# K 値ゲージを用いた疲労き裂深さの同定

東京都市大学 学生会員 ○曽場 知世 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 東京都市大学 正会員 丸山 收 琉球大学 正会員 田井 政行 共和電業 高木 真人 東京都市大学 フェロー 三木 千壽

#### 1. はじめに

疲労き裂は, 脆性破壊につながる損傷であるため, 適 切な補修補強を行うことが重要である. 特に鋼橋では, き裂が溶接止端部から発生したもの, ルート部から発生 したもの等を判断するために, き裂深さの推定が必要で ある. そのため, 疲労き裂の形状を正確に把握すること は重要である. これまで, き裂深さの推定方法として超 音波探傷試験を用いた手法がある. しかし, 浅いき裂に 対しては, 検査技術者に高度な技量と豊富な経験が要求 されるため技術面での課題が残っている<sup>1)</sup>.

そこで、本研究では、新たなき裂深さの同定手法を目 的とし、応力拡大係数(K値)を計測できる K値ゲージを 用いて、表面におけるき裂先端でのK値の計測を試みる.

#### 2. K 値ゲージ概要

K値ゲージは、表面のひずみ分布からK値を計測する センサである.今回用いたK値ゲージの寸法を図1(a)に、 K値ゲージの外観を図1(b)に示す.図1(a)に示す通り、K 値ゲージは、G1-G4までのゲージ素子で構成されており、 それぞれの素子でひずみを計測する.K値の算出は、計 測したG1-G4のひずみ応答より行う.

#### 3. 実験概要

き裂深さの同定を目的とした疲労試験を実施した.本 試験では、図2に示す試験片を用いた.試験片には長さ 10mm,深さ2mmとする非貫通のスリットを放電加工で 設けており、この箇所から疲労き裂を発生させた.試験 片にはSM490を用いた.

載荷条件は下限応力 13.1MPa, 上限応力が 131MPa, 繰返し速度を 6Hz とした.また,疲労き裂の形状,寸法を確認する目的で載荷 10 万回ごとに上限応力を一定としたまま応力範囲を 1/2 とするビーチマーク試験を実施した.

K 値ゲージの設置位置は、図3に示す通りであり、K 値ゲージは、疲労き裂を確認後にグラインダー処理は行 わずに、疲労き裂の位置に合わせて、K 値ゲージの中心

計測するひずみ方向 G3 G1 き裂 5mm G2 G4 2.5mm (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 2mm 10mm スリット  $\overline{\mathbf{x}}_{\mathbf{i}}$ 50mm 600mm 図2 試験片概要 センサ近傍 K値ゲージ

(a)K値ゲージ貼付位置外観(b)K値ゲージ貼付位置近傍図3 センサの貼付状況

がき裂の先端に一致するよう貼付を行う. K 値の計測 は、下限応力 22MPa,上限応力 131MPa とする応力範囲で 22MPa ごとに静的載荷することによって実施した. 疲労 試験は試験片の破断まで実施した.

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:g1518061@tcu.ac.jp

# 4. 計測結果

### 4.1 き裂の進展

試験片にビーチマークを導入し,試験片の破断面から き裂の進展を確認した.ビーチマークの外観を図4(a)に, ビーチマークスケッチを図4(b)に示す.図4(b)より,疲 労き裂は,載荷回数70万回から80万回の間で発生し, 半楕円状にき裂が進展していることが確認できる.試験片 は繰り返し載荷110万回から120万回の間で破断した.

### 4.1 応力とひずみとの関係

載荷回数 100 万回時に計測したひずみと応力との関係 を図5に示す. 応力とひずみは線形の関係を示している. 図5から, G1, G2 と G3, G4 で傾きがほぼ等しいこと がわかる. G1, G2 と G3, G4 はそれぞれ左右対称の中 心からの距離が等しい位置にあるため, グラフの傾きが 近しいものになっていると考える. また, G1, G2 のひず みが G3, G4 と比較して大きく計測された. き裂近傍の 応力分布はき裂先端に近いほど応力が大きいためき裂先 端からの距離がより近い G1, G2 のひずみが大きく計測 されたと考えられる.

#### 4.2 K 値の算出

K 値はゲージ素子 G1 から G4 でのひずみを用いて, 次式(1)で表される<sup>3)</sup>.

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

ここで、Fは、試験片の材料特性から決まる諸元値、Rは K 値ゲージの形状から決まる諸元値である.試験片の 材料特性と K 値ゲージの形状からFは 2.14×10<sup>3</sup>m<sup>2</sup>/N、  $R_1$ は 0.529mm<sup>-1/2</sup>,  $R_2$ は 0.375 mm<sup>-1/2</sup>となる.本研究では 22MPa と 131MPa の応力範囲である 109MPa での K 値を 算出した. 80 万回時のき裂形状での K 値は、9.07MPa $\sqrt{m}$ となった.

次にき裂形状を半楕円と仮定した場合にき裂幅とき 裂深さを用いる式を理論値として K 値を算出した.表面 における半楕円の K 値は次式(2)で表せる<sup>4</sup>.

$$K_I = \frac{\sigma \sqrt{\pi b}}{E(k)} \cdot F_S \tag{2}$$

ここで、bはき裂深さ、E(k)はき裂形状の情報から求ま る値、Fsは求める K 値の位置から決定する値、 $\sigma$ は応力 である。80万回時のき裂形状より K 値を算出し、表面での K 値は、10.96 MPa $\sqrt{m}$ となった。 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、17.2%とな った。





図5 載荷回数80万回のひずみと応力の関係

## 5. まとめ

本研究では、き裂深さの同定を目的とし、K 値ゲージ を用いて、疲労き裂先端のK 値の算出を試みた. 疲労試 験の結果からK 値ゲージを用いてK 値を算出し、き裂形状 を半楕円と仮定した場合にき裂幅とき裂深さを用いる式 から求まるK 値との比較を行った. 理論値との誤差率は 17.2%と小さく算出出来た.

今後は、K値ゲージから算出したK値に基づきき裂深 さの同定を実施する.推定したき裂深さと、ビーチマー クから確認できるき裂深さを比較し、この手法の、精度 を検証する.

### 謝辞

本研究の疲労試験は、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.

#### 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 年
- 2)黒崎茂,山地周作,小針遼,兼平光隆,施村偉,志村穣: 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
- 3)Yukitaka Murakami: Stress Intensity Handbook, Pergamon, 1987, pp712-715