

近赤外分光イメージングによるコンクリートの劣化調査

東京大学大学院 学生会員 ○金田 尚志
 芝浦工業大学大学院 学生会員 石川 幸宏
 東京大学生産技術研究所 フェロー 魚本 健人

1. はじめに

現在、コンクリートの非破壊検査として多くの手法が提案されている。しかし、これらの非破壊検査手法のほとんどが、ひび割れ、内部空洞、鉄筋位置の検出等に代表される欠陥検知であり、コンクリートの成分、劣化因子等の化学的情報は得ることはできない。化学的情報を入手するにはサンプルを採取し、成分分析を行う必要があり、構造物全体を検査するには多大な労力を必要とする。そこで本研究では、次世代型非破壊・非接触検査手法の開発を目標とし、農学、食品、医療、工業化学等の分野で用いられている近赤外分光イメージングのコンクリートへの適用性を検証した。その結果、従来の検査手法と同等な結果が得られ、本手法の有効性を確認した。

2. 近赤外分光イメージングの原理

近赤外分光イメージングは、物質が固有の仕方で電磁波を反射、または放射する性質を利用したものである。この性質を分光特性といい、分光特性を用いて、構成成分の特定、濃度分布を測定する方法が実用化されている¹⁾。近赤外域において、検出対象成分が特定の波長で近赤外光を吸収(反射)する性質がある場合、その波長の分光画像を取得すると、検出対象成分の濃度が高い部分は暗く(明るく)撮影され、近赤外光を吸収(反射)していることが確認できる。

3. 実験概要

鉄筋腐食の主要因である中性化と塩分浸透に着目し、正常のコンクリートと比較して、中性化、塩化物濃度が高くなった場合に、分光特性がどのように変化するかを確認した。分光特性から劣化因子を検出できる波長域を決定して分光画像を撮影し、その分布状況を画像イメージとして取得した。

3.1 実験供試体

表-1 にスペクトル測定用の供試体の配合を示す。骨材の影響を除くため、 $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ のセメントペースト供試体とし、練混ぜ水の中に塩化ナトリウムを混入した。供試体作製時には、塩化物濃度が不均一にならぬように材料分離に注意し、塩分の流出を防ぐために気乾養生を行った。中性化促進試験は、温度 60°C 、二酸化炭素濃度 10% の条件で行い、フェノールフタレインアルコール溶液で、全断面が発色しない状態まで中性化させた供試体でスペクトルの測定を行った。

3.2 スペクトルの測定

各供試体各供試体のスペクトル測定は、近赤外分光分析装置(FOSS NIRSystem 社製 NIR6500 型)を用いて行った。図-1 にセメントペーストが中性化した場合のスペクトルの変化を示す。参考のため、水酸化カルシウムと炭酸カルシウムのスペクトルも示した。中性化によりセメントペースト中の水酸化カルシウムが炭酸カルシウムに変化したため、吸光度が低下していることが確認できる。図-2 はセメント中の塩化物量によるスペクトルの変化を示したものである。原スペクトルからでは、塩化物混入量とそれに伴うスペクトル特性を見つけることは難しい。そこで、二次微分処理を行い、スペクトルのピークを明確にした。二次微分スペクトルの値が低いほど吸光特性が高いことを示している。

表-1 配合表

W/C	セメントの種類		
50%	普通ポルトランドセメント		
塩化物混入量 (kg/m ³)			
供試体 No.	塩分量	供試体 No.	塩分量
N	無混入	7	9.0
1	1.2	8	11.0
2	1.5	9	16.0
3	2.0	10	20.0
4	3.0	11	25.0
5	4.5	12	30.0
6	6.0		

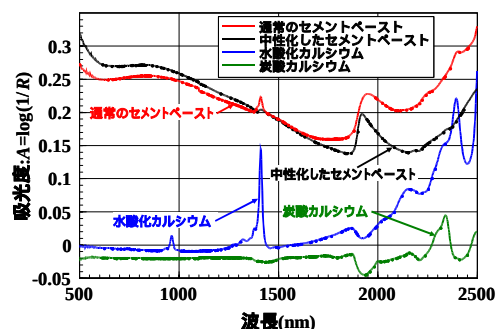


図-1 中性化によるスペクトルの変化

キーワード 非破壊検査, 近赤外分光法, 分光特性, 近赤外分光イメージング

連絡先 〒153-8505 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 TEL 03-5452-6098 (内)58090 FAX 03-5452-6392

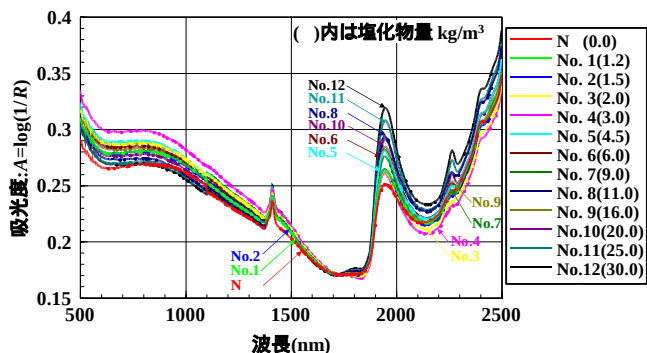


図-2 塩化物量によるスペクトルの変化

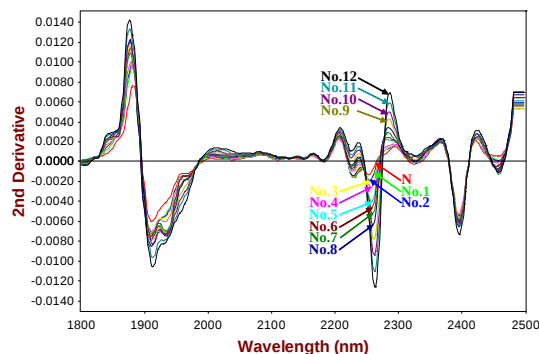


図-3 二次微分スペクトル

3.3 近赤外分光イメージングシステムの導入

図-4 に示すとおり、分光器と近赤外 CCD カメラを組み合わせた近赤外分光イメージングシステムで分光画像の撮影を行った。近赤外光を供試体に照射し、分光器で分光された画像をカメラで撮影することで各波長の分光画像が取得できる。図-5 の左図は、本システムを用いてセメントペーストの中性化部分を検出したものである。図-1 からわかるように、中性化していない部分の吸光度が高い性質を利用して分光画像を取得している。青色部が近赤外光を吸収している未中性化部分である。右図は EPMA による測定結果で白色部は炭素濃度が高いことを示している。図-6 の左図は、塩分浸漬させたセメントペースト供試体の分光画像である。図-3 から特定波長において塩分量が増加すると吸光度が高くなる性質が確認でき、特定波長における分光画像を取得すると塩化物量が多い部分は暗く撮影される。図-6 の右図は、EPMA による測定結果で、白色部は Cl 濃度が高いことを示しており、ひびわれ部分、塩水浸漬面側の Cl 濃度が高いことが確認できる。

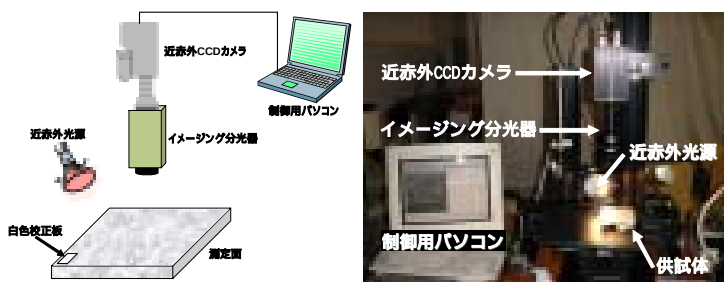


図-4 近赤外分光イメージングシステム

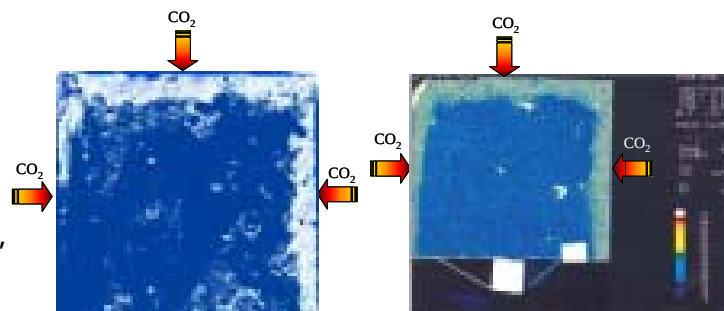


図-5 中性化部分の検出(左:分光画像 右:EPMA の結果)

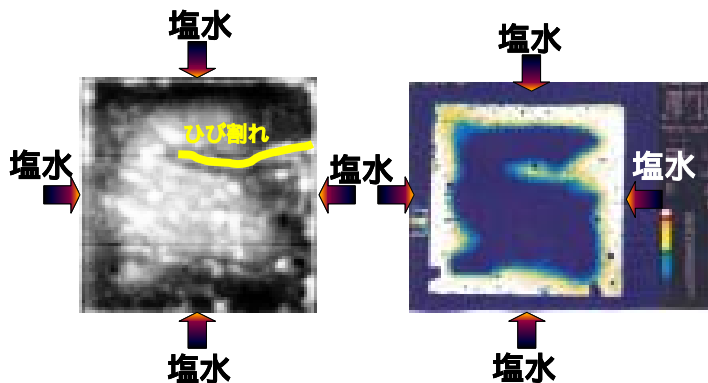


図-6 塩分浸透深さ測定(左:分光画像 右:EPMA の結果)

4. 結論

劣化因子(中性化, 塩化物)の分光特性を把握し、特定の波長における分光画像を撮影することによって、分布状況を画像イメージとして取得できた。本手法で得られた分光画像と、EPMA の測定結果が一致し、その有効性が確認された。中性化, 塩化物以外の劣化因子に関しても、同様に検出が可能である。本手法は化学薬品を使用せず、測定面の事前処理を必要としないため、無公害、低エネルギー、環境負荷の少ない検査手法である。コンクリートの劣化検査に応用することで、作業の効率化、コストダウンが期待できる。

参考文献

1) 大林 光念, 山下 太郎: 近赤外分光画像計測法を用いた家族性アミロイドポリニューロパチ - (FAP)患者の細静脈の評価, 第55 回日本自律神経学会総会プログラム・抄録集, 76, 2002.

謝辞: 本研究を行うにあたり、EPMA の測定には、東京大学生産技術研究所の星野富夫氏、スペクトルの測定には、東京大学大学院農学生命科学研究科相良研究室の薦瑞樹氏、近赤外分光イメージの撮影には、川鉄テクノリサーチ(株)プロセス製品技術事業部の守屋進氏、近藤孝司に多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。