

鳥取大学大学院 学生会員 ○中野 敬介

鳥取大学大学院 正会員 黒田 保 鳥取大学大学院 正会員 吉野 公

鳥取大学大学院 正会員 金氏 裕也 鳥取大学大学院 正会員 畑岡 寛

1. はじめに

アルカリシリカ反応(ASR)の発生時期は早期から長期まで様々で、劣化を生じ始める時期の予想が難しい。コンクリートの ASR を未然に防ぐには、適切な促進試験方法により骨材のアルカリシリカ反応性の評価をできるだけ短期間で行うことが求められている。

現在我が国で用いられているアルカリシリカ反応性を判定する試験方法は、実際に使用されるコンクリートとは異なった条件下で判定を行っていると考えられる。また、モルタルバー法は判定までに 6 ヶ月もの長期間を要するので、迅速かつより正確に評価ができる促進試験方法の開発が必要である。

最近では ASR の抑制効果があるとして、高炉スラグ微粉末等を混和材として用いることが多くなっている。しかし、我が国では ASR 抑制対策として混和材の混入による方法が JIS 等で規格化されているが、混和材を混入したコンクリートの ASR の抑制効果を早期に判定する試験方法は規格化されていない。

そこで、本研究では、混和材として高炉スラグ微粉末(BFS)を用いて、コンクリート供試体を屋外暴露および促進環境下に置き、保存温度、アルカリ総量、高炉スラグ微粉末(BFS)の置換率が ASR 膨張に及ぼす影響を調べ、ASR 抑制効果早期判定試験法に関する促進試験条件について検討する。

2. 実験概要

本実験では、骨材に反応性細骨材(安山岩、表乾密度:2.71g/cm³, 化学法の結果:Rc=96mmol, Sc=480mmol)および非反応性粗骨材(安山岩、表乾密度:2.67g/cm³)を、セメントにアルカリシリカ反応性試験用普通ポルトランドセメント(密度:3.14g/cm³, 全アルカリ量:0.52%)を、アルカリ総量調整のためのアルカリ化合物として水酸化ナトリウム(JIS K 8576 に規定)を、混和材として高炉スラグ微粉末(密度:2.89g/cm³, 比表面積:4210cm²/g)を、空気量調整のための混和剤として AE 剤(アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤)を使用した。

本実験における実験条件は以下の通りである。

①打設するコンクリート供試体は、75×75×400mm の直方体の形状(コンクリートバー法(JCI AAR-3)に規定)である。

②練混ぜ時に水酸化ナトリウムを添加し、コンクリート中のアルカリ総量を高める。アルカリ総量は、Na₂O 当量で 4.48kg/m³, 5.5kg/m³, 7.0kg/m³である。

③打設したコンクリート供試体は、屋外で暴露する他、ASR 促進のために 40℃, 60℃, 80℃の恒温下で保存する。

④高炉スラグ微粉末(BFS)のセメントとの置換率は容積比で 10%, 30%, 50%とする。

打設したコンクリートの配合を表 1 に示す。

表 1 コンクリート供試体の配合表

BFS 置換率 (%)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位水量(kg/m ³)				
				W	C	BFS	S	G
0	4.5±1.5	45	41	180	400	0	721	1020
10	4.5±1.5	45	41	180	358	38	721	1020
30	4.5±1.5	45	41	180	279	110	721	1020
50	4.5±1.5	45	41	180	201	185	721	1020

キーワード アルカリシリカ反応, 高炉スラグ微粉末, ASR 抑制効果, 促進試験, 屋外暴露

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南 4 丁目 101 鳥取大学大学院持続性社会創生科学研究科工学専攻

TEL 0857-31-5281

3. 実験結果および考察

3.1 促進環境下の供試体の結果

促進環境下の条件に置いた供試体の実験結果を要因毎に以下に記す。

3.1.1 保存温度

本実験で設定した範囲内でアルカリ総量が少ない場合(4.48kg/m^3)には、保存温度が高いほど膨張率は小さくなった(図 1)。しかし、アルカリ総量が多くなると、保存温度の高い供試体よりも低い供試体の方が材齢の経過とともに大きく膨張していく結果となった(図 2, 図 3)。これは、高温下では ASR が加速し、まだ塑性状態にある供試体内で膨張圧力が発生し、大半の圧力が供試体内部において緩和されるためと考えられる。また、保存温度が高くなることで BFS の ASR 抑制効果が促進された可能性も考えられる。

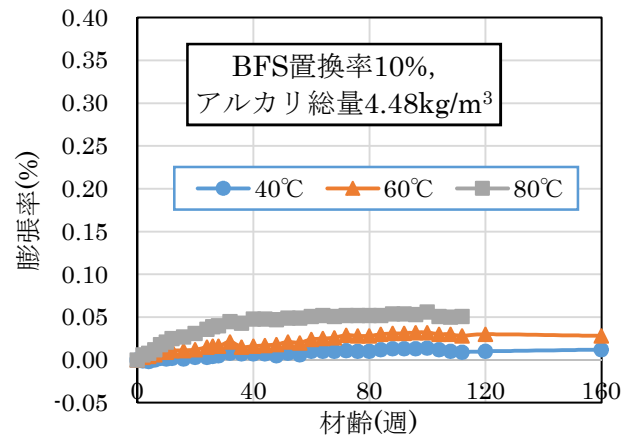


図 1 膨張率の経時変化

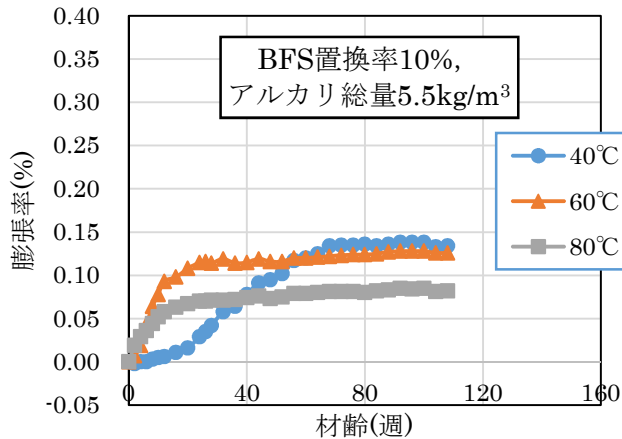


図 2 膨張率の経時変化

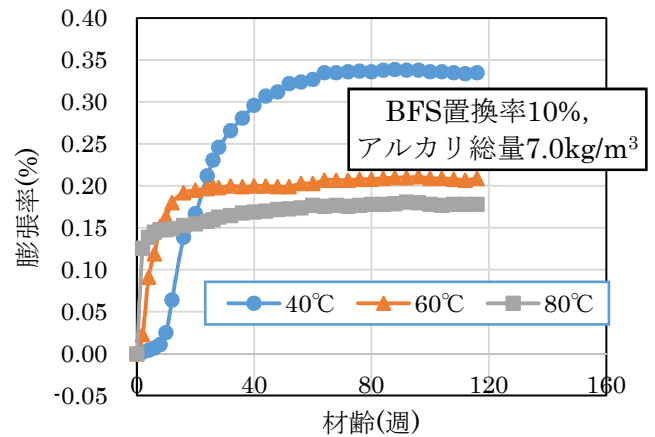


図 3 膨張率の経時変化

3.1.2 アルカリ総量

アルカリ総量が多いほど早く膨張を開始し、また膨張速度も速く、膨張率は大きくなった(図 4)。

BFS 置換率 30%および 50%の供試体は、アルカリ総量 4.48kg/m^3 および 5.5kg/m^3 の場合において、全ての保存温度下で材齢が経過しても膨張はきわめて小さかった(図 5, 図 6)。このことから、BFS 置換率が 30%以上であれば、アルカリ総量が 5.5kg/m^3 以下の場合には BFS による ASR 抑制効果が十分に発揮されていると考えられる。

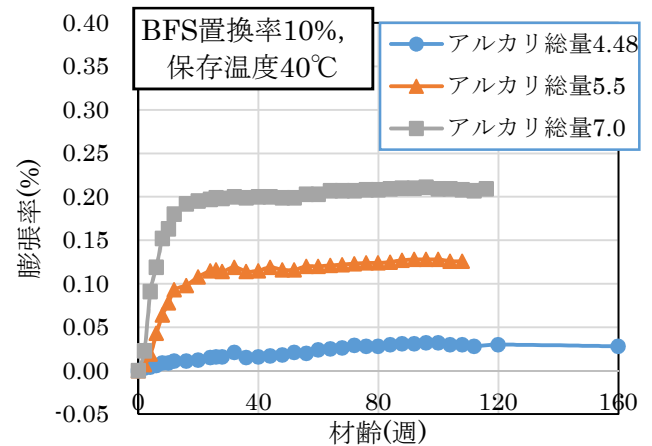


図 4 膨張率の経時変化

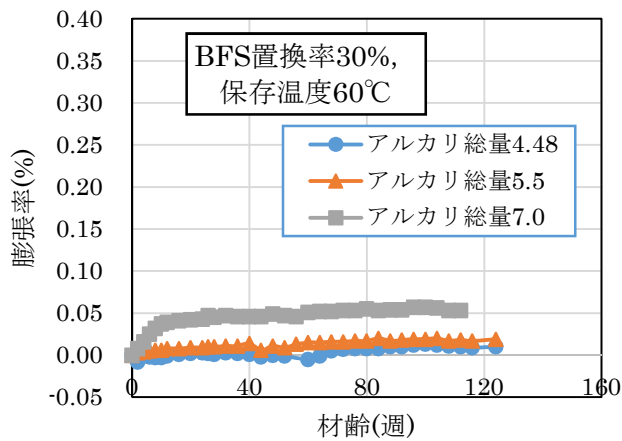


図 5 膨張率の経時変化

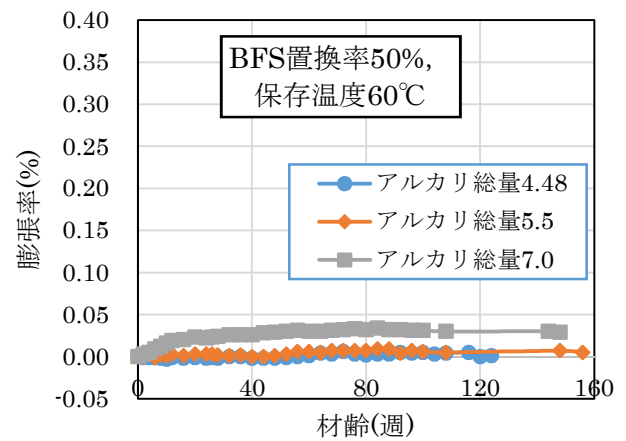


図 6 膨張率の経時変化

3.1.3 高炉スラグ微粉末の置換率

BFS で置換した供試体には ASR 膨張の抑制効果が見受けられる(図 7, OPC は置換率 0%の供試体)。また、同一のアルカリ総量および保存温度で比較すると、BFS 置換率が大きいほど ASR 抑制効果は大きくなった。

3.2 屋外暴露の供試体の結果

3.2.1 屋外暴露の膨張挙動

屋外暴露の供試体は、冬季に打設したものである。

BFS 置換率 10%の供試体は OPC とほぼ同様の膨張挙動を示し、膨張率がほぼ同じ値となっているが、置換率を大きくするに従って ASR 膨張がより抑制されている。

BFS 置換率 10%および 30%の条件下では、材齢が 80 週頃(夏季)から急激な膨張を始め、その後は気温の高い夏季に急激に膨張し、冬季には膨張速度が小さくなっている。供試体は 4 種類とも現在も膨張を続けている(図 8)。

3.2.2 促進環境下の供試体との比較

BFS 置換率 10%および 30%の供試体において、保存温度 40°Cの供試体の最終膨張率が屋外暴露の供試体の膨張率に最も近くなる。しかし、保存温度 40°Cの供試体は 60°C および 80°C よりも膨張を生じ始める時期が遅い(図 9, 図 10)。

BFS 置換率 50%の供試体では、いずれの保存温度の場合

でも最終膨張率の値がほぼ等しく、屋外暴露の供試体より膨張率は小さい。また、BFS 置換率 10%および 30%の供試体と同様に、保存温度 40°Cよりも 60°Cおよび 80°Cの方が早く膨張を開始している(図 11)。

上記の結果より、全ての BFS 置換率の条件下において、保存温度 40°Cの供試体の最終膨張率が最も屋外暴露の供試体の膨張率に近くなっている。しかし、保存温度 40°Cの供試体は 60°Cおよび 80°Cよりも膨張を生じ始める時期が遅い。保存温度 60°Cおよび 80°Cの供試体は早期に膨張を生じ、膨張の収束時期が早いので、60°C または 80°C が 40°C よりも混和材の ASR 抑制効果早期判定に適している可能性があると考えられる。

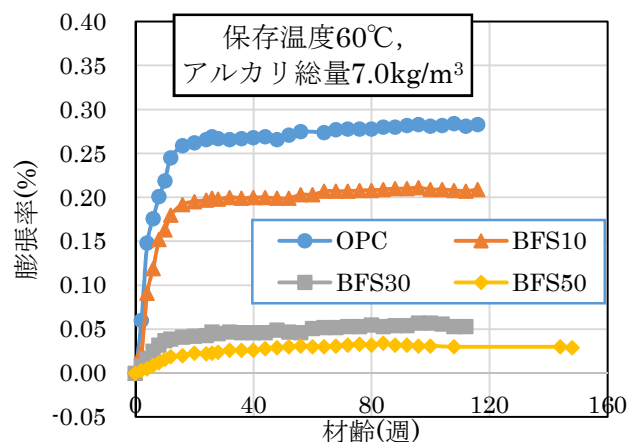


図 7 膨張率の経時変化

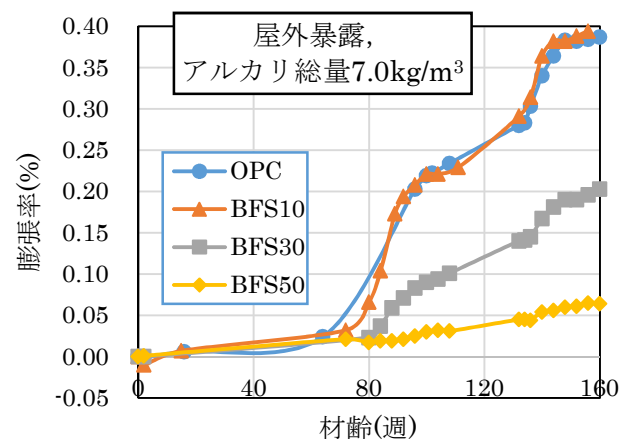


図 11 膨張率の経時変化

促進環境下に置いた供試体と屋外暴露の供試体とは大きく異なった膨張挙動が見られた。全ての BFS 置換率の条件下において、促進環境下の供試体の最終膨張率は屋外暴露の供試体の膨張率よりも小さい。日本コンクリート工学会のコンクリートのアルカリシリカ反応性判定試験方法(案)(JCI AAR-3 : 1987)によるアルカリシリカ反応性の判定方法では、材齢が 26 週の時点で膨張率が 0.10%を超えているかどうかで判断する。しかし、BFS 置換率 30%の供試体は、屋外暴露のものは現在の膨張率が 0.10%を超えているが、促進環境下のものは最終膨張率が 0.10%を超えていない。そのため、混和材による ASR 抑制効果を判定するための膨張率の判定基準値を 0.10%より小さくする必要があると考えられる。また、BFS 置換率 50%の供試体も、促進環境下のものは最終膨張率が 0.05%未満であるが、屋外暴露のものは促進環境下のものより膨張率が大きくなっており、現在も膨張を続けている。今後も測定を続け、膨張挙動について検討する必要がある。

4. まとめ

本実験の範囲内で得られた結果を以下にまとめる。

(1)アルカリ総量が少ない場合、保存温度が高いほど膨張率は大きくなった。しかし、アルカリ総量が多くなると、保存温度の高い供試体よりも低い供試体の方が材齢の経過とともに大きく膨張した。

(2)アルカリ総量が多いほど早く膨張を開始し、膨張速度は速く、膨張率は大きくなる。また、BFS 置換率 30%および 50%の供試体は、アルカリ総量 4.48kg/m^3 および 5.5kg/m^3 の場合では、全ての保存温度の条件下で材齢が経過しても膨張率はきわめて小さかった。

(3)同一のアルカリ総量および保存温度で比較すると、BFS 置換率が高いほど ASR 抑制効果は大きくなった。

(4)全ての BFS 置換率の条件下において、保存温度 40°C の供試体の最終膨張率が最も屋外暴露の供試体の膨張率に近くなった。しかし、保存温度 40°C の供試体は 60°C および 80°C よりも膨張を生じ始める時期が遅い。また、保存温度 60°C および 80°C の供試体は早期に膨張し、膨張の収束時期が早いので、 60°C または 80°C が混和材の ASR 抑制効果早期判定に適している可能性がある。

(5)現在、アルカリシリカ反応性の判定方法は、材齢 26 週の時点で膨張率が 0.10%を超えているかどうかで判断する。しかし、BFS 置換率 30%の供試体は、屋外暴露では膨張率が 0.10%を超えているが、促進環境下での最終膨張率は 0.10%に達していないため、膨張率の判定基準値を小さくする必要があると考えられる。

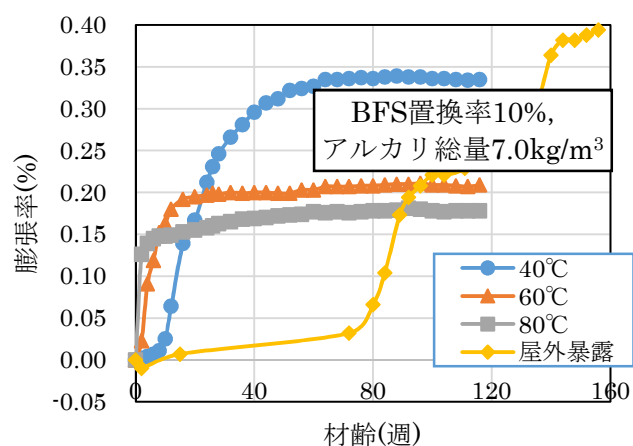


図 9 膨張率の経時変化

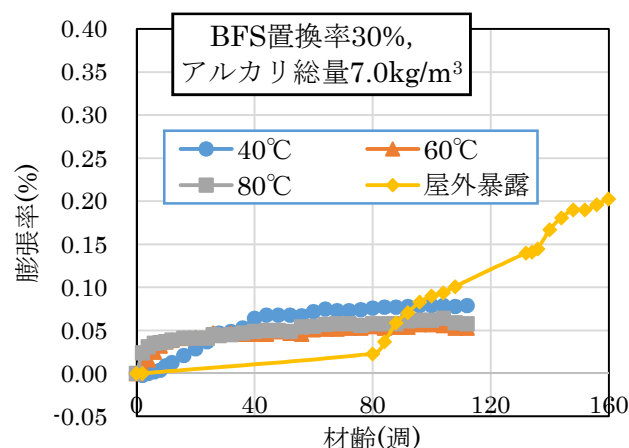


図 10 膨張率の経時変化

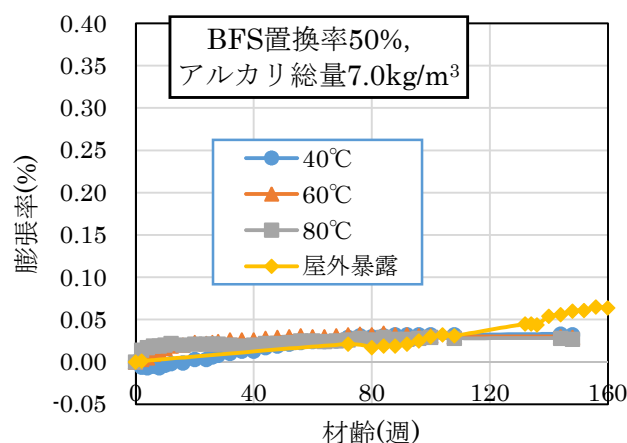


図 11 膨張率の経時変化