

画像計測による疲労き裂進展速度の推定手法

名古屋大学 学生員○ 判治 剛 名古屋大学 正 員 舘石 和雄  
トピー工業(株) 山田 聡 (株)ピーエムシー 阿部 允

1. はじめに

鋼橋などの鋼構造物に疲労損傷が発生した場合に、その適切な補修や補強の対策を考える上では、き裂の進展性を適切に判定する事が重要である。疲労き裂進展速度は応力拡大係数と相関関係にあることは明らかなので、対象となる疲労き裂の応力拡大係数を求めることができれば、き裂の進展性を評価する事は可能となる。しかし、実際に鋼橋にみられる疲労き裂は、部材交差部などの比較的複雑な場所に生じるものが多く、その応力拡大係数を求めることは一般には容易ではない。そこで応力拡大係数を簡易に推定する手法として、マイクロスコープを用いた画像計測によってき裂開口変位を測定し、それによって応力拡大係数を求める手法<sup>1)</sup>を提案した。しかし実際の鋼橋においては、溶接継手部に生じる疲労き裂がほとんどであるので、提案した手法がそのような疲労き裂にどの程度の精度で適用可能であるか検討する必要がある。そこで本研究では、面外ガセット溶接継手を対象に提案した手法を用い、応力拡大係数と疲労き裂進展速度の関係から、疲労き裂進展速度を推定した。

2. 試験方法

試験体は図1に示す面外ガセット溶接継手である。この試験体に0～225 kNの繰り返し荷重を与え、溶接止端部から母材に疲労き裂が進展したところから計測を始めた。疲労き裂に沿って0.5mm間隔で線の印刷してあるシールを貼りつけた。このシールは、計測の際に画面と一緒に写し込み、画像上の寸法を実寸法に変換することに用いた。

デジタルマイクロスコープのレンズ部を試験体表面から約20mmのところに設置し、1000回毎にき裂先端をデジタル画像として記録し、1000回毎のき裂の伸びを測定した。また、静的な荷重を載荷し、そのときのき裂の開口状態もデジタル画像として記録した。使用したデジタルマイクロスコープの仕様を表1に示す。

表1. マイクロスコープの仕様

|        |                    |
|--------|--------------------|
| 撮像素子   | 1/2インチCCD          |
| 有効画素数  | 850×954            |
| レンズ倍率  | 175倍               |
| 重量     | 約8.3kg             |
| レンズ部寸法 | 径：35mm<br>全長：260mm |

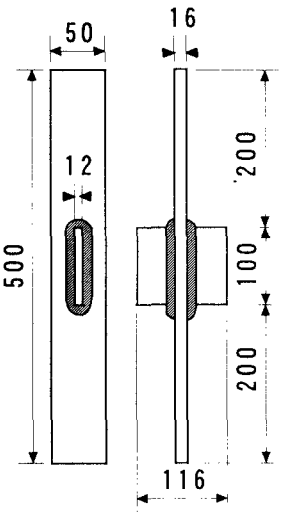


図1. 試験体  
(unit:mm)

3. 画像処理方法

撮影した画像の例を図2に示す。記録した画像をグレースケールに変換し、各画素の濃度を0～100%までの数値で表した。得られた画像から開口幅を測定するために、ここではき裂先端から2mmのところの画素の濃度を数値としてとりだした。このようにして得られた濃度分布の例を図3に示す。

き裂部では黒(100%)に近い値になっているが、他の領域ではそれよりも値は低くなっている。き裂を区別することはできる。しかし、その境界は必ずしも明瞭ではないので、本研究では、最大値の濃度の90%をしきい値とし、それ以上の濃度領域をき裂部分と考えることとした。

4. 解析理論

無限板中に存在する半無限き裂において、き裂の開口変位 $v$ と応力拡大係数 $K$ との関係は次式で近似することができる<sup>2)</sup>。



図2. 撮影画像の例

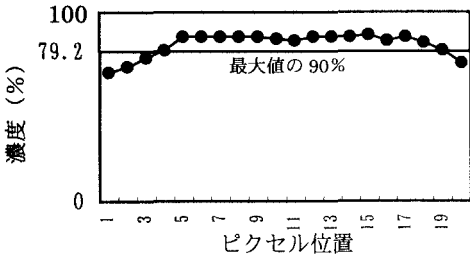


図3. 濃度分布の例

$$K_I = 2G \sqrt{\frac{2\pi}{r}} \frac{\nu}{(\kappa + 1)} \quad (1)$$

$K_I$  : モード I の応力拡大係数,  $G$  : せん断剛性,  $r$  : き裂先端からの距離,  $\kappa = (3 - \nu)/(1 + \nu)$   
 $\nu$  : ポアソン比(=0.3)

また, 疲労き裂進展速度  $da/dN$  は次式で求められることがわかっている<sup>3)</sup> .

$$da/dN = C(\Delta K^n - \Delta K_{th}^n) \quad (2)$$

$C$  : 定数( $=1.5 \times 10^{-11}$ ),  $n$  : 定数( $=2.75$ ),  $\Delta K_{th}$  : 下限界応力拡大係数範囲( $=2.9 \text{ MPa}\sqrt{m}$ )

式(1)から求めた応力拡大係数を式(2)に代入することによって, 疲労き裂進展速度を求めることができる.

## 5. 試験結果

画像処理により測定したき裂開口変位を式(1)に代入し, 応力拡大係数を求めた. 応力拡大係数と荷重の関係を図4に示す. 図4における応力拡大係数は, それぞれの繰り返し数のときに静的な荷重を載荷し, そのときに記録したき裂開口幅から求めたものである. 応力拡大係数と荷重は線形の関係にあり, 低荷重の領域でも直線上から外れてないので, 計測の精度は高いと考えられる. また, その応力拡大係数から推定したき裂進展速度と, 1000 回毎に記録した画像から実測したき裂進展速度の関係を図5に示す. き裂進展速度の実測値と画像計測による推定値とはよく一致しており, 本手法が有効であることがわかる.

## 6. まとめ

本研究では, デジタルマイクロスコープを用いた画像処理によってき裂開口幅を測定し, それから応力拡大係数を求め, それとき裂進展速度との関係から疲労き裂進展速度を推定した. その結果, 画像計測によるき裂進展速度は実測したき裂進展速度とよく一致しており, 実用上十分な精度であると考えられる.

本研究で用いた手法は, 小型なマイクロスコープで実施でき, また接触せずに計測できるという利点があるので, 現場への適用性は高いと考えられる. しかし実用化の上では, 終始動いている画像, つまり動画からき裂開口幅を測定する手法の確立が課題であると考えている.

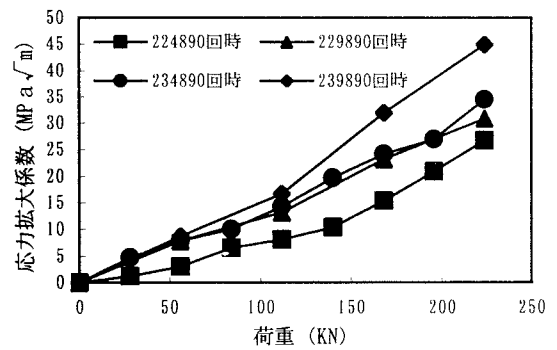


図4. 応力拡大係数と荷重の関係

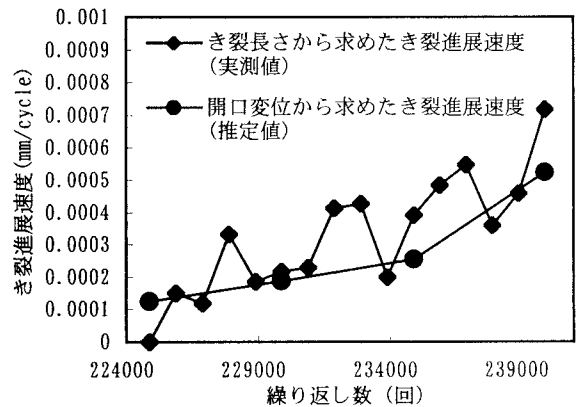


図5. き裂進展速度の比較

謝辞 本研究の一部は文部省科学研究費補助金基盤研究C(2)(代表者 舘石和雄)の援助を受けて行ったものである.

## 【参考文献】

- 舘石和雄, 小山田, 魚本健人, 足立一郎: 画像計測による応力拡大係数の簡易測定手法, 鋼構造論文集, Vol.6, No.23, pp.99-104, 1999.
- 岡村弘之: 線形破壊力学, 培風館, 1998.
- 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 技報堂出版, 1993