

荷重・拘束条件下におけるコンクリートの ASR 膨張の変形挙動

大分工業高等専門学校 学生会員 佐藤 太治 大分工業高等専門学校 正会員 山本大介
 港湾空港技術研究所 正会員 川端 雄一郎

1. 目的

本研究では、アルカリシリカ反応 (ASR) を生じるコンクリートの持続荷重下における変形挙動について明らかにすることを目的とし、PC 鋼棒とステンレス製の円筒鋼管等を用いて、ASR 膨張と一軸、三軸圧縮応力下におけるクリープが同時に生じる場合のコンクリートの変形挙動について考察した。しかしながら、ASR の影響を受ける構造物は、自重、外部からの永久荷重、プレストレスなどの永久荷重を受けることが多く、構造物内のひずみを解析することは、かなり複雑である。そのため、実験だけでなくシミュレーション解析も用いて変形挙動について調べた。なお、ASR 膨張と三軸圧縮応力下におけるクリープが同時に生じる場合としては、RC 柱のような自重が継続的に作用する部材や PC などが想定される。

2. 実験方法

2.1 使用材料および供試体

供試体条件を表-1に示す。配合はアルカリ総量以外、どの供試体も配合を統一し、ASR 進展以外の条件は同一になるように調節した。等価 Na₂O_{eq} 量を 1.5(kg/m³)に調整した供試体は N, 4.0(kg/m³)に調整したのは R4.0, 5.5(kg/m³)に調整したのは R5.5 とした。本研究で取り扱う試験体は、著者らが 4 年前に製作したものであり、4 年間持続荷重を作用させたものである¹⁾。

供試体名	W/C (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤		NaCl (g/m ³)
		W	C	S	G	反応性石灰石	AE減水剤 (g/m ³)	AE剤 (ml/m ³)	
N	60	180	300	811	285	707	750	900	0
R4.0									4656.3
R5.5									7484.1

供試体	供試体寸法 (mm)	等価Na ₂ O _{eq} 量 (kg/m ³)	供試体種類名	ASR反応性
円柱供試体	φ150×300	(1.5) 無調整	N	無
		4.0に調整	R4.0	有
		5.5に調整	R5.5	有

表-1 供試体条件

2.2 シミュレーション

本研究では実験結果に基づき、試験体の変形挙動について化学力学モデルにて数値解析を試みた。このモデルは圧縮と拘束を受けるコンクリートの膨張挙動に、クリープの影響を考慮するために提案された化学力学モデルである。このモデル上では体積ひずみは一定とされている。この際用いたシミュレーションは川端²⁾によって作成されたものである。シミュレーションによりそれぞれの変形を別々に計算し足し合わせたものと、実験により ASR とクリープが同時に起こる供試体のひずみの比較を行い、重ね合わせの原理が成り立つか検証した。

2.3 持続荷重載荷試験

材齢 7 日までアルミテープで封緘養生した後、真空ポンプを用いて 4 時間真空吸水を行い、再度封緘養生した。また、供試体を十分に飽水させるために、材齢 50 日でもう一度、真空吸水を行い封緘養生した。その後、鋼管表面に、載荷軸方向および円周方向にひずみゲージ (検長 5mm) をそれぞれ 6 箇所ずつ貼付した。鋼管無し、および、自由膨張用の円柱供試体のコンクリート表面には載荷軸方向、円周方向にひずみゲージ (検長 60mm) をそれぞれ 2 箇所ずつ添付した。その後、ひずみゲージをデータロガーに接続し、材齢 87 日で持続荷重載荷試験を開始した。PC 鋼棒および油圧ジャッキを用いて 10 N/mm²の圧縮応力を導入した。載荷期間中はロードセルにて計測している荷重が目標荷重の±2%以内になるよう調整した。また、ひずみゲージより計測されるひずみ値から弾性ひずみを差し引き、持続荷重による変形および ASR 膨張による変形の影響を受ける全ひずみの算出を行った。

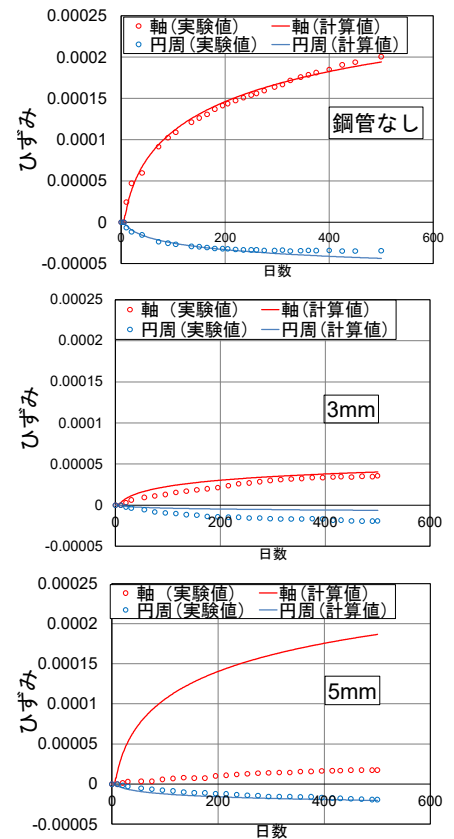


図-1 Nにおける経時ひずみ変化

3. 実験結果および考察

図-1 にNにおけるひずみの経時変化を示す。縦軸をひずみ、横軸を載荷日数(500 日まで)と設定した。実線は計算値、点線は実験値を示す。グラフではプラス方向が収縮、マイナス方向が膨張を示す。図-1 より、円周方向からの側圧がない鋼管なしの場合では、実験値と計算値はほぼ一致した。しかし、3mm 鋼管と 5mm 鋼管の場合では、円周方向はほぼ一致する傾向を示したが軸方向は計算値が実験値を上回る結果となり、過大評価していることがわかる。

また図-2 より、R4.0 における鋼管なしの場合では、円周方向の計算値が少し過大ではあるが収縮膨張はほぼ一致する傾向を示した。3mm 鋼管の場合、軸方向の実験値は収縮しているが、計算値は膨張する傾向を示し、乖離がみられた。円周方向は拘束圧のない鋼管なしと比べ、小さくなっているが、ここでも実験値と計算値に乖離がみられた。5mm 鋼管の場合でも同様の結果がみられた。

図-3 より、R5.5 の鋼管なし、3mm 鋼管、5mm 鋼管の場合、R4.0 と比べて軸方向の乖離が大きくなった。理由としては R5.5 が ASR による膨張圧が最も大きく、それによる体積ひずみの変化量が R4.0 と比べて大きくなったことが考えられる。

このような乖離が起こった原因としてはシミュレーションモデル上では体積ひずみは一定だが、実験では体積ひずみが一定ではなかったことが挙げられる。他にも、実際には供試体のクリープ変位と ASR 変位は同時に起こり相互に作用すると考えられるが、シミュレーションでは、変形を別々に計算してから足し合わせていることが理由として考えられる。また、このような乖離が起こっていることから、ASR とクリープ変位の重ね合わせの原理は成り立たないと考えられる。

今後の課題として、実験値と計算値の乖離の原因を調べるため、供試体断面の蛍光樹脂観察により内部損傷を調査する予定である。

4. まとめ

- (1) ASR の影響が小さい N において、三軸圧縮応力を受けた 3mm, 5mm 鋼管の場合、円周方向の実験値と計算値は概ね一致したが、軸方向は計算値が実験値を上回る収縮を示した。
- (2) 三軸圧縮応力を受けたコンクリート供試体の軸方向におけるひずみの実験値と計算値には大きな乖離がみられた。この乖離の原因として、シミュレーションでは体積ひずみを一定に設定していること、三軸圧縮応力下でのシミュレーションによるクリープ変形挙動が正しく表現されていないことが考えられる。

参考文献：

- 1) 山本大介, 川端雄一郎, 泉心太, 濱田秀則：一軸、三軸持続圧縮応力を受けるコンクリートの ASR 進展に伴う変形挙動, コンクリート工学年次論文集 Vol.44, pp.610-615, 2022.7
- 2) Y.Kawabata ,Jean-Francois Seignol,Renaud-Pierre Martin,Francois Toutlemonde: Macroscopic chemo-mechanical modeling of alkali-silica reaction of concrete under stresses, Construction and Building Materials, 137, pp.234-245, 2017

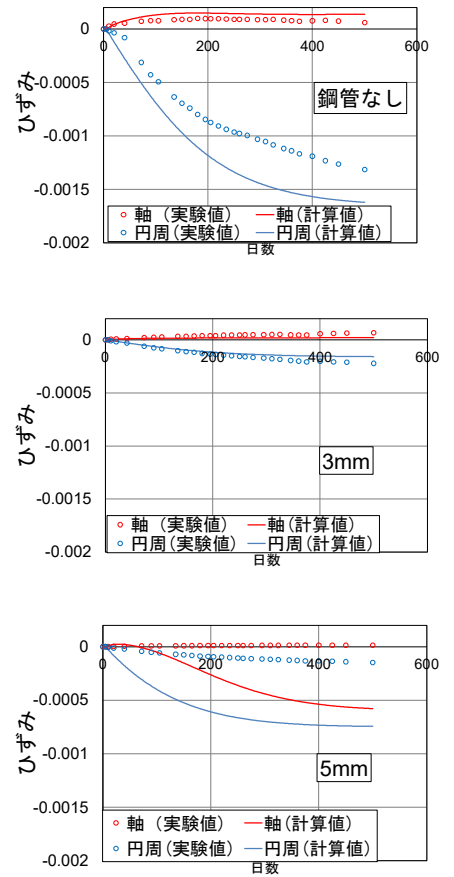


図-2 R4.0 における経時ひずみ変化

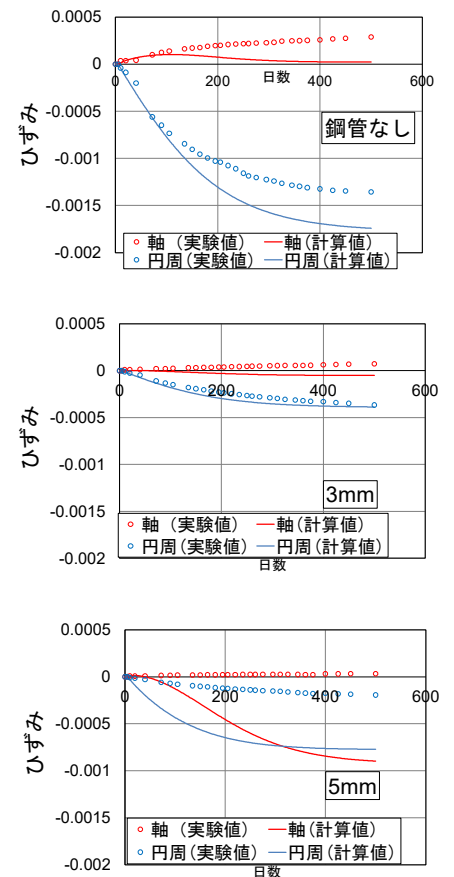


図-3 R5.5 における経時ひずみ変化