

近赤外分光法による ASR の検出に関する検討

徳島大学大学院 学生会員 ○松本義章 徳島大学 正会員 上田隆雄
フジタ建設コンサルタント フェロー 郡政人 徳島大学 フェロー 水口裕之

1. はじめに

コンクリート構造物の早期劣化現象の中でも ASR はその診断および対策が極めて難しい劣化機構である。現状における ASR ゲルの判定は SEM-EDS による分析や蛍光 X 線分析などにより実施され、将来の ASR による膨張の有無と程度の判定は残存膨張量試験が実施されている。ただし、これらは高度な技術的判断や多大な労力および高価な機器等が必要である。これに対して、近赤外分光法は現位置で測定可能であり、測定結果の判断も簡単である。本手法によって ASR 進行の有無やその程度が判定できれば、コンクリート構造物の維持管理の効率化に大きく寄与すると言える。そこで、本研究では、近赤外分光法による ASR の検出可能性に関する検討を行った。

2. 実験概要

(1) 供試体の作製

表 1 にモルタルの基本配合を示す。セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16 g/cm^3 、 $R_2O=0.56\%$)、細骨材は S1、S2 および S3 の 3 種類を使用した。S1 は非反応性骨材(鳴門市撫養町産砕砂、密度 2.56 g/cm^3)、S2 は反応性骨材(北海道産安山岩砕砂、密度 2.56 g/cm^3 、アルカリ濃度減少量 $R_c=135 \text{ mmol/l}$ 、溶解シリカ量 $S_c=778 \text{ mmol/l}$)、S3 は反応性骨材(ガラスカレット、福池工業製、密度 1.3 g/cm^3 、粒径 $5\sim 0.5 \text{ mm}$)であり、MS2 供試体は S1:S2 を 3:7 のペシマム混合とした。各供試体とも初期混入 R_2O 量が 10 kg/m^3 となるように練混ぜ水に NaCl を溶解させて練混ぜ、同配合で 4 本の角柱供試体($100 \times 100 \times 200 \text{ mm}$ 、膨張量測定用 2 本、近赤外分光法による吸光度測定用 2 本)と 9 本の円柱供試体(直径 $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$)を作製した。

表 1 モルタルの基本配合

供試体	W/C	単位量 (kg/m^3)					
		C	W	S1	S2	S3	NaCl
MS1	55	542	298	1321	—	—	12.8
MS2				401	966	—	
MS3				—	—	670	

(2) 測定方法の概要

打設後 1 日で脱型し、 20°C の恒温室中で 4 週間の封緘養生後、膨張測定用角柱供試体は、コンタクトゲージ用のチップを側面 2 面に基長を 150 mm として 4 個ずつ貼り付けた。促進 ASR 環境(40°C 、 $95 \% \text{ R.H.}$)で保管しながら、経時的に膨張率および近赤外分光法による吸光度測定を行った。供試体は膨張率測定前日に 20°C の恒温室に移動し、最初の 1 ヶ月は 1 週間間隔、その後は 2 週間間隔で測定した。近赤外分光法による吸光度測定は ASD 社製の可搬型分光装置を用い、膨張率が 0、0.1、0.2、0.3 および 0.4% になった時点で実施した。吸光度測定用供試体は封緘養生後、底面側を 1 mm 程度切削して剥離剤の影響部分を除去し、 $\phi 20 \text{ mm}$ のドリルで深さ 30 mm まで 3 カ所穿孔して約 65 g の粉末を採取した。また、穿孔先端面は細径棒状プローブを接触させて吸光度測定を行った。

3. 実験結果と考察

MS3 供試体の穿孔先端面を各膨張率に達した時点で測定した吸光度スペクトルを図 2 に示す。波長 1412 nm の狭波長域のピークは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等の OH 基によるものであることが確認されている。鳥居ら²⁾は、ASR によってモルタル中の C-S-H ゲルや $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が分解および消失するとの結果を得ている。これより、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の分解や消失によって波長 1412 nm の吸光度ピークが消失したものと推察される。膨張率の増加に伴って、波長 1412 nm 付近の吸光度ピークが減少し、逆に波長 1450 nm 付近のピークが増加している。波長 1412 nm 付近の吸光度

ークの変化は前述したように、ASR に伴う $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の分解や消失によるものと推察される。アルカリシリカゲル中にエトリンガイトが新たに生成し分相する可能性が考えられる。エトリンガイトは波長 1454 nm に吸光度ピークが存在し、波長 1450 nm 付近の吸光度ピークはエトリンガイトを検出している可能性がある。

波長 1412 nm 付近の吸光度ピークの減少を定量的に表す指標として波長 1412 nm および波長 1430 nm の吸光度の差を差吸光度($dA_{1,412-1,430}$)とし、膨張率との関係を図3に示す。膨張率が 0.2%以上となった時点から差吸光度が減少している。なお、MS2 供試体の膨張率は比較的小さい値であったが、差吸光度は同様の傾向を示した。

細孔溶液中の各種イオン濃度の経時的変化を図-4に示す。ASRの進行と共に各種イオン濃度が減少している。これは、細孔溶液中の OH^- , Na^+ , K^+ が反応性骨材のシリカ成分と反応して $\text{Si-OH} + \text{Na}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{Si-O-Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$ の化学式でアルカリシリカゲルを生成し、シリカの溶解が進むにつれ、イオン濃度が低下したものと考えられる。このことから、 OH^- に相当する波長 1,412nm 付近の吸光度スペクトルが低下しているのは、 OH^- 濃度が作用していると考えられる。また、反応生成物により細孔溶液中の Cl^- が取り込まれた可能性が考えられる。

MS2 と MS3 の電子顕微鏡観察結果を図-5に示す。ASR が進行するにつれアルカリシリカゲルを確認することが出来た。MS2 のゲルはアルカリ - カルシウム - シリカ型の可能性が高く、MS3 のゲルはアルカリ - シリカ型の可能性が考えられた。また、MS2 と MS3 は細骨材の種類が異なるが波長 1412 nm 付近の吸光度ピークに減少が見られ、骨材の種類が異なっても測定が可能であると考えられる。

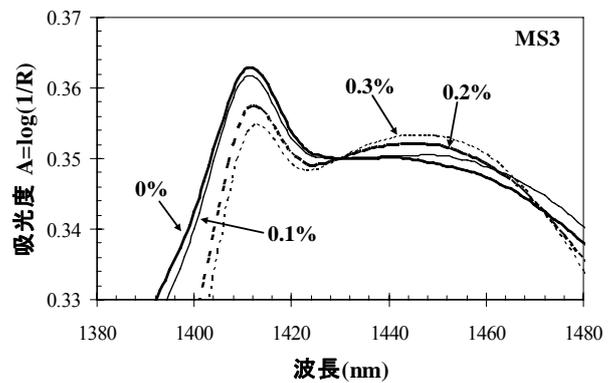


図-2 膨張に伴う吸光度スペクトルの変化 (MS3)

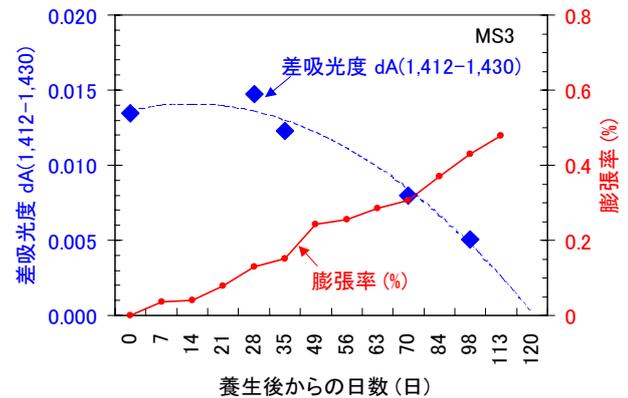


図-3 膨張率と差吸光度の関係 (MS3)

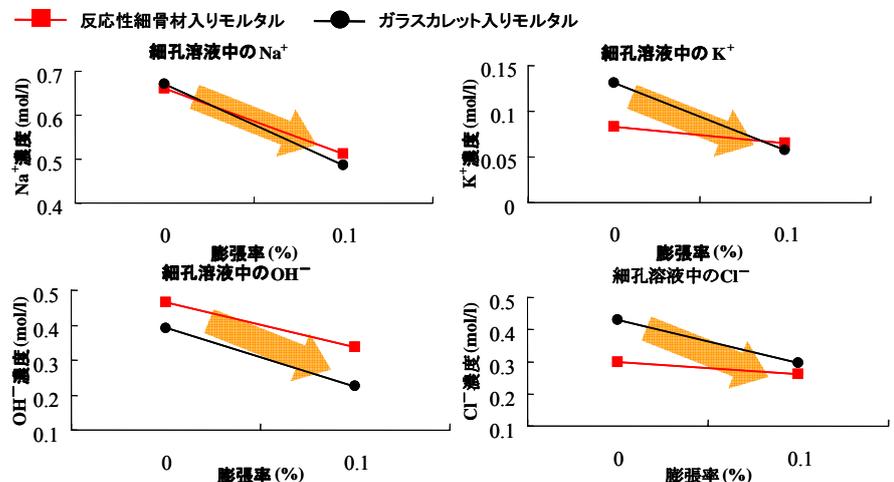


図-4 細孔溶液中の各種イオン濃度の経時的変化

【参考文献】

- 1) 郡政人ほか:近赤外分光法を用いたセメント硬化体中の塩化物イオン量の推定、Cement Science and Concrete Technology、No.61、pp.189-196(2008)
- 2) 鳥居和之ほか:凍結防止剤の影響を受けた ASR 損傷コンクリート橋脚の調査、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.20、No.1、pp.173-178(1998)
- 3) 佐々木孝彦ほか:アルカリシリカ反応生成物の組成変化、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6巻、pp.153-158(2006)

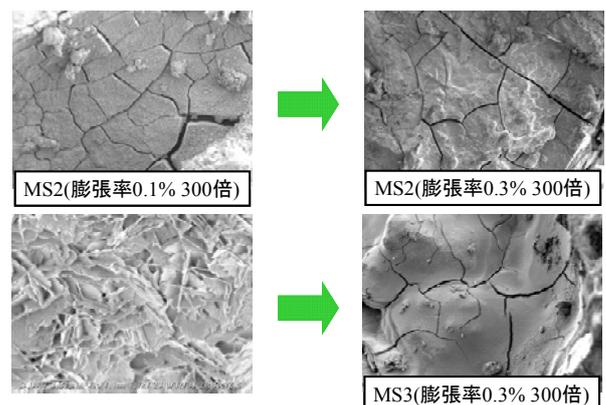


図-5 モルタルの電子顕微鏡観察結果