

## K 値ゲージを用いた疲労亀裂進展予測手法の精度検証

|           |     |     |    |
|-----------|-----|-----|----|
| 阪神高速技術(株) | 正会員 | ○山上 | 哲示 |
| 阪神高速技術(株) | 正会員 | 塚本  | 成昭 |
| (株)共和電業   | 正会員 | 上杉  | 太郎 |
| (株)共和電業   | 正会員 | 篠崎  | 正樹 |
| (株)ニューテック | 正会員 | 藤田  | 成敏 |

### 1. はじめに

現在、道路橋等、鋼構造物の維持管理には、損傷の対処の優先順位付けが可能な、より合理的な亀裂等のモニタリング手法の開発が望まれている。

筆者らは、これらに対し各種特殊センサの開発を進めている。<sup>1)2)</sup>ここでは、近藤により開発されたK 値ゲージ<sup>3)</sup>による亀裂進展評価の有効性に着目し、あらためてゲージの製作から始め、K 値ゲージの精度ならびに亀裂進展評価精度の確認を行ったので、ここに報告するものである。

### 2. K 値ゲージの概要

線形破壊力学によれば、亀裂先端近傍の応力分布が分かれば複雑な境界条件であってもK 値を知り得る。そこで、開発されたのがK 値ゲージであるが、図1にK とK が計測可能なK 値ゲージの外観を示す。

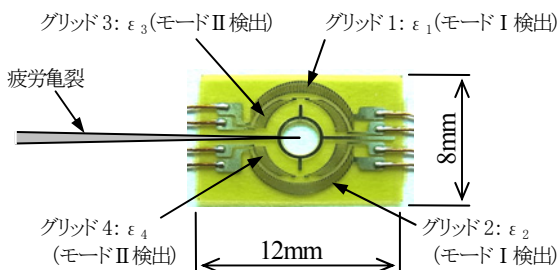


図1 K 値ゲージ外観と貼付イメージ

K 値ゲージひずみ出力  $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_4$  から、(1) 式により K、K が求められる。

$$\left. \begin{aligned} K &= C_1 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \\ K &= -C_2 (\varepsilon_3 - \varepsilon_4) \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

$C_1$ 、 $C_2$  は、K 値ゲージのパターンと材料のヤング率、ポアソン比により決まる定数であり、鋼材の場合、図2の様になる。

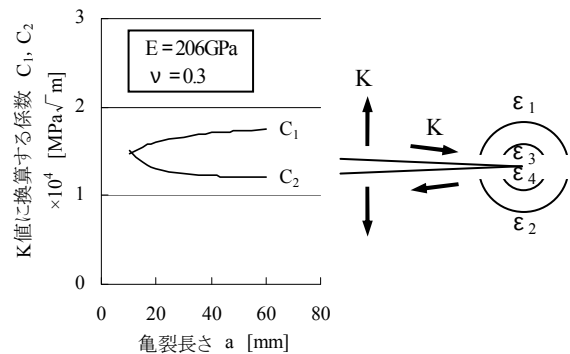


図2 K 値ゲージのひずみ出力を K 値に換算する係数

### 3. K 値ゲージ精度検証試験

一様引張りを受ける中央に亀裂を有する帯板に対する K 値理論値と比較できる平板母材に、中央亀裂を設けたモデル(材質: SM490A)を用い、K 値ゲージによる測定値とその理論値を比較し精度を検証した。なお、モデルは  $n=2$  (公称応力レベル、80MPa、120MPa) とし、亀裂長さ  $2a=20, 30, 40\text{mm}$  で K 値の比較を行った。

図3に、試験で得た K 値ゲージによる測定値と理論値の比較の図を示す。また、図中の理論値の  $\pm 10\%$  を示す補助線を併記した。 $\Delta K$  レベルで 15~35MPa $\sqrt{\text{m}}$  の範囲で実施したが、理論値に対し  $\pm 10\%$  の範囲であった。

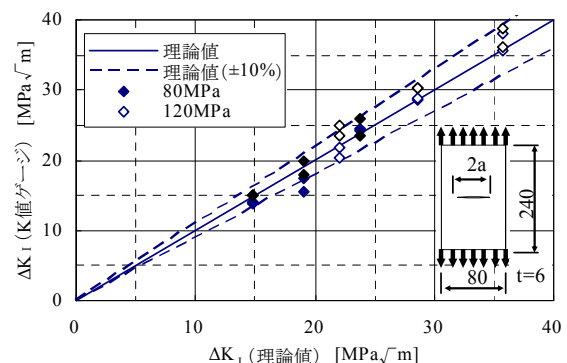


図3 K 値ゲージによる測定値と理論値との比較

キーワード 疲労亀裂, K 値, 進展予測, 鋼構造

連絡先 〒550-0005 大阪府大阪市西区本町 1-4-1 オリックス本町ビル 阪神高速技術 株式会社

TEL:06-6110-7200 FAX:06-6110-7300 E-mail:tetsuji-yamagami@hex-eng.co.jp

#### 4. 亀裂伝播試験

ここでは、前述の試験の中で亀裂伝播試験も併せて実施、繰返し数  $N$  と亀裂長さ  $a$  より亀裂進展評価に必要な  $\Delta K$  -  $da/dN$  の関係を求めた。試験条件は、荷重は  $K$  値検証試験と同様最大応力値 80MPa と 120MPa の 2 種、応力比  $R=0.1$  の定応力繰返しとし、試験速度は 15~30Hz とした。図 4 に試験で得られた  $\Delta K$  値 -  $da/dN$  の関係を示す。

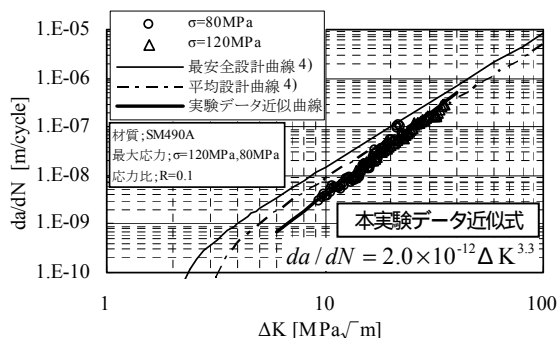


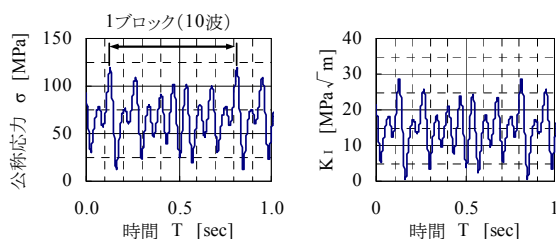
図4  $\Delta K$  値と疲労亀裂進展速度  $da/dN$  の関係

#### 5. K 値ゲージによる亀裂進展予測

前述と同じモデルを用い、実橋を想定したランダム荷重下による疲労進展試験を実施、 $K$  値ゲージによる亀裂進展速度予測を行った。

##### 5.1 ランダム荷重と $K$ 値ゲージ出力

試験荷重は、図 5 (a) に示した応力で上限 120MPa の大小異なる 10 波を 1 ブロックとした波形の繰返しとした。また、試験速度は 14.6Hz 一定とした。図 5 (b) に  $K$  値ゲージのグリッド 1 と 3 より求めたモード I の  $K$  値の時系列の波形を示す。



(a) ランダム荷重 (b)  $K$  値ゲージ出力

図5 試験荷重と  $K$  値ゲージ出力

##### 5.2 亀裂進展予測

当該期間の亀裂進展長さ  $a$  については、 $K$  値ゲージ時系列データの頻度処理結果と亀裂進展速度データから(2)式により線形累積を行い求めることができる。

$$a = \sum_i (da/dN)_i N_i \cdots (2)$$

ここで、 $N_i$  は  $\Delta K_i$  に対する頻度である。

ここでは、亀裂進展速度の試算にあたり 1 分間の計測データに対し、図 4 に示す実験データの近似曲線を適用した。本試験では、併せてクラックゲージ<sup>1)</sup>を用いた疲労亀裂進展の追跡を行った。図 6 に、両者より得られた時間と亀裂進展速度の関係を併せ示す。なお、図中の□は、亀裂長さ  $2a=20,30,40\text{mm}$  でのデータを示すが、各ポイントで殆ど差はなく、亀裂進展速度の異なる領域でも、ほぼ合致していることが示された。

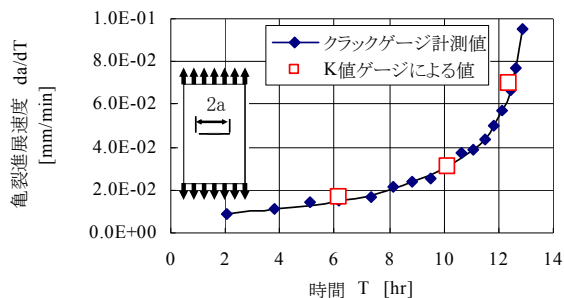


図6 亀裂進展速度の予測値と実測値の比較

#### 6. まとめ

$\Delta K$  で 15~35MPa√m の範囲で  $K$  値ゲージの精度を検証、さらに  $K$  値ゲージならびにクラックゲージを用い  $K$  を対象に亀裂進展評価を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1)  $K$  値ゲージ精度検証試験において、 $K$  値ゲージを用いて  $K$  値が理論値と  $\pm 10\%$  の範囲で計測出来ることを確認した。
- (2) 実橋を想定した変動荷重下の試験において、 $K$  値ゲージによる亀裂進展速度の予測値と実測値がほぼ一致した。

以上、 $K$  値ゲージにより、亀裂進展予測が可能であり、亀裂進展速度の指標を取り入れることで、維持管理における優先順位付けなどに活用出来るものとする。

#### 【参考文献】

- 1) 津田仁, 上杉太郎, 塚本成昭, 山上哲示: 鋼床版疲労き裂進展監視モニタリングシステム, 土木学会第 65 回年次学術講演会概要集, -124, pp.247-248, 2010.9
- 2) 上杉太郎, 藤田成敏, 塚本成昭, 山上哲示, 坂野昌弘: ホットスポット応力計測用特殊センサの開発と鋼床版への試適用, 鋼構造年次論文報告集, 第 18 巻, pp.139-144, 2010.11
- 3) 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, 1987.11
- 4) 社) 日本鋼構造協会編: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 技報堂出版, 2010.12.