

県産スギ心持ち平角材の曲げ強度性能

松元 浩・石田洋二

要旨 : スギ大径材から得られる心持ち平角材の強度性能データの蓄積を目的とし、スギ心持ち平角材の曲げ強度性能について検討した。石川県産スギの曲げ強度の 5%下限値は 28.4N/mm^2 となり、建設省告示の無等級材の基準強度 (すぎ、曲げ) の 22.2N/mm^2 を上回った。「製材の日本農林規格」の目視等級区分構造用製材 (甲種Ⅱ) に従った等級ごとの出現割合は、1 級が 21.6%、2 級が 54.4%、3 級が 19.1%、等級外が 4.8%であった。等級外の決定要因は曲がり最も多かった。機械等級区分については、E50 が 10.4%、E70 が 38.8%、E90 が 39.3%、E110 が 10.4%、E130 が 1.1%であった。また、曲げヤング係数はみかけの密度と相関が高く、曲げ強度は目視の欠点との相関は全体的に低かったが、材縁部の最大単独節径比との相関が最も高かった。

キーワード : スギ、心持ち平角、曲げ強度

I はじめに

石川県のスギ丸太は資源の充実や長伐期化に伴い、中目材から大径材へと移行しつつあり、スギ大径材の有効利用が重要な課題となっている。また近年、地域木材の積極的な活用を促す施策も講じられたことから、本県においても石川県産スギ材の強度性能データの収集・開示を望む声が業界から上がっている。そこで、スギ大径材から得られる心持ち平角材の強度性能データの蓄積を目的とし、スギ心持ち平角材の各種強度性能 (曲げ、引張り、せん断、めり込み) について試験を実施した。

本報告では、曲げ強度性能について報告する。

II 材料と方法

1 供試材

石川県内 10 市 5 町から調達した末口直径約 36cm、長級 4m のスギ丸太 393 本 (表 1) について、樹皮付きの状態縦振動法によるヤング係数を測定したのち、断面寸法 $255 \times 135\text{mm}$ の心持ち平角材を 1 丁取りした。この製材について、縦振動ヤング係数を測定したのち、仕上がり含水率 20% を目標にして、乾球温度 70°C 一定で約 1 か月間人工乾燥を行った (表 2)。乾燥後、断面寸法を $120 \times 240\text{mm}$ にモルダーがけし、製材の日本農林規格の目視等級区分構造用製材 (甲種Ⅱ) に準拠して欠点調査を行った後、ロードスパン 1200mm、シェアスパン 1350mm、荷重速度 20mm/min で静的曲げ試験を実施し、曲げヤング係数および曲げ強度を算出した。また、強度試

験終了後に、破壊部近傍から長さ約 20mm の試験体を採取し、平均年輪幅および全乾法による含水率を測定した。

III 結果と考察

1 曲げ強度性能

今回調達した丸太の平均末口直径は 36cm、末口の平均年輪数 (髄からの年輪数) は約 46 であった。丸太の見かけの密度は平均で 741kg/m^3 で、重いものは 1000kg/m^3 を超えるものも見られた。また、縦振動法によるヤング係数の平均は 6.8kN/mm^2 であった。

製材の乾燥後の含水率については、表 2 のスケジュールで乾燥処理を行っても目標の含水率に達していない試験体が約 5% あった。それらは、再乾燥あるいは保管庫内で養生して試験に供した。

スギ生製材は密度にばらつきがみられ、これは含水率のばらつきと関係が深いと思われることから、乾燥の際には重量選別をすることで仕上がりのばらつきを軽減できると思われる。

強度試験データは、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、2011) を参考に、曲げヤング係数については含水率および荷重条件、曲げ強度については含水率、荷重条件および梁せいによる補正を行った。すなわち、含水率補正については、旧 ASTM D 2915 を参考に含水率 15% に補正した。ただし、含水率 10% 以下は 10%、20% 以上は 20% として補正した。曲げヤング係数については式 1、曲げ強度については式 2 を補正係数とした。

$$k_{ne}=1.14/(1.44-0.02M) \quad \cdot \cdot \text{式 1}$$

$$k_{mf}=1.2505/(1.75-0.0333M) \quad \cdot \cdot \text{式 2}$$

ここで、 k_{ne} : 曲げヤング係数の補正係数

k_{mf} : 曲げ強度の補正係数

M: 試験時の含水率

荷重条件による補正については、曲げヤング係数については式 3、曲げ強度については荷重条件に加えて梁せいの補正も合わせ式 4 を補正係数とした。

$$k_{1e} = \frac{1+36 d^2/(3L^2-4a^2)}{1+36d_0^2/(3L_0^2-4a_0^2)} \quad \cdot \cdot \text{式 3}$$

$$k_{1df} = \left\{ \frac{d(S+0.2L)}{d_0(S_0+0.2L_0)} \right\}^{0.2} \quad \cdot \cdot \text{式 4}$$

ここで、 k_{1e} : 曲げヤング係数の補正係数

k_{1df} : 曲げ強度の補正係数

d: 試験体の梁せい

L: 試験時のスパン

a: 試験時の荷重一点間距離

d_0 : 標準試験条件時の梁せい (150mm)

L_0 : 標準試験条件時のスパン (18 d_0)

a_0 : 標準試験条件時の

荷重一点間距離 (6 d_0)

上記の式 1 および 3 の補正係数を曲げヤング係数に、式 2 および 4 の補正係数を曲げ強度にそれぞれ乗じて補正した結果を表 3 に示す。曲げヤング係数の平均値は 7.8kN/mm² で、データ集 (強度性能研究会、2005) のスギの見かけの曲げヤング係数の平均値 (7.1kN/mm²) および「日本建築学会木質構造設計基準」(日本建築学会、2006) 普通構造材の繊維方向特性値 E_0 (針葉樹IV類: 7.0kN/mm²) を上回った。構造用材料の基準強度特性値は一般に 5%下限値とされるため (日本建築学会、2006)、順位統計により曲げ強度の 5%下限値を算出した。その結果、石川県産スギの 5%下限値は 28.4N/mm² となり、「日本建築学会木質構造設計基準」(日本建築学会、2006) 普通構造材の繊維方向特性値において、スギが属する針葉樹IV類の基準材料強度 (曲げ、22.2 N/mm²) を上回った。また、建設省告示の無等級材の基準強度 (すぎ、曲げ) も 22.2N/mm² となっており、同様に上回った。県産ス

ギの曲げヤング係数と曲げ強度との関係は、国内のスギの曲げ強度データですでに示されている (強度性能研究会、2001) ように高い相関関係を示した (図 1)。

「製材の日本農林規格」目視等級区分製材の甲種IIの基準に従った等級ごとの出現頻度を図 2 に示す。試験体全長で等級区分した割合は、1 級が 21.6%、2 級が 54.4%、3 級が 19.1%、等級外が 4.8%であった。等級外の決定要因は曲がり最も多かった。また、それぞれの区分で曲げ強度の 5%下限値を算出すると、1 級が 31.5N/mm²、2 級が 28.4N/mm²、3 級が 24.9N/mm² であった。5%下限値の数值は、製材の日本農林規格の甲種構造材の基準強度 (すぎ) の値を上回っていた。

曲げヤング係数に応じて等級区分される、機械等級区分については、E50 が 10.4%、E70 が 38.8%、E90 が 39.3%、E110 が 10.4%、E130 が 1.1%であった (図 3)。それぞれの区分で曲げ強度の 5%下限値を算出すると、E50 が 24.0N/mm²、E70 が 28.8N/mm²、E90 が 34.5N/mm²、E110 が 35.4N/mm² であった。機械等級区分製材に設定されている基準強度と比較すると、E50 は同じ値で、E70 および E90 はわずかに下回るかほぼ同程度であったが、E110 については基準強度を下回った。この現象については、他県においても目視等級区分や機械等級区分の基準強度を下回る事例が報告されている (工藤ら、2015)。また、スギ製材の曲げ強度の平均値は材せいの減少にしたがって増加する傾向が認められている (長尾ら、2014) ことから、構造用製材の規格に寸法調整係数を導入するなど、検討が必要と思われる。

2 曲げ強度性能に及ぼす各種因子の影響

今回実施した試験体の目視による欠点調査を行ったが、それぞれの項目 (平均年輪幅 (n=393)、見かけの密度 (n=393)、節径比 (n=281)、表面割れ (n=281)) と曲げヤング係数および曲げ強度との関係について検討した。

(1) 曲げヤング係数

曲げヤング係数と平均年輪幅には比較的高い負の相関関係が認められた (図 4)。丸太の年輪数を数えることによって、ヤング係数の高い丸太を選別できる可能性がある。見かけの密度は曲げヤング係数と比較的高い相関関係が認められた (図 5)。また、試験体に生じた表面割れについては、試験

体の幅の広い面に生じた表面割れの面積を指標としたが、割れ面積が広がるほど曲げヤング係数が高くなる傾向を示した(図6)。この傾向はこれまでの報告(荒武ら、1993)を支持する結果となった。一方、節については、「製材の日本農林規格」目視等級区分製材の甲種Ⅱの区分のうち、広い材面の中央部の最大集中節径比が最も相関が高かった。すなわち、集中節径比が大きくなるほど曲げヤング係数は低くなる傾向を示したが、相関は低かった(図7)。

(2) 曲げ強度

曲げ強度と平均年輪幅の関係は、曲げヤング係数ほど相関は高くなく、平均年輪幅が広がるほど、曲げ強度は小さくなる傾向であった(図8)。見かけの密度についても密度が高いほど曲げ強度は高くなる傾向が認められた(図9)が、曲げ強度は曲げヤング係数と比較して相関関係は低かった。また、試験体に生じた表面割れについては、試験体の幅の広い面に生じた表面割れの面積を指標としたが、割れ面積が広がるほど曲げ強度が高くなる傾向を示した(図10)が、曲げヤング係数ほどではなかった。一方、節については、「製材の日本農林規格」目視等級区分製材の甲種Ⅱの区分のうち、広い材面の材縁部の最大単節径比が最も相関が高かった。すなわち、引張り応力が働く側の節径比が大きくなるほど、節による目切りの影響で曲げ強度は低くなる傾向を示した(図11)。

IV まとめ

スギ大径材から得られる心持ち平角材の強度性能データの蓄積を目的とし、スギ心持ち平角材の曲げ強度性能について検討した。

石川県産スギの5%下限値は、28.4N/mm²となり、建設省告示の無等級材の基準強度(すぎ、曲げ)の22.2N/mm²を上回った。

「製材の日本農林規格」の甲種構造材Ⅱの目視等級区分に従った等級ごとの出現割合は、1級が21.6%、2級が54.4%、3級が19.1%、等級外が4.8%であった。等級外の決定要因は曲がり最も多かった。また、それぞれの5%下限値の数値は、製材の日本農林規格の甲種構造材の基準強度(すぎ)の値を上回っていた。

曲げヤング係数に応じて等級区分される、機械等級区分については、E50が10.4%、E70が38.8%、

E90が39.3%、E110が10.4%、E130が1.1%であった。それぞれの5%下限値を機械等級区分製材に設定されている基準強度と比較すると、E50は同じ値で、E70およびE90はわずかに下回るかほぼ同程度であったが、E110については基準強度を下回った。スギ製材の曲げ強度の平均値は材せいの減少にしたがって増加する傾向が認められていることから、構造用製材の規格に寸法調整係数を導入するなど、検討が必要と思われる。

また、曲げヤング係数は、みかけの密度と相関が高く、曲げ強度は目視の欠点との相関は全体的に低かったが、材縁部の最大単節径比との相関が最も高かった。

引用文献

- 荒武志朗・有馬孝禮・迫田忠芳・中村徳孫(1993) スギ構造材の干割れが力学的性質に及ぼす影響—曲げ強さと曲げヤング係数について—。木材工業 48: 166-170。
- 強度性能研究会(2001)「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集<5>。55
- 強度性能研究会(2005)「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集<7>。18
- 工藤康夫・町田初男・小黒正次(2015) 県産スギ平角材の強度性能に関する研究。群馬県林業試験場研究報告 19: 10-14。
- 長尾博文・井道裕史・加藤英雄・三浦祥子・霜田優子(2014) スギ製材の曲げ強度に対する寸法効果 材せいと材幅の影響。木材学会誌 60: 100-106。
- (財)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。90-95
- 日本建築学会(2006) 木質構造設計規準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法—。152-153, 399

表1 原木の性質

	末口直径 (mm)	末口年輪数	みかけの 密度 (kg/m ³)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm ²)
試験体数	393	393	393	393
平均値	36	46.4	741	6.90
変動係数(%)	7.8	31.8	12.7	19.8
最小値	30.7	23	478	3.10
最大値	49	113	1010	11.80

注) 末口年輪数は、髄からの数

表2 乾燥スケジュール

ステップ	時間 (h)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)
1	12	70	70
2	168	70	65
3	168	70	60
4	168	70	55
5	168	70	50

表3 曲げ試験結果

	含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	平均年輪幅 (mm)	縦振動法の ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
試験体数	393	393	393	393	393	393
平均値	16.5	411	5.0	7.42	7.8	45.8
変動係数(%)	41.1	11.7	27.4	20.2	19.7	22.7
最小値	8.9	295	1.4	3.92	4.4	20.5
最大値	55.7	597	9.2	14.41	12.6	82.5

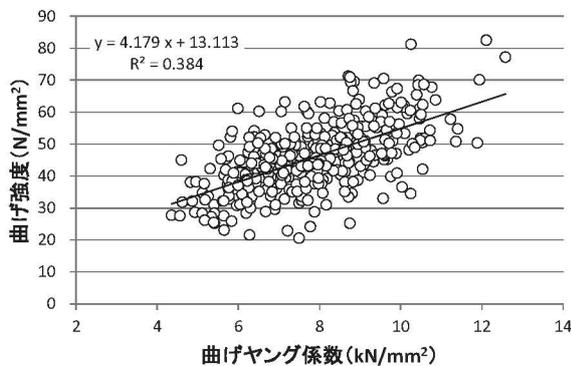


図1 曲げヤング係数と曲げ強度との関係

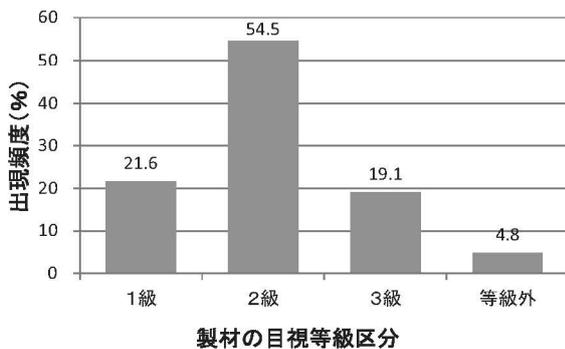


図2 目視等級区分の出現頻度

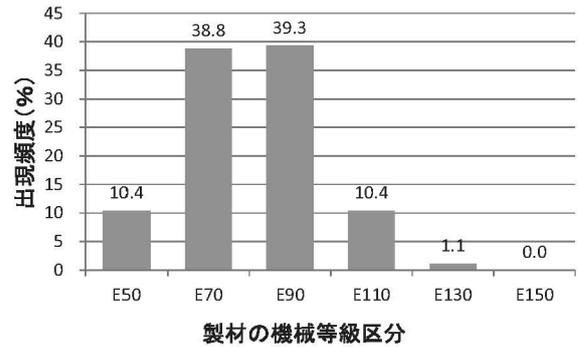


図3 機械等級区分の出現頻度

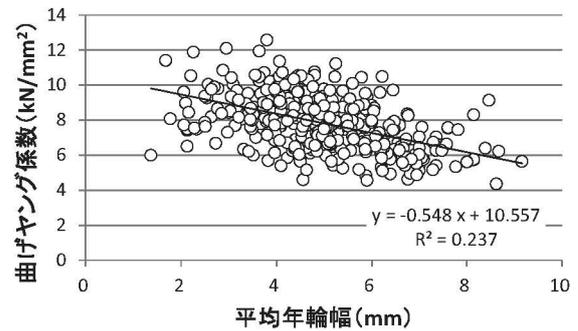


図4 平均年輪幅と曲げヤング係数との関係

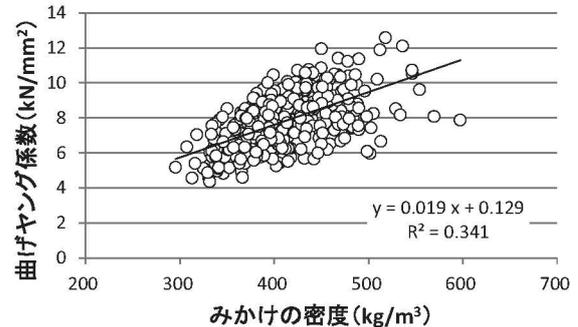


図5 見かけの密度と曲げヤング係数との関係

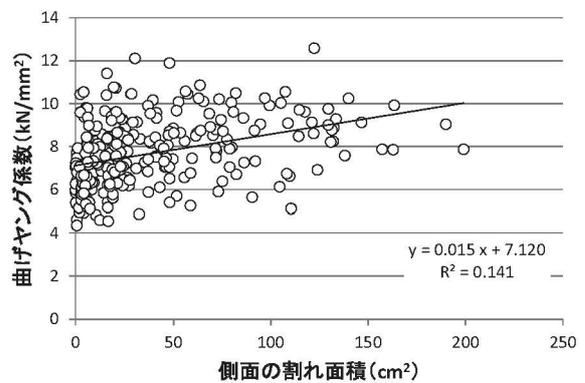


図6 割れ面積と曲げヤング係数との関係

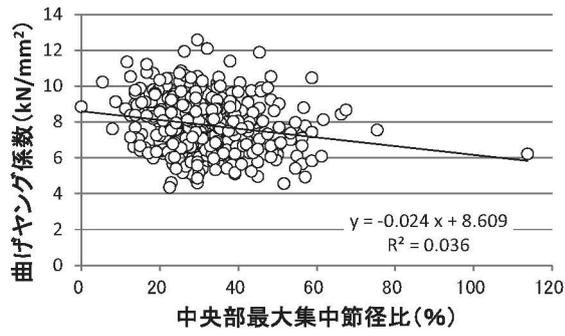


図7 節径比と曲げヤング係数との関係

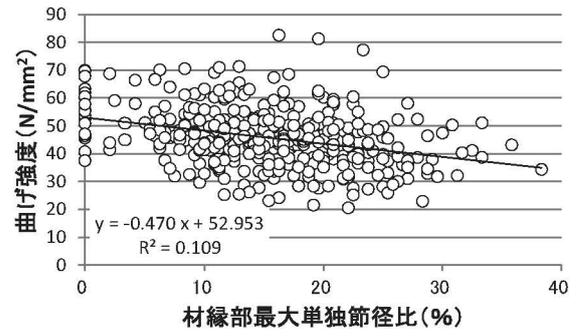


図11 節径比と曲げ強度との関係

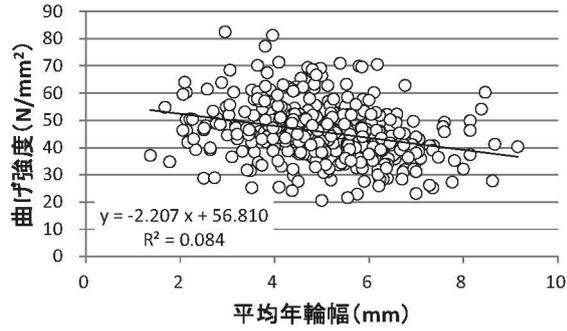


図8 平均年輪幅と曲げ強度との関係

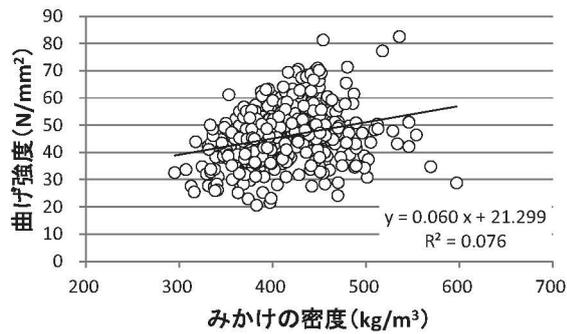


図9 見かけの密度と曲げ強度との関係

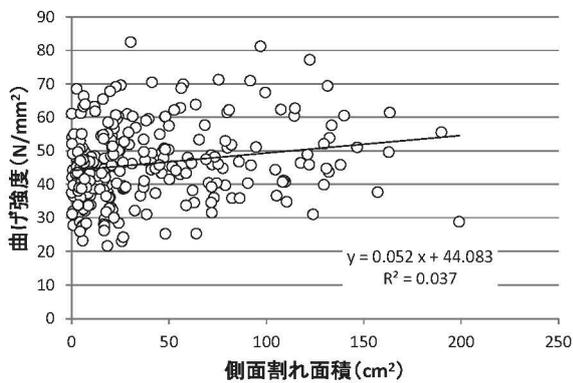


図10 割れ面積と曲げ強度との関係