

自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィによる鋼道路橋の応力変動計測

本州四国連絡高速道路(株) 会員 ○ 川端 淳 本州四国連絡高速道路(株) 会員 伊藤 進一郎
 神戸大学 会員 阪上 隆英 神戸大学 学生会員 松岡 洋平
 滋賀県立大学 会員 和泉 遊以

1. はじめに

鋼橋の疲労損傷については、亀裂がまだ小さい早期の段階で見つけることが重要である。現状の点検は、主に近接しての目視点検により溶接継手部の塗膜割れやさび汁の発生などから疲労損傷を捕捉している。しかしながら、点検の対象部位は多く、必ずしもすべての部位が近接可能ではないため、遠隔からでも簡易に精度よく疲労亀裂を検出できる手法の開発は、損傷の早期発見に有効と考えられる。

近年、赤外線サーモグラフィ装置により構造材料表面の熱弾性温度変動を計測し、その結果から疲労亀裂の検出、亀裂近傍の応力変動を評価する手法が開発されている。この手法は、調査部位が見通せられれば、離れた位置からでも亀裂の検出、評価が可能であり、鋼道路橋の実交通下での実用が期待される。

本稿は、これらを踏まえ、鋼床版縦桁の横桁交差部の垂直補剛材に生じた疲労亀裂を対象に、赤外線サーモグラフィ装置で亀裂周辺の自動車および列車荷重による応力変動を計測し、別途実施したひずみゲージによる応力変動計測結果と対比し、計測された応力変動特性の検証を行ったものである。

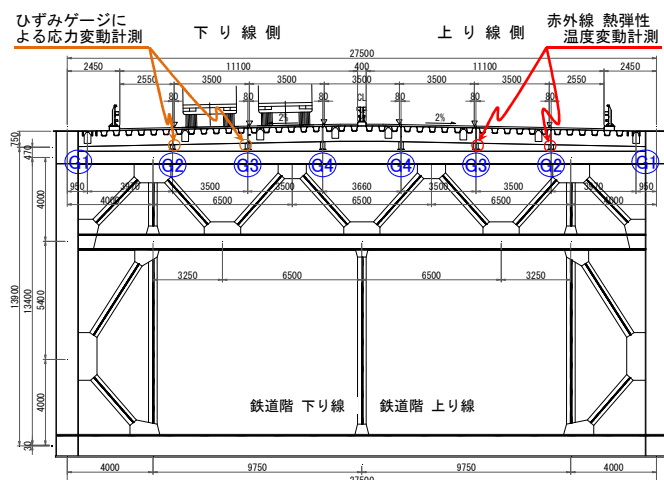


図-1 計測対象橋梁(道路鉄道併用鋼斜張橋)の主桁断面

2. 亀裂発生部位の状況

計測対象とした橋梁は、道路鉄道併用の鋼斜張橋である。本橋の主桁断面は、図-1 に示すとおりであり、図-2 に示すような鋼床版縦桁の横桁交差部の下につけられた垂直補剛材の上縁側溶接部(横桁下フランジとの溶接部)で、疲労亀裂が発生している。疲労亀裂の状況は、写真-1 に示されているように、現状では軽微なもので、同一構造の垂直補剛材が橋全体で約 700 カ所あり、そのうちの 6 カ所で発見されている。

3. 熱弾性温度変動の計測

計測部位は、亀裂が発生している格点 24 の上り線側の G2 桁の東側垂直補剛材(写真-1 (a)参照)、G3 桁の西側垂直補剛材(写真-1 (b)参照)とした。また、計測には、MCT アレイセンサを搭載した高性能赤外線サーモグラフィ装置(波長帯域 7.5~9.1 μm , 温度分解能 25mK, フレームレート 157fps)を用いた。

なお、計測する垂直補剛材の上縁の亀裂部について

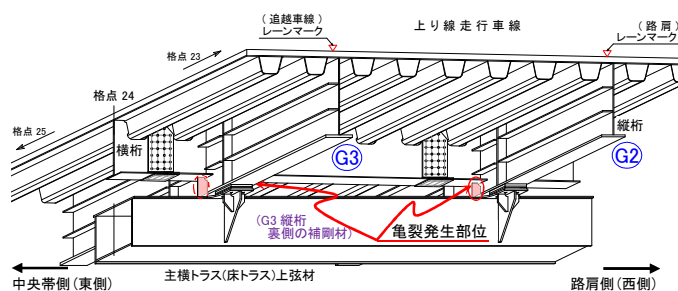
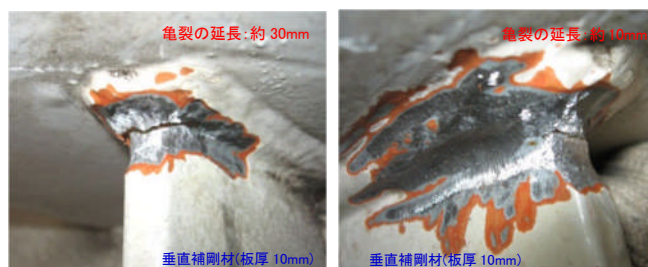


図-2 亀裂発生部(縦桁の横桁交差部の補剛材 格点 24 上り線)

(a) 上り線 G2 桁 東側補剛材 (b) 上り線 G3 桁 西側補剛材
写真-1 発生亀裂の状況(格点 24 上り線 G2 桁, G3 桁)

キーワード 赤外線サーモグラフィ, 疲労亀裂, 非接触検出法, 鋼道路橋

連絡先 本州四国連絡高速道路株式会社 長大橋技術センター 診断・構造グループ

〒651-0088 神戸市中央区小野柄通 4-1-22 phone : 078-291-1075 fax : 078-291-1087

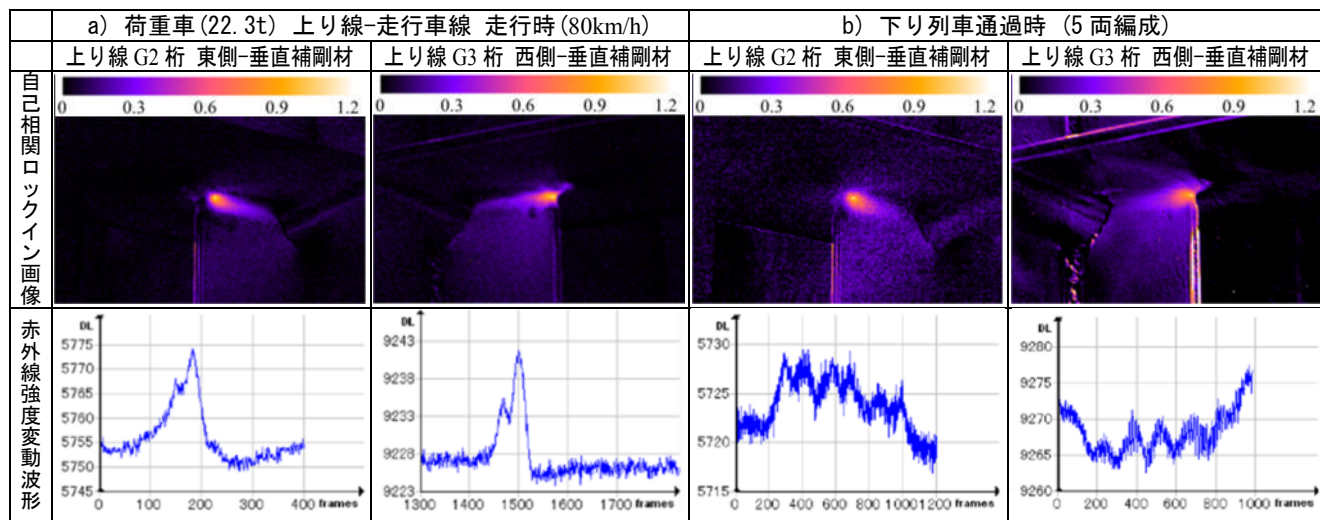
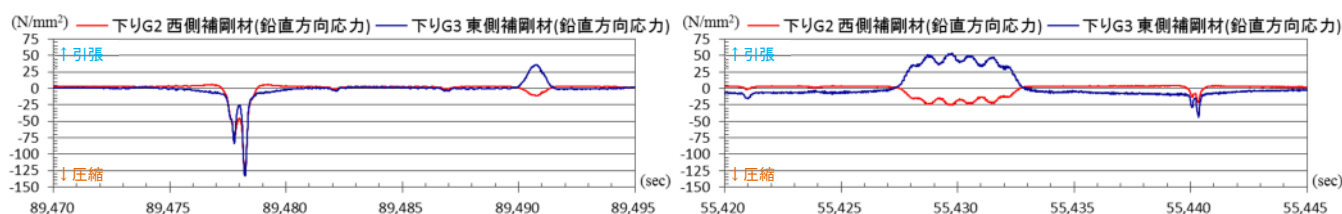


図-3 自己相関ロックインサーモグラフィによる熱弾性温度変動の計測結果



(a) 大型車 走行車線走行時 垂直補剛材上縁部の変動応力 (b) 上り列車(5両編成)通過時 垂直補剛材上縁部の変動応力
 図-4 亀裂未発生の垂直補剛材でのひずみゲージによる応力変動測定結果(格点 24 下り線走行車線下の G2, G3 縦桁)

ては、塗膜除去を行い、測定対象物表面の反射を防ぎ、赤外線放射率を向上させるつや消し黒色塗料をあらかじめ塗布した。

計測は自動車や列車の通過に合わせ、亀裂周辺の時系列赤外線強度分布を 30 秒間撮影(計測)し、着目部位と周辺の時系列赤外線強度を照合して信号ノイズ比を改善する自己相関ロックイン処理を行い赤外線強度変動の相対値分布を求めた。

4. 計測結果

図-3 a)は、質量 22.3t の荷重車(水を満載した 3 軸の散水車)の上り線走行車線走行時、同 b)は、5 両編成の下り旅客列車通過時の、各垂直補剛材の計測結果である。図中の画像は、亀裂先端近傍を参照信号取得点として行った自己相関ロックイン画像(参照信号取得点に対する相対赤外線強度の分布)で、いずれの場合においても、亀裂先端部の応力集中による温度変動が鮮明に捉えられている。これは、赤外線サーモグラフィ装置での熱弾性温度変動計測により、応力集中に起因する温度変動を捉えることで、疲労亀裂の検出が可能であることを示している。

下段は亀裂先端部の赤外線強度変動波形である。鋼材に断熱条件とみなせる繰り返し速度で荷重を載荷すると、圧縮応力下では断熱温度上昇、引張応力

下では断熱温度降下が生じる。これを踏まえ、亀裂先端部の応力変動をみると、荷重車が走行車線を走行した場合は G2 桁東側補剛材、G3 桁西側補剛材ともに圧縮応力変動が生じ、下り列車の通過時には G2 桁東側補剛材は圧縮であるのに対し G3 桁西側補剛材は引張応力変動が生じることがわかる。

図-4 に示すのは、熱弾性温度変動計測の位置と対称となる下り線 G2 桁、G3 桁の亀裂未発生の垂直補剛材で別途行ったひずみゲージによる実交通の応力変動計測結果である。計測位置は補剛材側面の上縁溶接部の 10mm 下方である。図-3 の赤外線強度変動波形と比較すると、各荷重条件による応力の発生傾向は一致しており、波形についても、類似性が認められる。

5. おわりに

本検証では、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温度変動計測が、鋼道路橋の疲労亀裂の検出、応力変動の評価に対して、適用可能性を有していることを確認した。

本研究は、本四高速(株)と神戸大学との共同研究であり、鋼道路橋の点検や疲労損傷調査における亀裂の早期検出、応力変動評価に対する本手法の適用性について、引き続き検討を行う予定である。