疲労き裂への応力拡大係数解析ひずみゲージの適用

(株)共和電業	正会員	○齊藤順倫	正会員	高木真人	黒崎	茂
東京都市大学	正会員	横山 薫	フェロー	三木千壽		

1. はじめに

鋼構造物に生じた疲労き裂の評価には破壊力学パ ラメータの一つである応力拡大係数を使用すること が有効である.そこで第3著者らは,応力拡大係数解 析に特化したひずみゲージ(K値ゲージ)の開発を行 ってきた^{1),2)}.これまで,模擬き裂として,き裂幅 0.2mmの貫通き裂を放電加工機で板厚1.5mmの試験 片(SUS630-H900材)に挿入し,静的に引張載荷を行 い開発したK値ゲージの精度検証を行ってきた¹⁾.

一方鋼橋等の鋼構造物で発見されるき裂のほとん どは表面き裂であり,現在,開発した技術を表面き裂 へ応用することを考えている.本報では,その検討の 第1段階として,放電加工で貫通模擬き裂を導入した 試験体に繰返し引張載荷を行い,模擬き裂端部に疲 労き裂を導入し,導入した疲労き裂先端部のK値の解 析を実施した結果について報告する.

2. 応力拡大係数解析ひずみゲージ

2.1 応力拡大係数解析ゲージ(K値ゲージ)概要

使用した K 値ゲージのゲージパターンを図 1 に示 す. K 値ゲージは, ゲージグリッドを 0°から±90°に 配置して, ゲージ長 1mm で 4 枚のゲージ素子(G1~ G4)から成り立っている.



図1 K値ゲージパターン(11×9.5mm)

2.2 応力拡大係数の解析式

K 値ゲージのひずみ値から応力拡大係数を解析す る式に使われている文字について下記に示す.

 $r_1=1.5, r_2=2.5, r_3=3.5, r_4=4.5$ mm (🗵 1)

開ロモード応力拡大係数 K_1 式は、4素子を使用した式(1)を使用するが、狭溢部の K_1 を求める場合、2素子を使用した式(2)も提案されている.

$$K_{\rm I} = \frac{(\varepsilon_{G1} + \varepsilon_{G2}) - (\varepsilon_{G3} + \varepsilon_{G4})}{2F_1(R_1 - R_2)} \tag{1}$$

$$K_{\rm I} = \frac{\varepsilon_{G1} - \varepsilon_{G3}}{F_1(R_1 - R_2)}$$
(2)

本稿では、上記2式を使用した*K*_Iを比較する。 ただし式中の文字式を下記に示す.

$$F_1 = \frac{4(7-5\nu)}{9E(\pi)^{3/2}}, R_1 = \frac{(r_2^{3/2} - r_1^{3/2})}{(r_2^2 - r_1^2)}, R_2 = \frac{(r_4^{3/2} - r_3^{3/2})}{(r_4^2 - r_3^2)}$$

3. 実験方法

3.1 試験片

使用した試験片形状を図 2 に示す. 試験片の材質 は, SM400A である。試験片板幅 25mm(=2W),試験 片中央部に, 模擬き裂として放電加工で 10mm のス リットを挿入した.



3.2 疲労き裂の導入とひずみ計測方法

き裂先端部,表裏4箇所にK値ゲージを貼り,ひ ずみ測定を以下の2状態で行った.

(1) 繰り返し載荷前の模擬き裂の応力拡大係数解析

キーワード:応力拡大係数,疲労き裂,ひずみゲージ,破壊力学, 連絡先:〒182-8520 東京都調布市調布ヶ丘3-5-1 (株)共和電業 TEL042-488-1111 :〒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 TEL03-5706-3111

-749-

静荷重を階段状にして,静ひずみ測定を行った. (2)疲労き裂での応力拡大係数解析

(1)の実験後,一定の振幅による繰り返し載荷を行った. 0.7mm 程度の疲労き裂発生後,K値ゲージを 疲労き裂先端部に,再度貼替え,(1)同様にひずみ測 定を行った.き裂先端部の写真を図3に示す。



図3 模擬き裂先端部からの疲労き裂

4. 実験結果および考察

4.1 負荷応力対ひずみ値

疲労き裂先端部に K 値ゲージを貼付けた試験結果 を図 4 に示す. き裂の表側右を FR, 左側を FL とし, 裏側右を BR, 左側 BL とした. FR と BL が, 同一き 裂先端部の表裏となる. 図 4 は FL の疲労き裂の負荷 応力対 4 個のゲージ素子のひずみ値である. 解析的 に, G1=G2,G3=G4 が導かれている¹⁾が,本実験結果 も, この関係を裏付けている.



4.2 解析値と実験値との比較

K 値ゲージで得られたひずみ値から,疲労き裂の 応力拡大係数(K_1)を,解析値と比較した.なお, 本実験で使用した縦弾性係数はE=200GPa,ポアソ ン比 v=0.3 である.4素子式(1)で解析した図5と,2 素子式(2)で解析した図6である.その際,使用した 解析値は,有限幅板中の貫通き裂³の K_1 を使用した.

図 5,6の両図ともに,破線で示される誤差±10% 線図付近の値になっている.図 5 の 4 素子ゲージで は,FL,BL が,全体で誤差±10%内に入っているが, FR,BR は,最大 15%以内で得られている.



5. 結 言

応力拡大係数解析用ひずみゲージ(K 値ゲージ) を使い,疲労き裂の応力拡大係数を4素子式と2素 子式で求めた.その結果,両者の応力拡大係数は,解 析値との誤差が最大±10%~±15%で得られることが 明らかになった.

参考文献

1)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, Vol.81(2015)No.824 p14-00535

2)共和電業,応力拡大係数測定用ひずみゲージおよび応力拡大係数算 出方法,特許申請中(2014),特許申請番号 2015-011900.

3)C.E.Feddersen:Disccussion to:Okabe Strain Crack Toughness Testing of Metallic Materials,ASTM STP,410,p.77,1966