

GA を用いた内部き裂同定法の適用範囲に関する一検討

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 Fadi Farhat

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。本研究では、推定精度向上を図るために目的関数や各種パラメータの値を修正するとともに、一定の誤差を許容した場合の適用範囲についての検討を行った。

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、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 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。

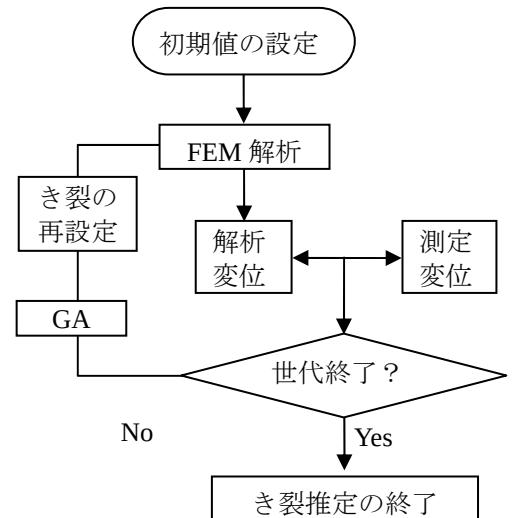


図-1 推定の流れ

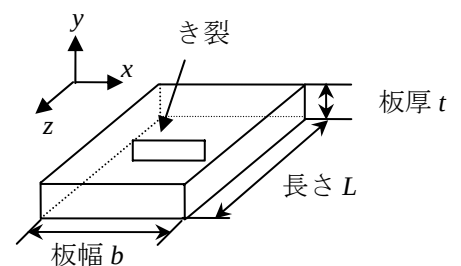


図-2 解析モデル

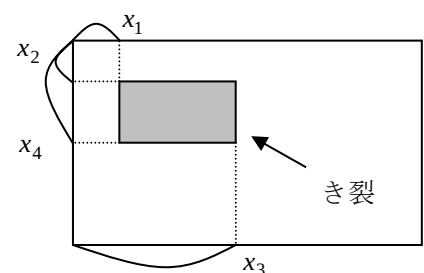


図-3 設計変数

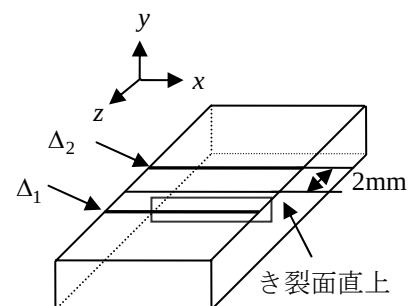


図-4 変位抽出位置

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

ここに、 Δ_{li} 、 Δ_{2i} は測定値における節点 i の変位、 Δ'_{li} 、 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 はき裂面の面積である。

(3) 設計変数: (x_1, x_2, x_3, x_4)

き裂の位置とサイズであり、図-3に示す。 $x_1 < x_3$ 、 $x_2 < x_4$ とする。

4. 検討内容と結果

モデルサイズは $t=10\text{mm}$ 、 $b=150\text{mm}$ 、検討鋼材は SM490 とする。荷重条件は一軸引張とし、一端に 10N/mm^2 とし、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、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。最適化に用いたパラメータについては表-1に示す。ここでは、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。

き裂面に対するき裂サイズ (面積比) を 13,10,4,2,1%と変化させ、それぞれに対して位置を変えたき裂を、表-2に示すように計 39 ケース設定し推定を行った。その結果、完全に推定可能なものは 11 ケースであった。推定可能であったき裂サイズが 13%の目的関数の収束状況を図-5に示す。繰返し回数が 322 回で収束している。

き裂サイズごとの誤差の平均値を表-3に示す。き裂サイズが 1%になると幅方向に大きな誤差が出ている。誤差の大きさ自体はき裂サイズが 2%の場合も小さくなっているが、き裂サイズに対する相対的な誤差で考えると、き裂サイズが大きくなるに付いて精度が向上しているものと判断される。本検討事例では、き裂サイズが 4%以上であれば、一定の精度でき裂の同定が可能であったと考えている。

き裂サイズが 4%以上のものについてより詳細に見てみると、測定値に対し、き裂中心位置の平均誤差は幅方向に 3.23mm、深さ方向に 0.46mm であった。また推定されたき裂はすべて、実き裂に対して幅方向に 6mm ずつ、深さ方向に 1mm ずつの範囲内に収まっていた。つまり、図-6に示すように、幅方向に板幅の 4%以内、深さ方向に板厚の 10%以内の精度で同定可能であった。

5. まとめ

今回の事例に対してき裂の推定可能範囲を提案することが出来た。これにより、実構造物に適用する可能性がより高まったと考えられる。しかし、測定値には必ず誤差が存在するため、今後それを考慮した検討を実施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 : 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
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

表-2 推定ケース

き裂サイズ	き裂面積 (mm ²)	き裂深さ (mm)	縁端からの距離 (mm)
13%	200	3.5 6.5	2,26,50
10%	150	3.5 6.5	2,26,50
4%	60	2.5 4.5 7.5	2,26,50
2%	30	2.5 4.5 7.5	4,32,60 6,34,56 4,32,60
1%	16	2 5 8	4,32,60

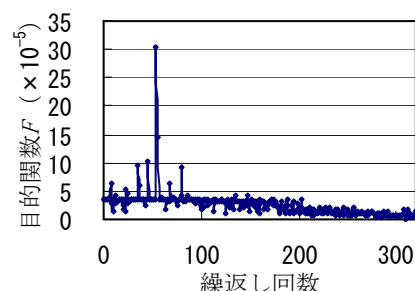


図-5 目的関数の収束状況

表-3 測定値との誤差の平均

き裂サイズ	幅方向 (mm)	深さ方向 (mm)
13%	3.16	0.58
10%	3.34	0.17
4%	3.22	0.67
2%	1.56	0.44
1%	9.78	0.78

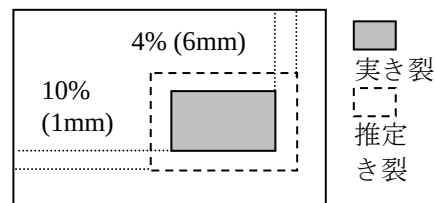


図-6 推定範囲