

(技術資料)

透光性吸音板「エコキューオンクリア™」

Translucent Sound Absorbing Panel "Eco Kyuon Clear"



堀尾正治*¹
Masaji HORIO



仲岡重治*¹
Shigeharu NAKAOKA



山田隆博*¹
Takahiro YAMADA



山極伊知郎*²
Ichiro YAMAGIWA

This paper describes the development of micro-perforated sound-absorbing panels having both translucency and sound-absorbing properties. The acoustic absorption mechanism of the micro-perforated panel causes friction loss and pressure loss of air vibrating in pores by sound resonance. This mechanism has been adopted in commercial sound-absorbing panels made of aluminum. In an attempt to provide translucent panels, the above mechanism was adapted for polycarbonate films; however, the sound absorption coefficient was found to decrease significantly due to the vibration of the films. To solve this problem, several materials considered manufacturable were combined with several pore patterns. Sound absorption coefficients were predicted by calculation and verified by experiments. Optimization of the porous sheet, including the sheet thickness, pore diameters and opening ratio, has successfully improved the sound absorbing performance.

まえがき = 道路などで交通騒音低減のため用いられる吸音板や遮音板は、大部分が光を通さない材料で構成されている。それらが道路脇に防音壁として高く積み上げられ、連続して設置されている場合、運転者に圧迫感を与えると同時に壁外の風景を遮る。さらに、沿線住民に対して日照を阻害する問題も発生している。これらの問題を解決するため、透明材料を用いた遮音板が使用されているが、吸音性能を有しないため設置高さに見合った防音性能が得られていないのが現状である。また、工場などにおいて、監視と防音を目的として機械や製造ラインなどを透明材料で囲った場合、騒音エネルギーが吸収されずに内部の音圧が上昇し、騒音低減効果が得られない場合がある。

こうした問題に対し、アルミニウムなどの金属材料で製品実績のある微細多孔吸音技術を透明材料に適用し、吸音性と透視・透光性の両方の特性を併せ持つ透光性吸音板を開発した。

本稿では、微細多孔吸音構造を透明な樹脂材料に適用する際に課題となる板振動の問題を解決し、吸音性能を向上することで製品化した透光性を有する吸音パネル「エコキューオンクリア™」^{注)}について紹介する。

1. 微細多孔吸音技術

1.1 吸音原理

多孔板による吸音は、多孔板孔部の空気を質量、背後の空気層をバネとした音響共鳴機構（ヘルムホルツ共鳴

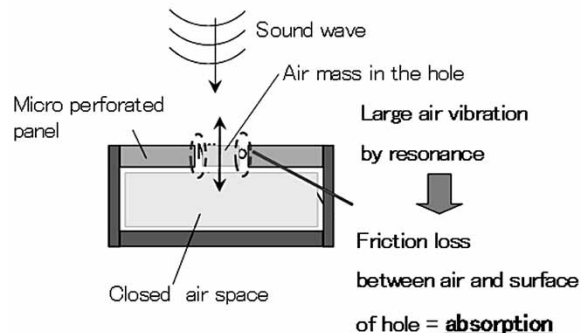
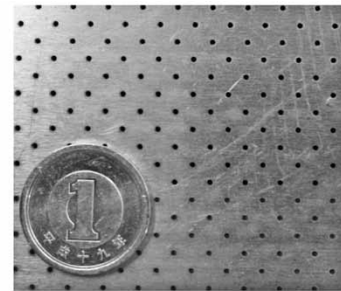


図1 微細多孔板の吸音原理

Fig. 1 Acoustic absorption principle of micro perforated plate

器)が基本原理である。共振により孔部で振動する空気と孔内壁面部との摩擦によって粘性減衰が生じ、吸音性能を発揮する。微細多孔板は図1に示すように孔径を1mm以下と小さくすることによって孔部での摩擦減衰を大きくし、吸音性能を高くしている。

1.2 吸音率計算方法¹⁾

微細多孔板を用いた吸音構造は、吸音率を予測計算して設計することが可能である。予測計算には一次元平面波伝搬を仮定した伝達マトリクス法を適用する。図2に

脚注) エコキューオンクリアは神鋼建材工業(株)の登録商標(第5481495号)である。

*¹ 神鋼建材工業(株) 製造本部 技術部 *² (株)神戸製鋼所 技術開発本部 機械研究所

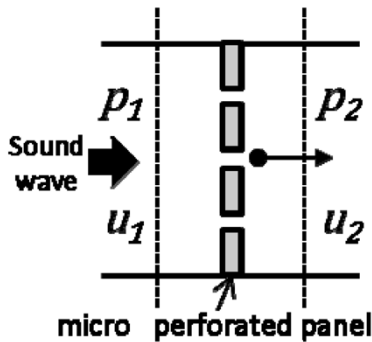


図2 多孔板計算モデル

Fig. 2 Calculation model of micro perforated plate

示す多孔板前後の音圧と粒子速度とは式(1)のように関係づけられる。

・多孔板の伝達マトリクス

$$\begin{Bmatrix} p_1 \\ u_1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Gamma_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_2 \\ u_2 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Gamma_1 = j\omega M_A + R_A, M_A = \rho_0 \cdot (l_A + 1.6a(1 - 1.47 \cdot \alpha^{0.5} + 0.47 \cdot \alpha^{1.5}))$$

$$R_A = \frac{2R_V(l_A + l_R)}{a}, l_R \cong 2a$$

ω :角周波数, l_A :板厚, α :開口率, $2a$:孔直径, R_A :壁面における粘性抵抗係数, ρ_0 :空気密度

ここで, M_A は管端補正した孔部の音響インダクタンスであり, R_A は音響レジスタンスである。

多孔板の吸音原理は, この音響レジスタンスで表される孔内壁面部と孔内で振動する空気との摩擦による減衰によるものである。上述の多孔板伝達マトリクスと空気層の伝達マトリクスを掛け合わせ, 吸音構造表面の比音響インピーダンスから垂直入射吸音率を計算する。

2. 透明部材の適用

2.1 透明部材適用の課題

1章で示した微細多孔吸音技術を透明部材に適用する場合, 材料としては樹脂が適している。しかし, これまで製品化してきた金属製の微細多孔吸音板と比較して, 同じ板厚では質量および剛性が低いことによる吸音率の低下, すなわち板振動することによって, 孔内の空気と板との相対速度が低下し, 摩擦による吸音効率が低くなることが懸念される。

従来使用しているアルミ板や銅板などの金属部材では, 吸音性能と穿(せん)孔加工の制限から0.03~1mm程度の厚さである。樹脂材料で同等性能を得るため, 試作初期段階で厚さ0.075mmの樹脂膜材を使用して検証実験を行った。

0.075mm(仕様:孔径0.4mm, 開口率0.5%, 背後空気層40mm)のシート材を垂直入射吸音率の測定方法(JIS A 1405-2音響管による吸音率およびインピーダンスの測定)にて測定した。その測定結果, および1章で示した吸音率計算結果の比較を図3に, 測定装置を図4に示す。

計算値では板振動による相対速度低下を考慮していないため, 計測値と測定値との間で差異が生じている。このように, 金属部材と同等の厚さの樹脂材料を使用する

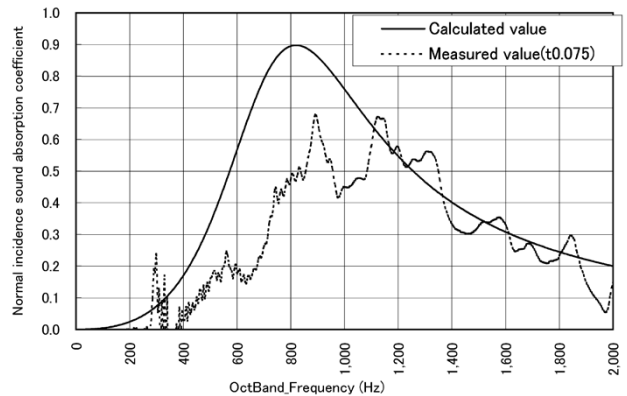


図3 薄膜材の吸音率測定結果

Fig. 3 Results of measuring sound absorption coefficient of thin sheet



図4 垂直入射吸音率測定装置

Fig. 4 Instrument for measuring sound absorption coefficient at normal incidence

と板振動により吸音率が低下することを確認した。

2.2 透明部材吸音性能向上

透明部材を使用した多孔板の吸音性能を向上させるため, 板厚を厚くして板振動が生じ難い多孔板を用いて吸音率を測定した。

図5に孔径・開口率が同じで板厚0.1, 0.3, 0.4, および0.5mmの場合の垂直入射吸音率の測定結果と計算結果との比較を示す。各測定結果において多孔吸音による吸音率ピーク以外に鋭いピークディップが現れているが, これらは音響管のサンプル形状(φ88mmの円板)によって決まる振動の影響であり, 境界条件が変わった場合や吸音パネル形状となった場合にはこの周波数で出現する現象ではないため今回の検討では考慮しない。

図5から, 板厚が厚くなるほど測定値と計算値との一致度が向上していることがわかる。すなわち, 板厚が厚くなるほど板振動の影響が小さくなり, 吸音性能が効率よく発揮できているといえる。この結果より, 透光性吸音板には板厚0.3mm以上のシート材を使用することとする。

なお, 板振動を考慮した多孔板の吸音率予測についても計算方法を確立しており, この計算方法により板振動の影響が大きい樹脂膜材などについての計算精度の確認を行っている²⁾。

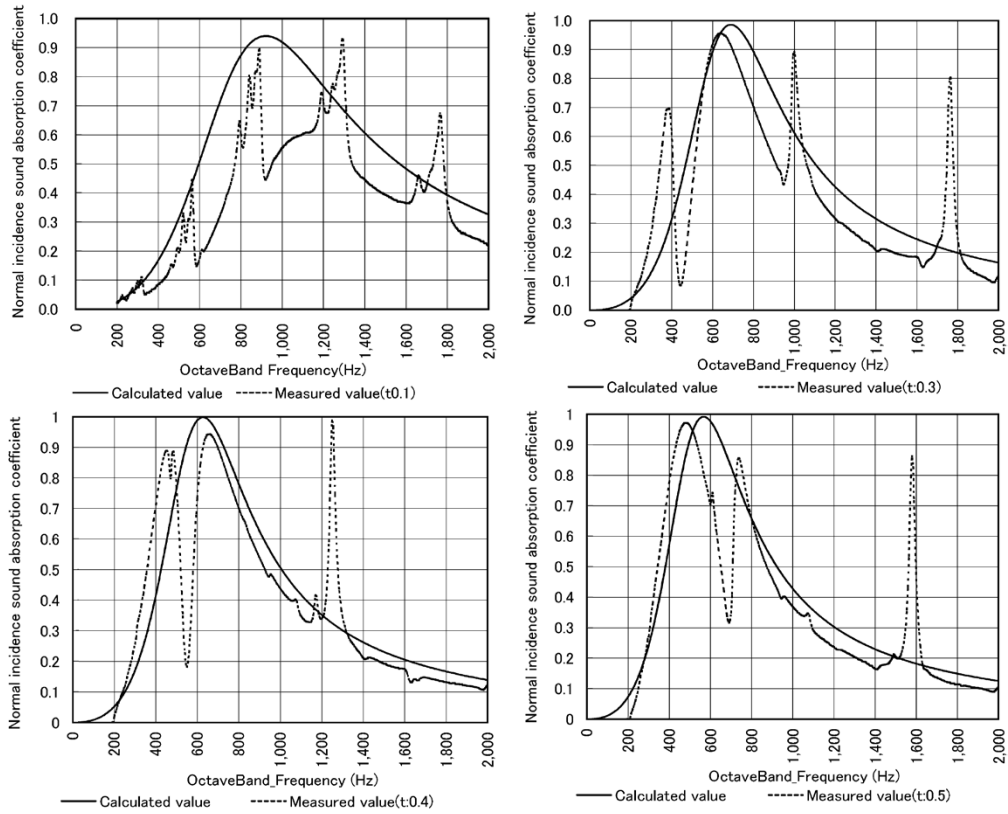


図5 板厚による吸音率の比較
Fig. 5 Comparison of the sound absorption coefficient by the plate thickness

3. 透光性吸音パネルの製品化に向けた検討

3.1 吸音パネルの仕様検討

道路向け吸音パネルへ適用するため、厚さを高速道路向け吸音パネルで一般的な95mmとし、道路向けの性能基準値である残響室法吸音率（400Hzで70%以上、1,000Hzで80%以上）、および音響透過損失（400Hzで25dB以上、1,000Hzで30dB以上）を満足する構成を検討した。

1.2節で示した吸音率計算方法を用いて検討した吸音パネルの仕様を表1、垂直入射吸音率計算値を図6に示す。各仕様とも400Hzおよび1,000Hzで吸音率ピークを持つ多孔板3層構造であり、吸音性能目標値を達成することが予測される。

また、組み合わせ①および②の吸音パネルを用いた供試体（図7）を製作し、無響室にて垂直入射吸音率を測定した。試験状況を図8、試験結果を図9に示す。試験結果から、樹脂材だけで構成した多孔吸音構造体も、板振動の影響を十分小さくするよう考慮して微細多孔吸音パネルを設計することにより、計算値に近い吸音性能が得られることが確認された。また、組み合わせ①、②の違いである表面板厚2mmと3mmによる性能差について、1,250Hz以上の高周波域において吸音性能差が認められたが、設計目標値の400Hzおよび1,000Hzでは大きな差が認められないことが確認された。

3.2 背面板および表面板の検討

本透光性吸音板は遮音板を兼ねているため、上述した音響透過損失目標値を満たす必要がある。そこで、これ

表1 吸音パネルの仕様
Table 1 Configuration of sound absorbing panel

| | | Constitution ① | Constitution ② |
|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Surface Plate | thickness | 3 mm | 2 mm |
| | aperture ratio | 9.0 % | |
| | hole diameter | 1.9 mm | |
| airspace | | 25 mm | |
| First Film | thickness | 0.5 mm | |
| | aperture ratio | 0.9 % | |
| | hole diameter | 0.4 mm | |
| airspace | | 25 mm | |
| Second Film | thickness | 0.5 mm | |
| | aperture ratio | 0.3 % | |
| | hole diameter | 0.4 mm | |
| airspace | | 27 mm | |
| Back Plate | thickness | 8 mm | |

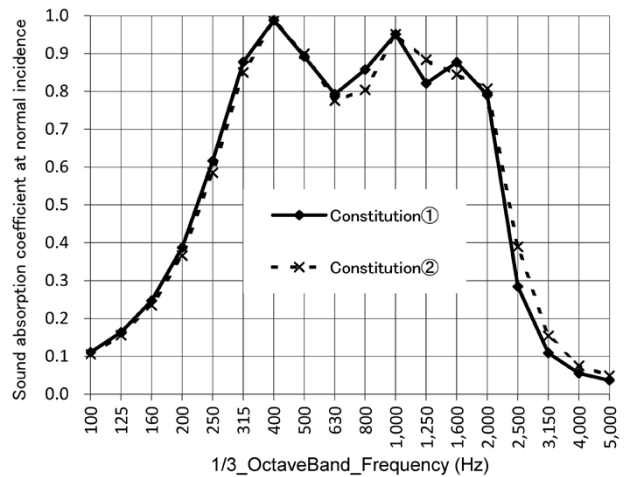


図6 各吸音パネルの垂直入射吸音率計算値
Fig. 6 Normal incidence sound absorption coefficient calculated numerical value of each sound absorbing panel

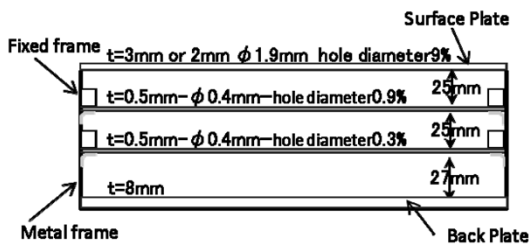


図7 供試体構成
Fig. 7 Configuration of test specimen

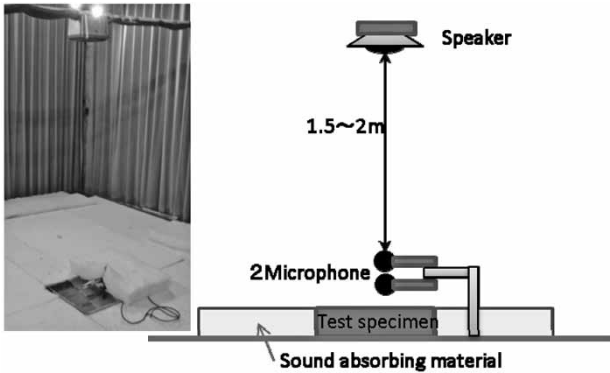


図8 垂直入射吸音率測定 (自由音場)
Fig. 8 Measurement of sound absorption coefficient for normal incidence sound (free field)

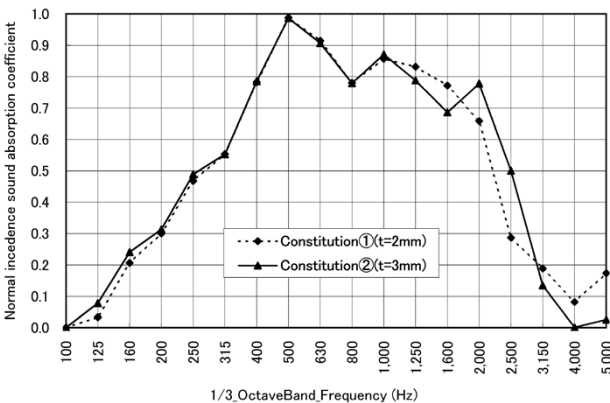


図9 表面板による吸音率の比較 (自由音場)
Fig. 9 Comparison of sound absorption coefficient of sound absorbing panel by surface plate thickness (free field)

表2 载荷試験結果
Table 2 Results of loading test

| Applied load | Surface Plate : 2mm | | | Surface Plate : 3mm | | |
|-----------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|---------------------|-------------|------------------------------|
| | First time | Second time | Average Amount of deflection | First time | Second time | Average Amount of deflection |
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 120 | 1.30 | 0.85 | 1.08 | 2.45 | 2.85 | 2.65 |
| 200 | 2.00 | 1.25 | 1.63 | 3.80 | 4.20 | 4.00 |
| 300 | 2.90 | 1.70 | 2.30 | 5.85 | 6.35 | 6.10 |
| 0 | 0.15 | 0.00 | 0.08 | 0.10 | 0.20 | 0.15 |
| 3 minutes after | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.10 | 0.08 |
| | Residual deflection tolerance | Test value | Residual deflection tolerance | Test value | | |
| | 1.0 mm | 0.00 mm | 1.0 mm | 0.08 mm | | |

までの実績に基づき、単体で音響透過損失目標値を満たす厚さ8mmのポリカーボネート板を背面板として採用した。

また、厚さ2mmと3mmのいずれの表面多孔板でも強度上問題がないことを確認するため、強度確認に適した供試体を準備し、道路会社などの強度基準である200kg/m²以上の分布荷重を与えて除荷した場合の残留たわみ量を調査した。表2は、厚さ2mmおよび3mm

の表面板それぞれに300kg/m²まで載荷し、除荷3分後に測定した残留たわみ量を示す。表には2回繰り返して実施した試験の測定結果に加えて、それら2回の測定結果の平均値も示した。

試験結果より、厚さ2mmおよび3mmの表面多孔板ともに残留たわみ量は道路会社などで採用されている許容値以下となっていることを確認した。また、ひびなどの破損も認められなかった。これにより、コスト面および加工精度の面から表面板厚みを2mmとすることとした。

4. 透光性吸音板の製品化

3章で述べた検討に基づいて製品仕様の試作品を製作し、外部の測定機関において残響室法吸音率および音響透過損失を測定した。図10、図11にそれぞれ、試作品の概略図および外観を示す。また、図12に残響室法吸音率測定結果を、図13に音響透過損失測定結果を示す。

図12より残響室法吸音率は目標値を達成していることを確認した。垂直入射法吸音率と残響室法吸音率の周波数特性は若干異なるが、これは測定方法によって音波の入射角度が異なることによるものである。また、図13のとおり音響透過損失についても目標値を達成しているこ

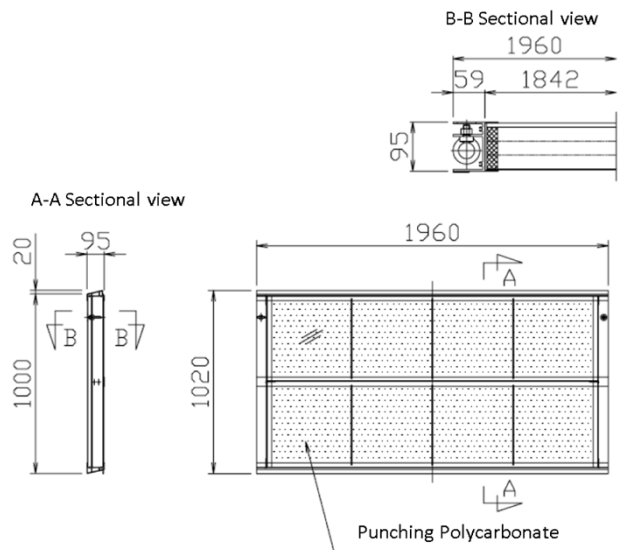


図10 試作品の概略図
Fig. 10 Schematic diagram of prototype



図11 試作品外観
Fig. 11 Appearance of prototype

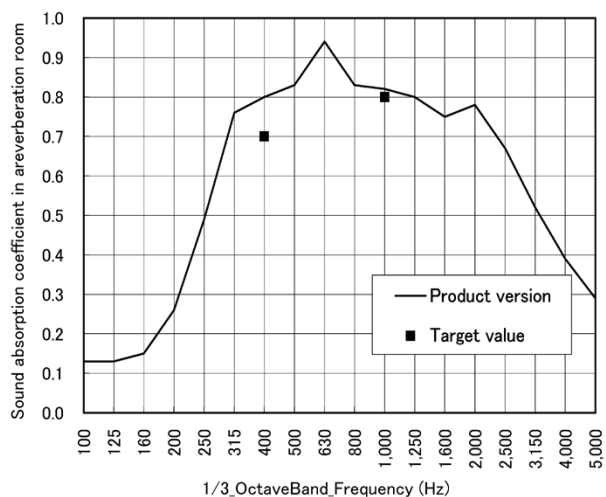


図12 製品仕様での残響室法吸音率測定結果

Fig.12 Results of measuring reverberant sound absorption coefficient of product specification

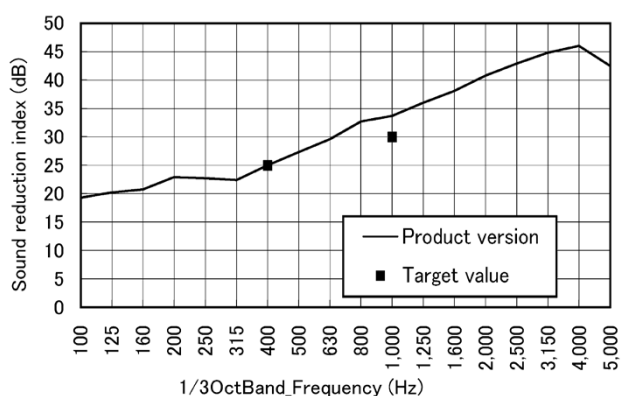


図13 製品仕様での音響透過損失の測定結果

Fig.13 Results of measuring sound transmission loss of product specification



図14 設置例

Fig.14 Installation example

とを確認した。さらに、パネル背後の様子を十分視認できることを確認し（図11）、吸音性能および透光性を併せ持つことを実証した。

本製品は現在までに、名古屋高速道路公社や静岡県道などで正式採用されている。図14に名古屋高速道路での設置例を示す。

むすび = 吸音性能と透光性の両方を併せ持つ吸音パネル製品は、現在の防音壁市場ではほとんどない。また、微細多孔吸音構造設計技術を用いて周波数特性を最適化できるため、騒音特性に合わせた吸音パネルを提供できる。このように、様々な可能性を持ち、今後の展開が期待できる製品である。

参考文献

- 1) 山田隆博ほか. 第17回環境工学総合シンポジウム講演論文集 2007-7-19/20. 2007, p.39-41.
- 2) 山極伊知郎ほか. 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集 2013-9-5/6. 2013, p.289-292.