

## 長野県産カラマツ構造材の強度特性に関する研究

- ① カラマツ心去り正角の横架材としての利用では、木表側（成熟材部）が下側、すなわち木裏側（未成熟材部）を上側になるように使用すれば強度的に有利な使い方となることを示しました。
- ② 樹齢の異なる林分からのカラマツ心去り正角の曲げ強度試験の結果、林分間の強度性能の差は認められませんでした。
- ③ ラミナ（ひき板）の強度特性および形質的な性質においても成熟材、未成熟材との関係が大きく、構造用集成材としての利用でも成熟樹齢からの肥大成長の促進が重要なことを明らかにしました。

### はじめに

カラマツ人工林の多くは第二次世界大戦後、短伐期林業経営を意図して誕生しましたが、土木用材としての用途が著しく減少したことなどから、長伐期大径材生産を指向する林業経営へと移行するようになりました。

そこで、将来生産されることが予測される大径材の用途の多くを占めると考えられる心去り正角の曲げ強度特性に関する研究、および継続的に生産される間伐材や、大径材上部からの中、小丸太を構造用集成材として利用するために必要な研究の成果をまとめ、長野県林業総合センター研究報告第13号（1998年）に掲載しました。

要旨を以下に述べます。

### 1. カラマツ心去り正角の強度特性

長野県内4地域の海拔850～1850 m、樹齢40～75年の12林分から得られた心去り正角411本の実大材曲げ試験を行いました。

心去り正角には二方桁角と四方桁角があります。曲げ試験における荷重負荷の方法は図.1に示すように木表荷重と木裏荷重があります。

木表荷重と木裏荷重の曲げ強さを比較した結果、図に示すように曲げ強さは荷重方向の影響を受け、二方桁角、四方桁角とも、未成熟材部（一般に髓から10～15年輪までの範囲）が圧縮側になる木裏荷重の曲げ強さは木表荷重の曲げ強さの約1.3倍でした。したがって、心去り正角を横架材として使用する場合には木裏側を荷重面として使用すべきです。

針葉樹構造用製材の日本農林規格では、製材品

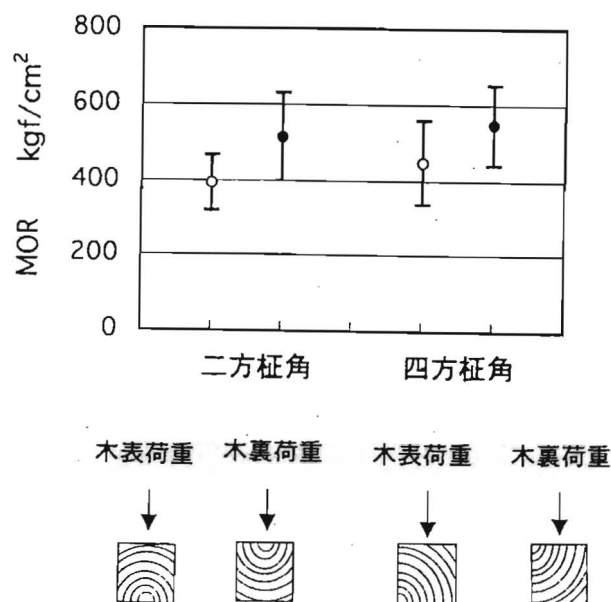


図.1 荷重方向と曲げ強さとの関係

○：木表荷重，●：木裏荷重，MOR：曲げ強さ，  
図中の範囲は平均値±標準偏差を示す。

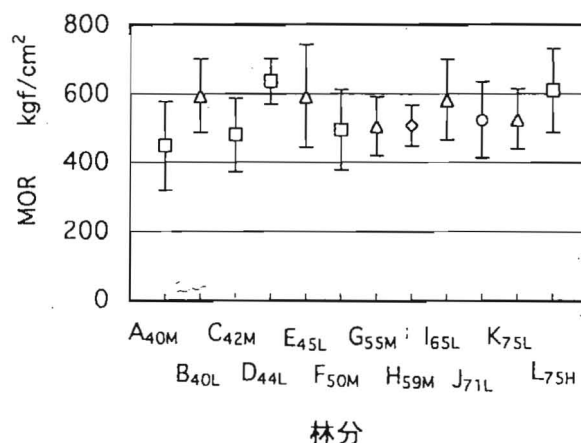


図.2 曲げ強さ (MOR) の林分別比較

A～L：林分名，下付き数字：樹齢，下付き文字：海拔区分：L：1400m以下，M：1401～1600m，H：1601m以上，○：北信地域，△：東信地域，□：南信地域，◇：木曾地域，  
木裏荷重で曲げ試験を行った試験体だけを集計した。図中の範囲は平均値±標準偏差を示す。

の等級格付けの方法として目視によるもの（目視等級区分製材）と曲げヤング係数を機械的に測定するもの（機械等級区分製材）とを規定しています。

心去り正角の目視等級区分製材としての評価では、木表荷重であってもほぼ基準強度を満たし、木裏荷重の場合は基準強度よりはるかに大きな値でした。したがって、横架材として木裏荷重の状態、すなわち木表側が下側になるように荷重面を指定すれば、さらに高い許容応力度が設定できる可能性を示しました。

機械等級区分製材として評価すると、木裏荷重だけが基準強度を満たしていました。したがって、機械等級区分製材としての基準強度を満たすためには荷重面の指定が必要なが分かりました。

高樹齡林分からの試験体ほど強度性能の向上を予想しましたが、図.2に示すように、心去り正角の木裏荷重で得られた曲げ強さに限ればその傾向は認められませんでした。逆に40年生級であっても曲げ強度性能が劣るといふことはありませんでした。

## 2. ラミナ（ひき板）の製材歩留まりと乾燥による形質変化

末口径級20～34 cmの丸太からラミナ（ひき板）を得て、その木取り位置と乾燥による狂いとの関係を検討しました。

製材におけるラミナ歩留りは全体で48.4%でしたが、図.3に示すように径が大きな丸太ほど歩留りが向上する傾向が認められました。

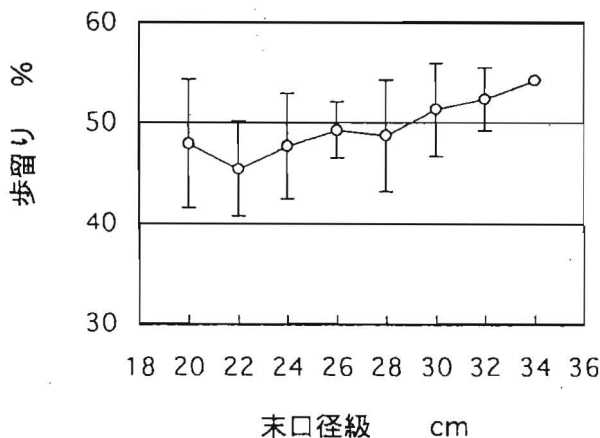


図. 3 丸太の末口径級とラミナ歩留りとの関係

ラミナの木取り位置と乾燥による形質変化との関係では、髓から離れた位置のラミナほど、ねじれ、幅ぞり、および厚さ方向の収縮率が小さくなる傾向が認められ、とくにねじれにおいて顕著でした。これらの結果から、厚さ方向の収縮量と幅ぞり量を木取り位置との関係で定量的に検討して、製材における厚さ寸法は木取り位置別に設定できることを示しました。

## 3. 丸太の等級区分、木取り位置によるラミナ（ひき板）選別の意義

縦振動法によって測定したヤング係数を指標とした丸太の等級区分、木取り位置によるラミナの区分、さらに両者を併用した選別の有用性を検証しました。その結果、丸太の等級区分、木取り位置による区分、および両者を併用した選別がなされたラミナのグループは、①含まれるラミナのヤング係数の分布が容易に推定できるので、それらを原料とした集成材の強度等級が推定できること、および ②高いヤング係数のラミナが必要な場合、それらが容易に得られること、などから集成材製造工程において有用性が高いことを示しました。

## 4. 製造可能な構造用集成材の強度等級の推定

カラマツラミナの連続送り式グレーディングマシン（ラミナを長さ方向に分割して連続して曲げヤング係数を測定できる装置）による曲げヤング係数測定値のラミナ1枚あたりの最小値、平均値、最大値の関係を解析した結果、曲げヤング係数がラミナの長さ方向で大きく変動していることが分かりました。

図.4に示したラミナの曲げヤング係数の分布から判断して、現状のカラマツ人工造林木から製造される構造用集成材は、構造用集成材の日本農林規格における強度等級「E120-F330（集成材の曲げヤング係数が120tf/cm<sup>2</sup>、曲げ強さが330kgf/cm<sup>2</sup>以上であることを示す）」、「E105-F300」に該当するものが主体となると考えられました。

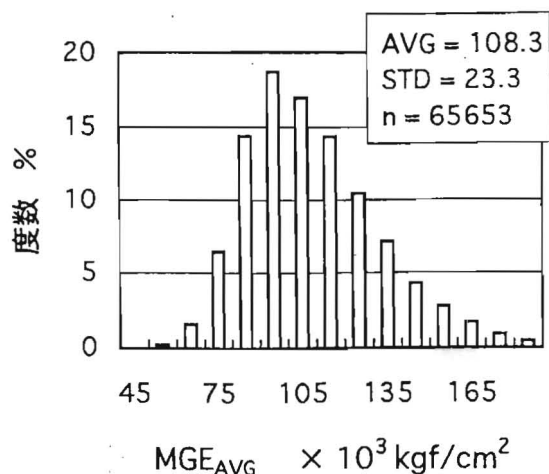


図.4 カラマツラミナ65653枚の $MGE_{AVG}$ の分布  
 $MGE_{AVG}$ :連続送り式グレーディングマシンにより連続測定した曲げヤング係数のラミナ1枚あたりの平均値,  $AVG$ :平均値,  $STD$ :標準偏差

### 5. ラミナの強度性能

通しラミナ, 縦継ぎラミナの曲げおよび引張り試験の結果, 縦継ぎラミナの接合部の強度への影響は曲げ強さに対して大きく, 引張り強さに対しては小さいことを明らかにした。すなわち, 曲げ強さで評価した接合効率(通しラミナの強度に対する縦継ぎラミナの強度の比率)は0.77であり, 引張り強さで評価したそれは0.92と約15%の相違が認められました。また, 通しラミナと縦継ぎラミナでは曲げ強さにおいて1%水準で平均値に有意差が認められたが, 引張り強さでは認められませんでした。

通しラミナの曲げ強さは目視等級区分, 機械等級区分のいずれでも, 構造用集成材の日本農林規格の要求する基準をほぼ満たしました。しかし, 引張り強さについてはいずれの区分でも平均値では基準を満たすものの, 5%下限値基準を満たさないラミナの出現比率が10%以上ありました。したがって, 引張り強さの5%下限値が基準を満たすためには, 機械等級区分に目視等級区分を併用する必要が認められました。

引張り強さが5%下限値基準を満たせない原因は, 等級区分されたラミナの引張り強さの変動係数がとくに大きい上, 通しラミナの曲げ強さに対する引張り強さの比率( $TS/MOR$ )が平均で0.54であり, 規格で前提としている0.6より低い

ためであると判断しました。一方, 図.5に示すように目視等級区分, 機械等級区分いずれともラミナの等級が高いほど $TS/MOR$ が大きい傾向が認められました。

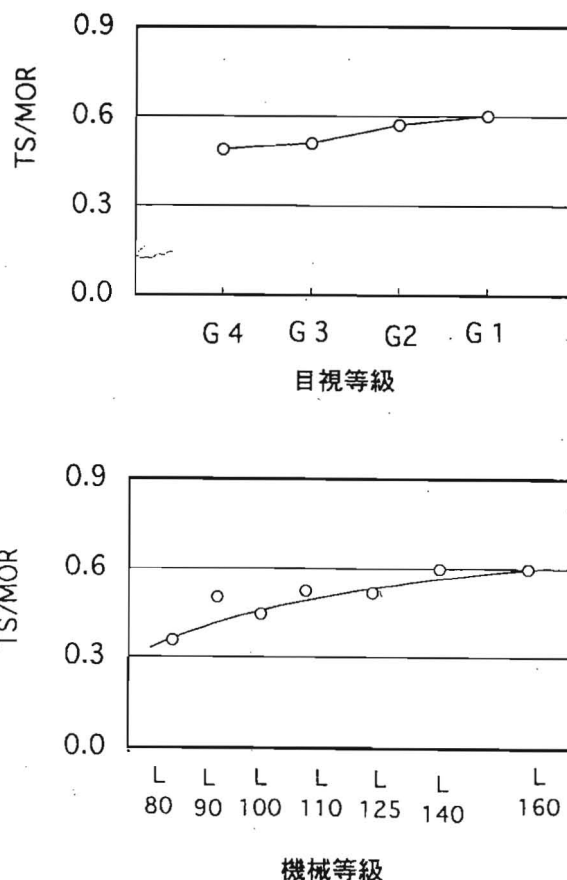
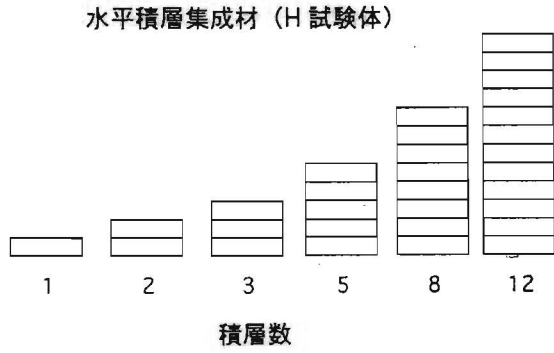


図.5 通しラミナの $TS/MOR$ の等級依存性  
 G1~G4:構造用集成材の日本農林規格に基づく目視等級1~4等, L80~L160:構造用集成材の日本農林規格に基づく機械等級,  $TS/MOR$ :曲げ強さに対する引張り強さの比率

### 6. 集成材の強度性能

機械等級区分したラミナを用いて図.6に示したように, 同一等級構成集成材を積層数を変えて製造し, 水平積層集成材, 垂直積層集成材の曲げ試験を行い, ラミナの等級と集成材の強度性能との関係, 積層効果といわれる積層数と曲げ強さの変動係数との関係, および寸法効果といわれる梁背と曲げ強さとの関係に検討を加えました。

機械等級区分したラミナで構成した同一等級構成集成材の曲げ強さの平均値は, 上位等級は下位等級に対して, 水平積層集成材および垂直積層集成材, それぞれ1.43倍および1.53倍であり, ラミ



垂直積層集成材 (V 試験体)

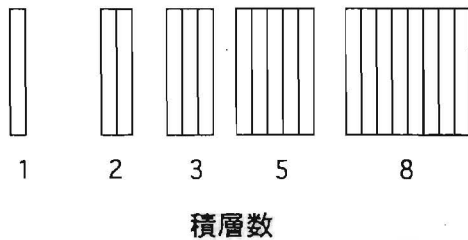


図.6 同一等級構成集成材の種類

ナの等級区分の効果を明確に示すことができませんでした。

水平積層集成材の曲げ強さでは図.7に示したように積層数によって変動係数が減少する積層効果がほとんど認められません。このことは、水平積層集成材の曲げ強さは最外層ラミナの性能に支配されることを示しています。このことから、少なくとも、水平積層集成材の最外層用ラミナの等級区分はラミナの曲げヤング係数の最小値によって行うべきことを提案しました。

一方、垂直積層集成材においては図.7に示したように積層効果が顕著に認められ、積層数が5を超えるようであれば曲げヤング係数の平均値を等級区分の指標としても問題がないことが示唆されました。

また、垂直積層集成材では5層程度までは変動係数の減少に加えて、曲げ強さの平均値が上昇する傾向が認められ、それらの結果として、図.8に示したように曲げ強さの5%下限値が5層程度まで大幅に上昇することが明らかになりました。

集成材の寸法が大きくなれば曲げ強さが減少す

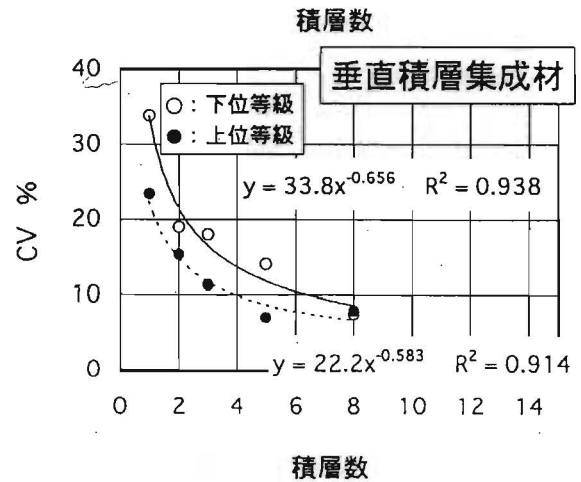
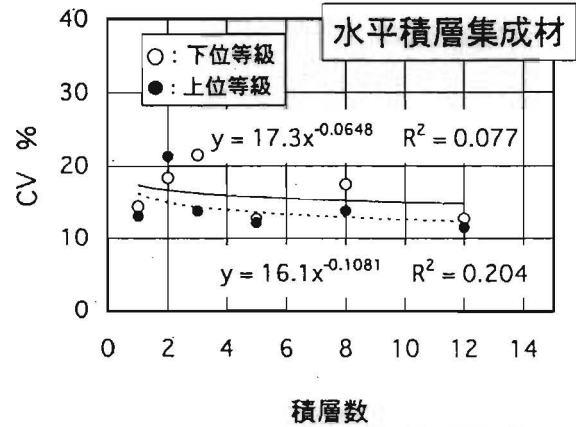


図.7 集成材の積層数と曲げ強さ(MOR)の変動係数(CV)との関係 (積層効果)

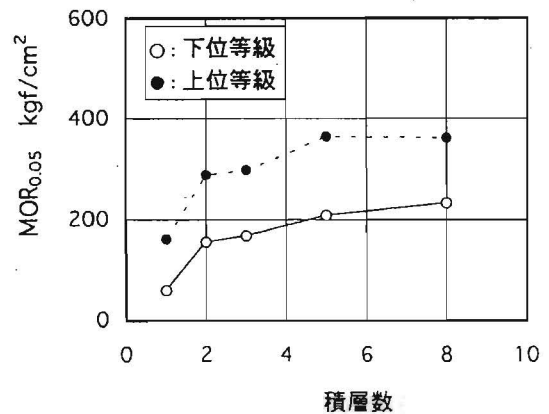


図.8 垂直積層集成材における積層数と曲げ強さの5%下限値(MOR<sub>0.05</sub>)との関係

る、いわゆる寸法効果を水平積層集成材において梁背との関係で検討した結果、図.9に示したように顕著な寸法効果が認められました。

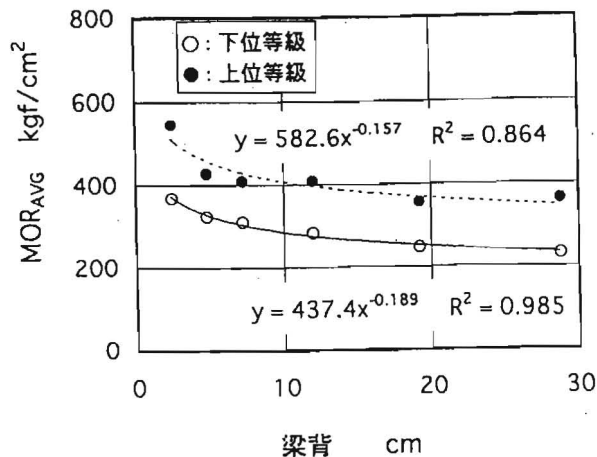


図.9 水平積層集成材における梁背(集成材の高さ)と曲げ強さの平均値 (MOR<sub>AVG</sub>) との関係 (寸法効果)

#### おわりに

荷重方向を木裏荷重とした場合、心去り正角の林分別曲げ強度性能の差は供試木を得た林分の、樹齢、地域、海拔高のいずれによっても明確になりませんでした。とくに、成長のよい若齢材からの心去り正角が高樹齢材からのそれよりも曲げ強度性能が劣るということはありませんでした。この知見は、成熟樹齢からの肥大成長の促進が実大

材の曲げ強度性能を小さくしないことを示唆するものであり、カラマツ林の施業を考える場合、極めて重要であると考えます。

ラミナの強度的性質および形質的な性質においても、未成熟材、成熟材との関係が大きく、大径丸太ほど優良ラミナが得られる比率が高くなることを実証しました。したがって、カラマツ材を構造用集成材として利用する場合においても、成熟樹齢からの肥大成長の促進が重要です。

なお、心去り正角に関する結果は強度性能を曲げ試験だけで評価したものであり、引張り、圧縮、せん断等による総合的な評価が今後必要です。また、曲げ強度性能についても、限られた林分と限られた試験体数から得られた結果であり、さらなる研究が必要です。

集成材の曲げ強度に関する結果は、ラミナの積層配置を考慮する必要がない同一等級構成集成材により得られたものであり、対称異等級構成集成材の外層用、中間層用、内層用のラミナまで、曲げヤング係数の最小値で等級区分する必要があるかどうかは今後の検討課題と考えます。また、縦継ぎラミナの接合効率を曲げ強さで評価した場合と引張り強さで評価した場合の差異が、構造用集成材の強度性能とどのように関係するかなど残された課題は多いと考えます。