

島根県産スギ平角材の強度性能

越智俊之・中山茂生*

Strength Properties of Sugi (*Cryptomeria japonica*) Flat Square in Shimane Prefecture

Toshiyuki OCHI, Shigeo NAKAYAMA*

要 旨

島根県産スギ心持ち平角材の強度性能を把握するために、縦振動法による動的ヤング係数 (Efr) の測定および実大曲げ試験を行った。目視等級区分の結果、1級が63本、2級が82本、3級が11本、級外が4本あった。仕上げ時のEfrによって機械等級区分を行った結果、E50が17本、E70が69本、E90が63本、E110が10本、E130が1本あり、E70以上の試験材は約90%を占めていた。曲げヤング係数 (MOE) および曲げ強度 (MOR) の平均値は、それぞれ7.74kN/mm² (標準偏差1.41kN/mm²)、38.2N/mm² (同7.4N/mm²) であった。MORの最小値は23.1N/mm²であり、すべての試験材がスギ無等級材の基準強度を上回った。丸太時のEfr、仕上げ時のEfr、MOEは、それぞれMORとの間に相関関係が認められた。MORを正規化順位し、上位から25%ずつに区分した結果、各区分で破壊形態の割合が異なっていた。脆弱型の破壊形態は、他の破壊形態に比べてMOEが低く、荷重点間の引張面側の節径の合計が多いことが明らかとなった。

I はじめに

島根県のスギ人工林面積は78,628haあり、その蓄積量も年々増加している (島根県農林水産部森林整備課, 2006)。特に、7～10齢級の蓄積量が1,634万m³であり、スギ全体の蓄積量の約63%を占めている。これまでスギ材は、木造住宅の柱や板といった利用がほとんどであったが、直径の大きなスギ丸太を梁・桁材として利用する動きがみられる。しかし、県産スギ材の強度性能については、錦織ほか (1985) や中山ほか (1991) による正角材の報告はあるが、梁・桁材といった平角材に関する報告はなされていない。そのため、スギの梁・桁材を設計・施工するための客観的なデータが求められていた。そこで、梁・桁材としての県産スギ平角材の強度性能を把握するために、実大曲げ試験を行った。

なお、本報の一部は2006年度日本木材学会中国・四国

支部研究発表会 (香川) にて発表した。

II 試験方法

1. 供試丸太

県内の原木市場または素材生産業者から末口径24～28cm、長さ4m (29～73年生) の島根県産スギ丸太を合計160本入手し、試験に供した。

2. 丸太の外観調査

供試丸太は、平均年輪幅、曲がり、心材率、細り、偏心率、節を調査した。外観調査後に、幅130mm×せい230mmの心持ち平角材に製材した。

3. 平角材の外観調査

製材後は、天然乾燥または人工乾燥により平角材の乾

* 島根県農林水産部林業課

燥を行った。天然乾燥は、試験材120本を当センターの屋外土場で8～10ヶ月間乾燥させた。人工乾燥は、試験材40本を最高温度65℃の蒸気式中温乾燥で行った。天然乾燥を施した試験材については、乾燥期間中に毎月1回寸法、重量および材面割れを計測した。天然乾燥および人工乾燥の乾燥終了後に幅120mm×せい210mmにモルダー仕上げを行った。仕上げ後の平角材について、平均年輪幅、曲がり、丸身、節を調査し、針葉樹の構造用製材の日本農林規格（JAS）に準拠し、目視等級区分を行った。

4. 動的ヤング係数の測定

縦振動法による動的ヤング係数 (Efr) の測定を丸太時、製材直後、乾燥終了時、仕上げ後に行った。また、みかけの密度を算出するため、丸太時には末口径、元口径、長さおよび重量を計測した。同様に、製材直後、乾燥終了時、仕上げ後では寸法、長さおよび重量を計測した。縦振動法の測定には、リオン(株)製「精密騒音計NL-14」および日本電気三栄(株)製「シグナルプロセッサDP6102」を使用した。

仕上げ後のEfrにもとづいて、JASの機械等級区分を行った。

5. 実大曲げ試験

実大曲げ試験は、構造用木材の強度試験法に準拠し3等分点4点荷重方式（全スパン3,780mm）で行った（財

日本住宅・木材技術センター，1999）。そして、曲げヤング係数（MOE）と曲げ強度（MOR）を測定した。試験機は、(株)前川試験機製作所製「IPA-100R-F」を使用した。破壊した試験体から含水率試験片を採取し、全乾法により試験時の含水率を求めた。

曲げ強度に影響を与える因子を検討するため、単回帰分析を行った。因子は、平均年輪幅・含水率・密度・最大節径比・仕上げ時のEfr・MOEとした。

破壊後の試験体の破壊形態をASTMの曲げ破壊型に従って分類した（渡辺，1978）。破壊形態ごとのMOEと荷重点間の引張面側の節径について解析した。解析には、Kuraskal-Wallis検定およびScheffeの多重比較検定を用いた。

III 結果と考察

1. 丸太の外観調査

供試丸太の外観調査結果を表1に示す。平均年輪幅の平均値は4.0mm（標準偏差1.1mm）であった。曲がり、心材率の平均値は、それぞれ5.0%と48.9%であった。偏心率の平均値は、元口が末口に比べてやや高い値となったが、変動係数はほぼ同じであった。

2. 平角材の外観調査

天然乾燥終了時の含水率および割れの合計長さを表2に示す。含水率は、実大曲げ試験後に採取した含水率試

表1 丸太の外観調査結果

	平均年輪幅 (mm)	曲がり (%)	心材率 (%)	偏心率	
				末口(%)	元口(%)
平均値	4.0	5.0	48.9	4.0	6.0
最大値	7.1	16.7	65.5	13.9	25.0
最小値	2.2	0.0	26.7	0.0	0.7
標準偏差	1.1	4.3	6.8	2.6	4.0
変動係数(%)	28.4	87.4	13.9	64.1	67.7

表2 天然乾燥終了時の含水率と割れの合計長さ

	含水率 (%)	狭い材面		広い材面	
		木口割れ (mm)	材面割れ (mm)	木口割れ (mm)	材面割れ (mm)
平均値	21.1	857	7,304	853	7,276
最大値	51.2	2,288	12,629	2,056	12,816
最小値	13.8	197	953	162	1,056
標準偏差	6.6	440	2,573	406	2,571
変動係数(%)	31.1	51.3	35.2	47.6	35.3

※試験体数は120本

験片の全乾重量をもとに算出した推定値である。含水率の平均は21.1%（標準偏差6.6%）であり、D20以下まで含水率が低下した試験体の割合は46.7%であった。狭い材面（120mm）および広い材面（210mm）のいずれにおいても、割れ長さの合計はほぼ等しくなっていた。

目視等級区分の結果、1級が63本、2級が82本、3級が11本、級外が4本あった（図1）。平角材の平均年輪幅の平均値は、5.5mm（標準偏差1.6mm）であった。丸太の平均年輪幅は4.0mmであったが、平角材に製材することによって比較的年輪幅の狭い辺材部が取り除かれたと思われる。

3. 動的ヤング係数（Efr）

Efrの測定結果を図2に示す。Efrは、製材直後に比べて乾燥終了後にいったん上昇するが、仕上げ加工によ

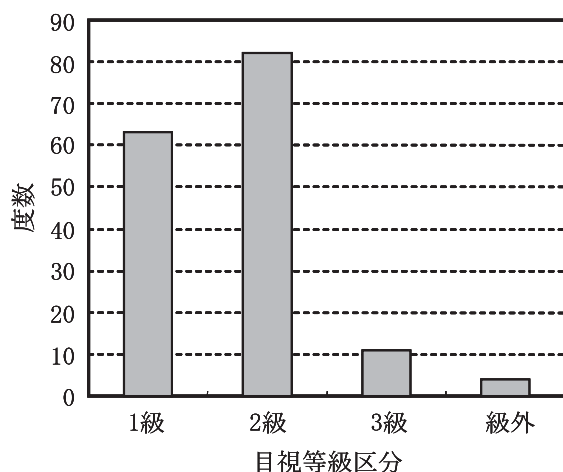


図1 目視等級区分結果

て強度の高い辺材部が取り除かれることで若干低下した。仕上げ時のEfrの平均値は、丸太時のものに比べて5.0%（標準偏差9.2%）上昇した。同様に、製材直後と比べても5.2%（同4.5%）上昇した。

仕上げ時のEfrによって機械等級区分を行った結果、E50が17本、E70が69本、E90が63本、E110が10本、E130が1本あった（図3）。E70以上の試験材が約90%を占めていた。

4. 実大曲げ試験

MOEおよびMORの平均値は、それぞれ7.74kN/mm²（標準偏差1.41kN/mm²）、38.2N/mm²（同7.4N/mm²）であった（表3）。MORの最小値は23.1N/mm²であり、すべての試験材が建築基準法施行令に定めるスギ無等級材の基準強度（22.2N/mm²）を上回っていた。試験時の含水率の平均値は、

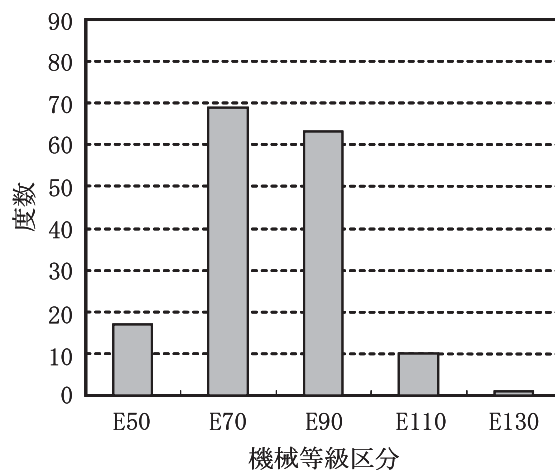


図3 機械等級区分結果

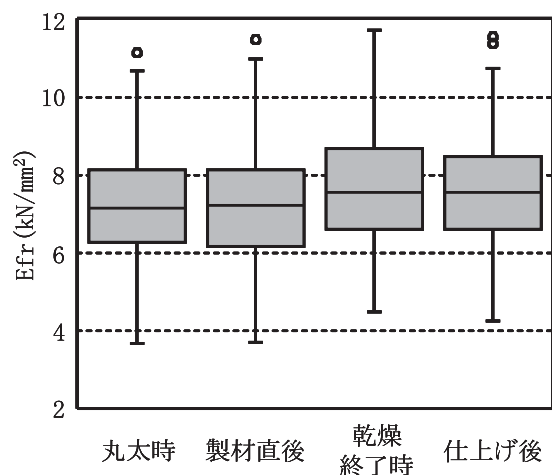


図2 各測定時のEfr

表3 実大曲げ試験の結果

	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	MOE (kN/mm ²)	MOR (N/mm ²)
平均値	401	19.3	7.74	38.2
最大値	574	51.2	11.82	64.3
最小値	301	10.5	4.43	23.1
標準偏差	45	6.8	1.41	7.4
変動係数(%)	11.2	35.1	18.3	19.4

※密度は試験時の密度
 ※含水率は天然乾燥および人工乾燥した試験材をあわせて集計した

19.3%（標準偏差6.8%）であった。含水率のバラツキが大きかったため、MOEやMORについては、含水率補正を行わず分析を行った。先に述べたように、天然乾燥によって含水率が20%以下まで乾燥した試験材は、46.7%（120本中56本）であった。一方、人工乾燥をし

た試験材では、95%（40本中38本）が20%以下まで乾燥していた。

MOEとMORの間には相関関係が認められた（図4、 $R^2=0.4836$ ）。また、仕上げ時のEfrとMORの間にも相関関係が認められたため、縦振動法によるEfrの測定によ

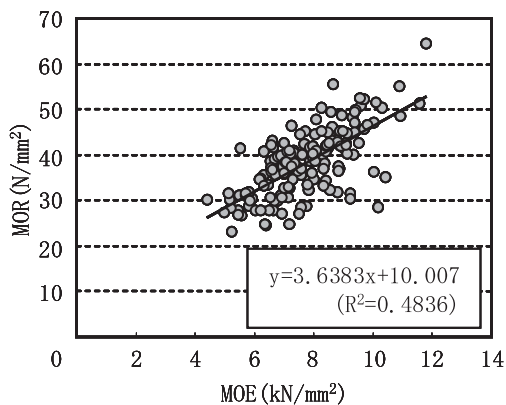


図4 MOEとMORの関係

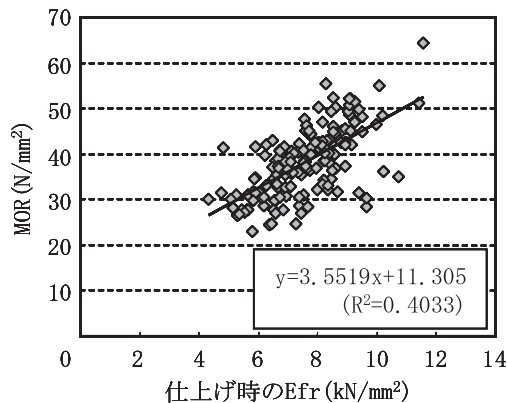


図5 仕上げ時のEfrとMORの関係

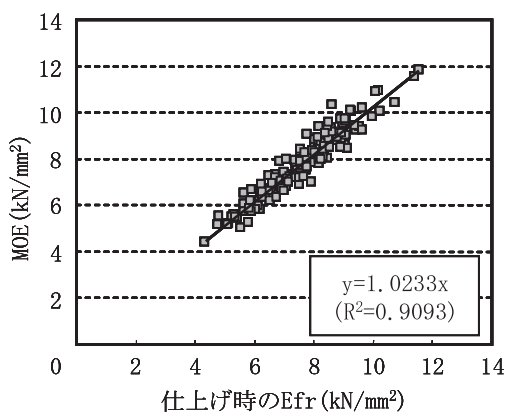


図6 仕上げ時のEfrとMOEの関係

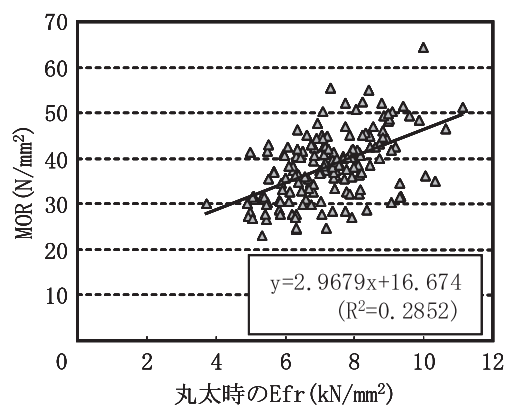


図7 丸太時のEfrとMORの関係

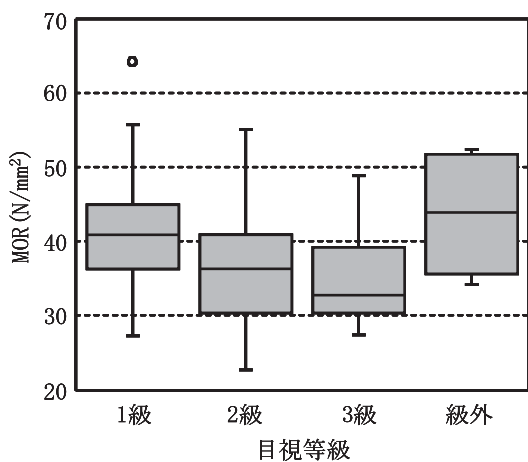


図8 目視等級区分ごとのMOR

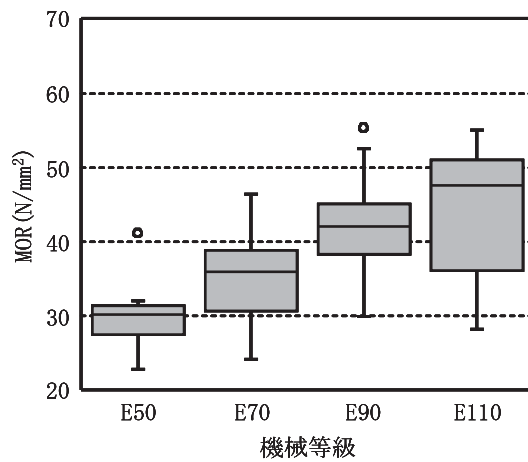


図9 機械等級区分ごとのMOR

表4 曲げ強度と各因子の相関関係

	平均年輪幅	含水率	密度	最大節径比	Efr	MOE
MOR	-0.455 ***	0.028	0.426 ***	-0.343 ***	0.635 ***	0.695 ***
平均年輪幅		-0.416 ***	-0.535 ***	0.457 ***	-0.548 ***	-0.568 ***
含水率			0.690 ***	0.242 ***	0.285 ***	0.316 ***
密度				-0.255 ***	0.658 ***	0.684 ***
最大節径比					-0.335 ***	-0.422 ***
Efr						0.954 ***

※最大節径比は広い材面の材縁節を示す

※Efrは仕上げ時のEfrを示す

※*** : p<0.001

て曲げ強度をある程度推定することが可能である(図5, $R^2=0.4033$)。仕上げ時のEfrとMOEの間には、強い相関関係が認められ、回帰直線の傾きからEfrとMOEはほぼ等しい値であることがわかった(図6, $R^2=0.9093$)。丸太時のEfrとMORの間には、MOEや仕上げ時のEfrに比べると弱い相関関係が認められた(図7, $R^2=0.2852$)。

目視等級区分ごとに集計したMORを図8に、機械等級区分ごとに集計したMORを図9に示す。目視等級区分の2級と3級でMORの平均値や標準偏差がほぼ等しかった。機械等級区分では、等級が上がるにつれてMORも高くなる傾向があった。

単回帰分析の結果、MORに影響の大きい因子は、MOEと仕上げ時のEfrであった(表4)。平均年輪幅や最大節径比は、ヤング係数に比べて相関係数が低かった。

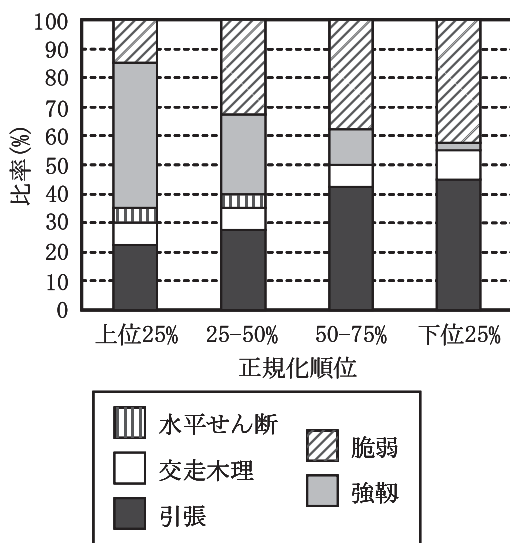


図10 MORの正規化順位区分と破壊形態

5. 破壊形態

試験体の破壊部を観察した結果、破壊形態は引張型・交走木理型・水平せん断型・強靱型・脆弱型の5種類に区分された。MORと破壊形態の関係を調べるため、MORを正規化順位し、上位から25% (40本) ずつに区分して、破壊形態を集計した(図10)。その結果、上位

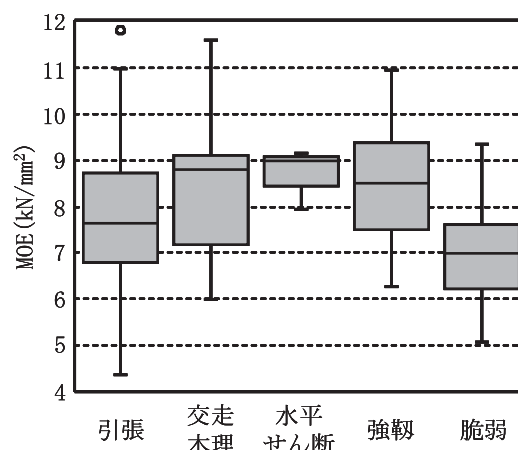


図11 破壊形態ごとのMOE

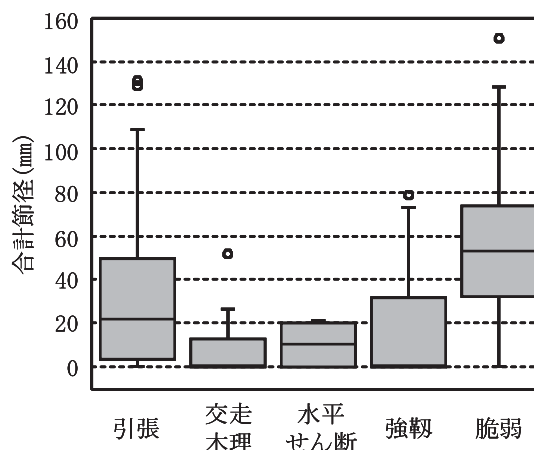


図12 破壊形態ごとの荷重点間の引張面側の節径

25%では強靱型で破壊した試験体が多いことがわかった。引張型と脆弱型は正規化順位が低い区分にあるほど増加する傾向が認められた。

図11は破壊形態ごとにMOEを集計したものを、図12は破壊形態ごとに集計した荷重点間の引張面側の節径の合計を示す。MOEと節径の合計について、それぞれKuraskal-Wallis検定を行った結果、有意差が認められた(MOE ; $p < 0.001$, 節径の合計 ; $p < 0.001$)。そこで、Scheffeの多重比較検定を行い、どの破壊形態の間で有意差が認められたかを検討した。その結果、MOEについては、水平せん断型を除く破壊形態と脆弱型の間で有意に低いことが認められた(引張型 ; $p = 0.037$, 交走木理型 ; $p = 0.025$, 強靱型 ; $p < 0.001$)。節径の合計においても、水平せん断型を除く破壊形態と脆弱型の間で有意に多いことが認められた(引張型 ; $p = 0.023$, 交走木理型 ; $p < 0.001$, 強靱型 ; $p < 0.001$)。そのため、脆弱型の破壊形態では、他の破壊形態に比べてMOEが低く、荷重点間の引張面側の節径の合計が多いことが明らかとなった。

IV おわりに

本報の結果から、県産スギ心持ち平角材の強度性能は、

建築基準法施行令に定めるスギ無等級材の基準強度を上回っていた。そのため、スギを梁・桁材として使用することには問題ないといえる。ただし、梁・桁といった部材は屋根等の垂直荷重が長期間にわたってかかるため、曲げ強度やヤング係数だけではなく、クリープについても今後検討する必要があると思われる。

なお、本報の結果をふまえて、「島根県産スギ横架材スパン表」を作成した。

引用文献

- 島根県農林水産部森林整備課 (2006) 森林資源関係資料
中山茂生・錦織 勇・池淵 隆・安井 昭 (1991) 島根県産スギ造林木の強度性能 —スギ正角材の曲げ強度—
— 島根県林技セ研報42 : 17-36.
- 錦織 勇・中村正樹・勝部理市・安井 昭 (1985) 構造用製材の強度性能 (I) —スギ正角材の曲げ強度—
— 島根県林技セ研報36 : 9-17.
- 渡辺治人 (1978) 木材理学総論
財団法人住宅・木材技術センター (1999) 構造用木材の強度試験法

Strength Properties of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) Flat Square
in Shimane Prefecture

Toshiyuki Ochi, Shigeo Nakayama

ABSTRACT

Bending strength tests and measurement of dynamic modulus of elasticity (DMOE) by tap method conducted on the boxed-heart flat square of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) in Shimane prefecture. The result of visual grading, grade 1 was 63, grade 2 was 82, grade 3 was 11 and outside grade was 4. Also, the result of machine stress grading, E50 was 17, E70 was 69, E90 was 63, E110 was 10 and E130 was only one. The average value of modulus of elasticity in bending (MOE) and modulus of rupture in bending (MOR) was 7.74kN/mm^2 (standard deviation 1.41kN/mm^2) and 38.2N/mm^2 (7.4N/mm^2), respectively. All examination materials exceed the standard in 1452nt article of the 'Building Standard Law' because of the minimum value of MOR was 23.1N/mm^2 . DMOE of log, DMOE of flat square and MOE were significant positive correlations with MOR. The proportion of the destruction form in bending strength test was different at each division that MOR was divided from strong one by 25% .

