

回収水をアルカリ刺激材とした高炉スラグ系モルタルの基本性状

内山アドバンス 正会員 〇渡邊 真史 内山アドバンス 正会員 三本 巖
内山アドバンス 非会員 川野辺 正徳 内山アドバンス 正会員 川田 千尋

1. 目的

コンクリート分野におけるカーボンニュートラルの実現に向けて、製造時に大量の二酸化炭素を排出するセメントの代替材料や副産物の有効利用に関する研究への関心が、以前にも増して高まっている。高炉スラグ微粉末（以下、BFS）は、セメント由来のアルカリ刺激を受けて潜在的に硬化する結合材として、古くから利用されている。近年は、セメントを無混和としたコンクリートに関する研究も行われており、有効なアルカリ刺激材の選定や、フレッシュ性状および硬化性状を改良する検討がなされている。一方で、副産物をアルカリ刺激材として活用する研究は、生コン工場で副産されるスラッジ水の乾燥粉末を一定量使用する例²⁾などが存在するが、高炉スラグ微粉末の置換率に応じたアルカリ刺激材の効果について検討した事例は少ない。

そこで本研究では、上澄水またはスラッジ水をアルカリ刺激材として用いた、BFSの置換率が異なるモルタルを対象に、フレッシュ性状と圧縮強さを比較することとした。これにより、アルカリ刺激材が効果的に作用する条件について検討した。

2. 実験方法

表1に使用材料を示す。上澄水は、生コン工場の貯水槽から採取したものを、3日以内に使用した。スラッジ水または膨張材水は、スラッジ粉末（0.15mmふるい全通）または膨張材を、所定のスラッジ水濃度となるように練混ぜ水とは別に計量して使用した。BFSは、石膏の内添の有無による2種類とした。

表2に実験要因と水準を示す。BFSの置換率は、結合材総質量に対する質量百分率とした。モルタルの配合は、練混ぜ水、結合材および細骨材の質量比が0.5：1：3となるようにし、スラッジ粉末はこの比率に含まれないものとした。練混ぜ水の量は全配合において225gである。

表3に試験項目を示す。練混ぜは、機械練り用練混ぜ機によってJIS R 5201による方法で行った。圧縮強さ

表 1 使用材料

材料名	記号	概要
普通ポルトランドセメント	C	密度 3.16g/cm ³
上水道水	W1	千葉県浦安市
上澄水	W2	pH12.60
スラッジ水 1	W3	濃度 5%, pH12.12
スラッジ水 2	W4	濃度 10%, pH12.29
膨張材水	W5	濃度 5%, pH12.50
細骨材	S	セメント協会の標準砂
高炉スラグ微粉末 1	BFS1	密度 2.89g/cm ³ , 石膏無
高炉スラグ微粉末 2	BFS2	密度 2.89g/cm ³ , 石膏有

表 2 実験要因と水準

実験要因	水準
練混ぜ水	W1, W2, W3, W4, W5
高炉スラグ微粉末の種類	BFS1, BFS2
高炉スラグ微粉末の置換率	0%, 43%, 75%, 100%

表 3 試験項目

試験項目	測定方法
モルタルフロー	JIS R 5201 11.
単位容積質量（硬化前）	鋼製円筒容器（400cm ³ ）
単位容積質量（硬化後）	圧縮強さ試験時の寸法および質量測定より算出
圧縮強さ（材齢 1, 4 および 13 週）	JIS R 5201 10.

試験用の供試体は、直径 50mm、高さ 100mm の円柱とし、型枠の取外しは W1, BFS1, BFS 置換率 100%の組合せの水準のみ行わず、それ以外の水準は材齢 72 時間で実施した。材齢 72 時間以降、供試体の養生は 20℃の水中で行い、BFS の置換率毎に貯蔵容器を別々に用意して、他の供試体から溶出したアルカリ成分が刺激材として作用する影響を可能な限り排除するようにした。

3. 実験結果および考察

本稿では、モルタルフローと圧縮強さの測定結果についてのみ、詳細を記述する。なお、単位容積質量は、硬化前または硬化後のいずれの場合も、配合上の計算値と概ね一致する結果であった。

図 1 および図 2 に、BFS の置換率とモルタルフローの関係を示す。BFS の置換率が高い場合やスラッジ水を使用した場合において、モルタルフローが小さくなる傾向であった。したがって、化学混和剤の使用量の増加やフライアッシュ等の混和材の添加²⁾により、ワーカビリティを改善する必要があるといえる。

キーワード 上澄水, スラッジ水, 高炉スラグ微粉末, アルカリ刺激材, モルタルフロー, 圧縮強さ
連絡先 〒279-0043 千葉県浦安市富士見 1-7-23 (株) 内山アドバンス中央技術研究所 TEL047-353-6161

表 4 圧縮強さと圧縮強さの比

No.	練混ぜ水	BFS	BFS 置換率	圧縮強さ (N/mm ²)※		
				1週	4週	13週
1	W1	-	0%	46.1(1.00)	62.4(1.00)	75.4(1.00)
2	W1	BFS1	43%	32.7(1.00)	66.2(1.00)	74.8(1.00)
3	W1	BFS1	75%	34.4(1.00)	62.6(1.00)	76.9(1.00)
4	W1	BFS1	100%	0.00(1.00)	4.89(1.00)	32.1(1.00)
5	W1	BFS2	43%	34.6(1.00)	60.1(1.00)	74.0(1.00)
6	W1	BFS2	75%	32.1(1.00)	52.6(1.00)	60.7(1.00)
7	W1	BFS2	100%	13.9(1.00)	34.8(1.00)	50.5(1.00)
8	W2	-	0%	47.0(1.02)	61.4(0.98)	70.0(0.93)
9	W2	BFS1	43%	38.4(1.17)	69.5(1.05)	81.9(1.11)
10	W2	BFS1	75%	34.9(1.01)	64.2(1.03)	76.3(1.00)
11	W2	BFS1	100%	2.30(-)	19.4(3.97)	32.2(1.01)
12	W2	BFS2	43%	36.1(1.04)	61.0(1.01)	76.6(1.04)
13	W2	BFS2	75%	33.6(1.05)	50.7(0.96)	59.2(0.98)
14	W2	BFS2	100%	7.03(0.51)	35.2(1.01)	48.7(0.97)
15	W3	-	0%	42.9(0.93)	56.2(0.90)	69.7(0.93)
16	W3	BFS1	43%	37.9(1.16)	65.9(1.00)	84.6(1.16)
17	W3	BFS1	75%	32.8(0.95)	61.9(0.99)	74.9(0.98)
18	W3	BFS1	100%	14.1(-)	23.8(4.87)	33.5(1.05)
19	W3	BFS2	43%	35.8(1.03)	60.4(1.00)	72.1(0.98)
20	W3	BFS2	75%	32.4(1.01)	49.7(0.94)	58.8(0.97)
21	W3	BFS2	100%	20.2(1.45)	31.5(0.91)	42.5(0.85)
22	W4	-	0%	42.8(0.93)	59.1(0.95)	71.4(0.95)
23	W4	BFS1	43%	38.7(1.18)	60.7(0.92)	78.9(1.07)
24	W4	BFS1	75%	36.6(1.06)	61.4(0.98)	73.3(0.96)
25	W4	BFS1	100%	12.1(-)	24.2(4.95)	34.8(1.09)
26	W4	BFS2	43%	33.4(0.97)	56.1(0.93)	71.3(0.97)
27	W4	BFS2	75%	33.8(1.05)	50.3(0.96)	60.0(0.99)
28	W4	BFS2	100%	9.27(0.67)	11.1(0.32)	15.2(0.30)
29	W5	-	0%	46.5(1.01)	59.8(0.96)	69.8(0.93)
30	W5	BFS1	43%	38.7(1.18)	70.2(1.06)	82.9(1.13)
31	W5	BFS1	75%	37.1(1.08)	60.7(0.97)	73.7(0.96)
32	W5	BFS1	100%	13.0(-)	27.3(5.58)	34.5(1.08)

※ 括弧内の数値はW1使用配合(BFSの種類と置換率が同じ)の圧縮強さに対する各圧縮強さの比である。

図 3 および図 4 に、BFS の置換率と材齢 4 週の圧縮強さの関係を示す。BFS の置換率が 75%以上の領域において、圧縮強さの低下が確認された。石膏無の BFS1 を使用した場合の圧縮強さが全体的に大きい傾向を示したのは、BFS1 の長期材齢における活性度指数が BFS2 よりも高いことが一因である可能性がある。

表 4 に圧縮強さと圧縮強さの比を示す。なお、塗りつぶしの濃淡は圧縮強さの大小を表す。材齢 13 週では、BFS の置換率を 43%とした場合で強度比が大きい傾向にあり、特に、濃度 5%のスラッジ水を使用した配合で、圧縮強さは 16%大きくなった。

4. まとめ

- (1) BFS の置換率が高い場合やスラッジ水を使用した場合において、モルタルフローは小さくなる。
- (2) 上澄水またはスラッジ水のアルカリ刺激材としての効果が最も発揮されたのは、BFS の置換率を 43%とした場合であり、その効果は、材齢 13 週の圧縮強さが最大 16%大きくなる程度であった。

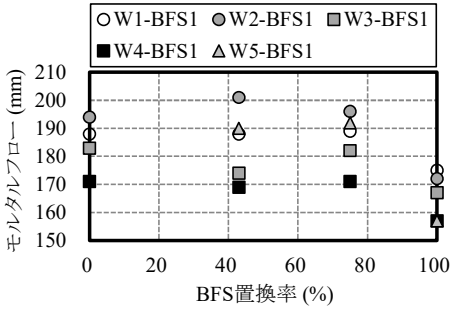


図 1 BFS1 の置換率とモルタルフローの関係

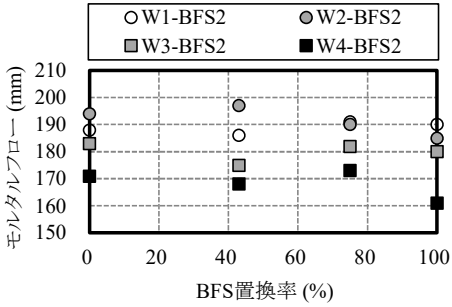


図 2 BFS2 の置換率とモルタルフローの関係

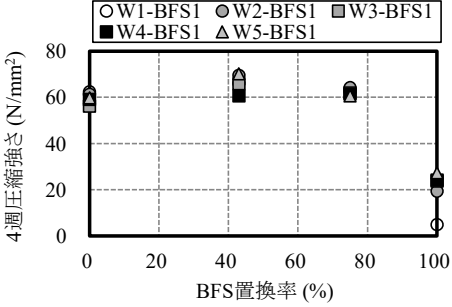


図 3 BFS1 の置換率と圧縮強さの関係 (4 週)

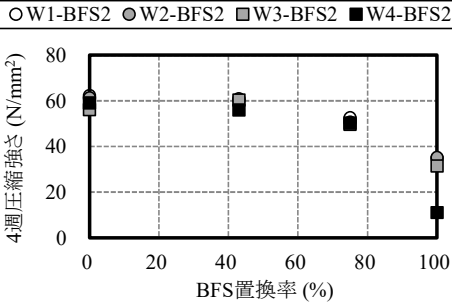


図 4 BFS2 の置換率と圧縮強さの関係 (4 週)

謝辞

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の業務委託 (JPNP21023) の一環で実施した。ここに深謝の意を表す。

参考文献

- 1) 松永久宏, 藤井隆史, 綾野克紀: 鉄鋼スラグ水和固化体の強度発現性に及ぼすアルカリ刺激材の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, 2009.
- 2) 岩田正幸ほか: 各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの基本性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, 2012.