

## DEF と ASR の複合劣化によるコンクリートの劣化進行過程に関する検討

徳島大学大学院 賛助会員 ○宮内滉貴 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄

## 1. はじめに

近年、蒸気養生を行ったコンクリート部材などで、DEF（エトリンサイト遅延生成）による劣化事例が、国内においても報告されるとともに、劣化機構や対策に関する検討もなされている。一方で、アルカリシリカ反応（ASR）による劣化が進行したコンクリート構造物において、反応性生成物の中に DEF によるエトリンサイトの生成が認められる場合が多いことが報告されており、DEF と ASR の複合劣化機構についても、解明が求められている。過去の検討では、ASR による膨張が小さい結果となったため、本研究では新たに NaOH を添加する配合を用意したほか、骨材についても前回とは異なる反応性骨材を採用した上で、DEF と ASR の複合劣化状況を再現する実験を実施し、複合劣化のメカニズムについて検討した。また、前回は石灰石微粉末を粒度調整材として使用しており、石灰石微粉末や石灰石骨材を用いた場合に、DEF による膨張を促進する可能性があることも指摘されているため、本研究では石灰石微粉末を添加しないものとし、DEF の挙動についても検討する。

## 2. 実験概要

本研究では、100×100×350mm のコンクリート角柱と、φ100×200mm のコンクリート円柱を作製した。水セメント比は 55% で一定とし、反応性骨材を用いて K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> を添加した配合を RnS、KOH を添加した配合を RnOK、NaOH を添加した配合を RnON とする。本研究に使用したコンクリートの配合要因を表-1 に示す。ここで K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> は、DEF 促進を目的として、セメント中の初期含有 SO<sub>3</sub> 量に加え、SO<sub>3</sub> 量がセメント量の 2.5% となるように細骨材代替で添加した。さらに KOH、NaOH は、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 添加配合と同量の R<sub>2</sub>O 量として、総 R<sub>2</sub>O 量が 8.0 kg/m<sup>3</sup> となるように添加した。これにより、RnS 配合は DEF と ASR の複合劣化、RnOK 配合および RnON 配合は ASR の単独劣化を想定した配合となっている。これらの供試体は打ち込み後にビニールフィルムで乾燥を防止した上で 4 時間の前養生を 20°C 環境で実施し、その後、RnS 配合の供試体は DEF 生起条件である 90°C の高温養生を実施し、RnOK、RnON 配合の供試体は 20°C 環境で養生を継続した。高温養生を行う供試体は型枠ごと水道水に浸した湿布で包み、密封したビニール袋中に入れた後、20°C/h の昇温速度で 90°C まで加熱し、12 時間保持した後に自然冷却した。材齢 1 日ですべての供試体を脱型し、20°C の恒温室中で 7 日間の養生を行った。この際の養生方法としては、保管するコンクリートに用いられた K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液、KOH 溶液あるいは NaOH 溶液に浸した湿布で包んだ後にビニールフィルムで密封するアルカリラッピングの手法を採用した。本手法は、ASR の膨張促進試験を実施する際に、コンクリートから湿布へのアルカリ溶出を防止する目的で考案された手法である。その後の供試体の保管環境は、①20°C 水中保管②40°C 湿空保管の 2 種類とし、①は空隙中においてエトリンサイトの溶解析出反応による再生成が進行しやすい条件として選定し、②は促進 ASR 条件であり、前述の方法でアルカリラッピングを実施した供試体を温度 40°C 環境に保管した。保管中、コンクリート角柱供試体で、膨張率、質量、超音波伝播速度の測定を週 1 回行った。その後、材齢 130 日のコンクリート円柱で圧縮強度試験を行った。

表-1 コンクリートの配合要因

配合	骨材	添加物*	反応
RnS	反応性	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	DEF・ASR
RnOK		KOH	ASR
RnON		NaOH	ASR

\*総 R<sub>2</sub>O 量= 8.0 kg/m<sup>3</sup> となるよう添加

### 3. 質量変化率およびコンクリート膨張率の経時変化

図中に示した供試体名はコンクリート配合名の後に2つの数字をハイフンで結んだ形で付しており、最初の数字は養生温度、後の数字は養生後の保管温度を示している。すなわち、2, 4, 9 はそれぞれ 20°C, 40°C, 90°C を示しており、例えば、RnS9-2 は 90°C 養生を行った後に、20°C 水中保管を行った RnS 配合供試体を表している。

角柱コンクリート供試体の質量変化率とコンクリート膨張率の経時変化を図-1 および図-2 に示す。ここで、質量変化率は養生終了時の供試体質量を 100% とし、その後の供試体質量を養生終了時の質量に対する百分率で表したものである。図-1 によると、RnOK2-4 および RnON2-4 においては、質量増加はほとんど見られないが、RnS 配合では、9-4 が最も大きな質量増加を示しており、9-2 も若干質量が増加している。一方で、図-2 によると、RnON2-4、RnS9-4 および RnOK2-4 で膨張が大きくなっており、RnS9-2 も比較的小さいものの、徐々に増大している。RnOK2-4 および RnON2-4 は、高温養生を行っておらず、硫酸塩を添加していないことから、DEF による劣化は考えにくく、主に ASR による膨張と考えられる。両者の膨張率の違いに関しては、0.02% 程度と大きな差は無いが、RnOK2-4 は KOH、RnON2-4 は NaOH を添加しているため、アルカリ種類の違いにより、異なる膨張挙動を示している可能性がある。RnS 配合の質量変化率および膨張率に関しては、いずれも RnS9-4 が先行して増大し、それに RnS9-2 が続く形で大きくなっていることから、DEF 単独劣化が想定される RnS9-2 に対して、RnS9-4 は DEF と ASR の相互作用によって促進された可能性がある。これは、過去の検討<sup>1)</sup>と整合した結果と言える。ただし RnS9-2 は膨張率が最も小さく、現時点では DEF 単独による劣化の程度は小さいと考えられる。

### 4. 相対動弾性係数の経時変化

角柱コンクリート供試体の供試体側面間コンクリート相対動弾性係数の経時変化を図-3 に示す。これによると、RnS 配合では RnS9-2 および RnS9-4 のいずれにおいても相対動弾性係数の低下は見られず、セメントの水和反応の進行に加え、DEF が進行しエトリンガイトが生成されたことによって、値が上昇していると考えられる。過去の検討<sup>1)</sup>においても、DEF 単独劣化が想定される供試体は相対動弾性係数の低下が見られなかった。これらの供試体は、図-1 や図-2 に示すように、質量増加や膨張率の増大傾向が認められることから、DEF は進行している

と考えられるが、外観上大きな変化は認められないことから、内部ひび割れの進展等には至っていない状態が保たれているものと推定できる。一方、RnOK 配合および RnON 配合では、相対動弾性係数のピーク値からの低下が見られる。中でも、最も大きい膨張を示している RnON2-4 において相対動弾性係数の低下が顕著であり、弾性係数に顕著な低下が認められる、一般的な ASR コンクリートの劣化特性を示しているものと考えられる。

### 5. 参考文献

- 1) 宮内滉貴, 上田隆雄: DEF と ASR の複合劣化機構に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 43, No.1, pp. 455-460, 2021.7

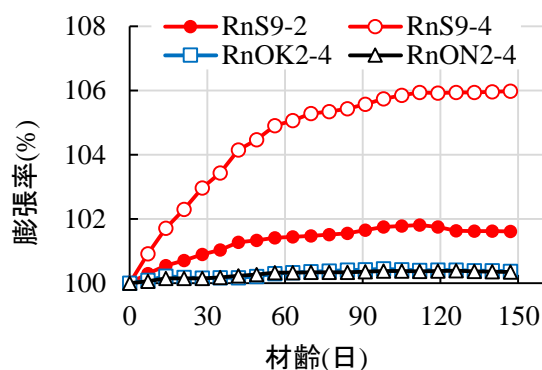


図-1 質量変化率の経時変化

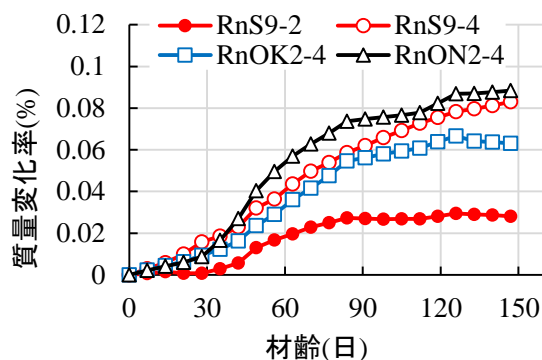


図-2 コンクリート膨張率の経時変化

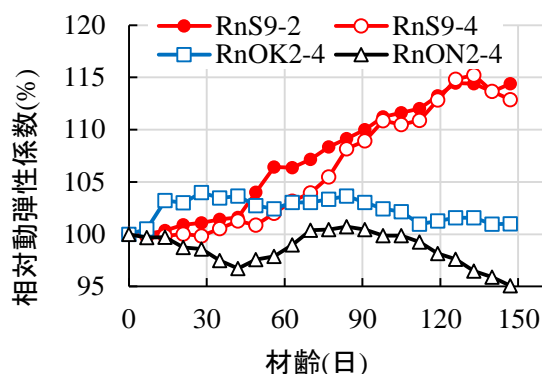


図-3 相対動弾性係数の経時変化