

各種ポゾラン材料による ASR 抑制効果の比較検討

金沢大学工学部 正会員 山戸博晃 北陸電力 正会員 参納千夏男
 札幌市役所 正会員 野口陽輔 金沢大学自然科学研究科 正会員 鳥居和之

1. はじめに

北陸地方では、アルカリシリカ反応(ASR)によるコンクリート構造物の損傷が多く報告されている。このため、骨材資源の活用と ASR 対策の両者の観点より、混合セメント(フライアッシュ B 種、高炉 B 種)を標準セメントとする方が検討されており、フライアッシュ、ゼオライト粉末などのポゾラン材料を ASR 抑制対策として積極的に利用する機会が今後増えていくことが予想されている¹⁾。

本研究は、北陸地方にて入手が可能であるポゾラン材料(フライアッシュ及びゼオライト粉末)を使用したモルタル試験体の促進養生条件下における膨張挙動及び試験終了後のモルタルバーの ASR ゲルの化学成分分析より、ポゾラン材料の使用による ASR 抑制効果を比較検討したものである。

2. 実験概要

本研究に使用した反応性骨材は、実構造物での ASR 損傷が確認されている、富山県常願寺川産の川砂利(化学法:「無害でない」、Sc: 353mmol/l, Rc: 68mmol/l)である。セメントは普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm³, 比表面積: 3330cm²/g, 等価アルカリ量: 0.68%)を使用した。本研究に使用したポゾラン材料(フライアッシュ 3 種(略 FA)及びゼオライト質凝灰岩粉末(略 ZO))の化学的・物理的性質を表-1に示す。フライアッシュ(JIS A 6201 の 種に相当)は、北陸地方の石炭火力発電所から産出されたものであり、FA-S(富山産)は、FA-N(石川産)及び FA-T(福井産)と比較して低品質のものであった。X線回折分析より、3種類のフライアッシュにはガラス相の存在を示す halo ($2\theta = 15\sim 35^\circ$) とともに結晶性鉱物として石英($-SiO_2$)及びムライト($3SiO_2 \cdot 2Al_2O_3$)のピークが存在し、FA-N 及び FA-T は FA-S よりもガラス相の占める割合が多く、ポゾラン反応性が良好であると推察された。ゼオライト粉末(福井産)は天然ゼオライトであるモルデナイトが含まれており、この他に石英($-SiO_2$)及び長石が存在した。モルタル試験体の作製におけるポゾラン材料によるセメントの置換率は内割り(質量置換率)で 10%及び 20%とした。モルタルバーの促進膨張試験は、JIS A 1146 法(温度 40、相対湿度 100%)、デンマーク法(温度 50 の飽和 NaCl 溶液浸漬)及び ASTM C 1260 法(温度 80 の 1N・NaOH 溶液浸漬)の 3 条件にて実施した。

3. 実験結果および考察

各種モルタルバー法の膨張量及び ASR の判定結果を表 2 に示す。いずれの試験方法においても、セメントのみのもの(OPC)に比較してポゾラン材料を置換したものは膨張量が大きく抑制されており、ポゾラン材料の種類(品質)及びそれらの置換率による膨張抑制効果の相違が確認された。一方、JIS A 1146 法では、モルタル中のアルカリが供試体外部へ溶出する事によるアルカリ度の低下により、膨張量が頭打ちとなり、デンマーク法及び ASTM C 1260 法の判定結果と違うものとなった。また、判定までに長期間(6ヶ月)を有することが問題であっ

表-1 ポゾラン材料の化学的・物理的性質

	密度(g/cm ³)	比表面積(cm ² /g)	強熱減量値(%)	シリカ分(%)
FA-S(富山)	2.05	2950	3.20	46.80
FA-N(石川)	2.32	4070	1.80	62.16
FA-T(福井)	2.16	4310	4.20	67.40
ZO(福井)	1.16	15176*	13.04	61.68

* BET 比表面積

キーワード: アルカリシリカ反応、ポゾラン材料、促進膨張試験

連絡先: 工学部土木建設工学科 〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 Tel 076-234-4621 Fax 076-234-4632

た。それに対して、デンマーク法及び ASTM C 1260 法は、外部からアルカリが供給されるため、比較的早期で ASR が促進され、モルタルバーの膨張量が増大することから、ポゾラン材料による ASR の抑制効果を適切に判定できると考えられた。

モルタルバー試験終了後の供試体の ASR ゲルの化学組成を図 1 に示す。全体として、デンマーク法において生成した ASR ゲルはアルカリ分に対してカルシウム分が少ない化学組成となり、NaCl 溶液の浸透過程でカルシウム分の少ない ASR ゲルを多量に生成することにより、長期にわたりモルタルの膨張が持続するためと考えられた。一方、ASTM C 1260 法の ASR ゲルは、シリカ分が少なく、カルシウム分及びアルカリ分が多い化学組成となった。これは、1N・NaOH 溶液の浸透によりアルカリ分を多く含む、流動性の高い ASR ゲルが生成していることを示唆している。試験終了後のモルタルの ASR ゲルの生成量(酢酸ウラニル蛍光法による発色面積率)と膨張量の関係を図 2 に示す。デンマーク法では、ASR ゲルの生成量とモルタルの膨張量には正比例の関係が確認された。OPC のものは、ASR ゲルの発色面積率が 75%と多くなり、安山岩粒子の周囲にのみ ASR ゲルが観察された。一方、ASTM C 1260 法では、ASR ゲルの生成量とモルタルの膨張量には相関が認められなかった。

4. まとめ

JIS A 1146 法では ASR 判定までに長期間が必要であることから、比較的早期にポゾラン材料による ASR の抑制効果を判定するためには、外部からアルカリが供給されるデンマーク法及び ASTM C 1260 法が有利であった。とくにデンマーク法では、ASR ゲルの生成量とモルタルの膨張量には良好な関係が確認された。また、両試験法においては、ポゾラン材料の品質及び置換率による ASR 抑制効果の相違が明確に認められ、富山県産の川砂利に対して、ポゾラン材料による ASR 抑制を発揮するには 20%の置換率が必要であった。

【参考文献】

- 1) 西林新蔵 他:低品位フライアッシュの ASR 抑制効果に関する研究,コンクリート工学年次論文集,Vol.25, No.1, pp.53~58, 2003

表 2 ポゾラン材料による ASR 抑制効果の一覧

試験方法	JIS A 1146 法		デンマーク法		ASTM C 1260 法	
	膨張率(%)	判定結果	膨張率(%)	判定結果	膨張率(%)	判定結果
OPC	0.443	×	1.237	×	0.710	×
FA-S	10%	×	1.150	×	0.635	×
	20%		0.675	×	0.048	
FA-N	10%		0.947	×	0.414	×
	20%		0.398		0.003	
FA-T	10%		0.936	×	0.404	×
	20%		0.433	×	0.020	
ZO	10%	×	0.843	×	0.315	×
	20%		0.302		0.058	

ASR 抑制効果(○:有り, ×:無し, □:不明)

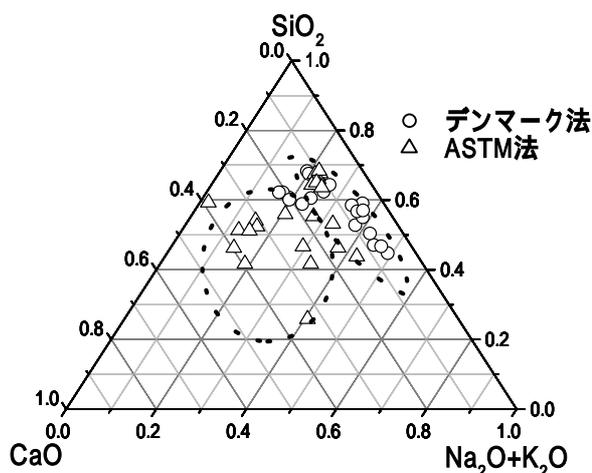


図 1 ASR ゲルの化学組成

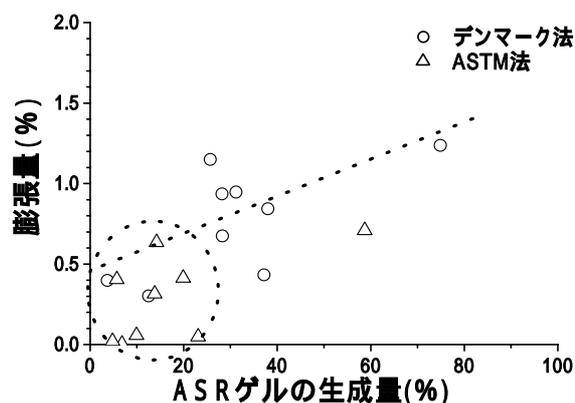


図 2 ASR ゲルの生成量と膨張量の関係