

ポゾラン材料によるモルタルの ASR 膨張の抑制効果の検討

金沢大学大学院 学生員 ○野口陽輔 金沢大学工学部 正会員 山戸博晃
北陸電力(株) 正会員 参納千夏男 金沢大学工学部 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。同地方では、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策が検討されており，フライアッシュ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⁾。

本研究では，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）による ASR 膨張の抑制効果を調べるために，ポゾラン材料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について 2，3 の検討を行った。

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（比重：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））の化学成分を表-1 に示す。フライアッシュ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）の品質は JIS A 6201 のⅣ種，FA-N（石川産），FA-T（福井産）の品質はⅡ種にそれぞれ相当する。ポゾラン材料の X 線回折図を図-1 に示す。3 種類のフライアッシュにはガラス相の存在を示す halo（2θ=15~35°）とともに結晶性鉱物として石英（α-SiO₂）及びムライト（3SiO₂・2Al₂O₃）のピークが存在する。これらの図より，FA-N 及び FA-T（Ⅱ種）は FA-S（Ⅳ種）よりもガラス相の占める割合が大きく，ポゾラン反応性が良好であると推察される。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多く含まれており，この他に石英（α-SiO₂）及び長石が存在する。モルタル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 1 N・NaOH 溶液浸漬）の 3 条件にて実施した。

表-1 物理的性質及び化学成分

ポゾラン材料	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	化学成分(Wt%)									
			ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
FA-S(富山)	2.05	2950	3.20	46.80	32.00	3.40	7.60	1.00	-	-	0.23	0.63
FA-N(石川)	2.32	4070	1.80	62.16	23.45	0.80	4.28	0.58	1.25	0.25	0.23	1.10
FA-T(福井)	2.16	4310	4.20	67.40	19.50	1.00	3.50	0.70	0.90	0.18	0.38	1.08
ZO(福井)	1.16	15176*	13.04	61.68	14.66	1.44	2.52	0.60	0.43	-	2.13	3.35

* BET 比表面積

3. 実験結果と考察

JIS A 1146 法におけるモルタルバーの膨張挙動を図-2 に示す。本試験法は判定までに長期間（6 カ月）を有することが問題である。図-2 より，セメントのみのもの（OPC）に比較してポゾラン材料により置換したものはいずれも膨張が大きく抑制されているが，材齢 3 カ月までの結果ではポゾラン材料の種類（フライアッシュ及びゼオライト粉末）及びそれらの置換率による膨張抑制効果の相違は明確ではない。それに対して，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 法は，ASR が促進され，モルタルバーの膨張量が增大することから，比較的早期にポゾラン材料による ASR の抑制効果を判定できることが有利であると考

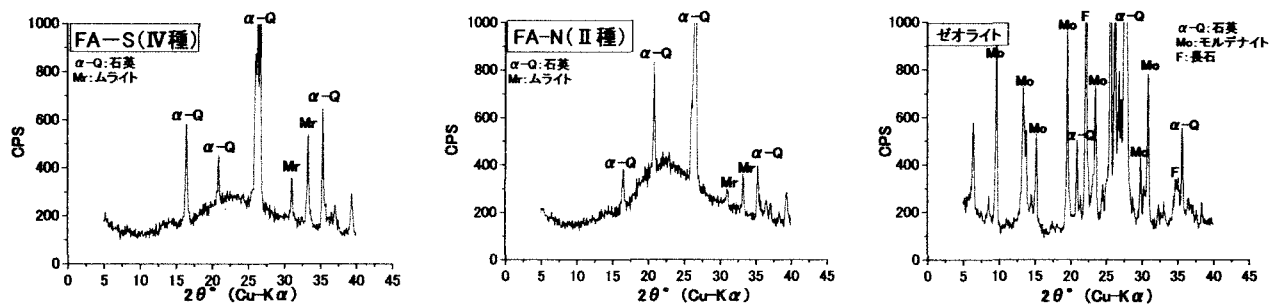


図1 ポゾラン材料のX線回折図

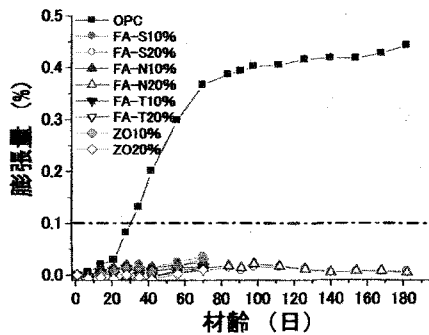


図-2 JIS A 1146 法

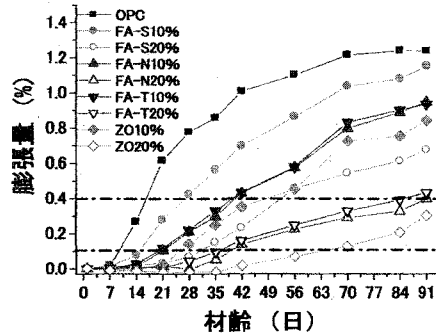


図-3 デンマーク法

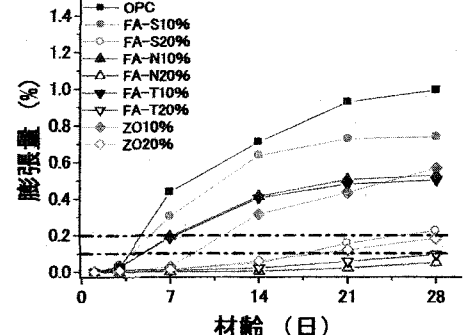


図-4 ASTM C 1260 法

えられた。

デンマーク法におけるモルタルバーの膨張挙動を図-3に示す。デンマーク法では塩化ナトリウム溶液の浸透とともに長期にわたりモルタルの膨張が継続するのが特徴である。ポゾラン材料により置換したものはOPCよりも膨張率が減少しており、置換率20%のものは置換率10%のものと比較してモルタルの膨張率がさらに半以下になっている。また、フライアッシュの品質に関して、FA-N及びFA-T(Ⅱ種灰)はFA-S(Ⅳ種灰)よりも膨張率が大きく減少しており、フライアッシュの品質(ポゾラン反応性)による抑制効果の相違が明確に認められた。ポゾラン材料間の比較では、ゼオライト粉末の置換率20%のものの膨張抑制効果が最も大きかった。これは、ゼオライトのポゾラン反応がフライアッシュよりも早く進行し、塩化ナトリウム溶液のモルタルへの浸透が効果的に抑制されることと、ゼオライト中のモルデナイトによるアルカリの吸着作用により骨材のASRの進行が抑制されること、との相乗作用による効果であると推察される。

ASTM C 1260法におけるモルタルバーの膨張挙動を図-4に示す。ASTM C 1260法の判定基準(14日材齢にて0.1%未満の膨張率のものを「無害」と判定する)に従うと、フライアッシュ及びゼオライト粉末は置換率20%のものがすべて「無害」と判定され、置換率10%のものは「有害」または「不明」と判定された。また、ASTM C 1260法におけるモルタルの膨張挙動は全体的にはデンマーク法のものと良く一致していた。しかし、フライアッシュとゼオライト粉末とのASR抑制効果には相違が認められた。

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法が有利であると考えられた。また、ポゾラン材料による抑制を発揮するには20%の置換率が必要であり、フライアッシュの品質による抑制効果の相違が明確に認められた。

現在、モルタルバーの終了後にASRゲルの化学組成分析を予定しており、ASRゲルの化学組成に及ぼすポゾラン材料の影響を明らかにしたいと考えている。

【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