

最適化を用いた疲労き裂検出に関する基礎的研究

長崎大学工学部 学生会員 ○永田佳世
長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

長崎大学工学部 正 会 員 中村 聖三
長崎大学工学部 学生会員 Farhat Fadi

1. はじめに

わが国における本格的な社会資本整備が始まった 1960 年代に製造された多くの道路橋で溶接部の疲労損傷が発見されており、かつその多くが当初予定された設計供用寿命を迎えつつある。しかし社会的役割や、その周辺の環境からは全面的取替えが困難であり、既設の社会基盤施設を利用せざるを得ない状況である。これらの膨大な数の多様な問題を抱えた既設構造物の疲労性能評価を行うためには簡易でかつ精度の高い疲労き裂の検出が必要になってくる。近年、部材表面の変位やひずみを検出する非接触な測定法が注目されているが、面的な変位あるいはひずみの時間的な変化から、き裂の発生や進展状況が推定できる可能性があると考えられる。本研究では、FEM 解析と最適化手法を組み合わせることで、鋼材表面の変位あるいはひずみ分布から鋼材内部に存在するき裂の位置やサイズの推定が可能であるかを検討した。

2. 推定方法

2.1 推定の流れ

本研究におけるき裂位置およびサイズの推定の流れは以下のとおりである（図 - 1 参照）。

- (1) 何らかの方法で鋼材表面の変位あるいはひずみ分布を求めておく。
 - (2) き裂の位置およびサイズを仮定し、対象物の FEM 解析を行う。
 - (3) 変位あるいはひずみ分布について解析値と測定値の誤差を算定する。
- (2)、(3)を誤差が設定した許容値になるまで繰り返す。

2.2 FEM 解析

本研究では図 - 2 に示すような、中心位置にサイズ $\alpha \times \beta$ （板厚方向 × 板幅方向）で、幅 $t=0\text{mm}$ のき裂を挿入した幅 b 、厚さ t 、長さ $L=2b$ の平板を解析対象とする。解析には汎用有限要素解析ソフトウェア MARC を使用し、8 節点アイソパラメトリック要素 (No.7) でモデル化する。解析対象をき裂面で分割してモデル化し、両モデルの節点を一体化するかしないかを指定することでき裂を作成した。き裂サイズおよび位置を変化させて繰り返し解析を行うため、Mentat の Procedure ファイルを利用した。

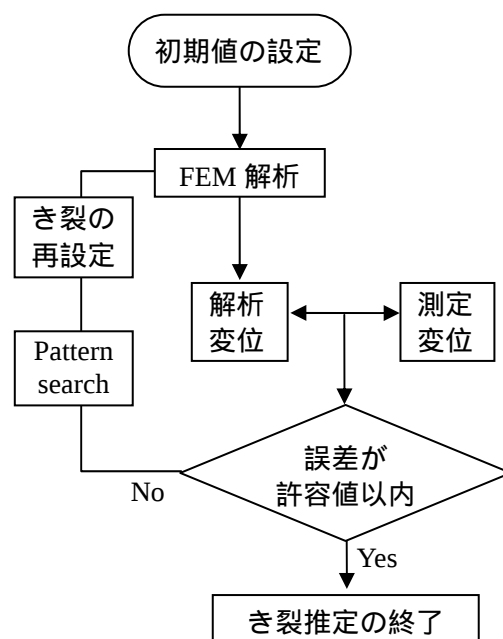


図 - 1 推定の流れ

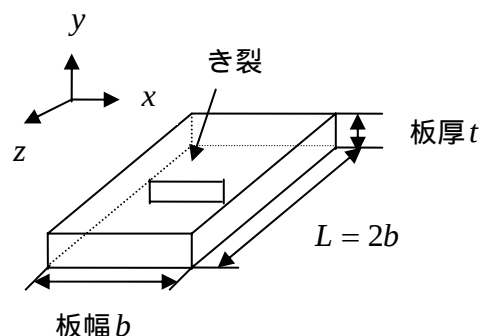


図 - 2 解析モデル

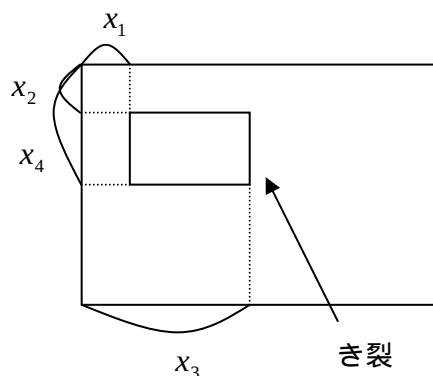


図 - 3 き裂の位置(mm)

3. 最適化手法

最適ルーチンは MATLAB の GA and direct search Toolbox を用いて構築した．本研究で対象とするのは内部き裂であり，き裂サイズが鋼材の大きさを超えないという条件が加わってくるため，境界条件を扱うことのできる Pattern Search GPS 2N を用いた．Mesh size は 1 とした．また，目的関数を次式で定義した．

$$F = \sum_{i=1}^{n=21} |(\Delta_{1i} - \Delta_{2i}) - (\Delta'_{1i} - \Delta'_{2i})| \quad (1)$$

$$\sigma_y \leq \frac{f}{A - (x_3 - x_1)(x_4 - x_2)} \quad (2)$$

ここに， Δ_{1i} ， Δ_{2i} は測定値における節点*i*の変位， Δ'_{1i} ， Δ'_{2i} は解析モデルにおける節点*i*の変位．*f*は作用力， σ_y は降伏応力，*A*はき裂面の面積である．設計変数はき裂頂点の位置であり，図 - 3 に示す (x_1, x_2, x_3, x_4) で定義し， $x_1 < x_3$ ， $x_2 < x_4$ とする．仮定する初期き裂は，ひずみが最大になる位置の直下，深さ方向 $t/2$ に中心を有する高さが $t/2$ ，幅が縁端の最短距離の $1/2$ の平面き裂である．

4. 適用事例

モデルサイズは $t=10\text{mm}$ ， $b=20\text{mm}$ であり，き裂位置およびサイズはそれぞれ断面中心および $4 \times 4\text{mm}$ である．使用鋼材は SM490 ($\sigma_y=315\text{N/mm}^2$) とする．要素分割数は，*x* 方向に 20，*y* 方向に 10，*z* 方向に 20 とする．荷重条件は一軸引張とし，一端に 10N/mm^2 ($f=2000\text{N}$ に相当) を載荷し，もう一端は固定する．解析は弾性範囲のみを対象とし，弾性係数は 200kN/mm^2 ，ポアソン比は 0.3 とする．誤差を評価するための変位抽出位置は，図 - 4 に示すように，き裂面直上から *z* 軸方向 $\pm 2\text{mm}$ の位置とする．なお本適用事例では，あらかじめ FEM 解析を実施して得られた変位分布を測定値として推定を行った．

収束条件を $F=0$ または $|F_n - F_{n+1}| \leq 1 \times 10^{-6}$ として最適化を行った結果， $F=0$ となる (x_1, x_2, x_3, x_4) = (9, 4, 13, 8) が求められ，正しいき裂位置およびサイズを推定できた．図 - 5 には繰り返し計算に伴う目的関数の変化を示す．最終的な繰り返し回数は 54 回であるが，10 回程度で一度収束解に近づき，その後若干の変動を示しながら，20 回を超えた付近でほぼ収束解が得られていることがわかる．

5. まとめ

今回の事例では内在する平面き裂のサイズと位置を推定することが可能であった．推定に要する FEM 解析の繰り返し回数も比較的少なかった．解が早く収束した理由として，き裂が中心に入っており，初期値から近い位置にあったことも考えられるため，き裂が偏った位置にある場合に対する検討も必要である．また，き裂のメッシュが 1mm ずつであることや，幅が 0mm などの条件を課した検討であり，測定値として誤差の含まれない解析値を用いている等，現実とは異なる点も多くある．今後，誤差を含む測定値に対してどの程度まで正確な推定ができるか，幅を有するき裂であっても同じ様に求めることができるか．それによって実構造物に適用可能であるか，などを検討していきたい．このシステムが確立できれば非接触全視野変位計測によるき裂検出に大いに役立つと考えている．

参考文献

- 1) The MathWorks, Inc. : Genetic Algorithm and Direct Search Tool box 2 User's Guide

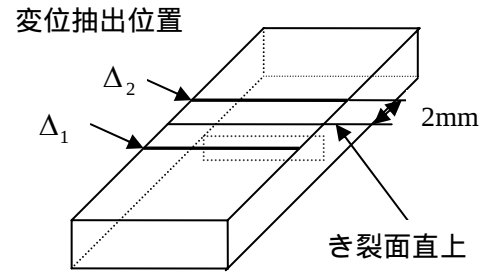


図 - 4 変位測定位置

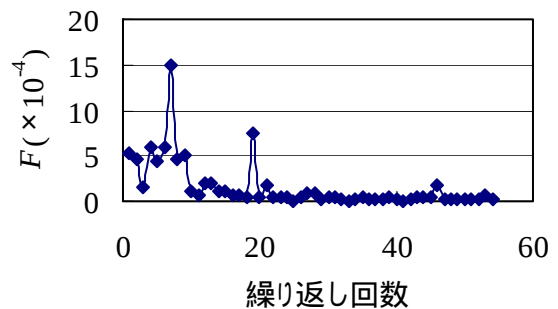


図 - 5 目的関数の収束状況