

高感度疲労損傷度モニタリングセンサーの試作

法政大学 学生員 ○小高 弘行 正会員 森 猛
 (株)ビーエムシー 正会員 公門 和樹 フェロー 阿部 允
 (株)川鉄テクノロジー 正会員 成木 朝雄

1. はじめに

低コストでしかも容易に鋼橋の疲労損傷度をモニターするために、亀裂を有するステンレス鋼板を実橋に貼り付け、亀裂の伸びで疲労損傷度を計測するシステムが開発されている。昨年度、この疲労損傷度モニタリングセンサーの一部を減厚することにより亀裂の進展を加速させてセンサーの感度を高める方法を提示した。本研究では、新たな高感度センサーを提案し、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実験的、解析的に検討する。

2. 疲労亀裂進展速度と応力拡大係数

図1に示すように、長さ $2H$ の等厚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。

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

国際溶接学会 (IIW) の疲労設計指針では、疲労亀裂進展速度 da/dN を応力拡大係数範囲 ΔK を用いて次式で与えている。

$$da/dN = 3.0 \times 10^{-13} (\Delta K)^3 \quad da/dN: \text{mm/cycle}, \Delta K: \text{N/mm}^{3/2} \quad (2)$$

3. センサーの亀裂進展の加速方法

センサーの感度を上げるために亀裂が進展する部分に切欠きを導入することを考えた（図2 シャルピー試験片に用いられる切欠き）。すなわち、切欠き部にひずみが集中することにより、あたかも H が長くなるような効果が得られるのではないかと考えた。ここでは、この長さを H_c とおき、 H_c/H が $\varepsilon_l/\varepsilon$ (ε_l : 切欠き底の平均ひずみ, ε : 全体の平均ひずみ) で与えられるものとして(3)式を導いた。

$$H_c = \frac{H^2}{t_1 \left\{ -\frac{3\pi}{8} + \frac{2}{\sqrt{1-D^2}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{1+D}{1-D}} \tan \frac{3\pi}{16} \right) \right\} + \frac{t_1 H_b}{t_3 - t_2} \log \frac{t_3}{t_2} + \frac{t_1}{t_3} (H - H_a - H_b)} \quad \times \begin{cases} D = \frac{R}{t_2 + R \cos 3\pi/8} \\ H_a = R \sin 3\pi/8 \\ H_b = \frac{1}{2} (t_3 - t_2) \tan \pi/8 \\ t_2 = t_1 + R(1 - \cos 3\pi/8) \end{cases} \quad (3)$$

高感度センサーの ΔK は近似的に $\Delta \sigma \sqrt{H_c}$ で与えられることになるため、 da/dN は $(\sqrt{H_c}/\sqrt{H})^3$ だけ加速することになる。 da/dN の加速度と t_1/t_3 の関係を図3に示す。例えば、 t_1/t_3 が 0.5 とすれば、亀裂の進展は 2.85 倍加速することになる。(3)式を検証するために $H=50\text{mm}$, $W=50\text{mm}$, $R=0.25\text{mm}$, $t_1=0.193\text{mm}$, $t_3=0.425\text{mm}$ とした高感度センサー ($H_c/H=2.21$) について有限要素解析を行い、エネルギー法を用いて ΔK を算出した。その結果を図4に示す。縦軸はここで計算した ΔK を $\Delta \sigma \sqrt{H_c}$ 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。高感度センサーの $\Delta K/\Delta \sigma \sqrt{H_c}$ はほぼ 1 となっており、(3)式の有効性が確かめられた。また、 $\Delta K/\Delta \sigma \sqrt{H_c}$ がほぼ 1 となる領域も等厚センサーよりも広がっている。

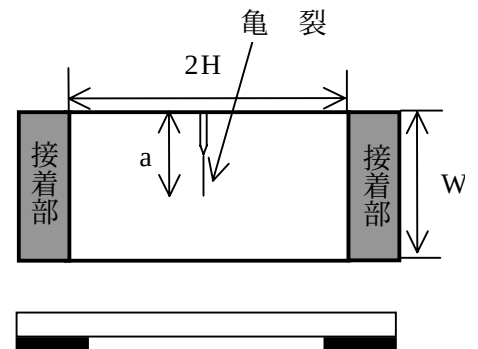


図1 等厚センサー

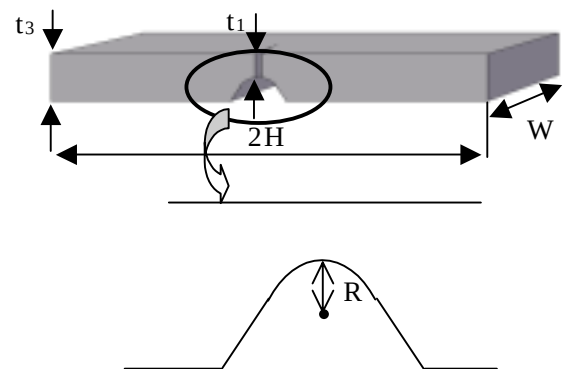


図2 高感度センサー

キーワード 応力拡大係数

連絡先 住所 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学工学部 電話番号 042-387-6279

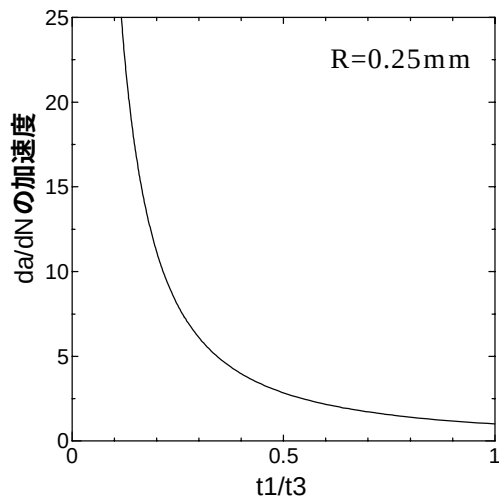
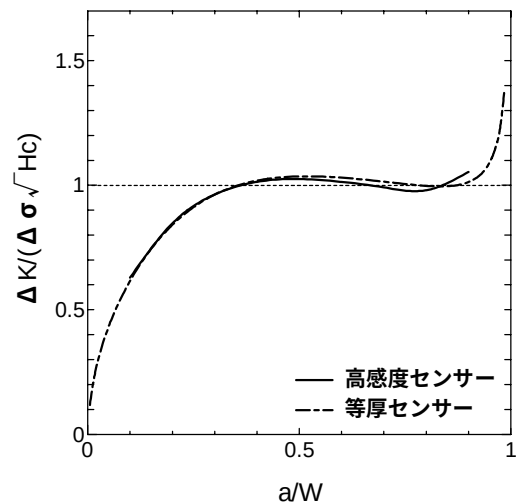
図3 t_1/t_3 と da/dN の加速度の関係

図4 無次元化

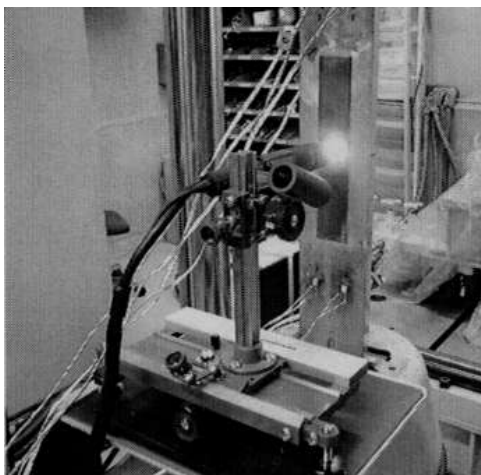


写真1 デジタルマイクロスコープ



写真2 亀裂の観測例

4. 高感度センサーの疲労亀裂進展試験結果

3. で示した高感度センサーを実際に作成し、疲労亀裂進展試験を行った。センサーは疲労亀裂進展を安定させるため、センサーの中央部に切欠きを加工し、その先端に予亀裂を導入した後、応力除去所焼鈍処理を施した。また、亀裂の先端を観察しやすくするために、センサーの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。写真2は亀裂の観測例である。試験結果より得られた高感度センサーの da/dN と亀裂長さの関係を図5に示す。図中の実線と破線は、解析によって求めた ΔK を(2)式に代入することにより算出した各センサーの疲労亀裂進展速度の推定線である。

5. おわりに

高感度センサーは等厚センサーに比べて、亀裂の進展速度は2.85倍程度加速されると予測したが、実際には20倍程度加速された。このような大きな違いが生じた原因としては、切欠き部の応力集中が考えられるが、その詳細は現在のところ不明である。

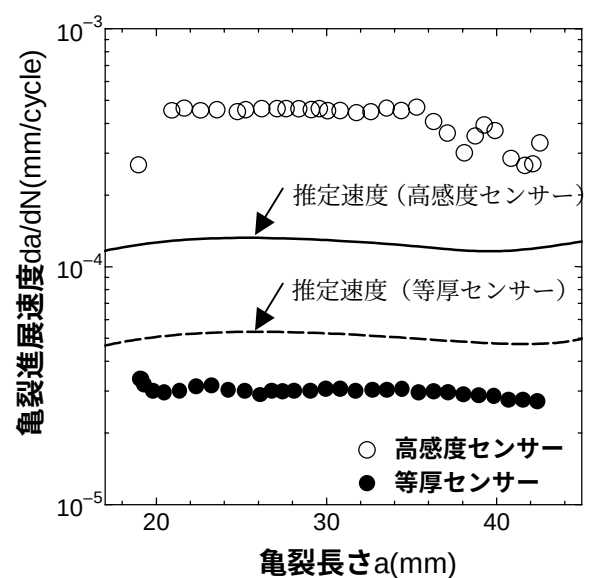


図5 亀裂進展速度