

県産スギを用いた壁の防音化について

—スリット開口による吸音—

Acoustical Insulation of Wall Made of Prefectural Cedar

- Sound Absorption Using Slit Aperture -

中岡正典*

Masanori Nakaoka

抄 録

スギを壁表面に使用しつつ吸音性能を付与する方法として、スギ製リブの背後に空気層を有するスリット開口に着目し、リブの断面寸法やスリット幅、そして背後空気層に充填する多孔質材料の種類やそれを被覆する不織布の流れ抵抗など、各種条件を変化させた際の吸音特性の変化を検証した。その結果、形状については開口率と空気層厚が大きく、リブの見込寸法が小さい条件で吸音性能が高くなることがわかった。また、本研究における実験の条件下では、多孔質材料は嵩密度が高く、それを被覆する不織布は流れ抵抗値が比較的小さい材料を用いた方が有利な結果が得られた。

1 はじめに

県産スギを用いた壁の防音化を図る一環で、本年度は特に壁の吸音性能を向上させる方法を検討した。そこで、スギを壁表面に使用しつつ吸音性能を付与する方法として、スギ製リブの背後に空気層を有するスリット構造に着目した。同工法自体は以前から知られているが、背後空気層へ充填する多孔質材料として樹皮繊維を用いたり、それを被覆する不織布の流れ抵抗を変化させた際の効果など、新たな見地からも検討を行った。

2 実験方法

スギ製リブの背後に空気層を有するスリット構造を考える上で、まず図1に示すような基本形となる供試体を試作した。これは、側面を材厚15mmの合板で囲まれた横900mm×縦1800mm×深さ140mmの箱状(試料面積1.62m²)で、表面からスギ製リブ、被覆用不織布、多孔質材料(または空気層)、そして合板積層体の順で構成した。ここで、合板積層体の部分は、剛壁と同等と見なしている。

本研究では、図1の構成と寸法を基本にしつつ、寸法および使用材料などの各種条件を変化させて吸音特性の測定を行った。変化させた条件は、リブの断面寸法やスリット間隔、被覆用不織布については

流れ抵抗、多孔質材料については材料の種類(ロックウール、ウレタンフォーム、樹皮繊維)と嵩密度などで、それらの条件が吸音特性に及ぼす影響を検証した。

使用した多孔質材料のうち、樹皮繊維はスギの樹皮をスクリー加圧方式の粉碎機で粉碎し、含水率12%程度まで自然乾燥させたものを用いた。実験に際しては、材厚が50mmで表1に示す2種類の圧縮条件を設定した。ロックウールは嵩密度80kg/m³、材厚50mmの既製品を使用した。ウレタンフォームは嵩密度25kg/m³、材厚50mm(25mm厚を2枚積層)の既製品を使用した。不織布は、表2に示すように異なる流れ抵抗を有する3種類の材料を使用した。表中の流れ抵抗値は通気性試験機で実測した値から換算した。

吸音性能の評価は、図2に示すように、残響室(容積38m³)の中央に供試体を設置し、供試体1個あたりの等価吸音面積(吸音力)の測定により行った。測定に際しては、図3に示す測定システムを用い、

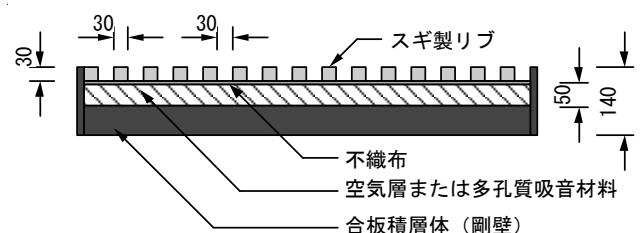


図1 スリット構造の基本形となる供試体

*生活科学課

供試体を設置していない状態の残響時間 T_1 [s]と、供試体を設置した状態の残響時間 T_2 [s]の測定値から、以下の式1によって等価吸音面積 A [m²]を算出した。

$$A = 55.3 \frac{V}{c} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \quad (\text{式 1})$$

ここで、 V は残響室の容積[m³]、 c は空気中の音速[m/s]である。

表 1 樹皮繊維の圧縮条件

高密度 [kg/m ³]	単位厚さあたり 単位面積流れ抵抗 [Pa·s/m ²]	単位面積流れ抵抗 [Pa·s/m]
100	453	23
150	2692	135

表 2 多孔質材料の表面を被覆する不織布

材質	面密度 [kg/m ²]	単位面積流れ抵抗 [Pa·s/m]	
不織布1	PP	0.048	55
不織布2	PP	0.098	267
不織布3	表: PE, 裏: PET	0.087	13230

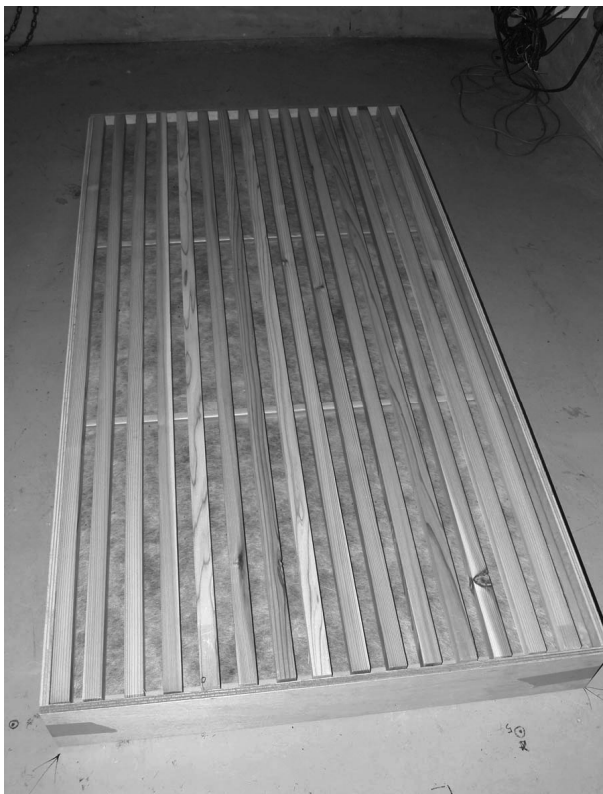


図 2 残響室内に設置された供試体

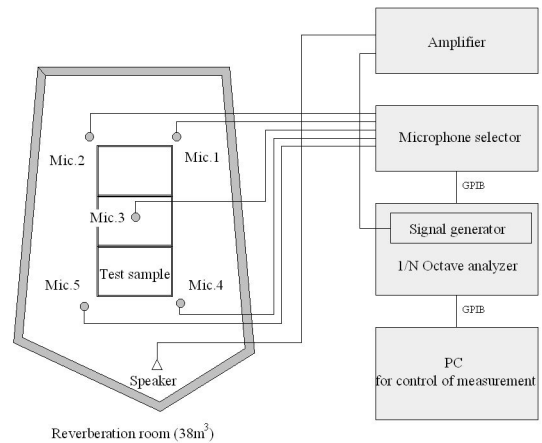


図 3 等価吸音面積の測定に用いたシステム

3. 結果と考察

以下、図 1 の構成と寸法を基本形としつつ、各種条件を変化させて等価吸音面積を測定し、その結果を比較した。

なお、以下の考察において、スリット開口による共振周波数 f_0 に言及している箇所では、以下の式¹⁾によって計算を行った。

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{L(l + Kb)}}$$

$$K = \frac{2}{\pi} \log_e \left(\operatorname{cosec} \frac{\pi}{2} P \right) \quad (\text{式 2})$$

$$P = \frac{b}{B}$$

ここで、 c は空気中の音速[m/s]、 L は板から剛壁までの距離[m]、 l は板の厚さ[m]、 b はスリット幅[m]、 P は開口率、 B はスリット間隔[m]である。

3・1 スリット開口の有無による比較

スリット開口、そして背後のロックウールやそれを被覆する不織布 1 の有無などの条件を変化させて等価吸音面積を測定し比較した結果を図 4 に示す。

まず、スリット開口の有無を供試体 a・b で比較すると、200Hz 以下の低周波域で、スリット開口が無い供試体 a で目立ったピークが見られる。一方、800Hz 以上では供試体 b の方が等価吸音面積の値が上回っており、スリット開口の効果が表れていることがわかる。なお、供試体 b における 800Hz のピークは、式 2 による共振周波数の計算値 894Hz とほぼ一致している。

次に供試体 b に不織布 1 (単位面積流れ抵抗が 55 Pa·s/m) を加えた供試体 c に着目すると、400Hz 以上の帯域で等価吸音面積の値が改善されており、適度に通気性を有する膜が吸音性能の向上に寄与することがわかる。

さらに、供試体 c の背後空気層にロックウールを充填したのが供試体 d であるが、ほぼ全測定周波数域で大幅に値が上昇しており、多孔質材料の有効性の高さが改めて認識された。ただし、背後にロックウールを有しながらスリット開口が設けられていない供試体 e は、供試体 a に近い値を示している。これらの結果から、多孔質材料はスリット開口との組み合わせで、その性能が発揮されることがわかる。

3・2 使用材料の種類による比較

まず、図 1 の基本形において多孔質材料にロックウールを使用し、不織布の種類を変えた際の等価吸音面積を比較した結果を図 5 に示す。通気性が高い(流れ抵抗が低い)不織布 1・2 は、両者とも比較的測定結果が近い。しかし、通気性の低い不織布 3 では明らかに吸音性能が低下していることがわかる。従って、本研究で行った実験の条件下では、比較的通気性の高い(流れ抵抗の低い)不織布が適していることがわかる。

次に、図 1 の基本形において不織布に表 2 の不織布 1 を使用し、多孔質材料の種類を変えた際の性能を比較した結果を図 6 に示す。なお、比較対象とし

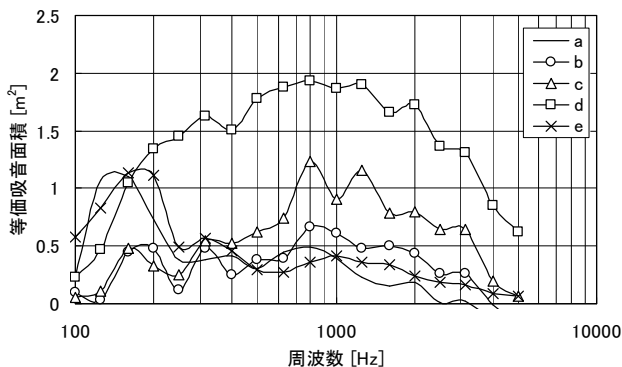
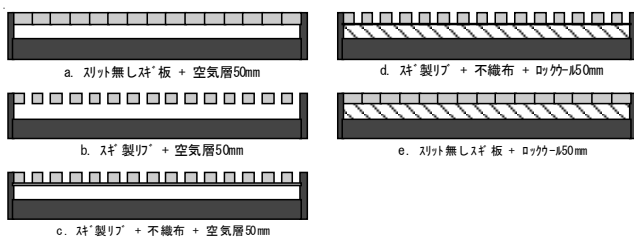


図 4 スリット・不織布・多孔質材料の有無の効果

て多孔質材料を充填しない空気層のみの条件における測定結果も併記した。図から明らかなとおり、空気層のみの条件に対し、多孔質材料を充填した供試体では、いずれも等価吸音面積が大幅に向上している。低～中周波域ではロックウールが優勢で、これに対しウレタンフォームでは 250Hz、樹皮繊維では 250Hz と 1250Hz～1600Hz の帯域を中心にディップが見られる。2500Hz 以上の帯域では、いずれの多孔質材料でも大きな差は生じていない。樹皮繊維の嵩密度による比較では、高周波の一部の帯域を除いて、の嵩密度の高い条件 (150kg/m³) の方が、高い値を示している。ちなみに、以前に行った樹皮繊維の吸音特性に関する一連の研究^{2) 3)} で得られた結果と同様に、スリット開口構造における背後空気層への多孔質材料の充填材としても、樹皮繊維が十分有用であることが、改めて確かめられた。

3・3 スリットの幅と間隔の違いによる比較

図 1 の基本形において、多孔質材料にロックウール、不織布に表 2 の不織布 1 を使用し、リブのスリット間隔を変化させた際の等価吸音面積を比較した結果を図 7 に示す。共振周波数の計算値は供試体 a・

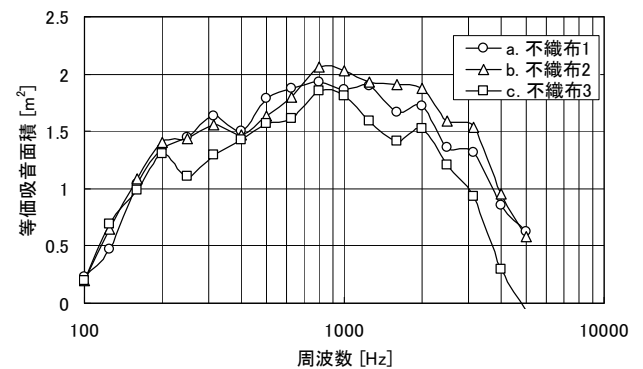


図 5 不織布の種類による吸音特性の比較

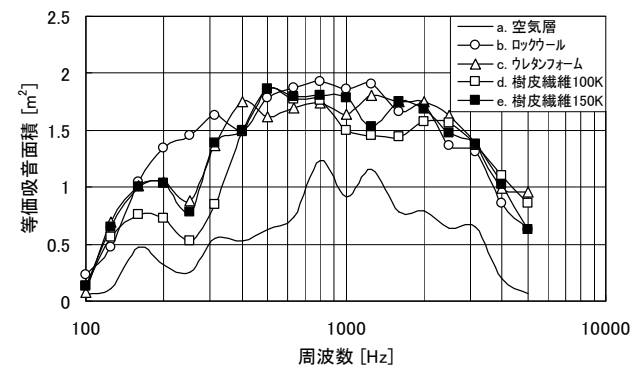


図 6 多孔質材料の種類による吸音特性の比較

b・cの順に、それぞれ730Hz, 894Hz, 987Hzであり、スリット間隔の増加に伴い共振周波数が大きくなるが、図7の実測値でも概ねそのような傾向が認められる。なお、ピーク値が最も大きいのは、最もスリット間隔が大きく、開口率も高い供試体cであった。

次に、スリット幅を30mmに固定し、リブの見付寸法を変化させた際の変化を比較した結果を図8に示す。共振周波数の計算値は供試体a・b・cの順に、それぞれ894Hz, 672Hz, 550Hzであり、リブの見付寸法の増加に伴い共振周波数が低くなるが、図8の実測値では周波数こそ一致していないものの、共振周波数が低くなる傾向は見受けられる。また、この比較では開口率の低下により、主として中～高周波数帯域において、顕著に吸音性能が低下している様子が認められる。

さらに、スリットの幅と間隔は異なるが、開口率がほぼ等しい供試体を比較した結果を図9に示す。共振周波数の計算値は供試体a・bの順に、それぞれ894Hz, 823Hzであり、その差は僅かである。図9のグラフでは、高周波域において供試体bの値が相対的に低く吸音性能が低下している。従って、同じ開口率でもスリットの幅や間隔は小さい方が、有利になることが想像される。

3・4 リブの見付寸法が異なる場合の比較

図1の基本形において、多孔質材料にロックウール、不織布に表2の不織布1を使用し、供試体の奥行き方向に対し、リブの見付寸法と背後空気層の割

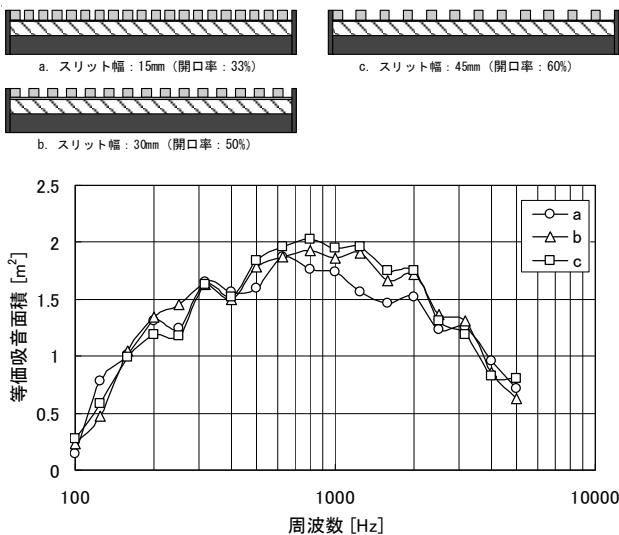


図7 スリット間隔の違いによる比較

合を変化させた際の等価吸音面積を比較した結果を図10に示す。共振周波数の計算値は供試体a・b・cの順に、それぞれ603Hz, 524Hz, 551Hzであり、図10の実測値とは一致しなかった。むしろ、リブの見付寸法が大きく、そして背後空気層が薄くなるに伴い、250Hz～315Hz周辺に顕著なピークが生じていることがわかる。それ以外の周波数帯域では、概ねリブの見付寸法が小さく、そして背後空気層が厚い条件の方が吸音性能に優っており、特に低周波域ではその傾向が顕著に表れている。そして、供試体cとそのリブの見付寸法をランダムにした供試体dとの比較では、供試体cにおける250Hzのピークと400Hzのディップが供試体dでは平坦化していることがわかる。

次に、図1の基本形において、多孔質材料にロックウール、不織布に表2の不織布1を使用し、供試

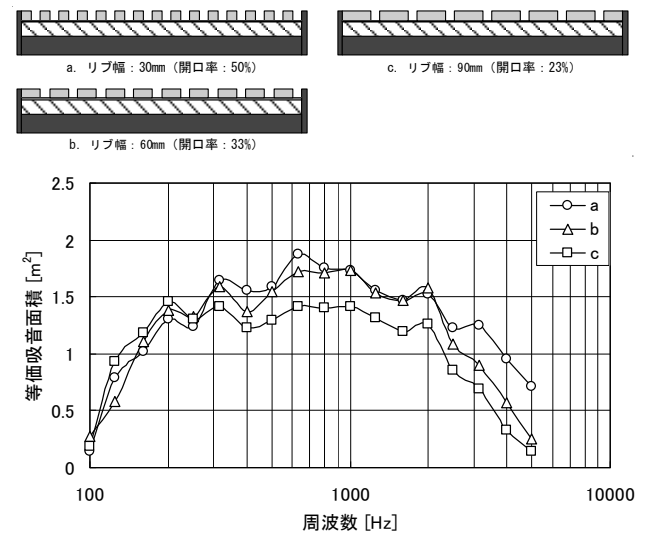


図8 スリットの見付寸法の違いによる比較

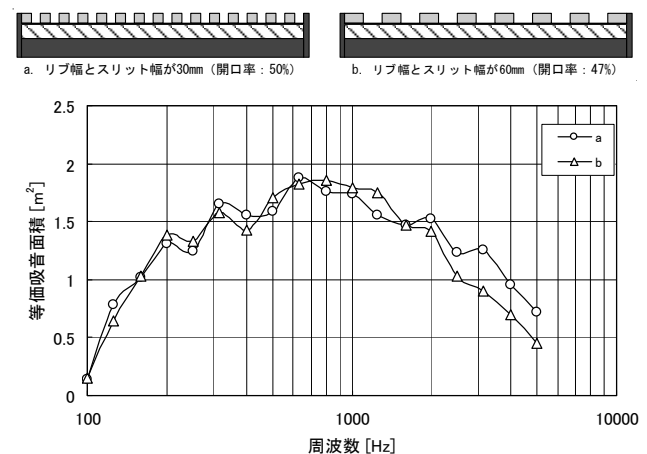


図9 同じ開口率で各寸法が異なる場合の比較

体表面から剛壁まで距離とリブの見付寸法を変化させた際の等価吸音面積を比較した結果を図 11 に示す。共振周波数の計算値は供試体 a・b・c の順に、それぞれ 894Hz, 663Hz, 551Hz で、図 11 の実測値とは一致していない。むしろ、リブの見込寸法が比較的長い供試体 b・c では、図 10 と同様に 250Hz～315Hz 周辺で顕著なピークが生じている。一方、800Hz 周辺の周波数帯域では、逆にリブの見込寸法が比較的短い供試体の方が値が高い。それ以外の低周波域や高周波域では、大きな差は生じていない。

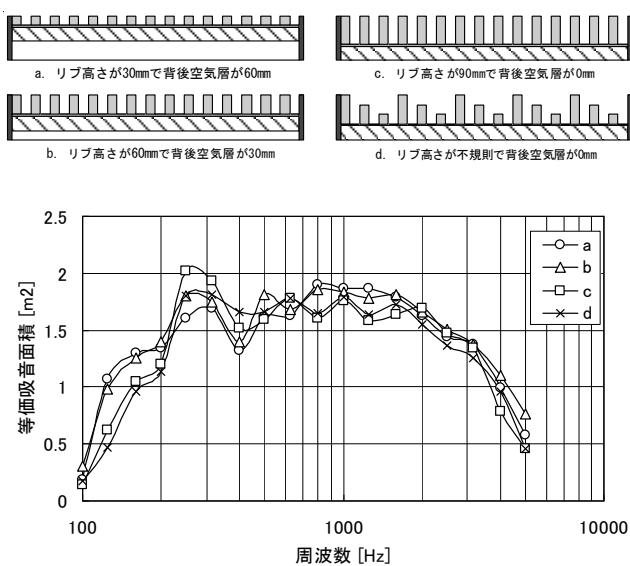


図 10 壁の奥行きが同じでリブの見込寸法と背後空気層の比率が異なる場合の比較

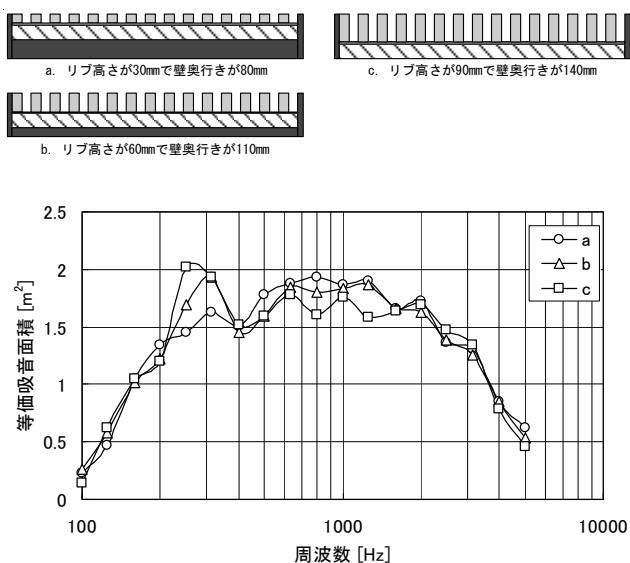


図 11 壁の奥行きが異なりリブの見込寸法が異なる場合の比較

3・5 背後空気層の有無による比較

図 1 の基本形において、不織布に表 2 の不織布 1 を使用し、多孔質材料としてロックウールかあるいは高密度 150kg/m^3 の樹皮繊維を使用した場合について、それぞれ背後の空気層の有無による等価吸音面積を比較した結果を図 12 に示す。共振周波数の計算値は供試体 a (c も同じ)・b (d も同じ) の順に、それぞれ 894Hz, 603Hz であり、図 12 の実測値とは一致しなかった。ロックウールと樹皮繊維の両者いずれの場合も、低周波域では背後空気層がある条件の方が吸音性能が高いが、400Hz～600Hz 周辺の帯域では逆転している。また、800Hz 以上の周波数帯域で空気層の有無による差が比較的小さいことも、両材料で類似している。

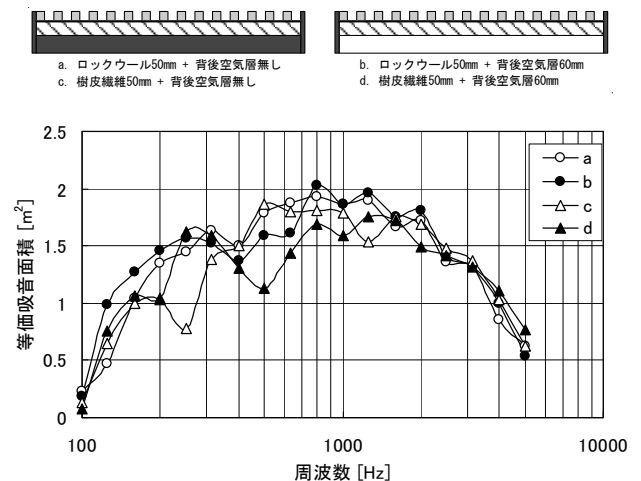


図 12 背後空気層の有無による比較

4. まとめ

スギ製リブの背後に空気層を有するスリット開口について、リブの断面寸法やスリット幅、そして背後空気層に充填する多孔質材料の種類やそれを被覆する不織布の流れ抵抗など、各種条件を変化させ、吸音特性の変化を検証した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 背後に空気層を有するスギ製の壁では、スリット開口を設け、さらに背後空気層に多孔質吸音材料を充填することにより、効果的に吸音性能を付与できることが改めて確かめられた。

(2) 背後空気層に充填する多孔質材料の被覆用不織布については、比較的通気性の高い不織布 (単位面積流れ抵抗が $55\sim 267\text{ Pa}\cdot\text{s/m}$) を使用した条件で

吸音性能が高かった。また、多孔質材料が無い不織布単独の使用でも、若干の吸音性能の向上が認められた。

(3) 本研究で用いた多孔質材料の中ではロックウール (80kg/m^3) が広帯域にわたり吸音特性が最も良好であった。また樹皮繊維については、密度の高い方 (150kg/m^3) が、特に低～中周波数域で優れていた。

(4) リブの見付寸法、スリット幅やその間隔などのパラメータについては、当初の予想どおり、比較的開口率が大きい条件においてピーク値が高く、一方、開口率が小さい条件では、主として中～高周波域において、吸音性能が低下した。また、開口率が同じでもスリット幅が小さい方が、高周波域で有利な傾向が見られた。

(5) 供試体表面から剛壁までの距離が同じ条件では、リブの見込寸法が小さく、背後空気層が厚い条件の方が、特に低周波域で吸音性能が高くなり、逆の条件では特定の周波数で顕著なピークが生じることがわかった。また、見込寸法が異なるリブを不規

則に配列した際には、特徴的なピークやディップが平坦化する傾向が見られた。

(6) 多孔質吸音材料背後の空気層の有無による比較では、低周波域では空気層がある条件の方が有利であるが、 $400\text{Hz}\sim 600\text{Hz}$ 周辺の帯域で逆転する現象が見られた。

謝辞

本研究に際し、樹皮繊維を提供していただいた TS ウッドハウス協同組合に、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 前川純一・森本政之・阪上公博：「建築・環境音響学」，共立出版，pp.86-87 (2004)
- 2) 中岡正典，石原国彦：「樹皮繊維の吸音特性とその推定方法について」，騒音制御，Vol.33，No.6，pp.446-457 (2009-12)
- 3) 中岡正典，石原国彦：「樹皮繊維成型体の吸音特性について」，騒音制御，Vol.34，No.5，pp.386-397 (2010-10)