

板状部材の遮音性能の数値予測に関する研究 - 試料設置及び支持条件のモデル化 -

Numerical Prediction of Sound Insulation Performance of Plate-like Members
- Modeling of Sample Mounting and Edge Support System

学籍番号 47-126785
氏名 清家 剛 (Seike, Tsuyoshi)
指導教員 佐久間 哲哉 准教授

1 はじめに

1.1 研究の背景

外部騒音伝搬・プライバシー等に関する社会的要求水準の高まりや音環境設計の広範囲化に伴い、高性能・多機能・低コストの遮音材料の開発が盛んに行われている。部材開発は、「性能予測」・「作成」・「測定評価」を繰り返し製品として設計されるため、それぞれの段階における精度を高めサイクルを短縮することが製品の高性能化やコストの削減につながる。そこで、サンプル作成の必要が無い数値シミュレーションの特長を活かした設計自由度の高い遮音性能予測手法の確立と、それを利用した測定結果の変動要因の究明が求められている。

1.2 研究の目的

以上のような背景を踏まえ、本研究では部材遮音性能の予測および測定における精度向上と測定結果の変動要因の解明に向け、試料設置条件及び試料端部の支持条件が部材の遮音性能に与える影響を音響振動連成解析により明らかにすることを本研究の目的とする。これら変動要因解明および現実に則した解析モデルの開発を通じ、部材開発の高性能化・低コスト化に貢献するものである。

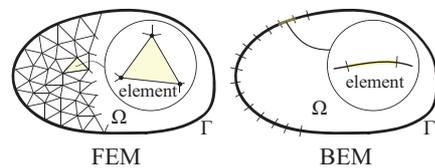


Fig. 1 Conceptual diagram of finite element method and boundary element method.

2 研究手法概要

2.1 遮音性能指標

建築部材の空気音遮断性能を評価する物理指標として、音響透過損失を用いる。音響透過損失は、試料に入射する音響パワー (W_{inc}) と試料を透過する音響パワー (W_{trans}) の比の常用対数の 10 倍で、次の式で与えられる。

$$R = -10 \log_{10} \frac{W_{trans}}{W_{inc}} \quad [\text{dB}]$$

2.2 解析手法

本研究では以下の二つの波動音響解析手法を用い、両手法を連成させ音場・振動場の解析を行う。(Fig. 1)

有限要素法 (FEM)

解析場の領域を離散化し、解析対象を多自由度振動系として解く手法であり、種々の物理場に柔軟に対応可能な手法である。

境界要素法 (BEM)

解析場の境界を離散化し境界値問題を解く手法であり、開空間の解析に有利な手法である。

2.3 解析モデル

音響透過損失測定は、音源室と受音室を繋ぐ開口に試料を設置することで透過する音響パワーの測定を行っている。

一方、本研究における数値解析モデルでは、厚みのある無限大剛バフルの開口に設置した試料へ音波がランダムな方向から入射する条件を想定し解析を行う。開口面への入射パワーおよびバフル内外の境界面での透過パワーから音響透過損失を算出する。入射側・透過側のバフル外部の音場には BEM を、バフル内部の音場・振動場には FEM を適用し、仮想境界面で結合する。

3 試料設置条件に関する検討

3.1 検討内容

試料と実験室間の壁体の厚みの差による凹みはニッシュと呼ばれるおり、ニッシュの深さや試料設置位置による測定値の変動がニッシュ効果として知られている。関連する研究はこれまで多くなされてきたが [1,2]、張り出しにより側壁を模擬した張り出し型と厚みのある側壁に試料を設置した凹み型による検討が実験的・数値的検討について混在しており、二つのタイプの対応関係は明らかになっていない。そこで本報では、これら二つのタイプのニッシュについて、ニッシュ深さによる音響透過損失値の変動の比較結果を報告する。

解析にあたり、正方形 (0.9 m×0.9 m) のガラスの周辺をパテ材で支持したモデルを想定し、ランダム入射透過損失を算出する。

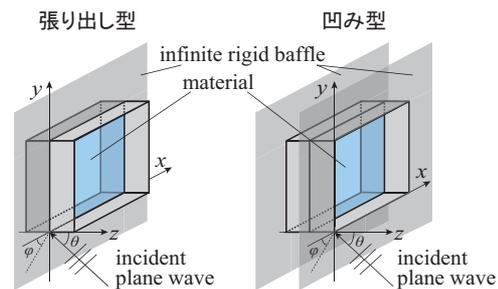


Fig.2 Schematic of the calculation models.

3.2 検討結果

Fig. 2 に示す 2 つのニッシュタイプについて、ニッシュ深さを変化させ、試料をニッシュ中央に設置したときの音響透過損失値を Fig. 3 上段に、またその 1/3 オクターブバンド換算値を下段に示す。無限大面積試料の理論値、有限矩形板の理論式を併せて示す。

ニッシュが浅いとき、板の共振に伴うディップが生じているものの、それ以外の中低音域において両モデルとも有限矩形板の理論式に概ね従う傾向がみられる。

ニッシュが厚いとき、中低音域で値の低下がみられる。例としてニッシュ無しの場合と深さ 450 mm の凹み型ニッシュを設置した場合の 1/3 オクターブバンド値を比較すると、800 Hz 以下のほぼ全ての周波数帯域で 5 dB 程度の値の低下が生じていることがわかる。この低下量は、理論的にはガラス板の板厚が半分になったときの変化量に相当し、実務上大きな変化といえる。

ただし、値の低下量はニッシュタイプにより大きな差がみられ、張り出し型は 400 Hz 以下の低音域で比較的变化が少ないことがわかる。既往研究や実務において行われてきた張り出しによる実験室側壁の模擬は、特に低音域に関し一般的な凹み型ニッシュの効果を再現できていないことが示唆され、検討対象となる実験設備の状況に応じた適切なモデル化による予測が必要である。

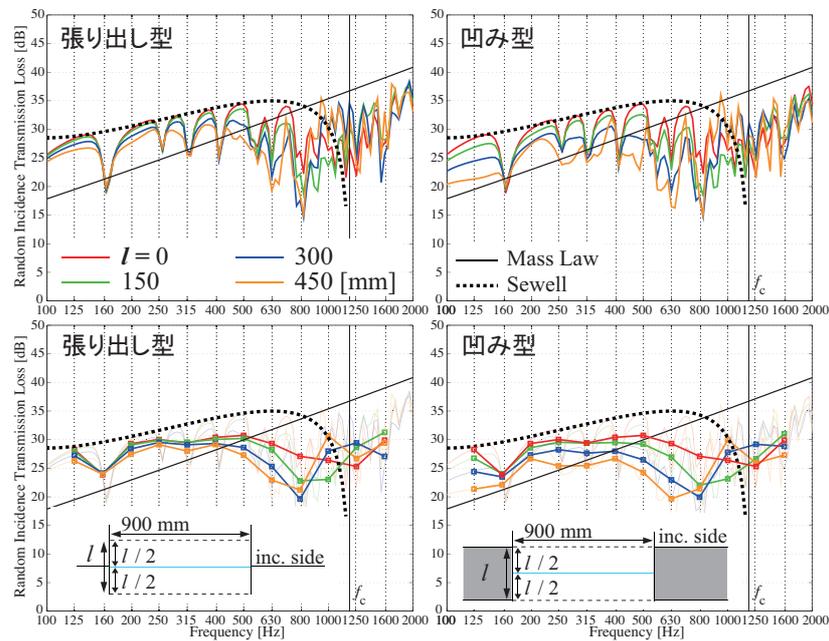


Fig. 3 Random-incidence transmission loss calculated for the plate with different wall thicknesses. Single freq. (top), 1/3 Oct. band (bottom).

4 支持条件に関する検討

4.1 検討内容

板材が共振する周波数では音響透過損失にディップが生じ、このディップの深さは振動系の粘性抵抗が主に制御している。そのため、ガラスや鉄といった内部損失の小さく薄い板状部材の場合、試料自体の物理特性の他、試料設置時の支持材によるエネルギー損失が音響透過損失の測定結果に大きな影響を及ぼすことが知られている[3]。

よって、数値解析による遮音性能予測においても、現実に則した性能予測という点で試料端部の支持条件の適切なモデル化が重要である。既往研究として支持材による端部支持条件をバネに置き換えたモデル(集中バネモデル)による検討が行われたが[4]、板試料の面内方向への運動を考慮していない点など、妥当性や適用範囲に関して不明な点が多い。そこで、より現実に則したモデルとして板材の四周付近を三次元弾性体により面的に接合させたモデル(三次元弾性体モデル)を導入した。本報では両モデルにおける音響透過損失値の比較結果について紹介する。

4.2 解析モデル

ガラス相当の物性値を与えた正方形(0.9 m × 0.9 m)の板試料を壁厚 100 mm の開口部中央に設置し、ランダム入射透過損失を算出する。以下に各支持モデルの概要を示す。

集中バネ支持モデル Fig. 4 (a)に示すように、板試料周辺の支持材が端部の変位・傾斜に対して各々反作用するものと仮定し、弾性体と等価な並進・回転バネからなるモデルを想定する。

三次元弾性体支持モデル Fig. 4 (b)に示すように、側壁内部に埋め込まれている三次元弾性体を板試料と適合させる。

4.3 検討結果

支持材の厚みを変化させたときの両支持モデルの音響透過損失値とその 1/3 オクターブバンド換算値を Fig. 5 に示す。板共振によるディップは三次元弾性体支持モデルがより浅くなり、1/3 オクターブバンド換算値においても低音域で最大 2.6 dB 程度の乖離がみられる。三次元弾性体支持モデルでは板試料の面内方向への運動が支持材に生じるため、エネルギー損失が若干大きくなっていることが明らかとなった。

また、1000 Hz 以上の高音域において支持材厚増加による値の上昇が観察される。実務上、材料の性能だけでなく施工状況も遮音性能に影響を与えることが示された。

支持材の接合幅を変化させたときの両モデルの音響透過損失の計算結果を Fig. 6 に示す。接合幅の増加に伴いディップの周波数の上昇が観察されるが、上昇の程度は集中バネ支持モデルが大きく、接合幅が厚い場合には両モデルで共振周波数に乖離が生じる。これにより 1/3 オクターブバンド換算値では低音域で両者に大きな乖離が生じていることがわかる。

以上の検討より、モデルによる端部損失特性の相違を明らかにした。集中バネ支持モデルを用いる場合にはその周波数特性を見誤る危険性があり、十分な配慮を行う必要がある。

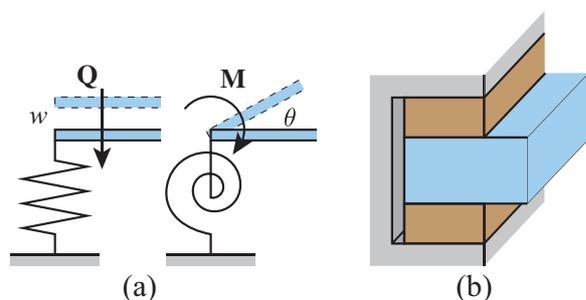


Fig. 4 Schematics of the support model.
(a) spring support model. (b) three dimension elastic support model.

5 おわりに

本研究では部材遮音性能の評価や予測における精度向上を目的として、試料設置条件及び試料端部支持条件が音響透過損失の測定値に与える影響に関する検討を行った。本報告では音響透過損失値に関する検討内容を紹介したが、その他、支持材のエネルギー吸収特性の同定に関する検討を行っている。数値予測を行うためには実測から得られる物性パラメータの入力が必要であるため、その物性の適切な同定は予測精度向上に不可欠である。本研究では測定条件を理想化した数値解析上で物性同定のための基礎的検討を行った。それら一連の研究の結果より、予測・測定両面における精度向上に向けた知見が得られ、より現実に則した遮音性能予測の解析モデルの構築に寄与できる成果を得た。

本研究では試料としてガラスを研究対象とし予測精度の向上に向けた検討を行ったが、音響材料開発のための数値予測手法の確立という観点から、より多様な物理場や曲面構造・積層構造に柔軟に対応した予測手法の確立・発展が見込まれる。

参考文献 [1] 安達他, 音響学会講演論文集(春), 1149-1150, 2011. [2] Yoshimura, Inter-Noise, No.641, 2006. [3] 吉村他, 建築音響研究会資料, AA2006-30. [4] 江川他, 音響学会講演論文集(春), 1133-1134 2009.

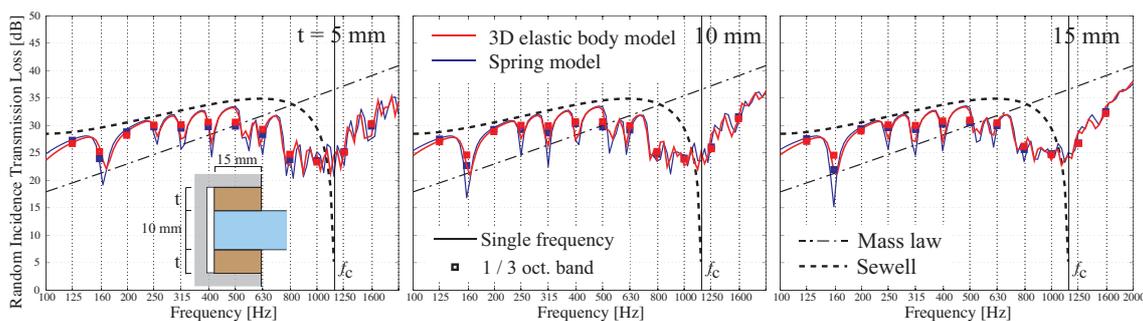


Fig. 5 Random-incidence transmission loss calculated for the plate with different thicknesses of the support material.

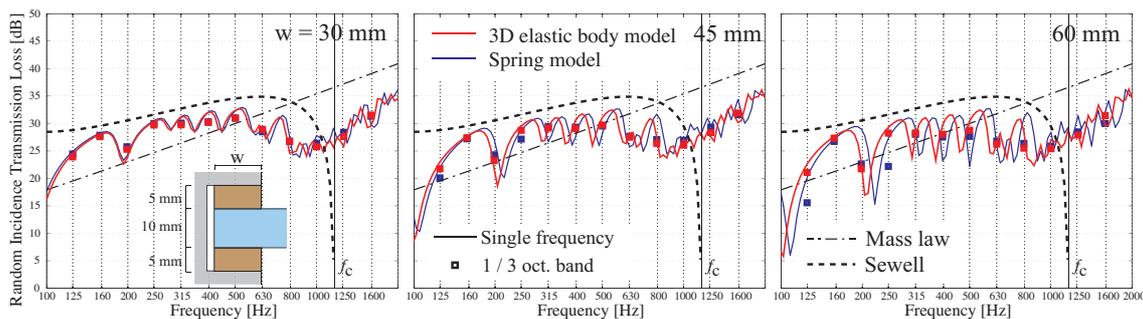


Fig. 6 Random-incidence transmission loss calculated for the plate with different widths of the support material.