

# カラマツ材の強度特性について

長野県林業総合センター 橋爪丈夫

## 1 はじめに

カラマツは、東北、関東、中部の山地に天然分布する我が国固有の樹種であり、特に戦後の拡大造林の時代に多く植林された。その結果、植栽面積は全国の人工林の10%を占めるようになり、長野県民有林では人工林の52%を占めている。木材の材質を論じる場合、強度的性質は重要な要因であり、林業総合センターでは昭和60年頃から本格的に強度試験を進めてきた。ここではそれらの中から構造用製材、構造用集成材、精英樹クローンに関するものを紹介する。

## 2 カラマツ構造用製材の強度

### 2.1 心去り角の強度試験

この試験は、昭和60年から平成7年頃にかけて一部信州大学農学部、森林総合研究所との共同研究として行った。北信1林分、東信5林分、南信5林分、木曾1林分の計12林分（標高850～1,850m、樹齢40～75年）から大径丸太を得て、それから心去り正角（12cm、二方桁角、四方桁角合計441本）を製材して、実大材曲げ試験を行った。その結果、心去り角には未成熟材部と、それより外周の成熟材部が存在し、成熟材部が引張り側に来る木裏荷重の方が逆の木表荷重よりも1.3倍ほど曲げ強さが大きいことが明らかになった（図-1参照）。曲げ強さの林分別比較では、樹齢による傾向が認められず（図-2）、かつ、海拔高、産地による傾向も認められなかった。このことから、間伐による成熟材部の肥大成長の促進、言い換えれば年輪幅の広い材を生産しても実大材の曲げ強度性能は小さくならないことが示された。

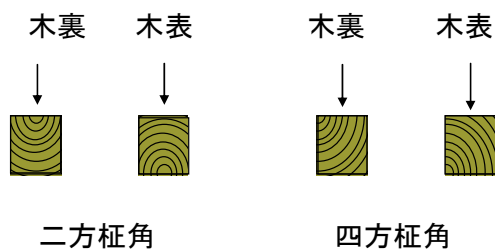


図-1 心去り正角における加力方法

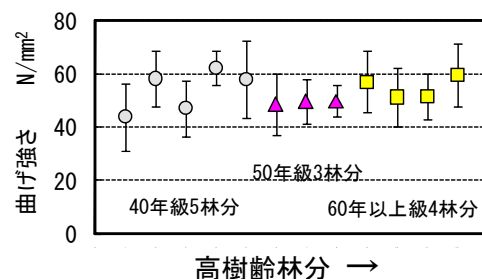


図-2 カラマツ心去り正角の曲げ強さの林分別比較  
(平均値±標準偏差)

### 2.2 心持ち正角の強度（乾燥条件の影響）

当センターの木材乾燥部門の大きな業績として高温セット法の開発と普及が挙げられる。この方法は心持ち角の材面割れを劇的に減少させるが、高温（120℃程度）にさらすため、強度劣化が危惧された。12cmカラマツ正角を試験材として、天然乾燥、120℃処理24時間（120℃24h）、120℃処理48時間（120℃48h）、90℃220時間（90℃220h）の4条件を設定し、それらの曲げ試験の結果を図-3、図-4に、圧縮試験の結果を図-5に示した。曲げヤング係数には処理の影響が認められないこと（図-3）、曲げ強さは、120℃48hで20%程度低下すること（図-4）、圧縮強さへの影響は少ないものの、120℃48hで5%程度の低下が認められた。また、強度低下の程度は樹種により異なることも分かってきた。そこで、高温セット時間の短縮や他の乾燥方法との複合等劣化を軽減させる乾燥条件の検討を現在も進めている。

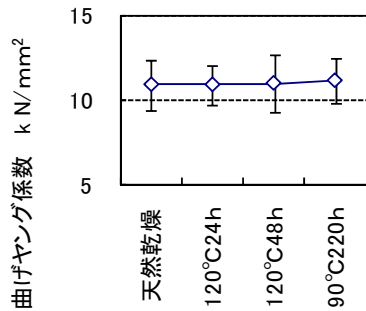


図-3 曲げヤング係数の処理条件別比較

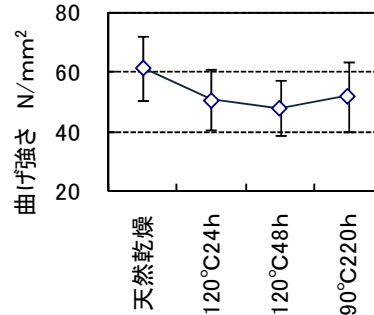


図-4 曲げ強さの処理条件別比較

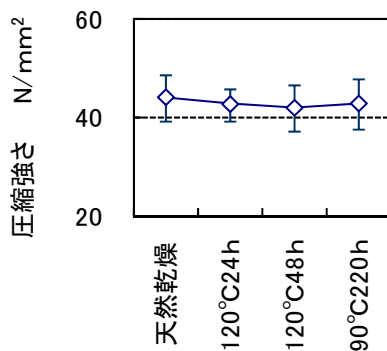


図-5 圧縮強さの処理条件別比較

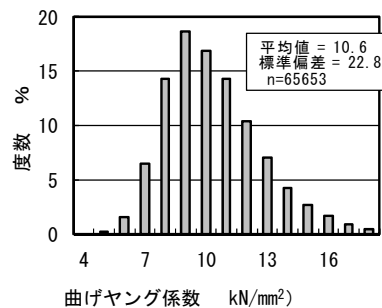


図-6 カラマツ挽き板の曲げヤング係数の分布

### 3 カラマツ構造用集成材の強度

#### 3.1 挽き板の強度

集成材は挽き板を積層接着した材料であり、当然、元の挽き板の性能が反映される。図-6 に齊藤木材工業(株)の連続測定式等級区分機で測定したカラマツ挽き板 65,653 枚の曲げヤング係数の分布を示した。これは、現状のカラマツ林から生産される挽き板の強度分布を示していると考えられ、このデータを元に構造用集成材 JAS の強度等級を推定した。その結果 JAS 等級「E120-F330」, 「E105-F300」が製造可能なことがわかった。次に、挽き板の曲げヤング係数の丸太内変動を図-7 に示した。同一丸太では中心部から得られた挽き板の曲げヤング係数は明らかに低く、外周からの挽き板のそれは顕著に高くなっていた。すなわち丸太外周から強度的に優れた挽き板が得られることが明らかになった。

#### 3.2 構造用集成材の強度

構造用集成材の強度的な特徴として、①挽き板の等級区分の効果（上級の挽き板から上級の集成材ができる。）、②寸法効果（集成材の高さが増せば、計算値としての曲げ強さが減少する。）、③積層効果（積層数が増せば強度の変動係数が小さくなる。）の三つがある。これらを実験的に実証した試験結果を次に紹介する。図-8 に製造した水平積層集成材と垂直積層集成材を示した。水平積層集成材とは挽き板が水平の状態で作られる集成材、垂直積層集成材とは挽き板が垂直の状態で作られる集成材である。

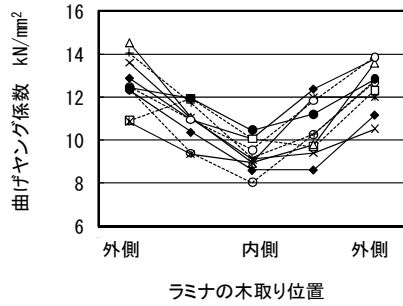


図-7 挽き板の曲げヤング係数の丸太内変動

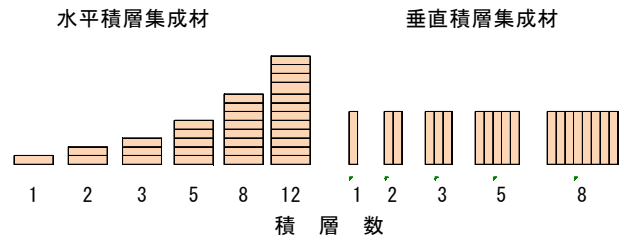


図-8 水平積層集成材と垂直積層集成材

### 3.2.1 水平積層集成材の強度

図-9に水平積層集成材の曲げ強さと積層数との関係を示した。上位等級集成材は下位等級集成材より曲げ強さが大きく、①挽き板の等級区分の効果は明らかである。また、積層数が増せば曲げ強さは減少しており、集成材の高さが増せば強度値が下がるという②寸法効果も明らかに認められた。一方積層数と曲げ強さのばらつきを示す変動係数との間に関係が認められず、③積層効果は水平積層集成材では認められなかった(図-10)。

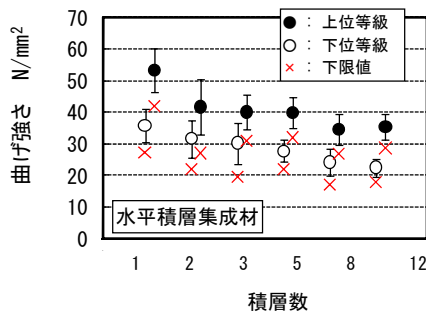


図-9 水平積層集成材の積層数と曲げ強さとの関係

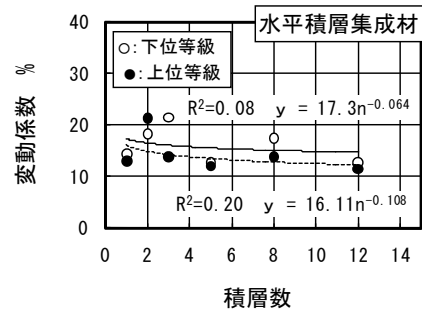


図-10 水平積層集成材の積層数と曲げ強さの変動係数との関係

### 3.2.2 垂直積層集成材の曲げ試験結果

図-11に示したとおり垂直積層集成材においても①挽き板の等級区分の効果は明らかで、一方、積層数が増しても集成材の高さは一定なので、②寸法効果は認められない。次に、図-12において積層数が増せば明らかに変動係数は減少しており③積層効果が顕著に認められた。

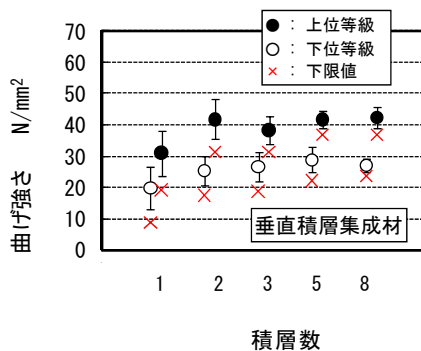


図-11 垂直積層集成材の積層数と曲げ強さとの関係

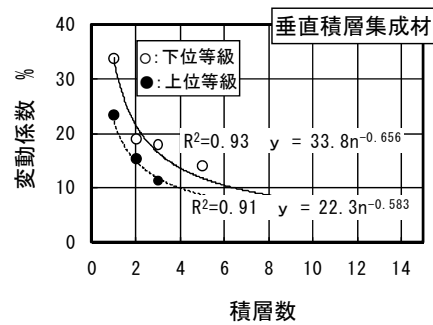


図-12 垂直積層集成材の積層数と曲げ強さの変動係数との関係

#### 4 カラマツ精英樹クローンの強度試験

この試験は、森林総合研究所育種センターとの共同研究として行った。小諸市の林木育種センター長野増殖保存園のカラマツ育種素材保存園において、1997年2月と1998年1月にカラマツ精英樹166クローン473個体を間伐し、地上高3.6mから上の部分で3m丸太（一部2m丸太）を得て、図-13に示すように挽き板を製材し、曲げ、圧縮、引張の強度試験を行った。強度試験の結果を表-1に一覧した。成長の優秀性に主眼をおいて選抜された精英樹クローンの強度性能が劣るという傾向は認められなかった。

各個体からの挽き板の採材枚数が5~8枚だった14クローン、42個体の曲げヤング係数の丸太内変動を図-15に示した。図に示したように同一クローンの曲げヤング係数の丸太内変動は類似し、丸太外周からの挽き板の曲げヤング係数は中心からの挽き板のその約1.8倍だった。

図-15において、水平変動に上下の位置の違いはあるものの、変動傾向が極めて類似しており、このことは弱齢木の選抜や間伐木の選抜に曲げヤング係数測定が有効なことを示している。

最後に、丸太の末口平均年輪幅をクローンごとに平均し、それと曲げヤング係数のクローン平均値との関係を図-16に示した。図に示したように相関関係は全く認められず、このことは、成長が旺盛で、かつ、強度性能も高いクローンの選抜が可能なことを示している。

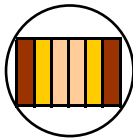


図-13 丸太から挽き板の採材方法

表-1 挽き板の強度試験結果の集計

|       | ARW<br>mm | $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | MOE<br>kN/mm <sup>2</sup> | MOR<br>N/mm <sup>2</sup> | TS<br>N/mm <sup>2</sup> | CS<br>N/mm <sup>2</sup> |
|-------|-----------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| n     | 2018      | 2018                        | 2010                      | 2018                     | 1985                    | 2019                    |
| 最小値   | 1.9       | 372                         | 4.83                      | 15.3                     | 5.7                     | 25.9                    |
| 最大値   | 12.4      | 687                         | 17.37                     | 108.9                    | 89.3                    | 71.8                    |
| 平均値   | 5.3       | 486                         | 9.99                      | 57.0                     | 27.5                    | 43.5                    |
| 標準偏差  | 1.4       | 47.5                        | 2.1                       | 15.6                     | 10.9                    | 7.0                     |
| 変動係数  | 26.9      | 9.8                         | 21.0                      | 27.3                     | 39.7                    | 16.1                    |
| 5%下限値 | —         | —                           | —                         | 31.4                     | 9.5                     | 32.0                    |
| 基準強度  | —         | —                           | —                         | 26.7                     | 16.2                    | 20.7                    |

n : 有効データ数 (ラミナ総数は2019)  
 $\rho$  : 曲げ用試験材の密度、ARW : 年輪幅  
 MOE : 曲げヤング係数、MOR : 曲げ強さ、TS : 引張強さ  
 CS : 圧縮強さ、5%下限=平均値-1.645×標準偏差  
 試験時平均含水率 : 11.3% : 引張り試験終了材で測定した。

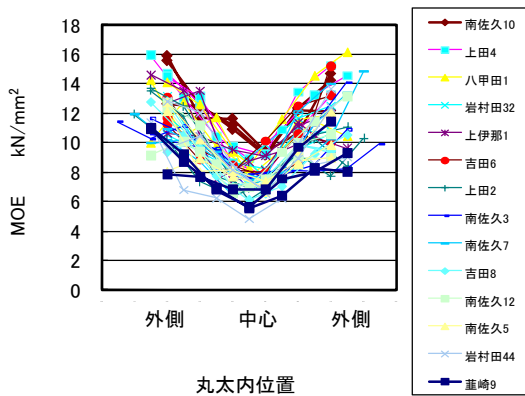


図-14 MOE (曲げヤング係数) の丸太内変動

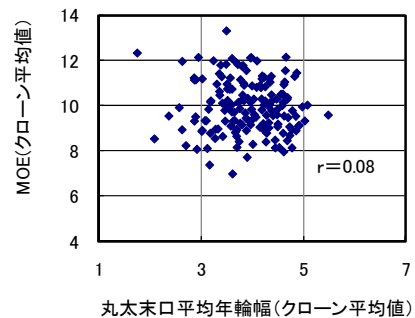


図-15 丸太の年輪幅と曲げヤング係数との関係

#### 5 おわりに

以上、カラマツ材を構造用製材として利用する場合も、集成材として利用する場合も成熟材部の蓄積を増大させる肥大生長（間伐の推進）が極めて重要であることを明らかにした。

また、カラマツ精英樹クローンの強度的性質を明らかにした。これらは今後のカラマツ育種に役立つものと考えられる。