

## 論文の内容の要旨

生物材料科学専

平成 21 年博士課程入学

氏名 山村 いづみ

指導教員名 信田 聡

論文題目 木材の吸音特性

～高い周波数域における測定方法の構築と組織構造との関係～

はじめに

わが国の木材の自給率が戦後最低の18%まで落ち込み、木材の利用促進が大きな課題となつてから久しい。木材には様々な長所があるが、利用促進を図るには長所を謳うだけでなく、これまであまり顧みられてこなかった特性にも目を向けるべきではないかと思われ、そのひとつとして木材の吸音性能に着目した。

はじめに木材の吸音特性に関する研究論文や資料を探したところ、意外にも木材自体の吸音に関する研究はほとんどなされておらず、資料も乏しいことが判明した。このような背景があり、木材の吸音特性に関する研究は稀少であると思われた。

本研究は、次にあげる3つの目的をもって始められた。第一に、木材固有の吸音率を樹種や切断方向を明確にして測定すること、第二にその吸音特性を規定する要因を木材の組織構造との関係から明らかにすること、そして最後に、木材の吸音特性を活かした新しい利用方法を提案することである。

### 1. 吸音率の測定

#### 1.1 JIS規格の測定機による測定

木材の吸音率測定の手始めとして、最も一般的で信頼性の高い方法としてJIS規格の垂直入射音響管を用いてスギ、キリ、ミズナラの木口面の測定を行った。この際、木材の側面、背後に空気のない状態を保つことを条件とした。空気が周囲にあると振動が増幅され、試料固有の吸音率が測定できないからである。測定の結果、3種の樹種固有の吸音スペクトラムが観察された。スギとミズナラは周波数の上昇に伴い吸音率も大きくなり、更に高い周波数域での挙動に興味をもたれた。キリは2000Hzでピークを呈した後、吸音率は下降した。JIS規格の測定機は測定範囲が100～5000Hzで、木材のような微細な組織構造をもつ材料の吸音は高い周波数域で顕著になるのではないかと推測されたことなどから、5000Hz以上の音域に対応した測定器を製作することとした。



図1 製作した測定器

## 1.2 新たな測定方法の構築

製作した測定器（図1）は測定範囲を1500Hz～13500Hzとし、基本的にはJISの規格に則つるものとした。但し、音響管内に挿入するマイクの音響管断面に対する専有率は、JISの規格である5%以内を大きく上回る16%となった。音源にはホワイトノイズを用いた。一般的に、音響の測定周波数には、1/3オクターブバンドの中心値（100, 200, 250, 315, 400, 500, 630Hz…）が用いられるが、試作器では偶然にも解析に使用したFFTソフトが約10Hzごとの解析能力をもっていたため、吸音率を10Hzごとに表示することができた。この生データはあまりに細かすぎ（図2点線）、さらにガラスの測定においてもピーク値が0.4を超えるなど不自然なスペクトラムが見られた。この異常に高い値はノイズとみなされ、このノイズを排除するために山形に繰り返し現れる吸音率のグラフの最低値を拾って線で繋いだところ、見やすいグラフが得られた（図2実線）。JIS規格の装置では、ある特定の周波数で切り取られた値をつないで吸音率のグラフを描く（図2赤線、赤点）が、本研究では吸音率の挙動に応じたグラフが得られる点で、より実態に近いものといえる。

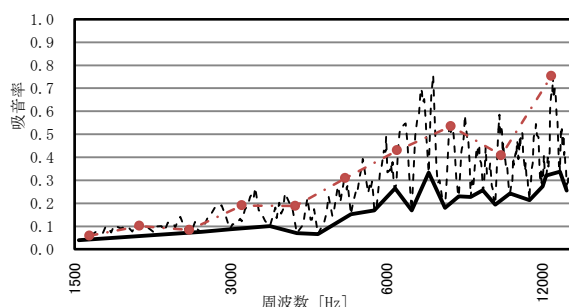


図1 吸音率グラフの構築(ガラスの吸音率)

## 1.3 測定結果

この方法によって得られた木材の吸音率と、基準試料のポリオキシメチレン(polyoxymethylene 以下POMと記す。表面にφ1の貫通孔を開けたもの、φ0.5のもの2種類製作した。開孔率はいずれも20%)、ガラスの測定結果を図3～5に示す。POMの測定結果から、周波数の上昇に伴い吸音率も上昇すること、さらに孔が細かいほど吸音率も大きいことが判った。木材では、木口面と柾目面では吸音特性が大きく異なることも判った。柾目面は樹種による差異はあまり見られないが、木口面ではスギ、ヒノキの吸音率が10000Hz以上で急上昇し、11200Hzと12500Hzの2つのピーク(吸音率 $\alpha \approx 0.5 \sim 0.6$ )を示した。広葉樹のキリとミズナラは針葉樹よりは低く、10700Hzと13000Hzで $\alpha \approx 0.3 \sim 0.4$ のピークを示した。バルサはスギ・ヒノキとキリ・ミズナラの間を穏やかに上昇するスペクトラムを描いた。

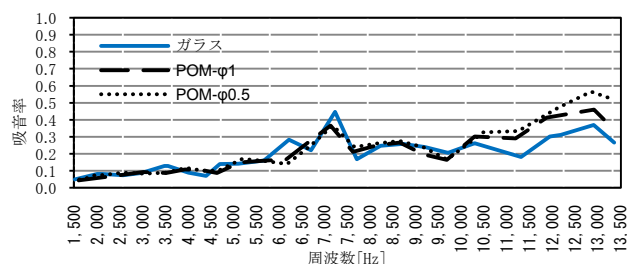


図3 ガラスとPOMの吸音率

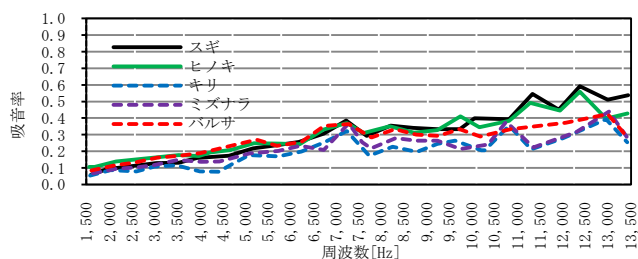


図4 木材木口面の吸音率

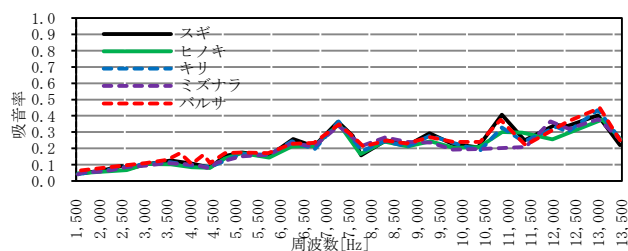


図5 木材柾目面の吸音率

## 2. 吸音特性と組織構造の関係

物質の吸音には、多孔質型・板型・共鳴器型の3つの吸音機構があるが、木材は明らかに繊維が自由に振動する多孔質型吸音機構ではないので、板型

吸音機構・共鳴器型吸音機構による共鳴周波数と吸音率の算定を試みた。

理論値算定の基本的な考え方は次の通りである。試料を取り巻く条件、例えば音が入射する時の速度の変化、音が試料内を進む時の抵抗、試料の裏に抜けようとする時の速度変化、試料を設置する時の拘束の度合い、試料そのものの硬さ、柔らかさ、温度に対する抵抗などを、それぞれ抵抗として表わし、その総和を音響インピーダンス  $Z$  として求める。各抵抗のうち、移動に関するものは複素数で表わされるので、 $Z_n = a_n - ib_n$  とすると、

$$Z = (a_1 + ib_1) + (a_2 + ib_2) + (a_3 + ib_3) + \dots + (a_n + ib_n) + \dots + k_1 + k_2 + \dots \\ = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + k_1 + k_2 + \dots) + i(b_1 + b_2 + b_3 + \dots)$$

となる。ここで虚数項を音響リアクタンスと呼び、移動すなわち時間に関する要素が含まれる。共鳴周波数は  $Z$  が最大値をとる時におこるので、リアクタンス = 0 を計算すれば、共鳴周波数は求められる。吸音率  $\alpha$  は基本的には共鳴周波数の時に最大値をとり、式 (2) によって算定される。

$$\alpha = 1 - \left| \frac{Z - \rho c}{Z + \rho c} \right|^2 \quad \dots (2)$$

$\rho$  : 空気の密度 = 1.205 [kg/m<sup>3</sup>]

$c$  : 音速 = 343.5 [m/s] (20°C)

## 2.1 板型吸音機構の算定方法

板型吸音機構の音響インピーダンスは、空気につわる抵抗と板自身の合成の和から求められる。ここで、空気にかかわる項を無視して板の剛性のみを残すと、共鳴周波数は式 (3) によって求められる。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \quad \dots (3)$$

$K$ : 板の剛性

$m$ : 試料の面密度 [kg/m<sup>2</sup>]

一般的に板型吸音機構では、共鳴周波数を計算によって求めることはあっても、吸音率を算定することはほとんどない。しかし本研究では、敢えて木材の剛性と吸音性能の関係を見るために、板の内部抵抗値として、 $Z = K/m$  としてこれを式 (2) に代入して算定をおこなった。合成の値には、せん断弾性率を文献から引用して用いた。

## 2.2 板型吸音機構の算定結果

算定の結果、共鳴周波数は100～600Hzとなり、いずれも本測定器の測定範囲よりも低い結果となった。しかし、JIS規格の垂直入射音響管での測定結果と比べると、今回算定されたミズナラの木口の共鳴周波数241Hzが測定値の250Hzに見られるピークと一致した。測定結果では、このピークの吸音率の値は小さいが、500Hz、1000Hz、2000Hzで見られるピークは値も段々と大きくなっていることから、ミズナラの剛性により250Hzで共鳴周波数が現れ、その倍音が漸次吸音率を上げている可能性が読み取れた。

また算定を行ったスギ、ミズナラ、バルサのすべてで、木口面より柂目面の方が吸音率が高いという結果となった。自作した本測定器では、ほぼ全ての樹種の全ての周波数域で、木口面の方が柂目面より吸音率は高かったため、この結果は理論値と測定器とは逆となった。

つまり、木材の吸音特性には板型吸音機構はあまり関与していないが、ミズナラのように剛性の高い木材では、板型吸音機構による吸音特性を呈する可能性があることが示唆された。

$$f_0 = \frac{c}{2\rho} \sqrt{\frac{1}{(l-d)(0.8d+l)}} \quad \dots (4)$$

$l$ : 道管・仮道管の全長、 $d$ : 道管・仮道管の径

### 2.3 共鳴器型吸音機構の算定方法

共鳴器型吸音機構では、木材組織の1つ1つの長さや直径、開孔率を測定して、式(4)によって共鳴周波数を求めた。

また、吸音率は、抵抗値として木材の流れ抵抗値を用いた。この流れ抵抗値も文献値を引用した。

### 2.4 共鳴器型吸音機構の算定結果

共鳴周波数の算定結果では、仮道管・道管長の長いヒノキ・キリで測定値とのよい近似性を見ることができた。組織が細く、短いスギ・ミズナラ・バルサでは、共鳴周波数の算定値が100,000Hz以上に及んだ。吸音率の算定では、スギとヒノキで非常によい近似性を見ることができた。

### 2.5 まとめ

以上、「2. 吸音構造の算定」で得た結果を「1. 測定結果」に照らし合わせてまとめると以下のようにまとめられる。

- ・木材の吸音特性は板型吸音機構よりも共鳴器型吸音機構による吸音が支配的であることが判った。
- ・ヒノキでは理論値と測定値に近似性が見られた。スギやミズナラ、バルサでは共鳴周波数が測定不可能な高い音域にあることが判った。
- ・ミズナラを除いては、吸音率の最大値は0.5以上の高い値を示し、このことから木材は高音域で優れた吸音性能をもっていることがわかった。
- ・木材の組織構造との関係では、道管、仮道管の長さが共鳴周波数に大きな影響を与える要因であることが確認された。
- ・理論値と測定値の近似性が見られたことから、著者らの構築した独自の吸音率表示方法の有効性も確認された。

## 3. 実用への提案

現代の生活は、様々な家電や機器などからのノイズで溢れている。木材のもつ10,000Hz以上の高い周波数域での吸音性能は、これらのノイズを吸収するのに役立つのではないかと考えられる。木材の木口面を室内の仕上げに使用することで、ノイズの少ない聞こえやすい居住空間が提供され、木材の新たな利用に貢献するものと期待される。