

ハイパースペクトルを用いたコンクリート表面の劣化物質の判別に関する基礎的研究

芝浦工業大学大学院 学生会員 奥山 康二  
 芝浦工業大学土木工学科 正会員 勝木 太  
 東京大学生産技術研究所 F 会員 魚本 健人

1.はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化が問題になっている。物理的、化学的な要因により劣化が生じるコンクリート構造物に対して検査、管理、補修といった維持管理システムの必要性が唱えられている。維持管理において補修の指標となる検査は非常に重要である。しかし、NaCl,CO<sub>2</sub>といった化学物質による劣化を有効な検査方法は、コンクリート構造物から直接採取するコアリングのみであり、非破壊検査では現在考案されていない。

そこで、本研究では、非接触、非破壊で測定が行えるリモートセンシング技術を利用してコンクリート構造物の中性化の原因である炭酸カルシウムを判別を行った。特に、リモートセンシングの画像解析の基礎となるスペクトル情報に関して研究を行った。

2.実験概要

本研究では、コンクリート表面を測定した場合に化学物質の量がスペクトルに及ぼす影響、および中性化においてコンクリート表面に変化が顕著に現れる水酸化カルシウム、炭酸カルシウムの正確な吸収ピークの測定のため実験を行った。

2.1 使用機器

使用した機器は、光源にタングステンハロゲンランプ、スペクトルメーターにはGER社製、GER2600を使用した。測定可能波長は400~2500nm(可視・近赤外波長域)である。

2.2 使用材料

各W/C=55%のコンクリート、セメントペースト、粉碎したセメントペースト(粉体と呼ぶ)、純正一級の炭酸カルシウム、試薬特級の水酸化カルシウムを使用した。

2.3 実験原理

GER2600で測定を行うと、検出されるデータは分光放射輝度と呼ばれるものでグラフ化される。分光放射輝度は測定条件の違いにより非常に影響を受けやすい。可視・近赤外で測定する場合に標準物質であるBaSO<sub>4</sub>白板を実験時には測り、式-1のように反射率に変換する。また、結果をグラフ化したものが図-1である。

$$\text{反射率}[\%] = (\text{測定物の分光放射輝度}) / (\text{BaSO}_4 \text{ 白板の分光放射輝度}) \times 100 \quad (1)$$

3.実験結果、考察

図-2は、中性化が進むにつれて現れる炭酸カルシウム、中性化の進行しているコンクリート、普通のコンクリ

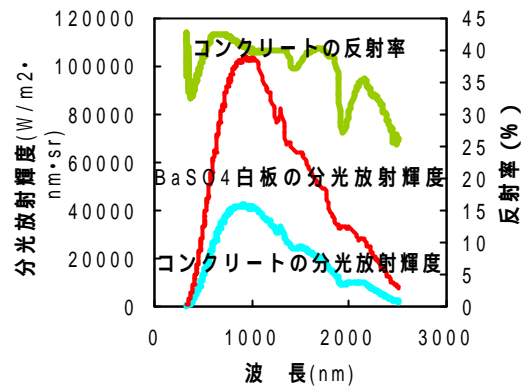


図-1 分光放射輝度と反射率の関係

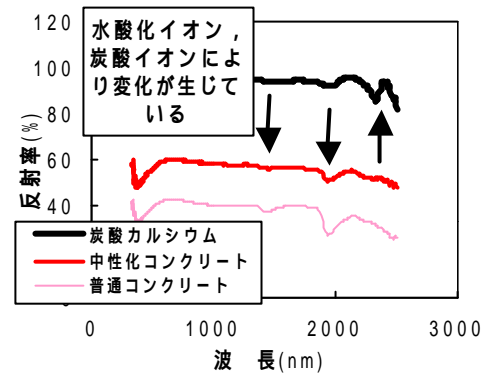


図-2 劣化した場合のスペクトル

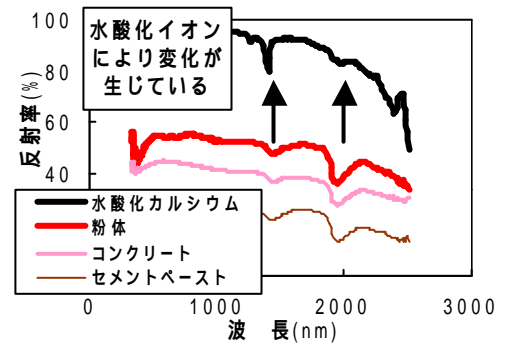


図-3 水酸化カルシウムとの比較

キーワード：リモートセンシング、炭酸カルシウム、水酸化カルシウム、分光放射輝度、反射率  
 連絡先：〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 TEL 03-5452-6098 (内線 58090)

ートを測定したものである。中性化が進むにつれて1450, 1950, 2350nm 付近において変化が生じているのが分かる。現在、他の研究で報告されているものから1450, 1950nm 付近についてコンクリート表面に存在する水酸基イオンにより吸収が生じているとされ、また2350nm 付近においては炭酸イオンにより吸収が生じているとされている<sup>1)</sup>。また、実際に確認実験として図-3のようにコンクリート、セメントペースト、粉体を水酸化カルシウムと比較した結果、同様に1450, 1950nm 付近において同様の吸収が起きる傾向を示した。

その他にも図-3より吸収の深さは、コンクリート、セメントペースト等の形状によるものではなく、化学物質の量であると考えられる。そのためスペクトルを反射率で考えるのではなく吸収の深さ、吸収波形、吸収位置(中心波長)などで評価を行う必要があると考えられる。図-4は、中性化を化学物質の重量比率の変化で表した実験結果である。粉体と炭酸カルシウムの混合率を重量比で変化させたものである。また、全体的に反射率の低いスペクトルから炭酸カルシウムの比率を0~100%と20%ごとに変化させたものである。図-4からも図-3と同様に1450, 1950, 2350nm 付近において吸収に変化が生じているのが分かる。

スペクトルの解析として吸収の深さ、吸収波形を相対的に評価を行うことができる一次微分を用いた<sup>2)</sup>。また、一次微分の式は、

$$dR = (R_{i+1} - R_{i-1}) / \lambda \quad (2)$$

(R: 波長 λ の反射率, λ: 波長 λ-1 と波長 λ+1 の差)

図-5は、式(2)を計算した結果である。1450, 1950, 2350nm 付近で非常に変化が生じていることが読み取れる。図-6は、一次微分値と重量変化率との相関係数を求めたグラフである。このグラフの結果から水酸基イオン、炭酸イオンの影響を受け、最も変化が生じている波長は1473, 1953, 2351nm である。実験結果より3波長を用いればコンクリートの表面の中性化に関して判別が可能であると考えられる。炭酸カルシウムの判別が3波長から可能であるため、次の段階として一次微分値から炭酸カルシウムの重量比率の定量化を検討した。以下に多変量解析の結果の式を示す。

炭酸カルシウムの重量比率(%) =

$$(1.631 - 73.33 X'_{1473} + 34.35 X'_{1953} - 3.192 X'_{2351}) \times 100 \quad (3)$$

(Y: 重量変化率(%), X'i: 波長 i における一次微分値の値)

式(3)の検定を行った結果は、重相関係数 0.997, 標準誤差 0.045 となった。有意水準 95%においては、t = 0.05 > 0.009 となり有意水準を満たしている。

4.まとめ

1. 可視・近赤外波長で測定を行う場合、吸収の深さ、吸収波形、吸収位置でスペクトルの評価を行う必要がある。
2. 一次微分をスペクトルに施すことにより吸収波形、吸収深さ、吸収波長を明確に表すことができる。
3. 実験結果より水酸基イオンの特徴波長は1473, 1953nm, また炭酸イオンの特徴波長は2351nm と考えられる。
4. 水酸基イオン、炭酸イオンの特徴波長を求めることにより、炭酸カルシウムの重量比率を精度の良く推定を行うことが可能である。

謝辞 実験をするにあたって千葉工業大学修士2年佐藤大輔氏、並びに魚本研究室の皆様に深い感謝のお礼を申し上げます。

参考文献 1) (財)資源・環境観測解析センター: 昭和62年度資源衛星データ解析技術化初調査報告書, pp.193-211

2) 岩元睦夫, 河野澄夫, 魚住 純: 近赤外分光法入門, 幸書房, pp.40-60, 1995

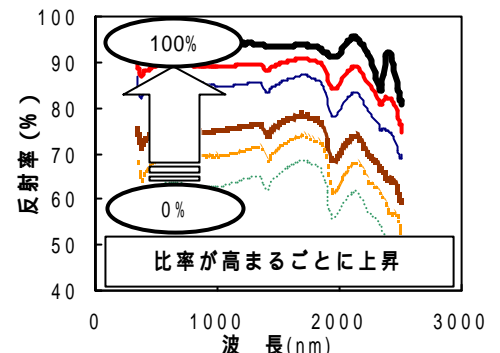


図-4 比率が違う場合のスペクトル

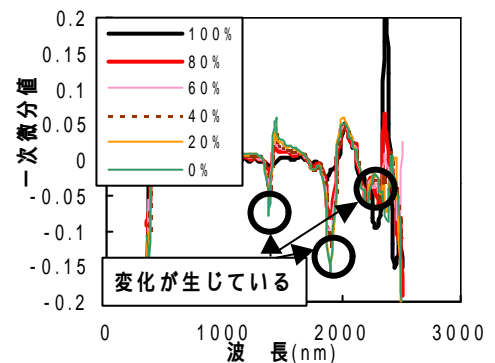


図-5 図.4の一次微分値

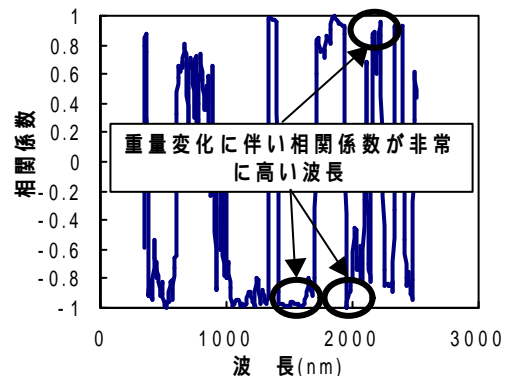


図-6 一次微分値と重量比率との相関