

博士論文の要旨及び審査結果の要旨	
氏名	佐藤 隆政
学位	博士 (工学)
学位記番号	新大院博 (工) 第 526 号
学位授与の日付	令和 4 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
博士論文名	フレーム構造の音響特性に関する数理モデルの構築
論文審査委員	主査 准教授・坂本 秀一 副査 教授・新田 勇 副査 教授・平元 和彦 副査 准教授・横山 誠 副査 准教授・大嶋 拓也
<p>博士論文の要旨</p> <p>本論文では、フォーム材料の基本骨格と考えられるフレーム構造の吸音特性を見積もる数理モデルを構築した。数理モデルは一次元の伝達マトリックス法による理論解析によって構築され、形状諸元のみにより吸音率を予測する事が可能としている。さらに、数理モデルの構築にあたり、構成要素である剣山状構造の数理モデルから段階的にフレーム構造の数理モデルを構築した。結果的には 3 種類の構造について数理モデルを構築しており、多面的に吸音構造を検討する事を可能にしている。論文は以下の 6 章で構成されている。</p> <p>第 1 章では、緒論として、騒音対策の課題、吸音材開発の現状について概観すると共に、現状の吸音率のシミュレーション技術が現物による実測パラメータを必要とする問題点について触れ、それらを解決するための研究の目的、意義を示している。</p> <p>第 2 章では本研究に用いた測定装置であるインピーダンス管について説明し、第 3 章では本研究に用いた理論解析の共通的な事項について説明している。本研究では空隙部の粘性摩擦について、対象とする構造の幾何学的寸法から直接算出している。そのため、任意の構造や形状における隙間の効果を見積もるために「2 平面間の隙間への近似」と「伝達マトリックス法」を応用しており、それらの手法について説明している。</p> <p>第 4 章ではフレーム構造を構成する基本的な構造として、同一直径の複数の円柱が集めた剣山状構造の吸音特性を対象とした数理モデルを構築している。音波が円柱の軸方向から剣山状構造に入射する場合、音波が進行する空隙部は単純な形状ではない。そこで、隙間の粘性効果を考慮するために、周期的に連続する空隙部を要素分割し、それぞれを平行な 2 平面へ近似した。近似した 2 平面間の隙間から要素毎の伝搬定数と特性インピーダンスを求め、伝達マトリックスを導出している。理論解析の結果は全体的に実験結果よりも低い吸音率を示すが、周波数特性は良好な一致を示している。このことから、剣山状構造の吸音特性を幾何学的な寸法により見積られることが明らかになり、この数理モデルが適用可能である事を示している。</p> <p>第 5 章では剣山状構造において円柱群の軸方向に対し垂直な方向から音波が入射する場合の数理モデルを構築している。4 章との本質的な違いである、音波の入射方向から見た空隙部の断面積が連続的に変化する問題を扱っている。隙間の断面の連続的な変化を考慮</p>	

した粘性効果を見積もるため、試料を解析ユニットに分割し、各解析ユニットを音波の入射方向に要素分割している。得られた伝達マトリックスについて並列・縦続接続を行うことにより試料全体の伝達マトリックスを算出している。第4章と同様に、理論解析の結果は全体的に実験結果よりも低い吸音率を示すが、周波数特性は良好な一致を示している。これにより、空隙部の断面積が連続的に変化する場合についても、この数理モデルが実際の形状を反映している事を示している。

第6章では網目・フレーム構造について数理モデルを構築している。これらの構造では、第5章における円柱群同士が垂直に交差しており、音波の入射方向から見た空隙部の断面がさらに複雑に連続的な変化をしている。このような隙間の断面変化を考慮するため、周期的な構造を解析ユニットとして分割し、解析ユニットをさらに入射方向に分割している。フレーム構造は網目構造における空隙の層を剣山層の円柱で繋ぎ合わせたモデルとしている。ここでも、理論解析の結果は全体的に実験結果よりも低い吸音率を示すが、周波数特性は良好な一致を示している。このことから、網目・フレーム構造の吸音特性についても幾何学的な寸法により見積られ、この数理モデルが実用に供しうる事を示している。

審査結果の要旨

本論文は、吸音材料用のフォーム材料の基本骨格と考えられるフレーム構造の吸音特性を見積もるための数理モデルを構築している。数理モデルは一次元の伝達マトリックス法による理論解析によって構築され、形状諸元のみにより吸音率を予測する事を可能としている。さらに、数理モデルの構築にあたり、構成要素である剣山状構造の数理モデルから段階的にフレーム構造の数理モデルを構築している。

吸音材料の音響特性に関するシミュレーション技術は、**Biot** パラメータに代表される実用例があり、本研究で対象とするフォーム材料についても、**FormX**などの商用ソフトウェアが利用されている。一方、その利用方法は、現物の吸音材料から実測により得られたパラメータを入力することによる特性の予測となっている。このことが、吸音材料のモデルベース開発の障害となっている。

本論文では、以上を背景に、吸音材内部の構造や幾何学的な寸法から境界層の粘性効果を見積もるために、2平面間の隙間として近似して対処している。連続した断面変化に対しては音波入射方向に要素分割することで対処している。これらを数理モデルとして統合するために伝達マトリックス法を用いることにより、吸音率を導出している。数理モデルの妥当性に関しては、伝達関数法を用いた実験装置による実験結果と比較を行い、良い一致を確認している。最終的に、実験的パラメータを用いずに、吸音材内部の構造や幾何学的な寸法によって、吸音特性の予測が可能モデルとして完成させている。

以上の研究成果は、多孔性材料における音響特性に関わる様々な物理現象に対して理論的、および実験的に取り組んでおり、機械工学における動力学分野、ならびに騒音制御分野への貢献が期待される。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。