

遺伝的アルゴリズムと有限要素解析を用いた内部き裂同定手法の精度に関する基礎的検討

長崎大学工学部 正 会 員 中村聖三 長崎大学大学院 学生会員 永田佳世
 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄 長崎大学大学院 学生会員 Fadi Farhat

1. 序論

わが国では多くの道路橋で溶接部の疲労損傷が発見されているが、既設の社会基盤施設を利用せざるを得ない状況である。これらの既設構造物の疲労性能評価を行うには、簡易でかつ精度の高い疲労き裂の検出が必要になる。そこで著者らは、き裂の同定を解析値と測定値との差を最小化する最適化問題と考え、有限要素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同定が可能であるかを検討してきた。これまでの検討では、測定値の代わりに誤差を含まない解析値を用いていたが、本研究では解析値に所定の確率分布に従う誤差を加えたものを用いた場合の同定精度について検討する。

2. き裂の同定方法

2.1 同定の流れ

本研究におけるき裂位置およびサイズの同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を求めておく。
- (2) 対象物にき裂面を仮定した FEM 解析モデルを作成する。
- (3) き裂の位置・サイズを初期世代数だけ仮定し、対象物の FEM 解析を行う。
- (4) 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(目的関数)を算定する。
- (5) GA を用い、設定したパラメータの下で(3)、(4)を繰り返す。

2.2 FEM 解析

図-2 に示すような、中心位置にサイズ x (板厚方向×板幅方向) で、幅 0mm のき裂を挿入した板幅 b 、板厚 t 、長さ L 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、両モデルの節点の一体化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。

3. 最適化手法

最適化ルーチンは MATLAB の GA and direct search Toolbox²⁾を用いて構築した。

GA に関するパラメータを表-1 に示す。最適化問題は以下のように定式化した。

$$(1) \text{ 目的関数: } F = 1 - \exp\left\{-\frac{\sum |(\Delta_{li} - \Delta_{2i}) - (\Delta'_{li} - \Delta'_{2i})|}{\sum |\Delta_{li} - \Delta_{2i}|}\right\}$$

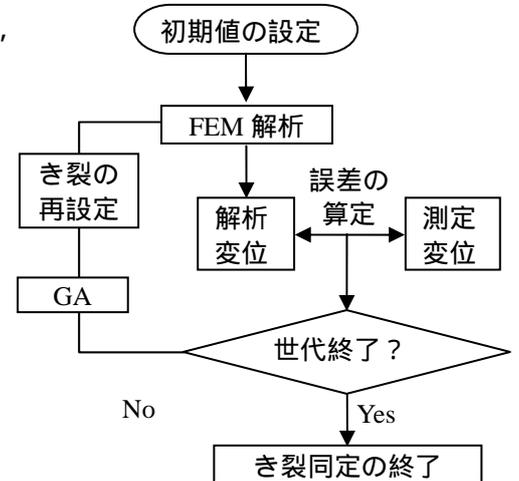


図-1 同定の流れ

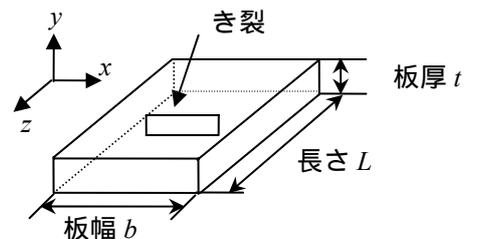


図-2 解析モデル

表-1 パラメータ

項目	値
個体数	64
世代数	100
エリート数	28
交叉率	45%
終了条件	世代数終了

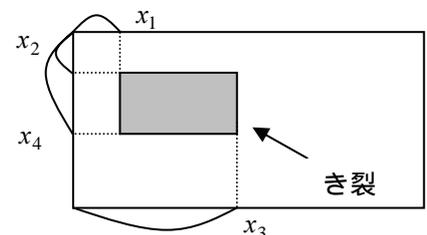


図-3 設計変数

キーワード：内部き裂検出，最適化，表面ひずみ，有限要素解析

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 TEL/FAX 095-819-2613

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*の変位である。

$$(2) \text{ 制約条件: } \sigma_y \leq \frac{f}{A - (x_3 - x_1)(x_4 - x_2)}$$

f は作用力、 σ_y は降伏応力、 A は鋼板の断面積である。

(3) 設計変数： (x_1, x_2, x_3, x_4)

図-3に示すき裂の位置とサイズを表す変数であり、 $x_1 < x_3$ 、 $x_2 < x_4$ とする。

4. 同定精度の検証

4.1 検証条件

モデルサイズは $t=10\text{mm}$ 、 $b=150\text{mm}$ 、 $L=100\text{mm}$ とし、要素分割は x (板幅) 方向に 75 分割、 y (板厚) 方向に 10 分割とし、 z (長手) 方向についてはき裂面を対称中心とし、2, 5, 10, 20, 30, 50mm 間隔で分割する。鋼材は SM490 を仮定する。荷重条件は一軸引張とし、一端に 10N/mm^2 の分布荷重を作用させ、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、き裂面直上から z 軸方向 (図-4 参照) $\pm 2\text{mm}$ の位置とする。断面に対するき裂サイズ (面積比) は 10% とし、き裂深さおよび縁端からの距離についても同様とする (表-2 参照)。誤差については正規分布に従う乱数とし、その平均値をゼロ、標準偏差をあらかじめ FEM 解析から得られた変位の最大値の 8, 10, 15% の値が 99% 信頼区間の限界となるよう設定した。

4.2 検証結果

測定誤差ごとに、き裂中心位置の同定誤差の平均値を表-3に、同定き裂の面積の平均値、最大値、最小値を表-4に示す。また、表中の括弧内には、き裂面の幅方向と深さ方向の長さに対する割合を示している。測定誤差を 8, 10% 以下とした場合に関しては、平均してみると正解に近いき裂サイズが同定されている。き裂の位置に関しては、同定き裂範囲が正解のき裂幅まで含むと、断面の幅の 1/2 を占めた。しかし、き裂が上部に存在する (変位計測面に近い) 場合に関しては、実き裂に対する同定き裂範囲は幅方向に 12mm (8%)、深さ方向に 1mm (10%) に収まっており、同定精度が高かった。つまり、測定誤差が 10% 程度で、き裂が計測面に近い場合は、比較的精度がよい同定が可能ではないかと考えている。

測定誤差を 15% 以下とした場合、中心位置の平均誤差は幅方向に 9.50mm (6.33%)、深さ方向に 1.92mm (19.20%) である。同定き裂の面積の平均は 90mm^2 であり、正解の 150mm^2 に対して 40% 小さかった。位置については、他のケースに比べ実き裂に対する同定誤差が増加し、最大でき裂幅方向に 36mm、深さ方向に 3mm であった。

5. 結論

本研究では、測定誤差が 10% 程度以下で、かつき裂が計測面に近い場合には、実き裂に対して幅方向に板幅の 8%、深さ方向に板厚の 10% の誤差範囲で同定可能であることを示した。今後、個体数などの GA で用いるパラメータの最適化について検討する必要がある。また、本論文の成果を実験的に検証するとともに、実用化の可能性を明らかにしたいと考えている。

参考文献

- 1) 永田佳世, 中村聖三, 高橋和雄, Farhat Fadi: GA を用いた内部き裂の同定に対する精度向上に関する一検討: 平成 19 年度土木学会西部支部, 平成 20 年 3 月
- 2) The MathWorks, Inc.: Genetic Algorithm and Direct Search Tool box 2 User's Guide

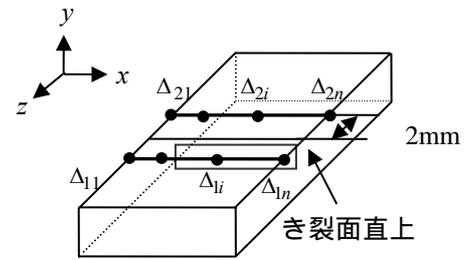


図-4 変位抽出位置

表-2 同定ケース

き裂サイズ	き裂面積 (mm ²)	き裂深さ (mm)	縁端からの距離 (mm)
10%	150	3.5 6.5	2,26,50

表-3 き裂中心位置の同定誤差

測定誤差	幅方向 (mm)	深さ方向 (mm)
8%	9.67 (6.4%)	1.83 (18.3%)
10%	10.83 (7.2%)	1.67 (16.7%)
15%	9.50 (6.3%)	1.92 (19.2%)

表-4 サイズの同定結果

測定誤差	平均値 (mm ²)	最小値 (mm ²)	最大値 (mm ²)
8%	152	100	190
10%	158	120	200
15%	90	45	156