

き裂形状をパラメータとした表面ひずみ特性に関する一考察

東京都市大学 学生会員 ○曾場 知世 東京都市大学 正会員 田井 政行
 東京都市大学 正会員 関屋 英彦 東京都市大学 学生会員 森近 翔伍
 共和電業 高木 真人 東京都市大学 正会員 丸山 収 東京都市大学 フェロー 三木 千壽

1. 概要

鋼橋の損傷の一つである疲労き裂は、部材の脆性破壊をもたらす可能性があることから、適切な補修補強が求められている。そのためには、疲労き裂の形状、特にき裂深さを正確に把握することが重要である。き裂深さを同定する方法として、超音波探傷試験を用いた手法が検討されている¹⁾。しかし、探傷には十分な技量が必要であることから課題が残る。この課題の解決に向け、著者ら²⁾は、簡易に応力拡大係数（以下、K 値と呼ぶ）を計測できる K 値ゲージによるき裂深さ同定を試みている。しかしながら、非貫通き裂に対する K 値ゲージの適用性の検証が不十分である。

そこで、本研究では、まず、非貫通き裂に対する K 値ゲージの適用性を検討するため、き裂深さをパラメータとした有限要素解析により表面ひずみ特性の変化を明らかにする。

2. K 値ゲージ概要

K 値ゲージは、K 値の推定用に、開発されたひずみゲージである。疲労き裂先端に K 値ゲージを貼付、周辺のひずみ分布を計測することにより、K 値の推定が可能である。本研究にて使用した K 値ゲージの概要を図 1 に示す。ゲージは G1、G2、G3 および G4 の 4 つのゲージ素子によって構成されており、それぞれのゲージ素子にて計測されたひずみの値を用いて、K 値を推定する。

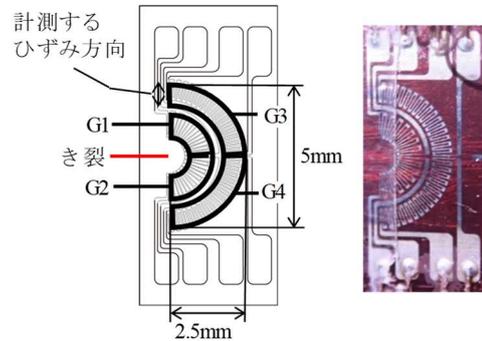
3. 既往研究

3.1. 実験概要

著者ら²⁾は、図 2 に示す試験片を用いて、疲労試験を実施し、K 値ゲージによる非貫通の疲労き裂に対するき裂深さの同定精度を検証している。疲労試験は、繰り返し速度を 6Hz、最小荷重を 0.6tf、最大荷重を 6.0tf とし、試験片の材料は SM490Y を用いた。計測は、ゲージの中心がき裂の先端に一致するように貼付し、き裂周りのひずみを計測した。K 値ゲージの計測後は、き裂の進展を確認するため、10 万回ごとにビーチマークを導入した。この一連の作業を試験片の破断まで繰り返した。

3.2. 計測結果

K 値ゲージを用いた K 値の算出式は次式(1)に表される³⁾。



(a) K 値ゲージの寸法 (b) K 値ゲージの外観

図 1 K 値ゲージ外観

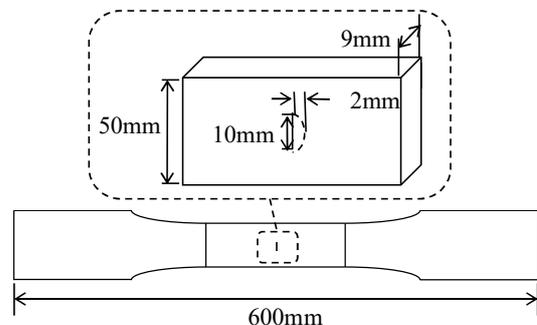


図 2 試験片概要

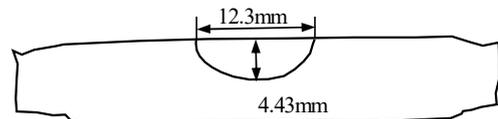


図 3 ビーチマークスケッチ

$$K_{Strain} = \frac{(\varepsilon_{G1} + \varepsilon_{G2}) - (\varepsilon_{G3} + \varepsilon_{G4})}{2F(R_1 - R_2)} \quad (1)$$

ゲージ素子 G1、G2、G3 および G4 のひずみを用いて、応力拡大係数 K_{Strain} を算出した。 K_{Strain} は開口モードにおけるき裂先端の応力拡大係数、 ε_i はゲージ G_i における計測値、 F は材料定数、 R_1 および R_2 は形状定数である³⁾。次に、推定した K 値の精度を確認するため、理論値として K 値ハンドブックから、応力拡大係数を求め、比較した⁴⁾。K 値ハンドブックより、半楕円表面き裂に対する K_{Shape} は次式(2)を用いて表される⁴⁾。

$$K_{Shape} = \frac{\sigma \sqrt{\pi b}}{E(k)} \cdot F_S \quad (2)$$

キーワード 疲労き裂、K 値ゲージ、応力拡大係数

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL:03-5707-0104 E-mail:g1981622@tcu.ac.jp

ここで、 σ は公称応力、 a はき裂幅、 b はき裂深さ、 $E(k)$ はき裂形状の情報から求まる値、 F_s はき裂形状と母材の形状から求まる値である。対象のき裂は、図3に示すピーチマークより、き裂幅 a が12.3mm、き裂深さ b が4.43mmとした。この結果、K値ゲージを用いて算出したK値と理論値のK値との誤差率は、17%となった。

3.3. き裂深さの同定

き裂深さの同定を試みる。式(2)よりK値はき裂形状と試験片形状、応力から求めることができる。K値とき裂深さの関係式からき裂深さの同定を行った。同定誤差は、23%となった。この誤差の要因として、K値ゲージの算出式が貫通き裂を仮定した式であるためだと考えられる。

4. FE解析による検討

4.1. 解析モデル

非貫通き裂に対するK値ゲージの適用性を検討するため、き裂幅・き裂深さをパラメータとした有限要素解析を行った。作成した解析モデルを図4に示す。解析モデルはき裂を中心とした際、対称となることから1/2モデルとした。き裂形状は半楕円表面き裂を仮定し、その大きさはき裂アスペクト比 ab を0.4とした。境界条件は対象面の变形がゼロとなるように固定し、端部に58.86kN(引張応力130.8MPa)を与えた。材料構成則は弾性係数 E を205GPa、ポアソン比 ν を0.3とした。 J 積分による応力拡大係数 K を算出するために、き裂の前縁には図5に示すように環状に要素(最小要素寸法0.1mm程度)を配置した。解析は、汎用有限要素解析ソフトABAQUS6.14による弾性解析を行った。

4.2. 解析結果

解析より得られた半楕円表面き裂の表面におけるひずみ分布を図6(a),(b)に示す。き裂幅10mm、き裂深さ2mmとしたひずみ分布を図6(a)、き裂幅20mm、き裂深さ4mmとしたひずみ分布を図6(b)に示している。図6(a),(b)より、き裂深さ・形状に応じて、半楕円表面き裂の表面におけるひずみの大きさ、分布が異なることがわかる。

5. まとめ

本研究では、有限要素解析により半楕円表面き裂の表面におけるひずみ分布を求め、き裂の深さ・形状に応じて、半楕円表面き裂の表面におけるひずみ分布が異なることを確認した。

今後の方針は、き裂深さ・形状に応じた表面のひずみ分布の変化から、K値を評価することにより、精度の良いき裂深さの同定を試みる。

謝辞

本研究は、東京都市大学と株式会社共和電業との共同研究「損傷検知センサの開発および無線計測システムに関する研究」の一環として実施したものである。関係各位に謝意を表します。

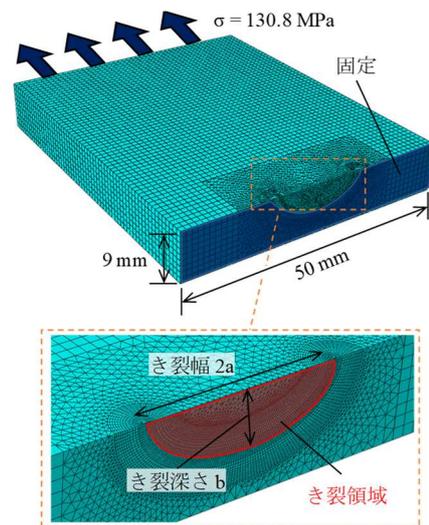


図4 FEMモデル

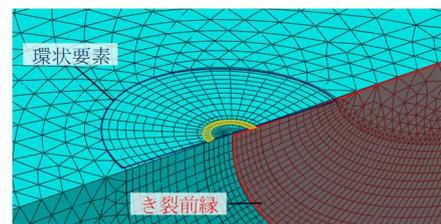
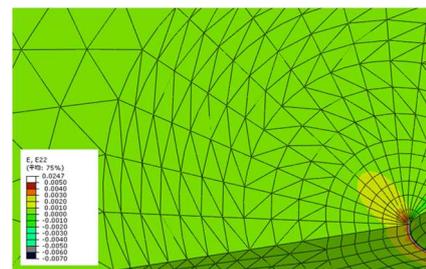
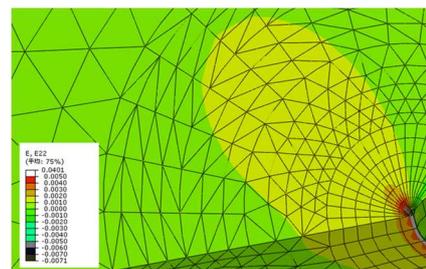


図5 き裂先端の要素の詳細



(a)き裂幅10mm、き裂深さ2mmとしたひずみ分布



(b)き裂幅20mm、き裂深さ4mmとしたひずみ分布
図6 ひずみ分布

参考文献

- 1)村越潤, 高橋実, 小池光祐, 木村友則: 鋼床版き裂の超音波探傷法, 国立研究開発法人土木研究所, 技術資料, p.1, 2015
- 2)曾場知世, 関屋英彦, 森近翔伍, 丸山収, 田井政行, 高木真人, 三木千壽: K値ゲージを用いた疲労き裂深さの同定, 第74回土木学会全国大会, 香川, 2019年9月
- 3)黒崎茂, 山地周作, 小針遼, 兼平光隆, 施村偉, 志村穰: き裂の応力拡大係数解析ひずみゲージの開発, 日本機械学会論文集, Vol81, pp2-8, 2015年
- 4)Yukitaka Murakami: *Stress Intensity Handbook*, Pergamon, 1987, pp712-715