

ASR と DEF 及びその複合による鉄筋コンクリートの膨張挙動の検討

埼玉大学 学生会員 ○松本 歩
埼玉大学 正会員 浅本 晋吾

1. はじめに

コンクリートの劣化現象として、アルカリシリカ反応(以下, ASR)とエトリンガイト遅延生成(以下, DEF)が挙げられる. ASR については, 国内では, アルカリ総量の抑制等の対策が 1986 年から行われており, 材料的なメカニズムから構造性能に与える影響まで多角的な検討が行われている. 一方で, DEF は 2016 年から国内のマスコングリートの指針で照査方法が確立されたが, DEF 膨張が構造性能に与える影響については研究が少ないのが現状である. 構造物の安全性を評価するには, DEF によるコンクリートの大きな膨張と鉄筋との相互作用についての基礎的な検討が必要といえる.

本研究では, 無筋コンクリートと鉄筋コンクリートを用いて, ASR と DEF 及びその複合の膨張過程, 鉄筋との付着を伴ったときの膨張挙動の検討及び比較を行うことを目的とする.

2. 実験概要

(1) 示方配合及び試験体寸法

供試体の概要図を 図1 に示す. 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートを各々3体ずつ作製した. 鉄筋は異形鉄筋(SD245)でD13を使用し, 鉄筋中央部にひずみゲージ(2mm)を2枚貼付した. コンクリートの示方配合を表1に示す. ASR及びASR+DEFの供試体は, オパールやク

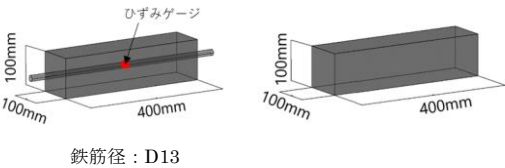


図 1 供試体概要図

リストバライト, 火山ガラスで構成される反応性粗骨材を粗骨材の全体質量比で30%となるように配合した. ASR及びDEFの反応を促進させるために, 硫酸カリウム(K_2SO_4)を用いて, SO_3 をセメント質量で2.5%添加した. また, 表1に示す3ケースに加え, ASRの配合に SO_3 を添加しない4種類の供試体を作製した.

(2)養生方法と計測方法

ASRの供試体は, 20℃環境下で, 24時間封緘養生を行ったのち脱型し, 水中養生を施した. DEF及びASE+DEFの供試体は, 20℃で4時間の前養生を施したのち, 封緘にした状態で30℃/hで2時間昇温し, 12時間80℃を維持した後, 15℃/hで20℃まで降下させ, 20℃環境下で, 2時間養生した後, 水中養生を施した.

供試体自体の膨張と, 鉄筋拘束の検討のため, コンクリートの表面ひずみ及び鉄筋ひずみの計測を行った. コンクリートの表面ひずみはコンタクトゲージ(精度0.001mm, 基長100mm)によって計測し鉄筋ひずみはひずみゲージによって計測した. 既往研究¹⁾によれば, 膨張が加速する時期と動弾性係数の低下に密接な関係があり, 膨張と内部損傷の影響を検討するため, JIS A 1127に従って無筋コンクリートのみ動弾性係数の計測を行った. なお計測は現在も継続中である.

3. 実験結果及び考察

(1) 鉄筋コンクリートと無筋コンクリートのコンクリートひずみの経時変化

コンクリートひずみを 図2 に示す. ASR(SO_3 無添加)の鉄筋コンクリートの供試体は計測に不備があったためグラフから除いている. ASR+DEFの供試体は,

表1 示方配合

供試体	W/C(%)	単位量(kg/m ³)						AE剤(ml)
		水	HPC	細骨材	非反応性粗骨材	反応性粗骨材	K ₂ SO ₄	
ASR	50	174	348	770	602	258	18.94	1087
DEF	50	174	348	770	860		18.94	1087
ASR+DEF	50	174	348	770	602	258	18.94	1087

キーワード: アルカリシリカ反応, エトリンガイト遅延生成, 高温作用, 膨張, 動弾性係数

連絡先: 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255 TEL 048-858-3539

他の供試体と比較すると、大きな膨張量が計測されている。Shayanら²⁾は、ASRによってpHが低下するとエトリンサイトが安定するためDEFが促進される可能性を指摘している。本研究でも、初期の高温作用と K_2SO_4 によるアルカリ増加の相互作用によってASRが促進され、その後pHが低下することで、DEFが促進された可能性が考えられた。

材齢0～60日のASRとDEFの供試体では、鉄筋と無筋、双方とも概して同程度の膨張が計測されている。また、ASR(SO_3 無添加)の供試体がASRとDEFの供試体と比較すると膨張していない。よって、ASRとDEFの供試体の材齢60日までの膨張は、 SO_3 の添加によるエトリンサイト生成が要因として考えられ、ASRや高温によるDEF膨張はさほど発生していないと考えられる。

一方で、材齢120日近辺でDEFの供試体の膨張が急激に増加しており、これは高温作用によるDEF膨張が起きていると推察される。鉄筋コンクリートと、無筋コンクリートの膨張を無筋コンクリートと比較すると、ASR+DEFの供試体は約4倍、DEFの供試体は約2.5倍大きくなっている。現時点ではASR+DEFの供試体の方がより鉄筋によって拘束されているといえる。

(2) 無筋コンクリートの動弾性係数の経時変化

無筋コンクリートの動弾性係数の経時変化を図3に示す。目視によるひび割れがDEFの供試体で材齢110日、ASR+DEFの供試体では材齢27日に確認されており、ひび割れを確認した付近からDEF、ASR+DEFの双方とも動弾性係数の減少する傾向が見られた。また、図2に示す無筋コンクリートの膨張ひずみが急激に増加した材齢と動弾性係数が低下した材齢が概ね一致していることが分かる。ASRの供試体は目視によるひび割れが確認されていないが、材齢30日以降、動弾性係数の停滞もしくは若干の減少が確認され、内部の損傷の可能性がある。DEFとASR(SO_3 無添加)の供試体の動弾性係数が減少していないことから、膨張には寄与しないものの、 SO_3 添加によってASRが多少なりとも発生し、膨張には寄与しない微細なひび割れが発生して動弾性係数が低下した可能性がある。

4. まとめ

本実験の範囲内では、ASR+DEFとDEFの供試体にひび割れの発生による動弾性係数の低下、ASRが先に発生し、DEFが促進した可能性、 SO_3 を添加することで

ASRによる微小なひび割れが発生し、動弾性係数の低下した可能性が示された。

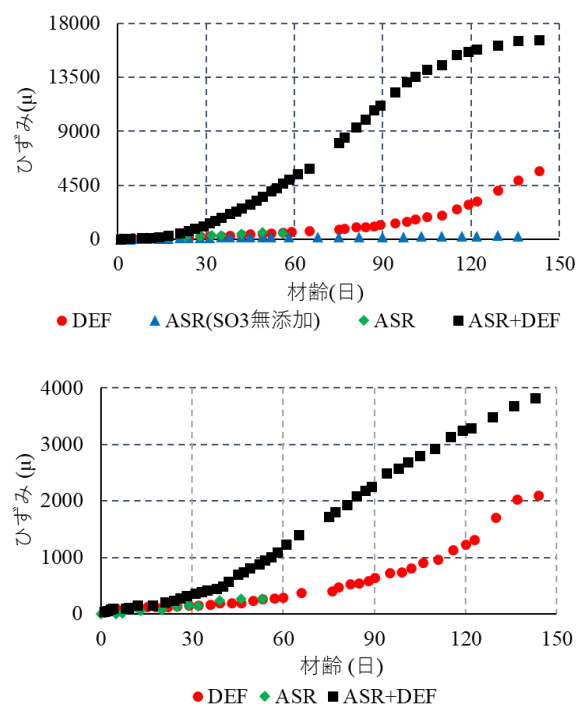


図2 コンクリートひずみの経時変化 鉄筋コンクリート(上) 無筋コンクリート(下)

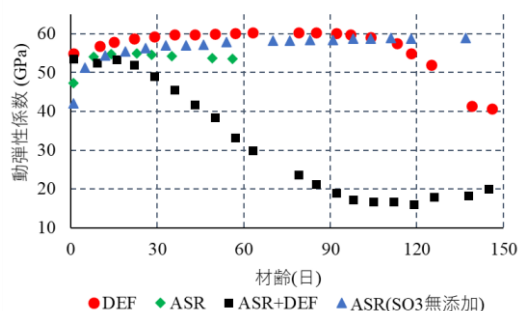


図3 無筋コンクリートの動弾性係数の経時変化

謝辞

本研究は、日本学術振興会研究拠点形成事業（B．アジア・アフリカ学術基盤形成型）の助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Zhaozhou Zhang et al. Studies on delayed ettringite formation in early-age, heat-cured mortars I. Expansion measurements, changes in dynamic modulus of elasticity, and weight gains, Cement and Concrete Research 32 1729-1736, 2002.
- 2) A. Shayan and I. Ivanusec, "An Experimental Clarification of Association of Delayed Ettringite Formation with Alkali Aggregate-Reaction," Cement and Concrete Composites 18 pp161-170, 1996.