

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	異方性および散逸性を有する媒質に対する時間領域境界要素法の開発
Title(English)	
著者(和文)	古川陽
Author(English)	Akira Furukawa
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9332号, 授与年月日:2013年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:廣瀬 壮一,樋口 洋一郎,三上 貴正,天谷 賢治,盛川 仁,斎藤 隆泰
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9332号, Conferred date:2013/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻:	情報環境学	専攻	申請学位(専攻分野):	博士 (工学)
Department of			Academic Degree Requested	Doctor of
学籍番号:			指導教員(主):	廣瀬 壮一
Student ID Number			Academic Advisor(main)	
学生氏名:	古川 陽		指導教員(副):	
Student's Name			Academic Advisor(sub)	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

土や岩石などの地盤材料や複合材料に代表される人工材料は異方性を有する場合が多い。また、地盤材料や人体を構成する骨などは、その間隙が流体で飽和しており、散逸性を示すことが知られている。このような媒質の力学モデルは、一般的に、異方性を有する媒質に対しては異方性弾性体、散逸性を有する媒質に対しては飽和多孔質弾性体を用いられ、これらのモデルに対する波動伝播および散乱現象に関する研究は、物理探査や地震工学、非破壊評価などの分野で広く行われている。しかしながら、これらの多くは散乱体の形状などに制約があり、限定された問題しか取り扱うことができず、得られる知見も十分なものとは言い難い。そのため、異方性・散逸性を有する媒質の波動問題に対する汎用性の高い数値解析手法の開発は、より実用的な問題を取り扱う上で、必要不可欠と言える。

波動問題の数値解析では、無限領域を取り扱うことが少なくない。境界要素法は、無限領域の取り扱いが他の離散解析手法(有限要素法など)と比較して容易であり、波動問題に対して有効な解析手法であることが知られている。また、時間領域境界要素法は、非線形問題への適用など拡張性も高く、工学的に重要である。

以上の背景を踏まえ、本研究では、異方性および散逸性を有する媒質の波動問題に対する時間領域境界要素法の開発を行う。本研究では、提案手法として演算子積分時間領域境界要素法を採用し、解析対象を異方性弾性体、飽和多孔質弾性体のみならず、異方性および散逸性の両方の性質を有する異方性飽和多孔質弾性体へ拡張する。異方性飽和多孔質弾性体の波動問題に対する境界要素法は、これまでほとんど報告例がなく、このような問題に対する基本解を独自に導出し、定式化を行った点が本論文の特徴である。

本論文は以下に示す 8 つの章から構成される。

第 1 章では、異方性および散逸性を有する媒質に関する既往の研究、提案する解析手法である境界要素法に関する既往の研究について整理した。その後、本論文の目的および位置づけを示した。

第 2 章では、異方性線形弾性体に関する基礎的な理論と波動論的特徴について述べた。はじめに、異方性弾性体の構成方程式、異方性の種類と弾性定数の関係を示し、その後、異方性弾性体に対する運動方程式から、媒質中を伝播する波動の特性方程式を導出した。特性方程式より、異方性弾性体中では、速度の異なる 3 種類の波動が存在し、それらの値は伝播方向によって変化することを示した。

第 3 章では、異方性および散逸性の両方の性質を有する媒質として、Biot によって提案された

異方性飽和多孔質弾性体に関する基礎的な理論および波動論的特徴について述べた。はじめに、Biot による力学モデルに対する構成方程式と異方性の分類について述べ、運動方程式から、この力学モデルに対する特性方程式を導出した。その後、Biot による力学モデル中を伝播する波動が、異方性および分散・散逸性を有することを確認した。

第 4 章では、提案手法である演算子積分時間領域境界要素法の概要について述べた。はじめに、畳み込み積分の離散近似手法である演算子積分法についてまとめ、その後、線形弾性体中の散乱体による入射波の散乱問題を例として、提案手法の定式化および離散化を形式的に示した。さらに、高速 Fourier 変換、基本解の複素共役関係を用いた計算時間短縮のための数値計算上の工夫について述べた。

第 5 章では、提案手法を用いた線形弾性体中のき裂による入射波の散乱解析を行った。定式化には、積分核に超特異性を含まない表面力境界積分方程式を用いた。ここでは、等方弾性体、異方性弾性体の両方に関する解析結果を示し、波動散乱の特徴について考察した。特に、異方性媒質に関する解析例では、き裂によって生じる散乱波の波面が、群速度曲線と調和的であることを確認した。

第 6 章では、異方性飽和多孔質弾性体中の空洞による散乱解析を行った。はじめに、異方性飽和多孔質弾性体に対する時間領域境界積分方程式を導出した。次に、本研究で独自に導出した異方性飽和多孔質弾性体の波動問題に対する Laplace 像空間における基本解を示した。数値解析例として、表面が全表面力フリーかつ非浸透性の空洞に対する入射波の散乱解析を行った。その結果、飽和多孔質弾性体を構成する間隙流体の粘性が、遅い縦波の伝播および散乱に影響を与えることを確認した。

第 7 章では、飽和多孔質弾性体中のき裂による散乱解析を行った。定式化は、第 5 章および第 6 章を参考に、き裂開口変位を未知量とする表面力境界積分方程式を用いた。数値解析例では、等方性媒質、異方性媒質の両方の場合における結果を示し、間隙流体の粘性に加えて、き裂に到達する入射波の種類および入射角の関係が、散乱波の発生に影響を与えることを確認した。

第 8 章では、各章で得られた結果をまとめ、本研究の結論を示した。その後、本論文の結論から得られた今後の課題と展開について述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 2 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 2 copies of 800 Words (English).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	情報環境学	専攻	申請学位 (専攻分野) : 博士 (工学)
学籍番号 : Student ID Number			指導教員 (主) : 廣瀬 壮一
学生氏名 : Student's Name	古川 陽		指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Rocks near the fault have aligned cracks which generate strong anisotropy and pores in the rocks are saturated with fluid which generates wave dispersion and dissipation. Alternatively, composite materials with layered structure also generate anisotropic effect. In some engineering fields such as earthquake engineering and non-destructive evaluation, the consideration of these effects is necessary for realistic wave analyses. However, in general, wave analyses are implemented by modeling these solids as isotropic elastic solids because the consideration of anisotropy and fluid effects on wave propagation complicates the numerical procedures.

Boundary element method (BEM) is known as an effective numerical approach for wave propagation because BEM can treat infinite or semi-infinite domains without any modifications. In recent years, the convolution quadrature time-domain boundary element method (CQ-BEM) has been developed. CQ-BEM requires Laplace-domain fundamental solutions and can improve the numerical instability of the conventional time-domain BEM. In addition, this fact shows that the CQ-BEM is able to analyze wave propagation with dispersion and dissipation properties in time-domain directly.

In this paper, the CQ-BEM for wave analyses in anisotropic elastic solids and fluid-saturated porous solids is developed. The proposed CQ-BEM formulation for wave propagation in fluid-saturated porous solids is based on the Biot's theory, for which a new fundamental solution for general anisotropic fluid-saturated porous solids has been derived in Laplace-domain and the effects of anisotropy and dissipation have been taken into account. Moreover, a new BEM formulation for wave scattering problem by a crack saturated with incompressible fluid in fluid-saturated porous solids has been developed.

Wave scattering problems are solved to verify our proposed CQ-BEM formulation. For anisotropic elastic solids, wave scattering problems by a crack are solved. For fluid-saturated porous solids, the problems by a cavity and by a crack are solved. Numerical results have been compared with theoretical features, and some important characteristics of wave scattering have been figured out.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 2 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 2 copies of 800 Words (English).