

## 木材の力学的減衰におよぼす温度の影響 : 1MHzでのパルス透過法による測定

北原, 龍士  
九州大学農学部

松本, 昂  
九州大学農学部

<https://hdl.handle.net/2324/19413>

---

出版情報 : 木材学会誌. 21 (7), pp.410-415, 1975. 日本木材学会  
バージョン :  
権利関係 :

## 木材の力学的減衰におよぼす温度の影響\*1

### 1 MHz でのパルス透過法による測定

北原龍士\*2, 松本 昶\*2

## Effect of Temperature on Mechanical Damping of Wood\*1

### Measurement by Pulse Transmission Method at 1 MHz

Ryushi KITAHARA\*2 and Tsutomu MATSUMOTO\*2

The dynamic mechanical behavior of Buna-wood (*Fagus crenata* Blume) has been investigated as a function of temperature at a frequency of ultrasonic region. The ultrasonic attenuation in wood specimen was measured by means of pulse transmission method for a 1 MHz-longitudinal wave. The testing temperatures ranged from near  $-50^{\circ}\text{C}$  to as high as  $100^{\circ}\text{C}$ , and the moisture contents of wood specimens were from almost 0% (oven-dry) to 21%.

Main results obtained are as follows:

(1) The maximum mechanical damping of wood was observed at low temperatures ( $-10$ — $-20^{\circ}\text{C}$ ). The occurrence of the maximum damping may be largely associated with the action of moisture which is adsorbed on wood substances.

(2) The position of the maximum mechanical damping in wood shifted with moisture content. At moisture contents below about 6%, the position of the maximum damping was situated near  $-10^{\circ}\text{C}$ , and at moisture contents greater than about 6%, this position shifted to lower temperatures with increasing moisture content. This behavior is believed to be associated with the mechanism of the adsorption of moisture in wood.

(3) For a high frequency of 1 MHz, the shift to lower temperatures of the position of the maximum mechanical damping caused by the adsorption of moisture on wood became smaller, as compared to the results obtained at the low frequency range of 3.5 Hz to 110 Hz.

ブナ材を実験材料として、温度を  $-50$ ~ $+100^{\circ}\text{C}$  の範囲で変化させたとき、1 MHz の周波数のもとで、木材の力学的減衰におよぼす水分の影響について検討を行った。木材の力学的減衰の極大が、 $-10$ ~ $-20^{\circ}\text{C}$  の低温側に認められる。また、全乾から含水率約 6% に至るまで、力学的減衰の極大値の温度の位置はほとんど変化しないが、含水率約 6% 以上で、含水率の増加とともに、その位置は低温側へ移動する。これは、木材への水分の吸着の機構と密接に関係するものと考えられる。

### 1. ま え が き

前報<sup>1)</sup>では、3.5~110 Hz の低い周波数領域での木材の力学的減衰におよぼす温度の影響を調べ、さらに木材中の水分の影響についても検討した。そこでは、木材実質にもとづくものと考えられる温度分散が低温側に認めら

れ、しかも木材中の水分がその温度分散に著しい影響をあたえていることが明らかにされた。

ここでは、温度を  $-50^{\circ}\text{C}$  から  $+100^{\circ}\text{C}$  の範囲で変化させたとき、1 MHz の高い周波数のもとで、木材の力学的減衰がどのような変化を示すかについて実験を行った。とくに、吸着されている水分が、木材の力学的減衰にあたえる影響について検討を行った。

### 2. 実 験

#### 2.1 試験片

室内で長期間にわたって放置されたブナ気乾材から、

\*1 Received Dec. 24, 1974. この研究は、第24回日本木材学会大会(1974年4月、東京)において発表した。

\*2 九州大学農学部 Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka

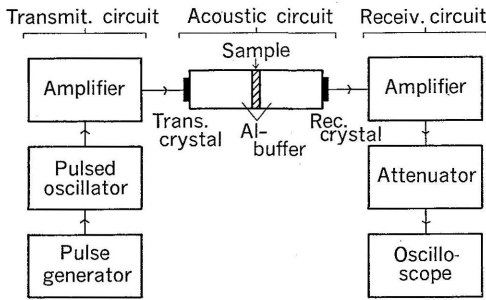


Fig. 1. Block diagram of ultrasonic testing apparatus.<sup>2)</sup>

直径 20 mm, 厚さ (繊維方向) 3 mm の円板を作り, それらの両木口面の平行度と平滑さに注意をはらって入念に仕上げ, 試験片とした。また, 試験片の過去における温度や湿度の履歴の影響を均一化するために, これらを 103°C で 48 時間加熱し, そのあと目的とする含水率まで吸湿, 平衡させた。

## 2.2 測定装置と実験条件

この報告では, 木材の超音波領域での力学的な性質の 1 つとして超音波の減衰に着目し, 超音波パルスの木材中での吸収をパルス波の振幅の減衰によって測定する。したがって, 超音波の減衰測定のために, Fig. 1 のブロックダイアグラムに示すような発振回路, 音響回路および受信回路から構成されている超音波測定装置<sup>2)</sup>を用いた。すなわち, 発振回路で高周波パルスを生じし, これを音響回路へ導く。

ここで音響回路は, 送波子と受波子の X-cut 水晶振動子 (1 MHz), および 2 個のアルミニウムバッファの間にはさまれた試験片よりなっている。なお, 試験片とバッファの間には, 2 つの異なった物質間の界面で生じる反射損失を少なくするために, 接着剤としてシリコングリース (Dow Corning 社製) が用いられ, また試験片はスプリングで軽くおさえられている。

つぎに, 音響回路へ入った高周波パルスは, まず送波子でたて波の振動に変換され, たて波が試験片の中を伝わったあと, ふたたび受波子によって高周波パルスに変換され受信回路へ導かれる。受信回路へ導かれた高周波パルスは, さらに広帯域増幅器から 0.1 db ステップの可変減衰器をとって, Fig. 2 に示すように, オシロスコープ上に写し出される。そこで, オシロスコープ上のパルス波の振幅の減衰を測定する。

実験は, 試験片の含水率が全乾から約 21% までの間のいくつかの段階で, それぞれの含水率をできるだけ一定に保ちつつ, 温度を  $-50^{\circ}\text{C}$  から  $+100^{\circ}\text{C}$  にわたって変化させながら行った。このとき, 試験片は, バッ

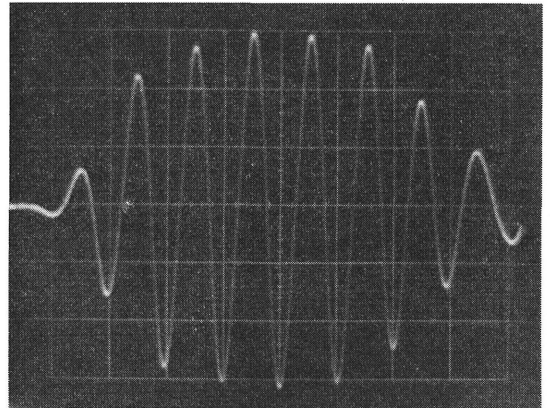


Fig. 2. Example of pulse wave obtained by pulse transmission method at 1 MHz in Buna-wood specimen.

ァーと接触する面にシリコングリースを塗布され, しかもスプリングによってバッファとの間が圧着されており, またバッファと接していない試験片の側面は, 外気とシャ断されている。このため, 約  $-50^{\circ}\text{C}$  の低温部から室温付近までは, 温度の上昇にともなう試験片の含水率の変化がほとんどみられなかったが, 室温以上の高温側では, 含水率の低下が約 2% 以下認められた。ただし, 含水率約 21% の高含水率の試験片の場合, 室温以上の高温側では測定が終ったとき, 含水率が約 13% に低下した。したがって, この報告における試験片の含水率の値は, 測定を始める前の含水率で示した。なお, この実験では約  $0.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$  で温度を上げているが, 実験温度と試験片の中心部の温度では, ほとんど差がないことが予備実験によって確かめられている。

## 2.3 超音波の減衰の測定法

超音波の減衰は, 試験片を透過した超音波パルスのオシロスコープ上での高さ (振幅) を, 可変減衰器で調整することによって求めた。つまり, オシロスコープ上で最初の温度におけるパルス波の高さを, 減衰器によって基準とする高さに調整し, このときの減衰器の読みを標準値とする。そして, 温度変化にともなう一連の各測定温度におけるパルス波の高さを, 減衰器で基準の高さに調整し, それぞれの減衰器の読みを測定する。これによって, 超音波の各温度における減衰の変化を求めた。

ところで, 超音波の減衰の値は, 試験片とバッファの接触の仕方がわずかに違っても著しく異なる。そのため, 厳密な絶対値を求めることは困難である。われわれの実験の目的が, 超音波の減衰の極大が認められる温度の位置を知ることであったから, 超音波の減衰の絶対値は求めず, 測定温度と超音波の減衰の相対的变化を求

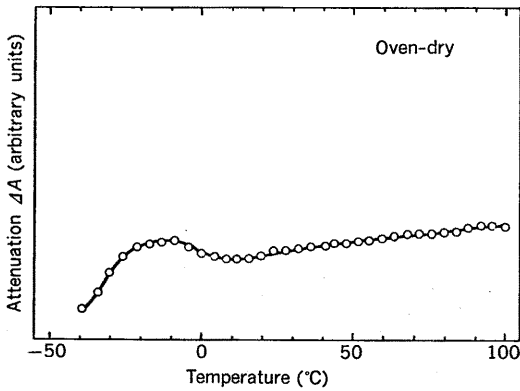


Fig. 3. Effect of temperature on ultrasonic attenuation for oven-dried wood specimen.

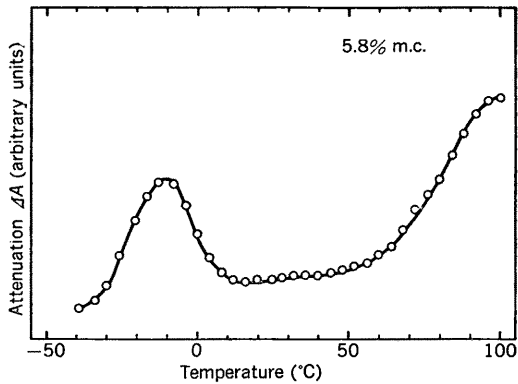


Fig. 4. Effect of temperature on ultrasonic attenuation for 5.8% moisture content (m.c.) specimen.

めた。この報告では、温度変化にともなう超音波の減衰の変化分  $\Delta A$  を、力学的減衰の1つの指標として用い、Fig.3~6 に示すように、任意の単位によって示した。したがって、温度に対して  $\Delta A$  の極大が認められる温度の位置は、力学的減衰が極大値を示す温度の位置、またそれにとともなう、いわゆる温度分散の位置とも対応すると考えられる。

なお、この実験では、試験片の音速の測定も同時に行った。しかし、アルミニウムバッファの音速と試験片の音速とが同じような値を示すこと、また温度変化にともなう試験片の音速の変化分が小さかったので、試験片の音速の変化分とバッファのそれとを区別することができなかった。

### 3. 実験結果と考察

Fig.2 は、温度 18°C のもとの、含水率 11.0% のブナ材試験片を透過した超音波パルス波形の一例である。

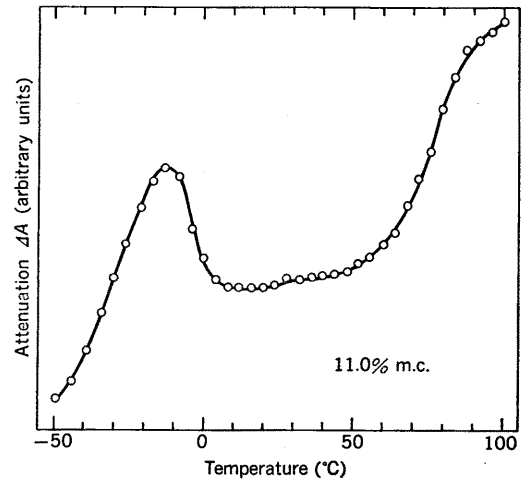


Fig. 5. Effect of temperature on ultrasonic attenuation for 11.0% m.c. specimen.

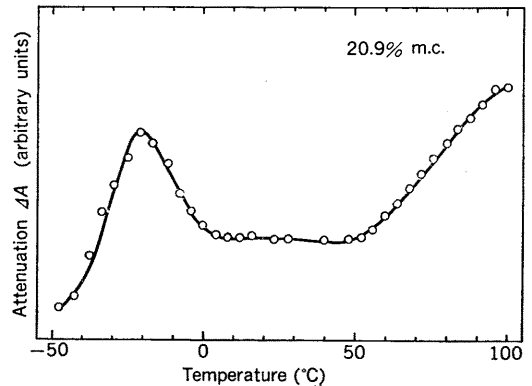


Fig. 6. Effect of temperature on ultrasonic attenuation for 20.9% m.c. specimen.

前報<sup>1)</sup>では、周波数 110 Hz のとき、いろいろな含水率 (0~18%) の試験片で、低温側 (-35~-70°C) に温度分散が認められた。この温度分散は、木材実質にもとづく分散であると考えられた。

そこで、この報告では高い周波数、すなわち 1 MHz のたて波を受けている木材が、温度の変化によって、どのような力学的挙動を示すかをいろいろな含水率で求め、その結果の中のいくつかを Fig.3~6 に示す。

Fig.3 は、全乾木材の力学的減衰への温度の影響を示す。これによると、全乾木材における  $\Delta A$  への温度の影響は小さく、さらに温度に対する  $\Delta A$  を示す曲線の山は、幅広くゆるやかである。 $\Delta A$  は、温度の上昇とともに、-10°C 付近で極大値を示したあと室温付近に至るまで減少し、室温付近から +100°C までの高温側でな

だらかに増加する。

つぎに、木材中に水分を含むときの  $\Delta A$  の挙動の変化を、Fig. 4~6 に示す。Fig. 4 の含水率 5.8% の場合、温度に対して  $\Delta A$  の極大が認められる温度の位置、つまり  $\Delta A$  の極大値の温度位置が全乾の場合とほとんど同じ位置にあるが、木材中に水分を含むことによって、 $\Delta A$  への温度の影響が著しくなる。さらに +50°C 付近から高温側で、温度の上昇とともに  $\Delta A$  の著しい増加が認められる。

Fig. 5 の含水率 11.0% の場合、 $\Delta A$  の極大値の温度位置が -15°C 付近へと低温側へ移動するとともに、 $\Delta A$  の曲線の山がシャープにしかも大きくなっている。また、温度の上昇ともなうほぼ +50°C 以上での  $\Delta A$  の増加も、より著しくなっている。

含水率 20.9% の結果を Fig. 6 に示す。 $\Delta A$  の極大値の温度位置は、さらに -20°C 付近へと低温側へ移動している。

以上、いろいろな含水率で、温度に対する  $\Delta A$  の曲線の形と  $\Delta A$  の極大が認められる温度の位置の変化をみてきた。まず、 $\Delta A$  の曲線の形に注目してみると、すでに述べたように、全乾木材における力学的減衰への温度の影響は小さく、さらに温度に対する力学的減衰を示す曲線の山は、幅広くゆるやかになった。しかし、木材中の水分の増加につれて、減衰曲線の山はシャープに、しかも大きくなる傾向を認めたが、Fig. 6 については、さらに検討の余地があるであろう。いずれにしても、木材へ吸着されている水分が減衰曲線の形に著しい影響をあたえていることがわかった。

つぎに、温度に対して  $\Delta A$  の極大が認められる温度の位置に注目し、上に述べた Fig. 3~6 を整理して、 $\Delta A$  の極大値の温度と含水率の関係を示したものが Fig. 7

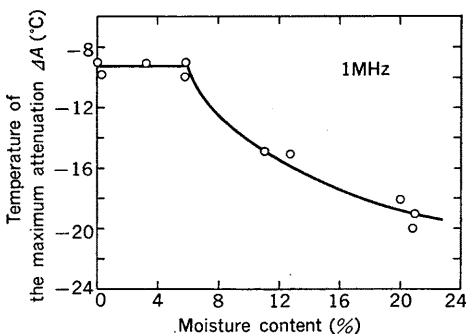


Fig. 7. Temperature of the maximum ultrasonic attenuation as a function of moisture content at 1 MHz.

である。これによると、 $\Delta A$  の極大値の温度は、水分によって著しく変化する。すなわち、全乾から含水率約 6% までの範囲で、 $\Delta A$  の極大値の温度はほとんど変化しないが、含水率約 6% 以上で、含水率の増加とともにその温度は下降する。このように、含水率 6% 付近を境にして、その上下の含水率範囲で木材の力学的減衰と含水率の関係が異なった挙動を示すことは、興味がある。しかし、すでに報告した<sup>1)</sup>ように、110 Hz の低い周波数での場合、全乾から含水率約 6% までの範囲で、含水率の増加とともに、力学的減衰の極大値の温度の位置は著しく低温側へ移動したが、含水率約 6% 以上で、その移動は次第に小さくなった。

ところで、上に述べた 1 MHz と 110 Hz での力学的挙動の差は、両者の低温側の温度分散を生じる機構の違いによるのであろう。

すなわち、全乾から含水率約 5% までの吸着水は、ほぼ一様な強さで強く木材実質へ吸着されていると推論されており<sup>2)</sup>、そのために水分子の動きは強く拘束されていると考えられる。また、この含水率の範囲では、木材実質中の無定形領域における側鎖などの局所的な運動も拘束を受けている。さらに、1 MHz の高い周波数のもとでは、温度の上昇にもかかわらず力学的な速い刺激についてゆくことができず、結局 Fig. 7 に示すように、含水率ほぼ 6% 以下で、力学的減衰の極大値の温度、つまり温度分散の位置は変化しない。

しかし、含水率約 5% 以上では、吸着面上に積み重ねられる吸着分子層の数が増加するとともに、吸着力が小さくなると考えられており<sup>3)</sup>、そのために水分子の動きに対する拘束が弱まるはずである。また、この含水率以上では、水分の吸着によって、木材実質中の無定形領域における側鎖などの局所的な運動も、束縛をとかれて自由になっている。そこで、1 MHz の高い周波数にもかかわらず、温度の影響を受けることによって、その速い刺激にもついてゆくことができる。このように、水分の吸着によって、水分子の動きや木材実質中の側鎖などの運動性が増すために、Fig. 7 に示すように、含水率ほぼ 6% 以上で、力学的減衰の極大値の温度は著しく変化する。以上のように、Fig. 7 の力学的挙動について、木材への水分の吸着の機構と関連させて述べてきたが、木材へ吸着されている水分子の動きや、側鎖などの局所的な運動に対する水分の効果については、さらに詳細な検討を要する。

さて、以上のことから、この実験で認められる温度分散は、木材へ吸着されている水分が関係する分散であり、前報<sup>1)</sup>で認められた木材実質にもとづく温度分散とは、

分散を生じる機構が異なるものと思われる。また Kline<sup>4)</sup> や Blankenhorn<sup>5)</sup> は、周波数約 2300 Hz で  $-48 \sim -90^\circ\text{C}$  の範囲に力学的な温度分散を認めるとともに、この報告の Fig. 7 と同じような結果を得ている。さらに、誘電的挙動に関する研究において、含水率 5% 付近を境にして、その上下の含水率範囲で木材の誘電率 $\epsilon'$  と含水率の関係が異なった挙動を示すことが、堤<sup>6)</sup> あるいは坊野<sup>7)</sup> によって報告されている。これらは、いずれも木材への水分の吸着の機構と関係するものと考えられている。このことは、われわれの実験結果とよく一致している。

ところで、木材中に水分を含むとき (Fig. 4~6),  $\Delta A$  の極大が低温側に認められるほかに、室温以上の高温側で温度の上昇とともに、 $\Delta A$  の著しい増加が認められる。これは、すでに報告した<sup>1)</sup> ように、木材中の結合水が密接に関係する温度分散の存在が予想される。この分散については、さらに詳細な研究を要する。

つぎに、全乾材と気乾材で、力学的減衰の極大値の絶対温度  $T$  の逆数と、そのときの周波数  $f$  の対数との関係を Fig. 8 に示す。なお、図中の○印は前回の実験の結果<sup>1)</sup> であり、●印は今回の実験の結果である。両者は力学的減衰の求めかた、試験片の樹種、測定装置も異なる

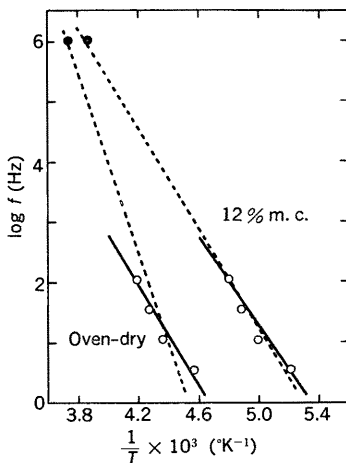


Fig. 8. Plot of  $\log f$  against  $1/T$  for oven-dried and 12% m.c. specimens.

The absolute temperature ( $T$ ) at which the maximum mechanical damping occurred was obtained for given frequencies ( $f$ ). The solid line and the dotted line represent the results obtained in the low frequency region and in the low and high frequency regions, respectively.

○ taken from previous paper,<sup>1)</sup> ● obtained in this study.

ので、そのまま比較することはできないが、こころみにプロットした点を点線で結んでいる。なお、参考のために、前報で得られた結果<sup>1)</sup> を実線で示している。全乾状態の木材が水分を含むと、明らかに点線は低温側へずれる。しかも、点線の傾きを比べると、全乾材よりも水分を含む木材のほうが傾きが小さい。したがって、みかけの活性化エネルギーは、全乾材に比べて水分を含む木材のほうが小さいことが考えられる。

さて、前述のように、力学的減衰の極大値の温度位置は、木材が水分を含むことによって、低温側へ移動を生じる。そこで、力学的減衰の極大値の温度位置の移動に注目してみると、この実験の 1 MHz という高い周波数のもとでは、さきの低い周波数 (3.5~110 Hz) での結果<sup>1)</sup> に比べて、Fig. 8 に示すように、その温度位置の低温側への移動が小さくなっている。そこで、さらに周波数が高くなると、その温度位置の移動は、ほとんどみられなくなることが推論される。これは、全乾材と水分を含む木材の力学的減衰の極大値の温度位置が、ほとんど重なりあってしまうと考えられるからである。

#### 4. 結 論

この研究では、ブナ材を実験材料として、温度を  $-50 \sim +100^\circ\text{C}$  にわたって変化させたとき、1 MHz の周波数のもとで、木材の力学的減衰におよぼす水分の影響を検討し、つぎのような結果を得た。

1) 1 MHz の周波数のもとで、木材の力学的減衰の極大が、 $-10 \sim -20^\circ\text{C}$  の低温側に認められる。これは、木材へ吸着されている水分と密接に関係する。

2) 温度に対して力学的減衰の極大が認められる温度の位置は、木材中の水分によって著しく変化する。すなわち、全乾から含水率約 6% までの範囲で、力学的減衰の極大値の温度位置はほとんど変化しないが、含水率約 6% 以上で、含水率の増加とともに、その位置は低温側へ移動する。これは、木材への水分の吸着の機構と密接に関係するものと考えられる。

3) 木材が水分を含むことによって、力学的減衰の極大値の温度位置は低温側へ移動するが、周波数 1 MHz の場合、低い周波数 (3.5~110 Hz) での結果に比べて、その位置の移動は小さい。

#### 謝 辞

この研究を行うにあたって、測定装置を使用させていただき、そのうえ多くの援助を賜った九州大学工学部応用理学教室の竹村哲男教授、中福千壽助手、ならびに瀧正二氏に厚くお礼申し上げます。また、終始多くの助

言をいただいた九州大学農学部堤壽一助教授に深く感謝いたします。

#### 文 献

- 1) 北原龍士, 松本 昶: 木材誌, **20**, 349 (1974)
- 2) S. Hirakawa and T. Takemura: *Japan. J. Appl. Phys.*, **7**, 814 (1968)
- 3) 坊野喜彦, 堤 壽一: 九大農演林集報, No. 25, 151 (1974)
- 4) D. E. Kline, R. P. Krehling and P. R. Blankenhorn: "Advances in Polymer Science and Engineering," ed. by K. D. Pae *et al.*, Plenum Press, N. Y. and London, p. 185 (1972)
- 5) P. R. Blankenhorn, D. E. Kline and F. C. Beall: *Wood and Fiber*, **4**, 298 (1973)
- 6) 堤 壽一: 九大農演林報, No. 41, 109 (1967)