

330 AE法による疲労き裂進展・遅れ遅延挙動の解析

Analysis of Fatigue Crack Growth and Retardation Behaviour by Acoustic Emission

○学 石川 鉄也 (東京電機大・院) 正 辻 裕一 (東京電機大・理工)

Tetsuya ISHIKAWA, Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama, Hiki-gun, Saitama
Hirokazu TSUJI, Tokyo Denki University

Key Words: Fatigue Crack Closure, Retardation Behaviour, Acoustic Emission, Source Location

1. 緒言

荷重履歴が疲労き裂進展挙動に影響することはよく知られている。中でも過大荷重負荷による疲労き裂進展の遅延挙動について多くの研究がなされており、き裂進展の遅延を表したモデルもいくつか考えられている。また多くの場合、き裂進展長さの測定は試験片表面で行われているため、過大荷重負荷直後ではなく、ある程度き裂が進展した後に遅れ遅延現象を示すことが報告されている⁽¹⁾。遅延現象の原因・機構については、過大塑性域による圧縮の残留応力やき裂閉口現象⁽²⁾が考えられているが、過大荷重負荷直後のき裂閉口の実測に基づく定量的な検討は少なく、未だ解明されていない点が多い。

本研究では、AE法を用いて単一過大荷重負荷によるき裂進展の遅れ遅延挙動についてき裂閉口挙動との関連で検討したので報告する。

2. AE位置標定システム

AE源の位置情報を得るため、各AEセンサに到達するAE信号の到達時間差から平面内AE位置標定を行う。図1にAE法による K_{cl} 評価方法⁽³⁾を示し、図2にAE法による計測システムの構成図を示す。

構築したAE位置標定システムは、受感部5mm径の小型AEセンサ4個(Ch.1~Ch.4)と、試験片上下面に取り付けたAEセンサ2個(Ch.5, Ch.6)、プリアンプ、AE解析装置、A/D変換ボード、及びパーソナルコンピュータで構成されている。図2に示すように、小型AEセンサ(Ch.1~Ch.4)を、試験片の両側面上に10mmの正方形配置とすることにより平面位置標定を行う。小型AEセンサ(Ch.1~Ch.4)で検出されるAE波形は、各プリアンプ(増幅率40dB)で増幅され、さらに20dB増幅され、8ビット4チャンネルA/D変換ボードを介してパーソナルコンピュータに取り込まれる。AEセンサ(Ch.5, Ch.6)により検出した波形信号は、AE解析装置にてAE事象数のカウントとAE振幅の測定、及びコインシデンス処理が施される。AE位置標定は、4個のAEセンサへのAE波の到達時間差を測定することにより可能とした。

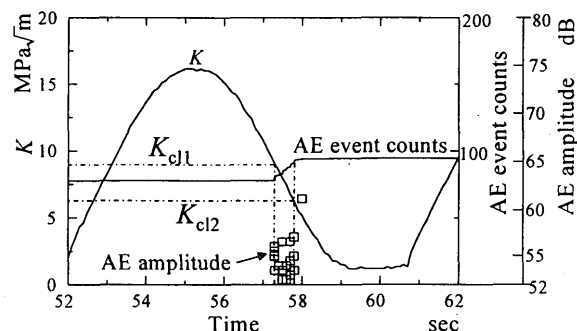


Fig.1 Determination of crack closure level by AE method.

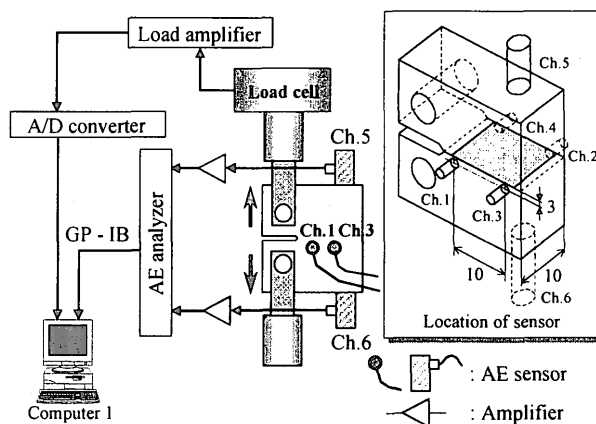


Fig.2 AE measuring system.

3. 供試材料・試験片ならびに試験方法

試験片の材質は、溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材(SMA490AW)であり、ASTM規格E647-95⁽⁴⁾に基づいて製作した1インチCT試験片(厚さ10mm)を使用した。

単一過大荷重試験では、過大荷重負荷時の応力拡大係数 K_h を $K_h=30\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ まで負荷し、 $K=0$ まで除荷する。その後、予き裂を導入した条件と同じく応力比 $R=0.05$ 、繰返し速度30Hz、 $\Delta K_f=15.5\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ にて ΔK 一定試験を行い、疲労き裂進展速度 da/dN 、およびき裂閉口を測定する。き裂閉口の測定法はAE法とし、AE位置標定を行う際は繰返し速度を0.02Hzに設定して測定する。

4. 疲労試験結果

4.1 疲労き裂進展の遅延挙動

荷重履歴の影響は、単一過大荷重負荷によって形成される過大塑性域により塑性誘起き裂開口を介して疲労き裂進展速度の遅延、つまり da/dN の低下として現れる。遅延現象は引張過大荷重により形成される塑性域内をき裂が進展することにより生じることから、塑性域寸法が大きくなる程強く影響する。図3に過大荷重負荷時の応力拡大係数を $K_{II}=30\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ に設定して単一過大荷重を負荷した後の da/dN とき裂進展量 $\Delta a (=a-a_0)$ の関係を示す。過大塑性域寸法は $r_p=0.609\text{ mm}$ である。

図3より、疲労き裂進展の遅延挙動が過大荷重負荷直後に現れておらず、き裂が 0.250 mm 進展した後に最大の遅延（遅れ遅延）が生じている。最大遅延を示すき裂長さは、従来から報告されている塑性域寸法の $1/3\sim 1/2$ 程度⁽⁵⁾ とほぼ一致している。

き裂開口レベルに関して K_{cl1} と K_{cl2} が実験的に定義されるが、前報での検討により K_{cl1} が意味を持つことが明らかにされている⁽²⁾。遅延に応じて K_{cl1} レベルは上昇し、最大遅延と K_{cl1} の極大とが対応している。最大遅延後は、き裂進展に伴い da/dN は徐々に上昇し、き裂開口レベル K_{cl1} は減少している。き裂進展が過大塑性域 ($r_p=0.609\text{ mm}$) を超えた地点で K_{cl1} レベル、 da/dN ともに単一過大荷重負荷前の定常状態時の挙動を示している。これは過大塑性域が塑性誘起き裂開口現象を増大させる結果と考えられ、AE法でこれらの特性が検出できている。

4.2 AE位置標定

本実験では、過大荷重により導入した塑性域内にき裂を進展させ、過大塑性ストレッチによる破面接触 AE の検出を試みた。図3に示す各き裂長さでの AE 位置標定結果を図4に示す。

(a)図は、過大荷重を負荷し、過大塑性域を導入した直後の段階である。き裂後方領域に破面接触が確かめられるが、き裂先端近傍に形成されている過大塑性ストレッチの接触は確認できていない。(b)、(c)図では、過大荷重負荷時のき裂先端近傍でわずかに接触が生じているが、き裂先端の過大塑性ストレッチの接触は確認できない。(d)図は、き裂進展が過大塑性域から定常状態に移行した状態である。き裂が閉口する際、特定の破面で接触していることから過大塑性ストレッチの影響を捉えている。

過大荷重負荷直後 (a)では、過大塑性ストレッチの接触を捉えていない。き裂面の接触速度は、き裂先端からの位置によって異なり、き裂先端では後方よりも接触速度が遅い。従って、過大荷重負荷直後では、き裂先端の過大塑性ストレッチの接触を捉えられないと考えられる。つまり、過大塑性域の位置がき裂先端に対して後方になるまで過大塑性ストレッチの接触を捉えられないことになる。

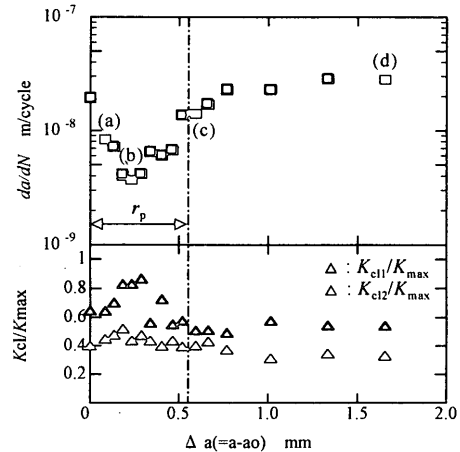


Fig.3 Relation between da/dN and ΔK .

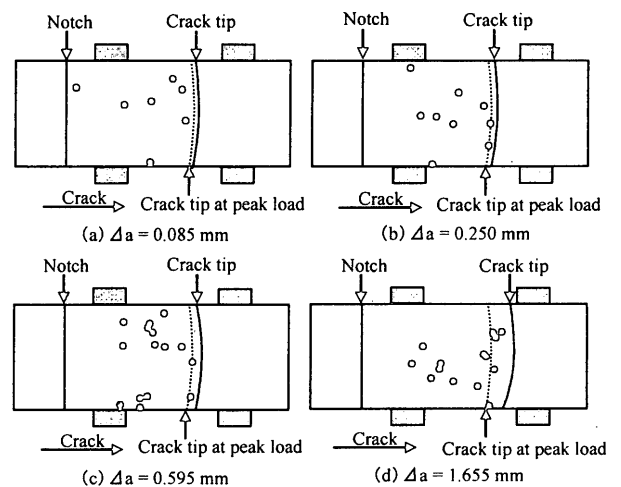


Fig.4 Result of source location under fatigue test.

5. 結 言

本研究では、AE位置標定システムを疲労き裂進展における単一過大荷重試験に適用し、以下の成果を得た。

- 1) $K_{II}=30\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ で単一過大荷重負荷直後、疲労き裂進展速度は最低にならず、き裂が 0.250 mm 進展して最大の遅延を示す遅れ遅延現象が生じることを確認した。
- 2) き裂開口レベルがき裂進展の遅延から定常状態への移行に伴って増加、減少を示していることから、AE法によりき裂開口現象を捉えていると言える。
- 3) 過大塑性ストレッチによりき裂が閉口する際、特定の破面が接触しやすくなるため、過大塑性ストレッチの分布をAE位置標定で明らかにできた。

文 献

- (1) 城野・金谷・ほか2名, 材料, **32** (1983), 1383.
- (2) 片山・加藤・辻, 機論, No.98-5, A (1998), 277.
- (3) W. Elber, ASTM STP **486** (1971), 230.
- (4) ASTM Standard, E647 - 95a, (1995).
- (5) 平野・小林・ほか2名, 機論, **46-410**, A (1980), 1040.