定性的な傾向を把握できるものと判断した<sup>2)</sup>。図1より、SO<sub>3</sub>量を増やすと初期の膨張量が增大することが確認されたが、自己収縮の硬化原点を最大膨張時と定義すると、この影響は加味されず、図2の通り自己収縮ひずみに及ぼすSO<sub>3</sub>量の影響は、AとDで異なった。したがって、自己収縮に及ぼすSO<sub>3</sub>量の影響について、モルタル圧縮強度やBFSの化学組成、水和反応の観点から検討することとする。

## 3.2 圧縮強度と自己収縮ひずみの関係

図3には材齢28日の圧縮強度と自己収縮ひずみの関係、図4には材齢28日の結合水量と自己収縮ひずみとの関係をそれぞれ示す。図3, 4より、自己収縮

ひずみと圧縮強度、結合水量に相関が見られた。結合水量はセメント水和反応の進行程度を表す物理量であることから、高炉セメントの反応性が高いほど自己収縮ひずみは大きくなる傾向にあると考えられる。

### 3. 3 水和生成物と自己収縮ひずみの関係

表 2 には材齢 28 日での自己収縮ひずみと同一材齢での水和生成物量の相関係数(寄与率  $R^2$ )、図 5、6 にはその関係の一部を示す。表 2 より、自己収縮ひずみは AFm, AFt, ハイドロタルサイト(HT)の個々の水和生成物量との相関は低いですが、これらを合算したアルミネート系水和物(CA)の生成量とは相関が高いことが確認された。また、BFS の水和反応に伴う CA と C-S-H の生成は相補的であり、CA 生成量が多いと C-S-H 生成量は少なくなる傾向にあるため、図 6 に示す通り、C-S-H 生成量と自己収縮ひずみの関係は逆相関となった。図 5 より、CA 生成量に及ぼす  $SO_3$  量の影響は、A に比較して D で大きい。したがって、 $SO_3$  量と CA 生成量との関係は BFS の化学組成によって異なり、そのことが自己収縮量にも影響を及ぼすと考えられる。

なお、材齢 28 日以降で A+CS, D+CS の自己収縮ひずみが停滞する傾向も認められ、より長期材齢で評価した場合、異なる結果が得られることも考えられる。

### 4. まとめ

高炉セメントの自己収縮に及ぼす石こう( $SO_3$ )量の影響は、最大膨張時を硬化原点と定義した自己収縮の場合、高炉スラグ(BFS)の化学組成により異なる。その原因は、 $SO_3$  量とアルミネート系水和物(CA)生成量との関係が BFS 化学組成により異なるため、 $SO_3$  量の変化で CA 生成量や結合水量、圧縮強度が増すと自己収縮ひずみが大きくなる。

### 参考文献

- 1) J.Ekaputri et al.:Autogenous Shrinkage of Mortars Made with Different Tyeps of Slag Cement, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.353-358, 2010
- 2) S.Suntharalingam and Y.Takahashi: Experimental study on autogenous shrinkage behaviors of different Portland blast furnace slag cements Constr Build

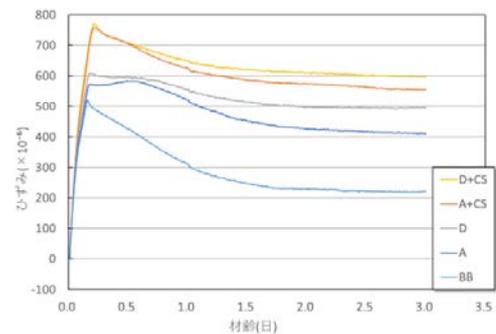


図 1 材齢初期での長さ変化

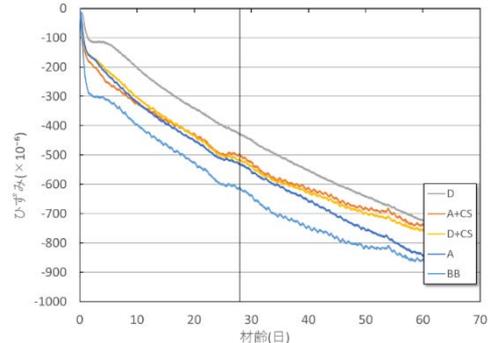


図 2 自己収縮ひずみ

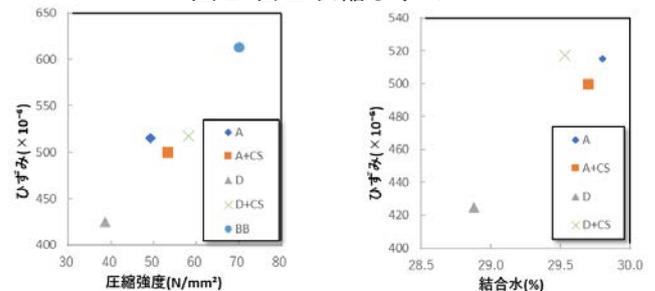


図 3 圧縮強度とひずみ

図 4 結合水量とひずみ

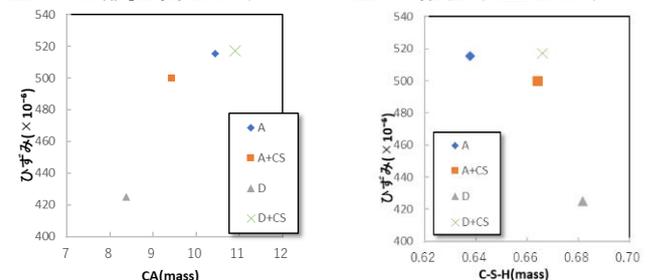


図 5 CA とひずみ

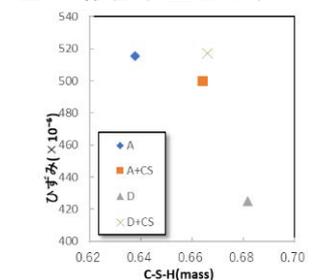


図 6 C-S-H とひずみ

表 2 水和物量と自己収縮ひずみの寄与率

28d	AFm	AFt	HT	CA(mass)	C-S-H(mass)
$R^2$	0.111	0.170	0.617	0.845	0.547

Mater, Vol.230, 2020

- 3) 佐川孝広, 須藤菜月:高炉スラグ微粉末の化学組成と養生温度が硬化体の自己収縮に及ぼす影響, 第 74 回セメント技術大会講演要旨, pp. 178-179, 2020
- 4) 佐川孝広:高炉スラグ微粉末の水和活性と体積変化に及ぼす化学組成の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No1, pp.131-135, 2019