

## 〈資料〉

## スギ丸太および製材品のヤング係数によるグレーディング

中田欣作・柳川靖夫

奈良県産スギ材の構造用の製材品としての需要拡大を目的として、径級24～38cm、年輪数41～93のスギ丸太70本から梁材として用いる幅105および120mm×厚さ180～360mmの平角製材品および集成材のラミナとして用いる幅105mm×厚さ30mmの厚板製材品を採材した。平角製材品は人工乾燥後にモルダ加工して製品とし、厚板製材品は人工乾燥後に縦継ぎ、モルダ加工、積層接着して集成材を製造した。これらの製造工程の中で、丸太、平角、ラミナおよび集成材のヤング係数を測定した。丸太のヤング係数は8.3kN/mmiであり、丸太の等級区分ではE190等級が約60%であった。丸太のヤング係数と年輪数との間には相関が認められなかったため、本研究で用いた丸太と同様の40～80年生の丸太は同等のヤング係数を示すと考えられる。平角およびラミナのヤング係数はそれぞれ8.7kN/mmiおよび9.7kN/mmiであり、等級区分された丸太からは同等あるいは1ランク高い等級の平角およびラミナが得られた。ラミナはL80、L90、L100およびL110等級がそれぞれ約20%であり、これらのラミナを用いて製造した幅105mm×厚さ240mm×長さ6000mm、強度等級E95-F270の異等級対称構成中断面構造用集成材のヤング係数は10.1kN/mmiであった。

## 1. はじめに

スギ、ヒノキ材の需要拡大を図るために、奈良県では含水率と強度性能を明示した製材品を地域認証材として販売する体制作りに取り組んでいる。

奈良県産の木材、特に吉野材は樹齢80年以上の優良材として有名であったが、現在の山林における蓄積は8～10齢級がピークであるので、今後は40～50年生の一般材が多く出材されると考えられる。そのような一般材からは、住宅の構造材である柱、土台等の正角や梁、桁および胴差等の平角が生産されている。今後は、集成材用のラミナ、筋かい、間柱、板壁材および床材として用いる厚板の需要も増えると考えられる。

奈良県産の木材の他県産に対する優位性はその強度性能にあると考えられ、高樹齢の優良材から得られた製材品は高い強度性能を有することが曲げ試験により確認されている<sup>1,2)</sup>。しかし、今後の主流になる一般材についてはその強度性能は優良材のそれよりも低いと予想される。また、今後は地域認証材として強度性能を正確に測定して保証する必要があるため、これらの一般材の強度性能を正確に把握しておく必要がある。

本研究では、スギ一般材を対象として、スギ丸太から梁材として用いる平角製材品および集成材のラミナとして用いる厚板製材品を採材し、丸太から最終的な製材品あるいは集成材までの製造工程の中で、丸太、平角、ラミナおよび集成材のヤング係数を測定し、これら相互の

関係について検討した。

なお、本試験は奈良県地域材認証センターから依頼を受けて西垣林業株式会社および高田木材協同組合の協力を得て行ったものである。

## 2. 材料および方法

表1に示すように、五條および十津川森林組合より出材された地域認証材用のスギ丸太70本を用いた。丸太径級は24～38cm、材長は3.9～4.7m、元口の年輪数は41～93であった。

図1に丸太、ラミナおよび集成材のヤング係数の測定方法を示す。なお、平角のヤング係数の測定方法は後述の図2に示した。

丸太の両木口の短径と長径、材長、重さおよび打撃音の固有振動周波数を測定して丸太の縦振動ヤング係数を求めた。重さはフォークリフトの重量計を用いて精度10kgで測定した。丸太の両木口の直径は短径と長径の平均値としたが、丸太の木口が割れている場合や根張りが大きい場合には、それらを外れた部分の周囲長を測定して直径を求めた。

丸太から心持ち平角1丁と両側の背板から厚板を1枚ずつ採材した。平角は表1に示すように個々の丸太の大きさに合わせて製品寸法が幅105あるいは120mm×厚さ180～360mmの製品を採材した。なお、平角の製材時の断面寸法は幅および厚さを製品寸法より15mm大きくした。

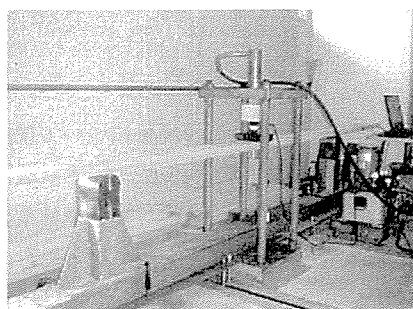
表1 丸太および採材された平角

径級 (cm)	丸太		幅105mmの平角の本数 <sup>a)</sup>							幅120mmの平角の本数 <sup>a)</sup>							歩留まり <sup>b)</sup> (%)
	本数 (本)	年輪数 (個)	180 (本)	210 (本)	240 (本)	270 (本)	300 (本)	330 (本)	360 (本)	180 (本)	210 (本)	240 (本)	270 (本)	300 (本)	330 (本)	360 (本)	
24	9	66		4						1	4						65.7
26	19	60	2	6	4						3	4					57.6
28	16	64			2	3					1	7	3				56.9
30	15	62		1	1	5						2	5	1			50.6
32	7	63			1		1						3	2			48.0
34	3	53												1	2		49.2
38	1	44														1	43.6
平均値		62															55.4

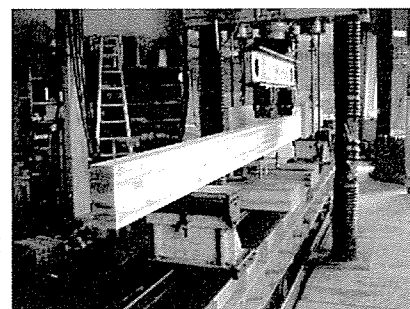
(注) <sup>a)</sup>:下段の数字は平角の厚さ(mm) <sup>b)</sup>:平角および厚板2枚を合計した歩留まり、太字は主に採材された平角製材品を示す。  
丸太および平角の試験体数は70体。



丸太の材長の測定

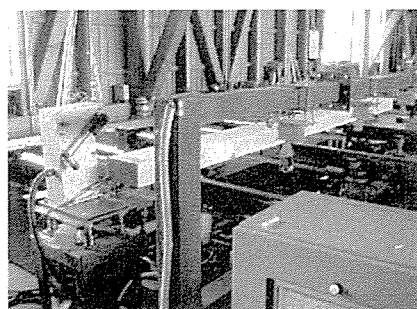


ラミナのヤング係数の測定

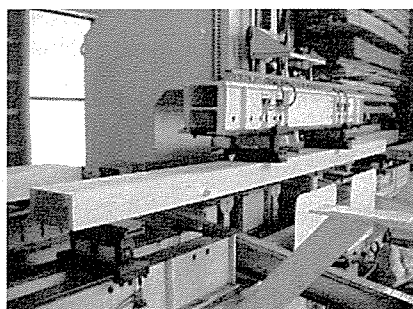


集成材のヤング係数の測定

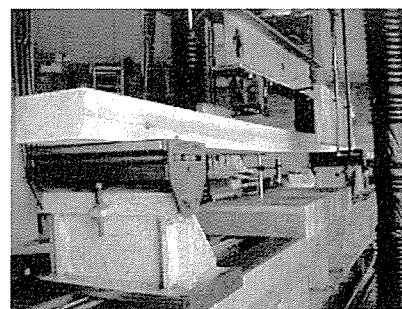
図1 丸太、ラミナおよび集成材のヤング係数の測定



打撃式グレーディングマシン



曲げ式グレーディングマシン



曲げ強度試験

図2 グレーディングマシンによる製材品のヤング係数の測定

厚板は製品寸法が幅105mm×厚さ30mmであるが、製材時の断面寸法は幅115mm×厚さ36mmとした。表1に示した歩留まりは、末口2乗法による丸太の材積および製品寸法より算出した。

ラミナは中温乾燥を行った後、高周波式含水率計MOCO-2を用いて材長方向の3ヶ所の含水率を測定するとともに、スパン2000mmの中央集中荷重により曲げ剛性

試験を行い、荷重およびスパン中央のたわみを測定して曲げヤング係数を求めた。

平角は高周波・蒸気複合乾燥を行った後、高田木材協同組合において図2に示す打撃式グレーディングマシンを用いて含水率および縦振動ヤング係数を測定した。なお、グレーディングマシンを用いて測定された平角の縦振動ヤング係数は後述の方法により曲げヤング係数と同

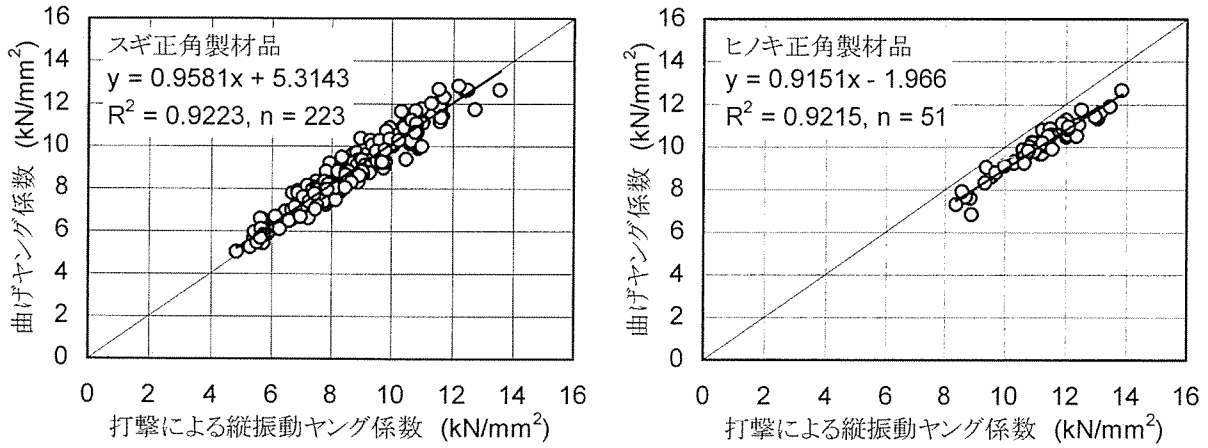


図3 曲げヤング係数と打撃による縦振動ヤング係数との関係

表2 日本農林規格における機械等級区分

丸太		製材品		ラミナ		集成材	
等級	縦振動ヤング係数 (kN/mmi)	等級	曲げヤング係数 (kN/mmi)	等級	曲げヤング係数 (kN/mmi)	等級	曲げヤング係数 (kN/mmi)
Ef50	3.9 ~ 5.9	E50	3.9~5.9	L30	3.0~4.0		
Ef70	5.9 ~ 7.8	E70	5.9~7.8	L40	4.0~5.0		
Ef90	7.8~9.8	E90	7.8~9.8	L50	5.0~6.0	E55	5.5~6.5
Ef110	9.8~11.8	E110	9.8~11.8	L60	6.0~7.0	E65	6.5~7.5
Ef130	11.8~13.7	E130	11.8~13.7	L70	7.0~8.0	E75	7.5~8.5
Ef150	13.7以上	E150	13.7以上	L80	8.0~9.0	E85	8.5~9.5
				L90	9.0~10.0	E95	9.5~10.5
				L100	10.0~11.0	E105	10.5~12.0
				L110	11.0~12.5	E120	12.0~13.5
				L125	12.5~14.0	E135	13.5~15.0
				L140	14.0~16.0	E150	15.0~17.0
				L160	16.0~18.0	E170	17.0~19.0
				L180	18.0~20.0	E190	19.0以上
				L200	20.0以上		

等の数値を示すように補正されている。

ラミナは節等の欠点を除去してフィンガージョイントによる縦縦ぎを行った後、水性高分子イソシアネート系樹脂を用いて8プライに接着し、幅105mm×厚さ240mm×長さ6000mm、強度等級E95-F270の異等級対称構成中断面構造用集成材を10体製造した。

集成材は東京衡機製造所製実大木材試験機を用いて、スパン4320mm、支点と荷重点の距離1680mm、荷重点間距離960mmの4点荷重により曲げ剛性試験を行った。荷重方向は平使い方向（積層面に直角）とし、強度等級E95-F270の長期曲げ許容応力度9.9kN/mmiに相当する荷重11.9kNまで加力し、荷重およびスパン中央のたわみを

測定して曲げヤング係数を求めた。

ここで、丸太および製材品は打撃による縦振動ヤング係数を測定し、ラミナおよび集成材では静的な曲げヤング係数を測定しているが、両者には差が生じることが知られている。そこで、図2に示すグレーディングマシンではそれぞれのグレーディングマシンで測定したヤング係数が曲げ強度試験で測定したヤング係数と同等の値を示すように調整する必要がある。本研究で用いた打撃式グレーディングマシンでは、図3に示す当センターでのこれまでのスギおよびヒノキ正角製材品の測定結果<sup>1-5)</sup>から得られた曲げヤング係数と打撃による縦振動ヤング係数との関係式が用いられている。以下では、縦振動ヤン

グ係数および曲げヤング係数を単にヤング係数と略す。

表2に日本農林規格における機械等級区分を示す。丸太および製材品はそれぞれ素材および製材の日本農林規格、ラミナおよび集成材は集成材の日本農林規格で強度等級区分が定められている。ヤング係数の測定方法は、丸太は打撃による方法、製材品は曲げ式および打撃式グレーディングマシンを用いる方法、ラミナはグレーディングマシンを用いる方法および曲げ試験、集成材は曲げ試験であり、本研究ではこれらの方法に従ってそれぞれのヤング係数を測定した。

### 3. 結果および考察

図4に丸太のヤング係数と末口直径、年輪数および平均年輪幅との関係、丸太の等級の出現率を示す。ここでは、ラミナは厚板製材品として等級区分を行った。一般的には、スギ丸太では高樹齢のものや年輪幅が狭いものはヤング係数が高いと予想されるが、本研究では丸太のヤング係数と末口直径、年輪数および平均年輪幅の間には相関はみられなかった。丸太の等級の出現率をみると、Ef90等級が約60%、Ef70等級が約30%であり、大部

分の丸太がEf70あるいはEf90等級であるといえる。

表3に丸太の年輪数毎の丸太、平角およびラミナのヤング係数を示す。年輪数が増加すると平均年輪幅が減少するが丸太のヤング係数はほぼ一定であり、ヤング係数の平均値は8.3kN/mm<sup>2</sup>であった。製材品では一般的には年輪幅が小さくなるとヤング係数が大きくなる傾向が認められるが、丸太では樹心から表面までの年輪幅が一様ではないため、ヤング係数と平均年輪幅との間に明確な傾向が得られないと考えられる。

図5に平角およびラミナのヤング係数と丸太のヤング係数および密度との関係を示す。表4に丸太径級毎の丸太、平角およびラミナのヤング係数を示す。平角およびラミナのヤング係数は丸太のヤング係数の増加とともに増加し、ヤング係数の平均値はそれぞれ8.7および9.7kN/mm<sup>2</sup>であった。密度との関係では、ラミナのヤング係数は密度の増加とともにやや増加する傾向があったが平角のヤング係数はほぼ一定であった。平角およびラミナでは含水率が一定ではなく、特に平角では含水率の範囲が広いいため、密度およびヤング係数は含水率の影響を受けていると考えられる。そこで、式(1)および(2)<sup>6)</sup>により含水率15%時の密度 $\rho_{15}$ およびヤング係数 $E_{15}$ に補正す

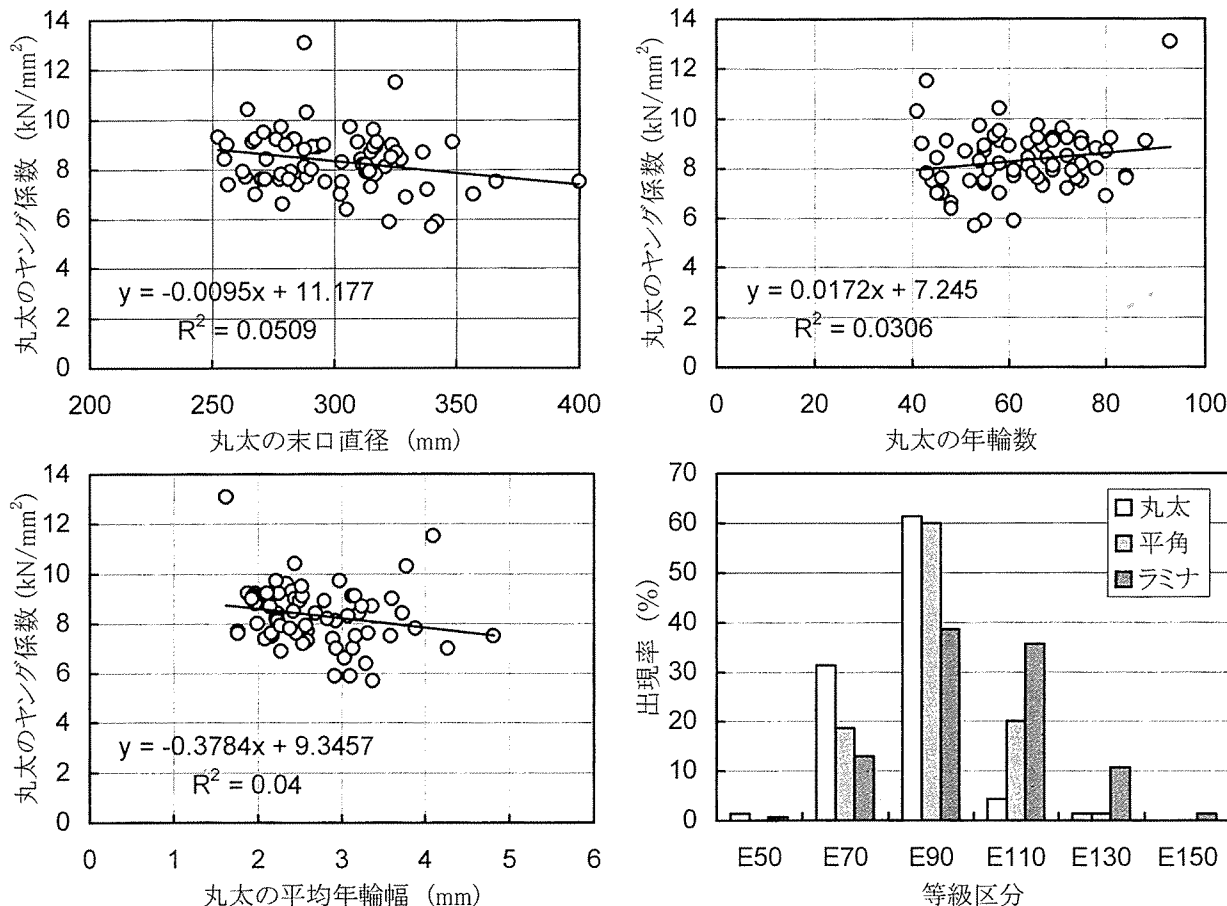


図4 スギ丸太のヤング係数

表3 丸太の年輪数毎の丸太、平角およびラミナのヤング係数

年輪数	丸太				平角			ラミナ		
	本数 (本)	末口直径 (mm)	平均年輪幅 (mm)	ヤング <sup>a)</sup> (kN/mmi)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	ヤング <sup>a)</sup> (kN/mmi)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	ヤング <sup>b)</sup> (kN/mmi)
40~50	13	304	3.6	8.2	0.49	21.3	8.2	0.34	8.4	9.4
50~60	17	304	3.0	8.2	0.51	22.4	8.2	0.37	8.8	9.6
60~70	19	294	2.5	8.2	0.44	15.8	8.8	0.39	8.9	9.7
70~80	12	298	2.2	8.4	0.43	14.2	9.1	0.39	8.8	9.6
80~	7	297	1.9	8.9	0.45	15.6	9.8	0.39	8.9	10.3
平均値		300	2.7	8.3	0.47	18.3	8.7	0.38	8.8	9.7
標準偏差		29	0.7	1.2	0.08	7.7	1.3	0.04	0.5	1.6
変動係数(%)		9.7	24.0	14.6	16.3	42.1	14.4	9.3	5.9	16.8
最大値		400	4.8	13.1	0.64	35.0	13.3	0.45	11.5	14.5
最小値		253	1.6	5.7	0.35	8.0	5.9	0.29	7.8	5.6
範囲		148	3.2	7.4	0.29	27.0	7.4	0.17	3.7	8.9

(注) <sup>a)</sup> 縦振動ヤング係数 <sup>b)</sup> 曲げヤング係数。丸太、平角およびラミナの試験体数はそれぞれ70、70および140体。丸太2本の年輪数は測定不能であり、年輪数毎の丸太本数は合計68本。

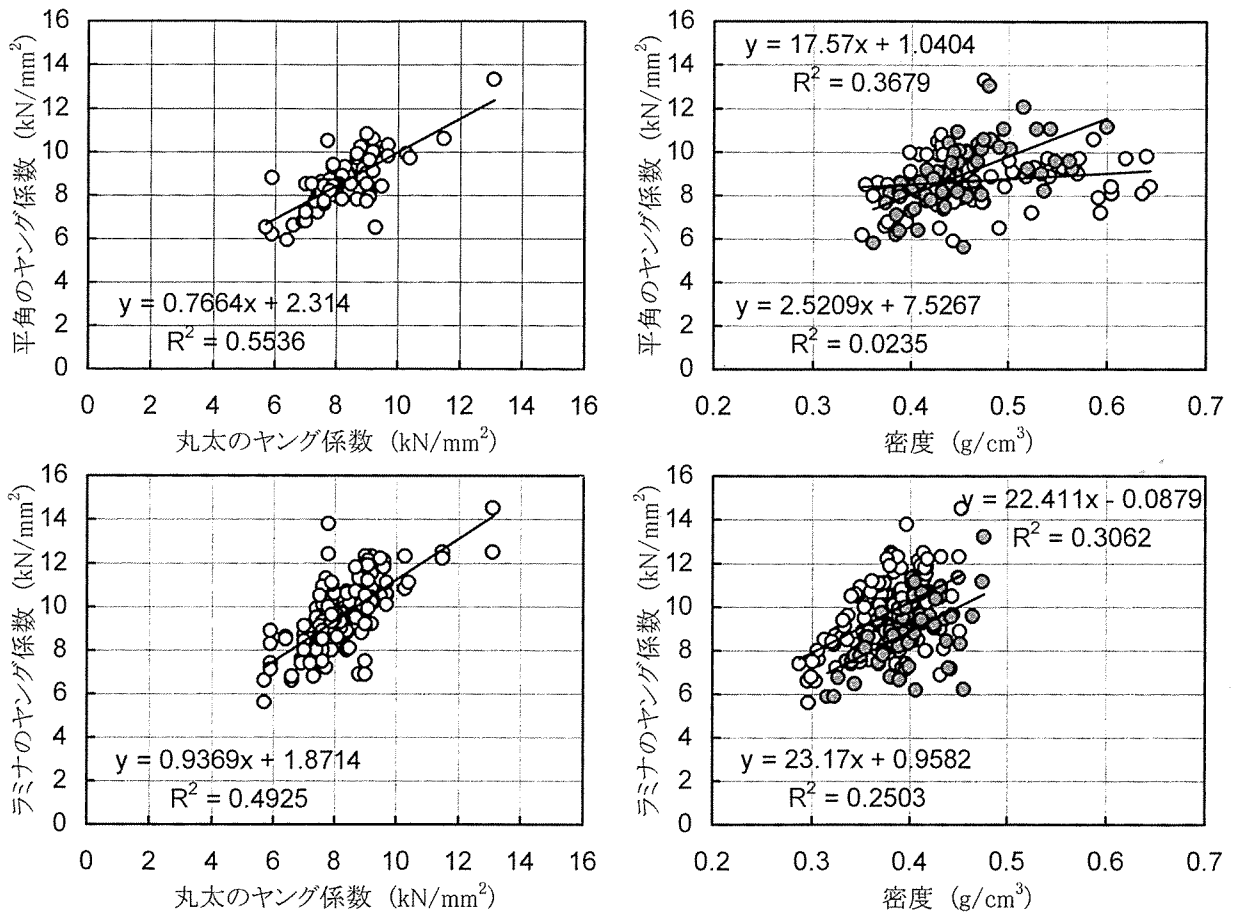


図5 平角およびラミナのヤング係数

○：測定値、数式は下段、●：含水率15%時の補正值、数式は上段

表4 丸太径級毎の丸太、平角およびラミナのヤング係数

径級 (cm)	丸太				平角			ラミナ		
	本数 (本)	年輪数 (個)	平均年輪幅 (mm)	ヤング <sup>a)</sup> (kN/mm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	ヤング <sup>a)</sup> (kN/mm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	ヤング <sup>b)</sup> (kN/mm <sup>2</sup> )
24	9	66	2.2	8.6	0.46	17.1	8.5	0.40	9.0	9.9
26	19	60	2.6	8.3	0.45	16.5	8.6	0.38	8.6	9.7
28	16	64	2.6	8.6	0.47	17.8	9.1	0.38	9.0	9.7
30	15	62	2.9	8.9	0.48	17.8	9.0	0.38	8.8	10.2
32	7	63	2.9	7.0	0.46	19.2	7.9	0.36	8.8	8.5
34	3	53	3.7	7.9	0.46	20.6	7.7	0.35	8.6	9.4
38	1	44	4.8	7.5	0.64	35.0	8.4	0.33	8.6	7.9
平均値		62	2.7	8.3	0.47	18.3	8.7	0.38	8.8	9.7
標準偏差		13	0.7	1.2	0.08	7.7	1.3	0.04	0.5	1.6
変動係数(%)		20.1	24.0	14.6	16.3	42.1	14.4	9.3	5.9	16.8
最大値		93	4.0	13.1	0.64	35.0	13.3	0.45	11.5	14.5
最小値		41	1.6	5.7	0.35	8.0	5.9	0.29	7.8	5.6
範囲		52	3.2	7.4	0.29	27.0	7.4	0.17	3.7	8.9

(注) <sup>a)</sup> 縦振動ヤング係数、<sup>b)</sup> 曲げヤング係数。丸太、平角およびラミナの試験体数はそれぞれ70、70および140体。

表5 丸太の等級区分毎の丸太、平角およびラミナのヤング係数

等級区分	丸太				平角			ラミナ		
	本数 (本)	末口直径 (mm)	平均年輪幅 (mm)	ヤング <sup>a)</sup> (kN/mm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	ヤング <sup>a)</sup> (kN/mm <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含水率 (%)	ヤング <sup>b)</sup> (kN/mm <sup>2</sup> )
Ef50	1	340	3.4	5.7	0.43	22.3	6.5	0.30	8.1	6.1
Ef70下	4	312	3.1	6.2	0.40	12.5	6.9	0.32	8.6	7.8
Ef70上	18	304	2.8	7.4	0.45	18.2	8.0	0.36	8.7	8.6
Ef90下	20	303	2.7	8.2	0.48	19.4	8.7	0.38	8.7	9.8
Ef90上	23	292	2.5	9.2	0.47	18.2	9.3	0.40	8.9	10.5
E110	3	293	3.4	10.7	0.52	21.3	10.1	0.38	8.7	11.7
E130	1	288	1.6	13.1	0.48	13.9	13.3	0.43	9.4	13.5
平均値		300	2.7	8.3	0.47	18.3	8.7	0.38	8.8	9.7
標準偏差		29	0.7	1.2	0.08	7.7	1.3	0.04	0.5	1.6
変動係数(%)		9.7	24.0	14.6	16.3	42.1	14.4	9.3	5.9	16.8
最大値		400	4.8	13.1	0.64	35.0	13.3	0.45	11.5	14.5
最小値		253	1.6	5.7	0.35	8.0	5.9	0.29	7.8	5.6
範囲		148	3.2	7.4	0.29	27.0	7.4	0.17	3.7	8.9

(注) Ef70下：5.9～6.9kN/mm<sup>2</sup>、Ef70上：6.9～7.8kN/mm<sup>2</sup>、Ef90下：7.8～8.8kN/mm<sup>2</sup>、Ef90上：8.8～9.8kN/mm<sup>2</sup>。<sup>a)</sup> 縦振動ヤング係数、<sup>b)</sup> 曲げヤング係数。丸太、平角およびラミナの試験体数はそれぞれ70、70および140体。

ると平角についても密度の増加とともにヤング係数がや  
や増加する傾向が認められた。

$$\rho_{15} = \rho_M \cdot \frac{115}{100 + M} \quad (1)$$

$$E_{15} = E_M \cdot \frac{1.44 - 0.0200 \times 15}{1.44 - 0.0200M} \quad (2)$$

ただし、 $\rho_M$ ：含水率  $M$  %時の密度、 $E_M$ ：含水率  $M$  %時のヤング係数。なお、含水率が22%以上の場合にはそれを22%としてヤング係数を計算する。

表5に丸太の等級区分毎の丸太、平角およびラミナのヤング係数を示す。図4にも示したように、平角での等級の出現率はE90等級が約60%、E70およびE110等級が

表6 等級区分された丸太から得られた平角およびラミナ

丸太 等級 区分	本数 (本)	平角の等級区分						ラミナの等級区分 (製材品)						ラミナの等級区分 (ラミナ)								
		E50 (本)	E70 (本)	E90 (本)	E110 (本)	E130 (本)	E150 (本)	E50 (枚)	E70 (枚)	E90 (枚)	E110 (枚)	E130 (枚)	E150 (枚)	L50 (枚)	L60 (枚)	L70 (枚)	L80 (枚)	L90 (枚)	L100 (枚)	L110 (枚)	L125 (枚)	L140 (枚)
Ef50	1		1					1	1					1	1							
Ef70下	4		3	1				4	4					2	2	4						
Ef70上	18		7	10	1			10	21	5				1	9	14	8	3	1			
Ef90下	20			19	1				24	13	2	1			10	15	10	4	1			
Ef90上	23		②	11	10			③	5	29	9			②	①	1	5	20	17			
Ef110	3			①	2					3	3							1	4	1		
Ef130	1					1					1	1								1	1	
合計	70		13	42	14	1		1	18	54	50	15	2	1	6	12	29	28	34	26	3	1

(注) Ef70下：5.9～6.9kN/m<sup>2</sup>、Ef70上：6.9～7.8kN/m<sup>2</sup>、Ef90下：7.8～8.8kN/m<sup>2</sup>、Ef90上：8.8～9.8kN/m<sup>2</sup>。○数字は丸太の等級区分よりも低い等級の製品、太字は高い等級の製品を示す。

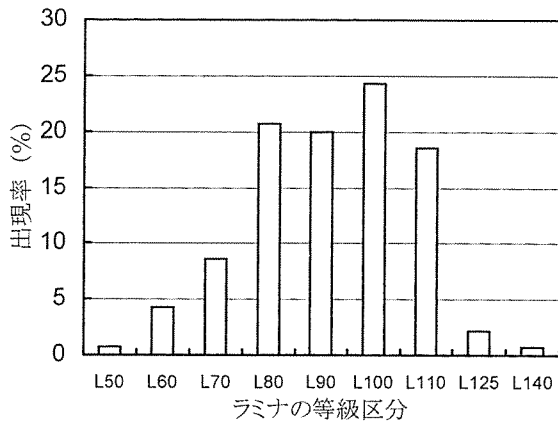


図6 ラミナの等級の出現率

約20%であり、丸太よりE110等級の出現率が多くなった。

ラミナの製材品としての等級の出現率はE90およびE110等級が約40%となった。また、平角およびラミナではヤング係数の平均値は丸太のそれよりそれぞれ5%および17%増加した。

表6に等級区分された丸太から得られた平角およびラミナの等級を示す。丸太の等級と平角およびラミナの等級を比較すると、Ef90等級の丸太では平角2本およびラミナ3枚、Ef110等級の丸太では平角1本が丸太の等級区分より低い等級区分となった。しかし、その他の大部分の丸太では等級区分された丸太から得られる平角およびラミナの等級区分は丸太のそれと同等あるいは1ランク高い等級区分となるのが分かった。

図6に集成材のラミナとして等級区分したラミナの等級の出現率を示す。等級の出現率は、L80、L90、L100およびL110等級がそれぞれ約20%であった。すべての

表7 異等級対称構成構造用集成材のラミナ構成

強度等級	E105-F300	E95-F270	85-F255	E75-F240
最外層	L125	L110	L100	L90
中間層	L100	L90	L80	L70
内層				
〃	L80	L70	L60	L50
〃				
〃				
中間層	L100	L90	L80	L70
最外層	L125	L110	L100	L90

ラミナから製造した10体のE95-F270等級の集成材については、含水率の平均値は10.7%、曲げヤング係数の平均値は10.1 (9.9～10.9) kN/m<sup>2</sup>であった。

ここで、今回のラミナを用いてラミナ厚さ30mmの8プライで幅105mm×厚さ240mmの異等級対称構成構造用集成材を製造することを考えると、表7に示す等級のラミナが必要となる。強度等級E105-F300の集成材の場合、L125等級のラミナが2枚/8プライ=25%必要であるが、今回のラミナではL125以上の出現率は3%であるため必要とする量が得られない。また、強度等級E95-F270の集成材の場合、L110とL90がそれぞれ25%必要であるが、今回のラミナではL110以上が22%、L90～L100が44%であるため、L110が若干不足する。そこで、強度等級E95-F270とE85-F255の構造用集成材を同時に製造すると考えると、L100～L110とL80～L90がそれぞれ4枚/16プライ=25%必要となるが、今回のラミナではL100以上が46%、L80～L90が41%であるため必要とする量が得られ、これらの集成材が製造可能であるといえる。

#### 4. 結論

スギ一般材を対象として、スギ丸太から平角およびラミナを採材し、丸太から最終的な製材品あるいは集成材までの製造工程の中で、丸太、平角、ラミナおよび集成材のヤング係数を測定した。丸太、平角およびラミナのヤング係数はそれぞれ8.3、8.7および9.7kN/mm<sup>2</sup>であり、丸太のヤング係数と年輪数との間には相関が認められなかった。本研究で用いた年輪数と同等の40~80年生の丸太からはこれらと同等の製品が得られると考えられる。等級区分された丸太からは同等あるいは1ランク高い等級の平角およびラミナが得られたので、丸太の等級区分を行うことにより生産される製品の等級予測が可能であるといえる。また、ラミナは主にL80~L110等級のものが得られるため、強度等級E95-F270およびE85-F255の異等級対称構成構造用集成材が製造可能であった。

#### 引用文献

- 1) 中田欣作, 杉本英明: 川上村産スギ製材品の曲げ強度試験. 奈良県林試木材加工資料. 28, 41-49(1999).
- 2) 中田欣作, 杉本英明: 川上村産ヒノキ製材品の曲げ強度試験. 奈良県林試木材加工資料. 29, 1-9(2000).
- 3) 海本 一, 杉本英明, 中田欣作: ヤング係数によるスギ正角材の強度等級区分. 奈良県林試木材加工資料. 24, 1-7 (1995).
- 4) 中田欣作, 小野広治, 寺西康浩, 大前善則: 高周波・蒸気複合乾燥を施したスギ製材品の強度性能. 奈良県森技セ木材加工資料. 31, 7-14 (2002).
- 5) 中田欣作, 柳川靖夫, 宮崎祐子, 小野広治, 久保健: スギ接着重ね梁の曲げ強度試験. 奈良県森技セ研報. 34, 75-80 (2005).
- 6) 日本住宅・木材技術センター: “構造用木材の強度試験法”. 東京, 日本住宅・木材技術センター, 2000, p.51-56.

(2009年1月13日受理)