

ブラストを用いた CFRP 製吸音パネルの試作研究と性能評価

深川 仁^{*1}, 市川 大稀^{*1}

Prototype research and performance evaluation of CFRP sound absorbing panel using blasting

Hitoshi FUKAGAWA^{*1}, Daiki ICHIKAWA^{*1}

Key words : CFRP, blast, Sound-absorbing panels, perforated panel, Sound absorption coefficient

1. 緒言

航空機エンジンには騒音を減らす吸音構造を用い、多くは小径孔を密集加工したアルミ板にハニカムコアを接着した構造が使われる。軽量化のため、多くの部品が CFRP に置換される中、吸音構造へは CFRP が未適用である(図 1)。¹⁾

筆者らが開発したブラストによる小径孔加工を用いると、CFRP に低コスト高効率で大量の小径孔が加工でき、剥離不具合も生じない²⁾。この技術を用いた CFRP 製吸音パネルを作り、吸音率測定を行ったので報告する。

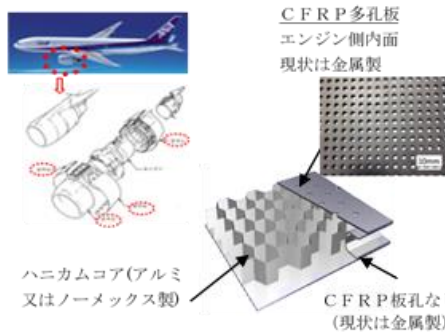


図 1 航空機エンジンカウルと吸音パネル

2. 実験方法

2.1 吸音パネルの試作

吸音パネルに用いる CFRP 製多孔板は、砥粒噴射量をコントロールして定量吐出することができる直圧式サンドブラスト装置(ELP-1TR, (株)エルフォテック)を用いて加工した。ノズルおよび被削材は一定速度で送る構造である。加工する CFRP 板は治具上に固定し、装置内部のコンベアに載せて送り、ノズルが左右に往復運動し、板全体を噴射でスキャンする構造で、CFRP 板には事前に孔加工したフィルム状のマスク材を貼付けた。このマスクは、任意の小径孔(直径 1.0, 1.5, 2.0mm)の 3 種類の孔パターンを透明フィルムに印刷したネガからフォトエッチング技術を用いて加工部に孔をあけた。ブラスト加工条件と使用した砥粒、及びマスク材料と加工条件を表 1 に示す。この方法により、CFRP 板に例えば孔径 2mm の場合は、孔の出口・入口径の目標加工寸法を $2.0 \pm 0.2 \text{ mm}$ 以内に加工し、多孔板を試作した(図 2)。次に、孔加工した

CFRP 板、孔加工していない CFRP 板、ハニカムコアおよび接着剤を用意し、ハニカムサンドイッチ構造の吸音パネルを試作した。使用した材料を表 2 に示す。接着手順は、あらかじめ孔加工した CFRP 板にハニカムパネルを接着した(図 3)。なお、接着にはオートクレーブを使用し、0.2MPa, 130°C × 2 時間で加圧・加熱した。このとき、多孔板を貼り付ける側のフィルム接着剤には、多孔板に貼り付けた段階で、孔位置に針または小径ドリルにてピアシング加工する作業を行った。

表 1 ブラスト加工条件

項目	詳細
マスク材料	ドライフィルムレジスト: アクリルポリマーレジソフィルム, 0.1mm 厚, 2 枚重ね
砥粒	ホワイトアラウンド WA #320, 粒径 40 μm
空気圧	ノズル部: 0.15MPa
送り	X 軸: ノズル移動速度 8m/min Y 軸: コンベア速度 20mm/min
ノズル	直径: $\phi 5\text{mm}$, ノズル間距離: 120mm (ノズルと被削材間距離)

表 2 接着組立にした供試体材料

材料	仕様およびメーカー
CFRP 板	0.7mm 厚(東邦テナックス製 3K 織物プリプレグを GH クラフト社で積層硬化)
ハニカムパネル	ノーメックスハニカムコア (昭和アルミ製 10 および 20mm 厚, コアサイズ 6mm)
フィルム接着剤 (エポキシ系)	AXIOM 社製 (AX2114-N-0.060) および JX 日鉱日石エネルギー社製 FVE9F-0226A)

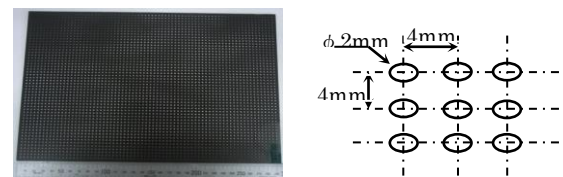


図 2 ブラスト加工した CFRP 多孔板とホールパターン (2.0mm 径の例)

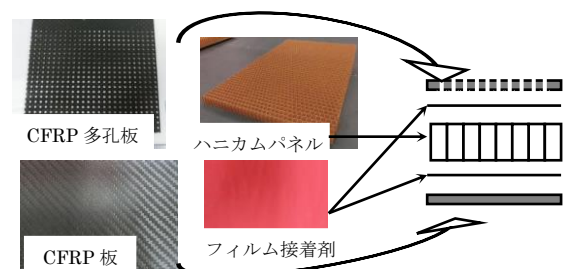


図 3 吸音パネルの接着組立

*1 岐阜大学次世代金型技術研究センター: 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1 Gifu University Center for Advanced Die and Technology2.1

2.2 吸音試験片の切り出しと吸音率の測定

吸音パネルの周波数に応じた吸音性能を測定評価する方法として、インピーダンスチューブを用いて、入射音と反射音との差から減衰率を測定するインピーダンス法を用いた。この方法は、試作した吸音パネルから、直径 29mm の円筒形状に NC 加工で切出した試験片(図 4)を、インピーダンスチューブに挿入し、広域の周波数(ホワイトノイズ)をスピーカでチューブ端から発生させ、試験片に対し垂直に音圧をかけ入射音と反射音の音圧時間差から垂直入射吸音率計測ソフトウェアを使い解析するものである(図 5)。音響測定装置はブリュエル・ケアー社製 Type4206(名古屋市工業技術研究所所有)を用い、サンプリング周期 10Hz にてピーク周波数と垂直入射吸音率(ASTM E1050-12, ASTM E2611-09 準拠)を用いた。³⁾



図 4 NC加工で切出したインピーダンス試験片

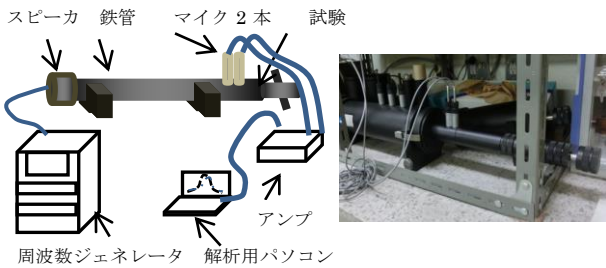


図 5 インピーダンスチューブ試験装置

3. 試験結果

ブラスト加工で製作したCFRP多孔板を接着し、吸音パネルを試作し、吸音パネルからインピーダンス試験片を切出し、一連の吸音率測定試験を行った。測定結果の一部(孔径 1.5mm, ハニカム 10mm 厚, 接着剤 FVE9F)の例を図 6 に示す。ここで例えば開口率が小さいものでは、吸音ピークを示す周波数帯が 3200-3400Hz であった。

4. 考察

本吸音パネルはヘルムホルツ型共鳴器と呼ばれ、細い孔のあいた板の背後に空洞部が配置された構造で、固有振動数と同じ周波数音が入射したとき共鳴が生じ、孔部分の粘性摩擦で音が摩擦熱に変わり減衰する構造である吸音パネルの孔面積を s 、有孔板の厚みを h 、容器(空洞部)の体積を V 、角振動数を ω (rad/s) とすると、式(1)の関係が成立つ。⁴⁾

$$\omega = \sqrt{\frac{s}{Vh}} \quad (1)$$

図 6 の結果より、同一形状の試験片でも、開口率が異なるものを作ると、ピーク周波数と吸音率が異なることが判った。また、試作した各種の試験片の測定結果から、吸音率と開口率の関係をプロットしたところ、開口率(すなわち孔の面積)が大きくなると、吸音率が低下することが判った(図 7)。このことは、上記(1)式と一致する。

	No.1	No.2	No.3	No.4
2-10FN				
孔径 [mm]	1.5			
有孔係数	1.39	0.43	46.21	55.15
開口率 [%]	0.37	0.11	12.20	14.56
周波数 [Hz]	3224	3432	4080	4048
吸音率 [%]	0.95	0.96	0.68	0.62

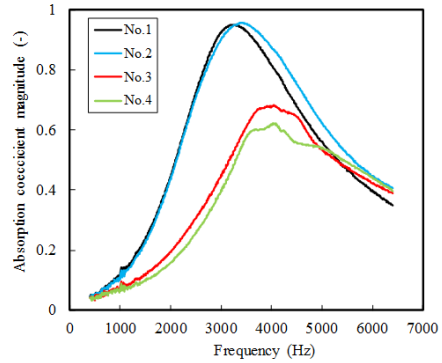


図 6 吸音率測定結果の例(周波数と吸音率の関係)

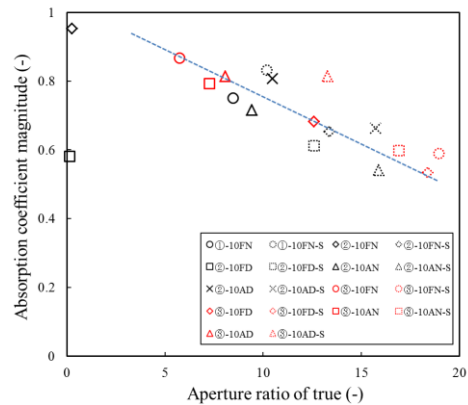


図 7 吸音率と開口率の関係(ハニカムコア 10mm 厚)

5. まとめ

本研究により以下の事項が明らかとなった。

- 1) CFRP 板にブラスト加工により多孔板を製作し、ハニカムコアと接着組立する(ブラスト加工後にフィルム接着剤を貼り、フィルム接着剤にピアシング後に、ハニカムパネルに接着すること)ことで、吸音パネルを製作することができた。
- 2) 直入射吸音率測定用に円筒形状の試験片切出し、垂直入射吸音率(インピーダンスチューブ)測定用装置による解析と吸音率測定を実施し、周波数と吸音率の関係、吸音率と開口率の関係など一連のデータを取得した。

6. 参考文献

- 1) 深川仁, 西川幸佑, 市川大稀, 廣垣俊樹; 航空機エンジン用 CFRP 製吸音パネルのブラスト加工による試作. 飛行機シンポジウム(2015)3C06
- 2) H.FUKAGAWA, T.HIROGAKI, T.KATO: Development of Hole Generation Technologies for Aircraft CFRP Parts, Key Engineering Materials. vols.523-524 (2012) pp.226-231.
- 3) JISA1405-2 2007 (ISO 10534-2: 1998) 音響管による吸音率及びインピーダンスの測定-第 2 部: 伝達関数法
- 4) 真田明, 章 忠, 岩国信夫; 共鳴器型吸音パネルの吸音率予測, 岡山県工業技術センター技術情報 No.463. (2008) pp.80-81.