

奈良県産スギ大径材から採材したツーバイフォー部材の性能評価*¹中晶平*²・森下真衣

奈良県産スギ大径材 20 本から寸法型式 204 の枠組壁工法部材（ツーバイフォー部材）を 273 本採材し、「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」の甲種枠組材の目視等級区分による材質評価を行い、曲げ強度試験を実施した。目視等級区分の結果、2.4m の長さに製材した部材において、特級が 43.2%、1 級が 11.0%、2 級が 43.2%、3 級が 2.2%、等級外が 0.4% となり、約 97% が枠組壁工法部材として一般に市場に流通する 2 級以上であった。また、曲げ強度試験の結果、測定不良となった 1 本を除く 272 本について、含水率 15% 時に補正した曲げヤング係数（MOE, 15%）の平均値は 9.07kN/mm² であった。含水率 15% 時に補正した曲げ強度（MOR, 15%）の平均値は 49.5N/mm²、5% 下限値は 27.7N/mm² であり、令和 2 年国土交通省告示第 821 号に規定する樹種群 JSII（スギ）の甲種 2 級の基準強度（19.5N/mm²）および SPF の甲種 2 級の基準強度（21.6N/mm²）をいずれも上回った。

1. はじめに

奈良県の人工林資源は高齢級化が進み、直径 30cm を超える「大径材」が増加しつつある。そのため、大径材の強みを生かした新たな用途開発が求められている。奈良県産スギ大径材の新たな用途の一つとして、枠組壁工法部材（ツーバイフォー部材）としての利用が考えられる。

枠組壁工法はツーバイフォー工法とも呼ばれ、国土交通省では「木材で組まれた枠組に構造用合板その他これに類するものを打ち付けた床及び壁により、建築物を建築する工法」と定義されている¹⁾。北米に起源を持つ工法のため、国内で使用されている部材のほとんどは SPF（スプルース、パイン、ファー）等の北米材である。しかし、輸入材である SPF 材の価格は為替レート変動の影響を受けることから、価格の急騰を経験した住宅メーカーにおいては為替レート変動の影響を受けない国産材ツーバイフォー部材供給への期待が高まっている²⁾。また、平成 27 年には「枠組壁工法構造用製材の日本農林規格」が改正され、「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」となり、これに伴い平成 27 年国土交通省告示第 816 号により国産材（ヒノキ、スギ、カラマツ）の樹種群および基準強度が新たに追加された³⁾。これにより、スギはそれまで位置付けられていた樹種群（W Cedar）よりも高い基準強度が制定されたため、枠組壁工法部材にスギ材が使用しやすくなった。

新設住宅着工戸数が減少傾向にある中で、令和 5 年の新設着工木造住宅の枠組壁工法シェアは、全国では

20.0%、奈良県内では 17.4% であり、県内では最近 10 年間で概ね 14~23% 程度のシェアを占めている⁴⁾（図 1）。国産スギ材の枠組壁工法構造用製材としての強度性能については、平成 21 年度林野庁補助事業「2×4 住宅部材の開発事業」⁵⁾ で調べられているが、この事業での供試丸太に奈良県産材は含まれておらず、径級 30cm を超えるスギ供試丸太の産地は宮城県および鹿児島県のみであった。近年では、茨城県産、長野県産、石川県産、宮城県産等のスギ大径材から採材された枠組壁工法部材の材質および強度性能が調べられているが⁶⁻⁹⁾、奈良県産のスギ材から採材された枠組壁工法部材の材質および強度性能に関しては調べられていない。

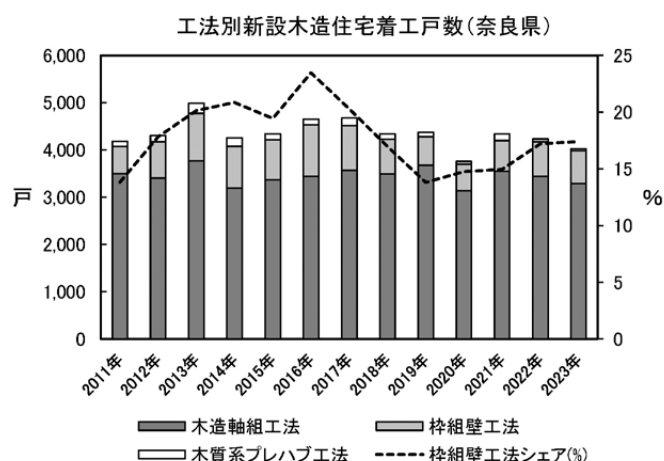


図1 奈良県の工法別新設木造住宅着工戸数とそれに占める枠組壁工法シェア
（住宅着工統計(国土交通省)を編集して作成)

*1 本研究の一部は、一般社団法人日本木材学会第 75 会年次大会（2025 年 3 月、仙台）において発表した。

*2 現 奈良県 環境森林部 景観・自然環境課

そこで本研究では、県産スギ材の枠組壁工法部材の生産に係る知見およびデータを得ることを目的として、主に枠組壁工法部材として最もよく使用される寸法型式204材（乾燥材の規定断面寸法：38mm×89mm）について、奈良県産スギ大径材から採材し、製材歩増し量、材質および曲げ強度性能を調べた。

2. 材料と方法

2.1 供試木

末口径30cm以上、長さ約4mの奈良県十津川村産スギ丸太20本（元玉10本、2番玉以降10本）を供試木とした。元玉および2番玉以降の丸太は、同じ丸太から採取されたもの（マッチングされたもの）ではない。なお、2番玉以降の玉の区別は不明であったが、形状から多くが2番玉であると予想される。以下「2番玉以降」を「2番玉」と表記する。表1に、供試木の主な諸元を示す。各丸太から、図2の木取りを基本として、寸法型式204材（粗挽き寸法45mm×105mm×4000mm）（以下「長さ4mの204材」という。）の大きさで採取可能な枚数分に製材した。製材した204材は、県内の製材所が所有する蒸気式乾燥機を使用し、含水率19%を目標として人工乾燥（中温乾燥）を行った。なお、乾燥の際に重りは載荷しなかった。

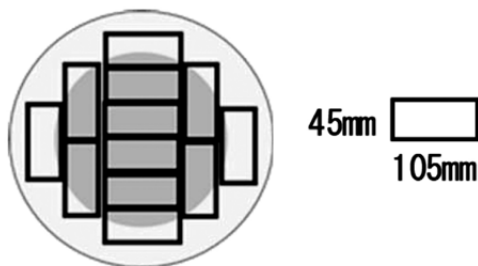


図2 供試木からの基本木取り(末口径 32cm の例)

2.2 材質（収縮率、変形、縦振動ヤング係数）の測定

製材した204材については、乾燥前後に厚さ（中央）および幅（中央、末口側の材端から50cm、元口側の材端から50cm）を測定し、収縮率および収縮率を算出した。そして、乾燥後、変形（反り、曲がり、幅反り）を測定した後、プレーナにて204材の規定断面寸法（38mm×89mm）に仕上げ加工を行い、乾燥前後と同様に変形（反り、曲がり、幅反り）を測定した。また、乾燥前、乾燥後および仕上げ加工後には、「構造用木材の強度試験マニュアル」¹⁰⁾（以下「マニュアル」という。）に準拠して縦振動法によるヤング係数（縦振動ヤング係数）を測定した。その後、枠組壁工法部材のたて枠材の一般的な長さである2336mmに合わせて2.4mに鋸断した（以下「長さ2.4mの204材」という。）。

2.3 目視等級区分

「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」¹¹⁾（以下「枠組JAS」という。）の甲種枠組材の規格に基づき、長さ2.4mの204材について目視等級区分を行った。評価項目は、節又は穴、腐れ、変色、丸身、割れ、曲がり、反り、ねじれの8項目とし、削り残し等の加工上の欠点は評価項目としなかった。上記各項目について、品質の高い順に、特級、1級、2級、3級、等級外と格付けを行った。

2.4 強度性能評価

長さ2.4mの204材について、マニュアル¹⁰⁾に準拠して縦振動法によるヤング係数を測定した。その後、「2018年枠組壁工法建築物構造計算指針」¹²⁾に従い、スパン1869mm、荷重点間距離623mmの3等分点4点荷重方式により曲げ試験を行い、曲げヤング係数および曲げ強度を求めた。曲げヤング係数および曲げ強度は、マニュアル¹³⁾に記載された日本国内における提案式に従って含水率15%時の値に補正した。曲げ試験は、実大木材強度試験機（東京衡機試験機製）を用い、試験体の狭い面に対して加力するエッジワイズ方式で行った。

表1 供試木(元玉および2番玉)の諸元

		末口径	元口径	材長	重量	密度	縦振動 ヤング係数	末口 年輪数
		(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg/m ³)	(kN/mm ²)	
元玉 (n=10)	平均値	36.5	45.1	425.0	366	656	7.87	66
	最小値	33.0	40.2	400.0	284	524	5.77	50
	最大値	39.7	51.5	463.0	468	811	9.81	79
	変動係数(%)	5.4	8.1	4.0	16.6	12.1	15.8	14.4
2番玉 (n=10)	平均値	34.8	39.3	419.2	288	635	8.38	56
	最小値	32.0	35.6	409.0	238	543	6.64	40
	最大値	38.3	44.5	428.0	371	715	10.30	79
	変動係数(%)	5.7	6.7	1.4	13.5	9.0	13.8	18.5

3. 結果および考察

3.1 収縮量および収縮率

元玉の丸太 10 本から 204 材 142 本（以下「元玉由来」という。）、2 番玉の丸太 10 本から 204 材 131 本（以下「2 番玉由来」という。）を得た。表 2 に、厚さ方向と幅方向の収縮量および収縮率を示す。マッチングした材ではないが、元玉由来と 2 番玉由来で比較すると、厚さ方向および幅方向いずれも収縮率の平均値は 2 番玉由来の方が大きく（ウェルチの t 検定、 $p < 0.01$ ）、収縮率および収縮量の最大値においても同様に 2 番玉由来の方が大きかった。2 番玉由来の 204 材 131 本の厚さ方向の収縮量の最大値は 2.7mm、幅方向の収縮量の最大値は、末口側で 5.5mm、中央で 5.0mm、元口側で 5.6mm であったことから、仕上がり寸法に対する収縮を見込んだ製材歩増し量は、厚さ方向で 3mm、幅方向で 6mm を見ればよいことがわかった。

3.2 変形（反り、曲がり、幅反り）

図 3 に、長さ 4m の 204 材の乾燥後および仕上げ加工後（以下「加工後」という。）の変形（反り矢高、幅反り矢高、曲がり矢高）の出現割合を示す。いずれの変形も、元玉由来および 2 番玉由来による差はみられず、以下の傾向がみられた。

乾燥後および加工後いずれにおいても、10mm 以上の反りが現れる割合が高かった。反りの大きい材が多かった要因としては、丸太の成長応力による製材時での反りや、乾燥の際に重りを載荷しなかったことによる乾燥時での反り等が考えられる。曲がりについては 5mm 未満の出現割合が最も高かった。幅反りは、全体の 26% (71 本) は 0.5mm 以上のものもみられたが、仕上げ加工により低減し、加工後はすべて 0.5mm 未満であった。

3.3 縦振動ヤング係数

表 3 に、長さ 4m の 204 材の乾燥前後および加工後に

おける縦振動ヤング係数を示し、図 4 に、それぞれの累積頻度曲線を示す。乾燥前と乾燥後で比較すると、乾燥により縦振動ヤング係数は平均 0.81kN/mm^2 上昇し、変化率の平均値は 10.3% であった。乾燥後と加工後では、縦振動ヤング係数は平均 0.09kN/mm^2 上昇し、変化率の平均値は 0.9% であり、乾燥後と加工後では縦振動ヤング係数の変化は小さかった。

3.4 目視等級

図 5 に、長さ 2.4m の 204 材 273 本における目視等級の出現率を示す。目視等級の出現率は、特級が 43.2% (118 本)、1 級が 11.0% (30 本)、2 級が 43.2% (118 本)、3 級が 2.2% (6 本)、等級外が 0.4% (1 本) となり、約 97% が枠組壁工法部材として一般に市場に流通する 2 級以上であった。なお、元玉由来では約 99%、2 番玉由来では約 96% が 2 級以上であり、元玉由来と 2 番玉由来の間では目視等級の出現率には大きな差はみられなかった。

図 6 に、目視等級の決定因子を示す。なお、1 級以下に格付けされた等級で決定因子が 2 個以上の場合はいずれの因子を決定因子としてカウントした。最も多かった決定因子は、「反り」の 63.5% (108 本) であり、次いで 28.8% (49 本) の「節または穴」、6.5% (11 本) の「曲がり」であった。「割れ」、「腐れ」が等級の決定因子となる割合はいずれも 1% 未満であり、「変色」、「丸身」および「ねじれ」は等級の決定因子にはならなかった。人工乾燥の際に棧積み上部に重石を置くことおよび自重により、乾燥中の板幅方向の変形（反り）はある程度抑制可能であるが、長さ方向の変形（曲がり）の抑制は難しい¹⁴⁾とされており、載荷により反りが改善するという報告もある¹⁵⁾。製材時に発生する反りを完全に防ぐことは成長応力の観点から困難であるが、乾燥時に上部に重りを載荷することにより、乾燥時に発生する反りはある程度抑制され、その結果「反り」が決定因子となる割合は減少すると思われる。

表2 乾燥による収縮量と収縮率

		厚さ方向の 収縮量 (mm)	厚さ方向の 収縮率 (%)	幅方向の収縮量 (mm)			幅方向の収縮率 (%)		
				末口	中央	元口	末口	中央	元口
元玉由来 (n = 142)	平均値	1.0	2.1	3.4	2.9	3.0	3.2	2.8	2.8
	最大値	1.9	4.1	5.0	4.8	4.8	4.7	4.5	4.6
	最小値	0.2	0.4	1.7	1.4	1.4	1.6	1.3	1.3
	変動係数 (%)	35.8	35.8	21.7	24.8	24.2	21.4	24.7	24.0
2番玉由来 (n = 131)	平均値	1.1	2.4	3.8	3.7	3.7	3.6	3.5	3.5
	最大値	2.7	5.7	5.5	5.0	5.6	5.2	4.8	5.2
	最小値	0.3	0.6	2.0	1.9	1.6	1.9	1.8	1.5
	変動係数 (%)	35.1	35.0	16.4	18.3	18.6	16.2	18.2	18.3
全体 (n = 273)	平均値	1.0	2.2	3.6	3.3	3.3	3.4	3.1	3.1
	最大値	2.7	5.7	5.5	5.0	5.6	5.2	4.8	5.2
	最小値	0.2	0.4	1.7	1.4	1.4	1.6	1.3	1.3
	変動係数 (%)	36.2	36.1	19.8	24.1	23.5	19.6	24.1	23.3

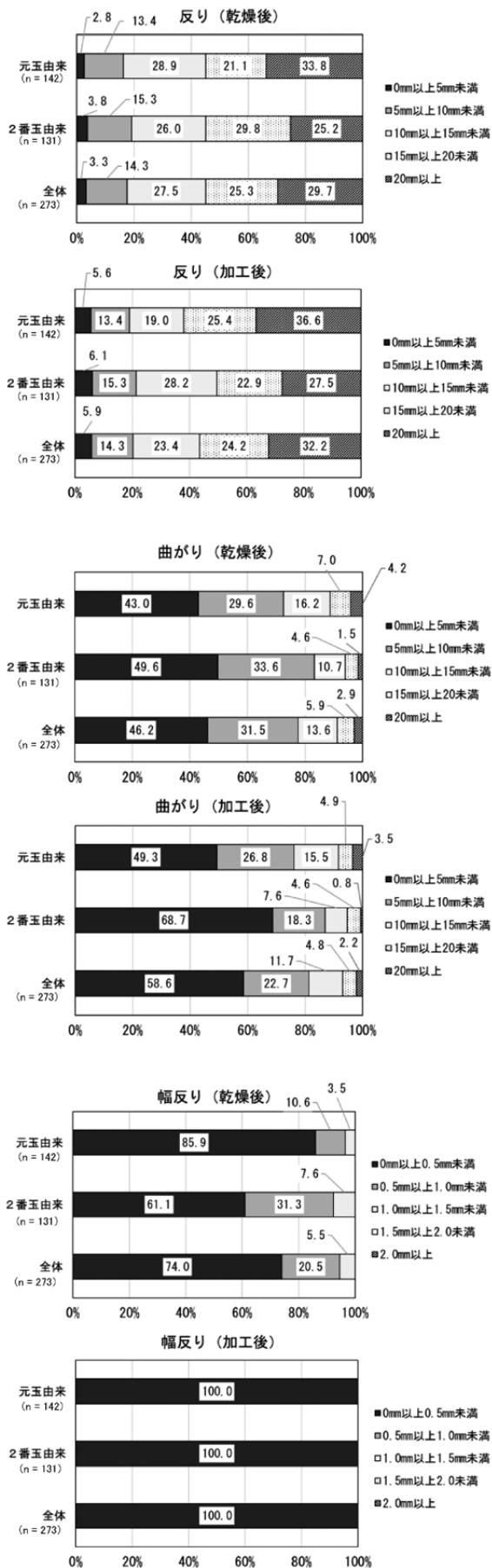


図3 変形の出現割合

表3 乾燥前後および加工後の縦振動ヤング係数

	乾燥前 (kN/mm ²)	乾燥後 (kN/mm ²)	加工後 (kN/mm ²)
縦振動ヤング係数			
平均値	8.36	9.17	9.26
最大値	12.6	12.8	12.9
最小値	4.24	5.09	5.15
変動係数(%)	20.7	18.7	18.9
変化率の平均値(%)	-	10.3	0.9

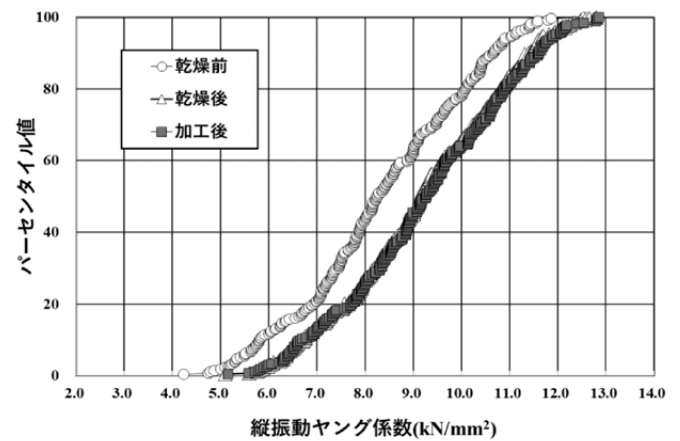


図4 縦振動ヤング係数の累積頻度曲線

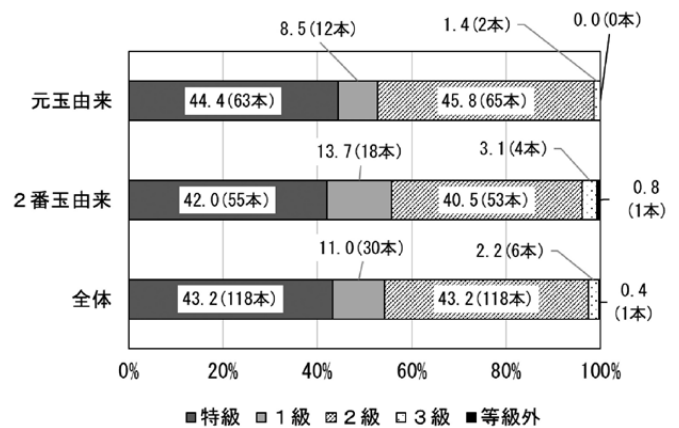


図5 目視等級の出現率

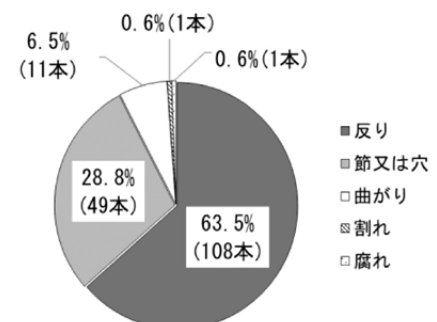


図6 目視等級の決定因子

3.5 曲げ強度性能

表4に、曲げ強度試験の結果を示す。供試した273本のうち、1本に測定不良が生じたため、それを除く272本の測定結果である。

全試験体272本について、縦振動ヤング係数の範囲は5.09～13.19kN/mm²であり平均値は9.23kN/mm²であった。含水率15%時に補正した曲げヤング係数(MOE,15%)の範囲は5.07～12.81kN/mm²、平均値は9.07kN/mm²となり、縦振動ヤング係数と概ね同等の結果となった。含水率15%時に補正した曲げ強度(MOR,15%)の範囲は16.7～73.6N/mm²、平均値は49.5N/mm²であり、信頼水準75%の5%下限値は27.7N/mm²となり、国土交通省告示第821号に規定する樹種群JSII(スギ)の甲種2級の基準強度(19.5N/mm²)およびSPFの甲種2級の基準強度(21.6N/mm²)をいずれも上回った。また、曲げヤング係数の平均値は、「2018年枠組壁工法建築物構造計算指針」¹²⁾で示されるスギの甲種2級の基準弾性係数(6.8kN/mm²)よりも高い値を示し、SPF甲種2級の基準弾性係数(9.6kN/mm²)には及ばないものの、それに近い値を示した。以下、「曲げヤング係数」および「曲げ強度」はそれぞれ「MOE,15%」および「MOR,15%」を示す。

元玉由来142本および2番玉由来130本について、曲げ強度の信頼水準75%の5%下限値はいずれもスギおよびSPFの甲種2級の基準強度を上回り、曲げヤング係数の平均値はいずれもスギの甲種2級の基準弾性係数よりも高かった。マッチングされた丸太ではないものの、元玉由来と2番玉由来では、元玉由来の方が曲げヤング係数の平均値および曲げ強度の平均値が高い傾向がみられた(ウェルチのt検定、 $p<0.05$)

図7に、曲げヤング係数と曲げ強度との関係を示す。元玉由来および2番玉由来いずれも曲げヤング係数と曲げ強度には正の相関が認められた。また、試験体272本中268本(98.5%)が令和2年国土交通省告示第821号に規定するSPFの甲種2級の基準強度(21.6N/mm²)を上回り、269本(98.9%)が同告示に規定するスギの甲種2級の基準強度(19.5N/mm²)を有していた。このことから、奈良県産スギ大径材から採材された寸法型式204材は枠組壁工法部材として十分利用可能であると考えられた。SPFの甲種2級の基準強度を満たさなかった試験体4本の目視等級は、特級1本(17.6N/mm²)、1級1本(17.5N/mm²)、2級1本(16.5N/mm²)、3級1本(21.2N/mm²)であり、いずれの試験体も荷重点間の引張側に位置する節を起点とする曲げ破壊がみられた。

表4 曲げ強度試験の結果

		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動 ヤング係数 (kN/mm ²)	MOE,15% (kN/mm ²)	MOR,15% (N/mm ²)
元玉由来 (n=142)	平均値	377	13.1	9.39	9.28	51.5
	最大値	471	16.2	13.19	12.81	73.6
	最小値	285	10.6	5.50	5.56	17.5
	標準偏差	39.4	1.05	1.80	1.76	11.91
	変動係数(%)	10.5	8.0	19.1	18.9	23.1
	5%下限値	—	—	—	—	29.2
2番玉由来 (n=130)	平均値	383	11.9	9.05	8.84	47.4
	最大値	490	14.2	12.66	12.60	67.9
	最小値	278	10.3	5.09	5.07	16.7
	標準偏差	44.2	0.89	1.71	1.69	11.93
	変動係数(%)	11.5	7.5	18.9	19.1	25.2
	5%下限値	—	—	—	—	27.8
全体 (n=272)	平均値	380	12.5	9.23	9.07	49.5
	最大値	490	16.2	13.19	12.81	73.6
	最小値	278	10.3	5.09	5.07	16.7
	標準偏差	41.8	1.16	1.76	1.74	12.08
	変動係数(%)	11.0	9.2	19.1	19.1	24.4
	5%下限値	—	—	—	—	27.7

MOE,15%: 含水率15%時に補正した曲げヤング係数

MOR,15%: 含水率15%時に補正した曲げ強度

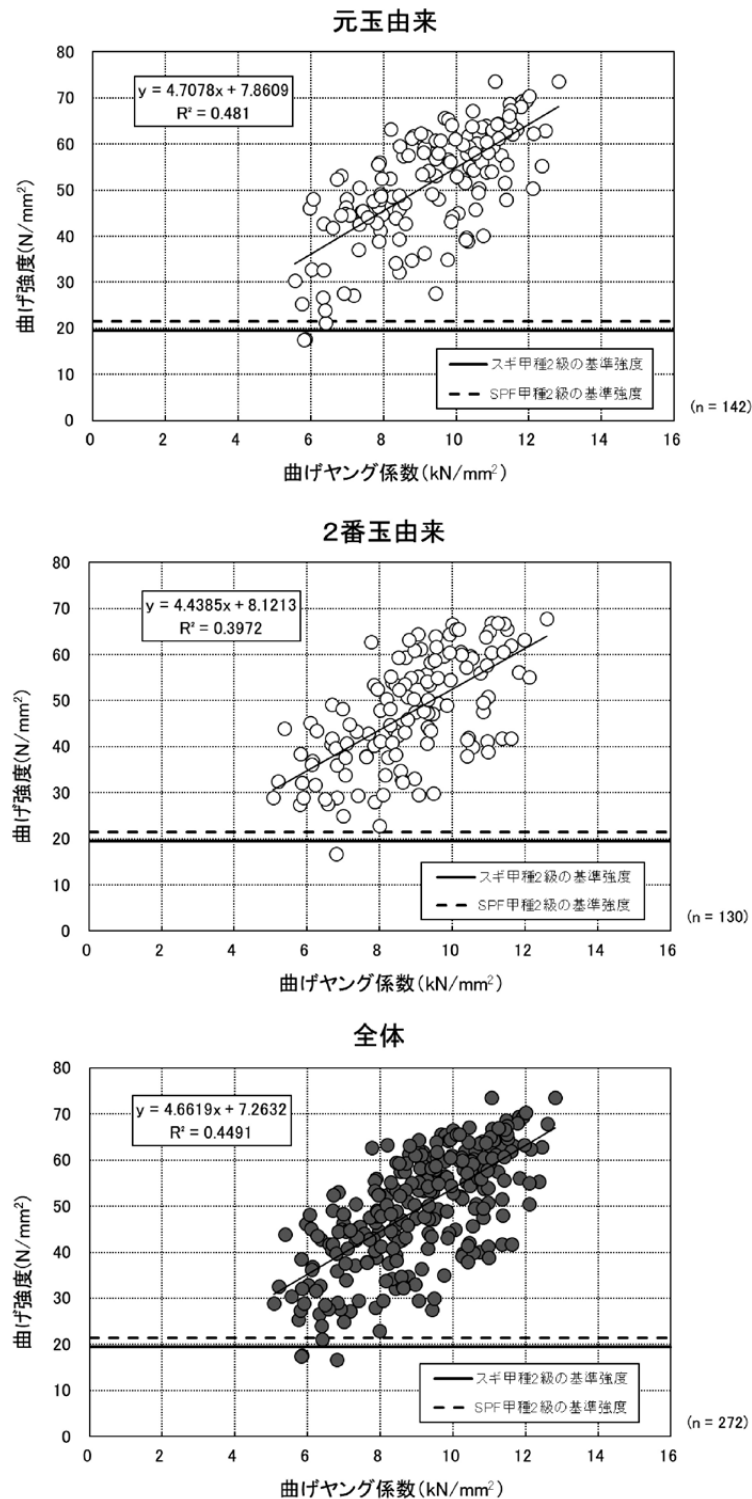


図7 曲げヤング係数と曲げ強度との関係

図8に、目視等級別の曲げ強度および曲げヤング係数の分布を示す。目視等級別の曲げ強度の平均値については、特級が52.5N/mm²と最も高く、次いで2級の48.0N/mm²、1級の46.1N/mm²、3級の43.4N/mm²であった。1級の平均値が2級よりも小さかったが、これは1級に区分された試験体数が2級の約25%と少なく、充

分なサンプル数があれば2級よりも大きくなると考えられる。サンプル数不足となる3級を除き、曲げ強度の信頼水準75%の5%下限値は特級および2級においてスギの基準強度を上回った。目視等級別の曲げヤング係数の平均値については、いずれの等級もスギの甲種2級の基準弾性係数よりも高かった。

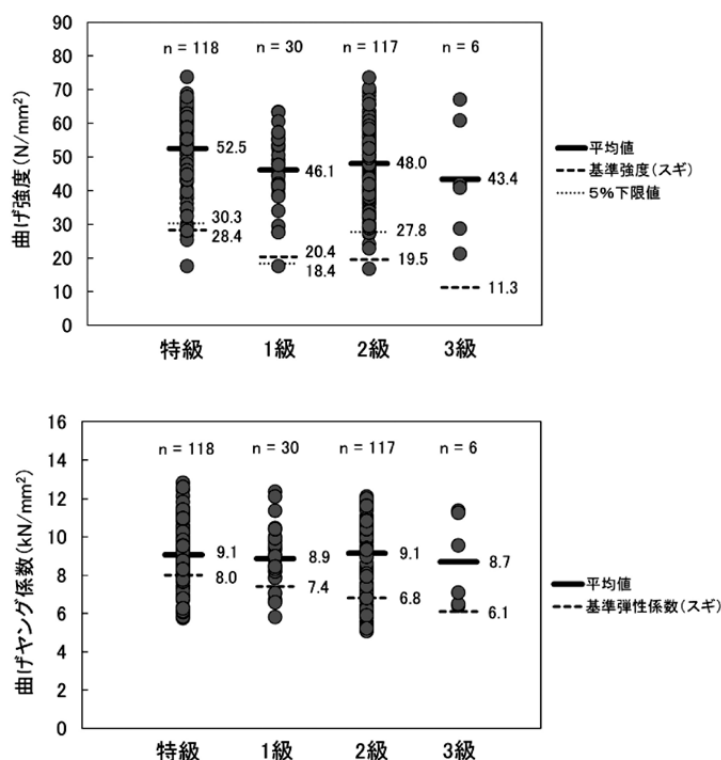


図8 目視等級別の曲げ強度および曲げヤング係数の分布

図9に、2.4m材の204材の縦振動ヤング係数と曲げヤング係数および曲げ強度との関係を示す。縦振動ヤング係数と曲げヤング係数には強い正の相関が認められ、縦振動ヤング係数と曲げ強度との関係にも正の相関が認められた。縦振動ヤング係数は曲げヤング係数と強い正の相関関係がみられたことから、縦振動ヤング係数は曲げヤング係数を予測する際の指標として有効であると考えられる。また、曲げ強度とは強い正の相関はみられなかったものの、目視等級で特級に格付けされながら曲げ強度が著しく低かった試験体 (17.6N/mm^2) は、縦振動ヤング係数でも低い値 (5.85kN/mm^2) を示し、目視等級で1級に格付けされながら曲げ強度が著しく低かった試験体 (17.5N/mm^2) は、縦振動ヤング係数でも低い値 (5.82kN/mm^2) を示した。石田ら⁸⁾は、強度性能を担保するためには目視等級に加えて縦振動ヤング係数を組み合わせることが有効であると考察している。また、椎葉ら¹⁶⁾は、縦振動ヤング係数による機械等級区分が目視等級区分よりも有効である可能性が示唆されたことを報告している。本研究の結果からも、枠組壁工法部材の強度性能をある程度担保するためには、目視等級区分と縦振動ヤング係数による評価を組み合わせることが重要であると考えられた。

4. まとめ

奈良県産スギ大径材から採取した寸法型式 204 材の材質および曲げ強度性能を調べた。得られた結果は以下のとおりである。

1. 仕上がり寸法に対する収縮を見込んだ製材歩増し量は、厚さ方向で 3mm、幅方向で 6mm を見ればよいことがわかった。

2. 2.4m に鋸断した 204 材について、枠組 JAS の甲種枠組材の規格に基づき目視等級区分を行った結果、実際の枠組壁工法の建築物に指定される場合が多い目視等級 2 級以上の割合は約 97% であった。

3. 目視等級区分を実施した長さ 2.4m の 204 材 273 本の曲げ強度試験を行った結果、測定不良となった 1 本を除く 272 本の曲げ強度の平均値は 49.5N/mm^2 、5% 下限値は 27.7N/mm^2 となり、令和 2 年国土交通省告示第 821 号に規定する樹種群 JSII (スギ) の甲種 2 級の基準強度 (19.5N/mm^2) および SPF の甲種 2 級の基準強度 (21.6N/mm^2) をいずれも満たした。

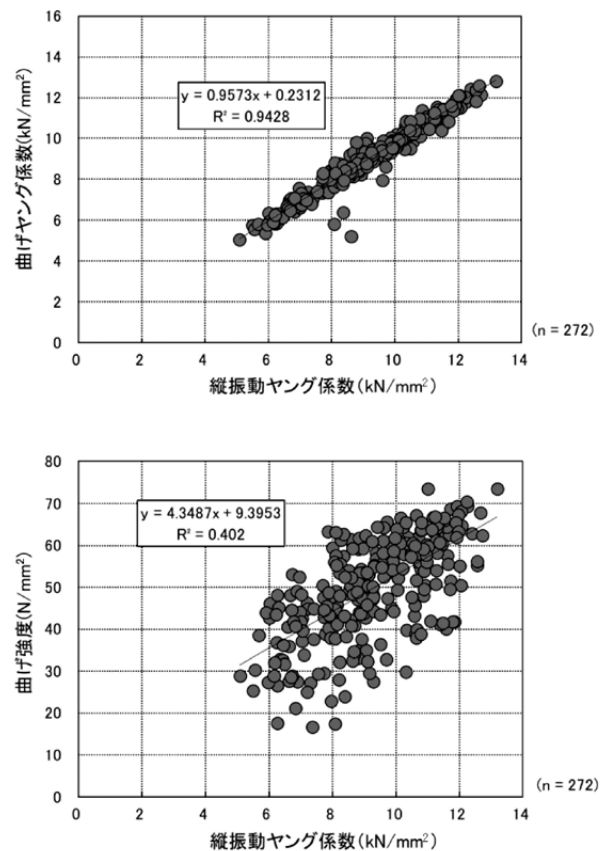


図9 縦振動ヤング係数と曲げヤング係数および曲げ強度との関係

以上より、奈良県産スギ大径材から採材した寸法型式 204 材は枠組壁工法部材として十分利用可能であることが示された。今後は、採材位置による目視等級の出現割合、および強度特性との関係について検討を行うとともに、県産スギ大径材から採材された異なる寸法型式の枠組材についても検討を行う。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、十津川村森林組合木材加工流通センターには多大なご協力をいただきました。心より感謝いたします。

引用文献

- 1) 一般社団法人全国木材検査・研究協会：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 (JAS0600) 及び解説。第 1 版，東京，一般社団法人全国木材検査・研究協会，2022，118
- 2) 伊神裕司：国産材ツーバイフォー部材の生産，木材工業，75 (11)，449-454 (2020)
- 3) 井道裕史：我が国の製材規格と許容応力度の変遷，森林総合研究所研究報告，17 (3)，1-33 (2018)
- 4) 国土交通省：住宅着工統計，政府統計の総合窓口 (e-Stat)，<https://www.e-stat.go.jp/>を編集して作成
- 5) 国産材製材協会：“平成 21 年度林野庁補助事業 地域材利用加速化緊急対策事業 (2×4 住宅部材の開発事業) 国産スギ、ヒノキ、カラマツの 2×4 住宅部材開発のための強度測定、データ収集事業成果報告書”，2011
- 6) 井道裕史，加藤英雄，長尾博文，原田真樹，伊神裕司，松村ゆかり，松田陽介，齋藤周逸：スギ大径材から採材した枠組壁工法構造用製材の等級と強度特性の性質，木材学会誌，63 (6)，282-290 (2017)
- 7) 吉田孝久，今井信，奥原祐司，山口健太：208 材・210 材の乾燥特性及び強度性能の解明，長野県林業総合センター研究報告，35，140-152 (2021)
- 8) 石田洋二，松元浩，小倉光貴：県産スギ大径材から採材した枠組壁工法構造用製材の強度特性，石川県林業試験場研究報告，53，1-8 (2022)

- 9) 大西裕二：ツーバイフォー建築に求められる県産スギ部材の開発. 宮城県林業技術総合センター研究報告. 31, 1-11 (2024)
- 10) (公財) 日本住宅・木材技術センター：“IV. 動的弾性係数の非破壊測定方法”. 構造用木材の強度試験マニュアル. 第4版, 東京, (公財) 日本住宅・木材技術センター, 2013, 59-78.
- 11) 昭和49年7月8日農林水産省告示第600号：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, 農林水産省(1974) (最終改正：令和2年6月1日農林水産省告示第1066号)
- 12) 一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会：2018年枠組壁工法建築物構造計算指針. 第1版, 東京, 丸善出版, 2018
- 13) (公財) 日本住宅・木材技術センター：“V. 構造用木材の強度評価法および基準値算出法”. 構造用木材の強度試験マニュアル. 第4版, 東京, (公財) 日本住宅・木材技術センター, 2013, 79-98.
- 14) 信田聡, 河崎弥生：“第2章 天然乾燥法 第2節 栈積み・自動栈積み”. 木材科学講座7 木材の乾燥 II 応用編. 初版第1刷, 滋賀, 海青社, 2020, 28-31.
- 15) 日高富男, 山角達也, 南晃, 福留重人, 中原亨, 新山孝子：県産スギ材を活用したツーバイフォー工法部材の変形に関する研究. 鹿児島県工業技術センター研究報告. 35, 35-42 (2021)
- 16) 椎葉淳, 荒武志朗, 藤元嘉安, 小田久人, 松元明弘：スギ枠組壁工法用製材の力学的性能と強度等級区分評価. 木材学会誌, 58 (2), 90-99 (2012)

(2025年3月28日 受理)

