

避難所における快適環境を提供する高機能建材の開発 木質材料を用いた吸音建材の開発（第 1 報）

木村公久^{*}，今西祐志^{*}，長谷川良一^{*}

Development of high-performance building materials to provide a comfortable environment
in the shelter

Development of sound absorption building materials with wood material (I)

Kimihisa KIMURA^{*}，Hiroshi IMANISHI^{*}，Ryoichi HASEGAWA^{*}

木質材料を用いた吸音建材を開発するにあたり、岐阜県産桧間伐材から製造したストランド（木削片）及び各種桧ストランドボード、イグサから製造したイグサボードについて、様々な条件における吸音性能及び振動特性の評価を行った。

ボード単体としては、桧ストランドボード及びあなあき桧ストランドボードに良好な吸音性は見られなかったが、低密度桧ストランドボードには中高音域、イグサボードには高音域において、比較的良好的な吸音性が見られた。密度を調整することによるボードとしての展開に加え、吸音特性の異なるボードの組み合わせによる構造体としての展開の有効性が見られた。

1. 緒言

災害時に設置される避難所生活で感じる不愉快さとストレスについては、避難所の音環境に対して不満を抱くことと関係しているため、音環境を改善することによって一定程度軽減できる可能性があることが示されている¹⁾。またこの文献では、床に敷物を置いたことによる吸音効果により、体育館内の残響感が改善され、さらに歩行時の足音と振動が低減されたという報告がある。このように、避難所内の音問題を改善するには、遮音性に加えて適度な吸音性も必要であることから、遮音ならびに吸音材を適所に配置することにより、快適な音環境を創出することが重要であると考えられる。

そこで本研究は、災害によって設置される避難所等の音問題の改善を図ることを目的に、再生可能な有機性資源である木質材料を主材料とした吸音建材の開発を行う。本報では、株式会社エスウッドから提供された木質材料及び各種ボードについて、残響室法による吸音率測定による吸音性能、また振動特性を評価することによって吸音建材としての可能性を検討した。

2. 実験方法

2.1 供試体

2.1.1 桧ストランド

桧ストランドは、岐阜県産桧間伐材（皮むき材）を長さ180mm前後に玉切りし、これをディスクフレーカーに投入して切削したものである。ここでできたストランドの大きさは、おおむね25mm角、0.4mm厚であるが、幅、長さ及び厚みともに多少のばらつきが見られる。このストランドを乾燥機に投入し、含水率5%以下まで乾燥させたものを用いた。図1に、桧ストランドを示す。



図1 桧ストランド

^{*} 試験研究部

2.1.2 桧ストランドボード

桧ストランドボードは、ポリエチレングリコール系ハイブリッド接着剤を塗布した桧ストランドを均等に並べ、ホットプレスで熱圧成形し、表面をサンダーで研磨したものであり、ほとんど空隙がないボードである。寸法1,820mm×910mm×4mm厚、密度0.74g/cm³の桧ストランドボードを用いた。図2に、桧ストランドボードを示す。



図2 桧ストランドボード

2.1.3 あなあきストランドボード

あなあきストランドボードは、桧ストランドボードの長辺方向に72個、短辺方向に36個の計2,592個の貫通あなを、各25mmピッチで空けたものである。丸あなの直径が5mm、6mm及び8mmの3種類のあなあきストランドボードを用いた。図3に、直径5mmのあなあき桧ストランドボードを示す。



図3 あなあき桧ストランドボード

2.1.4 低密度桧ストランドボード

低密度桧ストランドボードは、市販の桧ストランドボードよりも密度を半分以下にして成形した試作ボードであり、空隙を有するボードである。

表1 低密度桧ストランドボードの仕様

	長さ (mm)	幅 (mm)	厚み (mm)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)
No.1	1,815	935	11	4,378	0.23
No.2	1,815	935	10	5,481	0.32

表1に使用した低密度桧ストランドボードの仕様、図4に密度0.32g/cm³の低密度桧ストランドボードを示す。



図4 低密度桧ストランドボード

2.1.5 イグサボード

イグサボードは、熊本県産のイグサを約100mmの長さに切断し、ポリエチレングリコール系ハイブリッド接着剤を塗布したイグサをマット状に並べ、ホットプレスで熱圧成形し、裏面をサンダーで研磨したものであり、空隙を有するボードである。寸法1,820mm×910mm×6mm厚、密度0.20g/cm³及び0.33g/cm³の2種類のイグサボードを用いた。図5に、密度0.33g/cm³のイグサボードを示す。



図5 イグサボード

2.2 吸音性能評価測定

2.2.1 測定方法

音響特性評価装置（株式会社小野測器製）の音源室を用い、JIS A 1409²⁾に準ずる方法によって測定を行った。図6に試験室を示す。この試験室は容積が24.8m³の残響室であり、試験室内にはスピーカ3台、マイクロホン5本が設置されている。この装置を用いて各供試体の吸音率（1/3オクターブバンド）を測定した。ただし、試験室の容積が小さいことにより、低音域の音圧分布が安定しないという点から、100Hzから315Hz未満の測定値は参考値となる。また本装置による測定結果は、JIS規格を満たしている試験室における測定結果との整合

性を確認していないため、相対評価として各測定結果を比較した。



図 6 音響特性評価装置（音源室）

2.2.2 供試体の設置方法

2.2.2.1 桧ストランド

油粘土を用い、内寸が1,820mm×910mm、高さ10mm、20mm、30mm及び40mmの囲いを試験室の床に設けた。この囲いの中に、油粘土の高さと同じになるように桧ストランドを均一になるように敷き詰めた。表2に用いた桧ストランドの重量と密度、図7に高さ40mmの油粘土の囲いに桧ストランドを敷き詰めた状態を示す。

表2 桧ストランドの質量と密度

高さ(mm)	重量(g)	密度(g/cm ³)
10	1,191	0.072
20	1,946	0.059
30	2,701	0.054
40	3,456	0.052



図 7 桧ストランドの設置状態

2.2.2.2 桧ストランドボード

以下の5条件により供試体を設置した。表3に供試体の設置断面概略図、図8に床置きでの設置状態を示す。

①：床置き

試験室の床に供試体を置き、供試体の側面に幅約15mmの油粘土を供試体と同じ高さになるように取り付けた状態。

②：背後空気層25mm

供試体と床面との間隔が25mmとなるような木枠を試験室の床に置いた。この木枠の上に供試体を載せ、供試体の側面及び木枠に油粘土を供試体と同じ高さになるように取り付けた状態。

③：背後空気層25mm内にグラスウールを敷く

②の条件において、木枠の中に厚さ25mmのグラスウール（密度32kg/m³）を敷き詰めた状態。

④：背後空気層50mm

供試体と床面との間隔が50mmとなるような木枠を試験室の床に置き、②と同様に供試体及び油粘土を設置した状態。

⑤：背後空気層50mm内にグラスウールを敷く

④の条件において、木枠の中に厚さ25mmのグラスウール（密度32kg/m³）を敷き詰めた状態。

表3 設置断面概略図

①	
②	
③	
④	
⑤	

□ 供試体, ■ 油粘土, ▨ 木枠, ▩ グラスウール



図 8 桧ストランドボードの設置状態

2.2.2.3 あなあき桧ストランドボード

2.2.2.2桧ストランドボードの設置方法の①から⑤と同様に設置した。図9に、直径8mmのあなあき

桧ストランドボードの背後空気層50mmの設置状態を示す。

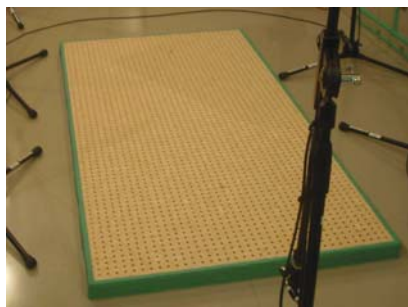


図 9 あなあき桧ストランドボードの設置状態

2.2.2.4 低密度桧ストランドボード

2.2.2.2桧ストランドボードの設置方法の①と同様に設置した。図10に、密度 $0.23\text{g}/\text{cm}^3$ の低密度桧ストランドボードの設置状態を示す。

また、密度 $0.23\text{g}/\text{cm}^3$ と密度 $0.32\text{g}/\text{cm}^3$ のボードを上下に重ね合わせて設置した状態、さらに各ボードを長辺方向に四分割し、 $1,820\text{mm}\times 910\text{mm}$ の面積に対して各ボードの設置枚数（面積比）を変えた状態においても測定を行った。



図 10 低密度桧ストランドボードの設置状態

2.2.2.5 イグサボード

2.2.2.2桧ストランドボードの設置方法の①から⑤と同様に設置した。図11に、密度 $0.33\text{g}/\text{cm}^3$ のイグサボードの背後空気層25mmの設置状態を示す。



図 11 イグサボードの設置状態

2.3 振動特性評価測定

2.3.1 測定方法

新たに導入した株式会社小野測器製の加速度検出器（NP-3211）及びFFT解析ソフトウェア（DS-0221VA）を用い、これらを音響特性評価装置の計測システムに接続して測定を行った。加速度検出器を供試体の中央部に取り付け、音源室内にランダムノイズを発生させた後、20秒間の平均化処理による1/3オクターブ解析を行った。

2.3.2 供試体の設置方法

桧ストランドボードを供試体として用い、2.2.2.2桧ストランドボードの設置方法①から③と同様に設置した。図12に、桧ストランドボード背後空気層25mmの設置状態を示す。



図 12 桧ストランドボードの設置状態

3. 結果と考察

3.1 吸音性能

3.1.1 桧ストランド

図13に、桧ストランドの吸音率測定結果を示す。高さ10mm及び20mmは、周波数の増加とともに吸音率が大きくなる吸音特性であった。また高さ30mm及び40mmは、周波数の増加とともに吸音率が大きくなり、ある周波数（ピーク）を超えると若干低下し、その後再び大きくなるという吸音特性であった。このピークの周波数は、30mmは2kHz、40mmは1.6kHzであった。厚みを増すごとに吸音領域が低周波数側に広がる吸音特性であり、全体的に多孔質材料の吸音特性に似た傾向が見られた。

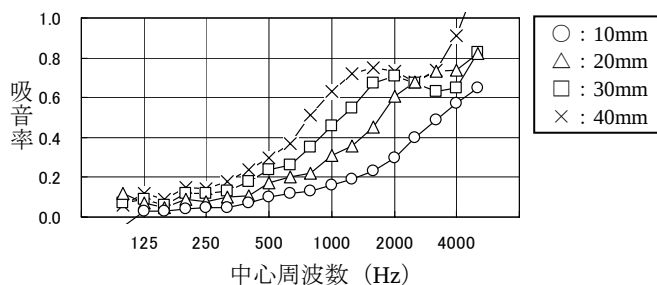


図 13 桧ストランドの吸音率測定結果

桧ストランドの厚みによって吸音領域を調整することは可能であるが、広い領域において吸音性を向上させるには、厚みをさらに増す必要がある。このため、桧ストランドのみを建材に適用するには、さらなる検討が必要である。

3.1.2 桧ストランドボード

図14に、桧ストランドボードの吸音率測定結果を示す。ボード単体では吸音性は見られないが、背後空気層25mmでは250Hz、背後空気層50mmでは160Hzをピークとする山形の吸音特性であった。また、背後空気層内にグラスウールを敷き詰めた状態では、上記の周波数付近における吸音率が大きくなっており、全体的に一般的なボードの吸音特性とほぼ同様の傾向が見られた。これらの結果より、桧ストランドボード単体には特に良好な吸音性は見られないが、吸音材と組み合わせることにより低音域の吸音性を高めることが可能である。

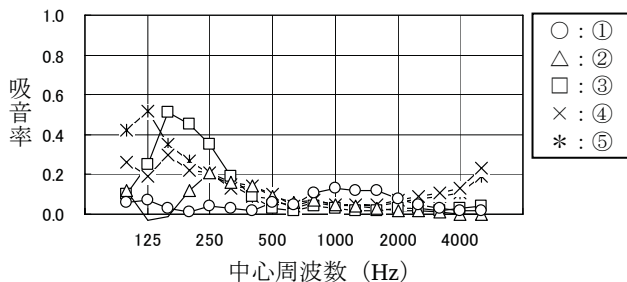


図 14 桧ストランドボードの吸音率測定結果

3.1.3 あなあきストランドボード

図15から図17に、各あなあき桧ストランドボードの吸音率測定結果を示す。桧ストランドボードと比較すると、ボード単体では2.5kHz付近から吸音率が大きくなっているが、特に良好な吸音性は見られなかった。背後空気層25mmではあなの直径5mmは1kHz、直径6mmは1.25kHz、直径8mmは1.6kHz、背後空気層50mmではあなの直径5mmは500Hz、直径6mmは630Hz及び800Hz、直径8mmは800Hzをピークとする比較的になだらかな山形の吸音特性であった。これらのピークの周波数は、あなあき板材料と背後空気層とによって構成される吸音構造の共鳴周波数の計算結果に近い値であった。また、背後空気層内にグラスウールを敷き詰めることで、500Hzまたは630Hzをピークとする高い吸音性が見られ、あなの直径を大きくするとともに吸音領域が広がる傾向が見られた。これらの結果より、あなあき桧ストランドボードは、吸音材との組合せによる展開が有効である。

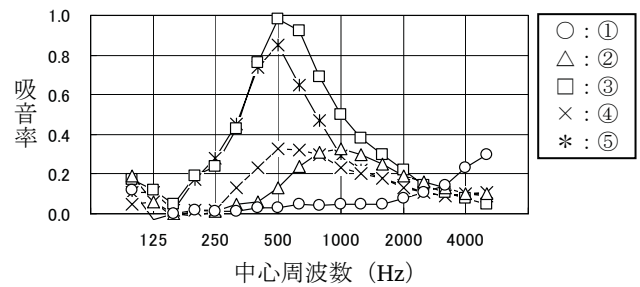


図 15 あなあき桧ストランドボード（直径 5mm）の吸音率測定結果

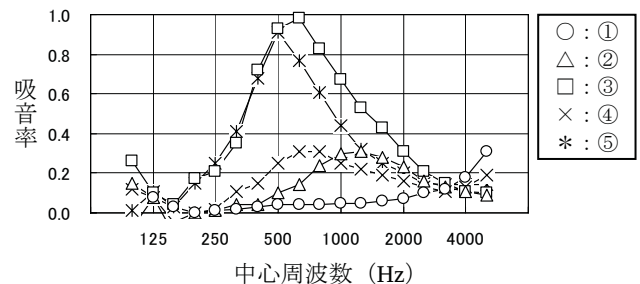


図 16 あなあき桧ストランドボード（直径 6mm）の吸音率測定結果

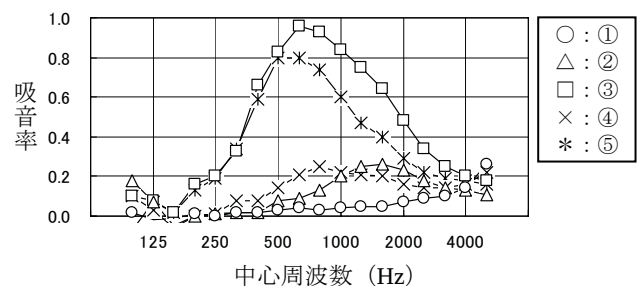


図 17 あなあき桧ストランドボード（直径 8mm）の吸音率測定結果

3.1.4 低密度桧ストランドボード

図18に、低密度桧ストランドボードの吸音率測定結果を示す。いずれも周波数の増加とともに吸音率が大きくなり、ある周波数を超えると低下し、その後再び大きくなるという吸音特性であった。このピークの周波数は、密度 0.23g/cm^3 であるNo.1は1.6kHz、密度 0.32g/cm^3 であるNo.2は800Hzであった。No.1は3.15kHzを除く1kHz以上において吸音率0.6以上、No.2は630Hz以上において吸音率0.4以上の良好な吸音性が見られた。これらの結果より、桧ストランドボードの密度によって吸音特性は変化するため、用途に応じて最適な密度条件を導き出すことが必要である。

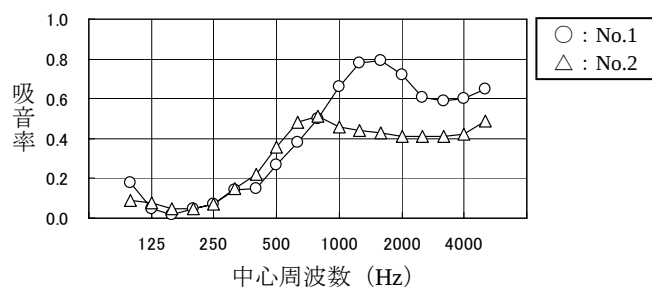


図 18 低密度絨ストランドボードの吸音率測定結果

図19に、低密度絨ストランドボードを重ね合わせた状態の吸音率測定結果を示す。図中の○印はNo.2のボードの上にNo.1のボードを載せた状態、△印はこの組合せを逆にした状態において測定を行った結果である。いずれの組み合わせにおいても、上面に配置した低密度絨ストランドボードの吸音特性に近い傾向の特性であり、低周波数側への吸音領域の広がりも見られた。特に○印の方は、500Hz以上において吸音率0.6以上という良好な吸音性が見られた。

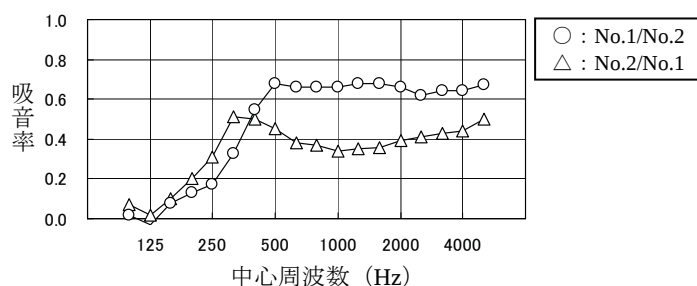


図 19 低密度絨ストランドボードを重ね合わせた状態の吸音率測定結果

図20に、各低密度絨ストランドボードの配置枚数を変えた状態の吸音率測定結果を示す。図中の△印は四分割したNo.1のボードを3枚、四分割したNo.2のボードを1枚配置した状態、□印はそれぞれ2枚ずつ配置した状態において測定を行った結果である。なお同じ配置比率において、ボードの配置箇所の違いによる吸音特性の大きな差は見られなかった。各状態における吸音特性は、各ボード単体の吸音特性に対してほぼ比率に応じた特性であり、配置比率を変えることにより、吸音特性を調整することが可能である。

これらの結果より、吸音特性が異なるボードを用い、その重ね合わせ及び配置比率を変えることによって、全体の吸音特性を調整することが可能であり、かつ有効である。

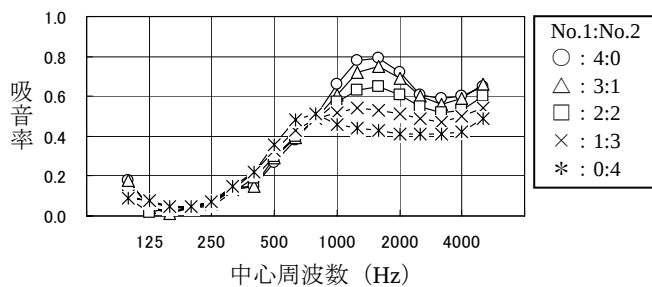


図 20 各低密度絨ストランドボードの配置枚数を変えた状態の吸音率測定結果

3.1.5 イグサボード

図21及び図22に、各イグサボードの吸音率測定結果を示す。ボード単体では、いずれも2kHz付近から吸音率が大きくなる吸音特性であり、密度0.33g/cm³のイグサボードには高音域において良好な吸音性が見られた。背後空気層を設けた場合は、周波数の増加とともに吸音率が大きくなり、ある周波数を超えると低下し、その後再び大きくなるという吸音特性の傾向が見られた。このピークの周波数は、背後空気層25mmでは密度0.20g/cm³は2kHz、密度0.33g/cm³は1.25及び1.6kHz、背後空気層50mmでは密度0.20g/cm³は1.25及び1.6kHz、密度0.33g/cm³は1kHzであった。また、背後空気層内にグラスウールを敷き詰めることで、密度0.20g/cm³は800Hzまたは1kHz、密度0.33g/cm³は630Hzをピークとする高い吸音性が見られた。吸音特性は、ボ

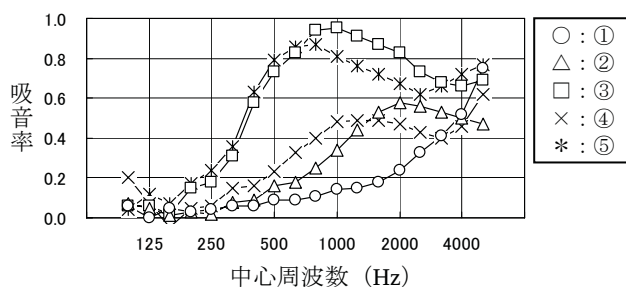


図 21 イグサボード（密度 0.20g/cm³）の吸音率測定結果

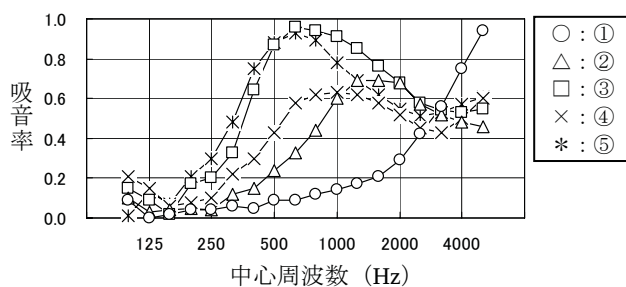


図 22 イグサボード（密度 0.33g/cm³）の吸音率測定結果

ード単体では密度 0.33g/cm^3 の方が良好であるが、吸音材と組み合わせた場合は空隙の多い 0.20g/cm^3 の方が良好であった。これらの結果より、イグサボードは、ボード単体としての展開に加え、吸音材との組合せによる展開も有効である。

3.2 振動特性

図23に桧ストランドボードの1/3オクターブ解析結果を示す。床置きと背後空気層25mmを比較すると、背後空気層25mmの方が100Hzから1kHzの中低音域において $10\text{dBm/s}^2\text{r}$ 以上大きく、このうちの160Hzから630Hzにおいては $20\text{dBm/s}^2\text{r}$ 以上の差が見られ、この差の最大値は250Hzの $31.66\text{dBm/s}^2\text{r}$ であった。この周波数は、吸音率測定結果の吸音率が最大である周波数と一致していることから、ボードの振動による吸音効果が現れていると考えられる。

また、背後空気層25mm内のグラスウールの有無を比較すると、グラスウールを敷き詰めた方が200Hzを除く1kHz以下の周波数において、3dBから10dB程の低下が見られた。これは、ボードとグラスウールが擦れることによって、ボードの振動が小さくなっていると考えられる。

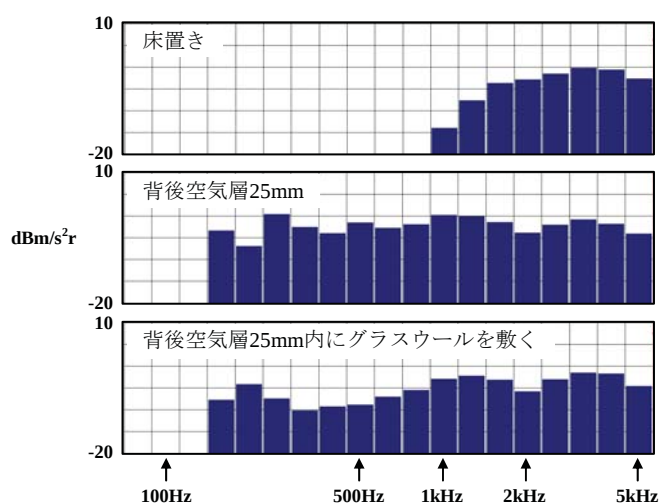


図 23 桧ストランドボードの 1/3 オクターブ解析結果

4. まとめ

今回の実験結果より、以下の知見が得られた。

- ・桧ストランドは、厚みを増すごとに吸音率が大きくなる吸音特性であり、多孔質材料の吸音特性に似た傾向が見られた。しかし、広い領域において吸音性を向上させるには、厚みをさらに増す必要がある。
- ・桧ストランドボードは、ボード単体ならびに背

後空気層との組み合わせにおいて、特に良好な吸音性は見られなかった。しかし、吸音材と組み合わせることにより、低音域において吸音性の向上が見られた。

- ・あなあき桧ストランドボードは、ボード単体ならびに背後空気層との組み合わせにおいて、特に良好な吸音性は見られなかった。しかし、吸音材と組み合わせることにより、開孔率の大きいボードほど広い領域において良好な吸音性が見られた。
- ・密度 0.23g/cm^3 の低密度桧ストランドボードは、3.15kHzを除く1kHz以上において、吸音率が0.6を超える良好な吸音性が見られた。
- ・イグサボードは、2kHz付近から吸音率が大きくなる吸音特性であり、ボードとしても高音域において良好な吸音性が見られた。また、吸音材と組み合わせることにより、広い領域において良好な吸音性が見られた。

本研究で用いた低密度桧ストランドボードは試作品であるため、強度等にまだ不十分な点が見られる。そのため、今後は密度などの成形条件を検討する必要があるが、現状の低密度ストランドボードについては、吸音建材のコア材などとして利用することは可能であると考えられる。

謝辞

本研究の実施にあたり、材料及びボード等を提供いただいた、株式会社エスウッドの角田惇氏、長田剛和氏に感謝の意を表する。

本研究の一部は、公益財団法人遠藤斉治朗記念科学技術振興財団の研究助成金により実施した。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 永幡幸司, 建築音響研究会資料 AA2011-40
- 2) JIS A 1409, 残響室法吸音率の測定方法, 1998
- 3) JIS A 6301, 吸音材料, 2007