

ASRによるコンクリート膨張のフライアッシュ原粉を用いた抑制

破壊診断工学研究室 谷口 修太

1. はじめに

近年、アルカリシリカ反応（以下 ASR と表記）等によるコンクリート構造物の劣化が問題となる一方で、火力発電の需要が高まり多くの石炭灰が排出されている。

ASR による劣化は、石炭灰の一種であるフライアッシュ（FA）をセメントに置換して使用することで抑制されることが知られており、研究が進められている。しかし石炭灰の中で JIS に適合し利用されているのは 1 割程度であり、その他原粉は有効に活用されていないのが現状である。本研究では ASR をフライアッシュにより抑制することを目的として、JIS に適合するものだけでなく、有効活用されていないフライアッシュの原粉による抑制効果を明らかにすることを目指した。そこで 2 種の反応性骨材を用いて ASR を意図的に発生させた上で、フライアッシュ原粉または JIS II 種を混和したコンクリート供試体の ASR 抑制効果をはじめとした 4 項目の性能について比較した。また、それによってフライアッシュ原粉を利用することの有効性について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

石炭灰としてフライアッシュの原粉と JIS II 種を使用した。両者の品質を表-1 に示す。セメントに普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比は 57% として、細骨材および粗骨材の両方に反応性骨材を用いた供試体を作製した。反応性骨材には北海道産・雲仙産の安山岩砕石および砕砂を使用した。

2.2 供試体概要および配合

供試体として 100×100×400mm の角柱供試体を作製した。概要を表-2 に示す。フライアッシュの置換率は原粉と JIS II 種ともにセメントの 20% と 40% とした。また ASR を生じさせるため、NaNO₂ を使用し、アルカリ量を 12kg/m³ とした。

表-1 フライアッシュ品質

項目	単位	規定値	JIS II 種	原粉	
SiO ₂ 含有量	%	45.0以上	61.63	61.61	
湿分	%	1.0以下	0.11	0.12	
強熱減量	%	5.0以下	2.5	2.42	
密度	g/cm ³	1.95以上	2.24	2.22	
JIS項目 粉末度	網ふるい方法	%	40以下	11	28.6
	ブレン方法	cm ² /g	2500以上	3610	3100
フロー値比	%	95以上	105	104	
活性度	材齢28日	%	80以上	84	82
	材齢91日	%	90以上	102	97
参考項目	Al ₂ O ₃ 含有量	%		25.31	22.96

表-2 供試体概要

供試体名	反応性骨材	FA置換率(%)	FA品質
H-FA0	北海道産	0	-
H-FA20		20	原粉
H-FA20S		20	JIS II 種
H-FA40		40	原粉
H-FA40S		40	JIS II 種
U-FA0	雲仙産	0	-
U-FA20		20	原粉
U-FA20S		20	JIS II 種
U-FA40		40	原粉
U-FA40S		40	JIS II 種

3. 実験方法

本試験で確認するのは、以下の項目である。

(1) ASR 抑制効果が得られるか供試体の膨張量の経時変化を測定した。

(2) フライアッシュを使用した場合、長期強度が増進することが予想されるため圧縮強度試験を行った。

(3) フライアッシュコンクリートは空気連行性が低く、耐凍害性の低下が懸念されるため凍結融解試験により耐凍害性を調査した。

(4) フライアッシュコンクリートは塩化物イオン浸透抵抗性が高いとされているため、塩化物イオン浸透性を調査した。

4. 実験結果および考察

4.1 ASR 抑制効果

図-1 に北海道産骨材を用いた供試体の測定結果を示す。北海道産骨材において、促進 105 日時点で H-FA0 の膨張量が約 5300 μ であったのに対し、

H-FA20, 20S では約 1000 μ , H-FA40, 40S では 150 μ 程度の膨張量であった。フライアッシュ混和による ASR 膨張の抑制, およびフライアッシュ 20%置換では膨張の十分な抑制に至らないことを確認した。雲仙産骨材使用の供試体でも ASR 抑制を確認したが, 両骨材でフライアッシュ原粉と JIS II 種による ASR 抑制効果に差異は見られなかった。ASR 抑制の要因となる SiO₂ の含有量に差異が無かったためと考えられる。

4.2 圧縮強度

両骨材で, フライアッシュの混和により, 材齢進行による圧縮強度の増進が未混和のものより約 5%高まった。フライアッシュ原粉よりも JIS II 種を混和した供試体の方が圧縮強度は高い傾向が見られた。ポゾラン反応に必要な Al₂O₃ の含有量の差によるものだと考えられる。

4.3 耐凍害性

北海道産骨材を使用した供試体の結果について 図-2 に示す。劣化指標となる相対動弾性係数を求め, 60%以下は計測不能とした。両骨材でフライアッシュ混和による耐凍害性の低下を確認したが, 未混和のものを含め全体的に劣化が著しい結果となった。ASR ゲルの析出, および十分な水和反応が得られず強度が発現する前に凍害試験を開始してしまったことが原因と推察される。

4.4 塩化物イオン浸透抵抗性

雲仙産骨材を用いた供試体の測定結果について 図-3 に示す。両骨材にて, 深さ 15mm 以降では浸透量にフライアッシュ使用の影響は見られなかった。しかし表面から 15mm 深さまでの範囲では, フライアッシュを混和した供試体において塩化物イオン浸透量が未混和のものより低く抵抗性の向上が見られた。また FA 同置換率の供試体では, JIS II 種の方がより抵抗性が高かった。原粉と JIS II 種を比較した際に, ポゾラン反応による緻密性の向上が化学抵抗性の向上につながることから, 粒度が細かく活性度指数の高い JIS II 種においてはその特性が顕著になったと推測される。

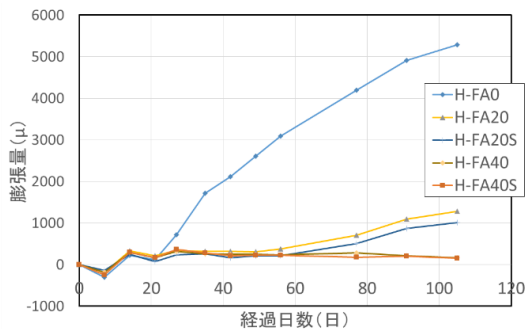


図-1 ASR 膨張量測定結果 (北海道産骨材)

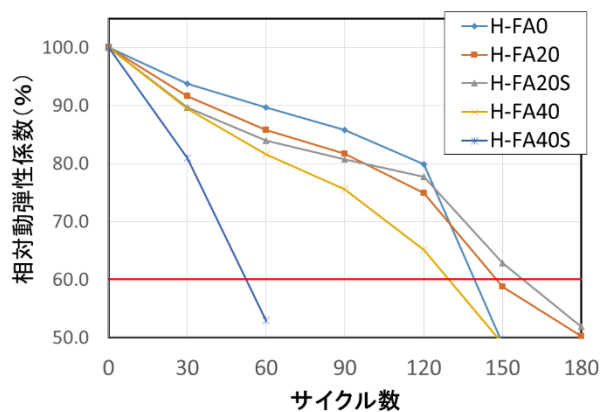


図-2 耐凍害性 (北海道産骨材)

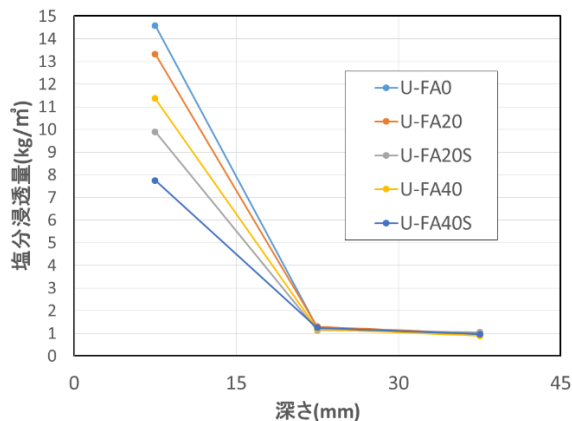


図-3 塩化物イオン浸透量 (雲仙産骨材)

5. 今後の課題

本研究では材齢 2 ヶ月から 3 ヶ月の供試体が主な対象となっていたが, 北海道産骨材を使用したフライアッシュ 20%置換の供試体で促進 70 日頃より ASR 膨張が発現したこと, また雲仙産骨材でも ASR 膨張の遅延が見られたことから, 今後も 6 ヶ月, 12 ヶ月など長期的に観察を続けることが必要だと思われる。また圧縮強度, 塩化物イオン浸透抵抗性についても同様のことが言える。耐凍害性については, 試験開始時にコンクリートの十分な水和反応が得られていなかったと考えられることから, 養生期間を変化させる等, 劣化要因の詳細な分析が必要と思われる。また今回使用したフライアッシュ原粉は 1 種類だが, 産地の異なる石炭灰のフライアッシュ原粉を用いる等, フライアッシュ成分による各種性能への影響をより詳細に比較することで, フライアッシュの性能について評価することができると考えられる。