

ひずみゲージによる板厚方向に進展する疲労き裂のセンシング

東京都市大学大学院 学生会員 ○岡本翔太 東京都市大学 フェロー 三木千壽
 東京都市大学 正会員 関屋英彦 横山 薫

1. はじめに

近年、鋼橋において高経年化による疲労き裂等の劣化損傷が問題となっている。従って、効率的な維持管理を行うことが必要であり、劣化損傷に関するセンシング技術が重要である。

ひずみゲージによる疲労き裂のセンシング技術として、疲労き裂の評価パラメータである応力拡大係数値（以下、 K 値と表記）に着目した研究がなされている。研究では、実験において板厚方向に貫通した疲労き裂が対象¹⁾であり、解析において FEM で直接計算された K 値²⁾に対する検討がなされている。

そこで、き裂深さを変化させた非貫通き裂を対象とした、FE モデルによる引張解析のひずみ値から算出した K 値を用いて、ひずみゲージによる板厚方向に進展する疲労き裂の検知の可能性について検討した。また、き裂近傍部でのひずみ値の変化から、板厚方向に進展する疲労き裂の検知方法を考案し、その検討を行った。

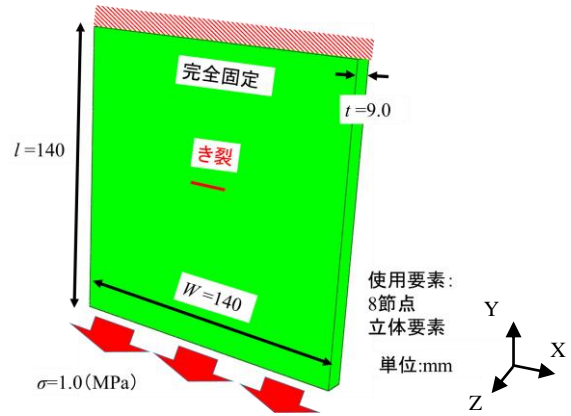


図-1 解析モデル

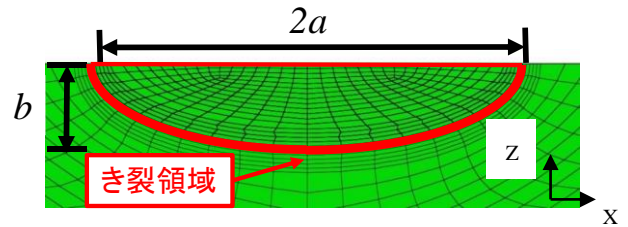


図-2 き裂形状

表-1 各ひずみゲージにおけるK値の算出手法

ゲージ種類	ゲージ形状	K値算出	計測位置 き裂先端からの距離 r (mm)	計測方向	計測点
単軸ゲージ		一軸ひずみ	2.3~6.0	Y	1
2軸ゲージ		一軸応力	1.8~4.5	X	3
			2.3~6.0	Y	
3軸ゲージ		主応力差	2.3~6.0	Y	3
K値ゲージ		円周ひずみ	2.0,4.0	θ	40

2. 解析概要

図-1に解析モデルを示す。解析モデルは中央部にき裂のある平板であり、三次元要素の8節点立体要素を使用した。図-2にき裂形状を示す。モデル化したき裂は表面長さ $2a$ を12.0mmとし、き裂深さ b を2.0mm~6.0mmを1.0mm間隔で変化させた。ここで、 $b=2.0\text{mm} \sim 5.0\text{mm}$ では半楕円き裂、 $b=6.0\text{mm}$ では半円き裂となる。解析におけるき裂先端部の特異性は、き裂の開口を模擬するためにき裂線上にある節点に重複節点を設定し、き裂断面においてき裂半径方向に仮想き裂進展方向を指定すること³⁾で表現した。材料特性は縦弾性係数を210GPa、ポアソン比を0.3とした。境界条件は平板の一边を完全固定とし、対辺に面外方向の一様引張応力(1.0MPa)を与えた。

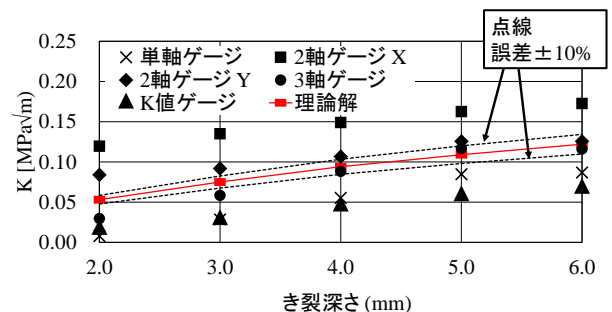


図-3 き裂深さにおける K 値の推移

3. ひずみゲージによるき裂深さの検知について

(1) 応力拡大係数

表-1 に各ひずみゲージにおける K 値の算出手法⁴⁾⁻⁷⁾と、解析において設定したひずみの抽出条件（き裂先

キーワード ひずみゲージ, 疲労き裂, センシング, 応力拡大係数, ひずみ分布

連絡先 〒158-0082 東京都世田谷区等々力 8-15-1 東京都市大学 総合研究所 TEL:03-5706-3119

端からの距離・方向・計測点)を示す。図-3に各ひずみゲージから算出した K 値と応力拡大係数ハンドブックによる K 値の理論解⁸⁾を示す。図-3より、 K 値とき裂深さの関係として、き裂線方向 (X 方向) による 2 軸ゲージと K 値ゲージによる算出方法では、き裂深さが大きくなることで K 値は増加した。3 軸ゲージによる算出方法では、理論解に最も近似する K 値が算出された。しかしながら、単軸ゲージ、引張応力方向 (Y 方向) による 2 軸ゲージと 3 軸ゲージにおける算出方法では、き裂深さ 6.0mm での K 値は、き裂深さ 5.0mm での K 値よりも減少した。

これより、2 軸ゲージと K 値ゲージでの K 値の算出方法において、き裂深さが大きくなることで K 値は増加することから、応力拡大係数によって板厚方向に進展する疲労き裂を検知できる可能性を示した。

(2) き裂近傍部におけるひずみ値

図-4に示すようなき裂先端からの位置関係が異なるひずみ領域 A~D において、き裂深さにおけるひずみ値の変化を検討した。ひずみの抽出方法は単軸 5 連ゲージを想定し、直径 9.0mm の円形であるひずみ領域において、円の中心から 2.0mm 間隔に各方向に対する 5 点のひずみ値を算出した。図-5 (a) (b) において、き裂深さにおける領域 A~D での 5 点のひずみ合計値を示す。図-5 (a) (b) において、領域 B~D ではひずみ合計値に変化が見られなかったが、領域 A ではき裂深さが大きくなることでひずみ合計値に変化が見られた。き裂深さ 2.0mm とき裂深さ 6.0mm でのひずみ合計値を絶対値で比較すると、 ϵ_x では約 70%減少し、 ϵ_y では約 40%減少した。これらは、き裂線方向 (X 方向) の圧縮ひずみの減少し、引張応力方向 (Y 方向) の引張ひずみが減少していることを示している。各方向のひずみ値の減少は、き裂深さが大きくなることでき裂の開口幅は拡大し、これに伴いき裂内部に生じる応力が解放されたことが考えられる。

これより、領域 A のようなき裂開口近傍部におけるひずみ値の変化から、板厚方向の進展する疲労き裂を検知できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 近藤良之：構造物に発生したき裂の K 値計測用ゲージの開発，日本機械学会論文集(A編)53巻 495号，pp.1977-1982，1977.11.
- 2) 宮田寛，楠本韶：三次元表面き裂の応力拡大係数について，日本機械学会論文集(A編)45巻 391号，pp.252-259，1979.3.
- 3) ABAQUS /Standard User's Manual, Ver6.12
- 4) 黒崎茂，野崎秀雄，福田収一：ひずみゲージによるモード I 応力拡大係数の測定，日本機械学会論文集 (A編) 56巻 524号，pp.196-202.1990.4.
- 5) 三木千壽：橋梁の疲労と破壊 事例から学ぶ，初版 第1刷，p.146，2011.10.
- 6) 國尾武・中沢一・林郁夫・岡村弘之：破壊力学実験法，p.41，朝倉書店，1988.3.
- 7) 黒崎茂，山地周作，小針達，兼平光隆，施村偉，志村穰：き裂の応力拡大係数用ひずみゲージの開発，日本機械学会論文集 早期公開，2015.3.
- 8) Y. Murakami : Stress Intensity Factors Handbook Vol. 2, pp.712-722, Pergamon Press, 1987.

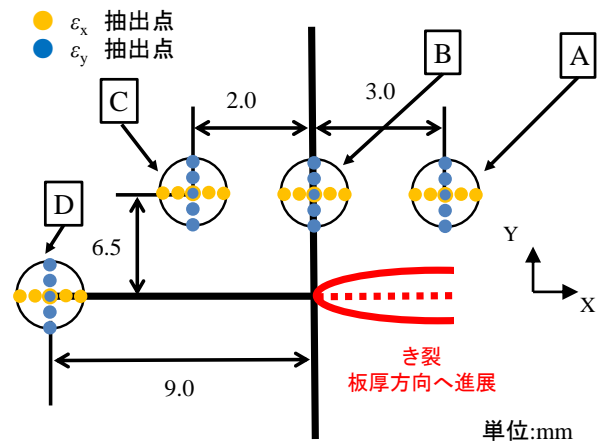
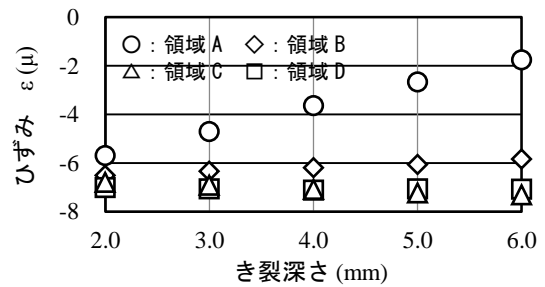
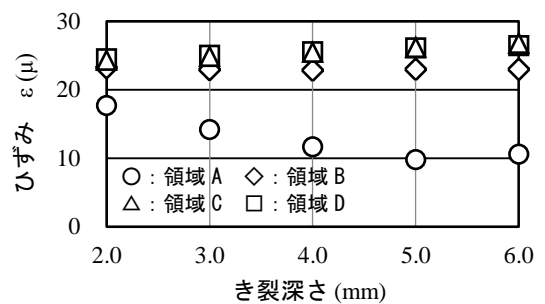


図-4 領域A~Dとき裂の位置関係



(a) ϵ_x 合計値



(b) ϵ_y 合計値

図-5 き裂深さにおけるひずみ値の推移

4. まとめ

板厚方向に進展する疲労き裂の検知を目的とし、FEM 解析を用いてひずみゲージによるき裂のセンシング手法の検討を行った。その結果、応力拡大係数とき裂開口近傍部のひずみ値の変化から、ひずみゲージによる板厚方向に進展する疲労き裂を検知できる可能性を示した。