

集合住宅の界壁遮音性能に関する実験的・数値的解析

Experimental and numerical analysis on sound insulation performance of separating walls in apartment buildings

学籍番号 47-167623
氏名 會田 祐 (Aida, Yu)
指導教員 佐久間 哲哉 准教授

1. 序論

研究背景 集合住宅において住戸間の遮音性の確保は重要であり、とくに界壁を介した隣戸間の空気音遮断性能は室内環境性能の基本として位置づけられる。また近年、集合住宅の鉄筋コンクリート (RC) 界壁で採用が増えている、ふかし壁と RC 壁による複合構造は、共鳴透過現象による低音域の性能低下 (低音域共鳴透過) を伴うことから、現場における低音域の遮音性能について、傾向を把握することや設計段階で事前推定を行うことの重要性が高まっている。

一方、低音域における室間の音響透過現象は、界壁のほか室内音場の特性も強く影響するため扱いが難しいといえる。低音域における同現象について、詳細観察を行うための実験手法が確立されていない点や、現場要因を考慮できるシミュレーション手法が未整備である点などから、現場における低音域の室間遮音性能に関して、傾向把握や機構の理解は十分進んでいない。

研究目的 以上の背景を踏まえ、本論文では以下の2点を目的として設定する。第一に、現場等における低音域での室間の音響透過現象を観察するための、室内音場に関する実験的解析手法を確立し、さらに同手法を実空間に適用することで、低音域共鳴

透過などを含む、低音域の音響透過現象の機構について明らかにする。第二に、界壁の詳細構成や室内音場特性などの、低音域の遮音性能に影響を及ぼす要因を考慮できる、数値解析を用いた界壁遮音性能のシミュレーション手法を整備し、建築物の各種条件下における低音域の遮音性能の傾向について把握する。

2. 伝搬モード展開を用いた室内入射音場の実験的解析手法

現場における室間遮音性能の決定要因の一つと考えられる室内入射音場について分析を行うため、室内音圧の多点観測に基づき、伝搬モード展開を用いて入射音場を分解する実験的解析手法を提案した。さらに、室内音場の数値解析モデルを対象に、同手法の精度や適用性等に関する検討を行った。

2.1 手法の精度および適用性に関する検討

Fig. 1 に示す、住宅居室における遮音性能測定時の音源室を想定した有限要素モデルにおいて、提案手法の精度および適用性に関する検証を行い、伝搬モード展開におけるエバネッセントモード導入の必要性などの、解析手法の基本条件に関する確認を行った。

また、各種室内吸音条件に対する適用性

について検討するため、同モデルにおいて室境界面のインピーダンスの位相 ψ を変化させ、入射および反射エネルギーの比率 ρ を求めた。算出例の Fig. 2 (a), (b)より、 ψ の絶対値が比較的小さい場合、 ρ の乱れは小さく、入射波を精度よく分離できることを確認した。一方 Fig. 2 (c), (d)より、 ψ の絶対値が大きい場合、周波数が高く室内モード密度が比較的高い条件では入射波の分離に大きな誤差が生じることを確認したが、周波数が低く室内モード密度が比較的低い条件では誤差の影響は小さく、提案手法は適用可能であると考えられた。

2.2 入射特性の分析

提案手法を用いた音場解析により、室内入射特性に関する基礎的傾向について示した。前述の音源室モデルにおいて、壁面への入射エネルギーの指向性を解析した結果を Fig. 3 に示す。周波数帯域の上昇に伴い、低音域での離散的方向からの入射が、全方向からの一様な入射へと遷移する傾向が把握でき、また、吸音条件 (No.1: 入射壁のみ吸音, No.3: 室内全面吸音) による指向性の変化についても観察できる。

3. 室間遮音性能への入射特性の影響に関する実験

前章で提案した実験的解析手法の妥当性検証、ならびに室間遮音性能の要因分析を目的に、Fig. 4 に示す、集合住宅の RC 界壁および居室を模した実験室 (以下、居室実験室) に対して提案手法の適用を行った。

3.1 音場解析の妥当性に関する検討

遮音性能測定時の入射・透過音場の解析結果に基づき、提案手法による音場分解の精度を検証した。Fig. 5に、観測層における

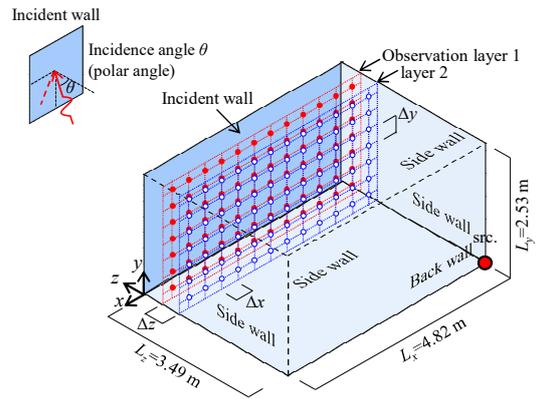


Fig. 1 An FE model simulating a source room under insulation measurement

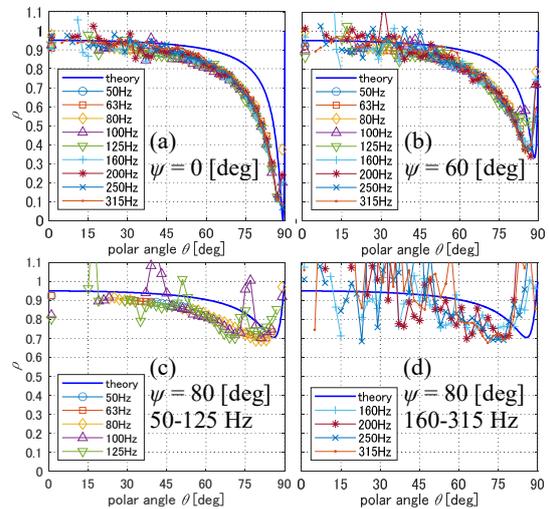


Fig. 2 Ratio of reflected to incident energy for the source room FE models with various values of ψ

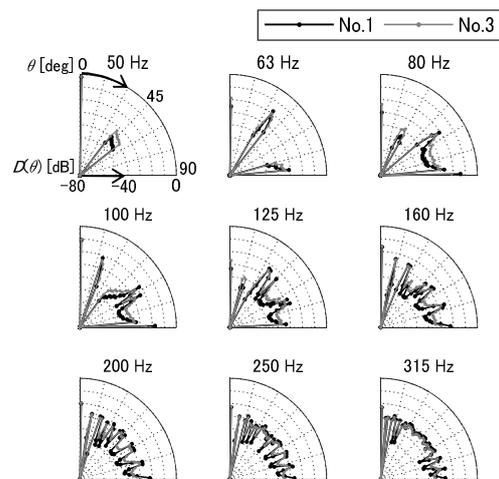


Fig. 3 Directional distribution of incident energy density of plane waves in 1/3 octave band for the source room FE model No.1, 3

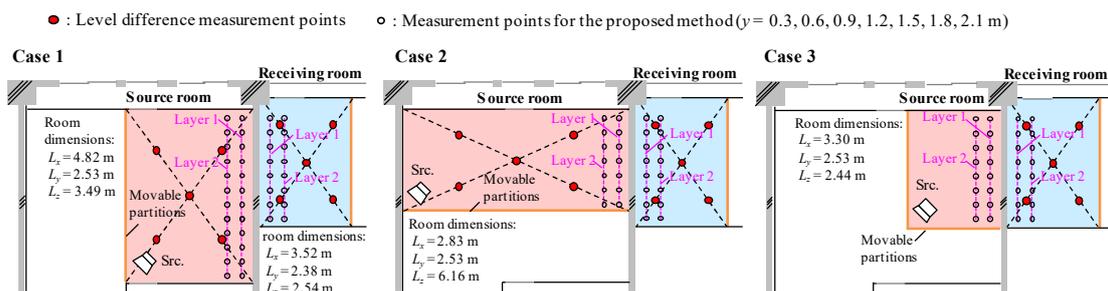


Fig. 4 The source and the receiving rooms for the sound insulation experiment

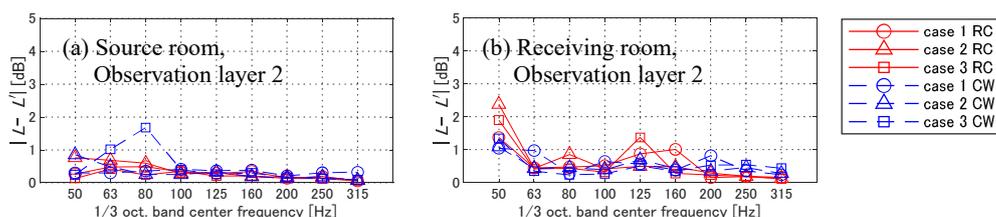


Fig. 5 Maximum values of absolute difference between measured and reconstructed SPL

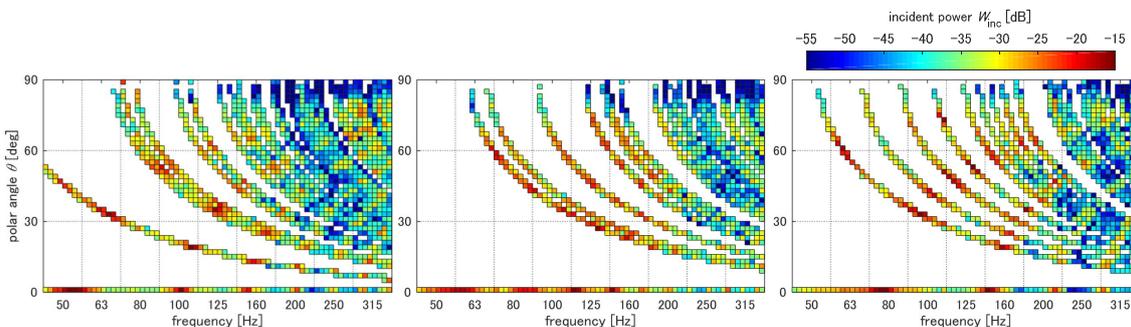


Fig. 6 Incident power for the RC single wall measured in Case 1-3 source rooms

音圧を再構成した際の誤差の例を示すが、誤差は小さく、本手法が音場の特性把握のうえで妥当な精度を有することを確認した。

3.2 入射条件による遮音特性の変化

実験室の音源室形状を変化させた際の、RC界壁の単独条件（RC単層壁）ならびにふかし壁との複合条件（複合壁）での室間遮音性能を比較した結果、室間音圧レベル差 D ，ならびに提案手法により算出した音響透過損失 R について、入射音場の違いにより低音域の特性が変化する点を確認した。

3.3 音場解析に基づく室間の音響透過現象の観察

低音域における R の変動に着目し、提案手法を用いた音響透過現象の分析を行った。

Fig. 6に、入射音場での伝搬方向別の界壁入射パワーの解析例を示すが、各Caseにおける音源室の室内モードの変化により、低音域の分布が変化する様子が観察できる。このような入射特性を透過音場の解析結果と比較することで、RC単層壁での低音域の透過音には、室間での室内モードのマッチングによる影響があり、とくに壁面垂直方向に近いモードの近接度が強く作用することが示された。

さらに、複合壁における入射音場の変化による性能変動要因について整理した結果、入射音場の違いにより、RC壁単体に対する複合壁の音響透過損失改善量 ΔR が変化することを示した。 ΔR の変動要因を明らかに

するため、提案手法により Fig. 7 に示す複合壁の斜入射吸音率を求め、Fig. 8 の複合壁の透過パワーと併せて観察を行った。その結果、複合壁の低音域共鳴透過が、壁体の斜入射共鳴周波数 $f(\theta)$ と入射特性とのマッチングにより影響され、壁の垂直入射共鳴周波数付近で強い垂直入射がある場合、強い共鳴透過により ΔR が低下する傾向があることを確認した。

4. 壁体の音響透過現象に関する数値シミュレーション

建築物における低音域の界壁遮音性能を評価するためのシミュレーション手法の構築を目的に、有限要素法を用いた数値解析手法の可能性について、実験室測定を対象とした基本的検討を行った。

4.1 実験方法および実験結果

Fig. 9 に示す不整形残響室対において、集合住宅界壁を想定した RC 単層壁ならびに複合壁 2 種を対象に、音響透過損失 R の測定を行った。壁体試験体の断面構成を Fig. 10 に示す。また、 R の測定と併せて音響加振による壁面振動の測定を行い、RC 板について弾性的な支持状態が推測される点や、ふかし壁での下地拘束による影響を確認した。

4.2 数値解析条件

室間の音響透過現象を模擬するため、測定室および壁体を再現する数値解析モデルの構築を行った。壁体モデルでは、Fig. 11 に示すとおり、複合壁の詳細な部材構成を含めた再現を行い、物性値に関しても実験的同定による結果を反映させた。RC 板の境界条件については振動特性の観察に基づき複数条件 (Case 1 : 4 辺単純支持, Case 2 : 1 辺単純支持, 3 : 自由端) を検討した。

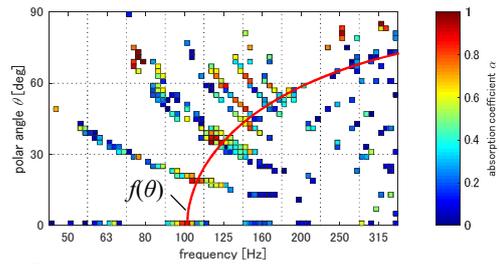


Fig. 7 Absorption coefficient for composite wall in Case 1

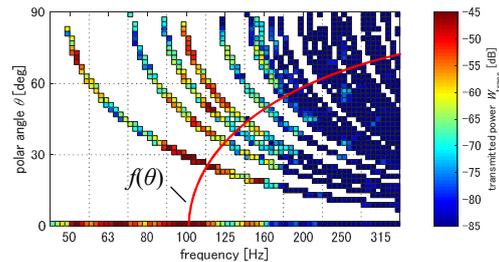


Fig. 8 Transmitted power composite wall in Case 1 receiving room

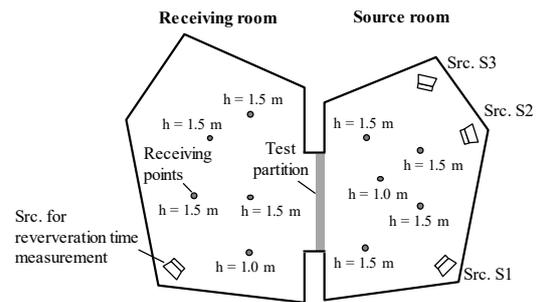
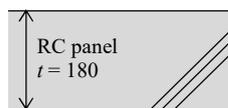
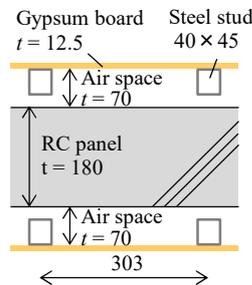


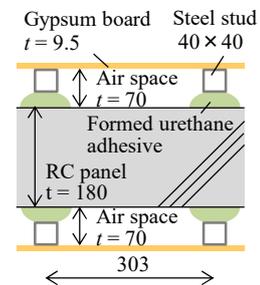
Fig. 9 Plan view of the laboratory for sound reduction index measurement



(a) RC single wall



(b) Composite Wall 1



(c) Composite Wall 2

Fig. 10 Lateral cross section of the test walls for sound reduction index measurement

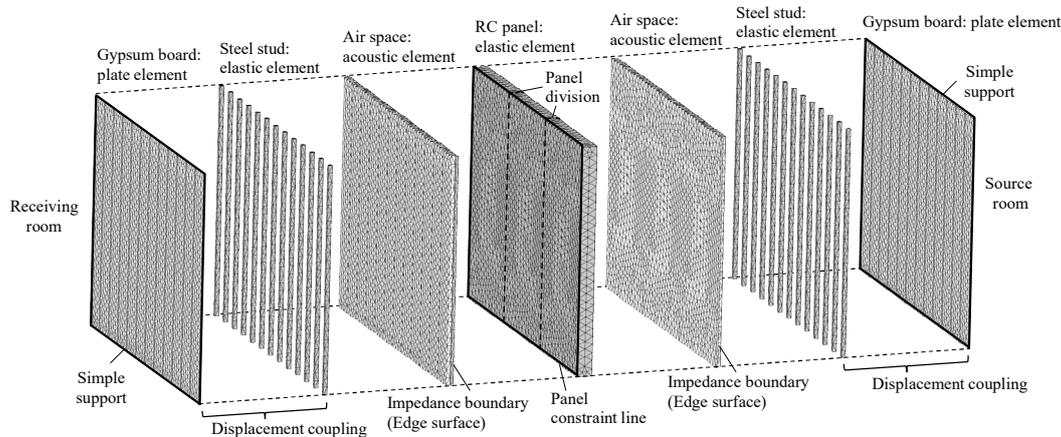


Fig. 11 Details of the FE model of Composite Wall 1

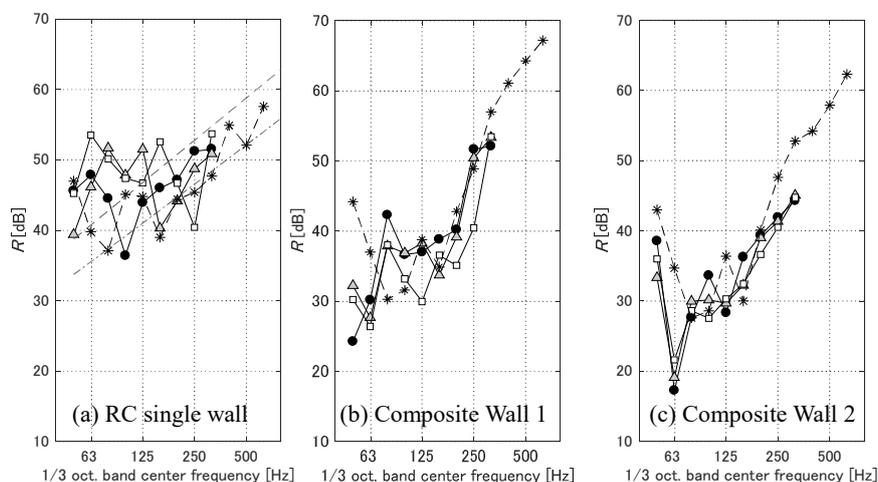


Fig. 12 Calculated and measured sound reduction index R

4.3 数値解析結果

音響透過損失 R の解析結果と測定結果の対応をFig. 12に示す。RC単層壁の解析結果では、測定値でみられた低音域のディップが一部再現される傾向を確認し、今回扱ったような弾性的支持状態にある重量パネルについて遮音性能を解析できる可能性が示された。複合壁の解析結果では、100 Hz帯域以上における測定値の傾向が概ね捉えられたことから、複合壁における、複雑な部材構成による低音域共鳴透過の影響を、数値シミュレーションにより評価できる可能性が示された。

5. 住宅居室における低音域の室間遮音性能に関する数値シミュレーション

前章で検討した壁体の数値解析モデルを用いて、住宅居室を想定した条件での室間遮音性能の数値シミュレーションを行った。

5.1 居室間の遮音性能解析モデルに関する検討

住宅居室の室境界条件をモデル化するため、第3章の居室実験室の音場解析結果を用いて室境界の複素アドミッタンスを同定した。さらに、居室実験室を対象にRC構造体の再現範囲を検討し、モデル範囲を隣接スラブ等にまで拡大していくことで低音

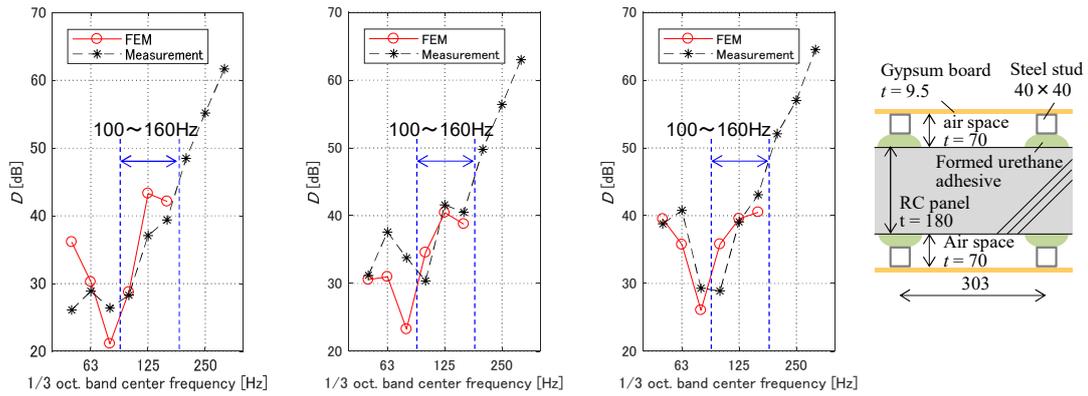


Fig. 13 Calculated and measured level difference D for composite wall under dwelling room condition

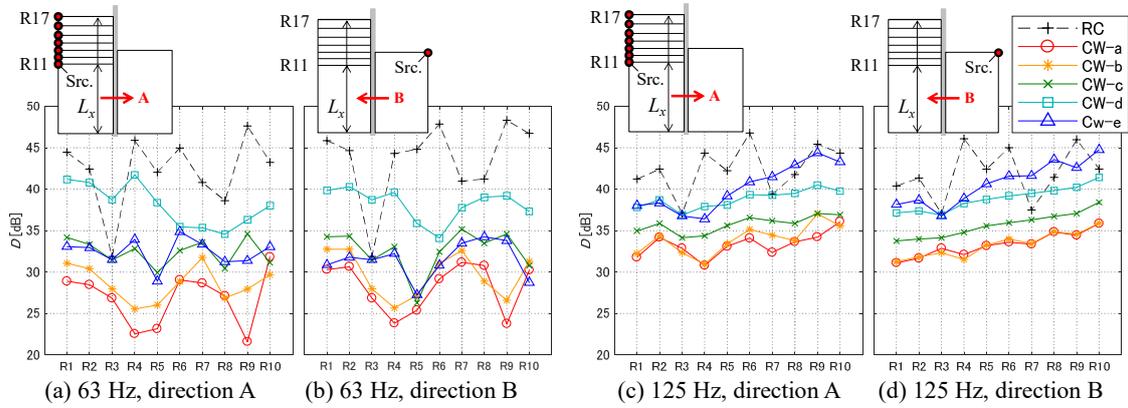


Fig. 14 Comparison of calculated level difference D in octave band for various room dimensions

域の D の解析精度が改善する傾向を把握した。これらの検討に基づき、居室実験室での複合壁の D を解析した結果を Fig.13 に示すが、評価上重要な 100~160 Hz 帯域の遮音特性が概ね再現されることを確認した。

5.2 室形状および界壁構成に関するケーススタディ

構築したモデルを用いて室形状および界壁構成の各種組み合わせによるケーススタディを行った。室幅変化による RC 単層壁および各複合壁 (CW-a~e) での D の変動例を Fig.14 に示す。室形状パターン全体でのオクターブバンド 63~125 Hz 帯域の D の変動は、RC 単層壁では 10~20 dB 程度、複合壁では最大 10 dB 程度生じた。また、RC 単層壁と各複合壁について、室形状による変動傾向が異なり、それぞれで不利とな

る室形状条件が相違する点や、室寸法の各方向の変化による D に対する影響が大きく異なる点などを確認した。

6. 総括

建築物における界壁遮音性能の解析方法として、室内音場解析に基づく現象観察を可能とする実験手法と、界壁構成や室内音場を考慮できる数値シミュレーション手法を整備し、さらにこれらの手法を適用することで集合住宅での低音域の遮音性能に関する知見が得られた。今後の課題として、本研究で構築した各手法についての精度・適用性の更なる向上が挙げられる。また、住宅居室間の遮音機構についての理解をさらに深め、より一般的な知見として整理していくことも大きな課題である。