九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

スギ低質問伐材を芯ラミナとする集成材の強度設計，とくに断面構成による弾性係数の増大と均等化

原野，真由美
九州大学農学部木材工学講座

河辺，純一
九州大学農学部木材工学講座

又木，義博
九州大学農学部木材工学講座

https://doi.org/10.15017/23446

出版情報：九州大學農學部學藝雜誌. 47 (3/4), pp.223-229, 1993-03. 九州大學農學部
バージョン：
権利関係：

九大農学芸誌 (Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.)
第47巻 第3・4号 223-229 (1993)

スギ低質間伐材を芯ラミナとする集成材の強度設計，とくに断面構成による弾性係数の増大と均等化

原 野 真由美・河 辺 純 一・又 木 義 博
九州大学農学部木材工学講座
(1993年1月5日受理)

Cross-sectional Design of Glued Laminated Lumber Composed of Low-Grade Lumber from Sugi (Cryptomeria japonica) Thinning, Increase and Uniformity of Modulus of Elasticity

Mayumi HARANO. Jun-ichi KAWABE and Yoshihiro MATAKI
Department of Forest Products, Faculty of Agriculture,
Kyushu University 46-08, Fukuoka 812

1. 緒 言

スギの低質な間伐材の加工利用については，いまだ多くの課題が残されている．例えば，スギ間伐材を小割りした製材品では強度が低く，しかもその材長方向の変動がはげしいので，そのまま耐力部材として使用するには信頼性に乏しく，利用価値が低いことが確められている．

そこで，この研究では，資源の有効利用の立場から，良質材の無駄使いを抑えて，その長所をいかし，スギ低質間伐材の利用率を高めて，その短所を補う機能をもたせたサンドイッチ構造集成材の開発を目的とした．とくに，その断面構成による曲げ弾性係数の増大効果と均一化について検討し，強度設計上の若干の基礎的知見を得た．

2. 研 究 方 法

2.1 供試木および供試小割材

供試材は芯ラミナcとして20～25年生スギ間伐材から長さ3m，幅4cm，厚さ2cmの小割材を，また，表ラミナfとしてヒノキ，良質スギ，マトア材から長さ3m，幅4cmの挽板を用いた．

とくに表ラミナについては集成材に対する芯ラミナ厚比，すなわち集成材gの断面構成比αに応じて厚さ0.5～1.25cmの範囲内で4段階にとり，いずれも実大寸法にて気乾状態で所要本数を供試した(Table. 1)．

2.2 測定および解析法

供試した各ラミナと集成材については，材の両端をアームでつかみ，スライダーを介して水平内側方向に所定の荷重でひきよせて，偶力Fを負荷し，全長にわたって均等に曲げモーメントMを与えた．この状態において材長方向10cm間隔にダイヤルゲージ付き測定装置により，部分スパンLを20cmの部分中間たわみ量δを0.01mmの精度で実測した．

Table 1. Main properties of lamina prepared for test

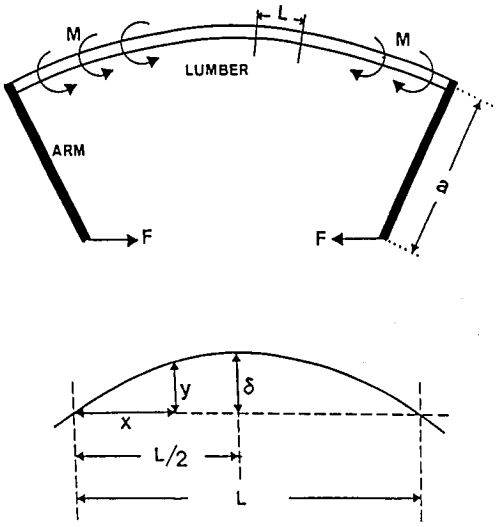
Lamina	Species	Specific gravity	Moisture content(%)
Core(c)	Sugi (Thinnings)	0.37	12.3
Face(f)	Hinoki	0.47	13.7
	Sugi	0.36	12.3
	Matoa	0.71	9.9

理論計算式にもとづいて，個々の測点における弾性係数Egを算出し，それによって一連の曲げ弾性係数MOEの材長方向分布を求め，かつその変動係数CVについても統計的に算出した(Fig. 1)．

なお，各ラミナと集成材のMOE測定における，各測点のスパン領域に存在する節などの欠点断面二次モーメント率ROIも，全材長にわたって1mm精度で実測算出し，ROIの材長方向分布を求めた．

2.3 集成材の製造

集成材の製造は，接着容易で常態強度も強く安定している酢ビ系接着剤を平方mあたり約250g塗布，堆積，5kgf/cm²で治具により圧締し，各材種組合わせで



* Uniform moment by a couple force (F) :
$M = axF$ …… (1)
* Fundamental equation for bending :
$d^2y/dx^2 = -M/EI$ …… (2)
where partial span, modulus of elasticity, cross-sectional moment of inertia, distance from partial span, and ordinate at its distance are L, E, I, x, and y respectively.
* By integrating (2), and substituting axF to M at $x = L/2$, the following equation is obtained : Middle ordinate $\delta = a\ F\ L^2/8\ E\ I$, thus
$E = 3\ a\ F\ L^2/2\ \delta b\ h^3$ …… (3)
where depth and width of lamina or laminated lumber are h and b respectively.

Fig. 1. Schetches of middle ordinate method for measuring modulus of elasticity (MOE) localized throughout the length of the piece of lumber subjected to uniform bending moment (M) exerted by a couple of forces (F), and determination of a middle ordinate (δ) within a measuring span (L).

各4種の断面構成比 α について，主に各3本，計41本の集成材を製造した．

3．結果と考察

3.1 曲げ弾性係数(MOE)と欠点断面二次モーメント(ROI)の材長方向分布の対応と表ラミナの樹種別比較

芯ラミナ，表ラミナおよび集成材のMOEとROIの材長方向分布の対応をみてみると，低質スギの芯ラミナでは，節が密に分散して多く存在するために，広く大きく分布するROIと，低い分布をとるMOEとは，材長方向の局所的対応は不明確である．

しかし，表ラミナがヒノキの場合，MOEとROIの材長方向分布は，節が断続的に集中して存在する部位（とくに，Fig. 2における材長方向距離30—40，90—100，240—250 cmのところ）において明確にROI大でMOE小といった局所対応をする．

そして，これらのラミナからの集成材の，ROIとMOEの材長方向分布は，表ラミナのそれらに大きく支配され，有意に対応することが認められる（Fig.2）．

また，表ラミナfが良質スギの場合のMOEとROIの材長方向分布の対応をみてみると，ヒノキの場合に比べて，各ラミナのMOEが近い値を示すため，明瞭で

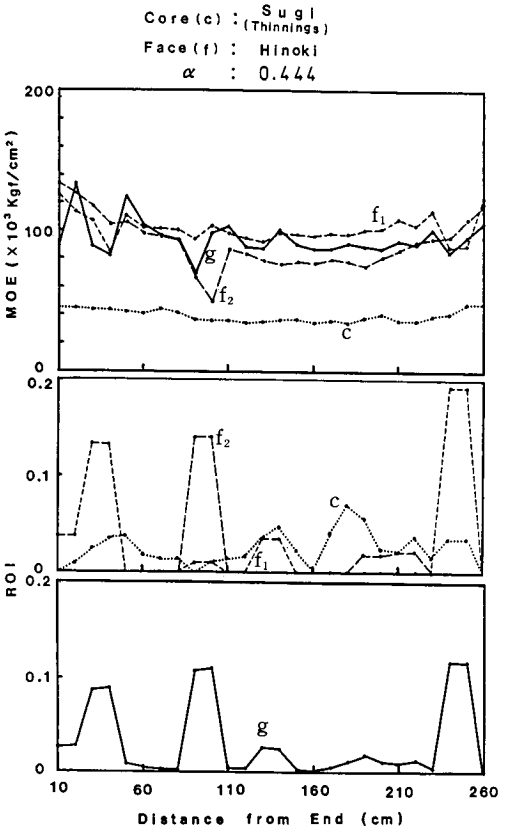


Fig. 2. Variations of modulus of elasticity (MOE) and ratio of cross-sectional moment of inertia of defect to that of entire section (ROI) throughout the length of each lamina (Core (c) of Sugi thinning, top (f_1) and bottom face (f_2) of regular Sugi) and laminated lumber (g) of them, in the case of ratio (α) of core thickness of 0.444 to entire depth of laminated lumber.

はないが，表ラミナの MOE は ROI と局所対応をしている．

そして，これらの集成材の MOE と ROI の変動のしかたも表ラミナと類似している（Fig. 3）．

表ラミナがマトアの場合，マトアは，ほとんど節がみられず，ROI 分布がないにもかかわらず，MOE は材質むらにより材長方向に変動するのが他の樹種にくらべて特徴的である．

しかし，これらのラミナによる集成材の ROI と MOE の材長方向分布は，やはり，表ラミナのそれらに強く支配され，有意に対応することがわかる（Fig. 4）．

3.2 材種組合わせおよび断面構成による集成材の強度性能を示す MOE 増大効果

表ラミナを同じスギにし α を 0.44 と 0.667 に変え

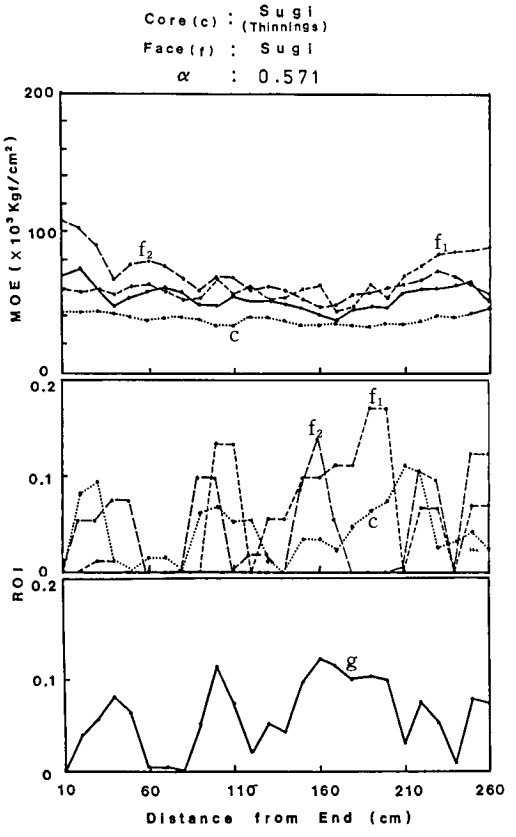


Fig. 3. Variations of MOE and ROI throughout the length of each lamina (Core (c) of Sugi thinning, top (f_1) and bottom face (f_2) of regular Sugi) and laminated lumber (g) of them in the case of α of 0.571.
MOE, ROI, and α : The same symbols as shown in Fig. 2.

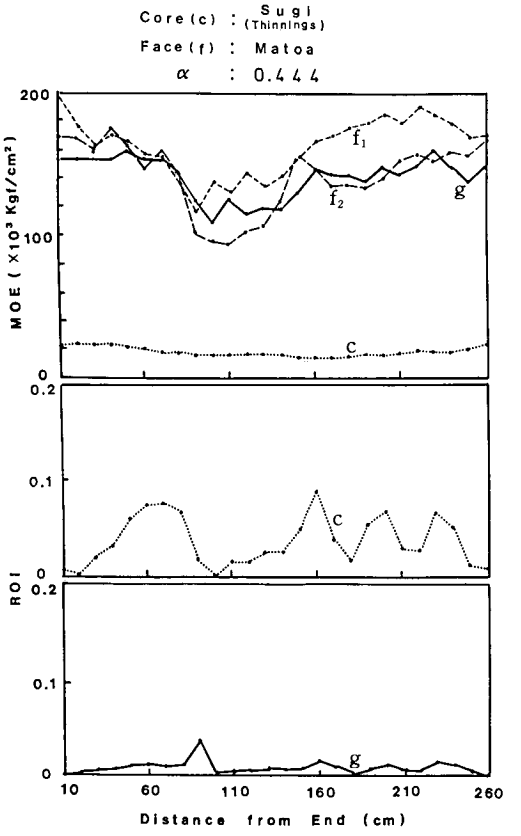


Fig. 4. Variations of MOE and ROI throughout the length of each lamina (Core (c) of Sugi thinning, top (f_1) and bottom face (f_2) of Matoa) and laminated lumber (g) of them in the case of α of 0.444.
MOE, ROI, and α : The same symbols as shown in Fig. 2.

たとき，α の大きな，すなわち低質なスギ芯ラミナのしめる割合が大きな集成材の MOE は，α の小さいのに比べて低くなる傾向がみられた（Fig. 5）．

よって，材長方向26測点平均MOEにおける MOEg と MOEf, MOEg と MOEc との関係をみると，明らかに集成材は芯ラミナとの間には相関がない（Fig.6）．そして，表ラミナとの間に高い正の相関が認められ，芯ラミナの MOE の大小にかかわらず MOE の大きいマトア，ヒノキ，スギ表ラミナの順に増強が高くなり，芯ラミナ断面構成比 α の大小によってほぼ2つの直線式が得られるような相関がみられる（Fig. 7）．

これらの関係を α 別に取ってみるとさらに明らかにわかり，α が 0.5 以下の集成材では，MOE が表ラミナの約95～100%，0.5より大きい集成材では70

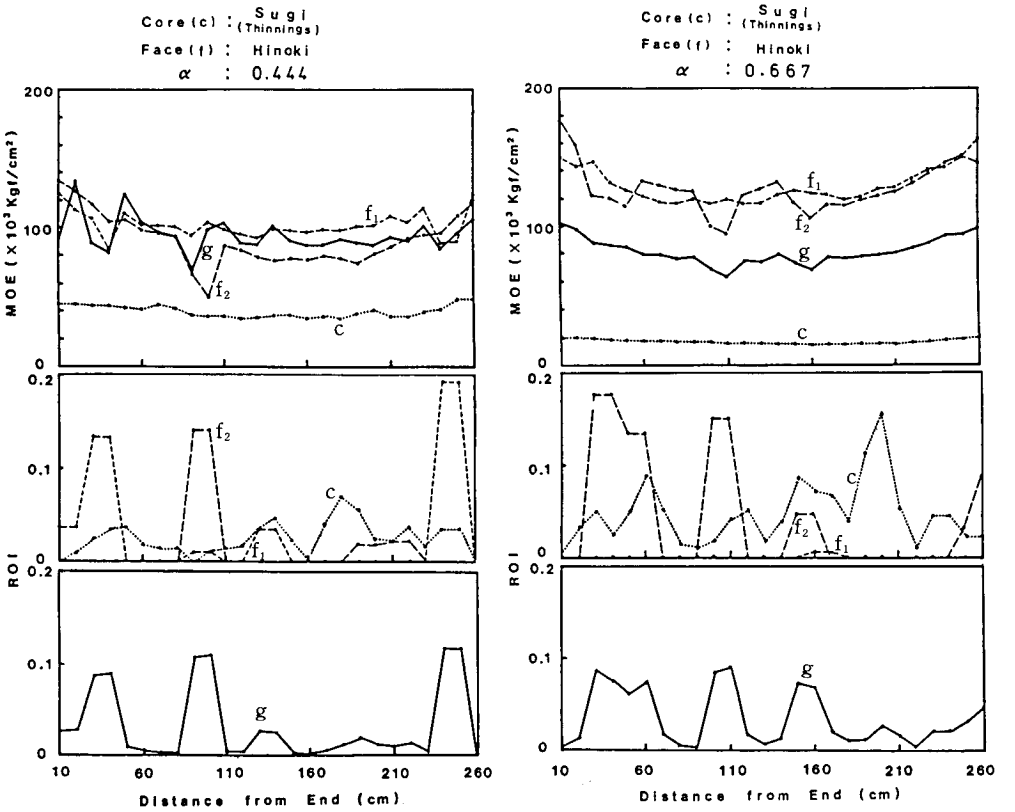


Fig. 5. Variations of MOE and ROI throughout the length of each lamina (Core(c) of Sugi thinning , top (f_1) and bottom face (f_2) of regular Hinoki) and laminated lumber (g) of them in both cases of α of 0.444 and 0.667.
MOE, ROI, and α : The same symbols as shown in Fig. 2.

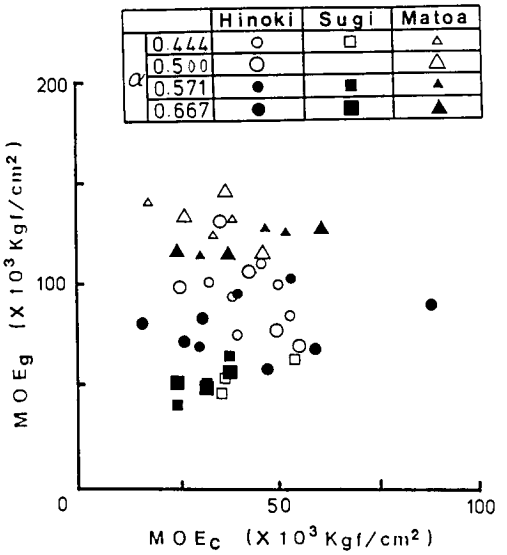


Fig. 6. Relationship of modulus of elasticity (MOE) between core lamina (c) and laminated lumber (g).

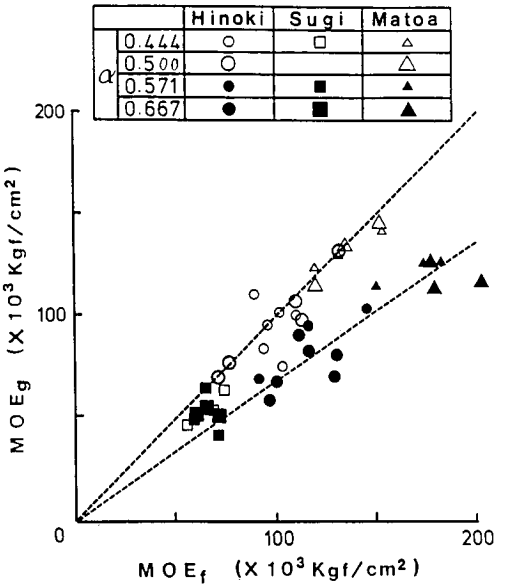


Fig. 7. Relationships of MOE between face lamina (f) and laminated lumber (g).

～80%程度となる（Fig. 8）.

また，全ての平均値を樹種別に表わすと，スギは α が変わっても集成材の MOE は変化がみられないが，ヒノキ，マトアのようにそのもののもつ MOE が大きいと α の増加にともなって減少することがわかる．すなわち芯ラミナに対して表ラミナの MOE が大きい材種組合わせほど α の低下による増強効果は著しいといえる（Fig. 9）.

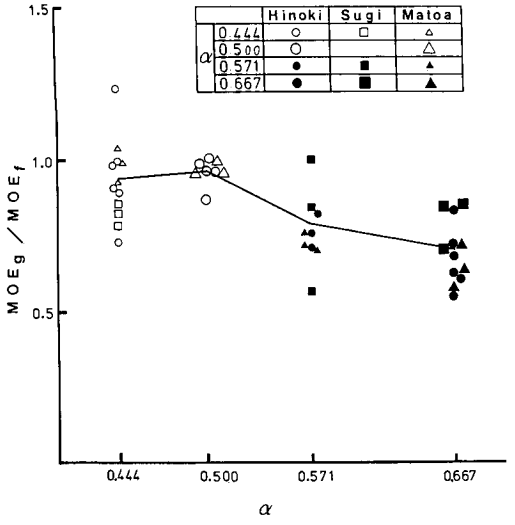


Fig. 8. Effect of ratio (α) of core thickness to entire depth of laminated lumber on ratio of MOEg to MOEf.

3.3 材種組合わせおよび断面構成による集成材の信頼性を示す材長方向の MOE 均一化効果

MOE の材長方向バラツキの統計的指標である変動係数 CV を集成材と表ラミナ，集成材と芯ラミナについてみると明らかなように，集成材の変動係数 CVg は表ラミナ CVf とやや分散するもののほぼ直線関係が認められ，一方，集成材 CVg と芯ラミナ CVc では有意な関係は認められない．すなわち，MOE の場合と同じように集成材は，変動係数に関しては芯ラミナとは相関がなく，表ラミナとの間に高い正の相関を示している（Fig. 10）.

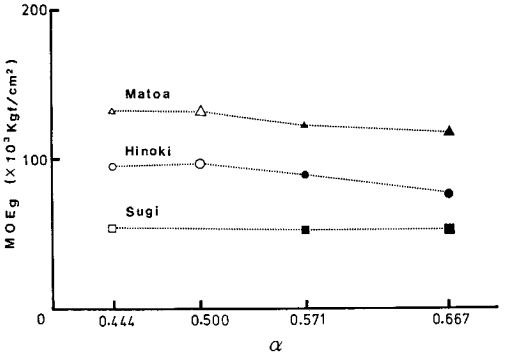


Fig. 9. Effects of ratio (α) of core thickness to entire depth of laminated lumber on MOEg for various species of face lamina.

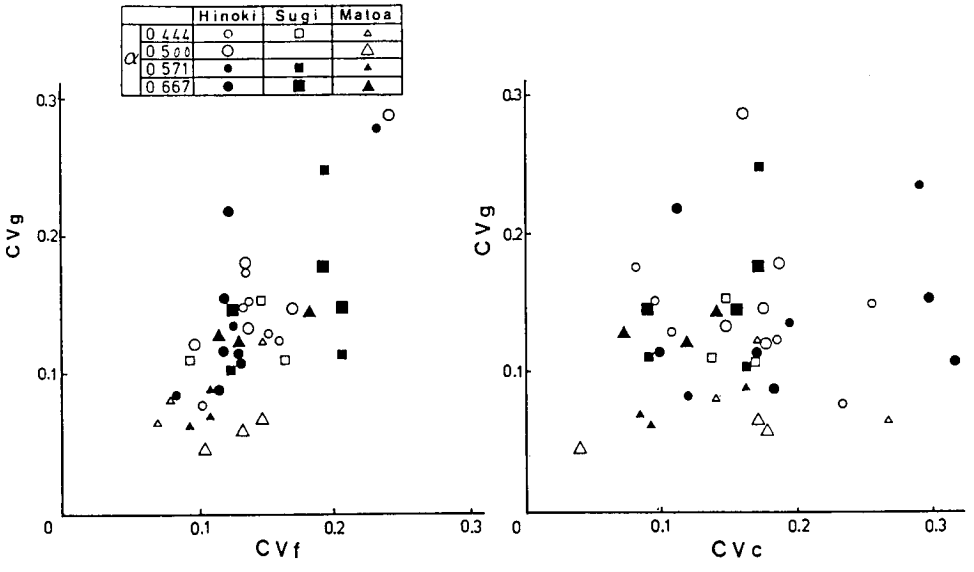


Fig. 10. Relationships of coefficient of variation (CV) in MOE between face lamina (f) and laminated lumber (g), and between core lamina (c) and laminated lumber (g).

前述したCVの関係を明かにするために，芯ラミナの変動係数CVcに対する集成材gのCVgと表ラミナCのCVcとの関係を示したグラフ（Fig. 11）をみると，大きくわけて2つの領域に分布していることがわかる．MOE材長方向変動係数は表ラミナが良質といっても小さいとはかぎらず，むしろ節がかたよって存在するために芯ラミナより大きいことがある．しかしその様な場合，つまり，CVf/CVcが1以上のこの領域の場合は，表ラミナと集成材とのあいだには何の相関もみられない．

ところが，芯ラミナの変動係数が表ラミナにくらべて大きい場合，つまりこの色付けの領域においては，集成材gのCVは表ラミナfのCVに大きく影響され，その値に近くなることがわかる．表ラミナが芯ラミナの材長方向の変動を抑させていることになり，つまり，芯材よりも小さなMOE材長方向変動係数をもつ表ラミナで構成した集成材では芯ラミナに対して効果的に変動係数が低減する．

つぎに，材種組合わせおよび断面構成比のちがいによるMOE均等化効果をみるために各樹種の平均値をα別にとり，さらに3樹種の平均を実線で結んでみると，MOEそのものの材種組合わせあるいは断面構成比の影響に比べるとその傾向は明確ではないが，ヒノキ以外は，αが小さくなるすなわち表ラミナの厚比が増すと，芯ラミナの変動に対して集成材の変動が小さくなる（Fig. 12）．

つまり，断面構成比αを小さくすれば，MOEの材長方向の均一化効果がやゝ向上する．しかし，先述のように芯ラミナの変動がいつも表ラミナより大きいとは限らず，さまざまな条件のもとでの組合せが考えられるので，複雑でそれらの傾向はつかみにくいものとなっていることが明かで，均一化には表ラミナの強度的選別の必要性が示唆された．

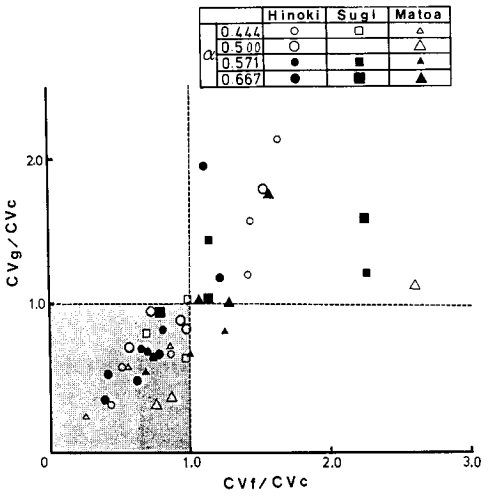


Fig. 11. Relationship between CVg/CVc and CVg/CVf.

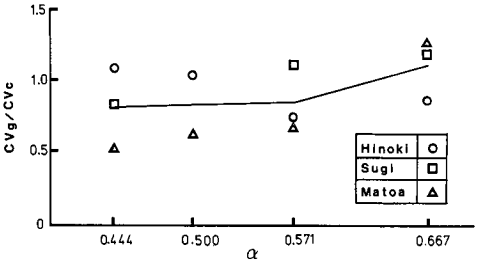


Fig. 12. Effect of ratio (α) of core thickness to entire depth of laminated lumber on CVg/CVc.

4．結　　語

スギ間伐材の有効利用には多くの提案とその対策がなされているが，未だ多くの技術的課題が残されている．多節で未成熟な若齢のスギ間伐材からの製材ラミナは弾性係数がかなり低く，しかもそれが材長方向に著しく変動する．この研究では，そのような低質スギ間伐材からの小割材を芯ラミナとし，良質スギ，ヒノキおよびマトアを表ラミナとして構成したサンドイッチ構造集成材の強度設計について実験的に検討した．その結果，芯ラミナ構成比0.5以下においてはMOEの増大を確実に図ることができ，また，芯ラミナよりMOEの材長方向変動係数が小さい表ラミナでそれらを構成することによって，芯ラミナのもつ著しいMOEの変動の発現を抑え，材長方向に均等な高い弾性係数をもつ集成材が得られることが明らかになった．

文　　献

Foschi, F. Q. 1987 A procedure for the determination of localized modulus of elasticity, Holz als Roh-und Werkstoff **45** : 257-260

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

又木義博・河辺純一・東寺裕康・原　洋二　1988　スギおよびカラマツ造林木からの実大寸法小割材における曲げ弾性係数の材長方向変動，九大演報 **59** : 71～95

Summary

The utilization of low-grade thinning log of young sugi (Cryptomeria japonica) is recently one of the important subject for a future study. In this investigation, various types of laminated lumber of sandwich construction were designed by using the low-grade Sugi lumbers from thinning log as core lamina and the high-grade Sugi and Hinoki (Chamecyparis obtusa) from mature log and the high-quality Matoa (Pometia pinnata) from tropical forest as face lamina, in order to utilize the juvenile and knoty lumber of Sugi from thinning log, having low modulus of elasticity (MOE) which vary largely over the length of lumber.

In the case of the core ratio of less than 0.5 to the whole depth of laminated lumber, the modulus of elasticity of laminated lumber could be high quality guaranteed and evenly localized over the length of laminated lumber.