

アルカリシリカ反応によって膨張したコンクリートの力学特性の経時変化と その要因に関する微視的考察

東京大学大学院 正会員 ○高橋 佑弥
東京大学大学院 学生会員 岡野 佑亮

1. 背景と目的

ASR による膨張が生じたコンクリートの残存力学性能について、膨張量のみを変数として評価することが十分であるかは議論の余地がある。本研究では、試験体の材齢に着目して ASR 膨張が生じた試験体の圧縮試験を行い、力学性能の経時推移を観察すると共に、ASR ゲルの化学組成や力学特性の時間依存変化に着目した微視的な計測を行うことで、ASR 膨張が生じたコンクリートの力学性能の支配要因について検討した。

2. 実験条件

φ10×20cm の円柱コンクリート試験体を作成し、圧縮試験を行った。表-1 に試験体シリーズを示す。同じ目標膨張量で異なる圧縮試験材齢（14, 26, 52 週）のシリーズを用意した。表-2 に示方配合を示す。反応性のある粗骨材を用い、ASR 促進の為 Na₂O 等量で 12.9kg/m³ となるよう NaOH を添加した。打設 2 日後で脱型し、8 週間 20°C で封緘養生した。目標膨張量は 0μ, 2000μ, 4000μ とし、2000μ, 4000μ の試験体はそれぞれ 6 週間と 18 週間、40 °C 3%NaCl 溶液に浸漬させ ASR 促進を行った。所定の促進期間後、設定した材齢に達するまで 20°C 封緘状態で保管した。膨張量の測定はコンタクトゲージを用いて行った。目標膨張量 0μ の試験体は 20°C 封緘養生を継続した。所定の材齢に達した時点で圧縮試験を行った。各シリーズ試験体は 3 本用意した。

表-1 試験体シリーズ

| 圧縮試験材齢 | 目標膨張量(μ) |
|--------|----------|
| 14 週 | 0 |
| | 2000 |
| 26 週 | 0 |
| | 2000 |
| | 4000 |
| 52 週 | 0 |
| | 2000 |
| | 4000 |

3. 圧縮試験結果

図-1 に圧縮試験で得られた応力-ひずみ関係を示す。材齢 14 週の試験体の結果をみると、目標膨張量 2000 μ の試験体は ASR 促進を行わなかった 0μ の試験体に比べて剛性が低い。しかし材齢 26 週の結果をみると各膨張量シリーズの剛性の差は小さくなっており、さらに材齢 52 週では剛性はほぼ同程度となっている。ASR 膨張によってひび割れが生じているにもかかわらず、剛性が材齢と共に増加して ASR 膨張の無い試験体と同程度まで向上する結果であり、このような場合、膨張量のみではコンクリートの残存力学性能を評価することは困難であると思われる。一方強度については、材齢を経るごとに増加する傾向はあるが、ASR 膨張の有無による差は顕著には見られなかった。

表-2 試験体配合

| 単位量[kg/m ³] | | | | | SP | AE |
|-------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| W | C | S | G | NaOH | [C×%] | [C×%] |
| 175 | 269 | 827 | 988 | 12.90 | 1.6 | 0.004 |

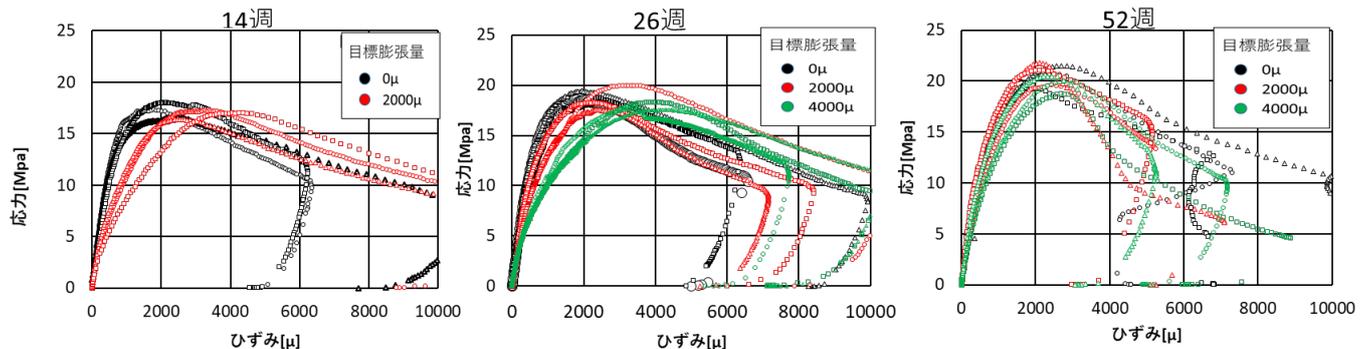


図-1 圧縮試験結果

キーワード アルカリシリカ反応 ASR ゲル Ca/Si ナノインデンテーション
連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部 1 号館 249 室

4. ASR ゲルの化学組成経時変化と力学特性

圧縮試験を行った試験体のうち、材齢 14 週、52 週の目標膨張量 2000 μ の試験体について、内部の ASR ゲルの化学組成を SEM-EDS で分析した。図-2 に各材齢における ASR ゲルの Ca/Si をゲルの存在位置ごとに示す。材齢 14 週に比べ、52 週の方が全体的に Ca/Si が高く、セメントペースト部で最も高くなっていることが分かる。ASR ゲルに含まれる Ca 量が経時的に増加していることが示された。

ASR ゲルの化学組成と力学特性の関係を検討した。ナノインデンテーションを実施して ASR ゲルのヤング率を測定し、Ca/Si の値と比較した。本研究では既往の測定データに乏しいセメントペーストのひび割れ中の ASR ゲルのヤング率に着目した。骨材端からひび割れに沿って測定した ASR ゲルの Ca/Si とヤング率の結果を図-3 に示す。骨材端からセメントペーストへ離れていくに従って Ca/Si は高くなり、またヤング率は増大していることがわかる。ひび割れを横断する方向の結果(図-4)を見ても、Ca/Si とヤング率には相関があるようである。ここでは、セメントペーストに比べ、ASR ゲルのヤング率が高いような結果も得られた。これらの結果は ASR ゲルの組成変化がコンクリートの力学性能に影響を与える可能性を示すものであると考えられるが、材齢 14 週と 52 週の Ca/Si の値の差から考えると、ASR ゲルのヤング率の差は 5GPa 程度であり、この程度の ASR ゲルのヤング率の変化がコンクリート全体において支配的であるかは不明である。ASR ゲルの化学組成とヤング率の変化以外の影響要因について今後明らかにする必要があるといえる。

5. まとめ

ASR による膨張が生じたコンクリートの圧縮試験において、同一の膨張量でも材齢を経ると剛性が向上するような結果が得られた。一方で、内部の ASR ゲルのヤング率が化学組成変化に伴って増加する結果も得られた。ASR ゲルの組成変化がコンクリートの力学性能に影響を与えることが考えられるが、組成変化のみが支配要因であるとは考えにくく、組成変化以外の影響要因について今後明らかにする必要があると考えられる。

謝辞 本研究は平成 30 年度吉田研究奨励賞ならびに JSPS 科研費 18H01507 の助成を受けたものです。また実験データ取得にあたり野村昌弘博士、ならびにブルカージャパン株式会社社長谷川勇人氏にご助力賜りました。ここに謝意を表します。

参考文献

1)A.Leemann and P. Lura, “E-modulus of the alkali-silica-reaction product determined by micro-indentation,” Construction and Building Materials, Vol.44, 2018.
 2)Chuanlin Hu, Bishnu P.Gautam and Daman K.Panesar, “Nano-mechanical properties of alkali-silica reaction (ASR) products in concrete measured by nano-indentation,” Construction and Building Materials, Volume 158, 15 January 2018, Pages 75-83, 2018

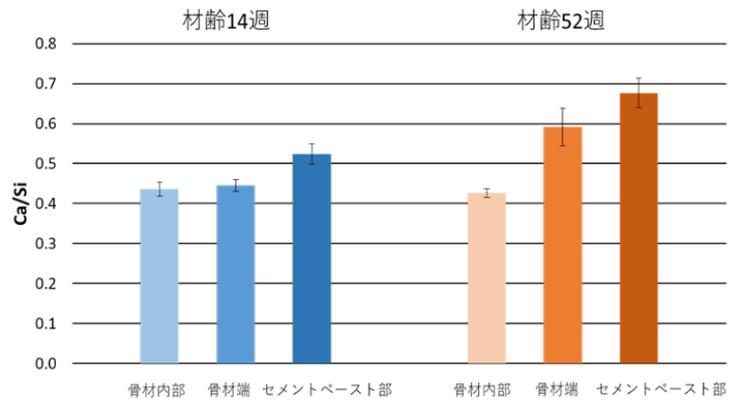


図-2 材齢と ASR ゲルの Ca/Si の関係

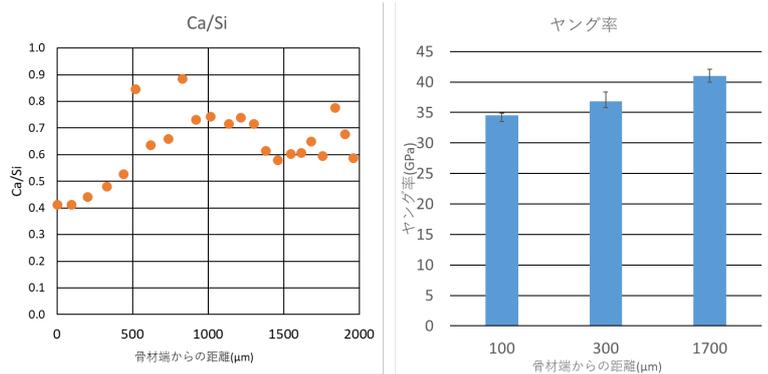


図-3 ASR ゲルに沿った Ca/Si とヤング率の関係

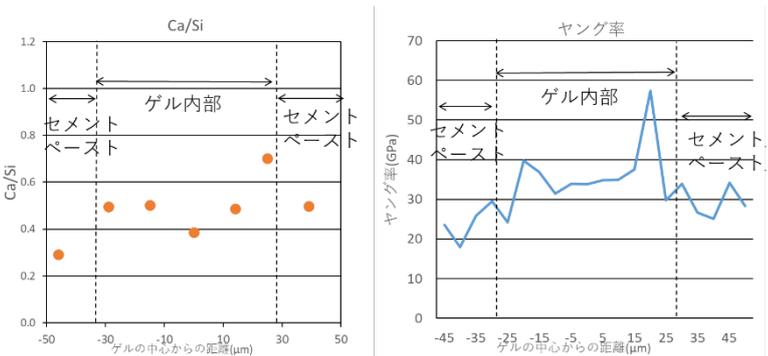


図-4 ASR ゲルの横断方向にみた Ca/Si とヤング率の関係