自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィによる鋼橋梁の疲労き裂検出

神戸フ	大学	正会員	阪上隆英	神〕	戸大学	学生員	○松岡	洋平
本四高速	正会	員 伊藤	豪進一郎	滋賀	県立大学	を 正会員	1 和泉	遊以
				7	本四高速	1 正会員	〕 川端	淳

1. 目 的

経年鋼橋梁の構造健全性を保証するためには,疲労き裂を効率的かつ確実に検出することが重要となる.鋼橋梁に対する従来の非破壊試験法としては,検査面に疲労き裂が開口している場合には,まず目視により防食塗装のひび割れを検出し,錆び汁の有無等によりひび割れが疲労き裂によるものであることが疑われる場合には塗装膜を除去して磁粉探傷を行っていた.しかしながら,供用中の鋼橋梁に対してこのような検査を行うためには,足場や高所作業車を必要とし,効率的な検査を行うことができない.著者らは,これまでに赤外線カメラによる構造材料表面の熱弾性温度変動計測結果に基づき,遠隔から疲労き裂を検出・評価する手法を開発してきた.熱弾性応力測定によれば,供用下の車両による作用荷重による疲労き裂先端近傍における特異応力場を計測することにより,き裂を遠隔から検出できる.本稿では,赤外線カメラによる熱弾性温度変動の計測に基づき,長大橋の鋼構造部材に発生した疲労き裂の検出を行った結果を示す.

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、走行車両による不規則な載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. 計測対象

計測対象は、瀬戸大橋岩黒島橋(斜張橋)の鋼床版を構成する鋼構造部材の一部である垂直補剛板である.同 橋梁は、橋梁上部が高速自動車道、下部が鉄道に供用されている.本実験では、図1に示す橋梁横断面構造図 中に赤丸印で示した、上り線側 G2 桁東側および G3 桁西側の垂直補剛板の上部溶接部の熱弾性温度変動の計 測を行った.本報では、点検で発見された、図2に示すような G2 桁東側補剛板溶接部のき裂検出結果を示す. き裂はコバ(幅 10mm)およびその北側約 10mm に開口していた.測定対象部には、防食のための補修塗装が 施されていた.防食塗装膜があると、塗装膜内での熱拡散により、鋼板表面で起こる熱弾性温度変動が減衰・ 遅延して表面に現れる.また、赤外線計測においては、測定対象物表面の反射を防ぎ放射率を向上させるため、

表面につや消し黒色塗装を塗布することが 望ましい.本実験では,防食塗装膜および黒 色塗装が疲労き裂検出性に及ぼす影響を調 べるため,(A)防食塗装有-黒色塗装無,(B) 防食塗装有-黒色塗装有,(C)防食塗装無-黒色 塗装有の3種類の条件での測定を行った.き 裂検出は,(C)から(A)の順に難しくなる.



図1 岩黒島橋鋼床版部断面図

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,長大橋構造部材 連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学大学院工学研究科機械工学専攻

-286

4. 計測方法

本実験では、橋梁を通過する自動車および鉄道車両による荷重負荷時に、き 裂周辺に現れる熱弾性温度変動分布の計測を行った.計測にはMCTおよびInSb アレイセンサを搭載した赤外線カメラ(温度分解能 25mK)を用いた.昇降台 が装備された内面検査車からの近接計測および検査路レベルからの遠隔計測

(距離 5.4m)を行った.高速道路上を通行する車両による荷重載荷には,一般 車両ならびに積載荷重が既知である荷重車を用いた.荷重車としては,雪氷対 策用に使用されている散水車に水を満載させて使用した.散水車の総重量は 22.3t,軸重は前輪1軸6.4t,後輪2軸7.8t,3軸8.1tであった.また,前輪とタ ンデム後輪中央までの距離は4.8m であった.橋梁での自動車および鉄道の通 過に合わせて,計測速度157frames/sで30秒間,時系列赤外線強度分布を取得 した.さらに,ノイズ改善のためのポスト処理として,赤外線強度変動の相対 値分布を求める自己相関ロックイン処理を行った.



まず,近接計測によるき裂検出結果として,荷重源を下り列車および上り走 行車線を通過する散水車とした場合に得られた自己相関ロックイン処理画像 を図5および図6に示す.なお,自己相関ロックイン処理のための参照信号取 得点は,き裂先端の近傍に設定した.自己相関ロックイン画像のコントラスト は,参照信号取得点に対する赤外線強度変動の相対値分布を示している.図よ り,荷重源を列車および道路上の散水車としたいずれの場合においても,き裂

り、何里原を列車わよい道路上の取水車としたい946の場合にわいても、さ袋

先端を示す応力集中部が顕著に現れるとともに、その位置は溶接線内部にあり、き裂の進展を示している.また、き裂検出が最も厳しい(A)防食塗装有-黒色塗装無の条件でも、応力集中部が顕著に現れている.次に、遠隔計測によるき裂検出結果として、荷重源を下り列車および上り走行車線を通過する大型トラック(車重は不明)とした場合に得られた、(A)防食塗装有-黒色塗装無の条件での自己相関ロックイン処理画像を図7に示す. 遠隔計測による視野の広がりにもかかわらず、き裂による応力集中部が鮮明に現れており、疲労き裂の検出が可能であることがわかる.







(A)防食塗装有-黒色塗装無 (B)防食塗装有-黒色塗装有 (C)防食塗装無-黒色塗装有 図5 荷重源を下り列車とした場合の自己相関ロックイン処理画像







(A)防食塗装有-黒色塗装有 (B)防食塗装有-黒色塗装有 (C)防食塗装無-黒色塗装有
図 6 荷重源を上り走行車線を通過する散水車とした場合の
自己相関ロックイン処理画像





図3 近接計測



図4 遠隔計測 (5.4m)

(a) 荷重源:下り列車



(b)荷重源:上り走行車線
大型トラック
図7 遠隔計測によるき裂検出結果