

# 打音法による木材の欠陥検出

大島 静夫・柳原 昌輝・吉村 昇\*

## Inspection of Defects in Wood by Impact Excitation Method

Shizuo OHSIMA, Masateru YANAGIWARA, Noboru YOSHIMURA

(昭和 62 年 10 月 31 日受理)

There are many cracks and knots which appear as hidden defects in wood. As a non-destructive method to detect these defects, the Computed Tomography using the impact excitation was investigated.

We analyzed the elastic waves generated when a horizontal plane of a cylindrical timber was struck with a hammer. Then we computed the propagation delay time between the striking point and the acoustic emission sensor on the specimen in order to reconstruct the CT-image.

Two experimental models with artificial defects were investigated. Some of the reconstructed CT-images by this impact excitation method are presented.

### 1. ま え が き

木材の内部に潜在する節や腐朽部などの欠陥を検出することは、木材を利用する上で有用なことである。

これらの欠陥を非破壊的に検出する方法としては、医療方面で良く使われているコンピュータ断層撮影法、いわゆる CT 法(Computed Tomography)が有力な方法と思われる。

CT 装置は非常に高価なものであるが、工業分野として工業製品や素材等を対象とするものであれば、人間を対象とする医療分野とは異なり、もっと簡便な装置として CT 法の利用が可能であろう。

CT 法では、どのような情報を断層画像として表示するのが重要であるが、木材の場合には X 線を照射し、その入出力比データから断層画像を再構成する方法<sup>1)</sup>、木材に取り付けた超音波発信器と受信センサ対間の伝搬時間データから同様に再構成する方法<sup>2)</sup>などが検討されている。

ここではより簡便な方法として、打音法<sup>3)</sup>による伝搬時間データを CT 法により断層画像として再構成する方法を検討し一応の結果を得たので報告す

る。

### 2. CT の原理<sup>1)</sup>

図 1 の(a)のように  $x$ - $y$  座標に  $\theta$  の角度をなす  $X$ - $Y$  座標をとり、 $Y$  軸方向に  $X$  線を照射する。このとき(b)の  $P(X, \theta)$  は下式のように表される。

$$P(X, \theta) = \int_{-R}^R f(x, y) dy$$

この  $P(X, \theta)$  を測定して  $f(x, y)$  を求めることが画像再構成法である。もちろん角度  $\theta$  が微少で

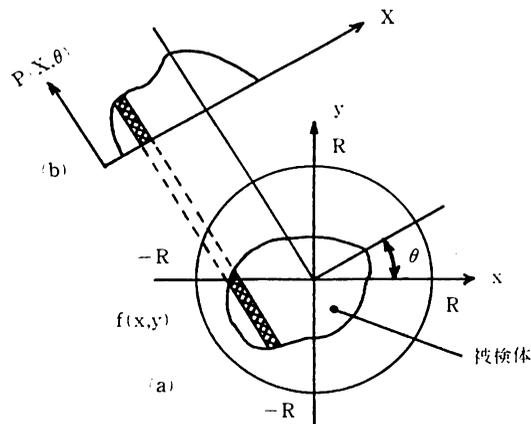


図 1 CT の原理

\* 秋田大学鉱山学部

打音法による木材の欠陥検出

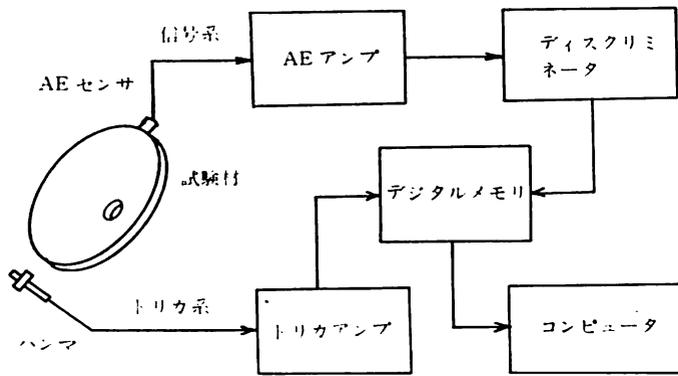


図2 ブロックダイアグラム

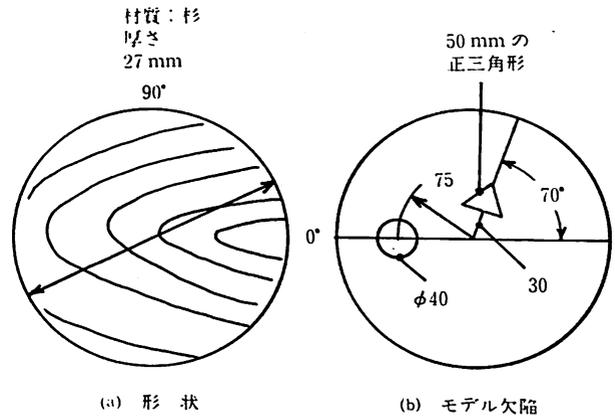


図3 試験材

あるほど、データ量が増え断層画像の精度も増すことになる。

X線照射の場合は、木材の硬質部、軟質部のX線照射時の入出力の比すなわちX線の吸収係数が画面に表示され、その吸収係数の異なる部分として欠陥部が表示されることになる。

ここではX線の代わりに打音時に発生する音波を利用している。この場合は、試験材の単位距離当りの伝搬時間分布を断層画像として表示し、伝搬時間の差異により欠陥の有無を表すことになる。

### 3. 実験方法

#### 3・1 実験方法

実験のブロックダイアグラムを図2に示す。実験は、本来であれば、十分に長い木材の任意の円周上で行うべきものであるが、ここでは図3(a)に示すような杉の平板を円盤状に加工した木材を試験材としてモデル実験を行った。

具体的には、先端に約10mmの鉄球を固定したハンマで試験材の円周上の1点を打つ。このハンマには、デジタルメモリのトリガ用センサを固定しており、打ちつけると同時にデジタルメモリが始動するようになっている。

一方超音波センサも試験材の円周上の1点に固定し、打音により発生する音波の伝搬波形をディスクリミネータで、不要な低周波等を遮断するとともに増幅しデジタルメモリに記録しておく。この伝搬波形をコンピュータに転送し、打点からセンサまでの伝搬時間をプログラムで読み取っている。

打音の強弱により、伝搬時間にばらつきが見られるので、同一点で5回測定し中間3個の平均値を伝搬時間とした。

#### 3・2 実験手順

まず図4(a)において、試験材の角度 $\theta=0^\circ$ の場所にセンサを張り付けておく。次にハンマで $\theta=20^\circ$ から $20^\circ$ おきに $340^\circ$ の位置まで伝搬時間を測定する。次に角度 $\theta=10^\circ$ の位置にセンサを張り付け $\theta=30^\circ$ から $\theta=350^\circ$ の位置まで $20^\circ$ おきにデータを測定する。

この作業をセンサ位置が $340^\circ$ になるまで繰り返す。測定回数は図4の場合で計306回行うことになる。これらのデータを並べ替えば、図4(b)のようにセンサを17個並べ、対応する点を、実線は $90^\circ$ 方向から、破線は $30^\circ$ 方向から測定したのと等価なみーことになる。

全てのデータを同様に並べ替えることで $\theta=0^\circ$ から $170^\circ$ まで計18種の角度に対する伝搬時間データが得られたことになる。

### 4. データ処理

#### 4・1 木目方向による伝搬時間補正

平板を円盤状に加工した木材のため、明らかに木目方向によると思われる時間差が生じた。この様子を図5に示す。

図からわかるように伝搬速度は、木目方向に最大で、木目に直角な方向には最小となり、その間を正弦波的に変化している。この木目方向による伝搬時間の差異が画面に表れないように、ここでは図5における伝搬時間を基準とし、木目の角度に対する補正係数を求め、この補正係数を用いて全データを補正した。

#### 4・2 データ補間

図4(b)に示した実線の本数17本の掛け算が再構成画像の総画素数となるが、これでは分解能が約16

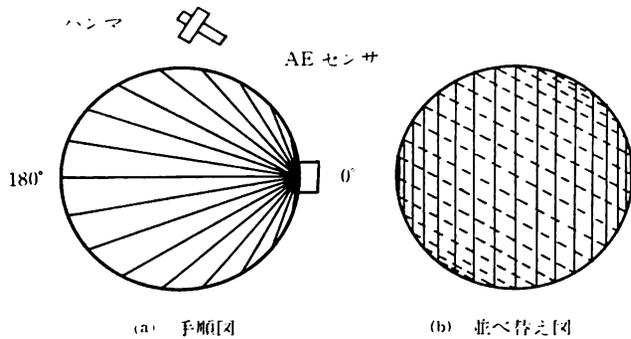


図4 測定手順

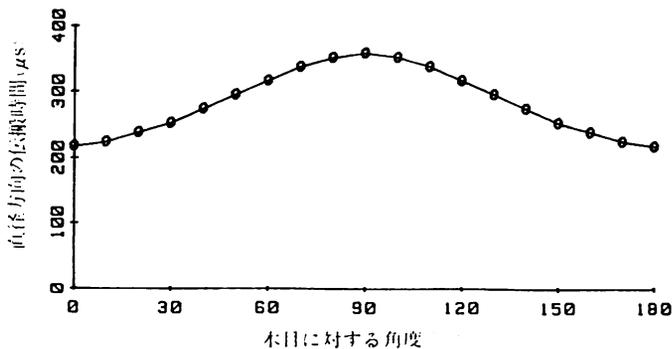


図5 木目方向による伝搬時間の分布

mm と低すぎる。

分解能と画像再構成の演算に要する時間は反比例するものであり、使用するコンピュータの演算速度能力に応じ、適当な妥協点を見いだされなければならない。

ここでは3倍の51本、分解能としては約5mm、になるようにデータ補間を行った。それと同時にその51本の経路が等間隔となるようなデータ変換もしている。

ここまでのデータ処理により51本の伝搬時間データ群を、角度10°おきに18画面得たことになり、再生画像は51×51のものが得られることになる。

## 5. CTプログラムによる再構成像

### 5.1 基本的なCTプログラム

画像再生プログラムとしては、代数的再構成法 (ART: Algebraic Reconstruction Technique), FBP法 (Filtered Back Projection) などがあげられる。

両者を比較するとデータ処理速度においてFBP法が優れているので、ここではFBPを使用した場

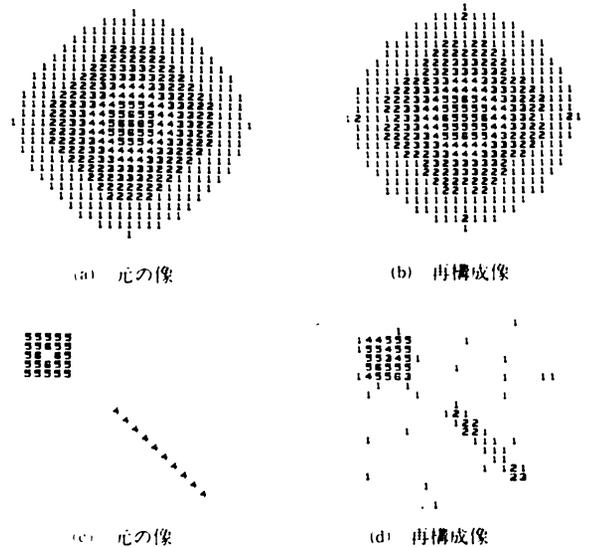


図6 CTプログラムの数値実験

合の数値実験例を図6に示す。

図6(b)(d)は、元の像(a)(c)において実験方法と同様な形で測定角度を変えつつ理論的な測定値を求め、その測定値データを用いて再生像を確認したものである。図中の数値は一般的なレベル値であり、この場合なら伝搬時間分布と考えても良い。FBPにより充分な再構成像が得られたことが理解できる。

### 5.2 試験材の再構成像

試験材のモデル欠陥として図3(b)に示すような2種類の欠陥を加工し、その断層再構成像を求めた。

打音は、節や腐朽部等では音響インピーダンスの差異により、その部分を回避して、遠回りして伝搬する<sup>2)</sup>と言われている。すなわち再生像を構成する各画素において、レベル値の高い所が欠陥部である。

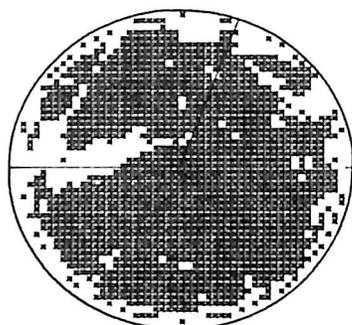
モデル欠陥を用いた再生像を図7に示す。図はレベル値が指定値未満の部分に×印で、指定値以上の部分を空白で示している。

図7(a)は、図3(b)の円形の穴をあけた場合の再生像を、図7(b)は、更に正三角形の穴を追加した場合の再生像を示す。図7(c)(d)は、各々の場合において表示範囲のレベル値を変化させたものである。

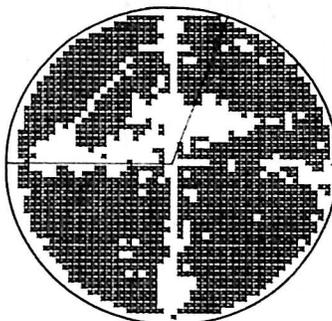
いずれの場合も、周辺部と欠陥部とに空白部が集中している。周辺部は理論的な伝搬時間より実測値が数倍大きくなる傾向にあるが、その理由は不明である。その傾向がそのまま再生像にも表れている。

プログラムの上で周辺部を表示しないように工夫すれば更に見やすくなるが原因の対策とはならないのであえてそのままの形にしておいた。

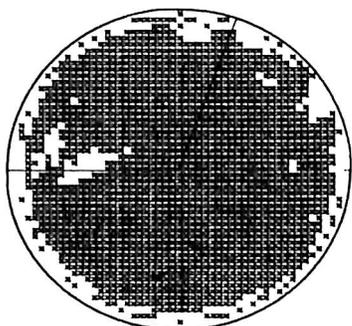
周辺部を除外して考えればほぼ欠陥部を再現して



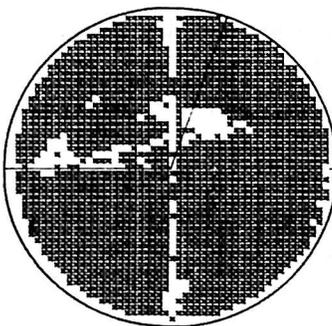
(a) 円形欠陥の場合の再構成像



(b) 円形+三角形欠陥の場合の再構成像



(c) (a)のレベル値を変更した再構成像



(d) (b)のレベル値を変更した再構成像

図7 モデル欠陥の再構成像

いると言えるだろう。

### 6. あとがき

打音法による音波の伝搬時間データをCT法により再構成した像が求められた。超音波センサが1個しかないために、単純なモデル実験でも膨大な手数が必要であった。センサの角度を変えるたびの張り替え作業等で、その再現性にもある程度の問題があったと思われる。

また平板を加工した試験材を用いたために木目方向の補正等の処理も行わざるを得なかった。そのようなことを考慮に入れると、図7は比較的良く像を再現しているのではないだろうか。

複数のセンサにより合理的な実験が継続できれば

再生像の分解能は、更に向上するであろう。

### 参 考 文 献

- 1) 尾上：“医用画像技術”，信学誌, Vol. 69 No. 12, pp. 1219-1220, Dec. 1986
- 2) たとえば富川他：“超音波CTの杉丸太かくれ節への応用”，音講論集, pp. 783-784, 昭和61年10月
- 3) たとえば柳原他：“AE法による木材の欠陥検査”，第6回超音波シンポジウム, pp. 103-104, Dec. 1985
- 4) 坂上他：“工業用簡易CTシステム”，インターフェース, pp. 168-192, June 1982