

世界初、遠隔スキャンによる有害物質分布の検出手法の開発 -近赤外分光イメージングによるコンクリートの劣化物質の検出-

魚本健人 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター 教授
金田尚志 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 博士課程

1. 概要

コンクリート構造物の調査を行う際、必要に応じてサンプルを採取して成分分析が行われる。検出対象成分ごとに、現場で薬品を使用する試験、実験室に持ち帰り詳細な成分分析が行われる。しかし、土木構造物はその性質上、検査対象が大きく、立地条件も厳しいことから、大断面の検査を行うには、労力を必要とする。

したがって、遠隔で短時間に大断面を調査できる手法があれば、非常に有効なツールとなる。そこで、分光技術を応用し、近赤外分光イメージングによるコンクリートの劣化物質の検出手法を開発した。本手法は、検査対象面に近赤外光を照射し、その反射光を特殊センサーで測定するだけで、劣化物質の分布状況を画像イメージとして取得することができる。従来の成分分析手法と比較し、以下のような利点がある。

- ・大断面の成分分布状況を非接触・非破壊的に測定することができる。
- ・検出対象成分ごとに別々の試験を行う必要が無く、一度のスキャンで多成分の同時分析が可能である。
- ・化学薬品を使用せず、測定面の事前処理も必要としないため、無公害、低エネルギー、環境負荷の少ない検査手法である。
- ・現場で瞬時に結果を出力することができるため、検査の効率化、コストダウンが期待できる。

本手法は、コンクリートの劣化調査に限らず、成分の分布状況を調査する場合に応用が可能のため、目視では確認できない土壌汚染物質や、有害ガスの分布状況の検出等にも有効な手法と考える。

2. 遠隔・非破壊による成分分析手法の必要性

成分分析を行う場合は、通常、サンプルを採取し、試験室に持ち帰って検出対象成分ごとに別々の分析手法を用いる必要がある。一例としてコンクリートの塩分量を測定する手順を説明する。沿岸地域のコンクリート構造物は外部からの塩分浸透により、鉄筋が腐食するため、健全性を確認するために、コンクリートの塩分量測定が行われている。

- ①コア・ボーリング、ドリル等により検査対象構造物からサンプルを採取する
- ②サンプルを粉砕機にかけて粉末状にし、規定量の試料を計量する
- ③試料に硝酸溶液を加え、攪拌し過熱し、それを冷却後、抽出する
- ④水で定溶し、スターラーで攪拌しながら硝酸銀標準溶液で電位差滴定を行う

上記のような手順を踏むため、試験結果を得るまでに最低3日を要し、一般的な調査費用は1サンプルあたり3万円程度(足場、人件費を含まず)が相場である。したがって、大断面の測定を行う場合は、何箇所もサンプルを採取する必要があり、高所を測定する際は、足場等を設置するため、労力、費用が膨大となる。また、供用中の構造物は、サンプル採取箇所の補修を行わなければならない。しかし、遠隔で非破壊的に成分の濃度分布を測定できれば、短時間で効率よく検査を進めることができる。広い範囲の成分分布を検出する手法が確立されていないため、より効率的な検査手法の開発が望まれていた。

3. 原理

地球上のあらゆる物質は固有な仕方で電磁波(光)を吸収する性質を持っている。この性質を分光特性といい、分光特性から成分や濃度を特定する手法が分光法である。分光法には、近赤外分光、赤外分光、ラマン分光などがあるが、イメージングによる画像可視化を実現するため、可視域に近い近赤外分光法を用いた。以下に、コンクリートの代表的な劣化の例として、塩分浸透、中性化、硫酸劣化によるスペクトルの変化を示す。

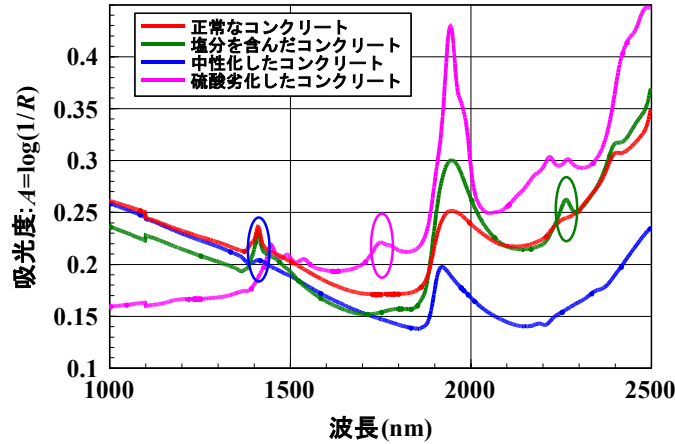


図 1 コンクリートの劣化による近赤外スペクトルの変化

図 1 から、コンクリートが劣化すると、正常なコンクリートと比較して、特定の波長において吸光度が高くなる(吸光度が低くなる)現象が確認できる。これは、劣化因子により新たな成分が生成されたり、劣化物質により振動モードが変化するからである。吸光度が高いということは、光を吸収する特徴を持っているため、その波長における分光画像を取得すると暗く撮影される。

3. 近赤外分光イメージングシステムの導入

従来の分光分析計は、一測定点の情報しか得られないため、平面のスペクトル情報を 2 次元的に取得するために、図 2 のような近赤外分光イメージングシステムを導入した。

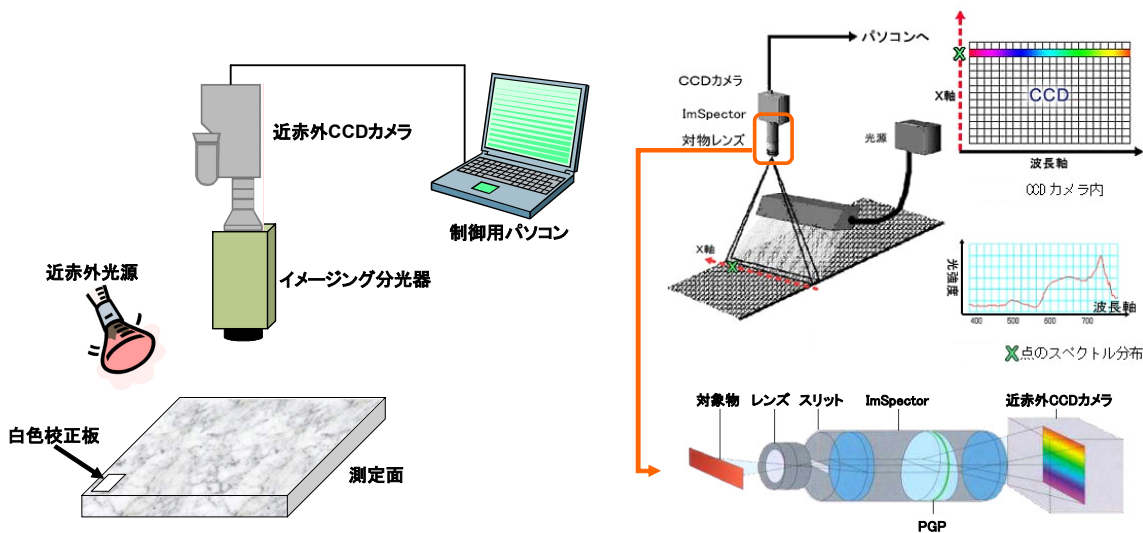


図 2 近赤外分光イメージングシステム

測定面に近赤外光を照射すると、その反射光がイメージング分光器で波長ごとに分光され、各波長ごとのスペクトル強度が近赤外 CCD カメラの受光素子で測定される。以下に室内実験状況と実験結果を示す。

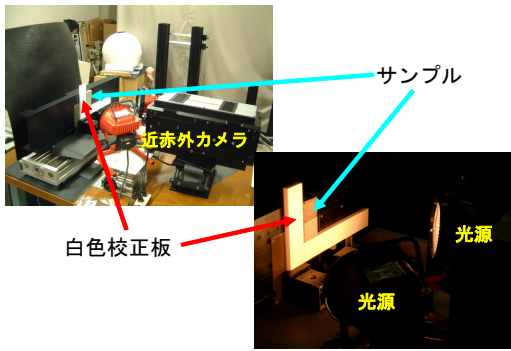


写真 1 室内実験状況

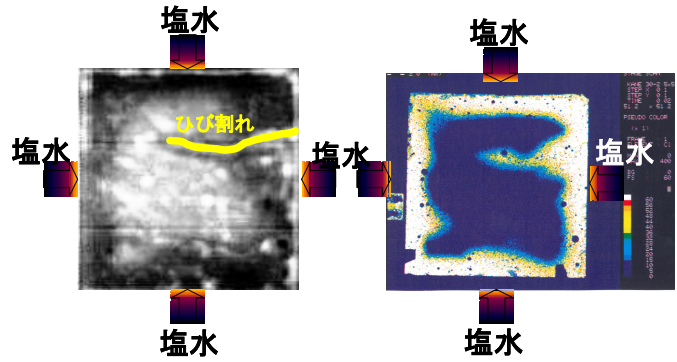


図 3 塩分浸漬深さの測定

図 3 は、サンプルを塩水に浸漬させ、その断面の近赤外画像を撮影したもの(左)と、従来の EPMA により分析を行った結果である(右)。図 1 からわかるように、塩分濃度が増加すると 2250nm 付近の吸光度が増加するため、この波長域の分光画像を取得すると、図 3 の左図のように塩水の浸漬面側が暗く撮影される。図 3 の右図は、白色部 Cl 濃度が高いことを示しており、分光イメージングシステムによって得られた結果と従来手法の結果が一致していることが確認できる。

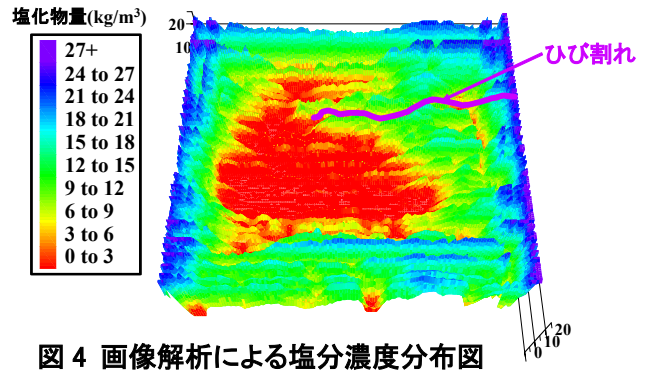


図 4 画像解析による塩分濃度分布図

実際の構造物も、外部から塩分が浸透し、内部の鉄筋が腐食する原因となる。図 4 は画像解析により、塩分濃度分布を表示したものである。

このように、劣化因子の分光特性を予め把握しておき、その成分特有の特定波長で分光画像を撮影することで、対象成分の分布状況、濃度分布を得ることができる。

4. 具体的な利用例

現段階では、分光イメージングシステムの性能レベルが低いため、室内における検証実験にとどまっているが、将来的に実現場での測定に応用した場合の利用例を紹介する。

①沿岸地域のコンクリート構造物の検査

海岸沿いのコンクリート構造物は、飛来塩分がコンクリート表面から浸透し、内部の鉄筋が腐食し、構造物の耐久性が低下する。外観からは、健全に見えても、内部まで塩分が浸透している場合がある。ここで、コンクリート表面の塩分量がわかれば、内部の塩分浸透状況のある程度推定することができるため、耐用年数を見積もることができる。従来手法では、大断面の塩分濃度を測定する方法が無く、数箇所からコンク

リートを抜き出し、試験室に持ち帰り塩分分析が行われている。本手法を導入することで、大断面を効率良く、非接触・非破壊的に調査を行うことができる。

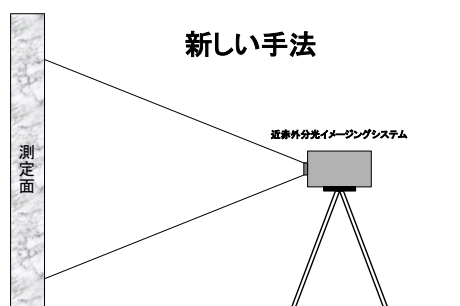


図 5 沿岸地域のコンクリート構造物の調査

②塗膜の塗り残しチェック, 塗料の劣化部の検出

構造物用の塗膜や保護剤, 下地剤は無色のものが多く, 正常に塗布されているかを目視で確認することは難しい. 塗料剤は, 近赤外域に吸光ピークを持つため, 特定波長域の分光画像を取得すると, 正常に塗布されている部分は暗く撮影され, 塗り残し部分は明るく撮影されるので, 施工不良部を発見することができる. コンクリート構造物に限らず, 鋼橋や船舶などの塗装は, 定期的な上塗り, 若しくは目視観察結果による点検者による判断によりメンテナンスが行われている. しかし, 塗装の劣化程度や劣化部分を検出することができれば, 効率の良い塗り替え作業が可能となる. 有機系塗料(アクリル, ウレタン, エポキシ, 塩ビ等)の塗料は紫外線や酸化により侵されて劣化し, 塗装表面から結合主鎖が徐々に切断されていく. したがって, 健在な塗料と劣化した塗料とで, 結合主鎖の切断によるスペクトルの変化を把握し, これを劣化指標として用いることにて, 劣化度の判定が行える. 分光画像から, 塗膜の劣化部分を検出し, その箇所だけ上塗りするのが効率的と考える.



写真2 塗膜・塗料の塗布作業

③有毒ガスの分布状況の検出

近赤外ガス分析計の技術を応用し, ガスの分布状況を確認できると考える. 温泉地帯や火山活動地域において, しばしば有毒ガスが滞留し, 被害者がでることがある. 近赤外分光イメージングシステムを用いて, 有毒ガスの分布を測定できれば, 災害を未然に防ぐことができる. また, ガス漏れ等が発生したときの, 発生箇所の特定にも有効と考える.

以上のように, 近赤外域に特徴的な分光特性を持つ成分なら検出が可能のため, 幅広い用途に応用可能である. 従来の定点サンプル採取の分析方法と比較して, 効率化, コストダウンが期待される.

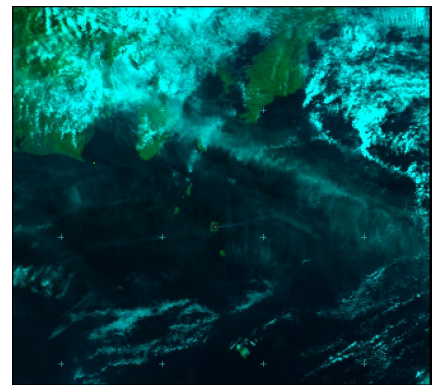


図6 火山ガスの分布状況

協力

東京大学大学院 農学生命研究科 農学国際専攻 相良研究室
川鉄テクノロジー株式会社 プロセス・製品技術事業部

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 03-5452-6391 e-mail: uomoto@iis.u-tokyo.ac.jp