

審査の結果の要旨

氏名 趙 静

本論文は、Study of finite-difference time-domain analysis on sound fields with porous materials（多孔質材料を有する音場の時間領域有限差分解析に関する研究）と題し、吸音材として多孔質材料を用いた音場を、時間領域有限差分法を用いて効率的かつ精度よく計算する手法を提案し、その応用例を示したものである。

音場の時間領域有限要素解析において、精度よい吸音境界条件の取り扱いが重要な課題である。吸音材として多孔質材を用いた音場を解析する場合、広い周波数範囲にわたって多孔質材料の吸音特性を模擬する必要がある。この課題に対して、本論文では、音波が伝搬する多孔質材料を、剛骨格を有すると仮定した上で、その音響特性が等価となる一様な流体に置き換える「等価流体モデル」の考え方を導入することによって、解析精度の向上を図るとともに、過渡応答解析のスキームにZ変換を導入することによって、計算を効率化している。本論文では、このような解析アルゴリズムを具体的に定式化するとともに、実験結果や理論解との比較によってその妥当性を確認しており、以下に述べる6つの章でその内容を取りまとめている。

第1章では、研究の背景、目的について述べ、本論文の構成を示している。

第2章では、空気中および多孔質材料中を伝搬する音波を、時間領域有限差分法を用いて数値解析する既往の計算方法をまとめている。空気中の音波伝搬については最も基本的なYeeアルゴリズムを、多孔質材料中の音波伝搬については、レイリーモデルに基づく方法を取り上げてその概要を述べ、さらにZ変換を利用する計算方法についても言及している。

第3章では、多孔質材料中の音波伝搬を等価流体モデルに基づく時間領域有限差分法で数値計算するためのアルゴリズムを定式化している。最初に、多孔

質材料中の音波伝搬を計算するために等価流体モデルを導入し、材料特有の周波数特性を有する等価流体の有効体積弾性率と有効密度を、IIR フィルタとして設計する方法を述べている。次に、多孔質材料中の音波の過渡的挙動を、時間領域有限差分法を用いて計算するために、基礎方程式である運動の式および連続の式を Z 変換を利用しながら離散化し、IIR フィルタで表現した有効体積弾性率および有効密度を考慮しながら多孔質材料中の音波伝搬を逐次計算する方法を、1次元音場および2次元音場を対象として具体的に述べている。陽解法である時間領域有限差分法は、計算の数値的安定性がしばしば問題となる。そこで、低次の IIR フィルタ係数で表現できるいくつかの多孔質材料について、本論文で提案する等価流体モデルに基づく数値解析手法の数値安定条件を導出している。

第4章では、複層の吸音材で終端された1次元音場および2次元音場を対象として、本論文で提案する計算手法の検証を行っている。

最初に、基礎的な検討として、2種類の異なる嵩密度をもつグラスウール吸音材及び空気層を組み合わせ構成した終端をもつ1次元音場を対象に、インパルス応答を計算し、求めたインパルス応答から得られる垂直入射吸音率の周波数特性を1次元音場における実験結果と比較することによって、提案手法の妥当性を検証している。次に、2次元音場における検証のために、流動抵抗が異なる4層の多孔質材料で構成された吸音層を有する音場を対象に、吸音層表面における斜め入射吸音率を数値計算し、理論解と比較することによって、本論文で提案する計算手法の妥当性を検証している。

第5章では、提案する計算手法の応用として、楔型吸音材の吸音率に関する検討を行っている。

形状および背後空気層が異なる4種類の楔型吸音材を対象として、音響管の形状を模した2次元音場における数値解析を行い、定在波比法の原理に従って低周波数領域における垂直入射吸音率を計算している。求めた4種類の楔型吸音材の吸音率の計算結果から、楔の形状の違いによる吸音率の違いについて考察するとともに、音響管を用いて計測した垂直入射吸音率と比較して計算結果が妥当であることを確認している。

第6章では、5章までに述べた研究成果を取りまとめ、今後の課題と展望について述べている。

以上に述べたように、本論文は、多孔質吸音材中の音波伝搬を、時間領域有

有限差分法を用いて数値計算するために、等価流体モデルと Z 変換を組み合わせた新たな計算手法を提案するもので、実験や理論解との比較によって提案手法の妥当性が検証されている。時間領域有限差分法は、室内音響や外部騒音の予測のために用いられる代表的な数値解析手法の一つであるが、精度よい吸音境界条件の与え方が大きな課題となっている。この課題に対して、本論文に示された計算手法は一つの有効な手段を与えるものであり、建築音響学の発展に大きく寄与するものである。

よって、本論文は、東京大学大学院の博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。