疲労損傷度モニタリングセンサーを対象とした疲労損傷度評価式の精度

(株)BMC 正会員 公門 和樹 フェロー会員 阿部 允
法政大学 黒川 資之 正会員 森 猛
川鉄テクノリサーチ(株) 成本 朝雄

<u>1. はじめに</u>疲労損傷モニタリングセンサーは、センサー内の亀裂の進展量から、センサーを取り付けた部材に蓄積される疲労損傷度を監視するものである。疲労損傷度と進展量との関係については、その評価式を既に報告している。ここでは、センサー内の亀裂の応力拡大係数解析と、それに基づいた進展解析を行い、評価式と解析から求められる疲労損傷度 亀裂進展量関係の相違、すなわち既に示している疲労損傷度評価式の精度について検討する。

2. センサーの亀裂進展と疲労損傷度の関係 センサーの形状を 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、構造物の受ける疲労損傷度をセンサーの亀裂進 展として検知する。疲労損傷度 ³・n と亀裂進展量 a の関係 は、応力拡大係数範囲 K が近似的に式(1)で与えられ、センサー の疲労亀裂進展速度が式(2)で与えられる、という仮定のもとに、 式(3)で与えられることを既に報告している。

> $\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{H}$ (:公称応力範囲) ...(1) $da/dN = 3.0 \times 10^{-13} (\Delta K)^3$...(2)

(da/dN : mm/cycle , : N/mm² , H : mm) $\Delta a = 3.0 \times 10^{-13} H^{3/2} \Delta \sigma^3 \cdot n \quad (a : mm , n : cycles) ...(3)$ <u>3. センサーの精度の検討</u>式(3)に示す a と ³ · n の関係は、

*K*が亀裂長さ*a*に依存せず式(1)で与えられることとして算出している。しかし式(1)は*H*に対し*W*が無限であるという仮定のもとに得られたものである。図-2 は *W*=50mm とした3つのモデルに対しエネルギー法で求めた *K*を式(1)から求められる *K*(

H)で無次元化した K/ Hと、亀裂長さaの関係を示したものである。このように式(1)より求められる Kは、実際にはaに依存し、その誤差はH/Wの大きさに依存する。したがって同じaであっても、式(3)から求められる ³・nの大きさと**図-2**に示す Kから求められる ³・nの大きさは多少異なる。



図-1 モニタリングセンサーの形状



<u>4. 疲労亀裂進展解析</u> 疲労亀裂進展解析の流れを図-3 に示す。解析では式(4)のように初期亀裂寸法 *a*_iから *a*ずつ増加させ、その際の荷重繰返し数の増分 *n*を求め、その総和を求めた。

$$n = \sum_{j=1}^{k} \Delta n_j = \delta a / \left(3.0 \times 10^{-13} (\Delta K)^3 \right) \qquad \exists \exists \exists \forall \delta a = (a_c - a_i) / k \qquad \dots (4)$$

 a_{c} :限界亀裂寸法(mm) a_{i} :初期亀裂寸法(mm) k:計算ステップ数 K_{i} : $a_{i}+j \times a$ における応力拡大係数範囲(N/mm^{3/2})

Kは、種々の亀裂長さのセンサーをモデルに有限要素応力解析を行い、そこで得られた応力 - 変位関係にエネルギー法を適用することで求めた。ここでは、 =100N/mm²として疲労亀裂進展解析を行った。

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 マリブウェスト 25F 電話 043-297-0207 Fax 043-297-0208

-879-



図-3 疲労亀裂進展解析の流れ

<u>5. 解析結果</u> 図-4 は、解析より求めた K を用いて算出 した疲労損傷度 D(FEM)を式(3)で求めた疲労損傷度 D(

H)で無次元化した D(FEM) / D(*H*)と、亀裂長さ*a*の 関係を示している(ここでは疲労損傷評価に用いられる ³・*n* を便宜的に疲労損傷度と呼ぶ)。この比が1以上という ことは、式(3)から疲労損傷度を求めることは危険側の評価、 1以下は安全側の評価となることを意味している。図-4 で は、初期亀裂寸法の異なる3種類のモデルを比較しているが、 いずれも亀裂長さが短い段階では危険側の評価となってい る。また、初期亀裂長さが一番長い a₀=20mm のモデルでは 危険側の評価となることが少ない。ただし初期亀裂長さを長 く取りすぎると疲労損傷度を検知できるセンサーの幅が短 くなってしまうので、モニターする目標により適切に初期亀 裂長さを設定することが必要である。図-5 は、H の異なる 3種類のモデルについてD(FEM)/D(H)とaの関係を 比較したものである。センサーの長さが長くなるほど H)が1から離れており、式(3)の精度が悪 D(FEM) / D(くなっている。例えば H=100mm とした場合は亀裂長さによ H)は+30~-15%の誤差を有する。 って D(FEM) / D(H=25mmの場合の誤差は±3%にすぎない。図-6は、幅Wの 異なる2種類のモデルを比較したものである。縦軸は H)とし、 横軸は *a* を W で 無次元化した D(FEM) / D(a/Wとしている。幅の広いものの方が D(FEM) / D(H) の値が1に近く、精度が高いと言える。



-880-