

品質の異なるフライアッシュの ASR 抑制効果に関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○西 政好 九州大学大学院 正会員 濱田 秀則
九州大学大学院 正会員 佐川 康貴 (独)港湾空港技術研究所 正会員 川端 雄一郎

1. はじめに

フライアッシュ(以下 FA とする)のアルカリシリカ反応(以下 ASR とする)抑制効果は、その物理・化学的性質により異なることが知られており、FA が ASR 抑制効果に影響を及ぼす性質を把握する必要がある。本研究は物理・化学的性質の異なる FA を混入したコンクリートの膨張量試験を行い、FA の ASR 抑制効果の評価方法を検討したものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料及び配合

セメントには普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm^3 , ブレーン比表面積 $3250\text{cm}^2/\text{g}$, $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=0.55\%$)を用い、性質の異なる 7 種類の FA(A~G)を混和材として使用した。表-1 に FA の性質を示す。本実験においてはブレーン比表面積(B_{FA})以外にレーザー回折・散乱法から得られる粒度分布から算出されるレーザー比表面積(A_{FA})についても測定した。粗骨材には ASR 反応性である安山岩碎石(表乾密度 2.69g/cm^3 , 吸水率 1.83%), 細骨材には非反応性の海砂(表乾密度 2.56g/cm^3 , 吸水率 2.12%)を使用した。表-2 に FA 無混和のコンクリートの配合条件を示す。FA はセメントに対し 15%質量置換し、フライアッシュの置換による体積変化は単位水量を調節することにより対応して、単位粗骨材量が一定となるように配合した。また、NaCl によりアルカリ総量を 4, 6, 8kg/m^3 に調整した。

表-1 フライアッシュの性質

FA の種類	化学組成(%)							ガラス化率(%)	非晶質相の組成(%)				密度(g/cm^3)	ブレーン比表面積(cm^2/g)	レーザー比表面積(cm^2/cm^3)
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$	Fe_2O_3		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO			
A	60.2	22.2	5.8	0.5	1.0	1.1	4.3	74.0	65.0	15.0	4.9	7.4	2.30	3910	23031
B	52.0	20.1	13.8	0.8	1.2	1.6	5.8	80.3	54.2	17.0	6.0	14.7	2.41	4100	23634
C	59.1	23.7	5.1	0.4	0.9	1.0	4.3	64.4	66.5	13.1	5.1	7.2	2.24	3860	17286
D	57.0	19.0	11.8	0.6	1.2	1.4	5.3	70.0	58.8	15.7	5.5	12.8	2.20	2080	8115
E	57.4	27.5	3.9	0.4	1.0	1.0	4.8	64.3	67.7	13.8	5.8	5.5	2.27	2100	6204
F	61.2	29.7	0.8	0.2	0.3	0.4	2.7	40.2	79.2	6.2	3.7	1.9	2.26	4510	24757
G	63.2	21.6	2.2	0.7	1.7	1.8	5.1	74.1	68.7	16.0	5.2	2.9	2.31	3710	20171

表-2 フライアッシュ無混和のコンクリートの配合

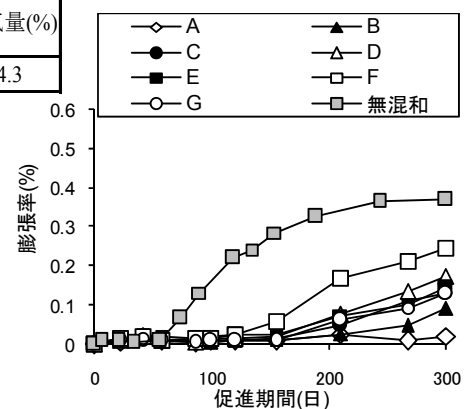
W/C (%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)						スランプ (cm)	空気量(%)
		W	C	S	G	AE減水剤(g/m ³)	AE剤(C×%)		
55	45	165	300	801	1028	937.5	0.004	7.8	4.3

2. 2 供試体の作製および養生

供試体は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体とし、1 要因につき 3 体作製した。打設後 24 時間で脱型し、材齢 28 日まで温度 20°C , 相対湿度 95%以上の環境下で前養生を行った。その後、コンクリート供試体を湿布で巻き、温度 40°C の恒温恒湿槽で促進養生を行った。

2. 3 試験方法

コンクリートの膨張率は、JIS A 1129(コンタクトゲージ法)により測定し、膨張率は 3 体の供試体の平均膨張率とした。

図-1 膨張率の経時変化
(アルカリ総量 6kg/m^3)

キーワード フライアッシュ, アルカリ骨材反応, 比表面積, 非晶質相

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

TEL 092-802-3387 FAX 092-802-3387

3. 実験結果

3. 1 コンクリートの膨張挙動

図-1および図-2にアルカリ総量 6kg/m^3 および 8kg/m^3 の場合のコンクリートの膨張率の経時変化を示す。FA 無混和のコンクリートについてアルカリ総量 8kg/m^3 のコンクリートは 6kg/m^3 のものより膨張率が大きいことから、ASR による膨張はアルカリ量に依存することがわかる。また、FA を混入したコンクリートは、無混和のものよりも膨張率が低く、FA の混入により ASR を抑制していることがわかる。しかし、FA の種類によって抑制効果が異なるため、FA の物理・化学的性質が抑制効果に及ぼす影響度を把握し、抑制効果を適切に評価する必要がある。本研究ではアルカリ総量が異なるコンクリートにおける FA の ASR 抑制効果を評価するために、膨張比を用いた。膨張比とは FA 無混和コンクリートに対する FA 混和コンクリートの膨張率の比であり、膨張比が小さいほど抑制効果が高いといえる。

3. 2 ASR 抑制効果の定量的評価

FA の品質による ASR 抑制効果の違いを定量的に評価するため、川端ら¹⁾が提案したモルタルにおける FA の ASR 抑制効果の指標 α を用いた。 α は非晶質 SiO_2 量($a\text{SiO}_2$)と単位体積モルタル中における FA の容積(V_{FA})とレーザ比表面積(A_{FA})の積であり、 $\alpha = a\text{SiO}_2 \times A_{\text{FA}} \times V_{\text{FA}}$ で表わされる。図-3にアルカリ総量 8kg/m^3 における α と膨張比との関係を示す。 α が増加するに従い膨張比が小さくなり ASR が抑制されていることがわかる。また A_{FA} が大きい FA ほど膨張比が小さくなる傾向があることから、FA の性質のうち表面積が抑制効果に及ぼす影響度が大きいことがわかる。ここで FA の ASR 抑制効果を評価するにあたり、単位アルカリ総量($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$)に対する α により膨張比を整理した。図-4に単位アルカリ総量に対する α と膨張比の関係を示す。 $\alpha/\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が大きくなるほど膨張比低下しており、ある程度相関があることから単位アルカリ総量に対する α により抑制効果を評価できると考えられる。

3. 3 実用性を考慮した ASR 抑制効果の評価

$a\text{SiO}_2$ の定量は分析を要し、また A_{FA} は JIS に規定されていないため α を用いて FA の ASR 抑制効果を評価することは煩雑である。よって、より実用的な評価手法が求められる。FA の性質のうち表面積が抑制効果に及ぼす影響が大きいことから、膨張比をアルカリ量に対するブレン総表面積($B_{\text{FA}} \times V_{\text{FA}}$)により評価する。図-5にブレン総表面積と膨張比の関係を示す。ブレン総表面積が増加すると膨張比が低下していることから、実用的にはブレン総表面積により評価することが可能であるといえる。

4. 結論

- (1) コンクリートにおいても $\alpha (=a\text{SiO}_2 \times A_{\text{FA}} \times V_{\text{FA}})$ で FA の ASR 抑制効果を評価することができる。
- (2) FA の ASR 抑制効果は表面積の影響度が大きく、コンクリートにおける FA の ASR 抑制効果は実用的にブレン比表面積により評価可能である。

【参考文献】

1) 川端雄一郎, 松下博通: アルカリシリカ反応抑制の観点からのフライアッシュの品質評価に関する研究, 土木学会論文集 E, Vol63, pp.379-395, 2007
本研究はコンクリート委員会 フライアッシュ有効活用研究小委員会の研究の一環として行ったものである

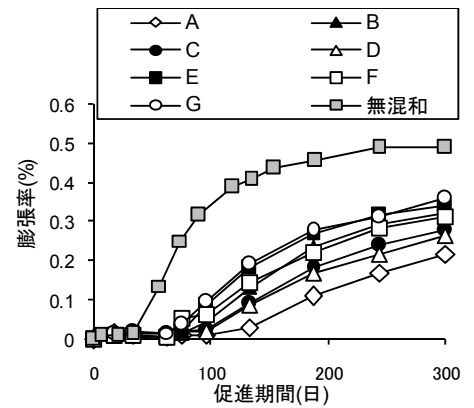


図-2 膨張率の経時変化
(アルカリ総量 8kg/m^3)

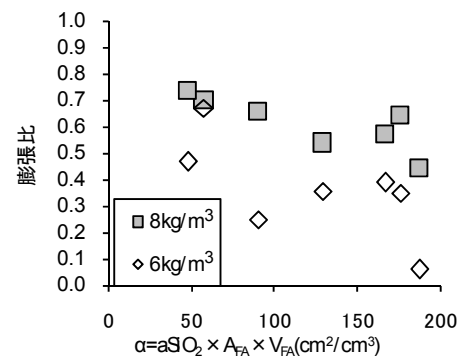


図-3 α と膨張比の関係

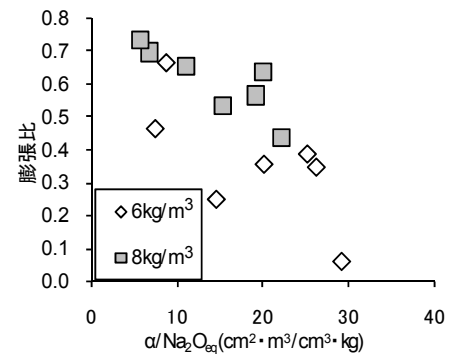


図-4 $\alpha/\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ と膨張比の関係

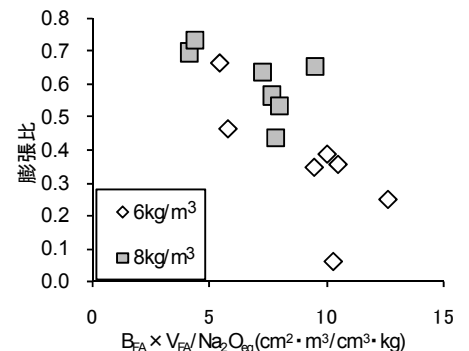


図-5 $B_{\text{FA}} \times V_{\text{FA}} / \text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ と
膨張率の関係