

コンクリートプリズムを用いた ASR 加速試験における反応促進環境に関する一考察

九州大学大学院 正会員 ○佐川 康貴 山本 大介
 (独)国立環境研究所 正会員 山田 一夫 大迫 政浩
 (株)太平洋コンサルタント 正会員 小川 彰一

1. はじめに

既往の研究¹⁾において、JASS 5N「建築工事標準仕様書・同解説 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」に規定される JASS 5N T-603「コンクリートの反応性試験方法」を元にした修正 JASS 5N 法、および、RILEM AAR-4 “Detection of potential alkali-reactivity - Accelerated method for testing aggregate combinations using concrete prisms” を行い、コンクリートプリズムを用いたアルカリシリカ反応 (ASR) 膨張挙動を比較した結果、実配合コンクリートのアルカリ膨張性を評価できることを明らかにした。本研究では、それぞれの試験法における反応促進環境、特に、水分供給およびアルカリ溶脱の影響について考察した。

2. 使用材料および示方配合

使用した骨材を表-1 に示す。反応性粗骨材として、著しい組成ペシマム現象を示すオパールを含有した骨材 P、および、隠微晶質石英を含む砂質岩およびホルンフェルスである骨材 D の 2 種類を使用した。なお、骨材 D は JIS の化学法およびモルタルバー法では「無害」、ASTM C 1260 では「不明確」と判定される骨材である。また、非反応性骨材には石灰石碎石 R および石灰石砕砂 S を使用した。既往の研究により、骨材 P はモルタルバー法において混合率 30% でペシマム現象を引き起こすものであり²⁾、本研究においても骨材 P : 骨材 R = 30 : 70 (質量比) で混合して使用した。

表-1 骨材試験結果

骨材	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)	アルカリ濃度 減少量(Rc) (mmol/L)	溶解シリカ量 (Sc) (mmol/L)
P	2.46	2.33	57.2	207	672
D	2.64	0.71	57.4	109	16
R	2.68	0.55	57.3	8	1
S	2.68	0.61	68.9		

検討を行ったコンクリートの配合は、粗骨材に骨材 P を用いた No.1 と、骨材 D を用いた No.2 の 2 種類である。細骨材は全て非反応性骨材である骨材 S を使用した。水セメント比 W/C = 55%、単位水量 W = 160kg/m³ は一定とした。コンクリートのアルカリ総量 Na₂O_{eq} は粒状 NaOH を練混ぜ水に溶解して 5.5kg/m³ となるように調節した。

3. 供試体寸法および養生方法

本研究では、コンクリートプリズムを用いた 2 種類の方法で促進膨張試験を行った。一方は、JASS 5N T-603 を元にした方法で、温度を 40℃ から 60℃ に変更した方法 (以下、修正 JASS5N 法) である。修正 JASS 5N 法では 100×100×400mm (約 10kg) の角柱供試体を作製し、脱型後から 30±5 分間吸水させ、供試体長さを測定し、基長とした。測定後に含水量 50g の不織布 2 枚で供試体を覆い、ラップおよびビニール袋で密閉した。写真-1 に修正 JASS 5N 法の供試体の写真を示す。一方、RILEM AAR-4 (以下、AAR-4 法) では 75×75×250mm (約 3.5kg) の角柱供試体を作製した。脱型後から 30±5 分間吸水させ、供試体長さを測定し、基長とした。供試体は水を張った密閉できるステンレス容器に立てて格納した (写真-2)。修正 JASS 5N 法、AAR-4 法ともに供試体は同一の 60℃ 大型養生槽内で養生を行った (写真-3)。促進期間 5, 10, 15, 20, 26 週でビニール袋またはステンレス容器に供試体を入れたまま養生槽から取り出し、20℃ に保った室内で 24 時間自然冷却させた後、JIS A 1129-3「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法-第三部：ダイヤルゲージ法」と RILEM AAR-4 に従い、供試体長さを測定した。

4. 実験結果および考察

図-1 にコンクリートプリズムの膨張率測定結果を示す。促進期間 26 週における膨張率を比較すると、骨材 P に

キーワード：ASR、コンクリートプリズム、加速試験、ペシマム、遅延膨張性骨材、水分供給、アルカリ溶脱

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 E-mail: sagawa@doc.kyushu-u.ac.jp



写真-1 供試体密封状況
(修正 JASS 5N 法)



写真-2 ステンレス容器格納状況
(AAR-4 法)



写真-3 養生状況
(60℃養生槽)

については修正 JASS 5N 法で 0.21%, AAR-4 法で 0.15%の比較的高い値を示し, ASR 膨張は収束傾向にあることが分かる。それに対し, 骨材 D では修正 JASS 5N 法では 0.071%を示し, 促進期間 26 週を経過してもなお膨張が収束していないが, AAR-法では 0.031%となり収束傾向が認められる。このように, 急速膨張性の ASR 反応性骨材では両試験法で検出できるものの, 遅延膨張性の骨材では AAR-4 法では検出できない可能性があることが実験的に明らかとなった。

次に, 修正 JASS 5N 法と AAR-4 の 26 週経過時までの供試体質量を比較した結果を図-2 に示す。図より, 修正 JASS5N の質量増加が AAR-4 法より大きいことが分かる。この結果より, AAR-4 法ではステンレス容器が密封されて入るものの, 促進期間中にコンクリートの水分供給が十分なされていない可能性が考えられた。

詳細な検討を行うため, 促進期間 26 週経過後に, 修正 JASS 5N 法の不織布 2 枚および AAR-4 法のステンレス容器底部の水に含まれているアルカリ量を測定した。なお, 不織布に含まれているアルカリは, 不織布を熱水抽出し, ろ液を用いて測定した。その結果, 修正 JASS 5N 法では No.1 でアルカリ総量 5.5kg/m^3 のうち 3.4%, No.2 では 2.1%のアルカリが溶脱していることが明らかとなった。一方, AAR-4 法では No.1 で 16.3%, No.2 で 30.3%のアルカリが溶脱していた。同時に行った他の水準を含め, 8 試験体で AAR-4 法では $18.3 \pm 6.7\%$ の溶脱を示し, ばらつきも大きかった。

したがって, AAR-4 法では加熱保温されていたステンレス容器およびコンクリートプリズムが, 膨張率測定時の冷却により容器天板等へ結露が生じ, また, その後の温度上昇時には冷えた供試体に結露を生じ溶脱が大きくなり, 試験結果への影響が大きくなる。遅延膨張性骨材のような膨張速度の遅い骨材では, 溶脱によるアルカリ量の減少と乾燥の影響で膨張が生じにくくなり, 評価が困難になる可能性が考えられる。

これを解決する方法として, AAR-4 の試験については, まず, ASR 反応に必要な十分な水を供給するための湿布と, 溶脱を防止するためのラップフィルムを使用することが望ましい。また, 吸水によって, ASR 反応に必要な液層中のアルカリ濃度が低下する懸念もあるため, 湿布にはアルカリを含む水を使用し, 吸水による液層の濃度低下を抑制する方法も考えられる。

【謝辞】本研究における加速試験は, 烏田 慎也 氏 (現 鹿島建設(株)) が九州大学大学院工学府建設システム工学専攻に在籍中に実施したものである。ここに謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 烏田慎也, Mohd. Isneini, 山田一夫, 大迫政浩, 佐川康貴, 山本大介, 小川彰一: 小型コンクリートによる ASR 膨張挙動の評価, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, pp.1037-1038, 2013.9
- 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, 2010.6

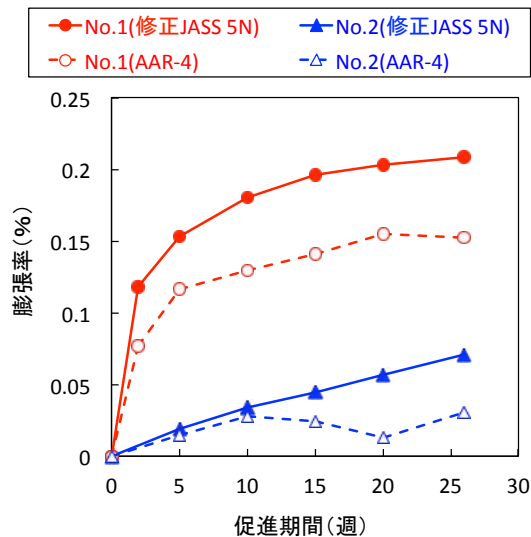


図-1 修正 JASS 5N 法および AAR-4 法試験結果

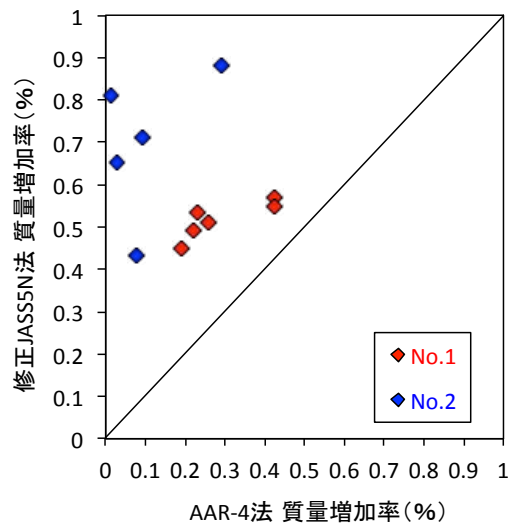


図-2 修正 JASS 5N 法と AAR-4 法の質量変化