

宮崎県産スギから成る構造用集成材の材料性状

Material properties of glued laminated timber made of *sugi* produced in Miyazaki Prefecture

高橋直樹* 今井富士夫** 濑崎満弘**, 中澤隆雄**
入江達雄*** 飯村豊*⁴

TAKAHASHI Naoki, IMAI Fujio, SEZAKI Mitsuhiro, NAKAZAWA Takao
IRIE Tatsuo and IIMURA Yutaka

* 宮崎大学博士前期課程 (〒889-2192 宮崎市学園木花台1-1)
** 工博 宮崎大学工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台1-1)
*** 工博 勝建設技術研究所 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12)
*⁴ 農博 宮崎県木材利用技術センター (〒885-0037 都城市花繩町21-2)

ABSTRACT It is the object of this study to make clear the mechanical characteristics of glued laminated timber of *sugi* which is special wood in Miyazaki Prefecture. Strength and modulus of elasticity obtained from the tensile test, compression test and bending test were investigated in this paper. The results of this investigation indicated that modulus of elasticity is over the standard value, modulus of elasticity obtained from bending test is smaller than that from uniaxial test, the strength obtained from each test is about four times as large as long-term standard strength, and laminated timber that has a symmetry between the upper and lower halves subjected to bending moment is low in toughness.

Keywords 集成材, 宮崎県産スギ, 材料性状, 弾性係数, 強度
glued laminated timber, *sugi* produced in Miyazaki Prefecture,
material properties, modulus of elasticity, strength

1. まえがき

近年、自然との共生が望まれるなかで木材を主部材とした橋梁の建設が増加しつつあり、その背景には構造用集成材の製造技術の進歩がある。天然木材は材質のバラツキや建設後のひずみなどに加えて、長大部材では入手できるものに大きな制限があるなどの欠点を有するものであるが、構造用集成材は管理されたラミナの接着成形により、材質の均質化や信頼性を高め、要求される強度への対応を可能とし、さらに天然木材では入手が困難であった大断面部材なども製作できるようになり、その使用性は大きく向上している。

宮崎県は日本一のスギ生産県であるが、スギはベーマツと比較すると曲げ弾性係数や曲げ強度などの強度等級が20%~30%程度低いこともあり、構造材としての利用が遅れていた^{1), 2)}。しかしながら、近年人工林スギの生育に伴って径級が大きくなり、幅の広い厚板（ラミナ）が供給されるようになり、集成材への利用が急速に増えつつある。例えば、橋梁などの土木用途に使用されたり³⁾、スギを異樹種と積層接着する集成材も商品化されるなど、従来にはない使い方や積層技術の研究開発が進んでいる^{4) ~ 6)}。

本研究は宮崎県産スギ材から成る集成材への適用を検討することを目的とするもので、本論文では基礎的実験として実施した圧縮試験、引張試験ならびに曲げ試験などから得られた異等級対称断面に関する弾性係数および強度について考察する。

2. 実験概要

材料試験⁷⁾では、基本的な圧縮試験、引張試験および曲げ試験を実施した。供試体は曲げ部材を想定した図-1に示すような配置を基本とし、図中の()はラミナ材の等級を示すものである。すなわち、供試体の上下縁端部には等級の高い材料を、中央部には低い材料を配置した上下対称部材とし、外層はL90、中間層はL70、残りの内層はL50とする対称異等級集成材E75-F240に相当するものである。

載荷荷重に対するひずみは各ラミナ層に貼付されたひずみゲージにて、変位はデジタル変位形にて測定した。

圧縮試験の供試体は図-2に示すような箱形断面と矩形断面の2種類で、箱形断面については隅角部にのみ弾性係数の高いL90とL70を配置した。箱形断面では全断面をL50とする一様断面すなわち等級モデルも製作した。

変位は圧縮試験装置のヘッド間を測定することにより、供試体の変位とした。

引張供試体は図-3に示すような圧縮試験の矩形断面と同じで、長さ1500mmである。引張試験では、集成材の両端に鋼ジョイントを設置し、ジョイントを引張試験機に固定した。供試体自体の引張変位は、供試体中間部に取り付けた変位計で、鋼ジョイントからの引抜けは鋼ジョイントと集成材間を結ぶ変位計で測定した。鋼ジョイントと集成材の結合にはボルト接合を採用し、ジャッキとの接合部は6本ボルトを採用し、アンカーフレーム固定側では、図-3に示すような2本ボルトと6本ボルトの2種類を採用した。

曲げ供試体は図-4に示すようなものであり、断面は幅×高さ=200mm×240mmとし、8層

でラミナの特性は図-2(b)である。荷重は2点対称載荷とし、せん断スパン比は

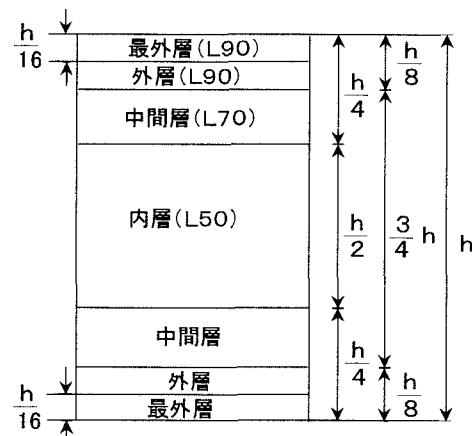
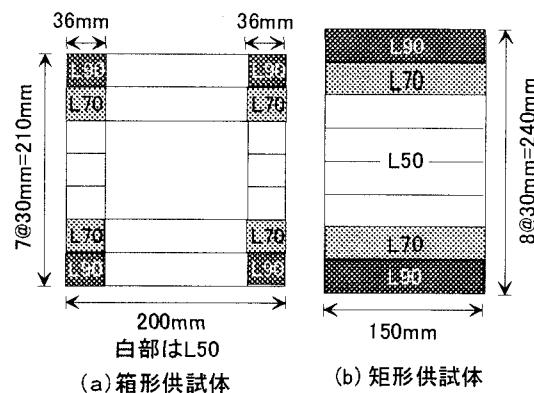


図-1 ラミナの規定と実橋の材料配分



(a) 箱形供試体 (b) 矩形供試体

図-2 圧縮試験の供試体断面

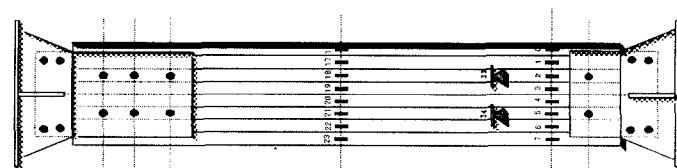


図-3 引張供試体

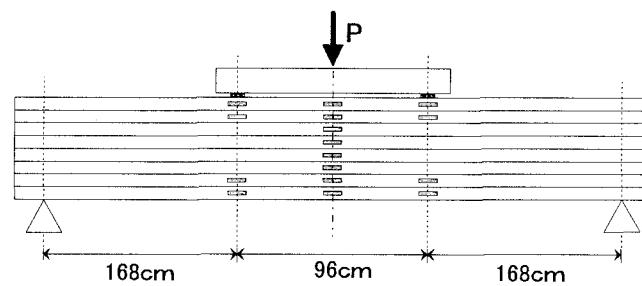


図-4 曲げ供試体

表-1 集成材の長期許容応力度

挽き板の 積層数	強度等級	長期許容応力度 (N/mm ²)			ヤング係数 (N/mm ²)
		圧縮	引張	曲げ	
4枚以上	E75-F240	6	5	8	7500

$7d=1580\text{mm}$ 、載荷区間は $4d=960\text{mm}$ 、支間長は $18d=4320\text{mm}$ となっている。ひずみは図に示すように、桁中央部では各層のラミナを、載荷点では上下縁の一部を測定した。鉛直変位も桁中央と載荷点を測定した。

対称異等級集成材 E75-F240 を模した供試体の長期許容応力度⁸⁾ は表-1に示すようになる。

3. 試験結果

3.1 圧縮試験

図-5は箱形断面供試体の応力-ひずみ曲線である。異等級モデルは同一等級モデルに比べて、ひずみは小さく、圧縮強度は大きくなっている。異等級モデルは同一等級モデルの隅角部のみに L90 と L70 を面積で 14%挿入したものであるが、圧縮強度では 15%増、弾性係数は 30%の増加となっている。

降伏点は異等級モデルでは 25N/mm^2 、同一等級モデルでは 20N/mm^2 となっており、圧縮強度に対する比率はそれぞれ 83%, 77%となり、等級の低い材料のほうが、降伏点の圧縮強度に対する比率も小さくなっている。さらに、韌性も同一等級のほうが大きい。圧縮強度は、E75-F240 の基準強度は満足するものであり、表-1に示す許容応力の 4~5 倍程度となっている。

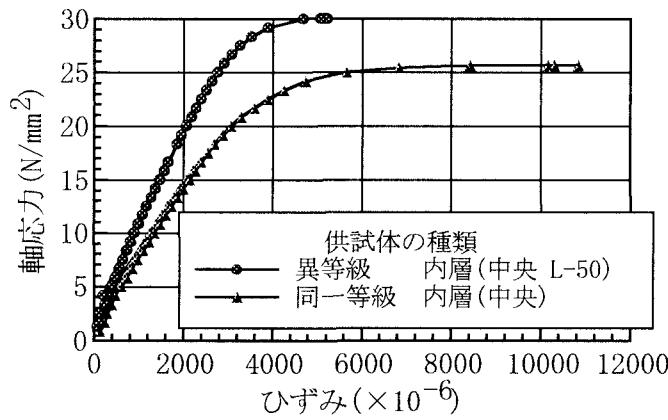


図-5 応力-ひずみ曲線

3.2 引張試験

引張試験での応力-ひずみ曲線を示したものが図-6である。引張試験では異等級矩形断面を採用しており、図中での二穴は 2 本ボルトを、六穴は 6 本ボルトを意味するもので、接着の有無は集成材のボルトを装填する孔とボルト間に樹脂を充填したか否かを表すものである。

六穴の場合には約 4.5N/mm^2 を越えて十分に線形を維持しているが、二穴の場合には、樹脂の注入無しと有りでは、終局応力度はそれぞれ約 3.5N/mm^2 、約 3.0N/mm^2 で、樹脂充填の効果は特に認められなかったが、試験後に充填状況を確認してみると、充分な充填が確保されていなかったことが明らかとなった。このことから、確実な充填方法の開発が必要となるであろう。また、二穴の終局強度はボルト接合で規定された設計値のおよそ 3 倍となっており、破壊状況は継ぎ手の部分からひび割れが生じ、ボルトを残して供試体が引き上げられ、破壊部は集成材の層ではなく、年輪の境目で割れたものであり、層と層の接着効果は確認できた。

なお、引張試験機の能力から、供試体本体の引張強度に達する荷重は負荷できていない。

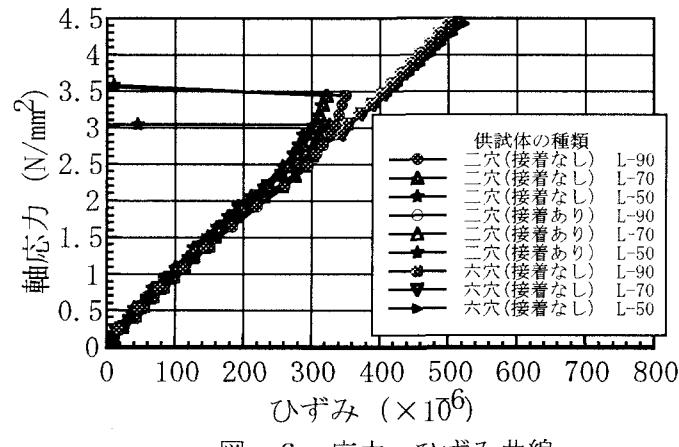


図-6 応力-ひずみ曲線

3.3 曲げ試験

図-7は曲げ試験における応力-ひずみ曲線である。各記号を示す CH○○は測定されたラミナを示すものであり、CH1は最上段のラミナで、番号が増えるほど中央のラミナへとも向かっている。応力は計算曲げモーメントから断面を一様と仮定した断面係数より算出したものである。

図から明らかなように、荷重の増加すなわち応力の増加に対するひずみは線形に増大しており、塑性化は見受けられない。破壊は大きな爆裂音とともに突然の脆性破壊を起こす結果となった。このときの破壊状況を写真-1に示す。

図-8は荷重の変化による桁中央点の高さ方向のひずみ分布を示したものである。図-7で示したように、終局時まで非線形的な変化がなかったことから、ひずみ分布は高さ方向に線形であり、ほぼ比例的に推移している。図中の理論は $P=91.8\text{kN}$ のときのはり理論から得られた結果である。実験と理論を比較すると、ほぼ一致していることが判る。このことから、今回の曲げ試験における集成材の曲げ剛性 EI は、集成材 E75-F240 から得られるものとほぼ一致していると云えよう。

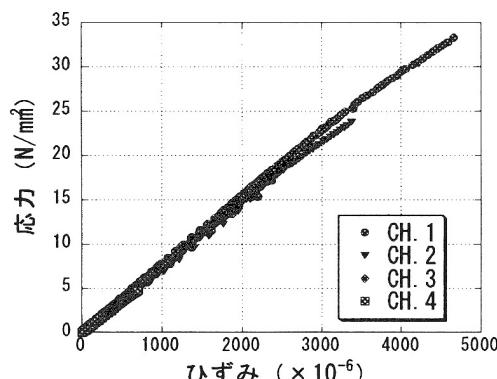


図-7 応力-ひずみ曲線

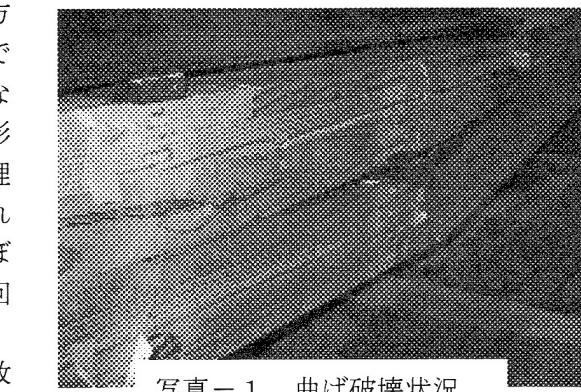


写真-1 曲げ破壊状況

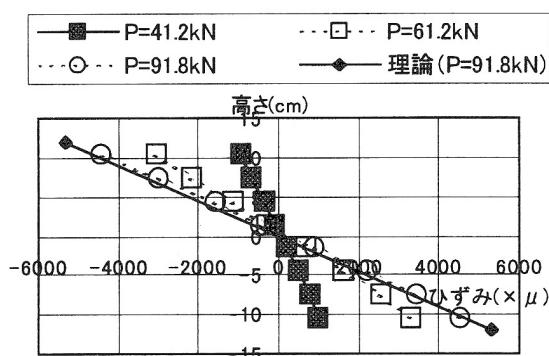


図-8 高さ方向のひずみ分布

4. 材料性状

4.1 ひずみから算出した弾性係数

図-9は引張試験で各ラミナからの応力とひずみの関係から算出した弾性係数を示すものである。ただし、層毎に弾性係数の異なるラミナを使用しているが、ここではその区別は行っていない。図から明らかなように、バラツキは大きいが、平均的な弾性係数は $8000\sim11000\text{N/mm}^2$ となっており、集成材の規格は維持されている。また、バラツキの理由としては、縁端には L90 や L70 を配置しているが、中間層には L50 の弾性係数の低いものを配置していることによるものと考えられる。また、当然の結果ではあるが、ボルトの本数や樹脂の充填の影響はほとんど見受けられない。

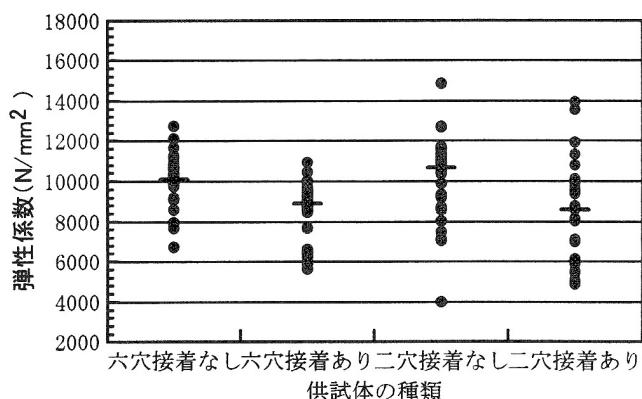


図-9 弾性係数（引張試験）

けられない。

図-10は、圧縮試験と曲げ試験から得られた弾性係数について整理したもので、引張試験の場合と同様に各層の応力とひずみの関係から得られたものである。図中の50～90の数字は、それぞれL50～L90を表すものである。

まず圧縮試験について考察する。同一等級モデル

(L50)での弾性係数は4500～7000N/mm²の範囲にあり、平均は6300N/mm²となり、規格値は充分に満足している。一方、異等級モデルでのL50～L90での弾性係数を比較すると、3者に大きな差異は認められない。すなわち、見かけ上の弾性係数は異等級の合成断面であるにも関わらず、ほぼ一定値となっており、いずれも9000N/mm²を超えていることが判る。

異等級モデルでの箱形と矩形モデルについて比較すると、L90やL70の使用面積が多い矩形モデルが箱形モデルよりも大きくなっている。矩形モデルでは10000N/mm²を超える弾性係数を呈している。

曲げ試験は供試体一体の試験結果である。曲げ試験では、材料の等級によって弾性係数にわずかな差異が生じている。その平均値は7500N/mm²をわずかに超えるものであった。

4.2 変位から算出された弾性係数

前節では供試体表面に貼付されたひずみゲージから得られたデータを基に弾性係数を算出してきた。しかしながら、木材の弾性係数は変位データから求めるのが一般的なようである。そこで、本節では圧縮試験では油圧ジャッキのヘッド間距離の変化から、曲げ試験では中央点たわみから算出した弾性係数について考察する(図-11)。

圧縮試験での異等級箱形モデルと曲げ試験の2つはひずみから算出された弾性係数とほぼ同様な値をしめしているが、他のモデルについては変位から算出された弾性係数は、ひずみからのものに比べると低い値を示していることが判る。

4.3 各種試験から得られた強度と弾性係数

これまでに得られた結果を整理したものが表-2で、弾性係数は平均値を示している。また、表中の「 $\sigma - \varepsilon$ 」はひずみからの弾性係数を、「P- δ 」は変位からの弾性係数を表すもので、「 σ_u 」は終局強度としての圧縮強度あるいは曲げ強度を意味するものである。

弾性係数は引張試験と圧縮試験による差異はほとんど認められない。すなわち、単軸に負荷する力に対しては圧縮、引張に関わらず、ほぼ同等な値となることが示されている。

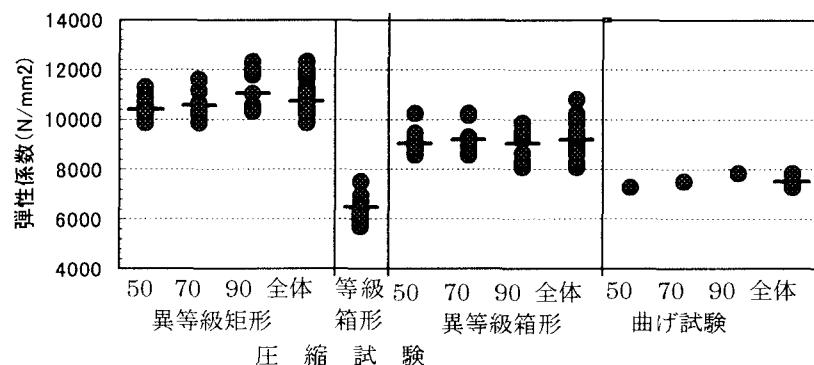


図-10 圧縮試験と曲げ試験による弾性係数

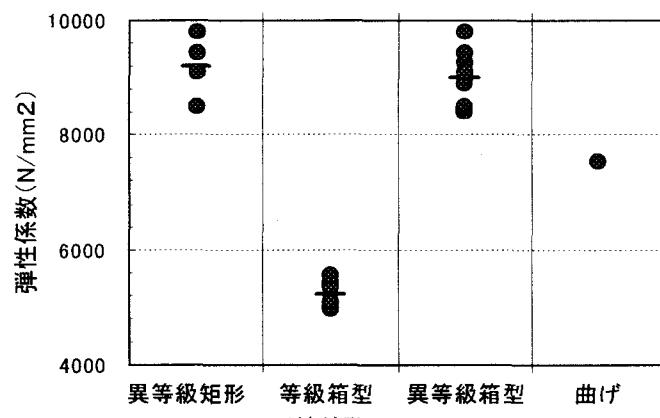


図-11 変位から算出された弾性係数

一方、曲げ試験では単軸モデルに比べて、弾性係数に大幅な低減が認められる。このことは、曲げが作用する集成材の場合には、単軸モデルから算出された弾性係数にある程度の安全係数を考慮する必要があるものと思われる。

曲げ強度について観ると、引張強度については今回測定されてはいないが、圧縮試験と曲げ試験の結果では 30N/mm^2 を超える値を呈しており、両者の差異は見受けられない。

今回の供試体は宮崎県産のスギ材を活用したもので、ラミナの各種等級の規定値を満足したものであれば、十分に使用できることが明らかになったと云えよう。ただし、表-1にある長期許容応力での圧縮、曲げなどの適用部材の値とは若干異なった傾向にあり、強度と弾性係数に相関があるものと仮定できるならば、弾性係数は再考する必要があるのではないかと思われる。

表-2 各種試験から得られた弾性係数と強度

(N/mm ²)	引張				圧縮		曲げ	
	2穴		6穴		BOX断面		同一等級	異等級
	接着あり	接着なし	接着あり	接着なし	異等級	矩形		
$\sigma - \varepsilon$	8800	10800	9000	10000	9200	10700	6000	7800
$P - \delta$	-	-	-	-	9000	9000	-	7500
σ_u	-	-	-	-	30	35	25	33

5.まとめ

本論文では宮崎県産すぎ材から成る集成材の静的引張、圧縮、曲げ試験から得られた弾性係数と強度について整理したもので、得られた結論を要約すると以下のようになる。

- (1) 弾性係数は基準弾性係数を上回るものとなっている。
- (2) 強度は各長期基準許容応力の4倍～5倍の値を有するものとなっている。
- (3) 上下対称の集成材は曲げに対して韌性に乏しく、破壊は脆性的なものとなる。
- (4) 弾性係数は単軸負荷によるものに比較すると、曲げでは大きく低下したものとなる。

曲げ試験で脆性破壊をしたことは安全な使用性を確保する仕様からは問題であると思われる。鉄筋コンクリート部材の設計では脆性破壊を防止するために、延性のある鉄筋の降伏がコンクリートの圧壊以前に生じるような設計仕様となっている。集成材に同様なことを期待するには、韌性がある程度確保できる圧縮破壊となるような設計が好ましく、著者らは現在、そのようなモデルによる試験を実施しており、ある程度の成果を得ている。次期の機会に発表する予定である。

【参考文献】

- 1) 飯村豊：スギ集成材の物性と変形、木材工業、第57巻、pp.147-151、2002.4
- 2) 飯村豊、荒武志朗、田中洋、栗田進、大塚哲也：スギ集成材による単層網目状ドーム、日本建築学会研究報告九州支部、第42号、pp.273-277、2003.3
- 3) かりこぼうず大橋建設技術委員会：県産スギを利用した長大橋、平成15年度全国木橋技術研修会、2003.5
- 4) 藤田和彦、五島千津子、小松幸平、森拓郎、飯島泰男、渡辺公昭：異樹種集成材の圧縮強度に関する実験的研究、第53回日本木材学会、Ib240930、2003
- 5) 森拓郎、小松幸平、野田康信、鄭基浩、飯島泰男、渡辺公昭、藤田和彦：異樹種集成材の引張強度に関する実験的研究その2、第53回日本木材学会、Ib 240945、2003
- 6) 渡辺公昭、田中健太郎、福留重人、小松幸平、森拓郎、飯島泰男、藤田和彦：異樹種集成材の曲げ強度に関する実験的研究、Ib 241000、2003
- 7) 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説、pp.155～187、1996
- 8) JAS：構造用集成材の日本農林規格、(社)日本合板検査会