遅延膨張性 ASR に対するフライアッシュの抑制効果に関する研究

琉球大学大学院　学生会員　金城　和久　琉球大学　非 会 員　崎原　盛伍
琉球大学准教授　正 会 員　富山　潤　琉球大学教授　正 会 員　伊良波　繁雄
琉球大学教授　正 会 員　山田　義智

1. はじめに

沖縄県のコンクリート用細骨材に使用されている新川沖産海砂は，主に堆積岩（珪質粘板岩，珪岩，変成砂岩，粘板岩等）および変成岩（砂岩，頁岩，泥岩等）から構成されている．そこには微晶質石英や隠微晶質石英等の遅延膨張性の有害な鉱物が含まれており，アルカリ骨材反応(ASR)を生じる可能性がある[1]．一方，遅延膨張性を示す有害な鉱物に対して，ASR の抑制を目的にフライアッシュ(FA)を用いた研究も行われ, その有用性が得られている[2]．しかし, FA は燃焼炭の産地や石炭の燃焼過程の違いによって品質が変動するため[3]，ASR 抑制対策に用いる FA の抑制効果を事前に確認する必要がある．

そこで本研究では，遅延膨張性 ASR に対する沖縄県産 FA の ASR 抑制効果を検証するため，次の試験を行った．

①内在アルカリ環境による ASR 検証のため, アルカリ量を事前添加した FA コンクリートコアを対象にした促進膨張試験（JCI－DD2 法）

②外来アルカリ環境による ASR 検証のため, アルカリ無添加の FA コンクリートコアを対象にした促進膨張試験（デンマーク法（飽和 NaCl 溶液浸漬法，50℃）およびカナダ法（1N,NaOH 溶液浸漬法，80℃））

2. 試験概要

本研究は，表-1 に示す各種ケースの促進膨張試験を行った．本促進膨張試験で使用したコンクリートの配合を表-2 に示す．また，試験に用いた FA の品質を表-3 に示す．この FA は, 沖縄県内の A 石炭火力発電所から産出される JIS II 種灰であり，その配合は，フライアッシュセメント B 種を想定し, 内割り配合(セメントの 16%を FA 置換)とした．促進膨張試験の概要を表-4 に示す．

表-1　試験ケース

ケース	試験方法	等価 Na_2O 量	W/C	海砂：砕砂
①	JCI-DD2 法	8kg/m^3	49.5%	100：0 60：40
②	デンマーク法・カナダ法	3kg/m^3 以下	35.0%	100：0 60：40 40：60

表-2　コンクリート配合

W/C (%)	W	C	FA	S1*	S2**	G	NaCl	混
49.5	167	337	0	0	694	1126	11.152	1.685
		337	0	281	417	1126	11.163	1.180
		283	54	0	694	1110	11.776	1.685
		283	54	281	417	1110	11.789	1.011
35.0	156	446	0	0	749	1004	0	8.92
		446	0	303	449	1004	0	6.02
		446	0	455	299	1004	0	5.13
		375	71	0	734	1002	0	4.906
		375	71	297	440	1002	0	3.791
		375	71	445	294	1002	0	3.479

S1*：砕砂(本部産石灰岩)，S2**：海砂(新川沖産)，混：混和剤　[kg/m^3]

表-3　FA の品質表

項目		試験値
二酸化ケイ素(%)		57.5
湿分(%)		0.1
強熱減量(%)		2.4
密度(g/cm^3)		2.31
粉末度	45μm ふるい残分(%)	13
	比表面積(cm^2/g)	3930

表-4　促進膨張試験の概要

試験項目	試験方法	判定基準
JCI-DD2 法	コンクリートコアを 40±2℃，相対湿度 95%以上で湿気槽に保存し, 膨張率の経時変化を測定する．	試験開始後 91 日の膨張率で, 0.05%以上：「有害」
デンマーク法	コンクリートコアを 50℃の飽和 NaCl 水溶液に浸漬し，膨張率の経時変化を測定する．	試験開始後 91 日の膨張率で, 0.1%未満：「膨張性なし」 0.1～0.4%：「不明確」 0.4%以上：「膨張性あり」
カナダ法	コンクリートコアを 80±2℃，1N の NaOH 溶液に浸漬し, 膨張率の経時変化を測定する．(ASTM C 1260 と同様の条件)	試験開始後 14 日の膨張率で, 0.1%以下：「無害」 0.1～0.2%：「有害と無害な骨材」 0.2%以上：「潜在的に有害」

3. 結果および考察

ここでは，各種促進膨張試験の試験結果より，内在および外来アルカリ環境に対する FA の ASR 抑制効果の検討を行う．なお，図-1 から図-3 中の NC は FA 無混和，FC は FA 混和のコンクリートコアを示し，100，60，40 は，細骨材中における海砂(反応性骨材)の混合率を示している．

図-1 に示す JCI-DD2 法の試験結果より, 判定基準である 91 日の膨張率は，FA 混和の有無および海砂と砕砂の混合

比に関わらず「無害」と判定された．しかし，NC では 91 日以降に最大で約 0.01%の膨張が確認され，今後も膨張する可能性を示している．一方, FC では膨張は確認できない．

図-2 に示すデンマーク法の試験結果より，判定基準である 91 日の膨張率は，NC-100 および FC-60 で「不明確」と判断され，それ以外では「膨張性なし」と判断された．また，91 日以降で NC は膨張を続けているが，FC では膨張は確認できない．

図-3 に示すカナダ法の試験結果より，判定基準である 14 日の膨張率は，FA 混和の有無および海砂と砕砂の混合比に関わらず「無害」と判定された．しかし，14 日以降での FC の膨張率は，NC の膨張率に比べて抑えられている．

これ等の試験結果より, FA を混和することによって ASR による膨張が抑えられたと考えられ，FA の ASR 抑制効果が確認できる．なお，膨張の原因を特定するために，NC に対して岩石学的診断を行い，ASR ゲルを確認している．

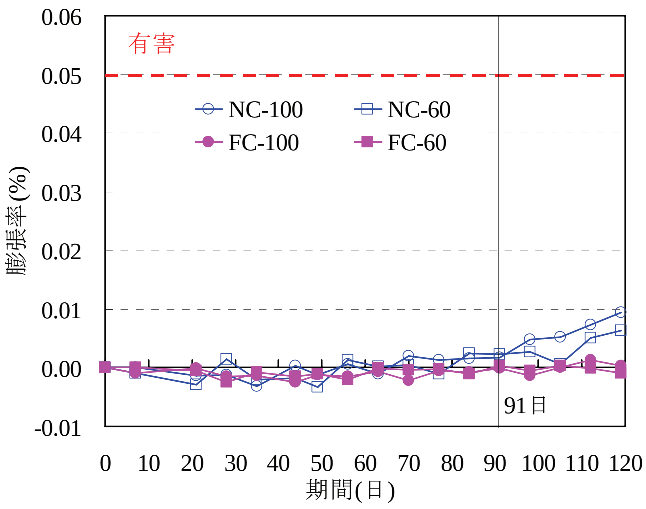

図-1　促進膨張試験結果（JCI-DD2 法）

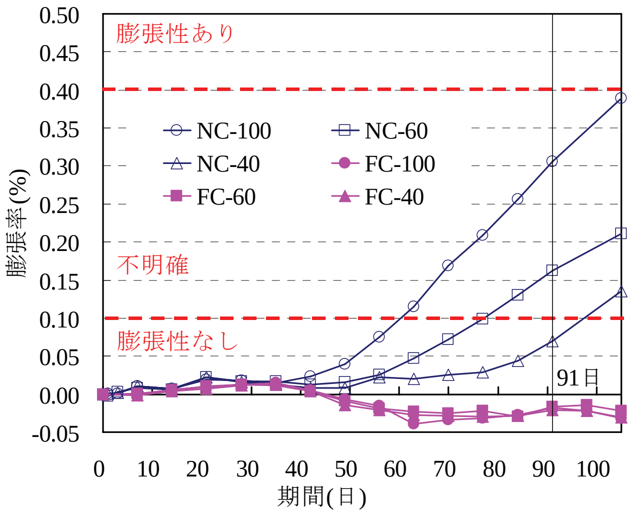

図-2　促進膨張試験結果（デンマーク法）

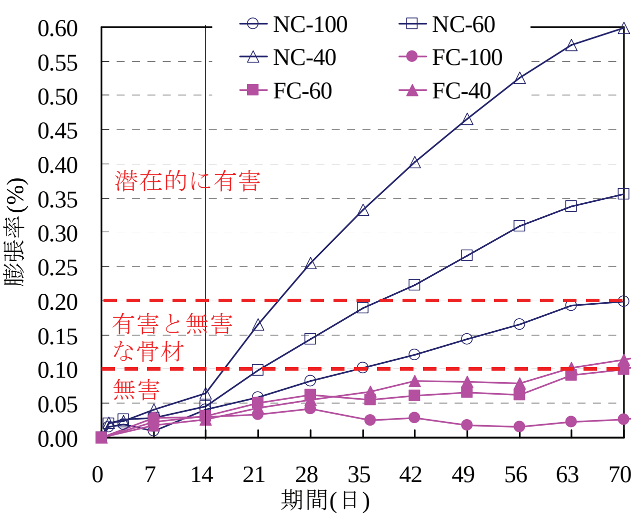

図-3　促進膨張試験結果（カナダ法）

4. まとめ

本研究では, 遅延膨張性を示す海砂を対象に沖縄県産 FA の ASR 抑制効果を検証した. 試験結果から以下の知見が得られた.

(1) 遅延膨張性の骨材を使用したコンクリートコアの JCI-DD2 法，デンマーク法およびカナダ法の促進膨張試験の結果から，内在および外来アルカリ環境において, 各々の判断基準内では有害な膨張は確認できない．しかし，判断基準の期間を超えた時点で膨張挙動が確認され，今後も増加する可能性がある．従って，判断基準の期間についての再考が必要である．

(2) 促進膨張試験の結果から，沖縄県産 FA を混入することにより，遅延膨張性 ASR の膨張が抑えられ，ASR 抑制効果が確認できた．

謝辞：本研究は，琉球大学工学部と内閣府沖縄総合事務局との技術協定のプロジェクトのもと行われ，大城武琉球大学名誉教授より指導を受けた．コンクリート供試体の作製および促進膨張試験(JCI-DD2 法)は，琉球セメント(株)で実施された．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会報告書，（社）日本コンクリート工学協会，2008.9.

2) 富山ら：長期暴露したフライアッシュコンクリート試験体を用いた遅延膨張型アルカリ骨材反応に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp947-952，2004

3) 循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術，（社）土木学会，2009.12.