

フライアッシュを混入した高炉セメントの ASR 抑制効果

日鉄住金高炉セメント株式会社 正会員 大塚 勇介
日鉄住金高炉セメント株式会社 正会員 平本 真也
日鉄住金高炉セメント株式会社 正会員 ○植木 康知
日鉄住金高炉セメント株式会社 正会員 檀 康弘

1. 目的

地球温暖化対策の一つとしてセメント製造時の CO₂ ガス排出量を抑制できる高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混入したコンクリートの有効利用は、今後の建設材料の選択において重要である。より積極的に混合材を使用することや高炉セメント B 種のさらなる発熱低減などを考えた場合¹⁾、土木構造物に汎用的に使用されている混合セメントである高炉セメント B 種 (BB) にフライアッシュ (FA) を置換することが考えられる。この場合、ASR 対策として考えた場合、BB に FA を置換すると、実質的にスラグ置換率は下がることになり、例えば BB 中のスラグ置換率 40% の場合は FA の置換にともない、ASR 対策に有効とされるスラグ置換率 40% を下回ることになる。そこで、BB に FA を置換した場合の ASR の抑制効果を調査し、BB に FA を置換することの ASR 対策に対する有効性を評価した。

2. 実験概要

2. 1. 使用材料および水準

実験に用いた使用材料を表 1、用いたセメントの種類と各混合材の置換率を表 2 に示す。スラグ置換率の異なる高炉セメントを作成し、それ

表 1 使用材料

材料	記号	物性など	Na ₂ Oeq(%)
普通ポルトランドセメント	N	密度 3.14(g/cm ³), 3360(cm ² /g)	0.48
高炉スラグ微粉末	BFS	密度 2.91(g/cm ³), 4130(cm ² /g)	0.46
フライアッシュ	FA	密度 2.30(g/cm ³), 3100(cm ² /g)	1.23
ガラスカレット	GC	密度 2.46(g/cm ³), F.M.:3.07 粒径 5mm 以下	—

らに 5~15% の範囲で FA を内割置換した。BFS は SO₃%=2.0% となるように石こうを添加したものをを用いているが、表記のスラグ置換率は石こうを除いた置換率である。細骨材は、反応性骨材として知られているガラスカレットを用いた。

2. 2. 試験方法

JIS A 1146 : モルタルバー法に従い試験を実施し、セメントの全

表 2 試験実施水準

		使用セメント種類(数字は BFS 置換率を示す)				
		N	BA30	BB40	BB50	BC65
FA 置換率(%)	0	○	○	○	○	○
	5	—	—	○	○	—
	10	—	—	○	○	—
	15	○	○	○	○	—

アルカリ量が Na₂Oeq=1.2% となるよう NaOH 水溶液で調整した。供試体は 40×40×160mm の角柱供試体を用い、打設後 24 時間で脱型し、脱型時の長さを基長とした。その後温度 40℃、相対湿度 95% 以上の条件下で長さ変化を 26 週まで測定した。長さ変化の測定はダイヤルゲージ法に準じて行った。

3. 実験結果と考察

3. 1. ASR による膨張挙動

ASR による膨張挙動を図 1 に示す。セメント種類の後ろに括弧で示しているのは、それぞれのセメントに対する FA の置換率を示している。混合材を置換しているいずれのセメントについても、N に比べて膨張が

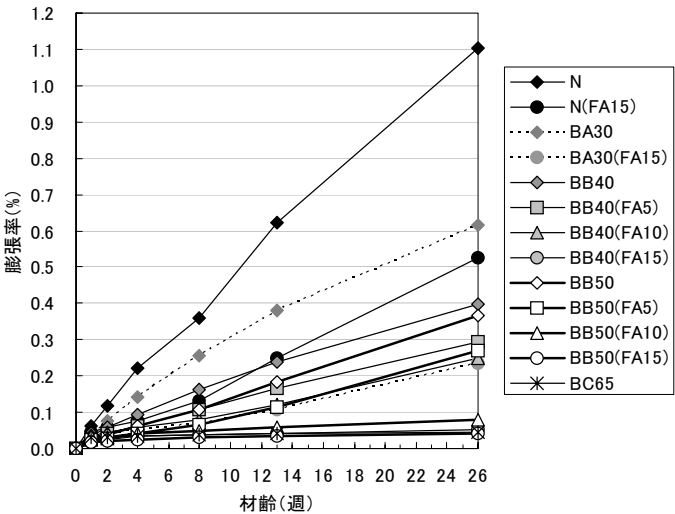


図 1 ASR 膨張挙動

キーワード 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, 混和材, 高炉セメント, アルカリ骨材反応

連絡先 〒803-0801 福岡県北九州市小倉北区西港町 16 番地 日鉄住金高炉セメント株式会社 TEL093-563-5103

抑制されており、混和材の置換が膨張抑制として有効であることが分かる。BB40にFAを置換した場合についても、FAの置換率増加にともない、膨張を抑制する傾向が確認された。高炉セメントにFAを置換してスラグ置換率が低下しても混和材全体量が増加することによりASR抑制が図れる。

3.2. 混和材の各置換率（含有率）が膨張抑制に与える影響

3.1. で BFS, FA のいずれの混和材を置換した場合についても膨張を抑制する効果が確認できたことから、セメント中の BFS, FA それぞれの含有率に応じて膨張を抑制すると考え、式(1)に示すように各材齢の N の膨張率に対して BFS と FA の含有率と混合材それぞれの膨張抑制効果を係数として与え膨張を抑制するものとして、膨張抑制効果 a, b を変数とした回帰分析により各混和材の膨張抑制効果を評価した。材齢 26 週の膨張率と式(1)における回帰分析結果を図2に示す。横軸は、スラグ置換率（含有率）で示しており、実測値は材齢 26 週における各モルタル膨張率、計算値は回帰分析と各混合材含有率から計算した膨張率である。実測値と計算値は高い相関を示しており、混合材それぞれの含有率に応じて膨張を抑制でき、BB に対して FA 置換率を上げていくに従い、膨張を抑制していることが確認できる。また、図3に各材齢における回帰分析による変数 a と b および b/a を示している。b/a は、BFS 置換率に対する FA 置換率の抑制効果の比を示すものであり、質量当たり FA は BFS に比べて 2~2.5 倍大きいことを示し、高炉セメント B 種に FA を置換した場合についても、FA による ASR 抑制効果は同様に発揮されていることが確認できた。市販 BB のスラグ置換率は一般的に 40~45%であり、今回の試験結果である図2から BB に FA を 10~15%程度置換することで高炉セメント C 種（スラグ置換率 60~70%）と同程度の ASR 抑制効果が得られると言える。

$$\varepsilon_t = \varepsilon_N - a \times C_{BFS} - b \times C_{FA} \cdots \text{式(1)}$$

ε_t : 材齢 t における各セメントの膨張量(%)

ε_N : 材齢 t における N の膨張量(%)

C_{BFS} : BFS 含有量(%)

C_{FA} : FA 含有量(%)

a: BFS による膨張抑制係数(-)

b: FA による膨張抑制係数(-)

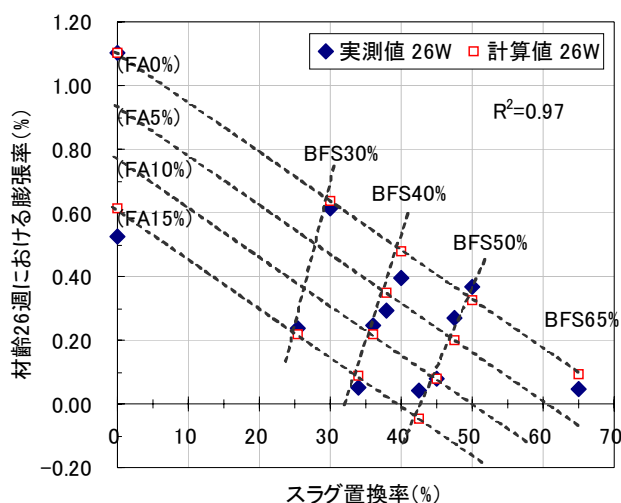


図2 材齢 26 週における膨張率と各混和材含有率の関係

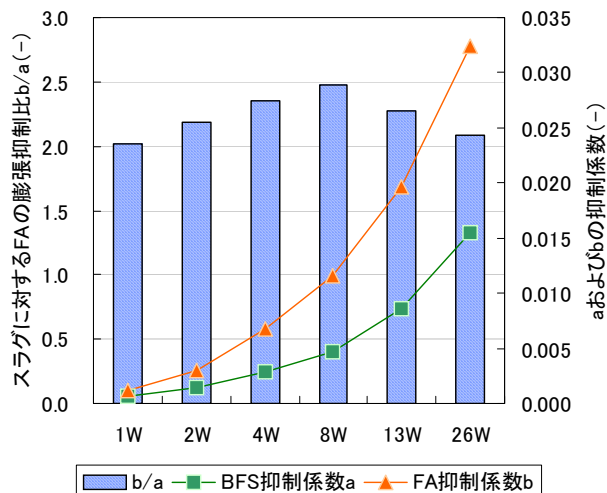


図3 回帰分析による各材齢の変数 a, b および b/a

4. まとめ

高炉セメントに対してフライアッシュを置換した場合の ASR による膨張抑制効果を調査し、以下の結果を得た。

- (1) 高炉セメントに FA を置換することで、ASR による膨張をさらに抑制することが確認された。
- (2) 今回の試験結果から BFS, FA それぞれの混和材含有率が ASR 抑制効果に及ぼす影響が大きく、市販 BB に FA を 10~15%置換することで高炉セメント C 種程度の抑制効果が見込める。

参考文献

- 1) 山下裕司, 池田浩一: フライアッシュを混和した高炉セメントコンクリートの諸特性について, 混和材を積極的に使用するコンクリートに関するシンポジウム論文集, pp.93-98 (2011)