

# 中小断面集成材の製造システムの開発

木材工業部 ○山角達也, 遠矢良太郎, 森田慎一, 山之内清竜  
福留重人, 日高富男, 図師朋弘

## 1. はじめに

戦後造林されたスギが成熟期を迎え、本県では中でも中目スギの蓄積量が全体の約4割を占めている。しかし、県産中目スギは、黒心で水分が多く、また年輪幅が広いことから強度が弱いため、有効利用がなされていないのが現状である。

そこで、本事業は県産中目スギを集成材化することで材の欠点を克服し、住宅用の構造材として有効利用を図ることを目的とする。目的を達成するために、産学官共同で、加工（製造）システムと利用システムの双方から事業に取り組んでいる。

加工システムの方では、品質の高い強度保証した集成材の製造技術の確立と工程の効率化を図ることを目標に研究を進めている。一方利用システムの方では、中小断面集成材を利用した新しい工法の住宅の提案に向け、各配置部材の要求性能を考慮し、部材の標準化や接合法について検討を行っている。

ここでは、加工システムの研究成果並びに研究経過について報告する。

## 2. 加工システムの研究

### 2.1 県産中目スギ丸太の強度

県内4ヶ所の市場から得た中目スギ丸太総本数429本について、打撃法により動的ヤング係数（E f）を求めた。各地域の丸太のE fを表1に、4地域全体のE fの頻度分布を図1に示す。

表1 各地域の丸太の動的ヤング係数

地域	A	B	C	D	全体
ヤング係数 (tonf/cm <sup>2</sup> )	59.2	60.9	63.0	68.7	62.8
変動係数 (%)	24.8	20.6	20.1	16.1	21.2
測定本数 (本)	110	120	100	99	429

鹿児島県産中目スギ丸太の動的ヤング係数の平均値は63tonf/cm<sup>2</sup>であった。また、地域によってE fの平均値で約10tonf/cm<sup>2</sup>の差があったが、これはE fの高い地域の丸太に2番玉が多かったことによると思われる。地域別の動的ヤング係数間には有意な差は認められなかった。

県内中目スギ丸太のヤング係数の頻度分布をみると、50tonf/cm<sup>2</sup>未満が約1/4、50～70tonf/cm<sup>2</sup>が約1/2、70tonf/cm<sup>2</sup>以上が約1/4の割合になっている。

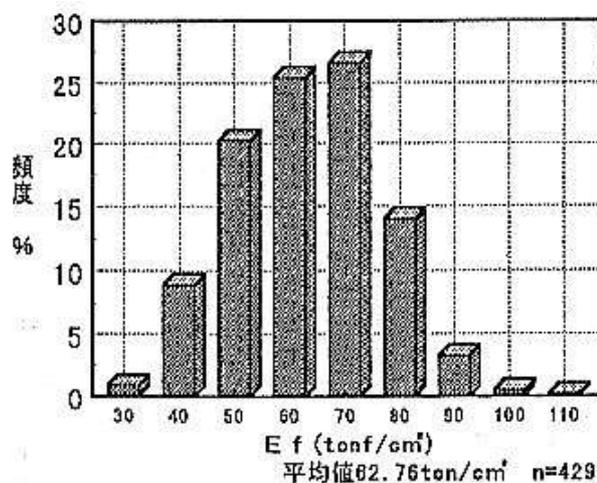


図1 県産中目スギ丸太の動的ヤング係数の頻度分布

## 2. 2 従来技術での集成材の加工歩留まり

中目スギ丸太から、木取り寸法：厚さ33mm、幅120mm、長さ4000mmのラミナを製材し、その後乾燥、モルダー加工して、4プライ構成の集成材(105mm角、長さ4000mm)を製造した。各工程における歩留まりの変化を表2に示す。なお、丸太材積の換算は末口自乗法を用いた。

表2の結果から、最終製品である集成材の歩留まりは、約36%であった。これは主に製材段階での歩留まりの低下と、乾燥後の狂いを集成するためのモルダー加工による歩留まりの低下による。

従って、歩留まり向上のための課題として、製材木取り法の改善と乾燥による変形をいかに軽減するか等が、挙げられる。

表2 製造工程における歩留まり (%)

	材積(m <sup>3</sup> )	歩留まり
丸太	14.40	100.0
製材	8.43	58.5
乾燥・モルダー	5.94	41.3
集成材	5.20	36.1

## 2. 3 木取り法の改善研究

集成材を構成するラミナ(板材)の木取り法としては、丸太からラミナだけを製材する方法と柱や梁材をとった残りの背板からラミナを製材する方法がある。今回は前者の方法で検討を行った(図2)。

ラミナは4プライ構成の10.5cm角の集成材を製造することを想定し、木取り寸法：厚さ33mm、幅120mmで製材した。併せて木取り寸法：厚さ33mm、幅120mmと厚さ33mm、幅115mmにおいて、丸太の径級毎のシミュレーションを行った(表3)。

表3の結果から、木取り寸法：厚さ33mm、幅120mmにおいて、実測値では丸太の径級22cm以上で、シミュレーション値では径級24cm以上でラミナの歩留まりが向上する傾向が認められた。実測値とシミュレーション値に差が出たのは、実際の丸太の形状が正円でないため、丸太材積は商用ベースで丸太の末口短径が採用されていることによる。また、木取り寸法の幅を5mm小さくした場合のシミュレーションでは、径級22cm以上でラミナの歩留まりの向上が期待できる結果が得られた。

表3 径級別ラミナの歩留まり

丸太径級 (cm)	33mm×115mm 4ply用		33mm×120mm 4ply用		実測値 枚数
	シミュレーション値				
	枚数	ラミナ歩留まり (%)	枚数	ラミナ歩留まり (%)	
18	3	35.1	3	36.7	4.0
20	4	38.0	4	39.6	4.3
22	7	54.9	5	40.9	6.5
24	7	46.1	7	48.1	7.8
26	8	44.9	8	46.9	-
28	10	48.4	8	40.4	-

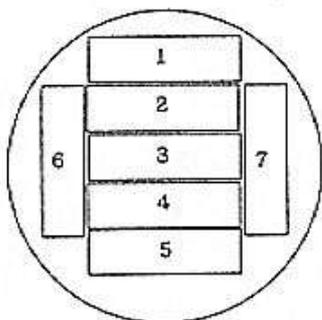


図2 ラミナの木取り法

## 2. 4 低コスト乾燥の研究

ラミナの乾燥歩留まりの向上を図る目的で、人工乾燥時における栈木間隔と栈積み全体への载荷条件が乾燥歩留まりに与える影響について検討した。栈積みへの無载荷時における栈木間隔条件別の仕上がり板厚の相対度数分布図を図3に、仕上がり板幅の相対度数分布図を図4に示す。

この結果から、栈木間隔を短くすることにより板厚や板幅の乾燥歩留まりが向上する傾向が認められた。

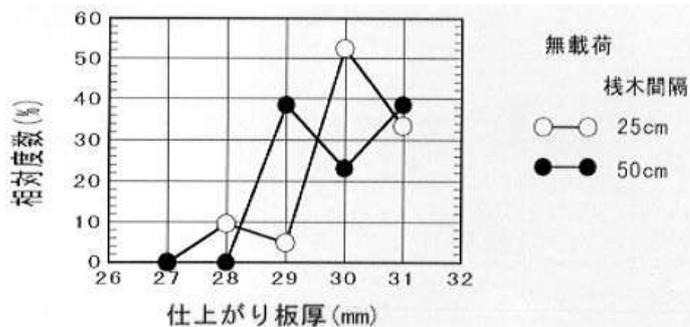


図3 仕上がり板厚の相対度数

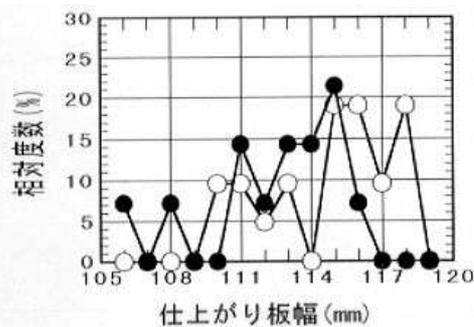


図4 仕上がり板幅の相対度数

また、栈木間隔25cmにおける荷重有無別のラミナの仕上がり板厚及び仕上がり板幅の累積相対度数を図5、6に示す。

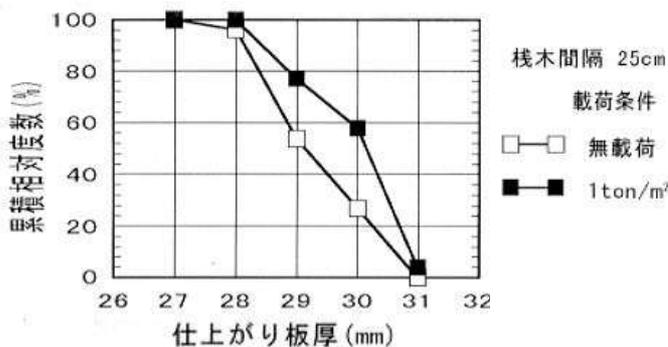


図5 仕上がり板厚の累積相対度数

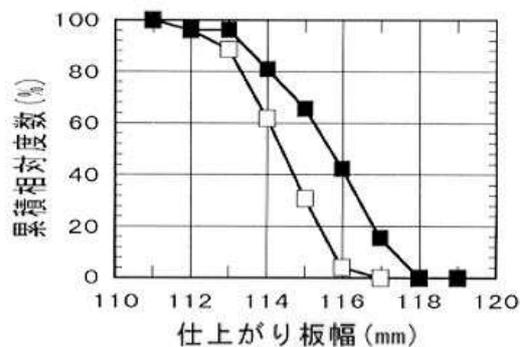


図6 仕上がり板幅の累積相対度数

この結果から、仕上がり板厚を29mmに設定した場合、荷重無しでは全ラミナの54%、荷重有りでは77%を、また仕上がり板厚を28mmに設定した場合、荷重無しでは全ラミナの96%、荷重有りでは全てのラミナを利用でき、4ポイントの歩留まり向上が認められた。次に仕上がり板幅を114mmに設定した場合、荷重無しでは全ラミナの62%、荷重有りでは81%を、また仕上がり板幅を113mmに設定した場合、荷重無しでは全ラミナの88%、荷重有りでは全ラミナの96%を利用でき、8ポイントの歩留まり向上が認められた。

## 2.5 接着工程の改善研究

接着加工工程は、従来の集成材の製造工程の中で、最も加工時間と人手を要する工程であり、集成材の製造コストを押し上げる大きな原因となっていることから、省力化を図るため、安価な連続式接

着装置の開発・試作に取り組んでいる。

本装置は、ラミナの搬送機構、接着剤を塗布する機構、それを集積し、圧力を加え接着する機構及び出来た集成材を搬出する機構で構成され、それからできる集成材の製品寸法は、10.5×12cm角×3m材（管柱）、生産規模としては、時間当たり約1m<sup>3</sup>（管柱換算で30本）を計画している。

## 2.6 集成材の性能評価

丸太の動的ヤング係数（E<sub>f</sub>）により等級区分したラミナから製造した集成材の強度性能についての試験結果を表4に示す。また、曲げ強さ及び縦圧縮強さの確率密度関数（正規分布）を図7に示す。なお、等級区分はE<sub>f</sub> < 50tonf/cm<sup>2</sup>、50tonf/cm<sup>2</sup> ≤ E<sub>f</sub> < 70tonf/cm<sup>2</sup>、E<sub>f</sub> ≥ 70tonf/cm<sup>2</sup>の3区分である。

この結果から、丸太をE<sub>f</sub>で区分することでそのラミナから製造した集成材の強度のパラツキは小さくなる傾向が認められた。また、E<sub>f</sub>で区分した各強度の平均値は、E<sub>f</sub>が高くなるに連れ大きくなり、5%下限値も高くなる傾向が認められた。このことから、丸太をE<sub>f</sub>で等級区分することで、パラツキの少ない集成材及び利用先で要求される強度の集成材の製造が可能と思われる。

表4 中小断面集成材の強度性能

丸太区分		曲げ強さ MOR kgf/cm <sup>2</sup>	縦圧縮強さ Fc-o kgf/cm <sup>2</sup>
全体	平均値	377.8	311.3
	最大値	478.8	389.8
	最小値	244.2	235.7
	5%下限値	285.2	252.7
	C.V. (%)	14.7	11.2
E <sub>f</sub> < 50	平均値	350.5	267.4
	最大値	419.0	304.8
	最小値	249.9	235.7
	5%下限値	268.0	234.9
	C.V. (%)	14.1	7.2
50 ≤ E <sub>f</sub> < 70	平均値	373.3	311.2
	最大値	470.2	347.0
	最小値	244.2	279.7
	5%下限値	282.4	278.3
	C.V. (%)	14.7	6.2
E <sub>f</sub> ≥ 70	平均値	416.1	352.9
	最大値	478.8	389.8
	最小値	356.8	335.3
	5%下限値	348.1	326.5
	C.V. (%)	9.8	4.4

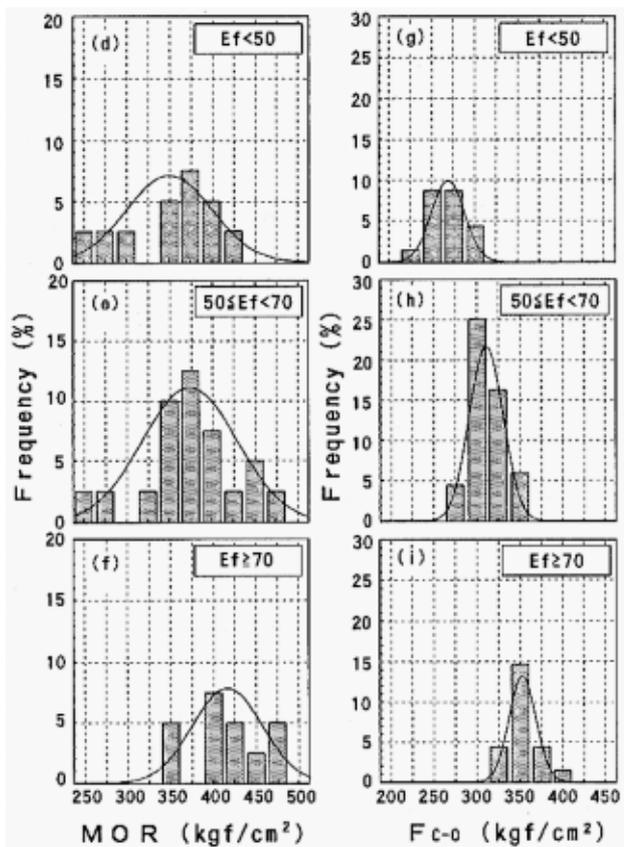


図7 曲げ強さ（MOR）及び縦圧縮強さ（Fc-o）の頻度分布

### 3. 丸太の等級区分装置の開発

#### 3. 1 丸太及びラミナの動的ヤング係数 (E f)

(2. 1) で測定した県産中目スギ429本の中から抽出した90本の丸太について、E fにより  $E f < 50 \text{ tonf/cm}^2$ ,  $50 \text{ tonf/cm}^2 \leq E f < 70 \text{ tonf/cm}^2$ ,  $E f \geq 70 \text{ tonf/cm}^2$  で区分した丸太及びそれから得られた乾燥ラミナのE fの試験結果を表5に示す。また、丸太のE fとそれから得られたラミナのE fの関係を図8に示す。

表5の結果から、各区分における乾燥ラミナのE fは、丸太のE fに比べ平均値で4~7tonf/cm<sup>2</sup>増であり、丸太から得られるラミナの強度は大きな値を示した。また、図8の結果から、丸太のE fとそれから得られたラミナのE fの間には高い相関が認められ、このことから丸太のE fがわかればラミナのE fが推測できることがわかった。

表5 各区分の丸太及びラミナの強度

区分	丸太		乾燥ラミナ	
	Ef (tonf/cm <sup>2</sup> )	本数	Ef-Ld (tonf/cm <sup>2</sup> )	枚数
Ef ≤ 50	41.5 (13.1)	25	48.9 (20.6)	129
50 < Ef ≤ 70	59.8 (9.5)	41	63.7 (15.4)	225
70 < Ef	75.8 (5.3)	24	77.9 (13.7)	124
全体	59.0 (23.2)	90	63.4 (23.1)	478

※ただし、( )内は変動係数(%)

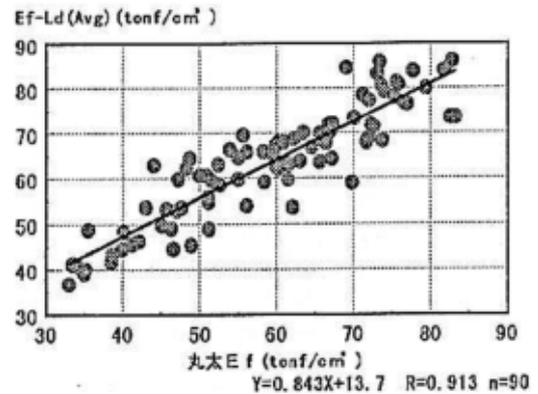


図8 丸太E fとラミナE fの関係

#### 3. 2 集成材の動的ヤング係数 (E f) 及び曲げヤング係数 (MOE)

前述の等級区分毎に集成材を製造し、そのE fと水平積層荷重 (MOE-H) 及び垂直積層荷重 (MOE-V) の試験結果を表6に示す。表6の結果から、各区分におけるMOE-H, MOE-Vは、いずれもE fよりも大きな値を示した。また、MOE-HはMOE-Vに比べ大きな値を示した。これは集成材を製造する際、外層側に強いラミナを配分したことにより、水平積層荷重であるMOE-Hは外層側の引っ張り応力が大きくなったことによると思われる。

次に集成材のE fとMOE-H, MOE-Vの関係を図9に示す。この結果から、E fとMOE-H, MOE-Vの相関係数はそれぞれR=0.918, R=0.951であり、相関が高いことがわかった。

表6 集成材の強度性能

	Ef-e (tonf/cm <sup>2</sup> )	MOE-H (tonf/cm <sup>2</sup> )	MOE-V (tonf/cm <sup>2</sup> )	本数
Ef ≤ 50	48.3 (9.8)	52.8 (12.2)	49.9 (7.5)	32
50 < Ef ≤ 70	63.7 (6.1)	69.6 (6.7)	66.6 (5.6)	55
70 < Ef	77.2 (6.5)	82.1 (4.3)	79.0 (4.5)	31
全体	63.1 (18.2)	68.3 (17.3)	65.3 (17.3)	118

※ただし、( )内は変動係数(%)

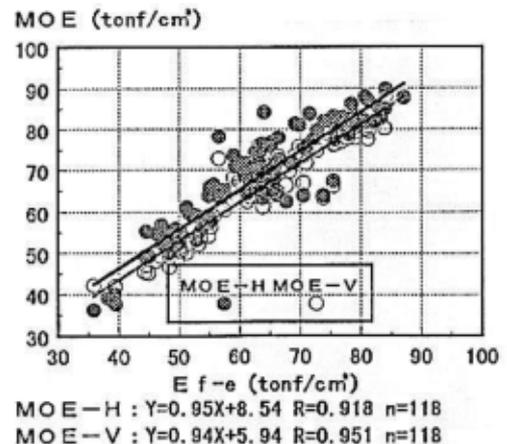


図9 集成材のE fとMOEの関係

### 3. 3 丸太の等級区分装置の信頼性

以上の結果から、丸太の動的ヤング係数（ $E_f$ ）がわかれば、それから得られるラミナ及び集成材の強度が予測できることがわかった。このことで利用する側で求められるある一定の強度の集成材を製造する際、効率的な生産が可能になると思われる。

そこで、 $E_f$ により強度区分する丸太の等級区分装置の開発に取り組んだ。丸太の $E_f$ を算出する際の固有振動数を求めるには、3次の周波数を用いることが最適であることがこれまでにわかっていることから、今回試作した丸太の等級区分装置は3次の周波数を採用した。

丸太を単体で測定したときの3次の周波数と等級区分装置で測定したときの3次の周波数の関係を図10に示す。その結果、両者の間には高い相関が認められたことから、試作した装置は実用規模の装置として使用可能であると思われる。

本装置は、「丸太の等級区分装置」として特許出願した。

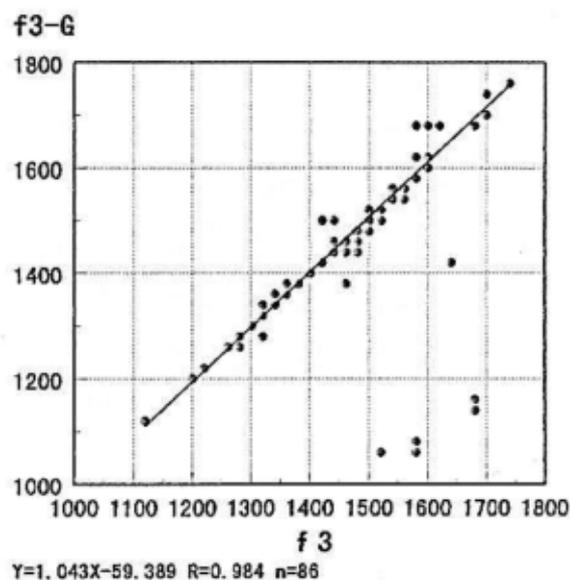


図10 単木( $f_3$ )と等級区分装置( $f_3-G$ )で測定したときの3次の周波数の関係

## 4. おわりに

加工システムの方では、県産中目スギの平均的な強度性能を把握したうえで、その目標である品質の安定した集成材の製造技術の確立と製造コストの低減化を図るために研究を進めている。これまでの成果について以下にまとめた。

- 1) 県産中目スギ丸太の動的曲げヤング係数は、平均値 $63\text{tonf/cm}^3$ であった。
- 2) 木取り法の検討において、ラミナの木取り幅を5mm小さくすることでラミナ歩留まりの向上が期待できる結果が得られた。
- 3) ラミナの乾燥時において、栈積み間隔を狭くすることで、また載荷することで乾燥時の変形を抑制でき、乾燥後のラミナの歩留まりは向上する傾向が認められた。
- 4) 丸太を動的ヤング係数で等級区分し、それから得られたラミナで集成材を製造し、その強度試験をした結果、バラツキの少ない、また利用先で求められる強度の集成材を製造できることがわかった。
- 5) 丸太、それから得られるラミナ、及びそれを用いて製造した集成材の強度評価に打撃法（動的ヤング係数）が有効であることがわかった。その成果として特許「丸太の等級区分装置」を出願した。

以上、加工システムの研究はまだ終結をむかえていないが、さらに研究を進め、利用システムの方とうまく連携・検討を行いながら、集成材の特徴を生かした中小断面集成材利用住宅の実現に向け、取り組んでいきたい。