

氏 名	はやし 林 高 弘
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学 位 記 番 号	論エネ博第 19 号
学位授与の日付	平成 13 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	薄板中の超音波伝播とその非破壊検査への応用に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 松 本 英 治 教授 井 上 達 雄 助教授 西 村 直 志

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、大きな薄板部材に対して全数検査が可能な高速性と熟練した検査員を要さない客観性を備えた超音波非破壊評価手法を実現するための数値計算シミュレーション法と新しい空中超音波センサーを用いた非接触非破壊検査手法および波形処理技術についてまとめたものであり、7章から成っている。

第1章では、薄板の超音波非破壊検査の問題点および薄板中を伝播する超音波シミュレーションの問題点を明らかにし、本研究の目的を述べている。

第2章では、薄板中を伝播するラム波の基礎理論について、本研究で関連する内容を中心に詳細な検討を行っている。

第3章では、薄板の大領域検査に有効な超音波モードであるラム波の伝播挙動をより詳細に観察し解析するため、ハイブリッド境界要素法を用いたラム波伝播のシミュレーションを行っている。ハイブリッド境界要素法は、半無限平板領域に解析解を、欠陥や応力負荷点などの解析解の存在しない領域に境界要素法を適用し、計算時間の短縮や計算メモリの節約を図った高効率数値計算手法であり、これにより汎用のパーソナルコンピュータ上でも大領域を伝播するラム波のシミュレーションが可能であることを示している。

第4章では、ハイブリッド境界要素法では不可能であった積層平板中のラム波伝播挙動の数値計算にも適用可能な半解析的有限要素法の Strip Element 法を用いて、積層平板材料中のラム波基本モードの発生機構および伝播挙動について検討している。発生機構には、均質平板と積層平板で大きな差異は見られないが、伝播する基本モードにおいて積層平板では層状に変化する応力分布が存在する。また積層平板中に存在する剝離の周囲では、入射モードや剝離の層間位置、剝離長さによってラム波の伝播挙動に大きな違いが現れる。板厚方向に反対称な振動をおこなう A0 モードでは、剝離の端部（出口）において大きな反射波が見られ、それが繰り返されることによって多重反射波が出現する。一方板厚方向に対称な S0 モードでは剝離の出口における反射の際にモード変換を起こし波形が乱れるため、多重反射波は現れなかった。これらの現象を、剝離によって分断された2つの領域におけるラム波の位相速度と群速度の差によって説明している。

第5章では、空中伝播超音波センサーを用いた新しい非接触非破壊評価手法として空気結合超音波法による基礎実験を行い、この手法が非接触による超音波非破壊検査の新しい一手法として応用可能であること検証している。また空中伝播超音波センサーを用いた斜角入射法によって、これまで困難であった単一 A0 モードの励起が可能であり、平板中の欠陥評価が容易に行えることを確認している。

第6章では、多数の分散性モードが重畳するラム波受信波形の解析を容易にするために、重畳波形から単一モード波形の抽出手法を開発している。すなわち、ラム波の多点観測と2次元フーリエ変換およびフィルタリング、2次元逆変換を用いることによって実現している。多点でのラム波波形観測には、高速・高精度の観測を可能とする空気結合超音波法を用いた。この波形処理手法によって、シミュレーションで予見した欠陥周りの繰り返し反射現象を実験的に確認している。

第7章は、本論文の結論と将来の展望を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文はパイプラインや航空機機体などの大型構造物で用いられる薄板部材に対して、高速かつ客観性を持った超音波非破壊評価技術の実現を目的として、薄板中を伝播するラム波の数値計算法と波形処理技術の開発、空気結合超音波法による非接触非破壊評価技術の開発を行ったものであり、得られた成果は以下のとおりである。

1. 薄板の大領域検査に有効な超音波モードであるラム波の伝播挙動をより詳細に観察し解析するために、ハイブリッド境界要素法を用いたラム波伝播のシミュレーションを行った。ハイブリッド境界要素法は、計算時間の短縮や計算機記憶容量の節約を図った高効率数値計算法であり、これによりパーソナルコンピュータ上でも大領域を伝播するラム波のシミュレーションを可能とした。

2. ハイブリッド境界要素法では不可能であった積層平板中のラム波伝播挙動の数値計算に、半解析的有限要素法であるStrip Element法を用い、積層平板中のラム波基本モードの発生機構および伝播挙動について検討した。発生機構に関しては、積層平板では均質平板と大きな差異は見られなかった。一方、積層平板中に存在する剝離の周囲では、入射モードや剝離の層間位置、剝離長さによってラム波の伝播挙動に大きな違いが見られた。入射波を適切に選択することによって、剝離の端部（出口）において大きな反射波が現れ、それが繰り返されることによって多重反射波が得られた。これらの現象は剝離によって分断された2つの領域におけるラム波の位相速度と群速度の違いによってもたらされることが分かった。

3. 空中伝播超音波センサーを用いた新しい非接触非破壊評価手法として空気結合超音波法による基礎実験を行い、この手法が非接触による超音波非破壊検査の新しい手法として適用可能であることを示した。また斜角入射法によって、これまで困難であった単一A0モードの励起が可能であり、平板中の欠陥評価が可能であることを明らかにした。

4. 多数の分散性モードが重畳するラム波受信波形の解析を容易にするために、重畳波形から単一モード波形の抽出手法を開発した。すなわち、ラム波の多点観測と2次元フーリエ変換、フィルタリング、2次元逆変換を用いることによって実現している。多点でのラム波波形観測には、高速・高精度の観測を可能とする空気結合超音波法を用いた。この波形処理手法によって、シミュレーションで予見した欠陥周囲の多重反射現象を実験的に確認した。さらに、抽出したラム波の単一モード波形から、表面欠陥や積層平板中の剝離などの存在だけでなく、それらの位置や大きさも推定することが可能であることを検証した。

以上のように、本研究は薄板部材の高効率非破壊検査を目的とした、超音波伝播シミュレーション、超音波による非接触非破壊検査技術および信号処理技術の開発を行ったもので、得られた成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年7月11日に実施した論文内容とこれに関連した試問の結果合格と認めた。