

アクティブ近赤外線ロックイン計測による本州四国連絡橋の防食塗装膜の劣化評価

本州四国連絡高速道路(株) 正会員 ○有馬敬育
 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(株) 正会員 西谷雅弘
 神戸大学 工学研究科 学生会員 春日裕貴

本州四国連絡高速道路(株) 内野隆太郎
 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 学生会員 岸上俊介
 神戸大学 工学研究科 学生会員 坂田 巧

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、鋼材表面には重防食塗装が施されている。塗膜は経年化により表面から損耗するため、塗替塗装の時期を適切に判断する必要がある。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、重防食塗装の上塗の残存膜厚を定量的に評価する手法を開発した。また、別報⁽⁴⁾では、現場の採光条件に影響を受けにくい、赤外線照明を用いたアクティブ自己相関ロックイン計測による残存膜厚の定量評価法を提案した。本報では、同手法の有効性を本州四国連絡橋で確認した結果について述べる。

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。したがって、上塗塗膜の残存厚さと近赤外線輝度（強度）の関係をもとに、上塗の残存膜厚の推定が可能となると考えられる。計測原理については、別報に詳細を記載している。

現場の自然光の下での計測では、採光条件の違いにより、入射赤外線エネルギーが場所により異なることが考えられる。そこで、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。

3. 計測対象及び計測方法

計測対象は、図1に示す、1983年に供用された吊橋の補剛桁主構トラス下弦材ウェブ面で、1997～1998年度に上塗をふっ素樹脂とした仕様で塗替塗装されている。

計測に使用した近赤外線カメラは、InGaAsセンサを搭載し、900～1,700nm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、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、桁外面作業車上に、近赤外線カメラとビデオライトを、計測対象の下弦材に向けて横並びに設置して桁外面作業車を移動し、計測対象、カメラ及びライトの位置関係を同一に保ちつつ、図1中のAからOの地点で撮影を行った。また、現場のように撮影位置、撮影時刻及び対象部材等で採光条件が異なる場合でも精度よく上塗の残存膜厚を評価することが可能かどうかを確かめるために、各計測地点で計測対象に別報で用いた、中塗層及びその上に4種類の厚さを持つ上塗層で構成される試験片を取り付け、試験片上の同一点で上塗膜厚の計

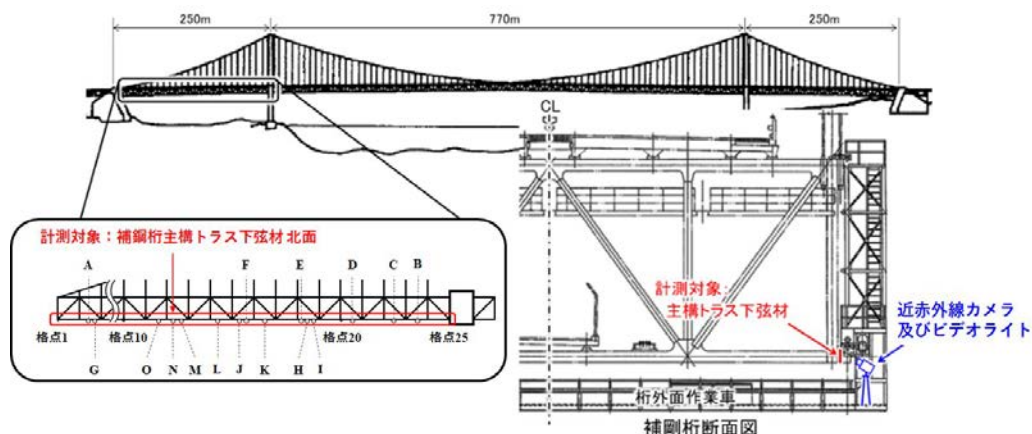


図1 計測対象及びカメラ、ビデオライト設置位置

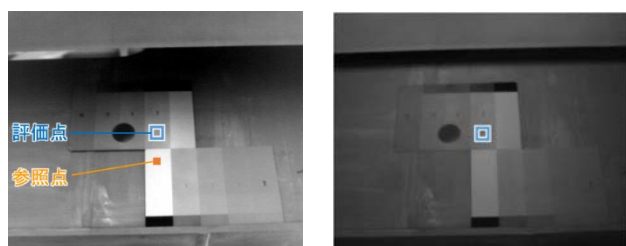
キーワード 近赤外線カメラ、重防食塗装、塗膜劣化、維持管理、長大橋、自己相関ロックイン
 連絡先 〒651-0088 神戸市中央区小野柄通 4-1-22 本州四国連絡高速道路(株) 長大橋技術センター

測を行った。

4. 計測結果

計測精度確認のための試験片の計測は、対象橋梁の7箇所(A1~G1)で試験片の上塗膜厚 $5\mu\text{m}$ の領域上の点、10箇所(A2,G2~O2)で上塗膜厚 $12\mu\text{m}$ の領域上の点を対象に行った。図2に一測定例を示す。図2(a)はアクティブ光が照射されていないときの赤外線画像であり、周囲部材の影により、入射赤外線強度が下弦材の上部で低くなっていることが確認できる。図2(b)は、周囲環境の影響を取り除くため、点滅するアクティブ光の下で撮影した時系列赤外線画像データにロックイン処理を行うことによって得られた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)であり、周囲部材の影の影響が軽減されていることがわかる。撮影した赤外線画像(ロックイン処理前)から“評価点の赤外線強度”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、自己相関ロックイン処理で得られた相対赤外線強度分布画像から相対変動輝度比を算出した。結果を図3に示す。

図3において、黒の棒グラフで示した赤外線輝度比は、計測箇所によって値にばらつきが見られる。採光条件の違いのため、評価点と参照点の輝度に一定の関係がないことがわかる。一方、赤の棒グラフで示した相対変動輝度比は、計測箇所によらずほぼ同じ値を示していることが分かる。これより、本手法によって、採光条件が異なる場合でも精度よく残存膜厚



(a) ロックイン処理前 (b) ロックイン処理後
図2 試験片の計測例

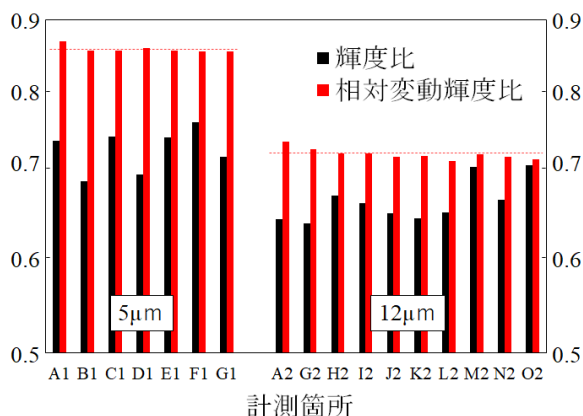


図3 採光条件の違いによる影響の軽減

評価できることが明らかになった。

対象橋梁の補剛桁下弦材の計測は、14箇所(A~F, H~O)で行った。図4に一測定例を示す。試験片測定の場合と同様に、図4(a)にアクティブ光が照射されていないときの赤外線画像、図4(b)にアクティブ自己相関ロックイン処理を行うことによって得られた相対赤外線強度分布画像を示す。ロックイン処理前の赤外線画像には、下弦材上部に周囲部材の影の影響が見られるが、ロックイン処理後の相対赤外線強度分布画像には影は現れていない。

測定した14箇所については、アクティブ自己相関ロックイン計測終了後、塗膜切削により残存上塗膜厚を実測した。同一点の残存上塗膜厚と相対変動輝度比の関係を示すグラフを図5に示す。図5より、相対変動輝度比と残存膜厚に明瞭な相関関係が見られることが分かる。本実験を通じて、実橋梁における複数箇所の測定対象でも、照射する変動アクティブ光の条件が同一であれば、アクティブ自己相関ロックイン法により、周囲環境による採光条件にかかわらず、近赤外線計測による防食塗装の残存膜厚評価を高精度に行うことが可能であることがわかった。



(a) ロックイン処理前 (b) ロックイン処理後

図4 補剛桁下弦材の計測例

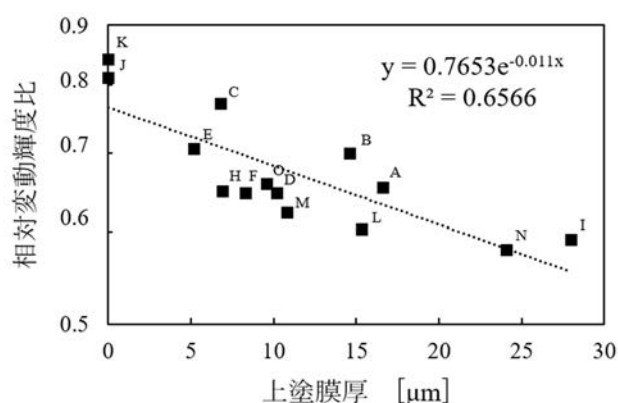


図5 相対変動輝度比と残存上塗膜厚の関係

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) 坂田ほか7名, 土木学会第76回年講概要集(投稿中), 2021.