

残響室における音響透過損失計測の数値予測に関する研究

Numerical analysis on the transmission loss measurement in reverberation rooms

学籍番号 47-186778
氏名 山崎 泰知 (Yamasaki, Yasutomo)
指導教員 佐久間 哲哉 准教授

1. はじめに

1.1 研究の背景

居住空間の音環境に対する社会的要求水準の高まりから、建築部材の音環境性能の数値化は重要になってきている。部材の空気音遮断性能の実験室測定は残響室-残響室法と呼ばれる手法がJIS A 1416やISO 10140-2として規格化されており、広く用いられている。しかしながらこの手法による結果は試験室内及び試験室間再現性に課題があることが知られており、特に試験室の形状や容積が測定値に与える影響については十分な知見が得られていない。このような変動要因に関する知見が不足していることは、性能試験の精度や信頼性の低下に繋がりがねず問題である。

1.2 研究の目的

以上のような背景を踏まえ、本研究では直方体及び不整形の残響室における透過損失計測について、理論解析及び数値解析によるケーススタディを実施することで、試験室内・及び試験室間再現性に影響を与える要因やその程度について知見を得ることを目的とする。これを明らかにすることによって、試験室間及び試験室内再現性の観点から残響室-残響室法による透過損失の測定法の改善や試験室間の補正方法開発へ貢献するものである。

2. 研究手法概要

2.1 解析手法

本研究では測定する試料として単純な無張力膜を用いることで受音室・音源室が透過損失に与える影響を検討する。数値解析では有限要素法を用いて解析を行った。論文では理論解析も行ったが、本報告では紙面の都合上省略する。

2.2 残響室-残響室法

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 STL を用いる。残響室-残響室法では Fig.1 のような室容積や形状などの異なる試験室で行われるが、どちらにおいても STL は次式で計算される。

$$STL = L_1 - L_2 + 10 \log S/A$$

ただし、 L_1, L_2 はそれぞれ音源室・受音室の平均音響エネルギー密度、 S は試料面積、 A は受音室の等価吸音面積である。

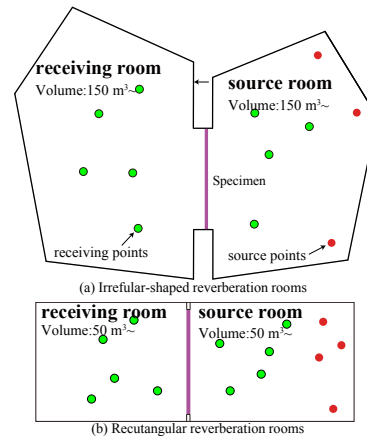


Fig.1 Schematic of reverberation room

2.3 比較した参考値

以上の解析の検討のため無限大面積質量則 ML_{∞} 及び有限面積試料の幾何的放射効率による補正を施した質量則 ML_F 、これまでに提案されている無限大剛バフルモデル [1] に対するランダム入射透過損失と比較を行った。

3. 直方体残響室での透過損失計測の検討

3.1 検討内容

本報告では Fig.1(b) に示す直方体残響室での検討のうち、試料面積及び試料設置位置についての解析結果について述べる。解析条件を Fig.2 に示す。試料面密度は 4, 32 kg/m² の 2 条件とした。

3.2 検討結果

試料面積について 試料面積による違いを観察するため、条件(a),(b)及び(c-1)の結果を Fig.2(a)にて比較する。試料面積が小さいほど、STL が大きくなる傾向が見られ、この関係は ML_F と対応することがわかる。ところで、反射性の壁面に対する鏡像を考える

ことで、注目する領域と等価な周期音場を考えることが出来る。矩形残響室をこのように見たとき、(a),(b)については透過面がほぼ試料で構成されることから、無限大面積試料の特性 (ML_{∞}) に近くなる可能性が考えられる。しかしながら、解析結果は ML_{∞} よりも ML_F に漸近する傾向にあり、試料の有限性による放射効率の低下は依然として大きいものと推察される。また、矩形室においては特に低音域において垂直入射成分が卓越することが指摘されており、これによっても STL がランダム入射値に対して上昇する一因と考えられる [2]。

試料設置位置について 透過損失の結果を Fig.3(b)にて比較する。概ね 200Hz 以上の周波数域では、全ての条件で ML_F に漸近する傾向が見られた。一方、低周波域では概ね ML_F と同様の傾向を示すが、STL の変動が大きく、(c-1),(c-3)では 50,63Hz 帯域で大きく上昇する傾向が見られる。一般に有限面積の試料では、音響放射効率は振動速度の

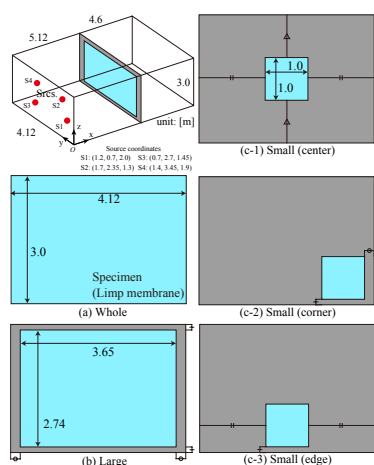


Fig.2: Specification of a reverberation room and specimens for the calculation

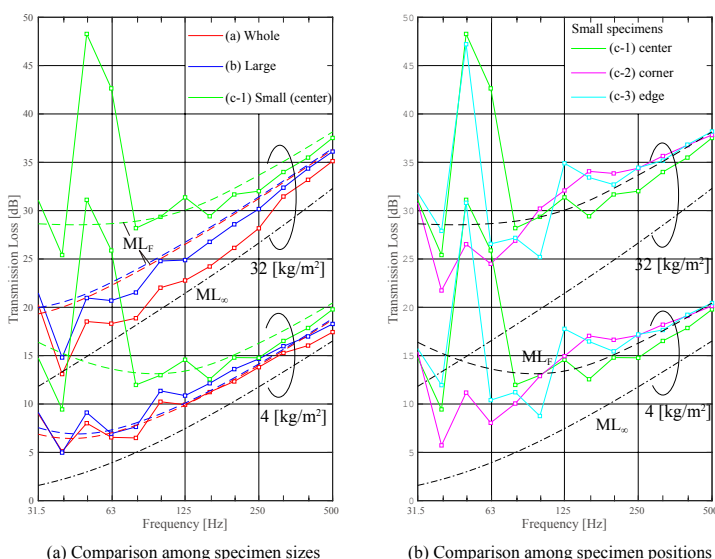


Fig.3: Phase distribution of the sound pressure on the specimen surface in the source room

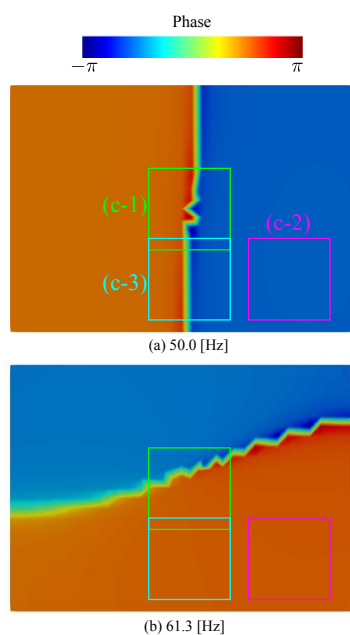


Fig. 4 Phase distribution of the sound pressure on the specimen surface in the source room

位相分布に強く依存することが知られている。ここで、50.0 及び 61.3Hz での音源室側の隔壁・試料面上音圧の位相分布を Fig.4 に示す。これらの周波数では、音源室内に奇数モードが励起されており、試料設置位置によっては膜が逆位相で駆動される。(c-1),(c-3)の条件では試料設置面に対して y 方向の 1 次モードが生じている 50Hz 帯域では STL が大きく上昇し、さらに(a)では試料設置面に対して z 方向の奇数モードが生じている 63Hz 帯域でも STL が上昇するものと考えられる。

4. 不整形残響室での透過損失計測の検討

4.1 検討内容

本報告では Fig.1(a)に示すような不整形残響室を対象とした検討のうち、STL 計測に影響を与えると考えられる以下に示す室条件のパラメータについてのケーススタディの結果について述べる。

ニッシェ（試料設置部の凹み）の有無

試料設置部の凹みによって STL に違いが生じることをニッシェ効果という。本研究では残響室モデルにおいてニッシェ効果の程度を検証した。

室形状の対称性 JIS の規定では試験室の室容積が 10%以上異なることを推奨している。Kropp らは室のモード周波数が一致するような室形状では性能が悪化することを指摘しており [3]、これを避けるためと考えられる。一方現在でも室形状が対称で容積が等しい試験室も測定に用いられている。そこでこの影響について確認するため、本節では受音室と音源室を同一形状、同一容積とした対称型の連結残響室のモデルを 2 つ作成し解析を行った。

室の吸音条件 受音室壁面が反射性の場合、低音域において空間内で大きな音圧レベル分布が生じる。さらに受音室の固有周波数において入射パワーとは無関係に音圧レベルが上昇し、STL にも激しいピークディップが生じる。そのためここでは、受音室の吸音条件をランダム入射吸音率 0.05, 0.2 相当の実インピーダンスを与えた解析及び残響室-無響室モデルによるインテンシティ法による測定による解析を行った。

4.2 検討結果

1/3 オクターブバンド平均した STL の結果を Fig. 5 に示す。

ニッシェの有無について 連結残響室におけるニッシェ有無の影響を観察する。基本条件であるニッシェ有りの場合はバフルモデルに中音域以上で漸近する傾向が見られたが、ニッシェがない場合では、 ML_F と良く対応している。面密度が小さい場合は、残響室モデルでの計算値は ML_F やバフルモデル

ルよりも透過損失がやや高い値に漸近する傾向が見られる。

室形状の対称性について 対称条件に対して、非対称な基本条件では 100 Hz 以下の帯域で大きく評価される傾向が見られた。一方、125 Hz 以上の帯域では対称室での STL は大きく評価される傾向が見られた。対称室条件では、非対称条件とは異なる STL が算出される可能性を示した。

室の吸音条件の影響について 吸音条件では 125 Hz 帯域以上でバフルモデルとよく対応しており、基本条件よりも低い周波数からバフルモデルの結果に漸近することが示唆される。またこの傾向は吸音率が高いほど大きかった。この現象は吸音により受音室の Schroeder 周波数が下がり、音圧分布が等化されるためと解釈できる。一方音源室の吸音では同様の傾向は見られなかったことを確認している。以上より、受音室の吸音が低音域でもバフルモデルに近い STL を算出できる可能性があることを示した。

5. おわりに

本研究では、残響室-残響室法による音響透過損失計測において、試験室内及び試験室間再現性に影響を与えるパラメータに関してケーススタディを行うことで、これらの知見を得ることができた。なお、本報告で述べた検討以外にも薄膜を挟んだ矩形室における室間レベル差の室寸法に関する検討及び L_1, L_2 の算出方法やその評価点数に関する検討を行っている。これらの研究によってより精度の良い測定手法や試験室間の補正方法の開発に寄与する成果を得た。

今後の研究では、より簡便な理論近似手法の開発、試験室内再現性に関する詳細な検討や各パラメータの感度解析などの検討が必要であると考えられる。

参考文献 [1] N. Inoue et al., Proc. 21st Int'l Cong. Acoust. (Montreal), 4pAAa9 [POMA Vol.19, No.0515119], 2013. [2] 會田 他, 日本建築学会環境系論文集 Vol.83 No.752, pp. 821-830, 2018.[3] Kropp et al. Acta Acustica, Vol. 2, No. 5, pp. 379-392, 1994.

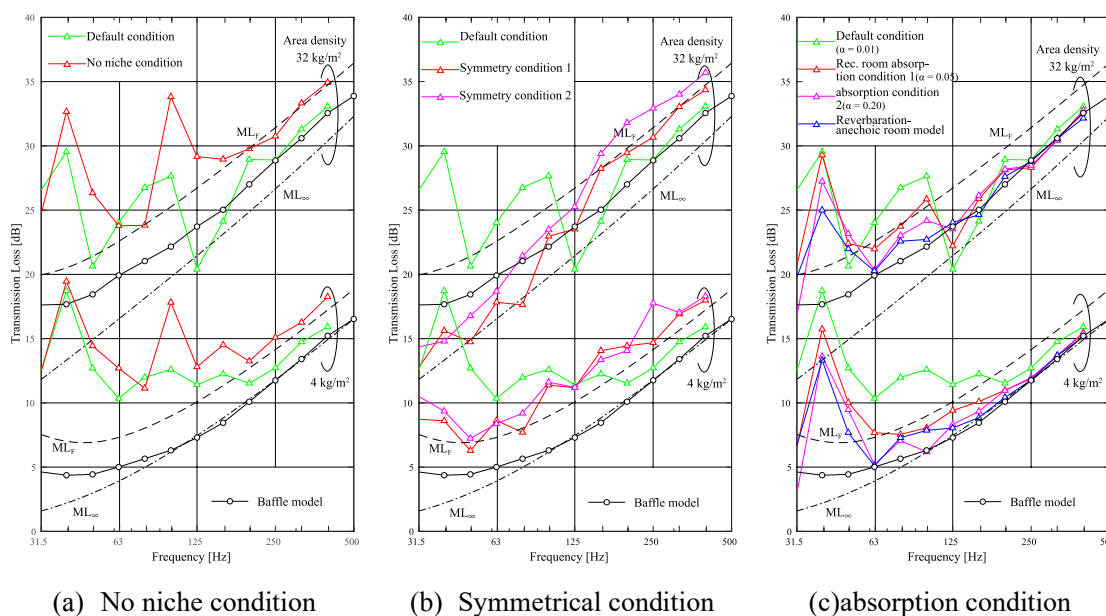


Fig. 5 Effects of absorption and shape conditions