

# 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デッキ貫通き裂の検出 ～ 防食塗装膜と荷重周波数がき裂検出性に与える影響の検討 ～

神戸大学 正会員 ○阪上隆英      大阪大学 学生員 和泉遊以  
大阪大学 学生員 森直也      非会員 久保司郎      正会員 大西弘志  
国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 玉越隆史

## 1. 目的

デッキ貫通き裂は、検査可能な表面にき裂が開口していないためその検出が困難であること、さらには進展すると路面陥没の恐れがあるなど、道路橋鋼床版の維持管理において深刻な問題を引き起こしている疲労損傷形態のひとつである。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熱弾性応力分布計測により、鋼床版のデッキ貫通き裂を遠隔から検出できることを示した。鋼床版に防食塗装が塗布されている場合、荷重周波数を高くすると、塗膜表面の温度変化が母材表面の熱弾性温度変化に追従しなくなることが考えられる。本報では、防食塗装の有無および荷重周波数が自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィによるデッキ貫通き裂の検出性に与える影響について、要素試験体を用いて実験的に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荷重した時には、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. 実験方法

鋼床版要素試験体の概要を図1に示す。試験体のデッキプレートおよびトラフリップの厚さは、それぞれ12mmおよび6mmである。試験には、プライマーのみの無塗装、厚さ130 $\mu$ mの軽防食塗装、および厚さ250 $\mu$ mの重防食塗装の3種類の塗装状態の試験体を用いた。本報では、紙面の都合上、無塗装および重防食塗装における結果を示す。赤外線計測エリア、およびき裂と計測面の位置関係を表す図を図2および図3にそれぞれ示す。疲労き裂進展試験中に定期的に赤外線計測を実施し、き裂発生に伴う計測面での応力分布の変化を観察した。荷重の大きさおよび周波数を変えた計測を行い、繰返し荷重による測定面の応力変動に伴う温度変動を、撮影速度113 Hzで2000フレームの赤外線画像として計測した。得られた時系列赤外線データの200フレーム分のデータに対して自己相関ロックイン処理を施し、測定面における相対応力分布を求めた。

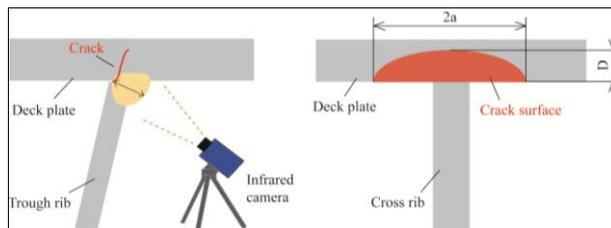
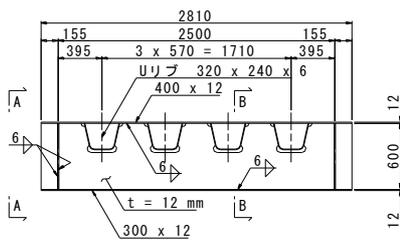


図1 試験装置の外観(単位:mm)

図2 赤外線計測エリア

図3 き裂と計測面の位置関係

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, デッキ貫通き裂  
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

### 4. 実験結果

無塗装試験体における荷重回数毎のロックイン処理結果を表1に示す。荷重は  $P_{max}=-5kN$ ,  $P_{min}=-50kN$ , 荷重周波数は 3Hz とした。表1に示したロックイン画像からもわかるように、繰り返し荷重 53 万回の時点で、溶接部上において相対応力分布の変化が検出された。さらに荷重回数の増加に伴い、応力集中部の位置はき裂の進展方向（半楕円き裂長手方向）に移動した。本計測と並行して実施した電場指紋照合法（FSM）によるき裂検出、およびひずみゲージによるひずみ計測においても、ほぼ同じ荷重回数の時にき裂発生に伴う反応を検知しており、繰り返し荷重 53 万回の時点でき裂が発生したことに間違い無く、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法により、デッキ貫通疲労き裂の検出が可能であることが実証された。

次に、重防食塗装試験体における荷重回数毎のロックイン処理結果を表2に示す。無塗装試験体の場合と同様、荷重荷重を  $P_{max}=-5kN$ ,  $P_{min}=-50kN$ , 荷重周波数を 3Hz とした。FSM およびひずみ計測では、60 ~ 70 万回でき裂発生に伴う計測値の変化を検出していた。しかし、表2に示した自己相関ロックイン画像によれば、初期状態から 60 ~ 70 万回、さらには 100 万回の手前まで、き裂検出に伴うロックイン処理値の変化が現れていないことが分かる。き裂発生前から低いロックイン処理値となっていることから、き裂発生点である横リブとの交差部で塗膜が厚くなっていた可能性がある。このようなき裂検出の誤判定を防ぐためには、赤外線画像とロックイン処理画像を比較し、測定面の各領域での熱伝導特性の違いを評価する必要がある。荷重回数 103 万回を超えると、き裂発生による応力変化が検知できており、重防食塗装下においても、き裂の検出が可能であることが分かった。

重防食塗装試験体において、荷重周波数を変化させたときのロックイン処理結果を表3に示す。荷重荷重は  $P_{max}=-5kN$ ,  $P_{min}=-23kN$ , 荷重周波数は 1Hz, 5Hz, 10Hz および 15Hz とした。表より、荷重周波数が大きくなるに伴い、応力集中部が不鮮明になり、き裂の検出が困難となっている。しかしながら、荷重周波数 15Hz の場合にもき裂発生による応力集中を検知できたことは、高速車両の走行時に想定される卓越周波数が比較的高い応力変動にも本手法が対応できることを示しており、本手法の実用性が明らかになった。

表1 無塗装試験体における荷重回数毎のロックイン処理結果 ( $P_{max}=-5kN$ ,  $P_{min}=-50kN$ , 荷重周波数 3Hz)

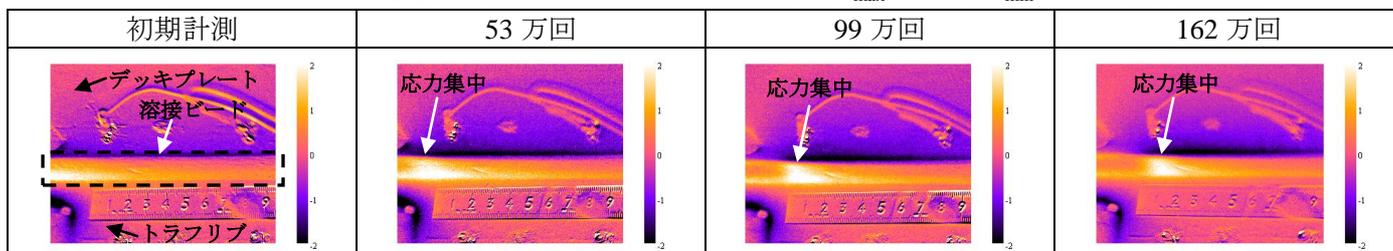


表2 重防食塗装試験体における荷重回数毎のロックイン処理結果 ( $P_{max}=-5kN$ ,  $P_{min}=-50kN$ , 荷重周波数 3Hz)

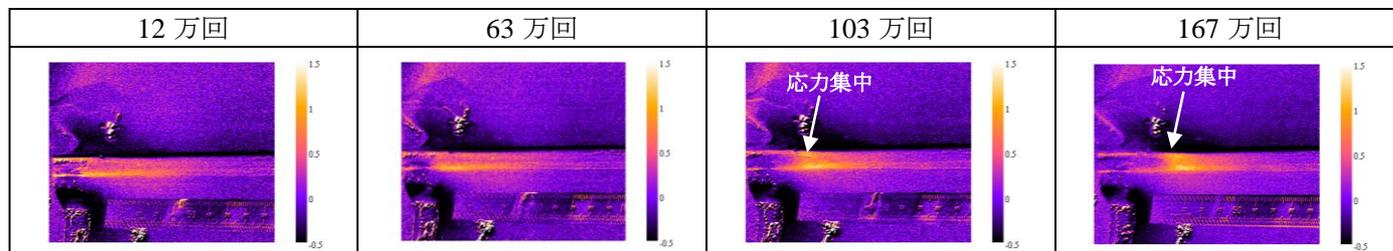


表3 重防食塗装試験体における荷重周波数毎のロックイン処理結果 ( $P_{max}=-5kN$ ,  $P_{min}=-23kN$ )

