

平成30年度CLT等新たな木質建築部材利用促進・

定着委託事業 事業報告書

平成31年3月

株式会社伊万里木材市場

目次

1	はじめに	1
2	試験方法	1
3	試験結果	5
4	まとめ	3 3

## 1 はじめに

平成27年3月9日に改定された枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格において、国産樹種を対象とした樹種グループが新たに追加された。これにより、日本国内の製材工場が国産樹種を用いて枠組壁工法用製材を生産することを本格的に検討する段階に移行するとともに、福島および鹿児島県内では、枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材を常時取り扱う製材工場の稼働状況が加速化しつつある。

一方、平成27年の規格改正で用いられた国産樹種の強度データは、主に小中径木から採材した寸法形式204が中心だったため、大径木から採材可能な寸法形式210のような幅広材の強度特性については不明な点が多い。

そこで、スギの大径丸太から採材した寸法形式210の枠組壁工法構造用製材の強度特性を実験的に明らかにし、スギの枠組壁工法構造用製材に関する強度データの更なる整備を図ることを目的とし、寸法形式210のスギ枠組壁工法構造用製材及びフィンガージョイント材の曲げ、縦引張り、縦圧縮強度試験を行い、それぞれの強度特性を明らかにすることとした。

また、すでに広がりつつある寸法形式204、寸法形式206の更なる普及拡大を検討するために、MSR機による測定でヤング係数の高い材料を選定し、強度特性を明らかにすることとした。試験は、(A) 国立研究法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所（以下、森林総研）と (B) 鹿児島県工業技術センター（以下、鹿工技セ）の2機関で行った。

## 2 試験方法

### 2.1 供試材料

#### 2.1.1 供試丸太

##### (A) 森林総研

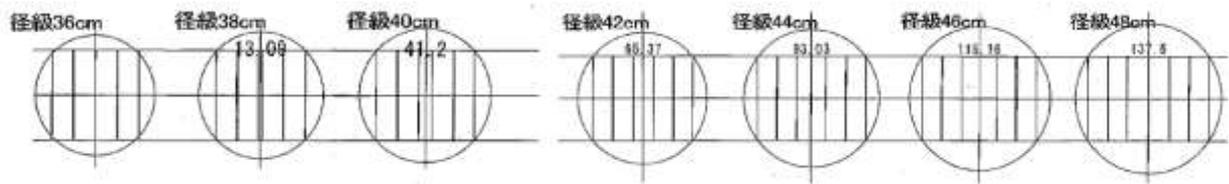
福島及び鹿児島県内で寸法形式210が採材可能な丸太の諸元調査を整理するとともに、調査結果から試験体を採材する丸太を選定した。選定するにあたり、材長が6mの丸太を曲げおよび縦圧縮試験体用、材長が4mの丸太を縦引張り試験体用とした。

##### (B) 鹿工技セ

鹿児島県内で寸法形式210が採材可能な丸太の諸元調査を整理するとともに、調査結果から試験体を採材する丸太を選定した。選定するにあたり、材長が6mの丸太を曲げおよび縦圧縮試験体用、材長が4mの丸太を、エッジワイズ曲げ、フラットワイズ曲げと縦圧縮試験体用とした。

#### 2.1.2 製材

供試丸太の製材方法を、図Aに示す。外側から左右2枚ずつ供試体の寸法を木取り、1本の丸太から4枚の供試体を採材した。



図A 木取り図

### 2.1.3 乾燥

供試体の乾燥は福島、鹿児島それぞれのスケジュールで行った。表Aに協和木材（福島県）の人工乾燥スケジュールを、表Bに山佐木材（鹿児島県）の人工乾燥スケジュールを示す。天然乾燥期間はそれぞれ、協和木材は約2週間、山佐木材は2・3日程度であり、これを考慮したスケジュールとなっている。（目標は、含水率19%以下。）

表A 人工乾燥スケジュール（協和木材：福島）

step	時間	乾球	湿球	温度差	ファン	内訳
1	18	88	83	5	2	乾燥
2	18	88	83	5	2	乾燥
3	20	88	78	10	4	乾燥
4	30	88	73	15	4	乾燥
5	55	88	68	20	4	乾燥
6	55	88	64	24	4	乾燥
7	2	88	86	2	1	乾燥
8	10	88	86	2	1	乾燥
9	1	40	40	0	1	乾燥
						養生へ

表B 人工乾燥スケジュール（山佐木材：鹿児島）

step	時間	乾球	湿球	温度差	ファン	内訳
1	12	45	70	-25	3	蒸煮
2	12	65	60	5	1	乾燥
3	12	65	55	10	1	乾燥
4	72	70	55	15	1	乾燥
5	72	72	55	17	1	乾燥
6	72	75	55	20	1	乾燥
7	84	80	55	25	1	乾燥
						養生へ
8	含水に応じて調整	72	55	17	1	再乾燥
9		75	55	20	1	再乾燥
10		80	55	25	1	再乾燥
						養生へ

### 2.1.4 曲げ試験体

#### (A) 森林総研

協和木材が製材した6m材から採材した5m材を曲げ試験体とした。製材した数は89本だったが、この中から協和木材が製材した4m材の縦引張り試験体用の製材の縦振動法によるヤング係数の分布が等しくなるように選別した60本を曲げ試験体とした。

#### (B) 鹿工技セ

山佐木材が製材した6m材から採材した5m材を曲げ試験体とした。製材した数は80本だ

ったが、縦振動法によるヤング係数の分布が等しくなるように選別した60本をムク材エッジ曲げ試験体とした。また、4m材から採材した4枚/丸太のラミナのうち2枚分を2mにカットし、2mのラミナを4枚用意した。2mのラミナ4枚をフィンガージョイントし、一度8mのフィンガージョイントラミナに加工した。80本の8mの試験体を縦振動法によるヤング係数の分布が等しくなるように60本に選別し、8m試験体から4700mmでカットしたものをフィンガージョイント材エッジ曲げ試験体とし、760mmにカットしたものをムク材フラット曲げ試験体、フィンガージョイントを含め760mmにカットしたものをフィンガージョイント材フラット曲げ試験体とした。接着剤は、メラミン樹脂接着剤：大鹿レヂン MG-200、硬化剤：液状硬化剤 MH-10を使用。フィンガー長さは15mmとした。

#### 2.1.5 縦引張り試験体

##### (A) 森林総研のみ実施

協和木材が製材した4m材102本から、協和木材が製材した4m材の縦引張り試験体用の製材の縦振動法によるヤング係数の分布が等しくなるように選別した60本を縦引張り試験体とした。また、残りの42本からひずみ測定用の試験体を選定した。

次に、山佐木材が製材した4m材79本から、両者の縦振動法によるヤング係数の分布が等しくなるように選別した60本で縦引張り試験を実施した。また、残りの試験体からひずみ測定用の試験体を選定した。

#### 2.1.6 縦圧縮試験体

##### (A) 森林総研

協和木材が製材した6mから採材した1m材89体から、節の少ない部位と節の多い部位から材長325mm（細長比 $\lambda = 29.6$ ）の試験体をそれぞれ1体採取した。

##### (B) 鹿工技セ

山佐木材で用意した8mフィンガージョイントラミナから選別した60本から1300mmにカットしたものを、縦振動法によりヤング係数測定を行ったのち、それぞれ1本ずつ節が入らないように325mmの試験体を採取した。

#### 2.1.7 曲げ試験体（寸法形式206）

##### (B) 鹿工技セのみ実施

さつまファインウッドで製造した寸法形式206のうち、MSR機による曲げヤング係数の値が $7.0 \text{ kN/mm}^2 \sim 8.0 \text{ kN/mm}^2$ になるものを10本、 $8.0 \text{ kN/mm}^2 \sim 9.0 \text{ kN/mm}^2$ になるものを10本、 $9.0 \text{ kN/mm}^2$ 以上になるものを10本、合計30本を選定し曲げ試験体とした。

## 2.2 実験方法

### 2.2.1 曲げ試験

#### (A) 森林総研

曲げ試験は、全スパン4230mm、荷重点間距離1410mmの3等分4点荷重方式で行った。加力は、単調増加とした。また、モーメント一定区間でヨークスパン1000mmの袴型ジグを用いて、モーメント一定区間の変形を測定した。

#### (B) 鹿工技セ

エッジワイズ曲げ試験は、全スパン4230mm、荷重点間距離1410mmの3等分4点荷重でおこなった。フィンガージョイント試験体については、荷重点間中央に1つフィンガージョイント部が存在するように設置した。

### 2.2.2 縦引張り試験

#### (A) 森林総研のみ実施

縦引張り試験は、チャック間距離を材幅235mmの9倍である2115mmとして行った。加力は、単調増加とした。また、ヨークスパン1000mmの専用ジグを用いてチャック間に生じる試験体の伸びを測定した。

### 2.2.3 縦圧縮試験

#### (A) 森林総研 (B) 鹿工技セ

縦圧縮試験は、圧縮盤間の距離を試験体の材長と等しい325mmで行った。圧縮盤の一方は球座、他方は固定とした。加力は単調増加とした。

### 2.2.4 曲げ試験体（寸法形式206）

#### (B) 鹿工技セのみ実施

曲げ試験は、全スパン2520mm、荷重点間距離840mmの3等分4点荷重でおこなった。

### 2.2.5 含水率および曲率の測定

強度試験に供試した全ての試験体について、破壊形態観察後、破壊近傍部の節を含まない部分から材長方向に約2cmで切り出した切片で、全乾法による含水率を求めた。

森林総研においては、105℃で全乾質量を測定する前に、木口面図心付近における年輪の曲率を測定した。

### 3 結果及び考察

図1に試験体の採材対象にしたスギ丸太の縦振動法によるヤング係数分布を示す。福島県で測定した丸太の方が、鹿児島県で測定した丸太よりも縦振動法によるヤング係数の分布曲線は高い側に位置した。また、両者とも材長の違いによる差は小さかった。

図2に試験体の採材対象にしたスギ丸太の末口径分布を示す。福島県で測定した丸太の方が、鹿児島県で測定した丸太よりも末口径の分布曲線は小さい側に位置した。また、福島県で測定した丸太の材長による違いはなかったが、鹿児島県で測定した丸太は、4 m材の方が6 m材よりも末口径の分布曲線は大きい側に位置した。

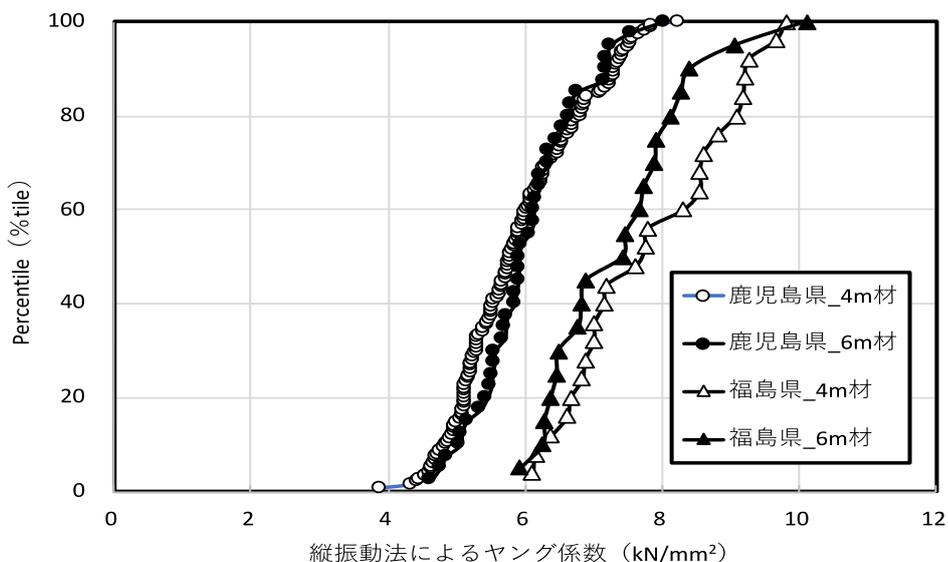


図1 試験体の採材対象にしたスギ丸太の縦振動法によるヤング係数分布

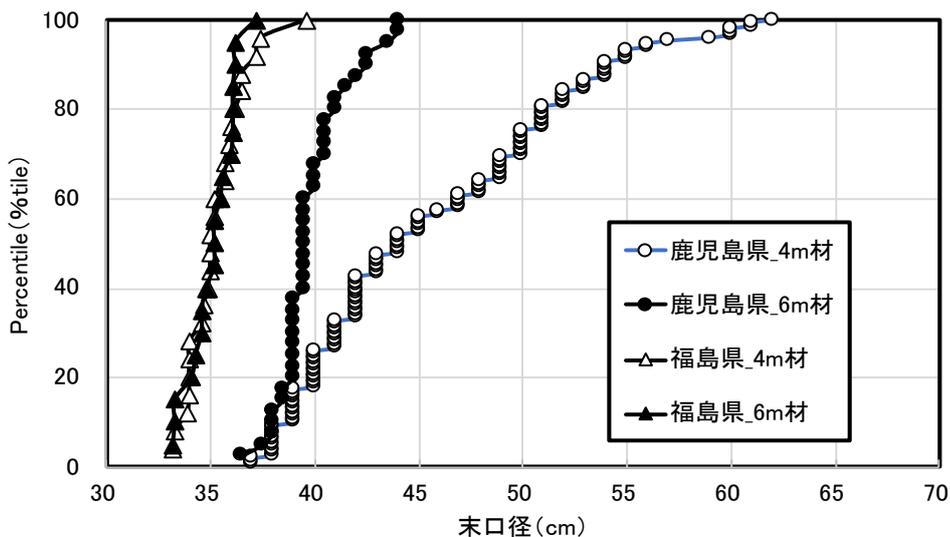


図2 試験体の採材対象にしたスギ丸太の末口径分布

表1から表7に曲げ試験の基本統計量を示す。森林総研で実施した曲げ試験において、今回の試験条件で実施した曲げ試験体の破壊形態は、曲げ破壊が主体的であると予測していたが、結果として1/3の割合でせん断破壊が生じた。表1から表3は基本統計量をまとめるにあたり、破壊形態を考慮した場合についても整理した。工技セでの曲げ破壊に関しては、せん断破壊は見られなかった。

表1 曲げ試験の基本統計量(協和木材 全試験体)

試験体数	密度 kg/m <sup>3</sup>	Efr kN/mm <sup>2</sup>	見かけの曲げ		真の曲げ		曲げ強度 N/mm <sup>2</sup>	最大荷重時のた わみ mm	最大単独節径	
			含水率 %	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>			中央部 mm	材縁部 mm
60	最小値	317	6.92	5.4	6.94	7.62	9.7	18.5	0.0	0.0
	平均値	379	9.39	6.8	8.82	10.08	43.6	90.3	15.7	3.7
	最大値	474	12.37	14.0	11.21	13.90	72.7	137.9	35.5	52.0
	標準偏差	36	1.26	1.8	1.06	1.35	16.3	31.3	8.1	10.6
	変動係数%	9.4	13.4	26.5	12.1	13.4	37.5	34.7	51.6	290.1

【凡例】 Efr:縦振動法によるヤング係数

表2 曲げ試験の基本統計量(協和木材 曲げ破壊した試験体)

試験体数	密度 kg/m <sup>3</sup>	Efr kN/mm <sup>2</sup>	見かけの曲げ		真の曲げ		曲げ強度 N/mm <sup>2</sup>	最大荷重時のた わみ mm	最大単独節径	
			含水率 %	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>			中央部 mm	材縁部 mm
40	最小値	317	6.92	5.4	6.99	7.62	27.6	55.9	0.0	0.0
	平均値	376	9.46	7.0	8.88	10.07	50.0	99.3	15.2	2.6
	最大値	444	11.98	14.0	11.14	13.90	68.9	133.7	35.5	47.5
	標準偏差	34	1.30	2.1	1.02	1.40	10.0	19.7	8.6	8.3
	変動係数%	9.2	13.7	29.5	11.4	13.9	19.9	19.8	56.4	322.5

【凡例】 Efr:縦振動法によるヤング係数

表3 曲げ試験の基本統計量(協和木材 せん断破壊した試験体、曲げ複合を含む)

試験体数	密度 kg/m <sup>3</sup>	Efr kN/mm <sup>2</sup>	見かけの曲げ		真の曲げ		曲げ強度 N/mm <sup>2</sup>	最大荷重時のた わみ mm	最大単独節径	
			含水率 %	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>			中央部 mm	材縁部 mm
20	最小値	326	7.70	5.7	6.94	8.49	9.7	18.5	4.0	0.0
	平均値	385	9.24	6.4	8.70	10.08	30.6	72.2	16.6	5.8
	最大値	474	12.37	9.5	11.21	12.80	72.7	137.9	30.0	52.0
	標準偏差	38	1.20	1.0	1.18	1.27	19.0	41.7	7.1	14.2
	変動係数%	10.0	12.9	15.9	13.5	12.6	62.1	57.7	42.8	243.0

【凡例】 Efr:縦振動法によるヤング係数

表4 210材曲げ試験(エッジワイズ)の基本統計量(製材)

試験体数	密度 kg/m <sup>3</sup>	Efr kN/mm <sup>2</sup>	含水率 %	見かけの曲げ		真の曲げ		曲げ強度 N/mm <sup>2</sup>	最大荷重時のた わみ mm	最大単独節径	
				ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>			中央部 mm	材縁部 mm
	最小値	327	4.35	7.1	5.32	4.87	21.2	52.1	0.0	0.0	0.0
	平均値	378	6.73	12.2	7.53	7.76	41.2	114.6	17.9	17.9	9.5
60	最大値	430	9.26	20.9	10.57	11.02	62.6	185.8	40.0	40.0	56.5
	標準偏差	25	0.90	3.3	1.04	1.27	9.7	33.5	10.3	10.3	14.2
	変動係数%	6.5	13.4	26.7	13.8	16.3	23.6	29.2	57.7	57.7	150.1

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表5 210材曲げ試験(エッジワイズ)の基本統計量(フィンガージョイント材)

試験体数	密度 kg/m <sup>3</sup>	Efr kN/mm <sup>2</sup>	含水率 %	見かけの曲げ		真の曲げ		曲げ強度 N/mm <sup>2</sup>	最大荷重時のた わみ mm	最大単独節径	
				ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>			中央部 mm	材縁部 mm
	最小値	301	4.15	7.7	5.13	5.58	5.7	10.0	0.0	0.0	0.0
	平均値	385	7.02	13.8	7.36	8.09	21.4	49.1	16.7	16.7	6.1
60	最大値	444	9.20	21.3	10.11	12.06	41.2	87.0	59.0	59.0	57.1
	標準偏差	28	1.12	3.5	1.13	1.48	5.2	13.1	10.1	10.1	11.5
	変動係数%	7.2	15.9	25.5	15.4	18.3	24.3	26.8	60.7	60.7	188.2

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表6 210材曲げ試験(フラットワイズ)の基本統計量(製材)

試験体数	密度 kg/m <sup>3</sup>	Eafb kN/mm <sup>2</sup>	含水率 %	見かけの曲げ		真の曲げ		曲げ強度 N/mm <sup>2</sup>	最大荷重時のた わみ mm	最大単独節径	
				ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>			中央部 mm	材縁部 mm
	最小値	315	3.79	10.3	3.81	4.73	33.8	17.9	0.0	0.0	0.0
	平均値	388	6.40	14.5	6.40	7.96	47.3	22.4	13.3	13.3	7.1
60	最大値	463	9.41	21.4	9.23	12.46	64.7	24.8	40.0	40.0	60.7
	標準偏差	33	1.13	2.7	1.15	1.56	7.9	2.2	10.5	10.5	14.9
	変動係数%	8.5	17.7	18.4	17.9	19.6	16.7	9.9	79.3	79.3	210.0

【凡例】 Eafb: 曲げたわみ振動法によるヤング係数

表7 210材曲げ試験(フラットワイズ)の基本統計量(フィンガージョイント材)

試験体数	密度 kg/m <sup>3</sup>	Eafb kN/mm <sup>2</sup>	含水率 %	見かけの曲げ		真の曲げ		曲げ強度 N/mm <sup>2</sup>	最大荷重時のた わみ mm	最大単独節径	
				ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>			中央部 mm	材縁部 mm
	最小値	316	4.18	7.5	3.63	3.78	10.4	5.5	0.0	0.0	0.0
	平均値	388	6.47	14.1	6.20	7.37	23.9	11.6	15.7	15.7	3.7
60	最大値	455	8.81	22.0	8.51	10.21	39.6	18.1	35.5	35.5	52.0
	標準偏差	30	1.16	2.8	1.19	1.57	6.8	2.5	8.1	8.1	10.6
	変動係数%	7.6	18.0	19.8	19.1	21.3	28.6	21.7	51.6	51.6	290.1

【凡例】 Eafb: 曲げたわみ振動法によるヤング係数

図3から図7に曲げ試験に供試したスギ210材の各種ヤング係数分布を示す。縦振動法によるヤング係数 (Efr)、見かけの曲げヤング係数 (Eapp)、真の曲げヤング係数 (Etrue) および曲げたわみ振動法によるヤング係数の分布曲線は、図3では高い側から、Etrue、Efr、Eappの順であったが、図4・5では高い側からEtrue、Eapp、Efrであった。図6・7は高い側からEtrue、Eafb、Eappの順であった。

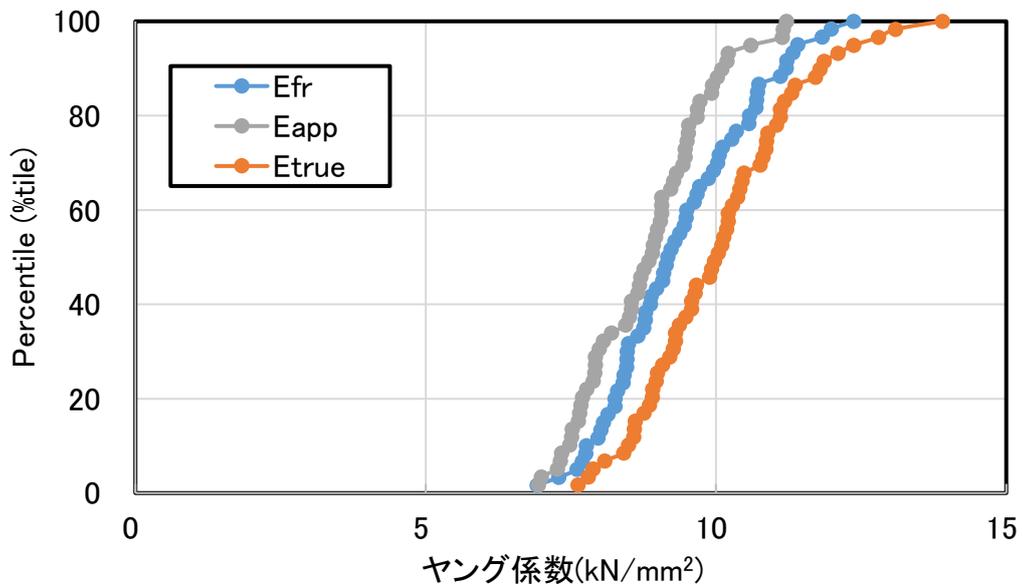


図3 曲げ試験に 供試したスギ210材の各種ヤング係数分布 (森林総研)

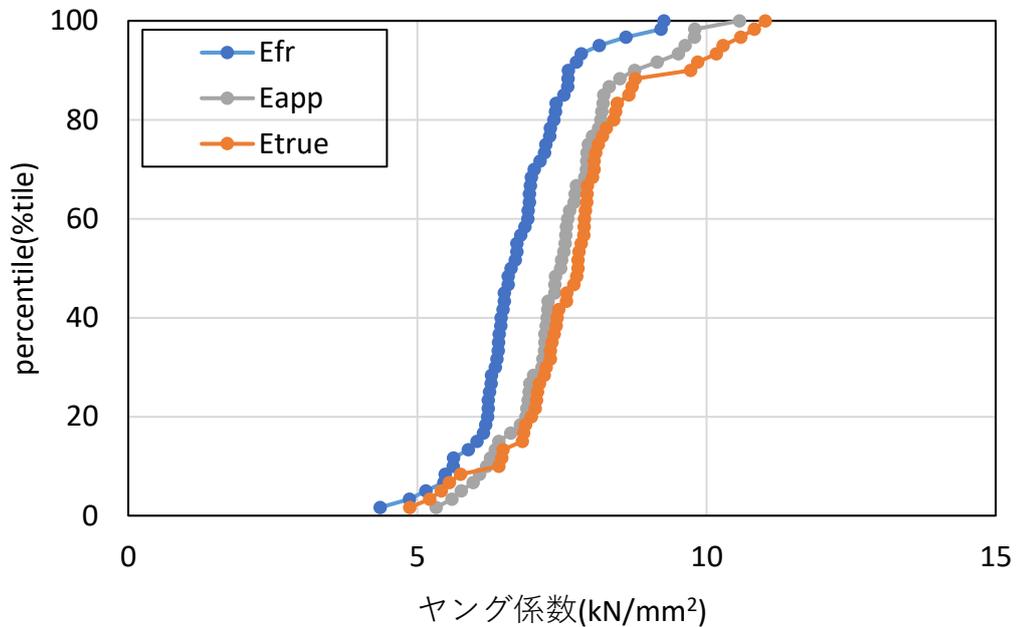


図4 スギ210材エッジワイズ (製材) の各種ヤング係数分布 (鹿工技セ)

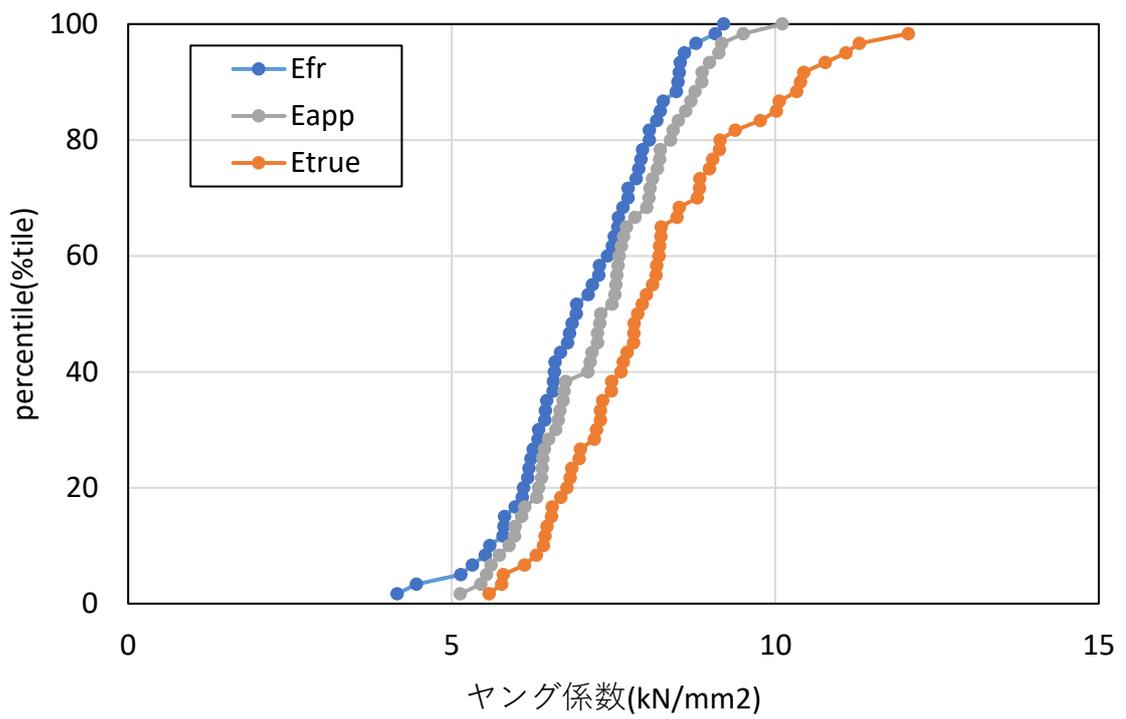


図5 スギ210材エッジワイズ (フィンガージョイント) の各種ヤング係数分布 (鹿工技セ)

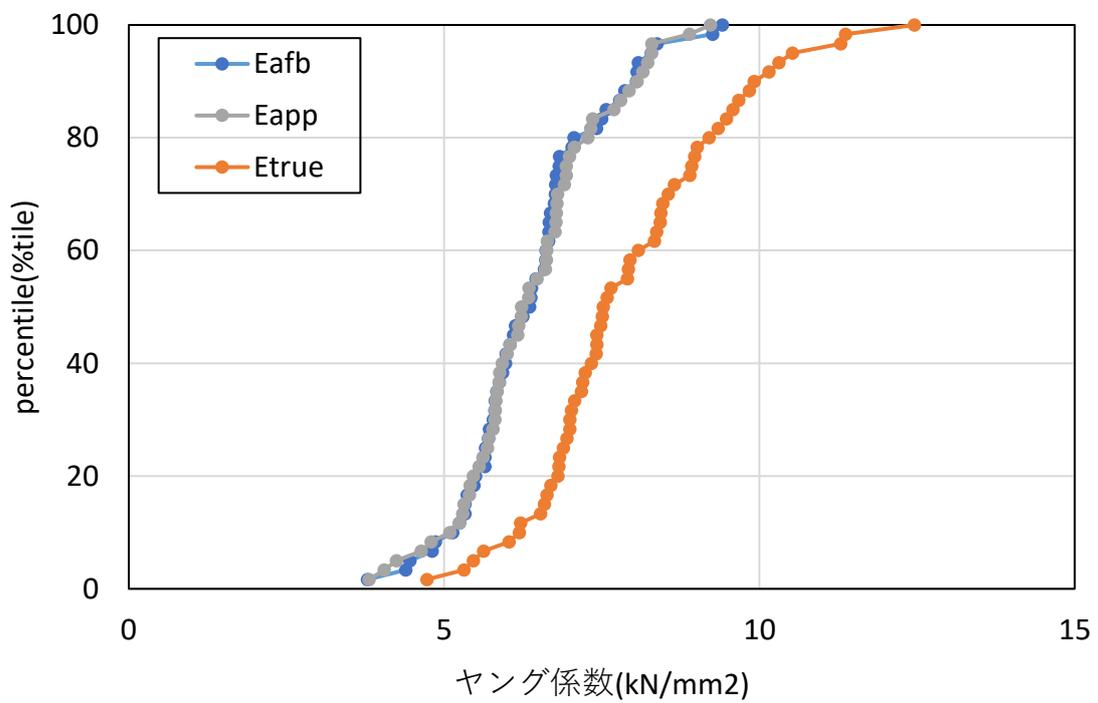


図6 スギ210材フラットワイズ (製材) の各種ヤング係数分布 (鹿工技セ)

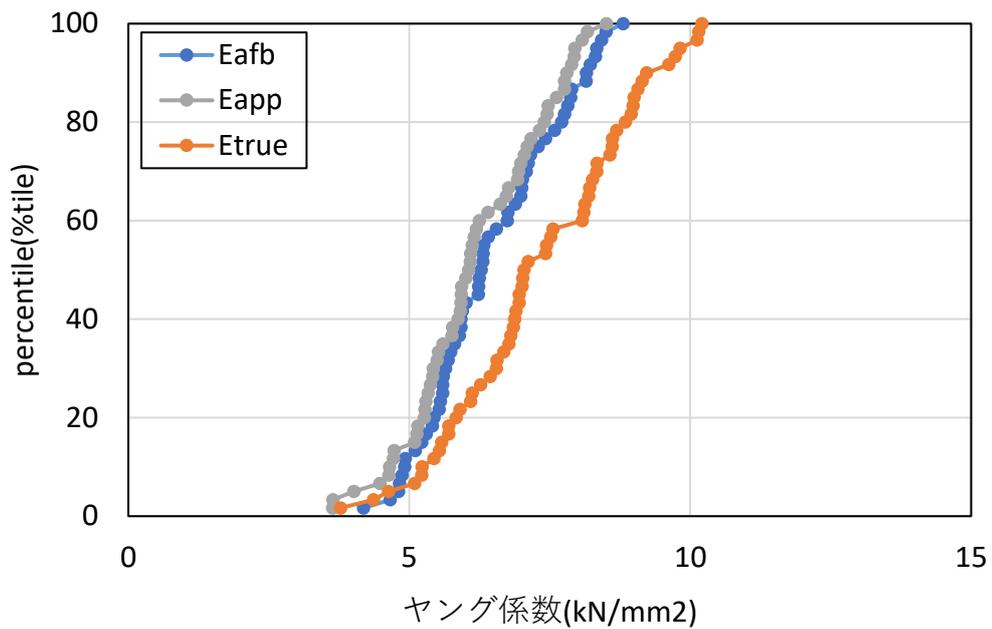


図7 スギ210材フラットワイズ（フィンガージョイント）の各種ヤング係数分布（鹿工技セ）

図8から図12にスギ210材の縦振動法におけるヤング係数と曲げヤング係数との関係を示す。縦振動法による曲げヤング係数と見かけおよび真の曲げヤング係数との間には、正の相関が認められた。そのため、縦振動法によるヤング係数から見かけおよび真の曲げヤング係数は推定できると考えられる。

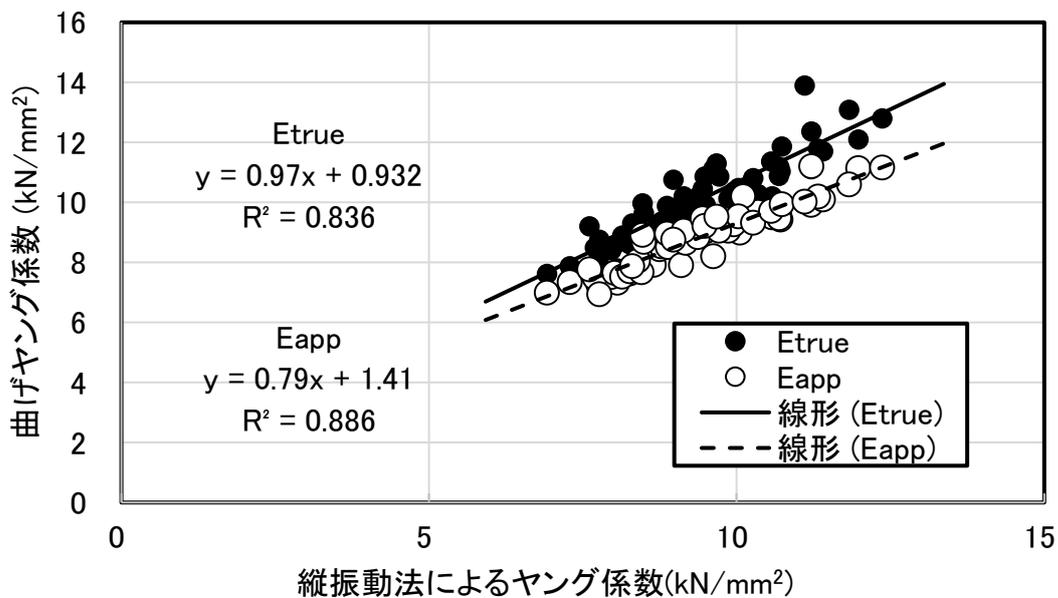


図8 スギ210材の縦振動法におけるヤング係数と曲げヤング係数との関係（森林総研）

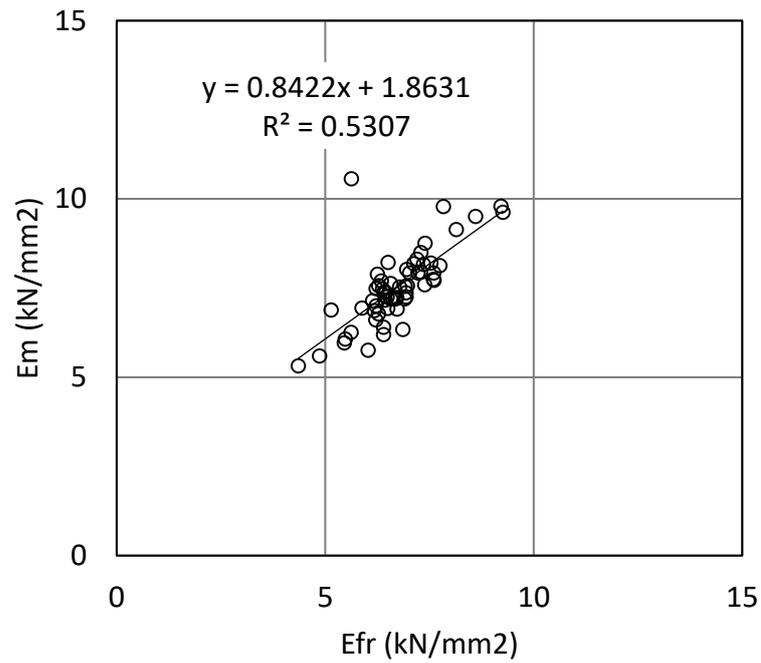


図9 スギ210材エッジワイズ（製材）縦振動法におけるヤング係数と曲げヤング係数との関係（鹿工技セ）

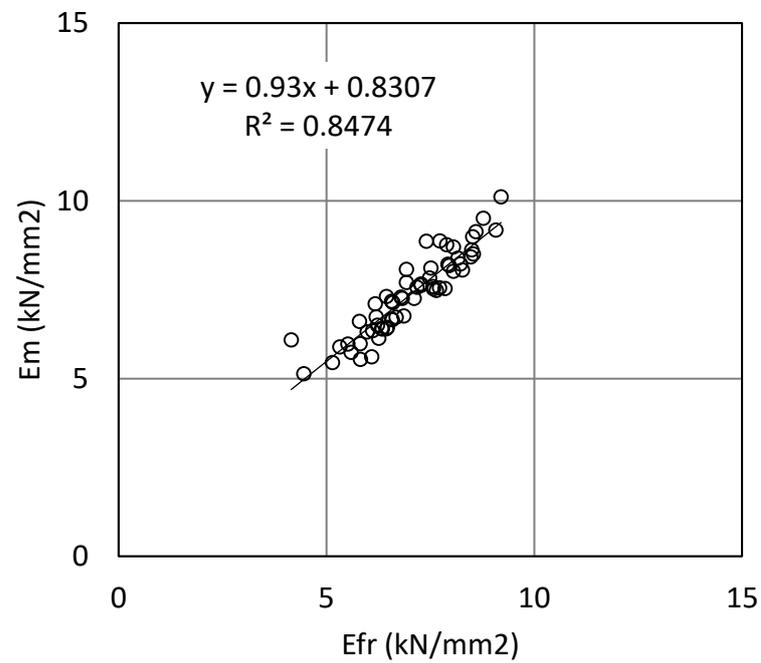


図10 スギ210材エッジワイズ（フィンガージョイント）縦振動法におけるヤング係数と曲げヤング係数との関係（鹿工技セ）

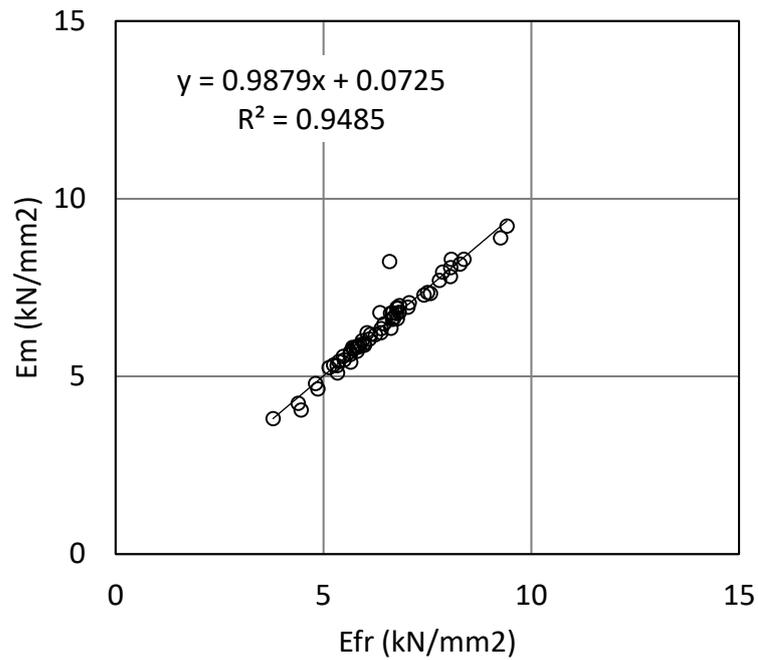


図1.1 スギ210材フラットワイズ（製材）縦振動法におけるヤング係数と曲げヤング係数との関係（鹿工技セ）

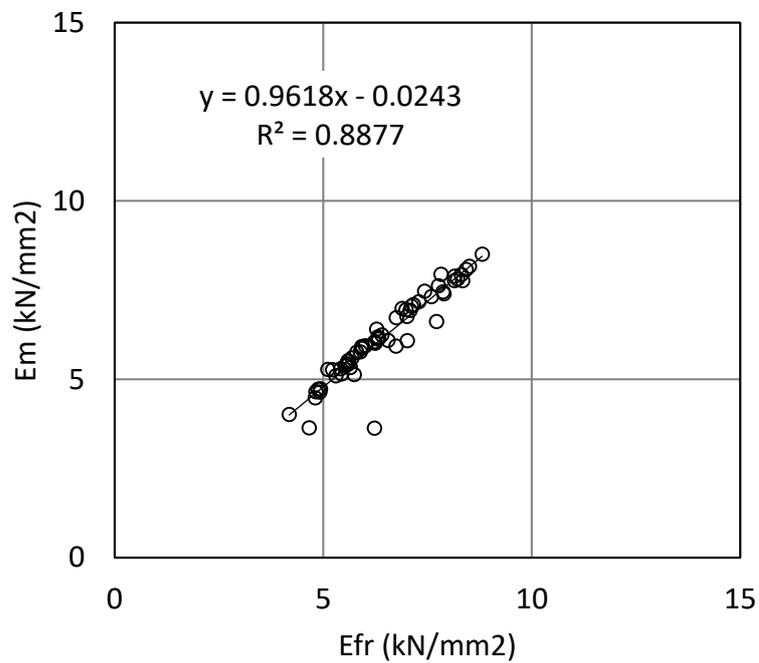


図1.2 スギ210材フラットワイズ（フィンガージョイント）縦振動法におけるヤング係数と曲げヤング係数との関係（鹿工技セ）

図13から図17にスギ210材の曲げ強度分布を示す。図13において20%パーセンタイル以下でせん断破壊した試験体が支配的だった。

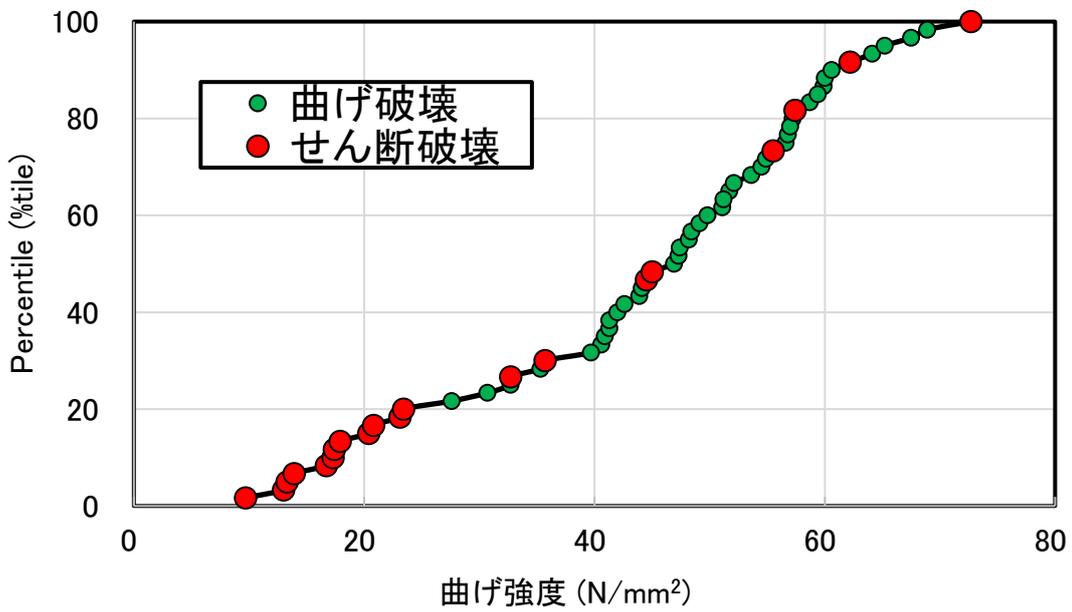


図13 スギ210材の曲げ強度分布 (森林総研)

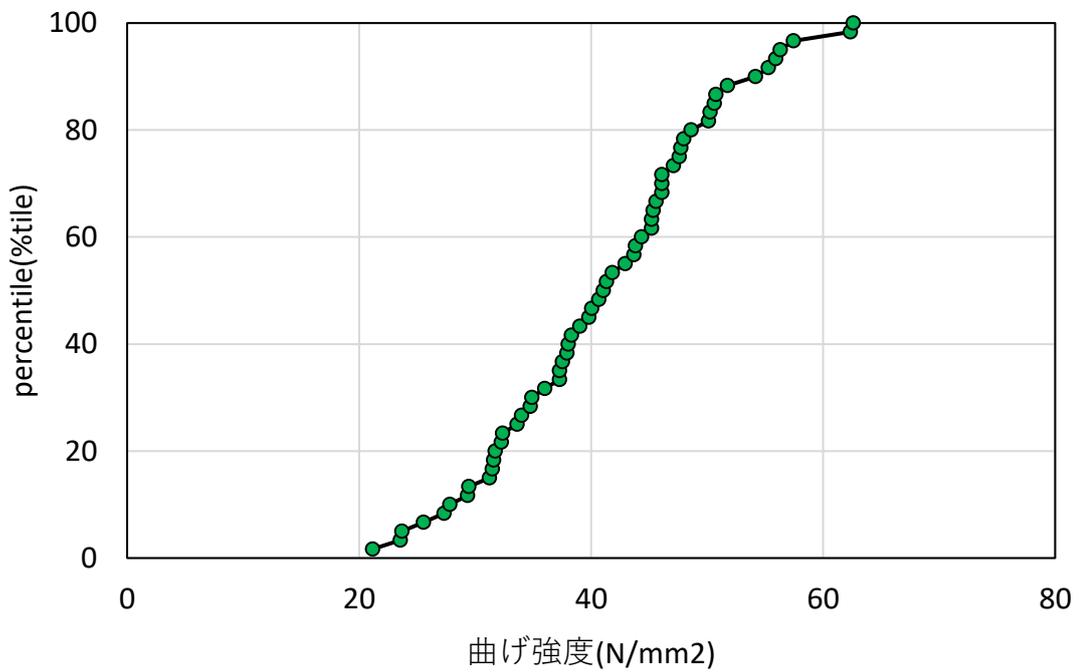


図14 スギ210材エッジワイズ (製材) 曲げ強度分布 (鹿工技セ)

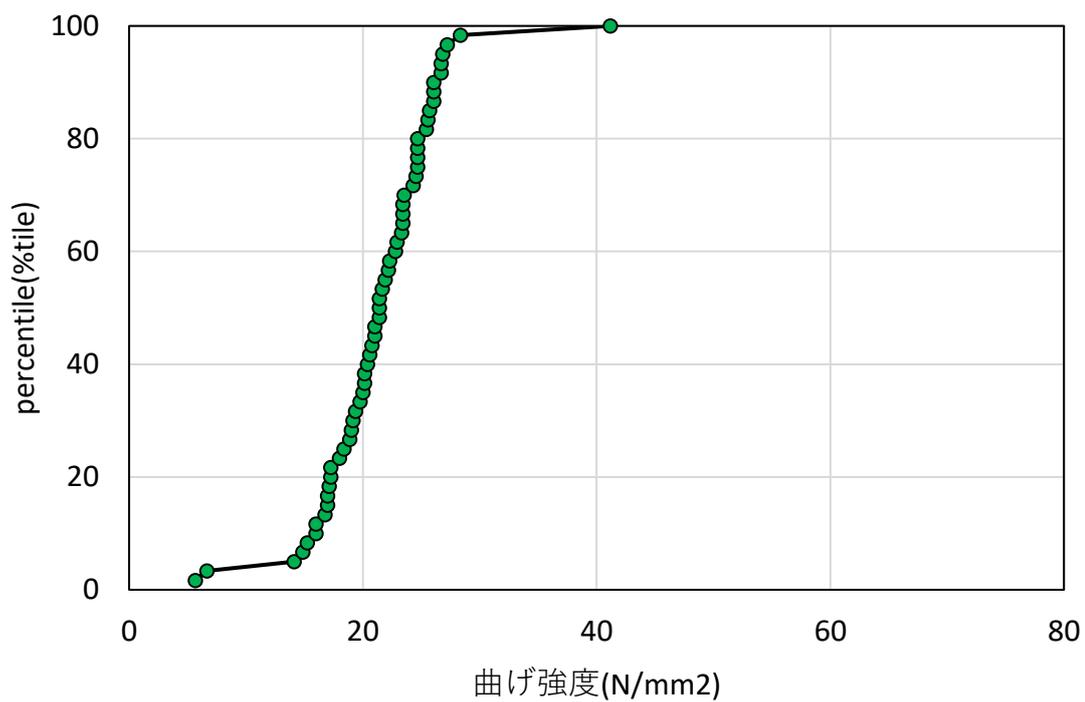


図15 スギ210材エッジワイズ（フィンガージョイント） 曲げ強度分布（鹿工技セ）

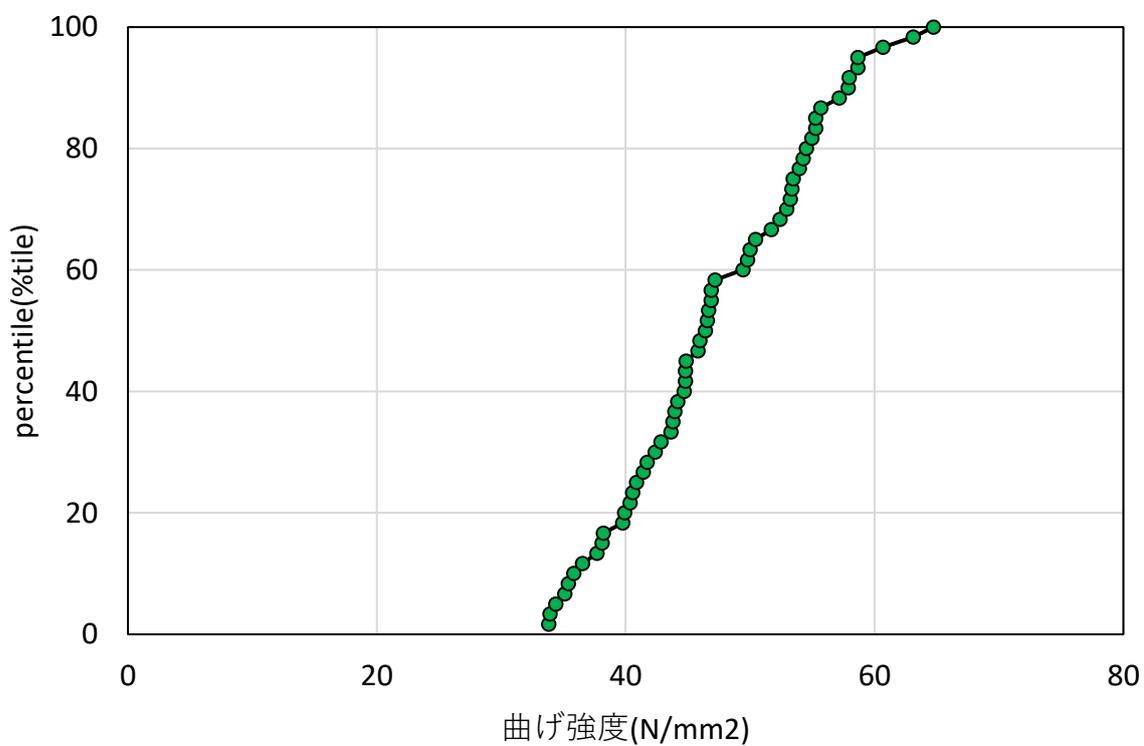


図16 スギ210材フラットワイズ（製材） 曲げ強度分布（鹿工技セ）

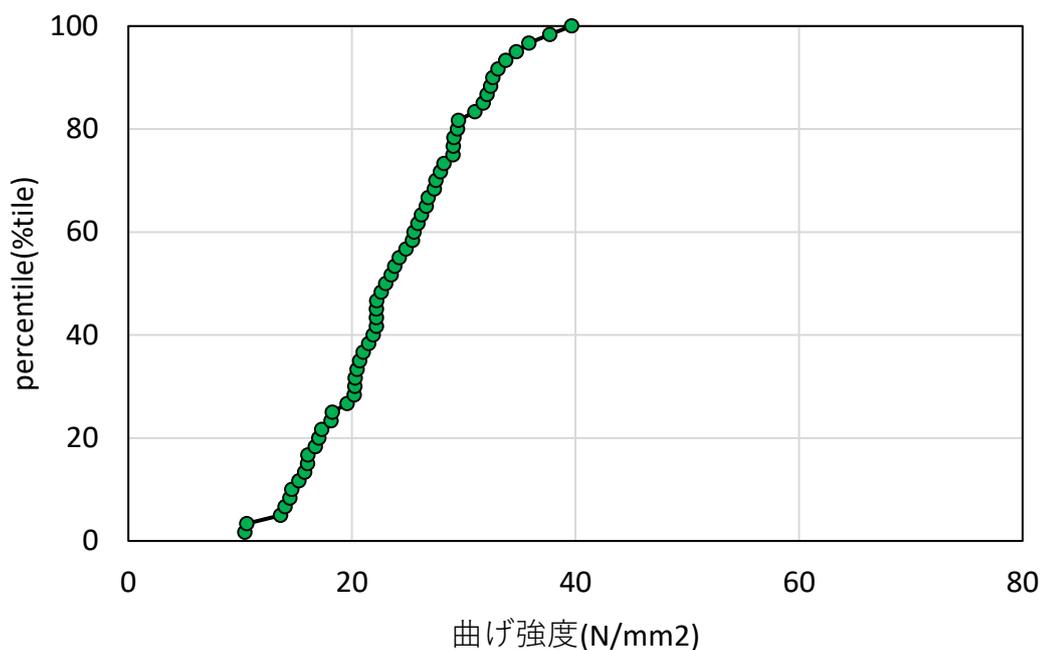


図17 スギ210材フラットワイズ（フィンガージョイント） 曲げ強度分布（鹿工技セ）

図18から図22に縦振動法による曲げヤング係数と曲げ強度との関係を示す。図18においては、破壊形態でプロットを変えて示す。（図19から図22ではせん断破壊が見られなかったため）曲げ破壊したプロットとせん断破壊したプロットから算出した回帰直線を比べると、せん断破壊した方の回帰直線の傾きは大きかった。

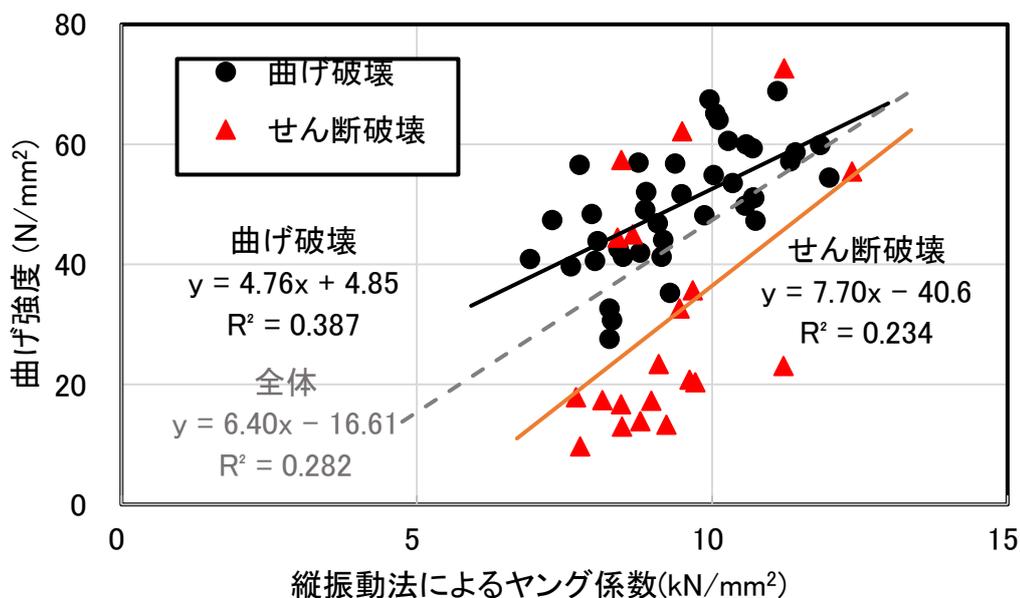


図18 縦振動法によるヤング係数と曲げ強度との関係（森林総研）

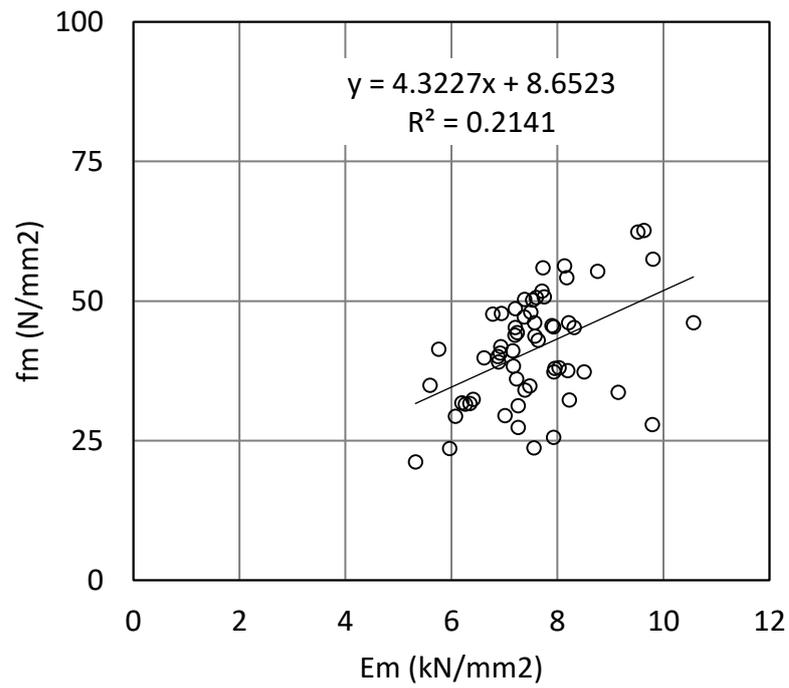


図19 スギ210材エッジワイズ (製材) 曲げヤング係数と曲げ強度との関係 (鹿工技セ)

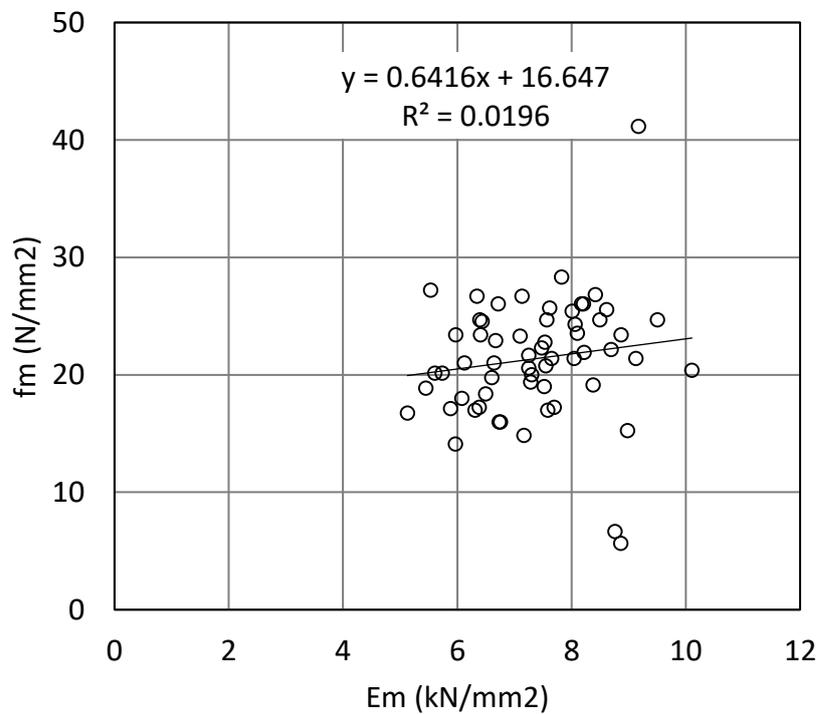


図20 スギ210材エッジワイズ (フィンガージョイント)  
曲げヤング係数と曲げ強度との関係 (鹿工技セ)

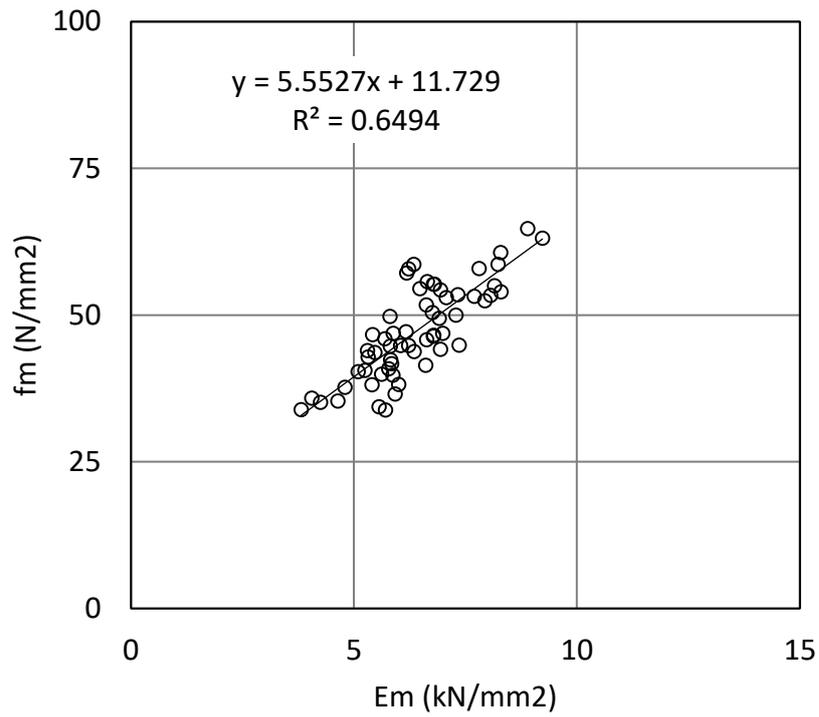


図2 1 スギ210材フラットワイズ（製材） 曲げヤング係数と曲げ強度との関係（鹿工技セ）

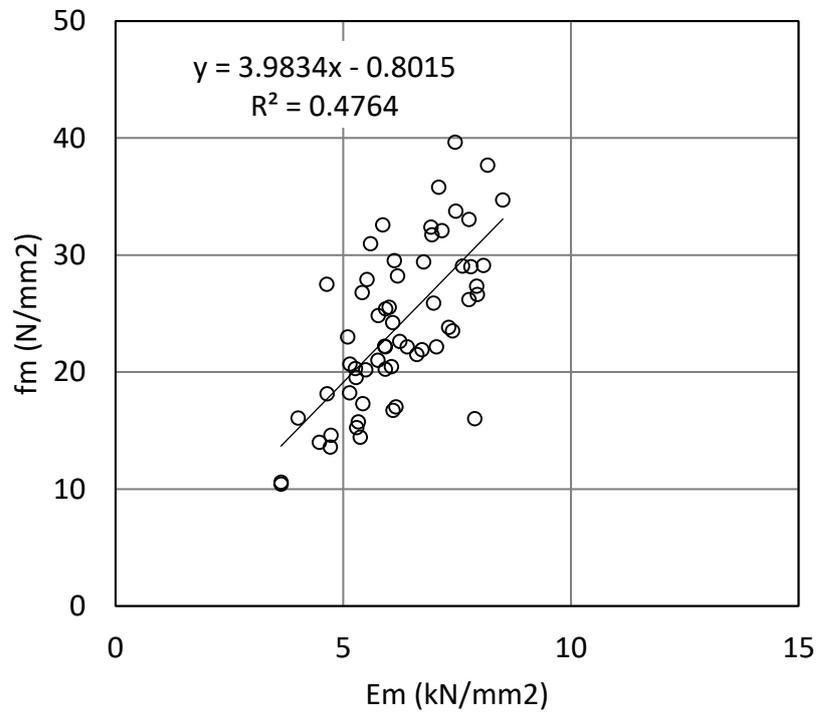


図2 2 スギ210材フラットワイズ（フィンガージョイント）  
曲げヤング係数と曲げ強度との関係（鹿工技セ）

表 8 から表 10 に縦引張り試験の基本統計量を示す。

図 23 に縦引張り試験に供試したスギ 210 材の縦引張り強度分布を示す。

図 24 に縦引張り試験に供試したスギ 210 材の縦振動法による曲げヤング係数分布を示す。

図 25 に縦引張り試験に供試したスギ 210 材の密度分布を示す。

図 26 に縦引張り試験に供試したスギ 210 材の含水率分布を示す。

図 27 にスギ 210 材の縦振動法におけるヤング係数と縦引張り強度との関係を示す。

図 28・29 に同一丸太から採材した試験体における曲率と縦振動法による曲げヤング係数との関係を示す。

図 30 に縦引張り試験に供試したスギ 210 材の縦振動法におけるヤング係数分布を示す。

表 11 から表 17 に縦圧縮試験の基本統計量を示す。

図 31 と図 32 に縦圧縮試験に供試したスギ 210 材の縦圧縮強度分布を示す。

図 33 に縦圧試験に供試したスギ 210 材の最大単独節径分布を示す。

図 34 に縦圧縮試験に供試したスギ 210 材の密度分布を示す。

図 35 に縦圧縮試験に供試したスギ 210 材の含水率分布を示す。

図 36・37 にスギ 210 材の縦振動法による曲げヤング係数と縦圧縮強度との関係を示す。

図 38 にスギ 210 材の密度と縦圧縮強度との関係を示す。

表 18 から表 20 にスギ 206 材の曲げ試験の基本統計量を示す。

図 39 に曲げ試験に供試したスギ 206 材の各種ヤング係数分布を示す。縦振動法によるヤング係数 ( $E_{fr}$ ) と見かけの曲げヤング係数 ( $E_{app}$ ) の分布曲線は、高い側から  $E_{app}$ 、 $E_{fr}$  であった。

図 40 にスギ 206 材の曲げ強度分布を示す。

図 41 に縦振動法による曲げヤング係数と曲げ強度との関係を示す。

図 42 に曲げたわみ振動法による曲げヤング係数と曲げ強度の関係を示す。

表8 縦引張り試験の基本統計量(さつまファインウッド フィンガージョイント材)

試験体数		密度	Efr	含水率	縦引張り強度	最大単独節径	
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	N/mm <sup>2</sup>	中央部 mm	材縁部 mm
62	最小値	319	4.80	10.5	5.1	0.0	0.0
	平均値	388	7.12	15.7	17.3	17.7	12.7
	最大値	470	9.59	23.8	26.9	50.0	55.8
	標準偏差	31	1.14	2.8	4.4	11.4	15.3
	変動係数 %	8.0	16.0	17.7	25.7	64.7	120.1

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表9 縦引張り試験の基本統計量(さつまファインウッド 製材)

試験体数		密度	Efr	含水率	縦引張り強度	最大単独節径	
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	N/mm <sup>2</sup>	中央部 mm	材縁部 mm
60	最小値	303	4.36	11.1	13.2	0.0	0.0
	平均値	381	6.91	14.9	27.9	16.2	10.9
	最大値	473	9.44	19.5	53.0	42.5	51.4
	標準偏差	36	1.13	2.3	7.2	10.2	14.6
	変動係数 %	9.5	16.3	15.6	25.9	63.0	134.0

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表10 縦引張り試験の基本統計量(協和木材 製材)

試験体数		密度	Efr	含水率	縦引張り強度	最大単独節径	
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	N/mm <sup>2</sup>	中央部 mm	材縁部 mm
60	最小値	306	6.96	5.5	10.8	0.0	0.0
	平均値	372	9.44	6.6	28.7	17.0	6.7
	最大値	429	12.19	13.1	50.3	38.5	41.3
	標準偏差	26	1.25	1.3	8.4	7.7	10.9
	変動係数 %	6.8	13.2	19.6	29.1	45.4	161.6

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

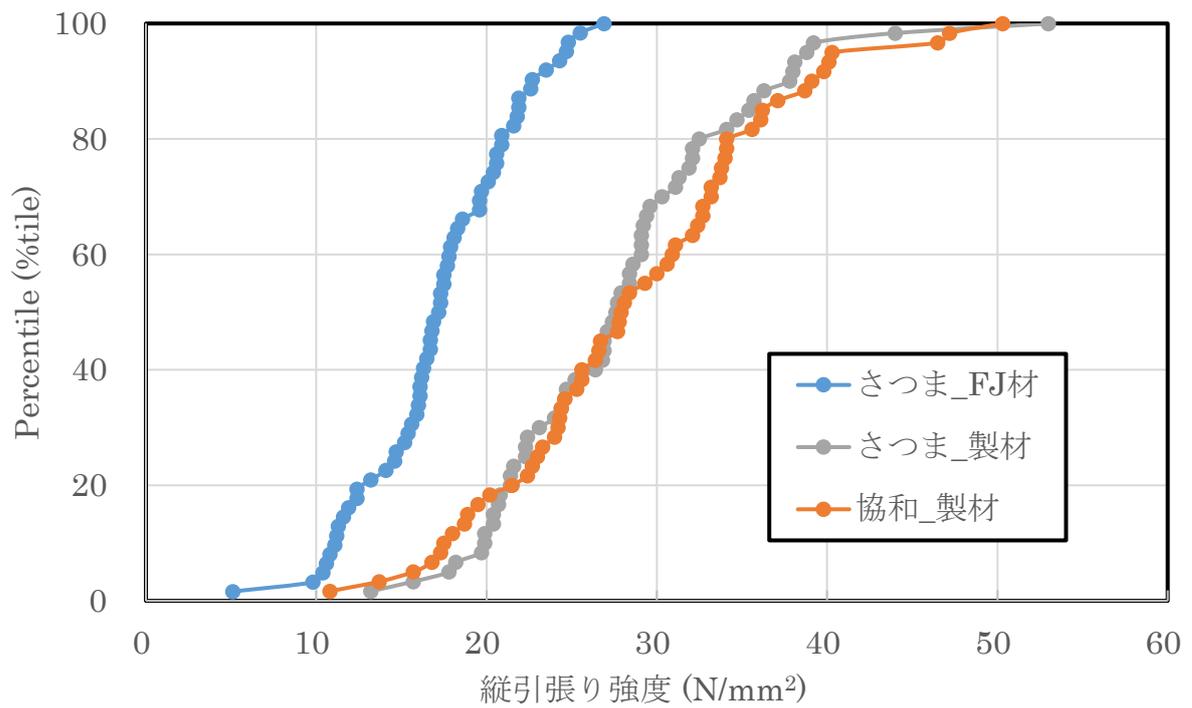


図 2.3 縦引張り試験に供試したスギ 210 材の縦引張り強度分布

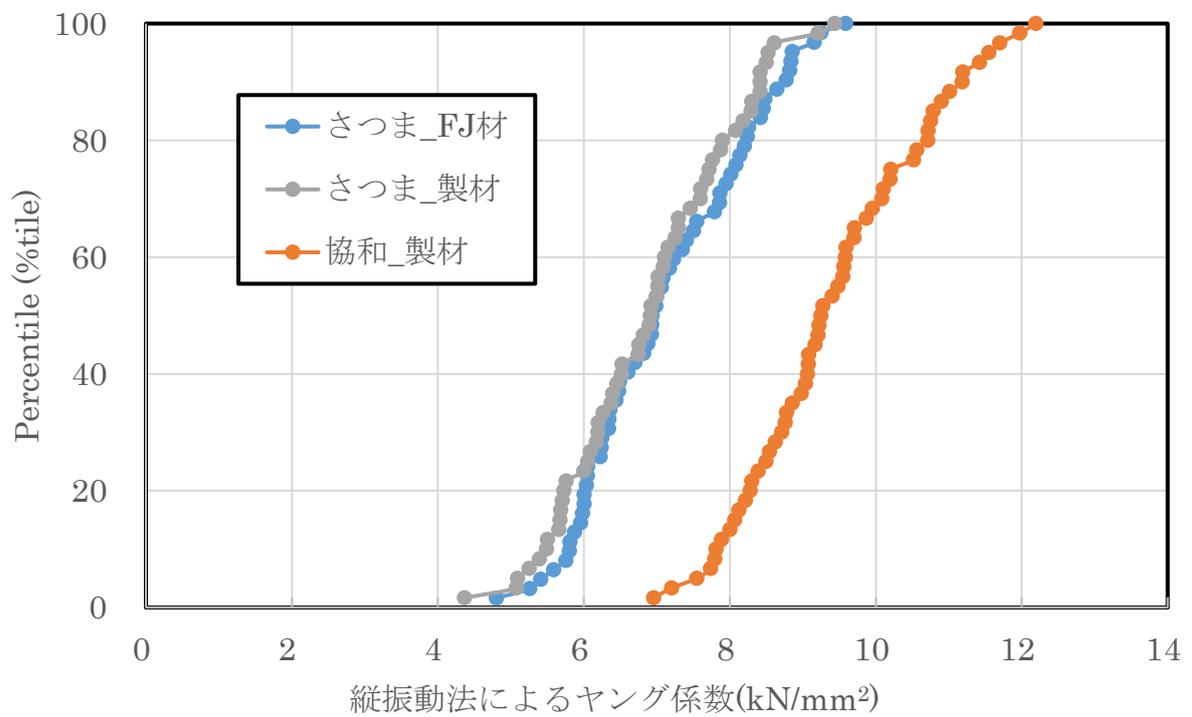


図 2.4 縦引張り試験に供試したスギ 210 材の縦振動法によるヤング係数分布

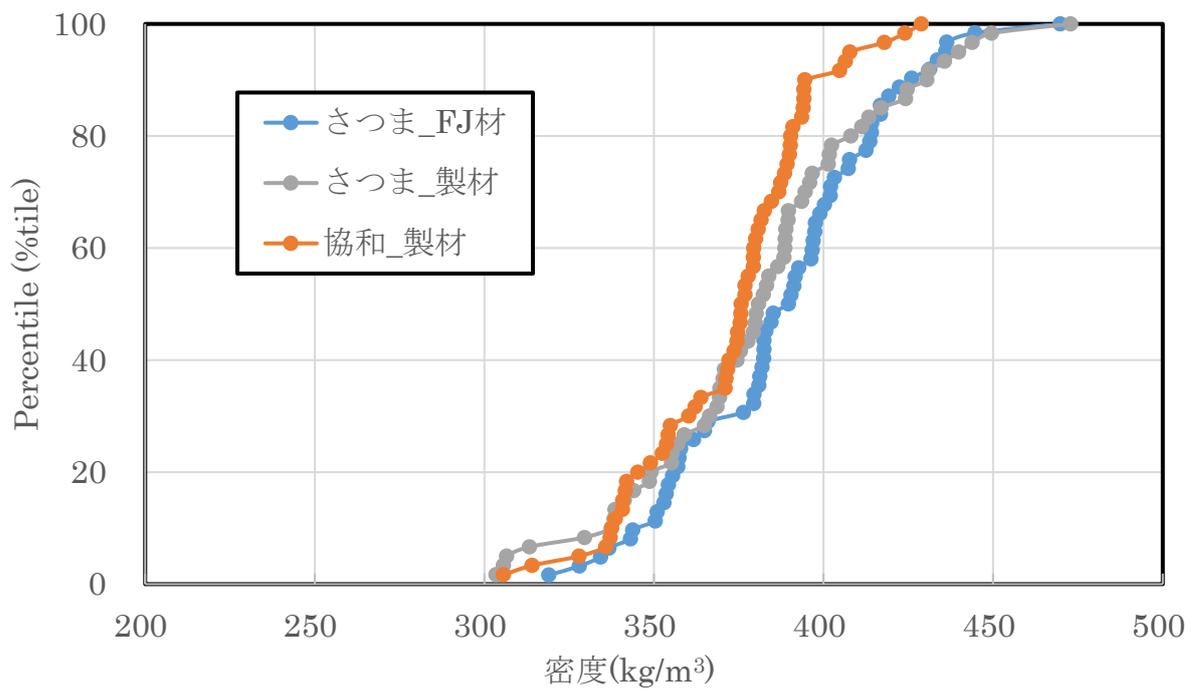


図 2.5 縦引張り試験に供試したスギ 210 材の密度分布

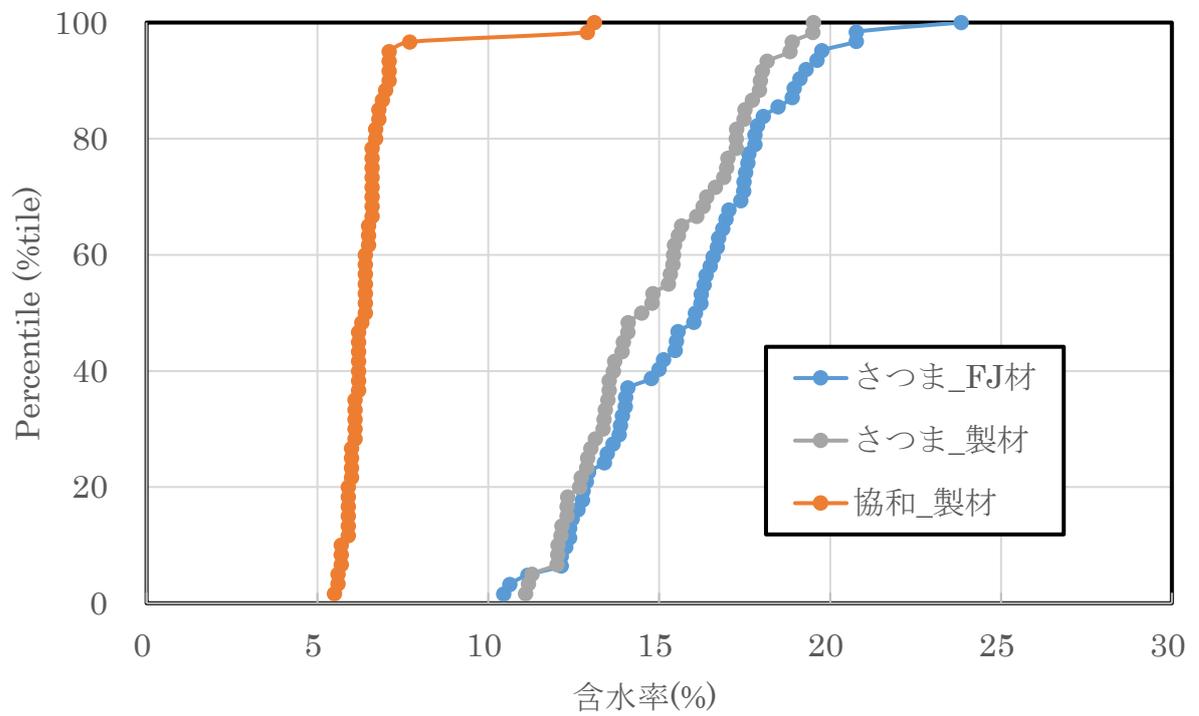


図 2.6 縦引張り試験に供試したスギ 210 材の含水率分布

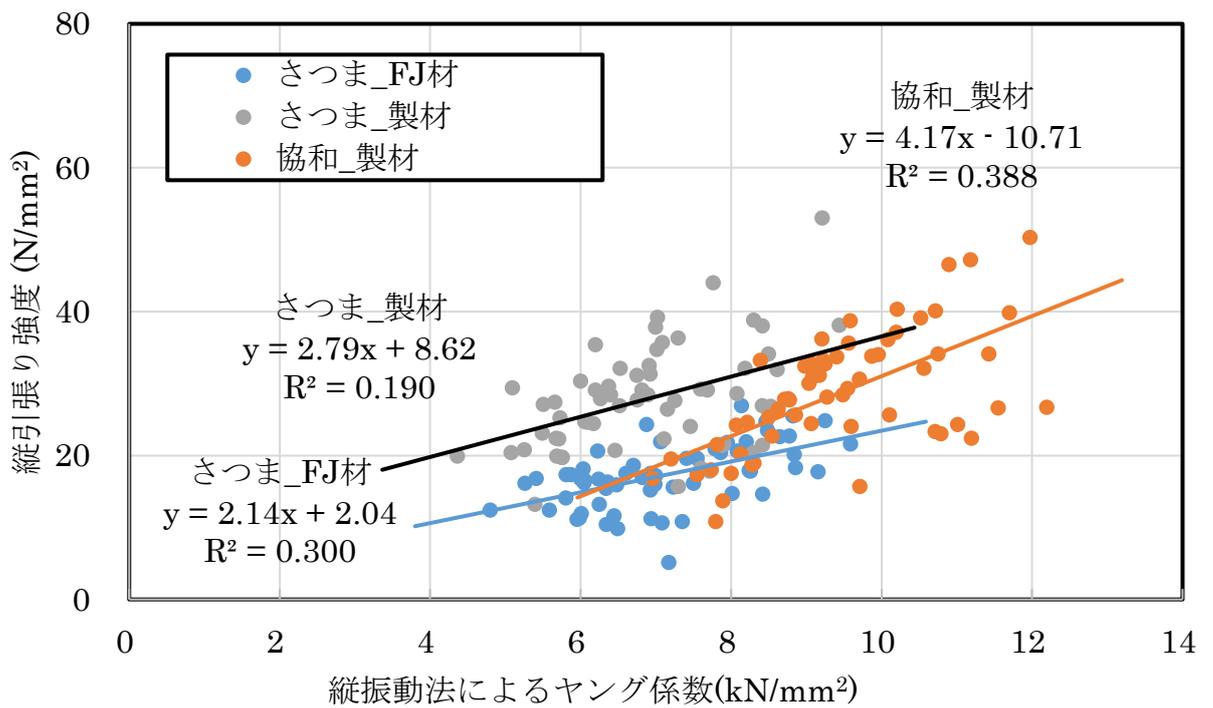


図 2 7 スギ 2 1 0 材の縦振動法によるヤング係数と縦引張り強度との関係

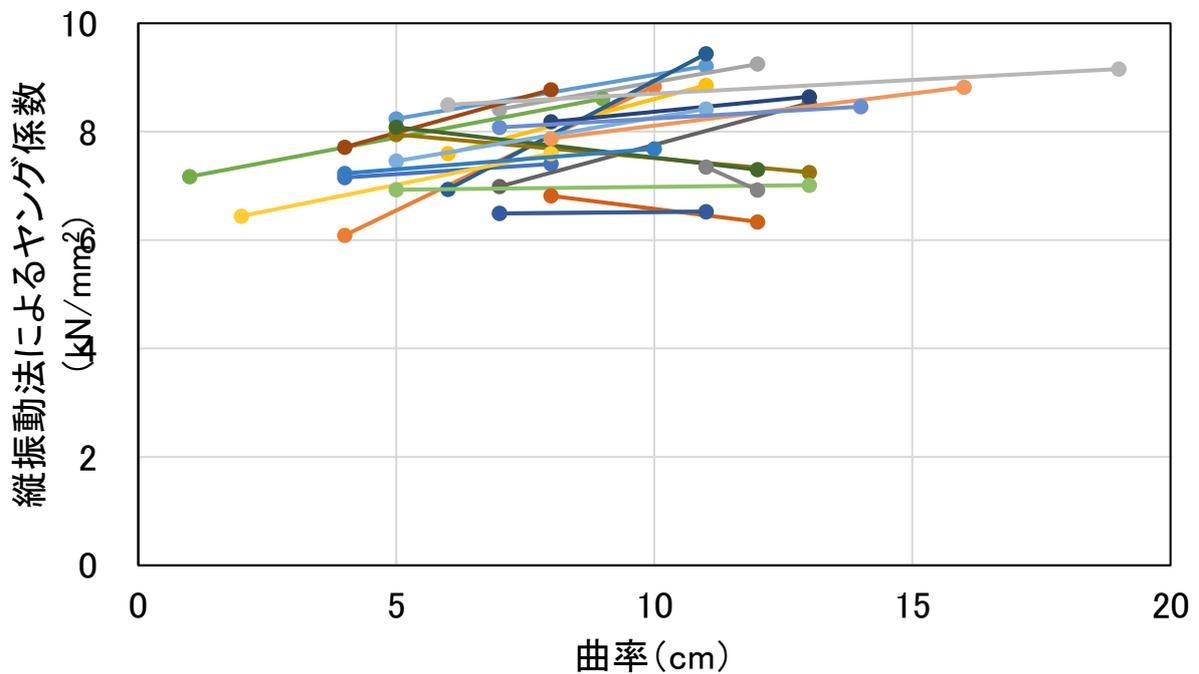


図 2 8 同一丸太から採材した試験体における曲率と縦振動法によるヤング係数との関係 (検討データ：山佐木材で供試した製材およびフィンガージョイント材)

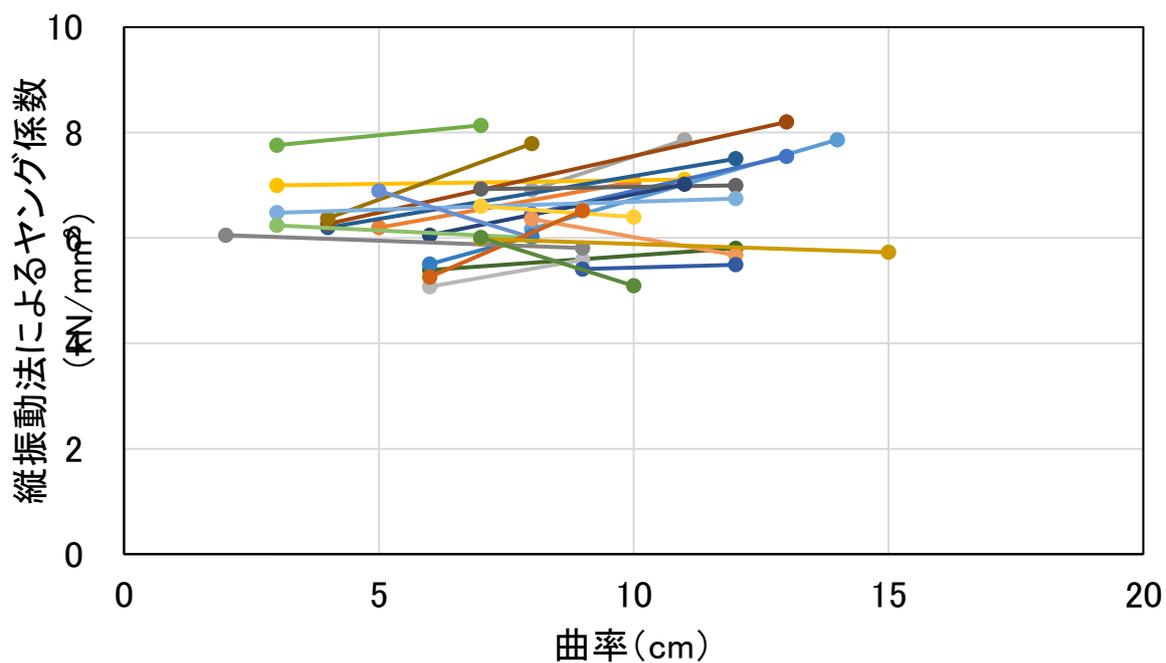


図29 同一丸太から採材した試験体における曲率と縦振動法によるヤング係数との関係  
 (検討データ：山佐木材で供試した製材およびフィンガージョイント材)

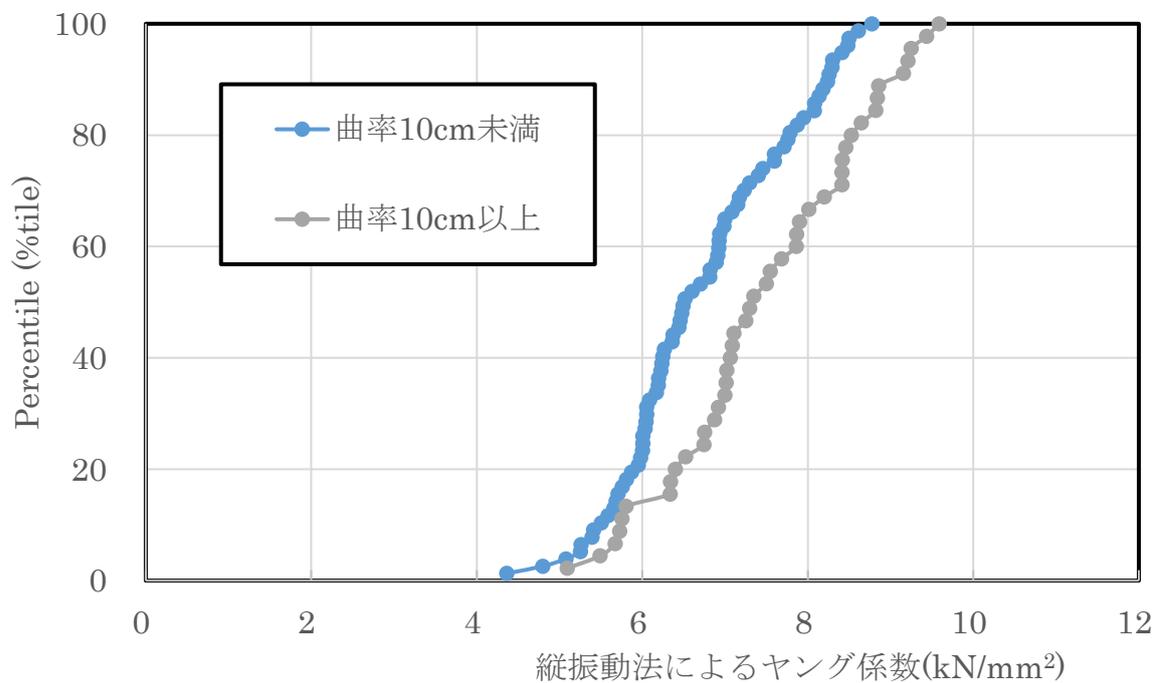


図30 縦引張り試験に供試した210材の縦振動法によるヤング係数分布  
 (検討データ：山佐木材で供試した製材およびフィンガージョイント材)

表11 縦圧縮試験の基本統計量(曲げ試験とマッチングした全試験体、協和木材 製材)

試験体数		供試材の	供試材の	含水率	試験体の	縦圧縮強度	最大単独節径	
		密度	Efr		密度		中央部	材縁部
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	mm
120	最小値	316	6.89	6.2	317	29.6	0.0	0.0
	平均値	378	9.30	7.7	382	42.4	10.1	1.1
	最大値	458	11.87	12.3	472	52.7	42.0	43.0
	標準偏差	35	1.16	1.4	36	4.6	9.9	6.3
	変動係数 %	9.1	12.5	18.6	9.5	10.8	97.4	562.2

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表12 縦圧縮試験の基本統計量(曲げ試験とマッチングした節が少ない材、協和木材 製材)

試験体数		密度	Efr	含水率	試験体の	縦圧縮強度	最大単独節径	
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>		密度		中央部	材縁部
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	mm
60	最小値	316	6.89	6.2	317	34.2	0.0	0.0
	平均値	378	9.30	7.7	375	42.8	5.4	0.1
	最大値	458	11.87	12.3	467	52.7	26.5	5.6
	標準偏差	35	1.17	1.5	35	4.3	7.2	0.7
	変動係数 %	9.2	12.5	18.9	9.5	10.1	132.9	774.6

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表13 縦圧縮試験の基本統計量(曲げ試験とマッチングした節が多い材、協和木材 製材)

試験体数		密度	Efr	含水率	試験体の	縦圧縮強度	最大単独節径	
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>		密度		中央部	材縁部
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	mm
60	最小値	316	6.89	6.3	320	29.6	0.0	0.0
	平均値	378	9.30	7.6	389	41.9	14.8	2.1
	最大値	458	11.87	12.0	472	51.8	42.0	43.0
	標準偏差	35	1.17	1.4	36	4.8	10.0	8.7
	変動係数 %	9.2	12.5	18.4	9.3	11.4	67.2	409.6

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表14 縦圧縮試験の基本統計量(全試験体、協和木材 製材)

試験体数		供試材の	供試材の	含水率	試験体の	縦圧縮強度	最大単独節径	
		密度	Efr		密度		中央部	材縁部
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	mm
178	最小値	304	5.68	6.2	300	15.9	0.0	0.0
	平均値	374	8.94	7.7	377	40.9	9.9	1.1
	最大値	458	11.87	12.3	472	52.7	42.0	43.0
	標準偏差	33	1.38	1.3	35	5.7	10.2	6.1
	変動係数%	9.0	15.4	17.2	9.3	14.0	103.2	551.3

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表15 縦圧縮試験の基本統計量(節が少ない部位から採材した試験体、協和木材 製材)

試験体数		供試材の	供試材の	含水率	試験体の	縦圧縮強度	最大単独節径	
		密度	Efr		密度		中央部	材縁部
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	mm
89	最小値	304	5.68	6.2	300	15.9	0.0	0.0
	平均値	374	8.94	7.7	369	41.3	5.1	0.1
	最大値	458	11.87	12.3	467	52.7	26.5	5.6
	標準偏差	34	1.38	1.3	34	5.8	7.0	0.6
	変動係数%	9.0	15.5	17.4	9.3	14.0	138.3	943.4

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表16 縦圧縮試験の基本統計量(節が多い部位から採材した試験体、協和木材 製材)

試験体数		供試材の	供試材の	含水率	試験体の	縦圧縮強度	最大単独節径	
		密度	Efr		密度		中央部	材縁部
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	mm
89	最小値	304	5.68	6.3	319	28.4	0.0	0.0
	平均値	374	8.94	7.6	385	40.6	14.8	2.2
	最大値	458	11.87	12.0	472	52.4	42.0	43.0
	標準偏差	34	1.38	1.3	34	5.7	10.7	8.5
	変動係数%	9.0	15.5	17.0	8.9	14.0	72.3	395.4

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表17 縦圧縮試験の基本統計量(製材)

試験体数		供試材の	供試材の	含水率	縦圧縮強度
		密度	Efr		
		kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	N/mm <sup>2</sup>
60	最小値	329	4.59	7.5	20.0
	平均値	387	7.32	12.5	31.5
	最大値	449	10.59	18.7	42.0
	標準偏差	27	1.08	2.8	5.6
	変動係数%	7.0	14.7	22.6	17.7

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

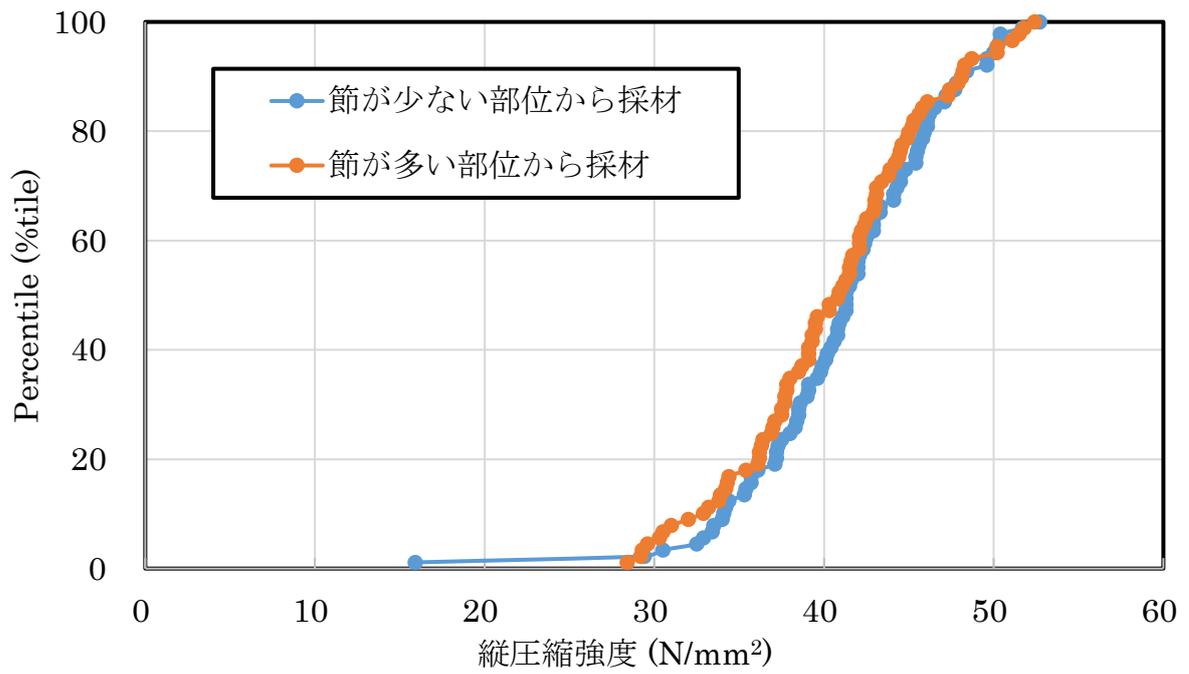


図 3 1 縦圧縮試験に供試したスギ 2 1 0 材の縦圧縮強度分布 (森林総研)

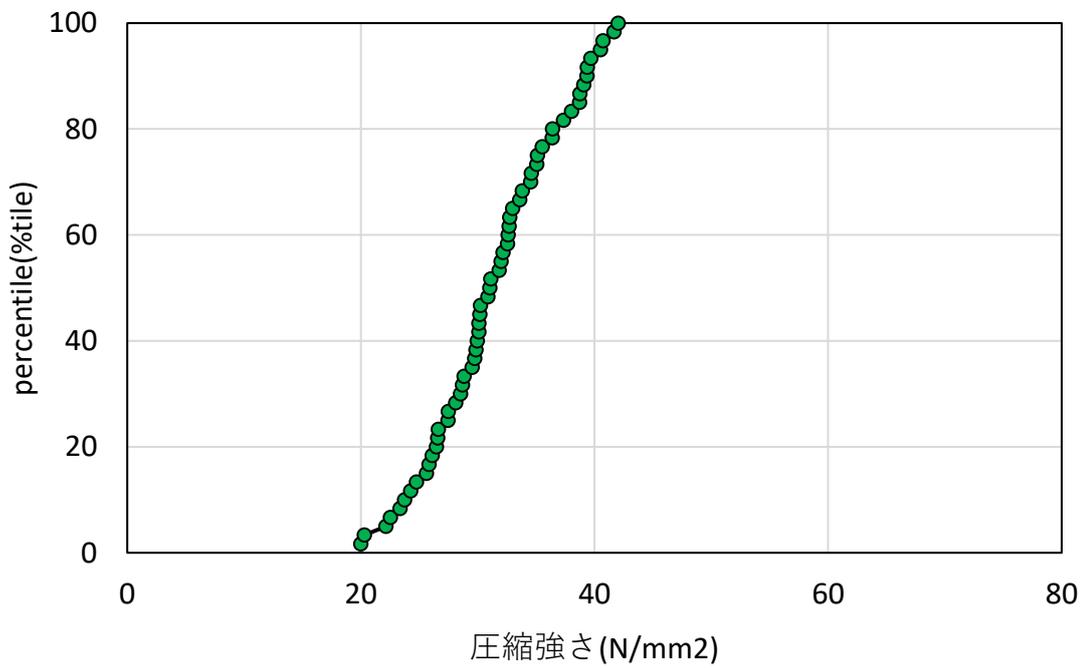


図 3 2 縦圧縮試験に供試したスギ 2 1 0 材の縦圧縮強度分布 (鹿工技セ)

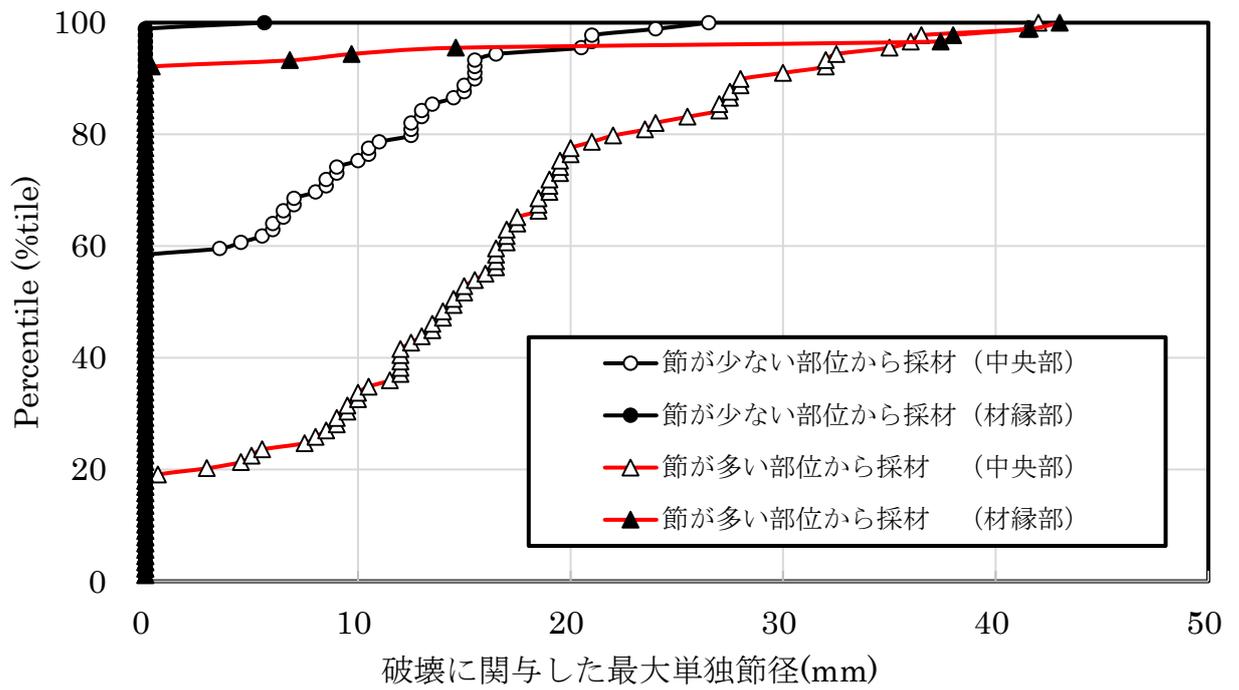


図 3 3 縦圧縮試験に供試したスギ 2 1 0 材の縦圧縮強度分布 (森林総研)

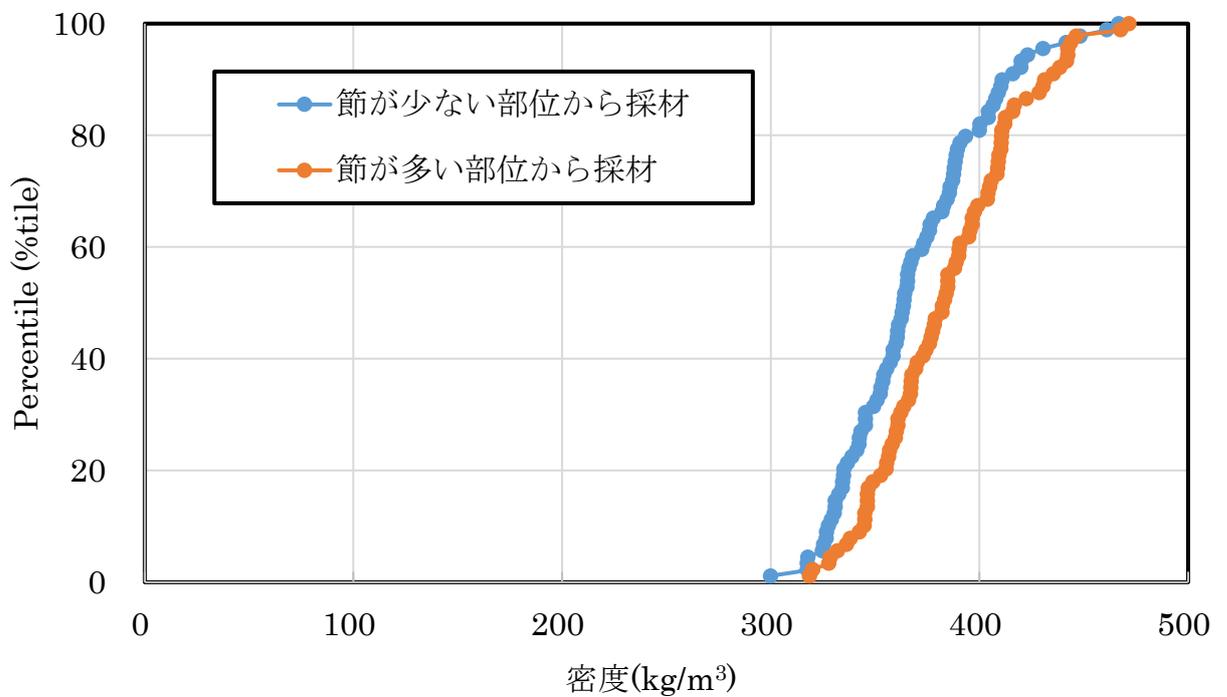


図 3 4 縦圧縮試験に供試したスギ 2 1 0 材の密度分布 (森林総研)

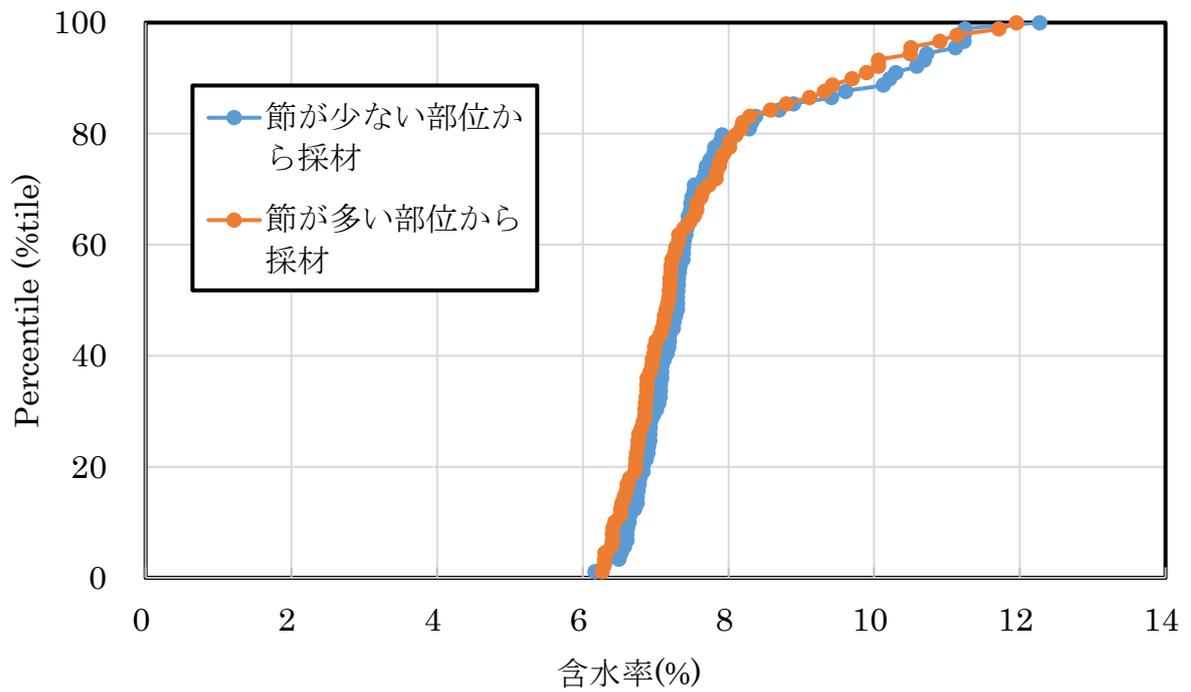


図 3 5 縦圧縮試験に供試したスギ 2 1 0 材の含水率分布 (森林総研)

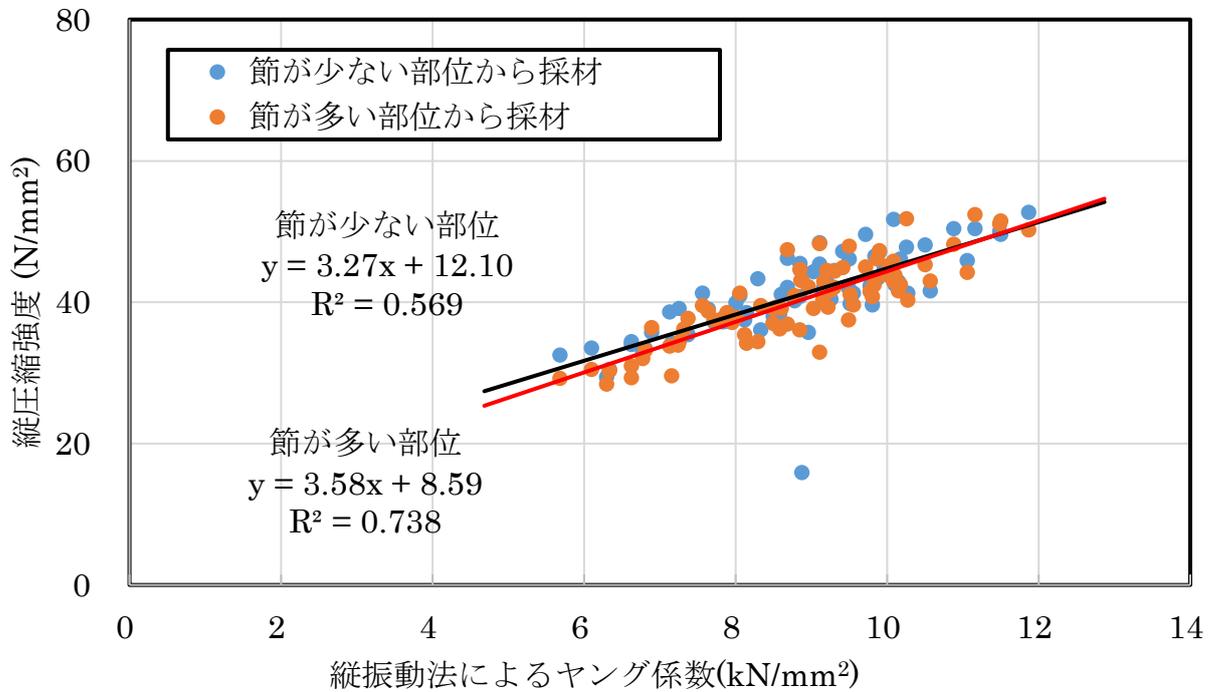


図 3 6 スギ 2 1 0 材の縦振動法におけるヤング係数と縦圧縮強度との関係 (森林総研)

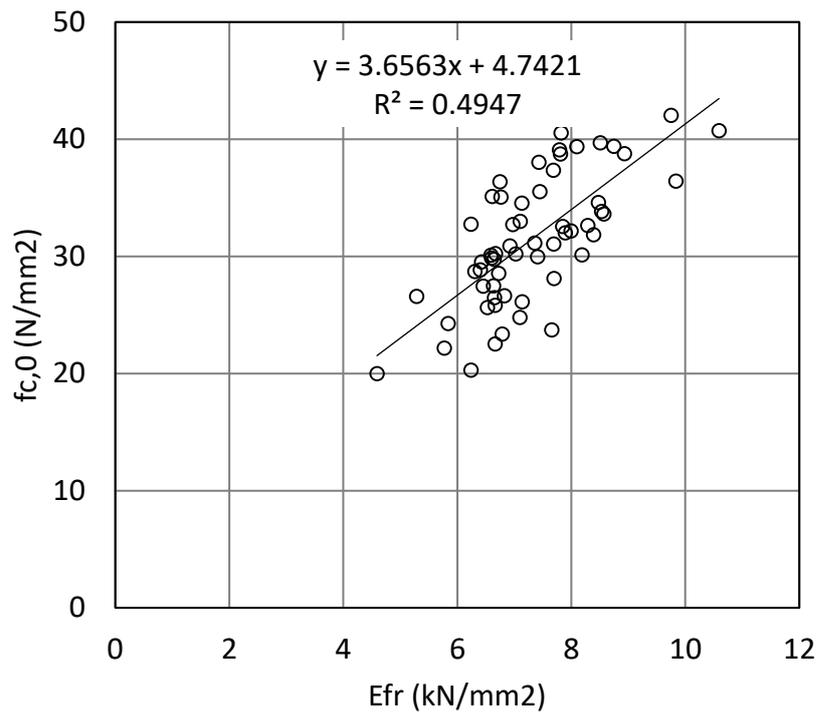


図37 スギ210材の縦振動法におけるヤング係数と縦圧縮強度との関係（鹿工技セ）

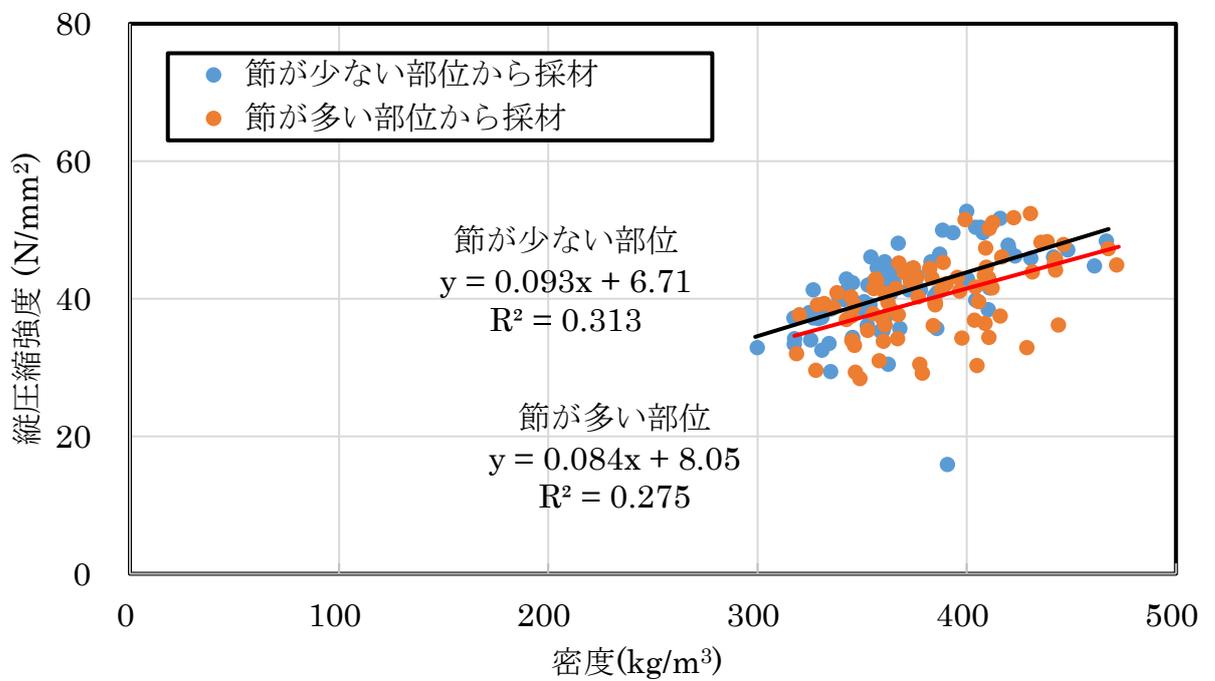


図38 スギ210材の密度と縦圧縮強度との関係（森林総研）

表18 206材曲げ試験(エッジワイズ)の基本統計量(製材 機械等級区分7~8kN/mm<sup>2</sup>)

試験体数	密度	Efr	含水率	見かけの曲げ ヤング係数	曲げ強度	最大荷重時の たわみ	最大単独節径		
	kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	kN/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	中央部 mm	材縁部 mm	
60	最小値	348	6.68	10.3	6.97	29.0	44.7	7.5	2.9
	平均値	414	7.30	12.3	7.65	41.9	59.0	16.0	11.1
	最大値	447	7.96	13.8	8.25	52.8	84.1	32.0	36.0
	標準偏差	31	0.41	0.9	0.43	8.0	14.4	8.4	9.6
	変動係数%	7.5	5.6	7.4	5.7	19.1	24.5	52.8	86.3

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表19 206材曲げ試験(エッジワイズ)の基本統計量(製材 機械等級区分8~9kN/mm<sup>2</sup>)

試験体数	密度	Efr	含水率	見かけの曲げ ヤング係数	曲げ強度	最大荷重時の たわみ	最大単独節径		
	kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	kN/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	中央部 mm	材縁部 mm	
60	最小値	380	7.89	10.6	8.34	39.3	39.4	0.0	0.0
	平均値	428	8.56	12.4	8.93	52.9	62.8	14.1	5.4
	最大値	481	9.34	13.6	9.47	65.5	103.5	27.0	16.5
	標準偏差	27	0.44	1.0	0.37	9.2	19.7	9.5	5.5
	変動係数%	6.4	5.2	8.3	4.2	17.4	31.3	67.6	101.1

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

表20 206材曲げ試験(エッジワイズ)の基本統計量(製材 機械等級区分9kN/mm<sup>2</sup>以上)

試験体数	密度	Efr	含水率	見かけの曲げ ヤング係数	曲げ強度	最大荷重時の たわみ	最大単独節径		
	kg/m <sup>3</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	%	kN/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm	中央部 mm	材縁部 mm	
60	最小値	391	9.38	10.9	9.50	27.9	26.7	0.0	0.0
	平均値	431	10.36	11.4	10.30	58.3	69.9	10.2	8.0
	最大値	470	13.46	13.3	12.70	77.6	103.4	17.5	32.5
	標準偏差	26	1.20	0.7	0.90	13.9	21.4	4.9	11.6
	変動係数%	6.0	11.6	6.3	8.7	23.9	30.6	48.4	145.3

【凡例】 Efr: 縦振動法によるヤング係数

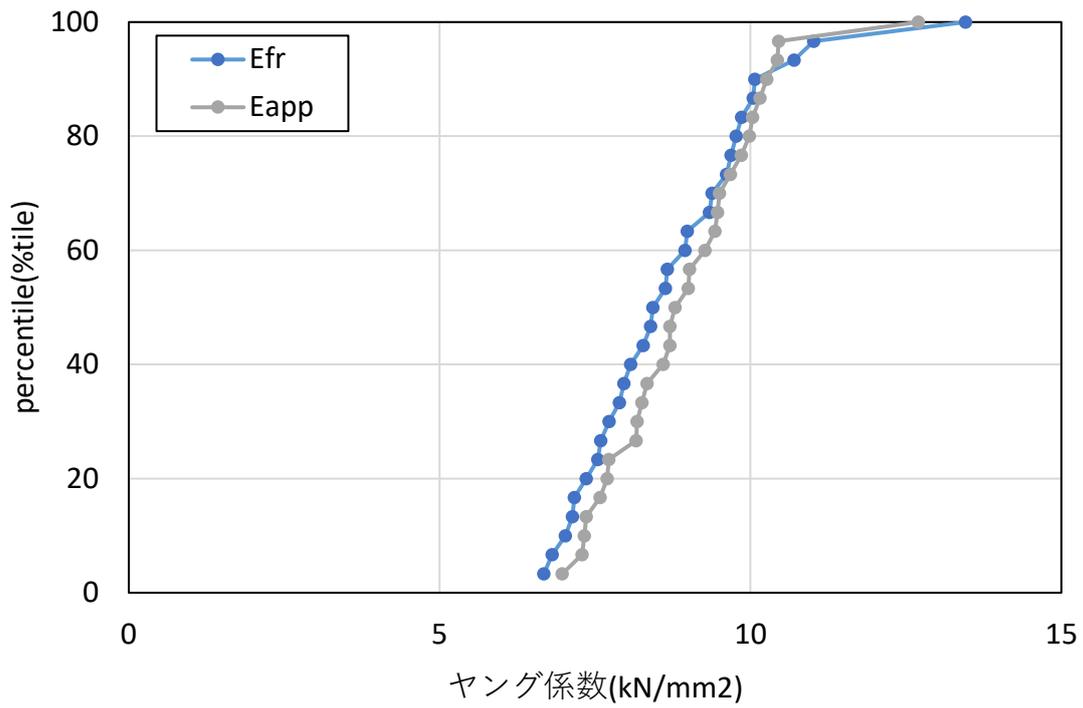


図 3 9 スギ 2 0 6 材の各種ヤング係数 (鹿工技セ)

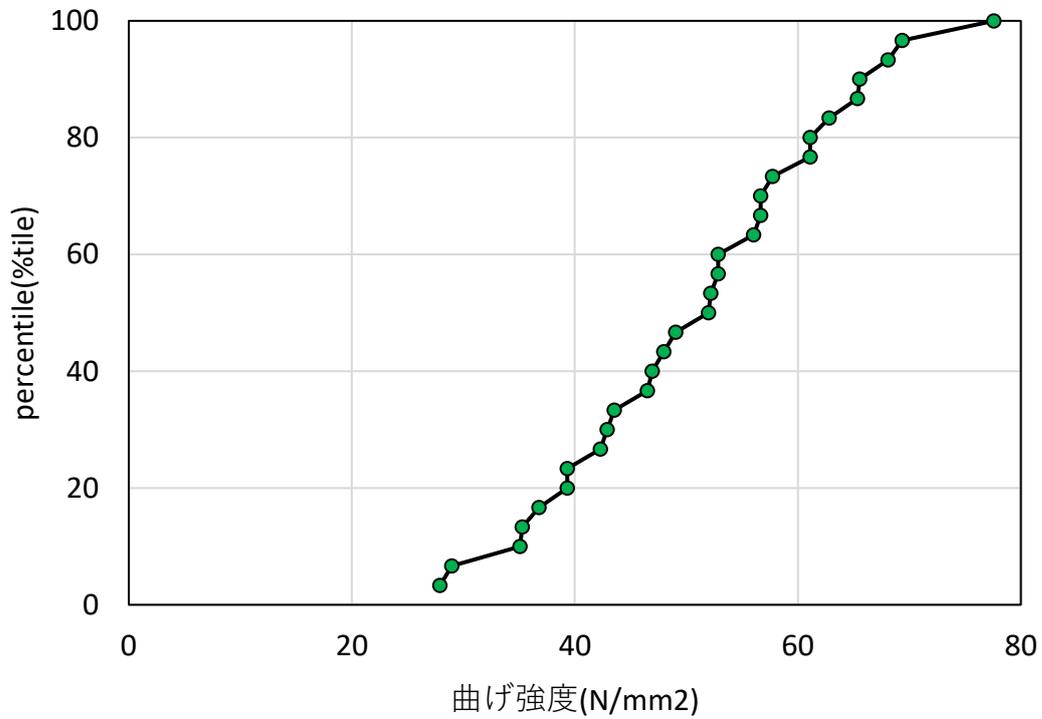


図 4 0 スギ 2 0 6 材曲げ強度分布 (鹿工技セ)

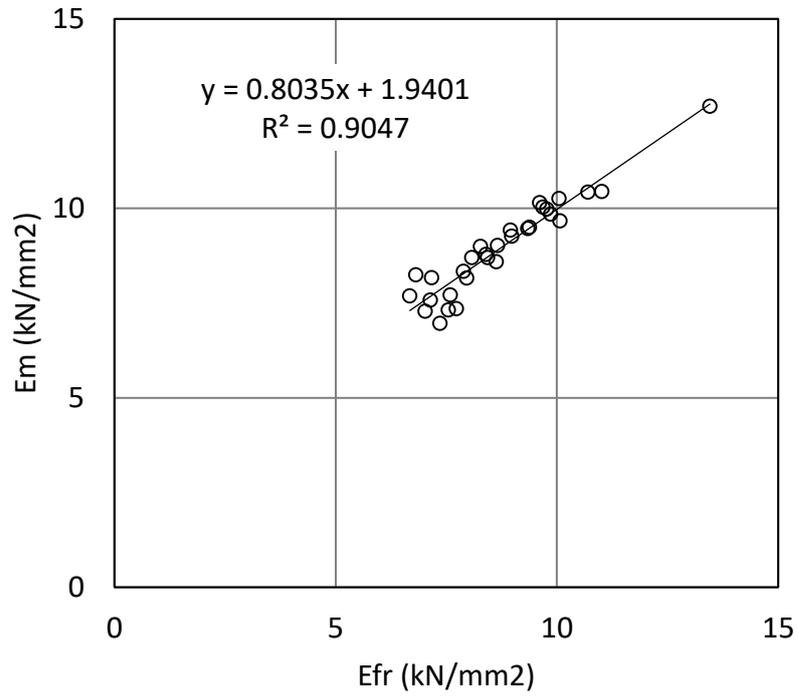


図4 1 スギ206材の縦振動法におけるヤング係数と曲げヤング係数との関係（鹿工技セ）

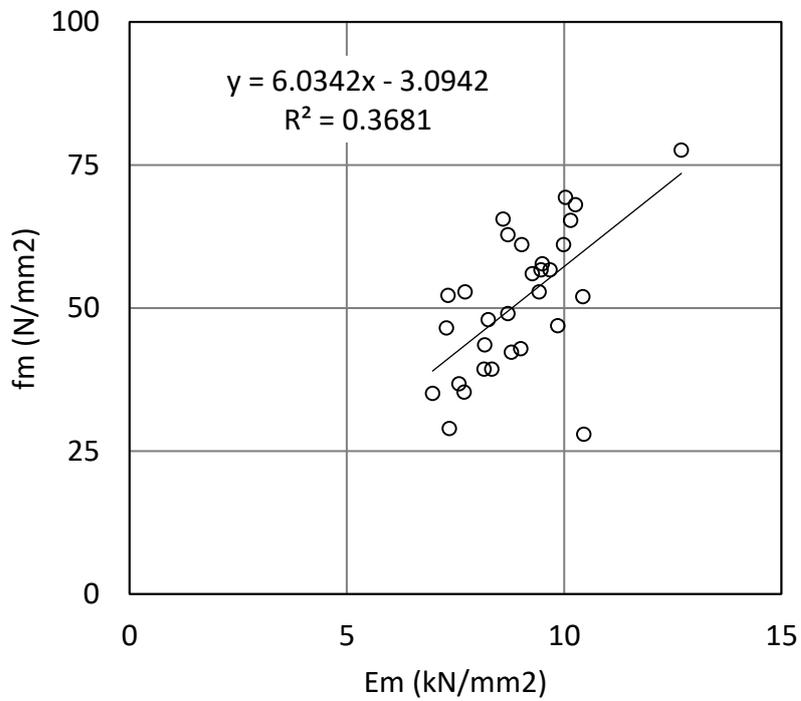


図4 2 スギ206材の曲げヤング係数と曲げ強度の関係（鹿工技セ）

#### 4 まとめ

今回の各種試験を行うことで、寸法形式210のスギ枠組壁工法構造用製材の強度データ整備の足掛かりになったのではないかと考える。しかし、今回は福島県と鹿児島県で丸太の選定を行い試験体としたが、選定された丸太の径級、試験体の含水率に大きな違いが見られるため地域間の特性を明らかにするには更なる整備が必要になるだろう。

スギ210材は主として、横架材に利用されると考えている。横架材への利用を考えるにあたり必要とされる特性は主に曲げヤング係数である。横架材に利用される曲げヤング係数は、MSR等級の1.2E（平均ヤング係数8.3 kN/mm<sup>2</sup>、下限ヤング係数6.8 kN/mm<sup>2</sup>）

（本事業における検討委員会調べ）と言われており、今回の試験結果ではこの曲げヤング係数を超えるものも見受けられるため、現行のMSR等級 1200Fb-1.2Eに合格するスギ210材の製造は可能と考えられる。しかし、曲げヤング等級1.2Eを超える材料の歩留りが不明確であるため現実的に量産を考えられるかは更なる検討が必要である。

また、曲げヤング係数の高いスギ206材の曲げ試験を行い、高い曲げ強度性能（最小値で27.9 kN/mm<sup>2</sup>）を確認することができた。国産スギ材がMSR等級の基準の中で歩留りを確保した上で生産が可能となっているのは、平成27年の改正で追加された900Fb-0.6Eと1200Fb-0.8Eがほとんどである。しかし、この2つの基準の曲げ強度は13.2 kN/mm<sup>2</sup>と17.4 kN/mm<sup>2</sup>で目視等級の曲げ強度19.5 kN/mm<sup>2</sup>より低い評価となっている。曲げヤング等級1.0Eや1.2Eで曲げ強度等級1350Fb（曲げ強度19.8 kN/mm<sup>2</sup>）、1450Fb（曲げ強度21.0 kN/mm<sup>2</sup>）や1500Fb（曲げ強度22.2 kN/mm<sup>2</sup>）を担保可能なMSR等級が存在することで、更なる国産スギ枠組壁工法構造用製材の普及が図りやすくなると考える。

最後に本事業を進めるに当たり、多大なるご協力を頂いた検討会委員に感謝申し上げます。本事業によりスギ210の強度特性の全てが明らかになったわけではないが、今回の試験結果がこれからの研究や発展におけるデータとして繋がることを期待する。

平成30年度CLT等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業  
検討会 参画団体名

－事業主体－

株式会社伊万里木材市場

－参画団体（順不同）－

協和木材株式会社

山佐木材株式会社

中国木材株式会社

大東建託株式会社

株式会社さつまファインウッド

鹿児島県工業技術センター（課題担当兼任）

一般社団法人 日本ツーバイフォー建築協会

－課題担当－

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所