

近赤外スペクトルを利用した NaCl 分布計測に関する研究

千葉工業大学大学院 学 生 員 佐藤 大輔

東京大学 国際産学・共同研究センター FII-会員 魚本 健人

1. はじめに

近年コンクリートの劣化状態を知るための方法として非破壊検査が注目されている。非破壊検査は構造物を破壊することなくその状態を把握できるという利点が挙げられている。近年研究されている非破壊検査はひび割れ深さ・幅，内部空隙，強度など主に物理的性質を情報として得るものである。しかし，コンクリートの劣化は塩害をはじめ炭酸化や硫酸塩劣化など多くの化学的要因により構造物の寿命が短くなっているものが少なくない。そこで本研究では化学的劣化に着目しリモートセンシング技術を応用し，マルチスペクトルを用いコンクリート表面の化学物質の計測に関する基礎的研究を行った。

2. スペクトル計測

本研究で用いた計測機器は可視光 (400 ~ 780nm)，近赤外 (780 ~ 2500nm) までの分光放射輝度を測定できるポータブルスペクトルメータを用いた。また，光源は図 - 1 に示すような分光特性をもつタングステンハロゲンランプを用いた。

実験は，対象面への光源の入射角を 45° で一定に保ち測定を行った。また，輝度値を求めるための基準板として，特異的な吸収が無く，長期間安定し一様な光の分散効果が得られる硫酸バリウム板を標準板(以後，白板)として用いた。波長 λ における白板の反射光の強さ $R_s(\lambda)$: [相対輝度値] を測定し，次いで試料の反射光が求められ強さ $R(\lambda)$ を測定，式(1)により見かけの輝度値を求める。今後示すスペクトルはこの方法によって求められた見掛けの輝度値とする。

3. 化学物質のスペクトル計測

3.1 実験概要

コンクリートの化学的劣化因子および副産物である各物質 (NaCl, CaCO₃, CaSO₄ · 2H₂O) についてスペクトルを計測した。

3.2 結果

結果を図 - 2 に示す。この図より明らかに 3 種類の化学薬品のスペクトルが異なっていることがわかる。また，3 つの薬品の可視域のスペクトルは凹凸の少ない輝度値を示している。これは粉末状の各薬品を肉眼で見た場合も酷似した白色を有していることから可視域では変化の少ないスペクトルになったと考えられる。しかし，近赤外域では得られたスペクトル波形が大きく異なっていることが認められる。よって，近赤外分光による測定がコンクリート表面に付着した化学物質の特定を可能にすると考えた。

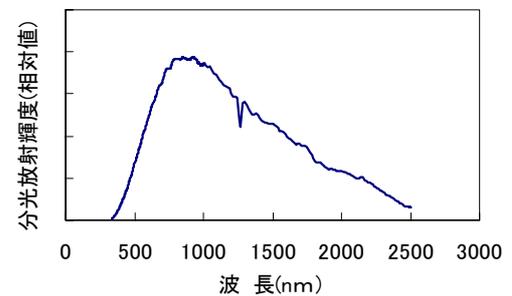


図 - 1 光源の分光特性

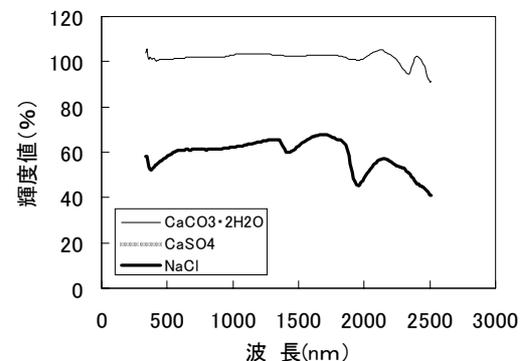


図 - 2 化学物質のスペクトル

$$\frac{\text{試料の反射光強さ } R(\lambda)}{\text{標準板(白板)の反射光強さ } R_s(\lambda)} \times 100 = \text{輝度値} : A(\lambda) \cdots (1)$$

キーワード：非破壊検査，構造物診断，維持管理

〒153-0041 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 魚本研究室 03-5452-6098

4 . NaCl 塗布コンクリートの表面計測

本研究では鉄筋コンクリート構造物の耐久性低下の代表化学的劣化因子として，塩害に着目し NaCl の判別を行った。

4 . 1 実験概要

コンクリート表面に NaCl の塗布・乾燥を 10 回繰返し各回でスペクトル計測を行った。

4 . 2 スペクトルの解析

物質は固有のスペクトルを持っているため輝度値が変化しても一次微分値には影響を及ぼさない。そこで，一次微分による評価を行った。一次微分値のみでは NaCl の傾向がつかめないため 塗布回数 10 回までの一次微分値と塗布回数との間の相関を求めた。その結果，相関が高いものとして 1644nm を抽出した。抽出した 1644nm は一次微分値がほぼ一定であるから NaCl 固有の変化であると考えられる。図 - 3 に塗布回数に対する一次微分値の変化を表し任意の波長 868nm と 1644nm を比較した。ここで，任意の波長 868nm は微分値にバラツキがあり NaCl 固有の変化を見ることが出来ていないと考えられる。

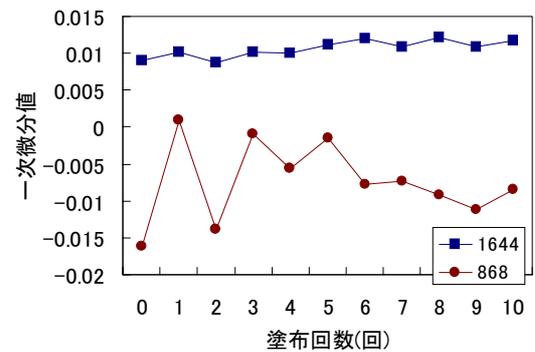


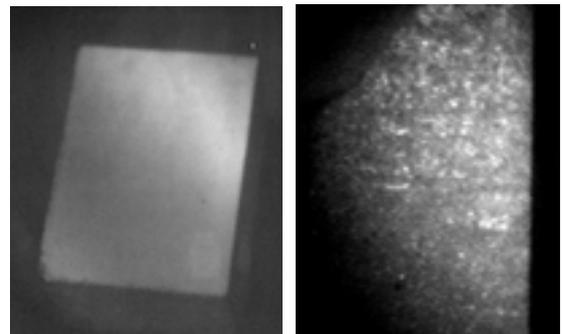
図 - 3 一次微分値の変化

よって，NaCl の固有の変化として 1644nm を選択し，この波長を用い画像による検討を行った。

5 . マルチスペクトルカメラの提案

本研究では新しい非破壊検査機器としてマルチスペクトルカメラを提案する。マルチスペクトルカメラはある波長を用いた画像によりコンクリート表面の化学物質の分布，濃度を判別できるカメラシステムである。カメラシステムの仕様を表 - 1 に示す。

写真 - 1 (a)はデジタルカメラ，(b)はマルチスペクトルカメラによって撮影されたものである。ともに同じカメラ位置から同光源を使用し撮影したものである。マルチスペクトルカメラの撮影ではフィルターを使用し，前章から得られた 1644nm を含む 1630 ~ 1650nm (バンド幅 20nm) の波長域の画像を取り込んだ。ここで用いたコンクリートは海洋暴露供試体であり，表面より 0.5cm での平均 NaCl 量が 0.6% となっている。デジタルカメラのものでは一様な反射を示しているが，マルチスペクトルカメラで撮影されたものは，斑点状の様子が認められる。これは，NaCl の影響により強い反射を生じたためと考えられる。



(a)デジタルカメラ (b)マルチスペクトルカメラ
写真 - 1 コンクリート画像

表 - 1 マルチスペクトルカメラ仕様

観察波長域	400 ~ 1800[nm]
有効径	20[mm]
波長帯域	900 ~ 1700[nm]
バンド幅	20[nm]

6 . まとめ

近赤外域(780 ~ 2500nm)では，スペクトルにより化学物質を判別することが可能である。

スペクトルは物質固有であり，本実験では NaCl の判別には 1644nm を用いることでより安定した精度で判別することが可能である。

提案したマルチスペクトルカメラを用いることで，コンクリート表面の NaCl の分布を示すことができた。

謝辞：本研究は東京大学生産技術研究所 第 5 部 魚本研究室で行ったものであり，ご協力を頂いた同研究室の方々に感謝いたします。

1)日本リモートセンシング研究会，わかりやすいリモートセンシングと地理情報システム，1996.3