

ハニカムフラッシュ構造の音響特性について

On Acoustic Properties of Honeycomb Sandwich Construction

中岡正典*¹
Masanori Nakaoka

抄 録

木製のハニカムフラッシュ構造（ハニカムサンドイッチ構造）のパネルを対象として、ドアの遮音等級で T-1 を達成する方法を検討した。その結果、表面材の材厚を増す（面密度を増加させる）方法のみでは、目標達成に 12mm 厚の MDF をパネル両面に用いる必要があった。他に、ハニカムコアのセル内への多孔質材料の充填や、ハニカムコアの設置面積を削減する方法も効果的で、いずれも音響透過損失が平均して約 4dB 改善した。特に、ハニカムコアの設置面積の削減によって生じた空間に多孔質材を充填し、加えて片方の表面材の裏面に MDF を貼付して質量を付加する方法を併用した条件では、表面材厚が 4mm でも平均で約 10dB 改善され、T-1 等級を達成できた。

1 はじめに

木製やスチールを問わず、県内の建具メーカーで製造されているフラッシュ構造のドアの大半で、内部の中空層にハニカムコアが使用されている。これは、接着のためのプレス時に表面材に生じる芯影、ノック時の音の高級感、そしてドアの曲げ剛性の向上などが目的である。

ただし、このような利点ばかりでなく、遮音性能が著しく低下する欠点があることも知られている¹⁾。そこで本研究では、特に木製のフラッシュパネルを対象として、ハニカムコアを使用しつつ、ドアの遮音等級で T-1 等級（500Hz で音響透過損失が 25dB）を達成できる方法を検討した。

2 方法

実験にあたり試作したフラッシュパネルでは、図 1 に示すとおり、見付寸法 30mm の LVL（樹種：ポプラ）を芯材として 4 辺を構成し（中間部分の芯材は 1 本）、内部の中空層全面に芯材の見付寸法 30mm と同厚のペーパーハニカムコア（新日本フェザーコア製フェザーコア、タイプ：F-R、セルサイズ：10.5、中芯原紙）を使用した。また、表面材は 2.5mm 厚の MDF（NP ウッド、ニュージーランド産オールラジアタパイン）、そしてパネルサイズは横 860mm×縦 1960mm×総厚 35mm を標準仕様とした。本研究で

表面材に使用した MDF の密度および面密度を表 1 に示す。芯材およびペーパーハニカムと表面材の接着には、パネル 1 枚当たり約 300g～350g の酢酸ビニル樹脂接着剤（コニシ製 CH18）を使用し、約 5.5N/cm² の条件でコールドプレスにて圧縮した。

これについて、表面材の材厚、ハニカムコアの設置面積、多孔質材の充填など、様々な要素を変更し

表 1 パネル表面に使用した MDF の密度

材厚 [mm]	密度 [g/cm ³]	面密度 [kg/m ²]
2.5	0.80	2.0
4	0.78	3.1
7	0.70	4.9
9	0.64	5.8
12	0.62	7.4

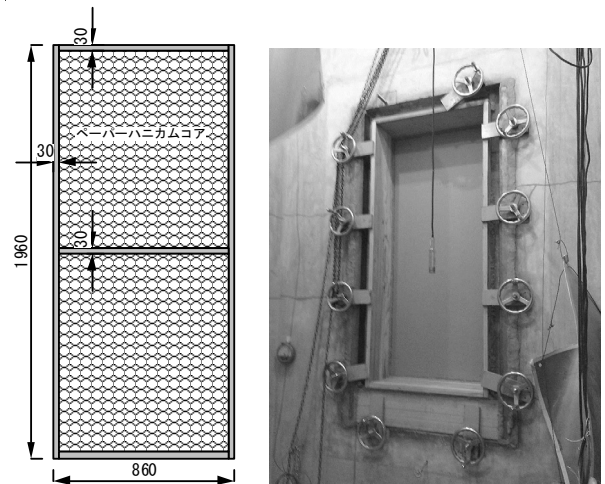


図 1 試作パネルの内部構成（左）
および残響室開口部に設置された試作パネル（右）

*1 生活科学担当

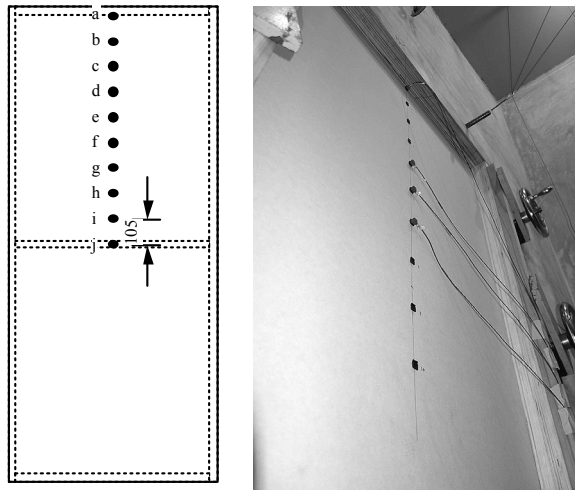


図2 加速度センサーの取り付け位置（左）
および測定の様子（右）

たパネルを試作し、遮音性能の実測値を比較することで、効果的な対策を検討した。多孔質材の使用に際しては、嵩密度 24kg/m^3 で材厚 50mm のグラスウールや、スギバークを粉碎した繊維²⁾を使用した。

遮音性能の評価は、残響室の開口（横 800mm × 縦 1900mm ）に試作パネルを設置し、音響透過損失の測定により行った（図1）。ただし、残響室の容積（音源室： 34m^3 、受音室： 38m^3 ）等が JIS 規格（JIS A 1416）を満たさないため、測定結果はあくまで参考値である。

また、音響加振時のパネル表面各点の振動性状を把握する目的で、図2に示すように、加速度センサーを受音室側の表面材の端部 a 点から中央部の j 点にかけて 105mm 間隔で 10 点取り付け、ピンクノイズで音響加振した際の振動速度をオクターブ分析器で測定した。

3. 結果および考察

標準仕様のパネルに対し、遮音性能に影響を及ぼすと思われる各要素について、それぞれ仕様変更を加えたパネルを試作し、音響透過損失を測定した。以下、仕様変更した要素ごとに、それぞれ比較検討した結果を示す。なお、図中では目標となる T-1 等級のグラフも併記した。

3・1 ハニカムコアの有無の影響

まず、各仕様変更の検証を行なう前に、ペーパーハニカムコアの有無による遮音性能の差を比較した（図3）。その結果、中～高周波数域では、ハニカムコアの設置により、パネルの音響透過損失が大きく

低下しているが、 200Hz ～ 400Hz では逆転しており、周波数によっては、ハニカムコアが有利に働く側面があることが確認できる。

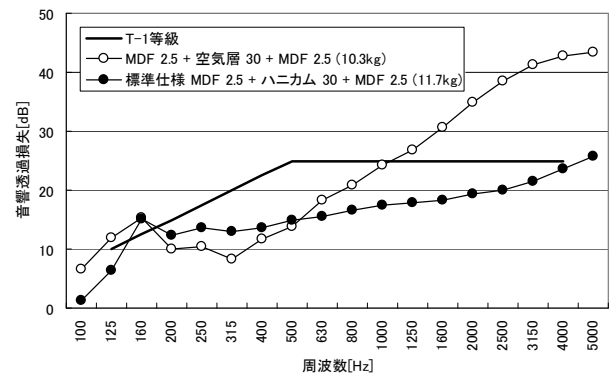


図3 ハニカムの有無による遮音性能の比較

3・2 表面材の厚みの影響

遮音性能を改善する方法として、表面材の MDF の材厚を増した際の効果を検証した（図4）。ここで、芯材の厚み（ハニカムコア厚）は 30mm の標準仕様で固定した。結果は、表面材厚が増し、面密度が増加することで、全測定周波数帯域にわたり音響透過損失が向上した（表面材 9mm で平均 6.1dB 、 12mm

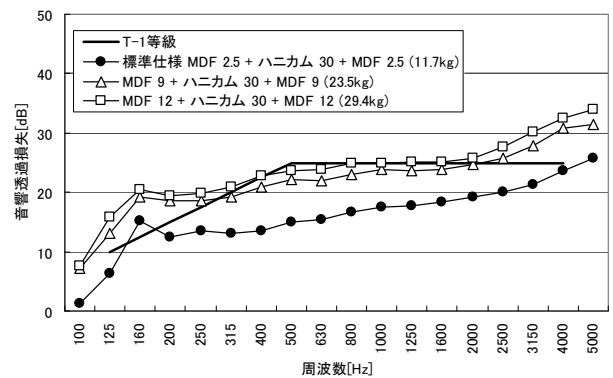


図4 表面材厚の増加による遮音性能の改善
（ハニカムコア有りの場合）

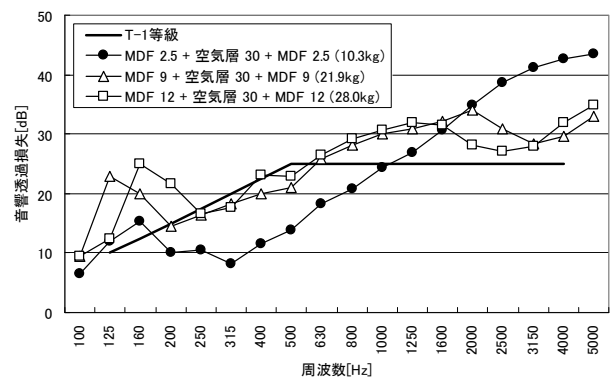


図5 表面材厚の増加による遮音性能の改善
（ハニカムコア無しの場合）

で平均 7.7dB)。特に表面材厚が 12mm の条件では、T-1 等級を達成している(等級線を下回る合計が 3dB 以内の場合は、その等級とすることができる)。ただし、このパネルは総厚が 54mm で、総重量も 29.4kg あるため、製品として現実的な仕様ではない。

また、参考までにハニカムコアが無い条件で比較した結果も図 5 に示す。低～中周波数域では図 4 と同様に遮音性能の改善が認められるが、高周波数域では材厚の増加に伴いコインシデンス効果による顕著なディップが生じている。また、表面材厚が 12mm の条件では、図 4 の場合と異なり、250Hz～315Hz の小さな落ち込みが原因で、T-1 等級に達していない。これらの結果から、本実験では、表面材厚が 12mm の条件では、ハニカムコアを設置したパネルの方が遮音性能に勝るという結果になった。

3・3 表裏の表面材の材厚が異なる場合の影響

一般的に、本研究で対象としているパネルのような二重構造では、特に表裏の面材が同一の場合、一部の周波数で共鳴透過現象により、遮音性能の低下が生じやすい。そこで、表裏の各表面材を足し合わせた総厚をほぼ同じに保ちつつ、表裏の表面材の材厚が同一(9mm)の場合と、異なる場合(7mm と 12mm の組み合わせ)で音響透過損失を比較した(図 6)。結果は、一部の周波数で表面材厚が異なるパネルの方が若干優れているが、顕著な差は生じなかった。これは、表面材厚の差が比較的小さいことや、表裏の各表面材がハニカムコアで連結されていることも影響しているものと思われる。

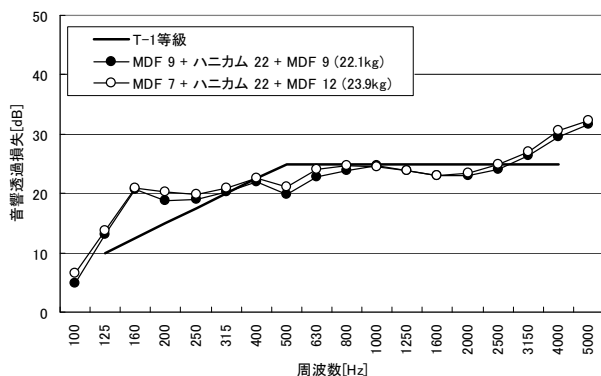


図 6 表裏の表面材の材厚が異なる場合の影響

3・4 芯材の厚みおよび本数の影響

まず、表面材の MDF を 2.5mm 厚の標準仕様とし、芯材の厚みを変化させた際の遮音性能への影響を検証した(図 7)。芯材の厚みの変更に伴い、ハニカム

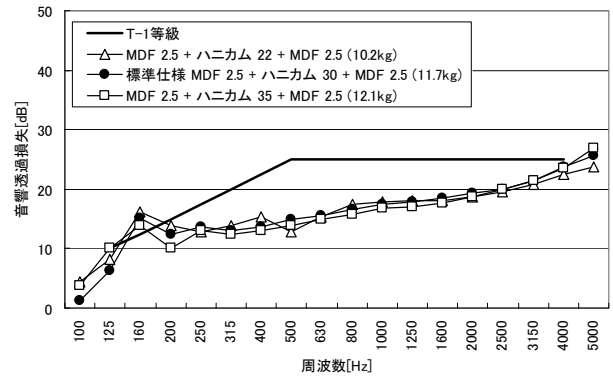


図 7 芯材の厚みによる遮音性能への影響

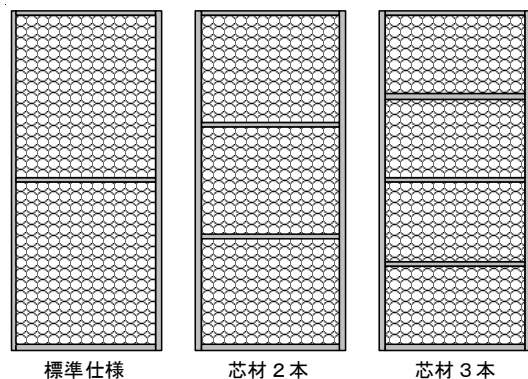


図 8 芯材を増加させた際の構成

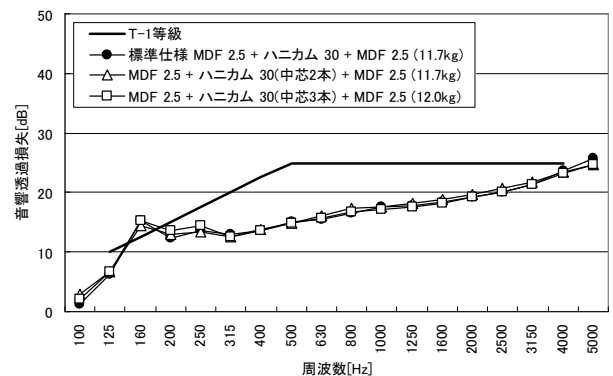


図 9 芯材の本数の増加による遮音性能への影響

コアの厚みやパネル総厚が変わり、パネル全体の曲げ剛性等にも影響すると思われるが、結果は、周波数帯域によって優劣が入れ替わるものの、本実験の条件下(パネル総厚で最大 13mm の変化)では、その差は僅かであった。

次に、表面材厚(2.5mm)や芯材の厚み(30mm)を標準仕様(パネル総厚 35mm)とし、芯材の本数を図 8 のように増やした際の影響を比較したが(図 9)、ここでも、ほとんど差が生じなかった。これは、ハニカムが設置された部分は、芯材部分と同様に、表裏の各表面材が構造的に連結され、表面材の拘束条件に差が生じにくかったことが理由と考えられる。

3・5 ハニカムセル内への多孔質材の充填の影響

標準仕様のパネルに対し、ハニカムコアのセル内に多孔質材（スギパークを粉砕した嵩密度 61kg/m^3 の繊維²⁾）を充填した際の効果を検証した（図10）。結果は、ほぼ全測定周波数帯域で音響透過損失が改善した（平均で約4.4dB）。これに加え、表面材厚を増すなどの方法を併用すると、さらなる改善が期待できるものと思われる。

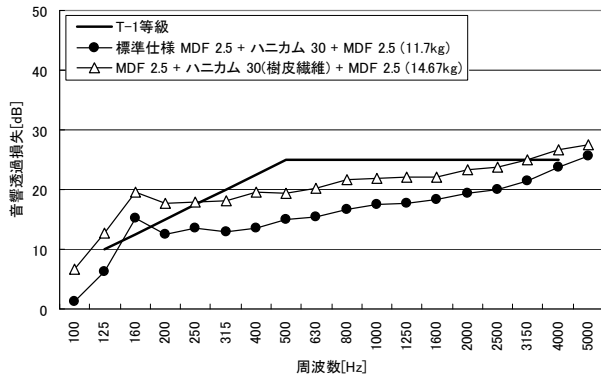


図10 多孔質材の充填による遮音性能の改善

3・6 ハニカムコアの設置面積の影響

パネルの遮音性能を改善する手段として、ハニカムコアの設置面積を削減する方法を試みた。削減部分は、ハニカムコアの設置理由の一つとして芯影対策があるため、芯材周辺を残し、芯材で囲まれたエリアの中央部分を対象とした。削減パターンは図11に示すとおり、標準仕様に対し設置面積75%と50%のパネルで比較した（図12）。その結果、250Hz～315Hzでは音響透過損失の低下がみられるものの、全測定周波数における平均では、設置面積75%で3.2dB、そして50%では4.4dBの改善がみられた。

次に、さらに遮音性能を高める手段として、ハニカムコアの設置面積が50%の条件で、ハニカムコアの削減によって生じたパネル内部の中空層を利用して、多孔質材としてグラスウールを充填する方法と、表面材への質量付加を目的として、MDFを各表面材の裏面へ貼付する方法を比較した（図13）。ここで使用したグラスウールは、嵩密度 24kg/m^3 で材厚50mmを30mmに圧縮して用いたので、実質の嵩密度は 40kg/m^3 である。また質量付加に用いたMDFは、中空層に合わせた横546mm×縦641mm×材厚10mmのサイズで、密度が 0.87g/cm^3 、質量が約3kg、そして各表面材にそれぞれ2枚ずつ用いたので、結果として約12kgの質量付加を行った。

その結果、グラスウールを充填したパネルでは、ほぼ全測定周波数域で改善がみられた。一方、MDFを表面材の裏面に貼付したパネルでは、コインシデンス効果による影響からか、1000Hz以上の周波数域では音響透過損失が悪化したものの、低～中周波数域では顕著な改善がみられた。これは、パネルが音響加振された際に表面材の振動振幅が大きくなると考えられる部分で、ハニカムコアの削減部分と結果的に一致し、質量付加が効果的に機能したことが理由と考えられる。

次に、これらの2つの方法を併用して、片方の表

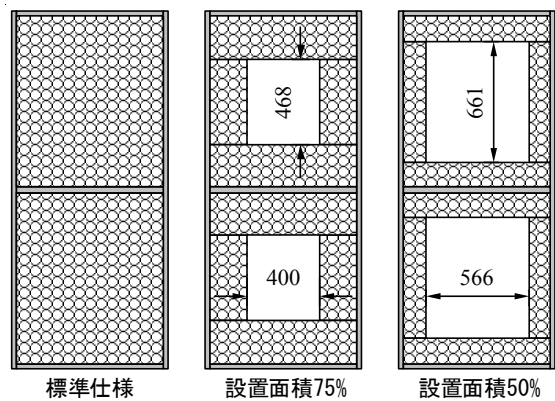


図11 ハニカムの設置面積の削減パターン

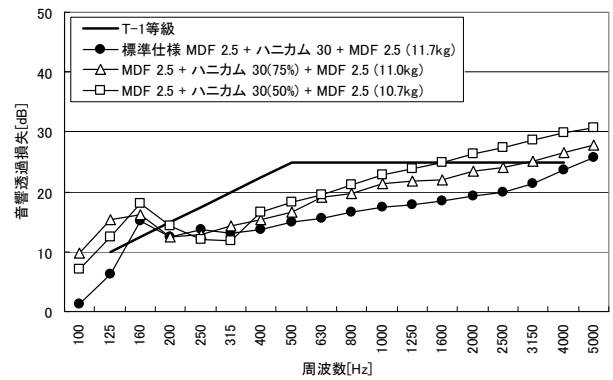


図12 ハニカムの設置面積の削減による効果

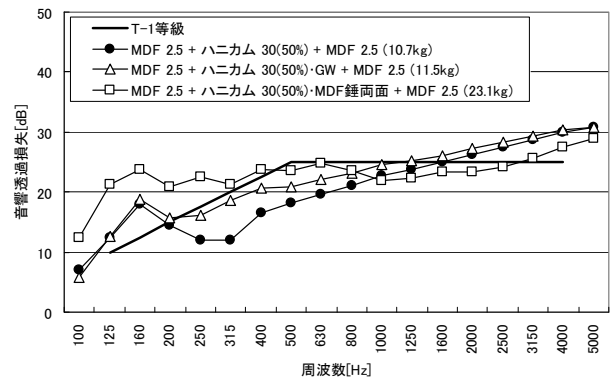


図13 ハニカムの設置面積50%で中空層にグラスウールを充填あるいはMDFを貼付した際の効果

面材の裏面にMDFを貼付し(2枚で約6kgの追加), 余った20mmの空間にグラスウールを圧縮して充填する方法を試みた(高密度24 kg/m³で材厚50mmを20mmに圧縮したので嵩密度は60kg/m³). ここでは, 比較対象として中空層にグラスウールを充填したパネルとMDFを各表面材の裏面に貼付したパネルを比較した(図14). その結果, 2つの方法を併用したパネルは, 高周波側で優れるグラスウールを充填したパネルと, 低周波側で優れるMDFを貼付したパ

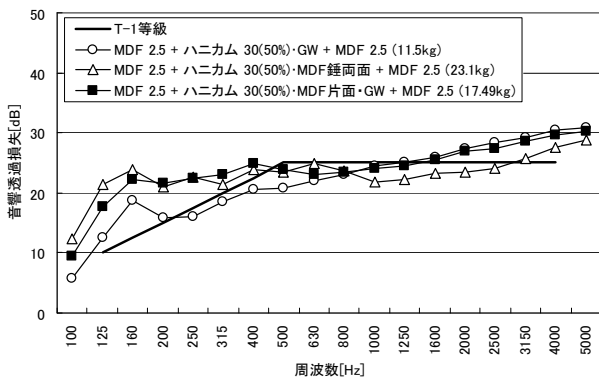


図14 ハニカムの設置面積50%で中空層にグラスウールを充填しMDFを貼付した場合の効果

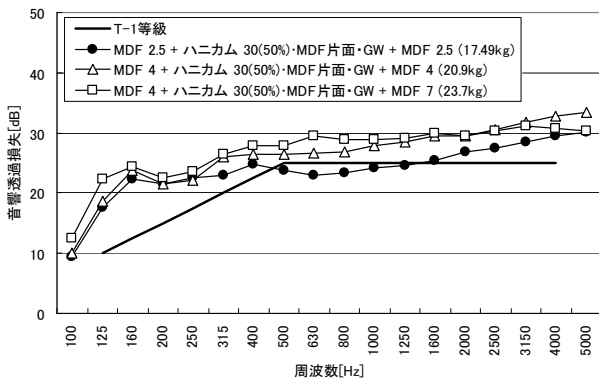


図15 ハニカムの設置面積50%で中空層にグラスウールとMDFを使用し表面材厚を増した際の影響

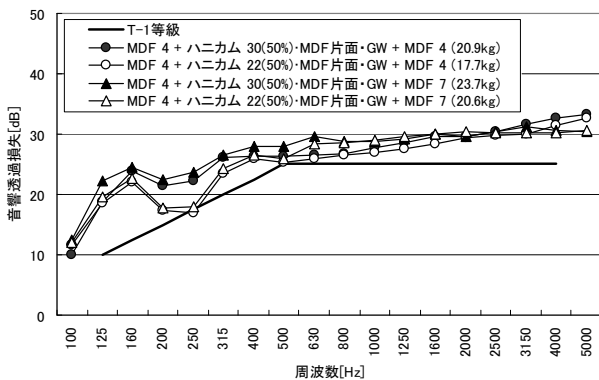


図16 T-1等級を達成したパネルに対し芯材の厚みを薄くした(パネル総厚を薄くした)際の影響

ネルの両者の良い部分が組み合わせられ, 理想的な周波数特性を示した. これにより, T-1 等級の達成までと僅かというところまで遮音性能が向上した.

そこで, さらなる改善を図る目的で, 2つの方法を併用しつつ, さらに表面材厚を増した際の効果を検証した(図15). 結果は, 中~高周波数域を中心にほぼ全測定周波数域で音響透過損失が改善され, 各表面材厚が4mmのパネル(総厚38mm), そして4mmと7mmを組み合わせたパネル(総厚41mm)のいずれにおいても, 目標のT-1等級を達成した.

最後に, 上記パネルにおいて総厚を薄くしても目標達成が可能かどうかを検証するため, 芯材の厚みを30mmから22mmに変更し, その影響を検証した(図16). その結果, 各表面材厚が4mmのパネル(総厚30mm), そして4mmと7mmを組み合わせたパネル(総厚33mm)のいずれにおいてもT-1等級を達成した. ただし, 芯材の厚みが30mmのパネルと比較すると, 等級には影響しないものの, 200Hz~250Hzの帯域でディップが生じている. 前述の3・4項では, 芯材の厚みによる影響はほぼ無かったが, このように条件が変わると芯材の厚み(パネル総厚)の変化が影響する場合もあることがわかる.

3・7 パネル上の各点における振動速度の比較

音響加振時のパネルの振動性状を把握する目的で, (A) 標準仕様のパネル, (B) 標準仕様からハニカムコアの除いたパネル, そして(C) 図15でT-1等級を達成した各表面材厚が4mmのパネルの3種類について, 図2に示すパネル上の各点における振動

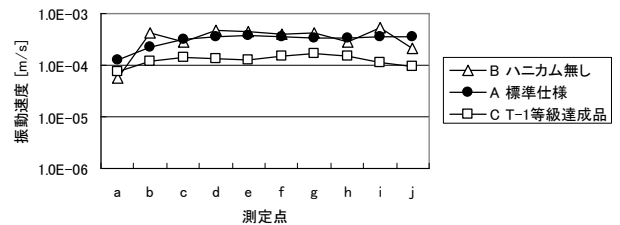


図17 パネル表面各点の振動速度(125Hz)

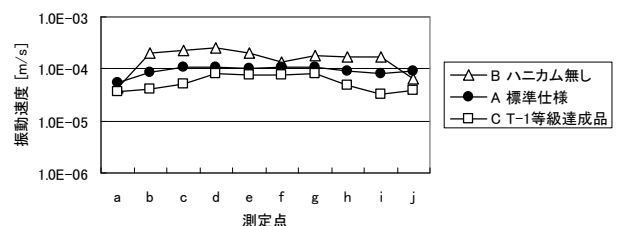


図18 パネル表面各点の振動速度(250Hz)

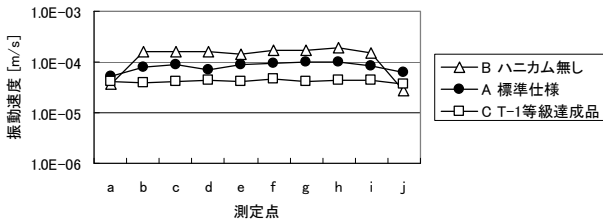


図 19 パネル表面各点の振動速度 (500Hz)

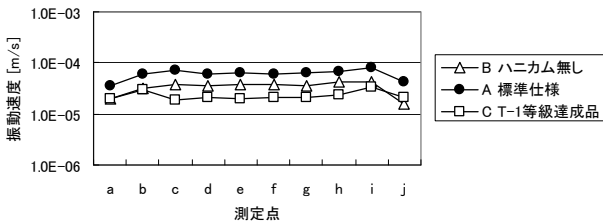


図 20 パネル表面各点の振動速度 (1000Hz)

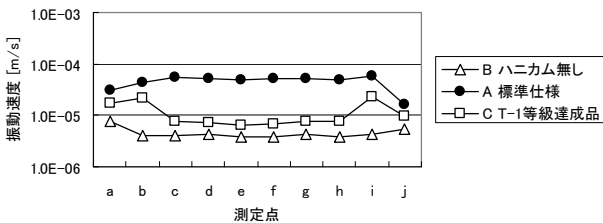


図 21 パネル表面各点の振動速度 (2000Hz)

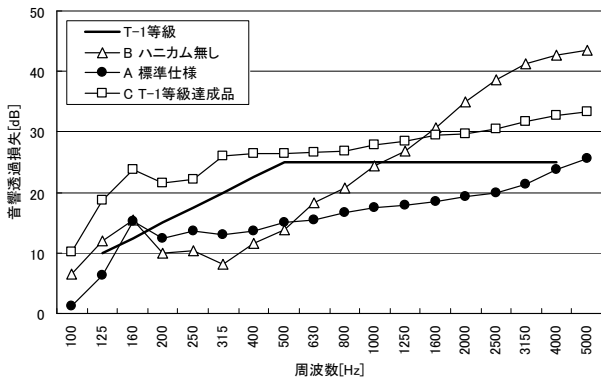


図 22 3つのパネルの音響透過損失の比較

速度の振幅を測定し比較した。その結果を、各オクターブ周波数ごとに、それぞれ図17～図21に示す。また、遮音性能との相関を比較するため、上記3パネルの音響透過損失を比較した結果も図22に併せて示す。図17～図21の各周波数の振動速度と、図22の該当する周波数の音響透過損失を比較すると、振動速度が大きいパネルほど音響透過損失が小さく、両者の関係性の高さがよくわかる。また、パネル上の測定点に着目すると、ほとんどの周波数において、ドア端部のa点に加え、ドア中心の芯材上のj点も振動速度が比較的小さい。このことから、パネル表

面材の振動を抑えるには、芯材で囲まれたエリアの中央部を主体に質量を付加するのが効果的であることがわかる。前述の3・6項では、芯影対策の観点から芯材周辺のハニカムコアを残し、芯材で囲まれたエリアの中央部に質量付加を行ったが、パネル表面材の振動を抑える観点からも、結果的に質量付加の位置が効果的であったことがわかる。

4. まとめ

木製のハニカムフラッシュ構造のパネルを対象として、ドアの遮音等級でT-1を達成する方法を比較検討し、以下の知見を得た。

- (1)表面材の材厚を増す(面密度を増加させる)方法のみでは、目標達成に12mm厚のMDFをパネル両面に用いる必要があった。
- (2)ハニカムコアのセル内に多孔質材(樹皮繊維)を充填することで、平均で約4.4dBの音響透過損失の改善が認められた。
- (3)ハニカムコアの設置面積を50%削減し、それによって生じた中空層に多孔質材(グラスウール)を充填し、さらに片方の表面材の裏面にMDFを貼付し質量を付加する方法を併用することによって、表面材厚が4mmでも平均で10.3dB改善され、結果としてT-1等級を達成できることがわかった。

なお、本研究ではパネル(ドア板)のみを対象としたが、実際の製品ではドア枠との密閉性が大きく影響するため、製品化に際してはその点を留意する必要がある。

謝辞

試作パネルの仕様検討にあたり、ニホンフラッシュ(株)からご助言を頂きました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 通商産業省立地公害局監修：新訂・公害防止対策要説(騒音・振動編)，(社)産業公害防止協会，p.49 (1992)
- 2) 中岡正典・石原国彦：「樹皮繊維の吸音特性とその推定方法について」，騒音制御，Vol.33，pp.446-457 (2009)