熱弾性応力分布計測結果の破壊力学評価による鋼構造部材の疲労き裂進展性評価

					神戸	■大学	正会員	○阪上	隆英
	本州四国連絡高速道路			正会員	溝上	善昭,	正会員	奥村	淳弘
神戸大学	正会員	塩澤	大輝,	学生会員	藤本	泰成,	学生会員	東	智之
				滋賀県立大学			正会員	和泉	遊以

1. 緒言

インフラ構造物の安全性を維持するためには、定 期的な検査と構造健全性評価、適切な補修が必要で ある.補修計画の立案上、構造部材に発生した疲労 き裂の進展性を評価することが重要である.本研究 では、赤外線サーモグラフィを用いた熱弾性応力分 布計測結果の破壊力学評価に基づく、疲労き裂進展 性評価の有効性を実験室レベルで検証した.鋼橋の 面外ガセット溶接継手をモデル化した試験体に対し、 板曲げ振動試験機による繰り返し負荷を与えること で発生した疲労き裂に対して、実測応力分布に基づ くき裂進展予測の可能性について検討した.

2. 計測方法

2-1 熱弾性効果

断熱状態の材料に弾性変形が生じる時,主応力和 Δσと温度変化ΔTの関係は次式のように表される.

$$\Delta T = -\frac{\alpha}{\rho C_p} T \Delta \sigma = -kT \Delta \sigma$$
(1)
 α :線膨張係数, ρ :密度, C_p :定圧比熱

T:絶対温度, k:熱弾性係数

赤外線サーモグラフィを用いて得られる温度変動デ ータから,式(1)に基づき主応力和の変化量を求める ことができる.

2-2 応力拡大係数評価

図1に示すような無限板中に存在するき裂を考える.赤外線サーモグラフィによって得られる主応力 $\pi \sigma_r + \sigma_{\theta}$ とモードIの応力分布解の級数展開式の関係は,次式で表される.

$$\sigma_r + \sigma_\theta = \left(\sqrt{\frac{2}{\pi r}}\cos\frac{1}{2}\theta\right)K + C_2 + \left(\sqrt{r}\cos\frac{1}{2}\theta\right)C_3 + \cdots$$

本研究では式(2)の右辺第1項のみを考慮した関数形 に対し,データフィッティングにより応力拡大係数 *K*を算出した.



図1 き裂前縁と座標系

3.試験方法

本実験で用いた試験体(SM400鋼)は、図2に示す ような面外ガセット溶接継手試験体である.図3に 示す板曲げ振動疲労試験機¹⁾を用いて、試験体に繰 り返し曲げ負荷を加えた. 試験体を片持はり状態に なるよう架台に固定し, 試験体の先端に偏心錘を有 するモータを設置し, 偏心錘を回転させた時の共振 により、試験体に繰り返し曲げ負荷を加えた. 試験 体に貼付したひずみゲージにより、負荷の初期条件 を,応力比 R=0,応力範囲 60,80,100 および 120MPa の4条件に設定して試験を行った.本試験では、き 裂進展評価の対象を,溶接部に発生・進展する半楕 円形状の表面き裂とした.このため、試験体の裏面 に取り付けた銅線の破断を検知することで、き裂の 貫通を検知し、き裂貫通前の計測データのみを用い て,疲労き裂の進展性評価を行った.試験体表面に は、赤外線計測の精度を向上させるため、測定対象 表面の反射を防ぎ、放射率を向上させるための黒色 塗料を塗布した.

キーワード 赤外線サーモグラフィ 熱弾性応力計測 非破壊評価 疲労き裂 鋼構造 連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科



4.試験結果

まず,き裂先端近傍に設定した評価点に作用する 実働応力とき裂進展速度の関係について調べた.き 裂先端のごく近傍では,熱拡散の影響により,正確 な熱弾性応力計測を行うことが困難であるため,本 研究ではき裂先端から進展方向に 5mm 離れた位置 に作用する応力振幅を用いた.初期応力範囲 60,80, 100,120MPa の各条件で行った試験結果として,得 られたき裂進展速度と応力振幅の関係を図4に示す. 図4を見ると,赤外線計測により得られた評価点の 応力振幅とき裂進展速度の間には,正の相関が見ら れている.したがって,き裂先端近傍の評価点の応 力振幅を実測することで,疲労き裂の進展性を大ま かに推定できることがわかる.

次に,き裂先端近傍の応力状態をより精度よく定量的に評価するために,き裂先端付近の応力分布を もとに,式(2)を用いて応力拡大係数範囲を算出した. 赤外線計測によって得られた応力拡大係数範囲の精 度を評価するため,太田ら⁽²⁾が行った SM490 鋼に対 する実験結果における,疲労き裂伝ぱ速度 da/dn と拡 大係数範囲ΔKの関係式

$$da/dn = C\left(\Delta K^{m} - \Delta K_{th}^{m}\right) \tag{3}$$

との比較を行った.太田らの実験結果によれば,き 裂進展曲線から求めた定数は,*C*=4.80×10⁻¹³,*m*=3.68, $\Delta K_{\rm th}$ =9.3 σ to δ .

初期応力範囲 60, 80, 100, 120MPa の各条件で行った試験結果として,得られた応力拡大係数範囲とき裂表面長さに関するき裂進展速度との関係を図 5 に示す. 図中には式(3)による曲線を併記している. 図 5 からわかるように,き裂進展速度は熱弾性応力分布計測結果から算出した応力拡大係数範囲に対して両対数グラフ上で直線上にプロットされる,パリス則が成立していることがわかる.また,応力拡大係数範囲とき裂進展速度の関係は,太田らの実験結果と同様の傾向を示している.き裂先端付近の熱弾性応力分布から算出した応力拡大係数からき裂進展性評価が可能であることから,実橋の構造部材に対して本手法を適用することで,き裂進展性予測や補修効果検証を行うことができると考えられる.



- 石川 敏之,山田 健太郎,柿市 拓巳,李 薈, "ICR 処理による面外ガセット溶接継手に発生し た疲労き裂の寿命向上効果",土木学会論文集, 2010
- 2) 太田昭彦,鈴木直之,小菅通雄,前田芳夫,廻俊 夫,圧力容器用鋼及び構造用鋼突合せ溶接継手の 疲労き裂伝ぱ特性,データシート資料集,1995