

化学組成が異なる高炉スラグ微粉末が各種高炉セメント硬化体に及ぼす影響

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○宮崎 幹太
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

製鉄の際に産業副産物として発生する高炉スラグ微粉末（以下:GGBFS）はコンクリート混和材として広く使われている。一方、GGBFSの化学組成は製鉄に依存するため普通ポルトランドセメント（以下：OPC）のように製造時に化学成分を調整することは困難である。JISではGGBFSの反応性を推定する値として、塩基度（ $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ）が採用されている。

既往の研究¹⁾において、塩基度が異なるGGBFSを使用した高炉セメントB種（以下：BB）で自己収縮などに差異がみられることが報告されている。そして、GGBFSは高置換率での使用が可能であり環境負荷低減などの観点から研究が進められている。ただし、GGBFSの違いが高炉セメントC種（以下：BC）に及ぼす影響についての研究は少ない。本研究ではGGBFSの塩基度の違いが各種高炉セメント硬化体の物理特性および水和生成物に及ぼす影響の把握を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および試験体概要

表1に本研究で用いたモルタルの配合を、表2に今回用いた結合材の化学組成を示す。GGBFSはBFSL（塩基度1.75）とBFSH（塩基度1.83）を用いた。セメント中の SO_3 量は2%(BB,BC)、4.5%(BCのみ)としGGBFSに対して無水石膏を内割で添加した。高炉セメントの記号は「セメント種類(BB,BC)GGBFS種類(L,H)- SO_3 割合(2%,4.5%)」と表記する。

2.2 セメント硬化体物性の把握

モルタルを用いて圧縮強度試験および自己収縮測定

を実施した。圧縮強度試験はJIS R 5201に準拠し実施した。自己収縮測定は、供試体からの水分逸散を防ぐため、アルミテープによりシールし恒温恒湿室（室温:20±1℃, RH:60±5%）に静置し、材齢ごとに質量変化及び長さ変化を測定した。

2.3 XRD

塩基度の違いが水和生成物に与える影響を把握するためXRDにて実施した。エトリンガイト（以下：Aft）および経時によりAftが転移するモノサルフェート（以下：Afm）を内部標準法にて定量評価した。

3. 実験結果および考察

3.1 セメント硬化体物性

図1にOPCおよび各種高炉セメントの材齢28日における圧縮強度および自己収縮率の結果を示す。圧縮強度はいずれの配合においても、塩基度が高いほど高い強度発現を示した。高炉セメントの自己収縮の大きさは $\text{BC-2\%}>\text{BB-2\%}>\text{BC-4.5\%}$ となった。また、BB-2%において塩基度が高いほど自己収縮が大きくなった。一方でBCにおいては、塩基度の違いによる差は小さく、おおよそ同程度の自己収縮率となった。また、無水石膏を多く添加したBC-4.5%においては、材齢28日における自己収縮率はOPCと同程度となった。

表 1 配合表

	W (g)	OPC (g)	BFS (g)	CaSO ₄ (g)	S (g)
OPC	225.00	450.00			1350.00
BB-2%		225.00	217.35	7.65	
BC-2%		135.00	304.30	10.70	
BC-4.5%		135.00	280.60	34.40	

表 2 結合材の化学組成

	化学組成 (mass%)											塩基度	ブレン比表面積
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ig-loss		
OPC	21.28	5.09	3.15	65.36	1.01	0.32	0.41	0.25	0.14	0.1	0.84		
BFSL	35.22	14.21	0.69	41.95	5.48	0.16	0.26	0.74	0.04	0.24	0.05	1.75	4330
BFSH	34.52	14.65	0.36	43.25	5.13	0.15	0.21	0.6	0.01	0.14	0.18	1.83	4280

キーワード 高炉スラグ微粉末, 塩基度, 自己収縮, エトリンガイト, モノサルフェート

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 09R-32 芝浦工業大学 TEL : 03-5859-8356 E-mail : mc19089@shibaura-it.ac.jp

3.2 XRD

図2にAftの含有割合を、図3にAfmの含有割合を示す。材齢3日から7日にかけてAftが減少しそれに伴いAfmが増加していることがわかる。BB、BCいずれにおいても塩基度が高いほどAfmが生成されやすいことが分かった。

BB-2%は材齢3日から7日にかけてAftが減少し、Afmが増加した。特に、塩基度が高いBBH-2%はAfmの増加が顕著であった。また、材齢7日から28日においてAftおよびAfmの含有割合の変化が少なくなった。

BC-2%はBB-2%とは異なり材齢7日から28日におけるAftの減少が確認された。また、BC-2%よりSO₃量を増加させたBC-4.5%でAftの生成量が多くなった。

3.3 自己収縮と水和物の関係

図4に材齢7日から28日にかけてのAftの減少割合およびAfmの増加割合と材齢28日における長さ変化率の関係を示す。Aftの減少量が少ないほど自己収縮は小さくなりAfmの増加量が多いほど自己収縮が大きくなる傾向が確認できた。

BCはBBと比べAft生成量が多い一方で、長期にわたりAfmに転移するため、自己収縮が大きくなった。また石こうを添加することによりAftが初期において大量に生成され膨張が発生したため自己収縮が低減したと考えられる。

4. まとめ

- 1) GGBFSの置換率にかかわらず塩基度が高いほど高い圧縮強度発現性を示した。
- 2) BCでは、塩基度が自己収縮へ及ぼす明確な差異は認められなかった。
- 3) BB-2%において材齢7日以降でAftおよびAfmに大幅な変化が認められないことがBC-2%と比較して自己収縮が小さい原因と推察される。
- 4) BCは長期にわたりAftの減少とAfmの増加が確認された。これが長期間の自己収縮増加のメカニズムと推察される。また、石こうの添加によりAftが増加し自己収縮を低減できることが示唆された。

謝辞

本研究は日本スラグセメント・コンクリート研究会および鉄鋼スラグ協会の助成をいただいて実験を行いました。ここに感謝の意を記します。

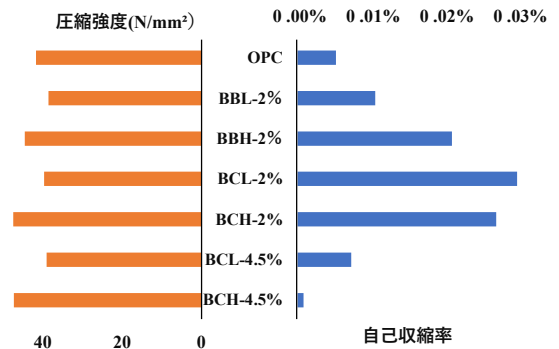


図1 圧縮強度および自己収縮率

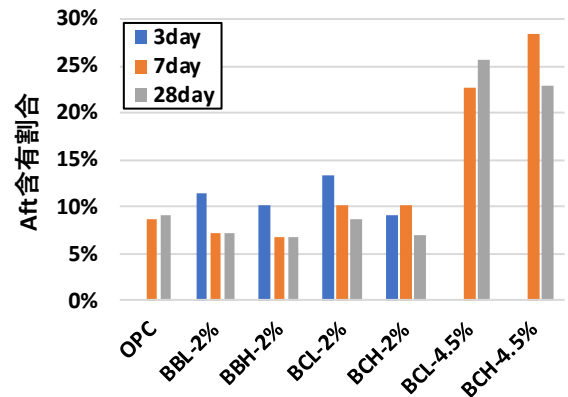


図2 エトリンガイト含有割合

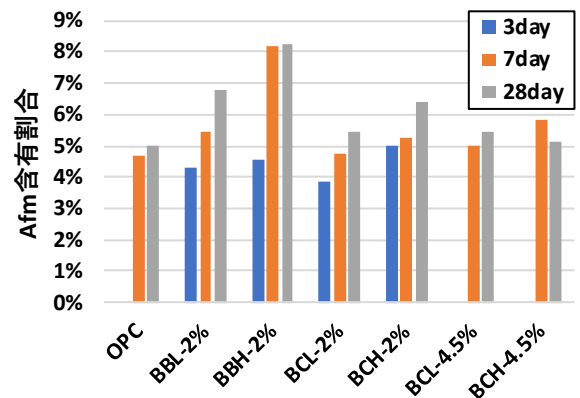


図3 モノサルフェート含有割合

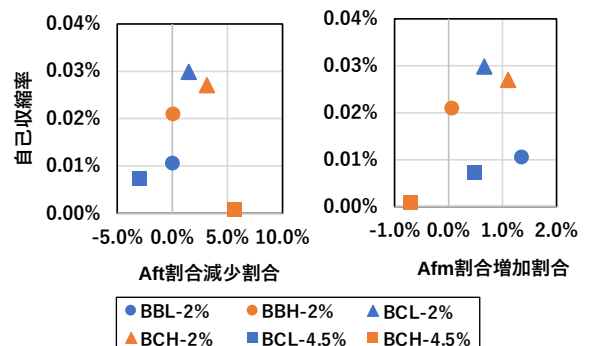


図4 水和物の変化割合と自己収縮の関係

参考文献

- 1) 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，pp131-136，2019