

ペシマム現象を伴う ASR を生じた場合における FA の抑制効果

九州大学大学院

学生会員 内村 中

学生会員 池田 隆徳

正会員 濱田 秀則

正会員 佐川 康貴

(株)太平洋コンサルタント

正会員 高橋 晴香

正会員 山田 一夫

1. はじめに

現在、主なアルカリシリカ反応(ASR)抑制対策として、コンクリート中のアルカリ総量の規制(Na_2O 等量で 3kg/m^3 以下)、抑制効果のある混和材の使用がある。ペシマム現象を生じる骨材はアルカリ総量 3kg/m^3 以下でも劣化を生じた例が報告されており¹⁾、混和材による抑制対策が有効と考えられる。また、モルタル膨張試験よりペシマム混合率付近においてフライアッシュ(FA)の抑制効果が低下することが示されている²⁾。そこで本研究では、コンクリート膨張試験よりペシマム現象を生じた場合における FA の ASR 抑制効果について検討した。

2. 使用材料

本研究では骨材のペシマム混合率を把握するため、粗骨材には反応性骨材と非反応性骨材(石灰石)の混合骨材を、細骨材には非反応性骨材(石灰石砕砂)を使用し、供試体を作製した。反応性骨材には反応性の極めて高い鉱物であるオパールが脈状に分布する安山岩 A を使用した。また、ASTM C 289(化学法)においてアルカリ濃度減少量 $\text{Rc}=181\text{mmol/l}$ 、溶解シリカ量 $\text{Sc}=473\text{mmol/l}$ を示し、「潜在的有害」と判定された。

セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm^3 、比表面積 $3370\text{cm}^2/\text{g}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=0.55\%$)、FA は JIS 規格のⅡ種に相当する 3 種類(R1, R1-4, T)である。表-1 に使用した FA の諸特性を示す。非晶質相の組成は、リートベルト法により定量し、表中には ASR 抑制に関連の高い成分のみを示している。また、レーザー比表面積はレーザー回折・散乱法により測定した値である。R1 と R1-4 を比べると、R1-4 に比べ R1 の方が比表面積が大きいことが分かる。T は R1 や R1-4 と比較すると、ガラス化率が低く、非晶質の SiO_2 の量も少ない。

表-1 使用する FA の諸特性

FA の種類	化学成分(%)							非晶質相の組成(%)				密度(g/cm^3)	レーザー比表面積(cm^2/cm^3)	ブレン比表面積(cm^2/g)
	LOI	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$	ガラス化率	SiO_2	CaO	Al_2O_3			
R1	1.50	60.17	22.24	5.80	0.48	0.97	1.12	73.76	48.14	5.47	11.06	2.30	23031	3910
R1-4	2.25	59.05	23.72	5.12	0.44	0.87	1.01	64.22	42.86	4.65	8.47	2.24	17286	3860
T	1.58	61.16	29.69	0.75	0.18	0.34	0.40	40.01	31.86	0.75	2.51	2.26	16354	4510

3. コンクリートにおけるペシマム現象の確認

使用骨材のペシマム現象の確認を目的として FA 無混和コンクリートの膨張試験を行った。配合条件は水セメント比 $\text{W/C}=55\%$ 、細骨材率 $s/a=45\%$ 、単位水量 $\text{W}=165\text{kg/m}^3$ とした。粗骨材の体積を一定とし、粗骨材に対して体積置換で反応性骨材混合率(r/g)を 10~100%で変化させた。アルカリ総量 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ は NaCl を添加して 3, 4, 6kg/m^3 となるよう調整した。供試体寸法は $\phi 100 \times 200\text{mm}$ とし、促進養生条件は 40°C の環境下で湿布養生とした。

図-1 に材齢 300 日における膨張率と反応性骨材混合率の関係を示す。膨張が最大を示す骨材混合率(ペシマム混合率)はアルカリ総量ごとに異なっており、アルカリ総量 4, 6kg/m^3 ではペシマム混合率 $r/g=40\%$ となり、アルカリ総量 3kg/m^3 ではペシマム混合率 $r/g=30\%$ であった。また、コンクリート中のアルカリ量が減少することで、より

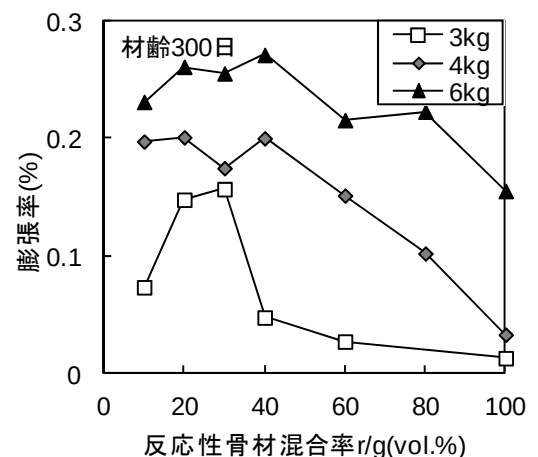


図-1 反応性骨材混合率と膨張率の関係

明確なペシマム現象を確認することができ、ペシマム混合率は低い領域に遷移する傾向が認められた。

4. ペシマム混合率におけるFAのASR抑制効果

3.の結果より、骨材Aはコンクリートにおいてペシマム現象を示した。そこで、アルカリ溶脱の影響を加味し、アルカリ総量 4kg/m^3 でペシマム混合率付近である $r/g=30$ 、40%にFAを混和してペシマム混合率におけるFAのASR抑制効果について検討した。表-2に本試験の要因および水準を一覧で示す。なお、本研究では、供試体の名称を(FAの種類)-(FA混和率)の順に表記する。配合は、3.における配合を基本配合とし、FAはセメントに対して内割で質量置換した。粗骨材量は一定とし、FA混和による体積変化は単位水量、単位細骨材量により調整した。

図-2および図-3に膨張率の経時変化を示す。なお、図中にはFA無混和の場合の膨張率も示している。FAを25%混和した場合には全ての要因で膨張を示さなかった。FAを15%混和した場合に着目すると、 $r/g=30\%$ のR1-15では膨張率が0.05%以下と小さい値となったが、その他の場合は0.1%を超える膨張を示した。本研究で用いたFAは全て同じJISのⅡ種に相当するが、それぞれで膨張率が異なった。ガラス化率が高く、比表面積が大きいものほど抑制効果が高い傾向である。特に、比表面積に関してはレーザー回折・散乱法により測定した値が高いほど抑制効果が高く、FAの品質評価に適していると考えられる。これらのパラメータはFAのASR抑制効果に対して影響が大きいことが示されているが、本研究で対象としたペシマム現象に関しても、これらの品質の影響が大きいことが明らかとなった。

5. FAの抑制効果に関する考察

化学的性質等により、最も抑制効果の高いと考えられたR1を混和した場合のみ、混和率15%で膨張を抑制することができた。しかし、 $r/g=40\%$ の要因においてはR1を15%混和した場合には0.1%近い膨張率を示し、 $r/g=30\%$ の場合とは異なる傾向となった。R1を同様に15%混和した場合において、反応性骨材の量が変化することによって、FAのASR抑制効果に大きな差が認められた。これは、最も膨張率が大きくなった $r/g=40\%$ では、R1でも置換率15%では抑制効果が不足したためと考えられる。また、FAを混和することでASR膨張を小さくできているが、促進期間300日時点においても収束していない要因も存在し、FAを混和した場合にはより長期的に膨張挙動を評価する必要があると考えられる。

6. まとめ

本研究の範囲内では、ペシマム混合率付近におけるASR劣化を抑制する場合において、フライアッシュの抑制効果は同じJISのⅡ種に相当するものであっても、抑制効果は異なる結果となった。また、反応性骨材の混合割合などの要因もフライアッシュの抑制効果に影響を及ぼすと考えられた。

【参考文献】

1) 山田一夫, 川端雄一郎, 河野克哉, 林建祐, 広野真一: 岩石学的考察を含んだASR診断の現実と重要性, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第7巻, pp.21-27, 2007.11
2) 井上祐一郎, 濱田秀則, 川端雄一郎, 山田一夫: ペシマム現象を生じる骨材を用いたモルタルのフライアッシュによるASR抑制効果, コンクリート工学論文集, Vol.32, No.1, pp.953-958, 2010.06

表-2 FA混和コンクリートの供試体一覧

アルカリ総量 (kg/m^3)	反応性骨材 混合率 r/g (vol.%)	FAの種類	FA混和率 (mass.%)	要因の 呼称
4	30 40	R1	15	R1-15
			25	R1-25
		R1-4	15	R1-4-15
			25	R1-4-25
		T	15	T-15

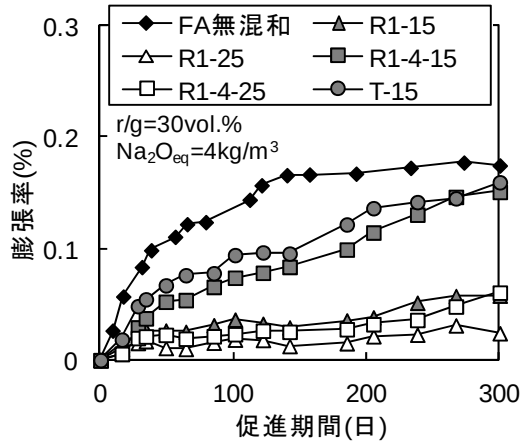


図-2 膨張率の経時変化 ($r/g=30\%$)

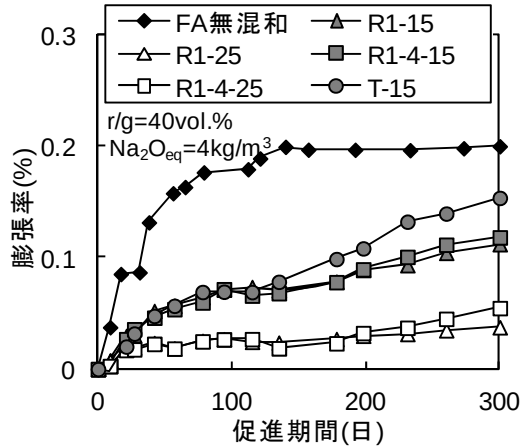


図-3 膨張率の経時変化 ($r/g=40\%$)