

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

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

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

1. はじめに

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る。それに対して著者らは、面的な変位あるいはひずみの変化から、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、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¹⁾。しかし、そこでは限られた条件下でのみき裂の同定が可能であった。そこで本研究では、き裂の同定精度を向上させることを目的として、最適化手法として遺伝的アルゴリズム (GA) を採用し、そのパラメータを変化させることで推定精度にどのような影響があるのかを検討した。

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・サイズを初期世代に値する個数分仮定し、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、世代数終了まで設定したパラメータの下で(3)、(4)を繰り返す。

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 $\times$ 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 $L=b$ 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。

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。最適化問題の定式化については以下に示す。

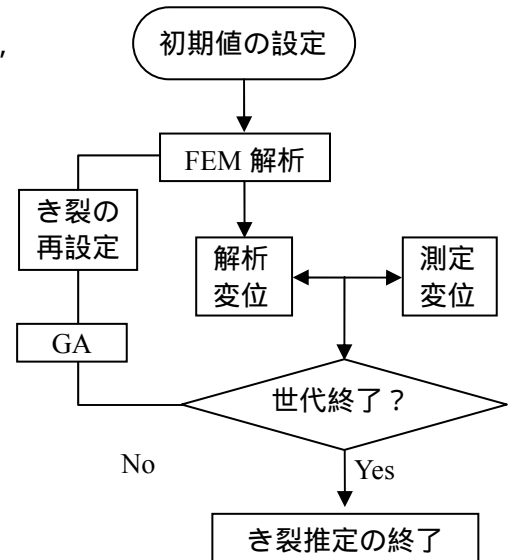


図 - 1 推定の流れ

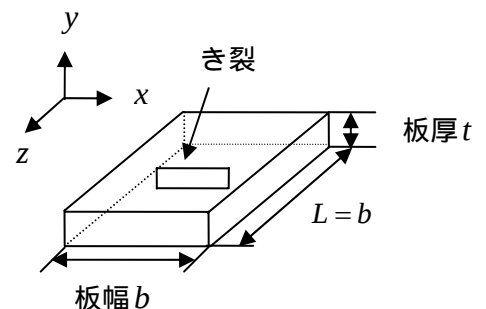


図 - 2 解析モデル

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

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

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。

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

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：き裂の位置とサイズであり、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。

4. 適用事例

モデルサイズは $t=10\text{mm}$ 、 $b=20\text{mm}$ 、き裂位置およびサイズはそれぞれ断面中心および $2 \times 2\text{mm}$ とする。き裂位置については、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 (図 - 2 参照) $\pm 2\text{mm}$ 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。

今回個体数を 16, 28, 41 とし、交叉率とエリート数をそれぞれ表 - 1 に示すように変化させた。これらの値で最も推定可能であったケースが多かったパラメータの組み合わせを表 - 2 に示す。個体数については数が多いほど、エリート数については 50% 程度、交叉率については 40% 程度のものがより推定が可能であるか、近いき裂の位置を示した。表 - 2 のパラメータでは 17 ケースのき裂を用い、位置、サイズ両方推定可能であったものが 7 ケースであった。また、14 ケースは深さの推定ができ、誤差の平均値は 15% であった。サイズの推定は 9 ケース可能であり、誤差の平均値は 24% であった。

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おおそ可能であった。個体数については数が大きくなるほどより良い値が得ることが出来、さらに増やすことで精度を上げることが出来るのではないかと考える。今回の検討は、設計変数の変化が 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推定ができるか、さらに実構造物に適用可能であるかなどを検討したい。

参考文献

- 1) 永田佳世, 中村聖三, 高橋和雄, Farhat Fadi: 最適化を用いた内部き裂検出に関する基礎的研究: 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

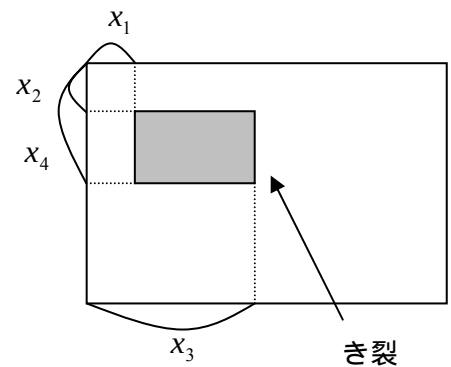


図 - 3 設計変数

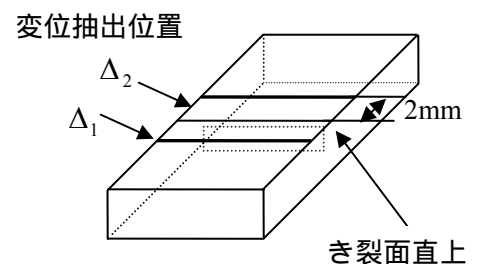


図 - 4 変位抽出位置

表 - 1 検討パラメータ

個体数	エリート数	4	8	10
(16)	交叉率(%)	60	40	30
個体数	エリート数	4	10	14
(28)	交叉率(%)	69	51	40
個体数	エリート数	8	12	20
(41)	交叉率(%)	64	57	41

表 - 2 採用パラメータ

項目	値, 手法
個体数	41
世代数	100
エリート数	20
交叉率	41%
終了条件	世代数終了