

アカマツ中目材による集成材の開発

—アカマツ単独及びカラマツとの異樹種複合による集成化の試み—

伊東嘉文・吉田孝久・橋爪丈夫

アカマツ集成材の構成部材となるアカマツ中目材から得られたラミナの強度性能、歩留り、乾燥特性等の測定・調査を行った。その結果、ラミナのJAS機械等級区分ではL70～L90が大部分であった。ラミナの引張り強さは平均値で19.0N/mm²で曲げ強さの平均値53.8N/mm²に比して大きく下回った。また、これらからなる集成材、及び、最外層・中間層にカラマツ高等級ラミナを配した異樹種複合集成材を作製し、強度試験を行った。アカマツ集成材のJAS対称異等級構成はE95-F270やE85-F255が中心であったが、E65-F225ではMORが基準値に達しないものがあり、L90以下で作製した同一等級構成においても同様で、最外層にL90以下のアカマツラミナを使用した低等級の集成材では、JAS基準値を下回る可能性が高いことが示唆された。最外層にカラマツ高等級ラミナを配した異樹種複合集成材ではE135-F375のような高強度の集成材が作製できた。

キーワード：アカマツラミナ、中目材、異樹種複合集成材、強度性能

1 緒言

アカマツは長野県の民有林においてはカラマツに次ぐ面積を占め、主要樹種の一つであるが、その材としての利用は低位にあり、特に中目材の利用が課題となっている。そこで、中目材の集成材としての利用を検討し、集成材のエレメントとしてのラミナの段階、及び集成材(8枚積層)を作製した段階での強度性能、乾燥その他の試験・調査を行った。

なお、本試験においては全て通しラミナを供試体とし、フィンガージョイントラミナは用いないこととした。

更に、アカマツのみでは高等級ラミナが不足するため、カラマツの高等級ラミナを最外層、及び最外層と中間層(最も外側及び外から2枚目)に配した異樹種複合集成材も作製し、強度性能試験を行った。

本研究は、国庫補助事業である大型プロジェクト研究「地域材を利用した高信頼性構造用材の開発」の一環として行われたものである。

2 ラミナの製造技術の開発

2.1 試験の目的

アカマツ中目材から板材を製材し、集成材用ラミナとする場合の歩留り、ラミナの強度性能ほか諸特性を把握する。

2.2 試験方法

2.2.1 供試材(丸太)

ラミナを採取したアカマツ丸太(写真-1)は本県中信地域産で、末口径16～28cm程度(20～24cmが主)、長さ4m、年輪数が18～76年で、計162本を使用した。内、20本につきFFTアナライザー

を用い、縦振動法による動的ヤング係数(以下、Efrと記す)を計測した。

また、この20本については曲がりも調査し、最大矢高を計測した。

更に、別の長さ3mの丸太20本をラミナの静的ヤング係数計測及び引張り試験用に供試材とし、試験後に非破壊部分から無欠点試験片(25mm角、400mm長)を採取した。



写真-1 アカマツ丸太

2.2.2 製材・乾燥・ラミナの調整

長さ4mのアカマツ丸太162本、及び長さ3mの丸太20本から採材された幅120mm、厚さ30～33mmの板材920枚、及び102枚を供試体とした。

これらを表-1のように90℃、110℃、130℃の3条件で人工乾燥後、ラミナの状態で試験体については幅105mm、厚さ26.3mmとし、集成材作成については幅108mm、厚さ26.3mmに調整した。

この他に、異樹種複合集成材用にカラマツの高等級ラミナを購入し、同様の寸法に調整した。

2.2.3 ラミナの調査

(1) 歩留り

①長4mの丸太162本について、通常の商取引で行われる2cm括約の末口の短径を自乗し、こ

表-1 アカマツラミナの乾燥スケジュール

	90°C乾燥	110°C乾燥	130°C乾燥
	温度 : 時間	温度 : 時間	温度 : 時間
蒸煮	90°C : 4	95°C : 5	95°C : 5
乾燥	乾球 90°C : 24 湿球 60°C :	乾球 110°C : 18 湿球 70°C :	乾球 130°C : 12 湿球 80°C :
	調湿	乾球 80°C : 12 湿球 72°C :	乾球 80°C : 12 湿球 72°C :

れに長さに乗じて算出する「末口自乗法」で算出した丸太材積に対し、ラミナ(全て105mm幅、26.3mm厚として計算)の状態での材積(920枚)を算出して歩留りを求めた。長さは丸太もラミナも全て4mとして計算した。

②この内、20本については丸太材積を、より実材積に近似させる方法としてスマリアン式に従い、元口・末口双方の短径・長径を計測し、各々の平均値を直径とする正円と仮定した両木口の平均断面積を求め、長さ(4m)に乗じて丸太材積を算出(以下、「平均断面積法」と記す)した。これに対するラミナの材積から歩留りを求めた。

(2) 節、年輪幅、含水率

ラミナの状態に調製後、構造用集成材の日本農林規格(JAS)に基づき、4mラミナ123枚については中央部分250cm区間、3mの引張り試験体278枚については中央部分160cm区間(チャック間距離)の集中節径比、材縁部節径比、平均年輪幅を測定した。含水率については、試験後の非破壊部分から試験片を採取し、全乾法により測定した。

(3) 製材精度、狂い、収縮等

製材寸法を幅120mm、厚さ33mmとして製材工場に依頼して製材された丸太20本分、105枚の板材を製材直後に寸法測定し、製材精度を調査するとともに、乾燥後に同一個所を再度測定して幅方向、厚さ方向の収縮率を測定した。但し、ここで言う収縮率とは日本工業規格(JIS)に規定された方法で計測した収縮率ではなく、単に、生材時の寸法に対する乾燥後の収縮量の比率(%)である。

曲がり(幅方向)・反り(厚さ方向)については乾燥後、最大矢高を計測した。

また、輪生節を有する長さ4mのラミナ103枚の無節部分を除く全て、即ち、1年間の成長量分のみ輪生節間距離、629区間を測定した。

(4) Efr の計測

小野測器(株)製FFTアナライザーにより、4mラミナ442枚についてEfrを計測した。

(5) グレーディングマシンによる曲げヤング係数(MGE)の計測

4mラミナ357枚については、齋藤木材工業(株)所有の連続送り式グレーディングマシン¹⁾による曲げヤング係数(以下、MGEと記す)を計測した。

2.2.4 強度試験

(1) 曲げ試験

4mラミナを長さ1mの曲げ試験体と3mの引張り試験体とに鋸断した。曲げ試験はミネベア(株)製5t曲げ試験機TCM5000Cを用い、下部支点間距離90cm、上部荷重点間距離30cmの3等分点4点荷重方式により、曲げヤング係数(以下、MOEと記す)及び曲げ強さ(以下、MORと記す)を測定した。クロスヘッドスピードは10mm/minとした。3mの引張り試験体については、同様の試験機により下部支点間距離180cm、上部荷重点間距離60cmの3等分点4点荷重方式により加力し、荷重と変位の比例域内で両者の関係からMOEのみを測定した。また、無欠点試験片については、20°C、相対湿度65%の恒温恒湿状態に約5ヶ月間置き、含水率を平準化した後、ラミナと同様の試験機を用い、JISの規定により中央集中荷重条件で曲げ試験を行いMOE及びMORを測定した。

(2) 引張り試験

飯田工業(株)製NET-501型引張り試験機により、長さ3mのラミナを、チャック間距離160cmで引張り試験に供し、引張り強さ(TS)を求めた。

2.3 結果と考察

2.3.1 ラミナの調査

(1) 歩留り

①丸太162本から採取した920枚の歩留りは、丸太の末口自乗法による材積に対して33.9%であった。

②丸太20本から採取した105枚の材積の歩留りは、平均断面積法による材積に対して34.1%であった。これを末口自乗法に対する歩留りで計算すると35.6%となった。径級別の末口自乗法による歩留りを表-2に示す。

表-2 丸太径級別(2cm括約)の末口自乗法に対するラミナ歩留り

末口短径 (cm)	丸太本数 (本)	平均採取枚数 (枚/本)	平均歩留り (%)	曲がり(平均値) (mm/4m)
18	6	3.8	32.6	35.2
20	8	5.0	34.5	33.5
22	5	7.0	39.9	27.2
24	1	7.0	33.5	72.0
平均値	(計20)	5.3	35.6	42.0

表-2 から、1本のみの径24cmの丸太の場合を除き、径級が上がるとともに歩留りは向上しているように見えるが、右欄の丸太の曲がりとの関係もあり、一概には言えない。但し、1本毎に見ると大きな曲がりがないければ、概ね径級の増に伴い歩留りは向上する傾向はうかがえた。径24cmの場合は、曲がり72mmもあったことから、低い歩留りとなったと推測された。また、この中にはラミナとして使用不能な、乾燥に伴う極端な曲がり、反りの出たものが5枚(4.8%)あり、この分を差引くと、末口自乗法に対する歩留りは30%強となってしまった。

①、②から、末口自乗法に対しての、ラミナの状態で加工した後の歩留りは、概ね34~35%程度であったが、これは、一連の本試験においては原則的に全てを集成材のラミナとして使用することを前提としたため、現実にはラミナとしては使用されないであろうヤング係数の低い板材や、著しい狂いにより使用できない板材もラミナとした場合の数値である。

また、②から、平均断面積法及び末口自乗法に対する歩留りでは、後者の方が若干大きかったが、それ程大きな差は認められなかった。

(2) 節、年輪幅

節については、集中節径比及び材縁部節径比の測定結果と、JASに基づく目視等級区分の比率を4mラミナ及び3m引張り試験体について表-3に示した。アカマツは輪生節により節が1箇所に集中し、節径比が著しく大きくなる傾向がある。

そのため、無節のものから100%近いものまであり、バラツキが大きかった。また、表中右欄の目視等級区分では、1等、2等が極めて少なく、等級外が最も多い状況であった。

次に年輪幅であるが、227枚のラミナの平均年輪幅は、平均値で4.3mm(最小値1.4mm、最大値9.6mm)であり、変動係数は41%と大きかった。

(3) 乾燥

表-1の3条件とも仕上がりは良好であり、外観的差異は認められなかった。3条件別の乾燥後の含水率は表-4のとおりであった。「構造用集成材の適正製造基準」²⁾では、ラミナの含水率は8~15%の範囲内にあることとされており、90℃乾燥によるラミナの含水率はこの範囲内であったが、110℃及び130℃乾燥によるラミナの含水率は、低い部分で若干8%を下回るものがあり、やや過乾燥ぎみであった。

また、同基準では含水率ムラは原則として目標含水率の±3%以内とすることとなっており、この点ではバラツキが少なく、ほぼ一様に乾燥していた。

表-3 ラミナの節径比、及びJAS目視等級区分

	集中節径比 (%)	材縁部節径比 (%)	目視等級 区分	数量 (枚)	比率 (%)
(250cm区間 / 400cm)					
平均値	47.0	38.2	1等	2	1.6
最小値	14.3	0	2等	5	4.1
最大値	94.6	88.0	3等	15	12.2
標準偏差	15.2	16.5	4等	41	33.3
変動係数(%)	32.4	43.3	等級外	60	48.8
試験体数	123	123	計	123	100
(160cm区間 / 300cm)					
平均値	42.7	28.1	1等	22	7.9
最小値	0	0	2等	34	12.2
最大値	99.5	78.1	3等	71	25.5
標準偏差	17.2	15.9	4等	63	22.7
変動係数(%)	40.2	56.6	等級外	88	31.7
試験体数	278	278	計	278	100
(参考: JAS基準値)					
1等	20%以下	17%以下			
2等	30%以下	25%以下			
3等	40%以下	33%以下			
4等	50%以下	50%以下			
等級外	50%超	50%超			

表-4 アカマツラミナの乾燥温度別含水率(全乾法)

	90℃乾燥 含水率 (%)	110℃乾燥 含水率 (%)	130℃乾燥 含水率 (%)
平均値	10.8	8.3	8.3
最小値	9.6	7.2	7.2
最大値	12.1	10.5	10.2
標準偏差	0.5	0.6	0.6
変動係数(%)	4.8	7.7	7.8
データ数	97	110	117

(4) 製材精度、狂い、収縮等

製材工場への製材依頼時の寸法の指定は、幅120mm、厚さ33mmとしたが、製材後の測定の結果、幅方向では最小値119.49mm、最大値124.65mmであり、指定寸法に対して-0.51mm~+4.65mm(-0.43%~+3.88%)の製材ムラがあり、指定寸法を下回ったものは105枚中4枚であった。厚さ方向では同様に、最小値31.66mm、最大値36.29mmであり、-1.34mm~+3.29mm(-4.06%~+9.97%)で、下回ったものは13枚であった。何れの方向でも、この程度の寸法不足は実用上支障の無い程度であった。

狂い(曲がり、反り)については表-5に示した。

厚さ方向の反りは最大値で35mmであったが、集成材のラミナとしてはプレスされるため極端な場合以外、支障はなかった(自動化された工場で生産される場合は、ラインに載らない可能性がある。)

表-5 人工乾燥に伴う形質変化(試験体数=102)

	曲がり (mm/4m)	反り (mm/4m)	幅方向収縮率 (%)	厚さ方向収縮率 (%)
平均値	8.2	4.8	3.6	4.0
最小値	0	0	1.5	1.4
最大値	60	35	6.1	6.4
標準偏差	8.2	5.0	0.9	1.0
変動係数(%)	100.4	103.1	23.6	25.4

幅方向の曲がりについては、最大値で60mmもあり、このような著しい曲がりのある板材は、モルダによりラミナに加工を試みても幅が確保できず、使用できなかった。

収縮率の平均値は幅方向が3.6%、厚さ方向が4.0%であり、両方向とも最大値は6%を超えた。収縮のみから考えれば、幅、厚さ方向とも最大に収縮したとしても、収縮量は各々7.3mm、2.1mmであり、幅120mm、厚さ33mmの製材寸法であれば、接着積層前のラミナの寸法である幅108mm、厚さ26.3mmにモルダ加工するためには十分であると判断された。

なお、アカマツ材は一般に「アオ」と呼ばれる変色菌に侵され易いが、本試験の事例では夏季に伐採された材であっても、直ちに製材、乾燥すれば変色の発生は見られなかった。

2.3.2 アカマツラミナの強度性能

(1) Efr 及び MGE

図-1は442枚のラミナのEfrの分布をJAS機械等級区別に表したものである(図中の横軸の表示はLを略してある。以下、同類の図も同様)。

442枚の平均値は9.12kN/mm²、正規分布を仮定した5%下限値は5.96kN/mm²、変動係数は20.4%であった。

JAS機械等級区別の分布は、L80を中心にL70~L90が主で、L100以上のラミナは30%程度であった。

図-2は357枚のラミナのMGEの分布を、Efrと同様にJAS機械等級区別に表したものである。

平均値は8.86kN/mm²、5%下限値は6.16kN/mm²、変動係数は17.9%であった。

JAS機械等級区別の分布は、Efrと同様にL80を中心にL70~L90が主で、L100以上のラミナは26%に過ぎなかった。

アカマツは輪生節を有するため、ラミナの多くは間隔を空けて節が集中して出現し、強度に大き

く影響している。図-3はグレーディングマシンによるラミナ内の曲げヤング係数の変動をL70, L90,

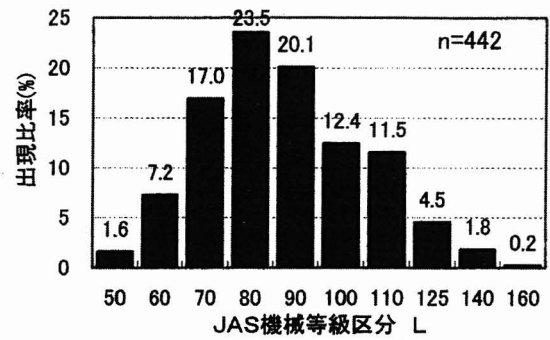


図-1 EfrによるJAS機械等級区分別分布

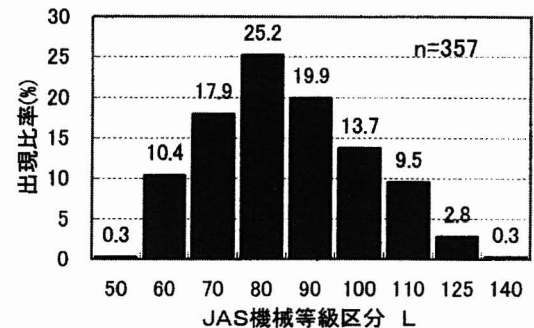


図-2 グレーディングマシンによるJAS機械等級区分別分布

L110のラミナ各1枚について例示したものである(測定値の単位はJAS等級のL〇〇に合わせtf/cm²のままとした。1tf/cm²=0.0980665kN/mm²である)。

本グレーディングマシンは、ラミナの両端部から80cmを除いて、一方の80cmの位置を始点に5.6cm刻みにヤング係数を計測している。

図-3から、ラミナ内のヤング係数の変動と輪生節の位置の対応が推測される。

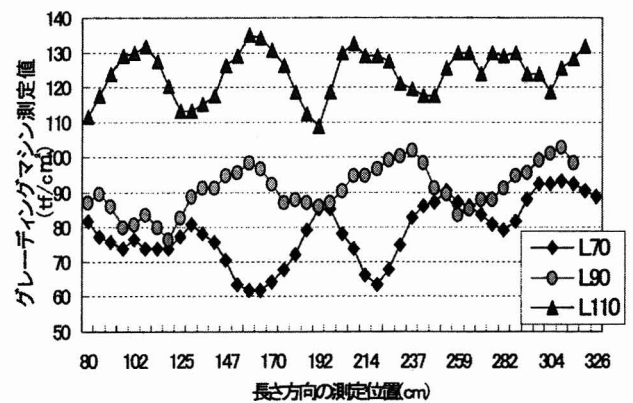


図-3 グレーディングマシン測定値のラミナ内変動の例

因みに、輪生節を有する長さmのラミナ103枚の無節部分を除く全て(629区間)の輪生節間距離

を測定したところ、平均値は55cm(最小値10cm, 最大値89cm)であった。図-3の例も概ねこれに合致していた。

(2) 曲げ試験

アカマツラミナを長さ1mに切断した試験体の曲げ試験結果を図-4, 5に示した。図-4はMORの分布を、図-5はMOEとMORとの関係を表す。MORの平均値は53.8N/mm², 正規分布を仮定した5%下限値は21.1N/mm², 変動係数35.3%で、MOEのそれは同様に10.47kN/mm², 6.61kN/mm², 20.9%であった。この数値は前述のように短い試験体で

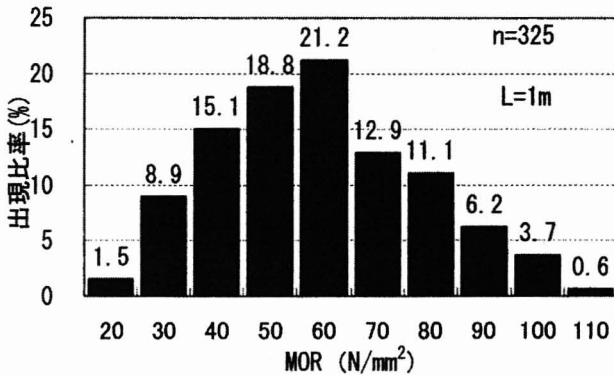


図-4 ラミナの曲げ強さの分布

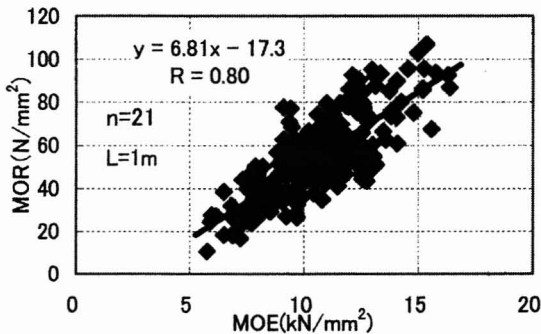


図-5 MOEとMORとの関係

スパン90cmの試験結果であるため、輪生節のスパン内の位置で大きく左右され、程度の大きな輪生節があったとしても、スパン内の中央部を外れ、支点付近であれば強度低下の影響は少なくなってしまう。仮に、実際に使用される長さである4mラミナで試験したとすれば、概ね50~60cm間隔に輪生節が出現するため、節の影響を強く受ける中央部付近に輪生節が位置し、本試験結果よりも低い値となるであろうことが推測される。

また、もう一つ考慮しなければならないことは、本試験のラミナの含水率は、表-1の3条件により乾燥されたもので、平均値は8.3%~10.8%であり、標準とされる15%の含水率に比して低いため、

強度は高めとなっていることである。

含水率をASTM D-2915の調整式を用いて、15%に調整してみると、MORは平均値で46.6N/mm², 5%下限値は18.0N/mm²で変動係数は35.9%であった。

MOEは同様に、9.48kN/mm², 6.03kN/mm², 21.3%であった。特にMORの低下が著しく、調整前に比して平均値で13%強の低下であった。

但し、ASTM D-2915では5%以上の含水率の調整は避けるべきであるとされており、本試験の場合は殆どがこれに該当する。

(3) 乾燥条件と曲げ強さとの関係

表-1に示された乾燥スケジュール別に区分して、ラミナの強度値を含水率を調整しないもの(上欄)と10%(前述のように含水率による調整を大幅に行うことは望ましくないため、ここでは3条件の平均的な含水率である10%に統一した)に調整したもの(下欄)とを、表-6に示した。

表-6 ラミナの乾燥温度別曲げ試験結果

乾燥温度	未調整MOE (kN/mm ²)			未調整MOR (N/mm ²)		
	90°C	110°C	130°C	90°C	110°C	130°C
平均値	10.30	10.42	10.64	55.7	51.8	54.1
最小値	5.79	5.77	5.10	20.1	10.5	19.6
最大値	15.91	14.98	15.28	105.0	102.8	98.7
標準偏差	2.41	2.05	2.12	20.1	18.0	18.8
変動係数(%)	23.4	19.7	19.9	36.0	34.6	34.7
含水率平均値(%)	10.8	8.3	8.3	10.8	8.3	8.3
試験体数	97	110	117	97	110	117
	含水率10%調整MOE(kN/mm ²)			含水率10%調整MOR(N/mm ²)		
平均値	10.44	10.13	10.36	56.9	49.8	52.0
最小値	5.82	5.56	4.91	19.9	9.9	19.0
最大値	16.21	14.88	14.75	108.0	101.8	93.8
5%下限値	6.06	6.57	6.69	20.3	19.1	20.1
標準偏差	2.48	2.02	2.09	20.7	17.5	18.2
変動係数(%)	23.7	20.0	20.2	36.4	35.1	34.9

注: 5%下限値は正規分布を仮定

図-6はラミナの乾燥温度別MOEとMORとの関係を示したものである。

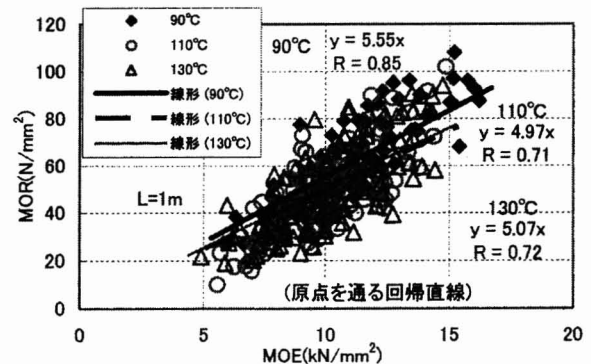


図-6 ラミナの乾燥温度別MOEとMORとの関係(含水率10%)

表-6及び図-6から乾燥条件別で見ると、1mのラミナでの試験結果からは、MOEについては殆

ど差異が認められず、MORについては90℃の条件が110℃、130℃に比して若干高い値となった。検定の結果はMORの90℃条件と110℃条件との間に5%水準で有意な差が認められたが、その他では認められなかった。このことは高温乾燥の影響が疑われるが、90℃条件と130℃条件との間では認められなかったことや、90℃条件のラミナは原木のロットが異なり、図-7のように他の2条件よりも明らかに節径比が小さいことも考慮する必要がある。図-8はラミナの集中節径比とMOEとの関係を、図-9は同じくMORとの関係を示したもので

あるが、何れもそれほど高い相関関係ではなかった。これは前述のとおり、短い試験体での試験結果であることに関係していると思われる。

節の影響を排除して検討するため、無欠点試験体による曲げ試験結果を表-7にまとめ、図-10に

表-7 無欠点試験体の乾燥温度別曲げ試験結果(含水率10%に調整)

乾燥温度	MOE (kN/mm ²)			MOR (N/mm ²)		
	90℃	110℃	130℃	90℃	110℃	130℃
平均値	9.80	9.72	9.49	80.1	81.8	79.3
最小値	5.63	6.66	5.22	53.5	49.3	49.3
最大値	13.94	14.09	13.90	106.4	113.5	111.9
5%下限値	6.82	7.01	6.52	62.3	61.7	58.6
標準偏差	1.69	1.54	1.69	10.1	11.4	11.8
変動係数(%)	17.2	15.8	17.8	12.6	13.9	14.8
試験体数	101	109	117	101	109	117

注) :5%下限値は正規分布を仮定

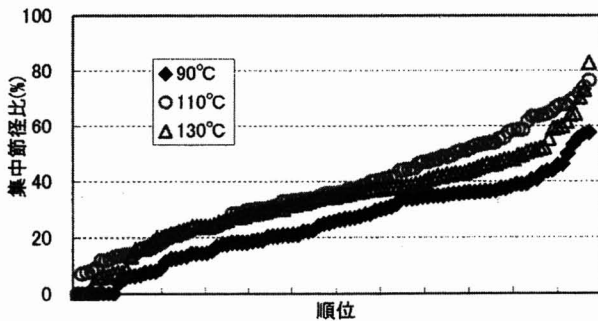


図-7 1mラミナの順位化した集中節径比の分布

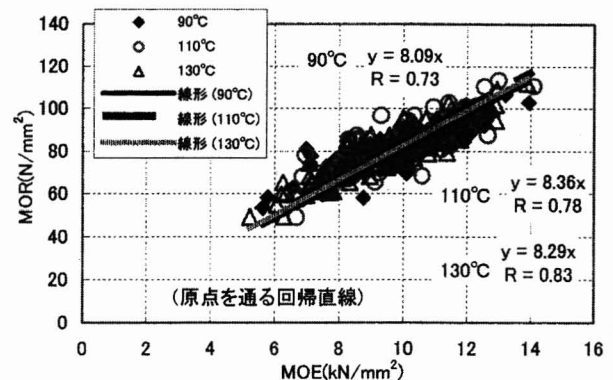


図-10 無欠点試験体の乾燥温度別MOEとMORとの関係(含水率10%)

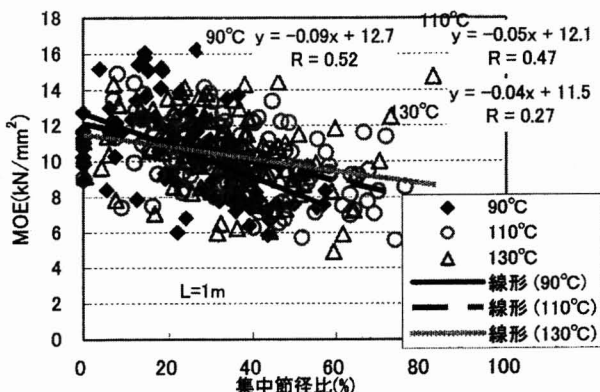


図-8 ラミナ(含水率10%)の集中節径比とMOEとの関係

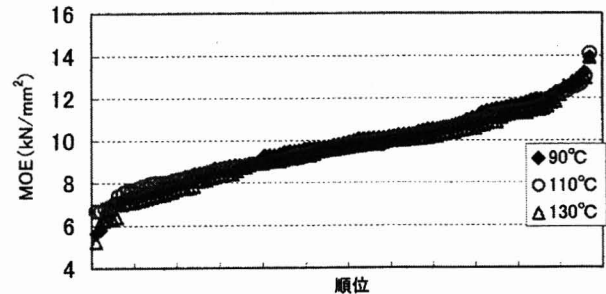


図-11 順位化した無欠点試験体のMOEの分布(含水率10%)

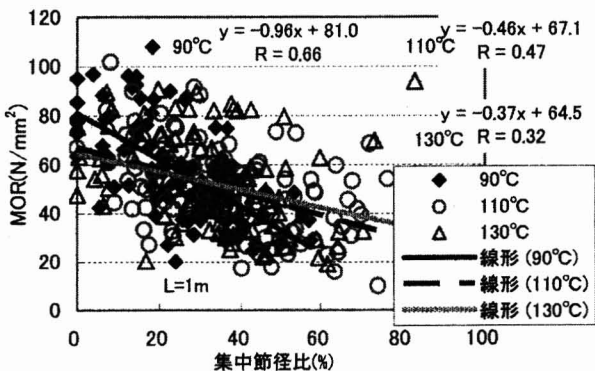


図-9 ラミナ(含水率10%)の集中節径比とMORとの関係

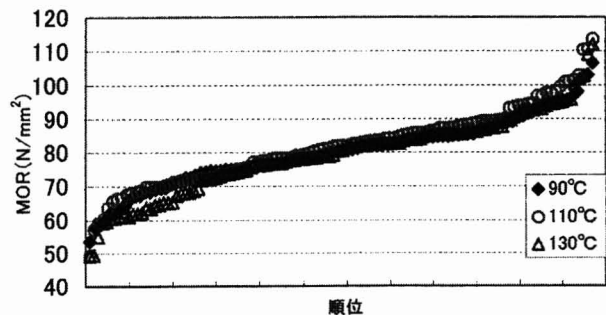


図-12 順位化した無欠点試験体のMORの分布(含水率10%)

MOE と MOR との関係、図-11、図-12 に MOE, MOR の順位化した分布状況を示した。これらは全て、含水率を 10% に調整した値で処理している。これらの図表から、3 条件の間に殆ど差異が見られず、検定の結果も全て有意差が認められなかった。従って、本試験結果からでは、無欠点試験体においては、乾燥条件の違いによる曲げ強度性能に対する影響は認められなかった。

カラマツ角材については高温乾燥による強度性能への影響が報告³⁾されているが、本乾燥スケジュールでは乾燥に長時間を要する角材と異なり、断面の薄い板材であることから、表-1 のように比較的短時間高温に曝されたのみであった。そのため、高温乾燥の影響があると仮定した場合でも、本スケジュールでは影響が明確には認められなかったと推測された。

(4) 引張り試験

引張り試験の結果を表-8、図-13 に示した。TS の平均値は 19.0N/mm² で、輪生節の影響から低い値のものが大部分であったが、節や目切れの少ないラミナはかなり高い値を示すものも僅かながらあり、変動係数は 59% と大きかった。30N/mm² 未満が大部分を占め、それ以上は 11% のみであった。

表-8 引張り強さ(TS)とアカマツラミナの品質

	TS (N/mm ²)	MOE (kN/mm ²)	集中節径比 (%)	材縁部節径比 (%)
平均値	19.0	10.02	42.7	28.1
最小値	4.3	4.89	0.0	0.0
最大値	83.4	14.67	99.5	78.1
標準偏差	11.2	2.04	17.2	15.9
変動係数(%)	59.0	20.3	40.2	56.6
n	278	278	278	278

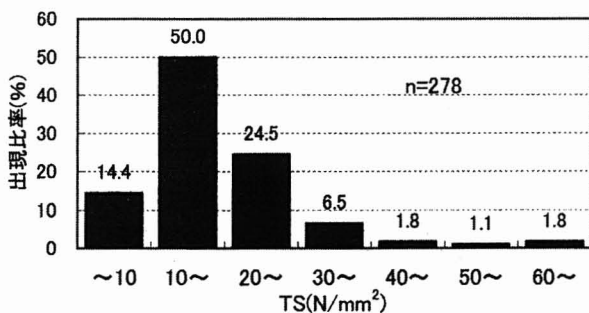


図-13 アカマツラミナの引張り強さ(TS)の分布

また、TS の MOR (但し、1 m ラミナである) に対する比を平均値から求めると 0.41 程度で、スギやカラマツに比して低く、ここでも輪生節の影響が考えられた。写真-2 は引張り試験の様子で、輪生節からの破断の状況である。

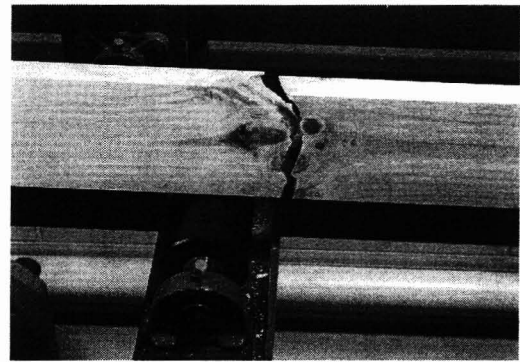


写真-2 引張り試験の状況

次に、TS と乾燥温度との関係について、表-9 に示した。TS は表-9 から、90℃条件の平均値が 22.9N/mm² で 110℃、130℃条件の平均値に比して高い値であり、90℃条件の変動係数は 76.1% と特に大きかった。そのため、5% 下限値は 90℃条件が 4.8N/mm² と最も低位であった。

表-9 乾燥温度別引張り強さ(TS)とアカマツラミナの品質

乾燥温度	TS (N/mm ²)	MOE (kN/mm ²)	集中節径比 (%)	材縁部節径比 (%)	
90℃ n=79	平均値	22.9	9.22	39.3	25.0
	最小値	4.3	5.36	0.0	0.0
	最大値	83.4	14.19	99.5	78.1
	5%下限値	4.8	5.99		
	標準偏差	17.4	2.04	22.6	19.1
	変動係数(%)	76.1	22.1	57.5	76.4
110℃ n=96	平均値	17.3	10.31	46.3	29.3
	最小値	5.7	6.90	20.5	0.0
	最大値	34.8	14.55	77.5	78.1
	5%下限値	8.3	7.48		
	標準偏差	6.2	1.79	13.7	14.8
	変動係数(%)	35.8	17.4	29.5	50.6
130℃ n=103	平均値	17.7	10.37	41.8	29.4
	最小値	6.9	4.89	10.5	3.8
	最大値	36.2	14.67	80.1	75.2
	5%下限値	7.7	6.96		
	標準偏差	7.4	2.08	14.4	13.7
	変動係数(%)	42.1	20.1	34.4	46.6

注)5%下限値はTSが対数正規分布、MOEが正規分布を仮定した。

但し、90℃条件のラミナは 110℃、130℃条件のラミナとは異なる母集団からの採材であるため、節径比の違いが大きく、このまま比較はできない。

また、節径比の測定者も 90℃条件と 110℃、130℃条件では異なり、人為的な測定誤差の可能性も否定できない。

図-14 に MOE と TS との関係を通る回帰直線を交えて示した。ここでは明らかに 90℃条件の TS の値が際立って高く、110℃、130℃は殆ど重複した。節径比を同一レベルで比較するため、図-15 には集中節径比を 20%~80% の間に限った TS と MOE との関係と同様に示した。図-14 に比較して、90℃条件と 110℃、130℃条件の間の差が大幅に

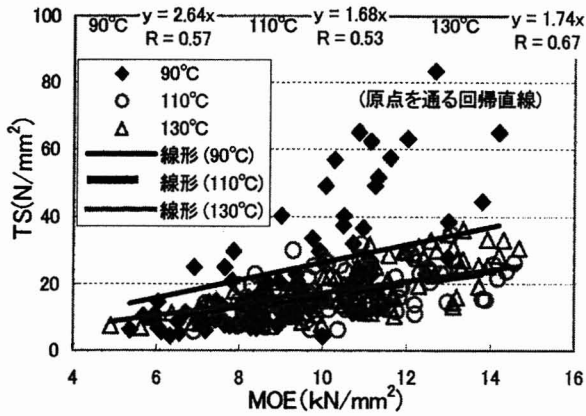


図-14 TSとMOEとの関係

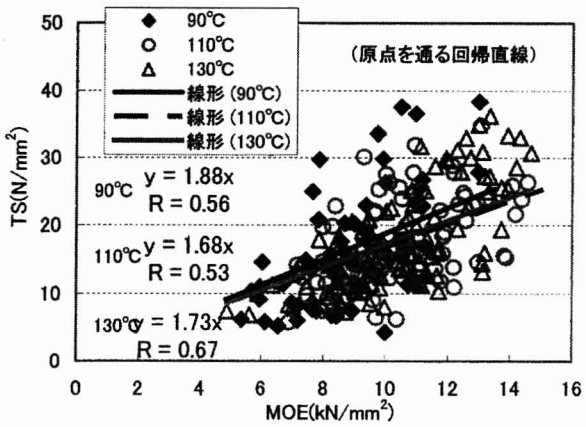


図-15 TSとMOEとの関係 (集中節径比20~80%)

縮まり，回帰直線の傾きも近いものとなった。
 また，図-16は集中節径比が20%~80%の間の集中節径比とTSとの関係を示したもので，3条件の回帰直線が交差し，この範囲内では特に差異は認められなかった。従って，前述の曲げ試験のように無欠点試験体での引張り試験は行っていないため断定はできないが，本試験においては乾燥温度のTSへの影響は認められなかったと言えよう。

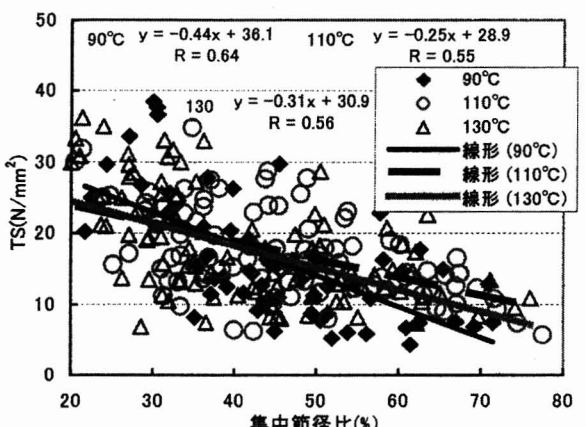


図-16 TSと集中節径比(20~80%)との関係

3 アカマツ中目材による構造用集成材の開発と性能評価

3.1 試験の目的

アカマツ中目材の構造用材としての活用を図るため，アカマツのみでは不足する高等級ラミナをカラマツで補う方法も交えながら，フィンガージョイントを行わない構造用集成材を作製し，強度性能等を検討した。

3.2 試験の方法

3.2.1 試験体

2.2.2に記した方法により，幅107~110mm，厚さ26.3mm，長さ4mに調整したアカマツラミナ462枚，及び，同様の寸法に調整した購入カラマツ高等級ラミナ60枚を用い，これらを縦振動法，又はグレーディングマシンにより機械等級区分した後，JASの対称異等級構成及び同一等級構成構造用集成材に準拠し，或いは規格外の積層方法により，8枚を接着積層した。接着剤は水性高分子イソシアネート系によるもの31体，レゾルシノール系によるもの33体の計64体である。

これらを幅105mm，高さ210mm，長さ4mにモルダにより調製し試験体とした。その内，最外層や中間層にカラマツ高等級ラミナを配した試験体は25体で，アカマツのみの試験体は39体である。

計64体でラミナは512枚使用した。写真-3はアカマツ集成材とアカマツ・カラマツ異樹種複合集成材である。

図-17に試験体の主な積層方法を例示した。積層方法の基本的な考え方は，得られた機械等級区分されたラミナ(カラマツ高等級ラミナを含めて)の範囲内で，極力全てを効率的に集成化することとした。その方法として，JASの対称異等級構成において最強の集成材をできるだけ多く作製することを優先し，順次等級レベルを落とし，残りのラミナで同一等級構成集成材とし，最終的に余っ



写真-3 アカマツ集成材(左)，アカマツ・カラマツ異樹種複合集成材(右)

対称異等級構成						同一等級構成			J A S 規 格 外					
160	140	125	110	100	80	90	80	70	125	125	125	110	90	
140	125	110	100	90	70	90	80	70	110	90	90	90	80	
125	110	100	90	80	60	90	80	70	90	80	80	80	70	
100	90	80	70	60	50	90	80	70	80	80	80	80	60	
100	90	80	70	60	50	90	80	70	80	80	80	80	60	
125	110	100	90	80	60	90	80	70	90	80	80	80	70	
140	125	110	100	90	70	90	80	70	110	90	100	90	80	
160	140	125	110	100	80	90	80	70	125	125	125	125	90	
JAS 基準 値	E135	E120	E105	E95	E85	E65	E85	E75	E65	(E105)	(E105)	(E105)	(E105)	(E75)
	F375	F330	F300	F270	F255	F225	F300	F270	F255	(F300)	(F300)	(F300)	(F300)	(F240)

注1) 内の数字はラミナの機械等級で、Lを省略してある。縦列が積層方法である。
 注2) はカラマツラミナ, その他の白抜きはアカマツラミナで、異樹種複合集成材である。
 注3) 規格外品のJAS基準値は、類似構成の集成材の基準値を参考として()書きで提示した。

図-17 試験体の主な積層方法の事例

たラミナでJAS規格外の構成とした。規格外であっても、その範囲内で高強度が期待できる構成とした。節等による等級区分である目視等級区分は考慮しなかった。また、最外層のラミナは木表が外側となるよう配慮した。

曲げ強度試験の後、非破壊部分から、(財)日本住宅・木材技術センターの「構造用木材の強度試験法」に準拠した長さである、材せいの6倍の長さを基準とした試験体を26体採取し、横圧縮試験体とした。更に、短辺(幅)の6倍の長さを基準とした試験体を16体採取し、縦圧縮試験体とした。

3.2.2 試験方法

(1) 集成材の曲げ強度試験

曲げ強度試験は(株)島津製作所製実大材曲げ試験機UH-1000kNを用い、JAS構造用集成材の曲げA試験の方法に基づき、下部支点間距離378cm、上部荷重点間距離84cmの4点荷重方式で行い、MOR、MOEを算出した。写真-4はその様子である。

また、内31体については曲げ強度試験に先立ち、集成材としてのEfrを測定した。



写真-4 アカマツ集成材の曲げ強度試験

(2) 集成材の圧縮強度試験

横圧縮(めり込み)試験については、(株)島津製作所製圧縮試験機CCM-2000kNを用い、(財)日本住宅・木材技術センターの「構造用木材の強度試験法」に準拠し、積層方向に平行に、材の中央部を金属製の加圧板を上下に介して加圧し、横圧縮(めり込み)強さを測定した。同センターの試験法によれば、試験体が破壊するか、20mmの変形が生じた時の荷重の小さい方の荷重を、加圧面積で除して算出することとされている⁴⁾。本試験においては、明確に破壊が確認できなかったため、全て20mmの変形が生じた時の荷重を基に算出した。

縦圧縮試験は、横圧縮と同様の試験機を用いて行い、座屈時の荷重を試験体の断面積で除して縦圧縮強さを算出した。

3.2.3 試験の結果と考察

(1) 曲げ強度試験

図-18に曲げ試験の結果のMOEとMORとの関係を示す。MOEが9kN/mm²以下では、ほとんどの試験体のMORがJAS基準値(対称異等級構成、同一等級構成)を下回っていた。

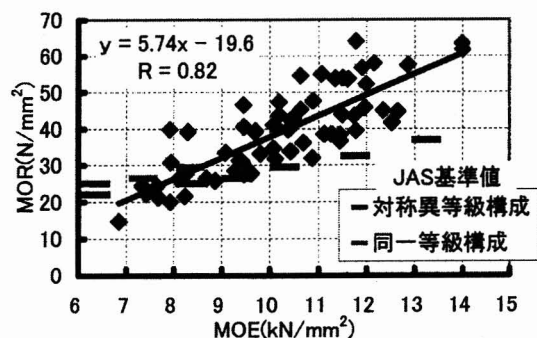


図-18 集成材のMOEとMORとの関係

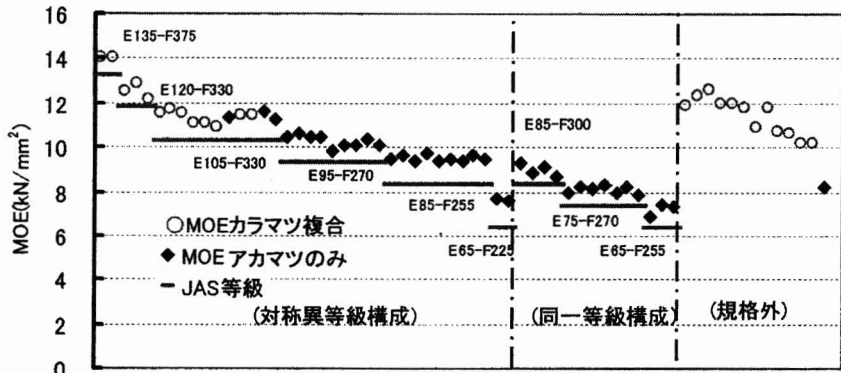


図-19 曲げヤング係数(MOE)とJAS強度等級

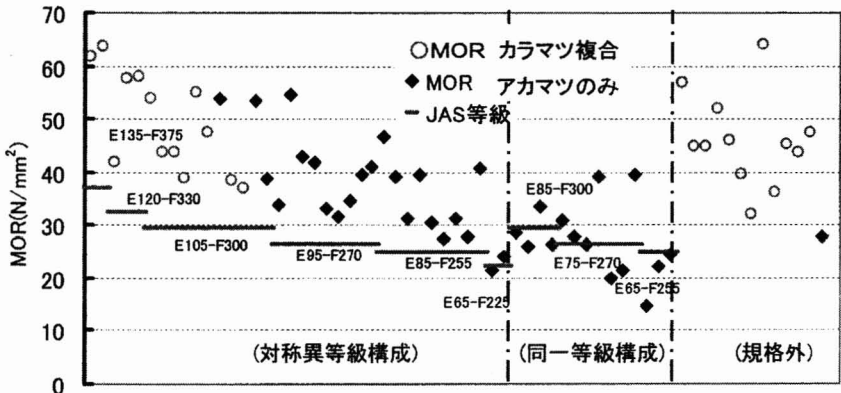


図-20 曲げ強さ(MOR)とJAS強度等級

図-19, 20 は、全試験体の MOE, MOR と JAS 基準値との関係を示したものである。両図から、ラミナの MGE や Efr により JAS 基準に基づき構成したものであるから、当然 MOE についてはその基準を満たし、バラツキもさほど大きくなかったが、MOR についてはバラツキが大きかった。

対称異等級構成では E85-F255 以上の積層方法による集成材では MOE, MOR とも JAS 基準値を満たしていたが、E65-F225 では MOE は満たすものの、MOR では基準値に達しないものがあった。

同一等級構成では L90, L80, L70 のラミナによる集成材 14 体の内 5 体のみが MOR において JAS 基準値を満たしたに過ぎなかった。

これらのことから、最外層に L90 以下のアカマツラミナを使った低強度の集成材の場合は、JAS で定められたラミナの構成で集成材を作製しても、MOR が JAS 基準値を下回る可能性が高いことが示唆された。

また、アカマツより高等級ラミナが得られ易いカラマツの高等級ラミナを最外層及び中間層に使用すれば、内層にアカマツラミナを使用しても、

E135-F375, E120-F330 のような比較的高強度の集成材が作製できた。更に、図-17 の試験体の例のように JAS 規格外でも、類似の試験体に比して、さほど遜色ない強度性能を示すものが多かった。

図-21 は 31 体の集成材について、ラミナの等価断面法による計算値(この場合は Efr による)と M

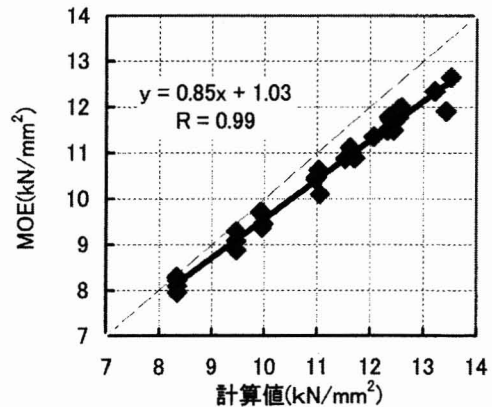


図-21 等価断面法による計算値と MOE との関係

OE との関係を表したものである。図から相関係数 0.99 と高かったが、実測値の MOE は、計算値より

5%程度低い値となった。

これは、計算の基になるラミナのヤング係数が E_{fr} であり、計算値が高めに算出されたためと思われる。

(2) 圧縮試験

MOE と横圧縮(めり込み)強さとの関係を図-22 に、MOR との関係を図-23 に示した。

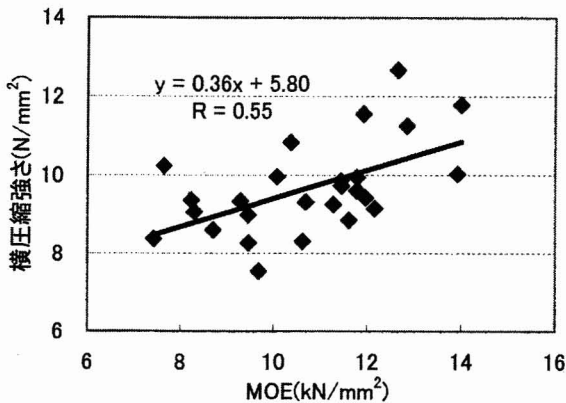


図-22 MOEと横圧縮強さとの関係

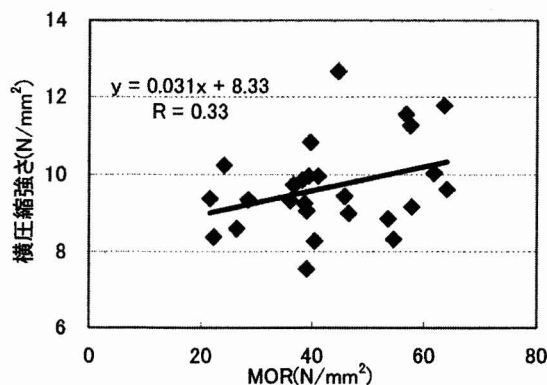


図-23 MORと横圧縮強さとの関係

両図から、横圧縮強さについては MOE, MOR との間にはそれ程大きな相関関係は見られなかった。

集成材等のめり込みに対する基準強度(国土交通省告示 1024 号)と比較してみると、同基準強度ではアカマツが 9.0N/mm^2 、カラマツが 7.8N/mm^2 とされている。これは製材に対する基準と同様である。

本試験においては、アカマツ集成材 15 体のうち 7 体が 9.0N/mm^2 を下回り、8 体がこれを満たした。

最外層がカラマツの異樹種複集成材では 11 体全てが 7.8N/mm^2 を上回った。

これらのことは、カラマツのほうが基準値を低く設定されていること、高等級ラミナのみを使用したことから当然とも言えるが、従来の角材での

試験結果⁵⁾からみても、アカマツ、カラマツにとって 9.0N/mm^2 、 7.8N/mm^2 の基準値は、相当厳しい値であることを再認識させられた。

縦圧縮強度については、構造用集成材の基準強度(国土交通省告示 1024 号)の対称異等級構成集成材及び同一等級構成集成材の各強度等級ごとに定められた縦圧縮の基準強度を、15 試験体全てが

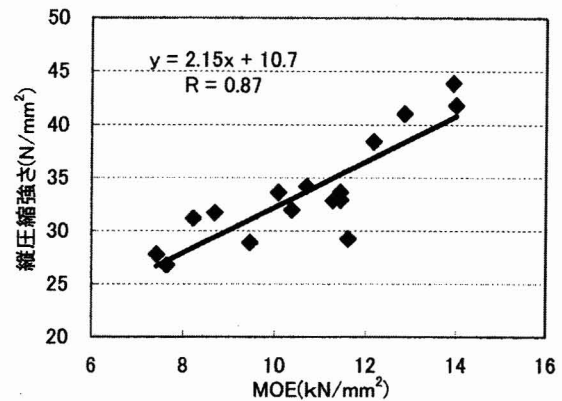


図-24 MOEと縦圧縮強さとの関係

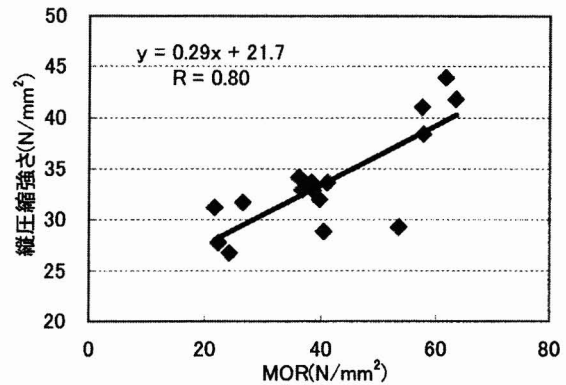


図-25 MORと縦圧縮強さとの関係

満たしていた。

図-24, 25 に縦圧縮強さと MOE, MOR との関係を示した。縦圧縮については双方とも横圧縮に比して、高い相関関係を有していた。

4 結言

(1) 本試験で使用したアカマツ中目材丸太(直材として購入した)の材積に対し、ラミナ(フィンガージョイントは行わず、通しラミナとする場合)の状態での歩留りは、極力全てを使用するとした場合で 34~35%程度であった。

しかし、機械等級区分すると低等級ラミナの比率が高く、集成材の構成上、使用できるラミナが限られるため、現実的には 30%を大きく下回る可能性がある。

(2) 本試験においては、ラミナの製造にあたり、高

温乾燥による強度性能への影響は、曲げ・引張りとも、特に認められなかった。

(3)アカマツのみの JAS 対称異等級構成集成材では高等級ラミナの比率が少ないため、本試験で利用した材料の範囲内で製造するという限定された条件下では、E105-F300 が上限であり、E95-F270 や E85-F255 が中心であった。

機械等級区分による構成比率から、L90 以下のラミナが多く残ることになった。このような低等級ラミナが最外層の集成材では、JAS 基準によるラミナの構成で集成材を作製した場合、MOE は基準に達しても、MOR が確保できない場合が多かった。

アカマツ中目材の利用では、これらの低等級ラミナは壁板、フローリング等、他の用途との総合的利用を図ることが合理的と思われた。

(4)アカマツの外側に、アカマツのみでは不足する高等級ラミナをカラマツのそれで補い、最外層や中間層にカラマツラミナを使用して異樹種複合集成材を作製して試験した結果、E135-F375 や E120-F330 のような比較的高強度の集成材が製造可能で、強度性能も基準値を満たしていた。

このように、高等級ラミナが得られ易いカラマツ等の他の樹種との複合化による活用も効果的と思われた。

文献

- 1) 橋爪丈夫, 齋藤健, 野田道雄, 石原茂久 (1997) 連続送り式グレーディングマシンの特性とその調整, 木材学会誌, vol. 43, 141-148
- 2) (財)日本合板検査会 (1996) 構造用集成材の適正製造基準, 8
- 3) 例えば吉田孝久, 橋爪丈夫, 藤本登留 (2000) カラマツ及びスギ心持ち正角材の高温乾燥特性, 木材工業, vol. 55, No. 8, 357-362
- 4) (財)日本住宅・木材技術センター (2000) 構造用木材の強度試験法, 住宅資材性能規定化対策事業地域材性能評価事業・報告書, 13-14
- 5) (財)日本住宅・木材技術センター (2002) 背割り無しログ部材の開発 (課題番号: 1315), 木材産業技術実用化促進緊急対策事業報告書, 27-29

90°C乾燥ラミナ1m曲げ

No.	MOE	MOE10%	MOE15%	MOR	MOR10%	MOR15%	含水率 (%)
	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	
194	12.61	12.81	11.78	59.2	60.5	53.4	10.9
201	8.85	8.95	8.23	76.1	77.3	68.2	10.7
202	11.64	11.73	10.78	84.4	85.4	75.3	10.5
203	10.28	10.25	9.42	73.1	72.8	64.2	9.8
204	9.78	9.79	9.00	63.4	63.6	56.1	10.1
205	11.22	11.32	10.40	78.1	79.1	69.8	10.5
208	10.68	10.76	9.90	78.1	79.0	69.7	10.5
209	12.59	12.75	11.72	93.4	95.1	83.9	10.8

110°C乾燥ラミナ1m曲げ

No.	MOE	MOE10%	MOE15%	MOR	MOR10%	MOR15%	含水率 (%)
	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	
316	12.64	12.40	11.40	54.3	52.7	46.5	8.8
317	9.70	9.43	8.67	26.7	25.6	22.6	8.2
318	7.33	7.05	6.48	44.3	41.9	37.0	7.6
319	14.06	13.79	12.67	72.9	70.9	62.5	8.8
320	9.68	9.51	8.74	33.3	32.4	28.6	8.9
321	12.58	12.38	11.39	79.4	77.6	68.5	9.0
322	9.20	8.92	8.20	56.5	54.0	47.7	8.1
323	7.93	7.69	7.07	26.1	25.0	22.1	8.1
324	9.59	9.22	8.48	63.1	59.6	52.6	7.6
325	10.34	10.08	9.27	59.9	57.7	50.9	8.4
327	11.33	11.26	10.35	57.3	56.9	50.2	9.6
328	12.78	12.48	11.47	70.8	68.4	60.3	8.5
329	12.54	12.16	11.18	84.7	81.0	71.5	8.1
330	9.41	9.05	8.32	77.0	72.7	64.2	7.5
340	7.71	7.49	6.88	23.9	22.9	20.2	8.2
341	9.91	9.62	8.85	42.8	41.0	36.2	8.2
343	7.35	7.10	6.53	27.9	26.6	23.5	7.8
344	7.32	7.09	6.52	28.7	27.4	24.2	8.0
345	7.25	7.01	6.44	24.9	23.7	20.9	7.9
346	5.92	5.68	5.22	24.6	23.2	20.5	7.4
#250	12.84	11.06	11.48	53.6	43.4	45.3	8.2

130°C乾燥ラミナ1m曲げ

No.	MOE	MOE10%	MOE15%	MOR	MOR10%	MOR15%	含水率 (%)
	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	
104	10.20	10.03	9.22	48.6	47.4	41.9	9.0
105	7.39	7.19	6.61	23.1	22.2	19.6	8.3
106	9.37	8.99	8.27	42.7	40.3	35.5	7.4
110	7.54	7.31	6.72	36.5	34.9	30.8	8.1
111	8.34	8.21	7.55	36.6	35.8	31.6	9.0
112	8.00	7.84	7.20	52.0	50.4	44.5	8.7
113	6.43	6.21	5.71	31.6	30.0	26.5	7.8
114	5.10	4.91	4.51	22.9	21.7	19.2	7.6
115	6.19	6.05	5.56	28.5	27.6	24.4	8.6
116	6.02	5.88	5.41	19.6	19.0	16.8	8.6
117	10.40	10.31	9.48	67.2	66.4	58.6	9.5
118	9.57	9.25	8.50	34.0	32.4	28.6	7.8
119	11.60	11.46	10.54	76.7	75.4	66.5	9.2
120	13.02	12.89	11.85	82.0	80.8	71.3	9.4
121	12.44	12.31	11.32	49.3	48.5	42.8	9.4
122	9.24	8.97	8.25	24.2	23.2	20.4	8.2
123	10.74	10.40	9.57	58.6	55.9	49.3	8.0
124	11.67	11.41	10.49	64.7	62.5	55.2	8.6
125	9.78	9.51	8.74	26.7	25.7	22.7	8.3
126	8.95	8.58	7.89	41.2	38.8	34.3	7.4
127	9.27	9.04	8.31	43.5	42.0	37.0	8.4
128	10.53	10.26	9.43	49.5	47.6	42.1	8.3
129	12.54	12.20	11.21	60.7	58.4	51.5	8.3
130	14.76	14.31	13.16	93.6	89.5	79.0	8.1
131	10.29	9.98	9.17	31.7	30.3	26.8	8.1
132	11.58	11.18	10.27	70.1	66.6	58.8	7.8
133	7.68	7.51	6.90	39.9	38.6	34.1	8.6
134	12.98	12.56	11.55	76.9	73.3	64.7	7.9

90°C乾燥1m曲げ

No.	MOE	調整MOE	調整MOE	MOR	調整MOR	調整MOR	含水率 (%)
	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	
mean	10.30	10.44	9.60	55.7	56.9	50.2	10.8
min	5.79	5.82	5.35	20.1	19.9	17.6	9.6
max	15.91	16.21	14.90	105.0	108.0	95.3	12.1
sd	2.41	2.48	2.28	20.1	20.7	18.3	0.5
cv(%)	23.4	23.7	23.7	36.0	36.4	36.4	4.8
n	97	97	97	97	97	97	97
5%下限値							
正規分布		6.06			20.3		
対数正規分布		6.65			27.1		

110°C乾燥1m曲げ

No.	MOE	調整MOE	調整MOE	MOR	調整MOR	調整MOR	含水率 (%)
	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	
mean	10.42	10.13	9.33	51.8	49.8	44.0	8.3
min	5.77	5.56	5.11	10.5	9.9	8.8	7.2
max	14.98	14.88	13.68	102.8	101.8	89.9	10.5
sd	2.05	2.02	1.87	18.0	17.5	15.4	0.6
cv(%)	19.7	20.0	20.0	34.6	35.1	35.0	7.7
n	110	110	110	110	110	110	110
5%下限値							
正規分布			6.57		19.1		
対数正規分布			6.87		23.1		

130°C乾燥1m曲げ

No.	MOE	調整MOE	調整MOE	MOR	調整MOR	調整MOR	含水率 (%)
	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	
mean	10.64	10.36	9.52	54.1	52.0	45.9	8.3
min	5.10	4.91	4.51	19.6	19.0	16.8	7.2
max	15.28	14.75	13.56	98.7	93.8	82.8	10.2
sd	2.12	2.09	1.92	18.8	18.2	16.0	0.6
cv(%)	19.9	20.2	20.2	34.7	34.9	34.9	7.8
n	117	117	117	117	117	117	117
5%下限値							
正規分布		6.69			20.1		
対数正規分布		6.95			25.4		

附表-2 乾燥温度別アカマツ無欠点試験体の曲げ強度と含水率調整(10%)

Table with columns for temperature (90°C, 110°C, 130°C), specimen number (No.), density (密度), average length (平均年輪幅), moisture content (含水率), MOE, adjusted MOE (調整MOE), MOR, and adjusted MOR (調整MOR). Each temperature section includes two sub-columns for MC=10%.

付表-3 引張り強さと節径比との関係(3m)

(その1) 90°C						110°C						130°C					
No.	集中節 径比 (%)	材縁部 節径比 (%)	TS (N/mm ²)	平均 年輪幅 (mm)	含水率 (全乾法) (%)	No.	集中節 径比 (%)	材縁部 節径比 (%)	TS (N/mm ²)	平均 年輪幅 (mm)	含水率 (全乾法) (%)	No.	集中節 径比 (%)	材縁部 節径比 (%)	TS (N/mm ²)	平均 年輪幅 (mm)	含水率 (全乾法) (%)
11	21.4	0.0	43.5	2.27	10.9	201	50.3	48.6	16.9	1.86	9.4	2	10.5	10.5	22.5	2.10	8.0
12	32.4	0.0	20.0	6.00	10.9	202	62.1	54.9	12.5	1.98	8.1	3	31.8	4.6	30.7	2.07	7.7
13	24.4	13.4	10.6	4.38	10.3	203	60.9	60.9	13.9	4.99	8.0	4	27.6	21.9	28.5	2.63	7.8
14	37.7	17.7	11.9	5.25	10.4	204	69.5	47.1	12.4	7.81	8.3	5	51.0	51.0	21.2	5.94	7.9
15	24.8	0.5	26.2	2.44	10.4	206	50.5	13.8	11.7	2.99	8.7	6	40.4	40.4	11.3	5.99	8.2
21	33.2	2.3	14.6	4.40	10.4	207	67.1	50.4	10.2	5.89	8.2	7	27.1	21.0	27.9	3.37	9.0
22	74.0	53.1	9.9	6.00	10.3	208	72.0	65.8	9.3	3.55	8.2	8	29.5	29.5	19.4	2.77	7.7
23	47.6	37.1	15.1	4.25	10.3	209	30.2	20.7	22.0	3.91	8.3	9	42.2	31.7	20.5	2.75	7.8
31	42.4	39.0	16.0	1.92	11.6	210	74.4	49.2	7.4	3.61	7.9	10	31.3	10.4	33.0	1.62	8.6
32	49.2	49.2	16.3	3.29	11.4	211	32.9	17.4	24.7	5.22	7.5	12	50.5	32.9	15.7	4.48	7.8
33	13.5	2.5	21.5	3.33	11.1	212	31.9	17.6	13.4	4.37	8.1	14	33.1	15.0	13.4	6.26	7.9
34	31.3	14.6	23.9	3.29	11.1	213	37.1	0.4	27.5	3.20	8.0	15	62.2	55.5	7.3	5.45	7.7
35	9.4	9.4	35.9	1.41	9.9	214	48.6	39.5	13.3	1.42	7.8	16	26.2	26.2	25.0	2.68	8.8
38	9.4	9.4	21.5	1.44	10.4	215	77.5	52.3	5.7	7.46	7.2	17	27.1	2.8	29.6	2.37	8.7
39	28.0	28.0	13.7	2.09	10.4	216	43.3	43.3	13.7	3.74	7.6	19	74.1	57.5	9.5	6.86	7.3
41	33.0	24.9	35.1	2.88	10.8	217	67.4	49.8	14.4	2.28	8.6	20	47.1	20.5	16.3	2.07	9.1
42	45.6	9.4	24.4	3.89	10.8	218	40.0	11.0	6.5	2.64	8.2	21	62.9	12.9	10.4	5.29	7.8
43	53.9	44.3	22.4	3.47	11.3	220	21.3	0.8	31.8	6.83	7.7	22	57.1	57.1	14.2	4.06	8.5
44	41.1	34.0	34.5	3.00	11.3	221	33.3	24.8	19.8	4.87	7.5	23	49.5	35.2	11.2	6.83	8.3
51	16.7	0.0	54.7	1.92	11.8	222	44.8	44.8	10.1	6.60	7.7	24	34.3	20.0	15.5	2.63	10.1
52	23.0	15.8	32.0	2.88	11.6	230	58.6	34.3	12.1	3.03	7.6	25	69.7	44.4	8.3	7.00	7.6
53	33.8	20.0	14.8	4.57	10.8	231	65.6	65.6	9.0	6.82	7.6	26	49.0	43.8	8.5	1.98	7.9
54	44.5	36.4	22.0	3.50	11.4	232	64.7	43.7	9.5	2.92	8.3	27	62.1	31.1	17.4	5.12	8.9
55	26.2	19.5	30.4	2.50	11.4	233	33.8	33.8	26.2	2.20	8.2	29	45.2	31.0	12.6	3.84	8.8
58	22.7	0.0	40.4	1.85	11.1	234	31.4	21.9	23.8	4.15	8.2	30	71.1	60.1	13.5	7.32	8.1
59	19.5	19.5	27.5	2.56	11.9	235	37.6	18.5	19.7	4.55	8.9	31	54.3	36.2	14.5	3.66	9.1
61	36.3	30.1	19.9	4.60	11.1	237	52.2	45.0	14.7	1.99	7.7	32	76.0	49.4	10.9	6.92	8.7
62	56.8		13.0	4.00	10.4	238	38.4	28.9	14.9	3.18	8.0	33	21.3	0.3	36.2	3.73	9.3
63	51.6	11.2	15.0	6.33	11.2	239	44.1	34.1	28.7	5.98	8.2	34	23.8	21.9	25.2	2.76	8.3
64	49.1	24.8	17.9	5.25	11.5	240	53.4	40.6	22.2	5.03	8.9	35	44.8	30.5	14.4	5.55	7.7
71	31.8	20.4	22.0	3.50	12.0	241	48.7	29.5	17.7	3.72	8.2	36	60.3	46.0	11.8	5.18	7.3
72	20.3	3.2	19.6	7.00	10.7	242	38.1	20.5	26.3	2.19	8.9	37	48.9	24.6	14.7	4.23	7.8
73	39.6	28.2	19.9	6.00	10.3	243	49.0	1.3	20.6	3.17	8.2	38	33.3	11.9	30.0	2.70	9.6
74	34.1	17.0	15.5	6.00	10.8	244	64.1	55.5	11.8	3.45	8.6	39	29.3	29.3	19.1	3.60	9.4
81	32.5	28.7	22.1	4.17	11.1	245	34.8	6.2	34.8	3.67	8.6	40	36.1	36.1	20.2	6.42	9.2
82	54.6	13.1	24.1	5.00	11.7	246	27.1	23.3	17.1	4.06	9.0	41	58.3	47.6	12.4	5.89	7.9
83	30.8	10.3	20.3	3.94	11.1	247	54.3	0.0	12.3	2.10	8.1	42	44.0	29.7	17.3	3.49	7.2

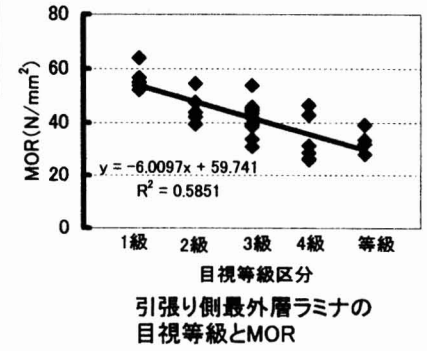
(その2) 90°C No.	集中節 径比 (%)	材縁部 節径比 (%)	TS (N/mm ²)	平均 年輪幅 (mm)	含水率 (全乾法) (%)	110°C No.	集中節 径比 (%)	材縁部 節径比 (%)	TS (N/mm ²)	平均 年輪幅 (mm)	含水率 (全乾法) (%)	130°C No.	集中節 径比 (%)	材縁部 節径比 (%)	TS (N/mm ²)	平均 年輪幅 (mm)	含水率 (全乾法) (%)
84	57.4	46.4	15.1	3.75	10.7	248	31.0	28.7	15.0	6.07	8.0	43	63.5	46.3	22.5	3.20	8.6
85	30.1	4.4	23.7	3.67	12.1	249	42.0	18.2	18.2	5.71	7.7	50	42.7	26.1	11.8	3.01	8.3
88	13.3	13.3	27.6	4.17	11.2	250	52.4	28.1	17.8	3.45	8.2	51	47.5	34.1	16.2	5.25	7.4
89	26.7	26.7	35.5	2.88	10.8	251	29.1	29.1	23.2	6.46	7.5	53	31.0	13.8	27.2	3.14	8.8
91	43.8	43.8	24.9	4.40	10.6	252	51.5	23.9	8.0	4.81	8.3	54	21.0	4.3	30.8	2.21	8.8
92	38.3	17.8	20.0	4.17	10.5	253	42.4	23.8	23.0	2.61	8.5	56	18.7	9.1	21.8	7.43	7.4
94	21.4	12.4	6.7	4.40	11.3	254	63.0	59.2	11.5	3.07	9.3	57	23.6	23.6	21.1	7.04	7.6
101	19.6	19.6	7.9	5.25	10.6	255	36.2	36.2	24.7	4.75	7.8	58	33.3	26.2	13.2	1.63	7.8
102	51.9	51.9	8.4	6.67	10.6	256	46.7	28.6	15.9	5.50	7.7	59	24.3	8.1	21.0	4.89	8.4
103	43.9	26.8	13.4	6.38	10.0	257	42.4	21.0	6.2	5.40	7.5	60	60.5	39.6	18.4	4.37	7.8
104	53.7	24.7	11.0	4.50	9.6	259	30.5	28.6	21.6	8.74	7.4	61	59.3	26.0	14.9	5.74	7.6
111	57.6	25.2	11.3	3.60	11.1	260	71.6	61.6	10.9	3.87	8.9	62	50.4	50.4	18.2	7.28	8.0
113	50.5	18.6	17.1	4.09	10.3	261	29.1	29.1	24.3	5.35	7.8	63	26.9	4.1	31.1	3.61	8.8
115	44.0	30.7	26.7	4.40	11.3	262	48.1	23.8	25.5	2.36	8.3	64	37.5	19.6	11.0	6.33	7.4
123	32.7	15.5	18.8	2.52	10.6	263	25.2	25.2	15.6	3.68	8.2	65	45.7	45.7	8.0	7.01	7.6
125	14.4	1.5	36.2	1.21	11.1	264	45.0	6.9	11.0	5.11	8.7	66	39.1	6.1	16.7	3.11	8.2
131	15.2	0.0	28.1	2.00	10.5	265	53.8	42.9	23.1	6.19	7.6	67	26.3	18.2	13.7	4.47	7.4
132	30.7	4.5	19.4	2.75	9.8	267	36.2	0.0	23.7	3.53	7.6	68	32.8	9.3	22.0	2.63	10.0
133	31.1	6.9	14.5	2.48	10.3	268	29.5	0.0	25.8	6.26	7.8	69	32.4	3.8	31.7	2.65	8.7
134	46.6	40.9	19.7	2.00	10.5	269	54.4	34.0	18.2	7.64	7.5	70	43.7	29.9	11.5	3.81	8.3
135	24.3	18.1	19.5	2.50	11.3	270	48.9	14.2	16.3	3.05	8.9	71	52.5	35.4	10.4	5.67	7.7
141	31.0	31.0	16.9	5.00	11.6	271	39.9	36.5	15.3	4.65	8.0	72	42.3	10.4	12.5	4.18	8.8
142	40.7	23.1	14.4	5.33	10.9	272	51.1	36.8	17.9	7.27	7.3	74	28.1	21.4	23.1	3.57	8.5
144	51.4	32.0	25.8	5.25	10.4	273	63.6	63.6	14.7	6.15	9.6	75	20.0	7.3	29.9	2.56	8.7
151	43.8	26.2	18.6	3.57	11.0	281	47.0	28.5	11.1	2.73	7.9	77	29.5	29.5	13.5	4.02	8.8
152	64.4	55.3	15.9	4.40	10.8	282	36.2	28.7	13.7	4.58	8.7	79	49.5	10.2	17.9	3.89	9.1
153	52.7	26.5	36.9	3.77	10.8	283	61.1	37.3	14.5	5.07	8.6	80	35.0	1.2	16.0	3.42	7.3
155	23.8	0.0	16.3	2.88	11.2	284	48.5	40.0	14.7	1.50	10.1	81	50.4	10.4	28.7	4.47	8.1
161	45.7	45.7	15.9	3.29	10.9	286	35.4	20.1	21.7	3.39	9.7	90	31.1	26.1	25.5	2.53	8.4
163	32.0	22.9	19.1	5.44	10.2	287	45.4	45.4	23.8	4.45	8.3	91	31.2	15.0	15.7	1.46	10.2
164	43.9	26.8	20.7	5.50	10.4	300	54.7	16.1	12.3	2.60	8.8	92	55.6	47.1	12.7	1.64	9.0
168	68.3	68.3	32.7	4.00	10.7	301	44.2	25.2	23.9	2.03	8.8	93	34.5	20.6	17.9	2.77	8.4
169	35.2	0.0	22.8	4.17	11.0	302	24.8	19.5	25.3	5.92	8.2	94	23.9	3.0	34.9	2.97	9.1
171	27.1	22.9	20.7	1.19	10.5	303	33.3	15.2	16.9	4.84	7.7	95	47.5	31.7	19.8	6.91	8.9
172	57.6	48.6	21.0	2.56	10.4	304	57.1	57.1	12.8	4.47	8.1	96	49.8	40.3	22.7	3.07	8.2
174	47.6	35.7	21.3	3.00	10.4	306	67.0	55.6	16.6	6.26	8.0	97	32.9	19.1	25.4	3.16	8.2
175	45.7	19.5	15.8	2.00	11.2	307	66.9	56.0	12.6	4.64	8.3	98	49.8	39.8	11.5	4.18	7.9
178	54.4	27.2	29.1	1.67	10.9	308	65.7	51.4	14.1	2.48	8.4	100	47.6	16.7	13.6	4.79	8.3

(その3) 90°C No.	集中節 径比 (%)	材縁部 節径比 (%)	平均 年輪幅 (mm)	含水率 (全乾法) (%)	TS (N/mm ²)	110°C No.	集中節 径比 (%)	材縁部 節径比 (%)	平均 年輪幅 (mm)	含水率 (全乾法) (%)	TS (N/mm ²)	130°C No.	集中節 径比 (%)	材縁部 節径比 (%)	平均 年輪幅 (mm)	含水率 (全乾法) (%)	
																	TS (N/mm ²)
179	18.4	18.4	20.6	1.21	10.6	310	52.8	50.5	15.9	2.41	8.4	101	45.3	39.2	8.3	5.47	8.1
181	47.2	47.2	15.9	4.60	11.2	311	59.0	20.0	19.0	3.66	8.2	103	44.8	44.8	9.6	8.25	7.2
182	60.0	56.6	16.0	3.05	10.2	312	45.6	25.6	15.4	3.01	8.3	104	27.1	21.4	19.8	4.68	9.0
183	31.2	21.7	32.6	3.20	10.6	313	33.1	15.1	13.2	2.66	10.3	105	44.4	24.1	8.2	7.52	8.3
184	26.7	15.7	13.9	3.13	11.2	314	41.6	27.3	16.4	4.15	9.0	106	35.2	10.9	15.4	8.83	7.4
191	54.9	54.9	22.8	1.71	11.1	315	36.9	28.3	16.6	2.67	8.8	111	43.8	18.1	17.9	6.11	9.0
192	34.7	18.5	18.1	3.80	10.3	317	57.9	57.9	13.9	6.36	7.6	112	31.1	2.4	11.3	5.53	8.7
193	41.0	33.9	19.7	3.00	10.2	319	60.2	60.2	18.4	3.02	8.9	113	44.5	36.9	10.0	6.82	7.8
194	51.7	28.4	30.5	2.18	10.9	320	67.5	50.3	14.4	2.45	9.0	114	28.6	15.5	6.9	7.58	7.6
201	18.2	7.7	18.7	0.86	10.7	321	48.9	16.0	27.8	6.38	8.1	115	36.5	43.1	7.4	5.71	8.6
202	32.9	20.0	14.2	1.50	10.5	322	31.2	18.9	11.3	3.30	8.1	116	35.2	32.8	12.9	5.69	8.6
203	54.2	17.0	17.4	3.48	9.8	325	23.8	23.8	25.0	2.60	9.6	117	37.1	24.6	14.5	3.55	9.5
204	27.8	14.0	18.2	4.75	10.1	328	43.8	15.7	27.7	7.64	7.5	118	65.0	43.6	11.6	6.14	7.8
205	36.7	11.4	23.3	0.67	10.5	329	32.4	32.4	16.6	4.33	8.2	119	52.5	29.6	12.9	4.14	9.2
208	25.9	8.3	18.1	2.00	10.5	330	33.3	33.3	9.7	4.56	8.2	120	20.5	8.4	33.3	4.63	9.4
						340	45.1	24.7	17.9	4.38	7.8	121	53.4	29.1	10.4	1.80	9.4
						341	30.5	4.4	21.3	5.13	8.0	122	58.6	54.8	20.7	2.71	8.2
						343	33.8	11.4	22.8	4.81	7.4	124	63.0	53.0	11.0	5.80	8.6
												125	43.3	23.8	10.2	2.81	8.3
												126	80.1	80.1	9.7	6.30	7.4
												127	31.9	27.1	10.5	1.96	8.4
												128	61.8	47.6	14.6	5.19	8.3
												129	32.8	4.2	25.1	1.87	8.3
												130	35.2	18.2	27.2	3.71	8.1
												131	31.0	20.5	19.5	1.84	8.1
												132	55.1	55.1	8.2	4.23	7.8
												133	19.4	25.2	17.3	2.35	8.6
												134	36.2	7.6	32.9	3.63	7.9
mean	37.2	22.7	21.3	3.56	10.8	mean	46.7	30.1	17.2	4.28	8.3	mean	41.8	27.2	17.7	4.34	8.3
min.	9.4	0.0	6.7	0.67	9.6	min.	21.3	0.0	5.7	1.42	7.2	min.	10.5	0.3	6.9	1.46	7.2
max.	74.0	68.3	54.7	7.00	12.1	max.	77.5	65.6	34.8	8.74	10.3	max.	80.1	80.1	36.2	8.83	10.2
s.d.	14.1	15.7	8.3	1.45	0.5	s.d.	13.6	16.6	6.1	1.6497	0.6	s.d.	14.4	16.3	7.4	1.79	0.7
c.v(%)	38.0	69.2	38.8	40.6	4.7	c.v(%)	29.1	55.2	35.5	38.587	7.4	c.v(%)	34.4	60.0	42.1	41.347	8.0
n	90	90	90	90	90	n	93	93	93	93	93	n	103	103	103	103	103

付表-4 H13 アカマツ集成材及びアカマツ・カラマツ異樹種複合集成材の構成と曲げ試験結果

集成材No.	カラマツラミナ																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	17	18	19	23	24	25	26
1	11.15	12.43	11.44	11.65	11.66	11.66	10.42	10.47	10.47	10.49	9.48	9.52	9.52	8.40	8.40	8.44	8.46
2	12.38	11.29	10.12	10.12	10.13	10.15	9.31	9.32	9.33	9.33	9.41	9.36	9.36	8.24	8.23	8.22	8.21
3	11.17	9.96	9.00	8.99	8.98	8.93	8.04	8.03	7.99	7.96	8.86	8.86	8.83	7.93	7.92	7.92	7.87
4	8.51	7.59	6.94	6.90	6.85	6.83	6.83	6.75	6.74	6.74	8.52	8.55	8.56	7.50	7.49	7.48	7.46
5	8.51	7.80	7.28	7.27	7.27	7.21	7.19	7.13	7.09	7.06	8.55	8.56	8.60	7.61	7.63	7.64	8.21
6	11.23	9.97	9.25	9.24	9.22	9.19	8.13	8.12	8.12	8.08	9.09	9.08	9.08	8.17	8.17	8.20	7.66
7	12.71	11.84	10.60	10.60	10.56	10.54	9.62	9.62	9.64	9.69	9.47	9.45	9.43	8.33	8.34	8.34	8.36
8	14.26	13.30	12.08	12.05	11.97	11.88	10.93	10.85	10.81	10.63	9.72	9.71	9.71	8.50	8.50	8.48	8.46
Efr	11.72	10.85	10.10	10.11	10.13	10.23	9.70	9.25	9.22	9.58	9.71	9.64	9.56	8.38	8.88	8.53	8.76
ラミナ平均値	11.24	10.52	9.59	9.60	9.58	9.55	8.81	8.79	8.77	8.75	9.14	9.14	9.14	8.08	8.09	8.09	8.09
等価断面法計算値	12.36	12.07	10.97	11.03	11.00	10.97	9.97	9.96	9.95	9.91	9.46	9.46	9.46	8.35	8.35	8.35	8.33
MOE	11.78	11.35	10.42	10.63	10.47	10.46	9.45	9.69	9.37	9.70	9.28	8.87	9.08	7.94	8.22	8.09	8.29
MOR	64.0	53.7	33.8	54.5	42.9	41.9	46.5	39.1	31.3	39.4	28.5	25.8	33.5	30.9	27.9	26.3	39.1
MOE/等価断面法	95.3	94.0	95.0	96.4	95.2	95.3	94.8	97.3	94.1	97.8	98.1	93.7	95.9	95.1	98.5	96.9	99.6
最下層ラミナNo	203	95	120	12	185	56	98	131	66	15	211	156	45	143	86	195	73
集中節径比	6.4	13.4	31.8	29.2	42.6	37.0	18.4	24.5	40.3	33.7	48.6	48.8	30.3	39.2	51.9	33.4	60.1
材縁部節径比	0.0	0.0	23.1	13.9	21.3	18.5	34.3	32.4	27.8	16.7	37.0	19.4	61.1	32.4	33.3	46.3	55.6
節等級	1	1	3	2	4	3	4	3	4	3	4	4	5	3	5	4	5

集成材No.	カラマツラミナ															
	20	21	22	27	28	29	30	31	11	12	13	14	15	16		
1	14.82	14.38	14.33	13.91	16.67	15.76	17.10	12.48	13.30	13.30	13.28	12.76	12.83	13.04		
2	9.27	9.29	9.30	8.15	8.15	7.40	8.14	9.25	11.38	11.39	11.41	10.07	10.08	10.12		
3	8.82	8.77	8.75	7.86	7.86	8.14	7.81	8.75	9.74	9.87	9.90	8.92	8.89	8.89		
4	8.62	8.69	8.71	7.44	7.40	7.84	7.35	5.80	7.58	7.57	7.51	6.60	6.55	6.16		
5	8.64	8.71	8.71	7.68	7.70	7.72	7.74	6.03	7.75	7.77	7.78	7.05	7.01	6.96		
6	9.02	9.02	9.00	8.07	8.06	8.05	8.04	8.75	9.97	10.02	10.04	9.15	9.14	9.11		
7	9.60	9.58	9.52	8.31	8.28	8.27	8.26	9.26	11.74	11.70	11.70	10.18	10.31	10.41		
8	15.23	15.53	15.57	14.12	17.98	18.75	17.84	12.66	13.70	13.44	13.31	13.25	13.25	13.21		
Efr	11.17	11.18	10.66	10.06	10.78	10.76	10.98	10.26	11.02	11.26	11.14	10.48	10.24	10.28		
ラミナ平均値	10.50	10.49	10.49	9.44	10.26	10.24	10.29	9.12	10.65	10.63	10.62	9.75	9.76	9.74		
等価断面法計算値	12.59	12.53	12.53	11.53	13.43	13.21	13.51	11.06	12.43	12.37	12.33	11.62	11.65	11.72		
MOE	11.99	11.96	11.78	10.87	11.91	12.35	12.64	10.10	11.49	11.74	11.49	11.12	11.01	10.89		
MOR	52.1	45.8	39.4	32.0	56.7	44.9	44.6	42.2	53.8	43.5	43.9	38.6	55.0	47.5		
MOE/等価断面法	95.2	95.4	94.0	94.3	88.7	93.5	93.5	91.3	92.4	94.9	93.2	95.7	94.5	92.9		
最下層ラミナNo	k8	k28	k11	k9	k2	k10	k5	k20	k26	k15	k1	k24	k29	k27		
集中節径比	19.4	39.8	25.5	55.2	18.5	35.2	31.5	28.1	38.0	20.8	22.2	30.0	14.4	29.2		
材縁部節径比	0.0	27.8	9.3	19.4	12.0	27.8	0.0	24.1	31.5	31.5	0.0	14.8	7.4	7.4		
節等級	1	3	2	5	1	3	3	2	3	3	2	3	1	2		



付表-5 H14 アカマツ集成材及びアカマツ・カラマツ異樹種複合集成材の構成と曲げ試験結果

注) カラマツラミナ ()内は使用ラミナ, 標書きは基準L

集成材No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
JAS等級	E135-F375		E120-F330			E105-F300				E95-F270				E85-F255					
L	160	160	140	140	(125)140	125	125	125	125	110	110	110	110	110	100	100	100	100	100
	140	140	125	125	125	110	110	110	110	100	100	100	100	100	90	90	90	90	90
	125	125	110	110	110	100	100	100	100	90	90	90	90	90	80	80	80	80	80
	100	100	90	90	90	80	80	80	80	70	70	70	70	70	60	60	60	60	60
	100	100	90	90	90	80	80	80	80	70	70	70	70	70	60	60	60	60	60
	125	125	110	110	110	100	100	100	100	90	90	90	90	90	80	80	80	80	80
	140	140	125	125	125	110	110	110	110	100	100	100	100	100	90	90	90	90	90
	160	160	140	140	140	125	125	125	125	110	110	110	110	110	100	100	100	100	100
MOE(tf/cm ²)	141.9	142.7	127.8	131.1	124.0	116.7	116.8	118.4	115.0	100.0	103.1	102.7	105.7	102.8	96.2	96.6	96.0	98.1	96.5
MOR(kgf/cm ²)	629.2	647.5	424.2	586.3	589.4	390.6	374.2	545.5	393.6	338.5	324.3	352.8	404.8	419.1	312.0	281.4	318.2	284.5	413.0
MOE(kN/mm ²)	13.92	13.99	12.53	12.86	12.16	11.44	11.45	11.61	11.28	9.81	10.11	10.07	10.37	10.08	9.43	9.47	9.41	9.62	9.46
MOR(N/mm ²)	61.7	63.5	41.6	57.5	57.8	38.3	36.7	53.5	38.6	33.2	31.8	34.6	39.7	41.1	30.6	27.6	31.2	27.9	40.5
JAS E	135	135	120	120	120	105	105	105	105	95	95	95	95	95	85	85	85	85	85
JAS F	375	375	330	330	330	300	300	300	300	270	270	270	270	270	255	255	255	255	255
MOE/E	1.05	1.06	1.06	1.09	1.03	1.11	1.11	1.13	1.10	1.05	1.09	1.08	1.11	1.08	1.13	1.14	1.13	1.15	1.13
MOR/F	1.68	1.73	1.29	1.78	1.79	1.30	1.25	1.82	1.31	1.25	1.20	1.31	1.50	1.55	1.22	1.10	1.25	1.12	1.62

集成材No.	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
JAS等級	E65-F225		E85-F300	E75-F270			E65-F255				規格外1	規格外2	規格外2'	規格外3	規格外4
L	80	80	90	80	80	80	70	70	70	125	125	125	110	90	
	70	70	90	80	80	80	70	70	70	110	90	90	90	80	
	60	60	90	80	80	80	70	70	70	90	80	80	80	70	
	(60)50	(60)50	90	80	80	80	70	70	70	80	80	80	80	60	
	(60)50	(60)50	90	80	80	80	70	70	70	80	80	80	80	60	
	60	60	90	80	80	80	70	70	70	90	80	80	80	70	
	70	70	90	80	80	80	70	70	70	110	90	100	90	80	
	80	80	90	80	80	80	70	70	70	125	125	125	125	90	
MOE(tf/cm ²)	78.3	77.9	88.6	80.9	83.9	80.7	69.9	75.7	74.7	109.0	108.4	104.0	104.1	84.2	
MOR(kgf/cm ²)	217.2	246.8	270.2	203.9	220.3	404.8	149.9	227.4	249.8	368.1	461.9	445.6	478.2	282.5	
MOE(kN/mm ²)	7.68	7.64	8.69	7.93	8.23	7.91	6.85	7.42	7.33	10.69	10.63	10.20	10.21	8.26	
MOR(N/mm ²)	21.3	24.2	26.5	20.0	21.6	39.7	14.7	22.3	24.5	36.1	45.3	43.7	46.9	27.7	
JAS E	65	65	85	75	75	75	65	65	65	105	105	105	105	75	
JAS F	225	225	300	270	270	270	255	255	255	300	300	300	300	270	
MOE/E	1.20	1.20	1.04	1.08	1.12	1.08	1.07	1.16	1.15	1.04	1.03	0.99	0.99	1.12	
MOR/F	0.97	1.10	0.90	0.76	0.82	1.50	0.59	0.89	0.98	1.23	1.54	1.49	1.59	1.05	

付表-6 アカマツ(カラムツ)集成材横圧縮・縦圧縮試験結果

NO.	横圧縮(めり込み)				縦圧縮	
	F_{ult} , F_{20mm}	F_{ratio}	$f_{c,90}$	f_{ratio}	F_{ult}	$f_{c,0}$
	20mm変形荷重 (kN)	比例限度荷重 (kN)	横圧縮強さ (N/mm ²)	比例限度強さ (N/mm ²)	最大荷重 (kN)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
1	94.77	44.08	10.03	4.66	968.0	43.9
2	111.38	46.20	11.79	4.89	922.0	41.8
4	106.43	46.24	11.26	4.89	905.0	41.0
5	86.48	38.04	9.15	4.03	847.0	38.4
6	93.08	44.08	9.85	4.66	742.0	33.7
7	91.96	38.08	9.73	4.03	726.0	32.9
8	83.61	30.20	8.85	3.20	646.0	29.3
9	87.40	38.08	9.25	4.03	725.0	32.9
13	102.39	36.24	10.83	3.83	705.5	32.0
14	94.08	40.12	9.96	4.25	742.5	33.7
19	78.17	36.12	8.27	3.82	637.0	28.9
21	96.73	42.28	10.24	4.47	590.5	26.8
22	81.26	36.24	8.60	3.83	699.0	31.7
24	88.56	34.08	9.37	3.61	688.0	31.2
27	79.12	38.08	8.37	4.03	612.5	27.8
29	88.08	30.04	9.32	3.18	754.0	34.2
13-1	90.82	48.08	9.61	5.09		
13-4	78.58	34.20	8.32	3.62		
13-7	84.92	38.32	8.99	4.06		
13-8	71.31	32.24	7.55	3.41		
13-17	88.27	40.08	9.34	4.24		
13-21	89.14	42.24	9.43	4.47		
13-22	94.02	44.08	9.95	4.66		
13-26	85.60	44.08	9.06	4.66		
13-28	109.24	40.04	11.56	4.24		
13-30	119.72	54.08	12.67	5.72		