近赤外線分光情報を用いた塗膜劣化評価法の提案

神戸大学　正会員　○阪上　隆英
神戸大学　正会員　塩澤　大輝
神戸大学　学生会員　松本　悠希
本州四国連絡高速道路　正会員　溝上　善昭
本州四国連絡高速道路　正会員　林　昌弘
本州四国連絡高速道路　正会員　奥村　淳弘

1．目的

鋼橋の 2 大劣化要因である，「腐食」と「疲労」に対して，適切な維持管理を立案実施することは，橋梁を長期にわたり安全に供用するために重要である．鋼構造を腐食から守るため，重防食塗装が採用されている．重防食塗装は，図 1 に示すように，鋼材の電気防食のために最下層に施されているジンクリッチペイント，下･中塗エポキシ樹脂塗料，および最表層の耐候性ふっ素樹脂塗料から構成される．重防食塗装の維持管理においては，中塗や下塗の損耗速度が速いため，下塗が損耗する前に塗替えを完了させる予防保全が一般的に行われている．このため，上塗の損耗による中塗の露出を的確に検出することが重要となる．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．本報では，上塗と中塗の近赤外線領域における分光情報を利用した，新しい塗膜劣化検出技術を提案する．

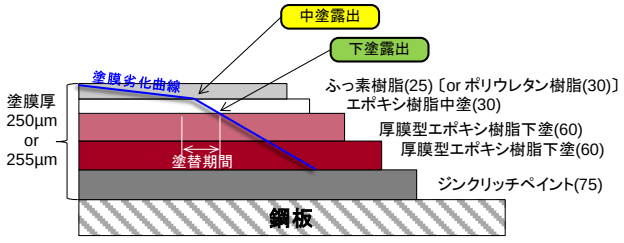


図 1 塗装仕様と塗膜劣化曲線

2．計測原理

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，本研究で使用した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有することがわかる．赤外線の反射率 ρ，吸収率 α および透過率 τ の間には，エネルギの保存則

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \tag{1}$$

が成り立つので，透過率を 0 と仮定すれば，

$$\rho + \alpha = 1 \tag{2}$$

となる．このため，近赤外線照明の下で，塗膜表面を赤外線カメラで見た時，1500nm より長い波長域では，上塗および中塗は同じ輝度値となるのに対して，1500nm より短い波長域では上塗は中塗よりも反射率が小さくなるので上塗の輝度値は中塗よりも小さくなると考えられる．

このような分光特性を利用することで，目視では判別が困難である，上塗の損耗による中塗の露出部分を，近赤外線カメラで容易に検出することが可能となる．

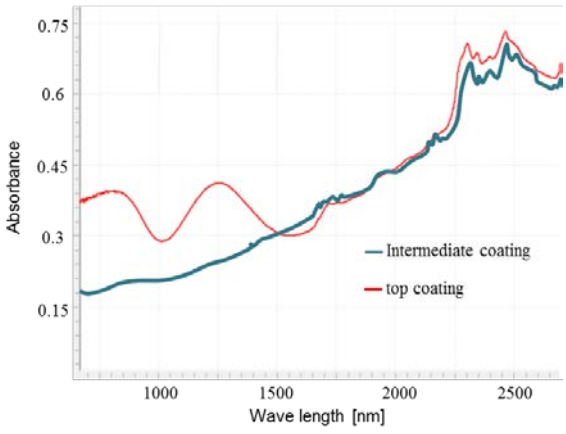


図 2　上塗と中塗の近赤外分光吸収特性

3．実験結果

本実験で用いた重防食塗装試験片を図 3 に示す．

キーワード　非破壊検査，近赤外線，分光情報，重防食塗装，塗膜劣化
連絡先　〒657-8501　神戸市灘区六甲台町 1-1　神戸大学　TEL 078-803-6343

表 1　測定した近赤外線波長帯

Open	900～1700 nm
SP : Shortwave Pass	900～1450 nm
LP : Longwave Pass	1400～1700 nm

実橋の場合と同様に，上塗にはふっ素樹脂塗料，中塗にはエポキシ樹脂塗料，下塗には厚膜型エポキシ樹脂塗料が，それぞれ塗装されている．

使用した近赤外線カメラは，InGaAs センサを搭載し，900～1700nm の波長帯に感度を有するものである．前述の分光吸収特性に基づき，本実験では，1400nm 以上と 1450nm 以下の波長帯の近赤外線を透過させるシャープカットフィルターを用いて，表 1 に示すような 3 つの波長帯での測定を行った．また，近赤外線照明として，太陽光およびハロゲンライトを用いた．

(a) 太陽光を近赤外線照明に用いた場合

試験片および近赤外線カメラを屋外に設置し，直射日光が試験片にあたる条件で撮影した結果を図 4 に示す．図より，LP フィルターを用いた 1400～1700 nm の波長帯での計測では，前述したように，上塗および中塗は同じ輝度値となっているのに対して，SP フィルターを用いた 900～1450 nm の波長帯での計測では，上塗の赤外吸収率が高いため上塗の輝度値は中塗よりも小さくなっており，中塗が露出した部分を明瞭に同定できていることがわかる．

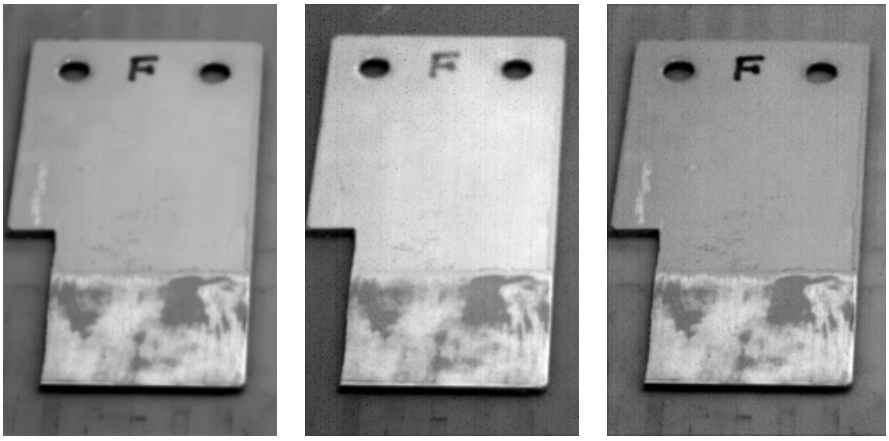
(b) ハロゲンライトを近赤外線照明に用いた場合

計測対象に直射日光が当たらない場合や夜間に計測を行うことを想定して，ハロゲンライトを照明として用いて計測を行った．実験状況を図 5 に，実験結果を図 6 にそれぞれ示す．図 6 より，ハロゲンライトを照明に用いた場合においても，太陽光による照明の場合と同様の結果が得られ，中塗が露出した部分を明瞭に同定できていることがわかる．

4．まとめ

本報では，近赤外線分光情報を利用した，新しい塗膜劣化検出技術を提案するとともに，その有用性を，重防食塗装試験片を用いた実験により示した．

図 3　重防食塗装試験片



(a) フィルター無し　(b) LP フィルター　(c) SP フィルター

図 4　太陽光を近赤外照明に用いた場合の測定結果

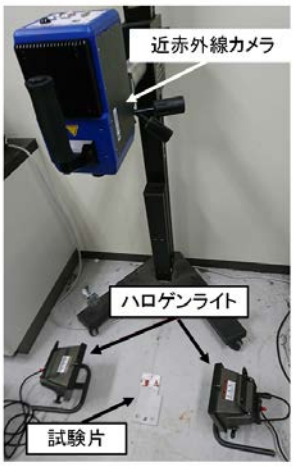
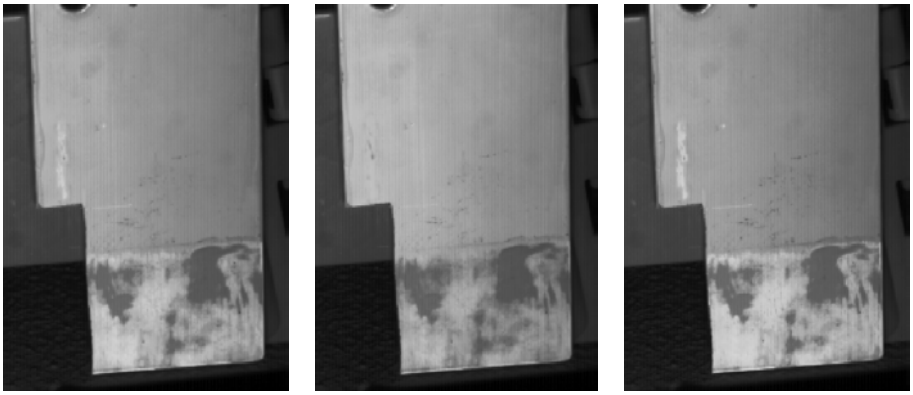


図 5　実験状況



(a) フィルター無し　(b) LP フィルター　(c) SP フィルター

図 6　ハロゲンライトを近赤外照明に用いた場合の測定結果