

内部き裂の同定に対する GA の適用性に関する一検討

長崎大学大学院 学生会員 ○永田佳世

長崎大学工学部 正 会 員 中村 聖三

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 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ことを検討した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、その適用性について検討を行った。

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) 最適化手法を用い、目的関数が最小化されるまで、もしくは世代数終了まで(4)、(5)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×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

最適ルーチンは MATLAB の GA and direct search Toolbox²⁾を用いて構築した。採用したパラメータの値、手法を表-1 に示す。また、最適化問題の定式化を以下に示す。

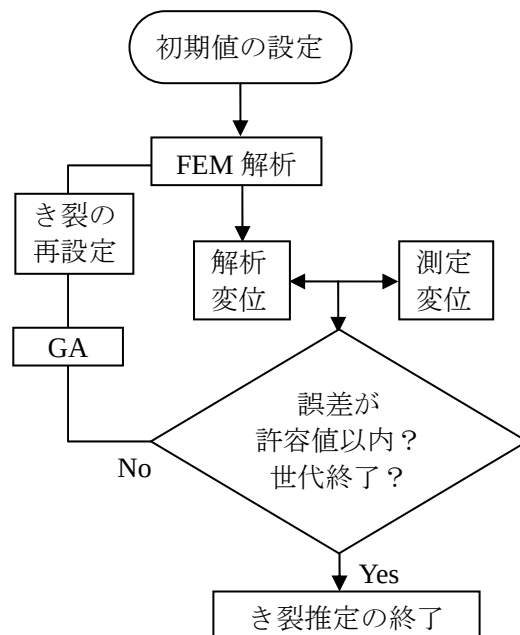


図-1 推定の流れ

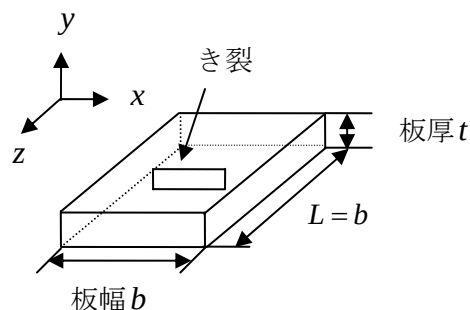


図-2 解析モデル

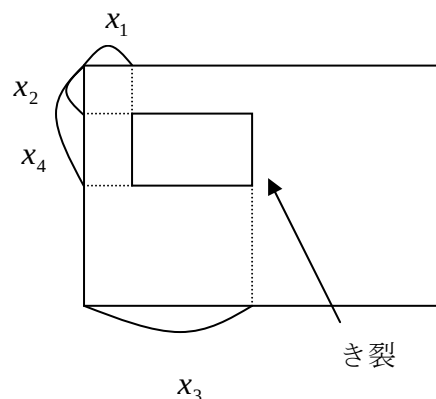


図-3 設計変数

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

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。

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

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、あらかじめ図-5 に示すき裂を有するモデルの 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。

最適化を行った結果、 $F=0$ となる $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (9, 4, 11, 6)$ 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-6 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 76 回であり、終了条件 2 である $F=0$ が 75 回目で求められ、その後 100 世代を迎え終了している。繰り返し回数が世代数よりも少ないのは同じ解析をしているものはカウントされていないからである。

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。これはき裂が中心の位置にあるなど比較的推定が容易な位置であったと考えられ、深い位置やサイズの小さなものの検討も必要である。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。このシステムが確立できれば維持管理における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) 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

表-1 パラメータ

項目	値, 手法
個体数	22
世代数	100
選択手法	エリート保存方式
交叉率	80%
終了条件 1	世代数終了
終了条件 2	$F=0$ になった時

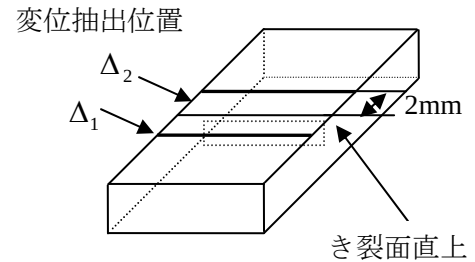


図-4 変位抽出位置

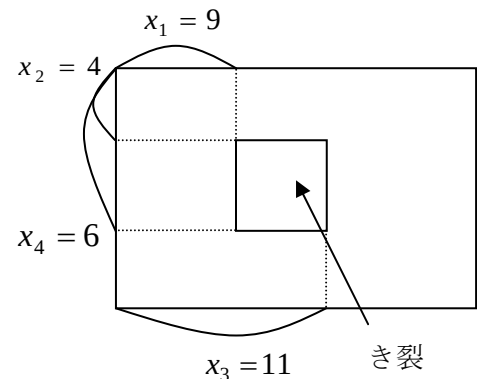


図-5 き裂の位置(mm)

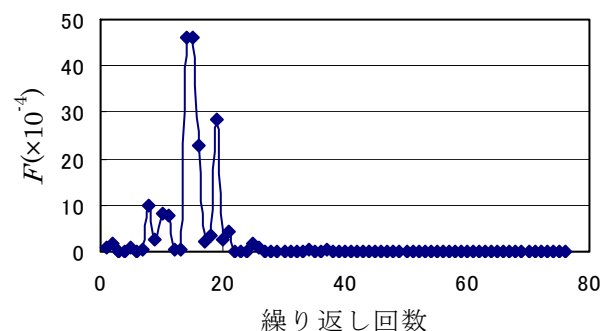


図-6 目的関数の収束状況