

シングルミクロン高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの遮塩性および低温時の強度特性

(株)デイ・シイ 正会員 ○帖佐 智行

同上 正会員 藤原 了

同上 正会員 二戸 信和

宇都宮大学 地域デザイン科学部 正会員 藤原 浩巳

1. はじめに

高炉スラグ微粉末(以下, BFS)は, ブレーン比表面積によって BFS3000, 4000, 6000 および 8000 の 4 種類に JIS で規格化されている. 一般に, 比表面積の大きい BFS を用いるほど強度発現性は良好となり, 10,000 ブレーンを超える JIS 規格より大きい比表面積の BFS は初期強度改善目的などで補修関連材料としての利用が見込まれる. しかし, 比表面積の大きい BFS ほど硬化体の収縮が大きくなるとされており, 収縮特性に課題がある. これまでに筆者らは, これら課題を解決するため, 50%累積体積通過径(D_{50})で $1.8\mu\text{m}$ 程度の高炉スラグ超微粉末(以下, BF1.8)を試作し, モルタルでの強度および収縮特性の確認を行った. その結果, 初期強度改善効果が大きく, 乾燥収縮や自己収縮が低減できる知見を得た¹⁾.

今回は, 補修関連材料の混和材として用いる場合の更なる高付加価値化の可能性について確認することを目的とし, BF1.8 を用いたモルタルの遮塩性および低温時の強度特性の確認を行った.

表 1 使用材料

名称	材料名	記号	密度
結合材	普通ポルトランドセメント	OPC	3.16
	高炉スラグ微粉末1 (ブレーン比表面積 $21,600\text{cm}^2/\text{g}$)	BF1.8	2.91
	高炉スラグ微粉末2 (ブレーン比表面積 $11,500\text{cm}^2/\text{g}$)	BF3.7	
細骨材	硅砂(吸水率1.22%,粗粒率2.95)	S	2.63
練練水	上水道水	W	1.00
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系	SP	
消泡剤	ポリアルキレン グリコール誘導体	DF	

2. 実験概要

(1) 使用材料

本実験で使用した材料を表 1 に示す. BFS の粒度は, レーザー回折式粒度分布測定器(Microtrac MT3300EX II)によって測定し, BFS の記号の数値は D_{50} である. なお BF1.8 の比較としてブレーン比表面積で $10,000\text{cm}^2/\text{g}$ 相当の BF3.7 を使用した.

(2) 実験水準および練混ぜ

本実験で比較した水準を表 2 に示す. OPC-100 を基準として, BF1.8 または BF3.7 をそれぞれ OPC に対して質量比で 30, 50%内割り置換した 5 水準について実験を行った. モルタルの配合および練混ぜは, JASS 5M-701:2015 を参考とした. 結合材と硅砂の割合は質量比で $B:S=1:1.4$ とした. 練混ぜは, 空練 30 秒→注水→2 分練混ぜ→掻き落とし→2 分 40 秒練混ぜ→5 分静置→30 秒練混ぜとし, 回転数 139rpm(低速)にて行った.

表 2 実験水準

配合No.	W/B (%)	結合材(B)割合(%)		
		OPC	BF1.8	BF3.7
OPC-100	30	100		
BF1.8-30		70	30	
BF3.7-30		70		30
BF1.8-50		50	50	
BF3.7-50		50		50

(3) 実験項目および測定方法

本実験の実験項目を表 3 に示す. 0 打フローは SP 添加量によって調整した. 圧縮強度は $\phi 50\times 100\text{mm}$ の円柱供試体とし, 24 時間後の脱型から所定の材齢まで表 3 に示す養生を行った. ここで, 5°C 封緘養生とは, 写真 1 に示す冷蔵装置を用い, 目標温度 $5\pm 0.5^\circ\text{C}$ となるように調整を

表 3 実験項目

項目	目標	測定方法
0打フロー	$260\pm 10\text{mm}$	JASS 5M-701 : 2015
空気量	3.0%以下	JASS 5M-701 : 2015
圧縮強度	-	JASS 5M-701 : 2015 5°C 封緘養生(材齢3,7,28日) 標準養生(材齢3,7,28日)
塩化物イオン濃度	-	JSDE G 572 : 2007

キーワード 高炉スラグ微粉末, シングルミクロン, 遮塩性, 塩化物イオン, 低温, 圧縮強度

連絡先 神奈川県川崎市川崎区浅野町 1-17 (株)デイ・シイ 技術センター TEL044-333-0618 FAX 044-355-4010

行った。冷蔵装置の側面から冷却されるため、写真1に示すように供試体を配置し、両側面2箇所と中央部の合計3箇所の温度測定を行った。養生開始から9時間までは中央部の温度が両側面より約3℃高くなったが、それ以降は、目標温度に制御することができた。塩化物イオン濃度の測定は、土木学会規準「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法(案)(JSCE-G572-2007)」に準じて測定を行った。なお、浸漬前の養生を標準養生で行った。浸せきは20±2℃の10%塩化ナトリウム水溶液に1年間浸漬を行った。

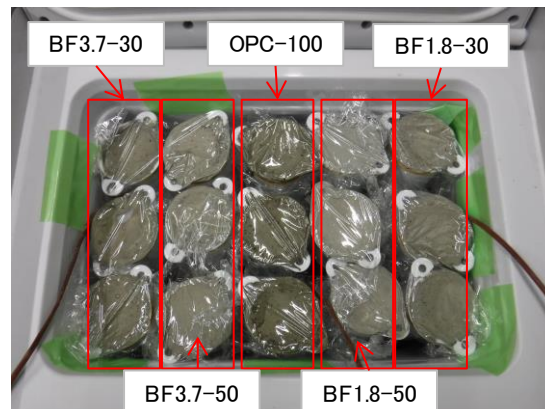


写真1 低温(5℃)封緘養生の状況

3. 実験結果

実験結果を表4に、材齢と5℃封緘養生のOPC-100に対する強度比を図1に示す。標準養生のBF1.8の圧縮強度は、すべての材齢においてOPC-100以上となった。特に初期の材齢3日において、同じBFS置換率ではBF3.7よりBF1.8の方が高い強度となった。次に、低温養生のBF1.8は、材齢3日と材齢7日の50%置換率を除いてOPC-100以上となった。また、図1より、材齢3および7日の強度比がBF1.8の方がBF3.7より約10~20%大きいため、BF1.8の低温時でも初期強度発現性が優れていることが分かった。これは、BF1.8の方がBF3.7より粒径が小さいため、BF1.8のマイクロファイラー効果またはスラグの反応率が増加したと推測される。

塩化物イオン濃度は、浸漬深さ3cmまでブランクからの濃度増加がOPC-100よりBF1.8, BF3.7が小さい。BF1.8-50, BF3.7-50, BF1.8-30, BF1.8-50 および OPC-100 の順で濃度は低く、BFSの粉末度が大きく、置換率が高いほど濃度は低下する傾向となることが分かった。しかし、今回はW/B=30%と低結合材比で比較を行ったため、大きな水結合材比での検証が今後の課題である。

表4 実験結果

配合No.	SP/B (%)	DF/B (%)	0打 フロー (mm)	空気量 (%)	圧縮強度(N/mm ²)						塩化物イオン濃度(kg/m ³)					
					5℃封緘養生			標準養生			10%塩化ナトリウム水溶液に1年浸漬					
					3日	7日	28日	3日	7日	28日	ブランク	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm
OPC-100	2.00	0.06	258	2.7	37.1	66.9	87.4	74.7	93.0	112	0.19	26.5	0.51	0.30	0.19	0.19
BF1.8-30	0.90		260	1.7	32.7	69.8	99.1	91.0	114	129	0.14	19.2	0.16	0.14	0.14	0.14
BF3.7-30	1.10		254	1.4	28.8	56.2	92.1	74.5	109	129	0.14	20.8	0.28	0.15	0.14	0.14
BF1.8-50	0.85		260	1.5	30.8	64.9	92.5	92.4	120	143	0.14	15.2	0.13	0.12	0.14	0.14
BF3.7-50	1.00		260	1.9	24.7	54.8	90.1	71.5	108	139	0.14	16.3	0.16	0.13	0.14	0.14

4. まとめ

JIS 規格より大きいシングルミクロン領域に微粉末化した高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの遮塩性および低温時の強度特性の確認を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) 低温時の圧縮強度は、材齢3および7日のOPC-100を基準とした強度比がBF1.8の方がBF3.7より約10~20%大きい。そのため、BF1.8の低温時の初期強度発現性が優れる。
- (2) 塩化物イオン濃度は、BFSの粉末度が大きく、置換率が高いほど濃度は低下する傾向となる。

【参考文献】

- 1) 藤原了ほか：高炉スラグ超微粉末を用いたモルタルの強度および収縮特性，土木学会第72回年次学術講演会，pp.711-712(2017)

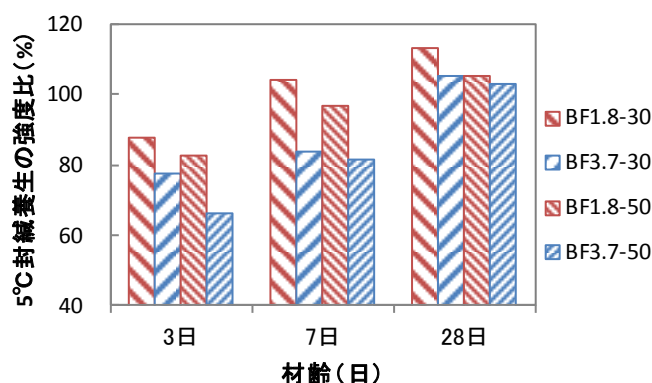


図1 各材齢における5℃養生の強度比