

2つのAEセンサを用いた材料内部の微小破壊位置の推定

奈良工業高等専門学校電子制御工学科 ○田口裕紀 ◎西田茂生

要旨

AEセンサを用いた破壊箇所の特定には通常3つ以上のセンサが必要であるが、本研究では物理的にセンサの設置が難しい場合を鑑み、2つのみを用いる方法を提案する。1つのセンサは材料に全面接触、もう1つは半面接触させる。2つのセンサの反応時間差、前者の電圧ピーク値とAE波形の周波数スペクトル、及び後者の電圧のピーク値から波源を推定する。その結果、2つのセンサのみで波源の位置を特定した。

1. 緒言

AE(acoustic emission)とは、材料に亀裂が発生、進展した時に弾性波を放出することである。地震も、規模の大きなAEと考えることができる。現在は製品の検査や、建物の安全監視等に使われている。AE波は実際に破壊が生じるよりもはるかに以前から発生しているため、AE波の発生を捉えることで、材料内部の欠陥、破壊を予測することができる。本研究では、物理的に2つのセンサしか設置できない場合を鑑み、通常3つ以上で行われるAE波の波源の特定を2つのAEセンサのみで行うための手法を提案する。

2. 原理

AEセンサには圧電物質が使われている。材料を伝播してきたAE波がセンサ内に伝わると、圧電物質が歪むことで電気信号に変換される。センサがAE波を捉えるとオシロスコープ上にFig.1のような波形が現れる。

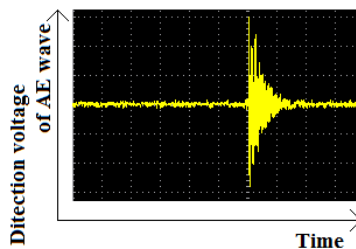


Fig.1 Voltage detection

検出された電気信号は非常に微弱であるため、通常はセンサの近くにプリアンプを設置することにより増幅される。プリアンプをセンサの近くに設置する理由は、検出したAE波には環境ノイズが入りやすいためである。増幅した信号をフィルタにかけて機械振動などの低周波の外部雑音を除去したあと、再び増幅される。総合的な増幅度は40~120dB程度であり、数 μ ~数mVの検出信号が数Vまで増幅される。増幅後に、出力信号に信号処理を行い、各パラメータを解析する。¹⁾

提案する手法では、Fig.2に示すようにそれぞれのセンサを材料の両端に設置する。センサ1は材料に全面接触させ、センサ2は半面だけの接触にする。2つのセンサの反応時間差を用いることで距離の差を、センサ1で検出した電圧値を用いることで、センサ1から波源までの距離を、センサ1で測定したAE波形の周波数を用いることで、AE波源の深さをそれぞれ求め、波源の候補点を2箇所絞る。さらに半面接触させたセンサの検出電圧のピーク値を用いることで、波源の方向を絞り、波源位置を推定する。このことにより、1回のみのAE波の発生から、波源位置の推定を行う。

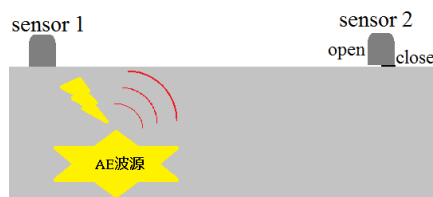


Fig.2 Schematic diagram of the AE wave detection system

3. 原理の検証のためのAE波の特性評価実験

3.1 評価実験条件

必要なパラメータを求めるため、AE波の特性を評価する。本研究では被測定素材に人工的にAE波を発生させることで各特性の評価を行う。

実験機器としてAEセンサはエヌエフ回路設計ブロック社のAE-901S、オシロスコープはReaptronix社のDSO-2202Bを使用し、実験材料には木材を用いた。木材の寸法は87×87×1000mmである。

人工的かつ、可能な限り一定の大きさのAE波を発生させる方法として以下のような方法を使用した。

AEセンサを設置した材料の隣に台を設置し、その上に直径12.5mmのプラスチック球を乗せる。プラスチック球を一度静止させた後、材料上に落下させることで、AE波を発生させた。

3.2 速さ特性

材料上に2つのAEセンサを設置する。センサ間の距離は0.5mである。2つのAEセンサを結ぶ直線上でAE波を発生させ、それぞれのセンサがAE波を検出した時間の差から材料内部でのAE波の速さを求める。

センサ間の距離が0.50mの時、それぞれが検出した時間の差は平均で0.84msとなった。このことより、実験に使用した材料内部でのAE波の速さは59.5×10m/sとなる。この値を用いて、それぞれのセンサから波源までの距離の差を求める。

3.3 距離特性

AE波源からの距離とセンサの検出電圧の関係を求める実験を行う。材料上に1つのAEセンサを設置する。そこから5、10、15、・・・75cmの距離の点でAE波を発生させ、その時にセンサが検出した最大電圧値を調べる。AE波源からの距離とセンサが検出した最大電圧値の挙動をFig.3に示す。ただし、図中のプロットは10回の実験結果の平均値である。

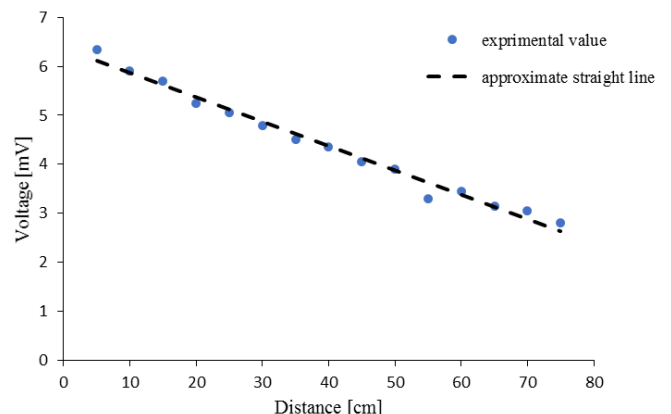


Fig.3 Relationship between the voltage and distance

Fig.3より、波源からの距離が増加すると、それに伴って最大電圧値が直線状に減少していることが分かる。これは、AE波が被測定物体内部を通過するうちに、そのエネルギーが減衰するためである。波源からの距離を x 、検出電圧を v として、

Fig.3 のデータに最小二乗法を用いて一次近似すると、次式となる。

$$x = \frac{6.46 - v}{4.96} \text{ [m]} \quad (1)$$

3.4 周波数特性

AE 波源の深さと周波数の関係を求める実験を行う。材料上に 1 つの AE センサを設置する。そこから 10,20,30,・・・70 cm の深さの点で AE 波を発生させる。観測した AE 波をオシロスコープでサンプリングし、そのデータにフーリエ変換を行うことによって、その周波数スペクトルを調べる。AE 波源の深さと周波数スペクトルの最大値をとるピーク周波数との関係を Fig.4 に示す。

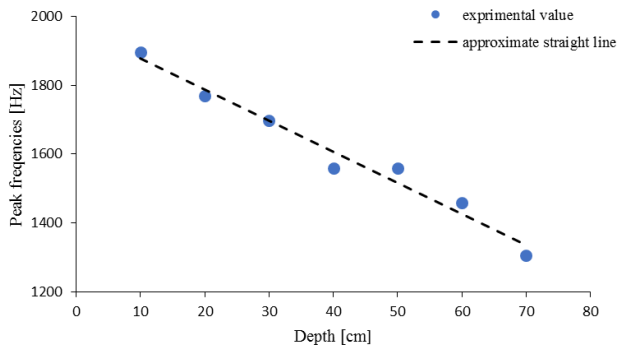


Fig.4 Relationship between AE source depth and peak frequency

Fig.4 より、波源が深くなると、それに伴ってピーク周波数が減少していることが分かる。これは、AE 波が被測定物体内部を通過するうちに、その通過距離に応じて AE 波がもともと持っていた高周波成分が発散し、減衰するために起こる。波源の深さを z 、ピーク周波数を f として、Fig.4 のデータに最小二乗法を用いて一次近似すると、次式となる。

$$z = \frac{1968 - f}{9.054} \text{ [cm]} \quad (2)$$

3.2 から 3.4 の結果より、AE 波源位置の候補点が 2 箇所まで絞られる。

3.5 方向特性

AE 波源の方向とセンサの検出電圧の関係を求める実験を行う。材料上に 1 つの AE センサを Fig.5 のように半面接触で設置する。半面接触させた AE センサから一定の距離の点で AE 波を発生させ、センサと波源の角度を Fig.6 のように変化させた時のセンサが検出した最大電圧値を調べる。波源の方向とセンサが検出した最大電圧値の関係を Fig.7 に示す。

Fig.7 より、波源の方向によって検出電圧のピーク値が変動していることが分かる。センサが接触している側から AE 波がきた場合に検出値が大きくなっている。このことより、波源がどちらの方向にあるかがわかり、3.2 から 3.4 の結果と合わせて AE 波源位置の特定が可能となる。

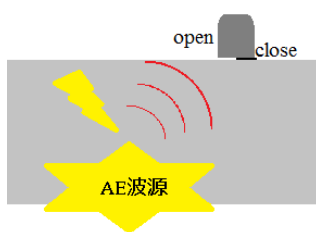


Fig.5 Schematic diagram of the direction detective system

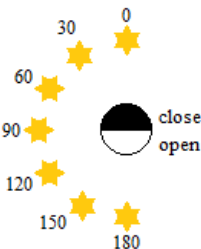


Fig.6 Angle of wave source

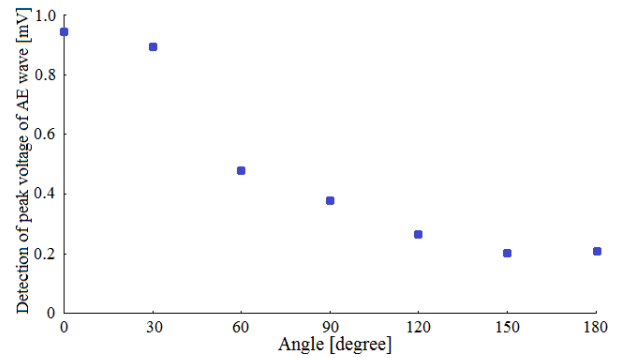


Fig.7 Relationship between sensor angle and detected peak voltage of AE wave

3.2 から 3.5 の評価実験より、提案手法によって AE 波源の位置推定が可能であることが確認できた。

4. AE 波源位置の推定

AE 波の特性評価実験で得られた値を利用して実際に波源位置の推定を行う。材料の両端にセンサを設置し、その中間点を原点とする。Fig.8 に示すようにセンサ 2 から見てセンサ 1 の方向を x 軸正方向、深さ方向を z 軸正方向とし、そこから右手系を形成できる方向を y 軸正方向とする。原点から x 方向 150mm、 y 方向 87.0mm、 z 方向 87.0mm の点で人工的に AE 波を発生させたところ、測定した結果の平均値、標準偏差はそれぞれ以下のようになった。

$$\begin{aligned} x &= 185 \pm 27.9 \text{ [mm]} \\ y &= 134 \pm 27.3 \text{ [mm]} \\ z &= 67.4 \pm 16.7 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

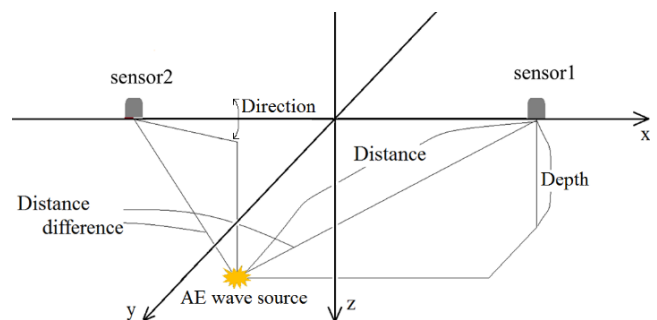


Fig.8 Three dimensional coordinates

この誤差の原因として考えられるのは、Fig.3、Fig.4 のグラフより求めた最小二乗法による近似式にずれが生じていること、使用した木材の不均一性などが考えられる。よって、この誤差を小さくするためには、距離特性、周波数特性に関する実験のサンプル数を増やし、より正確な近似式を求めること、使用した材料の均一性を調べるが必要となる。

5. 結言

今回の研究で 2 つの AE センサのみで波源を求める手法を提案し、実験によって原理の妥当性を確認した。また、実際に AE 波源の推定を行うことでこの手法の実用性を検証した。しかし、87mm 角で長さ 1000mm の木材において、水平位置で 60mm 程度、深さ方向で 20mm 程度の誤差を生じることがわかった。今後は、サンプル数を増やす等の方法で材料内部を通過する AE 波の特性についてより詳しく調べることでこの誤差を小さくすることが課題となる。

参考文献

- (1)アコースティック・エミッションの理論と実際 仲佐博裕 地人書館 1994