

ポリエステル不織布を用いた吸音材の開発

藤本, 一壽
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

穴井, 謙
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

古賀, 新一
株式会社フコク

<https://doi.org/10.15017/19075>

出版情報：都市・建築学研究. 9, pp.67-74, 2006-01-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：

ポリエステル不織布を用いた吸音材の開発

Development of a Sound Absorbing Material Made of Polyester Nonwovens

藤本一壽*, 穴井 謙*, 古賀新一**

Kazutoshi FUJIMOTO, Ken ANAI and Shin'ichi KOGA

Polyester nonwoven (PW) is made of fine fibers in the same manner as glass fiber (GW) and high sound absorption may be expected in it. As PW can be completely recycled, it is noticed for its possibility of applications to sound absorbing material from the viewpoint of recycling and reuse of resources and the cutback of waste matter. Although some commercialized sound absorbing materials made of PW have already existed and an example of application to real anechoic chamber can be seen, it was reported that it was a little inferior to GW in sound absorbing efficiency. In order to use PW widely to general sound absorbing materials, high sound absorption must be possessed. In this study, therefore, sound absorption coefficients of various samples of which fiber components are varied are measured and fiber component with higher absorption is experimentally searched. As a result of the experiment, fiber component with the same absorption as GW is found. An anechoic chamber where this PW is used for sound absorption at the interior of the room is introduced as an example of the application of this PW.

Keywords : Polyester nonwoven, Sound absorbing material, Coefficient of sound absorption, Anechoic chamber

ポリエステル不織布, 吸音材, 吸音率, 無響室

1. はじめに

1.1 グラスウール吸音材

現在, 国内で最も多く使用されている吸音(断熱)材はグラスウール(以下, GWと略記する)である。その市場規模は, 建築用内外装材だけでも年200億円, 出荷高14万tにのぼる¹⁾。また, GWの住宅用断熱材としてのシェアは全体の約2/3を占めている²⁾。GWは優れた吸音(断熱)性能を有しているが, その一方で, (1)施工の際に表面の細かいガラス繊維が飛散するため, 目や皮膚への刺激, 呼吸器への吸入などの影響があり, これを防ぐための帽子や, 保護メガネ, 防塵マスクなどの装備が必要である, (2)施工後も, 飛散したガラス繊維が居住者に影響を及ぼす恐れがある, (3)接触によって表面繊維が飛散しやすいため, ガラスクロスなどの表面仕上げが不可欠である, (4)繊維の接着材に含まれるVOCによる人体への影響が懸念される, (5)水を吸って重くなると自重によって繊維が破壊さ

れやすいため, 建築用内装材として使用されたGWが壁から脱落して壁の断熱(吸音)性能が著しく低下することが少なくない, などの問題点が指摘されている³⁾。

1.2 ポリエステル不織布

近年, GWと同じように細い繊維でできたポリエステル不織布(以下, PWと略記する)がGWと同じような吸音性能を有するのではないかと注目されている。

PWは, 繊維状にしたポリエステル(“ベース”)に“バインダー”と呼ばれるポリエステル不織布を加えて攪拌し, 薄い膜状にしたものを何層にも重ね, それを加熱して適当な厚さのシート状に加工したものである。加熱することでバインダーが融解して繊維が自己結合されるため, PWは弾力に富んでいる。ポリエステルの繊維は, 太さ(重さ1gのポリエステルの9,000mに引き伸ばしたときの繊維の太さは1de(“デニール”)と定義され, PWの繊維の太さの単位として使われる), 繊維断面形状(繊維の中が空洞で断面形状が○, △, □や, 繊維の中が密で断面形状が●, ▲, ■など), 繊維形状(繊維が直線状の“ストレート”や縮れ

* 都市・建築学部門

** 株式会社フコク

た繊維の“クリンプ”など)の異なるさまざまな種類がある。また、“バインダー混合率”(PW全体に対するバインダーの重さの割合)を変化させることで繊維の結合の度合いの異なるPWを製作できる。

このようなPWは、GWのように繊維が飛散することもなく、繊維の結合に接着剤が使われていないのでVOC発生への心配もなく、通常の接触程度では繊維が破壊されることがないので表面仕上げなしで使用することも可能であり、弾力性に富むため水を吸っても乾燥すれば元の形に戻り、燃焼によって有害ガスが発生することもないなど、優れた特性を有する材料である。また、ポリエステル繊維をひば樹脂でコーティングする技術⁵⁾も開発されており、それによって防ダニ、防カビ、抗菌、防臭などの効果を付加することも可能である。さらに、原材料であるポリエステルは、完全リサイクル可能な材料⁴⁾であるので、資源のリサイクル、リユース、廃棄物の削減の観点からもPWへの期待が大きい。

このようなことから、ポリエステル不織布を用いた建築用吸音材料も既に一部製品化⁶⁾されており、ポリエステル不織布を用いた吸音クサビの開発⁷⁾、そしてそれを用いた無響室の実例⁸⁾も報告されている。

2. 研究の目的と方法

しかしながら、こうした例で使用されているPWは、いずれも吸音性能がGWよりもやや劣る³⁾⁷⁾と報告されている。すなわち、もともと布団綿として使用されてきたPWは、一般に使われる仕様のままでは吸音性能がGWに劣っているようである。

上に述べたような利点を持っているPWを吸音材料として広く使用するためには、できるだけ吸音性能の高いものを製作できるようにする必要がある。そこで本研究では、PWの繊維構成をさまざまに変化させ、吸音率の高いPWの仕様を得ることを目的とした。

すなわち、初めに、さまざまな繊維構成のPWの垂直入射吸音率を測定し、測定結果を比較してどのような要素がPWの吸音性能に影響しているかについて検討し、高い吸音性能を示すPWの仕様を提示する。次に、垂直入射に対してよい吸音性能を発揮した繊維構成のPWの残響室法吸音率を測定し、残響室法吸音率においてもGWと同程度の吸音性能となることを確認する。最後に、それを無響室の内装に用いた例を紹介する。

3. 垂直入射吸音率

垂直入射吸音率の測定は、B&K4206(2マイクロホンインピーダンス測定管)を用いて、ISO 10534-2⁹⁾に準拠した方法により行った。

吸音率の測定に用いた11種類のPWの繊維構成を表1

表 1 吸音率の測定に用いた試料

試料番号		繊維の太さ (de)	繊維の混合率 (%)	面密度 (g/m ²)	密度 (kg/m ³)	厚さ (mm)	繊維長 (mm)	断面形状	繊維形状
5	ベース	6	70	1600	32	50	50	○	クリンプ
	バインダー	2	30						
6	ベース	6	70	600	12	50	50	○	クリンプ
	バインダー	2	30						
7	ベース	6	70	1600	32	50	50	●	クリンプ
	バインダー	2	30						
8	ベース	6	70	3200	64	45	50	●	クリンプ
	バインダー	2	30						
9	ベース	2	70	1600	32	50	50	●	クリンプ
	バインダー	2	30						
10	ベース	4	70	1600	32	50	50	●	クリンプ
	バインダー	2	30						
11	ベース	6	70	1600	32	50	50	●	ストレート
	バインダー	2	30						
12	ベース	3	70	1600	32	50	50	●	クリンプ
	バインダー	2	30						
13	ベース	3	35	1600	32	50	50	●	クリンプ
		2	35						
	バインダー	2	30						
16	ベース	2	80	1600	32	50	50	●	クリンプ
	バインダー	2	20						
17	ベース	2	90	1600	32	50	50	●	クリンプ
	バインダー	2	10						
	グラスウール			—	12	50	—	—	—
	グラスウール			—	32	50	—	—	—

に示す。厚さを50mm(ただし、試料PW-8は45mm)に設定して、次の要件について検討した。

1. 密度
2. (ベース) 繊維の太さ
3. バインダー混合率
4. 繊維断面形状
5. 繊維形状

試料の背後空気層は、0mmを基本とし、一部については参考のため50mmと100mmに設定した。併せて、厚さ50mmのGW(密度12kg/m³と32kg/m³の2種類)の吸音率も測定した。なお、バインダー繊維の太さは2deに設定した。

3.1 密度

初めに、PW-5、PW-6、PW-8を用いて密度の影響を検討した。この3種類は、いずれも、繊維の太さはベース6de、バインダー2de、繊維長は50mm、繊維形状はクリンプであり、密度が異なる。ただし、PW-8は厚さ45mm、繊維断面形状●となっている。測定結果を図1～図3に示す。比較のためGWの吸音率も示した。

背後空気層0mmの場合(図1)を見ると、いずれのPWも、低音域で吸音率は小さく、周波数が高くなるにつれて吸音率が大きくなるという多孔質型吸音材料の典型的な特性を示している。また、吸音率は密度の増大に伴って大きくなっている。

密度32kg/m³のPW-5を同じ密度のGWと比較すると、PWの吸音率は高音域ではGWと大きな差は認めら

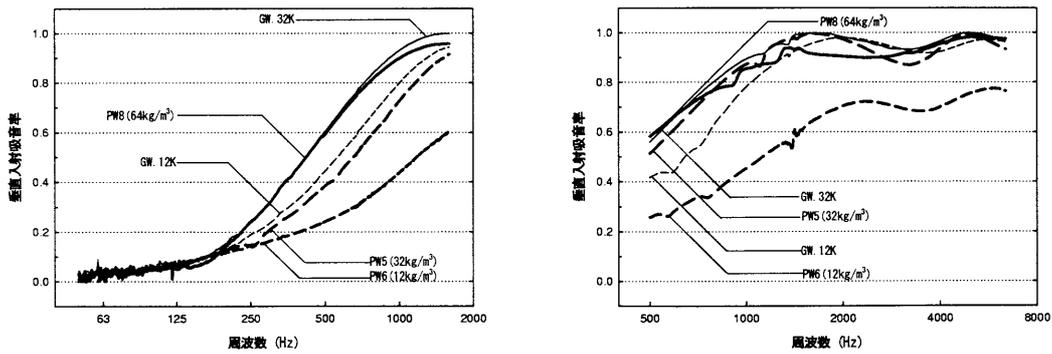


図1 密度の比較 (空気層 0mm)

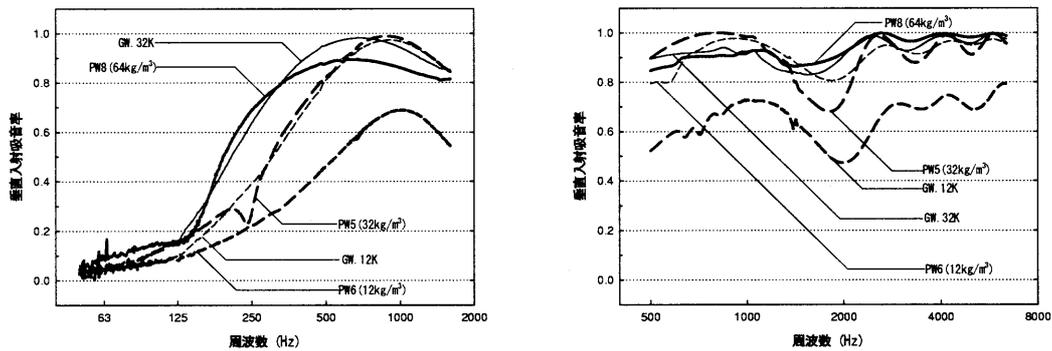


図2 密度の比較 (空気層 50mm)

れないものの、低音域では0.1～0.2程度GWに及ばない。GWと同程度の吸音率を得るためには、PWの密度を 64kg/m^3 (PW-8)にしなくてはならない(ただし、PW-8は試料の製作ミスのため厚さが45mmしかなく、厚さ50mmであればもう少し小さな密度でもGW並みの吸音率を得られると思われる)。

背後空気層を設けた場合(図2、図3)も、PWは典型的な多孔質型吸音材料の特性を示しており、密度の影響も空気層0mmの場合と同様の傾向となっている。また、高音域で見られるディップには密度による違いが現れている。しかし、密度の大きいPW-8では、500Hz周辺で現れる吸音率のピークが0.9程度にしかならず、全体の周波数特性も他のものと比べるとやや不自然である。これは、密度を上げ過ぎたことにより空隙が小さくなってしまい、多孔質型吸音材料としての性質が損なわれたためと考えられる。密度が 64kg/m^3 と 32kg/m^3 の間、例えば 48kg/m^3 程度だとより大きな吸音率を示すと推測される。

以上のように、ベース繊維太さ6deのPWの吸音性能は、同じ密度のGWと比べてやや劣っていることがわかった。PWを吸音材として使用するには、同じ密度でGWと同程度の吸音性能を有することが望まれる。そこで以下

では、PWの密度を 32kg/m^3 とし、他の要件を工夫することでGWと同程度以上の性能が出るよう検討することにした。

3.2 繊維の太さ

PW-9, PW-10, PW-12, PW-13を用いて繊維の太さの影響を検討した。この4種類は、繊維の太さ以外の仕様(密度、厚さ、繊維長、断面形状、繊維形状)はすべて同じで、ベース繊維の太さだけが、4de, 3de, 2+3de, 2deと異なる。ここで、2+3de(PW-13)は、2deと3deの繊維を均等に混合したPWを表している。

測定結果を図4に示す。背後空気層0mmの場合、繊維太さの違いによって吸音率に大きな差があり、4de → 3de → 2+3de → 2deと繊維が細くなるほど吸音率が大きくなっていることがわかる。GWと比較すると、3de(PW-12)がほぼ同程度の吸音率であり、2de(PW-9)だと若干大きくなる。これらの傾向は中音域以上でも概ね同様の結果となっている。紙面の都合でここには示していないが、背後空気層を50mm, 100mmにした場合もほぼ同様の傾向であった。

以上から、PWで密度 32kg/m^3 のGWと同程度以上の吸音率を得るには、太さ2deのバインダー繊維を30%混

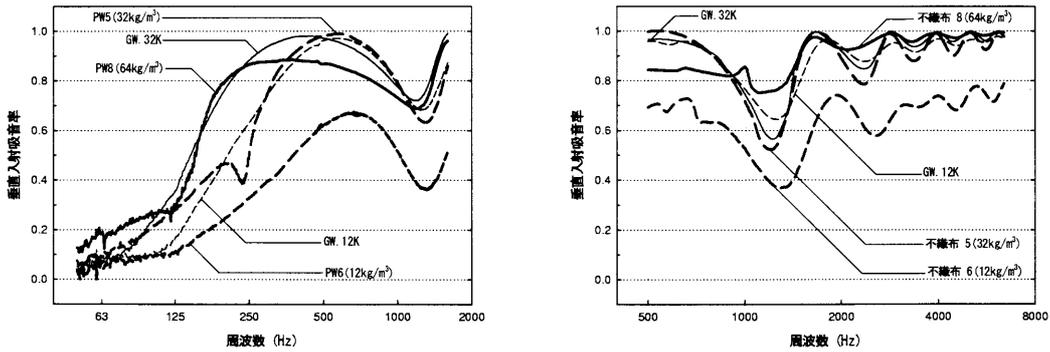


図3 密度の比較 (空気層 100mm)

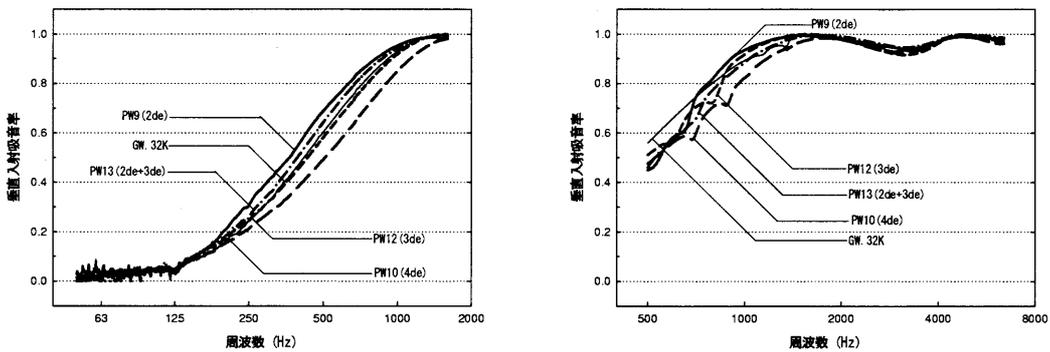


図4 繊維太さの比較 (空気層 0mm)

合するのであれば、ベース繊維の太さを 3de より細くすればよいと判断される。

3.3 バインダー混合率

バインダー繊維の混合率が小さければ PW を構成する繊維同士の結合が弱くなって繊維が振動しやすくなり、その結果、吸音率が大きくなるのではないかと予想される。そこで、PW-9、PW-16、PW-17 を用いてバインダー混合率が吸音率に及ぼす影響を検討した。この3種類は、密度、厚さ、繊維長、断面形状ともすべて同じで、繊維太さもベース、バインダーともに 2de にして、バインダー混合率だけを 30%、20%、10% に変化させたものである。

測定結果を図 5 に示す。中音域以上では予想通り混合率 10% の PW-17 がディップが小さく、最も吸音性能が高かった。しかし、低音域では逆に混合率 30% の PW-9 が最も高い吸音率であった。この傾向は、ここには示していないが、空気層を設けた結果も同様であった。

以上のように、バインダー混合率を小さくすると高音域の吸音性能がよくなり、大きくすると低音域で吸音効果が高上がることがわかった。PW のバインダー混合率は、製造しやすさなど吸音性能以外の要因も考慮して判断する必要があり、以降では 30% とすることにした。

3.4 繊維断面形状

PW の繊維断面は、断面形状が○、△、□など(繊維の中が空洞)や●、▲、■(繊維の中が密)などがある。そこで、繊維断面形状が吸音率に与える影響をみるため、PW-5 と PW-7 を比較した。両者は、密度、厚さ、繊維長、繊維形状は同じで、断面形状だけが異なる(PW-5 は○、PW-7 は●)ものである。

測定結果を図 6 に示す。図から、低音域では●(PW-7)の方が○(PW-5)よりもごくわずかではあるが吸音率が大きいことがわかる。中音域以上でも PW-7 の方がディップがわずかに小さく、吸音性能がよいと言える。ここには示していないが、空気層を設けた場合も同様の結果であった。

以上から、繊維断面形状は、○よりも●にした方が吸音性能はわずかによいと言える。

3.5 繊維形状

PW の繊維形状は、ストレート(直線状の繊維)とクリンプ(縮れた繊維)がある。そこで、繊維形状が吸音率に及ぼす影響をみるため PW-7 と PW-11 を比較した。両者は、繊維形状だけが異なり(PW-7 はクリンプ、PW-11 はストレート)、それ以外の仕様(密度、厚さ、繊維長、繊維断面形状など)はすべて同じである。

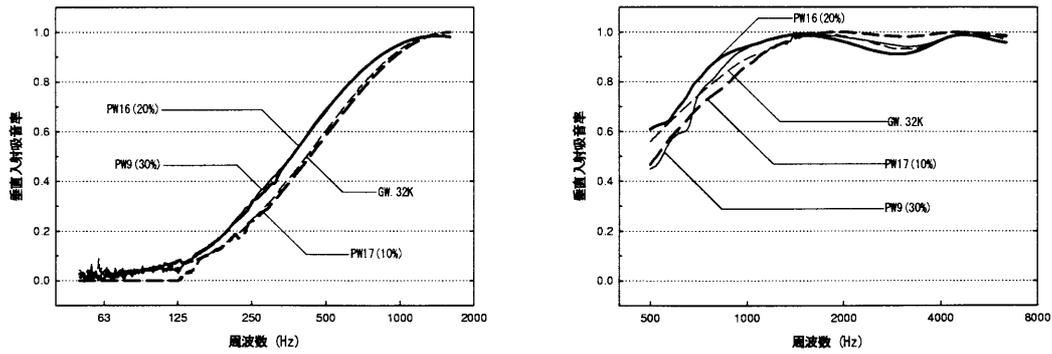


図5 バインダー混合率の比較 (空気層 0mm)

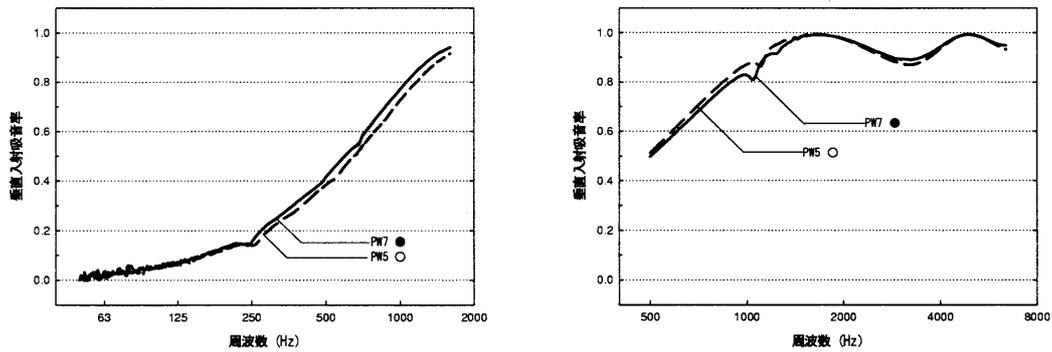


図6 繊維断面形状の比較 (空気層 0mm)

測定結果を図7に示す。繊維形状がストレートのものよりもクリンプの方がPWにできる孔が緻密に複雑になると考えられるので、クリンプで作ったPWの吸音率の方が大きくなると考えられるが、予想通りクリンプ(PW-7)の吸音率の方がストレート(PW-11)よりもわずかではあるが大きかった。ここには示していないが、空気層を設けても同様の結果であった。

以上のことから、繊維形状はストレートよりもクリンプにした方が吸音性能はよいと判断される。ただし、ほとんど変わらないと言ってよい程度の差である。

3.6 ポリエステル不織布の繊維構成

以上の考察に基づき、GW相当の吸音性能を確保するには、次のような仕様が適当であると判断される。

- ・繊維の太さ… 2de
- ・バインダー混合率… 30%
- ・繊維断面形状… ●
- ・繊維形状… クリンプ

4. 残響室法吸音率

前節では、垂直入射吸音率の測定結果に基づいて、密度32kg/m³のGWと同程度の吸音性能を有するPWの繊維構成を明らかにした。ここでは、そのような繊維構成の

PWの残響室法吸音率について検討する。

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¹⁰⁾において、JIS A1409¹¹⁾に準拠した方法により測定した。ただし、この残響室の室容積は105m³であり、旧JIS A1409で規定されている値(150m³)を満たしていないため、125Hz以下の周波数の測定結果はJISに準拠しているとはいえない。また、周知のように残響室法吸音率は1.0を超える場合があり、今回の測定結果もそのようになった。したがって、測定結果は、あくまでも同じ条件で測定したGWとの相对比较と考えている。

表2に示す厚さ50mmのPWとGWについて、背後空気層を設けない場合と背後空気層を50mm設けた場合の2通りの測定を行った。また、厚さ100mmのPWについては、背後空気層を設けない場合だけを測定した。

背後空気層を設けない場合の測定結果を図8に示す。50mmのPWは、GWに比べるとほぼ同じかやや大きな吸音率である。100mmのPWは、50mmのPWやGWよりもはるかに大きな吸音率で、低音域においては0.2以上も大きい。

背後空気層50mmの測定結果を図9に示す。

空気層を設けた状態でも、50mmのPWとGWはほぼ同じ吸音率を示し、空気層を設けることで中低音域の吸

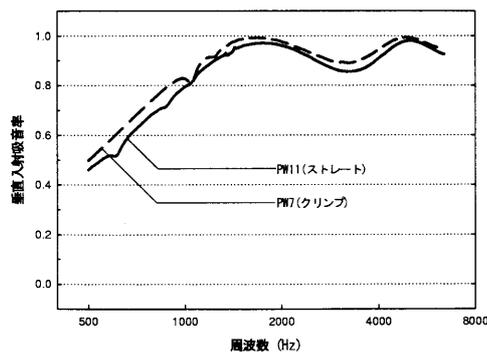
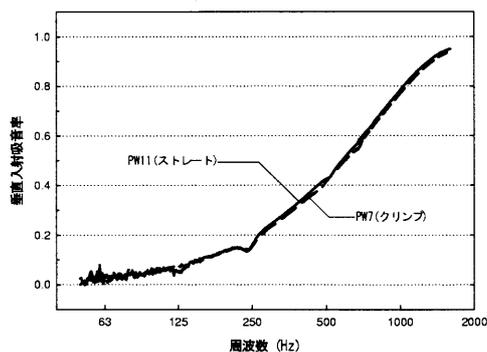


図7 繊維形状の比較 (空気層 0mm)

表2 PWの仕様

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

音率が上がることがわかった。しかし、100mmのPWには及ばず、50mmのPWの背後に空気層を設けるよりも、さらにPWを充填した方が吸音能力が高くなることが確認できた。

5. ポリエステル不織布の吸音率

以上の実験的検討から、ポリエステル不織布の吸音率は下記のようにまとめることができる。

1. PWはGWと同様な多孔質型の吸音特性を示す。
2. 繊維構成を工夫することでGWと同程度の吸音性能を有するPWを製作できた。
3. 繊維構成を工夫したPWの残響室法吸音率をGWと比較すると図8、図9となる。

6. 施工例

上記のPWを実際の建築物の内装に施工する機会を得た。すなわち、北九州市立大学国際環境工学部環境空間デザイン学科に設置された組立式無響・簡易シールド室(図10)の室内のすべての内表面(天井、壁、床)に、表2の50mmのPWを2枚重ねて、それ以外の表面仕上げをしないものを設置した。

そこで、この室内の逆2乗特性を測定した。測定は、1ウェイ、フルレンジの密閉型スピーカーユニットよりピン

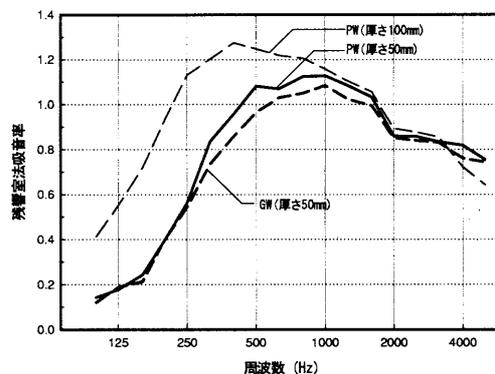


図8 残響室法吸音率の測定結果 (空気層 0mm)

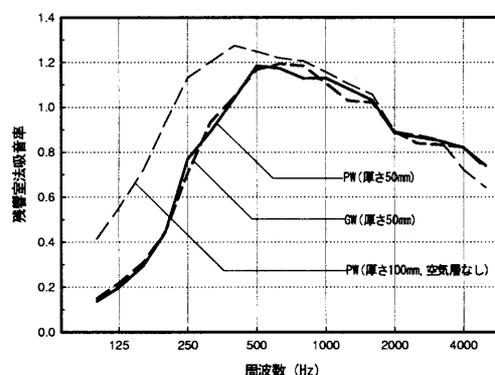


図9 残響室法吸音率の測定結果 (空気層 50mm)

クノイズを放射し、図中に示した測定点における音圧レベルを測定するというものである。

測定結果を図11に示す。250Hz以下の周波数帯域では偏差は大きいですが、315Hz以上の周波数帯域では概ね良好な特性を示している。特に3.15kHz以上の周波数帯域においては、JIS Z 8732¹²⁾の附属書Aに示された無響室の音圧レベル距離減衰特性の最大許容偏差内に収まっており、よい特性である。このように、PWの平板をそのまま内装

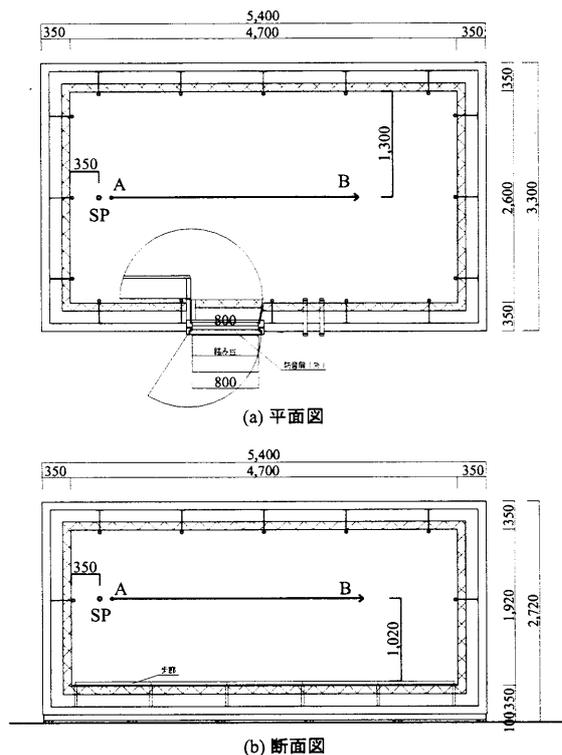


図 10 無響・簡易シールド室

に用いた程度でも、315Hz 以上ではほぼ無響室として使用可能な室を作ることができることが確認できた。

7. まとめ

リサイクル可能な材料できているポリエステル不織布の繊維構成を工夫することで、同じ密度、同じ厚さのグラスウールと同程度の吸音性能を有する吸音材料が製作できることを実験的に示し、無響室の内装材に適用した実例を紹介した。

共同研究を行った株式会社フコクは、本報告で示した吸音性能のPWをGWとほぼ同じ価格で生産可能であると考えている。

PWの熔融温度はそれ程高くない(256°C)ためPWを内装材として使用する際には熱に対して注意を要するが、リサイクル性やその他の面でPWはGWに勝る材料であり、今後、建築、その他さまざまな分野における吸音材料としての用途が期待できると思われる。

本報告はPWの吸音率に関する実験的研究に留まったが、今後は吸音性能に関する理論的な裏づけを検討しながら吸音率以外の特性も含めて、さまざまな用途に応じたPWの仕様についても検討したい。また、現在の製造過程で発生しているPWの端材、さらには使用後のPW廃材(現在はほとんどが産業廃棄物として処分されている)の再利用も今後の重要な課題であると考えている。

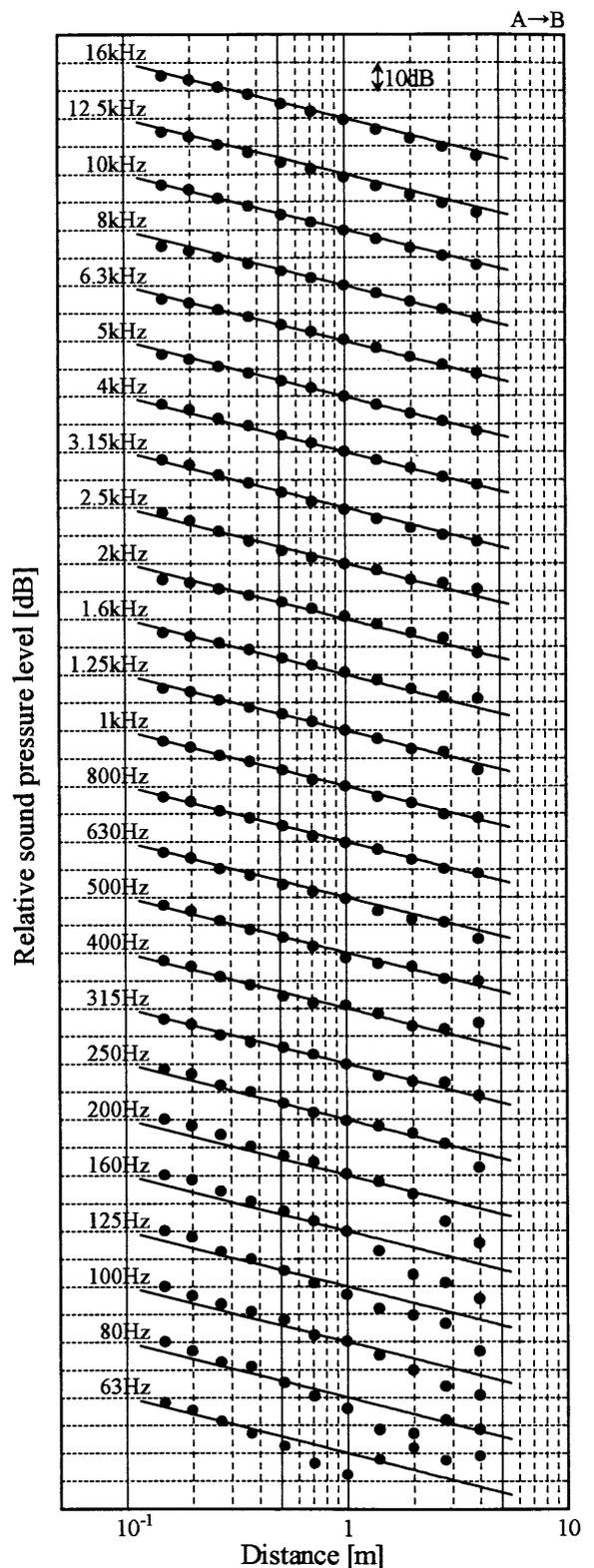


図 11 逆 2 乗特性測定結果 (ピンクノイズ)

謝 辞

本報告は、平成13年度～平成14年度「民間等との共同研究(区分A) ポリエステル不織布の吸音特性解析と吸音材料への応用」により九州大学(藤本研究室)と株式会社フコトが共同で行った研究の成果の一部である。本研究で示した仕様のPWを無響室の内装材として使っていた北九州市立大学国際環境工学部の黒木荘一郎教授に感謝いたします。

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/>.
- 3) 嶋田泰, 安岡博人: 人に優しい吸音材料, 騒音制御 24, 33-35, 2000.
- 4) 帝人株式会社: http://www.teijin-eco.com/ecoproducts/tec_01.html.
- 5) 製法特許第3443256号(所有者 株式会社フコト).
- 6) e・ウール(株式会社エービーシー商会): <http://www.abc-t.co.jp/>.
- 7) 島田秀彦, 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年秋, pp. 951-952, 2003.9.
- 8) 中井克己, 島田秀彦, 齋藤文孝, 鈴木陽一: ポリエステル繊維不織布を用いた無響室の試作とその音響性能, 日本音響学会講演論文集 2004年春, pp. 803-804, 2004.3.
- 9) ISO 10534-2 Acoustics-Determination of sound absorption coefficients and impedance tubes - Part2: Transfer-function method, 1st edition 1998-11-15.
- 10) 藤本一寿, 坂田展甫: 九州大学無響室の特性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp. 257-258, 1982.10.
- 11) JIS A1409:1998 残響室法吸音率の測定方法.
- 12) JIS Z8732:2000 音響-音圧法による騒音源の音響パワーレベルの測定方法-無響室及び半無響室における精密測定方法.

(受理:平成17年12月1日)