

## 自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法の高精度化と それに基づく鋼床版の疲労き裂検出

大阪大学	学生員	○和泉 遊以	大阪大学	正会員	阪上 隆英
大阪大学	非会員	久保 司郎	大阪大学	学生員	森 直也
		国土交通省 国土技術政策総合研究所		正会員	玉越 隆史
		国土交通省 関東地方整備局		正会員	石尾 真理

### 1. 目的

経年鋼橋梁の構造健全性を保証するためには、疲労き裂の発生・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、車両輪荷重負荷の下での鋼床版の疲労き裂先端近傍の応力分布を、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィを用いて高精度計測することにより、疲労き裂を遠隔から検出する新しい非破壊検査技術を開発し<sup>1)</sup>、その有用性を疲労試験および供用中の道路橋鋼床版に対する測定により示してきた<sup>2)</sup>。本報では、供用下の道路橋鋼床版の疲労き裂に対して、遠隔から赤外線計測を実施した結果を示す。さらに橋梁の振動により生じた赤外線計測画像内の位置ずれを画像処理法により補正することにより、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィの高精度化を行った。これらを通じて、本手法の現場での適用性を明らかにする。

### 2. 自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法

き裂を有する部材に繰返し応力が作用する場合、き裂による特異応力場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を用いて計測することにより、き裂の検出および評価が可能となる。しかしながら、熱弾性温度変動は微小であり、その信号強度は計測ノイズと同程度となる場合がある。高精度な熱弾性応力測定を行うためには、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ノイズを軽減させる必要がある。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、走行車両によるランダムな輪荷重負荷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. 鋼床版疲労き裂の遠隔検出

供用下の道路橋鋼床版において、望遠レンズを用いた遠隔からの赤外線計測を実施した。比較のため高所作業車を用いて検査箇所へ接近して行った近距離計測と、地上からの遠距離計測（8m、および12m）を実施した。計測状態を図1に示す。対象とするき裂は、デッキプレートとトラフリブ間の溶接ビード上に発生した疲労き裂であり、図2に示すように表面にはき裂による塗装割れが発生していた。被測定物表面に塗装が施されている場合、母材から塗装膜に伝わる減衰された温度変動を計測することになり、き裂の検出性は劣化することが予想される。また一般に、赤外線計測では被測定物表面の反射防止のため疑似黒体化塗料が塗布される。本実験では、①防食塗装膜あり、②疑似黒体化塗料の塗布なし、③遠隔からの計測という現場計測条件下での本手法の実用性を明らかにした。



図1 赤外線計測状態



図2 計測エリア

床版上を車両が通過したときに発生するき裂先端近傍での熱弾性温度変動を赤外線サーモグラフィにより計測した。得られた時系列の赤外線計測データに対して、自己相関ロックイン処理を施し、き裂先端近傍の相対応力分布を求めた。各計測距離において得られた自己相関ロックイン処理結果を図3に示す。図3(a), (b)

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

連絡先 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻 TEL 06-6879-7306

および(c)において、矢印で示した塗膜割れの先端付近で、き裂先端での特異応力場が原因と考えられる、局部的に相対応力値が高くなる応力集中が観察された。これにより、現場計測条件下において、本手法によるき裂検出が可能であることが示された。

#### 4. 位置補正法による自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法の高精度化

鋼床版を対象とした赤外線計測を行う場合、橋梁の振動により、得られた赤外線計測画像内に測定対象物の位置ずれが生じることがある。時系列のデータ処理を行う際、この画像内の位置ずれは、エッジ効果と呼ばれる計測誤差の原因となる。本研究では、画像処理法のひとつである SSD (Square Sum of Differences) - 2次元パラボラフィッティング<sup>3)</sup>を用いて画像内の変位を補正し、エッジ効果の低減を試みた。SSD-2次元パラボラフィッティングは、画像内の変位が剛体移動のみであることを仮定し、パターンマッチングにより変位量をサブピクセルレベルで求める方法である。近距離計測により得られた比較的画像内の変位が大きく現れた計測データに対して位置補正を行い、エッジ効果の低減を試みた。

得られたき裂先端周辺の赤外線計測画像を図4(a)に示す。画像内の変位量を正確に計算するためには、パターンマッチングを行う計算エリアとして、比較的輝度値の斑が生じているエリアを設定する必要がある。本実験では、図4(a)に示す自然に現れた溶接部の輝度値斑を利用して位置補正を行った。位置補正前・後の赤外線計測データに対して、自己相関ロックイン処理を施した結果をそれぞれ図4(b)および(c)に示す。図4(b)、(c)より、き裂先端近傍で局部的に相対応力値が高くなっていることが分かる。しかしながら、図4(b)ではき裂先端近傍以外の場所においても、相対応力値の絶対値が大きくなっており、エッジ効果による計測誤差が生じていることが分かる。図4(c)の位置補正後のロックイン処理結果では、エッジ効果が軽減されており、き裂先端近傍のみで顕著なコントラスト変化が生じている。位置補正によるエッジ効果低減により、き裂先端位置の同定の精度が向上していることが分かる。

**謝辞** 本研究の一部に日本学術振興会科学研究費基盤研究(A)および国土交通省「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」による援助を受けた。また研究遂行にあたり、大阪市建設局大野良昭氏、古川司氏、コンステック佐藤大輔氏のご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

**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 3) Takahide Sakagami et al., Thermosence XXXI, SPIE Proc. Series Vol. 7299, 2009 (in press)

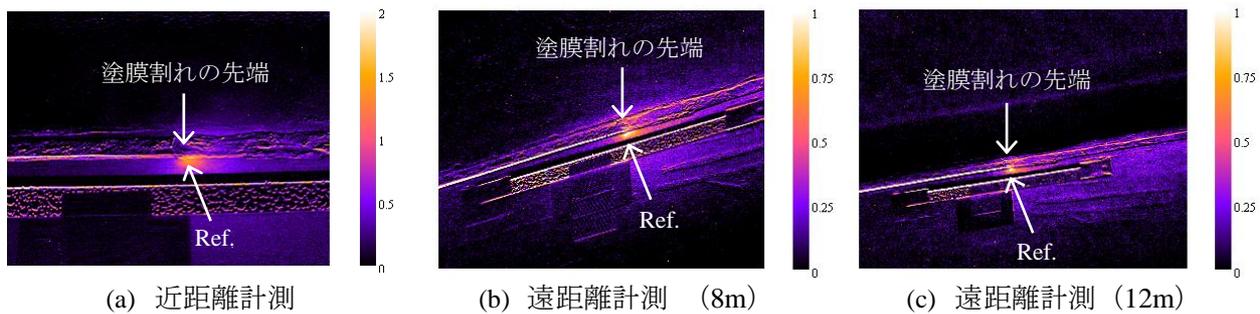


図3 各計測距離において得られた自己相関ロックイン処理結果

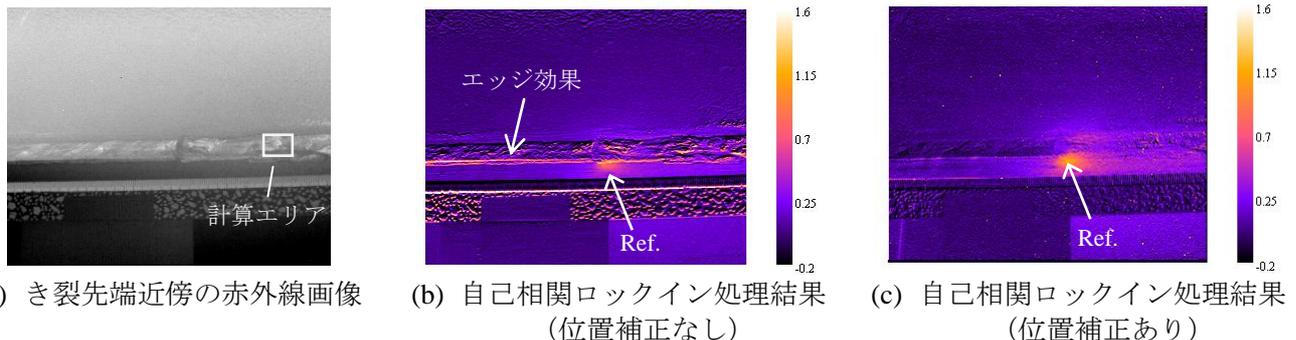


図4 位置補正前・後における自己相関ロックイン処理結果の比較