

## ラミナ内におけるヤング率の分布

小澤雅之 鈴木泰仁

Distribution of Bending Modulus of Elasticity (*MOE*) in Laminae.

Masayuki OZAWA and Yasuhito SUZUKI

**Summary :** This paper describes the distribution of bending modulus of elasticity (*MOE*) in laminae. The bending *MOE* tests were conducted by bending machine (*MOE*), resonance frequency of the tap tone with a FFT spectrum analyzer (*MOEf*) and shifted loading point at intervals of 10 cm in laminae (*MOEe*).

There was a high correlation between *MOE* and *MOEf*. *MOEe* changed value at a measurement point in laminae. There was a high correlation between *MOE* and average of *MOEe*, too. Knot position has influence on the difference value between minimum of *MOEe* and maximum of *MOEe* in same laminae (type a). But some of them, there was the difference value in laminae with knot nothing (type c).

Small specimen cut off the laminae with consideration to *MOEe* and knot position, so some small specimens were not clear because of including knot. Bending tests were made on these specimens. The relationships between *MOE* and *MOR* were significant, but between specific gravity and *MOE*, *MOR* were not. It was under the influence of loss of section by the lack of knot when small specimen made.

In the case of type a, the result of bending test showed tendency to affect by knot position. In the case of type c, small specimens were difference value of *MOE* and *MOR*, even though specimens was adjacent to each other at breadth direction.

*MOE* and *MOEf* are very useful method to estimate the strength of laminae. *MOEe* is not easy to obtain the strength value, but it is possibility of some suggestions for defect position in laminae.

**Keyword :** bending, laminae, *MOE*, FFT spectrum analyzer.

**要旨 :** ラミナ内における曲げヤング率 (*MOE*) の分布について検討を行った。曲げヤング率の測定は、曲げ試験機によるもの (*MOE*)、縦振動法を用いた FFT 周波数アナライザによるもの (*MOEf*) および、ラミナ内で荷重点を 10cm おきにずらしながら測定したもの (*MOEe*) で行った。

*MOE* と *MOEf* とには正の相関が認められた。*MOEe* は測定個所により値が変動した。*MOE* と *MOEe* の平均値とでも正の相関が認められた。*MOEe* の最大値と *MOEe* の最小値は節の位置に影響を受けているものを type a と、節が無い場合でもそのような傾向を示したものと type c とした。

*MOEe* と節の位置を考慮してラミナから小試験片を切り出したが、無欠点小試験片と異なり節を持つ試験片もあった。小試験片を用いて曲げ試験を行ったが、*MOE* と *MOR* には正の相関が認められたが、比重と *MOE*、*MOR* との間には相関が認められなかった。これは小試験片内の節が製材時に抜けてしまい断面欠損を生じた影響があると思われる。

type a では曲げ試験の結果、節の位置による影響が認められたが、type c では *MOE* と *MOR* に差が認められ、特に幅方向に隣接しているものでも認められた。

*MOE* と *MOEf* はラミナの強度を推定するには大変便利である。*MOEe* はラミナの強度を推定するには簡単ではないが、ラミナ内における欠点部を示すことができる可能性がある。

**キーワード :** 曲げ、ラミナ、*MOE*、FFT 周波数アナライザ

## 1. 緒 言

木材の強度を示す指標の一つに曲げヤング率（以下 *MOE* と略）がある。集成材を作製する場合、構成するラミナの強度を組み合わせることで必要とする強度の集成材を作製することができる。その際有効な指標となるのが *MOE* である。したがって、集成材を作製するためには予めラミナの *MOE* を的確に把握する必要がある。*MOE* の測定には現在幾つかの方法が知られており、grading machine として工場などに導入されている。しかし、現在のところ grading machine はその機械の性質上材の強度のみを測定し、ラミナ等に存在する節や腐れといった欠点部の除去・選別にまで利用されていない。現在のように厳しい経済状況下では、製品の製造コストを切り下げ、かつ製品の品質を高めていくという困難な課題を解決していくことが求められている。そのためには製造ラインにおいて極力自動化されることが望まれるが、*MOE* を的確に測定・選別を行い、同時に欠点部等も検出・除去することができればコストを著しく低減させられ、製材品の品質管理において有効であると考えられる。そこで、本研究では県産材カラマツラミナを用いて幾つかの方法でヤング率を測定し、それらの方法の有効性について検討した。またラミナから小試験片を切り出し、ラミナ内の強度分布について検討を行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片

県産材カラマツ (*Larix kaempferi* Carr.) を用いた。試験片の寸法はまちまちであったので、当所に設置してあるモルダールを用いて概ね 100(b)×22(h)×4,100(L)mm にした。

また、ラミナ全てのヤング率等を測定した後、ラミナ内の強度分布をさらに詳細に検討するため、小試験片に切り出した。小試験片の寸法は 20(b)×20(h)×500(L)mm とした。

### 2.2 ラミナにおける曲げヤング率の測定法

曲げヤング率は次の 3 通りの方法により測定した。

#### 2.2.1 曲げヤング率 (*MOE*) の測定

当所に設置してあるテンシロンを用いて、スパン長 300cm、3 等分点による 4 点曲げによりラミナに適当な荷重を荷重して中央部のたわみを測定した。また、たわみを測定した個所における幅と高さを用いて *MOE* を算出した。

#### 2.2.2 縦振動法によるヤング率 (*MOEf*) の測定

エー・アンド・ディ社製の FFT 周波数アナライザを用いて木口の端部をハンマーで叩き、もう一方の木口面において縦振動音を測定し *MOEf* を算出した。

#### 2.2.3 連続的な曲げヤング率 (*MOEe*) の測定

2.2.1 ではラミナの中央部のたわみによる *MOE* し測定できないので、ラミナ全体にわたり測定部位を移動させながら *MOEe* を測定した。測定箇所はラミナ中央部を中心に左右 90cm にわたり 10cm 間隔で行った。スパン長 180cm、3 等分点による 4 点曲げで適当な荷重を荷重してスパン中央部のたわみを測定した。その際、*MOEe* を測定した個所における幅および高さを測定し、それを用いて各部位における *MOEe* を算出した。

### 2.3 材質調査

全てのラミナにおいて節や腐れ等の欠点部の寸法と位置等を記録した。

#### 2.4 小試験片における曲げヤング率および曲げ破壊強度の測定法

当所には小試験片用の 4 点曲げ試験治具が完備されていないので、東京農工大学農学部との全面的な協力とご厚意により 4 点曲げヤング率 (*MOE*) と曲げ破壊強度 (*MOR*) を測定した。測定に関しては同大学に設置してあるサーボパルサーを用いて行った。また合わせて *MOEf* についても 2 と同様の方法により測定した。4 点曲げ試験はスパン長 42cm、3 等分点により行い、荷重速度 10mm/min とした。

## 3. 結果および考察

### 3.1 ラミナの曲げヤング率分布

図 1 にラミナの *MOE* および *MOEf* と比重との関係を示す。*MOE* および *MOEf* とともに比重との間に正の相関が認められた。また、今回用いたラミナの比重の最小値、最大値、平均値および標準偏差は、0.418、0.591、0.504 および 0.032 であった。同様に *MOE* では 89,900、181,500、138,200 (kgf/cm<sup>2</sup>) および 20,150 で、*MOEf* では 90,800、176,900、139,300 (kgf/cm<sup>2</sup>) および 20,063 であった。次に図 2 に *MOE* と *MOEf* との関係を示す。両者の間には正の相関が認められた。ラミナや製材品の強度を管理する手段の一つとしてヤング率を測定することは構造用集成材を作製するうえで欠かすことができない。*MOE* の測定には grading machine 等の導入が必要であり、相当な設置場所が用意されなくてはならない。しかし、機械が設置されていない場所や現場・野外等で *MOE* を必要とする場合、*MOEf* を用いても機械による値とほぼ同程

度の値を示すことから非常に有効な手段であると思われる。しかし、FFT周波数アナライザによる波形の読み取りには、ある程度の経験を積んでおいたほうがよりよい値を得られやすいと思われる。

以上2つの方法によりヤング率を測定したが、これらの方法ではラミナ全体のヤング率を測定したことになる。実際のラミナには節や腐れ等といった強度的に不利になる部分(以下、欠点部と略)を含んでいるため、上記の方法ではそれら欠点部まで内包した結果になる。そこで、各ラミナにおいて、測定場所をずらしながらヤング率(MOE)を測定した。測定箇所はラミナ1枚につき18箇所とした。これらの数値がMOEとどのような関係にあるかを検討するために、18箇所のMOEの平均値を算出し、図3に各ラミナについて測定したMOEの平均値とMOEとの関係について示す。両者の間には正の相関が認められ、MOE測定値の平均値を求めることでMOEと近い値を示すことが認められた。ラミナ内におけるMOEの変動が認められたが、これは橋爪らの報告<sup>2)</sup>と一致する。

次に各ラミナについてMOEと欠点部との関係について検討したところ概ね次のような傾向が認められた。その傾向を4つのタイプに分類すると

- 1 欠点部を含んでいて、MOEの最大値と最小値との差が大きい——type a
- 2 欠点部を含んでいるが、MOEの最大値と最小値との差が小さい——type b
- 3 欠点部を含んでいないが、MOEの最大値と最小値との差が大きい場合——type c
- 4 欠点部を含んでいないが、MOEの最大値と最小値との差が小さい場合——type d

となり、その代表的なものを図4に示す。

図4に示したtype aでは、特に欠点部の付近で他の部位と比較してMOEが低い値を示しているが、type Cでは大きな欠点部を含んでいなくともMOEの最大値と最小値との差が大きく、逆にtype bでは各部位においてMOEに差が認められない。現在行われているgradingでは、欠点部の除去は主に目視によって行われているがこのように欠点部が無い場合でも強度的に低いところを内在している場合、それを見落とす可能性がある。

### 3.2 小試験片による曲げ強度試験

次にラミナの中から上記のtype別に分類し、さらにその中から図5に示すように小試験片を切出し、MOEとMORの測定を行った。一般的な小試験片における強

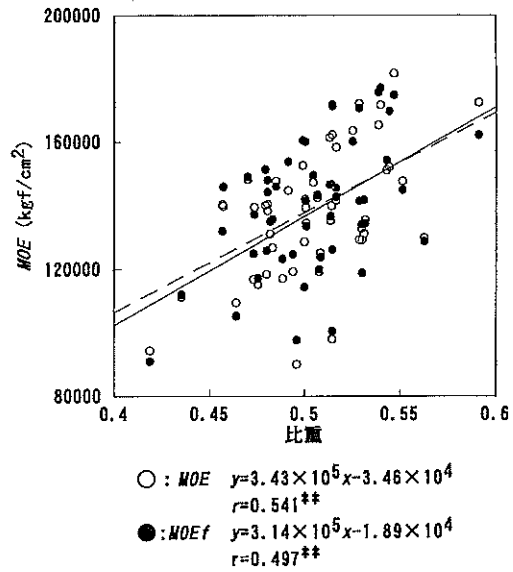


図1 MOEおよびMOEfと比重との関係

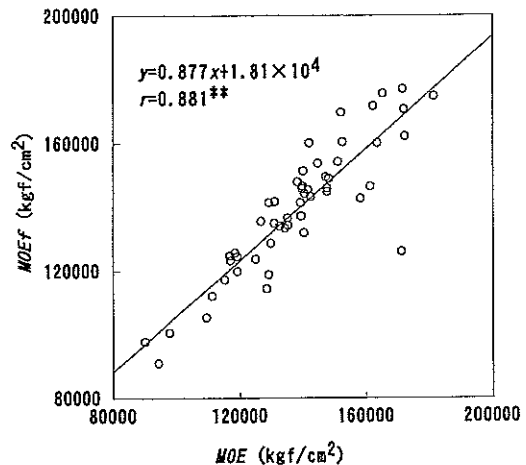


図2 MOEとMOEfとの関係

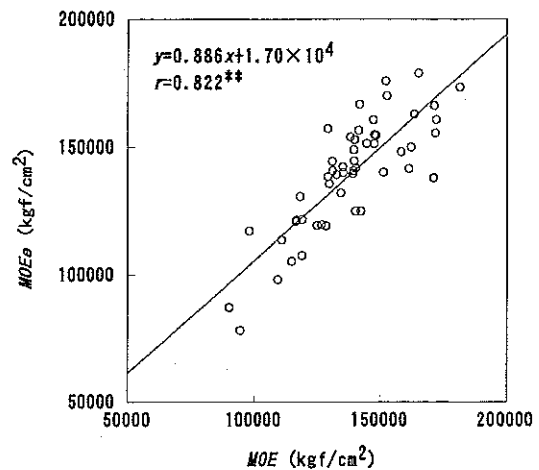
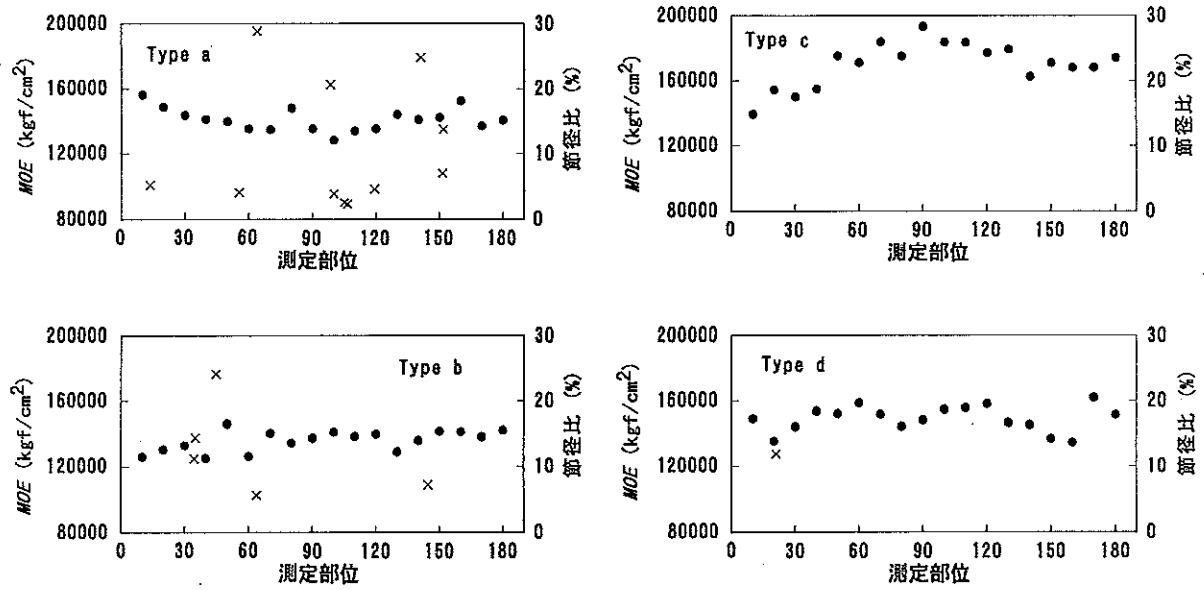


図3 MOEとMOEeとの関係



注：●はMOE、×は節径比を示す。

図4 ラミナ内における MOEと節径比の分布

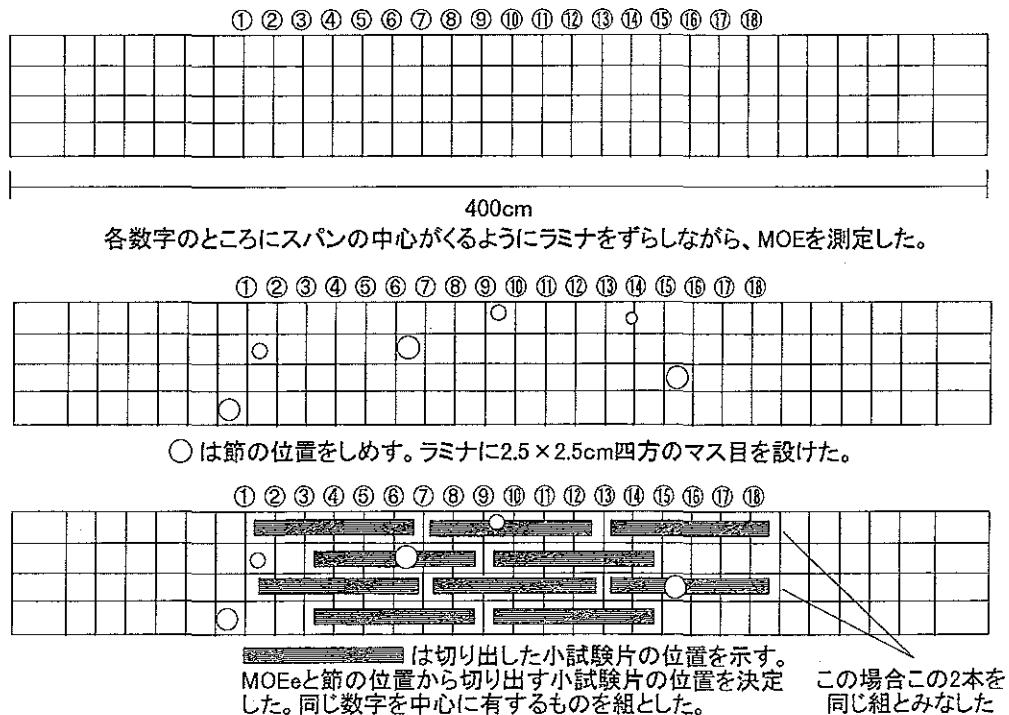


図5 あるラミナにおける MOEの測定個所と小試験片の切り出し位置の一例

度試験は木理通直で無欠点材が使われるが、今回は試験の性質上、節や目切れなどが存在していてもそれらを一概無視し、ラミナの MOE 測定時に負荷させた状態に近くなるように試験を行った。

ラミナから切り出した小試験片における MOE および

MOE<sub>f</sub>と比重との関係を図6に、MOE および MOR と比重との関係について図7に示す。比重との間の相関がそれぞれ低い値になった<sup>3)</sup>が、これは、節などを含んだ状態でそのまま試験片として用いたため、強度が著しく低い結果になったものと思われる。また、節が抜けてし

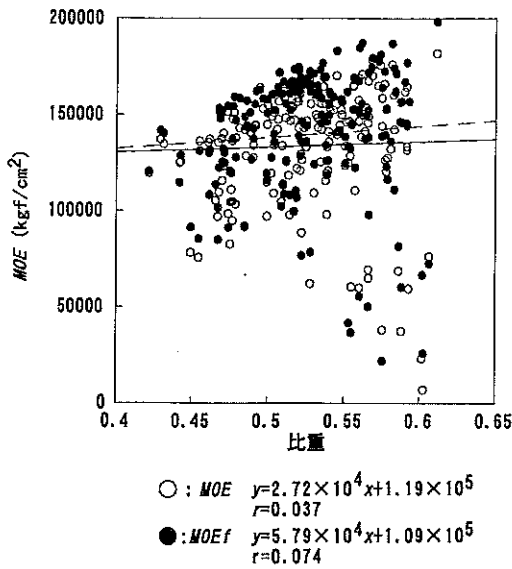


図6 小試験片におけるMOEおよびMOEfと比重との関係

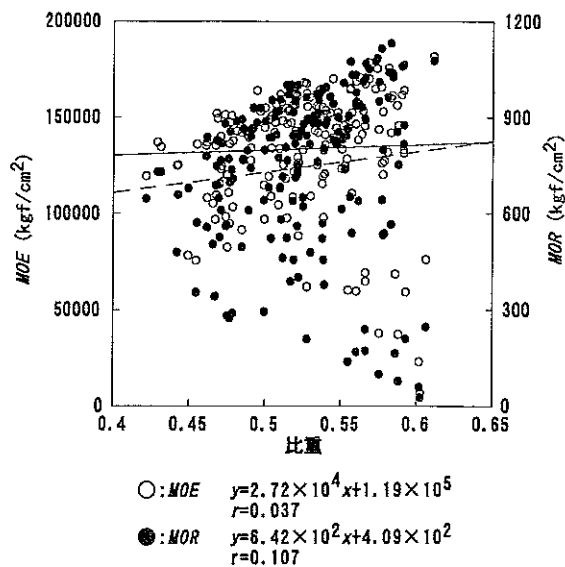


図7 小試験片におけるMOEおよびMORと比重との関係

まった試験片などもあり、その場合でも断面欠損がないものとして取り扱ったことも原因として考えられる。

次にMOEとMOEfとの関係について図8に示す。小試験片の比重の最小値、最大値、平均値および標準偏差は、0.422、0.611、0.525および0.041であった。同様にMOEでは6,500、181,000、133,800 (kgf/cm<sup>2</sup>) および30,615で、MOEfでは21,500、198,000、139,800 (kgf/cm<sup>2</sup>) および31312であった。さらにMORについては、25.3、1,130.0、746.5 (kgf/cm<sup>2</sup>) および247.9であった。これらにはラミナの場合と同様に正の相関が認められた。また、

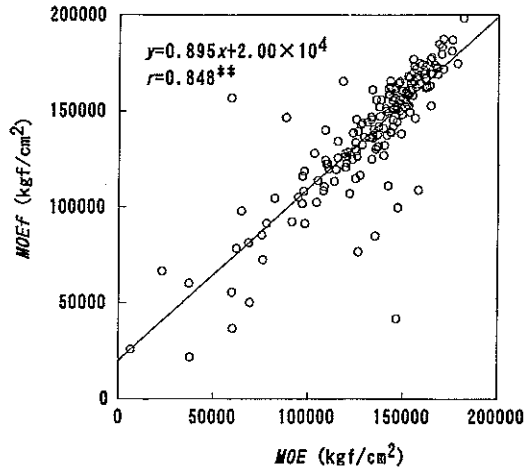


図8 小試験片におけるMOEとMOEfとの関係

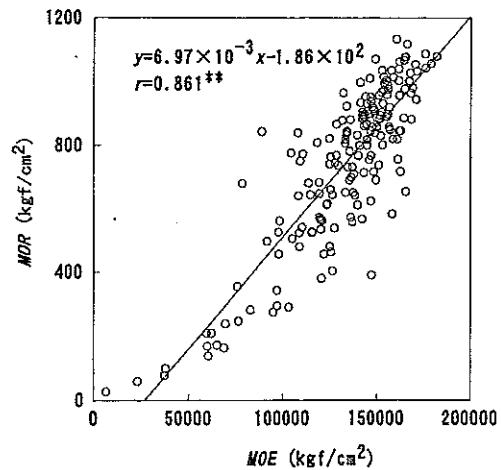


図9 小試験片におけるMOEとMORとの関係

上記の結果から小試験片においてもFFT周波数アナライザによるヤング率の測定は有効であると考えられる。さらにMOEとMORとの関係について図9に示すが、両者には正の相関が認められた。

さて、小試験片を切り出した個所の強度において、木取りの位置で、同じ部位を含むものについては同じ試験片と見なし単純に平均値を求め、元のラミナの位置のMOEと比較した。図10に元の位置におけるラミナのMOEと小試験片におけるMOEとの関係について代表的なものを示す。両者はほぼ同じ値を示す傾向が認めら

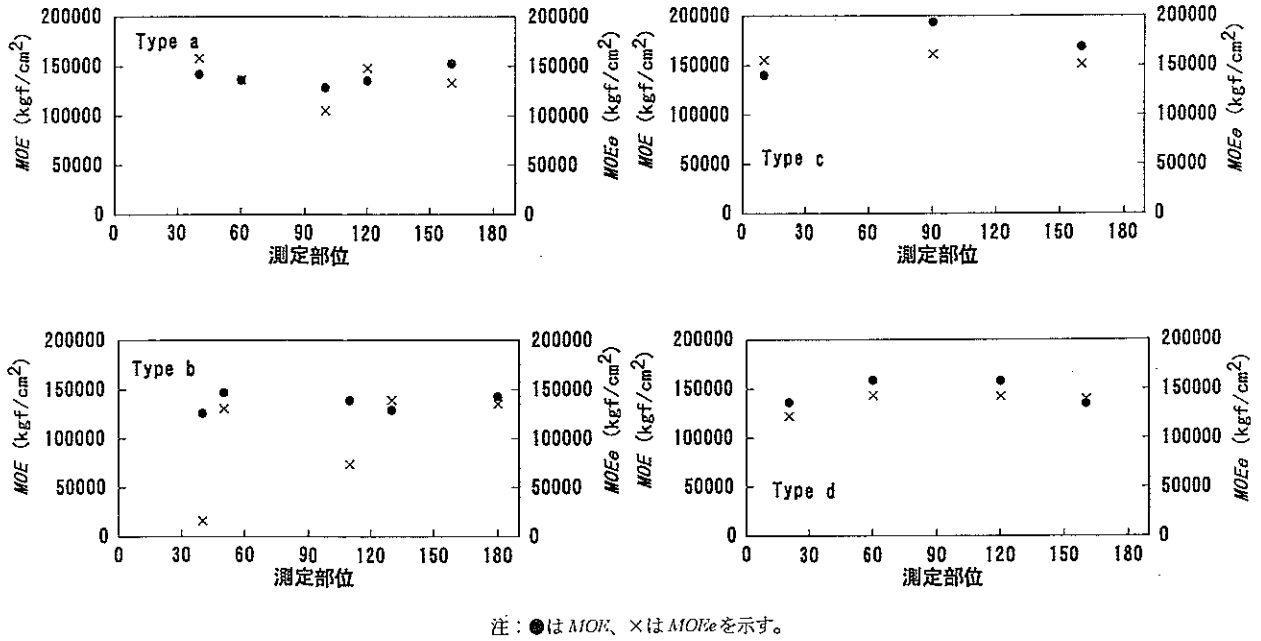


図10 同一個所における小試験片 MOE と MOEe の分布

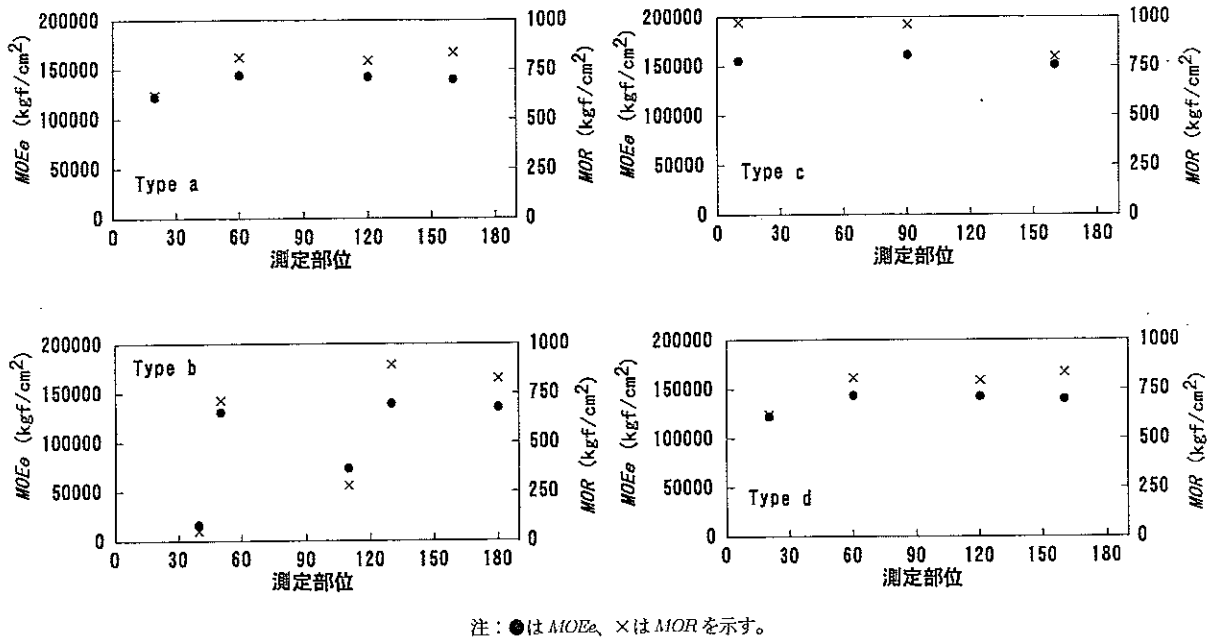


図11 同一個所における小試験片 MOR と MOEe の分布

れるが、type c の場合のように小試験片にも MOE の変動が認められ、単に節の存在だけではないことを示している。さらに図 11 に小試験片における MOE と MOR との関係を示すと、元のラミナの位置に節がない場合でも他よりも MOE が低いところでは MOR も他より低い傾向を示している。今回の報告には記載していないが、ラミナ内から連続して小試験片を切り出し、曲げ破壊強

度を測定したところ、特に幅方向で隣接していても節がない場合でも幅方向において MOE および MOR が大きく変動することが認められ、節以外による影響が示唆された。

以上のことから、ラミナのヤング率の測定から連続的に MOE を測定し、他の部位よりも低い個所に今後注目しラミナの製造ラインに反映させることができれば、よ

り強度的に均質な材を出荷できるのであろう。工場のライン化された中で如何にコストを低減させるかという問題を解決する一つの手段として自動化が考えられる。その時に連続してラミナのヤング率を測定し、そのラミナ内において他の部位よりも低い値が存在した場合、そこに注目することは有効であると考えられる。

木材の強度を低減させる因子は単純に節の有無だけではなく、比重、腐れ、繊維走行なども影響しているので、単純化することは非常に難しい。また、これらを全て考慮してラミナを生産していくことは、工場・現場等においては極めて困難である。しかし、今後木材製品においても品質管理の重要性が増すことが十分考えられるため、如何に正確な値・情報を抽出・提示し判断していくかというシステムの開発も必要であると思われる。

ラミナ自体の曲げ試験は当所に設置されている試験機の治具等の不備により実施できなかったが、実際にはラミナ自体の強度を測定する必要がある、この報告における不備な点の一つであると思われる。

#### 4. 結 論

ラミナ内における曲げヤング率 ( $MOE$ ) の分布について検討を行った。曲げヤング率の測定は、曲げ試験機によるもの ( $MOE$ )、縦振動法を用いた FFT 周波数アナライザによるもの ( $MOEf$ ) および、ラミナ内で荷重点を 10cm おきにずらしながら測定したもの ( $MOEe$ ) で行った。

- (1)  $MOE$  および  $MOEf$  と比重の間には正の相関が認められ、また、 $MOE$  と  $MOEf$  との間にも正の相関が認められた。 $MOEf$  現場や野外において測定するには有効な方法といえる。
- (2)  $MOEe$  の平均値と  $MOE$  との間には正の相関が認められた。ラミナ内における  $MOEe$  の分布には変動が認められ 4 つのパターンに分類できた。
- (3) 各パターンから任意にラミナを取り出し、節と  $MOEe$  を考慮しながら小試験片を切り出し、曲げ試験を行った。その結果、 $MOE$  および  $MOR$  と比重の間には相関が認められなかった。これは節などを含んだ状態で試験片を作製したため、節が抜けるなど断面欠損によるものと考えられる。また、 $MOE$  と  $MOR$  には正の相関が認められた。
- (4) 小試験片においても  $MOE$  および  $MOR$  の変動が認められた。特に幅方向で隣接している場合、節がなくても幅方向において変動が認められた。

#### 文 献

- 1) 橋爪丈夫、吉田孝久、石原茂久：木材学会誌、43 (8)、647-654 (1997).
- 2) 橋爪丈夫、斎藤 健、武田孝志、石原茂久：材料、46 (4)、395-400 (1997).
- 3) 林 知行、山吉栄作、浅岡郁雄、宮武 敦、長尾博文：木材学会誌、41 (1)、103-109 (1995).