

ハイパースペクトルロックイン法による重防食塗装の劣化検知の高精度化

神戸大学 ○正会員 阪上 隆英 小川 裕樹

本州四国連絡高速道路 正会員 杉山 剛史

神戸大学 正会員 塩澤 大輝 坂田 巧 森本 龍人 春名 進佑

本州四国連絡高速道路 正会員 横井 芳輝 正会員 平松 直人

1. 緒 言

長大鋼橋梁に使用されている図 1 に示す重防食塗装の予防保全のため、著者らは⁽¹⁾、上塗と中塗の近赤外線分光特性の違いを利用した塗膜劣化検出技術を開発した。さらに別報⁽²⁾では、赤外線分光特性が未知な塗装に対しても、適切な波長域の選択による中塗露出部の検出が可能で、近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを開発し、実橋梁の塗膜劣化評価に適用した。本報では、ハイパースペクトルデータに対するデータ解析法として開発した、スペクトルロックイン法を用いて中塗露出部をより高精度に検出した計測結果を示す。

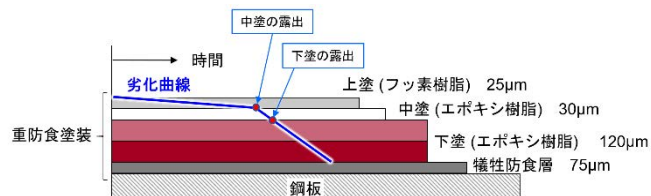


図 1 重防食塗装の構成

2. ハイパースペクトルロックイン計測

ハイパースペクトルイメージングは、分光計測と画像計測を組み合わせた技術である。ハイパースペクトル装置では、縦1ラインの光束を分光器により分光し、これを赤外線イメージセンサの横ピクセル列を用いて計測し、さらに装置全体を横方向に走査することで、2次元の位置情報(x, y)と各ピクセルの波長分光情報(λ)で構成

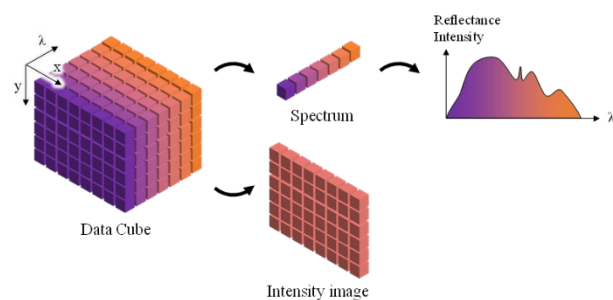


図 2 ハイパースペクトルデータキューブ

される、図 2 に示すような 3 次元のデータキューブを構成する。本研究で開発した近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムでは、900~1700nm の近赤外線領域を 640 分割した波長ごとの赤外線強度データを取得している。別報⁽²⁾では、このデータキューブから、上塗と中塗の赤外線吸収特性の差異が大きい波長を選択し、その波長における赤外線分光画像を構成することで中塗露出部を検出できることを示したが、データキューブの全てのデータを効果的に利用することにより、中塗露出部を一層高精度に検出できると考えられる。そこで本研究では、上塗および中塗塗膜が有する全波長域での吸収・反射スペクトルを参照データとして用い、すべてのピクセルの分光計測データにマッチング処理を行うことで、上塗および中塗の分光スペクトルとの相関度を定量化して画像表示することにより、中塗露出部の検出精度向上を図った。

まず、スペクトル解析の精度を向上させるため、データキューブの空間・スペクトルデータに対する前処理として、平滑化処理および散乱光補正処理を行った。平滑化処理とは、スペクトルデータに含まれるランダムノイズを低減する処理であり、本研究ではデータ全体に対して高速に処理を行うことが可能な Savitzky-Golay 法を用いた。散乱光補正処理は、計測対象の表面性状による散乱効果や照明強度の不均一性によりピクセルごとに異なるスペクトルのベースラインのばらつきを低減する処理であり、MSC(Multiplicative Scatter Correction)を採用した。

次にハイパースペクトルデータキューブのマッチング処理手法としては、不規則な変動波形の信号に対しても適用可能な自己相関ロックイン法⁽³⁾をスペクトル波形に応用した、スペクトルロックイン法を開発した。す

キーワード 近赤外線カメラ、ハイパースペクトル計測、分光特性、重防食塗装、長大鋼橋梁
連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学研究科機械工学専攻

なわち上塗および中塗塗膜が有する全波長域での吸収スペクトルを参照信号として用い、全ピクセルに対して自己相関ロックイン処理を施すと、参照信号として用いた分光吸収スペクトル（参照スペクトル）との相対強度値の分布データを得ることができ、参照スペクトルとの相関性が定量化された画像を得ることができる。

3. 計測結果

実橋梁に対して得られた近赤外線ハイパースペクトル計測データ⁽²⁾に対して、スペクトルロックイン処理を行った。計測対象とした領域のハイパースペクトル計測結果を図3に示す。図3(a)には可視画像を、図3(b)には全波長域で平均化された赤外線強度画像を、図3(c)には中塗層の露出が顕著に確認できる点Aおよび上塗塗料の健全な箇所である点Bから取得した前処理後のスペクトルデータを示している。図3(d)および図3(e)は上塗と中塗の分光強度差が大きくなる波長1200nmおよび1500nmでの分光強度画像を示している。

次に、前処理を施したハイパースペクトルデータキューブに対して、図3(c)に示した中塗塗料の参照スペクトルを用いてスペクトルロックイン処理を行った結果を図4(a)に、上塗塗料の参照スペクトルを用いてスペクトルロックイン処理を行った結果を図4(b)にそれぞれ示す。グレースケールで示した値は、参照スペクトルとの相対強度比を示している。図4(a)を見ると、中塗層の露出部が、参照スペクトルとの相対強度値が1に近い明るい領域として現れていることがわかる。このことは、スペクトルロックイン処理により、参照スペクトルとした塗料と同じ種類のスペクトルを示す塗料が存在するピクセルを検出していることを意味している。その反対に上塗の参照スペクトルで自己相関ロックイン処理した図4(b)の結果では、中塗層の露出部が、参照スペクトルとの相対強度値が低い暗い領域として現れている。また、それぞれの自己相関ロックイン処理によるスペクトルロックイン画像を、図3(d)および(e)に示したデータキューブから抜粋した特定波長域の分光強度画像を比較すると、上塗層と中塗層の違いを示すコントラストが明確になっていることがわかる。以上のことから、本報で提案したスペクトルロックイン法は、中塗層の露出箇所を高精度に検出できる有効な手法であることが明らかになった。

参考文献

(1)阪上ほか、近赤外線分光情報を用いた塗膜劣化評価法の提案ほか2編、土木学会第73回年次学術講演会講演概要集, pp.51-56, 2018.(2)塩澤ほか、近赤外線ハイパースペクトルイメージングによる重防食塗装の劣化検知、土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, 2023. (3)阪上ほか、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法による疲労き裂の遠隔非破壊検査技術の開発(第1報 溶接試験片を用いた基礎的検討)、日本機械学会論文集A編, Vol.72, No.724, pp.1860-1867, 2006.

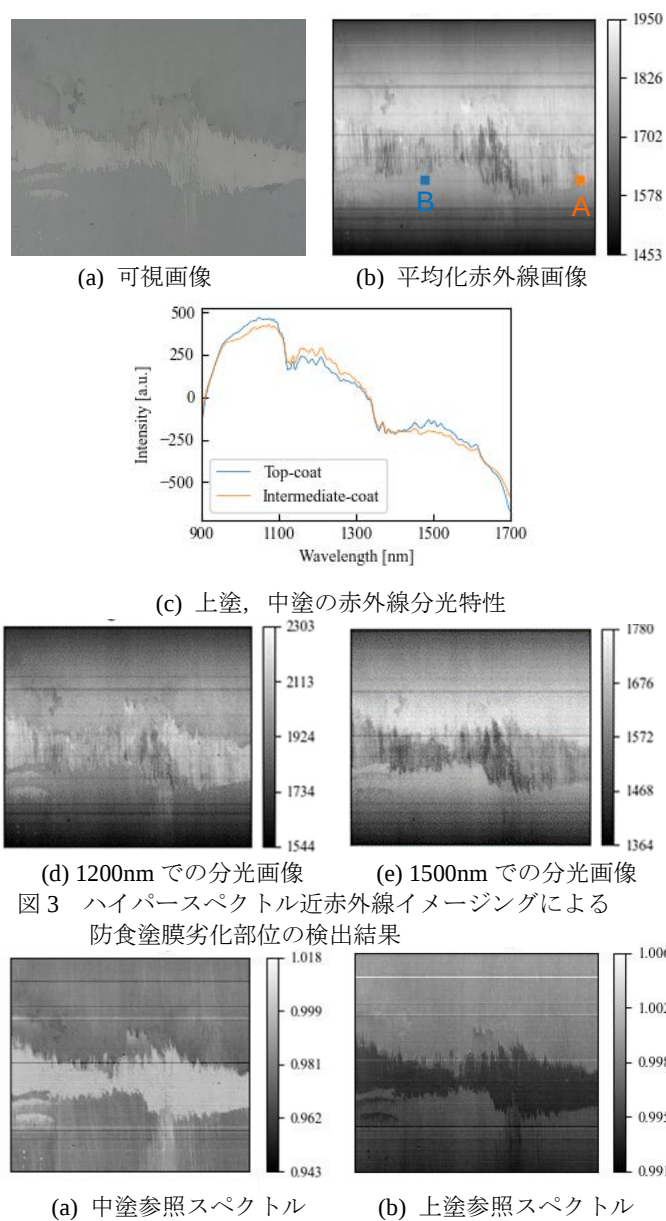


図3 ハイパースペクトル近赤外線イメージングによる防食塗膜劣化部位の検出結果

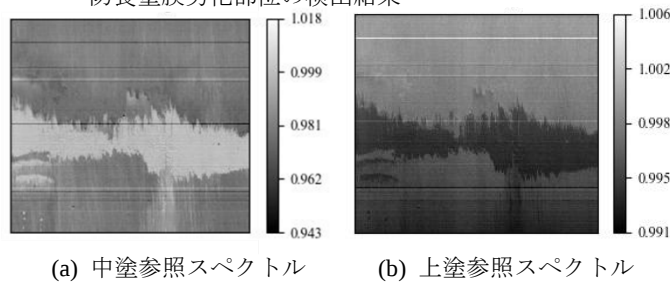


図4 ハイパースペクトルロックイン計測による防食塗膜劣化部位の検出結果