

遅延膨張性 ASR を示す細骨材のペシマム混合率と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 松本 康宏
 琉球大学准教授 正会員 富山 潤, 琉球大学名誉教授 正会員 大城 武
 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には、微晶質石英や隠微晶質石英等の遅延膨張性を示す有害な鉱物が含まれており、アルカリ骨材反応(ASR)を生じることが明らかとなっている¹⁾。また、遅延膨張性骨材を使用したコンクリート構造物に関してペシマム現象の可能性を示す事例が報告されている²⁾。しかし、現在確認されている新川沖産海砂に起因した ASR は軽微なものである。一方、沖縄県産フライアッシュ(FA)を用いた遅延膨張性 ASR 抑制効果の研究が行われ、その有用性が得られている¹⁾。本研究では、文献 1) の配合条件を変えた追加実験として、(1)遅延膨張性を示す新川沖産海砂を対称にペシマム混合率の検証、(2)沖縄県産 FA の ASR 抑制対策効果の検証(内在・外来アルカリ)を行った。

2. 試験概要

本研究は、検討項目(1)、(2)の検証方法として表-1 に示す各種ケースの促進膨張試験を行った。促進膨張試験で使用するコンクリートは、文献 1) と条件を変えた設計基準強度 27N/mm²、W/C = 49.5%とした。

検討項目(1)：新川沖産海砂のペシマム混合率を検討するために、海砂(反応性)に対する石灰岩砕砂(非反応性)の混合率を 10%刻みで 0%~100%の 11 ケースに対する促進膨張試験を行った。

検討項目(2)：FA の ASR 抑制効果の検証を行うためにフライアッシュセメント B 種を想定し、セメントの 16%を表-2 に示す FA で置換(内割配合)した試験体を作製した。内在アルカリ環境に対する抑制効果の検証として、等価 Na₂O 量を 8kg/m³に調整した試験体を用いた JCI-DD2 法、および外来アルカリ環境に対する抑制効果の検証として、外来アルカリ環境を養生条件としたデンマーク法およびカナダ法による促進膨張試験を行った。なお、後者の検証に用いた試験体は、等価 Na₂O 量を 3kg/m³以下に調整している。

促進膨張試験の概要を表-3 に示す。また、促進膨張試験は、φ55mm×150mm の円柱のコンクリートコアを用い、コンタクトゲージ(基長 100mm)により膨張率を測定した。

表-1 試験ケース

検討	W/C	試験方法	等価 Na ₂ O 量	海砂:砕砂
(1)	49.5 %	JCI-DD2 法	3kg/m ³ 以下	100:0~0:100
		デンマーク法 カナダ法		
(2)	49.5 %	JCI-DD2 法	8kg/m ³	100:0 60:40 40:60
		デンマーク法 カナダ法	3kg/m ³ 以下	

表-2 FA の品質表 (JIS II 種灰)

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(%)
	比表面積(cm ² /g)
	13
	3930

表-3 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%：「有害と無害な骨材が含まれる」 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、新川沖産海砂を対称にペシマム混合率の検討と、内在および外来アルカリ環境に対する FA の ASR 抑制効果の検討結果を示す。なお、図-1 にペシマム混合率を検証した結果を示す。図中の J、D、C は、それぞれ JCI-DD2 法(試験期間 119 日)、デンマーク法(119 日)、カナダ法(26 日)の結果である。この図から、カナダ法の結果では海砂混合率 70 及び 50%時ににおいて突出した膨張が表れ、ペシマム混合率が存在する可能性が示された。デンマーク法の結果からは、反応性骨材で

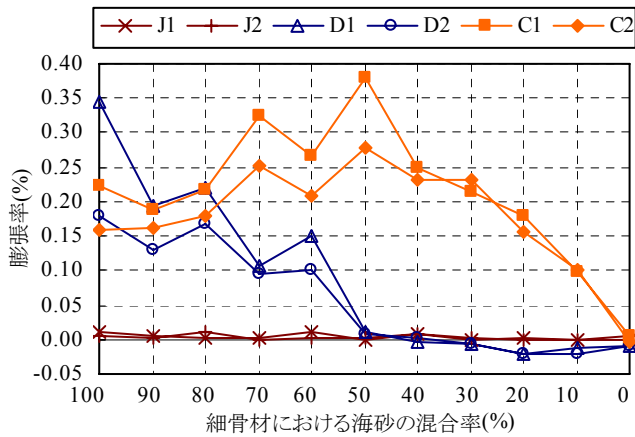


図-1 ペシム混合率の検証結果

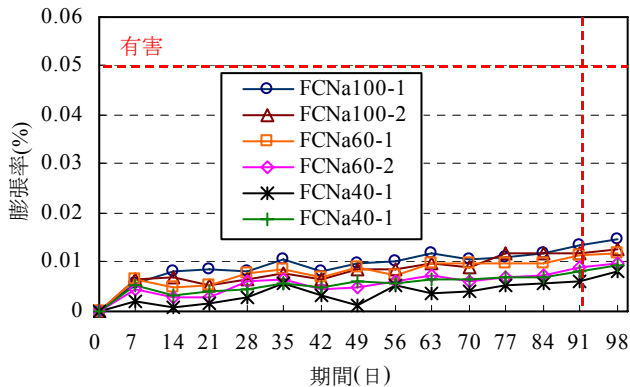


図-2 促進膨張試験結果(JCI-DD2 法)

ある海砂の混合率が高いほど膨張率が大きい傾向となり、今回の実験結果からはペシム混合率は確認できなかった。JCI-DD2 法の結果は、いずれのケースも膨張は確認できない。この結果は、遅延膨張性の ASR を JCI-DD2 法で検出できないことを表している。

次に FA の ASR 抑制効果の検証結果を示す。図-2 から図-4 に JCI-DD2 法、デンマーク法、カナダ法の促進膨張試験の結果を示す。図中の NC, FC, Na は、それぞれ FA 無混和、FA 混和、アルカリを事前添加したコンクリートコアを示し、100, 60, 40 は、細骨材中の海砂の混合率を示している。また、「-1」、「-2」は試験体2本の通し番号を示す。

内在アルカリ環境に関する検証として行った JCI-DD2 法の結果を示す図-2 より、判定基準である91日の膨張率は、すべての試験体において「無害」と判定された。外来アルカリ環境に関する検証として行ったデンマーク法の結果を示す図-3 より、判定基準である91日の膨張率は、NC100-1 及び NC100-2 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。外来アルカリ環境に関する検証として行ったカナダ法の結果を示す図-4 より、判定基準である14日の膨張率は、NC100-1, NC60-1, NC60-2 で「有害と無害な骨材が含まれる」と判断され、

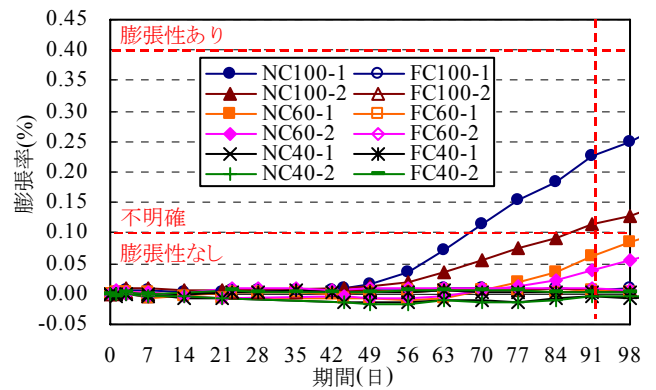


図-3 促進膨張試験結果(デンマーク法)

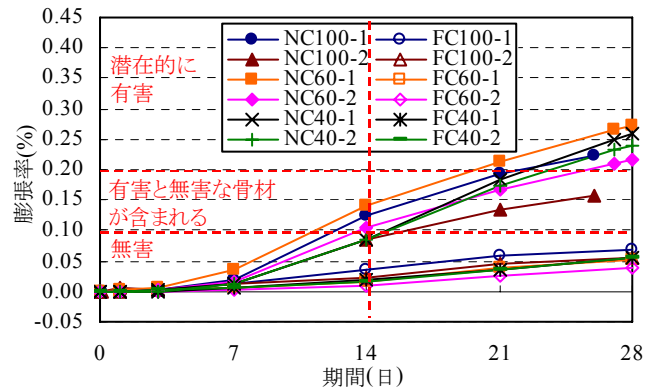


図-4 促進膨張試験結果(カナダ法)

それ以外では「無害」と判断された。しかし、7 日以降、NC は膨張傾向にあるが、FC の膨張率は、NC の膨張率に比べて抑えられている。

4. まとめ

本研究の結果、カナダ法の結果からペシム混合率の存在する可能性が示唆されたが、他の促進膨張試験ではその存在が認められなかった。また、各種促進膨張試験の結果から、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、今後も膨張する可能性がある。さらに、文献 1) と同様に遅延膨張性の ASR に対して FA の ASR 抑制効果が確認できた。

謝辞：本研究の一部は科研費(23560554)及び(社)沖縄しまたて協会の助成を受けたものである。また、コンクリート供試体の作製は、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) 富山潤, 他: 遅延膨張性を示す細骨材に起因したアルカリ骨材反応に関する基礎研究と抑制対策, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, 2011
- 2) Katayama, T., et al: Late-expansive ASR due to imported sand and local aggregates in Okinawa Island, southwestern Japan. Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Trondheim, Norway, pp.862-873, 2008