

地域産針葉樹中径材を利用した住宅用高機能性部材の開発

－合わせ貼り及び重ね貼り軸材料の製造と性能評価－

担当者 富田守泰 長谷川良一 杉山正典* 西嶋隆

目 次

はじめに.....	1	2 カラマツスギによる異樹種重ね 軸材料の製造と性能評価	8
I 合わせ貼り軸材料の製造と性能評価.....	2	2.1 試験方法	8
1 試験方法.....	2	2.2 結果および考察	10
2 結果および考察.....	3	3 鉄筋挿入重ね貼り軸材料の製造と 性能評価	12
II 重ね貼り軸材料の製造と性能評価	6	3.1 試験方法	12
1 スギスギによる重ね貼り軸材料の 製造と性能評価	6	3.2 結果および考察	13
1.1 試験方法	6	まとめ	15
1.2 結果および考察	7	引用文献	16

は じ め に

戦後植林されたスギは柱どり径級以上となり、年々蓄積量が増大する一方である。今後、柱どり径級以上のいわゆる中径材の材の利用が大きな課題となっている。

従来から東海地域ではスギ中径材を板材や各種造作材に利用してきた。一方、北陸地域では住宅用梁・桁などの横架材として利用してきた。このようにスギ中径材の用途は地域の林業事情と密接に関わってきた。しかしながら、最近の軸組構法住宅における当該部材は合板やベイマツに置き換わってきている。一部メーカー住宅では集成材にまで移行してきている。

その中において、構造材としてのスギ材利用を進めるためには、価格を考慮した寸法安定性向上と、強度性能の確保が重要となっている。

また、過去に国産材小径正角材を積層し横架材として開発した事例が見受けられる⁽¹⁾が、スギ中径材の蓄積量が増大し、有効利用が問題になっていることから、今後は中径材を使用した、より高性能の構造材を開発する必要がある。

開発ポイントとして以下の3点が上げられる。第1に、大断面部材の乾燥を容易にすること。第2に施工後の寸法安定性能を高めること。第3に高強度化と強度安定性能向上の確保である。

そこで、まず乾燥を容易にする観点から、I「合わせ貼り軸材料の製造と性能評価」により、製品厚さの半分のエレメントを乾燥後に貼り合わせる「乾燥後接着による合わせ軸材料」（以後乾燥後接着部材）の製造を試みた。同時に寸法安定性向上の観点から、生材で使用してもある程度寸法安定が期待できる「生材接着による合わせ軸材料」（以後生材接着部材）の製造を試みた。

次に、高強度化の観点からII「重ね貼り軸材料の製造と性能評価」により、1 スギ平割材とスギ平角材の貼り重ね 2 カラマツ平割材とスギ平角材による異樹種による貼り重ね 3 さらにスギ材間に鉄筋挿入を実施し、歩留まり向上とより安定した高強度横架材の製造を試みた。それらの性能評価について報告する。

*1 現在、工芸試験場

I 合わせ貼り軸材料の製造と性能評価

1. 試験方法

1.1 供試原木

供試原木は郡上郡大和町地内のスギ材で、4mに玉切りした末口径20～26cmの中径材18本を用いた。

1.2 木取り方法

この原木の動的ヤング係数(Efr)を求め、平均Efrと総材積が同程度になるよう3等分した。図-1に示す木取り図を目標に、従来から実施されている一般軸部材木取りにより6本、合わせ貼軸材木取りにより、乾燥後接着用材として6本、同木取りによる生材接着用材として6本の製材を実施した。合わせ貼り軸材は最終製品寸法厚さ120mm、幅120、150、180、210mmの軸部材を想定し、それぞれ60×120～210mm(5～10mm歩増し)に製材した。一方、製材部材の木取りは材心で同寸の製品を想定し製材した。

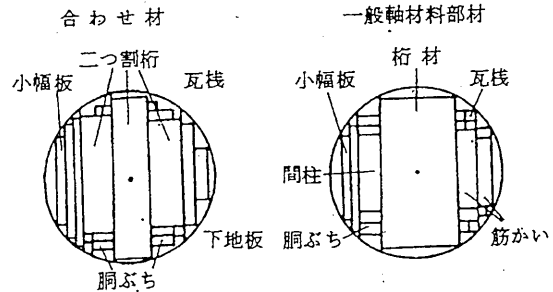


図-1 試験材の木取り

1.3 生材接着

生材接着用エレメントについて、グレーディングマシンによるヤング係数を測定し、貼合わせエレメント2枚の平均が各製品個体とも同程度になるよう組合せた。心去り材は木表側をプレーナーがけし、木表側で2枚合わせの生材接着部材を製造した。

接着は末端にイソシアネート基を有する湿気硬化型の高含水率材用ウレタン接着剤で、接着諸条件は下記のとおりである。

	主剤	硬化剤	塗布量	圧締条件
湿気硬化型イソシアネート接着剤	100部	20部	300g/m ²	8kg/cm ²
商品名(マルカボンドX-287M)+(キャタリストG)				

1.4 生材接着部材と一般軸部材の天然乾燥

生材接着部材と一般軸部材については、含水率25%を目標に天然乾燥を実施した。期間は12月から3月までの120日間とした。

1.5 人工乾燥と乾燥材接着

乾燥後接着用エレメントは丸みの付いたままで含水率25%を目標に天然乾燥し、その後人工乾燥にて10%まで乾燥した。厚さ決め後、グレーディングマシンによるヤング係数を測定し、貼合わせエレメント2枚の平均が各製品とも同程度になるよう組合せた。心去り材は木裏側をプレーナーがけし、木裏側で2枚合わせの軸部材を製造した。

接着はレゾルシノール樹脂接着剤で、接着諸条件は下記のとおりである。

	主剤	硬化剤	塗布量	圧締条件
レゾルシノール樹脂接着剤	100部	15部	300g/m ²	8kg/cm ²

1.6 強度性能試験

全ての部材について、接着後あるいは乾燥後製品寸法に調整し、製品のヤング係数を測定した。ヤング係数の測定は2種類実施し、①部材を横にして接着面と平行に荷重を加えた場合と②部材を立てて、通常横架材として使用する方向、つまり接着面と直角に荷重を加えた場合とした。曲げ強度は後者のヤング測定とともに実施した。

1.7 暴露後の接着性能試験

強度試験終了後、生材接着部材については製材棟東側の軒下で3年間暴露した。暴露した部材から4個体の無欠点部材を採取し、高さ方向にせん断試験片を作成した。測定項目はせん断破壊強度と木破率である。

一連の試験の流れを図-2に示す。

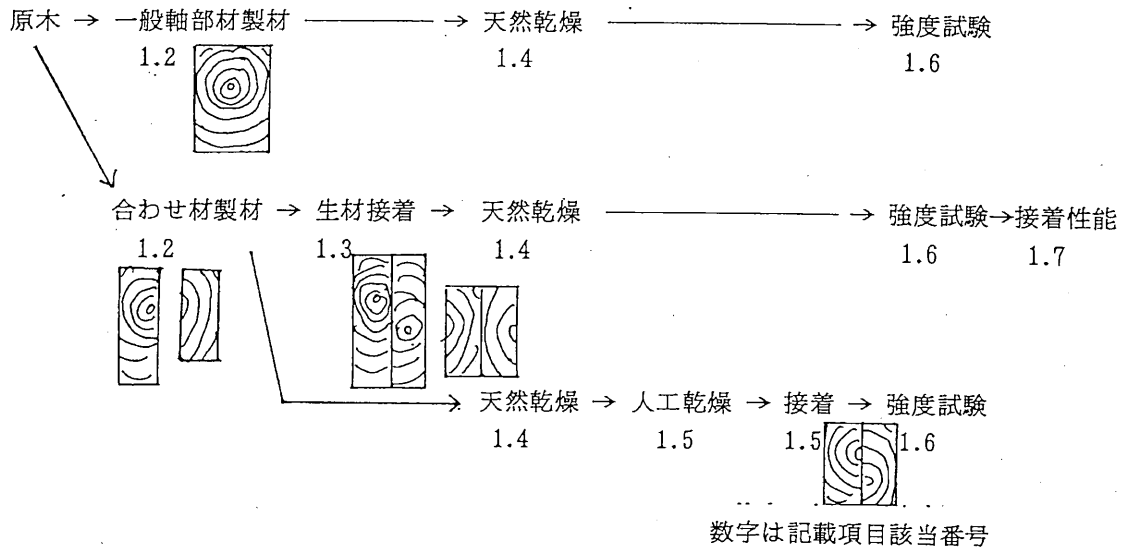


図-2 合わせ貼り軸材料の製造と性能評価の流れ

2. 結果および考察

2.1 製材木取りと歩留まり

木取り別製品と製材歩留まりを表-1に示す。

木取りに際しては造作用材を含めて、可能な限り高歩留まりとなるよう配慮したため、木取った総製材品の製材歩留まりは合わせ貼り木取りで64~69%弱、一般軸部材木取りで71%と好成績であった。

2.2 生材接着による合わせ貼軸材料の製造と性能評価

2.2.1 製品の寸法安定性能測定

生材接着部材と一般軸部材における乾燥後の含水率を図-3に、乾燥による製品の品質変化を図-4に示す。

図-3によれば、生材使用で竣工を想定した120日間の天然乾燥では、含水率が20~50%存在している。図-4によれば、120日間の収縮量は合わせ部材、一般軸部材ともに両端から1mm、合計2mm程度生じている。特に一般軸部材の割れによる見かけの寸法異方性が高いのに比べ、生材接着部材では均一に収縮している。一般軸部材では一定の材面に心割れが生じ、材面により、割れも含めた見かけの収縮率に差が生じているためである。ところが一方、生材接着部材では心割れは生じていないため、材表面は半径方向と接線方向の中

表-1 木取り別製品と歩留まり

合わせ材(生材接着)の木取り					
	材寸法(m)	一割目(%)	本割(%)	材積(m³)	
二つ割材	0.210*0.06*4	0.0504	2	0.1008	5~10mm歩増し
	0.180*0.06*4	0.0432	4	0.1728	"
	0.150*0.06*4	0.0360	5	0.1800	"
	0.120*0.06*4	0.0288	3	0.0864	"
	0.120*0.04*4	0.0192	1	0.0192	"
胴 柱	0.045*0.015*2	0.0014	4	0.0054	
	0.045*0.015*4	0.0027	15	0.0405	
小 幅 板	0.060*0.012*2	0.0014	9	0.0130	
	0.090*0.012*2	0.0022	8	0.0173	
	0.120*0.012*2	0.0029	6	0.0173	
瓦 板	0.018*0.015*2	0.0005	14	0.0070	
	0.018*0.015*4	0.0011	2	0.0022	
合計材積(m³)				総製材品	構造材のみ
原木材積(m³)				0.7055	0.6024
製材歩留まり(%)				平均 22.0	偏差 1.66
				64.09	54.72

合わせ材(乾燥後接着)の木取り					
	材寸法(m)	一割目(%)	本割(%)	材積(m³)	
二つ割材	0.210*0.06*4	0.0504	4	0.2016	5~10mm歩増し
	0.180*0.06*4	0.0432	2	0.0864	"
	0.150*0.06*4	0.0360	10	0.2880	"
	0.120*0.06*4	0.0288	3	0.0576	"
	0.120*0.04*4	0.0192	3	0.0576	"
胴 柱	0.045*0.015*2	0.0014	4	0.0054	
	0.045*0.015*4	0.0027	15	0.0405	
小 幅 板	0.060*0.012*2	0.0014	18	0.0259	
	0.090*0.012*2	0.0022	6	0.0130	
	0.120*0.012*2	0.0029	9	0.0097	
瓦 板	0.018*0.015*2	0.0011	9	0.0097	
	0.018*0.015*4	0.0022	21	0.0756	
合計材積(m³)				総製材品	構造材のみ
原木材積(m³)				0.8037	0.6336
製材歩留まり(%)				平均 22.45	偏差 1.24
				68.62	54.10

一般軸部材部材の木取り					
	材寸法(m)	一割目(%)	本割(%)	材積(m³)	
桁 材	0.150*0.120*4	0.0720	4	0.2880	5~10mm歩増し
	0.180*0.120*4	0.0864	1	0.0864	"
	0.210*0.120*4	0.1008	1	0.1008	"
胴 柱	0.135*0.045*4	0.0243	6	0.1458	
	0.120*0.017*4	0.0082	2	0.0163	
筋 かい	0.120*0.027*4	0.0130	4	0.0518	
	0.105*0.027*4	0.0085	3	0.0255	
	0.105*0.027*4	0.0113	3	0.0340	
胴 柱	0.045*0.015*2	0.0014	18	0.0243	
	0.060*0.012*2	0.0014	9	0.0130	
小 幅 板	0.090*0.012*2	0.0022	5	0.0106	
	0.120*0.012*2	0.0029	8	0.0230	
瓦 板	0.018*0.015*2	0.0005	16	0.0086	
	0.018*0.015*4	0.0011	3	0.0032	
合計材積(m³)				総製材品	構造材のみ
原木材積(m³)				0.8317	0.7487
製材歩留まり(%)				平均 22.53	偏差 1.94
				71.40	64.28

間的な性質を示し、幅、厚さ共に同程度の収縮を示している。

また、心持ちエレメントどうしの生材接着部材では心持ちの一般軸部材と同様に半径方向の幅に比べ接線方向の厚さ収縮が特に大きい。

木表どうしの生材接着により剥離や内部割れが想定されたが、ほとんど生じていなかった。総合的には異方性のない収縮が見られ、大壁工法の柱材として使用した場合、クロスの切れる問題は生じないと思われる。

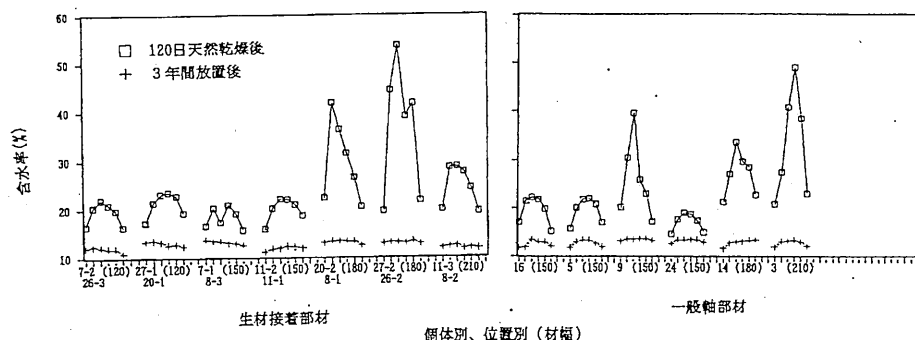


図-3 乾燥後含水率分布

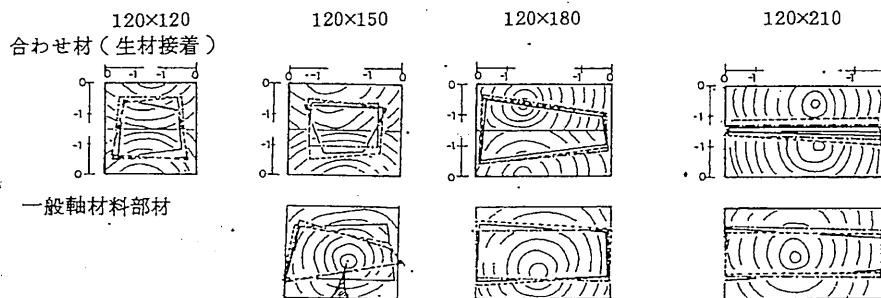


図-4 製品の品質変化

各線 試験箇体の各材辺からの収縮量(mm)
縦線は個体別を示す

2.2.2 製品強度の測定

接着面の直角方向に荷重（幅広面からの荷重）を加えた時のヤング係数と、接着面と平行方向に荷重を加えた時のヤング係数の関係について図-5に示す。均一部材であればX、Yともに同値である。一般軸部材及び乾燥後接着材については $Y=X$ 軸上に位置しているが、生材接着については直角荷重時のヤング係数が平行荷重時と比較し低い傾向がある。比較的ヤングが低いと想定される材中央に近い木裏が外層にきているためと思われる。合わせ貼り材は横架材として接着面と平行荷重として使用されることからすれば実用での影響はないものと思われる。

使用時を想定した接着面と平行荷重における曲げヤング係数と曲げ強さの関係を図-6に示す。曲げヤング係数の製造方法による差はあまりないものの曲げ強さでは生材接着が下方に位置している。ただ最低値は乾燥後接着材と同じで、下限値規定ではそれほどの違いはないものと思われる。

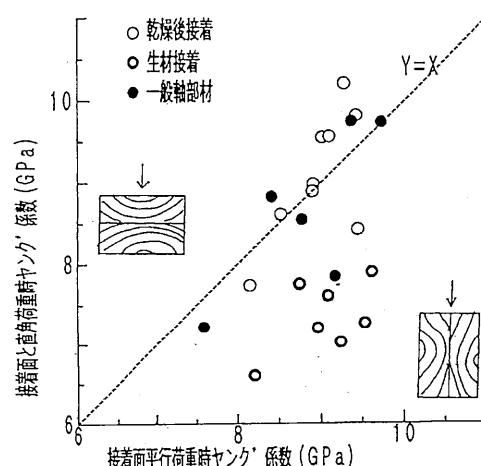


図-5 製品の荷重方向別ヤング係数の関係

2.2.3 接着性能測定

暴露した部材のせん断試験を実施した。せん断破壊強度は幅広の一個体を除き、平均で60Kgf/cm²となった。構造用集成材の適合基準である54Kgf/cm²に平均値では達しているものの最低値は40~50Kgf/cm²を示し、基準に達していない。(図-7)

木破率は更に低く、平均値で60%前後で基準の70%に達していない。(図-8) 接着後のせん断試験は実施していないため、暴露による結果かどうかは判断できない。

また生材接着と2.3.2による一般の構造用集成材との比較では、せん断破壊強度はわずかに低く、その低下率は10Kgf/cm²以内である。同じ木破率では平均値で10%低い結果となった。

また暴露による木材の収縮の接着層せん断強度への影響について断面の幅別に示したが、わずかに外部ほど低い傾向は見られるものの、明かな差は認められない。

2.3 乾燥後接着による合わせ貼軸材料の製造と性能評価

2.3.1 製品強度の測定

図-5.6に示した結果では曲げヤング係数、曲げ強さともに一般軸部材と変わらない。ただヤング係数が高いわりに曲げ強さが低い個体は、幅の広い心持ちエレメントどうしの接着に見られる。

2.3.2 接着性能測定

生材接着と同様に、暴露した部材のせん断試験を実施した。(図-9) 全ての個体で、構造用集成材の適合基準⁽²⁾である54Kgf/cm²に平均値では達しており、イソシアネート接着よりわずかに高い結果となった。

木破率も一部を除き、平均値で基準の70%に達している。(図-10)

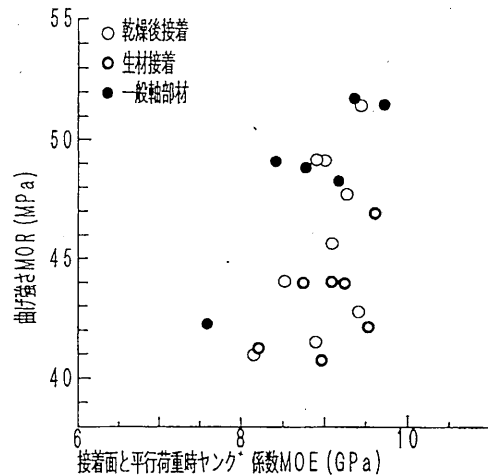


図-6 製品の荷重方向別ヤング係数の関係

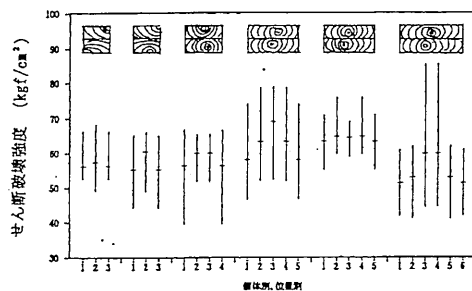


図-7 生材イソシアネート接着の接着層位置別せん断破壊強度

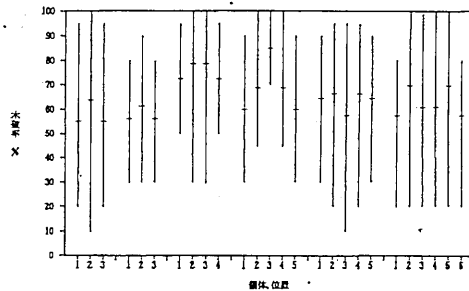


図-8 生材イソシアネート接着の接着層位置別木破率

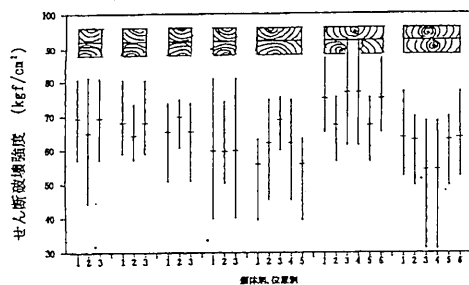


図-9 乾燥材イソシアネート接着の接着層位置別せん断破壊強度

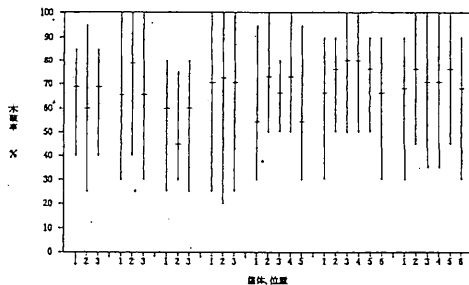


図-10 乾燥材イソシアネート接着の接着層位置別木破率

II 重ね貼り軸材料の製造と性能評価

1 スギスギによる重ね貼り軸材料の製造と性能評価

1. 1 試 験 方 法

1.1.1 供試原木

供試材は岐阜県森林組合連合会岐阜共販所にて購入した末口径23cm～29cm(平均25cm)の4mスギ材で、30本を供試した。原木の各径級、年輪幅、比重、FFTアナライザーによる動的ヤング係数(Eflog)を測定した。

1.1.2 木取り方法

製材は製品寸法120mm厚(製材寸法131mm)の平角材(以後製材エレメントとする)で、幅は製品寸法150mm以上30mm刻み(製材寸法164mm+32mm刻み)とした。

製材両端から同じく製品幅120mm(製材寸法131mm)の平割材(以後貼り重ね用エレメントとする)を製品寸法30mm,45mm,60mm(製材寸法33mm,49mm,65mm)の厚さに木取った。

その他の副製品は野地板、胴ぶち用に製材した。(図-11)

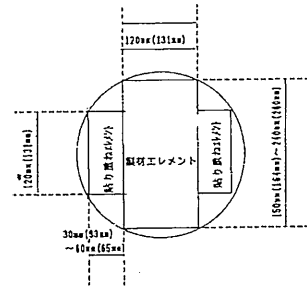


図-11 製材木取り方法

1.1.3 乾燥方法

製材後重量を測定し、IF型蒸気式乾燥室にて生材から人工乾燥を行った。乾燥スケジュールは初期80℃6℃差、終期80℃25℃差とした。両エレメントとも同時に乾燥し、貼り合わせエレメントは138時間で、製材エレメントは210時間で終了した。

1.1.4 エレメントの調整

製材エレメントについては乾燥後に含水率計により含水率を測定した。さらに乾燥後含水率と重量から乾燥前の含水率を算出した。エレメントとの材厚および材幅の調整を自動鉋盤にて行った。

1.1.5 エレメントの各ヤング係数測定

製材エレメントは実大強度試験機にてスパン360cm、3等分点4点荷重にて荷重を加え2点間の荷重一全歪みよりヤング係数を測定した。なお、エッジワイズ(Ea-lum)とフラットワイズ(Ea-f-lum)2回測定した。また動的ヤング係数(Eflum)を測定した。(以下エッジワイズ測定とは製材エレメントのみをいう。)また、荷重は試験材それぞれの断面毎にスギの長期許容応力に相当する荷重を加えた。

貼り重ねエレメントはスパン360cmの2支点間に上記と同様の3等分点4点荷重となるように荷重台を作成し、死荷重を加え、2荷重間の全歪みからヤング係数(Edw)を測定した。

1.1.6 エレメントの組み合わせ

製材エレメントと貼り重ねエレメントの想定される組み合わせから材種の多い2つの組み合わせについて実施した。(表-2) すなわち、製材エレメント180mmに対して貼り重ねエレメント30mmを両端に接着し幅240mmの製品9本と製材エレメント210mmに対して貼り重ねエレメント45mmを両端に接着し成300mmの製品8本を製造した。

個々のエレメントの組み合わせは、測定したヤング係数により以下のように配置した。すなわち、幅240mm用については製材エレメントのヤング係数に関わらず貼り重ねエレメントの高い順に上下のエレメントを配置した。幅300mm用については製材エレメントのヤング係数が低い順に貼り重ね用の高いエレメントを配置した。

表-2 想定される製品とエレメントの組み合わせ(mm)
(製材エレメント、製品は材幅、貼り重ねエレメントは材厚)

製材 エレメント	貼り重ね エレメント	製品	製材 エレメント	貼り重ね エレメント	製品
150	30×2	210	210	30×2	270
	45×2	240		45×2*	300
	60×2	270		60×2	330
180	30×2*	240	240	30×2	300
	45×2	270		45×2	330
	60×2	300		60×2	360

*試作した材種

1.1.7 接着

再度接着面の仕上げ鉋削後、プレス機により接着した。接着条件は下記のとおりである。

接着剤 レゾルシノール樹脂接着剤 主剤 100部 硬化剤 15部
塗布量 300g/m² 両面塗布 圧締条件 8Kg/m²

1.1.8 理論値の算出

接着したエレメントのヤング係数を下式1⁽³⁾に当てはめ、製品の理論値を算出した。

$$E_{cal} = 0.95 \times \Sigma (E_i \cdot I_i) / I \quad (\text{式1})$$

E_i : i 番目エレメントの曲げヤング係数

I_i : i 番目エレメントの中立軸に対する断面2次モーメント

I : 中立軸に対する断面2次モーメント

1.1.9 強度試験

接着後1カ月養生し、製材機にて製品厚さを120mmに調整した後、強度試験を実施した。測定はヤング係数(MOE)および曲げ強度(MOR)を測定した。

1.2 結果および考察

1.2.1 供試原木

供試原木の測定値を表-3に示す。末口径平均25cmで平均年輪幅4.6mm、動的ヤング係数7.3GPaとなり、ほぼ長良川流域で出荷されている平均的な原木である。曲がり、偏心率等はほとんどなかった。

1.2.2 製材木取りと歩留り

原木の径級分布と製材された各エレメント分布、歩留りを表-4に示す。エレメントの歩留りは48%、副製品を含めて58%であった。この値は最終製品の値であり、乾燥後の変形を考慮した歩増し量は妥当な値かと思われる。

製材エレメントの材種は高さ180,210mmが大半を示し、貼り重ねエレメントは30,45mm厚が大半をしめる。中径材の現状からこの材種の製材が主となるう。

1.2.3 エレメントのヤング係数

エレメントのヤング係数測定結果を表-5に示す。

製材エレメントのエッジワイズでは幅の広い材ほど極端に低い傾向を示す。しかし、フラットワイズや動的ヤング係数では6.8~8.9GPaで安定した値を示す。一方、貼り重ねエレメントでは動的ヤング係数で8GPa、フラットワイズのEdwによるヤング係数では8~9GPa以上を示しており、このエレメントを有効に使うことがいかに必要かを示している。

1.2.4 製品強度

図-12にエッジワイズにおける製品と製造エレメントの曲げヤング係数の関係を示す。重ね合わせたエレメントの関係を破線でつなぎ、横軸に重ね合わせた製品の曲げヤング係数を示す。製材エレメント

表-3 供試原木の測定値 30個体

供試原木の測定値						30個体	
末口径 (cm)	元口径 (cm)	平均年輪幅 (mm)	材種 m ³	生材密度 (kg/m ³)	動的ヤング係数 (kg/cm ²)	ヤング係数 (GPa)	
最小値	23.0	26.0	3.6	0.2150	0.549	55860	5.480
平均値	25.4	28.4	4.6	0.2637	0.677	74611	7.319
最大値	29.0	32.0	7.5	0.3430	0.856	101340	9.941
標準偏差	1.38	1.49	0.95	0.0291	0.075	12305	1.207

表-4 供試原木状況および製品の歩留まり

原木		製材エレメント	材種 m ³		歩留り %	
			貼り重ね エレメント	エレメント 計	副製品	全製品
材種	7.911	2.750	1.030	3.780	0.789	4.569
1本当り	0.264	0.092	0.034	0.126	0.026	0.152
歩留り		34.77	13.01	47.78	9.97	57.75
径級	本	材種	本	材種	本	
23	1	150×120	2	30×120	35	
24	7	180×120	17	45×120	21	
25	12	210×120	9	60×120	2	
26	4	240×120	2			
27	3					
28	2					
29	1					
計	30	計	30	計	59	

表-5 エレメントの各種ヤング係数

	製材エレメント				貼り重ねエレメント		
	150×120	180×120	210×120	240×120	30×120	45×120	60×120
個体数	2	17	9	2	36	21	2
エッジワイズ							
最小値	7.66	4.95	4.76	4.29			
平均値	7.89	6.17	5.65	4.43			
最大値	8.12	7.12	7.93	4.58			
標準偏差	0.23	0.62	0.92	0.15			
フラットワイズ							
最小値	8.29	6.28	5.99	7.16	6.28	6.28	8.82
平均値	8.86	7.69	7.46	7.36	8.23	9.08	9.03
最大値	9.43	9.43	8.63	7.55	11.49	12.26	9.24
標準偏差	0.57	0.91	0.88	0.19	1.29	1.53	0.21
動的ヤング							
最小値	6.42	5.42	5.70	6.78	5.85	5.50	7.90
平均値	7.23	6.76	7.17	6.78	7.56	8.02	7.93
最大値	8.04	8.53	8.59	6.78	10.92	9.86	7.96
標準偏差	0.81	0.93	0.97	0.00	1.15	1.24	0.03

の低い順に高い貼り重ねエレメントを配置した300mm製品では、製材エレメントと製品の曲げヤング係数に負の相関傾向が生じている。これは製品の曲げヤング係数は製材エレメントよりも上下端の貼り重ねエレメントの影響を強く受けているためである。また、300mm製品の曲げヤング係数は240mm製品に比べ、貼り重ねエレメントのヤング係数が高いわりに低い傾向が見受けられる。

図-13にフラットワイズにおける製品と製造エレメントの曲げヤング係数の関係を示す。フラットワイズでは製品曲げヤング係数は製材エレメントの影響が大きく、貼り合わせエレメントのヤング係数に

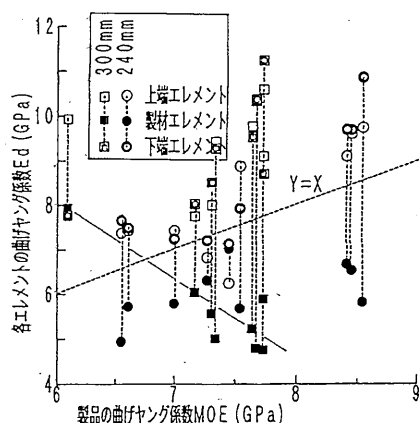


図-12 エッジワイズによる製品と製造エレメントの曲げヤング係数

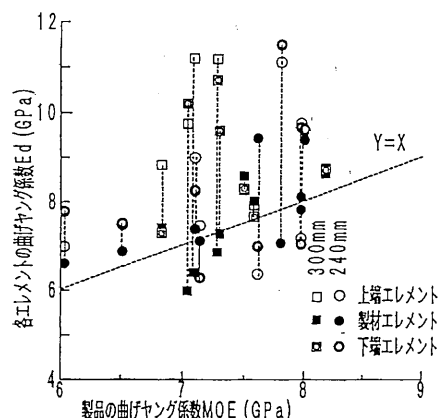


図-13 フラットワイズによる製品と製造エレメントの曲げヤング係数

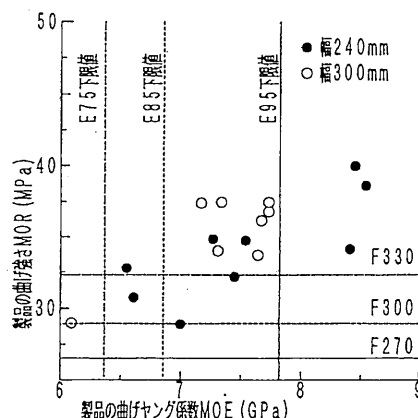


図-14 製品の曲げヤング係数と曲げ強さ

係わずばば製材エレメントと同値に近い傾向である。

通常エッジワイズでを使用することを想定しているため、貼り重ねエレメントのヤング係数に見合った組み合わせ方法を製品のヤング係数との関係から検討する必要がある。その一つの方法として、下端の貼り重ねエレメントをヤング係数の上位から順に配置し、一方製材エレメントを下位から順に配置して組み合わせることで、ヤング係数のばらつきを抑えた製品が製造できると思われる。

図-14に製品の曲げヤング係数と曲げ強さの関係を示す。一個体を除きJAS集成材によりE75-F240製品が製造できた。組み合わせを検討すれば、JAS異等級構成構造用集成材基準によるE75-F240相当の製品製造が可能となろう。また、製材エレメントの低い順に高い貼り合わせエレメントを配置した幅300mm材では240mmに比べばらつきが少なく、さらに安定した製品が可能となろう。

2 カラマツスギによる異樹種重ね貼り軸材料の製造と性能評価

2.1 試験方法

2.1.1 供試原木

供試原木は末口径23cm～29cm(平均26cm)の4mスギ材で、24本を供試した。原木測定は1.1.1と同様である。

2.1.2 木取り方法

製材幅は1.1.2と同様であるが、幅は製品寸法210mm以上15mm刻み（製材寸法228mm+16mm刻み）とした。スギエレメント材としての歩留まりを測定するため、貼り重ねエレメントとして1.1.2と同様の厚さに製材した。副製品も同様である。（図-15）

貼り合わせ用カラマツエレメントについては別途製材品を使用した。製材寸法は製品寸法30mm,45mm（製材寸法33mm,49mm）の厚さに木取った。

2.1.3 乾燥方法

製材後重量を測定し、IF型蒸気式乾燥室にて生材から人工乾燥を行った。乾燥スケジュールは1.1.3と同様。両エレメントとも同時に乾燥し、貼り重ねエレメントは138時間で、製材エレメントは210時間で終了した。

2.1.4 エレメントの調整

1.1.4と同様に行った。

2.1.5 エレメントの各ヤング係数測定

製材エレメントの測定は1.1.5と同様である。

貼り重ねエレメントは飯田工業製のグレーディングマシンMGN-101Gにより測定した。測定条件は同じくスパン360cmの2支点間に1.1.5と同様の3等分点4点荷重にて行った。

2.1.6 エレメントの組み合わせ

製材エレメントと貼り重ねエレメントの想定される組み合わせについて表-6により検討した。

つまり製材エレメントを180mmから240mmまで15mm刻みとし、貼り重ねエレメントは30,45,60mmとした場合、製材エレメント両端に重ね3層貼りで想定した。これによれば大別して270mmと300mmの製品が想定される。今回は2階梁の1間ピッチ2間梁を想定し、300mmから材種の多い3つの組み合わせについて実施した。

すなわち、製材エレメント210mmに対して貼り重ねエレメント45mmを両端に接着し幅300mmの製品10本と、製材エレメント240mmに対して貼り重ねエレメント30mmを両端に接着し幅300mmの製品7本を製造した。また、歩留まり向上の観点から製材エレメント225mmに対して、下部側に45mm、上部側に30mmの貼り重ねエレメントを接着した幅300mmの製品3本を製造した。

個々のエレメントの組み合わせは、測定したヤング係数により以下のように配置した。すなわち、出来る限り製材エレメントのヤング係数が低い順に、貼り重ね用の高いエレメントを配置した。

2.1.7 接着

プレス機により接着した。接着条件は1.1.7と同様である。

2.1.8 理論値の算出

1.1.8と同様に行った。

2.1.9 強度試験

接着後50日程度養生し、製品幅は未調整のまま、強度試験を実施した。測定は曲げヤング係数(MOE)および曲げ強さ(MOR)である。

2.1.10 接着性能試験

強度試験後、ほぼ2年間室内に放置し、接着性能を測定した。JAS基準により、せん断破壊強度と木部破断率を測定した。

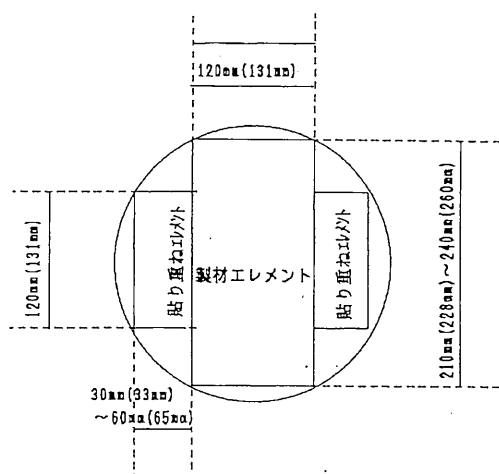


図-15 製材木取り方法

表-6 想定される製品とエレメントの組み合わせ (mm)
(製材エレメント、製品は材幅、貼り合わせエレメントは材厚)

製材エレメント	貼り重ねエレメント	製品	製材エレメント	貼り重ねエレメント	製品
180	30×2	240	210	30×2	270
	45×2	270		45×2 *	300
	60×2	300			
			225	30, 45 *	300
195	30, 45	270			
	45, 60	300	240	30×2 *	300

* 試作材種

2.2 結果および考察

2.2.1 供試原木

供試原木の測定値を表-7に示す。末口径平均26cmで平均年輪幅3.9mm、動的ヤング係数8.2GPaとなった。ほぼ長良川流域で出荷されている平均的な原木より良材であり、1 スギスギによる重ね軸材料の製造用原木より径級が大きく、年輪幅も小さくなっており、強度も強い材料であった。

表-7 供試原木の測定値 24個体

	末口径 cm	元口径 cm	平均年 mm	材積 m ³	生材密度 (kg/m ³)	動的ヤング係数 (kg/cm ²)	(GPa)
最小値	23.0	26.0	1.9	0.2150	0.664	62296	6.111
平均値	25.9	30.7	3.9	0.2756	0.833	83343	8.176
最大値	29.0	37.0	7.1	0.3473	1.076	107621	10.558
標準偏差	1.91	3.01	1.12	0.0409	0.119	12939	1.269

2.2.2 製材木取りと歩留り

原木の径級分布と製材された各エレメント分布、歩留まりを表8に示す。製材エレメントの歩止りは40%で、貼り重ねエレメントとしてスギ材を利用することを考慮したエレメントの合計は55%となり、副製品を含めて65%であった。この値は最終製品の値であり、乾燥後の変形を考慮した歩増しは含めていない。

表-4と比較し、全体で7%程度向上しているが、その大半は製材エレメントの向上分であった。その理由として二つある。第一に製材エレメントの幅方向製材に以後の収縮も考慮して、多少の丸みを許容したため比較的材幅の高いエレメントの製材が可能となったためである。第二に製材エレメントの幅ピッチを15mmとし、異寸法の貼り重ねエレメントを作成したためである。

製材エレメントの材種は幅210,240mmが大半を示し、貼り重ねエレメントは30,45mm厚が大半をしめる。今後問題となる中径材での製材エレメントは180,195mmも視野に入れるべきであろう。

表-8 供試原木状況および製品の歩留まり

材積m³ 歩留り%

原木		製材エレメント		貼り重ね エレメント		エレメント 計	副製品	全製品
材積(㎡)	6.610		2.642		1.008	3.650	0.632	4.282
1本当り(㎡)	0.276		0.110		0.042	0.152	0.026	0.178
歩留り(%)			40.0		15.2	55.2	9.6	64.8
径級	本	材種	本	材種	本			
23	3	210×120	10	30×120	19			
24	3	225×120	3	45×120	22			
25	6	240×120	7	60×120	9			
26	2	255×120	2					
27	4	270×120	2					
28	3							
29	3							
計	24	計	24	計	50			

表-9 エレメントの各種ヤング係数 (MPa)

	製材エレメント			貼り重ね エレメント	
	210×128	225×128	240×128	30×128	45×128
個体数	10	3	7	22	18
静的ヤング係数Ed					
最小値	0.596	0.638	0.696	0.810	1.120
平均値	0.759	0.821	0.764	1.202	1.563
最大値	0.965	0.916	0.909	1.562	2.272
標準偏差	0.089	0.130	0.072	0.192	0.300
動的ヤング係数Ef					
最小値	0.569	0.666	0.675		
平均値	0.760	0.873	0.755		
最大値	1.019	1.114	0.870		
標準偏差	0.109	0.184	0.065		

2.2.3 エレメントのヤング係数

エレメントのヤング係数測定結果を表-9に示す。

スギの製材エレメントは個体数の少ない225mmを除き平均0.76MPaで、カラマツの貼り重ねエレメントは約1.8倍の1.20~1.56MPaである。製材エレメントは動的ヤング係数を測定したがほぼ同じ値を示した。

2.2.4 製品強度

図-16に製品と製造したエレメントの曲げヤング係数の関係を示す。接着したエレメントは破線で関連づけている。

製材エレメントのヤング係数が低い順に高いヤング係数の貼り重ねエレメントを組み合わせしており、その結果として、製材エレメントのヤング係数に関係なく、製品のヤング係数は貼り重ねエレメントの値に影響している。

図-17に各エレメントから式1の理論式により算出された曲げヤング係数と製品のヤング係数との関係を示す。相関係数は0.838であるが回帰式の傾斜が緩く、高ヤング域では理論値が高めに出る傾向がある。

図-18に製品の曲げヤング係数と曲げ強さの関係を示す。JASによる異等級構造用集成材基準によればすべてE95-F270に該当し、スギとしては最も等級の高い規格にあたる。特にヤング係数の向上は顕著で、E105下限値をすべてクリアしている。

なお、破壊形態を付記したが、F330以下で破壊した製品は節によるものが大半である。今回の貼り重ねエレメントは節について検討していないため、節径比による選別を行うことでさらに高強度材を期待できる。

なお破壊の形態として下端エレメントの因子としては節と素材があるが、いずれにしても下端エレメントの破壊と同時に下端エレメントとの接着上部で年輪に沿って剪断する事例が多く、下端エレメントが素材によって破壊した場合の主要原因として製材エレメントの剪断も考えられる。

2.2.5 異樹種間の接着性能

スギ・カラマツ接着層の性能をブロックせん断試験により測定した。せん断強度は図-19に木破率は図-20に示した。せん断破壊強度は一個体の最低値を除きJASによるスギの基準値54 Kgf/cm²以上に該当し、木部破断率もほぼ基準値の70%以上を示している。2年間の室内暴露を考慮すれば、室内使用中での異樹種による接着層の性能低下は認められない。

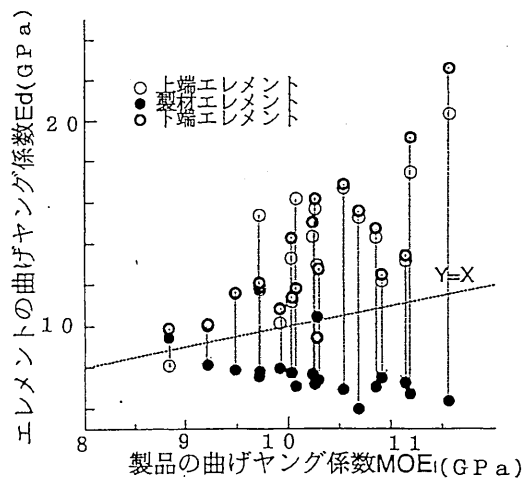


図-16 製品と製造エレメントの曲げヤング係数

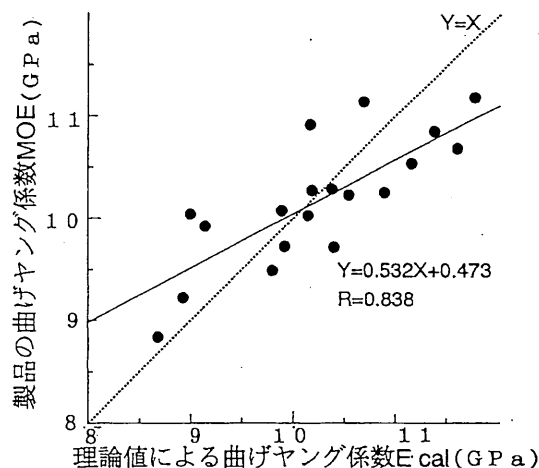


図-17 Edからの理論値ヤング係数と曲げヤング係数

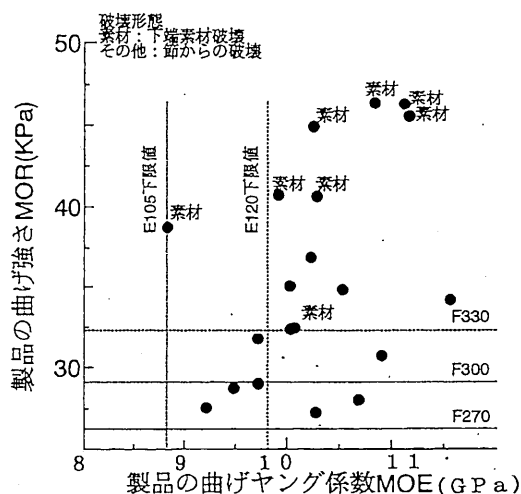


図-18 製品の曲げヤング係数と曲げ強さ

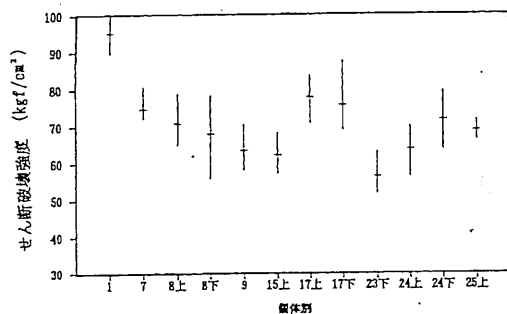


図-19 スギーカラマツ個体別せん断破壊強度

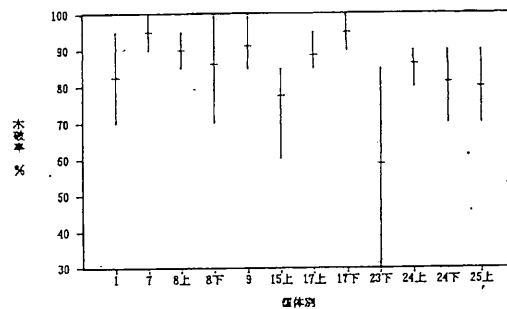


図-20 スギーカラマツ個体別木破率

3 鉄筋挿入重ね貼り軸材料の製造と性能評価

3.1 試験方法

3.1.1 供試原木

供試原木は末口径22cm～27cm(平均25cm)の4mスギ材で、22本を供試した。原木測定は1.1.1と同様である。

3.1.2 木取り方法

製材幅は1.1.2と同様であるが、幅は製品寸法195mm以上5mm刻み(製材寸法210mm+6mm刻み)とした。製材両端から同じく製品幅120mm(製材寸法131mm)の貼り重ね用エレメントを製品寸法25mm～60mm(製材寸法28mm～65mm)の厚さに木取った。

その他の副製品は野地板、胴ぶち用に製材した。(図-21)

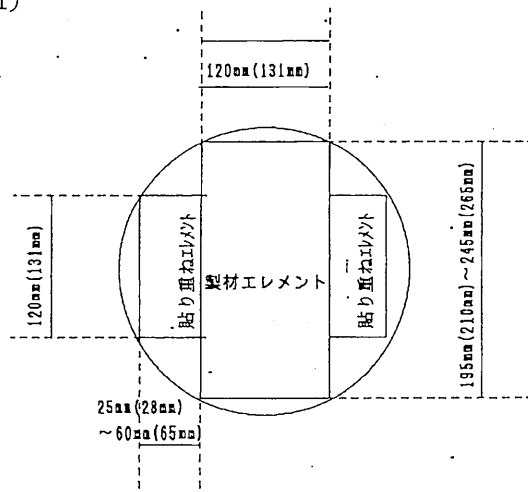


図-21 製材取り方法

3.1.3 乾燥方法

製材後重量を測定し、6ヶ月間天然乾燥を実施した。

3.1.4 エレメントの調整

貼り重ね用エレメントとともに材厚および高さの調整を自動鉋盤にて行った。

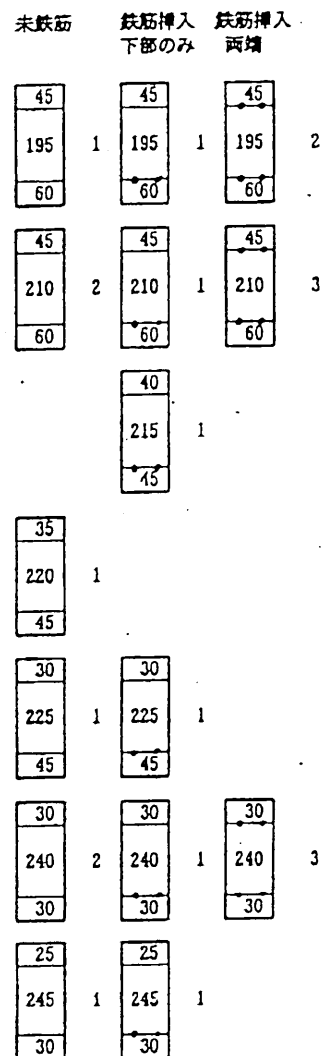


図-22 製造重ね貼り材種と個体数

3.1.5 エレメントの各ヤング係数測定

製材エレメントは実大強度試験機にてスパン360cm、3等分点4点荷重にて荷重を加え、2点間の荷重—全歪みよりヤング係数を測定した。荷重は試験材それぞれの断面毎にスギの長期許容応力に相当する荷重を加えた。

貼り重ねエレメントはスパン360cmの2支点間に上記と同様の3等分点4点荷重となるように荷重台を作成し、死荷重を加え、2荷重点間の全歪みからヤング係数を測定した。

3.1.6 エレメントの組み合わせ

歩留まり向上と、できるだけ多くの一定幅の製品製造を目的とするため、製材エレメントは195mmから245mmまで5mm刻みとし、貼り重ねエレメントは25mm～60mmまで5mm刻みとした。目的製品として2階梁の1間ピッチ2間梁を想定し、材幅300mmの部材を製造した。

貼り重ね材種は合計7種で、製材エレメントの両端接着層間に鉄筋幅の丸溝加工を行い、図-22に示す組み合わせとした。同じ厚さの貼り重ねエレメントはヤング係数の高いエレメントを下部に配置し、全て梁せい300mm材となるよう組み合わせた。

製品区分は鉄筋未挿入、下部のみ2本のD10異形鉄筋(SD295A)を挿入、上下挿入の3種とした。また、それぞれの区分がほぼ同寸エレメントの構成となるよう組み合わせた。(図-22)

3.1.7 接着

プレス機により接着した。接着条件は1.1.7と同様である。

3.1.8 無筋製品の理論値の算出

2.1.8と同様である。

3.1.9 強度試験

接着後30日程度養生し、製品幅を120mmに調整して強度試験を実施した。測定は2.1.9と同様である。

3.2 結果および考察

3.2.1 供試原木

供試原木の測定値を表-10に示す。末口径平均25cmで平均年輪幅4.4mm、動的ヤング係数7.9GPaとなった。ほぼ長良川流域で出荷されている平均的な原木であり、スギの貼り重ね材料として使用した1.2.1にほぼ近い径級で、年輪幅も同様である。ただ動的ヤング係数は1.2.1より1割弱高くなっており、2.2.1より1割低くほぼ中間の原木である。

表-10 供試原木の測定値 22個体

	末口径	元口径	平均年	材積	生材密度	原木動的ヤング係数	製材動的ヤング係数		
	cm	cm	mm	m ³	kg/m ³	(kg/cm ³)	(GPa)	(kg/cm ³)	(GPa)
最小値	22.5	26.0	2.60	0.2076	0.515	60875	5.972	63194	6.20
平均値	25.1	29.2	4.41	0.2579	0.764	80345	7.882	82005	8.04
最大値	27.0	32.0	7.20	0.3091	0.970	112663	11.052	110034	10.79
標準偏差	1.24	1.72	1.12	0.0259	0.101	14671	1.439	13135	1.29

3.2.2 製材木取りと歩留り

原木の径級分布と製材された各エレメント分布、歩留まりを表-11に示す。製材エレメントの歩止りは41%で、貼り重ねエレメントとしてスギ材を利用することを考慮したエレメントの合計は54%となり、副製品を含めて62%であった。この値は最終製品の値であり、乾燥後の変形を考慮した歩増しは含めていない。

歩留まりは製材エレメントの幅ピッチによるところが大きく、1.2.2の30mm、2.2.2の15mm、そしてこの5mmピッチの結果によれば今回のようにあまり細かくしても更なる歩留まり向上は期待できない。現場での作業の明瞭さも含め15mmが最も実用的なピッチと思われる。

表-11 供試原木状況および製品の歩留り

材積 m^3 歩留り%

原木		製材 エレメント		貼り重ね エレメント		エレメント 計	副製品	全製品
材積(m^3)	5.674	2.330		0.751		3.081	0.446	3.527
1本当り(m^3)	0.258	0.106		0.034		0.140	0.020	0.160
歩留り(%)		41.1		13.2		54.3	7.9	62.2
径級	本	材種	本	材種	本			
22	2	195×120	4	25×120	2			
23	1	210×120	6	30×120	21			
24	5	215×120	1	35×120	1			
25	7	220×120	1	40×120	1			
26	5	225×120	2	45×120	18			
27	2	240×120	6					
		245×120	2					
	22		22		43			

3.2.3 エレメントのヤング係数

エレメントのヤング係数測定結果を表-12に示す。

3.1.6によりエレメントを組み合わせた結果、製材エレメントでは、無筋は鉄筋に比べ高い個体が集中した。貼り重ねエレメントについても無筋製品に高いエレメントが配置されている。これは、同厚材について、製材エレメントのヤング係数順に、同じ順位の貼り重ねエレメントを選択したためである。結果的には理論値ヤング係数(木構造基準に基づく実測値からの集成材ヤング係数 理論値×0.95)で0.75GPaの差が生じた。

表-12 エレメント及び製品の無筋、鉄筋別性能結果

		エレメント曲げヤング係数			理論曲げヤング係数				製品性能		
		製材エレメント		貼り重ねエレメント	ヤング係数		ヤング係数	曲げ強度	曲げ強度	比例限度	MPa
		GPa	GPa		GPa	GPa					
無筋	最小値	7.04	6.72	8.03	6.24	6.98	27.90	20.73			
	平均値	8.80	8.29	9.91	7.76	8.17	39.57	25.13			
	最大値	10.79	10.83	11.64	10.15	9.39	47.34	29.10			
	標準偏差	1.35	1.36	1.12	1.21	0.73	6.95	2.70			
鉄筋	最小値	6.20	5.25	6.82	5.01	7.65	21.00	21.00			
	平均値	7.61	7.92	8.94	7.01	8.83	39.42	25.43			
	最大値	10.17	10.65	10.72	9.38	10.04	50.78	30.02			
	標準偏差	1.02	1.36	1.11	1.20	0.75	7.32	2.96			

3.2.4 製品強度

表-12に製品の曲げ性能結果を、図-23～25にエレメントと製品の曲げヤング係数の関係を示す。接着したエレメント間は破線で関連づけている。

図-23の無筋製品は全体的にエレメントの曲げヤング係数に比べて製品の曲げヤング係数が低く、図-24の鉄筋製品はその逆で、エレメントの曲げヤング係数に比べ製品の曲げヤング係数が高い傾向となっている。図-25により無筋、鉄筋用それぞれのエレメントの曲げヤング係数の差を理論値算出により全て無筋とみなし、製品のヤング係数との関係を示す。これによれば、無筋製品のヤング係数は理論値に沿っているが、鉄筋製品は特に低ヤング個体で剛性強化が認められる。結果的には、表-12の平均値の比較により認められる。すなわち、無筋の場合は貼り重ねても製材エレメントからの剛性向上は認められないが、鉄筋製品では製材エレメントが7.61GPaから製品の8.83GPaへと向上し16%程度の剛性向上が認められた。

図-26に曲げヤング係数と曲げ強さの関係を示す。曲げ強さとヤング係数との相関は認められる。ただし曲げ強さの無筋と鉄筋の差は認められない。鉄筋挿入効果は曲げ強さには認められなかった。

集成材JAS基準により無筋重ね製品を評価すると、ヤング係数で規定されE75-F240となる。鉄筋挿入によりヤング係数が向上し一ランク上のE85-F255に該当した。しかし、カラマツとの異樹種重ね軸材料ほどの効果は期待できなかった。更に鉄筋挿入は製造経費の上昇や加工の困難性が増すなどの問題点があり、柱との接合を含めたトータルな効果を期待して利用すべきであろう。

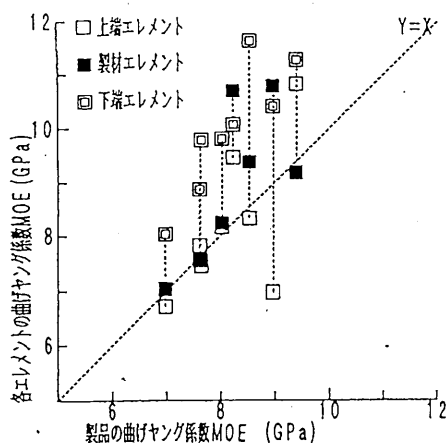


図-23 無筋製品と製造要素の曲げヤング係数

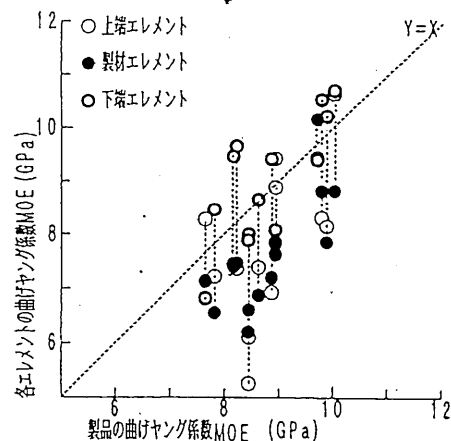


図-24 鉄筋製品と製造要素の曲げヤング係数

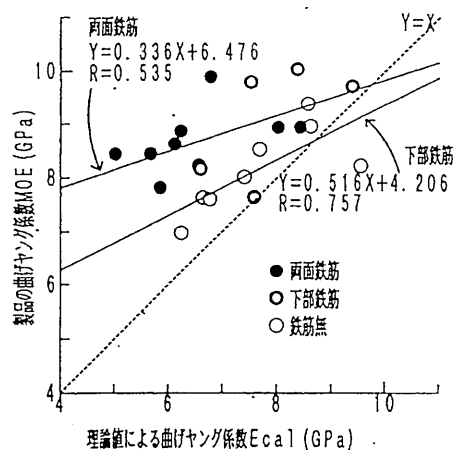


図-25 理論値曲げヤング係数と製品の曲げヤング係数

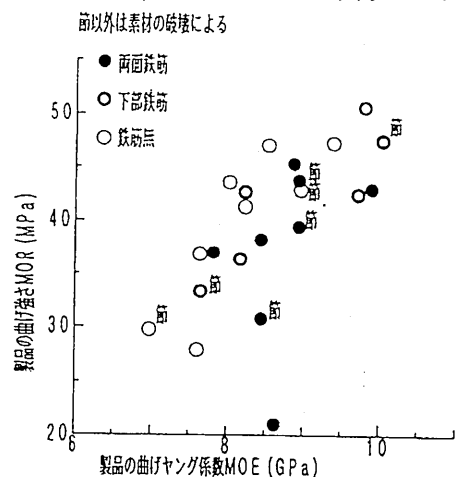


図-26 製品の曲げヤング係数と曲げ強さ

まとめ

I 合わせ貼り軸材料

1. 合わせ貼り用木取り材の歩留まりは一般軸部材の木取りと大差ない。
2. 木表側の生材接着による梁材は心割れがなく、厚さ、幅方向とも収縮率による差がない。樹心が原因で生じる割れとそれに伴う変形が防止できる。
3. 生材接着による幅の広い合わせ貼り材は心持ち材が多く、寸法変化では一般の心持ち軸部材と変わらない。
4. 合わせ貼り軸部材の強度は一般軸部材と変りない。また、合わせ前の要素の強度を推定することで安定した製品を製造することができる。
5. 一般に幅の広い合わせ貼り材は心持ちで未成熟材部が多く、幅の狭い心去り材に比べ、強度が低い。
6. 生材接着によるせん断強度は3年間の暴露後で、平均値で約60Kgf/cm²となり、構造用集成材の適合基準54Kgf/cm²に達している。最低値では基準に達していないものの、乾燥材にレゾルシノールで接着した合わせ貼り軸部材の強度と比較しても遜色のない結果である。
7. 合わせ貼り材のメリットとしては要素のヤング係数を求め、値を考慮して組み合わせることで安定した製品の製造が可能となることであり、集成材と製材品の中間的な製造ラインを模索すべきであろう。

II 重ね貼り軸材料

1. 重ね貼り軸材料全般に関して

重ね貼り軸材料を効率よく製造するためには、最終製品の幅から製材エレメントと貼り重ねエレメントの木取り寸法を決定する必要がある。原木として平均24cmの中径材を使用し、住宅用梁桁部材として幅240mm～300mmの製品を30mmピッチで製造するならば、製材エレメントは幅180～240mmで15mmピッチで、貼り重ねエレメントは厚さ30mm～60mm、15mmピッチで製造することが合理的であろう。この方法では、通常の平角製材の幅基準である30mmピッチより数パーセントの歩留まり向上が期待できる。

2 スギ・スギによる重ね貼り軸材料

- 2.1 通常、桁や梁材製材の端材として筋交いなどに利用される平割材はヤング係数が80tf/cm²ないし90tf/cm²以上で、重ね貼り軸材料の外層用エレメント材として適している。
- 2.2 スギ材同士の重ね貼り軸材料の強度は製材エレメントのヤング係数値にかかわらず、引っ張り側の下層重ね貼りエレメントのヤング係数が最も関与している。
- 2.3 エレメントのグレーディングを実施して梁の下端に高ヤングの貼り重ねエレメントを集成接着することでJAS集成材基準のE75-F255に該当する重ね貼り軸材料の製造が可能である。

3 カラマツ・スギによる異樹種重ね貼り軸材料

- 3.1 スギ平角材の両端に異樹種材料として強度性能の高いカラマツを貼り重ねた結果、集成材JAS基準のE95-F270相当の重ね軸部材が製造でき、スギ集成材では最も等級の高い規格にあたる。
- 3.2 特にヤング係数の向上が期待でき、全ての試験材で、E105の下限值以上となった。
- 3.3 暴露により異樹種であることの接着層の強度劣化は認められなかった。

4 鉄筋挿入重ね貼り軸材料

- 4.1 重ねスギ材との間に鉄筋を挿入し接着することで、ヤング係数は貼り重ね前の製材エレメントよりも16%程度の向上が認められた。
- 4.2 鉄筋挿入により曲げ強度の向上は認められない。
- 4.3 無筋重ね軸材料ではJAS集成材基準のE75-F255に該当したが、鉄筋挿入により、一ランク上のE85-F255に向上した。
- 4.4 鉄筋挿入は製造経費の上昇や加工の困難さに繋がるため、柱との接合を含めたトータルな効果を期待して利用すべきである。

引用文献

- (1)木造軸組構法等の開発業務報告書—合成梁等の利用開発— s60,61 日本住宅・木材技術センター
- (2)平成7年度食品等適正製造基準作成事業報告書構造用集成材H8.3 日本合板検査会
- (3)木構造設計基準・同解説 1995 日本建築学会