

# 非破壊打撃音法を用いた木材部位別の弾性係数の予測精度

川上 和貴\*・岩井 哲\*\*

(平成20年10月31日受理)

## Accuracy in Estimating the Elastic Modulus of Timbers for Individual Part Using the Nondestructive Tapping-Tone Technique

Kazuki KAWAKAMI and Satoshi IWAI

(Received Oct. 31, 2008)

### Abstract

The purpose of this paper is to investigate the measuring precision of the elastic modulus of structural timber members. The elastic modulus by a rupture test is compared with the elastic modulus obtained by the tapping-tone technique used for each part of the test specimens.

1. As a result of comparison of the elastic modulus between the destructive test and the nondestructive test, precise measurement is obtained, and their correlation coincides very well.
2. The elastic modulus tends to be lower at the part near the pith of member. This result is supported by a destructive test and nondestructive test.

**Key Words:** tapping-tone technique, nondestructive test, elastic modulus, timber

### 1. 研究目的

打撃音法は、固有振動数と質量（密度）から弾性係数を推定する非破壊測定法である。材料の共振現象を利用するもので、木材をハンマーによって打撃して発生する音から固有振動数をFFTスペクトルアナライザーにより取得する方法であり、安定した計測が可能とされる。打撃音法には木材の材軸方向に打撃する縦振動法と、木材の材中央を垂直方向に打撃する横振動法がある。

本研究は、打撃音法から得られる弾性係数と、曲げおよび圧縮の破壊試験で得られる弾性係数を比較し、各々の試験体について弾性係数の測定精度を調査するものである。

また、試験体部位別の弾性係数の比較を行う。

### 2. 研究方法

#### 2.1 試験体

調査対象とした材は代表的な建築材料の米松、桧、杉の3種である。それぞれ1本の木から、圧縮試験体(30mm×30mm×90mm)を36体、曲げ試験体(30mm×30mm×800mm)を18体、全角材(105mm×105mm×1680mm)を1体切り出した。いずれも形状・寸法はJIS規格で定められているものをもとにしている。但し、曲げ試験体は打撃音法で安定した計測値が得られるように材長480mmを800mmに延長している。切り出し方は図1に

\* 広島工業大学大学院工学研究科建設工学専攻

\*\* 広島工業大学工学部建築工学科

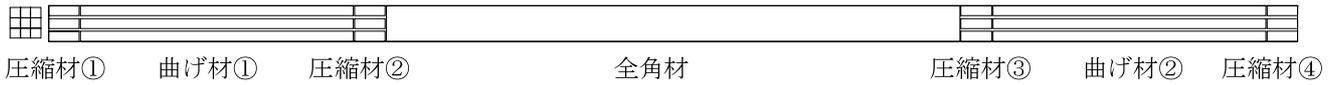


図1 試験体の切り出し方

示すように、左から圧縮材①、曲げ材①、圧縮材②、全角材、圧縮材③、曲げ材②、圧縮材④の順である。写真1は各材種の曲げ試験体①の断面である。なお木材の切り出しはすべて木材業者に依頼した。

2.2 破壊試験方法

アムスラー型万能試験機により、圧縮用試験片を用いて木材の繊維方向に圧縮する縦圧縮試験を行い（図2、写真2）、圧縮弾性係数と圧縮強度を求めた。標点距離は50mmとして、ひずみを求め、応力—ひずみ曲線の初期弾性勾配より縦圧縮弾性係数を求めた。同じ万能試験機で曲げ用試験片を用いて曲げ試験を行い（図3、写真3）、荷重—たわみ曲線、曲げ強度、曲げ比例限度、曲げ弾性係数を求めた。

2.3 打撃音法試験

縦振動法（図4、写真4）では、材軸方向に打撃し、発生した音の振動数をFFT（Fast Fourier Transform 高速フーリエ変換）スペクトルアナライザー（＝周波数解析機；小野測器 CF-5220Z）から求めた。1つの試験体につき5回の打撃で得たスペクトル波形を平均化した波形から固有振動数を求めている。

縦振動法による弾性係数の推定式は

$$E = (2Lf)^2 \rho \tag{1}$$

で与えられる。ここで、 $E$  (N/m<sup>2</sup>)は弾性係数、 $L$  (m)は試験体の材長、 $f$  (Hz)は固有振動数、 $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>)は試験体の密度である。

横振動法（図5、写真5）では、材中央を垂直方向に打撃し、発生した音の基本振動数解析から固有振動数を求めた。5回の打撃で得た波形を平均化した波形から固有振動数を求めている。横振動法による弾性係数の推定式は

$$E = (2\pi)^2 L^4 f^2 \rho / (i^2 m^4) \tag{2}$$

で与えられる。ここで、 $i$  (m)は断面2次半径、 $m$ は振動次数によって決まる定数である。 $m$ は1次振動数で支持方法は両端自由梁としたので4.73となる。

3. 弾性係数の測定結果

3.1 破壊試験結果

図6に各材種の曲げ破壊試験による弾性係数と密度の関係を示す。米松と全材種は密度が上がると弾性係数が上がっているが、桧と杉では下がっているデータが散見される。全材種での相関係数 $R^2$ は0.46となった。図7に各材種の圧縮破壊試験による弾性係数と密度の関係を示す。米松と全材種は密度が上がると弾性係数が上がっているが、桧と杉では下がっている。これは曲げ破壊試験の場合と同じ傾向である。全材種では相関係数 $R^2$ は0.28となった。密度と弾性係数の関係にはばらつきが大きく、相関が認められるが高くない。図8に曲げ破壊試験による弾性係数と曲げ強度の関係を示す。米松、桧、杉ともに各材の曲げ強度と弾性係数の相関はやや低いが、全材種では相関係数 $R^2$ は0.47となり、各材種よりも相関がある。図9に圧縮破壊試験による弾性係数と圧縮強度の関係を示す。米松、桧、杉、全材種ともに圧縮強度が上がると、弾性係数が上がり、曲

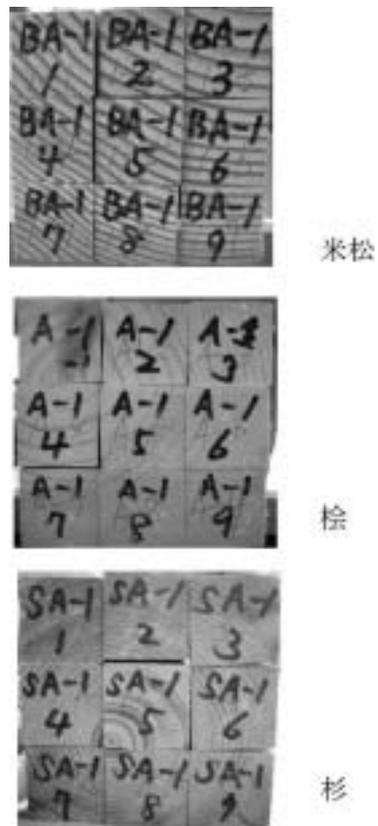


写真1 各材種の曲げ材①の断面

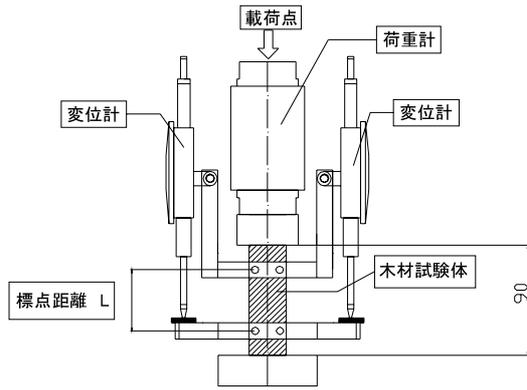


図2 圧縮試験による弾性係数測定

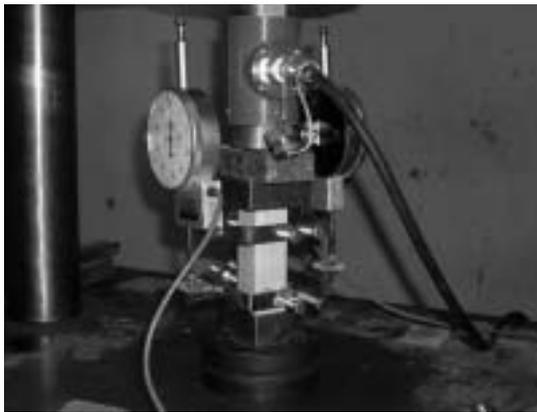


写真2 縦圧縮試験 (L = 50mm)

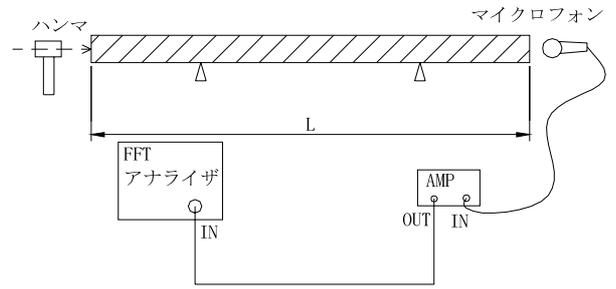


図4 縦振動法によるヤング係数測定



写真4 縦振動法によるヤング係数測定状況

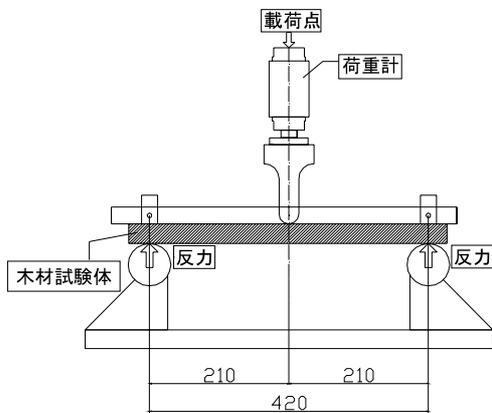


図3 曲げ試験による弾性係数測定



写真3 曲げ破壊試験

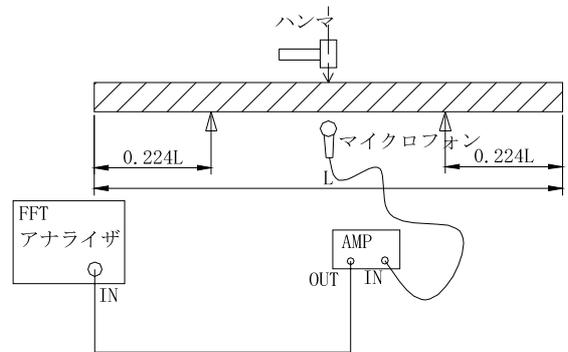


図5 横振動法によるヤング係数測定



写真5 横振動によるヤング係数測定状況

げ破壊試験の結果に比べ、強い相関が顕著に表れている。全材種の相関係数 $R^2$ は0.70と高い。

### 3.2 試験体部位による弾性係数の比較

図10に縦振動法から得た試験体部位による弾性係数の比較、図11に横振動法から得た試験体部位による弾性係数の比較、図12に曲げ破壊試験から得た試験体部位による弾性係数の比較を示す。各試験ともに曲げ材①と曲げ材②での大きな差はない。米松は切断面(写真1)を見るように髓心を持たない材で、得た弾性係数は大きな差はない。桧と杉は髓心を持ち、桧は髓心付近の試験体番号4で弾性係数が低くなる傾向が見られる。杉も髓心付近の試験体番号4で弾性係数が低くなる傾向が見られる。

図13に圧縮破壊試験から得た試験体部位による弾性係数の比較を示す。米松は図10～12の曲げ材と違い、弾性

係数のばらつきが大きい。材長方向の位置1～4による差も他の材より大きい。桧は弾性係数のばらつきが比較的小さい。図10～12の曲げ材と同じく、ここでも同様に髓心付近の試験体番号4で弾性係数が低くなる傾向がある。杉は弾性係数のばらつきが小さい。試験体番号5で弾性係数が低くなる傾向がある。

### 3.3 破壊試験と非破壊試験の比較

図14に縦振動法による弾性係数と曲げ破壊試験による弾性係数の関係を示す。米松、桧、杉、全材種ともに曲げ破壊試験の弾性係数が上がると縦振動法の弾性係数も上がり、相関が高い。全材種の相関係数 $R^2$ は0.86と高い相関を示している。図15に横振動法による弾性係数と曲げ破壊試験による弾性係数の関係を示す。米松、桧、杉、全材種ともに曲げ破壊試験の弾性係数が上がると横振動法の弾

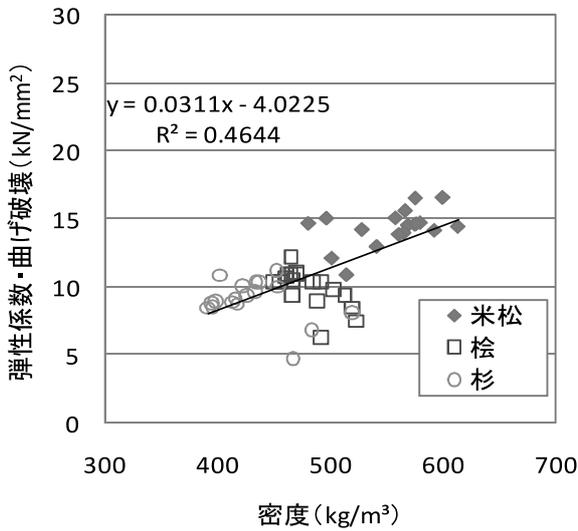


図6 曲げ破壊試験による弾性係数と密度の関係

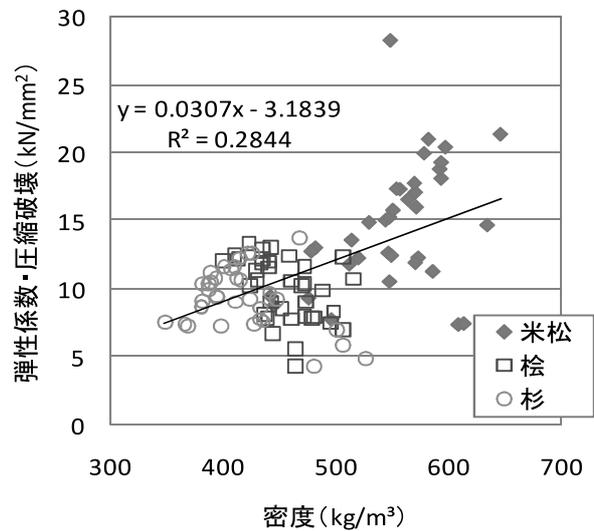


図7 圧縮破壊試験による弾性係数と密度の関係

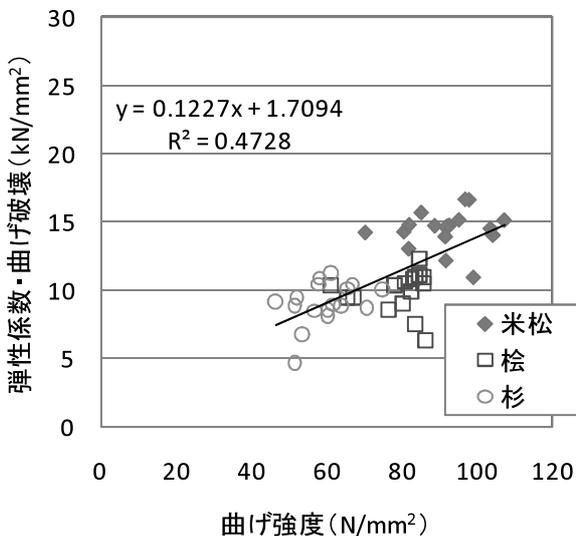


図8 曲げ破壊試験による弾性係数と曲げ強度の関係

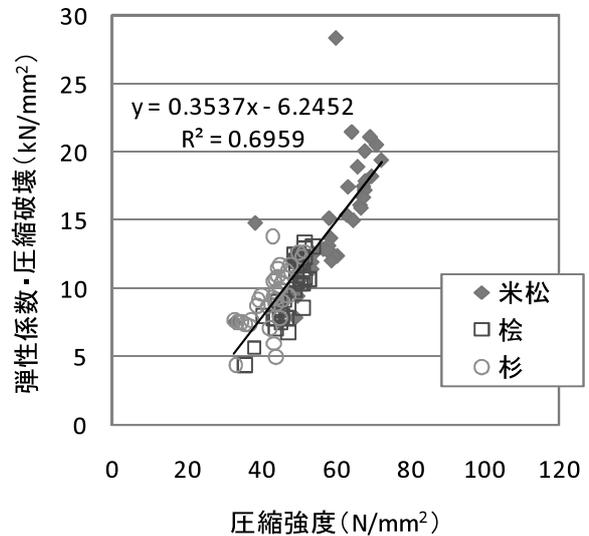


図9 圧縮破壊試験による弾性係数と圧縮強度の関係

非破壊打撃音法を用いた木材部位別の弾性係数の予測精度

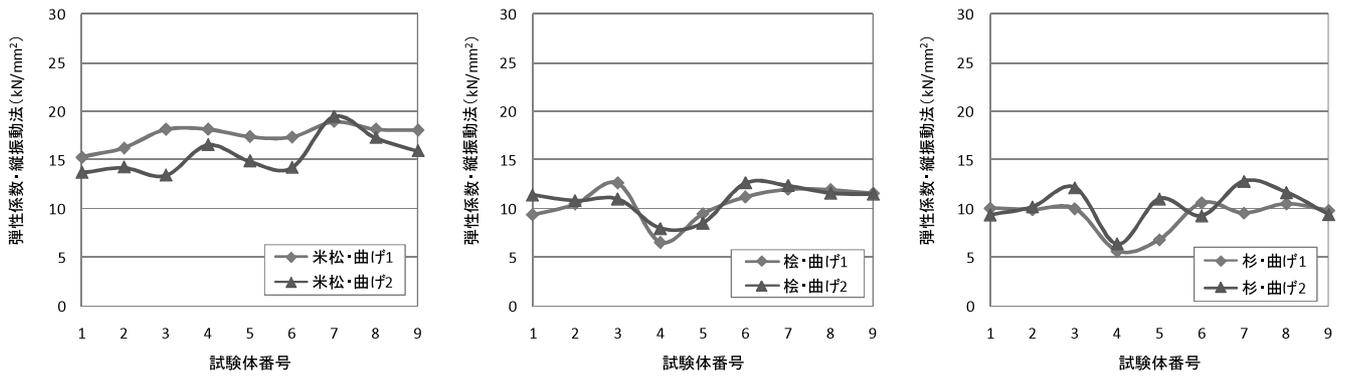


図 10 縦振動法から得た試験体部位による弾性係数の比較

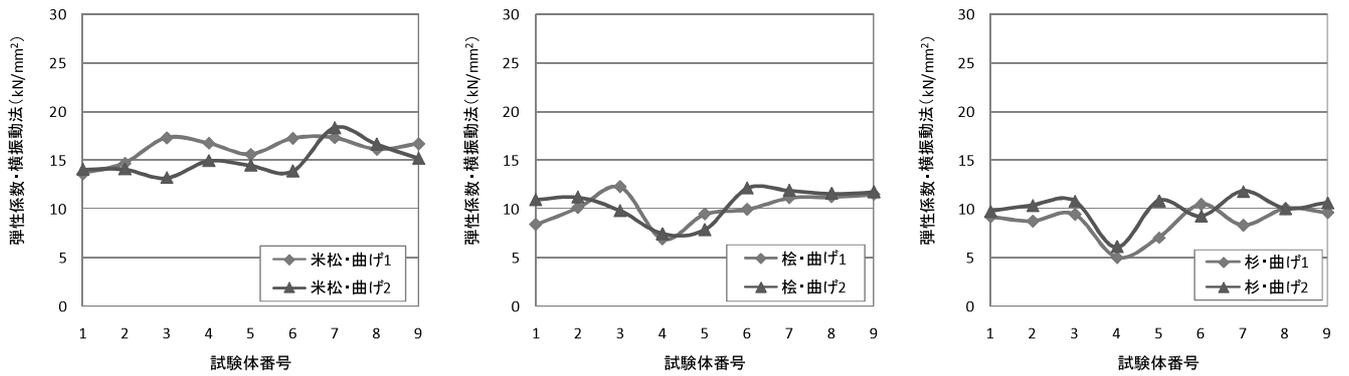


図 11 横振動法から得た試験体部位による弾性係数の比較

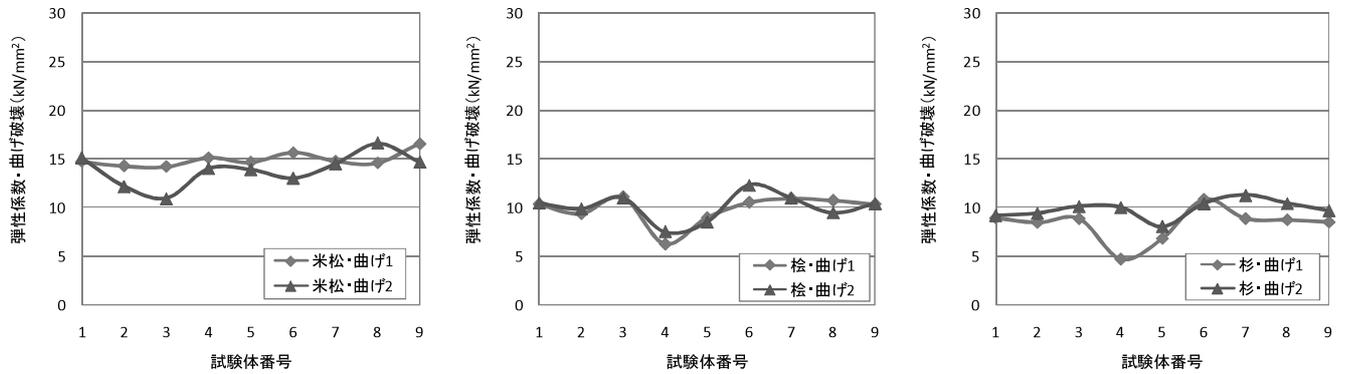


図 12 曲げ破壊試験から得た試験体部位による弾性係数の比較

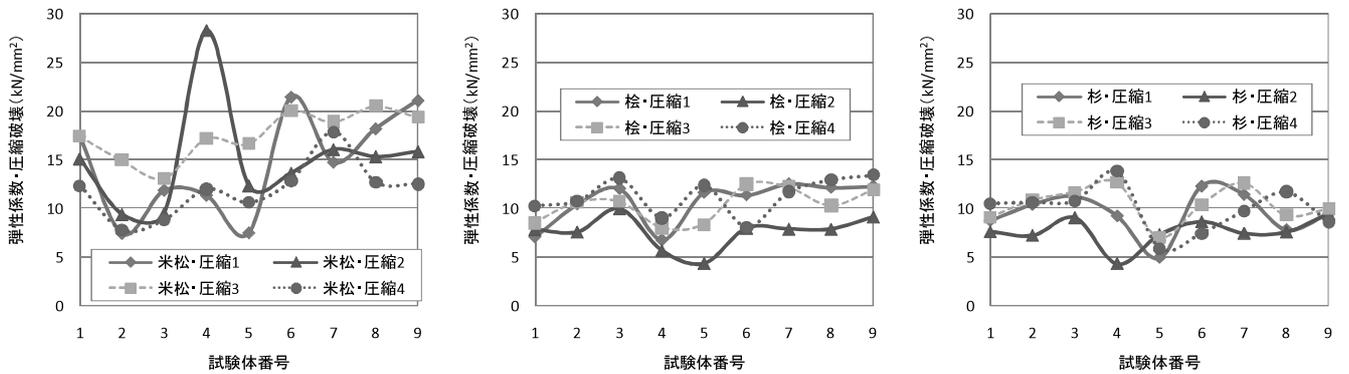


図 13 圧縮破壊試験から得た試験体部位による弾性係数の比較

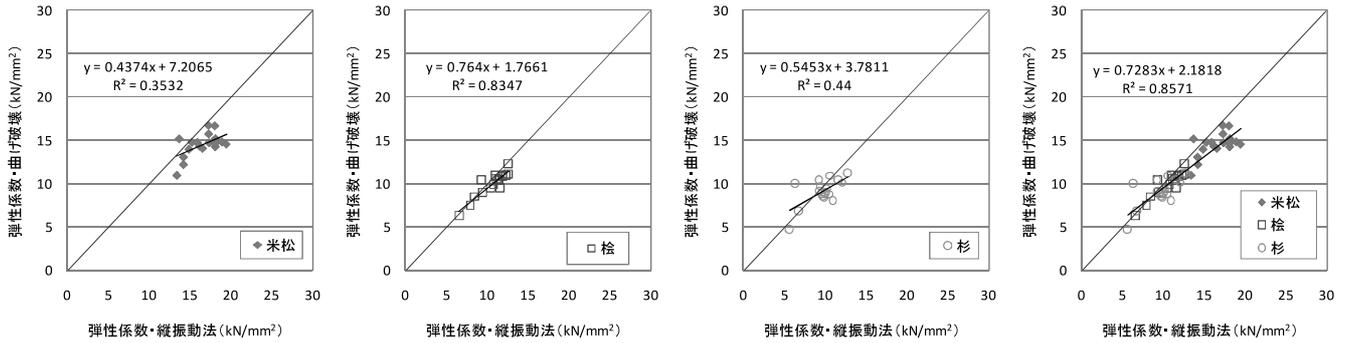


図 14 縦振動法による弾性係数と曲げ破壊試験による弾性係数の関係

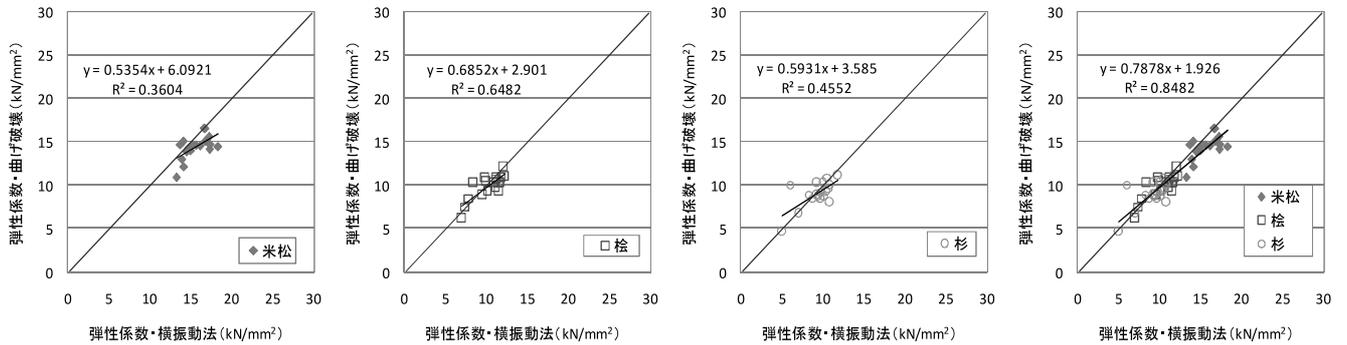


図 15 横振動法による弾性係数と曲げ破壊試験による弾性係数の関係

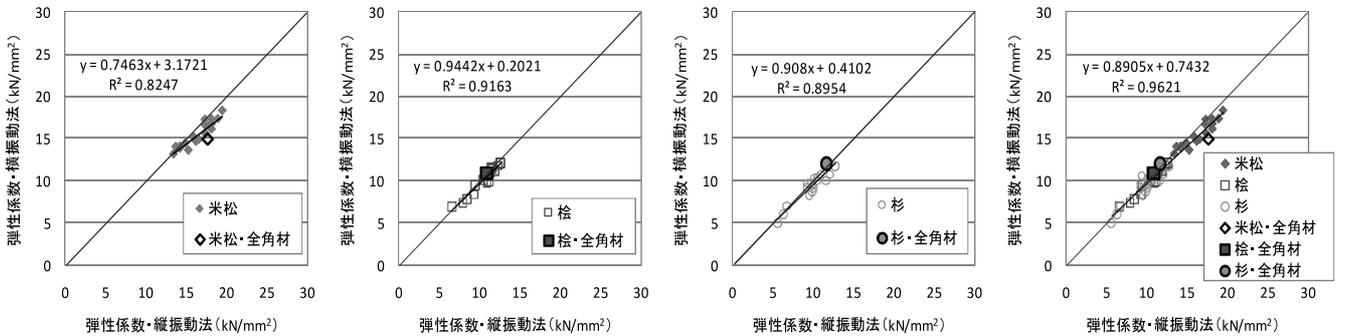


図 16 縦振動法による弾性係数と横振動法による弾性係数の関係

性係数も上がり、相関が高い。全材種の相関係数 $R^2$ は0.85とここでも高い相関を示している。図 16 に縦振動法による弾性係数と横振動法による弾性係数の関係を示す。全角材の結果も同図に示した。米松、桧、杉、全材種ともに縦振動法の弾性係数が上がると横振動法の弾性係数が上がっており、相関が非常に高いことが確認できる。

#### 4. 結論

米松、桧、杉を対象に曲げ破壊試験・圧縮破壊試験で弾性係数を計測し、縦振動法・横振動法による非破壊試験の弾性係数の推定精度を検証した。3つの材種について破壊試験と非破壊試験の曲げ用試験体 18 体、圧縮用試験体 36

体に、全角材 1 体を加えて、試験体部位による 1 対 1 対応での弾性係数の比較を行った。結論を以下に示す。

- 1) 破壊試験と非破壊試験による弾性係数の比較の結果、良好な計測精度が得られ、相関が高い。
- 2) 縦振動法による弾性係数と横振動法による弾性係数は相関がかなり高い。
- 3) 髓心の付近では弾性係数が低くなる傾向がある。これは破壊試験と非破壊試験で対応した結果となっている。
- 4) 破壊試験による弾性係数と密度の関係は、全材種では相関が高い。破壊試験による弾性係数と強度の関係では各材種、全材種ともに相関がある。