

スギ台風被害木の材質および利用適正

藤本, 登留
九州大学農学部林産学科

久富, 浩人
九州大学農学部林産学科

藤元, 嘉安
九州大学農学部林産学科

河辺, 純一
九州大学農学部林産学科

他

<https://doi.org/10.15017/10916>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 73, pp. 35-42, 1995-12-28. 九州大学農学部附属演習林
バージョン :
権利関係 :



スギ台風被害木の材質および利用適性*

藤本 登留**・久富 浩人**・藤元 嘉安**

河辺 純一**・又木 義博**

抄 録

九州の台風被害木の基礎的材質が確かめられた。モメを含んだスギ材の標準曲げ試験の結果、曲げ破壊係数が正常材に比べ非常に低いものの、曲げヤング係数には大きな差は見られなかった。同時に測定された AE の発生は、正常材では比例限度応力以降に見られたが、モメを含む場合負荷開始時点から発生が認められた。

モメが生じている丸太横断面内の強度性能分布が調査された。曲げ破壊係数と比例限度応力はモメ発生位置と同様な分布を示すが、タッピング法および曲げ試験におけるヤング係数の分布はモメの分布とは無関係であった。

平割材の材長方向のモメ発生分布と E_{ap} (見かけの曲げヤング係数) の分布との対応が調査された。その結果、曲げ応力が大きいほど、また、材厚が薄く断面内のモメの割合が増すほど、モメ発生位置との対応が見られた。

モメを含む接着面の接着せん断試験が行われた。木破率はモメを含まないものと差は見られなかったが、接着せん断強さは有意な低下が見られた。

キーワード：台風被害木、スギ、モメ、曲げ破壊係数、曲げヤング係数、AE、接着性能

1. はじめに

1991年の台風17, 19号が契機となり、風害木丸太の生産が山林の整理、再生林と共に継続的に行われている。さらに追い打ちをかける台風による風害の発生もみられ、今後とも九州に於けるスギを中心とした造林木の風害を受けた材の利用開発は避けることのできない問題であろう。中でも厄介なのは、存在位置が明確でない材内に発生した部分的な圧縮破壊(モメ)による品質低下が大きな問題として挙げられる。各種被害形態を持つ被害木の採材で参考となるモメの林木内発生分布は調査された(藤本ら, 1994)が、それらモメを含んだ材を構造材として使う場合、強度的性能の解明は不可欠な研究課題となる。

本報告では、モメを含んだスギの標準曲げ試験を実施すると共に、エンドマッチしたモメを含まない材についても試験して、モメによる強度の低減を検討した。さらに、丸太横断面内のモメの分布に対応した強度性能の分布を検討した。すなわち、非破壊による簡易なストレスグレーディングとして振動法を取り上げ固有振動周波数によるヤング係数を測定すると共に、静的な曲げ破壊係数、曲げヤング係数、曲げ比例限度応力のそれぞれにつ

* FUJIMOTO, N., HISATOMI, H., FUJIMOTO, Y., KAWABE, J and MATAKI, Y. : Some Availabilities of Lumbers from Sugi (*Cryptomeria japonica*) Tree Damaged by Typhoon.

** 九州大学農学部林産学科

Department of Forest Products, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812

いてその横断面内分布を測定した。次に、平割材のモメ発生部の強度的性能の低減の測定方法として、材長方向の曲げ剛性分布を求める部分中間たわみ測定法を取り上げて、その可能性について検討した。

また、モメ等の部分的欠点を含む材の有効利用としては、集成化が考えられる。しかし、モメ部の接着強度の低下が懸念されるため、その接着せん断試験を実施して、集成材への加工利用適性についても若干の検討を加えた。

2. 実験方法

2.1. 曲げ強度試験

福岡県星野村の樹齢30～32年生スギ台風被害木（湾曲木、折損木、倒伏木、直立木）を3cm厚にだら挽して天然乾燥し、その後モメを含む標準曲げ試験体を作製した。寸法は $2 \times 2 \times 32$ cmで、長さ方向ほぼ中央にモメがくるよう気乾状態で供試した。エンドマッチさせたモメを含まない正常試験体もそれぞれ比較試験のため同時に作製した。曲げ試験は、スパン28cm、負荷速度5mm/minの中央集中荷重方式で、モメがある場合は引張面に大きなモメがくるようにした。モメは横断面外周の50%以上に認められる試験体と20%以下に認められる試験体に分け、それぞれをモメ大とモメ小とし、別々に正常試験体と比較した。

また、上記のモメがあるものと無いもので、モメを避けた中央荷重点下部の引張面にセンサ（共振周波数150kHz）を両面テープで取り付け、曲げ試験時に発生するAE信号をプリアンプで40dB、ディスクリミネータで40dB増幅し、しきい値200mVで検出されるAEの累積発生数の推移を調べた（奥村ら、1991）。

さらに、九州大学粕屋演習林のスギ湾曲木の地上高3～6mにあったモメ発生部横断面内の各位置から $2 \times 2 \times 30$ cmの標準曲げ試験片を木取り、振動法によるヤング係数（祖父江ら、1991）をFFTアナライザー（エーアンドディー社製）で測定後、モメ発生部を中央集中荷重の位置にした曲げ強度性能の分布についても若干の検討を加えた。

2.2. モメを含む平割材の曲げヤング係数の材長方向分布

大分県日田地方の製品市場から材面にモメを含む3mの10.5cm心持ち正角材を選び、モメ発生面とその反対面から厚さ3.5cm、幅6cmの平割材を木取った。曲げヤング係数の材長方向分布測定は、又木らの手法に基づき部分測定スパン長を20cm、測定間隔を10cmとし、1/100mm精度のダイヤルゲージで部分中間たわみを実測した（又木ら、1987）。曲げモーメントを生じさせる重りをそれぞれ変えて、曲げ応力27～132kgf/cm²の範囲で変えた場合の部分中間たわみ量を測定したが、試験材が厚いときなどたわみが小さいため、低い曲げ応力では測定できない場合もあった。さらに、平割材はモメが少ない木裏側を自動一面かんな盤で削り、2.8cm、2.0cmにして同様な測定を繰り返した。

ここでモメ発生割合が大きく、曲げ応力が大きい場合、比例限度域を越えたたわみ量でヤング係数を算出することになる。そこで、本報告では見かけの曲げヤング係数（ E_{ap} ）として、以下示すことにする。

2.3. モメを含む接着面の接着性能試験

強度的に劣るモメを含む材を、集成化して構造材として使用する手法も、有効利用の一方策として考えられる。その際、特に心配される接着性能を調べるため、JAS規格に準じた接着せん断試験片を片面にモメが存在する様に作製し、接着せん断試験を実施した。ここで積層接着は、天然乾燥材をプレーナ仕上げして、フェノール・レゾルシノール共縮合樹脂接着剤（硬化剤15部、増量剤10部）にて圧力8 kgf/cm²で5日間クランプ圧縮することにより実施した。

3. 結果および考察

3.1. 曲げ強度試験

曲げ強度性能におけるモメの影響を Table 1 に示す。モメ発生材と繊維方向にエンドマッチさせた正常材との比較試験であるため、全て丸太横断面の比較的外周部から木取ったものとなった。比重、年輪幅、含水率はどの試験材も殆ど変わりは無かった。モメによる曲げ破壊係数の低下率は、モメ大で51%、モメ小で18%である。モメ大の材のばらつきが大きかったものの、それぞれ1%および5%の危険率で正常材との有意差がみられる。比例限度応力も同様に、モメ大で1%、モメ小で5%の危険率で正常材との有意差がある。一方、曲げヤング係数は、モメ大で5%の危険率で有意差があるものの低下率が10%程度で、モメ小では差が無い。以上の結果を荷重—たわみ曲線でモデル的に示すと、Fig. 1 のようになる。今回は、モメ発生面をなるべく引張面にくるように曲げ試験を実施したが、この場合、低い引張強度をもつモメ発生部の部分的破壊が生じる比例限度付近までは、たわみについては大きな影響を与えないため、曲げヤング係数の低下があまり見られない。しかし、その後モメ発生部で比較的低い荷重から部分的な破壊が生じはじめ、結果的に比例限度応力と破壊係数についてはその影響で大きく低下するものと考えられる。以上の結

表1 スギ台風被害材のモメ発生部と正常部の曲げ強度性能
Table 1 Result of bending test for standard testing specimen of sugi with mome and free from mome.

Specimen	MOR (kgf/cm ²)	MOE (tonf/cm ²)	Sp (kgf/cm ²)	S.G.	A.R.W. (mm)	M.C. (%)	N
Free from mome	738 (67) **	81.4 (6.3) *	378 (75) **	0.43	2.6	9.4	14
With mome (severe)	365 (138)	73.1 (8.4)	192 (80)	0.42	2.5	9.2	14
Free from mome	700 (72) **	82.4 (7.8)	298 (49) *	0.42	2.3	9.2	8
With mome (no severe)	575 (91)	82.4 (8.2)	233 (43)	0.42	2.4	9.3	8

MOR : Modulus of rupture, MOE : Modulus of elasticity, Sp : Stress at proportional limit, S.G. : Specific gravity, A.R.W. : Annual ring width, M.C. : Moisture content, N : Number of specimen, () : Standard deviation, * : Significant difference at 95% level, ** : Significant difference at 99% level.

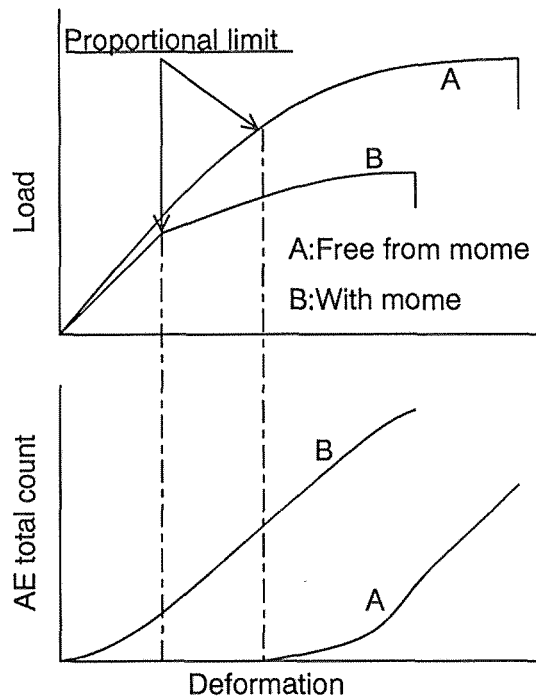


Fig. 1 Schematic deformation-load and AE total count diagrams in bending for both lumbers free from mome (A) and with mome (B).

図1 曲げ試験における応力-たわみ線図と AE 発生経過

果は、宮島 (1959) の結果と類似しており、Trendelenburg (1940) や生状態で試験した松村ら (1993) の結果と異なるものであった。

同時に、曲げ試験時におけるモメ発生部の AE の測定を行った。Fig. 1 に荷重-たわみ曲線に対応した AE 累積発生数の推移を示す。モメが無い無損傷材は、比例限度応力までは AE の発生は見られず、その後放物線的に増加していった。一方、モメを持つ材は荷重をかけ始めた時点から AE の発生が見られ、破壊応力まで継続的な AE 累積発生数の増加が見られる。AE は、微小な部分の破壊によりエネルギーが解放して発生する弾性波である。すなわち、無損傷材の例でわかるように弾性域を越え塑性域に入ると微小部分で破壊が生じているということが出来る。しかし、モメ発生部分の AE の推移を見ると、既に圧縮破壊をした部分は小さな応力（おもに今回の試験では引張応力）で、さらに部分的な破壊が生じている。これは、荷重-たわみ曲線で見られる、見かけ上の弾性-塑性域の荷重域の区分とは異なるものである。

次に、樹幹周囲の半分以上にモメが確認された湾曲木の強度性能の横断面内分布を調査した。その結果を Fig. 2 に示す。まず、試験片のモメがその外周面のどのくらいの割合で入っているかをみると、樹幹横断面の風下側と考えられる方向の試験片では全面にモメが見られ、またそこから樹幹外周面にわたる試験片に比較的多くのモメが存在するが、風上側とそこから樹幹横断面中央部にかけての試験片にはモメが見られない。これらの試験

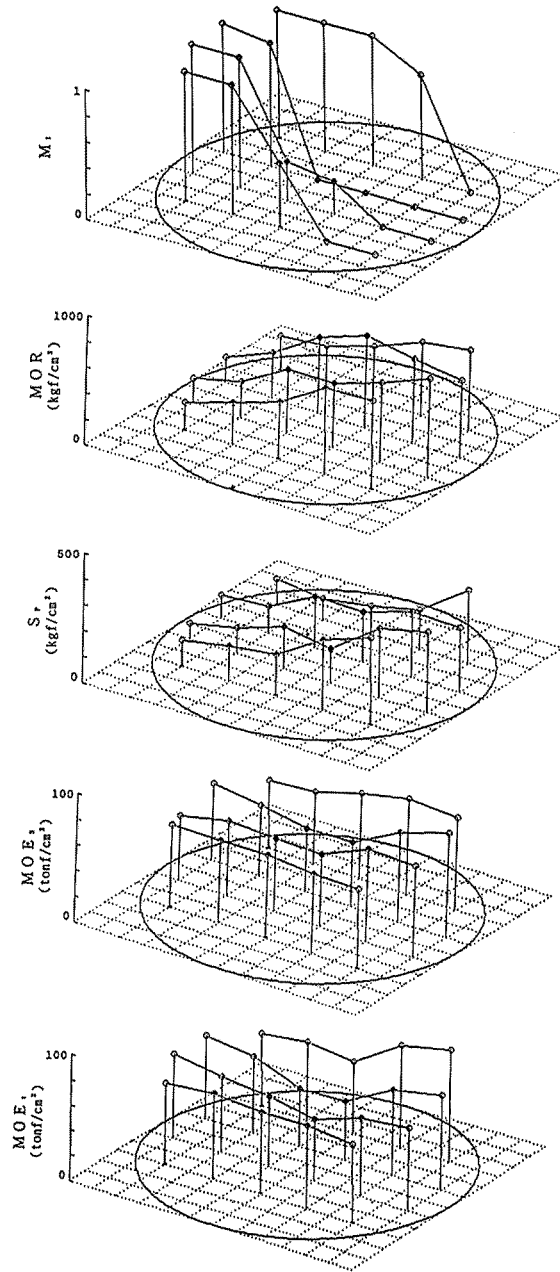


Fig. 2 Location of mome and distributions of mechanical properties on a cross section of the stem damaged by typhoon.

- legend : M_1 : Incidence of mome.
 MOR : Modulus of rapture.
 S_p : Stress at proportional limit.
 MOE_s : Modulus of elasticity measured by static test.
 MOE_t : Modulus of elasticity measured by tapping method.

図2 モメを含む樹幹横断面内の強度性能分布

片について振動法（打撃による縦方向固有振動数の測定：タッピング法）によるヤング係数の分布を測定すると、モメの有無による差はほとんど無いようである。その後、同じ試験片で前述と同様の曲げ試験をした。曲げヤング係数は、若干モメ発生位置で低い傾向が見られるものの、ほぼタッピング法と同じように樹幹横断面中央部で低く、外周面で高い傾向がある。一方、曲げ破壊係数と比例限度応力は、前記の結果と同様にモメが著しいほど低い傾向が明確で、樹幹横断面内の風下側と風上側の差が非常に大きいことがわかる。

3.2. モメを含む平割材の E_{ap} （見かけの曲げヤング係数）の材長方向分布

平割材のモメ発生位置および程度と、 E_{ap} の材長方向分布について測定した結果の一例を Fig. 3 に示す。ここで、厚さ35mmの場合モメは損傷程度が91%、85%、50%、51%を

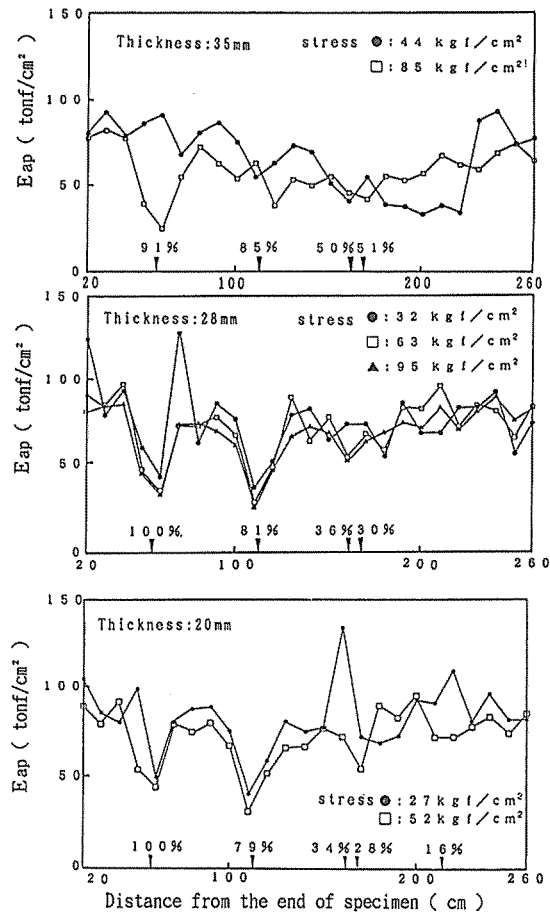


Fig. 3 Localization of E_{ap} of the lumber with momes throughout whole length.

Note ; E_{ap} : Apparent MOE.

▼ : Proportion of length of mome to the external length of whole cross section at each position.

図3 モメを含む平割材の E_{ap} の材長方向分布

の4箇所見られた。44kgf/cm²の曲げ応力を均一にかけた場合、これらの位置でE_{ap}の大きな低下は見られなかった。一方、85kgf/cm²の曲げ応力をかけたときには、91%の損傷程度の位置で大きなE_{ap}の低下が認められる。これは、前述した様にモメ発生材は比例限度応力まではヤング係数の減少は小さく、比例限度応力を越えてからのたわみ量が応力に比べ非常に大きくなる現象と一致する傾向である。しかし、他のモメ発生位置ではE_{ap}の低下の程度は小さい。すなわち、モメの程度と与えられる曲げ応力の大きさで、モメを含む材のE_{ap}の分布は左右されるものと考えられる。さらにモメが少ない面をプレーナ加工して厚さ28mmにすると、32・63・95kgf/cm²のどの曲げ応力の時も、100%と81%の損傷程度をもつモメの位置で大きな低下を示す。20mmの厚さにした時も、同様な結果であった。以上のように、同じ様な曲げ応力でも薄い材厚ほどモメの影響によるE_{ap}の低下が比較的明確になる。今回は、一般のスギ材の強度低下につながらないような曲げ応力の低さで実施しており、その際50%以下の低いモメの損傷程度の位置ではE_{ap}の落込みはほとんどなかった。

なお、モメを多く含む正角材面の反対面から木取ったモメが見られない平割材は、E_{ap}の材長方向分布はほぼ均一であった。

3.3. 接着性能

モメ発生部と正常材を接着したもの、および正常材どうしを接着したものの接着せん断強さと木破率について比較試験した。その結果をTable 2に示す。モメの程度は、せん断試験片の接着面の幅方向にわたり肉眼で確認できるものの、厚さ1cmのラミナの反対面には認められない程度である。せん断強さは1%の危険率で有意差がみられたが、木破率では差がない。木部がすでに破壊しているモメ部は、当然木破率の増大が考えられ、今回の様に木破率が正常材と差が無いが、あるいは大きくても、せん断強さは比較的低下することが予想され、それを裏付ける結果となった。

表2 被着面の一方にモメを含む集成材の接着性能
Table 2 Bonding properties of both laminated lumbars with mome and free from mome.

Specimen	Bonding strength (kgf/cm ²)		Wood failure (%)		N
	Av.	S.d.	Av.	S.d.	
With mome	54.0	18.2	43.1	25.5	12
		**		—	
Free form mome	70.5	16.0	43.7	22.5	12

These laminated lumbars were made with Phenol-resorsinol resin., N : Number of specimen, Av. : Average, S.d. : Standard deviation, — : No Significant difference at 95% level, ** : Significant difference at 99% level.

集成材のラミナとしてモメ発生材を考えた場合、モメ部の接着せん断強さが以上の様に劣るものの、平均では若干JAS規格を上回っており、モメの発生頻度も見かけ上正常な丸太からの挽板は集中するモメが見られないことから、実用上、正常部がモメ部を強度的に補うこととなり構造用集成材として十分利用可能になるとと思われる。ただし、接着耐久

性や実大の曲げ等強度試験のデータの蓄積と，ラミナの選別および集成材の構成方法等の検討が今後の課題である。

引用文献

- 藤本登留・久富浩人・又木義博 (1994) : 台風被害木の被害形態別モメ発生分布, 九大演報 70 : 75-88
- 又木義博・松本治郎 (1987) : スギ若齢木からの平割材における曲げ弾性係数の材内分布に関する統計的解析, 九大演報 57 : 229-243
- 松村順司・小田一幸・高田清次・堤壽一 (1993) : 台風被害を受けたスギ, ヒノキ材の破壊形態と力学的性質, 九大農芸誌 48 : 27-33
- 宮島 寛 (1959) : 風害木のモメについて, 北大演報 20 : 197-208
- 奥村正悟・祖父江信夫ら (1991) : 自動計測の基礎と応用, 木材の科学と利用技術II, 日本木材学会, pp. 64-68, 85-87
- TRENDELENBURG, R. (1940) : Uber Faserstauchungen in Holz und ihre Uberwallung durch den Baum. Holt als Roh-und Werkstoff. 3 : 209-221

(1995年6月2日受付; 1995年9月5日受理)

Summary

This paper is concerned with the availability of sugi wood damaged by the serious typhoon in Kyushu Island. The following results were obtained ;

1. In bending test, the MOR of the lumber with some partial compression failures (mome) was obviously smaller than that free from such a damage, however, the MOE of the former was almost the same as that of the latter.
2. In AE monitoring in bending test, AE signals of lumber free from the damage generated over the proportional limit of load-deformation diagram, but those of lumber with mome developed directly after the beginning of bending.
3. As was evident from the observation of the cross-sectional distributions of bending properties of lumber with mome, the localization of mome was similar not to both the distributions of the MOE in the static test and the tapping method but clearly to both the distributions of the MOR and the stress at proportional limit.
4. By the middle ordinate method under an uniform bending moment throughout the whole span of lumber, the significant correspondence could be observed between the localization of mome and the MOE along the length of lumber. Especially, it was certain that presence of mome more than 50% ratio to the whole cross section caused a low value evidently for the localized MOE.
5. There was significant difference not in wood failure, but surely in bonding strength between both the glue lines of lamina with mome and that free from mome.

Key words : lumbers damaged by typhoon ; *Cryptomeria japonica* ; mome ; MOR ; MOE ; AE ; bonding properties.