平成６年度　農林水産省補助事業
技術開発研究推進事業
技術開発推進事業

# 集成材構造開発事業報告書

平成７年３月

財団法人　日本住宅・木材技術センター

## まえがき

本事業は、構造用集成材に対する新たなニーズに応えるため、構造用集成材の製造上及び性能上の問題を検討し、新製品開発のための技術資料を作成することを目的とするものである。

我が国は、北海道を除く全国各地でスギが植栽されており、今後スギ材の生産量は大幅に増加するものと考えられるが、スギは一般的にヤング係数が低く、集成材の断面を決めるために構造計算をすると、他の樹種に比較してどうしても断面が大きくなってコストを押し上げてしまう。

そこで、外層にヒノキやカラマツ、ベイマツといったヤング係数の高い樹種を配置して、収縮・膨張率の異なる材を積層接着した場合の強度性能及び接着性能を確認するため、本年度は、異樹種構成集成材の製造と強度性能試験を実施してその結果を取りまとめた。

事業の実施に当たっては、下記の委員会を設置して調査、検討を進めてきたものである。

なお、集成材の製造・強度性能試験には、下記の各県試験場、日本集成材工業協同組合及び下記の各集成材メーカーのご協力をいただいた。

委員及び関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

集成材製造技術検討委員会　委員名簿

| | | |
|---|---|---|
| 委員長 | 倉田久敬 | 高岡短期大学産業工芸学科　教授 |
| 委　員 | 吉田弥明 | 静岡大学農学部　教授 |
| 〃 | 橋爪丈夫 | 長野県林業総合センター　主任研究員 |
| 〃 | 長谷川智 | 富山県林業技術センター　木材加工課長 |
| 〃 | 池田潔彦 | 静岡県林業センター　技師 |
| 〃 | 富田守泰 | 岐阜県林業センター　製材機械科長 |
| 〃 | 金子吉汪 | 日本集成材工業協同組合　専務理事 |
| 〃 | 齋藤　健 | 齋藤木材工業株式会社　工場長 |
| 〃 | 井上元康 | 小池木材株式会社 構造設計部 |
| 〃 | 松本善裕 | 川島建設合資会社大断面事業部　設計営業部長 |
| 〃 | 安保泰男 | セブン工業株式会社　技術部 |

平成７年３月

（財）日本住宅・木材技術センター

理事長　下川英雄

要　約

我が国は、北海道を除く全国各地でスギが植栽されており、今後スギ材の生産量は大幅に増加するものと考えられるが、スギは一般的にヤング係数が低く、集成材の断面を決めるために構造計算をすると、他の樹種に比較してどうしても断面が大きくなってコストを押し上げてしまう。

そこで、内層はスギを配置し、外層にヒノキやカラマツ、ベイマツといったヤング係数の高い樹種を配置して、収縮・膨張率の異なる材を積層接着した場合の強度性能及び接着性能を確認することとした。

異樹種集成材の製造は岐阜、長野、静岡、富山各県の集成材メーカーが、また、試験は集成材メーカーが立地する各県の試験場が担当し、本年度は内層にスギを配置し、外層にヒノキ、カラマツ、ベイマツを配置した異樹種構成集成材の製作と曲げ強度試験を実施し、その結果を取りまとめた。

キーワード

曲げ応力度、せん断応力度、異樹種構成集成材、内層、外層、中間層、ＦＪラミナ、集中節径比、曲げ試験、挽板、人工乾燥、ＭＯＥ、保証荷重試験、実大試験、含水率ＪＡＳ、視覚等級区分、ヤング係数、荷重撓み、縦継ぎ、

# 目　　次


1　はじめに …… 1
2　異樹種集成材の製造と曲げ試験 …… 2
2．1　異樹種構成集成材の試作と性能評価 …… 2
2．1．1　製造した異樹種構成集成材 …… 2
2．1．2　材料と方法 …… 3
2．1．3　試験結果 …… 3
2．1．4　おわりに …… 5
2．2　静岡県産スギ及びヒノキによる異樹種複合集成材の製造と曲げ試験 …… 8
2．2．1　はじめに …… 8
2．2．2　異樹種複合集成材の製造 …… 8
2．2．3　おわりに（今後の課題として） …… 11
2．3　岐阜県ー異樹種集成材の製造と曲げ試験ー …… 14
2．3．1　供試集成材の製作過程 …… 14
2．3．2　集成材の曲げ試験 …… 18
2．4　ベイマツと富山県産スギによる異樹種集成材の製造と強度性(富山県) 31
2．4．1　異樹種集成材の製作と構成ラミナの曲げヤング係数測定 …… 31
2．4．2　ラミナの曲げＭＯＥ …… 31
2．4．3　ラミナの含水率 …… 32
2．4．4　ラミナの縦接合とその曲げ強度性能 …… 32
2．4．5　ラミナの仕組みと異樹種集成材の製造 …… 33
2．4．6　異樹種集成材の強度性能 …… 33
2．4．7　まとめ …… 38
3　接着力性能試験 …… 39
3．1　供試接着剤の接着性能 …… 39
3．2　作成試験体の接着性能 …… 39
3．3　試験結果 …… 40
4　おわりに …… 41

## 1　はじめに

木材を梁等の横架材として使用する場合に構造計算を行うと、一般に、曲げ応力度や剪断応力度よりも撓みで断面寸法が決まるといわれる。集成材についても同様で、曲げ応力度では相当の余裕があるのに、撓みは制限ぎりぎりということをよく経験する。特に、スギは一般にヤング係数が低いので、集成材メーカー泣かせの樹種である。

スギは北海道を除く全国各地で植栽されていて、公共施設を集成材で建てるときには地元のスギを使うようにという事になる。集成材の断面を決めるために構造計算をすると、他の樹種に比較してどうしても大きくなってコストを押し上げてしまう。

集成材の利点の一つとして、積層接着するラミナの構成を、その性能に合わせて合理的に配置することで、目的の性能を持った集成材を設計できることが挙げられる。スギといえどもヤング係数の高い材もあるので、これを外層に配置すればよいのだが、数が少なく必要量を十分には賄いきれないのが実情である。そこで外層にヒノキやカラマツ、ベイマツといったヤング係数の高い樹種を配置してはという考えが生まれる。これは異樹種構成集成材である。

この異樹種構成集成材について、集成材に関する日本農林規格や製造基準（日本木材加工技術協会）では触れていない。禁止はしていないが、さりとて許可もしていない。異樹種構成については古くから実験が行われ、古典的な意味での設計の考え方は完成している。その有効性については広く認められているのに実用化されていないのは、比重の異なる材（ヤング係数の高い樹種は、一般に比重が高い）を積層接着した場合、収縮・膨張率が違う材（比重の高い材は収縮・膨張率が大きい）を接着することになり、長い間には接着層が剝離する危険が高くなることを危惧するためだと思われる。

最近、国内の集成材メーカーから、異樹種集成材の認知を求める動きが出てきつつある。本事業は、この要望に対応したもので、内層にスギ、外層にヒノキ、カラマツ、ベイマツを配置した10～12層の集成材を製作し、その強度性能と接着性能を確認するものである。その一部については曲げクリープ試験を行い、接着性能に及ぼす影響を観察する計画である。

供試集成材の製作は岐阜、長野、静岡、富山各県の集成材メーカーが担当し、試験は集成材メーカーが立地する各県の試験場が担当した。また、接着関係の試験は静岡大学農学部森林科学科が担当した。

本年度は、供試集成材の製作と強度性能について報告する。

## 2　異樹種集成材の製造と曲げ試験

### 2．1　異樹種構成集成材の試作と性能評価

長野県林業総合センター
斎藤木材工業株式会社

はじめに

現行の構造用集成材の日本農林規格（ＪＡＳ）には異樹種構成集成材の規定がない。したがって、異樹種構成集成材は現行のＪＡＳには適合しないが、外層に強度性能の高い樹種を、内部に低い樹種を配置することによって全体として性能の高い集成材が期待できる。

このような背景の中で最外層にカラマツの上位ラミナを、内部にスギラミナを配置した異樹種構成集成材を製造し、その性能評価を試みた。

平成6年度はラミナの調査と集成材の製造を行い、強度性能を評価する曲げ破壊試験は平成７年度に実施する。

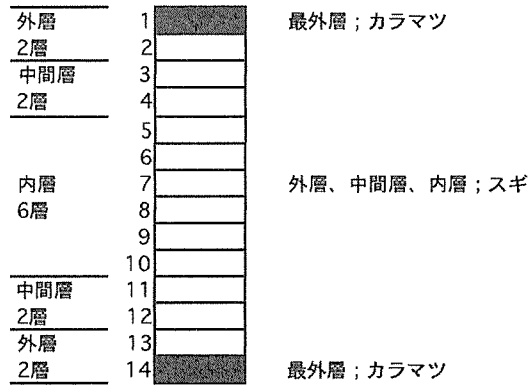
試験は長野県林業総合センターと斎藤木材工業㈱が共同して進めた。試験に参加した主な職員は次のとおりである。

長野県林業総合センター：橋爪丈夫、吉田孝久
斎藤木材工業㈱　　：斎藤健、村井勇睦、竹内剛

#### 2．1．1　製造した異樹種構成集成材

はじめにこの試験で製造した集成材の構造を図ー1に示した。

集成材寸法：10.5×30×400ｃｍ、14層集成材　　5体




図ー１　製造した異樹種構成集成材のラミナ構成

## 2．1．2　材料と方法

### （1）　材料

試験に用いたラミナの概要を次に示す。

① スギ　　：2.6×14×400ｃｍ（乾燥材）、60枚

② カラマツ：2.8×14×400ｃｍ（乾燥材）、10枚

### （2）　ラミナの調査および区分

すべてのラミナに対してFFTアナライザーにより測定した基本振動数と比重から動的ヤング係数（Ef）を算出した。スギについてEfを順位化して、高い方から10枚を外層用、次の20枚を中間層用、残り30枚を内層用とした。

カラマツは工場で上位ラミナとして保存されていたもの10枚で最外層用とした。

Ef以外のラミナの調査項目は次のとおりである。

① 比重：重量と寸法から測定した。

② 集中節径比：現行ＪＡＳに従い測定した。

③ ＪＡＳ等級：集中節径比と芯の有無により格付けした。

④ 含水率　　：含水率計により3箇所測定した。

#### ア　外層用ラミナに対する調査

外層用ラミナ（カラマツ：10枚、スギ：10枚）に対してスパン３７５ｃｍ、3等分点荷重方式で荷重積載による非破壊曲げ試験を行い、モーメント一定区間のたわみから曲げヤング係数（Edm）を測定した。

最外層、外層、中間層、内層用に区分したラミナをそれぞれの集成材に割り付けた。

ラミナは厚さ21.5mmにプレーナー掛けし、縦継ぎはしないで積層接着した。接着剤はレゾルシノール樹脂接着剤D300（大鹿振興）を用い、圧締圧は10kgf/㎠とした。

製造した集成材は断面10.5×30×400ｃｍに仕上げた。

## 2．1．3　試験結果

### （1）　ラミナの調査結果

最外層、外層、中間層、内層に区分したラミナのEfの平均値、標準偏差を表－１に示した。

表－１　区分されたラミナのEfの平均値、標準偏差

| | 最外層 | 外層 | 中間層 | 内層 |
|---|---|---|---|---|
| 樹種 | カラマツ | スギ | スギ | スギ |
| 枚数 | 10 | 10 | 20 | 30 |
| 平均値 | 165.4 | 102.1 | 79.5 | 67.7 |
| 標準偏差 | 27.1 | 6.7 | 8.1 | 12.3 |

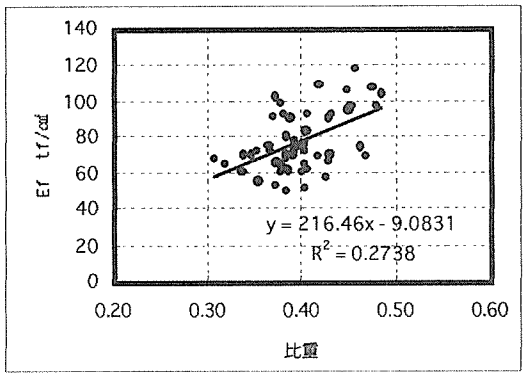
（２）　スギラミナ６０枚の調査結果

調査した比重、集中節径比、Efの相関係数一覧表を表ー２に示した。比重とEfの間に相関関係が認められるが、集中節径比とEfの間には全く認められない。

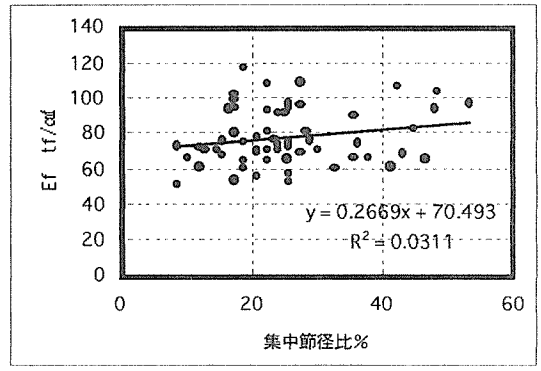
この関係を図ー２、３に示した。

表ー２相関係数一覧表（スギラミナ60枚）

| | 比重 | 集中節径比％ | Ef　tf/cm² |
|---|---|---|---|
| 比重 | 1.000 | | |
| 集中節径比％ | 0.426 | 1.000 | |
| Ef　tf/cm² | 0.523 | 0.176 | 1.000 |




図ー2　比重とEfの関係（スギ）




図ー3　集中節径比とEfの関係（スギ）

（３）　最外層用ラミナ１０枚の調査結果

最外層用カラマツラミナ10枚について測定値の相関係数一覧表を表ー３に示した。比重とEf、Edmの関係は相関係数0.7程度であった。集中節径比との関係が認められないが、これは工場において上級のラミナとして保管されていたものから選んだために、節が小さかったことも原因している。EfとEdmの間には高い相関関係が認められた。

表ー３　相関係数一覧表（カラマツラミナ10枚）

| | 比重 | 集中節径比 | Ef | Edm |
|---|---|---|---|---|
| 比重 | 1.000 | | | |
| 集中節径比 | -0.345 | 1.000 | | |
| Ef | 0.699 | 0.057 | 1.000 | |
| Edm | 0.716 | -0.045 | 0.954 | 1.000 |

## ２．１．４　おわりに

異樹種構成集成材についてラミナの調査結果と集成材の製造について報告した。集成材の曲げ試験は平成７年度に実施する。

付表1　異樹種集成材用ラミナの調査結果（スギ）

| NO. *1 | 層区分 *2 | 比重 | 動的ヤング係数tf/cm² | 集中節径比% | ＪＡＳ等級 *3 | 芯 *4 | 含水率測定値% *5 a | b | c | 平均含水率 % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.02 | 1 | 0.484 | 103.7 | 48.3 | 4 | 3 | 11.5 | 12.0 | 11.0 | 11.5 |
| 1.03 | 2 | 0.391 | 70.3 | 24.1 | 2 | 3 | 8.5 | 8.5 | 10.0 | 9.0 |
| 1.04 | 2 | 0.462 | 73.9 | 25.9 | 3 | 3 | 9.5 | 9.0 | 11.0 | 9.8 |
| 1.05 | 3 | 0.345 | 70.1 | 14.8 | 2 | 3 | 9.0 | 6.5 | 7.5 | 7.7 |
| 1.06 | 3 | 0.384 | 69.8 | 22.4 | 2 | 3 | 8.5 | 8.0 | 9.0 | 8.5 |
| 1.07 | 3 | 0.403 | 65.1 | 25.5 | 3 | 3 | 7.5 | 7.0 | 8.0 | 7.5 |
| 1.08 | 3 | 0.337 | 60.1 | 19.0 | 2 | 3 | 6.0 | 9.5 | 9.5 | 8.3 |
| 1.09 | 3 | 0.384 | 80.0 | 17.2 | 2 | 3 | 9.5 | 8.5 | 9.0 | 9.0 |
| 1.10 | 3 | 0.402 | 76.6 | 23.4 | 2 | 3 | 9.0 | 9.5 | 10.0 | 9.5 |
| 1.11 | 2 | 0.364 | 75.3 | 19.0 | 2 | 3 | 8.0 | 7.5 | 7.5 | 7.7 |
| 1.12 | 2 | 0.393 | 74.1 | 36.2 | 4 | 1 | 11.0 | 9.0 | 10.0 | 10.0 |
| 1.13 | 1 | 0.480 | 97.4 | 53.4 | 5 | 3 | 13.0 | 14.0 | 18.0 | 15.0 |
| 2.02 | 1 | 0.457 | 117.6 | 18.6 | 2 | 3 | 12.0 | 11.5 | 12.5 | 12.0 |
| 2.03 | 2 | 0.384 | 80.8 | 28.3 | 3 | 3 | 9.0 | 10.5 | 11.5 | 10.3 |
| 2.04 | 2 | 0.352 | 72.1 | 8.6 | 1 | 3 | 7.0 | 6.5 | 7.0 | 6.8 |
| 2.05 | 3 | 0.384 | 50.2 | 8.6 | 1 | 2 | 10.0 | 10.5 | 8.5 | 9.7 |
| 2.06 | 3 | 0.383 | 68.2 | 43.1 | 4 | 3 | 8.5 | 8.0 | 8.5 | 8.3 |
| 2.07 | 3 | 0.391 | 69.8 | 30.0 | 3 | 3 | 7.5 | 7.0 | 8.0 | 7.5 |
| 2.08 | 3 | 0.400 | 60.2 | 32.8 | 3 | 3 | 8.5 | 8.0 | 7.5 | 8.0 |
| 2.09 | 3 | 0.428 | 90.8 | 24.1 | 2 | 3 | 11.5 | 10.0 | 9.5 | 10.3 |
| 2.10 | 3 | 0.319 | 65.4 | 10.3 | 1 | 3 | 8.0 | 6.5 | 7.0 | 7.2 |
| 2.11 | 2 | 0.432 | 93.3 | 47.9 | 4 | 3 | 9.0 | 10.0 | 8.5 | 9.2 |
| 2.12 | 2 | 0.369 | 91.2 | 25.2 | 3 | 3 | 9.0 | 8.5 | 9.5 | 9.0 |
| 2.13 | 1 | 0.377 | 98.5 | 17.2 | 2 | 3 | 8.0 | 9.0 | 9.0 | 8.7 |
| 3.02 | 1 | 0.451 | 96.5 | 27.6 | 3 | 3 | 9.0 | 10.0 | 11.0 | 10.0 |
| 3.03 | 2 | 0.406 | 83.0 | 44.8 | 4 | 3 | 7.0 | 6.5 | 9.0 | 7.5 |
| 3.04 | 2 | 0.380 | 93.2 | 22.4 | 2 | 3 | 10.5 | 9.0 | 10.5 | 10.0 |
| 3.05 | 3 | 0.338 | 69.9 | 13.1 | 2 | 3 | 11.0 | 8.5 | 8.5 | 9.3 |
| 3.06 | 3 | 0.425 | 57.5 | 25.9 | 3 | 2 | 9.5 | 10.5 | 14.0 | 11.3 |
| 3.07 | 3 | 0.386 | 60.6 | 12.1 | 1 | 3 | 13.0 | 11.0 | 12.0 | 12.0 |
| 3.08 | 3 | 0.379 | 63.7 | 22.4 | 4 | 1 | 10.0 | 9.5 | 9.5 | 9.7 |
| 3.09 | 3 | 0.354 | 55.5 | 20.7 | 2 | 2 | 6.5 | 10.5 | 10.5 | 9.2 |
| 3.10 | 3 | 0.419 | 108.6 | 27.6 | 3 | 3 | 10.0 | 10.0 | 10.5 | 10.2 |
| 3.11 | 2 | 0.406 | 93.2 | 16.6 | 2 | 3 | 9.0 | 9.0 | 9.5 | 9.2 |
| 3.12 | 2 | 0.387 | 90.3 | 35.5 | 4 | 3 | 8.0 | 8.0 | 9.5 | 8.5 |
| 3.13 | 1 | 0.449 | 94.5 | 17.2 | 2 | 3 | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 12.5 |
| 4.02 | 1 | 0.372 | 101.9 | 17.2 | 2 | 3 | 7.5 | 10.5 | 11.0 | 9.7 |
| 4.03 | 2 | 0.431 | 70.3 | 20.7 | 4 | 1 | 11.0 | 10.5 | 9.0 | 10.2 |
| 4.04 | 2 | 0.382 | 81.1 | 22.4 | 2 | 3 | 8.0 | 8.5 | 8.5 | 8.3 |
| 4.05 | 3 | 0.417 | 68.8 | 27.6 | 3 | 3 | 8.5 | 9.5 | 11.5 | 9.8 |
| 4.06 | 3 | 0.468 | 69.0 | 20.7 | 2 | 3 | 8.5 | 14.0 | 15.5 | 12.7 |
| 4.07 | 3 | 0.403 | 52.1 | 25.9 | 3 | 3 | 8.0 | 8.0 | 7.5 | 7.8 |
| 4.08 | 3 | 0.378 | 64.1 | 19.0 | 2 | 3 | 7.0 | 6.5 | 7.0 | 6.8 |
| 4.09 | 3 | 0.374 | 66.0 | 35.5 | 4 | 3 | 9.0 | 10.0 | 10.5 | 9.8 |
| 4.10 | 3 | 0.371 | 53.0 | 17.2 | 2 | 3 | 7.0 | 8.5 | 7.0 | 7.5 |
| 4.11 | 2 | 0.367 | 71.9 | 12.1 | 1 | 3 | 7.5 | 9.0 | 7.5 | 8.0 |
| 4.12 | 2 | 0.401 | 75.6 | 15.5 | 2 | 2 | 10.5 | 7.0 | 8.0 | 8.5 |
| 4.13 | 1 | 0.447 | 106.1 | 42.4 | 4 | 3 | 10.0 | 9.5 | 10.5 | 10.0 |
| 5.02 | 1 | 0.475 | 108.0 | 22.4 | 2 | 3 | 15.5 | 15.0 | 13.0 | 14.5 |
| 5.03 | 2 | 0.403 | 72.6 | 25.9 | 3 | 3 | 9.5 | 8.5 | 7.5 | 8.5 |
| 5.04 | 2 | 0.400 | 76.2 | 29.0 | 3 | 3 | 8.5 | 7.5 | 8.0 | 8.0 |
| 5.05 | 3 | 0.378 | 59.9 | 41.4 | 4 | 3 | 6.5 | 7.0 | 7.0 | 6.8 |
| 5.06 | 3 | 0.373 | 65.2 | 46.6 | 4 | 2 | 7.0 | 7.0 | 11.0 | 8.3 |
| 5.06 | 3 | 0.406 | 61.8 | 41.4 | 4 | 3 | 7.0 | 7.5 | 9.0 | 7.8 |
| 5.08 | 3 | 0.429 | 65.9 | 37.9 | 4 | 2 | 11.0 | 10.5 | 11.0 | 10.8 |
| 5.09 | 3 | 0.449 | 94.5 | 25.9 | 3 | 3 | 10.5 | 12.0 | 11.5 | 11.3 |
| 5.10 | 3 | 0.308 | 67.8 | 15.5 | 2 | 3 | 7.5 | 7.5 | 6.5 | 7.2 |
| 5.11 | 2 | 0.392 | 78.2 | 20.7 | 2 | 3 | 7.5 | 8.0 | 11.5 | 9.0 |
| 5.12 | 2 | 0.392 | 73.3 | 24.1 | 2 | 3 | 9.0 | 10.5 | 9.0 | 9.5 |
| 5.13 | 1 | 0.452 | 96.8 | 25.9 | 3 | 2 | 10.0 | 10.0 | 11.5 | 10.5 |

*1：NO.の整数部分は集成材番号、少数部分はラミナの配置を示す。
*2：1；外層、2；中間層、3；内層
*3：1～4；ＪＡＳの1等～4等、5；規格外
*4：1；芯持ち、2；芯つき、3；芯去り
*5：含水率計による測定値

付表2　異樹種集成材用ラミナの調査結果（外層用スギ）

| NO. *1 | 層区分 *2 | 比重 | 動的ヤング係数tf/㎠ | 集中節径比% | ＪＡＳ等級 *3 | 芯 *4 | 含水率測定値% *5 a | b | c | 平均含水率 % | Edm *6 tf/㎠ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.02 | 1 | 0.467 | 103.7 | 48.2 | 4 | 3 | 11.5 | 12.0 | 11.0 | 11.5 | 95.4 |
| 1.13 | 1 | 0.463 | 97.4 | 53.3 | 5 | 3 | 13.0 | 14.0 | 18.0 | 15.0 | 85.8 |
| 2.02 | 1 | 0.433 | 117.6 | 18.5 | 2 | 3 | 12.0 | 11.5 | 12.5 | 12.0 | 112.4 |
| 2.13 | 1 | 0.356 | 98.5 | 17.1 | 2 | 3 | 8.0 | 9.0 | 9.0 | 8.7 | 86.6 |
| 3.02 | 1 | 0.424 | 96.5 | 27.4 | 3 | 3 | 9.0 | 10.0 | 11.0 | 10.0 | 88.9 |
| 3.13 | 1 | 0.436 | 94.5 | 17.2 | 2 | 3 | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 12.5 | 87.6 |
| 4.02 | 1 | 0.356 | 101.9 | 17.2 | 2 | 3 | 7.5 | 10.5 | 11.0 | 9.7 | 96.8 |
| 4.13 | 1 | 0.459 | 106.1 | 42.2 | 4 | 3 | 10.0 | 9.5 | 10.5 | 10.0 | 105.9 |
| 5.02 | 1 | 0.453 | 108.0 | 22.3 | 2 | 3 | 15.5 | 15.0 | 13.0 | 14.5 | 104.0 |
| 5.13 | 1 | 0.426 | 96.8 | 25.8 | 3 | 2 | 10.0 | 10.0 | 11.5 | 10.5 | 89.7 |

*1：NO.の整数部分は集成材番号、少数部分はラミナの配置を示す。
*2：1；外層、2；中間層、3；内層
*3：1～4；ＪＡＳの1等～4等、5；規格外
*4：1；芯持ち、2；芯つき、3；芯去り
*5：含水率計による測定値
*6：荷重載荷によるモーメント一定区間で測定した曲げヤング係数

付表3　異樹種集成材用ラミナの調査結果（最外層用カラマツ）

| NO. *1 | 層区分 *2 | 比重 | 動的ヤング係数tf/㎠ | 集中節径比% | ＪＡＳ等級 *3 | 芯 *4 | 含水率測定値% *5 a | b | c | 平均含水率 % | Edm *6 tf/㎠ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.01 | 1 | 0.530 | 124.3 | 0.0 | 1 | 3 | 14.0 | 10.0 | 9.5 | 11.2 | 114.7 |
| 1.14 | 1 | 0.552 | 178.2 | 3.6 | 1 | 3 | 11.0 | 10.5 | 13.0 | 11.5 | 183.6 |
| 2.01 | 1 | 0.549 | 162.2 | 9.1 | 1 | 3 | 10.5 | 11.0 | 14.0 | 11.8 | 143.6 |
| 2.14 | 1 | 0.559 | 174.9 | 16.0 | 2 | 3 | 11.0 | 11.5 | 13.5 | 12.0 | 169.4 |
| 3.01 | 1 | 0.542 | 173.0 | 17.9 | 2 | 3 | 15.5 | 10.5 | 10.5 | 12.2 | 176.7 |
| 3.14 | 1 | 0.609 | 191.4 | 0.0 | 1 | 3 | 15.0 | 15.0 | 16.0 | 15.3 | 209.6 |
| 4.01 | 1 | 0.510 | 110.9 | 3.5 | 1 | 3 | 15.5 | 11.5 | 9.0 | 12.0 | 108.7 |
| 4.14 | 1 | 0.712 | 191.0 | 0.0 | 1 | 3 | 14.5 | 15.5 | 16.5 | 15.5 | 199.3 |
| 5.01 | 1 | 0.610 | 195.2 | 7.2 | 1 | 3 | 16.0 | 13.5 | 15.5 | 15.0 | 182.6 |
| 5.14 | 1 | 0.555 | 153.1 | 17.8 | 2 | 3 | 11.5 | 12.0 | 13.0 | 12.2 | 149.6 |

*1：NO.の整数部分は集成材番号、少数部分はラミナの配置を示す。
*2：1；外層、2；中間層、3；内層
*3：1～4；ＪＡＳの1等～4等、5；規格外
*4：1；芯持ち、2；芯つき、3；芯去り
*5：含水率計による測定値
*6：荷重載荷によるモーメント一定区間で測定した曲げヤング係数

# ２．２　静岡県産スギおよびヒノキによる異樹種複合集成材の製造と曲げ試験

## ２．２．１　はじめに

静岡県においては、戦後植栽されたスギ，ヒノキ人工林が伐期を迎えつつあり、特にスギを有効活用するための新たな製品開発や技術手法の開発が早急な課題となっている。また、ヒノキも住宅部材としての新たな利活用方法について検討しておく必要があると思われる。その一つの方法として、在来軸組構法住宅や大・中規模木造建築に用いるスギ構造用集成材または構造用大断面集成材（以下集成材と記す）の製造が考えられる。しかし、現在における主要なスギ林分の林齢は３５～４５年であるため、集成材の外層に用いるヤング係数の比較的大きなラミナが得られにくい。そこで、ヤング係数の大きなヒノキを外層に用いた複合化による集成材製造が考えられるが、現行の日本農林規格（以下ＪＡＳと記す）では異樹種複合集成材については明確な規定がなされていない。また、そのような集成材の実験による各種性能（強度、接着、寸法安定性等）のデータは乏しい。

そのため、本試験では、外層にヒノキラミナ、中間層および内層にスギラミナで構成された異樹種構造用集成材（以下異樹種集成材と記す）を製造し、その曲げ試験を行った。

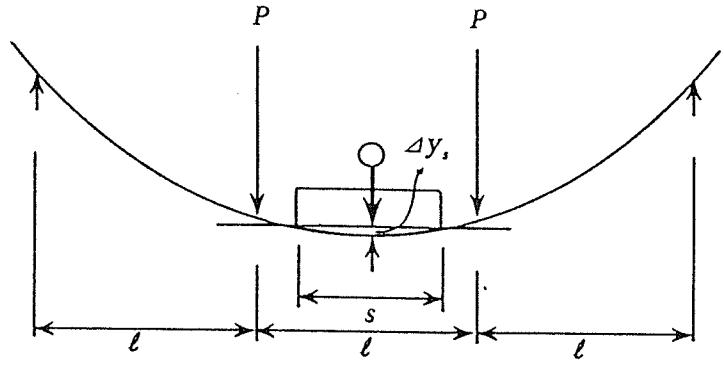
## ２．２．２　異樹種複合集成材の製造

### （１）　ひき板の製材および人工乾燥

スギおよびヒノキは、静岡県春野町産の中目丸太より幅１１５ｍｍ、厚さ４０ｍｍ、長さ４ｍのひき板を製材した。製材したひき板は目標含水率を１２％に設定し、楽器製造メーカーにおいて蒸気式人工乾燥を行った。人工乾燥に要した日数はスギが１２日間、ヒノキが３日間であった。乾燥が終了したひき板は４面モルダーにより表面平滑処理を行い、幅１０．５ｃｍ、厚さ３．７ｃｍの集成材製造用のラミナに仕上げた。その際、高周波式含水率計（モコ　ＨＭ－５２０　ケット科学研究所(株)））により含水率が１２％±２％であることを確認し、含水率が目標含水率（１２％）より著しく高いものは再乾燥を行った。

### （２）　ラミナの材質調査およびＭＯＥ調査

人工乾燥および表面平滑処理の終了したラミナについて、「構造用集成材の製造基準」（以下製造基準と記す）に準じて、視覚的に”腐れ”、”割れ”の欠点調査を行った。その結果、２等を越える欠点を有したものは集成材製造材料から除いた。さらに、人工乾燥による曲がり、ねじり等の狂いが発生したものや、丸身が著しいひき板は試験体から除外した。その後、以下に示す方法により曲げヤング係数（以下ＭＯＥと記す）を計測した。




計算式

$$E_s = \frac{3\,\Delta P\,\ell\,s^2}{4\,b\,h^3\,\Delta y_s}$$

$\Delta P$ ： 1荷重点当りの荷重階差（＝1.5 kg）

$\Delta y_s$ ： $\Delta P$ 当りの撓みで「第1荷重撓み—初期荷重撓み」と「第2荷重撓み—第1荷重撓み」の平均

$\ell$ ： 全スパンの3等分の長さ（＝90 cm）

$s$ ： 撓み測定スパン（＝80 cm）

$b$ ： ラミナ幅（＝11.0 cm）

$h$ ： ラミナ厚（＝3.2 cm）

## （3）フィンガージョイントによる縦継ぎラミナ（ＦＪラミナ）の作成

スギラミナおよびヒノキラミナは長さ方向の中央付近にフィンガージョイント（以下ＦＪ）の縦継ぎを有する長さ４２０ｃｍのラミナ（以下ＦＪラミナと記す）に加工した。フィンガージョイントによるラミナの縦継ぎはＭＯＥの近い値ものを接合した。フィンガージョイントを行う際、フィンガー加工する木口部分から１０ｃｍ以内に存在する節は切除した。フィンガー長は１９ｍｍ、フィンガーの接合形式は垂直型とした。フィンガー加工した材の接合は、ハネムーン型接着剤（ｽｰﾊﾟｰﾃﾞｨｱﾉｰﾙ ＤＦ－１０００ 大鹿振興(株)）を用いた。 フィンガー片面にレゾルシノール樹脂主剤、片面にホルムアルデヒド液状硬化剤を塗布した後、スギでは６０ｋｇｆ／ｃ㎡、ヒノキでは７０ｋｇｆ／ｃ㎡の圧力で圧締した。圧締解圧後の養生期間は５日間とした。

## （4）ＦＪラミナの保証荷重試験

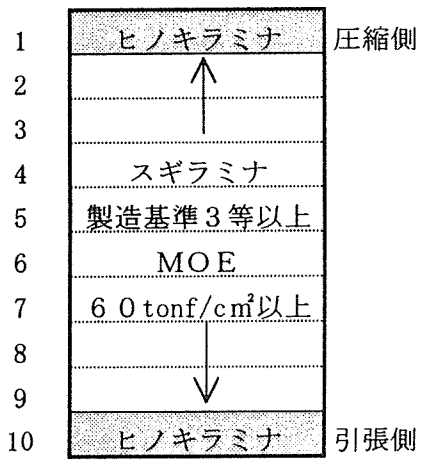
養生後、ＦＪラミナに対して保証荷重試験を行った。保証荷重試験は製造ラインに導入されている曲げプルーフローダー（ＰＬＨ－２５０　飯田工業（株））を用いて行った。

ＦＪラミナに負荷する保証荷重の応力値は木質構造計算基準・同解説（日本建築学会）に示される構造用集成材の曲げ（繊維方向）短期許容応力度（スギでは１９０ｋｇｆ／ｃ㎡、ヒノキでは２２０ｋｇｆ／ｃ㎡）とした。その結果、製造した全てのＦＪラミナが保証荷重試験に合格した。

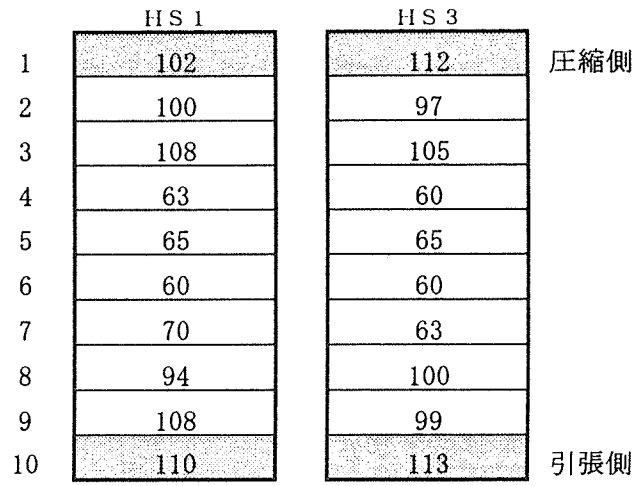
## （5）ラミナの仕組みおよび異樹種集成材の製造

図－1に示す断面構成により10プライの異樹種集成材を製造した。両最外層にはヒノキラミナを用い、それらのMOEは100tonf/cm²以上とした。内層8プライにはスギラミナを用いそれらのMOEは60tonf/cm²とした。また、それら製造に用いたラミナは、製造基準で3等以上とした。

ラミナの積層接着はレゾルシノール樹脂接着剤（ﾃﾞｨｱﾉｰﾙ　大鹿振興（株））をロールコーターで塗布した後クランプで圧締・養生（蒸気により加湿・保温）した。ラミナ相互の圧締圧力は8kgf／cm²とした。養生後、4面モルダーにより表面平滑処理により、断面寸法幅10.5cm、厚さ30cm、長さ420cmに仕上げた。




図－1　異樹種集成材の断面構成




引張側最外層　FJ有り　等価断面計算による　MOE　102

引張側最外層　FJ無し　等価断面計算による　MOE　103

図－2　異樹種集成材曲げ試験体の断面構成

※ 図中の数値は各層におけるMOE（tonf/cm²）を示す。

## （6）異樹種集成材の曲げ試験

製造した本数は7体であった。それらの中から2本を曲げ試験用とした。その選抜には各集成材のMOEを等価断面により計算し、その値が比較的近似しており、中央1／3区間の引張り側最外層に”フィンガージョイント（FJ）が有るもの1本と無いもの1本”を選んだ。

図－2に曲げ試験に供試した2体の断面構成（MOE）を示す。

それらは、縦振動法により動的ヤング係数を計測した後、それらは実大試験機（島津製作所（株））を用いて、スパン390cm、3等分点荷重方式で曲げ試験を行った。

## （７）曲げ試験結果

表－１に曲げ試験結果を示す。実験によるＭＯＥは等価断面により計算値とほぼ近似した。その値はＪＡＳ（構造用用大断面集成材：スギ）を上回った。曲げ強度は、引張り側最外層にＦＪを有した（ＨＳ１）タイプ、ＦＪが無い（ＨＳ２）タイプ共に、ＪＡＳ特級の基準値を上回った。ＨＳ１の破壊は、引張り側の２層目（スギ）より発生し、最外層のヒノキＦＪ部分での破壊は見られなかった。ＨＳ２は引張り側最外層の材面部で発生した。

表－1　　異樹種複合（スギ＋ヒノキ）集成材曲げ試験結果

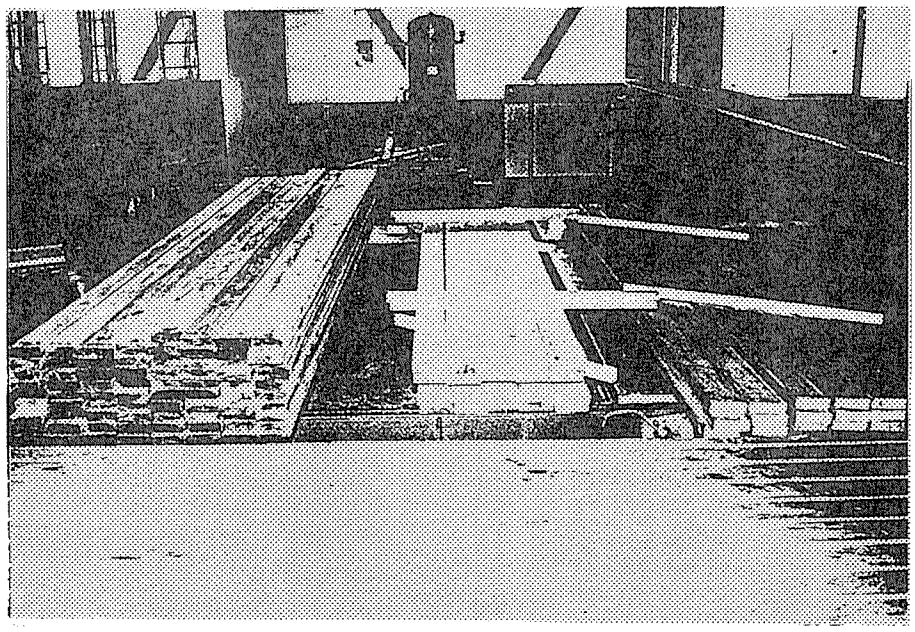
| No | 幅 (cm) | 厚 (cm) | 長 (cm) | 比重 | 動的ヤング係数 (tonf/cm²) | 等価計算ヤング係数 (tonf/cm²) | 曲げヤング係数 (tonf/cm²) | 曲げ強度 (kgf/cm²) | 比例限強度 (kgf/cm²) | 引張り側最外層 (最大曲げモーメント区間) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HS1 | 10.2 | 30.1 | 409 | 0.430 | 95 | 102 | 103 | 471 | 293 | ＦＪ有り |
| HS2 | 10.3 | 30.2 | 423 | 0.410 | 91 | 103 | 101 | 434 | 309 | ＦＪ無し |

## ２．２．３　おわりに（今後の課題として）

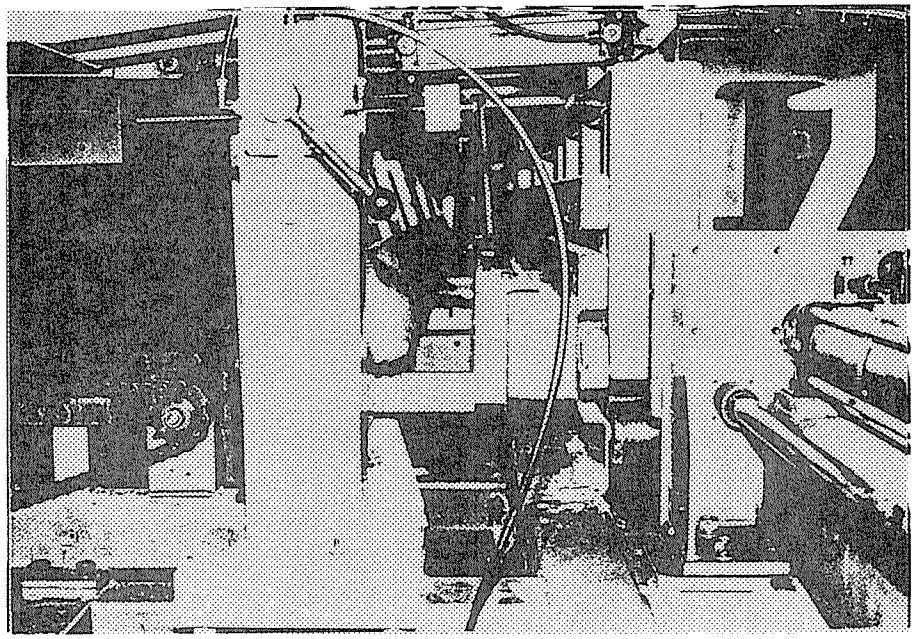
構造用（大断面）集成材の実大試験は、経費・労力・時間等の点から多数の実験データを得ることは難しいと考えられる。その解決策として、近年、モンテカルロ・シミュレーションによる集成材の強度性能予測を行う手法が開発・提案されている。そのため、実大試験はその手法で予測した確率・強度モデルを実証するための手段として実施する必要があると思われる。

本試験では、現時点でそれらシミュレーションモデルによる集成材の強度予測を行っていないが、今後検討したいと考えている。

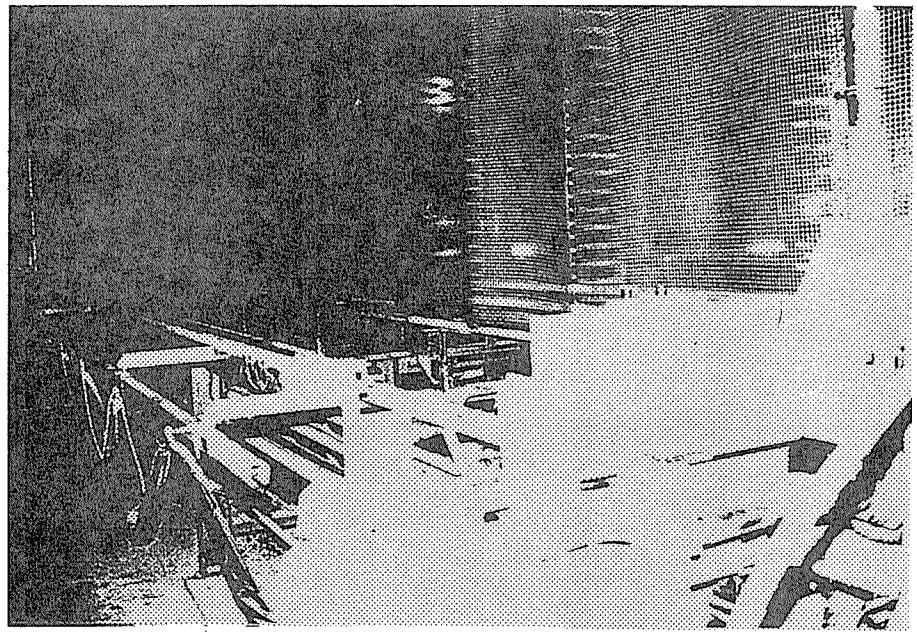
また、異樹種集成材については、実大クリープ性能等の強度性能も明らかになっていない。また、異樹種間の接着性能やその接着耐久性についても今後検討する必要があると思われる。



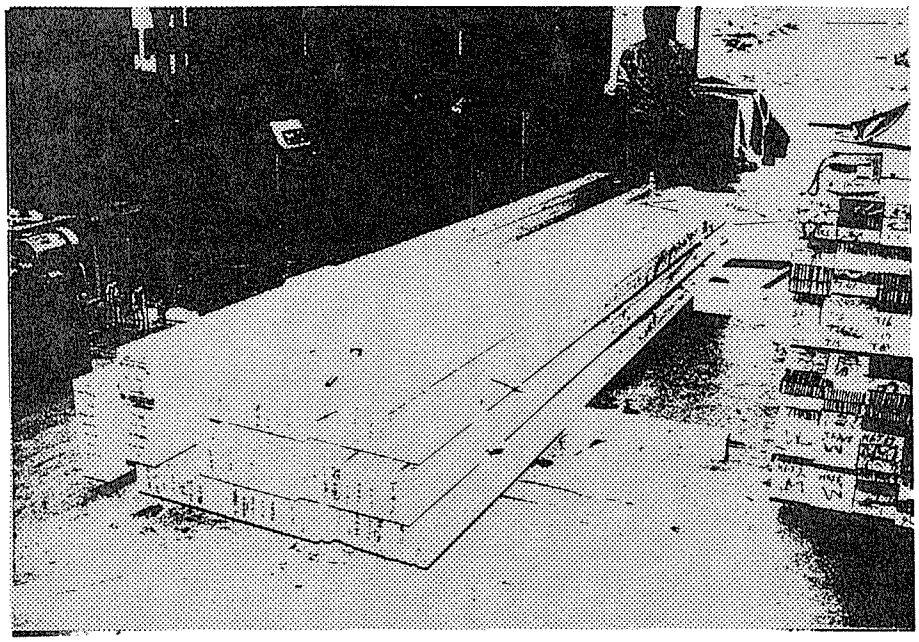
写真－１　異樹種集成材の製造に用いたラミナ



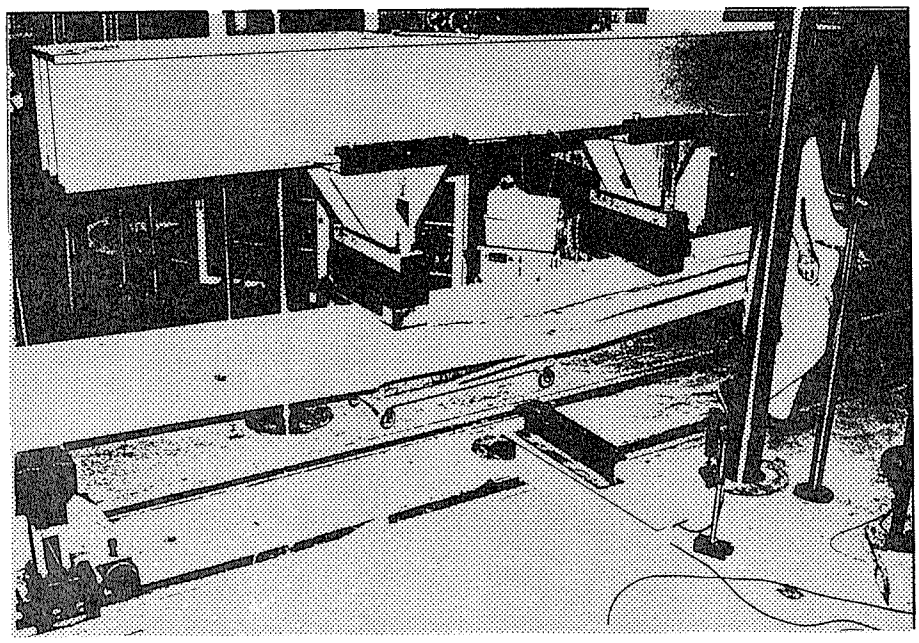
写真－２　ＦＪラミナの製造



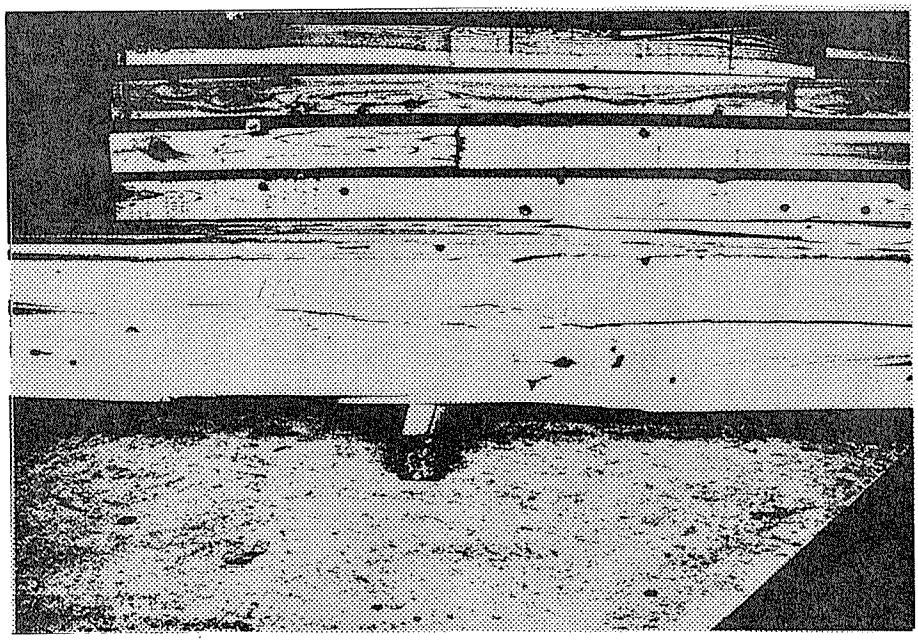
写真－３　製造したＦＪラミナの養生



写真－4　製造した異樹種（スギ＋ヒノキ）複合集成材



写真－5　異樹種複合集成材の曲げ試験



写真－6　異樹種複合集成材の破棄形態

## ２．３　岐阜県 －異樹種集成材の製造と曲げ試験－

### 2.3.1　供試集成材の製作過程

目的製造集成材の概要は以下のとおり

・寸法　105×300×4000mm　ラミナ厚さ30mm

・断面構成　上下層　1層（ﾋﾉｷ及びﾍﾞｲﾏﾂ）、内層　8層(ｽｷﾞ)

・品質　外層ラミナについて「構造用大断面集成材の製造基準」の３等以上

・本数　ﾍﾞｲﾏﾂ集成材　５本　　ﾋﾉｷ集成材　５本

スギは原木から製材、乾燥、供試し、ベイマツ、ヒノキは製材品を購入して、乾燥、供試した。

**(1)　供試スギ原木の性状と歩止り**

供試したスギ原木は岐阜県飛騨地方の原木で、末口径30cm、材長4m、合計９本で、性状を表2-3-1に示す。

表2-3-1　供試原木の性状、歩止り（スギのみ）

| | 末口径 cm | 平均年輪幅 mm | 元口径 cm | 平均年輪幅 mm | 動的ﾔﾝｸﾞ係数 tf/cm² | 主製品枚数 枚 | 主製品歩止り % | 総製品歩止り % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 最小値 | 28.0 | 3.1 | 31.0 | 3.0 | 64.3 | 7.0 | 35.8 | 51.1 |
| 平均値 | 31.7 | 4.6 | 35.0 | 4.5 | 73.8 | 11.3 | 51.7 | 57.7 |
| 最大値 | 36.0 | 5.7 | 39.0 | 5.3 | 85.7 | 14.0 | 62.9 | 66.3 |
| 標準偏差 | 2.16 | 0.91 | 2.26 | 0.85 | 5.56 | | 7.21 | 4.78 |

材長4m
全本数９本
主製品寸法　　乾燥前11.5×4cm×400cm

原木動的ﾔﾝｸﾞ係数はFFTアナライザ（小野測器製）を用い、同器添付ソフトにより原木末口径と重量を現地で入力し、直接算出した。平均で74tf/cm²と、ほぼこの地方の平均的な値を示した。

主製品は製材時11.5×4×400cmのﾗﾐﾅを目的とし、平均原木当たり11枚、歩止りで50%強の値となった。副製品として、15mm程度の板材を含め、歩止り５８%である。

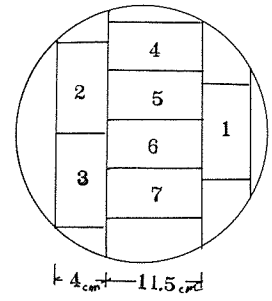



図 2-3-1　木取り図

木取りは図 2-3-1のとおりである。

**(2)　乾燥及び含水率の測定**

製材したｽｷﾞﾗﾐﾅは生材から直接人工乾燥し、ベイマツ、ヒノキ材とともに、仕上げ含水率12%を目標に調整した。

表 2-3-2にラミナの含水率結果を、図 2-3-2、2-3-3に度数分布を示す。測定含水率は含水率計(DELTA5)により50cm間隔に測定した材幅面８ヶ所の平均を使用した。

それぞれ、製材されたﾗﾐﾅ全体と、その後集成材の製造に使用したﾗﾐﾅの結果を示す。

表2-3-2　含水率測定結果

%

| | 全ﾗﾐﾅ ｽｷﾞ | ﾋﾉｷ | ﾍﾞｲﾏﾂ | 集成材製造ﾗﾐﾅ ｽｷﾞ | ﾋﾉｷ | ﾍﾞｲﾏﾂ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 個体数 | 102 | 20 | 20 | 85 | 10 | 10 |
| 最小値 | 11.9 | 11.0 | 9.9 | 12.1 | 12.3 | 9.9 |
| 平均値 | 13.8 | 13.1 | 12.5 | 13.9 | 13.9 | 13.3 |
| 最大値 | 19.4 | 16.0 | 15.9 | 19.4 | 16.0 | 15.9 |
| 標準偏差 | 1.15 | 1.45 | 1.69 | 1.19 | 1.28 | 1.94 |

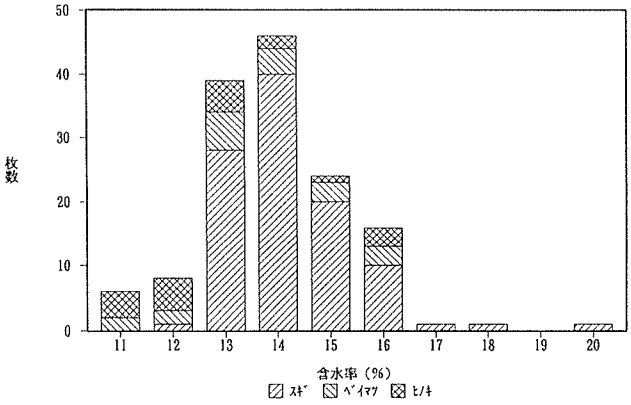



図 2-3-2　ﾗﾐﾅの含水率度数分布
全ﾗﾐﾅ

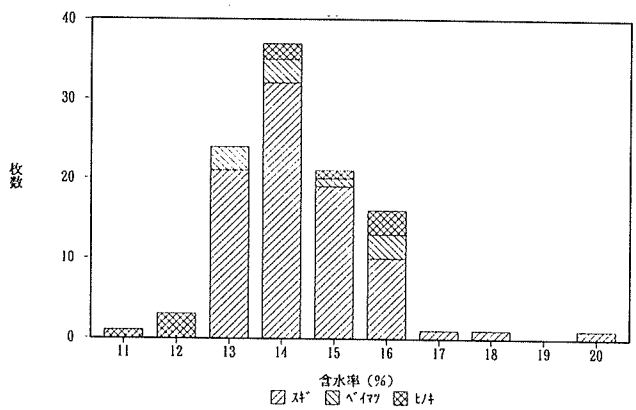



図 2-3-3　ﾗﾐﾅの含水率度数分布
製造ﾗﾐﾅのみ

**(3)　ラミナのJASによる視覚等級区分とヤング係数の測定**

視覚等級区分は材両面による集中節径比を用い、その結果を図2-3-4に示す。

内層に使用するスギについては比較的大径木から製材したことから半分以上３等以上を占めたのに対し、外層に使用するヒノキ、ベイマツに等級の低い割合が多い。

全ラミナについてヤング係数(Ed)を測定した。測定方法は荷重載荷法で、図 2-3-5により３等分点４点荷重とした。

荷重は初期1.0kg、その上に1.5kg加えて第１荷重として2.5kg、更に1.5kg加えて第２荷重として4.0kgを載荷した。

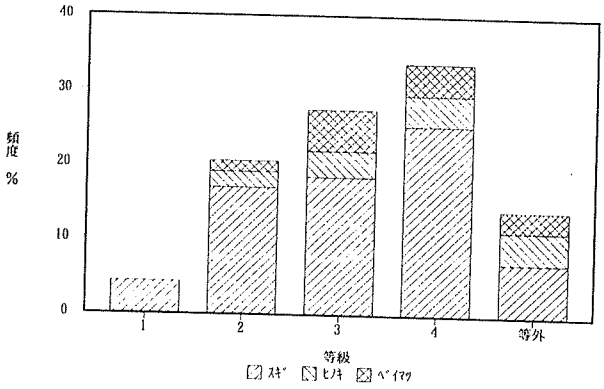
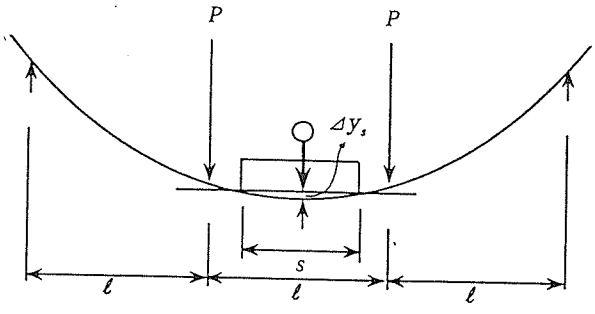



図 2-3-4　視覚等級区分別等級度数分布




$$Ed=3\cdot\Delta Pls^2/(4\cdot bh^3\Delta y_s) \quad \cdots \quad (式2.3.1)$$

ただし　ΔＰ：１荷重点当たりの荷重階差(1.5kg)
　　ｌ：全スパンの３等分の長さ(120cm)
　　ｓ：歪み測定スパン(80cm)
　　ｂ：幅　　ｈ：高さ（それぞれ実測）
　　$\Delta y_s$：ΔＰ当たりの歪みで「第１荷重歪み－初期荷重歪み」と「第２荷重歪み－第１荷重歪み」の平均

図 2-3-5　ラミナﾔﾝｸﾞ係数(Ed)の測定方法

全ラミナと、集成材として使用したラミナ別に、結果を表 2-3-3及び図 2-3-6、2-3-7に示す。ﾓｰﾒﾝﾄ一定区間の全ラミナのﾔﾝｸﾞ係数の平均はスギで85tf/cm²、ベイマツ147tf/cm²、ヒノキ110tf/cm²、となり、実際に集成材として使用したラミナの平均は更に高い。

大断面構造用集成材の外層用ひき板の適合基準により、それぞれ該当する樹種区分により等級区分した結果を図 2-3-8に示す。（ただし、ﾔﾝｸﾞ測定方法は異なる）

特にベイマツで、視覚等級区分法よりも、上位等級に入る割合が高くなっている。

表 2-3-3　ﾗﾐﾅのﾔﾝｸﾞ係数集計

| | ﾓｰﾒﾝﾄ一定区間 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 全ﾗﾐﾅ | | | 製造ﾗﾐﾅのみ | | |
| | ｽｷﾞ | ﾋﾉｷ | ﾍﾞｲﾏﾂ | ｽｷﾞ | ﾋﾉｷ | ﾍﾞｲﾏﾂ |
| 個体数 | 102 | 20 | 20 | 85 | 10 | 10 |
| 最小値 | 57.4 | 78.6 | 112.8 | 65.7 | 98.2 | 125.0 |
| 平均値 | 84.9 | 110.3 | 147.3 | 88.3 | 126.2 | 159.1 |
| 最大値 | 117.1 | 166.3 | 192.7 | 117.1 | 166.3 | 192.7 |
| 標準偏差 | 14.4 | 24.2 | 24.9 | 13.1 | 20.7 | 24.8 |
| 変動係数 | 16.9 | 22.0 | 16.9 | 14.8 | 16.4 | 15.6 |

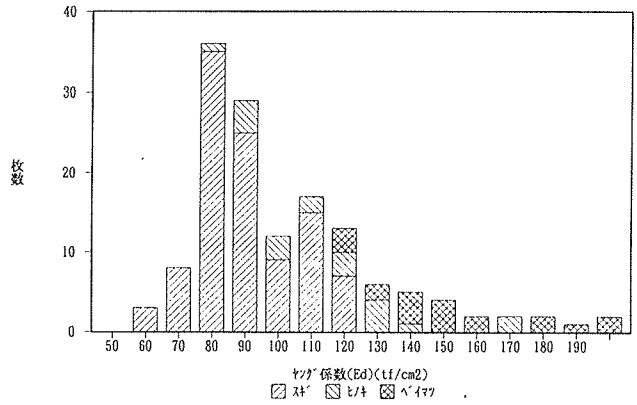



図 2-3-6　ﾗﾐﾅのﾔﾝｸﾞ係数Ed分布
全ﾗﾐﾅ

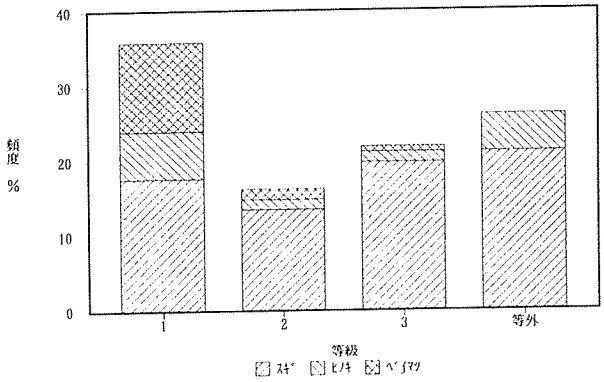



図 2-3-8　ﾗﾐﾅの機械等級区分別等級
の度数分布

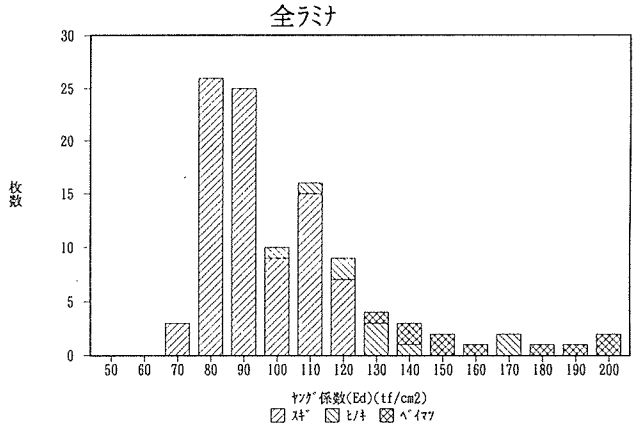



図 2-3-7　ﾗﾐﾅのﾔﾝｸﾞ係数Ed分布
製造ﾗﾐﾅのみ

**(4)　ラミナの配置**

ラミナ両面を鉋削し、厚さ30mmに仕上げた後、表2-3-4により配置を設定した。

外層ラミナについては視覚等級区分で3等以上についてヤング係数の高い順に全ての材に均等になるよう配置した。（ただし、ﾋﾉｷ材に5等が2本入っているが、僅かな割れによるものであり、他の欠点は無かったので使用した。）

内層ラミナはヤング係数の高い順に外部から全ての材に均等になるよう配置した。

**(5)　集成材の製造**

ラミナは縦継ぎなしに積層接着した。接着条件は下記のとおりである。

接着剤：ｱｲｶﾈｵﾚｼﾞﾝPR-1H　硬化材：ｱｲｶ工業製　主剤／硬化剤：10/8

塗布量：300±50g/m²　　圧締圧力：10kg/cm²　養生期間：２日　温度：10-15度

表 2.3.4. 供試集成材の配置とﾗﾐﾅのﾔﾝｸﾞ係数、等級

ﾍﾞｲﾏﾂｰｽｷﾞｰﾍﾞｲﾏﾂ接着

製品 1

| ﾗﾐﾅ NO | 原木 NO | 板 NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ﾍﾞ | 9 | 159.5 | 1 | 3 |
| 2 | 5 | 4 | 114.9 | 1 | 2 |
| 3 | 3 | 11 | 99.2 | 1 | 2 |
| 4 | 3 | 5 | 85.1 | 2 | 2 |
| 5 | 4 | 5 | 76.8 | 3 | 3 |
| 6 | 7 | 8 | 74.2 | 4 | 4 |
| 7 | 8 | 10 | 81.0 | 3 | 3 |
| 8 | 6 | 3 | 89.2 | 2 | 2 |
| 9 | 2 | 9 | 104.6 | 1 | 3 |
| 10 | ﾍﾞ | 16 | 149.2 | 1 | 3 |
| | | 平均 | 103.4 | | |

製品 10

| ﾗﾐﾅ NO | 原木 NO | 板 NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ﾍﾞ | 8 | 177.9 | 1 | 2 |
| 2 | 3 | 12 | 111.5 | 1 | 2 |
| 3 | 5 | 10 | 94.4 | 2 | 2 |
| 4 | 7 | 1 | 84.4 | 3 | 2 |
| 5 | 7 | 7 | 76.1 | 3 | 4 |
| 6 | 4 | 8 | 73.7 | 4 | 4 |
| 7 | 6 | 1 | 79.9 | 3 | 2 |
| 8 | 10 | 2 | 87.9 | 2 | 3 |
| 9 | 7 | 5 | 103.2 | 1 | 4 |
| 10 | ﾍﾞ | 17 | 140.2 | 1 | 3 |
| | | 平均 | 102.9 | | |

製品 8

| ﾗﾐﾅ NO | 原木 NO | 板 NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ﾍﾞ | 4 | 136.1 | 1 | 3 |
| 2 | 5 | 11 | 111.1 | 1 | 3 |
| 3 | 2 | 11 | 93.4 | 2 | 5 |
| 4 | 7 | 13 | 84.2 | 3 | 2 |
| 5 | 9 | 4 | 75.5 | 3 | 4 |
| 6 | 9 | 9 | 73.3 | 4 | 3 |
| 7 | 4 | 4 | 78.8 | 3 | 2 |
| 8 | 10 | 3 | 87.0 | 2 | 2 |
| 9 | 2 | 12 | 102.3 | 1 | 1 |
| 10 | ﾍﾞ | 2 | 185.0 | 1 | 3 |
| | | 平均 | 102.7 | | |

製品 7

| ﾗﾐﾅ NO | 原木 NO | 板 NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ﾍﾞ | 14 | 192.7 | 1 | 2 |
| 2 | 3 | 13 | 106.2 | 1 | 3 |
| 3 | 4 | 2 | 91.5 | 2 | 2 |
| 4 | 4 | 9 | 83.8 | 3 | 4 |
| 5 | 6 | 2 | 75.1 | 3 | 3 |
| 6 | 7 | 12 | 70.7 | 4 | 2 |
| 7 | 7 | 9 | 78.2 | 3 | 3 |
| 8 | 10 | 4 | 86.6 | 2 | 3 |
| 9 | 2 | 8 | 101.7 | 1 | 4 |
| 10 | ﾍﾞ | 7 | 132.2 | 1 | 3 |
| | | 平均 | 101.9 | | |

製品 3

| ﾗﾐﾅ NO | 原木 NO | 板 NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ﾍﾞ | 15 | 125.0 | 1 | 3 |
| 2 | 2 | 5 | 104.8 | 1 | 4 |
| 3 | 2 | 4 | 89.9 | 2 | 3 |
| 4 | 6 | 4 | 82.9 | 3 | 3 |
| 5 | 9 | 2 | 74.8 | 4 | 2 |
| 6 | 8 | 6 | 66.8 | 4 | 2 |
| 7 | 7 | 6 | 77.0 | 3 | 4 |
| 8 | 6 | 5 | 85.7 | 2 | 1 |
| 9 | 2 | 10 | 100.3 | 1 | 5 |
| 10 | ﾍﾞ | 13 | 192.7 | 1 | 3 |
| | | 平均 | 100.0 | | |

ﾋﾉｷｰｽｷﾞｰﾋﾉｷ接着

製品 5

| ﾗﾐﾅ NO | 原木 NO | 板 NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ﾋ | 20 | 123.5 | 1 | 5 |
| 2 | 2 | 1 | 113.2 | 1 | 3 |
| 3 | 2 | 3 | 98.6 | 1 | 4 |
| 4 | 5 | 1 | 84.8 | 3 | 1 |
| 5 | 4 | 3 | 76.2 | 3 | 2 |
| 6 | 8 | 13 | 73.8 | 4 | 3 |
| 7 | 10 | 6 | 80.1 | 3 | 4 |
| 8 | 7 | 4 | 88.7 | 2 | 4 |
| 9 | 3 | 2 | 103.8 | 1 | 1 |
| 10 | ﾋ | 18 | 120.1 | 1 | 3 |
| | | 平均 | 96.3 | | |

製品 9

| ﾗﾐﾅ NO | 原木 NO | 板 NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ﾋ | 15 | 127.1 | 1 | 2 |
| 2 | 2 | 7 | 111.2 | 1 | 4 |
| 3 | 3 | 10 | 93.7 | 2 | 3 |
| 4 | 8 | 11 | 84.2 | 3 | 2 |
| 5 | 7 | 2 | 76.1 | 3 | 4 |
| 6 | 6 | 6 | 73.6 | 4 | 3 |
| 7 | 8 | 4 | 79.4 | 3 | 2 |
| 8 | 3 | 7 | 87.9 | 2 | 4 |
| 9 | 6 | 11 | 102.8 | 1 | 2 |
| 10 | ﾋ | 14 | 116.8 | 1 | 3 |
| | | 平均 | 95.3 | | |

製品 6

| ﾗﾐﾅ NO | 原木 NO | 板 NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ﾋ | 12 | 131.0 | 1 | 3 |
| 2 | 3 | 1 | 108.0 | 1 | 4 |
| 3 | 5 | 8 | 93.2 | 2 | 3 |
| 4 | 3 | 4 | 84.0 | 3 | 1 |
| 5 | 6 | 13 | 75.4 | 3 | 3 |
| 6 | 10 | 5 | 71.1 | 4 | 3 |
| 7 | 8 | 2 | 78.5 | 3 | 2 |
| 8 | 5 | 2 | 86.7 | 2 | 3 |
| 9 | 3 | 3 | 102.0 | 1 | 1 |
| 10 | ﾋ | 8 | 113.7 | 2 | 2 |
| | | 平均 | 94.4 | | |

製品 4

| ﾗﾐﾅ NO | 原木 NO | 板 NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ﾋ | 19 | 160.1 | 1 | 5 |
| 2 | 2 | 2 | 106.2 | 1 | 4 |
| 3 | 7 | 3 | 90.8 | 2 | 2 |
| 4 | 10 | 1 | 83.6 | 3 | 3 |
| 5 | 7 | 10 | 75.0 | 4 | 4 |
| 6 | 8 | 5 | 68.2 | 4 | 3 |
| 7 | 9 | 8 | 77.3 | 3 | 4 |
| 8 | 5 | 5 | 86.5 | 2 | 4 |
| 9 | 2 | 6 | 101.6 | 1 | 4 |
| 10 | ﾋ | 2 | 105.4 | 2 | 3 |
| | | 平均 | 95.5 | | |

製品 2

| ﾗﾐﾅ NO | 原木 NO | 板 NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ﾋ | 17 | 166.3 | 1 | 3 |
| 2 | 5 | 9 | 104.6 | 1 | 2 |
| 3 | 4 | 1 | 89.5 | 2 | 4 |
| 4 | 7 | 11 | 82.4 | 3 | 2 |
| 5 | 7 | 14 | 74.5 | 4 | 2 |
| 6 | 6 | 7 | 65.7 | 4 | 3 |
| 7 | 8 | 3 | 77.0 | 3 | 3 |
| 8 | 10 | 7 | 85.4 | 2 | 3 |
| 9 | 4 | 10 | 99.6 | 1 | 3 |
| 10 | ﾋ | 16 | 98.2 | 3 | 5 |
| | | 平均 | 94.3 | | |

### 2.3.2 集成材の曲げ試験

製造した集成材すべてについて動的ヤング係数を測定し、強度試験機により非破壊曲げ試験を実施した。その後、ベイマツ、ヒノキ合わせ集成材それぞれ平均的な２個体について曲げ破壊試験を実施した。

**(1) 動的ﾔﾝｸﾞ係数の測定**

製造した集成材から打撃による動的ヤング係数(Efr)を求めた。FFTｱﾅﾗｲｻﾞｰ(ｴｰ･ｱﾝﾄﾞ･ﾃﾞｰ社製AD-3524)を用いて基本振動周波数から下記により算出した。

$$Efr=4L^2f^2\rho/g \quad \cdots\cdots \quad (式\ 2\text{-}3\text{-}2)$$

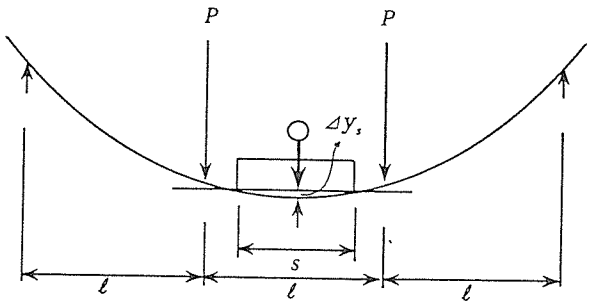
ただし　Efr：動的ヤング係数　　L：材長　f：基本振動周波数(Hz)

$\rho$：比重　　g：重力加速度　9.8m/sec$^2$

**(2) 非破壊曲げ試験によるヤング係数の測定**

実大強度試験機により、一定荷重し、非破壊によるヤング係数を求めた。

荷重は３等分点４点荷重方式で、図 2-3-9により測定した。




$$El\text{-}e(El\text{-}f)=3\cdot\Delta Pls^2/(4\cdot bh^3\Delta y_s)\cdots \quad (式2.3.3)$$

ただし　ΔＰ：荷重(0から1500kgまたは600kg付近任意荷重差)

ｌ：全スパンの３等分の長さ(120cm)

ｓ：歪み測定スパン(80cm)

ｂ：幅(10.5cmまたは30cm)ｈ：高さ(30cmまたは10.5cm)

$\Delta y_s$：ΔＰ当たりの歪み

図 2-3-9　非破壊曲げ試験によるﾔﾝｸﾞ係数の測定

荷重はｴｯｼﾞﾜｲｽﾞについて1500kg、ﾌﾗｯﾄﾜｲｽﾞは600kgとした。　なおｴｯｼﾞﾜｲｽﾞ(El-e:ﾓｰﾒﾝﾄ一定区間、EL-e:全ｽﾊﾟﾝ)は両面について、ﾌﾗｯﾄﾜｲｽﾞ(El-f:ﾓｰﾒﾝﾄ一定区間、EL-f:全ｽﾊﾟﾝ)は片面について実施した。

動的及び非破壊試験の結果を表 2-3-5に示し、その関係を図 2-3-10～2-3-15に示す。これによれば、ﾌﾗｯﾄﾜｲｽﾞのヤング係数は材の全体を反映しているため、ﾗﾐﾅのEd平均値や動的ヤング係数(Efr)との関係が強く、一方ｴｯｼﾞﾜｲｽﾞでは最外層間ヤング係数の差の大きい個体を除けば、最下層のﾔﾝｸﾞ係数との関係が強い。

また、ﾗﾐﾅのEd平均値と動的ヤング係数との関係も同様の理由で強く出ている。

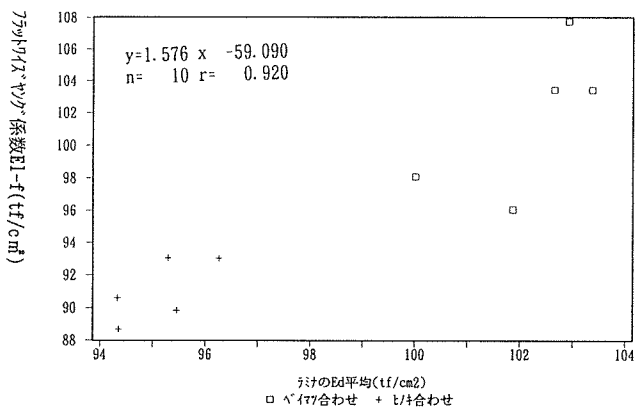



図 2-3-10　ﾗﾐﾅEd平均とEl-f

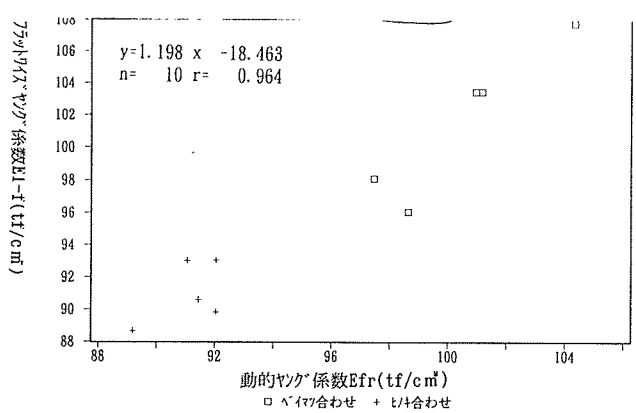



図 2-3-11　動的ﾔﾝｸﾞ係数(Efr)とEl-f

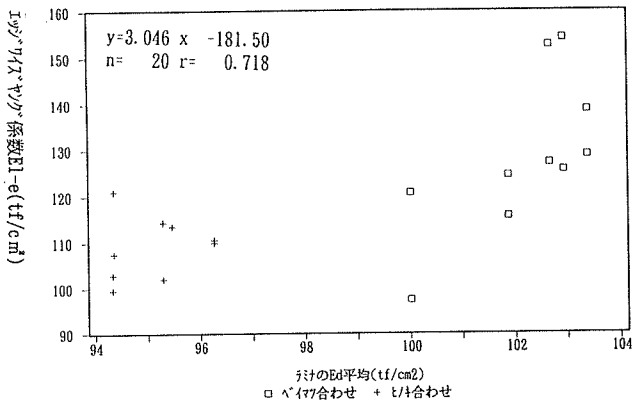



図 2-3-12 ラミナEd平均とEl-e

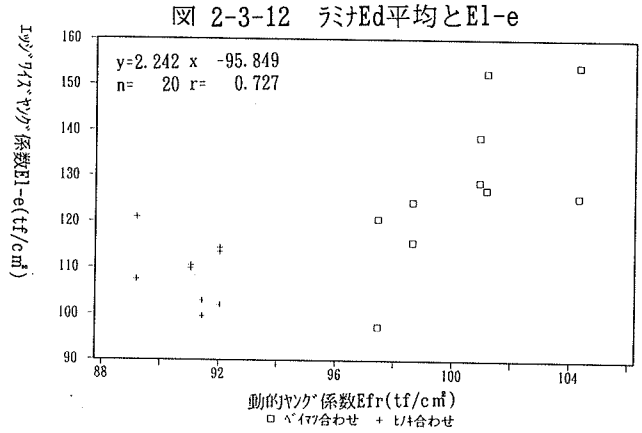



図 2-3-13 動的ﾔﾝｸﾞ係数(Efr)とEl-e

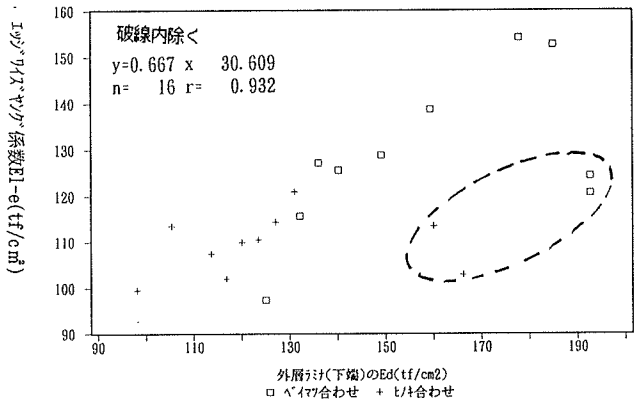



図 2-3-14 外層ﾗﾐﾅ下端のEdとEl-e

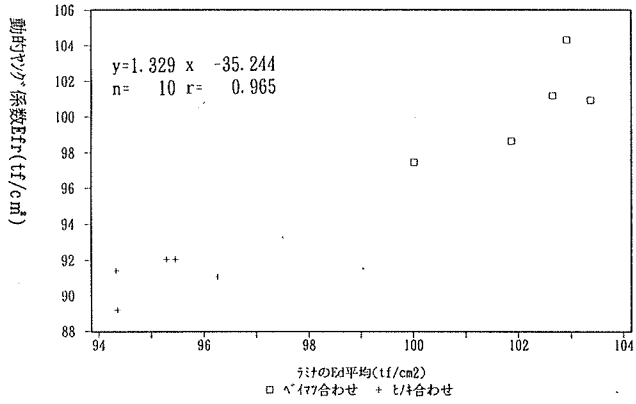



図 2-3-15 ﾗﾐﾅEd平均と動的ﾔﾝｸﾞ係数(Efr)

表 2-3-5 供試集成材の各種ヤング係数

(tf/cm²)

ﾍﾞｲﾏﾂｰｽｷﾞｰﾍﾞｲﾏﾂ

| 製品no | Edによる動的ﾔﾝｸﾞ | | ﾗﾐﾅEd | 強度試験機による測定値 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ｴｯｼﾞﾜｲｽﾞ | | ﾌﾗｯﾄﾜｲｽﾞ | |
| | 理論値 | Efr | 平均 | m一定 El-e | 全ｽﾊﾟﾝ EL-e | m一定 El-f | 全ｽﾊﾟﾝ EL-f |
| 3 | 136.7 | 100.0 | 100.0 | 120.7 | 94.3 | 98.1 | 97.7 |
| | 88.7 | | | 97.3 | 86.9 | | |
| 7 | 133.0 | 98.6 | 101.9 | 124.4 | 100.1 | 96.1 | 92.6 |
| | 91.2 | | | 115.7 | 90.8 | | |
| 8 | 130.1 | 101.2 | 102.7 | 152.7 | 92.6 | 103.4 | 100.6 |
| | 95.7 | | | 127.2 | 84.7 | | |
| 10 | 123.8 | 104.3 | 102.9 | 154.2 | 104.3 | 107.8 | 102.6 |
| | 97.5 | | | 125.6 | 96.6 | | |
| 1 | 113.5 | 100.9 | 103.4 | 138.7 | 93.8 | 103.4 | 97.4 |
| | 106.2 | | | 128.8 | 98.3 | | |
| 個体数 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 | 5 | 5 |
| 最大値 | 88.7 | 98.6 | 100.0 | 97.3 | 84.7 | 96.1 | 92.6 |
| 平均値 | 111.6 | 101.0 | 102.2 | 128.5 | 94.2 | 101.8 | 98.2 |
| 最小値 | 136.7 | 104.3 | 103.4 | 154.2 | 104.3 | 107.8 | 102.6 |
| 標準偏差 | 17.33 | 1.88 | 1.18 | 16.06 | 5.63 | 4.19 | 3.40 |

ﾋﾉｷｰｽｷﾞｰﾋﾉｷ

| 製品no | Edによる動的ﾔﾝｸﾞ | | ﾗﾐﾅEd | 強度試験機による測定値 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ｴｯｼﾞﾜｲｽﾞ | | ﾌﾗｯﾄﾜｲｽﾞ | |
| | 理論値 | Efr | 平均 | m一定 El-e | 全ｽﾊﾟﾝ EL-e | m一定 El-f | 全ｽﾊﾟﾝ EL-f |
| 2 | 133.6 | 91.4 | 94.3 | 102.8 | 80.8 | 90.6 | 89.6 |
| | 78.9 | | | 99.5 | 79.5 | | |
| 4 | 126.6 | 92.0 | 95.5 | 113.4 | 88.5 | 89.8 | 91.9 |
| | 83.4 | | | 113.5 | 82.5 | | |
| 6 | 107.1 | 89.2 | 94.4 | 121.0 | 83.8 | 88.7 | 86.5 |
| | 93.0 | | | 107.5 | 78.3 | | |
| 9 | 105.3 | 92.0 | 95.3 | 114.3 | 91.7 | 93.0 | 92.4 |
| | 96.8 | | | 101.9 | 83.9 | | |
| 5 | 103.8 | 91.1 | 96.3 | 110.5 | 83.1 | 93.0 | 92.3 |
| | 100.9 | | | 109.9 | 78.5 | | |
| 個体数 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 | 5 | 5 |
| 最大値 | 78.9 | 89.2 | 94.3 | 99.5 | 78.3 | 88.7 | 86.5 |
| 平均値 | 102.9 | 91.2 | 95.1 | 109.4 | 83.1 | 91.0 | 90.6 |
| 最小値 | 133.6 | 92.0 | 96.3 | 121.0 | 91.7 | 93.0 | 92.4 |
| 標準偏差 | 16.19 | 1.06 | 0.73 | 6.28 | 4.07 | 1.75 | 2.26 |

表－ 2.3.6. 供試集成材のﾔﾝｸﾞ係数と曲げ強さ

ﾍﾞｲﾏﾂｰｽｷﾞｰﾍﾞｲﾏﾂ接着

| ﾗﾐﾅ NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 理論ﾔﾝｸﾞ係数(M一定区間) tf/cm² | 測定ﾔﾝｸﾞ係数 El-e tf/cm² |
|---|---|---|---|
| 製品1 | | | |
| 1 | 159.5 | 106.2 | 128.8 |
| 2 | 114.9 | ↓ | ↓ |
| 3 | 99.2 | | |
| 4 | 85.1 | | |
| 5 | 76.8 | ←Elf | 103.4 |
| 6 | 74.2 | | |
| 7 | 81.0 | | |
| 8 | 89.2 | | |
| 9 | 104.6 | ↑ | ↑ |
| 10 | 149.2 | 113.5 | 138.7 |
| 平均 | 103.4 | Efr= | 100.9 |
| 製品10 | | | |
| 1 | 177.9 | 97.5 | 125.6 |
| 2 | 111.5 | ↓ | ↓ |
| 3 | 94.4 | | |
| 4 | 84.4 | | |
| 5 | 76.1 | ←Elf | 107.8 |
| 6 | 73.7 | | |
| 7 | 79.9 | | |
| 8 | 87.9 | | |
| 9 | 103.2 | ↑ | ↑ |
| 10 | 140.2 | 123.8 | 154.2 |
| 平均 | 102.9 | Efr= | 104.3 |
| 製品8 | | | |
| 1 | 136.1 | 130.1 | 152.7 |
| 2 | 111.1 | ↓ | ↓ |
| 3 | 93.4 | | |
| 4 | 84.2 | | |
| 5 | 75.5 | ←Elf | 103.4 |
| 6 | 73.3 | | |
| 7 | 78.8 | | |
| 8 | 87.0 | | |
| 9 | 102.3 | ↑ | ↑ |
| 10 | 185.0 | 95.7 | 127.2 |
| 平均 | 102.7 | Efr= | 101.2 |
| 製品7 | | | |
| 1 | 192.7 | 91.2 | 115.7 |
| 2 | 106.2 | ↓ | ↓ |
| 3 | 91.5 | | |
| 4 | 83.8 | | |
| 5 | 75.1 | ←Elf | 96.1 |
| 6 | 70.7 | | |
| 7 | 78.2 | | |
| 8 | 86.6 | | |
| 9 | 101.7 | ↑ | ↑ |
| 10 | 132.2 | 133.0 | 124.4 |
| 平均 | 101.9 | Efr= | 98.6 |
| 製品3 | | | |
| 1 | 125.0 | 136.7 | 120.7 |
| 2 | 104.8 | ↓ | ↓ |
| 3 | 89.9 | | |
| 4 | 82.9 | | |
| 5 | 74.8 | ←Elf | 98.1 |
| 6 | 66.8 | | |
| 7 | 77.0 | | |
| 8 | 85.7 | | |
| 9 | 100.3 | ↑ | ↑ |
| 10 | 192.7 | 88.7 | 97.3 |
| 平均 | 100.0 | Efr= | 100.0 |

曲げ強度 394.9 kgf/cm²
曲げ比例限 338 kgf/cm²
ﾔﾝｸﾞ係数 ﾓｰﾒﾝﾄ一定El 121.9 tf/cm²
全ｽﾊﾟﾝEL 111.6 tf/cm²

曲げ強さ 489.7 kgf/cm²
曲げ比例限 432.1 kgf/cm²
ﾔﾝｸﾞ係数 ﾓｰﾒﾝﾄ一定El 104 tf/cm²
全ｽﾊﾟﾝEL 101.5 tf/cm²

ﾋﾉｷｰｽｷﾞｰﾋﾉｷ接着

| ﾗﾐﾅ NO | ﾔﾝｸﾞ係数Ed (M一定区間) tf/cm² | 理論ﾔﾝｸﾞ係数(M一定区間) tf/cm² | 測定ﾔﾝｸﾞ係数 El-e tf/cm² |
|---|---|---|---|
| 製品5 | | | |
| 1 | 123.5 | 100.9 | 109.9 |
| 2 | 113.2 | ↓ | ↓ |
| 3 | 98.6 | | |
| 4 | 84.8 | | |
| 5 | 76.2 | ←Elf | 93.0 |
| 6 | 73.8 | | |
| 7 | 80.1 | | |
| 8 | 88.7 | | |
| 9 | 103.8 | ↑ | ↑ |
| 10 | 120.1 | 103.8 | 110.5 |
| 平均 | 96.3 | Efr= | 91.1 |
| 製品9 | | | |
| 1 | 127.1 | 96.8 | 101.9 |
| 2 | 111.2 | ↓ | ↓ |
| 3 | 93.7 | | |
| 4 | 84.2 | | |
| 5 | 76.1 | ←Elf | 93.0 |
| 6 | 73.6 | | |
| 7 | 79.4 | | |
| 8 | 87.9 | | |
| 9 | 102.8 | ↑ | ↑ |
| 10 | 116.8 | 105.3 | 114.3 |
| 平均 | 95.3 | Efr= | 92.0 |
| 製品6 | | | |
| 1 | 131.0 | 93.0 | 107.5 |
| 2 | 108.0 | ↓ | ↓ |
| 3 | 93.2 | | |
| 4 | 84.0 | | |
| 5 | 75.4 | ←Elf | 88.7 |
| 6 | 71.1 | | |
| 7 | 78.5 | | |
| 8 | 86.7 | | |
| 9 | 102.0 | ↑ | ↑ |
| 10 | 113.7 | 107.1 | 121.0 |
| 平均 | 94.4 | Efr= | 89.2 |
| 製品4 | | | |
| 1 | 160.1 | 83.4 | 113.5 |
| 2 | 106.2 | ↓ | ↓ |
| 3 | 90.8 | | |
| 4 | 83.6 | | |
| 5 | 75.0 | ←Elf | 89.8 |
| 6 | 68.2 | | |
| 7 | 77.3 | | |
| 8 | 86.5 | | |
| 9 | 101.6 | ↑ | ↑ |
| 10 | 105.4 | 126.6 | 113.4 |
| 平均 | 95.5 | Efr= | 92.0 |
| 製品2 | | | |
| 1 | 166.3 | 78.9 | 99.5 |
| 2 | 104.6 | ↓ | ↓ |
| 3 | 89.5 | | |
| 4 | 82.4 | | |
| 5 | 74.5 | ←Elf | 90.6 |
| 6 | 65.7 | | |
| 7 | 77.0 | | |
| 8 | 85.4 | | |
| 9 | 99.6 | ↑ | ↑ |
| 10 | 98.2 | 133.6 | 102.8 |
| 平均 | 94.3 | Efr= | 91.4 |

曲げ強度 392.5 kgf/cm²
曲げ比例限 291 kgf/cm²
ﾔﾝｸﾞ係数 ﾓｰﾒﾝﾄ一定El 95.2 tf/cm²
全ｽﾊﾟﾝEL 91.4 tf/cm²

曲げ強さ 412.8 kgf/cm²
曲げ比例限 303 kgf/cm²
ﾔﾝｸﾞ係数 ﾓｰﾒﾝﾄ一定 100.7 tf/cm²
全ｽﾊﾟﾝEL 90.2 tf/cm²

### (3) 理論式から算出した曲げヤング係数(Ecal)について

表 2-3-4によるラミナの各ヤング係数の配置から次式により集成材の理論曲げヤング係数を算出した。

$$Ecal=\Sigma(Ei\cdot Ii)/I \qquad \cdots\cdots \quad (式2\text{-}3\text{-}4)$$

ただし　Ecal：理論式によるヤング係数　Ei：i層ﾗﾐﾅのヤング係数
Ii：i層ﾗﾐﾅの断面２次ﾓｰﾒﾝﾄ　　I：集成材の断面２次ﾓｰﾒﾝﾄ

この結果を他のヤング係数も含め、表 2-3-6に示し、理論値と測定値（ｴｯｼﾞﾜｲｽﾞ、ﾓｰﾒﾝﾄ一定区間ﾔﾝｸﾞ係数El-e）の関係を図 2-3-16に示す。両者の関係は0.47で、比較的相関が低いが、特に組み合わせた外層ﾗﾐﾅのﾔﾝｸﾞ係数に差の大きい個体の４測定点を除けば0.845と相関が高くなる。また、全体的には理論値より高めに出る傾向である。

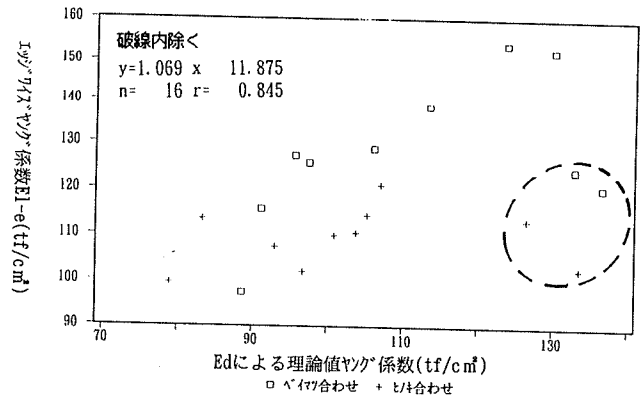



図 2-3-16　集成材の理論値と測定ﾔﾝｸﾞ係数

### (4) 曲げ破壊試験結果

ベイマツ、ヒノキ合わせ集成材それぞれ平均的な２個体について曲げ破壊試験を実施し、表 2-3-6に示す。荷重点間距離は非破壊試験と異なり、60cmとした。

大断面構造用集成材の曲げ試験の適合基準によれば、曲げﾔﾝｸﾞ係数は４個体全て90tf/cm²以上で、特級に該当する。曲げ強さは２個体が405kg/cm²以上で特級に該当し、他の２個体も345kg/cm²以上で１級に該当する。

### (5) 異樹種集成材と同樹種集成材の比較

同樹種集成材を製造しなかったので、供試スギﾗﾐﾅを全て使用したと推定し、式2-3-2によるスギのみによる集成材理論値との比較を検討した。

表 2-3-7に推定集成材の組み合わせと理論ﾔﾝｸﾞ係数を示した。また、表 2-3-8に各ﾔﾝｸﾞ係数の集計並びに図 2-3-17に図示した。

スギ理論値はﾓｰﾒﾝﾄ一定区間の値で、一般材より全体的に高めの傾向を示すようだが、理論値のみの比較でもヒノキでは＋10tf/cm²、ベイマツでは＋20tf/cm²となり、その効果が認められた。

| | 米ﾏﾂ実測値 El-e | 米ﾏﾂ理論値 | ﾋﾉｷ実測値 El-e | ﾋﾉｷ理論値 | ｽｷﾞ理論値 |
|---|---|---|---|---|---|
| 個体数 | 10 | 10 | 10 | 10 | 16 |
| 最小値 | 97.3 | 88.7 | 99.5 | 78.9 | 88.9 |
| 平均値 | 128.5 | 111.6 | 109.4 | 102.9 | 91.0 |
| 最大値 | 154.2 | 136.7 | 121.0 | 133.6 | 97.6 |
| 標準偏差 | 16.06 | 17.33 | 6.28 | 16.19 | 3.43 |

表 2-3-7各種ﾔﾝｸﾞ係数(ﾓｰﾒﾝﾄ一定区間)の集計

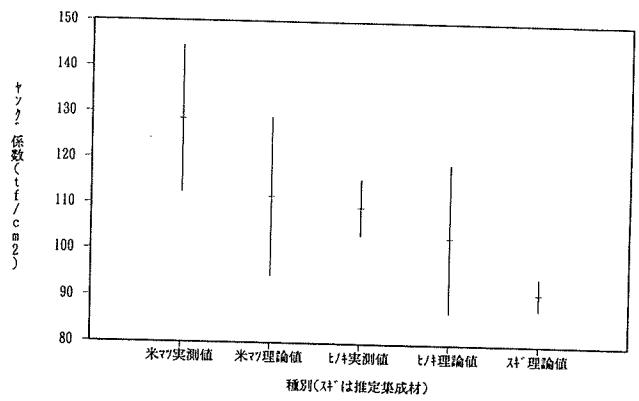



図 2-3-17　各種ﾔﾝｸﾞ係数(ﾓｰﾒﾝﾄ一定区間)
(標準偏差、平均)

## 表－ 2.3.8. 供試ｽｷﾞﾗﾐﾅによる推定集成材のﾔﾝｸﾞ係数

| 原木NO | 板NO | ﾔﾝｸﾞ係数 Ed tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 | ﾗﾐﾅno | 理論ﾔﾝｸﾞ係数 tf/cm² |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 製品 8 | | | | | | |
| 5 | 4 | 114.9 | 1 | 2 | 1 | 89.1 |
| 2 | 8 | 101.7 | 1 | 4 | 2 | ↓ |
| 10 | 2 | 87.9 | 2 | 3 | 3 | |
| 6 | 4 | 82.9 | 3 | 3 | 4 | |
| 9 | 4 | 75.5 | 3 | 4 | 5 | |
| 4 | 8 | 73.7 | 4 | 4 | 6 | |
| 7 | 9 | 78.2 | 3 | 3 | 7 | |
| 3 | 5 | 85.1 | 2 | 2 | 8 | |
| 2 | 11 | 93.4 | 2 | 5 | 9 | ↑ |
| 2 | 5 | 104.8 | 1 | 4 | 10 | 97.6 |
| 平均 | | 89.8 | | | | |
| 製品 7 | | | | | | |
| 2 | 1 | 113.2 | 1 | 3 | 1 | 89.4 |
| 2 | 6 | 101.6 | 1 | 4 | 2 | ↓ |
| 3 | 7 | 87.9 | 2 | 4 | 3 | |
| 7 | 11 | 82.4 | 3 | 2 | 4 | |
| 6 | 13 | 75.4 | 3 | 3 | 5 | |
| 6 | 6 | 73.6 | 4 | 3 | 6 | |
| 9 | 8 | 77.3 | 3 | 4 | 7 | |
| 5 | 1 | 84.8 | 3 | 1 | 8 | |
| 5 | 8 | 93.2 | 2 | 3 | 9 | ↑ |
| 5 | 9 | 104.6 | 1 | 2 | 10 | 96.6 |
| | | 89.4 | | | | |
| 製品 6 | | | | | | |
| 3 | 12 | 111.5 | 1 | 2 | 1 | 88.9 |
| 2 | 10 | 100.3 | 1 | 5 | 2 | ↓ |
| 10 | 3 | 87.0 | 2 | 2 | 3 | |
| 8 | 10 | 81.0 | 3 | 3 | 4 | |
| 6 | 2 | 75.1 | 3 | 3 | 5 | |
| 9 | 9 | 73.3 | 4 | 3 | 6 | |
| 7 | 6 | 77.0 | 3 | 4 | 7 | |
| 7 | 1 | 84.4 | 3 | 2 | 8 | |
| 4 | 2 | 91.5 | 2 | 2 | 9 | ↑ |
| 2 | 9 | 104.6 | 1 | 3 | 10 | 94.8 |
| | | 88.6 | | | | |
| 製品 5 | | | | | | |
| 2 | 7 | 111.2 | 1 | 4 | 1 | 88.2 |
| 4 | 10 | 99.6 | 1 | 3 | 2 | ↓ |
| 5 | 2 | 86.7 | 2 | 3 | 3 | |
| 10 | 6 | 80.1 | 3 | 4 | 4 | |
| 7 | 10 | 75.0 | 4 | 4 | 5 | |
| 10 | 5 | 71.1 | 4 | 3 | 6 | |
| 8 | 3 | 77.0 | 3 | 3 | 7 | |
| 8 | 11 | 84.2 | 3 | 2 | 8 | |
| 7 | 3 | 90.8 | 2 | 2 | 9 | ↑ |
| 3 | 2 | 103.8 | 1 | 1 | 10 | 94.5 |
| | | 88.0 | | | | |

| 原木NO | 板NO | ﾔﾝｸﾞ係数 Ed tf/cm² | 機械等級区分 | 視覚等級区分 | ﾗﾐﾅno | 理論ﾔﾝｸﾞ係数 tf/cm² |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 製品 4 | | | | | | |
| 5 | 11 | 111.1 | 1 | 3 | 1 | 87.6 |
| 3 | 11 | 99.2 | 1 | 2 | 2 | ↓ |
| 10 | 4 | 86.6 | 2 | 3 | 3 | |
| 6 | 1 | 79.9 | 3 | 2 | 4 | |
| 9 | 2 | 74.8 | 4 | 2 | 5 | |
| 7 | 12 | 70.7 | 4 | 2 | 6 | |
| 4 | 5 | 76.8 | 3 | 3 | 7 | |
| 7 | 13 | 84.2 | 3 | 2 | 8 | |
| 2 | 4 | 89.9 | 2 | 3 | 9 | ↑ |
| 7 | 5 | 103.2 | 1 | 4 | 10 | 94.3 |
| 平均 | | 87.6 | | | | |
| 製品 3 | | | | | | |
| 3 | 1 | 108.0 | 1 | 4 | 1 | 88.1 |
| 2 | 3 | 98.6 | 1 | 4 | 2 | ↓ |
| 5 | 5 | 86.5 | 2 | 4 | 3 | |
| 8 | 4 | 79.4 | 3 | 2 | 4 | |
| 7 | 14 | 74.5 | 4 | 2 | 5 | |
| 8 | 5 | 68.2 | 4 | 3 | 6 | |
| 4 | 3 | 76.2 | 3 | 2 | 7 | |
| 3 | 4 | 84.0 | 3 | 1 | 8 | |
| 4 | 1 | 89.5 | 2 | 4 | 9 | ↑ |
| 6 | 11 | 102.8 | 1 | 2 | 10 | 92.5 |
| | | 86.8 | | | | |
| 製品 2 | | | | | | |
| 3 | 13 | 106.2 | 1 | 3 | 1 | 87.2 |
| 5 | 10 | 94.4 | 2 | 2 | 2 | ↓ |
| 6 | 5 | 85.7 | 2 | 1 | 3 | |
| 4 | 4 | 78.8 | 3 | 2 | 4 | |
| 7 | 8 | 74.2 | 4 | 4 | 5 | |
| 8 | 6 | 66.8 | 4 | 2 | 6 | |
| 7 | 7 | 76.1 | 3 | 4 | 7 | |
| 4 | 9 | 83.8 | 3 | 4 | 8 | |
| 6 | 3 | 89.2 | 2 | 2 | 9 | ↑ |
| 2 | 12 | 102.3 | 1 | 1 | 10 | 90.6 |
| | | 85.8 | | | | |
| 製品 1 | | | | | | |
| 2 | 2 | 106.2 | 1 | 4 | 1 | 86.7 |
| 3 | 10 | 93.7 | 2 | 3 | 2 | ↓ |
| 10 | 7 | 85.4 | 2 | 3 | 3 | |
| 8 | 2 | 78.5 | 3 | 2 | 4 | |
| 8 | 13 | 73.8 | 4 | 3 | 5 | |
| 6 | 7 | 65.7 | 4 | 3 | 6 | |
| 7 | 2 | 76.1 | 3 | 4 | 7 | |
| 10 | 1 | 83.6 | 3 | 3 | 8 | |
| 7 | 4 | 88.7 | 2 | 4 | 9 | ↑ |
| 3 | 3 | 102.0 | 1 | 1 | 10 | 90.2 |
| | | 85.4 | | | | |

付表-1　異樹種集成材製造ﾗﾐﾅの測定結果(ｽｷﾞ)

| NO 原木 | 板 | 集中節径比 両面 % | 集中節径比 片面 % | 繊維傾斜 % | 随その他欠点 *4 | 随その他欠点 *5 | ﾔﾝｸﾞ係数 含水率ﾓｰﾒﾝﾄ % | ﾔﾝｸﾞ係数 一定区間 tf/cm² | ﾔﾝｸﾞ係数 全スパン tf/cm² | 視覚的等級 決定因子 *9 | 視覚的等級 *10 | 機械等級 荷重裁荷 *11 | 集成材製造ﾗﾐﾅ *12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 32.2 | 38.6 | 38 | | | 15.1 | 113.2 | 100.1 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 19.5 | 26.0 | 100 | | | 14.3 | 106.2 | 101.4 | 4 | 2 | 1 | 1 |
| 2 | 3 | 49.4 | 55.9 | 60 | | | 14.1 | 98.6 | 93.7 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 2 | 4 | 32.0 | 38.4 | 22 | | | 15.9 | 89.9 | 85.1 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 2 | 5 | 43.6 | 47.0 | 15 | | | 15.6 | 104.8 | 85.4 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 2 | 6 | 44.5 | 55.1 | 8 | | | 17.0 | 101.6 | 82.2 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 2 | 7 | 49.7 | 51.9 | 7 | 1 | | 15.6 | 111.2 | 101.1 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 2 | 8 | 34.7 | 40.8 | 9 | | | 14.1 | 101.7 | 97.9 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 2 | 9 | 28.4 | 30.5 | 28 | | | 13.0 | 104.6 | 100.7 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 2 | 10 | 4.3 | 8.6 | 95 | | 1 | 13.4 | 100.3 | 97.5 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 11 | 0.0 | 0.0 | 105 | | 1 | 13.3 | 93.4 | 91.3 | 5 | 1 | 2 | 1 |
| 2 | 12 | 0.0 | 0.0 | 62 | | | 13.1 | 102.3 | 97.4 | 1 | 4 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 49.1 | 60.4 | 40 | | | 14.3 | 108.0 | 94.2 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 3 | 2 | 0.0 | 0.0 | 55 | | | 13.3 | 103.8 | 104.5 | 1 | 4 | 1 | 1 |
| 3 | 3 | 8.5 | 8.5 | 11 | | | 14.9 | 102.0 | 98.3 | 1 | 4 | 1 | 1 |
| 3 | 4 | 6.4 | 12.9 | 18 | | | 15.6 | 84.0 | 81.2 | 1 | 4 | 3 | 1 |
| 3 | 5 | 18.0 | 21.4 | 3 | | | 19.4 | 85.1 | 80.9 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 3 | 6 | 57.5 | 72.5 | 8 | 1 | | 17.1 | 83.3 | 81.5 | 5 | 4 | 3 | 1 |
| 3 | 7 | 39.0 | 47.6 | 14 | 1 | | 13.3 | 87.9 | 89.7 | 4 | 4 | 2 | 1 |
| 3 | 8 | 45.9 | 45.9 | 5 | | 1 | 13.4 | 108.3 | 96.0 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 9 | 48.7 | 79.6 | 5 | | 1 | 14.1 | 111.1 | 94.5 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 10 | 26.7 | 26.7 | 12 | | | 15.6 | 93.7 | 89.8 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 3 | 11 | 15.1 | 21.6 | 27 | | | 15.6 | 99.2 | 91.6 | 2 | 4 | 1 | 1 |
| 3 | 12 | 8.5 | 16.9 | 70 | | | 14.6 | 111.5 | 103.8 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 3 | 13 | 31.2 | 32.1 | 58 | | | 13.6 | 106.2 | 91.4 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 42.4 | 46.7 | 4 | | | 13.0 | 89.5 | 84.6 | 4 | 4 | 2 | 1 |
| 4 | 2 | 14.9 | 29.7 | 2 | | | 14.9 | 91.5 | 92.5 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 4 | 3 | 20.9 | 33.5 | 13 | | | 13.0 | 76.2 | 78.6 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 4 | 4 | 14.9 | 29.8 | 20 | | | 13.0 | 78.8 | 76.7 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 4 | 5 | 32.2 | 34.4 | 3 | | | 12.9 | 76.8 | 76.1 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 4 | 6 | 40.4 | 55.3 | 9 | 1 | | 12.9 | 66.9 | 66.3 | 4 | 4 | 4 | |
| 4 | 7 | 69.8 | 93.0 | 1 | 1 | | 14.7 | 66.6 | 62.5 | 5 | 4 | 4 | |
| 4 | 8 | 38.0 | 46.1 | 7 | | | 13.3 | 73.7 | 71.4 | 4 | 4 | 4 | 1 |
| 4 | 9 | 36.5 | 38.6 | 13 | | | 13.0 | 83.8 | 85.9 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| 4 | 10 | 27.6 | 34.0 | 7 | | | 13.6 | 99.6 | 85.7 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 8.5 | 17.0 | 30 | | | 14.1 | 84.8 | 81.3 | 1 | 4 | 3 | 1 |
| 5 | 2 | 31.4 | 37.7 | 7 | | | 12.7 | 86.7 | 82.9 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 5 | 3 | 38.0 | 50.6 | 0 | | | 14.3 | 117.1 | 105.6 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 5 | 4 | 19.6 | 39.2 | 0 | | | 14.9 | 114.9 | 109.6 | 2 | 4 | 1 | 1 |
| 5 | 5 | 41.3 | 47.8 | 2 | | | 13.3 | 86.5 | 84.2 | 4 | 4 | 2 | 1 |
| 5 | 6 | 52.6 | 92.6 | 17 | 1 | | 13.0 | 75.3 | 68.5 | 5 | 4 | 3 | 1 |
| 5 | 7 | 51.2 | 76.8 | 5 | | | 13.7 | 75.0 | 72.2 | 5 | 4 | 4 | |
| 5 | 8 | 32.5 | 43.3 | 11 | | | 14.0 | 93.2 | 90.6 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 5 | 9 | 20.5 | 23.6 | 8 | | | 13.7 | 104.6 | 102.1 | 2 | 4 | 1 | 1 |
| 5 | 10 | 19.3 | 25.8 | 0 | | | 13.1 | 94.4 | 91.1 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 5 | 11 | 25.9 | 30.2 | 15 | | | 14.6 | 111.1 | 103.6 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 13.0 | 25.9 | 5 | | | 13.3 | 79.9 | 77.9 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 6 | 2 | 25.6 | 25.6 | 15 | | | 12.3 | 75.1 | 76.9 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 6 | 3 | 12.9 | 25.9 | 15 | | | 13.4 | 89.2 | 93.7 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 6 | 4 | 25.9 | 39.1 | 25 | | | 13.3 | 82.9 | 81.3 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 6 | 5 | 10.6 | 21.1 | 17 | | | 14.3 | 85.7 | 79.8 | 1 | 4 | 2 | 1 |
| 6 | 6 | 25.5 | 38.3 | 5 | | | 13.0 | 73.6 | 71.3 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| 6 | 7 | 31.8 | 50.9 | 10 | | | 12.7 | 65.7 | 64.6 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| 6 | 8 | 47.8 | 95.7 | 5 | | | 13.6 | 70.8 | 66.7 | 4 | 4 | 4 | |
| 6 | 9 | 37.8 | 54.5 | 4 | 1 | | 12.6 | 70.2 | 66.9 | 4 | 4 | 4 | |
| 6 | 10 | 35.3 | 44.2 | 5 | | | 12.4 | 72.2 | 73.5 | 4 | 4 | 4 | |
| 6 | 11 | 17.2 | 34.3 | 10 | | | 15.7 | 102.8 | 103.1 | 2 | 4 | 1 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 12 | 36.4 | 37.6 | 15 | | 13.9 | 73.5 | 70.5 | 4 | 4 | 4 | |
| 6 | 13 | 33.3 | 46.4 | 20 | | 13.7 | 75.4 | 80.1 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 7 | 1 | 21.2 | 22.9 | 0 | | 15.1 | 84.4 | 87.9 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 7 | 2 | 39.0 | 47.6 | 2 | | 14.1 | 76.1 | 77.2 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| 7 | 3 | 17.2 | 25.8 | 0 | | 15.1 | 90.8 | 94.7 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 7 | 4 | 37.8 | 37.8 | 5 | | 13.3 | 88.7 | 87.7 | 4 | 4 | 2 | 1 |
| 7 | 5 | 44.0 | 57.2 | 10 | | 14.6 | 103.2 | 101.3 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 7 | 6 | 47.4 | 56.0 | 35 | | 15.0 | 77.0 | 81.2 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| 7 | 7 | 46.9 | 63.9 | 20 | | 14.3 | 76.1 | 75.9 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| 7 | 8 | 44.3 | 67.6 | 15 | 1 | 15.0 | 74.2 | 71.5 | 4 | 4 | 4 | 1 |
| 7 | 9 | 32.2 | 38.7 | 22 | | 14.0 | 78.2 | 76.0 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 7 | 10 | 39.0 | 39.0 | 18 | | 13.4 | 75.0 | 77.8 | 4 | 4 | 4 | 1 |
| 7 | 11 | 15.3 | 30.6 | 15 | | 13.6 | 82.4 | 85.6 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 7 | 12 | 22.8 | 37.4 | 8 | | 13.6 | 70.7 | 71.2 | 2 | 4 | 4 | 1 |
| 7 | 13 | 23.7 | 47.4 | 9 | | 13.6 | 84.2 | 83.5 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 7 | 14 | 13.6 | 18.7 | 0 | | 13.4 | 74.5 | 78.5 | 2 | 4 | 4 | 1 |
| 8 | 1 | 40.4 | 46.8 | 15 | | 13.9 | 72.3 | 68.2 | 4 | 4 | 4 | |
| 8 | 2 | 19.9 | 27.1 | 0 | | 12.6 | 78.5 | 74.9 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 8 | 3 | 25.9 | 38.8 | 32 | | 12.9 | 77.0 | 73.1 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 8 | 4 | 19.0 | 21.1 | 15 | | 13.7 | 79.4 | 76.7 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 8 | 5 | 29.9 | 34.2 | 0 | | 13.0 | 68.2 | 67.9 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| 8 | 6 | 19.1 | 25.5 | 20 | | 13.1 | 66.8 | 63.9 | 2 | 4 | 4 | 1 |
| 8 | 7 | 37.8 | 46.2 | 25 | | 13.0 | 58.3 | 57.2 | 4 | 4 | 4 | |
| 8 | 8 | 77.0 | 124.8 | 4 | 1 | 13.9 | 59.3 | 53.2 | 5 | 4 | 4 | |
| 8 | 9 | 36.4 | 38.5 | 4 | | 13.6 | 71.6 | 66.1 | 4 | 4 | 4 | |
| 8 | 10 | 25.8 | 34.4 | 3 | | 13.0 | 81.0 | 78.8 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 8 | 11 | 17.2 | 21.6 | 5 | | 12.1 | 84.2 | 79.4 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 8 | 12 | 38.9 | 43.2 | 2 | | 12.9 | 64.1 | 64.5 | 4 | 4 | 4 | |
| 8 | 13 | 28.2 | 34.7 | 15 | | 12.7 | 73.8 | 66.8 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| 9 | 1 | 38.2 | 46.7 | 5 | | 11.9 | 68.9 | 66.2 | 4 | 4 | 4 | |
| 9 | 2 | 19.5 | 34.6 | 10 | | 12.1 | 74.8 | 71.5 | 2 | 4 | 4 | 1 |
| 9 | 3 | 45.7 | 58.1 | 0 | | 12.6 | 73.0 | 69.9 | 4 | 4 | 4 | |
| 9 | 4 | 37.1 | 43.7 | 10 | | 12.9 | 75.5 | 75.3 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| 9 | 5 | 45.8 | 51.3 | 10 | | 12.6 | 71.6 | 70.7 | 4 | 4 | 4 | |
| 9 | 6 | 58.6 | 100.5 | 0 | 1 | 13.7 | 61.3 | 56.2 | 5 | 4 | 4 | |
| 9 | 7 | 41.9 | 75.4 | 2 | 1 | 13.3 | 57.4 | 53.3 | 4 | 4 | 4 | |
| 9 | 8 | 39.5 | 42.5 | 10 | | 12.9 | 77.3 | 69.9 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| 9 | 9 | 29.7 | 38.1 | 0 | | 13.3 | 73.3 | 67.9 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| 10 | 1 | 29.9 | 29.9 | 29 | | 12.3 | 83.6 | 85.5 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 10 | 2 | 31.9 | 38.3 | 3 | | 14.0 | 87.9 | 87.7 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 10 | 3 | 23.6 | 25.7 | 6 | | 13.9 | 87.0 | 83.0 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 10 | 4 | 28.3 | 39.2 | 15 | | 14.6 | 86.6 | 88.4 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 10 | 5 | 26.7 | 28.0 | 10 | | 13.4 | 71.1 | 70.7 | 3 | 4 | 4 | 1 |
| 10 | 6 | 33.3 | 47.6 | 6 | 1 | 13.3 | 80.1 | 75.1 | 4 | 3 | 3 | 1 |
| 10 | 7 | 32.8 | 35.0 | 10 | | 14.0 | 85.4 | 85.8 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 全ﾗﾐﾅ | | | | | | | | | | | | |
| 個体数 | | 102 | 102 | 102 | | 102 | 102 | 102 | | | | |
| 最小値 | | 0.0 | 0.0 | 0 | | 11.9 | 57.4 | 53.2 | | | | |
| 平均値 | | 30.9 | 40.8 | 16 | | 13.8 | 84.9 | 81.6 | | | | |
| 最大値 | | 77.0 | 124.8 | 105 | | 19.4 | 117.1 | 109.6 | | | | |
| 標準偏差 | | 14.4 | 20.7 | 20 | | 1.2 | 14.4 | 12.8 | | | | |
| 変動係数 | | 46.8 | 50.8 | 127 | | 8.3 | 16.9 | 15.6 | | | | |
| 製造ﾗﾐﾅのみ | | | | | | | | | | | | |
| 個体数 | | 85 | 85 | 85 | | 85 | 85 | 85 | | | | |
| 最小値 | | 0.0 | 0.0 | 0 | | 12.1 | 65.7 | 63.9 | | | | |
| 平均値 | | 27.9 | 36.2 | 18 | | 13.9 | 88.3 | 85.0 | | | | |
| 最大値 | | 57.5 | 92.6 | 105 | | 19.4 | 117.1 | 109.6 | | | | |
| 標準偏差 | | 13.0 | 16.2 | 22 | | 1.2 | 13.1 | 11.0 | | | | |
| 変動係数 | | 46.6 | 44.7 | 121 | | 8.6 | 14.8 | 12.9 | | | | |

付表-2　異樹種集成材製造ﾗﾐﾅの測定結果(ﾋﾉｷ)

| NO | 集中節径比 両面 | 集中節径比 片面 | 繊維傾斜 | 随その他欠点 | | ﾔﾝｸﾞ係数 含水率ﾓｰﾒﾝﾄ | ﾔﾝｸﾞ係数 一定区間 | ﾔﾝｸﾞ係数 全スパン | 視覚的等級決定因子 | 機械等級荷重裁荷 | | 集成材製造ﾗﾐﾅ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | % | % | | | % | tf/cm² | tf/cm² | | | | |
| | *1 | *2 | *3 | *4 | *5 | *6 | *7 | *8 | *9 | *10 | *11 | *12 |
| 1 | 47.1 | 50.8 | 5 | | | 11.1 | 102.9 | 95.1 | 4 | 4 | 3 | |
| 2 | 32.8 | 41.0 | 13 | | | 12.7 | 105.4 | 102.4 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 3 | 54.5 | 59.0 | 10 | | | 13.4 | 127.1 | 124.9 | 5 | 4 | 1 | |
| 4 | 69.7 | 73.8 | 7 | | | 11.0 | 86.4 | 82.9 | 5 | 4 | 4 | |
| 5 | 37.7 | 49.2 | 6 | | | 12.4 | 78.6 | 82.9 | 4 | 4 | 4 | |
| 6 | 41.0 | 45.1 | 5 | | | 11.6 | 81.6 | 75.5 | 4 | 4 | 4 | |
| 7 | 43.0 | 45.1 | 25 | | | 14.1 | 116.8 | 113.7 | 4 | 4 | 1 | |
| 8 | 22.5 | 41.0 | 3 | | | 14.3 | 113.7 | 115.4 | 2 | 4 | 2 | 1 |
| 9 | 30.7 | 32.8 | 3 | | | 12.1 | 92.0 | 97.1 | 3 | 4 | 4 | |
| 10 | 48.0 | 53.3 | 7 | | | 12.7 | 88.2 | 122.2 | 4 | 4 | 4 | |
| 11 | 63.9 | 71.3 | 15 | | | 14.4 | 90.0 | 102.8 | 5 | 4 | 4 | |
| 12 | 29.1 | 29.5 | 0 | | | 13.6 | 131.0 | 126.2 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 13 | 16.4 | 20.5 | 10 | | | 11.0 | 80.0 | 79.8 | 2 | 4 | 4 | |
| 14 | 41.8 | 61.5 | 10 | | | 15.7 | 116.8 | 126.6 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 15 | 24.2 | 36.1 | 33 | | | 13.1 | 127.1 | 124.1 | 2 | 4 | 1 | 1 |
| 16 | 32.8 | 32.8 | 10 | | 1 | 12.3 | 98.2 | 102.6 | 5 | 1 | 3 | 1 |
| 17 | 25.4 | 36.9 | 0 | | | 15.3 | 166.3 | 145.4 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 18 | 28.7 | 32.8 | 34 | | | 12.6 | 120.1 | 113.8 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 19 | 29.5 | 36.9 | 10 | | 1 | 16.0 | 160.1 | 160.7 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | 27.5 | 28.7 | 3 | | 1 | 13.4 | 123.5 | 124.9 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| 全ﾗﾐﾅ | | | | | | | | | | | | |
| 個体数 | 20 | 20 | 20 | | | 20 | 20 | 20 | | | | |
| 最小値 | 16.4 | 20.5 | 0 | | | 11.0 | 78.6 | 75.5 | | | | |
| 平均値 | 37.3 | 43.9 | 10 | | | 13.1 | 110.3 | 111.0 | | | | |
| 最大値 | 69.7 | 73.8 | 34 | | | 16.0 | 166.3 | 160.7 | | | | |
| 標準偏差 | 13.6 | 13.9 | 9 | | | 1.5 | 24.2 | 21.6 | | | | |
| 変動係数 | 36.4 | 31.7 | 91 | | | 11.1 | 22.0 | 19.4 | | | | |
| 製造ﾗﾐﾅのみ | | | | | | | | | | | | |
| 個体数 | 10 | 10 | 10 | | | 10 | 10 | 10 | | | | |
| 最小値 | 22.5 | 28.7 | 0 | | | 12.3 | 98.2 | 102.4 | | | | |
| 平均値 | 29.4 | 37.7 | 12 | | | 13.9 | 126.2 | 124.2 | | | | |
| 最大値 | 41.8 | 61.5 | 34 | | | 16.0 | 166.3 | 160.7 | | | | |
| 標準偏差 | 5.2 | 8.9 | 12 | | | 1.3 | 20.7 | 17.1 | | | | |
| 変動係数 | 17.7 | 23.5 | 102 | | | 9.2 | 16.4 | 13.8 | | | | |

付表-3　異樹種集成材製造ﾗﾐﾅの測定結果(ﾍﾞｲﾏﾂ)

| NO | 集中節径比 両面 | 集中節径比 片面 | 繊維傾斜 | 随その他欠点 | | ﾔﾝｸﾞ係数 含水率ﾓｰﾒﾝﾄ | ﾔﾝｸﾞ係数 一定区間 | ﾔﾝｸﾞ係数 全スパン | 視覚的等級決定因子 | 機械等級荷重裁荷 | | 集成材製造ﾗﾐﾅ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | % | % | | | % | tf/cm² | tf/cm² | | | | |
| | *1 | *2 | *3 | *4 | *5 | *6 | *7 | *8 | *9 | *10 | *11 | *12 |
| 1 | 59.2 | 70.2 | 1 | 1 | | 12.3 | 128.5 | 120.2 | 5 | 4 | 1 | |
| 2 | 33.3 | 35.1 | 4 | | | 14.0 | 185.0 | 169.1 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 3 | 45.2 | 50.9 | 1 | | | 10.6 | 140.2 | 159.9 | 4 | 4 | 1 | |
| 4 | 32.5 | 38.6 | 8 | | | 9.9 | 136.1 | 124.1 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 5 | 68.0 | 74.6 | 32 | 1 | | 12.4 | 115.7 | 114.3 | 5 | 4 | 2 | |
| 6 | 41.7 | 52.6 | 5 | 1 | | 10.9 | 112.8 | 124.9 | 4 | 4 | 3 | |
| 7 | 32.9 | 39.5 | 4 | | | 12.0 | 132.2 | 123.7 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 8 | 17.1 | 19.3 | 0 | | | 15.9 | 177.9 | 181.8 | 2 | 4 | 1 | 1 |
| 9 | 33.3 | 35.1 | 10 | | | 14.1 | 159.5 | 157.4 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 10 | 39.0 | 40.4 | 12 | | | 12.1 | 132.2 | 145.9 | 4 | 4 | 1 | |
| 11 | 59.2 | 70.2 | 2 | | | 12.7 | 140.2 | 141.7 | 5 | 4 | 1 | |
| 12 | 35.1 | 43.9 | 18 | 1 | | 13.0 | 177.9 | 169.4 | 4 | 4 | 1 | |
| 13 | 26.3 | 26.3 | 4 | | | 15.6 | 192.7 | 192.7 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 14 | 24.1 | 35.1 | 3 | | | 15.4 | 192.7 | 170.9 | 2 | 4 | 1 | 1 |
| 15 | 28.5 | 30.7 | 4 | | | 11.3 | 125.0 | 128.3 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 16 | 32.9 | 57.0 | 2 | | | 11.6 | 149.2 | 127.1 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 17 | 33.3 | 35.1 | 15 | | | 13.6 | 140.2 | 151.1 | 3 | 4 | 1 | 1 |
| 18 | 52.6 | 78.9 | 10 | | | 11.3 | 136.1 | 127.9 | 5 | 4 | 1 | |
| 19 | 41.7 | 65.8 | 2 | | | 10.7 | 118.6 | 109.5 | 4 | 4 | 2 | |
| 20 | 44.7 | 50.0 | 10 | | | 11.4 | 154.2 | 144.0 | 4 | 4 | 1 | |
| 全ﾗﾐﾅ | | | | | | | | | | | | |
| 個体数 | 20 | 20 | 20 | | | 20 | 20 | 20 | | | | |
| 最小値 | 17.1 | 19.3 | 0 | | | 9.9 | 112.8 | 109.5 | | | | |
| 平均値 | 39.0 | 47.5 | 7 | | | 12.5 | 147.3 | 144.2 | | | | |
| 最大値 | 68.0 | 78.9 | 32 | | | 15.9 | 192.7 | 192.7 | | | | |
| 標準偏差 | 12.5 | 16.7 | 7 | | | 1.7 | 24.9 | 23.3 | | | | |
| 変動係数 | 32.1 | 35.2 | 101 | | | 13.5 | 16.9 | 16.2 | | | | |
| 製造ﾗﾐﾅのみ | | | | | | | | | | | | |
| 個体数 | 10 | 10 | 10 | | | 10 | 10 | 10 | | | | |
| 最小値 | 17.1 | 19.3 | 0 | | | 9.9 | 125.0 | 123.7 | | | | |
| 平均値 | 29.4 | 35.2 | 5 | | | 13.3 | 159.1 | 152.6 | | | | |
| 最大値 | 33.3 | 57.0 | 15 | | | 15.9 | 192.7 | 192.7 | | | | |
| 標準偏差 | 5.2 | 9.3 | 4 | | | 1.9 | 24.8 | 24.5 | | | | |
| 変動係数 | 17.6 | 26.3 | 77 | | | 14.6 | 15.6 | 16.0 | | | | |

*1:幅方向2材面で両面含めた集中節径比が最大値(2材面評価)
*2:幅方向2材面で集中節径比が最大値(1材面評価)
*3:幅方向の材面にて測定した1m当たり最大傾斜mm
*4:0:心なし、1:心付き、心持ち
*5:著しい割れ、腐れ等
*6:幅広材面7測定値の平均（含水率計による）
*7:支点間360cm、3等分点4点荷重載荷法による(歪測定間80cm)
*8:支点間360cm、3等分点4点荷重載荷法による
*9:JASの視覚等級区分により格付けした値
*10:1:腐れ割れ、2:繊維傾斜、3:心持ち、4:集中節径比
*11:JASの機械等級区分により曲げﾔﾝｸﾞ係数で区分した値
*12:1:集成材製造に使用したﾗﾐﾅ

異樹種ラミナ含水率野帳

| 原木板 NO | NO | -150 | -100 | -50 | 中央 | 50 | 100 | 150 | 平均 | 使用ﾗﾐﾅ 平均含水率 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 15 | 16 | 16 | 15 | 15 | 14 | 15 | 15.1 | 15.1 |
| 2 | 2 | 14 | 14 | 14 | 15 | 14 | 14 | 15 | 14.3 | 14.3 |
| 2 | 3 | 14 | 14 | 13 | 15 | 15 | 13 | 15 | 14.1 | 14.1 |
| 2 | 4 | 19 | 16 | 14 | 15 | 15 | 16 | 16 | 15.9 | 15.9 |
| 2 | 5 | 16 | 16 | 14 | 15 | 14 | 14 | 20 | 15.6 | 15.6 |
| 2 | 6 | 18 | 16 | 19 | 19 | 15 | 15 | 17 | 17.0 | 17.0 |
| 2 | 7 | 15 | 16 | 15 | 15 | 16 | 15 | 17 | 15.6 | 15.6 |
| 2 | 8 | 15 | 15 | 13 | 13 | 14 | 14 | 15 | 14.1 | 14.1 |
| 2 | 9 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13 | 13.0 | 13.0 |
| 2 | 10 | 13 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 15 | 13.4 | 13.4 |
| 2 | 11 | 15 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13.3 | 13.3 |
| 2 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 13 | 13 | 13.1 | 13.1 |
| 3 | 1 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14.3 | 14.3 |
| 3 | 2 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13.3 | 13.3 |
| 3 | 3 | 18 | 16 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14.9 | 14.9 |
| 3 | 4 | 19 | 18 | 16 | 16 | 14 | 13 | 13 | 15.6 | 15.6 |
| 3 | 5 | 21 | 20 | 21 | 23 | 20 | 16 | 15 | 19.4 | 19.4 |
| 3 | 6 | 21 | 21 | 19 | 15 | 15 | 14 | 15 | 17.1 | 17.1 |
| 3 | 7 | 14 | 15 | 14 | 13 | 13 | 12 | 12 | 13.3 | 13.3 |
| 3 | 8 | 12 | 16 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13.4 | 13.4 |
| 3 | 9 | 13 | 13 | 17 | 14 | 15 | 14 | 13 | 14.1 | 14.1 |
| 3 | 10 | 15 | 13 | 17 | 15 | 14 | 14 | 21 | 15.6 | 15.6 |
| 3 | 11 | 21 | 19 | 15 | 14 | 14 | 13 | 13 | 15.6 | 15.6 |
| 3 | 12 | 16 | 16 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14.6 | 14.6 |
| 3 | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | 13 | 13.6 | 13.6 |
| 4 | 1 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 14 | 13.0 | 13.0 |
| 4 | 2 | 16 | 15 | 15 | 15 | 14 | 13 | 16 | 14.9 | 14.9 |
| 4 | 3 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 13.0 | 13.0 |
| 4 | 4 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13 | 13.0 | 13.0 |
| 4 | 5 | 13 | 12 | 12 | 14 | 13 | 13 | 13 | 12.9 | 12.9 |
| 4 | 6 | 14 | 12 | 12 | 14 | 13 | 12 | 13 | 12.9 | |
| 4 | 7 | 17 | 15 | 15 | 14 | 14 | 13 | 15 | 14.7 | |
| 4 | 8 | 15 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 14 | 13.3 | 13.3 |
| 4 | 9 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13 | 13.0 | 13.0 |
| 4 | 10 | 14 | 14 | 13 | 14 | 13 | 14 | 13 | 13.6 | 13.6 |
| 5 | 1 | 14 | 15 | 14 | 14 | 15 | 13 | 14 | 14.1 | 14.1 |
| 5 | 2 | 14 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12.7 | 12.7 |
| 5 | 3 | 14 | 14 | 14 | 14 | 15 | 14 | 15 | 14.3 | 14.3 |
| 5 | 4 | 15 | 16 | 15 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14.9 | 14.9 |
| 5 | 5 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 13.3 | 13.3 |
| 5 | 6 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13.0 | 13.0 |
| 5 | 7 | 15 | 13 | 15 | 13 | 13 | 13 | 14 | 13.7 | |
| 5 | 8 | 14 | 15 | 14 | 16 | 13 | 13 | 13 | 14.0 | 14.0 |
| 5 | 9 | 14 | 14 | 14 | 15 | 13 | 13 | 13 | 13.7 | 13.7 |
| 5 | 10 | 13 | 13 | 13 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13.1 | 13.1 |
| 5 | 11 | 15 | 14 | 15 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14.6 | 14.6 |
| 6 | 1 | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13.3 | 13.3 |
| 6 | 2 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 | 12.3 | 12.3 |
| 6 | 3 | 14 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 13 | 13.4 | 13.4 |
| 6 | 4 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 15 | 13.3 | 13.3 |
| 6 | 5 | 14 | 15 | 14 | 14 | 15 | 14 | 14 | 14.3 | 14.3 |
| 6 | 6 | 12 | 14 | 12 | 13 | 13 | 14 | 13 | 13.0 | 13.0 |
| 6 | 7 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12.7 | 12.7 |
| 6 | 8 | 13 | 13 | 14 | 15 | 13 | 14 | 13 | 13.6 | |
| 6 | 9 | 13 | 12 | 13 | 13 | 12 | 13 | 12 | 12.6 | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 10 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12.4 | |
| 6 | 11 | 15 | 16 | 17 | 16 | 15 | 16 | 15 | 15.7 | 15.7 |
| 6 | 12 | 12 | 14 | 14 | 16 | 12 | 16 | 13 | 13.9 | |
| 6 | 13 | 12 | 14 | 13 | 14 | 14 | 15 | 14 | 13.7 | 13.7 |
| 7 | 1 | 17 | 15 | 14 | 17 | 14 | 14 | 15 | 15.1 | 15.1 |
| 7 | 2 | 15 | 16 | 14 | 15 | 14 | 13 | 12 | 14.1 | 14.1 |
| 7 | 3 | 16 | 15 | 14 | 17 | 15 | 14 | 15 | 15.1 | 15.1 |
| 7 | 4 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13.3 | 13.3 |
| 7 | 5 | 15 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 | 15 | 14.6 | 14.6 |
| 7 | 6 | 16 | 14 | 14 | 16 | 15 | 15 | 15 | 15.0 | 15.0 |
| 7 | 7 | 15 | 14 | 15 | 13 | 13 | 15 | 15 | 14.3 | 14.3 |
| 7 | 8 | 17 | 15 | 16 | 15 | 14 | 14 | 14 | 15.0 | 15.0 |
| 7 | 9 | 14 | 14 | 15 | 15 | 13 | 14 | 13 | 14.0 | 14.0 |
| 7 | 10 | 14 | 14 | 13 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13.4 | 13.4 |
| 7 | 11 | 13 | 14 | 13 | 15 | 13 | 13 | 14 | 13.6 | 13.6 |
| 7 | 12 | 14 | 13 | 14 | 13 | 14 | 13 | 14 | 13.6 | 13.6 |
| 7 | 13 | 14 | 15 | 15 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13.6 | 13.6 |
| 7 | 14 | 13 | 14 | 14 | 13 | 13 | 14 | 13 | 13.4 | 13.4 |
| 8 | 1 | 13 | 14 | 22 | 13 | 11 | 13 | 11 | 13.9 | |
| 8 | 2 | 13 | 12 | 12 | 13 | 12 | 13 | 13 | 12.6 | 12.6 |
| 8 | 3 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13 | 13 | 12.9 | 12.9 |
| 8 | 4 | 15 | 12 | 12 | 15 | 14 | 15 | 13 | 13.7 | 13.7 |
| 8 | 5 | 14 | 13 | 12 | 14 | 13 | 13 | 12 | 13.0 | 13.0 |
| 8 | 6 | 14 | 13 | 12 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13.1 | 13.1 |
| 8 | 7 | 14 | 13 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 13.0 | |
| 8 | 8 | 13 | 14 | 14 | 15 | 13 | 14 | 14 | 13.9 | |
| 8 | 9 | 14 | 14 | 13 | 15 | 12 | 13 | 14 | 13.6 | |
| 8 | 10 | 13 | 14 | 13 | 13 | 12 | 13 | 13 | 13.0 | 13.0 |
| 8 | 11 | 13 | 12 | 11 | 13 | 11 | 12 | 13 | 12.1 | 12.1 |
| 8 | 12 | 13 | 15 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 | 12.9 | |
| 8 | 13 | 12 | 13 | 13 | 13 | 11 | 13 | 14 | 12.7 | 12.7 |
| 9 | 1 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11.9 | |
| 9 | 2 | 12 | 12 | 12 | 11 | 14 | 12 | 12 | 12.1 | 12.1 |
| 9 | 3 | 13 | 12 | 14 | 13 | 13 | 11 | 12 | 12.6 | |
| 9 | 4 | 13 | 13 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12.9 | 12.9 |
| 9 | 5 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13 | 11 | 13 | 12.6 | |
| 9 | 6 | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 16 | 13.7 | |
| 9 | 7 | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 13 | 14 | 13.3 | |
| 9 | 8 | 14 | 13 | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12.9 | 12.9 |
| 9 | 9 | 15 | 12 | 13 | 13 | 13 | 14 | 13 | 13.3 | 13.3 |
| 10 | 1 | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 3 | 12.3 | 12.3 |
| 10 | 2 | 14 | 13 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14.0 | 14.0 |
| 10 | 3 | 14 | 14 | 14 | 14 | 13 | 14 | 14 | 13.9 | 13.9 |
| 10 | 4 | 14 | 14 | 14 | 15 | 16 | 15 | 14 | 14.6 | 14.6 |
| 10 | 5 | 13 | 14 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 13.4 | 13.4 |
| 10 | 6 | 13 | 14 | 13 | 13 | 14 | 13 | 13 | 13.3 | 13.3 |
| 10 | 7 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 14.0 | 14.0 |

| | | |
|---|---|---|
| 個体数 | 102 | 85 |
| 最小値 | 11.9 | 12.1 |
| 平均値 | 13.8 | 13.9 |
| 最大値 | 19.4 | 19.4 |
| 標準偏差 | 1.2 | 1.2 |

| 原木板 NO | NO | -150 | -100 | -50 | 中央 | 50 | 100 | 150 | 平均 | 使用ﾗﾐﾅ 平均含水率 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ヒ | 1 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 11 | 11 | 11.1 | |
| ヒ | 2 | 11 | 12 | 12 | 13 | 14 | 13 | 14 | 12.7 | 12.7 |
| ヒ | 3 | 13 | 14 | 13 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13.4 | |
| ヒ | 4 | 12 | 11 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11.0 | |
| ヒ | 5 | 12 | 12 | 12 | 14 | 12 | 13 | 12 | 12.4 | |
| ヒ | 6 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 10 | 11.6 | |
| ヒ | 7 | 15 | 13 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14.1 | |
| ヒ | 8 | 15 | 12 | 14 | 14 | 14 | 15 | 16 | 14.3 | 14.3 |
| ヒ | 9 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 14 | 12.1 | |
| ヒ | 10 | 13 | 12 | 12 | 14 | 13 | 12 | 13 | 12.7 | |
| ヒ | 11 | 15 | 14 | 14 | 16 | 15 | 14 | 13 | 14.4 | |
| ヒ | 12 | 13 | 12 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 13.6 | 13.6 |
| ヒ | 13 | 11 | 11 | 11 | 10 | 11 | 11 | 12 | 11.0 | |
| ヒ | 14 | 14 | 16 | 15 | 16 | 15 | 15 | 19 | 15.7 | 15.7 |
| ヒ | 15 | 12 | 12 | 13 | 14 | 14 | 13 | 14 | 13.1 | 13.1 |
| ヒ | 16 | 12 | 12 | 13 | 12 | 12 | 12 | 13 | 12.3 | 12.3 |
| ヒ | 17 | 15 | 15 | 16 | 16 | 15 | 15 | 15 | 15.3 | 15.3 |
| ヒ | 18 | 13 | 13 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 | 12.6 | 12.6 |
| ヒ | 19 | 15 | 16 | 15 | 16 | 17 | 16 | 17 | 16.0 | 16.0 |
| ヒ | 20 | 12 | 13 | 13 | 13 | 14 | 15 | 14 | 13.4 | 13.4 |
| | | | | | | | 個体数 | | 20 | 10 |
| | | | | | | | 最小値 | | 11.0 | 12.3 |
| | | | | | | | 平均値 | | 13.1 | 13.9 |
| | | | | | | | 最大値 | | 16.0 | 16.0 |
| | | | | | | | 標準偏差 | | 1.5 | 1.3 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ﾍﾞ | 1 | 11 | 13 | 12 | 12 | 13 | 13 | 12 | 12.3 | |
| ﾍﾞ | 2 | 13 | 14 | 14 | 14 | 15 | 14 | 14 | 14.0 | 14.0 |
| ﾍﾞ | 3 | 10 | 11 | 10 | 11 | 10 | 11 | 11 | 10.6 | |
| ﾍﾞ | 4 | 9 | 11 | 10 | 10 | 9 | 10 | 10 | 9.9 | 9.9 |
| ﾍﾞ | 5 | 11 | 13 | 12 | 12 | 13 | 12 | 14 | 12.4 | |
| ﾍﾞ | 6 | 12 | 11 | 11 | 10 | 11 | 11 | 10 | 10.9 | |
| ﾍﾞ | 7 | 11 | 12 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12.0 | 12.0 |
| ﾍﾞ | 8 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 17 | 17 | 15.9 | 15.9 |
| ﾍﾞ | 9 | 15 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 14 | 14.1 | 14.1 |
| ﾍﾞ | 10 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12.1 | |
| ﾍﾞ | 11 | 11 | 12 | 13 | 15 | 13 | 12 | 13 | 12.7 | |
| ﾍﾞ | 12 | 12 | 13 | 15 | 12 | 15 | 12 | 12 | 13.0 | |
| ﾍﾞ | 13 | 17 | 16 | 15 | 15 | 15 | 16 | 15 | 15.6 | 15.6 |
| ﾍﾞ | 14 | 17 | 16 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15.4 | 15.4 |
| ﾍﾞ | 15 | 11 | 13 | 12 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11.3 | 11.3 |
| ﾍﾞ | 16 | 12 | 12 | 11 | 13 | 11 | 11 | 11 | 11.6 | 11.6 |
| ﾍﾞ | 17 | 13 | 15 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 13.6 | 13.6 |
| ﾍﾞ | 18 | 11 | 11 | 11 | 12 | 11 | 12 | 11 | 11.3 | |
| ﾍﾞ | 19 | 11 | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 10.7 | |
| ﾍﾞ | 20 | 12 | 12 | 13 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11.4 | |
| | | | | | | | 個体数 | | 20 | 10 |
| | | | | | | | 最小値 | | 9.9 | 9.9 |
| | | | | | | | 平均値 | | 12.5 | 13.3 |
| | | | | | | | 最大値 | | 15.9 | 15.9 |
| | | | | | | | 標準偏差 | | 1.7 | 1.9 |

ラミナﾔﾝｸﾞ係数測定野帳

| NO 原木板 | | 板幅 mm | 歪 初期 | 第1 | 第2 | ﾔﾝｸﾞ係数 | 集成材製造 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 116.5 | 13 | 32 | 53 | 113.16 | 1 |
| 2 | 2 | 115.5 | 14 | 35 | 57 | 106.18 | 1 |
| 2 | 3 | 116.28 | 16 | 39 | 62 | 98.59 | 1 |
| 2 | 4 | 117.3 | 17 | 42 | 67 | 89.91 | 1 |
| 2 | 5 | 116.97 | 16 | 37 | 59 | 104.85 | 1 |
| 2 | 6 | 118 | 15 | 37 | 59 | 101.57 | 1 |
| 2 | 7 | 115.62 | 15 | 35 | 56 | 111.24 | 1 |
| 2 | 8 | 115.18 | 15 | 37 | 60 | 101.74 | 1 |
| 2 | 9 | 114.6 | 14 | 35 | 58 | 104.58 | 1 |
| 2 | 10 | 116.87 | 15 | 37 | 60 | 100.27 | 1 |
| 2 | 11 | 117.64 | 16 | 41 | 64 | 93.39 | 1 |
| 2 | 12 | 114.6 | 15 | 38 | 60 | 102.26 | 1 |
| 3 | 1 | 119.12 | 14 | 34 | 55 | 107.98 | 1 |
| 3 | 2 | 115.45 | 14 | 36 | 58 | 103.81 | 1 |
| 3 | 3 | 117.47 | 15 | 37 | 59 | 102.03 | 1 |
| 3 | 4 | 116.29 | 19 | 46 | 73 | 83.98 | 1 |
| 3 | 5 | 116.93 | 18 | 45 | 71 | 85.09 | 1 |
| 3 | 6 | 117.29 | 19 | 45 | 73 | 83.26 | 1 |
| 3 | 7 | 115.44 | 18 | 45 | 70 | 87.85 | 1 |
| 3 | 8 | 113.21 | 14 | 35 | 57 | 108.33 | 1 |
| 3 | 9 | 113.04 | 13 | 33 | 55 | 111.07 | 1 |
| 3 | 10 | 112.52 | 17 | 42 | 67 | 93.73 | 1 |
| 3 | 11 | 115.53 | 15 | 39 | 61 | 99.23 | 1 |
| 3 | 12 | 118.22 | 13 | 33 | 53 | 111.52 | 1 |
| 3 | 13 | 115.43 | 14 | 36 | 57 | 106.24 | 1 |
| 4 | 1 | 117.87 | 18 | 42 | 68 | 89.48 | 1 |
| 4 | 2 | 117.65 | 16 | 41 | 65 | 91.48 | 1 |
| 4 | 3 | 119.38 | 19 | 48 | 77 | 76.16 | 1 |
| 4 | 4 | 117.4 | 19 | 48 | 76 | 78.8 | 1 |
| 4 | 5 | 116.4 | 19 | 48 | 78 | 76.79 | 1 |
| 4 | 6 | 117.64 | 22 | 56 | 89 | 66.91 | |
| 4 | 7 | 118.23 | 22 | 56 | 89 | 66.57 | |
| 4 | 8 | 117.24 | 20 | 50 | 81 | 73.74 | 1 |
| 4 | 9 | 116.49 | 18 | 45 | 72 | 83.83 | 1 |
| 4 | 10 | 117.64 | 17 | 42 | 62 | 99.62 | 1 |
| 5 | 1 | 117.35 | 18 | 45 | 71 | 84.79 | 1 |
| 5 | 2 | 119.29 | 16 | 42 | 67 | 86.68 | 1 |
| 5 | 3 | 118.5 | 13 | 32 | 51 | 117.11 | 1 |
| 5 | 4 | 114.76 | 14 | 34 | 54 | 114.88 | 1 |
| 5 | 5 | 115 | 18 | 45 | 71 | 86.52 | 1 |
| 5 | 6 | 118.77 | 20 | 50 | 79 | 75.25 | 1 |
| 5 | 7 | 117.23 | 20 | 50 | 80 | 74.97 | |
| 5 | 8 | 115.53 | 15 | 39 | 64 | 93.15 | 1 |
| 5 | 9 | 114.56 | 15 | 37 | 59 | 104.62 | 1 |
| 5 | 10 | 116.43 | 16 | 39 | 64 | 94.36 | 1 |
| 5 | 11 | 115.8 | 13 | 34 | 54 | 111.07 | 1 |
| 6 | 1 | 115.72 | 20 | 49 | 77 | 79.95 | 1 |
| 6 | 2 | 117.1 | 20 | 50 | 80 | 75.06 | 1 |
| 6 | 3 | 115.9 | 17 | 43 | 68 | 89.22 | 1 |
| 6 | 4 | 117.78 | 17 | 45 | 71 | 82.91 | 1 |
| 6 | 5 | 118.3 | 18 | 44 | 70 | 85.72 | 1 |
| 6 | 6 | 117.44 | 20 | 50 | 81 | 73.61 | 1 |
| 6 | 7 | 117.96 | 23 | 57 | 91 | 65.74 | 1 |
| 6 | 8 | 120.18 | 20 | 51 | 82 | 70.77 | |
| 6 | 9 | 119.19 | 22 | 54 | 85 | 70.23 | |
| 6 | 10 | 117.72 | 20 | 51 | 82 | 72.25 | |
| 6 | 11 | 116.57 | 14 | 36 | 58 | 102.81 | 1 |
| 6 | 12 | 119.64 | 20 | 50 | 80 | 73.46 | |
| 6 | 13 | 118.52 | 19 | 49 | 78 | 75.41 | 1 |
| 7 | 1 | 117.93 | 18 | 44 | 71 | 84.37 | 1 |
| 7 | 2 | 115.52 | 21 | 50 | 81 | 76.08 | 1 |
| 7 | 3 | 116.2 | 16 | 41 | 66 | 90.76 | 1 |
| 7 | 4 | 118.93 | 18 | 43 | 68 | 88.68 | 1 |
| 7 | 5 | 113.56 | 15 | 37 | 60 | 103.19 | 1 |
| 7 | 6 | 116.02 | 19 | 49 | 78 | 77.04 | 1 |
| 7 | 7 | 117.39 | 20 | 49 | 79 | 76.14 | 1 |
| 7 | 8 | 118.39 | 20 | 50 | 80 | 74.24 | 1 |
| 7 | 9 | 116.31 | 21 | 50 | 79 | 78.17 | 1 |
| 7 | 10 | 115.31 | 21 | 52 | 82 | 74.97 | 1 |
| 7 | 11 | 114.32 | 19 | 47 | 75 | 82.37 | 1 |
| 7 | 12 | 120.37 | 20 | 51 | 82 | 70.66 | 1 |
| 7 | 13 | 115.99 | 18 | 45 | 72 | 84.19 | 1 |
| 7 | 14 | 117.93 | 20 | 50 | 80 | 74.53 | 1 |
| 8 | 1 | 117.58 | 21 | 52 | 83 | 72.34 | |
| 8 | 2 | 117.89 | 19 | 48 | 76 | 78.48 | 1 |
| 8 | 3 | 116.04 | 20 | 50 | 79 | 77.03 | 1 |
| 8 | 4 | 118.54 | 19 | 47 | 75 | 79.44 | 1 |
| 8 | 5 | 117.13 | 21 | 54 | 87 | 68.22 | 1 |
| 8 | 6 | 117.79 | 24 | 57 | 91 | 66.82 | 1 |
| 8 | 7 | 118.97 | 26 | 63 | 102 | 58.32 | |
| 8 | 8 | 120.17 | 25 | 62 | 99 | 59.3 | |
| 8 | 9 | 116.84 | 21 | 52 | 84 | 71.64 | |
| 8 | 10 | 116.29 | 19 | 47 | 75 | 80.98 | 1 |
| 8 | 11 | 115.97 | 18 | 45 | 72 | 84.21 | 1 |
| 8 | 12 | 115.8 | 24 | 60 | 95 | 64.14 | |
| 8 | 13 | 115.32 | 20 | 51 | 82 | 73.76 | 1 |
| 9 | 1 | 117.76 | 21 | 54 | 86 | 68.89 | |
| 9 | 2 | 115.52 | 21 | 51 | 82 | 74.84 | 1 |
| 9 | 3 | 120.48 | 18 | 48 | 78 | 72.95 | |
| 9 | 4 | 114.44 | 21 | 52 | 82 | 75.54 | 1 |
| 9 | 5 | 116.85 | 22 | 53 | 85 | 71.63 | |
| 9 | 6 | 119.44 | 24 | 59 | 96 | 61.32 | |
| 9 | 7 | 119.34 | 26 | 64 | 103 | 57.39 | |
| 9 | 8 | 117.63 | 19 | 48 | 77 | 77.29 | 1 |
| 9 | 9 | 118.01 | 20 | 51 | 81 | 73.26 | 1 |
| 10 | 1 | 116.87 | 18 | 45 | 72 | 83.56 | 1 |
| 10 | 2 | 117.64 | 17 | 42 | 68 | 87.9 | 1 |
| 10 | 3 | 116.6 | 18 | 44 | 70 | 86.97 | 1 |
| 10 | 4 | 114.86 | 16 | 43 | 69 | 86.63 | 1 |
| 10 | 5 | 117.78 | 21 | 53 | 84 | 71.07 | 1 |
| 10 | 6 | 115.45 | 19 | 47 | 76 | 80.14 | 1 |
| 10 | 7 | 114.31 | 19 | 46 | 73 | 85.43 | 1 |

| NO 原木板 | | 板幅 mm | 歪 初期 | 第1 | 第2 | ﾔﾝｸﾞ係数 | 集成材製造 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| と | 1 | 122 | 14 | 36 | 56 | 102.92 | |
| と | 2 | 122 | 13 | 33 | 54 | 105.43 | 1 |
| と | 3 | 122 | 12 | 29 | 46 | 127.13 | |
| と | 4 | 122 | 17 | 42 | 67 | 86.45 | |
| と | 5 | 122 | 18 | 46 | 73 | 78.59 | |
| と | 6 | 122 | 18 | 44 | 71 | 81.56 | |
| と | 7 | 122 | 12 | 30 | 49 | 116.82 | |
| と | 8 | 122 | 13 | 32 | 51 | 113.75 | 1 |
| と | 9 | 122 | 16 | 40 | 63 | 91.97 | |
| と | 10 | 122 | 16 | 40 | 65 | 88.21 | |
| と | 11 | 122 | 16 | 40 | 64 | 90.05 | |
| と | 12 | 122 | 11 | 28 | 44 | 130.98 | 1 |
| と | 13 | 122 | 19 | 46 | 73 | 80.05 | |
| と | 14 | 122 | 12 | 30 | 49 | 116.82 | 1 |
| と | 15 | 122 | 11 | 28 | 45 | 127.13 | 1 |
| と | 16 | 122 | 15 | 37 | 59 | 98.24 | 1 |
| と | 17 | 122 | 10 | 23 | 36 | 166.25 | 1 |
| と | 18 | 122 | 12 | 29 | 48 | 120.07 | 1 |
| と | 19 | 122 | 9 | 22 | 36 | 160.09 | 1 |
| と | 20 | 122 | 12 | 30 | 47 | 123.5 | 1 |
| ﾍﾞ | 1 | 114 | 13 | 31 | 49 | 128.5 | |
| ﾍﾞ | 2 | 114 | 8 | 20 | 33 | 185.03 | 1 |
| ﾍﾞ | 3 | 114 | 11 | 27 | 44 | 140.18 | |
| ﾍﾞ | 4 | 114 | 11 | 27 | 45 | 136.05 | 1 |
| ﾍﾞ | 5 | 114 | 14 | 33 | 54 | 115.65 | |
| ﾍﾞ | 6 | 114 | 14 | 34 | 55 | 112.82 | |
| ﾍﾞ | 7 | 114 | 11 | 29 | 46 | 132.17 | 1 |
| ﾍﾞ | 8 | 114 | 9 | 22 | 35 | 177.92 | 1 |
| ﾍﾞ | 9 | 114 | 10 | 24 | 39 | 159.51 | 1 |
| ﾍﾞ | 10 | 114 | 12 | 30 | 47 | 132.17 | |
| ﾍﾞ | 11 | 114 | 12 | 29 | 45 | 140.18 | |
| ﾍﾞ | 12 | 114 | 9 | 22 | 35 | 177.92 | |
| ﾍﾞ | 13 | 114 | 8 | 20 | 32 | 192.74 | 1 |
| ﾍﾞ | 14 | 114 | 8 | 20 | 32 | 192.74 | 1 |
| ﾍﾞ | 15 | 114 | 12 | 30 | 49 | 125.02 | 1 |
| ﾍﾞ | 16 | 114 | 10 | 26 | 41 | 149.22 | 1 |
| ﾍﾞ | 17 | 114 | 12 | 29 | 45 | 140.18 | 1 |
| ﾍﾞ | 18 | 114 | 11 | 28 | 45 | 136.05 | |
| ﾍﾞ | 19 | 114 | 14 | 33 | 53 | 118.61 | |
| ﾍﾞ | 20 | 114 | 10 | 25 | 40 | 154.19 | |

## ２．４　ﾍﾞｲﾏﾂと富山県産ｽｷﾞによる異樹種集成材の製造と強度性能　（富山県）

異樹種集成材の製造およびﾗﾐﾅの性能評価は小池木材株式会社草島工場（富山市）、集成材の強度試験は富山県林業技術ｾﾝﾀｰ・木材試験場で実施した。

### ２．４．１．　異樹種集成材の製作と構成ﾗﾐﾅの曲げﾔﾝｸﾞ係数（以下MOE）測定

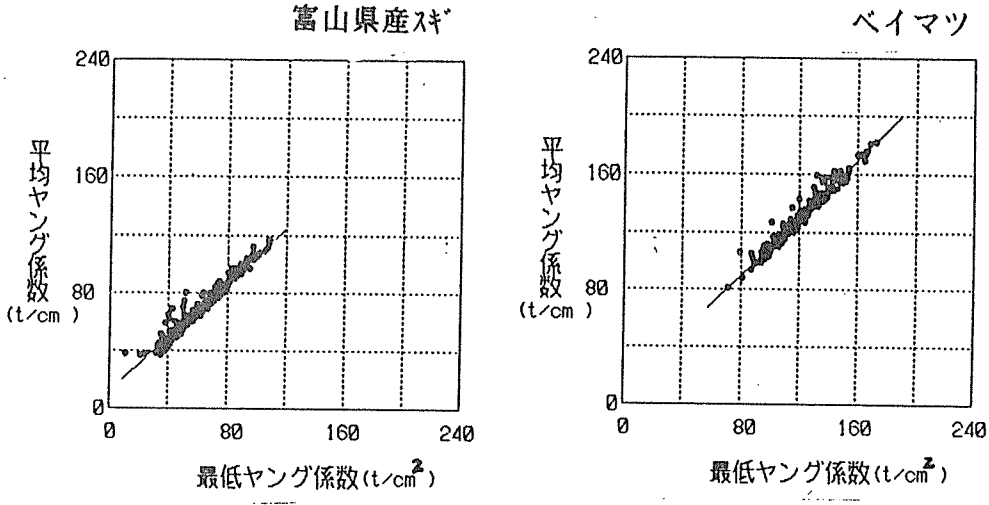
異樹種集成材の製作には、外層用ﾗﾐﾅとして乾燥ﾍﾞｲﾏﾂ172枚、内層用ﾗﾐﾅとして富山県産ﾀﾃﾔﾏｽｷﾞ（以下ｽｷﾞ）200枚を用いた。ｽｷﾞﾗﾐﾅは通常の乾燥ｽｹｼﾞｭｰﾙにより人工乾燥（日本電化工機社製蒸気式乾燥装置）した後、幅12cm、厚さ35mm、長さ4mの寸法の粗ﾗﾐﾅに仕上げた。

つぎに、連続走行式応力等級区分装置（以下SGM　飯田工業社製　MGFE-251）を用い、全ての粗ﾗﾐﾅの平均ﾔﾝｸﾞ係数（以下Eave･m）、最低ﾔﾝｸﾞ係数（以下Elow･m）を測定した。なお、このSGMはﾗﾐﾅの中央120cm区間について材長方向に40箇所のMOEを連続計測し、それらの平均値、最低値を表示する機能を備えている。

中央180cm区間に腐れが無く、かつ、割れが軽微あるいは無いﾗﾐﾅを選別し、さらに含水率が14%以上のﾗﾐﾅを除き（含水率の測定は電気抵抗式含水率計を使用し、材長方向に50cm間隔、7箇所でおこなった）、最終的にﾍﾞｲﾏﾂ141枚、ｽｷﾞ133枚のﾗﾐﾅを異樹種集成材の試作に供した。

### ２．４．２　ﾗﾐﾅの曲げMOE

図－１にEave･mとElow･mの関係を示す。供試ﾍﾞｲﾏﾂのEave･mは80～182t/cm²の範囲に分布し、その平均は131t/cm²、変動係数（以下CV）は15.9%、Elow･mの平均値は121t/cm²、CVは16.9%、Elow･m/Eave･mは0.92であり、また、ｽｷﾞの場合のEave･mの平均は73t/cm²、CVは26.1%、Elow･mの平均値は65t/cm²、CVは30.5%、Elow･m/Eave･mは0.89であった。ｽｷﾞのMOEは既に報告されているﾃﾞｰﾀの分布の範囲であり、また、ﾍﾞｲﾏﾂはほぼ平均的な値と思われるが、そのCVは小さいようである。近年、一般に流通しているﾍﾞｲﾏﾂの材質上のばらつきが大きいことが指摘されているが、供試したﾍﾞｲﾏﾂは限られたﾛｯﾄから採取したため、CVが小さくな




図－１　SGMによるﾗﾐﾅの平均、最低曲げﾔﾝｸﾞ係数

表－1　同一ﾗﾐﾅの含水率測定値の変動、平均値(%)

| 樹種 | 変動係数（%） | | | 上下限 | ﾗﾐﾅ枚数 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 平均 | 標準偏差 | 変動係数 | (%) | |
| ﾍﾞｲﾏﾂ | 5.33 | 2.09 | 39.19 | 3.24- 7.42 | 150 |
| 富山県産ｽｷﾞ | 10.53 | 7.58 | 72.00 | 2.95-18.11 | 152 |
| ｼﾍﾞﾘｱ産ｶﾗﾏﾂ | 9.28 | 4.09 | 44.12 | 5.19-13.37 | 193 |

測定機器：電気抵抗式含水率計

ったものと考えられる。

２．４．３　ﾗﾐﾅの含水率

供試ﾍﾞｲﾏﾂおよびｽｷﾞの含水率の平均は各々12.5%、10.2%で標準偏差は0.93%、2.72%であった。

表－１に同一ﾗﾐﾅ内の含水率測定値のCVを示す。各ﾗﾐﾅのCVを供試全ﾗﾐﾅについて平均するとﾍﾞｲﾏﾂ5.3%、ｽｷﾞ10.5%であった。

表－２　縦接合の接着条件

| | |
|---|---|
| 接着剤の種類 | ﾚｿﾞﾙｼﾉｰﾙ樹脂接着剤*1 |
| 配　合 | 主剤：硬化剤＝１：１ |
| 塗　布　量 | 400～500 g/m² |
| 養 生 時 間 | 24時間以上 |

*1　：大鹿振興社製　DF-1000

２．４．４　ﾗﾐﾅの縦接合とその曲げ強度性能

外層用ﾍﾞｲﾏﾂ78枚および内層ｽｷﾞﾗﾐﾅ109枚を無作為に選び、ﾌｨﾝｶﾞｰｼﾞｮｲﾝﾄ（以下FJ）によって表－２に示す接着条件により縦接合した。各ﾗﾐﾅのFJ位置は仕組み工程で隣接するﾗﾐﾅのFJ位置がﾗﾐﾅ厚さの12倍以上離れるように考慮し定めた。　作成した縦接合ﾍﾞｲﾏﾂﾗﾐﾅ（以下FJﾗﾐﾅ）のうち、4枚を抜取り、中央にFJ部が位置し、かつ、材長が120cmとなるよう試験材を仕上げ、曲げ試験（ｽﾊﾟﾝ長1m、荷重点間距離34cm）をおこなった。

表－３にFJﾗﾐﾅのMOE、接合前のﾗﾐﾅのMOE、曲げ強度（以下σm）を示す。

表－３　ﾍﾞｲﾏﾂ 縦つぎﾗﾐﾅの曲げ強度

| No | MOE | 接合前ﾗﾐﾅ 平均 | | 接合前ﾗﾐﾅ 最低 | | σm | σm／MOE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $E_{ave\cdot m}$ | MOE／$E_{ave\cdot m}$ | $E_{low\cdot m}$ | MOE／$E_{low\cdot m}$ | | |
| | t/cm² | t/cm² | | t/cm² | | kg/cm² | x0.001 |
| 1 | 155 | 160 | .97 | 148 | 1.05 | 574 | 3.70 |
| 2 | 126 | 130 | .97 | 125 | 1.01 | 500 | 3.97 |
| 3 | 148 | 138 | 1.07 | 127 | 1.17 | 573 | 3.87 |
| 4 | 116 | 131 | .89 | 124 | .94 | 500 | 4.31 |
| 5 | 196 | 131 | 1.50 | 122 | 1.61 | 514 | 2.62 |
| Ave. | 148 | | 1.08 | | 1.16 | 532 | 3.69 |

曲げ試験条件　：　ｽﾊﾟﾝ長1m、荷重点間距離34cm
ﾗﾐﾅ寸法　　：　幅　14cm　厚さ　：　3.5cm

FJﾗﾐﾅのMOEは最大196t/cm²、最小116t/cm²、平均は148t/cm²であった。MOEは接合前のﾗﾐﾅのEave･mの98%、Elow･mの104%であり、FJ接合によるMOEの低下は極めて小さい。

σmは最大574kg/cm²、最小500kg/cm²、平均は537kg/cm²であり、ﾍﾞｲﾏﾂ製材のσm－MOEの回帰直線[1]からMOE=148t/cm²ﾚﾍﾞﾙでσmを推定すると853kg/cm²程度と思われ、FJﾗﾐﾅの接合効率は平均値ﾚﾍﾞﾙで約63%と計算された。

FJﾗﾐﾅの破壊形態の大半がFJ部近辺の木部の引張破断であり、σmに与えるFJの影響が破壊形態の観察からもわかる。

### ２．４．５　ﾗﾐﾅの仕組みと異樹種集成材の製造

今回の試験では上下層の各2層、計4外層をﾍﾞｲﾏﾂﾗﾐﾅ、内層の6層をｽｷﾞﾗﾐﾅとした。構成ﾗﾐﾅのMOEが集成材の強度性能におよぼす影響を試験と計算により検討するため、外層については、MOE値により4段階（105～150t/cm²まで3段階および150t/cm²以上の1段階）に区分し、相当するEave･mのﾍﾞｲﾏﾂﾗﾐﾅ40枚を用い、内層については、MOE値により3段階（50,70,90±10t/cm²の3段階）に区分し、相当するEave･mのｽｷﾞﾗﾐﾅ60枚を用い積層した。これらﾗﾐﾅは全て複数の粗ﾗﾐﾅをFJ接合したため、ﾗﾐﾅのEave･m値は縦接合したこれら複数の粗ﾗﾐﾅの値の平均値とした。

供試異樹種集成材10本のMOE区分によるﾗﾐﾅの組み合わせを表－４に示す。

集成材の強度保証をﾗﾐﾅの段階でおこなう試みとして、構成ﾗﾐﾅ自体の許容応力度から集成材の強度性能の検討をおこなった。供試2樹種の上記のMOE段階区分は構造用製材JASに準拠した区分である。各集成材の構成ﾗﾐﾅのEave･mとその値に相当する長期許容応力度、含水率および平均年輪幅を表－５に示す。

表－６に異樹種集成材の製造条件を示す。集成材の仕上がり寸法は厚さ30cm、幅10.5cm、長さ6mとした。

### ２．４．６　異樹種集成材の強度性能

一般に集成材を用いて構造設計する方法はおおむね２つに分けられると思われる。１つは工場生産された集成材の強度性能に応じて設計側が設計する方法、もう１つは必要な強度性能を設計側が提示し、それに応じて工場生産する方法である。現在、強度性能、収縮率、接着性能などが著しく異なる樹種を組み合わせる異樹種集成材の製造技術や製品の性

表－４　異樹種集成材構成ﾗﾐﾅのMOE区分

単位：　t/cm²

| No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外層ﾍﾞｲﾏﾂ | >150 | >150 | 150>>135 | 150>>135 | 135>>115 | 135>>115 | 115>>105 | 115>>105 | 135>>115 | 135>>115 |
| 内層ｽｷﾞ | 100>>80 | 100>>80 | 80>>60 | 80>>60 | 60>>40 | 60>>40 | 60>>40 | 60>>40 | 80>>60 | 100>>80 |

表－５　異樹種集成材の構成ﾗﾐﾅの曲げﾔﾝｸﾞ率、含水率、比重および平均年輪幅

| No | 外層ﾗﾐﾅ（ﾍﾞｲﾏﾂ） | | | | | | 内層ﾗﾐﾅ（富山県産ｽｷﾞ） | | | | | 内層／外層 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Eave | | lfb*1RU | | MC | 平均 | Eave | | lfb*1RU | MC | 平均 | lfb比率 |
| | 外層１ | 外層２ | | | | 年輪幅 | | | | | 年輪幅 | |
| | kg/cm² | | | | % | mm | kg/cm² | | | % | mm | |
| 1 | 161.2 | 167.6 | 165 | .550 | 15.8 | 4.01 | 93.4 | 115 | .479 | 14.4 | 4.25 | .70 |
| 2 | 169.4 | 170.6 | 165 | .564 | 16.1 | 2.85 | 87.7 | 115 | .449 | 13.9 | 3.43 | .70 |
| 3 | 150.8 | 158.3 | 165 | .543 | 16.0 | 3.33 | 69.2 | 95 | .369 | 13.7 | 4.22 | .58 |
| 4 | 146.8 | 143.3 | 165 | .545 | 16.6 | 3.73 | 68.6 | 95 | .385 | 13.8 | 4.83 | .58 |
| 5 | 134.1 | 138.3 | 130 | .471 | 15.7 | 4.53 | 55.2 | 75 | .363 | 13.8 | 4.76 | .58 |
| 6 | 129.4 | 136.5 | 130 | .498 | 16.3 | 4.44 | 52.9 | 75 | .382 | 13.9 | 6.53 | .58 |
| 7 | 121.1 | 116.8 | 100 | .461 | 15.9 | 5.46 | 55.4 | 75 | .378 | 13.5 | 4.94 | .75 |
| 8 | 121.9 | 113.9 | 100 | .482 | 15.9 | 4.20 | 53.4 | 75 | .353 | 14.0 | 5.04 | .75 |
| 9 | 131.3 | 131.6 | 130 | .506 | 16.6 | 3.20 | 72.7 | 95 | .363 | 13.4 | 4.70 | .73 |
| 10 | 133.4 | 134.6 | 130 | .506 | 15.2 | 4.18 | 93.4 | 115 | .429 | 14.5 | 2.73 | .88 |
| Ave. | | | | .512 | 15.99 | 3.86 | | | .395 | 13.89 | 4.71 | |

*1　構造用製材ＪＡＳ対応の長期許容応力度

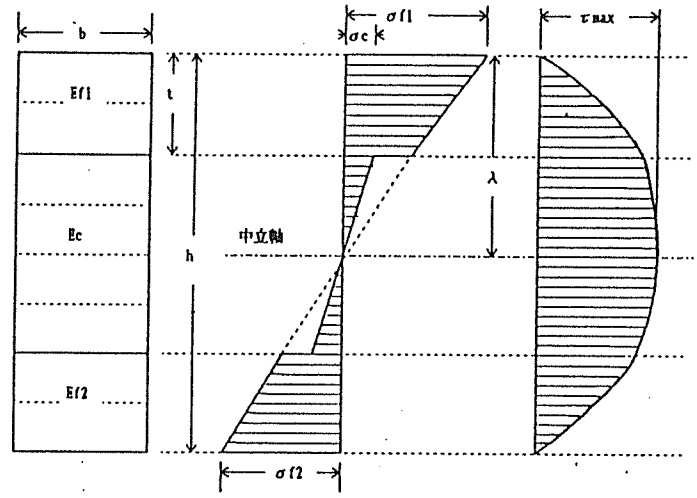
表－６　異樹種集成材の積層接着条件

| | |
|---|---|
| 接着剤の種類 | ﾚｿﾞﾙｼﾉｰﾙ樹脂接着剤*1 |
| 配　合 | 主剤：硬化剤＝１００：４０ |
| 塗　布　量 | ３２５ g/m² |
| 開放堆積時間 | ２０分 |
| 圧締方法 | 油圧 |
| 圧締圧力 | １０ｋｇ／ｃｍ² |
| 圧締時間 | ９時間 |
| 外気温 | ６°Ｃ |
| 雰囲気温度 | ７．４°Ｃ |
| 養生温度 | １２°Ｃ |

*1　：大鹿振興社製　D-300

能評価方法は標準化されるに至っていない。しかし、これら製造、性能評価が整備された後には後者の形態で生産されることが多いと思われる。

等級を異にするﾗﾐﾅを用いて集成材を製造する場合は高強度ﾗﾐﾅを外側に低強度ﾗﾐﾅを内層部に配置するのが一般的であるが、集成材の曲げ強度性能は必ずしも外層のﾗﾐﾅの強度性能だけに支配されるものでなく、強度性能を異にする内層との相対的関係によって決まる。




図－2　異樹種集成材の曲げ応力とせん断応力（模式図）

図－2のようなMOEの異なる上下外層とそれより低いMOEの内層の3層構成集成材に曲げおよびせん断外力が加わる場合、図に模式的に示す曲げ応力とせん断応力が発生する。この場合、曲げ応力が0の位置、つまり中立軸から上縁までの距離（λ）は次式で表される。

$$\int \sigma_{f1}dy+\int \sigma_{c}dy+\int \sigma_{f2}dy=0$$

より

$$\lambda=h\cdot\frac{t_0^2-K_2(t_0^2-m_0^2)-K_3(m_0^2-1)}{2\{t_0+K_2(m_0-t_0)+K_3(1-m_0)\}}$$

ここに、

$\sigma_{f1}$：第1外層の曲げ応力　$\sigma_c$：内層の曲げ応力　$\sigma_{f2}$:第2外層の曲げ応力

$t_0=t/h$　，$m_0=(h-t)/h$

$K_2=Ec/Ef1$　，$K_3=Ef2/Ef1$

また、集成材の曲げ剛性（以下EI）は

$$EI=\Sigma E_iI_i$$

で計算される。

つぎに、中立軸からyの距離の曲げ応力（以下$\sigma_1$, $\sigma_2$, $\sigma_3$）は次式によって計算される

$$\sigma_1=E_1y(1/r)\quad \sigma_2=E_2y(1/r)\quad \sigma_3=E_3y(1/r)$$

ここに、$1/r=M/EI$

外層最大の曲げ応力（$\sigma_{cal1}$）、内層最大の曲げ応力（$\sigma_{cal2}$）は、各々次式により得られる。

$$\sigma_{cal1}=E_1\lambda(1/r)\quad \sigma_{cal2}=E_2(\lambda-t)(1/r)$$

また、中立軸からyの距離のせん断応力（$\tau_{cal}$）は

$$\tau_{cal}=\frac{3}{2}\cdot\frac{1}{bh\phi}\quad\frac{dM}{dx}\quad[(U_1^2-U_2^2)+K_2\{U_2^2-(y/h)^2\}]$$

ここに、

$\phi=(U_1{}^3-U_2{}^3)+K_2(U_2{}^3+U_4{}^3)+K_3(U_3{}^3-U_4{}^3)$

$U_1=\lambda/h \quad U_2=(\lambda-t)/h \quad U3=(h-\lambda)/h \quad U4=(h-\lambda-t)/h$

$\frac{dM}{dx}$ ：せん断力

内層の最大せん断力（$\tau_{cal\cdot max}$）は

$$\tau_{cal\cdot max}=\frac{3}{2}\frac{1}{bh\phi}\frac{dM}{dx}\{U_1{}^2-(1-K_2)U_2{}^2\}$$

せん断力による負荷撓み（$\delta s$）は次式で求められる。

$$\delta s=\frac{3}{20bh\phi^2}\psi\int_x Q_x\bar{Q}_x d_x$$

ここに、

$$\psi=\frac{\alpha}{G_1}+\frac{\beta K_2}{G_2}+\frac{\gamma K_3}{G_3}$$

$$\alpha=8U_1{}^5-15U_1{}^4U_2+10U_1{}^2U_2{}^3-3U_2{}^5$$

$$\beta=K_2\{15(C_1{}^2U_2+C_2{}^2U_4)-10(C_1U_2{}^3+C_2U_4{}^3)+3(U_2{}^5+U_4{}^5)\}$$

$$\gamma=K_3(8U_3{}^5-15U_3{}^4U_4+10U_3{}^2U_4{}^3-3U_4{}^5)$$

$$C_1=\frac{U_1{}^2-(1-K_2)U_2{}^2}{K_2} \qquad C_2=\frac{U_3{}^2-(1-K_2/K_3)U_4{}^2}{K_2/K_3}$$

ｽﾊﾟﾝ長5.4m、荷重点間距離1.4mの4点荷重方式により曲げ試験を実施した。撓みの測定については中央下縁で全撓み量を測定した。

異樹種集成材のみかけのMOE(以下E')、動的MOE（Ed）、およびﾍﾞｲﾏﾂ、ｽｷﾞのせん断弾性係数を各々12t/cm²、6.5t/cm² [2]とした場合のせん断付加撓み（以下δs）、せん断力の影響を除いたMOE（以下Eo）を表－７に示す。

E'、Ed、Eoのいづれの値も仕組みのさいの外層、内層ﾗﾐﾅのMOEの影響は明かであり、特に外層のMOEの影響は大きいことがわかる。また、EoとEcalとの対比では計算結果より試験結果が小さい値を示しているが、その差は8%以内と僅かである。設計側の剛性の要求の提示に対し、高い精度で集成材生産が可能である見通しを得た。

今回の曲げ試験条件ではせん断付加撓みは全撓みの6.5～9.2%と計算された。実際の建築用構造材として部材設計するさいには純粋な曲げﾓｰﾒﾝﾄが負荷される場合は少なく、種々の外力が想定され、特に、せん断力が大きい場合はﾗﾐﾅのMOE値のみを撓み計算に用いることでは十分とはいえない。

異樹種集成材の比例限度応力（以下σp）、みかけの曲げ強度σm、最大せん断応力（以下τm）およびそれらの予測計算値などを表－８に示す。

σp、σmいづれの値も仕組みのさいの外層、内層ﾗﾐﾅの人為的な強度上の配置を試みた効

表－7　異樹種集成材の曲げ剛性性能

| No. | E' | Ed | E | $E_{cal}$ | $E/E_{cal}$ | $\delta_s/\delta$ | $\sigma_p/E$ | $\sigma_m/E$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | t/cm² | t/cm² | t/cm² | t/cm² | | % | x.001 | x.001 |
| 1 | 127.8 | 118.1 | 140.5 | 149.0 | .94 | 9.07 | 3.06 | 4.36 |
| 2 | 131.3 | 115.9 | 144.6 | 152.2 | .95 | 9.19 | 2.71 | 3.90 |
| 3 | 117.9 | 102.0 | 128.5 | 136.0 | .94 | 8.24 | 2.25 | 3.19 |
| 4 | 114.9 | 103.6 | 124.7 | 128.5 | .97 | 7.84 | 2.43 | 3.34 |
| 5 | 102.4 | 90.4 | 110.4 | 118.7 | .93 | 7.22 | 2.32 | 3.05 |
| 6 | 101.9 | 90.5 | 109.6 | 115.6 | .95 | 7.04 | 2.67 | 3.36 |
| 7 | 89.9 | 87.4 | 96.1 | 104.7 | .92 | 6.46 | 3.26 | 4.44 |
| 8 | 91.1 | 83.9 | 97.3 | 103.9 | .94 | 6.42 | 2.84 | 3.07 |
| 9 | 110.1 | 99.7 | 118.8 | 118.8 | 1.00 | 7.35 | 2.09 | 2.79 |
| 10 | 107.9 | 109.8 | 117.1 | 125.2 | .94 | 7.84 | 2.85 | 4.08 |

ｽﾊﾟﾝ長　5.8m　　荷重点間距離　1.4m　　材幅=10.5cm 材厚=30cm　積層数　10
E':見かけの曲げﾔﾝｸﾞ係数　Ed：動的ﾔﾝｸﾞ係数　E：曲げﾔﾝｸﾞ係数　$E_{cal}$:計算曲げﾔﾝｸﾞ係数　$\delta$:全撓み
$\delta_s$:せん断撓み
$\sigma_p$:曲げ比例限応力　　$\sigma_m$:曲げ強度

表－8　異樹種集成材の曲げ強度性能

| No. | $P_{max}$ | $\sigma_p$ | $\sigma_m$ | $\sigma_p/\sigma_m$ | $\tau_m$ | $\sigma_{cal1}$ | $\sigma_{cal2}$ | $\sigma_m/\sigma_{cal1}$ | $\sigma_{cal2}/\sigma_{cal1}$ | $\tau_{c\cdot m}$[x1] | $\tau_m/\tau_{c\cdot m}$ | 破壊 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg | kg/cm² | kg/cm² | | kg/cm² | kg/cm² | kg/cm² | | | kg/cm² | | |
| 1 | 7970 | 391.1 | 556.6 | .70 | 19.0 | 607.6 | 212.2 | .92 | .35 | 17.7 | 1.07 | FJ20 |
| 2 | 7340 | 356.2 | 512.6 | .69 | 17.5 | 571.6 | 177.6 | .90 | .31 | 16.1 | 1.09 | T |
| 3 | 5380 | 265.4 | 375.7 | .71 | 12.8 | 421.4 | 117.2 | .89 | .28 | 11.6 | 1.10 | K |
| 4 | 5490 | 279.4 | 383.4 | .73 | 13.1 | 435.4 | 121.4 | .88 | .28 | 11.9 | 1.10 | K |
| 5 | 4470 | 237.5 | 312.2 | .76 | 10.6 | 355.5 | 88.0 | .88 | .25 | 9.6 | 1.10 | T |
| 6 | 4900 | 272.4 | 342.2 | .80 | 11.7 | 388.1 | 95.9 | .88 | .25 | 10.5 | 1.11 | K |
| 7 | 5720 | 293.3 | 399.5 | .73 | 13.6 | 458.1 | 120.2 | .87 | .26 | 12.4 | 1.10 | $FJ_{90}$ |
| 8 | 4000 | 258.4 | 279.4 | .92 | 9.5 | 322.5 | 83.6 | .87 | .26 | 8.7 | 1.09 | K |
| 9 | 4400 | 230.5 | 307.3 | .75 | 10.5 | 339.8 | 113.3 | .90 | .33 | 9.7 | 1.08 | K |
| 10 | 6300 | 307.3 | 440.0 | .70 | 15.0 | 469.9 | 197.5 | .94 | .42 | 14.3 | 1.05 | T |

ｽﾊﾟﾝ長　5.8m　　荷重点間距離　1.4m　　材幅10.5cm　材せい30.0cm
$P_{max}$:曲げ破壊荷重　　$\sigma_p$:曲げ比例限応力　　$\sigma_m$:曲げ強度　$\tau_m$:最大せん断応力
$\tau_{c\cdot m}$:計算最大せん断応力(=$\tau_{cal\cdot max}$)　$\sigma_{cal1}$:外縁の計算曲げ応力　$\sigma_{cal2}$:内層外縁の計算曲げ応力
破壊形態：T　引張り、目切れ，　C　圧縮、ﾓﾒ　，K　節　，$FJ_n$　ﾌｨﾝｶﾞｰｼﾞｮｲﾝﾄ、n　木破率

果は明かであり、外層MOEの大きいNo.1集成材では$\sigma p$は391kg/cm²、$\sigma m$は557kg/cm²を示し、逆に外層MOEが小さいNo.8では$\sigma p$は258kg/cm²、$\sigma m$は279kg/cm²を示した。これらの値はｽｷﾞ製材（：$\sigma m$ 410kg/cm²、$\sigma p$ 241kg/cm²）と単純に（寸法効果を考慮しない）比較すると$\sigma p$はやや大きいものの、$\sigma m$は全体的にみればほぼ等しいようである。

また、全体に$\sigma p/\sigma m$は最大0.92、最小0.69の範囲にあり、製材の場合（ﾍﾞｲﾏﾂ:0.66、ｽｷﾞ:0.60）に比べ大きい。特に外層、内層ともMOEの小さいﾗﾐﾅの構成の集成材で、その傾向は著しい。$\sigma m$が小さいことおよび$\sigma p/\sigma m$が大きい理由として、製材に比べ断面が大きい今回の集成材の場合、外層のﾗﾐﾅは曲げよりも引張負荷を受け、引張荷重を受けた場合のFJﾗﾐﾅの塑性領域の小ささが原因と考えられる。

外層ﾗﾐﾅのMOEが内層に比べ大きい場合、$\sigma_{cal1}$は$\sigma m$より大きい値を示すことは前述の計算の経緯で明かであり、$\sigma m$より実態に近い値と考えられる。試験結果より今回のMOEの構成条件では$\sigma m$の約1割増の曲げ応力が外縁に作用したと推定される。

$\sigma_{cal2}$はｽｷﾞ内層の外縁に作用する曲げ応力であり、最大は外層ﾗﾐﾅのMOEの大きいNo1集成材で212kg/cm²、最小は外層ﾗﾐﾅのMOEの小さいNo.8集成材で84kg/cm²であった。

構成ﾗﾐﾅの長期許容応力度と$\sigma_{cal1}$、$\sigma_{cal2}$を対比すると、$\sigma_{cal1}$は長期許容応力度の2.5～3.7倍の範囲であり、$\sigma_{cal2}$の場合は1.1～1.8倍の範囲であった。$\tau_m$は最大19.0kg/cm²（No.1）、最小9.5kg/cm²（No.8）であり、厳密に計算した$\tau_{cal\cdot max}$は最大17.7kg/cm²（No.1）、最小8.7kg/cm²（No.8）となり、見かけの$\tau_m$に比べ約1割低い値と計算された。これらの$\tau_m$値は普通構造材（Ⅰ類）の長期許容応力度の1.3～2.7倍の値に相当する。

## ２．４．７ まとめ

以上の結果をまとめると

１．異樹種集成材の曲げﾔﾝｸﾞ係数は外層ﾗﾐﾅのﾔﾝｸﾞ係数に強く影響を受け、その関係は曲げ剛性のの計算予測とほぼ一致した。

２．今回の試験条件下ではせん断付加撓みの6.5～9.2%と計算され、大断面異樹種集成材の撓み設計ではせん断撓みについて配慮が必要である。

３．異樹種集成材の外層、内層に生じた曲げ応力（計算値）、最大せん断応力（計算値）から今回のﾗﾐﾅ構成、形状および曲げ条件においては集成材の耐力は外層のﾍﾞｲﾏﾂﾗﾐﾅの強度が支配的に影響すると考えられる。

４．異樹種集成材の曲げ比例限応力、曲げ強度はいづれもﾗﾐﾅの強度性能に基づく配置を試みた効果は明かであり、高強度ﾗﾐﾅを適切に配置することにより製材（ｽｷﾞ）の性能を越える強度性能を付与することが可能である。

## 文献


1) 日本木材学会：”構造用木材－強度ﾃﾞｰﾀの収集と分析”　1989.3

2) 林業試験場（監）：木材工業ﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸ、第３版，丸善，(1982)

3　接着力性能試験

接着性能試験は、強度性能試験の終了した試験体の健全部を利用して実施するために、実施は来年度に行わざるを得ない。以下、試験の概要について述べる。

3．1　供試接着剤の接着性能

供試集成材の接着に使用された接着剤の基本的な性能をチェックするためにＪＩＳのブロックせん断試験法に準じて接着試験を行う。

供試樹種はカバ及びスギ、ヒノキ材とし、接着は標準的な条件で行う。

試験は①常態及び②繰返し煮沸処理③ＶＰＳＤ処理を施したものについて行う。処理の詳細は以下の通りである。

①常態

②繰り返し煮沸処理

③ＶＰＳＤ処理

3．2　作成試験体の接着性能

集成材の接着性強さ試験としてはＪＡＳ、あるいは前述したＪＩＳのブロックせん断試験やＡＳＴＭのステップ型ブロックせん断試験があるが、今回の供試体にはラミナの厚さ・構成からそのまま適用するのが困難と思われるので、以下に述べるような方法を採用することとした。

（１）試験片

曲げ試験終了後及び長期載荷試験終了後の試験体健全部より、断面はそのままに軸方向５ｃｍのブロック状試験片を裁断する。試験片数は最低30片とし、接着強さ試験と剥離試験に供する。

１０５×１０５×５０mm　３０片

試験片の採材位置は記録する。

（２）接着強さ試験

図示したようなＢＳ　５３０５：Part C15に準拠した方法によってせん断試験を行う。試験片数は、１条件当たり最低５個とする。

樹種を異にする接着層に裁荷するようにする。

処理の詳細は以下の通りである。

①常態

②繰返し煮沸処理

煮沸 4hr→乾燥 60°C,20hr→煮沸 4hr→室温水冷却 1hr

③ＶＰＳＤ処理

10～25°C室温水浸せき→減圧635mmHg,5min→加圧5.2±0.3kgf/cm,1hrの２回繰り返し

（３）剥離試験

上述の試験片について①繰り返し煮沸剥離試験、②ＶＰＳＤ剥離試験を行う。試験片数は１条件５片とする。

処理の詳細は以下の通りである。

①繰返し煮沸処理

煮沸 4hr→乾燥 70°C,20hrを１サイクルとし、１、２、３回繰り返し

②ＶＰＳＤ処理

10～25°C室温水浸せき→減圧635mmHg,5min→加圧5.2±0.3kgf/cm,1hrの２回繰り返し→乾燥 70°C,20hrを１サイクルとし、１、２、３回繰り返し

３．３　試験結果

来年度（平成７年度）報告する。

## 4　おわりに

内層にスギを配置し、外層にヒノキ、カラマツ、ベイマツを配置した異樹種構成集成材を製作し、曲げ強度試験を実施した。

曲げヤング係数の向上はほぼ理論計算通りであった。

接着力試験は、暴露を続けながら接着力の経時変化を観察するので、数年かかる予定である。したがって、試験そのものはこの先も継続される予定であるが、本事業としては来年度の観察をもって一応の目処を付けようと考えている。