

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420606

研究課題名(和文) 孔あき板構造による低周波数吸音の実現と実用化開発研究

研究課題名(英文) Practical developing study on low frequency sound absorption by perforated plate structure

研究代表者

岩瀬 昭雄 (IWASE, Teruo)

新潟大学・自然科学系・名誉教授

研究者番号：30114391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：孔あき板の背後にチューブ状延長部品を配置するヘルムホルツ構造を基に低周波数における高吸音構造の実用化開発の研究を実施した。形状寸法を様々変化させた多数の試験体を対象に、音響インピーダンスと吸音率の音響管計測を行い、得られた音響特性の形状や周波数への依存特性を整理し、形状寸法の値から共鳴周波数とその音響インピーダンスや吸音率が予測可能な計算モデルを見い出した。これに基づき、例えば50Hzの低周波において波長の1/40の厚さで100%近い吸音率が得られることを実証した。これは共鳴器の小型化が可能を意味し、ペアガラス構造の遮音欠損に対して小型共鳴器の中空部挿入で軽減する方法の実用的有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Study on Helmholtz resonator with extension tube material behind opening hole to realize high sound absorption at low frequency was executed. In this research, measurements of acoustic impedance and the sound absorption coefficient for a lot of various test samples by use of sound tube method were executed.

Relation and dependence of the acoustic impedance on shape sizes and frequency were arranged. As the results, computing model to predict the resonant frequency, the acoustic impedance, and the sound absorption coefficient could be established, and for example, high sound absorption coefficient of 100% at low frequency 50 Hz by very small size with thickness of 1/40 of wavelength was proposed. stance based on this model. It means miniaturization of the resonator can be realized, and recovering way for efficiency of sound insulation lost in double leaf glass window by inserting of the small resonator was proposed. Effectiveness of our proposal was confirmed by experiments.

研究分野：建築音響、騒音制御

キーワード：ヘルムホルツ共鳴器 低周波騒音 音響管法 音響インピーダンス 吸音率 ペアガラス 低音域共鳴透過

1. 研究開始当初の背景

これまでの騒音対策の成果がようやく現れて来たのか、道路や鉄道からの耐えられないレベルの高い騒音、吊り橋や工場的大型機器から低周波騒音が周辺家屋に伝搬して建具を揺する低周波空気振動などのいわゆる公害型の騒音問題からレベルは低くても特定の低い周波数の音が近隣から聞こえてきて睡眠妨害や体の不調を訴える問題へと解決すべき騒音対象が移っている。その要因は地球温暖化の抑制のためと推進される風力発電や普及著しいヒートポンプ型熱源機器などからの騒音に低周波数の純音成分が卓越して強く感じ取られてことであり、苦情を訴える例が増しているのに有効な対策法が見出せない現状がある。

新しく設備機器を設置して初めて低周波数の騒音問題として直面するが、明解な解決策が探れないまま近隣間での問題が長期化する。どこにでも起こりうる無視できない社会問題としてクローズアップされつつある。低周波数の音を十分に遮音するのは容易でなく、従来は特定の周波数を狙い打ちする様に共鳴器を室内設置して、音場を制御する方法が取られてきた。しかし、一般の住居内に大型のヘルムホルツ共鳴器を設置することは様々厄介なことがある。そこで、研究代表者は安価な一般的な建材である孔あき板を利用して、従来の共鳴機構と同等に近い特性を実現させる方法を探って来た。これら吸音機構が低音域に強い共鳴現象を生じてそれが活かされれば打破の可能性があるとの判断が本研究開始の原動力であった。

2. 研究の目的

研究対象は孔あき板である。この背後に空気層を設けて張り上げた極めて単純な構造でも吸音効果が発揮される。一つの開口とその背後空気層単位がヘルムホルツ共鳴器ユニットとなり、これが多数並列配置される構造原理が建築音響の講義に登場する。吸音材と言えば誰もが想定する極めて有名かつ比較的安価に供給される建築材料であるこれを基本として活用し、その開口部にやはり安価なチューブ状延長部品を付加するのみで、仮想的に板厚を増すことと同等の効果が得られるであろうと発想した研究代表者のアイデアの具体的検証を行う。そして、板厚は波長に比べてはるかに薄い寸法のまま最適な吸音を可能とするチューブ状開孔延長部品の付加方法の確立を目指す。

以上の目的達成が可能となった場合には、研究の最終的目標の中に、その望ましい適用対象を見出すことが欠かせない、その例は「1. 研究当初の背景」に述べた風力発電騒音に加え、より小型の共鳴器の開発にも適用できれば、我々の身近な空調機器設備や建具等の音響特性の改善の可能性が考えられる。それらの騒音問題の現状を把握して、それらの音響的特性への適用可能性を探ることも含め研究目的とした。

3. 研究の方法

(1) 音響管による吸音特性計測法の整備

研究目的でも述べた通り、研究の対象は基本的に孔あき板であり、本研究で新たに対象とする吸音構造は開口部に安価なチューブ状延長部品を付加し、それを背後の空気層内に配置することで表面側に突出することもなく波長の長くなりがちな低い周波数の音波をも総厚が極力薄い構造寸法で、吸音可能とする構造も対象とする。そのような構造体の音響特性を把握するには、孔あき板やグラスウールなど一般的な建築材料の小面積試験体を対象とする音響管法計測が比較的規模も小さく有効と考えられるので、本研究でもこの音響管法を主要な位置に据えて、実際に採用する。その場合、本研究で必要とする数多くの試験体に対してより効率的な計測と計測結果の蓄積ができる様に音響管の改善とパーソナルコンピュータソフトウェアによる計測処理法の構築を行い、本研究に最適な計測法として整備することとした。

(2) ヘルムホルツ共鳴器並びに開孔延長部品付き試験体の計測と反射吸音特性の計算予測モデルの構築

本研究では、基本的な孔あき板構造やこの構造の開孔部背後に比較的長い延長部品を配置した数多くの試験体を対象に音響管法による計測を行うが、本研究で望ましいと考えられる、すなわち開発目的に適合する反射吸音特性が得られる試験体を逐一見出して公開することも一つの成果考えられる。さらに、試験体を数多く用意して、それらの計測結果を俯瞰して、目的に適合する、あるいは適合しやすい吸音構造の構成法を見出すことが、より研究成果として重要で意義があると考えられる。多くの計測結果を系統的に整理して、音響インピーダンスや吸音率等の音響特性を予測できる計算モデルの構築に結び付けたいと考えた。

(3) 低周波域吸音構造や小型化吸音構造の適用性の把握

本研究の成果を高めるために、以上の方法に従って、計測結果の定量的な整理を行って得られる予測モデルから想定できる吸音構造の適用性についても考察する。すなわち、研究の背景にも述べた通り、現状で騒音問題の対象とされ、本研究で新たな開発目標である吸音構造が対象とできる低周波数範囲の成分が主に含まれるであると推測される騒音源を対象にその特性分析を行う。例えば、前述の風力発電施設も好対象として周辺に放射される騒音自体や発電装置機構の各部の振動状態についての実測収集やその周波数分析を行い、研究成果の適用の可能性がある対象か否かの考察を行うこととした。さらに、例えば、ペアガラスサッシの遮音欠損の問題を例に取り上げて、小型化が可能となる共鳴器の配置適用を想定した改善方法の小型無響箱を用いた具体的な適用実験を行い、その効果を把握することとした。

4. 研究成果

(1) 音響管による吸音特性計測法の整備と計測の実施

本研究では、図1に示す通り、直径100mmのアクリル製円筒を基本とした音響管計測装置を主要な実験法として採用し、延長部品を配置した試験体を対象に据えて、吸音特性の計測を開始した。当初は、試験体は厚さ6mm、直径5mmの開孔を持つ石膏ボード孔あき板を基に、音響管径内に開孔を9個、背後空気層を70mmに調整した構造を基本構造とし、図2に示す通り、開孔背後に延長部品を付加させることで、さらに低音側に高い吸音率のピークが移動する様子を確認できた。しかし、より延長部品長を長すると吸音のさらなる低周波数化は可能ながら、その吸音率は低下して有効とは言い難く、何らかの打開策が必要と判断された。そこで、良好な性能の試験体とその様な問題の特性が生じると推測される試験体を作成して、検証実験を繰り返した。その結論としてヘルムホルツ共鳴器の吸音特性の決定要因を見出すことが必要だと認識された。それ以降、その方針に基づき研究を継続することとした。

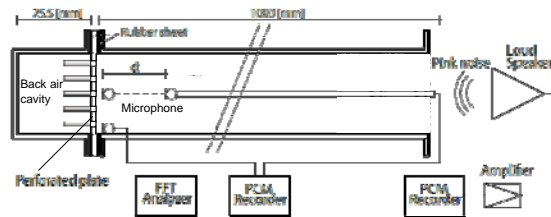


図1 移動マイクロフォン固定背後空気層による音響管計測装置

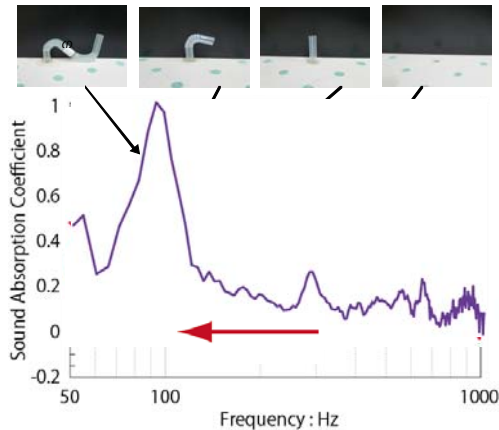


図2 音響管法計測法による各種試験体の吸音率比較による延長部品による低周波側へのピークの移動の確認時結果

(2) ヘルムホルツ共鳴器並びに開孔延長部品付き試験体の計測と反射吸音特性の計算予測モデルの構築

音響管計測法に本研究での適用に沿うような改善を加えた。数多くの試験体を系統的に作成用意して、時には試験体背後の空気層厚を変化させる条件も加えて、試験体の種々の反射吸音特性、音響インピーダンスと吸音

率、吸音率ピークを示す共鳴周波数における抵抗値を計測実験結果として収集する必要があると考えた。

そのため、音響管内のマイクロフォン移動は2点固定型に改め、そのマイクロフォン出力をPCMレコーダへの録音法から直接パーソナルコンピュータに入力して実時間で分析できる様にした。また、試験体の容易な取り替え着脱を可能とし、背後空気層の深さの条件変化については、試験体背後に自動車エンジンのシリンダーとピストンとの組み合わせと同様の機構を配置するなど、多様な条件設定に対しても極力効率的な計測ができる様に多くの改善を加えた。

一方、試験体の開孔部の条件について、上述の基本試験体構造を中心に、図3に示す様な、より細いあるいは広い孔径に変え、また開孔数を固定、あるいは減ずる、さらに開孔総面積を一定とする様に孔径に応じて開孔数を変えた試験体群を用意して、多様な計測実験を試みた。その結果、吸音率がピークを示す周波数、すなわち共鳴周波数は試験体個々の各部寸法の組み合わせで決定され、一方、共鳴周波数と同じに設定した試験体間にも個々に異なる構成寸法によって吸音特性は大幅に変化すると判明した。

これらの結果を踏まえ、例えば孔径が1mmから15mmと変化するのに対して、開孔数を255から1に変えるなどの試験体の条件設定とその計測結果との関係を系統的に整理した。その結果として、共鳴周波数の吸音率ピーク値を支配する抵抗値は、それぞれ周波数の1/2乗、開孔の深さあるいは開孔延長部品の長さ、開孔径の-2乗~-3乗の値に対応するなどの結論を得た。これにより開孔延長部品付加の構造も含めて、吸音体構造の各部構成寸法を与えることで、吸音構造ごとの反射吸音特性が計算予測可能となった。

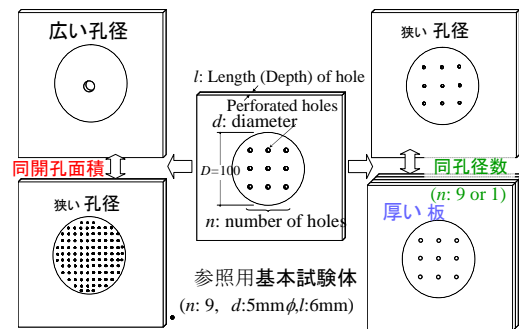


図3 多様な試験体の作成整備の概略

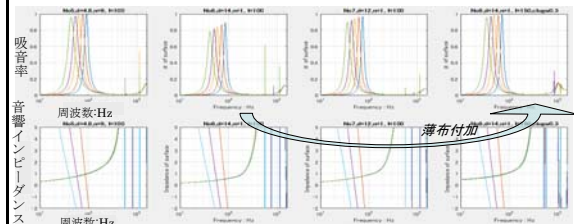


図4 ヘルムホルツ共鳴器の音響特性の予測モデルによる吸音率と音響インピーダンスの予測計算例

計算の例を図4に示すが、左端の例では直径4.8mm、長さ120mmの折返し型開孔延長部品を基本吸音体構造(開孔径5mm、孔数9、板厚6mm)に付加させ、背後空気層を70mm-200mmで100Hz以下50Hz、300mmで45Hzと低い周波数での高吸音率が確保できるとの推定予測ができた。

(3)低周波域吸音構造や小型化吸音構造の適用性の把握

これらの吸音構造が低周波数に適用できる見込みが付けられたので、その適用可能性を示す。その対象例は、今や日本でも夥しい数の施設が建設され、景観やバードストライクの問題に加えて騒音の問題があることが指摘されている風力発電施設で、周辺で収録されていた騒音録音データ等を改めて再分析した。その結果、放射騒音にはブレード(羽)回転に伴う風雑音に加えて、発電機構に起因すると思われる純音成分スペクトルが観察されることが判明した。頭頂部の狭く限られたナセル内部空間に本研究で見出された小型吸音機構を配置して純音成分の抑制手段として適用させることも可能ではないかと判断ができた。

また、断熱用ペアガラスサッシはその空気層と2枚のガラスが共鳴現象を生じさせて、特定の周波数で遮音性能が低下する現象の問題がよく知られており、その改善が求められている。ただし、空気層は極めて薄く、効果的な対策を講ずるのは容易でない現状にある。そこで、本研究で見出された小型吸音機構の適用例として選んだ。

10mmの空気層を2mmの亚克力板2枚ではさんだ構造でペアガラスサッシ構造を想定した複層構造とその空気層内に小型ヘルムホルツ吸音構造を挿入した時の音響透過特性の比較実験を行った。その結果を図5に示す。同図には、1枚の板のみの構造、および2層構造と同じ板総重量を持つ様に板材料を単純2枚重ねた単層構造を対象とした実験結果も比較参照のために示した。

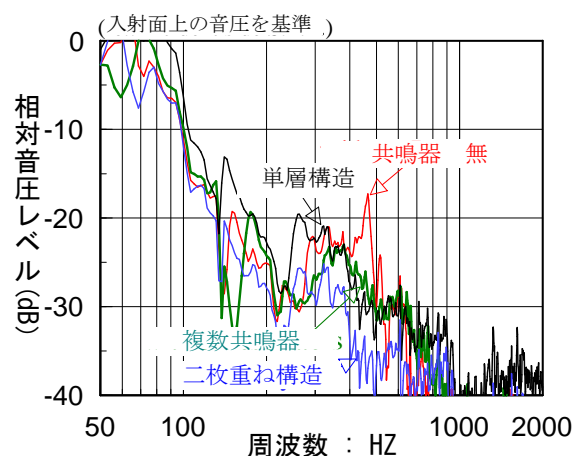


図5 断熱用ペアガラスサッシを想定した複層構造とその空気層へ小型ヘルムホルツ吸音構造を挿入した時の音響透過特性の比較実験結果

10mmの内部空気層を持つ2層構造では上述の通り、480Hzに顕著な音響透過のピークが観測されており、遮音性能の低下が生じることが確認できている。これに対し、空気層内の端部に小型共鳴器をこの上記周波数あるいは周辺周波数に合わせよう共鳴の周波数を調整して挿入すると、この特定周波数におけるピークが消え、遮音特性劣化は改善されることがわかった。ただし、単一共鳴器の挿入では他の周波数範囲に新たに別のピークが生じてしまうこともあり、この音響透過の増加のピークは、いわば副作用となってしまう。一方、共鳴周波数をずらした共鳴器を複数挿入することで、2枚重ねの上記の特定周波数における透過特性には達しないまでも、それよりやや性能が劣る板材料1枚の単層構造の遮音性能まで遮音劣化が回復されると想定できる結果が得られた。

(4)研究結果のまとめ

孔あき板を基本に、その背後にチューブ状延長部品を配置する構造により、あまり厚くない部材構造で低周波数域の吸音が可能なことが検証でき、その吸音率や吸音特性を予測可能な計算モデルも提案できた。

また、それらが適用可能と想定できる対象も、風力発電施設等一部明らかにできたほか、さらに、断熱用ペアガラスサッシの遮音欠損の改善に役立つ見込みも立ち、本研究の目的は達成できたと判断する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 13 件)

① 岩瀬昭雄、杉江聡、黒野弘靖、二層構造における板の振動特性や音響透過特性の中空部処理による変化の観測と考察、日本音響学会春季研究発表会講演論文集、p1035-1036(2016年3月9日、桐蔭浜大学(神奈川県横浜市))

② 岩瀬昭雄、杉江聡、阿部将幸、黒野弘靖、孔あき板構造の背後抵抗材の吸音特性に与える影響の把握とそのモデル化の検討、日本音響学会秋季研究発表会講演論文集、p915-918(2015.9)、会津大学(福島県会津若松市)

③ 岩瀬昭雄、杉江聡、阿部将幸、黒野弘靖、孔あき板構造の音響インピーダンスや吸音率の孔径などへの依存性について -低周波から中音域までの共鳴と高吸音を目指した検討結果-、公益社団法人日本騒音制御工学会秋季研究発表会論文集、p223-226、2015年9月11日(成蹊大学、東京都武蔵野市)

④ Teruo Iwase, Satoshi Sugie, Masayuki Abe, Hiroyasu Kurono, Shinya Nishimura, Yasuaki Okada and Koichi Yoshihisa, Modeling and verification of perforated plate structure for high sound absorption

at low frequency with extending parts behind holes into shallow air space, in15_546.pdf in internoise proceedings Flash Memory, 12P、2015年8月10日、San Francisco, California, USA

⑤ Yasuaki Okada, Koichi Yoshihisa, Teruo Iwase, Kazuki Higashi and Naoto Nishimura Horizontal directivity characteristics of noise emitted from different wind turbines, in15_197.pdf in internoise proceedings Flash Memory, 9P、2015年8月11日、San Francisco, California, USA

⑥ Teruo Iwase, Hideo Uchida, Hiroyasu Kurono, Yasuaki Okada and Koichi Yoshihisa, Observation of vibration velocity at many parts of wind turbine and relational analysis with propagated sound to surroundings, in proceeding of WTN2015, 12p、2015年4月21日-23日、Glasgow, UK

⑦ 岩瀬昭雄、杉江聡、阿部 将幸、西村伸也、黒野弘靖、孔あき板構造による低周波領域での高吸音を目ざした開孔延長法の検討、日本音響学会春季発表会講演論文集、P1075-1076、2015年3月17日、中央大学(東京都 文京区)

⑧ Sugie, Satoshi Yoshimura, Junichi Iwase, Teruo, Improvement of sound insulation performance at low frequencies by several fibrous absorbers in lightweight double leaf partition, p767.pdf in internoise2014 proceeding USB-Memory, 8p, 2014年11月18日、Melbourne, Victoria, Australia

⑨ 岩瀬 昭雄、内田 英夫、風力発電各部の振動速度観測の試み - ナセルやタワーの振動と放射騒音の分析、日本音響学会秋季研究発表会講演論文集、p1051-1054、2014年9月4日、北海学園大学(北海道 札幌市)

⑩ 岩瀬昭雄、杉江聡、阿部将幸、西村 伸也、黒野 弘靖、孔あき板構造の音響インピーダンスや吸音率に着目した開口条件による比較検討、公益社団法人日本騒音制御工学会秋季研究発表会論文集、p219-222、2014年9月18日、明治大学(東京都 中野区)

⑪ 杉江 聡、吉村純一、岩瀬昭雄、中空二重壁内に設置されたヘルムホルツレゾネータの遮音性能に与える影響、公益社団法人日本騒音制御工学会秋季研究発表会論文集、p129-132、2014年9月18日、明治大学(東京都 中野区)

⑫ 岩瀬 昭雄、杉江聡、西村伸也、黒野弘靖、孔あき板構造の開口条件による吸音特性の観察、日本音響学会春季発表会講演論文集、P1147-1148、2014年3月10日、日本大学(東京都 千代田区)

⑬ 岩瀬 昭雄、杉江聡、西村伸也、黒野弘靖、グラスウールと板材料積層構造におけるグラスウール透過音波による板材料励振特性の考察 - 軽量 2 重壁への挿入効果の検討 -、日本音響学会秋季研究発表会講演論文集、

p1013-1016、2013年9月25日、豊橋技術科学大学(愛知県 豊橋市)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等
http://iwase_lab.eng.niigata-u.ac.jp/index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩瀬 昭雄 (IWASE, Teruo)
新潟大学・自然科学系・名誉教授
研究者番号：30114391

(2) 研究分担者

杉江 聡 (SUGIE, Satoshi)
一般財団法人・建築音響研究室・研究員
研究者番号：00280644

(3) 連携研究者

西村 伸也 (Nishimura, Shinya)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号：50180641