

フライアッシュ及びカルシウムアルミネート鉱物の性質が ASR 抑制に及ぼす影響

愛知工業大学 正会員 ○岩月 栄治
(株)トクヤマ 正会員 新見 龍男
(株)トクヤマ 正会員 加藤 弘義

1. はじめに

アルカリシリカ反応（ASR）の対策は 1986 年に規定され、36 年にわたって実施されてきた。しかし現在においても劣化事例の報告があり、今後も ASR 対策が必要である。本研究は、ASR 抑制対策として使用されているフライアッシュと、新たにカルシウムアルミネート鉱物に注目し、その抑制効果について検討した。

2. 使用材料

実験に使用したフライアッシュは、1 つの火力発電所で採取した 2 つのサンプルを用いた。その XRF, XRD を用いた分析結果を表 1～表 2 に示す。フライアッシュの種別としては、FA-1 はⅢ種、FA-2 はⅡ種に相当する。表 1 の Igloss 補正後の結果から、アルミは FA-1 が多く、Si は FA-2 が多い組成であった。また、ガラス化率（非晶質相の割合）は表 2 から FA-1 は 57.9%，FA-2 は 71.7%であった。カルシウムアルミネート鉱物は、実験室において試薬を焼成したもので、鉱物としては CA2（CaO・2Al₂O₃）に相当するものを用いた。

3. コンクリート供試体の作製とひずみの測定

コンクリート供試体の配合を表 3 に示す。粗骨材のうち、反応性骨材は岐阜県産のチャート碎石（Yo, Sc 304mmol/l, Rc 143mmol/l）、非反応性骨材は滋賀県産の石灰岩碎石を使用した。細骨材は、非反応性の石灰岩砕砂（滋賀県産）を用いた。セメントは、研究用普通ポルトランドセメント（セメント協会, Na₂O 等価 0.59%）を使用した。フライアッシュは、セメント質量の 10%, 15%（内割）とし、カルシウムアルミネートはセメント質量の 0.5%, 1.0%を添加した。コンクリート全体のアルカリ量は、NaOH 特級試薬を用いて 9kg/m³に調整した。供試体の作製後、28 日間の封緘湿布養生を 20℃の環境で行った。その後、変位計をコンクリート表面に設置し、屋外暴露環境下でのひずみの変化を測定した。

表 1 フライアッシュの XRF 分析結果（化学組成） (wt%)

試料名	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	total	ig.loss	湿分
FA-1	61.4	23.9	6.2	1.3	1.3	0.7	1.2	1.1	0.3	0.0	0.1	97.5	5.8	0.1
FA-2	69.9	19.2	4.5	0.8	0.9	0.3	1.2	0.8	0.3	0.0	0.0	97.9	3.2	0.1
FA-1	57.8	22.5	5.8	1.2	1.3	0.6	1.2	1.1	0.3	0.0	0.1	91.8	※ig.loss補正	
FA-2	67.6	18.6	4.3	0.8	0.8	0.3	1.2	0.8	0.3	0.0	0.0	94.8	※ig.loss補正	

表 2 フライアッシュのガラス化率計算結果（鉱物組成） (wt%)

試料名	Glass	ig.loss	Mullite	α-quartz	Hematite	Maghemite	Magnetite	CaSO ₄	total
FA-1	57.9	5.8	18.4	16.0	0.4	1.5	0.0	0.1	100.0
FA-2	71.7	3.2	10.1	13.5	1.2	0.0	0.3	0.0	100.0

表 3 コンクリートの配合

骨 材		粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメ ント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (Kg/m ³)				
粗骨材	細骨材				水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤
チャートYo	石灰岩	20	59	46	177	300	809	961	0.75
石灰岩				45				997	

キーワード アルカリシリカ反応，膨張抑制，フライアッシュ，カルシウムアルミネート鉱物
連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247
愛知工業大学工学部土木工学科 TEL 0565-48-8121

4. 結果および考察

屋外暴露によるコンクリート供試体のひずみ測定結果（変位計による自動計測）を図1及び図2に示す。チャート Yo は測定開始からひずみが増加しており、冬季の23年1月19日以降も増加している。フライアッシュを置換した供試体では、FA-1の10%置換が測定開始から22年12月20日頃までチャート Yo と同様のひずみの増加を示しており、初期の反応抑制がみられないが、その後のひずみの増加は緩やかになり、抑制効果が遅れて現れている。同15%置換は測定開始直後からひずみの増加が抑制されていることから、置換率の差が抑制効果に影響していることがわかる。FA-2は10%置換、15%置換とも初期からひずみの増加が抑制されており、置換率による差はみられない。カルシウムアルミネート CA2 は測定開始初期から FA-1、FA-2 よりもひずみの増加が抑制されており、新たな ASR 抑制剤として利用できるかもしれない。なお、非反応性の石灰岩は測定開始直後からひずみの増加は見られていないことから、チャート Yo の ASR による膨張と、FA および CA2 による膨張抑制を示していると判断される。

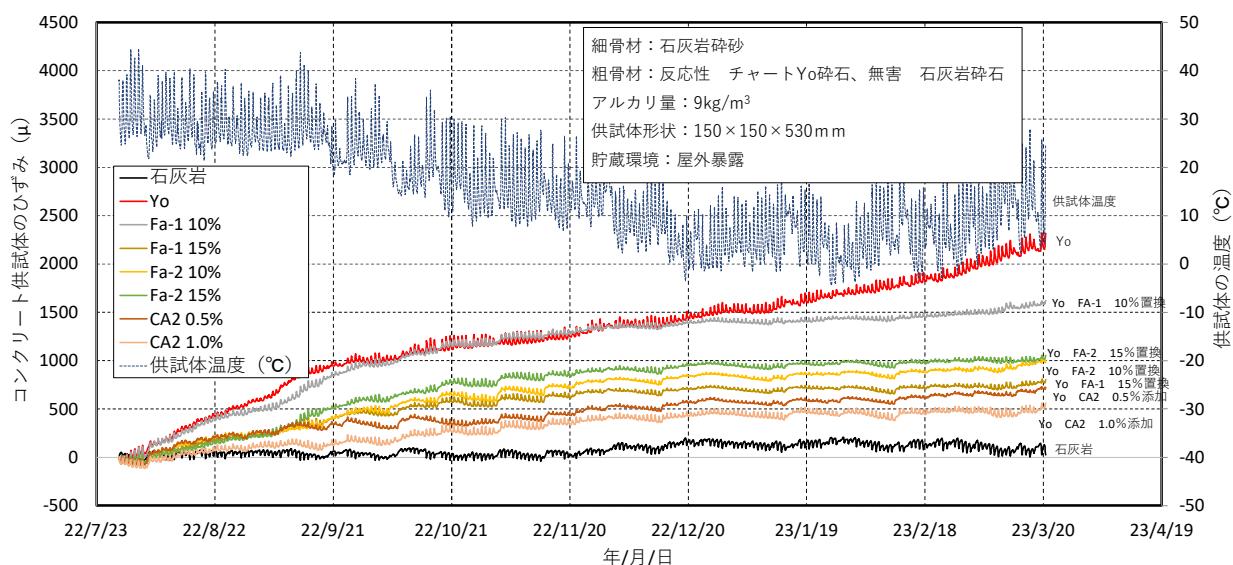


図1 屋外暴露したコンクリート供試体の ASR によるひずみの測定結果

フライアッシュの FA-1 と FA-2 では抑制効果が異なることについては、Ⅱ種とⅢ種の違いの他に、化学組成や鉱物組成の違いも影響しておりガラス化率の違いによるアルカリ中での溶解の差も影響していると思われる。また、CA2 はカルシウムやアルミの溶解によって反応生成物の膨張を抑制しているのかもしれない^{1,2)}。今後、詳細な検討を継続する予定である。

5. まとめ

フライアッシュやカルシウムアルミネート鉱物による抑制効果について今後も測定を継続するとともに、抑制作用のメカニズムを微細な観察等によって検討している予定である。

謝辞：本研究は、日本学術振興会 令和3年度科学研究費助成事業 基盤研究（C）課題番号 21K04220 研究代表者（岩月栄治）によった。フライアッシュにおいては（一財）電力中央研究所 山本武志氏の協力を得た。

参考文献

- 1) 新見龍男, 加藤弘義, 岩月栄治: 反応性骨材のアルカリシリカ反応生成物に及ぼすカルシウム塩の影響, コンクリート工学論文集, 2023年34巻, pp.1-9 (2023.1.15)
- 2) 岩月栄治: カルシウムアルミネート鉱物によるアルカリシリカ反応抑制に関する研究, 資源・素材2022, No.1401-06-03 (2022.9.6)

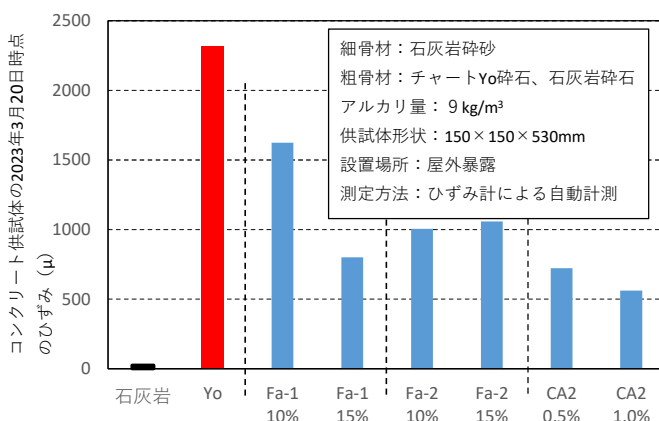


図2 コンクリート供試体の23年3月20日時点のひずみ