

平成 23 年 6 月 30 日現在

機関番号：72608

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19760410

研究課題名（和文）中空二重構造壁の低い周波数領域における遮音性能向上手法

研究課題名（英文）Improvement of sound insulation for double leaf partitions
at low frequencies

研究代表者：杉江 聡（SATOSHI SUGIE）

財団法人小林理学研究所・建築音響研究室・研究員

研究者番号：00280644

研究成果の概要（和文）：中空二重壁は、中高音域では遮音性能が大きく向上するものの、低い周波数領域では遮音性能が極めて低下する。本研究では、その低い周波数領域における遮音性能の改善手法として、ヘルムホルツレゾネータの適用を試みた。レゾネータを二重壁の空気層内に設置すると、その共鳴による遮音性能の増加とともに新たな遮音性能の低下を引き起こす。しかし、レゾネータの吸音性能を適切に調整することにより、その低下を防ぐことができ、効果的な手法としてレゾネータが利用できることを示した。

研究成果の概要（英文）：A double leaf partition provides effective sound insulation at middle and high frequencies, although the total weight of the partition is less than the weight of a single leaf. However, the sound insulation in the low-frequency region tends to show lower performance than that of the single leaf because of mass-air-mass resonance. In this research, to improve the sound insulation, Helmholtz resonators were installed in the cavity of the double leaf partitions. After installing the resonators, the sound insulation increased considerably at resonance frequency f_0 of resonators, while a new dip was detected on the sound insulation at frequencies higher than f_0 . However, the appropriate control of sound absorbing performance of the resonators prevented the sound insulation above f_0 from declining after installing resonators. Consequently, the usage of resonators was able to improve efficiently the sound insulation of the double leaf partitions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	700,000	0	700,000
2008 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	750,000	3,950,000

研究分野：音響工学

科研費の分科：建築学

細目：建築環境・設備

キーワード：乾式中空二重壁、ヘルムホルツレゾネータ、音響透過損失、低域共鳴透過

1. 研究開始当初の背景

(1) 乾式中空二重壁の遮音性能

近年の中高層集合住宅では、建物への重量負荷軽減、工期短縮などを配慮し、戸界壁に中空二重構造をもつ壁（以下、二重壁）が多く用いられるようになってきている。二重壁の遮音性能についての研究は、これまで多く報告され、一重構造の壁に比べ二重壁は、中高音域では極めて高い遮音性能を示すが、低音域では一重壁よりも遮音性能が低下してしまうことがわかっている。

例えば、複層ガラスの場合、総質量が同じ（ガラスのみの総厚が同じ）であっても、単板ガラスに比べ、複層ガラスの方が中高周波数領域では遮音性能は大きい、低い周波数領域（例えば、FL6+A12+FL6 の場合は 250 Hz の付近）では低下することがわかっている。これは低域共鳴透過現象（mass-air-mass 共鳴）と呼ばれ、レゾの共鳴周波数を低域共鳴透過周波数（以下、 f_{md} ）と呼ばれる。

(2) 一般的な遮音性能の向上手法

二重壁の遮音性能を向上させる一般的な手法として、二重壁の中空内にグラスウール等の多孔質吸音材料を充填する。しかし、その挿入効果は中高音域では大きいものの、 f_{md} ではあまり大きくはない。よって、低い周波数領域での遮音性能改善方法として、構成面材の質量（厚さや面密度）や中空層の厚さを増加させることにより、 f_{md} をさらに低域にシフトさせるという手法がとられる。しかし、必然的に壁厚が増加してしまい、スペース的に限られた場所では適用できない場合がある。したがって、壁厚を増加させることなく、低域での遮音性能向上手法が求められる。

2. 研究の目的

(1) レゾネータを設置した二重壁の遮音性能

二重壁を厚くさせることなく遮音性能を向上させる手法として、中空内にヘルムホルツレゾネータを配置することを提案する。ヘルムホルツレゾネータは、吸音する周波数範囲は限られるものの、低い周波数領域であっても、各パラメータ（レゾネータ容積やネック部分の大きさ等）を調整することにより、容易に吸音ピークをチューニングすることができるという特徴を持っている。

まずは、レゾネータを剛体でかつ面材等に接触していないと仮定して、遮音性能の理論的推定を行う。それをもとに、その吸音特性と二重壁の遮音性能の関係を検討する。

(2) レゾネータの実用的な適用構法の検討

(1)の検討は、レゾネータ自体は振動せず、二重壁の構成部材とも独立している条件のもとで行っている。しかし、実際の構法を考慮すると、レゾネータを非常に重い物で構成することはできず、面材や間柱に留め付ける必要がある。そこで、有効的に共鳴させるためのレゾネータの境界条件（構成部材の面密度）や設置方法の影響を実験的に検討する。

それに加えて、(1)の検討結果により、レゾネータを中空二重壁内に設置すると、レゾネータの共鳴による遮音性能の増加とともに新たに共鳴透過（遮音性能の低下）が生じる。したがって、レゾネータを有効に用いるためには、その共鳴透過の抑制が重要である。(1)で提案した中空二重壁の遮音性能の推定方法を用いて、レゾネータにおける吸音特性の最適化を理論的に行う。

(3) レゾネータを用いた遮音性能向上手法

二重壁を実際に構成する部材として、ヘルムホルツレゾネータを乾式二重壁内に設置し、低い周波数領域での遮音性能向上手法を提案する。

3. 研究の方法

(1) 遮音性能の理論的推定

① 推定方法の提案

レゾネータを中空内に設置した二重壁を無限に広いと仮定して、インピーダンス伝達法を用いて垂直入射音響透過損失を推定する。

② 小試験体による実験的検証

実験条件の変更が容易で、多くの試験条件を適用できるように、間柱等を用いない小試験体（1 m²以下）を対象に、上述の推定方法の実験検証を行う。2つのタイプII試験室の間の10 m²の開口部をおおよそ90 cm角に開口部調整し、そこに試験体を設置し、試験体の両面材近傍における音圧レベル差 D を計測する。

(2) レゾネータの実用的な適用構法の検討

① レゾネータの適用方法の実験的検討

実際の壁に近づけるために、建材として一般的な大きさ（長辺 1820 mm）のボードを使用するとともに、試験条件の変更を容易にするために、約 3.1 m²の開口部に試験体を設置する。タイプII試験室を用いて、JIS A 1416 に従い音響透過損失を計測した。

レゾネータの構成部材を合板とし、その厚さを変化させた場合やそれを面材に留め付けた場合の遮音性能の変化を検討する。

② レゾネータの吸音特性の最適化

レゾネータの設置する容積、レゾネータの孔径や個数を変化させて、(1)①で提案した方法を用いて数多くの推定計算を行い、レゾネータの音響性能の最適化を理論的に行う。

(3) レゾネータを用いた遮音性能向上手法

遮音性能向上手法としてのレゾネータの実用例として、中空二重壁の構成部材のひとつである口型鋼製スタッドに孔を開け、壁内にレゾネータ構造を実現し、遮音性能がどのように変化するかを検討する。

4. 研究成果

(1) 遮音性能の理論的推定

レゾネータを空気層内に設置した二重壁の遮音性能の実測結果と推定結果の例をそれぞれ図1と2に示す。この両者は良い対応を示し、本研究で提案した音響透過損失の推定方法が妥当であることがわかる。

図2に示した推定結果は、二重壁の f_{md} (低域共鳴周波数: 約100 Hz) とレゾネータの共鳴周波数 f_0 が等しくなるように調整した例である。 f_0 においては約25 dBの大きな遮音性能の増加が生じるが、 f_0 の両側の周波数では遮音性能は低下することもわかる。

様々な推定結果により、レゾネータの音響性能や配置位置等と遮音性能の関係について得られた主な検討結果は次のようである。

- レゾネータの増加は、ピークの遮音性能を大きくするだけでなく、その両側にできるディップにも作用する。
- レゾネータの音響抵抗の低下 (孔径を低下させ、孔数を増加させる) に伴って、ピークは増加しディップは低下する。
- レゾネータ背後に空気層を設けると、高い周波数領域に新たなピークディップが現れる。
- 繊維系吸音材料と併用するとピークでの遮音性能はそのままで高い周波数範囲で遮音性能が向上する。

(2) レゾネータの実用的な適用構法の検討

① レゾネータの適用方法の実験的検討

合板の厚さを5.5 mm (R5)、12 mm (R12) および21 mm (R21) と変化 (部材の面密度を変化) させて、レゾネータを製作した。それぞれを二重壁内に設置した際の音響透過損失の実測結果を図3に示す。構成部材の面密度の違いは、大きく遮音性能に影響を与えないことがわかる。

次に、合板5.5 mm で製作したレゾネータ (R5) を面材に両面テープで固定した場合とビスで固定した場合を比較して、音響透過損失の計測結果を図4に示す。固定の度合いが増加するにしたがって、遮音性能が増加する

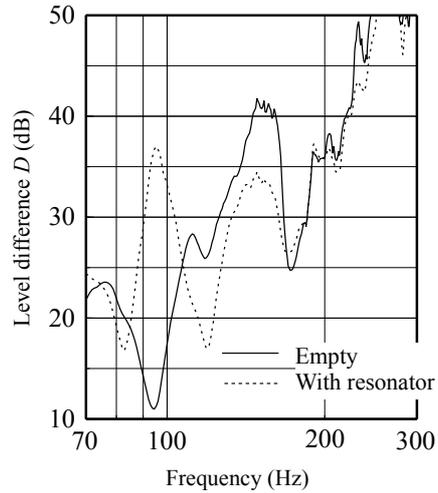


図1 レゾネータによる遮音性能の変化 (実測結果)

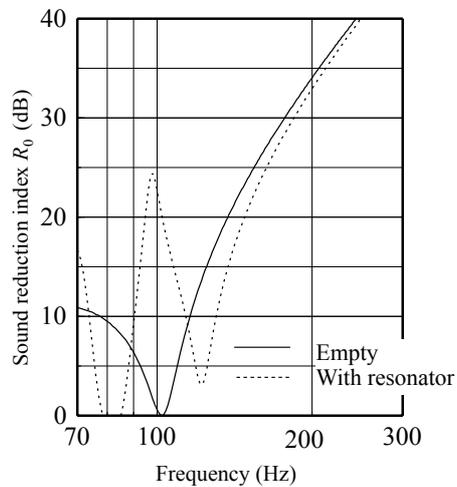


図2 レゾネータによる遮音性能の変化 (推定結果)

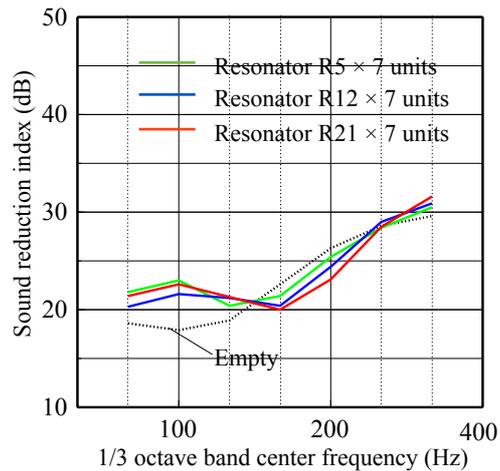


図3 レゾネータの構成部材の厚さによる遮音性能の変化

ことがわかる。少なくとも、レゾネータと面材の固定方法の違いによって、レゾネータのもつ遮音性能の改善効果を損なわないことがわかる。

② レゾネータの吸音特性の最適化

(1)で提案した遮音性能の推定方法を用いて、レゾネータの音響性能の最適化を理論的に行った。その結果、レゾネータの孔の直径を小さくし、数多く開口することにより、レゾネータの音響抵抗を増加させ、レゾネータの空隙部の容積をあまり大きくせずに音響リアクタンスを最適な値にすることにより、高域側に生じる共鳴透過を抑制することが出来ることがわかった。

直径 1.7 mm の孔を面積 30 cm×30 cm 当たり 81 個開口した場合の推定計算例を図 5 に示す。レゾネータの設置容積、開口条件等を適切に調整することにより、レゾネータを挿入することによる遮音性能の低下を伴わずに、遮音性能を増加させることができる。

(3) レゾネータを用いた遮音性能向上手法

中空二重壁の構成部材のひとつである□型鋼製スタッドに、上述した(2)②の検討結果を考慮して、約 2 mm の孔を多数開口し、壁内にレゾネータ構造を実現した。二重壁として、2枚のせっこうボード 12.5 mm を 65 mm の空気層で隔てて構成した。また、二重壁の f_{mid} にほぼ等しくなるようにレゾネータの共鳴周波数 f_0 を調整した。

その結果、レゾネータの挿入による遮音性能の低下はみられず、共鳴透過周波数よりも高く、広い周波数領域で最大 5 dB 程度の向上がみられた。また、二重壁の空気層内にレゾネータが占める容積を増加させると遮音性能は増加するが、容積率が大きくなると遮音性能の増分は低下することがわかった。

(4) 得られた結果の位置づけと今後の課題

遮音性能向上のためのヘルムホルツレゾネータの利用は、過去の報告においては、複層ガラスや航空機の壁材を対象としており、建築に用いられる乾式二重壁はあまり対象とされていなかった。その点において、上述のような、実用的な構法を念頭においた研究結果は非常に有益であると考えられる。

しかし、本研究では、対象とされる二重壁として遮音性能が比較的低いものを対象としてきた。ヘルムホルツレゾネータのさらなる有効利用のためには、遮音性能の高い二重壁への適用についても検討する必要があると考えられる。

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 1 件)

① Satoshi Sugie, Junichi Yoshimura and Teruo

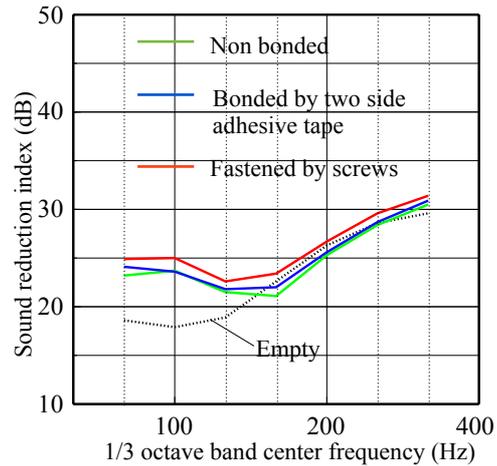


図 4 レゾネータの面材への留め付け方による遮音性能の変化

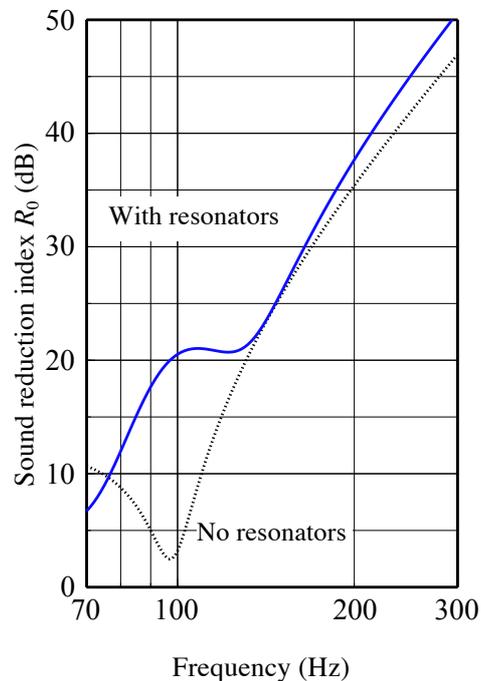


図 5 レゾネータの音響特性を最適化した場合の音響透過損失推定結果例

Iwase, “Effect of inserting a Helmholtz resonator on sound insulation in a double-leaf partition cavity,” *Acoust. Sci. & Tech.* **30** 317-326 (2009). (査読有)

〔学会発表〕(計 8 件)

① Satoshi Sugie, “Optimization of structural factors for Helmholtz resonator to improve sound insulation of lightweight double leaf partition,” *inter-noise 2010*, 2010.6.13-16, リスボン(ポルトガル)

② 杉江聡, 「ヘルムホルツレゾネータを用いた乾式二重壁の低域共鳴透過の軽減」, 日本音響学会 2010 年春季研究発表会, 2010.3.8-10,

電気通信大学（東京）

③杉江聡, 「レゾネータによる二重壁の低域共鳴透過の軽減効果-実用的な適用構法の検討-」, 日本音響学会 2009 年秋季研究発表会, 2009.9.15-17, 日本大学（福島）

④杉江聡, 「レゾネータを空気層内に設置した二重壁の遮音性能」, 日本音響学会建築音響研究会, 2009.8.5, 鹿島建設技術研究所（東京）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉江 聡 (SATOSHI SUGIE)

財団法人小林理学研究所・建築音響研究室・研究員

研究者番号：00280644