

自己相関ロックインサーモグラフィによる鋼構造の疲労き裂検出

大阪大学	正会員	○阪上 隆英
大阪大学	正会員	崎野良比呂
大阪大学	非会員	西村 隆
大阪大学	非会員	久保 司郎
JFE 技研	非会員	石野 和成
JFE 技研	正会員	栗原 康行

1. 目 的

橋梁等の経年鋼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。本研究では、赤外線サーモグラフィを用いて、き裂の特異応力場を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、その有用性を実験的検討により示した。

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载荷した時には、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や変位計などから外部入力していた。しかしながら、実構造物を遠隔から非接触に計測する場合には、外部からの参照信号を取得することは困難である。また、载荷荷重変動はランダム波形を示す。このため、従来のロックイン処理法を、構造物の疲労き裂検出に適用することができない。そこで、著者ら⁽¹⁾は、外部からの参照信号を必要とせず、ランダム荷重でも応力分布を計測できる自己相関ロックインサーモグラフィ法を開発した。

この手法では、载荷時の構造物の熱弾性温度変動を、毎秒 140 フレーム、256×256 ピクセルの赤外線デジタル画像計測データとして取得する。このとき、計測領域内の応力変動の位相にずれがなく、熱拡散の影響が無視できれば、計測領域の各ピクセルで計測される温度変動は、強度（振幅）のみが相対的に異なるだけで波形は同一となる。そこで、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、温度変動強度の相対分布を高精度に求めることができる。ランダム波形のロックイン処理には、Lesniak ら⁽²⁾による最小二乗近似法を用いた。

3. フィレット溶接試験片に対する実験結果

長さ 450mm、幅 100mm、厚さ 14mm の鋼板の両面にフィレットを隅肉溶接した試験片（母材：SM490B、溶接金属：MG55）に対して実験を行った。繰返し荷重を試験片に負荷し、試験片の溶接部近傍の応力集中部に疲労き裂を発生・進展させた。荷重負荷条件は、応力振幅 100MPa、荷重周波数 10Hz とした。測定では荷重周波数を 10Hz、5Hz、1Hz、0.5Hz、応力振幅を 25MPa、50MPa、75MPa、100MPa とし、荷重波形は正弦波状の波形とした。

(1) き裂進展モニタリング 繰返し荷重負荷の下で、疲労き裂が進展していく様子を測定した。結果を図 1 に示す。き裂が短い場合には、き裂の中央部分の圧縮応力域（負位相）が検出されている。き裂が長くなると、き裂先端近傍に顕著な応力集中部が検出されている。これらをもとに、き裂の検出およびモニタリングが可能であることが明らかになった。

(2) 望遠レンズを用いた測定 自己相関ロックインサーモグラフィ法が外部からの参照信号を必要としな

い特長を利用し、望遠レンズを装着して遠隔からの測定を行った。望遠レンズの焦点距離は 250mm、試験片から赤外線サーモグラフィまでの距離は 8.9m であった。結果を図 2 に示す。望遠レンズの赤外光学系による赤外線の減衰により、ノイズが若干大きくなったが、それでもき裂を十分検出することができた。（図 2 の試験片では、疲労き裂がフィレットの上側に発生・進展している。）

4. H 型鋼大型試験体への適用

実構造物に近い試験体として、道路橋梁を模擬した H 型鋼大型試験体を用いて、疲労き裂検出を行った。試験体材質は SS400 である。試験体の写真を図 3 に示す。試験体寸法は縦 400mm、横 625mm、長さ 4000mm、鋼板の厚さは 8mm である。試験体に対して三点曲げ試験を行い、き裂を発生進展させた。測定時の荷重は 19.6kN から 68.6kN、荷重周波数は 5Hz である。前述の溶接試験片と同様に、正弦波形の荷重を負荷させ測定を行った。図 3 に示した C 部および D 部に存在するき裂の測定を行った結果を図 4 に示す。この場合にも、き裂先端近傍の特異応力場による応力集中部位からき裂を検出することができ、本手法の有用性が確認できた。

謝 辞 日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(B) 15360055）の援助に謝意を表す。

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. (2) J.Lesniak, B.Boyce: Proc. of SEM Spring Conf. on Experimental Mechanics, 1998, p.504.

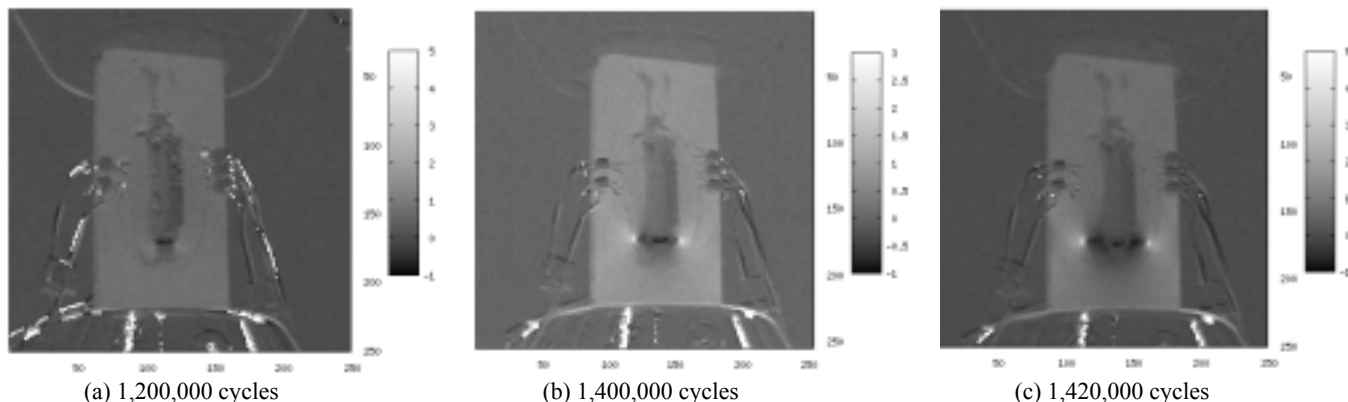


図 1 自己相関ロックインサーモグラフィによる疲労き裂モニタリング

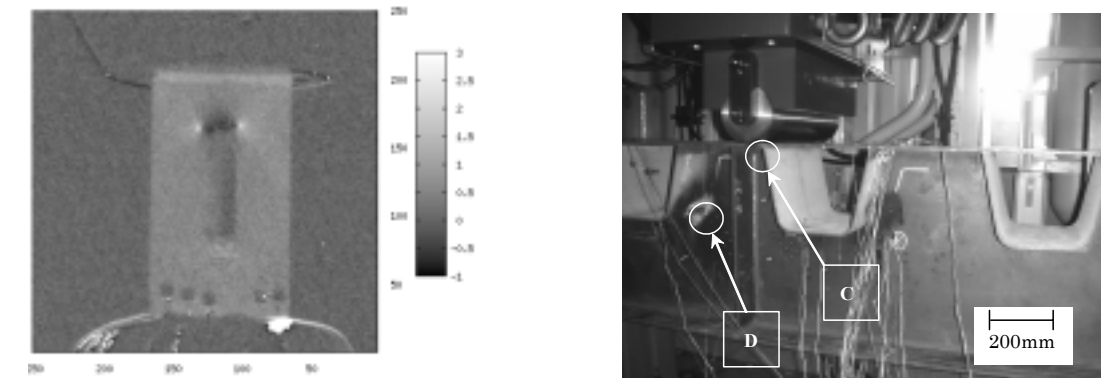


図 2 望遠レンズを用いた遠隔測定

図 3 H 型鋼大型試験体

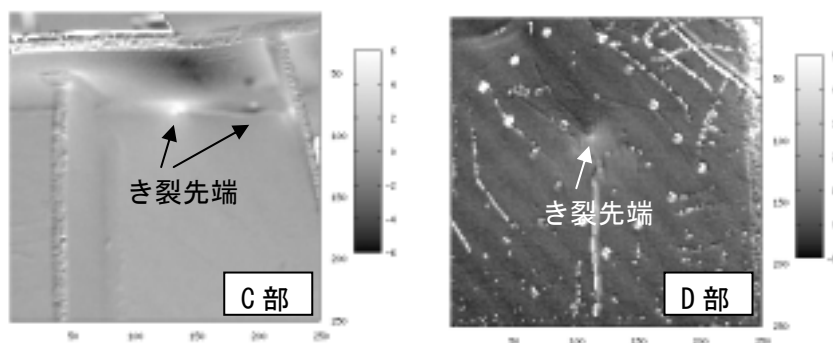


図 4 H 型鋼大型試験体の測定結果