

小型簡易音響箱による木質パネルの 音響透過損失の研究

姜 日順, 中尾 哲也, 西野 吉彦, 田中 千秋
島根大学総合理工学部

Sound Transmission Loss Through a Wooden Rectangular Plate Measured by a Small Acoustical Box

Rishun JIANG, Tetsuya NAKAO, Yoshihiko NISHINO and Chiaki TANAKA
Faculty of Science and Engineering Shimane University
(Received December 31, 1996)

小型簡易音響箱により、木質パネルの遮音特性を簡便的に測定し、音響透過損失の算定に関する解析理論で解析を行った。理論解析および本実験の簡易音響箱を応用し、木質材料単板、木質中空二重壁と三重壁および木質中空2重壁の空気層にガラスウールまたは発泡材を挿入したサンドイッチ形式の断面を持つパネルの音響透過損失の理論予測と簡便的な測定が可能かどうかを検討した。川井、田中および岩重らにより提案された一重壁の音響透過損失の理論を応用し、理論解析を行った。岩重、太田らの提案した中空二重壁およびN重壁の透過損失に関する改良型 S. E. A. 法 (Statistical Energy Analysis Method) により、木質中空二重壁と三重壁およびサンドイッチパネルの音響透過損失を計算した。小型音響箱および理論計算により、木質パネルの音響透過損失の簡便な測定と理論予測が可能であることが認められた。また、材料空隙構造および中空二重壁のコインシデンス効果が音響透過損失に与える影響について検討した。単板の内部空隙構造と関連する吸音性能などの影響が認められた。

1. 緒 言

近年、環境騒音、とりわけ道路交通騒音、鉄道騒音、航空機騒音あるいは近隣騒音などの騒音公害が多発し社会問題として深刻化しつつあることは公知である。また、騒音公害は、我々の生活の身近なものであり、今後も、経済の発展に伴った重要な問題である。その騒音防止対策に対する研究はますます重要な研究となる。騒音公害を防止する一つの方法は、吸音性または遮音性に優れた防音材料を開発することである。例えば、道路、鉄道をはじめとする騒音発生箇所には防音構造物を設置することが挙げられる。即ち、騒音防止対策において、遮音による対策は重要な中心的手段とも言える。また、生活様式の向上に伴い、集合住宅や、連続住宅、ホテル、病院などにおいて、プライバシーの確保が重視されるようになり、その面からも遮音対策は大きな問題となった。

防音材料を開発するためには、まず、その材料の特性を知る必要がある。防音材料の特性は、吸音率、音響透過損失によって表されるが、これらの諸量は JIS 規格に基づく残響室

法¹⁾によって測定されるのが一般的である。

従来、材料の音響透過損失が質量法則に従うことはよく知られている。即ち、質量法則によって材料の面密度が音響透過損失に影響を与える最も重要な因子である。しかしながら、有限大きさの板に対して、前文に記述したように、入射音波による板の振動、内部損失、ステイフネス、周辺支持条件などが無視できない。

今まで、小型簡易音響箱を用いて、木質単重壁、中空構造パネル、およびサンドイッチ構造パネルについての音響透過損失の実験を行い、それらに応じた理論を使って透過損失の理論計算を行った²⁻⁴⁾。研究結果を総括して、理論解析および小型簡易音響箱を応用し、木質パネルの音響透過損失の予測と簡便な測定が可能であることが認められた。本報告では、今までの研究結果をまとめた上、特に今まで言及していない、パネル遮音性能に及ぼす単板密度と内部空隙構造の影響および、この影響を利用した中空2重壁遮音性能の実用的な改善方策について検討する。

2. 実 方 法 験

本実験では、3種類の受音箱（それぞれケースⅠ、Ⅱ、Ⅲと略す）をコンクリートで作製した。受音箱の内寸法はケースⅠ、Ⅱの場合それぞれ正方 800 mm（開口寸法 800×800 mm）と 400 mm（開口寸法 400×400 mm, 250×250 mm）で、ケースⅢの場合 300×150×150 mm（開口寸法 300×150 mm）である。図1（ケースⅠ）に示すようにその上部一面は試料取り付け開口部である。音響箱の内壁に吸音材料である厚さ 3 cm のスポンジとガラスウールを重ねて内側5面に貼った。試験体は音響箱開口部のサイズに応じて、木質ボードで作製した一重壁、中空二重壁、中空三重壁およびサンドイッチパネルである。試験体を受音箱の開口部に乗せて、上にコンクリート製抑え枠で圧縮する。マイクロホンは受音箱の中心付近で、試験体より 150 mm（ケースⅢの場合 50 mm）下に設置した。スピーカは受音箱の外部、試料の上部で、試料の中心に水平と垂直距離とも 1000 mm の所に置いてある。外部で発生させた白色雑音を受音し、FFT アナライザーで解析し、1/3オクターブバンドで周波数分析を行い、試験体のある場合とない場合の音圧レベル差、即ち遮音度を測定することにより透過損失を求めた。また、受音箱内への音の漏れ防止のため、試験体を乗せたときの周辺の隙間は粘土で塞いだ。

3. 結 果 と 考 察

3.1 以前研究結果のまとめ

3.1.1 矩形木質単板の音響透過損失²⁾

小型簡易音響箱による木質材料単重壁の音響透過損失の測定結果と川井⁵⁾、田中⁶⁾、岩重⁷⁾らの理論でより厳密な解析により、次の結果を得た。

理論解析および簡易音響箱を応用し、木質単板の音響透過損失の理論予測と簡便な測定が可能であることが認められた。1 KHz 以下の周波数域では、試料が有限の大きさの小試験

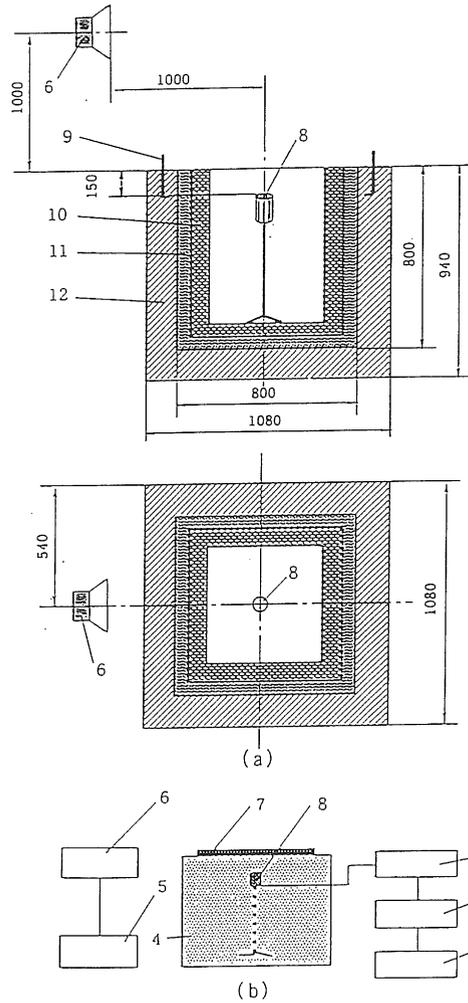


図1 音響箱と計器配置図

1. プロッター
2. FET アナライザ
3. 騒音計
4. 音響箱
5. ノイズ
6. スピーカ
7. 試料
8. マイクロホン
9. ボルト
10. ガラスウール
11. スポンジ
12. コンクリートボックス

体であるために、多くの低次の固有振動数が存在するが、透過損失の周波数に従う変化傾向および低音域における共振周波数は、材料の損失係数に周波数依存性を考慮した理論計算結果とほぼ一致する。また、鈴木ら⁸⁾の理論を応用し、低音域(1 KHz 以下)での透過損失の補正を行い、JIS に基づいた結果とよく一致する結果を得た。さらに、非常に小さい音響箱では、板の共振だけでなく、箱の内部の空気の共振をも考慮しなければならない。この場合、低音域における実測値は岩重の理論による解析結果の傾向にかなり類似している。

3.1.2 中空壁パネルの音響透過損失³⁾

小型簡易音響箱を用い、木質中空二重壁と三重壁の音響透過損失の測定、および岩重、太田ら^{9,10)}により提案された改良型 S. E. A. 法による理論計算により、次の結果を得た。

本実験の小型簡易音響測定装置を用い、木質中空パネルの音響透過損失の簡便な測定を行うことを試みたところ、中空二、三重壁についての実験結果は、岩重、太田らの改良型 S. E. A. 法による理論予測値とかなり一致した。即ち、理論計算および簡易音響箱により、実用上、極めて重要な、木質中空二、三重壁の音響透過損失の理論予測、あるいは、簡便な測定の可能性を見いだした。さらに現実の、様々な大きさおよび各種類の壁パネルの遮音性を定量的に簡便に予測することが可能であることが推定された。

3.1.3 サンドイッチ形式の断面を持つパネルの音響透過損失⁴⁾

本研究によって中空二重壁の空気層にスタイロフォームおよびガラスウールを挿入したサンドイッチパネルにおいて次のような結果を得た。

本実験では、中空壁パネルの空気層内に繊維マット（ガラスウール）あるいは発泡材（スタイロフォーム）を挿入したので、芯材は剛性も弾性も小さく空気層の持つ剛性や弾性を著しく変えることがないが、芯材層内を伝搬する音波に対して流量抵抗を主体とする減衰作用を与え、このために、こんな抵抗材サンドイッチパネルが中空壁パネルと異なった遮音性能を示した。低周波域共鳴透過周波数 f_m および高周波域コインシデンス限界周波数 f_c の計算には、中空壁の f_m と f_c の計算式を使った。

本小型簡易音響箱を用いて、スタイロフォームあるいはガラスウールを中空パネルの空気層に挿入した、サンドイッチパネルの音響透過損失の理論予測および実験室で簡便な測定が可能であることが認められた。さらに各種類の充填材料を挿入したサンドイッチ形式の断面を持つパネルについても、本研究の結果を基に、遮音性能の理論予測ならびに簡便な測定が可能であると考えられる。ただし、パネル芯材の力学性質は、低周波域共鳴透過周波数 f_m および高周波域コインシデンス限界周波数 f_c を左右する重要な因子であり、芯材に弾性、剛性が発泡材より著しく大きいサンドイッチパネルに対して、中空壁の f_m と f_c の計算式をそのまま使うと、適用できない場合があり、芯材のヤング率 E を導入した計算式を使わねばならない。この場合 f_m の変化に伴い、広音域における透過損失の計算結果が異なり、実用上の注意点を必要とする。

3.2 パネル遮音性能に及ぼす単板密度と内部空隙構造の影響

ここで、材料の密度が音響透過損失に影響を与える一例を、表1に示す。材料はパーティクルボード（面積 900×900 mm）単重壁である。表1に示すように、上の例、下の例ともに面密度の高い方の材料が低い方の材料に比べ、その遮音性能は同等もしくはむしろ劣っている結果となっている。これは密度即ちパーティクルボードの内部空隙構造の差により、透過損失が異なると考えられる。従って、内部空隙構造を映した板の密度は透過損失に与える影響が無視できない。

また、本実験では、内法正方 400 mm、開口部正方 250 mm のコンクリートボックスを用いて、フェノールとメラミンホルムラレデヒト樹脂で浸漬した MDF（寸法 $7 \times 300 \times$

表1 ボードの透過損失に及ぼす密度の影響

材 料	厚さ (mm)	面密度 (kg/m ²)	密度 (kg/m ³)	TL の平均値 (63 Hz~10 KHz)
パーティクルボード	31.5	21.9	696	28.04
	41.0	26.1	636	27.03
	11.5	9.8	852	24.15
	15.5	11.8	756	24.29

300, 21×300×300 mm) の遮音性変化傾向の実験を行った。結果を図2, 3に示す。図から、樹脂浸漬処理により遮音性能は著しく上がっている。このうち、面密度の増加による透過損失の増加値がそれぞれ3 dB (7 mm の厚の MDF) と 1.8 dB (21 mm 厚の MDF) であるが、実測結果の増加値はそれぞれ 3.5 と 4.7 dB である。この結果から、樹脂の浸入によって遮音性能が上がった原因としては、面密度が増加した効果の他に、樹脂の浸入によるボードの空隙構造の変化が考えられた。

一方、これに対して、図4, 5に示すように、圧縮された軟質繊維板とスタイロフォーム発泡板の遮音性能は、両方とも圧縮前より悪くなった。これらの結果を表2に示す。これは圧縮によって、元来の空隙構造が破壊され、吸音性能の低下に伴い、遮音性能が劣ったと考えられる。これについては、パーティクルボードやファイバーボードなどの空隙構造を持つ木質ボードと比較検討し、詳しい考察をする価値があると思われる。

3.3 中空2重壁におけるコインシデンス効果の“ずらし”

中空2重壁の遮音性能を上げるために、厚い板を使っても、表裏板の厚さが同じ場合には

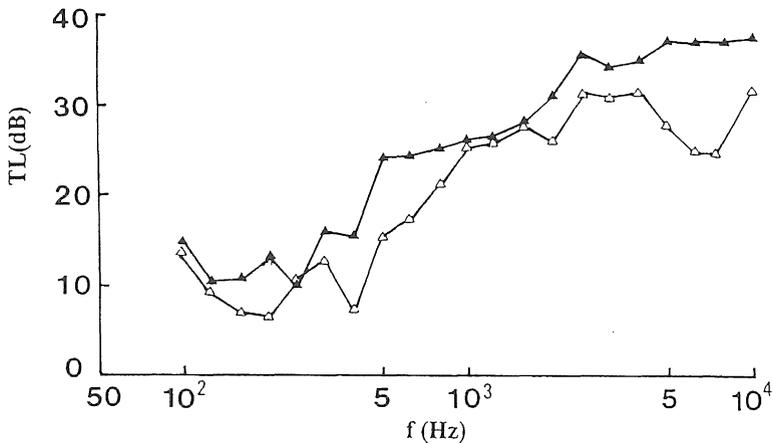


図2 フェノール樹脂浸せきにより MDF の透過損失の変化傾向
MDF 7 mm △: 未処理, M=5.32 kg/m²
▲: フェノール樹脂浸せき後, M=7.87/m²

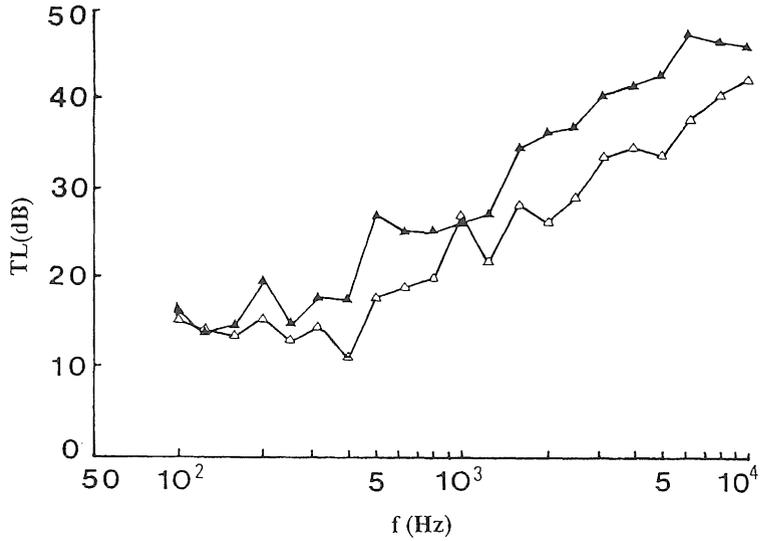


図3 メラミン樹脂浸せきにより MDF の透過損失の変化傾向
 MDF 21 mm △:未処理, $M=15.5 \text{ kg/m}^2$
 ▲:メラミン樹脂浸せき後, $M=19.7/\text{m}^2$

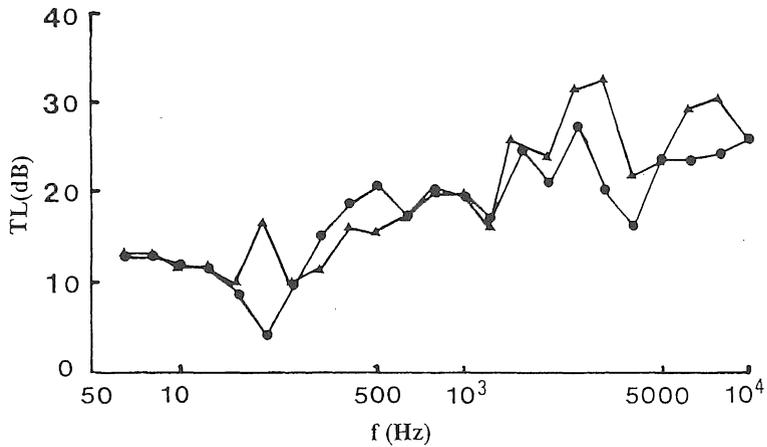


図4 圧縮と未圧縮軟質繊維板の透過損失の変化傾向
 ▲:圧縮前, 20 mm ●:圧縮後, 9.5 mm

コインシデンス効果が明瞭に現れた。図6に示すように、コインシデンス効果で2 KHz 周波数付近では表裏板の厚さが12 mmの合板中空2重壁の遮音性能は落ちることがわかる。そこで、わざと表板の厚さを薄くして、コインシデンス効果周波数をずらせて、明瞭な共鳴

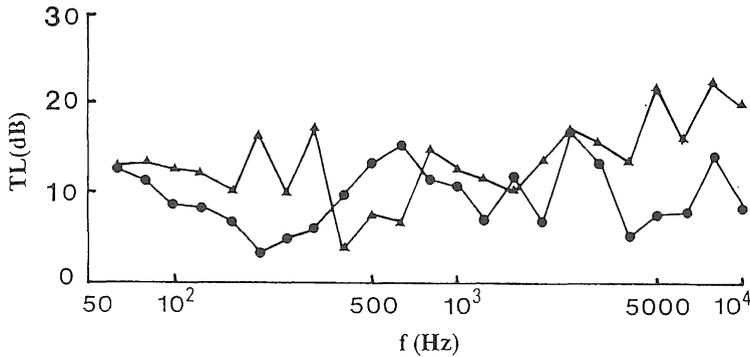


図5 圧縮と未圧縮スタイロフォーム発泡板の透過損失の変化傾向
 ▲：圧縮前，30 mm ●：圧縮後，20 mm

表2 圧縮による透過損失の変化値 (dB)

材 料	厚さ (mm)	周 波 数 (Hz)							
		125	500	1 K	2 K	4 K	8 K	10 K	63~10 KK平均
スタイロフォーム発泡板	圧縮前 30	12.25	7.45	12.63	13.74	13.60	22.42	19.88	13.62
	圧縮後 20	8.43	13.65	10.95	6.78	5.42	14.40	8.56	9.78
軟質繊維板	圧縮前 20	11.59	15.48	19.88	24.0	16.91	30.37	26.0	19.30
	圧縮後 9.5	11.82	20.93	19.49	21.24	16.38	24.24	26.0	17.85

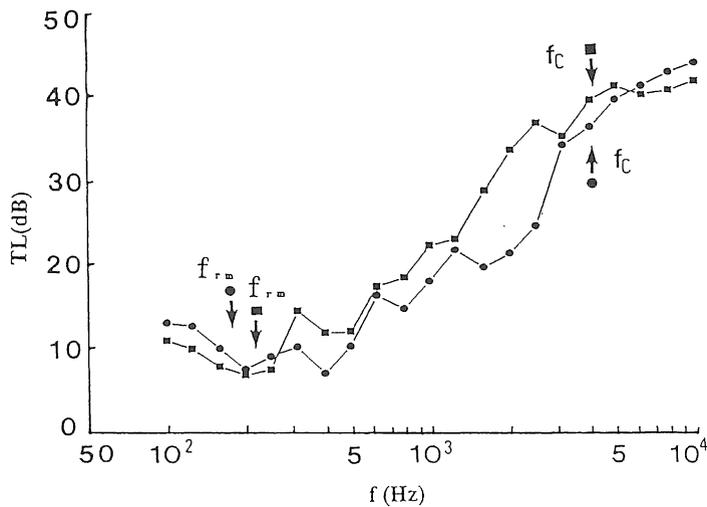


図6 コインシデンス効果の“ずらし”による透過損失の周波数特性
 合板 非等厚表板：h1=5 mm, h2=15 mm, d=40 mm
 等厚表板：h1=h2=12 mm, d=40 mm

を生じないように工夫すると、2枚総計の厚さを薄くしたにもかかわらず、問題となった2 KHz 付近での遮音効果の改善が認められる。例えば、本実験の例には、1~3.15 KHz にかけて両者それぞれの透過損失の平均値が 27 dB と 33.3 dB であり、その差が 6.3 dB となった。また、そのほかの周波数域においては、それほど板の厚さを薄くしたことによる遮音効果の悪化は認められない。

4. 結 論

理論解析および本実験の小型簡易音響箱を応用し、木質材料単板、木質中空二重壁と三重壁および木質中空二重壁の空気層にガラスウールまたは発泡材を挿入したサンドイッチ形式の断面を持つパネルの音響透過損失の理論予測と簡便的な測定が可能であることが認められた。また、材料空隙構造および中空二重壁のコインシデンス効果が音響透過損失に与える影響についての検討した結果によって、中空二重壁に対して、遮音性能を上げるために、ある場合、厚い板を使うよりも表、裏板の厚さを変えてコインシデンス効果周波数をずらせた方が効果が得られる。また、ボードの音響透過損失に影響を与える要因として、既に広く認められているボードの面密度の他に、単板の密度および内部空隙構造と関連する吸音性能などの影響が認められた。この方面では、さらに遮音パネルの設計に参考価値のある試験と詳しい考察の必要性が残されている。

文 献

- 1) 日本音響材料協会：建築音響関係 JIS 解説, p. 15-18, 1979.
- 2) 姜 日順ほか4名：木材学会誌, **42** (9), 825-831 (1996).
- 3) 姜 日順ほか4名：木材学会誌, **43** (2), (1997).
- 4) 姜 日順：鳥取大学大学院連合農学研究科学学位論文 (1997).
- 5) 川井孝雄：日本音響学会誌, **29** (4), 196-198 (1973).
- 6) 田中 洪：東京工業大学学位論文 (1975).
- 7) 岩重博文：広島大学教育学部紀要, 第2部, **39**, 195-201 (1991).
- 8) 鈴木正治, 小嶋嘉豊, 子安 勝：木材学会誌, **32** (3), 155-162 (1986).
- 9) 岩重博文, 太田光雄：日本音響学会誌, **36** (9), 447-458 (1980).
- 10) 岩重博文, 太田光雄：同上, **37** (10), 484-493 (1981).