

電磁超音波探触子による構造部材内部欠陥の 定量的非破壊評価に関する基礎的研究

丸 山 真 一

論 文 の 内 容 の 要 旨

航空機および原子炉など、構造物に対する安全性・信頼性の要求が厳しくなるなかで、非破壊検査の定量化が強く望まれている。本研究では、こうした要請に応えうる手法の一つである、電磁超音波探触子(Electromagnetic Acoustic Transducer, EMAT)を用いた超音波送受信に注目し、その現象を数値解析により明確にすると共に、得られた結果を基に構造部材内部欠陥の定量的評価の可能性について検討を行った。

試料表面に渦電流を誘導する高周波電流コイルと、静磁場を印加する磁石から構成されるEMATは、電磁力により非接触で導体試料に対し超音波を送信し、その逆作用により非接触で超音波を受信する。この過程は、マクスウェルの方程式に基づく準定常電磁場の式、および弾性体の運動方程式により記述される。EMATによる超音波受信過程を明確にするために、試料に欠陥が無い場合の数値計算を行った。本論文では、最初に計算結果より弾性波の伝播を可視化し、P波とS波、すなわち縦波と横波のモード変換を伴う境界での反射波も含め、受信側に入射する超音波の伝播形態を明確にした。また、受信EMAT近傍での電磁場の分析により、受信コイル至近の試料表面に入射した超音波による弾性体の粒子速度と受信電圧とが良好に対応することを示し、EMATの超音波受信メカニズムを理論的に明確にした。次に、試料内に欠陥に対応した円柱状空洞がある場合の数値計算より、空洞、試料表面での反射、さらに空洞での回折からなる超音波伝播の挙動を分析し、受信波形の特徴と空洞との関係を明確にした。空洞のパラメータ、すなわち径および位置による受信波形の変化を説明し、送信側から受信側へ直行するP波の受信ピークの高さ、および空洞－試料表面間を多重反射したP波の受信ピークの出現間隔が、空洞のパラメータを顕著に反映することを示した。さらに、EMATによる超音波送受信実験を行い、実験および数値計算による受信波形の良好な一致より、数値解析の妥当性を確認した。

最後にEMATの受信波形から、試料内部にある円柱状空洞の径および位置を同定する問題について検討した。まず、受信波形の特徴的な情報、すなわち多重反射波受信ピークの出現間隔と直行P波の受信ピーク高さを利用して、空洞のパラメータを粗く推定する方法を示した。次に、パラメータの最適化問題に帰着させて、受信波形の逆解析により空洞のパラメータを同定する手法を示した。ここでは、空洞のパラメータと受信波形との対応を考慮し、局所解への収束を避けうる初期値の許容精度を示した。前述の粗い推定結果を初期値とすることで、この条件が満足されることを確認した。

これらの二種類の手法により、計算および実験結果の受信波形から、空洞パラメータが良好に同定された。

このように、数値解析を用いた現象把握および逆解析手法の適用により、構造部材内部欠陥の定量的非破壊評価法の確立が有望であることを示した。

以上