

# ポリエステル不織布の吸音特性に関する研究

後藤 亮

## 1. はじめに

### 1.1 背景

現在、日本国内でもっとも普及している建築用吸音材料はグラスウール(以降では“GW”と表記する)であろう。その市場は建築用内外装材だけでも年間の出荷高が14万t、200億円<sup>1)</sup>にも上り、また住宅用断熱材としての使用は全体の約2/3を占める(図-1)<sup>2)</sup>。

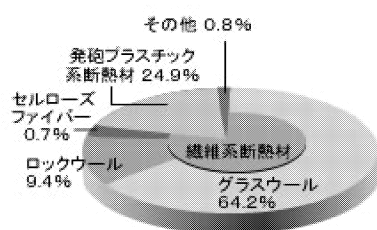


図-1 日本における住宅用断熱材の素材別面積シェア

しかし、GWにも問題点がある。たとえば、ガラス繊維の飛散によって皮膚が刺激されたり、目や呼吸器が危険にさらされる。吸水性があるため、結露やカビの発生、そして吸音・断熱性能の著しい低下の原因にもなる。このような問題には施工者が衣服に気を使ったり、GWにフィルムを張ったりして対応しているが、余計な手間やコストがかかることは否めない。そのため近年では、繊維の飛散もなく、リサイクル性の高い素材としてポリエステル不織布<sup>3)</sup>が注目されている。

ポリエステル不織布は、GWと同じ多孔質型の吸音材料に類されるものであり、またPETボトルのリサイクル材である。回収したPETボトルを熔融、ろ過して繊維状にしたものを薄いシート状に加工し、さらにそれを幾層にも積み重ねて圧縮、熱処理を施したものである。今回は、これをポリウールと名づけた。以降ではこれを“PW”と表記する。

### 1.2 目的

本研究の目的は、PWを建築用吸音材料として使用するに当たり、十分な吸音性能を有するためにはどのような繊維構成が必要となるのかを明らかにすることである。

そのためにまず、GWと繊維構成を様々に変化させた複数のPWの垂直入射吸音率を測定し、その結果に

ついて比較・検討する。そうしてGWと同等以上の吸音率を示すPWの繊維構成を見つけ出す。次にそのPWとGWについて残響室法吸音率を測定して、その結果と垂直入射吸音率から得られる結果を比較することで、明らかにされた繊維構成のPWが実用的にも十分な吸音性能を有することを示す。

## 2. ポリエステル不織布の繊維構成

ここでは、PWが建築用吸音材料として十分な吸音性能を有するためにはどのような繊維構成が必要であるかを明らかにするため、垂直入射吸音率の測定を行った。

### 2.1 測定方法

垂直入射吸音率の測定は、BK4206(垂直入射吸音管)を使用し、ISO 10534-2(1st edition 1998-11-15)<sup>4)</sup>に準拠した方法により行った。使用機器の模式図を図-2<sup>5)</sup>に示す。

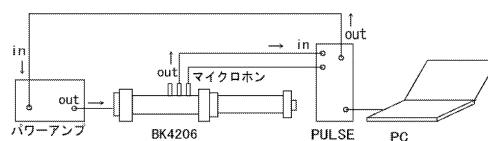


図-2 垂直入射吸音率の測定システム

垂直入射吸音管には低域から高域までの広い範囲の周波数をカバーするために太管と細管の2種類がある。太管は50~1,600Hz、細管は500~6,400Hzが計測対象周波数となっている。試料もそれらに合わせて直径100mmと29mmの円筒状にカットしたものを使用する。

### 2.2 結果

この測定では、1) 密度、2) 繊維の太さ、3) バインダーの混合率、4) 繊維断面形状、5) 繊維形状、の5つの要素について様々な種類のPWを作成し、測定結果について比較・検討した。またGWの垂直入射吸音率も同時に測定し、実際に使用されている吸音材料の基準とした。それぞれの項目の結果を以下に示す。

#### 1) 密度

密度による影響は大きく、密度が上がるとともに吸音率も上昇し、64kg/m<sup>3</sup>で32kg/m<sup>3</sup>のGWと同等の吸音性能となった。しかし今回はGWと同じ条

件にするためすべて  $32\text{kg/m}^3$  に統一した。

## 2) 繊維の太さ

単位はデニールといい、de と表記する。1de は、繊維の長さが 9,000m のときの重さが 1g と定義される。結果は顕著な差が現れ、de が小さく、つまり繊維が細くなるほど吸音率が上がっていった。2de になると GW と同等以上の吸音性能を示した。

## 3) バインダー混合率

バインダーとは PW の製造過程において加熱圧縮するときに熔融して繊維同士を接着させる役割を持つ繊維のことで、この混合率を 10% に下げると高音域で吸音曲線のディップが小さく、吸音率が高かった。逆に 30% にあげると高音域の吸音率が高くなった。

## 4) 繊維断面形状

繊維の中が密になっている状態を●、中空なものを○と表記する。比較したところ両者の吸音性能にそれほど差はなく、●の方がややよいという程度であった。

## 5) 繊維形状

繊維に波状に縮れた状態をクリンプといい、逆に、まっすぐなものをストレートというが、こちらも吸音率はあまり変わらず、クリンプの方がやや高かった。

以上の結果から、吸音材料としてもっとも適していると考えられる PW を表-1 に示す。

表-1 最適な PW の仕様

試料番号	繊維の太さ (de)	繊維の混合率 (%)	密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	厚さ (mm)	繊維長 (mm)	断面形状	繊維形状
ベース バインダー	2	70	32	50	50	●	クリンプ
	2	30					
ベース バインダー	2	70	32	100	50	●	クリンプ
	2	30					
グラスウール			32	50	-	-	-

測定結果を図-3、図-4 に示す。これらの図は、太管と細管で得られた結果を合成したものである。この図を見ると、まず全体にわたって、低音域では吸音率は低いが高周波数になるにつれて徐々に吸音率も上昇していくという多孔質型吸音材の典型的な吸音特性が見て取れる。さらに厚さ 50mm の PW は、背後空気層がある場合とない場合のどちらも GW と同等かそれ以上

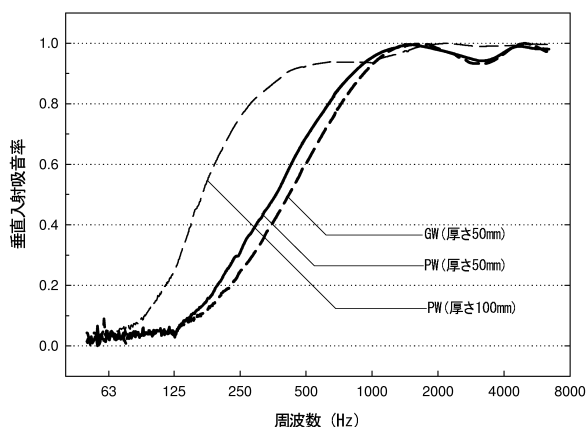


図-3 垂直入射吸音率の結果 (空気層 0mm)

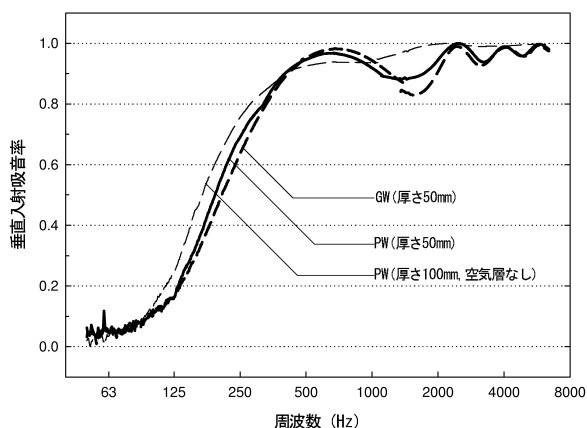


図-4 垂直入射吸音率の結果 (空気層 50mm)

の吸音率を示している。また背後空気層を設定することで 1,000Hz 以下の周波数域で吸音率が上がっている。しかしそれでも 100mm の PW には低音域の吸音率ではわずかに及ばない。

以上の測定結果から、PW の繊維太さを 2de、バインダー混合率を 30%、繊維断面形状を●、繊維形状をクリンプにすれば、同じ厚さ、同じ密度の GW と同等の吸音性能を PW に持たせることが可能だとわかった。

## 3. 吸音性能の検証

一般的に建築用吸音材料の吸音率は乱入射で計測した吸音率を指す。そこで、ここでは垂直入射吸音率の測定で得られた PW の吸音特性の特徴が、乱入射の場合にも同様になるのかを確かめるために、残響室法吸音率の測定を行う。

### 3.1 測定方法

残響室法吸音率は、九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門残響室 (室容積  $105\text{m}^3$ ) において JIS A1409:1998<sup>6)</sup> に準拠した方法によって行った。こ

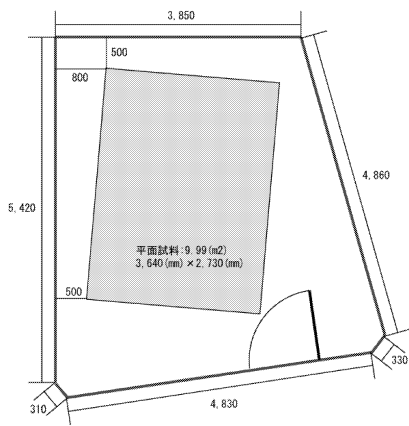


図-5 残響室の寸法

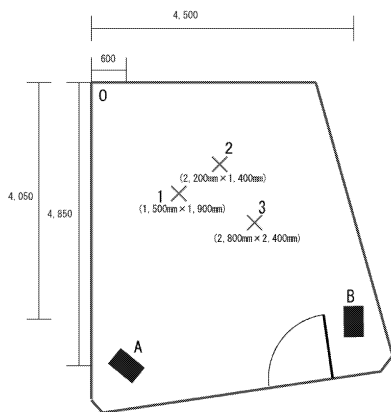


図-6 音源・受音点の配置

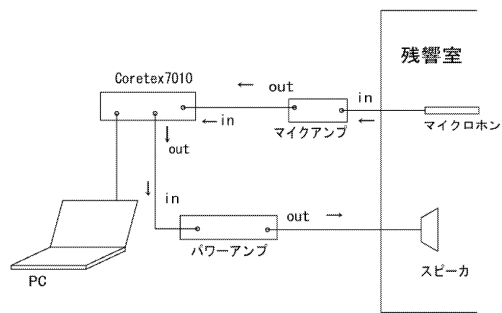


図-7 残響室法吸音率の測定システム

の残響室内は音場を十分に拡散させるために静止吊り下げ拡散板を設置している。ただし、この残響室は JIS A1409 に示される室の容積 (150m<sup>3</sup> 以上) より小さいため 125Hz 以下では十分な拡散性が得られない。試料の面積は 9.99m<sup>2</sup> とする。残響室内の試料の配置と音源と受音点の位置をそれぞれ図-5 と図-6 に示す。音源位置が A、受音点位置が 1~3 である。図-7 は残響時間の測定を行う際の機器の接続の模式図である。

測定は 100~5,000Hz の範囲で 1/3 オクターブバンドで実施し、試料がない場合と試料を入れた場合でそれ

ぞれのインパルス応答を計測し、残響時間を導き出す。こうして得られた各周波数帯域の残響時間から Sabine の残響式を用いて残響室法吸音率を算出する。

### 3.2 結果

結果を図-8 と図-9 に示す。測定の対象とした試料は前述した表-1 と同様である。なお、よく知られているように、残響室法吸音率の値は 1.0 を超えてしまうため、比較にとどめる。

図を見ると、残響室法吸音率の場合も PW は GW と同様の多孔質型吸音材の吸音特性を示していることがわかる。また、厚さ 100mm の PW は他に比べると 1,000Hz 以下の周波数帯域で特に吸音率が高い。また厚さ 50mm の PW は、GW と比較すると背後空気層を設けたときはほぼ同等の吸音率で、背後空気層がないと低音域でやや吸音率が高かった。

以上のことから、PW の残響室法吸音率は垂直入射吸音率と同様の傾向であることが確認された。

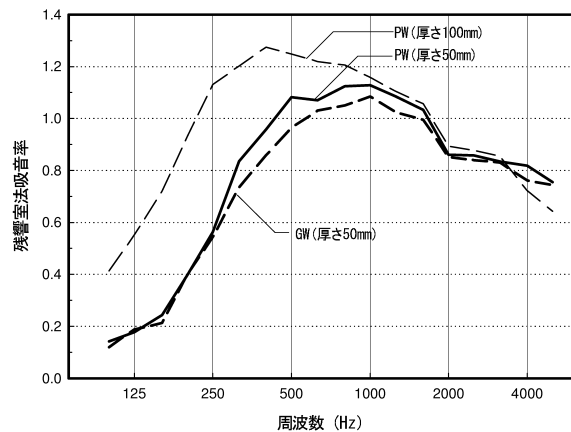


図-8 残響室法吸音率の結果 (空気層 0mm)

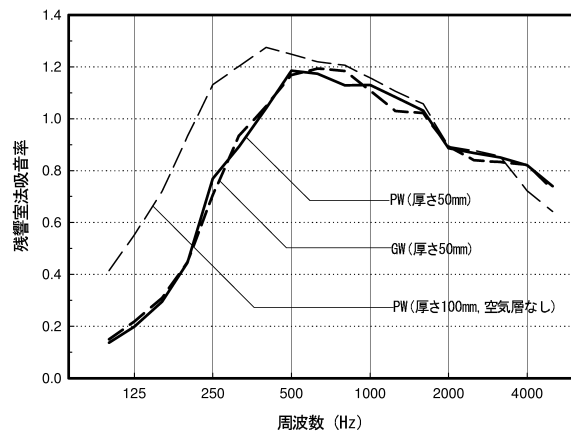


図-9 残響室法吸音率の結果 (空気層 50mm)

#### 4. 考察

垂直入射吸音率の結果(図-3、図-4)と残響室法吸音率の結果(図-8、図-9)を比較すると、次のようなことが共通点としてあげられる。

- 背後空気層を設定しない場合、厚さ 50mm の PW と GW では高音域においてはほとんど吸音率に差はないが、低音域においては PW の方がわずかに吸音率がよい。
- 背後空気層がなければ 100mm の PW は低音域において他よりも特に優れた吸音性能を示す。
- 背後空気層を設けた場合、低音域においても厚さ 50mm の PW と GW の吸音率の差はほとんどなくなる。

以上の点から PW の残響室法吸音率は垂直入射吸音率と同様の傾向である、つまり PW の吸音性能は乱入射の場合にも GW と同程度以上であり、PW は GW と同程度の吸音性能を有しているといえる。

#### 5. ポリエステル不織布のその他の特性

PW を建築用吸音材料として使用するには、吸音特性以外の特性についても研究の必要がある。ここではそれらについて参考までに述べておく。

- リサイクル性  
PW は回収された PET ボトルを利用したリサイクル材であることから、GW よりも優れているといえる。
- 耐火性  
PW は燃えることはないが、256°C で融解する。しかし、有害ガスを発生することは全くないので安全である。融点が低いため、GW と比較したとき耐火性は劣るといわざるを得ない。
- 施工性  
PW は現時点では現場で臨機応変に加工できるものではなく、カッターなどで手軽に切ることができる GW に比べると施工性は劣るだろう。しかし、前述したように繊維の飛散がほとんどないので GW のように身を守るためのケアなどは一切必要ない。これは大きな長所である。
- 調湿機能  
日本では結露や湿気への対策は重要なポイントである。PW の調湿機能はまだよくわかっていないが、類似した素材が調湿実験<sup>7)</sup>において優れているという結果を示しているため、期待できそうだ。

- 耐久性

PW の耐久性はわかっていないが、類似した素材が圧縮耐久性の試験<sup>8)</sup>で十分な性能を示しているため期待してよさそうだ。

#### 6. むすび

今回の研究では次のことが明らかになった。

- PW は GW と同じ多孔質型吸音材の吸音特性を示す。
- GW と同じ厚さ、同じ密度で同じ吸音率となる PW は以下のものである。
  - － 繊維の太さは 2de
  - － バインダーの混合率は 30%
  - － 繊維断面形状は●
  - － 繊維形状はクリンプ
- 残響室法吸音率も上記とほぼ同じ傾向となった。

以上のことから、吸音性能という点に関しては PW は建築吸音材料として十分利用可能であると考えられる。しかし耐火性という点においては GW よりも劣り、欠点となるので留意しなくてはならないだろう。

#### 謝辞

本研究は、九州大学教授 藤本一壽先生、助手の穴井謙氏、(株)フコクの前賀慎一氏、そして藤本研究室の皆様の温かいご指導、ご協力の下行うことができました。皆様に心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 建設工業調査会, (<http://www.kenkocho.co.jp/>)
- 2) 硝子繊維協会, (<http://www.glass-fiber.net/index1.html>)
- 3) 島田英彦, 中井克己, 齋藤文孝, 鈴木陽一, “ポリエステル繊維不織布を用いた吸音クサビの試作とその音響性能”, 日本音響学会講演論文集 (2003 年 9 月)
- 4) ISO 10534-2 “Acoustics-Determination of sound absorption coefficients and impedance tubes Part2: Transfer-function method”, 1st edition 1998-11-15
- 5) 垂直入射吸音率計測ソフトウェア MS1021 取扱説明書
- 6) JIS A1409: 1998, 残響室法吸音率の測定方法 (Method for measurement of sound absorption coefficients in a reverberation room)
- 7) (株)コスモプロジェクト, “THERMO WOOL (サーモウール)”, (<http://www.cosmo-project.co.jp/spec.htm>)
- 8) 帝人株式会社, ポリエステルクッション材 “elk<sup>T.M.</sup> (エルク)”, パンフレット