

## 実コンクリート配合での塩害環境下におけるフライアッシュのASR抑制効果

石川工業高等専門学校 学生会員 ○加賀谷 将伍  
石川工業高等専門学校 正会員 津田 誠

## 1. はじめに

わが国では1970年から1980年代にかけて、アルカリシリカ反応（以下、ASRと記す）によるコンクリート構造物の劣化が多く報告された。それに伴い、ASR抑制対策としてコンクリート中のアルカリ総量の規制、混合セメントの使用、安全と認められる骨材の使用が定められ、これらにより新設構造物におけるASRによる劣化は収束を見せた。

しかし近年、写真-1に示すようにJIS A5308が定めるアルカリ総量規制値(3kg/m<sup>3</sup>)に準拠している構造物にてASRによる劣化が確認されている<sup>1)</sup>。また、反応性が低いとされていた遅延膨張性の鉱物を含む骨材を使用した構造物にてASRによる劣化が懸念されている<sup>2)</sup>。この原因として、骨材からのアルカリ溶出、凍結防止剤の散布及び飛来塩分など供用環境における影響が考えられる。

一方、近年の研究にてフライアッシュ（以下、FAと記す）のASR抑制効果が報告され、北陸新幹線敦賀延伸事業などで実装がなされている。

本研究では、北陸地方におけるレディーミクストコンクリートプラントでの実配合(RC及びPC)のコンクリートを使用して、厳しい塩分環境下におけるFAコンクリートのASR抑制効果を実験的に検証した。

## 2. 試験方法

表-1に今回の試験で用いたコンクリート供試体の使用材料及び配合を示す。材料及び配合は実際にレディーミクストコンクリートプラントにて製造するものである。なお、使用したFAは北陸電力七尾大田火力発電所産の分級FAII種である。

使用した骨材は白山を起源とする新生代第三期、第四

期の火山岩である石川県手取川産、福井県九頭竜川産の河川砂利及び福井県産の陸砂、滋賀県今津産の微晶質石英を含有した硬質砂岩で、いずれもASR判定試験で無害と判定された。

試験は直径100mm、高さ200mmの円柱供試体を作成し、脱型後封かん養生したものを3日以内に促進膨張試験を開始した。なお、供試体作成時にアルカリ総量の調整は行なっていない。湿潤養生での促進膨張量試験は40℃、湿度95%以上の恒温槽にて実施し、塩水養生での促進膨張量試験は飽和塩化ナトリウム溶液に浸漬し、50℃の恒温槽にて実施した。膨張率はJIS A1146のモルタルバー法に準拠し、供試体にステンレスバンドを約100mm間隔に取り付け後チップを接着しコンタクトゲージにて測定した。

加えて、JIS A1127に従って供試体の一次共鳴振動数を測定し、供試体の動弾性係数を求めた。



写真-1 ASR発生構造物の状況

表-1 供試体名及び配合表

供試体名	規格	骨材		W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	Gmax (mm)	FA 置換率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
		粗骨材	細骨材						セメント	混和材 (FA)	水	細骨材	粗骨材	AE 減水剤	高性能減水剤	FA用 AE 剤
A	18-5-40N	九頭竜	九頭竜 あわら 陸砂	58	4.5	40.5	40	15	202	36	138	764	1163	2.85		2.38
B	40-12-25H	手取川	手取川	36	5.5	36	25	15	366	65	155	680	997	2.59		
C	50-15-20H	今津 碎石	三国陸砂 敦賀砕砂	32	5.5	40.9	20	15	415	73	156	664	1036		3.42	1.95

キーワード ASR, フライアッシュ, 実コンクリート配合, 促進膨張量試験, 塩害環境  
連絡先 〒929-0342 石川県河北郡津幡町北中条 石川工業高等専門学校 TEL076-288-8165

### 3. 試験結果及び考察

#### (1) 促進膨張量試験

図-1 に今回行った促進膨張量試験の結果を示す。膨張率は塩水養生は3本、湿潤養生は2本の供試体の平均値としている。試験日数 182 日時点で、九頭竜川産の骨材を使用した供試体 A は両養生条件ともに膨張率が 0.1% に近い値を示した。手取川産の骨材を使用した供試体 B 及び滋賀県今津産砕石と福井県三国産陸砂と敦賀産砕砂を混合した供試体 C は、両養生条件ともに 0.1% を超える膨張率を示した。

供試体 B 及び供試体 C は早強セメントを使用した FA コンクリートである。早強セメントは普通セメントに比べ水和反応が早いため、FA のポゾラン反応層が早期にでき、促進環境下であっても ASR 膨張を抑制できると考えていたが、0.1% を超える膨張が見られた。このことから、FA による ASR の抑制効果を発揮するには十分な養生が必要であると考えられる。

また、供試体 A、供試体 B は養生条件間において大きな膨張率の差が見られなかったのに対し、供試体 C は膨張率に大きな差が見られた。これには、塩水養生下での飽和塩化ナトリウムの影響や単位セメント量が多いことによるアルカリ量増加及びペシマムの影響で他より高い膨張率を示したのではないかと考えた。このことから「無害」と判定された骨材の組み合わせでも供用条件下でアルカリ量の増加やペシマムの影響で ASR が起こる可能性が考えられた。

#### (2) 共鳴振動による ASR 反応性の推定

試験日数 182 日における動弾性係数を表-2 に示す。供試体 A から分かるように、水中養生の供試体と湿潤養生の供試体は、ほぼ同じ動弾性係数を示しており、湿潤養生を行った供試体は ASR による膨張は見られるが、力学的性能の低下は少ないと考えられる。対して塩水養生の供試体は共通して、湿潤養生の供試体と比べ、約 70～90% 低い動弾性係数を示した。このことから、ASR 膨張または塩化物イオンの浸透により力学的性能が低下していることが考えられる。

また、供試体 B の動弾性係数比が約 90% と他より高い値を示した理由として、用いた骨材が手取川産の砂利であるため反応性の鉱物の含有量が低く、ゲルの生成やそれに伴うひび割れが少なかったためではないかと考えられた。

### 4. まとめ

本研究から以下のような結果を得た。

(1) 早強セメントを使用した FA コンクリートで、早強セメントは普通セメントに比べ水和反応が早いため FA のポゾラン反応層が早期にでき、促進環境下であっても ASR 膨張を抑制できると考えていたが、0.1% を超える膨

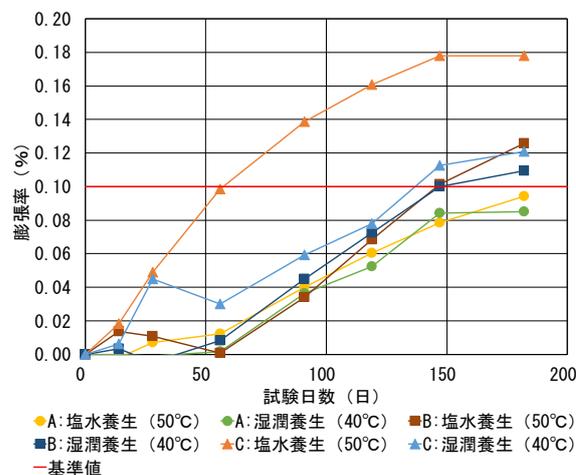


図-1 促進膨張量試験結果

表-2 養生条件別動弾性係数

供試体名	呼び強度	養生条件	動弾性係数 ED (kN/mm <sup>2</sup> )	動弾性係数比
A	18	塩水 (50°C)	26900	70 %
		湿潤 (40°C)	37500	—
		水中 (20°C)	37600	—
B	40	塩水 (50°C)	37200	93 %
		湿潤 (40°C)	40100	—
C	50	塩水 (50°C)	39100	76 %
		湿潤 (40°C)	51700	—

張率を示した。このことから、FA による ASR の抑制効果を発揮するには十分な養生が必要であると考えられる。

(2) 今回の実験では、ほとんどの供試体が両養生条件ともに膨張率は約 0.1% 付近の値を示した。しかし、JIS A1145 化学法において「無害」と判定された骨材のみを組合せて作られた供試体の塩水養生のケースは、湿潤養生のケースよりも約 1.4 倍大きい膨張率を示した。このことから「無害」と判定された骨材の組み合わせでも供用条件下でアルカリ量の増加やペシマムの影響で ASR が起こる可能性が考えられた。

(3) 共鳴振動数により動弾性係数を推定した結果、湿潤養生の供試体は、標準養生の供試体と同程度の動弾性係数を示したのに対し、塩水養生の供試体の動弾性係数は湿潤養生の供試体と比べ約 70～90% しかなく、ASR に伴う力学的性能の低下が見られた。これには、ASR による膨張率やゲルの生成、それに伴うひび割れの違いが関係していると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 菊池弘紀, 山戸博晃, 広野真一, 鳥居和之: 細・粗骨材の組み合わせのペシマム現象による ASR 劣化事例の検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1041-1046, 2016
- 2) 濱田秀則, 佐川康貴, 井上祐一郎, 林建佑: 堆積岩を粗骨材として用いたコンクリート構造物の ASR による劣化事例コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1073-1078, 2011