

山梨県産カラマツの地域別強度特性



山梨県森林総合研究所

(表紙写真の説明)

写真上方：試験地Bのカラマツ林

写真左下：伐採搬出した丸太

写真右下：製材したラミナ

まえがき

本県の県有林におけるカラマツ人工林面積は、全人工林面積の46%を占めており、県有林の主要樹種である。近年、カラマツの利用方法としては、従来からの建築用材や土木用材に加え、集成材や合板(LVL等)などの構造材として需要が高まっている。しかし、本県のカラマツ材については、強度等の特性に関する情報が少なく、構造材として活用する上で障害となっている。そこで、山梨県産カラマツ材の地域別強度特性を明らかにするために、本調査を実施した。

本調査は、山梨県総合理工学研究機構の重点化粋研究で平成29～30年度に行い、山梨県森林総合研究所の三枝茂、大地純平、大澤正嗣、長谷川喬平、田中格が担当した。

なお、本調査を行うにあたり、カラマツの伐採・搬出・運搬には当研究所の研修・普及科、試験地等の選定・伐採手続き等に協力をしてくれました山梨県森林環境部および各林務環境事務所、関東地方環境事務所の関係者の皆様に感謝致します。

目 次

第1章 山梨県カラマツ林の地域別生育特性	1
はじめに	1
I 試験方法	1
1. 試験地の選定	1
2. 試験区の設置	1
3. 供試木の選定	1
4. カラマツ心腐病調査	1
II 結果と考察	2
1. 試験地の生育状況	2
2. 供試木の状況	3
3. 心腐病の発生状況	4
III まとめ	4
第2章 山梨県産カラマツ丸太の地域別強度特性	7
はじめに	7
I 試験方法	7
1. 丸太の直径、材長、重量の測定	7
2. 丸太の縦振動ヤング係数の測定と強度等級	7
3. 丸太の目視等級	7
II 結果と考察	8
1. 丸太の径級、材長、材積	8
2. 平均直径、材長、重量、見かけの密度	8
3. 丸太の縦振動ヤング係数	9
4. 丸太の縦振動ヤング係数の地域差の要因	9
4. 1 丸太の見かけの密度と縦振動ヤング係数の関係	9
4. 2 丸太の太さと縦振動ヤング係数の関係	9
4. 3 丸太の平均直径生長量と縦振動ヤング係数の関係	10
4. 4 丸太の平均樹高生長量と縦振動ヤング係数の関係	10
4. 5 森林の林齢と縦振動ヤング係数の関係	10
4. 6 森林の立木密度と縦振動ヤング係数の関係	11
4. 7 森林の標高と縦振動ヤング係数の関係	11
4. 8 森林の斜面傾斜と縦振動ヤング係数の関係	11
5. 丸太の強度等級	11
6. 心腐病と丸太の強度	11
7. 丸太の目視等級	12
III まとめ	13

第3章 山梨県産カラマツラミナの地域別強度特性	15
はじめに	15
I 試験方法	15
1. 丸太の製材及び乾燥、寸法調整	15
2. ラミナの縦振動ヤング係数の測定	15
3. ラミナの目視等区分	15
4. ラミナの曲げヤング係数と曲げ強さの測定	16
5. ラミナの含水率の測定	16
II 結果と考察	16
1. ラミナの採取数、材積、歩留まり	16
2. ラミナの寸法、重量、密度、一次固有振動、含水率	17
3. 4mラミナの縦振動ヤング係数、90cmラミナの曲げ動ヤング係数及び曲げ強さ	18
4. 心腐病とラミナの強度	20
5. CLT用のラミナとしての用途	21
6. 集成材用ラミナとしての用途	22
III まとめ	23
付表	一覧表、付表1～付表60
各種測定値の平均値の降順表	一覧表、降順表1～降順表5

第1章 山梨県カラマツ林の地域別生育特性

はじめに

山梨県の県有林のカラマツ主要生育地から伐期に達した8箇所の施業班（小班）を試験地に設定し、2017年度にカラマツの地域別生育特性を調査した。

I 試験方法

1. 試験地の選定

県内のカラマツ主要生育地から林齢51年生（11齢級）以上の伐期に達した図1に示す8箇所の施業班（小班）に試験地を設定した。試験地はカラマツの主要造林地（南アルプス、八ヶ岳、奥秩父、大菩薩連嶺、富士山麓）から分散して選別するようにした。8箇所の試験地には山梨県の中心から時計回りに西方よりA～Hの記号を割り振り、全体をSとした。選定した試験地の概況を表1に示す。試験地のGPSデータは後述の試験区付近の林道または作業道に駐車した自動車のカーナビゲーションシステムのデータである。カラマツ林8箇所の林齢は56年生～68年生（2017年度）、標高は1118m～1754mである。

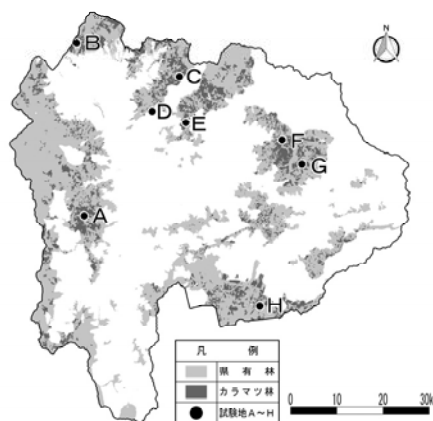


図1 試験地の設定箇所

表1 試験地の概況

項目	記号	試験地の所在地								S 全体
		A	B	C	D	E	F	G	H	
林班・小班		84い3	474は3	560ろ7	68い3	12ろ5	89ぬ2	150は4	411と8	平均
GPS	経度	N 35° 34'12"	35° 54'13"	35° 50'28"	35° 46'23"	35° 45'04"	35° 42'55"	35° 40'06"	35° 23'36"	
	緯度	E 138° 21'43"	138° 20'33"	138° 35'16"	138° 31'24"	138° 36'05"	138° 49'49"	138° 52'34"	138° 46'37"	
	標高	m 1754	1368	1635	1118	1361	1567	1253	1693	1469
斜面の傾斜	度	10.3	10.8	14.4	15.6	33.4	30.2	21.0	12.2	18.5
林齢	年生	57	68	60	62	56	61	57	61	60.3
齢級	齢級	12	14	12	13	12	13	12	13	12.6

2. 試験区の設置

試験地内に図2に示すように20m×20mの試験区を設定して、試験区内のカラマツ林の毎木調査を行った。測定項目は本数、地上1.2mの胸高直径、樹高測定器を利用したの樹高、傾斜計を利用したの斜面の傾斜である。

3. 供試木の選定

同じ小班内の試験区外側のなるべく広範囲から林道または作業道よりグラップルで搬出が可能なカラマツ立木10本を供試木とした。供試木は毎木調査の平均胸高直径に供試木10本の平均胸高直径が近くなるように選木した。

4. カラマツ心腐病調査

供試木10本の伐採を行い、図3に示すように根株心腐病を有する供試木は元口の根株心腐病が目視により確認されなくなるまで切り捨て、元口に根株心腐病が無い位置から長さ4.1m

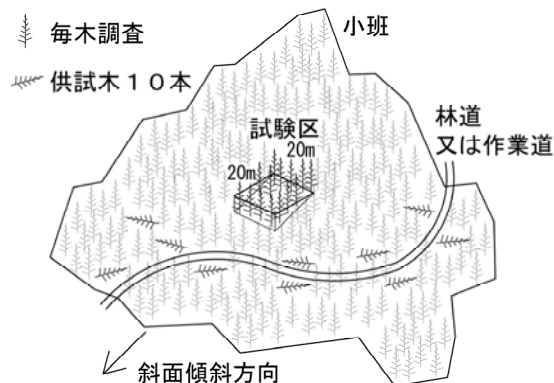


図2 試験区の設定

の1番玉の丸太を採材した。長さ4.1mの丸太を採材後、丸太の末口側に幹心腐病が有るものはその部位が無い位置で切断して供試木の丸太とした。そのため幹心腐病のある場合は供試木の長さは4.1mより短尺となる。

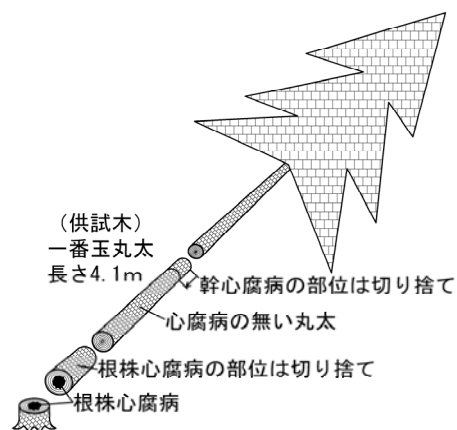


図3 供試木の一番丸太の採材方法

II 結果と考察

1. 試験地の生育状況

試験地A~Hのカラマツ林の状況を写真1に示す。試験地A, C, F, Gは夏季に撮影されているため緑が多く、

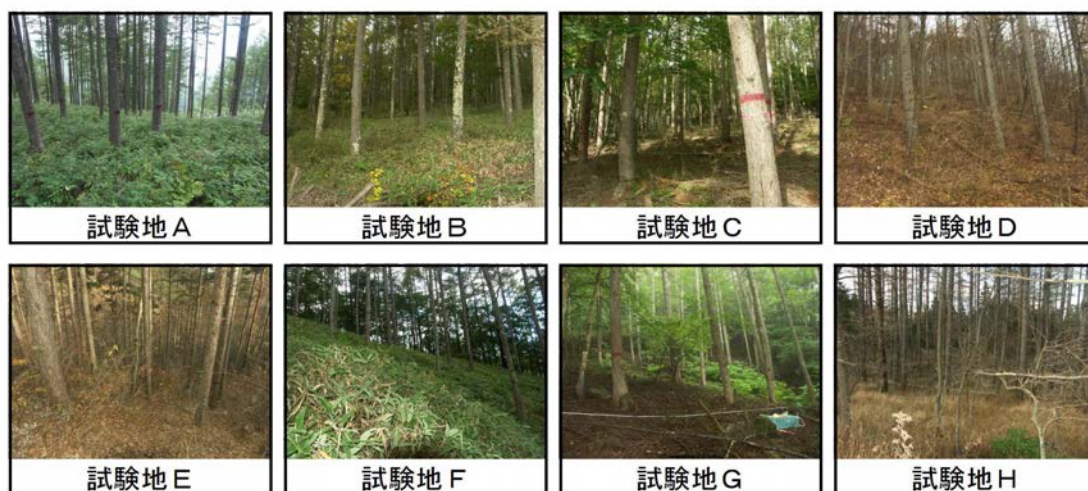


写真1 試験地の状況

試験地B, D, E, Hは秋季に撮影されているため落葉が見られる。試験地は概ね同質のカラマツ林であった。表2、図4、図5に各試験地における試験区内に生育するカラマツの胸高直径、樹高を示す。

表2 試験区内カラマツの胸高直径・樹高

項目	試験地	A	B	C	D	E	F	G	H	S全体
試験区 20m×20m	林 齢 年生	57	68	60	62	56	61	57	61	60
	残存数 本	18	20	31	25	26	21	26	34	25
	立木密度 本/ha	450	500	775	625	650	525	650	850	628
胸高直径	平均値 cm	28.3	29.3	25.5	28.1	24.6	24.6	27.7	26.8	26.7
	最大値 cm	39.0	41.5	38.6	43.3	35.1	38.0	46.0	42.0	46.0
	最小値 cm	21.8	20.3	15.1	18.2	14.8	16.9	16.5	16.4	14.8
	標準偏差 cm	4.4	6.3	6.5	6.6	5.3	5.2	7.6	6.3	6.3
樹 高	平均値 m	19.8	21.8	21.3	20.6	19.4	17.2	20.3	16.9	19.6
	最大値 m	23.8	26.3	24.1	25.9	25.7	18.7	26.6	20.4	26.6
	最小値 m	17.5	20.2	17.1	15.4	14.6	14.9	11.8	12.0	11.8
	標準偏差 m	1.5	1.4	1.5	2.7	3.0	1.2	3.3	2.0	2.8

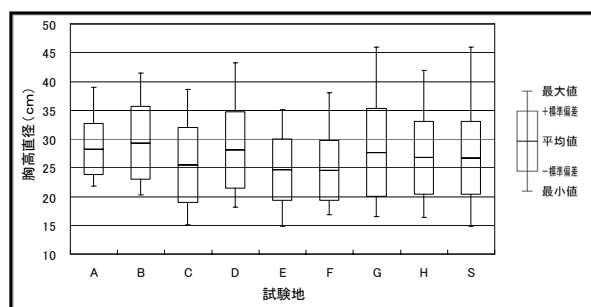


図4 試験区内のカラマツの胸高直径の分布

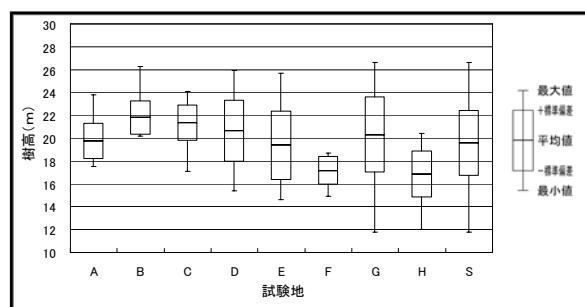


図5 試験区内のカラマツの樹高の分布

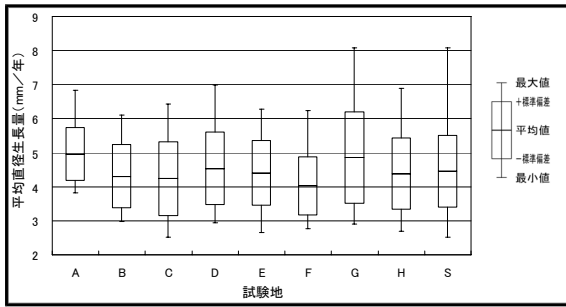


図6 試験区内のカラムツの平均直径生長量の分布

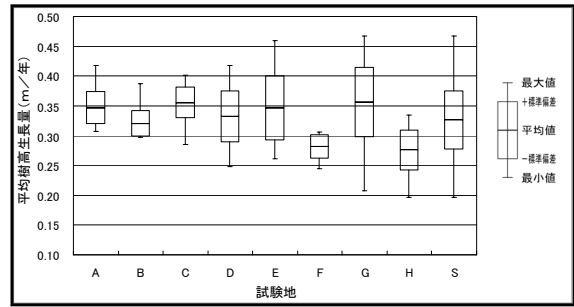


図7 試験区内のカラムツの平均樹高生長量の分布

カラムツの立木密度は試験地Aが最も低く 450 本/haで最も高い試験地Hは 850 本/haであった。8 箇所の試験地の立木密度は平均 628 本/haであった。

樹高は試験地F, Hが低い傾向が確認されるが、他の試験地は概ね 20m前後であった。下式で算出した各試験地の平均直径生長量を図 6 に、各試験地の平均樹高生長量を図 7 に示す。

$$\text{平均直径生長量} = \text{胸高直径} / \text{林齢} \text{ (mm/年)}$$

$$\text{平均樹高生長量} = \text{樹高} / \text{林齢} \text{ (m/年)}$$

各試験地の平均直径生長量の平均値は 4 ~ 5mm/年であり、全体的に極端な肥大成長はなかったが、各試験地の最大値は、製材の農林規格の目視等級 1 級で規定されている平均年輪幅 6mm/年を超えていた。平均樹高生長量においても試験地F, Hが低い傾向が見られた。この理由として日当たりの悪い地形であったため樹高が低いと考えられる。

2. 供試木の状況

各試験地から 10 本ずつ伐採搬出する供試木の胸高直径、樹高を表 3、図 8、図 9 に示す。供試木の胸高直径の平均値と試験区の胸高直径の平均値の差は最大で試験地Fの 1.6cmであった。

表3 供試木の胸高直径・樹高

項目	試験地	A	B	C	D	E	F	G	H	S全体
供試木	林 齢	57	68	60	62	56	61	57	61	60
	年 生	10	10	10	10	10	10	10	10	10
胸高直径	平均値	28.6	29.4	26.2	28.2	25.0	26.2	26.1	28.1	27.2
	最大値	30.3	31.0	27.6	30.1	27.6	28.5	28.7	30.9	31.0
	最小値	26.4	27.1	25.4	25.1	22.0	22.0	23.8	26.0	22.0
	標準偏差	1.1	1.4	0.7	1.6	1.8	2.1	1.8	1.5	2.1
樹 高	平均値	18.6	22.0	20.7	23.7	20.1	20.2	21.3	18.2	20.6
	最大値	19.4	22.9	24.0	28.7	23.4	23.2	22.6	19.8	28.7
	最小値	17.1	20.6	17.5	20.1	15.5	15.9	19.4	16.5	15.5
	標準偏差	0.7	0.7	2.0	2.9	2.3	2.1	1.1	1.1	2.4

た。樹高においても同様の差が試験地Dで 3.0mであり、試験区の平均値に近い値の供試木が選木できた。図 10、図 11 に各試験地供試木の平均直径生長量、平均樹高生長量を示す。供試木の各試験地における平均直径生長量は概ね 0.4 ~ 0.5mm/年の範囲であった。供試木の各試験地における平均樹高生長量は試験地D, Gが高く、試験Hが低かった。

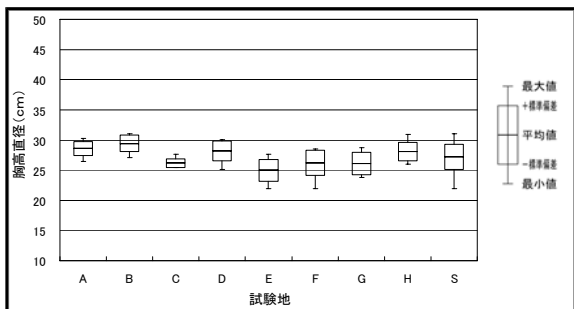


図8 供試木の胸高直径の分布

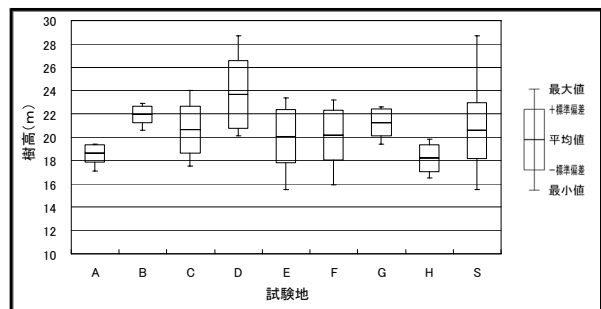


図9 供試木の樹高の分布

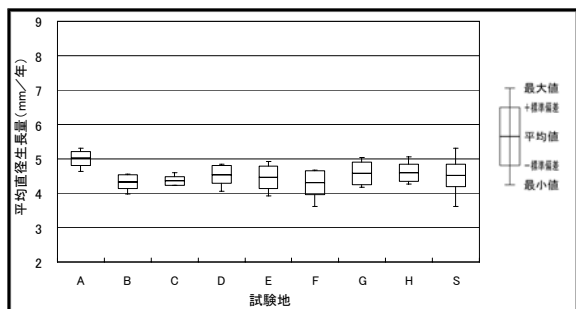


図10 供試木の平均直径生長量の分布

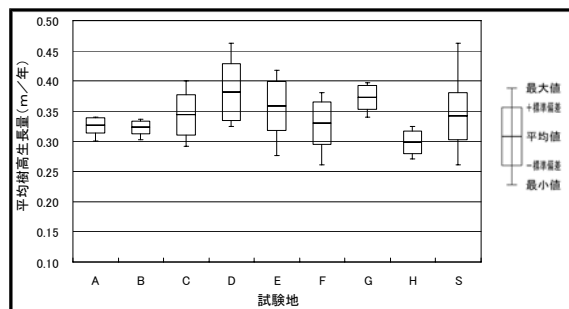


図11 供試木の平均樹高生長量の分布

3. 心腐病の発生状況

各試験地の供試木 10 本について心腐病の発生状況を表 4 に示す。試験地E以外の全てに根株心腐病が確認された。幹心腐病は試験地Fに 1 本確認された。試験地Hは 10 本中 5 本の半分に心腐病が発生していた。試験地Hは富士山の麓であり、緩斜面地が広がっていて、火山活動の熱により出来たと思われる固結層が地中浅いところにあり排水が悪いために発生本数が多いと推測される。全試験地では 80 本中 19 本に心腐病が確認され罹病率は 24%であった。伐採した供試木から除去した心腐病の部位の長さは最大で試験地Gの 440cmであった。この供試木は毎木調査時は立木であったが、その後の台風の接近による強風で伐採時には写真 2 に示すように倒れていた。

表4 供試木の心腐病の状況

試験地	A	B	C	D	E	F	G	H	S
供試木 本	10	10	10	10	10	10	10	10	80
根株心腐病 本	1	3	3	2	0	1	3	5	18
幹心腐病 本	0	0	0	0	0	1	0	0	1
合計 本	1	3	3	2	0	2	3	5	19
罹病率 %	10	30	30	20	0	20	30	50	24
最大の切除長 cm	184	271	179	121	0	106	440	234	440



写真2 心腐病により強風で倒れた供試木

III まとめ

県内のカラマツ主要生育地から林齢 51 年生（11 齢級）以上の伐期に達した 8 箇所の施業班（小班）に試験地を設定した。試験地はカラマツの主要造林地（南アルプス、八ヶ岳、奥秩父、大菩薩連嶺、富士山麓）から分散して選別した。各試験地の林齢は 56 ～ 68 年生、

標高は 1118 ～ 1754m、斜面傾斜は 10.3 ～ 33.4 度であった。

各試験地に設定した 20m× 20mの試験区内の立木密度は 450 ～ 850 本/ha、胸高直径の平均値は 24.6 ～ 29.3cm、樹高の平均値は 18.7 ～ 23.8mであった。

各試験地から伐採したカラマツ供試木 10 本（合計 80 本）の胸高直径の平均値は 25.0 ～ 29.4cm、樹高の平均値は 18.2 ～ 23.7mであった。

伐採した 80 本の丸太には根株心腐病が 18 本、幹心腐病が 1 本確認され、罹患率は 24% であった。

第2章 山梨県産カラマツ丸太の地域別強度特性

はじめに

山梨県の県有林8箇所から伐期に達したカラマツ各10本合計80本を2017～2018年度に伐採し、そこから採材した1番玉の丸太を「素材の日本農林規格」に準じ、目視等級と強度等級の測定を行い、カラマツ丸太の地域別強度特性を調査した。

I 試験方法

1. 丸太の直径、材長、重量の測定

前章で調査した8箇所の試験地から1番玉の供試木の丸太各10本合計80本を搬出し、「素材の日本農林規格」に準じ、丸太の両木口の最大径と最小径、材長、重量を測定した。

2. 丸太の縦振動ヤング係数の測定と強度等級

丸太の両木口の最大径と最小径の平均を平均した値（以後、両木口の平均直径とする）と材長、重量を用いて図1に示す方法により、写真1のように木口に木槌で打撃を与え片方の木口にセットした非接触のマイクロフォンで集音した音波をFFTアナライザーにて計測して得られた1次の固有振動数を利用して丸太の縦振動ヤング係数(Ef)を求めた。個々の丸太から得られた縦振動ヤング係数を「素材の日本農林規格」で規定されている表1に示す値により区分して丸太の強度等級(Ef50～Ef150)を求めた。

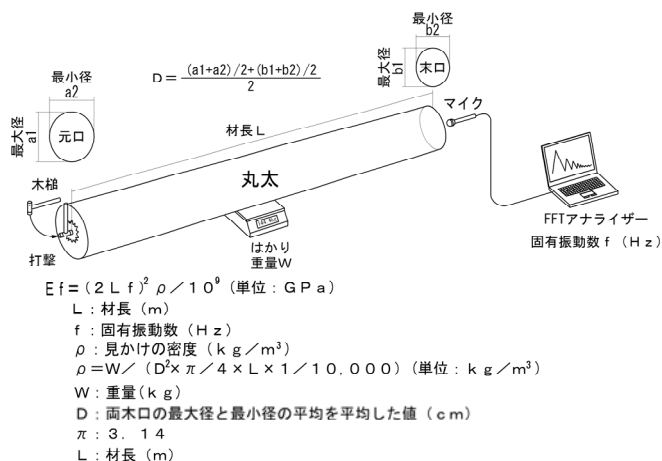


図1 丸太の縦振動ヤング係数の測定方法

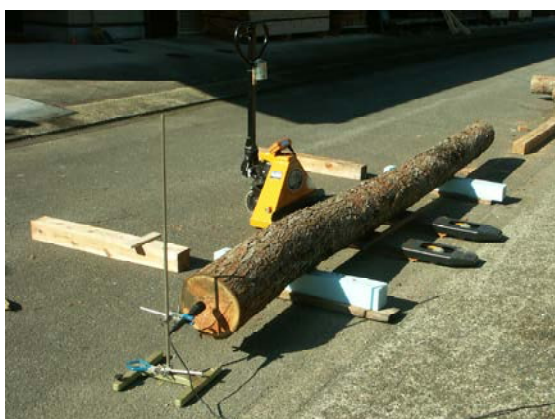


写真1 丸太の縦振動ヤング係数の測定風景

表1 丸太の強度等級

区分	縦振動ヤング係数 (GPa)	
	Ef 50	3.9以上
Ef 70	5.9以上	7.8未満
Ef 90	7.8以上	9.8未満
Ef110	9.8以上	11.8未満
Ef130	11.8以上	13.7未満
Ef150	13.7以上	

3. 丸太の目視等級

供試木の丸太を「素材の日本農林規格」に準じて節、曲がり、木口割れ又は引き抜き、目まわり、腐れ、虫食い又は空洞、へび下がり、その他の欠点を測定して丸太の目視等級を求めた。

II 結果と考察

1. 丸太の径級、材長、材積

試験地A~H (Sは全体) の丸太の径級 (2cm間隔)、材長 (20cm間隔)、材積を表2に示す。丸太の径級は試験地B、Dが最も高く平均22cmであった。試験地C、E、F、Gの径級が最も低く平均18cmであった。全体Sの径級は平均20cmで14~24cmに分布していた。試験地Fの丸太には幹心腐病があり3.0mが1本存在し、4m弱の丸太が1本存在したので材長が3.8mとなった。その他の試験地の丸太の材長は4.0mであった。丸太10本の末口二乗法で求めた材積は試験地Bが最も高く平均0.2123m³で、試験地Gが最も低く平均0.1370m³であった。丸太80本の材積は平均0.1652m³、合計13.2154m³であった。

表2 丸太の径級、材長、材積

試験地		A	B	C	D	E	F	G	H	S	
試料数	本	10	10	10	10	10	10	10	10	80	
径級	平均値	cm	20	22	18	22	18	18	18	20	20
	最大値	cm	24	24	22	24	20	22	22	24	24
	最小値	cm	18	20	18	20	16	18	14	18	14
	標準偏差	cm	2	1	1	2	2	2	2	2	2
材長	平均値	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.8	4.0	4.0	4.0
	最大値	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	最小値	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	3.0
	標準偏差	m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.1
材積 末口 二乗法	平均値	m ³	0.1677	0.2123	0.1512	0.1946	0.1424	0.1484	0.1370	0.1680	0.1652
	最大値	m ³	0.2304	0.2304	0.1936	0.2304	0.1600	0.1936	0.1936	0.2304	0.2304
	最小値	m ³	0.1296	0.1600	0.1296	0.1600	0.1024	0.0972	0.0784	0.1296	0.0784
	標準偏差	m ³	0.0307	0.0253	0.0212	0.0288	0.0245	0.0269	0.0299	0.0341	0.0365
	合計	m ³	1.6768	2.1232	1.5120	1.9456	1.4240	1.4842	1.3696	1.6800	13.2154

2. 平均直径、材長、重量、見かけの密度

試験地A~H (Sは全体) の丸太の両木口の平均直径、材長、重量、見かけの密度、1次の固有振動数、縦振動ヤング係数を表3に示す。両木口の平均直径は、径級が最大の試験地Bが最も高く平均26.7cmであり、Eが最も低く平均21.9cmであった。見かけの密度は試験地Bが最も高く平均838kg/m³、Gが最も低く平均742kg/m³で、最大最小の密度差は96kg/m³となった。試験地Bは太くても緻密な材質の丸太であった。

表3 丸太の両木口の平均直径、材長、重量、見かけの密度、一次固有振動数、縦振動ヤング係数

試験地		A	B	C	D	E	F	G	H	S	
試料数	本	10	10	10	10	10	10	10	10	80	
両木口 最大径 最小径 平均の平均	平均値	cm	24.7	26.7	22.9	24.9	21.9	23.0	22.2	24.3	23.8
	最大値	cm	28.2	28.8	25.5	27.5	25.0	25.4	25.9	27.3	28.8
	最小値	cm	21.2	24.6	21.2	21.8	19.0	19.4	19.6	21.7	19.0
	標準偏差	cm	2.1	1.7	1.2	1.8	1.9	1.7	1.7	1.8	2.2
材長	平均値	m	4.078	4.103	4.090	4.108	4.112	3.935	4.098	4.100	4.078
	最大値	m	4.157	4.122	4.125	4.150	4.177	4.138	4.126	4.126	4.177
	最小値	m	4.015	4.072	4.042	4.075	4.078	3.051	4.077	4.075	3.051
	標準偏差	m	0.051	0.016	0.022	0.023	0.032	0.366	0.016	0.017	0.138
重量	平均値	kg	152	192	133	162	125	126	118	147	144
	最大値	kg	178	221	151	194	160	148	158	180	221
	最小値	kg	119	160	109	126	87	69	99	116	69
	標準偏差	kg	18	21	13	23	23	24	17	20	30
見かけの 密度	平均値	kg/m ³	780	838	788	809	798	762	742	769	786
	最大値	kg/m ³	902	889	863	873	879	839	827	825	902
	最小値	kg/m ³	666	793	690	729	691	629	667	741	629
	標準偏差	kg/m ³	74	28	57	46	57	65	56	28	58
一次固有 振動数	平均値	Hz	479.1	497.4	481.3	479.1	463.0	489.9	467.3	479.1	479.5
	最大値	Hz	506.0	549.1	516.8	527.6	484.5	624.5	506.0	506.0	624.5
	最小値	Hz	441.4	463.0	452.2	441.4	441.4	441.4	430.7	441.4	430.7
	標準偏差	Hz	22.8	25.3	19.7	28.4	13.4	58.2	23.3	23.9	30.2
丸太の 縦振動 ヤング 係数	平均値	GPa	11.8	13.9	12.1	12.5	11.5	11.1	10.8	11.8	11.9
	最大値	GPa	14.0	17.9	15.2	15.9	13.2	12.8	12.6	13.3	17.9
	最小値	GPa	9.4	12.4	9.8	10.2	9.7	8.0	8.3	10.1	8.0
	標準偏差	GPa	1.4	1.7	1.5	1.9	1.1	1.4	1.2	1.3	1.6

3. 丸太の縦振動ヤング係数

試験地A~H (Sは全体) の丸太の1次の固有振動数、縦振動ヤング係数を表3に示す。丸太の縦振動ヤング係数の分布を図2に示す。縦振動ヤング係数は見かけの密度が高い試験地Bが最も高く平均13.9GPaであり、見かけの密度が低い試験地Gが最も低く平均10.8GPaであった。最大最小の差は3.1GPaとなった。試験地全体Sでは縦振動ヤング係数は平均11.9GPaで、最小8.0GPaから最大17.9GPaまで分布していた。

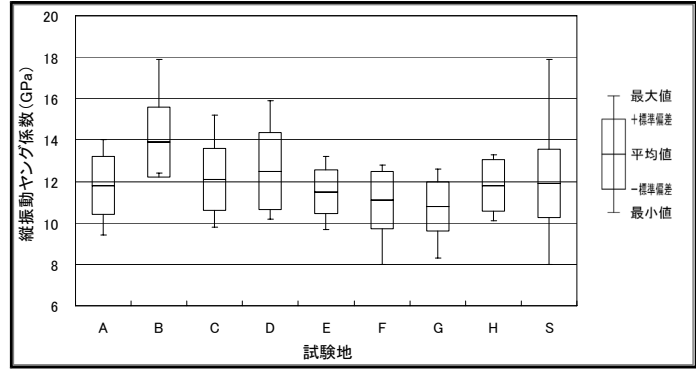


図2 地域別丸太の縦振動ヤング係数の分布

4. 丸太の縦振動ヤング係数の地域差の要因

試験地別の丸太の縦振動ヤング係数の平均値は降順でB>D>C>A>H>E>F>Gとなるが、その要因を以下で考察した。

4. 1 丸太の見かけの密度と縦振動ヤング係数の関係

木材の強度的な性質として密度が高い樹種は強度も高くなる。丸太の見かけの密度と丸太の縦振動ヤング係数の関係を図3に示す。今回のカラマツ丸太においても相関係数 $r=0.68$ で見かけの密度が高い丸太の縦振動ヤング係数が高くなる傾向が確認された。見かけの密度の平均値は降順にB>D>E>C>A>H>F>Gとなり強度の順位とかなり近くなる。

4. 2 丸太の太さと縦振動ヤング係数の関係

両木口の平均直径は丸太の太さの指標となるので、両木口の平均直径と縦振動ヤング係数の関係を図4に示す。今回のカラマツ丸太においては相関係数 $r=0.23$ で丸太の太さと強度の相関はほとんど無いと言える。

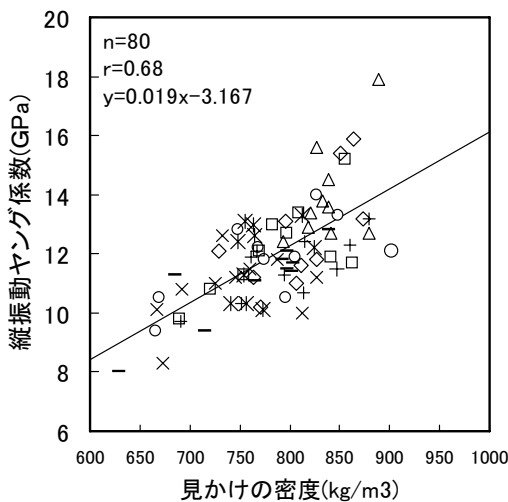


図3 丸太の見かけの密度と縦振動ヤング係数の関係

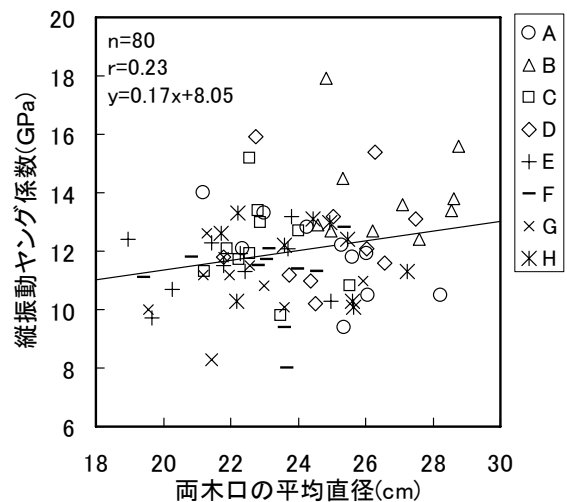


図4 丸太の両木口の平均直径と縦振動ヤング係数の関係

4. 3 丸太の平均直径生長量と縦振動ヤング係数の関係

木材の強度的な性質として平均年輪幅が極端に大きいと強度は弱くなる。丸太を採取した立木の平均直径生長量は平均年輪幅の指標となるので、平均直径生長量と縦振動ヤング係数の関係を図5に示す。相関係数 $r=-0.18$ で今回のカラマツ丸太の立木の平均直径生長量と強度の相関は全く無いと言える。

4. 4 丸太の平均樹高生長量と縦振動ヤング係数の関係

丸太を採取した立木の平均樹高生長量と縦振動ヤング係数の関係を図6に示す。 $r=0.05$ で今回のカラマツ丸太の立木の平均樹高生長量は強度の相関は全く無いと言える。

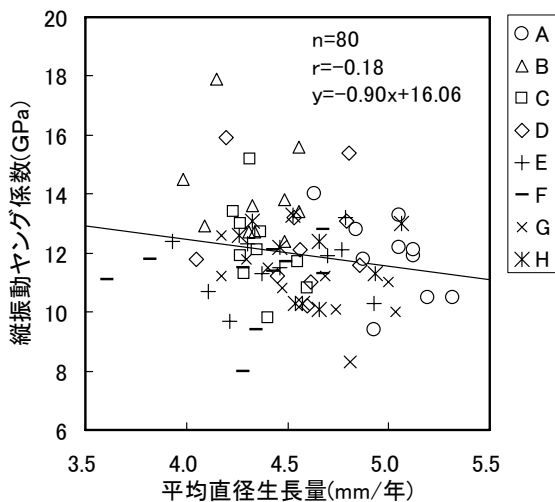


図5 丸太の平均直径生長量と縦振動ヤング係数の関係

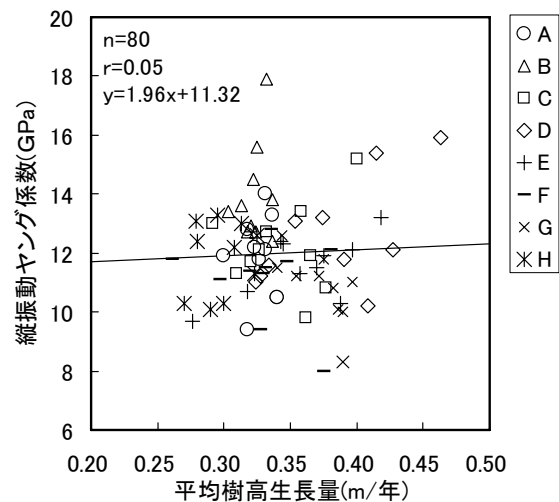


図6 丸太の平均樹高生長量と縦振動ヤング係数の関係

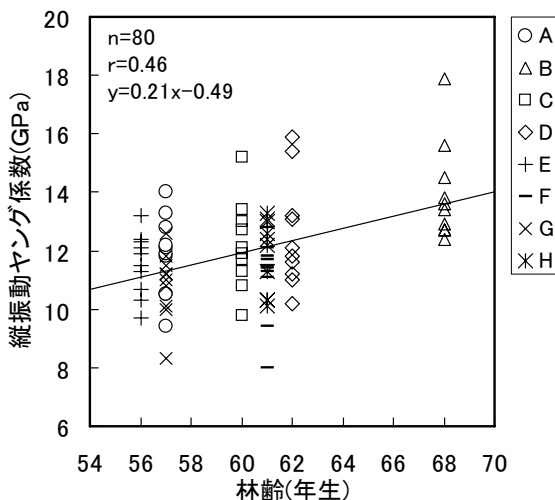


図7 丸太の林齢と縦振動ヤング係数の関係

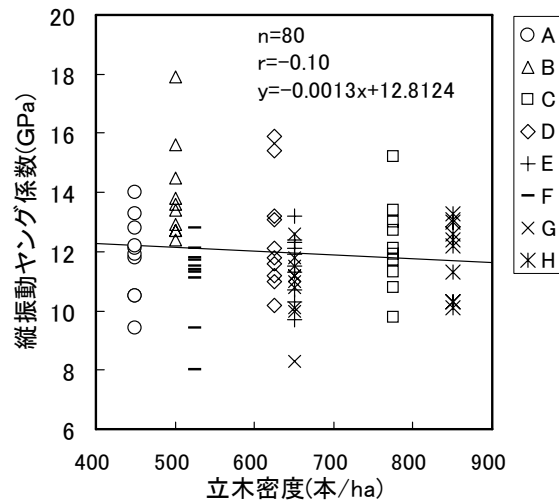


図8 森林の立木密度と縦振動ヤング係数の関係

4. 5 森林の林齢と縦振動ヤング係数の関係

丸太を採取した森林の林齢と丸太の縦振動ヤング係数の関係を図7に示す。相関係数 $r=0.46$ でやや相関があり、林齢が高い森林から伐採した丸太は強度が高くなると推測される。従って試験地Bは林齢68年生と高いので強度が高くなったと要因の一つと考えられる。

4. 6 森林の立木密度と縦振動ヤング係数の関係

丸太を採取した森林の立木密度と丸太の縦振動ヤング係数の関係を図 8 に示す。相関係数 $r=-0.10$ で今回の森林の立木密度と強度の相関は全く無いと言える。

4. 7 森林の標高と縦振動ヤング係数の関係

丸太を採取した森林の標高と丸太の縦振動ヤング係数の関係を図 9 に示す。相関係数 $r=-0.08$ で今回の森林の標高と強度の相関は全く無いと言える。

4. 8 森林の斜面傾斜と縦振動ヤング係数の関係

丸太を採取した森林の斜面傾斜と丸太の縦振動ヤング係数の関係を図 10 に示す。相関係数 $r=-0.32$ の弱い相関であるが、森林の傾斜が緩い方が幾分高い強度が期待できる。

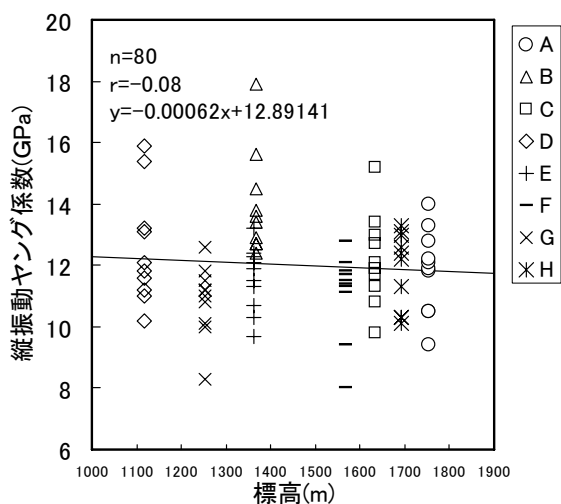


図9 森林の標高と縦振動ヤング係数の関係

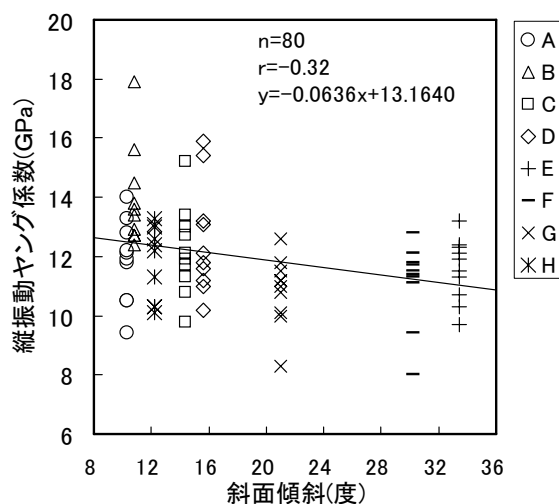


図10 森林の傾斜と縦振動ヤング係数の関係

5. 丸太の強度等級

試験地A~H (Sは全体) ごとの丸太の強度等級別本数を表 4 およびその分布を図 11 に示す。試験地Bは全てEf130以上の強度の高い丸太であった。試験地全体Sでは80本の丸太全てがEf90以上であり、Ef70以下は存在しなかった。最も多い強度等級はEf130の37本であった。

6. 心腐病と丸太の強度

供試木の丸太80本を心腐病の無い丸太と、心腐病が有るがそれ部位を除去した丸太に分け、それらの縦振動ヤング係数を表 5 に、その分布を図 12 に示す。両者の間に強度的な相違は殆ど無く、

表4 地域別丸太の強度等級別本数

試験地		A	B	C	D	E	F	G	H	S	
強度等級	試験料数	本	10	10	10	10	10	10	10	80	
	Ef 50	本	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ef 70	本	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ef 90	本	1	0	0	0	1	2	1	0	5
	Ef110	本	2	0	4	4	4	5	7	4	30
	Ef130	本	6	6	5	4	5	3	2	6	37
	Ef150	本	1	4	1	2	0	0	0	0	8

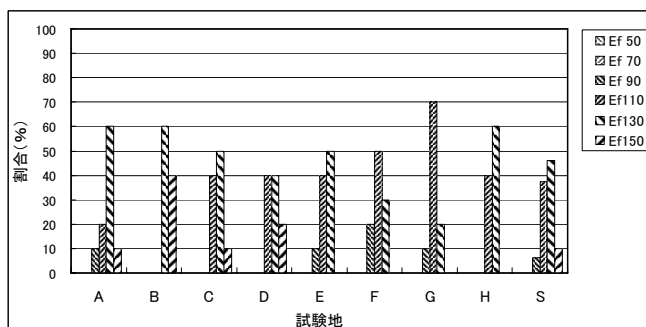


図11 地域別丸太の強度等級の分布

心腐病の部位を切除すれば丸太は強度的に問題が無いと言える。

表5 心腐病と縦振動ヤング係数

縦振動ヤング係数 (GPa)		
心腐病	無し	切除
本数	61	19
平均値	11.9	12.0
最大値	15.9	17.9
最小値	8.0	8.3
標準偏差	1.6	1.9

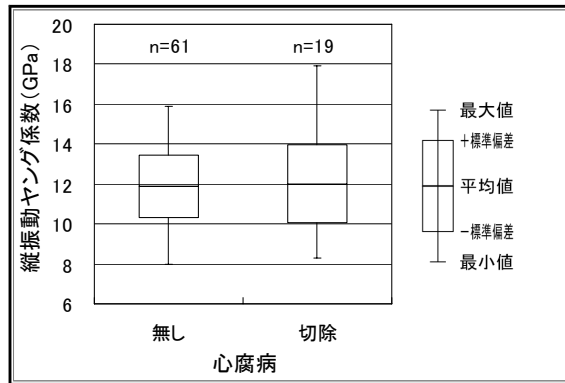


図11 心腐病と縦振動ヤング係数の分布

7. 丸太の目視等級

供試木の丸太 80 本を「素材の日本農林規格」に準じて節、曲がり、木口割れ又は引き抜き、目まわり、腐れ、虫食い又は空洞、へび下がり、その他の欠点を目視により測定した結果を表 6 に示す。1 等が無く、2 等が 58 本、3 等が 22 本であった。全体に並材であった。写真 2 に示す節、写真 3 に示すきずで等級を下げる丸太が多く（1 等 2 本、2 等 78 本）、次に写真 4 に示す曲がりで等級を下げる丸太が多く（1 等 19 本、2 等 44 本、3 等 17 本）、3 番目に写真 5 のへび下がりで等級を下げる丸太（1 等 67 本、2 等 6 本、3 等 7 本）が多かった。

表6 試験地別丸太の目視等級

試験地			A	B	C	D	E	F	G	H	S	
丸太目視等級	1等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2等	本	8	6	7	10	9	6	5	7	58	
	3等	本	2	4	3	0	1	4	5	3	22	
	4等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
項目別	節	1等	本	0	2	0	0	0	0	0	0	2
		2等	本	10	8	10	10	10	10	10	10	78
		3等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	曲がり	1等	本	3	7	5	2	0	0	1	1	19
		2等	本	5	2	3	8	9	7	4	6	44
		3等	本	2	1	2	0	1	3	5	3	17
		4等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	木口割れ又は引き抜き	1等	本	10	10	10	7	10	10	10	10	77
		2等	本	0	0	0	3	0	0	0	0	3
		3等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0
目まわり	1等	本	8	10	10	7	8	10	10	9	72	
	2等	本	2	0	0	3	2	0	0	1	8	
	3等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
材面	腐れ、虫食い又は空洞	1等	本	10	10	10	10	10	10	10	80	
		2等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	
		3等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	
		4等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	
木口	腐れ、虫食い又は空洞	1等	本	10	8	10	10	10	10	10	78	
		2等	本	0	2	0	0	0	0	0	2	
		3等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	
		4等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	
へび下がり	1等	本	10	5	9	9	8	8	10	8	67	
	2等	本	0	1	0	1	2	0	0	2	6	
	3等	本	0	4	1	0	0	2	0	0	7	
	4等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
その他の欠点	1等	本	10	10	10	10	10	10	10	10	80	
	2等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4等	本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	



写真2 丸太材面の節



写真3 丸太材面のきず



写真4 丸太の曲がり



写真5 丸太材面のへび下がり

Ⅲ まとめ

山梨県の県有林8箇所を設定した試験地からカラマツ1番玉の丸太各10本合計80本を搬出した。丸太の特性は以下となった。

丸太の径級は試験地間で18～24cmと分布し、全体の平均値は20cmであった。丸太の材積は試験地間で0.1370～0.2123m³と分布し、全体の平均値は0.1652m³であった。丸太の両木口の平均直径は試験地間で21.9～26.7cmと分布し、全体の平均値は23.8cmであった。丸太の見かけの密度は試験地間で742～838kg/m³と分布し、全体の平均値は786kg/m³であった。

丸太の縦振動ヤング係数は試験地間で10.8～13.9GPaと分布し、全体の平均値は11.9GPaであった。丸太の強度等級は全体でEf90～Ef150と分布し、Ef70以下は存在しなかった。最も多い強度等級はEf130の37本であった。

丸太の縦振動ヤング係数の地域差の要因は、丸太を採取した森林の林齢と丸太の縦振動ヤング係数の相関係数が $r=0.46$ でやや相関があり、林齢が高い森林から伐採した丸太は強度が高くなると推測された。

心腐病の無い丸太と、心腐病が有るがその部位を除去した丸太の間に強度的な相違は殆ど無く、心腐病の部位を切除すれば丸太は強度的に問題が無いと言える。

丸太80本の目視等級は、1等が無く、2等が58本、3等が22本であった。全体に並材であった。節やきず、曲がり、へび下がりの順で等級を下げる丸太が多かった。

第3章 山梨県産カラマツラミナの地域別強度特性

はじめに

山梨県の県有林8箇所から伐期に達したカラマツ各10本合計80本を伐採し、そこから採材した1番玉の丸太をCLTのラミナに製材して、「直交集成板の日本農林規格」に準じ、目視等級と強度等級の測定を行い、カラマツラミナの地域別強度特性を調査した。

I 試験方法

1. 丸太の製材及び乾燥、寸法調整

8箇所の試験地から搬出した80本のカラマツ丸太を断面寸法幅140mm×厚さ40mmの板に製材し、人工乾燥（乾球温度95℃、湿球温度95℃で蒸煮を8時間、以後含水率12%まで乾球温度90℃、湿球温度95～60℃で乾燥、仕上げに乾球温度70℃、湿球温度65℃で調湿処理24時間、降温24時間）を行い、一ヶ月程度屋内で養生を行った。その後、寸法調整のためモルダーにて断面寸法幅126mm×厚さ35mm×長さ4m（2401～4005mm、平均3961mm）のCLT及び集成材用のラミナを製造した。製造したラミナは、この寸法でグレーディングを行い、節等の欠点除去と縦継ぎの工程を経て、最終的に幅120mm×厚さ30mmの寸法でCLTや集成材への積層を行うことを想定している。

2. ラミナの縦振動ヤング係数の測定

ラミナの断面寸法、長さ、重量を測定後、図1に示す方法により写真1のように、木口に木槌で打撃を与え片方の木口にセットした非接触のマイクロフォンで集音した音波をFFTアナライザーで計測し、得られた1次の固有振動数を求め、ラミナの縦振動ヤング係数(Ef)を測定した。

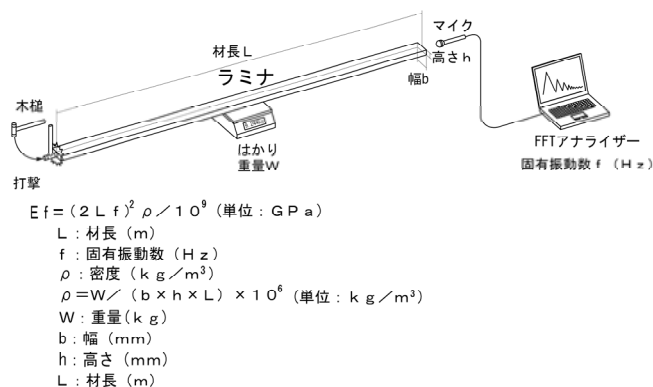


図1 ラミナの縦振動ヤング係数の測定方法



写真1 ラミナの縦振動ヤング係数の測定風景

3. ラミナの目視等区分

ラミナの欠陥除去と縦継ぎを行わず、そのままCLTへ使用することを前提とした場合の、節及び穴（集中節径比、幅面の材縁部の節径比）、繊維方向の傾斜比、腐れ、割れ（貫通割れ、その他の割れ）、変色、逆目、平均年輪幅、曲がり、反り及びねじれ、丸身、その他の欠点について「直交集成板の日本農林規格」の基準に従い、目視検査により等級区分を行った。集中節径比は側面（厚さ方向）に存する節及び穴も測定対象にした。幅面の材縁部の節径比は流れ節もそのまま幅方向の長さで測定

した。材面の髓が著しいラミナはその他の欠点で2等とした。

4. ラミナの曲げヤング係数と曲げ強さの測定

ラミナの末口面から90cmで切断した長さ90cmのラミナを使用して「直交集成板の日本農林規格」に準じた図2に示す方法により写真2のように、スパンはラミナの厚さ35mmの21倍のL=735mmに設定し、中央集中荷重法によりラミナの曲げB試験を行い曲げヤング係数を測定した。また、スパン735mm、ロードスパン245mmに設定し、3等分点4点荷重法によりラミナの曲げC試験を行いラミナの曲げ強さを測定した。

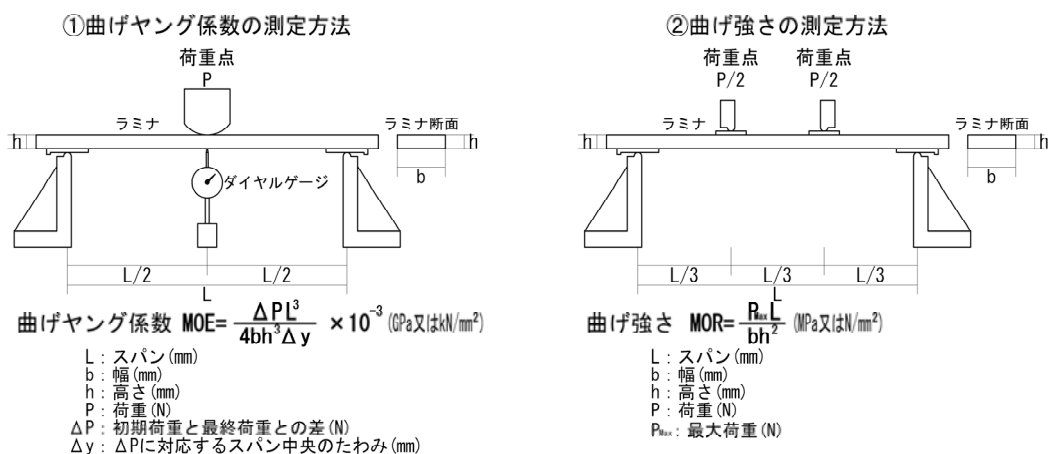


図2 ラミナの曲げヤング係数および曲げ強さの測定方法



写真2 ラミナの曲げヤング係数（左）および曲げ強さ（右）の測定風景

5. ラミナの含水率の測定

長さ90cmの強度試験用のラミナを採取した後に隣接する節のない部分で長さ3cmの板片を採取して全乾法でラミナの含水率を測定した。残りの長さ3mのラミナはCLTの製造に使用した。

II 結果と考察

1. ラミナの採取数、材積、歩留まり

試験地A~H（Sは全体）の試験地別の丸太10本から採取できたラミナの枚数、材積、歩

留まり（下式）を表1に示す。試験地Bは丸太が太いためラミナの採取枚数が45枚と多かった。試験地EとGは最も少なく27枚、全体で260枚のラミナが採取できた。8箇所の試験地全体での歩留まりは34.6%と低い値となった。曲がりの大きい丸太が多かったため歩留まりが悪かった。

$$\text{歩留まり} = (\text{ラミナの材積}) / (\text{丸太の材積}) \times 100(\%)$$

表1 ラミナの採取数、材積、歩留まり

試験地		A	B	C	D	E	F	G	H	S	
丸太 材積	試験料数	本	10	10	10	10	10	10	10	80	
	合計	m3	1.6768	2.1232	1.5120	1.9456	1.4240	1.4842	1.3696	1.6800	13.2154
ラミナ 材積	試験料数	枚	34	45	30	36	27	28	27	33	260
	平均値	m3	0.0175	0.0178	0.0178	0.0178	0.0178	0.0168	0.0175	0.0176	0.0176
	最大値	m3	0.0179	0.0181	0.0179	0.0179	0.0180	0.0178	0.0179	0.0178	0.0181
	最小値	m3	0.0133	0.0175	0.0175	0.0175	0.0177	0.0106	0.0133	0.0134	0.0106
	標準偏差	m3	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0019	0.0012	0.0008	0.0009
	合計	m3	0.5957	0.8006	0.5332	0.6411	0.4815	0.4690	0.4712	0.5798	4.5721
歩留まり	%	35.5	37.7	35.3	33.0	33.8	31.6	34.4	34.5	34.6	

2. ラミナの寸法、重量、密度、一次固有振動、含水率

ラミナの寸法、重量、密度、一次固有振動、含水率を表2に示す。ラミナの密度の平均値は降順にB>A>D>H>E>C>F>Gとなり丸太の見かけの密度の平均値の降順B>D>E>C>A>H>F>Gと中央部分で順位が異なっていた。ラミナの含水率は全体の平均が9.9%と人工乾燥の目標含水率12%より低い値であった。

表2 ラミナの寸法、重量、密度、一次固有振動、含水率

試験地		A	B	C	D	E	F	G	H	S	
試験料数		枚	34	45	30	36	27	28	27	33	260
幅	平均値	mm	126.05	125.95	126.15	125.98	126.12	125.97	126.13	125.99	126.03
	最大値	mm	126.52	126.21	126.64	126.33	126.29	126.54	126.37	126.23	126.64
	最小値	mm	125.90	125.24	125.85	123.92	125.92	122.69	125.99	125.70	122.69
	標準偏差	mm	0.11	0.20	0.16	0.39	0.12	0.66	0.11	0.10	0.29
厚さ	平均値	mm	35.18	35.31	35.18	35.34	35.35	35.09	35.17	35.17	35.23
	最大値	mm	35.32	35.83	35.29	35.56	35.55	35.29	35.32	35.37	35.83
	最小値	mm	35.00	34.82	34.55	34.97	35.15	33.22	34.86	34.87	33.22
	標準偏差	mm	0.08	0.15	0.17	0.11	0.08	0.38	0.09	0.10	0.19
長さ	平均値	mm	3952	4000	4005	4000	4000	3791	3932	3970	3961
	最大値	mm	4005	4000	4005	4000	4000	4005	4005	4000	4005
	最小値	mm	3004	4000	4005	4000	4000	2401	3005	3002	2401
	標準偏差	mm	179	0	0	0	0	418	261	174	192
重量	平均値	kg	9.51	10.27	9.15	9.50	9.22	8.02	8.28	9.23	9.24
	最大値	kg	11.56	11.84	11.15	11.20	10.88	9.48	9.94	11.13	11.84
	最小値	kg	7.31	8.63	7.98	7.57	7.89	5.07	6.82	6.30	5.07
	標準偏差	kg	0.88	0.79	0.87	0.92	0.86	1.16	0.90	0.92	1.12
密度	平均値	kg/m3	542	577	515	533	517	480	476	527	526
	最大値	kg/m3	651	668	629	629	608	625	560	754	754
	最小値	kg/m3	455	485	450	424	441	376	382	353	353
	標準偏差	kg/m3	43	45	49	52	48	60	49	66	60
一次固有 振動数	平均値	Hz	592.8	664.7	606.5	623.6	608.1	641.0	596.6	592.2	618.2
	最大値	Hz	850.6	742.9	689.1	699.8	667.5	979.8	786.0	699.8	979.8
	最小値	Hz	516.8	584.1	527.6	549.1	559.9	527.6	495.3	484.5	484.5
	標準偏差	Hz	60.2	36.3	45.8	37.4	28.2	104.6	59.9	49.4	60.6
含水率 (全乾法)	平均値	%	10.1	9.9	10.1	9.6	9.8	10.0	9.9	9.7	9.9
	最大値	%	15.8	11.2	11.1	11.4	10.8	11.3	11.5	10.8	15.8
	最小値	%	8.6	8.4	8.8	7.9	8.4	9.0	8.3	8.1	7.9
	標準偏差	%	1.2	0.7	0.5	0.7	0.6	0.5	0.7	0.5	0.7

3. 4mラミナの縦振動ヤング係数、90cmラミナの曲げヤング係数及び曲げ強さ

試験地別の4mラミナの縦振動ヤング係数、90cmラミナの曲げヤング係数及び曲げ強さを表3に示す。4mラミナの縦振動ヤング係数分布を図3に示す。ラミナの縦振動ヤング係数は試験地Bが最も高く平均16.3GPaであり、Gが最も低く平均10.4GPaであった。試験地全体Sでは縦振動ヤング係数は平均12.6GPaで、最小6.0GPaから最大22.7GPaまで分布していた。試験地別のラミナの縦振動ヤング係数は降順でB>D>C=E>A>H>F>Gとなり、採取した丸太の縦振動ヤング係数は降順でB>D>C>A>H>E>F>Gであり順位が一部異なっていた。図4に丸太の縦振動ヤング係数と採取したラミナの縦振動ヤング係数の関係を示す。相関係数 $r=0.64$ によりヤング係数の高い丸太からはヤング係数の高いラミナが得られやすいという一般的な傾向と同様の結果が得られた。

表3 4mラミナの縦振動ヤング係数、90cmラミナの曲げヤング係数・曲げ強さ

試験地		A	B	C	D	E	F	G	H	S
枚数	枚	34	45	30	36	27	28	27	33	260
4mラミナ 縦振動 ヤング 係数	平均値	GPa 11.8	16.3	12.2	13.3	12.2	11.0	10.4	11.6	12.6
	最大値	GPa 16.8	22.7	19.1	18.7	16.7	17.9	13.8	16.1	22.7
	最小値	GPa 8.4	12.5	8.3	8.5	10.1	6.9	6.0	7.6	6.0
	標準偏差	GPa 2.2	2.7	2.7	2.5	1.6	2.7	1.9	2.3	3.0
90cmラミナ 曲げ ヤング 係数	平均値	GPa 11.2	15.0	11.3	12.6	10.9	10.1	10.0	11.4	11.8
	最大値	GPa 15.6	20.7	16.8	18.5	13.5	15.1	13.9	16.5	20.7
	最小値	GPa 6.7	10.7	7.5	8.2	8.8	6.0	5.5	6.5	5.5
	標準偏差	GPa 2.4	2.4	2.4	2.4	1.4	2.2	2.2	2.8	2.8
90cmラミナ 曲げ強さ	平均値	MPa 52.6	70.2	48.8	55.2	52.6	43.4	48.7	40.8	52.7
	最大値	MPa 81.1	119.9	72.7	93.5	71.2	69.0	66.9	61.7	119.9
	最小値	MPa 22.4	40.8	30.9	25.7	32.9	11.7	26.0	21.6	11.7
	標準偏差	MPa 14.6	20.0	10.6	14.3	8.6	12.8	11.4	11.1	16.5

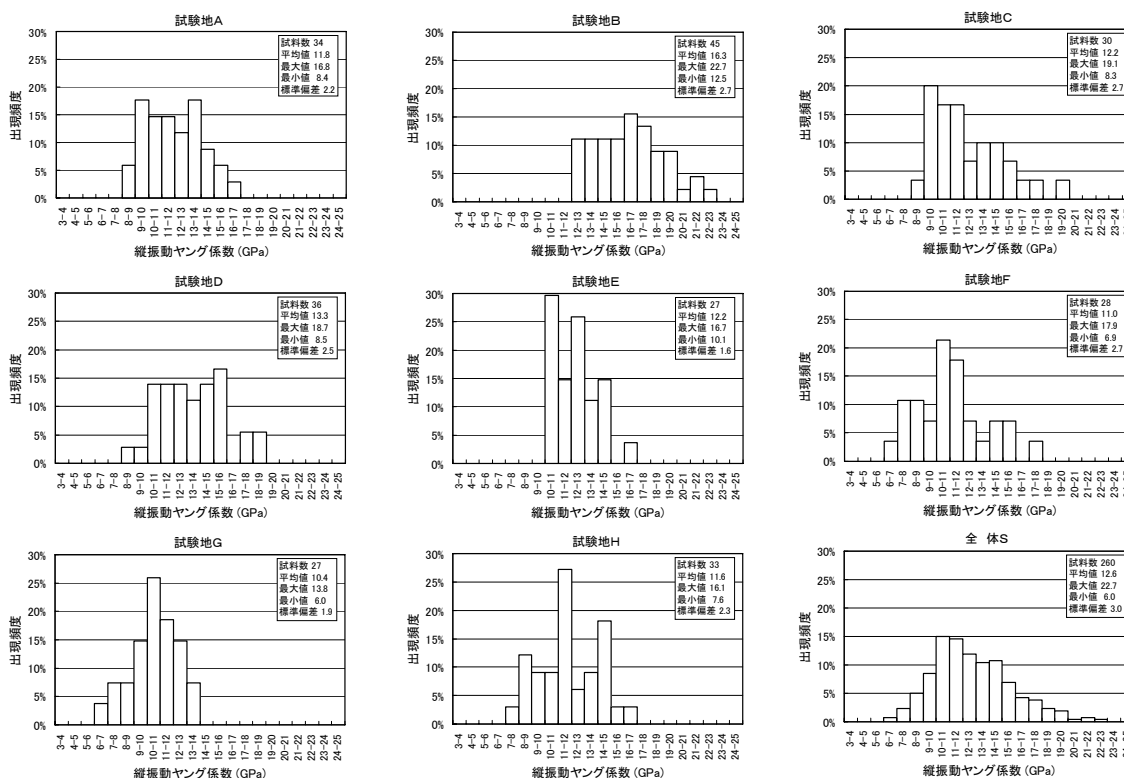


図3 4mラミナの試験地別縦振動ヤング係数の頻度分布

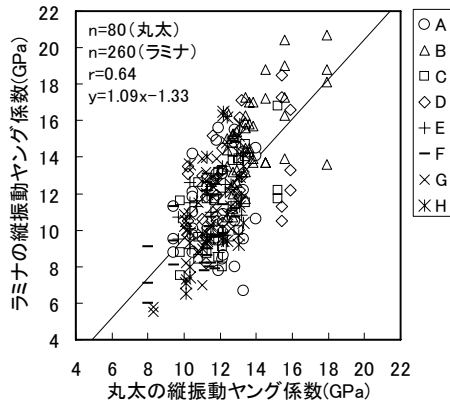


図4 丸太のヤング縦振動係数とラミナ縦振動ヤング係数の関係

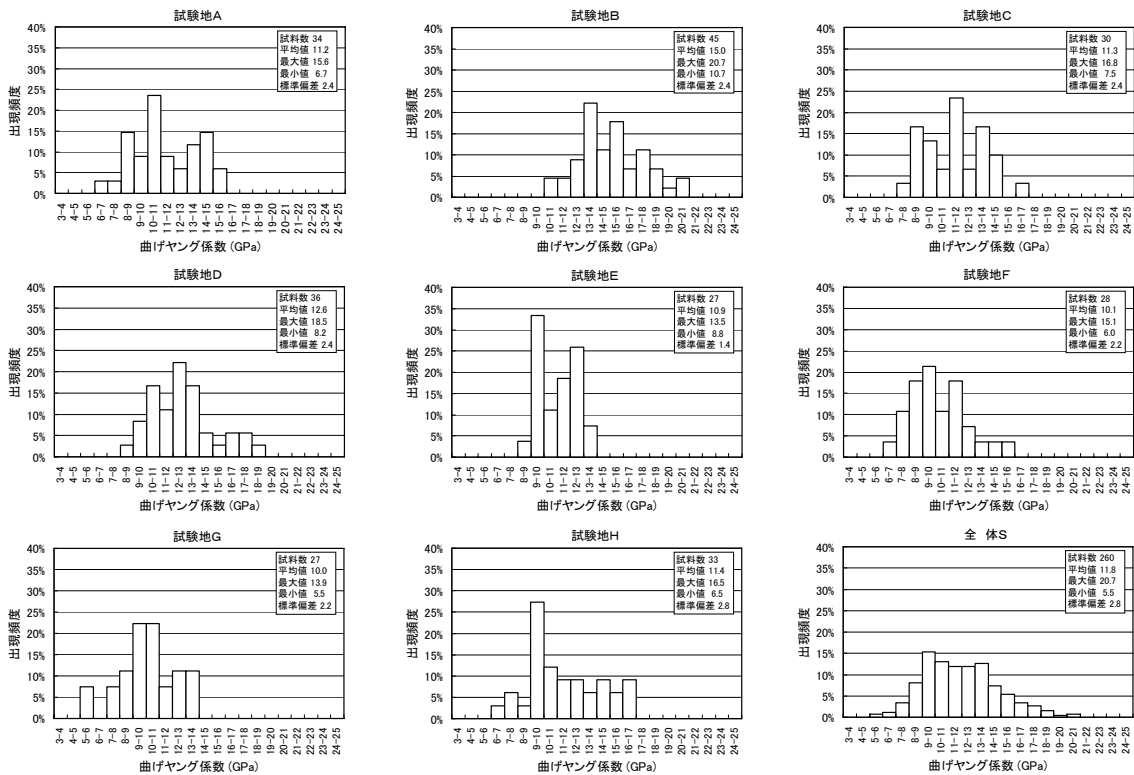


図5 90cmラミナの試験地別曲げヤング係数の頻度分布

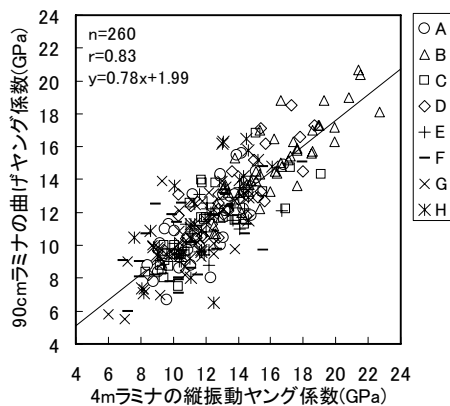


図6 4mラミナの縦振動ヤング係数と90cmラミナの曲げヤング係数の関係

90cmラミナの曲げヤング係数の分布を図5に示す。ラミナの縦振動ヤング係数と同様に試験地Bが最も高く平均 15.0GPaであり、Gが最も低く平均 10.0GPaであった。試験地全体Sでは曲げヤング係数は平均 12.8GPaで、最小 5.5GPaから最大 20.7GPaまで分布していた。曲げヤング係数は降順にB>D>H>C>A>E>F>Gとなり、ラミナの縦振動ヤング係数と一部異なっていた。4mラミナの縦振動ヤング係数と90cmラミナの曲げヤング係数の関係を図6に示す。相関係数 $r=0.83$ の強い相関があった。ラミナの長さが異なるが、曲げヤング係数が1割弱低い値となった。

90cmラミナの曲げ強さの分布を図7に示す。縦振動ヤング係数と同様に試験地Bが最も高く平均 70.2MPaであり、Hが最も低く平均 40.8MPaであった。試験地全体Sでは曲げ強さは平均 52.7MPaで、最小 11.7MPaから最大 119.9MPaまで分布していた。大きさは降順にB>D>A>C>E>F>G>Hとなり試験地Hが最も低くなった。図8に90cmラミナの曲げヤング係数と90cmラミナの曲げ強さの関係を示す。相関係数 $r=0.74$ の強い相関が見られ、一般的な傾向と同様に曲げヤング係数の強いラミナからは曲げ強さの強いラミナが得られた。

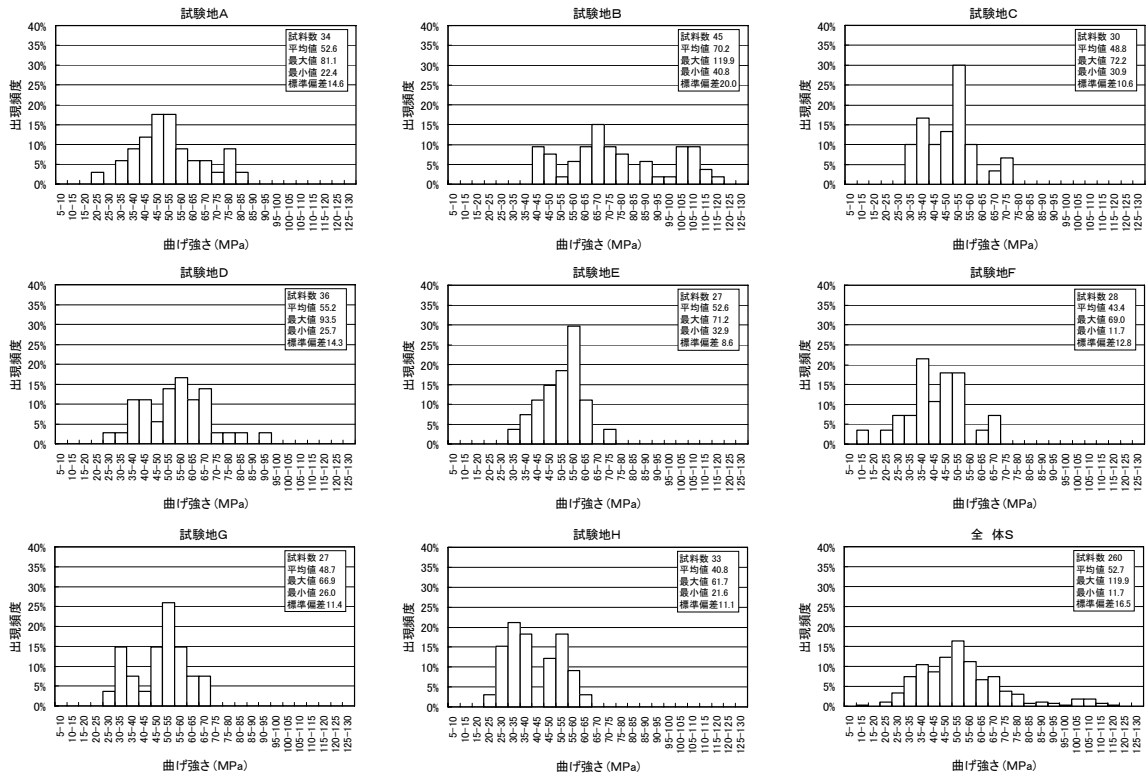


図7 90cmラミナの試験地別曲げ強さの頻度分布

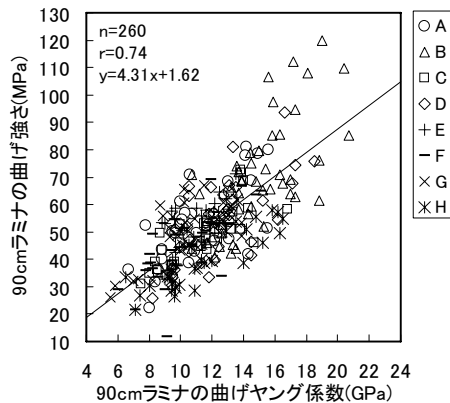


図8 90cmラミナの曲げヤング係数と曲げ強さの関係

4. 心腐病とラミナの強度

心腐病の無い丸太から得られたラミナと心腐病が有るがその部位を除去した丸太から得られたラミナの縦振動ヤング係数を表4と図9に示す。丸太の場合と同様に両者の間に強度的な相違は殆ど無く、心腐病の部位を切除すれば強度的に問題が無いと言える。

表4 心腐病の有無とラミナの縦振動ヤング係数

縦振動ヤング係数(GPa)		
心腐病	無し	切除
枚数	201	59
平均値	12.7	12.3
最大値	21.5	22.7
最小値	6.9	6.0
標準偏差	3.0	3.2

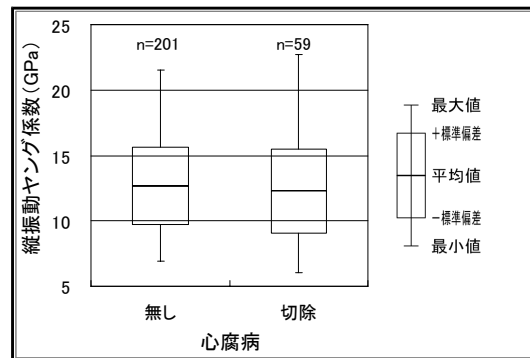


図9 心腐病の有無とラミナの縦振動ヤング係数の分布

表5 ラミナのCLT強度等級

等級			M30A					合計	備考
			<M30A	M60A					
			M90A		M120A				
			<M30B	M30B	M60B	M90B			M120B
曲げヤング係数 基準	平均値	GPa		3.0	6.0	9.0	12.0		
	上限値	GPa		6.0	9.0	12.0	15.0		B種のみ
	下限値	GPa		2.5	5.0	7.5	10.0		
曲げ強さ 基準	平均値	MPa		19.5	27.0	34.5	42.0		
	下限値	MPa		14.5	20.0	26.0	31.5		
曲げ強さ 測定値	試料数	枚	0	0	21	99	86	54	260
	平均値	MPa			34.6	46.1	53.3	70.9	
	最大値	MPa			53.0	72.7	81.1	119.9	
	最小値	MPa			11.7	21.6	22.4	40.8	
	標準偏差	MPa			10.1	11.2	10.5	18.3	
	下限値以上	枚			20	98	85		
	下限値未満	枚			1	1	1		
	下限値以上の割合	%			95.2	98.9	98.8		

5. CLT用のラミナとしての用途

80本の丸太から得られた260枚の4mラミナの縦振動ヤング係数と90cmラミナの曲げヤング係数の測定値を基に、「直交集成板の日本農林規格」の曲げヤング係数の平均値以上・平均値未満で区分したものを表5とその分布を図10に示す。ラミナの強度のみで判別してCLTに使用できる枚数を計算すると以下となる。

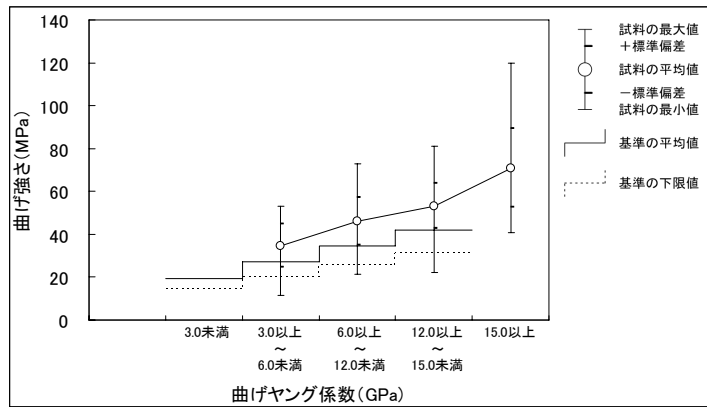


図10 ラミナのCLT強度等級の分布

る。A種構成では曲げヤング係数の上限値が定められていないので使用できるラミナの枚数は多くなり、例えばMx90の異等級構成でCLTを製造する場合は、外層にはM90A（曲げヤング係数9.0GPa以上）の239枚、内層にはM60A（曲げヤング係数6.0GPa以上）260枚、全てのラミナが使用でき無駄が無いと言える。B種構成では曲げヤング係数の上限値が定められているので15.0GPa以上（M120B<）のラミナ54枚は強度が強すぎて使用不能になってしまう。B種構成の場合は、Mx120の異等級構成でCLTを製造すると、外層にはM120B（曲げヤング係数12.0GPa以上15.0GPa未満）の86枚、内層にはM90B（曲げヤング係数9.0GPa以上12.0GPa未満）99枚が使用でき最も効率が良いと言える。B種構成で見ると、曲げ強さは各等級でラミナの最小値が規格の基準の下限値を下回ったものも見られるが、95%以上のラミナは基準下限値以上であった。

表6に4mラミナをそのまま使用する場合の目視等級の結果を表6に示す。1等が58枚、2等が106枚、等級外が96枚であった。項目別には節及び穴、丸身で等級外になるラミナが多いが、それらの欠点を切除してフィンガージョンとすれば長さは短くなるが等級外のラミナが使用可能となる。その他の欠点では2等が93枚あるが、材面に随のあるラミナを2等としたため多くなった。

表6 試験地別CLTラミナの目視等級

試験地			A	B	C	D	E	F	G	H	S	
試験地												
試験地			A	B	C	D	E	F	G	H	S	
試験料数			枚 34	枚 45	枚 30	枚 36	枚 27	枚 28	枚 27	枚 33	枚 260	
目視等級			1等 枚 4	22	4	10	8	1	2	7	58	
			2等 枚 11	14	20	14	9	14	10	14	106	
			等外 枚 19	9	6	12	10	13	15	12	96	
項目別 目視 等級	節 及び 穴	集中節径比	1等 枚 20	43	26	34	27	24	20	31	225	
			2等 枚 9	1	3	2	0	3	4	1	23	
			等外 枚 5	1	1	0	0	1	3	1	12	
		幅面の材縁部 の節径比	1等 枚 19	34	19	19	19	10	16	16	152	
			2等 枚 11	10	10	13	7	12	8	13	84	
			等外 枚 4	1	1	4	1	6	3	4	24	
	繊維方向の傾斜比	1等 枚 34	45	30	36	27	27	27	33	259		
		2等 枚 0	0	0	0	0	0	0	0	1		
		等外 枚 0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	腐れ	1等 枚 31	45	30	36	27	25	27	29	250		
		2等 枚 3	0	0	0	0	3	0	4	10		
		等外 枚 0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	割 れ	貫 通 割 れ	木口面に おけるもの	1等 枚 34	45	30	36	26	28	27	33	259
			2等 枚 0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			等外 枚 0	0	0	0	1	0	0	0	1	
		その他の割れ	1等 枚 34	45	30	34	27	28	27	33	258	
2等 枚 0			0	0	0	0	0	0	0	0		
等外 枚 0			0	0	2	0	0	0	0	2		
変色	1等 枚 30	45	26	35	24	28	26	27	241			
	2等 枚 3	0	4	0	3	0	1	4	15			
	等外 枚 1	0	0	1	0	0	0	2	4			
逆目	1等 枚 32	45	30	35	26	28	25	32	253			
	2等 枚 0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	等外 枚 2	0	0	1	1	0	2	1	7			
平均年輪幅	1等 枚 32	42	30	34	27	27	26	29	247			
	2等 枚 2	3	0	2	0	1	1	4	13			
	等外 枚 0	0	0	0	0	0	0	0	0			
曲がり	1等 枚 34	45	26	36	27	28	27	33	256			
	2等 枚 0	0	4	0	0	0	0	0	4			
	等外 枚 0	0	0	0	0	0	0	0	0			
反り及びねじれ	1等 枚 19	43	21	33	23	25	23	31	218			
	2等 枚 15	2	9	3	4	3	4	2	42			
	等外 枚 0	0	0	0	0	0	0	0	0			
丸 身	幅丸身	1等 枚 24	37	24	29	19	18	17	26	194		
		2等 枚 7	7	5	4	6	3	7	2	41		
		等外 枚 3	1	1	3	2	7	3	5	25		
	厚丸身	1等 枚 24	37	24	29	19	18	17	26	194		
		2等 枚 0	1	1	1	0	2	1	0	6		
		等外 枚 10	7	5	6	8	8	9	7	60		
	長さ丸身	1等 枚 24	37	24	29	19	18	17	26	194		
		2等 枚 9	8	5	6	8	8	10	7	61		
		等外 枚 1	0	1	1	0	2	0	0	5		
その他の欠点	1等 枚 16	35	17	28	18	16	14	19	163			
	2等 枚 18	8	13	7	9	12	13	13	93			
	等外 枚 0	2	0	1	0	0	0	1	4			

6. 集成材用ラミナとしての用途

260枚の4mラミナの縦振動ヤング係数と90cmラミナの曲げヤング係数の測定値を集成材の等級L30～L200に区分したものを表7とその分布を図11に示す。曲げ強さはL60以外で基準の平均値より試料の平均値が高かった。

表7 ラミナの集成材強度等級

等級		L30	L40	L50	L60	L70	L80	L90	L100	L110	L125	L140	L160	L180	L200	合計	
曲げヤング係数基準	GPa	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.5	14.0	16.0	18.0	20.0		
曲げ強さ基準	平均値	MPa	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0	39.0	42.0	45.0	48.5	54.0	63.0	72.0	81.0	
	下限値	MPa	16.0	18.0	20.5	22.5	25.0	27.0	29.5	31.5	34.0	36.5	40.5	47.5	54.0	61.0	
曲げ強さ測定値	試料数		0	0	0	2	6	13	22	39	51	45	46	21	11	4	260
	平均値	MPa				21.0	33.9	37.1	42.8	44.4	49.7	52.9	57.9	68.9	76.9	105.6	
	最大値	MPa				30.4	45.3	53.0	69.0	67.0	72.7	81.1	81.1	97.3	112.1	119.9	
	最小値	MPa				11.7	26.0	21.6	28.7	21.6	22.4	33.4	33.5	45.2	41.4	85.1	
	標準偏差	MPa				13.2	7.3	9.7	10.4	10.2	11.7	9.6	11.4	14.1	21.2	14.7	
	下限値以上	枚				1	6	10	21	36	44	44	42	19	10	4	
	下限値未満	枚				1	0	3	1	3	7	1	4	2	1	0	
	下限値以上の割合	%				50.0	100.0	76.9	95.4	92.3	86.2	97.7	91.3	90.4	90.9	100.0	

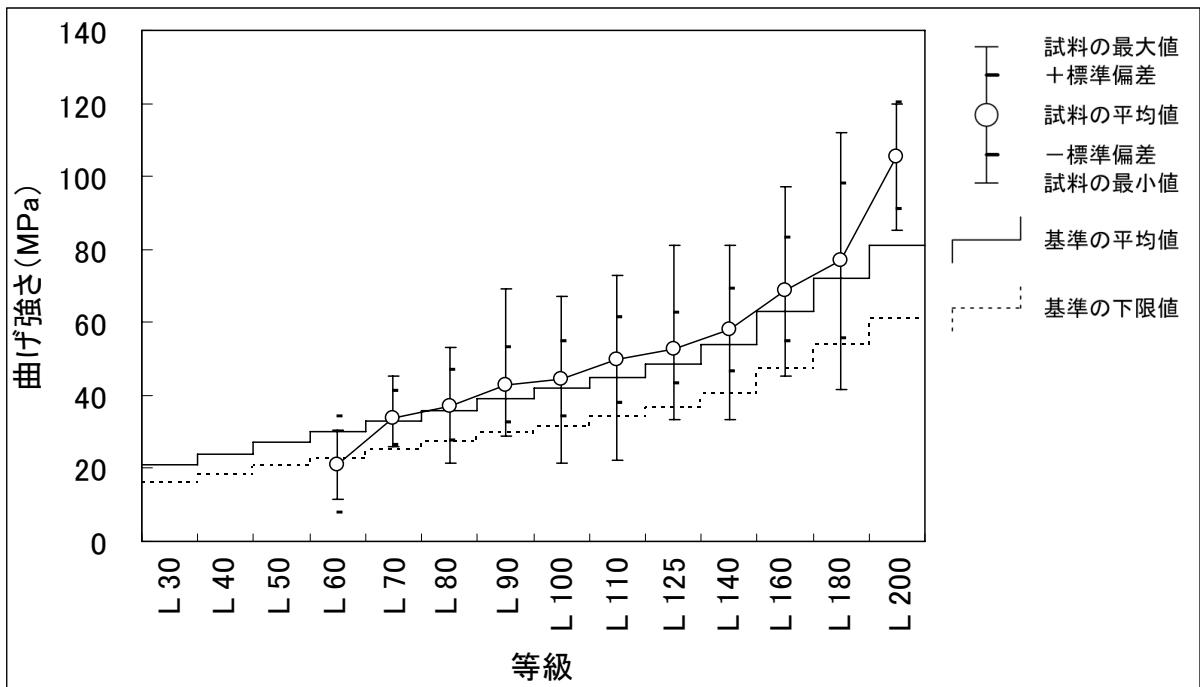


図11 ラミナの集成材強度等級の分布

III まとめ

山梨県の県有林8箇所を設定した試験地からカラマツ1番玉の丸太各10本合計80本を搬出し、CLTのラミナを製造した。ラミナの特性は以下となった。

ラミナの採取数は試験地間で27～45枚と分布し、全体では260枚となった。全体の材積の平均値は4.5721m³となり、丸太からの製材歩留まりは34.6%であった。

ラミナの密度の平均値は試験地間で476～576kg/m³と分布し、全体の平均値は526kg/m³であった。ラミナ全体の含水率の平均値は9.9%であった。

心腐病の無い丸太から採取したラミナと心腐病が有るがその部位を除去した丸太から採取したラミナの間に強度的な相違は殆ど無く、心腐病の部位を切除した丸太から採取したラミナは強度的に問題が無いと言える。

4mラミナの縦振動ヤング係数の平均値は試験地間で10.4～16.3GPaと分布し、全体の平均値は12.6GPaであった。90cmラミナの曲げヤング係数の平均値は試験地間で10.0～15.0GPaと分布し、全体の平均値は11.8GPaであった。90cmラミナの曲げ強さの平均値は試験地

間で 61.7 ～ 119.9MPa と分布し、全体の平均は 52.7MPa であった。

丸太の縦振動ヤング係数と採取したラミナの縦振動ヤング係数の相関係数は $r=0.64$ で、ヤング係数の高い丸太からはヤング係数の高いラミナが得られやすいという一般的な傾向と同様の結果が得られた。

4mラミナの縦振動ヤング係数と 90cmラミナの曲げヤング係数の相関係数は $r=0.83$ の強い相関で、一般的な傾向と同様の結果が得られた。

ラミナ 260 枚を CLT に使用できる枚数を強度のみで判別して計算すると、A 種構成の異等級構成 Mx90 の場合は、外層には M90A の 239 枚、内層には M60A の 260 枚となる。B 種構成の異等級構成 Mx120 の場合は、外層には M120B の 86 枚、内層には M90B の 99 枚となる。B 種構成はラミナのヤング係数の上限値が定められているので 54 枚は強度が強すぎて使用不能となる。

ラミナ 260 枚の CLT の目視等級は、1 等が 56 枚、2 等が 108 枚、等級外が 96 枚であった。項目別には節及び穴、丸身で等級外になるラミナが多いが、それらの欠点を切除すれば使用可能となる。