
論文

鳥取県産スギ一般材の縦圧縮強度性能の評価

石井利典*
古川郁夫**
大平智恵子***

An Evaluation of Compressive Strength Properties of Sugi (*Cryptomeria japonica*) for Structural Use in Tottori Prefecture

Toshinori ISHII*
Ikuo FURUKAWA**
Chieko OHHIRA***

Summary

Compressive strength tests parallel to grain were made on common sawn square lumber of sugi in Tottori Prefecture. The lower 5% exclusion limits of compressive strength were smaller than the tolerance limit set by the Ministry of Construction for all grades. Knots were not a factor in decreasing the strength of lumber sawn by young sugi trees. The effect of visual grading defined in the Japanese Agricultural Standard (JAS) as the strength grading were not confirmed, but the mechanical grading was as effective as strength grading.

I 緒言

鳥取県はスギの生産地として知られている。鳥取県の民有林に占める人工林面積は平成5年度末現在で120,314ha, 民有林全体の55%にあたり, このうちスギの占める面積は60,360ha, 人工

* 鳥取大学大学院 農学研究科 農林環境科学専攻

** 鳥取大学農学部 農林総合科学科 生存環境科学講座

Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

*** 鳥取県林業試験場 Tottori Prefectural Forest Experiment Station

林全体の50%である。さらにその蓄積は、人工林全体22,879,897 m^3 に対して、スギの蓄積は14,191,355 m^3 、全体の62%を占めている⁴⁾。しかし、このスギ造林木の蓄積の約6割は、間伐が必要な7齢級以下の林分である。ここから生産される製材の大半は一般材である。一般材とは、元玉の末口径が14cm~28cmで、正角の柱材が1本とれるくらいの大きさのものをいい、未成熟材を多く含み、節などの欠点が多く、材質的に不安定であるとされている。これらの一般材は、今後とも蓄積の増加に伴い、伐採量も年々増加すると考えられる。

一方、スギ造林木の用途は、主として建築用構造材であり、近年特に建築施行側から木材供給側に対して設計・施工の上から製材品の品質と性能の保証が強く求められるようになってきた。そのため、全国的に実大材の強度試験データが蓄積されつつある。

鳥取県においても県産スギ一般材の材質特性の把握を目的として川上らにより実大曲げ試験¹⁾が行われ、曲げ強度性能が評価された。一般材の実大材曲げ試験のデータは全国的にもかなり揃ってきているが、実大材の短柱圧縮試験は、試験に手間がかかるのと、圧縮ヤング係数の正確な測定の困難なことなどから、これまでに報告された例が少ない。ここでの短柱とは、細長比が10~20の座屈が生じないとされている柱のことである。そこで本実験では、実大短柱圧縮試験を行い建築基準法施行令などの規格に定められた基準値と比較することにより、構造用製材としての鳥取県産スギ一般材の圧縮強度性能の評価を行った。

II 材料と方法

1. 供試材料

供試材料は鳥取県の東部、中部、西部から約20~35年生のスギ(オキノヤマスギ系さし木造林木)300本を集め、これらの元玉から芯持ち正角材(10.5×10.5×300cm)を製材した後、D-25基準に合わせて人工乾燥した。乾燥材を実大曲げ試験¹⁾し、その端部未破壊部分から実大短柱圧縮試験体、約10.5×10.5×60cm細長比19.8に製材した心持ち角材281本を採取した。これらは2年間室内に保存した後試験に供した。

2. 実大短柱圧縮試験

まず、針葉樹の構造用製材のJASに準拠した方法で節径比、丸み等の形質調査を行った。節径比は節の径の材面の幅に対する百分率で算出し、丸みは稜線上の欠け、傷の幅の材面の幅に対する百分率から算出した。平均年輪幅は、同じ材について行った曲げ試験において測定した値を使用した¹⁾。さらに、気乾比重を全体の体積と重量から算出し、含水率を電気抵抗式の含水率計(ケット製MT-12)で測定した後、圧縮試験を行った。圧縮強さ試験機で荷重(2mm/min)をかけ、供試材にかかった荷重をロードセルで測定し応力を算出した。また、全体の圧縮変位量をデジタルダイヤルゲージ(精度1/1000mm)で測定し、歪み量を算出した。これから、応力-歪み曲線を描き、式1、2より圧縮強度と圧縮ヤング係数を算出した。

$$\text{圧縮強度} = P / b h \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

$$\text{圧縮ヤング係数} = \Delta P l / \Delta l b h \text{ (tonf/cm}^2\text{)} \quad (2)$$

ただし P : 最大荷重(kg) b : 材幅(cm) h : 材高さ(cm) ΔP : 比例域における上限荷重と下限荷重との差(kg) l : 評点距離(cm) Δl : ΔP に対応する歪(cm)

3. 構造用製材品としての圧縮強度性能評価

構造用製材としての性能評価は、材をJASにより等級区分し、各等級ごとに5%下限値を算出し、それらの値を建築基準法施行令が提示している各等級ごとの基準値(材料強度)と比較することにより行った。なお、材料強度に相当する信頼水準95%での5%下限値は(平均値-1.645×標準偏差)として求めた。なお、JAS(日本農林規格)では構造用製材品の規格として、従来からの節や丸み等の目視により等級区分する目視等級区分と、MOEを用いて等級区分する機械等級区分とがある。

III 結果と考察

1. 圧縮試験結果

圧縮試験の結果を表1に示す。含水率は11.6%と十分に乾燥しており、任意に抽出した6本を測定した値もほぼ同じ値を示したことから、供試材料は全て平衡含水率に達していたと判断した。このことから本試験では含水率による強度への影響はないと考えてよい。本試験の結果をスギ一般材についての既往の報告値^{2,5)}と比較したところ、気乾比重は、報告値0.40に対して0.41であり同等の値を示した。平均年輪幅は、報告値4.3mmに対して4.7mmとやや広い値を示した。また、最大節径比について報告値が16.6%であったのに対して本試験では18.3%、最大集中節径比は報告値が26.2%であったのに対して30%とそれぞれ幾分高い値であった。圧縮強度は報告値の平均が352kgf/cm²であったのに対して232.5kgf/cm²とかなり低い値であった。この理由として、報告値は細長比が10程度の短柱について行ったものであるのに対して、本試験の材は細長比19.7であり、中間柱(20ないし30≤細長比<100)に近いと、座屈時に断面内の圧縮応力が塑性域に達する塑性座屈を示した可能性があること等が考えられる。

表1 圧縮試験結果 (n=281)

	平均値	変動係数(%)
含水率(%)※1	11.6	6
気乾比重	0.41	9.6
平均年輪幅(mm)※2	4.7	23.6
最大節径比(%)	18.3	34.6
最大集中節径比(%)	30	43.2
圧縮強度(kgf/cm ²)	232.5	16
圧縮ヤング係数(tf/cm ²)	40.8	24.8

※1) n=6 ※2) 川上のデータ

2. 圧縮強度と各因子間の関係

圧縮強度とこれに関係する各因子間の単相関の表を表2に示す。圧縮強度と最も相関の高かった因子は、圧縮ヤング係数であった。圧縮強度と気乾比重、平均年輪幅との相関係数が同じ材について行った曲げ試験²⁾の場合では、0.42、-0.27であったのに対して圧縮試験の場合は0.59、-0.45とそれぞれ少し高い値を示した。最大節径比、最大集中節径比との相関は0.1%水準で有意であったが、相関係数は低い値を示した。ここで節と破損と強度の関係について、短柱の表面に現れる圧縮破損線が節から入った材とそれ以外のところに入った材の圧縮強度を比較した。圧縮破損線はほとんどの場合エッジから生じ、節がエッジ付近にあった場合のみ節のところから生じた。節から破損した材は全体の33%であった。両者の平均圧縮強度を比較すると、節から破損した材は230.7kgf/cm²、節以外で破損した材は233.4kgf/cm²とほとんど差はなく、統計的にも1%水準で有意な差は認められなかった。このことから、曲げ試験の場合¹⁾と同様に、節は最終的な破壊に影響を与えるが強度を低減する因子ではなかった。これは、一般材の場合、節はそのほとんどが生き節であり、周囲の組織と一体化しているためであると考えられる。

表2 圧縮強度と各因子の単相関表

	圧縮 ヤング係数	気乾比重	平均年輪幅	最大節径比	最大集中 節径比
圧縮強度	0.68**	0.59**	-0.45**	-0.23**	-0.21**

**…1%有意水準

3. 圧縮強度特性と曲げ強度特性との関係

曲げ試験²⁾の結果を用いて圧縮強度特性と曲げ強度特性との相関関係を調べた(表3)。圧縮ヤング係数と動的ヤング係数(E_d)、曲げヤング係数(MOE)との相関係数は、それぞれ0.80、0.76と高い値を示した。しかし、曲げ試験¹⁾ではMOEとE_dとの相関係数は0.95と非常に高く、それに比べるとやや低い値にとどまった。この理由として、本試験では圧縮ヤング係数を全体の歪み量より算出しているため、材端部における接触部の摩擦、接触応力その他の2次応力の影響があり、圧縮ヤング係数の測定が困難であったこと、材内の垂直方向の材質変動が大きい元玉³⁾の柱材の、いずれかの端部から試験体を採取したため、採取位置により試験体間に材質の差があったこと等が考えられる。曲げ強度(MOR)と圧縮強度との相関係数は0.62、圧縮ヤング係数との相関係数は0.36であった。この関係については、これまでに実大材において報告された例がないため今後検討する必要がある。圧縮強度とMOEとの相関係数は0.67、E_dとの相関係数は0.64であったので、測定方法が簡便なE_dでもMOEからと同じ程度圧縮強度が推定できると思われる。

表 3 圧縮強度特性と曲げ強度特性単相関数

	E d	MOE	MOR
圧縮強度	0.64**	0.67**	0.62**
圧縮ヤング係数	0.80**	0.76**	0.36**

4. 構造用製材としての性能評価

JASに準拠して供試材を目視により等級区分し、各等級ごとの圧縮強度の分布を正規分布と仮定して表したものが図1である。年輪幅、節径比等により目視等級区分した各等級ごとの圧縮強度分布は、2級材と3級材では差が認められず、1級材は2、3級材に比べて強度が全体的にやや高いもののその差は小さかった。しかも各等級における強度の変動係数は全試験体の場合（表1参照）のものと変わらず、目視等級区分によって強度的なバラツキも抑えられていないことから、目視による等級区分では圧縮強度の高い材を選別するのは困難であるといえる。次に、各等級ごとに5%下限値を算出し、建築基準法施行令のJAS等級区分ごとの基準値と比較した（表4）。目視等級区分すると供試材の7割の材は1級であったが、5%下限値は約30kgf/cm²も基準値を下回った。2級の材も同じく約30kgf/cm²程度基準値を下回った。3級は試験体数が少なかったため速断はできないが、1、2級材と同様に5%下限値は基準値を大きく下回った。

続いて、曲げ試験の結果¹⁾を用いて機械等級区分を行った各等級ごとの圧縮強度の分布を正規分布と仮定して現すと図2のようになる。機械等級区分の各等級ごとの圧縮強度の分布は明らかに等級間に差が認められた。高い等級のものほど圧縮強度が高かった。また、各等級における変動係数も小さくなり、強度のバラツキも抑えられていた。このように機械等級区分することによりより圧縮強度をある程度選別することができた。さらに各等級ごとの5%下限値を建築基準法施行令の基準値と比較した（表5）ところ、機械等級区分では全試験体の50%をE70の材が、35%をE50の材が、占めていたが、E50では約10kgf/cm²、E70では約35kgf/cm²、5%下限値が基準値を下回った。E90、E110の材は本数が少なかったものの、これらもE90材は約45kgf/cm²、E110材は約50kgf/cm²も5%下限値が基準値を下回った。このように等級があがるほど下限値と基準値の差が開いた。

表 4 目視等級毎の強度性能の評価

	本数	平均強度 (kgf/cm ²)	変動係数 (%)	5%下限値 (kgf/cm ²)	基準値 (kgf/cm ²)
1 級	198	238.2	15.4	177.8	210
2 級	69	219.0	16.1	161.1	195
3 級	14	(219.8)	(17.4)	(156.9)	180

() は本数が少なかったため付けた。

表 5 機械等級毎の強度性能の評価

	本数	平均強度 (kgf/cm ²)	変動係数 (%)	5%下限値 (kgf/cm ²)	基準値 (kgf/cm ²)
E110	5	(325.1)	(11.0)	(266.2)	315
E90	35	(271.1)	(10.0)	(226.7)	270
E70	130	239.3	12.9	188.7	225
E50	105	208.9	11.8	168.3	180

() は本数が少なかったため付けた。

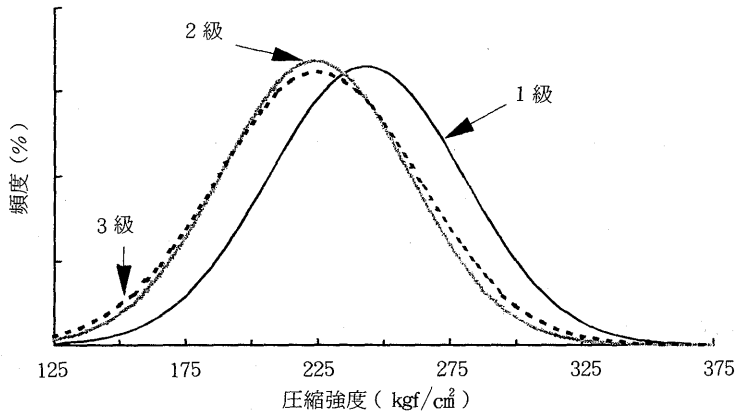


図 1 JAS目視等級別圧縮強度分布

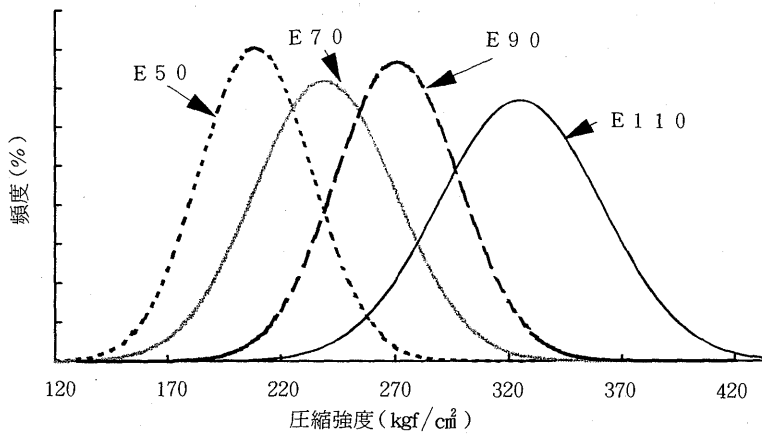


図 2 JAS機械等級別圧縮強度分布

未成熟材を多く含むスギ一般材の場合、MOEによる機械等級区分した材のすべてが各強度の圧縮強度の基準値を下回っていた。これは、川上らが曲げ試験において各等級ごとの曲げ強度（MOR）が各等級の基準値をすべて上回っていたことと大きく異なる¹⁾。このことからスギ一般材に圧縮強度が強く求められる部分に利用する場合には注意を要する。すなわち、スギ一般材では、機械等級区分した場合も各等級ごとの材はその等級の相応しい圧縮強度性能を保証できないため、現実的にこれを回避するには、各等級の材を一ランク落として使用するしかない。例えば、E90の材はE70の材として、E70の材はE50の材として使用するのであれば、圧縮強度性能も完全に保証することができる。このようにスギ一般材の場合は曲げ強度性能と圧縮強度性能に大きな相違があり、使われる用途や場所に応じた保証のやり方が必要であると言えよう。この原因については今後さらに検討する予定である。

IV 結 言

正角に製材した鳥取県産スギ一般材について、実大短柱圧縮試験を行い構造用材としての性能を検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 鳥取県産スギ一般材は、建築基準法施行令の材料強度に比べ、すべての等級においてその材料強度が低い値を示した。これは材質の不安定な未成熟材を多く含むことによるものと考えられる。
- (2) 正角材を圧縮強度によって選別する場合、目視による選別は困難であり機械等級区分を行うことが有効である。その場合、測定方法が簡便な動的ヤング係数測定法でも静的試験と同程度の効果が期待できると考えられる。
- (3) スギ一般材において、節は強度を低減させる因子ではなかった。

文 献

- 1) 川上敬介：鳥取県産スギ一般材の材質特性（第1報）—実大材曲げ強度性能の評価—，第7回木材学会中四国支部大会発表要旨集，pp.28～29（1995）
- 2) 中井 孝：国産造林木の材質—スギ正角材の実大曲げ強度—，木材工業39（11），pp.42～46（1984）
- 3) 深沢和三：スギ樹幹内の材質変動に関する研究—産地を異にする林木樹幹の未成熟材などの区分とその材質特徴—岐大農研報，25，pp.47～128（1967）
- 4) 平成5年度鳥取県林業統計（1994）
- 5) 木材強度・木質構造研究会：構造用木材—強度データの収集と分析（1988）