アクティブ近赤外線ロックイン計測による防食塗装膜の劣化評価法の開発

神戸大学 工学研究科	学生会員	○坂田 巧
本州四国連絡高速道路㈱	正会員	有馬敬育
本州四国連絡高速道路㈱		内野隆太郎
神戸大学 工学研究科	学生会員	岸上俊介

1. 目的

本州四国連絡橋は,海上に位置する鋼構造物である ことから,鋼材表面には図1に示す重防食塗装が施さ れている.その詳細として鋼材表面から順に,ジンクリ ッチペイント,下・中塗エポキシ樹脂塗料,および耐候 性の高い上塗のふっ素樹脂塗料から構成されている. 塗膜は年月とともに表面から損耗するため,塗替塗装 が必要となるが,その時期を適切に判断するための,塗 膜劣化の早期検出法は確立されていない.著者ら⁽¹⁻³⁾は これまでに,防食塗装膜の近赤外線領域での吸収・反射 に関する特性を利用して,重防食塗装の最表面の損耗 度(残存膜厚)を定量的に評価する手法を開発した.本 研究では,赤外線照明を用いたアクティブ計測及び自 己相関ロックイン処理⁽⁴⁾を組み合わせたアクティブロ ックイン計測により,現場の測定対象物の採光条件に 影響を受けない,残存膜厚の定量評価法を提案する.





2. 計測原理

赤外線を物体に入射させたときの、赤外線の反射、吸 収および透過は、物体の厚さの影響を受ける.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、上塗と中塗の界面で反射す る赤外線強度は、上塗層の厚さに応じて変化すると考 えられる.図2に示すように、上塗に照射される光のエ ネルギを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 、中塗の反射率を ρ_2 とし、中塗を透過す る赤外線エネルギを0とした場合には、塗膜からの反 射赤外線強度 E_R は、式(1)で求められる.

 $E_{R} = \rho_{1}E + \rho_{2}(\tau_{1}E) - \alpha_{1}\{\rho_{2}(\tau_{1}E)\}$

このような,上塗の厚さによって変化する吸収率や 透過率と赤外線輝度の関係を利用することで,目視で は困難な上塗の残存膜厚の推定が可能となると考えら

神戸大学 工学研究科	正会員	塩澤大輝
神戸大学 工学研究科	正会員	阪上隆英
本州四国連絡高速道路㈱	正会員	西谷雅弘
神戸大学 工学研究科	学生会員	春日裕貴

れる.しかしながら,自然光の下での計測では,現場の 採光条件の違いにより,入射赤外線エネルギ E が場所 により異なることが考えられる.そこで本研究では,周 期的に変動するアクティブ光を測定対象に照射し,そ れに同期して変動する赤外線輝度値の振幅を計測する, アクティブ自己相関ロックイン計測により,採光条件 に影響を受けない残存膜厚の定量評価を試みた.



図2 塗膜の反射の様子

3. 計測方法

実験で用いた重防食塗装試験片を図3に示す.本州四 国連絡橋の実橋梁と同様に,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.試験片は,中塗表面が露出した場合と4種類の厚さ を持つ上塗層による構成であり,紙面左側から順に膜 厚が厚くなるよう塗装している.試験片の上塗膜厚は, 塗膜を切削した断面を測長することによって取得して おり,上塗膜厚は図中に示す通りである.上塗膜厚計測 用の試験片とは別に,同様の構成の試験片を自己相関 ロックイン処理のための参照信号取得のために用いた.

使用した近赤外線カメラは、InGaAsセンサを搭載した900~1700nmの波長帯に感度を有するものである.また、アクティブ光の赤外線照明としては、近赤外光を発するハロゲンビデオライトを使用し、ロックイン計測を行うために一定周期でライトを点滅させた.

計測においては、試験片を壁に貼り付け、近赤外線カ メラとハロゲンビデオライトを試験片に向けて横並び に配置し、撮影を行った.実橋梁での計測における、計 測箇所や時刻の違いによる採光条件の差異を再現する 目的で、図4のようにハロゲンランプ投光器を用いて 外乱光を測定対象領域の一部に照射した.実験では、外 乱光がない状態(図4(a))とある状態(図4(b))で、ア クティブロックイン計測を行い、両データを比較した.

キーワード 近赤外線カメラ,重防食塗装,塗膜劣化,維持管理,長大橋,自己相関ロックイン 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

(1)

計測の精度を向上させるために,図5に示すように, アクティブ光が当たっている領域の中で比較的照度が 均一であるとみなせる小領域(均質照明領域)の中に, 評価点とロックイン計測の参照点が収まるように測定 対象との位置関係を調整した.測定対象とした試験片 を図示したように動かすことで,試験片上の評価点が 常に均質照明領域の同じ場所に来るようにした.



図3 重防食塗装試験片







4. 実験結果

外乱光の影響を取り除くために,変動(点滅)するア クティブ照明の下で,近赤外線カメラで撮影した時系 列データにロックイン処理を行い,図6に示すような相 対赤外線強度分布画像("画像内任意の点の赤外線強 度変動"を"参照点の赤外線強度変動"で基準化した 画像)を作成した.図6と図4を比較すると,自己相関ロ ックイン処理の結果,外乱光の影響を受けない塗膜厚 さに応じた赤外線輝度の分布が計測できていることが わかる.さらに結果を定量的に比較するため,評価点に おける赤外線強度を,参照点の赤外線強度で基準化し た値である赤外線輝度比を算出した.

ロックイン処理を行う前の赤外線画像から得られた 赤外線輝度比と上塗膜厚の関係を図7(a)に,ロックイン 処理後の相対赤外線強度分布画像から得られた相対変 動輝度比と上塗膜厚の関係を図7(b)にそれぞれ示す.図 7(a)と(b)を比較すると、ロックイン処理により外乱光照 射時と非照射時の差がほとんどなくなっていることが わかる.これらより、変動するアクティブ光の照射とロ ックイン計測により、周囲環境の影響による採光条件 にかかわらず、塗膜劣化を定量的に評価できることが 明らかになった.

本研究の一部に日本学術振興会科学研究費(基盤研 究(B)18H01336)の援助を受けた.記して謝意を表する.





(a) 外乱光非照射時(b) 外乱光照射時図6 相対赤外線強度分布画像



(b) ロックイン処理後

図7 異なる採光条件における赤外線輝度比と上塗膜 厚の関係

文献

(1) 阪上ほか5名,土木学会第73回年講概要集,pp.51-52,2018.
(2) 溝上ほか5名,土木学会第73回年講概要集,pp.53-54,2018.
(3) 松本ほか5名,土木学会第73回年講概要集,pp.55-56,2018.
(4) 阪上ほか3名,日本機械学会講演論文集,No.04-47,2004,p.123.