

疲労損傷モニタリング加速センサーの開発

BMC 正会員 ○公門 和樹 正会員 阿部 允  
 法政大学 正会員 森 猛 学生員 平山 繁幸 大野 隆士

**1. はじめに** 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、センサーの基本的特性と、それに及ぼす各種因子の影響について検討した。ここでは、疲労損傷モニタリングセンサーの亀裂の進展を加速させることで、センサーの感度を高める手法を提示し、その感度改善度の評価式を示すとともに、その妥当性について解析的に検討する。

**2. センサーの疲労亀裂進展速度** 標準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 2 液性エポキシ接着剤を両端に塗布し構造物に接着し、構造物の受ける応力履歴をセンサーの亀裂進展として検知する。

亀裂先端近傍の応力の大きさを示すパラメータとして、応力拡大係数  $K$  がある。図-1 にしめすように、長さ  $H$  のセンサー内の亀裂に対する応力拡大係数は、近似的に次式で与えられることが知られている。

$$K = \sigma \sqrt{H} \quad (\sigma : \text{センサー内の公称応力}) \dots\dots\dots(1)$$

また、亀裂の進展速度  $da/dN$  は、 $K$  の変動範囲  $\Delta K$  の関数となることが知られている。前報までの検討の結果、センサーの疲労亀裂進展速度は、国際溶接協会 IIW 指針で示されている鋼材の  $da/dN - \Delta K$  関係とほぼ一致していることがわかっている。

$$da/dN = 9.5 \times 10^{-12} (\Delta K)^3 \quad (da/dN : \text{m/cycle} \quad \Delta K : \text{MPa}\sqrt{\text{m}}) \dots\dots\dots(2)$$

**3. センサーの亀裂進展の加速方法** 前報までの検討の結果、センサーは構造物の継手の疲労強度に対し、十分に早期に損傷を検知できる感度を有していることがわかった。ここでは、短中期的な応力頻度測定等への適用も考え、センサーの亀裂進展を加速させることを検討した。亀裂進展の加速方法として、図-2 に示すようにセンサーの一部を増厚することを考えた。すなわち、亀裂を有する薄板部に変位が集中することにより、 $\Delta K$  が増大し亀裂進展が加速すると考えた。この変位の集中度については、図-2 に示す  $t_1/t_2$  および  $Ht/H$  が支配要因となる。この変位の集中により、(1)式に示す  $H$  が見かけ上長くなることになる。この長さを  $Hc$  とおけば、(3)式が得られる。

$$Hc = \frac{H \cdot t_2}{(H - Ht) \cdot t_1 + Ht \cdot t_2} \cdot H \dots\dots\dots(3)$$

これにより、 $\Delta K$  は近似的に  $\Delta \sigma \sqrt{Hc}$  で与えられることになるため、 $da/dN$  は  $(\sqrt{Hc}/\sqrt{H})^3$  だけ加速することになる。種々の  $Ht/H$ 、 $t_1/t_2$  に対して計算した  $da/dN$  の加速度を図-3 に示す。たとえば、 $Ht/H$  を 0.1 として、 $t_1/t_2$  を 1/4 とすれば、亀裂の進展は 5.4 倍加速することになる。(3)式を検証するために、 $W=50\text{mm}$ 、 $H=100\text{mm}$  として  $Ht/H$  を 0.1、0.25、0.5、1.0 に、 $t_1/t_2$  を 1/4、1/3、1/2、1 と変化させた 10 個のモデルを対象に有限要素法とエネルギー法を用いて応力拡大係数範囲を算出した。その関係を図-4 に示す。図の縦軸は、ここで計算した  $\Delta K$  を  $\Delta \sigma \sqrt{Hc}$  で無次元化したものであり、横軸は亀裂長さ  $a$  をセンサーの幅  $W$  で除したものである。ここで対象とした高感度センサーの  $\Delta K/\Delta \sigma \sqrt{Hc}$  と  $a/W$  の関係は、ほぼ標準センサーの関係と一致している。また  $\Delta K$  が  $\Delta \sigma \sqrt{Hc}$  で与えられる領域も標準センサーよりも若干広がっている。

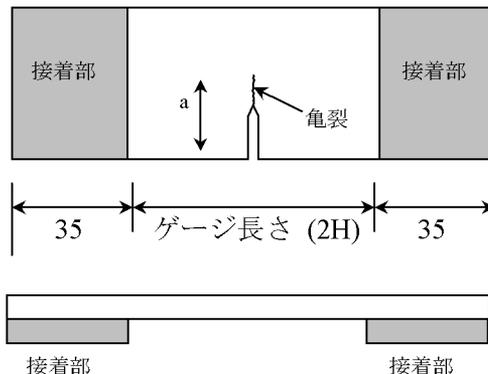


図-1 モニタリングセンサーの形状

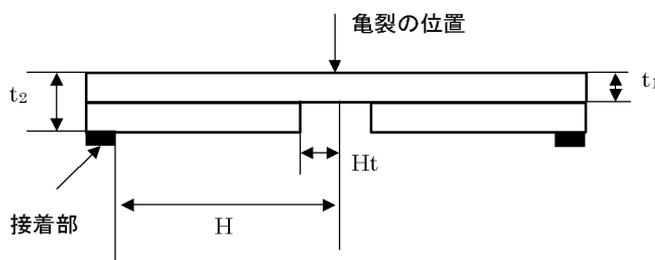


図-2 高感度センサーの形状

**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 千葉市美浜区中瀬 2-6 WBG マリブウエスト 25F 電話 043-297-0207 Fax 043-297-0208

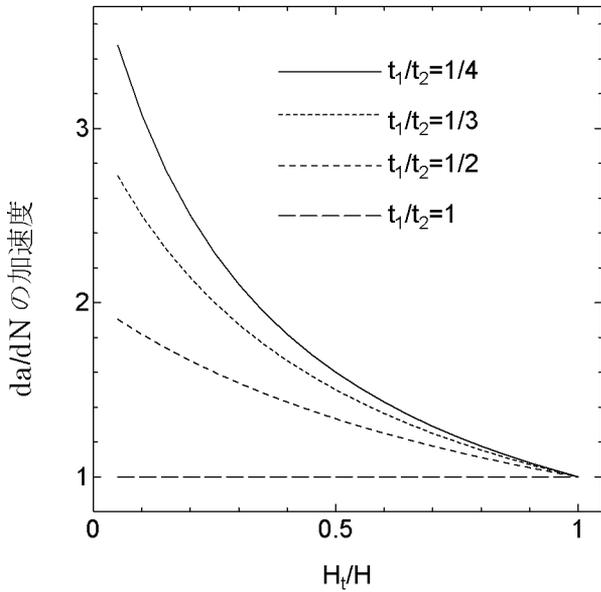


図-3 Ht/H に対する da/dN の加速度

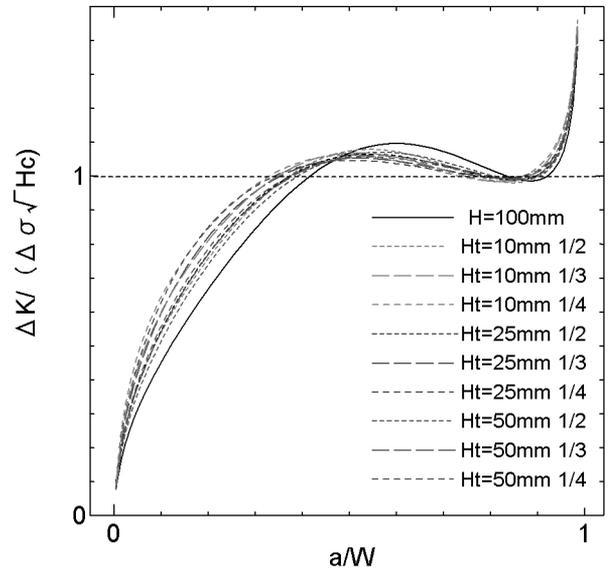


図-4  $\Delta K / \Delta \sigma \sqrt{Hc}$  と a/W の関係

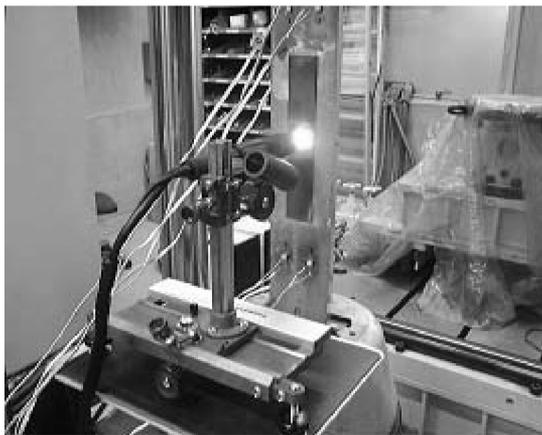


写真-1 疲労試験の様子

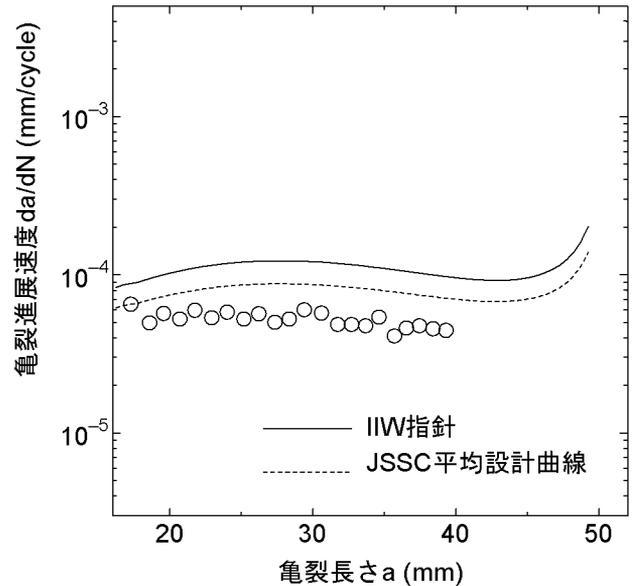


図-5 高感度センサーの da/dN-a 関係

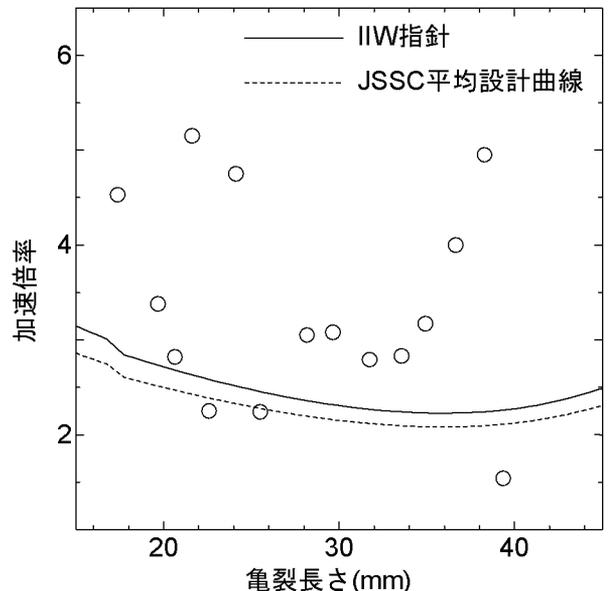


図-6 高感度センサーの加速度

4. 高感度センサーの疲労亀裂進展試験結果

以上の妥当性を確かめるため、高感度センサーの疲労亀裂進展試験を行った。センサーの形状は、 $H=100\text{mm}$ 、 $Ht=10\text{mm}$ 、 $t_1=0.5\text{mm}$ 、 $t_2=1.0\text{mm}$  とし、このとき標準センサーの亀裂進展速度に対し約 2.5 倍の加速度を持つ。センサーは疲労亀裂進展を安定させるため、センサー中央部を切欠き加工しその先端に予亀裂を導入した後、応力除去焼鈍処理を施した。また裂の先端を観察しやすくするために、センサー表面を鏡面に仕上げた。亀裂進展は写真-1 に示すようにデジタルマイクロスコープを用いて観察した。試験結果より得られた高感度センサーの  $da/dN$ - $a$  関係を図-4 に示す。センサーの亀裂進展速度は亀裂長さによらず安定している。また IIW で示されている鋼材の亀裂進展速度より若干低いが、ほぼ一致していると言える。図-6 は試験で得られた高感度センサーの進展速度を標準センサーの進展速度で除した高感度センサーの加速度である。平均で 3.7 倍程度の加速度を得ることができ、センサーの加速方法の妥当性を確認できた。