

関西大学環境都市工学部 学生員 ○岩本 広海
 関西大学環境都市工学部 正会員 上田 尚史

1. はじめに

本研究では、受動的な拘束下における ASR および DEF の膨張の異方性について実験的に検討した。具体的には、側方向を拘束した円柱供試体の膨張試験を行い、軸方向と円周方向の膨張量の違いに着目した検討を行った。また、ASR と DEF の異方性の違いについて考察した。

2. 実験概要

本研究では、ASR 膨張と DEF 膨張を対象とした。コンクリート配合は、水セメント比を 60%、細骨材率を 46.9%、単位水量を $174\text{kg}/\text{m}^3$ とした。ASR 供試体に対してのみ、急速膨張性を有する反応性骨材を用いた。反応性と非反応性骨材の混合比率は、既往の研究¹⁾に基づいて体積比で 3:7 とした。ASR 供試体に対しては、コンクリート中の等価アルカリ量を $5.5\text{kg}/\text{m}^3$ とした。一方、DEF 供試体に対しては、硫酸カリウムをセメント重量の 5% 添加した。

供試体には、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体を用いた。本研究では、膨張の異方性を生じさせるため、供試体側面をステンレス管により拘束した。拘束の程度の違いは、円周方向の拘束鋼材比で、0.5, 1.0, 2.0% とした。ただし、ASR 供試体では 1.0% のみ実施した。また、ステンレス管の拘束による影響を明確にするため、無拘束の供試体の膨張試験も実施した。ASR 供試体は、打設後 24 時間後に脱型し、 20°C の養生室で 6 日間湿布養生を行った。打設後 7 日目に供試体長さを測定し、長さ変化試験の初期値とした。その後、 40°C の養生槽にて湿布養生を行った。一方、DEF 供試体は、既往の研究²⁾に基づき打設後に最高温度 90°C の高温加熱養生を行った。打設 24 時間後に脱型し、直ちに供試体

の長さを測定し、長さ変化試験の初期値とした。その後、 20°C の水道水にて水中養生を行った。なお、ASR 供試体、DEF 供試体ともに、無拘束供試体に対しては、側面をステールテープで覆うことにより、水分の供給状態を拘束供試体と同様とした。

膨張の異方性を把握するため、コンクリートの軸方向ひずみとステンレス管の円周方向ひずみおよび軸方向ひずみを測定した。コンクリートの軸方向ひずみは、供試体の両端面に貼付した測定用ゲージを基にリニアゲージ(最小目盛り $1/1000\text{mm}$)を用いて長さ変化を測定し、初期値で除すことで求めた。ステンレス管の円周方向ひずみおよび軸方向ひずみは、ステンレス管表面に貼付したひずみゲージにより測定した。

3. 実験結果および考察

図-1 に ASR 供試体の膨張挙動の経時変化を示す。図-1(a) に示すコンクリートの軸方向ひずみの結果より、無拘束供試体では、経過日数 42 日でおおよそ 1000μ の膨張量を示した。また、拘束供試体は無拘束のものと比較して同程度の膨張量となった。図-1(b) より、ステンレス管の円周方向ひずみはコンクリートの軸方向ひずみと比較して 6 割程度の膨張量となった。なお、図-1(c) より、ステンレス管の軸方向ひずみが生じており、供試体軸方向にも摩擦力による拘束が働いたことが示唆される。

以上のように、拘束供試体においては、円周方向の膨張は、軸方向の膨張と比較して小さくなり、異方的な膨張挙動を示した。ただし、Multon et al³⁾ により指摘されているような、拘束方向に対して直角方向の膨張が促進する傾

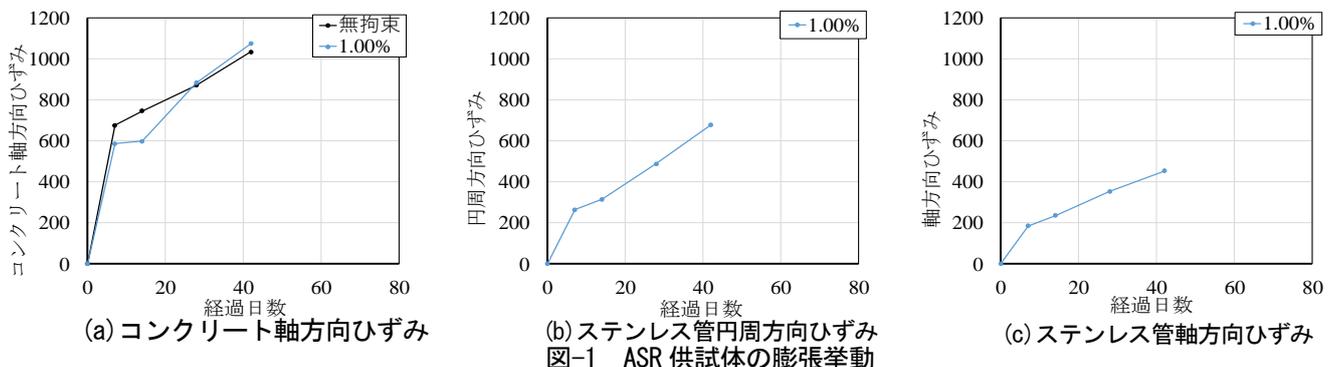
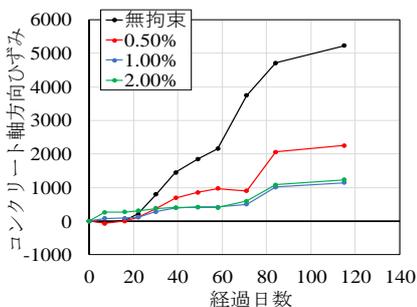
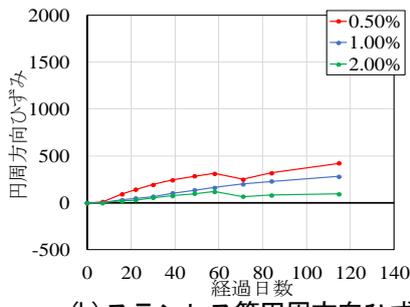


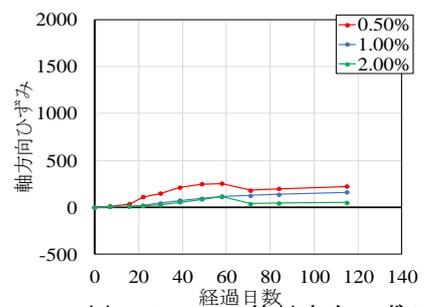
図-1 ASR 供試体の膨張挙動



(a) コンクリート軸方向ひずみ

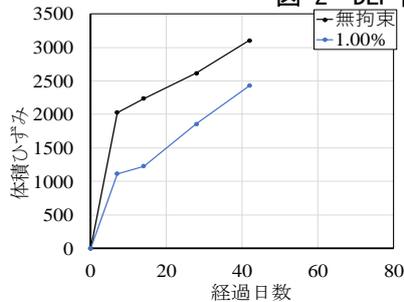


(b) ステンレス管円周方向ひずみ

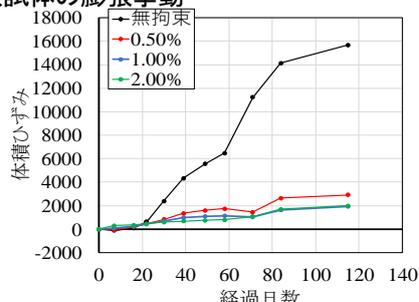


(c) ステンレス管軸方向ひずみ

図-2 DEF 供試体の膨張挙動



(a) ASR 供試体



(b) DEF 供試体

図-3 ASR および DEF 供試体の体積ひずみ

向は得られなかった。この点については、今後の膨張挙動を注視するとともに、より詳細な検討を行う必要がある。

図-2 に DEF 供試体の膨張挙動の経時変化を示す。図-2(a) に示すコンクリートの軸方向ひずみの結果より、無拘束供試体では、経過日数 115 日でおよそ 5000 μ の膨張量を示した。拘束供試体では無拘束供試体と比較して膨張量は低下し、また、拘束鋼材比が大きくなるに従い、ひずみは小さくなる傾向が得られた。図-2(b) より、ステンレス管の円周方向ひずみは、コンクリートの軸方向ひずみと比較して 1 割程度まで小さくなる傾向が得られた。この結果から、DEF 膨張は ASR 膨張と比較して拘束による膨張の抑制効果が著しく大きいことが示唆される。図-2(c) より、DEF 供試体においてもステンレス管の軸方向ひずみがわずかに生じており、ASR 供試体と同様に軸方向にも拘束が働いたものと考えられる。この結果、コンクリートの軸方向ひずみが小さくなったものと考えられる。

既往の研究³⁾では、拘束下の ASR 膨張に対して体積膨張に着目している。そこで本実験結果を体積ひずみにより整理した。ここで、体積ひずみは、無拘束供試体ではコンクリートの軸方向ひずみを 3 倍 ($\epsilon_v=3\epsilon_x$) することで求めた。拘束供試体ではコンクリートの軸方向ひずみとステンレス管の円周方向ひずみの和 ($\epsilon_v=\epsilon_x+2\epsilon_y$) から求めた。図-3 に ASR および DEF 供試体の体積ひずみの経時変化を示す。図-3(a) より ASR 供試体においては、拘束供試体は無拘束供試体と比較して体積ひずみがわずかに小さくなるのに対して、図-3(b) より DEF 供試体におい

ては、拘束供試体は体積ひずみが大きく低下する傾向が得られた。また、拘束鋼材比が大きくなるに従い、体積ひずみが小さくなる傾向が得られた。このように、DEF 供試体では ASR 供試体と比較して拘束下において体積ひずみが大きく低下する結果となった。ASR はゲルの吸水膨張であるのに対して、DEF はエトリンガイトの再結晶に伴う膨張であるため、体積膨張として評価できない可能性がある。この違いは膨張の異方性に大きく影響するため、今後より詳細な検討が必要である。

4. 結論

本研究で得られた主な結果を以下の通りである。

- (1)ASR および DEF 膨張は円周方向の拘束により異方的な膨張を示すことが確認された。
- (2)DEF 膨張は ASR 膨張と比較して拘束により、膨張がより大きく抑制される傾向が得られた。また、DEF は体積膨張ではない可能性が示唆された。

参考文献

- 1)川端ら:アルカリラッピングしたコンクリートプリズム試験におけるコンクリートの ASR 膨張挙動のモデル化、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第 17 巻、p491-496、2017.10
- 2)福田ら:モルタル及びコンクリートにおける DEF 膨張について、コンクリート工学年次論文集、Vol.30、No.1、p723-728、2008
- 3) Multon et al:Effect of applied stresses on alkali-silica reaction-induced expansions, Cement and Concrete Research 36, p912-920、2006