自己相関ロックインサーモグラフィによる鋼床版の疲労き裂遠隔検出技術

大阪大学	正会員	〇阪上	隆英
大阪大学	非会員	久保	司郎
大阪大学	非会員	西村	隆
大阪工業大学	正会員	松井	繁之
阪神高速道路㈱	正会員	高田	佳彦

1.目 的 経年インフラ構造物の維持管理が重要な問題となっており,効率的かつ高精度な非破壊検査法 の開発が急務である.特に鋼構造物においては,疲労き裂の検出および定量計測が可能な検査手法が必要であ る.著者ら⁽¹⁾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を開発し,これを用いてき裂周りの応 力場を高精度計測することにより,鋼構造物の疲労き裂を遠隔から非接触検出する新しい非破壊検査技術を開 発した.本報では,自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法を,実際の鋼床版に発生・進展する疲労き裂 検出に適用した結果を示す.

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により計測し、き裂による特異応力場を可視化することにより、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、温度変動は赤外線計測ノイズと同程度の微小なものであるため、 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除去し、微 小な熱弾性温度変動分布の計測を行う. 従来のロックイン処理においては、応力変動に関する参照信号を、被 測定物に取り付けたひずみゲージなどから外部入力していた. 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作り、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とで、外部からの参照信号を用いることなく、ランダム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. 輪荷重負荷の下での実鋼床版試験体の疲労き裂検出

3.1 測定対象 図1に示すような,高速道路鋼床版をモデルとした鋼構造試験体における輪荷重下での疲労 き裂進展試験中に,自己相関ロックインサーモグラフィ法によるき裂検出を行った.試験体の寸法は,縦 4000mm,横2200mm,高さは456mmであった.試験体の輪荷重走行方向の溶接部に沿って,疲労き裂の発生 が数箇所確認されていたので,これらの部分を測定対象とした.

3.2 荷重負荷条件 試験体には、図1に示した輪荷重試験機により毎分30往復の移動荷重を負荷した.測 定時の荷重は、15t,12t,10tおよび5tとした.荷重は道路を走行する自動車の輪重をモデルとしたものであ る.本試験では、大型車のダブルタイヤと同様の面荷重として輪荷重が鋼床版試験体に負荷されるように、試 験体上面に同じ大きさの載荷ブロックを敷き、その上から鉄輪で載荷を行っている.法定積載荷重によれば、 実際の床版に起こりうる荷重条件は12tとなる.したがって、この実験において12t以下の負荷荷重の下で疲 労き裂を検出することができれば、実際の道路床版においても十分き裂を検出できるものと考えられる.

3.3 測定方法および測定結果 時系列赤外線データの計測には,温度分解能 0.025℃の InSb アレイセンサ搭 載赤外線カメラを用いた.計測速度 140Hz として 2000 フレームの赤外線計測を取得し,これらに対して自己 相関ロックイン処理を行った.測定結果を図 2 および図 3 に示す.図 2 の画像において,疲労き裂は画像中央 部および画像左端から画像外にかけての 2 箇所に発生・進展している.画像中にはこれに対応して矢印で示し た 3 箇所に,き裂先端の応力集中による顕著なコントラスト変化を確認することができる.図 3 の画像におい ては,疲労き裂は画像右端から画像外にかけて発生・進展しており,これに対応するき裂先端近傍の応力集中 が 1 箇所確認できる.最大供用荷重より低い 5t の負荷荷重の場合にも,き裂先端のコントラスト変化が確認 できる.本実験での輪荷重負荷では,画像横方向に移動する荷重が負荷されている.このため,画面内で測定 される熱弾性温度変動の位相は場所により異なる.このような条件で自己相関ロックイン処理を施した場合に は,ロックイン参照信号を取得した領域と温度変動の位相がずれる程,相対応力値を示すロックイン解析値は 小さくなり,き裂先端近傍のコントラスト変化も小さくなる.このような困難な条件にもかかわらず,図2 および図3に示した自己相関ロックイン処理画像には,き裂先端に顕著なコントラスト変化が現れており,輪 荷重負荷の下でもき裂検出を行うことができることがわかる.

4. 実構造物におけるき裂検出 実橋梁の鋼床版に発生した疲労き裂を,供用中の車両走行による輪荷重負荷による熱弾性温度変動をもとに検出できるかどうかを検証した.阪神高速道路神戸線の3径間連続鋼床版箱桁橋に発生した疲労き裂に対して自己相関ロックイン計測を行った.測定箇所の一例を図4に示す.疲労き裂は溶接部を起点に両側に伸びている.140Hz,2000フレームの時系列赤外線計測を繰返し行い,大型車の通過により熱弾性温度変動が顕著に見られた時間の時系列赤外線データを切り出し,各々のデータに対して自己相関ロックイン処理を行った.さらに得られた自己相関ロックイン解析値を平均化することでノイズ改善を行った.測定対象とした溶接部2箇所の測定結果を図5に示す.溶接部から両側に伸びている疲労き裂の先端で顕著な応力集中部を示すコントラスト変化が得られていることがわかる.この実験から,供用中の車両走行による輪荷重負荷による熱弾性温度変動を自己相関ロックイン計測することにより,鋼床版の疲労き裂を遠隔から非破壊・非接触検出できることが明らかになった.本実験ではき裂の遠隔検出を目的としたため,被測定物に歪ゲージを貼付しなかったが,歪ゲージにより参照信号取得部の応力値が得られれば,これをもとに全視野の応力行を定量的に求め応力拡大係数を算出することができ,構造物の維持管理指針を得るために有用であると考えられる.

文 献 (1) 阪上, 西村, 久保: 日本機械学会講演論文集, No.04-47, 2004, p.123.



図1 鋼床版試験体と輪荷重試験機





図4 測定対象(鋼床版箱桁橋)

