

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高速な時間領域境界要素法及びその非線形超音波シミュレーションへの適用
Title(English)	Fast time-domain boundary element method and its application to nonlinear ultrasonic simulation
著者(和文)	丸山泰蔵
Author(English)	Taizo Maruyama
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10240号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:廣瀬 壮一,天谷 賢治,三上 貴正,アニール ワイジェ,中村 隆志,斎藤 隆泰
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10240号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	丸山 泰蔵	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	廣瀬 壮一	教授	審査員	中村 隆志	講師
	審査員	天谷 賢治	教授		斎藤 隆泰	群馬大学 准教授
		三上 貴正	准教授			
		Anil C. Wijeyewickrema	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

既存構造物の調査・点検における非破壊検査の重要性が認識される中、構造物内部のきずの検出・評価に用いられる超音波試験の精度の向上が望まれている。特に閉じたき裂の検出には高調波や分調波などを用いた非線形超音波法が有効とされ、いくつかの研究が行われているが、分調波の発生原理が必ずしも明らかでないなど基礎的な課題も残されている。このような背景の下、本論文は、数値シミュレーションによる非線形超音波法への応用を念頭に、大規模波動問題を解くための演算子積分時間領域境界要素法 (CQ-BEM) の高速化を図り、CQ-BEM を用いた接触音響非線形性 (CAN) による非線形超音波に関する数値解析を実施したもので、「Fast time-domain boundary element method and its application to nonlinear ultrasonic simulation (高速な時間領域境界要素法及び非線形超音波シミュレーションへの適用)」と題し、英文全 7 章から成る。

第 1 章「Introduction(序論)」では、CAN による非線形超音波法および CQ-BEM を含む時間領域境界要素法の先行研究についてまとめている。さらに、非線形超音波の理論的アプローチの重要性と現状における時間領域境界要素法の適用限界について述べ、本研究の目的、論文の構成を記している。

第 2 章「Convolution Quadrature Time-domain Boundary Element Method (CQ-BEM) (演算子積分時間領域境界要素法)」では、時間領域境界要素法が非線形超音波シミュレーションに最も適した手法であるものの、時間方向の離散化を選点法によって行う従来型の手法には得られた解の安定性に問題があることを指摘し、その問題を解決するために陰的 Runge-Kutta (IRK) 法を用いた CQ-BEM を提案している。この手法をいくつかの 3 次元音響波動問題に適用し、安定した数値解が得られることを示している。ただし、この解法の計算量は大きく、大規模な問題を解くには計算の高速化が必要であることを指摘している。

第 3 章「Acceleration of CQ-BEM (CQ-BEM の高速化)」では、3 次元音響波動問題および弾性波動問題に対して高速多重極法(FMM)と高速畳み込み演算アルゴリズムによる CQ-BEM の高速化を提案している。その結果、時間ステップ数、要素数をそれぞれ N 、 M とすると、高速化をしない場合は計算コストおよび必要メモリ量のオーダーが $O(N^2M^2)$ であったのに対し、高速化によってそれぞれ $O(NM \log N \log M)$ 、 $O(NM)$ に低減されることを推定している。そして実際の数値計算によって推定された CQ-BEM の計算効率と計算精度を実証し、提案手法の有効性を明らかにしている。

第 4 章「3-D simulation of higher-harmonic waves due to an interface crack (界面き裂による高調波の 3 次元シミュレーション)」では、2 層材料の不完全接合部におけるき裂を非線形な接触条件が与えられた 3 次元界面き裂としてモデル化し、CQ-BEM を用いて数値解析している。非線形境界条件に含まれる接線方向速度を精度良く計算するために適切な定式化を用い、非線形超音波法における高調波の発生現象をいくつかの数値解析例によって示し、界面き裂モデルによる超音波の非線形性の特徴を明らかにしている。

第 5 章「2-D simulation of nonlinear ultrasonic waves due to interior and surface breaking cracks (内部き裂および表面き裂による非線形超音波の 2 次元シミュレーション)」では、CQ-BEM を内部き裂および表面き裂による 2 次元非線形超音波シミュレーションに適用している。特に分調波に着目して、複雑な形状を持つき裂や複数のき裂が配置されたモデルに対して、入射角、事前き裂開口幅、周波数をパラメータとして数値計算を実施している。その結果、分調波は限られたパラメータの組合せの場合に発生することが確認され、分調波の発生条件が線形なき裂モデルの疑似共振現象と深い関係を持つことを明らかにしている。また、内部き裂と表面き裂では、分調波の挙動が異なることも明らかにしている。

第 6 章「3-D simulation of nonlinear ultrasonic waves due to interior cracks (内部き裂による非線形超音波の 3 次元シミュレーション)」では、CQ-BEM を内部き裂による 3 次元非線形超音波シミュレーションに適用し、高調波および分調波に関する解析結果を得ている。その結果、3 次元問題では 2 次元問題とは異なり奥行き方向の長さが有限となることから、分調波の発生条件がき裂の奥行き長さによって影響を受け、奥行き長さが短い場合には 2 次元解析と比較して分調波の発生が抑制されることを明らかにしている。

第 7 章「Final remarks (結言)」では、本研究の総括を行うとともに今後の研究の展望について述べている。

以上要するに、本論文は、大規模波動問題を安定にかつ高速に解くための CQ-BEM を開発し、非線形超音波のシミュレーションに適用して高調波や分調波の発生を再現するなど、非線形超音波を用いた非破壊検査技術の向上に大きく寄与するものである。よって、本論文は工学上及び工業上貢献するところが大きく、博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。