

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

神戸大学 ○正会員 塩澤 大輝 本州四国連絡高速道路 正会員 杉山 剛史
 神戸大学 正会員 阪上 隆英 小川 裕樹 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重防食塗装は、図1に示すように、無機ジンクリッチペイントを防食下地とし、下・中塗をエポキシ樹脂塗料、および最表層の耐候性が高いフッ素樹脂塗料から構成されている。本四連絡橋では、現地での再施工が困難な防食下地を保護するため、下

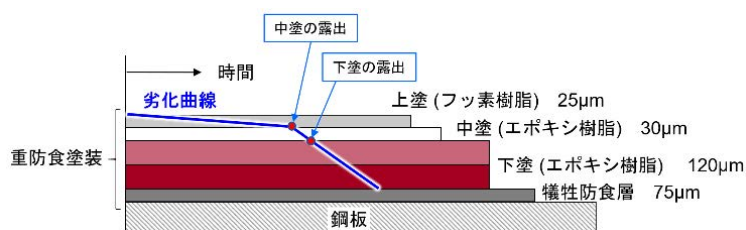


図1 重防食塗装の構成

塗が露出する前に塗替えを完了させる予防保全が一般的に行っている。一方で実構造物の塗膜厚さや劣化進行は面的に均一でないこと、上塗に比べて中塗の損耗速度は速いこと等から、塗装の健全性評価において中塗の露出を的確に検出することは重要となる。しかしながら、上塗と中塗の塗色が似ている場合には、目視による中塗露出の検出が困難である。そこで、著者ら^(1,2)は、上塗と中塗の近赤外線領域における分光特性の違いや上塗塗膜での吸収特性を利用した、塗膜劣化検出技術を開発してきた。本報では、赤外線の吸収・反射に関する分光特性が未知である重防食塗装に対しても、適切な波長域の選択による中塗露出部の検出が可能となるように、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。

2. 測定原理

物質に吸収される赤外線の分光特性は、物質の化学構造によって異なる。これを示す赤外吸収スペクトルは物質固有のパターンを有することから、物質の構造解析や定性分析に用いられている。分光特性の一例として、本研究で使用了重防食塗装試験片の、上塗および中塗に対して得られた、分光吸収率を図2に示す。図より、1500nmより長い波長域では、上塗および中塗はともにほぼ同じ分光吸収特性を有しているのに対し、1500nmより短い波長域では上塗は中塗よりも赤外線吸収率が高い値を示している。従って1500nmよりも短い波長で近赤外線計測を行うことで、中塗露出部を良好なコントラストで識別できる。しかしながら、一般に、重防食塗装には化学成分が異なる様々な塗料が用いられている上、分光吸収特性が未知であるケースがほとんどである。そこで、本研究では、分光情報を計測・画像化できる近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを用いて中塗露出部の検出を行った。

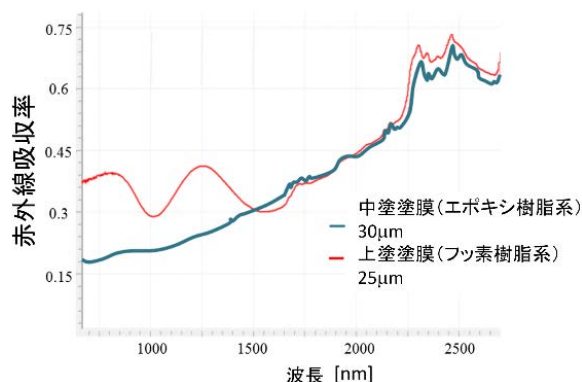


図2 フッ素樹脂系塗膜とエポキシ樹脂系塗膜の分光赤外線吸収特性

3. 近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステム

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り、リモートセンシングをはじめ様々な分野で使用されている。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、さらにシステム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)で構成される、3次元のデータキューブを構成

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

する．このデータキューブを解析することで，特定波長でのピクセルの赤外線強度を示す画像を構成することができ，材料がもつ特定波長の吸収・反射特性の差異を強調して画像表示することができる．このため，材料の識別など，波長特性の可視化に基づく計測が可能となる．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を図 3 に示す．本システムでは，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することができる．



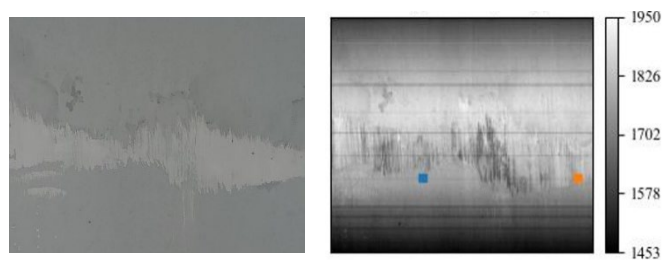
図 3 ハイパースペクトルイメージング

4. 計測結果

実橋梁環境において運用可能な，近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを用いて，重防食塗膜の上塗層の喪失による中塗層の露出箇所検出の高度化を図った．対象とした橋梁は，1988 年に供用が開始され，その後 2001 年に最表層の上塗については，ふっ素樹脂による仕様で塗替塗装が実施されている．塗替塗装後 21 年が経過し，上塗ふっ素樹脂層の部分的な劣化が一部報告されている状況であった．計測時の状況を図 4 に，計測結果の一例を図 5 にそれぞれ示す．図 5(a)には計測対象領域の可視画像を，図 5(b)には全波長域で平均化された赤外線強度画像を，図 5(c)にはハイパースペクトルイメージングシステムにより計測された図 5(b)中の点 A（上塗残存部）および点 B（中塗露出部）の分光強度データを，さらに図 5(d)および図 5(e)は図 5(c)において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．図より，全波長域で平均化された赤外線強度では中塗露出領域を明瞭に検出できていないのに対して，ハイパースペクトル計測で得られた分光データにおいて上塗と中塗の差異が大きくなっている波長域で画像化した図 5(d)および(e)では，中塗露出領域を良好なコントラストで検出できていることがわかる．また，1200nm および 1500nm では，分光強度が逆転していることで，画像においてもコントラストが反転していることがわかる．以上のことから，近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを用いることで，分光特性が未知な塗膜に対しても，中塗露出部の検出に最適な計測波長域をその場で見つけることができ，精度の高い塗膜劣化の現場計測を行うことが可能であることが明らかになった．

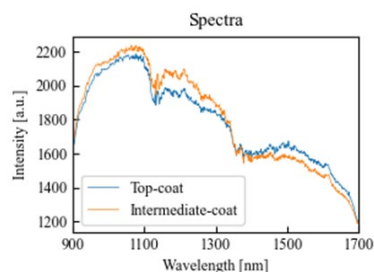


図 4 橋梁での現場計測

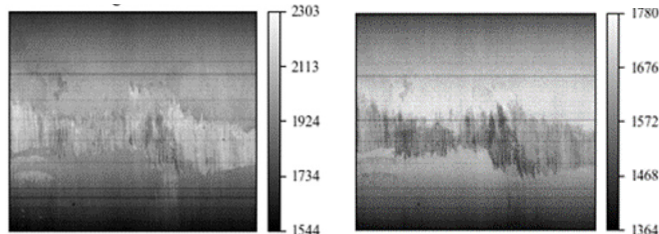


(a) 可視画像

(b) 平均化赤外線



(c) 上塗，中塗の赤外線分光特性



(d) 1200nm での分光画像 (e) 1500nm での分光画像

図 5 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

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)阪上ほか，近赤外線計測による鋼橋梁の防食塗装劣化の遠隔広域検知技術の開発，第 63 回 システム制御情報学会研究発表講演会 (SCT'19)，講演論文集，2019．