

スギ大径材の有効活用に関する研究

Studies on the effective utilization of large diameter logs

佐藤博・小島正*・町田初男・小黒正次

I はじめに

現在、本県における民有の針葉樹人工林では4分の3が41年生以上に成長し、量的にも質的にも充実し、樹種別ではスギが最も多い6割近くを占めている（平成24年版群馬県森林林業統計書）。しかし、住宅様式の変化により和室が減少し、大径材から製材した良質な板類や造作材などの販売が不振な状況にあるため大径材を利用した新たな需要の創出が求められている。

そこで、供給量が増加することが予想されるスギの大径材について、1本の丸太から複数得ることができる心去り正角材を製材し、その品質や強度性能について検討した。

II 方法

1 供試木について

群馬県産スギの大径材21本を供試木とした。供試木はすべて元玉とし、長さ、重量、元口の直径、末口の直径、年輪数、年輪数、縦振動法による動的ヤング係数を計測した。その諸元を表-1に示す。木取りは図-1に示す3つのパターンにより、末口径や丸太の形状に応じて4丁、5丁、7丁取りとした。製品は、A：135mm×135mm（仕上げ寸法120mm×120mm）及びB：120mm×120mm（仕上げ寸法105mm×105mm）の心去り正角材を合計95本製材した。製材品の内訳を表-2に示す。なお、比較のため同様の寸法の心持ち正角材を37本（A4本、B33本）供試木とした。

製品は製材後、林業試験場に搬入して屋根のある風通しの良い場所に積み上げた上に2tの重りを載せて、天然乾燥を行った。なお、一部試験体（心去り正角8体、心持ち正角2体）については燻煙乾燥を行った。

表-1 供試木の諸元

木取り	本数		長さ (cm)	重量 (kg)	元口径 (cm)	末口径 (cm)	年輪数	平均年輪幅 (mm)	動的ヤング係数 (KN/mm ²)
I	9	最大	413.0	330.3	53.9	45.3	90	6.5	7.35
		最小	306.4	243.3	42.3	37.4	32	2.3	4.63
		平均	-	292.7	46.2	40.5	55.1	4.1	5.82
II	10	最大	422.3	598.5	61.4	48.8	93	6.6	7.85
		最小	401.2	394.7	52.2	42.5	37	2.5	4.85
		平均	-	528.3	54.9	45.8	58.3	4.3	6.14
III	2	最大	415.9	569.4	75.1	52.0	75	6.0	6.62
		最小	409.4	438.8	61.0	51.8	43	3.5	3.52
		平均	-	504.1	68.0	51.9	59.0	4.7	5.07
全体	21	最大	422.3	598.5	75.1	52.0	93	6.6	7.85
		最小	306.4	243.3	42.3	37.4	32	2.3	3.52
		平均	-	408.6	52.4	44.1	57.0	4.3	5.88

* 西部環境森林事務所

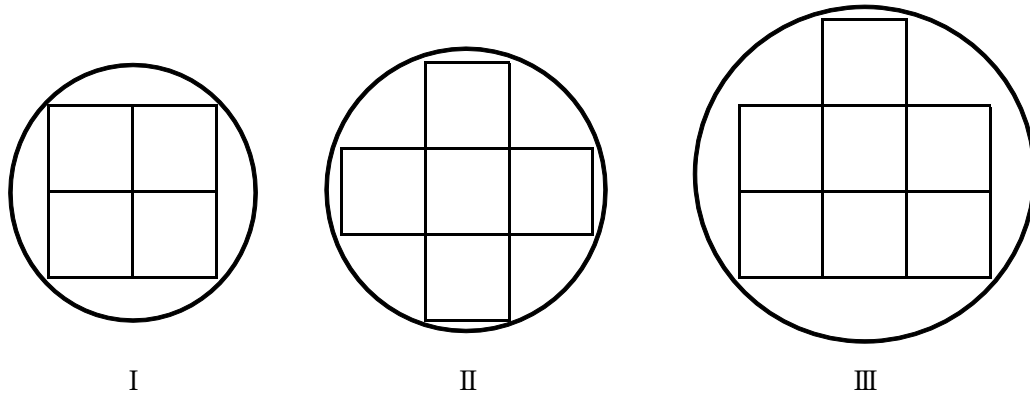


図-1 木取りのパターン

2 製材品の品質について

製材品は製材直後及び約2ヶ月後と約5ヶ月後に重量、寸法、曲がり、含水率を測定した。含水率は、高周波含水率計（株式会社ケット科学研究所製モコ HM520）で両木口から1mの位置と、中央部の3箇所を測定した。仕上げ挽き後には同様の項目と年輪数及び平均年輪幅を測定すると共に目視による節の調査を行い、併せてFFTアナライザー（静岡精機製 Woody）を使用し、縦振動法による固有振動数測定を行った。曲がりと節については製材の日本農林規格（農林水産省：製材の日本農林規格2013）（以下製材JAS）に準じて等級格付けを行った。

表-2 供試した心去り正角材の内訳

寸法	本数
3m×105mm×105mm	12
3m×120mm×120mm	24
4m×105mm×105mm	30
4m×120mm×120mm	29
合計	95

3 製材品の曲げ強度性能について

曲げ試験は、インストロン製万能強度試験機 5582EX/H を使用し、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：構造用木材の強度試験マニュアル 2011）に準じて、120mm角のものは支点間 $18h = 216\text{cm}$ 、荷重点間 $6h = 72\text{cm}$ 、載荷速度 20 mm/min で、105mm角のものは支点間 $18h = 189\text{cm}$ 、荷重点間 $6h = 63\text{cm}$ 、載荷速度 20 mm/min で3等分点4点曲げ試験を行った。今回供試した丸太は全て元玉だったので、製材した心去り正角材95本のうち、仕上がり寸法 $4\text{ m} \times 105\text{ mm} \times 105\text{ mm}$ のもの30本については、中央で切断して長さ2mの試験体を作成し、元玉の元口側2m分と末口側2m分の強度特性等の差を把握することを試みた。

なお、強度試験終了後には木口から1mの非破壊部分から試験体を採取し、全乾法により含水率を測定した。

III 結果及び考察

1 含水率について

心去り材の含水率の変化を図-2に、心持ち材の含水率の変化を図-3に示す。

製材直後の含水率は、心去り材では最小値が 22.5 %、最大値が 112.3 %、平均値が 57.8 %、心持ち材では最小値が 24.0 %、最大値が 107.8 %、平均値が 50.3 %だった。約5ヶ月後の全乾法による測定において、心去り材で最小値が 11.3 %、最大値が 61.4 %、平均値が 16.3 %、心持ち材で最小値が 14.0 %、最大値が 25.2 %、平均値が 17.3 %まで低下した。

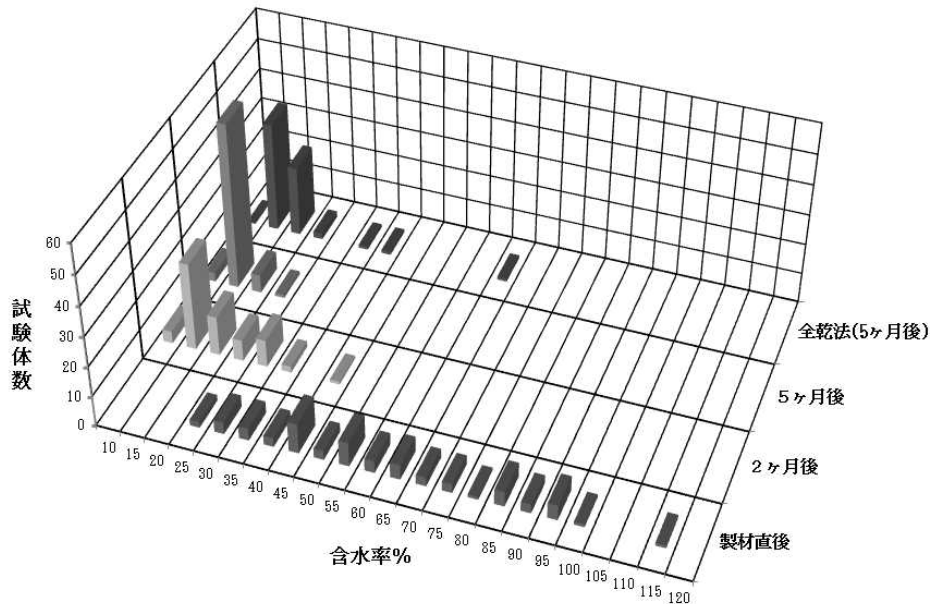


図-2 心去り正角材の含水率変化

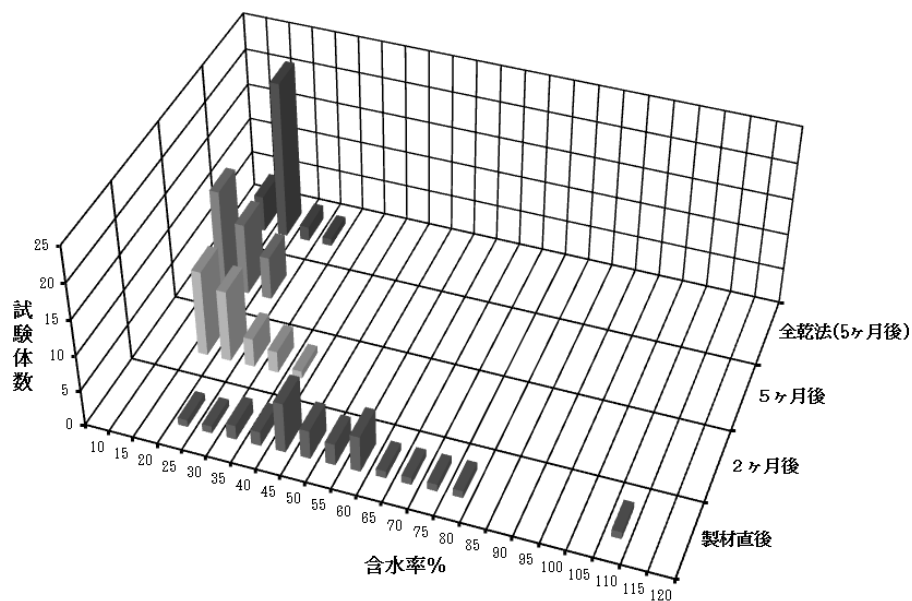


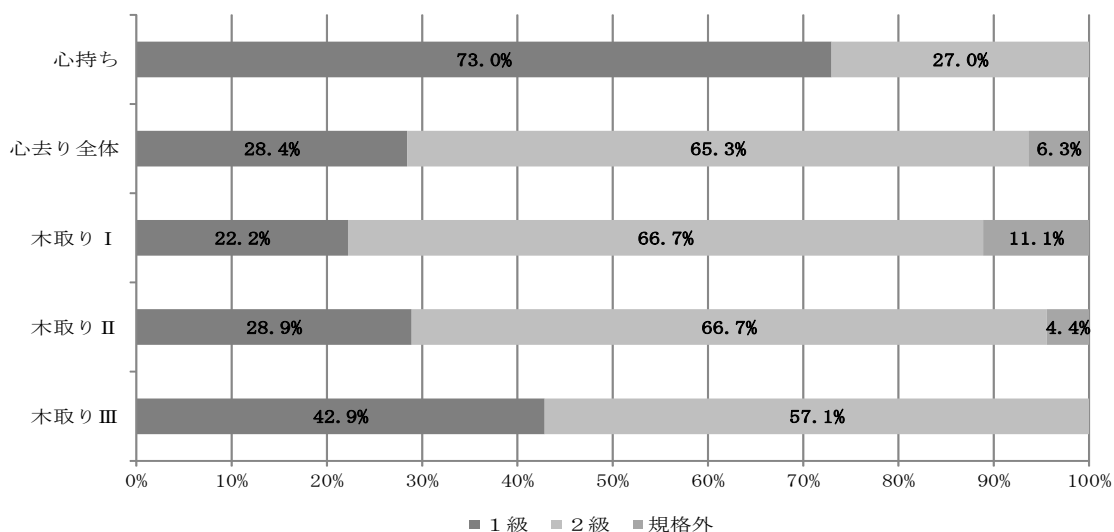
図-3 心持ち正角材の含水率変化

2 曲がりについて

(1) 製材 JAS による等級格付けについて

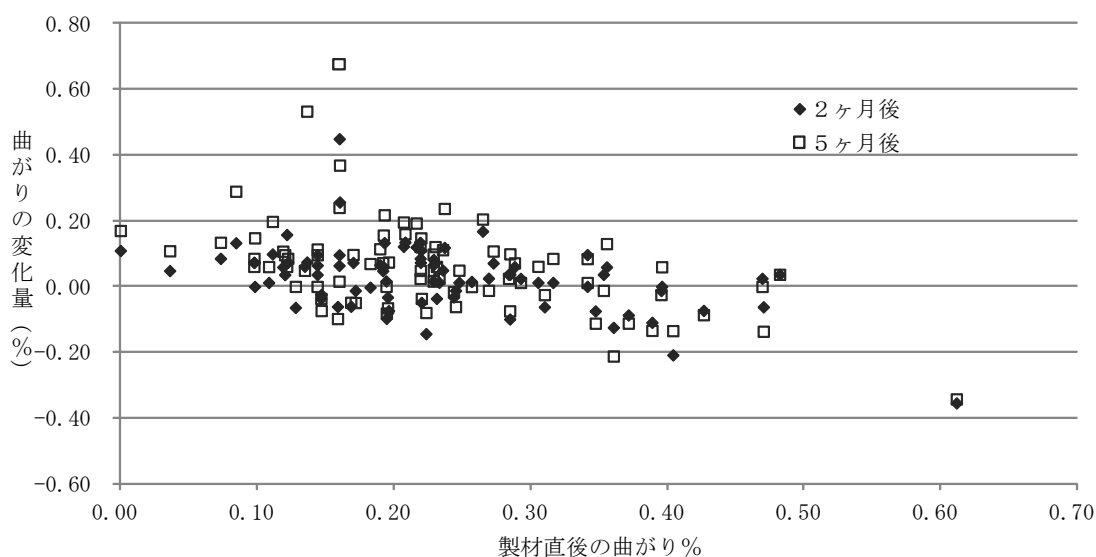
仕上げ挽き前の時点（乾燥開始後約5ヶ月）における、製材 JAS（乙種構造材）の曲がりの基準に基づく等級区分について図-4に示す。木取りⅠでは1級に格付けされるものが 22.2 %、2級に格付けされるものが 66.7 %、規格外が 11.1 %だった。木取りⅡでは1級が 28.9 %、2級が 66.7 %、

規格外が 4.4 %、木取りⅢでは 1 級が 42.9 %、2 級が 57.1 %で規格外は無かった。採材本数の多い木取りで得られた製材品ほど曲がりが少ない傾向が見られた。これは丸太の心からの距離が大きいものほど曲がりが少ないことによると考えられる。また、心去り正角材全体では 1 級が 28.4 %、2 級が 65.3 %で規格外が 6.3 %だったのに対し、心持ちの正角材は 1 級が 73.0 %、2 級が 27.0 %で規格外は無かった。大径材から 4 丁取りで製材した心去り正角材（本報告では木取りⅠ）は、乾燥後でも 83.3 %が 1 級をクリアしたとの報告（荒武ら 2012）があるが、今回、大径材から製材した心去り正角材は、心持ちの正角材に比較して 曲がりの等級区分では下位に格付けされる結果となった。製材品の性質は原木丸太の性質や製材方法、乾燥方法などに影響を受けると考えられ、今回の結果は前述の既報とかなり異なるものだが、その理由についてははっきりしなかった。



図－4 製材 J A S の曲がりの基準による等級区分

(2) 曲がりの経時的変化について 心去り材の製材直後の曲がりに対する約 2 ヶ月後及び約 5 ヶ月後の曲がりの大きさの変化量について図－5 に示す。



図－5 曲がりの経時的変化

図中の◆は乾燥直後の曲がりに対する約2ヶ月後の曲がりの変化量を、□は乾燥直後の曲がりに対する約5ヶ月後の曲がりの変化量を示している。製材直後に曲がりを生じた後、乾燥の進行に伴って曲がりが増加する試験体が多い一方、曲がりが増加していき試験体も一定数存在した。

3 節について

(1) 製材のJASによる等級格付けについて

心去り正角材の仕上げ挽き後の製材JAS（目視等級区分構造用製材）に基づく節径比による等級格付けを図-6に、集中節径比による等級格付けを図-7に示す。同様に心持ち正角材についても図-8と図-9に示す。

心去り材は節の数は少ないものの、図-10に示すように材面に節が出現した場合は径が大きいものが多いため節径比が大きくなる。節径比による等級区分では1級が約29.8%、2級が23.4%となり1・2級併せても5割をやや上回る程度に止まった。一方、節の数が少ないことから、集中節径比による等級区分は、1級が62.8%、2級が14.9%となり、1・2級併せて8割近くを占めた。

心持ち材については、図-11に示すように節の数は多いが径は小さいものが多いため、節径比による等級区分では1級が62.2%、2級が24.3%となり1・2級併せると8割を超えた。集中節径比による等級区分は、1級が70.3%、2級が約21.6%となり、1・2級併せて9割を超えた。

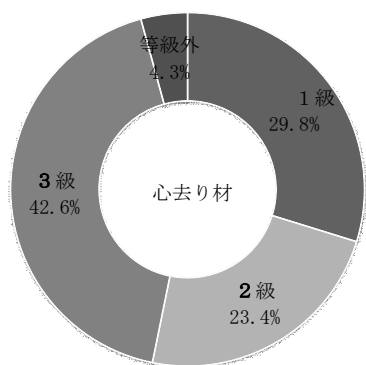


図-6 節径比の基準による等級区分

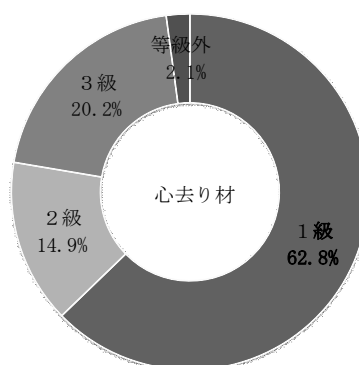


図-7 集中節径比の基準による等級区分

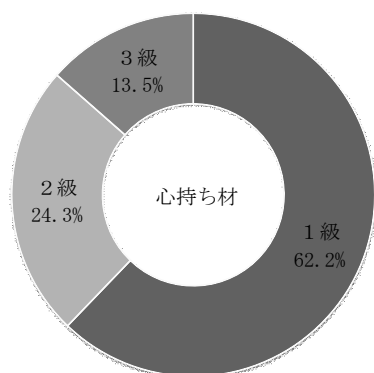


図-8 節径比の基準による等級区分

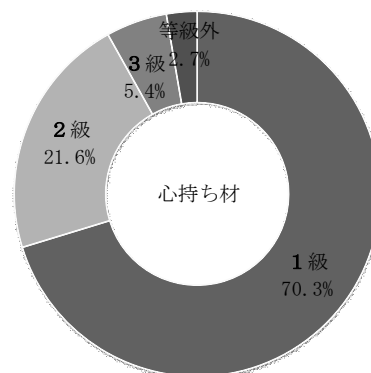
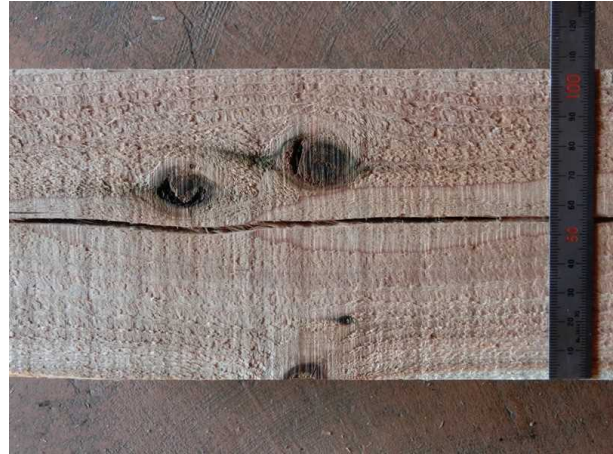


図-9 集中節径比の基準による等級区分



図－10 心去り材の節の事例



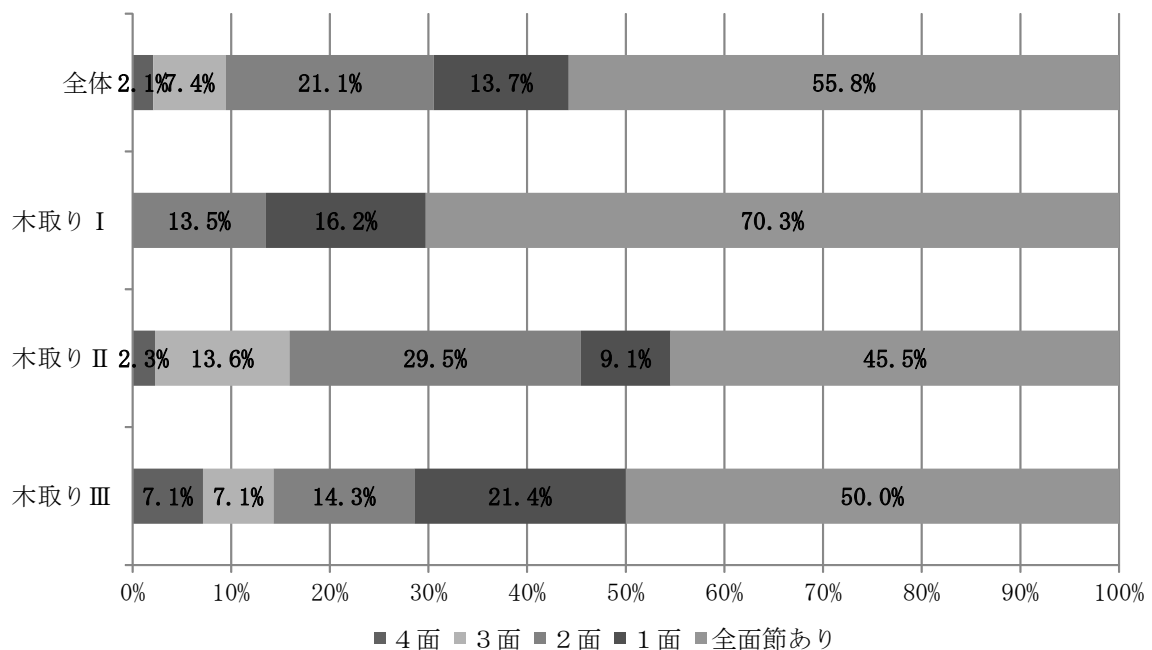
図－11 心持ち材の節の事例

(2) 無節面の出現状況について

心去り正角材の無節面の出現状況について図－12 に示す。全体では製材品の 44.3 % に 1 面以上の無節面が出現し、その内訳としては、4 面が無節だったものが 2.1 %、3 面が無節だったものが 7.4 %、2 面が無節だったものが 21.1 %、1 面のみ無節だったものが 13.7 % だった。

無節面の出現状況は木取りによって異なる結果となり、木取りⅠでは1面と2面無節のみでトータルでは 29.7 % に無節面があった。木取りⅡでは1面無節が 9.1 %、2面無節が 29.5 %、3面無節が 13.6 %、4面無節が 2.3 % で、トータルでは 54.5 % となり、半数を超える試験体に1面以上の無節面があった。木取りⅢでは1面無節が 21.4 %、2面無節が 14.3 %、3面無節が 7.1 %、4面無節が 7.1 % で、トータルでは 50.0 % となり、半数の試験体に1面以上の無節面が出現した。

図－13 及び図－14 に示すような無節面が高い頻度で出現することは大径木から得られた心去り材の持つ特性であり、内装材等化粧性を求められる用途等には有利性を持つと考えられる。



図－12 心去り正角材の無節面の出現状況



図-13 無節面を持つ心去り材

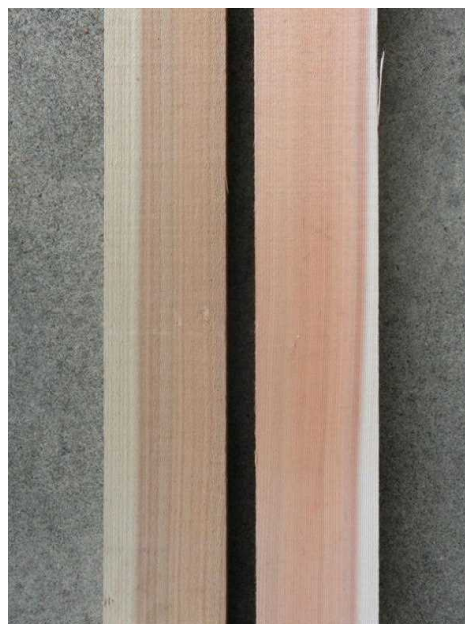


図-14 無節の柁目面の状況

4 強度性能について

(1) 原木丸太の動的ヤング係数と製材品の曲げヤング係数の関係について

原木丸太の動的ヤング係数と製材品の曲げヤング係数との関係を図-15に示す。両者には高い相関が認められ(松村ら 2013)、丸太段階でのヤング係数による構造材に好適な材料の選別が有効であることが確認された。また、それぞれの絶対値を比較すると後者の方が前者に比べて大部分が大きい数値となっており、製材品の強度を過大に見積もることを避け、安全側に立った選別が可能であることが明らかとなった。

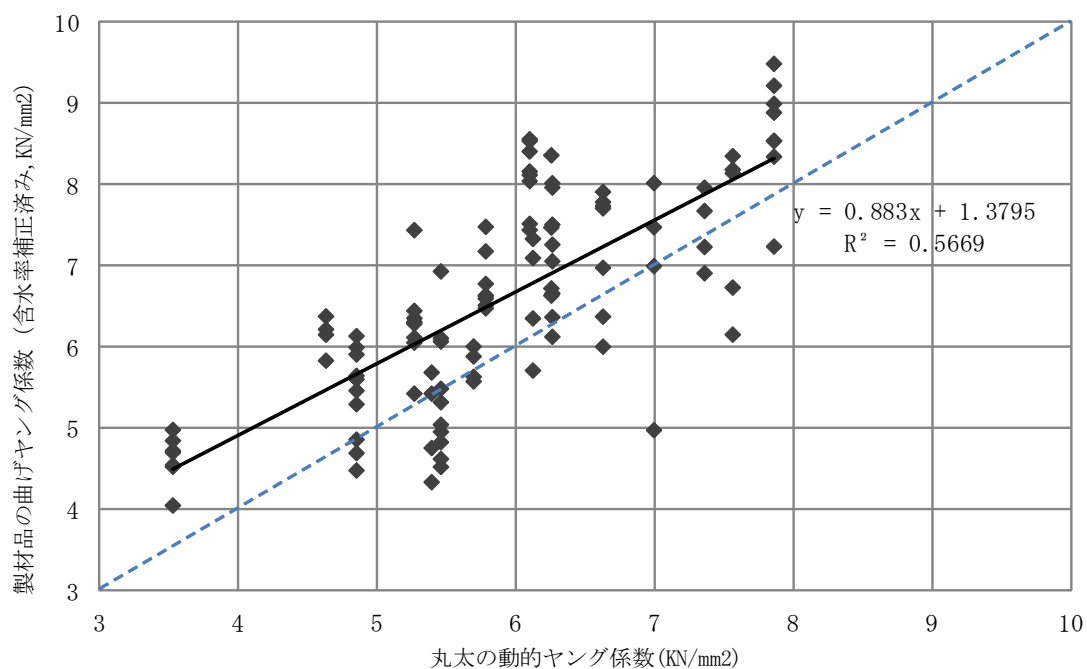


図-15 丸太の動的ヤング係数と製品の曲げヤング係数

(2) 心去り正角材及び心持ち正角材の曲げヤング係数と曲げ強度について

心去り正角材及び心持ち正角材の曲げヤング係数と曲げ強度との関係を図-16示す。いずれも曲げヤング係数と曲げ強度の間には高い相関が認められた。また、同程度のヤング係数の試験体を比較した場合、心持ち材に比較して心去り材のほうが曲げ強度が低い傾向が示された。この傾向は特にヤング係数が低めのものについて顕著だった。

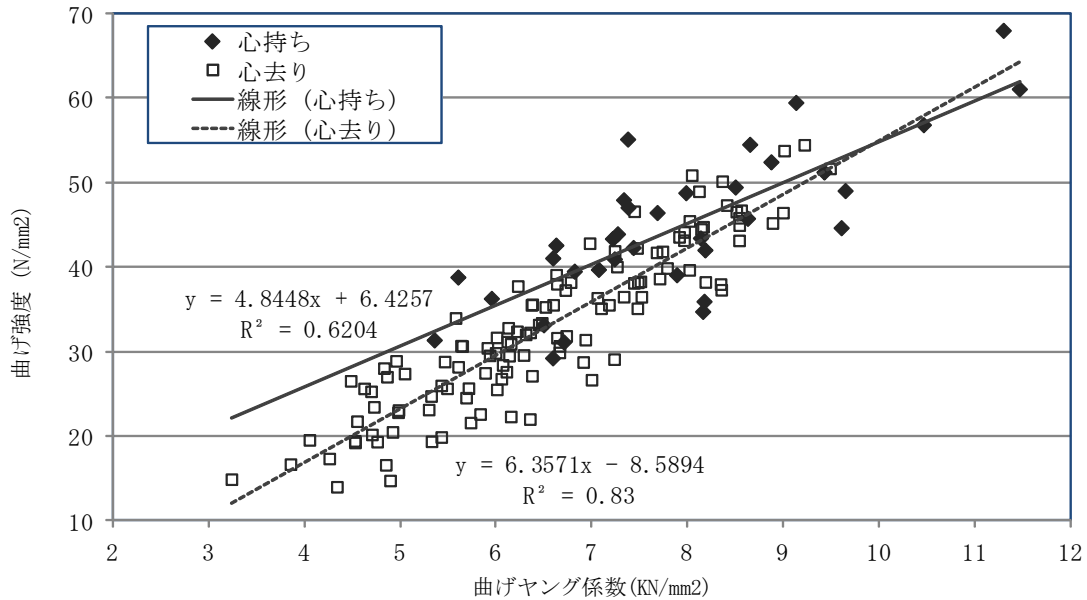


図-16 心去り正角材と心持ち正角材の曲げヤング係数と曲げ強度の関係

(3) 心去り正角材の元口側と末口側の比較について

仕上がり寸法 4 m × 105 mm × 105 mm の心去り正角材 30 本について中央で切断し、元口側と末口側に分割したもののそれぞれの曲げヤング係数の関係について図-17及び表-3に示す。両者には高い相関が認められるとともに、末口側のヤング係数がやや高くなる傾向が示されたが差は僅かだった。

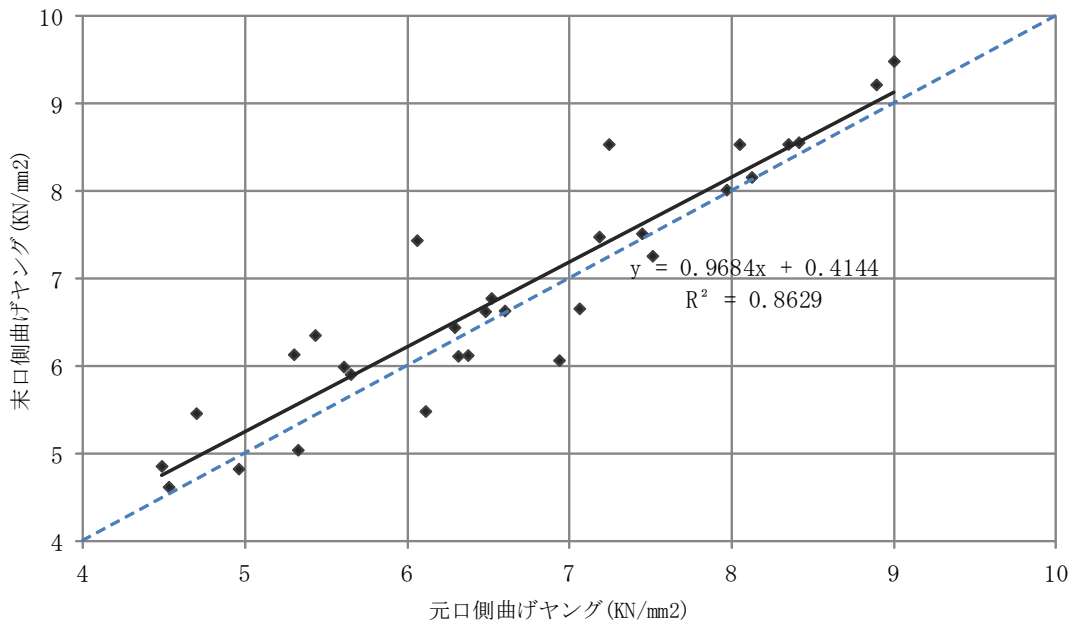


図-17 元玉の長さ方向のヤング係数の関係

表-3 元口側部分と末口側部分のヤング係数について
(ASTM D2915による含水率補正済み)

	元玉元口 (KN/mm ²)	元玉末口 (KN/mm ²)	心持ち (KN/mm ²)
平均	6.63	6.83	7.86
標準偏差	1.27	1.33	1.43
変動係数(%)	19.2	19.4	18.2

次に元口側と末口側の曲げ強度の関係について図-18及び表-4に示す。両者には高い相関が認められた。5%下限値に関しては、元口側21.5N/mm²、末口側が25.6N/mm²で末口側の数値は建設省告示第1452号(建設省2000)における無等級材の基準強度(22.2N/mm²)及びすぎの乙種構造材の基準強度1級(21.6N/mm²)を上回っていた。この試験に供した末口側の30本分の試験体から得られたデータについては構造材として十分使用に耐えるレベルにあるという結果が得られた。

元玉の長さ4m程度については長さ方向における強度性能に関して若干の差があるため、元口側と末口側をそれぞれ要求される強度性能の異なる用途に使用することも考えられる。

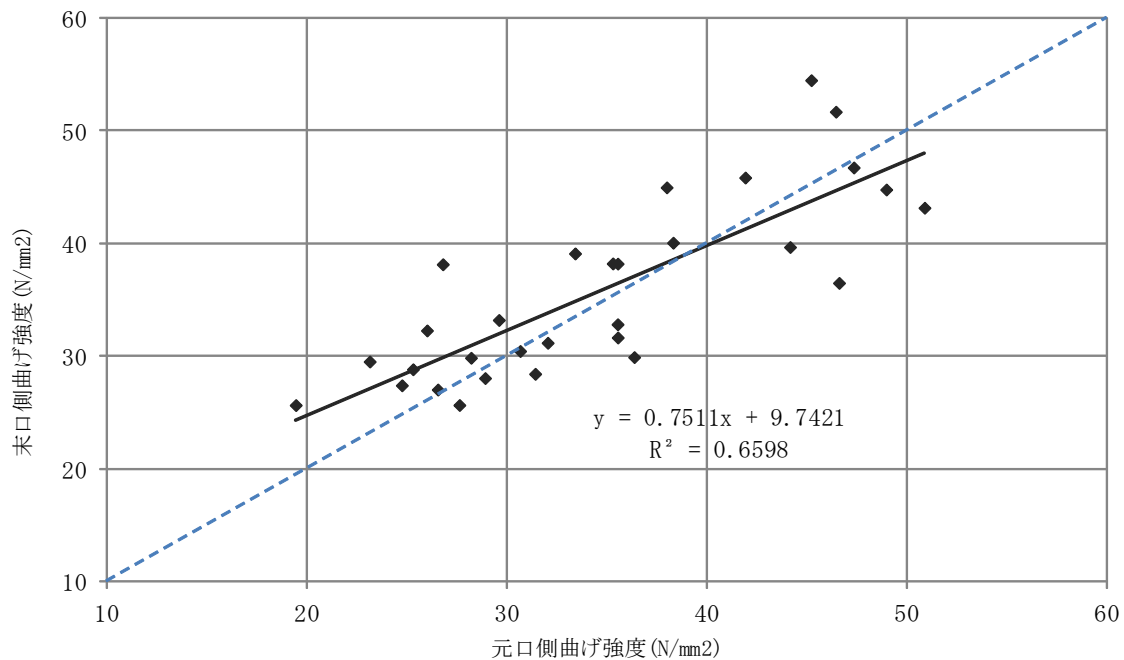


図-18 元玉の長さ方向部位別の曲げ強度の関係

表-4 元口側部分と末口側部分の曲げ強度について
(ASTM D2915による含水率補正済み)

	元玉元口 (N/mm ²)	元玉末口 (N/mm ²)	心持ち (N/mm ²)
平均	34.7	35.8	44.2
標準偏差	8.4	7.8	8.7
変動係数(%)	24.3	21.8	19.8
5%下限値	21.5	25.6	30.3

(4) 目視等級区分ごとの曲げヤング係数と曲げ強度について

節径比、集中節径比及び曲がりに基づく目視等級区分を行った等級ごとの曲げヤング係数と曲げ強度について表-5に示す。

曲げ強度の5%下限値に関しては、1級に格付けされたものが25.6N/mm²であり、無等級材の基準強度(22.2N/mm²)及び乙種構造材の基準強度(21.6N/mm²)を上回ったが、2級に格付けされたものは14.3N/mm²(基準強度:20.4N/mm²)で3級に格付けされたものは14.8N/mm²(基準強度:18.0N/mm²)であり、いずれも基準強度を下回る結果となった。

心去り正角材を構造材として用いる場合には、目視等級区分で1級に格付けされたものであれば必要な強度性能を満たすと考えられる。

表-5 目視等級区分結果 (ASTM D2915による含水率補正済み)

	曲げヤング係数(KN/mm ²)				曲げ強度(N/mm ²)			
	1級	2級	3級	等級外	1級	2級	3級	等級外
平均	6.98	6.60	5.76	4.82	36.4	33.8	27.2	21.1
標準偏差	1.19	1.37	1.11	0.65	7.4	10.3	7.7	3.3
変動係数(%)	17.1	20.7	19.2	13.4	20.4	30.5	28.3	15.5
出現率(%)	43.9	16.3	35.0	4.9	43.9	16.3	35.0	4.9
5%下限値	—	—	—	—	25.6	14.3	14.8	—
基準強度	—	—	—	—	21.6	20.4	18.0	—

(5) 機械等級区分ごとの曲げ強度について

曲げ試験の結果に基づき機械等級区分を行った曲げ強度について表-6に示す。

それぞれが全体に占める割合は、E 90が19.2%、E 70が45.6%、E 50が33.6%、等級外が1.6%、でE 70に区分された試験体が半数近くを占めた。

曲げ強度の5%下限値に関しては、E 90に区分されたものが37.5N/mm²であり、建設省告示第1452号における機械等級区分構造用製材のすぎの基準強度(34.8N/mm²)を上回ったが、E 70に区分されたものは25.2N/mm²(基準強度:29.4N/mm²)、E 50に区分されたものは14.7N/mm²(基準強度:24.0N/mm²)であり、いずれも基準強度を下回る結果となった。このことは、ヤング係数の数値から等級区分された製品だとしても、何らかの欠点の存在が強度に関して顕著な影響を与えた結果、その等級区分で要求される強度を満たさない試験体が多かったものと考えられる。

表-6 機械等級区分結果 (ASTM D2915による含水率補正済み)

	曲げ強度(N/mm ²)			
	E90	E70	E50	等級外
平均	45.6	33.8	23.4	15.8
標準偏差	4.5	5.3	4.6	0.9
変動係数(%)	9.9	15.6	19.8	5.6
出現率(%)	19.2	45.6	33.6	1.6
5%下限値	37.5	25.2	14.7	—
基準強度	34.8	29.4	24.0	—

(6) 年輪幅と強度の関係について

心去り正角材の平均年輪幅と曲げヤング係数との関係について、図-19に示す。

平均年輪幅と曲げヤング係数には負の相関が認められ、年輪幅が大きいものほど曲げヤング係数は低くなることが確認された。

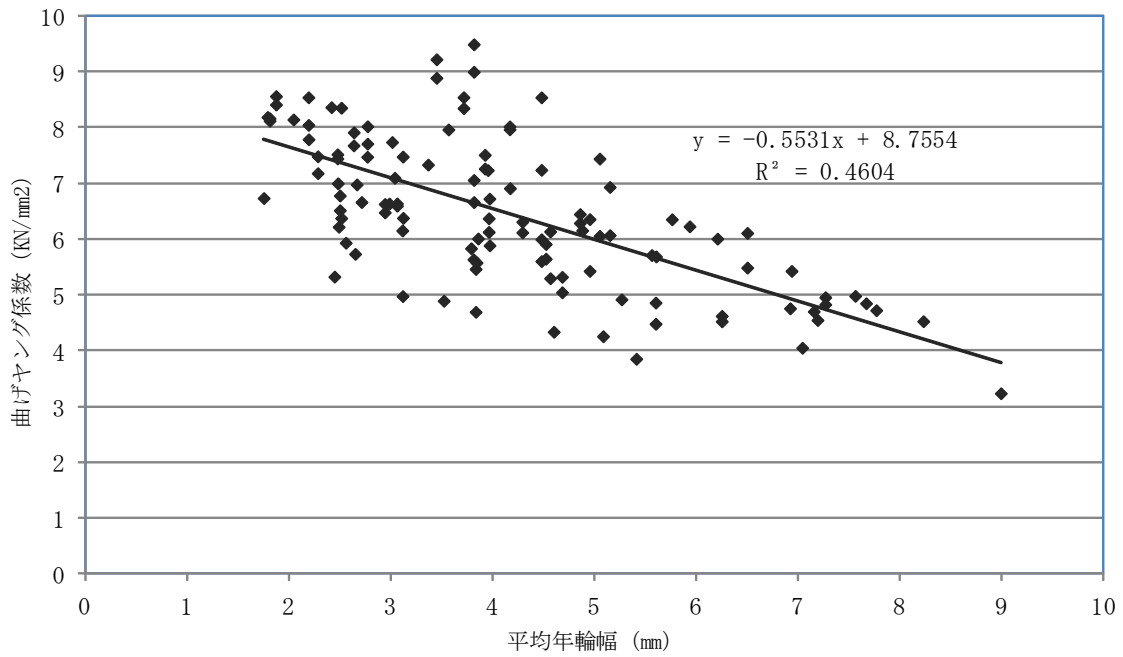


図-19 年輪幅と曲げヤング係数の関係

平均年輪幅と曲げ強度との関係を図-20に示す。

平均年輪幅と曲げ強度には負の相関が認められ、年輪幅が大きいものほど強度が低くなることが確認された。また、年輪幅の小さい試験体に関しては、強度にバラツキが大きく、年輪幅が小さくても強度の低いものも存在したが、年輪幅の大きい試験体に関しては総じて強度が低く、年輪幅の大きいものには、高い強度は期待できないという結果となった。

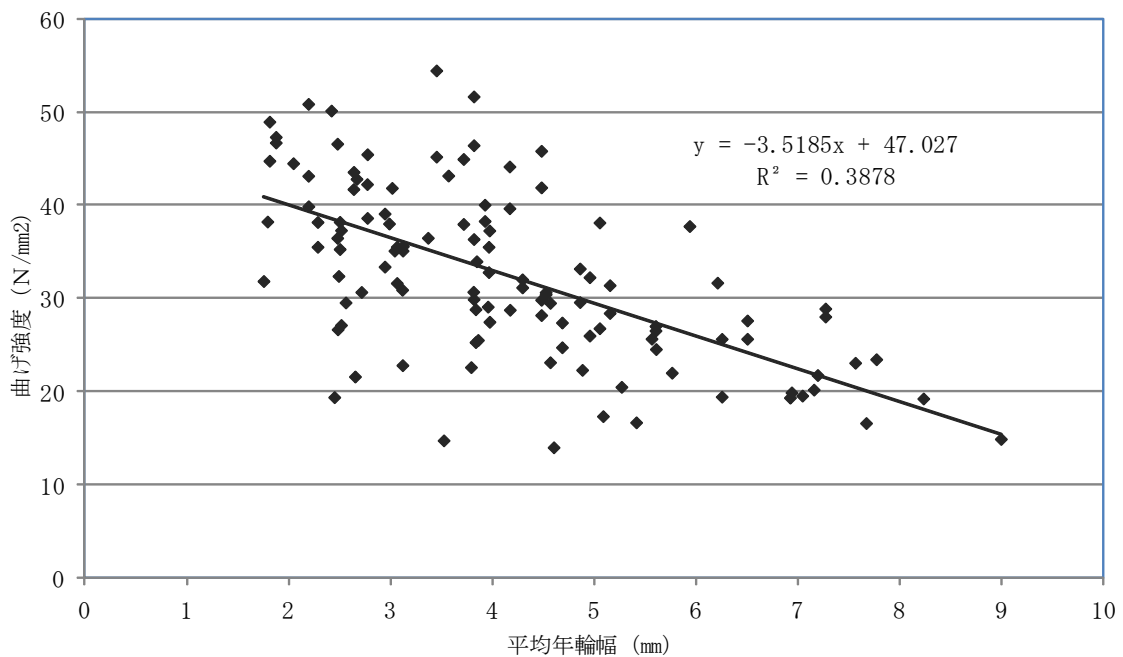


図-20 年輪幅と曲げ強度の関係

V おわりに

スギの大径材から心去り正角材を製材し、その品質や強度性能について検討した。

心去り正角材は無節面が高い頻度で出現するため、化粧性が求められる用途には好適な素材といえる。特に年輪幅が小さく径級の特に大きいものからは、美しい柾目面が得られるので、そうした特性を活かすためにはさらに高齢級になってから利用するのも一つの方法と考えられる。一方、材面に節が現れる場合には径の大きいものになりやすいため、それに応じて節径比が大きくなり、目視等級区分では低い等級に格付けされやすくなる。

曲がりに関しては、心持ち材に比べて大きな値になりやすいため、歩増し量を多めにとって製材し、乾燥後に仕上げ挽きをする必要がある。

強度性能に関しては、目視等級区分で1級に格付けされたものは基準強度を上回ったが、2級と3級については基準強度を下回る結果となった。また、機械等級区分によるとE 90に区分されたものは基準強度を上回ったが、試験体の半分近くを占めたE 70と、3割程度を占めたE 50は基準強度を下回る結果となった。

製材品の曲げヤング係数は、丸太の曲げヤング係数と高い相関を持つことが確認されたため、丸太段階で材料を選別することは可能であり、その際には年輪幅も指標とし、極端に年輪幅の大きいものは避けることも有効と考えられる。

引用文献

荒武志朗、椎葉淳、森田秀樹、小田久人、松元明弘：スギ大径材から得られた心去り正角材の性能：第62回日本木材学会大会研究発表要旨集，CD-ROM，（2012）

平成24年版群馬県森林林業統計書，16（2013）

建設省：建設省告示第1452号（2000）

松村ゆかり、伊神裕司、村田光司、松村順司：スギ大径材から製材した心去り正角の品質：木材学会誌 142，138-145（2013）

農林水産省：

製材の日本農林規格，http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/seizaikikaku2506121920.pdf（2013）

財団法人日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験マニュアル，8（2011）