

超音波伝播法による木材の非破壊評価（第3報） 年輪形状と節の超音波検出

今西祐志*

Nondestructive Evaluation of Wood by Ultrasonic Propagation Method (III) Ultrasonic Detection of Annual Ring Shapes and Knots

IMANISHI Hiroshi*

超音波を用いた木材内部の巨視的特徴の推定を目標として、木材の超音波伝播速度の分布と年輪傾斜角及び節との関連を検討した。超音波試験は板目面を挟んで相対する位置に発信・受信センサーを設置する対面法により行い、センサーは測定対象物との接触面積の小さい尖塔形のものをを用いた。無節材の伝播速度と年輪傾斜角は高い負の相関関係にあり、回帰式を用いて年輪形状を推定することができた。伝播速度の分布は、無節材の場合には概ね繊維方向の縞模様が見られ、有節材の場合には節の存在に対応する位置で伝播速度の小さい島状の分布が見られた。

1. 緒言

木材内部の年輪や節の情報を得るにはX線や γ 線のCT法の適用が有効であるが、放射線障害を防止する安全管理が行き届いた測定環境が必要で、対象物の大きさに制約がある。これに対して、超音波技術は安全性が高く、汎用性と簡便性を備えており、超音波CT法の適用により丸太内部の隠れ節の検出が行われた報告¹⁾もある。本報では、超音波を用いて広葉樹の製材品内部の情報を得るための基礎的検討として、年輪傾斜角と節が超音波伝播速度に及ぼす影響に関する実験的研究を扱う。測定には板目材を用い、板目面上の伝播速度の分布を測定した。また、片面にのみ節が確認できる材を対象に、伝播速度の分布の特徴を調査した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

超音波試験には、家具用材としての利用が多い樹種から環孔材と散孔材の各1樹種を選定して、ナラ (*Quercus serrata*) とブナ (*Fagus crenata*) の気乾材を供した。試験体は温湿度一定に保たれた室内にて十分に養生されたもので、平均含水率は11.3%である。

2.1.1 無節材

節のない試験体として、100(L) × 100(T) × 30(R) mmの板目材を用意した。試験体数はナラとブナで各5である。板目面の中央70 × 70 mmの範囲に、10 mm間隔の格子状に標線を付けて49の測定点を設定した。また、この測定点に対応する木口面の位置に、年輪傾斜角を画像計測する点として厚さ方向に5 mm間隔の標線を付けた。

2.1.2 有節材

節のある試験体として、120(L) × 120(T) × 約30(R) mmの板目材を用意した。節は板目面の中央付近に位置する40 × 25 mmほどの楕円形の死節である。この節の存在は木裏側にのみ視認できる。試験体数はナラとブナで各2である。板目面の中央100 × 100 mmの範囲に、10 mm間隔の格子状に標線を付けて121の測定点を設定した。

2.2 超音波試験

超音波試験に使用したセンサーは尖塔形で、試験体と接触する部分は直径4 mmである。測定は図1のように、各試験体の板目面上の相対する測定点に発信と受信の各センサーの先端を試験体表面に接触させて行った。使用した測定機器は、振動数が54 kHzの超音波パルスを発信センサーから繰り返し周波数5 Hzで発信し、受信センサーで感知した波形を記録するものである。図2に受信波形の一例を

* 試験研究部

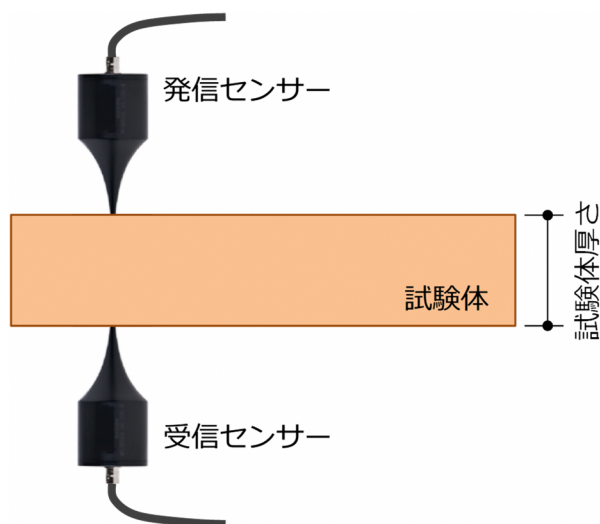


図1 超音波試験の方法（対面法）

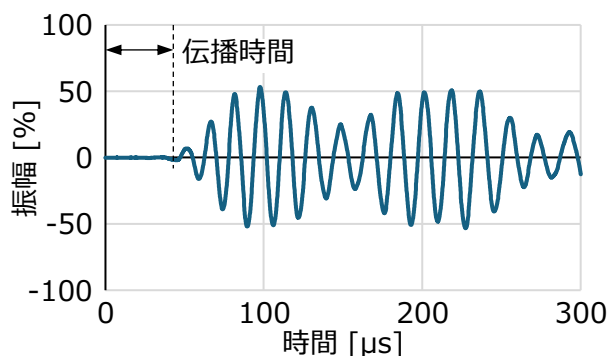


図2 受信波形の一例

示す。縦軸は最大値を基準とした百分率（％）で示してある。超音波パルス発信から振幅の大きさが1％超となるまでの時間を伝播時間とし、試験体厚さを伝播時間で除して伝播速度を算出した。

2.3 年輪傾斜角の測定

前述のように、無節材については年輪傾斜角を測定した。標線を付けた木口面の撮影画像に対して、図3に示すように、各測定点における幅方向からの年輪傾斜角 θ_{ij} の計測を行った。そして列ごとに θ_{ij} の平均値を算出し、試験体の各縁距離での平均年輪傾斜角を求めた。

3. 結果と考察

3.1 伝播速度と平均年輪傾斜角の関係

無節材について得られた伝播速度の分布の例を図4に示す。なお、測定点の間の値は、隣接するデ

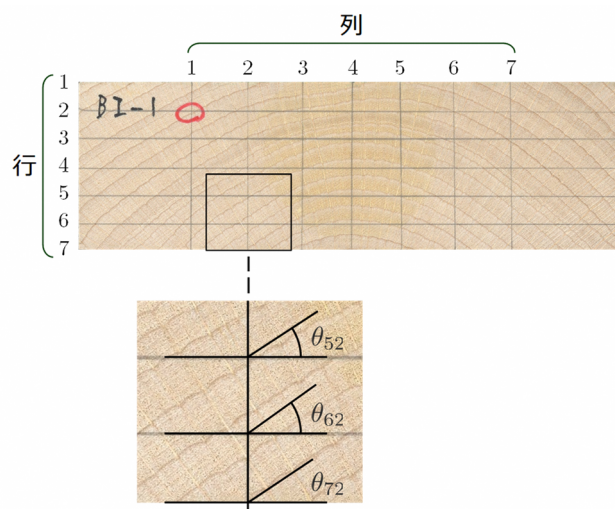


図3 年輪傾斜角の測定

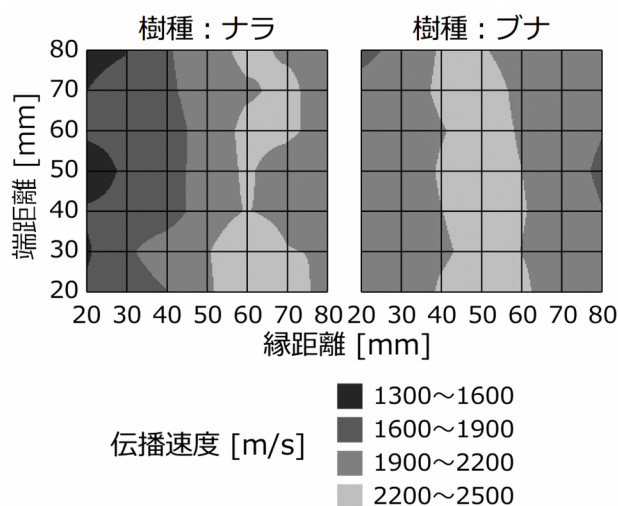


図4 伝播速度の分布（無節材）

ータの平均値で補完してある。分布は概ね繊維方向（上下方向）の縞模様となっており、伝播速度は中央付近が大きく、縁部に近いほど小さい。これらの縞模様は、伝播方向がR方向からT方向へと変化していることと対応している。図5に、縁距離ごとの平均伝播速度と平均年輪傾斜角の関係を示す。両樹種ともに伝播速度が大きいほど、平均年輪傾斜角は小さい。この傾向は、広葉樹における伝播速度に及ぼす年輪傾斜角の影響についての過去の報告²⁾と一致する。また、両樹種ともに伝播速度と年輪傾斜角は高い負の相関関係にあった（ナラ： $r = -0.872$ 、ブナ： $r = -0.907$ ）。回帰式は次の通りである。

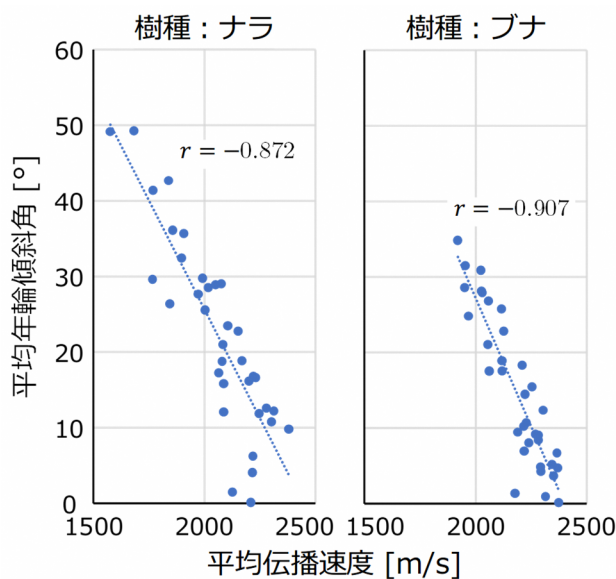


図5 平均伝播速度と平均年輪傾斜角の関係

$$\text{ナラ: } y = -0.0577x + 141 \quad (1)$$

$$\text{ブナ: } y = -0.0679x + 163 \quad (2)$$

無垢材の場合、含水率変化による反りや歪みなどの不具合がしばしば懸念される。それらは年輪形状との関連が強いことから、超音波試験により年輪形状を把握することができれば、不具合を回避するための有用な手段として活用できる。また、無垢材を幅はぎした場合の板の反りを予測する³⁾ための情報としても利用できる。そこで、式(1)、式(2)の回帰式を用いて伝播速度から年輪傾斜角を求め、年輪形状を推定することを試みた。図6のように、隣接する2点が同じ円弧上の点であれば、傾斜角 θ_n 、 θ_{n+1} と2点の横方向長さ L_n を用いて、2点の高さ方向長さ H_n は次式のようになる。

$$H_n = L_n \frac{\sin \theta_n + \sin \theta_{n+1}}{\cos \theta_n + \cos \theta_{n+1}} \quad (3)$$

図7は、式(1)～式(3)により隣接する2点の位置関係を求めて年輪形状を推定し、木口画像上に描画したものである。なお、これらは図4に示した伝播速度の分布と同じ試験体である。推定した年輪形状は木口画像の年輪とよく一致しており、板目面に対して超音波試験を行うことで年輪形状の推定が可能であることを示している。

3.2 年輪傾斜角と節の検出

有節材について得られた伝播速度の分布の一例を図8に示す。なお、測定点の間の値は、隣接するデータの平均値で補完してある。図4の無節材の分布とは異なり、図8では伝播速度の小さい部分が島

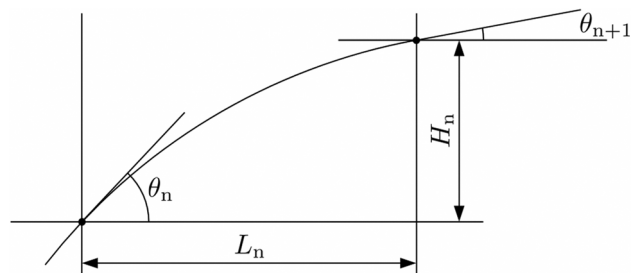


図6 同じ円弧上の2点の模式図

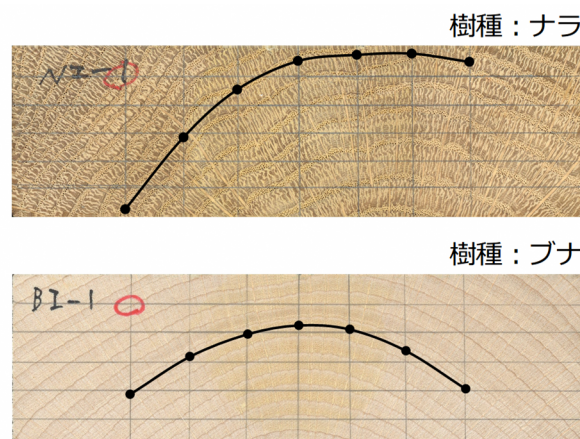


図7 伝播速度による年輪形状の推定

状に分布している様子が明瞭に確認でき、これは節の存在と対応している。この分布の特徴は全ての試験体で同様で、伝播速度の分布を調査することにより死節を検出できた。供試材の節は木裏側で視認できるものであるが、節が材の内部に完全に埋もれている場合でも、同様に伝播速度の分布から節の存在を推定できると考えられる。しかしながら、材の内部の節を精度良く検出するためには、分布に及ぼす材厚の影響や、節の種類（生節、死節、抜け節）や大きさ、角度の影響などをより広範に調査する必要がある。

4. 結言

本報では、超音波を用いて木材内部の巨視的特徴を推定するための基礎的知見を得ることを目標として、測定対象物への接触面積の小さい尖塔形の超音波センサーを用いた超音波試験を行い、木材の超音波伝播速度の分布と年輪傾斜角及び節との関連を検討した。計測は、木材の板目面上に設けた10mm間隔の格子状の測定点上で、板目面を挟んで相対する位置に発信・受信センサーを設置する対面法により行った。得られた結果を以下に示す。
・無節材の伝播速度の分布は概ね繊維方向の縞模

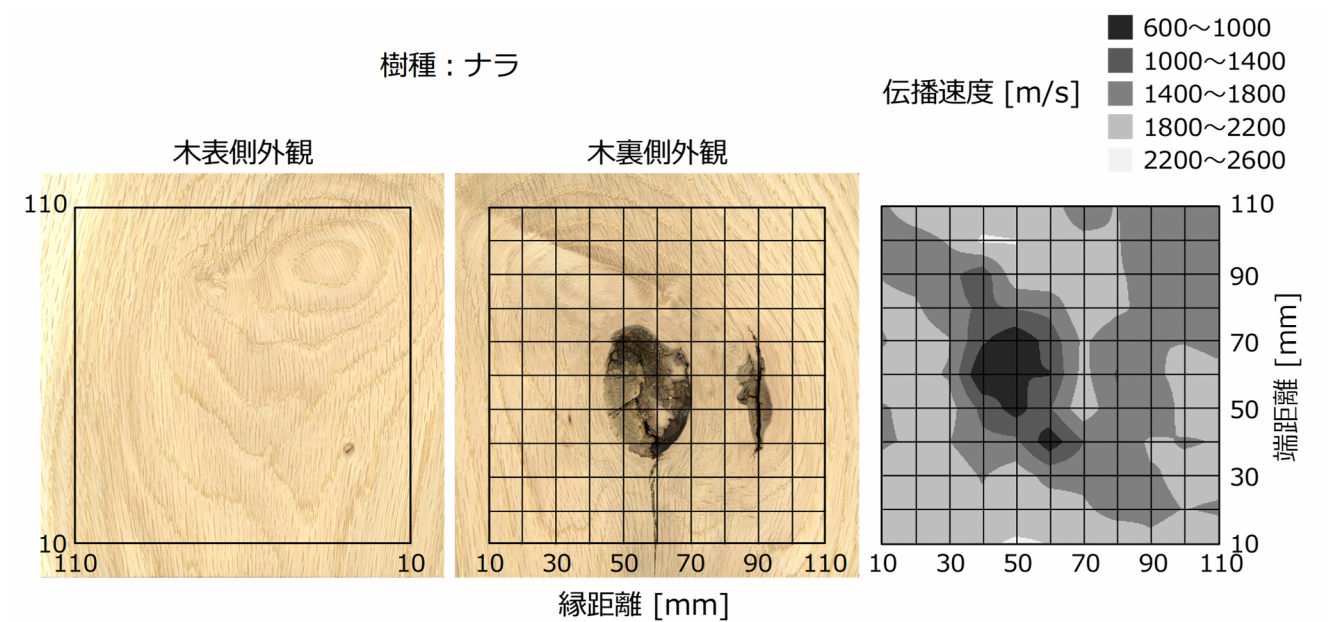


図8 伝播速度の分布（有節材）

様で、この縞模様は伝播方向がR方向からT方向へと変化していることとの対応が見られた。

- ・無節材の伝播速度と年輪傾斜角は高い負の相関関係にあった。その回帰式を用いて推定した年輪形状は、木口画像の年輪とよく一致した。
- ・有節材の伝播速度の分布は無節材のそれとは異なり、節の存在に対応する位置で、伝播速度が小さい部分が島状に分布している様子を明瞭に確認できた。

参考文献

- 1) 富川義朗、山田博章：超音波 TECHNO、2(2)、pp. 26-37、1990.
- 2) 三城昭義：木材中の超音波伝播速度に及ぼす木理角、年輪傾角の影響、木材学会誌、Vol. 42、No. 2、pp. 211-215、1996.
- 3) 今西祐志：幅はぎ板の構成の特徴と幅反り変形の関係、木材工業、Vol. 79、No. 8、pp. 296-301、2024.