

熱弾性温度変動計測による鋼床版疲労き裂計測における防食塗装膜の影響

滋賀県立大学 正会員 ○和泉 遊以 神戸大学 正会員 阪上 隆英
三菱重工 非会員 森 直也 大阪大学 非会員 久保 司郎

1. 目的

経年鋼橋梁の構造健全性を保証するためには、疲労によるき裂発生・進展を的確にモニタリングすることが重要となる。著者らはこれまでに、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法を用いた高精度応力分布計測により、輪荷重載荷下で鋼床版疲労き裂を遠隔から検出する新たな検査手法を開発し⁽¹⁾、その有用性を現場計測および実験室レベルの実験において示してきた⁽²⁾。鋼床版には、一般に母材の錆防止のための防食塗装が母材表面に塗布されている。測定対象とする鋼材に防食塗装が施されている場合、鋼材での熱弾性温度変動が塗装膜を介して計測表面に現れる。このため、計測表面においては塗装膜内で減衰された温度変動を計測することになり、き裂の検出精度が低下する可能性がある。本報では、防食塗装膜および車両の走行速度が、本手法すなわち自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィによる鋼床版疲労き裂の検出性に与える影響について検討した結果を示す。

2. 自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法

き裂を含む構造物に載荷した時には、き裂による応力集中のためき裂先端付近の熱弾性温度変動は周辺部に比べて局所的に大きくなる。この特徴的な温度変動分布を赤外線サーモグラフィにより計測することにより、き裂の検出および寸法計測を行うことができる。しかしながら、熱弾性応力測定により得られる温度変動は微小であり、応力変動による温度変動は計測ノイズと同程度となる場合がある。熱弾性応力測定の高精度化のためには、赤外線計測データと応力変動に関する参照信号とのロックイン相関処理を行うことにより S/N 比を改善する必要がある。自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ⁽¹⁾では、赤外線計測画像内の一部領域の温度変動データから参照信号を自己生成し、すべての領域の温度変動データとロックイン相関処理を行う。これにより、外部からの参照信号を用いることなく、車両輪荷重負荷のような任意荷重の下での相対応力分布を高精度に求めることができる。

3. 実験方法および実験結果

赤外線計測状況を図1に示す。対象とするき裂は、図2に示すような溶接ビード上を橋軸方向に進展し、その後トラフリブ側へ屈曲したき裂とした。重防食塗装と呼ばれる膜厚 250 μm の塗装を施す前・後に計測を実施し、塗装の有無がき裂検出性に与える影響を調べた。計測には、表1に示す総重量 10.0t (荷重車1) および 21.4t (荷重車2) の荷重車を用い、車両の走行速度は 30km/h、45km/h および 60km/h とした。荷重車の輪荷重載荷による測定面の応力変動に伴う温度分布の変動を、撮影速度 113 Hz で連続的に計測した。得られた時系列温度変動データに対して、自己相関ロックイン処理を施し、き裂先端における応力集中部の検出を行った。

図3に、総重量 21.4t および 10.0t の荷重車を用いた場合の塗膜有・無の状態での自己相関ロックイン計測結果を示す。車両の走行速度は、45km/h とする。図より、総重量 21.4 の荷重車の場合においてはき裂先端における応力集中がはっきりと表れているが、総重量 10.0t の荷重車については、応力集中部が明瞭には表れていない。また塗装を施すことにより、



図1 赤外線計測状況

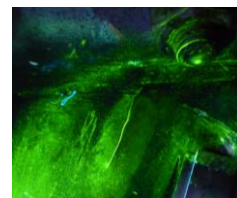
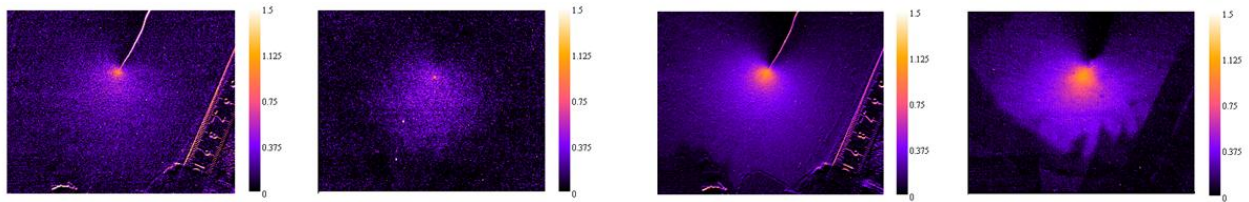


図2 屈曲き裂(磁粉探傷結果)

表1 荷重車重量

荷重車1		荷重車2	
前輪	3.3t	前輪	4.7t
後輪	6.7t	後前輪	9.1t
		後々輪	7.6t

キーワード 非破壊検査, 赤外線サーモグラフィ, 熱弾性応力測定, 疲労き裂, 鋼床版, 防食塗装膜
連絡先 〒522-8533 彦根市八坂町 2500 滋賀県立大学工学部機械システム工学科 TEL 0749-28-8379



(a) 塗膜なし(荷重車 1) (b) 塗膜あり(荷重車 1) (c) 塗膜なし(荷重車 2) (d) 塗膜あり(荷重車 2)

図 3 防食塗装膜塗布前・後の自己相関ロックイン計測結果

応力集中部の検出が困難となっていることが分かる．しかしながら，総重量 21.4t の場合においては，塗膜が施された状態で応力集中部が顕著に表れており，本手法の実用性が示された．

次に，塗膜上および鋼板表面で得られた赤外線強度波形の振幅をリアルタイムに比較することにより，塗膜下の計測における走行速度の影響を調べる．対象としたき裂周辺で計測された応力分布は，図 3 に示すようにモード I (開口型) の応力分布を示していた．そこで，き裂延長線上の片側の塗膜を除去して計測を実施した．得られた塗膜上および鋼板表面における温度変動波形の振幅を比較し，塗膜内の面外熱拡散により，どの程度熱弾性温度変動が減衰されたかを調べた．

車両の総重量を 21.4t (荷重車 2)，走行速度を 30km/h, 45km/h および 60km/h としたときの塗膜上および鋼板表面における赤外線計測波形を図 4 に示す．図には，鋼板表面における赤外線計測波形を塗膜内面の境界条件とし，厚さ 250 μm の塗膜について熱拡散有限要素解析を行うことにより得られた塗膜外面の温度波形を併せて示している．

図 4 より，車両の走行速度が大きいほど，塗膜による波形振幅の減衰が大きいことが分かる．これは，車両の走行速度の増加に伴い，生じる熱弾性応力変動波形の卓越周波数が大きくなり，塗装内の減衰の影響を大きく受けるためであると考えられる．また塗膜外面の計測波形と，塗膜内面（鋼板表面）の情報をもとに得られた塗膜外面の有限要素解は概ね一致している．このことから，波形振幅の減衰および位相のずれは塗膜内熱拡散の影響であることが明らかになった．減衰率が大きくなり塗膜上の赤外線計測振幅が小さくなれば，本手法におけるき裂検出性は低下する．塗装膜下の計測において，車両の走行速度は本き裂検出法のき裂検出性に影響を与えることが明らかになった．

参考文献

- (1) 阪上隆英ほか，日本機械学会論文集(A), Vol.72, No.724, pp.1860-1867, 2006
- (2) Yui Izumi, et al., *Proc. of 2008 International Orthotropic Bridge Conference*, pp.502-513, 2008

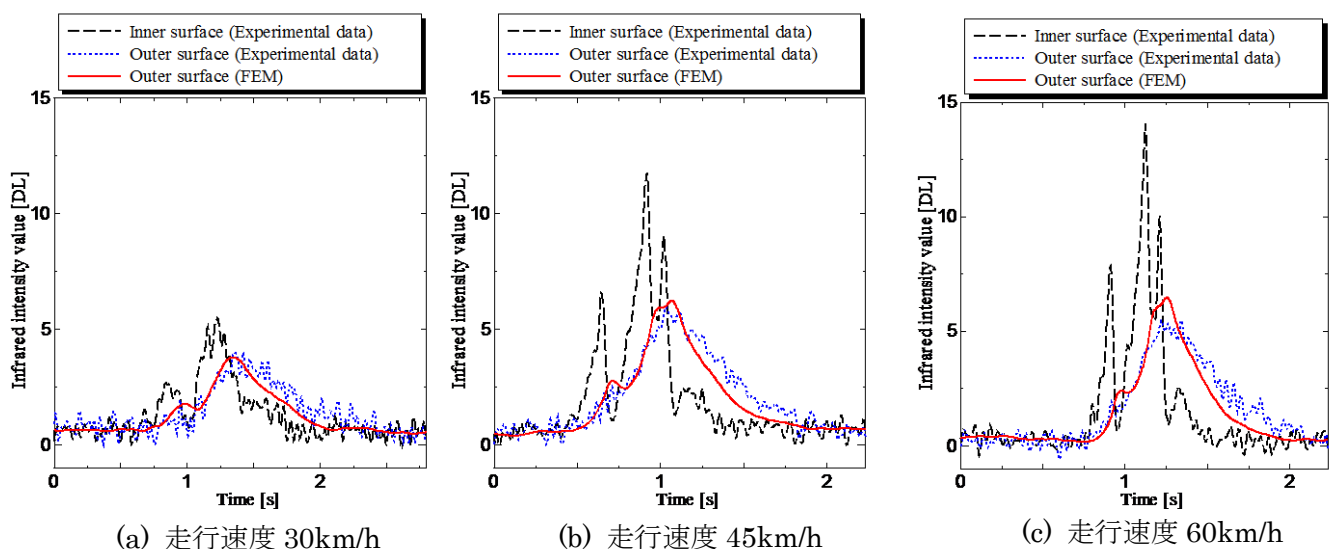


図 4 車両走行速度が異なる場合における塗膜内外面の赤外線計測波形および有限要素解