

分級フライアッシュの活用による PC 桁・PCa 製品の ASR 抑制対策

金沢大学 学生会員 ○吉田匠吾, 金沢大学 学生会員 板坂 匠
金沢大学 Irfan Prasetya, (株) ピーエス三菱 正会員 鈴木雅博

1. はじめに

北陸地方の富山、石川及び福井の各県には、石炭火力発電所がそれぞれに存在し、原子力発電所が停止している現在、それらはほぼフル稼働している。そのため、フライアッシュのコンクリートへの有効利用の促進が地域的に重要となっている。フライアッシュのコンクリートへの利用拡大には、「品質の安定」と「供給体制の確立」が課題になる。この問題を解決するために、平成 23 年 1 月に、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）」が発足し、北陸地方全域における高品質フライアッシュの供給とフライアッシュコンクリートのマニュアルの作製に向けた活動が始まっている¹⁾。

そこで本研究では、北陸地方で発生している PC 桁・PCa 製品の ASR 抑制対策の一環として、3 種類の促進モルタルバー法により分級フライアッシュの ASR 抑制効果を実験的に検証した。

2. 実験概要

(1) 使用材料

本研究には、早強ポルトランドセメント（略記：HOPC、密度：3.14g/cm³、比表面積：4300cm²/g）、分級フライアッシュ（略記：FA、密度：2.44g/cm³、比表面積：4780cm²/g）および高炉スラグ微粉末（略記：BFS、密度：2.91g/cm³、比表面積：6030 cm²/g）を使用した。各材料の蛍光 X 線分析の結果を表一 1 に示す。分級フライアッシュは、石炭の炭種を限定した II 種灰をサイクロンにより分級することで、平均粒径が 8μm と微細になり、かつ均一な球形の粒子となっている。また、分級フライアッシュの X 線回折結果（リートベルト法）より、原粉と比較して、結晶質の石英やムライト、マグネタイト減少し、シリカ質に富んだガラス相が増大することが確認されている。このため、フライアッシュのポズラン活性が大きく改善され、活性度指数（JIS A6201）が 91%（28 日材齢）および 104%（91 日材齢）になり、I 種灰の規格をも満足するものになった。使用骨材は北海道産の安山岩碎石（化学法（JIS A1145）の結果より、Sc=688mmol/l、Rc=78mmol/l（Sc/Rc=8.8））である。

表一 1 HOPC, FA, BFS の化学成分 (%)

	Ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	total
HOPC	0.9	20.5	5.3	2.5	65.9	0.8	---	---	3.1	0.2	0.3	99.6
FA	2.0	53.6	28.9	6.7	3.2	0.8	1.4	0.1	0.2	0.3	0.7	97.9
BFS	0.6	33.0	13.6	0.1	42.6	5.8	0.6	0.2	3.1	0.2	0.2	99.9

この碎石の主要な反応性鉱物はクリストバライト（トリディマイト）であり、火山ガラスがほとんど含まれていないのが岩石・鉱物学的な特徴である。

(2) モルタルの配合と ASR 試験方法

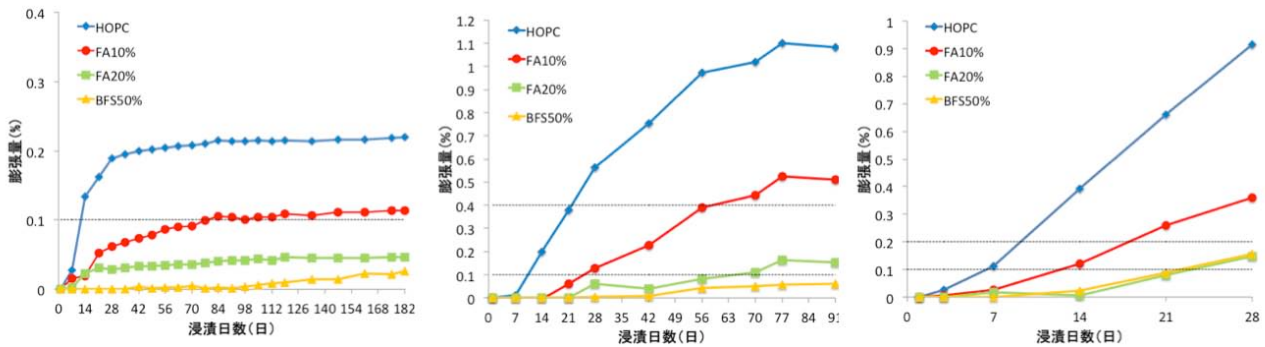
3 種類の促進モルタルバー法（JIS A1146、デンマーク法（飽和 NaCl 溶液浸漬）、ASTM C1260(1N の NaOH 溶液浸漬)）を実施した。実際の PC 桁・PCa 製品のコンクリートの配合を考慮して、使用セメントを早強ポルトランドセメント、水セメント比を 35%、分級フライアッシュの置換率を 10%および 20%（比較の高炉スラグ微粉末の置換率を 50%）とした。

3. 実験結果および考察

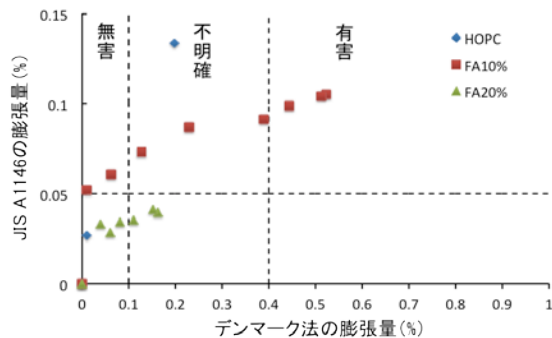
分級フライアッシュを 10%および 20%使用したモルタルおよび高炉スラグ微粉末を 50%使用したモルタルの膨張挙動を図一 1 に示す。JIS A1146 では、3 ヶ月材齢での膨張量は FA10%で 0.1%、FA20%で 0.05%となり、ペシマム現象を有する、反応性が高い安山岩碎石に対しても、FA 添加の増加による ASR 抑制効果が明確になった。また、デンマーク法では、FA20%のものは長期間にわたり ASR が効果的に抑制されているのが確認できた。試験終了後の

キーワード ASR 抑制対策、分級フライアッシュ、PC 桁・PCa 製品、促進モルタルバー法

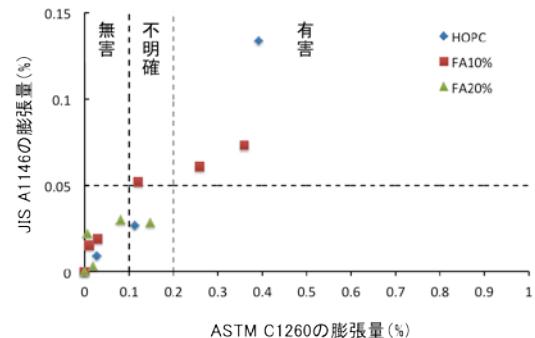
連絡先 〒920-1192 金沢市角間町 Tel:076-264-5111



図一 安山岩砕砂を使用したモルタル (W/C=35%, FA10%, 20%および BFS50%) の膨張挙動



図三 JIS A1146 とデンマーク法の比較



図四 JIS A1146 と ASTM C1260 の比較

酢酸ウラニル蛍光法と塩分浸透の測定との比較より、ASR 発生が塩分浸透の観察された試験体の表面に限定されたことによるものであることが判明した。近年、北陸地方などの寒冷地では凍結防止剤の散布により PC 桁・PCa 製品が高濃度の NaCl 溶液に曝される機会が増えている。このような使用・環境下では FA 添加による ASR 抑制効果がより発揮されるものと期待できる。さらに、ASTM C1260 ではモルタルの膨張量(材齢 14 日)が FA10%で 0.15%, FA20%で 0.08%となり、デンマーク法とほぼ同様な、FA 添加の増大によるモルタルの膨張量の低減効果が確認された。

分級フライアッシュ 20%置換と高炉スラグ微粉末 50%置換の膨張量について 3 種類の促進モルタルバー法の結果より、FA20%と BFS50%の ASR 抑制効果はほぼ同程度であり、どちらもフライアッシュセメントと高炉スラグセメントの B 種相当である置換率により ASR が効果的に抑制できることが示めされている。しかし、ASR 抑制のメカニズムは異なっており、フライアッシュはポズラン反応の過程で生成する、低 C/S 比の CSH によるアルカリ濃度の減少効果が大きいものに対して、高炉スラグ微粉末はセメントの希釈作用による効果が大きいものと考えられる。3 種類の促進モルタルバー法 (JIS A1146, デンマーク法および ASTM C1260) を比較すると、試験温度とアルカリの種類およびその供給量の関係から、上記の順番でより過酷な試験条件での ASR 試験となっている。本研究に使用した安山岩砕砂に関しては、図一 2 および図一 3 に示すように、JIS A1146 (91 日材齢) とデンマーク法 (91 日材齢)、ASTM C1260 (14 日材齢) の結果には良い相関性が認められ、分級フライアッシュの ASR 抑制効果の早期判定にそれらの試験法の適用が十分に可能であることが明らかになった。

4. まとめ

本研究の結果より、高品質な分級フライアッシュを 20%添加することにより、反応性の高い安山岩砕石に対しても長期にわたり良好な ASR 抑制効果が発揮することができた。また、3 種類の促進モルタルバー法の結果には良い相関性があり、ASR 抑制効果の早期判定にデンマーク法および ASTM C1260 を適用することができた。

参考文献

- 1) 鳥居和之: フライアッシュの活用によるコンクリートの高耐久化- 北陸地方の ASR 問題への取り組みと情報発信 -, 電力土木, No.357, pp.1-5, 2012