

スギ大径丸太から得られた平角材の強度特性調査 —心持ち材と心去り材の比較—

上野 文明

要約

製材現場におけるスギ大径材の有効利用に向けて、心去り材の特性を把握することとし、サイズと強度（縦振動ヤング係数）が同程度の丸太から心持ち及び心去りの平角材を製造し、強度特性を比較した。

試験は、径級 42～46cm、材長 6m の 1 番玉で、縦振動ヤング係数が約 8～10kN/mm² の丸太を用い、心持ち材は 1 丁取りで断面寸法 120×330mm、心去り材は 2 丁取りで同 120×270mm の平角材を製造し、縦振動ヤング係数の測定、変動スパン法による曲げ試験、曲げ破壊試験を行って、各種ヤング係数や曲げ強さを測定した。

丸太から生材（粗挽き・人工乾燥前）、乾燥材（人工乾燥後）、仕上がり材（プレーナー仕上げ後）まで、縦振動ヤング係数を追跡して測定した結果、心持ち材と心去り材で縦振動ヤング係数の変動の仕方に差異はなかった。また、丸太と生材、生材と仕上がり材の相関性にも差異はなかった。

縦振動ヤング係数、曲げヤング係数、曲げ強さのいずれも、心持ち材と心去り材で測定値の出現範囲の重なりが大きく、統計的に有意な差は認められなかった。しかし、平均値を見るといずれも心去り材が心持ち材よりやや高い数値を示した。

縦振動ヤング係数と曲げヤング係数の相関性では心持ち材と心去り材に差異はなかった。曲げヤング係数と曲げ強さの相関性では、心去り材の測定値にばらつきが大きかったものの、大きな違いはなかった。

結論として、サイズと強度が同程度の大径丸太から得られる心持ち平角材と心去り平角材の強度は同程度であり、製材現場が構造材生産を行う上で、心持ち材と心去り材の強度に大きな違いはないと考えられた。

I はじめに

青森県内のスギ人工林資源は、齢級構成の高齢化が進み、民有林では、現在、11 齢級（林齢 51～55 年生）の森林が最も多くなっている（青森県森林資源統計書、令和 2 年 4 月発行）。高齢化に伴って立木のサイズは大きくなり、木材生産では大径材（大径丸太）の生産が増加してくると考えられる。大径材の利用では、そのサイズの大きさと材質を生かした利用をしていくことが望ましい。製材工場では、丸太のサイズに合わせて正角材（柱材）や平角材（梁桁材）などを製材するが、大径材からは断面寸法の大きな心持ち平角材を挽

くことができるほか、心去り平角材の2丁取りの製材も可能である（図-1）。

心持ち材と心去り材は、製材歩止り、材面品質、乾燥特性、強度特性の面で違いがあるとされる。製材工場の現場（製材現場）では、「心去り材は挽き曲がりが生じるため歩増しを大きく取り、心持ち材に比べて歩止りが良くない」、「心去り材は材面における木表・木裏の違いが大きい（節や割れの出方が違う）」、「心持ち材は乾燥によって割れが多く出るが、心去り材は割れが少ない」などのことが知られており、心持ち材と心去り材のどちらを挽くかは、丸太のサイズや品質、在庫（調達しやすさ）を見ながら、利用目的（化粧性がよいか、強度重視かなど）や求められる等級などを勘案し、選択されている。

大径材由来の心去り材に関する研究報告は全国各地から報告されており、例えば、宮崎県産材（椎葉ら、2015）や島根県産材（後藤ら、2017）の事例では、心持ち材と心去り材を比較し、心去り材は心持ち材と強度面で同等であることが報告されている。

青森県産のスギ大径材については、心持ち平角材の強度特性に関する報告はあるが（上野・守田、2016）、心去り材については調査がされていない。そこで、心去り材の強度特性を把握することとした。心去り材の特性把握にあたって心持ち材と比較できるようにするため、サイズと強度（縦振動ヤング係数）が同程度の大径丸太を用いて比較することとした。また、大径材のサイズを生かし、公共建築物等への利用が想定される大断面・長尺の構造材製造を想定して、材長6mの平角材を製造し、強度特性を把握することとした。

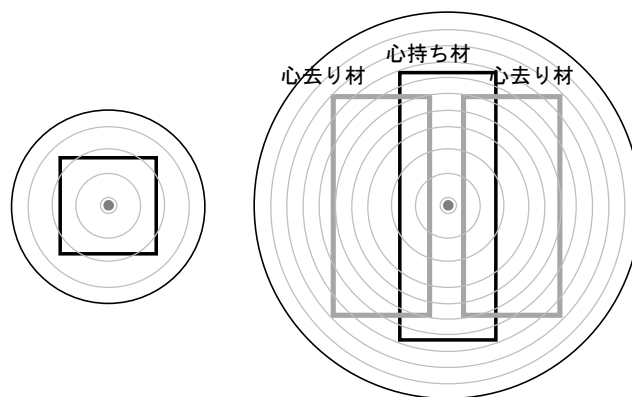


図-1 丸太断面における木取りのイメージ

左：中小径材から取る心持ち正角材 右：大径材から取る平角材

II 方法

1. 供試丸太

供試丸太は、青森県上北郡の林齢65年生のスギ林から得た。平成28年12月に立木を伐採し、材長6mの1番玉を採材した。このとき得られた丸太は20本で、径級は42～46cmであった。

この丸太20本について、元口径、中央径、末口径、重量、固有振動数を測定した。重量の測定には吊り秤を用いた。固有振動数はFFTアナライザ（株式会社小野測器CF-4500）を用いて測定し、縦振動ヤング係数（縦振動法による動的ヤング係数 E_{H} ）を算出した。測

定時期は平成 29 年 2 月である。

このときの丸太の末口径は平均 48.0cm（最小 44.9、最大 52.6）、見かけの密度は平均 672.4kg/m^3 （最小 597.0、最大 747.8）、 E_{fr} は平均 8.52kN/mm^2 （最小 6.01、最大 11.19）であった。

この 20 本から心持ち製材用 5 本と心去り製材用 5 本を、末口径と E_{fr} が同程度となるように選んだ。これら 10 本の末口径は約 46~49cm（径級では 42~46cm）、 E_{fr} は 8~10 kN/mm^2 であった（表 1）。

表-1 丸太の測定結果

製材種別	項目	元口径	中央径	末口径	長さ	材積	重量	密度	縦振動 ヤング係数
		(cm)	(cm)	(cm)	(m)	(m^3)	(kg)	(kg/m^3)	(kN/mm^2)
心持ち製材用 (5本)	平均値	55.1	51.3	47.4	6131	1.2719	871	684.5	8.79
	最大値	57.9	54.0	49.2	6230	1.3674	937	713.2	10.08
	最小値	53.7	49.6	45.7	6082	1.1854	796	665.3	8.03
	標準偏差	1.7	1.6	1.3	53	0.0743	55	17.1	0.69
	変動係数(%)	3.0	3.1	2.7	0.9	5.8	6.3	2.5	7.8
心去り製材用 (5本)	平均値	56.2	51.3	47.8	6148	1.2947	880	678.5	8.89
	最大値	59.8	54.3	48.8	6208	1.3934	1008	723.4	9.66
	最小値	53.7	49.9	46.6	6083	1.2329	736	597.0	8.33
	標準偏差	2.2	1.6	0.9	50	0.0656	87	44.3	0.53
	変動係数(%)	4.0	3.1	1.9	0.8	5.1	9.9	6.5	5.9

2. 試験体（平角材）の製造

丸太を製材するときの木取りは、心持ち製材用が 1 丁取り、心去り製材用が側面定規挽きの 2 丁取りとした。

粗挽きは平成 29 年 3 月に行った。粗挽きの断面寸法は、心持ち材が $140 \times 350\text{mm}$ 、心去り材が $140 \times 290\text{mm}$ である。

粗挽きした材は、縦振動ヤング係数 E_{fr} を測定した後、人工乾燥にかけた。人工乾燥は、高温蒸気式乾燥機（株式会社新柴設備）を使って、 120°C の高温セット（24 時間）と 80°C の乾燥で延べ 14 日間をかけた。人工乾燥後、プレーナー仕上げを行った。仕上げの断面寸法は、心持ち材が $120 \times 330\text{mm}$ 、心去り材が $120 \times 270\text{mm}$ である。仕上げが終了したのは平成 29 年 3 月下旬である。

粗挽き後で未乾燥の材を「生材」、人工乾燥後を「乾燥材」、プレーナー仕上げを行ったものを「仕上がり材」とし、丸太から仕上がり材までの製造過程のサイズと本数を図-2 に示す。

丸太の伐採から、粗挽き、人工乾燥、プレーナー仕上げまでの製材作業は、上北森林組合に委託して行った。

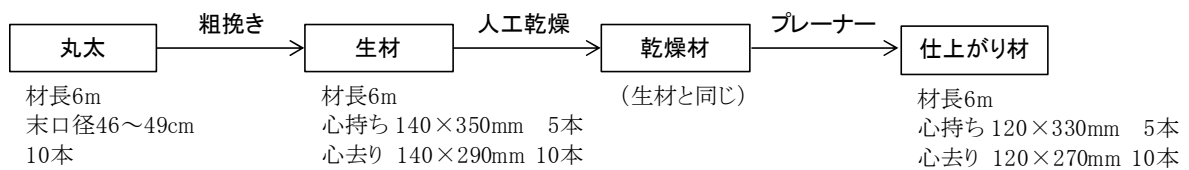


図-2 製造過程のサイズと本数

3. 試験体の測定

生材、乾燥材、仕上がり材の各段階において、断面寸法（短辺、長辺）、重量、固有振動数を測定し、縦振動ヤング係数 E_{ff} を算出した。このとき、重量の測定には吊り秤を、固有振動数の測定にはFFTアナライザ（株式会社小野測器 CF-4500）を用いた。

仕上がり材は、プレーナー仕上げを行った直後に携帯型含水率計（ケット科学研究所 HM-520）により含水率を測定したところ、含水率が20%以上を超える材が多かったことから、林業研究所木材利用実験棟内に置き、自然に含水率が20%以下に下がるのを待ってから、改めて測定した。

仕上がり材では、目視により、節や丸身、繊維傾斜、貫通割れ等の欠点を測定した。測定方法は、製材の日本農林規格（JAS）の目視等級区分の格付け方法に準じた。節は、単独節と集中節について、位置を記録するとともに、大きさと数を測定し、最大節径比を算出した。

また、曲がりとねじれを測定した。曲がりとは、材長方向に材端部中央間（元口と末口）で糸を張り、材面と糸との隙間の最大矢高を測定した。ねじれは、材を水平な台に置き、元口側を押さえて、末口側の台からの浮き上がりの高さを測定した。

4. 曲げ試験

1) 変動スパン法による曲げ試験

変動スパン法は、同じ試験体を用いて中央集中荷重による曲げ試験をいくつかのスパン条件で行うもので、曲げヤング係数（純曲げヤング係数 E ）とせん断ヤング係数 G を同時に算出することができる（「構造用木材の強度試験マニュアル」）。

今回、せん断ヤング係数と特性値 E/G を把握するため、実大木材強度試験機（株式会社島津製作所 UH-1000kNxR）を用いて、スパン長（支点間距離）を5800mm、4200mm、3000mm、2400mmの4段階とする変動スパン法を行った（図-3）。荷重は、ストローク速度10mm/minで、長期許容応力度 f の約1.2倍になるまで加力し、見かけの曲げヤング係数 $E_{m,app}$ は、応力が $0.3f$ から $1.2f$ の範囲でのスパン中央たわみから算出した。

E と G は、 $y=1/E_m$ 、 $x=(d/L)^2$ 、 $y=a+bx$ とおいて、 y と x の関係を最小2乗法によって直線回帰したときに $E=1/a$ 、 $G=1.2/b$ として求められる。

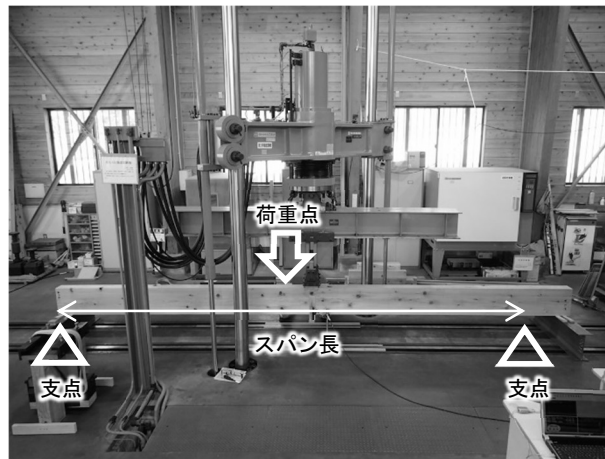


図-3 変動スパン法による曲げ試験の実施状況

2) 曲げ破壊試験

実大木材強度試験機（島津製作所社製 UH-1000kNxR）を用いて、スパン長を心持ち材は梁せいの 16.4 倍となる 5400mm、心去り材は梁せいの 18 倍となる 4860mm で、3 等分点 4 点荷重、ストローク速度 10mm/min で破壊に至るまで加力し（図-4）、曲げヤング係数と曲げ強さ f_m を算出した。

曲げヤング係数は、スパン中央の全体たわみを測定し、せん断影響を含んだ曲げヤング係数（見かけの曲げヤング係数 E_m ）と、試験体の圧縮面上に変位計を取り付けた袴型治具（スパン 600mm）を用いて荷重点間のたわみを測定し（図-5）、せん断影響を含まない曲げヤング係数（真の曲げヤング係数 E_b ）を算出した。計算に用いる荷重の増分は、最大荷重の 10%と 40%の区間とした。

曲げ破壊試験終了後、破壊した付近から厚さ 3cm の試験片を採取し、含水率（全乾法）と平均年輪幅を測定した。

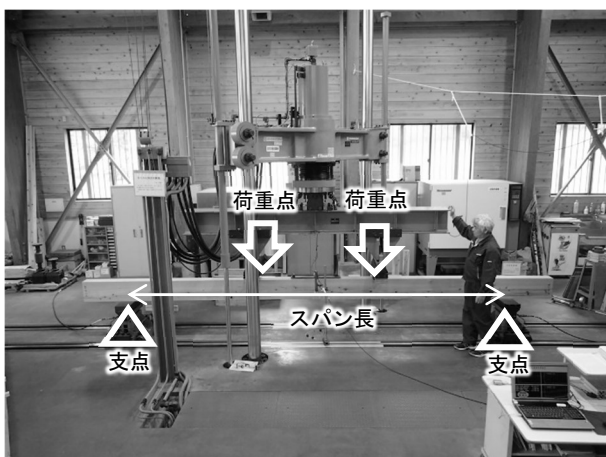


図-4 曲げ破壊試験の実施状況

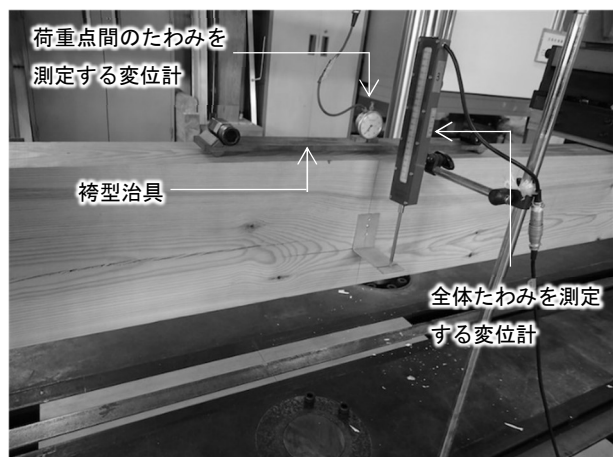


図-5 変位計の設置状況

Ⅲ 結果と考察

1. 生材、乾燥材及び仕上がり材の測定結果

生材、乾燥材及び仕上がり材の見かけの密度と縦振動ヤング係数 E_{fr} を表-2 に示す。仕上がり材のデータは、曲げ破壊試験実施前の平成 30 年 5 月時点のものである。

見かけの密度は、平均値で見ると、生材では心持ち材がやや重いというものであったが、人工乾燥を経て仕上がり材の段階になると、ほぼ同程度になっていた。

E_{fr} は、生材、乾燥材及び仕上がり材のいずれも心持ち材より心去り材のほうがやや高かった。仕上がり材において、心去り材が平均値でやや高いことについて統計的に検定したが（2 標本 t 検定）、有意な差とはならなかった。

表-2 生材、乾燥材及び仕上がり材の見かけの密度と縦振動ヤング係数

材種	項目	生材		乾燥材		仕上がり材	
		見かけの 密度	縦振動 ヤング係数	見かけの 密度	縦振動 ヤング係数	見かけの 密度	縦振動 ヤング係数
		(kg/m ³)	(kN/mm ²)	(kg/m ³)	(kN/mm ²)	(kg/m ³)	(kN/mm ²)
心持ち材 (5本)	平均値	592.8	7.32	441.6	6.98	379.1	7.23
	最大値	671.4	8.60	489.1	8.71	385.8	8.81
	最小値	527.0	6.32	412.8	5.82	375.2	6.20
	標準偏差	47.7	0.96	25.7	1.07	3.8	1.05
	変動係数(%)	8.1	13.0	5.8	15.3	1.0	14.5
心去り材 (10本)	平均値	567.2	8.11	411.7	7.90	380.9	8.29
	最大値	697.2	9.22	465.0	9.06	403.9	9.57
	最小値	495.0	7.17	383.7	6.78	361.1	7.15
	標準偏差	53.6	0.73	22.0	0.83	11.8	0.85
	変動係数(%)	9.5	9.1	5.4	10.5	3.1	10.3

2. 製造過程における縦振動ヤング係数の変動と相関

丸太から仕上がり材にかけての製造過程における縦振動ヤング係数 E_{fr} の変動を図-6 に示す。心持ち材と心去り材のどちらも、丸太から生材にかけては下がり、生材から乾燥材にかけては同程度かやや下がり、乾燥材から仕上がり材にかけてはやや上がる傾向が見られた。

丸太と生材、生材と仕上がり材の E_{fr} の相関を散布図で見ると図-7 のようになる。丸太と生材では、生材 E_{fr} において心去り材が心持ち材よりやや高い数値を示した分、散布図のプロットは心去り材のほうが高くなっているが、回帰直線の傾きは同程度と考えられた。

生材と仕上がり材では、心持ち材と心去り材のどちらも高い相関となり、回帰直線はほぼ重なるような形となった。

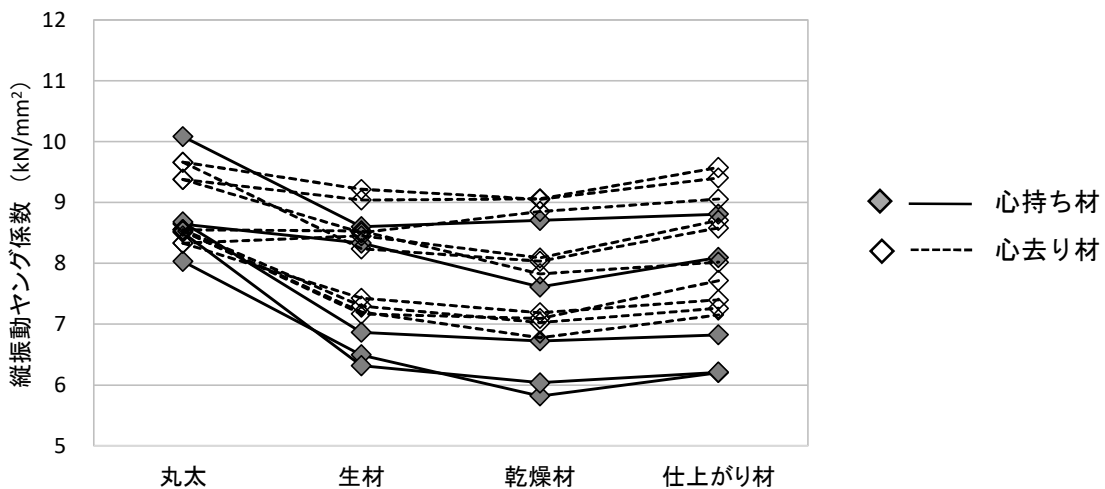


図-6 製造過程における縦振動ヤング係数の変動

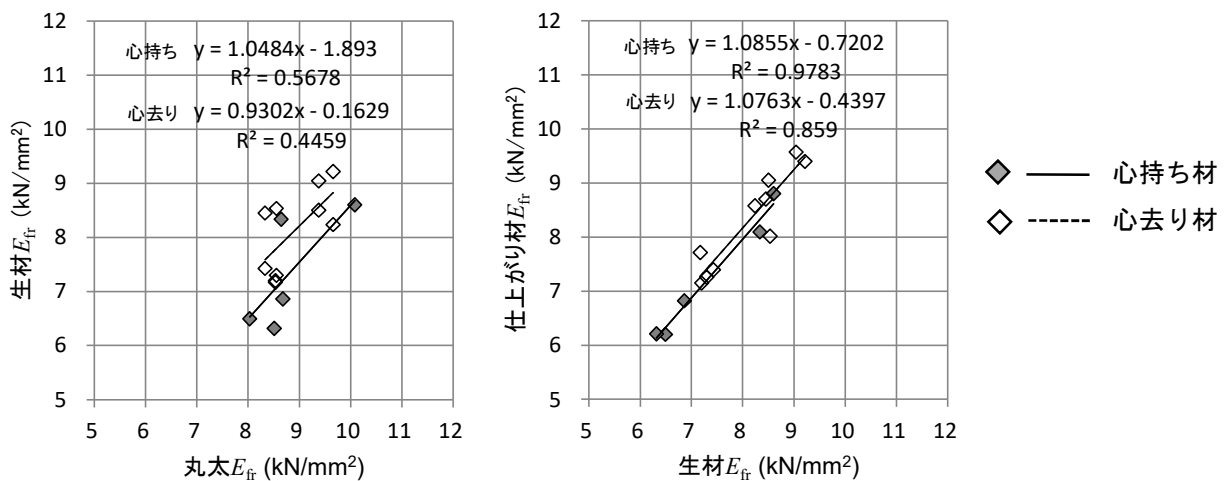


図-7 縦振動ヤング係数の相関
左：丸太と生材 右：生材と仕上がり材

3. 仕上がり材の材面観察結果

1) 節

節の数は、試験体間のばらつきは大きかったが、全般的に心持ち材が心去り材に比べて多かった。詳しく見ると、単独節では心持ち材と心去り材に明らかな差は見られなかったが、集中節では心持ち材が心去り材に比べて多かった（図-8左）。また、心去り材は、10本中6本が広い材面の木表側で節が1個以下しかなかった。

最大節径比についても、試験体間のばらつきは大きかったが、全般的に心持ち材が心去り材に比べてやや大きい結果となった（図-8右）。

心去り材は、広い材面のうち、木表側に節が少なく、木裏側に節が多い傾向が見られた。木表側・木裏側で見たときの試験体1本当たりの節の平均数を図-9に示す。

2) 材面の品質における節以外の欠点

丸身、貫通割れ、目まわりについては、心持ち材、心去り材ともにすべての試験体で見られなかった。

繊維走向の傾斜については、心去り材のうち4本に見られたが、最大で2.6%（材長方向1000mmに対して傾斜の高さ26mm）であり、JAS目視等級区分の甲種構造材・1級の欠点基準8%より小さいものであった。

腐朽は心去り材のうち2本に見られた。

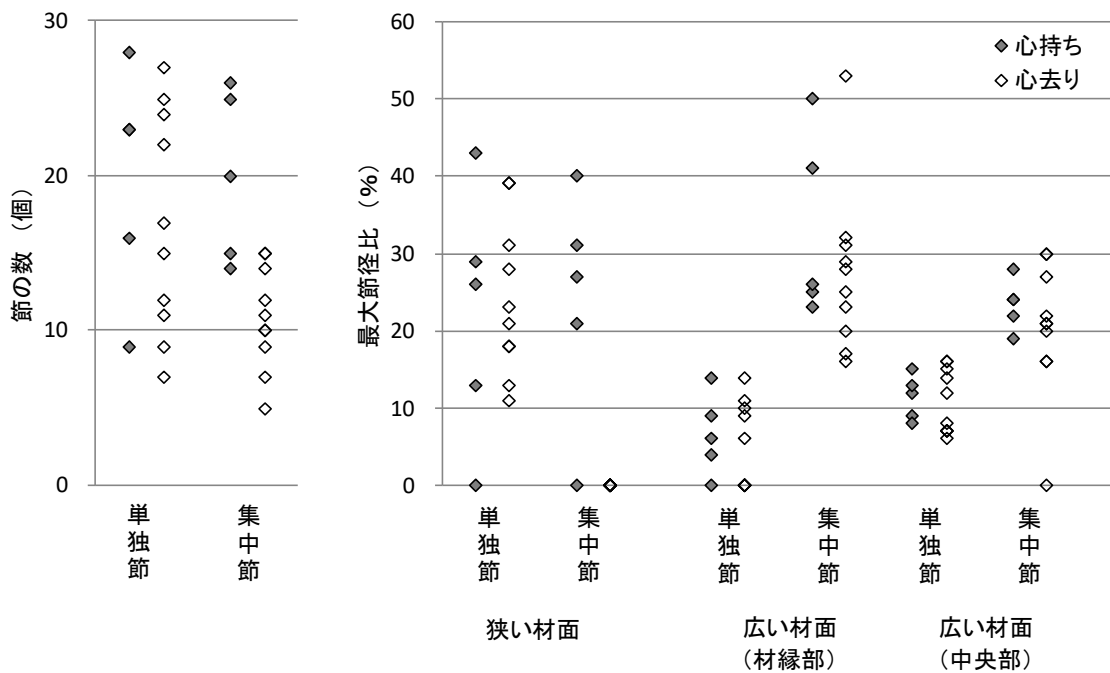


図-8 試験体1本当たりの節の数（左）と最大節径比（右）

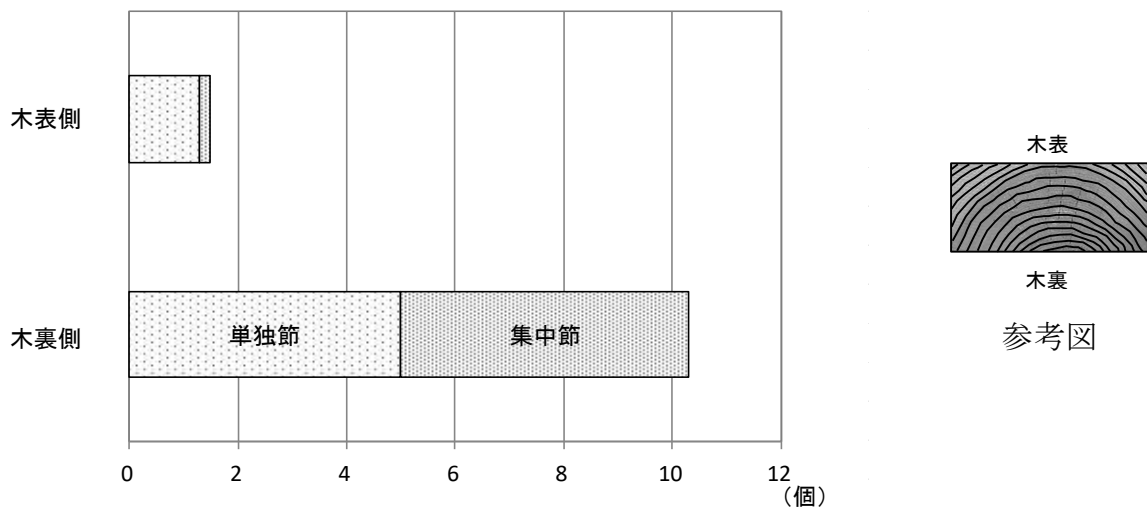


図-9 心去り材1本当たりの木表側と木裏側の節の数の平均数

3) 曲がりとねじれ

曲がりとねじれは4つの材面すべてを確認したが、最も大きいところを採用して集計したものを表-3に示す。

曲がりについては、狭い面、広い面ともに平均値で見ると心持ち材のほうがわずかに大きいですが、データのバラツキが大きく、ほぼ違いはないと考えられた。心去り材における曲がりの向きは、木表側に曲がる（収縮している）ものが10本中7本と多かった。JAS目視等級区分における材面の品質基準では、狭い面で0.1%以下が1級（仕上げ材）の基準となっているが、それに照らし合わせると、最大6mmの曲がりは0.1%にあたり、今回の試験体では等級が下がるほどの曲がりが出なかった。

ねじれについては、データのバラツキは大きいものの、心去り材のほうがやや大きい数値が出ている。

表-3 曲がりとねじれの測定結果

材種	項目	曲がり		ねじれ (mm)
		狭い材面 (mm)	広い材面 (mm)	
心持ち材 (5本)	平均値	3.0	4.4	3.8
	最大値	6.0	10.0	8.5
	最小値	1.0	2.5	0.0
	標準偏差	2.1	2.9	3.3
	変動係数(%)	69.9	64.8	87.5
心去り材 (10本)	平均値	2.8	3.8	6.3
	最大値	6.0	7.5	12.5
	最小値	0.5	0.5	1.5
	標準偏差	1.4	2.4	4.1
	変動係数(%)	52.2	63.2	66.1

4) JAS目視等級区分の判定結果

JAS目視等級区分の甲種構造材（甲種Ⅱ）における材面の品質基準に従って等級区分を判定した結果を表-4に示す。心持ち材は2級：3本、3級：2本だったのに対し、心去り材は1級：2本、2級：7本、等級外：1本で、材面の品質は、心去り材のほうが全般に良好な結果となった。なお、判定は最大節径比によるものがほとんどであった。

表-4 JAS目視等級区分（甲種Ⅱ）による判定結果

材種	1級	2級	3級	等級外
心持ち材	0	3	2	0
心去り材	2	7	0	1

4. 変動スパン法による曲げ試験の結果

変動スパン法による曲げ試験から測定された純曲げヤング係数 E 、せん断ヤング係数 G 及びそれらの比 E/G を表-5 に示す。 G は、心持ち材が平均 0.30kN/mm^2 、心去り材が 0.32kN/mm^2 と同程度であったが、心持ち材、心去り材ともに E に比べてばらつきが大きかった。 E/G についても値が約 17 から 40 までと幅があり、ばらつきが大きかった。

なお、 E と G を計算するときの $1/E_m$ と $(d/L)^2$ の回帰直線の決定係数 r^2 は試験体 15 本すべてで 0.95 以上となり、試験の精度は確保されていた。

表-5 変動スパン法による曲げヤング係数とせん断ヤング係数

材種	項目	純曲げ	せん断	比
		ヤング係数	ヤング係数	
		E	G	E/G
		(kN/mm^2)	(kN/mm^2)	
心持ち材 (5本)	平均値	7.9	0.30	28.7
	最大値	10.0	0.38	39.8
	最小値	6.3	0.19	16.7
	標準偏差	1.2	0.08	9.0
	変動係数(%)	15.3	25.3	31.5
心去り材 (10本)	平均値	8.8	0.32	31.0
	最大値	10.6	0.53	43.1
	最小値	7.4	0.21	16.8
	標準偏差	1.0	0.11	9.4
	変動係数(%)	11.1	34.7	30.1

5. 曲げ破壊試験の結果

曲げ破壊試験によって得られた見かけの曲げヤング係数 E_m 、真の曲げヤング係数 E_b 及び曲げ強さ f_m と、試験後に測定した含水率（全乾法）及び平均年輪幅を表-6 に示す。

E_m は、平均値を見ると心持ち材が 7.20 kN/mm^2 、心去り材が 8.07 kN/mm^2 と、心去り材がやや高いが、有意差（2標本 t 検定、5%水準）は認められなかった。 E_b の平均値は、心持ち材が 7.50 kN/mm^2 、心去り材が 8.40 kN/mm^2 、 f_m の平均値は、心持ち材が 33.9 N/mm^2 、心去り材が 38.0 N/mm^2 と、いずれも心去り材がやや高いが、有意差（2標本 t 検定、5%水準）は認められなかった。

含水率と平均年輪幅は心持ち材、心去り材ともに同程度で、含水率は約 16~18%、平均年輪幅は約 3~5mm であった。

表-6 曲げ破壊試験の結果

材種	項目	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)	曲げ強さ (N/mm ²)	含水率 (%)	平均 年輪幅 (mm/本)
心持ち材	平均値	7.20	7.50	33.9	17.0	3.9
	最大値	9.33	9.58	39.0	17.8	4.9
	最小値	5.86	6.02	28.8	16.5	2.9
	標準偏差	1.16	1.21	3.3	0.5	0.7
	変動係数(%)	16.1	16.2	9.7	2.8	17.9
心去り材	平均値	8.07	8.40	38.0	16.4	4.0
	最大値	9.75	10.67	44.9	16.8	5.2
	最小値	6.66	6.74	30.0	16.0	2.9
	標準偏差	0.93	1.08	4.2	0.2	0.9
	変動係数(%)	11.5	12.8	11.0	1.3	23.2

6. 縦振動ヤング係数と曲げヤング係数の相関

縦振動ヤング係数と曲げヤング係数は高い正の相関があることが知られている。今回試験結果から、仕上がり材の縦振動ヤング係数 E_{fr} と見かけの曲げヤング係数 E_m の相関を確認すると、散布図は図-10 のようになり、回帰直線は心持ち材と心去り材はほぼ重なるような形となった。決定係数 R^2 は、心持ち材が 0.808、心去り材が 0.874 と、いずれも高い相関が確認された。

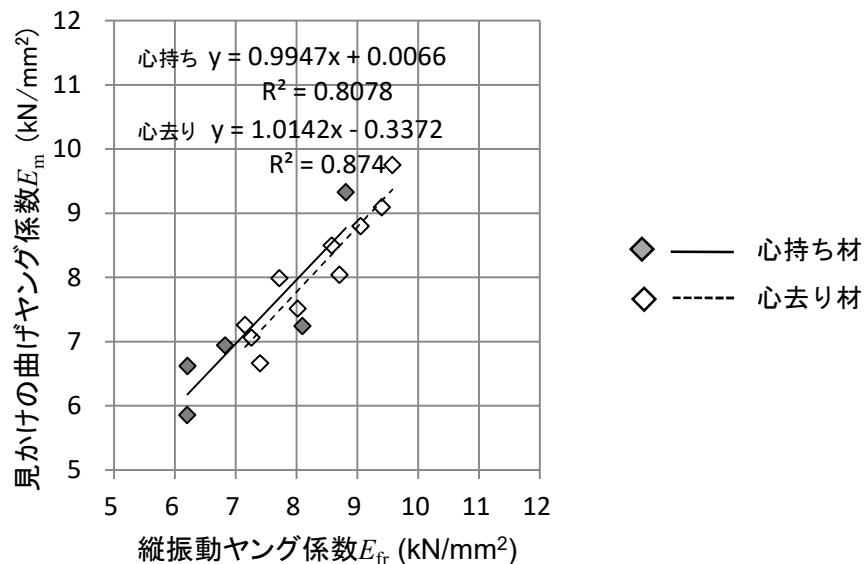


図-10 縦振動ヤング係数と見かけの曲げヤング係数の関係

7. 曲げヤング係数と曲げ強さの相関

曲げヤング係数と曲げ強さには正の相関があることが知られている。今回試験結果から、見かけの曲げヤング係数 E_m と曲げ強さ f_m の相関を確認すると、散布図は図-11 のようになり、回帰直線は心去り材が心持ち材よりやや傾きが大きいが、決定係数 R^2 は心持ち材が

0.848 と高いのに対し、心去り材が 0.482 とやや低く、ばらつきが大きかった。

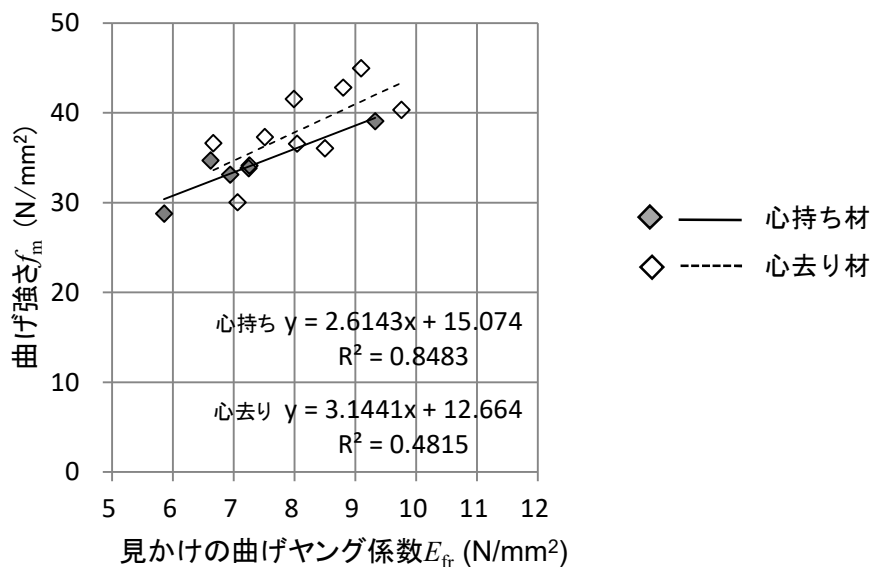


図-11 見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの関係

8. 心持ち材と心去り材の強度の違いに関する考察

仕上がり材における縦振動ヤング係数 E_{fr} 、曲げヤング係数 E_m 、曲げ強さ f_m では、心持ち材と心去り材の平均値の差に統計的な有意差は認められなかったが、心去り材が心持ち材に比べてやや高かったことについて、その理由を考察する。

1) 成熟材と未成熟材の割合

見かけの密度、平均年輪幅、含水率は、心持ち材と心去り材で同程度であり、節の違いを除くと、両者の違いは、木取り方法と断面寸法である。木取り方法から推察される強度的性質の違いとしては、材の木口断面における成熟材と未成熟材の割合の違いが考えられる。形成層が未成熟な時期に形成された材は未成熟材と呼ばれ、その外側にできる成熟材に比べて強度的性質が劣るとされる。未成熟材は、普通、髄から 15～20 年輪までとされる。また、長尾ら (2006) はスギ丸太内部において髄からの距離とヤング係数との関係を導き、未成熟材部と成熟材部の境界は髄から 80mm の位置であったことを報告している。今回の試験体が図-12 のように髄を中心とした標準的な木取りで、未成熟材は髄から 80mm の範囲 (円形) にあると仮定して木口断面における成熟材と未成熟材の割合を計算すると、心持ち材は成熟材が約 60%、未成熟材が約 40%、心去り材は成熟材が約 80%、未成熟材が約 20%となる。特に、材の平均的なヤング係数を示すと言われる縦振動ヤング係数において、心持ち材は心去り材に比べて未成熟材の割合が大きいため差が出た可能性が考えられる。

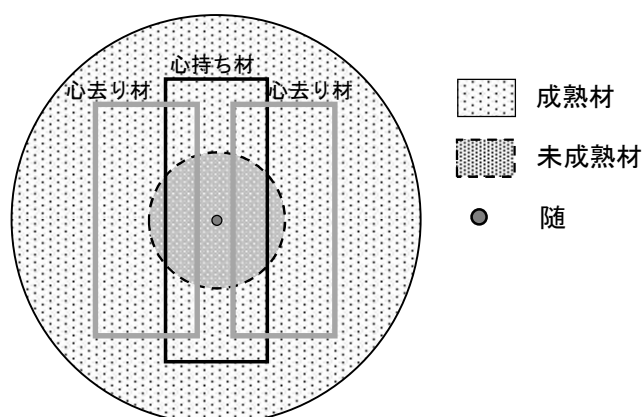


図-12 丸太断面の木取りにおける成熟材と未成熟材の割合イメージ

2) 木材の寸法及び荷重条件による違い

試験体の断面寸法が異なるとき、また、荷重条件が異なるとき、「構造用木材の強度試験マニュアル」では、曲げヤング係数及び曲げ強さについて、次のように調整する方法が示されている。

曲げ強さについては、断面寸法による調整係数 k_1 (式-1)、荷重条件による調整係数 k_2 (式-2) を試験結果に乗じて調整する。曲げヤング係数については、荷重条件による調整係数 k_3 (式-3) を試験結果に乗じて調整する。

$$\text{式-1} \quad k_1 = (d/d_0)^{0.2}$$

$$\text{式-2} \quad k_2 = ((L+5S)/(L_0+5S_0))^{0.2}$$

$$\text{式-3} \quad k_3 = (1+2.4 d^2(E/G)/(3L^2-4a^2))/(1+2.4 d_0^2(E/G)/(3L_0^2-4a_0^2))$$

ここで、 d ：試験体寸法、 d_0 ：基準寸法

L 、 S 、 a ：試験条件における荷重スパン、荷重点間距離、荷重点一支点間距離

L_0 、 S_0 、 a_0 ：標準条件における上記の値

E/G ：真のヤング係数とせん断ヤング係数の比

これに従い、基準寸法 $d_0=270\text{mm}$ 、標準条件をスパン $L_0=4860\text{mm}$ 、荷重点間距離 $S_0=1620\text{mm}$ 、荷重点一支点間距離 $a_0=1620\text{mm}$ とすれば、 $k_1=1.041$ 、 $k_2=1.021$ となる。また、 E/G には変動スパン法による曲げ試験の結果を当てはめ、心持ち材の試験結果を調整すると、心持ち材の見かけの曲げヤング係数 E_m は平均 8.71kN/mm^2 、曲げ強さ f_m は平均 36.0N/mm^2 となる。心去り材も同じく計算すると、 E_m が 8.07kN/mm^2 、 f_m が 38.0N/mm^2 であることから、 E_m では心持ち材のほうが強くなり、 f_m では差が縮まる結果となった。

よって、木材の寸法及び荷重条件を調整して比較すると、心持ち材と心去り材の強度（曲げヤング係数、曲げ強さ）の差は概ねないと言える。強度は同じ程度であるが、断面寸法

や荷重条件が異なったことが試験結果の差になったものと考えられる。

なお、木材は寸法が大きくなるほど強度が低下するという「寸法効果」があるとされ、断面寸法の大きい心持ち材のほうが心去り材より強度が低めに出る可能性もあると考えられる。

9. まとめ

本研究では、サイズと縦振動ヤング係数が同程度の大径丸太、具体的には末口径 46~49cm（径級では 42~46cm）、材長 6m、縦振動ヤング係数が 8~10kN/mm² の丸太から心持ち平角材と心去り平角材を製材して強度等を比較した。

まず、丸太から生材、乾燥材、仕上がり材までの縦振動ヤング係数を追跡して測定したところ、心持ち材と心去り材は同様の変動を示し、丸太と生材、生材と仕上がり材の相関性についても同様の傾向であることが確認された。縦振動ヤング係数は、丸太段階では同程度だったが、製材後は心去り材のほうが心持ち材に比べてやや高い状況が見られた。ただし、測定値の出現範囲の重なりが大きく、統計的に有意な差は認められなかったことから、大きな差異ではないと考えられた。

次に、曲げ試験により得られた見かけの曲げヤング係数と曲げ強さについては、心去り材のほうが心持ち材よりやや高い状況が見られたが、測定値の出現範囲の重なりが大きく、統計的に有意な差は認められなかった。なお、曲げヤング係数は、測定方法により、見かけの曲げヤング係数、真の曲げヤング係数、純曲げヤング係数と 3 種のデータを得られたが、いずれも同様の傾向であった。また、縦振動ヤング係数と見かけの曲げヤング係数の相関性については、心持ち材と心去り材はほぼ同様であった。見かけの曲げヤング係数と曲げ強さの相関については、心去り材の測定値にばらつきが大きかったものの、大きな違いはないと考えられた。

せん断ヤング係数については、心持ち材と心去り材のどちらも曲げヤング係数に比べてばらつきが大きかったが、測定値の出現範囲は同程度であり、両者の違いは見られなかった。

仕上がり材で見たとき、縦振動ヤング係数、曲げヤング係数、曲げ強さは心去り材のほうが心持ち材よりやや高い状況が見られたが、その理由は次のように推察される。まず、材の断面における成熟材と未成熟材の割合の違いがあること、すなわち、強度的性質の劣る未成熟材の割合が心持ち材のほうが心去り材より大きかったために、心持ち材が心去り材に比べてやや低くなったものと考えられる。特に材の平均的な強度を示す縦振動ヤング係数で差が生じた主な理由と考えられる。また、断面寸法の大きさの違いも関係している。断面の長辺（梁せい）は心持ち材が心去り材より大きく、曲げ試験における荷重条件（スパン）が異なったことで、曲げヤング係数と曲げ強さに差が生じたと考えられる。さらに、強度の欠点となる節の状況に差異があった。今回試験体では心持ち材に比べて心去り材の節数が少なく、J A S 目視等級区分においては心去り材のほうが 2 級以上の割合が多かった。

以上のことから、サイズと縦振動ヤング係数が同程度の大径丸太から得られる心持ち材と心去り材の強度（縦振動ヤング係数、曲げヤング係数、曲げ強さ）は同程度であり、大

きな差異はないものと考えられた。また、丸太から生材、仕上がり材までの縦振動ヤング係数の変動や相関に心持ち材と心去り材の差異はなかった。このため、心去り材も心持ち材と同様に、丸太段階や生材段階で縦振動ヤング係数を測定することにより、仕上がり材の縦振動ヤング係数や曲げヤング係数を推定することができると考えられる。

IV おわりに

今回の調査により、強度的には心持ち材と心去り材に大きな差異はないことが分かった。製材工場において平角材を製造するとき、心去り材も心持ち材と同等の強度を持つ平角材を製造することができるということである。また、径級の同じ大径材から平角材を製造するとき、心去り材は断面寸法がやや小さくなるが、心持ち材より強度のやや高いものを得やすくなる可能性がある。この可能性については、サンプル数を増やして信頼性を確認するなど、さらにデータの蓄積が必要である。

心去り材の特性では、挽き曲がりの課題があるほか、材面品質や乾燥特性についての理解が必要である。これらの特性についても把握し、製材現場における大径材利用の技術として確立していくことが望まれる。

引用・参考文献

- 青森県農林水産部林政課（2020）青森県森林資源統計書
- 後藤崇志・中山茂生・吉野毅（2017）島根県産スギ心去り角と心持ち角の材質及び強度特性の比較—正角と平角での曲げ性能—。木材工業 72（7）：262-267
- 松村順司（2011）未成熟材、枝材、根（木質の構造。日本木材学会編，文永堂出版）201-203.
- 長尾博文・加藤英雄・井道裕史（2006）部材の強度性能確保を目的とした非破壊手法による原木丸太の用途判別技術の開発（森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集8「スギ材の革新的高速乾燥システムの開発」。独立行政法人森林総合研究所）25-29.
- 製材の日本農林規格（2007）農林水産省告示第1083号.
- 椎葉淳・荒武志朗・松元明弘・森田秀樹（2015）大径材から得られたスギ心去り平角材の曲げ性能。日本森林学会誌 97：203-207
- 宇京斉一郎（2015）寸法効果（ティンバーメカニクス。日本木材学会木材強度・木質構造研究会編，海青社）18-25.
- 上野文明・守田託満（2016）スギの大径・長尺材から得られた平角材の強度特性。青森県産業技術センター林業研究所報告 65：11-28.
- 財団法人日本住宅木材・技術センター（2011）構造用木材の強度試験マニュアル。