

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 中田 諭志

海洋空間の利用や資源・エネルギー開発のための新形式の浮体式構造物については、波浪中における動揺特性や構造特性の把握が計画、設計の観点から重要であり、盛んに研究されている。一方で、建造後の浮体構造物の健全性を維持するための維持管理技術の確立も重要な課題であるが、前者にくらべて残されている課題は多い。本研究は浮体構造物の維持管理法に関して、浮体構造物に生じた比較的大きな損傷を、海洋音響の分野で用いられている海洋音響トモグラフィ技術や物理探査の分野で用いられている弾性波トモグラフィ技術を参考にして、弾性パルス波を用いたトモグラフィによる構造物の広域損傷検出法を提案し、その有用性を示したものである。

まず、最初に弾性波トモグラフィを用いた構造物の広域損傷検出法の基本原理について提案を行っている。構造物上に配置された送信点から送り込まれた弾性パルス波を、同じく構造上に配置された複数の受信点で計測し、健全時と損傷時の弾性波の受信波形の違いから損傷箇所の検出を行うまでの検出法の一連の流れを示すとともに、従来のトモグラフィ手法との違いを明確にし、その独自性を示した。提案手法は、二つの部分から構成される。一つは、構造物中を伝播する弾性波の伝播経路と各経路を伝播する弾性波が受信点に到着する時刻を求める計算プログラムである。弾性波は構造物中を境界で反射や屈折しながら、その度縦波と横波にモード分解を起こしながら伝播するが、これらを考慮して高周波近似による音線理論を用い伝播経路と伝播時間を求めるプログラムである。本プログラムについては、汎用有限要素法ソフトウェアによる弾性波伝播計算と経路算出プログラムにより算出した伝播経路と到達時刻が良く一致することを検証している。開発したもう一つのプログラムは、構造物をセルに分割し、健全時と損傷時の受信波形の違いから、影響の出た経路を抽出し、経路上にあるセルに損傷の可能性を割り付け、この作業を複数の経路について行うことで、損傷箇所を推定するプログラムである。判定アルゴリズムは、全ての伝播経路について損傷影響を受けた可能性のある経路の抽出を行った後に、損傷の影響を受けた経路上にあるセルに伝播距離の逆数を割り当て、全ての経路について同じ作業を行った上で、各セルに割り付けられた数値の和をとる和型アルゴリズムと、損傷の可能性について多数決型の判定を追加した和積混合型合成アルゴリズムの二種類の合成アルゴリズムを提案している。

次に、提案された弾性波トモグラフィによる広域損傷検出法の性能を確認するために、構

造物の基本的な形状として平板構造物を対象として、汎用有限要素法ソフトウェアを用いた数値シミュレーションとアクリル模型を用いた実験により検証を行っている。損傷箇所の推定については、一つ一つの受信点における結果は必ずしも正確とはいえないものの、複数の受信点の結果を合わせることで損傷箇所の妥当な推定結果が得られた。また、多数決型の判定を導入した和積混合型合成アルゴリズムによって良好な推定結果が得られることが示された。モード分解による縦波と横波の発生を考慮し、得られる伝播経路の個数を増やしたり、受信点の個数を増やすことでも精度の向上が図られることを確認した。さらに、検査の対象を平板で構成されたより複雑な 3 次元の立体構造にした場合についても検討を行っている。単純な箱型形状とより多くの面で構成された凸型形状の 2 種類について数値計算と模型実験により受信波の計測を行い、計測された健全時と損傷時のデータから損傷箇所の推定図を作成した。箱型構造物と凸型構造物ともに損傷箇所の位置を推定できることを示した。

最後に、提案手法の実用化に向けた検討として、損傷箇所のサイズや判定に用いるセルサイズを変更したときの手法の検出精度に関する検討を行い、検出しようとする損傷の大きさが、送信点で入力されるパルス波のパルス幅と同程度かそれ以上の場合に良い推定が行えることを示した。また、セルサイズについては、各セルを通過する経路の個数と解像度はトレードオフの関係にあり、セルサイズを小さくした場合は細かい解像度の結果を得ることができる一方、一つのセルを通過する経路の個数は減少するため検出精度が低下し、反対に、セルサイズを大きくした場合はセルあたりの情報量は増加するものの、解像度は低下することを示し、本手法の使用に際してはセルのサイズを適宜変更し、調整を行いながら妥当な推定結果を得る方法が有効であることを示した。信号の S/N 比を向上させるために、M 系列の擬似ランダム信号の利用も提案している。さらに、本研究で得られた知見に基づき提案手法の浮体構造物への適用に関する検討として、補強部材を有する防撓板に適用して、弾性波の伝播波形に補強部材の存在による影響が生じるものの、その影響は推定結果に大きな影響を及ぼさない程度であることを確認している。

以上より、弾性波トモグラフィによる浮体構造物の広域損傷検出法を提案し、検出アルゴリズムと検出プログラムの開発を行い、基本的な構造形状から複雑な構造形状に適用して、数値シミュレーションと実験によりその有用性を示すという成果を挙げた。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。