安山岩骨材のアルカリシリカ反応性の評価とフライアッシュによるASR抑制対策

○京都大学工学研究科　学生会員　西澤　彩
北陸電力土木部　正会員　蟹谷真生
金沢大学自然科学研究科　正会員　広野真一
金沢大学理工研究域環境デザイン学系　正会員　鳥居和之

１．はじめに

現在でも，北陸地方ではアルカリシリカ反応（以下，ASR）によるコンクリートの劣化が発生している。このような状況下で,「地産地消」と「環境負荷低減」をキーワードにして，産官学連携による「北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会（委員長鳥居和之)」が設立され，平成 24 年 4 月にフライアッシュコンクリートのマニュアル（北陸地方版）が刊行された。本研究の一環として，高品質な分級フライアッシュによる ASR 抑制効果を 3 種類の促進モルタルバー法により測定した結果，デンマーク法（温度 50℃，飽和 NaCl 溶液浸漬）が早期判定試験として適しており，とくに凍結防止剤が散布される実構造物の ASR による劣化状況とも良く一致することが検証されている[1), 2)]。

そこで本研究では，北陸地方を代表する 2 種類の安山岩系骨材（能登産の安山岩砕石と常願寺川産の川砂利）に対する分級フライアッシュによる ASR 抑制効果をデンマーク法により検討した結果を報告するものである。

２．実験概要

２．１　使用材料

本研究で使用した安山岩砕石は，石川県能登半島の旧門前町産安山岩砕石（以下，門前産骨材）と，立山連峰を源流に持つ常願寺川で採取される富山県産川砂利（以下，常願寺川産骨材）である。前者は火山ガラスを多く含有し，アルカリ溶出の影響を受けて，比較的緩慢な反応が長期間継続するのが特徴である。それに対して，後者は安山岩粒子にオパールやクリストバライトを含有し，このため顕著な組成ペシマム混合率を有するのが特徴である[3)]。両骨材は北陸地方を代表する反応性の高い骨材であり，それぞれ能登半島の北部及び富山県の中央部にて，鉄筋破断をともなう深刻な ASR 劣化が発生している。使用セメントは普通ポルトランドセメント（密度： 3.16g/cm3，等価アルカリ量： 0.55%)，フライアッシュ（以下，FA）は七尾大田火力発電所製の分級灰（JIS I 種灰相当品，密度：2.44g/cm3，等価アルカリ量： 1.14%，比表面積：4780cm^2/g，平均粒子径：7.6μm）である。

２．２　試験方法

（1）デンマーク法による促進膨張試験：2 種類の反応性骨材を使用したモルタルバー試験体（40×40×160mm）を作製し，前養生期間（温度 20℃の水中養生）を 28 日間とした。判定は 3 ヵ月材齢で 0.1%未満「無害」，0.1-0.4%「無害と有害の両者が存在する（不明確）」，0.4%以上「有害」とする。FA の置換率は，無混和 （OPC）と FA5%，10%，15%，20%の４種類である。

（2）偏光顕微鏡観察による ASR 劣化度の判定：促進膨張試験の終了後，モルタルバーから薄片研磨試料（厚さ：20μm）を作製し，偏光顕微鏡観察により ASR 劣化度を判定した。本研究で採用した偏光顕微鏡による ASR 劣化度の判定基準を表 1 に示す[1)]。

３．試験結果および考察

（1）フライアッシュの ASR 抑制効果の検証試験：デンマーク法による促進膨張試験：モルタルバーの膨張挙動を図 1 に示す。モルタルバーの膨張量は川砂利の方が安山岩砕石よりも大きな値を示したが，全体的な膨張挙動は類似していた。また，両反応性骨材に対する分級 FA による ASR 抑制効

表１　偏光顕微鏡による ASR 劣化度の判定基準

レベル	ひび割れの発生及び反応状況
Ⅰ	反応環の形成と反応性骨材粒子からのASRゲルの析出
Ⅱ	反応性骨材粒子からのひび割れの発達
Ⅲ	反応性骨材粒子からセメントペーストへひび割れの進展(最大ひび割れ幅25μm以下)
Ⅳ	連続的なひび割れ網の形成とASRゲルの気泡への侵入（最大ひび割れ幅25-50μm)
Ⅴ	同上（最大ひび割れ幅50μm以上）

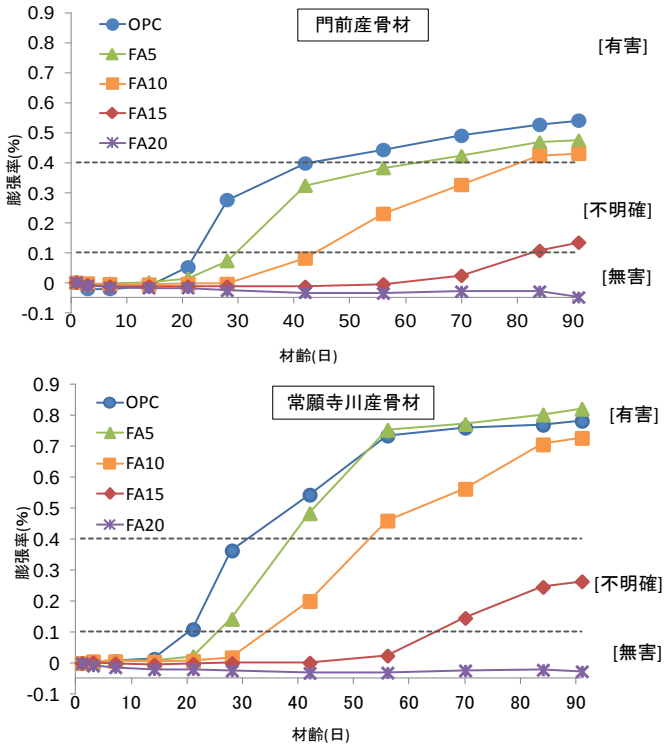

図 1　デンマーク法による膨張挙動

表 2　ASR 劣化度判定結果

試料	OPC		FA5		FA10		FA15	
門前産	V	V					Ⅲ	Ⅰ
常願寺川産	V	V	V	V	V	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ

門前産のFA5、FA10、両骨材のFA20は薄片作成中
（左：断面周縁部、右：断面中心部）

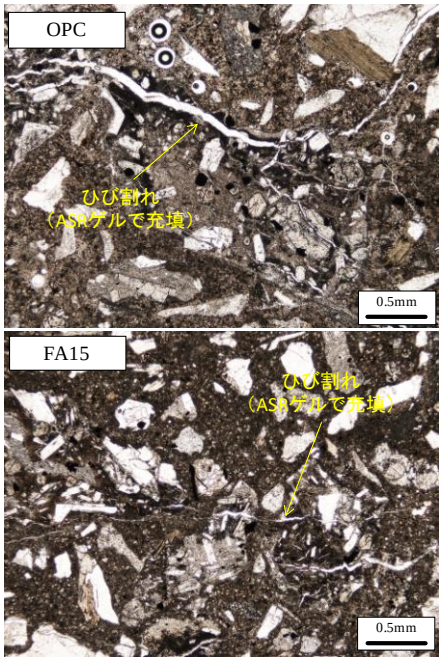

写真 1　偏光顕微鏡写真（単ニコル）
上：常願寺川産骨材（OPC，劣化度Ⅴ）
下：常願寺川産骨材（FA15%，劣化度Ⅲ）

果もほぼ同様であり，両骨材ともに分級 FA 置換率が 20%で完全に膨張が抑制された。すなわち，火山ガラスを多く含有する安山岩砕石とオパール，クリストバライトを含有する川砂利の両者に対して，分級 FA10%及び 15%置換では遅れて膨張が発生するのに対して，分級 FA20%置換では長期にわたり良好な ASR 抑制効果を有することが確認できた。

（2）偏光顕微鏡観察による ASR 劣化度の判定：判定結果を表 2 に，劣化度の例として偏光顕微鏡写真（常願寺川産骨材 OPC 及び FA15%）を写真 1 に示す。本研究は，薄片をモルタルバーの周縁部と中心部の 2 箇所で作製して，塩分の浸透域と内部での ASR 劣化度を比較した。とくに，分級 FA15%置換では断面周縁部のみで ASR が発生していたが，分級 FA5%及び 10%置換では全断面内における ASR 劣化度が同程度であった。このことは塩分の浸透域のみで ASR が発生しており，ASR 発生抑制に FA による塩分浸透の低減が有効に作用していることを示している。

4．まとめ

（1）高い反応性を有する安山岩砕石と川砂利のデンマーク法による膨張測定の結果より，分級 FA の 20%置換では長期にわたり ASR の発生を完全に抑制できた。

（2）偏光顕微鏡観察により求めた ASR 劣化度の判定結果とデンマーク法における膨張量とは良く一致していた。

参考文献

1). 西澤彩ほか：能登半島産安山岩砕石のフライアッシュによるASR 抑制効果の検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.34（2012 投稿中）

2). 鳥居和之，山戸博晃：北陸地方における骨材の岩石・鉱物学的特徴と ASR 試験法の適合性，セメント・コンクリート，No.738，pp.53-56（2008）

3). 広野真一ほか：北陸地方を代表する反応性骨材 2 種のアルカリシリカ反応性の特徴とその抑制対策，セメント技術大会（2012 投稿中）

キーワード　アルカリシリカ反応，安山岩系骨材，フライアッシュ，デンマーク法

連絡先　〒615-8265　京都府京都市西京区京都大学桂　京都大学工学研究科社会基盤工学専攻　TEL:075-383-296