

低塩基度高炉スラグを用いた高炉セメントの水和発熱速度と自己収縮

前橋工科大学 学生会員 ○篠原章浩
フェロー会員 佐川孝広

1. 研究の背景と目的

高炉セメントに用いる高炉スラグ微粉末(BFS)の反応性は、塩基度($\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3$)/ SiO_2 の値によって算定され、JIS規格では塩基度が1.6以上のものが用いられる¹⁾。現在、国内の高炉セメントに用いられるBFSは塩基度1.8程度であるが、今後の動向によっては塩基度が1.6以下のJIS規格を満たさない低塩基度BFSの使用が求められる可能性がある²⁾。

既往の研究では、低塩基度BFSを用いて作製した高炉セメントを用いて、ブレン、石こう量、石灰石微粉末の有無を変量として、圧縮強度や凍結融解抵抗性などの耐久性が評価されている。本研究では、これらに加えて同一のBFSを用いて水和発熱速度および自己収縮の測定を行い、低塩基度BFSの高炉セメントとしての利活用の方策を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

本研究では、高炉セメントのスラグ置換率は45%の高炉セメントB種(BB)相当とした。BBの材料構成は、 SO_3 で2%の無水石こう(CS)をBFSに内割置換した基準配合と、強度の改善を目的として SO_3 を3.5%、OPCに対して5%の石灰石微粉末(LSP)をBFSに内割置換した改良配合の2種類とした。図1に高炉セメントの材料構成を示す。上記の基準配合、改良配合のいずれも使用したBFSは、市販品(ブレン 4570 cm^2/g 、塩基度 1.90)及び低塩基度品(ブレン 4580, 5940 cm^2/g 、塩基度 1.45)の3種類とした。表1に使用材料と試料名を示す。

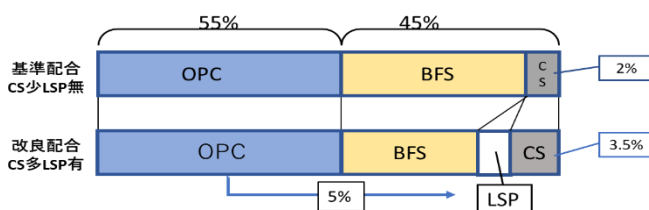


図1 高炉セメントの材料構成

表1 使用材料と試料名

	市販品4000	低塩基度品4000	低塩基度品6000
基本配合	BB-1	S4-1	S6-1
改良配合	BB-2	S4-2	S6-2

2.2 等温熱量計による水和発熱速度の測定

セメントペーストは、あらかじめ20℃で保管した上記6種類の高炉セメント、蒸留水を用いた。セメントペーストの水セメント比は50%とし、混練は20mlの円筒容器内にて、ボルテックスミキサーを用いて2分間行った。等温熱量測定装置に容器を設置後、発熱速度の測定を材齢7日まで行った。

2.3 自己収縮の測定

モルタルの配合は水セメント比35%、細骨材比1.0とし、細骨材は5号珪砂を用いた。自己収縮の測定はφ50×100mmの型枠を用い、モルタルと型枠面との摩擦を低減するために型枠の内側にフッ素樹脂シートを設置した。その後、埋込み型ひずみゲージ(弾性係数2.75 GPa)を型枠中心部に設置し、モルタルの打設後、水分逸散を防ぐためにパラフィル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20℃一定とし、所定の材齢まで測定を行った。

3. 実験結果および考察

高炉セメント中のOPC由来の発熱速度はOPC含有率に依存すると仮定し、(OPC単体の発熱速度)×(OPC含有率)の値を各高炉セメントの発熱速度から差し引いてBFS由来の発熱速度を求めた。図2に各高炉セメントのBFS由来の発熱速度を示す。BFS由来の発熱速度に現れている材齢6時間ほどのピークは、BFSの微粉末効果によりセメントの反応が促進されたものと考えられる。BFSが反応し始めるのは第2ピークが現れる材齢24~48時間であり、塩基度が低く粉末度も小さいS4が最も発熱速度が小さくピークが現れるのも遅くなった。また、基準配合と改

キーワード 高炉セメント, 塩基度, 水和発熱速度, 自己収縮

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1 TEL: 027-265-0111

良配合を比較すると、改良配合は第2ピークの発現が遅延し、発熱量は増大した。

図3に各高炉セメントの積算発熱量を示す。基準配合ではBBに比べて塩基度の低いS4・S6の積算発熱量が少なかった。しかし、改良配合ではS4・S6ともに発熱量は増大しS6はBBとほぼ同じ値になった。基準配合と改良配合を比較すると材齢24~48時間の間で改良配合が基準配合の発熱量を上回った。これは発熱速度の第2ピークが現れる時点と一致し、このことからBFSの反応が基準配合と改良配合の発熱量の差に影響していると考えられる。

図4に自己収縮の測定結果を示す。BB-1・BB-2に比べてS4-2・S6-2のひずみは小さくなった。BB-1とBB-2、S4-2とS6-2はそれぞれ同程度の自己収縮量であり、高炉セメントの配合よりも塩基度の影響が大きかった。

表2に圧縮強度と積算発熱量・自己収縮の寄与率を示す。積算発熱量は3日強度と、自己収縮は91日強度との寄与率が高くなった。

4. まとめ

- 1) BFSの微粉末効果には、混和するCSやLSPの影響は認められなかったが、BFSの塩基度や粉末度による影響が認められた。
- 2) 低塩基度BFSの反応性は低いが、配合の改良や粉末度を大きくすることで改善が認められた。
- 3) 積算発熱量と材齢3日のモルタル圧縮強度とに強い相関が認められた。
- 4) 高炉セメントの自己収縮は塩基度の影響が卓越した。また、材齢91日のモルタル圧縮強度と相関が認められた。

参考文献

- 1) 佐川孝広, 山本真奈海: 高炉スラグの化学組成が高炉セメントの硬化体特性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集 Vol.43, No.1, pp.107-112, 2021
- 2) 佐川孝広, 問島迅哉: 低塩基度高炉スラグの高炉セメントへの適用, コンクリート工学年次論文集 Vol.44, No.1, pp.106-111, 2022

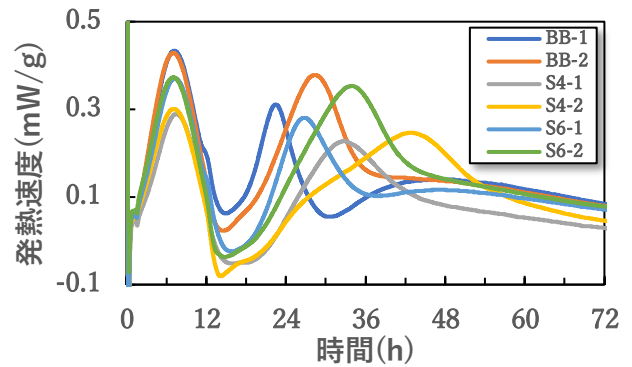


図2 各高炉セメントのBFS由来の発熱速度

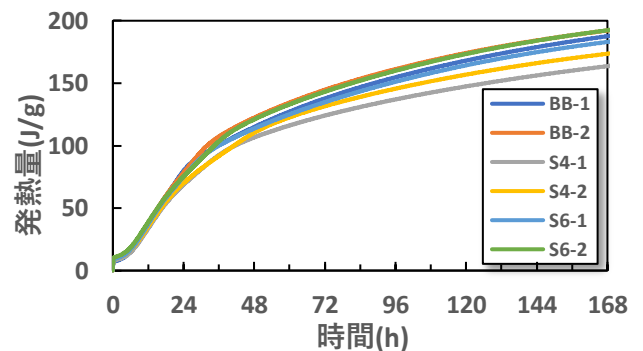


図3 積算発熱量

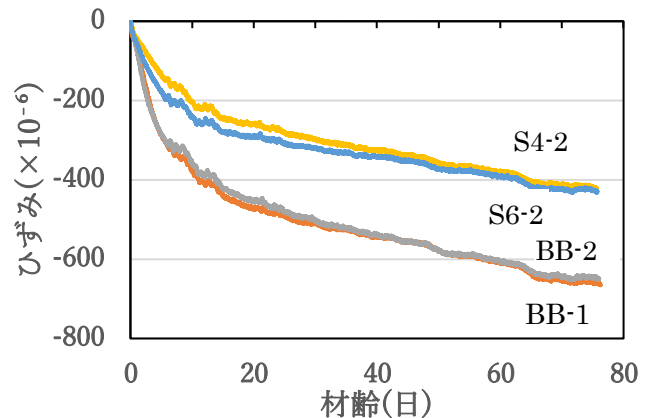


図4 自己収縮の測定結果

表2 圧縮強度と積算発熱量・自己収縮の寄与率

圧縮強度	積算発熱量			自己収縮
	2d	3d	7d	
3d	0.949	0.948	0.865	0.001
7d	0.640	0.624	0.524	0.318
28d	0.472	0.545	0.643	0.164
91d	0.685	0.728	0.762	0.795