

熱弾性応力計測に基づく鋼構造のき裂進展性評価

神戸大学院	学生会員	○藤本	泰成
本四高速		藤城	忠朗
滋賀県立大学	正会員	和泉	遊以
神戸大学院		大谷	直矢
本四高速	正会員	小林	義弘
神戸大学	正会員	阪上	隆英

1.研究背景・目的

高度経済成長期に建設されたインフラ構造物の安全性を維持するためには、定期的な検査と適切な構造健全性評価が必要である。近年注目されている非破壊評価手法として、赤外線サーモグラフィを用いた、熱弾性応力分布計測法がある。本研究では橋梁の溶接部に発生した疲労き裂を対象として、疲労き裂の進展性と実働応力の関係を求め、疲労き裂の進展予測の可能性について検討した。まず、熱弾性応力計測結果をもとに算出された応力拡大係数とき裂進展速度との関係を求めた。次により簡便な方法として、き裂先端近傍の代表点の応力とき裂進展速度の関係について考察した。

2. 計測原理

2-1 熱弾性効果

断熱状態の材料に弾性変形が生じる時、主応力 $\Delta\sigma$ と温度変化 ΔT の関係は次式のように表される。

$$\Delta T = -\frac{\alpha}{\rho C_p} T \Delta\sigma = -k T \Delta\sigma \quad (1)$$

α :線膨張係数, ρ :密度, C_p :定圧比熱

T :絶対温度, k :熱弾性係数

2-2 応力拡大係数評価

Fig.1に示すような無限板中のき裂を考える。赤外線サーモグラフィによって得られる主応力 $\sigma_r + \sigma_\theta$ とモードIの応力分布解の級数展開式の関係は、次式で表される。

$$\sigma_r + \sigma_\theta = \left(\sqrt{\frac{2}{\pi r}} \cos \frac{1}{2} \theta \right) K + C_2 + \left(\sqrt{r} \cos \frac{1}{2} \theta \right) C_3 + \dots \quad (2)$$

本研究では式(2)の右辺の3項までを考慮した関数形(以下、3項近似と呼ぶ)に対し、データフィッティングにより応力拡大係数 K 、定数 C_2, C_3 を算出した。

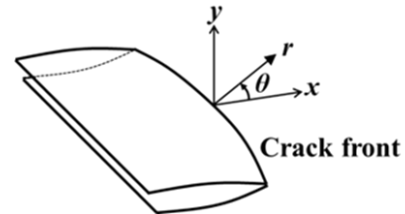


Fig.1 Coordinates near crack front.

3.板曲げ振動疲労試験

3-1 試験装置

本研究で用いた試験体は Fig.2 に示す様な、橋梁鋼床版のデッキプレートと垂直補剛材の溶接部をモデル化した面外ガセット溶接継手試験体である。試験体には板曲げ振動疲労試験機¹⁾を用いて繰り返し曲げ負荷を加えた。試験体を片持はり状態になるよう架台に固定し、試験体の先端に偏心錘を有するモータを載荷し、偏心錘を回転させることにより試験体に繰り返し曲げ負荷を加えた。試験体の裏側にもき裂発生の可能性があるので赤外線カメラで試験体の表側・裏側の両面の応力計測を行った。試験体に貼付したひずみゲージにより、試験の初期条件を以下のように設定した。実際の橋梁において垂直補剛材には応力比 $R=-\infty$ の荷重が負荷されることがわかっているので試験条件として $R=-\infty$ 、初期応力範囲を 80MPa とした。き裂進展過程でのき裂の表面長さを正確に測定するため、振動数 50000 回毎に磁粉探傷を行った。き裂が発生し、溶接止端部から 30mm の位置まで伸びたところまで試験を行った。

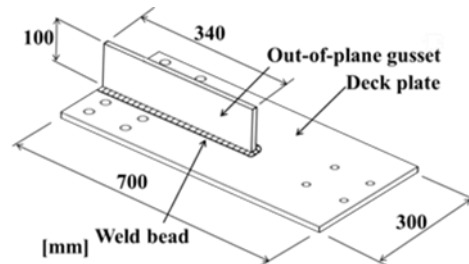


Fig.2 Specimen for bending fatigue test.

キーワード 赤外線サーモグラフィ 熱弾性応力計測 非破壊評価 疲労き裂 進展性評価 鋼床版

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

3-2 試験結果

赤外線サーモグラフィにより得られた温度分布を主応力和に変換し、さらに主応力和を基に式(2)に基づく3項近似によるデータフィッティングにより応力拡大係数を求めた。得られたき裂進展速度と応力拡大係数の関係を Fig.3 に示す。図よりわかるように、応力拡大係数が大きくなるにつれてき裂の進展速度が大きくなる相関が得られ、赤外線応力計測結果から算出される応力拡大係数をもとに、き裂の進展性を評価できることを確認することができた。

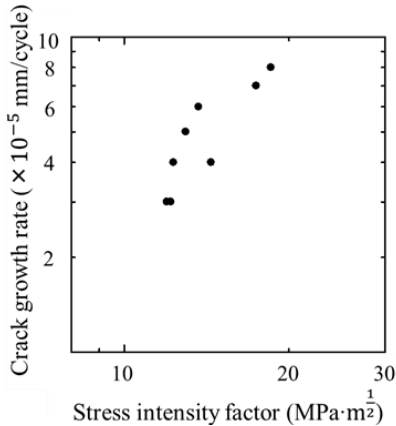


Fig.3 The relationship between stress intensity factor and crack growth rate.

このようなき裂の進展性評価を現場に適用する上で、対象の部材に負荷されている荷重条件によっては応力拡大係数を算出することが困難であるケースがある。そこで、より簡便にき裂の進展性を評価するため、き裂先端近傍の代表点における応力振幅をき裂進展評価に用いることを考えた。Fig.4 にき裂先端から 3mm の箇所において算出した応力振幅とき裂進展速度の関係を示す。図において多少のばらつきは見られるものの、応力振幅とき裂進展速度との間に右上がりの傾向が見られ、応力振幅による簡便なき裂進展性評価が可能であることが示唆された。

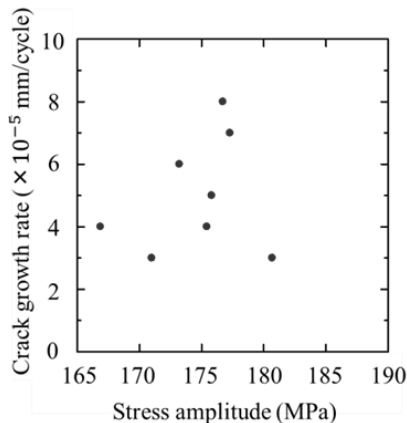


Fig.4 The relationship between stress amplitude and crack growth rate.

4.高速道路橋鋼床版の疲労き裂計測

4-1 実験対象および実験条件

高速道路橋梁の鋼床版に、荷重が既知である荷重車を走行させることにより負荷を与え、対象とするき裂の直上を荷重車が通過するタイミングに合わせて赤外線計測を行った。対象とした疲労き裂は、Fig.5 に示すような鋼床版のデッキプレートとトラフリップの間の溶接部に存在する溶接ビード貫通き裂である。

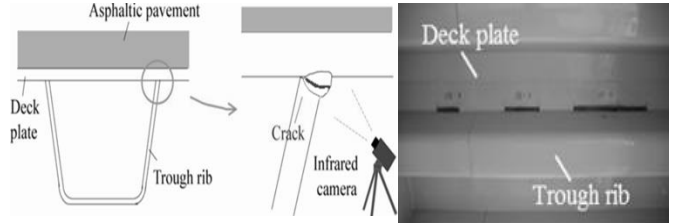


Fig.5 Illustration of the measurement area

約 1 年間でのき裂進展状況が異なる同一トラフリップ上にある 3 つの疲労き裂の両端に対して、赤外線応力計測を実施した。本実験では、計測精度を向上させるために鋼床版表面の防食塗膜を除去して計測を行った。

4-2 実験結果

本実験対象の溶接ビード貫通き裂周辺の応力場は複雑であり、応力拡大係数の算出は困難である。したがってき裂の進展性を評価する上で、き裂先端近傍の代表点における応力を用いた。本実験により得られたき裂先端から 3mm 離れた点における応力振幅とき裂の進展量の関係を Fig.6 に示す。図よりわかるように、大きく進展したき裂に関しては代表点における応力範囲も大きくなっており、熱弾性応力計測により得られた応力範囲をもとにき裂の進展性を大まかに評価することが可能であると考えられる。

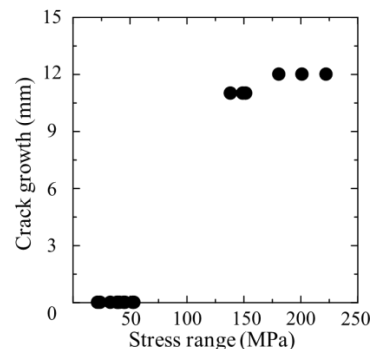


Fig.6 The relationship between stress amplitude and crack growth.

参考文献

- 1) 石川 敏之, 山田 健太郎, 柿市 拓巳, 李 薈, “ICR 処理による面外ガセット溶接継手に発生した疲労き裂の寿命向上効果”, 土木学会論文集, 2010