

フライアッシュ外割り混合時の ASR 抑制効果に関する一考察

(財) 電力中央研究所 正会員 ○山本 武志, 廣永 道彦

(株) セレス 正会員 久松 信太郎, 増子 善和

1. 目的

フライアッシュに含まれるアルカリが ASR 抑制効果に及ぼす影響を評価する。

2. 実験概要

(1) モルタル試験

モルタル用細骨材にパイレックスガラス 7740 (ほうけい酸ガラス) を用い, 通常の ASR 評価試験で用いられるアルカリ添加を行わず, 普通ポルトランドセメント ($\text{Na}_2\text{O}=0.31\%$, $\text{K}_2\text{O}=0.47\%$ ($\text{R}_2\text{O}=0.62\%$)) を使用した。アルカリ添加により, フライアッシュのアルカリ量が ASR に及ぼす影響が希薄化すること, ならびにポゾラン反応が促進すること等の影響を排除することを目的とした。一方で試験体の ASR 膨張量を増幅させるために骨材/結合材比は, モルタルバー法で一般に用いられる 2.25 よりも低減した 1.5 とした。そして, フライアッシュを細骨材代替で混合したコンクリートの減水効果の向上とともに ASR 抑制効果が高まるのは, 細骨材置換率 10% 近傍であるとした知見¹⁾を参考に細骨材の体積 10% をフライアッシュ (表-1, 亜瀝青炭混焼灰) で置換し, フライアッシュを結合材換算せずに水/セメント比=0.5 で $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ のモルタル試験体を打設した。なお, 細骨材の粒度調整は JIS A1146 に定められる方法に準拠した。型枠脱型後の試験体に対して 38°C 湿空養生を行い, 所定材齢で試験体長を測定した。

(2) ASR ゲルの主要構成元素比率および分布状態の評価

試験体長測定を終えた試験体を切断・研磨し, EPMA による元素分布測定を実施した。分析領域は, $2.5 \times 10 \text{ mm}$ ならびに $0.3 \times 0.6 \text{ mm}$ として, フライアッシュに含まれるアルカリが ASR ゲルの組成に及ぼす影響を評価した。

表-1 フライアッシュの化学特性と諸特性値

試料	強熱減量 (%)	SiO_2 (%)	CaO (%)	Fe_2O_3 (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	R_2O (%)	API (%)	ガラス化率 (%)	塩基度	ブレン値 cm^2/g	密度 g/cm^3	活性度指数 (%)	
													91 日	1 年
M1	2.1	49.8	6.04	13.3	0.20	0.56	0.57	43	69	0.48	4040	2.50	99	115
M2	3.1	53.8	4.83	12.3	0.66	1.19	1.44	42	64	0.46	4380	2.43	100	116
M3	2.2	73.1	1.70	4.3	0.34	0.58	0.72	34	69	0.24	3370	2.24	97	112
M4	2.1	55.6	4.06	8.3	0.51	0.71	0.98	35	65	0.41	4040	2.38	99	115
M5	4.4	55.6	2.20	7.5	0.26	1.01	0.92	33	63	0.35	4040	2.24	96	111

注：塩基度は Sakai ら²⁾ の手法により求めた。API は, 山本ら³⁾ の手法により求めた。

3. 実験結果

(1) モルタル膨張率

膨張率の経時変化を図-1 に示す。材齢 27 週で膨張傾向は収束した。最終材齢とした 68 週において, いずれのフライアッシュを混合した場合でもフライアッシュ無混合モルタル (基準) の膨張率に比べて低い膨張率に収まった。しかし, M1 を混合した場合は, 他のいずれのフライアッシュを混合した場合に比べて膨張率が高く, 無混合時よりも 0.014% 低い程度であった。M1 の R_2O は 1.44% であり, 他のフライアッシュの 0.57~0.98% に比べてアルカリ量が僅かに高い (表-1)。

(2) ASR ゲルの主要構成元素比率

フライアッシュの混合の有無に関わらず, Ca 化していない ASR ゲルは, 細骨材に形成されたひび割れ中, もしくはその開口部に集中していた。EPMA の分析領域を $2.5 \times 10 \text{ mm}$ としたフライアッシュ無混合, および混合時の ASR ゲル主要構成元素比率を表-2 に示す。非 Ca 化 ASR ゲルに含まれる Na, Ca, Si の濃度範囲はいずれの場合も同様であるが, K はフライアッシュ混合時に高まる傾向³⁾を確認した。

(3) ASR ゲルの分布領域

ASR ゲル中の各元素の分布面積構成比率を表-2 中の area% に示す。フライアッシュ混合モルタルでは, Na 以外の主要構成元素の分布面積構成比率が基準モルタルと同程度, もしくは超える結果であった。M1 のようにフライアッシュに含まれる K 量が多い場合は, 骨材中にひび割れをもたらす ASR ゲル量が比較的多くなると推察した。骨材から溶出する各元素の移動状態を図-2 に示す。骨材表面ならびに骨材から離れた空隙で局所的に Si 濃度が高まり, Ca 化した ASR ゲル (C-S-H) が形成され, その領域の Na, K 量は骨材亀裂中の ASR ゲルに比べて少ない。セメントおよびフライアッシュに含まれる Na, K は反応性骨材に向かって移動し, 同時に骨材表層部から溶出した Na も骨材亀裂中の ASR ゲルに濃縮される現象を確認した。

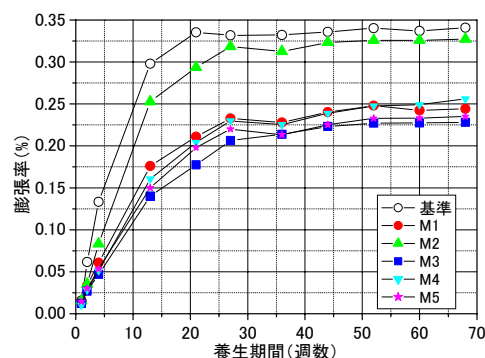


図-1 モルタル膨張率の経時変化

キーワード ASR, フライアッシュ, アルカリ量, 外割り, ゲル

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財) 電力中央研究所 TEL 04-7182-1181

表-2 ASR ゲルの主要構成元素比率と分布面積の比較 (分析領域: $2.5 \times 10 \text{ mm}$)

	Na	K	Ca	Si
基準	4~5% (2.1area%)	2.1~6.4% (1.4area%)	4.3~8.6% (1.8area%)	14~31% (10.2area%)
M2	4~5% (1.8area%)	2.1~7.5% (2.0area%)	4.3~8.6% (2.2area%)	14~31% (9.9area%)
M4	4~5% (1.8area%)	2.1~7.5% (1.5area%)	4.3~8.6% (2.6area%)	14~31% (10.3area%)

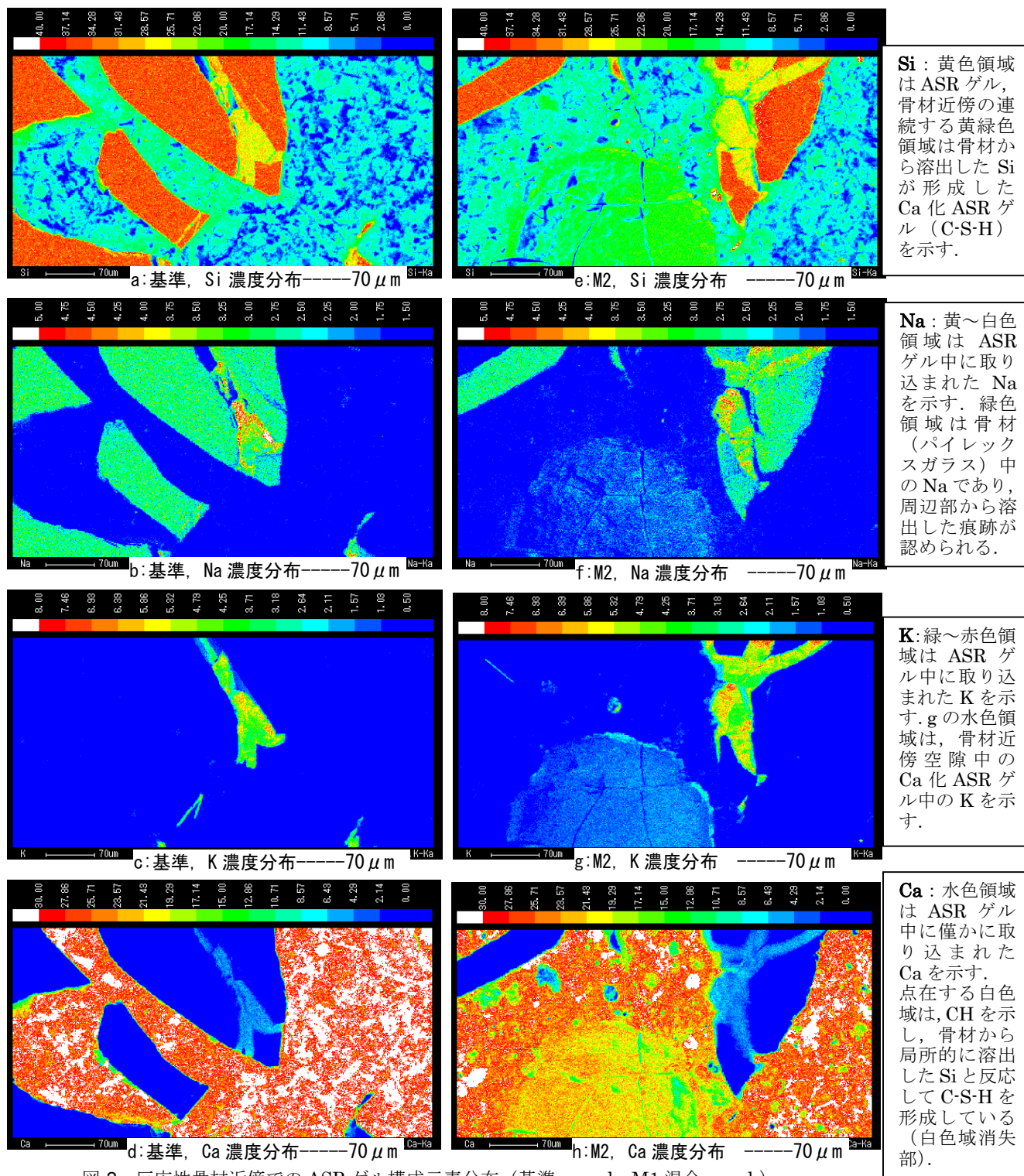


図-2 反応性骨材近傍での ASR ゲル構成元素分布 (基準: a~d, M1 混合: e~h)

4. まとめ

本研究の範囲に限られるが, フライアッシュのアルカリ量 (R_2O) が 1.4%程度であっても外割り混合時は, ASR 抑制効果が僅かに低下した. さらにアルカリ量が高い場合は単位セメント量等, 配合面での注意が必要である.

参考文献

- 1) 古賀ら: フライアッシュを外割り使用したコンクリートの諸特性, 電力土木, No. 321, pp. 131-135, 2006.
- 2) Sakai et al., Hydration of fly ash cement, Cement and concrete research, Vol. 35, pp. 1135-1140, 2005.
- 3) 山本・金津: API 法によるフライアッシュのアルカリシリカ反応抑制効果の評価, 土木学会論文集 E, Vol. 62, No. 4, pp. 657-671, 2006.