

ハニカムフラッシュ構造の音響特性について II

On Acoustic Properties of Honeycomb Sandwich Construction

中岡 正典^{*1}, 笹山 鉄也^{*1}

Masanori Nakaoka and Tetsuya Sasayama

抄 録

ハニカムコアを使用したフラッシュパネルに音響的な性能を付与する例として、パネルの片側の表面板材を除き、代わりに通気性を有する不織布で被覆した吸音パネルを作成し性能を評価した。その結果、音響管を使用した垂直入射吸音率の測定では、不織布の通気性が比較的高い条件では、セルサイズが小さい方がピーク周波数における吸音率が高く、ピーク周波数はセル深さの増加に伴い低周波側にシフトすることがわかった。また、実用サイズのパネルを試作し、残響室法吸音率を測定した結果、ハニカムコアのみでも一定の吸音性能を示し、特に適度な通気性（単位面積流れ抵抗 $267 \text{ Pa}\cdot\text{s/m}$ ）を有する不織布で被覆した条件では、顕著な吸音性能の向上が認められた。

1 はじめに

今回は、フラッシュパネルにペーパーハニカムコアを用いる際に、遮音等級で T-1 程度の性能を確保する仕様について検討した¹⁾。

今回は、ペーパーハニカムコアを使用したパネルで、遮音とは異なる音響性能を付与する例として、パネルの片側の板材を除き、代わりに不織布で被覆した吸音パネルの作成を試みた。このとき、ハニカムコアのセルサイズ、見込み方向のセル深さ、そして不織布の通気性など、諸条件が吸音性能に及ぼす影響を検証した。

2 方法

2・1 垂直入射吸音率による評価

ハニカムコアの表面を不織布で被覆した試料について吸音性能を評価するにあたり、条件を変えて多くの試料を作成するため、最初は小片で評価ができる音響管（ブリュエル・ケアー社製）を使い、垂直入射吸音率により評価した（図 1）。

ハニカムコアについては、既製品に無いセルサイズで精度良く作成する必要があったため、樹脂積層造形装置（Stratasys 社 FORTUS400mc-S）を用い、ABS 樹脂によりセル隔壁の厚み 1mm で作成した。なお、試料の形状は 100Hz～1600Hz の低周波測定用の太管 $\phi 100$ と、500Hz～6400Hz の高周波測定用の

細管 $\phi 29$ に合わせ、それぞれ円筒形試料を作成した。

ハニカムコアのセルサイズ（正面から見た時のセルの大きさ）は、一辺が 5, 10, 15mm の正方形で 3 種類、そしてセル深さ（ハニカムコアの奥行き方向の寸法）は 25mm と 50mm の 2 種類とした。

不織布については、表 1 に示すように通気性の異なる 3 種類を用意し、以上の緒条件を組み合わせたバリエーションで試料を作成した（図 2）。

なお、不織布は酢酸ビニル樹脂系エマルジョン接

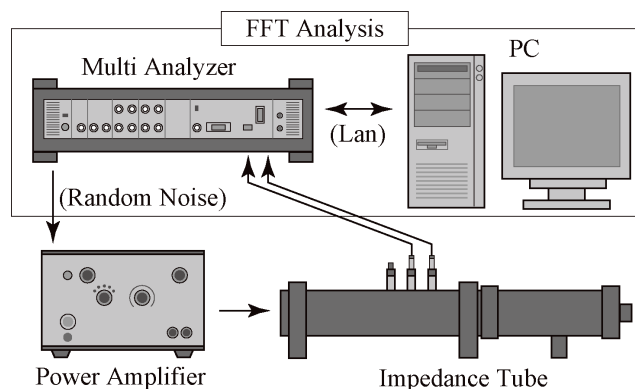


図 1 垂直入射吸音率の測定システム

表 1 ハニカムコアの表面被覆に使用した不織布

	材質	面密度 [kg/m ²]	単位面積流れ抵抗 [Pa·s/m]
不織布 A	PP	0.048	55
不織布 B	PP	0.098	267
不織布 C	PE・PET (2層)	0.087	13230

*1 生活科学担当

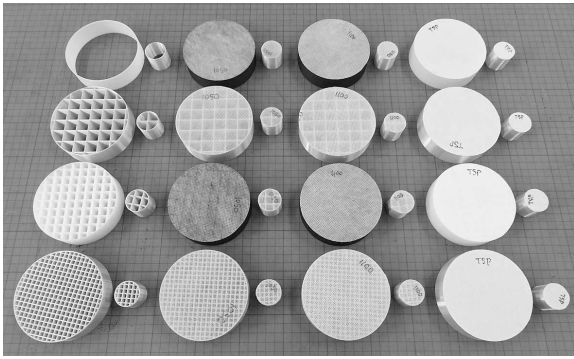


図2 垂直入射吸音率測定用の円筒形試料

着剤（コニシ製 CH18）を用い、ハニカムコアの表面に貼り付けた。

2・2 残響室法吸音率による評価

前項の垂直入射吸音率による評価に加え、試料表面に音がランダム入射した条件でも評価を行うため、実用サイズのパネルを試作し、図3に示す RION 社製測定システムを用い、残響室法吸音率を測定した。ただし、残響室の容積（ 38m^3 ）や試料面積が小さく

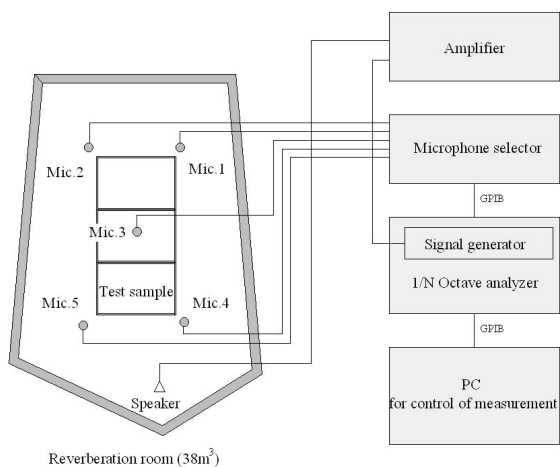


図3 残響室法吸音率の測定システム

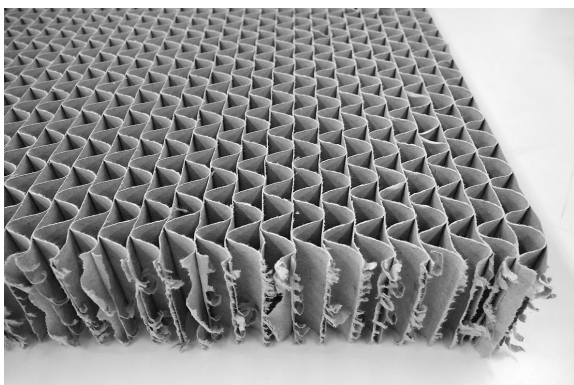


図4 試作パネルに使用したペーパーハニカムコア



図5 残響室の床に設置した試作パネル

（ 1.5m^2 ），JIS 規格外の測定となるため，結果は参考値である。

試作パネルの外寸は $\text{H}1800\text{mm} \times \text{W}860\text{mm} \times \text{D}52.5\text{mm}$ で，断面 $\text{W}30\text{mm} \times \text{D}50\text{mm}$ の芯材（ポプラ製 LVL）で4辺を構成し，内側に長手方向を3分割するように等間隔に芯材を設けた．裏面（剛壁側）は 2.5mm 厚の MDF（ラジアタパイン製）の板材で覆い，内部の深さ 50mm の中空層に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 F-R，セルサイズ 10.5mm ，見込み方向の深さ 50mm ，中芯原紙）（図4）を設置した．以上を固定条件とし，パネル表面には，表1に示す各不織布を酢酸ビニル樹脂系エマルジョン接着剤（コニシ製 CH18）で貼り付けた（図5）．

また，比較対象として，不織布を除いたハニカムコアのみや，逆にハニカムコアを除いた不織布と空気層の構成，そしてハニカムコアの代わりに多孔質吸音材料を代表してロックウール（嵩密度 80kg/m^3 ）を用いた条件でも同様にパネルを試作し，結果を比較した．

3. 結果および考察

3・1 垂直入射吸音率による評価

試作した円筒形試料を用い，試料表面の各不織布（使わない場合も含めると4条件）と，セル深さの条件（ 25mm と 50mm ）を組み合わせた合計8条件について，それぞれセルサイズを変えた際の垂直入射吸音率を比較した（図6～図13）．

まず、不織布で被覆せずハニカムコアのみの条件で比較した図 6・図 10 や、通気性の高い不織布 A を用いた図 7・図 11 では、セルサイズが 5mm の試料でピーク周波数における吸音率が最も高い。よって、不織布を使わない場合も含め、試料表面の空気抵抗（流れ抵抗）が小さい条件では、セルサイズが小さ

い方が有利であることがわかる。

また、不織布 B（単位面積流れ抵抗 267 Pa・s/m）を用いた図 8・図 12 では、ピーク周波数における吸音率が限界近くまで達し、ハニカムコアの表面を適度な通気性の不織布で覆うことで、吸音性能が飛躍的に向上することがわかる。一方で、セルサイズに

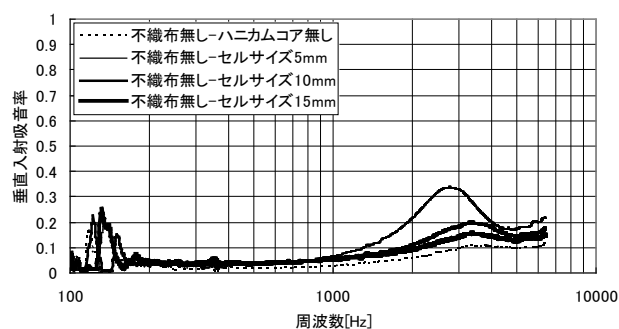


図 6 セルサイズによる比較（不織布無し・深さ 25mm）

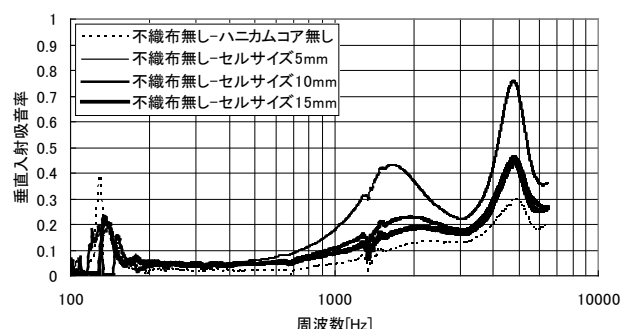


図 10 セルサイズによる比較（不織布無し・深さ 50mm）

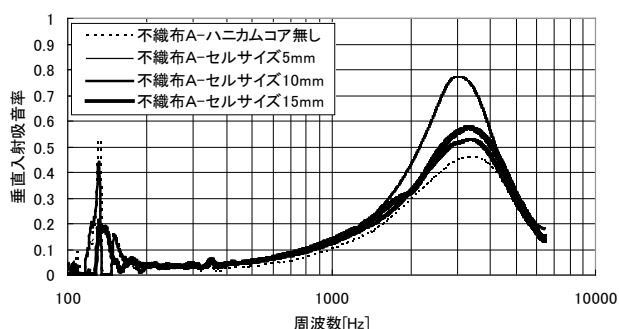


図 7 セルサイズによる比較（不織布 A・深さ 25mm）

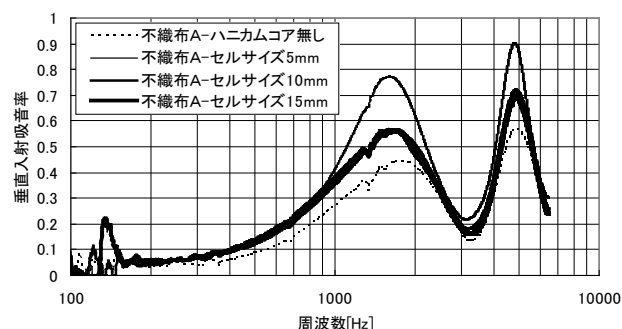


図 11 セルサイズによる比較（不織布 A・深さ 50mm）

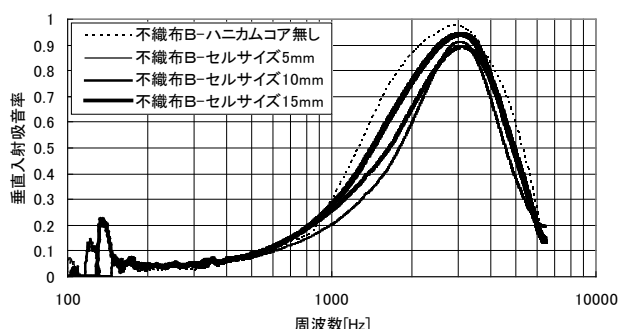


図 8 セルサイズによる比較（不織布 B・深さ 25mm）

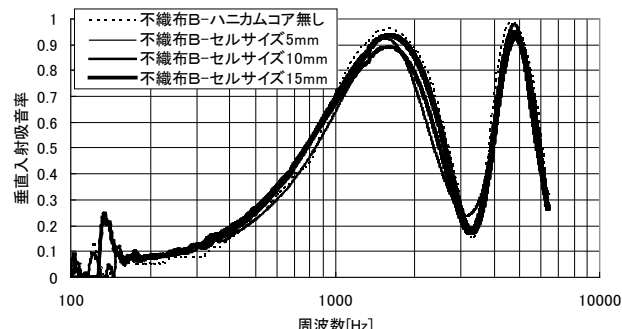


図 12 セルサイズによる比較（不織布 B・深さ 50mm）

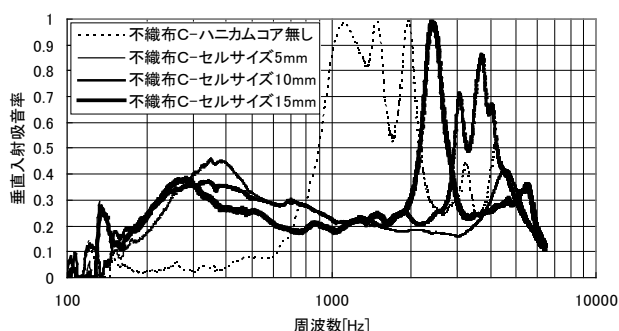


図 9 セルサイズによる比較（不織布 C・深さ 25mm）

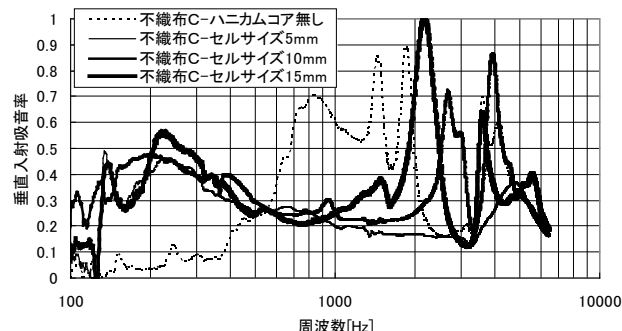


図 13 セルサイズによる比較（不織布 C・深さ 50mm）

よる差は小さくなり、むしろピーク周波数ではハニカムコアが無い条件で吸音率が若干高い。ただし、これについては後述の残響室法吸音率の結果と併せて判断する必要がある。

なお、ピーク周波数については、ここまで示した試料表面の抵抗が比較的小さい条件では、セルサイズや不織布の通気性を変えても、変化は小さい。むしろ、図 6 と図 10、図 7 と図 11、そして図 8 と図 12 など、セル深さ 25mm と 50mm のグラフを比較すると明らかなように、セル深さに大きく依存し、その増加によりピークが低周波側にシフトしていることがわかる。

次に、通気性に乏しい不織布 C を用いて比較した図 9・図 13 では、ここまで示した吸音特性とは一見して異なっている。

まず、ハニカムコアが無い場合も含め、セルサイズが 10mm 以上の条件では、中高周波数域に複数の急峻なピークが見られ、またセルサイズによりピーク周波数が異なる。さらに、ハニカムコアが内蔵された条件では、いずれも 200Hz～400Hz の低周波数域になだらかなピークを有する。これは、膜振動型の吸音特性が発現しているとも見られるが、そもそも膜振動型は音響管を使った垂直入射吸音率では評価できないため²⁾、通気性の乏しい不織布については、後述の残響室吸音率の測定結果と併せて判断する必要がある。

3・2 残響室法吸音率による評価

試料に音がランダム入射した際の吸音性能を評価するため、実用サイズの吸音パネルについて、残響室法吸音率を測定し比較した。なお、以降に示す結果は、2・2 項で述べたように、残響室の容積や試料面積等で JIS 規格の測定方法を満たしていない。また、面積効果³⁾などの影響により、吸音率が理論上の上限値 1 を超える事例も生じた。従って、ここで示す吸音率の絶対量に信頼性は無く、あくまで相対的な比較の検証にのみ用いていることに注意する必要がある。

まず、ハニカムコアを除き、50mm の背後空気層を有する不織布のみのパネルについて、残響室法吸音率を比較した（図 14）。図から明らかなように、適度な通気性を有する不織布 B のパネルで最も吸音

率が高いことがわかる。

次に、パネル内部の空気層 50mm にペーパーハニカムコア（セルサイズ 10.5mm）を設置し、表 1 の各不織布で表面を被覆したパネル、そして比較対象として不織布を除いたパネルを含めた合計 4 条件について比較した結果を図 15 に示す。不織布 A・B と C ではピーク周波数が異なるが、総じて不織布 B のパネルが優れていることがわかる。また、不織布を

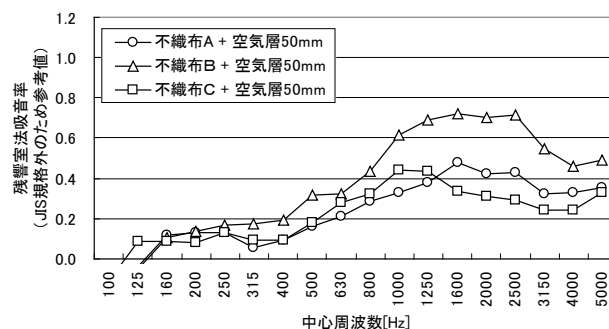


図 14 不織布+空気層の構成における比較

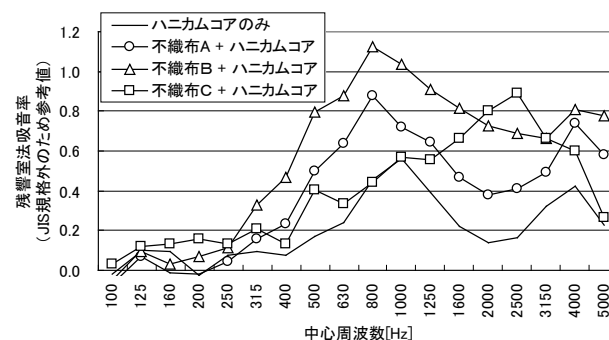


図 15 不織布+ハニカムコアの構成における比較

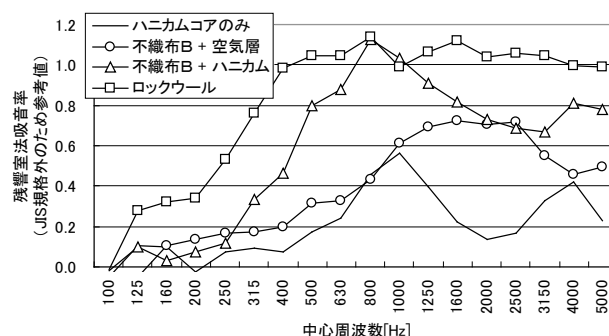
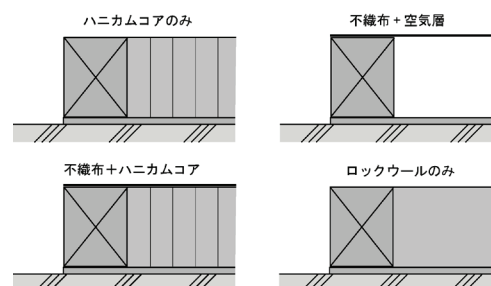


図 16 各種条件のパネルとロックウールの比較

除いたハニカムコアのみのパネルでも一定の性能を示しているが、不織布で表面を覆うことで、いずれのパネルでも吸音性能が向上していることがわかる。なお、3・1 項の垂直入射吸音率の測定結果では、不織布 C とハニカムコアを組み合わせた条件で、200Hz～400Hz の周波数帯域で 0.5 程度の吸音率を示していたが、残響室法吸音率では同様の性能は認められなかった。

最後に、これまでに示した測定結果の中から、ハニカムコアのみのパネル、不織布 B のみのパネル、そしてそれらを貼り合せたパネルを選び、多孔質吸音材料のロックウールを設置したパネルと比較した(図 16)。図からわかるとおり、いずれのパネルもロックウールを設置したパネルには吸音性能が及ばなかったが、不織布のみやハニカムコアのみのパネルに比べ、それらを貼り合せたパネルでは、顕著な吸音性能の向上が認められ、複合化の効果が発揮されていることがわかる。なお、3・1 項の不織布 B を用いた試料の垂直入射吸音率の結果では、ピーク周波数でハニカムコアを除いた試料の吸音率が若干上回っていたが、残響室法吸音率の結果では、ハニカムコアを使い、複合化した方が性能の向上につながることが確かめられた。

4. まとめ

ハニカムコアの表面を不織布で被覆した試料について、垂直入射吸音率および残響室法吸音率を測定

した結果、以下の知見を得た。

(1) 円筒形の小片試料で垂直入射吸音率を評価した結果、不織布を除いた条件も含め、ハニカムコア表面の流れ抵抗が比較的小さい条件では、セルサイズが小さい方が、ピーク周波数で吸音率が高くなる傾向が見られた。また、ピーク周波数はセル深さに大きく依存し、その増加に伴いピークが低周波側にシフトすることがわかった。

(2) 実用サイズのパネルを試作し、残響室法吸音率を評価した結果、不織布を除いたハニカムコアのみの条件でも、一定の吸音性能を示すことがわかった。また、ハニカムコアの表面を通気性の異なる 3 種類の不織布で被覆し比較した結果、中程度の通気性(単位面積流れ抵抗 $267 \text{ Pa}\cdot\text{s/m}$) の不織布で最も吸音率が高く、ハニカムコアを適度な通気性を有する不織布で被覆することで、吸音性能の向上が見込めることがわかった。

参考文献

- 1) 中岡正典. ハニカムフラッシュ構造の音響特性について. 徳島県立工業技術センター研究報告. 2013, 22, p. 17-22.
- 2) 前川純一, 森本政之, 阪上公博. 建築・環境音響学. 第 2 版, 2004, p. 76.
- 3) 河井康人. 残響室法吸音率における面積効果について. 日本音響学会誌. 2007, 63(5), p.268-274.