日本溶接協会 2025年度「次世代を担う研究者助成事業」成果報告

AE計測による疲労き裂の進展速度推定

清水　優
名古屋大学 大学院 工学研究科 土木工学専攻

1　はじめに

我が国では道路橋の老朽化が進行しており，鋼橋の溶接部からは大小様々な疲労き裂が多数発見されている。理想的にはこれらの疲労き裂をただちに補修することが望ましいが，技術者の労力や予算の制約を考えると，き裂の危険性に応じて優先順位をつけて対応せざるを得ない状況といえる。これまで，き裂の補修の優先度はその長さや深さから判断されることが多かった。しかし，き裂のサイズのみから，その後の進展速度を推定することは難しい。そこで，本研究ではき裂から発せられるAE（アコースティック・エミッション）を計測することで疲労き裂の進展速度を推定することを試みた。AE計測による疲労き裂の検知は古くは1970年代頃から検討されている技術であるが[例えば1),2)]，信号に対してノイズが大きいことや，データ量が莫大となるなど，実用化に課題があった。一方，近年では計測機器の発展や，ハードディスクの保存容量の増加，計算機の性能の向上により，AE原波形の計測や大容量データの取得が可能となった。このことから，本研究では改めて溶接継手を対象に，AE波による疲労き裂の検知および進展速度の評価を行った。

2　研究方法

面外ガセット溶接継手試験体を対象に疲労試験を実施し，き裂の発生，進展に伴うAEを計測した。試験体は主板および付加板の板厚を12mmとしたものを２体（SP-1, SP-2），16mmとしたものを１体（SP-3）とした。疲労試験には板曲げ振動疲労試験機を用い，回し溶接部の主板側止端からき裂を発生させた。試験体には，**図１**に示すようにひずみゲージを設置し，その応答値を止端位置まで線形外挿した値を応力範囲とした。応力範囲は全ての試験体で約60N/mm^{2}とした。AEセンサの設置位置は図１に示す通りである。AEセンサは周波数100～950kHzの広帯域センサを使用し，AEセンサで得た電圧信号は，

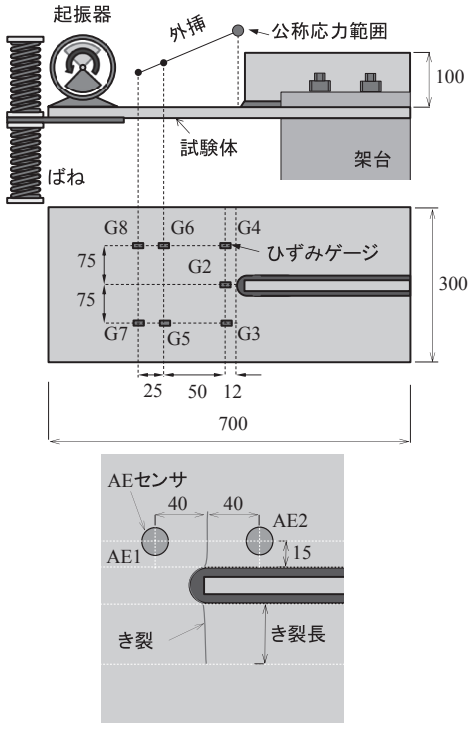

図１　試験体（単位：mm）

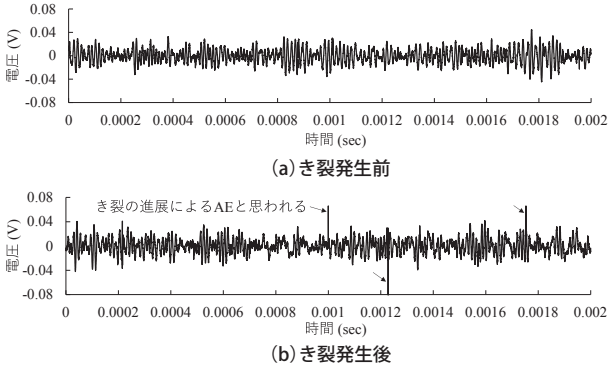

図２　計測したAEの例（SP-1）

増幅倍率40dBのプリアンプを介して，オシロスコープ（横河計測器スコープコーダDL950-D-HJ）で計測した。

計測のサンプリング間隔は2.0×10^{-7}secとし，トリガレベルを50mVとしてトリガの前後0.001secの範囲のデータを取得した。図１に示すようにすみ肉溶接の止端からき裂長を定義し，SP-1およびSP-3ではき裂が５mm進展するごとに，SP-2ではき裂長が１mm進展するごとに疲労試験を中断し，約100秒間のAE計測を行った。

3　主な研究成果

3.1　AE波形

き裂発生前およびき裂発生後のAE波形の例を**図２**に示す。なお，き裂発生前にはトリガレベルに達する波形がないため，マニュアルでAEを計測した。図２(b）に示すき裂発生後の波形では，き裂の進展によるものと考えられる突出した波形が見られ，その発生頻度はき裂長により異なった。FFT解析を行い，AE波の周波数特性を考察した。FFT解析の結果を**図３**に示す。810～830kHzの周辺に卓越周波数が見られ，その値はき裂が大きくなるほど大きくなっている。また，き裂長が大きくなると卓越周波数が低くなっていくことがわかる。

3.2　き裂進展との相関

各繰返し回数におけるAEの発生回数を**図４**に示す。同図には，各繰返し回数におけるき裂長もプロットと破線で示している。同図より，すべての試験体で，き裂長が大きくなるほど，AEの発生回数は大きくなる傾向が認められる。このことから，AEの発生頻度を計測することでき裂の発生を検知できるといえる。ただし，AEの発生回数が最も大きくなるき裂長は試験体によってばらつきがあり，本研究ではSP-1で約10mm，SP-2で約25mm，SP-3で約20mmであった。

AEの振幅と繰返し回数の関係を**図５**に示す。ここでは100秒間で計測したAEの振幅の平均値を示している。き裂長が上記の長さに達すると急激に振幅が大きくなっていることがわかる。

4　おわりに（今後の展望）

本研究により，溶接継手の止端から発生する疲労き裂をAEにより検知可能であること，およびその波形の周波数特性を把握できることがわかった。また，最もAEの発生頻度および振幅が大きくなるのは溶接部から10mm～25mmの位置までき裂の先端が到達したときであることがわかった。しかし，ばらつきが大きく，その要因分析は今後の課題である。今後は，本研究の成果を基に数値解析によるAEのシミュレーションを行い，AEセンサの設置位置等の検討に用いることを考えている。

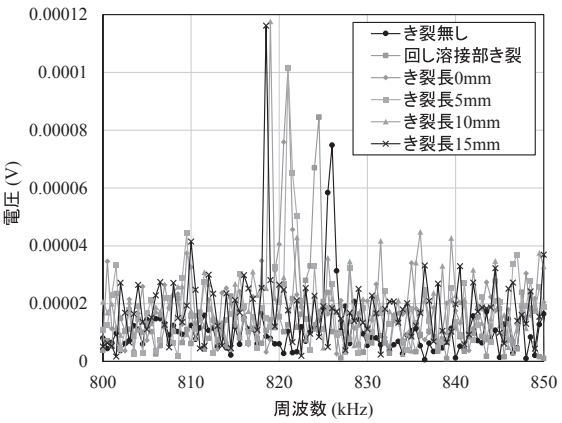

図３　計測したAEのFFT解析結果（SP-1）

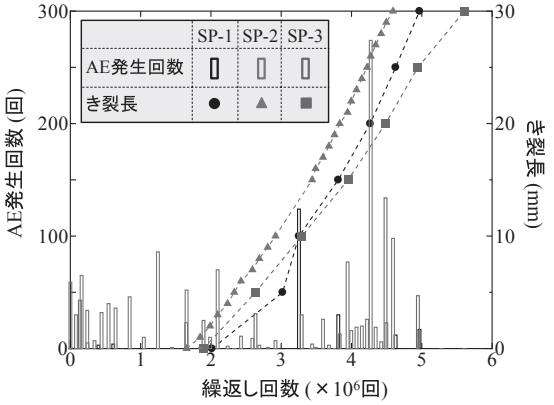

図４　繰返し回数およびき裂長とAE発生回数の関係

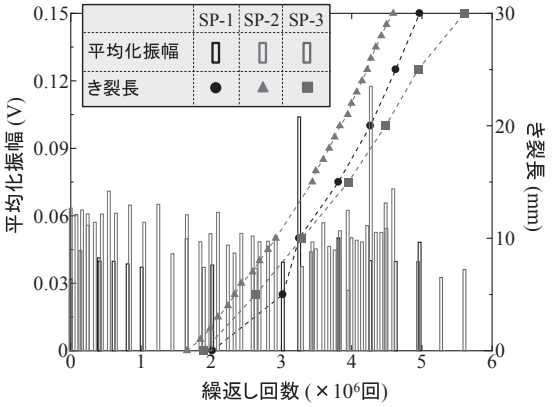

図５　繰返し回数およびき裂長とAEの振幅の関係

最後に，このような研究の機会をいただいた本助成事業に厚く御礼申し上げます。

参考文献

1）T.M. Morton et al., Engineering Fracture Mechanics, Vol.5, Issue 3, pp.691-692, 1973

2）T.C. Lindley et al., Materials Science and Engineering, Vol.32, Issue 1, pp.1-15, 1978.