近赤外線カメラを用いた重防食塗装最表層の損耗度定量評価

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

1. 目的

鋼橋梁を腐食から守るため，鋼材表面には重防食塗装が施されている．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，鋼材表面の厚膜型ジンクリッチペイントの塗替が非常に困難なことから，下塗が損耗する前に塗替えを完了させる予防保全を基本としている．このため，中塗が露出する前に上塗の損耗を検出することが理想的であるが，目視により上塗の損耗程度を把握することは困難である．本報告では，上塗の残存厚さと輝度値の関係に着目し，上塗膜厚の損耗程度の定量的推定を目的として行った実験結果について述べる．

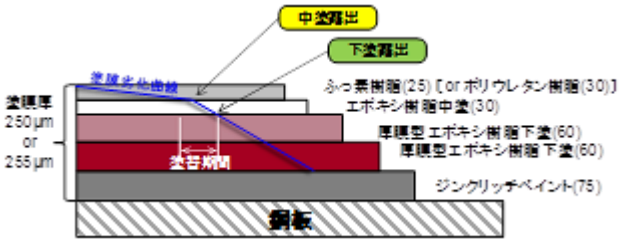

図 1 塗装仕様と塗膜劣化曲線

2. 計測原理

赤外線を物質に入射させたときの，赤外線の反射，吸収および透過は，物質を構成する分子構造や厚さの影響を受ける．複数層で構成される重防食塗装膜においては，上塗層が表面から劣化し損耗により薄くなっている場合には，上塗層の厚さに応じた透過と中塗層との界面での反射が起こると考えられる．透過を考慮した場合の上塗の輝度値について，概念的に説明する．中塗を透過する赤外線エネルギーを 0 とした場合における，塗膜の反射の様子を図 2 に示す．上塗に照射される光のエネルギーをE，上塗の反射率，吸収率及び透過率をそれぞれρ_1，α_1及びτ_1，中塗の反射率，吸収率及び透過率をそれぞれρ_2，α_2及びτ_2とする．この場合，上塗で反射される光のエネルギーE_1は，以下の式(1)で表される．

$$E_1 = \rho_1 E \tag{1}$$

また，上塗に入射して中塗で反射された後に上塗から出射する光のエネルギーE_2は，以下の式(2)で表される．

$$E_2 = \rho_2(\tau_1 E) - \alpha_1\{\rho_2(\tau_1 E)\} \tag{2}$$

赤外線カメラで撮影された塗膜の画像における上塗の輝度値は，エネルギーE_1及びE_2を合算したものと相関関係がある．上記エネルギーE_2を表す式(2)に含まれる上塗の吸収率α_1及び透過率τ_1は，上塗の厚さに依存すると仮定できる．つまりエネルギーE_2は上塗の厚さに応じて変化する．そのため，上塗の輝度値は，上塗層の厚さに応じて変化すると考えられる．

このような，上塗の厚さと輝度値の関係を利用することで，目視では検出が困難である，上塗の損耗程度の評価が可能となると考えられる．

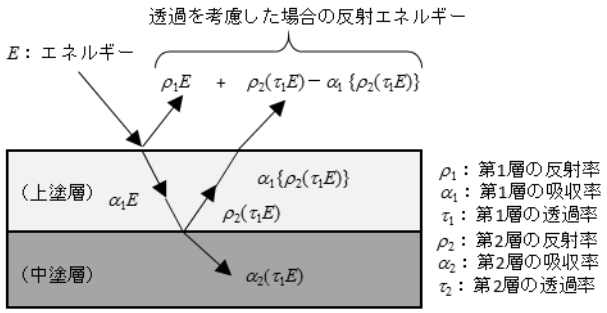

図2 塗膜の反射の様子

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．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が，それぞれ塗装されている．

キーワード　赤外線カメラ，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 神戸大学大学院工学研究科

また，試験片において上塗は左端から順に残存厚さが異なり，図に示したように，右側に進むにつれて厚くなるよう塗装されている．

使用した赤外線カメラは，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．また，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) 太陽光を赤外照明に用いた場合

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4より，上塗膜厚の違いが輝度値に表れており，上塗の損耗を明瞭に検出できる．

(b) ハロゲンライトを赤外照明に用いた場合

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．結果を図5に示す．図5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，上塗膜厚の違いを確認できる．

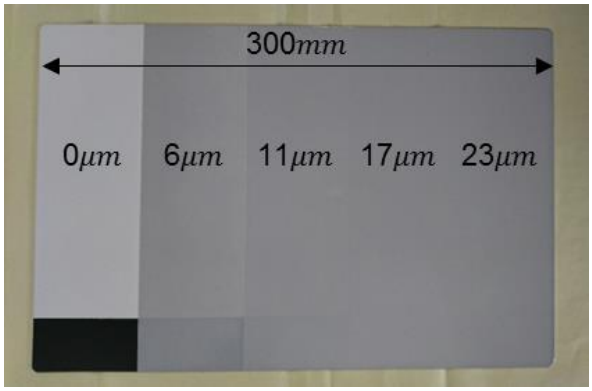

図3 重防食塗装試験片

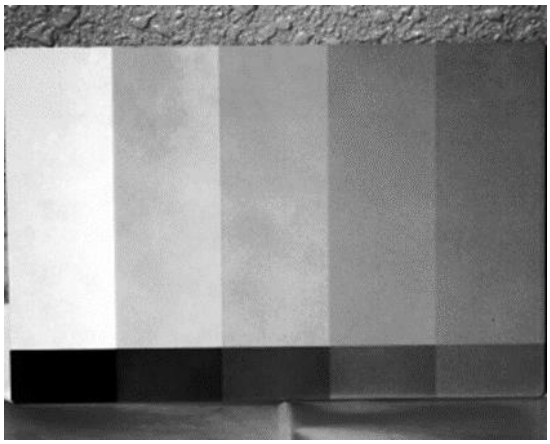

図4 太陽光を近赤外照明に用いた場合の測定結果

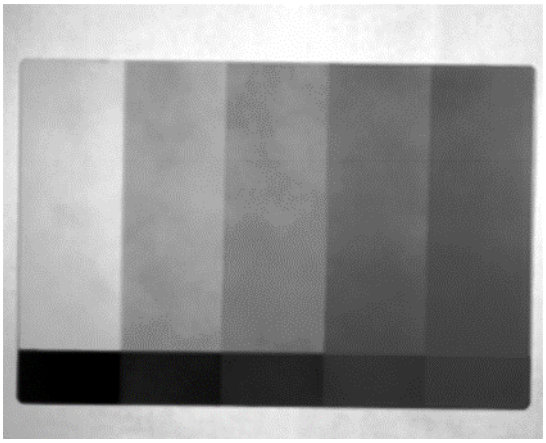

図5 ハロゲンライトを近赤外照明に用いた場合の測定結果

さらに，(a)および(b)の測定データから得られた，上塗膜厚と輝度値の関係を図6に示す．ただし，図6における縦軸は，上塗が塗装されていない領域の輝度値を1として正規化した値を示している．図6から上塗膜厚と輝度値の間には相関関係があることがわかる．そこで，あらかじめこの較正関係を得ておくことで，残存している上塗膜厚を，測定された輝度値をもとに推定できると考えられる．また，近赤外線照明として太陽光，ハロゲンライトのいずれを用いた場合においても，正規化された輝度値と膜厚の関係に大差がないことから，ハロゲンライトを照明に用いた残存膜厚評価が可能であることがわかる．

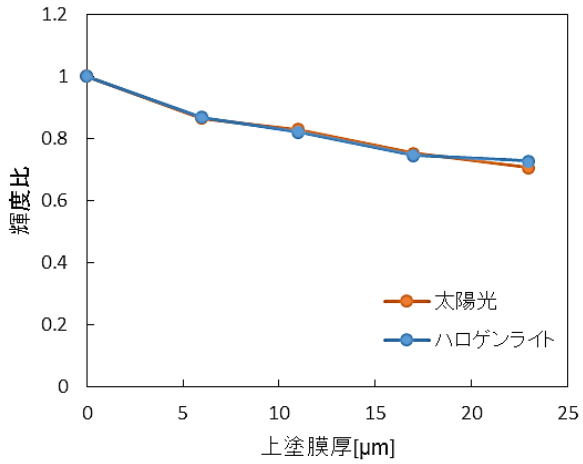

図6 上塗膜厚と輝度値の関係

4. まとめ

上塗の残存厚さと近赤外線輝度値の関係をもとに，上塗膜厚の推定が可能であることを示した．