

高炉セメントの水和発熱速度に及ぼす無水石こうと石灰石微粉末の影響

前橋工科大学 学生会員 ○清野 竜雅
前橋工科大学 フェロー会員 佐川 孝広

1. 研究の目的

高炉セメントは CO₂排出量の削減や、産業副産物の有効利用の観点から利用拡大が望まれている。また、高炉セメントは一般に長期強度発現性やアルカリシリカ反応の抑制に優れており、コンクリートの高性能化、高耐久化を可能とする材料でもある。一方で、高炉セメントを用いたコンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いたものと比べ、初期の強度発現が遅いことや自己収縮が大きくなる場合もあることが指摘されている¹⁾。

以上のようなコンクリートの硬化特性は、結合材であるポルトランドセメントや高炉スラグ微粉末の水和反応に強く依存していると考えられる。

本研究では、高炉セメント B 種相当のスラグ置換率において、無水石こうと石灰石微粉末量を変化させて水和発熱速度の測定を実施することで、これらの水和反応へ及ぼす影響について考察を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究では、普通ポルトランドセメント(OPC)、高炉スラグ微粉末 4000(BFS)、無水石こう(CS)及び石灰石微粉末(LSP)を用いて高炉セメントを作製し、水和発熱速度の測定を行った。高炉セメントの材料構成を表 1 に示す。

本研究の配合設計では、CS や LSP の混和が BFS の反応に及ぼす影響について主に議論を行うことから、BFS 量を固定する配合設計とした。なお、高炉セメントの JIS 規格では、SO₃量の上限值及び少量混合成分としての石灰石微粉末量の上限值が定められている。本研究での高炉セメントの材料構成では、LSP 量 4、6%、CS 量 6%の水準で高炉セメント B 種(BB)の JIS 規格を満足しないため、表 1 中の×印にて示した。

表 1 高炉セメントの材料構成

No	Composition(%)				SO ₃ (%)	JIS
	OPC	BFS	CS	LSP		
1	55	45	0	0	1.28	
2	53			2	1.23	
3	51			4	1.18	×
4	49			6	1.14	×
5	53		2	0	2.38	
6	51			2	2.33	
7	49			4	2.29	×
8	47			6	2.24	×
9	51		4	0	3.48	
10	49			2	3.44	
11	47			4	3.39	×
12	45			6	3.34	×
13	49		6	0	4.59	×
14	47			2	4.54	×
15	45			4	4.49	×
16	43			6	4.45	×

2.2 等温熱量計による水和発熱速度の測定

表 1 に示す高炉セメント 16 種類を調製し、水セメント比 50%のセメントペーストを作製した。セメントペーストの混練は、発熱速度の測定に使用する 20 mL の容器内にて、ボルテックスミキサにより 2 分間行った。等温熱量計に容器を設置後、発熱速度の測定を材齢 6 日(144h)まで行った。なお、使用材料は予め 20 °Cの恒温槽にて保管したものをを用いた。

3. 実験結果及び考察

3.1 発熱速度

本実験では、CS や LSP を OPC に置換しているため、測定した水和発熱速度の結果には OPC 混合割合の減少による影響も含まれている。そこで、依田らの研究^{2,3)}を参考に、測定された水和発熱速度から OPC と BFS の水和による発熱速度への分離を試みた。OPC のみの水和発熱速度の値に BB 中の OPC の混合

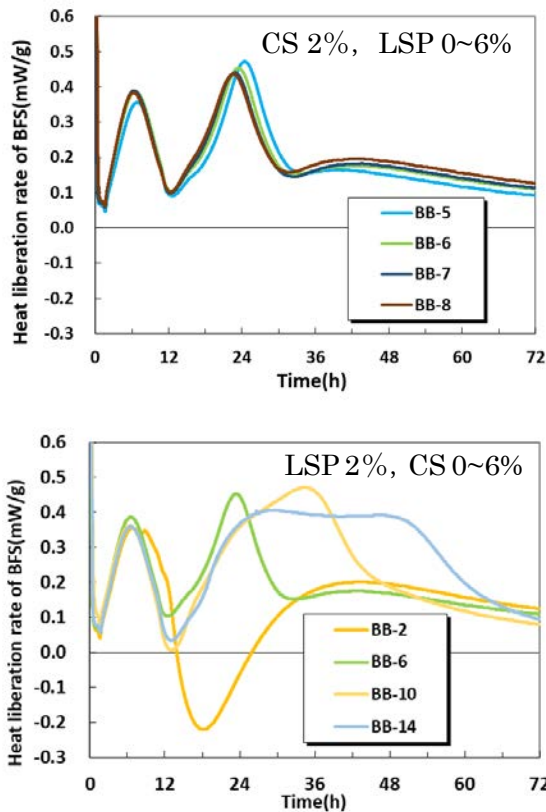


図1 BFSの水和による発熱速度

割合を乗じ、この値をBBの測定結果から減じることでBFSの水和による発熱速度を算定した。この手法の前提条件として、BB中のOPCによる積算発熱量はOPC混合割合に依存し、BFSが共存してもOPCの水和反応は影響を受けない仮定となる。

図1にBFSの水和による発熱速度の算定例を示す。材齢6h程度から発熱速度のピークが確認できるが、これはBFSの水和による発熱ではなく、算定時に考慮しなかったBFSの共存によるOPCの水和の促進によるものと考えられる。また、BB-2を除いて材齢24h程度から第2ピークの発現が確認できた。このピークはBFSの水和による発熱と考えられ、LSP量が増えることで第2ピークの発現が早まること、CS量が増えることで第2ピークの発現が遅れ、かつ、発熱量が増加することが確認できた。

3.2 積算発熱量

図2には、水和発熱速度と同様の手法で算定したBFSの水和による積算発熱量について、材齢72hと144hの関係をCSの混和量ごとに示す。同一の凡例内ではLSPの混和量が異なっており、それぞれの

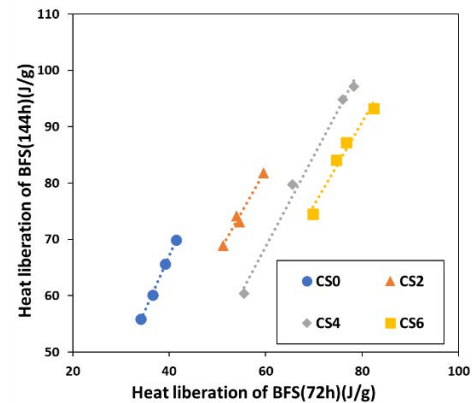


図2 積算発熱量の材齢72hと144hの関係

近似線の傾きは概ね等しいため、LSPの混和量の増加による材齢72hから144hの積算発熱量の増加率は、CSの影響を受けないと考えられる。また、CSについては、混和量が増加するほど近似線が図の右側に移動しており、CSの混和による積算発熱量の増加は、材齢72hまでの影響が顕著であると考えられる。

4. まとめ

- (1) BFSの水和反応において、混和するCS量が増えるほど発熱速度の第2ピークの発現が遅れ、発熱量は増加した。また、この発熱量の増加は、特に材齢72hまでの初期において顕著であった。
- (2) BFSの水和反応において、混和するLSP量が増えるほど発熱速度の第2ピークの発現が早まり、発熱量は増加した。また、この発熱量の増加率は、材齢144hまでほぼ一定であった。

参考文献

- 1) 岩波光保, 伊藤始, 皆川浩, 佐川孝広: コンクリート工学, 理工図書, p.22, pp.41-43, 2021
- 2) 依田侑也, 黒田泰弘, 新大軌, 坂井悦郎: 水和発熱量を用いた高炉セメント硬化体の強度推定, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp199-204, 2015
- 3) 依田侑也, 黒田泰弘, 新大軌, 坂井悦郎: 積算発熱量に基づく養生温度の異なる高炉セメントの反応が圧縮強度に及ぼす影響因子に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp195-200, 2016