

近赤外分光法によるコンクリート中の ASR 検出と劣化度診断

徳島大学大学院 学生会員 ○松本義章 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄
 徳島大学 非会員 久保達矢 フジタ建設コンサルタント 正会員 山本晃臣

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 分析や蛍光 X 線分析などが実施され、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。これに対して、近赤外分光法は現位置で簡易にコンクリート中の塩分濃度が推定できる非破壊検査手法であり、多成分同時分析が可能な本手法で ASR の検出と劣化程度把握が可能であれば、塩害と ASR の複合劣化構造物の診断などの状況で極めて有効な手法となる。本研究では、反応性骨材を含むモルタル供試体およびコンクリート供試体を作製し、ASR の進行に伴う吸光度スペクトルの変化を測定し、近赤外分光法による ASR の検出及び劣化程度の把握の可能性について検討した。

2. 実験概要

(1) 供試体の作製

本研究で作製したモルタルおよびコンクリート供試体は、角柱供試体 $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ とし、W/C は 55% で一定とした。セメントは普通ポルトランドセメント（密度： 3.16 g/cm^3 ，比表面積： $3210 \text{ cm}^2/\text{g}$ ， R_2O 0.56%）を用いた。また、非反応性細骨材 S1 は鳴門市撫養町産砕砂（表乾密度： 2.56 g/cm^3 ，F.M.：2.79）、反応性細骨材 S2 は北海道産安山岩砕砂（表乾密度 2.56 g/cm^3 ， Rc ：135mmol/l， Sc ：778mmol/l）を用い、さらに反応性の高いガラスカレット S3（表乾密度 1.3 g/cm^3 Rc ：-49mmol/l， Sc ：508mmol/l）も用いた。反応性細骨材 S2 を用いたモルタル配合 MS2 では S1 と S2 を 3：7 の質量割合でペシマム混合した。コンクリートには、非反応性粗骨材 G1 として鳴門市撫養町産砕石（密度： 2.55 g/cm^3 ， G_{max} ：15 mm）、反応性粗骨材 G2 として北海道産安山岩砕砂（表乾密度 2.68 g/cm^3 ， Rc ：135mmol/l， Sc ：778mmol/l）を、G1：G2 が 5：5 の質量割合でペシマム混合となるように用いた。モルタルおよびコンクリートには、初期含有 R_2O 量が 10.0 kg/m^3 となるように、コンクリートの練混水に溶解した形で NaCl または NaOH を添加した。

(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、促進 ASR 環境(40°C 、95 %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スペクトル測定を行った。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 1mm 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 30mm まで 3 カ所穿孔して約 65g の粉末を採取した。また、表面からの穿孔深さ 10mm ごとに、穿孔先端面に対して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

供試体名の記号 M はモルタル、Cl は NaCl、OH は NaOH の添加を示し、その後に続く数字は細骨材の種類 S1，S2，S3 を表す。

各膨張率に達した時点での供試体 MS3 の深さ 10mm の削孔先端面で測定された吸光度スペクトルの平均曲線を図-1 に示す。これによると ASR 膨張の進行に伴い、セメント水和物の OH 基に相当する波長 1412nm 付近の吸光度が減少していることが確認できる。また、波長 1454nm 付近の吸光度は膨張が進行すると増加傾向

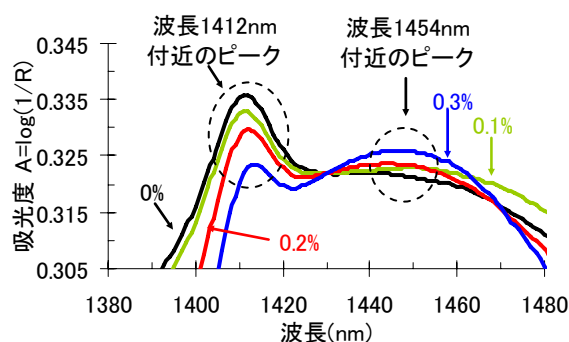


図-1 MS3 (深さ 10mm) の膨張に伴う吸光度スペクトルの変化

にあるといえる。これは、ASRの進行に伴ってセメント水和生成物である固層の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は分解されるためと考えられる。また、ASRが進行すると、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報告されており、エトリンガイトが生成されたことによりエトリンガイトに相当する波長1454nm付近の吸光度ピークが増加したと考えられる。

波長 1412nm 付近および波長 1454nm 付近の吸光度ピークの変化を定量的に表す指標として、波長 1430nm からの波長 1412nm および波長 1454nm における吸光度差を差吸光度 $\Delta(1412-1430)$ および $\Delta(1454-1430)$ とし、表面からの深さごとに削孔先端面で測定した差吸光度 $\Delta(1412-1430)$ と膨張率との関係を図-2 に示す。膨張率の増加に伴い、差吸光度 $\Delta(1412-1430)$ は減少しており、表面付近よりもアルカリ溶出の少ない内部の方が、差吸光度 $\Delta(1412-1430)$ の減少が大きい傾向にある。また、粉体試料の場合には、差吸光度の変化が小さくなっている。これは、塩分の場合と違い、ASR の場合は骨材集辺に反応が集中するため、粉末状にしてしまうと、影響が希薄化して、検出しにくくなるものと考えられる。コンクリート供試体のケースも含めて、深さごとのデータをすべて平均して得られた差吸光度 $\Delta(1412-1430)$ と膨張率との関係を図-3 に示す。これによると、コンクリートの場合も概ねモルタルと同様の傾向を示していると言える。

同様に各供試体の差吸光度 $\Delta(1454-1430)$ と膨張率との関係を図-4 に示す。図-4 によると、差吸光度 $\Delta(1454-1430)$ は、特に膨張率が 0.1%以下の比較的小さい場合に、図-3 に示した差吸光度 $\Delta(1412-1430)$ よりも敏感に反応しているようである。既往の報告からエトリンガイトは ASR がかなり進んだ場合に見られやすいようであるが、本検討では、波長 1454nm 付近の吸光度変化によって膨張初期において ASR の判定可能性が示されたと言える。

吸光度スペクトルからコンクリート膨張率の推定をする手法として、重回帰分析を行った。この際、各ケースにおいて式(1)に示すように、ASR 膨張により変化する波長範囲として波長 1412nm 及び 1430nm, エトリンガイトのピーク波長 1454nm, フリーデル氏塩のピーク波長 2,266nm, の 4 波長の吸光度を説明変数とし、膨張率の実測値を目的変数とした。

$$\text{膨張率} = a + b \cdot A_{1412} + c \cdot A_{1430} + d \cdot A_{1454} + e \cdot A_{2266} \quad (1)$$

ここに、a, b, c, d, e: 切片および定数

A: 各波長(nm)における吸光度

その結果を図-5 に示す。図-5 によると推定値と実測値の関係には相関関係が認められ、推定の可能性はある。ただし、ばらつきがあり、精度に問題があるため、今後、データの選定、データ処理、測定方法などを検討する必要がある。

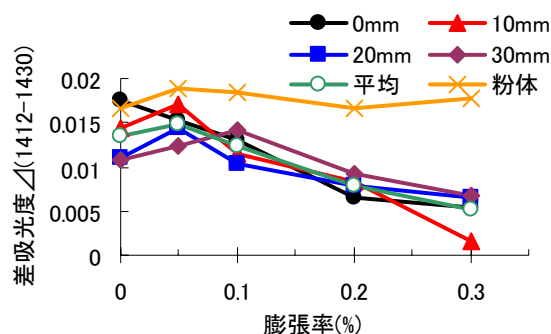


図-2 差吸光度($\Delta 1412-1430$)と膨張率の関係 (MS3)

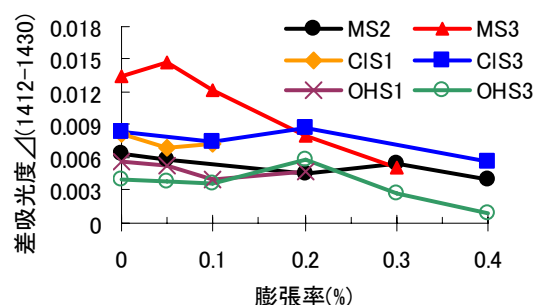


図-3 差吸光度($\Delta 1412-1430$)と膨張率の深さ平均の関係

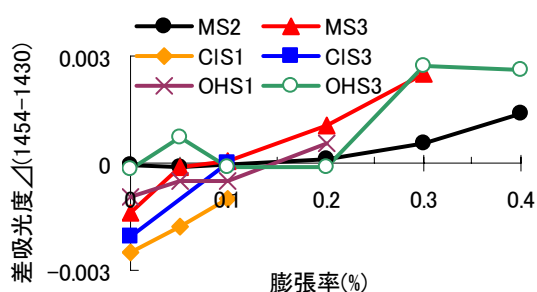


図-4 差吸光度($\Delta 1454-1430$)と膨張率の深さ平均の関係

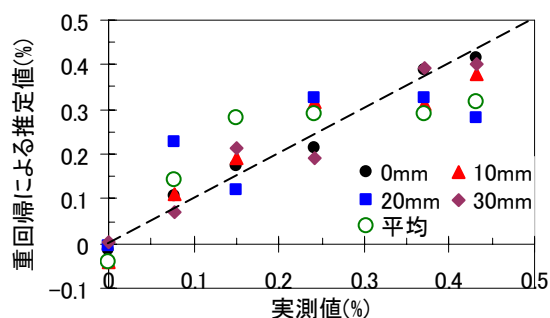


図-5 重回帰分析による膨張率の推定