



背後ハニカム構造を有するMPP吸音体の実装実験

阪上, 公博 ; 矢入, 幹記 ; 奥園, 健 ; 羽入, 敏樹 ; 星, 和磨 ; 原田, 慎史 ; 高橋, 誠治 ; 上田, 泰孝

(Citation)

音響技術, 46(2):58-62

(Issue Date)

2017-06

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90004243>



<技術報告>

背後ハニカム構造を有するMPP吸音体の実装実験

Implementation experiment of a honeycomb-backed MPP sound absorbing system in a meeting room

阪上 公博 (Kimihiro Sakagami)

神戸大学大学院工学研究科

(Grad. Sch. of Engrg., Kobe Univ.)

矢入 幹記 (Motoki Yairi)

鹿島建設技術研究所 (Kajima Tech. Res. Inst.)

奥園 健 (Takeshi Okuzono)

神戸大学大学院工学研究科

(Grad. Sch. of Engrg., Kobe Univ.)

羽入 敏樹 (Toshiki Hanyu), 星 和磨 (Kazuma Hoshi)

日本大学短期大学部 (Junior College, Nihon Univ.)

原田 慎史 (Shinji Harada), 高橋 誠治 (Seiji Takahashi)

(株)JSP (JSP Corp.)

上田 泰孝 (Yasutaka Ueda)

安藤ハザマ技術研究所 (Hazama Ando Corp.)

1. 実装実験の概要

MPP(微細穿孔板: Microperforated panel)は次世代の吸音材として近年注目され、欧米では商品化されているが、本邦における建築室内での実用例は少ない。MPPは薄い板(通常1mm以下)に微小な孔(ϕ 1mm以下)を空け、背後の空気層とでヘルムホルツ型共鳴吸音を生じるものである。孔が微細であるため吸音効果を得るに適切な音響抵抗とリアクタンスを実現している点が特徴であり、したがって薄い材料でなければ高い効果が得難い。したがって、建築室内においては何らかの補強が必要になることから、筆者らのうち阪上と矢入はハニカムを背後に付加して補強する方法を提案した¹⁾。その結果、ハニカムは単に補強だけでなく、音響的にも局所作用性のある程度実現できるため、通常のMPP吸音体より高い吸音性能を得られることを示し、神戸大学と鹿島建設により共同発明として特許を得た²⁾。今回の実装実験では、背後にハニカムを有するMPP吸音体をパネルとして作成し、建築室内の内装材としてではなく、着脱可能な吸音体、すなわち内装制限に抵触しない付加物や家具、什器類として付加的に設置することで残響過多の実際の会議室の音響改善を試みる実装実験を行ったので、その概要と結果について述べる。

なお、本実装実験プロジェクトにおいては、会議室

の音響特性を把握したうえで吸音対策について神戸大学・日本大学の両チームで検討を重ね、デザインの観点からMPPを採用することとした。予備的検討から背後ハニカム構造を有するMPP吸音パネルを採用することとし、神戸大学での数値シミュレーションによる検討の結果から仕様策定し、(株)JSPにて製作、(株)安藤ハザマにて事前の測定試験および施工を行った。

2. 実験を実施した会議室と吸音体の検討

まず、実験を実施した会議室について述べる。図1のような直方体室であり、吸音体実装前の残響時間周波数特性は図2のとおりである。ほとんど吸音処理がされておらず、音声周波数帯域で非常に長い残響時間を示し、会議室としては音響的に改善の余地のある室である。低音域で比較的残響時間が短いのは、低音域については窓や扉の透過の影響とみられる。本実験では、残響時間の長い音声帯域を中心に、最小限の吸音体設置によって対策する可能性を検討することとした。



図1 実験を実施した会議室(上)入り口から窓側を望む。(下)窓側から入り口を望む

その結果、中音域(500, 1kHz)を中心に残響時間を制御するため、吸音ピーク周波数の異なる2種類のMPP吸音体を使用することとした。また、手の届く範囲に吸音体を設置することを避けて天井付近だけの

設置で効果を得て、かつ強度的にも満足できるものとするため、背後ハニカムを有するMPP吸音体を利用することを想定して等価電気回路理論によって検討を行った。その結果、背後にハニカムを有するMPP吸音体は吸音特性に角度依存性が少なく、最小の配置で吸音効果を得るのに最適であることが示されたため、具体的な仕様等の検討を行うこととした。

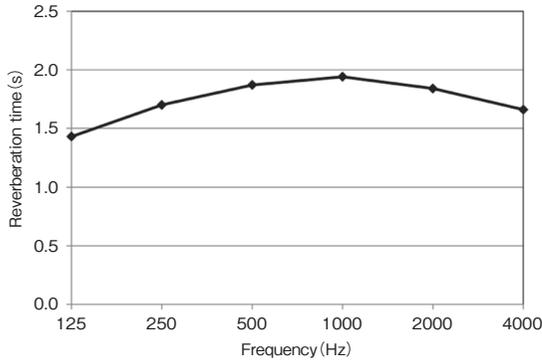


図2 対象室の空室残響時間(家具類が全くない状態)

3 FEMシミュレーションによる仕様策定

前項に述べた通り、天井付近のみに吸音体を設置することとし、吸音体も低音用、中音用の2種を使用することを前提として、FEMによる波動音響シミュレーションを実施した³⁾。その結果、図3のように配置することとした。

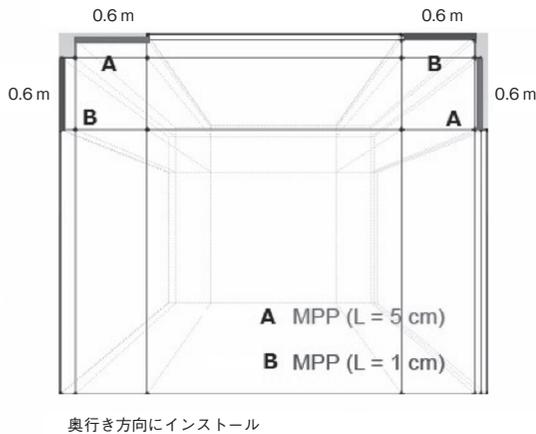


図3 吸音体の配置。室の高さは3m、幅は3.55m、奥行きは8.55mである。側壁および天井面に幅0.6mの吸音体(背後層厚さ5cm(A)と1cm(B)の2種類)を設置。

配置する吸音体の吸音特性(予測値)は図4の通りであり、500, 1kHzに吸音ピークが来るようパラメータを設定した。

以上の配置により、シミュレーションでは500 Hzで4.6 dB, 1 kHzで3.7 dBの平均音圧レベル低減効果が得られることが分かった。また、残響の減衰曲線についてもシミュレーション結果から残響時間が短縮できることが示された。(一例を図5に示す。)EDTにおいては、約40%程度低減の可能性があることが分かった。

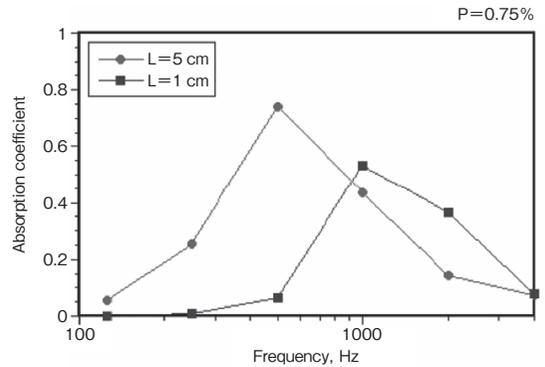


図4 吸音特性の理論値。いずれも板厚1mm、孔径0.5mm、開孔率0.75%として計算。なお、背後層厚は5cm(●)と1cm(■)。

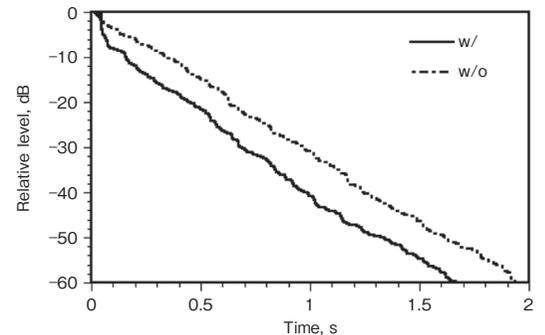


図5 FEMシミュレーションによる残響減衰曲線計算結果の一例。吸音体あり(図中実線)及び吸音体なし(図中点線)の比較。周波数は500 Hz。

以上の結果から、MPPの仕様としては、厚さ1mmの樹脂板に孔径0.5mm、開孔率約0.77%(孔間隔5mm)とし、背後空気層厚1cmと5cm、いずれもハニカムを挿入するものと決定し、図3のように天井と側壁の一部に長手方向に配置することとした。

表1 製作した背後ハニカムを有するMPP吸音体の仕様

項目		仕様
MPP 基材	表面	基材 MS(ポリメタクリルスチレン)シート 板厚 1 mm 面密度1.13 kg/m ²
	印刷柄	室内の壁に色合わせ
	枠・裏面	MSシート 板厚 3 mm 面密度3.39 kg/m ²
	端部つなぎ目	小口面を接着により固定
孔	孔径	0.5 mm
	開口率	0.77%
	間隔	5 mm
ハニカム部	基材	ポリスチレン発泡ボード 厚さ 1 mm 面密度0.275 kg/m ²
	形状	格子状
	ピッチ	縦・横 約50 mm間隔
	設置方法	基材との固定なし。
サイズ (外寸)		500 mm×600 mm×54 mm 【背後空気層厚50 mm(低域用)】
		500 mm×600 mm×14 mm 【背後空気層厚10 mm(高域用)】

4 吸音体の作成と残響室法吸音率測定

吸音体の製作は、(株)JSPにて行われた。製作した吸音体の仕様を表1 および図6に示す。

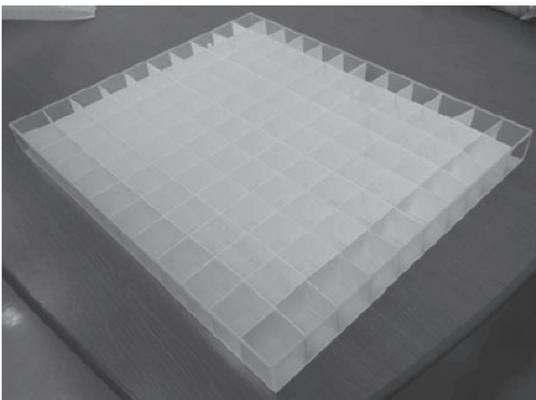
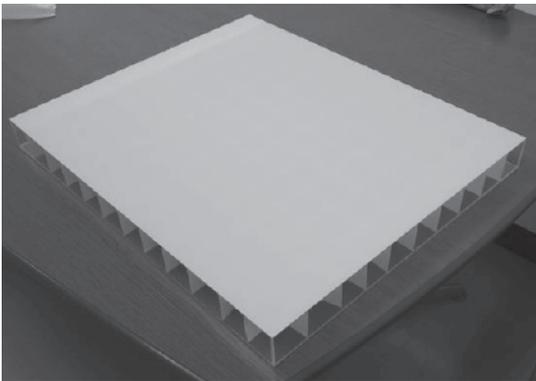
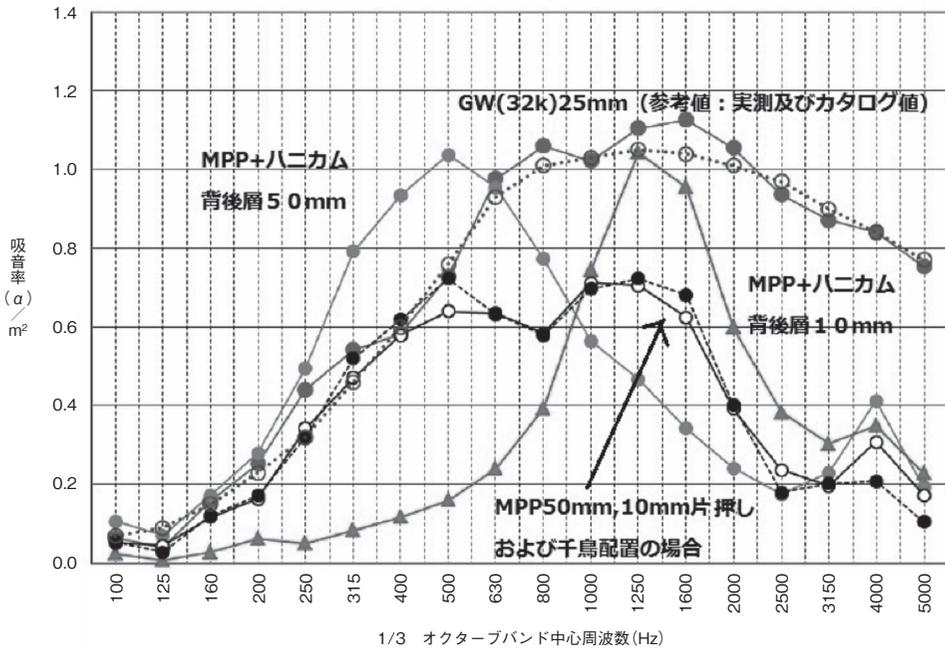


図6 製作した背後にハニカムを有するMPP吸音体パネル。上：表面，下：裏面。

このように、500×600 mmのパネルとして製作し、表面にMPP、裏面は樹脂板で閉じた箱型として内部に50 mm角のハニカムを挿入している。これを、モールを使用して壁面および天井面に取り付けることとした。

製作した吸音体について、安藤ハザマ技術研究所残響室(容積212 m³、床面積46 m²)にて、JIS A 1409に準拠して残響室法吸音率の測定を行った。測定に際しては、試料面積は9 m²とし、厚さ50 mmのものだけ、10 mmのものだけ、両者を片押しで並べた場合、千鳥配置に並べた場合、それぞれについて測定した。参考値としてグラスウール(32 k)25 mmの測定結果も合わせて、図7に示した。

前節で検討した通り、製作した吸音体についてはほぼ設計通りの周波数にピークを表し、予測通りの吸音特性を示したため、所期の効果を期待できるものと判断した。なお、参考として両者を並列して並べた場合の結果については、これまでの理論・解析の結果と同様の結果を示しており、これも興味深い。今回の実装実験では、50 mmだけ、10 mmだけをまとめて配置して、それぞれのピーク周波数での吸音効果を利用して残響制御することを前提としているため、これらはあくまで参考ではあるが、MPP吸音体の広帯域化のひとつの手法として必要に応じて利用することも可能であると考えられる。これについては、文献4)を参照されたい。



1/3 オクターブバンド中心周波数 (Hz)

図7 製作した吸音体の残響室法吸音率。厚さ50mmおよび10mmのみの場合、それらを片寄せで並べた値、および千鳥配置にした場合の結果を示す。参考値としてグラスウール(実測およびカタログ値)も掲載した。

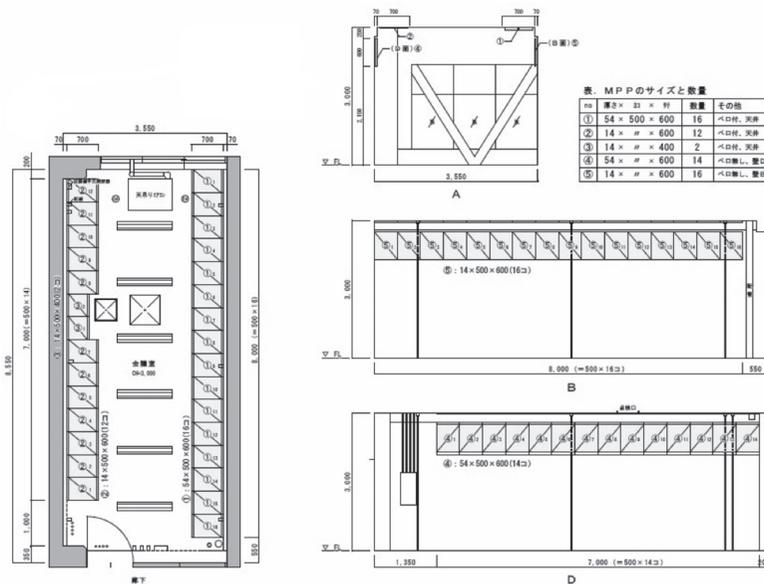


図8 吸音体の設置状況。左：天井面、右：壁面。当初の計画のうち、1か所だけ既存ダクトのため設置できなかった。

5. 実装の状況及び現場での測定結果

以上の結果を踏まえて、実際に設置する会議室での吸音体配置を図8のように計画し、実装を行った。

仕上がりの写真を、図9に示す。いずれも丁寧に色合わせを行った結果、既存の壁面等とほとんど色差が

なく、よくなじんでおり目立たない。

図9にみられるとおり、ほとんど室内のデザインを変えることなく、天井付近のみの設置とした結果、見た目も大きく変わらない仕上がりとなった。

吸音体設置完了後の残響時間を、設置前のそれと比



図9 吸音体の設置状況(上：作業中の側壁面の状況。下：完成後の状況。)

較して図10に示す。図9のようにイスや机が配置された状況、すなわち実際に使用する状態に近い状況での測定結果の比較である。

結果にみられるように、当初計画したように中音域でかなりの残響時間の低減が見られており、最低限の面積でのMPPを利用した吸音処理によって音声周波数帯域での残響制御を主目的とした本計画としては、所期の成果を得られたと評価できる。

6 まとめ

以上のように、今回は残響時間が長く音響的に改善の余地がある会議室を対象として、最低限の面積で必要な残響制御を行うことを目的として、背後にハニカムを有するMPP吸音体を製作、実装を試みた。その際、内装制限に抵触することなく、付加物として壁面等に取り付けるパネルとして製作して、取り付ける方法を取ることで、FEMシミュレーションと実測により吸音性能の確認をしたうえで仕様策定を行った。

その結果、残響時間を音声周波数帯域でかなり低減することができ、所期の音響的効果が得られただけでなく、デザイン的にも吸音処理前の状態を大きく変え

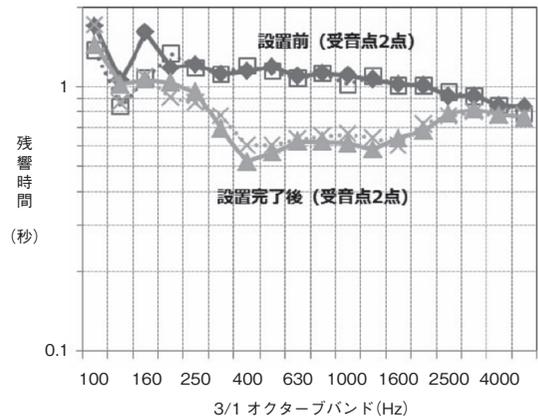


図10 設置前および設置完了後の残響時間の比較(完成後の簡易測定による)。室内にイス、机等の什器がある状態で測定。

ることなく成果を得られることが示された。設置後の使用者の感想でも、良好な評価を得ている。

今回のMPPの製作においては、表面の色および模様などはかなり高い自由度でデザインできることが示されており、今後デザインを重視した吸音処理の有力な方法となることが期待される成果であると筆者らは考えている。

なお、MPP自体の基本的原理や、その吸音特性、予測理論などの基礎的事項については、本誌にすでに掲載された解説記事があるので、そちらを参考にしていただければ幸いである⁵⁻⁶⁾。特に、文献5)では適用例についても解説されているので、ぜひとも参照されたい。

[参考文献]

- 1) Kimihiro Sakagami, Ippei Yamashita, Motoki Yairi, Masayuki Morimoto, "Sound absorption characteristics of a honeycomb-backed microperforated panel absorber: Revised theory and experimental validation," *Noise Control Eng. J.* 58(2), 157-162 (2010)
- 2) 特許第5008327号「微細穿孔板利用の吸音構造及び吸音材」(鹿島建設株式会社, 国立大学法人神戸大学. 発明者: 矢入幹記, 峯村敦雄, 阪上公博) 2012年6月8日登録。
- 3) 奥園健, 阪上公博, 泉宗吾 "小規模矩形室に設置したMPP吸音体の吸音効果に関する有限要素解析", *日本音響学会春季講演論文集*, 895-896 (2017.3)
- 4) M. Yairi, K. Sakagami, K. Takebayashi, M. Morimoto, "Excess sound absorption at normal incidence by two microperforated panel absorbers with different impedance," *Acoust. Sci. and Tech.*, Vol. 32, pp. 194-200 (2011)
- 5) 矢入幹記, 微細穿孔板 (Microperforated パネル) の吸音特性と適用例, *音響技術*, No.131 (vol.34 No.3), 2005
- 6) 阪上公博, 共鳴器型吸音機構, *音響技術*, No.177 (Vol.46, No.1) pp. 15-20 (2017)