

森林総合研究所
交付金プロジェクト研究 成果集 23

スギ等地域材を用いた構造用新材料の 開発と評価

独立行政法人 森林総合研究所
2009. 3

序 文

日本のスギを主体とした人工林は、蓄積量 22 億 m^3 で、毎年 7,000 万 m^3 の増加を続けているが、周知のように入手が容易で低廉な輸入材や外材使用の集成材等に市場を奪われ、国産材の需給量はこの増加量の 4 分の 1 にも満たない。

このような背景の下に、森林総合研究所では、スギ等地域材の需要拡大のため、製材に次いで木材需給量の太宗を占める集成材と合板にスギ等地域材をより多く使用するとともに、それらによる安全な住宅構造を提案する目的で、本プロジェクト「スギ等地域材を用いた構造用新材料の開発と評価」を実施した。研究期間は平成 17～19 年度の 3 カ年である。集成材の研究では、独立行政法人、公的試験研究機関、大学の合計 11 機関の協力を得て、ラミナ約 1 万枚、集成材約 3000 枚に及ぶ外国でも例を見ない系統的な強度試験を実施した。主な研究成果は以下の通りである。

1. 構造計算書の調査から、安定品質・供給力の理由により住宅の柱・はりに使用されている集成材は強度的に過剰品質の傾向があることが分かった。
2. 外層に強度の高いラミナを配し内層にスギ等の強度の低いラミナを配す異樹種集成材は、曲げ強度は高いものの、引張・圧縮強度が不足するため、現行の集成材 JAS 規格に合格しない。しかし、引張・圧縮力がほとんど作用しない住宅のはり用としては、十分な強度を有している。
3. 現行の集成材 JAS 規格に適合しない低ヤング係数等のラミナや適合しないラミナ構成により製造した集成材の曲げ・引張・圧縮強度は、ラミナの強度から理論的に予測できる。
4. 上記の集成材は、現行の集成材 JAS 規格の集成材と遜色のない接合強度、耐火性、接着耐久性、耐朽性を有する。
5. 厚物構造用合板を利用した高強度耐力壁を開発した。

以上の成果をもとに集成材 JAS 規格の改定を提案した結果、スギ等地域材の低ヤング係数のラミナの使用が可能になるとともに、新しい等級が新設されました。また、新しい等級に対して国土交通省より設計の際に必要な基準強度が与えられました。さらに、高強度耐力壁については、国土交通大臣より耐力（壁倍率）として最高限度の 5 倍の認定を取得しました。ここに本書を刊行することによって、本研究で得られた知見を広く関係者の参考に供する次第です。最後になりましたが、山左木材株式会社社長の佐々木幸久氏及び京都大学教授の小松幸平氏には、外部評価委員としてご指導とご鞭撻を賜りました。ここに深く感謝の意を表し厚く御礼申し上げます。

平成 21 年 3 月

独立行政法人 森林総合研究所
理事長 鈴木和夫

研究課題：スギ等地域材を用いた構造用新材料の開発と評価

目 次

研究の要約	1
第1章 現行 JAS 規格外のラミナを用いた 新集成材の製造と実大実験による強度性能評価	28
第2章 現行 JAS 規格外のラミナ構成による 新集成材の製造と実大実験による強度性能評価	93
第3章 新集成材の規格化及び建築への適用技術の開発	166
第4章 新集成材の接合強度評価	185
第5章 新集成材の耐久性評価	197
第6章 新集成材の接着技術の高度化とその評価	209
第7章 新集成材の耐火性能付与とその評価	229
第8章 新しい厚物構造用合板の製造技術 と壁・屋根への適用技術の開発	240
第9章 スギ等地域材の加工過程における供給拡大条件の解明	248
付録	253
1 第1章、第2章共通の試験方法	
2 平成19年集成材 JAS 改正に関連した国土交通省告示	

研究の要約

I 研究年次及び予算区分

平成 17～19 年度 (3 カ年)

運営費交付金 交付金プロジェクト

II 主任研究者

主査 研究コーディネータ 藤原勝敏 (平成 17 年度)

研究コーディネータ 神谷文夫 (平成 18～19 年度)

III 研究場所

森林総合研究所 本所

IV 研究目的

我が国のスギを主体とした人工林の蓄積量は 22 億 m^3 で、年々 7,000 万 m^3 の増加を続けている。一方、木材の生産量は、この蓄積増加量の 4 分の 1 にも満たない。持続的循環型社会を構築していくためには、この豊かな資源を有効に利用するシステムの構築が極めて重要である。しかしながら、入手が容易で低廉な輸入材や外材使用の集成材等に市場のシェアを奪われるなど、国産材の需要は長期にわたって低迷しており、いまだ有効な利用システムが構築されていないのが現状である。

平成 13 年に樹立された国の森林・林業基本計画においては、平成 22 年の国産材供給量の目標が 2,500 万 m^3 に設定されている。この目標の達成のために、国産材需要拡大に向けたさまざまな施策が展開されており、研究サイドに対しては技術支援が求められている。さらに、国際的な環境問題の高まりの中で、環境低負荷型の木材生産、流通、加工、利用、リサイクル、リユース、廃棄等に係わる技術開発も喫緊の課題になってきている。また、高齢化社会が急速に進む中で、安心して暮らせる安全で快適な社会を構築していくことが 21 世紀の大きな課題になっており、木材の利用を通じた積極的な貢献が求められている。これまで森林総合研究所では、ユーザーの求める高品質なスギ乾燥材の安定供給と需要拡大を目指してプロジェクト研究「スギ高速乾燥」を実施し、所定の成果をあげてきた。

これに続く次のステップとして、本研究では集成材および合板へのスギ等地域材の利用拡大を支援するために、構造用新材料を開発しその評価を行う。本来集成材は、歴史的に見て大規模建築物等において鉄骨と競争するために、強度の高い外材やカラマツ等を利用して、製材より強度の高い材料を製造することを目標としてきた。このため、現行の日本農林規格 (JAS) 集成材製造基準では、密度やヤング係数の低いスギを原料として利用することは不可能で、特にスギ供給量が全国一の九州地方においては、利用可能な原木は半数に満たない。このような状況下にあって、スギ利用を目的に建設された大型スギ集成材工場は JAS 認定が取得できない状況にある。しかしながら現在、集成材需要の 95% 以上が住宅用となり、しかも JAS 集成材は過剰品質の傾向にある。このような状況を打破し、現状に柔軟に対処するために、集成材に対する要求性能を的確に把握し、森林から供給されるほとんどの原木を利用し、かつ要求性能を満たす新集成材を製造するための技術を開発する。また合板については最近、厚物合板の住宅床下地としての需要が急増する

とともに、外材からスギ、アカマツ、カラマツ等の国産地域材への転換が進み、平成 16 年には 50 万 m^3 の達成が見込まれている。そこで、地域材の特徴を活かしながらさらに強度特性に優れた新厚物合板の製造技術を開発するとともに、現在使用されている床以外に、壁・屋根等への利用技術を開発する。

以上のような研究の必要性和目的の下に、スギ等地域材を用いた構造用新材料の開発と評価に関する研究を実施して、全国のほとんどのスギ等地域材の利用が可能な構造用新集成材を開発し、構造用材料としての性能を評価するとともに、地域材を利用した厚物構造用合板による高強度壁・屋根を開発し、その強度を評価する。

V 研究方法

第 1 章 現行 JAS 規格外のラミナを用いた新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

本課題では、地域材のひき板（ラミナ）の中で現行 JAS においては規格外となるため集成材には利用できないラミナを用いた新集成材および規格外となる台形ラミナや単板積層材（LVL）を用いた新集成材について、その製造条件と強度性能の関係を明らかにすることを目的に以下の方法で研究を行った。対象とする樹種や製造技術は、地域に特有の樹種や地場工場の技術的蓄積を考慮して、1. 低位等級のオビスギラミナ（宮崎県木材利用技術センター）、2. 輪生節を有するアカマツラミナ（岩手県林業技術センター）、3. 幅はぎラミナ（森林総合研究所）、4. 台形ラミナ（岡山県木材加工技術センター）、5. スギ単板積層材（LVL）ラミナ（宮城県林業技術センター）、6. コナラ単板積層材（LVL）ラミナ（京都府立林業試験場）とした。なお、ラミナの曲げ、縦圧縮、縦引張り試験、集成材の曲げ、縦圧縮、縦引張り、めり込み、せん断試験は本プロジェクトで統一して定めた標準試験方法に準じて行った。

1. オビスギラミナ：宮崎県産スギ（オビスギ）ラミナを連続式グレーディングマシンで測定した曲げヤング係数の最小値評価により L30 から L70 までの 5 段階に機械等級区分した。同じ等級のラミナどうしをフィンガージョイント（以下 FJ とする）した試験体を作製し、強度試験を行った。また、集成材の内層に L30 及び L40 の低曲げヤング係数ラミナを用いた等級 E65(内層 L40)、E55(内層 L40)及び E55(内層 L30)の対称異等級集成材を作製し強度試験を行った。めり込み及びせん断試験においては、対照試験体として現行の JAS で規定されている E65-F225 の集成材を供試した。また、内層に L30 ラミナを用いた対称異等級集成材 E55(内層 L30)について、接合部（仕口接合）の試験を行った。
2. アカマツラミナ：供試材には、人工乾燥した後機械等級区分により L70～L125 の 6 等級に区分した岩手県産アカマツと L140 に区分したダフリカカラマツを用いた。アカマツラミナについては、材面に現れる全ての節の節径を測定して集中節径比を算出した。5 種類のラミナ構成で異等級対称構成集成材を製造した。3 種類はアカマツ同一樹種構成、2 種類はダフリカカラマツ→アカマツ異樹種構成とした。各集成材の想定する強度等級は、構成 1 は E85-F255、構成 2、3 は E95-F270、構成 4、5 は E105-F300 とした。アカマツの最大集中節径比は、構成 1、2 の最外層、外層は 0%、中間層は 60%、内層は 70%、構成 3 の最外層、外層は 33%、中間層は 50%、内層は 70%、構成 4 の中間層は 33%、内層は 50%、構成 5 の中間層は 50%、内層は 70%とした。各ラミナ及び集成材について強度試験を行った。
3. 幅はぎラミナ：幅はぎラミナの原料となる信州産カラマツ乱幅材を用いて、ヤング係数が同程

度である乱幅材を幅はぎしたラミナ（同一等級ラミナ）及びヤング係数に関係なく乱幅材を無作為に幅はぎしたラミナ（ランダムラミナ）を作製した。同一等級ラミナ、ランダムラミナそれぞれについて、FJ によるたて継ぎラミナ及び通しラミナを作製した。連続式グレーディングマシンで測定したヤング係数の最小値を用いて等級区分されたランダムラミナを原料として、対称異等級構成構造用集成材 E95-F270 を作製した。各ラミナ及び集成材について強度試験を行った。

4. 台形ラミナ：台形ラミナは、60cm に玉切りした原木を半割りしたものを、台形断面に製材することにより歩留まり良く得られる「台形材」を、幅はぎ、縦継ぎすることにより製造される。ここでは小径のヒノキ丸太から得た台形材を用いて同一等級ラミナ、ランダムラミナを製造して機械等級区分した後、同一等級ラミナを用いて最外層 L125、中間層 L100、内層 L80 の構成（現行 JAS の E105-F300 相当）の対称異等級構成集成材とランダムラミナを積層した同一等級構成集成材を製造した。また、様々な厚みの台形ラミナを積層したブロックより、積層方向に一定厚みで切り出した「再割ラミナ」を用いて集成材を作製した。各ラミナ及び集成材について強度試験を行った。
5. スギ LVL ラミナ：宮城県産スギ中目材からスギ LVL ラミナを作製し、縦振動法、死荷重法及び連続送り式グレーディングマシンによりこれらのヤング係数を測定した。これらのラミナから試験体を採取し FJ によるたて継ぎして、集成材ラミナとしての強度試験を行った。スギ LVL ラミナについては、たて継ぎしない通しラミナも試験対象とした。なお、スギ LVL ラミナではスカーフジョイントによる単板のたて継ぎが任意の位置に存在した。これらのラミナを用いて、最外層にスギ LVL ラミナ、それ以外の層にスギラミナを配した集成材を作製した。各ラミナ及び集成材について強度試験を行った。
6. コナラ LVL ラミナ：京都府産スギ丸太について縦振動法によるヤング係数（以下、動的ヤング係数）を測定した。これらの丸太を長さ 4m のラミナに製材し、乾燥前と乾燥後に動的ヤング係数を測定した。乾燥ラミナを動的ヤング係数の値によって 4 段階に区分（E70、E80、E90、E100）した後、強度区分ごとに FJ 加工して長さ 6m のラミナを製造するとともにこれらから強度試験体を採取した。コナラ LVL ラミナは、直径約 20cm、長さ約 2m のコナラ丸太から得たロータリーレース単板を用いて、スカーフジョイント加工および積層接着して長さ 6m の製品として製造した。最外層にコナラ LVL ラミナ、それ以外の層に死荷重法により機械等級区分したスギラミナを配して試験用集成材を製造した。これらのラミナ及び集成材について強度試験を行った。

第 2 章 現行 JAS 規格外のラミナ構成による新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

本課題では、地域材を効率的に利用するための新集成材の製造条件及び強度性能を明らかにすることを目的として、現行 JAS 規格にないラミナ構成の異樹種複合集成材の開発を以下の方法で行った。開発に先立ち、1. 標準的な試験方法が定められていなかった集成材の縦引張り、めり込み、せん断強度試験方法の提案および確立を行った。開発における異樹種集成材の樹種の組合せについては、地域での生産量あるいは蓄積量を考慮し、2. カラマツ-ベイマツ複合集成材、トドマツ-ベイマツ複合集成材（北海道林産試験場）、3. スギ-ダフリカカラマツ複合集成材（富山県林業技術センター木材試験場）、4. スギ-カラマツ複合集成材（長野県林業総合センター）、5.

スギ・ヒノキ複合集成材（愛媛県林業技術センター）、6. スギ・ベイマツ複合集成材（広島県立林業技術センター）を設定した。

まず、開発においては各地域材から採取されたラミナのヤング係数分布を明らかにし、地域材ラミナの機械等級ごとの歩留まりを考慮の上、市場での要求に対応した新集成材の等級を設定し、これらの地域材を用いた新集成材の適正な製造条件を明らかにした。次に、新集成材の強度性能を明らかにするために、曲げ・縦圧縮・縦引張り・めり込み・せん断試験を実施した。その際、集成材の強度推定のためのシミュレーションについて検討するために、各集成材を構成するすべての樹種・等級ごとのラミナについても曲げ・縦圧縮・縦引張り試験を実施した。その他、一部の集成材について、厚さが異なるラミナで構成された集成材の強度性能、ラミナ及び集成材の縦引張り強度に及ぼす FJ 数の影響、積層面での接着性能について検討した。異樹種複合集成材のように内層と外層とでヤング係数が大きく異なった場合、集成材の曲げヤング係数に及ぼすせん断たわみの影響についてもモデル的に検討した。

なお、ラミナ及び集成材を対象とした標準強度試験法、すなわち試験体の採取方法、試験体数、試験体、試験方法等については、プロジェクト開始時に国内外の強度試験方法に関わる研究報告や規格・基準を参考に標準試験法（付録 1）を決定し、第 1 及び第 2 章の全ての強度試験はこれに準じて実施した。

第 3 章 新集成材の規格化及び建築への適用技術の開発

本課題を実施するにあたって、1. 新集成材の規格化、2. 住宅用構造材として新集成材に要求される性能把握、3. 異種材料複合集成材の長期性能評価手法の開発の 3 つの課題に取り組んだ。

1 では、従来のラミナ等級とラミナ構成からなる集成材の強度性能推定に適用されてきた強度算出モデルの妥当性について、第 1 章、第 2 章で実施された新しいラミナ等級と新しいラミナ構成の新集成材に関する強度試験結果を用いて検証した。また、検証された強度算出式を用いてスギ等地域材が有効に活用できる新たなラミナ等級とこれらを用いた新たなラミナ構成の新集成材を考案した。

2 では、現在の住宅設計において、従来の集成材と強度的性質・性能が異なる新集成材を使用する際の適用範囲を明らかにするため、大手住宅メーカーの協力を得て実際に建設された住宅 6 棟の設計図面を入手し、構造計算ソフトを用いて常時、地震時、風圧時、積雪時に各主要構造部材に生じる応力度やたわみを算出するとともに、そこに使用されている各種材料に与えられる許容応力度や許容たわみに対する割合（＝負担率と呼ぶ）を算出し、住宅部材に要求される強度性能を明らかにした。

3 では、LVL 等異種材料を複合した新集成材の強度性能評価法のうちこれまであまり取り組まれてこなかった長期性能評価手法について文献調査を行ってその現状と問題点を明らかにするとともに、この作業の中で問題点の一つと考えられた荷重存続時間影響係数を求める試験（DOL 試験）における荷重設定について実験的検証を行った。

第 4 章 新集成材の接合強度評価

新しい規格で作られる各種の新集成材を住宅等の構造部材として使用するためには、部材としての材料性能の評価だけでなく、構造体を構成する際の接合強度評価が不可欠である。新集成

材ではラミナの種類や等級、ラミナ構成によって集成材強度は変化し、それに連動して接合強度が異なると考えられる。

そこで、新集成材について接合強度試験を行い、従来の集成材とは異なる製造方法等による接合強度への影響を調べた。具体的には、新集成材の主な需要である在来軸組構法による木造住宅を対象に、小断面集成材を柱材、中断面集成材を梁材として用いる場合の接合部性能について検討した。柱材については、ラミナの幅はぎの有無に着目して、同一等級構成の集成材を使った柱脚接合部をモデルに、接合具を変化させて検討した。梁材については、本プロジェクト研究で試作した集成材を用いて、特徴ある二つの梁受け金物を例にとって破壊強度試験により検討した。

第5章 新集成材の耐久性評価

新集成材の一つである異樹種集成材の耐久性を評価する目的で、その耐朽性・耐蟻性に関する実験的検証と、割れの発生や接着耐久性上影響を与えると考えられる含水率変化にともなう断面内寸法変化の調査を行った。試験体は、ベイマツ、ホワイトウッドとスギとから構成される異樹種集成材とした。

耐朽性・耐蟻性は、異樹種集成材に使用されるラミナ（スギ在来品種5種を含む）について JIS K1571 に準じた室内試験で評価した。また、異樹種集成材の耐朽性・耐蟻性は、茨城県つくば市、鹿児島県吹上町における野外試験地とファンガスセラーにおいて実施した暴露試験で評価した。暴露試験に供した試験体の一部については、縦圧縮試験をおこなった。

ラミナの寸法変化は、断面が 105×21mm で厚さ 5mm のラミナ断面試験体および正方形試験体（R:20×T:20 mm）を作製し、それぞれの試験体について飽水から全乾までの断面の寸法変化を測定し、気乾時の寸法を基準に飽水時と全乾時の寸法の差から寸法変化率を求めた。異樹種集成材の断面内寸法変化は、外層にベイマツまたはホワイトウッド、内層にスギを用いた5層積層集成材を用いて測定した。試験体の木口面に集成材を構成する各ラミナの中心および、ラミナ境界部の接着層に沿った測線をそれぞれ設定し、膨潤時及び全乾時の幅方向の測線の長さを測定した。寸法変化率（DC）を、初期値からの変化率で示し、飽水時の寸法と全乾時の寸法の差から求めた。

第6章 新集成材の接着技術の高度化とその評価

新集成材の接着技術の高度化とその評価を行うために、1. ラミナ乾燥技術の確立、2. 新集成材の接着性能評価、3. 構造用集成材用接着剤の同等性評価のための耐熱性能および耐火性能評価、4. 各種ホルムアルデヒド放散量測定手法の同等性評価に取り組んだ。

1. 集成材用ひき板の乾燥技術においては、集成加工用のスギ材とベイマツ材の最適乾燥工程を検討するため、材長 90cm の試験体を用いて乾燥試験を行った。乾燥試験は 1) 天然乾燥と人工乾燥（温度域 50-70℃）の組み合わせ、2) 人工乾燥（温度域 50-70℃）、3) 人工乾燥（温度域 70-80℃）、4) 人工乾燥（温度域 85-95℃）、5) 人工乾燥（温度 120℃一定）の5通りで行った。また、材長 4m の実大材を用いて、それぞれの樹種について人工乾燥試験（温度域 70-80℃）を行った。
2. 新集成材の接着性能を評価するため、構造用集成材の JAS に規定する接着性能試験として減圧加圧試験とブロックせん断試験を実施するとともに、屋外暴露試験を開始した。
3. 構造用集成材用接着剤の同等性評価方法を確立する一環として、市販（6社10種類）の水性高分子ーイソシアネート系接着剤（API）について、JIS K 6831:2003（接着剤-接着強さの温度

依存性の求め方)に準じて、100℃及び150℃雰囲気における耐熱接着強さを測定した。また、実大載荷耐火加熱試験に代わるより簡易な試験法を開発するため、150(幅)×300(梁背)×950mm(長さ)の集成材を耐火用壁炉で45分加熱する試験を新たに開発して実施した。

4. ホルムアルデヒド放散量に関わる各種試験方法の同等性を比較するため、製造後の履歴の明らかな数種のMDFについて、デシケーター法(JAS・JIS法)、小形チャンバー法(JIS法)および1m³チャンバー法(ISO法)によるホルムアルデヒド放散量の測定を行った。なお、小形チャンバー法および1m³チャンバー法では、気中濃度の経時変化も併せて定量的に評価した。

第7章 新集成材の耐火性能付与とその評価

集成材が耐火加熱試験において燃え止まる仕様を開発するため、

- 1) 集成材表層の燃えしろ部分と火災後に燃え残ることを期待するコア部分との間に、難燃性能を付与した燃え止まり部分をロの字(シェル型)に配置し、コア部分への火熱の進入を抑える
- 2) 燃え止まり部分には、難燃薬剤の注入により、準不燃材料レベルの性能を付与する
- 3) 耐火集成材の製造工程を簡便にするため、ラミナ(挽き板:集成材の構成要素である木材の板)に選択的に難燃薬剤を注入した部分とそうでない部分を設けて、燃え止まり部分を配置するというコンセプトの基に集成材を作製し、1時間の耐火加熱試験を行って、燃え止まりの確認を行った。

実大材による耐火試験に先立ち、薬剤の選定と注入量、燃え止まり部分の厚さの検討を行うとともに、より確実にむらなく薬剤を注入するための前処理としてCO₂レーザによる穴あけ加工(インサイジング)の有効性を検討した。さらにコア部分に薬剤を注入しない方法として、樹脂によるシールの効果についても検討した。

第8章 新しい厚物構造用合板の製造技術と厚物合板の壁・屋根への適用技術の開発

新しい厚物合板の製造に関しては、複数樹種を複合した厚物構造用合板を試作し、その強度性能を統計的に把握した。原料樹種の強度性能から製造された構造用合板の強度性能を予測する手法を確立し、その最適製造技術について検討した。0°方向単板に高密度樹種(ラーチ)、90°方向単板に国産針葉樹(スギ)を用いた厚さ24mmの異樹種複合合板の曲げ性能の測定を行い、単板構成と曲げ性能の関係について検討した。さらに、スギを用いた等厚9プライ24mm厚合板の0°方向単板を縦継ぎの対象とし、縦継ぎを含む単板の構成を変えた合板の曲げ試験を行い、縦継ぎが強度性能に与える影響について検討した。

厚物合板の壁・屋根への適用に関しては、厚物合板を様々な方法で取り付けた耐力壁の静的水平せん断試験を行い、厚物合板の強度特性を有効に活用し得る仕様について検討した。この仕様の耐力壁に対し地震波を用いた動的性能、床勝ち仕様との性能比較、合板密度による性能比較等についても検討を行った。また、屋根への適用については、切妻屋根を対象に、登り梁に厚物合板を直接釘打ちした屋根構面の静的水平せん断試験を行い、従来の母屋と垂木を用いた仕様との性能比較を行った。

第9章 スギ等地域材の加工過程における供給拡大条件の解明

スギ等地域材を利用している製材工場、集成材工場、合板工場および原料入手先の森林組合、

素材生産業者、原木市場を対象として、原料供給面における問題点、原木やラミナの形質、価格、入手経路、歩止り、製造経費等について聞き取り調査を行った。調査結果を分析し、原料の安定供給を行うための方策について類型化や共通項の抽出を行うとともに、スギ等地域材から合板、集成材を生産する上での加工コストについて検討した。

VI 研究成果

第1章 現行 JAS 規格外のラミナを用いた新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

本課題の研究成果の一部は、「集成材の JAS」への「ラミナ等級 L30、L40 の導入」につながり、また、国土交通省による集成材の曲げ、縦引張り、縦圧縮基準強度の設定に寄与した。節径比の大きな材については、節の除去率を下げ、ラミナの効率的な利用を目的とした集成材の強度性能を明らかにした。接着加工が必要なラミナについては、集成材ラミナとしての強度性能が明らかにされ、今後の JAS 改正等に対応するための基礎的なデータが集約できた。課題を通じて得られたデータは、地域材を利用した集成材の評価や接着加工等を施したラミナの評価を行うにあたり重要な資料となる。以下、ラミナ種別に得られた成果を記す。

1. オビスギラミナ：機械等級区分(最小値評価)された L40 及び L30 ラミナは現行 JAS では規格外とされるが、その強度性能はスギ製材 E50 材と同等程度であり、構造用集成材用ラミナとして使用可能であることを確認した。また、これらの L40 及び L30 という規格外のラミナを用いた E65(内層 L40)、E55(内層 L40)及び E55(内層 L30)の対称異等級構成集成材について、縦引張り強度は現行 JAS 製品の基準強度を若干下回る場合があるものの、曲げ、縦圧縮、めり込み及びせん断強度はそれぞれの基準強度を満たすことを確認した。さらに、上記の結果を踏まえ、内層に L30 ラミナを使用したスギ対称異等級集成材（E55(内層 L30)）と丸棒シャフト及びドリフトピンを用いた柱脚接合部の実験を行い、安定した耐力及び剛性を得るためには、トルク管理が重要であることを明らかにした。
2. アカマツラミナ：ラミナの強度性能は集中節径比の増加により低下したが、バラツキは小さくなる傾向が認められた。JAS の強度基準を満たす集中節径比は、曲げ強さでは 0～50%、縦圧縮強さでは 0～60%、縦引張り強さでは L125 は 0～30%、L70～L110 は 0～20%であった。最外層、外層に集中節径比 33%以下のラミナ、中間層、内層に集中節径比 70%以下のラミナを配置した集成材の曲げ、縦圧縮、めり込み、せん断強度は、想定する等級の基準強度を満たしていたが、縦引張り強さは基準強度を下回ることが明らかになった。アカマツ有節ラミナを下位等級に区分して歩留まりよく利用し、かつアカマツ集成材の強度性能を担保するためには、曲げ性能は同じでも縦引張りの基準強度が低い強度等級の製造が可能であることが明らかになった。
3. 幅はぎラミナ：ラミナの曲げ強度試験の結果、幅はぎラミナのうち通しラミナはすべての試験体が JAS のラミナの曲げ強度基準を満たすとともに、FJ 材でもほとんどすべてが基準を満たした。集成材については、すべての試験体で十分な強度性能を確認した。また、これらの試験において破壊が幅はぎを原因として生じたと推定されるものはほとんどなかった。これらの結果より幅はぎラミナは通常のラミナと同様の方法で等級区分が可能であることが明らかになった。
4. 台形ラミナ：全てのラミナ及び集成材の各種強度性能は、基準強度を十分に上回る性能を有していた。台形材をグレーディングし、同一等級同士を組み合わせ、強度等級を積極的に区分した同一等級ラミナを用いることにより、異等級対称構成集成材が製造可能であり、より曲げ強

度性能に優れた集成材が得られた。台形材をランダムに組合せたランダムラミナは台形材のヤング係数が平均化して発現するため、同一の強度等級しか得られないが、これを用いた同一等級構成集成材における各種強度性能の変動係数は小さく、強度信頼性の高い集成材が得られた。ランダムラミナを積層したブロックから切り出した再割ラミナを積層して製造する再積層集成材は、原木径に支配される様々な厚さの台形材を自由に用いることが出来るため、原料自由度に優れた製造方法であり、その各種強度性能はランダムラミナを用いた同一等級集成材とほぼ同等であることが明らかになった。

5. スギ LVL ラミナ：スギ LVL ラミナの機械等級区分においては、縦振動法では曲げヤング係数を精度よく推定できないため、連続式グレーディングマシンで測定した曲げヤング係数の最小値により評価するのが妥当であることが明らかになった。ラミナの曲げ、縦圧縮および縦引張りの各種強さは、JAS の基準値や相当する構造用製材の基準強度を上回った。スギ LVL ラミナの破壊要因として単板のスカーフジョイントの関与が大きかった。集成材の曲げ、縦圧縮および縦引張りの各種強さは、対応する集成材の強度等級の基準強度を満たした。また、めり込み強さおよびせん断強さも、スギ集成材に与えられる基準強度を上回った。
6. コナラ LVL ラミナ：コナラ LVL の強度性能は構造用 LVL に定める強度等級 120E2 級の基準値を満たした。スギラミナについては、乾燥ラミナの動的ヤング係数は原料である丸太の動的ヤング係数から $1\sim 3\text{kN/mm}^2$ 程度上昇することが多いことがわかった。FJ 加工後のラミナの死荷重ヤング係数による強度区分は、FJ 加工前のラミナの動的ヤング係数による強度区分よりも 1~2 区分下位に移行するものが多く、FJ 加工後の 6m ラミナの強度区分は L60~L90 となった。最外層にコナラ LVL、それ以外の層にスギラミナを配置した異樹種・異種材料複合集成材は、構造用集成材の JAS に示される対象異等級構成集成材 E105-F300 相当の強度を有した。集成材の最外層にコナラ LVL を配することにより、特に曲げ強度が向上することが明らかとなった。

第 2 章 現行 JAS 規格外のラミナ構成による新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

本課題では、JAS 規格にないラミナ構成の異樹種複合集成材の開発に向けて、各地域材ラミナを用いた異樹種複合集成材の製造及び強度性能評価を実施し、以下のことが明らかになった。なお、本課題の一部は「集成材の日本農林規格」の改訂に活用され、異樹種集成材を対象とした特定対称異等級構成集成材すなわち、ME85-F255、ME95-F270、ME105-F300、ME120-F330 の導入に至った。

1. スギ及びベイマツラミナ及びこれら 2 樹種のラミナによって構成された集成材の縦引張り・めり込み・せん断試験

ラミナの引張り破壊形状はスギ及びベイマツとも FJ 部と節によるものが多く見られ、上位等級になるほど FJ 部で破壊する割合が高かった。スギ及びベイマツ集成材の縦引張り強度は、ラミナと同様に、FJ の数の増加とともに集成材の引張り強度の平均値が低下する傾向が見られた。また、積層数が 10 層の集成材の縦引張り強度の平均値は 5ply に比べて約 20%低い値となった。

スギ及びベイマツラミナのめり込み特性値について等級の違いによる傾向は認められなかったが、すべての等級においてめりこみ強度は平使い（フラットワイズ）よりも縦使い（エッジワイズ）の方が高かった。スギ、ベイマツ、スギ-ベイマツ複合集成材のめりこみ特性値は縦使いよりも平使いで高い平均値が得られた。また、縦使いではすべての試験体がめり込みにより破

壊したのに対し、平使いでは複合集成材の 1/3 の試験体において木口割れにより破壊した。なお、平使いにおいて、比例限度荷重での各ラミナのひずみ量を、最外層、中間層、内層で比較したところ、明確な傾向は認められなかった。

スギ、ベイマツ、スギ-ベイマツ複合集成材のせん断試験において、3 点曲げ、5 点曲げともに、スギ集成材はほとんど曲げ破壊し、ベイマツ集成材、スギ・ベイマツ複合集成材では大部分がせん断破壊した。また、等級が大きく異なるにもかかわらず、スギ集成材とベイマツあるいは複合集成材のせん断強度の差は小さかった。同じ等級のベイマツ集成材とスギ・ベイマツ複合集成材のせん断強度は、3 点曲げ、5 点曲げともに、複合集成材の方が高かった。

2. カラマツ-ベイマツ複合集成材およびトドマツ-ベイマツ複合集成材：ヤング係数により等級区分したラミナの強度については等級に対応した JAS 基準値を下回るデータがみられ、特に、カラマツの曲げ・縦引張り強度で顕著であった。集成材の曲げ・縦圧縮・縦引張り強度は、全ての試験体が想定した等級（E105-F300）の基準強度を上回った。異樹集間の接着性能は、従来の同一樹種の集成材と同等であることがわかった。集成材のせん断強度は、内層（カラマツ、トドマツ）のせん断基準強度を満足した。
3. スギ-ダフリカカラマツ複合集成材：ダフリカカラマツとスギのラミナの曲げ強さおよび縦引張り強さの変動係数は、各等級とも JAS が想定している値（15%）よりも概して大きく 15～35% であった。縦圧縮強さの変動係数は 12%程度で他の強度に比較してバラツキが小さかった。集成材の曲げおよび縦引張り試験では、ヤング係数が設定値よりも大きくなるものの、特定対称異等級構成の等級設定が従来の集成材の JAS の基準と比較して妥当なものであることが確認された。めり込み、せん断強さにおいては、実験値のメジアンランクの 5%下限値が建築基準法告示の基準材料強度を満たすことを確認した。
4. スギ-カラマツ複合集成材：ヤング係数の平均値によって等級区分したラミナの強度については、スギは全等級において JAS の基準値を満足したが、カラマツの曲げ及び縦引張り強度は基準値を下回るものがあつた。また、JAS の E95-F270 を目標とした異樹種複合集成材については、縦圧縮強度はすべての試験体で基準強度を上回ったが、曲げ強度及び縦引張り強度では基準強度を下回る試験体があつた。そこで、ラミナをヤング係数の最小値により等級区分したところ、ラミナの曲げ強度、縦引張り強度とも JAS の基準値を満足することがわかった。これらのラミナによって製造された集成材の曲げ強度は基準値を満足したが、縦引張り強度については目標とした強度等級に与えられる基準強度に満たない試験体があつた。集成材のめり込み強度はカラマツ集成材に与えられる基準強度を満足した。JIS いす型せん断試験、実大いす型せん断試験、3 点曲げせん断試験、5 点曲げせん断試験で得られた集成材のせん断強さの平均値を比較すると、JIS いす型試験と 5 点曲げせん断試験の結果が、また、実大いす型試験と 3 点曲げせん断試験の結果が同程度になることが明らかになった。
5. スギ-ヒノキ複合集成材：ヒノキラミナのヤング係数分布は、平均 11.03kN/mm^2 で、 14kN/mm^2 以上のラミナは全体の 4.7%であり、等級 L140 以上のラミナを十分に確保することが困難であることが明らかになった。このことから、ヒノキとスギによる異樹種構成を考える場合、最外層のヒノキラミナは現規格の L125 以下とし、E95 もしくは E105 の異等級構成集成材とすることが適切であると判断された。E105-F300 を目標とした異樹種集成材について、曲げおよび縦圧縮強さは基準強度を十分に上回る値が得られたが、縦引張り強さは基準強度を下回る試験体が

あった。集成材のめり込み強度は、スギの構成比率が大きくなると低減する傾向を示したが、最外層のヒノキラミナの等級を変化させても影響がないことがわかった。また、すべての構成において、フラットワイズよりエッジワイズの方が高い値を示した。集成材のせん断強さはスギ及びヒノキ集成材に与えられる基準強度を大きく上回ったが、異樹種構成とした場合にはスギの構成比率が大きくなるとせん断強さが低下する傾向を示した。また、材せいが 300mm と 480mm の集成材について曲げ方式で求めたせん断強度は、平均値がほぼ同じであり、寸法効果は認められなかった。

6. スギーベイマツ複合集成材：ラミナの厚さが異なってもヤング係数と曲げ・縦圧縮・縦引張り強さとの間には高い相関関係が認められること、曲げヤング係数と曲げ強度との間の回帰式及び決定係数にはラミナ厚の違いによる差はないことが明らかになった。集成材の曲げ強度はばらつきが小さく、また、非等厚ラミナ構成やラミナ厚の違いによる差はほとんど認められなかった。スギ及びベイマツの非等厚ラミナ構成による新集成材の曲げ、縦圧縮、縦引張り強度は、等厚構成集成材と同じであった。また、非等厚ラミナ集成材のめり込み特性値は、等厚ラミナ集成材に比べてばらつきが小さいことが明らかになった。

第3章 新集成材の規格化及び建築への適用技術の開発

従来の集成材の強度性能推定に適用されてきた強度算定式が妥当であること、現在住宅用構造材として主流となっている集成材の強度等級は住宅設計に要求される強度性能に対して十分安全側であることを踏まえて、スギ等地域材を集成材に有効に利用するため低曲げヤング係数等の材質が低いラミナを使用可能とし、かつ、それらを用いた新集成材の性能向上を目的として異樹種複合等を可能にする新しいラミナ構成を集成材 JAS 見直し委員会に提案し採用された。また、これらの新集成材の基準強度を国土交通省側に提案し基準強度が与えられた。各課題で得られた成果は以下の通りである。

1. 従来の集成材の強度性能推定に適用されてきた強度算定式の妥当性について、第 1 章、第 2 章の研究で実施した 20 構成の集成材の試験結果を用いて検証した。その結果、曲げ強度については妥当性が確認されたが、圧縮強度および引張り強度については従来の算定式が適用できる条件の範囲、具体的には最外層ラミナの破壊が直接集成材の破壊を引き起こす範囲を確認する必要があることが明らかになった。これらの成果に基づいて、集成材 JAS の見直し検討会においてヤング係数が低いラミナも使用可能な新たなラミナ等級（L30 と L40）、並びにこれらを用いた新たなラミナ構成（対称異等級構成：E65-F220、E55-F200、特定対称異等級構成：ME120-F330、ME105-F300、ME95-F270、ME85-F255、非対称異等級構成：E60-F205、E50-F170）を提案し採用された。JAS 改訂後、これらの強度性能に関する資料を国土交通省側へ提示し、同省より基準強度が告示された。
2. 一般地域および多雪地域における木造住宅各 3 棟の図面、構造計算書を入手し、柱、土台、梁の応力負担割合の実態把握を行った。その結果、柱、土台、梁において応力的に十分な余裕が存在することが明らかになった。したがって、低ヤング係数ラミナ等による新集成材や曲げ性能向上に特化した新集成材が住宅用柱、梁部材として十分な性能を有することが示された。
3. LVL 等を複合した新集成材の性能評価試験を行う上で必要となる長期荷重試験とクリープ試験の方法について、文献調査を行うとともに設定荷重を短時間で決定する手法を開発してその

精度を明らかにした。また、これらの成果に基づいて、荷重継続時間の評価に係る実験計画(案)、クリープ特性の評価に係る実験計画(案)を策定した。

第4章 新集成材の接合強度評価

在来軸組構法木造住宅の耐震安全性確保には、筋かいや合板等を使った耐力壁を数多く配置することが有効であるが、高い強度性能を持った耐力壁の登場や、狭小土地の有効利用を目指して細く高い住宅が増えてきたことなどから、柱脚・柱頭接合部に引張力に抵抗できるように柱接合金物が使用される場合が多くなっている。この柱脚・柱頭金物には、ボルト、釘、ラグスクリュー、木ねじなどの接合具が用いられているが、同一等級構成の集成材を使った柱脚接合部の強度試験を行った結果、ラミナの幅はぎの有無が強度に影響を与えないことが確認できた。このことは、上記接合具によるせん断形式の接合部全般に対して適用できると考えられる。

また、在来軸組工法木造住宅においては、現場工事の省力化と強度の安定化を目指して、従来の和風仕口加工から梁受け金物へ移行しつつあるが、曲げ性能に主眼をおいた異等級構成集成材では、断面内の各ラミナの等級が異なるため、接合部の加工形状や接合具配置によって接合強度・剛性が変化すると考えられる。本プロジェクト研究で試作した集成材を用いて、実際の木造住宅での使用実績が多い、鋼板を折り曲げた金物にドリフトピンを組み合わせた梁受け金物接合部の強度実験を行った結果、当該の金物に認定されている耐力値は満足することが分かった。また、梁下部を受ける形式の梁受け金物では、認定されている耐力値を大きく上回る上に、金物と直接接する強度の高い最外層ラミナの効果であることがわかった。

第5章 新集成材の耐久性評価

耐久性・耐朽性や含水率変化にともなう寸法変化率が異なる樹種を複合した異樹種積層集成材の耐久性に関して、下記の結果が得られた。

異樹種集成材を構成するラミナの耐朽性・耐蟻性を室内試験で評価した結果、ベイマツ心材、ホホワイトウッド材の耐朽性・耐蟻性はスギ辺材の耐朽性・耐蟻性とスギ心材のそれらとの中間にあることが明らかになった。異樹種集成材の暴露試験では、埋め方や接地・非接地に関わらずベイマツやホホワイトウッドを使用した外層ラミナから先に劣化していくことが明らかとなった。暴露した異樹種集成材の残存強度と劣化の程度とを比較したところ、劣化が激しいほど残存強度も低下する傾向にあることが認められた。

アヤスギ、アラカワ、オビアカ、ヤブクグリのスギ4品種の寸法変化率は、髓から約50mmより外側の部分で品種にかかわらずほぼ一定で、幅方向では約6%、厚さ方向では約2%前後であったが、厚さ方向については品種間の差が認められた。二方桁の試験体の寸法変化率は、接線方向が約8%、半径方向が約4%であった。気乾ラミナのヤング係数と幅方向の寸法変化率との間には正の関係がみとめられ、ヤング係数が高いラミナは寸法変化率が大きい傾向があり、品種別に見た場合にこの傾向はさらに顕著になった。一方で、ヤング係数と厚さ方向の寸法変化率との間には有意な関係は認められなかった。

ベイマツまたはホホワイトウッドを外層に用いた5層積層異樹種集成材について断面内の寸法変化を測定したところ、外層の寸法変化が中間層および内層に比較して大きかったが、ラミナで測定した寸法変化と比較するとその絶対値は小さく、積層による寸法変化の抑制効果が認められた。

一方、中間層および内層ではラミナで測定した寸法変化より大きくなってはいるものの、集成材全体としては層間の寸法変化の差が小さくなっており、異樹種複集成材ではラミナ相互の拘束により寸法変化が抑制されると考えられる。また、集成材断面の寸法変化は、外層がベイマツのものとホワイトウッドのものとでは違いがあり、外層がベイマツの集成材では外層の寸法変化の抑制がホワイトウッドに比べて小さく、中間層と内層の寸法変化が増加するという結果を示した。

第6章 新集成材の接着技術の高度化とその評価

新集成材の接着技術の高度化とその評価を行って以下の成果を得た。構造用集成材用接着剤の同等性評価における耐熱性評価に関連した成果にもとづいて、JAS の委員会において評価基準値を提案し採用された。また、JAS・JIS がホルムアルデヒド放散量の測定法としているデシケーター法が ISO 規格案に採用された。

1. スギ集成材用板材の乾燥工程では、乾燥効率を高めるために天然乾燥を採り入れることや人工乾燥前の初期含水率をそろえること、ベイマツの乾燥工程では生材状態から人工乾燥を行うことが重要である。また、乾燥処理温度は、燃料消費量や乾燥後の収縮や材色を考慮すると、今回の試験範囲では 50-80℃が適当である。また、実大材では、長さ方向のそりを押さえるためには栈積み上に重量物を載せることは有効であり、天然乾燥中にも必要である。
2. 製造条件の異なる新集成材について接着性能試験を行った結果、ほとんどの試験体で基準を上回った。基準に満たない試験体が一部認められたが、それらについては製造・接着条件の把握を行い、原因を究明することが残された課題である。
3. 各接着剤の常態（20℃）接着強さは 15~22 N/mm²、100℃においては 10~18 N/mm²、150℃では 5~10 N/mm²であった。また、集成材を実際に燃やす 45 分耐火加熱試験により水性高分子-イソシアネート系接着剤（API）とレゾルシノール樹脂接着剤（PRF）を比較したところ、API は PRF より炭化速度はやや大きいものの、0.8mm/min より小さいことが明らかとなった。このことから、耐火用壁炉を用いた新規試験方法により、接着剤の火に対する抵抗性を評価できること、また、API による集成材が 45 分耐火性能を有することが示唆された。
4. ホルムアルデヒド放散量に関する各種規格試験の関係については、デシケーター法（JAS・JIS 法）と 1m³ チャンバー法（ISO 法）および小型チャンバー法による測定値間に高い相関があることが明らかとなった。

第7章 新集成材の耐火性能付与とその評価

耐火加熱試験において、集成材内部を燃えしろ部分、燃え止まり部分、建物の構造耐力上主要な部分を想定したコア部分に分け、ロの字型（シェル型）に配置した燃え止まり部分に難燃性能を付与して、炭化の進行を止めることにより、スギまたはカラマツ集成材を 1 時間の耐火加熱試験で燃え止まらせることに成功した。具体的な仕様は以下のとおり。

- 1) 難燃薬剤にはカルバミルポリりん酸アンモニウムを主成分とする薬剤が有効である。
- 2) 表層から 10~25mm を燃えしろ部分とし、その内側に 50mm 以上の燃え止まり部分を設ける。
- 3) 燃えしろ部分には 20~40 kg/m³、燃え止まり部分には 70kg/m³ 以上を目安に薬剤を注入する。
- 4) コア部分には必ずしも難燃薬剤の注入は必要としない。

また、上記の集成材を製造する方法としては、ラミナの燃え止まり部分には CO₂ レーザによる

インサイジングを行い、コア部分にはウレタン樹脂系溶剤型下塗り材を塗布して難燃薬剤を注入し、部位に応じて薬剤注入量の異なるラミナを作製し、これを積層接着することで、通常の集成材製造ラインでの集成材製造が可能であることを示した。

これらの結果、スギ等地域材を用いた集成材の新しい用途として、木材を現しで使用した1時間の木質耐火建築部材が加えられた。

第8章 新しい厚物構造用合板の製造技術と厚物合板の壁・屋根への適用技術の開発

スギ等地域材を厚物構造用合板に利用するにあたって、低密度化と強度性能の効率的向上を両立させ、かつ、歩留まりよく製造するための技術を確認した。また、厚物合板の新しい用途として壁や屋根への適用技術を開発し、耐力壁の仕様についてはマニュアルを作成して民間に技術移転した。

異樹種複合合板の曲げ性能は概ね合板の密度と正の相関を持つことがわかり、さらに高密度樹種の単板を表層に配置する方が強度性能の向上効果が高い事がわかった。また、その程度は平行層理論によって原料樹種の物性値から予測可能であった。異樹種複合合板の曲げ性能に関する断面設計法を考案し、強度性能の向上と軽量化を可能とする単板構成を導出した。また、縦継ぎを有する合板の強度性能について検討し、表層単板に縦継ぎを含まない仕様においては、層内せん断性能・曲げ性能ともに有意な低下が生じず、JAS規格に合致する性能が得られることを明らかにした。

厚物合板（JAS規格特類2級、樹種：スギ）を張った軸組構法耐力壁について、様々な仕様を変化させて水平せん断試験を行った結果、面材厚さを24mmとし、CN75釘を100mmピッチで留め付けた場合に強度や施工性に優れた性能を示し、倍率5.0を超える高倍率耐力壁となることがわかった。この仕様の耐力壁に対し地震波を用いた動的試験を行った結果、静的試験と比較して耐力は上昇するものの、変形能は低下する傾向が見られた。床勝ち仕様についても通常の直張り仕様、受材真壁仕様と同等の性能を有することがわかった。また、屋根構面に関して、登り梁に厚さ28mmの構造用合板を直接釘打ち(N75@150)した仕様を開発した。本仕様では母屋と垂木を省略でき、さらに小屋裏空間を有効利用できるため新しい構工法の提案が可能となる。同仕様の水平せん断試験を行った結果、得られた存在床倍率は1.5となり、品確法で定められている従来の屋根構面（厚さ9mmの構造用合板を垂木に釘打ち(N50@150)した仕様）の存在床倍率0.5よりはるかに高い値を示した。

第9章 スギ等地域材の加工過程における供給拡大条件の解明

スギ等地域材の供給側と利用側を対象にして調査を行った結果、合板、集成材原料としてのスギ等地域材の原木価格は非常に安価であるため、再造林コストが捻出できず造林未済地が増加するなどの問題が発生していることが明らかとなった。こうした状況の中で、特に合板原料としてのスギ等地域材利用が急増しており、合板工場が行っている安定購入、現金決済などの仕組みは、原木の安定供給を行う上で効果的であることが明らかとなった。一方、スギ集成材ラミナ価格は、競合する北欧材ラミナの価格を反映して非常に低く抑えられており、スギ集成材ラミナ製造工場の経営は非常に厳しい状況であった。スギ集成材ラミナ工場において加工コストの低減を図るためには、木屑を利用した乾燥コストの低減が有効であることが明らかとなった。今後スギ等地域

材の供給拡大を図るためには、加工コストだけでなく、伐出コストや流通コストを低減し、少しでも山側に資金を還元していくことが重要であるといえる。

VII 成果の利活用

スギ等地域材の需要拡大を可能にする技術開発を目的として、構造用集成材や構造用合板に利用できるラミナ等の材質・品質の拡大、地域材資源をより有効活用するためのラミナや単板の製造技術の開発と評価、様々なラミナや単板を様々な複合・構成する技術の開発および性能評価を行って、膨大な試験データを得た。

また、これら新しい技術の社会への普及を目的として、スギ等地域材を構造用集成材原料として有効に利用でき、かつ、曲げ強度性能を向上させることを可能とする技術を集成材 JAS 見直し検討委員会において提案した。具体的には、低ヤング係数等の低質ラミナ利用を可能とするラミナ等級 L30 および L40 の新設、歩留まり向上可能とする幅はぎラミナや台形ラミナの評価基準確立、効率的な曲げ強度性能向上を可能とする特定対称異等級構成集成材の新設であった。これら提案を盛り込んで平成 19 年に集成材 JAS が改訂された。また、構造用集成材の基準強度について、検討資料を作成して国土交通省と検討し、その結果 JAS に新設された等級に対し基準強度が国土交通省告示より平成 19 年度に告示された。新集成材の接着性能評価において得られた耐熱試験結果に基づいて、集成材の日本農林規格に係る接着性評価委員会で耐熱性試験の基準値が規定された。また、ホルムアルデヒド測定法に関して、JAS・JIS で採用されているデシケータ法が ISO 規格で採用されているチャンバー法等と相関が高いことから ISO 規格ドラフト案の附則に掲載された。

合板の単板構成と強度性能を明らかにすることで得られた断面設計法は、合板 JAS 規格・建築基準法等の検討基礎資料として利用された。また、厚物合板を用いた高倍率耐力壁の仕様は民間に技術移転され、国土交通省大臣の認定を取得した。

本プロジェクトで開発された 1 時間耐火集成材は新しい木造建築分野を開拓するものとして注目されており、耐火時間の延長など技術開発を目的に農林水産技術会議の新規プロジェクトとして森林総合研究所、東京農工大学、鹿島建設（株）で引き続き研究が継続されることになった。

VIII 今後の問題点

地域材のラミナ及びそれらで構成される集成材、とくに外国産樹種と組み合わせた異樹種複合集成材についての貴重な試験データが膨大に得られ、規格の改正や基準強度の設定に反映された。今後、これらのデータを一括して収集・整理し、より詳細なデータ解析を行って集成材の強度発現機構の解明や高精度の強度予測シミュレーションの開発及び検証、幅方向の曲げ性能推定やせん断性能の評価技術の開発等のための研究課題を立ち上げることが必要と考える。また、JAS 規格の改定に盛り込まれなかった LVL、台形ラミナ積層再割材など加工度の高い木質材料を集成材として利用する技術、初期性能が明らかになった新集成材の耐朽性、接着耐久性や DOL 性能に関する継続的な研究を行う必要がある。なお、LVL ラミナ集成材については、本研究プロジェクト期間中に民間より提案された薄板ラミナ、集成材ブロックラミナとともに農林水産技術会議プロジェクト「信頼性強度設計理論による地域材利用新構造用材料の開発（平成 19～21 年）」を開始している。

住宅用構造材に要求される性能に対して現在一般的に使用されている集成材の強度等級は過大であることが明らかになったが、社会・業界へのこの事実の浸透度は浅いので機会を捉えて広報を図るとともに、新集成材を用いたより具体的な設計方法の提案などを行っていく必要がある。

構造用合板における縦継ぎ技術は、地域材の有効利用に有効であり、新たにプロジェクト化などして技術確立する必要がある。

最後に、異樹種複合などにより地域材を活用した集成材や合板を製造する基本的技術は示されたが、原木流通を含めた原料の調達、原料入手から加工・製造までコスト低減、製造工程の確立など、市場の製品として実際に生産していくための現実的課題についても取り組んでいく必要がある。

以下、各章毎にまとめられた問題点を列記する。

第1章 現行 JAS 規格外のラミナを用いた新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

せん断性能に関して、ISO3 点曲げ方式のせん断試験では、曲げ破壊がほとんどであった集成材もあるため、逆対称 4 点曲げ方式等、他の方法を用いたせん断性能の評価を行う必要がある。節径比の大きなラミナについては、節がラミナ及び集成材の強度に与える影響をさらに精査し、ラミナの効率的な利用方法を提案する必要がある。接着加工が必要なラミナについては、原料エレメントの接着性能評価手法、節の評価手法を確立する必要がある。以下、ラミナ別に残された課題を記す。

オビスギラミナ：ヤング係数の測定方法や評価方法の違いが機械等級区分したラミナの強度性能に与える影響について引き続き検討する必要がある。集成材の引張試験においては、多くの試験体がチャック切れによる破壊を示しており、正しい引張り強度を求めることができなかった。今後は、集成材の引張強度が適正に評価されるような試験方法の検討が必要である。また、せん断性能については、3 点曲げ ISO 方式による場合は破壊のほとんどが曲げによるものであり、せん断強さを求めることができなかった。したがって、本法による実大の梁材の集成材のせん断強さの評価は困難であると思われる。今後、逆対称 4 点曲げ方式によるせん断試験を実施する必要がある。

アカマツラミナ：大節を含むアカマツ集成材は、特定対称異等級構成の基準を満たした。しかし、いっそうの歩止まり向上と製造コスト削減を目指すためには、さらにアカマツ集成材の強度データの蓄積と強度発現メカニズムの解析を行い、MSR 区分以外の機械等級区分、目視区分による強度担保手法の確立が必要である。また、今回得られたアカマツラミナのヤング係数の頻度分布を考慮すると、JAS においてアカマツが区分されている樹种群の見直しが必要である。

幅はぎラミナ：幅はぎラミナでは、節のあらわれ方が通常のラミナと異なるので、現状ではヤング係数と強度が保障された MSR ラミナの使用が妥当であると考えられるが、目視区分、MSR ラミナ以外の機械区分を行う場合にそなえ、節径比をどのように考えるかを定める必要がある。また、節の位置や節径比と強度特性の関係を明らかにする必要がある。

台形ラミナ：今回、試作・評価を行った集成材の中、再積層集成材については、現状の台形ラミナ集成材製造現場においては最も実用的な製造方法であるものの、現行 JAS 規格の中では定義出来ない集成材である。実用化推進のためには、接着層の品質評価手法の検討や、強度発現メカニズムの解析を行い、性能保証を行うための品質管理指針を明確にすることが必要である。

スギ LVL ラミナ：製造したスギ L V L ラミナが L80 に等級区分され、異等級構成集成材を製造

するにあたり、これを最外層、それ以下の等級のスギラミナを最外層以外に利用したため、スギラミナについて、等級区分ごとの出現率から歩留まりよく利用することができなかった。このため、スギLVLラミナの強度等級をより高めることが求められる。

コナラ LVL ラミナ：スギラミナの強度試験の結果、強度の基準値を下回るラミナが見受けられた。今後は、たて継ぎラミナの評価について、たて継ぎ部のヤング係数を局部的に測定する等検討する必要があると思われる。コナラ LVL の製造にあたっては、乾燥時に変形しやすいコナラを乾燥する場合は、単板を押さえながら乾燥するロールドライヤーを利用し、接着不良を可能な限り押さえることが必要であると考えられた。コナラ単板の歩留まりは約 55%であったが、LVL のスカーフジョイント間隔が 2m であったため、1m 単板をうまく活用できなかった。短尺の単板を用いた LVL 製造技術について検討する必要がある。

第 2 章 現行 JAS 規格外のラミナ構成による新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

本課題では、各担当者が精力的に膨大な試験を実施した結果、地域材のラミナ及びそれらで構成される集成材、とくに外国産樹種と組み合わせた異樹種複合集成材について数多くの貴重な試験データが得られ、規格の改正や基準強度の設定に反映された。しかしながら、本課題の膨大なデータは規格関連の貢献にとどまらず、より解析を進めることで集成材の強度発現機構を明らかにできる可能性を持っている。今後、これらのデータは一括してプールする予定であり、データ整理が終了後、これらのデータ解析する必要がある。また、開発された新集成材について、集成材の各種強度に及ぼす試験体や試験条件の影響について一部明らかになったとともに、今後検討すべき新しい課題も明確になった。さらに、集成材の縦引張り強度やカラマツラミナの強度など解決すべき問題点も浮き彫りにされた。したがって、これらの課題を解決し、本プロジェクト膨大なデータと高精度の強度予測シミュレーションの開発及び検証のための研究課題を立ち上げることが必要と考える。

一方、地域材を活用した異樹種複合集成材を生産することが技術的に十分可能であることが示されたが、原木流通を含めた原料の調達、原料入手から加工・製造までコスト低減、製造工程の確立など、新集成材を市場の製品として実際に生産していくためには多くの現実的課題も残されている。今後、本プロジェクトの研究成果を踏まえ、それぞれの地域において地域材を有効に活用していくための取り組み始まることを期待したい。

第 3 章 新集成材の規格化及び建築への適用技術の開発

ひき板をたて継ぎや幅はぎしただけのものにとどまらない LVL や台形ラミナ等（仮称：加工ラミナ）をより有効に活用するための技術開発については、ラミナとしての強度性能把握のための強度試験方法とこれら加工ラミナを用いた集成材の強度性能を算出する技術について引き続き検討する必要がある。また、積層方向の曲げ強度に加えて幅方向の曲げ強度に対する算出式について検証する必要がある。

荷重継続時間の評価に係る実験計画（案）、クリープ特性の評価に係る実験計画（案）における試験実施上の問題点については、実際に試験を行って把握していく必要がある。

第4章 新集成材の接合強度評価

本プロジェクト研究での接合強度に係る検討は、試作した新しい集成材を基に実施したものであるため、本プロジェクト研究での検討を踏まえて規格化、製造され、実際に市場に流通した時点で、同様の結論に至るかどうか検証することが望まれる。また、ここで検討された接合部は、他の接合形式や接合金物に応用できるような代表的なものを選んで実験実施しているが、その範囲は極限られたものであることには変わりがない。他の形式の接合部の強度については、逐次データを収集追加し、データベースを構築して行くことが必要であろう。

第5章 新集成材の耐久性評価

耐朽性・耐蟻性の評価に関しては、今回室内試験と暴露試験との傾向が等しかったことから、異樹種集成材の耐朽性・耐蟻性を室内耐朽性・耐蟻性の結果から予測できる可能性があることが示唆された。より一層のデータの蓄積が必要である。

寸法変化率に関しては、調査した4品種間ではラミナ幅方向の寸法変化率に差はないという結果が得られている。しかし、スギの材質は品種によって大きく異なることから、さらに異なる材質をもつ品種を対象にした精査が必要である。

異樹種集成材の断面内寸法変化に関しては、今回の結果が小試験体を用いて得られたものであることから、周縁部と内部で含水率が異なる実大材の実際の挙動とは異なっている可能性がある。実大材の寸法変化挙動をとらえるためには、繊維飽和点以下の含水率域での各ラミナ層の変位をとらえる新技術を開発する必要がある。

第6章 新集成材の接着技術の高度化とその評価

集成材用ひき板の乾燥技術と接着性能では、ラミナの効率的乾燥法についてマツ類やヒノキ類の乾燥試験が必要である。

異樹種集成材の接着性能評価に関しては、集成材の屋外暴露試験による耐久性評価をより長期的なスパンで継続する必要がある。

構造用集成材用接着剤の同等性評価における耐熱性・耐火性評価のうち、耐熱性試験については水性高分子ーイソシアネート系接着剤以外の種々の接着剤についてデータを蓄積する必要がある、また、各種接着剤のクリープ試験データの蓄積も必要である。また、集成材の「使用環境に求める接着剤の評価方法」においては、接着剤の型番ごとに実大載荷耐火加熱試験が必須となっているが、より簡便な評価方法の開発が業界団体等により要望されている。代替法の提案にあたっては、加熱圧縮せん断試験等の耐熱性試験と組み合わせた方法を考案する必要がある。そのためには実大載荷耐火加熱試験における接着剤の耐熱性能への要求性能を明らかにする必要がある。

ホルムアルデヒド放散量に関わる各種試験方法の同等性評価では、各試験法において、ホルムアルデヒド放散量の経時変化の挙動は、材料の種類やホルムアルデヒドキャッチャー剤の有無によっても異なりうるため、本研究で得られた試験法間の定量的な関係がMDF以外の材料にも適用できるかどうかについてはさらなる検討が必要である。

第7章 新集成材の耐火性能付与とその評価

本研究により、木材のみの構成で耐火加熱試験において燃え止まる集成材の仕様を開発したが、耐火構造の認定にあたっては、実物大の試験体を用い、所定の荷重値を負荷した状態での載荷耐火加熱試験に合格する必要がある。はりや柱での1時間耐火構造の認定取得に向けては、さらに研究開発を進めるとともに、接合部や他部材との取り合い部分の開発を行う必要がある。なお、本研究は、平成20年度から実施される農林水産技術会議の新規プロジェクト課題に引き継がれ、森林総合研究所、東京農工大学、鹿島建設（株）の共同研究として、引き続き、研究が行われることとなっている。

第8章 新しい厚物構造用合板の製造技術と厚物合板の壁・屋根への適用技術の開発

現在工場において利用可能な単板の縦継ぎ装置はホットメルト接着剤のみが使用可能であり、縦継ぎ合板を合板のJAS規格の認証対象とするためには、ホットメルトによる縦継ぎ部の接着耐久性に関する性能保証が必要となる。このことは既に製造者団体に対して指摘し、対応策の検討を要請しているが、接着剤の変更が不可能な場合、ホットメルト接着剤の耐久性評価が必要となるため、新規プロジェクト等で検討する必要性が生じる。

第9章 スギ等地域材の加工過程における供給拡大条件の解明

今後、外国産材の供給不安などにより合板、集成材原料としてのスギ等地域材利用がさらに増加することが予測される。製材用原木が合板工場へ流れていく可能性も示唆されており、山側の供給力全体の底上げを図り、製材（集成材）用原木と合板用原木を仕分ける仕組みを構築するなどの方策が必要になってくると考えるが、この辺りは十分に調査ができなかった部分である。合板、集成材を取り巻く市況がめまぐるしく変化する中で、流通、加工コストの低減を進め原木の価格向上と安定供給を図るためには、さらに詳細な調査を行う必要がある。

IX 研究発表

第1章 現行 JAS 規格外のラミナを用いた新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

1. 飯村豊（2005）宮崎県産スギ積層材とその利用技術，住宅と木材，28(32)，18-21.
2. 大橋一雄・東野正（2005）通しラミナで構成したアカマツ集成材の強度等級とラミナ利用歩留まりの関係，日本木材加工技術協会講演要旨集，23，75-76.
3. 飯村豊（2006）「オビスギづくり」のはじまり，宮崎建築士会「建築士研究集会都城大会」講演要旨集，5-6.
4. 飯村豊（2006）「かりこぼうず大橋」とシステム技術の変遷—ブルネルの木造鉄道橋から現代のスギ車道橋まで—，平成 17 年度土木学会西部支部研究発表会.
5. 飯村豊（2006）ブルネルからティンバー・エンジニアリングを学ぶ—「オーク」から「イエローパイン」へ—，土木学会誌，91(7)，44-47.
6. 大橋一雄・東野正（2006）強度等級区分したアカマツラミナの集中節径比の出現傾向と，曲げ，引張，縦圧縮強度性能との関係，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），56，E10-0900.
7. 平松靖・藤本清彦・宮武敦・新藤健太・軽部正彦・原田真樹・宇京斉一郎（2006）カラマツ幅はぎラミナの強度性能（1）-種々の方法で測定したヤング係数の関係-，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），56，E10-1030.
8. 藤本清彦・平松靖・宮武敦・新藤健太・軽部正彦・原田真樹・宇京斉一郎（2006）カラマツ幅はぎラミナの強度性能（2）-引張り強度性能と曲げ強度性能-，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），56，E10-1045.
9. 松元明弘・藤元嘉安・森田秀樹・飯村豊・椎原淳（2006）低曲げヤング係数スギラミナ及びそれを用いた集成材の強度性能(第 1 報)，日本木材学会九州支部大会講演集，13，35-36.
10. 野上英孝・三木敬臣（2006）ヒノキ台形ラミナの強度性能，日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集，24，31-32.
11. Fujimoto, Y., Matsumoto, A., Morita, H., Shiiba, A., Iimura, Y. (2006) Strength Performance of Sugi Lamina with Low Young's Modulus and Glulam Made of These Laminas, The 17th Symposium of The Materials Research Society of Japan Program and Abstracts, p.256.
12. 土屋幸敏（2006）広葉樹 LVL を用いた集成材の製造と強度性能—府内産スギを原料とするラミナの製造—，平成 17 年度京都府林業試験場業務年報，17-19.
13. 土屋幸敏（2006）広葉樹 LVL を用いた集成材の製造と強度性能—集成材ラミナの強度性能—，平成 17 年度京都府林業試験場業務年報，21-23.
14. 大橋一雄・東野正（2007）節除去基準が機械等級区分されたアカマツラミナの採材長，縦継ぎ数に及ぼす影響，岩手県林業技術センター研究報告.
15. 松元明弘・藤元嘉安・森田秀樹・飯村豊・椎葉淳（2007）県産スギラミナを用いた新構成構造用集成材の強度（せん断）性能，日本木材学会大会研究発表要旨集，57，p.20.
16. 大橋一雄・東野正（2007）集中節の除去基準がアカマツラミナの長さ方向の歩止まりに与える影響，日本木材学会大会研究発表要旨集，57，p.103.
17. 田淵敦士・土屋幸敏・長尾博文・加藤英雄・井道裕史（2007）コナラ LVL をラミナとするスギ集成材の強度特性，日本木材学会大会研究発表要旨集，57，p.20.

18. 飯村豊・白恵琇（2007）低比重材スギを用いた中断面集成材構法―圧入ジベルと丸棒シャフトを用いた乾式軸組―，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，691-692.
19. 大西裕二（2007）宮城県産スギによる構造用集成材の製造，東北森林科学会講演要旨集，12，p.58.
20. 野上英孝・金田利之・井道裕史・加藤英雄・長尾博文・平松靖・新藤健太・宮武敦・三木敬臣（2007）ヒノキ台形ラミナ集成材の強度性能，日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集，25，25-26.
21. 藤本清彦・平松靖・宮武敦・新藤健太・軽部正彦・原田真樹・宇京斉一郎：幅はぎラミナを使用した集成材の強度性能（1）（2007）ラミナの曲げ，引張り，圧縮強度性能，日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集，25，27-28.
22. 平松靖・藤本清彦・宮武敦・新藤健太・長尾博文・加藤英雄・井道裕史，幅はぎラミナを使用した集成材の強度性能（2）（2007）集成材の曲げ，引張り，圧縮強度性能，日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集，25，29-30.
23. Matsumoto, A., Morita, H., Fujimoto, Y., Shiiba, A., Iimura, Y. (2007) Strength Performance of Glulam made from Obi-sugi Laminae with low Young's Modulus of Elasticity, IUFRO All Division 5 Conference PROCEEDINGS, p.325.
24. 藤元嘉安・森田秀樹・松元明弘・飯村豊・椎葉淳（2007）低曲げヤング係数スギラミナを用いた構造用集成材の強度性能―めり込み性能―，日本木材学会九州支部大会講演集，14（別冊1号），49-50.
25. 飯村豊・北田孝二・椎葉淳・上杉基・白恵琇・李銓濟（2007）スギラーメン構法の「韓国ヘイリ芸術村木造展示館」―ラジアタパインラーメン構法の「西都市このはな館」との比較―木材学会九州支部大会講演集，14（別冊1号），55-56.
26. 土屋幸敏・田淵敦士（2007）広葉樹 LVL を用いた集成材の製造と強度性能―ラミナの強度性能―，平成 18 年度京都府林業試験場業務年報.
27. 松元明弘・森田秀樹・椎葉淳・藤元嘉安・飯村豊（2008）低曲げヤング係数スギラミナを用いた構造用集成材の強度性能―ラミナ等級の評価方法が及ぼす影響―日本木材学会研究発表要旨集，58，
28. 椎葉淳・飯村豊・藤元安宏・張日紅（2008）改正 JAS の新構成スギ集成材を用いた複合桁の開発―鉄筋コンクリート，鋼板との複合―，日本木材学会研究発表要旨集，58，p.35.
29. 大西裕二・宮武敦・平松靖：構造用集成材ラミナとしてのスギ LVL の強度性能，日本木材学会大会研究発表要旨集，58，p.24.
30. 藤本清彦・平松靖・宮武敦・新藤健太・井道裕史：カラマツ幅はぎラミナを使用した集成材のめり込み強度性能，日本木材学会大会研究発表要旨集，58，p.103.
31. 平松靖・藤本清彦・宮武敦・新藤健太・井道裕史：カラマツ幅はぎラミナを使用した集成材のせん断強度性能，日本木材学会大会研究発表要旨集，58，p.102.

第2章 現行 JAS 規格外のラミナ構成による新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

1. 園田里見・柴和宏・若島嘉朗・中谷浩（2005）相関表によるラミナ強度データの整合方法，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1，217-218.

2. Sonoda, S., Shiba, K., Wakashima, Y., Nakatani, H. (2005) Matching method for data of several strengths of laminae, IAWPS2005 International Symposium on Wood Science and Technology, 2, 155-156.
3. 井道裕史・長尾博文・加藤英雄・園田里見・吉田徳之 (2006) 集成材の縦引張り強度評価 (1) FJ 数を調整したスギ及びベイマツラミナの縦引張り強度, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 56, E10-1000.
4. 長尾博文・井道裕史・加藤英雄・宮武敦・園田里見・吉田徳之 (2006) 集成材の縦引張り強度評価 (2) 各ラミナの FJ 数を調整したスギ及びベイマツ集成材の縦引張り強度, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 56, E10-1015.
5. 橋爪丈夫・伊東嘉文・吉田孝久 (2006) スギ及びカラマツによる異樹種集成材の強度性能, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 56, E10-1130.
6. 園田里見・柴和宏・中谷浩・若島嘉朗 (2006) 集成材ラミナ強度データのマッチング方法に関する一考察その 2 共通物性との相関関係が推定精度に与える影響, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM) 56, E10-0945.
7. 藤田和彦・松岡秀尚・吉田徳之・福本優子・井道裕史・加藤英雄・長尾博文・宮武敦 (2006) スギ・ベイマツ非等厚ラミナを使用した異樹種集成材の強度性能, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 56, E10-1115.
8. 藤田誠・長尾博文・加藤英雄・井道裕史・大野智則 (2006) 愛媛県産スギ・ヒノキを用いた異樹種集成材の製造と強度性能, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 56, PE004.
9. 藤田和彦・松岡秀尚・吉田徳之・福本優子・井道裕史・加藤英雄・長尾博文・宮武敦 (2006) スギ・ベイマツ非等厚ラミナを使用した異樹種集成材の強度性能, 日本木材学会中国・四国支部大会要旨集, p.76.
10. 井道裕史・長尾博文・加藤英雄・吉田徳之 (2007) 樹種及びラミナ構成の異なる集成材のせん断性能の評価, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 57, PD017.
11. 藤田 誠・長尾博文・加藤英雄・井道裕史・大野智則 (2007) 愛媛県産スギ・ヒノキを用いた異樹種集成材の製造と強度性能, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 57, PD018.
12. 園田里見・柴和宏・中谷浩・若島嘉朗 (2007) 各種せん断試験のせん断長さの寸法効果に関する一考察, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM) , 57, D09-1415.
13. 橋爪丈夫・伊東嘉文・吉田孝久 (2007) カラマツ・スギ異樹種積層集成材の試験方法別せん断強度の評価, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 57, D09-1445.
14. 丹所俊博・野田康信・松本和茂・前田典昭 (2007) 道産のカラマツ・トドマツとベイマツによる異樹種集成材の強度性能, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 57, D10-0930(2007.8)
15. 藤田和彦・築山健一・松岡秀尚・吉田徳之・井道裕史・加藤英雄・長尾博文・宮武 敦 (2007) スギ・ベイマツ非等厚ラミナを使用した異樹種集成材のせん断強度, 日本木材学会中国・四国支部大会要旨集.
16. 井道裕史・長尾博文・加藤英雄・吉田徳之 (2008) 樹種及びラミナ構成の異なる集成材のめり込み性能の評価, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 58, PD006.
17. 園田里見・柴和宏・中谷浩・若島嘉朗 (2008) 集成材のせん断性能評価に関する現状の課題

と二、三の考察，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），58，D19-1000.

18. 藤田和彦・築山健一・松岡秀尚・吉田徳之・井道裕史・加藤英雄・長尾博文・宮武 敦（2008）スギ・ベイマツ非等厚ラミナを使用した異樹種集成材のめり込み性能，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），58，D19-1045.
19. 中村昇・藤田和彦・松岡秀尚（2008）合成梁のせん断応力を用いた集成材のせん断耐力，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），58，D19-0945.
20. Sonoda, S., Shiba, K., Nakatani, H., Wakashima, Y. (2008) Influence of Shear Length on Shear Strength in Different Test Methods. Proceedings of WCTE2008 (CD-ROM), 04-177.
21. 橋爪丈夫・伊東嘉文・吉田孝久（2008）スギ・カラマツ異樹種積層集成材の製造と強度性能，平成 19 年度長野林総セ業務報告，88～89.
22. 藤田和彦・築山健一・松岡秀尚・吉田徳之・井道裕史・加藤英雄・長尾博文・宮武敦（2008）フィンガージョイントラミナの引張強度性能－フィンガージョイントの避距が縦引張強度に与える影響－，日本木材学会中国・四国支部大会研究発表，20，56-57.

第3章 新集成材の規格化及び建築への適用技術の開発

1. 宮武敦（2006）構造用集成材に使われる接着剤の種類と性能評価，日本木材学会第 27 回木材接着研究会講演会.
2. 宮武敦（2006）構造用集成材の日本農林規格（JAS）の改正検討について－集成材への国産材利用拡大に向けて－，木材情報，184，7-10.
3. 宮武敦（2006）国産材による製材・合板・集成材の製造と需要拡大への取り組み，森林総合研究所公開講演会講演要旨集，15-18.
4. 宮武敦（2006）「集成材の日本農林規格」の見直し作業について，Journal of Timber Engineering, 74, 162-167.
5. 宮武敦（2007）スギ集成材を強くするには 建築知識，623，100-101.
6. 宮武敦・長尾博文・神谷文夫（2007）構造用集成材 JAS 改正で新設される集成材の基準強度の提案（その 1）－曲げ，圧縮，引張強度－，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），57，PD019.
7. 青井秀樹・故 三井信宏・宮武敦・神谷文夫（2007）木造住宅の構造部材に生じる各種応力の許容応力度に対する割合 その 1 柱および土台について，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），57，PH015.
8. 青井秀樹・故 三井信宏・宮武敦・神谷文夫（2007）木造住宅の構造部材に生じる各種応力の許容応力度に対する割合 その 2 梁について，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），57，PH016.
9. 宮武敦（2007）集成材の JAS 規格，住宅と木材，30(9)，20-25.
10. 宮武敦（2008）再構成軸材料，木質構造の設計，39-45.
11. 宮武敦・平松靖・新藤健太・中島史郎（2008）LVL 複合集成材の曲げ長期性能予測（その 1）－荷重の設定について－，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），58，PD012.
12. 青井秀樹・宮武敦・神谷文夫（2008）木造住宅の構造部材に生じる各種応力の許容応力度に対する割合 その 3 多雪地域に建設された住宅の柱と土台，日本木材学会大会研究発表要旨

集 (CD-ROM), 58, PH011.

13. 青井秀樹・宮武敦・神谷文夫 (2008) 木造住宅の構造部材に生じる各種応力の許容応力度に対する割合 その 4 多雪地域に建設された住宅の梁, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 58, PH012.

第 4 章 新集成材の接合強度評価

1. 林知行 (2005) 集成材・LVL, 木材工業, 60, 7, 323-325.
2. 軽部正彦・原田真樹・林知行・宇京斉一郎 (2006) 幅はぎラミナ集成材からなる柱脚金物接合部の引張実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 構造Ⅲ, 97-98.
3. 原田真樹・軽部正彦・宇京斉一郎・林知行 (2007) スギ・カラマツ LVL 複合集成材を梁とする柱梁接合部のせん断試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 構造Ⅲ, 125-126.
4. 軽部正彦・原田真樹 (2007) 梁受け金物せん断加力試験における試験体形状と加力方法の比較検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 構造Ⅲ, 127-128.

第 5 章 新集成材の耐久性評価

1. 大村和香子・山本幸一・井道裕史・長尾博文・加藤英雄・桃原郁夫・松永浩史・宮武敦・小館善樹 (2005) 促進劣化環境における集成材の耐久性変化およびめりこみ強度性能, 日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集, 23, 61-62.
2. Matsunaga, H., Shiotari, R., Matsumura, J., Oda, K., Utsumi, Y., Yamamoto, K. (2006) Potassium Distribution in Black Heartwood of Sugi (*Cryptomeria japonica*) (I) -Localization in axial parenchyma cells-. J. Wood Sci. 52(2), 95-100.
3. Matsunaga, H., Shiotari, R., Tomita, S., Matsumura, J., Oda, K., Utsumi, Y., Yamamoto, K. (2005) Potassium Localization in Sugi (*Cryptomeria japonica*) Black Heartwood, IAWPS2005 Yokohama, Japan, 1, 62-63.
4. Tomita, S., Matsunaga, H., Matsumura, J., Oda, K., Tsushima, S. (2005) Potassium Localization in Black Heartwood of Sugi (*Cryptomeria japonica*) cultivars and clone, 6th PRWAC Kyoto, Japan.
5. 藤原健・山下香菜・黒田克史 (2006) スギ集成材ラミナの寸法変化率 板目ラミナ断面の寸法変化, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 56, PC003.
6. 大村和香子・山本幸一・井道裕史・長尾博文・加藤英雄・桃原郁夫・松永浩史・宮武敦・小館善樹 (2006) 促進劣化環境における集成材の耐久性変化およびめり込み強度性能, 木材工業, 61(10), 446-451.
7. 藤原 健・山下香菜・黒田克史 (2008) スギーベイマツ及びスギーホワイトウッド異樹種複合集成材断面における寸法変化, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 58, PB012.
8. 松永浩史・桃原郁夫・大村和香子 (2008) 異樹種構造用集成材の耐久性および構成樹種の素材耐久性評価, 日本木材学会大会研究発表要旨集, 58, p.147.

第 6 章 新集成材の接着技術の高度化とその評価

1. 井上明生・宮本康太・塔村真一郎・宮武敦・尾崎章一・藤井一郎 (2006) 水性高分子・イソシアネート系接着剤の 100℃および 150℃耐熱性試験, 日本木材学会大会研究発表要旨

(CD-ROM), 56, K10-0930.

2. 井上明生 (2007) 木材接着耐久性の予測, 日本木材学会木材接着研究会講演要旨, 28, 3-8.
3. 齋藤周逸・宮武敦 (2007) ラミナ材の人工乾燥, 日本木材学会大会研究発表要旨集, 57, p.104.
4. 齋藤周逸・宮武敦 (2007) スギラミナ材の人工乾燥, 日本林学会関東支部大会講演要旨集, 58, p.39.
5. 齋藤周逸・宮武敦 (2007) スギラミナ材の人工乾燥, 日本林学会関東支部論文集, 58, 235-236.
6. 齋藤周逸・宮武敦 (2007) 集成加工用実大ラミナ材の乾燥試験, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 57, PE004.
7. 宮本康太・塔村真一郎・井上明生・千葉保人 (2007) 木質材料のホルムアルデヒド放散量測定方法の比較, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 57, I08-1030.
8. Tohmura, S., Miyamoto, K., Inoue, A. (2006) Acetaldehyde Emission from Glued-Laminated Timber Using Phenol-Resorcinol-Formaldehyde Resin Adhesives with Addition of Ethanol, WOOD ADHESIVES 2005, 411-414.

第7章 新集成材の耐火性能付与とその評価

1. Hattori, N., Morinaka, Y., Ando, K., Yamauchi, H., Kobayashi, N. (2005) Passive Impregnation of Liquid into Laser Incised Lumber, Proceedings of International Wood Machining Seminar (Rosenheim, Germany), 17, 502-505.
2. 服部順昭・安藤恵介・原田寿郎・宮林正幸・塩崎征男 (2006) 耐火集成材, 願 2006-207142.
3. 原田寿郎・服部順昭・安藤恵介・宮林正幸 (2006) 1 時間耐火加熱試験における大断面集成材柱の内部温度上昇, 日本木材学会大会研究発表研究発表要旨集 (CD-ROM), 56, PI009.
4. 原田寿郎・服部順昭・安藤恵介・西岡悠樹・宮林正幸・塩崎征男 (2006) 耐火集成材の開発 (その1) シェル型難燃層による集成材柱の燃え止まり, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, 85-86.
5. 原田寿郎・服部順昭・安藤恵介・宮林正幸 (2006) 1 時間耐火加熱試験で燃え止まった耐火集成材柱の内部温度上昇, 日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集, 24, 65-66.
6. 上川大輔・原田寿郎・服部順昭・安藤恵介・嶋根純一・宮林正幸 (2007) 耐火集成材の開発 (その2) 表層とコアを無処理ラミナとした集成材柱の燃え止まり, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, 85-86.
7. 原田寿郎・上川大輔・服部順昭・安藤恵介・宮林正幸 (2007) 耐火集成材の開発 (その3) アルミテープと難燃処理木材で被覆した集成材柱の燃え止まり, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, 87-88.
8. Harada, T., Hattori, N., Ando, K., Miyabayashi, M (2007) Fire-resistance of fire-retardant-impregnated laminated lumber InterFlam2007 International fire science and engineering conference proceedings, 11(1) 765-770.
9. 原田寿郎・安藤恵介・宮林正幸・大内富夫・宮本圭一・上川大輔・服部順昭 (2008) 難燃処理層のシェル型配置によるカラマツ集成材柱の燃え止まり技術の開発, 木材学会誌, 54(3), 139-146.
10. 原田寿郎 (2008) 木造の高層ビルディングは建つか? 木質系耐火構造開発からのアプローチ

農林水産技術研究ジャーナル, 31(1), 16-18.

11. 上川大輔・原田寿郎・嶋根純一・安藤恵介・服部順昭・宮林正幸・大内富夫・宮本圭一 (2008) 難燃薬剤を注入した燃え止まり層を持つ耐火集成材の開発、日本木材学会大会研究発表要旨集, 56, 287-288.
12. Kamikawa, D., Harada, T., Miyabayashi, M., Ohuchi, T., Miyamoto, K., Ando, K., Hattori, N. (2008) Fire-resistance of glued laminated lumber contained within a fire-retardant shell-layer, WCTE2008 World conference on timber engineering - Miyazaki, 10, CD 4-249P.

第8章 新しい厚物構造用合板の製造技術と厚物合板の壁・屋根への適用技術の開発

1. 洪沢龍也 (2005) 木質建築材料の規格・基準と試験方法の動向, 日本木材保存協会研究発表論文集, 21, 81-86.
2. 洪沢龍也・名波直道・谷川信江 (2005) ニーズに基づく木質材料の研究戦略(III)要求性能に関する検討, Journal of Timber Engineering, 18(4), 104-109.
3. 洪沢龍也 (2005) 合板, 木材工業, 60(7), 326-328.
4. 青木謙治・杉本健一・神谷文夫 (2005) 厚物面材を用いた軸組構法耐力壁の水平せん断性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 構造Ⅲ, 393-394.
5. 洪沢龍也 (2005) 合板のこの10年と将来, 合板技術講習会「京都議定書の発効を受けて, 合板工業はどう変貌すべきか!」テキスト, 5, 1-10.
6. 青木謙治 (2005) 長尺厚物合板の構造性能 合板技術講習会「京都議定書の発効を受けて, 合板工業はどう変貌すべきか!」テキスト, 11, 1-16.
7. 青木謙治・杉本健一・青井秀樹・神谷文夫・谷川信江 (2005) 厚物合板耐力壁の構造性能, 木質構造研究会技術報告集, 9, 6-9.
8. 青木謙治 (2006) 耐力壁用面材としての厚物合板の可能性, 木材工業, 61(3), 99-104.
9. Shibusawa, T., Suzuki, S. (2006) Trends in plywood in Japan- for the present decade and the future Proceedings of 2nd International Symposium on Veneer Processing and Products, 13-19.
10. 洪沢龍也 (2006) 構造用合板の許容応力度と弾性係数, 曲げ性能, せん断性能, ネダノンマニュアル, 4, 13-18.
11. 青木謙治・杉本健一・青井秀樹・神谷文夫・谷川信江 (2006) 厚物構造用合板を用いた軸組構法耐力壁の水平せん断性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 構造Ⅲ, 191-192.
12. 青木謙治・杉本健一・神谷文夫・谷川信江 (2007) 厚物構造用合板張り耐力壁の水平せん断性能に及ぼす合板密度の影響, 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), 57, H10-1000.
13. 青木謙治・杉本健一・神谷文夫 (2007) 耐力壁用振動台を用いた厚物構造用合板耐力壁の動的加力試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 構造Ⅲ, 171-172.
14. 青木謙治 (2007) 合板の新たな構造利用への展開ー新しい壁倍率と合板の未来ー, 合板技術講習会「合板100年の変遷と未来」テキスト, 12, 1-13.
15. 青木謙治 (2007) 厚物合板耐力壁の倍率認定取得ーネダノン スタッドレス 5+の性能と認定内容についてー, 「ネダノン スタッドレス 5+」記者会見資料, 2-4.
16. 青木謙治 (2007) 厚物構造用合板を用いた耐力壁の開発, 日本木材学会広報誌ウッドイエンズ, <http://www.jwrs.org/woodience/mm006/aoki.pdf>.

17. 青木謙治・杉本健一・神谷文夫・谷川信江（2008）厚物構造用合板を用いた床勝ち仕様耐力壁の水平せん断性能，木材工業，63(1)，19-23.
18. 青木謙治（2008）ネダノン スタッドレス 5+ ー耐力壁としての利用ー，ネダノンマニュアル，ver.5，15-18.
19. 渋谷龍也（2008）面材料，木質構造の設計，45-52.
20. Aoki, K., Sugimoto, K., Aoi, H., Kamiya, F., Tanikawa, N., Static and Dynamic Capacities of Japanese Conventional Shear Walls with Thick Plywood Sheathing, The proceedings of the 10th World Conference on Timber Engineering (CD-ROM), 441.
21. 青木謙治（2008）合板の新たな構造的利用への展開，木材工業，63(6)，256-261.
22. 青木謙治（2008）厚物構造用合板の利用研究と住宅部材に要求される強度調査の報告，住宅と木材，8(7)，24-27.
23. 青木謙治・杉本健一・神谷文夫・谷川信江（2008）構造用合板を用いた耐力壁の水平せん断性能に及ぼす合板密度の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1，447-448.

第9章 スギ等地域材の加工過程における供給拡大条件の解明

1. 嶋瀬拓也（2005）国産材製材の展開と素材供給圏の変化に関する予備的分析，林業経済，58(8)，10-12.
2. 伊神裕司・久保山裕史・嶋瀬拓也・小林功（2006）合板工場，集成材工場における国産材供給の現状と問題点，日本木材学会大会研究発表要旨集，56，p.39.
3. 嶋瀬拓也（2007）国内合板工業における国産材利用の拡大とその背景，木材工業，62(9)，398-403.
4. 伊神裕司・小林功・久保山裕史・嶋瀬拓也（2008）合板・集成材原料としてのスギ利用 ー加工コスト面における考察ー，日本木材学会大会研究発表要旨集，58，p.30.
5. 嶋瀬拓也・高野勉・村田光司・松村ゆかり・原田博士（2008）素材生産業者の事業活動と木材チップ用材生産の現状，日本森林学会大会学術講演集，119，B17.

X 研究担当者

第1章 現行 JAS 規格外のラミナを用いた新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

1. 飯村豊、藤元嘉安、森田秀樹、椎葉淳、松元明弘（宮崎県木材利用技術センター）
2. 大橋一雄、東野正（岩手県林業技術センター）
3. 平松靖、藤本清彦
4. 野上英孝、金田利之（岡山県木材加工技術センター）
5. 大西裕二（宮城県林業試験場）
6. 松井正和、村田良浩、川添正伸、土屋幸敏、田淵敦士

第2章 現行 JAS 規格外のラミナ構成による新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

1. 長尾博文、加藤英雄、井道裕史、久保島吉貴、宇京斉一郎
2. 前田典昭、丹所俊博、松本和茂、野田康信（北海道立林産試験場）
3. 橋爪丈夫、伊東嘉文、吉田孝久（長野県林業総合センター）
4. 園田里見、柴和宏、中谷浩、若島嘉朗（富山県農林水産総合技術センター木材研究所）
5. 藤田誠（愛媛県林業技術センター）
6. 藤田和彦（広島県立総合技術研究所林業技術センター）

第3章 新集成材の規格化及び建築への適用技術の開発

宮武敦、故 三井信宏、青井秀樹、中島史郎（建築研究所）

第4章 新集成材の接合強度評価

軽部正彦、原田真樹

第5章 新集成材の耐久性評価

桃原郁夫、大村和香子、松永浩史、藤原健、山下香菜、黒田克史

第6章 新集成材の接着技術の高度化とその評価

塔村真一郎、井上明生、新藤健太、宮本康太、齋藤周逸

第7章 新集成材の耐火性能付与とその評価

原田寿郎、上川大輔

服部順昭、安藤恵介（東京農工大学大学院共生科学技術研究院）

協力研究者 大内富夫、宮本圭一（鹿島建設株式会社技術研究所）

第8章 新しい厚物構造用合板の製造技術と厚物合板の壁・屋根への適用技術の開発

杉本健一、渋谷龍也、青木謙治

第9章 スギ等地域材の加工過程における供給拡大条件の解明

伊神裕司、小林功、久保山裕史、嶋瀬拓也

第1章 現行 JAS 規格外のラミナを用いた

新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

1 オビスギを用いた新しい集成材の製造と強度性能評価およびその特性を活かす設計法
ア 研究目的

宮崎県は温暖多雨な気候であることから、県内で人工造林されているスギ（主にオビスギ）は、生育が早いため、年輪幅が広く、曲げヤング係数等が低くなる傾向にある。したがって、集成材用のラミナにオビスギを用いる場合、機械等級区分（最小値評価）されたラミナには L30、L40 のものが相当量含まれ、現行の構造用集成材 JAS に基づくラミナ構成の集成材製造では、余剰ラミナの発現が多く歩留りが低いことから、生産量、製造コストへ著しい負荷を与えているのが現状である。

そこで、本研究では、L30 や L40 の低位等級ラミナを内層に用いた従来にない新しい構成の集成材の合理的な製造法（条件）を開発し、それらの強度性能を評価すること、また、それらを利用するための性能型の設計法を整備すること、の2点に関連付けて検討することを目的とした。

イ 研究方法

宮崎県産スギ（オビスギ）ラミナを機械等級区分（最小値評価）し、L30 から L70 までの5段階の等級区分について、フィンガージョイントを有する試験体を用い、曲げ、圧縮および引張試験を行った。フィンガーは、長さ 14mm、ピッチ 3.8mm、先端厚さ 0.51mm、底部幅 0.3mm およびスカーフ傾斜比 1/0.94 のものを使用した。フィンガーの接着には、水性高分子イソシアネート接着剤を使用し、ロール転写により塗布を行った。フィンガーの圧縮は、圧力 10MPa で行った。

集成材の強度試験では、図 1-1-1 および図 1-1-2 に示す構成の集成材、すなわち、内層に L30 および L40 という低曲げヤング係数ラミナを用いた E65（内層 L40）、E55（内層 L40）および E55（内層 L30）というラミナ構成の対称異等級集成材を供した。また、めり込みおよびせん断試験においては、対照試験体として現行の JAS で規定されている E65-F225 の集成材を供試した。試験体は水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤を用いて、高周波加熱式ホットプレスにより温度 60℃、熱圧時間 6 分 30 秒で製造した。

集成材の強度試験では、曲げ、圧縮、引張、めり込みおよびせん断試験を行った。せん断試験については、JIS イス型方式、実大イス型方式および3点曲げ ISO 方式を実施した。なお、いずれの強度試験も、本プロジェクトにおいて標準とされる試験方法に準じて試験を行った。

接合部（仕口接合）の試験には、最外層に L70、内層に L30 ラミナを用いた対称異等級集成材 E55（内層 L30）を供した。試験体は脚部に金物を用い



図1-1-1 集成材ラミナの構成(曲げ、縦圧縮、縦引張り試験)

た柱脚接合部（I 型）である。接合具である丸棒シャフトとドリフトピンおよび脚部金物は JIS G3101 に定める標準鋼材（SS400）を使用した。試験体は、柱と脚部金物をシャフト、ドリフトピンを介してナットで固定した。なお、ドリフトピンの穴径はマイナス 0.5mm としている。断面は、柱が 150mm×300mm、梁が 150mm×450mm である。試験体数についてはトルク 200N・m をかけたもの 3 体、トルク無しのもの 3 体とし、住木センターの試験方法¹⁾に準じて試験を行った。

対照E65-F225 E65(内層L50)	構成1 E65(内層L40)	構成2 E55(内層L40)	構成3 E55(内層L30)	
L80	L80	L70	L70	スギ(JAS) スギ(non-JAS)
L60	L60	L50	L50	
L50	L40	L40	L30	
L60	L60	L50	L50	
L80	L80	L70	L70	

図1-1-2 集成材ラミナの構成(めり込み、せん断試験)

ウ 結果

(1) 曲げ

a.ラミナ

L30 から L70 までの 5 段階に機械等級区分（最小値評価）された宮崎県産スギ（オビスギ）ラミナについて、フィンガージョイントを有する試験体の曲げ試験を行った。結果を表 1-1-1 に示す。ラミナの等級が低くなるほど、曲げ強さは低下する傾向にあった。しかしながら、L40 や L30 ラミナの曲げ強さは、平均値および下限値ともに構造用集成材 JAS²⁾に示される機械等級区分による L50 ラミナの適合基準を上回ることが認められた。これらのことから、L40 および L30 のラミナの構造用集成材への利用は十分可能であると考えられる。

表 1-1-1 ラミナの曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
スギ (non-JAS)	L30	130	平均	352	10.8	-	4.8	28.6
			最小	278	9.1	-	3.4	16.9
			最大	433	17.0	-	6.7	39.9
			変動係数	7.7	7.9	-	13.2	15.8
	L40	130	平均	358	10.7	-	5.7	33.3
			最小	296	8.0	-	3.9	20.5
			最大	445	14.1	-	7.8	44.5
			変動係数	8.7	7.9	-	11.7	15.1
スギ (JAS)	L50	130	平均	357	10.9	-	6.7	34.2
			最小	313	8.2	-	5.2	23.4
			最大	437	12.7	-	8.4	45.2
			変動係数	6.6	6.3	-	9.0	13.7
	L60	130	平均	390	10.8	-	7.3	38.4
			最小	327	9.0	-	5.1	25.8
			最大	470	13.1	-	8.8	49.4
			変動係数	8.2	7.4	-	9.1	14.3
	L70	130	平均	403	10.5	-	8.1	41.6
			最小	344	8.3	-	6.9	28.4
			最大	472	13.0	-	10.6	53.4
			変動係数	7.6	8.9	-	7.9	12.5

Efr:縦振動法によるヤング係数

Eb:曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

b.集成材

L30 および L40 ラミナを用いた E65（内層 L40）、E55（内層 L40）および E55（内層 L30）という新しいラミナ構成の対称異等級構成集成材について、曲げ試験を行った。その結果を表 1-1-2～4 に示す。いずれの構成の集成材においても、曲げ強さは構造用集成材 JAS に示される対称異等級構成集成材 E65-F225 の適合基準を上回っており、曲げヤング係数はほぼ同等であることが確認された。

表 1-1-2 集成材の曲げ試験結果（E65（L40））

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成1 E65(L40) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	1	380	-	7.3	7.3	25.2
	2	382	-	7.1	7.5	27.8
	3	380	-	7.1	7.2	29.8
	4	384	-	7.3	7.4	36.1
	5	385	-	7.3	7.2	32.6
	6	390	-	7.0	7.2	34.5
	7	386	-	7.3	7.3	30.7
	8	378	-	7.2	7.2	26.6
平均値		383	-	7.2	7.3	30.4
変動係数(%)		1.0	-	1.4	1.7	12.6

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-1-3 集成材の曲げ試験結果（E55（L40））

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成2 E55(L40) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	1	387	-	6.7	7.1	34.0
	2	384	-	6.6	6.8	32.2
	3	385	-	6.5	6.8	25.9
	4	376	-	6.4	6.2	30.2
	5	383	-	6.6	7.0	25.2
	6	381	-	6.4	6.4	29.8
	7	382	-	6.5	6.6	35.2
	8	383	-	6.6	6.8	32.9
平均値		383	-	6.5	6.7	30.7
変動係数(%)		0.9	-	1.5	4.2	11.8

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-1-4 集成材の曲げ試験結果（E55（L30））

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成3 E55(L30) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	1	389	-	6.1	6.3	26.4
	2	382	-	6.4	6.7	28.7
	3	367	-	6.4	6.3	27.6
	4	371	-	6.3	6.1	24.7
	5	376	-	6.3	6.6	25.6
	6	376	-	6.2	6.7	29.8
	7	382	-	6.2	6.5	30.3
	8	372	-	6.0	6.2	27.7
平均値		377	-	6.3	6.4	27.6
変動係数(%)		1.9	-	2.3	3.8	7.1

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(2) 縦圧縮

a. ラミナ

ラミナの縦圧縮試験結果を表 1-1-5 に示す。曲げの場合と同様に、ラミナの等級が低くなるほど、低下する傾向にあったが、L40 や L30 ラミナの縦圧縮強さは建築基準法（告示 1452 号）³⁾に示されるスギ E50 製材の圧縮基準強度を上回ることが確認された。

表 1-1-5 ラミナの縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
スギ (non-JAS)	L30	50	平均	338	10.1	-	27.7
			最小	299	5.5	-	22.5
			最大	403	15.2	-	33.7
			変動係数	7.2	14.2	-	9.1
	L40	50	平均	360	11.3	-	30.0
			最小	316	6.4	-	24.2
			最大	408	12.9	-	33.8
			変動係数	6.7	8.4	-	7.6
スギ (JAS)	L50	50	平均	361	11.9	-	31.4
			最小	322	10.5	-	27.3
			最大	424	13.0	-	37.8
			変動係数	6.8	5.4	-	7.5
	L60	50	平均	375	11.7	-	33.0
			最小	316	10.0	-	26.3
			最大	435	14.3	-	38.7
			変動係数	7.1	6.2	-	7.9
	L70	50	平均	392	11.9	-	36.4
			最小	340	10.5	-	28.1
			最大	440	13.0	-	42.5
			変動係数	6.4	5.4	-	7.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数

b. 集成材

集成材の縦圧縮試験結果を表 1-1-6～8 に示す。E65（内層 L40）から E55（内層 L40）、E55（内層 L30）へと集成材の等級が低くなるほど、圧縮強さは低くなる傾向にあったが、いずれの構成の集成材においても、圧縮強さは建築基準法（告示 1024 号）⁴⁾で示される対称異等級構成集成材 E65-F225 の圧縮基準強度よりはるかに高いことが示された。

表 1-1-6 集成材の縦圧縮試験結果 (E65 (L40))

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成1 E65(L40) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	1	396	11.7	-	-	33.4
	2	394	12.0	-	-	33.8
	3	388	11.7	-	-	33.3
	4	391	11.7	-	-	33.7
	5	398	12.0	-	-	34.1
	6	400	12.1	-	-	35.4
	7	403	11.5	-	-	33.9
	8	384	11.4	-	-	33.7
平均値		394	11.8	-	-	33.9
変動係数(%)		1.6	2.2	-	-	2.0

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 圧縮試験時に測定されたヤング係数

表 1-1-7 集成材の縦圧縮試験結果 (E55 (L40))

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成2 E55(L40) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	1	399	11.5	-	-	31.8
	2	380	11.5	-	-	32.5
	3	370	11.7	-	-	31.7
	4	382	11.7	-	-	31.5
	5	387	11.8	-	-	33.2
	6	383	11.4	-	-	32.7
	7	374	12.2	-	-	32.5
	8	406	12.6	-	-	34.9
平均値		385	11.8	-	-	32.6
変動係数(%)		3.1	3.4	-	-	3.4

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 圧縮試験時に測定されたヤング係数

表 1-1-8 集成材の縦圧縮試験結果 (E55 (L30))

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成3 E55(L30) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	1	381	11.7	-	-	30.5
	2	377	12.0	-	-	31.5
	3	384	11.8	-	-	30.6
	4	383	11.6	-	-	31.1
	5	387	11.7	-	-	31.2
	6	389	11.5	-	-	33.1
	7	380	11.9	-	-	32.8
	8	375	11.4	-	-	32.8
平均値		382	11.7	-	-	31.7
変動係数(%)		1.3	1.7	-	-	3.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 圧縮試験時に測定されたヤング係数

(3) 縦引張り

a. ラミナ

ラミナの引張試験結果を表 1-1-9 に示す。曲げや圧縮の場合と同様に、ラミナの等級が低くなるほど、引張強さは低下する傾向にあったが、L40 や L30 ラミナの引張強さは構造用集成材 JAS に示される機械等級区分による L50 ラミナの適合基準を上回ることが認められた。

表 1-1-9 ラミナの縦引張り試験結果

	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)	Et (kN/mm ²)
スギ (non-JAS)	L30	47	平均	350	10.9	-	19.5	4.2
			最小	281	9.6	-	12.9	2.9
			最大	407	11.9	-	26.9	5.6
			変動係数	7.9	5.0	-	18.0	12.0
	L40	46	平均	368	11.1	-	21.9	5.2
			最小	284	10.2	-	14.3	3.9
			最大	447	13.3	-	35.7	6.7
			変動係数	7.8	5.6	-	20.9	12.2
スギ (JAS)	L50	43	平均	378	11.2	-	22.4	6.0
			最小	337	10.2	-	12.9	4.0
			最大	446	12.7	-	32.2	7.6
			変動係数	6.1	4.9	-	21.8	10.7
	L60	43	平均	393	10.8	-	25.6	6.7
			最小	342	9.5	-	15.3	5.8
			最大	433	11.9	-	36.9	8.9
			変動係数	6.2	5.3	-	20.8	8.0
	L70	45	平均	400	10.7	-	28.4	7.9
			最小	354	6.0	-	17.8	6.4
			最大	478	12.5	-	39.2	9.8
			変動係数	6.5	11.1	-	18.0	8.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Et: 縦引張試験時に測定したヤング係数

b. 集成材

集成材の縦引張試験結果を表 1-1-10～12 に示す。いずれの構成の集成材においても、引張強さは建築基準法（告示 1024 号）⁴⁾で示される対称異等級構成集成材 E65-F225 の引張基準強度とほぼ同等の性能を示した。しかしながら、集成材の引張試験においては、多くの試験体がチャック切れによる破壊を示しており、最大荷重が小さくなる傾向にあった。また、バラツキが大きいため下限値が大きく低減する傾向にあった。今後は、集成材の引張強度が適正に評価されるような試験方法の検討が必要であると考えられる。

表 1-1-10 集成材の縦引張り試験結果 (E65 (L40))

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 E65(L40) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	1	376	8.9	7.8	7.4	16.0
	2	395	8.7	7.9	7.5	17.9
	3	405	9.3	8.0	7.7	15.3
	4	390	9.0	8.0	8.8	21.2
	5	397	9.1	7.6	7.1	20.3
	6	396	9.1	7.9	7.7	17.8
	7	381	9.2	7.7	7.1	14.9
	8	408	9.3	8.3	7.9	18.5
平均値		394	9.1	7.9	7.7	17.7
変動係数(%)		2.8	2.2	3.0	7.1	12.8

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Et: 引張試験時に測定されたヤング係数

表 1-1-11 集成材の縦引張り試験結果 (E55 (L40))

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成2 E55(L40) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	1	372	8.8	7.6	7.4	13.9
	2	385	9.0	7.3	7.0	18.2
	3	386	9.2	6.9	6.4	17.3
	4	384	8.8	7.2	6.9	13.9
	5	393	9.9	7.2	6.8	17.7
	6	386	9.5	6.8	6.5	16.0
	7					
	8					
平均値		384	9.2	7.2	6.8	16.2
変動係数(%)		1.8	4.3	4.2	5.3	11.7

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Et: 引張試験時に測定されたヤング係数

表 1-1-12 集成材の縦引張り試験結果 (E55 (L30))

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成3 E55(L30) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	1	383	9.3	7.0	6.8	18.1
	2	385	10.3	6.7	6.5	19.0
	3	371	8.9	7.1	6.7	18.7
	4	388	9.6	7.0	6.4	15.5
	5	378	9.8	6.5	6.1	14.8
	6	389	9.5	7.0	6.6	16.8
	7					
	8					
平均値		382	9.6	6.9	6.5	17.2
変動係数(%)		1.8	4.9	3.1	3.6	10.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Et: 引張試験時に測定されたヤング係数

(4) めり込み

めり込み強さの結果を表 1-1-13～16 に示す。集成材の構成の違いによるめり込み強さの差は認められなかった。また、いずれの構成においても下限値が、建築基準法（告示 1024 号）⁴⁾に示される集成材のめり込みに対する基準強度を上回っていた。なお、荷重方向に関しては、ラミナの厚さ方向に加力するエッジワイズの方がフラットワイズに比べ低い値を示し、有意な差が認められた。フラットワイズでは、外層ラミナの接着層近辺で年輪に沿って割裂し、試験体が左右に分離するような破壊形態を示すものが多数見受けられた。めり込み降伏強さおよびめり込み剛性についても、めり込み強さと同様に、集成材の構成の違いによる差異は認められなかった。また、いずれもエッジワイズの方がフラットワイズに比べ低い値を示し、とくにめり込み剛性においては差が顕著であった。また、集成材の構成を問わず全ての試験体についてみると、いずれのめり込み性能ともに試験体密度と高い相関関係にあることが確認された。

表 1-1-13 集成材のめり込み試験結果（E65（L50））

構成	荷重方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
対照E65-F225 E65(L50)	縦使い	30	平均	405	11.8	9.1	2.6	5.3	8.7
			最小	426	13.0	9.9	3.8	6.8	10.4
			最大	379	10.9	8.0	1.6	4.4	7.2
			変動係数	3.3	4.5	5.5	17.7	10.9	9.4
	平使い	30	平均	404	11.7	9.1	3.9	6.7	9.4
			最小	430	12.8	9.9	4.7	7.6	10.9
			最大	370	11.0	8.0	3.3	5.4	8.2
			変動係数	3.3	4.0	5.2	9.5	7.8	7.1

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-1-14 集成材のめり込み試験結果（E65（L40））

構成	荷重方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成1 E65(L40) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	縦使い	30	平均	400	11.9	8.9	2.5	5.3	8.6
			最小	428	13.1	10.0	3.1	6.3	9.9
			最大	359	11.1	7.7	1.7	4.5	7.3
			変動係数	3.9	4.1	6.1	13.9	9.1	6.7
	平使い	30	平均	395	11.6	8.7	3.8	6.6	9.0
			最小	419	12.4	9.7	4.6	7.7	10.3
			最大	356	10.4	7.8	3.0	5.7	7.9
			変動係数	3.5	4.3	5.7	9.9	6.2	6.7

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-1-15 集成材のめり込み試験結果 (E55 (L40))

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏 強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成2 E55(L40) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	縦使い	30	平均	384	11.8	7.8	2.0	5.5	8.4
			最小	419	12.9	8.9	2.4	6.5	10.0
			最大	357	10.7	7.1	1.7	4.7	7.2
			変動係数	3.7	4.4	6.4	9.0	9.2	8.5
	平使い	30	平均	390	12.1	7.6	4.1	6.5	9.2
			最小	422	13.2	8.2	5.1	7.8	10.9
			最大	359	11.2	7.0	3.5	5.4	7.4
			変動係数	3.6	4.2	4.2	10.0	7.9	8.4

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-1-16 集成材のめり込み試験結果 (E55 (L30))

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏 強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成3 E55(L30) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	縦使い	30	平均	384	11.9	7.4	2.0	5.4	8.4
			最小	416	12.7	8.7	2.4	6.5	9.9
			最大	361	10.3	6.6	1.7	4.6	7.2
			変動係数	3.8	4.5	6.0	9.4	9.8	7.6
	平使い	30	平均	386	12.1	7.3	4.0	6.5	9.0
			最小	412	13.3	8.0	4.9	7.5	10.5
			最大	354	11.3	6.6	3.3	5.5	7.2
			変動係数	4.3	3.9	5.3	10.8	8.5	8.5

Efr:縦振動法によるヤング係数

(5) セン断

JIS イス型方式せん断試験、実大イス型方式せん断試験および3点曲げ ISO 方式せん断試験の結果を表 1-1-17～20 に示す。JIS イス型方式せん断試験では、試験体を厚さ中央の内層から採取したため、内層ラミナの等級の違いによるせん断強さの差を検討することとなる。結果としては、内層ラミナの等級による差は認められず、むしろせん断強さと密度との間に非常に強い相関関係が認められた。

実大イス型方式せん断試験では、集成材の構成あるいは内層ラミナの等級によるせん断強さの差異は認められなかった。また、集成材の構成を問わず全ての試験体についてみると、せん断強さと密度との間には強い相関関係が認められた。

3点曲げ ISO 方式によるせん断試験においては、E65 と E55 とでは、せん断強さに有意な差が認められたが、E65 あるいは E55 のそれぞれにおいては、内層ラミナの等級による差は認められなかった。なお、せん断強さに関しては、JIS イス型方式から実大イス型方式、3点曲げ ISO 方式へと評価対象のせん断面積が大きくなるに伴い、せん断強さが低くなる傾向にあった。しかしながら、3点曲げ ISO 方式による評価の場合でも、いずれの構成においても、せん断強さの下限值が、建築基準法(告示 1024 号)⁴⁾に示される集成材のせん断の基準強度をはるかに上回っていた。また、試験体全体においては、せん断強さと密度とには強い相関関係が認められたが、各構成内においてはせん断強さと密度との間に有意な相関関係は認められなかった。

表 1-1-17 集成材のせん断試験結果 (E65 (L50))

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
対照E65-F225 E65(L50)	JIS (中央)	30	平均	414	9.6	7.2	10.2
			最小	574	11.5	8.3	14.6
			最大	298	3.4	6.0	7.2
			変動係数	16.1	13.7	6.0	19.8
	JIS (側部)	30	平均	396	8.9	7.2	9.3
			最小	463	10.2	8.3	13.2
			最大	305	7.8	6.0	7.0
			変動係数	10.5	6.3	6.0	16.9
	実大 ブロック	30	平均	429	11.7	7.2	7.3
			最小	472	12.7	8.3	9.2
			最大	377	10.0	6.0	5.6
			変動係数	5.8	5.0	6.0	11.9
	3点曲げ	30	平均	423	12.6	8.9	7.4
			最小	449	14.1	9.7	8.2
			最大	397	11.5	8.0	5.9
			変動係数	2.9	4.7	5.0	7.6

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-1-18 集成材のせん断試験結果 (E65 (L40))

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成1 E65(L40) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	JIS (中央)	29	平均	426	10.5	6.4	10.2
			最小	535	11.3	7.1	14.5
			最大	329	9.1	5.8	7.0
			変動係数	13.4	5.4	5.0	19.7
	JIS (側部)	29	平均	405	8.9	6.4	9.4
			最小	555	10.0	7.1	12.8
			最大	310	7.4	5.8	7.0
			変動係数	14.7	6.8	5.0	17.2
	実大 ブロック	30	平均	423	11.6	6.4	7.7
			最小	462	12.4	7.1	9.4
			最大	381	10.4	5.8	5.3
			変動係数	4.4	4.0	5.0	13.3
	3点曲げ	30	平均	424	12.6	8.7	7.2
			最小	449	13.8	9.8	8.7
			最大	394	11.7	7.8	4.6
			変動係数	2.7	3.8	5.7	11.7

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-1-19 集成材のせん断試験結果 (E55 (L40))

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成2 E55(L40) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	JIS (中央)	30	平均	400	10.2	6.4	9.9
			最小	512	11.6	7.1	13.0
			最大	328	9.1	5.9	6.7
			変動係数	12.0	5.4	4.3	19.9
	JIS (側部)	30	平均	384	8.2	6.4	8.8
			最小	526	9.5	7.1	11.0
			最大	334	6.8	5.9	6.2
			変動係数	10.2	7.1	4.3	10.8
	実大 ブロック	30	平均	418	11.6	6.4	7.1
			最小	462	12.3	7.1	8.8
			最大	369	10.5	5.9	4.2
			変動係数	4.7	3.6	4.3	14.0
	3点曲げ	30	平均	419	12.6	7.5	6.5
			最小	471	13.3	8.0	8.2
			最大	384	11.4	6.9	4.8
			変動係数	4.7	3.4	3.8	14.2

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-1-20 集成材のせん断試験結果 (E55 (L30))

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成3 E55(L30) スギ(JAS) スギ(non-JAS)	JIS (中央)	30	平均	412	9.8	5.4	10.4
			最小	505	11.3	6.5	13.8
			最大	347	8.5	4.7	7.6
			変動係数	11.0	7.9	7.6	16.5
	JIS (側部)	30	平均	381	8.2	5.4	9.7
			最小	458	9.4	6.5	12.3
			最大	303	7.2	4.7	6.6
			変動係数	10.0	7.0	7.6	15.7
	実大 ブロック	30	平均	415	12.0	5.4	7.5
			最小	449	13.4	6.5	9.3
			最大	377	10.6	4.7	6.2
			変動係数	4.3	5.3	7.6	9.0
	3点曲げ	30	平均	428	12.9	7.2	6.5
			最小	461	13.7	7.7	8.4
			最大	394	11.4	6.6	4.8
			変動係数	3.8	4.5	3.9	12.4

Efr:縦振動法によるヤング係数

(6) 接合部（仕口接合）

I 型の試験結果を表 1-1-21 に示す。ここでは、荷重をモーメントに置き換えている。3 体の平均値については、Py（降伏荷重）および K（初期剛性）はトルク有りが上回ったが、2/3Pmax はトルク無しが上回った。しかしバラツキ処理後の短期基準値については、すべてトルク有りが上回った。このことから、トルクをかけたことにより耐力および剛性が上がり、バラツキの少ない接合部となることが示された。

またトルク有りについて、中立軸を材縁部と仮定した場合の短期許容耐力の設計値と実験値を比較してみると、実験値が上回る結果となった。

表 1-1-21 接合部の試験結果（I 型）

試験体名	2/3Pmax (kN)	Py (kN)	K (kN・m/rad)	試験体名	2/3Pmax (kN)	Py (kN)	K (kN・m/rad)
SWT-1	22.75	17.53	1500.62	SWT200-1	18.23	16.13	2040.02
SWT-2	19.49	15.83	1467.73	SWT200-2	18.37	15.56	1650.66
SWT-3	13.97	11.41	2090.09	SWT200-3	15.97	13.55	2069.62
平均値	18.74	14.92	1686.15	平均値	17.52	15.08	1920.10
標準偏差	4.44	3.16	350.21	標準偏差	1.35	1.36	233.81
変動係数	0.24	0.21	0.21	変動係数	0.08	0.09	0.12
ばらつき係数	0.25	0.33	0.35	ばらつき係数	0.76	0.72	0.62
短期基準値	4.76	4.97	582.28	短期基準値	13.27	10.81	1183.13
				設計値	19.08		

オ 今後の問題点

今回はラミナの機械等級区分をラミナ内の最小値で評価したため、L30 および L40 ラミナの強度性能にはとくに大きな問題は認められなかったが、打撃法や平均値で評価されたときのラミナの強度性能との差異について検討する必要があると考えられる。めり込みおよびせん断性能については、曲げヤング係数より密度との相関が強いいため、ラミナの評価方法の影響は認められなかった⁵⁾が、曲げ、圧縮および引張性能に関しては、今後、検討を行う必要がある。

集成材の引張試験においては、多くの試験体がチャック切れによる破壊を示しており、最大荷重が小さくなる傾向にあった。今後は、集成材の引張強度が適正に評価されるような試験方法の検討が必要であると考えられる。

また、せん断性能については、3 点曲げ ISO 方式による場合は破壊のほとんどが曲げによるものであり、またこれにより推定したせん断強さはかなり低い値を示しており、本法による場合、実大の梁材の集成材のせん断強さの評価は困難であると思われる。今後、逆対称 4 点曲げ方式⁶⁾によるせん断試験を実施し、検討を行う予定である。

接合性能については、本接合のように引き寄せて締める方式の接合部では、安定した耐力および剛性を得るためには、トルク管理が重要であることが分かった。

カ 要約

機械等級区分（最小値評価）されたラミナについて、現行 JAS 規格外の L40 および L30 ラミナの強度性能はスギ E50 材と同等程度であり、構造用集成材用ラミナとして使用可能であることが

確認された。また、これらの L40 および L30 という規格外のラミナを用いた E65（内層 L40）、E55（内層 L40）および E55（内層 L30）の対称異等級構成集成材について、引張性能では若干の問題があるものの、曲げ、圧縮性能にはとくに問題がないことが確認されるとともに、めり込み性能およびせん断性能（実大イス型、JIS イス型および 3 点曲げ型せん断試験により評価）が明らかとなった。さらに、上記の結果を踏まえ、内層に L30 ラミナを使用したスギ対称異等級集成材（E55（内層 L30））と丸棒シャフトおよびドリフトピンを用いた柱脚接合部の実験を行い、その接合性能について分析を行った。

キ 引用文献

- 1) （財）日本住宅・木材技術センター（2001）木造軸組工法住宅の許容応力度設計，128-147.
- 2) 日本合板検査会（2003）構造用集成材の日本農林規格，4-33.
- 3) 霞ヶ関出版（2008）基本建築関係法令集[告示編]-国土交通省告示第 1024 号（H13）-，496-530.
- 4) 霞ヶ関出版（2008）基本建築関係法令集[告示編]-建設省告示第 1452 号（H12）-，465-473.
- 5) 松元明弘・森田秀樹・椎葉淳・藤元嘉安・飯村豊（2008）低曲げヤング係数スギラミナを用いた構造用集成材の強度性能－ラミナ等級の評価方法が及ぼす影響－，日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），58，107-108.
- 6) 森田秀樹・藤元嘉安・小松幸平・村瀬安英（2006）実大構造用木材のせん断試験方法の開発，木材学会誌，52(6)，376-382.

（執筆者 飯村豊、藤元嘉安、椎葉淳）

2 アカマツによる新集成材の開発と強度評価

ア 研究目的

アカマツは、輪生枝を有するため節が集中して出現する。また、枝打ちが徹底されていない人工林から生産されるアカマツ材は、大きな節を有する。そのため、現行の構造用集成材 JAS の節除去規定に準拠してアカマツ集成材を製造すると、除去の対象となる節が多く、歩留まりが著しく低下する。このことが、アカマツ集成材の製造が困難な要因の一つとなっている。歩留まりが高く、かつ一定の強度性能が担保された集成材をアカマツで製造するためには、ラミナの強度等級、節径比および強度性能の関係を明らかにし、経済、性能面で効率のよいラミナ構成を検討する必要がある。

今回、ラミナおよび集成材の強度試験を実施し、アカマツの集中節がラミナの強度性能に与える影響と、大きな集中節を有するアカマツ集成材の強度性能を評価した。

イ 研究方法

(1) 供試材

供試材には人工乾燥された岩手県産アカマツおよびダフリカカラマツを用いた。機械等級区分により、アカマツは L70、L80、L90、L100、L110、L125、ダフリカカラマツは L140 に区分した。アカマツラミナは、材面に現れる全ての節の節径を測定し、集中節径比を算出した。

(2) 集成材のラミナ構成

図 1-2-1 に示した 5 種類のラミナ構成で対称異等級構成集成材を製造した。構成 1～3 はアカマツ同一樹種構成、構成 4、5 はダフリカカラマツーアカマツ異樹種構成とした。各集成材の想定する強度等級は、構成 1 は E85-F255、構成 2、3 は E95-F270、構成 4、5 は E105-F300 とした。

最外層、外層の等級は、構成 1 は L110、構成 2、3 は L125、構成 4、5 は L140、中間層の最低等級は構成 1、2 は L80、構成 3～5 は L100、内層の最低等級は全ての構成で L70 とした。

アカマツの最大集中節径比は、構成 1、2 の最外層、外層は 0%、中間層は 60%、内層は 70%、構成 3 の最外層、外層は 33%、中間層は 50%、内層は 70%、構成 4 の中間層は 33%、内層は 50%、構成 5 の中間層は 50%、内層は 70%とした。

構成 1		構成 2		構成 3		構成 4		構成 5		
等級	集中 節径比	等級	集中 節径比	等級	集中 節径比	等級	集中 節径比	等級	集中 節径比	
L110	0%	L125	0%	L125	33%	L140	0%	L140	0%	アカマツ
L110	0%	L125	0%	L125	33%	L140	0%	L140	0%	
L80	60%	L80	60%	L100	50%	L100	33%	L100	50%	
L80	60%	L80	60%	L100	50%	L100	33%	L100	50%	
L70	70%	L70	70%	L70	70%	L70	50%	L70	70%	
L70	70%	L70	70%	L70	70%	L70	50%	L70	70%	
L80	60%	L80	60%	L100	50%	L100	33%	L100	50%	
L80	60%	L80	60%	L100	50%	L100	33%	L100	50%	
L110	0%	L125	0%	L125	33%	L140	0%	L140	0%	
L110	0%	L125	0%	L125	33%	L140	0%	L140	0%	
										ダフリカ カラマツ

図 1-2-1 集成材のラミナ構成（曲げ、縦圧縮、縦引張り試験）

(3) 曲げ試験、縦引張り試験、縦圧縮試験

a. ラミナ

アカマツ通しラミナ、アカマツたて継ぎラミナ、ダフリカカラマツたて継ぎラミナを、曲げ試験、縦引張り試験、縦圧縮試験に供した。試験体数は1条件40体以上とした。なお、フィンガー形状は、スカーフ傾斜比 1/8.89、長さ 20mm、ピッチ 6.2mm、先端厚さ 0.9mm、底部幅 0.8mm（かん合度 0.1mm）とした。

b. 集成材

図 1-2-1 に示した 5 種類の集成材を、曲げ試験、縦引張り試験、縦圧縮試験に供した。試験体数は1条件6体とした。

(4) めり込み試験、せん断試験

a. 集成材

図 1-2-2 に示した 3 種類の集成材を、めり込み試験、せん断試験に供した。試験体数は、構成 3 は1条件30体、構成 4、5 は1条件10体とした。

構成 3		構成 4		構成 5		
等級	集中節径比	等級	集中節径比	等級	集中節径比	
L125	33%	L140	0%	L140	0%	アカマツ ダフリカ カラマツ
L100	50%	L100	33%	L100	50%	
L70	70%	L70	50%	L70	70%	
L100	50%	L100	33%	L100	50%	
L125	33%	L140	0%	L140	0%	

図 1-2-2 集成材のラミナ構成（めり込み、せん断試験）

ウ 結果 エ 考察

(1) 曲げ試験

a. ラミナ

アカマツ通しラミナの曲げ試験結果を表 1-2-1 に、アカマツおよびダフリカカラマツたて継ぎラミナの曲げ試験結果を表 1-2-2 に示す。

通しラミナの破壊は8割の試験体で引張り側の集中節から、2割の試験体で目切れから生じた。またたて継ぎラミナの破壊は、ほぼ全ての試験体でたて継ぎ部から生じた。

通しラミナおよびたて継ぎラミナの曲げ強さは、ほぼ全ての等級で JAS の基準値を満たしていた。また曲げ強さの平均値は、アカマツ通しラミナがたて継ぎラミナより大きい傾向を示し、特に高等級でその傾向が強かった。

曲げ強さの変動係数は、通しラミナでは 19～39%、たて継ぎラミナでは 10～16%を示し、節の除去による強度性能のバラツキの抑制が確認された。また、通しラミナの曲げ強さの変動係数は、等級の向上に伴い減少する傾向が認められた。このことは、ラミナ等級の向上に伴い、アカマツの集中節径比が減少すること¹⁾に起因すると考えられる。

図 1-2-3 に、集中節径比と曲げ強さの関係を示した。集中節径比と曲げ強さは負の関係を示す傾向が認められた。また、集中節径比が大きいほど、曲げ強さのバラツキが抑制される傾向が認

められた。JAS の曲げ強さの基準値を満たす集中節径比の大きさは、概ね 0～50%であった。このことから、ラミナが比較的大きな集中節を有しても、曲げの基準を満たすことが明らかになった。

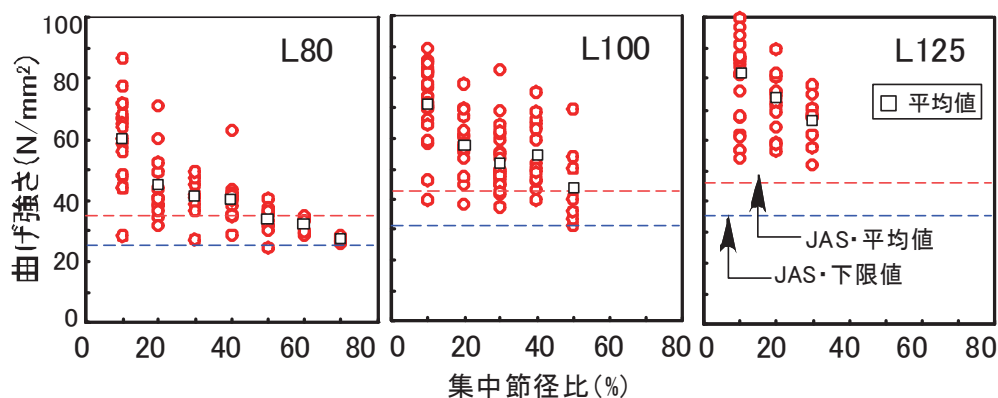


図 1-2-3 アカマツ通しラミナの集中節径比と曲げ強さの関係

表 1-2-1 アカマツ通しラミナの曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
アカマツ	L70	49	平均	462	10.5	8.6	7.9	34.6
			最小	397	9.3	6.2	6.4	19.6
			最大	569	15.4	11.9	9.5	72.8
			変動係数	7.2	8.0	13.5	7.7	39.2
	L80	69	平均	473	10.7	9.0	8.8	44.1
			最小	406	9.4	6.6	7.3	24.3
			最大	569	12.8	11.7	10.8	86.6
			変動係数	8.4	6.5	12.1	7.4	32.6
	L90	97	平均	482	10.7	9.8	9.6	50.4
			最小	398	5.4	7.4	8.1	24.1
			最大	576	12.8	12.9	11.0	90.3
			変動係数	7.5	7.8	10.8	6.8	25.3
	L100	84	平均	490	10.7	10.8	10.7	59.2
			最小	432	9.4	8.1	9.1	31.2
			最大	603	12.8	13.5	12.3	89.2
			変動係数	7.0	5.1	10.0	5.8	24.2
	L110	66	平均	509	10.9	11.6	11.7	65.6
			最小	433	9.5	7.0	10.3	33.4
			最大	614	13.9	14.0	13.3	100.6
			変動係数	7.6	6.8	13.6	6.1	23.0
	L125	48	平均	527	10.9	13.7	13.4	76.2
			最小	469	9.5	10.9	11.8	51.7
			最大	665	12.3	16.2	15.7	107.2
			変動係数	6.7	5.0	9.8	6.3	19.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

表 1-2-2 たて継ぎラミナの曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
アカマツ	L70	42	平均	419	10.2	8.8	7.9	33.9
			最小	363	9.3	7.7	6.9	24.6
			最大	466	13.8	10.3	8.9	41.6
			変動係数	5.2	7.2	6.5	7.3	10.4
	L80	42	平均	429	10.0	9.4	8.8	34.9
			最小	377	8.9	8.3	7.9	24.4
			最大	512	11.2	10.6	9.7	49.7
			変動係数	6.6	4.8	5.8	5.3	14.6
	L90	43	平均	438	10.4	10.4	9.4	39.0
			最小	400	9.2	9.3	8.2	26.9
			最大	510	11.5	12.0	11.0	54.1
			変動係数	5.0	4.4	6.4	7.8	11.7
	L100	46	平均	450	10.5	11.2	10.0	45.7
			最小	404	9.6	10.1	8.9	28.7
			最大	490	13.0	12.2	10.9	57.2
			変動係数	4.1	6.5	4.3	5.4	12.1
	L110	43	平均	471	10.5	12.0	10.6	46.7
			最小	434	9.0	9.2	7.8	28.0
			最大	518	12.8	13.9	12.2	61.8
			変動係数	4.2	8.1	8.3	9.3	15.7
	L125	41	平均	501	11.3	13.6	12.2	51.2
			最小	449	9.8	11.1	10.3	34.8
			最大	555	13.5	15.9	13.8	65.7
			変動係数	4.2	7.3	7.9	6.2	12.9
ダフリカ カラマツ	L140	42	平均	593	8.5	15.2	16.0	54.1
			最小	515	7.6	11.8	13.3	37.0
			最大	654	9.6	19.5	19.0	67.5
			変動係数	5.6	5.3	12.2	8.7	14.1

Efr:縦振動法によるヤング係数

Eb:曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

b.集成材

集成材の曲げ試験結果を表 1-2-3～7 に示す。破壊は、引張り側の集中節またはたて継ぎ部から生じた。

曲げ強さの変動係数は、ラミナより小さい 8～13%を示し、積層効果によるバラツキの抑制が確認された。曲げ強さの平均値は、構成 1 より構成 2 が高く、最外層、外層に用いるラミナの等級により曲げ強度性能が向上することが確認された。また曲げ強さの平均値は、構成 2 より構成 3 が小さく、最外層、外層に大きな節が配置されたことによる強度性能の低下が発現したと考えられる。

しかし、各構成の曲げ強さの最小値は、想定する強度性能の基準強度を上回っており、比較的大きな集中節が配置されたアカマツ集成材でも、基準を満たすことが明らかになった。

表 1-2-3 アカマツ集成材の曲げ試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成1 アカマツ	1	455	11.8	9.0	9.7	28.0
	2	460	11.8	9.1	10.0	30.2
	3	459	12.0	9.3	10.2	35.6
	4	463	11.6	9.6	10.0	32.1
	5	455	11.6	9.5	10.2	34.3
	6	459	11.3	9.3	9.7	32.1
平均値		459	11.7	9.3	10.0	32.1
変動係数(%)		0.7	1.9	2.6	2.1	8.5

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-2-4 アカマツ集成材の曲げ試験結果（構成 2）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成2 アカマツ	1	474	11.0	10.1	10.8	31.7
	2	474	11.2	10.4	11.2	35.6
	3	461	11.3	10.1	11.0	42.2
	4	467	11.7	10.2	11.2	34.2
	5	467	11.7	10.0	10.7	33.2
	6	468	11.9	10.3	10.5	40.7
平均値		468	11.5	10.2	10.9	36.3
変動係数(%)		1.0	2.9	1.4	2.7	11.7

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-2-5 アカマツ集成材の曲げ試験結果（構成 3）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成3 アカマツ	1	492	11.5	11.9	12.6	30.7
	2	501	11.7	11.8	11.9	29.0
	3	488	11.3	11.6	12.1	32.6
	4	482	11.3	11.4	12.0	37.0
	5	496	11.2	11.6	11.5	38.4
	6	498	11.2	11.5	12.2	36.9
平均値		493	11.4	11.6	12.0	34.1
変動係数(%)		1.4	1.8	1.7	3.0	11.3

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-2-6 アカマツ集成材の曲げ試験結果（構成 4）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成4 アカマツ	1	533	11.2	13.3	14.4	33.5
	2	529	11.2	13.1	14.0	44.6
	3	534	10.5	12.6	13.2	31.9
	4	522	10.6	12.8	13.5	36.5
ダフリカ カラマツ	5	527	10.4	12.7	13.9	33.7
	6	533	10.1	13.1	14.2	34.3
平均値		530	10.7	12.9	13.9	35.8
変動係数(%)		0.9	4.3	2.1	3.4	12.8

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-2-7 アカマツ集成材の曲げ試験結果（構成 5）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成5 アカマツ	1	539	11.1	12.8	14.3	34.4
	2	523	10.6	13.5	14.1	34.7
	3	549	11.1	13.6	14.4	33.1
	4	544	11.2	13.2	14.5	37.8
ダフリカ カラマツ	5	532	10.6	12.3	13.5	31.5
	6	535	10.2	13.1	13.6	38.9
平均値		537	10.8	13.1	14.1	35.1
変動係数(%)		1.7	3.9	3.4	2.8	8.0

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(2) 縦圧縮試験

a. ラミナ

アカマツ通しラミナの縦圧縮試験結果を表 1-2-8 に、アカマツおよびダフリカカラマツたて継ぎラミナの縦圧縮試験結果を表 1-2-9 に示す。

通しラミナの破壊は 9 割の試験体で集中節から、1 割の試験体で目切れから生じた。また、たて継ぎラミナの破壊は、ほぼ全ての試験体でたて継ぎ部から生じた。

通しラミナおよびたて継ぎラミナの縦圧縮強さは、全ての等級で JAS で定められた基準強度（針葉樹構造用製材）を満たしていた。また縦圧縮強さの平均値は、アカマツ通しラミナとたて継ぎラミナでほぼ同等の値を示した。

縦圧縮強さの変動係数は、通しラミナでは 16～21%、たて継ぎラミナでは 7～11%を示し、節の除去による強度性能のバラツキの抑制が確認された。また、縦圧縮強さの変動係数は各等級で同等であり、曲げ強さとは異なる傾向を示した。

図 1-2-4 に集中節径比と縦圧縮強さの関係を示す。集中節径比と縦圧縮強さは負の関係を示す傾向が認められた。また、集中節径比の増加による縦圧縮強さのバラツキの抑制は認められなかった。JAS の縦圧縮強さの基準強度（針葉樹構造用製材）を満たす集中節径比の大きさは、概ね 0～60%であった。このことから、ラミナが比較的大きな集中節を有しても、縦圧縮の基準を満たすことが明らかになった。

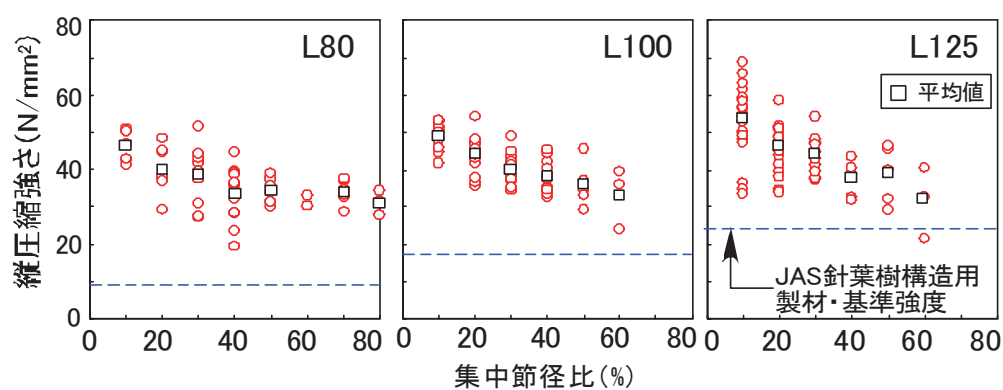


図 1-2-4 アカマツ通しラミナの集中節径比と縦圧縮強さの関係

表 1-2-8 アカマツ通しラミナの縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
アカマツ	L70	48	平均	528	10.5	8.5	35.7
			最小	449	7.0	7.0	27.6
			最大	684	12.9	10.6	58.4
			変動係数	11.2	8.9	9.1	16.7
	L80	67	平均	531	10.4	9.3	36.6
			最小	408	8.0	7.4	19.5
			最大	677	14.2	15.0	51.5
			変動係数	9.9	7.2	10.4	19.5
	L90	73	平均	532	10.5	10.2	37.7
			最小	429	8.1	8.0	22.2
			最大	693	13.5	13.3	52.6
			変動係数	10.0	6.9	9.5	18.5
	L100	68	平均	525	10.7	10.9	41.4
			最小	445	8.3	8.9	24.1
			最大	680	13.0	12.6	54.4
			変動係数	9.1	8.1	8.2	16.0
	L110	82	平均	542	10.7	12.2	42.0
			最小	454	7.2	8.2	24.9
			最大	672	15.1	14.5	65.7
			変動係数	7.6	9.4	9.1	20.6
	L125	52	平均	558	10.8	13.8	46.0
			最小	468	9.5	11.0	21.7
			最大	792	13.8	17.2	68.7
			変動係数	10.1	6.3	7.8	21.0

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 1-2-9 たて継ぎラミナの縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
アカマツ	L70	40	平均	423	10.1	9.0	35.7
			最小	375	8.7	6.7	28.1
			最大	486	11.7	10.1	40.3
			変動係数	6.4	5.5	8.3	7.1
	L80	40	平均	430	10.2	9.5	37.2
			最小	382	8.9	7.3	29.8
			最大	513	13.4	11.0	42.2
			変動係数	6.1	7.0	9.8	6.8
	L90	40	平均	443	10.0	10.8	38.7
			最小	412	9.0	8.1	31.9
			最大	474	10.7	13.0	44.5
			変動係数	3.6	4.3	11.2	8.1
	L100	40	平均	460	10.4	11.6	41.7
			最小	427	9.4	9.8	32.6
			最大	515	11.1	13.6	46.1
			変動係数	4.7	4.1	8.3	6.5
	L110	41	平均	469	10.3	12.2	42.3
			最小	404	9.3	9.5	33.2
			最大	541	11.7	14.2	49.7
			変動係数	6.3	5.9	10.0	8.4
	L125	40	平均	497	10.9	13.5	43.9
			最小	432	9.7	10.4	36.4
			最大	598	13.1	16.0	49.8
			変動係数	8.4	7.8	11.1	8.5
ダフリカ カラマツ	L140	42	平均	589	8.9	15.7	57.9
			最小	501	7.1	10.3	46.9
			最大	681	9.8	19.4	72.8
			変動係数	7.3	5.5	13.8	10.8

Efr:縦振動法によるヤング係数

b.集成材

集成材の縦圧縮試験結果を表 1-2-10～14 に示す。破壊は、構成 1～3 のアカマツ同一樹種構成では節やたて継ぎ部から生じたが、構成 4、5 のダフリカカラマツ－アカマツ異樹種構成では 5 割の試験体で座屈により生じた。縦圧縮強さの変動係数はラミナより小さい 3～5%を示し、積層効果によるバラツキの抑制が確認された。縦圧縮強さの平均値は、構成 4、5 の異樹種構成で高く、このことは最外層、外層に用いたダフリカカラマツラミナの高い縦圧縮強度性能に起因していると考えられる。各構成の縦圧縮強さの最小値は、想定する強度性能の基準強度を上回っており、比較的大きな集中節が配置されたアカマツ集成材でも、縦圧縮の基準を十分満たすことが明らかになった。

表 1-2-10 集成材の縦圧縮試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成1 アカマツ	1	477	11.3	10.3	—	36.9
	2	468	11.1	10.1	—	38.0
	3	457	10.8	9.9	—	39.2
	4	470	11.1	10.5	—	37.2
	5	466	10.7	10.5	—	38.4
	6	473	10.8	10.7	—	36.3
平均値		469	11.0	10.3	—	37.7
変動係数(%)		1.5	2.0	2.8	—	2.8

Efr:縦振動法によるヤング係数、Ec:圧縮試験時に測定されたヤング係数

表 1-2-11 集成材の縦圧縮試験結果（構成 2）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成2 アカマツ	1	490	11.2	11.2	—	37.3
	2	491	11.0	11.0	—	34.4
	3	466	10.8	10.7	—	37.1
	4	471	11.2	10.7	—	37.9
	5	481	10.9	10.8	—	37.3
	6	469	10.9	10.5	—	38.0
平均値		478	11.0	10.8	—	37.0
変動係数(%)		2.3	1.6	2.2	—	3.5

Efr:縦振動法によるヤング係数、Ec:圧縮試験時に測定されたヤング係数

表 1-2-12 集成材の縦圧縮試験結果（構成 3）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成3 アカマツ	1	486	11.7	11.8	—	42.4
	2	502	11.9	11.9	—	38.7
	3	498	11.8	11.4	—	42.3
	4	471	11.8	11.3	—	39.0
	5	501	11.0	11.6	—	42.9
	6	496	11.4	10.8	—	43.9
平均値		492	11.6	11.5	—	41.5
変動係数(%)		2.4	3.0	3.4	—	5.2

Efr:縦振動法によるヤング係数、Ec:圧縮試験時に測定されたヤング係数

表 1-2-13 集成材の縦圧縮試験結果（構成 4）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成4 アカマツ	1	529	10.3	13.2	—	46.6
	2	541	11.0	13.3	—	45.5
	3	531	10.7	12.8	—	47.9
	4	520	10.9	12.4	—	45.5
ダフリカ カラマツ	5	518	10.1	12.8	—	48.3
	6	539	10.8	13.7	—	45.7
平均値		530	10.6	13.0	—	46.6
変動係数(%)		1.8	3.1	3.3	—	2.6

Efr:縦振動法によるヤング係数、Ec:圧縮試験時に測定されたヤング係数

表 1-2-14 集成材の縦圧縮試験結果（構成 5）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成5 アカマツ	1	547	10.9	13.4	—	45.8
	2	530	10.7	13.9	—	47.2
	3	556	11.1	14.6	—	50.7
	4	532	10.8	13.3	—	42.4
ダフリカ カラマツ	5	542	10.7	12.7	—	48.5
	6	517	10.4	14.2	—	45.1
平均値		537	10.8	13.7	—	46.6
変動係数(%)		2.5	2.1	5.0	—	6.2

Efr:縦振動法によるヤング係数、Ec:圧縮試験時に測定されたヤング係数

(3) 縦引張り試験

a. ラミナ

アカマツ通しラミナの縦引張り試験結果を表 1-2-15 に、アカマツおよびダフリカカラマツたて継ぎラミナの縦引張り試験結果を表 1-2-16 に示す。

通しラミナの破壊は 9 割の試験体で集中節から、1 割の試験体で目切れから生じた。また、たて継ぎラミナの破壊は、ほぼ全ての試験体でたて継ぎ部から生じた。

アカマツたて継ぎラミナの縦引張り強さは、各等級で概ね JAS の基準を満たしたが、アカマツ通しラミナでは、低等級の場合基準を満たさなかった。このことは、節による引張り強さの低下と考えられるが、このことについては後述する。また、ダフリカカラマツたて継ぎラミナでは、L140 の基準を満たさなかった。このことは、ダフリカカラマツラミナのたて継ぎ加工作業の際、フィンガーのかん合時の圧力が不十分なラミナが多く存在したことによると考えられる。

縦引張り強さの変動係数は、通しラミナでは 33～45%、たて継ぎラミナでは 14～19%を示し、節の除去による強度性能のバラツキの抑制が確認された。また縦引張り強さの変動係数は、曲げ強さや縦圧縮強さの変動係数より大きかった。

上述の通り、アカマツ通しラミナの縦引張り強さには、集中節が大きく寄与していることが推察されるため、図 1-2-5 に集中節径比と縦引張り強さの関係を示した。集中節径比と縦引張り強さは負の関係を示し、また集中節径比の増大により縦引張り強さのバラツキが抑制される傾向が認められた。JAS の縦引張り強さの基準値を満たす集中節径比の大きさは、L125 では 0～30%、L110 以下の等級では概ね 0～20%であった。

上述した通り、L110 以下のアカマツ通しラミナは集中節径比 20%以上では JAS の引張りの基準値を満たさないことから、機械等級区分により区分されたラミナを、節を除去せずに使用するためには、下位等級への位置づけが必要であると考えられた。

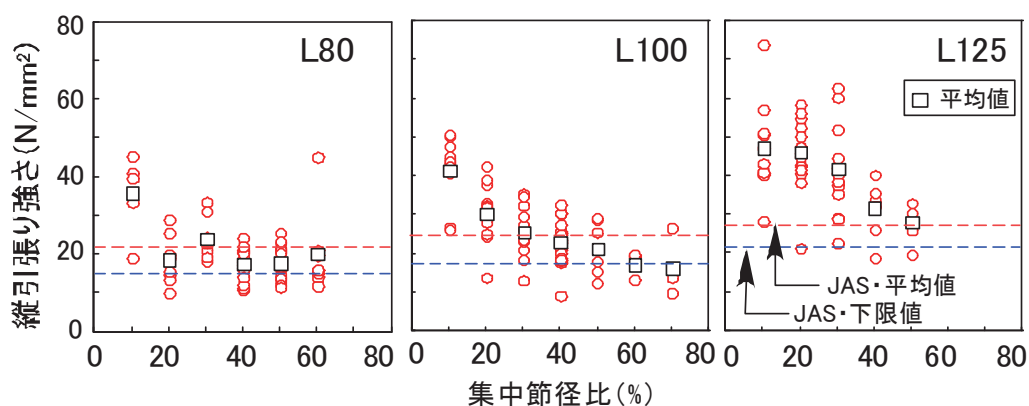


図 1-2-5 アカマツ通しラミナの集中節径比と縦引張り強さの関係

表 1-2-15 アカマツ通しラミナの縦引張り試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
アカマツ	L70	48	平均	468	11.0	8.5	15.4
			最小	415	10.1	7.0	4.8
			最大	553	14.5	10.6	33.4
			変動係数	7.3	6.8	9.1	38.2
	L80	67	平均	466	10.8	9.3	19.6
			最小	380	9.1	7.4	8.2
			最大	542	12.5	15.0	44.9
			変動係数	7.5	5.6	10.4	39.7
	L90	73	平均	474	10.9	10.2	23.5
			最小	409	9.1	8.0	8.8
			最大	549	14.1	13.3	53.4
			変動係数	6.1	6.7	9.5	44.6
	L100	68	平均	478	11.0	10.9	26.9
			最小	426	8.9	8.9	8.5
			最大	555	13.3	12.6	50.2
			変動係数	5.8	5.9	8.2	37.7
	L110	82	平均	495	11.1	12.2	33.0
			最小	346	10.0	8.2	9.2
			最大	648	13.5	14.5	64.7
			変動係数	7.3	5.5	9.1	36.7
	L125	52	平均	524	11.3	13.8	39.3
			最小	469	10.2	11.0	7.0
			最大	632	13.0	17.2	73.4
			変動係数	6.2	5.2	7.8	33.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 1-2-16 たて継ぎラミナの縦引張り試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
アカマツ	L70	40	平均	420	10.0	9.0	22.3
			最小	380	9.1	6.7	14.1
			最大	482	11.3	10.1	31.3
			変動係数	4.9	4.5	8.3	18.0
	L80	40	平均	423	10.0	9.5	23.1
			最小	375	8.6	7.3	16.1
			最大	491	11.1	11.0	32.1
			変動係数	5.7	5.6	9.8	18.9
	L90	40	平均	433	10.3	10.8	26.8
			最小	402	9.2	8.1	16.9
			最大	467	13.7	13.0	34.1
			変動係数	3.5	6.8	11.2	14.6
	L100	40	平均	455	10.4	11.6	33.1
			最小	430	9.2	9.8	24.8
			最大	492	11.5	13.6	42.8
			変動係数	4.1	4.6	8.3	12.5
	L110	41	平均	470	11.0	12.2	33.7
			最小	433	8.9	9.5	20.8
			最大	498	13.1	14.2	46.7
			変動係数	3.4	8.0	10.0	19.0
	L125	40	平均	496	10.9	13.5	36.1
			最小	456	9.7	10.4	20.8
			最大	579	13.2	16.0	49.0
			変動係数	4.8	7.1	11.1	19.3
ダフリカ カラマツ	L140	40	平均	591	8.7	15.7	30.2
			最小	513	7.9	10.3	20.7
			最大	669	10.3	19.4	39.2
			変動係数	6.4	5.0	13.7	17.1

Efr:縦振動法によるヤング係数

b.集成材

集成材の縦引張り試験結果を表 1-2-17～21 に示す。破壊は、全ての試験体で節やたて継ぎ部から生じた。なお、構成 1、2 の一部の試験体ではチャックによる破壊が観察された。縦引張り強さの変動係数はラミナより小さい 12～14%を示し、積層効果によるバラツキの抑制が確認された。

構成 1、2 の縦引張り強さは対称異等級構成の想定等級の基準値を大きく下回った。この要因として、一部の試験体で破壊がチャックで生じたこと、積層接着に不具合がある試験体が認められたこと等が挙げられる。また、構成 5 の縦引張り強さの平均値は構成 4 より低く、中間層、内層に配置された節が大きいほど強度性能が低下したと思われる。しかし各構成の縦引張り強さは、引張りの基準強度が低い特定対称異等級構成の場合、想定する強度性能の基準強度を概ね上回っていた。

本試験で試作した集成材の中間層や内層は、JAS の基準より大きな集中節径比を有する代わりに、JAS に示された等級より高い等級を配置している。このことから、アカマツ有節ラミナを下位等級へ位置づけることにより、比較的大きな集中節が配置されたアカマツ集成材でも、特定対称異等級構成の基準値を満たすことが明らかになった。

表 1-2-17 集成材の縦引張り試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 アカマツ	1	488	11.7	10.0	10.1	16.2
	2	478	11.2	9.9	10.3	17.9
	3	468	11.9	9.4	9.4	20.0
	4	495	11.8	9.9	9.6	15.7
	5	477	11.8	9.7	9.8	19.5
	6	472	11.9	9.4	9.3	16.0
平均値		480	11.7	9.7	9.8	17.5
変動係数(%)		2.1	2.3	2.6	4.2	10.7

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

表 1-2-18 集成材の縦引張り試験結果（構成 2）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成2 アカマツ	1	478	11.6	11.3	9.3	18.4
	2	480	12.1	10.0	9.5	20.4
	3	468	12.3	9.5	9.5	15.5
	4	487	11.9	9.8	9.7	16.6
	5	477	11.0	10.8	10.0	20.0
	6	493	12.1	10.0	9.5	14.3
平均値		480	11.8	10.2	9.6	17.5
変動係数(%)		1.8	3.8	6.7	2.5	14.0

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

表 1-2-19 集成材の縦引張り試験結果（構成 3）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成3 アカマツ	1	487	11.5	11.6	11.3	19.2
	2	508	11.5	13.3	13.8	18.1
	3	510	11.4	12.9	12.8	18.8
	4	489	12.1	12.2	11.6	21.9
	5	508	11.7	12.3	11.5	24.8
	6	510	11.8	12.1	12.3	21.9
平均値		502	11.7	12.4	12.2	20.8
変動係数(%)		2.2	2.3	4.9	7.7	12.2

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

表 1-2-20 集成材の縦引張り試験結果（構成 4）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成4 アカマツ	1	539	11.1	13.1	12.6	26.0
	2	532	10.9	13.8	13.7	18.3
	3	545	11.0	13.2	13.2	21.6
	4	498	10.6	12.3	11.6	25.2
ダフリカ カラマツ	5	521	10.6	13.1	12.9	24.8
	6	544	10.5	13.7	12.9	24.5
平均値		530	10.8	13.2	12.8	23.4
変動係数(%)		3.4	2.3	3.8	5.4	12.4

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

表 1-2-21 集成材の縦引張り試験結果（構成 5）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成5 アカマツ	1	536	10.8	13.1	12.1	24.4
	2	527	10.7	13.4	13.2	21.7
	3	530	10.6	12.6	12.1	20.2
	4	519	10.8	12.6	12.0	21.7
ダフリカ カラマツ	5	532	11.4	12.9	12.4	16.2
	6	530	10.8	14.0	13.4	23.7
平均値		529	10.8	13.1	12.5	21.3
変動係数(%)		1.1	2.6	4.2	5.0	13.8

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

(4) めり込み試験

集成材のめり込み試験結果を表 1-2-22～24 に示す。集成材の構成によるめり込み強度性能の明瞭な違いは認められなかった。めり込み剛性、めり込み降伏強さ、めり込み強さは、アカマツ同一樹種構成である構成 3 で、平使いが縦使いより大きい傾向を示した。一方、異樹種構成である構成 4 と 5 では、めり込み降伏強さで平使いが縦使いより小さい傾向を示した。

めり込み強さの最小値は、縦使いで 10.4N/mm²、平使いで 9.9N/mm²を示し、全ての試験体でアカマツ集成材のせん断基準強度（9.0N/mm²）を上回った。このことから、比較的大きな集中節が配置されたアカマツ集成材は、めり込みの基準を満たすことが明らかになった。

表 1-2-22 集成材のめり込み試験結果（構成 3）

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成3 アカマツ	縦使い	30	平均	505	10.8	11.3	5.2	7.1	12.2
			最小	461	9.2	9.9	2.7	6.3	10.4
			最大	546	12.6	12.7	7.1	9.0	14.3
			変動係数	4.6	7.4	6.5	18.6	9.5	8.4
	平使い	30	平均	510	10.6	11.2	5.8	9.1	13.3
			最小	472	9.5	9.8	4.8	8.0	11.7
			最大	565	11.8	12.7	8.3	10.4	15.7
			変動係数	3.9	6.7	4.9	15.1	6.8	8.3

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-2-23 集成材のめり込み試験結果（構成 4）

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成4 アカマツ	縦使い	10	平均	513	10.9	12.3	4.7	9.3	12.1
			最小	492	10.1	11.6	3.9	8.0	11.4
			最大	530	11.8	13.4	5.3	11.1	12.6
			変動係数	2.2	5.3	4.2	10.5	10.6	3.6
ダフリカ カラマツ	平使い	10	平均	512	10.5	12.3	4.9	8.5	12.5
			最小	492	9.8	11.6	3.8	7.3	9.9
			最大	528	11.4	13.1	6.2	10.5	14.4
			変動係数	2.2	5.4	3.6	15.0	10.5	10.3

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-2-24 集成材のめり込み試験結果（構成 5）

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成5 アカマツ	縦使い	10	平均	508	11.1	12.2	4.7	8.7	11.8
			最小	484	10.4	11.5	4.2	7.7	10.9
			最大	527	11.7	13.5	5.4	10.1	13.0
			変動係数	2.9	4.4	4.9	8.2	8.4	5.1
ダフリカ カラマツ	平使い	10	平均	506	10.8	12.2	4.8	8.5	12.5
			最小	481	10.2	11.5	4.1	7.5	11.1
			最大	532	11.4	13.7	5.4	10.3	14.4
			変動係数	3.0	4.4	5.5	8.2	10.5	9.0

Efr:縦振動法によるヤング係数

(5) セン断試験

集成材のせん断試験結果を表 1-2-25～27 に示す。3 点曲げ方式のせん断試験の破壊形態は、構成 3 ではせん断型が 8 割、曲げ型が約 2 割、構成 4 ではせん断型が 3 割、曲げ型が 5 割、せん断と曲げの複合型が 2 割、構成 5 ではせん断型が 7 割、曲げ型が 3 割であった。実大ブロックの破壊形態は、構成 3 では全ての試験体でせん断型であり、構成 4、5 ではせん断型が 8 割、圧縮型が 2 割であった。JIS の破壊形態は、全てせん断型であった。集成材のラミナ構成の違いによるせん断強さの明確な違いは認められなかった。

せん断強さは、3 点曲げ<実大ブロック<JIS の順で大きくなる傾向を示した。せん断強さの最小値は 4.4N/mm² を示し、全ての試験体でアカマツ集成材のせん断基準強度（3.6N/mm²）を上回った。このことから、比較的大きな集中節が配置されたアカマツ集成材でも、せん断の基準を満たすことが明らかになった。

表 1-2-25 集成材のせん断試験結果（構成 3）

構成	試験の 種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成3 アカマツ	JIS	30	平均	449	9.0	—	11.9
			最小	388	8.2	—	9.4
			最大	681	10.2	—	16.3
			変動係数	13.0	6.0	—	16.4
	実大 ブロック	30	平均	479	9.2	—	7.3
			最小	423	8.3	—	5.9
			最大	530	9.9	—	9.1
			変動係数	4.6	3.7	—	11.6
	3点曲げ	30	平均	510	10.0	10.7	5.1
			最小	470	9.4	9.6	4.4
			最大	549	10.8	11.6	6.0
			変動係数	3.3	3.2	4.4	7.5

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-2-26 集成材のせん断試験結果（構成 4）

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成4 アカマツ ダフリカ カラマツ	JIS	10	平均	438	10.4	—	11.8
			最小	371	9.2	—	9.9
			最大	514	11.4	—	16.7
			変動係数	10.3	7.5	—	18.0
	実大 ブロック	10	平均	478	10.2	—	7.2
			最小	460	9.6	—	4.1
			最大	498	11.0	—	9.6
			変動係数	2.8	5.1	—	22.1
	3点曲げ	10	平均	511	10.7	12.6	5.1
			最小	492	10.1	11.6	4.5
			最大	529	11.7	13.8	5.8
			変動係数	2.3	5.0	5.8	9.1

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-2-27 集成材のせん断試験結果（構成 5）

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成5 アカマツ ダフリカ カラマツ	JIS	10	平均	407	10.2	—	10.6
			最小	375	8.8	—	7.9
			最大	460	11.4	—	13.2
			変動係数	5.9	9.6	—	16.1
	実大 ブロック	10	平均	472	10.4	—	6.1
			最小	448	9.4	—	2.4
			最大	514	10.8	—	7.6
			変動係数	4.2	3.8	—	24.9
	3点曲げ	10	平均	507	11.1	12.4	5.1
			最小	482	10.4	11.6	4.6
			最大	533	11.5	13.4	5.6
			変動係数	3.4	3.8	4.8	7.1

Efr:縦振動法によるヤング係数

オ 今後の問題点

今回試作した大節を含むアカマツ集成材は、特定対称異等級構成の基準を満たした。しかし JAS において、特定対称異等級構成は MSR 区分されたラミナのみ使用が認められており、岩手県内の集成材工場で実際に製造することは困難である。アカマツ集成材の製造を容易にするためには、アカマツ集成材の強度データの蓄積と強度発現メカニズムの解析を行い、機械等級区分、目視区分、等級の格下げ等による強度担保手法の確立が必要である。

また JAS において、アカマツが区分されている樹種群 C では、最低等級が E95 に設定されている。しかしアカマツラミナのヤング係数の頻度分布を考慮すると、低等級ラミナの低い利用率による、歩止まりの低下が危惧される。樹種群 C へ、より低い等級を新設することにより、歩止まりの向上による製造コストの圧縮や、製品の自由度の増加に繋がると考えられる。

カ 要約

アカマツの集中節がラミナの強度性能に与える影響を評価した。また、最外層、外層に集中節

径比 33%以下のラミナ、中間層、内層に集中節径比 70%以下のラミナを配置した集成材の強度性能を評価した。結果、ラミナの強度性能は、集中節径比の増加により低下し、かつバラツキが小さくなる傾向が認められた。JAS の強度の基準を満たす集中節径比は、曲げ強さでは 0～50%、縦圧縮強さでは 0～60%、縦引張り強さでは L125 は 0～30%、L70～L110 は 0～20%であった。集成材の曲げ、縦圧縮、めり込み、せん断強度性能は、想定する等級の基準を満たしていた。また縦引張り強さは、特定対称異等級構成の場合、基準を満たすことが明らかになった。

このことから、アカマツ有節ラミナを下位等級へ位置づけること、および基準値の低い特定対称異等級構成とすることにより、歩留まりが高く、かつ一定の強度性能が担保されたアカマツ集成材の製造が可能であることが明らかになった。

キ 引用文献

- 1) 大橋一雄・東野正（2007）節除去基準が機械等級区分されたアカマツラミナの採材長と縦継ぎ数に及ぼす影響，岩手県林業技術センター研究報告，15，27-31

謝辞

本試験を実施するにあたり、協同組合遠野グルーラムには絶大なるご協力とご支援を頂いた。ここに記して、敬意を表する。

（大橋 一雄、東野 正）

3 幅はぎラミナによる構造用集成材の製造と強度性能

ア 研究目的

小径材から歩留まり高く構造用集成材を製造する方法の一つとして幅はぎ加工が考えられる。しかし、現行の構造用集成材 JAS¹⁾および構造用集成材の適正製造基準²⁾には、幅はぎに用いる接着剤およびその接着性能に関する記述はあるものの、ラミナの曲げ、引張り、圧縮などの強度性能に関して幅はぎの影響を考慮した記述はない。

そこで本研究では、幅はぎラミナを使用した構造用集成材の強度性能を明らかにすることを目的とした。

イ 研究方法

(1) カラマツ幅はぎラミナの作製

幅はぎラミナの原料となる信州産カラマツ乱幅材（厚さ 34 mm と長さ 4000 mm が等しく、幅が異なる材 45.1～169.5 mm）のヤング係数を縦振動法および死荷重法で測定し、その分布を調べ、ヤング係数が同程度である乱幅材を幅はぎしたラミナ（同一等級ラミナ）およびヤング係数に関係なく乱幅材を無作為に幅はぎしたラミナ（ランダムラミナ）（32×136×4000 mm）を作製した。次に各幅はぎラミナのヤング係数を縦振動法、死荷重法、連続式グレーディングマシンによって測定した。同一等級ラミナ、ランダムラミナそれぞれについて、フィンガージョイント（FJ）によるたて継ぎラミナ（FJ ラミナ）および通しラミナを作製した。

(2) カラマツ幅はぎラミナ集成材の作製

連続式グレーディングマシンで測定したヤング係数の最小値を用いて等級区分されたランダムラミナを原料として、対称異等級構成構造用集成材 E95-F270 を作製した。

(3) 各ラミナ、集成材の強度試験

上記のラミナ、集成材について、標準的な試験方法で曲げ、縦圧縮、縦引張り試験を行った。ただし、曲げおよび引張り試験用ラミナの断面寸法は 130×30 mm、圧縮試験用ラミナの寸法は 120×26×156 mm とした。

集成材については、めり込み、せん断試験を行った。ただし、縦使い、平使いめり込み試験体の長さはそれぞれ 750 mm、600 mm とした。

集成材のラミナ構成を、曲げ、縦引張り、縦圧縮試験用については図 1-3-1 に、めり込み、せん断試験用については図 1-3-2 に示す。

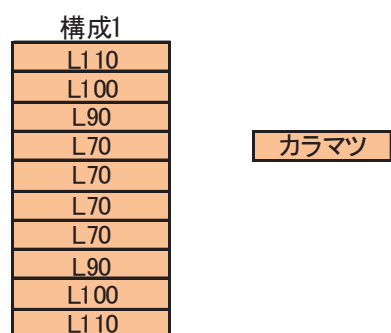


図 1-3-1 集成材のラミナ構成
(曲げ、縦圧縮、縦引張り試験)

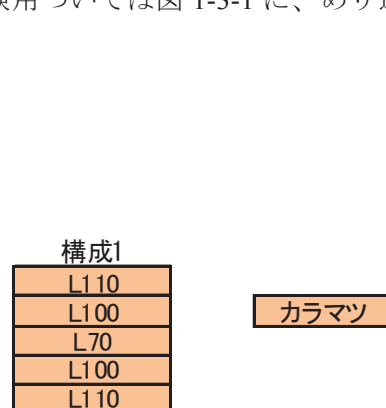


図 1-3-2 集成材のラミナ構成
(めり込み、せん断試験)

ウ 結果 エ 考察

(1) 曲げ

a. ラミナ

FJ ラミナの曲げ試験結果を表 1-3-1 および図 1-3-3 に、通しラミナの曲げ試験結果を表 1-3-2 および図 1-3-4 に示す。FJ ラミナ、通しラミナのいずれにおいても、同一等級ラミナとランダムラミナの曲げ強さに差は見られなかった。破壊は、FJ ラミナが FJ 部で破壊するものがほとんどである一方、通しラミナは節部で破壊するものがほとんどであった。また幅はぎラミナのヤング係数と曲げ強さの相関は高く、ラミナのヤング係数から曲げ強さをおおよそ推測できると考えられた。構造用集成材の JAS で示されるラミナの曲げ性能の基準を FJ ラミナはほとんどすべての試験体が満たし、通しラミナはすべての試験体が満たした。破壊に幅はぎの影響は見られなかった。

表 1-3-1 ラミナの曲げ試験結果 (FJ ラミナ)

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	E _{fr} (kN/mm ²)	E _b (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
カラマツ	同一等級 ラミナ 等級なし	50	平均	513	10.7	12.5	11.2	48.5
			最小	421	9.0	8.3	7.5	24.2
			最大	606	12.0	16.8	14.9	65.2
			変動係数	8.5	6.3	17.0	16.8	17.6
	ランダム ラミナ 等級なし	50	平均	511	10.6	12.2	10.9	49.0
			最小	397	9.4	8.5	7.4	32.0
			最大	601	12.6	16.6	15.0	63.8
			変動係数	9.5	6.7	18.2	17.2	17.6

E_{fr}: 縦振動法によるヤング係数

E_b: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

表 1-3-2 ラミナの曲げ試験結果 (通しラミナ)

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	E _{fr} (kN/mm ²)	E _b (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
カラマツ	同一等級 ラミナ 等級なし	50	平均	513	9.9	12.2	10.9	59.3
			最小	412	9.1	8.5	7.3	31.7
			最大	638	11.6	16.4	14.4	84.8
			変動係数	11.1	5.5	17.0	16.9	19.5
	ランダム ラミナ 等級なし	50	平均	523	10.3	12.1	10.9	62.2
			最小	421	9.0	8.1	7.3	32.8
			最大	637	11.8	16.3	14.9	92.9
			変動係数	11.5	6.7	18.1	17.6	20.1

E_{fr}: 縦振動法によるヤング係数

E_b: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

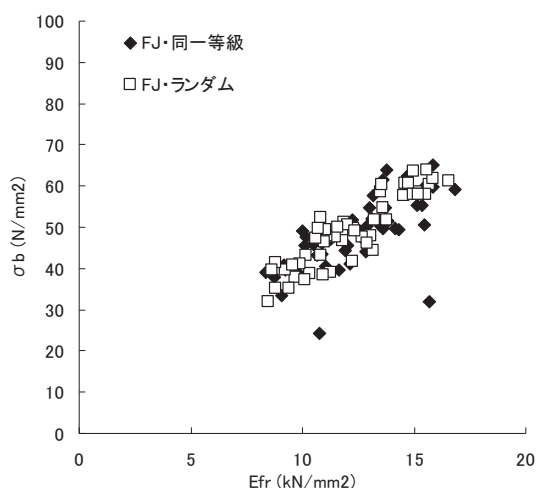


図 1-3-3 FJ ラミナの曲げ試験結果

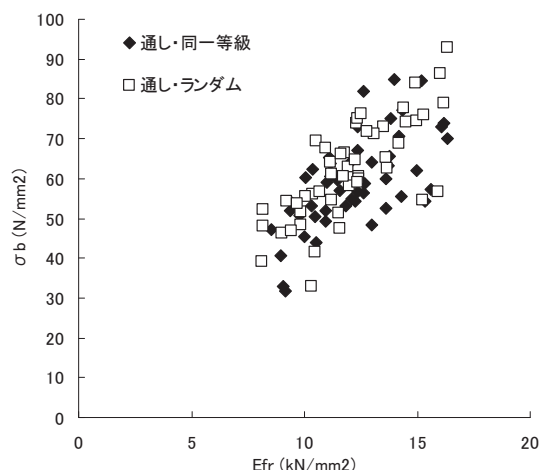


図 1-3-4 通しラミナの曲げ試験結果

b. 集成材

幅はぎラミナ集成材の曲げ試験結果を表 1-3-3 に示す。破壊形態は荷重点間の FJ 部および荷重点近傍の節を含むものがほとんどであった。破壊に幅はぎの影響は見られなかった。

表 1-3-3 集成材の曲げ試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成1 カラマツ	1	535	12.1	11.6	10.9	36.1
	2	529	11.9	11.8	11.1	33.7
	3	526	12.1	11.2	10.7	29.0
	4	542	11.8	11.8	11.1	31.4
	5	531	12.1	11.3	10.7	36.4
	6	508	12.0	11.3	11.1	33.8
平均値		529	12.0	11.5	10.9	33.4
変動係数(%)		2.0	1.1	2.1	2.0	7.7

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(2) 縦圧縮

a. ラミナ

FJ ラミナの縦圧縮試験結果を表 1-3-4 および図 1-3-5 に、通しラミナの縦圧縮試験結果を表 1-3-5 および図 1-3-6 に示す。FJ ラミナ、通しラミナのいずれにおいても、同一等級ラミナとランダムラミナの縦圧縮強さに差は見られなかった。破壊は、FJ ラミナが FJ 部で破壊するものがほとんどである一方、通しラミナは節部で破壊するものがほとんどであった。また幅はぎラミナのヤング係数と縦圧縮強さの相関は高く、ラミナのヤング係数から縦圧縮強さをおおよそ推測できると考えられた。破壊に幅はぎの影響は見られなかった。

表 1-3-4 ラミナの縦圧縮試験結果（FJ ラミナ）

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
カラマツ	同一等級 ラミナ 等級なし	30	平均	513	11.0	12.0	41.5
			最小	427	10.4	8.6	31.7
			最大	606	11.7	17.3	51.0
			変動係数	10.3	3.4	22.5	14.7
	ランダム ラミナ 等級なし	30	平均	525	11.0	12.5	43.7
			最小	419	10.5	8.2	33.8
			最大	653	11.9	17.8	55.9
			変動係数	8.7	3.4	19.7	12.7

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 1-3-5 ラミナの縦圧縮試験結果（通しラミナ）

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
カラマツ	同一等級 ラミナ 等級なし	30	平均	494	11.1	12.0	46.4
			最小	399	10.3	8.6	31.9
			最大	606	12.1	17.6	64.3
			変動係数	11.8	4.1	22.8	16.8
	ランダム ラミナ 等級なし	30	平均	518	11.1	12.5	49.0
			最小	415	9.9	8.2	35.4
			最大	609	12.3	18.1	58.7
			変動係数	9.3	5.6	19.8	12.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数

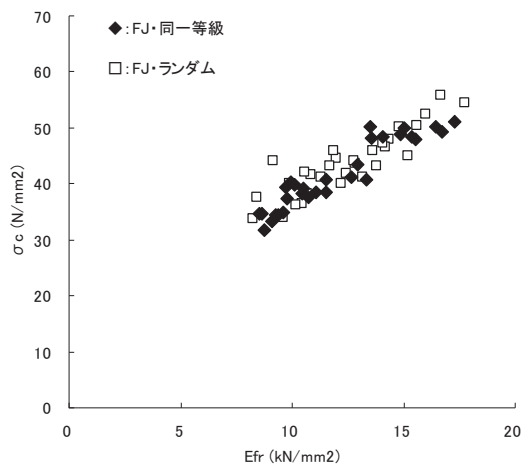


図 1-3-5 FJ ラミナの縦圧縮試験結果

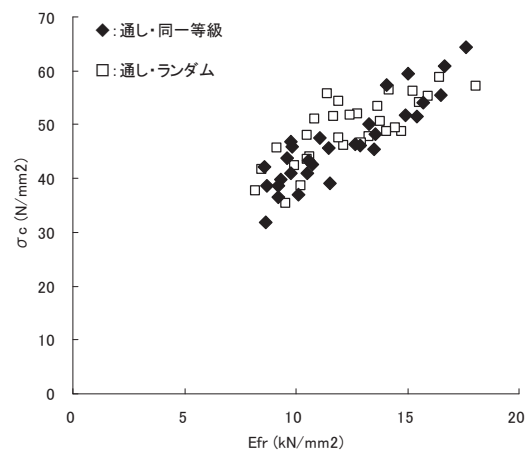


図 1-3-6 通しラミナの縦圧縮試験結果

b. 集成材

幅はぎラミナ集成材の縦圧縮試験結果を表 1-3-6 に示す。破壊形態は FJ 部および節での破壊がほとんどであった。破壊に幅はぎの影響は見られなかった。

表 1-3-6 集成材の縦圧縮試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成1 カラマツ	1	533	12.6	-	10.8	36.2
	2	532	12.8	-	10.6	36.9
	3	540	12.9	-	10.4	35.7
	4	521	12.8	-	10.7	34.9
	5	527	12.5	-	10.3	35.7
	6	521	12.6	-	9.6	35.9
平均値		529	12.7	-	10.4	35.9
変動係数(%)		1.4	1.2	-	4.1	1.9

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 圧縮試験時に測定されたヤング係数

(3) 縦引張り

a. ラミナ

FJ ラミナの縦引張り試験結果を表 1-3-7 および図 1-3-7 に、通しラミナの縦圧縮試験結果を表 1-3-8 および図 1-3-8 に示す。FJ ラミナ、通しラミナのいずれにおいても、同一等級ラミナとランダムラミナの縦引張り強さに差は見られなかった。破壊は、FJ ラミナが FJ 部で破壊するものがほとんどである一方、通しラミナは節部で破壊するものがほとんどであった。また幅はぎラミナのヤング係数と縦引張り強さの相関は高く、ラミナのヤング係数から縦引張り強さをおおよそ推測できると考えられた。破壊に幅はぎの影響は見られなかった。

表 1-3-7 ラミナの縦引張り試験結果（FJ ラミナ）

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
カラマツ	同一等級 ラミナ 等級なし	25	平均	515	11.6	12.5	29.6
			最小	411	9.7	8.7	15.2
			最大	576	13.4	16.6	43.8
			変動係数	8.8	9.0	16.7	24.2
	ランダム ラミナ 等級なし	25	平均	514	11.5	12.5	28.2
			最小	395	10.1	8.7	17.6
			最大	579	13.2	17.0	43.1
			変動係数	8.7	7.1	17.2	24.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 1-3-8 ラミナの縦引張り試験結果（通しラミナ）

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
カラマツ	同一等級 ラミナ 等級なし	25	平均	522	11.5	12.7	35.1
			最小	442	10.3	9.1	21.5
			最大	611	13.6	17.5	59.4
			変動係数	10.1	6.8	17.1	27.2
	ランダム ラミナ 等級なし	25	平均	517	11.4	12.4	33.9
			最小	401	9.9	8.9	17.7
			最大	626	12.7	16.2	57.2
			変動係数	11.6	8.4	16.4	31.0

Efr: 縦振動法によるヤング係数

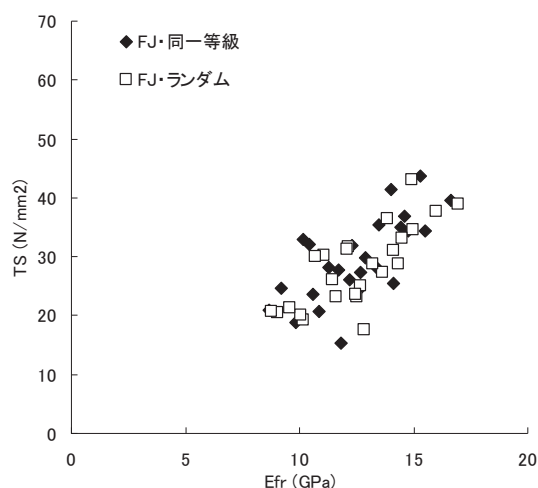


図 1-3-7 FJ ラミナの縦引張り試験結果

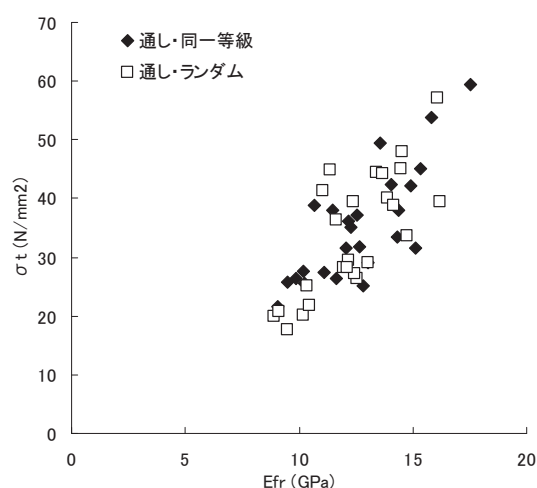


図 1-3-8 通しラミナの縦引張り試験結果

b. 集成材

幅はぎラミナ集成材の縦引張り試験結果を表 1-3-9 に示す。チャック間で破壊したものは 6 体中 2 体で FJ 部および節を含んでいた。チャック内で破壊したものは 6 体中 4 体であり、節を含んでいた。破壊に幅はぎの影響は見られなかった。

表 1-3-9 集成材の縦引張り試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 カラマツ	1	527	12.6	11.6	10.9	25.2
	2	529	12.5	11.7	11.7	26.2
	3	526	12.6	12.0	11.5	25.9
	4	535	12.6	11.6	11.3	20.1
	5	529	12.9	11.9	11.3	22.3
	6	534	12.4	12.2	12.2	27.4
平均値		530	12.6	11.9	11.5	24.5
変動係数(%)		0.6	1.3	2.0	3.9	11.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Et: 引張試験時に測定されたヤング係数

(4) めり込み

幅はぎラミナ集成材のめり込み試験結果を表 1-3-10 に示す。めり込み強さではエッジワイズとフラットワイズの間に差は見られなかったが、めり込み降伏強さ、めり込み剛性ではエッジワイズに比べフラットワイズの方が高い傾向があった。この差は特にめり込み剛性では顕著であった。フラットワイズではほとんどの試験体で年輪に沿った破壊が木口まで至るような破壊形態が見られた。エッジワイズではこのような破壊は半数程度であった。エッジワイズ、フラットワイズともに、破壊に幅はぎの影響はほとんど見られなかった。

表 1-3-10 集成材のめり込み試験結果（構成 1）

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成1 カラマツ	縦使い	30	平均	534	11.5	12.3	4.8	7.9	11.5
			最小	511	10.9	11.5	3.8	4.8	9.4
			最大	558	12.2	13.2	5.8	10.6	13.1
			変動係数	2.2	2.9	3.9	11.7	15.5	8.4
	平使い	30	平均	534	11.5	12.4	6.3	8.9	11.6
			最小	507	10.9	11.6	5.0	7.2	8.4
			最大	554	12.2	13.3	7.6	10.9	13.8
			変動係数	2.4	2.9	3.5	9.1	9.6	11.1

Efr:縦振動法によるヤング係数

(5) セン断

せん断試験の結果を表 1-3-11 に示す。せん断強さは JIS いす型、実大いす型、3 点曲げ方式の順で大きい傾向にあった。3 点曲げ方式のせん断試験での破壊形態は、20 体のうち 11 体がせん断・曲げ複合破壊、2 体がせん断破壊、残りの 7 体が曲げ破壊であった。曲げ破壊した試験体の主たる破壊要因は、引張り側最外層ラミナのせん断スパン間にある節であると考えられた。幅はぎ部に沿った破壊は 4 体で見られたが、幅はぎ部が主たる要因であるような破壊は見られなかった。

表 1-3-11 集成材のせん断試験結果（構成 1）

構成	試験の種類	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成1 カラマツ	JIS	30	平均	486	-	10.3
			最小	388	-	8.1
			最大	585	-	12.2
			変動係数	11.1	-	10.2
	実大 ブロック	30	平均	525	9.6	8.6
			最小	483	9.1	6.5
			最大	562	10.3	10.8
			変動係数	3.4	2.8	9.9
	3点曲げ	30	平均	531	11.4	12.6
			最小	501	10.9	11.3
			最大	546	12.4	13.5
			変動係数	2.3	3.1	3.8

Efr:縦振動法によるヤング係数

上記の幅はぎラミナの曲げ、引張り、圧縮強さの試験結果から、構造用集成材 JAS での強度等級の格付を考慮した場合、幅はぎラミナの原料となる乱幅材の等級区分は必ずしも行なう必要はなく、幅はぎ後のラミナについて等級区分を行なえばよいと考えられた。

幅はぎラミナを用いた集成材は十分な強度特性を有しており、また破壊の際に幅はぎの影響はほとんど見られなかった。

(6) 乱幅材および幅はぎラミナのヤング係数

乱幅材および幅はぎラミナについて、強度試験体に加工する前に各種の方法で測定したヤング係数をそれぞれ表 1-3-12、表 1-3-13 に示す。同一等級ラミナにおいては、変動係数は乱幅材と同

程度であった。ランダムラミナにおいては、変動係数は乱幅材、同一等級ラミナに比べて小さくなる傾向にあった。

表 1-3-12 乱幅材のヤング係数測定結果

樹種	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	幅 (mm)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)
カラマツ	等級なし	493	平均	504	122.7	11.8
			最小	351	45.1	6.7
			最大	661	169.5	19.5
			変動係数	11.1	22.6	17.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 死荷重法による曲げヤング係数

表 1-3-13 幅はぎラミナのヤング係数測定結果

樹種	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	Egm-ave (kN/mm ²)
カラマツ	同一等級 ラミナ 等級なし	285	平均	509	12.0	11.7
			最小	393	7.0	6.8
			最大	654	20.0	18.9
			変動係数	9.9	17.6	17.0
	ランダム ラミナ 等級なし	138	平均	509	12.0	11.7
			最小	379	8.1	7.7
			最大	634	16.0	15.9
			変動係数	9.3	14.4	14.4

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 死荷重法によるヤング係数

Egm-ave: 連続式グレーディングマシンで測定したヤング係数の平均値

オ 今後の問題点

幅はぎラミナでは、節のあらわれ方が通常のラミナと異なるので、現状ではヤング係数、強度が保障された MSR ラミナの使用が妥当であると考えられるが、目視区分、MSR ラミナ以外の機械区分を行う場合にそなえ、節径比をどのように考えるかを定める必要がある。また、節の位置や節径比と強度特性の関係を明らかにする必要がある。

カ 要約

小径材から歩留まり高く構造用集成材を製造することを目的として、カラマツ乱幅材（厚さと長さが等しく、幅が異なる材）を幅はぎ接着して幅はぎラミナを作製し、それらを原料として対称異等級構造用集成材を作製した。ラミナ、集成材について曲げ、縦圧縮、縦引張り試験を行った。集成材についてはさらにめり込み試験、せん断試験を実施した。

ラミナの曲げ強度試験の結果、構造用集成材の JAS で示されるラミナの曲げ性能の基準を FJ ラミナはほとんどすべての試験体が満たし、通しラミナはすべての試験体が満たした。集成材については、すべての試験体で十分な強度特性を有しており、破壊の際に幅はぎの影響はほとんど見られなかった。

キ 引用文献

1. 農林水産省（2003）「構造用集成材の日本農林規格（平成 15 年 2 月 27 日農林水産省告示第 235 号）」
2. 日本合板検査会（2000）構造用集成材の適正製造基準

（平松 靖、藤本清彦）

4 台形ラミナによる構造用集成材の製造と強度性能

ア 研究目的

小径、曲がり、短尺等の間伐材から製造出来る台形ラミナ集成材は、現在、一部で構造用途への利用があるものの、大部分は造作材として流通しており、構造材としての更なる需要拡大が望まれている。構造用集成材の製造においては、構成ラミナのグレーディングと、それにより保証される強度の把握が重要である。本研究は、県産のヒノキ間伐材から製造される台形ラミナの強度特性を調査するとともに、効率的なグレーディング方法について検討し、ヒノキ台形ラミナを用いた集成材の各種強度性能を評価することを目的とする。

イ 研究方法

(1) 各種ヒノキ台形ラミナの製造

ヒノキ台形ラミナは、60cm に玉切りした原木を半割りしたものを、台形断面に製材することにより歩留まり良く得られる「台形材」を、幅はぎ、縦継ぎすることにより製造される。本研究では下記 2 種類の台形ラミナを製造した。

a.同一等級ラミナ

台形材の時点で縦振動法により得られた Efr から推定した Eb に基づき強度等級区分を行い、同一等級の台形材同士を幅はぎ、縦継ぎすることにより製造した。ただし、台形材のグレーディングは、現場における測定誤差等を考慮し、安全係数 $Eb=0.885Efr$ を用いたため（図 1-4-1）、各ラミナを構成する台形材の実際の Eb は、表 1-4-1 より高いものが多く含まれている。

b.ランダムラミナ

台形材の時点で強度等級区分は行わず、無作為に幅はぎ、縦継ぎすることにより製造。

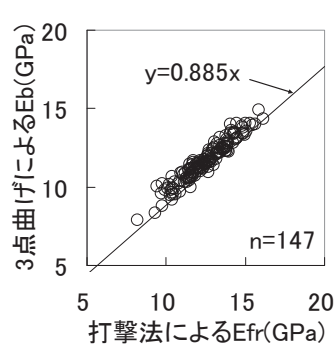


表 1-4-1 各種ラミナを構成する台形材のヤング係数

ラミナの 種類	強度等級	Efrより推定した 台形材のEb
同一等級 ラミナ	L80	7～10GPa
	L100	10～11GPa
	L110	11～12.5GPa
	L125	12.5GPa以上
ランダム ラミナ	等級なし	ランダム

図 1-4-1 台形材における
Efr と Eb の関係

(2) 各種ヒノキ台形ラミナ集成材の製造

上記ラミナを用い、5 枚積層による材せい 180mm、幅 120mm の中断面集成材を 3 種類製造した。各集成材のラミナ構成を図 1-4-2 に示す。

a.対称異等級構成集成材

同一等級ラミナを用い、最外層 L125、中間層 L100、内層 L80 の構成（現行 JAS の E105-F300 相当）により製造。ただし、前記のとおり、台形材の強度等級区分において安全係数を用いるため、各ラミナを構成する台形加工材の実際の Eb は表 1-4-1 より高いものが多く含まれている。各層ラミナの実際の Eb 平均値は最外層で 14.4GPa、中間層 12.1GPa、内層で 10.6GPa となっており、等価断面法で算出した曲げヤング係数は 13.9GPa であった。

b.同一等級構成集成材

ランダムラミナを積層することにより製造した。ランダムラミナの Efr は平均値 13.3GPa、標準偏差 0.55GPa（変動係数 4.1%）であり、これを一つのラミナ等級と見なした。

c.再積層集成材（同一等級構成集成材）

台形材は、原木径に応じ数種類の厚みで製材されている。従って、規格寸法の集成材を等厚ラミナの一定積層数で製造する場合、歩留りの低下や、使用できない厚みの台形材が生じる。この問題を解決する方法として、図 1-4-3 に示すように様々な厚みの台形ラミナを積層したブロックより、積層方向に一定厚みで切り出した「再割ラミナ」を用いて集成材を製造する方法が考えられる。今回は便宜的に、前記ランダムラミナを積層したブロックから再割ラミナを製材し、再積層した「再積層集成材」を製造した。再割ラミナの Efr はランダムラミナとほぼ同様に平均値 13.2GPa、標準偏差 0.37GPa（変動係数 2.8%）であり、これを一つのラミナ等級と見なした。

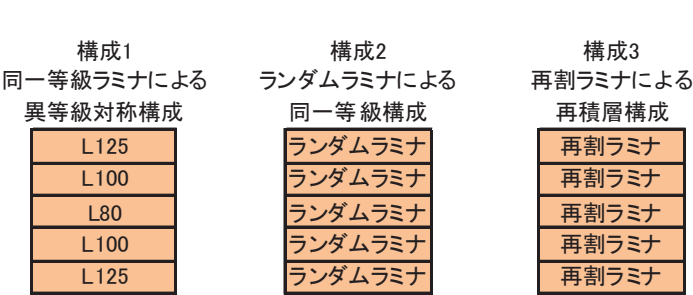


図 1-4-2 各集成材のラミナ構成

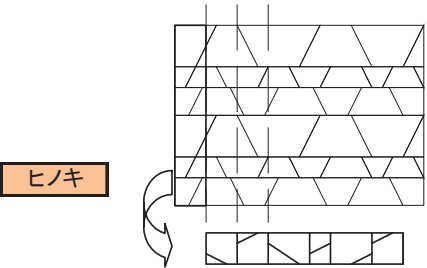


図 1-4-3 再割ラミナ概念図

(3) 各種ラミナ、集成材の強度試験

上記の各種ラミナ、集成材について、それぞれ標準的な試験方法に基づき、曲げ・縦引張り・縦圧縮試験を実施した。さらに、より実用的な製造方法である同一等級構成集成材、再積層集成材については、標準的な試験方法に基づき、めり込み、せん断試験を実施した。

ウ 結果 エ 考察

(1) 曲げ

a.ラミナ

ラミナの曲げ試験の結果を表 1-4-2 に示す。同一等級ラミナについては、全等級のラミナが構造用集成材の JAS に規定される強度をそれぞれ十分に満たしていた。L80、L100、L110 の等級間に

おける有意差は認められず、L125 とその他の等級との間にのみ有意差（危険率 1%）が認められた。ランダムラミナの曲げ強度は JAS の L125 等級の規定を十分に満たす値を示した。全ラミナの Efr 平均値（12.5GPa）は構成要素である台形材の Efr 平均値（12.6GPa）とほぼ一致し、変動係数は低減した（図 1-4-4）。また、各強度等級の台形材がラミナ内に占める割合から推定した Efr 平均値とラミナの Efr に高い相関が認められる（図 1-4-5）ことから、幅はぎ、縦継により台形材のヤング係数が平均化され、ラミナのヤング係数に反映していることを確認した。ランダムラミナ強度等級は、曲げヤング係数の下限値を考慮すれば、L100 に格付けするのが妥当であるが、ラミナの段階におけるグレーディングにより L110 等、上位等級のラミナを得ることも十分可能である。

表 1-4-2 ラミナの曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
ヒノキ 同一等級 ラミナ	L80	40	平均	485	10.6	10.4	10.3	53.8
			最小	444	8.9	8.1	7.9	34.9
			最大	528	12.6	11.3	12.4	72.9
			変動係数	4.1	8.7	8.0	8.8	17.9
	L100	40	平均	494	10.8	12.0	11.7	52.9
			最小	451	9.2	11.3	10.9	35.1
			最大	538	15.0	13.2	13.3	77.3
			変動係数	4.4	10.5	3.5	3.9	18.4
	L110	40	平均	505	10.5	13.0	12.9	47.3
			最小	466	9.3	12.1	12.1	31.0
			最大	556	12.9	13.5	16.6	68.4
			変動係数	4.0	7.6	2.5	6.2	21.6
	L125	40	平均	516	10.6	14.3	13.7	59.9
			最小	483	9.2	13.4	12.6	26.4
			最大	550	12.9	15.7	14.8	77.0
			変動係数	3.4	7.9	4.4	4.4	16.7
ランダム ラミナ	等級無し	68	平均	498	10.7	12.6	12.2	67.2
			最小	396	9.0	9.4	9.1	45.1
			最大	534	11.9	15.4	15.0	86.5
			変動係数	4.4	8.0	9.6	8.5	11.4

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

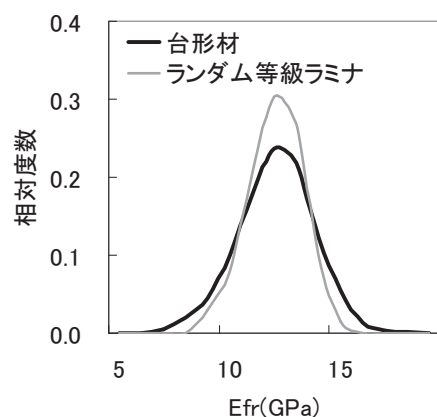


図1-4-4 台形材とランダムラミナのEfr分布

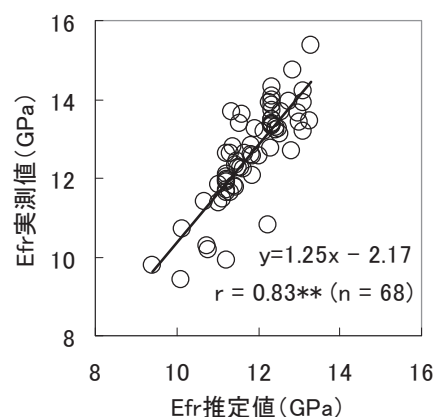


図1-4-5 ランダム等級ラミナのEfrと構成する台形材のEfr平均値との関係

b.集成材

集成材の曲げ試験の結果を表 1-4-3～1-4-5 に示す。製造した全ての集成材が、現行 JAS における E120 等級（対称異等級構成は E120-F330、同一等級構成は E120-F375）の曲げ強度性能を満たしていた。破壊は通常の集成材と同様、FJ、節等を起点としており、幅はぎ部に沿った破壊はほとんど認められなかった。対称異等級構成集成材の曲げヤング係数が他の集成材に比較して有意に高く、ラミナ構成の効果が反映されている。一体の集成材に風倒被害材が混入しており、モメから破壊したため著しく低い強度を示したが、これを除くとヤング係数と曲げ強度の間には正の相関が認められた。ランダムラミナを用いた同一等級集成材について台形材、ラミナおよび集成材における曲げ強度の変動係数を見てみると、それぞれ、14.7%、11.4%、1.9%となっており、台形材の時点における強度性能のバラツキがラミナへ集成されることによる平均化、集成材へ積層される積層効果によって収束していると考えられた。

表 1-4-3 集成材の曲げ試験結果（同一等級ラミナによる対称異等級構成）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成1 ヒノキ 異等級対称構成 (同一等級ラミナ)	1	509	12.1	13.3	13.8	37.6
	2	511	12.0	13.7	13.6	51.2
	3	505	11.7	13.3	13.3	51.3
	4	501	11.6	13.1	12.9	49.1
	5	505	12.3	12.9	12.8	47.2
	6	507	12.4	13.4	13.3	52.7
平均値		506	12.0	13.3	13.3	48.2
変動係数(%)		0.7	2.9	2.0	2.7	11.5

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-4-4 集成材の曲げ試験結果（ランダムラミナによる同一等級構成）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成2 ヒノキ 同一等級構成 (ランダムラミナ)	1	508	12.4	13.1	11.7	46.4
	2	509	12.6	14.1	12.2	44.5
	3	503	12.6	13.7	12.3	47.8
	4	500	12.3	13.4	11.8	45.9
	5	504	11.9	13.4	12.2	48.1
	6	507	12.6	13.6	12.3	47.7
平均値		505	12.4	13.6	12.1	46.7
変動係数(%)		0.7	2.3	2.5	2.2	3.0

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-4-5 集成材の曲げ試験結果（再割ラミナによる再積層構成）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成3 ヒノキ 再積層構成 (再割ラミナ)	1	505	12.6	13.5	12.3	47.7
	2	510	12.6	13.0	11.1	44.2
	3	500	12.3	13.8	11.9	46.8
	4	508	12.6	13.4	12.0	47.0
	5	512	12.7	13.1	11.9	45.1
	6	504	12.6	13.8	12.2	48.0
平均値		507	12.6	13.4	11.9	46.5
変動係数(%)		0.8	1.0	2.5	3.6	3.2

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(2) 縦圧縮

a. ラミナ

ラミナの縦圧縮試験の結果を表1-4-6に示す。同一等級ラミナにおける各強度等級の縦圧縮強度は、曲げ強度同様、JASに規定される強度を十分に満たした。なお、L80、L100、L110の等級間における有意差も同様に認められず、L125とその他の等級との間にのみ有意差（危険率1%）が認められた。ランダムラミナの縦圧縮強度も曲げ強度同様、JASのL125等級の規定を十分に満たした。なお、破壊は全てFJ底部付近から生じ、幅はぎ部に沿った破壊は認められなかった。

表 1-4-6 ラミナの縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
ヒノキ 同一等級 ラミナ	L80	40	平均	487	10.6	10.6	37.3
			最小	456	9.0	7.7	31.7
			最大	531	12.0	11.8	45.3
			変動係数	3.7	8.2	8.5	8.4
	L100	42	平均	495	10.6	12.0	37.1
			最小	454	9.2	11.4	30.6
			最大	535	12.0	12.8	46.0
			変動係数	4.4	8.2	2.4	10.3
	L110	41	平均	504	10.4	13.0	37.1
			最小	468	9.2	12.5	28.3
			最大	549	11.9	13.4	46.6
			変動係数	3.5	7.3	2.1	9.5
	L125	40	平均	517	10.5	14.4	40.7
			最小	478	9.0	13.4	29.1
			最大	558	12.0	16.2	51.9
			変動係数	4.2	7.8	5.0	11.5
ヒノキ ランダム ラミナ	等級無し	69	平均	500	10.4	12.5	45.0
			最小	446	9.0	9.3	36.7
			最大	551	11.9	14.9	52.0
			変動係数	4.4	8.9	10.2	7.8

Efr: 縦振動法によるヤング係数

b. 集成材

集成材の縦圧縮試験の結果を表 1-4-7～1-4-9 に示す。全ての集成材が、現行 JAS における E120 等級（対称異等級構成は E120-F330、同一等級構成は E120-F375）の基準強度をそれぞれ十分に上回っており、集成材の種類による強度の差は認められなかった。なお、破壊はラミナの試験時同様、FJ 底部付近を起点に生じていた。

表 1-4-7 集成材の縦圧縮試験結果（同一等級ラミナによる対称異等級構成）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成1 ヒノキ 異等級対称構成 (同一等級ラミナ)	1	506	11.3	12.8	-	44.8
	2	507	11.3	13.1	-	45.8
	3	502	12.0	13.2	-	44.3
	4	507	12.2	12.5	-	44.2
	5	508	12.0	12.9	-	45.0
	6	526	12.1	12.5	-	44.9
平均値		509	11.8	12.8	-	44.8
変動係数(%)		1.6	3.5	2.1	-	1.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-4-8 集成材の縦圧縮試験結果（ランダムラミナによる同一等級構成）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成2 ヒノキ 同一等級構成 (ランダムラミナ)	1	507	12.2	13.1	-	43.1
	2	513	12.2	14.6	-	45.4
	3	512	12.3	13.3	-	43.3
	4	525	11.9	13.4	-	44.4
	5	511	11.8	13.8	-	44.3
	6	513	12.4	14.1	-	44.7
平均値		514	12.1	13.7	-	44.2
変動係数(%)		1.1	2.0	4.1	-	2.0

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-4-9 集成材の縦圧縮試験結果（再割ラミナによる再積層構成）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成3 ヒノキ 再積層構成 (再割ラミナ)	1	514	11.9	13.3	-	45.3
	2	519	12.1	13.2	-	45.9
	3	515	12.4	13.3	-	45.2
	4	492	12.4	13.0	-	43.9
	5	510	12.4	13.0	-	44.3
	6	502	12.1	13.4	-	44.1
平均値		509	12.2	13.2	-	44.8
変動係数(%)		1.9	1.6	1.3	-	1.8

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(3) 縦引張り

a. ラミナ

ラミナの縦引張り試験の結果を表 1-4-10 に示す。同一等級ラミナにおける各強度等級の縦引張り強度は、曲げ、縦圧縮強度同様、JAS に規定される強度を十分に満たした。L80、L100、L110 の等級間における有意差は認められず、L125 とその他の等級との間にのみ有意差が認められた。ランダムラミナも JAS の L125 等級の規定を十分に満たした。なお、破壊はほとんどが FJ で生じ、幅はぎ部に沿った破壊は認められなかった。

b. 集成材

集成材の縦引張り試験の結果を表 1-4-11～1-4-13 に示す。全ての集成材が、現行 JAS における E120 等級（対称異等級構成は E120-F330、同一等級構成は E120-F375）の基準強度をそれぞれ十分に上回っており、集成材の種類による強度の差は認められなかった。破壊形態は、多くが試験機チャック入口付近の FJ、節から生じたが、チャック間（引張りスパン中央付近）で破壊した場合と比較して、最大荷重に明確な差は認められなかった。

表 1-4-10 ラミナの縦引張り試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
ヒノキ 同一等級 ラミナ	L80	40	平均	481	10.8	10.6	38.5
			最小	338	9.8	7.8	23.9
			最大	512	12.1	11.8	50.1
			変動係数	5.5	5.7	9.4	17.1
	L100	40	平均	498	10.8	12.2	37.4
			最小	461	9.7	11.7	25.6
			最大	566	15.5	12.9	49.9
			変動係数	3.9	8.6	2.6	14.8
	L110	43	平均	508	10.9	13.2	36.6
			最小	478	9.9	12.6	19.7
			最大	536	12.7	13.7	51.0
			変動係数	2.8	6.3	1.9	19.0
	L125	42	平均	519	10.7	14.5	40.8
			最小	483	9.5	13.7	23.5
			最大	560	13.6	16.1	53.6
			変動係数	4.2	8.1	4.8	15.8
ヒノキ ランダム ラミナ	等級無し	66	平均	506	10.8	12.5	45.3
			最小	462	9.8	10.2	31.4
			最大	542	12.3	15.4	71.5
			変動係数	3.5	5.9	9.5	16.6

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 1-4-11 集成材の縦引張り試験結果（同一等級ラミナによる対称異等級構成）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 ヒノキ 異等級対称構成 (同一等級ラミナ)	1	512	12.4	12.9	12.5	33.5
	2	511	12.0	13.2	12.8	33.4
	3	507	12.8	13.1	12.5	35.1
	4	503	11.3	13.4	12.3	35.5
	5	507	12.9	13.0	12.9	40.1
	6	509	11.7	13.1	12.9	31.9
平均値		508	12.2	13.1	12.7	34.9
変動係数(%)		0.7	5.1	1.2	2.0	8.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-4-12 集成材の縦引張り試験結果（ランダムラミナによる同一等級構成）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成2 ヒノキ 同一等級構成 (ランダムラミナ)	1	508	12.8	13.2	12.7	31.8
	2	507	12.1	13.6	13.7	34.9
	3	502	12.7	13.1	13.0	32.1
	4	503	12.2	13.3	12.5	30.8
	5	501	12.2	13.0	12.5	38.0
	6	507	12.1	13.4	12.4	33.9
平均値		505	12.4	13.3	12.8	33.6
変動係数(%)		0.6	2.5	1.6	3.8	7.8

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 1-4-13 集成材の縦引張り試験結果（再割ラミナによる再積層構成）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成3 ヒノキ 再積層構成 (再割ラミナ)	1	507	13.0	13.0	13.2	36.9
	2	511	12.4	13.1	12.4	36.3
	3	502	12.3	13.5	13.2	38.1
	4	508	12.5	13.4	12.8	35.6
	5	513	12.4	13.1	12.5	31.8
	6	505	12.3	13.3	12.4	34.9
平均値		508	12.5	13.2	12.7	35.6
変動係数(%)		0.8	2.1	1.4	3.0	6.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(4) めり込み

ランダムラミナを用いた同一等級集成材および再割ラミナを用いた再積層集成材のめり込み強度試験結果を、それぞれ表 1-4-14、1-4-15 に示す。荷重方向によるめり込み強度性能を比較してみると、縦使い方向の試験において多くが木口割れを起こしたのに対し、平使い方向の試験では木口割れが生じなかったため、めり込み強さの単純比較はできないものの、めり込み降伏強さとめり込み剛性に関しては、縦使い方向に比較して平使い方向で大きい傾向を示した。また集成材種類によるめり込み強度性能の比較では、めり込み強度、めり込み降伏強さ、めり込み剛性共に、ランダム集成材に比較して、再積層集成材が有意（危険率 1%）に大きい値を示した。なお、いずれの集成材、荷重方向による試験においても、めり込み強さは基準強度を十分に上回っていた。

表 1-4-14 集成材のめり込み試験結果（ランダムラミナによる同一等級構成）

構成	荷重 方向	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み 剛性 (N/mm ³)	めり込み 降伏強さ (N/mm ²)	めり込み 強さ (N/mm ²)
構成2 ヒノキ 同一等級 構成	縦使い	30	平均	496	11.9	13.0	3.7	9.2
			最小	476	11.5	11.9	3.1	7.2
			最大	514	12.3	13.8	4.6	10.4
			変動係数	1.6	2.0	3.5	9.0	8.1
	平使い	30	平均	496	11.9	13.0	4.1	9.8
			最小	472	11.5	11.4	3.6	8.3
			最大	511	12.4	13.9	4.6	11.0
			変動係数	1.9	2.4	3.8	6.3	7.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 1-4-15 集成材のめり込み試験結果（再割ラミナによる再積層構成）

構成	荷重 方向	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み 剛性 (N/mm ³)	めり込み 降伏強さ (N/mm ²)	めり込み 強さ (N/mm ²)
構成3 ヒノキ 再積層 構成	縦使い	30	平均	520	11.9	12.5	4.0	10.3
			最小	498	11.4	11.5	3.1	7.8
			最大	540	12.4	13.3	4.5	12.2
			変動係数	1.6	2.7	3.4	8.7	12.2
	平使い	30	平均	519	11.9	12.5	4.8	10.8
			最小	494	11.4	11.5	4.1	9.6
			最大	543	12.4	13.3	5.7	12.4
			変動係数	1.8	2.5	3.9	8.1	6.9

Efr: 縦振動法によるヤング係数

(5) セン断

ランダムラミナを用いた同一等級集成材および再割ラミナを用いた再積層集成材のめり込み強度試験結果を、それぞれ表 1-4-16、1-4-17 に示す。各集成材のいずれの試験方法においても、せん断強さは基準強度を十分に上回っていた。試験方法の違いによるせん断強度の比較では、いずれの集成材においても、JIS イス型方式>実大イス型方式≒3 点曲げ ISO 方式となった。また、集成材種類によるせん断強度の比較では、ランダム集成材に比較して、再積層集成材が JIS イス型方式、実大イス型方式において大きい値を示した。なお、3 点曲げ ISO 方式の試験では、いずれの集成材においても曲げ破壊を生じた試験体が多かったが、水平せん断破壊した場合と比較して、最大荷重はほぼ同等であった。

表 1-4-16 集成材のせん断試験結果（ランダムラミナによる同一等級構成）

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成2 ヒノキ 同一等級 構成	JIS	30	平均	486	11.9	-	9.5
			最小	435	11.3	-	7.7
			最大	524	12.3	-	12.1
			変動係数	4.8	2.5	-	10.6
	実大 ブロック	30	平均	503	12.0	-	7.1
			最小	481	11.4	-	3.9
			最大	546	12.4	-	9.5
			変動係数	2.9	2.5	-	19.5
	3点曲げ	30	平均	500	11.9	12.9	7.0
			最小	477	11.5	11.3	6.1
			最大	517	12.3	14.0	7.9
			変動係数	1.8	2.0	4.5	6.5

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-4-17 集成材のせん断試験結果（再割ラミナによる再積層構成）

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成3 ヒノキ 再積層 構成	JIS	30	平均	505	11.8	-	10.3
			最小	429	11.3	-	7.7
			最大	554	12.2	-	12.9
			変動係数	6.7	2.4	-	11.5
	実大 ブロック	30	平均	514	12.0	-	7.7
			最小	489	11.5	-	4.7
			最大	546	12.4	-	10.1
			変動係数	2.9	2.1	-	16.3
	3点曲げ	30	平均	521	11.8	12.6	7.1
			最小	505	11.4	11.8	6.2
			最大	535	12.3	13.6	8.0
			変動係数	1.6	2.2	3.5	6.3

Efr:縦振動法によるヤング係数

オ 今後の問題点

今回、試作・評価を行った集成材の中、再積層集成材については、現状の台形ラミナ集成材製造現場においては最も実用的な製造方法であるものの、現行 JAS 規格の中では定義出来ない集成材である。引き続き、接着層の品質評価手法の検討や、強度発現メカニズムの解析を行い、性能保証を行うための品質管理指針を明確にすることにより実用化を目指したい。

カ 要約

ヒノキ小径間伐材から得られる台形材を用い、製造方法の異なる 2 種類の台形ラミナを製造し、これを用いて異なるラミナ構成で 3 種類の集成材を製造した。各種ラミナ、集成材について曲げ・縦圧縮・縦引張り強度を測定した。3 種類の集成材の中、より実用的な製造方法である 2 種類の集成材について、さらにめり込み・せん断強度を測定した。全てのラミナおよび集成材の各種強度性能は、基準強度を十分に上回る性能を有していた。

台形材をグレーディングし、同一等級同士を組み合わせ、強度等級を積極的に区分した同一等級ラミナを用いることにより、対称異等級構成集成材が製造可能であり、より曲げ強度性能に優れた集成材が製造可能であった。台形材をランダムに組合せたランダムラミナは台形材のヤング係数が平均化して発現するため、同一の強度等級しか得られないが、これを用いた同一等級構成集成材における各種強度性能の変動係数は小さく、強度信頼性の高い集成材が製造可能であった。

ランダムラミナを積層したブロックから切り出した再割ラミナを積層して製造する再積層集成材は、原木径に支配される様々な厚さの台形材を自由に用いることが出来るため、原料自由度に優れた製造方法であり、その各種強度性能はランダムラミナを用いた同一等級集成材とほぼ同等であることを確認した。

謝辞

本研究の遂行にあたり、津山国産材加工共同組合に多大な協力を頂いた。ここに深甚なる謝意を表す。

(野上英孝)

5 スギ LVL をラミナとする新集成材の開発と強度評価

ア 研究目的

資源が充実しつつあるスギを有効利用するため、単板積層材（LVL）は歩留まりと強度性能の向上を図る技術として有望であるが、現行の構造用集成材 JAS においては集成材のラミナとして使用が認められていない。

そこで本課題では、スギ LVL の強度特性を活かしたラミナ構成によるハイブリッド集成材の製造法を開発し、強度試験を行って集成材の強度を評価する。また、新集成材についてラミナ強度と集成材強度との関係を解析するための強度データを作成する。

イ 研究方法

(1) ラミナの等級区分

宮城県産スギ中目材から LVL 工場で製造したスギ LVL ラミナ（幅 150×厚さ 30×長さ 3000mm、9ply）、および製造したスギラミナ（幅 135×厚さ 30×長さ 4000mm）について、縦振動法によるヤング係数（Efr）、死荷重法によるヤング係数（Ed）および連続送り式グレーディングマシンによるヤング係数（MGE）を測定し、これらの関係を調べた¹⁾。なお、グレーディングマシンは福島県林業研究センターの機器を使用した。Efr と Ed の相関はスギラミナでは高かったが（相関係数： $r=0.99$ ）、スギ LVL ラミナは相関が低く（ $r=0.71$ ）、Efr による等級区分は問題があり、ラミナの等級区分方法は MGE の最小値（MGE-min）を採用した。

また、スギラミナの MGE-min による等級ごとの出現率は L80 をピークとして L70～L90 が 65% であり、これらを用いることで歩留まりよく集成材を製造できるとおもわれた²⁾。

これらのラミナから試験体を採取しフィンガージョイント（図 1-5-1）によりたて継ぎして、ラミナの試験を行った。スギ LVL ラミナについては、たて継ぎしない通しラミナも試験を行った。

なお、スギ LVL ラミナではスカーフジョイントによる単板のたて継ぎが存するが、試験においてその位置は任意とした。

また、これらはフィンガージョイントによるたて継ぎしたラミナ、あるいはたて継ぎしない通しラミナとして集成材の製造に供した。

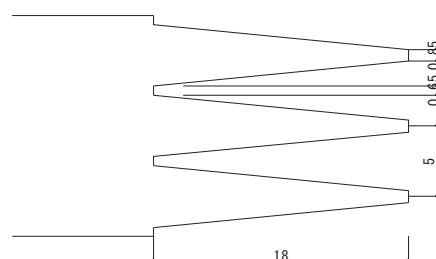


図 1-5-1 フィンガージョイント形状

(2) スギ LVL ラミナを用いた構造用集成材の強度性能試験

これらから、力学的合理性を考慮し、最外層にスギ LVL ラミナ、それ以外の層にスギラミナを配した集成材を製造し、実大試験により強度性能を調査した。

曲げ、縦圧縮、縦引張り試験では集成材 JAS の E65-F225 相当の対象異等級構成集成材（図 1-5-2）各 6 体を製造し実大試験を行った。

めり込み、せん断（JIS いす型、実大いす型、3 点曲げ ISO 方式）試験は集成材 JAS の E65-F225 相当の対象異等級構成集成材（図 1-5-3）を 30 体製造し、これから各試験体を 30 体ずつ採取し実大試験を行った。なお、めり込み、せん断試験は全て通しラミナを使用した。

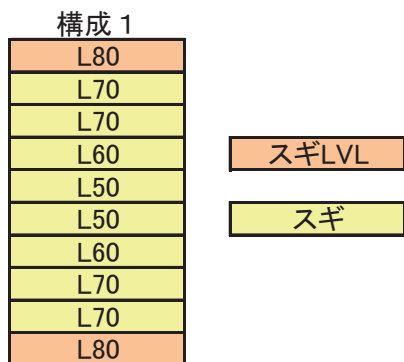


図 1-5-2 集成材のラミナ構成
(曲げ、縦圧縮、縦引張り)

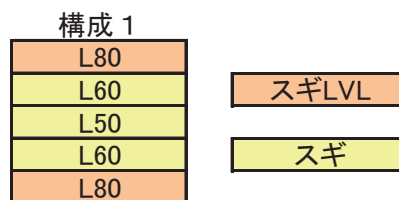


図 1-5-3 集成材のラミナ構成
(めり込み、せん断)

ウ 結果 エ 考察

(1) 曲げ

a. ラミナ

ラミナの曲げ試験の結果を表 1-5-1、スギ LVL の通しラミナの曲げ試験の結果を表 1-5-2 に示す。曲げ強度性能については各等級とも JAS 基準値に適合した。

破壊要因は、スギ LVL ラミナの 28%がフィンガージョイント、24%が単板のスカーフジョイント、スギ LVL の通しラミナでは 16%が単板のスカーフジョイントから破壊した。たて継ぎ以外の破壊は単板の目切れ等であった。スギラミナではフィンガージョイントから破壊したものが各等級 43~66%であり、上位等級ほどその割合が大きかった。

また、スギ LVL ラミナのたて継ぎの接合効率は曲げ強さの平均値の比で 95%であり、特有の問題を生じなかったが、単板のスカーフジョイントからの破壊が影響を及ぼしたと考えられる。

表 1-5-1 ラミナの曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
スギLVL	L80	50	平均	411	9.0	9.4	8.5	39.3
			最小	372	7.8	8.2	7.6	28.4
			最大	453	11.6	11.1	10.1	54.1
			変動係数	3.3	8.5	4.9	6.0	14.5
スギ	L50	40	平均	363	10.7	7.0	6.6	36.9
			最小	304	8.4	5.1	5.1	25.9
			最大	438	12.1	9.6	8.6	55.0
			変動係数	9.9	7.3	13.8	12.3	15.7
	L60	47	平均	379	10.2	8.0	7.5	38.5
			最小	305	8.2	6.3	5.4	27.4
			最大	472	11.8	10.7	9.8	54.3
			変動係数	10.5	8.0	11.3	11.0	15.5
	L70	41	平均	377	10.2	9.1	8.7	46.6
			最小	329	8.6	7.5	7.5	25.1
			最大	457	11.5	13.0	12.1	65.2
			変動係数	8.8	7.3	10.9	10.0	16.6

Efr: 縦振動法によるヤング係数 Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

表 1-5-2 ラミナ（通しラミナ）の曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
スギLVL (通しラミナ)	L80	50	平均	410	10.2	9.3	41.5
			最小	379	9.1	8.4	31.7
			最大	449	11.4	10.4	59.1
			変動係数	3.1	5.7	4.5	12.1

Efr:縦振動法によるヤング係数 Eb:曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

b.集成材

集成材の曲げ試験の結果を表 1-5-3 に示す。強度等級 E65-F225 に対応する曲げ基準強度を満たした。破壊要因は引張り側最外層のスギ LVL ラミナのフィンガージョイント、あるいは単板のスカーフジョイントから破壊した。

表 1-5-3 集成材の曲げ試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成1 スギLVL スギ	1	388	10.9	8.0	8.3	25.9
	2	397	10.6	8.5	8.8	29.0
	3	385	10.7	8.3	8.6	27.9
	4	389	10.5	8.6	8.8	26.3
	5	406	10.4	8.5	8.8	31.9
	6	403	10.7	8.6	8.6	30.8
平均値		395	10.6	8.4	8.6	28.6
変動係数(%)		2.0	1.4	2.4	1.9	7.6

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(2) 縦圧縮

a.ラミナ

ラミナの縦圧縮試験の結果を表 1-5-4、の縦圧縮試験スギ LVL の通しラミナの結果を表 1-5-5 に示す。対応する等級の製材の圧縮基準強度を満たした。

破壊要因はスギ LVL ラミナの 36%がフィンガージョイント、25%が単板のスカーフジョイント、スギ LVL の通しラミナでは 40%が単板のスカーフジョイントから破壊した。たて継ぎ以外の破壊は単板の目切れ等であった。スギラミナでは全てフィンガージョイントから破壊した。

表 1-5-4 ラミナの縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
スギLVL	L80	50	平均	416	10.3	—	38.4
			最小	389	9.0	—	33.0
			最大	458	12.0	—	43.4
			変動係数	3.8	6.5	—	7.5
スギ	L50	40	平均	358	10.6	—	36.0
			最小	299	10.1	—	29.9
			最大	445	11.5	—	49.1
			変動係数	10.0	3.0	—	10.8
	L60	46	平均	370	10.5	—	38.8
			最小	309	9.7	—	33.0
			最大	475	11.6	—	49.8
			変動係数	9.2	3.8	—	10.1
	L70	39	平均	378	10.0	—	41.8
			最小	306	9.5	—	34.5
			最大	490	11.2	—	51.1
			変動係数	11.5	3.7	—	9.9

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 1-5-5 ラミナ（通しラミナ）の縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
スギLVL (通しラミナ)	L80	50	平均	406	10.6	—	38.9
			最小	381	9.3	—	35.1
			最大	440	11.6	—	45.8
			変動係数	3.5	4.8	—	5.7

Efr:縦振動法によるヤング係数

b. 集成材

集成材の縦圧縮試験の結果を表 1-5-6 に示す。強度等級 E65-F225 に対応する圧縮基準強度を満たした。破壊要因はスギ LVL ラミナのフィンガージョイント、あるいは単板のスカーフジョイント、またはスギラミナのフィンガージョイントから破壊した。

表 1-5-6 集成材の縦圧縮試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成1 スギLVL スギ	1	381	11.2	—	7.8	31.5
	2	369	10.8	—	8.2	32.5
	3	376	11.0	—	8.7	30.0
	4	346	10.6	—	8.2	31.4
	5	339	11.3	—	8.2	32.2
	6	360	11.2	—	8.0	27.6
平均値		362	11.0	—	8.2	30.9
変動係数(%)		4.2	2.2	—	3.3	5.4

Efr:縦振動法によるヤング係数、Ec:圧縮試験時に測定されたヤング係数

(3) 縦引張り

a. ラミナ

ラミナの縦引張り試験の結果を表 1-5-7、スギ LVL の通しラミナの縦引張り試験の結果を表 1-5-8 に示す。各強度等級の縦引張り強さは JAS 基準値に適合した。

破壊要因はスギ LVL ラミナの 31%がフィンガージョイント、42%が単板のスカーフジョイントから破壊し、20%がこれらの複合であった。スギ LVL の通しラミナでは、95%がフィンガージョイントから破壊した。スギラミナではフィンガージョイントから破壊したものが各等級 63～73%であり、上位等級ほどその割合が大きかった。

また、スギ LVL ラミナの接合効率は縦引張り強さの平均値の比で 94%であり、特有の問題を生じなかったが、単板のスカーフジョイントからの破壊が影響を及ぼしたと考えられる。

なお、スギ LVL ラミナの通しラミナの縦振動ヤング係数と縦引張りヤング係数の関係(図 1-5-4)を調べると、曲げヤング係数(図 1-5-5)より相関が高かった。縦振動ヤング係数および引張りヤング係数は単板の等価断面面積、曲げヤング係数は単板の等価断面二次モーメントにより推定できることから、ラミナにおいて生じた、縦振動法と曲げ荷重によるヤング係数の相関が低いのは、スギ LVL の単板のヤング係数の積層方向でのばらつきによる影響が考えられた³⁾。

表 1-5-7 ラミナの縦引張り試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
スギLVL	L80	48	平均	410	10.6	9.5	8.5	24.7
			最小	381	9.3	8.4	7.6	17.0
			最大	439	11.9	10.3	10.1	29.6
			変動係数	3.2	5.3	4.6	6.0	11.6
スギ	L50	40	平均	361	10.2	7.0	6.6	23.7
			最小	301	8.8	5.4	5.1	15.4
			最大	456	11.7	9.8	8.6	47.3
			変動係数	10.0	6.4	12.7	12.3	26.5
	L60	48	平均	373	10.2	8.0	7.5	26.5
			最小	305	8.9	6.7	5.4	14.6
			最大	459	11.7	11.0	9.8	38.6
			変動係数	9.4	6.7	10.3	11.0	21.6
	L70	40	平均	380	9.9	8.9	8.7	29.4
			最小	304	7.9	7.6	7.5	21.0
			最大	471	11.5	10.7	12.1	42.5
			変動係数	11.2	9.0	6.8	10.0	15.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数 Et: 縦引張り試験時に測定した引張りヤング係数

表 1-1-8 ラミナ（通しラミナ）の縦引張り試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
スギLVL (通しラミナ)	L80	48	平均	412	10.5	9.6	9.0	26.2
			最小	395	9.1	8.5	7.8	19.7
			最大	459	11.4	10.6	10.0	33.3
			変動係数	2.9	5.5	4.9	5.9	11.7

Efr: 縦振動法によるヤング係数 Et: 縦引張り試験時に測定した引張りヤング係数

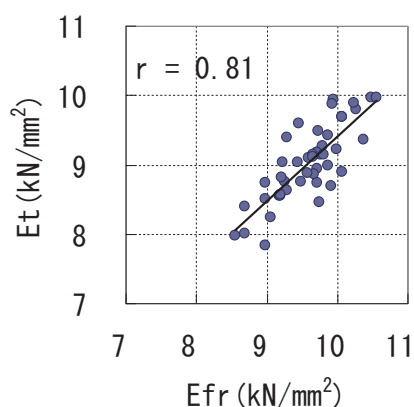


図 1-5-4 スギ LVL 通しラミナの
Efr と Et の関係

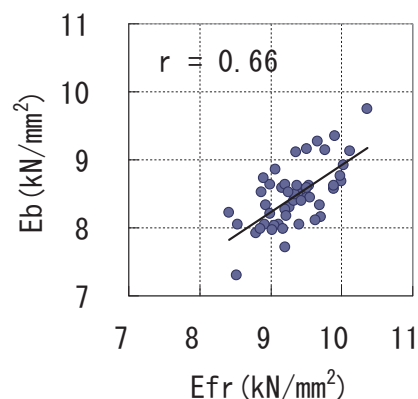


図 1-5-5 スギ LVL 通しラミナの
Efr と Eb の関係

b. 集成材

集成材の縦引張り試験の結果を表 1-5-9 に示す。強度等級 E65-F225 に対応する引張り基準強度を満たした。破壊要因は LVL ラミナのフィンガージョイント、あるいは単板のスカーフジョイント、またはスギラミナのフィンガージョイントから破壊した。

表 1-5-9 集成材の縦引張り試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 スギLVL スギ	1	381	10.5	8.2	7.8	23.9
	2	394	11.1	8.9	8.6	26.2
	3	384	11.0	8.8	10.8	25.2
	4	392	11.1	8.5	8.2	21.7
	5	398	10.9	8.5	8.1	25.0
	6	394	11.3	8.3	8.2	22.6
平均値		390	11.0	8.5	8.6	24.1
変動係数(%)		1.5	2.3	2.9	11.6	6.4

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Et: 引張試験時に測定されたヤング係数

(4) めり込み

集成材のめり込み試験の結果を表 1-5-10 に示す。荷重方向によるめり込み強度性能はラミナの積層方向と直角方向からの荷重（縦使い）が積層方向の荷重（平使い）より大きかった。いずれにおいてもスギ集成材の基準強度を満たした。

破壊形態は縦使い 1 体が木口割れを生じたが、それ以外はめり込みにより明瞭な破壊を示さなかった。

表 1-5-10 集成材のめり込み試験結果

構成	荷重 方向	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成1 スギLVL スギ	縦使い	30	平均	405	11.0	8.5	3.2	8.6
			最小	382	10.0	6.8	2.5	7.5
			最大	427	12.4	9.8	3.7	10.5
			変動係数	3.0	3.5	7.1	7.5	7.7
	平使い	30	平均	403	11.2	8.6	1.7	4.3
			最小	379	10.7	7.6	1.3	3.8
			最大	430	11.7	9.6	2.1	5.0
			変動係数	3.2	2.5	4.6	11.9	8.4

Efr:縦振動法によるヤング係数

(5) セン断

集成材のせん断試験の結果を表 1-5-11 に示す。ISO 方式では、80%の試験体が引張り側最外層のスギ LVL の曲げ型破壊であった。これらを含めたせん断強さを方式で比較すると JIS いす型> 実大いす型>3 点曲げ ISO 方式であった。なお、すべての方式においてもスギ集成材の基準強度を満たした。

表 1-5-11 集成材のせん断試験結果

構成	試験の 種類	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成1 スギLVL スギ	JIS	27	平均	474	10.9	—
			最小	409	9.1	—
			最大	549	14.1	—
			変動係数	6.1	6.7	—
	実大 ブロック	30	平均	395	10.7	—
			最小	364	10.1	—
			最大	432	11.4	—
			変動係数	4.3	3.0	—
	3点曲げ	30	平均	400	10.8	8.7
			最小	429	11.9	9.3
			最大	381	10.2	7.9
			変動係数	2.7	3.5	4.6

Efr:縦振動法によるヤング係数

オ 今後の問題点

製造したスギ LVL ラミナが L80 に等級区分され、異等級構成集成材を製造するにあたり、これを最外層、それ以下の等級のスギラミナを最外層以外に利用したため、スギラミナについて、等級区分ごとの出現率から歩留まりよく利用することができなかった。このため、スギ LVL ラミナの強度等級をより高めることが求められる。

カ 要約

スギ LVL ラミナの縦振動法によるヤング係数による等級区分は問題があり、グレーディングマシンの最小値評価をラミナの等級区分方法に採用した。

ラミナの試験では、曲げ、縦圧縮、縦引張り、いずれのラミナ、試験方法においても JAS による基準値に適合した。スギ LVL ラミナの破壊要因として単板のスカーフジョイントの関与が大き

かった。また、スギ LVL ラミナの曲げヤング係数が縦振動ヤング係数との相関が低いのは、単板のヤング係数の積層方向のばらつきによる影響が考えられた。

集成材の試験では、曲げ、縦圧縮、縦引張り、いずれにおいても対応する強度等級の集成材の基準強度を満たした。さらに、めりこみの荷重方向、せん断の試験方法、いずれにおいてもスギ集成材の基準強度を満たした。

キ 引用文献

- 1 橋爪丈夫・斎藤健・野田道雄・石原茂久（1997）連続送り式グレーディングマシンの特性とその調整，木材学会誌，43(2)，141-148.
- 2 大西裕二（2007）宮城県産スギによる構造用集成材の製造，東北森林科学会大会講演要旨集，12，p.58.
- 3 大西裕二・宮武敦・平松靖（2008）構造用集成材ラミナとしてのスギ LVL の強度性能，日本木材学会大会研究発表要旨集，58，p.24.

（大西裕二）

6 広葉樹 LVL を用いた集成材の製造と強度性能

ア 研究目的

単板積層材（LVL）は強度特性の設計が可能であり、また歩留まりも高く木材の有効利用が可能な材料であるが、現行の構造用集成材 JAS においては構造用集成材のラミナとして使用が認められていない。そこで本課題では、地域材の有効利用を考慮したスギおよびコナラ LVL ラミナ積層集成材（異樹種積層集成材）の適正な製造条件と強度性能を評価することを目的とした。

イ 研究方法

(1) スギラミナのヤング係数と分布

京都府産のスギを原料としたラミナの強度を把握するため、スギ丸太、乾燥前後のラミナおよびフィンガージョイント（以下、FJ）加工前の乾燥ラミナについて、グレーディングマシン（エーティーエー社製 GM-1200）による縦振動法によってヤング係数（以下、動的ヤング係数）を測定した。なお、丸太の買付け場所が異なる 2 社の製材工場（A 社と B 社）からそれぞれ長さ 4m の丸太を 100 本ずつ選んで試験に供した。これらの丸太を各工場において幅 135mm、厚さ 35～38mm、長さ 4m のラミナに製材し、乾燥前と乾燥後に動的ヤング係数を測定した。なお、乾燥したラミナの含水率は高周波式含水率計（ケット社製：HM-520）で測定した。

上記の 4m 乾燥ラミナを動的ヤング係数の値によって 4 段階に区分（E70、E80、E90 および E100）し、それぞれの強度区分ごとにラミナを FJ 加工して長さ 6m のラミナ（以下、FJ ラミナ）を製造し、そのヤング係数を死荷重法により測定した。FJ ラミナは、アイカ工業製水性高分子イソシアネート接着剤 280g/m²、圧縮圧力 0.8N/mm²によって製造した。

(2) ラミナの強度試験

(2)-1 スギラミナ

FJ 加工した長さ 6m のラミナから試験体を作製し、曲げ、縦圧縮、縦引張り強度試験を実施した。試験体の寸法と試験条件を表 1-6-1 に示す。ラミナの強度区分は、乾燥後の長さ 6m ラミナの動的ヤング係数を基準として行った。

表 1-6-1 スギラミナの強度試験体の寸法と試験条件

試験体名	寸法			試験条件		
	幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	FJ加工の位置 (mm)	荷重速度 (mm/min)	その他条件
曲げ試験体	125	30	800	中央400mm内	10	
縦圧縮試験体	125	30	180	中央120mm内	0.2	
縦引張り試験体	125	30	1700-2000	中央1000mm内	10	グリップ間の長さ1000mm

(2)-2 コナラ LVL ラミナ

直径約 20cm、長さ約 2m のコナラ丸太をロータリーレースで単板にし、湖北ベニヤ産業（株）所有の LVL 製造機械でスカーフジョイント（以下、SJ）加工して長さ 6m のコナラ LVL ラミナを製造した。LVL は、接着剤としてフェノール樹脂（オーシカ社製）を使用し、塗布量 180g/m²、圧縮圧力 0.9N/mm²、上板温度 180℃、圧縮時間 1 プレス 70～120 秒の条件で製造した。製造さ

れた LVL の曲げ、縦圧縮、縦引張り強度試験を実施した。

(3) 集成材の強度

ラミナのヤング係数と強度性能試験の結果を踏まえ、死荷重法によりグレーディングしたスギラミナを用いて、標準的な試験方法で、曲げ、縦引張り、縦圧縮、めり込み、せん断試験を行った。集成材のラミナ構成を、曲げ、縦圧縮、縦引張り試験用については図 1-6-1 に、めり込み、せん断試験用については図 1-6-2 に示す。

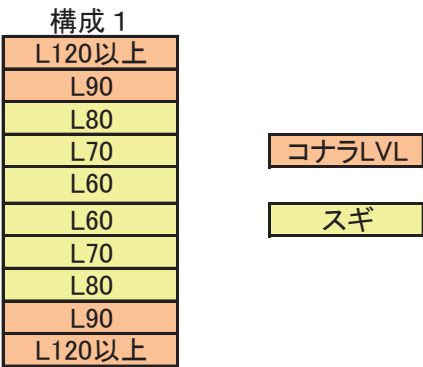


図 1-6-1 集成材のラミナ構成
(曲げ、縦圧縮、縦引張り試験)

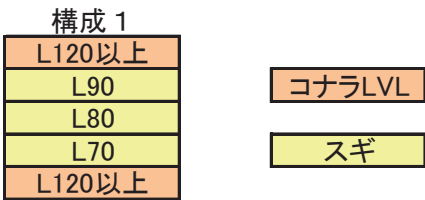


図 1-6-2 集成材のラミナ構成
(めり込み、せん断試験)

ウ 結果 エ 考察

(1) 曲げ

a. ラミナ

コナラ LVL ラミナおよびスギラミナの曲げ試験結果を表 1-6-2 に示す。ラミナの曲げ強さは、JAS で定められた基準を下回るものも見受けられた。本試験では死荷重法によりラミナの等級区分を行ったが、死荷重法によるヤング係数はラミナ全体の平均的な値を示す。それに対して、曲げ試験は 6m のラミナを 4～5 分割した材について実施しており、各材のヤング係数はラミナの局所的な値を示している。そのため、JAS で定められた曲げ強さを満たさない材があったと考えられる。

また、曲げ試験では、明瞭な降伏を示すことなく最大荷重到達とほぼ同時に、突然破断する場が多かった。破断は FJ 加工部から生じる場合がほとんどであった。

表 1-6-2 ラミナの曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
コナラLVL	なし	44	平均	809	7.1	17.6	13.2	57.5
			最小	767	5.2	15.8	7.5	32.3
			最大	844	8.9	19.2	15.4	88.1
			変動係数	2.3	13.3	5.9	13.2	25.1
スギ	L60	40	平均	418	12.6	7.2	6.5	31.9
			最小	373	5.4	5.6	5.1	22.3
			最大	501	17.6	9.1	7.8	46.1
			変動係数	6.8	22.5	12.7	11.4	20.4
	L70	40	平均	393	10.9	8.3	7.4	32.0
			最小	345	4.5	6.7	6.0	24.1
			最大	450	15.8	10.0	8.7	46.0
			変動係数	6.5	28.3	9.5	8.2	16.0
	L80	40	平均	411	8.5	9.3	8.3	36.2
			最小	345	4.1	8.2	6.8	25.9
			最大	483	16.8	10.8	9.4	51.3
			変動係数	7.2	40.9	6.9	7.8	19.1
	L90	40	平均	410	7.8	9.8	8.5	37.6
			最小	365	3.6	8.3	7.2	31.1
			最大	492	15.1	11.3	9.4	50.0
			変動係数	6.6	32.8	6.8	6.6	13.5

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

b. 集成材

集成材の曲げ試験の結果を表 1-6-3 に示す。破壊状況は、最大荷重まで降伏することなく推移し、最大荷重到達とほぼ同時に破壊に至るものであった。曲げ強さは現行 JAS の対称異等級構成 E105-F300 の集成材に求められる値に対して 1.5～2 倍の値を示した。

表 1-6-3 集成材の曲げ試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成1 コナラLVL スギ	1	491	-	9.9	-	43.8
	2	492	-	9.8	-	44.3
	3	491	-	10.2	-	40.8
	4	487	-	10.4	-	40.5
	5	499	-	10.1	-	44.9
	6	488	-	10.1	-	40.4
平均値		491	-	10.1	-	42.4
変動係数(%)		0.8	-	2.0	-	4.9

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(2) 縦圧縮

a. ラミナ

ラミナの縦圧縮試験の結果を表 1-6-4 に示す。

表 1-6-4 ラミナの縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
コナラLVL	なし	44	平均	807	8.1	-	61.3
			最小	730	6.7	-	49.4
			最大	861	10.1	-	69.5
			変動係数	3.7	7.5	-	8.2
スギ	L60	41	平均	-	10.9	-	26.7
			最小	-	6.5	-	20.4
			最大	-	14.0	-	34.9
			変動係数	-	19.8	-	14.0
	L70	40	平均	-	11.4	-	27.3
			最小	-	7.1	-	20.9
			最大	-	14.9	-	40.5
			変動係数	-	18.4	-	16.1
	L80	41	平均	-	10.0	-	31.5
			最小	-	7.5	-	24.4
			最大	-	16.1	-	42.7
			変動係数	-	18.8	-	13.1
	L90	41	平均	-	9.8	-	33.1
			最小	-	7.8	-	25.9
			最大	-	13.4	-	43.4
			変動係数	-	16.1	-	12.9

Efr: 縦振動法によるヤング係数

b. 集成材

集成材の縦圧縮試験の結果を表 1-6-5 に示す。縦圧縮強さは現行 JAS の対称異等級構成 E105-F300 の集成材に求められる値に対して 1.5～2 倍の値を示した。

表 1-6-5 集成材の縦圧縮試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成1 コナラLVL スギ	1	507	10.7	10.5	-	38.6
	2	488	9.7	11.0	-	41.6
	3	487	10.2	10.0	-	38.2
	4	500	10.0	10.2	-	38.2
	5	484	10.5	11.0	-	41.3
	6	488	10.3	10.8	-	41.2
平均値		492	10.2	10.6	-	39.9
変動係数(%)		1.9	3.4	3.9	-	4.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 圧縮試験時に測定されたヤング係数

(3) 縦引張り

a. ラミナ

ラミナの縦引張り試験の結果を表 1-6-6 に示す。本試験では死荷重法によりラミナの等級区分を行ったが、死荷重法によるヤング係数はラミナ全体の平均的な値を示す。それに対して、引張り試験は 6m のラミナを 4～5 分割した材について実施しており、各材のヤング係数はラミナの局

部的な値を示している。そのため、JAS で定められた引張り強さを満たさない材があったと考えられる。

表 1-6-6 ラミナの縦引張り試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)	Eb (kN/mm ²)
コナラLVL	なし	40	平均	811	7.9	18.0	53.9	18.0
			最小	771	6.9	16.5	41.1	16.5
			最大	860	9.6	19.3	68.9	19.3
			変動係数	2.4	9.7	4.0	13.7	4.0
スギ	L60	42	平均	413	11.2	7.1	21.3	6.8
			最小	352	5.5	5.9	10.1	5.5
			最大	466	17.5	8.8	35.1	8.5
			変動係数	6.3	32.4	9.5	26.0	10.2
	L70	49	平均	403	10.3	7.9	20.5	7.6
			最小	326	4.8	6.9	13.1	6.7
			最大	462	16.8	9.5	33.5	8.9
			変動係数	7.8	35.1	6.1	20.7	5.9
	L80	51	平均	403	9.4	8.7	23.9	8.3
			最小	348	4.4	7.2	15.1	7.2
			最大	492	14.7	10.4	33.6	9.5
			変動係数	7.5	34.6	8.1	19.7	6.6
	L90	41	平均	401	8.9	9.9	27.1	9.1
			最小	335	4.1	8.8	17.7	8.2
			最大	497	17.0	11.3	37.4	10.3
			変動係数	9.5	37.6	5.2	12.9	4.9

Efr:縦振動法によるヤング係数

Eb:死荷重法によるヤング係数

b.集成材

集成材の縦引張り試験の結果を表 1-6-7 に示す。縦引張り強さは現行 JAS の対称異等級構成 E105-F300 の集成材に求められる値をわずかに上回る程度であった。

表 1-6-7 集成材の縦引張り試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 コナラLVL スギ	1	491	9.7	10.7	-	27.2
	2	496	9.7	10.2	-	21.3
	3	484	9.5	10.4	-	20.5
	4	496	9.9	10.7	-	20.0
	5	495	10.3	10.7	-	20.4
	6	498	10.7	10.5	-	21.0
平均値		493	10.0	10.5	-	21.7
変動係数(%)		1.0	4.5	1.9	-	12.5

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

(4) めり込み

集成材のめり込み試験の結果を表 1-6-8 に示す。縦使いと平使いでめり込み強さ、めり込み剛性は同程度の値を示したが、めり込み降伏強さは縦使いの方が大きかった。破壊形状は、縦使いでは材端部から鰐口状に開くものが多く、平使いではコナラ LVL 内の単板接着面が剥がれるものが多かった。両方向とも、ラミナ間の接着面が剥がれて破壊に至ることは少なかった。

表 1-6-8 集成材のめり込み試験結果

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成1 コナラLVL スギ	縦使い	30	平均	566	-	12.3	3.6	9.3	11.6
			最小	546	-	11.2	2.8	9.3	9.3
			最大	600	-	13.5	4.3	10.1	13.6
			変動係数	2.4	-	4.1	11.0	1.6	9.9
	平使い	32	平均	568	-	-	3.3	6.9	11.7
			最小	545	-	-	2.6	5.7	9.1
			最大	600	-	-	4.2	9.0	14.2
			変動係数	2.1	-	-	10.9	9.8	10.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数

(5) せん断

集成材のせん断試験の結果を表 1-6-9 に示す。いす型せん断試験は、実大試験体が小試験体より強度が大きかった。一般的には、小試験体の方が欠点も少なくなり高い強度を示す傾向があるが、本試験では逆の結果となった。

表 1-6-9 集成材のせん断試験結果

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成1 コナラLVL スギ	JIS	31	平均	418	9.5	-	6.4
			最小	341	7.5	-	4.3
			最大	548	11.3	-	8.5
			変動係数	9.6	9.5	-	15.2
	実大 ブロック	35	平均	664	11.2	-	7.1
			最小	589	10.1	-	4.9
			最大	753	12.6	-	9.2
			変動係数	5.6	5.7	-	18.0
	3点曲げ	30	平均	562	11.2	12.2	5.5
			最小	549	10.3	11.4	4.7
			最大	583	12.2	13.1	7.4
			変動係数	1.7	4.2	3.0	11.1

上記のラミナおよび集成材の強度試験結果から、コナラ LVL は曲げヤング係数が高く、最外層のラミナとして使用することによって、曲げヤング係数と曲げ強度が低いスギラミナの弱点を解消し、特に曲げ強度特性の向上に有効であることが明らかとなった。

(6) スギラミナのヤング係数と分布

スギ丸太の動的ヤング係数の分布を製材工場別に図 1-6-3 に示す。丸太の買付け場所が異なる 2 工場間で動的ヤング係数の分布に差が認められたことから、スギ丸太の強度は産地によって異なる可能性が示唆された。

丸太の動的ヤング係数と乾燥後のラミナの動的ヤング係数との関係を表 1-6-10 に示す。乾燥ラミナの動的ヤング係数は、原料である丸太の動的ヤング係数よりも $1\sim 3\text{kN/mm}^2$ 程度上昇する場合が多かった。全体としては強度区分の L70～L110 に相当する強度の乾燥ラミナが多く生産されており、京都府内産のスギを用いる場合は、この強度区分の乾燥ラミナを対象とした集成材生産が効率的であると考えられる。

乾燥後の 4m ラミナの動的ヤング係数を基準とする強度区分別の FJ 加工した 6m ラミナの死荷重ヤング係数を表 1-6-11 に示す。FJ 加工後の 6m ラミナの死荷重ヤング係数による強度区分は、FJ 加工前の 4m ラミナの動的ヤング係数による強度区分よりも 1～2 区分下位に移行するものが多く、FJ 加工後の 6m ラミナの強度区分は L60～L90 となり、L100 に該当するものはなかった。このことから、京都府内のスギ丸太から FJ 加工した集成材を生産するためには、強度区分が L60～L90 に該当するラミナの生産を目指すことが効率的であると考えられる。

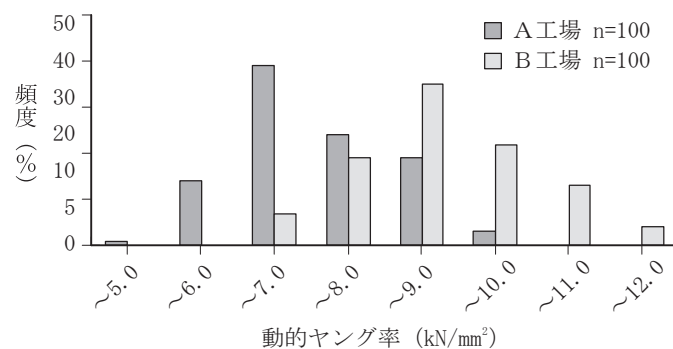


図 1-6-3 工場別のスギ丸太の動的ヤング係数の分布

表 1-6-10 丸太と乾燥後のラミナの動的ヤング係数の関係

乾燥後の 4m ラミナの 動的ヤング率 (kN/mm²)	丸太の動的ヤング率 (kN/mm²)						計
	6未満	6～7	7～8	8～9	9～10	10以上	
6未満	2	3	0	1	0	0	6
5～6	10	10	2	0	0	0	22
6～7	13	38	6	1	1	0	59
7～8	18	51	23	9	3	0	104
8～9	8	48	29	34	11	3	133
9～10	4	36	50	52	12	1	155
10～11	3	10	42	67	27	7	156
11～12	1	5	19	53	16	14	108
12～13	0	1	1	18	25	12	57
13～14	0	2	0	8	14	9	33
14～15	0	0	0	3	10	17	30
15以上	0	0	0	0	1	12	13
計	59	204	172	246	120	75	876

表 1-6-11 FJ 加工前の動的ヤング係数による強度区分と FJ 加工後の死荷重ヤング係数による強度区分との関係

F J 加工前の 乾燥処理した 長さ 4 m ラミナ の強度区分	供試 数	F J 加工後の長さ 6 m ラミナの 死荷重法によるヤング率 (kN/mm ²)			F J 加工後の長さ 6 m ラミナの 死荷重ヤング率による 強度区分に該当する供試数				
		平均	最小	最大	L50	L60	L70	L80	L90
L70	30	6.2	5.1	7.4	4	25	1		
L80	30	7.4	6.3	8.0		2	23	5	
L90	27	8.2	7.1	9.2			6	19	2
L100	38	8.6	7.0	9.7			8	16	14

オ 今後の問題点

スギラミナの強度試験の結果、強度の基準値を下回るラミナが見受けられた。今後は、たて継ぎラミナの評価について、たて継ぎ部のヤング係数を局部的に測定する等検討する必要があると思われる。コナラ LVL の製造にあたっては、乾燥時に変形しやすいコナラを乾燥する場合は、単板を押さえながら乾燥するロールドライヤーを利用し、接着不良を可能な限り押さえることが必要であると考えられた。コナラ単板の歩留まりは約 55%であったが、LVL のスカーフジョイント間隔が 2m であったため、1m 単板をうまく活用できなかった。短尺の単板を用いた LVL 製造技術について検討する必要がある。

カ 要約

強度特性の設計が可能であり、また歩留まりも高く木材の有効利用が可能な単板積層材 (LVL) を集成材用ラミナとして用いるための利用技術開発および集成材の強度性能向上を目的として、コナラ LVL とスギラミナを用いた異樹種積層集成材の強度試験を実施した。

コナラ LVL の強度試験の結果、コナラ LVL の強度性能は構造用集成材ラミナの 120E2 級の基準を満たした。スギラミナについては、乾燥ラミナの動的ヤング係数は、原料である丸太の動的ヤング係数よりも 1~3kN/mm² 程度上昇するケースが多いことがわかった。FJ 加工後のラミナの死荷重ヤング係数による強度区分は、FJ 加工前のラミナの動的ヤング係数による強度区分よりも 1~2 区分下位に移行するものが多く、FJ 加工後の 6m ラミナの強度区分は L60~L90 となった。

また最外層にコナラ LVL、それ以外の層にスギラミナを配置した異樹種積層集成材は、構造用集成材の JAS に示される対象異等級構成集成材 E105-F300 相当の強度を有した。集成材の最外層にコナラ LVL を配することにより、特に曲げ強度特性を向上させられることが明らかとなった。

謝辞

本研究実施にあたり強度試験の他多大の試験協力をいただいた兵庫県森林林業技術センター、島根県中山間地域研究センター及び岡山県木材加工技術センターをはじめ、試験体製作に御協力いただいた兵庫県内の衣笠木材株式会社、株式会社大野製材所、島根県内の湖北ベニヤ株式会社、島根県合板協同組合浜田針葉樹工場、並びに接着性能試験に御協力をいただいたアイカ工業株式会社、光洋産業株式会社の各位に感謝いたします。

(松井正和、村田良浩、土屋幸敏、田淵敦士、川添正伸)

第2章 現行JAS規格外のラミナ構成による

新集成材の製造と実大実験による強度性能評価

1 異樹種集成材の縦引張、めり込み、せん断強度性能に関する試験方法及び評価法の確立
ア 研究目的

ラミナや集成材の強度試験方法については、現行の JAS 規格において曲げ試験（FJ ラミナについては縦引張り試験も含まれている）のみが記載され、その他の強度試験方法について規定されていない。また、国際規格の ISO では、TC165（木質構造）において現在審議中であり、未だ規格化されていない。しかしながら、本プロジェクトでは、当初からラミナ及び集成材を対象とした曲げ・縦圧縮・縦引張り・めり込み・せん断試験が計画されていたため、強度データ集積後の統計解析等を考慮すると統一的な試験方法を提案する必要があった。

そこで、本課題では、国内外の強度試験方法に関わる研究報告や規格・基準を参考に標準試験方法（付録 1）を提案する。次に、同一樹種で構成された集成材及び異樹種集成材等を対象に縦引張り・めり込み・せん断強度を明らかにするとともに、ラミナ及び集成材の縦引張り強度に及ぼす FJ 数の影響を明らかにする。また、異樹種構成集成材のように内層と外層とでヤング係数が大きく異なった場合、集成材の曲げヤング係数に及ぼすせん断たわみの影響についてモデル的に検討した。

イ 研究方法

スギ、ベイマツのラミナ及び集成材を対象として、各試験に対応した（1）～（3）に示した等級（構成）、寸法、数の試験体を作成した。なお、すべての試験体は（株）中国木材によって製作され、たて継ぎ（FJ）にはメラミン樹脂接着剤を、積層にはレゾルシノール接着剤を用いて接着した。

（1）縦引張り試験

a.ラミナ

等級：スギ（L50、L60、L70、L80）、ベイマツ（L90、L110、L125、L140）

試験体の寸法：L300mm×b30mm×h105mm

試験体数：機械等級ごとに、チャック間の FJ が 1 つ、2 つ、4 つの試験体について 30 体ずつとした。したがって、ラミナの全試験体数は 2（樹種）×4（機械等級）×3（FJ 数）×30=720 体となった。試験方法：付録 1 参照

1 参照

b.集成材

等級：スギ（E65-F225、構成 1）、ベイマツ（E120-F330、構成 2）

試験体の寸法：スギ L3000mm×b105mm×h150mm（5 層）、L3000mm×b105mm×h300mm（10 層）、ベイマツ L4000mm×b105mm×h150mm（5 層）、L4000mm×b105mm×h240mm（8 層）

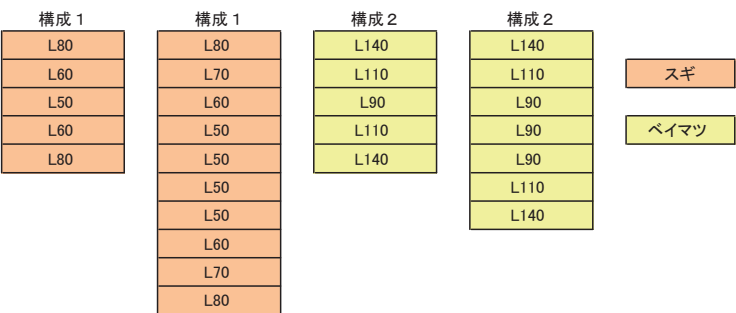


図 2-1-1 集成材のラミナ構成（引張り試験体）

試験体数：各樹種・等級ごとに、チャック間の各ラミナの FJ が 1 つ、2 つ、4 つの試験体について 6 体ずつとした。したがって、集成材の全試験体数は 2（樹種）×3（FJ 数）×2（断面寸法）×6=72 体となった。

試験方法：付録 1 参照

(2) めり込み試験

a. ラミナ

等級：スギ（L50、L60、L70、L80）、ベイマツ（L90、L110、L125、L140）

試験体寸法：エッジワイズ荷重：L630mm×b30mm×h105mm、

フラットワイズ荷重：L180mm×b105mm×h30mm

試験体数：各樹種・等級ごとに10体、2（樹種）×4（機械等級）×2（荷重方向）×10=160体

試験方法：ISO方式によるめり込み試験（付録1参照）

b. 集成材

等級：スギ集成材（E65-F225、構成1）、ベイマツ集成材（E120-F330、5層：構成2、10層：構成3）、

ベイマツ-スギ複合集成材（E120-F330、構成4）

試験体寸法：L900mm×b120mm×h150mm（5層）、L1800mm×b120mm×h300mm（10層）

試験体数：5層：3構成×2加圧方向×30体=180体、10層：3構成×1加圧方向×6体=18体

試験方法：ISO方式、エッジワイズ試験体の半数は加圧板直下の各ラミナにひずみゲージ貼付

加圧方向：5層：エッジワイズ、フラットワイズ、10層：エッジワイズ（付録1参照）

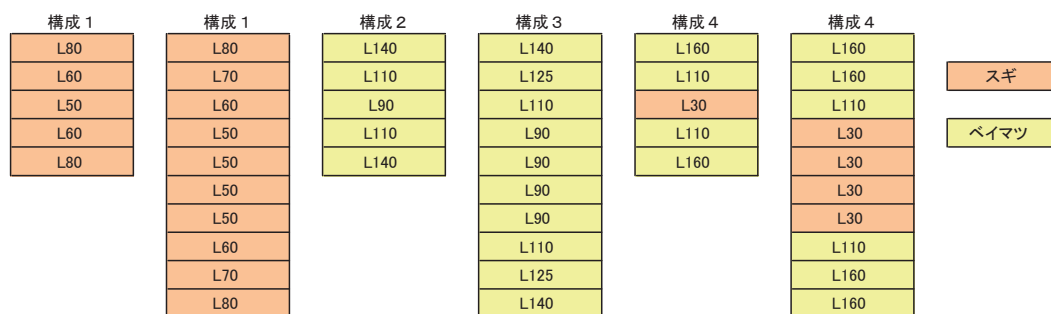


図 2-1-2 集成材のラミナ構成（めり込み試験体）

(3) セン断試験

等級：スギ（E65-F225、構成1）、ベイマツ（E120-F330、構成2）、スギ-ベイマツ複合（E120-F330、構成4）

a. 集成材（曲げ方式）

試験体寸法：3点曲げ試験：L950mm×b120mm×h150mm（5層）、5点曲げ試験：L1700mm×b120mm×h150mm（5層）

試験体数：各構成・方式ごとに30体

試験方法：ISO3点曲げ・5点曲げ方式 JIS Z2101によるせん断試験（付録1参照）

b. 集成材（いす型方式）

試験体寸法：5層、試験体高さ150mm、せん断面積

b120mm×h120mm

試験体数：3構成×30体=90体

試験方法：内層を対象とした実大いす型せん断試験、

クリアランスは5mm（付録1参照）



図 2-1-3 集成材のラミナ構成（せん断試験体）

(4) 集成材の曲げヤング係数に及ぼすせん断たわみ影響についての検討

異樹種集成材の簡便なモデルとして4層モデルを用いた。すなわち、幅25mm(R)×厚さ5mm(T)×長さ300mm(L)の板をポリ酢酸ビニルエマルジョンを用いてT方向に4枚接着した。積層の組み合わせは、(外層,

内層) = (スギ, バルサ), (シトカスプルス, バルサ), (アカマツ, バルサ), (ヤチダモ, バルサ), (アカマツ, スギ) であった。両端自由撓み振動試験を行い、Timoshenko の撓み理論に基づく Goens-Hearmon の回帰法よりエレメントおよび積層材のヤング係数を算出した。

ウ 結果 エ 考察

(1) ラミナ及び集成材の縦引張り強度

表2-1-1にスギ及びベイマツラミナの縦引張り試験結果を等級及びFJの数ごとに示した。各ラミナの引張り強度の平均値は等級が上位になるとともに上昇し、FJの数が増加するとともに低下する傾向が見られる。ただし、バラツキについては、スギに比べてベイマツは高い変動係数を示しており、特にその傾向は下位等級で顕著である。

また、スギ及びベイマツラミナの縦引張り破壊形態の頻度を等級及びFJの数ごとに図2-1-4、図2-1-5に示した。破壊形状はスギ及びベイマツともFJ部 (FJ) と節 (knot) によるものが多く見られ、上位等級になるほどFJ部で破壊する確率が高くなっている。それ以外に、ベイマツでは繊維傾斜 (slope of grain) による破壊も数多く見られた。

表2-1-1 スギ及びベイマツラミナの縦引張り試験結果

樹種	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引強さ (N/mm ²)	樹種	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引強さ (N/mm ²)		
スギ	L50 (FJ:1)	30	平均	420	10.5	5.35	18.4	ベイマツ	L90 (FJ:1)	30	平均	476	11.1	11.2	22.7
			最小	354	8.9	4.49	12.4				最小	410	9.5	10.4	10.8
			最大	495	12.4	6.83	27.4				最大	556	13.3	13.3	32.9
			変動係数	7.7	7.5	8.5	21.6				変動係数	6.7	7.8	6.1	27.4
	L50 (FJ:2)	30	平均	410	11.8	5.27	17.4		L90 (FJ:2)	29	平均	463	11.2	11.1	21.5
			最小	372	10.6	4.25	12.8				最小	430	10.0	9.7	9.1
			最大	455	13.0	6.23	25.6				最大	506	13.1	13.2	34.3
			変動係数	5.5	4.9	9.7	16.2				変動係数	4.0	7.1	7.5	29.6
	L50 (FJ:4)	30	平均	423	10.7	5.46	15.8		L90 (FJ:4)	30	平均	477	11.7	11.5	18.8
			最小	383	9.5	4.08	9.9				最小	449	9.8	10.1	9.2
			最大	468	12.8	6.56	25.3				最大	504	14.6	13.1	29.0
			変動係数	5.3	9.1	9.8	20.3				変動係数	3.0	9.6	7.7	27.9
	L60 (FJ:1)	30	平均	429	10.1	6.45	21.8		L110 (FJ:1)	30	平均	485	11.1	12.7	23.5
			最小	378	9.3	5.21	16.4				最小	436	9.2	10.7	6.2
			最大	493	12.8	7.95	29.3				最大	554	13.8	14.1	34.5
			変動係数	6.7	8.1	8.4	16.2				変動係数	5.3	9.4	6.9	33.1
	L60 (FJ:2)	30	平均	411	10.4	6.29	19.4		L110 (FJ:2)	30	平均	488	11.0	12.7	23.9
			最小	363	9.3	5.04	12.2				最小	442	9.3	10.4	3.3
			最大	479	12.3	8.19	24.7				最大	534	13.8	15.9	36.6
			変動係数	7.1	6.5	11.2	14.2				変動係数	4.7	9.3	9.2	30.8
	L60 (FJ:4)	30	平均	411	10.3	6.54	17.1		L110 (FJ:4)	30	平均	523	12.7	13.5	25.3
			最小	356	9.1	5.67	11.7				最小	479	10.5	12.2	11.2
			最大	470	12.7	7.48	25.5				最大	564	16.0	15.6	34.1
			変動係数	7.1	7.7	7.1	16.4				変動係数	4.5	12.0	5.6	22.2
	L70 (FJ:1)	30	平均	386	11.0	7.55	22.6		L125 (FJ:1)	30	平均	522	12.2	14.3	32.4
			最小	335	10.1	6.46	16.2				最小	462	9.3	13.1	19.7
			最大	423	12.0	8.12	30.2				最大	626	14.6	15.9	43.3
			変動係数	5.6	4.3	5.3	12.6				変動係数	5.9	12.9	6.1	21.0
	L70 (FJ:2)	30	平均	403	10.9	7.73	20.7		L125 (FJ:2)	30	平均	506	12.1	14.7	30.9
			最小	348	9.8	6.40	14.5				最小	476	10.1	13.0	16.7
			最大	507	13.3	12.46	32.9				最大	535	13.8	16.1	44.5
			変動係数	9.6	8.0	13.9	17.1				変動係数	3.3	8.8	5.4	20.7
	L70 (FJ:4)	30	平均	378	11.3	7.30	19.7		L125 (FJ:4)	30	平均	514	11.5	14.6	28.8
			最小	348	10.4	6.16	15.2				最小	474	9.9	13.3	17.5
			最大	415	12.2	8.01	24.8				最大	587	13.2	16.2	44.2
			変動係数	4.4	3.9	5.6	13.9				変動係数	4.2	8.0	4.8	20.1
	L80 (FJ:1)	30	平均	432	10.8	8.97	25.9		L140 (FJ:1)	30	平均	539	10.9	16.0	36.3
			最小	369	9.7	7.24	17.1				最小	499	9.0	14.0	22.2
			最大	495	12.5	10.75	38.4				最大	567	12.4	17.4	51.0
			変動係数	8.3	7.2	10.8	21.3				変動係数	3.5	7.4	4.6	19.4
	L80 (FJ:2)	29	平均	427	10.7	8.89	23.2		L140 (FJ:2)	30	平均	544	11.4	16.6	35.1
			最小	362	9.5	7.11	14.3				最小	515	9.6	15.1	12.0
			最大	523	12.7	11.65	30.6				最大	593	13.5	18.2	47.4
			変動係数	8.6	6.5	12.0	16.1				変動係数	3.4	8.6	4.7	24.7
	L80 (FJ:4)	30	平均	443	10.9	9.22	23.0		L140 (FJ:4)	30	平均	541	11.5	16.5	29.9
			最小	403	9.7	7.82	16.3				最小	509	9.8	15.1	21.9
			最大	503	11.9	11.07	29.9				最大	602	14.0	18.3	36.9
			変動係数	5.1	5.1	9.0	15.2				変動係数	4.1	9.1	5.2	15.0

Efr : 縦振動法によるヤング係数

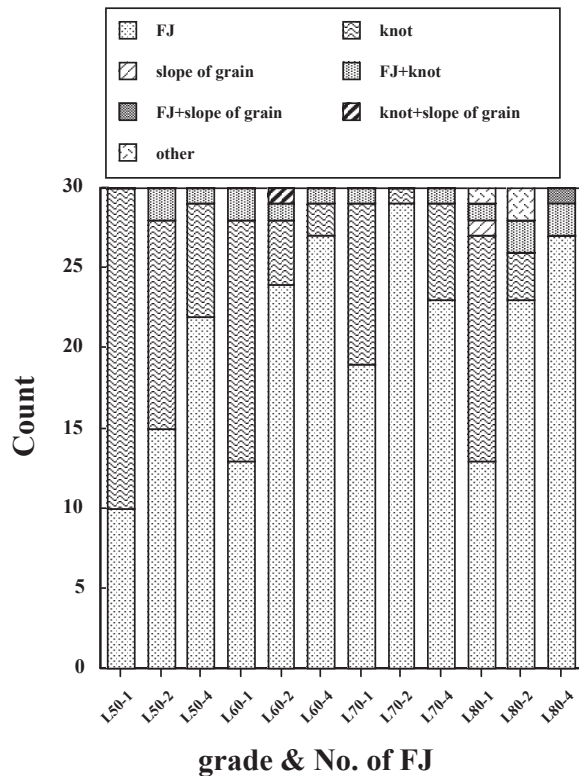


図2-1-4 スギラミナの縦引張り破壊形態

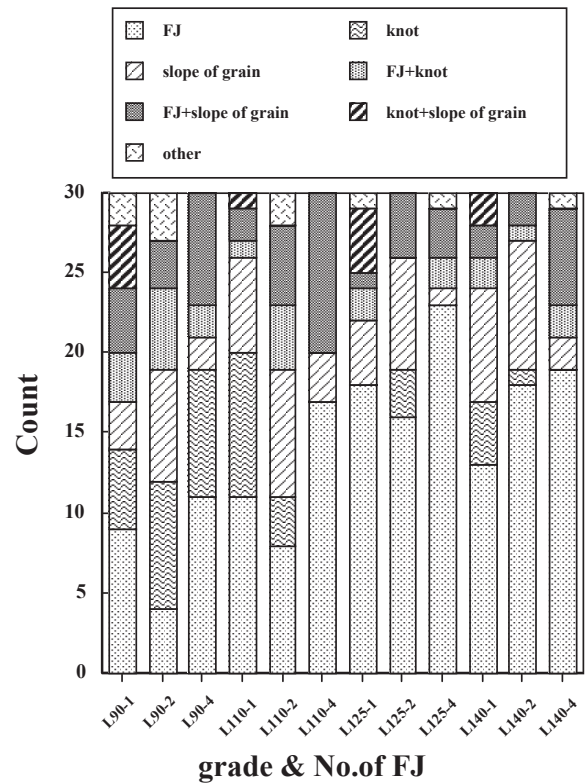


図2-1-5 ベイマツラミナの縦引張り破壊形態

図2-1-6に各ラミナの縦振動法によるヤング係数(Efr)と破壊ひずみとの関係を図に示した。なお、引張り応力を負荷時した際の応力とひずみとの関係は破壊に到達するまで直線関係であるので、図中の破壊ひずみは最大応力及びヤング係数からの計算によって求めたものである。

スギの破壊ひずみはおおよそ0.002～0.004の範囲であり、ベイマツの0.001～0.003に比べてやや大きな値を示した。したがって、スギ及びベイマツによる複合集成材に対して引張り荷重が負荷された場合、始めにベイマツラミナに破壊が生じることが想定される。また、スギの破壊ひずみはヤング係数が大きくなるのにしたがって小さくなる傾向が認められたが、ベイマツについてはそのような傾向が認められなかった。

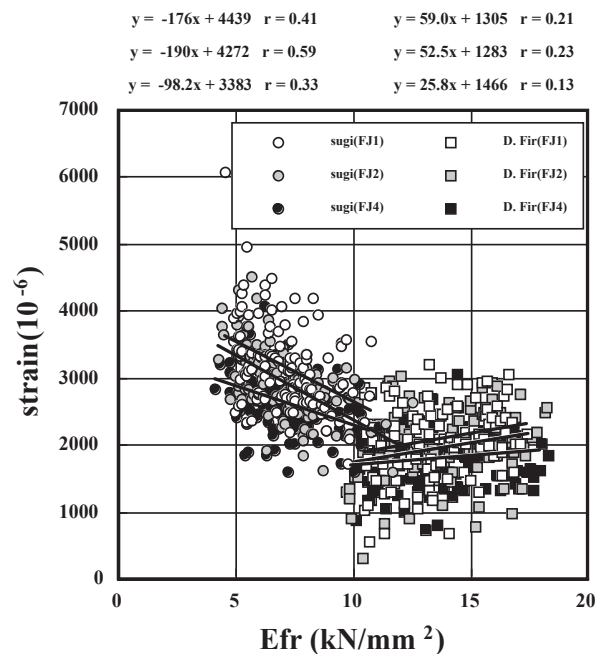


図2-1-6 ヤング係数(Efr)と破壊ひずみ(strain)との関係

表2-1-2にスギ及びベイマツ集成材の縦引張り試験結果を積層数（断面寸法）及びFJの数ごとに示した。ラミナの試験結果と同様に、FJの数の増加とともに集成材の縦引張り強度の平均値が低下する傾向が見られる。また、積層数（断面寸法）が10,8ply（105mm×300,240mm）の集成材の平均値は5ply（105mm×150mm）に比べて約20%低い値となっており、曲げ強度と同様に、集成材の縦引張り強度についても寸法効果が存在することが示唆された。

表2-1-2 各集成材の縦引張り試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)	構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 スギ 5層 FJ:1	1	442		7.2	6.5	21.3	構成2 ベイマツ 5層 FJ:1	1	525		14.7	14.0	29.7
	2	408		7.3	6.8	21.9		2	532		13.9	13.4	34.2
	3	432		7.9	7.6	23.3		3	521		14.3	13.5	32.4
	4	428		7.2	7.0	22.7		4	516		14.7	14.5	32.2
	5	412		8.2	7.7	21.7		5	503		13.9	13.5	30.0
	6	449		7.9	7.3	18.9		6	494		14.6	13.5	37.5
平均値		428	11.1	7.6	7.1	21.6	平均値		515	11.9	14.4	13.8	32.7
変動係数(%)		3.8	2.2	5.8	6.7	7.1	変動係数(%)		2.8	12.5	2.7	3.1	8.8
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)	構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 スギ 5層 FJ:2	1	444		8.1	7.6	20.2	構成2 ベイマツ 5層 FJ:2	1	520		14.7	14.1	37.5
	2	415		8.2	7.9	20.7		2	530		14.5	13.6	27.0
	3	438		7.2	6.4	20.4		3	523		14.8	14.7	34.9
	4	442		6.8	6.2	21.4		4	518		15.8	15.0	30.3
	5	467		7.4	6.9	18.2		5	510		14.7	13.3	35.8
	6	437		7.7	7.3	17.8		6	513		14.7	13.8	31.7
平均値		440	11.8	7.6	7.1	19.8	平均値		519	12.5	14.9	14.1	32.9
変動係数(%)		3.8	1.9	6.8	9.3	7.4	変動係数(%)		1.4	2.6	3.1	4.6	11.9
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)	構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 スギ 5層 FJ:4	1	452		7.9	8.1	16.8	構成2 ベイマツ 5層 FJ:4	1	524		14.9	13.8	29.5
	2	430		7.9	8.0	19.1		2	519		14.6	14.3	25.3
	3	446		7.7	6.9	19.3		3	520		14.6	13.6	30.7
	4	428		8.0	7.8	19.2		4	526		14.6	14.2	28.0
	5	432		7.8	7.2	21.2		5	539		14.4	14.6	33.0
	6	414		7.9	7.1	19.1		6	510		14.7	14.1	30.3
平均値		434	11.4	7.9	7.5	19.1	平均値		523	12.1	14.6	14.1	29.5
変動係数(%)		3.2	1.0	1.4	6.8	7.3	変動係数(%)		1.8	4.6	1.2	2.4	8.9
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)	構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 スギ 10層 FJ:1	1	415		7.0	6.8	13.5	構成2 ベイマツ 8層 FJ:1	1	492		13.3	12.8	26.2
	2	418		7.2	6.7	19.9		2	490		13.4	12.8	27.9
	3	416		6.9	6.5	18.4		3	504		13.5	12.9	19.8
	4	413		6.5	6.1	17.1		4	516		13.5	12.7	20.8
	5	402		6.4	6.0	17.6		5	491		13.3	12.7	28.5
	6	420		6.7	6.3	15.2		6	501		13.4	12.4	28.5
平均値		414	11.7	6.8	6.4	17.0	平均値		499	12.0	13.4	12.7	25.3
変動係数(%)		1.5	2.6	4.5	5.1	13.5	変動係数(%)		2.0	3.6	0.7	1.5	15.6
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)	構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 スギ 10層 FJ:2	1	423		7.0	6.7	15.8	構成2 ベイマツ 8層 FJ:2	1	504		13.5	13.3	26.1
	2	410		6.8	6.4	14.9		2	519		13.9	13.6	23.6
	3	427		7.2	6.6	15.2		3	515		14.1	13.0	21.9
	4	425		7.2	6.7	16.7		4	490		12.8	12.2	26.1
	5	414		6.9	6.4	17.2		5	493		13.7	12.9	26.0
	6	411		7.2	7.2	17.5		6	511		14.0	13.4	25.5
平均値		418	12.3	7.1	6.7	16.2	平均値		505	12.4	13.7	13.1	24.9
変動係数(%)		1.8	1.7	2.6	4.4	6.7	変動係数(%)		2.3	2.8	3.3	3.7	7.0
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)	構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 スギ 10層 FJ:4	1	426		6.7	6.2	15.7	構成2 ベイマツ 8層 FJ:4	1	497		13.8	12.9	28.5
	2	413		6.8	6.5	17.5		2	503		13.6	13.0	25.3
	3	424		7.5	7.4	17.1		3	517		13.8	13.0	22.8
	4	401		6.9	6.2	13.2		4	512		13.7	12.8	18.9
	5	412		6.9	6.2	16.4		5	508		13.7	13.3	22.0
	6	413		6.9	6.6	14.9		6	506		13.5	13.2	25.5
平均値		415	11.7	6.9	6.5	15.8	平均値		507	12.1	13.7	13.0	23.8
変動係数(%)		2.2	2.1	4.0	7.0	10.0	変動係数(%)		1.4	4.0	0.7	1.3	14.0

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

(1) ラミナ及び集成材のめり込み強度

スギ及びベイマツラミナの等級ごとのめり込み試験結果を表2-1-3に示した。また、図2-1-7にめりこみ強度 f_{c90} 、めり込み剛性 K_{c90} をフラットワイズ及びエッジワイズ別に示した。めり込み特性値に等級の違いによる傾向は認められなかったが、すべての等級においてめりこみ強度は平使い方向（フラットワイズ）よりも縦使い方向（エッジワイズ）の方が大きかった。平使いでは余長が短いために木口破壊を生じやすいことが原因であると考えられる。また、密度（ ρ ）と縦振動法によるヤング係数（Efr）を測定した縦使い方向の試験体では、すべてのめり込み特性値においてEfrよりも ρ との相関が高かった。

表2-1-3 スギ及びベイマツラミナのめり込み試験結果

樹種	等級	荷重方向	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (kN/mm ²)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
スギ	L50	縦使い	10	平均	433	10.6	5.7	3.1	4.7
				最小	351	9.8	4.6	1.7	3.7
				最大	492	11.7	6.9	6.7	7.2
				変動係数	9.1	6.0	13.1	47.4	21.2
		平使い	10	平均	441	10.8		15.5	7.0
				最小	346	10.2		10.2	4.5
				最大	484	11.7		22.0	11.2
				変動係数	10.4	4.2		24.1	30.2
スギ	L60	縦使い	10	平均	425	10.5	6.4	4.3	5.4
				最小	376	9.3	4.8	2.0	3.7
				最大	465	12.7	9.7	7.3	7.5
				変動係数	5.5	11.4	20.5	40.0	20.6
		平使い	10	平均	414	10.9		12.5	6.4
				最小	373	9.9		7.5	4.4
				最大	471	13.3		16.8	9.3
				変動係数	9.1	9.2		24.5	26.6
スギ	L70	縦使い	10	平均	374	11.5	7.3	2.2	4.2
				最小	339	10.8	6.5	1.6	3.4
				最大	414	12.1	7.9	2.7	4.8
				変動係数	7.1	3.7	8.3	19.5	11.3
		平使い	10	平均	361	11.7		12.6	4.6
				最小	324	11.1		9.6	4.2
				最大	407	12.2		15.0	5.0
				変動係数	7.6	2.7		13.1	5.5
スギ	L80	縦使い	10	平均	436	11.2	9.3	2.4	4.6
				最小	369	10.2	6.8	1.7	3.8
				最大	494	12.4	13.0	3.3	6.2
				変動係数	10.4	7.4	21.5	20.6	16.0
		平使い	10	平均	416	11.3		13.9	5.6
				最小	349	10.4		8.0	4.5
				最大	508	12.1		18.7	8.2
				変動係数	12.2	4.9		20.8	19.4
ベイマツ	L90	縦使い	10	平均	469	11.8	11.3	3.6	5.4
				最小	404	10.1	9.4	2.5	4.3
				最大	570	13.4	15.9	5.2	6.8
				変動係数	11.4	10.7	15.6	25.7	14.7
		平使い	10	平均	459	11.7		14.6	5.7
				最小	404	9.9		9.5	4.8
				最大	567	13.8		20.6	7.4
				変動係数	9.7	10.2		26.8	13.5
ベイマツ	L110	縦使い	10	平均	477	11.4	12.6	3.8	5.6
				最小	428	10.7	10.7	2.3	4.2
				最大	559	12.8	14.5	6.3	7.5
				変動係数	7.7	6.5	10.4	33.6	19.3
		平使い	10	平均	473	11.5		15.0	5.7
				最小	429	10.8		8.2	4.0
				最大	567	12.3		20.6	7.5
				変動係数	8.5	4.3		28.5	21.0
ベイマツ	L125	縦使い	10	平均	503	12.7	14.7	3.4	5.3
				最小	460	10.4	13.4	2.4	4.0
				最大	542	14.0	16.0	5.3	6.4
				変動係数	5.2	9.1	5.9	26.6	12.9
		平使い	10	平均	501	12.8		12.2	5.2
				最小	465	10.5		8.6	3.4
				最大	549	14.1		20.2	6.7
				変動係数	4.8	8.4		28.1	18.9
ベイマツ	L140	縦使い	10	平均	536	12.1	16.2	3.5	5.7
				最小	492	10.7	14.2	2.0	4.6
				最大	572	13.8	18.4	5.1	7.0
				変動係数	5.2	8.0	8.2	29.4	16.9
		平使い	10	平均	541	12.3		12.5	5.5
				最小	497	11.5		8.5	4.4
				最大	576	13.1		20.1	7.9
				変動係数	4.8	4.7		30.7	17.8

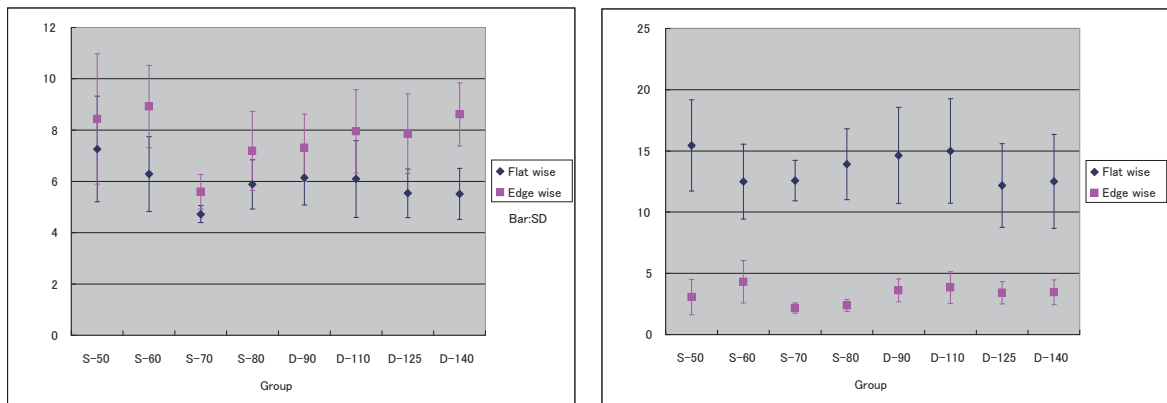


図2-1-7 スギ及びベイマツラミナのめり込み試験結果（各等級ごとの平均値と標準偏差）

スギ集成材、ベイマツ集成材、スギ-ベイマツ集成材のめり込み試験結果を表2-1-4に示した。また、図2-1-8に各集成材のめりこみ強度 $f_{c,90}$ 、めり込み降伏強度 $f_{c,90,y}$ 、めり込み剛性 $K_{c,90}$ を平使い方向（フラットワイズ）及び縦使い方向（エッジワイズ）別に示した。縦使いではすべての試験体がめり込みにより破壊したが、平使いでは複合集成材の1/3が木口割れにより破壊した。すべての集成材について、めり込み強度、めり込み降伏強度、めり込み剛性ともに、縦使い方向よりも平使い方向で高い平均値が得られた。平使い方向において、比例限度荷重での各ラミナのひずみ量を、最外層、中間層、内層で比較したところ、明確な傾向は認められなかった。

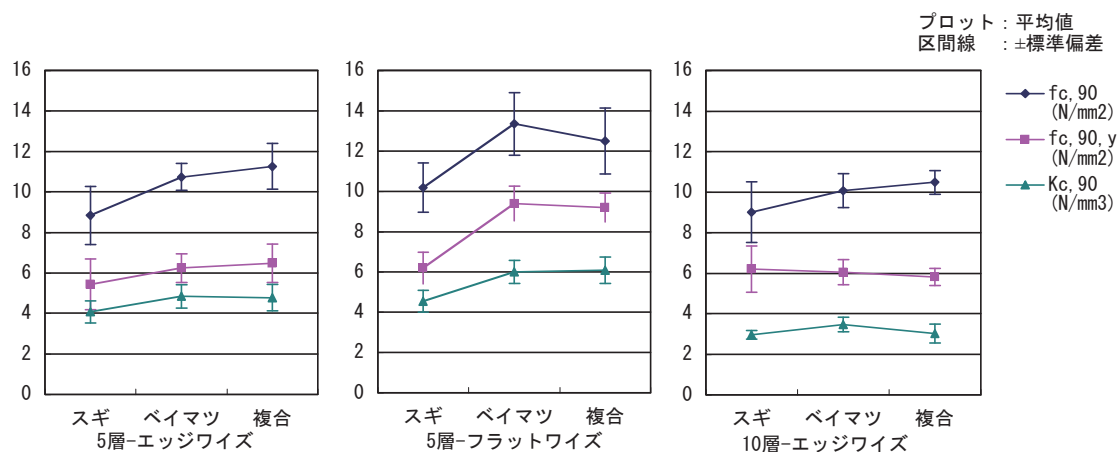


図2-1-8 各集成材のめり込み特性値の比較

表2-1-4 各集成材のめり込み試験結果

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (kN/mm ²)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成1	縦使い	30	平均	430	11.7	7.4	4.1	5.4	8.8
			最小	381	11.2	6.2	3.1	3.6	6.3
			最大	465	12.4	8.5	5.0	8.1	11.3
			変動係数	5.4	2.4	6.8	13.5	23.2	16.2
	平使い	30	平均	427	11.2	7.1	4.6	6.2	10.2
			最小	381	10.6	6.4	2.8	4.7	7.4
			最大	460	12.1	8.1	5.8	7.8	12.1
			変動係数	5.4	2.9	5.9	17.4	12.4	12.0
構成2	縦使い	30	平均	523		13.9	4.9	6.2	10.7
			最小	498		13.2	3.7	5.1	9.2
			最大	554		14.9	6.2	8.0	11.8
			変動係数	2.8		2.7	11.7	11.3	6.3
	平使い	30	平均	523	12.4	13.9	6.0	9.4	13.4
			最小	492	11.8	13.1	3.6	7.4	8.6
			最大	556	13.3	15.5	8.1	11.2	16.0
			変動係数	3.2	2.9	3.9	14.5	11.2	11.6
構成4	縦使い	30	平均	518	12.4	13.2	4.8	6.5	11.3
			最小	484	11.7	12.2	3.5	5.1	9.1
			最大	551	13.0	14.2	6.1	8.4	14.0
			変動係数	2.9	2.7	3.8	13.7	14.7	10.0
	平使い	30	平均	518	12.2	13.0	6.1	9.2	12.5
			最小	495	11.5	12.0	5.0	7.3	10.1
			最大	539	13.1	13.8	8.2	10.6	15.6
			変動係数	2.7	3.3	3.6	11.8	9.0	13.1
構成1 (h=300mm)	縦使い	6	平均	428	10.9	6.7	3.0	6.2	9.0
			最小	409	10.5	6.4	2.7	4.8	7.0
			最大	442	11.2	7.0	3.3	7.6	10.6
			変動係数	2.9	2.4	4.1	7.0	18.4	16.6
	平使い	0	平均						
			最小						
			最大						
			変動係数						
構成3 (h=300mm)	縦使い	6	平均	515	12.0	13.5	3.5	6.1	10.1
			最小	512	11.8	13.2	3.1	5.3	9.1
			最大	519	12.3	13.9	4.1	7.0	11.0
			変動係数	0.5	1.6	2.4	10.3	10.2	8.3
	平使い	0	平均						
			最小						
			最大						
			変動係数						
構成4 (h=300mm)	縦使い	6	平均	483	11.7	10.8	3.0	5.8	10.5
			最小	467	11.5	10.5	2.6	5.4	9.9
			最大	493	12.0	11.2	3.7	6.5	11.5
			変動係数	2.0	1.5	2.4	15.3	7.4	5.6
	平使い	0	平均						
			最小						
			最大						
			変動係数						

5層の集成材のめり込み試験時に測定された比例限における各ラミナのひずみを図2-1-9に示した。上段がスギ集成材、中段がベイマツ集成材、下段がスギ・ベイマツ複合集成材を、1～15が試験体番号を示している。また、各試験体ごとに、比例限時に最大ひずみを示したラミナを赤、最小ひずみを示したラミナを青で表している。めり込み負荷時のひずみ量は、5層間で共通な傾向は認められず、ラミナ構成の違いによる影響も見られなかった。

スギ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
最外層	-2051	-2889	-1578	-1152	-3181	-1295	-1258	-874	-2751	-1566	-4188	-1307	-2829	-1234	-2985
外層	-4095	-4981	-2209	-832	-4754	-1294	-3451	-2369	-3156	-3458	-3491	-3258	-2463	-2911	-2163
内層	-4624	-4444	-1699	-1858	-4686	-1864	-3164	-3242	-4525	-680	-2269	-2857	-2433	-1351	-2607
外層	-3934	-4418	-3636	-885	-3108	-2495	-3503	-2330	-4656	-3940	-1518	-3173	-2624	-500	-5214
最外層	-7004	-3337	-5818	-959	-4755	-2398	-2970	-1324	-3906	-2774	-5419	-2930	-1903	-1269	-3318
ベイマツ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
最外層	-2315	-2553	-657	-2422	-1967	-1396	-2418	-3311	-2369	-2812	-1890	-2788	-2751	-2895	-1344
外層	-3296	-3697	-2386	-3794	-2710	-1778	-3297	-3002	-3563	-2192	-1051	-2476	-2355	-4463	-3721
内層	-2545	-1908	-3115	-3560	-4333	-3971	-4006	-2632	-4110	-2129	-2192	-3163	-2025	-1927	-1777
外層	-2883	-487	-1966	-2999	-3110	-3447	-5334	-1884	-2498	-2765	-2130	-766	-1599	-2942	-1735
最外層	-488	-3064	-3646	-1933	-1760	-1680	-1773	-3012	-1547	-2099	-2447	-2827	-3326	-2997	-1851
複合	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
最外層	-3268	-2226	-3857	-4197	-2750	-2097	-4397	-3803	-3077	-3623	-1672	-2372	-2666	-5744	-4731
外層	-3350	-6694	-2233	-3013	-3485	-2184	-987	-3022	-2822	-4094	-3194	-2309	-1555	-5487	-2277
内層	-2598	-6292	-3653	-2289	-4085	-1216	-2977	-2736	-5827	-3639	-1698	-3428	-2764	-2192	-2248
外層	-502	-4423	-1462	-5532	-1810	-831	-3344	-1922	-5251	-3287	-1930	-2289	-1791	-2420	-2039
最外層	-3079	-4644	-4049	-6445	-6138	-3489	-4484	-2955	-1476	-1957	-2062	-3142	-1575	-1597	-4537

図2-1-9 比例限におけるひずみ（赤：最大値、青：最小値）

表 2-1-5 各集成材のせん断試験結果

構成	試験の種類	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成1	JIS	平均	389	9.4		8.9
		最小	325	8.9		5.9
		最大	468	10.3		13.4
		変動係数	8.8	4.4		17.3
	実大 ブロック	平均	420	11.1		6.8
		最小	373	10.7		5.1
		最大	474	11.5		8.3
		変動係数	5.6	2.3		11.4
	3点曲げ	平均	435	10.6	7.6	5.8
		最小	407	9.8	6.9	4.4
		最大	467	11.6	8.3	7.0
		変動係数	3.8	3.7	4.1	12.5
	5点曲げ	平均	432	10.6	7.3	8.0
		最小	399	9.7	6.5	7.0
		最大	465	12.1	7.9	9.4
		変動係数	4.0	4.7	4.8	7.9
構成2	JIS	平均	455	10.0		10.1
		最小	381	8.4		6.1
		最大	590	11.6		14.1
		変動係数	10.3	7.4		19.3
	実大 ブロック	平均	495	11.4		6.3
		最小	444	10.8		4.5
		最大	545	12.3		7.8
		変動係数	4.5	3.0		14.1
	3点曲げ	平均	518	11.9	14.4	5.9
		最小	494	11.1	13.2	4.6
		最大	544	12.5	15.2	7.1
		変動係数	2.5	3.8	2.8	11.1
	5点曲げ	平均	518	11.8	14.3	8.2
		最小	493	11.2	13.5	7.2
		最大	548	12.5	14.8	9.4
		変動係数	2.5	3.3	2.5	7.8
構成4	JIS	平均	370	10.2		8.1
		最小	317	9.0		6.5
		最大	427	11.8		9.8
		変動係数	6.8	7.7		10.0
	実大 ブロック	平均	494	11.7		7.0
		最小	459	11.0		5.6
		最大	549	12.2		8.3
		変動係数	3.8	2.8		11.3
	3点曲げ	平均	524	12.0	13.3	6.3
		最小	495	11.1	12.5	4.5
		最大	546	13.1	14.8	8.1
		変動係数	2.8	3.5	4.2	12.5
	5点曲げ	平均	526	12.2	13.7	8.6
		最小	506	11.5	12.8	7.1
		最大	554	12.8	14.5	9.8
		変動係数	2.1	2.6	2.7	8.5

(3) 集成材のせん断強度

スギ、ベイマツ、スギ・ベイマツ複合集成材のせん断試験結果を試験方式ごとに表 2-1-5 に示した。

3 点曲げ、5 点曲げともに、スギ集成材ではほとんどの試験体が曲げ破壊し、ベイマツ集成材、スギ・ベイマツ複合集成材では大部分の試験体がせん断破壊した。すべての試験体についてせん断強度の式をあてはめると、等級が大きく異なるにもかかわらず、スギ集成材とベイマツあるいは複合集成材のせん断強度 τ の差は小さかった。同じ等級であるベイマツ集成材とスギ・ベイマツ複合集成材を比較すると、3 点曲げ、5 点曲げともに、複合集成材の τ が大きかった。

(4) 理論計算によると、中立軸で生じるせん断応力/平均せん断応力の比は、モデルの場合、均質材に対する値すなわち 1.5 以下の値であった。従って、このことを考慮して内層のラミナを選択すべきであると言えた。エレメントの外層/内層の密度比 (最小- 平均- 最大) およびヤング係数の比はそれぞれ 1.50~4.05~6.76、1.70~4.92~9.04 の範囲であった。

また積層材のヤング係数に関して、TGH 法による値/積層理論から推定値の比は 0.88~0.94~1.04 の範囲であった。

オ 今後の問題点

本課題では、集成材の縦引張り強度、めり込み強度、せん断強度に及ぼすいくつかの試験条件の影響を明らかにするとともに、第 1 章、第 2 章の他の課題と同様に、ラミナ及びそれらで構成される集成材について数多くの貴重な試験データが得られた。これらの試験データは規格の改正や基準強度の設定に反映されたが、これらの膨大なデータは規格関連の貢献にとどまらず、より解析を進めることで集成材の強度発現機構を明らかにできる可能性を持っている。今後、これらのデータは一括して収集する予定であり、データ整理が終了後、これらのデータ解析や高精度の強度予測シミュレーションの開発及び検証のための研究課題を立ち上げることが必要と考える。

カ 要約

本課題では、スギ及びベイマツラミナ、さらにこれら 2 樹種のラミナによって構成された集成材の縦引張り試験、めり込み試験、せん断試験を実施し、以下のことが明らかになった。

- (1) スギ及びベイマツラミナの縦引張り強度の平均値は等級が上位になるとともに上昇し、FJ の数が増加する

とともに低下する傾向が見られた。一方、バラツキについては、スギに比べてベイマツは高い変動係数を示しており、特にその傾向は下位等級で顕著であった。また、ラミナの引張り破壊形状はスギ及びベイマツともFJ部と節によるものが多く見られ、上位等級になるほどFJ部で破壊する確率が高くなっていた。

- (2) スギ及びベイマツ集成材の縦引張り強度は、ラミナと同様に、FJの数の増加とともに集成材の引張り強度の平均値が低下する傾向が見られた。また、積層数が10層の集成材の平均値はSplyに比べて約20%低い値となった。
- (3) スギ及びベイマツラミナのめり込み特性値について等級の違いによる傾向は認められなかったが、すべての等級においてめりこみ強度は平使い方向（フラットワイズ）よりも縦使い方向（エッジワイズ）の方が大きかった。また、密度（ ρ ）と縦振動法によるヤング係数（E_{ff}）を測定した縦使い方向の試験体では、すべてのめり込み特性値においてE_{ff}よりも ρ との相関が高かった。
- (4) スギ、ベイマツ、スギ・ベイマツ複合集成材のめりこみ特性値は縦使い方向よりも平使い方向で高い平均値が得られた。また、縦使いではすべての試験体がめり込みにより破壊したのに対し、平使いでは複合集成材の1/3の試験体において木口割れにより破壊した。さらに、平使い方向において、比例限度荷重での各ラミナのひずみ量を、最外層、中間層、内層で比較したところ、明確な傾向は認められなかった。
- (5) スギ、ベイマツ、スギ・ベイマツ複合集成材のせん断試験において、3点曲げ、5点曲げともに、スギ集成材ではほとんどの試験体が曲げ破壊し、ベイマツ集成材、スギ・ベイマツ複合集成材では大部分の試験体がせん断破壊した。一方、等級が大きく異なるにもかかわらず、スギ集成材とベイマツあるいは複合集成材との間においてのせん断強度の差は小さかった。同じ等級であるベイマツ集成材とスギ・ベイマツ複合集成材を比較すると、3点曲げ、5点曲げともに、複合集成材のせん断強度が大きかった。

キ 引用文献

（長尾博文、井道裕史、加藤英雄、久保島吉貴、宇京斉一郎）

2 エゾマツ・トドマツ、カラマツ及び外国産材を用いた異樹種積層集成材の製造と強度性能評価

ア 研究目的

北海道の主な人工造林樹種には、トドマツ、エゾマツ、カラマツがある。それぞれの樹種の人工林面積と蓄積はそれぞれ、トドマツは 781 千 ha・77,716 千 m³、エゾマツは 153 千 ha・5,604 千 m³、カラマツは 448 千 ha・91,939 千 m³、となっており¹⁾、いずれの樹種についても有効な利用技術の研究開発が求められている。

そこで、本課題ではこれらの人工林材の有効活用を可能にする異樹種積層集成材の断面構成の検討を行い、その強度性能等を調べ、データの蓄積を図る。

イ 研究方法

道産材を用いた異樹種積層集成材を検討するにあたり、既存のトドマツ、カラマツの同一樹種集成材の製造において、低位等級と位置づけられている等級のラミナを効率的に活用することを考え、4 種類の断面構成を設定した。いずれの断面構成においても現行 JAS²⁾における異等級対称構成の E105-F300 相当の強度性能を有していることを想定した。

設定した断面構成を持つ異樹種積層集成材については (1) ～ (5) の試験を、用いるラミナについては (1) ～ (3) の試験を行った。なお、ラミナのグレーディングは、下限値を採用して行ったため、強度等級の表示 (L100 等) が個々のラミナの実際のヤング係数を示しているわけではない。

また、異樹種積層集成材を普及させるためには、接着性能が十分に備わっていることが前提となるため、(6) に示す接着性能試験を行った。

(1) 曲げ

ラミナおよび集成材の曲げ試験を標準的な試験方法に準じて行った。試験を行ったラミナの樹種および等級は、カラマツ、トドマツはそれぞれ L60、L70、L80、L90 であり、ベイマツは L110、L125、L140 である。また、試験を行った集成材の断面構成は図 2-2-1 に示すとおりである。

(2) 縦圧縮

ラミナおよび集成材の縦圧縮試験を標準的な試験方法に準じて行った。なお、ラミナの試験では標点間を 120mm として、集成材の試験では標点間を 480mm として、それぞれ変位を測定した。

試験を行ったラミナの樹種および等級は、カラマツ、トドマツはそれぞれ L60、L70、L80、L90 であり、ベイマツは L110、L125、L140 である。また、試験を行った集成材の断面構成は図 2-2-1 に示すとおりである。

(3) 縦引張り

ラミナおよび集成材の縦引張試験を標準的な試験方法に準じて行った。なお、ラミナの試験では、試験体の長さを 3000mm、チャック間の距離を 1100mm とし、標点間距離を 600mm として変位を測定した。

試験を行ったラミナの樹種および等級は、カラマツ、トドマツはそれぞれ L60、L70、L80、L90 であり、ベイマツは L110、L125、L140 である。また、試験を行った集成材の断面構成は図 2-2-1 に示すとおりである。

構成 1	構成 2	構成 3	構成 4	
L140	L125	L140	L125	ベイマツ トドマツ カラマツ
L125	L110	L125	L110	
L70	L90	L70	L90	
L60	L80	L60	L80	
L60	L80	L60	L80	
L60	L80	L60	L80	
L60	L80	L60	L80	
L70	L90	L70	L90	
L125	L110	L125	L110	
L140	L125	L140	L125	

図 2-2-1 集成材のラミナ構成（曲げ、縦圧縮、縦引張り試験）

（4）めり込み

集成材のめり込み試験を標準的な試験方法に準じて行った。試験を行った集成材の断面構成は図 2-2-2 に示すとおりである。

（5）せん断

集成材のせん断試験を標準的な試験方法に準じて行った。試験を行った集成材の断面構成は図 2-2-2 に示すとおりである。

構成 1	構成 2	構成 3	構成 4	
L140	L125	L140	L125	ベイマツ トドマツ カラマツ
L70	L90	L70	L90	
L60	L80	L60	L80	
L70	L90	L70	L90	
L140	L125	L140	L125	

図 2-2-2 集成材のラミナ構成（めり込み、せん断試験）

（6）接着性能試験

異樹種積層集成材と従来の同樹種の集成材からブロックせん断試験片を採取し、促進劣化処理を施して、それぞれ接着性能の低下を調べた。

樹種の組み合わせは表 2-2-1 に示すとおりとし、それぞれ 1800×100×30mm のラミナを接着して、ブロックせん断試験片を切り出した。なお、接着剤は水性高分子イソシアネート系接着剤とレゾルシノール樹脂接着剤とした。

その後、そのブロックせん断試験片に対して、浸せき処理、煮沸処理、減圧加圧処理を施した後にブロックせん断試験を行った。処理回数はそれぞれの処理について、0 回、1 回、2 回、5 回、10 回、20 回、30 回、40 回とし、試験片の数は 1 条件につき 9 片とした。（例えば、ダフリカカラマツとカラマツの組み合わせで、レゾルシノール樹脂を用い、浸せき処理 20 回施した試験片は 9 片ということを意味する。）

表 2-2-1 樹種の組み合わせ

異樹種		同樹種	
樹種	樹種	樹種	樹種
ベイマツ	カラマツ	ベイマツ	ベイマツ
ベイマツ	トドマツ	ダフリカ	ダフリカ
ベイマツ	スギ	カラマツ	カラマツ
ダフリカ	カラマツ	トドマツ	トドマツ
ダフリカ	トドマツ	スギ	スギ
ダフリカ	スギ		
カラマツ	スギ		

ウ 結果 エ 考察

(1) 曲げ

a. ラミナ

ラミナの曲げ試験の結果を表 2-2-2 に示す。カラマツの L70 では 6 体、L80 では 2 体、L90 では 1 体、それぞれ JAS で規定されている下限値（それぞれ、L70 : 25.0 N/mm²、L80 : 27.0 N/mm²、L90 : 29.5 N/mm²）を下回り、L80 では JAS で規定されている平均値（36.0 N/mm²）を下回ったものの、それ以外の樹種・等級については JAS で規定されている基準値を満たしていた。

表 2-2-2 ラミナの曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
トドマツ	L60	39	平均	378	9.6	10.0	9.4	41.9
			最小	340	7.8	7.9	7.9	32.6
			最大	439	11.6	11.1	10.3	51.9
			変動係数	4.9	7.2	7.1	6.7	10.8
	L70	39	平均	398	10.5	10.6	10.1	47.7
			最小	351	9.1	7.6	7.4	35.1
			最大	436	12.8	13.1	13.0	64.6
			変動係数	5.4	7.5	12.6	14.1	15.0
	L80	40	平均	397	9.6	11.6	10.9	47.5
			最小	333	8.2	9.3	8.9	34.0
			最大	480	11.9	14.2	12.8	63.1
			変動係数	8.4	10.2	11.6	10.6	14.7
	L90	40	平均	405	10.3	12.6	11.7	51.1
			最小	365	8.8	10.3	9.1	42.1
			最大	468	12.5	14.4	13.7	61.5
			変動係数	5.9	7.6	9.1	10.0	9.4
カラマツ	L60	40	平均	479	11.3	8.7	8.3	30.5
			最小	414	10.0	6.9	6.4	22.5
			最大	610	13.3	11.5	11.2	47.7
			変動係数	10.3	8.6	12.5	12.3	15.6
	L70	40	平均	480	10.2	9.3	8.8	30.5
			最小	412	8.9	6.6	6.2	20.9
			最大	569	11.2	12.1	11.1	41.0
			変動係数	8.4	5.2	11.1	11.0	16.5
	L80	40	平均	511	10.8	10.8	10.1	34.2
			最小	435	9.4	6.7	5.7	26.3
			最大	623	11.9	15.3	13.8	45.7
			変動係数	8.3	5.1	17.1	17.4	14.4
	L90	40	平均	500	10.5	11.1	10.7	42.0
			最小	442	9.7	6.9	7.0	27.4
			最大	594	12.9	13.8	13.7	51.6
			変動係数	7.6	6.0	15.0	15.3	14.7
ベイマツ	L110	40	平均	542	13.7	13.1	12.5	59.5
			最小	438	12.2	11.1	10.7	44.6
			最大	643	14.5	15.5	15.6	78.3
			変動係数	8.1	4.5	8.6	8.8	11.6
	L125	40	平均	548	13.8	13.7	13.4	58.2
			最小	504	12.5	11.6	11.3	44.6
			最大	600	14.9	15.6	15.2	70.9
			変動係数	4.2	4.2	6.4	6.5	9.7
	L140	40	平均	553	11.1	16.1	15.3	72.6
			最小	507	10.3	14.0	13.6	47.5
			最大	611	11.9	18.7	17.1	87.5
			変動係数	5.2	3.6	7.6	5.4	10.5

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

b. 集成材

集成材の曲げ試験の結果を表 2-2-3～表 2-2-6 に示す。いずれの試験体においても、E105-F300 の基準強度 ($F_b=29.4 \text{ N/mm}^2$) を満たす結果が得られた。

表 2-2-3 集成材の曲げ試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Eb (kN/mm^2)	曲げ強さ (N/mm^2)
構成1 ベイマツ トドマツ	1	452	11.9	12.3	12.0	47.2
	2	459	12.2	11.9	12.4	35.9
	3	470	12.3	12.7	12.7	41.0
	4	455	12.1	12.0	12.1	35.7
	5	455	11.9	12.4	12.6	42.0
	6	452	11.8	12.6	12.8	42.2
平均値		457	12.0	12.3	12.4	40.7
変動係数(%)		1.5	1.6	2.5	2.6	10.7

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 2-2-4 集成材の曲げ試験結果（構成 2）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Eb (kN/mm^2)	曲げ強さ (N/mm^2)
構成2 ベイマツ トドマツ	1	469	12.9	12.8	12.0	46.1
	2	467	13.2	12.6	12.0	42.7
	3	462	12.7	12.9	12.3	37.1
	4	451	10.2	12.3	11.5	41.5
	5	463	12.9	12.5	11.9	39.5
	6	459	13.0	12.1	11.5	41.8
平均値		462	12.5	12.5	11.9	41.4
変動係数(%)		1.4	9.0	2.4	2.5	7.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 2-2-5 集成材の曲げ試験結果（構成 3）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Eb (kN/mm^2)	曲げ強さ (N/mm^2)
構成3 ベイマツ カラマツ	1	496	11.9	12.0	12.4	40.4
	2	517	12.8	11.6	12.5	38.9
	3	499	12.3	11.9	12.6	36.7
	4	510	12.3	11.9	12.7	36.1
	5	515	12.3	12.3	13.8	29.4
	6	527	11.5	12.5	13.7	41.8
平均値		511	12.2	12.0	12.9	37.2
変動係数(%)		2.3	3.5	2.5	4.9	11.8

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 2-2-6 集成材の曲げ試験結果（構成 4）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Eb (kN/mm^2)	曲げ強さ (N/mm^2)
構成3 ベイマツ カラマツ	1	496	11.9	12.0	12.4	40.4
	2	517	12.8	11.6	12.5	38.9
	3	499	12.3	11.9	12.6	36.7
	4	510	12.3	11.9	12.7	36.1
	5	515	12.3	12.3	13.8	29.4
	6	527	11.5	12.5	13.7	41.8
平均値		511	12.2	12.0	12.9	37.2
変動係数(%)		2.3	3.5	2.5	4.9	11.8

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(2) 縦圧縮

a. ラミナ

ラミナの縦圧縮試験の結果を表 2-2-7 に示す。ベイマツの L140 の一部の試験体において、試験体の断面の仕上げ精度（平行度）が十分に確保できなかったため、治具の固定に不備が生じ、計測値の信頼性が損なわれたので、その数値は除いて計算している。

表 2-2-7 ラミナの縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)	Ec (kN/mm ²)
トドマツ	L60	40	平均	364	9.1	10.2	37.8	9.6
			最小	334	8.5	8.0	32.4	7.8
			最大	396	9.8	12.0	42.9	11.9
			変動係数	4.3	3.4	9.6	5.5	11.0
	L70	40	平均	376	8.8	11.0	39.4	10.2
			最小	335	7.6	8.5	32.9	7.1
			最大	418	9.7	13.6	46.5	12.2
			変動係数	5.5	5.7	10.6	8.5	11.9
	L80	40	平均	387	9.0	11.3	40.3	10.7
			最小	339	8.1	8.4	34.7	7.5
			最大	436	9.8	13.8	47.8	13.7
			変動係数	6.5	5.3	13.5	7.6	14.4
	L90	40	平均	394	9.1	11.8	41.1	11.3
			最小	348	8.4	7.5	31.6	8.1
			最大	468	9.7	14.4	51.0	15.8
			変動係数	6.7	3.9	14.8	8.7	13.3
カラマツ	L60	40	平均	469	9.4	9.8	44.0	8.2
			最小	392	8.7	7.4	34.3	5.5
			最大	543	11.2	13.3	56.3	11.6
			変動係数	7.4	5.2	15.3	13.0	16.0
	L70	40	平均	487	9.4	10.0	43.5	8.0
			最小	383	8.7	7.1	29.6	5.3
			最大	559	10.1	13.9	55.5	11.1
			変動係数	8.4	4.4	16.7	12.3	17.9
	L80	40	平均	485	9.5	11.0	44.7	9.3
			最小	428	8.6	8.3	36.4	7.3
			最大	565	10.3	15.4	53.6	12.6
			変動係数	5.8	4.4	12.8	7.7	14.6
	L90	40	平均	505	9.2	12.9	51.1	10.9
			最小	448	8.7	8.8	41.8	7.3
			最大	655	10.7	15.9	64.9	13.6
			変動係数	6.7	3.9	13.2	10.7	14.2
ベイマツ	L110	40	平均	540	10.7	13.8	55.1	12.0
			最小	490	9.0	11.0	46.3	9.3
			最大	631	12.4	15.6	63.4	16.5
			変動係数	5.7	5.3	7.8	6.5	12.7
	L125	40	平均	529	10.5	14.0	53.8	13.4
			最小	484	9.9	10.6	44.6	8.7
			最大	577	11.1	17.7	64.7	21.5
			変動係数	4.8	3.2	13.8	7.2	22.9
	L140	40	平均	554	12.0	16.0	53.3	14.6
			最小	512	10.8	14.1	46.1	12.1
			最大	599	13.1	18.8	63.2	21.8
			変動係数	2.8	4.7	6.6	6.1	13.0

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Ec: 縦圧縮試験時に測定した縦圧縮ヤング係数

b.集成材

集成材の縦圧縮試験の結果を表 2-2-8～表 2-2-11 に示す。いずれも E105-F300 の基準強度 ($F_c=22.8 \text{ N/mm}^2$) を上回る結果が得られた。

表 2-2-8 集成材の縦圧縮試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Ec (kN/mm^2)	縦圧縮強さ (N/mm^2)
構成1 ベイマツ トドマツ	1	459	12.8	11.7	10.7	34.9
	2	442	12.9	11.7	10.5	34.2
	3	474	13.0	12.4	10.8	34.8
	4	473	13.1	12.6	10.7	34.4
	5	458	12.6	12.1	9.9	32.5
	6	465	12.5	12.2	10.4	35.3
平均値		462	12.8	12.1	10.5	34.4
変動係数(%)		2.5	1.8	3.0	3.1	3.0

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 圧縮試験時に測定されたヤング係数

表 2-2-9 集成材の縦圧縮試験結果（構成 2）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Ec (kN/mm^2)	縦圧縮強さ (N/mm^2)
構成2 ベイマツ トドマツ	1	469	11.9	12.7	11.2	39.1
	2	459	12.0	12.5	11.1	36.3
	3	464	12.4	12.4	11.2	38.2
	4	458	12.1	12.6	11.4	38.4
	5	454	12.5	12.6	11.2	38.2
	6	451	12.0	12.5	10.9	38.3
平均値		459	12.2	12.5	11.1	38.1
変動係数(%)		1.4	2.2	0.9	1.6	2.5

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 圧縮試験時に測定されたヤング係数

表 2-2-10 集成材の縦圧縮試験結果（構成 3）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Ec (kN/mm^2)	縦圧縮強さ (N/mm^2)
構成3 ベイマツ カラマツ	1	513	13.0	12.4	10.1	37.5
	2	501	13.2	11.7	10.9	36.2
	3	513	13.3	11.1	11.0	35.7
	4	490	13.3	11.8	10.1	33.6
	5	501	13.3	11.1	10.3	35.8
	6	496	12.4	11.5	11.0	35.7
平均値		503	13.1	11.6	10.6	35.7
変動係数(%)		1.8	2.8	4.0	4.3	3.5

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 圧縮試験時に測定されたヤング係数

表 2-2-11 集成材の縦圧縮試験結果（構成 4）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Ec (kN/mm^2)	縦圧縮強さ (N/mm^2)
構成4 ベイマツ カラマツ	1	508	11.4	12.1	10.6	40.1
	2	511	11.7	12.1	10.8	41.0
	3	518	11.8	12.0	10.3	41.8
	4	511	12.1	12.1	9.5	38.8
	5	516	11.6	12.6	11.0	41.3
	6	510	11.3	12.2	11.0	38.6
平均値		512	11.6	12.2	10.5	40.3
変動係数(%)		0.7	2.5	1.9	5.4	3.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 圧縮試験時に測定されたヤング係数

(3) 縦引張り

a. ラミナ

ラミナの縦引張試験の結果を表 2-2-12 に示す。トドマツの L70 では 4 体、L90 では 1 体、カラマツの L60 では 2 体、L70 では 7 体、L80 では 3 体、L90 では 6 体、ベイマツの L110 では 4 体、L125 では 1 体、それぞれ JAS で規定されている下限値（それぞれ、L60 : 13.5N/mm²、L70 : 15.0 N/mm²、L80 : 16.0 N/mm²、L90 : 17.5 N/mm²、L110 : 20.0 N/mm²、L125 : 21.5 N/mm²）を下回り、カラマツの L80 では JAS で規定されている平均値（21.5）を下回ったものの、それ以外の樹種・等級については JAS で規定されている基準値を満たしていた。

表 2-2-12 ラミナの縦引張り試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)	Et (kN/mm ²)
トドマツ	L60	40	平均	380	9.8	10.0	23.8	9.1
			最小	352	8.2	8.3	13.5	7.4
			最大	420	11.4	11.4	33.6	11.2
			変動係数	4.2	7.1	7.5	21.5	10.8
	L70	40	平均	386	9.6	10.5	23.6	9.8
			最小	351	8.3	9.1	12.2	6.7
			最大	422	12.0	12.3	34.0	11.6
			変動係数	4.3	8.9	7.2	23.4	8.9
	L80	40	平均	394	11.0	11.1	26.0	10.3
			最小	349	9.4	9.3	16.2	7.6
			最大	450	13.6	13.1	41.0	12.2
			変動係数	5.6	8.2	7.3	20.9	9.3
	L90	40	平均	408	10.7	11.7	30.9	10.9
			最小	356	7.9	9.6	16.3	7.8
			最大	457	13.3	14.1	45.2	12.8
			変動係数	6.5	11.1	10.3	24.1	11.0
カラマツ	L60	40	平均	472	10.3	9.5	18.7	8.6
			最小	407	9.4	7.2	8.4	6.2
			最大	563	11.8	12.0	29.3	11.9
			変動係数	6.7	5.6	12.7	24.6	16.2
	L70	40	平均	477	10.1	10.1	20.8	9.3
			最小	422	9.2	7.9	9.4	6.5
			最大	552	11.0	12.6	37.2	11.6
			変動係数	5.8	4.3	11.0	26.8	12.5
	L80	40	平均	489	11.4	10.8	21.2	10.0
			最小	441	9.7	8.9	13.2	8.2
			最大	539	12.6	13.2	33.3	12.5
			変動係数	5.4	6.2	9.1	20.2	9.8
	L90	40	平均	502	10.4	10.7	24.0	9.6
			最小	435	9.5	7.9	7.9	6.5
			最大	574	11.6	12.5	37.9	12.2
			変動係数	5.8	5.1	9.1	28.8	13.7
ベイマツ	L110	40	平均	519	13.1	13.3	32.8	12.0
			最小	453	11.2	11.4	14.8	10.0
			最大	584	14.9	15.6	50.4	14.8
			変動係数	5.5	6.9	7.4	29.4	10.4
	L125	40	平均	525	13.1	13.7	33.3	12.5
			最小	455	11.9	10.8	20.6	8.6
			最大	580	14.2	16.7	50.6	15.5
			変動係数	5.4	3.5	10.8	22.4	13.4
	L140	40	平均	557	12.2	15.9	38.6	14.9
			最小	501	11.5	13.0	24.9	11.7
			最大	601	13.0	17.8	54.7	17.0
			変動係数	4.8	3.2	7.6	22.1	8.6

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Et: 縦引張試験時に測定した縦引張ヤング係数

b. 集成材

集成材の縦引張試験の結果を表 2-2-13～表 2-2-16 に示す。構成 2 の試験体 No1 と No4 は試験機の容量(1000kN)を越えたので試験機を止めたときの荷重で計算している。構成 3 の 1 体を除いて、いずれも E105-F300 の基準強度 ($F_t=19.8 \text{ N/mm}^2$) を満たす結果が得られた。

表 2-2-13 集成材の縦引張り試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Et (kN/mm^2)	縦引張り強さ (N/mm^2)
構成1 ベイマツ トドマツ	1	465	13.1	12.2	11.9	29.2
	2	459	13.2	12.4	12.6	29.3
	3	459	12.9	12.4	11.7	27.5
	4	461	13.6	12.1	12.1	28.4
	5	453	13.4	12.2	11.8	26.2
	6	467	12.8	12.2	12.1	27.8
平均値		461	13.2	12.3	12.0	28.1
変動係数(%)		1.1	2.3	1.0	2.7	4.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Et: 引張試験時に測定されたヤング係数

表 2-2-14 集成材の縦引張り試験結果（構成 2）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Et (kN/mm^2)	縦引張り強さ (N/mm^2)
構成2 ベイマツ トドマツ	1	473	12.4	12.8	12.5	32.5
	2	462	12.0	12.9	12.1	29.1
	3	470	11.9	12.7	12.2	30.7
	4	464	12.3	12.5	11.5	32.5
	5	459	11.9	12.8	12.2	27.9
	6	462	12.5	12.1	11.7	30.5
平均値		465	12.2	12.6	12.1	30.5
変動係数(%)		1.1	2.0	2.2	3.0	6.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Et: 引張試験時に測定されたヤング係数

表 2-2-15 集成材の縦引張り試験結果（構成 3）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Et (kN/mm^2)	縦引張り強さ (N/mm^2)
構成3 ベイマツ カラマツ	1	522	13.2	12.4	11.7	27.7
	2	518	12.8	12.3	11.8	29.5
	3	519	13.1	11.6	11.0	19.6
	4	496	12.9	11.4	10.8	21.6
	5	515	13.4	12.3	11.4	26.0
	6	506	12.7	12.1	11.4	29.1
平均値		513	13.0	12.0	11.4	25.6
変動係数(%)		1.9	2.0	3.5	3.6	16.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Et: 引張試験時に測定されたヤング係数

表 2-2-16 集成材の縦引張り試験結果（構成 4）

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Et (kN/mm^2)	縦引張り強さ (N/mm^2)
構成4 ベイマツ カラマツ	1	510	12.0	12.2	11.8	22.5
	2	514	11.7	11.8	11.3	23.8
	3	511	12.3	12.2	11.3	26.8
	4	523	12.3	11.7	11.1	22.3
	5	527	13.5	12.2	11.6	21.3
	6	519	13.6	11.6	11.0	20.2
平均値		517	12.6	11.9	11.3	22.8
変動係数(%)		1.3	6.4	2.3	2.5	10.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Et: 引張試験時に測定されたヤング係数

(4) むり込み

集成材のむり込み試験の結果を表 2-2-17～表 2-2-20 に示す。構成 4 の平使いにおいては、試験機の容量オーバーのため、3 体が破壊に至らなかった。

表 2-2-17 集成材のむり込み試験結果（構成 1）

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成1	縦使い	30	平均	455	10.8	12.1	3.4	8.2	11.3
			最小	428	10.4	10.2	2.4	5.8	10.0
			最大	503	11.4	14.1	4.8	10.5	13.0
			変動係数	4.1	2.1	7.0	16.4	10.2	7.4
	平使い	30	平均	457	11.4	11.9	3.4	7.4	10.7
			最小	417	11.0	10.6	2.1	6.2	8.2
			最大	509	12.0	13.7	4.7	8.6	12.0
			変動係数	4.5	2.4	7.2	18.1	8.0	8.6

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 2-2-18 集成材のむり込み試験結果（構成 2）

構成	荷重方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成2	縦使い	30	平均	449	11.2	11.8	4.0	8.5	11.3
			最小	418	10.8	10.9	3.4	6.8	9.9
			最大	478	11.6	12.8	4.8	10.7	13.6
			変動係数	2.8	2.0	4.2	10.5	12.8	6.9
	平使い	30	平均	453	11.1	11.7	4.1	7.8	11.2
			最小	420	10.7	9.7	3.4	6.1	8.4
			最大	489	11.7	12.9	4.8	9.1	13.2
			変動係数	3.3	2.4	5.3	10.8	8.5	8.6

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 2-2-19 集成材のむり込み試験結果（構成 3）

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成3	縦使い	30	平均	512	11.1	11.4	4.6	9.2	13.0
			最小	469	10.6	10.4	3.4	7.2	11.1
			最大	556	11.7	14.2	6.1	10.7	14.8
			変動係数	3.6	2.4	7.4	11.6	9.9	7.2
	平使い	30	平均	508	11.8	11.1	4.9	9.5	12.6
			最小	462	10.8	9.4	3.7	8.1	10.0
			最大	543	12.7	13.0	7.1	12.8	14.8
			変動係数	4.3	3.0	8.2	14.3	11.2	10.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 2-2-20 集成材のむり込み試験結果（構成 4）

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成4	縦使い	30	平均	525	12.0	12.3	4.8	8.8	12.3
			最小	502	11.6	10.2	3.6	7.3	11.2
			最大	563	12.3	14.2	6.4	9.9	13.8
			変動係数	2.8	1.7	7.0	12.5	8.0	5.2
	平使い	30	平均	525	11.5	12.1	5.5	9.4	13.6
			最小	480	11.1	10.5	4.4	8.2	12.0
			最大	569	12.0	13.7	6.6	11.3	14.9
			変動係数	3.9	1.8	6.2	10.0	7.8	6.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数

(5) セン断

集成材のせん断試験の結果を表 2-2-21～表 2-2-24 に示す。いずれの構成においても、内層のトドマツ、カラマツのせん断の基準強度（トドマツ:3.0 N/mm²、カラマツ:3.6 N/mm²）を満たす結果が得られた。また、3 点曲げでは、各条件の試験体 30 体のうち、構成 1 では 28 体、構成 2 では 26 体、構成 3 では 26 体、構成 4 では 16 体がせん断破壊にて破壊した。

表 2-2-21 集成材のせん断試験結果（構成 1）

構成	試験の種類	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)	
構成1	JIS	30	平均	366	11.2	—	8.4
			最小	302	9.3	—	6.2
			最大	504	12.4	—	14.1
			変動係数	10.5	6.6	—	19.3
	実大 ブロック	30	平均	397	9.1	—	5.8
			最小	358	8.4	—	3.7
			最大	454	9.8	—	8.4
			変動係数	5.7	3.4	—	17.8
	3点曲げ	30	平均	458	11.5	12.1	5.8
			最小	430	10.8	10.9	4.7
			最大	496	12.0	13.6	6.8
			変動係数	3.6	2.8	5.8	8.2

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 2-2-22 集成材のせん断試験結果（構成 2）

構成	試験の種類	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)	
構成2	JIS	30	平均	363	10.4	—	8.5
			最小	276	9.4	—	5.5
			最大	462	12.0	—	11.1
			変動係数	12.0	6.5	—	17.5
	実大 ブロック	30	平均	405	9.1	—	6.0
			最小	361	8.5	—	4.7
			最大	438	9.7	—	8.4
			変動係数	4.5	4.0	—	16.5
	3点曲げ	30	平均	453	10.3	11.9	6.2
			最小	429	9.9	10.9	5.2
			最大	483	10.7	13.2	7.3
			変動係数	3.1	2.3	5.5	9.2

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 2-2-23 集成材のせん断試験結果（構成 3）

構成	試験の種類	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)	
構成3	JIS	30	平均	446	12.1	—	10.5
			最小	361	11.2	—	8.5
			最大	541	13.0	—	14.0
			変動係数	9.8	3.5	—	12.8
	実大 ブロック	30	平均	483	10.2	—	7.9
			最小	445	9.5	—	6.8
			最大	526	11.0	—	9.3
			変動係数	4.1	3.3	—	9.9
	3点曲げ	30	平均	510	11.5	11.5	7.0
			最小	479	10.9	10.4	4.9
			最大	542	12.0	13.8	8.3
			変動係数	3.4	2.8	6.5	8.5

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 2-2-24 集成材のせん断試験結果（構成 4）

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成4	JIS	30	平均	500	11.8	—	11.2
			最小	390	10.7	—	7.4
			最大	629	12.6	—	13.8
			変動係数	12.3	4.1	—	13.9
	実大 ブロック	30	平均	521	9.8	—	8.4
			最小	476	9.4	—	6.6
			最大	580	11.0	—	11.2
			変動係数	5.1	3.0	—	13.5
	3点曲げ	30	平均	529	12.2	12.2	6.6
			最小	499	11.7	10.4	4.1
			最大	597	12.8	14.1	8.2
			変動係数	4.4	2.2	7.4	17.1

Efr:縦振動法によるヤング係数

(6) 接着性能試験

接着性能試験の結果を表 2-2-25～表 2-2-30 に示す。表には各条件ごとに試験片 9 片の平均値を計算し、無処理の条件を 100 として、せん断強さ及び木部破断率を計算した数値を示している。

表 2-2-25 浸せき処理を施したブロックせん断試験（せん断強さ）

樹種	樹種	水性高分子イソシアネート系接着剤								レゾルシノール樹脂接着剤							
		0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回	0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回
ベイマツ	カラマツ	100	98	96	73	70	61	51	53	100	98	95	82	62	54	47	46
ベイマツ	トドマツ	100	113	97	72	58	47	38	30	100	100	92	83	77	51	47	32
ベイマツ	スギ	100	106	98	88	70	47	48	58	100	104	105	88	74	73	52	40
ダフリカ	カラマツ	100	92	86	79	71	59	64	55	100	80	76	82	66	47	49	43
ダフリカ	トドマツ	100	98	93	79	58	40	39	35	100	93	91	73	54	57	47	44
ダフリカ	スギ	100	100	98	86	69	51	44	52	100	93	85	79	58	55	47	56
カラマツ	スギ	100	98	89	65	74	56	54	45	100	89	89	81	72	56	52	36
ベイマツ	ベイマツ	100	100	92	69	66	61	56	64	100	80	90	62	60	52	41	44
ダフリカ	ダフリカ	100	96	77	58	64	28	37	53	100	95	84	77	65	42	49	39
カラマツ	カラマツ	100	102	89	79	75	59	64	63	100	89	89	88	70	64	60	52
トドマツ	トドマツ	100	95	89	67	52	31	43	41	100	102	89	82	77	64	56	64
スギ	スギ	100	103	102	101	87	80	86	82	100	105	90	88	74	77	80	78

表 2-2-26 浸せき処理を施したブロックせん断試験（木部破断率）

樹種	樹種	水性高分子イソシアネート系接着剤								レゾルシノール樹脂接着剤							
		0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回	0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回
ベイマツ	カラマツ	100	97	96	97	97	98	99	98	100	109	102	106	100	100	110	112
ベイマツ	トドマツ	100	102	101	101	101	99	101	91	100	101	100	99	101	96	103	103
ベイマツ	スギ	100	101	99	98	101	99	101	101	100	104	102	103	102	102	105	105
ダフリカ	カラマツ	100	99	96	96	96	95	98	98	100	103	90	99	97	91	102	103
ダフリカ	トドマツ	100	102	98	98	101	88	86	87	100	105	102	98	102	100	104	105
ダフリカ	スギ	100	99	98	99	97	97	98	96	100	102	100	98	101	102	102	103
カラマツ	スギ	100	100	100	93	101	95	92	82	100	100	99	94	98	98	102	102
ベイマツ	ベイマツ	100	98	99	98	98	98	94	99	100	102	99	98	99	94	98	103
ダフリカ	ダフリカ	100	97	93	96	96	93	92	90	100	102	97	97	94	94	102	102
カラマツ	カラマツ	100	97	99	92	92	91	95	94	100	103	96	96	101	95	101	104
トドマツ	トドマツ	100	102	101	102	102	99	100	92	100	102	100	98	101	99	102	102
スギ	スギ	100	99	99	100	101	100	97	101	100	102	99	102	101	99	103	103

表 2-2-27 煮沸処理を施したブロックせん断試験（せん断強さ）

樹種	樹種	水性高分子イソシアネート系接着剤								レゾルシノール樹脂接着剤							
		0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回	0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回
ベイマツ	カラマツ	100	85	67	76	61	53	45	43	100	95	81	68	52	35	25	22
ベイマツ	トドマツ	100	89	64	87	58	34	36	35	100	106	88	85	65	45	37	32
ベイマツ	スギ	100	96	93	80	70	56	56	52	100	93	90	80	71	61	43	44
ダフリカ	カラマツ	100	74	68	53	44	38	32	37	100	92	78	70	45	36	28	33
ダフリカ	トドマツ	100	98	82	53	48	39	25	28	100	92	83	67	58	50	28	26
ダフリカ	スギ	100	86	81	84	67	47	40	31	100	108	87	80	71	45	49	45
カラマツ	スギ	100	92	88	74	64	39	55	52	100	96	91	73	60	46	40	23
ベイマツ	ベイマツ	100	81	74	62	52	59	37	44	100	86	80	61	43	33	31	29
ダフリカ	ダフリカ	100	78	71	64	46	34	38	20	100	95	86	78	65	46	39	38
カラマツ	カラマツ	100	65	55	46	41	32	30	31	100	89	84	64	51	40	33	27
トドマツ	トドマツ	100	97	94	82	52	52	47	39	100	108	98	90	68	57	43	38
スギ	スギ	100	107	98	90	70	81	68	57	100	97	91	81	67	61	58	44

表 2-2-28 煮沸処理を施したブロックせん断試験（木部破断率）

樹種	樹種	水性高分子イソシアネート系接着剤								レゾルシノール樹脂接着剤							
		0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回	0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回
ベイマツ	カラマツ	100	98	97	95	102	99	93	86	100	109	104	105	110	109	111	113
ベイマツ	トドマツ	100	98	100	98	100	99	91	98	100	101	101	101	103	103	99	105
ベイマツ	スギ	100	98	99	97	101	91	87	98	100	109	99	105	109	107	110	110
ダフリカ	カラマツ	100	95	97	84	98	90	76	76	100	101	88	100	97	98	105	105
ダフリカ	トドマツ	100	98	100	91	99	94	98	80	100	104	103	102	106	104	107	104
ダフリカ	スギ	100	100	102	100	101	94	89	82	100	105	102	102	104	100	107	107
カラマツ	スギ	100	99	101	90	101	81	101	81	100	102	101	100	101	100	103	105
ベイマツ	ベイマツ	100	95	96	92	99	97	89	97	100	109	102	105	102	104	112	112
ダフリカ	ダフリカ	100	87	85	93	98	96	87	95	100	104	95	103	99	100	106	105
カラマツ	カラマツ	100	95	86	74	105	90	65	82	100	110	105	105	112	112	115	116
トドマツ	トドマツ	100	98	100	100	88	99	99	100	100	107	104	102	106	106	107	108
スギ	スギ	100	100	100	99	99	99	93	98	100	104	98	102	102	102	104	105

表 2-2-29 減圧加圧処理を施したブロックせん断試験（せん断強さ）

樹種	樹種	水性高分子イソシアネート系接着剤								レゾルシノール樹脂接着剤							
		0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回	0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回
ベイマツ	カラマツ	100	95	93	74	62	45	60	48	100	110	91	66	56	42	46	34
ベイマツ	トドマツ	100	96	75	65	50	44	27	42	100	107	113	89	75	56	57	63
ベイマツ	スギ	100	114	103	80	86	50	53	50	100	91	88	80	80	58	69	67
ダフリカ	カラマツ	100	83	61	56	53	38	29	42	100	94	83	76	67	43	46	46
ダフリカ	トドマツ	100	94	114	72	40	29	31	29	100	101	102	74	67	59	58	51
ダフリカ	スギ	100	92	88	63	53	22	45	38	100	96	90	70	68	49	49	54
カラマツ	スギ	100	91	77	73	69	51	42	42	100	100	91	71	65	53	49	43
ベイマツ	ベイマツ	100	96	86	64	60	43	43	49	100	101	99	63	48	36	46	43
ダフリカ	ダフリカ	100	96	77	60	53	53	30	30	100	108	86	75	70	53	56	46
カラマツ	カラマツ	100	92	66	52	49	29	30	21	100	94	83	70	65	50	53	53
トドマツ	トドマツ	100	99	102	77	71	38	35	43	100	109	104	97	86	66	79	69
スギ	スギ	100	99	104	99	87	81	86	84	100	105	96	88	88	76	82	79

表 2-2-30 減圧加圧処理を施したブロックせん断試験（木部破断率）

樹種	樹種	水性高分子イソシアネート系接着剤								レゾルシンノール樹脂接着剤							
		0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回	0回	1回	2回	5回	10回	20回	30回	40回
ベイマツ	カラマツ	100	97	98	97	99	96	97	98	100	98	96	98	103	102	105	105
ベイマツ	トドマツ	100	101	101	101	101	98	90	89	100	101	99	101	97	101	101	103
ベイマツ	スギ	100	102	105	104	103	103	104	85	100	98	98	98	100	99	101	101
ダフリカ	カラマツ	100	97	98	93	98	83	72	95	100	101	95	98	95	94	101	103
ダフリカ	トドマツ	100	102	101	100	100	98	92	88	100	101	99	98	102	100	102	101
ダフリカ	スギ	100	100	101	98	99	95	98	99	100	98	98	94	100	96	99	101
カラマツ	スギ	100	102	102	96	99	95	90	93	100	100	99	95	101	99	102	102
ベイマツ	ベイマツ	100	99	100	98	95	95	92	93	100	99	96	95	99	97	102	102
ダフリカ	ダフリカ	100	98	97	99	94	94	79	89	100	99	96	97	102	96	102	102
カラマツ	カラマツ	100	96	96	81	85	72	64	53	100	95	95	96	99	98	103	103
トドマツ	トドマツ	100	101	101	99	101	99	89	99	100	101	101	98	102	99	102	102
スギ	スギ	100	100	100	98	100	99	99	100	100	100	97	98	99	98	99	101

せん断強さ、木部破断率いずれについても、同樹種と異樹種の組み合わせで、結果に大きな違いは見られなかった。

また、浸せき、煮沸、減圧加圧のいずれの処理においても、促進劣化処理による木部破断率の低下がそれほど見られなかったため、せん断強さは、木部が劣化したことにより低下したものと考えられた。

オ 今後の問題点

本研究において、道産材を用いた異樹種積層集成材について、技術的には十分生産可能であることが示された。しかし、この異樹種積層集成材が製品として流通するためには、製造工場における製造工程およびの原料調達の現実性等を検討しなければならないと考えられた。

現在、道産材を用いた構造用集成材は、カラマツ、トドマツともに E95-F270、E85-255 前後の等級が多く製造されているため、今回採用した断面構成にすることによって、1～2 等級上の強度等級の構造用集成材を供給することが可能となると考えられた。また、カラマツは JAS の規定により、L60 以下のラミナを使うことができないが、製造現場では L60 以下のラミナも少なからず存在するので、今回設定した断面構成であれば、JAS で規定されていない等級のラミナでも有効に利用することができる。

また、接着性能試験においては、同樹種構成と異樹種構成の違いを示すことを目的とし、促進劣化処理による接着性能の低下に大きな違いがないことが示された。今後の展開としては、促進劣化処理と実使用期間との対応について検証ができたならば、今回のデータの有益性が増すと考えられた。

カ 要約

道産材を用いた異樹種積層集成材に関して各種強度性能評価を行い、また異樹種集成材の接着性能の確認のために促進劣化処理を施したブロックせん断試験を行った。

その結果、道産材を用いた異樹種集成材については、当初想定した程度の強度性能を有していることを確認することができた。また、接着性能試験においては、異樹種積層集成材は、従来の同樹種の集成材と同等の接着性能を有していることが示された。

キ 引用文献

- 1) 北海道水産林務部木材振興課：北海道の木材産業の姿、20－22（2004）
- 2) 農林水産省告示：構造用集成材の日本農林規格（2003）

（丹所俊博）

3 スギ及びダフリカカラマツによる異樹種積層集成材の製造と強度性能

ア 研究目的

富山県は国内最大の北洋材の流通・加工拠点であり、主な県産材であるスギ材を強度等級の高いダフリカカラマツ材と積層した集成材とすれば、地域に流通する両材の共存とスギ材の需要拡大が期待できる。しかしながら、課題開始時点の JAS は、等級が大きく異なるラミナ構成の集成材を想定していなかった。

そこで本課題では、両材ラミナの強度データを測定・収集し、両樹種からなる効率的なラミナ構成を検討し、異樹種集成材の製造と強度評価を行なう。また、このような集成材におけるラミナ強度と集成材強度との関係を解析するための強度データを収集する。

イ 研究方法

(1) 曲げ

付録の「標準的な試験方法」に準拠して試験を行った。構成 1 のダフリカカラマツラミナは、等級区分機の設定ミスにより、設計時よりもかなり低い等級の構成であることが、ラミナの曲げ試験後に判明した（図 2-3-1 参照）。そのため、構成 2 の試験を追加した。構成 2 のラミナ試験体は、集成材に使用したラミナと同一ロットから 1 等級あたり最大 20 体を限度として、入手可能な全等級のラミナを採取して強度測定に供試した。なお、構成 2 のスギラミナは富山県内に流通していた材であるが、富山県産のものではない。

(2) 縦圧縮

付録の「標準的な試験方法」に準拠して試験を行った。ラミナの強度試験には構成 1 のもののみを用いた。

(3) 縦引張り

付録の「標準的な試験方法」に準拠して試験を行った。ラミナおよび集成材については概ね (1) と同様である。構成 1 の集成材試験体はチャック内で破壊するものがあったため、構成 2 の試験体では幅を 100mm とし、チャック付近には厚さ 9mm の針葉樹合板を接着し、チャッキングによる損傷を合板部分が受けるようにした。

構成 1	構成 2
L140 (L110)	L160(L180)
L125 (L110)	L140(L140)
L110 (L 90)	L110(L125)
L 70 (L 80)	L 70(L 80)
L 50(L 50)	L 50
L 50(L 50)	L 50
L 70 (L 80)	L 70(L 80)
L110 (L 90)	L110(L125)
L125 (L110)	L140(L140)
L140 (L110)	L160(L180)

ダフリカカラマツ

スギ

※構成 1 はラミナ等級区分機の設定ミスにより、計画よりも低い等級構成となった。ラミナ曲げ試験体の動的ヤング係数を基に再評価した等級を () 内に示した。

簡便のため、次の方法で再評価した。対象等級の母集団のヤング係数分布を動的ヤング係数の平均値と標準偏差を母数とする正規分布と仮定し、その 5%下限値を JAS の下限値と比較し、適合等級を求めた。下限値は L125 を除き、GPa 単位で整数に四捨五入した値を用いた。

図 2-3-1 集成材のラミナ構成（曲げ、縦圧縮、縦引張り試験）

(4) めり込み

図 2-3-2 の構成の集成材より試験体を採取し、付録の「標準的な試験方法」に準拠してめり込み

試験を行った。但し、加力面付近にも節を含む試験体もあった。なお、図 2-3-2 のラミナ構成は、使用したラミナの動的ヤング係数に基づいて再評価した等級を（ ）に示した。

(5) せん断

めり込み試験と同様に、図 2-3-2 の構成の集成材より試験体を採取し、付録の「標準的な試験方法」に準拠して JIS Ⅰ込み、せん断試験（Ⅰ）内の等級は、使用ラミナの動的ヤング係数で再評価した等級。

(6) 統計演算による集成材のヤング係数の推定

集成材のヤング係数や強度の統計量を推定できれば、集成材の規格設定や生産管理に有効である。このような推定には実験値の統計解析による方法が一般的であるが、大量の実験を必要とする。また、シミュレーション法としてモンテカルロ法が近年注目されている。この方法は汎用性・精度とも高いが、処理が煩雑であるという欠点がある。

一方、確率・統計演算も統計量は推定可能である。演算式の導出が困難な場合が多いが、演算式が得られれば簡便に統計量を推定できる。林と宮武¹⁾は集成材の縦引張り強さの推定において、平均値モデルを用いることで集成材の強度の平均値と標準偏差が概略的に演算可能なことを示唆した。そこで、簡便な材料力学モデルを作成し、平均値と標準偏差の演算式を導出し、実験値と推定値の比較を行った。

ウ 結果と考察

(1) 曲げ

a.ラミナ

表 2-3-1 および表 2-3-2 にラミナの曲げ試験結果を示す。構成 1 のロットのラミナは構成 2 のロットのラミナに比べ、縦振動法によるヤング係数 Efr に対する曲げヤング係数 Eb の比が若干小さい。また、Efr に対する曲げ強さが小さい。特に、高位等級でこれらの傾向が著しかった。このことから、縦継ぎ接着に製造上の不良があったものと推定される。そのため、構成 2 のロットについては、先に述べた等級区分のミスがあったが、縦継ぎ接着についても注意して試験体を製造した。

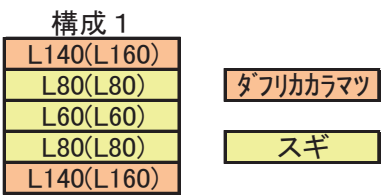


図 2-3-2 集成材のラミナ構成（Ⅰ）内の等級は、使用ラミナの動的ヤング係数で再評価した等級。

表 2-3-1 ラミナの曲げ試験結果（構成 1）

樹種	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	Eb (GPa)	曲げ強さ (MPa)	
ダ フ リ カ カ ラ マ ツ	L140 (L110)	42	平均	613	11.6	14.6	12.1	44.1
			最小	488	10.3	10.9	8.4	24.0
			最大	835	13.8	19.2	14.5	61.3
			変動係数	10.3	5.8	13.9	12.1	20.9
	L125 (L110)	42	平均	571	11.4	13.8	11.8	49.4
			最小	500	10.4	8.9	7.6	30.8
			最大	759	12.7	17.0	14.3	60.7
			変動係数	7.7	4.9	11.1	11.4	14.7
	L110 (L 90)	42	平均	546	11.1	11.1	9.4	42.1
			最小	463	10.2	8.1	6.7	18.5
			最大	659	12.3	13.6	11.3	56.9
			変動係数	8.4	4.0	9.5	10.4	20.1
ス ギ	L 70 (L 80)	41	平均	380	11.2	9.0	8.1	35.2
			最小	360	10.0	6.7	6.4	14.2
			最大	424	12.9	10.6	9.3	51.0
			変動係数	3.6	5.9	8.8	8.6	25.6
	L50 (L 50)	43	平均	377	10.6	6.2	5.6	26.5
			最小	334	9.5	4.5	4.4	16.7
			最大	473	12.9	7.7	6.8	35.6
			変動係数	7.0	6.8	11.5	11.0	16.0

Efr: 縦振動法によるヤング係数
Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

構成 2 のラミナの強度については、両樹種とも Efr と曲げ強さに正の相関がみられ、曲げ強さの変動係数は 7%～23%程度で、JAS が想定している 15%に比べやや大きい。特に、ダフリカカラムツにおいて、出現率の低い高位や低位の等級の強度のバラツキが大きくなる傾向がみられた。

表 2-3-2 ラミナの曲げ試験結果（構成 2）

樹種	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	Eb (GPa)	曲げ強さ (MPa)	樹種	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	Eb (GPa)	曲げ強さ (MPa)			
ダ フ リ カ カ ラ マ ツ	L160 (L180)	20	平均	700	12.5	20.4	18.3	ダ フ リ カ カ ラ マ ツ	L 80 (L90)	20	平均	472	11.5	10.5	10.2	51.5		
			最小	662	11.2	17.2	16.7				66.8	最小	451	11.0	8.6	9.1	41.2	
			最大	747	13.4	22.0	20.3				92.8	最大	517	12.1	13.1	11.4	61.6	
			C.V.	4.2	4.0	5.3	4.9				8.5	C.V.	3.7	3.0	10.4	7.3	12.4	
	L140 (L140)	15	平均	659	12.8	17.4	15.4		76.7	L 70 (L100)	12	平均	543	11.1	11.5	11.2	54.8	
			最小	585	11.3	14.4	12.7		62.6			最小	529	10.8	9.8	8.5	33.9	
			最大	760	13.5	19.4	17.4		86.3			最大	563	11.5	13.4	12.5	63.6	
			C.V.	6.9	4.6	8.9	9.2		8.2			C.V.	1.9	2.1	8.5	10.0	20.3	
	L125 (L140)	20	平均	619	12.1	16.2	15.1		76.0	ス ギ	L 80 (L90)	18	平均	429	10.9	9.5	8.8	42.7
			最小	549	11.1	13.0	13.4		61.5				最小	399	9.6	8.6	7.8	31.3
			最大	685	13.1	18.0	17.0		86.0				最大	461	12.1	10.4	10.0	51.3
			C.V.	6.7	4.6	8.8	5.8		7.1				C.V.	4.7	5.7	5.5	6.2	13.1
	L110 (L125)	20	平均	598	12.4	14.7	13.6		68.4		L 70 (L80)	18	平均	411	10.7	8.7	8.0	43.0
			最小	551	11.5	12.3	11.7		51.2				最小	372	9.4	7.6	6.9	34.5
			最大	626	13.6	16.1	15.4		77.3				最大	445	11.8	9.6	9.1	53.3
			C.V.	4.0	4.6	6.7	7.0		10.0				C.V.	6.2	6.9	7.4	8.2	12.9
	L100 (L110)	20	平均	561	12.0	12.7	12.0		56.1		L 60 (L60)	18	平均	392	10.8	8.1	7.5	37.0
			最小	527	10.7	10.9	10.1		25.7				最小	342	10.0	6.6	5.7	23.3
			最大	608	12.7	14.8	12.9		73.2				最大	455	12.1	11.3	10.4	54.4
			C.V.	4.0	3.7	7.5	6.6		23.1				C.V.	6.9	4.8	14.8	14.6	18.7
	L 90 (L100)	20	平均	523	11.3	11.5	10.8		51.0	Efr:縦振動法によるヤング係数								
			最小	476	10.3	9.7	9.2		36.5	Eb:曲げ試験時に測定した曲げヤング係数								
			最大	592	13.0	12.6	12.1		61.9	C.V.:変動係数								
			C.V.	6.3	7.8	6.7	7.2		14.9									

b. 集成材

図 2-3-3 に示すように、両構成とも曲げヤング係数は特定異等級対称構成の等級（ME 等級）の最上位である E120 の基準を満たし、変動係数も小さかった。曲げ強さは、構成 1 が F255 を、

構成 2 が F435 を満足した。両構成とも曲げ強さの変動係数はやや大きい。

構成 1 は製造時にラミナの縦継ぎ位置を限定して製造する都合上、JAS 規格で除くべき節等の欠点を完全に除去できなかったため、強度がやや低く評価された可能性がある。但し、最終的な破壊形態は全て引張側最外層の縦継ぎの曲げ破壊であった。

構成 2 は JAS 規格に従って欠点を除去したが、荷重点間の引張側最外層・外層に必ずしも縦継ぎが含まれなかった。特に上位 3 体の曲げ強さは、外層には縦継ぎがあるものの、最外層になかった。設計等級は ME105-F300～ME120-F330 程度であるが、強度がやや高く評価された可能性がある。但し、下位 3 体も ME120-F330 の曲げ強さの下限値を大きく上まわった。

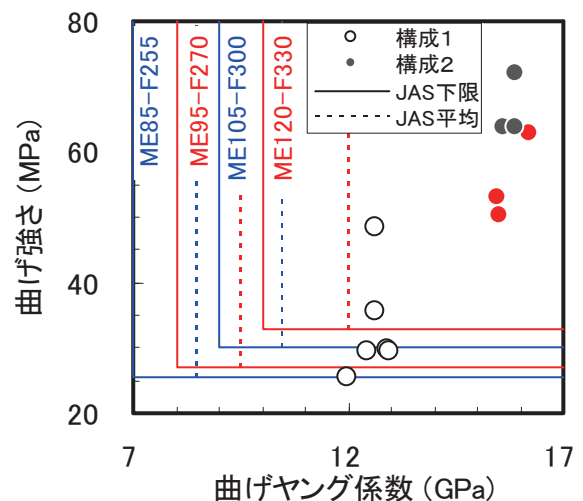


図 2-3-3 集成材の曲げヤング係数と曲げ強さ

※ ラミナの Efr に基づく構成の設計等級

構成 1 : ME85-F255 程度

構成 2 : ME105-F300～ME120-F330 程度

新設された特定異等級対称構成は、設計したラミナ構成が実験値を上回っており、安全側に配慮された規格の設定といえる。

表 2-3-3 集成材の曲げ試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	Eb (GPa)	σ b (MPa)
構成1 ダフリカ カラマツ	1	510	11.8	10.9	12.0	25.4
	2	503	11.8	11.4	12.6	48.2
	3	496	11.4	11.3	12.5	29.0
	4	529	11.6	11.5	12.6	33.0
スギ	5	503	11.8	11.2	12.9	29.8
	6	504	11.7	11.1	13.0	29.4
平均値		508	11.7	11.2	12.6	32.5
変動係数(%)		2.3	1.4	2.1	2.7	24.9

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

σ b: 曲げ強さ

表 2-3-4 集成材の曲げ試験結果（構成 2）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	Eb (GPa)	σ b (MPa)
構成2 ダフリカ カラマツ	1	551	11.8	12.8	15.5	53.0
	2	558	12.0	13.2	15.9	72.0
	3	547	11.8	12.8	16.2	62.9
	4	566	11.7	12.6	15.6	63.7
スギ	5	568	12.2	12.9	15.9	63.9
	6	567	12.1	12.8	15.5	50.2
平均値		559	11.9	12.9	15.8	61.0
変動係数(%)		1.6	1.6	1.6	1.9	13.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

σ b: 曲げ強さ

(2) 縦圧縮

a. ラミナ

ラミナの縦圧縮強さは、動的ヤング係数と正の相関がみられた。表 2-3-5 に示すように、他の強度に比べバラツキが小さく、変動係数は 8~12% 程度であった。

b. 集成材

表 2-3-6 に示すように、集成材の縦圧縮強さは、平均値が 39.9MPa、変動係数が 4% であった。他の強度と比較して、ラミナと同様にかなりバラツキが小さかった。

表 2-3-5 ラミナの縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	縦圧縮 強さ (MPa)
ダ フ リ カ カ ラ マ ツ	L140 (L125)	44	平均	640	12.0	15.5	52.3
			最小	513	10.7	9.4	32.9
			最大	741	13.2	17.4	61.9
			C.V.	7.2	4.9	10.9	10.7
	L125 (L110)	40	平均	610	11.4	13.7	49.5
			最小	526	10.1	9.4	35.5
			最大	746	14.1	15.9	61.3
			C.V.	8.0	8.5	10.1	11.5
	L110 (L90)	44	平均	560	11.5	11.3	41.8
			最小	501	10.7	9.0	25.5
			最大	670	12.9	16.4	52.2
			C.V.	6.3	4.7	12.0	12.4
ス ギ	L70 (L70)	40	平均	408	11.1	8.2	36.6
			最小	361	10.1	7.0	31.1
			最大	459	13.1	9.6	44.5
			C.V.	5.4	5.3	7.8	8.5
	L50 (L50)	40	平均	389	11.6	6.3	30.6
			最小	335	10.6	4.7	19.0
			最大	485	13.2	7.3	38.0
			C.V.	8.7	5.7	9.1	11.4

Efr: 縦振動法によるヤング係数

(等級): 縦圧縮試験体の Efr に基づく等級、C.V.: 変動係数

表 2-3-6 集成材の縦圧縮試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	縦圧縮 強さ (MPa)
構成1 ダフリカ カラマツ スギ	1	521	11.7	10.4	37.7
	2	515	12.1	11.4	41.1
	3	511	11.9	11.2	40.0
	4	491	12.2	10.7	38.5
	5	534	12.5	11.6	41.7
	6	511	11.7	10.8	40.4
平均値		514	12.0	11.0	39.9
変動係数(%)		2.7	2.7	4.2	3.9

Efr: 縦振動法によるヤング係数

(3) 縦引張り

a. ラミナ

表 2-3-7 および表 2-3-8 に示すように各等級のラミナの縦引張り強さのデータが収集された。

縦引張り強さと縦振動法によるヤング係数 Efr との関係は曲げ試験のような構成間での顕著な差は見られなかった。縦継ぎ接着の養生条件の差などが考えられるが明確ではない。

縦引張り強さのバラツキは曲げ強さと同様に変動係数が 15～30%程度で、JAS で想定されている 15% よりもかなり大きい。

表 2-3-7 ラミナの縦引張り試験結果（構成 1）

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	E _r (GPa)	縦引張り強さ (MPa)
ダ フ リ カ カ ラ マ ツ	L140 (L125)	44	平均	630	11.8	15.5	37.7
			最小	514	10.9	9.4	15.4
			最大	789	13.0	17.4	61.1
			変動係数	8.6	5.2	10.9	29.0
	L125 (L110)	40	平均	597	11.4	13.7	34.0
			最小	534	10.3	9.4	10.2
			最大	723	13.5	15.9	53.9
			変動係数	7.6	6.2	10.1	28.9
	L110 (L90)	44	平均	552	11.4	11.3	26.9
			最小	502	10.8	9.0	13.3
			最大	679	12.5	16.4	46.1
			変動係数	6.6	3.6	12.0	31.4
ス ギ	L70 (L70)	40	平均	391	10.4	8.2	22.1
			最小	355	9.0	7.0	7.3
			最大	439	12.5	9.6	33.4
			変動係数	4.7	7.8	7.8	25.2
	L50 (L50)	40	平均	367	10.6	6.3	18.4
			最小	334	9.2	4.7	8.5
			最大	402	13.6	7.3	27.8
			変動係数	4.6	10.4	9.1	21.4

Efr: 縦振動法によるヤング係数
(等級): 縦引張り試験体の Efr に基づく等級

表 2-3-8 ラミナの縦引張り試験結果（構成 2）

樹種	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	σ t (MPa)	樹種	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	σ t (MPa)		
ダ フ リ カ カ ラ マ ツ	L180 (L200)	3	平均	856	13.8	22.5	ダ フ リ カ カ ラ マ ツ	L80 (L80)	19	平均	526	13.2	9.5	26.7	
			最小	843	13.5	21.9				42.7	最小	479	11.6	7.7	12.0
			最大	872	14.1	23.4				64.1	最大	569	15.3	10.6	42.5
			C.V.	1.7	2.3	3.7				20.5	C.V.	5.3	8.8	8.6	31.4
	L160 (L160)	10	平均	709	14.6	18.4		L70 (L70)	8	平均	521	12.7	9.6	17.4	
			最小	661	13.9	15.9				30.2	最小	478	11.1	7.8	3.9
			最大	757	15.7	20.1				62.2	最大	552	14.5	12.5	33.1
			C.V.	4.0	3.4	7.2				22.2	C.V.	4.9	10.7	16.9	54.1
	L140 (L140)	20	平均	675	14.1	16.9		L60	1	平均	497	12.0	8.0	22.5	
			最小	617	12.9	13.7				37.3	最小	—	—	—	—
			最大	749	15.5	18.3				67.1	最大	—	—	—	—
			C.V.	5.7	5.3	6.4				15.8	C.V.	—	—	—	—
	L125 (L125)	20	平均	609	13.9	14.8	ス ギ	L90 (L100)	20	平均	452	10.9	10.9	33.3	
			最小	535	12.9	11.7				29.9	最小	414	9.7	9.8	20.5
			最大	685	15.1	17.5				64.1	最大	500	14.5	11.7	44.9
			C.V.	7.0	4.6	8.3				21.0	C.V.	5.1	10.2	5.0	23.7
	L110 (L110)	20	平均	606	14.0	12.6		L80 (L90)	20	平均	426	10.7	9.8	30.1	
			最小	535	12.0	9.2				17.1	最小	388	9.2	8.9	14.5
			最大	690	15.6	14.3				55.9	最大	462	12.4	10.5	39.3
			C.V.	7.6	7.7	9.7				27.7	C.V.	5.4	8.1	4.9	21.2
	L100 (L110)	20	平均	570	13.9	12.1		L70 (L80)	20	平均	409	10.6	8.6	26.0	
			最小	512	12.1	10.9				17.5	最小	385	9.7	7.8	18.2
			最大	645	15.3	13.5				60.6	最大	438	12.5	9.7	33.6
			C.V.	5.6	6.9	6.4				36.9	C.V.	3.5	6.3	6.1	17.5
	L90 (L100)	20	平均	540	13.1	11.4		L60 (L70)	20	平均	410	11.6	7.5	21.7	
			最小	470	11.9	10.0				13.4	最小	371	10.4	6.8	16.4
			最大	628	14.7	12.5				45.2	最大	446	13.8	8.1	29.5
			C.V.	8.3	7.1	5.1				27.4	C.V.	5.1	7.8	4.9	13.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数、σ t: 縦引張り強さ、C.V.: 変動係数、(等級): 縦引張り試験体の Efr に基づく等級

b.集成材

表 2-3-9 に構成 1 の試験結果を、表 2-3-10 に構成 2 の試験結果を示す。

構成 1 の試験体はチャック内破壊を伴ったものがあり、試験後に未破壊部分より 3m の試料を切り出し、再試験した。構成 1 の変動係数は縦引張りヤング係数 E_t が 3%、縦引張り強さ σ_t は 14% 程度であった。

構成 2 は最初の試験体の荷重が装置容量を超えたため、目視で弱そうな試験体を選別し、1 体の縦引張り強さ σ_t と 2 体の縦引張りヤング係数 E_t のみ取得した（全 6 体の σ_t はより高い値を示すと推察される）。

図 2-3-4 に E_t と σ_t の関係を示す。構成 1 は新設された特定異等級対称構成規格の ME105-F300 を満たし、構成 2 は ME120-F330 を大きく上回った。

集成材の縦引張り試験結果から、新設された特定異等級対称構成規格は、従来の異等級対称構成と比較して妥当な設定といえる。

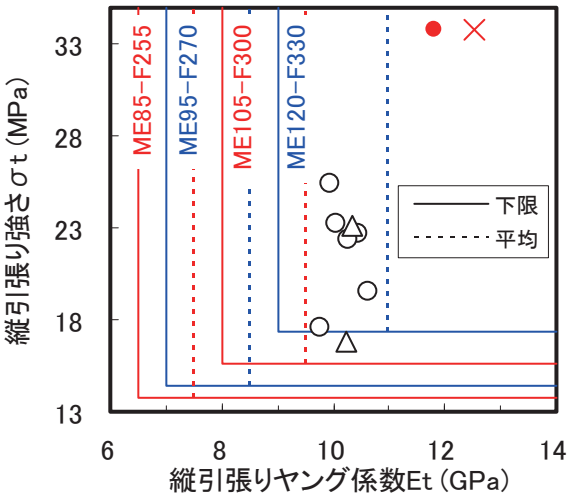


図 2-3-4 集成材の縦引張り試験結果
凡例：○は構成 1、△は構成 1 のうちチャック内破壊による再試験データ。
●は構成 2、×は容量超過で強度未計測。
※ 基準値は、 E_t は木質構造計算基準²⁾の値、 σ_t は国交省パブリックコメントの値。

表 2-3-9 集成材の縦引張り試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	Et (GPa)	σt (MPa)
構成1 ダフリカ カラマツ	1	509	10.8	11.0	9.8	17.5
	2	513	11.2	11.1	10.1	23.2
	3	499	11.8	10.9	9.9	25.5
スギ	4.1	492	11.0	11.0	10.5	22.7
	4.2	↑	↑	↑	10.3	23.2
	5	528	12.0	11.4	10.6	19.5
	6.1	514	11.4	11.1	10.3	22.4
	6.2	↑	↑	↑	10.2	16.8
	平均値	509	11.4	11.1	10.2	21.3
変動係数(%)		2.5	4.2	1.4	2.8	14.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数、
Et: 引張試験時に測定されたヤング係数、 σ_t : 縦引張り強さ
※No. X.2 は 1 回目の試験でチャック内破壊をしたため、約 1m に切断し、再試験したもの。

表 2-3-10 集成材の縦引張り試験結果（構成 2）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	Et (GPa)	σt (MPa)
構成1 ダフリカ カラマツ	1	533	—	10.5	12.5	33.8以上
	2	545	—	10.7	—	—
	3	568	13.0	10.7	11.8	33.8
スギ	4	545	—	10.8	—	—
	5	557	—	10.8	—	—
	6	563	—	10.8	—	—
平均値		552	13.0	10.7	12.2	33.8
変動係数(%)		2.4	—	1.0	4.2	—

Efr: 縦振動法によるヤング係数、
Et: 引張試験時に測定されたヤング係数、 σ_t : 縦引張り強さ
※No.1 は試験装置の容量超過により試験中断。
※No.2 および No.4～7 は容量超過が予想されたため、未試験。

(4) めり込み

表 2-3-11 に集成材のめり込み試験の結果を示す。めり込み強さ、降伏強さとも密度およびめり込み剛性と若干の正の相関がみられた。めり込みによる破壊は平使いの方が概して顕著であった。荷重方向による差を比較すると、剛性、強度とも縦使いが平使いよりも大きな値を示した。但し、降伏強度には大きな差異が見られなかった。縦使いでは加力面が最外層のみで、平使いでは加力面が積層接着面となるため、強度発現や荷重負担のメカニズムが大きく異なることが予想される。

縦使いでは、端部木口を加力方向に開くような層内もしくは層間破壊がみられた。平使いでは、最外層が面外座屈するような層内もしくは層間破壊がみられた。強度発現メカニズムの解明には更なる検討が必要である。

めり込み強さの 5%下限値は、縦使い（10.3MPa）は、最外層のダフリカカラマツの基準材料強度（8.2MPa）を上まわった。平使い（7.6MPa）はダフリカカラマツ（8.2MPa）とスギ（6.0MPa）の基準材料強度の中間的な値を示した。設計上、従来の集成材と比較して妥当な値といえる。

表 2-3-11 集成材のめり込み試験結果（構成 1）

構成	荷重 方向	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	E _{fr} (GPa)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (MPa)	めり込み強さ (MPa)	
構成1	縦使い	29	平均	505	12.7	11.0	5.2	7.4	11.7
			最小	462	11.3	9.0	3.9	6.0	9.8
			最大	578	16.0	12.3	6.2	9.0	14.2
			変動係数	4.4	8.4	6.0	11.8	10.8	9.0
			下限値	—	—	—	—	6.3	10.3
	平使い	22	平均	511	13.2	11.0	4.8	8.0	9.8
			最小	468	11.5	9.0	3.7	6.1	7.3
			最大	574	16.2	12.0	6.8	9.7	13.2
			変動係数	5.0	9.8	5.6	16.4	11.9	15.8
			下限値	—	—	—	—	6.7	7.6

E_{fr}:縦振動法によるヤング係数、下限値:メジアンランクの5%値。
(参考:基準材料強度は、スギ6.0MPa、ダフリカからまつ8.2MPa。)

(5) せん断

JIS いす型試験体は、スギの内層から採取した。実大いす型試験体は、スギの内層がせん断面となるように採取した。3点曲げせん断試験体は、一般に最外層の曲げ破壊で強度が決まる割合が高いと言われているが、本試験では異樹種集成材試験体の最外層が強く、内層が弱いため、ほぼ全ての試験体が内層のせん断で破壊した。したがって、本試験においては、せん断強さはスギ内層のせん断強さを評価したものと言える。

表 2-3-2 に示すように、全ての試験方法ともメジアンランクの 5%下限値がスギのせん断基準強度（2.7MPa）を上まわった。よって、使用した構成の集成材は従来の集成材と比較して妥当な値といえる。

せん断強さの平均値・変動係数とも JIS いす型＞実大いす型＞3点曲げ式の順に大きかった。すなわち、試験体寸法が小さいほどせん断強さが大きく、バラツキが大きくなる傾向を示した。これらの差異については、寸法効果と最大応力の評価の差異が考えられる。

最大応力については、各試験における応力分布の評価が問題となる。いす型せん断試験は一般に応力分布を考慮しないで評価するが、切り欠き部に応力集中があるため、梁の曲げせん断強さとしては過小評価となることが知られている³⁾。一方、曲げせん断試験では梁せい方向のせん断応力分布を考慮し、最大せん断応力を平均せん断応力の 1.5 倍と評価するが、異等級構成集成材のように外縁にヤング係数の高い層を持つ梁の場合、中立軸付近に現われる最大せん断応力は若干小さくなる⁴⁾。

寸法効果については、以前から様々な報告があるが、近年、いす型せん断試験については森田ら⁵⁾が、様々なせん断試験方法については井道ら⁶⁾が試験体の体積を因子とする実験式を樹種別に提案している。影響因子を更に細かく考慮し、より解析的な換算方法の導出しようとする場合、

先に述べた最大応力の評価の影響のほかに、長さや幅の影響を考慮する必要がある⁴⁾。また、3点曲げ方式、5点曲げ方式といった曲げせん断試験の場合、ラミナ構成によってはせん断破壊する試験体の割合が低くなるため、確率論を用いた性能評価も必要になる。

表 2-3-12 集成材のせん断試験結果（構成 1）

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (GPa)	σ s (MPa)
構成1	JIS	42	平均	369	9.7	—	9.3
			最小	297	8.7	—	6.0
			最大	470	13.5	—	14.7
			C.V.	13.3	7.7	—	22.8
			下限値	—	—	—	6.5
	実大 ブロック	35	平均	424	12.5	—	7.9
			最小	388	11.2	—	6.4
			最大	475	15.8	—	10.4
			C.V.	5.2	7.2	—	14.2
			下限値	—	—	—	6.4
	3点曲げ	30	平均	507	12.8	11.0	6.4
			最小	477	11.6	9.4	5.2
			最大	575	16.8	12.4	7.5
			C.V.	4.5	8.9	5.1	9.9
			下限値	—	—	—	5.4

Efr: 縦振動法によるヤング係数、σ s: せん断強さ。
C.V.: 変動係数、下限値: メジアンランクの5%値。

(6) 統計演算による集成材のヤング係数の推定

簡便な集成材の材料力学モデルとして、縦引張りヤング係数は複合則に、曲げヤング係数は等価断面計算に従うものとした。同様に簡便のため、集成材の各層断面は等しく、各層ラミナのヤング係数を独立と仮定した。集成材の縦引張りヤング係数の平均値 μ_{Et} および標準偏差 σ_{Et} は次式であらわされる。

$$\mu_{Et} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_{Ei} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_{Et} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{Ei}^2} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 n はラミナの積層数、 μ_{Ei} と σ_{Ei} は各層ラミナの母集団の平均値と標準偏差。
次に、集成材の曲げヤング係数の平均値 μ_{Eb} および標準偏差 σ_{Eb} は次式であらわされる。

$$\mu_{Eb} = \frac{1}{n^3} \sum_{i=1}^n \left\{ \mu_{Ei} \left[1 + 12 \left(\frac{y_{Oi}}{t} \right)^2 \right] \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_{Eb} = \frac{1}{n^3} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left\{ \sigma_{Ei} \left[1 + 12 \left(\frac{y_{Oi}}{t} \right)^2 \right] \right\}^2} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 y_{Oi} は中立軸から i 層までの距離、 t は層厚さ。

推定に必要な各層のヤング係数 E_i の統計量は、それぞれ同じ種類のラミナの試験に用いたラミナの縦振動法によるヤング係数 E_{fr} の実験値を用いた。構成 2 の L50 等級ラミナの実験値がないため、構成 1 と同じ値とした。

表 2-3-13 に実験値と推定値の比較結果を示す。実験値と推定値を比較すると、平均値は概ね一致したが、推定値が実験値よりやや大きい値を示した。原因としては、推定モデルが各層等厚であるのに対して、実際の集成材試験体は最外層が若干薄い点や、計算に用いた E_{fr} が静的な弾性係数より一般に大きくなる点が考えられる。変動係数は概して推定値が実験値より大きいものの、同程度のオーダーとなった。

演算により、集成材のヤング係数の統計量が概ね推定できることが示唆された。

表 2-3-13 集成材のヤング係数の統計量

構成	試験の種類	試験体数			E (GPa)
構成1	縦引張り	6	μ	obs.	10.2
				cal.	11.0
		C.V.	obs.	2.8%	
			cal.	3.5%	
	曲げ	6	μ	obs.	12.6
				cal.	13.5
		C.V.	obs.	2.7%	
			cal.	5.8%	
構成2	曲げ	6	μ	obs.	15.8
				cal.	17.9
			C.V.	obs.	1.9%
				cal.	2.8%

E: 曲げまたは縦引張りヤング係数、
 μ : 平均値、C.V.: 変動係数、
 obs.: 実験値、cal.: 計算による推定値。

エ 今後の問題点

開発した集成材を JAS に新設された特定異等級対称構成として評価すると、剛性が表示値よりもかなり高くなるケースがある。許容耐力上は安全側であるが、ラーメン構造などで剛性の設計値と実態に齟齬が生じる場合が考えられる。また、資源の有効活用の点も考慮すると、ヤング係数の表示である E が高く、曲げ強さの表示である F の低い組み合わせの設定が将来的に検討されることが望ましい。

ラミナの節等の欠点は曲げ強さや引張り強さといった強度を低減する主要な因子である。特にカラマツ材については、輪生節などの欠点が発生しやすいため、歩留まりを上げるために欠点を分散・除去する技術の開発が課題である。

せん断試験方法については、実験値に基づく試験方法間の寸法効果の換算方法が提案されているが、より詳細に形状などの影響を反映するためには、応力分布の影響や確立統計手法による寸法効果の推定式が必要となる。

集成材のヤング係数の平均値と標準偏差が簡便な演算で概算可能なことが示唆された。より精度をあげるためには材料力学モデルの更なる検討が必要である。また、同様の方法による各種強度の推定方法の開発も重要な課題である。

オ 要約

ダフリカカラマツとスギについて、各等級の縦継ぎラミナの曲げ、縦引張り、縦圧縮強さを測定し、縦振動法によるヤング係数、密度との関係を含む強度データを収集した。曲げ強さおよび縦引張り強さの変動係数（15~35%）は JAS が想定している値（15%）よりも概して大きかった。縦圧縮強さの変動係数は 12%程度で他の強度に比較してバラツキが小さかった。

ダフリカカラマツとスギからなる JAS 特定異等級対称構成に相当する集成材を試作し、曲げ、縦引張り、縦圧縮、めり込み、せん断強さを測定し、各種ヤング係数や密度との関係を含む強度

データを収集した。曲げおよび縦引張り試験の結果から、ヤング係数が設定値よりも大きくなるものの、特定異等級対称構成の等級設定が従来の集成材の JAS の基準と比較して妥当なものであることが確認された。めり込み、せん断強さにおいては、実験値のメジアンランクの 5% 下限値が建築基準法告示の基準材料強度を満たすことを確認した。

集成材の各種せん断試験の結果から、試験方法の違いによる評価値や統計量の差異が確認された。試験方法間の評価値の換算方法が提案されているが、より詳細な換算方法を開発するには応力分布の影響や確立統計手法による寸法効果の推定式が必要なことが示唆された。

集成材の曲げおよび縦引張りヤング係数の統計量を、構成するラミナの母集団の統計量から簡便に概算する演算方法を検討した。平均値と標準偏差の推定式を導出した。実験値との比較から、概算として有効な範囲の推定値が得られることが確認された。

カ 引用文献

- 1) 林知行、宮武敦（1991）確率モデルによる集成加工材料の性能予測（第 5 報）、木材学会誌、**37**(10)、904-911
- 2) 日本建築学会（2006）木質構造設計規準・同解説、403
- 3) 例えば、吉原浩、太田正光（1992）有限要素法を用いた木材の破壊過程のシミュレーション、材料、Vol.41、No.461、153-159
- 4) 園田里見、柴和宏、中谷浩、若島嘉朗（2008.3）集成材のせん断性能評価に関する現状の課題と二、三の考察、日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM）、58:D19-1000
- 5) 森田秀樹、藤元嘉安、村瀬安英（2006）宮崎県産低曲げヤング係数スギラミナの実大ブロックせん断性能評価、木材工業、**61**(2)、52-56
- 6) 井道裕史、長尾博文、加藤英雄（2006）試験法の違いによる製材品のせん断強度の評価、木材学会誌、**52**(5)、293-302

（園田里見）

4 スギ及びカラマツによる異樹種積層集成材の製造と強度性能

ア 研究目的

地域材を有効に利用できる一般住宅用スギ・カラマツ異樹種積層集成材を開発し、新集成材の規格及び製造基準のための資料を得る。スギ・カラマツ異樹種積層集成材の実大材曲げ、引張り、圧縮、めり込み、せん断強度性能を明らかにする。連続測定式グレーディングマシンにより等級区分されたラミナの強度性能を実証する。

イ 研究方法

(1) 試験体の作製

試験体の作製は全て長野県小県郡長和町齋藤木材工業（株）ナガト工場に依頼した。

a. 縦継ぎラミナの製造

17年度のラミナの等級区分は連続測定された曲げヤング係数の平均値（ MOE_{AVG} ）で等級区分したラミナを用いた。その結果、スギでは曲げ、引張り、圧縮ともロットとしてJASの基準を満たしたが、カラマツは曲げと引張りでロットとしてJASの基準を満たさなかった。そこで19年度に、曲げヤング係数の下限値（ MOE_{MIN} ）で等級区分したカラマツラミナについて曲げと引張り試験を行った。

縦継ぎ条件はフィンガージョイント（FJ）の長さ：18.63mm、底部幅：0.6mm、ピッチ：6mm、先端厚さ：0.8mm、スカーフ傾斜比：1/8.1）、接着剤：レゾルシノール・フェノール樹脂接着剤（ディアノールDF-60）、接着剤メーカー：（株）オシーカ、圧縮圧力：（カラマツ：6.8N/mm²、スギ：4.4N/mm²）、圧縮時間・温度：3秒間・200℃で接合した。全てのラミナの断面は30×120mm、縦継ぎ部は全てのラミナの中央部に配置した。

b. 集成材の製造

17、18年度は MOE_{AVG} で等級区分したラミナを用いスギ・カラマツ異樹種積層集成材に関する試験（曲げ、引張り、圧縮、せん断）を行った。その結果、集成材の曲げ強さで1/2が、引張り強さでは全数がJASの基準強度以下であったので、19年度には、 MOE_{MIN} で等級区分したラミナで異樹種積層集成材を製造し、曲げ、引張り試験を追加した（図2-4-1、図2-4-2）。さらに、カラマツ単一樹種集成材の試験を追加した。製造した構成1の異樹種積層集成材はE95-F270に極めて近く、構成2のカラマツ集成材の等級はE95-F270である。よって、集成材の強度評価はE95-F270の基準値と比較した。

集成材の製造条件は、接着剤：レゾルシノール・フェノール樹脂接着剤、接着剤メーカー：（株）オシーカ（型番：ディアノール D-300）、圧縮圧力：0.8N/mm²（スギ+カラマツ）、圧縮時間：18 時間、プレス方式：油圧式冷圧プレス、接着温度：15℃以上とした。

(2) 曲げ

a. ラミナ：スパン 630mm、3 等分点荷重条件で行った。

b. 集成材：寸法は 120×300×6000mm で、スパン 5400mm、試験条件は JAS によった。

(3) 縦圧縮

a. ラミナ：試験体高さ：180mm で行った。

b. 集成材：寸法：120×300×720mm で行った。

(4) 縦引張り

a. ラミナ：試験体長さ：1800mm、チャック間隔 1000mm で行った。

b. 集成材：寸法：105×300×4000mm、チャック部分：両端 500mm で森林総研にて実施した。

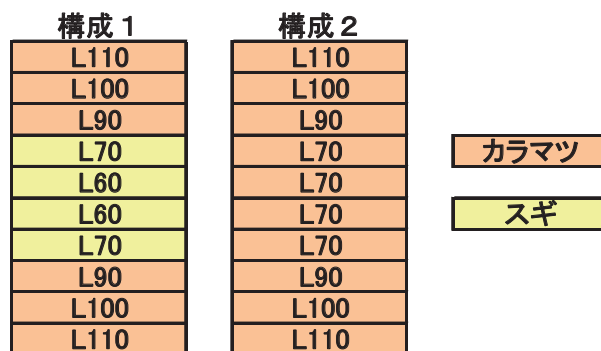


図 2-4-1 集成材のラミナ構成（曲げ、縦圧縮、縦引張り試験）

平成 17 年度は MOE_{AVG} で等級区分したラミナを用い、構成 1 の集成材を製造した。

平成 19 年度は MOE_{MIN} で等級区分したラミナを用い、構成 1、構成 2 の集成材を製造した。

(5) むり込み

むり込み試験は $120 \times 150 \times 900\text{mm}$ （縦使い）、 $150 \times 120 \times 720\text{mm}$ （平使い）の 2 種類とした。試験方法は ISO 方式とし、むり込み強さ（ f_c 、90）、むり込み降伏強さ（ f_c 、90、 y ）、むり込み剛性（ k_c 、90）を求めた。

(6) せん断

JIS いす型方式、実大いす型方式、3 点曲げ ISO 方式、5 点曲げせん断試験（オプション）の 4 種類とした。3 点曲げ ISO 方式の試験材寸法は $120 \times 150 \times 1050\text{mm}$ とし、スパンは材せいの 5 倍（750mm）として、中央集中荷重の曲げ試験を行った。5 点曲げせん断試験は $120 \times 150 \times 1800\text{mm}$ の試験材を用い、スパンを材せいの 10 倍（1500mm）とした 4 等分点 5 点荷重で曲げ試験を行った。ラミナの等級区分は MOE_{AVG} で行い、試験は平成 18 年度に実施した。



図 2-4-2 集成材のラミナ構成（むり込み、せん断試験）

ウ 結果 エ 考察

(1) 曲げ

a. ラミナ

平成 17 年度に行った MOE_{AVG} 区分ラミナの曲げ試験の結果、曲げヤング係数は等級に応じた値を示し、グレーディングマシンによる等級区分は適正になされていた。曲げ強さも平均値では等級に対応していたが、カラマツラミナはロットとして JAS の基準を満たさなかった。一方、スギラミナはロットとして JAS の基準を満たした（以上表 2-4-1 (1)）。

そこで、平成 19 年に MOE_{MIN} 区分ラミナの曲げ試験を追加した。その結果 MOE_{MIN} 区分ラミナの曲げ強さはロットとして JAS 基準を満たした（表 2-4-1 (2)）。

表 2-4-1 (1) ラミナの曲げ試験結果 (MOE_{AVG} 区分ラミナ)

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
スギ	L60	45	平均	361	9.1	6.9	6.5	30.7
			最小	309	8.0	5.0	4.5	22.9
			最大	413	10.4	8.1	8.0	37.9
			変動係数	7.0	5.2	8.0	9.7	10.2
	L70	42	平均	369	9.3	8.0	7.4	33.5
			最小	327	8.5	6.6	6.0	28.5
			最大	422	10.8	9.3	8.5	44.0
			変動係数	5.7	4.7	6.9	7.1	8.2
カラマツ	L90	42	平均	457	8.7	10.2	9.3	35.3
			最小	413	8.0	8.7	8.2	22.8
			最大	536	9.3	13.2	11.7	51.1
			変動係数	6.2	3.3	8.2	7.8	15.5
	L100	41	平均	496	9.3	11.0	10.1	39.0
			最小	439	8.5	9.4	8.8	27.8
			最大	554	10.3	12.9	11.7	54.8
			変動係数	4.9	4.8	7.2	7.0	15.4
	L110	43	平均	510	9.3	12.7	11.4	41.8
			最小	464	8.5	11.2	9.9	25.5
			最大	601	10.5	14.8	13.4	57.6
			変動係数	5.6	5.5	6.5	7.5	17.0

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

表 2-4-1 (2) ラミナの曲げ試験結果 (MOE_{MIN} 区分ラミナ)

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
カラマツ	L90	51	平均	504	9.8	10.5	10.3	43.6
			最小	413	8.7	8.0	7.6	27.0
			最大	579	12.8	12.6	12.3	59.0
			変動係数	7.3	11.5	10.0	8.2	18.3
	L100	52	平均	512	10.1	11.9	11.5	46.2
			最小	450	8.7	8.2	9.3	30.4
			最大	596	12.1	13.5	13.1	63.2
			変動係数	6.5	9.2	8.5	6.7	16.1
	L110	53	平均	552	10.8	13.5	12.7	54.9
			最小	480	9.2	11.2	11.2	36.4
			最大	620	13.2	15.2	14.2	71.3
			変動係数	5.3	10.4	7.0	5.8	11.8
	L125	47	平均	562	10.7	15.1	14.5	58.8
			最小	510	9.3	13.7	12.7	45.0
			最大	622	12.6	16.9	16.3	71.6
			変動係数	5.2	8.4	5.3	5.5	12.7

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

b.集成材

平成 17 年度に実施した MOE_{AVG} 区分ラミナを使用した集成材の曲げ試験の結果、8 試験体中 3 体が基準強度 ($27N/mm^2$) に満たなかった (表 2-4-2 (1))。

平成 19 年度に実施した MOE_{MIN} 区分ラミナを使用した集成材の曲げ試験では全試験体が JAS の基準値を満たした (表 2-4-2 (2)、表 2-4-2 (3))。

表 2-4-2 (1) 集成材の曲げ試験結果 (構成 1 : MOE_{AVG} 区分ラミナ使用)

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Eb (kN/mm^2)	曲げ強さ (N/mm^2)
構成1 カラマツ スギ	1	441	9.4	9.54	10.82	21.1
	2	434	9.2	9.52	10.71	26.1
	3	442	9.4	9.79	11.18	26.7
	4	441	9.6	10.17	11.31	32.9
	5	440	9.2	9.77	11.43	35.7
	6	430	9.4	9.79	11.17	26.3
	7	444	9.0	9.47	9.90	33.3
	8	443	9.2	9.46	9.98	32.9
平均値		440	9.3	9.7	10.8	29.3
変動係数(%)		1.1	2.0	2.5	5.4	17.1

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 2-4-2 (2) 集成材の曲げ試験結果 (構成 1 : MOE_{MIN} 区分ラミナ使用)

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Eb (kN/mm^2)	曲げ強さ (N/mm^2)
構成1 カラマツ スギ	1	445	11.1	10.32	10.9	33.8
	2	450	9.6	10.90	11.4	33.3
	3	452	11.6	10.53	11.3	33.7
平均値		449	10.8	10.6	11.2	33.6
変動係数(%)		0.8	9.7	2.8	2.5	0.8

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

表 2-4-2 (3) 集成材の曲げ試験結果 (構成 2 : MOE_{MIN} 区分ラミナ使用)

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Eb (kN/mm^2)	曲げ強さ (N/mm^2)
構成2 カラマツ	1	479	9.8	11.04	11.1	41.8
	2	464	10.1	10.82	11.2	30.2
	3	481	10.4	11.23	11.6	35.7
平均値		475	10.1	11.0	11.3	35.9
変動係数(%)		2.0	3.0	1.9	2.5	16.2

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(2) 縦圧縮

a. ラミナ

MOE_{AVG} 区分ラミナの縦圧縮試験の結果はスギ、カラマツとも等級に対応した値を示した（表 2-4-3）。MOE_{AVG} 区分で問題が認められなかったため、MOE_{MIN} 区分ラミナでの試験は実施しなかった。

表 2-4-3 ラミナの縦圧縮試験結果（MOE_{AVG} 区分ラミナ）

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
スギ	L60	42	平均	362	8.6	7.0	33.4
			最小	324	7.7	6.0	29.1
			最大	403	9.6	8.1	37.9
			変動係数	5.6	5.3	7.3	6.6
	L70	43	平均	372	8.8	8.0	36.7
			最小	334	8.1	6.5	32.1
			最大	416	10.6	8.9	43.3
			変動係数	5.9	6.2	6.1	5.8
カラマツ	L90	42	平均	465	8.2	10.0	43.7
			最小	401	7.7	8.0	36.1
			最大	566	9.5	11.2	51.7
			変動係数	6.8	4.4	6.9	7.7
	L100	42	平均	492	8.7	11.0	47.5
			最小	448	7.9	9.2	41.3
			最大	551	10.3	12.9	55.8
			変動係数	5.6	6.6	6.6	7.3
	L110	43	平均	500	8.8	12.2	49.9
			最小	438	7.9	10.0	42.6
			最大	565	10.1	15.1	55.5
			変動係数	5.2	4.8	7.7	6.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数

b. 集成材

圧縮試験の結果は全ての試験体が基準強度（21.6N/mm²）以上であり、2 倍程度の値を示し、変動係数は極めて小さかった（表 2-2-4）。

表 2-4-4 集成材の縦圧縮試験結果（構成 1：MOE_{AVG} 区分ラミナ使用）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成1 カラマツ スギ	1	438	9.8	9.4	-	41.7
	2	441	9.7	9.6	-	40.2
	3	448	9.8	9.4	-	41.7
	4	453	9.6	9.5	-	41.2
	5	450	9.5	9.6	-	40.9
	6	449	9.1	9.7	-	41.8
平均値		447	9.6	9.5		41.3
変動係数(%)		1.3	2.8	1.3		1.5

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 圧縮試験時に測定されたヤング係数

(3) 縦引張り

- a. ラミナ 平成 17 年度に実施した MOE_{AVG} 区分ラミナの引張り強さは、スギの L60、スギの L70、カラマツの L90 はほとんど差がなかった。また、ラミナの曲げ試験と同様カラマツはロットとして JAS 基準を満たさなかった。一方、スギは基準を満たしていると判断した（表 2-4-5 (1)）。この結果を受けて平成 19 年度に追加実施した MOE_{MIN} 区分カラマツラミナの引張り強さはロットとして JAS 基準を満たした（表 2-4-5 (2)）。

表 2-4-5 (1) ラミナの縦引張り試験結果 (MOE_{AVG} 区分ラミナ)

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
スギ	L60	41	平均	366	8.4	7.1	18.1
			最小	322	7.3	6.2	9.5
			最大	409	10.1	8.2	26.7
			変動係数	6.2	7.2	6.9	17.1
	L70	41	平均	363	8.5	7.9	20.8
			最小	328	7.7	6.5	14.6
			最大	399	9.8	8.8	25.8
			変動係数	5.5	5.2	7.2	11.0
カラマツ	L90	45	平均	448	8.7	9.6	19.0
			最小	406	8.0	8.0	8.5
			最大	498	9.4	11.3	28.6
			変動係数	5.3	3.3	7.1	20.8
	L100	43	平均	491	8.8	11.1	23.0
			最小	440	7.9	9.3	13.5
			最大	559	10.0	12.6	35.3
			変動係数	6.2	6.2	6.8	21.6
	L110	45	平均	503	9.2	12.5	27.9
			最小	466	8.1	6.9	14.5
			最大	574	11.4	14.1	44.2
			変動係数	4.5	8.1	9.7	25.3
Efr: 縦振動法によるヤング係数							

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 2-4-5 (2) ラミナの縦引張り試験結果 (MOE_{MIN} 区分ラミナ)

ラミナの縦引張り試験結果 下限値等級

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
カラマツ	L90	48	平均	482	9.7	11.1	26.6
			最小	417	8.5	8.4	16.4
			最大	562	12.9	13.6	35.9
			変動係数	7.1	11.1	9.5	18.3
	L100	47	平均	491	9.9	11.9	25.6
			最小	434	8.6	9.9	16.6
			最大	548	12.8	13.9	36.7
			変動係数	6.7	12.2	8.0	19.4
	L110	49	平均	527	10.6	13.4	33.7
			最小	466	8.6	11.8	20.1
			最大	592	13.1	15.5	51.7
			変動係数	5.5	11.4	6.8	19.5
	L125	47	平均	544	10.5	15.1	40.2
			最小	502	8.9	13.3	26.6
			最大	587	12.2	16.8	52.9
			変動係数	4.2	9.2	5.4	16.3

Efr: 縦振動法によるヤング係数

b.集成材

平成 17 年度に実施した MOE_{AVG} 区分ラミナで構成した集成材の縦引張り試験の結果、全ての試験体が JAS 基準値 ($18.6N/mm^2$) に満たなかった (表 2-4-6 (1))。そこで、平成 19 年度に MOE_{MIN} 区分ラミナで構成した集成材の縦引張り試験を行ったが、異樹種積層集成材では 3 体中 1 体が、カラマツ同一樹種集成材は 3 体中 3 体が基準値に満たなかった (表 2-4-6 (2)、表 2-4-6 (3))。

表 2-4-6 (1) 集成材の縦引張り試験結果 (構成 1 : MOE_{AVG} 区分ラミナ構成)

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Et (kN/mm^2)	縦引張り強さ (N/mm^2)
構成1 カラマツ スギ	1	445	9.2	9.4	10.6	17.3
	2	423	9.8	9.6	11.2	16.2
	3	440	9.8	9.4	10.8	16.1
	4	447	9.2	9.5	10.7	14.8
	5	441	9.4	9.6	11.1	16.8
	6	440	8.8	9.7	11.2	16.6
平均値		439	9.4	9.5	10.9	16.3
変動係数(%)		1.9	4.1	1.3	2.4	5.1

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

表 2-4-6 (2) 集成材の縦引張り試験結果 (構成 1 : MOE_{MIN} 区分ラミナ構成)

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Et (kN/mm^2)	縦引張り強さ (N/mm^2)
構成1 カラマツ スギ	1	456	11.8	10.7	10.5	20.3
	2	469	11.9	10.3	10.1	15.1
	3	464	12.4	10.7	10.7	26.0
平均値		463	12.0	10.5	10.4	20.5
変動係数(%)		1.4	2.8	2.3	3.3	26.5

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

表 2-4-6(3) 集成材の縦引張り試験結果 (構成 2 : MOE_{MIN} 区分ラミナ構成)

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	Et (kN/mm^2)	縦引張り強さ (N/mm^2)
構成2 カラマツ	1	493	11.0	10.8	10.8	17.2
	2	480	10.6	10.9	10.6	16.5
	3	488	10.6	10.7	10.7	17.4
平均値		487	10.7	10.8	10.7	17.0
変動係数(%)		1.4	2.0	0.8	0.6	2.6

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

(4) めり込み

MOE_{AVG} ラミナで構成した異樹種積層集成材のめり込み試験の結果は、構成 1、構成 2 ともカラマツ集成材の基準強度 7.8N/mm²、を満たしているものと判断した（表 2-4-7 (1)、表 2-4-7 (2)）。

表 2-4-7 (1) 集成材のめり込み試験結果（構成 1：MOE_{AVG} 区分ラミナ構成）

構成	荷重方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成1	縦使い	30	平均	457	11.2	9.2	4.6	7.6	10.4
			最小	434	10.4	8.3	4.1	6.2	9.0
			最大	488	13.1	11.1	6.2	9.4	13.1
			変動係数	3.3	4.8	6.1	9.2	10.4	9.6
	平使い	30	平均	449	11.1	9.4	5.3	7.3	10.3
			最小	422	10.4	8.4	4.1	6.1	8.9
			最大	467	11.9	10.7	6.8	9.2	12.5
			変動係数	2.6	3.3	5.2	11.4	9.9	8.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数

表 2-4-7 (2) 集成材のめり込み試験結果（構成 2：MOE_{AVG} 区分ラミナ構成）

構成	荷重方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成2	縦使い	30	平均	489	10.5	10.3	5.1	7.6	10.7
			最小	461	10.0	9.0	4.0	5.6	8.9
			最大	519	11.2	11.7	6.1	10.6	13.0
			変動係数	2.9	2.8	5.9	11.4	15.4	10.3
	平使い	30	平均	473	10.5	10.4	5.3	8.5	10.6
			最小	448	9.9	8.7	3.4	6.7	8.7
			最大	502	11.3	14.4	7.1	12.4	13.3
			変動係数	3.1	3.2	9.3	13.8	14.2	10.0

Efr: 縦振動法によるヤング係数

(5) セン断

実大いす型試験で得られたせん断強さと、JISいす型せん断試験で得られたそれとの比は約0.65であった。構成1、構成2とも、せん断させた内層はL60のスギラミナであり、グループ間の差異は少なかった（表2-4-8 (1)、表2-4-8 (2)）。

曲げ型せん断試験における破壊形態は3点曲げせん断試験では曲げ破壊が多く、5点曲げせん断試験ではせん断破壊が多かった。破壊形態別のせん断強さの差異はほとんど認められなかった。

3点曲げ、5点曲げせん断試験結果の差は明らかであるが、構成1と構成2との差異は認められなかった（表2-4-8 (1)、表2-4-8 (2)）。3点曲げ試験の結果得られたせん断強さと、5点曲げ試験で得られたその平均値の比は構成1、構成2とも0.73であった。せん断強さの変動係数はいす型試験、特にJISいす型試験の結果が大きく、曲げ型せん断試験の結果が小さかった。平均値で見るとJISいす型試験結果と5点曲げせん断試験の結果が符合し、実大いす型試験と3点曲げせん断試験で同程度の値が得られた。

表 2-4-8 (1) 集成材のせん断試験結果 (構成 1 : MOE_{AVG} 区分ラミナ構成)

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成1	JIS	30	平均	399	11.3	-	9.0
			最小	329	9.9	-	5.8
			最大	470	12.9	-	11.9
			変動係数	8.5	6.6	-	14.1
	実大 ブロック	30	平均	451	10.9	-	5.8
			最小	428	10.2	-	1.8
			最大	479	12.0	-	8.4
			変動係数	3.2	3.8	-	24.7
	3点曲げ	30	平均	451	11.2	9.5	5.8
			最小	428	10.5	8.4	4.5
			最大	482	11.8	10.3	6.7
			変動係数	3.1	3.3	5.3	8.6
	5点曲げ	30	平均	451	10.9	9.5	7.8
			最小	428	10.2	8.8	6.8
			最大	479	12.0	10.7	9.1
			変動係数	3.2	3.8	5.5	8.1

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 2-4-8 (2) 集成材のせん断試験結果 (構成 2 : MOE_{AVG} 区分ラミナ構成)

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成2	JIS	30	平均	410	11.1	-	8.3
			最小	347	8.8	-	3.6
			最大	474	14.6	-	11.4
			変動係数	8.0	8.9	-	20.1
	実大 ブロック	30	平均	478	10.4	-	5.3
			最小	444	9.8	-	3.0
			最大	505	11.3	-	8.2
			変動係数	3.3	3.0	-	22.9
	3点曲げ	30	平均	474	10.7	10.5	5.7
			最小	446	10.0	9.6	2.8
			最大	497	11.3	12.1	7.1
			変動係数	3.1	2.8	5.3	16.3
	5点曲げ	30	平均	478	10.4	10.7	7.7
			最小	444	9.8	9.6	6.9
			最大	505	11.3	12.2	9.4
			変動係数	3.3	3.0	4.5	9.0

Efr:縦振動法によるヤング係数

(6) その他

ラミナの強度試験から、スギはヤング係数に対する曲げ、引張り等の強度値の比が大きく、ヤング係数が低い割りに強度値は高いが、カラマツはそれらの比が小さく、ヤング係数の割りに強度値が低いことが示された。お互いが補う形での異樹種積層集成材の意義が認められた。

スギ・カラマツ異樹種積層集成材の強度性能がカラマツ単独集成材より劣ることはなかった。

オ 今後の問題点

MOE_{AVG} 区分したカラマツラミナの強度性能は曲げと、特に引張りにおいて JAS 基準を満たさなかった。その原因はヤング係数に対する各強さの比が、スギに比べて小さいことによる。この原因がカラマツ本来の性質なのか、乾燥条件によるものか早急に検討する必要がある。

カ 要約

MOE_{AVG} 区分したスギとカラマツ縦継ぎ (FJ) ラミナの曲げ、圧縮、引張り試験を行った。L110、L100、L90 のカラマツラミナ、L70、L60 のスギラミナの強度試験では曲げと圧縮は等級に応じた性能を示したが、引張りは L60・L70 スギ、L80 カラマツの 3 者はほとんど同じ値であった。JAS の下限値未満のデータがカラマツラミナの曲げと引張りで認められたが、スギではほとんど認められなかった。

最外層、外層、中間層にそれぞれ L110、L100、L90 のカラマツラミナ、内層に L70、L60 のスギラミナを配置した断面 120×300mm の 10 層異樹種積層集成材 (中心上下各 1 層が 1 等級下位であること以外は JAS E95-F270) を製造し、曲げ (8 体)、引張り・圧縮 (各 6 体) の強度試験を行った。曲げでは 3 体が E95-F270 の基準強度 (27.0N/mm²) 未満、引張りでは 6 試験体とも基準強度 (18.6N/mm²) 未満 (基準強度の 9 割程度)、圧縮ではすべてが基準強度 (21.6N/mm²) 以上であった。

また、MOE_{MIN} 縦継ぎラミナの曲げ、引張り試験の結果、曲げ強度、引張り強度とも JAS の基準強度を満たした。

MOE_{MIN} 区分したラミナで製造したカラマツ・スギ異樹種積層集成材およびカラマツ単独集成材の強度試験の結果、曲げ強度はいずれも JAS の基準を満たしたが、引張り強度では JAS の基準に満たない試験体があった。

スギ・カラマツ異樹種積層集成材で 2 種類各 30 体のめり込み試験と 4 種類のせん断試験を行った。めり込み強さの 5% 下限値は 8N/mm² 以上であり、カラマツ集成材の基準強度 (7.8N/mm²) を満たしていると判断できた。JIS いす型せん断試験、実大いす型せん断試験、3 点曲げせん断試験、5 点曲げせん断試験の結果、平均値で見ると JIS いす型試験結果と 5 点曲げせん断試験の結果が符合し、実大いす型試験と 3 点曲げせん断試験で同程度の値が得られた。

キ 引用文献

謝辞

本研究は材料の手配、縦継ぎラミナの製造、集成材の製造すべてを齋藤木材工業 (株) ナガト工場に委託した。大変な便宜をお図り頂いた齋藤健工場長に感謝致します。

(橋爪丈夫)

5 スギ等地域材を用いた異樹種集成材の開発

ア 研究目的

愛媛県を含む四国地方で生産される素材生産量はスギとヒノキの2樹種で、そのほとんどが占められている。スギと比較して強度性能の高いヒノキとの異樹種構成による構造用集成材が製造可能となれば、一般木造住宅における横架材として、国産材による中断面構造用集成材への新たな需要拡大が期待できる。異樹種集成材はスギとヒノキ以外の異樹種構成以外に、先行して多くの検討がなされている。^{1,2)} これら異樹種集成材の信頼性を向上させ、普及につなげていくため、スギ・ヒノキラミナの強度データを収集するとともに、安定的に供給可能なラミナ構成を検討し、その構成により製造されたスギ・ヒノキ異樹種構成による構造用集成材の強度評価を実施する。

イ 研究方法

(1) 曲げ・圧縮・引張

a. 供試原木およびラミナの加工

試験に用いたスギとヒノキによる異樹種構成を図 2-5-1 に示す。スギラミナは久万広域森林組合で製材しているラミナを用いて、グレーディングを行い(飯田工業製:MGFE-251) L40(内層)、L70(中間層)のスギラミナを確保した。なお、グレーディングは最小値表示により区分した。また、ヒノキラミナについては、現在県下でラミナに製材されている比較的低質な原木 3m 材 114 本を購入した。ヒノキ原木の性状は末口径 24.5~27.9~35.5cm(最小~平均~最大)、容積重 360~540~780kg/m³、Efr-log 6.90~10.43~14.34 kN/mm² である。ヒノキ原木は久万広域森林組合で製材・乾燥・グレーディングを行い、L110(外層)、L125(最外層)のヒノキラミナを確保した。各等級のスギ・ヒノキラミナは長さ約 1000mm に切断後、フィンガージョイント(太平製作所製:C66-AB、C74-BA)により加工・縦継ぎを行い(図 2-5-2)、圧縮・曲げ・引張試験体を確保した。なお、接着剤はレゾルシノール接着剤(大鹿振興製:D-40)を使用した。

b. 異樹種集成材の製造

集成材は幅 120mm、材せい 300mm、10ply とし E105 を目標として、積層接着した。積層接着は高周波プレス(太平製作所製:P90-A)により、接着剤塗布量 280g/m²、圧力 10Mpa 時間約 10 分にて圧縮した。なお、縦継ぎ部は曲げ試験体ではモーメント一定区間、引張試験体では中央部 2000mm、圧縮では材端から 120mm 除いた部分に配置した。

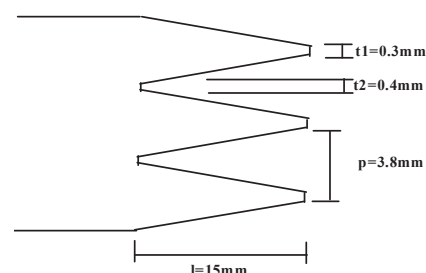
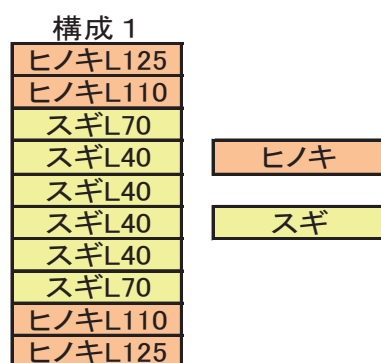


図 2-5-1 集成材のラミナ構成(曲げ・圧縮・縦引張試験)

図 2-5-2 フィンガーの形状

c. ラミナの曲げ・圧縮・引張強度試験

曲げ・圧縮・引張強度試験用集成材のラミナ構成に使用した各等級ラミナの曲げ・圧縮・引張強度試験は各樹種・等級毎に次のとおりである。曲げ試験はスギ L40 : 42 体、L70 : 43 体、ヒノキ L110 : 41 体、L125 : 40 体、圧縮試験はスギ L40 : 42 体、L70 : 43 体、ヒノキ L110 : 41 体、L125 : 40 体、引張試験はスギ L40 : 40 体、L70 : 49 体、ヒノキ L110 : 41 体、L125 : 40 体行い、合計 502 体である。

(2) めり込み

a. 集成材のめり込み強度試験

めり込み試験はエッジワイズ(L=900mm)とフラットワイズ(L=720mm)について実施した。集成材の構成は3種類とし、構成1と構成2は30体ずつ、構成3は12体ずつ、合計エッジワイズ72体、エッジワイズ72体の144体実施した。

構成 1	構成 2	構成 3	
ヒノキL140	ヒノキL125	ヒノキL125	ヒノキ
ヒノキL100	ヒノキL100	スギL100	
スギL40	スギL40	スギL40	スギ
ヒノキL100	ヒノキL100	スギL100	
ヒノキL140	ヒノキL125	ヒノキL125	

図 2-5-3 集成材のラミナ構成（めり込み試験）

(3) せん断

a. ラミナ等級別のせん断試験

スギ・ヒノキの短尺ラミナ(130mm×34mm×1,000mm)を縦振動による弾性係数により等級区分し、いす型せん断試験(JIS)を実施した。等級はスギが L40, L50, L60, L70, L80, L90 の 6 等級、ヒノキ L90, L100, L110, L125 の 4 等級について、各等級 30 体ずつ(スギ L90 は 14 体)、合計スギ 164 体、ヒノキ 120 体実施した。

b. 異樹種構成集成材のせん断試験

せん断試験はいす型せん断試験(実大、JIS)と ISO 方式による 3 点曲げせん断試験を実施した。試験体数は構成 1 と構成 2 は標準試験方法のとおり、いす型せん断試験(JIS、実大)と ISO 方式 3 点曲げによるせん断試験体を各 30 体ずつ、構成 3、構成 4、構成 5、構成 6 は ISO 方式の 3 点曲げせん断試験のみとし、試験体数は構成 3 が 24 体、構成 4 が 9 体、構成 5 と構成 6 は 10 体ずつ実施した。よって、ISO 方式による 3 点曲げ試験体数は合計で 113 体である。曲げ方式によるせん断試験の加圧板は 180×180mm、厚み 19mm を 2 枚配置し、その上に 200×200mm、厚み 30mm の鋼板を介して負荷した。ただ、16ply 材せい 480mm の試験体については、下部支点は 500×500mm 厚み 20mm の鋼板とし、上部加圧版は 200×400mm 厚み 30mm を使用し、負荷による加圧板の試験体へのめり込み量がほぼ同程度になるように調整した。

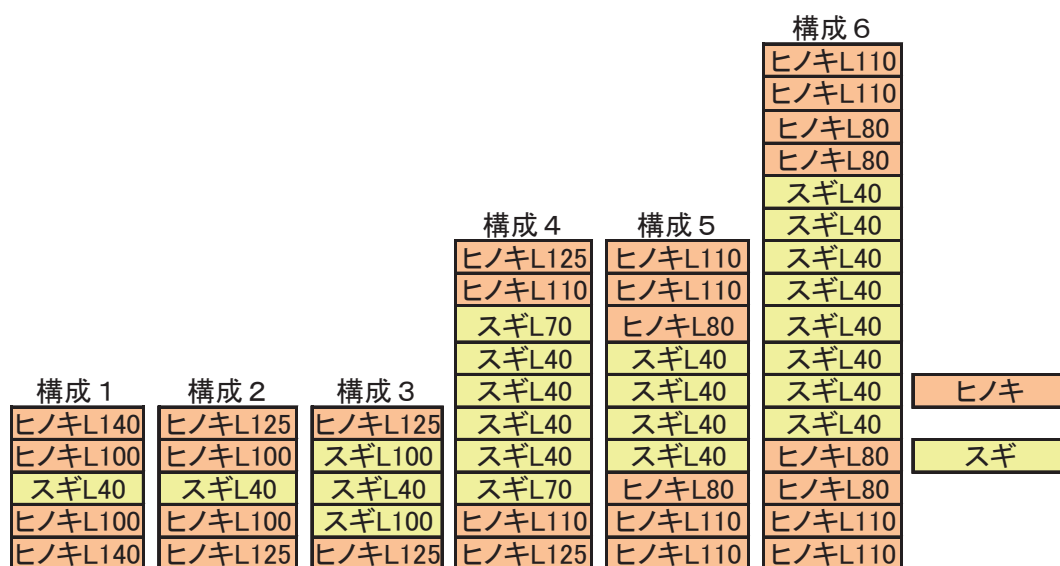


図 2-5-4 集成材のラミナ構成（せん断試験）

ウ 結果

(1) 曲げ

a. ラミナ

ヒノキ原木 114 本から 552 体のラミナを製材しグレーディングした結果を図.2-5-5 に示す。平均 11.03kN/mm^2 、(標準偏差 1.96kN/mm^2)、各等級の出現割合は 10kN/mm^2 未満が全体の 26.8%、 14kN/mm^2 以上のラミナは全体の 4.7%と等級 L140

以上のラミナの確保は困難であった。そのため、ヒノキとスギによる異樹種構成を考える場合、最外層のヒノキラミナは現規格の L125 以下で製造することとなる。なお、グレーディングは飯田工業製：MGFE-251 の最小値表示による。平均値表示のヒノキラミナ 552 体の平均値は 12.32kN/mm^2 、最大値表示では 13.60kN/mm^2 であった。また、ヒノキラミナは原木をだら挽きにて製材し、その際の製材歩止まりは生材時で約 44%であった。各等級のラミナの曲げ強度試験結果を図 2-5-6、表.2-5-1 にまとめて示す。L70、L110、L125 のラミナでは、構造用集成材の基準強度を上回っ

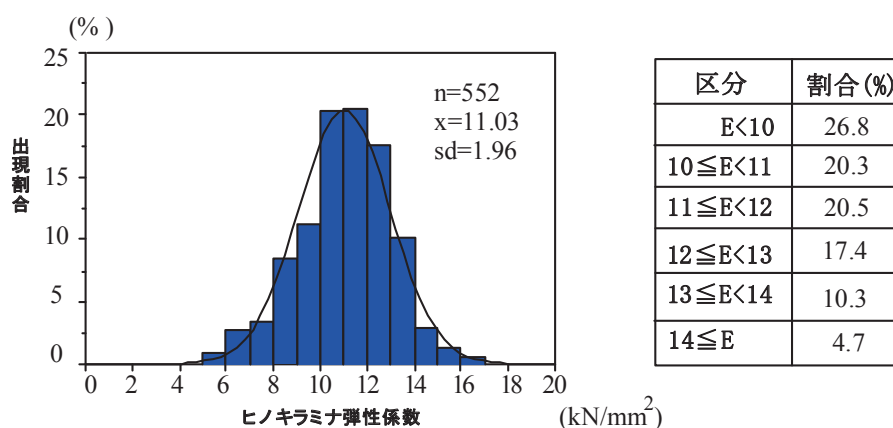


図 2-5-5 ヒノキラミナのグレーディング

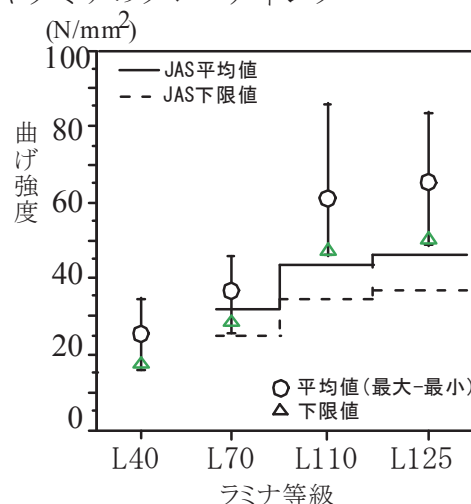


図 2-5-6 ラミナの曲げ試験結果

ていた³⁾。特にヒノキラミナ(L110,L125)は高い曲げ強度を示し、曲げ性能を重視する異樹種集成材では最外層に配置されるヒノキラミナにより、製造される集成材の曲げ強度も高くなることが推測される。また、L40 のスギラミナでは曲げ・引張強度において極端に低い値のラミナが存在した。

表 2-5-1 ラミナの曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
スギ	L40	42	平均	365	8.6	5.2	-	25.0
			最小	296	7.5	3.6	-	15.2
			最大	443	10.1	6.9	-	34.0
			変動係数	9.0	8.5	14.6	-	16.4
	L70	43	平均	373	10.9	7.9	-	35.7
			最小	322	8.9	6.9	-	25.8
			最大	432	14.5	8.8	-	45.3
			変動係数	8.3	9.6	5.8	-	11.8
ヒノキ	L110	41	平均	487	9.3	12.3	-	61.3
			最小	392	7.9	9.4	-	45.5
			最大	558	12.1	16.8	-	85.6
			変動係数	8.6	9.8	10.3	-	13.9
	L125	40	平均	486	9.3	14.0	-	65.0
			最小	424	7.9	12.0	-	49.4
			最大	579	12.2	16.9	-	83.3
			変動係数	7.2	9.6	6.8	-	12.6

Efr:縦振動法によるヤング係数

Eb:曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

b. 集成材

集成材の曲げ試験における破壊形態の特徴として、引張側で生じた亀裂が内層のスギラミナ(L40)の部位でいっきに材端部まで生じた試験体が6体中3体見られた(図 2-5-7)。集成材の曲げ強度試験結果を表 1-1-2 に示す。各試験体を構成しているラミナの弾性係数(Efr)から等価断面法により求められた異樹種集成材の弾性係数は平均で 12.19 kN/mm²であったが、今回の試験で確認された弾性係数(Ed)は 10.6 kN/mm²と等価断面法による数値と比較して低い値であった。



図 2-5-7 曲げ破壊形態

これは、ラミナの弾性係数が動的弾性係数であったこと、試験ではスパン中央部のたわみから弾性係数を求めたためである。

ただし、試験体を製造する際に想定していた E105 の弾性係数は確保できた。また、曲げ強度は E105 の規格値を大きく上回る結果であった(図 2-5-8)。

表 2-5-2 集成材の曲げ試験結果(構成 1)

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成1 スギ ヒノキ	1	396	11.1	9.1	10.6	38.9
	2	392	11.2	9.1	10.9	41.6
	3	409	10.8	9.0	10.7	53.2
	4	406	10.6	8.9	10.7	47.3
	5	399	10.7	9.2	10.3	52.3
	6	408	10.9	8.9	10.3	46.5
平均値		402	10.9	9.0	10.6	46.6
変動係数(%)		1.8	2.1	1.3	2.4	12.2

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

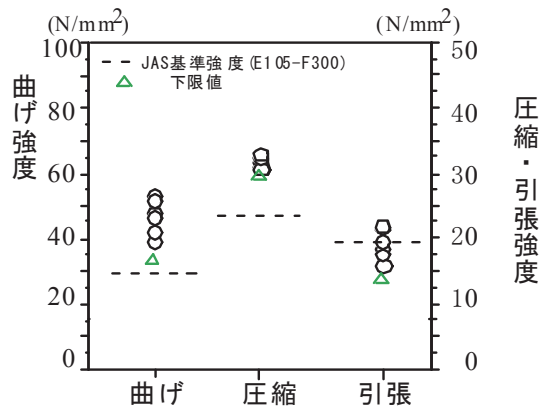


図 2-5-8 集成材の強度試験結果

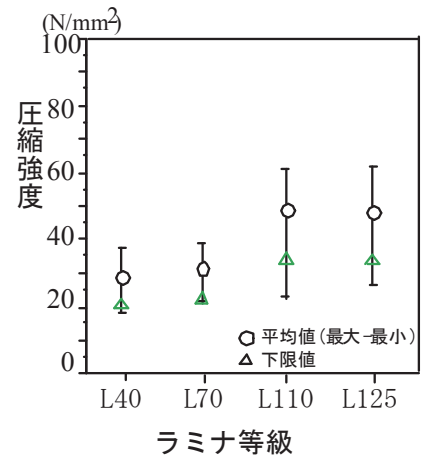


図 2-5-9 ラミナの圧縮試験結果

(2) 縦圧縮

a. ラミナ

ラミナの圧縮試験結果を表 2-5-3 に示す。ラミナの圧縮強度は「針葉樹構造用製材の日本農林規格」による同等级の圧縮基準強度を上回っていた (図 2-5-9)。また、破壊はほとんどが FJ の位置にて生じていた。ラミナの破壊形態を図 2-5-10 に曲げ・圧縮・引張をあわせて表示している。圧縮試験での破壊形態は多い順では FJ、FJ+目切れ、その他 (材端部のつぶれ) となっている。

表 2-5-3 ラミナの縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	縦圧縮強さ (N/mm^2)
スギ	L40	42	平均	366	8.0	5.2	28.6
			最小	300	7.1	3.6	17.7
			最大	489	9.7	6.9	37.7
			変動係数	10.2	6.4	14.6	15.4
	L70	43	平均	376	9.3	7.9	30.9
			最小	301	7.8	6.9	21.9
			最大	493	16.2	8.8	38.9
			変動係数	11.2	13.5	5.8	14.2
ヒノキ	L110	41	平均	480	7.8	12.3	48.0
			最小	386	7.0	9.4	22.9
			最大	569	9.2	16.8	60.8
			変動係数	8.7	6.6	10.3	16.0
	L125	40	平均	484	8.4	14.0	47.7
			最小	409	7.5	12.0	26.4
			最大	582	10.7	16.9	61.3
			変動係数	7.6	6.9	6.8	16.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数

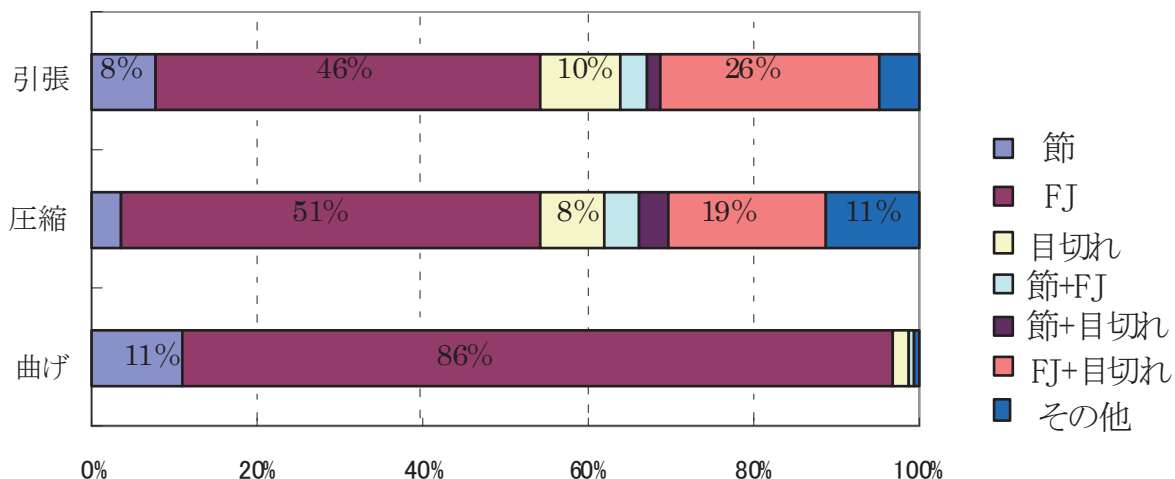


図 2-5-10 ラミナの破壊形態

b. 集成材

集成材の圧縮強度は集成材の曲げ試験と同様に規定値(異等級対象構成集成材 E105-F300)の基準強度を大きく上回る結果であった。事前に 500kN 程度負荷を加えて求めた圧縮弾性係数 (E_c) は動的弾性係数(E_{fr})とほぼ同じ値であった (表 2-5-4)。

表 2-5-4 集成材の縦圧縮試験結果 (構成 1)

構成	No.	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	E_{fr} (kN/mm^2)	E_c (kN/mm^2)	縦圧縮強さ (N/mm^2)
構成1 スギ ヒノキ	1	402	10.4	8.4	8.6	32.6
	2	395	10.6	8.5	9.4	32.0
	3	430	10.4	8.0	7.0	34.2
	4	425	10.7	7.9	7.9	33.0
	5	434	10.4	8.1	8.3	31.5
	6	403	10.8	8.8	7.9	31.5
平均値		415	10.6	8.3	8.2	32.5
変動係数(%)		4.0	16.7	4.2	9.7	3.2

E_{fr} : 縦振動法によるヤング係数、 E_c : 圧縮試験時に測定されたヤング係数

(3) 縦引張り

a. ラミナ

構造用集成材の日本農林規格の基準強度と同程度の強度が得られた (図 2-5-11)。また、曲げ試験と同様に L40 のスギラミナでは極端に低い値を示すものも見られた。L40 のスギラミナは元玉の随近辺で採材されたラミナが多く含まれることから小節が多く、乾燥工程で生じた割れなども影響したものと思われる。破壊形態では FJ での破壊が最も多く、次に FJ+目切れとなっている。FJ+目切れの破壊はヒノキラミナで多く見られた。

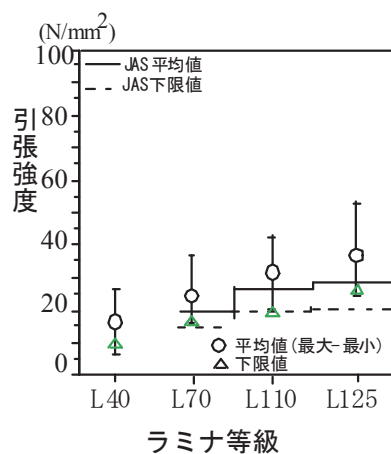


図 2-5-11 ラミナの引張試験結果

表 2-5-5 ラミナの縦引張試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
スギ	L40	40	平均	364	9.5	5.1	16.9
			最小	291	8.0	3.9	6.8
			最大	438	11.3	6.7	26.5
			変動係数	7.9	6.6	12.7	20.1
	L70	49	平均	365	11.7	7.9	24.5
			最小	319	10.3	6.2	16.0
			最大	420	12.8	9.3	36.9
			変動係数	6.8	5.0	6.5	19.6
ヒノキ	L110	41	平均	468	9.9	12.1	30.8
			最小	412	9.0	9.0	20.2
			最大	552	11.4	14.2	42.5
			変動係数	6.4	6.0	9.0	19.2
	L125	40	平均	477	9.4	13.6	35.8
			最小	438	7.1	11.5	24.7
			最大	521	10.8	15.6	52.8
			変動係数	4.8	7.3	7.1	15.9

Efr:縦振動法によるヤング係数

b.集成材

集成材の引張強度は構造用集成材の日本農林規格異等級対象構成集成材 E105-F300 の基準強度を 6 体中 4 体が下回る結果となった。そのため、異樹種構成による集成材の引張強度は現行の基準強度より低くする必要がある（図 2-5-8、表 2-5-6）。

表 2-5-6 集成材の縦引張試験結果（構成 1）

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 スギ ヒノキ	1	405	11.5	8.4	8.9	16.2
	2	403	11.5	8.4	8.6	17.7
	3	419	11.2	8.4	8.4	19.5
	4	399	10.9	8.3	8.2	21.7
	5	399	11.1	8.3	8.3	22.0
	6	406	10.7	8.2	8.0	17.2
平均値		405	11.2	8.3	8.4	19.1
変動係数(%)		1.8	2.9	1.2	3.7	12.7

Efr:縦振動法によるヤング係数、Et:引張試験時に測定されたヤング係数

(4) むり込み

a 集成材

むりこみ試験は 3 種類の構成について実施した。どの構成においてもエッジワイズの方がフラットワイズより高い値となった。スギとヒノキの樹種構成比率が同じで最外層のヒノキラミナの弾性係数が異なる構成 1 と 2 ではむりこみ強度、むりこみ剛性、むりこみ降伏ともほぼ同じ値であった。また、同じ弾性係数のラミナ構成で樹種構成比率が異なる構成 2 と 3 ではスギラミナが多く含まれる構成 3 の方がエッジワイズ、フラットワイズとも低い値とであった（表 2-5-7～9）。しかし、ヒノキのむりこみ基準強度 8.1N/mm² は上回っていた。なお、求められたむりこみ強度は全ての試験体で 20mm むり込んだ時の値である。

表 2-5-7 集成材のめり込み試験結果（構成 1）

構成		試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (kN/mm ³)	めり込み降伏 強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成1	縦使い	30	平均	459	10.8	10.6	4.1	9.1	13.7
			最小	433	9.4	10.0	2.9	6.9	11.1
			最大	500	11.5	11.2	5.1	11.3	15.9
			変動係数	3.6	4.2	3.1	12.9	10.9	4.2
	平使い	30	平均	460	10.7	10.2	4.2	8.3	12.6
			最小	421	9.7	9.2	3.2	6.5	9.8
			最大	492	11.7	10.9	5.2	10.5	15.4
			変動係数	4.0	4.2	3.9	12.9	10.3	10.5

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 2-5-8 集成材のめり込み試験結果（構成 2）

構成		試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛 性 (kN/mm ³)	めり込み降 伏強さ (N/mm ²)	めり込み強 さ (N/mm ²)
構成2	縦使い	30	平均	450	10.7	10.7	3.8	9.5	13.8
			最小	423	9.7	10.0	2.9	7.7	11.2
			最大	501	11.4	11.3	4.6	12.0	16.6
			変動係数	4.0	4.0	2.9	11.0	12.2	9.5
	平使い	30	平均	451	11.0	10.3	4.1	8.0	12.3
			最小	427	10.0	9.1	3.2	6.9	10.3
			最大	506	12.1	10.8	5.1	9.9	15.9
			変動係数	4.0	4.2	3.9	12.9	10.3	10.5

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 2-5-9 集成材のめり込み試験結果（構成 3）

構成		試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛 性 (kN/mm ³)	めり込み降 伏強さ (N/mm ²)	めり込み強 さ (N/mm ²)
構成3	縦使い	12	平均	433	9.8	11.3	3.4	8.3	11.2
			最小	412	9.4	10.9	2.9	6.7	10.0
			最大	462	10.3	11.8	4.1	9.4	12.9
			変動係数	3.6	2.9	2.3	10.6	10.6	7.8
	平使い	12	平均	433	10.0	11.3	3.9	6.6	10.2
			最小	414	9.4	10.9	3.1	5.6	8.6
			最大	457	10.8	11.8	5.1	7.9	11.4
			変動係数	3.1	4.3	2.2	15.7	9.8	8.2

Efr:縦振動法によるヤング係数

(5) セン断

a. ラミナ

ラミナのせん断試験（JIS いす型）の結果、スギラミナは L40～L90、ヒノキラミナは L90～L125 の範囲において、ラミナ等級によるせん断強度の差は認められなかった（図 2-5-12、13）。また、ばらつきについても、等級間で大きな差はなかった。このことは、既報と同様な結果であった⁴⁾。また、ラミナの容積重とそのラミナから採材したせん断強度の間に相関関係（スギ $r=0.61$ 、ヒノキ $r=0.40$ ）が得られた（図 2-5-14）。よって、JIS いす型で評価されたせん断強度はラミナの弾性係数より密度との相関が高く、密度が指標となることがわかった。なお、ラミナのせん断試験では実大断面（120×120mm）での試験を行っていないため、実大でラミナ等級間で差があるかどうかは、今後検討する必要がある。

b. 集成材

構成 1 と構成 2 から採材した JIS いす型実大いす型でのせん断強度の平均値は ($n=60$) 7.2 N/mm² と 6.4 N/mm² であり、同じ集成材から採材した試験体におけるせん断強度の比の（実大/JIS）平均値は 0.93 であり、原因ははっきりしないが、報告されている結果⁵⁾ より高くなって

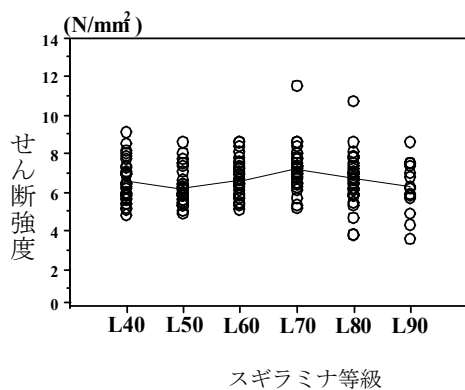


図 2-5-12 スギラミナのせん断

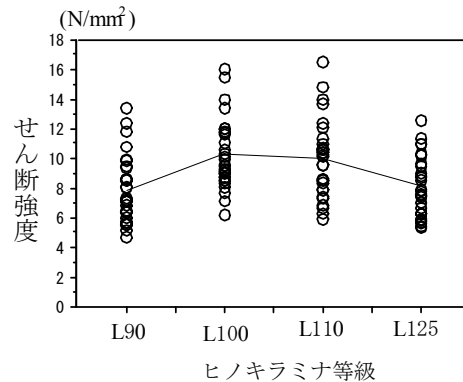


図 2-5-13 ヒノキラミナのせん断強度

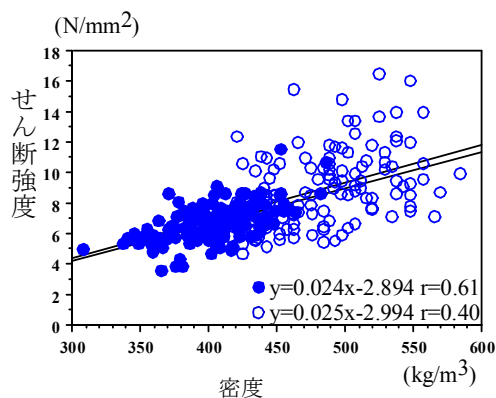


図 2-5-14 せん断強度と密度との関係



図 2-5-15 曲げ破壊状況

いる。3 点荷重による曲げ型せん断試験は、スギのような低比重材では加圧板が材にめり込み、曲げで破壊することが多い⁶⁾ (図 2-5-15)。そのため、新しい評価法などの提案もなされている⁷⁾。今回の試験では試験体数 93 体中 84 体がせん断破壊で破壊した。構成 1 のせん断強度の平均値は 9.0 N/mm^2 、構成 2 では 9.1 N/mm^2 といす型 (実大, JIS) で求めたせん断強度より高い値であった (60 体平均: 曲げ/JIS=1.31、曲げ/実大=1.43)。同じ弾性係数のラミナ構成でスギの比率が高い構成 3 では構成 2 と比べて平均で 7.7 N/mm^2 と低い値となった。そのため、同じ弾性係数でも樹種構成が変われば、3 点曲げで評価されるせん断強度も変わるようになる。このことは、異樹種構成による集成材の信頼性向上する上で注意をする必要がある。また、スギとヒノキラミナが材せいに対して同じ比率で構成されている構成 3 と 4 では材せいが大きい (300mm) 構成 4 が 5.0 N/mm^2 と低い値を示した。異樹種集成材は弾性係数が大きく異なるラミナで構成されている。3 点曲げで生じるせん断応力は軸方向の垂直応力とは作用している面が異なり、垂直応力は弾性係数が異なるラミナの境界面で不連続となるが、せん断応力は作用反作用の関係から境界面で連続して発生し、各ラミナで材せいの中央にて最大のせん断応力が生じる放物線の一部をなす。しかし、実際のせん断破壊は常に材せいの中央ラミナで発生せず、いろいろな部位にて亀裂が生じせん断破壊する (図 2-5-16)。そのため、スギラミナの絶対量が増えるとせん断強度が低くなる結果となったとも考えられる。また、木材強度には寸法効果のあることが指摘されている^{8,9)}。しかし、材せいが 300mm の構成 5 と材せいが 480mm の構成 6 ではほぼ同じせん断強度が得られてい

る。そのため、このせん断強度については、今後さらなる検討が必要と思われる（図 2-5-17）。なお、得られたせん断強度は現在のせん断応力に対する基準強度ヒノキ 3.6 N/mm²、スギ 2.7 N/mm²を全て上回っていた。3点曲げ ISO 方式によるせん断試験における破壊形態は、試験体数 113 体中 94 体がせん断で破壊したが、これは、最外層にヒノキが配置されることにより、加圧板の試験体へのめり込みが抑制されたためと考えられる。加圧板と集成材の下部に変位計を取り付け、めり込み量の測定を行った結果、材せい 300mm(構成 4, 5)のせん断試験において、加力点におけるめり込み応力の平均値は 5.60 N/mm²、6.00 N/mm²であり、めり込み強度試験で求められためり込み降伏強さ(9.10 N/mm²、9.50 N/mm²、8.30 N/mm²)を下回っていた。

表 2-5-10 スギラミナのせん断試験結果(JIS いす型)

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
スギ	L40	30	平均	389	4.5	11.4	6.6
			最小	345	3.7	7.8	4.8
			最大	435	5.0	16.4	9.1
			変動係数	6.6	7.3	17.5	16.5
	L50	30	平均	386	5.5	10.1	6.2
			最小	309	5.0	7.3	4.9
			最大	455	6.0	13.8	8.6
			変動係数	7.8	5.8	12.4	15.1
	L60	30	平均	399	6.5	10.7	6.7
			最小	338	6.0	7.5	5.1
			最大	459	7.0	14.0	8.6
			変動係数	7.5	3.8	13.8	14.6
	L70	30	平均	412	7.5	10.0	7.2
			最小	349	7.1	6.6	5.2
			最大	482	8.0	13.3	11.5
			変動係数	6.1	4.0	14.8	16.3
	L80	30	平均	415	8.4	11.0	6.7
			最小	364	8.0	9.1	3.8
			最大	486	8.9	13.7	10.7
			変動係数	6.2	3.0	11.2	20.6
	L90	14	平均	413	9.3	10.7	6.3
			最小	360	9.1	7.0	3.6
			最大	463	10.0	12.1	8.6
			変動係数	8.0	3.3	12.9	21.8

表 2-5-11 ヒノキラミナのせん断試験結果(JIS いす型)

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
ヒノキ	L90	30	平均	476	9.3	9.6	7.9
			最小	425	7.8	7.3	4.7
			最大	584	10.0	11.9	13.4
			変動係数	8.3	6.1	14.1	28.1
	L100	30	平均	502	10.6	11.9	10.2
			最小	421	10.0	9.1	6.2
			最大	570	11.1	14.3	16.0
			変動係数	8.5	2.8	10.7	22.8
	L110	30	平均	488	11.5	10.3	10.0
			最小	421	11.0	6.7	5.9
			最大	557	12.4	13.1	16.5
			変動係数	7.9	3.0	15.4	26.0
	L125	30	平均	478	12.9	9.9	8.1
			最小	416	12.2	7.9	5.3
			最大	548	13.9	11.4	12.6
			変動係数	8.0	3.0	10.1	25.0

表 2-5-12 集成材のせん断試験結果（構成 1）

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成1	JIS	30	平均	311	10.4	—	7.1
			最小	256	6.2	—	4.5
			最大	373	12.0	—	9.2
			変動係数	8.4	12.6	—	17.6
	実大 ブロック	30	平均	435	11.8	—	6.6
			最小	392	10.8	—	4.0
			最大	485	12.6	—	9.4
			変動係数	5.7	4.1	—	16.4
	3点曲げ	30	平均	456	10.8	10.7	9.0
			最小	428	9.8	9.9	7.2
			最大	487	11.6	11.4	11.2
			変動係数	3.1	3.9	3.1	10.3

Efr:縦振動法によるヤング係数

表 2-5-13 集成材のせん断試験結果（構成 2）

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成2	JIS	30	平均	320	10.6	—	7.2
			最小	274	9.1	—	4.4
			最大	425	13.2	—	9.8
			変動係数	11.3	10.1	—	18.0
	実大 ブロック	30	平均	439	10.9	—	6.3
			最小	389	10.0	—	3.6
			最大	500	12.2	—	7.7
			変動係数	5.6	5.3	—	14.1
	3点曲げ	30	平均	458	10.8	10.5	9.1
			最小	432	9.8	9.1	6.6
			最大	489	11.5	11.2	11.1
			変動係数	2.8	3.5	4.3	12.4

Efr:縦振動法によるヤング係数



図 2-5-16 せん断破壊状況

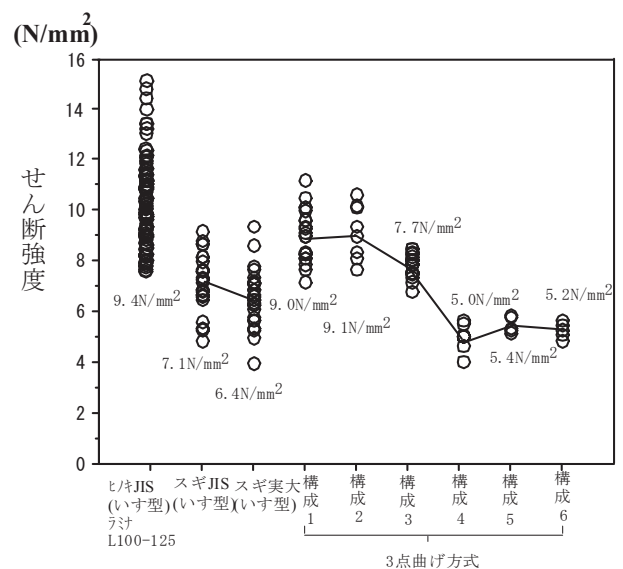


図 2-5-17 せん断破壊状況

表 2-5-14 集成材のせん断試験結果（構成 3 ～ 6）

構成	試験の種類	試験体数	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成3	3点曲げ	24	平均	433	9.8	11.2
			最小	391	9.2	10.5
			最大	457	10.6	11.7
			変動係数	3.7	3.8	2.6
構成4	3点曲げ	9	平均	414	8.7	11.0
			最小	385	8.1	10.7
			最大	448	9.5	11.2
			変動係数	3.0	2.9	1.9
構成5	3点曲げ	10	平均	436	10.1	8.3
			最小	419	9.6	7.8
			最大	450	11.1	8.8
			変動係数	2.2	4.3	3.7
構成6	3点曲げ	10	平均	433	11.3	7.5
			最小	410	9.6	7.1
			最大	442	12.5	8.0
			変動係数	2.2	7.2	3.8

Efr:縦振動法によるヤング係数

エ 今後の問題点

本事業において、様々な樹種の組み合わせによる異樹種集成材や各構成ラミナの強度データが全国的に数多く取り揃えられた。しかし、異樹種集成材が社会的にもっと認識され、普及するためには、さらなる強度データ及び製造システムの検討が必要である。愛媛県が担当したスギとヒノキの異樹種集成材では最外層・外層に配置されるヒノキラミナの収集方法やヒノキ低質原木の強度データ等を追加して検討・収集する必要がある。近年、ヒノキは集成材用ラミナとしての流通が始まっており、異樹種集成材が一般的に使用され始めることにより、さらなる流通量の増大が期待できる。また、ヒノキは戦後植栽された人工林の齢級が上がってきており、そろそろ本格的な伐期を迎えようとしている状況にある。よって、ヒノキ原木の伐採搬出コストの低減を図るとともに、伐採搬出される様々な径級や形状により製材品や集成材・合板等へのヒノキ原木の流通システムを構築していくことが必要となってくる。また、ラミナ製造における製材コストの低減を図るとともに、幅はぎラミナなどへの加工を進め、歩止まりの向上や低コスト化に向けた取り組みも必要である。これらの低コスト化はスギラミナについても同様に必要なことではあるが、資源量からしてヒノキラミナの収集方法の確立が優先されるべきと考える。

オ 要約

愛媛県はスギとヒノキの組み合わせによる異樹種集成材および各ラミナの強度データの収集を行った。曲げ性能を重視した異樹種集成材において、スギとヒノキによる異樹種構成では E95 もしくは E105 が製造可能であること、また、横架材として、十分な各性能を有していることが判明した。しかし、さらなる強度データの収集および製造システムの確立を図り、普及していくことが必要である。

カ 引用文献

- 1) 山佐木材（株）：異樹種集成材開発事業報告書(2000)
- 2) 森岡眞子、山角達也、村田 忠、森俊宏：異樹種集成材システム開発、鹿児島県工業技術センター研究報告、57-59（2002）
- 3) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－、402－405（2006）
- 4) 森田秀樹、藤元嘉安、村瀬安英：宮崎県産低曲げヤング係数スギラミナの実大ブロックせん断性能評価、木材工業、VOL61、N02、52－57(2006)
- 5) 井道裕史、長尾博文、加藤英雄：実大いす型せん断治具を用いたスギ製材品のせん断強度の評価、木材学会誌、VOL50、N04、220－227
- 6) 森田秀樹、藤元嘉安、飯村 豊、荒武志朗：宮崎県産低曲げヤング係数スギラミナのめり込み及びせん断性能、木材工業、VOL58、N07、311－316(2003)
- 7) 森田秀樹、藤元嘉安、小松幸平、村瀬安英：実大構造用木材のせん断試験法の開発、木材学会誌、VOL52、N06、376－382(2006)
- 8) 鈴木直之：木材強度の寸法効果、木材工業 VOL52、N06、278－282（1997）
- 9) 林 知行、宮武 敦、宮原久光：スギラミナの引張強度における寸法効果、木材工業、VOL52、N01、15－19(1997)

（藤田誠、田中誠）

6 スギ及びベイマツによる異樹種積層集成材の製造と強度性能

ア 研究目的

スギ及びベイマツの非等厚ラミナ構成による新集成材の製造方法を開発し、曲げ、縦引張、縦圧縮、せん断、めり込み強度の評価を行い、適正製造条件とその強度関係、さらに破壊条件を明らかにする。これにより試験法や評価法が確立でき、シミュレーションの基礎データが提供できる。

ラミナの強度性能と新集成材の強度性能データを十分に収集し、JAS の基準値や強度等級、国交省告示の基準強度として提案する。

イ 研究方法

異樹種集成材メーカーの協力を得て、標準厚さのスギラミナ L 等級 30 から 80、及びベイマツラミナ L 等級 90 から 160 の曲げヤング係数と曲げ強さの関係、標準厚さのラミナの曲げ、縦引張、縦圧縮の各ヤング係数及び強さの関係、めり込み及びせん断強さを明らかにする。さらに、15mm 厚さのフィンガージョイント(以下 FJ)ラミナを 2 枚積層接着し、FJ 避距と強度性能の関係を検証する。また、新集成材の曲げ、縦引張、縦圧縮、めり込み及びせん断の各強度性能を明らかにする。

ラミナの製造条件は MSR(Metriguard 製)により L30 から L125 は average、L140、L160 は average 及び low point により選別した。FJ の形状は、FJ 長 15mm、スカーフ傾斜比 1/9.4、FJ 先端厚さ 0.4mm、FJ 底部幅 0.3mm、FJ 用接着剤はメラミン系樹脂である。

(1) 曲げ

ラミナの試験条件として、支点間距離は厚さの 21 倍、荷重点間距離は厚さの 7 倍の 3 等分点 4 点荷重方式、FJ を 1 箇所中央配置、厚さ 30mm、21mm、15mm の 3 種類×11L 等級である。集成材の試験条件としては、支点間距離は厚さの 18 倍、荷重点間距離は厚さの 4 倍の 4 点荷重方式である。試験体は E120-F330 相当の構成 1(全ラミナ厚 30mm)、構成 2(ベイマツラミナ厚 15mm、スギラミナ厚 30mm)、構成 3(ベイマツラミナ厚 30mm、スギラミナ厚 15mm) の 3 タイプ(図 2-6-1 参照)×6 体である。

(2) 縦圧縮

ラミナの試験条件として、試験体長 180mm、標点間距離 60mm、各面に変位計 4 箇所、FJ を 1 箇所中央配置、厚さ 30mm×11L 等級である。

集成材の試験条件として、試験体長 630mm、標点間距離 210mm、長辺の面に変位計 2 箇所、構成 1 から 3 の 3 タイプ(図 2-6-1 参照)×6 体である。

(3) 縦引張り

ラミナの試験条件として、チャック間距離 600mm、標点間距離 200mm、変位計 2 箇所、FJ 1 箇所中央配置、厚さ 30mm×11L 等級である。

集成材の試験条件として、チャック間距離 1800mm、標点間距離 1000mm、変位計 2 箇所、構成 1 から 3 の 3 タイプ(図 2-6-1 参照)×6 体である。

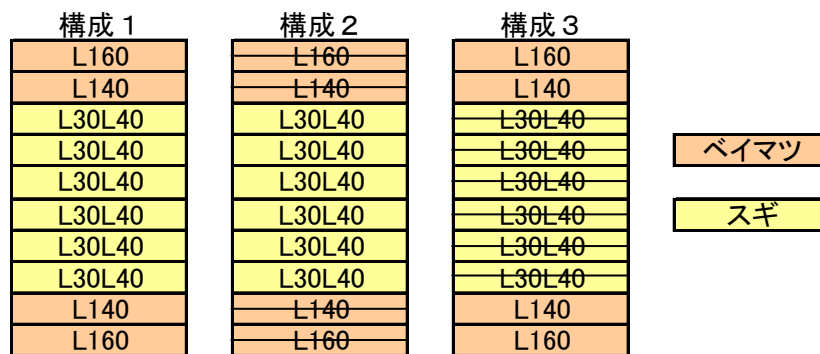


図 2-6-1 集成材のラミナ構成（曲げ、縦圧縮、縦引張り試験）

(4) めり込み

ラミナの試験条件として、縦使い、平使いとも高さの 6 倍の材長、90mm 幅、R=3mm の加圧板、厚さ 30mm×11L 等級×2 種類である。

集成材の試験条件として、縦使い、平使いとも高さの 6 倍の材長、90mm 幅、R=3mm の加圧板、構成 1 から 3 の 3 タイプ（図 2-6-2 参照）×35 体×2 種類

(5) せん断

ラミナの試験条件として、JIS いす型、せん断面 30mm×30mm、11L 等級である。

集成材の試験条件としては、水平せん断試験は試験体長 750mm、3 点曲げ方式で加力点は鋼板（180mm 角、厚 19mm）を試験材中央上部左右に 2 枚並べ、その上の中央に 1 枚を重ねた。実大いす型せん断試験は、せん断面 120mm×120mm、JIS いす型せん断試験は、せん断面 25mm×25mm である。構成 1 から 3 の 3 タイプ（図 2-6-2 参照）×35 体を測定した。

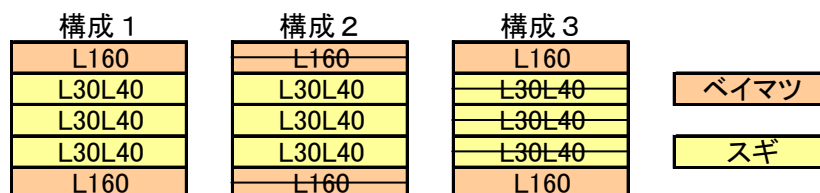


図 2-6-2 集成材のラミナ構成（めり込み、せん断試験）

(6) その他

厚さの薄いラミナの FJ 避距が縦引張り強さに影響があるかを検証するため、15mm 厚 FJ ラミナ 2 枚積層材（積層はレゾルシノール系樹脂）の縦引張り試験を行った。試験条件として、チャック間距離 600mm、標点間距離 400mm、変位計 2 箇所、L160 積層接着後のラミナ FJ 避距 0、30、75、100、150、200、225、300mm の 8 種類とした。

ウ 結果 エ 考察

(1) 曲げ

a. ラミナ

等厚ラミナの各試験から、曲げヤング係数と曲げ強さや曲げ強さと密度の間に相関があること

が分かった。非等厚ラミナの曲げ試験結果では3種類の厚さにおいて、ともに同様の回帰式と高い決定係数が得られた¹⁾。

表 2-6-1 (1) ラミナ (30mm 厚) の曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
スギ 厚30mm	L30	65	平均	421	10.5	3.8	3.5	29.4
			最小	338	8.7	2.5	2.6	16.3
			最大	483	12.7	6.2	4.7	47.5
			変動係数	7.2	8.1	17.4	13.2	19.3
	L40	73	平均	416	9.4	4.6	4.1	30.7
			最小	339	8.0	3.2	2.9	20.7
			最大	468	11.1	6.3	5.6	42.7
			変動係数	7.0	8.5	11.9	11.0	18.6
	L50	40	平均	395	11.4	5.4	5.2	30.9
			最小	327	9.3	3.0	3.8	18.8
			最大	497	12.4	6.8	6.8	59.2
			変動係数	11.0	8.2	15.7	13.4	29.7
	L60	40	平均	382	9.9	6.4	6.0	29.9
			最小	325	8.9	5.4	5.1	20.6
			最大	549	12.4	7.3	6.9	40.2
			変動係数	11.9	7.1	7.6	8.8	15.0
	L70	40	平均	403	10.8	7.4	6.8	35.7
			最小	335	10.3	5.3	4.2	21.4
			最大	531	11.8	8.7	9.1	59.7
			変動係数	12.5	3.7	8.8	12.4	24.4
	L80	40	平均	421	11.3	8.9	8.2	40.4
			最小	353	10.2	5.7	5.7	28.0
			最大	528	12.4	11.6	11.2	60.3
			変動係数	10.2	4.4	10.3	11.7	18.8
ベイマツ 厚30mm	L90	43	平均	481	11.8	12.0	10.7	47.3
			最小	432	10.3	10.6	8.7	32.7
			最大	554	13.4	13.4	12.6	59.0
			変動係数	6.8	7.2	6.9	7.9	13.6
	L110	43	平均	500	11.2	13.4	12.3	52.5
			最小	441	9.9	11.5	11.2	36.3
			最大	589	12.4	15.3	13.8	78.3
			変動係数	6.3	5.4	7.7	4.6	15.2
	L125	43	平均	517	11.8	14.9	13.6	57.9
			最小	471	10.4	12.0	10.5	38.3
			最大	617	13.9	16.3	15.4	74.5
			変動係数	4.7	7.0	6.4	5.8	14.1
	L140	43	平均	537	11.8	16.5	15.1	62.3
			最小	470	10.2	15.0	12.3	47.4
			最大	600	13.0	17.9	16.4	80.0
			変動係数	5.0	5.1	5.1	5.8	13.4
	L160	43	平均	527	10.9	18.6	17.0	73.3
			最小	469	9.5	16.1	14.4	50.4
			最大	665	12.3	20.9	19.4	100.5
			変動係数	6.7	5.0	6.7	6.3	13.5

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

表 2-6-1 (2) ラミナ (21mm 厚) の曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
スギ 厚21mm	L30	30	平均	425	9.8	3.8	3.5	31.5
			最小	359	8.4	3.1	2.8	19.1
			最大	483	11.9	4.9	4.5	43.4
			変動係数	7.4	8.8	11.6	13.0	18.3
	L40	30	平均	412	9.3	4.6	4.4	31.7
			最小	360	8.3	3.7	3.7	22.0
			最大	486	10.9	6.0	5.7	42.2
			変動係数	8.8	7.7	11.1	11.1	19.7
	L50	43	平均	373	10.1	5.6	5.3	27.0
			最小	312	8.6	4.4	4.2	21.4
			最大	422	13.0	6.6	6.4	36.5
			変動係数	6.1	9.2	7.4	8.5	12.5
	L60	43	平均	366	10.1	6.3	6.0	28.3
			最小	320	8.6	4.8	4.3	21.0
			最大	515	13.0	7.6	7.3	42.9
			変動係数	9.4	9.2	11.1	12.3	13.6
	L70	43	平均	377	8.9	7.6	7.2	31.6
			最小	313	6.6	6.2	5.9	24.4
			最大	432	13.6	9.3	8.7	40.3
			変動係数	6.9	11.1	7.6	8.0	12.4
	L80	43	平均	410	9.6	9.4	8.9	37.7
			最小	359	8.0	6.6	6.5	16.0
			最大	464	11.9	12.8	12.0	52.9
			変動係数	6.5	8.3	11.6	11.2	18.4
ペイマツ 厚21mm	L90	43	平均	473	11.0	10.8	10.3	45.9
			最小	390	9.8	8.7	8.0	31.0
			最大	578	13.6	13.8	13.7	62.9
			変動係数	7.8	6.9	11.3	11.2	17.4
	L110	43	平均	509	11.4	14.0	13.4	58.0
			最小	443	8.9	10.8	10.3	39.3
			最大	595	14.0	16.6	16.0	71.4
			変動係数	6.9	11.3	10.0	8.9	13.0
	L125	43	平均	497	11.3	14.5	13.1	58.1
			最小	410	9.1	11.8	11.5	39.1
			最大	565	14.9	16.9	15.5	74.2
			変動係数	6.7	12.2	10.4	6.0	13.0
	L140	43	平均	527	10.1	16.1	14.7	65.8
			最小	475	7.5	13.4	12.8	34.8
			最大	659	14.3	17.5	16.0	90.7
			変動係数	7.4	16.2	5.3	5.1	15.5
	L160	43	平均	568	11.2	17.7	16.4	72.2
			最小	478	8.4	15.7	14.8	58.3
			最大	671	13.9	20.4	18.9	92.0
			変動係数	7.1	11.4	5.5	5.5	11.1

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

表 2-6-1 (3) ラミナ (15mm 厚) の曲げ試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
スギ 厚15mm	L30	31	平均	416	9.4	3.9	4.1	35.1
			最小	338	6.8	3.0	3.3	23.4
			最大	476	12.6	4.8	4.9	44.0
			変動係数	9.3	12.3	11.9	12.8	16.5
	L40	30	平均	419	8.8	4.7	4.9	36.7
			最小	368	7.6	3.8	4.0	26.8
			最大	457	10.1	5.9	5.8	50.5
			変動係数	5.8	8.2	11.0	9.7	18.0
	L50	45	平均	364	9.1	5.4	5.7	29.8
			最小	255	8.1	4.4	4.6	20.7
			最大	437	12.3	7.2	6.9	44.3
			変動係数	8.6	7.4	9.3	9.0	16.5
	L60	40	平均	365	10.3	6.2	6.5	31.7
			最小	328	9.3	4.2	4.4	21.4
			最大	445	13.3	7.3	7.7	43.7
			変動係数	7.6	7.7	9.2	10.3	14.9
	L70	40	平均	361	7.4	7.3	7.5	34.3
			最小	303	4.7	5.8	5.9	25.3
			最大	407	9.2	8.3	9.2	46.2
			変動係数	6.9	9.7	7.5	8.1	16.2
	L80	40	平均	387	7.2	9.0	9.1	42.4
			最小	337	4.5	6.8	7.0	32.2
			最大	439	10.0	10.7	11.0	53.9
			変動係数	6.5	17.3	8.6	8.5	12.9
ペイマツ 厚15mm	L90	43	平均	472	10.1	10.8	10.1	47.1
			最小	384	7.1	9.1	7.5	18.2
			最大	580	12.8	12.8	12.1	63.6
			変動係数	8.5	13.1	8.0	9.6	18.5
	L110	43	平均	506	8.7	14.6	13.7	58.0
			最小	436	6.3	11.6	9.8	32.8
			最大	573	12.3	18.3	16.8	74.4
			変動係数	6.5	16.1	11.3	11.6	16.9
	L125	43	平均	503	11.3	14.4	13.4	62.4
			最小	454	8.6	12.7	11.0	36.4
			最大	601	14.7	15.4	15.1	77.7
			変動係数	6.6	17.0	4.8	6.8	13.2
	L140	43	平均	539	12.1	15.7	15.0	72.0
			最小	483	8.9	14.0	13.0	53.4
			最大	600	14.8	17.4	16.6	85.1
			変動係数	4.6	12.1	5.2	5.4	10.1
	L160	43	平均	566	10.9	17.9	16.9	78.3
			最小	499	8.2	15.7	14.7	54.3
			最大	638	13.3	19.8	18.8	95.5
			変動係数	5.6	12.1	5.3	5.9	11.8

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Eb: 曲げ試験時に測定した曲げヤング係数

b. 集成材

曲げ強さにばらつきが少なく、構成の違いによる差はほとんどなかった。ラミナの試験結果からベイマツの L160、L140 に注目したとき、集成材にそのばらつきがそのまま反映されているように考えられる。そのため、新集成材の強度性能について、ラミナの厚さによる差がないことが明らかになった。

表 2-6-2 集成材の曲げ試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成1 スギ ベイマツ	1	507	13.1	10.1	14.0	47.8
	2	491	12.7	9.8	13.9	50.3
	3	496	13.1	10.2	13.9	53.6
	4	499	12.9	10.4	13.9	47.2
	5	493	12.3	10.4	14.1	49.0
	6	503	12.9	10.0	13.8	50.5
平均値		498	12.8	10.1	13.9	49.7
変動係数(%)		1.2	2.3	2.2	0.8	4.6
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成2 スギ ベイマツ	1	476	12.2	9.8	12.7	41.8
	2	483	12.2	9.7	12.8	43.0
	3	479	11.7	9.8	13.1	44.8
	4	477	11.8	9.8	12.7	41.0
	5	484	11.4	9.7	13.1	41.0
	6	480	12.6	9.6	12.5	46.7
平均値		480	12.0	9.7	12.8	43.1
変動係数(%)		0.7	3.4	1.0	2.0	5.3
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Eb (kN/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)
構成3 スギ ベイマツ	1	498	13.0	9.9	13.1	44.8
	2	497	12.7	10.2	13.7	44.2
	3	498	12.5	10.2	13.7	46.5
	4	479	12.4	10.0	13.2	40.5
	5	504	13.0	10.1	13.6	53.4
	6	498	12.8	9.9	13.1	46.1
平均値		496	12.7	10.0	13.4	45.9
変動係数(%)		1.8	2.0	1.1	2.0	9.2

Efr:縦振動法によるヤング係数、Eb:曲げ試験時に測定された曲げヤング係数

(2) 縦圧縮

a. ラミナ

曲げヤング係数と縦圧縮ヤング係数との間で、相関が特に高く、また、曲げヤング係数と縦圧縮強さ、縦圧縮ヤング係数と縦圧縮強さとの間にも相関があることがわかった。

表 2-6-3 ラミナの縦圧縮試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)	Ec (kN/mm ²)
スギ	L30	40	平均	420	10.7	3.7	25.1	3.7
			最小	356	9.2	3.0	20.4	2.6
			最大	470	12.3	4.6	33.3	4.8
			変動係数	7.2	6.6	9.6	11.8	15.1
	L40	40	平均	414	9.8	4.4	27.5	4.6
			最小	344	8.4	3.6	22.2	3.1
			最大	481	11.9	5.2	33.4	6.7
			変動係数	7.6	7.0	9.6	9.0	16.8
	L50	40	平均	424	12.1	6.0	31.6	6.1
			最小	332	10.9	5.1	24.8	4.1
			最大	536	12.9	6.9	37.8	8.8
			変動係数	11.3	4.4	8.8	11.7	15.6
	L60	40	平均	404	10.3	6.5	32.2	7.2
			最小	322	9.4	5.1	26.5	4.7
			最大	478	11.0	9.1	40.1	9.1
			変動係数	10.9	4.3	12.5	11.1	14.8
	L70	40	平均	434	11.0	7.6	36.7	8.7
			最小	358	10.4	5.9	29.8	6.1
			最大	517	12.1	9.1	45.0	12.2
			変動係数	10.2	3.7	11.3	10.4	17.6
	L80	40	平均	441	11.3	8.9	38.6	10.7
			最小	342	10.4	7.3	30.6	6.4
			最大	554	12.3	11.0	51.4	18.4
			変動係数	10.4	4.1	11.3	12.0	24.3
ベイマツ	L90	40	平均	487	12.1	12.1	41.8	11.7
			最小	421	11.4	10.1	33.1	6.7
			最大	596	13.4	14.5	49.4	17.5
			変動係数	8.8	3.8	11.6	9.8	19.4
	L110	40	平均	500	12.0	14.0	46.0	14.1
			最小	451	10.8	11.1	37.8	10.0
			最大	574	14.2	16.3	52.9	20.1
			変動係数	6.5	6.8	7.9	8.5	14.4
	L125	40	平均	509	11.7	14.8	48.5	15.5
			最小	478	10.6	14.0	40.5	10.1
			最大	543	13.7	16.6	54.5	22.8
			変動係数	3.1	6.1	3.7	6.1	13.5
	L140	40	平均	547	11.9	15.9	52.6	17.0
			最小	486	10.4	14.9	46.6	11.2
			最大	638	13.2	17.8	58.9	25.0
			変動係数	5.8	6.1	4.5	6.8	18.6
	L160	40	平均	599	12.9	18.2	56.8	20.0
			最小	524	12.0	14.7	50.6	13.2
			最大	705	14.0	20.6	62.8	29.3
			変動係数	5.5	3.9	8.1	5.3	16.2

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Ec: 縦圧縮試験時に測定した縦圧縮ヤング係数

b. 集成材

縦圧縮試験では、全体的に縦圧縮ヤング係数にばらつきがあり、縦圧縮強さはどの構成もほぼ同じであった。

表 2-6-4 集成材の縦圧縮試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成1 スギ ベイマツ	1	491	12.1	—	9.7	34.7
	2	493	11.9	—	8.8	32.5
	3	522	12.8	—	9.9	36.5
	4	488	11.7	—	10.9	35.0
	5	486	11.9	—	9.5	34.3
	6	488	11.6	—	9.4	36.3
平均値		495	12.0	—	9.7	34.9
変動係数(%)		2.7	3.8	—	7.3	4.2
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成2 スギ ベイマツ	1	488	12.8	—	8.9	32.2
	2	481	12.2	—	8.7	35.3
	3	481	12.2	—	9.1	34.0
	4	490	12.1	—	8.3	35.6
	5	463	12.0	—	7.9	36.3
	6	490	12.2	—	9.0	35.0
平均値		482	12.3	—	8.7	34.7
変動係数(%)		2.1	2.3	—	5.2	4.1
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Ec (kN/mm ²)	縦圧縮強さ (N/mm ²)
構成3 スギ ベイマツ	1	501	13.5	—	7.9	33.3
	2	501	13.1	—	8.6	35.0
	3	513	13.0	—	9.7	35.5
	4	490	12.8	—	10.0	33.9
	5	494	12.5	—	9.5	34.5
	6	486	12.4	—	9.3	35.0
平均値		497	12.9	—	9.2	34.5
変動係数(%)		1.9	3.3	—	8.3	2.4

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Ec: 縦圧縮試験時に測定されたヤング係数

(3) 縦引張り

a. ラミナ

曲げヤング係数と縦引張りヤング係数との間で、相関が特に高く、また、曲げヤング係数と縦引張り強さ、縦引張りヤング係数と縦引張り強さとの間にも相関があることがわかった。

表 2-6-5 ラミナの縦引張り試験結果

樹種	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)	Et (kN/mm ²)
スギ	L30	40	平均	430	10.3	3.7	18.0	3.2
			最小	380	8.4	2.8	11.0	2.4
			最大	471	12.8	5.0	28.5	4.7
			変動係数	5.3	7.5	14.5	20.1	14.6
	L40	40	平均	416	9.3	4.6	19.7	4.2
			最小	353	8.3	2.7	11.9	2.8
			最大	471	10.5	5.8	26.7	5.3
			変動係数	7.5	6.1	13.1	18.7	12.6
	L50	40	平均	383	11.7	5.6	21.3	5.4
			最小	313	10.9	4.6	12.2	3.9
			最大	494	13.1	8.2	34.3	9.1
			変動係数	10.2	5.1	13.1	26.7	17.3
	L60	42	平均	386	9.6	6.5	21.4	6.1
			最小	313	8.7	5.0	14.4	4.2
			最大	488	10.5	7.5	33.8	8.1
			変動係数	12.5	3.8	8.2	21.2	11.9
	L70	42	平均	395	11.2	7.7	24.2	7.1
			最小	329	9.5	6.3	16.3	5.9
			最大	485	12.9	11.6	36.6	8.7
			変動係数	12.0	7.9	10.3	21.4	8.6
	L80	40	平均	411	11.9	9.3	29.7	9.0
			最小	338	11.0	5.8	20.9	5.4
			最大	517	12.9	12.6	47.0	11.9
			変動係数	10.1	3.9	13.6	20.1	15.2
ベイマツ	L90	41	平均	487	12.1	11.8	32.7	11.5
			最小	440	10.3	9.1	18.7	9.4
			最大	579	14.8	13.6	47.0	14.2
			変動係数	6.8	7.8	8.3	21.0	8.6
	L110	40	平均	505	11.5	13.1	37.7	12.7
			最小	464	10.1	11.0	23.3	9.1
			最大	588	13.1	14.5	51.5	16.9
			変動係数	6.2	5.8	6.8	18.1	11.8
	L125	42	平均	509	11.5	14.7	39.2	14.5
			最小	454	9.8	13.2	22.4	11.8
			最大	562	13.9	16.1	50.2	17.6
			変動係数	4.9	7.3	4.8	15.8	8.8
	L140	42	平均	543	11.6	16.4	42.7	15.8
			最小	480	10.1	14.5	26.4	12.3
			最大	578	13.5	18.4	52.8	20.0
			変動係数	3.9	6.5	5.4	14.6	10.1
	L160	40	平均	591	12.5	18.4	48.9	17.6
			最小	548	11.4	16.6	37.6	14.0
			最大	670	14.0	20.5	62.8	21.1
			変動係数	5.1	5.6	5.1	13.7	8.7

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Et: 縦引張り試験時に測定した縦引張りヤング係数

b. 集成材

縦引張り試験では、ベイマツラミナの厚さを 15mm とした構成 2 については、縦引張り強さの変動係数低減を期待したが、厚さ 30mm ラミナを使用した比較用の構成 1 のほうが変動係数は低かった。

表 2-6-6 集成材の縦引張り試験結果

構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成1 スギ ベイマツ	1	510	12.5	9.7	9.3	25.9
	2	497	12.5	10.3	9.9	26.3
	3	495	12.7	9.8	9.1	27.1
	4	491	12.5	10.1	9.7	25.4
	5	492	12.4	9.9	9.5	29.2
	6	501	12.7	9.9	9.5	27.5
平均値		498	12.5	9.9	9.5	26.9
変動係数(%)		1.4	0.9	2.4	3.0	5.1
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成2 スギ ベイマツ	1	472	11.7	9.6	9.3	26.7
	2	480	11.8	9.5	9.2	26.4
	3	477	11.8	9.7	9.3	27.0
	4	478	—	9.5	9.0	27.8
	5	489	11.9	9.6	9.3	24.5
	6	483	11.7	9.7	9.4	22.5
平均値		480	11.8	9.6	9.2	25.8
変動係数(%)		1.2	0.8	0.7	1.7	7.6
構成	No.	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	Et (kN/mm ²)	縦引張り強さ (N/mm ²)
構成3 スギ ベイマツ	1	497	12.3	9.8	9.3	24.0
	2	486	12.5	10.0	9.6	21.7
	3	503	12.5	9.9	9.5	28.1
	4	493	12.3	9.8	9.4	26.2
	5	494	12.3	9.9	9.4	26.0
	6	492	12.7	9.7	9.3	28.1
平均値		494	12.4	9.8	9.4	25.7
変動係数(%)		1.1	1.3	0.9	1.2	9.6

Efr: 縦振動法によるヤング係数、Et: 縦引張り試験時に測定されたヤング係数

(4) めり込み

a. ラミナ

ラミナのめり込み試験の結果、ラミナのめり込み強さ、めり込み降伏強さは、曲げヤング係数と相関はなく、密度との相関の方が高いことが分かった。しかし、ラミナ各等級の平使いめり込み降伏強さを比較したが、平均値はいずれも 7N/mm² 程度であり、密度は L 等級が高くなるに従って大きくなる傾向であるものの、降伏強さの差はほとんどなかった。また、ラミナの縦使いでは、樹種ごとの平均値は同程度であった²⁾。

表 2-6-7 ラミナのめり込み試験結果

樹種 荷重 方向	等級	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	E _{It} (kN/mm ²)	めり込み 剛性 (N/mm ³)	めり込み 降伏強さ (N/mm ²)	めり込み 強さ (N/mm ²)
スギ 縦使い	L30	45	平均	398	9.1	3.7	3.6	5.9	9.5
			最小	331	7.2	2.6	1.8	3.8	5.7
			最大	460	11.7	6.0	8.1	8.9	14.8
			変動係数	7.7	10.4	16.5	41.9	20.9	25.4
	L40	45	平均	400	9.4	4.3	3.4	5.6	9.0
			最小	332	6.5	3.2	1.5	3.5	4.5
			最大	488	11.1	6.8	6.9	10.2	14.3
			変動係数	9.0	8.8	14.9	43.6	27.2	27.3
	L50	44	平均	408	9.1	5.2	3.6	5.4	9.2
			最小	338	7.7	3.5	1.7	3.8	5.3
			最大	469	14.4	6.4	7.1	7.6	14.5
			変動係数	7.4	10.9	11.5	40.3	17.2	24.1
	L60	45	平均	426	8.8	6.6	3.1	5.3	8.9
			最小	332	7.6	4.7	1.5	3.3	4.7
			最大	551	10.1	8.0	8.0	9.6	19.0
			変動係数	11.4	6.6	11.1	56.1	28.9	36.7
	L70	45	平均	408	8.8	7.5	2.1	4.6	7.1
			最小	346	8.0	5.0	1.5	3.7	5.1
			最大	461	11.9	9.4	3.9	8.1	11.2
			変動係数	6.5	9.7	12.0	22.2	18.1	17.8
	L80	45	平均	444	8.1	9.6	2.8	5.3	8.2
			最小	357	7.3	7.6	1.5	3.4	5.5
			最大	506	9.5	13.7	6.4	8.3	12.4
			変動係数	8.1	5.6	13.8	35.5	24.7	21.6
ベイツ 縦使い	L90	45	平均	475	11.0	10.6	4.5	6.8	8.9
			最小	391	9.0	8.3	2.0	3.8	6.6
			最大	662	12.9	12.8	8.6	15.0	13.8
			変動係数	10.6	8.0	8.4	30.8	33.4	15.8
	L110	44	平均	489	9.4	11.6	4.3	6.3	8.5
			最小	403	8.3	8.9	2.6	4.5	4.5
			最大	577	11.0	15.8	8.7	11.2	12.9
			変動係数	8.8	7.5	10.7	26.2	21.5	20.5
	L125	45	平均	515	12.3	13.5	4.0	6.6	9.7
			最小	452	11.1	11.7	2.3	3.8	3.5
			最大	679	13.6	15.3	8.4	12.7	15.6
			変動係数	9.9	4.7	7.0	30.9	26.9	22.1
	L140	45	平均	555	10.4	16.9	4.4	6.7	10.0
			最小	492	8.1	13.6	2.2	4.4	5.1
			最大	644	12.6	23.6	7.2	13.0	15.7
			変動係数	5.5	12.8	11.6	21.7	25.0	20.5
	L160	45	平均	556	10.5	17.3	4.5	6.8	10.5
			最小	500	8.4	11.2	2.3	4.6	3.9
			最大	666	12.4	20.2	7.6	13.5	17.9
			変動係数	6.7	9.6	9.0	24.5	23.6	20.1
スギ 平使い	L30	44	平均	395	10.1	3.6	14.3	7.7	8.8
			最小	333	8.3	2.6	7.0	4.7	5.6
			最大	457	12.7	6.0	20.7	11.2	12.7
			変動係数	7.6	10.4	15.8	24.5	21.7	20.5
	L40	45	平均	397	10.0	4.3	14.5	7.3	8.4
			最小	333	8.4	3.2	8.4	4.6	5.5
			最大	482	12.0	6.8	19.9	11.2	12.4
			変動係数	8.4	7.9	14.9	19.8	23.5	22.3
	L50	45	平均	408	9.1	5.2	13.6	7.4	8.4
			最小	333	8.1	3.5	6.6	4.2	4.6
			最大	503	10.4	6.4	21.7	11.5	12.5
			変動係数	7.9	6.5	11.5	23.9	24.4	22.2
	L60	44	平均	423	10.0	6.6	14.4	6.8	7.8
			最小	332	8.8	4.7	8.0	4.3	4.9
			最大	530	11.0	8.0	22.9	14.0	16.2
			変動係数	10.6	4.4	11.1	27.3	32.3	29.8
	L70	45	平均	407	10.0	7.6	13.4	6.0	6.9
			最小	354	8.6	5.0	8.7	4.6	5.4
			最大	464	12.5	9.4	21.2	8.6	10.0
			変動係数	6.2	6.9	11.8	22.0	18.1	17.1
	L80	44	平均	442	9.9	9.6	15.6	7.3	8.4
			最小	358	9.1	7.6	8.5	4.1	4.9
			最大	506	10.7	13.7	22.9	10.5	12.0
			変動係数	7.9	3.9	13.8	23.3	23.6	22.4
ベイツ 平使い	L90	45	平均	475	11.3	10.6	18.2	7.5	8.9
			最小	410	9.7	8.3	8.8	4.1	4.6
			最大	618	16.1	12.8	28.8	12.6	16.2
			変動係数	9.1	11.6	8.4	26.7	21.8	25.2
	L110	45	平均	491	10.4	11.6	20.1	7.7	9.0
			最小	408	8.7	8.9	12.5	5.3	6.0
			最大	569	12.5	15.8	38.3	11.9	15.5
			変動係数	8.5	8.1	10.6	31.0	22.0	24.1
	L125	45	平均	510	12.8	13.5	17.0	6.6	7.8
			最小	453	10.9	11.7	9.7	4.3	5.0
			最大	681	15.1	15.3	27.7	11.1	17.2
			変動係数	9.4	9.2	7.0	21.7	20.8	29.2
	L140	45	平均	557	11.2	16.9	18.6	7.4	8.9
			最小	492	7.8	13.6	9.4	5.4	6.3
			最大	646	15.5	23.6	31.1	10.7	14.2
			変動係数	5.9	16.2	11.6	28.9	17.6	18.9
	L160	45	平均	557	11.3	17.3	15.7	7.2	8.5
			最小	497	8.9	11.2	6.4	4.8	5.5
			最大	669	14.5	20.2	38.0	11.8	14.2
			変動係数	6.6	11.3	9.0	44.9	21.9	23.0

E_{It}:縦振動法によるヤング係数

平使いめり込み強さ:6mm変形が生じたときのめり込み強さ

b. 集成材

構成 1 縦使いにおけるめり込み降伏強度も、ラミナと同様に 7N/mm^2 程度であることが分かった。また、縦使い、平使いとも非等厚ラミナを使用した構成 2、構成 3 は、構成 1 よりめり込み強さ、めり込み降伏強さ、めり込み剛性ともバラツキが小さかった。

表 2-6-8 集成材のめり込み試験結果

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成1	縦使い	35	平均	472	11.1	9.5	4.0	7.3	12.7
			最小	440	10.3	8.5	2.6	6.0	10.3
			最大	493	12.9	10.8	5.2	10.7	16.0
			変動係数	2.7	5.1	5.5	12.4	13.6	10.0
	平使い	35	平均	475	12.0	9.0	6.4	9.1	11.5
			最小	428	11.3	8.1	4.4	6.7	7.1
			最大	499	13.2	11.0	8.8	11.2	14.9
			変動係数	3.0	4.4	7.6	14.1	11.4	15.5

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成2	縦使い	35	平均	469	11.0	9.2	4.2	7.2	12.6
			最小	448	10.3	8.2	3.6	6.1	10.4
			最大	494	12.3	10.6	5.0	8.4	15.0
			変動係数	2.4	4.5	5.2	8.8	8.3	7.4
	平使い	35	平均	470	11.4	9.5	5.9	9.1	12.8
			最小	446	10.6	8.0	4.8	8.2	10.2
			最大	490	12.6	10.9	7.5	10.7	15.5
			変動係数	2.1	4.0	8.4	11.7	7.2	10.1

構成	荷重 方向	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	めり込み剛性 (N/mm ³)	めり込み降伏強さ (N/mm ²)	めり込み強さ (N/mm ²)
構成3	縦使い	35	平均	485	12.0	9.0	4.1	7.2	12.6
			最小	468	11.2	8.1	3.1	5.9	11.0
			最大	502	12.6	9.7	4.8	9.4	14.9
			変動係数	1.8	3.2	3.8	9.7	11.2	7.3
	平使い	35	平均	483	12.6	8.7	5.9	9.1	12.4
			最小	457	11.9	7.9	4.6	7.3	9.5
			最大	502	13.1	10.0	7.5	10.4	15.4
			変動係数	2.7	2.7	6.7	11.7	8.9	11.0

Efr:縦振動法によるヤング係数

(5) セン断

a. ラミナ

JIS いす型ブロックせん断試験においては、せん断強さはどの等級においても、5%下限値、平均値とも差は少なかった。また、せん断面が板目のせん断強さと密度の関係に、高い相関があった。

表 2-6-9 ラミナのせん断試験結果

樹種	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
スギ	L30	45	平均	369	9.7	3.7	9.3
			最小	291	8.1	2.6	6.6
			最大	433	14.1	6.0	11.9
			変動係数	10.1	10.6	16.5	15.2
	L40	45	平均	373	9.6	4.3	9.2
			最小	303	7.9	3.2	6.6
			最大	463	12.0	6.8	12.4
			変動係数	10.3	9.7	14.9	14.1
	L50	45	平均	386	8.7	5.2	9.8
			最小	321	7.6	3.5	7.1
			最大	460	10.2	6.4	12.9
			変動係数	9.7	8.4	11.4	14.4
	L60	45	平均	401	8.9	6.6	10.1
			最小	307	7.3	4.7	6.5
			最大	513	11.0	8.0	15.4
			変動係数	11.5	8.0	11.1	17.8
	L70	45	平均	395	8.7	7.5	9.7
			最小	337	7.4	5.0	7.7
			最大	457	12.8	9.4	12.8
			変動係数	7.0	10.0	12.0	13.0
	L80	45	平均	427	8.1	9.6	10.8
			最小	351	7.2	7.6	6.8
			最大	512	9.2	13.7	13.3
			変動係数	8.8	6.1	13.8	15.5
ベイマツ	L90	45	平均	463	9.3	10.6	9.5
			最小	380	7.8	8.3	6.4
			最大	555	11.9	12.8	12.6
			変動係数	9.1	9.8	8.4	15.0
	L110	45	平均	487	8.9	11.6	10.0
			最小	369	7.2	8.9	5.6
			最大	664	10.8	15.8	17.1
			変動係数	12.5	9.8	10.6	23.7
	L125	45	平均	489	8.5	13.5	9.1
			最小	421	7.1	11.7	6.2
			最大	714	12.4	15.3	13.5
			変動係数	11.5	12.3	7.0	17.6
	L140	45	平均	552	8.1	16.9	10.3
			最小	474	4.9	13.6	7.3
			最大	706	12.2	23.6	15.5
			変動係数	8.4	20.3	11.6	20.0
	L160	45	平均	554	8.1	17.3	9.8
			最小	490	6.3	11.2	4.1
			最大	680	10.7	20.2	17.6
			変動係数	8.7	13.4	9.0	20.6

Efr: 縦振動法によるヤング係数

b. 集成材

水平せん断試験では、破壊形態別に、せん断破壊は構成1が35体中17体、構成2が9体、構成3が10体と、構成1のほうがせん断破壊をしやすい傾向であった。また、せん断破壊と曲げ破壊（引張側最外層FJまたは節が起因）が同時に起こった試験体数は、3構成とも全体の約2/3であった。水平せん断試験においては、破壊形態別に全数、せん断破壊、せん断破壊と曲げの同

表 2-6-10 集成材のせん断試験結果

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成1	JIS	35	平均	365	9.4	9.6	8.9
			最小	304	7.9	8.8	6.6
			最大	483	12.7	11.5	12.9
			変動係数	11.2	11.0	5.6	17.0
	実大 ブロック	35	平均	424	11.0	9.6	6.9
			最小	378	10.0	8.8	4.8
			最大	467	12.8	11.5	9.9
			変動係数	5.3	5.9	5.6	15.5
	3点曲げ	35	平均	475	11.6	9.6	8.4
			最小	442	10.5	8.8	6.1
			最大	511	13.2	11.5	10.7
			変動係数	3.3	5.3	5.6	13.9

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成2	JIS	35	平均	362	9.7	9.3	9.0
			最小	299	7.6	8.2	5.5
			最大	445	12.6	10.3	12.8
			変動係数	10.0	13.0	4.3	18.4
	実大 ブロック	35	平均	419	10.9	9.3	7.3
			最小	390	10.0	8.2	5.1
			最大	468	12.1	10.3	9.5
			変動係数	4.3	5.2	4.3	13.1
	3点曲げ	35	平均	468	11.7	9.3	8.7
			最小	444	10.8	8.2	6.2
			最大	493	12.7	10.3	10.4
			変動係数	2.6	4.5	4.3	12.2

構成	試験の種類	試験体数		密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	Efr (kN/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)
構成3	JIS	35	平均	398	10.3	9.0	9.7
			最小	331	8.8	8.5	7.1
			最大	463	11.3	9.9	11.7
			変動係数	6.9	5.6	3.9	12.1
	実大 ブロック	35	平均	443	11.5	9.0	6.8
			最小	388	10.7	8.5	5.4
			最大	469	12.5	9.9	8.3
			変動係数	3.5	4.1	3.9	11.0
	3点曲げ	35	平均	483	12.6	9.0	8.1
			最小	450	11.3	8.5	4.0
			最大	510	13.4	9.9	10.6
			変動係数	2.6	3.5	3.9	19.8

Efr: 縦振動法によるヤング係数

時破壊とも、せん断強さは 5% 下限値、平均値の差は少なく、また、3 構成とも強さの差はほとんどなかった。

実大及び JIS いす型ブロックせん断試験においては、3 構成ともに実大いす型試験体のせん断強さは、JIS いす型試験体より平均値では 2N/mm^2 程度低い値となり、水平せん断試験におけるせん断強さよりも低かった。変動係数は実大いす型試験の方が低いため 5% 下限値は 1N/mm^2 程度の差となった³⁾。

(6) その他

L160 ペイマツ 15mm 厚 FJ ラミナ 2 枚積層材の縦引張り試験では、FJ の避距の違いによる縦引張り強さ、縦引張りヤング係数に差がないことが判明した。また、積層をしていない 30mm 厚さの通常の FJ ラミナよりも平均値、5% 下限値が高く、ラミナの厚さを 1/2 にしても縦引張強さに影響はないと考えられた⁴⁾。

表 2-6-11 避距の違うラミナ 2 枚積層材の縦引張り試験結果

樹種	避距 mm	試験体数		密度 (kg/m^3)	含水率 (%)	Efr (kN/mm^2)	縦引張り強さ (N/mm^2)	Et (kN/mm^2)	ラミナの MOE (kN/mm^2)
ペイマツ	0	50	平均	582	12.1	—	59.2	18.4	18.3
			最小	532	10.9	—	37.8	16.0	16.4
			最大	672	13.6	—	76.7	21.0	20.9
			変動係数	4.6	6.0	—	16.7	5.7	4.9
	30	50	平均	579	11.8	—	59.1	18.2	18.3
			最小	522	10.8	—	38.7	16.1	16.4
			最大	655	13.2	—	76.9	20.6	20.4
			変動係数	4.3	5.0	—	12.8	5.5	4.8
	75	50	平均	579	12.0	—	57.1	18.3	18.3
			最小	523	8.5	—	35.5	15.3	16.4
			最大	680	14.0	—	75.2	22.3	20.4
			変動係数	4.4	9.2	—	16.7	6.5	4.8
	100	50	平均	576	12.3	—	58.2	18.7	18.3
			最小	515	10.8	—	36.3	15.7	16.3
			最大	699	13.6	—	77.0	25.6	20.4
			変動係数	4.8	4.9	—	16.3	8.8	4.8
	150	50	平均	582	12.1	—	57.8	18.7	18.3
			最小	543	11.1	—	39.9	16.1	16.3
			最大	664	13.5	—	73.6	20.6	20.3
			変動係数	4.3	4.4	—	14.4	5.9	4.8
	200	50	平均	580	11.3	—	57.8	18.4	18.3
			最小	537	10.2	—	42.2	14.9	16.2
			最大	645	12.6	—	75.5	21.0	20.3
			変動係数	4.0	5.7	—	13.9	6.1	4.8
	225	50	平均	577	12.3	—	57.0	18.4	18.3
			最小	524	11.3	—	35.1	16.3	16.1
			最大	651	13.5	—	71.9	20.3	20.2
			変動係数	4.1	4.4	—	12.8	5.5	4.8
	300	50	平均	574	11.4	—	57.5	18.7	18.3
			最小	507	9.7	—	39.6	16.0	16.1
			最大	654	12.7	—	72.3	21.8	20.1
			変動係数	4.3	5.2	—	12.0	6.4	4.8

Efr: 縦振動法によるヤング係数

Et: 縦引張り試験時に測定した縦引張りヤング係数

エ 今後の問題点

ラミナを薄くしていった場合、製造工程では FJ 加工を先に行い積層する場合と、薄いラミナを積層した後 FJ 加工する場合がある。今回の研究では加工方法は前者である。平成 11 年度・平成 12 年度に行った異樹種集成材製造システム開発事業では、後者の加工方法のラミナを使用した。試験体数やラミナの選別方法及び接着剤の種類が異なるため、比較は難しい。そこで、今後さらにラミナは薄くなることを想定して、FJ の加工順の違いによる強度への影響を検証することが必要である。

オ 要約

スギ及びベイマツの非等厚ラミナ構成による新集成材の製造方法を開発し、曲げ、縦引張、縦圧縮、せん断、めり込み強さの評価を行った。その結果、ラミナの強度性能と新集成材の強度性能データを十分に収集し、適正製造条件とその強度関係、さらに破壊条件を明らかにした。これにより、シミュレーションの基礎データが提供できた。

カ 引用文献

- 1) 藤田和彦・松岡秀尚・吉田徳之・福本優子・井道裕史・加藤英雄・長尾博文・宮武敦 (2006) スギ・ベイマツ非等厚ラミナを使用した異樹種集成材の強度性能、第 56 回日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM)、96:E10-1115
- 2) 藤田和彦・築山健一・松岡秀尚・吉田徳之・井道裕史・加藤英雄・長尾博文・宮武敦 (2008) スギ・ベイマツ非等厚ラミナを使用した異樹種集成材のめり込み性能、第 58 回日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM)、111-112:D19-1045
- 3) 藤田和彦・築山健一・松岡秀尚・吉田徳之・井道裕史・加藤英雄・長尾博文・宮武敦 (2007) スギ・ベイマツ非等厚ラミナを使用した異樹種集成材のせん断強度、日本木材学会中国・四国支部第 19 回研究発表、32-33
- 4) 藤田和彦・築山健一・松岡秀尚・吉田徳之・井道裕史・加藤英雄・長尾博文・宮武敦 (2008) フィンガージョイントラミナの引張強度性能—フィンガージョイントの避距が縦引張強度に与える影響—、日本木材学会中国・四国支部第 20 回研究発表、56-57

(藤田和彦)

第3章 新集成材の規格化及び建築への適用技術の開発

構造用集成材に使用するラミナの種類やその構成について自由度を上げるためには、ラミナ強度・ラミナ構成と基準強度との関係を明確にする必要がある。新集成材について、その曲げ性能、引張性能、圧縮性能等の強度設計のためのシミュレーションモデルの検討・開発を行う。また、構造計算に必要なクリープ、荷重継続時間などに対する各種調整係数についても考え方を整理して提案する必要がある。

集成材は大空間のリビングや車庫、大開口の窓など、スパンの長い梁や桁として用いられる傾向が強かった。しかしながら最近では、木材の狂い・割れを防止する目的で、管柱、筋かいや土台にまで集成材が多用されるようになってきている。即ち強度よりも狂い・割れ対策で用いられる集成材では、スギ材などの低密度材を用いた集成材でも構造上は要求性能を十分に満たしている可能性が考えられる。そこで、木造住宅の各主要構造部材に要求される強度的性能を明らかにし、現行の JAS では規定されていない低ヤング係数の集成材を構造部材として使用する場合に最適な部材断面およびスパンの提案を行う。そこで、本課題の遂行にあたって、1. 新集成材の規格化、2. 住宅用構造材として新集成材に要求される性能、3. 異種材料複合集成材の長期性能評価手法の開発の3つを対象とした。

1. 新集成材の規格化

ア 研究目的

日本農林規格(以下 JAS という)では、集成材を構成するラミナ(ひき板あるいはこれらをたて継ぎや幅はぎにより寸法調整したものの総称)の品質に応じたラミナ等級とその品質管理基準を設けると共に、JAS に定める集成材の強度等級毎にラミナ等級の構成パターンを定めることで構造用集成材の強度性能を保証するシステムになっている。これは、集成材の強度性能はラミナの品質・性能と高い相関を持ち、かつラミナの品質管理が簡便であることによるもので、試験が困難な大断面集成材の強度性能もこの様なシステムで保証している。

集成材でスギ等地域材を歩留まりよく利用できるようにするには、ヤング係数が低くかったり大径の節を持ったりする低品質のひき板を集成材用のラミナとして利用できるようにする必要がある。そのためには、構造用集成材の JAS において、これら低品質ラミナに対応した新しいラミナ等級を新設するとともに、これらを有効に用いることができる新たなラミナ構成からなる集成材の強度等級を考案する必要がある。また、新たな強度等級について、JAS 認定のための基準値や国土交通省から与えられる曲げ、圧縮、引張の基準強度を明らかにしておく必要がある。

そこで、まず、(1)従来のラミナ等級とラミナ構成からなる集成材の強度性能推定に適用されてきた強度シミュレーションモデルの妥当性について、第1章、第2章の試験結果に基づいて検証した。次に、(2)集成材 JAS の見直しにおいて新たなラミナ等級とこれらを用いた新たなラミナ構成及び(3)その強度的規準値と国土交通省から与えられる基準強度の提案を行った。

イ 研究方法

現行 JAS に関連する強度算出モデルについて、第1章、第2章で行った各種強度試験の成果を用いて検証した。

(1) 現行 JAS 強度算出モデル

JAS では、構造用集成材に使用するラミナの品質とその強度基準値を規定するとともに、それらラミナ

の構成について示している¹⁾。JAS 認定された構造用集成材に対して国土交通省から与えられる基準強度²⁾や木質構造設計規準・同解説³⁾に示される特性値や基準強度は、これらの前提に基づいて以下に示す式を用いて算出されてきた⁴⁾。基準強度の算出式は下記の通りである。

曲げ強さ: 積層方向 (f_{bv})

$$f_{bv} = \sigma_{b_oml} \frac{I_{vA}}{I_{v0}} k_b k_{sth} \quad (1)$$

σ_{b_oml} : 最外層ラミナの曲げ強度 (N/mm²)

I_{vA} : 等価断面の断面二次モーメント

I_{v0} : 実断面の断面二次モーメント

k_b : 積層方向曲げ係数

同一等級構成: 1.0

対称異等級構成: 0.9

非対称異等級構成: 0.9

k_{sth} : 95%下側許容限界値算出係数: 3/4

圧縮基準強度 (f_c)

$$f_c = \sigma_{c_oml} \frac{A_A}{A_0} k_c k_{sth} \quad (2)$$

σ_{c_oml} : 最外層ラミナの圧縮強度 (N/mm²)

A_A : 等価断面の面積

A_0 : 実断面の面積

k_c : 圧縮積層効果係数

同一等級構成 2枚: 1.0

これ以外の構成: 1.1

引張り基準強度 (f_t)

$$f_t = \sigma_{t_oml} \frac{A_A}{A_0} k_t k_{sth} \quad (3)$$

σ_{t_oml} : 最外層ラミナの引張強度 (N/mm²)

k_t : 引張積層効果係数

同一等級構成 2枚: 1.0

同一等級構成 3枚: 1.1

これら以外の構成: 1.2

(2) モデル検証

本プロジェクトでは表 3-1-1 に示すように樹種、ラミナ等級、材料種類(台形ラミナ、LVL)を組み合わせた集成材 20 種類について曲げ、圧縮、引張りの各種強度試験を行った。実証用データを得た試験方法は、第 1 章、第 2 章、付録に詳しいが、本章との関連が深いことから、試験の概要を簡単に記す。

ラミナは機械等級区分し必要に応じてフィンガージョイント(以下 FJ)によりたて継ぎした。各ラミナ等級からラミナ試験用ラミナと集成材試験体製造用ラミナを採取した。ラミナ強度試験用ラミナの試験体数は、各試験、樹種・等級ごとに各 40 体以上とした。FJ を使用して製造したものについては、その曲げ試験では荷重点間に、引張試験ではチャック間に、また、圧縮試験ではその中間部(両材端から 30mm を除いた部分)に FJ を配置して実施した。

集成材試験体製造に用いた全ラミナのヤング係数を縦振動法や静的曲げ試験により測定し各試験体の断面内のラミナ配置とともに記録した。集成材の試験体数は試験項目毎に 6 体以上とした。集成材試験体は試験前に縦振動法でヤング係数を測定した。FJ を使用して試験体を製造する場合は、曲げ試験体では引張側の最外層、外層ラミナの FJ を荷重点間に配置できるよう、引張試験ではチャック間の中間

表 3-1-1 検証に用いたラミナ構成

	最外層・外層ラミナ 樹種／ラミナ等級	内層ラミナ 樹種／ラミナ等級	組合せ
低ヤング係数ラミナ	スギ／L70	スギ／L30	スギ
	スギ／L70	スギ／L40	〃
	スギ／L80	スギ／L40	〃
大径節ラミナ	アカマツ／L110 無節	アカマツ／目視等外	アカマツ
	アカマツ／L125 無節	アカマツ／目視等外	〃
	アカマツ／L125 無節	アカマツ／目視等外	〃
台形ラミナ ランダム積層ラミナ	ヒノキ／L125	ヒノキ／L90	ヒノキ
	ヒノキ／ランダムラミナ	ヒノキ／ランダムラミナ	〃
異樹種複合	カラマツ／L110	スギ／L110	カラマツ/スギ
	ヒノキ／L125	スギ／L40	ヒノキ/スギ
	ベイマツ／L125	トドマツ／L60	ベイマツ/トドマツ
	ベイマツ／L140	トドマツ／L80	〃
	ベイマツ／L125	カラマツ／L60	ベイマツ/カラマツ
	ベイマツ／L140	カラマツ／L80	〃
	ベイマツ／L160	スギ／L40	ベイマツ/スギ
	ダフリカ／L140	スギ／L50	ダフリカ/スギ
針葉樹 LVL 複合 広葉樹 LVL 複合	スギ LVL ／L80	スギ／L50	スギ LVL／スギ
	コナラ LVL ／L125	スギ／L70	コナラ LVL／スギ

部の全層に FJ を配置できるよう、また、圧縮試験ではその中間部(両材端から 120mm を除いた部分)の全層に FJ を配置できるとし、試験を実施した。

現行の集成材の圧縮基準強度(f_c)及び引張り基準強度(f_t)の算定においてその基礎となる最外層ラミナの圧縮強度(σ_{c_oml})及び引張強度(σ_{t_oml})には、品質管理試験が容易なラミナの曲げ強度(σ_{b_oml})を基準(JAS ではラミナ曲げ強度の基準値としてラミナ等級毎の 95%下側許容限界値を規定している)として、これに木材の曲げ強度に対する圧縮強度の比率 0.75 及び曲げ強度に対する引張強度の比率 0.6 を乗じた数値が利用されている。一方、今回の一連の試験では、集成材の製造に使用された全てのラミナ等級毎に曲げ、圧縮、引張強度試験を行って、それぞれ試験で得られた等級毎の 95%下側許容限界値を得ている。さらに、等価断面の計算で用いるラミナのヤング係数については、従来の強度推定式ではラミナ等級区分のための基準値が用いられるが、今回はラミナ等級毎に測定値を得ている。

算定におけるラミナの MOE 及びラミナの基準強度の取り扱いについてまとめると表 3-1-2 に示すように 3つのケースに集約される。それぞれのケースに基づいて基準強度の算定を行い、これらの妥当性について検証することとした。等価断面算定用のラミナの MOE に用いた「JAS の基準値」には、申告のあったラミナ等級に応じた JAS の MOE 基準値を、また、「測定値」にはラミナ等級毎に試験計測された縦振動法

表 3-1-2 検証のための利用データ組合せの概要

ケース	ラミナの MOE	基準ラミナ強度		
		曲げ	圧縮	引張
1	測定値	曲げ測定値	圧縮測定値	引張測定値
2	測定値	曲げ基準値	曲げ基準値×0.75	曲げ基準値×0.60
3	JAS 基準値	曲げ基準値	曲げ基準値×0.75	曲げ基準値×0.60

による MOE の平均値を用いた。基準ラミナ強度としての「曲げ基準値」には、申告のあったラミナ等級に応じた JAS の曲げ強度基準値を、また、「測定値」にはラミナの各種試験データにおける信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値を ASTM D2915 に基づいて算出した数値を用いた。

ウ 結果

集成材の曲げ(積層方向)、引張、圧縮強度の 95% 下側許容限界値を式(1)、式(2)、式(3)を用いて表 3-1-2 に示すケースにしたがって算出し、実験で得られた最小値と比較して表 3-1-3 に示す。また、ケース1とケース3については、95% 下側許容限界値の推定値と測定値の最小値の関係を図 3-1-1～図 3-1-6 に示す。

ここで、各ケースについて簡単に考察しておく。ケース1は、最外層ラミナの曲げ、圧縮、引張り強度からそれぞれ集成材の曲げ、圧縮、引張り強度が推定できるかどうかの目安となる。ケース2とケース3は、今回試験されたラミナを JAS 基準に準拠して格付けし、その格付けされたラミナ等級の曲げの基準値を用いて、集成材の曲げ強度はもとより、圧縮、引張り強度についても推定できるかどうかの目安となる。なお、現行 JAS の強度推定の根幹となっている等価断面算出において、ラミナヤング係数に実際の測定値を用いた場合がケース2、JAS 基準値を用いた場合がケース3である。

(1) 曲げ強度

図 3-1-1 に示すように、ケース1では推定値と実験値の関係は、コナラ LVL ラミナとランダム積層した台形ラミナを用いたもの以外は概ね一定の相関関係の中にあると考えられた。しかし、全体の半数にあたる 10 の構成において推定値を実験値が下回っており、ラミナ強度から集成材の曲げ強度を直接推定するこ

表 3-1-1 集成材の曲げ(積層方向)、引張、圧縮強度の 95% 下側許容限界値の推定値

集成材			曲げ基準強度				圧縮基準強度				引張り基準強度			
特徴	最外層	内層	測定値 最小値	推定値 ケース1	推定値 ケース2	推定値 ケース3	測定値 最小値	推定値 ケース1	推定値 ケース2	推定値 ケース3	測定値 最小値	推定値 ケース1	推定値 ケース2	推定値 ケース3
低ヤング係数 ラミナ	スギ/ L70	スギ/ L30	24.7	23.6	20.5	19.7	30.5	24.6	16.3	14.1	14.8	15.0	14.2	12.3
	スギ/ L70	スギ/ L40	25.2	23.8	20.7	20.0	31.5	26.2	17.3	15.3	13.9	16.0	15.1	13.4
	スギ/ L80	スギ/ L40	25.2	27.0	22.4	21.7	33.3	28.5	18.2	16.1	14.9	18.7	15.9	14.1
大径節ラミナ	アカマツ/ L110無節	アカマツ/ 目視等外	28.0	28.5	27.0	26.7	36.3	33.2	21.9	21.3	16.0	22.2	19.1	18.6
	アカマツ/ L125無節	アカマツ/ 目視等外	31.7	32.8	30.6	30.3	34.4	24.9	23.9	23.1	14.3	22.2	20.8	20.2
	アカマツ/ L125有節	アカマツ/ 目視等外	29.0	32.8	30.6	30.3	38.7	24.9	23.9	23.1	14.3	22.2	20.8	20.2
同一等級 台形ラミナ ランダム積層 台形ラミナ	ヒノキ/ L125	ヒノキ/ L90	37.6	36.1	31.7	31.4	44.2	31.1	26.5	25.5	31.9	30.6	23.2	22.3
	ヒノキ/ ランダム	ヒノキ/ ランダム	40.4	48.1	30.6	30.6	43.1	42.6	28.1	28.1	30.8	38.1	24.5	24.5
	カラマツ/ L110	スギ/ L60	21.1	23.5	18.3	18.7	40.2	37.5	14.3	14.5	14.8	13.8	12.4	12.7
異樹種複合	ヒノキ/ L125	スギ/ L40	38.9	38.5	28.1	28.1	31.5	23.5	19.2	18.5	16.2	19.4	16.7	16.2
	ベイマツ/ L125	トドマツ/ L60	37.1	41.5	27.3	25.5	36.3	46.9	23.7	20.2	27.9	21.5	20.7	17.6
	ベイマツ/ L140	トドマツ/ L80	35.6	29.1	18.4	17.3	32.5	41.3	14.7	12.1	26.2	13.1	12.8	10.5
	ベイマツ/ L125	カラマツ/ L60	34.7	40.6	26.8	25.5	38.6	44.5	22.5	20.2	20.2	20.4	19.7	17.6
	ベイマツ/ L140	カラマツ/ L80	29.4	28.5	18.0	17.3	33.6	38.5	13.7	12.1	19.6	12.2	12.0	10.5
	ベイマツ/ L160	スギ/ L40	47.2	39.9	34.4	34.2	32.5	29.6	20.6	20.6	25.4	23.1	18.0	18.0
	ダフリカ/ L140	スギ/ L50	25.5	22.5	22.3	21.9	37.7	34.6	16.7	15.8	17.5	15.8	14.5	13.7
	ダフリカ/ L140	アカマツ/ 目視4等	31.9	34.0	28.8	28.7	45.5	41.4	22.7	22.0	18.3	20.2	19.8	19.2
	ダフリカ/ L140	アカマツ/ 目視等外	31.5	34.0	28.8	28.7	42.4	41.4	22.7	22.0	16.2	20.2	19.8	19.2
	針葉樹LVL 複合	スギLVL/ L80	25.9	25.4	23.7	22.5	27.6	33.1	20.2	18.4	21.7	21.1	17.6	16.0
広葉樹LVL 複合	コナラLVL L125	スギ/L70	40.4	20.1	18.4	20.3	38.2	33.0	13.1	15.1	20.0	28.4	11.4	13.2

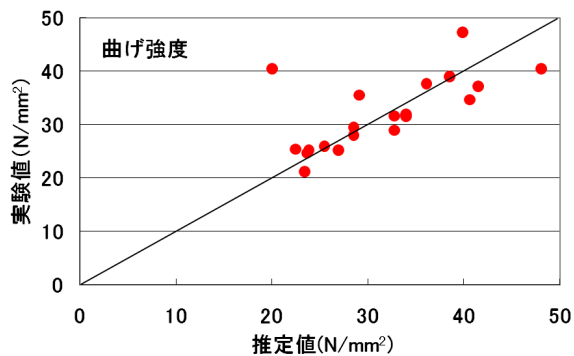


図 3-1-1 推定値と実験値の関係

曲げ強度ケース 1

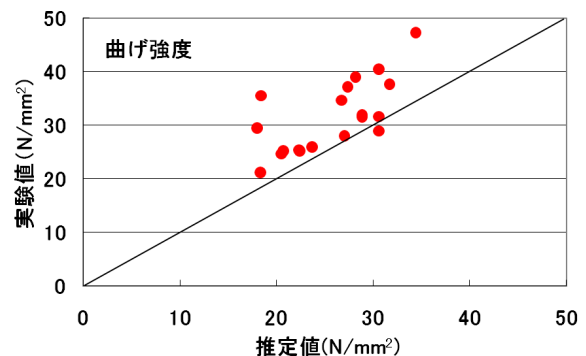


図 3-1-2 推定値と実験値の関係

曲げ強度ケース 3

とは危険側の結果を与えることが示唆された。ただし、図 3-1-2 に示すようにケース 3 ではほとんどの構成において実験値が推定値を上回っており、これらの構成のものを格付け可能とする新しいラミナ構成を JAS に新設することで JAS の格付けが可能になるものと考えられた。ケース 3 においても実験値が推定値を下回ったのはアカマツの大径節のあるラミナを内層に利用した構成のものであった。この構成では最外層以外で破壊が生じる可能性があり、最外層で破壊が生じることを想定している現行の曲げ強度算定式の適用が難しい可能性が示唆された。

(2) 圧縮強度

図 3-1-3 に示すように、ケース 1 であっても推定値と実験値の間に高い相関が認められたわけではなかった。推定値より実験値がかなり高めに出了た構成には同一等級台形ラミナを用いたもの、内層にアカマツの目視等外材を配したものがあり、比較的低く出たものにはベイマツトドマツの異樹種構成がある。現行算定式では最外層ラミナの破壊をもって集成材の破壊としているが、実際には最外層ラミナの破壊でのみ決まるものではないことが示唆される。図 3-1-4 に示すように、現行の算定式から求められる基準強度に対して実験値はかなり余裕があることがわかる。

(3) 引張り強度

図 3-1-5 に示すように、引張り強度も圧縮強度と同様、ケース 1 であっても推定値と実験値の間に高い相関が認められたわけではなかった。推定値より実験値が比較的 low に出るものも多く、特に内層にアカマツの目視等外材を用いたものやコナラ L V L を用いたものではその傾向が強く、ケース 3 においても実験値が推定値を下回った (図 3-1-6)。アカマツで大径節をもつラミナは、

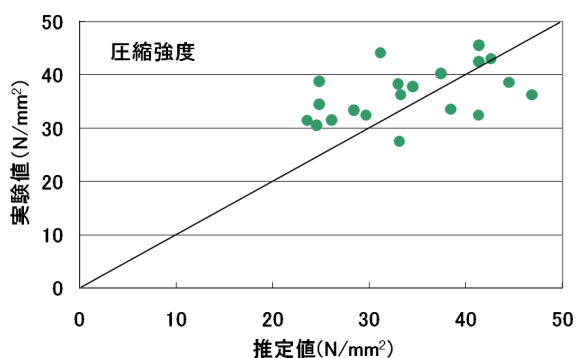


図 3-1-3 推定値と実験値の関係
圧縮強度ケース 1

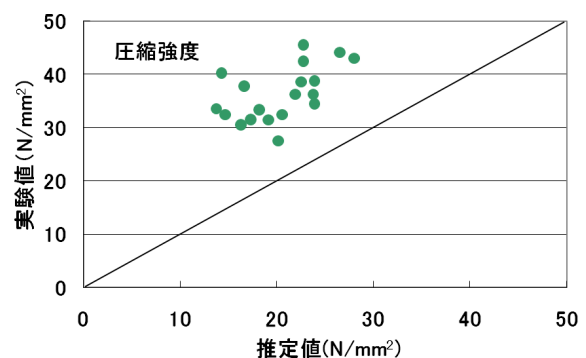


図 3-1-4 推定値と実験値の関係
圧縮強度ケース 3

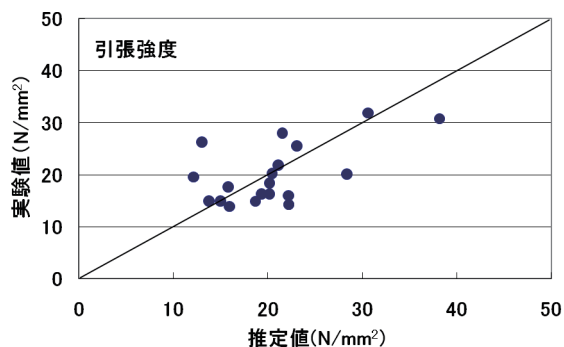


図 3-1-5 推定値と実験値の関係 引張強度ケース 1

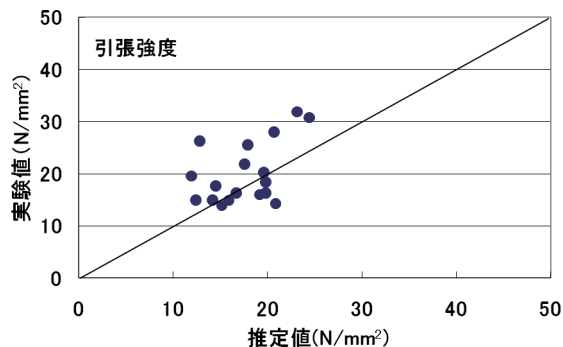


図 3-1-6 推定値と実験値の関係 引張強度ケース 3

ヤング係数は高いものの節等の影響により破壊ひずみはかなり小さくなることが考えられる。このようなラミナを含むラミナ構成の集成材では、最外層ラミナ以外でも破壊が生じる確率が高くなり、最外層ラミナの破壊を集成材の破壊と見なす現行の引張り強度算定式での推定から外れてくることが考えられる。現行の引張り強度の算定式が適応するには、中間層や内層のラミナの破壊ひずみが最外層・外層のそれより高いことを確認する必要があると考えられる。

エ 考察

集成材 JAS (平成 19 年改正)⁵⁾において、平成 15 年制定の構造用集成材 J A S では利用できなかった低いヤング係数のラミナに対応したラミナ等級 L30 と L40 を新設とこれらのラミナを利用したラミナ構成を提案した。また、上記の成果に基づいて強度性能を算定し、JAS における強度性能の基準および構造設計に必要な基準強度を提案した。基準強度については平成 20 年国土交通省告示第 83 号⁶⁾および第 117 号⁷⁾に反映された。

対称異等級構成に新設されたラミナ構成と特定対称異等級構成 (ME 等級) について、そのラミナ構成とヤング係数、曲げ、圧縮、引張りの基準強度を表 3-1-3 に示す。基準強度は従来の算定手順に則り算出されたものである。特定対称異等級構成は、従来の対称異等級構成と曲げヤング係数と曲げ強度は同じであるが、軸方向の強度性能は低く設定されている。製造においては、連続式グレーディングマシンで全てのラミナの曲げヤング係数を連続的に測定して強度を保証し

	既存 E65-F225	新設 E65-F220	新設 E55-F200	既存 E120-F330	新設 ME120-F330	既存 E105-F300	新設 ME105-F300	既存 E95-F270	新設 ME95-F270	既存 E85-F255	新設 ME85-F255
最外層	L80	L80	L70	L140	L160	L125	L140	L110	L125	L100	L110
外層	L70	L70	L60	L125	L160	L110	L140	L100	L125	L90	L110
中間層	L60	L60	L50	L110	L110	L100	L100	L90	L90	L80	L80
内層	L50	L40	L30	L90	L30	L80	L30	L70	L30	L60	L30
中間層	L60	L60	L50	L60	L110	L100	L100	L100	L90	L80	L80
外層	L70	L70	L60	L70	L160	L110	L140	L140	L125	L90	L110
最外層	L80	L80	L70	L80	L160	L125	L140	L140	L125	L100	L110
ヤング(曲げ): kN/mm ²	6.5	6.5	5.5	12.0	12.0	10.5	10.5	9.5	9.5	8.5	8.5
ヤング(軸): kN/mm ²	6.0	5.5	4.5	11.0	8.3	9.5	7.5	8.5	6.9	7.5	6.3
曲げ(積層): N/mm ²	22.5	22.0	20.0	33.0	33.0	30.0	30.0	27.0	27.0	25.5	25.5
曲げ(幅): N/mm ²	15.0	12.6	10.2	24.0	12.7	21.6	11.7	20.4	11.1	18.0	11.0
圧縮: N/mm ²	16.7	15.3	13.3	25.9	20.2	23.2	17.9	21.7	16.6	19.5	15.9
引張り: N/mm ²	14.6	13.4	11.6	22.4	17.6	20.2	15.6	18.9	14.5	17.0	13.9

図 3-1-7 集成材 JAS (H19 改正) に新設された対称異等級構成のラミナ構成と強度性能

た MSR ラミナを使用する必要がある。集成材の内層にヤング係数や材質が低いスギ等のラミナを用いることが可能で、住宅用の梁部材としての活用が期待される。

オ 今後の問題点

LVL を最外層ラミナとして利用するもの、台形ラミナを利用するものなど、ひき板をたて継ぎや幅はぎしただけのものにとどまらないラミナ（仮称：加工ラミナ）については、ラミナとしての強度性能把握のための強度試験方法について適切な方法を得るとともに、その性能から加工ラミナを用いた集成材の強度性能を算出する技術について引き続き検討する必要がある。

今回の集成材 JAS 改正にともなう国土交通省の告示改正において、従来の積層方向の曲げ強度に加えて幅方向の曲げ強度に対する基準強度も与えられることになった。従来の算定式に基づいて算出されたこれらの値はかなり低い数値となっている。従来の算出式について検証する必要がある。

カ 要約

従来の集成材の強度性能推定に適用されてきた強度算定式の妥当性について、第 1 章、第 2 章の試験結果に基づいて検証した。その結果、曲げ強度については妥当性が確認されたが、圧縮強度および引張り強度については従来の算定式が適用できる条件の範囲、具体的には最外層ラミナの破壊が直接集成材の破壊を引き起こすことを確認する必要があることが明らかになった。

集成材 JAS の見直しにおいてヤング係数が低いラミナにも対応可能な新たなラミナ等級（L30 と L40）並びにこれらを用いた新たなラミナ構成（対称異等級構成：E65-F220、E55-F200、特定対称異等級構成：ME120-F330、ME105-F300、ME95-F270、ME85-F255、非対称異等級構成：E60-F205、E50-F170）を提案した。そして、これらの強度性能を算出し、JAS の強度基準値と国土交通省から与えられる基準強度の提案を行った。

キ 引用文献

- 1) 農林水産省（2003）構造用集成材の日本農林規格（平成 15 年農林水産省告示 235 号）
- 2) 国土交通省（2001）平成 13 年国土交通省告示 1024 号
- 3) 日本建築学会（2006）木質構造設計規準・同解説
- 4) 日本建築学会（1988）木構造計算規準・同解説、86-99
- 5) 農林水産省（2008）集成材の日本農林規格（平成 20 年農林水産省告示 1152 号）
- 6) 国土交通省（2008）平成 20 年国土交通省告示 83 号
- 7) 国土交通省（2008）平成 20 年国土交通省告示 117 号

（宮武敦）

2 住宅用構造材として新集成材に要求される性能

ア 研究目的

住宅用構造材として新集成材に要求される性能とは、言い換えれば、応力的な余裕が充分確保されている状況にあることと同義である。逆に言えば、応力的な余裕度が充分にある状態こそが、すなわち要求される性能であると言える。

新集成材の基準強度は平成 20 年国土交通省告示第 83 号で示された通り、従来の同等級の集成材と比較すると引張り強度を低減したことを除いてほとんど変わっていない。集成材の特徴として、材料構成を変えることによって各種強度（曲げ、引張り、圧縮、せん断）を設計することが可能であるため、この告示により従来では使用することが出来なかった低強度材を集成材のラミナとして利用する道が開かれたと言える。

木造住宅の構造部材における応力的な余裕に関しての過去の調査をさかのぼると、1981 年（昭和 56 年）6 月 1 日の建築基準法施行令改正（新耐震）以降において実測調査や構造計算結果に基づいた報告は皆無であった。真嶋ら¹⁾、沼田ら²⁾、久木ら³⁾は、実在する建築物の図面から梁や柱等の積載荷重および固定荷重を計算し、長期許容応力度に対する余裕度を求めた調査結果を報告したが、大引きや梁については曲げ応力とたわみについて調査したもののせん断応力については報告していないことや、土台については検討されていないことから、構造部材の応力的な余裕を総合的に調査した報告は見あたらない。そこで上記の経緯から、木造住宅の構造部材における応力な余裕についての現状を把握することを試みた。

イ 研究方法

(1) 調査した住宅

本調査を実施するに当たって、大手住宅メーカー（本社所在地：東京都）から全面的な協力を得た。同社からは、計 6 棟分（耐積雪等級が「一般区域」および「多雪区域」において各 3 棟ずつ）の木造住宅の図面および構造計算書（「一般区域」の木造住宅については（有）木造舎製の構造計算ソフト KIZUKURI ver.5.1 を使用。「多雪区域」の木造住宅については同 ver.5.22 を使用。）を譲り受け、これを基に各構造部材に掛かる荷重を検算し、同荷重の各許容応力度に対する割合（＝負担率と呼ぶ）を算出した。なおこれらの木造住宅は在来軸組構法で建築されている。

調査した住宅の所在地は、「一般区域」に建築された物件では滋賀県愛知郡（H 邸、125.36 m²）、茨城県水戸市（R 邸、115.14 m²）、兵庫県神戸市（K 邸、166.55 m²）であった。「多雪区域」に建築された物件では、山形県山形市（I 邸、132.07 m²）、秋田県潟上市（S 邸、94.66 m²）、新潟県新潟市（Y 邸、186.01 m²）であった。（ ）内は本報告中の各棟の呼び名と延べ床面積である。上記の木造住宅 6 棟の平面図および耐力壁の配置図を図 3-2-1（「一般区域」に建築された物件）、図 3-2-2（「多雪区域」に建築された物件）に示す。

(2) 構造部材の詳細

H 邸、R 邸、I 邸、S 邸および Y 邸の管柱には 4 寸角（断面積：12×12cm）のスギ、K 邸では 4 寸角のヒノキが用いられていた。通し柱にはいずれも 4 寸角のヒノキが用いられていた。土台には 4 寸角のベイヒバが用いられていた（ただし基準強度には「べいひ」を用いられていた）。梁にはベイマツが用いられていた。これらはいずれも乾燥材であった。

上記の部材には無等級材（日本農林規格に定められていない木材）が使用されていた。従って

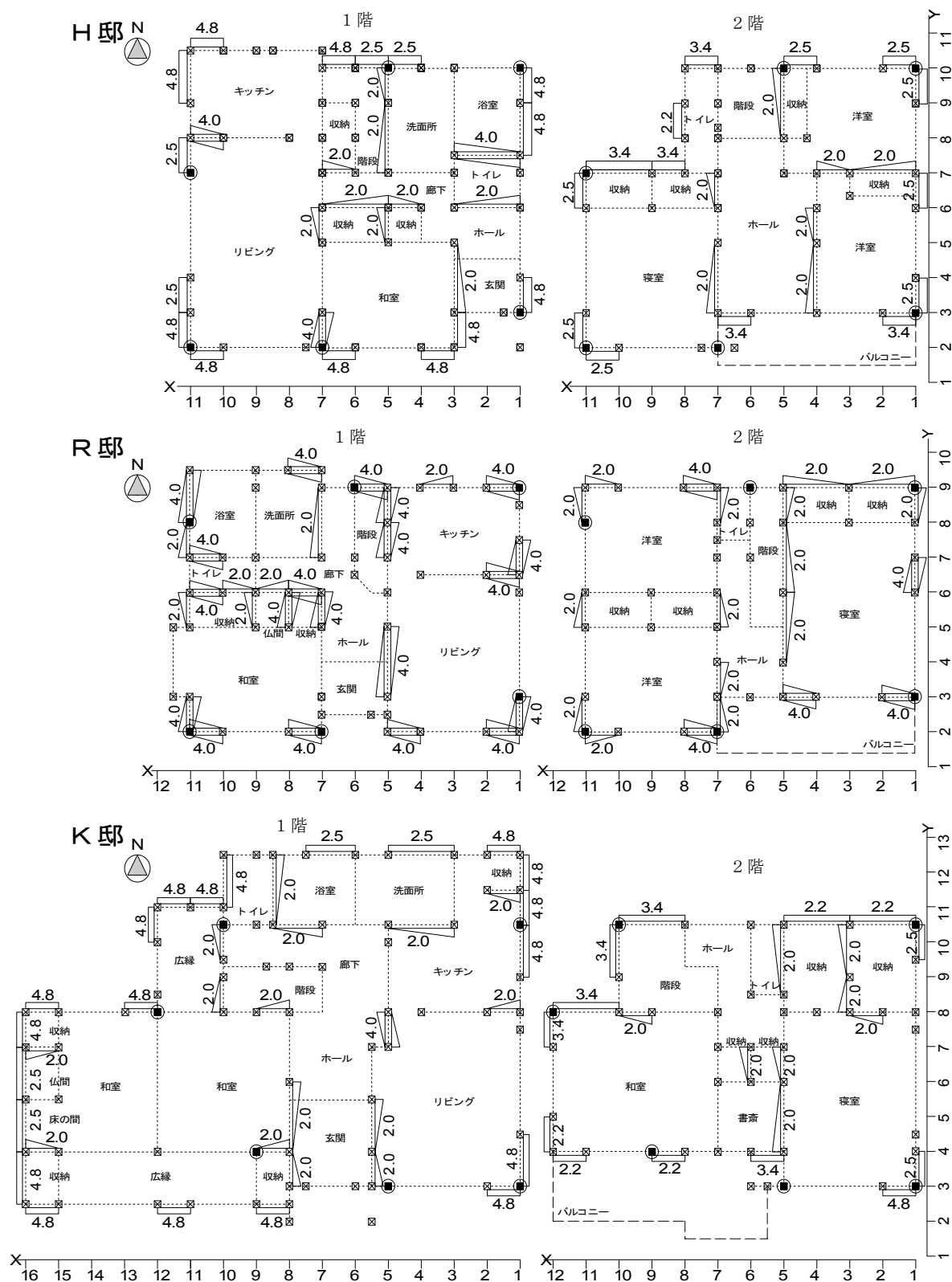


図3-2-1 一般区域における各邸の平面図および耐力壁の配置図

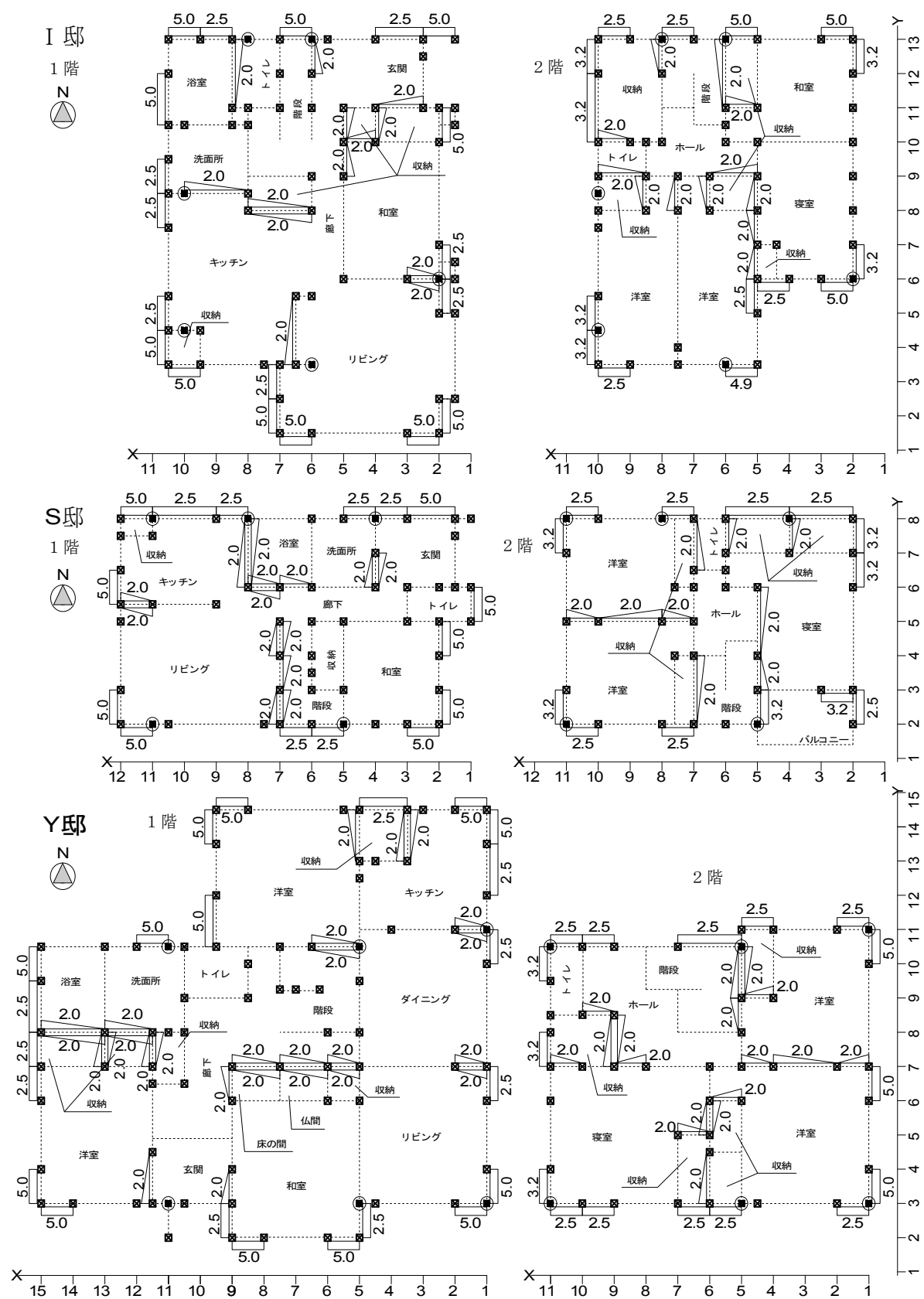


● 通し柱
管柱

▤ 筋違い耐力壁
(断面積: 45×105)

▭ 面材耐力壁

※図中の数値は壁倍率を意味する。



注：凡例、スケールは図3-2-1と同じ。

それらの基準強度には、平成 12 年建設省告示第 1452 号および平成 13 年国土交通省告示第 1024 号の当該値が使用されていた。

(3) 各許容応力度の算出方法

a. 「一般区域」に建築された木造住宅の柱、土台、梁

「一般区域」に建築された木造住宅の柱、土台、梁に生じる各種応力の許容応力度は荷重継続期間（長期、積雪時短期、短期）別に異なり、基準強度（F/3）をそれぞれ 1.1 倍、1.6 倍、2 倍した値となる。なおここで言う各種応力とは、柱では座屈応力、土台ではめり込み応力、梁では曲げ応力とせん断応力を指す。

ただし土台のめり込みの許容応力度に関しては、平成 13 年国土交通省告示第 1024 号には明記されていないものの、許容応力度を更に 1.5 倍して得ることが一般の実務において広く行われる状況にあった。これは、例えば柱と土台の接合部などの少量のめり込みが生じても差し支えない部分において、運用上の緩和措置として上記の割り増しを行うものであるが、正式に法的な承認を得た方法ではない。しかし本報告では現状を考慮し、1.5 倍の割り増しを行う方法を用いて検討することとした。なお、その後の経過について追記すると、平成 20 年国土交通省告示第 117 号が発せられたことにより、現在では上記の割り増しは認められていない。その代わり、同告示において長期および積雪時長期に対してはめり込みの基準強度（F/3）を 1.5 倍、積雪時短期および短期に対しては同 2 倍に割り増すことが明記されたため、この措置が用いられている。ただし本調査は同告示前に実施されたため、本報告では古い割り増し措置（1.5 倍の割り増し）に従ってめり込みの許容応力度を求めたことを付記する。

梁のたわみ制限については、梁の部位（2 階床梁 or 小屋梁）および荷重継続期間別に法的に決まっている訳ではない。また設計者によって厳しく設定することも可能である。我々が譲り受けた構造計算書では、一般区域の 3 棟に対して 2 階床梁のたわみ制限は長期荷重：L/450 以下（L：スパン）かつ 1cm 以下、積雪時短期荷重および短期荷重：L/300 以下かつ 2cm 以下、小屋梁のたわみ制限は長期荷重：L/300 以下かつ 1cm 以下、積雪時短期荷重および短期荷重：L/300 以下かつ 2cm 以下と設定されていたため、これらをそのまま用いることとした。

b. 「多雪区域」に建築された木造住宅の柱、土台、梁

「多雪区域」に建築された木造住宅の柱、土台、梁に生じる各種応力の許容応力度は荷重継続期間（長期、積雪時長期、短期）別に異なり、基準強度（F/3）をそれぞれ 1.1 倍、1.43 倍、2 倍した値となる。ただし土台へのめり込みの許容応力度は、上に記した通り平成 20 年国土交通省告示第 117 号ではなく古い割り増し措置に従って求めた。

梁のたわみ制限については 2 階床梁のたわみ制限は積雪時長期荷重：L/500 以下（L：スパン）かつ 1cm 以下、短期荷重：L/300 以下かつ 2cm 以下、小屋梁のたわみ制限は積雪時長期荷重：L/300 以下かつ 1cm 以下、短期荷重：L/300 以下かつ 2cm 以下と設定されていたため、これらをそのまま用いることとした。なお、多雪区域の長期荷重によるたわみ・各種応力の計算は、積雪荷重が固定荷重や積載荷重よりもはるかに大きいことから省略した。

(3) 各種応力およびたわみの算出方法

我々が入手した構造計算書では柱の軸力は N 値計算により算出されていた。なお各邸の階高は 1 階 2.92m、2 階 2.67m で計算されていた。

めり込み応力は、柱の軸力を柱と土台の接地面積（ $12 \times 12 - 3 \times 9 = 117 \text{cm}^2$ 、ただし 3×9 はほぞ

穴) で除して算出されていた。

また、梁に生じる応力およびたわみを計算する場合において、梁にプレカットによる断面欠損があることから、全ての梁の Z (断面係数)、 A_e (有効断面)、 I (断面 2 次モーメント) を一律に 20% 低減⁴⁾ して計算されていた。梁の E (ヤング係数) は $9800 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ が用いられていたが、自社のグレーディングによって $11760 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ を越えたものについては $11760 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ が用いられていた。また梁の自重 (ベイマツの密度 = $0.5 \text{ (g/cm}^3\text{)}$) も応力とたわみを計算する上で考慮に入れられていた。

(5) 「負担率」および「最大負担率」の算出方法

「負担率」を以下の方法で算出する。

$$\text{負担率 (\%)} = \{(\text{応力度}) \div (\text{許容応力度})\} \times 100$$

$$\text{負担率 (\%)} = \{(\text{最大たわみ}) \div (\text{たわみ制限})\} \times 100$$

つまり負担率が 0 に近いほど、実際の応力度 (または最大たわみ) が小さいことを意味する。例えば負担率 10% では許容応力度の 10% の応力 (または、たわみ制限に対して 10% のたわみ) しか発生していないことになる。反対に負担率 100% では許容応力度と等しい応力 (または、たわみ制限と等しいたわみ) が生じており、余裕が無いことを意味する。

次に「最大負担率」を以下の方法で定める。

柱と土台においては、座屈応力とめり込み応力に対して荷重継続期間ごとに負担率が算出されるが、そのうちで最大の負担率を「最大負担率」とする。

梁においては、曲げ応力、せん断応力、最大たわみに対して荷重継続期間ごとに負担率が算出されるが、そのうちで最大の負担率を「最大負担率」とする。

ウ 結果、エ 考察

(1) 柱と土台の最大負担率について

「一般区域」に建築された木造住宅 3 棟の 1 階柱における座屈応力に対する最大負担率別の割合、および「多雪区域」のそれを図 3-2-3 および図 3-2-4 にそれぞれ示す。図中では最大負担率を 20% 刻みで 5 段階に分けて表した。なお 2 階柱については最大負担率が高々 30% と小さかったため割愛した。土台については 1 階柱とほぼ同じ結果となったため省略した。

その結果、「一般区域」での 3 棟合計の柱の総数は 178 本。そのうちで最大負担率 60% 以上の割合は 2.3% であったことから、全体で見ると非常に大きな余裕があることが明らかとなった。一方、「多雪区域」での 3 棟合計の柱の総数は 198 本。そのうちで最大負担率 60% 以上の割合は 2% であったことから、全体で見ると「一般区域」同様に充分すぎるほどの余裕があることが示唆された。

個別の柱について見ると、長期荷重および積雪荷重によって最大負担率を示した柱で最大負担率が相対的に大きいケースは、バルコニーを支持する場合や、広い空間を確保するために長いスパンをとばした場合で、これらの中には最大負担率が 50% 前後に達するものもあった。また短期荷重によって最大負担率を示す柱では、耐力壁の真上に壁倍率の大きい耐力壁が配置された場合では、その耐力壁を構成する柱に余裕が少なくなる傾向にあった。

(2) 梁の最大負担率について

「一般区域」に建築された木造住宅 3 棟の梁における最大負担率別の割合、および「多雪区域」

のそれを図 3-2-5 および図 3-2-6 にそれぞれ示す。図中では最大負担率を 20%刻みで 5 段階に分けて表した。ただし梁のスパンが 1.25P (1P=910 mm) 以下のもの、および梁背が 120mm 以下 (多雪区域では 150mm 以下) のものは構造的に主要な梁でないと判断し、仮に最大負担率が高かったとしても大きな荷重を負担しないものとして本図からは割愛した。

その結果、「一般区域」において上記に当てはまる梁の総数は 3 棟合計で 251 本。そのうちで最大負担率 60%以上の割合は 15.8%であったことから、全体で見ると十分な余裕が確保されてことが明らかとなった。また「多雪区域」では、上記に当てはまる梁の総数は 3 棟合計で 295 本。そのうちで最大負担率 60%以上の割合は 18%であったことから、全体で見ると十分な余裕があることが分かった。

ただし最大負担率が 60%を越える梁については個別に検討した。

これらの梁のうち、2 階床梁で比較的短い梁 (3.5P 以下) では主に短期のせん断応力または曲げ応力において最大負担率を示す傾向にあった。これらは 2 階床梁のスパン中間に耐力壁が載る場合で多く見られた。その耐力壁を構成する柱が梁の近傍に載る時にはせん断応力で、柱からやや離れて載る時には曲げで最大負担率を示す傾向にあった。

一方で 2 階床梁のうちで、長い梁 (4P 以上) ではたわみ制限により最大負担率を示す傾向にあった。特に多雪区域ではほとんどが積雪時長期荷重によって最大負担率を示したものの、いくつかの梁では余裕が乏しいものもあった。

小屋梁ではたわみ制限によって最大負担率を示すことが支配的であった。図 3-2-7 に示した R 邸の小屋梁で最大負担率 80%を超えた 1 本の梁はこの一例である。しかしこれらの梁背はとりわけ大きい訳ではなかったため、梁背やヤング係数を増すことで負担率を緩和することは可能であった。また小屋梁のたわみは居住性に対して直接影響の無い数値であるため、設計者が経済性を優先して梁背の小さいものを用いたものではないかと推測される。

以上を総括すると、いくつか応力的な余裕が乏しいものもあったが、最大負担率が高い梁であっても、それがやや特殊な設計に起因すること、あるいは梁背を可能な限り小さくしたこと等の理由によるため、必ずしも応力的な余裕が不足している訳ではないことが裏付けられた。

オ 今後の問題点

今回の新集成材開発により、これまでは使用できなかった低ヤング係数のラミナ (例えば、国産のスギ) をベイマツ等の高ヤング係数のラミナと組み合わせて集成材を製造することが可能となった。ただし普及のカギは、これらの製品をいかに標準の構造部材としてハウスメーカーや工務店に採用して貰うかであると言える。そのためには従来品と比較した時の新集成材の価格面の優位さだけでなく、実際の使用時において応力的にも十分な余裕が確保されていること示して、ハウスメーカーの購買担当者や工務店の設計者に新集成材の利点を理解して貰うことが重要である。幸いにも現状では、コアラミナに用いる国産材の外材に対する価格競争力の向上、および国産材の集材状況の改善等、国産材を取り巻く環境は徐々に改善されてきており、これらを考慮すると乗り越えるべきハードルは以前ほど高くない。しかし実際の普及には時間が掛かると考えられるため、たゆまず努力していきたい。

カ 要約

構造部材としての新集成材に対する要求性能を明確化することは、実際の本造住宅の構造部材において応力的な余裕がどの程度存在するかを把握することと同義であると言える。従って本調査では、大手住宅メーカーの協力の下で、一般区域および多雪区域における本造住宅各 3 棟の図面、構造計算書を入手し、各部材の応力的な負担割合を検証して現状の把握を行った。その結果、柱、土台、梁において応力的に十分な余裕が確保されていることが明らかになった。

キ 引用文献

- 1) 真嶋麻理、石川孝重、久木章江、沼田竜一（1999）日本建築学会学術講演梗概集、B-1、83-84
- 2) 沼田竜一、石川孝重、真嶋麻理、久木章江（1999）日本建築学会学術講演梗概集、B-1、85-86
- 3) 久木章江、石川孝重、真嶋麻理、沼田竜一（1999）日本建築学会学術講演梗概集、B-1、87-88
- 4) （財）日本住宅・木材技術センター（2004）木造軸組工法住宅の許容応力度設計、95

（青井秀樹）

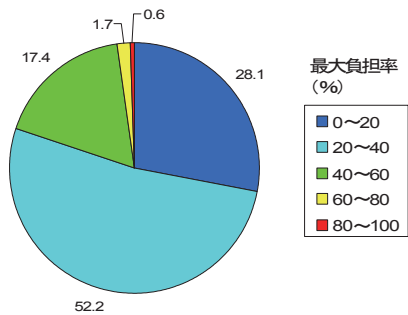


図3-2-3 柱の最大負担率別の割合 (%)
(調査した一般区域3棟の合計)

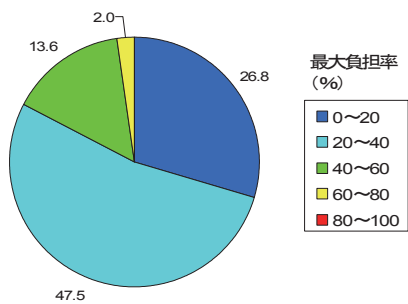


図3-2-4 柱の最大負担率別の割合 (%)
(調査した多雪区域3棟の合計)

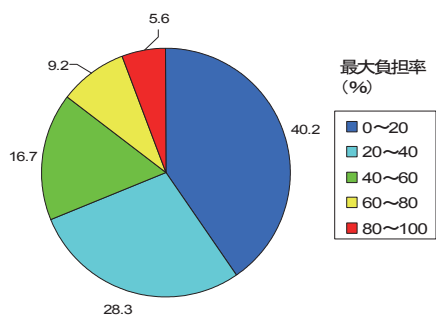


図3-2-5 梁の最大負担率別の割合 (%)
(調査した一般区域3棟の合計)

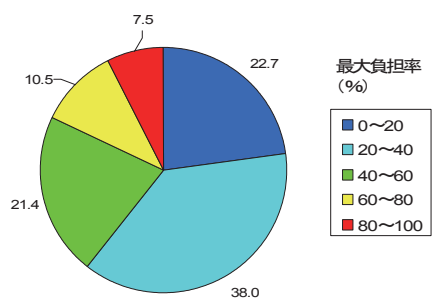
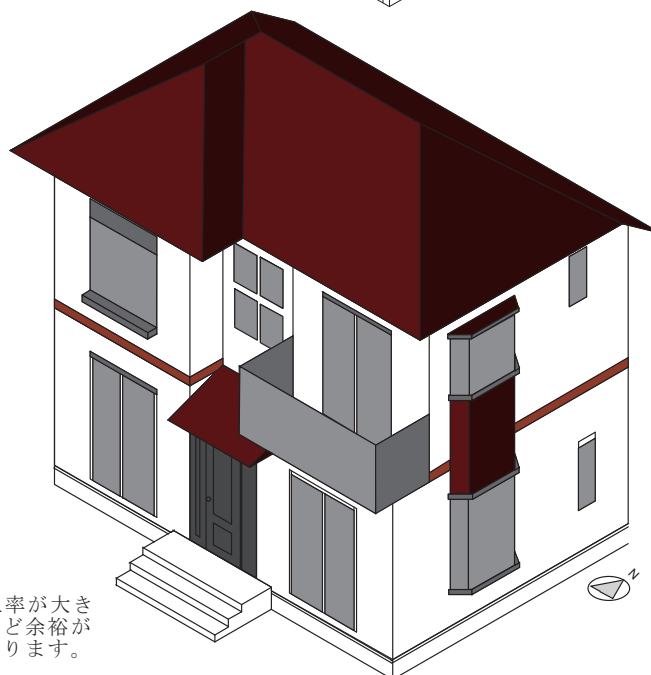
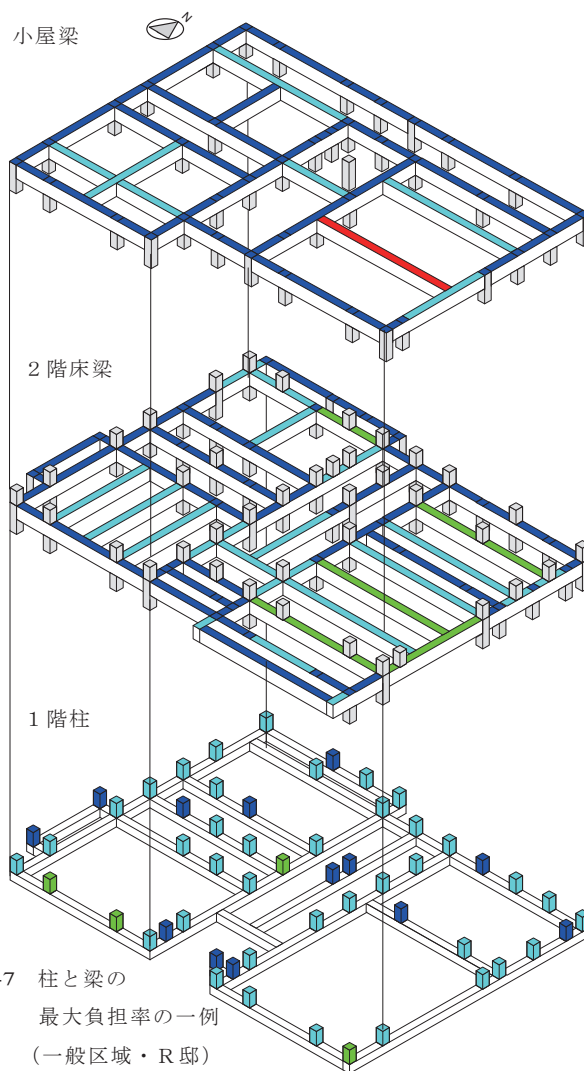
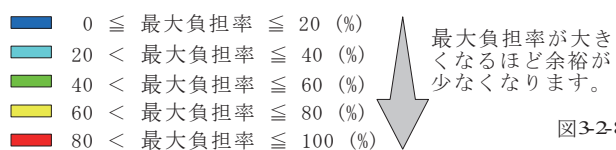


図3-2-6 梁の最大負担率別の割合 (%)
(調査した多雪区域3棟の合計)



3. 異種材料複合集成材の長期性能評価手法の開発

ア 研究目的

木材や木質材料の強度性能に関して、開始から破壊まで5分間程度で実施する一般的な強度試験から得られる破壊応力よりも長期間にわたって継続する荷重に対する破壊応力が小さくなることが知られている。集成材のクリープ等各種調整係数については実験によりそのほとんどが製材同等であると考えられてきたが、新集成材での関連した実験の実績はなく、製材との同等性について確認されていない。また、近年調整係数を求めるための標準試験方法が制定されたが、新集成材への適用上の問題点等の検討は行われていない。そこで、新集成材の荷重継続時間並びにクリープに係る調整係数を求めるため文献調査を行い、試験評価法を整理し、長期性能評価手法について提案する。

イ 研究方法

(1) 文献調査

木材・木質材料の長期性能評価について、国内外の文献調査を行い、問題点を明らかにする。

(2) 異種材料複合集成材の初期性能把握に関する実験的検証

文献調査の結果、問題点の一つと考えられた荷重継続時間影響係数を求める試験（以下 DOL 試験）における荷重設定について実験的検証を行うこととした。対象は5プライのLVL複合集成材とした。ラミナ構成は、最外層：ラジアータパイン LVL, E110、中間層：スギ L60、内層：スギ L30、また、断面寸法は幅 50mm×梁せい 150mm とした。LVL 原板（寸法：幅 1200mm×厚 32.5mm×長 4000mm、積層数：7、樹種：ラジアータパイン）8枚から、サイドマッチを考慮しながら LVL 複合集成材製造用として幅 55mm の LVL ラミナ及び幅 30mm の LVL 小試験を裁断した。DOL 試験はスパン 4000mm、3等分点4点荷重方式とした。また、曲げ試験時に引張側となる LVL ラミナの最外には単板のスカーフジョイントを配置した。LVL 複合集成材の曲げ試験は、スパン 4000mm の3等分点4点曲げ方式とした。また、LVL の製品内の材質分布を測定するための曲げ試験は、スパン 630mm の3等分点4点曲げ方式とし、荷重方向は平使い方向とした。

ウ 結果

(1) 文献調査

荷重継続時間と木材の強度との関係については過去に多くの研究が行われており、その成果としては Wood の実験式と F.P.L の推奨式が有名である。Wood の実験式は Wood 自身が Douglas-fir と Sitka-spruce を供試体として行った継続荷重載荷試験の結果から求めた曲げ強度比と荷重継続時間との関係(図 3-3-1 の細灰色線)と Liska の高速曲げ試験の結果(図 3-3-1 の太灰色線)とを総合して導いたものである。いわゆる Wood の CURVE は式1によって表される双曲線であり、この双曲線は許容応力度と荷重時間の関係を示す F.P.L の推奨式を裏付けるものとなっている(図 3-3-2 参照)。

$$Pb=(108.4/t^{0.04635})+18.3 \quad \cdots \text{式 1}$$

ここで、Pb は曲げ強度比(%), t は破壊に至るまでの荷重継続時間(秒)

なお、F.P.L.の推奨式では標準荷重試験(破壊までの荷重時間 7.5 分)による強度の 9/16 (56%) の強度(いわゆる長期に相当)を基準として、荷重継続時間の減少に伴って許容応力度を増す方式を採用している。

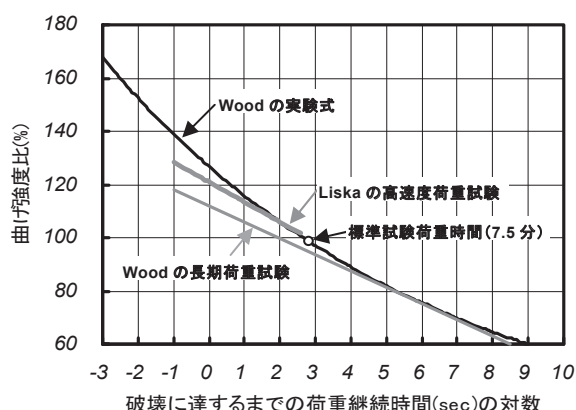


図 3-3-1 Wood の双曲線

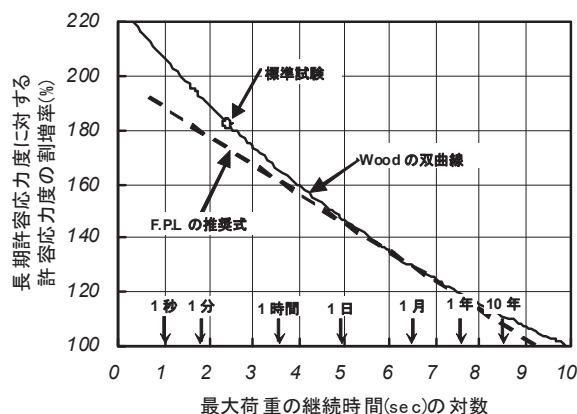


図 3-3-2 荷重継続時間と許容応力度

荷重継続時間に関しては現在あるデータの多くが木材の小試験片(断面寸法が 1in.×1in.又は 1in.×2in.)を用いて得られたものである。実大材の荷重継続時間に関するまとまったデータとしては B.Madsen ら が2×4材を供試体として荷重継続時間約6年のDOL試験を実施しており、小試験片に関するWoodの双曲線とは異なる曲げ強度比と荷重継続時間の関係を示す曲線(上に凸の曲線)を得ている¹⁾。

接着技術を用いて製造された木質材料の長期性能に関して、比較的接着層の少ない集成材については経験的なものから製材と同等と考えられてきたためか学術的な論文はさほど多くなく、我が国ではクリープ性能に関して荒武ら²⁾の研究が知られているが、実大サイズの試験体によるDOLに関する研究はほとんどないと言ってよい。材料を構成するエレメントがひき板からロータリー単板になり接着層も多くなる単板積層材についても研究報告は多くなく、クリープ性能については中井の報告³⁾、DOLについては山口らの報告⁴⁾がある程度である。単板積層材後に開発されてきたPSL等は、エレメントがより小さくなり接着への依存度も増したことから長期性能把握への意欲も高く、これらの材料が開発された北米を中心に試験法の提案などもなされ運用されている)。わが国ではこれらの材料の利用が増加する中で、国土交通省告示により同様の試験法が定められており、I型梁に対して実験的に求めた事例が出てきている)。LVL等を複合した新しい集成材を実用化するにあたっては実際に即した実大材を用いた荷重継続時間に係るデータを整備してゆく必要がある。

(2) 異種材料複合集成材の初期性能把握に関する実験的検証

LVLラミナのMOEや密度は、同じ板から採取してサイドマッチ材間でも多少の変動があった。また、静的曲げたわみと縦振動法で求めたMOEの相関関係もやや低い傾向にあった。DOL試験に供するLVL複合集成材25体の曲げ強度は、平均 41.1N/mm^2 、変動係数12.6%、曲げヤング係数の平均 10.6kN/mm^2 であった。LVL複合集成材の曲げ強度を、隣接する小試験体の曲げ強度から等価断面法を用いて推定した値と実験値との決定係数は0.38であった(図3-3-4)。なお、LVL小試験体24体の曲げ強度は平均 45.7N/mm^2 、変動係数19.1%、曲げヤング係数は平均 11.3kN/mm^2 であった。

短期的な性能におけるバラツキが未知の材料について最小限の試験体数・労力で長期性能を把握するためには、短期的な荷重を精度よく推定する必要があるが、その精度向上と並んでDOL性能評価においてこれらを考慮する必要性も高い。

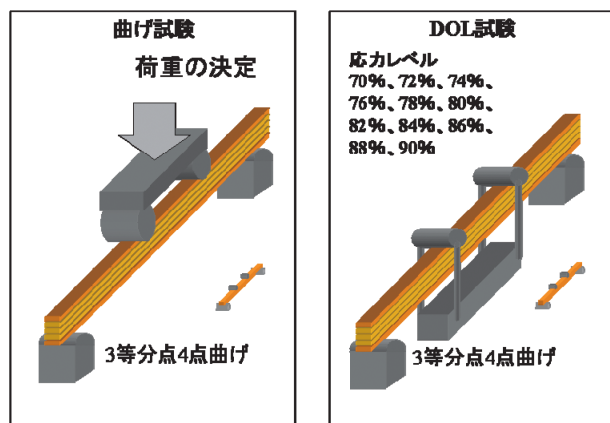


図3-3-3 DOL試験の概要

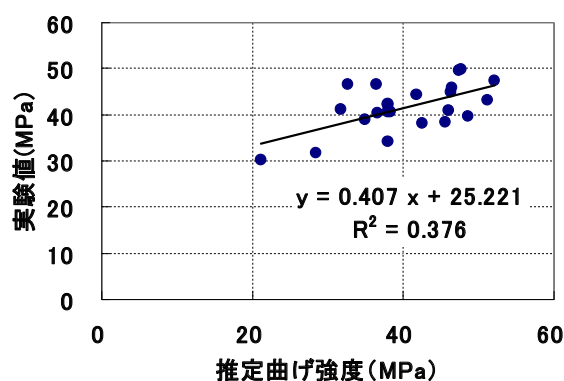


図3-3-4 DOL試験体の強度性能予測

エ 考察

LVL等を複合する異種材料複合集成材の長期性能把握のための試験を実施するにあたり、従来の試験方法を改良した方法を以下に提案する。

(1) 荷重継続時間の評価に係る実験計画（案）

荷重継続時間の評価を行うにあたって以下の実験を行う。

【試験体寸法】梁せいがスパン長さの 1/20 以下となる高さ

【試験方法】3 種類以上の異なるレベルの応力を継続的に作用させ、破壊に至るまでの時間を計測する。荷重比（応力レベル）は、曲げ試験より算定した最大荷重の平均値の 70%、72%、74%、76%、78%、80%、82%、84%、86%、88%、90%とする。荷重開始時間と試験体が破壊する時間を分の精度にて記録し、荷重を載荷してから破壊するまでの時間を求める。各応力レベルについて 2 体試験を行う。

【評価方法】荷重継続時間に関する強度調整係数を以下の方法によって求める。

- 1) 荷重比（応力レベル）を縦軸、破壊に至るまでの時間（分）の常用対数を横軸にとり、試験結果をプロットする。
- 2) 荷重比（応力レベル）を変数として、全ての測定点についての回帰直線を求め、次の回帰式の係数 c 及び d を求める。

$$SL = c - d \cdot \log_{10} t \quad \cdots \text{式 3}$$

ここで、 c は回帰直線の切片、 d は傾き、 SL は応力レベル（%）、 t は破壊までの時間（分）

- 3) 50 年の荷重継続時間に対する係数（応力レベル）を算定する。

(2) クリープ特性の評価に係る実験計画（案）

クリープ特性の評価を行うにあたって以下の実験を行う。

【試験体寸法】梁せいが長さの 1/20 以下となる高さ

【試験方法】荷重比（応力レベル）は、曲げ試験より算定した最大荷重の平均値の 33%とし、時間経過に伴う変位量の変化を測定する。試験対数は 6 体とする。

【評価方法】 クリープに関する調整係数（kb）を以下の方法によって求める。

- 1) 荷重載荷後の個々の時間について kbt を算定し、縦軸に kbt の常用対数、横軸に荷重載荷後の時間（分）の対数を取り、試験結果をプロットする。なお、kbt は次式により算定する。

$$kbt = a1/a2 \quad \cdots \text{式 4}$$

ここで、at は荷重載荷後 t 分のたわみ、a1 は荷重載荷後 1 分の初期たわみ

- 2) 荷重載荷後 10 分間のデータを除いた部分について、回帰直線を求める。
- 3) 回帰直線をもとに 26,280,000 分（50 年）の荷重載荷時間に対する kbt を求め、クリープに係る剛性調整係数を定める。
- 4) 5 体の試験体について求めたクリープに係る剛性調整係数の平均値をクリープに係る剛性調整係数とする。

オ 今後の問題点

提案した試験方法の実施上の問題点については、実際に試験を行って把握する必要がある。

カ 要約

LVL 等を複合する異種材料複合集成材の長期性能把握するための試験方法を提案するために文献調査を行い問題点の抽出を行った。問題点の内、荷重継続期間評価の元となる短期的強度性能把握手法の開発とその精度を明らかにした。以上の成果に基づいて、荷重継続時間の評価に係る実験計画（案）、クリープ特性の評価に係る実験計画（案）を策定し提案した。

キ 引用文献

- 1) B.Madsen : S.R.S Report No.3 (1971)
- 2) 荒武志朗、有馬孝禮：木材学会誌、41、359-366 (1995)
- 3) 中井孝：第 38 回日本木材学会大会研究発表要旨集、113 (1988)
- 4) 山口修由、中島史郎：日本建築学会学術講演梗概集、C-Ⅲ、27-28 (2006)
- 5) 平成 12 年国土交通省告示 1446 号 (2000)
- 6) ASTM D2915-03 (2008)
- 7) 大橋義徳： Journal of Timber Engineering、19、1、7-12 (2006)

(宮武敦、中島史郎)