

# カラマツ等県産材の需要開発に関する総合研究

— 県下4林分から得られたカラマツ正角の実大材曲げ強度 —

橋 爪 丈 夫  
武 井 富喜雄  
吉 田 孝 久

## 要 旨

カラマツ人工林としては比較的高樹齢の3林分及び天然1林分から供試材を得て、心去り角を主体とした12cm正角の実大材曲げ試験を実施し、林分別、木取り別、荷重方向別に検討した。

- ① 林分別では人工3林分からの正角の強度性能はそれほど違いが認められず、天然林材に比較して優れていた。
- ② 木取り別では人工林材について心持ち、二方桁、四方桁の順に曲げ強さ、曲げヤング係数とも値が高く、比重、年輪幅、JISに基づく曲げ試験の結果からも、高樹齢大径材になれば強度的に優れた正角が得られることが考察できた。
- ③ 荷重方向の影響は曲げ強さについて認められ、木裏側から荷重をかけた場合木表側からより優れた値が得られた。このことから、曲げの力を受ける横架材として人工林カラマツを使用する場合、木取りに配慮するならばより合理的な利用ができることが示された。
- ④ 強度性能に関係する項目として節、平均年輪幅、繊維傾斜等を取り上げその関係を検討した。また、曲げ強さ、曲げヤング係数、動的ヤング係数についてそれらの関係を示した。

## 1 はじめに

長野県におけるカラマツの人工林面積は約23万4千haで、人工林面積全体の56%を占めている。これらは主として戦後、拡大造林の名のもとに植林されたもので、IV～VII齢級(20～35年生)のものが多く、カラマツの蓄積量の約77%となっている。<sup>1)</sup>

こうしたカラマツ人工林は、戦後荒廃した県土の復旧と、我国の経済が発展する中で増大する土木材需要などに応えることなどを目的として県下に広く造成されたものである。

しかし、近年その需要構造は大きく異なり、従来からの土木用材等の利用のほかに、木材利用の主流である建築用材への利用がはかれるようになってきた。

昭和50年代半ばから県内に普及・定着したカラマツ乾燥技術および業界の努力により、集成材、内装用壁板、家具等の分野で着実にその地位を築きつつある<sup>2)</sup>が、さらに木材利用の大宗を占める建築構造材としての利用を進める必要がある。

しかしながら人工林カラマツは初期成長が極めて旺盛で、特に心持ち角ではらせん木理に起因するねじれが顕著に現れる。また、曲がりや割れも多いうえ、未成熟材部の占める割合が高いので強度的にも不安定であるなど、従来カラマツを建築材としてきた一部の地域を除いては建築構造材として良いイメージで受け取られていない。

重松<sup>3)</sup>は広範なカラマツの材質試験から、カラマツ造林木は肥大成長に伴う材質の変動が大きく、高樹齢の大径材になると、仮道管が長くなり、らせん木理が減少し、強度的にも優れた材が形成さ

れることを明らかにしている。また、長野県下7林分(樹齢40~72)から供試材を得て、12 cm 正角の用材品等を調べているが、そのなかで高樹齢大径材になれば、材質が向上して、その製材の等級が向上することを明らかにしている<sup>4)</sup>。

カラマツ材を建築構造材として利用するためには割れ、狂い等の寸法安定性の面からと、強度的な面からの位置づけが必要である。人工林カラマツを正角として利用するにはその材質的な面から心去り角が主体となろう。従って、そのような実際に使用される形状で強度試験を行い、木取りを考慮してその強度性能を明らかにすることは極めて重要なことと考える。また、樹齢、産地の異なる林分より供試材を得ることによって育林的見地からもカラマツ林業に対する有効な示唆が得られるものとする。

従来、我が国の木材の許容応力度の誘導は無欠点小試片の強度を基準として、これに欠点による低減係数と安全率を乗じるという方法が取られてきたが、その方法での問題点が指摘されるようになり<sup>5)</sup>、昭和50年代より実大材を用いた強度試験が国、地方の研究機関で盛んに行われるようになった<sup>6)</sup>。これらは森林総合研究所の指導のもとに、ある程度共通の試験方法がとられ、日本木材学会によって取りまとめられ<sup>7)</sup>、平成3年7月に施行された針葉樹の構造用製材の日本農林規格に活かされている。

本報告は県単「カラマツ等県産材の需要開発に関する総合研究」の一環として、過去5ヶ年に行われたカラマツ正角の実大材強度試験に関するものを取りまとめた。

## 2 材料と方法

### (1) 供試材

正角を得た林分の概要を表-1に示した。人工林の林齢は59、71、75年生であり、人工林としては高樹齢大径材である。茅野市北山県有林からの供試材は109~117年生の天然林木であるが、商業取引上の“天カラ”と称されるまでには育っていない。これらは、製材、乾燥、製品試作等の試験に供されたが、そのうちで正角(製材時寸法12×12×300 cm)として採材したものを実大材曲げ試験用の供試材とした。大の素材がほとんどであったために、正角は二方桁、四方桁がほとんどで心持ちはわずかであった。

### (2) 欠点調査

1~数年の天然乾燥の後、欠点調査は実大材曲げ試験前に節を中心として行い、接線径5 mm以下のものは調査の対象外とした。節は欠点調査表上にスケッチし、その位置、接線径、長径、短径を記入した。

表-1 供試材を得た林分の概要

| 供試材を得た林分    | 林齢年     | 平均胸高直径cm | 平均樹高mm | 平均枝下高mm | 立木密度本/ha | 標高mm | 土壌型 | 地位※       | 備考  |
|-------------|---------|----------|--------|---------|----------|------|-----|-----------|-----|
| 葦原宮林署 奈川国有林 | 59      | 34       | 27     | 13      | 288      | 1500 | BID | II        | 人工林 |
| 長野宮林署 黒姫国有林 | 71      | 39       | 27     | 17      | 380      | 1260 | BID | II, III中間 | 人工林 |
| 小諸市野馬取 民有林  | 75      | 47       | 35     | 18      | 154      | 1350 | BID | I         | 人工林 |
| 茅野市北山 県有林   | 109~117 | 36       | 20     | 6       | 338      | 1920 | BID | IV        | 天然林 |

※：長野県林務部、長野県民有林、カラマツ、スギ表系、スギ裏系人工林分材積表・収穫予想表(1983)による。

(3) 動的ヤング係数  $E_f$  の測定

欠点調査時点で、FFT サウンドアナライザ AD-35 23 (株)エー・アンド・デイ製) を用い、正角の一方の端をハンマーで軽く叩き、他端にセットしたマイクロホンを通して固有振動数を求め、次式によりヤング係数  $E_f$  を求めた。

$$E_f = 4l^2 \cdot Ru \cdot f^2 / g$$

ここで  $l$  は材長、 $Ru$  は比重、 $f$  は固有振動数、 $g$  は重力加速度である。

(4) 実大材曲げ試験

図-1 に示すようにスパン 270 cm、3 等分点 4 点加重方式で行った。試験機は TCM-30000 (ミネベア製) を用い、荷重スピード 5 mm/min で行い、破壊荷重から曲げ強さを、比例限度荷重に対するスパン 270 cm でのたわみ (変位) の関係から曲げヤング係数を求めた。曲げ強さ MOR、曲げヤング係数 EL の計算式を次に示した。

$$MOR = 3 \cdot a \cdot pm / (b \cdot h^2)$$

$$EL = \Delta P \cdot a (3L^2 - 4a^2) / (4b \cdot h^3 \cdot \Delta y)$$

ここで  $pm$  は破壊荷重、 $\Delta P$  は比例域内における上限荷重と下限荷重の差、 $a$  は支点と荷重点との距離、 $\Delta y$  は  $\Delta P$  に対応する全長に対する変位、 $b$  は材の幅、 $h$  は材の高さである。

供試材を二つのグループに分け、奇数番は木表側から、偶数番は木裏側から荷重を加えた。図-2 にその概念図を示した。写真-1 に曲げ破壊試験の様子を示した。

(5) 気乾比重、繊維傾斜、平均年輪幅、髄から引張り面中心までの距離、髄から引張り面中心までの年輪数の測定曲げ破壊試験終了材は破壊形態をスケッチした後、図-3 に示すように各試験片を採取した。

(ア) 気乾比重は試験時の重量と体積から求めた。

(イ) 繊維傾斜の測定は厚さ 10 cm の試験片の両木口面に平行な基準線を引き、一方の面から割

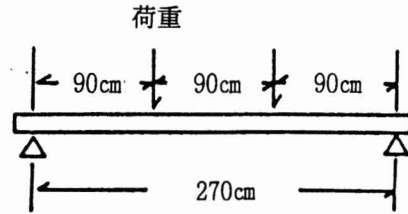


図-1 実大材曲げ試験条件

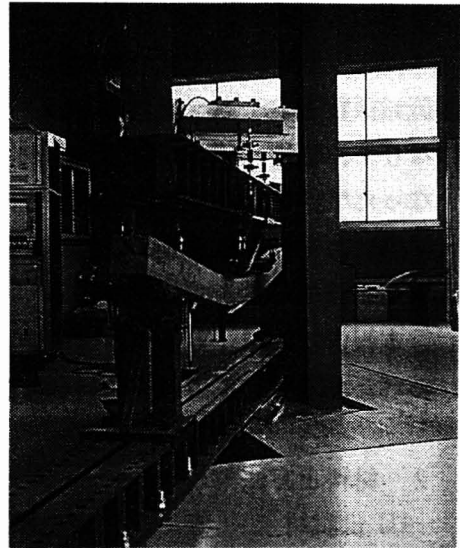


写真-1 曲げ破壊試験全景

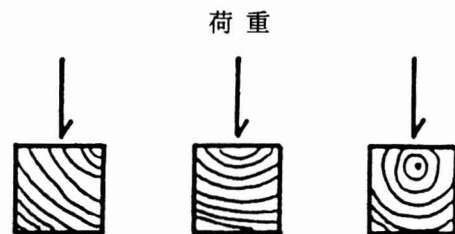


図-2 実大材曲げ試験の荷重のかけ方  
図は木裏側から荷重をかけた場合で木表荷重の場合逆になる

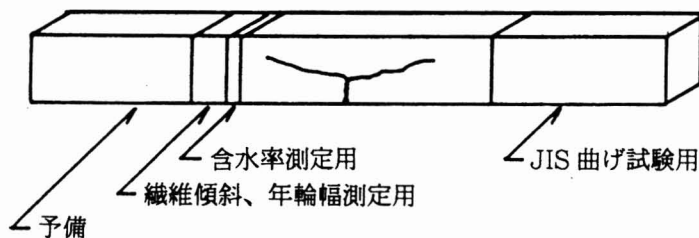


図-3 実大材曲げ試験終了材から各試験体の採材

裂し、他方の面上の割裂線と基準線とのずれを図-4に示すように両端、中心、両端と中心の間の2ヶ所の計5ヶ所測定し、その平均値を長さ1mに対する傾斜mm/mに換算した。

(ウ) 平均年輪幅は繊維傾斜を測定したものと同一試験片を用い、木口における完全年輪数とそれらの含まれる長さから求めた。

(エ) 髓から引張り面中心までの距離、髓から引張り面中心までの年輪数の測定方法を図-5に示した。木口上に髓が存在しないものについては年輪の状況から髓の位置とそこに含まれる年輪数を推定した。

### (6) 節の解析

節の解析は曲げ破壊試験のスパン270cmの区間に含まれるものを対象とした。

(ア) 節径比、集中節径比の測定は「製材のJAS」に従った。従って、長径が短径の2.5倍以上ある流れ節の径比は実測値の1/2とした。

曲げ強さ等に及ぼす節径比、集中節径比の影響は4材面および引張り面について、スパン270cm区間、曲げモーメント一定区間(荷重点間90cm)で検討した。

(イ) 節面積比の測定は図-6に示すように曲げ破壊試験において最も破壊に関連したと判断された単独節について測定した。また、集中節面積の計算は節面積比を測定した単独節を含む材長方向15cm区間に存在する全ての節について投影節面積比として算出した。また、引張り側1/4部分の節面積比、集中節面積比も算出した。

以上の節面積比の計算には富山県林業技術センター飯島泰男氏より提供されたソフトを用いた。

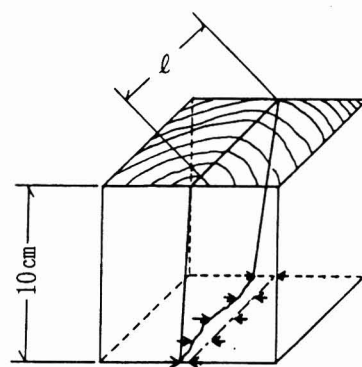
### (7) JISによる無欠点試験片を用いた曲げ試験

曲げ破壊試験終了材の非破壊部分の圧縮側と引張り側から、各3本ずつの2.5×2.5×40cmの試験片を得た。3本のうち最も欠点の少ないと判断されるものを試験材としてJIS Z 2113に従ってスパン35cmで曲げ試験を行った。

なお、試験機はTCM-5000(ミネベア製)を用い、試験材はJIS Z 8703に基づいて、恒温恒湿室の中に3ヶ月以上保存し、曲げ試験も同室内で実施した。

## 3 結果と考察

### (1) 供試材を得た林分別の検討



→ ← 繊維傾斜測定箇所  
l : 完全年輪間の長さ

図-4 繊維傾斜、年輪幅の測定

繊維傾斜 : 5ヶ所の平均値を長さ1mに対するに換算(mm/m)  
平均年輪幅  $l/l$  に含まれる完全年輪数

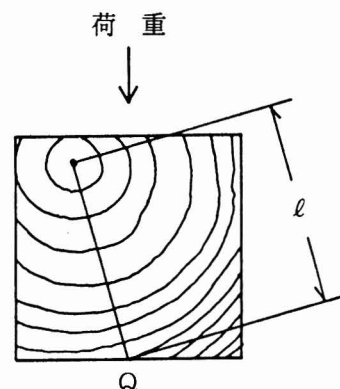


図-5 髓と引張り面中心までの距離、髓と引張り面中心までの年輪数の測定

Q : 引張り面中心  
髓と引張り面中心までの距離 : l  
髓と引張り面中心までの年輪数 : l に含まれる年輪数

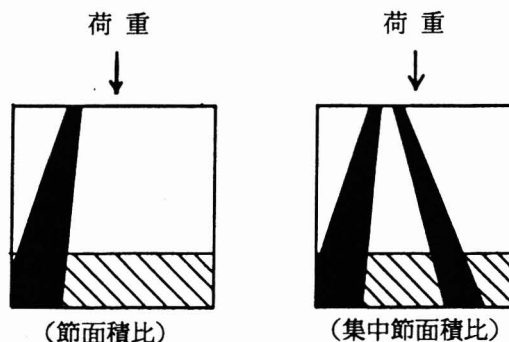


図-6 節面積比、集中節面積比の測定

斜線部分 : 引張り側1/4部分  
節(集中節)面積比 : 節(集中節)投影面積/断面積×100(%)  
引張り側1/4部分節(集中節)面積比 : 斜線部分節(集中節)投影面積/1/4部分断面積×100(%)

表-2に林分別に主な測定項目および実大材曲げ試験結果を示した。図-7、図-8に主な測定項目、図-9に曲げ強さ、曲げヤング係数、曲げ強さに対する曲げ比例限度の割合の比較を示した。また、写真2~4に代表的な曲げ破壊例を示した。

(ア) 主な測定項目の比較

気乾比重：小諸民有林からのものが平均値で0.488とやや低く、他の3林分からは0.513~0.515とほとんど差は認められなかった。

平均年輪幅：人工3林分からのものは平均値で3.60~4.01で奈川国有林からのものがやや高かった。これに対して天然林である北山県有林からのものは2.38mmと明らかに小さい。

繊維傾斜：繊維傾斜は平均値で59.2mm/m~65.8mm/mとほとんど差はない。また、図-7に示すようにバラツキは非常に大きい。林分による差はほとんど認められない。

最大節径比、集中節径比：人工3林分では奈川国有林、黒姫国有林からのものは平均で30%で、ほぼ等しく、小諸民有林からのものが20%程度と小さい。一方天然林である北山県有林からのものは40%程度と大きい。これは表-1に示したように天然林分は枝下高が低いうえ、独立木的な環境にあり、枝が太いためである。この傾向は集中節についても同様である。

(イ) 曲げ強さ、曲げヤング係数の比較

曲げ強さは人工3林分からのものは平均値で475~499kgf/cm<sup>2</sup>であり、図-9に示すようにそ

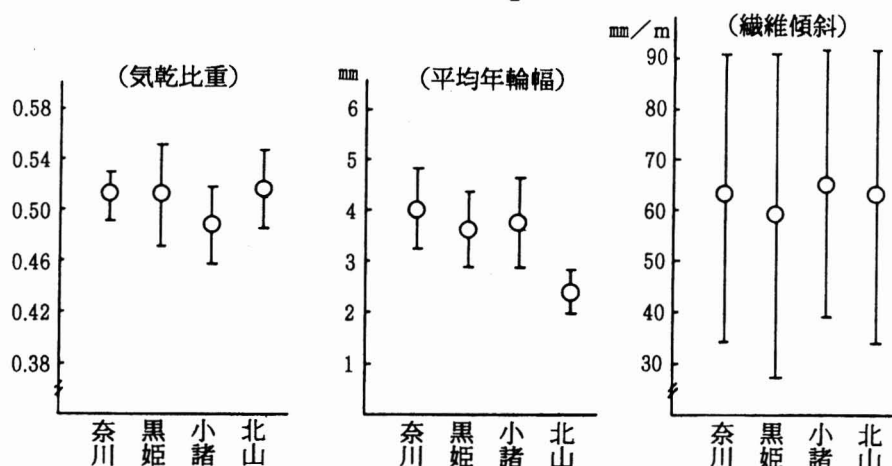


図-7 供試材を得た林分別の正角の気乾比重、平均年輪幅、繊維傾斜の平均値と標準偏差

表-2 主な測定項目および実大材曲げ試験結果 (林分別)

| 林分             | 正角本数 | 平均値 (変動係数)     |                |                |                |                |                             |                               |                               |                                    |                 |
|----------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------|
|                |      | 気乾比重           | 平均年輪幅<br>mm    | 繊維傾斜<br>mm/1mm | 最大節径比<br>%     | 集中節径比<br>%     | 曲げ強さ<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 曲げ比例限度<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 曲げヤング係数<br>tf/cm <sup>2</sup> | 比例*<br>限度の割合<br>tf/cm <sup>2</sup> | 試験時<br>含水率<br>% |
| 奈川国有林          | 24   | 0.513<br>(4.4) | 4.01<br>(19.6) | 63.0<br>(45.4) | 30.3<br>(24.2) | 40.5<br>(21.8) | 475<br>(15.7)               | 335<br>(14.5)                 | 99.1<br>(9.3)                 | 71.2<br>(11.9)                     | 15.0<br>(4.5)   |
| 黒姫国有林          | 102  | 0.514<br>(8.2) | 3.60<br>(20.8) | 59.2<br>(54.6) | 29.3<br>(31.0) | 38.7<br>(29.6) | 461<br>(26.6)               | 319<br>(24.9)                 | 101.7<br>(18.0)               | 70.1<br>(11.0)                     | 13.9<br>(4.4)   |
| 小諸民有林          | 31   | 0.488<br>(6.2) | 3.73<br>(23.2) | 65.8<br>(40.9) | 20.2<br>(55.5) | 27.6<br>(57.0) | 499<br>(22.3)               | 348<br>(18.7)                 | 101.1<br>(13.9)               | 70.9<br>(13.7)                     | 14.1<br>(4.3)   |
| 北山県有林<br>(天然林) | 21   | 0.515<br>(6.3) | 2.38<br>(18.5) | 63.7<br>(46.0) | 39.9<br>(21.3) | 45.8<br>(18.9) | 369<br>(15.9)               | 256<br>(13.4)                 | 75.9<br>(8.4)                 | 70.1<br>(11.4)                     | 15.2<br>(1.8)   |

\* : 曲げ比例限度の曲げ強さに対する割合

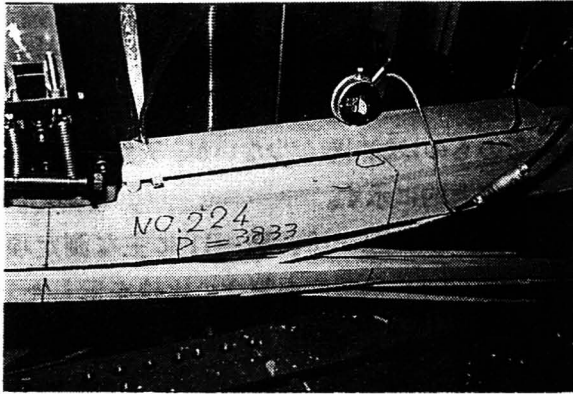


写真-2 欠点も少なく強い値が得られる破壊例

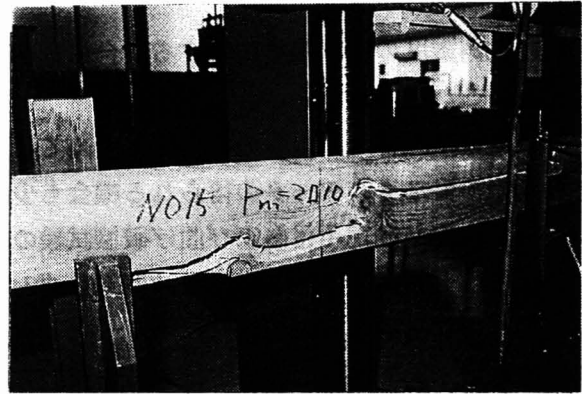


写真-3 節の撮影が認められる破壊例

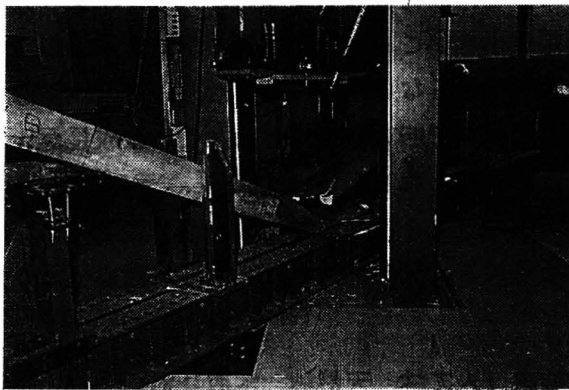


写真-4 最も脆い破壊の例

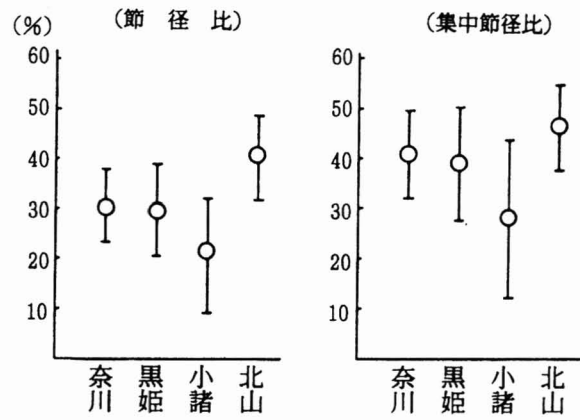


図-8 供試材(正角)を得た林分別の節径比・集中節径比の平均値と標準偏差

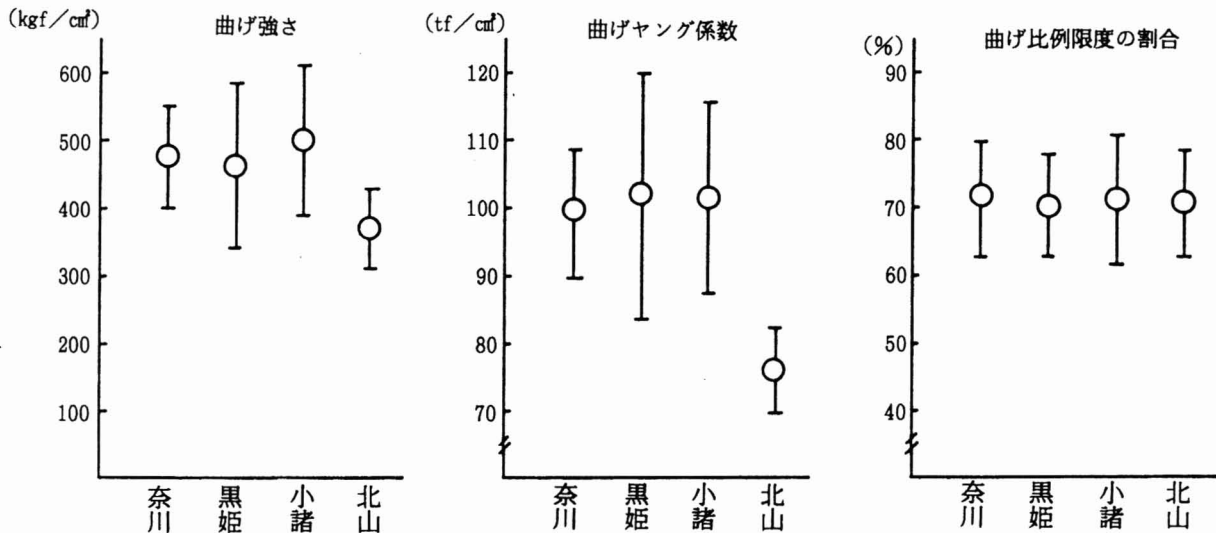


図-9 供試材(正角)を得た林分別曲げ強さ、曲げヤング係数、曲げ比例限度の割合の平均値と標準偏差

の差は少ない。一方天然林である北山県有林からのものは  $369 \text{ kgf/cm}^2$  と前者に比較して明らかに低い値であった。

曲げヤング係数についても人工3林分からのものはバラツキの違いはあるが平均値でほぼ  $100 \text{ tf/cm}^2$  とほとんど差はないが、北山県有林からのものは明らかに低く  $3/4$  程度 ( $75.9 \text{ tf/cm}^2$ ) で

ある。

曲げ比例限度の曲げ強さに対する割合は70%程度で林分による差はほとんどない。

(2) 木取り別の検討

ここでは人工林からのものを主体に考える。天然林からのものは試料数が少ないが、天然林のデータは極めて少なく、データの得られる機会も少ないので、参考的に示す。

表-3に主な測定項目および曲げ破壊試験の結果を示した。また図-10、図-11に主な測定項目、図-12に曲げ強さ、曲げヤング係数、曲げ強さに対する曲げ比例限度の割合の比較を示した。

(ア) 主な測定項目の比較

気乾比重：人工林材については心持ち、二方桁が同程度であり、四方桁が高い傾向にあった。天然林材では心持ちが低く、二方桁、四方桁ではほとんど差がない。

平均年輪幅：人工林カラマツは初期成長が旺盛であり、髄周辺部の年輪幅が大きく、外周に向かって年輪幅が小さくなるのが一般的な傾向である。従って、心持ち材が最も年輪幅が大きく、より大径材でなければ採材することができない四方桁の年輪幅が小さいことが予想されるが、本試験の結果も明らかに心持ち、二方桁、四方桁の順に平均年輪幅が小さくなる傾向にあった。一方天然林材はおしなべて平均年輪幅が小さいが、心持ち、二方桁が同程度で四方桁が大きい。これは成長が比較的良く、径級の大きいものから四方桁が採材されたためと思われる。

繊維傾斜：繊維傾斜のバラツキは極めて大きく、平均値の差もそれほどではないが、人工林材では心持ち、二方桁、四方桁の順に小さくなる傾向が認められる。天然林材では二方桁が四方桁より

表-3 主な測定項目および実大材曲げ試験結果（人工林、天然林、木取り別）

平均値（変動係数）

| 林分               | 木取り | 正角<br>本数 | 気乾             | 平均             | 繊維             | 最大             | 集中             | 曲げ                  | 曲げ                  | 曲げ                 | 比例*            |
|------------------|-----|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------|
|                  |     |          | 比重             | 年輪幅            | 傾斜             | 節径比            | 節径比            | 強さ                  | 比例                  | ヤング                | 限度の            |
|                  |     |          |                | mm             | mm/1m          | %              | %              | kgf/cm <sup>2</sup> | kgf/cm <sup>2</sup> | tf/cm <sup>2</sup> | 割合             |
| 人工<br>林<br>材     | 心持ち | 5        | 0.505<br>(6.5) | 4.35<br>(12.9) | 69.5<br>(51.3) | 32.7<br>(18.9) | 57.8<br>(20.7) | 347<br>(28.2)       | 249<br>(27.4)       | 79.1<br>(14.8)     | 71.8<br>(7.6)  |
|                  | 二方桁 | 56       | 0.500<br>(7.3) | 3.86<br>(21.7) | 66.0<br>(44.5) | 27.5<br>(33.5) | 38.7<br>(32.1) | 446<br>(23.8)       | 311<br>(20.8)       | 95.6<br>(14.8)     | 71.0<br>(13.1) |
|                  | 四方桁 | 96       | 0.514<br>(7.7) | 3.55<br>(20.0) | 57.8<br>(53.7) | 27.5<br>(38.4) | 34.6<br>(35.0) | 491<br>(23.3)       | 340<br>(21.9)       | 105.6<br>(15.1)    | 70.0<br>(11.0) |
|                  | 全 数 | 157      | 0.509<br>(7.6) | 3.69<br>(21.5) | 61.1<br>(50.6) | 27.2<br>(36.2) | 36.8<br>(35.2) | 471<br>(24.5)       | 328<br>(22.5)       | 101.2<br>(16.2)    | 70.5<br>(11.7) |
| 天<br>年<br>林<br>材 | 心持ち | 2        | 0.444<br>(0.6) | 2.06<br>(7.0)  | 74.3<br>(35.1) | 25.6<br>(16.0) | 34.0<br>(4.9)  | 437<br>(6.1)        | 291<br>(3.6)        | 81.7<br>(0.4)      | 66.7<br>(2.5)  |
|                  | 二方桁 | 7        | 0.527<br>(3.6) | 1.96<br>(11.2) | 59.8<br>(46.4) | 44.6<br>(19.5) | 47.4<br>(18.9) | 366<br>(14.0)       | 258<br>(7.5)        | 76.7<br>(8.6)      | 71.6<br>(12.3) |
|                  | 四方桁 | 12       | 0.520<br>(5.0) | 2.67<br>(12.2) | 64.3<br>(47.0) | 39.5<br>(14.4) | 46.9<br>(16.2) | 358<br>(16.4)       | 247<br>(15.8)       | 74.4<br>(8.3)      | 69.6<br>(11.4) |
|                  | 全 数 | 21       | 0.515<br>(6.3) | 2.38<br>(18.5) | 63.7<br>(46.0) | 39.9<br>(21.3) | 45.8<br>(18.9) | 369<br>(15.9)       | 256<br>(13.4)       | 75.9<br>(8.4)      | 70.1<br>(11.4) |

\*：曲げ比例限度の曲げ強さに対する割合

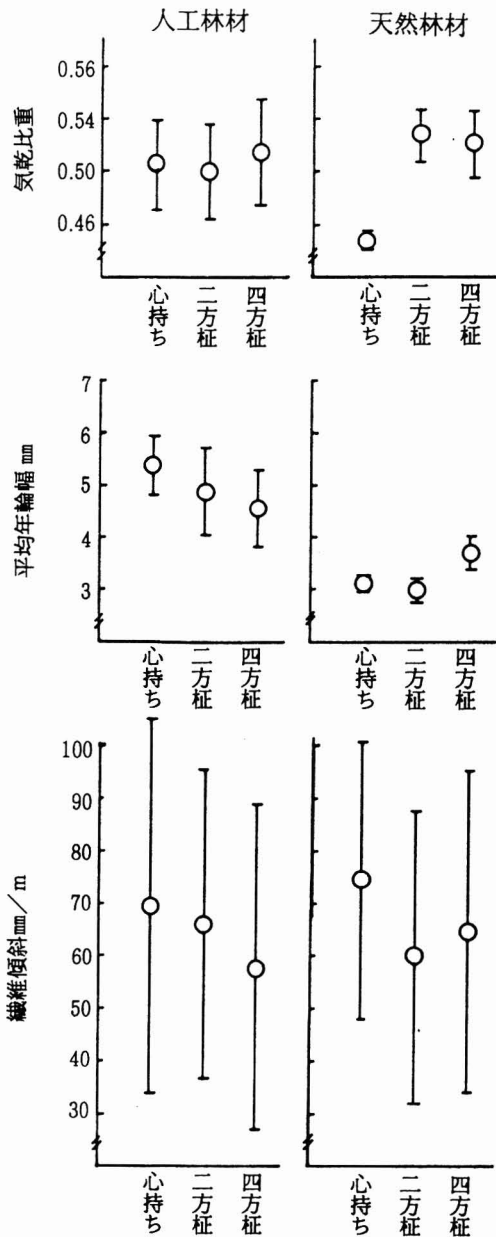


図-10 正角の木取り別気乾比重、平均年輪幅、繊維傾斜の平均値と標準偏差

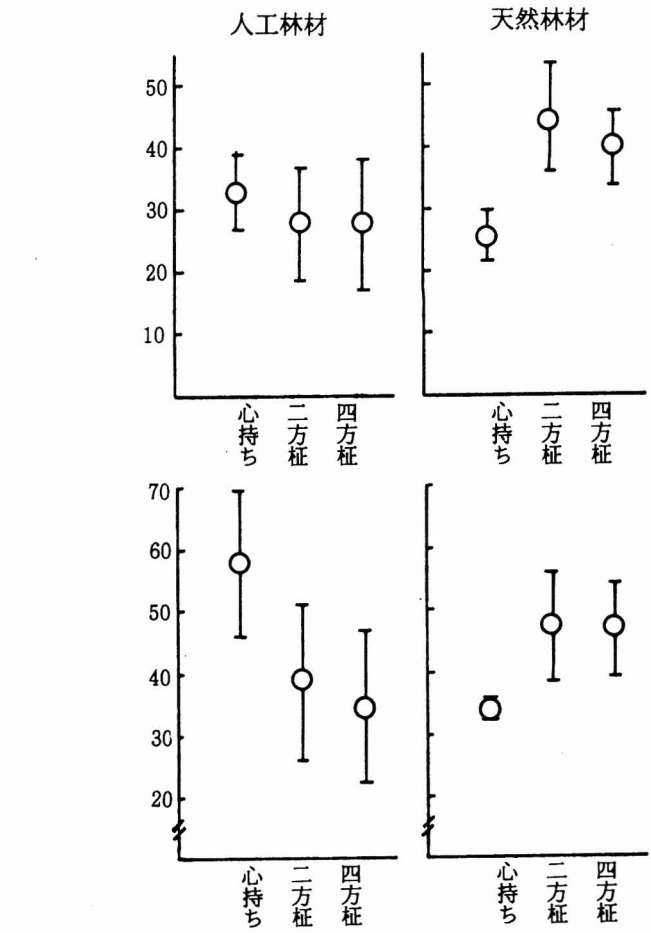


図-11 正角の木取り別、最大節径比、集中節径比の平均値と標準偏差

も小さい。

本試験で測定した繊維傾斜は正角の長さ方向に対する繊維傾斜であるが、らせん木理の影響が最も多く現れる。一般にカラマツのらせん木理は樹心部において顕著に表れ、髄から数年輪で最大値を示し、それより外側では次第に減少する傾向が多いことが報告されて

いる<sup>8)</sup>。本試験の測定結果もこの傾向を反映したものと判断できるが、四方桁であってもかなりの樹心部を含むことから、その差は明瞭でない。

最大節径比、集中節径比：人工林材では最大節径比は心持ちが大きく、二方桁と四方桁では差はない。集中節径比は心持ちとの差は更に大きくなり、二方桁と四方桁でも違いが認められる。このことは樹心部ほど集中節が多いことを示している。

一方天然林材では明らかに心持ちの最大節径比、集中節径比が小さい、このことは枝がまだ太くない部分から心持ちが採材されたためと思われる。

(イ) 曲げ強さ、曲げヤング係数の比較

人工林材では図-12に示すように曲げ強さは平均値で心持ち 347 kgf/cm<sup>2</sup>、二方桁 446 kgf/cm<sup>2</sup>、四方桁 491 kgf/cm<sup>2</sup>と明らかに心持ち、二方桁、四方桁の順に強くなっている。この傾向は曲げヤング係数も同様であり、心持ち 79.1 tf/cm<sup>2</sup>、二方桁 95.6 tf/cm<sup>2</sup>、四方桁 105.6 tf/cm<sup>2</sup>であった。一



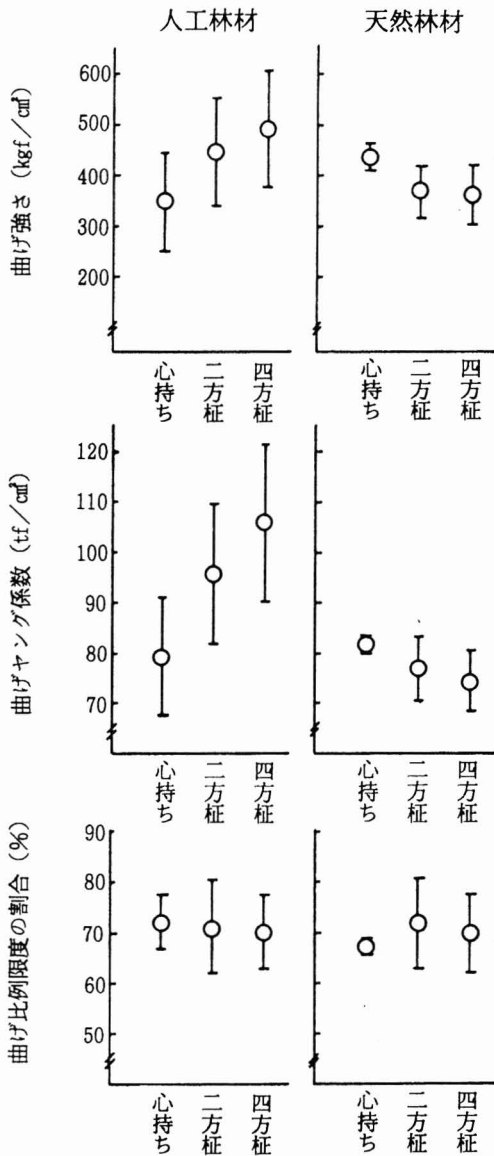


図-12 正角の実大材曲げ試験における曲げ強さ、ヤング係数、曲げ比例限度の割合の平均値と標準偏差

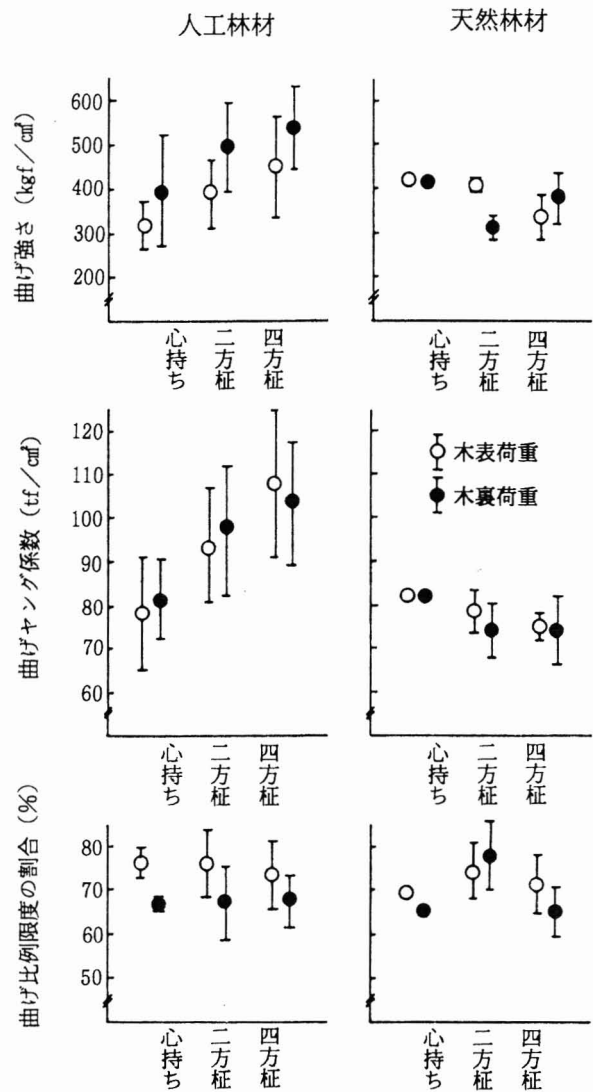


図-13 正角の実大材曲げ試験における木取り、荷重方向別の曲げ強さ、曲げヤング係数、曲げ比例限度の割合の平均値と標準偏差

(天然林材心持ちの供試材(正角)数は各1本づつ)

方天然林材では逆の傾向が認められた。

小泉らは北海道産カラマツの10.5 cm心持ち正角について平均値で曲げ強さ366 kgf/cm<sup>2</sup>、曲げヤング係数76.6 tf/cm<sup>2</sup>という結果を報告している<sup>9)</sup>。本試験の心持ちの結果もこの範囲に入ると考えられるが、著者らは9 cm心持ち正角(樹齢18~19)において曲げ強さ482 kgf/cm<sup>2</sup>という値を得ており<sup>10)</sup>、人工林の心持ち材が一概に弱いとは結論づけることはできない。

### (3) 荷重方向による検討

人工林材と天然林材に分けて、荷重方向および木取り別に曲げ強さ、曲げ比例限度、曲げヤング係数、曲げ強さに対する曲げ比例限度の割合を平均値で表-4および図-13に示した。

#### (ア) 曲げ強さ

木表側荷重全数の曲げ強さの平均値は423 kgf/cm<sup>2</sup>であるのに対して、木裏側荷重全数は518 kgf/cm<sup>2</sup>と明らかに木裏側荷重の方が高い。この傾向は木取り別でも同様であって、その差は心持ちで

表-4 荷重方向、木取り別実大材曲げ破壊試験結果

平均値(変動係数)

| 林分       | 荷重方向     | 木取り      | 本数    | 曲げ強さ                | 曲 げ                 | 曲 げ                | 比例限度         |             |
|----------|----------|----------|-------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------|-------------|
|          |          |          |       | kgf/cm <sup>2</sup> | 比例限度                | ヤング係数              | の割合*         |             |
|          |          |          |       | kgf/cm <sup>2</sup> | kgf/cm <sup>2</sup> | tf/cm <sup>2</sup> | %            |             |
| 人工<br>林材 | 木表<br>荷重 | 心 持 ち    | 3     | 316 (17.2)          | 240 (18.7)          | 77.8 (16.6)        | 75.7 ( 4.2)  |             |
|          |          | 二 方 桁    | 26    | 389 (19.8)          | 294 (21.1)          | 93.8 (13.9)        | 75.8 (10.2)  |             |
|          |          | 四 方 桁    | 49    | 448 (25.6)          | 325 (24.6)          | 107.9 (15.8)       | 73.1 (10.7)  |             |
|          |          | 木表荷重全数   | 78    | 423 (25.4)          | 311 (24.4)          | 102.0 (17.3)       | 74.1 (10.5)  |             |
|          | 木裏<br>荷重 | 心 持 ち    | 2     | 396 (31.7)          | 264 (34.5)          | 81.1 (11.4)        | 66.1 ( 3.1)  |             |
|          |          | 二 方 桁    | 30    | 496 (20.7)          | 327 (19.3)          | 97.2 (15.2)        | 66.9 (12.9)  |             |
|          |          | 四 方 桁    | 47    | 537 (17.7)          | 358 (18.0)          | 103.3 (14.0)       | 66.9 ( 9.2)  |             |
|          |          | 木裏荷重全数   | 79    | 518 (19.8)          | 344 (19.7)          | 100.5 (15.0)       | 66.9 (10.7)  |             |
|          | 人工林材全数   |          |       | 157                 | 471 (24.5)          | 328 (22.5)         | 101.2 (16.2) | 70.5 (11.7) |
|          | 天然<br>林材 | 木表<br>荷重 | 心 持 ち | 1                   | 411 ( - )           | 281 ( - )          | 81.3 ( - )   | 68.4 ( - )  |
| 二 方 桁    |          |          | 4     | 407 ( 3.1)          | 271 ( 5.7)          | 78.8 ( 7.2)        | 66.7 ( 7.8)  |             |
| 四 方 桁    |          |          | 6     | 338 (15.2)          | 249 (11.3)          | 74.8 ( 4.3)        | 74.5 ( 8.9)  |             |
| 木表荷重全数   |          |          | 11    | 370 (14.1)          | 260 ( 9.9)          | 76.8 ( 6.2)        | 71.1 ( 9.7)  |             |
| 木裏<br>荷重 |          | 心 持 ち    | 1     | 464 ( - )           | 302 ( - )           | 82.0 ( - )         | 65.1 ( - )   |             |
|          |          | 二 方 桁    | 3     | 312 ( 8.8)          | 242 ( 3.5)          | 73.9 ( 8.9)        | 78.3 (10.6)  |             |
|          |          | 四 方 桁    | 6     | 380 (15.5)          | 247 (19.4)          | 74.0 (11.0)        | 64.8 ( 9.2)  |             |
|          |          | 木裏荷重全数   | 10    | 368 (14.0)          | 251 (13.6)          | 74.8 ( 9.3)        | 68.9 (13.8)  |             |
| 天然林材全数   |          |          | 21    | 369 (15.9)          | 256 (13.4)          | 75.9 ( 8.4)        | 70.1 (11.4)  |             |
| 正 角 全 数  |          |          | 178   | 459 (25.0)          | 319 (23.2)          | 98.2 (17.9)        | 70.4 (11.7)  |             |

\* : 曲げ比例限度の曲げ強さに対する割合

80 kgf/cm<sup>2</sup>、二方桁で107 kgf/cm<sup>2</sup>、四方桁で89 kgf/cm<sup>2</sup>、全数で95 kgf/cm<sup>2</sup>であった。図-13に示すように変動は大きいとその差は明らかである。一方天然林材では人工林材に比較して変動は少ないが、二方桁では木表側荷重の方が高く、四方桁では逆になっておりこのような傾向は認められない。

人工林材では曲げ強さに対する曲げ比例限度の割合は、木表側荷重73.1~75.8%、木裏側荷重66.1~66.9%と明らかに木裏側荷重の方が低い。これは木裏側荷重の方がねばりがあり、曲げ破壊試験において比例限度を過ぎてから破壊に至る間が長いことを示している。逆に木表側荷重の場合は脆いことになる。天然林材ではこのような傾向は認められなかった。

人工造林材の場合、初期成長が旺盛で強度的に劣る未成熟材部がかなりの部分を占める。従って二方桁あるいは四方桁であっても未成熟材部が含まれるためその割合によって強さは変動し、全体的なばらつきが大きくなるものと考えられる。また、人工造林材の場合、木表側荷重の強さが劣るのは曲げ破壊試験時に引張り応力を受ける側に未成熟材部がくるためと考えられる。天然林材では初期成長が極めて悪く、未成熟材部がごく僅かしかいないために材質的には安定しており、荷重方向の影響は少ないものと考えられる。

## (イ) 曲げヤング係数

表-5 JIS無欠点試片による曲げ試験結果

平均値(変動係数)

|      |     | 本数  | 曲げ強さ                        |                             |                            | 曲げヤング係数                    |                            |                           |
|------|-----|-----|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
|      |     |     | 木表部分<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 木裏部分<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 平均*<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 木表部分<br>tf/cm <sup>2</sup> | 木裏部分<br>tf/cm <sup>2</sup> | 平均*<br>tf/cm <sup>2</sup> |
| 人工林材 | 心持ち | 5   | 760 (15.4)                  | 650 (7.3)                   | 705 (10.7)                 | 87.1 (25.9)                | 67.7 (18.5)                | 77.4 (20.9)               |
|      | 二方桁 | 47  | 870 (14.5)                  | 728 (16.5)                  | 800 (13.4)                 | 105.0 (20.3)               | 84.6 (2.7)                 | 95.0 (18.9)               |
|      | 四方桁 | 82  | 907 (14.2)                  | 829 (16.1)                  | 866 (13.1)                 | 110.9 (16.2)               | 99.3 (19.0)                | 104.8 (14.7)              |
|      | 全数  | 134 | 889 (14.7)                  | 787 (17.5)                  | 837 (14.0)                 | 108.0 (18.5)               | 93.0 (22.2)                | 100.4 (17.5)              |
| 天然林材 | 心持ち | 2   | 674 (1.6)                   | 643 (0.3)                   | 658 (0.9)                  | 78.4 (4.1)                 | 80.1 (0.1)                 | 79.3 (2.1)                |
|      | 二方桁 | 7   | 713 (12.2)                  | 765 (10.6)                  | 734 (10.1)                 | 77.0 (12.2)                | 87.6 (11.4)                | 82.6 (8.8)                |
|      | 四方桁 | 12  | 701 (10.6)                  | 750 (7.2)                   | 726 (8.0)                  | 81.2 (11.5)                | 84.0 (11.5)                | 82.6 (10.0)               |
|      | 全数  | 21  | 703 (10.9)                  | 743 (9.4)                   | 721 (8.9)                  | 79.6 (11.5)                | 84.7 (11.3)                | 82.2 (9.3)                |

\* : 木表部分、木裏部分からの試験材の平均

曲げヤング係数は平均値では荷重方向別に若干の違いがあるが、その変動を考慮するとその差は明かではない。これは天然林材についても同様である。

(4) JISに基づく曲げ試験結果からの検討

無欠点試片による曲げ試験は実大材曲げ試験の終了した非破壊部分の引張り側と圧縮側から各3本ずつの試片を得て、その中で最も欠点の少ないもの各1本を試験に供した。実大材の破壊形態からこれらの採材が不可能なものがあり、両側から試片が採材できたものの試験結果の集計を表-5に示した。また、人工林材と天然林材とに分けて木取り別に図-14に示した。

人工林材の場合、心持ち、二方桁、四方桁から木取られた無欠点試片の順に曲げ強さ、曲げヤング率とも高くなっており、この傾向は実大材の場合と同様であるが、天然林材からのものはこの様な傾向は認められなかった。また、木裏部分から採材した試験片は木表部分から採材したものに比較して明らかに、曲げヤング係数、曲げ強さとも値が高い。一方天然林材では二方桁、四方桁でこの関係が逆になっている。

実大材曲げ破壊試験においては木表側荷重の場合は木裏部分が引張り側に、木裏側荷重の場合、木表部分が引張り側に来ることになる。前述したとおり実大材の曲げ強さは明らかに木裏側荷重の

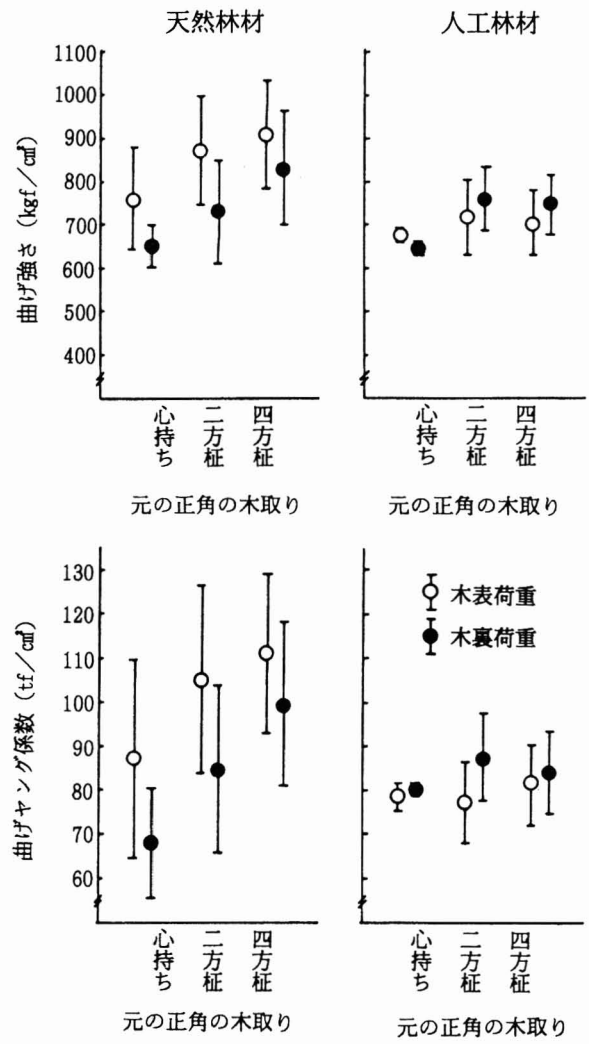


図-14 JIS曲げ試験における曲げ強さ、曲げヤング係数の平均値、標準偏差

(無欠点試片を得た正角の木取り、試験片の採材位置別)

方が強かった。木裏側荷重の場合、引張り側により強い木表部分がくることになり、このことにより実大材の荷重方向による差を説明できる。

曲げヤング係数についてみると無欠点試片では木表部分と木裏部分では明確な差があるが、実大材の場合荷重方向の差は認められなかった。このことは、曲げ強さと異なり荷重方向の影響を受けず、実大材の曲げヤング率はその材料の平均的な値を示すものと推定される。

(5) 実大材曲げ試験結果の材料強度としての評価

図-15 に正規化した曲げ強さの分布を人工林材については荷重方向別に、天然林材については試験材が少ないことと、荷重方向による差が認められなかったことから区分せずに示した。

1988年に制定された日本建築学会の木構造計算基準・同解説<sup>10)</sup>ではカラマツは針葉樹Ⅲ類に属し、長期許容応力度は曲げ強さについて、普通構造材 85 kgf/cm<sup>2</sup>、上級構造材 105 kgf/cm<sup>2</sup>となっている。この数値から実大材の曲げ強さを逆算すると普通構造材で 255 kgf/cm<sup>2</sup>、上級構造材で 315 kgf/cm<sup>2</sup>である。本試験の結果、普通構造材の基準強度 255 kgf/cm<sup>2</sup>以下であったものは人工林材木表荷重の 3 本だけであった。また上級構造材の基準強度 315 kgf/cm<sup>2</sup>以下のものは人工林木表荷重のものが 13 本、木裏荷重のものが 3 本、天然林材でも 5 本の計 21 本で、試験した全ての中で 9 割近くが上級構造材の値を満足していた。

図-16 に曲げ強さと同様正規化した曲げヤング係数の分布を示した。木構造計算基準・同解説では針葉樹Ⅲ類のヤング係数を普通構造材 80 tf/cm<sup>2</sup>、上級構造材 90 tf/cm<sup>2</sup>としている。この値は曲げ強さの場合と異なり針葉樹Ⅲ類に属するアカマツ、クロマツ、カラマツ、ベイツガの平均値の

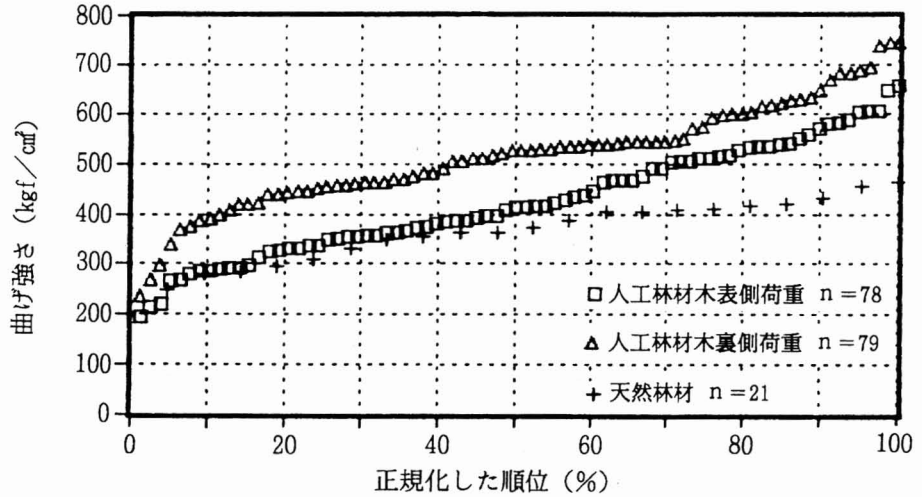


図-15 人工林正角（荷重方向別）と天然林正角実大材の正規化した曲げ強さの分布

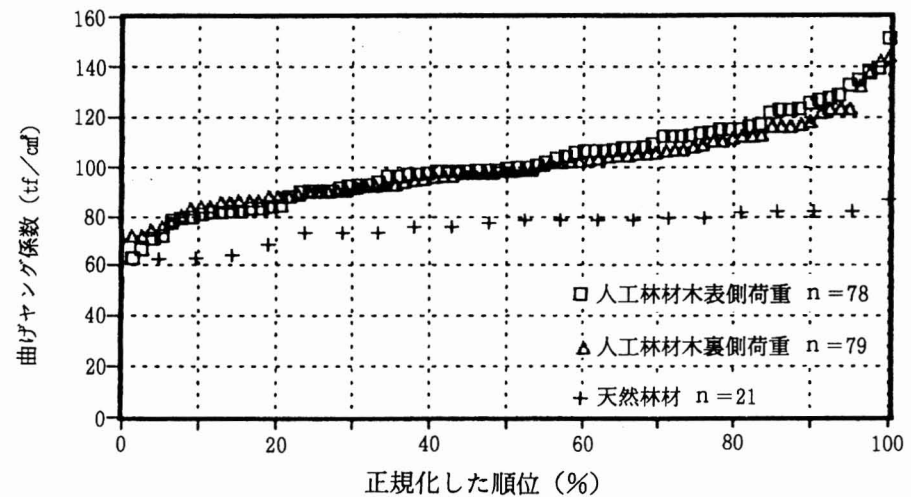


図-16 人工林正角（荷重方向別）と天然林正角実大材の正規化した曲げヤング係数の分布

表-6 人工林心去り正角における最大節径比、集中節径比と曲げ強さの関係  
(単相関係数)

|       | 本数    | 最大節径比    |              |          |               |          |              |          |               |          |
|-------|-------|----------|--------------|----------|---------------|----------|--------------|----------|---------------|----------|
|       |       | 4材面      | 1/3区間<br>4材面 | 引張り面     | 1/3区間<br>引張り面 | 4材面      | 1/3区間<br>4材面 | 引張り面     | 1/3区間<br>引張り面 |          |
| 心去り角全 | 152   | -0.391** | -0.405**     | -0.477** | -0.452**      | -0.349** | -0.356**     | -0.533** | -0.487**      |          |
| 木表荷重  | 木表荷重全 | 75       | -0.350**     | -0.419** | -0.181        | -0.230*  | -0.371**     | -0.416** | -0.314**      | -0.271*  |
|       | 二方桁   | 26       | -0.106       | -0.340*  | -0.145        | -0.137   | -0.028       | -0.353   | -0.107        | -0.236   |
|       | 四方桁   | 49       | -0.407**     | -0.455** | -0.195        | -0.303** | -0.437**     | -0.446** | -0.331*       | -0.275   |
| 木裏荷重  | 木裏荷重全 | 77       | -0.540**     | -0.499** | -0.585**      | -0.510** | -0.447**     | -0.397** | -0.528**      | -0.496** |
|       | 二方桁   | 30       | -0.703**     | -0.636** | -0.689**      | -0.510** | -0.665**     | -0.534** | -0.556**      | -0.496** |
|       | 四方桁   | 47       | -0.449**     | -0.459** | -0.539**      | -0.534** | -0.266       | -0.320*  | -0.508**      | -0.515** |

\*\* : 1%水準で有意 \* : 5%水準で有意

うち樹種ごとの平均値の最低値から決められたものである。本試験の人工林カラマツの曲げヤング係数の平均値は101.2 tf/cm<sup>2</sup>であり、これは上位グループである針葉樹Ⅱ類の上級構造材の値100 tf/cm<sup>2</sup>を満たしている。一方天然林材からのものは平均値が75.9 tf/cm<sup>2</sup>であり針葉樹Ⅲ類の値を下回っている。

(6) 各測定因子の曲げ強さへの影響

ここまでは、心持ち、天然林材についても検討してきたが、その本数が少ないため、ここでは人工林からの心去り正角152本について検討する。

(ア) 最大節径比、集中節径比

表-6に最大節径比、集中節径比と曲げ強さの関係を示す単相関係数を示した。全数で評価するといずれも相関係数は有意であるが係数の値はそれほどではない。荷重方向で比較すると、木表側荷重の場合はより関係は低くなる。特に二方桁の場合ほとんど関係は認められず、四方桁では認められるものと認められないものがある。一方木裏側荷重の場合では関係は相当に高くなる。特に二方桁においては最も高い関係が認められる。

木表側荷重の場合引張り側に未成熟材部がくるためにその部分は基本的に弱く、節の影響がほとんど現れないものと考えられる。逆に、木裏側荷重の場合、引張り側は強度的に安定した成熟材部となるために節の影響が大きくなるものと考えられる。

節の位置による影響をみるために中央1/3区間および引張り面で検討したが、1/3区間よりも全長評価のほうが例外もあるが関係が高い傾向にあった。

カラマツについて節との関係を検討した既往の結果<sup>9), 10)</sup>では心持ち角について相関が少ないことが報告されているが、心去り角の場合は無視できない関係にあるといえよう。

(イ) 節面積比

表-7に示すように節面積比の場合も木裏側荷重の場合、安定した関係が認められ、このことは節径比の場合と同様であった。単独の節面積比と集中節面積比とを比較すると、集中節面積比との関係がやや高い傾向にあった。また引張り側1/4部分との相関が若干高い場合が多かった。

(ウ) 気乾比重、平均年輪幅、繊維傾斜

表-8に示すように気乾比重についても木裏側荷重の場合安定した関係にあるが、木表側荷重の場合は低い。年輪幅についても同様なことがいえる。繊維傾斜はこれらの中では最も関係が低いが、木裏側荷重の場合の方が高い傾向にある。

表-7 人工林心去り正角における節面積比、集中節面積比と曲げ強さの関係

(単相関係数)

|       | 本数    | 節面積比      |             | 集中節面積比    |             |           |
|-------|-------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
|       |       | 節面積比      | 引張り側<br>¼部分 | 節面積比      | 引張り側<br>¼部分 |           |
| 心去り角全 | 152   | -0.323 ** | -0.462 **   | -0.427 ** | -0.507 **   |           |
| 木表荷重  | 木表荷重全 | 75        | -0.223      | -0.376 ** | -0.372 **   | -0.405 ** |
|       | 二 方 桁 | 26        | -0.155      | -0.109 *  | -0.117      | -0.120    |
|       | 四 方 桁 | 49        | -0.283      | -0.467 ** | -0.440 **   | -0.459 ** |
| 木裏荷重  | 木裏荷重全 | 77        | -0.583 **   | -0.566 ** | -0.628 **   | -0.586 ** |
|       | 二 方 桁 | 30        | -0.686 **   | -0.587 ** | -0.703 **   | -0.631 ** |
|       | 四 方 桁 | 47        | -0.522 **   | -0.550 ** | -0.554 **   | -0.547 ** |

\*\* : 1%水準で有意 \* : 5%水準で有意

表-8 人工林心去り正角における各測定因子と曲げ強さの関係

(単相関係数)

|       | 本数    | 気乾比重     | 平均年輪幅     | 繊維傾斜平均    | 髓-引張り面<br>距離 | 髓-引張り面<br>年輪数 |          |
|-------|-------|----------|-----------|-----------|--------------|---------------|----------|
| 心去り角全 | 152   | 0.359 ** | -0.392 ** | -0.197 *  | 0.487 **     | 0.566 **      |          |
| 木表荷重  | 木表荷重全 | 75       | 0.352 **  | -0.367 ** | -0.131       | 0.243 **      | 0.406 ** |
|       | 二 方 桁 | 26       | 0.136     | -0.464 ** | -0.162       | 0.066         | 0.180    |
|       | 四 方 桁 | 49       | 0.367 **  | -0.248    | -0.061       | 0.149         | 0.391    |
| 木裏荷重  | 木裏荷重全 | 77       | 0.524 **  | -0.473 ** | -0.373 **    | 0.378 **      | 0.491 ** |
|       | 二 方 桁 | 30       | 0.581 **  | -0.468 ** | -0.233       | 0.378         | 0.484 ** |
|       | 四 方 桁 | 47       | 0.484 **  | -0.448 ** | -0.445 **    | 0.427 **      | 0.503 ** |

\*\* : 1%水準で有意 \* : 5%水準で有意

表-9 人工林心去り正角における最大節径比、集中節径比と曲げヤング率の関係

(単相関係数)

|       | 本数    | 最大節径比     |            |           |             | 集中節径比     |            |           |             |          |
|-------|-------|-----------|------------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|-------------|----------|
|       |       | 4材面       | ¼区間<br>4材面 | 引張り面      | ¼区間<br>引張り面 | 4材面       | ¼区間<br>4材面 | 引張り面      | ¼区間<br>引張り面 |          |
| 心去り角全 | 152   | -0.396 ** | -0.343 **  | -0.257 *  | -0.134      | -0.371 ** | -0.316 **  | -0.205 ** | -0.128      |          |
| 木表荷重  | 木表荷重全 | 75        | -0.380 **  | -0.322 ** | -0.280 *    | -0.088    | -0.370 **  | -0.310 ** | -0.240 *    | -0.139   |
|       | 二 方 桁 | 26        | -0.355     | -0.488 *  | -0.207      | -0.099    | -0.121     | -0.501 ** | -0.099      | -0.215   |
|       | 四 方 桁 | 49        | -0.427 **  | -0.315 *  | -0.340 *    | -0.164    | -0.388 **  | -0.267    | -0.286      | -0.095   |
| 木裏荷重  | 木裏荷重全 | 77        | -0.414 **  | -0.365 ** | -0.317 **   | -0.232 *  | -0.378 **  | -0.324 ** | -0.295 *    | -0.204   |
|       | 二 方 桁 | 30        | -0.466 **  | -0.467 ** | -0.346      | -0.076    | -0.421 *   | -0.378 *  | -0.256 *    | -0.001   |
|       | 四 方 桁 | 47        | -0.405 **  | -0.345 ** | -0.309 *    | -0.347 *  | -0.332 **  | -0.308 *  | -0.313 *    | -0.351 * |

\*\* : 1%水準で有意 \* : 5%水準で有意

表-10 人工林心去り正角における節面積比、集中節面積比と曲げヤング率の関係

(単相関係数)

|       | 本数    | 節面積比      |             | 集中節面積比    |             |           |
|-------|-------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
|       |       | 節面積比      | 引張り側<br>¼部分 | 節面積比      | 引張り側<br>¼部分 |           |
| 心去り角全 | 152   | -0.275 ** | -0.207 *    | -0.372 ** | -0.254 **   |           |
| 木表荷重  | 木表荷重全 | 75        | -0.212      | -0.164    | -0.415 **   | -0.269 *  |
|       | 二 方 桁 | 26        | -0.184      | -0.003    | -0.380      | -0.184    |
|       | 四 方 桁 | 49        | -0.301 *    | -0.239    | -0.394 **   | -0.232    |
| 木裏荷重  | 木裏荷重全 | 77        | -0.335 **   | -0.270 *  | -0.336 *    | -0.266 ** |
|       | 二 方 桁 | 30        | -0.231      | -0.150    | -0.224      | -0.129    |
|       | 四 方 桁 | 47        | -0.405 **   | -0.339 *  | -0.407 **   | -0.351 *  |

\*\* : 1%水準で有意 \* : 5%水準で有意

表-11 人工林心去り正角における各測定因子と曲げヤング率の関係

(単相関係数)

|       | 本数    | 気乾比重     | 平均年輪幅     | 繊維傾斜平均    | 髓-引張り面<br>距離 | 髓-引張り面<br>年輪数 |          |
|-------|-------|----------|-----------|-----------|--------------|---------------|----------|
| 心去り角全 | 152   | 0.569 ** | -0.377 ** | -0.239 ** | 0.110        | 0.114         |          |
| 木表荷重  | 木表荷重全 | 75       | 0.563 **  | -0.387 ** | -0.223       | 0.272 *       | 0.348 ** |
|       | 二 方 桁 | 26       | 0.419 *   | -0.351    | -0.177       | 0.175         | 0.246    |
|       | 四 方 桁 | 49       | 0.559 *   | -0.269    | -0.170       | 0.181         | 0.161    |
| 木裏荷重  | 木裏荷重全 | 77       | 0.578 **  | -0.371 ** | -0.252 *     | 0.176         | 0.275 *  |
|       | 二 方 桁 | 30       | 0.578 **  | -0.570 ** | -0.140       | 0.267         | 0.402 *  |
|       | 四 方 桁 | 47       | 0.574 **  | -0.254    | -0.298 *     | 0.134         | 0.154    |

\*\* : 1%水準で有意 \* : 5%水準で有意

(二) 髓から引張り面中心までの距離と年輪数

表-8に示すように髓から引張り面中心までの距離と年輪数では年輪数との間により高い関係が認められた。また、個々の区分よりも、心去り角全体の方が関係が高い。髓からの距離あるいは年輪数は引張り側が未成熟材部、成熟材部かの一つのバロメーターになり得る。髓からの年輪数が多い材は引張り側中心に成熟度の高い部分が来ていることになり、従って曲げ強さも強いことになる。

(7) 各測定因子の曲げヤング係数に対する影響

表-12 人工林からの正角におけるヤング率と

曲げ強さの関係

(単相関係数)

|       | 本数  | E Lと<br>曲げ強さ | E dと<br>曲げ強さ |
|-------|-----|--------------|--------------|
| 正 角 全 | 157 | 0.630 **     | 0.652 **     |
| 木表荷重  | 78  | 0.679 **     | 0.669 **     |
| 木裏荷重  | 78  | 0.756 **     | 0.788 **     |

\*\* : 1%水準で有意

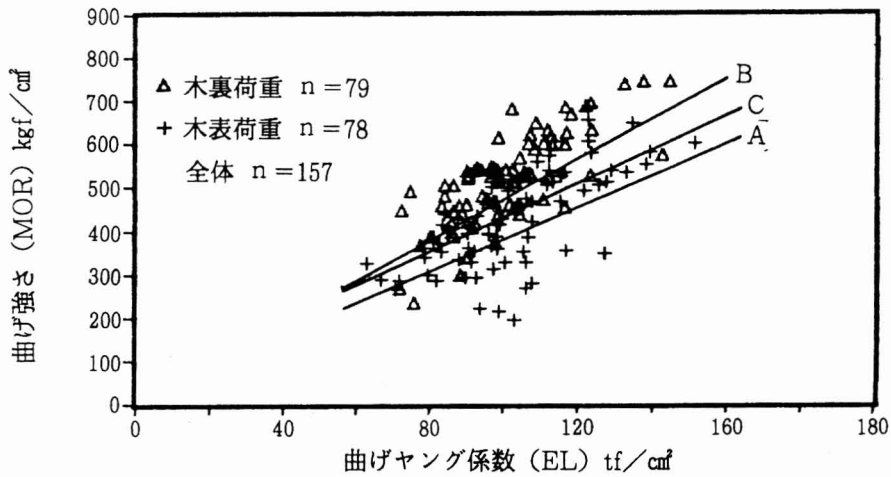


図-17 人工林カラマツ正角の実大材曲げ試験における曲げヤング係数 (EL) と曲げ強さ (MOR) の関係

回帰式 A (木表荷重) :  $MOR = 4.14EL + 1.2$  ( $r = 0.679^{**}$ )  
 B (木裏荷重) :  $MOR = 5.14EL + 1.0$  ( $r = 0.756^{**}$ )  
 C (全体) :  $MOR = 4.42EL + 23.5$  ( $r = 0.630^{**}$ )

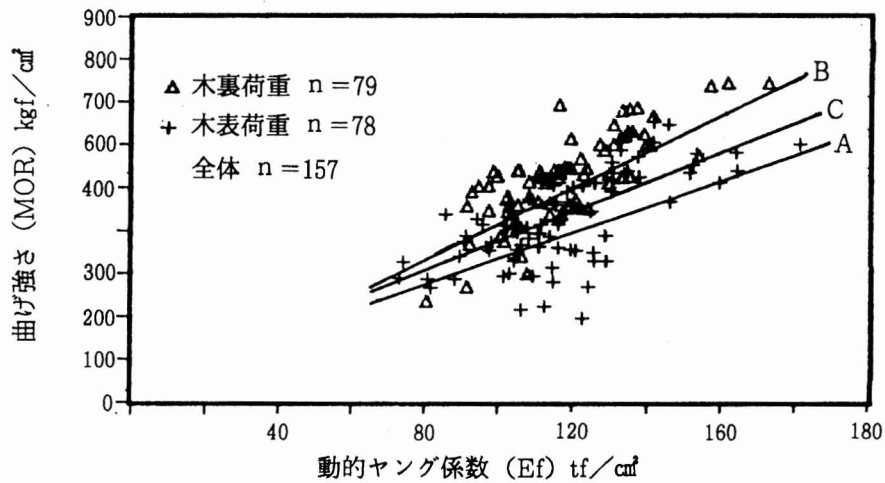


図-18 人工林カラマツ正角の実大材曲げ破壊試験における動的ヤング係数 (Ef) と曲げ強さ (MOR) の関係

回帰式 A (木表荷重) :  $MOR = 3.43Ef + 20.8$  ( $r = 0.669^{**}$ )  
 B (木裏荷重) :  $MOR = 4.72Ef - 34.9$  ( $r = 0.788^{**}$ )  
 C (全体) :  $MOR = 3.92Ef + 10.9$  ( $r = 0.652^{**}$ )

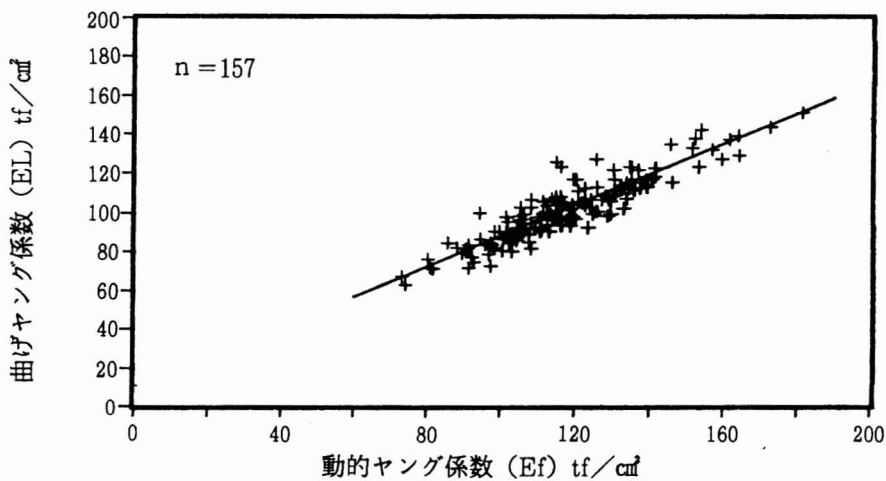


図-19 人工林カラマツ正角の動的ヤング係数 (Ef) と曲げヤング係数 (EL) の関係

回帰式  $EL = 0.784Ef + 9.21$  ( $r = 0.915^{**}$ )



(ア) 最大節径比、集中節径比、節面積比

表-9、表-10に曲げヤング係数との単相関係数を示した。曲げ強さの場合と比較して、これらの節に関する因子と曲げヤング係数の関係はかなり低い。また、荷重方向の差も曲げ強さにおけるほどは顕著でない。

(イ) 気乾比重、平均年輪幅、繊維傾斜

表-11に示すように気乾比重と曲げヤング係数の関係は曲げ強さの場合と比較して安定的に高く、荷重方向による差はほとんどない。平均年輪幅、繊維傾斜と曲げヤング係数の関係は表-11に示した程度であり、荷重方向の差はほとんどない。

(ウ) 髄から引張り面中心までの距離と年輪数

曲げ強さでは髄から引張り面中心までの距離と年輪数に比較的高い関係が認められたが、曲げヤング係数に関してはその関係はきわめて低い。

(8) ヤング係数と曲げ強さの関係

心持ち材を含む人工林からの正角について、曲げヤング係数  $E_L$  および動的ヤング係数  $E_f$  と曲げ強さの関係を表-12に示した。また散布図および回帰式を図-17、図-18に示した。相関係数は安定して高く、特に木裏側荷重の場合が高かった。曲げヤング係数  $E_L$  と動的ヤング率  $E_f$  では、全数および木裏側荷重の場合、動的ヤング係数  $E_f$  との関係がやや高かった。

(9) 動的ヤング係数  $E_f$  と曲げヤング係数  $E_L$  の関係

曲げヤング係数については荷重方向の差が認められなかったので、人工林分からの正角すべて157本について検討した。曲げヤング係数  $E_L$  の平均値は  $101.2 \text{ tf/cm}^2$  であるのに対して、縦振動法によるヤング係数  $E_f$  の平均値は  $117.3 \text{ tf/cm}^2$  と高い。図-19に示すように両者の相関係数 ( $r=0.915^{**}$ ) はきわめて高く、縦振動法によるヤング係数によって、曲げヤング係数は高い精度で推定できる。

#### 4 まとめ

人工造林されたカラマツを建築構造材として強度的な面から位置づけるために、人工造林木としては比較的高樹齢の3林分(59、71、75年生)から12cm正角を得て、心去り角を主体とした実大材曲げ試験をおこなった。また、天然林分(109~117年生)からの試験材は1林分からで本数も少ないが、天然林分という性格上得難いデータと考え比較するかたちで示した。ただし、この天然林は成長の悪い林分と見なされる。供試した正角は人工林からのもの157本、天然林からのもの21本、計178本である。なお、節等と強度値との関係は試験材本数の関係から人工林心去り正角152本で検討した。

得られた主な結果は次のとおりである。

① 人工3林分からの材の曲げ強さは各林分の平均値で461、475、499  $\text{kgf/cm}^2$  であったが、天然林材は369  $\text{kgf/cm}^2$  と明らかに低かった。曲げヤング係数も人工3林分では99.1、101.1、101.7  $\text{tf/cm}^2$  とほとんど差はないが、天然林分からのものは75.9  $\text{tf/cm}^2$  と低かった。

一方、変動係数は天然林材の方が明らかに少なく、ばらつきは少なかった。

② 気乾比重、繊維傾斜では人工3林分材と天然林材では差は認められなかったが平均年輪幅は人工林材の各平均値が3.60、3.73、4.01であるのに対して天然林材は2.38mmと明らかに狭かった。また、材面の節は天然林材が最も大きかった。

③ 木取り別では人工林材の場合、曲げ強さ、曲げヤング係数とも心持ち、二方桁、四方桁の順

に値が高い。気乾比重は四方桁が高く、心持ちと二方桁は同程度であったが、平均年輪幅は心持ち、二方桁、四方桁の順に狭くなる傾向にあり、繊維傾斜についても変動は大きいと同様な傾向であった。

以上の傾向は天然林材では認められなかった。この結果はカラマツ人工造林木は高樹齢大径材になるに従い、成熟材部分の割合が増え強度的に優れた材料になることを示している。JISに基づく無欠点試片の曲げ試験の結果でも、人工林材では曲げ強さ曲げヤング係数とも木表部分から採材したものが木裏部分から採材したものより優れており、このことを裏付けていた。

④ 荷重方向の影響は人工林材の曲げ強さについて認められ、強度的に優れた木表部分が引張り側にくる木裏側荷重の場合が強かった。また、曲げ強さに対する曲げ比例限度の割合は木裏側荷重の方が低く粘り強いことを示していた。天然林材ではこのような傾向は認められなかった。一方曲げヤング係数は人工林材であっても荷重方向の影響はほとんど受けないと判断できた。

以上の結果は曲げの力を受ける横架材等にはカラマツを使用する場合、その木取りに配慮するならば、強度的により優れた使い方ができることを示している。

⑤ 材料強度の面からの評価では人工林材は木構造計算基準の針葉樹Ⅲ類の値を充分満たしており、全体的にみれば上位ランクをも満足できる結果であった。しかし、ばらつきが大きいいため、上位ランクとするためにはよりデータの蓄積と強度等級区分の確立が必要である。

⑥ 曲げ強さと各測定項目との関係では節に関する項目（最大節径比、集中節径比、節面積比等）に無視できない関係が認められ、特に木裏側荷重の場合に関係が高かった。気乾比重、平均年輪幅とも全体的には有為な関係が認められたが、この場合も木裏側荷重の方が相関が高かった。繊維傾斜については木裏側荷重二方桁の場合を除いては低い関係にあった。

以上の測定項目と曲げヤング係数の関係は気乾比重を除いて曲げ強さとの関係よりもかなり低くなる。気乾比重との関係は荷重方向、木取りの影響が少なく、安定した傾向にあった。

⑦ 髓から実大材曲げ試験における引張り面中心までの年輪数と曲げ強さの間に無視できない関係が認められた。これは人工造林木の心去り角において、簡易に曲げ強さを推定する一つのバロメータになる可能性を示している。

⑧ 曲げヤング係数  $E_L$  と曲げ強さの関係は安定して高く、荷重方向別ではさらに高い関係が認められた。動的ヤング係数  $E_f$  と曲げ強さの関係では曲げヤング係数  $E_L$  よりもやや高く、傾向は同じであった。この結果はヤング係数による強度等級区分の有効性を示している。

⑨ 動的ヤング係数  $E_{ft}$  と曲げヤング係数  $E_L$  との関係はきわめて高く、動的ヤング係数測定の有効性が示された。

## 5 おわりに

人工林カラマツは材質変動の大きな材であって、成長等の影響が大きいものと考えられる。現在信州大学農学部重松頼生教授が、カラマツの用材品等として試験に供してきた県下7林分から得た12 cm 正角の強度試験を、信州大学農学部（主として短柱圧縮及びJISに基づく曲げ試験）、森林総合研究所（主として実大材引張り試験）、長野県林業総合センター（主として実大材曲げ試験）の3者で分担して実施しており、これらの結果によりカラマツの正角としての強度評価がより総合的に進むものと考えられる。

なお、本稿で示した天然林材の結果は1林分からの少ない試験材からの結果であり、ここで認められた性質が他の天然林カラマツについて言えるかどうか検討が必要である。

引用文献

- 1) 武井富喜雄：長野県におけるカラマツ林の現状と施業について，日本木材学会  
木質構造研究会秋期シンポジウム講演集（1989）
- 2) 長野県：信州カラマツ銘柄化方策書（1991）
- 3) 重松頼生：カラマツ造林木の材質、とくに成長と関連して（Ⅰ），木材工業Vol.45—10（1990）
- 4) 重松頼生：カラマツ造林木の材質、とくに成長と関連して（Ⅱ），木材工業Vol.46—1（1991）
- 5) 飯島泰男：木構造設計資料 WB—3、構造用製材の強度と等級区分，  
日本住宅・木材技術センター（1991）
- 6) 例えば中井孝：国産造林木の材質，木材工業 Vol 39—11（1984）  
例えば錦織勇：構造用製材の強度性能（Ⅰ），島根林試研報（1985）
- 7) 日本木材学会：構造用木材—強度データの収集と分析（1988）
- 8) 中川伸作：カラマツ樹幹内における旋回木理の分布とその出現型，  
林業試験場研究報告 248 （1972）
- 9) 小泉章夫ら：カラマツ間伐材の力学的性質，北大演習林報 44（1）（1987）
- 10) 橋爪丈夫ら：カラマツの実大材強度試験（Ⅱ）  
小径材から採材した心持ち材及び中目材から採材した平割（根太）の強度性能，  
長野林指研報 1（1986）
- 11) 日本建築学会編：“木構造計算基準・同解説”，丸善（1988）