

I-A208

疲労損傷モニタリングセンサーの開発

BMC 正会員 阿部 允 ○BMC 正会員 公門 和樹
(財)鉄道総研 正会員 杉館 政雄 川鉄テクノロジー 成本 朝雄
東京工業大学土木工学科 フェロー会員 三木 千壽

1. はじめに 本研究で開発を行っている疲労損傷モニタリングセンサーは、モニタリング期間における部材の応力履歴をセンサーの亀裂進展量として収録し、構造物が受ける疲労損傷度を監視するものである。前報ではセンサーの形状や基本特性について検討した。ここではセンサーの亀裂進展速度に及ぼす各種因子の影響と、モニタリングシステムとしての実用性について検討した。

2. 疲労亀裂進展試験 センサーの形状と寸法を図-1に示す。センサーはステンレス鋼 SUS304 の薄板で、板厚は0.5mmである。センサーは疲労亀裂進展を安定させるため、機械的に切欠きを導入し疲労試験機により予亀裂を導入した後、応力除去焼鈍処理を施している。疲労試験はセンサーの両端部を図-2に示すように疲労試験片に接着し行っている。センサーの接着には2液性エポキシ接着剤を用いている。センサーの亀裂進展はセンサー表面に貼付したクラックゲージにより観察した。疲労試験は油圧サーボ疲労試験機を用いて行った。

3. 試験結果 前報までの検討の結果、低応力域でセンサーの亀裂を進展させるにはセンサーに初期応力を導入することが必要であることがわかった。ここでは低応力域での安定した疲労亀裂進展に必要な初期応力を調べるため、疲労亀裂進展に及ぼす平均応力の影響について検討した。図-3に疲労試験結果を示す。図の縦軸は疲労亀裂進展速度、横軸は応力拡大係数範囲である。ここで応力拡大係数範囲は次式で与えられ、センサーのゲージ長さ GL と応力範囲で求められる¹⁾。

$$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{GL/2} \dots\dots\dots (1)$$

応力拡大係数範囲の小さい領域、つまり低応力域では応力比の影響が大きく、応力比が小さいほどセンサーの亀裂進展速度が遅くなる傾向が見られた。実橋で評価すべき応力範囲を20MPa以上と考えたとき、センサーの疲労亀裂を安定して進展させるために必要な応力範囲はゲージ長さ100mmのセンサーで約70MPa、200mmのセンサーで約40MPaであった。

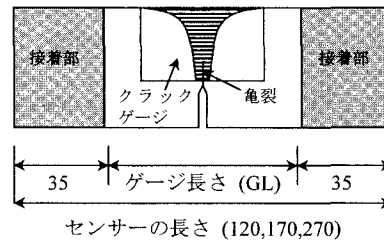


図-1 疲労損傷モニタリングセンサー

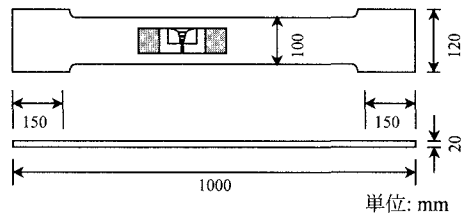


図-2 疲労試験片の形状と寸法

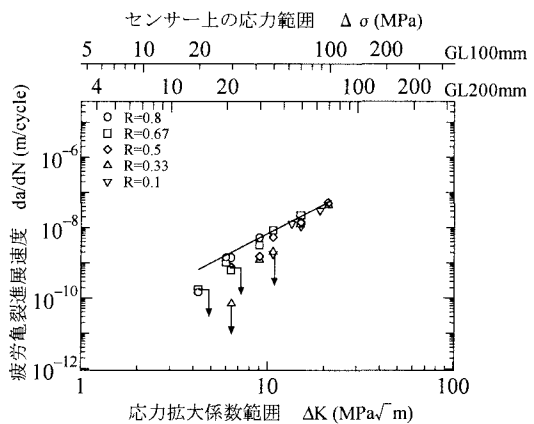


図-3 疲労試験結果（応力比の影響）

Key Words: 疲労損傷, モニタリング, 疲労センサー, 鋼構造物, 疲労寿命

連絡先: 〒261-7125 千葉県美浜区中瀬 2-6 WBG マリブウエスト 25F 電話 043-297-0207 Fax 043-297-0208

4. 取付方法の標準化 疲労亀裂進展つまりセンサーの感度を安定させるためには初期応力導入の標準化が必要である。センサーを加熱して取付けることで、センサーと構造物の温度差と線膨張係数の差で初期応力を導入することを試みた。図-4 に示すように、センサー上に電熱ヒーターを置き、両端をマグネットの治具で押さえる方法を基本として詳細条件を決定した。この方法で取付方法の標準化を図り、120MPa 以上の初期応力を安定して導入することができるようになった。

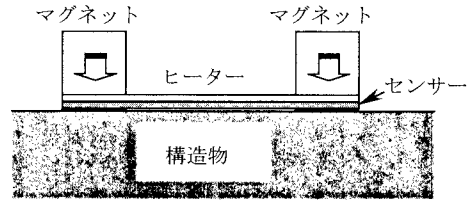


図-4 センサー取付装置の概要

5. センサー性能の確認 標準化した方法により試験片に取り付けたセンサーについて疲労亀裂進展試験を行った。応力範囲は20MPa~70MPaで、応力比は0.1とした。試験結果を図-5 に示す。標準化を図った取付方法により取付けられたセンサーは低応力域でも安定した疲労亀裂進展特性を示している。破線は日本鋼構造協会の「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」（以後 JSSC 疲労設計指針と呼ぶ）に示されている平均設計曲線である³⁾。センサーの疲労亀裂進展速度はこれによく一致している。疲労亀裂進展量から応力履歴を推定する場合には疲労亀裂進展速度の下限を用いるのが安全側の評価となるので、JSSC 平均設計曲線を用い疲労損傷の評価を行うこととした。

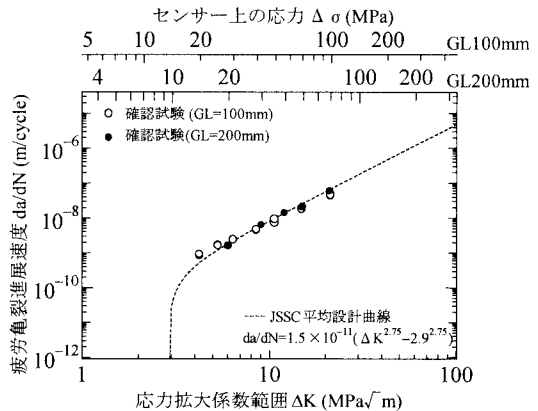


図-5 疲労試験結果（取付方法標準化の検討）

6. 疲労損傷の評価 センサーの応力拡大係数範囲は先に示した式(1)で表されるが、これと JSSC 平均設計曲線を用い疲労損傷の評価を行う。モニタリング期間における亀裂進展量を Δa 、繰返し数 ΔN に対する等価応力範囲を $\Delta \sigma_{eq}$ とすると、

$$\Delta \sigma_{eq}^{2.75} \cdot \Delta N = \frac{\Delta a}{1.5 \times 10^{-11} (GL/2)^{2.75}} \dots\dots\dots(2)$$

センサーの亀裂進展量から応力の履歴、つまり疲労損傷度を直接検知することができる。図-6 はゲージ長さ200mm のセンサーで亀裂が1mm 進展したときと10mm 進展したときの応力範囲と応力繰返し数の関係と、JSSC の疲労設計曲線を比較したものである³⁾。強度等級 F の継手に対しても十分早期に疲労損傷度の検出が可能である。

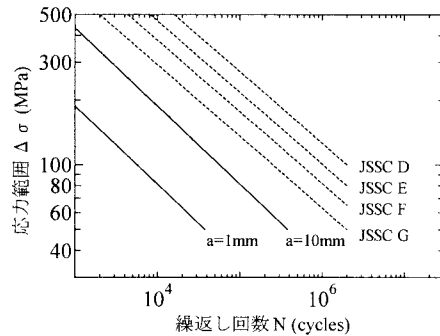


図-6 疲労設計曲線とセンサーの亀裂長さの比較（ゲージ長さ 200mm）

5. 結論 本研究で以下の結論を得た。

- (1)センサーの疲労亀裂進展特性を把握した。
- (2)取付の標準化を図り、低応力域でも安定した感度特性を得ることができた。
- (3)本センサーによりモニタリングすることで構造物の疲労損傷度を評価する方法を確立した。

なお本研究は産・学・官共同研究事業補助金（千葉県工業技術振興センター）と創造的中小企業振興補助金（通産省）の補助金を受け実施した。

参考文献

- 1) 岡村弘之：線形破壊力学入門，培風館，pp.219.
- 2) 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，pp.54-57. 1993.
- 3) 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，pp.5. 1993.