

平成 30 年度林野庁補助事業（林業成長産業化総合対策補助金等）

木材産業・木造建築活性化対策のうち顔の見える木材での快適空間づくり事業のうち

A材丸太を原料とする構造材等の製品・技術開発

「カラムツ・スギ大径A材丸太の戦略的製品開発事業」

報 告 書

平成 3 1 年 3 月

信州木材認証製品センター

《 目 次 》

はじめに	1
第 1 章 事業の概要	2
1 目 的	2
2 検討委員会の構成	2
3 組織図	3
4 事業スケジュール	3
5 検討委員会の開催	4
第 2 章 「カラマツ・スギ大径 A 材丸太の戦略的製品開発」試験結果	5
I はじめに	5
II 試験概要	6
III 試験結果	8
1 供試した大径材の諸元及び木取り方法と歩止まり	8
2 心持ち無垢梁桁材の乾燥及び強度特性	41
3 心去り無垢梁桁材の乾燥及び強度特性	61
4 208 材及び 210 材の乾燥特性及び強度特性	81
5 接着重ね梁 C タイプ及び集成材の乾燥特性及び強度性能	102
6 心去り無垢梁桁材の長期荷重性能	136
IV まとめ	159
第 3 章 まとめ	168

はじめに

戦後の復興期と拡大造林の時代を経て、木材利用の分野において、かつては小径間伐材、続いて中目材の有効利用が社会的に大きな課題であったが、近年では、森林資源の成熟化、いわば森林における少子高齢化が徐々に進展してきており、大径材をどのように利用していくべきなのか、大きな課題となっている。大径材の有効活用は、林業を活性化させ、ひいては次世代への森林の更新を一步ずつ可能にしていくという観点から喫緊の課題であるといえる。

そこで、大径材をターゲットとして品質の優れているA材丸太からどのような構造材を作っていくか本事業では取り組んだ。カラマツ・スギ大径A材丸太の戦略的製品開発検討委員会において、長野県内の業態の異なる製材・集成材工場にお集まりいただいて、製造可能性を念頭においた木取り方法等の討議を行なうとともに、日本ツーバイフォー建築協会、林野庁、長野県林務部から多面的なご助言をいただいた。

大径A材丸太の木取りに関して、①心持ち木取り（心持ち梁桁材）、②心去り木取り（心去り梁桁材）、③208・210材木取りの3種類について、カラマツおよびスギを用いて試験が行なわれた。製材歩止まりの検討、乾燥特性および強度特性の解明に加え、主製品以外の副産物の有効利用のため、梁桁材の比較対照も兼ねて、接着重ね梁Cタイプおよび構造用集成材の乾燥および強度性能の解明に取り組んだ。

大径A材丸太から得られたそれぞれの製材品は強度性能を保持しており、中でもカラマツの208・210材は強度性能面から十分競争力があると考えられ、大いに期待される場所である。

今後さらに、コスト分析など、より製造現場に近い実務的な検討が必要と考えられる。

カラマツ・スギ大径A材丸太の戦略的製品開発検討委員会
委員長 武田 孝志

第1章 事業の概要

1 目 的

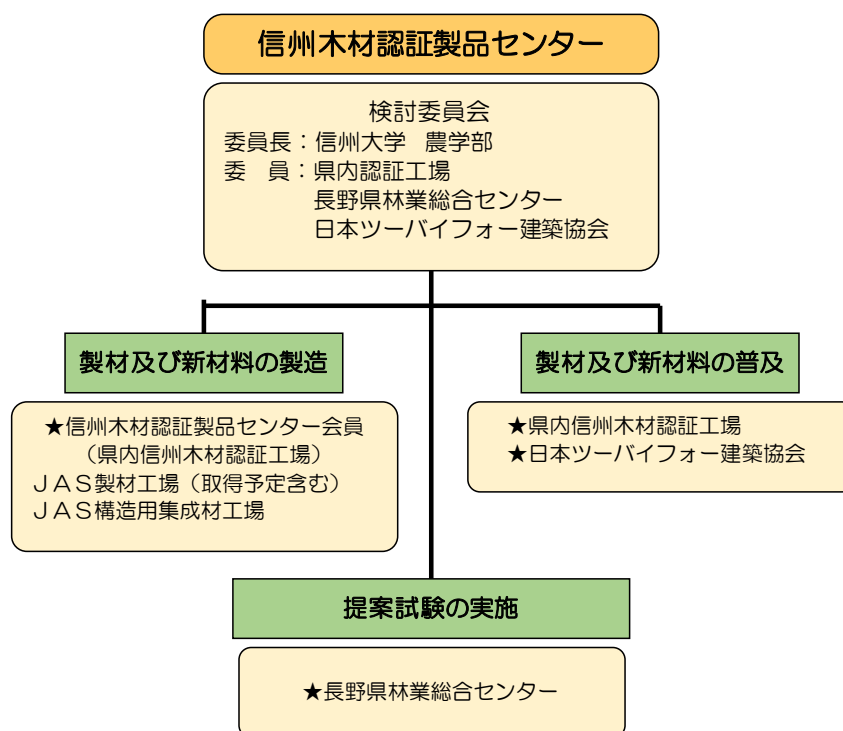
木造軸組工法において、国産材の梁桁材が1割に満たないなど、国産材の利用拡大は進んでいません。また、広い開口部等が要求される住宅または非住宅等では、高ヤング、高強度で構造計算が可能な構造材として、現在、集成材やLVL等の改良木材（EW）の占める割合が多くなっている。しかし、国産無垢材及び、無垢に近い質感を持った国産材新材料（例えば、接着重ね梁）で実現することができれば、「現し」での木材利用が増えれば、木の良さをPRし木材需要拡大が図れる可能性がある。

そこで、今後人工林の高齢級化・大径化が進む中、大径A材丸太を原材料とした付加価値の高い構造材等の製品・技術開発の検討並びに基準整備に必要なデータ収集等を図る。

2 検討委員会の構成

区 分	氏 名	所 属
委員長	武 田 孝 志	信州大学農学部 教授
委 員	宮 宣 敏	長野県林業総合センター 所長
	小 林 保 経	小林木材(株) 専務取締役
	齋 藤 潔	齋藤木材工業(株) 専務取締役
	鈴 木 吉 明	根羽村森林組合 専務理事
	勝 野 智 明	(株)勝野木材 代表取締役社長
	清 野 明	(一社)日本ツーバイフォー建築協会 技術部会長
関係省庁	一 重 喬一郎	林野庁林政部 木材産業課 住宅資材企画係長
	平 山 翔 一	林野庁林政部 木材産業課 木材製品調査担当専門職
	宮 澤 俊 輔	林野庁中部森林管理局長
	木 村 敏 宏	林野庁中部森林管理局 森林整備部 資源活用課長
	丸 山 勝 規	長野県林務部 信州の木活用課 県産材利用推進室長
	棚 秋 隆 哉	長野県林務部 信州の木活用課 県産材利用推進室 課長補佐
	篠 原 司	長野県林務部 信州の木活用課 県産材利用推進室 担当係長
事務局	今 井 信	長野県林業総合センター 木材部長
	奥 原 祐 司	長野県林業総合センター 木材部 主任研究員
	吉 田 孝 久	長野県林業総合センター 木材部 研究員
	山 口 健 太	長野県林業総合センター 木材部 研究員
	宮 崎 正 毅	信州木材製品認証センター 理事長（瑞穂木材㈱）
	小 島 和 夫	信州木材製品認証センター 専務理事
	松 本 寿 弘	信州木材製品認証センター 事務局長

3 組織図



4 事業スケジュール

	H30年（2018年）												H31年（2019年）																				
	5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月			1月			2月			3月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬			
検討委員会							第1回 （7 / 5）														第2回 （12 / 21）									第3回 （3 / 7）			
製品・技術の試験及び分析	丸太準備・調達・測定																																
													試験体製材・乾燥・測定																				
													2×材の製材視察(8/30)																				
事業報告書の作成及び成果の普及																																	
													2×材JAS目視検査(11/6～7)																				
													2×材グレーディング測定(～11/12)																				
													曲げ試験等実施																				
													試験結果の検証等																				
													報告書の作成等																				

5 検討委員会の開催

検討委員会は3回開催し、主な内容は以下のとおり。

◇第1回委員会

日 時	平成30年 7月 5日(木) 14:00～17:00
場 所	長野市 JA長野県ビル 11階B会議室
出席者	21名
主な内容	・事業の概要等について(補助事業内容等、ツーバイフォー建築等の現状) ・試験内容等の検討(木取の検討、測定内容等の検討)

◇第2回委員会

日 時	平成30年12月21日(金) 14:30～17:00
場 所	長野市 JA長野県ビル 11階B会議室
出席者	19名
主な内容	・事業の経過、試験状況等の中間報告について ・今後の方向と問題点等について

◇第3回委員会

日 時	平成31年 3月 7日(金) 14:00～17:00
場 所	長野市 JA長野県ビル 11階B会議室
出席者	22名
主な内容	・事業の経過等について ・試験結果報告、今後の方向等について

第2章 「カラマツ・スギ大径A材丸太の戦略的製品開発」試験結果

I はじめに

1 現状

戦後、拡大造林により植栽された人工林は、10 齢級以上が 50%を超える構成となり、本格的な利用期を迎えている。

長野県内の民有林人工林の蓄積が最も多いカラマツは、ヤング係数が高いことから、集成材・合板・LVL 等への利用が進み、B・C 材の需要は拡大している。民・国連携によりブランド化を進めている「信州プレミアムカラマツ」など径級 30cm 以上の大径材から生産される A 材については、その有効利用が具体化されていない。

カラマツ大径材から側面定規挽きで製材された心去り平割材 200 体を機械等級した度数分布（図 1）によると、外側から製材される平割材のヤング係数が非常に高いことがわかる。これらの平割材はそのほとんどが成熟材部であり繊維傾斜が小さいため、ネジレの発生が心持ち材に比べて小さい。

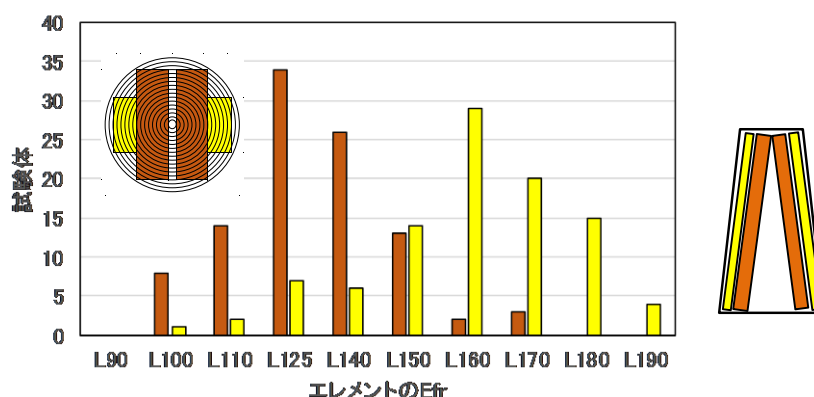


図 1 カラマツ大径材から製材される心去り平割材の機械等級区分
(長野県林業総合センター資料)

2 事業の必要性

広い開口部等が要求される住宅または非住宅等では、高ヤング、高強度で構造計算が可能な構造材として、現在、集成材、LVL 等の改良木材 (EW) の占める割合が多くなっている。しかし、これを国産無垢材及び、無垢に近い質感を持った国産材新材料（例えば、接着重ね梁）で実現することができれば、「現し」での木材利用によって、木の良さを PR し木材需要拡大を図れる可能性がある。

また、当認証製品センターが中心となり、地域の JAS 製材工場（予定工場含む）や集成材工場が連携して大径 A 材丸太の有効利用を実現し、信頼性の高い JAS 製材や 37 条認定製品の供給を実現することにより、地域材の安定供給体制の構築を図り、地域木材産業の成長産業化を実現する必要がある。

Ⅱ 試験概要

1 試験の課題と目的

大径材の大断面を活かした横架材としての利用を検討するため、大径A材丸太から「心持ち無垢梁桁材」、「心去り無垢梁桁材」、「心去り 210 材、208 材」をそれぞれ主製品として製材する。あわせて、その外周部より平割材（C タイプ接着重ね梁の製材ラミナ）及び構造用集成材用ラミナを製材し、以下を明らかにすることを目的とした。

- (1) 大径A材丸太の木取り方法と製材及び製品歩止まりの検討
- (2) 「心持ち無垢梁桁材」の乾燥特性及び強度特性の解明
- (3) 「心去り無垢梁桁材」の乾燥特性及び強度特性の解明
- (4) 「210 材 208 材」の乾燥特性及び強度性能の解明
- (5) 心去り平割材を利用した「新材料梁桁材（高ヤング・高強度）」の開発
- (6) 「心去り無垢梁桁材」のクリープ特性の解明

2 試験の方法

大径 A 材丸太からの木取り方法と製材及び製造する横架材を図 2 に示す。丸太末口径 36 cm での木取り可能な製品寸法を基本木取りとして、3 つの木取り方法を実施する。

36 cm 以上の丸太については、基本木取り以外も製材可能であり、それぞれの丸太ごとに基本木取り＋α 製材を実施した。

(1) 心持ち木取りは、130×320×4,000mm（製材寸法：以下同様）の心持ち梁桁材を、
(2) 心去り木取りは、125×260×4,000mm の心去り梁桁材を、(3) 210・208 材木取りは、50×255×4,000mm（210 材）と 50×205×4,000mm（208 材）を、それぞれ主製品として、その外周部からは、C タイプ接着重ね梁や構造用集成材を想定した製材寸法厚さ 60mm 及び 40mm の平割材を、最小寸法 40×125mm まで採材する木取りで製材試験を行った。

カラマツ及びスギ大径材各 60 体を試験体とし、丸太を縦振動ヤング係数の平均値と変動係数がほぼ等しくなるように 3 分割して、各樹種各木取りについて、大径 A 材丸太 20 体を試験体とした。

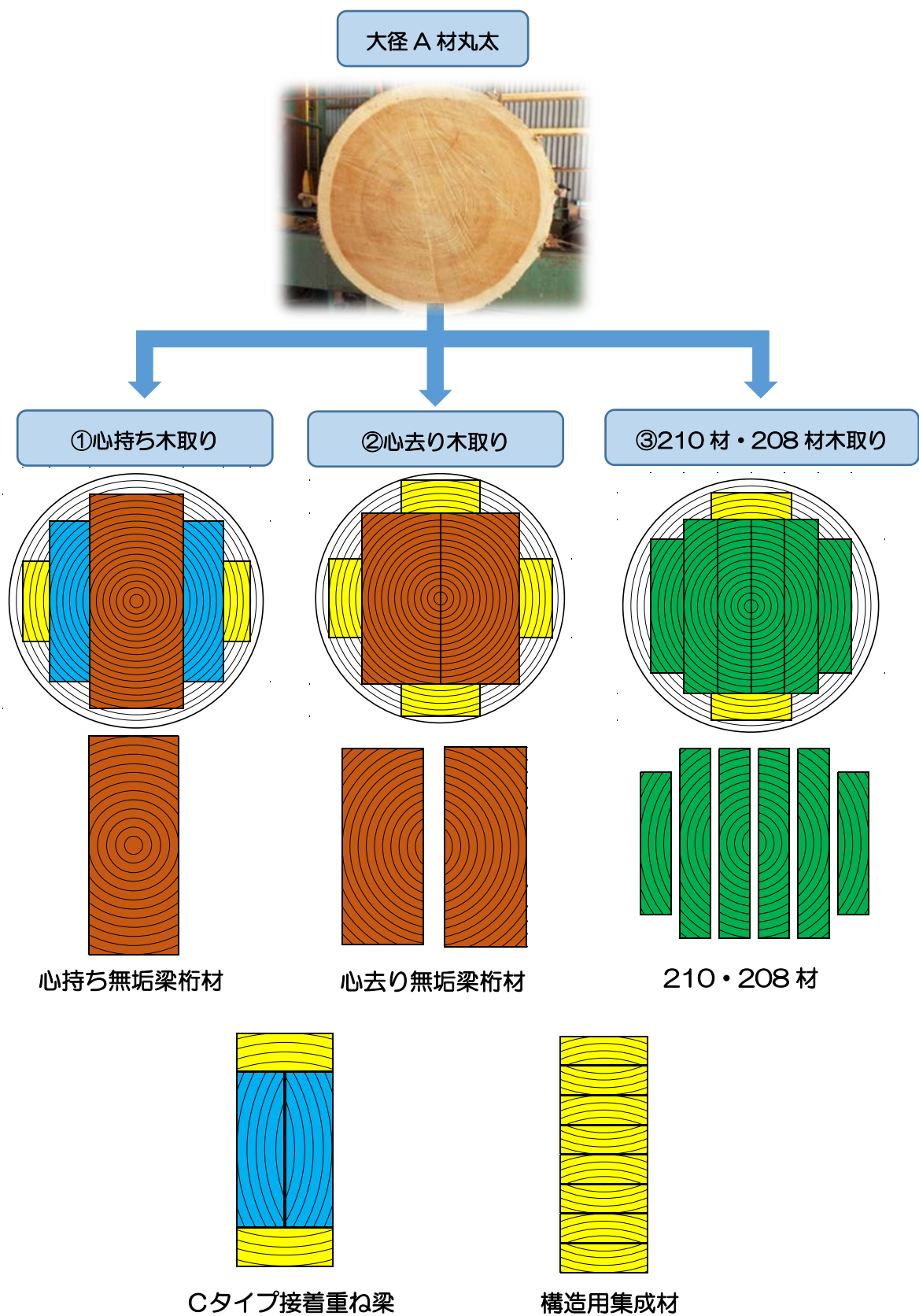


図2 大径A材丸太の木取り方法と製材及び製造する横架材

Ⅲ 試験課題

1 供試した大径材の諸元及び木取り方法と歩止り

大径材からは、大断面を活かした横架材としての利用が考えられる。本課題では、大径材の諸元を測定し、大径A材丸太の大断面を活かした横架材として、心持ち・心去り無垢梁桁材、210・208材、を主製品とする3つ木取り製材を行い、製材歩止り、製品歩止り、主製品歩止り等について検討する。

1.1 試験方法

1.1.1 供試丸太

長野県東信産カラマツ大径材60体と北信産スギ60体を供試木とした。

カラマツ丸太60体は、長野県東信産カラマツ大径材であり、長野県森林組合連合会東信木材センターから「36cm上の直材、製材用A材丸太」、として小林木材㈱が注文・購入した大径材である。現在、大径A材丸太として、一般に購入できる材であると考ええる。

スギ丸太60体は、長野県北信産スギ大径材であり、長野県森林組合連合会北信木材センターから「36cm上の直材、製材用A材丸太」、として瑞穂木材㈱が注文・購入した大径材である。現在、スギ大径A材丸太として、一般に購入できる材であると考ええる。

1.1.2 測定方法

カラマツは、小林木材㈱土場において、リングバーカーにて剥皮した状態から測定を開始した。一方、スギは、瑞穂木材㈱土場において、皮つきの状態から測定を開始した。

両樹種とも、末口では短径、長径、年輪数、心材径、心材年輪数、元口では短径及び長径を測定し、併せて材長、重量（クレーンスケール0.5kg単位使用）、縦振動周波数を測定した。

なお、平均年輪幅(mm)、心材率(%)、細り(mm/m)、を式(1-1)、(1-2)、(1-3)によってそれぞれ算出した。

また、見かけの比重(kg/m³)、縦振動ヤング係数(E_{fr-log}) (kN/mm²)は式(1-4)、(1-5)によって算出した。

$$\text{平均年輪幅 (mm)} = \frac{(\text{末口短径 (mm)} + \text{末口長径 (mm)}) / 2}{\text{年輪数} \times 2} \quad (1-1)$$

$$\text{心材率 (\%)} = \frac{\text{末口心材径}}{\text{末口短径}} \times 100 \quad (1-2)$$

$$\text{細り (mm/m)} = \frac{((\text{元口短径} + \text{元口長径}) / 2) - ((\text{末口短径} + \text{末口長径}) / 2)}{\text{材長 (m)}} \quad (1-3)$$

$$\text{見かけの比重 (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{重量 (kg)}}{(\text{両木口の平均径の平均})^2 \times \pi / 4 \times \text{材長 (m)} \times 1/10,000} \quad (1-4)$$

$$E_{fr-log} \text{ (kN/mm}^2\text{)} = (2 \times \text{材長 (m)} \times \text{縦振動周波数 (Hz)})^2 \times \text{見かけの比重 (kg/m}^3\text{)} / 10^9 \quad (1-5)$$



写真 1-1 カラマツ丸太供試体と測定状況



写真 1-2 スギ丸太供試体と測定状況

1.2 試験結果

1.2.1 大径丸太の形質

カラマツ及びスギ各 60 体の測定結果を表 1-1 及び表 1-2 に示す。

表 1-1 カラマツ供試体の丸太形質

カラマツ	短径 (mm)		年輪数	平均年輪幅 (mm)	末口 心材径 (mm)	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけの比重 (kg/m ³)	E _{fr-log} (kN/mm ²)
	末口	元口							
平均	393	442	69	2.94	350	89.1	6.3	649	12.1
標準偏差	29	49	9	0.44	29	2.9	4.0	54	1.8
変動係数	7.4	11.1	12.9	14.9	8.2	3.2	63.8	8.4	15.2
最小	355	370	44	2.30	315	80.8	1.3	528	8.5
最大	525	610	84	4.63	475	96.3	15.2	778	16.5
データ数	60	60	60	60	60	60	60	60	60

表 1-2 スギ供試体の丸太形質

スギ	短径 (mm)		年輪数	平均年輪幅 (mm)	末口 心材径 (mm)	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけの比重 (kg/m ³)	E _{fr-log} (kN/mm ²)
	末口	元口							
平均	414	459	59	3.81	316	76.3	6.0	643	7.5
標準偏差	34	44	18	0.96	35	4.2	2.8	103	1.5
変動係数	8.2	9.5	30.2	25.1	11.1	5.5	47.6	16.1	19.4
最小	355	370	30	1.61	250	67.5	0.7	463	3.7
最大	490	575	150	7.85	400	87.3	13.2	1,026	10.7
データ数	60	60	60	60	60	60	60	60	60

供試丸太の末口短径、末口年輪数、末口平均年輪幅及び縦振動ヤング係数区分について、それぞれの度数分布を図 1-1～4 に示した。

末口短径は、平均値でカラマツ 393mm、スギ 414mm、度数分布のピークは、カラマツ 38cm、スギは 40cm であり、スギはカラマツより 1 径級太かった。

末口年輪数は、平均値でカラマツ 69 年、スギ 59 年であったが、スギは、100 年以上が 2 体（124 年と 150 年）あったため、標準偏差がカラマツの倍（カラマツ 9、スギ 18）となりバラツキが大きかった。また、度数分布のピークは、カラマツでは 14 齢級（66～70 年）、スギでは 11 齢級（51～55 年）にあり、カラマツがスギより 3 齢級高かった。

末口平均年輪幅は、平均値でカラマツ 2.9mm、スギ 3.8mm であり、スギは 7mm 以上が 1 体あり、標準偏差がカラマツの倍（カラマツ 0.44、スギ 0.96）となった。度数分布でもカラマツは 2mm 台、スギは 3mm 台にピークがあり、スギはカラマツより 1mm 太かった。

縦振動ヤング係数は、平均値でカラマツ Ef130 (12.1kN/mm²)、スギ Ef70 (7.5kN/mm²)、度数分布のピークも、カラマツは Ef130 (11.8～13.6Kn/mm²)、スギ Ef70 (5.9～7.7Kn/mm²) にあった。

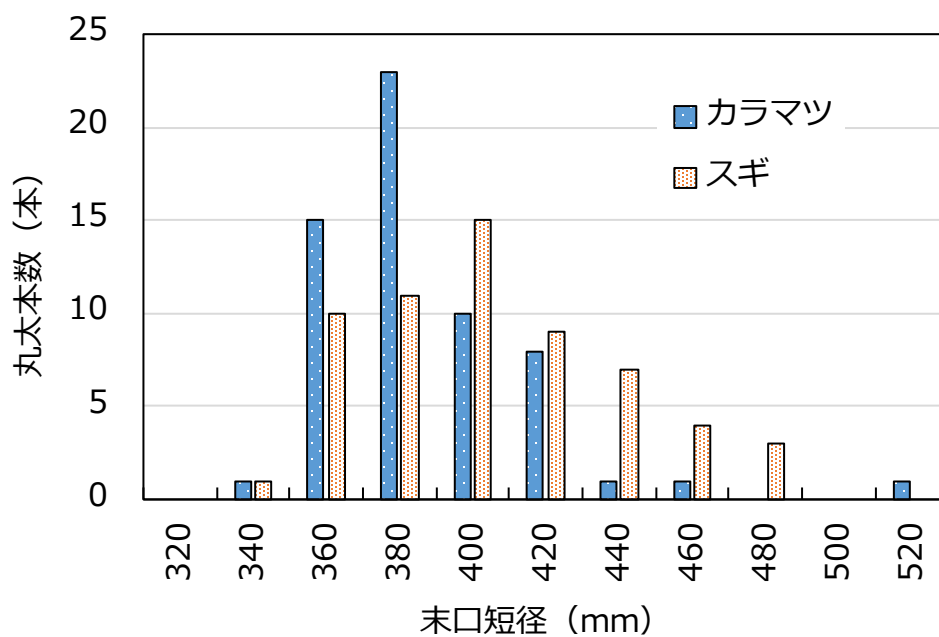


図 1-1 末口径級の度数分布

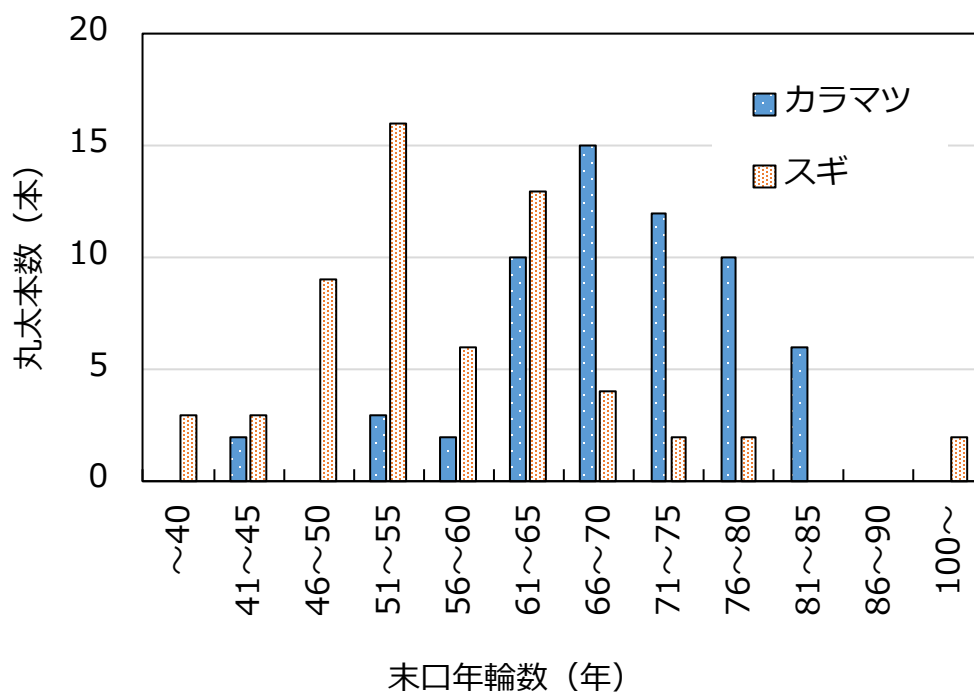


図 1-2 末口年輪数の度数分布

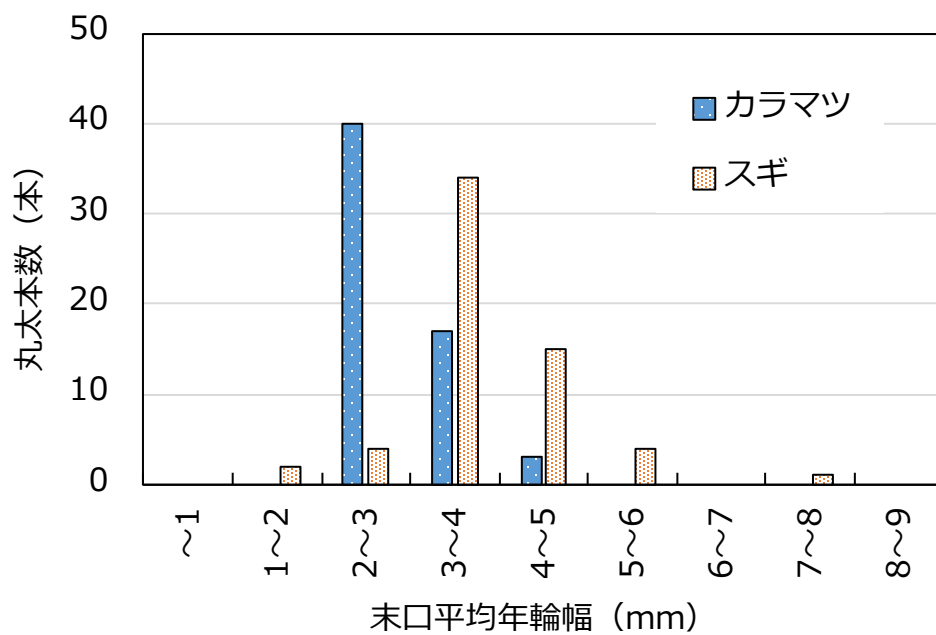


図 1-3 末口平均年輪幅の度数分布

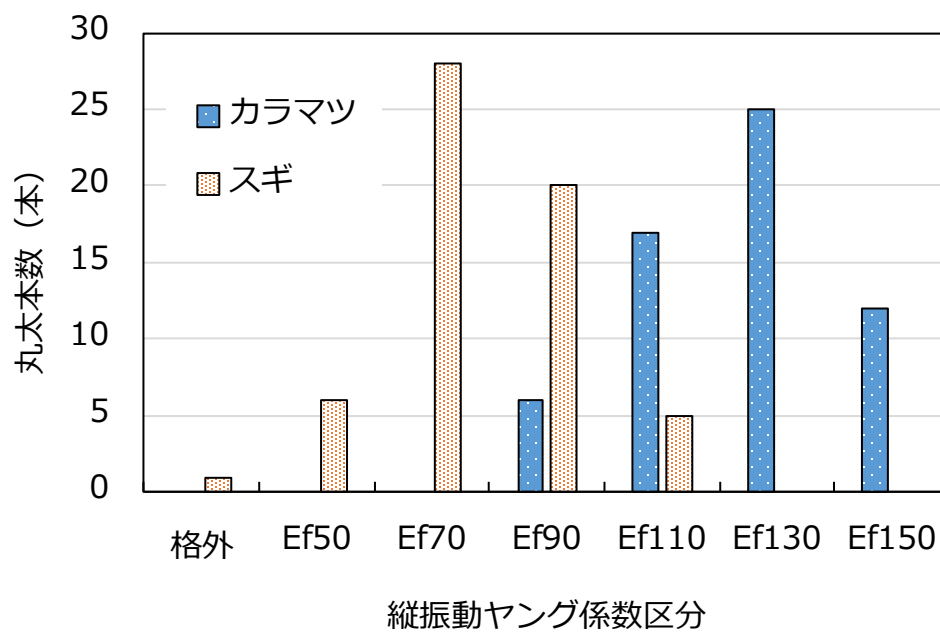


図 1-4 縦振動ヤング係数区分の度数分布

1.2.2 丸太供試体の3分割

カラマツ、スギ各 60 体について、3 つの木取り製材を行うため、得られた縦振動ヤング係数の平均値と、変動係数がほぼ等しくなるように 3 分割し、各樹種 20 体ずつを以後の各木取り試験の供試丸太とした。

3 分割したカラマツ供試丸太の諸元を表 1-3~5 に示し、供試丸太の縦振動ヤング係数区分及び末口短径について、それぞれの度数分布を図 1-5, 6 に示した。

E_{fr-log} については、ほぼ均等に分割できたが、末口短径については 3 つの木取り試験体でばらついていて、心持ち木取り供試体の丸太は末口径 360~440mm 変動係数 5.4%、心去り木取り供試体の丸太は末口径 360~420mm 変動係数 4.8%、210 材木取り供試体の丸太は末口径 355~525mm 変動係数 10.8% となり、210 材木取り供試体の丸太の末口径のばらつきが大きくなった。

表 1-3 カラマツ心持ち木取り供試体の丸太形質

カラマツ 心持ち	短径 (mm)		年輪数	平均年輪幅 (mm)	末口 心材径	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけの比重 (kg/m ³)	E_{fr-log} (kN/mm ²)
	末口	元口							
平均	392	435	70	2.89	346	88.2	5.5	650	12.1
標準偏差	21	43	7	0.32	20	2.8	4.0	48	1.8
変動係数	5.4	9.8	9.4	11.0	5.8	3.2	73.2	7.4	15.1
最小	360	371	54	2.40	315	83.3	1.3	551	8.9
最大	440	515	81	3.56	395	91.9	13.3	714	15.8
データ数	20	20	20	20	20	20	20	20	20

表 1-4 カラマツ心去り木取り供試体の丸太形質

カラマツ 心去り	短径 (mm)		年輪数	平均年輪幅 (mm)	末口 心材径	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけの比重 (kg/m ³)	E_{fr-log} (kN/mm ²)
	末口	元口							
平均	391	451	70	2.90	351	89.7	7.8	644	12.1
標準偏差	19	46	10	0.50	18	2.7	4.3	54	1.9
変動係数	4.8	10.2	13.9	17.1	5.1	3.0	54.8	8.5	15.8
最小	360	378	44	2.30	320	84.1	2.1	528	8.5
最大	420	545	84	4.63	395	96.3	15.2	733	16.3
データ数	20	20	20	20	20	20	20	20	20

表 1-5 カラマツ 210 材木取り供試体の丸太形質

カラマツ 210材	短径 (mm)		年輪数	平均年輪幅 (mm)	末口 心材径	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけの比重 (kg/m ³)	E_{fr-log} (kN/mm ²)
	末口	元口							
平均	396	441	68	3.04	355	89.4	5.6	653	12.1
標準偏差	43	58	10	0.49	43	3.1	3.5	62	1.9
変動係数	10.8	13.2	15.1	16.0	12.0	3.5	62.0	9.5	15.4
最小	355	370	44	2.55	315	80.8	1.5	560	8.5
最大	525	610	84	4.20	475	93.5	13.1	778	16.5
データ数	20	20	20	20	20	20	20	20	20

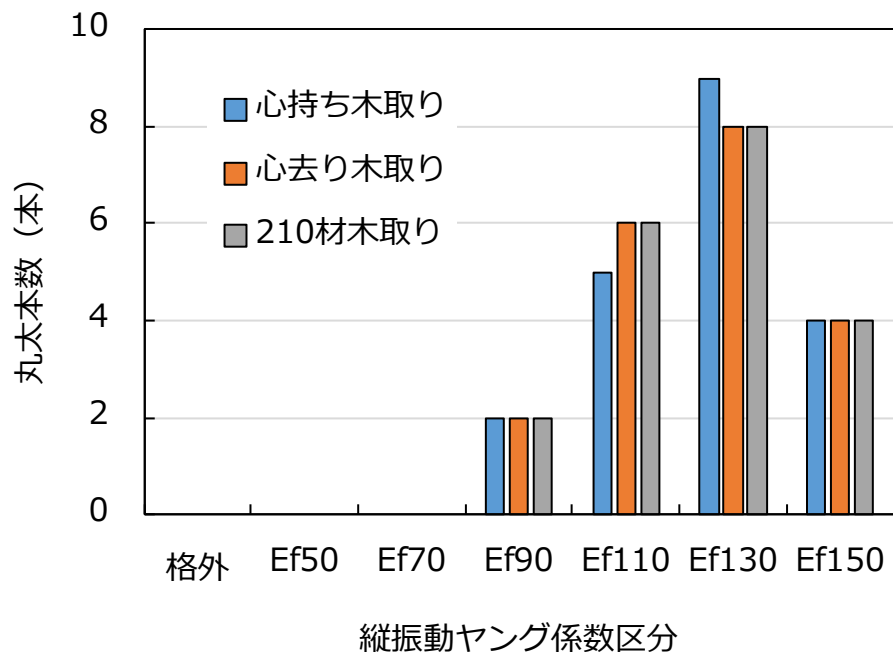


図 1-5 カラマツ丸太 3 分割後の縦振動ヤング係数区分の度数分布

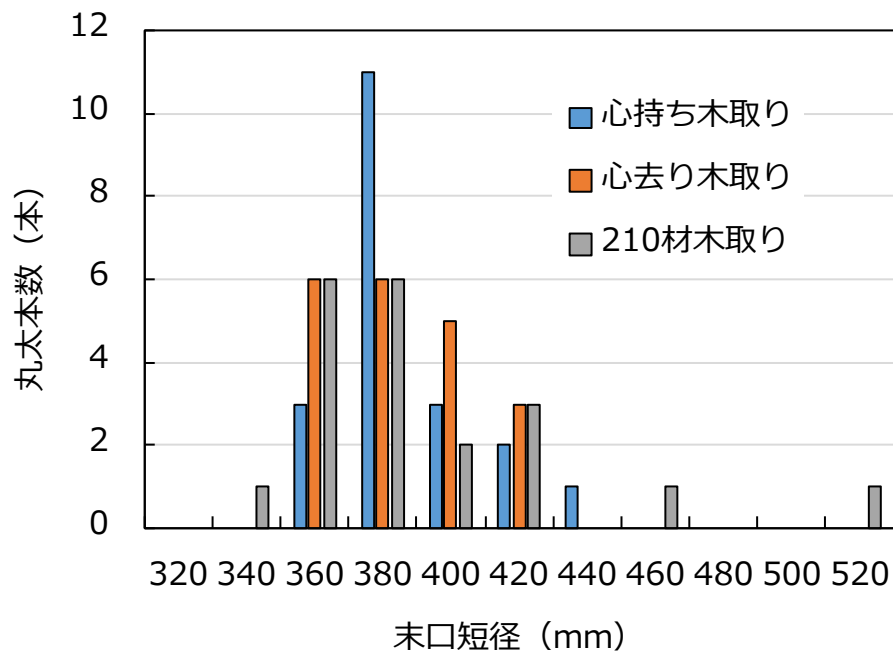


図 1-6 カラマツ丸太 3 分割後の末口径級の度数分布

3 分割したスギ供試丸太の諸元を表 1-6～8 に示し、供試丸太の縦振動ヤング係数区分及び末口短径について、それぞれの度数分布を図 1-7, 8 に示した。

なお、スギについては、製材開始後の心持ち木取りにおいて、製材間違いがあったため、1 体試験体を交換した。そのため、心持ち木取りの供試丸太の縦振動ヤング係数の平均値が若干高い数値となっているが、カラマツと同じく、 E_{fr-log} については、ほぼ均等に分割できたが、末口短径等については各木取り試験体でばらついていた。

心持ち木取り供試体の丸太は末口径 355～490mm 変動係数 8.7%、心去り木取り供試体の丸太は末口径 365～472mm 変動係数 7.2%、210 材木取り供試体の丸太は末口径 365～485mm 変動係数 9.1%となった。径級の範囲、変動係数のバラツキは小さく見えるが、図 1-8 に示すとおり、径級 380mm では心持ち木取り 1 体、210 材木取り 6 体となり、径級 400mm では心去り木取り 8 体、210 材木取り 1 体となり、径級ごとの本数のバラツキは大きくなっていた。

表 1-6 スギ心持ち木取り供試体の丸太形質

スギ 心持ち	短径 (mm)		年輪数	平均年輪幅 (mm)	末口 心材径	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけの比重 (kg/m ³)	E_{fr-log} (kN/mm ²)
	末口	元口							
平均	417	452	60	3.81	318	76.2	5.0	619	7.7
標準偏差	36	46	19	0.91	31	3.8	3.4	110	1.4
変動係数	8.7	10.1	31.8	23.8	9.7	5.0	68.7	17.7	18.1
最小	355	370	35	1.75	265	69.4	0.7	463	5.2
最大	490	550	124	5.95	395	83.5	12.7	867	10.5
データ数	20	20	20	20	20	20	20	20	20

表 1-7 スギ心去り木取り供試体の丸太形質

スギ 心去り	短径 (mm)		年輪数	平均年輪幅 (mm)	末口 心材径	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけの比重 (kg/m ³)	E_{fr-log} (kN/mm ²)
	末口	元口							
平均	413	463	56	3.98	319	77.1	6.4	649	7.4
標準偏差	30	39	11	1.16	35	4.4	2.3	123	1.5
変動係数	7.2	8.5	20.0	29.3	11.1	5.7	36.2	19.0	20.3
最小	365	420	30	2.80	270	67.5	2.7	490	4.6
最大	472	564	75	7.85	390	87.1	13.2	1026	10.6
データ数	20	20	20	20	20	20	20	20	20

表 1-8 スギ 210 材木取り供試体の丸太形質

スギ 210材	短径 (mm)		年輪数	平均年輪幅 (mm)	末口 心材径	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけの比重 (kg/m ³)	E_{fr-log} (kN/mm ²)
	末口	元口							
平均	410	461	61	3.65	310	75.4	6.5	661	7.4
標準偏差	37	47	22	0.78	39	4.3	2.5	71	1.5
変動係数	9.1	10.2	36.1	21.4	12.7	5.7	38.9	10.7	20.7
最小	365	400	46	1.61	250	67.6	2.7	536	3.7
最大	485	575	150	5.08	400	87.3	11.5	824	10.7
データ数	20	20	20	20	20	20	20	20	20

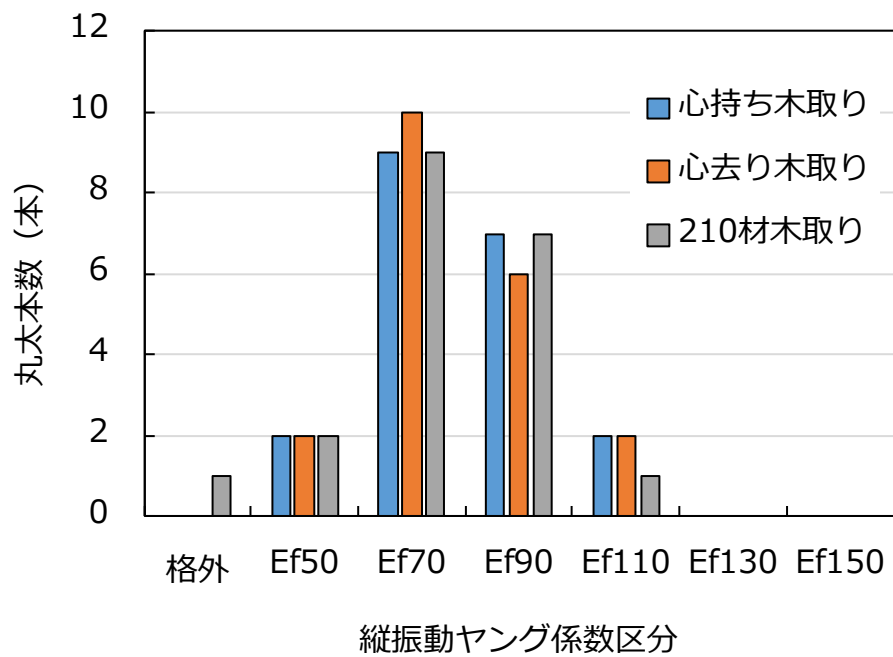


図 1-7 スギ丸太 3 分割後の縦振動ヤング係数区分の度数分布

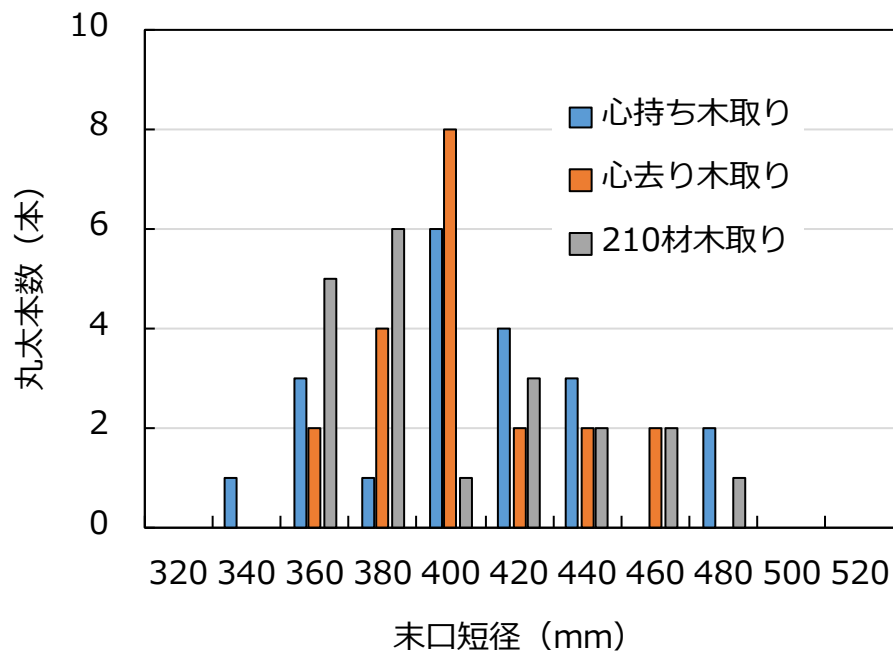


図 1-8 スギ丸太 3 分割後の末口径級の度数分布

1.2.3 木取り方法

大径A材丸太からの木取り方法と製材及び製造する横架材を図1-9に示す。丸太末口最小径36cmでの木取り可能な製品寸法を基本木取りとして、3つの木取り方法を実施する。また、38cm以上の丸太も多数あることから、これらについては、基本木取り以外も製材可能であり、それぞれの丸太径ごとに基本木取り+α製材を実施した。

以下に各木取りの詳細を示す。

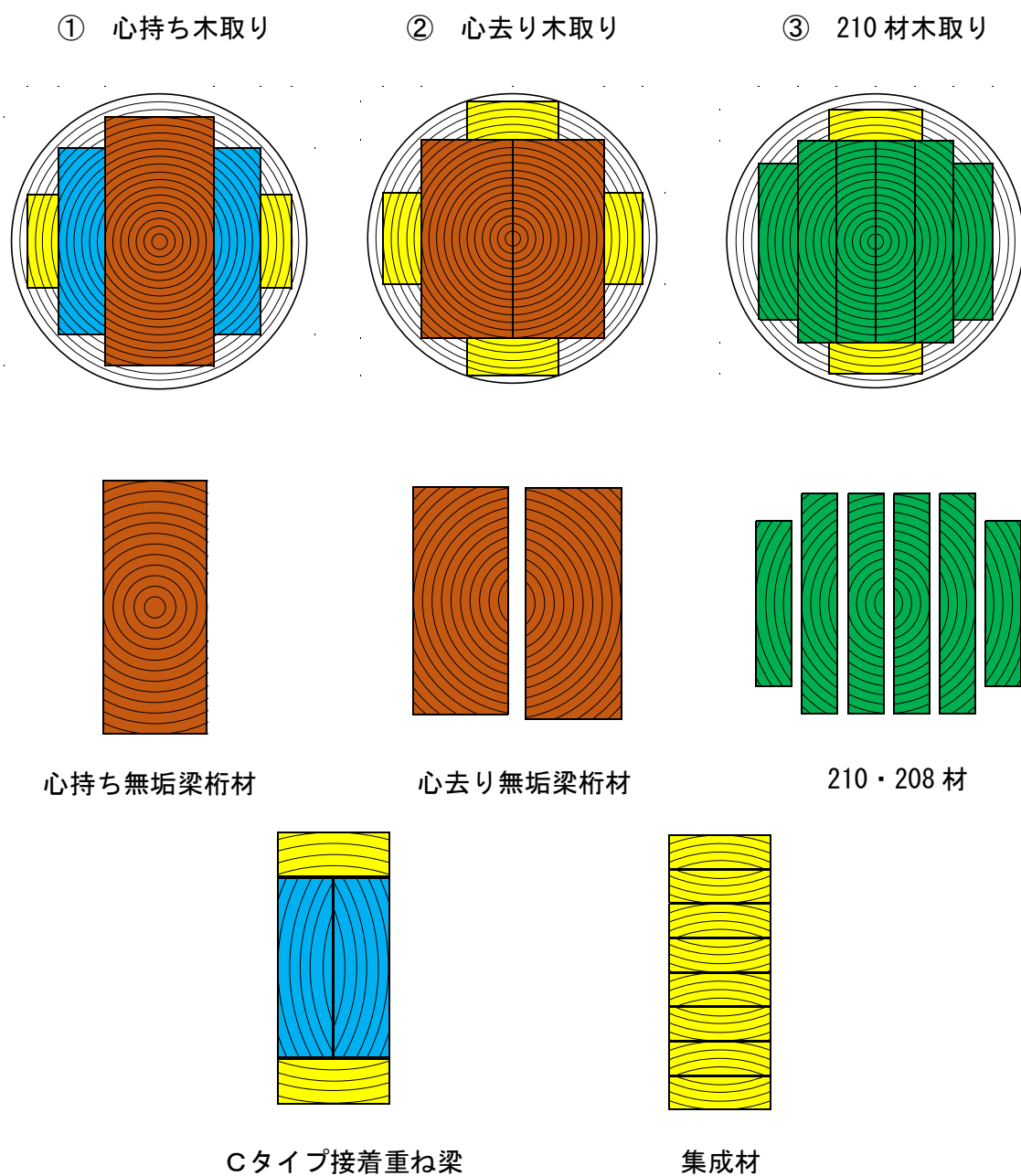


図1-9 大径A材丸太の木取り方法と製材及び製造する横架材

1.2.3.1 心持ち木取り

末口短径 36cm 丸太の心持ち梁桁材の基本木取りは、図 1-10 に示すとおり
130×320×4,000mm の心持ち梁桁材製材を行い、その外周部からは 60×230×4,000mm の
平割材を製材するものとした。

末口短径 38cm 以上の丸太については、図 1-11、12 に示すとおり基本木取りの外周部
から、更に厚さ 60mm 及び 40mm の平割材を製材した。

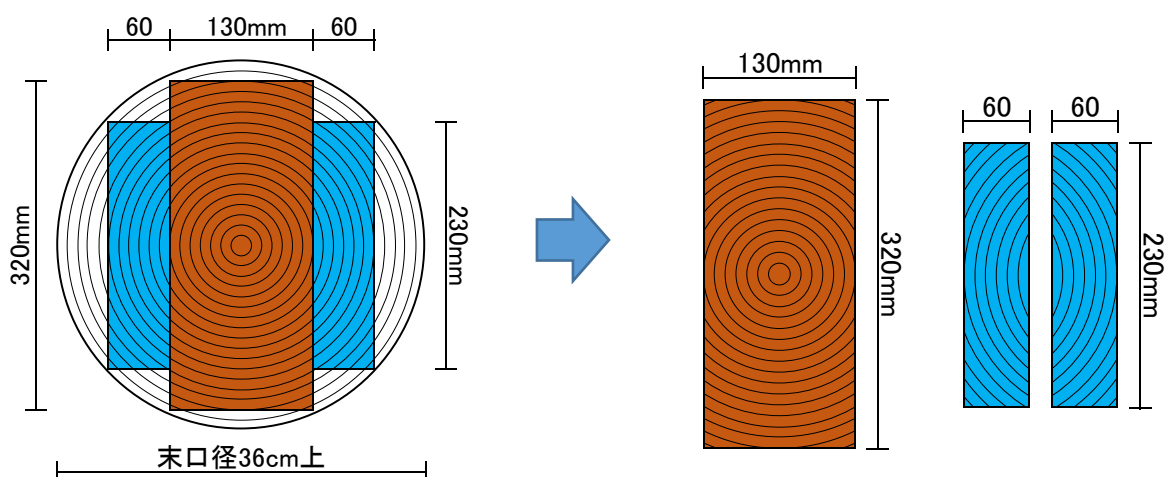


図 1-10 心持ち梁桁材の基本木取り

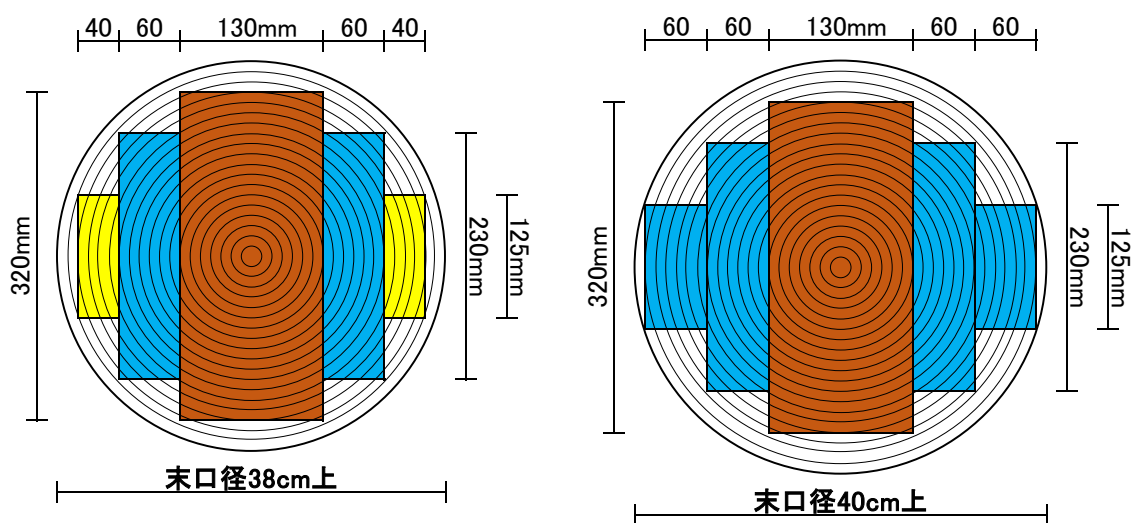


図 1-11 38cm 以上の丸太で心持ち梁桁材の木取り 1

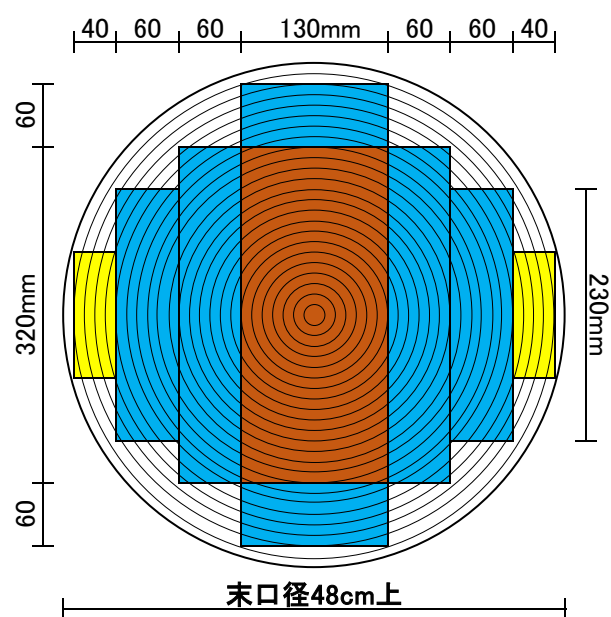
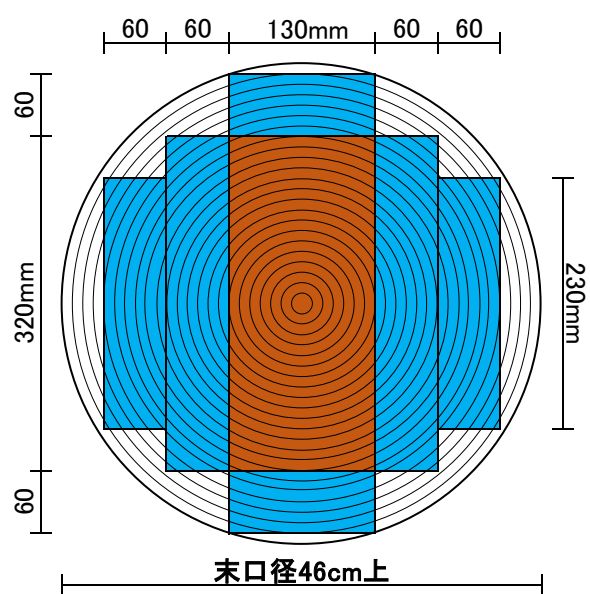
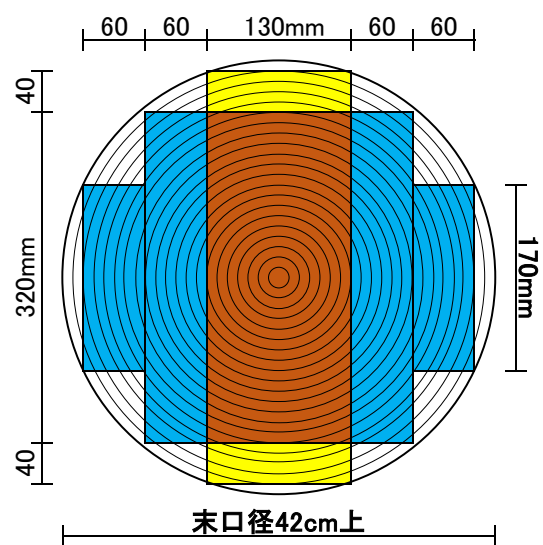


図 1-12 38cm 以上の丸太で心持ち梁桁材の木取り 2

1.2.3.2 心去り木取り

末口短径 36cm 丸太の心去り梁桁材の基本木取りは、図 1-13 に示すとおり 125×260×4,000mm の心去り梁桁材を製材するものとした。

末口短径 38cm 以上の丸太については、図 1-14、15 に示すとおり基本木取りの外周部から、更に厚さ 60mm 及び 40mm の平割材を製材した。

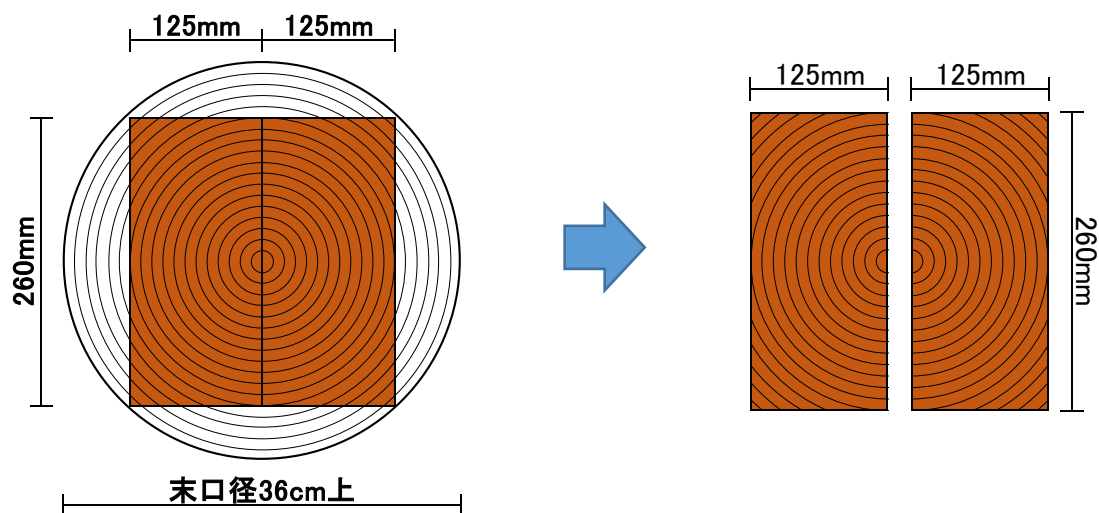


図 1-13 心去り梁桁材の基本木取り

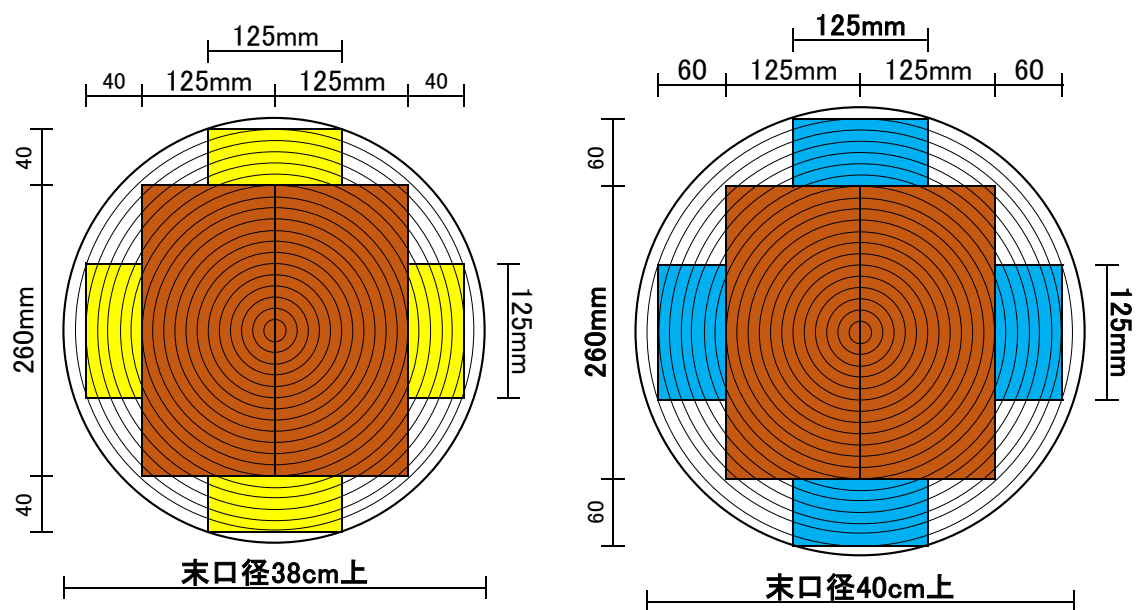


図 1-14 38cm 以上の丸太で心去り梁桁材の木取り 1

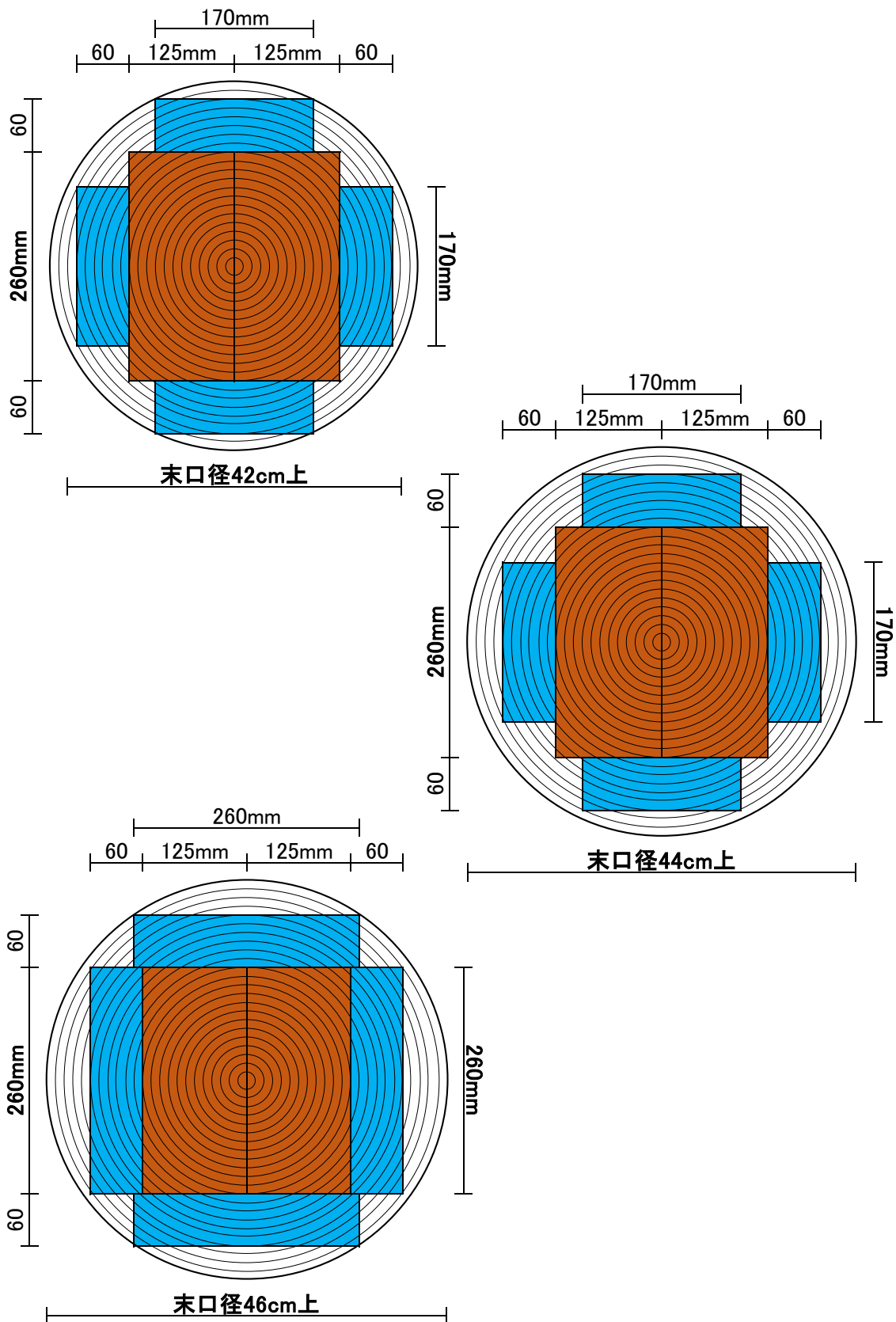


図 1-15 38cm 以上の丸太で心去り梁桁材の木取り 2

1.2.3.3 210・208材木取り

末口短径 36cm 丸太からの 210 材・208 材の基本木取りは、図 1-16 に示すとおり 50×255×4,000mm (210 材) とその外周部より 50×205×4,000mm (208 材) を製材するものとした。スギ・カラマツとも心からの距離と製材品の乾燥・強度特性を確認するため芯定規にて心(髄)を割る製材を実施した。

末口短径 38cm 以上の丸太については、図 1-17, 18, 19 に示すとおり基本木取りの外周部から、更に厚さ 210 材および 208 材または、60mm 及び 40mm の平割材を製材した。

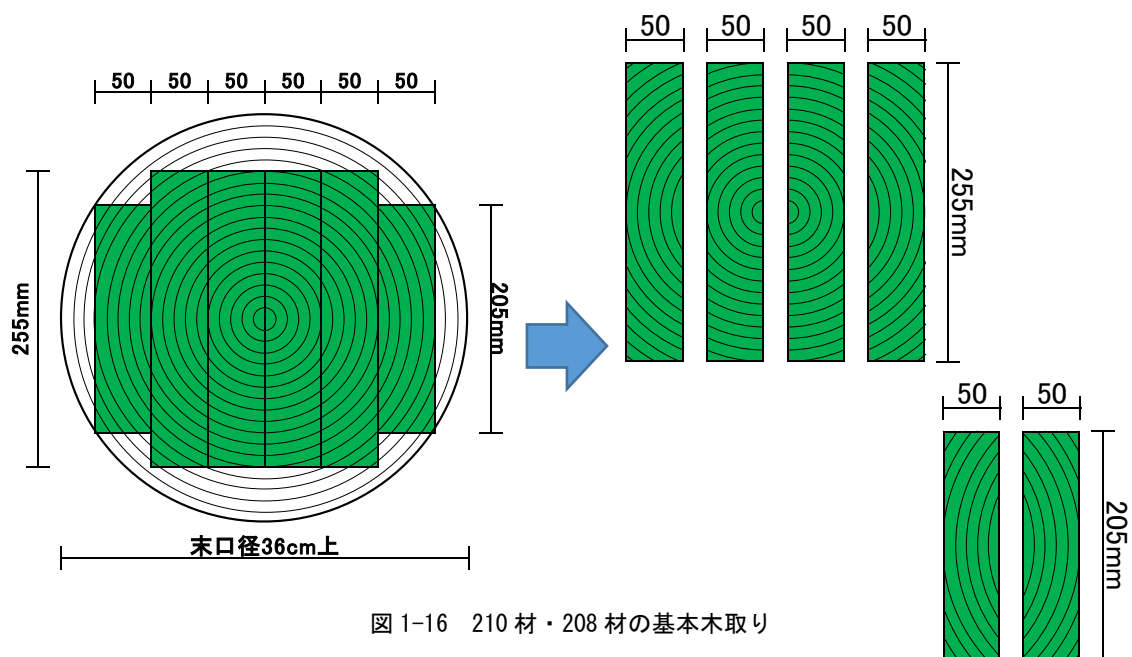


図 1-16 210 材・208 材の基本木取り

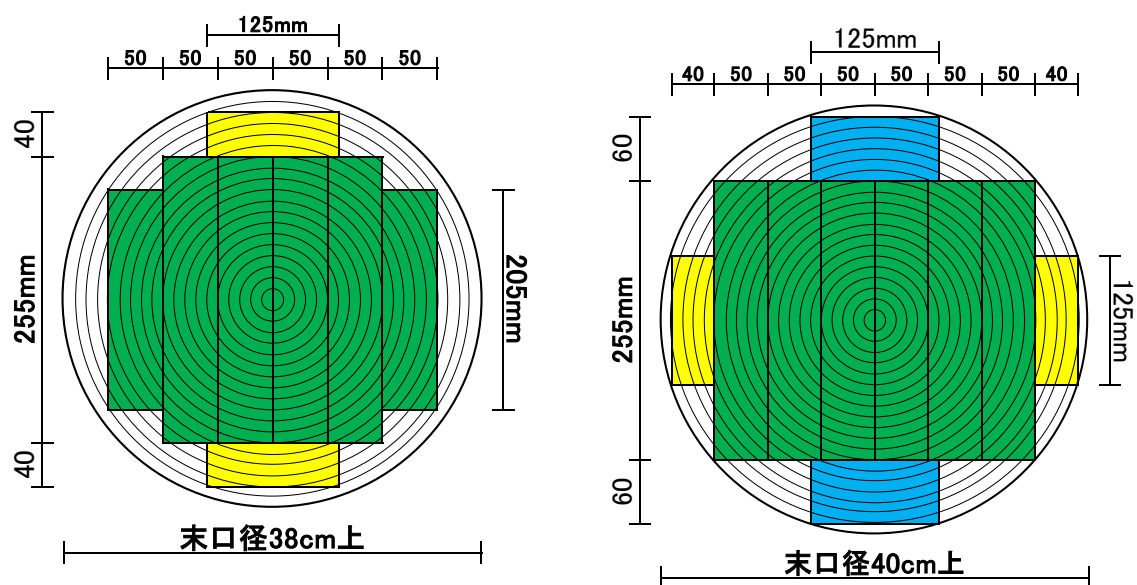


図 1-17 38cm 以上の丸太で 210 材の木取り 1

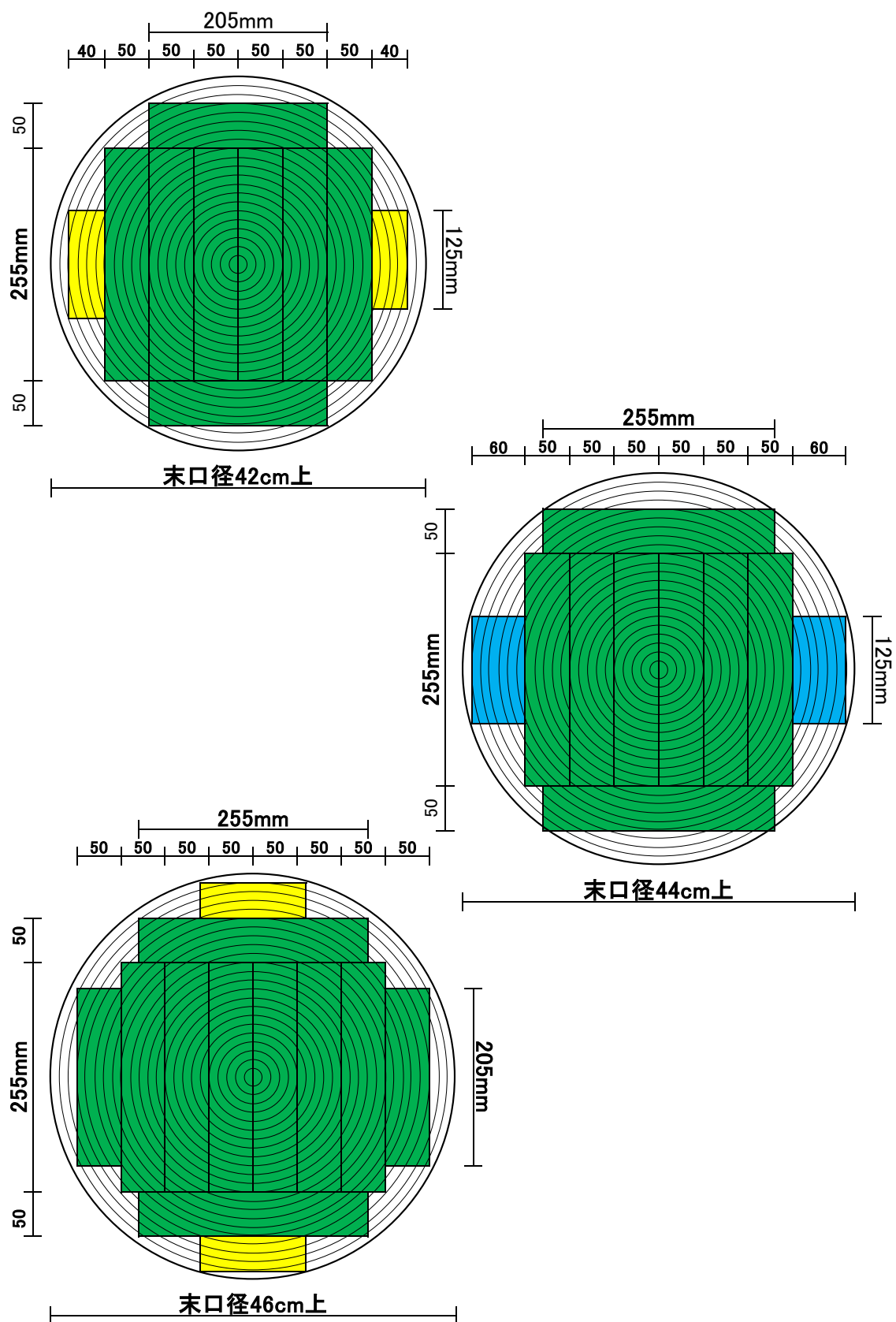


図 1-18 38cm 以上の丸太で 210 材の木取り 2

1.2.4 木取り方法と歩止り

各木取りにおいて、主製材歩止り、全製材歩止り、主製品歩止り、全製品歩止り、を式(1-6)、(1-7)、(1-8)、(1-9)により算出した。

$$\text{主製材歩止り (\%)} = \frac{\text{主製材材積 (m}^3\text{)}}{\text{丸太材積 (m}^3\text{)}} \quad (1-6)$$

$$\text{全製材歩止り (\%)} = \frac{\text{全製材材積 (m}^3\text{)}}{\text{丸太材積 (m}^3\text{)}} \quad (1-7)$$

$$\text{主製品歩止り (\%)} = \frac{\text{主製品材積 (m}^3\text{)}}{\text{丸太材積 (m}^3\text{)}} \quad (1-8)$$

$$\text{全製品歩止り (\%)} = \frac{\text{全製品材積 (m}^3\text{)}}{\text{丸太材積 (m}^3\text{)}} \quad (1-9)$$

主製材材積は各木取り主製品の製材予定寸法とその製材数から求め、全製材材積は、全製品の製材予定寸法とその製材数から求めた。また、主製品材積は、製品材積のうち各木取りの主製品のみの製品材積とし、全製品材積は、全製品の仕上がり予定寸法と製材数から求めた。ここで各木取りの主製品は、心持ち木取りは「心持ち梁桁材」のみ、心去り木取りは「心去り梁桁材」のみ、210材木取りは「210材、208材」のみとした。

従って、各木取り製材については、木取ることができる製材品の予定寸法で歩止りを計算しおり、丸み等により製品にならないものも若干含まれていると思われる。

なお、丸太材積は末口二乗法による材積であり、材長は丸太、製材、製品とも4mで計算した

1.2.4.1 各木取り方法の歩止り

1.2.4.1.1 心持ち木取りの歩止り

カラマツ丸太 20 体（末口径 360mm～440mm）、スギ丸太 20 体（末口径 355～490mm）について、図 1-10～12 に示した心持ち木取りでの製材を図 1-20 に示し、その製材寸法及び仕上がり予定の製品寸法を表 1-9 に示す。

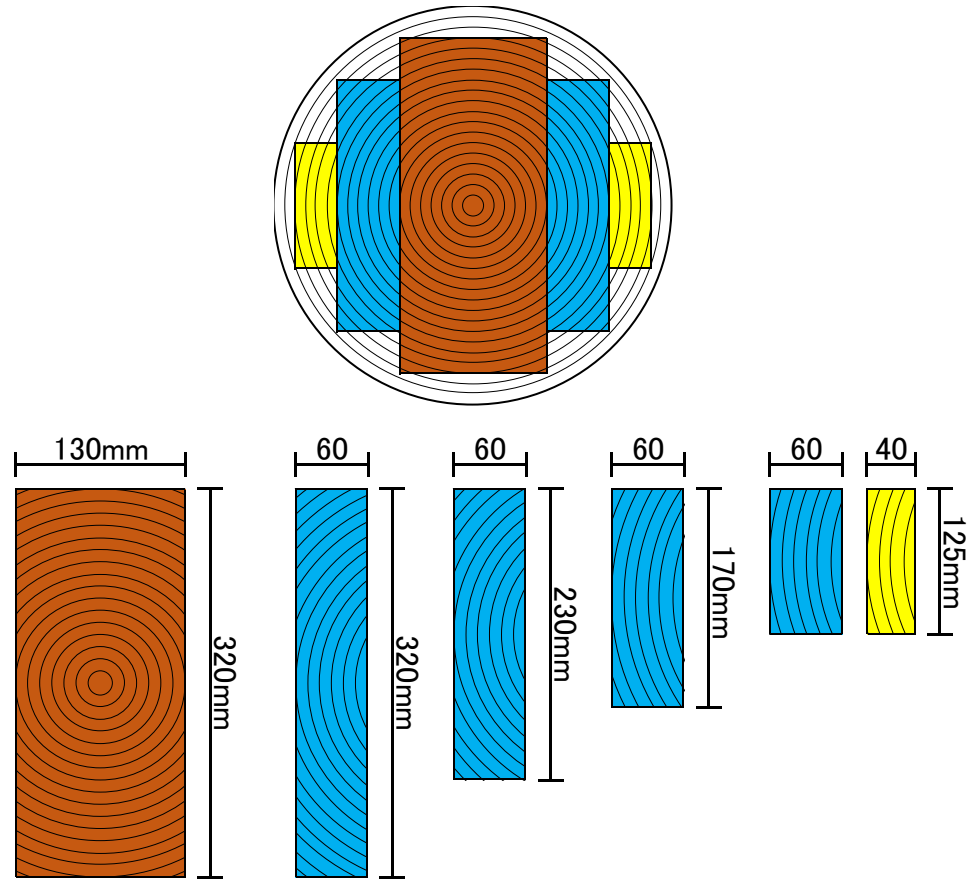


図 1-20 心持ち木取りの製材

表 1-9 心持ち木取りの寸法

製材寸法		製品寸法（仕上げ寸法）(mm)	
厚さ(mm)	幅(mm)	厚さ(mm)	幅(mm)
130	320	105	300
60	320	52.5	300
60	230	52.5	210
60	170	52.5	150
60	130	45	105
40	125	30	105

心持ち木取りの各歩止りを表 1-10 に示し、心持ち木取りの径級別の各歩止りを表 1-11 及び図 1-21 に示した。

主製材歩止りは、平均でカラマツ 27.3%、スギ 24.4%であり、全製材歩止りは、平均でカラマツ 53.4%、スギ 53.9%であった。また、主製品歩止りは、平均でカラマツ 20.7%、スギ 18.5%であり、全製品歩止りは、平均でカラマツ 40.6%、スギ 41.1%であった。

製品梁せいを 300mm に固定したため、径級別では、主製材及び主製品歩止りは径級が大きくなるに従って低くなっていた。しかし、主製品の外周部から平割材を製材することによって、全製品歩止りが 40%を超えていた。

表 1-10 心持ち木取りの各歩止り

カラマツ 心持ち木取り	歩止り (%)			
	主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
平均	27.3	53.4	20.7	40.6
標準偏差	2.8	2.5	2.1	2.2
変動係数	10.3	4.8	10.3	5.4
最小	21.5	48.8	16.3	37.3
最大	32.1	59.7	24.3	46.0
データ数	20	20	20	20

スギ 心持ち木取り	歩止り (%)			
	主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
平均	24.4	53.9	18.5	41.1
標準偏差	4.2	4.1	3.2	3.5
変動係数	17.2	7.6	17.2	8.5
最小	17.3	48.9	13.1	36.6
最大	33.0	62.5	25.0	48.2
データ数	20	20	20	20

表 1-11 心持ち木取りの径級別の各歩止り

カラマツ 心持ち木取り	歩止り (%)			
	主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
丸太末口径 (mm)				
340	—	—	—	—
360	31.5	52.5	23.9	40.6
380	27.9	52.9	21.2	40.0
400	25.6	51.8	19.4	38.7
420	22.8	59.0	17.2	45.6
440	21.5	54.5	16.3	42.3
460	—	—	—	—
480	—	—	—	—
平均	27.3	53.4	20.7	40.6

スギ 心持ち木取り	歩止り (%)			
	主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
丸太末口径 (mm)				
340	33.0	54.9	25.0	42.5
360	30.3	50.3	22.9	39.0
380	26.7	50.8	20.2	38.4
400	24.9	50.4	18.9	37.7
420	22.8	60.5	17.3	46.6
440	20.9	55.3	15.8	42.6
460	—	—	—	—
480	17.3	55.3	13.1	42.0
平均	24.4	53.9	18.5	41.1

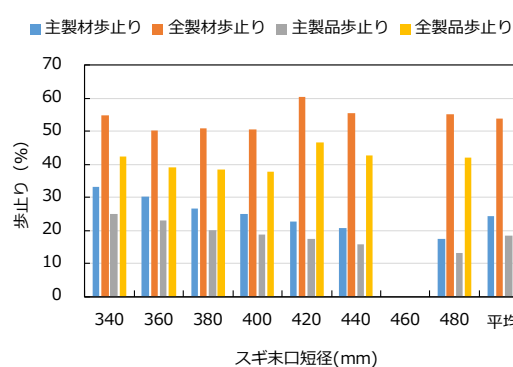
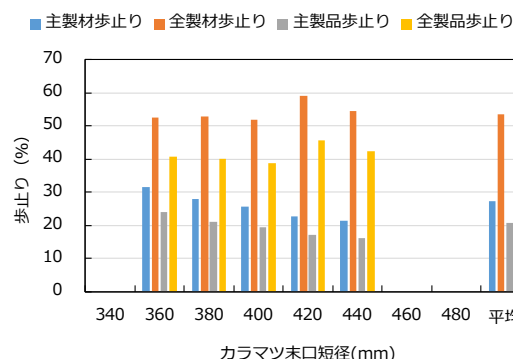


図 1-21 心持ち木取りの径級別の各歩止り

1.2.4.1.2 心去り木取りの歩止り

カラマツ丸太 20 体 (末口径 360mm～420mm)、スギ丸太 20 体 (末口径 365～472mm) について、図 1-13～15 に示した心去り木取りでの製材を図 1-21 に示し、その製材寸法及び仕上がり予定の製品寸法を表 1-12 に示す。

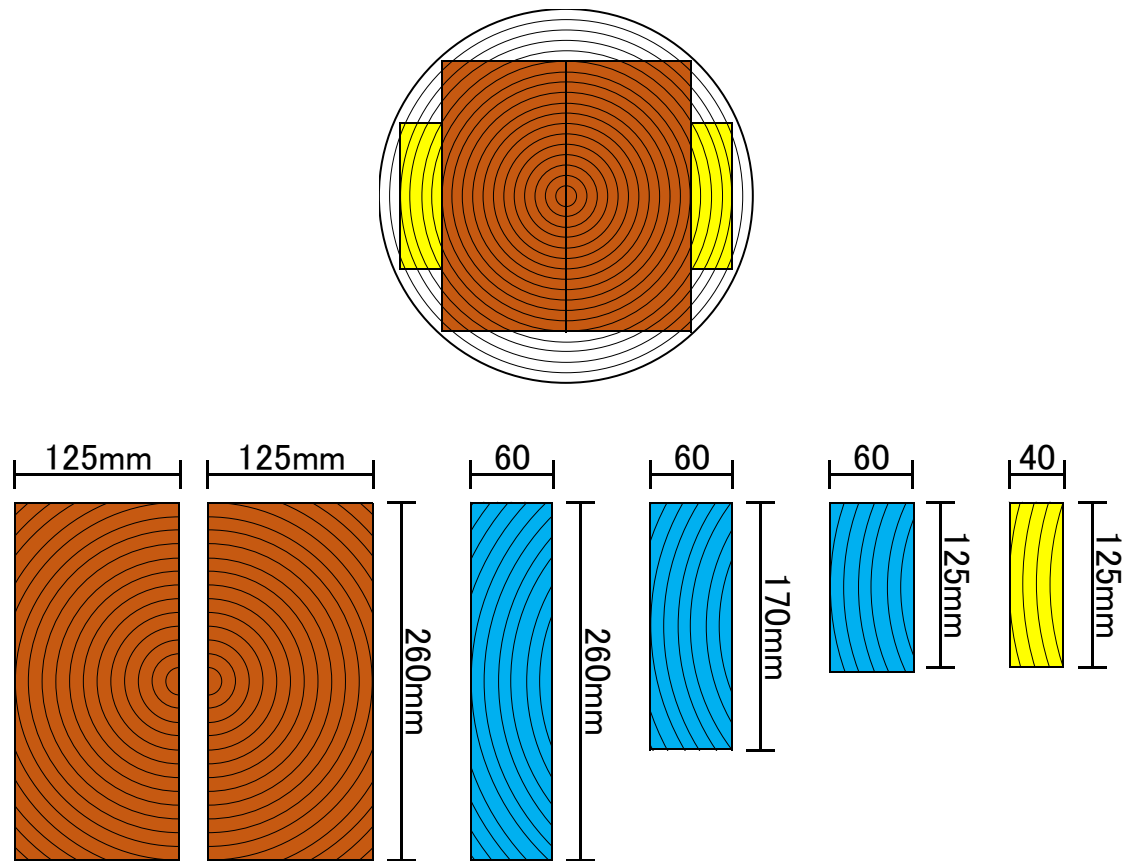


図 1-22 心去り木取りの製材

表 1-12 心去り木取りの寸法

製材寸法		製品寸法（仕上げ寸法）(mm)	
厚さ(mm)	幅(mm)	厚さ(mm)	幅(mm)
125	260	105	240
60	230	52.5	210
60	170	52.5	150
60	125	45	105
40	125	30	105

心去り木取りの各歩止りを表 1-13 に示し、心持ち木取りの径級別の各歩止りを表 1-14 及び図 1-23 に示した。

主製材歩止りは、平均でカラマツ 42.8%、スギ 38.6%であり、全製材歩止りは、平均でカラマツ 58.2%、スギ 55.4%であった。また、主製品歩止りは、平均でカラマツ 33.2%、スギ 29.9%であり、全製品歩止りは、平均でカラマツ 43.4%、スギ 41.6%であった。

径級別では、主製材及び主製品歩止りは径級が大きくなるに従って低くなっていた。しかし、心持ち木取りと同じく、主製品の外周部から平割材を製材することによって、全製品歩止りが 40%を超えていた。

表 1-13 心去り木取りの歩止り

カラマツ 心去り木取り	歩止り (%)			
	主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
平均	42.8	58.2	33.2	43.4
標準偏差	4.1	3.1	3.2	2.6
変動係数	9.6	5.3	9.6	5.9
最小	36.8	52.6	28.6	39.4
最大	50.2	65.6	38.9	48.6
データ数	20	20	20	20

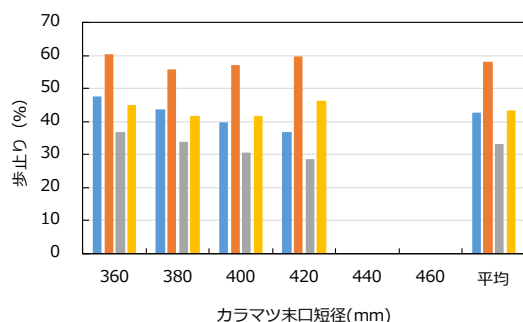
スギ 心去り木取り	歩止り (%)			
	主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
平均	38.6	55.4	29.9	41.6
標準偏差	5.4	3.4	4.2	2.5
変動係数	14.1	6.1	14.1	6.1
最小	29.2	47.4	22.6	36.8
最大	48.8	60.0	37.8	47.4
データ数	20	20	20	20

表 1-14 心去り木取りの径級別の各歩止り

カラマツ 心去り木取り		歩止り (%)			
		主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
丸 太 末 口 径 (mm)	360	47.7	60.6	37.0	45.1
	380	43.7	56.0	33.9	41.6
	400	39.7	57.0	30.7	41.7
	420	36.8	59.9	28.6	46.4
	440	—	—	—	—
	460	—	—	—	—
平均		42.8	58.2	33.2	43.4

スギ 心去り木取り		歩止り (%)			
		主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
丸 太 末 口 径 (mm)	360	48.1	48.1	37.3	37.3
	380	43.3	56.6	33.6	41.9
	400	38.6	56.5	30.0	41.2
	420	34.7	56.4	26.9	43.7
	440	32.0	52.0	24.8	40.3
	460	29.9	58.6	23.2	46.3
平均		38.6	55.4	29.9	41.6

■主製材歩止り ■全製材歩止り ■主製品歩止り ■全製品歩止り



■主製材歩止り ■全製材歩止り ■主製品歩止り ■全製品歩止り

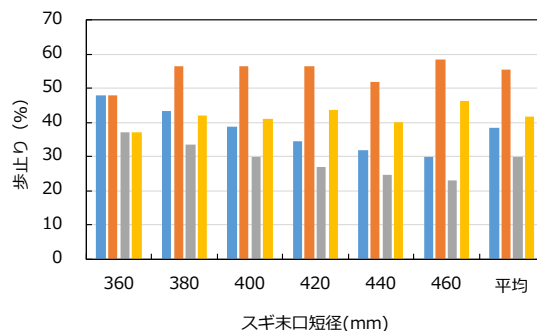


図 1-23 心去り木取りの径級別の各歩止り

1.2.4.1.3 210・208 材木取りの歩止り

カラマツ丸太 20 体（末口径 355mm～525mm）、スギ丸太 20 体（末口径 365～485mm）について、図 1-16～19 に示した心去り木取りでの製材を図 1-24 に示し、その製材寸法及び仕上がり予定の製品寸法を表 1-15 に示す。

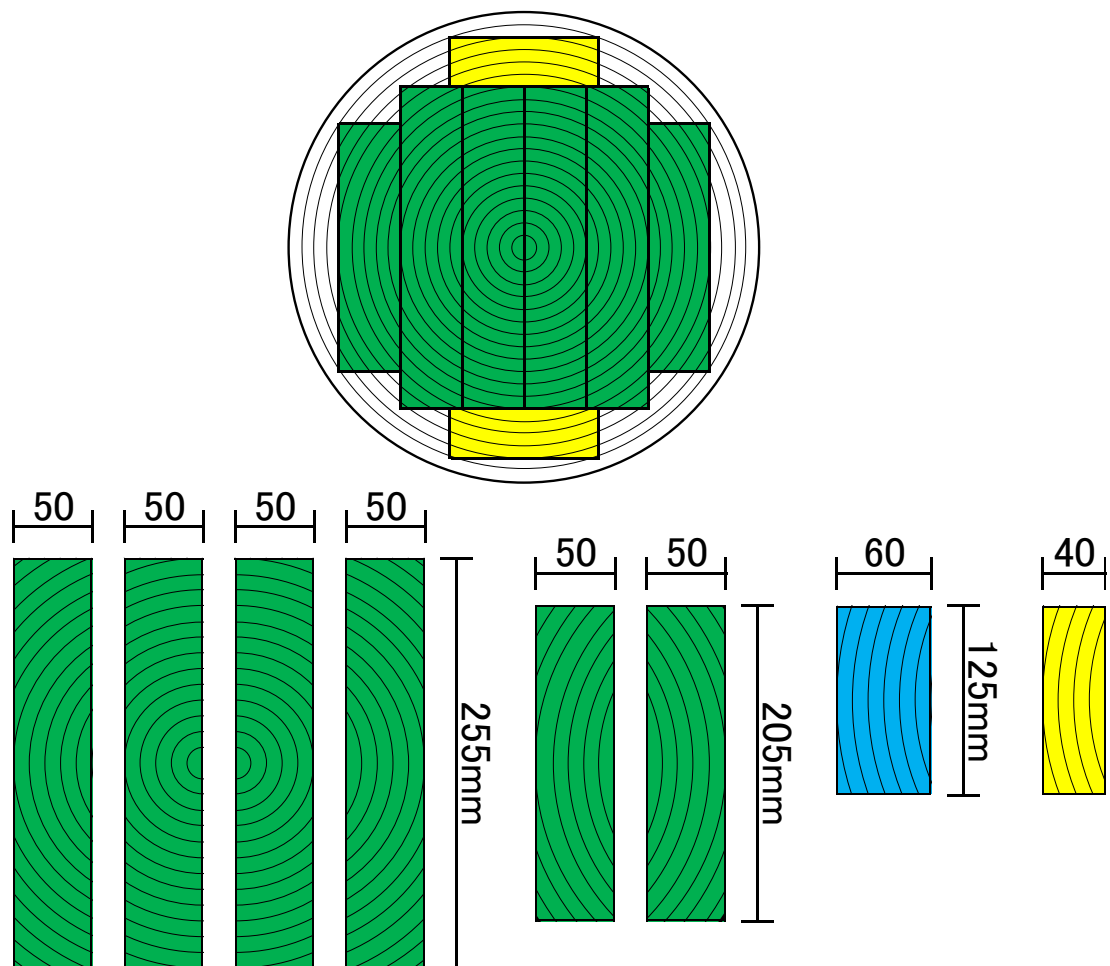


図 1-24 210 材木取りの製材

表 1-15 210 材木取りの寸法

製材寸法		製品寸法（仕上げ寸法）(mm)	
厚さ(mm)	幅(mm)	厚さ(mm)	幅(mm)
50	255	38	235
50	205	38	184
60	125	45	105
40	125	30	105

210 材木取りの各歩止りを表 1-16 に示し、210 材木取りの径級別の各歩止りを表 1-17 及び図 1-25 に示した。

主製材歩止りは、平均でカラマツ 51.8%、スギ 50.8%であり、全製材歩止りは、平均でカラマツ 58.7%、スギ 55.5%であった。また、主製品歩止りは、平均でカラマツ 36.0%、スギ 35.4%であり、全製品歩止りは、平均でカラマツ 40.4%、スギ 38.3%であった。

径級別では、心持ち及び心去り木取りと違い、径級が大きくなると 210 材、208 材の製材数が増えることによって高い主製品歩止りとなり、径級によるバラツキが小さくなった。変動係数は、カラマツで 6.7%、スギで 6.9%となり、心持ち木取り（カラマツ：10.3%、スギ：17.3%）及び心去り木取り（カラマツ：9.6%、スギ：14.1%）に比べて小さくなった。

表 1-16 210 材木取りの歩止り

カラマツ 210材木取り	歩止り (%)			
	主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
平均	51.8	58.7	36.0	40.4
標準偏差	3.5	3.6	2.4	2.4
変動係数	6.8	6.1	6.7	5.9
最小	45.5	53.6	31.9	36.8
最大	56.7	64.7	39.5	44.4
データ数	20	20	20	20

スギ 210材木取り	歩止り (%)			
	主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
平均	50.8	55.5	35.4	38.3
標準偏差	3.5	3.2	2.4	2.2
変動係数	6.9	5.8	6.9	5.8
最小	45.3	50.8	31.7	35.3
最大	57.2	61.3	39.9	42.4
データ数	20	20	20	20

表 1-17 210 材木取りの径級別の各歩止り

カラマツ 210材木取り	歩止り (%)			
	主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
丸太末口径				
340	56.7	64.7	39.4	44.4
360	54.4	61.4	37.9	42.2
380	48.5	55.2	33.7	38.0
400	46.7	61.9	32.7	42.3
420	52.5	56.0	36.5	38.8
440	—	—	—	—
460	56.6	61.3	39.5	42.4
480	—	—	—	—
500	—	—	—	—
(mm)				
520	53.7	55.5	37.5	38.6
平均	51.8	58.7	36.0	40.4

スギ 210材木取り	歩止り (%)			
	主製材歩止り	全製材歩止り	主製品歩止り	全製品歩止り
丸太末口径				
340	—	—	—	—
360	52.1	52.1	36.2	36.2
380	47.3	53.8	32.9	37.0
400	45.3	57.1	31.7	39.2
420	52.3	57.7	36.4	39.8
440	50.7	58.1	35.5	40.2
460	56.9	60.4	39.7	41.9
480	54.2	58.4	38.0	40.6
500	—	—	—	—
(mm)				
520	—	—	—	—
平均	50.8	55.5	35.4	38.3

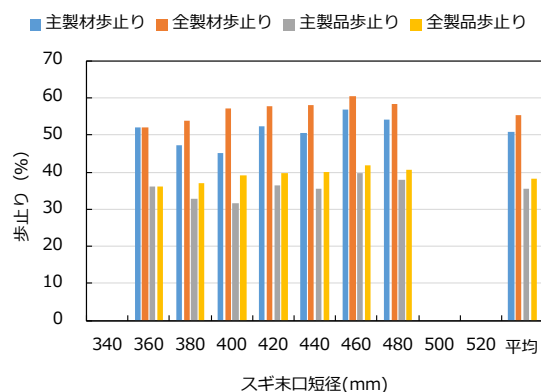
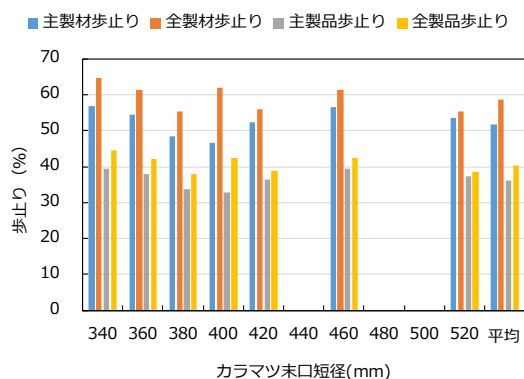


図 1-25 210 材木取りの径級別の各歩止り

1.2.4.2 各歩止りと木取り方法

1.2.4.2.1 主製材歩止りと木取り

各木取りの主製材歩止りを表 1-18 に示し、各木取りの径級別の主製材歩止りを表-19 及び図 1-26 に示した。

主製材歩止りは、心持ち木取りで約 30%、心去り木取りで約 40%、210 材木取りで約 50%、全体で約 40%であった。210 材木取りの 460mm が一番高かった。

表 1-18 各木取りの主製材歩止り

カラマツ 主製材歩止り	木取り別の歩止り (%)			
	心持ち	心去り	210材	全体
平均	27.3	42.8	51.8	40.6
標準偏差	2.8	4.1	3.5	10.8
変動係数	10.3	9.6	6.8	26.5
最小	21.5	36.8	45.5	21.5
最大	32.1	50.2	56.7	56.7
データ数	20	20	20	60

スギ 主製材歩止り	木取り別の歩止り (%)			
	心持ち	心去り	210材	全体
平均	24.4	38.6	50.8	37.9
標準偏差	4.2	5.4	3.5	11.7
変動係数	17.2	14.1	6.9	30.9
最小	17.3	29.2	45.3	17.3
最大	33.0	48.8	57.2	57.2
データ数	20	20	20	60

表 1-19 各木取りの径級別の主製材歩止り

カラマツ 主製材歩止り		木取り別歩止り (%)			
		心持ち	心去り	210材	全体
丸太 径級 (mm)	340	—	—	56.7	56.7
	360	31.5	47.7	54.4	47.2
	380	27.9	43.7	48.5	37.4
	400	25.6	39.7	46.7	36.8
	420	22.8	36.8	52.5	39.2
	440	21.5	—	—	21.5
	460	—	—	56.6	56.6
	480	—	—	—	—
	500	—	—	—	—
	520	—	—	53.7	53.7
平均		27.3	42.8	51.8	40.6

スギ 主製材歩止り		木取り別歩止り (%)			
		心持ち	心去り	210材	全体
丸太 径級 (mm)	340	33.0	—	—	33.0
	360	30.3	48.1	52.1	44.7
	380	26.7	43.3	47.3	43.9
	400	24.9	38.6	45.3	33.6
	420	22.8	34.7	52.3	35.3
	440	20.9	32.0	50.7	32.5
	460	—	29.9	56.9	43.4
	480	17.3	—	54.2	29.6
	500	—	—	—	—
	520	—	—	—	—
平均		24.4	38.6	50.8	37.9

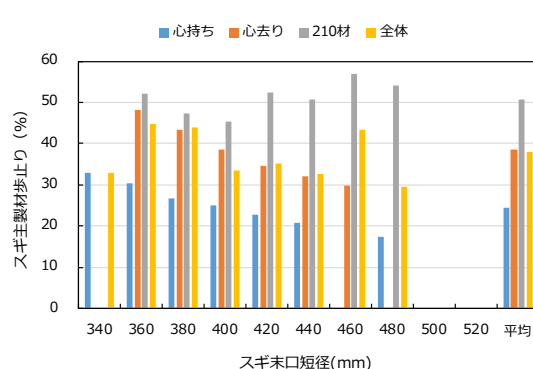
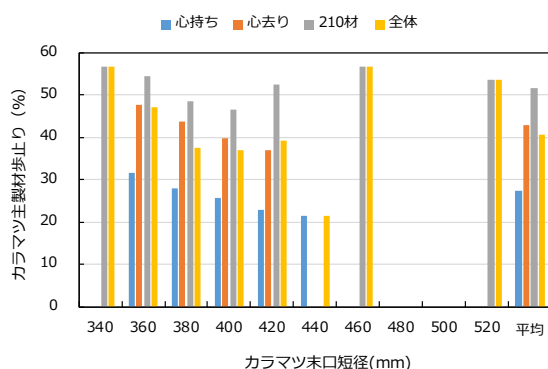


図 1-26 各木取りの径級別の主製材歩止り

1.2.4.2.2 全製材歩止りと木取り

各木取りの全製材歩止りを表 1-20 に示し、各木取りの径級別の全製材歩止りを表-21 及び図 1-27 に示した。

全製材歩止りは、心去り及び 210 材木取りで 6 割弱となったが、心持ち木取りでは、5 割強となった。主製材歩止りと同じく 210 材木取りの 460mm が 60%を超えていた。

表 1-20 各木取りの全製材歩止り

カラマツ 全製材歩止り	木取り別の歩止り (%)			
	心持ち	心去り	210材	全体
平均	53.4	58.2	58.7	56.7
標準偏差	2.5	3.1	3.6	3.9
変動係数	4.8	5.3	6.1	6.9
最小	48.8	52.6	53.6	48.8
最大	59.7	65.6	64.7	65.6
データ数	20	20	20	60

スギ 全製材歩止り	木取り別の歩止り (%)			
	心持ち	心去り	210材	全体
平均	53.9	55.4	55.5	54.9
標準偏差	4.1	3.4	3.2	3.6
変動係数	7.6	6.1	5.8	6.5
最小	48.9	47.4	50.8	47.4
最大	62.5	60.0	61.3	62.5
データ数	20	20	20	60

表 1-21 各木取りの径級別の全製材歩止り

カラマツ 全製材歩止り	木取り別歩止り (%)			
	心持ち	心去り	210材	全体
丸 太 径 級 (mm)	340	—	—	64.7
	360	52.5	60.6	61.4
	380	52.9	56.0	55.2
	400	51.8	57.0	61.9
	420	59.0	59.9	56.0
	440	54.5	—	—
	460	—	—	61.3
	480	—	—	—
	500	—	—	—
	520	—	—	55.5
平均	53.4	58.2	58.7	56.7

スギ 全製材歩止り	木取り別歩止り (%)			
	心持ち	心去り	210材	全体
丸 太 径 級 (mm)	340	54.9	—	—
	360	50.3	48.1	52.1
	380	50.8	56.6	53.8
	400	50.4	56.5	57.1
	420	60.5	56.4	57.7
	440	55.3	52.0	58.1
	460	—	58.6	60.4
	480	55.3	—	58.4
	500	—	—	—
	520	—	—	—
平均	53.9	55.4	55.5	54.9

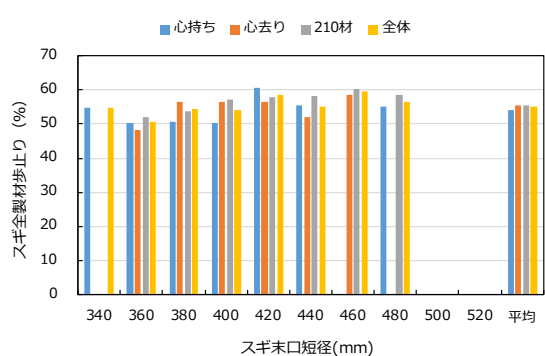
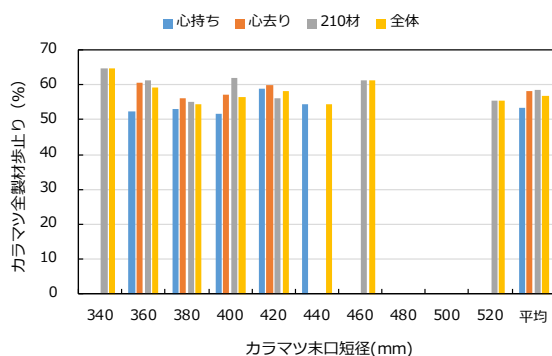


図 1-27 各木取りの径級別の全製材歩止り

1.2.4.2.3 主製品歩止りと木取り

各木取りの主製品歩止りを表 1-22 に示し、各木取りの径級別の主製品歩止りを表-23 及び図 1-28 に示した。

主製品歩止りは、210 材>心去り>心持ちとなり、平均で約 30%となった。210 材木取りでは全ての径級で 30%を超えており、460mm では約 40%となった。

表 1-22 各木取りの主製品歩止り

カラマツ 主製品歩止り	木取り別の歩止り (%)			
	心持ち	心去り	210材	全体
平均	20.7	33.2	36.0	30.0
標準偏差	2.1	3.2	2.4	7.2
変動係数	10.3	9.6	6.7	24.1
最小	16.3	28.6	31.9	16.3
最大	24.3	38.9	39.5	39.5
データ数	20	20	20	60

スギ 主製品歩止り	木取り別の歩止り (%)			
	心持ち	心去り	210材	全体
平均	18.5	29.9	35.4	27.9
標準偏差	3.2	4.2	2.4	7.8
変動係数	17.2	14.1	6.9	28.0
最小	13.1	22.6	31.7	13.1
最大	25.0	37.8	39.9	39.9
データ数	20	20	20	60

表 1-23 各木取りの径級別の主製品歩止り

カラマツ 主製品歩止り		木取り別歩止り (%)			
		心持ち	心去り	210材	全体
丸太 径級 (mm)	340	—	—	39.4	39.4
	360	23.9	37.0	37.9	34.7
	380	21.2	33.9	33.7	27.7
	400	19.4	30.7	32.7	27.7
	420	17.2	28.6	36.5	28.7
	440	16.3	—	—	16.3
	460	—	—	39.5	39.5
	480	—	—	—	—
	500	—	—	—	—
	520	—	—	37.5	37.5
平均		20.7	33.2	36.0	30.0

スギ 主製品歩止り		木取り別歩止り (%)			
		心持ち	心去り	210材	全体
丸太 径級 (mm)	340	25.0	—	—	25.0
	360	22.9	37.3	36.2	32.4
	380	20.2	33.6	32.9	32.0
	400	18.9	30.0	31.7	25.6
	420	17.3	26.9	36.4	25.8
	440	—	24.8	35.5	24.0
	460	—	23.2	39.7	31.4
	480	13.1	—	38.0	21.4
	500	—	—	—	—
	520	—	—	—	—
平均		18.5	29.9	35.4	27.9

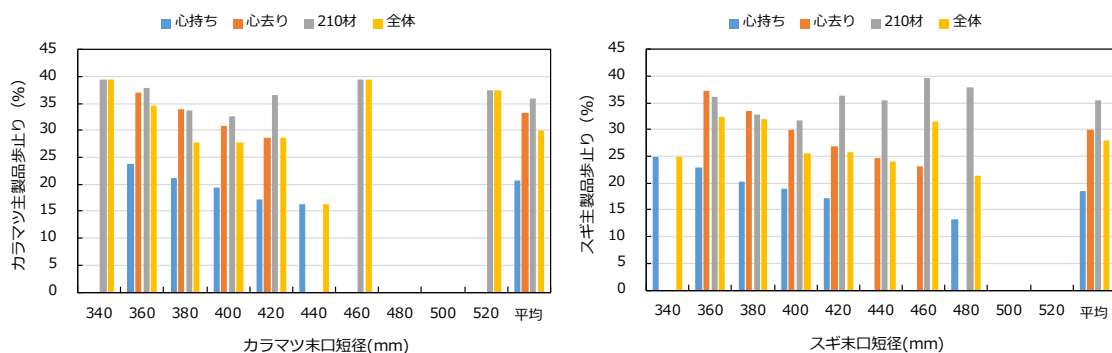


図 1-28 各木取りの径級別の主製品歩止り

1.2.4.2.4 全製品歩止りと木取り

各木取りの全製品歩止りを表 1-24 に示し、各木取りの径級別の全製品歩止りを表-25 及び図 1-29 に示した。

全製品歩止りは、各木取りで約 40%となった。

表 1-24 各木取りの全製品歩止り

カラマツ		木取り別の歩止り (%)			
全製品歩止り		心持ち	心去り	210材	全体
平均		40.6	43.4	40.4	41.5
標準偏差		2.2	2.6	2.4	2.7
変動係数		5.4	5.9	5.9	6.6
最小		37.3	39.4	36.8	36.8
最大		46.0	48.6	44.4	48.6
データ数		20	20	20	60

スギ		木取り別の歩止り (%)			
全製品歩止り		心持ち	心去り	210材	全体
平均		41.1	41.6	38.3	40.4
標準偏差		3.5	2.5	2.2	3.1
変動係数		8.5	6.1	5.8	7.7
最小		36.6	36.8	35.3	35.3
最大		48.2	47.4	42.4	48.2
データ数		20	20	20	60

表 1-25 各木取りの径級別の全製品歩止り

カラマツ		木取り別歩止り (%)			
全製品歩止り		心持ち	心去り	210材	全体
丸太径級 (mm)	340	—	—	44.4	44.4
	360	40.6	45.1	42.2	43.1
	380	40.0	41.6	38.0	39.9
	400	38.7	41.7	42.3	40.9
	420	45.6	46.4	38.8	43.4
	440	42.3	—	—	42.3
	460	—	—	42.4	42.4
	480	—	—	—	—
	500	—	—	—	—
	520	—	—	38.6	38.6
平均		40.6	43.4	40.4	41.5

スギ		木取り別歩止り (%)			
全製品歩止り		心持ち	心去り	210材	全体
丸太径級 (mm)	340	42.5	—	—	42.5
	360	39.0	37.3	36.2	37.3
	380	38.4	41.9	37.0	38.9
	400	37.7	41.2	39.2	39.7
	420	46.6	43.7	39.8	43.7
	440	42.6	40.3	40.2	41.3
	460	—	46.3	41.9	44.1
	480	42.0	—	40.6	41.5
	500	—	—	—	—
	520	—	—	—	—
平均		41.1	41.6	38.3	40.4

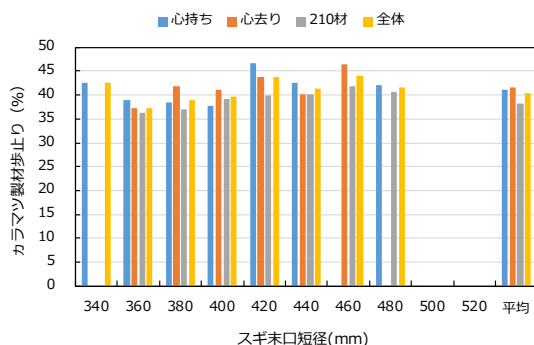
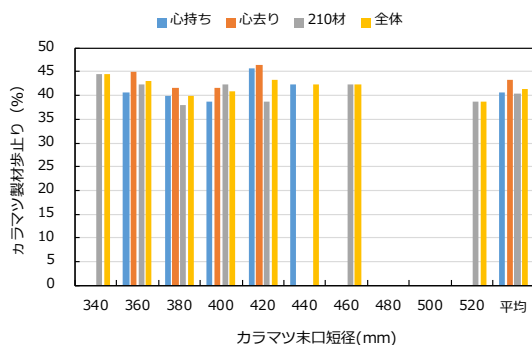


図 1-29 各木取りの径級別の全製品歩止り

1.2.4.3 各木取り方法と歩止り

カラマツの各木取りの主製材歩止り、全製材歩止り、主製品歩止り、全製品歩止りを表 1-26 に示し、その平均を木取り別に図 1-30 に示し、歩止り別に図 1-31 に示す。また、同じくスギのそれを表 1-27 及び図 1-32、1-33 に示す。

今回の木取りにおいては、主製材及び主製品歩止りは、210 材＞心去り梁桁材＞心持ち梁桁材、の順番での高くなった。しかし、全製材及び全製品歩止りでは、木取りによる大きな違いはなかった。その結果、大径材から各横架材を主製品として製材し、あわせて外周部から平割材を製材することによって、全製品歩止りで 40%を超えていた。

表 1-26 カラマツの各木取りの各歩止り

カラマツ																
歩止り区分	主製材歩止り (%)				全製材歩止り (%)				主製品歩止り (%)				全製品歩止り (%)			
木取り区分	心持ち	心去り	210材	全体	心持ち	心去り	210材	全体	心持ち	心去り	210材	全体	心持ち	心去り	210材	全体
平均	27.3	42.8	51.8	40.6	53.4	58.2	58.7	56.7	20.7	33.2	36.0	30.0	40.6	43.4	40.4	41.5
標準偏差	2.8	4.1	3.5	10.8	2.5	3.1	3.6	3.9	2.1	3.2	2.4	7.2	2.2	2.6	2.4	2.7
変動係数	10.3	9.6	6.8	26.5	4.8	5.3	6.1	6.9	10.3	9.6	6.7	24.1	5.4	5.9	5.9	6.6
最小	21.5	36.8	45.5	21.5	48.8	52.6	53.6	48.8	16.3	28.6	31.9	16.3	37.3	39.4	36.8	36.8
最大	32.1	50.2	56.7	56.7	59.7	65.6	64.7	65.6	24.3	38.9	39.5	39.5	46.0	48.6	44.4	48.6
データ数	20	20	20	60	20	20	20	60	20	20	20	60	20	20	20	60

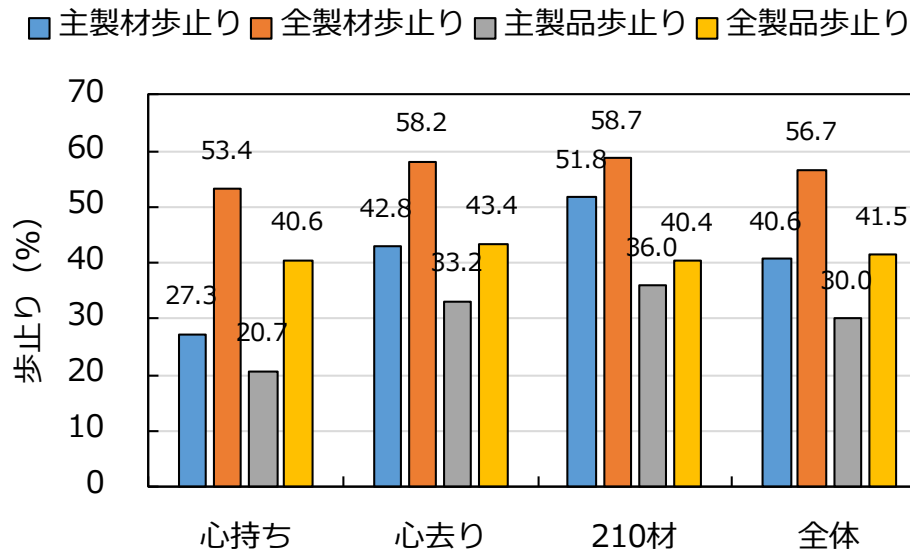


図 1-30 カラマツ各木取りの各歩止りの平均値

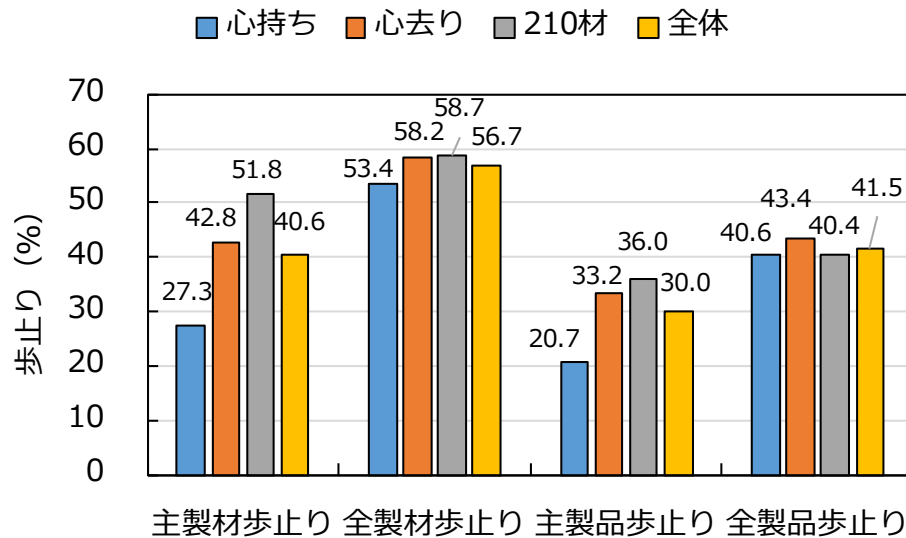


図 1-31 カラマツ各歩止りの各木取りの平均値

表 1-27 スギの各木取りの各歩止り

スギ																
歩止り区分	主製材歩止り (%)				全製材歩止り (%)				主製品歩止り (%)				全製品歩止り (%)			
木取り区分	心持ち	心去り	210材	全体	心持ち	心去り	210材	全体	心持ち	心去り	210材	全体	心持ち	心去り	210材	全体
平均	24.4	38.6	50.8	37.9	53.9	55.4	55.5	54.9	18.5	29.9	35.4	27.9	41.1	41.6	38.3	40.4
標準偏差	4.2	5.4	3.5	11.7	4.1	3.4	3.2	3.6	3.2	4.2	2.4	7.8	3.5	2.5	2.2	3.1
変動係数	17.2	14.1	6.9	30.9	7.6	6.1	5.8	6.5	17.2	14.1	6.9	28.0	8.5	6.1	5.8	7.7
最小	17.3	29.2	45.3	17.3	48.9	47.4	50.8	47.4	13.1	22.6	31.7	13.1	36.6	36.8	35.3	35.3
最大	33.0	48.8	57.2	57.2	62.5	60.0	61.3	62.5	25.0	37.8	39.9	39.9	48.2	47.4	42.4	48.2
データ数	20	20	20	60	20	20	20	60	20	20	20	60	20	20	20	60

■主製材歩止り ■全製材歩止り ■主製品歩止り ■全製品歩止り

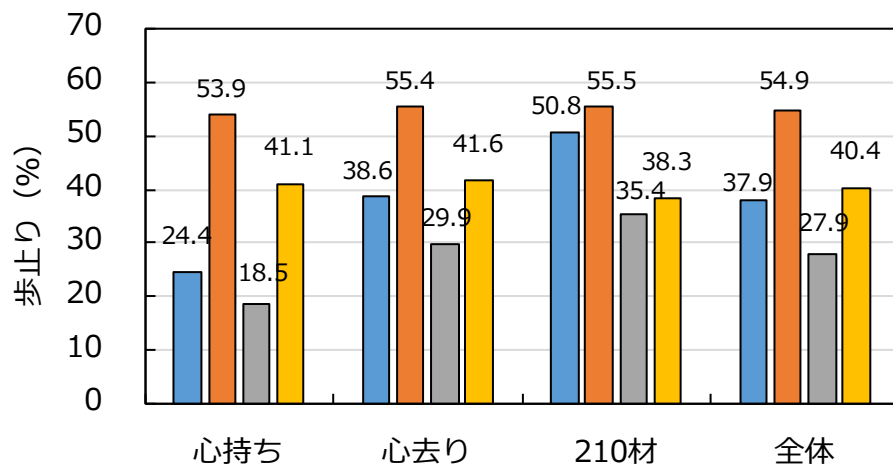


図 1-32 スギ各木取りの各歩止りの平均値

■心持ち ■心去り ■210材 ■全体

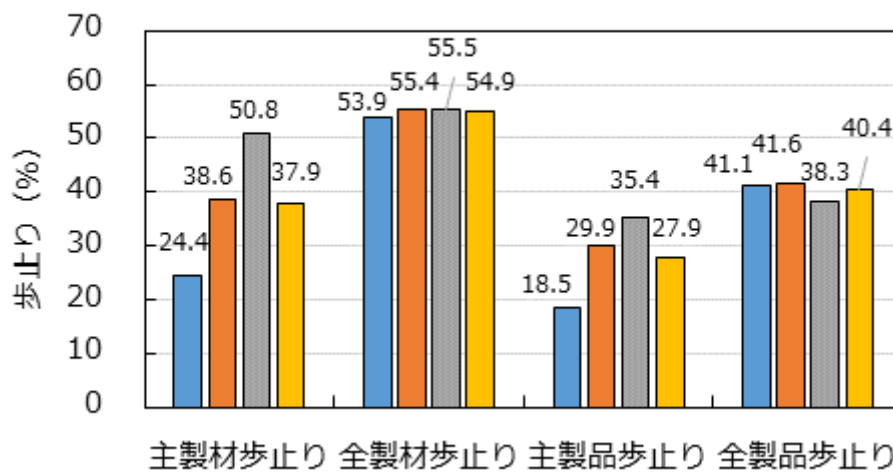


図 1-33 スギ各歩止りの各木取りの平均値

1.2.5 丸太と製材品の Efr の関係

次に、丸太のヤング係数と製材品のヤング係数（製材直後）との関係を図 1-34 に示す。丸太とカラマツ心持ち梁桁材、カラマツ心去り梁桁材、カラマツ 210・208 材のそれについて、また、丸太とスギ心持ち梁桁材、スギ心去り梁桁材、スギ 210・208 材のそれについても、両者の間に有意水準 1% で有意な相関関係が認められ、丸太のヤング係数による仕分けは可能であると思われた。

なお、心去り梁桁材の Efr は 2 体の平均値、210・208 材は製材できた全て 210・208 材の Efr の平均値とした。

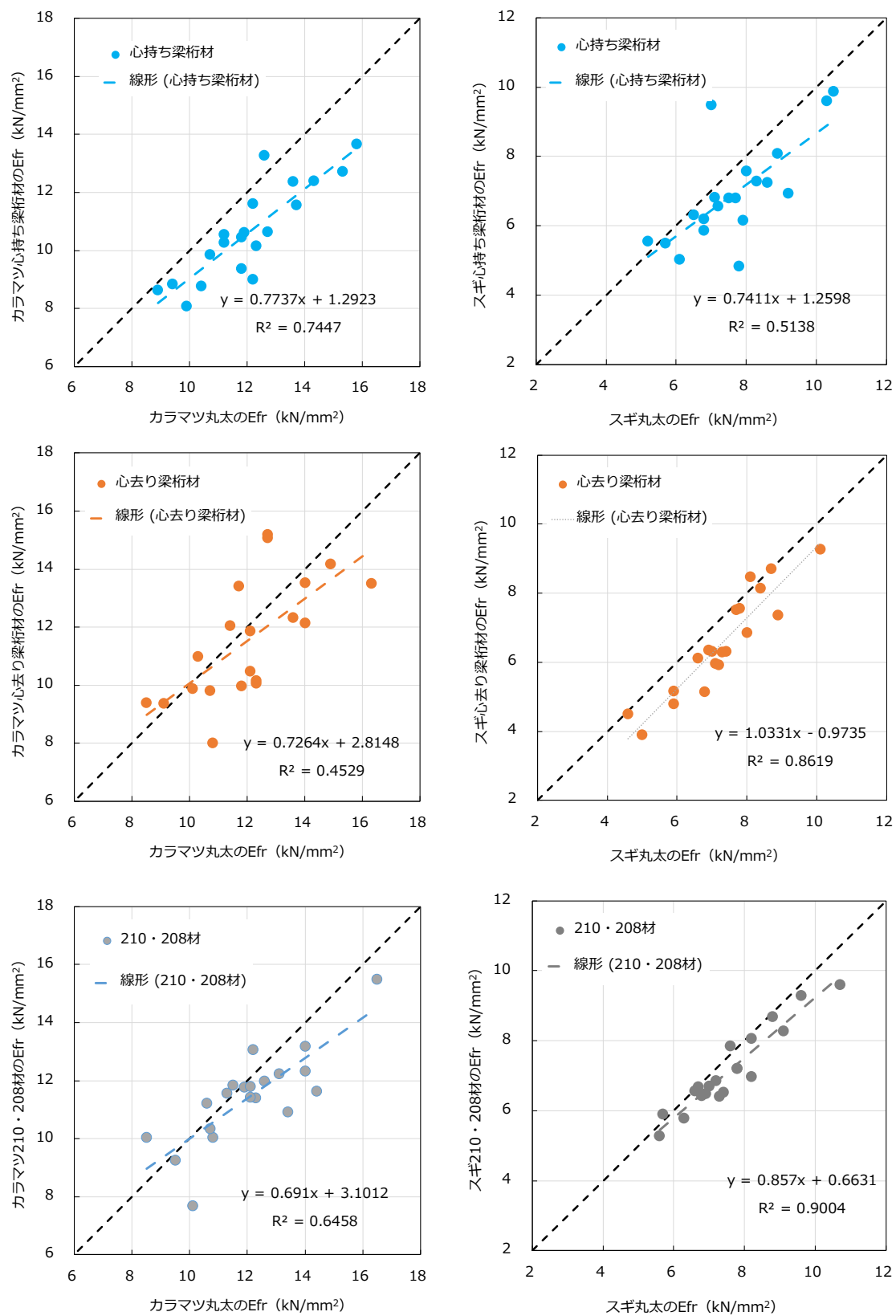


図 1-34 丸太と製材品のヤング係数の関係

2 心持ち無垢梁桁材の乾燥及び強度特性

大径材のメリットを活かした新しい木取り法の提案を行うため、「心持ち無垢梁桁材」の乾燥特性や強度性能を明らかにし、問題が無く十分に横架材として利用できることを実証する。

2.1 試験方法

2.1.1 の供試材

丸太については、長野県東信産カラマツ大径材 60 体と北信産スギ 60 体の内、各 20 本を供試材とした。

製材については、仕上がり寸法を 105×300×4,000 mm と想定して製材寸法（カラマツ：小林木材㈱、スギ：瑞穂木材㈱）を 130×320×4,000 mm とした（図 2-1）。

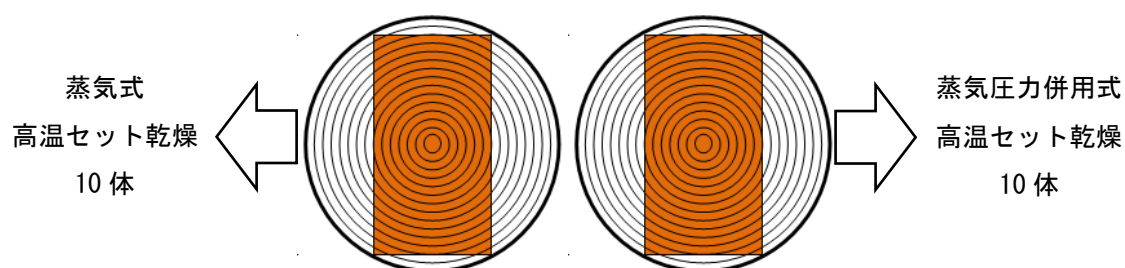


図 2-1 心持ち無垢梁桁材木取り

乾燥については、当センターにある木材乾燥機（蒸気式高温セット乾燥：ヒルデブランド社製 HD74/NH-H、蒸気圧力併用式高温セット乾燥：ヒルデブランド社製 HD03/SHD）により行い、乾燥後は、当センターにあるガラスハウスにおいて 1 ヶ月間調湿を行った。（写真 2-1 及び 2）



写真 2-1 蒸気式乾燥機（左）



写真 2-2 ガラスハウス

蒸気圧力併用式乾燥機（右）

整形については、当センターのモルダー（ヴァイニッヒ社製ユニマート 800、写真 2-3）で行った。



写真 2-3 モルダー

2.1.2 供試材の測定方法及び評価方法

製材後にデジタルノギスを用いて試験体中央の幅・厚の寸法を 0.01 mm単位で、長さをmm単位で測定し、その後、ATA 社製のグレーディングマシン HG-2001 で周波数及び重量を、同社製のマイクロ波透過型木材含水率計 MB-3100 で含水率を測定した。

乾燥前後にデジタルノギスを用いて試験体中央の幅・厚の寸法を 0.01 mm単位で、長さをmm単位で、反り及び曲がり跨度 4mでの最大矢高をmm単位で、ねじれ(狭い面と広い面)を跨度 4mとし平面上に 3 点を固定後、残り 1 点の平面からの浮き上がりをmm単位で、電子天秤を用いて重量を 0.001Kg 単位で、カップをmm単位で、高周波式含水率計 (moco2) を用いて含水率 0.5%単位で、ハンディーグレーダーHG-2001 による縦振動数を Hz 単位で測定し、次式により縦振動ヤング係数を算出した。

$$\text{縦振動ヤング係数(kN/mm}^2\text{)} : E_{fr} = (2L f)^2 \rho \div 10^9$$

ここで、L:材長 (m)

f :縦振動数 (Hz)

ρ :密度 (kg/m³)

モルダー後にデジタルノギスを用いて試験体中央の幅・厚の寸法を 0.01 mm単位で、長さをmm単位で、割れをcm単位で、電子天秤を用いて重量を 0.001Kg 単位で、高周波式含水率計 (moco2) を用いて含水率 0.5%単位で、ハンディーグレーダーHG-2001 による縦振動数を Hz 単位で測定した。

曲げ強度試験後に非破壊部において、図 2-2 に示す通りできるだけ長さ方向の中央に近い節等の欠点のない部位から約 2cm の厚さ 2 枚の試験片を採取し、全乾密度、全乾法による含水率及び材内水分傾斜を中央 1/3 区間を 7 分割して測定した (図 2-3)。

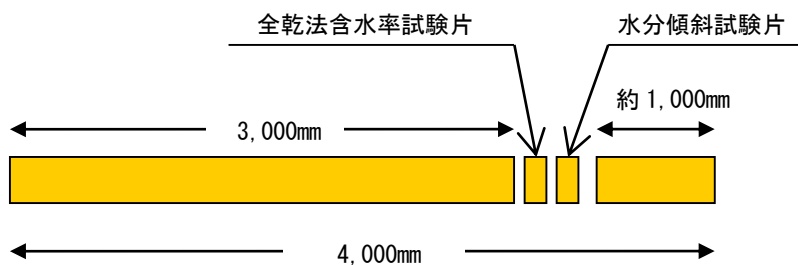


図 2-2 各試験片の採材位置例



図 2-3 材内水分傾斜の測定位置

2.1.3 乾燥方法

目標仕上げ含水率は全て 15%以下を目標とし、スギ 20 体及びカラマツ 20 体をそれぞれ蒸気式乾燥機に各 10 本と蒸気圧力併用式乾燥機に各 10 本を入れて(写真 2-4) 表 2-1 の乾燥スケジュールにより実施した。なお、乾燥後は調湿のためガラスハウスに 1 ヶ月間養生を行った。



写真 2-4 乾燥前の供試材

蒸気式乾燥機（左）、蒸気圧力併用式乾燥機（右）

表 2-1 乾燥スケジュール

乾燥方法		蒸気式高温セット乾燥	蒸気圧力併用式高温セット乾燥
乾燥 スケ ジュ ール		乾球/湿球/温度差/時間	乾球/湿球/温度差/圧力/時間
	Step1: 蒸煮	95℃/95℃/0℃/8h	80℃/80℃/0℃/-45kpa/8h
	Step2: 高温セット	110℃/80℃/30℃/18h	110℃/80℃/30℃/-45kpa/18h
	Step3: 中温乾燥	80℃/50℃/30℃/454h	80℃/50℃/30℃/-80kpa/212h
	Step4: クーリング	0℃/0℃/0℃/24h	0℃/0℃/0℃/0kpa/24h
		全行程21日間	全行程11日間
調湿（ガラスハウス）		約30日間	約30日間

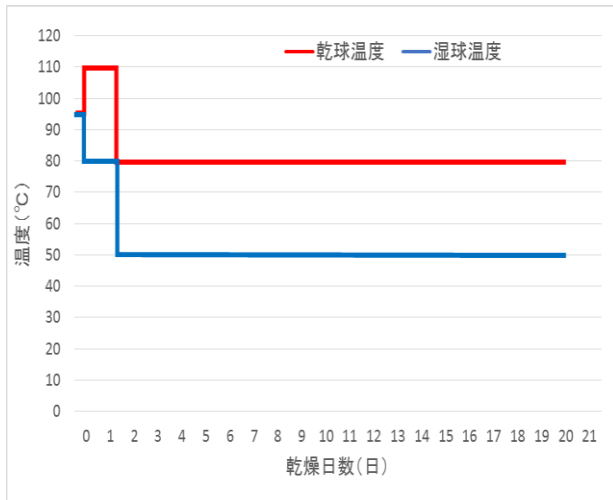


図 2-4 蒸気式高温セット乾燥スケジュール

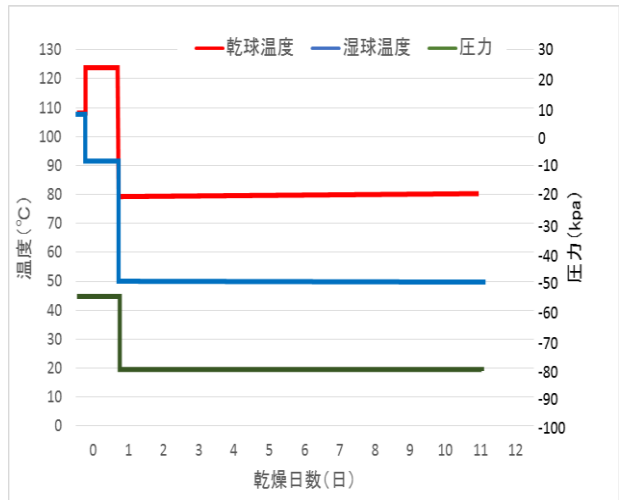


図 2-5 蒸気圧力併用式高温セット乾燥スケジュール

2.1.4 曲げ試験

(財) 日本住宅木材・技術センターの「構造用木材の強度試験マニュアル」に準じて、実大材曲げ強度試験機 UH-1000kNA (島津製作所製) を用い、下部支点間距離 (スパン) 3,900mm、上部荷重点間距離 600mm の 3 等分点 4 点荷重方式で実施した。载荷方向はエッジワイズとし、载荷速度は 15mm/分とした。(図 2-6) なお、試験体の長さに制限があるため、スパンについては、標準条件である梁せいの 18 倍ではなく 13 倍とした。また、せん断破壊が極力発生しないように支点ー上部荷重点間を 1,650 mm (梁せいの 5.5 倍) とした (写真 2-5 から 8)。

最大荷重から曲げ強さ (f_m) を、また、荷重に対する中央部の変位から見かけの曲げヤング係数 (E_m) を次式により算出した。

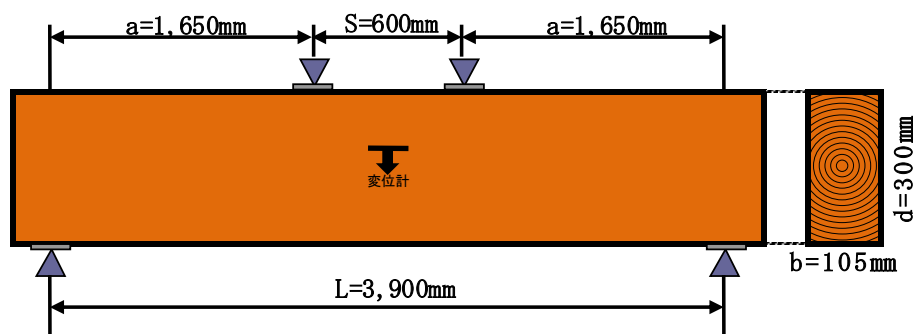


図 2-6 曲げ試験の方法

$$\text{曲げ強さ(N/mm}^2\text{)} : f_m = \frac{aF_{ult}}{2Z}$$

ここで、a:支点から荷重点までの距離

F_{ult} :最大荷重

Z: $bd^2/6$ 、ただし、b は材幅である

$$\text{見かけの曲げヤング係数} : E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)(F_2 - F_1)}{48I(w_2 - w_1)}$$

ここで、I: $bd^3/12$

a:支点から荷重点までの距離

L:材長 (m)

$F_2 - F_1$:荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分。 F_1 は $F_{ult,est}$ (最大荷重の推定値) の約 10%、 F_2 は約 40%とする。

$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分



写真 2-5 曲げ試験状況



写真 2-6 上部荷重点一下部視点 (1, 650 mm)



写真 2-7 試験材中央部に設置した変位計



写真 2-8 上部荷重点間 (600 mm)

2.2 試験結果

2.2.1 乾燥による形質変化

表 2-2 に乾燥仕上がり全乾含水率、全乾密度、平均年輪幅及び重量減少（乾燥後重量÷乾燥前重量×100（％））および収縮率を、表 2-3 に割れ、反り、曲り、およびねじれを併せて示した。

表 2-2 乾燥による形質変化①

材種		乾燥方式		全乾含水率		全乾密度 (g/cm3)	平均年輪幅 (mm)	重量		重量減少 (%)	収縮率	
				(%)				(kg)			(%)	
				乾燥前	乾燥後			乾燥前	乾燥後		幅(広い面)	厚さ(狭い面)
心持ち	スギ	蒸気式 高温セット	平均値	56.3	10.9	0.340	4.660	88.4	62.6	71.7	1.98	3.25
			標準偏差	19.5	3.5	0.030	0.817	16.3	7.6	6.7	0.45	0.67
			変動係数	34.5	31.9	8.771	17.523	18.4	12.1	9.4	22.50	20.50
			最小値	33.0	7.7	0.284	2.940	66.6	50.9	60.5	1.19	2.42
			最大値	97.4	19.4	0.382	5.680	113.4	76.2	81.6	2.50	4.43
			COUNT	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		蒸気圧力 併用式 高温セット	平均値	73.4	10.9	0.342	4.295	95.4	60.8	64.9	2.15	3.14
			標準偏差	26.0	4.6	0.039	1.537	20.6	8.2	7.5	0.62	0.68
			変動係数	35.4	42.5	11.350	35.782	21.5	13.4	11.5	28.90	21.60
			最小値	40.7	6.2	0.278	2.190	66.3	49.4	53.5	1.20	1.87
			最大値	121.3	18.5	0.411	7.210	128.6	73.7	76.5	3.31	4.13
			COUNT	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	カラマツ	蒸気式 高温セット	平均値	45.6	16.8	0.456	3.732	101.4	81.3	80.2	1.79	3.64
			標準偏差	5.1	3.2	0.042	0.497	8.1	6.6	2.5	0.48	0.79
			変動係数	11.3	19.1	9.267	13.321	8.0	8.1	3.1	26.97	21.68
			最小値	40.2	12.0	0.391	2.700	90.9	71.9	77.8	1.00	2.37
			最大値	56.2	21.5	0.539	4.400	119.0	92.6	85.8	2.65	4.71
			COUNT	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		蒸気圧力 併用式 高温セット	平均値	48.5	18.3	0.445	3.349	100.5	80.3	80.1	1.63	2.95
			標準偏差	12.9	3.6	0.035	0.316	8.9	7.7	6.4	0.61	0.74
			変動係数	26.7	19.5	7.747	9.433	8.8	9.5	8.0	37.30	25.00
			最小値	34.7	12.4	0.402	2.920	88.1	72.1	68.0	0.83	1.92
			最大値	71.2	22.5	0.498	3.930	114.8	92.8	89.2	2.93	4.30
			COUNT	10	10	10	10	10	10	10	10	10

表 2-3 乾燥による形質変化②

材種		乾燥方式		割れ				反り(広い面)		曲がり(狭い面)		ねじれ
				広い面 (cm)			最大割れ幅	両面 (mm/4.0m)		(mm/4.0m)		広い面 (mm/4.0m)
				乾燥後	モルダー後	モルダー後	(mm)	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	
心持ち	スギ	蒸気式 高温セット	平均値	109.1	86.2	0.0	1.3	3.9	3.2	1.2	3.8	4.7
			標準偏差	91.8	63.5	0.0	2.1	1.6	3.7	1.6	4.2	6.6
			変動係数	84.1	73.7	0.0	162.4	40.9	115.8	134.9	111.5	140.1
			最小値	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			最大値	271.0	189.0	0.0	6.0	6.0	10.0	5.0	13.0	18.0
			COUNT	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		蒸気圧力 併用式 高温セット	平均値	21.6	78.5	1.9	0.6	4.7	1.7	1.0	2.9	3.8
			標準偏差	31.1	161.1	6.0	1.3	2.1	1.3	1.5	1.5	6.6
			変動係数	144.5	205.2	316.2	210.8	44.9	73.6	149.1	52.5	174.5
			最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	カラマツ	蒸気式 高温セット	最大値	96.0	528.0	19.0	3.0	8.0	3.0	4.0	5.0	21.0
			COUNT	9	10	10	10	10	10	10	10	10
			平均値	192.9	177.2	9.4	2.6	0.0	1.4	0.0	1.6	12.9
			標準偏差	177.1	160.1	25.5	2.7	0.0	1.6	0.0	2.8	13.7
			変動係数	91.8	90.3	271.1	104.9	0.0	117.6	0.0	177.3	106.4
			最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		蒸気圧力 併用式 高温セット	最大値	441.0	404.0	81.0	9.0	0.0	5.0	0.0	9.0	45.0
			COUNT	10	10	10	10	10	10	10	10	10
			平均値	38.0	107.4	54.0	1.6	0.4	1.9	0.3	2.8	17.1
			標準偏差	39.5	120.6	70.0	0.5	1.3	4.4	0.9	5.7	15.8
			変動係数	103.8	112.3	129.7	30.6	316.2	230.7	316.2	203.3	92.4
			最小値	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			最大値	108.0	396.0	190.0	2.2	4.0	14.0	3.0	18.0	50.0
			COUNT	10	10	10	9.0	10	10	10	10	10

2.2.1.1 乾燥前の供試材の測定結果

カラマツの乾燥前の供試材の各種測定結果は、乾燥前重量平均が 101.3 kg、推定全乾法含水率の平均が 47.2%だった。

スギの乾燥前の供試材の各種測定結果は、乾燥前重量平均が 91.9 kg、推定全乾法含水率計平均が 64.9%だった。

2.2.1.2 仕上がり含水率

仕上がり含水率の平均値を図 2-7 に、仕上がり含水率度数分布を図 2-8 に示した。

蒸気式高温セット乾燥における、全乾法による仕上がり含水率の平均は、スギが 10.9%、カラマツが 16.8%であり、目標の 15%以下の材は、スギで 10 本中 9 本、カラマツでは 10 本中 4 本となった。

蒸気圧力併用式高温セット乾燥における、全乾法による仕上がり含水率の平均は、スギが 10.9%、カラマツが 18.3%であり、目標の 15%以下の材は、スギで 10 本中 8 本、カラマツでは 10 本中 2 本となった。

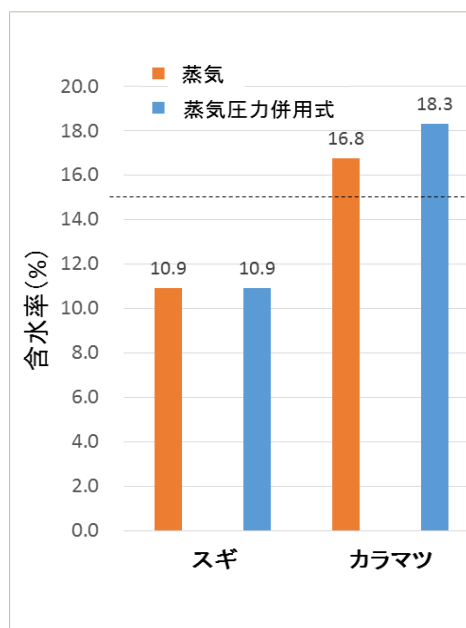


図 2-7 全乾法含水率

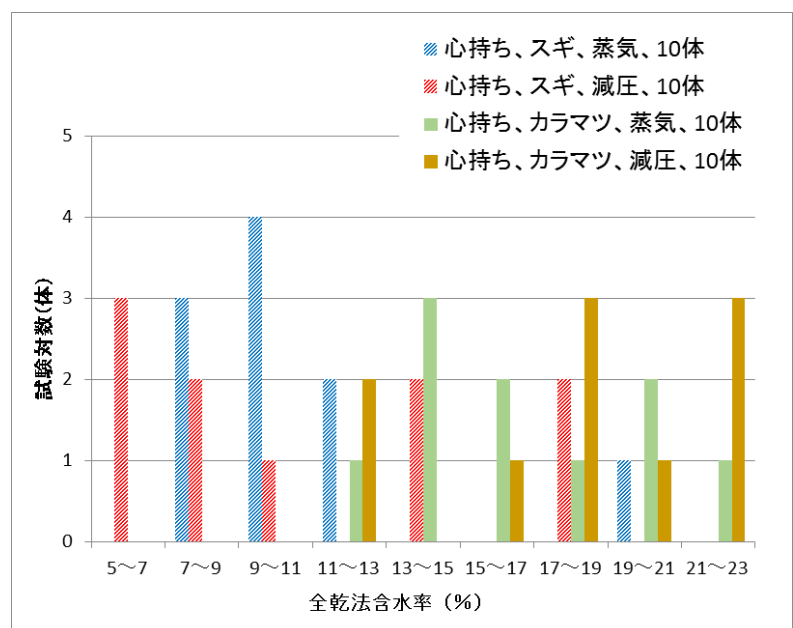


図 2-8 仕上がり含水率度数分布（全乾法）

2.2.1.3 材内の水分傾斜

樹種ごとに乾燥法の違いによる材内の水分傾斜を図 2-9 から 12 まで示した。樹種の違いや乾燥方法の違い及び個体差により、ばらつきはあるものの、概ね緩やかな水分傾斜の乾燥材に仕上がった。

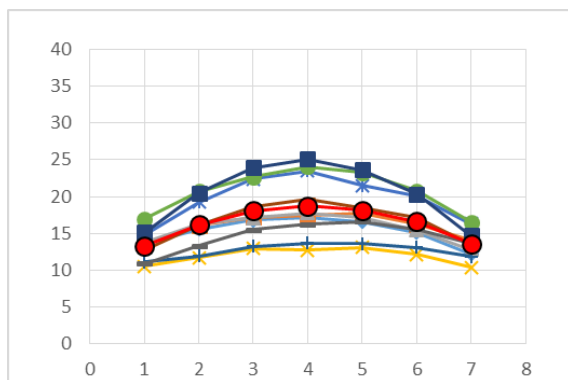


図 2-9 カラマツの蒸気式高温セット乾燥

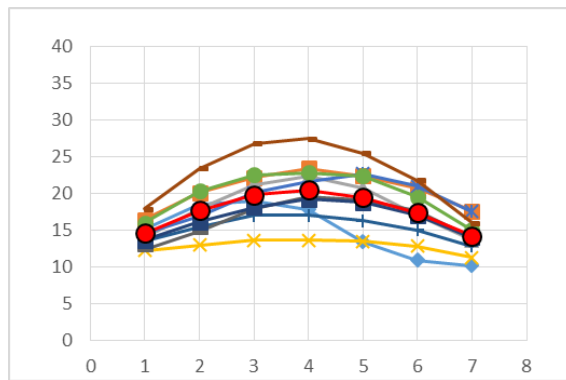


図 2-10 カラマツの蒸気圧力併用式高温セット乾燥

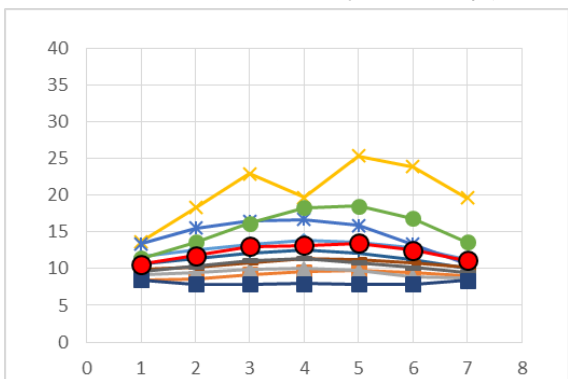


図 2-11 スギの蒸気式高温セット乾燥

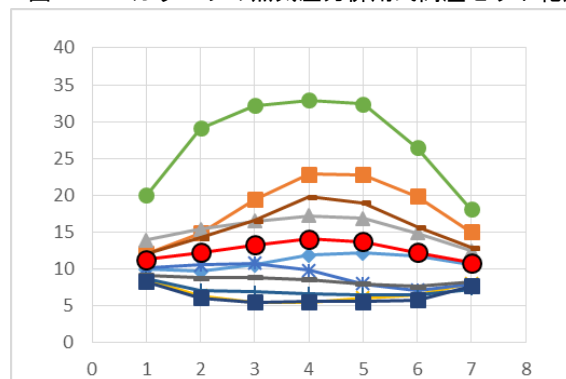


図 2-12 スギの蒸気圧力併用式高温セット乾燥

2.2.1.4 材面割れ

材面割れの平均値を図 2-13 に、度数分布を図 2-14 に示した。

蒸気式高温セット乾燥における、割れの平均は、スギが 109.1 cm、カラマツが 192.9 cm であり、100 cm以下の材は、スギで 10 本中 4 本、カラマツでは 10 本中 5 本となった。

蒸気圧力併用式高温セット乾燥における、割れの平均は、スギが 21.6 cm、カラマツが 38.0 cm であり、100 cm以下の材は、スギで 10 本中 9 本、カラマツでは 10 本中 9 本となった。

蒸気圧力併用式高温セット乾燥の方が割れの少ない乾燥材に仕上がった。

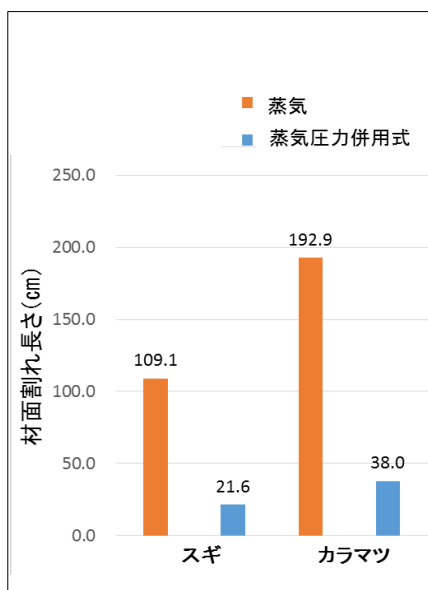


図 2-13 材面割れ長さ

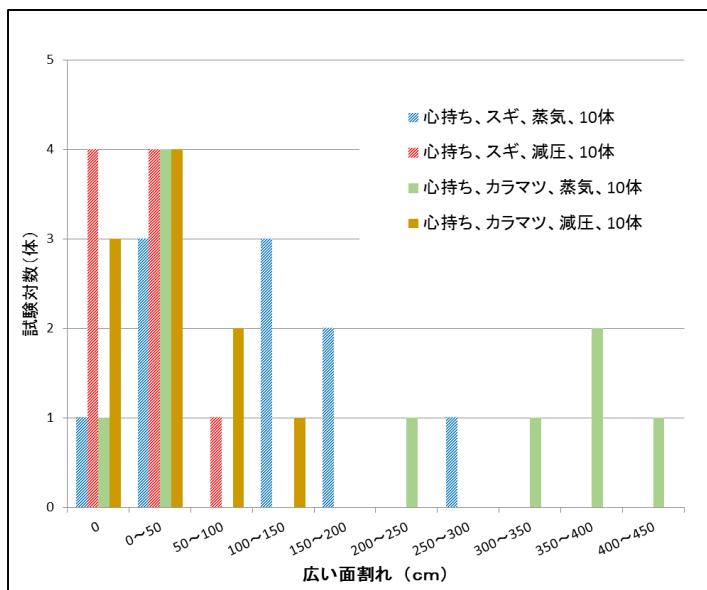


図 2-14 材面割れ度数分布

2.2.1.5 曲がり・そり・ねじれ

曲がりを図 2-15 に示した。また、曲がりの大きかったスギについて供試材毎の乾燥前後比較を図 2-16、図 2-17 に示した。スギの蒸気式高温セット乾燥においては、乾燥前平均値が 1.2 mm/4m、乾燥後平均値で 3.8 mm/4m と増加した。また、10 本中 7 本が乾燥前よりも乾燥後の方が曲がりが大きくなった。スギの蒸気圧力併用式高温セット乾燥においては、乾燥前平均値が 1.0 mm/4m、乾燥後平均値で 2.9 mm/4m と増加した。また、10 本中 7 本が乾燥前よりも乾燥後の方が曲がりが大きくなった。

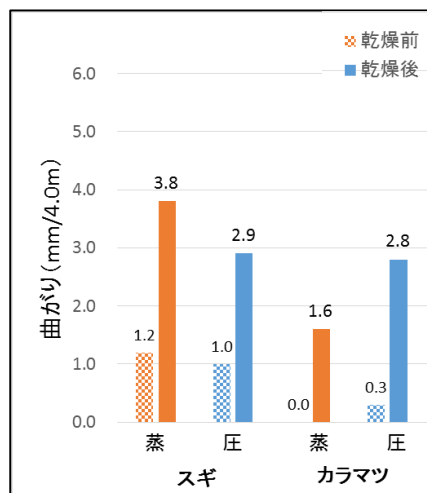


図 2-15 樹種別乾燥別の曲り発生量

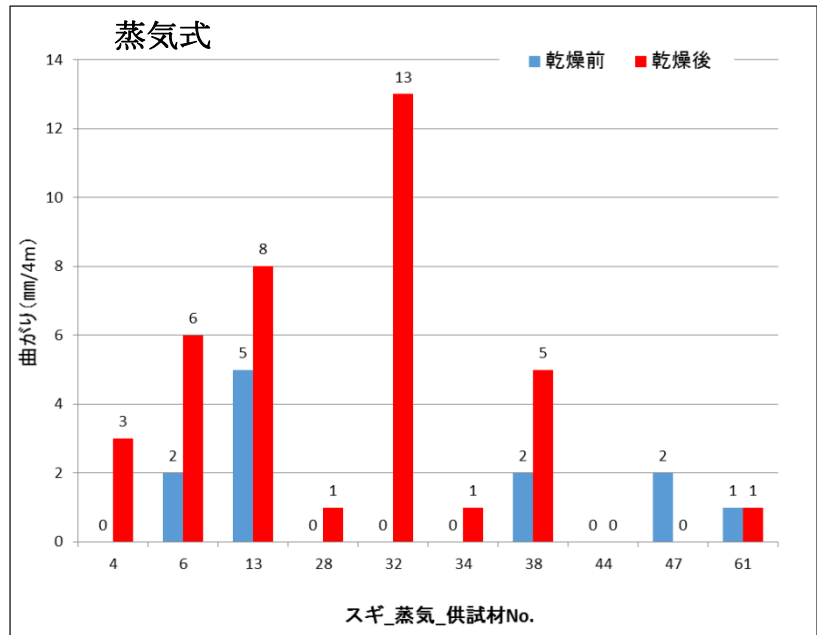


図 2-16 スギ供試材毎の曲がり乾燥前後比較（蒸気式高温セット乾燥）

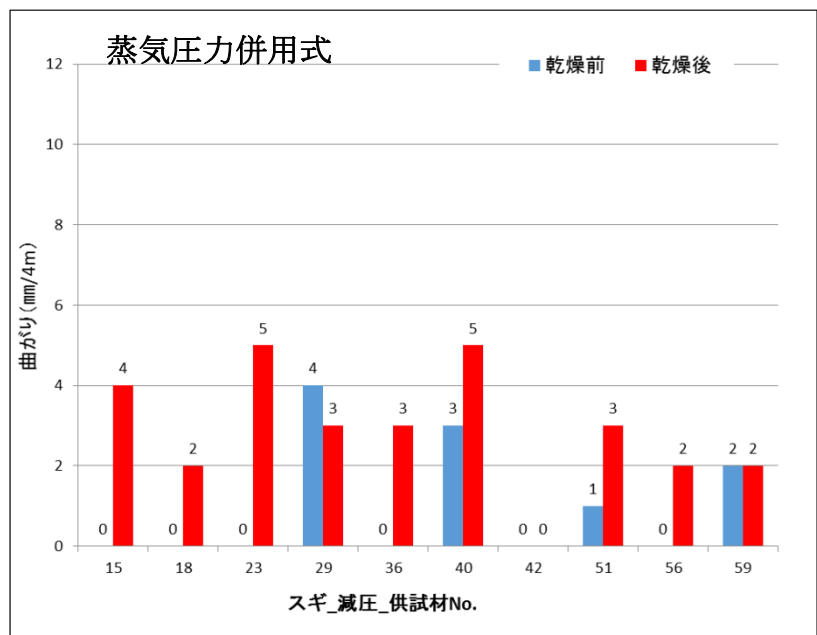


図 2-17 スギ供試材毎の曲がり乾燥前後比較（蒸気圧力併用式高温セット乾燥）

反りを図 2-18 に示した。また、そのの大きかったスギについて供試材毎の乾燥前後比較を図 2-19、図 2-20 に示した。スギの蒸気式高温セット乾燥においては、乾燥前平均値が 3.9 mm/4m、乾燥後平均値で 3.2 mm/4m と減少した。また、10 本中 5 本が乾燥前よりも乾燥後の方が反りが小さくなった。スギの蒸気圧力併用式高温セット乾燥においては、乾燥前平均値が 4.7 mm/4m、乾燥後平均値で 1.7 mm/4m と増加した。また、10 本中 8 本が乾燥前よりも乾燥後の方が反りが小さくなった。

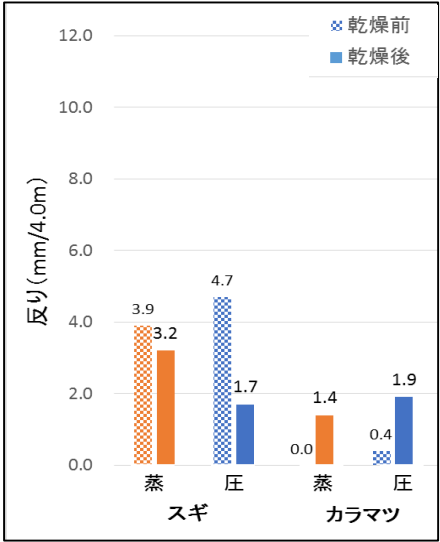


図 2-18 樹種別乾燥別の反り発生量

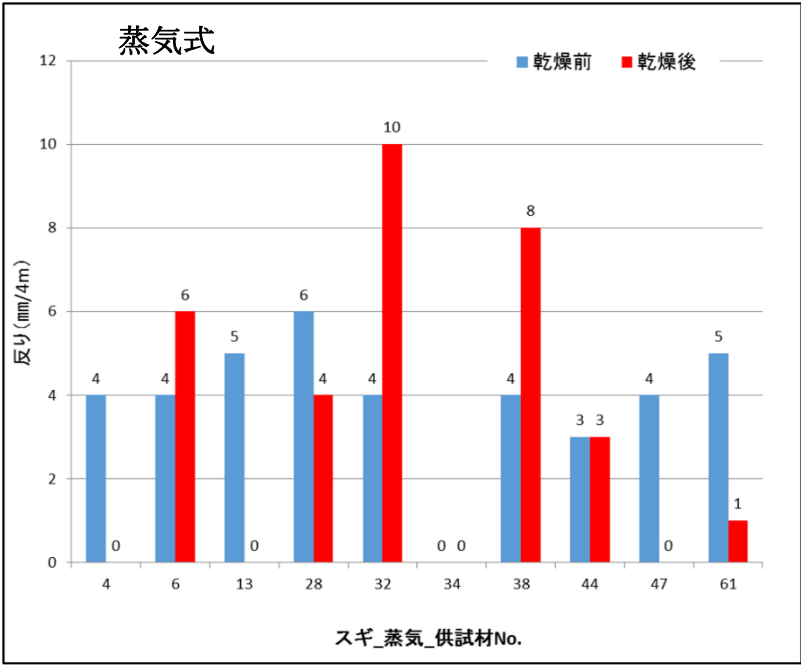


図 2-19 スギ供試材毎の反り乾燥前後比較（蒸気式高温セット乾燥）

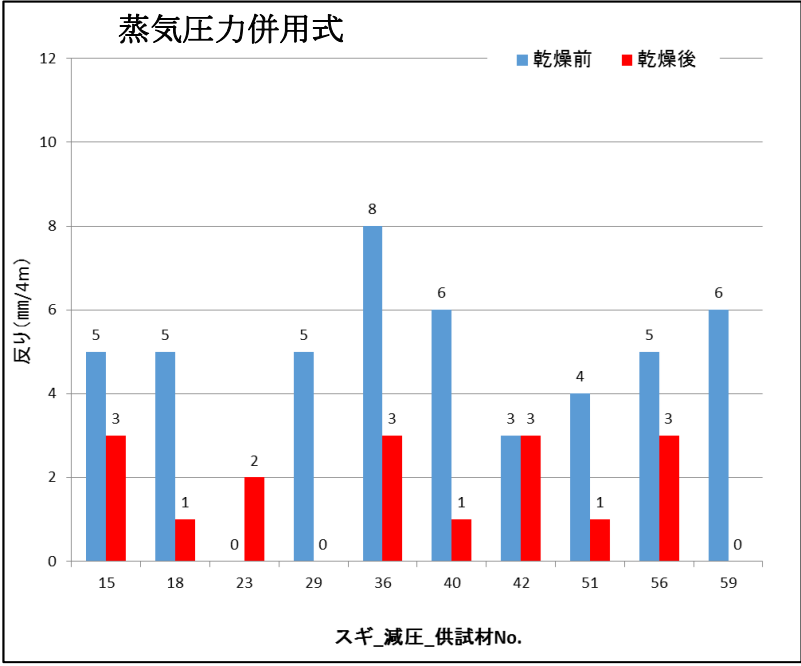


図 2-20 スギ供試材毎の反り乾燥前後比較（蒸気圧力併用式高温セット乾燥）

ねじれの発生量を図 2-21 に示し、また、ねじれの大きかったカラマツについて度数分布図を図 2-22 に示した。

カラマツの蒸気式高温セット乾燥後の供試材のねじれについては、全 10 体中、ねじれの無いものは 2 本、S 旋回は 8 本だった。また、蒸気圧力併用式中温乾燥後の供試材のねじれについては、全 10 体中、ねじれの無いものは 1 本、S 旋回は 9 本だった。

スギの蒸気式高温セット乾燥後の供試材のねじれについては、全 10 体中、ねじれの無いものは 5 本、Z 旋回は 5 本だった。蒸気圧力併用式中温乾燥後の供試材のねじれについては、全 10 体中、Z 旋回は 3 本、ねじれの無いものは 6 本、S 旋回は 1 本だった。

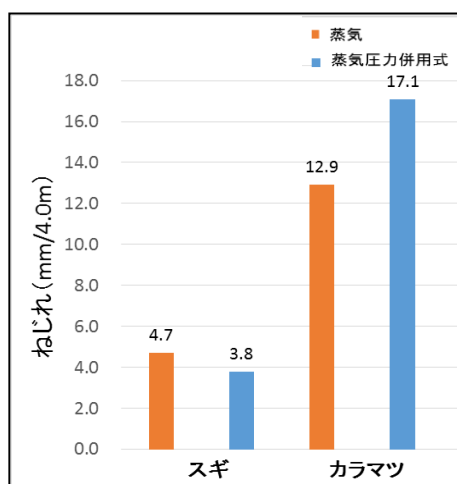


図 2-21 樹種別乾燥別のねじれ発生量

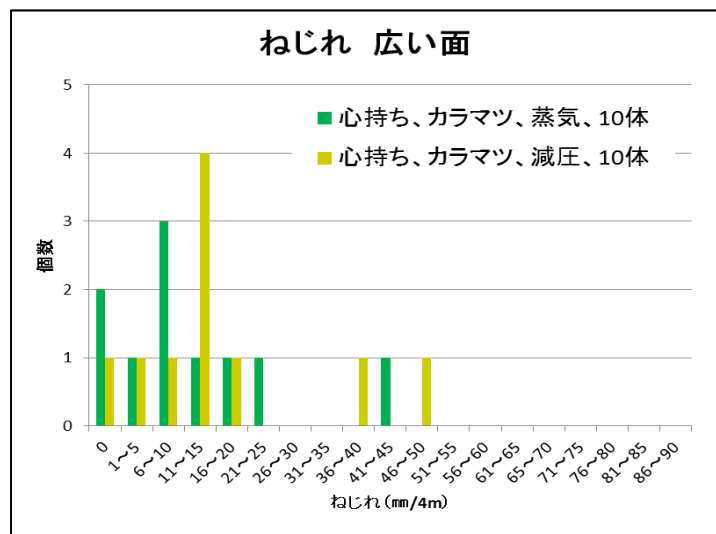


図 2-22 カラマツ乾燥別のねじれ発生量の度数分布図



写真 2-9 ねじれの状況

2.2.2 強度試験

カラマツについて、蒸気式高温セット乾燥及び蒸気式圧力併用式高温セット乾燥の供試材の曲げ強度試験の実施結果を表 2-4 及び 5 に示した。

曲げ強さの平均は蒸気式高温セット乾燥が 45.1N/mm²、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥が 44.0N/mm²であった。なお、試験時における全乾含水率の平均は、蒸気式高温セット乾燥が 16.8%、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥が 18.3%で両者には 1.5%の差があった。

また、見かけの曲げヤング係数の平均は蒸気式高温セット乾燥が 11.11kN/mm²、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥が 10.75kN/mm²であった。

表 2-4 カラマツの蒸気式高温セット乾燥した試験体の各種測定値（強度性能等 n=10）

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	全乾法含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均 年輪幅 (mm)
平均	105.75	300.22	4029.5	64.940	16.8	0.46	3.73
最大値	106.26	300.58	4035	73.695	21.5	0.54	4.40
最小値	105.09	298.62	4024	57.035	12.0	0.39	2.70
標準偏差	0.36	0.55	2.62	4.82	3.03	0.04	0.47
変動係数	0.3	0.2	0.1	7.4	18.1	8.8	12.6

	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	見かけの 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	割れ (広面) (cm)	割れ (狭面) (cm)
平均	11.47	45.1	11.11	177.2	9.4
最大値	14.82	50.2	13.68	404	81
最小値	9.40	38.1	8.78	0	0
標準偏差	1.69	4.02	1.55	151.85	24.18
変動係数	14.7	8.9	13.9	85.7	257.2

表 2-5 カラマツの蒸気圧力併用式高温セット乾燥した試験体の各種測定値（強度性能等 n=10）

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	全乾法含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均 年輪幅 (mm)
平均	105.70	300.15	4027.1	63.756	18.3	0.45	3.35
最大値	105.98	300.57	4035	71.854	22.5	0.50	3.93
最小値	104.98	299.57	4007	57.880	12.4	0.40	2.92
標準偏差	0.28	0.28	7.34	4.91	3.40	0.03	0.30
変動係数	0.3	0.1	0.2	7.7	18.5	7.3	8.9

	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	見かけの 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	割れ (広面) (cm)	割れ (狭面) (cm)
平均	11.23	44.0	10.75	107.4	54.0
最大値	13.28	64.6	13.66	396	190
最小値	8.68	20.2	7.87	0	0
標準偏差	1.42	13.45	1.70	114.41	66.43
変動係数	12.6	30.6	15.8	106.5	123.0

スギについて、蒸気式高温セット乾燥及び蒸気式圧力併用式高温セット乾燥した試験体の曲げ強度試験を実施した結果を表 2-6 及び 7 に示した。

曲げ強さの平均は蒸気式高温セット乾燥が 43.4N/mm²、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥が 40.3N/mm²であった。なお、試験時における全乾含水率の平均は、両方とも 10.9%であった。

また、見かけの曲げヤング係数の平均は蒸気式高温セット乾燥が 7.87kN/mm²、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥が 7.63kN/mm²であった。

表 2-6 スギの蒸気式高温セット乾燥した試験体の各種測定値（強度性能等 n=10）

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	全乾含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均	105.65	300.25	4154.9	50.470	10.9	0.34	4.66
最大値	105.78	300.89	4298	60.707	7.7	0.28	2.94
最小値	105.56	299.89	4102	41.416	19.4	0.38	5.68
標準偏差	0.07	0.30	53.82	5.31	3.48	0.03	0.82
変動係数	0.1	0.1	1.3	10.5	31.9	8.8	17.5

	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (N/mm ²)	見かけの 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	割れ (広面) (cm)	割れ (狭面) (cm)
平均	7.99	83.4	43.4	7.87	86.2	0.0
最大値	11.18	115.0	59.8	11.03	189	0
最小値	6.17	41.6	21.6	5.53	9	0
標準偏差	1.30	18.17	9.45	1.50	60.28	0.0
変動係数	16.3	21.8	21.8	19.1	69.9	-

表 2-7 スギの蒸気圧力併用式高温セット乾燥した試験体の各種測定値（強度性能等 n=10）

	厚さ (mm)	幅 (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	全乾含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均	105.65	300.161	4156.4	49.003	10.9	0.34	4.30
最大値	105.98	300.67	4273	60.340	6.2	0.28	2.19
最小値	105.21	299.81	4041	40.102	18.5	0.41	7.21
標準偏差	0.21	0.20	65.86	6.23	4.64	0.04	1.54
変動係数	0.2	0.1	1.6	12.7	42.5	11.3	35.8

	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (N/mm ²)	見かけの 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	割れ (広面) (cm)	割れ (狭面) (cm)
平均	7.83	77.5	40.3	7.63	78.5	1.9
最大値	10.97	102.9	53.3	9.58	528	19
最小値	5.90	28.9	15.0	5.87	0	0
標準偏差	1.48	19.50	10.14	1.19	152.81	5.70
変動係数	18.9	25.2	25.2	15.6	194.7	300.0

カラマツにおける乾燥方法の違いによる見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの結果を図 2-23 に示した。

カラマツの無等級材の基準強度 26.7N/mm^2 に達しない蒸気式圧力併用式高温セット乾燥に 3 本あり、その要因は、目まわりとせん断破壊と思われる（写真 2-10 から 11）。

乾燥方法の違いによる曲げ強さについて統計的な差をウェルチの t 検定（両側検定）によって確認したところ、 $p < 0.05$ を統計的に両者に差がないと判断した。また、見かけの曲げヤング係数についてスチューデントの t 検定（両側検定）によって確認したところ、 $p < 0.05$ を統計的に両者に差がないと判断した。

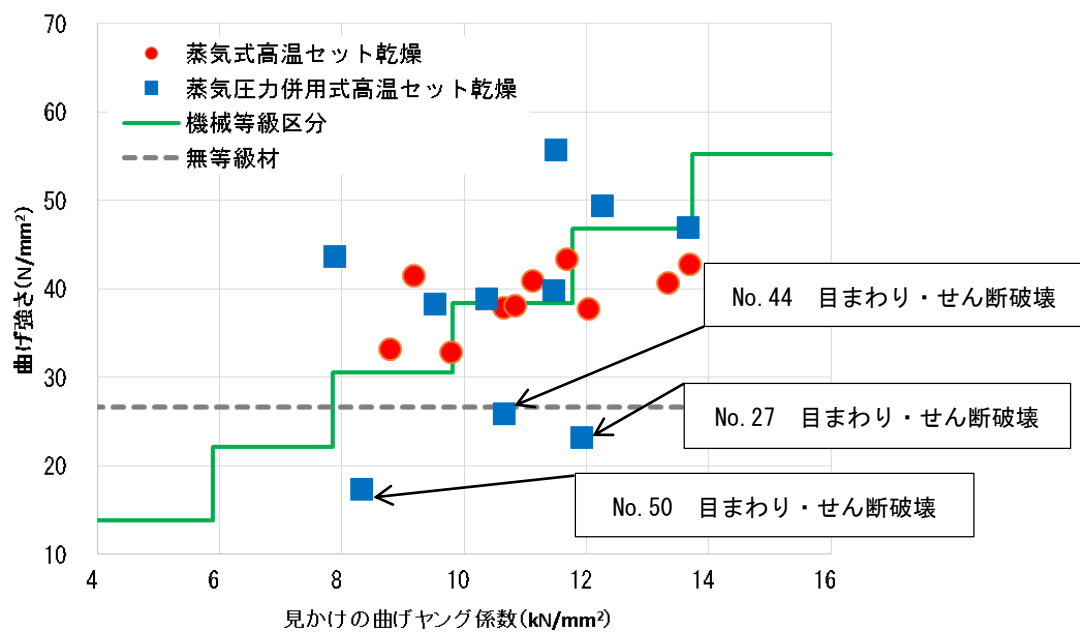


図 2-23 カラマツの見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係

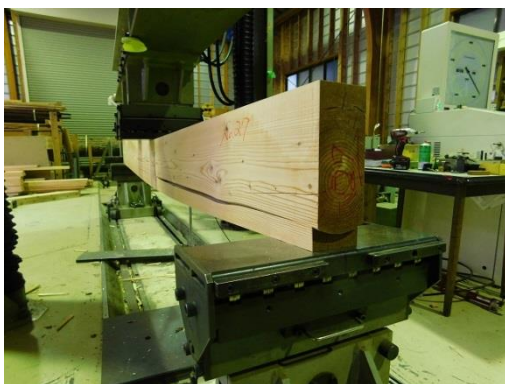


写真 2-10 No. 27 の目まわりとせん断破壊



写真 2-11 No. 44 の目まわりとせん断破壊



写真 2-12 No. 50 の目まわりとせん断破壊



写真 2-13 No. 50 の目まわりとせん断破壊

スギにおける乾燥方法の違いによる見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの結果を図 2-24 に示した。

スギの無等級材の基準強度 22.2N/mm^2 に達しない材が 2 本あり、その要因は、せん断破壊及び下面にある節からの曲げ破壊と思われる（写真 2-14 及び 2-15）。また、乾燥方法の違いによる曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数の統計的な差をスチューデントの t 検定（両側検定）によって確認したところ、 $p < 0.05$ を統計的に両者に差がないと判断した。

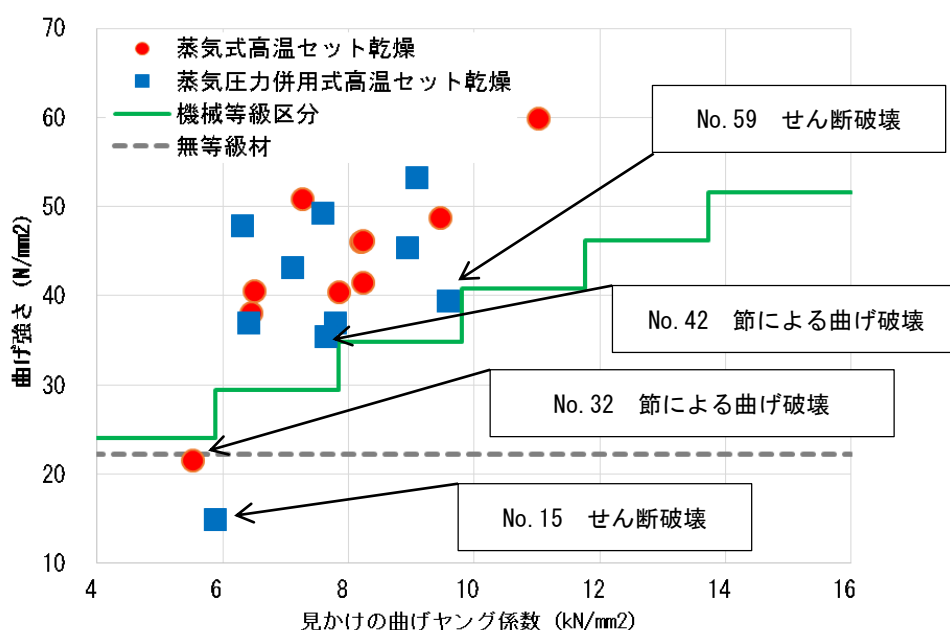


図 2-24 スギの見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係



写真 2-14 No. 15 のせん断破壊



写真 2-15 No. 32 の節からの曲げ破壊



写真 2-16 No. 59 のせん断破壊状況



写真 2-17 No. 42 の節からの曲げ破壊状況

カラマツの全乾密度と曲げ強さの関係を図 2-25 に示した。例外的なせん断破壊の試験体を除けば、蒸気式圧力併用式高温セット乾燥については、密度が高いほど曲げ強さも高い傾向が見られたが、蒸気式高温セット乾燥については、その傾向は見られなかった。

また、平均年輪幅と曲げ強さの関係を図 2-26 に示した。例外的なせん断破壊や節による曲げ破壊の試験体を除けば、平均年輪幅と曲げ強さにはほとんど相関がないと思われる。

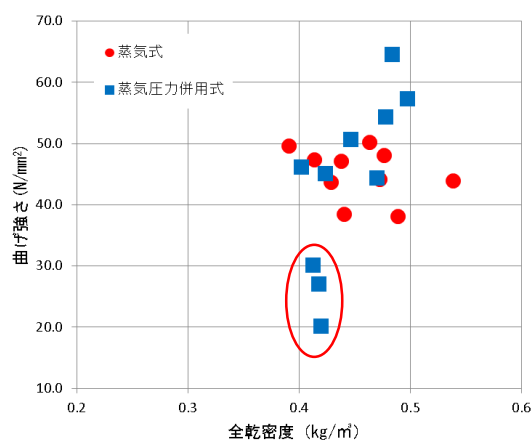


図 2-25 全乾密度と曲げ強さの関係

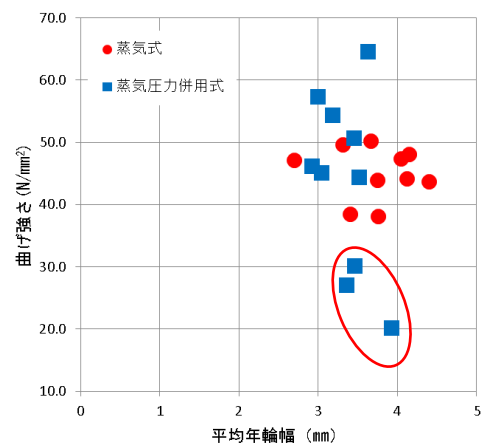


図 2-26 平均年輪幅と曲げ強さの関係

カラマツにおける乾燥方法の違いによる縦振動ヤング係数を丸太の順位を基準として、製材後及び乾燥後の縦振動ヤング係数を図 2-27 及び 2-28 に示した。丸太>製材後<乾燥後の順に縦振動ヤング係数が整列していないものは、丸太の細りが要因と推測する。

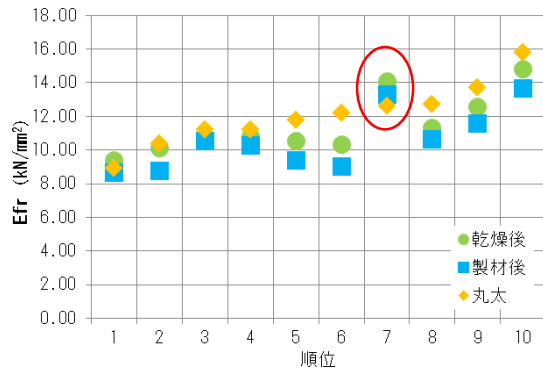


図 2-27 蒸気式高温セット乾燥材
の縦振動ヤング係数の順位化

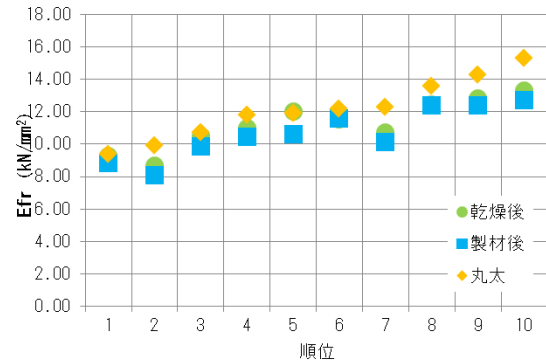


図 2-28 蒸気式圧力併用式高温セット乾燥材
の縦振動ヤング係数の順位化

スギの全乾密度と曲げ強さの関係を図 2-29 に示した。例外的なせん断破壊や節による曲げ破壊の試験体を除けば、乾燥方法の違いによる関係性は無く、密度が高いほど曲げ強さも高い傾向が見られた。

また、平均年輪幅と曲げ強さの関係を図 2-30 に示した。例外的なせん断破壊や節による曲げ破壊の試験体を除けば、平均年輪幅と曲げ強さにはほとんど相関がないと思われる。

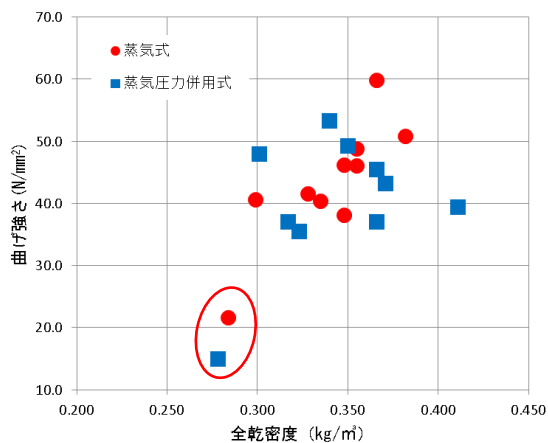


図 2-29 全乾密度と曲げ強さの関係

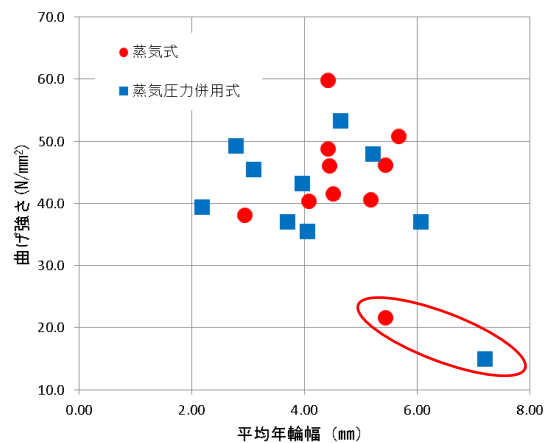


図 2-30 平均年輪幅と曲げ強さの関係

スギにおける乾燥方法の違いによる縦振動ヤング係数を丸太の順位を基準として、製材後及び乾燥後の縦振動ヤング係数を図 2-31 及び 32 に示した。丸太＞製材後＜乾燥後の順に縦振動ヤング係数が整列していないものは、黒真が要因と推測する。

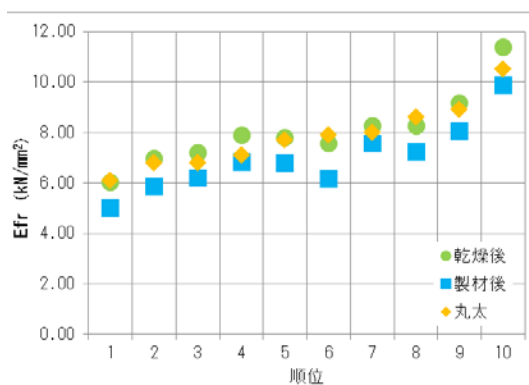


図 2-31 蒸気式高温セット乾燥材
の縦振動ヤング係数の順位化

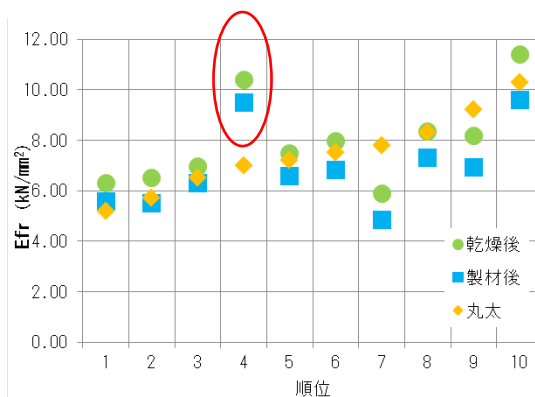


図 2-32 蒸気式圧力併用式高温セット乾燥材
の縦振動ヤング係数の順位化



写真 2-18 カラマツの断面のスキャナー画像



写真 2-19 スギの断面のスキャナー画像

3 心去り無垢梁桁材の乾燥及び強度特性

大径材のメリットを活かした新しい木取り法の提案を行うため、「心去り無垢梁桁材」の乾燥特性や強度性能を明らかにし、問題が無く十分に横架材として利用できることを実証する。

3.1 試験方法

3.1.1 供試材

丸太については、長野県東信産カラマツ大径材 60 本と北信産スギ 60 本の内、各 20 本を供試材とした。

製材については、仕上がり寸法を 105×240×4,000 mm と想定して、製材寸法（カラマツ：小林木材㈱、スギ：瑞穂木材㈱）を 125×260×4,000 mm とし、各 20 本の丸太から 2 丁取りで 40 体を図 3-1 のとおり製材した。

心去り材（丸太 20 本から 40 体）

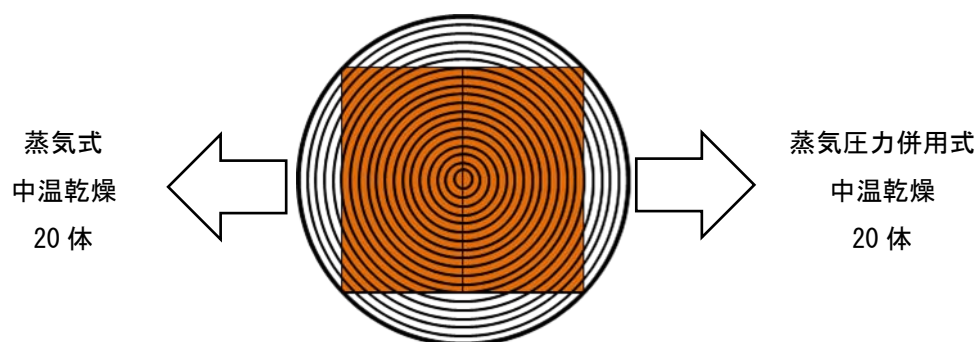


図 3-1 心去り無垢梁桁材木取り

乾燥については、当センターにある木材乾燥機（蒸気式中温乾燥：ヒルデブランド社製 HD74/NH-H、蒸気圧力併用式中温乾燥：ヒルデブランド社製 HD03/SHD）により行い、乾燥後は、当センターにあるガラスハウスにおいて 1 ヶ月間調湿を行った。（写真 3-1 及び 2）



写真 3-1 蒸気式乾燥機（左）



写真 3-2 ガラスハウス

蒸気圧力併用式乾燥機（右）

整形については、当センターのモルダー（ヴァイニッヒ社製ユニマート 800、写真 3-3）で行ったが、ねじれの大きな供試材については、事前に製材機（三善工業社製 NSA-F800、写真 3-4）を用いて直角 2 面をつくり出してから整形を行った。



写真 3-3 モルダー



写真 3-4 製材機

3.1.2 供試材の測定方法及び評価方法

製材後にデジタルノギスを用いて試験体中央の幅・厚の寸法を 0.01 mm 単位で、長さを mm 単位で測定し、その後、ATA 社製のグレーディングマシン HG-2001 で周波数及び重量を、同社製のマイクロ波透過型木材含水率計 MB-3100 で含水率を測定した。

乾燥前後にデジタルノギスを用いて試験体中央の幅・厚の寸法を 0.01 mm 単位で、長さを mm 単位で、反り及び曲がりをスパン 4m での最大矢高を mm 単位で、ねじれ（狭い面と広い面）をスパン 4m とし平面上に 3 点を固定後、残り 1 点の平面からの浮き上がりを mm 単位で、電子天秤を用いて重量を 0.001Kg 単位で、カップを mm 単位で、高周波式含水率計（moco2）を用いて含水率 0.5% 単位で、ハンディグレーダー HG-2001 による縦振動数を Hz 単位で測定し、次式により縦振動ヤング係数を算出した。

$$\text{縦振動ヤング係数(kN/mm}^2\text{)} : E_{fr} = (2L f)^2 \rho \div 10^9$$

ここで、L:材長 (m)

f:縦振動数 (Hz)

ρ :密度 (kg/m³)

モルダー後にデジタルノギスを用いて試験体中央の幅・厚の寸法を 0.01 mm 単位で、長さを mm 単位で、割れを cm 単位で、電子天秤を用いて重量を 0.001Kg 単位で、高周波式含水率計（moco2）を用いて含水率 0.5% 単位で、ハンディグレーダー HG-2001 による縦振動数を Hz 単位で測定した。

曲げ強度試験後に非破壊部において、図 3-2 に示す通りできるだけ長さ方向の中央に近い節等の欠点のない部位から約 2cm の厚さ 2 枚の試験片を採取し、全乾密度、全乾法による含水率及び材内水分傾斜を中央 1/3 区間を 7 分割して測定した（図 3-3）。

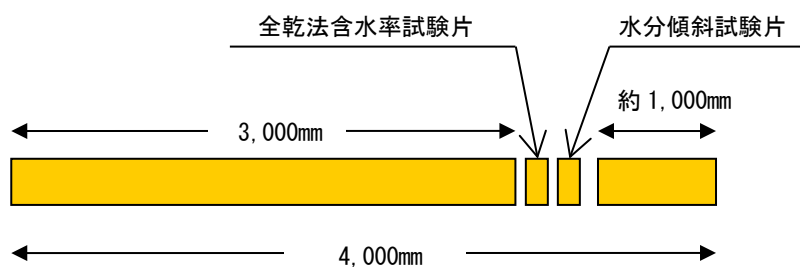


図 3-2 各試験片の採材位置例



図 3-3 材内水分傾斜の測定位置

3.1.3 乾燥方法

目標仕上げ含水率は全て 15%以下を目標とし、スギ 20 体とカラマツ 20 体を別々に蒸気式乾燥機による蒸気式中温乾燥（写真 3-5）、残り半数のスギ 20 体とカラマツ材 20 体を別々に蒸気圧力併用式乾燥機による蒸気圧力併用式中温乾燥（写真 3-6）を表 3-1（図 3-4 及び 5）の乾燥スケジュールにより実施した。なお、乾燥後は調湿のためガラスハウスに 1 ヶ月間養生を行った。



写真 3-5 カラマツの乾燥前
蒸気式中温乾燥（左）
蒸気圧力併用式中温乾燥（右）



写真 3-6 スギの乾燥前
蒸気式中温乾燥（左）
蒸気圧力併用式中温乾燥（右）

表 3-1 乾燥スケジュール

乾燥方法		蒸気式中温乾燥	蒸気圧力併用式中温乾燥
		乾球/湿球/温度差/時間	乾球/湿球/温度差/圧力/時間
乾燥スケジュール	Step1: 蒸煮	80℃/80℃/0℃/8h	80℃/80℃/0℃/-32kpa/8h
	Step2: 中温乾燥	80℃/75℃/5℃/40h	80℃/75℃/5℃/-58kpa/20h
		80℃/70℃/10℃/40h	80℃/70℃/10℃/-61kpa/20h
		80℃/65℃/15℃/40h	80℃/65℃/15℃/-69kpa/20h
		80℃/60℃/20℃/40h	80℃/60℃/20℃/-75kpa/20h
		80℃/50℃/30℃/408h	80℃/50℃/30℃/-81kpa/200h
	Step3: クーリング	0℃/0℃/0℃/24h	0℃/0℃/0℃/0kpa/24h
		全行程25日間	全行程13日間
調湿（ガラスハウス）		約30日間	約30日間

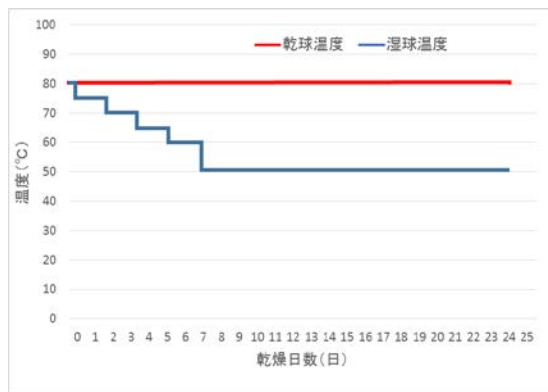


図 3-4 蒸気式中温乾燥スケジュール

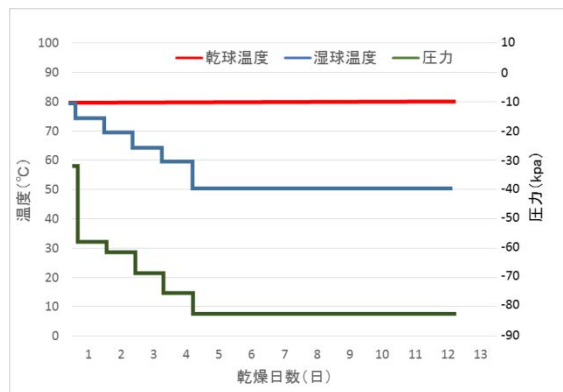


図 3-5 蒸気圧力併用式中温乾燥スケジュール

3.1.4 曲げ試験

(財)日本住宅木材・技術センターの「構造用木材の強度試験マニュアル」に準じて、実大材曲げ強度試験機 UH-1000kNA（島津製作所製）を用い、下部支点間距離（スパン）3,900mm、上部荷重点間距離 1,300mm の 3 等分点 4 点荷重方式で実施した。載荷方向はエッジワイズとし、載荷速度は 15mm/分とした。（図 3-6）なお、試験体の長さには制限があるため、スパンについては、標準条件である梁せいの 18 倍ではなく 16.25 倍とした。

最大荷重から曲げ強さ（ f_m ）を、また、荷重に対する中央部の変位から見かけの曲げヤング係数（ E_m ）及びモーメント一定区間での真の曲げヤング係数（ E_b ）を次式により算出した。

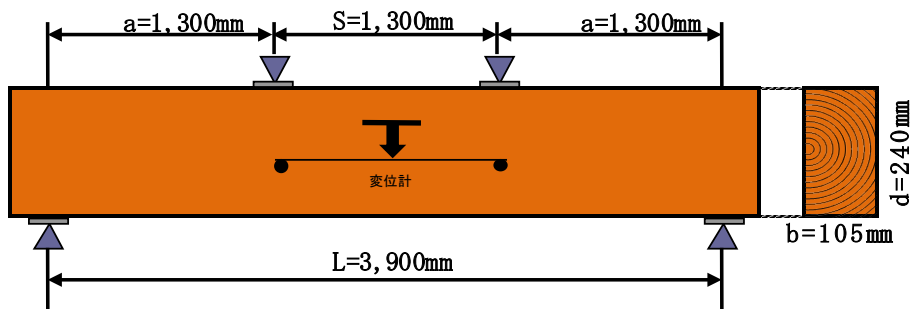


図 3-6 曲げ試験の方法

$$\text{曲げ強さ(N/mm}^2\text{)} : f_m = \frac{aF_{ult}}{2Z}$$

ここで、a: 支点から荷重点までの距離

F_{ult} : 最大荷重

Z: $bd^2/6$ 、ただし、b は材幅である

$$\text{見かけの曲げヤング係数} : E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)(F_2 - F_1)}{48I(w_2 - w_1)} \quad (\text{写真 3-7})$$

ここで、 $I: bd^3/12$

a : 支点から荷重点までの距離

L : 材長 (m)

$F_2 - F_1$: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分、 F_1 は $F_{ult,est}$ (最大荷重の推定値) の約 10%、 F_2 は約 40% とする

$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分

$$\text{真の曲げヤング係数(kN/mm}^2\text{)} : E_b = \frac{aL^3(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)} \quad (\text{写真 3-8})$$

ここで、 $I: bd^3/12$

a : 支点から荷重点までの距離

$F_2 - F_1$: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分。 F_1 は $F_{ult,est}$ (最大荷重の推定値) の約 10%、 F_2 は約 40% とする。

$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分



写真 3-7 曲げ試験状況 (スパン中央の全体のたわみを測定)



写真 3-8 曲げ試験状況 (荷重点間のたわみを測定)

3.2 試験結果

3.2.1 乾燥による形質変化

表 3-2 に乾燥仕上がり全乾含水率、全乾密度、平均年輪幅及び重量減少（乾燥後重量÷乾燥前重量×100（％））および収縮率を、表 3-3 に割れ、反り、曲り、およびねじれを併せて示した。

表 3-2 乾燥による形質変化①

材種		乾燥方式		全乾法含水率		全乾密度	平均年輪幅	重量		重量減少	収縮率	
				（%）				（g/cm3）	（mm）		（kg）	
				乾燥前	乾燥後					乾燥前	乾燥後	
心去り	スギ	蒸気式 中温	平均値	65.2	11.6	0.329	5.095	72.0	45.8	65.0	3.43	3.55
			標準偏差	28.7	6.3	0.038	1.588	13.8	5.4	9.4	0.81	0.78
			変動係数	44.0	54.8	11.424	31.163	19.1	11.8	14.5	23.50	22.12
			最小値	32.6	6.9	0.279	3.420	48.9	36.2	44.4	1.67	1.59
			最大値	123.4	27.9	0.392	9.210	104.6	56.2	80.6	4.57	5.25
			COUNT	10	10	10	10	20	20	20	20	20
		蒸気圧力 併用式 中温	平均値	62.1	10.0	0.333	5.292	75.2	46.8	64.1	3.67	3.46
			標準偏差	23.6	3.1	0.039	1.598	17.6	5.1	10.3	0.99	0.72
			変動係数	38.0	30.6	11.684	30.189	23.4	10.9	16.0	26.94	20.88
			最小値	32.9	6.9	0.293	3.310	50.1	36.8	41.3	1.41	2.13
			最大値	109.4	15.8	0.404	8.670	128.4	55.1	81.1	5.10	4.65
			COUNT	10	10	10	10	20	20	20	20	20
	カラマツ	蒸気式 中温	平均値	46.8	14.9	0.500	3.776	87.1	67.3	77.1	3.00	3.87
			標準偏差	5.8	4.1	0.058	1.012	9.7	8.0	4.2	0.91	0.90
			変動係数	12.4	27.2	11.524	26.793	11.1	11.9	5.4	30.50	23.20
			最小値	36.8	8.7	0.430	2.210	73.5	56.2	64.3	1.87	2.79
			最大値	54.0	19.1	0.592	5.520	104.1	82.1	86.3	5.35	6.01
			COUNT	9	10	10	10	19	20	19	20	20
		蒸気圧力 併用式 中温	平均値	51.9	16.7	0.499	3.761	85.4	67.4	79.4	2.93	3.21
			標準偏差	13.5	5.0	0.054	0.866	9.0	7.0	8.1	1.42	1.18
			変動係数	26.0	29.9	10.914	23.038	10.5	10.4	10.2	48.60	36.70
			最小値	30.1	8.5	0.419	2.270	72.8	58.4	59.8	1.31	1.69
			最大値	81.5	23.6	0.582	5.070	103.2	81.3	101.8	6.95	6.18
			COUNT	10	10	10	10	20	20	20	20	20

表 3-3 乾燥による形質変化②

材種		乾燥方式		割れ				反り(広い面)		曲がり(狭い面)		ねじれ		カップ
				広い面 (cm)		狭い面 (cm)		両面 (mm/4.0m)		(mm/4.0m)		広い面 (mm/4.0m)	狭い面 (mm/4.0m)	
			乾燥後	モルダー後	乾燥後	モルダー後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後			(mm)	
心去り	スギ	蒸気式 中温	平均値	0.0	0.0	0.0	4.0	10.4	7.9	1.7	3.4	5.1	2.3	2.282
			標準偏差	0.0	0.0	0.0	8.2	2.7	3.0	1.3	2.9	5.1	2.6	1.122
			変動係数	0.0	0.0	0.0	208.7	26.1	38.8	76.9	86.6	100.9	117.0	49.2
			最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.069
			最大値	0.0	0.0	0.0	23.0	14.0	14.0	4.0	10.0	16.0	8.0	4.454
			COUNT	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
		蒸気圧力 併用式 中温	平均値	10.3	0.0	1.0	29.5	10.7	10.0	2.0	5.1	4.2	1.6	2.393
			標準偏差	30.8	0.0	4.4	72.0	3.1	3.1	1.5	2.9	3.8	2.1	1.366
			変動係数	299.9	0.0	435.9	244.1	28.8	31.1	78.9	57.3	90.0	133.2	57.1
			最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.150
			最大値	102.0	0.0	19.0	267.0	15.0	14.0	5.0	10.0	11.0	6.0	4.460
			COUNT	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20
	カラマツ	蒸気式 中温	平均値	56.8	178.6	2.3	2.3	4.9	2.9		1.7	16.0	7.6	1.326
			標準偏差	75.5	195.6	10.1	10.3	2.5	2.5		2.3	21.6	11.2	0.979
			変動係数	133.1	109.5	447.2	447.2	51.5	86.2		133.7	134.8	147.0	73.8
			最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.170
			最大値	263.0	551.0	45.0	46.0	11.0	8.0		8.0	83.0	44.0	3.661
			COUNT	20	20	20	20	20	20		20	20	20	20
		蒸気圧力 併用式 中温	平均値	81.8	208.2	2.8	2.3	5.3	3.1		1.7	15.5	7.9	0.978
			標準偏差	113.6	201.1	12.3	10.3	2.0	2.7		1.8	17.4	7.9	1.134
			変動係数	138.9	96.6	447.2	447.2	38.5	87.4		104.7	112.4	100.5	115.9
			最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.021
			最大値	380.0	649.0	55.0	46.0	9.0	10.0		5.0	68.0	30.0	4.093
			COUNT	20	20	20	20	20	20		20	20	20	20

3.2.1.1 乾燥前の供試材の測定結果

カラマツの乾燥前の供試材の各種測定結果は、乾燥前重量平均が 86.3 kg、推定全乾法含水率の平均が 49.4%だった。

スギの乾燥前の供試材の各種測定結果は、乾燥前重量平均が 73.6 kg、推定全乾法含水率計平均が 63.7%だった。

3.2.1.2 仕上がり含水率

仕上がり含水率の平均値を図 3-7 に、仕上がり含水率度数分布を図 3-8 に示した。

蒸気式中温乾燥における、全乾法による仕上がり含水率の平均は、スギが 11.6%、カラマツが 14.9%であり、目標の 15%以下の材は、スギで 10 本中 8 本、カラマツでは 10 本中 4 本となった。

蒸気圧力併用式中温乾燥における、全乾法による仕上がり含水率の平均は、スギが 10.0%、カラマツが 16.7%であり、目標の 15%以下の材は、スギで 10 本中 9 本、カラマツでは 10 本中 5 本となった。

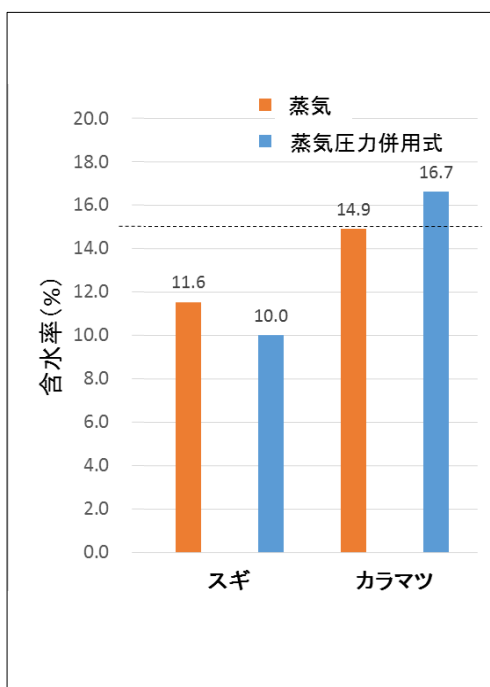


図 3-7 全乾法含水率

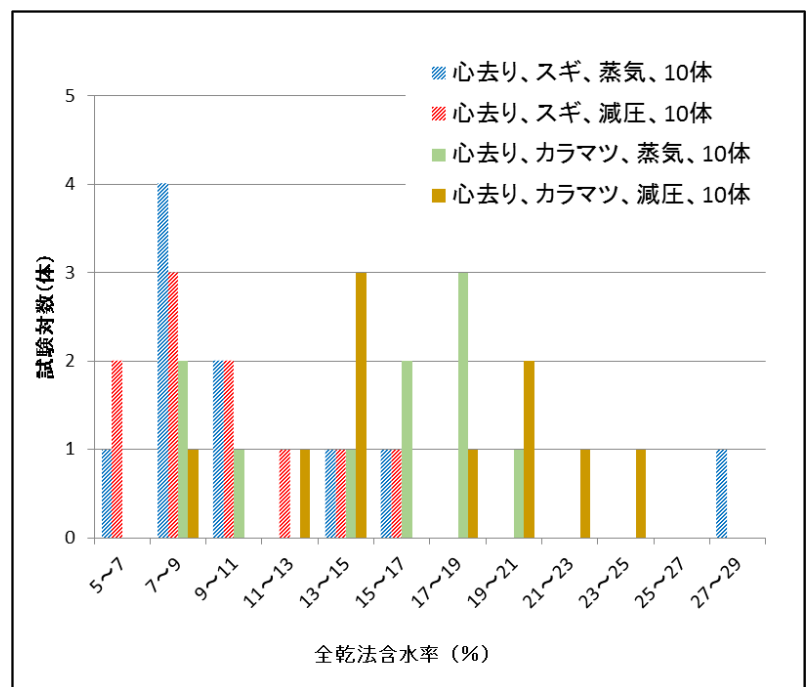


図 3-8 仕上がり含水率度数分布 (全乾法)

3.2.1.3 材内の水分傾斜

樹種ごとに乾燥法の違いによる材内の水分傾斜を図 3-9 から 12 まで示した。樹種の違いや乾燥方法の違い及び個体差により、ばらつきはあった。カラマツについては、蒸気圧力併用式中温乾燥の方が、凸形状が大きくなった。

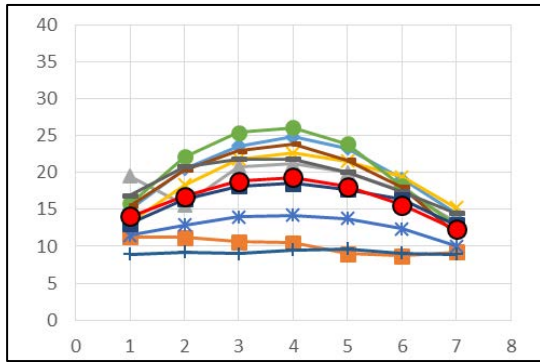


図 3-9 カラマツの蒸気式中温乾燥

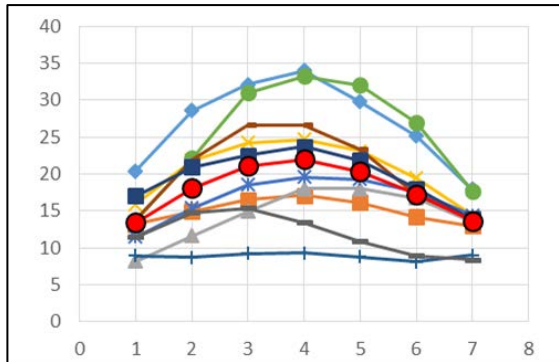


図 3-10 カラマツの蒸気圧力併用式中温乾燥

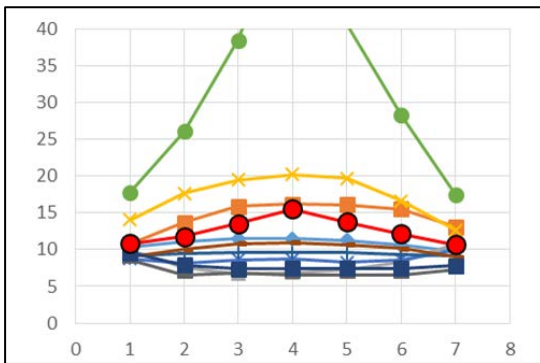


図 3-11 スギの蒸気式中温乾燥

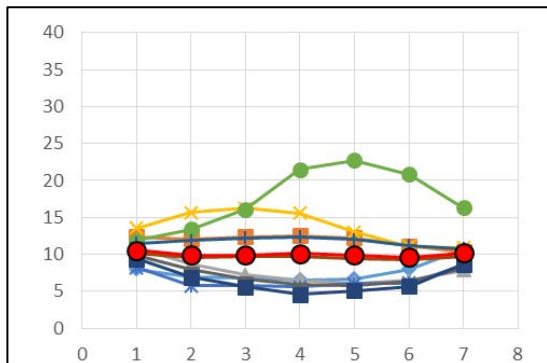


図 3-12 スギの蒸気圧力併用式中温乾燥

3.2.1.4 材面割れ

材面割れの平均値を図 3-13 に、材面割れが多いカラマツについて供試材毎の乾燥方法による比較を図 3-14 に示した。

蒸気式中温乾燥における、割れの平均は、スギが 0 cm、カラマツが 56.8 cm であり、100 cm 以下の材は、スギで 10 本中 10 本、カラマツでは 10 本中 5 本となった。

蒸気圧力併用中温乾燥における、割れの平均は、スギが 10.3 cm、カラマツが 81.8 cm であり、100 cm 以下の材は、スギで 10 本中 10 本、カラマツでは 10 本中 6 本となった。

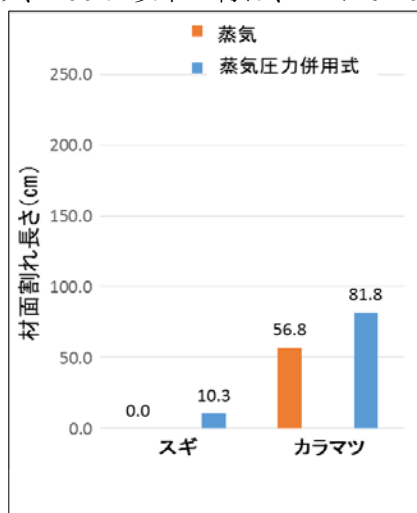


図 3-13 材面割れ長さ

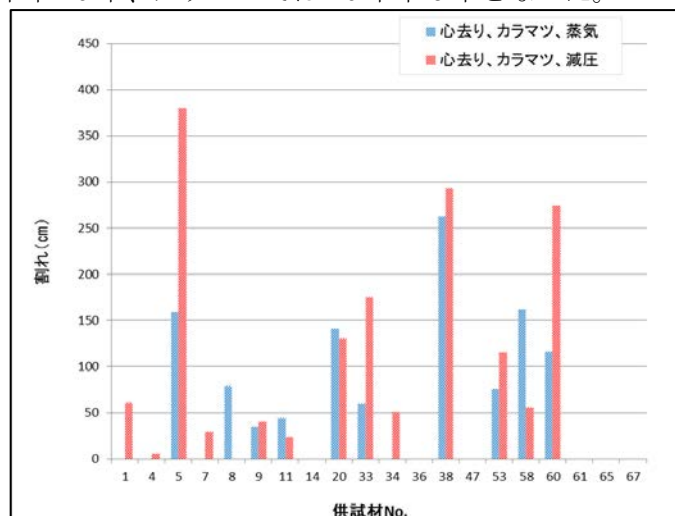


図 3-14 材面割れ長さ供試材毎乾燥方法による比較

3.2.1.5 曲がり・反り・ねじれ

曲がりを図 3-15 に示した。曲がりの大きかったスギについて供試材毎の乾燥前後比較を図 3-16、図 3-17 に示した。スギの蒸気式中温乾燥においては、乾燥前平均値が 1.7 mm/4m、乾燥後平均値で 3.4 mm/4m と増加した。また、20 本中 13 本が乾燥前よりも乾燥後の方が大きくなった。

一方、スギの蒸気圧力併用式中温乾燥においては、乾燥前平均値が 2.0 mm/4m、乾燥後平均値で 5.1 mm/4m と増加した。また、20 本中 17 本が乾燥前よりも乾燥後の方が大きくなり、曲がりについては、蒸気圧力併用式中温乾燥＞蒸気式中温乾燥となった。

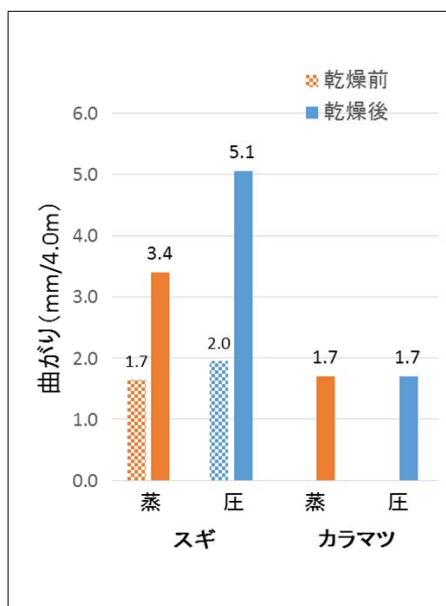


図 3-15 樹種別乾燥別の曲り発生量

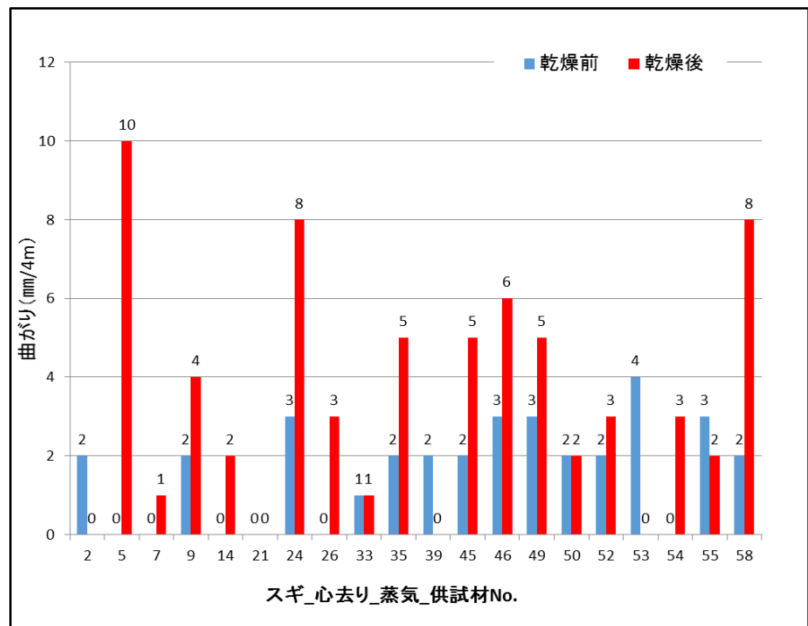


図 3-16 スギ供試材毎の曲がり乾燥前後比較（蒸気式中温乾燥）

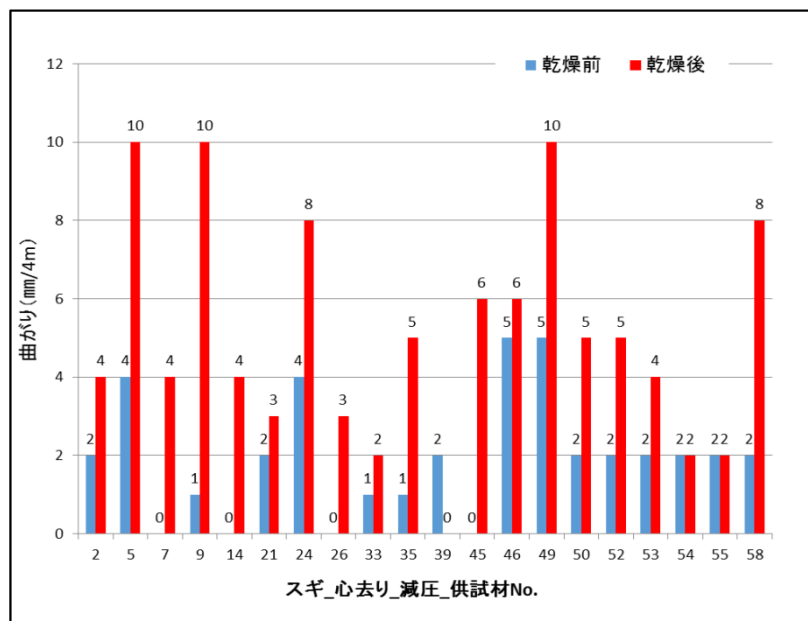


図 3-17 スギ供試材毎の曲がり乾燥前後比較（蒸気圧力併用式中温乾燥）

反りの平均値を図 3-18 に示した（写真 3-9 及び 10）。

スギの蒸気式中温乾燥においては、乾燥前平均値が 10.4 mm/4m、乾燥後平均値で 7.9 mm/4m と減少した。スギの蒸気圧力併用式中温乾燥においては、乾燥前平均値が 10.7 mm/4m、乾燥後平均値で 10.0 mm/4m と減少した。

カラマツの蒸気式中温乾燥においては、乾燥前平均値が 4.9 mm/4m、乾燥後平均値で 2.9 mm/4m と減少した。スギの蒸気圧力併用式中温乾燥においては、乾燥前平均値が 5.3 mm/4m、乾燥後平均値で 3.1 mm/4m と減少した。

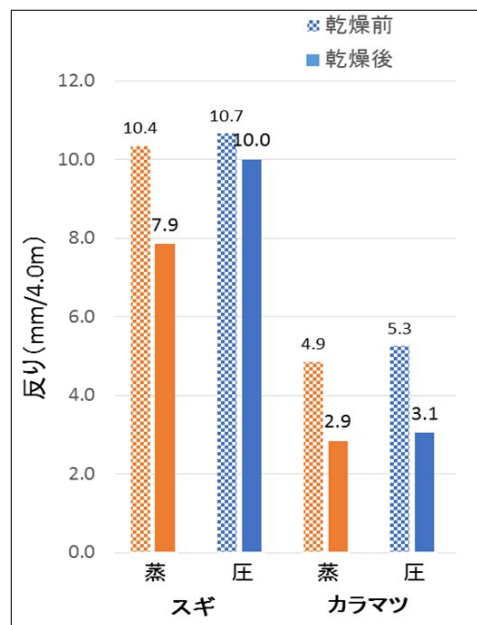


図 3-18 樹種別乾燥別の曲り発生量



写真 3-9 反りの状況



写真 3-10 反り測定状況

カラマツの反りについて、図 3-19 に示した。木表にそったものを+、木裏に反ったものを-で表示した結果、製材後は、木表側に反っていたが、乾燥後には、木裏側に反っていることから、心去りカラマツについては、製材後の修正挽きは必要ないと思われる。

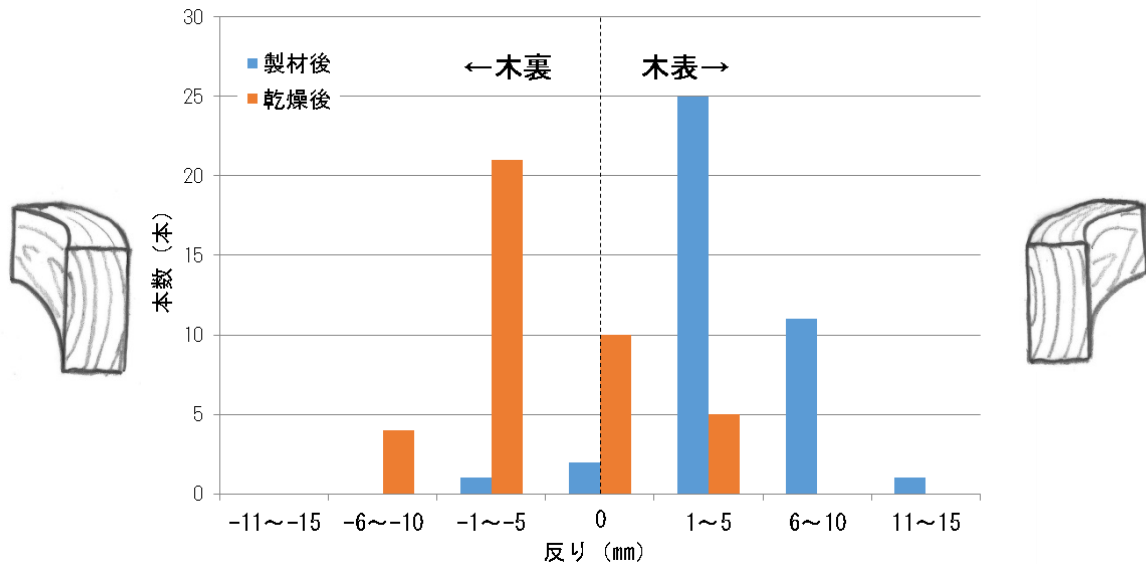


図 3-19 カラマツの乾燥前後の反り

スギの反りについて、図 3-20 に示した。カラマツと同様に木表に反ったものを+、木裏に反ったものを-で表示した結果、製材後は、全ての供試材が木表側に反っていたが、乾燥後は、多くの供試材の反りが減少し、また、一部の供試材は木裏側に反り返った。

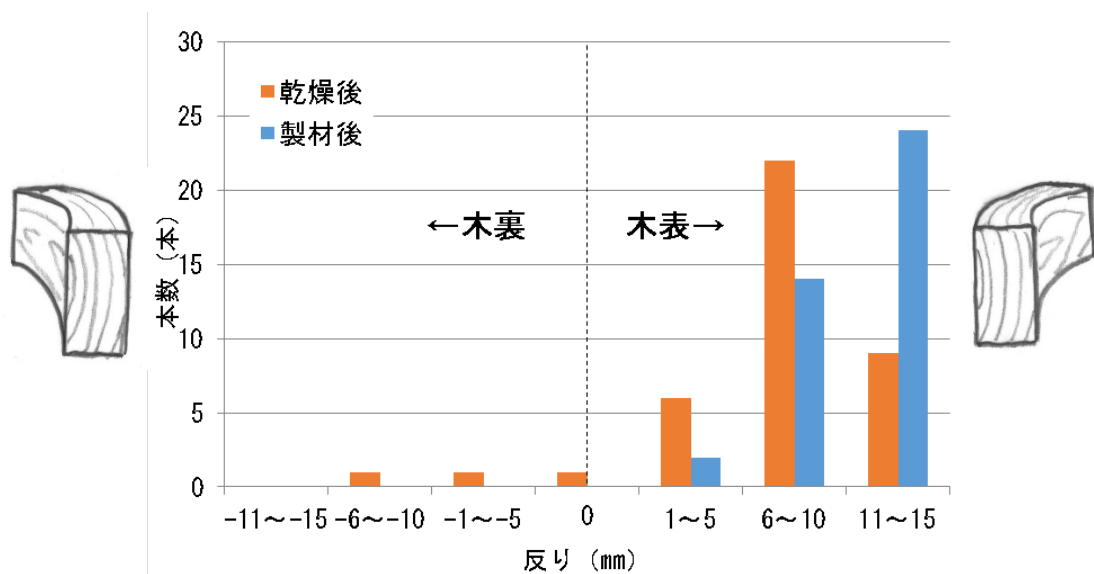


図 3-20 スギの乾燥前後の反り

ねじれの発生量を図 3-21 に示し、また、ねじれの大きかったカラマツについて度数分布を図 3-22 に示した（写真 3-11 及び 12）。

カラマツの蒸気式中温乾燥後の供試材のねじれについては、全 20 体中、Z 旋回は 1 本、ねじれの無いものは 2 本、S 旋回は 17 本だった。

スギの蒸気式中温乾燥後の供試材のねじれについては、全 20 体中、Z 旋回は 4 本、ねじれの無いものは 4 本、S 旋回は 12 本だった。

カラマツの蒸気圧力併用式中温乾燥後の供試材のねじれについては、全 20 体中、Z 旋回は 2 本、ねじれの無いものは 1 本、S 旋回は 17 本だった。

スギの蒸気圧力併用式中温乾燥後の供試材のねじれについては、全 20 体中、Z 旋回は 3 本、ねじれの無いものは 6 本、S 旋回は 11 本だった。

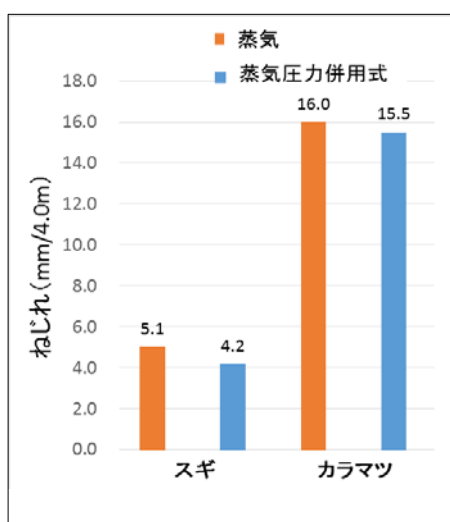


図 3-21 樹種別乾燥別のねじれ発生量

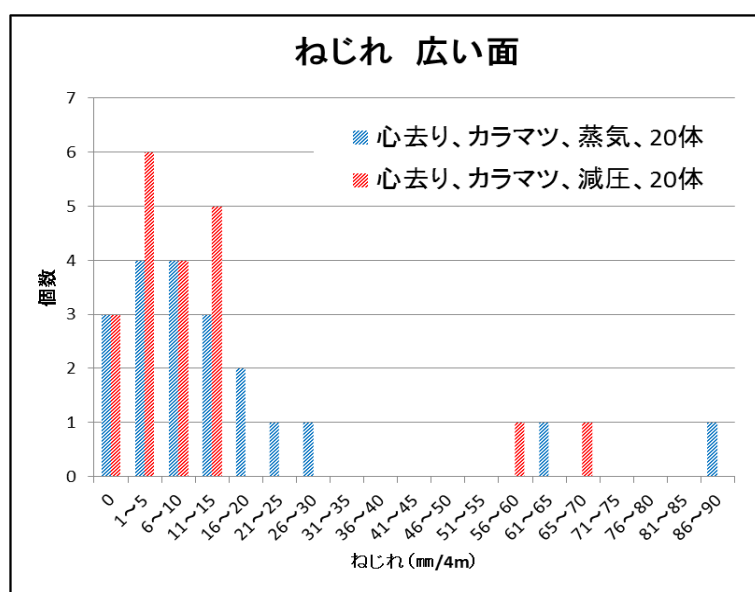


図 3-22 カラマツ乾燥別のねじれ発生量の度数分布図



写真 3-11 ねじれの状況 1



写真 3-12 ねじれの状況 2

3.2.2 強度試験

カラマツの蒸気式中温乾燥及び蒸気式圧力併用式中温乾燥した試験体の曲げ強度試験を実施した結果を表 3-4 及び 3-5 に示した。

曲げ強さの平均は蒸気式中温乾燥が 46.5N/mm²、蒸気式圧力併用式中温乾燥が 50.7N/mm² であった。なお、試験時における全乾含水率の平均は、蒸気式中温乾燥が 14.9%、蒸気式圧力併用式中温乾燥が 16.7%で両者には 1.8%の差があった。

また、見かけの曲げヤング係数の平均は、蒸気式中温乾燥が 12.47kN/mm²、蒸気式圧力併用式中温乾燥が 12.03kN/mm² であった。

表 3-4 カラマツの蒸気式中温乾燥した試験体の各種測定値（強度性能等）

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	全乾 含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均 年輪幅 (mm)
平均	104.88	240.49	4046.9	53.941	14.9	0.50	3.78
最大値	105.85	240.93	4050	65.541	19.1	0.59	5.52
最小値	90.58	238.42	4020	40.931	8.7	0.43	2.21
標準偏差	3.31	0.59	7.36	7.07	4.07	0.06	1.01
変動係数	3.2	0.2	0.2	13.1	27.2	11.5	26.8
個数	20	20	20	20	10	10	10

	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (N/mm ²)	見かけの 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	真の 曲げヤング係数 (kN/mm ²)
平均	12.96	69.2	46.5	12.47	13.29
最大値	17.43	102.6	65.5	15.28	15.93
最小値	8.35	8.9	24.3	9.51	9.84
標準偏差	2.25	26.79	12.91	1.69	1.91
変動係数	17.4	38.7	27.7	13.6	14.4
個数	20	10	10	10	10

表 3-5 カラマツの蒸気圧力併用式中温乾燥した試験体の各種測定値（強度性能等）

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	全乾 含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均 年輪幅 (mm)
平均	105.69	240.60	4047.4	55.648	16.7	0.50	3.76
最大値	106.22	240.85	4050	66.599	23.6	0.58	5.07
最小値	105.49	240.17	4007	47.899	8.5	0.42	2.27
標準偏差	0.15	0.22	9.34	5.60	4.98	0.05	0.87
変動係数	0.1	0.1	0.2	10.1	29.9	10.9	23.0
個数	20	20	20	20	10	10	10

	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (N/mm ²)	見かけの 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	真の 曲げヤング係数 (kN/mm ²)
平均	12.80	79.5	50.7	12.03	12.92
最大値	15.94	104.9	66.9	15.31	16.73
最小値	9.77	44.8	28.7	9.75	10.66
標準偏差	1.86	16.57	10.55	1.85	2.01
変動係数	14.5	20.8	20.8	15.4	15.6
個数	20	10	10	10	10

スギの蒸気式中温乾燥及び蒸気式圧力併用式中温乾燥した試験体の曲げ強度試験を実施した結果を表 3-6 及び 7 に示した。

曲げ強さの平均は蒸気式中温乾燥が 33.5N/mm²、蒸気式圧力併用式中温乾燥が 35.1N/mm²であった。なお、試験時における全乾含水率の平均は、蒸気式中温乾燥が 11.6%、蒸気式圧力併用式中温乾燥が 10.0%で両者には 1.6%の差があった。

また、見かけの曲げヤング係数の平均は蒸気式中温乾燥が 7.48kN/mm²、蒸気式圧力併用式中温乾燥が 7.51kN/mm²であった。

表 3-6 スギの蒸気式中温乾燥した試験体の各種測定値（強度性能等）

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	全乾含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均	104.79	240.18	4160.8	37.620	11.6	0.33	5.10
最大値	105.37	240.37	4438	45.458	27.9	0.39	9.21
最小値	99.62	239.83	4019	28.055	6.9	0.28	3.42
標準偏差	1.21	0.14	103.96	4.39	6.00	0.04	1.51
変動係数	1.2	0.1	2.5	11.7	52.0	10.8	29.6
個数	20	20	20	20	10	10	10

	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (N/mm ²)	見かけの 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	真の曲げ ヤング係数 (kN/mm ²)	割れ 狭い面	割れ 広い面
平均	7.78	52.1	33.5	7.48	7.84	0.00	4.60
最大値	11.30	89.0	57.3	10.74	11.31	0.00	23
最小値	4.89	32.9	21.1	5.00	5.39	0.00	0
標準偏差	1.65	18.57	12.01	1.60	1.64	0.00	9.20
変動係数	21.3	35.7	35.9	21.3	21.0	—	200.0
個数	20	10	10	10	10	10	10

表 3-7 スギの蒸気圧力併用式中温乾燥した試験体の各種測定値（強度性能等）

	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	全乾含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均	105.43	240.53	4161.8	38.321	10.0	0.33	5.29
最大値	105.60	240.97	4452	44.562	15.8	0.40	8.67
最小値	105.04	240.21	4023	29.977	6.9	0.29	3.31
標準偏差	0.16	0.16	101.22	3.93	2.91	0.04	1.52
変動係数	0.1	0.1	2.4	10.3	29.0	11.1	28.6
個数	20	20	20	20	10	10	10

	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (N/mm ²)	見かけの 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	真の曲げ ヤング係数 (kN/mm ²)	割れ 狭い面	割れ 広い面
平均	7.69	55.0	35.1	7.51	7.75	0.00	29.50
最大値	10.99	83.1	53.0	10.52	11.09	0.00	267
最小値	5.22	39.4	25.2	5.62	5.83	0.00	0
標準偏差	1.57	11.08	7.07	1.38	1.51	0.00	79.61
変動係数	20.4	20.2	20.1	18.4	19.4	—	269.8
個数	20	10	10	10	10	10	10

カラマツの乾燥方法の違いによる見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの結果を図 3-23 に示した。カラマツの無等級材の基準強度 26.7N/mm^2 に達しない材が 1 本あり、その要因は、目切れが要因と思われる（写真 3-13）。なお、例外的な破壊形態について写真 3-14 から 16 に示した。また、乾燥方法の違いによる曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数のよる統計的な差をスチューデントの t 検定（両側検定）によって確認したところ、 $p < 0.05$ を統計的に両者に差がないと判断した。

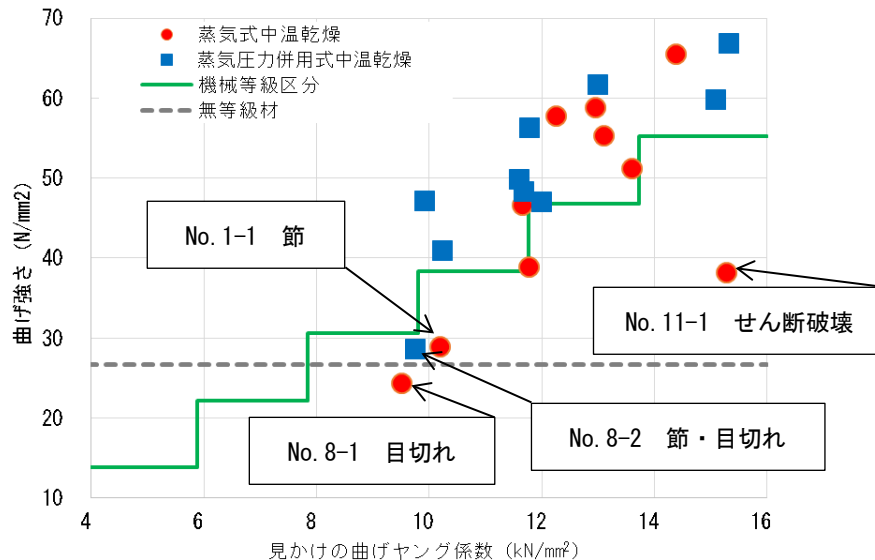


図 3-23 カラマツの見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係

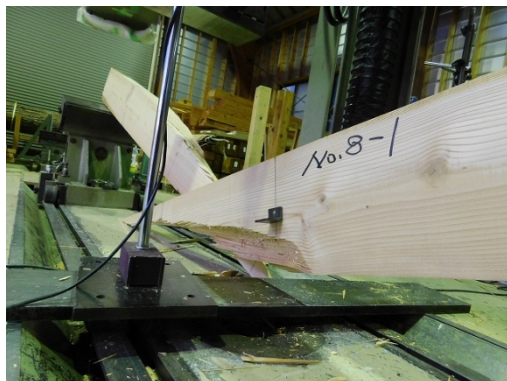


写真 3-13 No. 8-1 の目切れによる曲げ断破壊



写真 3-14 No. 1-1 の節からの曲げ断破壊



写真 3-15 No. 8-2 の目切れと節による曲げ破壊

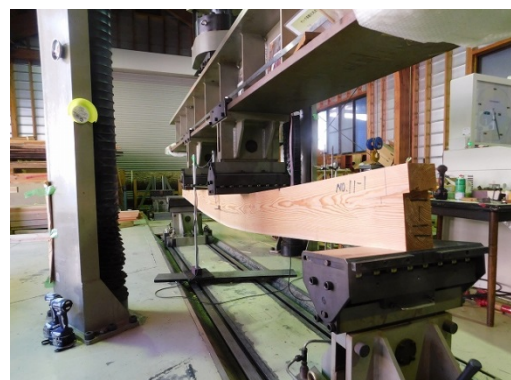


写真 3-16 No. 11-1 のセン断破壊

スギの乾燥方法の違いによる見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの結果を図 3-24 に示した。スギの無等級材の基準強度 22.2N/mm^2 に達しない材が 2 本あり、その要因は、節による曲げ破壊等が要因と思われる（写真 3-17 及び 18）。また、乾燥方法の違いによる曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数のよる統計的な差をスチューデントの t 検定（両側検定）によって確認したところ、 $p < 0.05$ を統計的に両者に差がないと判断した。

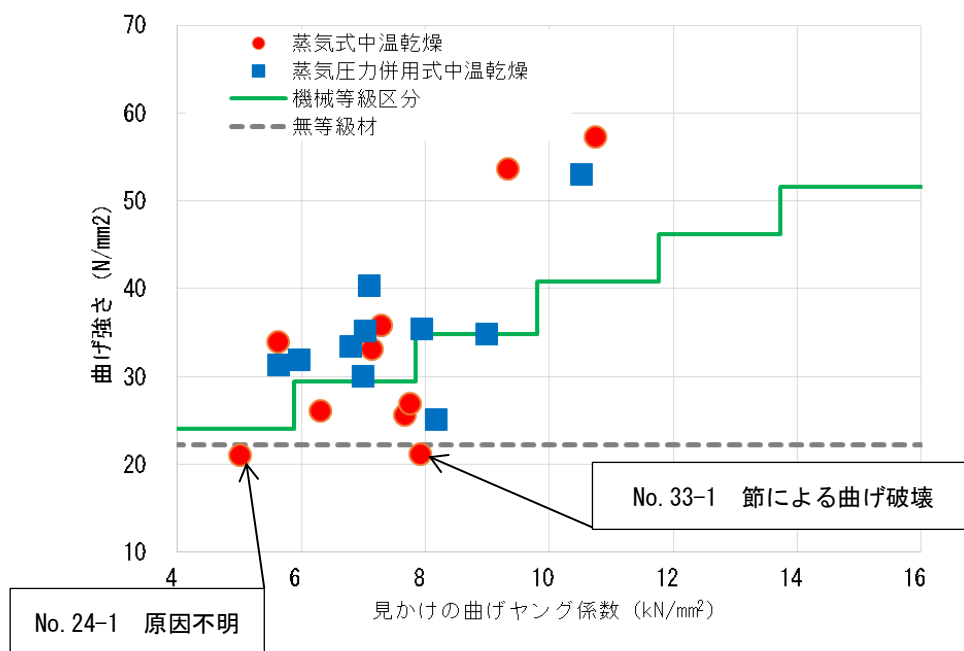


図 3-24 スギの見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係

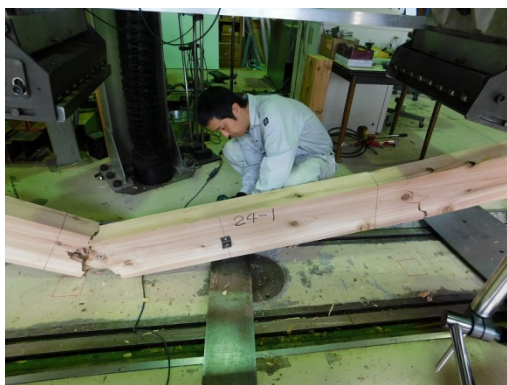


写真 3-17 No. 24-1 の破壊後



写真 3-18 No. 33-1 の節からの曲げ破壊

カラマツ及びスギについて、原木ごとに乾燥方法の違いによる 2 丁取りした供試材ごとに曲げ強さを図 3-25 及び 26 に示した。

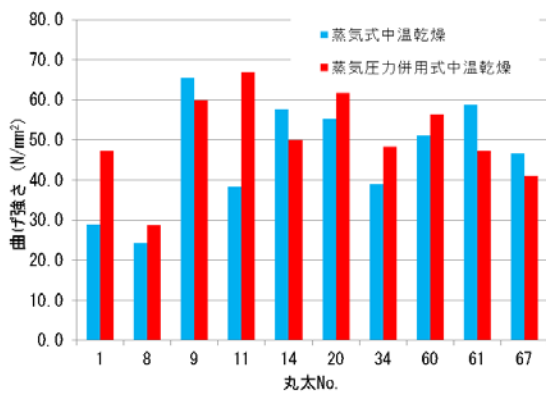


図 3-25 カラマツの原木ごとの曲げ強さ

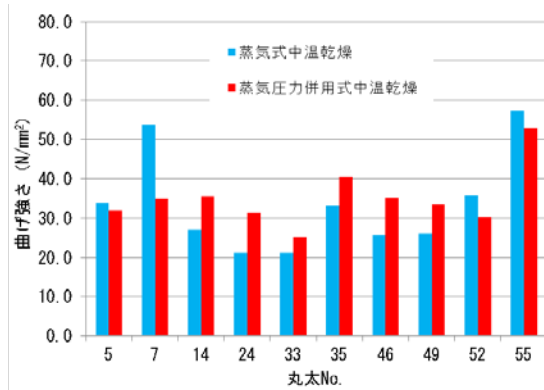


図 3-26 スギの原木ごとの曲げ強さ

カラマツ及びスギについて、乾燥方法の違いによる曲げ強さを図 3-27 及び 28 に示した。

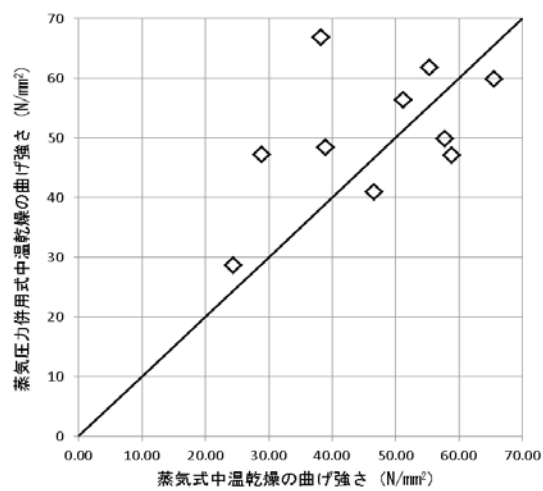


図 3-27 カラマツの原木ごとの曲げ強さ

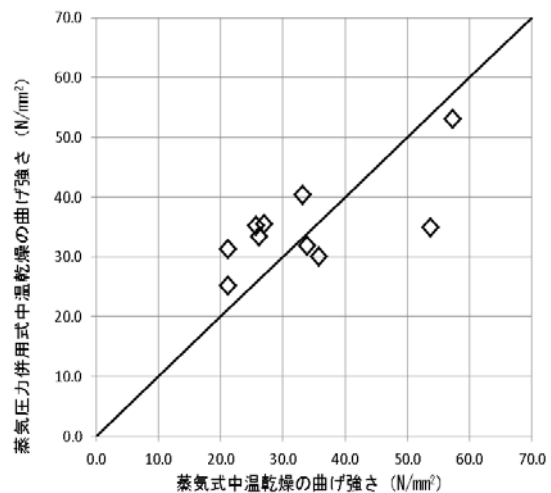


図 3-28 スギの原木ごとの曲げ強さ

全乾密度と曲げ強さの関係を図 3-29 に示した。例外的なせん断破壊の試験体を除けば蒸気式圧力併用式中温乾燥については、密度が高いほど曲げ強さも強い相関関係が見られたが、蒸気式中温乾燥については、その傾向は見られなかった。

また、平均年輪幅と曲げ強さの関係を図 3-30 に示した。例外的なせん断破壊や節による曲げ破壊の試験体に関係なく、平均年輪幅と曲げ強さにはほとんど相関がないと思われる。

乾燥方法の違いによる縦振動ヤング係数を丸太の順位を基準として、製材後及び乾燥後の縦振動ヤング係数を図 3-31 及び 32 に示した。丸太>製材後<乾燥後の順に縦振動ヤング係数が整列していないもの、特に製材後の数値は、グレーディングマシンの周波数の読み取り値が適正でないと推測する。

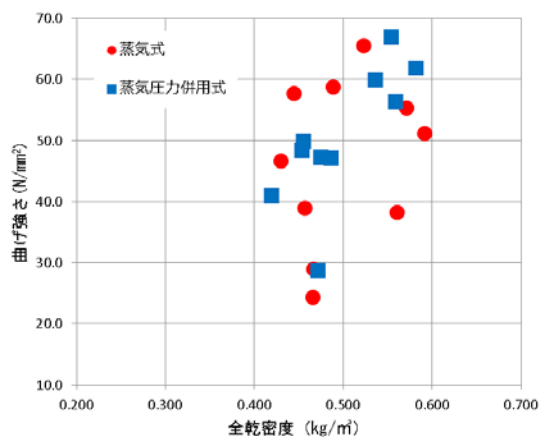


図 3-29 全乾密度と曲げ強さの関係

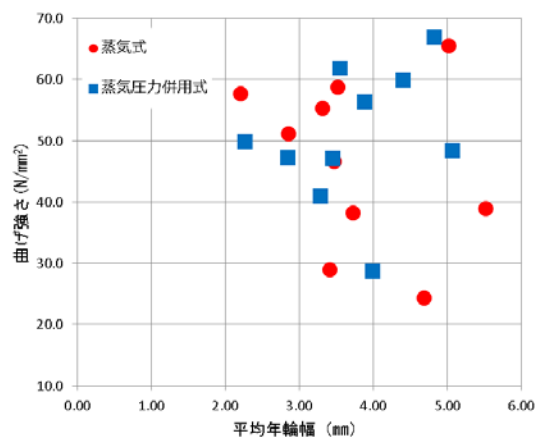


図 3-30 平均年輪幅と曲げ強さの関係

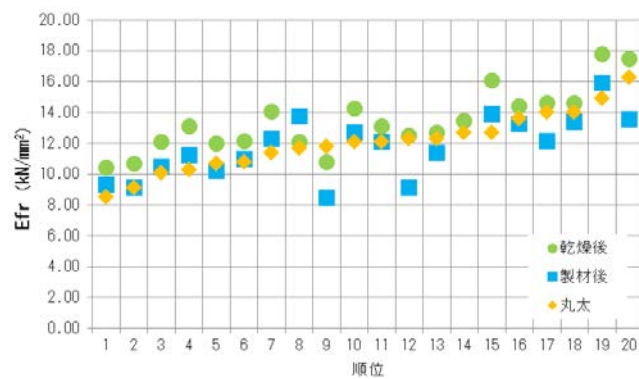


図 3-31
蒸気式中温乾燥
の縦振動ヤング係数の順位化

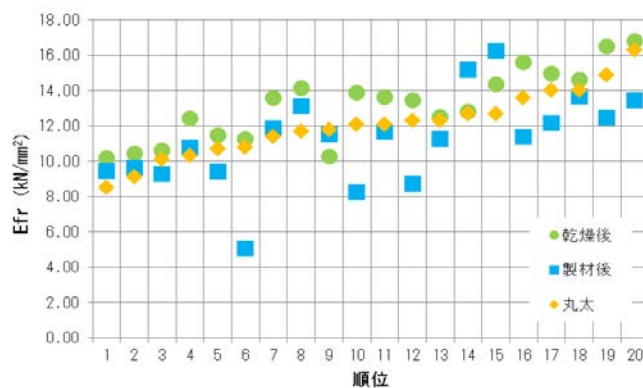


図 3-32
蒸気式圧力併用式中温乾燥
の縦振動ヤング係数の順位化

全乾密度と曲げ強さの関係を図 3-33 に示した。蒸気式中温乾燥及び蒸気式圧力併用式中温乾燥とも密度と曲げ強さには相関関係が見られた。

また、平均年輪幅と曲げ強さの関係を図 3-34 に示した。例外的な節による曲げ破壊の試験体に関係なく、平均年輪幅と曲げ強さにはほとんど相関がないと思われる。

乾燥方法の違いによる縦振動ヤング係数を丸太の順位を基準として、製材後及び乾燥後の縦振動ヤング係数を図 3-35 及び 3-36 に示した。丸太＞製材後＜乾燥後の順に縦振動ヤング係数が整列していないもの、特に製材後の数値は、グレーディングマシンの周波数の読み取り値が適正でないと思われる。

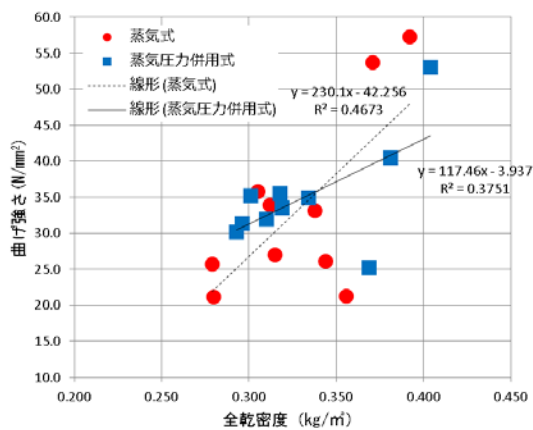


図 3-33 全乾密度と曲げ強さの関係

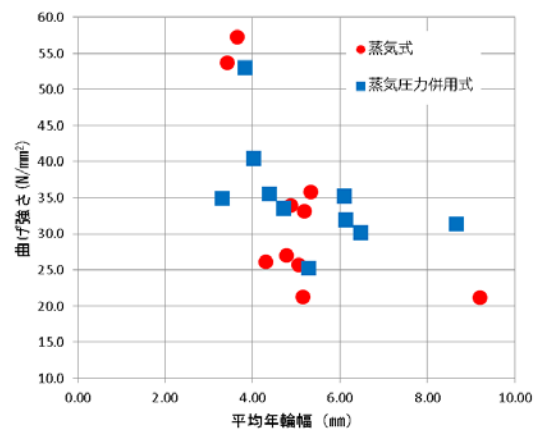


図 3-34 平均年輪幅と曲げ強さの関係

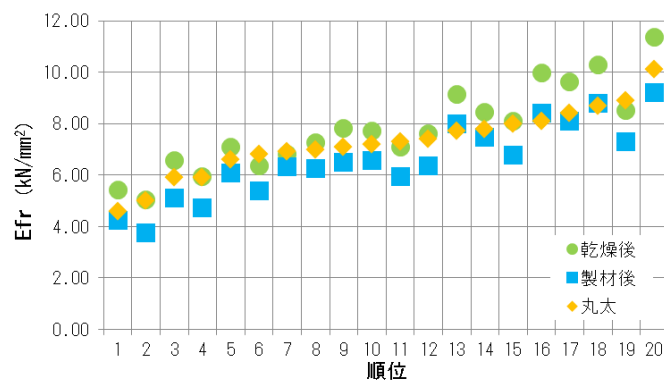


図 3-35
蒸気式中温乾燥
の縦振動ヤング係数の順位化

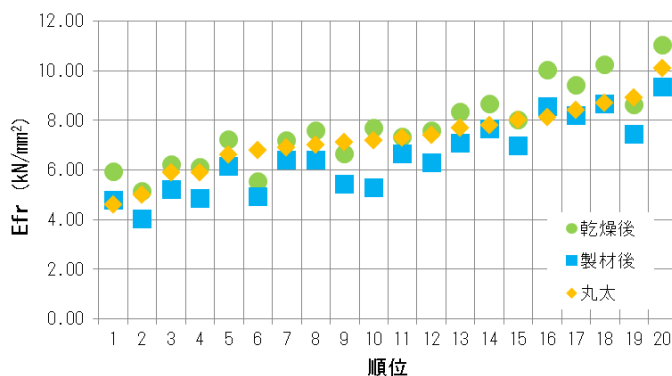


図 3-36
蒸気式圧力併用式中温乾燥
の縦振動ヤング係数の順位化

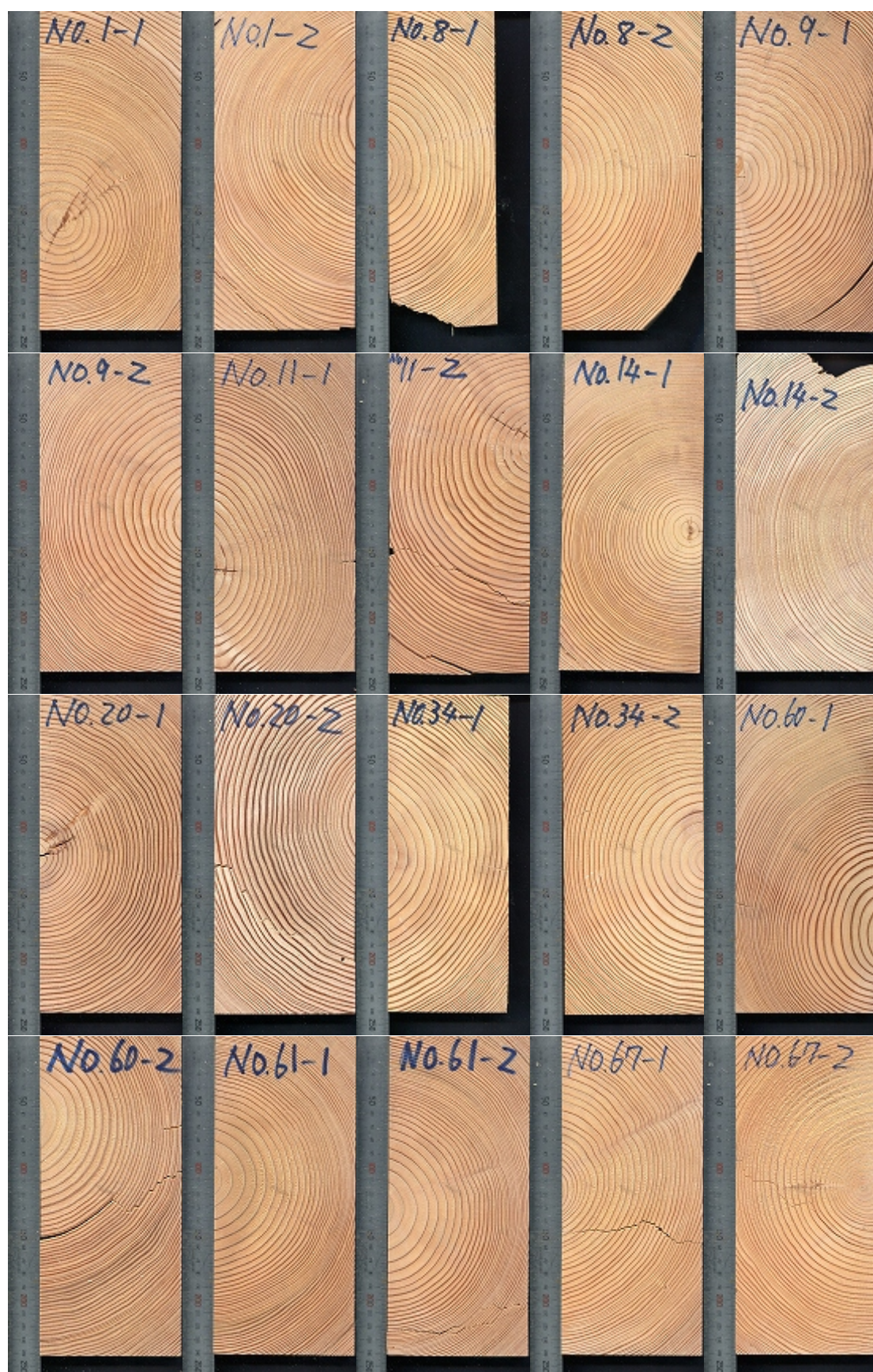


写真 3-19 カラマツの断面のスキャナー画像

4 208 材及び 210 材の乾燥特性及び強度特性

「カラマツ材は曲げヤング係数が高く、特に成熟材になると「ねじれ」が少なくなる上に強度は際立って高くなる」という特性がある。本課題においては、この特性を活かし、「ツーバイフォー住宅」における甲種枠組材のうち横架材として使用することを前提に、208 材及び 210 材について、その利用可能性をスギ材と比較しながら検討した。

4.1 試験方法

4.1.1 供試丸太

カラマツ大径材 20 本及びスギ大径材 20 本を試験材とした。その詳細を表 4-1 及び表 4-2 に示した。カラマツは、末口短径 35.5cm～52.5cm、末口年輪数は 44 年～84 年で、スギ丸太は、末口短径 36.5cm～48.5cm、末口年輪数は 48 年～66 年で 1 本のみ 150 年の材が存在した。

丸太の縦振動ヤング係数 Efr は、カラマツが 12.08（最小 8.50～最大 16.50）kN/mm² で、スギが 7.41（最小 3.70～最大 10.70）kN/mm² であった。

心材率は平均でカラマツが 89.4%、スギが 75.4%であり、カラマツの心材率は高くほぼ 9 割が心材であった。

4.1.2 製材木取り

カラマツ大径材 20 本、スギ大径材 20 本より図 4-1 に示す木取りを基本として 208 材と 210 材を製材した。210 材を主製品とし、まず髓を中心に左右（上下）対称に幅 255 mmのタイコ材を製材、このタイコ材を芯定規により髓を割る木取りで 210 材；50×255×4,000 mmを製材した（木取りの詳細は 1.2.3.3）。また、タイコ材を製材した端材からは、厚さと幅に応じて 208 材；50×205×4,000 mmあるいは 210 材、その他新材料エレメントを製材した。

表 4-1 スギ丸太の概要

試験体 No.	末口						元口		長さ (mm)	重量 (kg)	縦振動 周波数 (Hz)	平均 年輪幅 (mm)	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけ の密度 (kg/m ³)	縦振動 ヤング係数 (Efr)
	直径(mm)			年輪数(年)			直径(mm)									
	短径	長径	心材径	全体	辺材	心材	短径	長径								
平均	410	427	310	61	22	39	461	485	4165	434	408	3.65	75.4	6.5	661	7.61
標準偏差	37	43	39	22	8	15	47	54	81	100	39	0.78	4.3	2.5	71	1.30
変動係数	9.1	10.0	12.7	36.1	34.9	39.5	10.2	11.2	1.9	22.9	9.6	21.4	5.7	38.9	11	17.07
最小値	365	371	250	46	11	27	400	405	4070	313.5	332	1.61	67.6	2.7	536	5.60
最大値	485	513	400	150	50	100	575	610	4432	688	478	5.08	87.3	11.5	824	10.70
データ数	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	20	20	20	20	19
1	380	390	290	53	16	37	470	490	4135	417.0	375	3.63	76.3	11.5	686.43	6.6
3	395	420	305	52	19	33	435	470	4139	369.5	405	3.92	77.2	5.4	614.74	6.9
8	392	423	305	66	23	43	468	480	4120	433.5	478	3.09	77.8	8.1	689.63	10.7
10	375	400	300	49	16	33	425	445	4135	334.5	417	3.95	80.0	5.7	609.00	7.2
11	427	435	325	52	11	41	460	495	4200	441.0	-	4.14	76.1	5.5	647.90	-
12	440	450	350	59	21	38	450	485	4200	566.0	375	3.77	79.5	2.7	824.27	8.2
16	463	472	350	46	19	27	489	535	4432	511.5	390	5.08	75.6	5.0	612.64	7.3
17	371	383	270	65	26	39	400	415	4113	319.5	471	2.90	72.8	3.7	642.83	9.6
19	465	485	360	49	17	32	513	560	4177	688.0	332	4.85	77.4	7.4	819.90	6.3
20	395	395	295	63	30	33	430	435	4117	351.0	427	3.13	74.7	4.6	634.10	7.8
22	389	395	280	66	26	40	415	430	4120	398.5	424	2.97	72.0	3.7	742.54	9.1
25	390	405	295	49	18	31	475	475	4113	359.0	378	4.06	75.6	9.4	583.95	5.6
27	485	513	370	53	20	33	575	610	4165	522.5	424	4.71	76.3	11.2	536.28	6.7
30	411	413	314	63	20	43	475	500	4235	460.5	388	3.27	76.4	8.9	684.45	7.4
31	430	455	320	54	21	33	499	540	4255	498.5	388	4.10	74.4	9.0	644.74	7.0
41	371	404	260	52	23	29	410	445	4120	357.5	415	3.73	70.1	4.9	665.32	7.8
43	370	375	250	54	24	30	400	405	4090	313.5	451	3.45	67.6	3.7	649.95	8.8
48	365	371	265	58	23	35	410	425	4070	317.0	439	3.17	72.6	6.1	642.90	8.2
57	435	453	300	63	23	40	507	510	4235	519.0	341	3.52	69.0	7.6	687.95	5.7
60	458	510	400	150	50	100	522	550	4125	506.0	432	1.61	87.3	6.3	600.48	7.6

表 4-2 カラマツ丸太の概要

試験体 No.	末口						元口		長さ (mm)	重量 (kg)	縦振動 周波数 (Hz)	平均 年輪幅 (mm)	心材率 (%)	細り (mm/m)	見かけ の密度 (kg/m ³)	縦振動 ヤング係数 (Efr)	備考
	直径 (mm)			年輪数 (年)			直径 (mm)										
	短径	長径	心材径	全体	辺材	心材	短径	長径									
平均	396	410	355	68	13	55	441	457	4109	387.3	523	3.04	89.4	5.6	653	12.08	
標準偏差	43	44	43	10	4	10	58	61	28	101.3	41	0.49	3.1	3.5	62	1.86	
変動係数	10.8	10.8	12.0	15.1	30.9	17.7	13.2	13.3	0.7	26.2	7.8	16.0	3.5	62.0	9	15.37	
最小	355	360	315	44	7	34	370	375	4054	259.5	463	2.55	80.8	1.5	560	8.50	
最大	525	550	475	84	20	77	610	615	4164	621.5	600	4.20	93.5	13.1	778	16.50	
データ数	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
13	525	550	475	67	7	60	610	615	4130	621.5	490	4.01	90.5	9.1	580	9.5	
15	390	415	315	74	13	61	452	495	4115	421.5	495	2.72	80.8	8.6	680	11.3	心割れ
16	410	420	350	76	20	56	443	444	4132	434.5	532	2.73	85.4	3.4	727	14.0	
17	385	405	345	69	19	50	410	415	4127	367.0	551	2.86	89.6	2.1	695	14.4	
18	380	405	345	66	12	54	456	472	4164	405.0	510	2.97	90.8	8.6	675	12.2	
21	380	390	335	62	14	48	399	436	4074	348.5	524	3.10	88.2	4.0	676	12.3	②
22	360	370	325	69	14	55	385	385	4084	268.0	595	2.64	90.3	2.4	594	14.0	
26	380	420	340	52	8	44	470	498	4101	489.5	476	3.85	89.5	10.2	778	11.9	
28	360	380	315	44	10	34	390	400	4087	277.5	554	4.20	87.5	3.1	591	12.1	
30	390	395	360	72	11	61	400	420	4054	357.0	600	2.73	92.3	2.2	696	16.5	
32	365	380	340	53	9	44	470	490	4115	343.0	463	3.51	93.2	13.1	584	8.5	② 心割れ
35	355	360	325	67	17	50	370	375	4118	259.5	544	2.67	91.5	1.8	602	12.1	②
37	435	445	400	77	11	66	464	492	4065	447.5	551	2.86	92.0	4.7	665	13.4	心割れ
39	360	370	330	61	11	50	386	396	4116	274.0	559	2.99	91.7	3.2	593	12.6	心割れ
49	465	470	435	84	7	77	525	550	4150	615.5	473	2.78	93.5	8.4	748	11.5	
52	430	440	390	80	20	60	435	459	4104	395.5	488	2.72	90.7	1.5	631	10.1	
56	370	375	320	64	14	50	400	410	4084	346.0	476	2.91	86.5	4.0	714	10.8	節
57	425	425	385	81	12	69	505	515	4111	395.5	529	2.62	90.6	10.3	560	10.6	節
59	360	365	315	71	13	58	395	410	4115	296.0	556	2.55	87.5	4.9	626	13.1	
66	400	410	345	61	11	50	450	459	4142	384.0	493	3.32	86.3	6.0	639	10.7	皮付

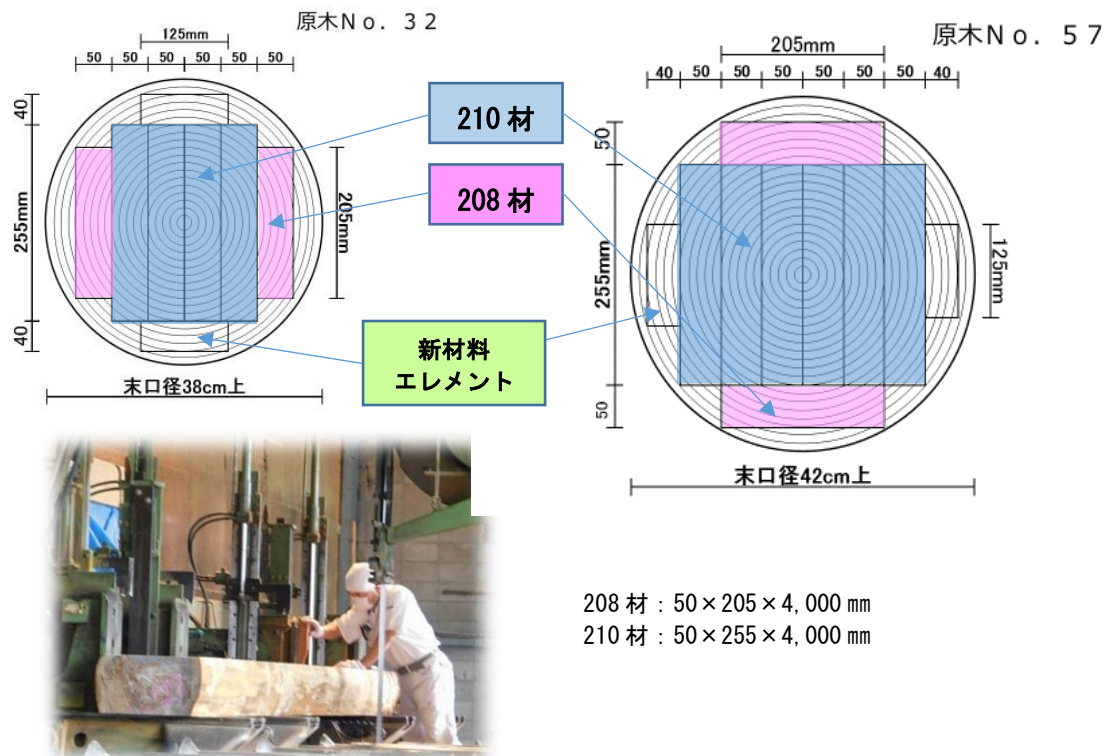


図 4-1 208材及び210材の基本的な木取り

4.1.3 乾燥試験

乾燥スケジュールは、カラマツ材とスギ材共通で図 4-2 のスケジュールで行った。

乾燥は 80℃一定の中温乾燥とし、階段式に温度差を開いた。乾燥終了時に平衡含水率 EMC=10.3%（乾球温度 70℃、温度差 7℃）の調湿処理を 24 時間行った。乾燥期間は全 240 時間（10 日間）の工程で実施した。

なお、カラマツ材の乾燥は、小林木材（株）のエノ産業製エノホットランドで、スギ材の乾燥は、瑞穂木材（株）の新柴設備製 SK 式乾燥機で行った。

乾燥の前と後で 208 材・210 材の長さ、幅、厚さ、重量、含水率（含水率計による測定）、ねじれ、そり・曲がり、カップ（幅ぞり）、材面割れ等の測定を行った。材面割れは、木口から 10cm までの割れは除き、割れ幅 1 mm 以下の割れも除外して割れ長さの合計を測定した。

そり・曲がり、は、スパン 4m での最大矢高を計測し、カップ（幅ぞり）測定のスパンは 208 材が 184 mm、210 材が 235 mmで行った。また、ねじれはスパン 4mとし、平面上に 3 点を固定し、残り 1 点の平面からの浮き上がりを計測した。

表 4-3 カラマツ・スギ共通の乾燥スケジュール

乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	処理時間 (h)	備考
80	80	0	8	
80	75	5	12	
80	70	10	12	
80	65	15	12	
80	60	20	12	
80	50	30	158	
0	0	0	2	クーリング
70	63	7	24	調湿 (EMC:10.3%)
合計 240 時間 (10 日間)				

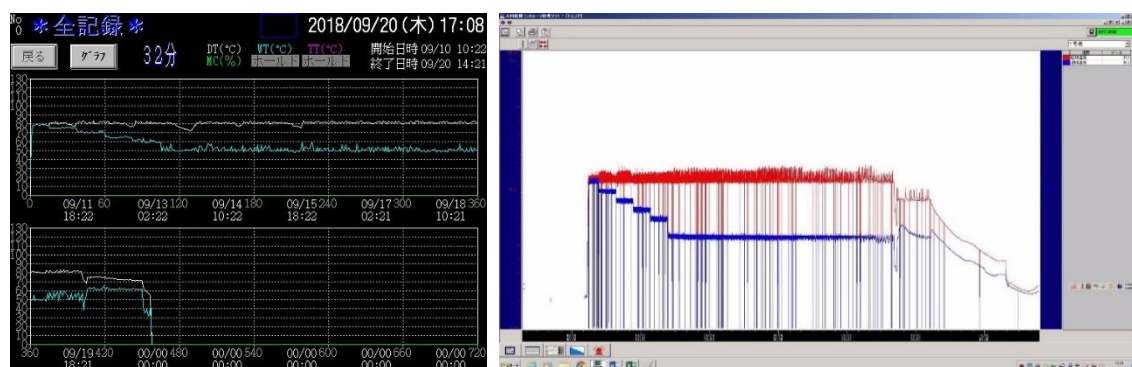


図 4-2 乾燥スケジュールと実用機での実測温度

左図：カラマツ乾燥（小林木材（株））

右図：スギ乾燥（瑞穂木材（株））



写真 4-1 カラマツの乾燥 (小林木材 (株))



写真 4-2 スギの乾燥 (瑞穂 (株))

4.1.4 曲げ試験

乾燥後の形質測定を終了した材は、モルダーにより 208 材は $38 \times 184 \times 4,000$ mm に、210 材は $38 \times 235 \times 4,000$ mm に仕上げた。その後、目視等級区分及び MSR (Machine Stress Rating) を行った後にエッジワイズでの曲げ試験を実施した。

曲げ試験は、図 4-3 に示した 3 等分点 4 点荷重方式で実施した。

208 材については、梁背の 21 倍である 3,864 mm を下部支点間距離 (スパン) とし、上部荷重点間距離を 1,288 mm とした。210 材については、梁背の 21 倍がとれなかったため 16 倍の 3,760 mm を下部支点間距離 (スパン) とし、上部荷重点間距離を 1,253 mm とした。

試験機は、実大材曲げ試験機 (株) 島津製作所 UH-1000kNA を用い、載荷速度は 15mm/min で実施し、荷重を加え始めてから試験体が破壊するまでの時間は 1 分以上となるように行った。荷重点および支点の幅はともに 200mm である。

曲げ試験の様子を写真 4-3 に示した。なお、加重時における試験材の転倒防止のため、下部支点の内側およそ 60 cm の位置に転倒防止治具を試験材からおおよそ 25 mm 離して設置した。

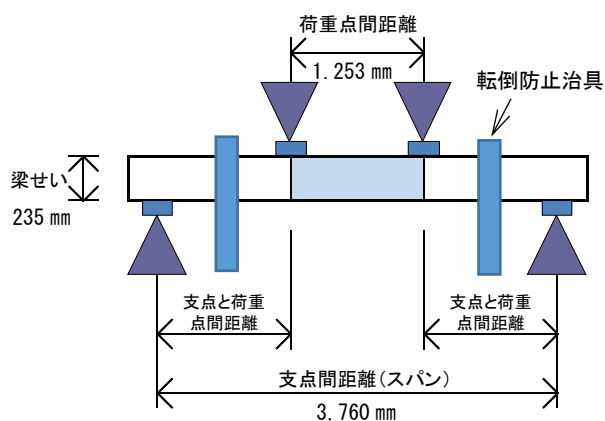


図 4-3 曲げ試験条件 (210 材の場合)



写真 4-3 曲げ試験の様子

たわみの計測は、中央部において、全スパンのたわみ（写真 4-4 左下）と、ヨークを用いてモーメントが一定になる荷重点間のたわみ（写真 4-4 右下）を測定した。

最大荷重 F_{ult} から曲げ強さ（ F_b ）を求め、また、荷重と全スパンのたわみから「見かけの曲げヤング係数（ E_m ）」を、荷重と曲げモーメント一定区間のたわみの関係から「真の曲げヤング係数（ E_b ）」を算出した。



（全スパンのたわみの測定）



（モーメント一定区間のたわみの測定）

写真 4-4 たわみ計測の様子

4.2 試験の結果

4.2.1 乾燥後の「ねじれ」

カラマツを利用する上で大きな問題となる欠点に「ねじれ」がある。板材の利用であれば多少の「ねじれ」は釘打ち等で矯正され問題とされないが、角材等のように断面の大きな材となると釘打ち等による矯正が効かなくなるため、納まり的にも見た目にも大きな問題となる。ここでは、枠組壁工法構造用製材の「ねじれ」について検討した。

枠組壁工法構造用製材における JAS での「ねじれ」の基準を表 4-4 に示した。特級、1 級では 208 材で 29 mm/4m 以下、210 材で 35 mm/4m 以下のかかなり大きな「ねじれ」が許容されている。

今回試験対象としたスギ及びカラマツ大径材から製材された 208 材と 210 材の乾燥後のねじれ量を表 4-5 に示した。また、各段階における出現割合を図 4-4 に示した。

表 4-4 ねじれの JAS 基準

ねじれ 特級1級 は4m材で	208材	29mm/4m以下
	210材	35mm/4m
ねじれ 2級 は4m材で	208材	38mm/4m
	210材	48mm/4m
ねじれ 3級 は4m材で	208材	57mm/4m
	210材	70mm/4m



表 4-5 乾燥後のねじれ

	ねじれ（乾燥後）mm/4m			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	0.9	3.0	4.6	10.1
最小値	0	0	0	0
最大値	8	19	18	42
標準偏差	1.8	4.2	4.6	9.8
変動係数	189.1	139.8	98.7	96.5
試験体数	31	111	36	100
ねじれが有る材の平均値	2.6	5.5	6.2	12.4

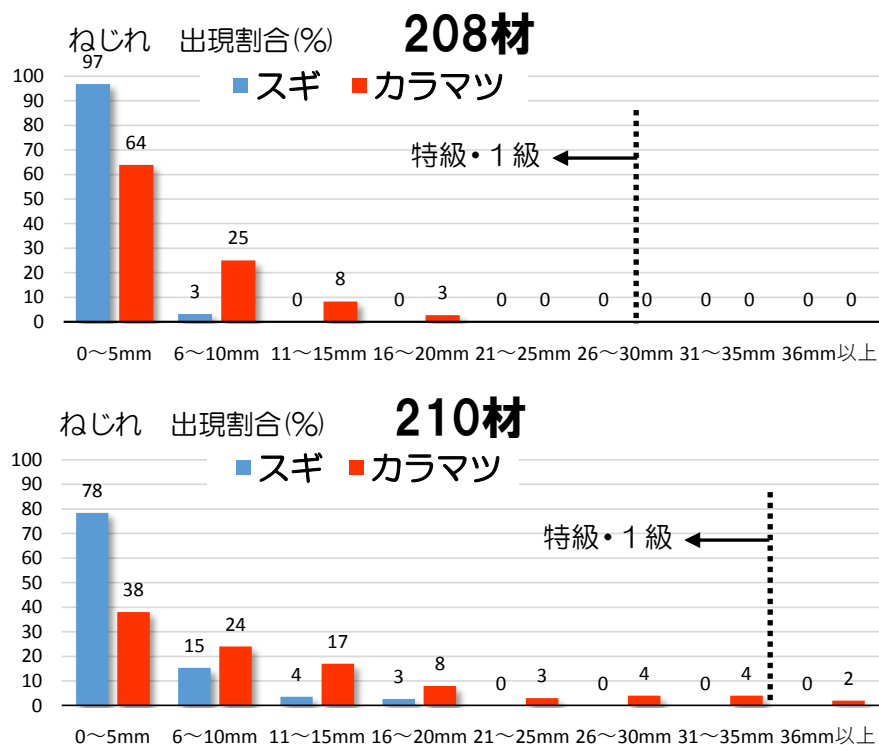


図 4-4 乾燥による「ねじれ」発生 の段階別出現割合

スギの場合、「ねじれ」を問題にするような発生量ではなく、208 材、210 材問わず全ての材が基準値内であった。「ねじれ」に関してスギは、全てが特級・1 級材となった。

一方、カラマツの場合、208 材では「ねじれ」発生 の最大は 18 mm/4m であり全ての材が特級・1 級の評価であった。しかし、210 材では「ねじれ」発生 の最大は 42 mm/4m であり、2 本が 2 級の評価、残りは全て特級・1 級の評価であった。

カラマツの場合、40 mm/4m 近くの「ねじれ」は、材の硬さもあり材厚 38 mm を考えると、かなり困難な矯正が強いられるのではないかと思われた。

「ねじれ」がほとんど発生しなかった材（0～5 mm/4m）は、スギの場合、208では30本/31本（97%）、210材では87本/111本（78%）であった。一方、カラマツの場合は、208では23本/36本（64%）、210材では38本/100本（38%）であり「ねじれ」の発生率が高い。

「ねじれ」が発生した材のみの発生量の平均値を図4-5に示した。

208材と210材は材幅が違うため一概には「ねじれ」の大きさを比較できないが、これを見る限り、「ねじれ」はスギよりもカラマツに大きく発生し、208材より210材に大きく発生する傾向にあった。

208材に比べ210材の方が「ねじれ」が大きいのは、図4-6の208材と210材の木取り位置から、210材は208材より随近くに取り未成熟材（図4-6の茶色部）の割合が多いと考えられ、このことから210材の方が繊維傾斜が大きく（写真4-6）、したがって、「ねじれ」も大きかったことが推測できる。

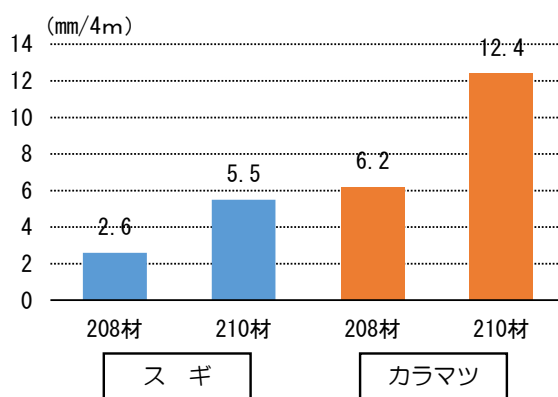


図4-5 ねじれが発生した材のみのねじれ発生量（平均値）
（※注 板幅が異なるため208材と210材の単純比較はできない）

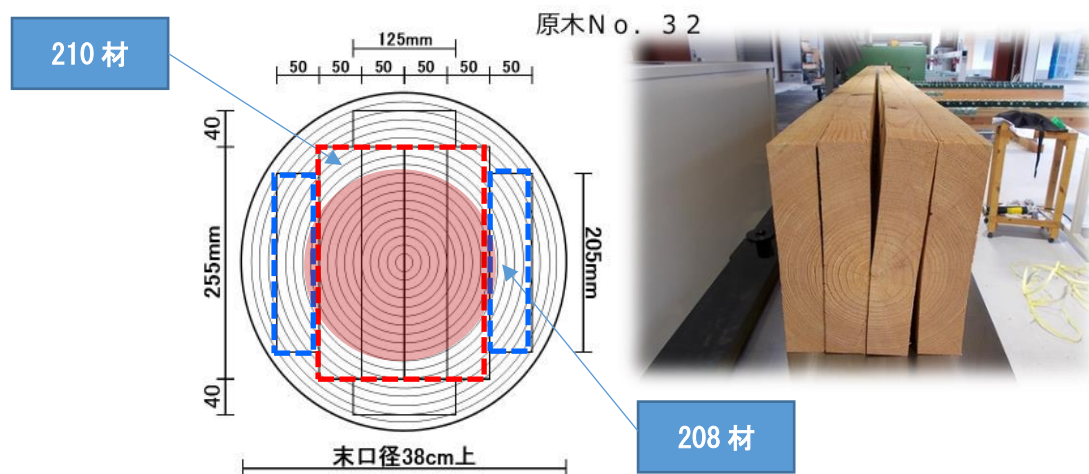


図4-6 208材と210材の基本的な木取り位置
（図中茶色部は未成熟材部を想定）

木材の「ねじれ」は繊維傾斜（写真 4-5）が影響し、この繊維傾斜には S 旋回と Z 旋回が存在する（写真 4-6）。一般に心持ち角材の場合、スギは Z 旋回、カラマツやアカマツは S 旋回の材が多い。今回の試験結果を見ると（図 4-7）、スギ、カラマツともにねじれる方向が違う S 旋回と Z 旋回の両方の材が存在した。

スギは、髄に近い木取りの 210 材は S 旋回の材と Z 旋回の材が半々存在し、これに対し外側木取りの 208 材は S 旋回の材が多くなった。また、カラマツは、髄に近い木取りの 210 材はほとんどが S 旋回であったが、外側木取りの 208 材は Z 旋回の材が多くなった（図 4-7）。

これは、丸太の外側から製材された 208 材や一部の 210 材は、写真 4-5 で見るように、丸太によっては繊維傾斜に起因するねじれ返しが起こっていることが考えられ、これによって、本来 Z 旋回のスギが丸太の外側からは S 旋回の材が製材され、本来 S 旋回のカラマツが丸太の外側から Z 旋回の材が製材されたものと考えられる。

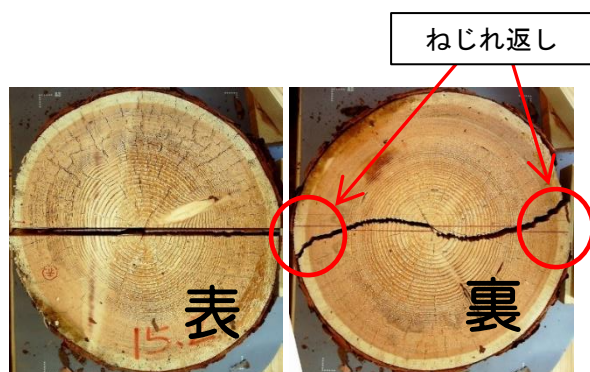


写真 4-5 繊維傾斜による表面と裏面の違い
表面を鉋で割った時の様子



写真 4-6 ねじれの方角

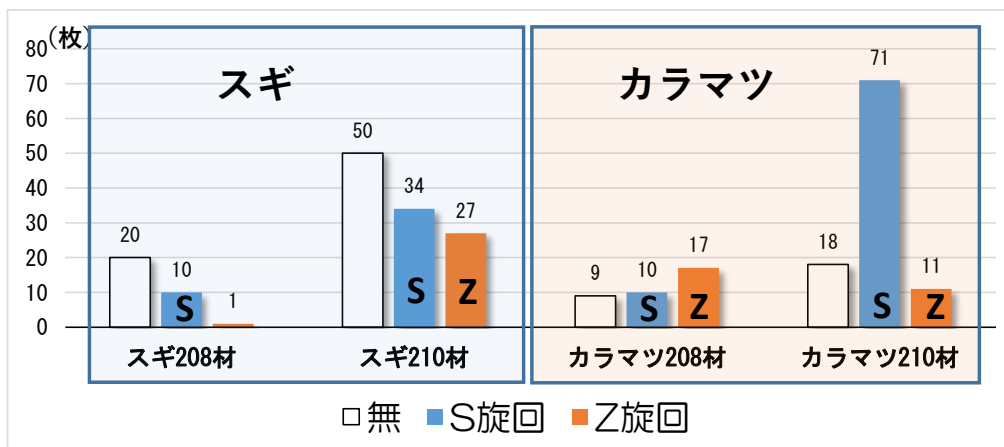


図 4-7 ねじれの方角と出現量

4.2.2 乾燥後の「そり」

枠組壁工法構造用製材における JAS での「そり」の基準を表 4-6 に示した。

特級・1 級材では 208 材、210 材ともに 10 mm/4m 以下の「そり」を許容されている。2 級、3 級の基準は 210 材よりも 208 材の方が厳しい基準となっている。

製材後の「そり」と乾燥後の「そり」の発生状況を表 4-8 に示した。また、各段階における出現割合を図 4-8 に示した。

「そり」の発生が 0 mm～2 mm と極少ない材は、スギの場合、208 材で 16%、210 材で 12% であった。一方、カラマツの場合は、208 材で 22%、210 材で 27% であった。また、「そり」の発生が 0 mm～5 mm の少ない材で見ると、スギの場合、208 材で 47%、210 材で 67% であり、一方、カラマツの場合は、208 材で 47%、210 材で 76% であった。

さらに、「そり」の発生を特級・1 級基準の 0 mm～10 mm としてみると、スギの場合、208 材で 84% の材が、210 材で 83% の材が特級・1 級材となり、一方、カラマツの場合は、208 材で 97% の材が、210 材で 99% の材が特級・1 級材となった。

このように、スギとカラマツを比較した場合、全般的にカラマツの方が「そり」は少なくスギは多かった。また、スギの場合、個体によって大きな「そり」を発生する材が目立ち、カラマツの最大が 210 材の 12 mm/4m であるのに対し、スギの最大は 210 材の 36 mm/4 m であった。

表 4-6 そりの JAS 基準

そり 特級1級 は 4m 材で	208材	10mm/4m 以下
	210材	10mm/4m
そり 2級 は 4m 材で	208材	13mm/4m
	210材	11mm/4m
そり 3級 は 4m 材で	208材	21mm/4m
	210材	19mm/4m



表 4-7 製材後と乾燥後のそり

製材後	そり（製材後）mm/4m			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	8.0	7.5	5.4	4.6
最小値	0	0	0	0
最大値	18	20	17	14
標準偏差	5.0	5.7	3.7	3.2
変動係数	62.0	76.1	69.0	69.6
試験体数	31	111	36	100

乾燥後	そり（乾燥後）mm/4m			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	6.2	7.4	4.6	3.9
最小値	0	0	0	0
最大値	23	36	11	12
標準偏差	5.0	5.7	3.0	2.6
変動係数	81.4	76.9	63.8	66.4
試験体数	31	111	36	100

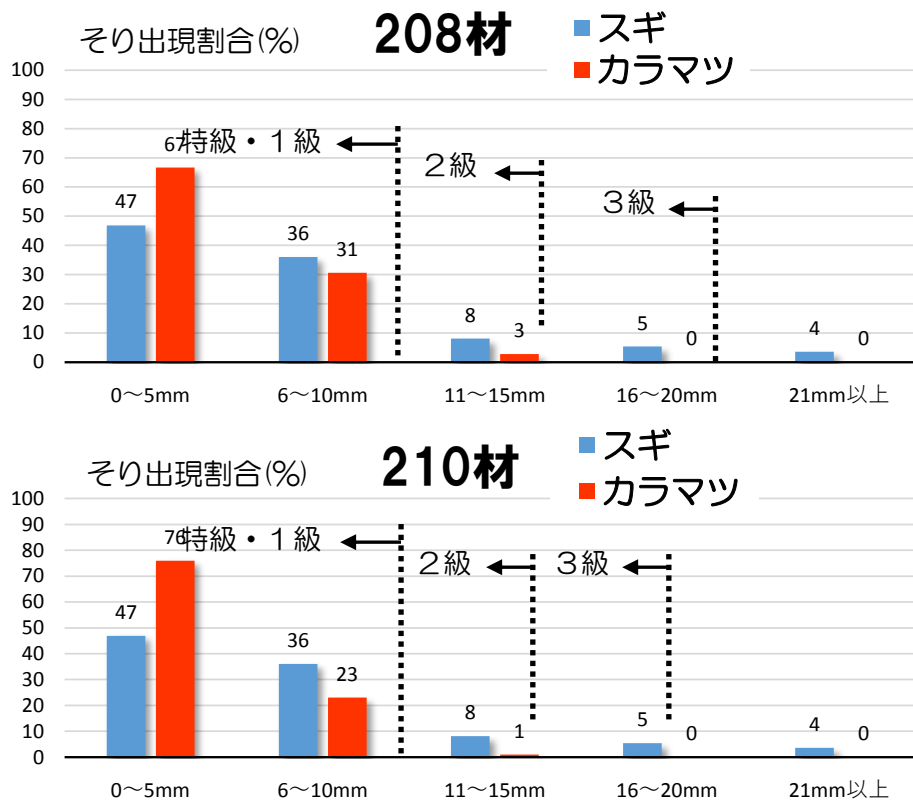


図 4-8 乾燥による「そり」発生段階別出現割合

製材後及び乾燥後の「そり」の平均値を図 4-9 に示した。

スギはカラマツに比べ製材後、乾燥後ともに「そり」は大きい。

乾燥後の「そり」と製材後の「そり」の平均値を比較すると、樹種、材種問わず、乾燥後の方が少なくなるが、一般に、乾燥収縮によって乾燥後の「そり」は製材後に比べて小さくなると考えられるが、今回の試験ではそのような結果にはならなかった。このことは、「そり」の発生する方向が木表側であるか木裏側であるかが影響していた。

製材後の「そり」は、スギの場合、208 材で 87%の材が、210 材では 82%の材が木表側に発生し、カラマツの場合は、208 材で 67%の材が、210 材では 79%の材が木表側に発生した (図 4-10)。

これが乾燥により同じ方向にそるのであれば、発生量は増えても木表、木裏の割合は変化しないと思われる。スギの場合、製材時に木表側に発生した材は、208 材で 87%から 45%に、210 材では 82%から 49%に変化した。一方、カラマツの場合は、製材時に木表側に発生した材は、208 材で 67%から 78%に、210 材では 79%から 35%とその数字に変化が生じた。

製材後から乾燥後にかけての「そり」が、木表側から木裏側に、あるいは、木裏側から木表側に逆転した材は、スギでは 142 本中 52 本 (37%) の材が、カラマツでは 136 本中 58 本 (43%) の材が乾燥により逆転した。

製材後に外側（木表側）に反った材は、乾燥後には内側（木裏側）に反る傾向にあり、この現象は立木段階での成長応力と乾燥収縮、乾燥時の加重等による複雑な応力が影響しているのではないかと考えられる。

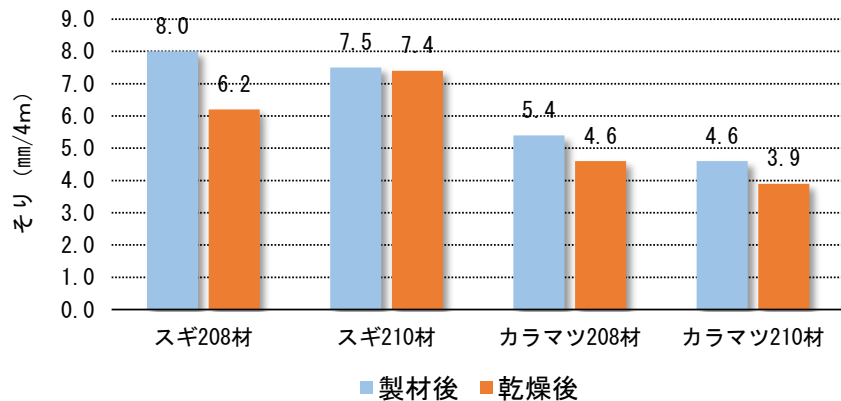


図 4-9 製材後及び乾燥後の「そり」

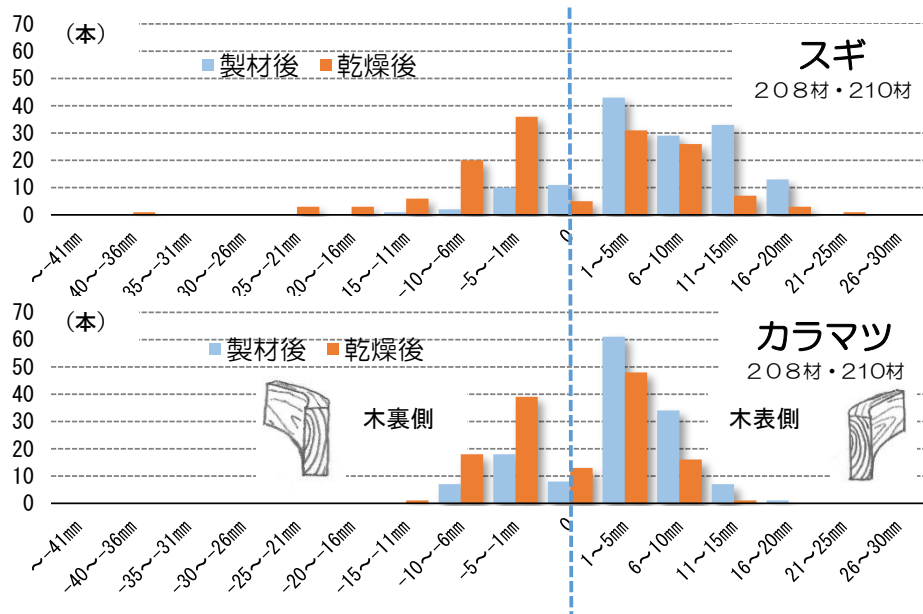


図 4-10 製材後及び乾燥後の「そり」発生 の階級別度数分布

4.2.3 乾燥後の「曲がり」

製材後及び乾燥後の「曲がり」発生量を表 4-8 及び図 4-11 に示した。

表 4-8 製材後及び乾燥後の「曲がり」

製材後	曲がり（製材後）mm/4m			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	1.1	2.2	2.3	1.8
最小値	0	0	0	0
最大値	3	8	6	7
標準偏差	1.0	1.6	1.9	1.7
変動係数	90.5	71.1	82.6	90.9
試験体数	31	111	36	100

乾燥後	曲がり（乾燥後）mm/4m			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	2.2	3.7	2.8	2.9
最小値	0	0	0	0
最大値	7	18	7	10
標準偏差	2.4	3.3	1.8	2.2
変動係数	108.8	89.0	62.9	76.5
試験体数	31	111	36	100

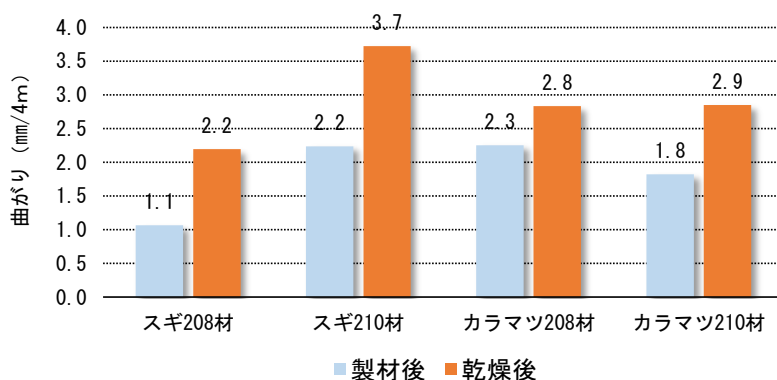


図 4-11 製材後及び乾燥後の「曲がり」

平均値を見ると、乾燥後の「曲がり」は製材後と比べ、その発生量は大きくなった。

枠組壁工法構造用製材の JAS における「曲がり」の基準は、特級、1 級材が材長の 0.2% 以下、2 級、3 級材が 0.5% 以下と規定されている。つまり、本試験では 4m 材を供試しているため、特級、1 級材は 8 mm 以下、2 級、3 級材は 20 mm 以下の基準となる。

スギ、カラマツを問わず「曲がり」の発生は、平均値で製材後に 1~2 mm 程度、乾燥後には 3~4 mm 程度であり、基準値内の材が多かった。

特級、1 級基準の 8 mm を超える材は、乾燥後で 208 材ではスギ、カラマツともに無かったものの、210 材ではスギに 9 本、カラマツでは 2 本存在した。

4.2.4 乾燥後の「カップ（幅ぞり）」

乾燥後の「カップ（幅ぞり）」を表 4-9 に示した。

「カップ」の測定は、208 材と 210 材で異なるため両者の比較は単純にはできないが、208 材では、スギが平均 1.36 mm/184 mm で最大は 2.66 mm であり、カラマツが平均 0.70 mm/184 mm で最大は 1.87 mm であった。また、210 材では、スギが平均 2.55 mm/235 mm で最大は 5.50 mm であり、カラマツが平均 1.78 mm/235 mm で最大は 4.25 mm であった。

カラマツに比べスギの方が「カップ」は少なかった。

製材後 50 mm の厚さは、乾燥後のモルダー仕上げにより全て 38 mm 厚に調整された。

表 4-9 乾燥後の「カップ（幅ぞり）」

乾燥後	カップ（幅ぞり）			
	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	1.36	2.55	0.70	1.78
最小値	0.11	0.06	0.04	0.02
最大値	2.66	5.50	1.87	4.25
標準偏差	0.58	1.10	0.50	1.07
変動係数	42.8	43.2	71.5	59.8
試験体数	31	111	35	100



※カップ測定のスパンは、208 材が 184 mm、210 材が 235 mm で行った。

4.2.5 歩止まりと目視等級区分

大径材 20 本（末口短径 36.5cm～48.5cm）から 208 材及び 210 材を製材した最終の製品歩止まりは、スギの場合、平均で 35.4%（MIN:31.7%～MAX:39.9%）、カラマツでは、平均で 36.0%（MIN:31.9%～MAX:39.5%）であった（歩止まりの詳細については表 1-16 及び表 1-17 を参照）。

今回の木取りは 210 材を中心に製材したものであったが、その製材品の内訳は、スギは 208 材が 30 枚（21%）、210 材が 111 枚（79%）の製材量であった。これに対しカラマツでは 208 材が 36 枚（27%）、210 材が 99 枚（73%）の製材量であった（図 4-12）。

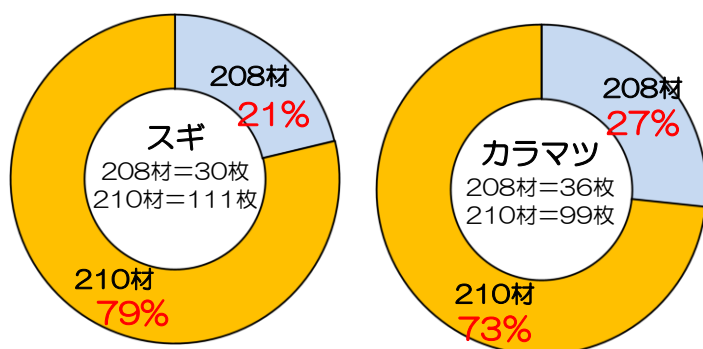


図 4-12 丸太各 10 本から製材された
208 材と 210 材の割合

得られた 208 材と 210 材のモルダージ掛け後の製品を、三井ホームコンポーネント（株）の格付士の方により、目視等級区分格付けを行った。その結果を図 4-13 に示した。

スギ 210 材の場合、この段階での格付けでは寸法基準オーバーの材が多くあり（寸法基準：±1.5 mm）、格別の材が目立った。しかし、これはモルダージの精度を高めることで回避できると判断でき、適正な加工を行うことで基準寸法が確保できるという前提で格付けをし直した。その結果が図 4-14 である。

この場合のスギ 210 材は、3 級に格付けされた材の内、75%が「そり」が決定因子となって 3 級に格付けされ、また、格別の内 57%の材が「そり」により格別となった。

このように、スギの場合、格付けを低下させる原因の多くは「そり」であった。

一方、カラマツの場合、208 材、210 材ともに含水率計 MOCO2 による含水率測定で 19%以上の材が多かったため、これにより格別が多い結果となった（図 4-6）。これは乾燥の期間延長等で 19%以下の乾燥が可能であると考えられ、適正な乾燥を行うことで、含水率は基準内に納まると想定でき、その結果を図 4-15 に示した。ちなみに、曲げ強度試験を行った材の全乾法における含水率は、スギ、カラマツ問わず全ての材が 19%以下と基準内であった。

カラマツの場合は、そり、曲がりが多く、格付けも上位等級の材が多くなった。208 材における 2 級、3 級の下位等級材では「厚方向の丸身」が原因していた。また、210 材における下位等級材では「厚さに係る節」と「そり」が原因していた。

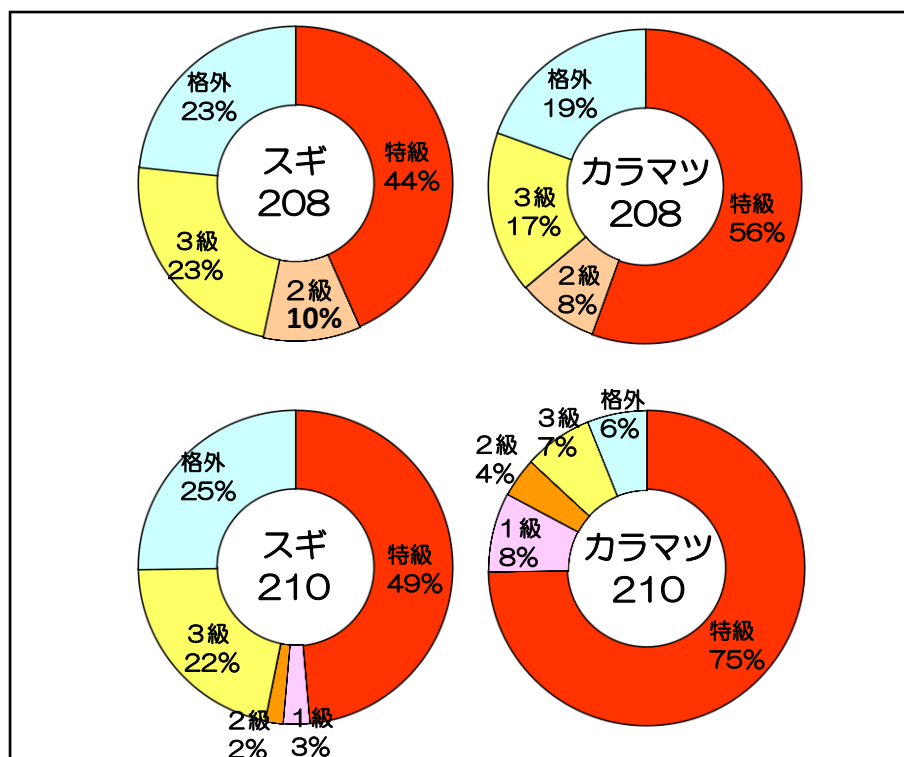


図 4-13 208 材と 210 材の格付け（含水率・寸法オーバー有）

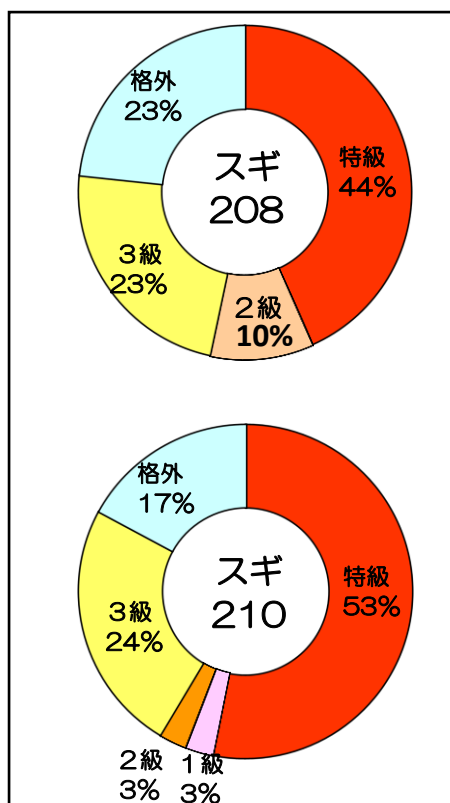


図 4-14 寸法を基準内とした場合の格付け（スギ）

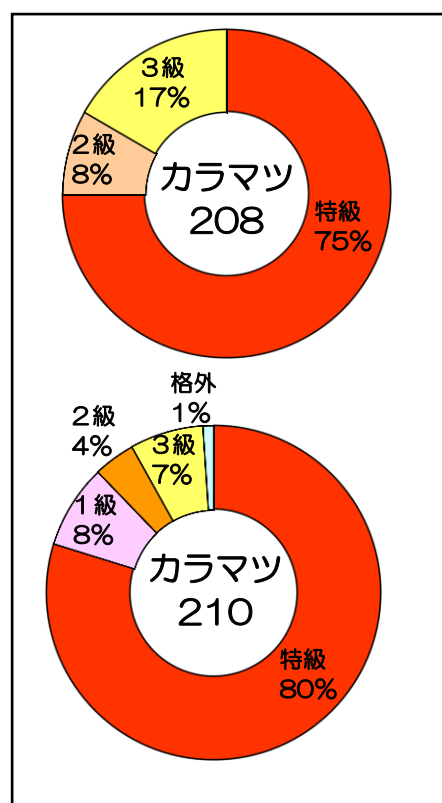


図 4-15 含水率を基準内とした場合の格付け（カラマツ）

4.2.6 機械等級区分（MSR：Machine Stress Rating）

目視等級区分を終了した材は斎藤木材工業（株）において集成材ラミナ用の機械等級区分機により、曲げヤング係数の測定を行った（MSR 写真 4-7）。

MSRによるヤング率測定結果を表 4-10 に示した。またヤング係数区分別の頻度を図 4-16 及び図 4-17 に示した。



写真 4-7 機械等級区分（MSR）斎藤木材工業（株）

表 4-10 機械等級区分（MSR）による曲げヤング率の測定結果

	スギ		カラマツ	
	208材	210材	208材	210材
平均値	9.47	8.63	15.06	12.79
最小値	7.2	5.8	12.1	8.6
最大値	12.5	13.0	18.8	17.6
標準偏差	1.45	1.41	1.54	1.65
変動係数	15.3	16.3	10.2	12.9
試験体数	31	111	36	100

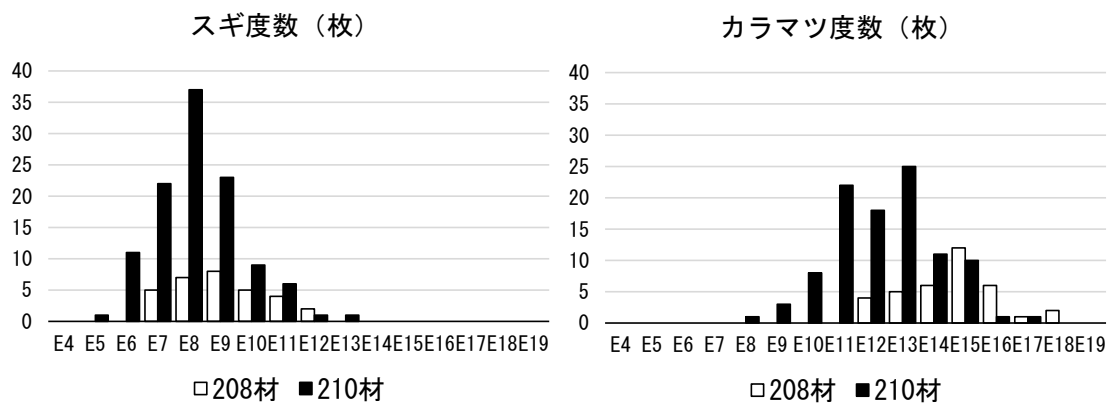


図 4-16 曲げヤング係数の階級別出現頻度（MSR）

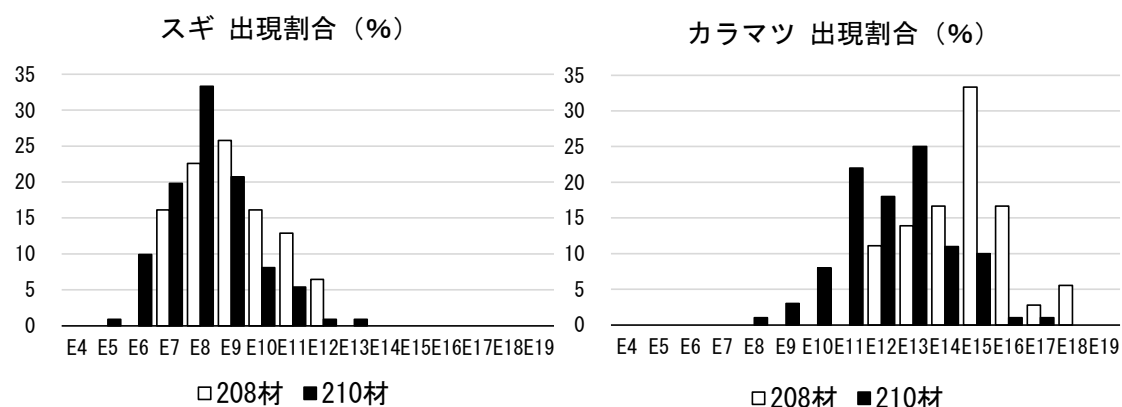


図 4-17 曲げヤング係数の階級別出現割合 (MSR)

スギの場合、MSRによるヤング係数は、208材で平均9.47kN/mm²、210材で8.63kN/mm²であった。210材に比べ208材の方がやや高い傾向にあるのは、208材の方が210材に比べ丸太の外側から木取られているため成熟材の割合が大きく、このことが影響しているのではないと思われる。

一方、カラマツの場合は、208材が平均15.06kN/mm²、210材が12.79kN/mm²であった。210材に比べ208材の方がかなり高い傾向にあり、スギと同様に208材の方が成熟材の割合が大きいことが影響しているものと思われる。

カラマツは、曲げ強度性能に関して、未成熟材と成熟材とに大きな差が表れるのではないと思われる。

4.2.7 曲げ強度試験

曲げ試験の結果を、208材について表4-11に、210材について表4-12に示した。

表 4-11 曲げ強度試験の結果 (208材)

スギ208材							
	動的 ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけの ヤング係数 (kN/mm ²)	真の ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均値	9.46	8.75	9.02	41.6	8.5	0.348	2.75
最小値	6.69	5.88	5.76	18.0	7.1	0.305	1.36
最大値	13.54	12.61	12.89	63.7	12.4	0.421	3.97
標準偏差	1.99	1.92	2.14	13.1	1.3	0.034	0.64
変動係数	21.0	22.6	23.8	31.3	14.9	9.9	23.3
試験体数	16	15	16	16	16	16	16

カラマツ208材							
	動的 ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけの ヤング係数 (kN/mm ²)	真の ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均値	15.55	14.25	14.87	61.9	12.2	0.540	2.17
最小値	11.96	10.81	11.36	34.9	10.3	0.473	1.44
最大値	21.60	19.70	21.24	94.1	17.3	0.629	3.30
標準偏差	2.43	2.23	2.43	16.8	1.9	0.040	0.54
変動係数	15.6	15.7	16.4	27.1	15.9	7.4	24.7
試験体数	18	18	18	18	18	18	18

表 4-12 曲げ強度試験の結果 (210 材)

スギ210材								
	動的 ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけの ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけのヤング係数 スパン補正值 (kN/mm ²)	真の ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均値	8.31	7.96	8.15	8.30	37.5	7.7	0.338	5.2
最小値	5.74	5.69	5.82	5.83	15.3	6.2	0.269	1.9
最大値	12.76	11.76	12.03	12.55	66.5	9.9	0.440	10.1
標準偏差	1.52	1.44	1.50	1.65	11.3	0.9	0.031	2.1
変動係数	18.3	18.1	18.1	19.9	30.0	12.2	9.1	40.1
試験体数	58	58	58	58	58	58	58	58
カラマツ210材								
	動的 ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけの ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけのヤング係数 スパン補正值 (kN/mm ²)	真の ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	平均年輪幅 (mm)
平均値	12.98	12.41	12.69	13.00	48.4	11.0	0.481	5.0
最小値	8.70	7.52	7.70	7.97	20.4	8.8	0.397	2.0
最大値	20.03	18.31	18.73	21.93	76.5	18.2	0.595	9.0
標準偏差	2.35	2.18	2.23	2.59	14.4	1.9	0.049	2.1
変動係数	18.1	17.6	17.6	19.9	29.8	17.3	10.1	41.4
試験体数	50	50	50	50	50	50	50	50

※ 見かけのヤング係数スパン補正值は枠組壁工法構造用製材の JAS に従い、
見かけのヤング係数に 1.023 を乗じた数値

4.2.7.1 曲げヤング係数

動的ヤング係数と真のヤング係数及び見かけのヤング係数それぞれの関係を 208 材について図 4-18 に、210 材について図 4-19 に示した。

208 材及び 210 材ともに、動的ヤング係数と真のヤング係数、及び動的ヤング係数と見かけのヤング係数は強い相関関係にあった。特に 208 材については、スギ、カラマツともに強い相関関係であった。

また、相関の強さは真のヤング係数よりも見かけのヤング係数の方がやや強かった。

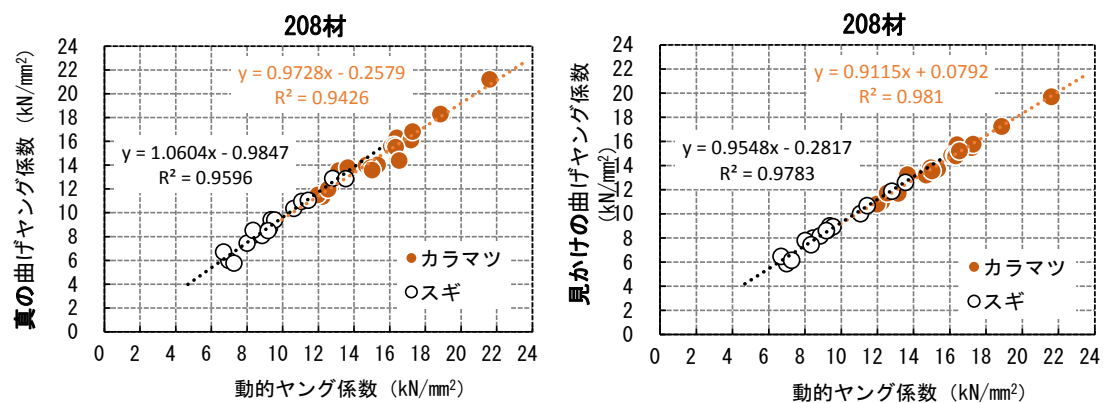


図 4-18 動的ヤング係数と真のヤング係数及び見かけのヤング係数 (208 材)

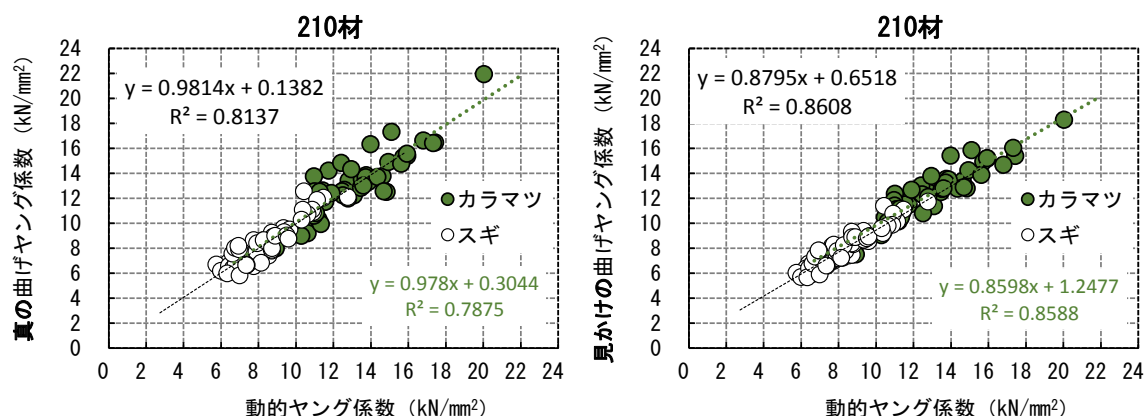


図 4-19 動的ヤング係数と真のヤング係数及び見かけのヤング係数 (210 材)

4. 2. 7. 2 補正後の見かけの曲げヤング係数

曲げ試験における見かけのヤング係数の度数分布割合を、208 材について図 4-20 に、210 材について図 4-21 に示した。なお、210 材の見かけのヤング係数においては、枠組壁工法構造用製材の JAS 規定に従い、曲げ試験の下部スパンが梁背の 21 倍が確保できず 16 倍となってしまったため、補正值として見かけのヤング係数に 1.023 を乗じた値を用いた。

スギの場合、208 材ではそのピークが E8 (ヤング係数 8kN/mm²以上 9kN/mm²未満) にあり、210 材では E7 がピークであった。一方、カラマツの場合では、208 材でのピークは E13 で 210 材では E12、E13 であった。両樹種とも 208 材の方が上位に位置していた。

見かけの曲げヤング係数の補正後の平均値は、スギ 208 材が 8.75kN/mm² (補正無)、スギ 210 材が 8.15kN/mm²であり、一方、カラマツ 208 材は 14.25kN/mm² (補正無)、カラマツ 210 材が 12.69kN/mm²であった。カラマツはスギに比べ高いヤング係数を示し、また、丸太の最外部から製材された 208 材は、スギ、カラマツともにその内側から製材された 210 材に比べ高い値を示した。

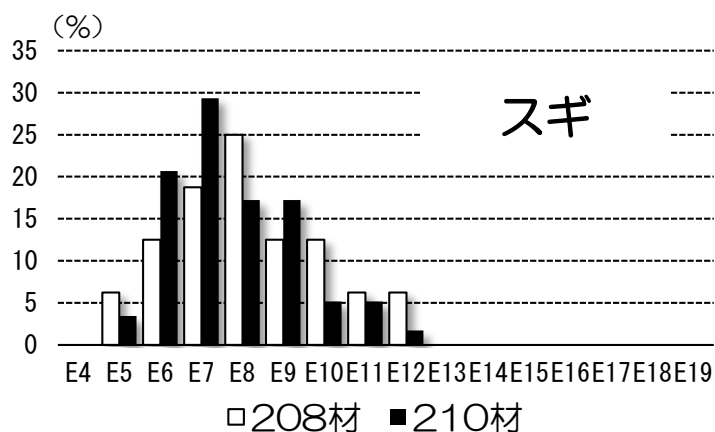


図 4-20 見かけのヤング係数の階級別出現割合 (%) スギ

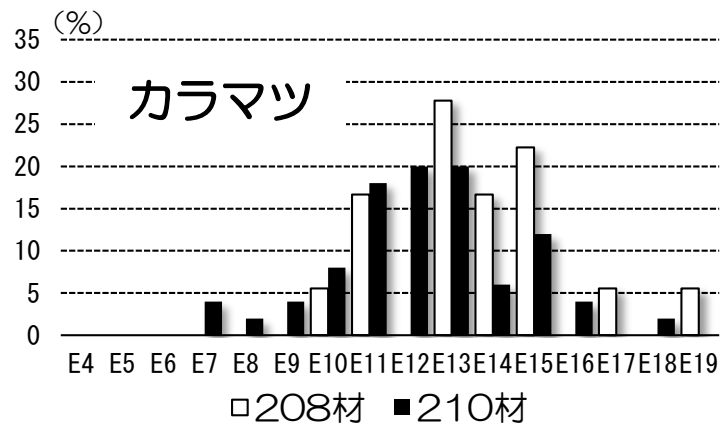


図 4-21 見かけのヤング係数の階級別出現割合 (%) カラマツ

4.2.7.3 曲げ強さ

今回の曲げ試験では、208 材は梁背 21 倍のスパンで、210 材は梁背の 16 倍のスパンで行ったが、せん断で破壊した材も多く見られた。スギ 208 材では 1 本、210 材では 3 本、カラマツ 208 材では 0 本、210 材では 7 本の材がせん断破壊した。また、強かった材では上部の圧縮破壊も見られた。

曲げヤング係数（真のヤング係数と見かけのヤング係数）と曲げ強さの関係を 208 材について図 4-22 に、210 材について図 4-23 に示した。

曲げ強さの平均は、スギ 208 材が 41.6N/mm²、スギ 210 材が 37.5N/mm²であり、一方、カラマツ 208 材は 61.9N/mm²、カラマツ 210 材が 48.4N/mm²であった。曲げヤング係数同様に、カラマツはスギに比べ高い強度を示し、また、丸太の最外部から製材された 208 材は、スギ、カラマツともにその内側から製材された 210 材に比べ高い強度を示した。

曲げヤング係数と曲げ強さの関係では、真のヤング係数及び見かけのヤング係数ともに曲げ強さとの相関関係は強いが、両者を比較すると、スギ、カラマツともに見かけのヤング係数の方が曲げ強さとの相関は強かった。

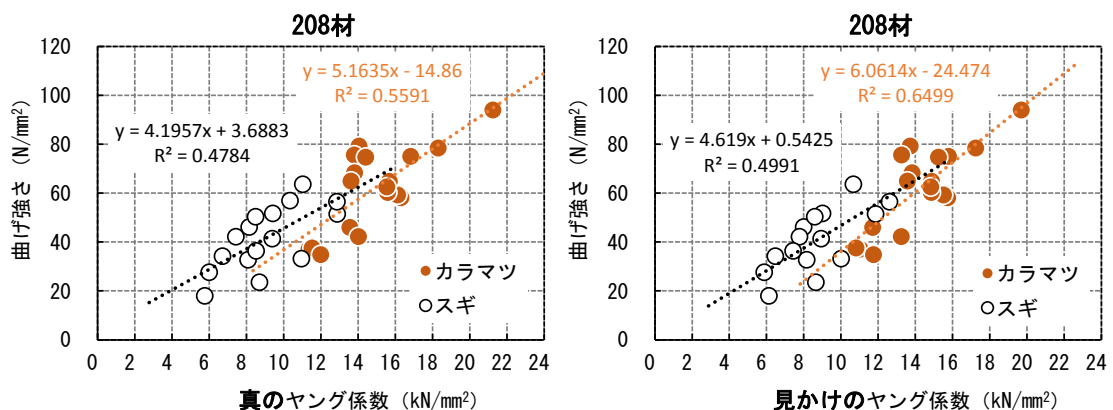


図 4-22 208 材における曲げヤング係数と曲げ強さの関係

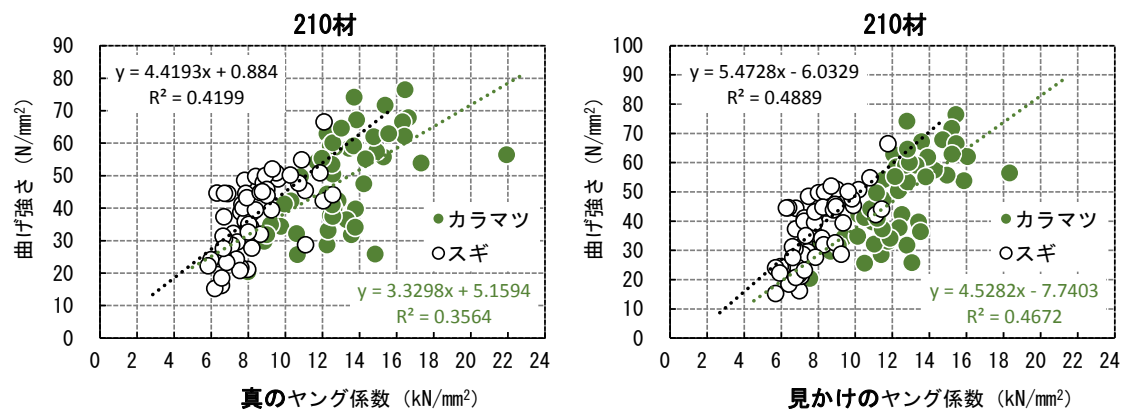


図 4-23 210材における曲げヤング係数と曲げ強さの関係

4.2.7.4 曲げ強さと密度、平均年輪幅の関係

全乾密度と曲げ強さの関係を図 4-24 に、平均年輪幅と曲げ強さの関係を図 4-25 に示した。

全乾密度が高いほど、また、平均年輪幅が狭いほど曲げ強さは高くなる傾向は見られるが、ばらつきが大きくほとんど相関関係は無かった。その中で、カラマツの平均年輪幅との間に弱い相関関係が見られた。

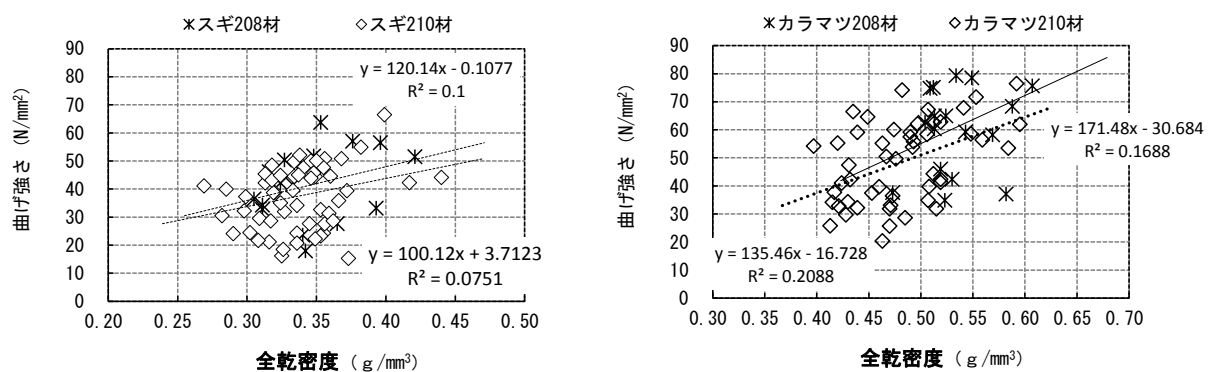


図 4-24 全乾密度と曲げ強度の関係

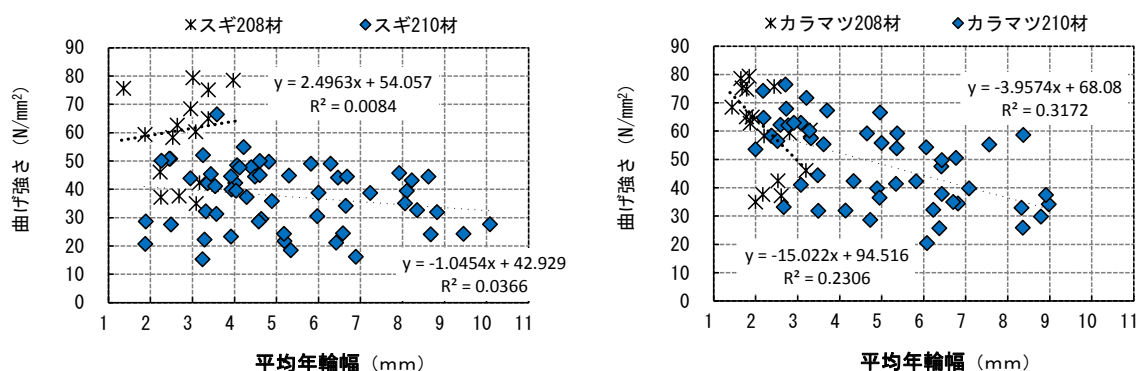


図 4-25 平均年輪幅と曲げ強度の関係

4.2.7.4 その他

その他、スギ大径材やカラマツ大径材を 208 材や 210 材として利用する場合、丸太の段階において、長期間放置しておいた丸太（写真 4-8）や皮を剥いたまま放置しておいた丸太（写真 4-9）では、丸太段階で表面割れが生じ、これが製材時の割れとなって現れ（写真 4-10）、最後の製品にまで影響した。伐倒から製材、乾燥まではできるだけ短期間に行うことが望ましいと考える。

また、髓を割る製材では、カラマツについては髓割れ（写真 4-11）やそこから滲出するヤニ（写真 4-12）が問題となり、スギでは、乾燥に伴う髓割れが目立った（写真 4-13）。

今回試験に供したスギ丸太は A 材であったが、節も目立ち等級的には下位の丸太であった。上級の丸太であればさらに高品質の 208 材、210 材が得られるものと思われる。



写真 4-8 長期間丸太のまま放置されたスギ



写真 4-9 皮剥き後、製材を待つカラマツ



写真 4-10 製材時に既に存在する表面割れ

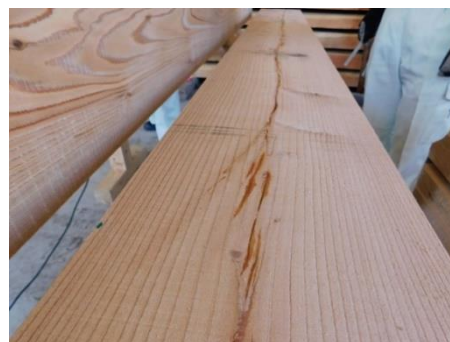


写真 4-11 製材時に髓を割ると
髓割れが生じる（カラマツ）



写真 4-12 髓割れ部分からのヤニ滲出（カラマツ）



写真 4-13 乾燥後の髓割れ（材面割れ）（スギ）

5 接着重ね梁Cタイプ及び構造用集成材の乾燥及び強度性能

大径A材丸太の外側から製材される平割材は、そのほとんどが成熟材部であり繊維傾斜が小さいため、ネジレの発生が心持ち材に比べて小さく、ヤング係数が高いことが明らかになっている。

本課題においては、大径A材丸太から「心持ち梁桁材」、「心去り梁桁材」、「210・208材」を横架材として製材した外周部から木取られる平割材を利用して、接着重ね梁Cタイプおよび構造用集成材を作製することによって、その乾燥及び強度特性を検討する。

5.1 試験方法

5.1.1 試験体

大径A材丸太から「心持ち梁桁材」、「心去り梁桁材」、「210・208材」をそれぞれ主製品として製材し、その外周部から製材される平割材を試験体とした。試験体の木取り方法の詳細は、「Ⅲ 1 供試した大径材の諸元及び木取り方法と歩止り」に記載している。

図5-1に心持ち木取りからの製材を示し、心去り木取りからの製材を図5-2に、210材木取りからの製材を図5-3に示す。

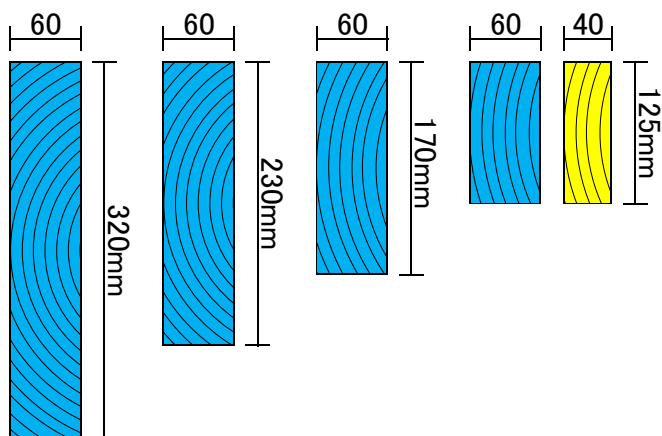


図 5-1 心持ち木取りからの製材

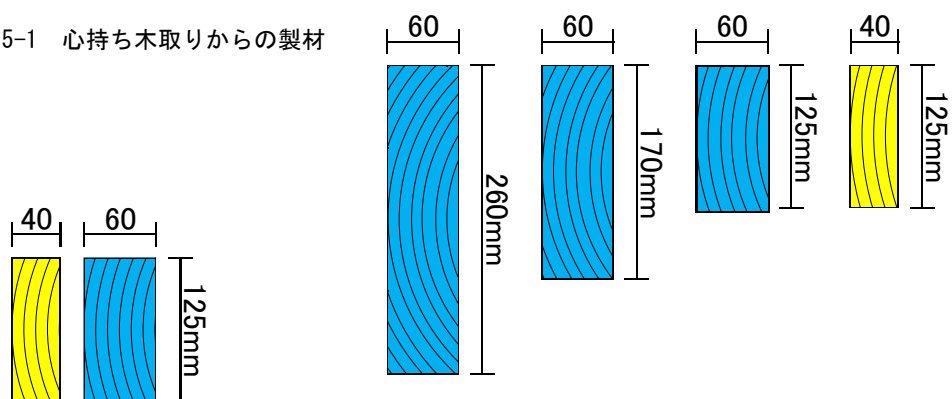


図 5-2 心去り木取りからの製材

図 5-3 210材木取りからの製材

5.1.2 試験体の乾燥

心持ち及び心去り木取りからの製材は、それぞれ主製品の乾燥を先に行うため、栈積みの状態で1か月から3か月間天然乾燥を実施した（写真5-1）。その後、表5-1に示す中温乾燥スケジュールで乾燥した。一方、210材木取りからの製材は、210・208材と同一乾燥機で乾燥した後、1か月から2か月養生した（写真5-2）。

上記の乾燥後、接着重ね梁Cタイプ及び構造用集成材の作製前に、乾燥後の形質等を測定した。測定項目は、寸法、重量、縦振動周波数、そり、曲がり、ねじれ、含水率計含水率等とした。なお、乾燥前（製材直後）の測定については、乾燥後の測定項目の中で、そり、曲がり、ねじれ以外を測定した。しかし、カラマツ心持ち木取りの一部（製材寸法40×125mm）、スギ心持ち木取り製材の全部においては測定しなかった。

乾燥測定後の平割材の一部を用いて、接着重ね梁Cタイプ及び構造用集成材を作製し、曲げ強度試験を実施した。全乾法含水率については、曲げ試験終了後、非破壊部から含水率試験片を切り出し、全乾法含水率を測定した。



写真5-1 栈積み天然乾燥の実施状況

表5-1 平割材の乾燥スケジュール

乾燥方法		蒸気式中温乾燥
		乾球/湿球/温度差/時間
乾燥 スケ ジュ ール	Step1: 蒸煮	80°C/80°C/0°C/8h
	Step2: 中温乾燥	80°C/75°C/5°C/12h
		80°C/70°C/10°C/18h
		80°C/65°C/15°C/20h
		80°C/60°C/20°C/24h
		80°C/50°C/30°C/180h
	Step3: クーリング	0°C/0°C/0°C/2h
	Step4: 調湿	70°C/63°C/7°C/24h
		全行程12日間



写真5-2 210材木取りからの製材の乾燥

5.1.3 試験体の作製及び曲げ試験の方法

5.1.3.1 接着重ね梁Cタイプの作製

平割材のうち、製材寸法 $60 \times 170\text{mm}$ を中心材として、製材寸法 $60 \times 125\text{mm}$ を上下材として使用して、梁せい 240mm 、梁はば 105mm の接着重ね梁Cタイプを作製した（図 5-4、写真 5-3）。

平割材の組み合わせは、中心の平割材 2 枚は同一機械等級で構成した。また、上下 2 枚も同一機械等級を組み合わせて作製した。作製は、「信州型接着重ね梁Cタイプ」の製造工場である斎藤木材工業ナガト工場で行った。接着剤はレゾルシノール・フェノール樹脂、塗布量 325g/m^2 、圧縮圧力 10kg/cm^2 で作製した。なお、圧縮は、上下からの 1 回のみとして、中心材の接着は、はみ出し防止の側圧のみとした。

試験体数は、使用できる平割材の枚数で作製できる最大の数とした。カラマツは 7 体、スギは 11 体作製した。

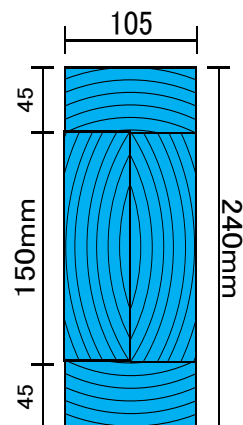


図 5-4 接着重ね梁Cタイプの断面



写真 5-3 接着重ね梁Cタイプ

5.1.3.2 構造用集成材の作製

構造用集成材は、平割材のうち製材寸法 $40 \times 125\text{mm}$ を使用し、製品寸法：梁せい 240mm 、梁はば 105mm の構造用集成材を作製した（図 5-5、写真 5-4）。構造用集成材のラミナの等級構成は、対称異等級構成と同一等級構成で作製した。接着剤はレゾルシノール・フェノール樹脂、作製は、斎藤木材工業ナガト工場で行った。

試験体数は、使用できる平割材の枚数で作製できる最大の数とした。カラマツは 10 体、スギは 5 体作製した。

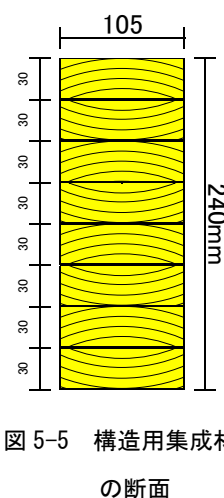


図 5-5 構造用集成材の断面



写真 5-4 構造用集成材

5.1.4 曲げ強度試験

接着積層後、縦振動周波数及び T.G.H 法により E_{ofb} と G_{fb} を測定し、実大材曲げ試験機 UH-1000Kna（島津製作所）を用いて曲げ強度試験を行った。支点間距離 3900mm（梁せいの 16.25 倍）、荷重点間距離 1300mm の 3 等分点 4 点荷重方式、載荷速度は 15mm/min で実施し、荷重を加え始めてから試験体が破壊するまでの時間は 1 分以上となるように行った。荷重点および支点の幅はともに 200mm である。曲げ試験の様子を写真 5-5 に示した。

たわみの計測は、中央部において、全スパンのたわみ（写真 5-6）と、ヨークを用いてモーメントが一定になる荷重点間のたわみ（写真 5-7）を測定した。最大荷重 F_{ult} から曲げ強さ (F_b) を求め、また、荷重と全スパンのたわみから「見かけの曲げヤング係数 (E_m)」を、荷重と曲げモーメント一定区間のたわみの関係から「真の曲げヤング係数 (E_b)」を算出した。

$$F_b = \frac{aF_{ult}}{2Z}$$

ここで、

F_b : 曲げ強さ (N/mm²)

a : 支点から荷重点までの距離

F_{ult} : 最大荷重

Z : 断面係数 ((幅 × 高さ²) / 6)

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)(F_2 - F_1)}{48I(w_2 - w_1)}$$

ここで、

E_m : せん断変形の影響を含んだ曲げヤング係数 (kN/mm²)

a : 支点から荷重点までの距離

L : 試験スパン

$F_2 - F_1$: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分。

F_1 は F_{ult} (最大荷重) の約 10%、 F_2 は約 40% とする。

I : 断面 2 次モーメント ((幅 × 高さ³) / 12)

$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分。

$$E_b = \frac{a l^2 (F_2 - F_1)}{16 I (w_2 - w_1)}$$

ここで、

E_b : せん断変形の影響を含まない曲げヤング係数 (kN/mm²)

a : 支点から荷重点までの距離

l : 荷重点間内の変位量測定区間の長さ

$F_2 - F_1$: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分。

F_1 は F_{ult} (最大荷重) の約10%、 F_2 は約40%とする。

I : 断面 2 次モーメント ((幅×高さ³)/12)

$w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分。



写真 5-5 曲げ強度試験の実施状況



写真 5-6 全スパンのたわみの測定



写真 5-7 モーメント一定区間のたわみの測定

5.2 試験の結果

5.2.1.1 平割材の乾燥及び強度特性

各木取りから製材された平割材について、乾燥前後の形質を製材寸法別に示した。
40×125mm 平割材を表 5-2 に、60×125mm 平割材を表 5-3 に、60×170mm 平割材を表 5-4 に、60×230mm 平割材を表 5-5 に、60×320mm 平割材を表 5-6 にそれぞれ示した。

次に、平割材の縦そりの乾燥前後の変化を図 5-6, 7 に示し、平割材の曲がりの乾燥前後の変化を図 5-8, 9 に示した。また、平割材の乾燥後のねじれの方角を図 5-10, 11 に示した。

表 5-2 40×125mm 平割材の乾燥前後の形質変化

カラマツ 40×125mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦そり (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)	ねじれ (度/4m)	割れ (cm/2面4m)
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥後		乾燥後
平均	13.20	16.40	36.7	8.4	7.0	7.1	2.1	3.8	3.4	1.6	13
標準偏差	2.5	2.8	9.5	2.2	5.8	5.1	1.9	3.0	3.3	1.6	28
変動係数	18.8	16.9	26.0	26.0	81.8	71.6	88.8	79.0	99.5	99.5	218
最小	8.24	11.45	18	4	0	0	0	0	0	0	0
最大	18.64	23.36	60.5	15.5	28	25	9	15	11	5.3	112
データ数	74	68	74	68	74	68	74	68	68	68	68

スギ 40×125mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦そり (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)	ねじれ (度/4m)	割れ (cm/2面4m)
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥後		乾燥後
平均	7.85	8.99	61.3	10.3	10.0	7.0	2.0	4.2	0.7	0.3	0
標準偏差	1.6	1.8	14.3	0.6	6.9	4.7	2.0	4.0	1.2	0.6	0
変動係数	20.5	20.3	23.3	6.0	68.5	66.6	98.4	93.8	169.4	169.5	
最小	4.45	5.09	40	9.5	0	0	0	0	0	0	0
最大	11.08	13.29	96.5	11.5	38	17	8	20	4	1.9	0
データ数	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33

表 5-3 60×125mm 平割材の乾燥前後の形質変化

カラマツ 60×125mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦そり (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)	ねじれ (度/4m)	割れ (cm/2面4m)
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥後		乾燥後
平均	12.90	15.66	34.9	9.6	6.2	7.6	3.6	3.7	3.9	1.9	5
標準偏差	2.1	2.4	5.4	2.9	3.6	4.0	2.3	1.7	4.2	2.0	22
変動係数	16.2	15.2	15.4	30.1	57.8	52.2	63.6	45.9	106.8	106.7	432
最小	10.47	13.04	22.5	3.5	0	0	0	0	0	0	0
最大	16.86	20.01	44.5	14.5	12	18	12	8	12	5.7	116
データ数	30	29	30	29	30	29	30	29	29	29	29

スギ 60×125mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦そり (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)	ねじれ (度/4m)	割れ (cm/2面4m)
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥後		乾燥後
平均	7.50	8.67	64.6	10.4	9.0	6.3	1.3	2.9	1.4	0.6	0
標準偏差	1.4	1.6	19.6	0.4	4.9	5.0	2.3	4.5	2.8	1.3	0
変動係数	18.4	17.9	30.3	4.2	55.1	79.5	178.5	153.0	203.5	202.6	0
最小	5.05	6.16	23.5	9.5	0	0	0	0	0	0	0
最大	11.03	12.38	103.5	11.5	23	23	12	27	15	7.0	0
データ数	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38

表 5-4 60×170mm 平割材の乾燥前後の形質変化

カラマツ 60×170mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦そり (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)	ねじれ (度/4m)	割れ (cm/2面4m)
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥後		乾燥後
平均	11.77	14.45	40.3	8.6	4.8	5.8	2.1	4.3	5.4	1.9	0
標準偏差	2.4	2.5	8.7	2.8	2.7	3.2	1.8	3.2	4.3	1.5	0
変動係数	20.6	17.6	21.5	32.0	55.9	54.9	84.2	75.6	80.5	81.1	0
最小	9.12	11.61	26.5	4	2	1	0	0	0	0	0
最大	16.05	19.58	57.5	13	11	13	5	11	15	5.4	0
データ数	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

スギ 60×170mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦そり (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)	ねじれ (度/4m)	割れ (cm/2面4m)
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥後		乾燥後
平均	7.56	8.90	67.4	10.8	8.8	4.5	1.5	4.8	1.1	0.4	0
標準偏差	2.2	2.1	20.7	1.1	4.8	5.4	1.6	6.0	1.6	0.6	0
変動係数	29.4	24.0	30.7	10.2	55.0	119.9	108.9	125.8	141.0	140.9	0
最小	4.43	5.65	41	9	3	0	0	0	0	0	0
最大	10.79	11.79	117	13	20	20	4	18	5	1.7	0
データ数	16	15	16	15	16	15	16	15	15	15	15

表 5-5 60×230mm ほか平割材の乾燥前後の形質変化

カラマツ 60×230mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦そり (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)	ねじれ (度/4m)	割れ (cm/2面4m)
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥後		乾燥後
平均	12.77	15.75	44.3	8.1	5.6	3.6	2.2	3.6	4.6	1.2	73
標準偏差	2.0	2.5	8.4	2.0	2.8	2.6	2.0	3.5	4.4	1.1	87
変動係数	16.0	15.7	18.9	25.1	48.9	70.1	92.9	97.6	95.5	95.6	120
最小	9.59	11.76	28	3.5	0	0	0	0	0	0.0	0
最大	17.03	21.14	61.5	12.5	11	9	8	16	15	3.9	302
データ数	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34

スギ 60×240mm ほか	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦そり (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)	ねじれ (度/4m)	割れ (cm/2面4m)
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥後		乾燥後
平均	6.23	7.19	64.6	10.9	9.1	9.7	1.4	6.5	1.5	0.4	0
標準偏差	2.1	2.3	18.4	1.4	9.2	5.4	1.4	6.5	2.6	0.7	0
変動係数	33.8	32.6	28.5	12.9	101.1	55.8	100.3	101.0	174.5	178.0	0
最小	3.57	4.25	38.5	10	0	3	0	1	0	0	0
最大	10.81	12.41	104.5	15	39	19	4	26	9	2.4	0
データ数	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

表 5-6 60×320mm 平割材の乾燥前後の形質変化

カラマツ 60×320mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦そり (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)	ねじれ (度/4m)	割れ (cm/2面4m)
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥後		乾燥後
平均	10.23	13.02	37.0	5.0	2.2	5.5	1.2	9.2	20.3	3.8	59
標準偏差	1.6	1.8	7.1	0.8	2.5	4.5	1.8	10.9	6.2	1.1	102
変動係数	15.7	13.7	19.1	16.7	114.6	82.7	157.3	119.2	30.6	30.2	173
最小	7.80	10.32	28.5	4	0	2	0	3	14	2.6	0
最大	12.82	15.85	46	6	5	14	4	31	32	5.9	261
データ数	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

スギ 60×320mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦そり (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)	ねじれ (度/4m)	割れ (cm/2面4m)
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥後		乾燥後
平均	—	8.81	—	11.4	—	4.3	—	2.2	1.7	0.3	0
標準偏差	—	1.5	—	1.4	—	3.2	—	2.4	2.4	0.4	0
変動係数	—	16.5	—	12.4	—	74.3	—	108.8	144.1	144.2	0
最小	—	5.89	—	9.5	—	0	—	0	0	0	0
最大	—	10.93	—	15.5	—	13	—	8	7	1.3	0
データ数	—	18	—	18	—	18	—	18	18	18	18

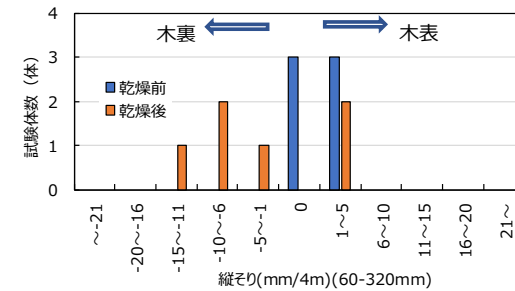
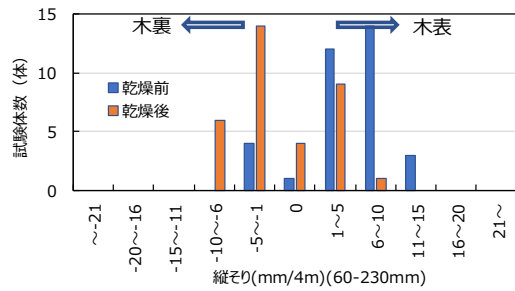
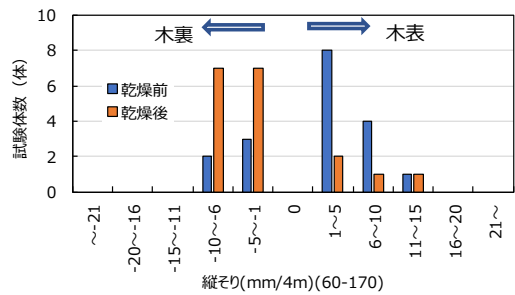
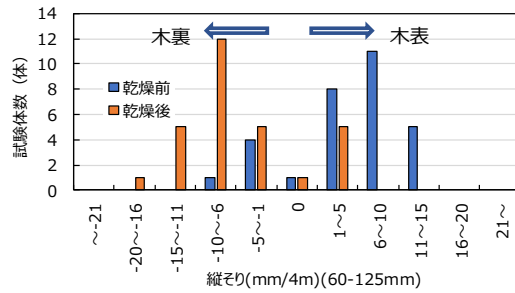
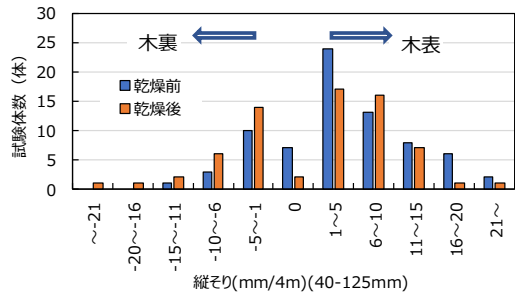


図 5-6 平割材の縦そりの変化 (カラマツ)

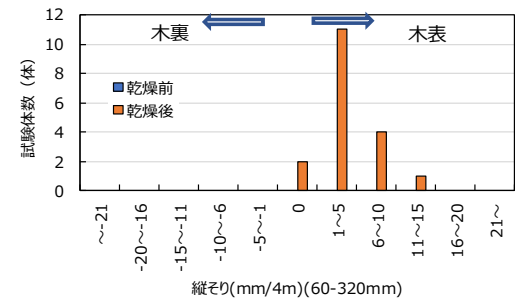
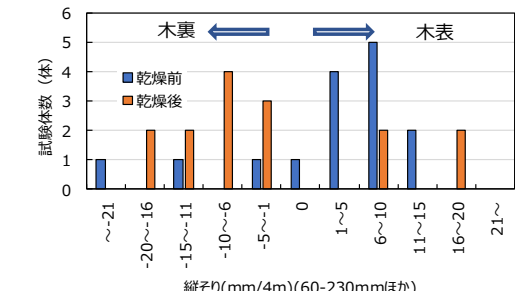
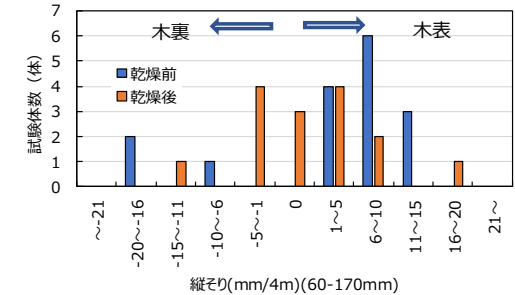
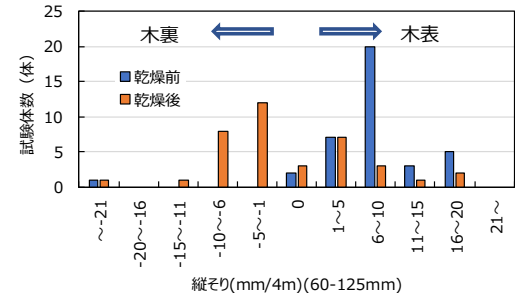
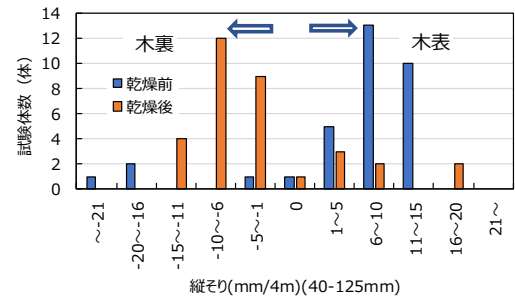


図 5-7 平割材の縦そり変化 (スギ)

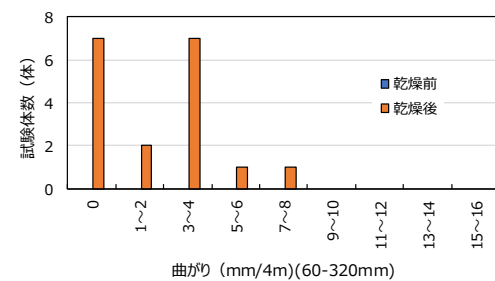
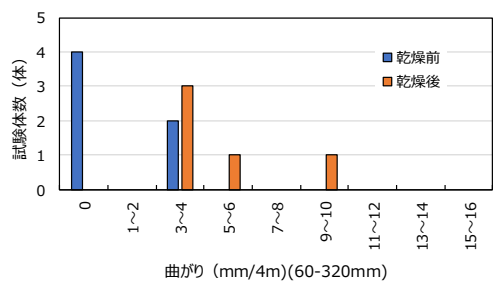
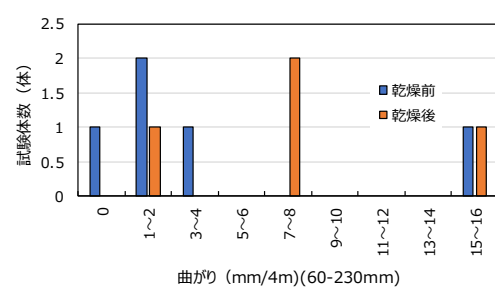
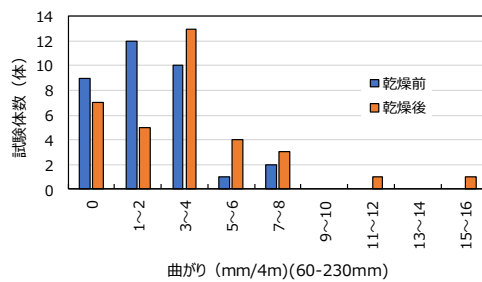
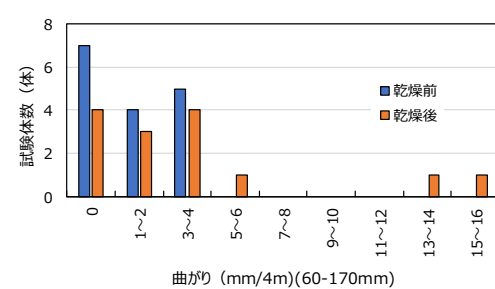
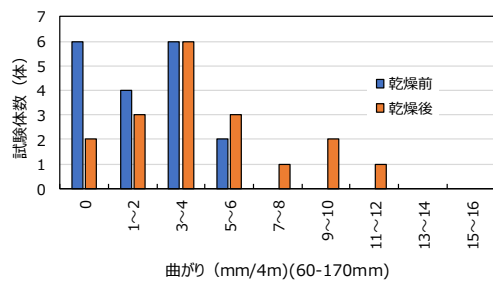
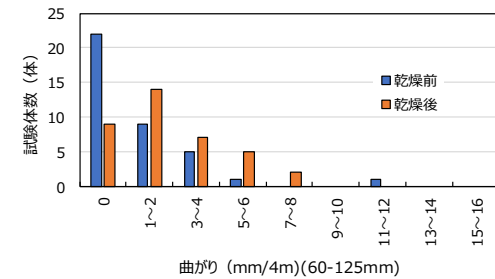
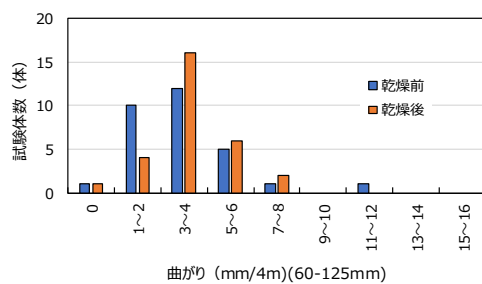
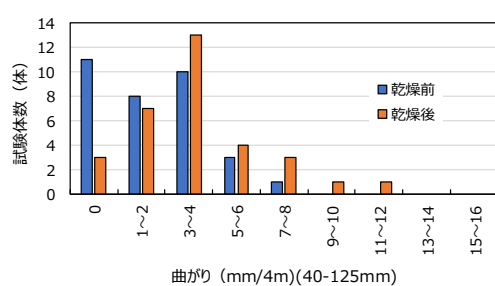
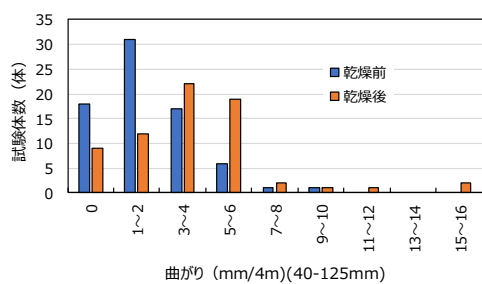


図 5-8 平割材の曲がりの変化 (カラマツ)

図 5-9 平割材の曲がりの変化 (スギ)

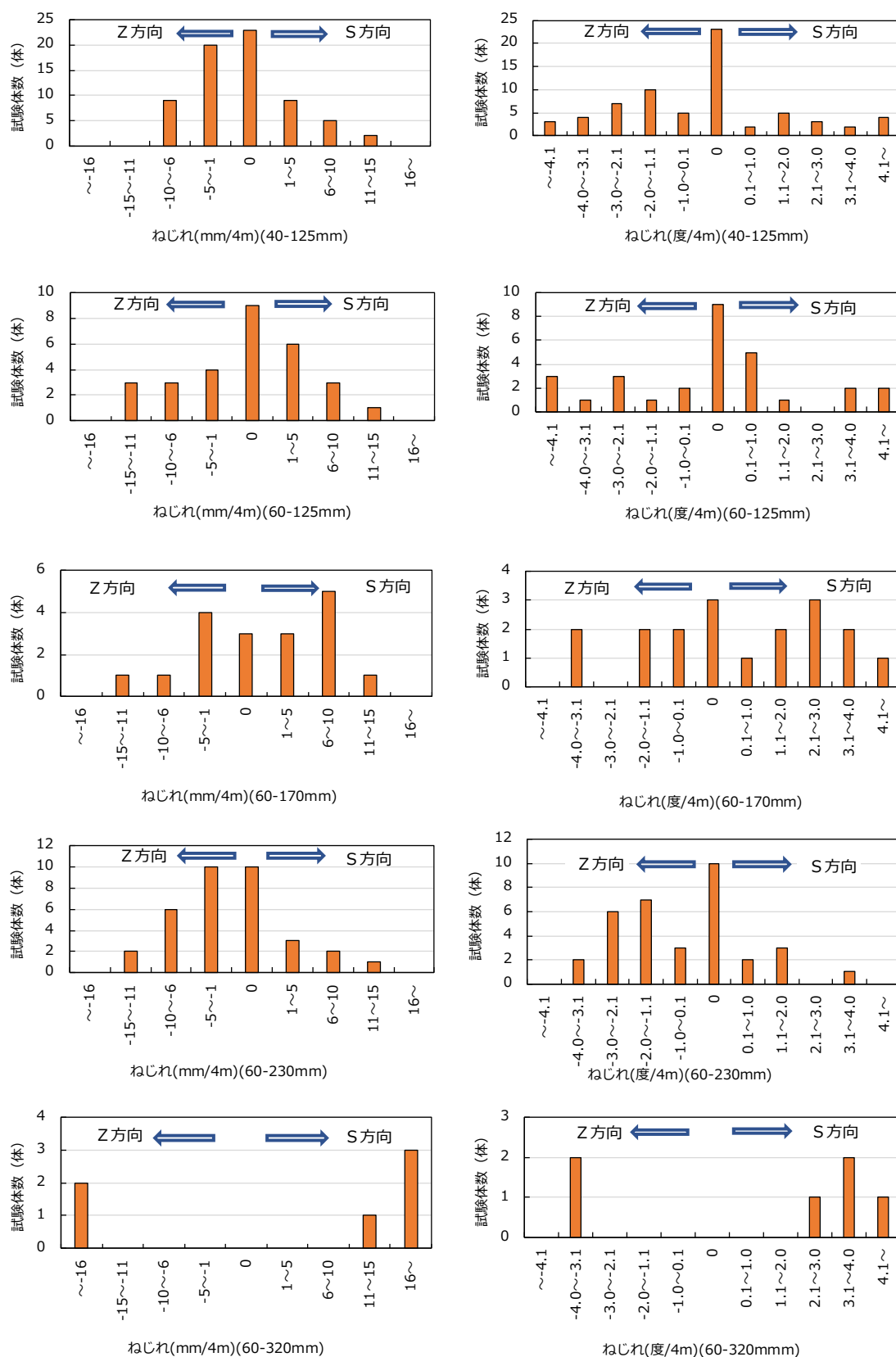


図 5-10 平割材のねじれ (カラマツ)

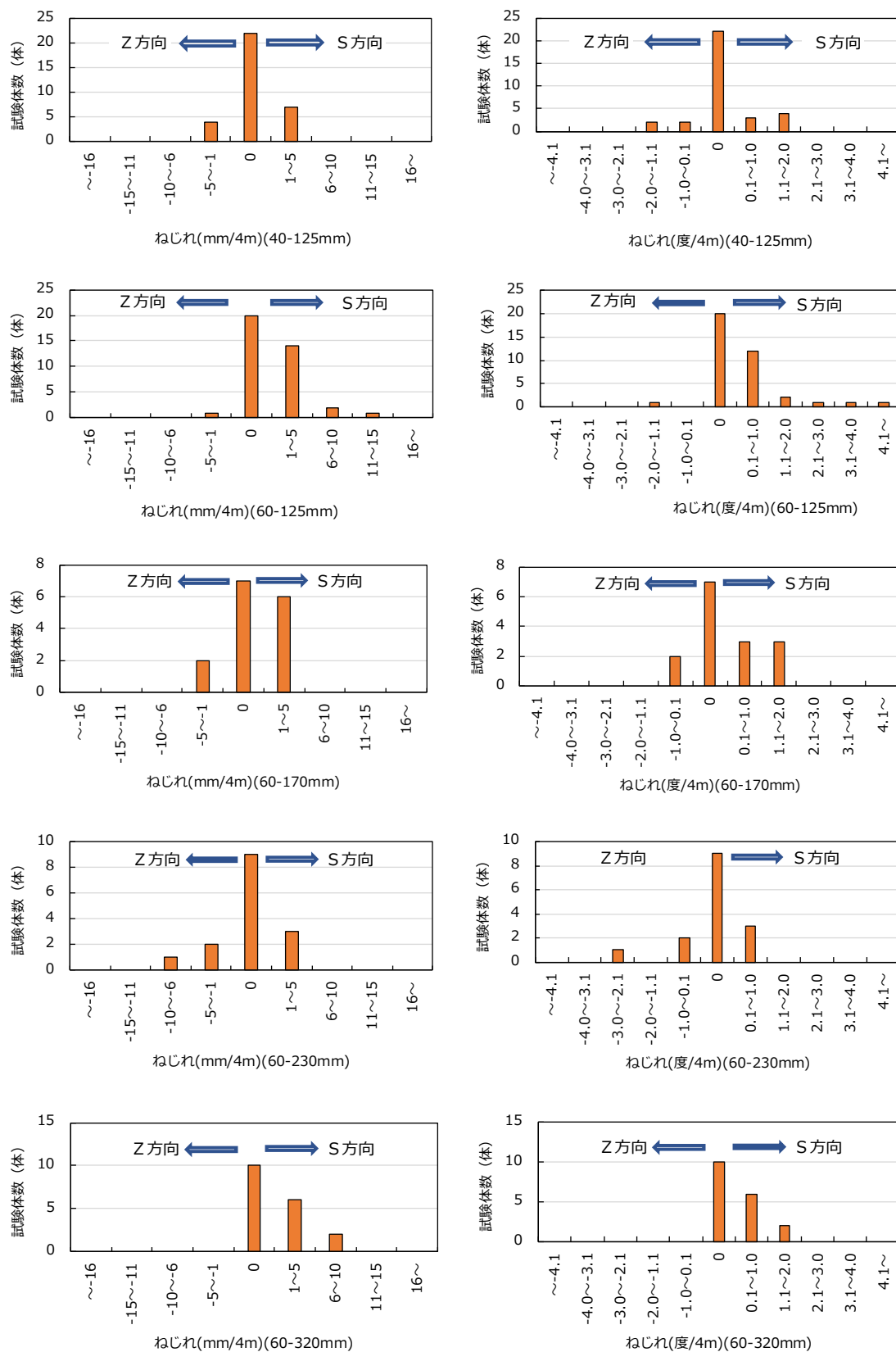


図 5-11 平割材のねじれ（スギ）

5.2.1.2 平割材の Efr

乾燥後の平割材の Efr を、樹種別及び平割材の寸法別に表 5-7 に示す。また、カラマツの度数分布を図 5-12 に示し、スギのそれを図 5-13 に示す。

なお、乾燥前（製材直後）の計測値がない平割材については、乾燥前後の形質変化の集計からは除いたが、乾燥後の平割材の Efr の分布には集計した。

表 5-7 平割材の Efr

樹種	カラマツ平割材Efr(kN/mm ²)					スギ平割材Efr(kN/mm ²)				
	40-125	60-125	60-170	60-230	60-320	40-125	60-125	60-170	60-230	60-320
平均	16.23	15.66	14.45	15.75	13.02	9.16	8.79	8.80	7.19	8.81
標準偏差	2.72	2.38	2.55	2.47	1.79	1.70	1.54	1.84	2.35	1.46
変動係数	16.78	15.20	17.62	15.67	13.71	18.53	17.56	20.95	32.63	16.54
最小	11.45	13.04	11.61	11.76	10.32	5.09	6.16	5.65	4.25	5.89
最大	23.36	20.01	19.58	21.14	15.85	13.29	12.38	11.79	12.41	10.93
データ数	93	29	18	34	6	53	54	29	15	18

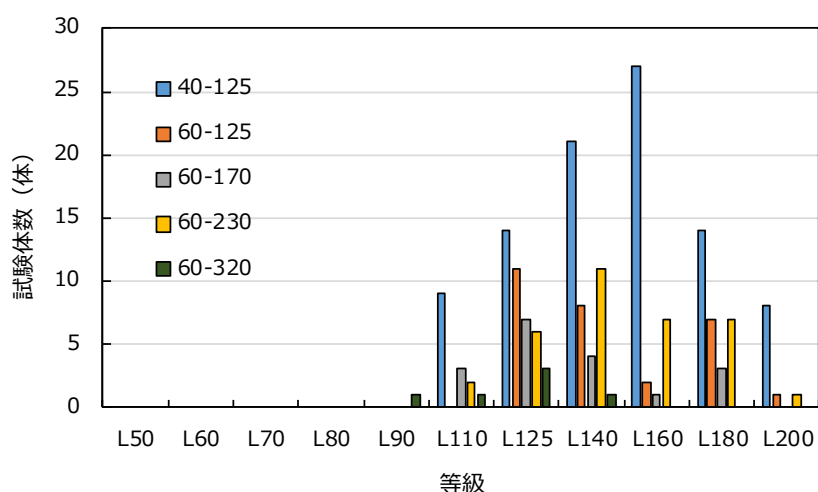


図 5-12 平割材の Efr (カラマツ)

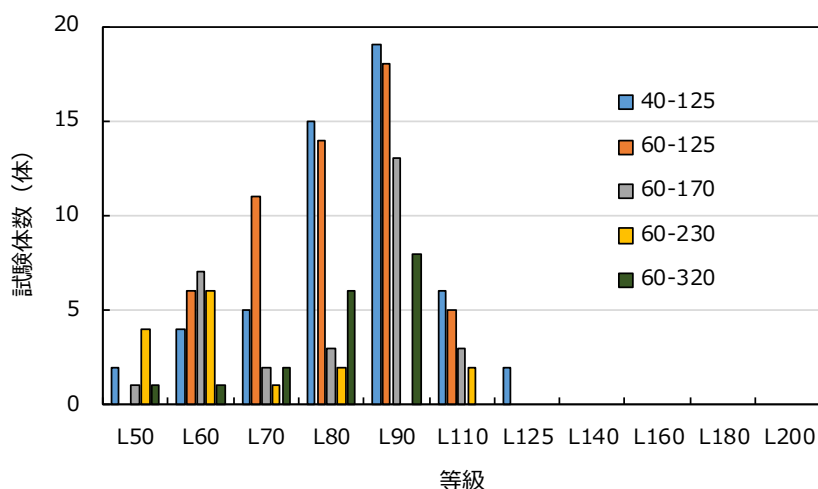


図 5-13 平割材の Efr (スギ)

丸太の Efr と平割材の Efr の関係を図 5-14～17 に示した。

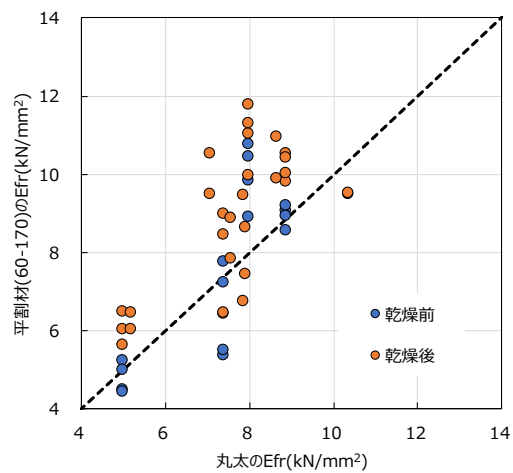
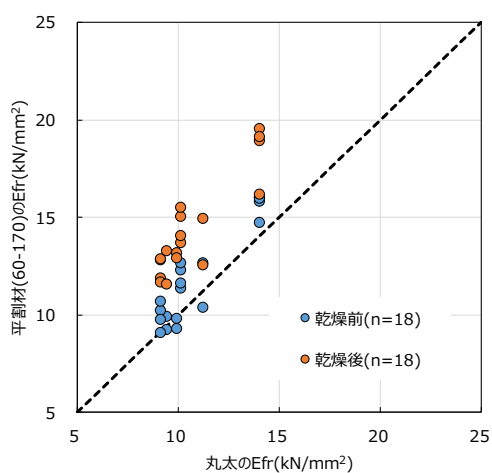
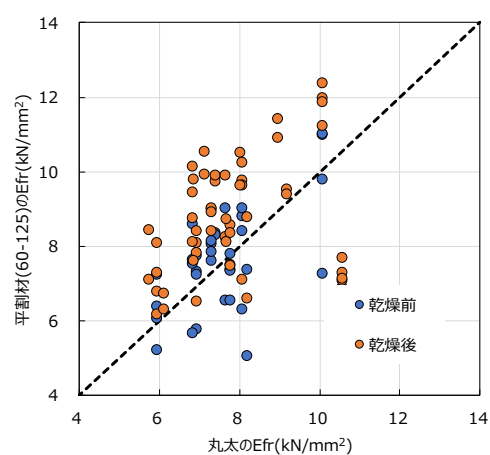
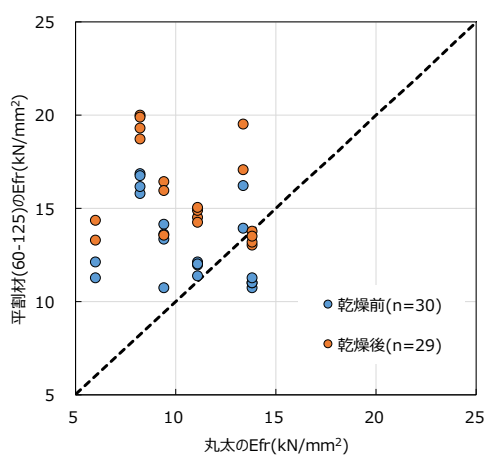
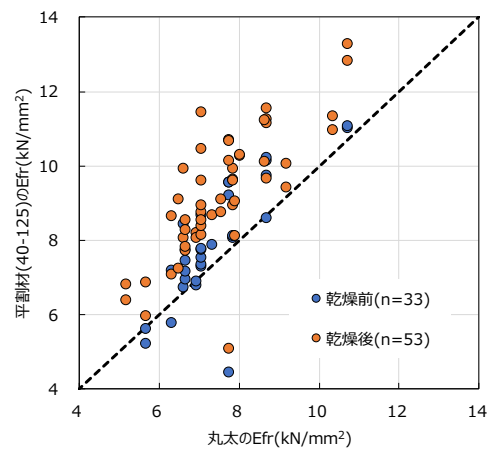
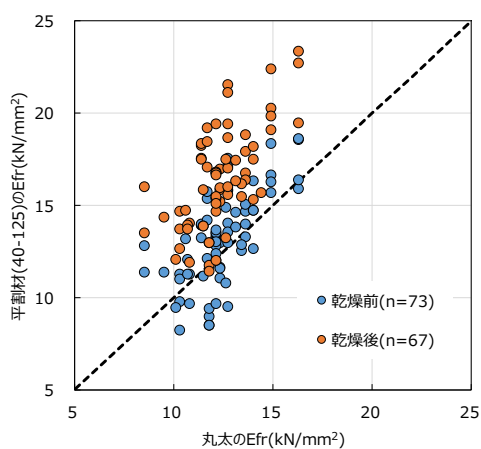


図 5-14 丸太の Efr と平割材の Efr の関係
(カラマツ)

図 5-15 丸太の Efr と平割材の Efr の関係
(スギ)

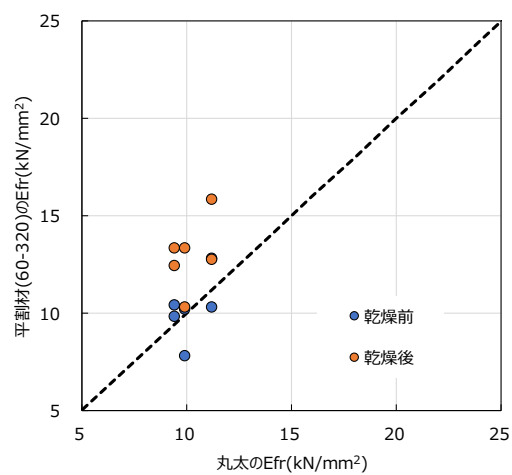
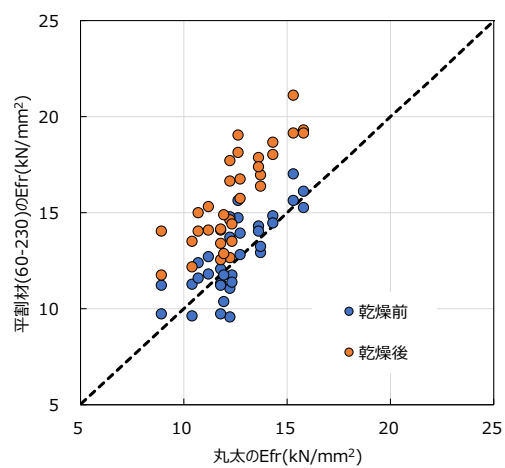


図 5-16 丸太の Efr と平割材の Efr の関係
(カラマツ)

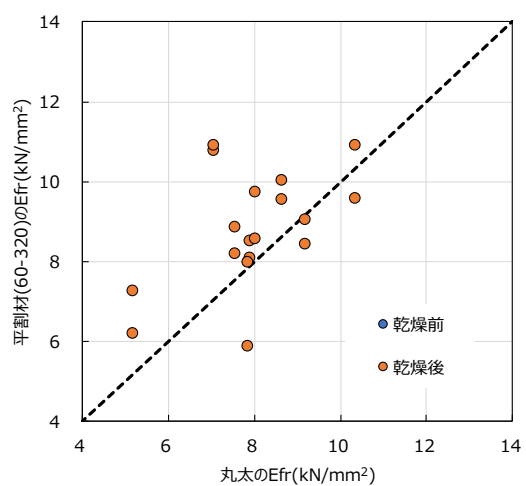
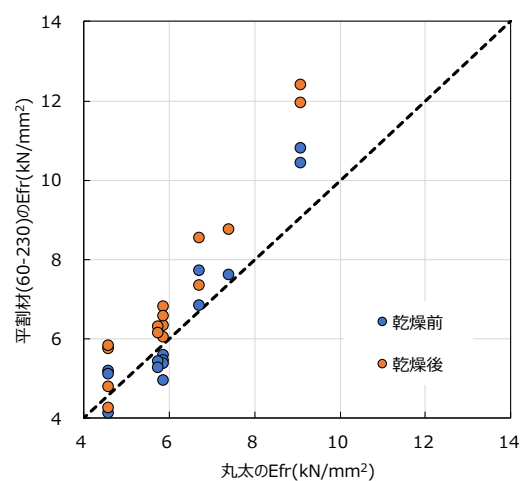


図 5-17 丸太の Efr と平割材の Efr の関係
(スギ)

5.2.3 接着重ね梁Cタイプ及び構造用集成材の強度特性

5.2.3.1 接着重ね梁Cタイプ強度特性

カラマツ接着重ね梁7体の曲げ試験結果の概要を表5-8に示し、Efrと見かけのMOEの関係を図5-18に示し、Efrと真のMOEの関係を図5-19に示し、EfrとMORの関係を図5-20に示す。また、カラマツ接着重ね梁7体の平割材のEfr及びE等級、L等級の組み合わせと重ね梁のEfr、曲げ強さ、見かけMOEと真のMOE、曲げ試験後の断面写真を図5-21に示し、各試験体の破壊の様子を写真5-8,9に示す。

表5-8 接着重ね梁Cタイプカラマツの曲げ試験結果の概要

試験体No.	曲げ強さ (N/mm ²)	Efr (kN/mm ²)	全スパンヤング係数 (kN/mm ²)	一定スパンヤング係数 (kN/mm ²)	含水率計含水率 (%)	全乾法含水率 (%)	破壊形態
1	115.1	19.99	18.12	19.26	14.8	10.8	曲げ
2	101.1	18.53	17.21	18.56	12.5	10.2	曲げ
3	89.5	16.83	16.41	17.08	10.9	9.2	曲げ
4	86.8	15.41	15.03	15.88	11.3	10.3	上部圧縮
5	77.3	15.34	14.31	14.96	10.4	9.2	曲げ
6	72.6	14.53	13.82	14.61	9.3	9.0	曲げ
7	66.8	13.78	13.13	13.80	8.8	9.6	曲げ

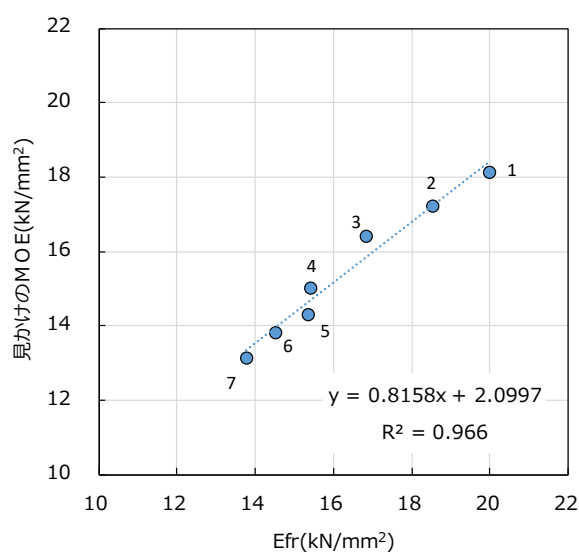


図5-18 接着重ね梁Cタイプカラマツ
のEfrと見かけのMOEの関係

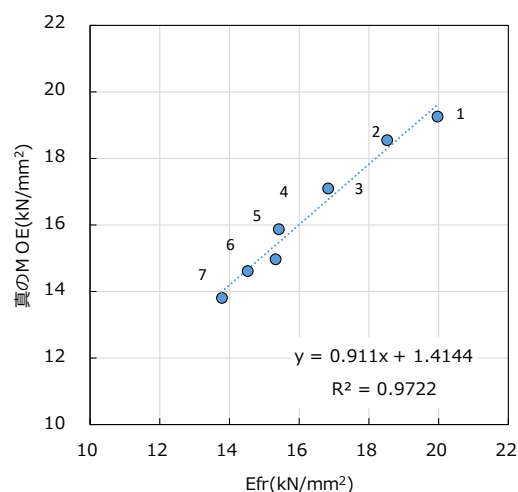


図5-19 接着重ね梁Cタイプカラマツ
のEfrと真のMOEの関係

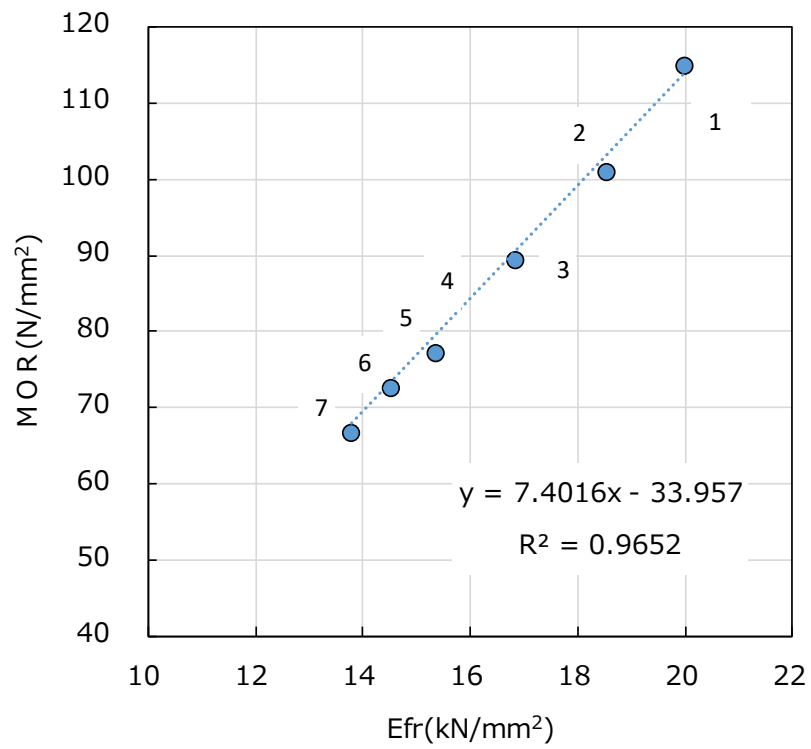


図 5-20 接着重ね梁 C タイプカラマツの Efr と MOE の関係

No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
外層2 Efr 中心1 Efr 中心2 Efr 外層1 Efr	19.91 19.13 18.96 20.01	19.32 16.19 15.51 19.56	18.74 15.06 14.96 18.76	16.45 14.09 13.70 18.03	15.25 13.28 12.95 15.98	14.92 12.89 12.82 15.07	14.38 11.69 11.61 14.53
外層2 E等級 中心1 E等級 中心2 E等級 外層1 E等級	E150 E150 E150 E150	E150 E150 E150 E150	E150 E150 E150 E150	E150 E150 E130 E150	E150 E130 E130 E150	E150 E130 E130 E150	E150 E110 E110 E150
外層2 L等級 中心1 L等級 中心2 L等級 外層1 L等級	L180 L180 L180 L200	L180 L160 L140 L180	L180 L140 L140 L180	L160 L140 L125 L180	L140 L125 L125 L140	L140 L125 L125 L140	L140 L110 L110 L140
曲げ強さ (N/mm²) Efr (kN/mm²) 見かけヤング係数 (kN/mm²) 真のヤング係数 (kN/mm²)	115.1 19.99 18.12 19.26	101.1 18.53 17.21 18.56	89.5 16.83 16.41 17.08	86.8 15.41 15.03 15.88	77.3 15.34 14.31 14.96	72.6 14.53 13.82 14.61	66.8 13.78 13.13 13.80
曲げ試験後 の試験体断面							

図 5-21 接着重ね梁Cタイプカラムツの平割材の組み合わせと曲げ試験結果



カラマツC1-1



カラマツC1-2



カラマツC1-3



カラマツC2-1



カラマツC2-2



カラマツC2-3



カラマツC3-1



カラマツC3-2



カラマツC3-3



カラマツC4-1



カラマツC4-2



カラマツC4-3



カラマツC5-1



カラマツC5-2



カラマツC5-3

写真 5-8 接着重ね梁Cタイプカラマツの破壊形態-1



カラマツC6-1



カラマツC6-2



カラマツC6-3



カラマツC7-1



カラマツC7-2



カラマツC7-3

写真 5-9 接着重ね梁Cタイプカラマツの破壊形態-2

スギ接着重ね梁 11 体の曲げ試験結果の概要を表 5-9 に示し、Efr と見かけの MOE の関係を図 5-22 に示し、Efr と真の MOE の関係を図 5-23 に示し、Efr と MOR の関係を図 5-24 に示す。また、スギ接着重ね梁 11 体の平割材の Efr 及び E 等級、L 等級の組み合わせと重ね梁の Efr、曲げ強さ、見かけ MOE と真の MOE、曲げ試験後の断面写真を図 5-25 に示し、各試験体の破壊の様子を写真 5-10~12 に示す。

図 5-24 に示す回帰式は、せん断破壊を除いている。

表 5-9 接着重ね梁 C タイプスギの曲げ試験結果の概要

試験体No.	曲げ強さ (N/mm ²)	Efr (kN/mm ²)	全スパンヤング係数 (kN/mm ²)	一定スパンヤング係数 (kN/mm ²)	含水率計含水率 (%)	全乾法含水率 (%)	破壊形態
1	64.6	11.91	11.06	11.61	11.9	11.2	曲げ
2	63.6	11.42	10.78	11.58	11.0	9.9	上部圧縮
3	43.3	10.74	10.26	10.72	11.3	9.1	せん断
4	53.5	10.48	9.71	10.54	11.1	9.4	せん断
5	62.1	10.43	9.98	10.43	10.6	9.3	曲げ
6	60.7	9.78	9.49	9.88	11.1	10.0	曲げ
7	58.0	9.63	9.09	9.56	14.3	11.1	せん断
8	52.3	9.28	8.73	9.21	10.4	8.6	曲げ
9	34.7	8.62	7.77	8.11	11.4	10.2	せん断
10	50.1	8.01	8.14	8.39	10.3	8.8	曲げ
11	42.7	7.51	7.82	8.37	9.6	8.5	曲げ

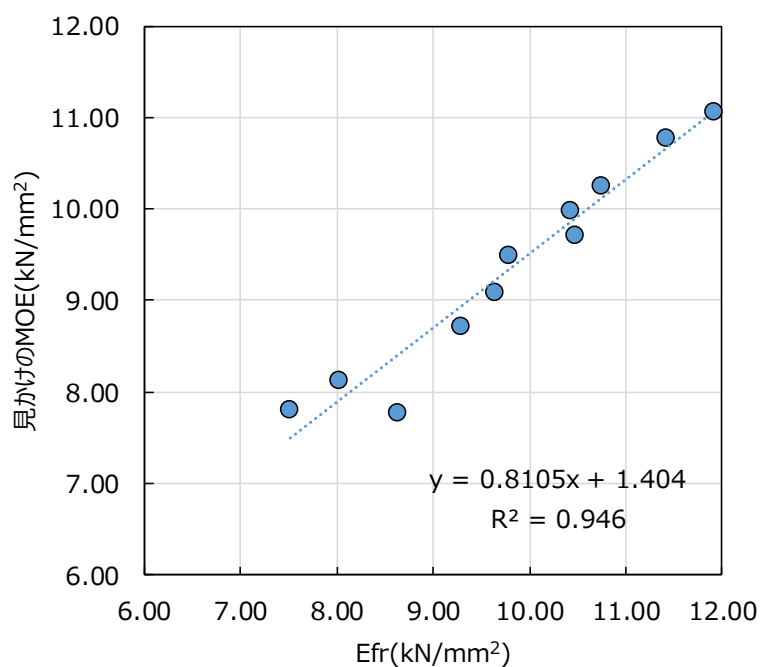


図 5-22 接着重ね梁 C タイプスギの Efr と見かけの MOE の関係

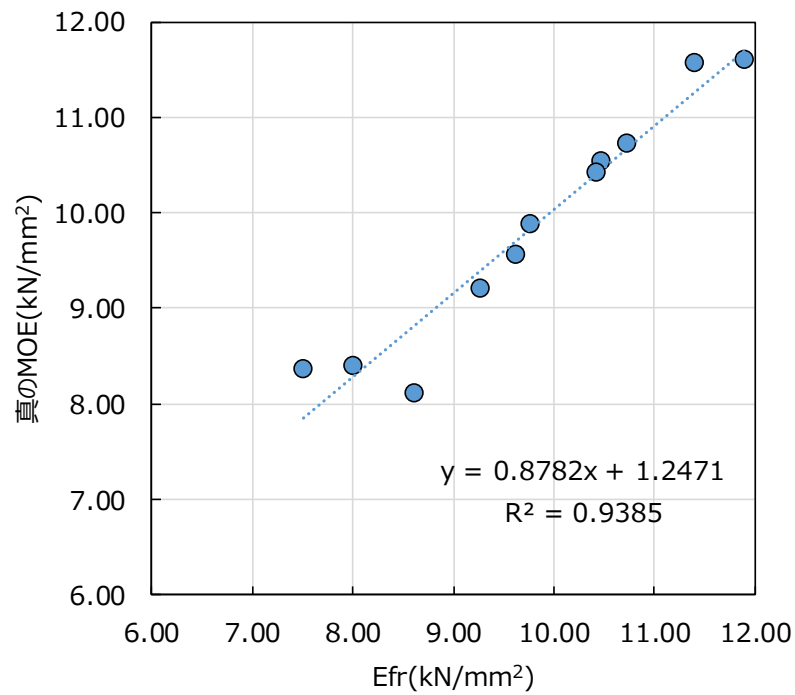


図 5-23 接着重ね梁Cタイプスギの Efr と真の MOE の関係

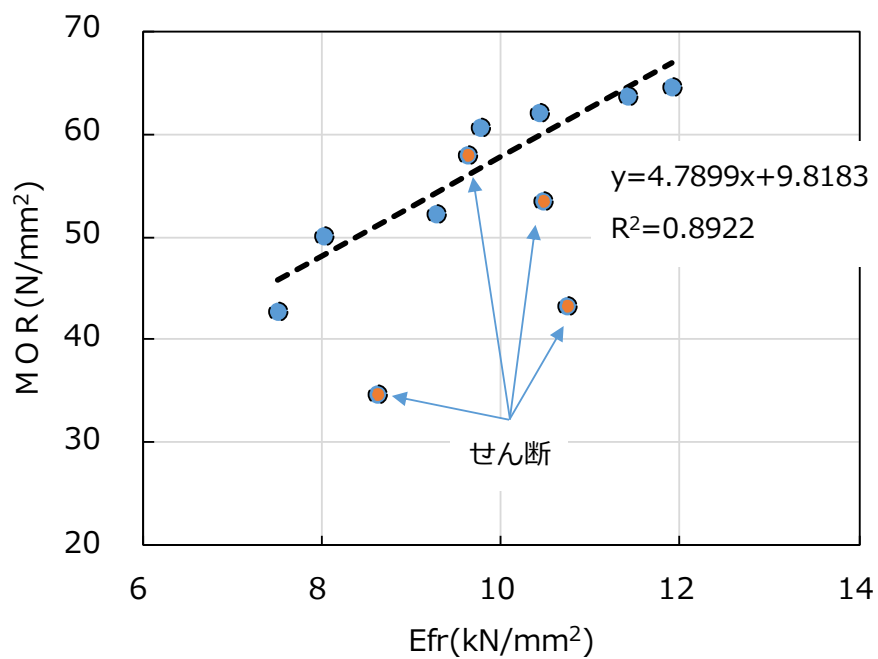


図 5-24 接着重ね梁Cタイプスギの Efr と MOE の関係

No.	①		②		③		④		⑤		⑥		⑦		⑧		⑨		⑩		⑪			
	外層2 Efr		中心2 Efr		10.91		10.52		9.95		9.90		9.74		9.63		9.44		9.03		8.91			
	11.79	11.32	11.05	10.99	10.55	10.43	10.05	9.99	9.90	9.84	9.52	9.52	9.51	9.48	9.00	8.88	8.66	8.46	7.86	6.77	6.49	6.47		
	12.38		11.88		11.24		10.56		10.26		9.90		9.77		9.65		9.52		9.41		8.99			
	外層2 E等級		中心2 E等級		E110		E110		E110		E110		E90		E90		E90		E90		E90			
	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10		
	外層2 L等級		中心2 L等級		L100		L100		L90		L90		L90		L90		L90		L90		L80			
	11.91	11.91	11.42	11.42	10.74	10.74	10.48	10.48	10.43	10.43	9.78	9.78	9.63	9.63	9.28	9.28	8.62	8.62	8.01	8.01	7.51	7.51		
	11.06	11.06	10.78	10.78	10.26	10.26	9.71	9.71	9.98	9.98	9.49	9.49	9.09	9.09	8.73	8.73	7.77	7.77	8.14	8.14	7.82	7.82		
	11.61	11.61	11.58	11.58	10.72	10.72	10.54	10.54	10.43	10.43	9.88	9.88	9.56	9.56	9.21	9.21	8.11	8.11	8.39	8.39	8.37	8.37		
	曲げ試験後 の試験体断面		No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		No.6		No.7		No.8		No.9		No.10		No.11	

図 5-25 接着重ね梁Cタイプスギの平割材の組み合わせと曲げ試験結果



スギC 1-1



スギC 1-2



スギC 1-3



スギC 2-1



スギC 2-2



スギC 2-3



スギC 3-1



スギC 3-2



スギC 3-3



スギC 4-1



スギC 4-2



スギC 4-3



スギC 5-1



スギC 5-2



スギC 5-3

写真 5-10 接着重ね梁Cタイプスギの破壊形態-1



スギC 6-1



スギC 6-2



スギC 6-3



スギC 7-1



スギC 7-2



スギC 7-3



スギC 8-1



スギC 8-2



スギC 8-3



スギC 9-1



スギC 9-2



スギC 9-3



スギC10-1



スギC10-2



スギC10-3

写真 5-11 接着重ね梁Cタイプスギの破壊形態-2



スギC11-1



スギC11-2



スギC11-3

写真 5-12 接着重ね梁Cタイプスギの破壊形態-3

5.2.3.2 構造用集成材の強度特性

カラマツ構造用集成材 10 体の曲げ試験結果の概要を表 5-10 に示し、Efr と MOR の関係を図 5-26 に示す。また、集成材の構成ラミナの Efr 及び E 等級、L 等級の組み合わせと集成材の Efr、曲げ強さ、見かけ MOE と真の MOE、曲げ試験後の断面写真を図 5-27 に示し、各試験体の破壊の様子を写真 5-13, 14 に示す。

表 5-10 構造用集成材カラマツの曲げ試験結果の概要

区分	試験体No.	強度等級	曲げ強さ (N/mm ²)	Efr (kN/mm ²)	全スパンヤング係数 (kN/mm ²)	一定スパンヤング係数 (kN/mm ²)	含水率計含水率 (%)	全乾法含水率 (%)	破壊形態
対称異等級	1	E170-F495	73.9	17.36	18.06	19.24	13.8	10.9	せん断
	2	E150-F435	72.1	15.21	16.12	17.05	11.0	10.3	せん断
	3	E150-F435	71.3	16.19	17.04	18.38	9.9	8.4	せん断
同一等級	4	E150-F540	88.1	18.84	16.88	17.68	9.8	10.9	せん断
	5	E150-F540	76.0	18.79	17.18	18.43	9.6	8.2	せん断
	6	E135-F405	66.2	16.26	14.33	14.96	14.9	11.4	せん断
	7	E135-F405	63.4	16.51	14.92	15.92	11.9	11.2	曲げ
	8	E135-F405	79.9	16.88	14.74	15.67	8.4	7.9	上部圧壊
	9	E135-F405	61.6	16.50	14.31	14.91	7.5	8.0	曲げ
	10	E120-F375	39.3	14.91	13.01	14.01	8.8	8.6	フシ曲げ

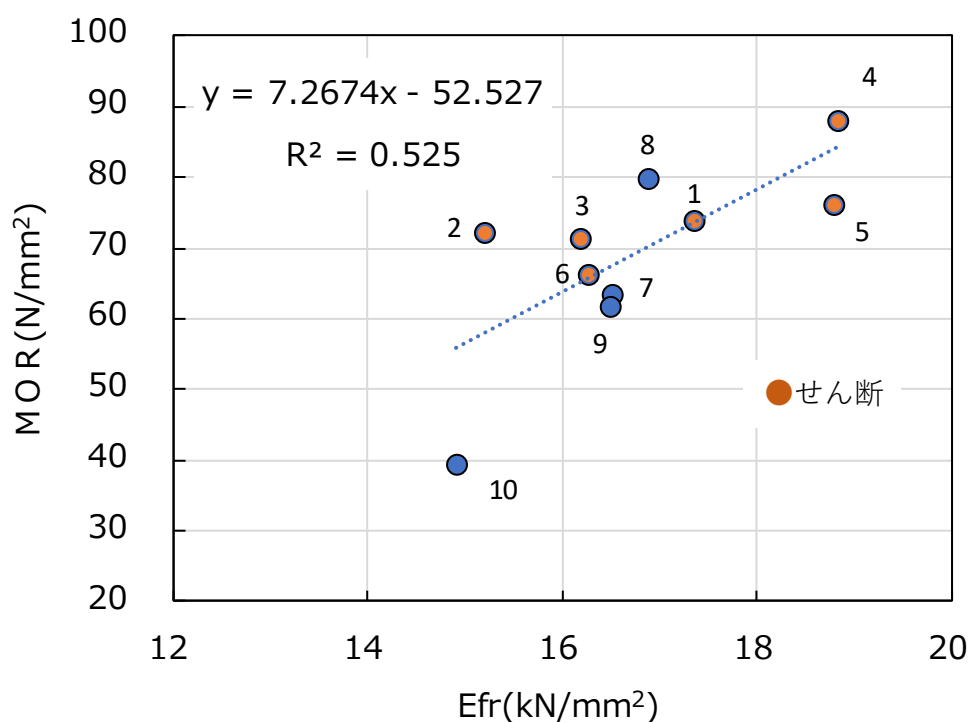


図 5-26 構造用集成材カラマツの Efr と MOR の関係

No.	対称異等級					同一等級				
	① E170-F495	② E150-F435	③ E150-F435	④ E150-F540	⑤ E150-F540	⑥ E135-F405	⑦ E135-F405	⑧ E135-F405	⑨ E135-F405	⑩ E120-F375
強度等級										
ラミナEfr	20.5	18.5	18.9	16.3	17.6	15.4	14.8	15.2	14.1	13.6
ラミナEfr	16.2	14.8	14.8	17.3	14.7	14.7	15.8	15.7	15.3	12.6
ラミナEfr	13.3	11.4	11.8	15.7	17.2	14.9	14.5	14.9	15.6	12.8
ラミナEfr	13.6	11.8	11.5	16.1	16.2	15.4	15.4	14.6	14.4	13.2
ラミナEfr	12.7	11.9	11.6	17.4	16.5	14.9	14.7	14.7	15.7	12.5
ラミナEfr	13.8	11.0	12.2	17.0	16.5	15.0	15.1	15.9	15.2	12.5
ラミナEfr	16.8	15.5	15.4	17.8	17.5	15.8	15.5	14.5	14.6	12.8
ラミナEfr	20.2	18.3	19.7	16.2	17.2	14.8	15.7	15.2	14.0	13.7
ラミナL等級	L200	L180	L180	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L160	L140	L140	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L125	L110	L110	L140	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L125	L110	L110	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L125	L110	L110	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L160	L140	L140	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L200	L180	L180	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
曲げ強さ (N/mm ²) Efr	73.9	72.1	71.3	88.1	76.0	66.2	63.4	79.9	61.6	39.3
見かけヤング係数 (kN/mm2)	17.36	15.21	16.19	18.84	18.79	16.26	16.51	16.88	16.50	14.91
真のヤング係数 (kN/mm ²)	18.06	16.122	17.043	16.883	17.181	14.329	14.924	14.736	14.307	13.01
真のヤング係数 (kN/mm ²)	19.24	17.05	18.38	17.68	18.43	14.96	15.92	15.67	14.91	14.01
曲げ試験後 の試験断面										

図 5-27 構造用集成材カラマツのラミナ構成と曲げ試験結果



カラマツ集成材No. 1-1



カラマツ集成材No. 1-2



カラマツ集成材No. 1-3



カラマツ集成材No. 2-1



カラマツ集成材No. 2-2



カラマツ集成材No. 2-3



カラマツ集成材No. 3-1



カラマツ集成材No. 3-2



カラマツ集成材No. 3-3



カラマツ集成材No. 4-1



カラマツ集成材No. 4-2



カラマツ集成材No. 4-3



カラマツ集成材No. 5-1



カラマツ集成材No. 5-2



カラマツ集成材No. 5-3

写真 5-13 構造用集成材カラマツの破壊形態-1



カラマツ集成材No. 6-1



カラマツ集成材No. 6-2



カラマツ集成材No. 6-3



カラマツ集成材No. 7-1



カラマツ集成材No. 7-2



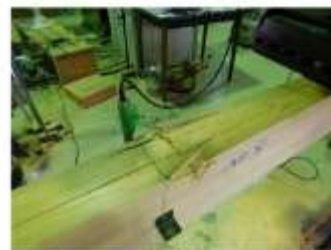
カラマツ集成材No. 7-3



カラマツ集成材No. 8-1



カラマツ集成材No. 8-2



カラマツ集成材No. 8-3



カラマツ集成材No. 9-1



カラマツ集成材No. 9-2



カラマツ集成材No. 9-3



カラマツ集成材No.10-1



カラマツ集成材No.10-2



カラマツ集成材No.10-3

写真 5-14 構造用集成材カラマツの破壊形態-2

スギ構造用集成材 5 体の曲げ試験結果の概要を表 5-11 に示し、Efr と MOR の関係を図 5-28 に示す。また、集成材の構成ラミナの Efr 及び E 等級、L 等級の組み合わせと集成材の Efr、曲げ強さ、見かけ MOE と真の MOE、曲げ試験後の断面写真を図 5-29 に示し、各試験体の破壊の様子を写真 5-15 に示す。

表 5-11 構造用集成材スギ曲げ試験結果の概要

区分	試験体No.	強度等級	曲げ強さ (N/mm ²)	Efr (kN/mm ²)	全スパンヤング係数 (kN/mm ²)	一定スパンヤング係数 (kN/mm ²)	含水率計含水率 (%)	全乾法含水率 (%)	破壊形態
対称異等級	1	E95-F270	61.9	10.17	10.71	11.31	10.5	9.5	せん断
	2	E85-F255	67.0	8.97	9.28	9.78	10.3	9.8	上部圧壊
同一等級	3	E75-F270	48.7	9.60	8.99	9.55	10.3	9.8	曲げ
	4	E65-F255	31.5	8.52	7.94	8.20	10.4	9.6	曲げ
(対称異等級)	5	E85-F300	70.2	11.20	10.42	10.98	10.5	9.5	曲げ

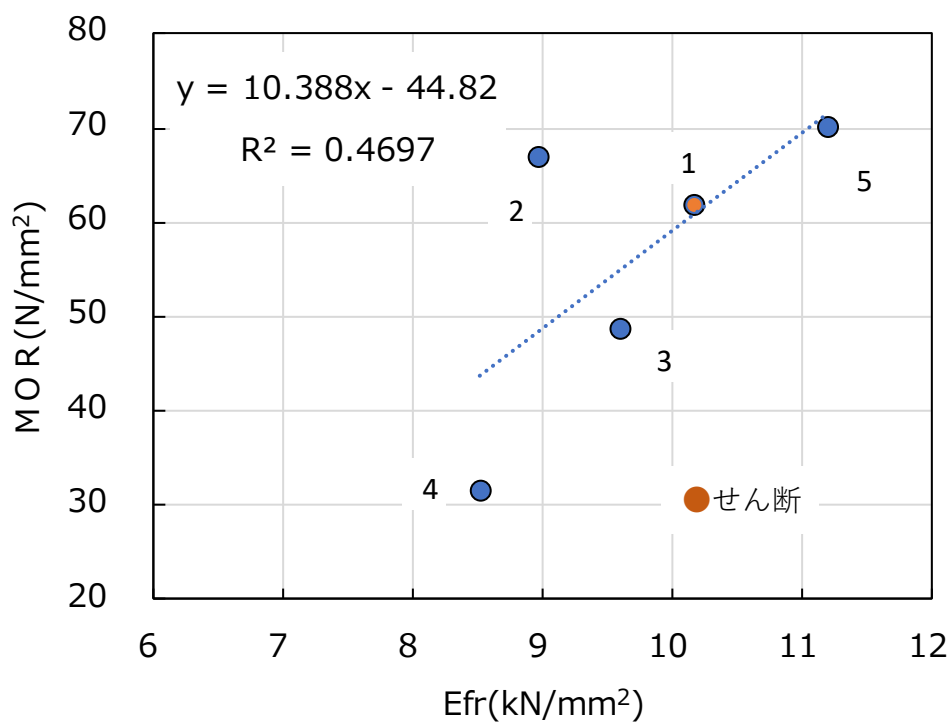


図 5-28 構造用集成材スギの Efr と MOE の関係

No.	対称異等級		同一等級		対称異等級
	①	②	③	④	
強度等級	E95-F270	E85-F255	E75-F270	E65-F255	E85-F300
ラミナEfr	11.3	10.4	8.8	7.9	10.4
ラミナEfr	9.4	8.6	8.9	7.5	9.9
ラミナEfr	7.4	6.2	8.4	7.1	9.0
ラミナEfr	7.1	6.8	8.0	7.7	9.5
ラミナEfr	7.0	6.9	8.1	7.3	9.2
ラミナEfr	7.9	6.4	8.8	7.1	9.0
ラミナEfr	9.7	8.1	8.6	7.4	9.9
ラミナEfr	11.7	10.2	8.2	7.5	10.0
ラミナL等級	L110	L100	L80	L70	L100
ラミナL等級	L90	L80	L80	L70	L90
ラミナL等級	L70	L60	L80	L70	L90
ラミナL等級	L70	L60	L80	L70	L90
ラミナL等級	L70	L60	L80	L70	L90
ラミナL等級	L90	L80	L80	L70	L90
ラミナL等級	L110	L100	L80	L70	L100
曲げ強さ (N/mm ²)	61.9	67.0	48.7	31.5	70.2
Efr (kN/mm ²)	10.17	8.97	9.60	8.52	11.20
見かけヤング係数 (kN/mm ²)	10.71	9.28	8.99	7.94	10.42
真のヤング係数 (kN/mm ²)	11.31	9.78	9.55	8.20	10.98
曲げ試験後の試験断面					

図 5-29 構造用集成材スギラミナ構成と曲げ試験結果



スギ集成材No.1-1



スギ集成材No.1-2



スギ集成材No.1-3



スギ集成材No.2-1



スギ集成材No.2-2



スギ集成材No.2-3



スギ集成材No.3-1



スギ集成材No.3-2



スギ集成材No.3-3



スギ集成材No.4-1



スギ集成材No.4-2



スギ集成材No.4-3



スギ集成材No.5-1



スギ集成材No.5-2



スギ集成材No.5-3

写真 5-15 構造用集成材スギの破壊形態

6 心去り無垢梁桁材の長期荷重性能

木材には、一定の荷重をかけ続けると変形（たわみ）が増大していく性質（クリープ特性）がある。大径材から木取られる横架材についても、長期間の荷重に対する性能を把握しておく必要がある。

本課題においては、大径A材丸太から木取られた「心去り梁桁材」について、クリープ変形を評価するため長期荷重性能試験を実施し、乾燥方法の違いによるクリープ変形の違い等を検討する。

6.1 試験方法

試験方法及び解析方法は、建築基準法第 37 条に基づく指定建築材料の品質基準を定めるための測定方法が記載された平成 12 年度建設省告示第 1446 号及び「構造用木材の強度試験マニュアル」（（財）日本住宅木材・技術センター）に基づいて行う。

6.1.1 試験体

長期荷重試験体は、②心去り木取りから製材された「心去り無垢梁桁材」とした。心去り木取り用 20 体の丸太から、それぞれ心去り無垢梁桁材 2 体を製材し、おのおの蒸気式中温乾燥と蒸気圧力併用式中温乾燥を実施した。乾燥後にモルダーにより 105×240×4,000mm に仕上げたのち Efr 等を測定し、同一丸太から製材した「心去り無垢梁桁材」の 2 体の Efr の平均値を算出した。次に、この 20 組の平均値を用いて、Efr の平均値と変動係数がほぼ等しくなるように各 10 組（「心去り無垢梁桁材」各 20 体）に 2 分割した。その一方 10 組 20 体の梁桁材について、短期曲げ試験を実施し、もう一方 10 組 20 体を長期曲げ試験体とし、今回は、そのうち 5 組 10 体について長期荷重試験を実施した。なお、短期曲げ試験の詳細は、「Ⅲ 3 心去り無垢梁桁材の乾燥及び強度特性」に記載している。

6.1.2 試験方法

クリープ試験装置は、林業総合センターのモーメントアーム方式のクリープ試験装置 10 台を用いて行う（写真 6-1）。試験機は、試験体の荷重点に約 15 倍程度の荷重が加わる仕様となっており、試験前に実際に荷重点に生じる荷重をロードセルで測定し確認する。

荷重条件は、張り出し部分を 100mm 以上確保するため、短期曲げ強度試験（スパン 3,900mm の 3 等分点 4 点荷重）と異なりスパンを梁せいの 15.75 倍の 3,780mm の 3 等分点 4 点荷重法とする。

試験体の設置は、同一丸太から製材した「心去り無垢梁桁材」の 2 体の圧縮側及び引張側が同一となるようにして、設置に際しては、荷重点や支持点においてめり込み変位が生じないようにするため、支点及び荷重点の支持の長さはおよそ 200mm とした（写真 6-2）。

荷重レベルは、平成 12 年度建設省告示第 1452 号に定められた基準強度に 1.1/3 を乗じた値とした。

変位については、試験体の中央部の中立軸において、全スパンのたわみと、ヨークを用いてモーメントが一定になる荷重点間のたわみを測定した（写真 6-3）。計測は、データー

ロガーにより、荷重を加え始めてから、1日（24時間（1,440分）は1分間隔で、その後は1時間間隔で自動測定、自動収集した。

試験環境は、温度 20℃、相対湿度 65%の恒温恒湿室内で 5 体、自然環境下（温湿度変動下）で 5 体を実施した（写真 6-1）。試験期間は、6 週間とした。



写真 6-1 試験体設置状況

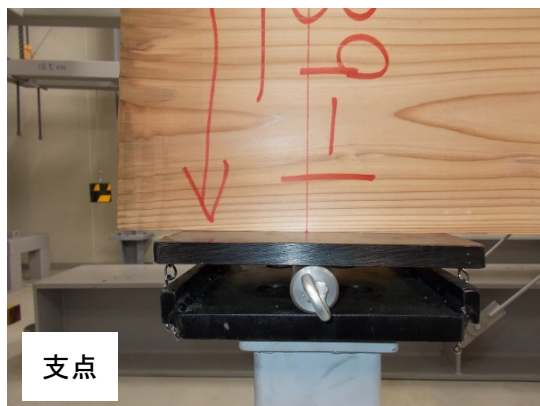


写真 6-2 支点及び荷重点の支持の状況



写真 6-3 変位（たわみ）の測定状況

6.1.3 解析方法

試験で得られたクリープたわみ一時間曲線から、クリープ調整係数等を求める。

解析は、平成 12 年度建設省告示第 1446 号による方法（以下、告示法という）と、試験マニュアルによる方法（以下、パワー則という）を行った。また、既往の研究¹⁾により、載荷後 500 分までのデータを除外し載荷後 24 時間以降のデータを対象とした解析についても、両法について行った。

告示法による解析方法を示す。

経過時間 t 分ごとに測定されたたわみ σ_t に対する初期たわみ σ_0 （1 分のたわみ）の比（クリープたわみ比 K_t ）を計算する(6-1)式。次に、クリープたわみ比 K_t の常用対数 $\log_{10}K_t$ と経過時間の常用対数 $\log_{10}t$ について線形回帰分析を行い、回帰直線の切片及び傾きを算出する(6-2)式。

$$K_t = \sigma_0 / \sigma_t \quad (6-1)$$

$$\text{Log}_{10}K_t = e + f \cdot \log_{10}t \quad (6-2)$$

ここで、 K_t : t 分後のたわみに対する初期たわみの比（クリープたわみ比）

σ_0 : 載荷直後の初期たわみ(mm)

σ_t : t 分後のたわみ(mm)

e : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の切片

f : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の傾き

次に、(6-2)式で得られた定数 e と f を次式(6-3)に代入し、荷重継続時間 50 年に対するクリープたわみ比 K_{50y} を算出する。

$$K_{50y} = 10^e \times t_{50y}^f \quad (6-3)$$

ここで、 K_{50y} : 荷重継続時間 50 年に対するクリープたわみ比

t_{50y} : 50 年分の時間 t 分で $50 \times 365 \times 24 \times 60 = 26,280,000$ 分

従って、

$$K_{50y} = 10^e \times 26,280,000^f \quad (6-4)$$

次に、(6-4)式で得られた荷重継続時間 50 年に対するクリープたわみ比 K_{50y} の逆数により、荷重継続時間 50 年に対するクリープ調整係数 σ_{50y}/σ_0 を得る。

$$\sigma_{50y}/\sigma_0=1/K_{50y} \quad (6-5)$$

ここで、 σ_{50y}/σ_0 ：荷重継続時間 50 年に対するクリープ調整係数

σ_{50y} ：50 年後の予測たわみ(mm)

次に、パワー則による解析方法を示す。

経過時間 t 分ごとに測定されたたわみ σ_t から初期たわみ σ_0 (通常 1 分のたわみ) を除いたクリープたわみ $\sigma_c(t)$ を計算する(6-6)式。次に、クリープたわみ $\sigma_c(t)$ の常用対数 $\text{Log}_{10}\sigma_c(t)$ と経過時間の常用対数 $\log_{10}t$ について線形回帰分析を行い、回帰直線の切片及び傾きを算出する(6-7)式。

$$\sigma_c(t)=\sigma_t-\sigma_0 \quad (6-6)$$

$$\text{Log}_{10}\sigma_c(t)=a \cdot \log_{10}t+b \quad (6-7)$$

ここで、 $\sigma_c(t)$: t 分後のクリープたわみ

σ_t : t 分後のたわみ(mm)

σ_0 : 載荷直後の初期たわみ(mm)

b : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の切片

a : $\log_{10}K_t$ と $\log_{10}t$ の回帰直線の傾き

次に、(6-7)式で得られた定数 b と a を、次式(6-8)に代入し、荷重継続時間 50 年に対するクリープたわみを算出する。

$$\sigma_c(t_{50y})=t_{50y}^a \times 10^b \quad (6-8)$$

ここで、 $\sigma_c(t_{50y})$ ：荷重継続時間 50 年に対するクリープたわみ

t_{50y} ：50 年分の時間 t 分で $50 \times 365 \times 24 \times 60 = 26,280,000$ 分

従って、

$$\sigma_c(t_{50y})=26,280,000^a \times 10^b \quad (6-9)$$

次に、(6-9)式で得られた荷重継続時間 50 年に対するクリープたわみにより、50 年後のたわみ σ_{50y} を求め (6-10)、荷重継続時間 50 年に対するクリープ調整係数 σ_{50y}/σ_0 (6-11)式及び荷重継続時間 50 年に対するクリープたわみ比(6-12)式を求める。

$$\sigma_{50y} = \sigma_c(t_{50y}) + \sigma_0 \quad (6-10)$$

$$\sigma_{50y} / \sigma_0 = \sigma_c(t_{50y}) / \sigma_0 + 1 \quad (6-11)$$

$$K_{50y} = \sigma_0 / \sigma_{50y} \quad (6-12)$$

ここで、 σ_{50y} ：荷重継続時間 50 年の予測たわみ(mm)

σ_0 ：載荷直後の初期たわみ(mm)

σ_{50y} / σ_0 ：荷重継続時間 50 年に対するクリープ調整係数

K_{50y} ：荷重継続時間 50 年に対するクリープたわみ比

6.1.4 試験体の設置

試験体の設置環境、積載荷重等の概要についてカラマツを表 6-1 に、スギを表 6-2 に示す。恒温恒湿室内及び自然環境下において、同一原木から製材した乾燥方法の違う 2 ペア（各 4 体）の心去り梁桁材についてクリープ変形等の違いを検討した。また、1 ペア（2 体）については、蒸気乾燥試験体を恒温恒湿室内に、減圧乾燥試験体を自然環境下（温湿度変動下）に設置した。

表 6-1 カラマツ試験体の設置環境、積載荷重等の概要

設置環境	試験体 No.		乾燥区分	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	含水率計 含水率 (%)	機械等級区分	機械等級区分 基準強度 (N/mm ²)	積載荷重 (基準強度×1.1/3)		ロードセル 確認荷重 (kN)
								(kN)	(kg)	
恒温 恒湿 室	38	1	蒸気	14.53	22	E150	55.2	32.8	3347	32.9
	38	2	減圧	15.12	19.5	E150	55.2	32.8	3340	32.8
	47	1	蒸気	11.44	16.5	E110	46.8	27.8	2837	28.0
	47	2	減圧	13.52	21	E130	46.8	27.8	2832	27.8
	53	1	蒸気	13.22	16.5	E130	46.8	27.9	2841	27.8
自然 環境 下	53	2	減圧	13.44	8.5	E130	46.8	27.8	2837	28.4
	58	1	蒸気	14.19	15	E150	55.2	32.8	3347	33.3
	58	2	減圧	13.29	6.5	E130	55.2	32.9	3353	33.4
	65	1	蒸気	11.76	12	E110	38.4	22.7	2319	22.9
	65	2	減圧	11.28	8	E110	38.4	22.8	2320	23.0

表 6-2 スギ試験体の設置環境、積載荷重等の概要

設置環境	試験体 No.		乾燥区分	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	含水率計 含水率 (%)	機械等級区分	機械等級区分 基準強度 (N/mm ²)	積載荷重 (基準強度×1.1/3)		ロードセル 確認荷重 (kN)	試験体重量 (kg)		
								(kN)	(kg)		試験前 (11/5)	試験後 (1/10)	重量増減
恒温 恒温 温室	9	1	蒸気	7.60	9.5	E70	29.4	17.3	1761	17.6	38.822	39.063	-0.241
	9	2	減圧	7.64	11	E70	29.4	17.4	1777	17.4	42.123	42.362	-0.239
	39	1	蒸気	7.98	10.5	E90	34.8	20.5	2087	20.8	36.279	36.386	-0.107
	39	2	減圧	7.89	11	E90	34.8	20.6	2102	20.6	35.417	35.382	0.035
	45	1	蒸気	9.08	11	E90	34.8	20.4	2078	20.4	37.123	37.316	-0.193
自然 環境 下	45	2	減圧	8.13	11	E90	34.8	20.6	2099	20.6	37.694	37.518	0.176
	2	1	蒸気	9.69	11	E90	34.8	20.4	2083	20.4	42.028	41.993	0.035
	2	2	減圧	9.30	13.5	E90	34.8	20.6	2096	20.8	42.316	42.189	0.127
	50	1	蒸気	10.25	10	E110	40.8	24.0	2443	24.0	42.833	42.893	-0.06
	50	2	減圧	10.33	11	E110	40.8	24.2	2466	24.4	42.724	42.784	-0.06

※スギについては、試験前後に試験体重量を測定した。

6.2 試験結果

カラマツ試験体の恒温恒湿室内でのクリープ変形試験について、告示法によるクリープ解析結果を表 6-3 及び図 6-1 に示し、告示法の 24 時間以内のデータを除外した解析について表 6-4 及び図 6-2 に示す。また、パワー則による解析結果を、表 6-5 及び図 6-3 に示し、パワー則の 24 時間以内のデータを除外した解析について表 6-6 及び図 6-4 に示す。

告示法、パワー則のいずれも、載荷後から 24 時間以内のデータを除外した解析が実測値に近く、特にパワー則の 24 時間以内のデータを除外した解析結果（図 6-4）が良く適合していた。

次に、カラマツ試験体の自然環境下（温湿度変動下）でのクリープ変形試験について、告示法によるクリープ解析結果を表 6-7 及び図 6-5 に示し、告示法の 24 時間以内のデータを除外した解析について表 6-8 及び図 6-6 に示す。また、パワー則による解析結果を、表 6-9 及び図 6-7 に示し、パワー則の 24 時間以内のデータを除外した解析について表 6-10 及び図 6-8 に示す。

告示法では、載荷後から 24 時間以内のデータを除外した解析が実測値に近く、パワー則ではいずれの解析も適合していたが、載荷後から 24 時間以内のデータを除外した解析結果（図 6-8）が良く適合していた。

表 6-3 クリープ試験の結果（告示法：カラマツ－恒温恒湿室内）

設置環境	試験体No.	乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
恒温 恒湿室	38	1 蒸気	18.89	-0.024	0.039	26.19	1.386	0.721
		2 減圧	21.27	-0.029	0.051	31.27	1.470	0.680
	47	1 蒸気	18.09	-0.020	0.025	24.03	1.329	0.753
		2 減圧	17.29	-0.029	0.057	24.84	1.436	0.696
	53	1 蒸気	17.71	-0.017	0.017	22.66	1.279	0.782

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10} Kt$ と $\log_{10} t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

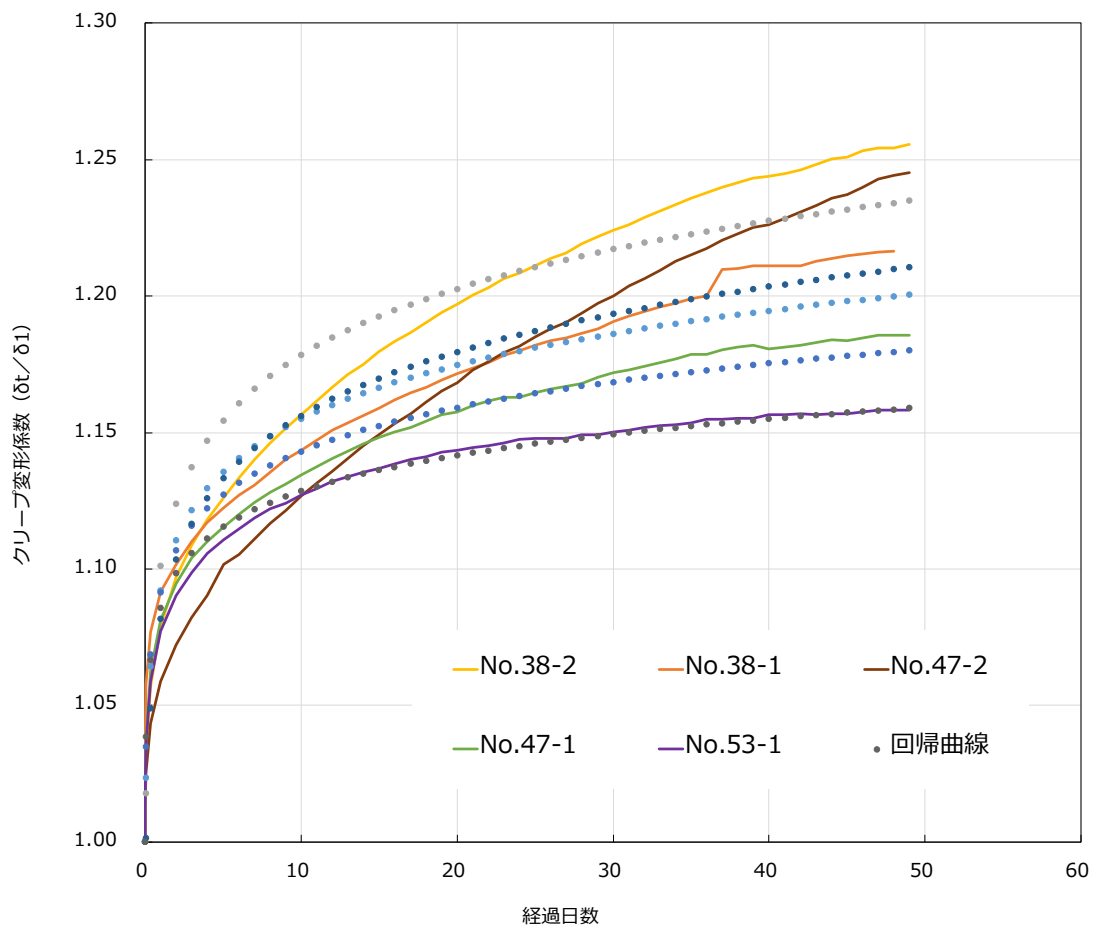


図 6-1 クリープ試験の結果（告示法：カラマツ－恒温恒湿室内）

表 6-4 クリープ試験の結果（告示法-24H 以降：カラマツ-恒温恒湿室内）

設置環境	試験体No.	乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
恒温恒湿室	38	1 蒸気	18.89	-0.035	0.086	28.15	1.490	0.671
		2 減圧	21.27	-0.044	0.117	34.54	1.624	0.616
	47	1 蒸気	18.09	-0.026	0.052	25.04	1.384	0.723
		2 減圧	17.29	-0.048	0.144	28.28	1.636	0.611
	53	1 蒸気	17.71	-0.019	0.027	23.01	1.299	0.770

※ σ_{1min} ：1分のはたき(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測はたき(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープはたき比の予測値

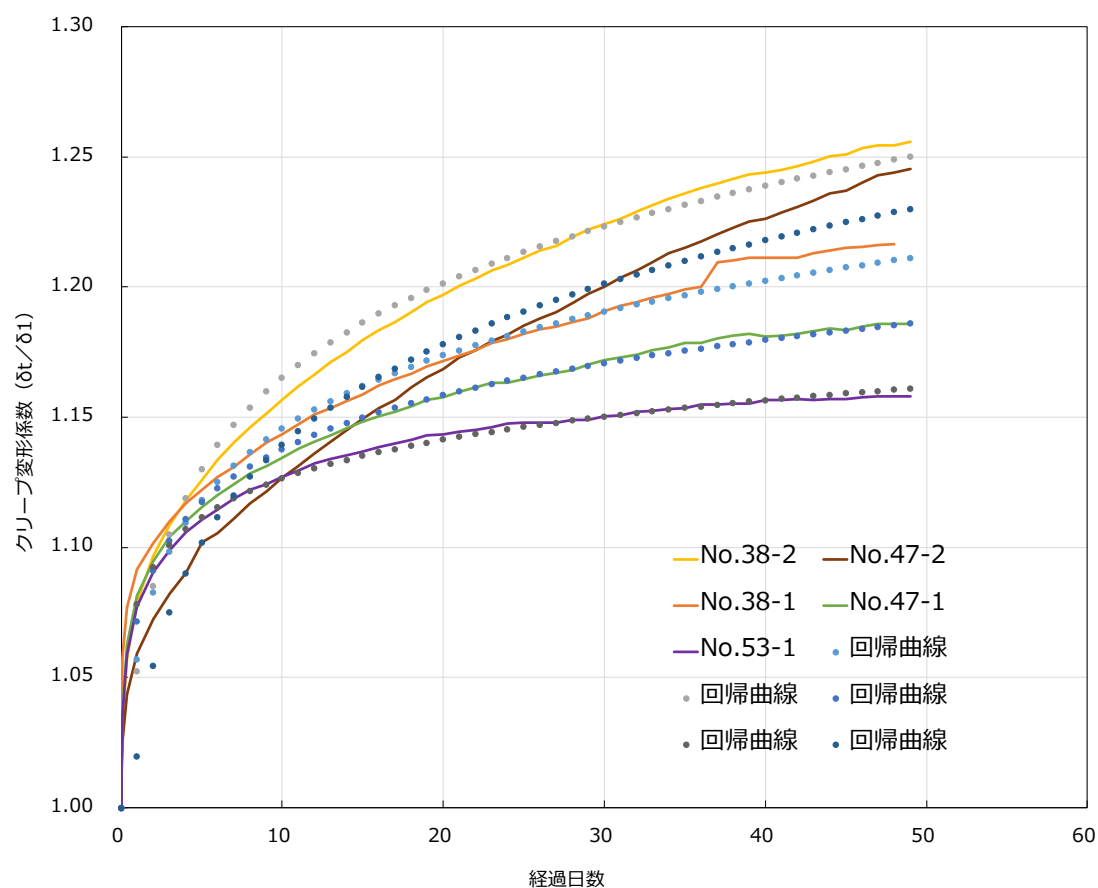


図 6-2 クリープ試験の結果（告示法-24H 以降：カラマツ-恒温恒湿室内）

表 6-5 クリープ試験の結果（パワー則：カラマツ－恒温恒湿室内）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
恒温 恒湿 室	38	1	蒸気	18.89	0.293	-0.800	42.60	2.255	0.443
		2	減圧	21.27	0.320	-0.805	58.22	2.737	0.365
	47	1	蒸気	18.09	0.249	-0.659	33.55	1.855	0.539
		2	減圧	17.29	0.348	-1.080	49.01	2.834	0.353
	53	1	蒸気	17.71	0.235	-0.654	30.00	1.694	0.590

※ σ_{1min} ：1分のはたき(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測はたき(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープはたき比の予測値

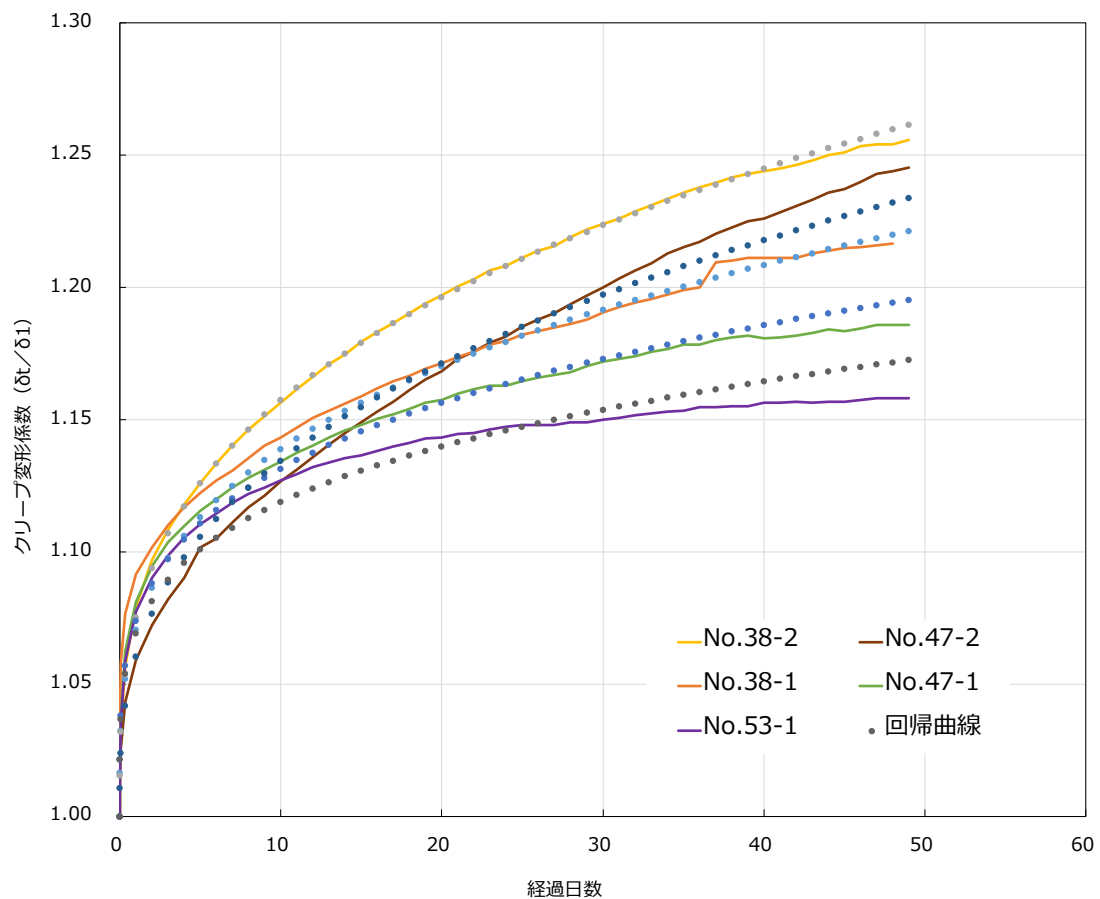


図 6-3 クリープ試験の結果（パワー則：カラマツ－恒温恒湿室内）

表 6-6 クリープ試験の結果（パワー則-24H 以降：カラマツー恒温恒湿室内）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
恒温 恒湿 室	38	1	蒸気	18.89	0.273	-0.712	39.61	2.097	0.477
		2	減圧	21.27	0.311	-0.768	56.16	2.640	0.379
	47	1	蒸気	18.09	0.216	-0.511	30.44	1.683	0.594
		2	減圧	17.29	0.387	-1.257	58.66	3.393	0.295
	53	1	蒸気	17.71	0.174	-0.379	25.81	1.458	0.686

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

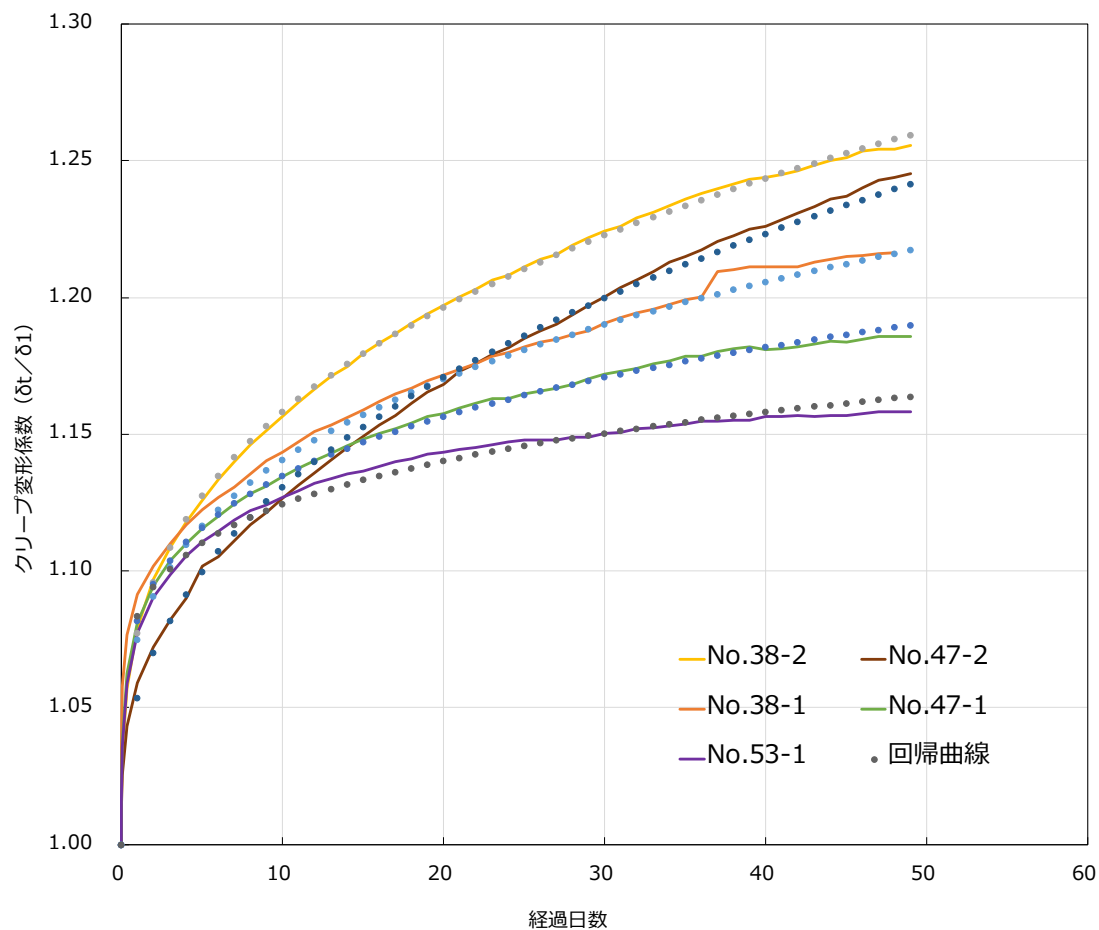


図 6-4 クリープ試験の結果（パワー則-24H 以降：カラマツー恒温恒湿室内）

表 6-7 クリープ試験の結果（告示法：カラマツ自然環境下）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
自然環境下	53	2	減圧	15.06	-0.009	0.009	17.29	1.148	0.871
	58	1	蒸気	20.61	-0.014	0.020	25.21	1.223	0.818
		2	減圧	22.23	-0.019	0.030	28.73	1.292	0.774
	65	1	蒸気	16.47	-0.009	0.009	18.92	1.149	0.871
		2	減圧	15.48	-0.014	0.023	18.65	1.205	0.830

※ σ_{1min} ：1分たわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10} Kt$ と $\log_{10} t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

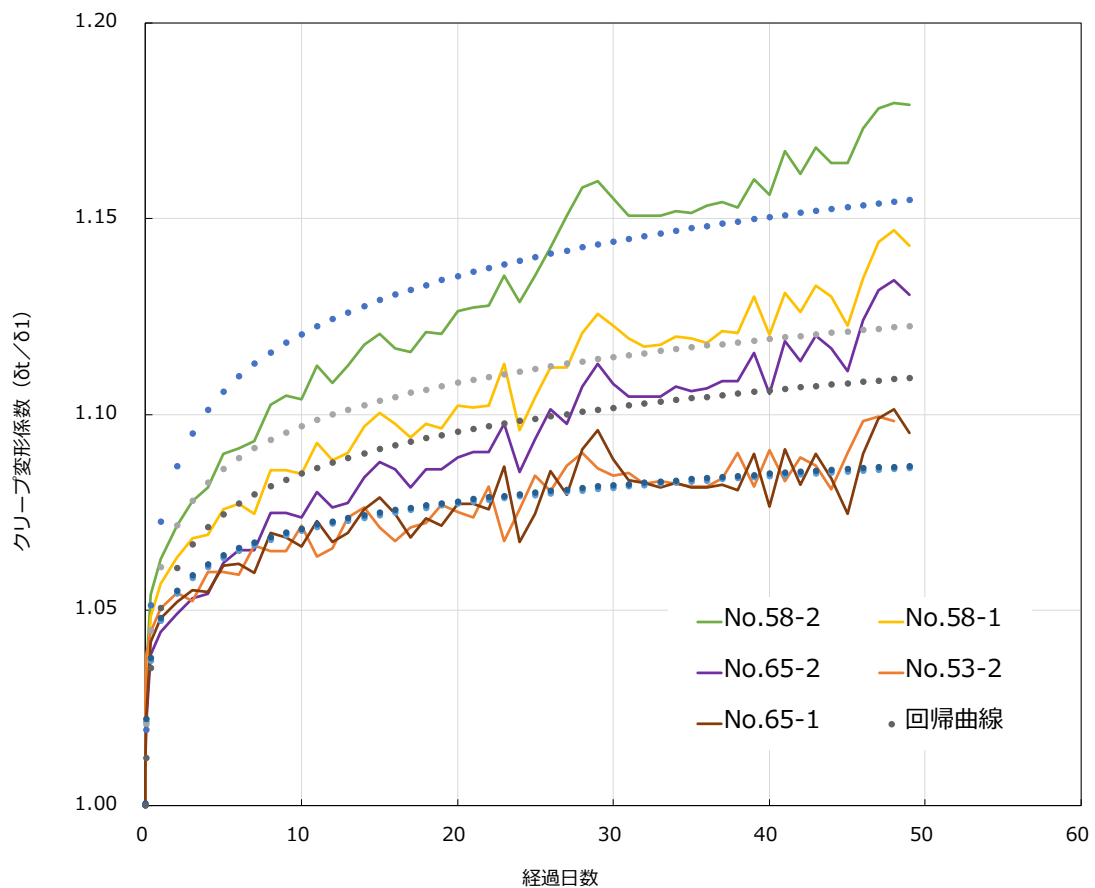


図 6-5 クリープ試験の結果（告示法：カラマツ自然環境下）

表 6-8 クリープ試験の結果（告示法-24H 以降：カラマツ自然環境下）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
自然環境下	53	2	減圧	15.06	-0.012	0.023	17.65	1.172	0.853
	58	1	蒸気	20.61	-0.021	0.051	26.40	1.281	0.781
		2	減圧	22.23	-0.029	0.076	30.79	1.385	0.722
	65	1	蒸気	16.47	-0.011	0.018	19.16	1.163	0.860
		2	減圧	15.48	-0.022	0.057	19.64	1.269	0.788

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

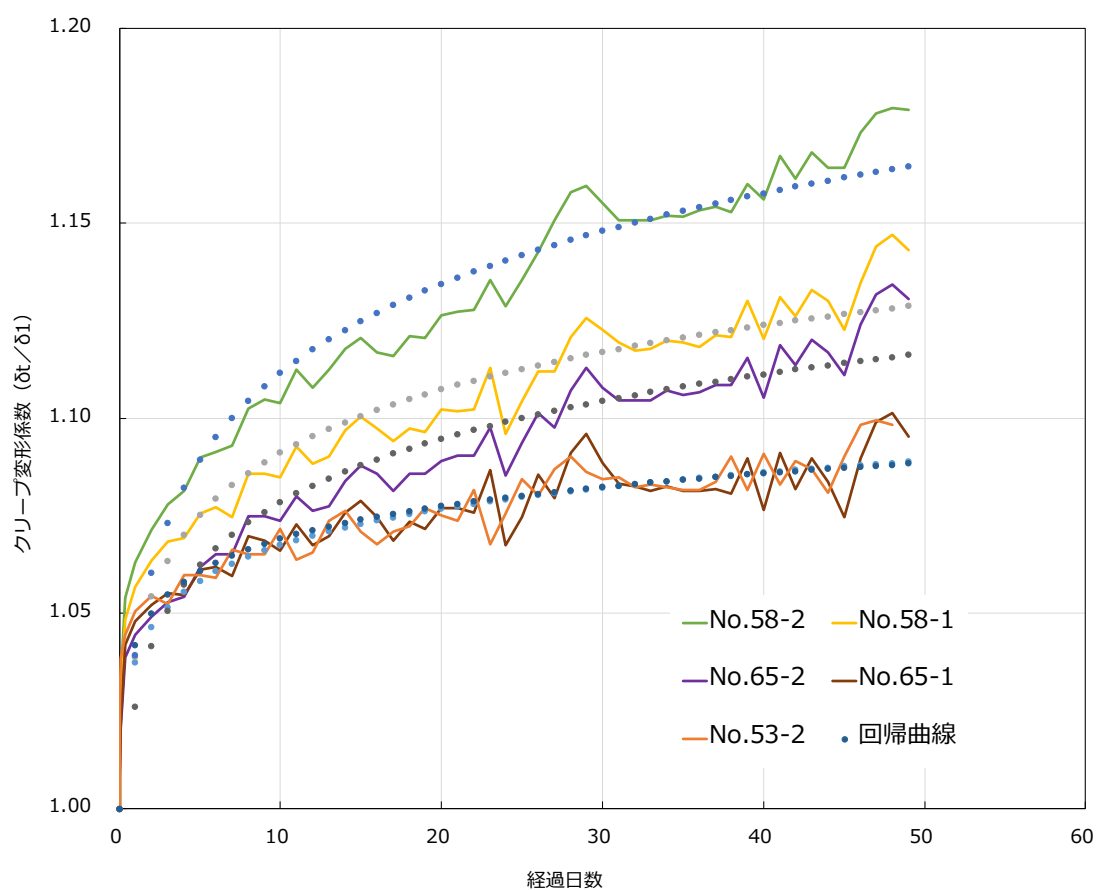


図 6-6 クリープ試験の結果（告示法-24H 以降：カラマツ自然環境下）

表 6-9 クリープ試験の結果（パワー則：カラマツ－自然環境下）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
自然環境下	53	2	減圧	15.06	0.210	-0.878	19.85	1.318	0.759
	58	1	蒸気	20.61	0.247	-0.763	32.33	1.569	0.638
		2	減圧	22.23	0.269	-0.732	40.52	1.823	0.549
	65	1	蒸気	16.47	0.228	-0.915	22.45	1.363	0.734
		2	減圧	15.48	0.277	-1.077	24.95	1.611	0.621

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

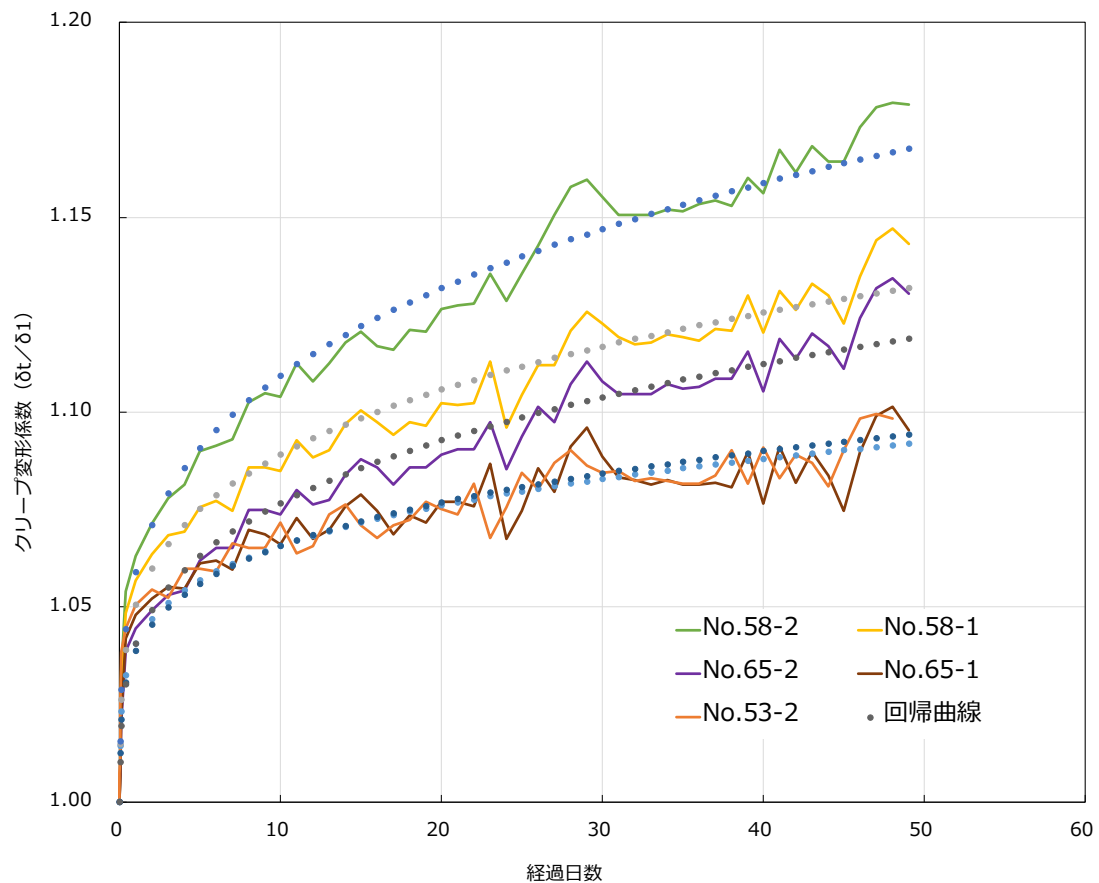


図 6-7 クリープ試験の結果（パワー則：カラマツ－自然環境下）

表 6-10 クリープ試験の結果（パワー則-24H以降：カラマツ-自然環境下）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
自然環境下	53	2	減圧	15.06	0.192	-0.799	19.30	1.281	0.780
	58	1	蒸気	20.61	0.245	-0.756	32.15	1.560	0.641
		2	減圧	22.23	0.282	-0.794	42.24	1.900	0.526
	65	1	蒸気	16.47	0.171	-0.660	20.52	1.246	0.803
		2	減圧	15.48	0.287	-1.126	25.61	1.655	0.604

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10} Kt$ と $\log_{10} t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

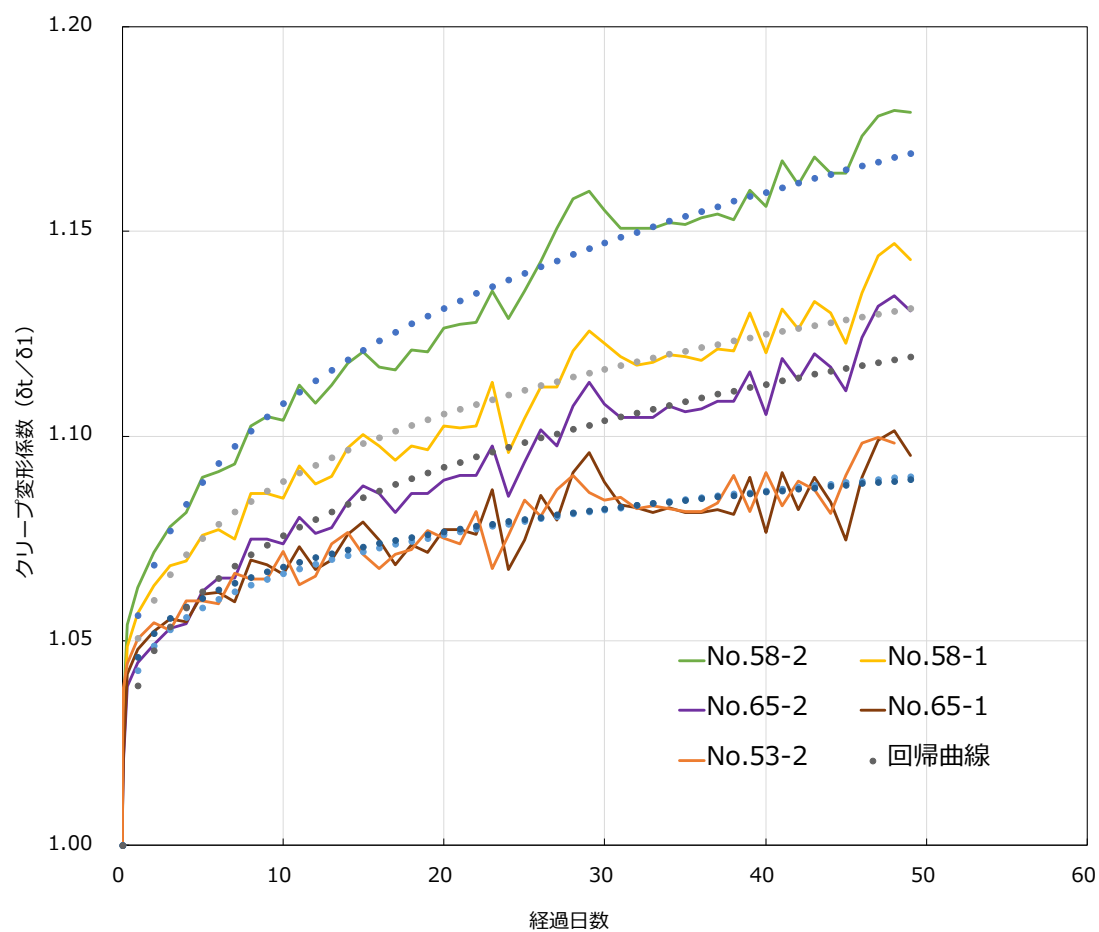


図 6-8 クリープ試験の結果（パワー則-24H以降：カラマツ-自然環境下）

スギ試験体の恒温恒湿室内でのクリープ変形試験について、告示法によるクリープ解析結果を表 6-11 及び図 6-9 に示し、告示法の 24 時間以内のデータを除外した解析について表 6-12 及び図 6-10 に示す。また、パワー則による解析結果を、表 6-13 及び図 6-11 に示し、パワー則の 24 時間以内のデータを除外した解析について表 6-14 及び図 6-12 に示す。

告示法、パワー則のいずれも、載荷後から 24 時間以内のデータを除外した解析が実測値に近く、特にパワー則の 24 時間以内のデータを除外した解析結果（図 6-12）が良く適合していた。

次に、スギ試験体の自然環境下（温湿度変動下）でのクリープ変形試験について、告示法によるクリープ解析結果を表 6-15 及び図 6-13 に示し、告示法の 24 時間以内のデータを除外した解析について表 6-16 及び図 6-14 に示す。また、パワー則による解析結果を、表 6-17 及び図 6-15 に示し、パワー則の 24 時間以内のデータを除外した解析について表 6-18 及び図 6-16 に示す。

恒温恒湿室内と同じく、告示法、パワー則のいずれも、載荷後から 24 時間以内のデータを除外した解析が実測値に近く、特にパワー則の 24 時間以内のデータを除外した解析結果（図 6-16, 6-18）が良く適合していた。しかし、自然環境下（温湿度変動下）による変動が大きかった。

引用・参考資料

- 1) 大橋義徳、松本和茂、佐藤司、平井卓郎：木材学会誌 54(4)、174-182(2008)

表 6-11 クリープ試験の結果（告示法：スギー恒温恒湿室内）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
恒温 恒湿室	9	1	蒸気	20.12	-0.013	0.020	23.91	1.188	0.842
		2	減圧	20.32	-0.015	0.025	24.99	1.230	0.813
	39	1	蒸気	21.37	-0.001	-0.004	21.93	1.026	0.975
		2	減圧	21.22	-0.007	0.007	23.41	1.103	0.906
	45	1	蒸気	19.8	-0.012	0.017	23.42	1.183	0.845

※ σ_{1min} ：1分たわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10} Kt$ と $\log_{10} t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

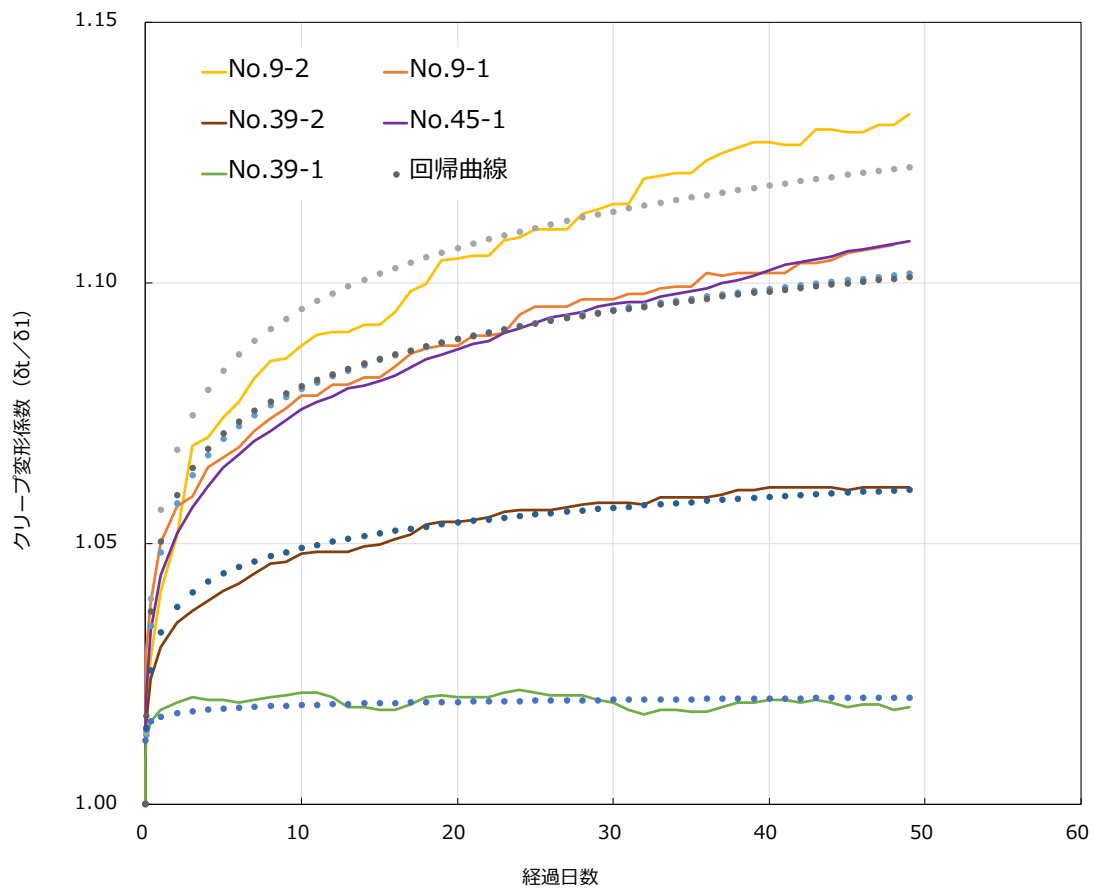


図 6-9 クリープ試験の結果（告示法：スギー恒温恒湿室内）

表 6-12 クリープ試験の結果（告示法-24H 以降：スギー恒温恒湿室内）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
恒温 恒湿 室	9	1	蒸気	20.12	-0.017	0.037	24.55	1.220	0.820
		2	減圧	20.32	-0.022	0.055	26.15	1.287	0.777
	39	1	蒸気	21.37	0.000	-0.009	21.76	1.018	0.982
		2	減圧	21.22	-0.008	0.014	23.66	1.115	0.897
	45	1	蒸気	19.8	-0.016	0.035	24.07	1.216	0.823

※ σ_{1min} ：1分たわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

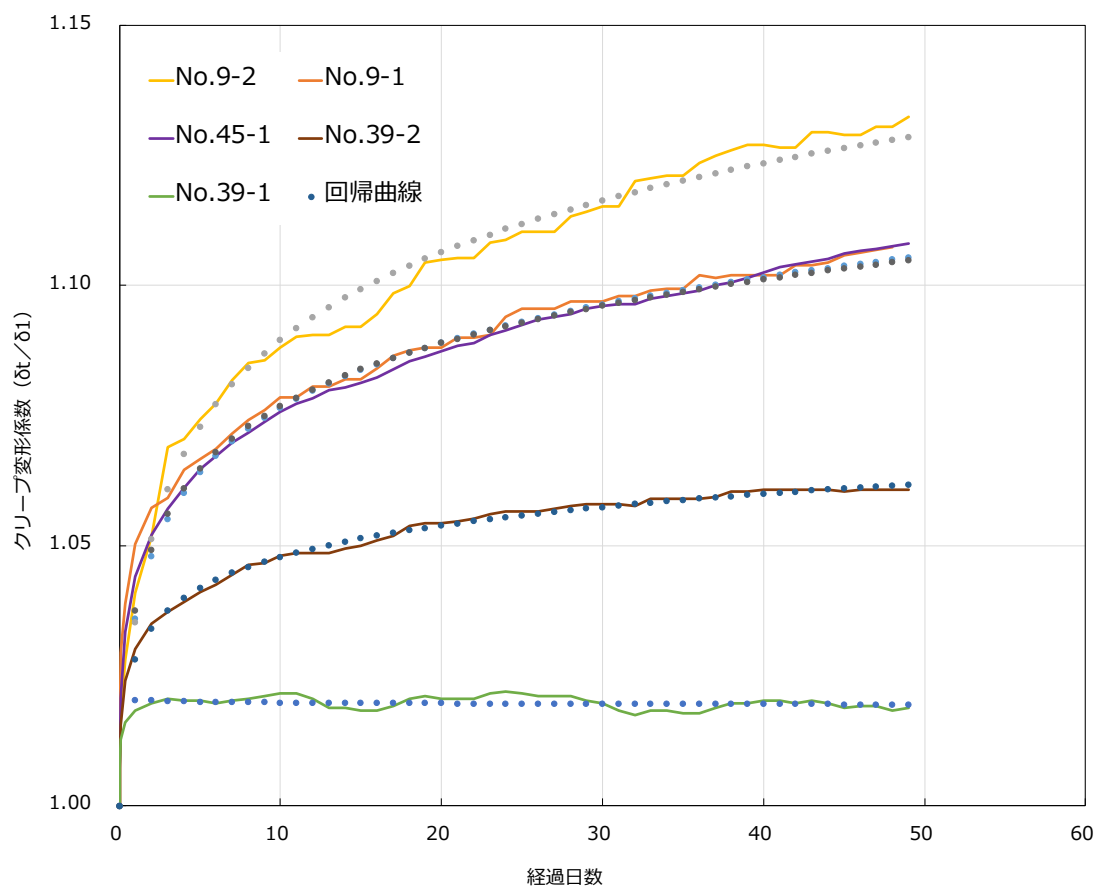


図 6-10 クリープ試験の結果（告示法-24H 以降：スギー恒温恒湿室内）

表 6-13 クリープ試験の結果（パワー則：スギー恒温恒湿室内）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
恒温 恒湿 室	9	1	蒸気	20.12	0.311	-1.141	34.72	1.726	0.580
		2	減圧	20.32	0.282	-0.933	34.71	1.708	0.585
	39	1	蒸気	21.37	0.067	-0.677	22.03	1.031	0.970
		2	減圧	21.22	0.222	-0.935	26.35	1.242	0.805
	45	1	蒸気	19.8	0.268	-0.955	30.56	1.544	0.648

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

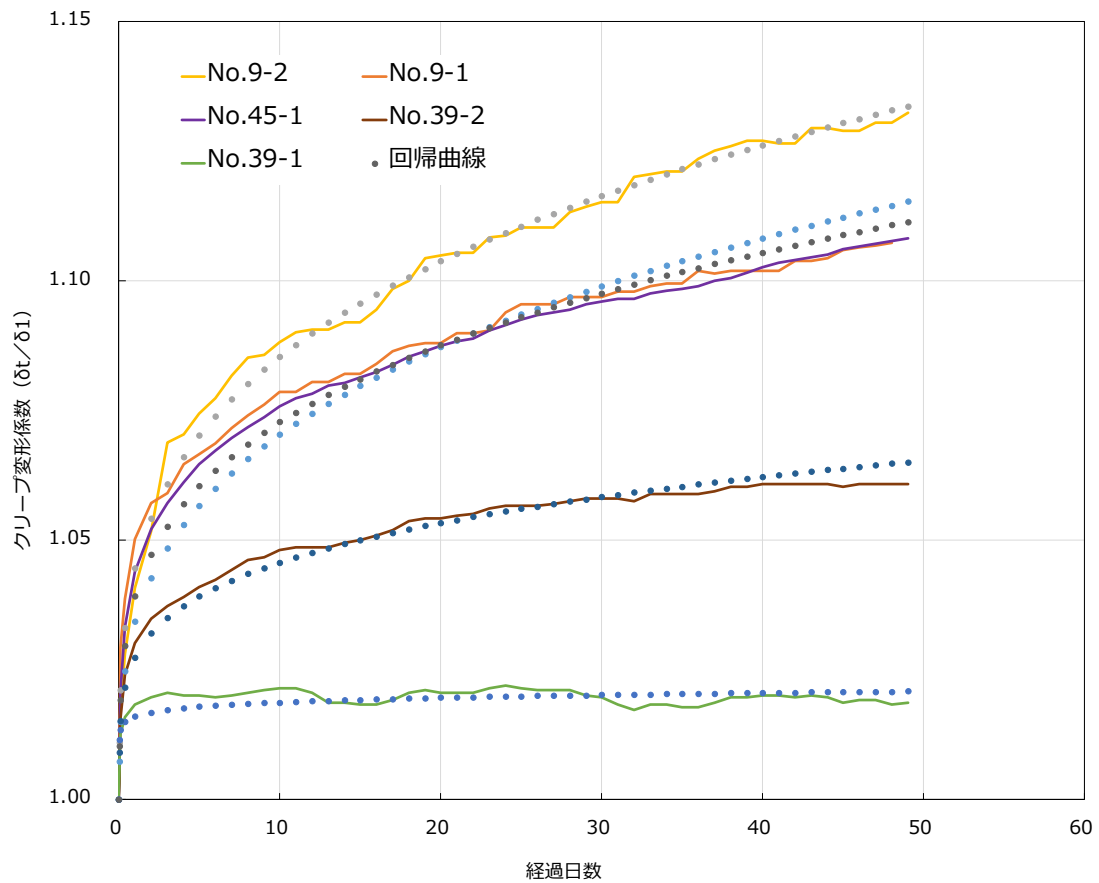


図 6-11 クリープ試験の結果（パワー則：スギー恒温恒湿室内）

表 6-14 クリープ試験の結果（パワー則-24H 以降：スギー恒温恒湿室内）

設置環境	試験体Nb.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
恒温 恒湿室	9	1	蒸気	20.12	0.239	-0.820	29.10	1.446	0.691
		2	減圧	20.32	0.274	-0.897	34.02	1.674	0.597
	39	1	蒸気	21.37	-0.012	-0.324	21.76	1.018	0.982
		2	減圧	21.22	0.183	-0.761	25.16	1.185	0.844
	45	1	蒸気	19.8	0.226	-0.768	27.89	1.409	0.710

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

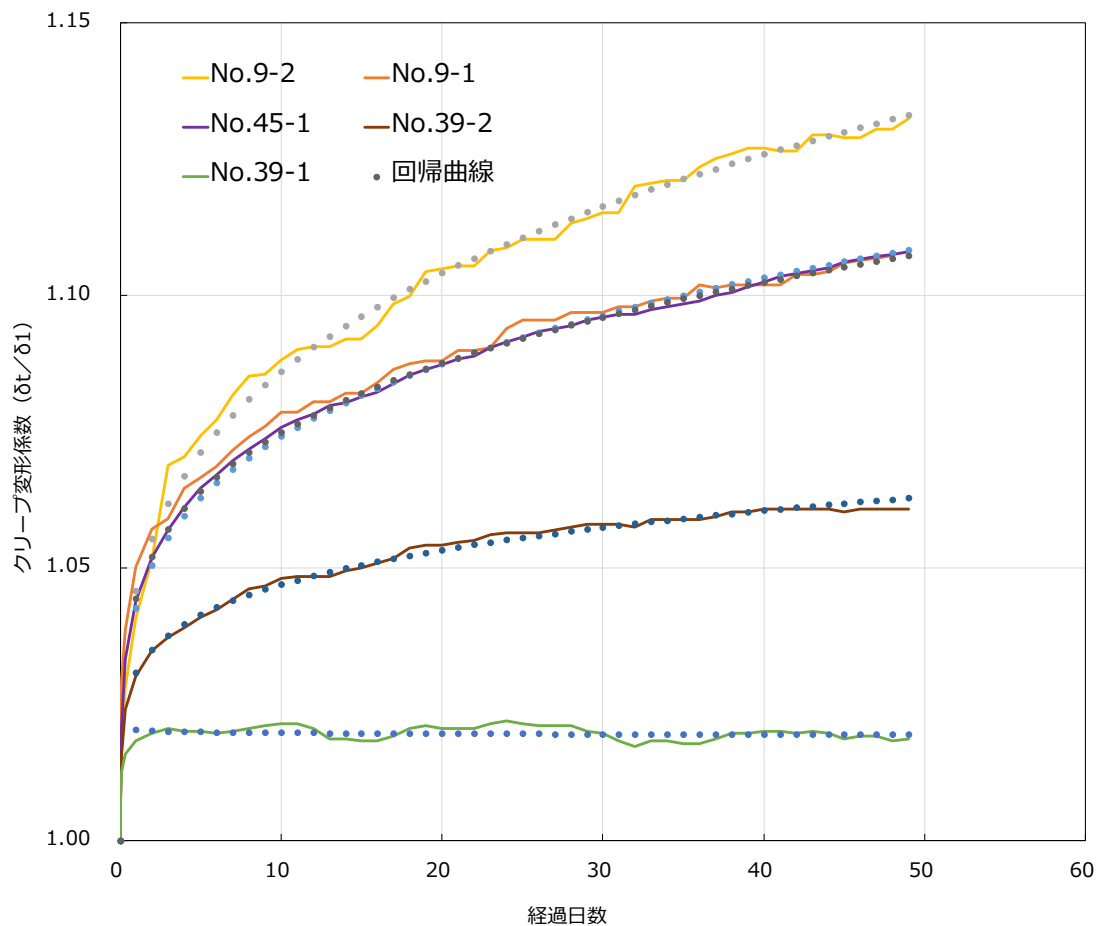


図 6-12 クリープ試験の結果（パワー則-24H 以降：スギー恒温恒湿室内）

表 6-15 クリープ試験の結果（告示法：スギー自然環境下）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
自然環境下	45	2	減圧	20.99	-0.010	0.017	23.92	1.140	0.877
	2	1	蒸気	17.78	-0.005	0.003	19.27	1.084	0.923
		2	減圧	18.15	-0.007	0.006	20.01	1.103	0.907
	50	1	蒸気	18.47	-0.005	0.000	20.11	1.089	0.918
		2	減圧	18.41	-0.007	0.007	20.51	1.114	0.898

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

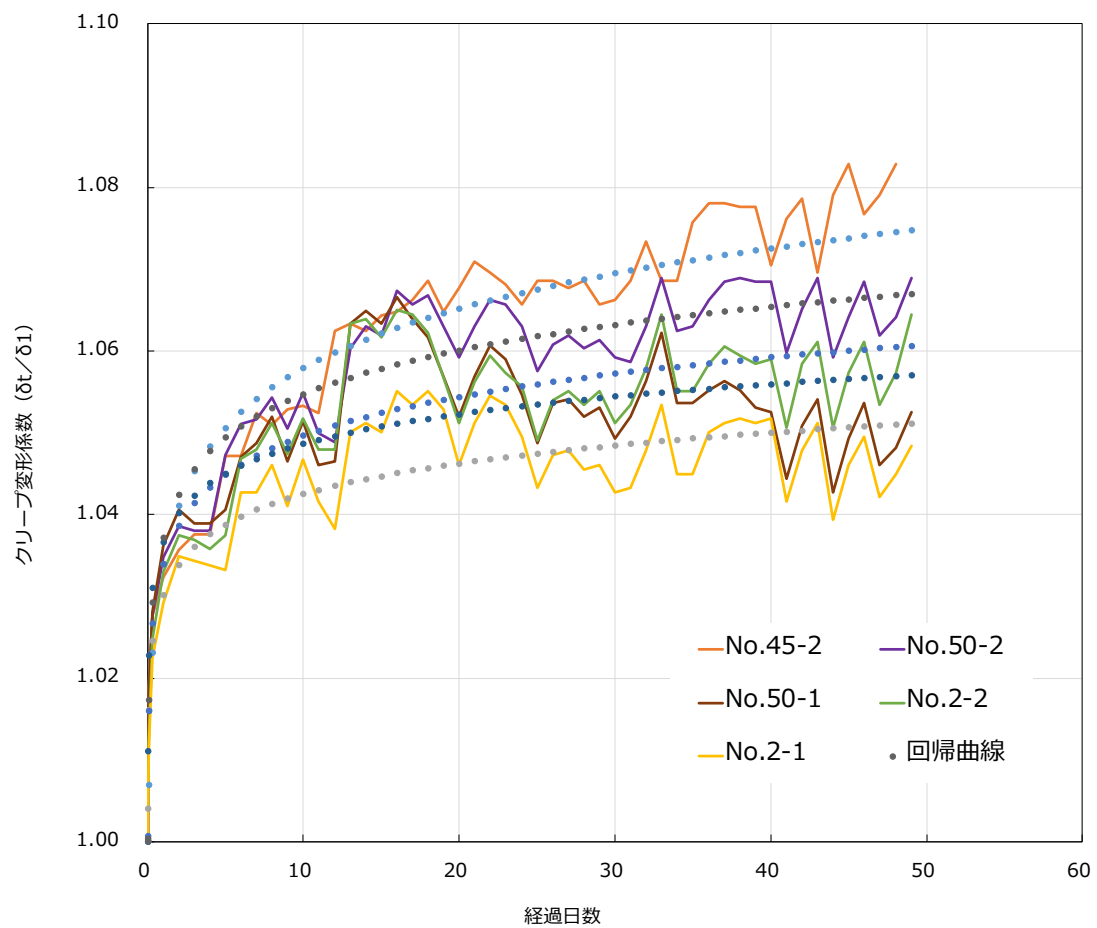


図 6-13 クリープ試験の結果（告示法：スギー自然環境下）

表 6-16 クリープ試験の結果（告示法-24H以降：スギー自然環境下）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
自然環境下	45	2	減圧	20.99	-0.014	0.035	24.59	1.171	0.854
	2	1	蒸気	17.78	-0.004	-0.001	19.13	1.076	0.929
		2	減圧	18.15	-0.006	0.005	19.98	1.101	0.908
	50	1	蒸気	18.47	-0.003	-0.007	19.89	1.077	0.928
		2	減圧	18.41	-0.008	0.012	20.65	1.122	0.891

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

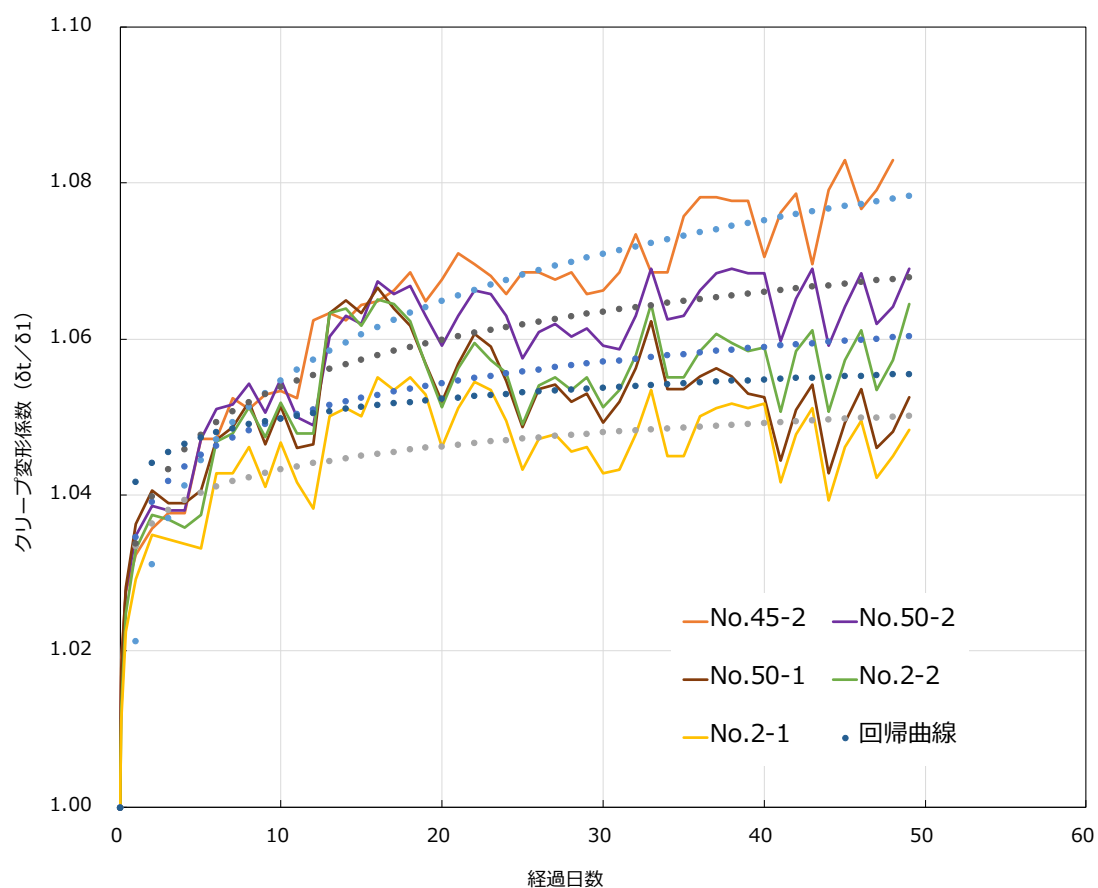


図 6-14 クリープ試験の結果（告示法-24H以降：スギー自然環境下）

表 6-17 クリープ試験の結果（パワー則：スギー自然環境下）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
自然環境下	45	2	減圧	20.99	0.330	-1.350	33.63	1.602	0.624
	2	1	蒸気	17.78	0.238	-1.150	21.89	1.231	0.812
		2	減圧	18.15	0.269	-1.212	24.25	1.336	0.748
	50	1	蒸気	18.47	0.175	-0.800	21.62	1.170	0.854
		2	減圧	18.41	0.228	-0.981	23.58	1.281	0.781

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

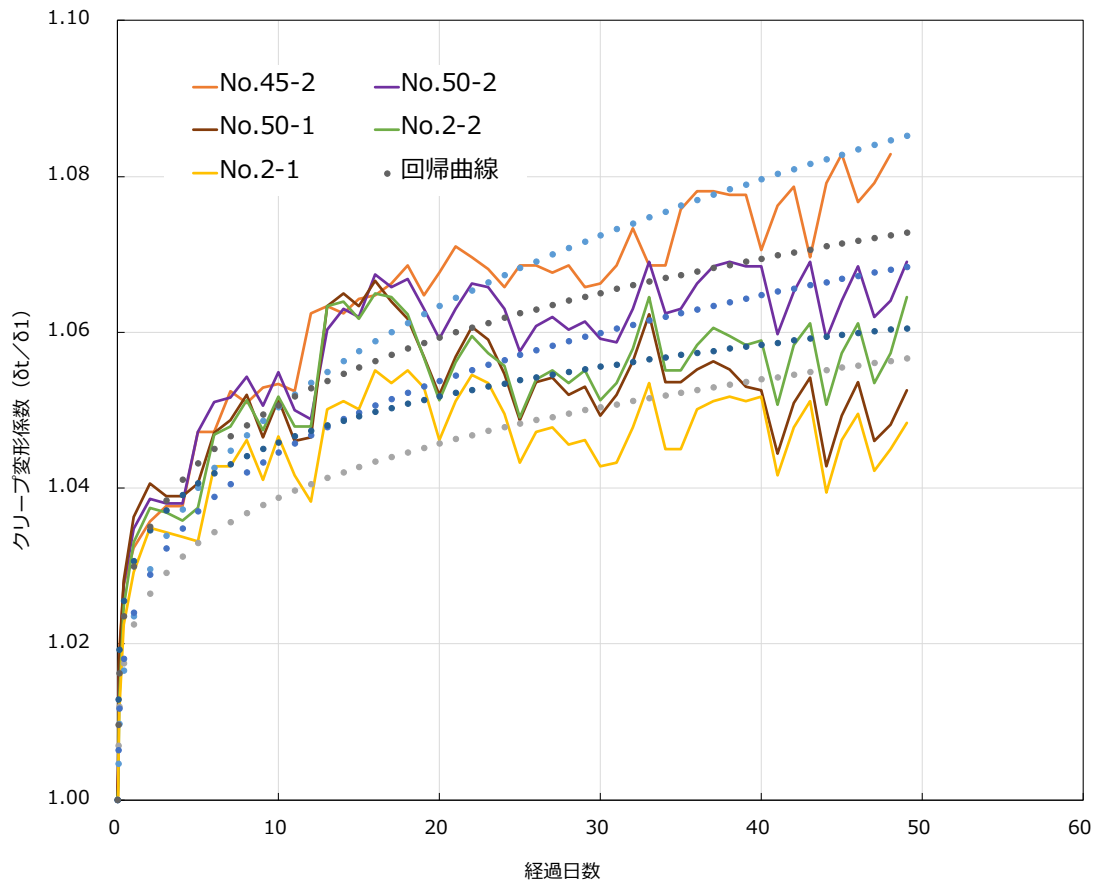


図 6-15 クリープ試験の結果（パワー則：スギー自然環境下）

表 6-18 クリープ試験の結果（パワー則-24H 以降：スギー自然環境下）

設置環境	試験体No.		乾燥区分	σ_{1min}	傾き f	切片 e	σ_{50y}	C_{cp}	K_{50y}
自然環境下	45	2	減圧	20.99	0.277	-1.109	29.75	1.418	0.705
	2	1	蒸気	17.78	0.107	-0.564	19.47	1.095	0.913
		2	減圧	18.15	0.142	-0.643	20.72	1.142	0.876
	50	1	蒸気	18.47	0.079	-0.369	20.11	1.089	0.918
		2	減圧	18.41	0.170	-0.719	21.89	1.189	0.841

※ σ_{1min} ：1分のたわみ(mm)、 $f \cdot e$ ： $\log_{10}Kt$ と $\log_{10}t$ の回帰曲線の切片eと傾きf、 σ_{50y} ：50年後の予測たわみ(mm)、 C_{cp} ：50年後のクリープ係数、 K_{50y} ：荷重継続時間50年に対するクリープたわみ比の予測値

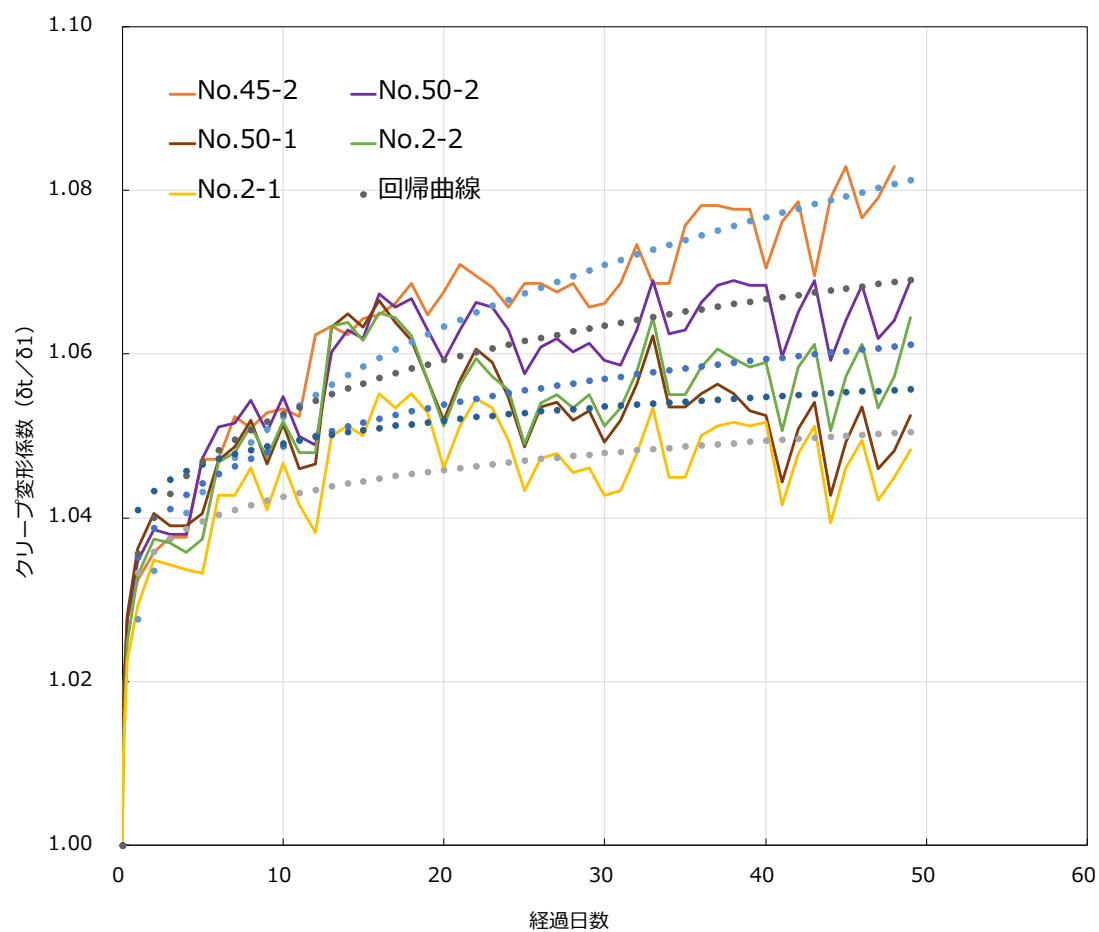


図 6-16 クリープ試験の結果（パワー則-24H 以降：スギー自然環境下）

IV まとめ

カラマツ大径材 60 本、スギ大径材 60 本を 1 樹種 20 本ずつ 3 種類の木取りを行い、それぞれの製品について乾燥特性と強度特性について検討した。

1 大径 A 材丸太の木取り方法の提案と製材及び製品歩止まりの検討

- (1) 長野県東信産カラマツ大径材 60 体と北信産スギ 60 体を供試木とした。
- (2) 末口短径は、平均値でカラマツ 393mm、スギ 414mm、度数分布のピークは、カラマツ 380mm、スギは 400mm であり、スギはカラマツより 1 径級太かった。
- (3) 末口年輪数は、平均値でカラマツ 69 年、スギ 59 年であったが、スギは、100 年以上が 2 体 (124 年と 150 年) あったため、標準偏差がカラマツの倍 (カラマツ 9、スギ 18) となりバラツキが大きかった。また、度数分布のピークは、カラマツでは 14 齢級 (66～70 年)、スギでは 11 齢級 (51～55 年) にあり、カラマツがスギより 3 齢級高かった。
- (4) 末口平均年輪幅は、平均値でカラマツ 2.9mm、スギ 3.8mm であり、スギは 7mm 以上が 1 体あり、標準偏差がカラマツの倍 (カラマツ 0.44、スギ 0.96) となった。度数分布でもカラマツは 2mm 台、スギは 3mm 台にピークがあり、スギはカラマツより 1mm 太かった。
- (5) 縦振動ヤング係数は、平均値でカラマツ Ef130 (12.1kN/mm²)、スギ Ef70 (7.5kN/mm²)、度数分布のピークも、カラマツは Ef130 (11.8～13.6Kn/mm²)、スギ Ef70 (5.9～7.7Kn/mm²) にあった。
- (6) カラマツ、スギ各 60 体について、3 つの木取り製材を行うため、得られた縦振動ヤング係数の平均値と、変動係数がほぼ等しくなるように 3 分割し、各樹種 20 体ずつを以後の各木取り試験の供試丸太とした。そのため、径級ごとの本数のバラツキは大きくなっていた。
- (7) 大径 A 材丸太から末口最小径 360mm での木取り可能な製品寸法を基本木取りとして、3 つの木取り方法 (「心持ち木取り」「心去り木取り」「210 材木取り」) を実施した。また、380mm 以上の丸太も多数あることから、これらについては、基本木取り以外にも製材可能であり、それぞれの丸太径ごとに基本木取り+α 製材を実施した。
- (8) 各木取りにおいて、主製材歩止り、全製材歩止り、主製品歩止り、全製品歩止り、を算出した。
- (9) 「1 心持ち木取り」は、130×320×4,000mm の心持ち梁桁材の製材を行い、その外周部からは 60×230×4,000mm などの平割材を製材するものとした。
- (10) 「2 心去り木取り」は、125×260×4,000mm の心去り梁桁材 2 体の製材を行い、その外周部から、更に厚さ 60mm 及び 40mm の平割材を製材した。
- (11) 「3 210 材木取り」は、50×255×4,000mm (210 材) とその外周部より 50×205×4,000mm (208 材) を製材するものとし、その外周部から、更に 60mm 厚及び 40mm 厚の平割材を製材した。

- (12) 「1 心持ち木取り」では、主製材歩止りは、平均でカラマツ 27.3%、スギ 24.4%であり、全製材歩止りは、平均でカラマツ 53.4%、スギ 53.9%であった。また、主製品歩止りは、平均でカラマツ 20.7%、スギ 18.5%であり、全製品歩止りは、平均でカラマツ 40.6%、スギ 41.1%であった。製品梁せいを 300mm に固定したため、径級別では、主製材及び主製品歩止りは径級が大きくなるに従って低くなっていた。しかし、主製品の外周部から平割材を製材することによって、全製品歩止りが 40%を超えていた。
- (13) 「2 心去り木取り」では、主製材歩止りは、平均でカラマツ 42.8%、スギ 38.6%であり、全製材歩止りは、平均でカラマツ 58.2%、スギ 55.4%であった。また、主製品歩止りは、平均でカラマツ 33.2%、スギ 29.9%であり、全製品歩止りは、平均でカラマツ 43.4%、スギ 41.6%であった。径級別では、主製材及び主製品歩止りは径級が大きくなるに従って低くなっていた。しかし、心持ち木取りと同じく、主製品の外周部から平割材を製材することによって、全製品歩止りが 40%を超えていた。
- (14) 「3 210 材木取り」では、主製材歩止りは、平均でカラマツ 51.8%、スギ 50.8%であり、全製材歩止りは、平均でカラマツ 58.7%、スギ 55.5%であった。また、主製品歩止りは、平均でカラマツ 36.0%、スギ 35.4%であり、全製品歩止りは、平均でカラマツ 40.4%、スギ 38.3%であった。径級別では、心持ち及び心去り木取りと違い、径級が大きくなると 210 材、208 材の製材数が増えることによって高い主製品歩止りとなり、径級によるバラツキが小さくなった。変動係数は、カラマツで 6.7%、スギで 6.9%となり、心持ち木取り（カラマツ：10.3%、スギ：17.3%）及び心去り木取り（カラマツ：9.6%、スギ：14.1%）に比べて小さくなった。
- (15) 主製材歩止りは、心持ち木取りで約 30%、心去り木取りで約 40%、210 材木取りで約 50%、全体で約 40%であった。210 材木取りの 460mm が一番高かった。
- (16) 全製材歩止りは、心去り及び 210 材木取りで 6 割弱となったが、心持ち木取りでは、5 割強となった。主製材歩止りと同じく 210 材木取りの 460mm が 60%を超えていた。
- (17) 主製品歩止りは、210 材＞心去り＞心持ちとなり、平均で約 30%となった。210 材木取りでは全ての径級で 30%を超えており、460mm では約 40%となった。
- (18) 全製品歩止りは、各木取りで約 40%となった。
- (19) 今回の木取りにおいては、主製材及び主製品歩止りは、210 材＞心去り梁桁材＞心持ち梁桁材、の順番での高くなった。しかし、全製材及び全製品歩止りでは、木取りによる大きな違いはなかった。その結果、大径材から各横架材を主製品として製材し、あわせて外周部から平割材を製材することによって、全製品歩止りで 40%を超えていた。

2 「心持ち無垢梁桁材」の乾燥特性及び強度特性の解明

(1) 製材寸法は 125×325×4,000 mm とした。

製品寸法は 105×300×4,000 mm である。

(2) 丸太と主製品の縦振動ヤング係数 (E_{fr}) の相関は強かった。

(3) 21 日間の蒸気式高温セット乾燥で、カラマツは平均 16.8%

に、スギは 10.9% の含水率に仕上がった。カラマツについて

は、スケジュールの延長や、天然乾燥との組み合わせ、高温

セット後の中温乾燥時の乾球温度の調整等、スケジュールの改良が必要だと思われる。

(4) 11 日間の蒸気圧力併用乾燥では、カラマツ 18.3%、スギ 10.9% の含水率に仕上がった。

蒸気圧力併用乾燥は蒸気式高温セット乾燥のおよそ半分の期間で乾燥が可能であった。

カラマツについては、スケジュールの延長や、天然乾燥との組み合わせ、高温セット後

の中温乾燥時の乾球温度の調整等、スケジュールの改良が必要だと思われる。

(5) スギもカラマツも同じスケジュールにより実施したが、いずれの乾燥方式もスギの方が含水率が低く仕上がった。

(6) 製材後の曲がりやそりは少なかった。乾燥後のそりは、カラマツが平均 0.2 mm/4m、スギが平均 4.3 mm/4m であった。乾燥前後の比較では、反りは減少し、曲がりが増加した。

(7) 乾燥後の広い面でのねじれは、カラマツが平均 15.0 mm/4m、スギが平均 4.3 mm/4m であった。

(8) カラマツは、修正挽きによりねじれが取り切れない大きなねじれの材（計算上は 20 mm/4m 以上）が 6 本あった。しかし、最終的に当センターでの修正挽きによりねじれが取り切れない材は 12 本となった。修正挽きの技術の検証が必要である。

(9) 本試験においては、蒸気圧力併用式高温セット乾燥は、蒸気式高温セット乾燥に比べ、カラマツは割れの抑制効果が認められた。また、スギにおいては割れと反りの抑制効果が認められた。

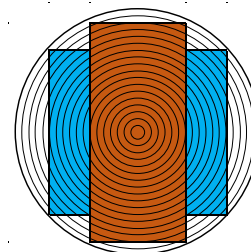
(10) カラマツ、スギ両者ともに、乾燥方法の違いによる曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数について、統計的に差がないことが認められた。

(11) 見かけのヤング係数の平均は、カラマツ、スギの順に 10.93kN/mm²、7.75kN/mm² であった。

(12) 曲げ強さの平均は、カラマツ、スギの順に 44.6kN/mm²、41.9kN/mm² であった。

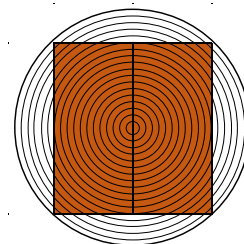
(13) スギ心持ち桁材の利用では、曲げ性能では概ね基準強度は横架材使用では問題がないと思われる。また、板目面が広い両面に現れるため、見え掛り材としての価値も高いものと思われる。

(14) カラマツ心持ち桁材の利用では、ねじれの軽減が課題であり、曲げ性能ではスギと比べヤング係数も高く横架材使用では問題がないと思われる。また、板目面が広い両面に現れるため、見え掛り材としての価値も高いものと思われる。



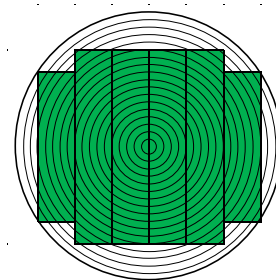
3 「心去り無垢梁桁材」の乾燥特性及び強度特性の解明

- (1) 製材寸法は 125×260×4,000 mmとした。
製品寸法は 105×240×4,000 mmである。
- (2) 丸太と主製品の縦振動ヤング係数 (Efr) の相関は強かった。
- (3) 2 本の平角材はほぼ同一の縦振動ヤング係数 (Efr) を示した。
- (4) 25 日間の蒸気式高温セット乾燥で、カラマツは平均 14.9%に、スギは 11.6%の含水率に仕上がった。
- (5) 13 日間の蒸気圧力併用乾燥では、カラマツ 16.7%、スギ 10.0%の含水率に仕上がった。
蒸気圧力併用乾燥は蒸気式高温セット乾燥のおよそ半分の期間で乾燥が可能であった。
- (6) 製材後のそりは、カラマツが平均 4.2 mm/4m、スギが平均 10.5 mm/4mであり、スギが大きかった。また、製材後は木表側に多く発生していた。
- (7) 乾燥後のそりは、カラマツが平均 1.5 mm/4m、スギが平均 3.5 mm/4mとなり、製材後と比較して減少した。このことは、そる方向が製材後とは反対側にそる材が多かったことが原因であると推測される。
- (8) 修正挽きによるそりの削り残しはなかった。
- (9) 乾燥後の広い面でのねじれは、カラマツが平均 15.8 mm/4m、スギが平均 4.2 mm/4mであった。
- (10) カラマツにおいて心去り材であってもねじれの大きい材があり、ねじれの大きな材は修正挽きにおいても削り残しが存在した (40 本中 14 本)。
- (11) カラマツにおいて修正挽きによりねじれが取り切れない大きなねじれの材が 2 本 (65 mm及び 83 mm/4m) あり、目安として 16 mm/4m以上のねじれは、製品に削り残しが発生する可能性がある。
- (12) 見かけのヤング係数の平均は、カラマツ、スギの順に 12.25kN/mm²、7.49kN/mm²であった。
- (13) 真のヤング係数の平均は、カラマツ、スギの順に 13.11kN/mm²、7.79kN/mm²であった。
- (14) 曲げ強さの平均は、カラマツ、スギの順に 48.6kN/mm²、34.3kN/mm²であった。
- (15) 髄 (芯) を割る製材であったため、製材後の髄割れが目立ち、ここからのヤニ滲出があった。
- (16) カラマツ心去り桁材の利用では、製材を髄から数センチ離すことで髄割れやヤニの滲み出し、さらにねじれの軽減が期待でき、曲げ性能ではヤング係数も高いことから横架材使用では問題がないと思われる。しかし、板目面が片側のみに現れるため、見え掛り材としての評価は良し悪しが分かれるところである。



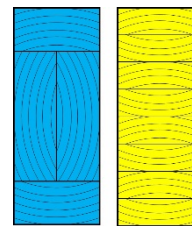
4 「208 材及び 210 材」の乾燥特性及び強度性能の解明

- (1) 製材寸法は
208 材 ; 50×205×4,000 mm、210 材 ; 50×255×4,000 mmとした。
製品寸法は
208 材 ; 38×184×4,000 mm、210 材 ; 38×235×4,000 mmである。
- (2) 丸太と主製品の縦振動ヤング係数 (E_{fr}) の相関は強かった。
- (3) 10 日間の 80℃蒸気式中温乾燥で、カラマツはおよそ 12%に、スギは 8%の含水率に仕上がった。
- (4) 210 材の製材後のそりは、カラマツが平均 4.6 mm/4m、スギが平均 7.5 mm/4mであり、スギが大きかった。また、製材後は木表側に多く発生していた。
- (5) 210 材の乾燥後のそりは、カラマツが平均 3.9 mm/4m、スギが平均 7.4 mm/4mとなり、製材後と比較して大きな差はなかった。しかし、そる方向が製材後とは反対側にそる材が多かった。
- (6) 210 材の乾燥後の曲がり、カラマツが平均 2.9 mm/4m、スギが平均 3.7 mm/4mであり、スギが大きかった。
- (7) 210 材の乾燥後のカップ（幅ぞり）は、カラマツが平均 1.78 mm/235 mm、スギが平均 2.55 mm/235 mmであり、スギが大きかった。
- (8) 乾燥後の問題となるような大きな曲がりやカップ（幅ぞり）はなかった。
- (9) 210 材の乾燥後のねじれは、カラマツが平均 10.1 mm/4mに対しスギが平均 3.0 mm/4mでカラマツのねじれが目立った。
- (10) 目視等級区分による等級格付けでは、特級・1 級に格付けされた材は、カラマツ 210 材が 88%、スギ 210 材が 56%であった。
- (11) 目視等級区分ではねじれの許容基準が大きいためカラマツのねじれによる低位格付けは少なかった。
- (12) 目視等級区分で下位に格付けされる因子は、カラマツでは厚さに係る節とそりが、スギについては圧倒的にそりであった。
- (13) 210 材における見かけのヤング係数の平均は、カラマツ、スギの順に 12.69kN/mm²、8.15kN/mm²であり、カラマツは強い強度性能を示した。
- (14) 210 材における曲げ強さの平均は、カラマツ、スギの順に 48.4kN/mm²、37.5kN/mm²であり、カラマツは強い強度性能を示した。
- (15) 208 材においては外側木取りのためか 210 材よりもさらに高い強度性能を示した。
- (16) 210 材の一部は髄（芯）を割る製材であったため、製材後の髄割れが目立ち、ここからのヤニ滲出があった。
- (17) カラマツ大径材からツーバイフォー住宅に使用する横架材の 208 材や 210 材を製材した場合、乾燥による形質変化に大きな問題はなく、曲げ強度性能も高いこと、特級・1 級の歩止まりも良いことから十分に利用可能であると思われる。また、ねじれの許容範囲が大きいことは信州カラマツに有利であると考ええる。



5 「接着重ね梁Cタイプ」及び「構造用集成材」の乾燥及び強度性能の解明

- (1) 大径A材丸太から「心持ち梁桁材」、「心去り梁桁材」、「210・208材」を横架材として製材した外周部から木取られる平割材の乾燥特性を検討した。
- (2) 平割材は、40×125mm、60×125mm、60×170mm、60×230mm、60×320mmの5種類を主な製材寸法とした。
- (3) 平割材は80℃12日間の蒸気式中温乾燥で、カラマツ及びスギは10%前後の含水率に仕上がった。
- (4) 平割材の縦そりは、乾燥前は木表側に、乾燥後は木裏側にそる傾向が確認された。
- (5) 縦そりの大きさは、カラマツ<スギであった。
- (6) 曲がりとは、カラマツ、スギとも乾燥後に大きくなっていた。
- (7) カラマツのねじれは、S旋回、Z旋回が同程度発生した。60×230mmの平割材では、Z旋回が多く発生していた。また、60×320mmの平割材では、ねじれが大きくなる傾向が確認された。
- (8) スギのねじれは、カラマツに比べて小さく平均2mm以下で利用上支障にはならない程度であった。また、S旋回も多く発生していた。
- (9) カラマツ平割材のEfrは、乾燥前後で約1.2倍強高くなった。また、乾燥後のEfrの平均値は、40×125mmで16.23kN/mm²、60×125mmで15.66kN/mm²、60×170mmで14.45kN/mm²、60×230mmで15.75kN/mm²、60×320mmで13.02kN/mm²であった。
- (10) スギ平割材のEfrは、乾燥前後で約1.1倍強高くなった。また、乾燥後のEfrの平均値は、40×125mmで9.16kN/mm²、60×125mmで8.79kN/mm²、60×170mmで8.80kN/mm²、60×230mmで7.19kN/mm²、60×320mmで8.81kN/mm²であった。
- (11) 接着重ね梁Cタイプは、外層ラミナに製材寸法60×125mmの平割材、中心ラミナに60×170mmを使用し、製品寸法は105×240×4,000mmとした。
- (12) 構造用集成材は、製材寸法40×125mmの平割材をラミナとして使用し、製品寸法は105×240×4,000mmとした。
- (13) 接着重ね梁Cタイプはカラマツ7体、スギ11体を、構造用集成材はカラマツ10体、スギ5体を作製した。
- (14) 接着重ね梁Cタイプカラマツ7体の曲げ試験の結果では、Efrの高い平割材を組み合わせることによって、MOEが13.80kN/mm²～19.26kN/mm²、MORが、66.8N/mm²～115.1N/mm²と高くなった。
- (15) Efrと見かけのヤング係数、Efrと真のヤング係数に高い相関が確認され、EfrとMORにも高い相関があった。
- (16) 接着重ね梁Cタイプスギ11体の曲げ試験の結果では、MOEが8.11kN/mm²～11.61kN/mm²、MORが、34.7N/mm²～64.6N/mm²となった。
- (17) Efrと見かけのヤング係数、Efrと真のヤング係数に高い相関が確認された。また、せ



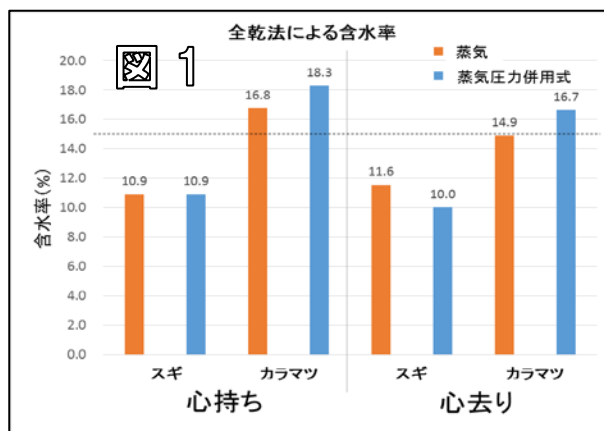
ん断破壊した 4 体を除くと E_{fr} と MOR にも高い相関があった。

- (18) 構造用集成材カラマツは、対称異等級構成集成材 3 体、同一等級構成集成材 7 体合計 10 体を作製した。
- (19) 対称異等級構成集成材 3 体の強度等級は、E170-F495 を 1 体、E150-F435 を 2 体を作製し、同一等級構成集成材の強度等級は、E150-F465 を 2 体、E135-F405 を 4 体、E120-F375 を 1 体作製した。
- (20) 支点と荷重点間の距離を十分確保できなかったため、6 体がせん断で破壊したが、全ての試験体で基準値を上回った。
- (21) 構造用集成材スギは、対称異等級構成集成材 3 体、同一等級構成集成材 2 体合計 5 体を作製した。
- (22) 対称異等級構成集成材 3 体の強度等級は、E95-F270、E85-F255、E85-F300、各体を作製し、同一等級構成集成材の強度等級は、E75-F270、E65-F255、各 1 体を作製した。
- (23) 支点と荷重点間の距離を十分確保できなかったため、1 体がせん断で破壊したが、全ての試験体で基準値を上回った。

6 心去り無垢梁桁材の長期荷重性能

- (1) 自然環境下の実測値は、恒温恒湿室内のそれに比べて変動が大きかった。
- (2) カラマツ及びスギともに、載荷後 500 分までのデータを除外し載荷後 24 時間以降のデータを対象としたパワー則による解析が良く適合していた。
- (3) 変形増大係数の平均値は、カラマツ及びスギともに、恒温恒湿室内＞自然環境下、減圧乾燥材＞蒸気乾燥材となった。
- (4) 同じ原木取られた試験体の変形増大係数については、恒温恒湿室内＞自然環境下、蒸気乾燥材＞減圧乾燥材となった。

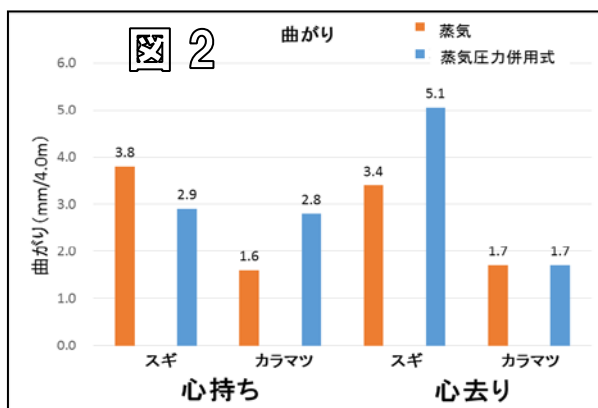
7 「心持ち」及び「心去り」の比較



全乾含水率

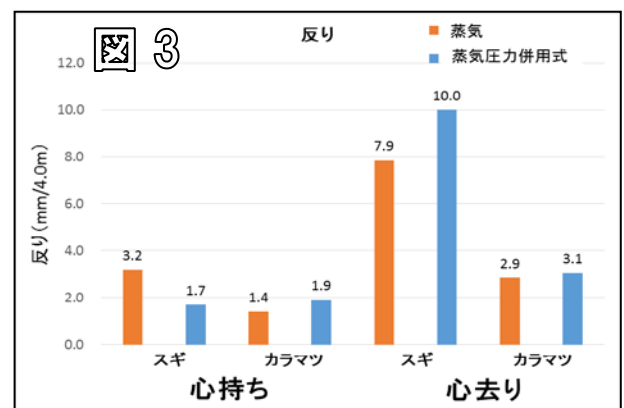
スギ：心持ち≒心去り

カラマツ：心持ち>心去り



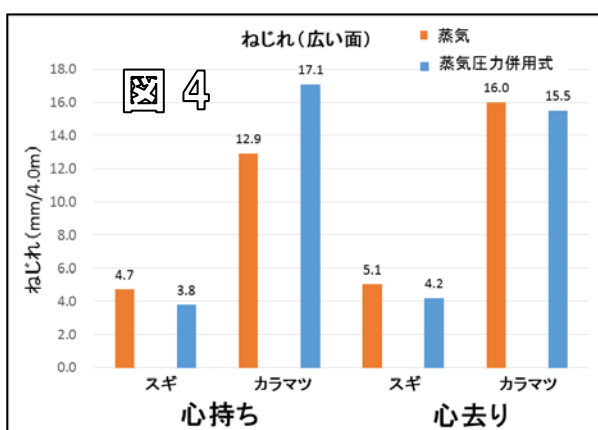
曲がり

- 1 スギ心去り（蒸気圧力併用）
- 2 スギ心持ち（蒸気）
- 3 スギ心去り（蒸気）



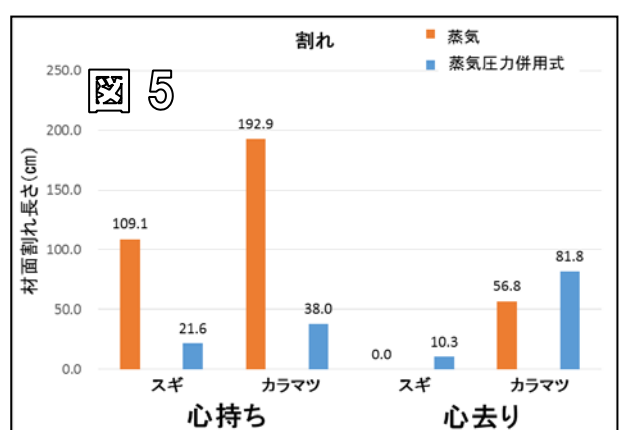
反り

- 1 スギ心去り（蒸気圧力併用）
- 2 スギ心去り（蒸気）
- 3 スギ心持ち（蒸気）



ねじれ（広い面）

- 1 カラマツ心持ち（蒸気圧力併用）
- 2 カラマツ心去り（蒸気）
- 3 カラマツ心去り（蒸気）

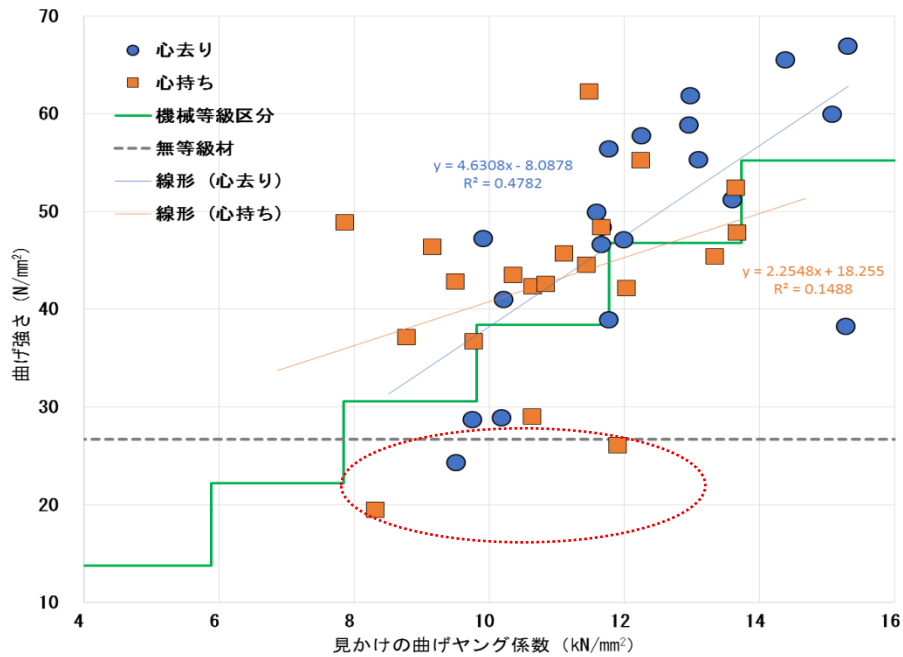


割れ

- 1 カラマツ心持ち（蒸気）
- 2 スギ心持ち（蒸気）
- 3 カラマツ心去り（蒸気圧力併用）

図 6

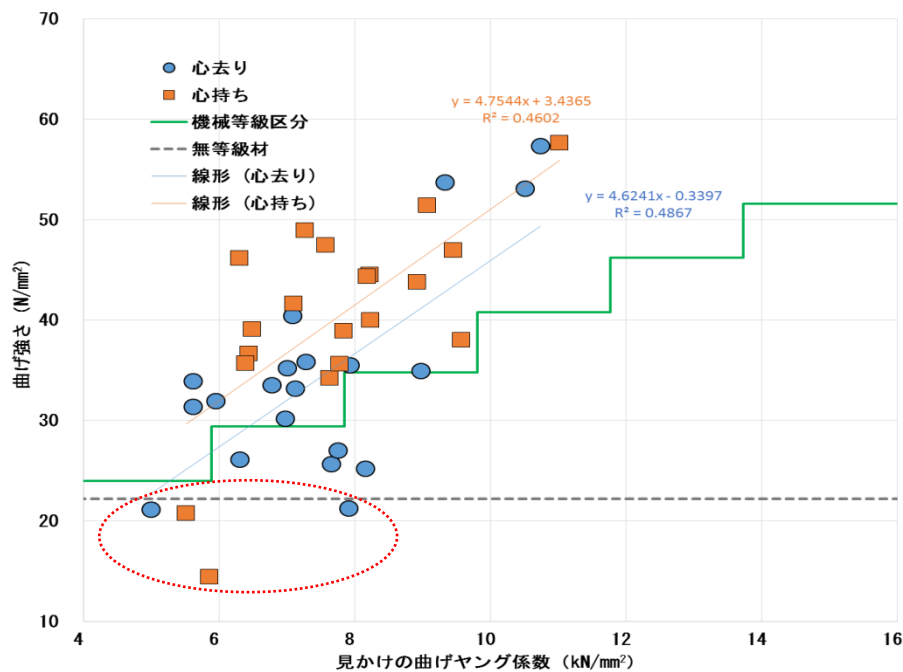
カラマツ梁桁材試験結果



赤破線の例外的（せん断破壊等）な供試材を除けば全ての供試材が無等級材の基準強度をクリアした。

図 7

スギ梁桁材試験結果



赤破線の例外的（せん断破壊等）な供試材を除けば全ての供試材が無等級材の基準強度をクリアした。

※曲げ強さについては、心持ちと心去りの梁せい・試験条件が異なることから補正した数値

第3章 まとめ

大径A材丸太(末口径 36 上)からの木取り方法として3種類の方法を提案した。具体的には、①心持ち木取り(心持ち梁桁材)、②心去り木取り(心去り梁桁材)、③208・210 材木取り(いわゆるダラ挽き)の3種類である。

①の心持ち木取りでは、寸法 130×320×4,000mm の心持ち梁桁材を採材するとともに、側または天地から厚さ 40mm または 60mm の板材に挽く。

②の心去り木取りでは、寸法 125×260×4,000mm の心去り梁桁材を2丁取りして、できるかぎり、側から厚さ 40mm ないし 60mm の板を採材する。

③の 208・210 材では、210 材(製材寸法 50×255×4,000mm)を第一にダラ挽きで採材して、外周部から 208 材(製材寸法 50×205×4,000mm)、さらに 60mm 厚または 40mm の板材を採材した。カラマツ大径材 60 本およびスギ大径材 60 本を用意して乾燥試験および強度試験に供した。

1 原木の特性と製材歩止まり

原木末口短径は、平均値でカラマツ 393mm、スギ 414mm、最頻径級はカラマツにおいて 38cm、スギでは 40cm であった。齢級でみるとカラマツは 14 齢級、スギは 11 齢級が最も多かった。縦振動ヤング係数の平均値は、カラマツ 12.1GPa、スギ 7.5GPa であった。

カラマツの主製材歩止まりは、①27.3%、②42.8%、③51.8%、全製材歩止まりは、①53.4%、②58.2%、③58.7%、スギの主製材歩止まりは、①24.4%、②38.6%、③50.8%、全製材歩止まりは、①53.9%、②55.4%、③55.5%となった。

2 乾燥特性・強度特性

乾燥方法と仕上がり含水率は、①蒸気式高温セット乾燥(21 日間)でカラマツ 16.8%、スギ 10.9%、②蒸気式高温セット乾燥(25 日間)でカラマツ 14.9%、スギ 11.6%、③80℃蒸気式中温乾燥(10 日間)でおよそカラマツ 12%、スギ 8%であった。カラマツではねじれ、スギではそりが顕著な材がみられた。ただし、カラマツのねじれでは 208 材・210 材の概ね許容範囲内におさまった。

強度性能では、梁桁はカラマツ・スギともほとんど無等級材の基準強度を超えており、208 材・210 材も十分な強度を示した。特にカラマツ 210 材では静的曲げヤング係数は 12.7GPa と高い値を示した。

3 接着重ね梁Cタイプおよび構造用集成材との比較

心持ち木取り、心去り木取り、208・210 材、それぞれの木取りから得られる平割材を副産物として活用することを目的として、Cタイプと集成材について乾燥試験・強度試験を行った。

乾燥試験では蒸気式中温乾燥(12 日間)でカラマツおよびスギで 10%前後の含水率に仕上がった。縦反りはカラマツよりスギが大きく、ねじれについてはスギで小さくカラマツでは大

きくなった。強度試験では、カラマツCタイプでMOEは13.8～19.3 GPa、MORは66.8～115.1 MPaと非常に高い曲げ強度性能を示した。スギにおいてもMOEは8.1～11.6 GPa、MORは34.7～64.6 MPaと製材品と比較して高い性能を示した。

集成材については、同一等級について、カラマツではE150-F465およびE135-F405等級、スギではE75-F270およびE65-F255等級で作製することができ、あわせて対称異等級構成集成材も作製して強度試験を行った結果いずれも基準値を上回った。

カラマツおよびスギ大径A材丸太から得られた梁桁材および208・210材の乾燥試験・強度試験結果から、十分に市場に通用する性能を持っていることが明らかになった。また、Cタイプおよび集成材において一段と高性能な製品の供給可能性が示唆された。

今後、価値歩止まりの検討など社会実装に向けたより一層の実用化への推進がはかれることが強く期待される。

カラマツ・スギ大径A材丸太の戦略的製品開発事業

平成 31 年（2019 年）3 月

初版第 1 刷発行

編 集 ・ 著 作 権 者

事業主体：信州木材認証製品センター

〒380-8567

長野県長野市大字中御所字岡田 30-16

調 査 機 関

長野県林業総合センター木材部
