



HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|------------------|---|
| Title | 北海道産各種広葉樹材による集成材の研究(第2報) : エゾイタヤ・ブナ・ハルニレ材および針葉樹材との組合せによる通直集成材 |
| Author(s) | 矢沢, 亀吉; YAZAWA, Kamekichi; 宮島, 寛 他 |
| Citation | 北海道大學農學部 演習林研究報告, 24(1), 235-274 |
| Issue Date | 1965-08 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/20839 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 24(1)_P235-274.pdf |



北海道産各種広葉樹材による 集成材の研究 (第2報)

エゾイタヤ・ブナ・ハルニレ材および針葉樹材との
組合せによる通直集成材

矢 沢 亀 吉*
宮 島 寛**
尾 藤 一 行***
林 竜 一****
伊 藤 勝 彦*****

Studies on the Laminated Woods Made from Various
Hardwoods Grown in Hokkaido (Report 2)

Straight Laminated Wooden Beams Made from Ezo-itaya
(*Acer* sp.), Buna (*Fagus* sp.), Harunire
(*Ulmus* sp.) and Coniferous Woods*

By

Kamekichi YAZAWA, Hiroshi MIYAJIMA, Kazuyuki BITO,
Ryu-ichi HAYASHI and Katuhiko ITO

目 次

| | |
|-------------------------------|-----|
| 緒 言 | 236 |
| 材料および方法 | 236 |
| 1. ラミナの調整 | 236 |
| 2. ラミナの曲げヤング係数の測定および組合せ | 237 |
| 3. 集成材の製造 | 240 |
| 4. 小型無欠点試験片の強度試験 | 240 |
| 5. 集成材の強度および接着性能試験 | 241 |
| 結果および考察 | 242 |
| 1. 小型無欠点試験片の強度試験結果 | 242 |
| 2. 集成材のヤング係数の計算 | 243 |

* 北海道大学農学部林産学科 教授 林学博士

** 北海道大学農学部林産学科 助教授 林学博士

*** 三井木材工業株式会社北海道事業所次長 (当時同砂川工場長)

**** 通商産業省工業技術院産業工芸試験所 (当時北海道大学農学部林産学科学生)

***** 北海道立林産試験場 (当時北海道大学農学部林産学科学生)

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 3. 集成材の強度試験結果 | 245 |
| 4. 接着性能試験結果 | 250 |
| 5. ヤング係数における計算値と実験値との比較 | 251 |
| 6. 集成材の比重と強度との関係 | 254 |
| 7. 集成材の強度品等およびヤング係数による強度の推定 | 255 |
| 結 言 | 257 |
| 文 献 | 259 |
| Summary | 259 |
| 付 録 | 263 |
| 1. 小型無欠点試験片の強度試験結果 | 264 |
| 2. ラミナの性質 | 268 |

緒 言

さきに第1報¹⁾においてダケカンバ、シナノキ、ヤマハンノキおよびハルニレ材からなる通直集成材について試験し、表面材に強度のすぐれたダケカンバ材を用いると集成材の強度および剛性が向上し、かつ安定することを確かめた。また集成材作製前に各ラミナの曲げヤング係数を測定し、それから集成材の剛性を計算によって求めるとそれが実験値にほとんど合致し、強度性能の知られる集成材を作製できることも確かめた。

しかしダケカンバ材は強度的性能、接着性能などがすぐれているが、現在では価格がかなり高価なため、これをもっと安価な材料にかえ、また比重を小さくすることに重点をおいて今回の研究を進めた。すなわち、軽量で安価でかつ強度および剛性のすぐれたものを製作することに重点をおき、エゾイタヤ、ブナ、ハルニレの広葉樹材を用い、さらにエゾマツ、トドマツの針葉樹材を用い、それらの単樹種ならびに針・広の組合せによる通直集成材を製造し、それらの強度試験および接着試験を行なった。

ここに試験した集成材は昭和37年8月上旬に三井木材工業株式会社砂川工場の設備をつかって製作したもので、その際、同工場集成材課長清野喜久弥氏、製材加工課長野田祐一氏、研究室後藤康方氏らの助言と協力をえた。ここに謝意を表する。

なお、この論文は昭和37年度に文部省科学試験研究費補助金を受けた「北海道産低質小径広葉樹材の材質ならびにその加工利用法に関する研究」業績の一部である。

材料および方法

ラミナの調整、集成材の製造方法などはほぼ前報¹⁾と同様である。

1. ラミナの調整

集成材製造に用いたラミナはつぎの5樹種であり、本文中で用いた記号も合せ示す。

| 和名 | 学名 | 記号 |
|-------|--|----|
| エゾイタヤ | <i>Acer mono</i> MAXIM. | A |
| ブナ | <i>Fagus crenata</i> BL. | F |
| ハルニレ | <i>Ulmus davidiana</i> PLANCHON var. <i>japonica</i> NAKAI | U |
| エゾマツ | <i>Picea jezoensis</i> CARR. | P |
| トドマツ | <i>Abies sachalinensis</i> MAST. | T |

これらの材料のうち広葉樹材のエゾイタヤおよびブナ材は本試験のために特に購入したもので、エゾマツ、トドマツ材は三井木材工業 KK 砂川工場で集成材用原板として調整したもののなかから、またハルニレ材は床板用原板のなかから選んだものである。これらを人工乾燥によって集成材製造前の含水率を9~12%とした。人工乾燥スケジュールは前報¹⁾のときとほとんど同じである。乾燥終了後の材を幅12cmに縦挽し、それを自動かんな盤で厚さ15mmに仕上げた。使用した自動かんな盤は前回と同様、太平製作所製で切削幅600mm、4枚刃のものである。仕上げた面のナイフマークの幅も前回とほぼ同様で接着作業には影響ないと考えられる。

表1 ラミナの仕上り厚さ (cm)
Table 1. Thickness of laminae after final surfacing (cm)

| Species | Number | Min. | Av. | Max. | Standard deviation | Coefficient of variation, (%) |
|------------|--------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------------------|
| Ezo-itaya | 62 | 1.475 | 1.504 | 1.540 | 0.016 | 1.06 |
| Buna | 59 | 1.460 | 1.496 | 1.525 | 0.003 | 0.20 |
| Harunire | 62 | 1.495 | 1.516 | 1.545 | 0.008 | 0.54 |
| Ezo-matsu | 88 | 1.435 | 1.496 | 1.530 | 0.012 | 0.80 |
| Todo-matsu | 79 | 1.430 | 1.489 | 1.525 | 0.012 | 0.81 |
| All | 350 | 1.430 | 1.500 | 1.545 | 0.016 | 1.07 |

自動かんな盤で仕上げたラミナの厚さは表1に示すとおりである。全体の平均値が1.500cmで予定の厚さと一致した。しかし標準偏差は全体で0.016cmとなり、前回の0.017cmよりわずかに少ないが変化係数としては1.07%となり、前回よりやや精度がおちたことになる。かんな削り終了後ラミナの長さを180cmにそろえた。

2. ラミナの曲げヤング係数の測定および組合せ

前回同様、仕上げたラミナについて1枚ずつスパンを150cmとし、中央集中荷重により2cmのたわみを与え、これから次式により曲げヤング係数 (E_b) を求めた。

$$E_b = \frac{Pl^3}{4yb^3h^3} \text{ kg/cm}^2$$

ここで、 P は2cmのたわみを与える荷重 (kg)、 l はスパン (150cm)、 y はたわみ (2cm)、 b はラミナの幅 (cm)、 h は同厚さ (cm) である。ラミナの諸性質を樹種別に示せ

表2 ラミナの諸性質の総括
Table 2. Summary of properties of laminae

| Item\Species | Ezo-itaya | Buna | Harunire | Ezo-matsu | Todo-matsu | |
|--|-----------|------|----------|-----------|------------|------|
| No. of laminae | 62 | 59 | 62 | 86 | 81 | |
| Av. ring width (mm) | Min. | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.3 | 0.6 |
| | Av. | 1.5 | 1.8 | 1.4 | 1.8 | 2.0 |
| | Max. | 2.8 | 2.6 | 3.6 | 4.0 | 6.5 |
| Specific gravity r_u | Min. | 0.59 | 0.57 | 0.39 | 0.34 | 0.34 |
| | Av. | 0.68 | 0.67 | 0.51 | 0.42 | 0.41 |
| | Max. | 0.76 | 0.77 | 0.66 | 0.51 | 0.56 |
| Moisture content u (%) | Min. | 8.4 | 8.0 | 8.7 | 9.7 | 6.0 |
| | Av. | 9.6 | 11.8 | 9.5 | 11.2 | 11.0 |
| | Max. | 10.7 | 15.5 | 12.8 | 15.9 | 14.4 |
| Modulus of elasticity E_b (10^3 kg/cm ²) | Min. | 86 | 62 | 51 | 73 | 62 |
| | Av. | 126 | 121 | 90 | 112 | 112 |
| | Max. | 187 | 162 | 138 | 140 | 153 |

ば表2のとおりである。

ラミナの年輪幅は一般に狭く、平均値でエゾイタヤ1.5 mm, ブナ1.8 mm, ハルニレ1.4 mm, エゾマツ1.8 mm, トドマツ2.0 mmである。このため環孔材であるハルニレでは比重も剛性も低く、逆に針葉樹材であるエゾマツ, トドマツではそれらが比較的大きい。比重(試験時, 含水率 u %のとき)はエゾイタヤとブナがほとんど同じでそれぞれ平均値で0.68および0.67, ハルニレが0.51で, エゾマツおよびトドマツはほとんど同じで0.42および0.41である。その範囲はハルニレが最も大で0.39~0.66である。含水率は各樹種の平均値が9.5~11.8%の間にあり, エゾイタヤとハルニレが比較的低い範囲にまとまり, 他はこれよりやや高い。曲げヤング係数はエゾイタヤが最も大で平均値 126×10^3 kg/cm², ついでブナの 121×10^3 , エゾマツとトドマツは同じで 112×10^3 , ハルニレは最も小で 90×10^3 である。その範囲はいずれの樹種についてもかなり広く, 最大はエゾイタヤの 187×10^3 , 最小はハルニレの 51×10^3 である。

ラミナのヤング係数測定後, それによってラミナを分類し, 集成材製造の組合せをきめた。今回の集成材はすべて7枚のラミナから構成し, 単一樹種材の組合せではヤング係数の大きいもののみ, 表面材のみ大きいもの, などいろいろの組合せをつくった。これらの組合せは表4に示すとおりである。樹種別の集成材の製作数およびそれらの記号はつぎのとおりである。



図1 集成材の断面

Fig. 1. Cross section of laminated wooden beam.

| 表面材 | 芯材 | 個数 | 記号 |
|-------|-------|----|---------|
| エゾイタヤ | エゾイタヤ | 6 | AA 1~6 |
| ブナ | ブナ | 5 | FF 1~5 |
| ハルニレ | ハルニレ | 5 | UU 1~5 |
| エゾマツ | エゾマツ | 4 | PP 1~4 |
| トドマツ | トドマツ | 3 | TT 1~3 |
| トドマツ | エゾマツ | 1 | TP 4 |
| エゾイタヤ | トドマツ | 3 | AT 1~3 |
| エゾイタヤ | エゾマツ | 4 | AP 4~7 |
| エゾイタヤ | ハルニレ | 3 | AU 1~3 |
| ブナ | エゾマツ | 6 | FP 1~6 |
| ブナ | トドマツ | 4 | FT 7~10 |
| ハルニレ | トドマツ | 5 | UT 1~5 |
| ハルニレ | エゾマツ | 1 | UP 6 |

合計 50 本である。集成材の仕上げ寸法は梁せい 10.5 cm × 幅 10 cm × 長さ 170 cm としたが、幅において 1 cm 程度不足するものもできた。また今回は組合せに際し、できるだけ各ラミナの木表と木表、木裏と木裏が相接するようにしたが、今回は木構造設計規準²⁾の集成木材構造設計規準の 2. 一般事項 (2) の図 L・2 に従って板目板については同一方向に積み重ね接着した。それらの断面の略図を図 1 に示す。

3. 集成材の製造

上述のように組合せをきめたラミナ 7 枚を接着し、梁せい 10.5 cm、幅 10 cm、長さ 170 cm の通直集成材を作製した。接着剤は東洋高压製ユーロイド 120 # (尿素・メラミン・石炭酸共縮合樹脂、樹脂分 70 ± 2%，比重 1.31 ± 0.05) でこれに硬化剤として塩化アンモンを 0.6% 加えた。塗布量は 1 g/100 cm² を基準とし、接着する面の両面にブラシで塗布した。圧縮には 5 個の締め具を 35 cm 間隔におき、集成材 5~6 個分を一群として圧縮した。圧縮圧力はトルクレンチを用いて 8~10 kg/cm² になるよう調整した。この圧縮したものの全体をキャンバスで被覆し、55°C を 15 時間以上保った。接着終了した集成材の接着層の表われている面を手押しかな盤および自動かな盤で切削し仕上げた。この集成材の製造は 1962 年 8 月上旬に行なった。

4. 小型無欠点試験片の強度試験

集成材製造前に各樹種のラミナから高さ 1.5、幅 2、長さ 30 cm の試験片をとり、これについてスパンを 24 cm とし、東京衡機製手動式アムスラー堅型試験機で中央集中荷重による曲げ試験を行ない、曲げ比例限度、強さおよびヤング係数を求めた。曲げ試験終了後、破壊していない部分から長さ 4 cm の短柱をきりとり、森試験機製 5 トン オルセン型試験機で縦圧縮試験を行なった。この際試験片の中央部 2 cm について鏡式エッキステンソメーターにより歪を測定した。この試験において比重、含水率、縦圧縮比例限度、強さ

およびヤング係数を求めた。別に $1.5 \times 2 \times 39$ cm の材料から JIS Z 2112-1957 にもとづく縦引張試験片を作製し、前記オルセン型試験機により縦引張試験を行ない含水率、縦引張比例限度、強さおよびヤング係数を求めた。

5. 集成材の強度および接着性能試験

作製された 50 本の集成材について、まず梁としての曲げ試験を行なった。アムスラー社製 150 トン材料試験機を用い、スパンを 159 cm とし図 2 に示すような 3 等分点荷重方式で曲げ剛性および破壊試験を行なった。この試験では荷重 250 kg ごとに試験体の中

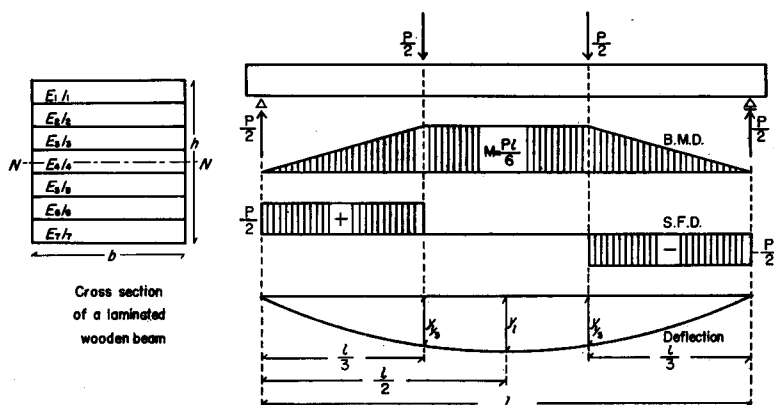


図 2 梁の断面と曲げ試験方法

Fig. 2. Cross section of a laminated wooden beam and method of bending test.

央における全スパンについてのたわみ y_i および中央 3 分の 1 スパン (荷重点間) におけるたわみ $\Delta y = y_i - y_o$ を測定した。曲げ試験においては、比重 (r_u)、曲げ比例限度 (σ_{dp})、曲げ強さ (σ_b)、 y_i および Δy からヤング係数 (E_b) および (E'_b) を求めた。これらはずきのよりに計算した (図 2 参照)。

まず曲げモーメント M は荷重点間において最大かつ一定となり

$$M = \frac{Pl}{6} \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

で表わされる。断面係数 Z は

$$Z = \frac{bh^2}{6} \text{ cm}^3$$

であるので、

$$\sigma_{dp} = \frac{M}{Z} = \frac{Pl}{bh^2} \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{Pl}{bh^2} \text{ kg/cm}^2$$

となる。ただし P' および P はそれぞれ比例限度荷重および最大荷重 kg である。

また荷重が P' のときの荷重点下のたわみ $y_{1/3}$ および全スパンにおけるたわみ y_i は

$$y_{1/3} = \frac{20P'l^3}{1296EI} \text{ cm}$$

$$y_i = \frac{23P'l^3}{1296EI} \text{ cm}$$

で表わされる。ここで I は中立軸に関する断面二次モーメントである ($I = bh^3/12 \text{ cm}^4$)。

したがって荷重点間のたわみ Δy は

$$\Delta y = y_i - y_{1/3} = \frac{3P'l^3}{1296EI} \text{ cm}$$

となる。これらから

$$E_b = \frac{23P'l^3}{1296y_i I} = \frac{23P'l^3}{108y_i b h^3} \text{ kg/cm}^2$$

$$E_b' = \frac{3P'l^3}{1296\Delta y I} = \frac{P'l^3}{36\Delta y b h^3} \text{ kg/cm}^2$$

によってヤング係数が求められる。

曲げ試験終了後、破壊していない部分から長さ 20 cm の短柱をきりとり、これについて縦圧縮試験を行ない、また 15 cm の長さのブロックをきりとり、これをラミナごとに階段状に切削加工して常態接着性能試験のためのブロック剪断試験片とした。さらに長さ 5 cm をきりとり、これを各ラミナごとに分割して、平均年輪幅、比重および含水率を測定した。縦圧縮試験はアムスラー 150 トン材料試験機を用い、能力を 100 トンとし試験体の中央 10 cm を標点距離としてとりつけた鏡式エックステンソメーターにより圧縮ひずみを測定した。縦圧縮試験では比重、縦圧縮比例限度、強さおよびヤング係数を求めた。ブロック剪断試験は剪断面積を 3.5 cm × 10 cm とし森試験機製 ASTM 型剪断試験装置により、前記オルセン型試験機を用いて行なった。この試験では接着力 (剪断力 $\tau \text{ kg/cm}^2$) および木部破断率 (%) を求めた。

なお曲げ試験の際、試験体全体に剪断破壊を起し、縦圧縮試験体をとれないものが 4 個 (AA 3, AT 1, UT 2, FT 9) あった。

上述の試験のうち、小型試験片についての試験は 1962 年 9~10 月 (室温 10~22°C, 湿度 65~85%) に、集成材の試験は同年 11~12 月 (室温 11~21°C, 湿度 58~66%) に、接着性能試験は 1963 年 1 月上旬 (室温 14~18°C, 湿度 58~65%) に行なった。

結果および考察

1. 小型無欠点試験片の強度試験結果

集成材の強度に関する資料をうるため各供試樹種について行なった小型無欠点試験片

表3 小型無欠点材の試験結果の総括 (平均値)

Table 3. Summary of test results for small clear specimens (average value)

| Item\Species | Ezo-itaya | Buna | Harunire | Ezo-matsu | |
|--------------------------------------|---|------|----------|-----------|-----|
| Bending and compression tests | | | | | |
| No. of specimens | 30 | 38 | 33 | 26 | |
| Specific gravity at test | 0.66 | 0.67 | 0.52 | 0.38 | |
| Moisture content, u (%) | 12.3 | 13.7 | 11.3 | 13.0 | |
| Bending test | σ_{bp} (kg/cm ²) | 501 | 464 | 372 | 369 |
| | σ_b (kg/cm ²) | 1146 | 1082 | 798 | 640 |
| | E_b (10 ³ kg/cm ²) | 106 | 108 | 78 | 89 |
| Compression test | σ_{cp} (kg/cm ²) | 236 | 240 | 182 | 224 |
| | σ_c (kg/cm ²) | 509 | 477 | 380 | 332 |
| | E_c (10 ³ kg/cm ²) | 105 | 96 | 80 | 102 |
| Tension test | | | | | |
| No. of specimens | 18 | 15 | 17 | 17 | |
| Moisture content, u (%) | 10.9 | 13.7 | 10.2 | 10.1 | |
| Tension test | σ_{tp} (kg/cm ²) | 712 | 345 | 430 | 458 |
| | σ_t (kg/cm ²) | 1442 | 969 | 981 | 833 |
| | E_t (10 ³ kg/cm ²) | 111 | 82 | 97 | 99 |

Remarks: σ_{bp} , σ_{cp} and σ_{tp} are stresses at proportional limit in bending, compression and tension tests, respectively. σ_b , σ_c and σ_t are the maximum strength in the same tests. E_b , E_c and E_t are the moduli of elasticity.

についての試験結果のすべてを付録1に、またその総括 (平均値) を表3に示す。

これらの数値をみると、強度的に最もすぐれているのはエゾイタヤ材である。特にその引張強さが大きい。これにつぐのがブナ材であるが、引張試験片があまり強度的にすぐれていない材料であったため、引張強さはその曲げ強さよりも小という結果になったが、試験体の材質を均質にさせれば引張強さももっと大きくなるものと考えられる。ハルニレ材はエゾマツ材にくらべ、比重がかなり大きいにもかかわらず、強度数値はわずかしか大きくなく、この程度の強度のハルニレ材ではエゾマツ材の補強用としての役割ははたせない。

2. 集成材のヤング係数の計算

前報¹⁾にのべた方法により、まず集成材梁の中立軸の位置を求め、さらに各ラミナのヤング係数から集成材梁のヤング係数 (Cal. E_b) および短柱としてのヤング係数 (Cal. E_c) を計算によって求めた。

$$\text{Cal. } E_b = \frac{\sum (E_t I_t)}{I}$$

$$\text{Cal. } E_c = \frac{\sum (E_t h_t)}{h}$$

表4 ラミナのヤング係数
Table 4. Moduli of elasticity of laminae

| Beam No. | Modulus of elasticity 10^3 kg/cm^2 | | | | | | | Cal. E_b | Cal. E_c |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|------------|
| | E_1 | E_2 | E_3 | E_4 | E_5 | E_6 | E_7 | | |
| AA 1 | 187 | 140 | 129 | 133 | 135 | 131 | 165 | 161 | 146 |
| AA 2 | 155 | 128 | 129 | 106 | 125 | 138 | 154 | 146 | 134 |
| AA 3 | 135 | 131 | 119 | 110 | 112 | 124 | 140 | 133 | 124 |
| AA 4 | 134 | 122 | 115 | 98 | 109 | 125 | 124 | 120 | 118 |
| AA 5 | 113 | 108 | 102 | 86 | 96 | 104 | 110 | 109 | 103 |
| AA 6 | 132 | 124 | 118 | 112 | 118 | 120 | 111 | 118 | 118 |
| FF 1 | 142 | 134 | 130 | 125 | 124 | 120 | 147 | 138 | 132 |
| FF 2 | 142 | 124 | 130 | 113 | 115 | 121 | 152 | 138 | 128 |
| FF 3 | 131 | 128 | 120 | 118 | 110 | 112 | 125 | 125 | 121 |
| FF 4 | 115 | 114 | 95 | 91 | 107 | 111 | 113 | 112 | 107 |
| FF 5 | 107 | 83 | 76 | 62 | 88 | 95 | 104 | 99 | 88 |
| UU 1 | 120 | 112 | 96 | 89 | 102 | 116 | 125 | 118 | 109 |
| UU 2 | 110 | 98 | 92 | 93 | 87 | 101 | 112 | 106 | 99 |
| UU 3 | 92 | 82 | 69 | 66 | 66 | 87 | 95 | 89 | 80 |
| UU 4 | 75 | 60 | 59 | 51 | 60 | 67 | 78 | 71 | 64 |
| UU 5 | 69 | 68 | 59 | 54 | 61 | 64 | 75 | 69 | 64 |
| PP 1 | 138 | 131 | 95 | 85 | 129 | 126 | 140 | 134 | 121 |
| PP 2 | 124 | 102 | 102 | 100 | 100 | 105 | 129 | 118 | 109 |
| PP 3 | 106 | 75 | 73 | 73 | 81 | 91 | 101 | 95 | 86 |
| PP 4 | 126 | 123 | 122 | 120 | 121 | 126 | 123 | 124 | 123 |
| TT 1 | 150 | 147 | 127 | 118 | 122 | 122 | 153 | 146 | 136 |
| TT 2 | 126 | 119 | 121 | 111 | 116 | 120 | 124 | 123 | 120 |
| TT 3 | 94 | 86 | 85 | 62 | 82 | 82 | 86 | 88 | 82 |
| TP 4 | 142 | 125 | 128 | 124 | 122 | 130 | 145 | 137 | 131 |
| AT 1 | 147 | 145 | 135 | 137 | 147 | 141 | 136 | 142 | 141 |
| AT 2 | 147 | 148 | 136 | 126 | 128 | 130 | 138 | 141 | 136 |
| AT 3 | 142 | 126 | 126 | 110 | 123 | 123 | 144 | 136 | 128 |
| AP 4 | 134 | 137 | 118 | 125 | 125 | 132 | 142 | 136 | 130 |
| AP 5 | 127 | 154 | 142 | 132 | 128 | 147 | 126 | 134 | 137 |
| AP 6 | 126 | 103 | 117 | 109 | 108 | 111 | 123 | 118 | 114 |
| AP 7 | 131 | 120 | 118 | 111 | 110 | 112 | 118 | 121 | 117 |
| AU 1 | 132 | 93 | 91 | 90 | 89 | 89 | 139 | 119 | 103 |
| AU 2 | 126 | 96 | 91 | 84 | 91 | 100 | 122 | 114 | 101 |
| AU 3 | 110 | 81 | 79 | 78 | 79 | 84 | 111 | 96 | 89 |
| FP 1 | 162 | 137 | 110 | 103 | 113 | 145 | 142 | 146 | 130 |
| FP 2 | 155 | 95 | 87 | 79 | 84 | 93 | 138 | 127 | 104 |
| FP 3 | 127 | 116 | 107 | 97 | 108 | 110 | 127 | 121 | 113 |
| FP 4 | 134 | 101 | 85 | 79 | 96 | 102 | 127 | 119 | 103 |
| FP 5 | 129 | 114 | 92 | 90 | 101 | 109 | 127 | 121 | 109 |
| FP 6 | 126 | 110 | 105 | 103 | 109 | 120 | 130 | 123 | 115 |
| FT 7 | 139 | 130 | 104 | 99 | 106 | 112 | 136 | 131 | 118 |
| FT 8 | 120 | 106 | 91 | 91 | 92 | 96 | 132 | 116 | 104 |
| FT 9 | 133 | 113 | 121 | 110 | 114 | 115 | 117 | 121 | 118 |
| FT 10 | 111 | 106 | 100 | 97 | 104 | 100 | 107 | 107 | 104 |
| UT 1 | 138 | 127 | 133 | 111 | 112 | 121 | 125 | 129 | 124 |
| UT 2 | 120 | 120 | 113 | 103 | 108 | 114 | 115 | 117 | 113 |
| UT 3 | 109 | 111 | 102 | 99 | 102 | 105 | 116 | 110 | 106 |
| UT 4 | 106 | 103 | 100 | 91 | 104 | 106 | 102 | 104 | 102 |
| UT 5 | 103 | 101 | 99 | 95 | 93 | 103 | 98 | 100 | 99 |
| UP 6 | 107 | 107 | 109 | 114 | 103 | 107 | 105 | 106 | 107 |

Remarks: Cal. E_b =modulus of elasticity of beam, calculated from $E_1 \sim E_7$ of laminae.

Cal. E_c =modulus of elasticity of short column, average value of those of laminae.

ここで、

E_L : ラミナの曲げヤング係数 (kg/cm^2)

I_L : 梁の中立軸に関するラミナの断面二次モーメント (cm^4)

I : 中立軸に関する集成材梁の断面二次モーメント (cm^4)

h_L : 構成ラミナの厚さ (cm)

h : 集成材梁のせい (cm)

ここに試験した集成材梁のラミナの曲げヤング係数、それより求めた梁の曲げヤング係数 Cal. E_b および短柱の縦圧縮ヤング係数 Cal. E_c を表 4 に示す。

3. 集成材の強度試験結果

集成材についての梁としての曲げ試験の結果を表 5 に、短柱としての縦圧縮試験の結果を表 6 に、また組合せ別の総括を表 7 に示す。

まず、表 5 および 7 の曲げ試験結果について考察する。

エゾイタヤ材のみからなる集成材 AA 1~6 では比重は 0.68~0.71、曲げ比例限度 489~661 kg/cm^2 、曲げ強さ 964~1142 kg/cm^2 、スパン全長のたわみから求めたヤング係数 (E_b) 118~162 $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、荷重点間である中央 3 分の 1 スパンにおけるたわみから求めたヤング係数 (E_b') 121~182 $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ であり、ヤング係数においてはやや差異があるが、他の数値はいずれもせまい範囲にあつて材質の安定性を示し、かつそれらは非常に高い値で、ここに試験した集成材のなかでは最高である。またこのエゾイタヤ集成材の比重、強度は前回のダケカンバ集成材と非常に似た値である。

つぎにブナ材のみによる FF 1~5 では比重は 0.65~0.71 で平均値は AA 1~6 と同じであるが強度数値はこれよりやや劣る。その曲げ比例限度は 442~540 kg/cm^2 とせまい範囲にあるが、曲げ強さは 680~1098 kg/cm^2 で大きい値の方は前述のエゾイタヤ材とほとんど同じであるが、これよりかなり小さい値のものも含まれる。ヤング係数は E_b 101~157 $\times 10^3$ 、 E_b' 104~170 $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ でこの範囲もエゾイタヤ材よりも広い。ハルニレ材のみからなる集成材は比重 0.46~0.56、曲げ比例限度 222~421 kg/cm^2 、曲げ強さ 367~833 kg/cm^2 、ヤング係数 E_b 75~114 $\times 10^3$ 、 E_b' 78~128 $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ で、これらの平均値はそれぞれ 0.51、348、606、91 $\times 10^3$ で針葉樹材のみからなる集成材に比べて大きいのは比重と曲げ強さのみである。また前報¹⁾のハルニレ材のみからなる集成材 8 本の平均値は比重 0.56、曲げ比例限度 435 kg/cm^2 、曲げ強さ 850 kg/cm^2 、ヤング係数 107 $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ で、これに比べ、今回のハルニレ集成材はかなり劣つたものとなつた。試験に供したハルニレ材のラミナのヤング係数は前回は 51~107~163 $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、今回は 51~90~138 $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ で最小値は同じであるが、今回のものの最高値がかなり低かつた。

広葉樹材の単一樹種からなる集成材に対し、針葉樹材のみ、すなわちエゾマツ材のみ、

表5 集成材梁の曲げ試験結果

Table 5. Results of bending test for laminated wooden beams

| Beam No. | Sp. gr. at test r_u | Stress at prop. limit σ_{bp} (kg/cm ²) | Modulus of rupture σ_b (kg/cm ²) | Modulus of elasticity E_b (10 ³ kg/cm ²) | Modulus of elasticity E'_b (10 ³ kg/cm ²) | E_b | | $\frac{\sigma_{bp}}{\sigma_b}$ | $\frac{\sigma_b}{r_u}$ | $\frac{E_b}{10^3 r_u}$ |
|----------|-----------------------|---|---|---|--|-------|------|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | | | | Cal. | Cal. | | | |
| AA 1 | 0.68 | 627 | 1122 | 162 | 182 | 1.01 | 1.13 | 0.56 | 1650 | 238 |
| AA 2 | 0.71 | 661 | 1089 | 158 | 168 | 1.08 | 1.15 | 0.63 | 1560 | 222 |
| AA 3 | 0.68 | 551 | 1142 | 148 | 161 | 1.11 | 1.26 | 0.48 | 1680 | 218 |
| AA 4 | 0.69 | 550 | 979 | 133 | 146 | 1.06 | 1.16 | 0.56 | 1420 | 193 |
| AA 5 | 0.68 | 489 | 978 | 118 | 121 | 1.08 | 1.11 | 0.50 | 1440 | 173 |
| AA 6 | 0.71 | 490 | 964 | 126 | 133 | 1.07 | 1.13 | 0.51 | 1370 | 177 |
| FF 1 | 0.71 | 540 | 932* | 157 | 170 | 1.14 | 1.23 | 0.58 | 1310 | 221 |
| FF 2 | 0.70 | 503 | 1098 | 136 | 137 | 0.99 | 0.99 | 0.46 | 1570 | 194 |
| FF 3 | 0.68 | 442 | 682 | 135 | 135 | 1.08 | 1.08 | 0.65 | 1000 | 198 |
| FF 4 | 0.70 | 489 | 974 | 127 | 145 | 1.13 | 1.29 | 0.50 | 1390 | 181 |
| FF 5 | 0.65 | 472 | 680* | 101 | 104 | 1.02 | 1.05 | 0.69 | 1050 | 155 |
| UU 1 | 0.56 | 399 | 610* | 114 | 128 | 0.97 | 1.09 | 0.65 | 1090 | 204 |
| UU 2 | 0.55 | 382 | 833 | 105 | 119 | 0.99 | 1.12 | 0.46 | 1510 | 191 |
| UU 3 | 0.50 | 421 | 680 | 83 | 93 | 0.93 | 1.05 | 0.62 | 1360 | 166 |
| UU 4 | 0.46 | 222 | 367 | 82 | 88 | 1.15 | 1.24 | 0.60 | 800 | 178 |
| UU 5 | 0.49 | 318 | 540 | 75 | 78 | 1.09 | 1.13 | 0.59 | 1100 | 153 |
| PP 1 | 0.47 | 450 | 642 | 128 | 151 | 0.96 | 1.13 | 0.70 | 1370 | 272 |
| PP 2 | 0.45 | 368 | 539 | 118 | 134 | 1.00 | 1.14 | 0.68 | 1200 | 262 |
| PP 3 | 0.40 | 388 | 472 | 103 | 104 | 1.08 | 1.10 | 0.82 | 1180 | 258 |
| PP 4 | 0.42 | 254 | 314* | 117 | 127 | 0.94 | 1.02 | 0.81 | 750 | 279 |
| TT 1 | 0.46 | 502 | 629 | 133 | 135 | 0.91 | 0.93 | 0.80 | 1370 | 289 |
| TT 2 | 0.43 | 385 | 572* | 123 | 141 | 1.00 | 1.15 | 0.67 | 1330 | 286 |
| TT 3 | 0.41 | 277 | 355** | 88 | 92 | 1.00 | 1.05 | 0.78 | 870 | 215 |
| TP 4 | 0.47 | 476 | 666 | 132 | 145 | 0.96 | 1.06 | 0.71 | 1420 | 281 |
| AT 1 | 0.54 | 601 | 843* | 141 | 153 | 0.99 | 1.08 | 0.71 | 1560 | 261 |
| AT 2 | 0.51 | 547 | 711* | 134 | 149 | 0.95 | 1.06 | 0.77 | 1390 | 263 |
| AT 3 | 0.51 | 435 | 723* | 135 | 152 | 0.99 | 1.12 | 0.60 | 1420 | 265 |
| AP 4 | 0.52 | 508 | 755 | 135 | 147 | 0.99 | 1.08 | 0.67 | 1450 | 260 |
| AP 5 | 0.52 | 535 | 818* | 131 | 145 | 0.98 | 1.08 | 0.65 | 1570 | 252 |
| AP 6 | 0.51 | 452 | 728* | 123 | 141 | 1.04 | 1.19 | 0.62 | 1430 | 241 |
| AP 7 | 0.51 | 473 | 654 | 122 | 122 | 1.01 | 1.01 | 0.72 | 1260 | 239 |
| AU 1 | 0.56 | 487 | 790 | 124 | 142 | 1.04 | 1.19 | 0.62 | 1410 | 222 |
| AU 2 | 0.58 | 590 | 837 | 113 | 120 | 0.99 | 1.05 | 0.70 | 1440 | 195 |
| AU 3 | 0.56 | 472 | 641 | 101 | 111 | 1.05 | 1.16 | 0.74 | 1140 | 180 |
| FP 1 | 0.59 | 502 | 922* | 148 | 157 | 1.01 | 1.08 | 0.54 | 1560 | 251 |
| FP 2 | 0.49 | 441 | 622 | 132 | 148 | 1.04 | 1.17 | 0.71 | 1270 | 270 |
| FP 3 | 0.49 | 471 | 676 | 124 | 148 | 1.03 | 1.22 | 0.74 | 1380 | 253 |
| FP 4 | 0.50 | 458 | 613 | 124 | 129 | 1.04 | 1.08 | 0.75 | 1230 | 248 |
| FP 5 | 0.50 | 467 | 794 | 128 | 137 | 1.06 | 1.13 | 0.59 | 1590 | 256 |
| FP 6 | 0.50 | 495 | 711 | 132 | 139 | 1.07 | 1.13 | 0.69 | 1420 | 264 |
| FT 7 | 0.53 | 419 | 477* | 127 | 136 | 0.97 | 1.04 | 0.88 | 900 | 240 |
| FT 8 | 0.52 | 447 | 696* | 118 | 129 | 1.02 | 1.11 | 0.64 | 1340 | 227 |
| FT 9 | 0.52 | 430 | 703* | 126 | 138 | 1.04 | 1.14 | 0.61 | 1350 | 242 |
| FT 10 | 0.55 | 308 | 592* | 116 | 120 | 1.08 | 1.12 | 0.52 | 1080 | 211 |
| UT 1 | 0.47 | 391 | 753* | 122 | 131 | 0.95 | 1.02 | 0.52 | 1600 | 260 |
| UT 2 | 0.46 | 452 | 601* | 120 | 131 | 1.02 | 1.12 | 0.75 | 1310 | 261 |
| UT 3 | 0.48 | 394 | 565* | 110 | 125 | 1.00 | 1.14 | 0.70 | 1200 | 229 |
| UT 4 | 0.45 | 418 | 634* | 107 | 113 | 1.03 | 1.09 | 0.66 | 1380 | 238 |
| UT 5 | 0.47 | 442 | 761 | 93 | 102 | 0.93 | 1.02 | 0.58 | 1620 | 198 |
| UP 6 | 0.44 | 369 | 692 | 103 | 111 | 0.97 | 1.05 | 0.53 | 1570 | 234 |

Remarks: E_b = Calculated from the maximum deflection for the beam, E'_b = from the deflection between two loading points. * ruptured by shear without tension failure, ** ruptured from a knot in the lowest lamina.

表 6 集成材短柱の縦圧縮試験結果

Table 6. Results of compression test for laminated wooden short columns

| Column No. | Sp. gr. at test r_u | Stress at prop. limit σ_{cp} (kg/cm ²) | Max. crushing strength σ_c (kg/cm ²) | Modulus of elasticity E_c (10 ³ kg/cm ²) | $\frac{E_c}{\text{Cal. } E_c}$ | $\frac{\sigma_{cp}}{\sigma_c}$ | $\frac{\sigma_c}{r_u}$ | $\frac{E_c}{10^3 r_u}$ |
|------------|-----------------------|---|---|---|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| AA 1 | 0.69 | 331 | 723 | 145 | 1.07 | 0.46 | 1047 | 210 |
| AA 2 | 0.71 | 409 | 713 | 146 | 1.09 | 0.57 | 1004 | 206 |
| AA 3 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| AA 4 | 0.70 | 331 | 660 | 117 | 0.99 | 0.50 | 944 | 167 |
| AA 5 | 0.68 | 278 | 639 | 118 | 1.15 | 0.44 | 940 | 174 |
| AA 6 | 0.71 | 300 | 645 | 117 | 0.99 | 0.47 | 908 | 165 |
| FF 1 | 0.69 | 326 | 659 | 141 | 1.07 | 0.50 | 955 | 204 |
| FF 2 | 0.70 | 293 | 610 | 127 | 0.99 | 0.48 | 872 | 181 |
| FF 3 | 0.66 | 273 | 615 | 112 | 0.93 | 0.44 | 931 | 170 |
| FF 4 | 0.68 | 215 | 556 | 119 | 1.10 | 0.39 | 819 | 175 |
| FF 5 | 0.64 | 219 | 526 | 100 | 1.14 | 0.42 | 822 | 156 |
| UU 1 | 0.56 | 294 | 540 | 113 | 1.04 | 0.54 | 965 | 202 |
| UU 2 | 0.55 | 324 | 512 | 84 | 0.85 | 0.63 | 931 | 153 |
| UU 3 | 0.50 | 252 | 438 | 74 | 0.93 | 0.58 | 876 | 148 |
| UU 4 | 0.44 | 131 | 368 | 58 | 0.91 | 0.39 | 825 | 132 |
| UU 5 | 0.49 | 195 | 429 | 79 | 1.23 | 0.45 | 875 | 161 |
| PP 1 | 0.47 | 255 | 486 | 123 | 1.02 | 0.54 | 1033 | 262 |
| PP 2 | 0.44 | 271 | 453 | 113 | 1.04 | 0.60 | 1030 | 253 |
| PP 3 | 0.39 | 248 | 400 | 92 | 1.07 | 0.62 | 1025 | 236 |
| PP 4 | 0.43 | 226 | 441 | 109 | 0.89 | 0.50 | 1025 | 254 |
| TT 1 | 0.47 | 338 | 462 | 124 | 0.91 | 0.77 | 984 | 264 |
| TT 2 | 0.43 | 419 | 471 | 129 | 1.08 | 0.87 | 1097 | 300 |
| TT 3 | 0.40 | 262 | 394 | 89 | 1.09 | 0.66 | 986 | 222 |
| TP 4 | 0.47 | 328 | 531 | 125 | 0.95 | 0.62 | 1130 | 266 |
| AT 1 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| AT 2 | 0.51 | 267 | 547 | 145 | 1.07 | 0.49 | 1072 | 284 |
| AT 3 | 0.51 | 312 | 489 | 101 | 0.79 | 0.64 | 959 | 198 |
| AP 4 | 0.52 | 322 | 503 | 148 | 1.14 | 0.68 | 968 | 284 |
| AP 5 | 0.52 | 298 | 514 | 141 | 1.03 | 0.58 | 990 | 272 |
| AP 6 | 0.50 | 285 | 487 | 145 | 1.27 | 0.59 | 974 | 290 |
| AP 7 | 0.52 | 257 | 467 | 131 | 1.12 | 0.55 | 899 | 252 |
| AU 1 | 0.58 | 315 | 503 | 105 | 1.02 | 0.63 | 867 | 181 |
| AU 2 | 0.59 | 273 | 543 | 106 | 1.05 | 0.50 | 921 | 180 |
| AU 3 | 0.57 | 272 | 479 | 80 | 0.90 | 0.57 | 840 | 140 |
| FP 1 | 0.54 | 289 | 494 | 128 | 0.98 | 0.59 | 915 | 237 |
| FP 2 | 0.49 | 265 | 426 | 118 | 1.15 | 0.62 | 870 | 241 |
| FP 3 | 0.49 | 315 | 462 | 125 | 1.11 | 0.68 | 942 | 255 |
| FP 4 | 0.50 | 286 | 450 | 121 | 1.18 | 0.64 | 900 | 242 |
| FP 5 | 0.49 | 297 | 485 | 141 | 1.29 | 0.61 | 990 | 288 |
| FP 6 | 0.49 | 321 | 489 | 159 | 1.38 | 0.66 | 998 | 324 |
| FT 7 | 0.52 | 309 | 478 | 107 | 0.91 | 0.65 | 920 | 206 |
| FT 8 | 0.52 | 234 | 430 | 126 | 1.21 | 0.54 | 827 | 242 |
| FT 9 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| FT 10 | 0.53 | 274 | 455 | 91 | 0.88 | 0.60 | 860 | 172 |
| UT 1 | 0.48 | 294 | 431 | 129 | 1.04 | 0.68 | 900 | 269 |
| UT 2 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| UT 3 | 0.47 | 284 | 421 | 111 | 1.05 | 0.64 | 896 | 236 |
| UT 4 | 0.47 | 262 | 399 | 98 | 0.96 | 0.55 | 850 | 208 |
| UT 5 | 0.48 | 252 | 396 | 93 | 0.94 | 0.64 | 825 | 194 |
| UP 6 | 0.43 | 277 | 396 | 109 | 1.02 | 0.69 | 921 | 254 |

表7 集成材の試験結果の総括(平均値)

Table 7. Summary of test results for laminated wooden beams and short columns (average value)

| Species* | | Sp. gr. at test r_u | Bending test | | | Compression test | | | Number of specimens |
|----------|------|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---------------------|
| face | core | | Stress at prop. limit σ_{bp} (kg/cm ²) | Modulus of rupture σ_b (kg/cm ²) | Modulus of elasticity E_b (10 ³ kg/cm ²) | Stress at prop. limit σ_{cp} (kg/cm ²) | Max. crushing strength σ_c (kg/cm ²) | Modulus of elasticity E_c (10 ³ kg/cm ²) | |
| A | A | 0.69 | 561 | 1045 | 141 | 330 | 676 | 129 | 6 |
| F | F | 0.69 | 489 | 873 | 131 | 265 | 593 | 120 | 5 |
| U | U | 0.51 | 348 | 606 | 91 | 239 | 475 | 82 | 5 |
| P | P | 0.44 | 365 | 492 | 117 | 250 | 445 | 108 | 4 |
| T | T(P) | 0.44 | 410 | 556 | 119 | 337 | 465 | 117 | 4 |
| A | T, P | 0.52 | 522 | 747 | 132 | 290 | 501 | 135 | 7 |
| A | U | 0.57 | 516 | 756 | 113 | 287 | 508 | 97 | 3 |
| F | T, P | 0.52 | 494 | 681 | 128 | 285 | 459 | 123 | 10 |
| U | T, P | 0.46 | 411 | 668 | 109 | 274 | 403 | 108 | 6 |

* A: Ezo-itaya (*Acer* sp.), F: Buna (*Fagus* sp.), U: Harunire (*Ulmus* sp.), P: Ezo-matsu (*Picea* sp.), T: Todo-matsu (*Abies* sp.)

トドマツ材のみ、エゾマツ・トドマツ材混合の集成材についてみると、その比重は0.44 (0.40~0.47) で小さいが、ヤング係数 E_b は118 (88~133) $\times 10^3$ kg/cm² でかなり大きい。しかし曲げ比例限度はPP 1~4で254~450, TT 1~TP 4で277~502 kg/cm² であり、また曲げ強さにおいてもそれぞれ314~642, 355~666 kg/cm² でともにかなり低い値が含まれる。

以上のものに対し2樹種材からなる集成材では表面材の性質がよく表わされるのがわかる。すなわち、エゾイタヤ材とエゾマツ材またはトドマツ材の集成材では比重が平均0.52 (0.51~0.54) とエゾイタヤ材のみのものにくらべ非常に小さくなるにもかかわらず曲げ比例限度522 (435~601) kg/cm², ヤング係数 E_b 132 (122~141) $\times 10^3$ kg/cm² でわずか7~8% 小さいのみである。しかし曲げ強さは747 (654~843) kg/cm² で29% 小さくなっている。これは前回の試験においてダケカンバ材を表面材としてシナ、ヤマハンノキ、ハルニレ材を芯材とした集成材では曲げ比例限度およびヤング係数はダケカンバ材のみのものにはほとんど同じであったが、曲げ強さのみやや劣っていたという結果と似ている。

このエゾイタヤ材を表面材として、芯材に針葉樹材を用いた集成材 AT 1~AP 7 ではエゾイタヤ材のみからなる集成材に比べると以上のようなことがいえるが、一方前述の針葉樹材のみからなる集成材にくらべると比重は0.44 から0.52 と増大するが、強度および剛性においてもかなりの増大が認められかつそれらの数値が安定しているといえる。とくにそれらの最小値は曲げ比例限度452 kg/cm², 曲げ強さ654 kg/cm², ヤング係数 E_b 122 \times

10^3 kg/cm^2 とともに著しい増大である。

以上のエゾイタヤ材と針葉樹材の混合集成材に関することはエゾイタヤ材とハルニレ材からなる集成材についても同様である。すなわち、AU 1~3 ではヤング係数 E_0 は $113 (101 \sim 124) \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ であまり大きくはないが、曲げ比例限度 $516 (472 \sim 590) \text{ kg/cm}^2$ 、曲げ強さ $756 (641 \sim 837) \text{ kg/cm}^2$ でハルニレ集成材 (UU 1~5) に対し、いずれも大きな値でありかつ安定した値である。また曲げ比例限度および曲げ強さの値は前述のエゾイタヤ材と針葉樹材からなる集成材の値に似ている。

ブナ材を表面材として針葉樹材の補強に用いる場合も、エゾイタヤ材の場合と似た効果がえられる。しかしブナ・針葉樹集成材の強度数値はエゾイタヤ・針葉樹よりやや劣るようである。またハルニレ材のうちヤング係数のやや大きいラミナ (E_0 $98 \sim 138 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$) を針葉樹材の補強として用いることも上述のエゾイタヤ・ブナ材よりはやや劣るが、同様な強度増大の効果が認められる。とくに曲げ強さでは $565 \sim 668 \sim 761 \text{ kg/cm}^2$ で最小値は針葉樹材のみのものに比べ著しい向上である。

この曲げ破壊試験において、引張破壊によらず剪断破壊によって破壊したものが多数あった。これを表5の%の欄に*印を付して表わしてある。これらはブナ材のみの集成材で2本、ハルニレ材のみ1本、エゾマツ材のみ1本、トドマツ材のみ1本、エゾイタヤ・エゾマツ材2本、エゾイタヤ・トドマツ材3本、ブナ・エゾマツ材1本、ブナ・トドマツ材4本、ハルニレ・トドマツ材4本である。以上を剪断破壊した芯材の樹種についてみると、トドマツ材が最も多く12本、ついでエゾマツ材4本、ブナ材2本、ハルニレ材1本である。特に表面材にエゾイタヤ、ブナ、ハルニレの広葉樹材を用い、芯材にトドマツ材を用いた集成材では総数12本のうちの11本が剪断破壊した。このようにトドマツ材の補強に広葉樹材を用いた場合は、曲げ強さにその広葉樹材の強度が充分いかされていないことが多いといえる。

つぎに、曲げ試験終了後、その無破壊部から切り取った長さ20 cmの短柱についておこなった縦圧縮試験結果について論ずる。表6および表7においてみられるように縦圧縮強さにおける偏異は曲げ強さの場合より少ない。また樹種別における差異も少ない。圧縮強さの最も大きいのは曲げ強さの場合と同じくエゾイタヤ材のみのもので $676 (639 \sim 723) \text{ kg/cm}^2$ である。ついでブナ材のみのもの $593 (526 \sim 659) \text{ kg/cm}^2$ 、エゾイタヤ・ハルニレ材 $508 (479 \sim 543) \text{ kg/cm}^2$ 、エゾイタヤ・針葉樹材 $501 (467 \sim 547) \text{ kg/cm}^2$ である。ハルニレ材のみ、エゾマツ材のみ、トドマツ材のみ、ブナ・針葉樹材はほぼ同じで平均値 450 kg/cm^2 前後、最も小であったのはハルニレ・針葉樹材で $403 (396 \sim 431) \text{ kg/cm}^2$ であった。ヤング係数は圧縮強さと異なりエゾイタヤ・針葉樹材のものが最大で $135 (101 \sim 148) \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、ついでエゾイタヤ材のみのもの $129 (117 \sim 146) \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、ブナ・針葉樹材 $123 (91 \sim 159) \times$

10³ kg/cm², ブナ材のみ 120(100~141)×10³ kg/cm², トドマツ材のみ 117(89~129)×10³ kg/cm² である。最も小なのはハルニレ材のみの 82(58~113)×10³ kg/cm² である。また全試験体中で最大は圧縮強さはエゾイタヤ材のみの AA 1 の 723 kg/cm², ヤング係数はブナ・エゾマツ材の FP 6 の 159×10³ kg/cm² であり, 最小はそれぞれハルニレ材のみの UU 4 の 368 kg/cm² および 58×10³ kg/cm² である。また前回の試験結果で樹種別に最大を示したのはダケカンバ材のみの集成材で圧縮強さ 591 kg/cm², ヤング係数 139×10³ kg/cm² であったので, これに比べ, 今回のエゾイタヤ材のみの集成材は圧縮強さにおいてすぐれ, ヤング係数においてやや劣ったという結果になった。

4. 接着性能試験結果

まず常態接着力試験結果を各試験体ごとに平均した値を表 8 に示す。

表 8 によると, 接着力が最も大きいのはエゾイタヤ材のみの集成材で剪断力 τ で 141~181 kg/cm² ある。ついでブナ材のみのもので 126~135 kg/cm² ある。最も弱かったのはエゾマツ材のみの PP 3 で 46 kg/cm² である。しかしそれでも木破率は 88% を示し, 接着性能は充分といえる。木破率ではハルニレ材のみのもの, エゾイタヤ・ハルニレ材のものが最もよく 93~100% である。その最もよくなかったのはブナ・エゾマツ材のものです。

表 3 接着性能試験結果 (平均値)

Table 8. Test results of gluing properties (average value)

| Beam No. | Shear strength τ (kg/cm ²) | Percentage of wood failure | Beam No. | Shear strength τ (kg/cm ²) | Percentage of wood failure |
|----------|--|----------------------------|----------|--|----------------------------|
| AA 1 | 141 | 87 | AT 1 | 60 | 66 |
| AA 2 | 144 | 96 | AT 2 | 59 | 75 |
| AA 3 | 150 | 87 | AT 3 | 62 | 87 |
| AA 4 | 169 | 85 | AP 4 | 64 | 79 |
| AA 5 | 167 | 72 | AP 5 | 50 | 69 |
| AA 6 | 181 | 92 | AP 6 | 51 | 94 |
| FF 1 | 129 | 85 | AP 7 | 63 | 86 |
| FF 2 | 135 | 86 | AU 1 | 98 | 100 |
| FF 3 | 126 | 99 | AU 2 | 108 | 93 |
| FF 4 | 128 | 99 | AU 3 | 96 | 98 |
| FF 5 | 134 | 97 | FP 1 | 81 | 57 |
| UU 1 | 95 | 90 | FP 2 | 78 | 51 |
| UU 2 | 89 | 99 | FP 3 | 69 | 49 |
| UU 3 | 81 | 99 | FP 4 | 82 | 60 |
| UU 4 | 70 | 95 | FP 5 | 83 | 60 |
| UU 5 | 67 | 97 | FP 6 | 67 | 56 |
| PP 1 | 69 | 53 | PT 7 | 80 | 60 |
| PP 2 | 65 | 70 | FT 8 | 74 | 63 |
| PP 3 | 46 | 88 | FT 9 | 67 | 86 |
| PP 4 | 51 | 81 | FT 10 | 87 | 69 |
| TT 1 | 68 | 62 | UT 1 | 61 | 86 |
| TT 2 | 55 | 70 | UT 2 | 51 | 58 |
| TT 3 | 54 | 66 | UT 3 | 55 | 62 |
| TP 4 | 89 | 90 | UT 4 | 56 | 96 |
| | | | UT 5 | 64 | 91 |
| | | | UP 6 | 61 | 83 |

表9 樹種による接着性能
Table 9. Gluing properties for species

| Species | Number of tests | Shear strength τ (kg/cm ²) | Percentage of wood failure |
|--|-----------------|--|-------------------------------|
| Ezo-itaya (<i>Acer</i>) • Ezo-itaya | 60 | 143 | 89 |
| Buna (<i>Fagus</i>) • Buna | 67 | 130 | 91 |
| Harunire (<i>Ulmus</i>) • Harunire | 84 | 84 | 96 |
| Ezo-matsu (<i>Picea</i>) • Ezo-matsu | 116 | 54 | 78 |
| Todo-matsu (<i>Abies</i>) • Todo-matsu | 63 | 54 | 75 |
| Ezo-itaya • Ezo-matsu | 14 | 69 | 87 |
| Ezo-itaya • Todo-matsu | 9 | 70 | 79 |
| Ezo-itaya • Harunire | 12 | 118 | 99 |
| Buna • Ezo-matsu | 22 | 63 | 70 |
| Buna • Todo-matsu | 15 | 66 | 81 |
| Harunire • Ezo-matsu | 4 | 64 | 90 |
| Harunire • Todo-matsu | 19 | 65 | 79 |
| Ezo-matsu • Todo-matsu | 2 | 65 | 86 |
| Softwood • Softwood | 221 | 54 | 76 |
| Hardwood • Hardwood | 223 | 115 | 93 |
| Hardwood • Softwood | 83 | 66 | 79 |
| All | 527 | 82 | 84 |

あるが、数値は49~60%でこれも接着性能は良好といえる。

つきに以上のことを樹種別にみると表9に示すようになる。

表9について上述の表8の場合と同様のことがいえる。接着力の大きい順から並べるとエゾイタヤ・エゾイタヤ、ブナ・ブナ、エゾイタヤ・ハルニレ、ハルニレ・ハルニレとなり、広葉樹材・針葉樹材の場合はほとんど同じで63~70 kg/cm²、最も小さいのは針葉樹材の単一樹種の場合で54 kg/cm²である。木破率ではエゾイタヤ・ハルニレが最も大で99%、ついでハルニレ・ハルニレ、ハルニレ・エゾマツ、エゾイタヤ・エゾイタヤ、エゾイタヤ・エゾマツである。最も小であったのはトドマツ・トドマツであるが、それでも75%である。

また針葉樹材と広葉樹材にまとめた場合は広葉樹材どうしのときに接着力115 kg/cm²、木破率93%でともに最大、ついで広葉樹材・針葉樹材でそれぞれ66 kg/cm²、79%である。針葉樹材どうしときはこれよりやや劣る。

以上のようにこの試験では常態接着力はいずれも良好であった。

5. ヤング係数における計算値と実験値との比較

前回同様ラミナのヤング係数から梁の曲げヤング係数 (Cal. E_b) および短柱としての縦圧縮ヤング係数 (Cal. E_c) を求め、これらを実験値と比較してみた。 E_b /Cal. E_b 、 E'_b /Cal. E_b の値を表5に、 E_c /Cal. E_c を表6に、またそれらの関係を図3および4に示す。

まず、梁の曲げ試験におけるスパン全長についてのたわみ y_l から求めたヤング係数

E_b とラミナからの計算値を比較する。図3の上半分に示すように、この両者の関係を表わす点は $E_b = \text{Cal. } E_b$ の直線の上下にばらつく。 $E_b/\text{Cal. } E_b$ の値が最も大きかったのはハルニレ材のみの集成材 UU 4 で、その値は 1.15 である。その最小値はトドマツ材のみの TT 1 で 0.91 である。この値の平均は 1.02 で、全体としては計算値と実験値とがほぼ一致したといえる。前報¹⁾においてはこの値は平均して 0.93 となり、これは梁の曲げたわみに剪断変形を付加した値とほぼ一致すると述べたが、今回は実験値がやや大きくなり、前報のような計算とは合わなくなった。これはラミナのヤング係数の測定法、ラミナの欠点、試験機の精度などによると思われる。

一方、剪断変形の影響をうけないスパンの中央3分の1におけるたわみから求めたヤング係数 E_b' は当然 E_b より大きくなるので、この E_b' は計算値よりかなり大きくなった。図3の下半分にみられるように、ほとんどが $E_b' = \text{Cal. } E_b$ の直線の上方にプロットされた。 $E_b'/\text{Cal. } E_b$ の値の最高は FF 4 の 1.29、最低は $E_b'/\text{Cal. } E_b$ のときと同じく TT 1 の 0.91 であり、平均して 1.11 である。また $E_b/\text{Cal. } E_b$ の平均は 0.92 であり、この試験においては曲げ応力のみによるたわみに対する剪断変形による付加たわみはその約 9% となる。

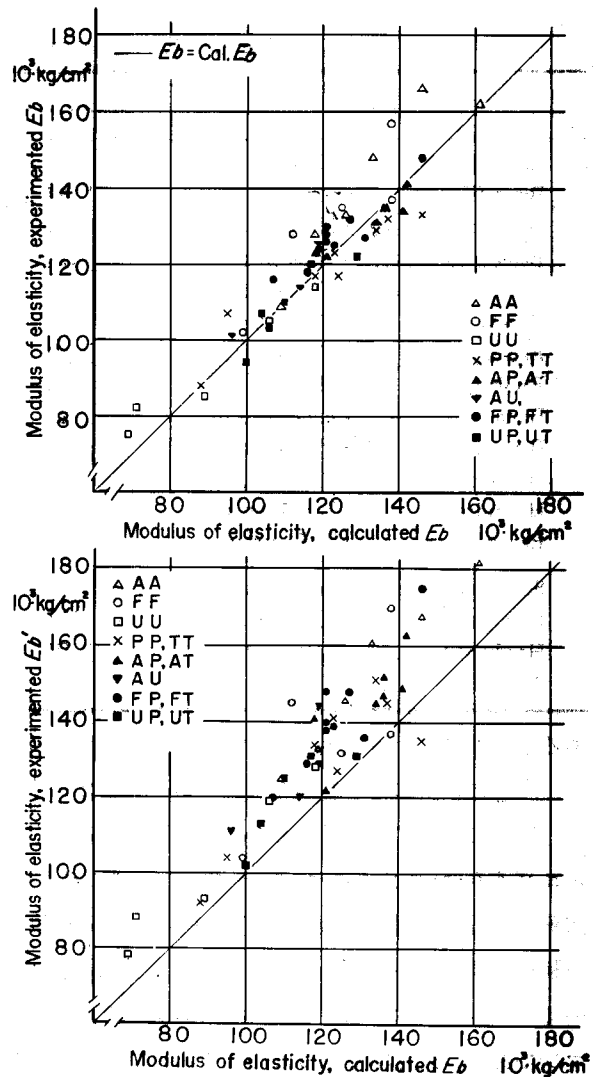


図3 曲げヤング係数における計算値と実験値の比較

Fig. 3. Comparison of the experimental value to the calculated one in the moduli of elasticity obtained by the bending test.

E_b was obtained from the maximum deflection of the beam and E_b' from the deflection between two loading points.

理論的にはラミナのヤング係数から計算した梁のヤング係数 $Cal. E_c$ と集成材梁のスパン中央 3分の1におけるたわみから求めたヤング係数 E_c とが一致し、そのスパン全長についてのたわみから求めたヤング係数 E_c がこれよりやや小さくならねばならないが、本試験では実験値の方がやや大きく出て、上述のような結果となった。

またラミナのヤング係数の平均値を縦圧縮ヤング係数の計算値 $Cal. E_c$ とし、これを実験値と比べると図4に示すようになる。この図においてみられるように、曲げヤング係数の場合よりばらつきが

大きい。とくに針葉樹材のみのおよび広葉樹・針葉樹材の組合せのものに計算値と実験値との差の大きいものが多い。これは用いた針葉樹材のラミナには節などの欠点があり、大型集成材の作製の場合にはあまり影響はないと考えられるが、本試験のように短柱とした場合にはその影響が大きいので、このような結果となったものと考えられる。 $E_c/Cal. E_c$ の最大値は FP 6 の 1.38, 最小は UU 2 の 0.85, 平均は 1.04 である。前報の広葉樹材のみによる集成材ではこのばらつきは少なく 0.89~1.00~1.13 で、ほとんどの実験値が計算値の $\pm 10\%$ 以内であった。これは前回の方がラミナが良質であったためと思われる。

上述のように、前回の試験ではラミナのヤング係数から計算した梁および短柱としてのヤング係数が実験値とよく一致した(梁の場合は剪断変形による付加たわみを考慮に入れる)が、今回の試験では梁についての実験値がやや大きくなり、また縦圧縮ではそのばらつきが大きかった。これはこの試験に供したラミナの欠点——エゾマツ・トドマツ材では節などの欠点がかかり多く、ハルニレ材は前回のものより質がよくなかった——による影響、すなわちラミナの欠点はそのヤング係数測定の際にかなり影響するが、集成材となったばあいには、梁としては欠点の分散により、その影響が少なくなり、剛性が少しく増し、短柱では逆にその影響がかかり大きく、したがって実験値のばらつきが大きくなったと

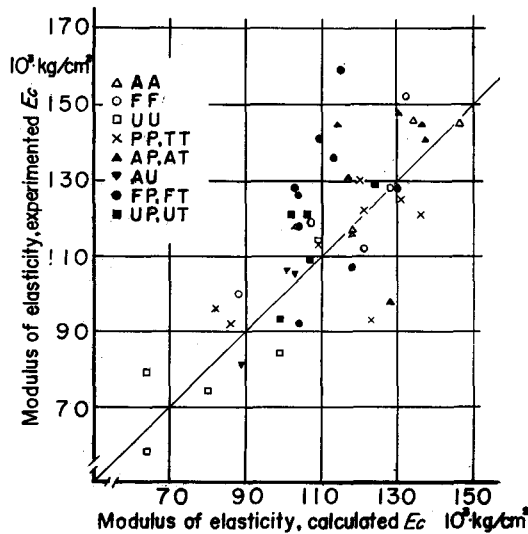


図4 縦圧縮ヤング係数における計算値と実験値の比較

Fig. 4. Comparison of the calculated value to the experimented one in the moduli of elasticity obtained by the test of compression parallel to the grain.

も考えられる。

6. 集成材の比重と強度との関係

材料において一般に軽くて強い方がよいので、今回も比重と強度、剛性との関係について検討した。表5に σ_b/r_u , $E_b/(10^3 r_u)$, 表6に σ_c/r_u , $E_c/(10^3 r_u)$ を示し、また図5~6に比重と強度およびヤング係数との関係を示す。

まず曲げ試験の結果では、曲げ比例限度の比重に対する割合はエゾイタヤ・針葉樹材、エゾイタヤ・ハルニレ材、ハルニレ・針葉樹材の集成材が大きい、また曲げ強さはエゾイタヤ材のみ、エゾイタヤ・針葉樹材、ハルニレ・針葉樹材の集成材が大きい。またヤング係数の比重に対する割合は針葉樹材のみのもの、広・針葉樹材のものがすぐれている。

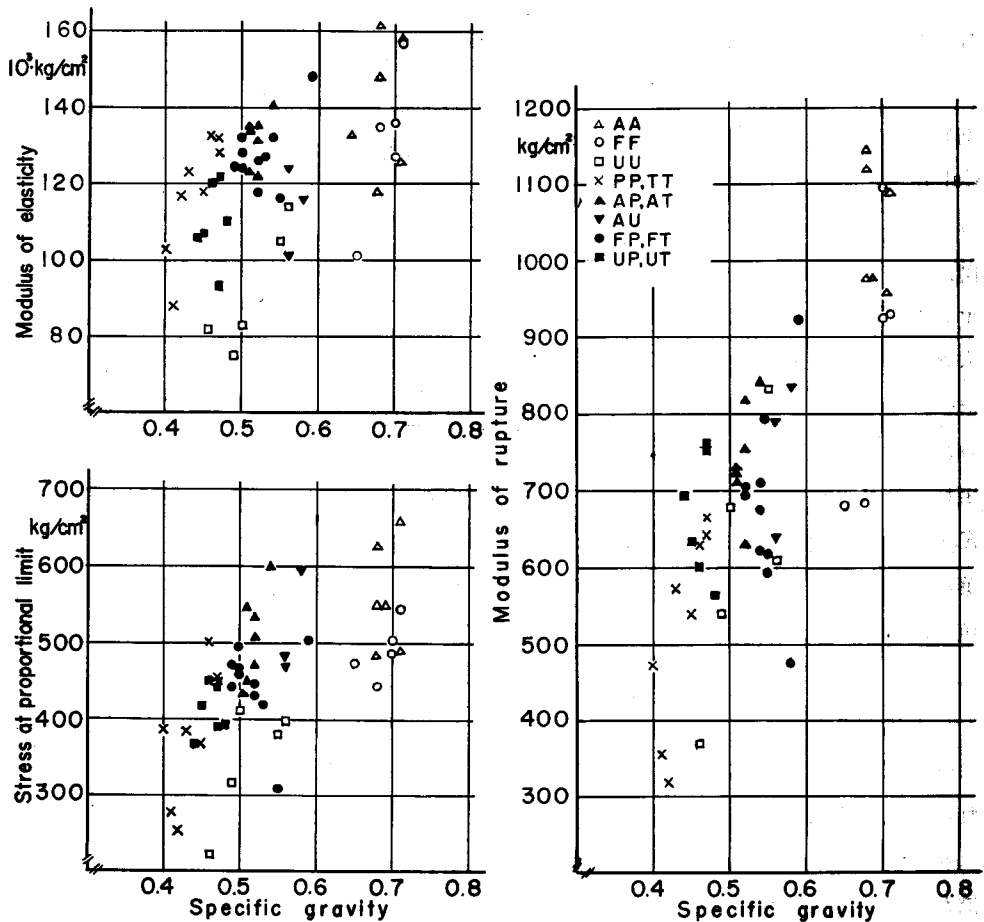


図5 集成材の比重(試験時)と比例限度、曲げ強さおよびヤング係数との関係

Fig. 5. The relations of bending strength and modulus of elasticity to specific gravity for laminated wooden beams.

縦圧縮試験の結果では圧縮強さにおいて針葉樹材のみのものがすぐれ、ついでエゾイタヤ・針葉樹材, エゾイタヤ材のみ, プナ・針葉樹材の順となる。ヤング係数ではエゾイタヤ・針葉樹材が最もすぐれ, ついで針葉樹材のみ, プナ・針葉樹材, ハルニレ・針葉樹材の順となる。

以上, 曲げおよび縦圧縮両試験の結果を総括すれば, 比重に対し強度および剛性の最もすぐれているのはエゾイタヤ・針葉樹材の組合せによる集成材であるということが出来る。

7. 集成材の強度品等およびヤング係数による強度の推定

集成木材構造設計基準²⁾によると集成材の許容応力度は下表ようになる。

ここで無欠点ラミナのみからなる集成材の許容応力度は集成木材構造設計標準の表 L・1 の増加係数を上級構造材の許容応力度に乗じたもので, 7 枚以上積層のものでは圧縮×1.2, 引張および曲げ×1.5 となる。ラミナに欠点あるばあいは木構造設計基準が適用される。

ここに試験した集成材では無欠点ラミナのみからなるのは FF1 および UU5 の 2 本があるが, いずれもその構成ラミ

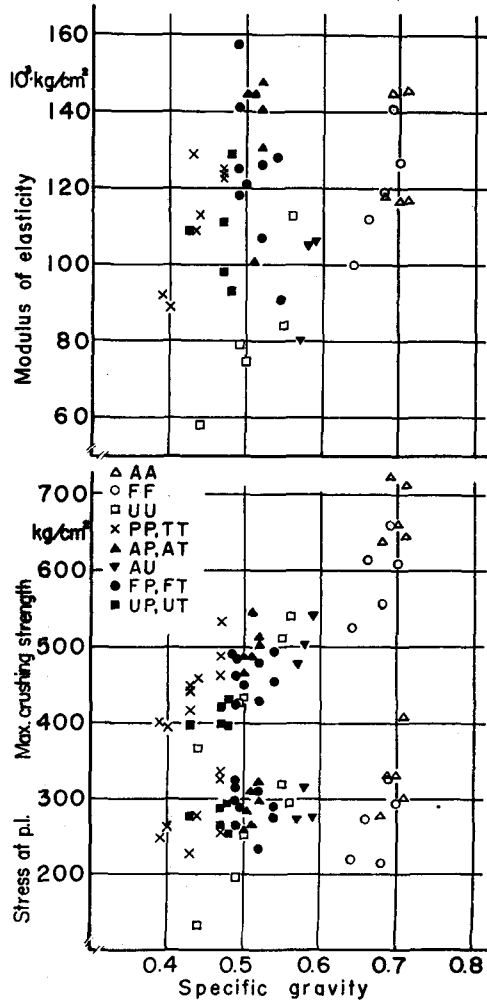


図 6 集成材短柱の比重と圧縮強さおよびヤング係数との関係

Fig. 6. The relations of compressive strength and modulus of elasticity for laminated short columns.

| | | 短期許容応力度 (sf) (kg/cm ²) | | 基準強度値 (sf×3/2) (kg/cm ²) | | ヤング係数 (10 ³ kg/cm ²) |
|----------------|--------|---------------------------------------|-------|---|-------|--|
| | | 圧縮 | 引張・曲げ | 圧縮 | 引張・曲げ | |
| 普通構造材 | 広葉樹 II | 140 | 200 | 210 | 300 | 80 |
| | 針葉樹 II | 120 | 140 | 180 | 210 | 70 |
| 上級構造材 | 広葉樹 II | 182 | 260 | 273 | 390 | 90 |
| | 針葉樹 II | 160 | 180 | 240 | 270 | 80 |
| 無欠点ラミナによる7層集成材 | 広葉樹 II | 218 | 390 | 327 | 585 | 90 |
| | 針葉樹 II | 192 | 270 | 288 | 405 | 80 |

ナの比重は0.8以下であり、上級構造材にはいらないので、無欠点ラミナのみからなる集成材の許容応力度は適用されない。またその他の広葉樹材ラミナも欠点および比重から、針葉樹材も小節以上の品等のものはなく、約3分の2が1等、残りの大部分が2等、少数のみ3等という品等からいずれも上級構造材にはならず、したがってここに試験した集成材ではすべて普通構造材の許容応力度が適用される。しかしその実験値は一般に上掲の基準強度値より大きいので、曲げ強さおよび同ヤング係数により分類すればつぎのようになる。

普通構造材の基準値以下のもの： UU 5 (ヤング係数が不足)。

普通構造材の基準にはいるもの： UU 3~4 (ヤング係数による)。

上級構造材の基準にはいるもの： PP 4, TT 3, UT 3, FT 7 (曲げ強さによる)。

無欠点ラミナのみからなる集成材の基準以上のもの： AA 1~6, FF 1~5, UU 1~2,

AT 1~AP 7, UT 1~2, UT 4~

UP 6, FP 1~6, FT 8~10, AU

1~3, PP 1~3, TT 1~2, TP 4。

ただし、上述の分類においてエゾマツおよびトドマツ材からなるものには針葉樹II類の数値を、広葉樹材のみおよび広葉樹・針葉樹材の組合せによるものには広葉樹II類の数値を適用した。このように強度および剛性のすぐれた集成材も普通構造材の許容応力度が適用され非常に低く評価され、また基準値に達しないものも一応その基準が適用されるという不合理が生ずる。このため著者らはさきに前報において広葉樹材のみからなる集成材について、ラミナのヤング係数からもとめた集成材のヤング係数によって強度数値を推定することを試み、試験結果について

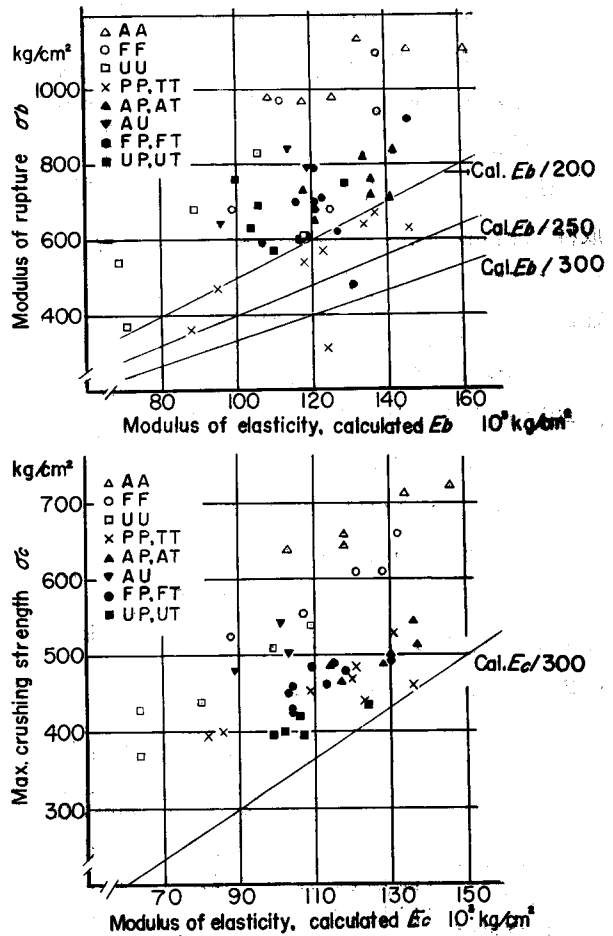


図7 ヤング係数(計算値)と強度との関係

Fig. 7. The relation between modulus of elasticity and strength.

$$\sigma_b > \text{Cal. } E_b \times \frac{1}{200}$$

$$\sigma_c > \text{Cal. } E_c \times \frac{1}{300}$$

がなりたつと述べた。

今回の試験結果についての計算ヤング係数と曲げ強さおよび圧縮強さとの関係を図7に示す。これによれば、ヤング係数と圧縮強さについては上述の

$$\sigma_c > \text{Cal. } E_c \times \frac{1}{300}$$

の関係がなりたつが、曲げ強さでは上述の関係がなりたたない。しかし広葉樹材のみによる集成材では前回同様

$$\sigma_b > \text{Cal. } E_b \times \frac{1}{200}$$

がなりたつ。また広葉樹材を表面材に針葉樹材を芯材としたものについても FT7 の1個を除けば上述の不等式がなりたつとみてよい。この FT7 はブナ材を表面材に、トドマツ材を芯材としたもので、その曲げ比例限度は 419 kg/cm^2 で他のものとほとんど変わらないが、剪断破壊により破損したため、曲げ強さは小さく 477 kg/cm^2 である。このため比例限度/曲げ強さの値は 0.88 と非常に大きい。針葉樹材のみからなる集成材については PP4 の1本を除けば

$$\sigma_b > \text{Cal. } E_b \times \frac{1}{250}$$

といえる。PP4 はエゾマツ材のみからなるもので、これも FT7 同様芯材の剪断破壊によるもので、曲げ強さは 314 kg/cm^2 という小さい値である。

このように縦圧縮強さは全試験体につき、また曲げ強さは広葉樹材のみからなるものにつき、前回と同じ不等式によりヤング係数から推定できるが、針葉樹材のみからなるものの曲げ強さは上述のようにこれよりやや低く、また針葉樹材を芯材とするものでは剪断破壊を起すものが多く、これらのなかには曲げ強さがはなはだ低いものがあり、ヤング係数からの強度の推定は困難である。

結 言

すぐれた強度および剛性を持ち、かつ軽量で、安価な集成材を作製することに重点をおいて今回の研究を行なった。エゾイタヤ、ブナ、ハルニレの広葉樹材とエゾマツ、トドマツの針葉樹材を用い、1.5 cm 厚さのラミナ7枚構成の単樹種ならびに針・広葉樹材の組合せによる幅 10 cm、長さ 170 cm の通直集成材を 50 本製造し、3等分点荷重方式による曲

げ試験、長さ 20 cm の短柱についての縦圧縮試験および接着性能試験を行なった。またラミナから小型試験片を作製して、圧縮、曲げおよび引張試験を行なった。それらの結果はつきのように要約される。

1) 小型試験片についての試験結果ではエゾイタヤ材が強度的に最もすぐれていた。ブナ材はエゾイタヤ材と同じ程度の強度をもつものもあったが、これよりかなり劣るものも含まれていた。ハルニレ材は材質がよくなく強度はエゾマツ材よりやや大きい、剛性は小さかった。

2) エゾイタヤ材のみからなる集成材の強度および剛性は最も大であった。ブナ材のみからなる集成材の比重は前者と同じであったが、強度および剛性はやや小さかった。表面材にエゾイタヤ材、芯材(5枚)に針葉樹材を用いた集成材はエゾイタヤ材のみのものに比べ曲げ比例限度およびヤング係数が約7%、曲げ強さが29%小さかったが、強度および剛性はともに針葉樹材のみからなる集成材にくらべとくに最小値が著しく向上し、かつ安定した値となった。ブナ材も針葉樹集成材の補強の効果があるが、エゾイタヤ材よりはやや劣り、またその中に1個のみであるが曲げ強さの小さいもの(477 kg/cm²)が含まれていた。

3) 針葉樹材とくにトドマツ材を芯材とするばあいには曲げ試験において剪断破壊するものが多く、広葉樹材を表面材にトドマツ材を芯材としたものでは12本のうちの11本が剪断破壊した。

4) 常態接着力試験の結果では広葉樹材どうしの接着の場合が、接着力・木破率ともに最大で、ついで広葉樹材と針葉樹材の接着の場合で、針葉樹材どうしときはこれよりやや劣った。

5) ラミナの曲げヤング係数から計算した集成材のヤング係数(Cal. E_b)は試験体につきスパン全長のたわみから求めたヤング係数(E_b)の実験値とよく一致し、後者を前者で除した値の平均は1.02、最大1.15、最小0.91であった。

6) スパンの中央3分の1について測定したたわみから求めたヤング係数(E'_b)は上述の E_b より大きく、Cal. E_b で除した値は平均1.11、最大1.29、最小0.93であった。

7) ラミナの平均ヤング係数(Cal. E_c)と集成材の縦圧縮ヤング係数(E_c)との間にはややばらつきがあり、 E_c /Cal. E_c の平均は1.04、最大1.38、最小0.85であった。

8) 比重に対する強度および剛性はエゾイタヤ材を表面材に針葉樹材を芯材としたものが最もすぐれていた。

9) ヤング係数の計算値(Cal. E_b および Cal. E_c)と曲げ強さ(σ_b)および縦圧縮強さ(σ_c)との間には

全体について

$$\sigma_c > \text{Cal. } E_c \times \frac{1}{300}$$

広葉樹材のみからなる集成材について

$$\sigma_b > \text{Cal. } E_b \times \frac{1}{200}$$

となり前報と同じであるが、広葉樹・針葉樹材の組合せのものには曲げ強さがこれより小さいものが1個あり、針葉樹材のみのものはすべてこれより小さかった。

10) 木構造設計基準における広葉樹 II 類および針葉樹 II 類に対する曲げ短期許容応力度はそれぞれ普通材 200 および 140 kg/cm², 上級材 260 および 180 kg/cm², 7層の無欠点ラミナからなる集成材 390 および 270 kg/cm² である。これらの値の1.5倍が基準(下限)強度値であるので、この基準強度値にもとづきここに試験した各種類の集成材をその最小値によって分類すれば、エゾイタヤ材のみ、ブナ材のみ、エゾイタヤ・針葉樹材、エゾイタヤ・ハルニレ材の集成材は広葉樹 II 類の無欠点ラミナからなる7層集成材の基準値に、ブナ・針葉樹材、ハルニレ・針葉樹材のものは広葉樹 II 類の上級材のそれに、針葉樹材のみからなるものは針葉樹 II 類の上級材のそれに、またハルニレ材のみからなるものは広葉樹 II 類の普通材以下となる。

文 献

- 1) 矢沢亀吉・宮島 寛・大戸 進・神田栄夫・和泉田満：北海道産各種広葉樹材による集成材の研究 (第1報). ダケカンバ, シナノキ, ヤマハンノキおよびハルニレ材による通直集成材. 北大演報, 23-1, 45-82, 1963.
- 2) 日本建築学会：木構造設計基準・同解説. 日本建築学会, 1961.

Summary

In this paper, two-species laminated wooden beams constructed by gluing laminations of a dense strong species of hardwood to core of a less dense weaker species of softwood were made and investigated in comparison with those from the single-species. For this study, the following five species were provided.

| Japanese name | Botanical name | Mark in this paper |
|---------------|--|--------------------|
| Ezo-itaya | <i>Acer mono</i> MAXIM. | A |
| Buna | <i>Fagus crenata</i> BL. | F |
| Harunire | <i>Ulmus davidiana</i> PLANCHON var. <i>japonica</i> NAKAI | U |
| Ezo-matsu | <i>Picea jezoensis</i> CARR. | P |
| Todo-matsu | <i>Abies sachalinensis</i> MAST. | T |

In these species, Ezo-itaya has the highest strength, stiffness and specific gravity. Buna has the same specific gravity but its strength and stiffness are slightly weaker

than the former. The mechanical properties of Harunire vary over a very wide range that includes very weak material. Ezo-matsu and Todo-matsu are the most important species of softwood in Hokkaido.

Before the fabrication, the modulus of elasticity of each lamina was measured and the defects were recorded. Thickness of the lamina was about 1.50 cm.

The laminated beams were made from seven horizontal laminations that were glued to each other using a kind of urea-formaldehyde resin. The fabricated beam was 10.5 cm in height, 10 cm in width and 170 cm in length. The combination of species in fabricating the beams, number of those and their marks are as follows:

| Species | | No. of beams | Mark |
|--------------------------------|------------|--------------|---------|
| Face | Core | | |
| Ezo-itaya (<i>Acer</i> sp.) | Ezo-itaya | 6 | AA 1~6 |
| Buna (<i>Fagus</i> sp.) | Buna | 5 | FF 1~5 |
| Harunire (<i>Ulmus</i> sp.) | Harunire | 5 | UU 1~5 |
| Ezo-matsu (<i>Picea</i> sp.) | Ezo-matsu | 4 | PP 1~4 |
| Todo-matsu (<i>Abies</i> sp.) | Todo-matsu | 3 | TT 1~3 |
| Todo-matsu | Ezo-matsu | 1 | TP 4 |
| Ezo-itaya | Todo-matsu | 3 | AT 1~3 |
| Ezo-itaya | Ezo-matsu | 4 | AP 4~7 |
| Ezo-itaya | Harunire | 3 | AU 1~3 |
| Buna | Ezo-matsu | 6 | FP 1~6 |
| Buna | Todo-matsu | 4 | FT 7~10 |
| Harunire | Todo-matsu | 5 | UT 1~5 |
| Harunire | Ezo-matsu | 1 | UP 6 |

For the laminated wood, tests of static bending and compression parallel to the grain were made by using the Amsler testing machine with 150,000 kg capacity. In the static bending test, the two equal concentrated loads were applied at points one-third and two-thirds the length of the span ($l = 159$ cm). Two deflections, one is the maximum deflection (y_l) and the other is that ($\Delta y = y_l - y_{l/3}$) between the two loading points as shown in figure 2, were measured at 250 kg load increments. From this test, the stress at proportional limit (σ_{bp} kg/cm²), the modulus of rupture (σ_b kg/cm²), the modulus of elasticity (E_b 10³ kg/cm²) calculated from the deflection y_l and that (E'_b 10³ kg/cm²) from Δy stated above were obtained. After the bending test, a 20 cm-long short column was cut from the non-destructive part of the beam and the test of compression parallel to the grain was made, and the stress at proportional limit (σ_{cp} kg/cm²), the maximum crushing strength (σ_c kg/cm²) and the modulus of elasticity (E_c 10³ kg/cm²) were obtained. Also a block shear test specimen and a 5 cm-long piece were cut from the beam tested to measure the gluing strength, width of annual rings, specific gravity and moisture content of each lamina.

The results of tests are summarized as follows:

1) The laminated beams consisting entirely of Ezo-itaya wood showed the highest values in the mechanical properties and specific gravity. Those of Buna wood had the same specific gravity but their strength and stiffness were slightly weaker than

the former. The stresses at proportional limit and the moduli of elasticity for the beams from Ezo-itayo and softwood (AT, AP) were about 7 percent lower and their moduli of rupture were about 29 percent lower than those of Ezo-itaya, respectively. But their values were very higher than those of the beams made from softwood. The beams consisting of Buna and softwood, had slightly weak strength and stiffness in comparison with those of Ezo-itaya and softwood.

2) In the beams constructed by gluing the laminae of hardwood stated above to the core of softwood, especially Todo-matsu, the horizontal shear failure occurred frequently at the time of fracture. In this test, eleven specimens out of the twelve laminated beams made from hardwood and Todo-matsu ruptured by the shear failure.

3) The hardwood, especially Ezo-itaya, was superior in the gluing properties to the softwood.

4) The calculated value (Cal. E_b) of the modulus of elasticity for the laminated beam agreed generally with the experimental value (E_b) obtained from the maximum deflection of the beam: the average of the value of ratio $E_b/\text{Cal. } E_b$ was 1.02, the maximum was 1.15 and the minimum 0.91. In this case, the calculated value (Cal. E_b) was obtained by the following equation.

$$\text{Cal. } E_b = \sum (E_i I_i) / I \quad \text{kg/cm}^2$$

where, E_i is the modulus of elasticity of the i -th lamina and I_i is the moment of inertia of the same lamina about the neutral axis of the beam. I is the moment of inertia of the beam.

5) The other experimental value E'_b obtained from the deflection between two loading points were slightly higher than the value of Cal. E_b stated above: the average of $E'_b/\text{Cal. } E_b$ was 1.11, the maximum was 1.29 and the minimum 0.93.

6) In the test of compression parallel to the grain, there was not a remarkable agreement between the calculated value Cal. E_c and the experimental E_c in the modulus of elasticity, but the average value of $E_c/\text{Cal. } E_c$ was 1.04, the maximum was 1.38 and the minimum 0.85.

7) The values of strength and stiffness to the specific gravity were superior in the beam constructed by gluing the laminae of Ezo-itaya to the core of softwood.

8) The relations of the modulus of rupture (σ_b) of the beam and the maximum crushing strength (σ_c) of the short column to the calculated value of the moduli of elasticity in bending and compression (Cal. E_b and Cal. E_c) were shown as follows:

For all specimens

$$\sigma_c > \text{Cal. } E_c / 300$$

For specimens made from hardwood only

$$\sigma_b > \text{Cal. } E_b / 200$$

These are exactly the same as those stated in the first report. But the bending strength of one of the specimens made from Buna and Todo-matsu was very weaker than this relation, and also the strength of the beam from softwood only was generally weaker than that.

9) The allowable stress intensities under short-time service, the lowest strength and the moduli of elasticity for structural lumber of hardwood (L-II) such as *Acer*, *Fagus*, *Ulmus* species and softwood (N-II) such as *Picea*, *Abies* species are as follows :

| | | Allowable stress intensities (sf kg/cm ²) | | The lowest strength ($sf \times 1.5$ kg/cm ²) | | Modulus of elasticity (10 ³ kg/cm ²) |
|---|-------|---|-------------------|---|-------------------|--|
| | | compression | bending & tension | compression | bending & tension | |
| Standard lumber | {L-II | 140 | 200 | 210 | 300 | 80 |
| | {N-II | 120 | 140 | 180 | 210 | 70 |
| High grade lumber | {L-II | 182 | 260 | 273 | 390 | 90 |
| | {N-II | 160 | 180 | 240 | 270 | 80 |
| 7-pl. laminated wood made from clear laminae | {L-II | 218 | 390 | 327 | 585 | 90 |
| | {N-II | 192 | 270 | 288 | 405 | 80 |

According to the lowest value of the strength or modulus of elasticity stated above, the laminated beams tested are classified by their minimum values in the following groups :

- Below the value for the standard lumber L-II ;
 - all Harunire (UU) laminated beams,
- over the value for the high grade lumber N-II ;
 - all softwood (PP, TT, TP) laminated beams,
- over the value of the high grade lumber L-II ;
 - Buna & softwood (FP, FT) and Harunire & softwood (UT, UP) laminated beams,
- over the value for the 7-pl. laminated wood made from clear laminae L-II ;
 - all Ezo-itaya (AA), all Buna (FF), Ezo-itaya & softwood (AP, AT) and Ezo-itaya & Harunire (AU) laminated beams.

付 録

1. 小型無欠点試験片の強度試験結果

2. ラミナの性質

 R_w : 平均年輪幅 (mm) r_u : 試験時比重 u : 含水率 (%) σ_{bp} : 曲げ比例限度 (kg/cm^2) σ_b : 曲げ強さ (kg/cm^2) E_b : 曲げヤング係数 ($10^3 \text{ kg}/\text{cm}^2$) σ_{cp} : 縦圧縮比例限度 (kg/cm^2) σ_c : 縦圧縮強さ (kg/cm^2) E_c : 縦圧縮ヤング係数 ($10^3 \text{ kg}/\text{cm}^2$) σ_{tp} : 縦引張比例限度 (kg/cm^2) σ_t : 縦引張強さ (kg/cm^2) E_t : 縦引張ヤング係数 ($10^3 \text{ kg}/\text{cm}^2$)

A: エゾイタヤ F: ブ ナ U: ハルニレ

P: エゾマツ T: トドマツ

APPENDIX

1. Results of mechanical tests for small clear specimens

2. Properties of lamina

(Marks)

 R_w : Average width of annual rings (mm) r_u : Specific gravity based on weight and volume at the time of test u : Moisture content in percent of oven-dry weight σ_{bp} : Stress at proportional limit in bending (kg/cm^2) σ_b : Modulus of rupture (kg/cm^2) E_b : Modulus of elasticity in bending ($10^3 \text{ kg}/\text{cm}^2$) σ_{cp} : Stress at proportional limit in compression parallel to grain (kg/cm^2) σ_c : Max. crushing strength (kg/cm^2) E_c : Modulus of elasticity in compression parallel to grain ($10^3 \text{ kg}/\text{cm}^2$) σ_{tp} : Stress at proportional limit in tension parallel to grain (kg/cm^2) σ_t : Max. tensile strength (kg/cm^2) E_t : Modulus of elasticity in tension parallel to grain ($10^3 \text{ kg}/\text{cm}^2$)A: Ezo-itaya (*Acer mono*)F: Buna (*Fagus crenata*)U: Harunire (*Ulmus davidiana* var. *japonica*)P: Ezo-matsu (*Picea jezoensis*)T: Todo-matsu (*Abies sachalinensis*)

付録 1 小型無欠点試験片の強度試験結果

APPENDIX 1. Results of mechanical tests for small clear specimens

(1) Ezo-itaya (*Acer mono*)

| No. | r_u | u | σ_{bp} | σ_b | E_b | σ_{cp} | σ_c | E_c |
|-----|-------|------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|
| 1 | 0.60 | 12.2 | 542 | 1069 | 113 | 259 | 484 | 114 |
| 2 | 0.64 | 12.3 | 469 | 1194 | 118 | 182 | 479 | 83 |
| 3 | 0.61 | 12.3 | 570 | 1019 | 110 | 260 | 490 | 116 |
| 4 | 0.60 | 12.1 | 503 | 955 | 89 | 242 | 458 | 90 |
| 5 | 0.70 | 12.0 | 681 | 1414 | 131 | 228 | 544 | 89 |
| 6 | 0.75 | 12.2 | 463 | 1239 | 99 | 243 | 547 | 116 |
| 7 | 0.61 | 12.3 | 529 | 981 | 98 | 181 | 505 | 107 |
| 8 | 0.72 | 12.2 | 618 | 1368 | 127 | 249 | 524 | 94 |
| 9 | 0.60 | 12.2 | 387 | 960 | 108 | 336 | 468 | 110 |
| 10 | 0.74 | 12.2 | 494 | 1246 | 100 | 264 | 529 | 99 |
| 11 | 0.61 | 12.4 | 415 | 1023 | 97 | 200 | 461 | 106 |
| 12 | 0.70 | 12.1 | 557 | 1362 | 127 | 230 | 554 | 118 |
| 13 | 0.70 | 12.1 | 615 | 1305 | 119 | 221 | 537 | 113 |
| 14 | 0.61 | 12.4 | 419 | 924 | 96 | 269 | 488 | 134 |
| 15 | 0.65 | 12.6 | 581 | 1354 | 124 | 254 | 533 | 130 |
| 16 | 0.73 | 12.2 | 484 | 1142 | 92 | 210 | 532 | 87 |
| 17 | 0.65 | 12.5 | 536 | 1222 | 120 | 247 | 527 | 107 |
| 18 | 0.62 | 12.1 | 549 | 1113 | 114 | 290 | 486 | 73 |
| 19 | 0.67 | 12.5 | 536 | 1163 | 120 | 272 | 534 | 121 |
| 20 | 0.72 | 11.9 | 424 | 1245 | 100 | 268 | 545 | 84 |
| 21 | 0.63 | 13.9 | 451 | 1148 | 109 | 273 | 508 | 122 |
| 22 | 0.64 | 12.3 | 580 | 1259 | 117 | 224 | 532 | 128 |
| 23 | 0.63 | 12.2 | 453 | 1020 | 102 | 167 | 452 | 119 |
| 24 | 0.59 | 12.5 | 458 | 1088 | 104 | 219 | 476 | 104 |
| 25 | 0.74 | 11.9 | 437 | 1160 | 90 | 194 | 549 | 86 |
| 26 | 0.60 | 12.4 | 483 | 1093 | 91 | 223 | 490 | 124 |
| 27 | 0.64 | 12.4 | 418 | 1034 | 84 | 184 | 508 | 94 |
| 28 | 0.60 | 12.4 | 544 | 1095 | 93 | 321 | 510 | 123 |
| 29 | 0.70 | 12.1 | 419 | 1147 | 94 | 146 | 511 | 91 |
| 30 | 0.74 | 12.5 | 402 | 1043 | 90 | 210 | 499 | 78 |
| Av. | 0.66 | 12.3 | 501 | 1146 | 106 | 236 | 509 | 105 |

| No. | u | σ_{tp} | σ_t | E_t | No. | u | σ_{tp} | σ_t | E_t |
|-----|------|---------------|------------|-------|-----|------|---------------|------------|-------|
| 1 | 11.9 | 759 | 1651 | 99 | 11 | 11.1 | 742 | 1505 | 121 |
| 2 | 12.1 | 583 | 869 | 61 | 12 | 11.1 | 810 | 1639 | 112 |
| 3 | 9.4 | 707 | 1485 | 121 | 13 | 10.7 | 845 | 1641 | 122 |
| 4 | 10.8 | 746 | 1209 | 115 | 14 | 10.7 | 636 | 1363 | 94 |
| 5 | 9.1 | 1013 | 1812 | 138 | 15 | 10.7 | 382 | 1348 | 96 |
| 6 | 10.8 | 786 | 1619 | 124 | 16 | 12.6 | 1043 | 1681 | 135 |
| 7 | 11.2 | 621 | 1397 | 128 | 17 | 10.8 | 468 | 1357 | 96 |
| 8 | 11.1 | 671 | 1467 | 122 | 18 | 10.9 | 711 | 1475 | 118 |
| 9 | 11.1 | 699 | 1357 | 95 | | | | | |
| 10 | 10.1 | 600 | 1079 | 92 | Av. | 10.9 | 712 | 1442 | 111 |

付録 1 (続 き)
APPENDIX 1. (Continued)

(2) Buna (*Fagus crenata*)

| No. | r_u | u | σ_{dp} | σ_b | E_b | σ_{cp} | σ_c | E_c |
|-----|-------|------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|
| 1 | 0.72 | 15.2 | 405 | 1170 | 120 | 203 | 467 | 123 |
| 2 | 0.71 | 15.2 | 367 | 1153 | 121 | 202 | 494 | 112 |
| 3 | 0.62 | 11.6 | 603 | 1131 | 113 | 230 | 504 | 102 |
| 4 | 0.56 | 12.6 | 413 | 878 | 99 | 310 | 459 | 105 |
| 5 | 0.68 | 13.6 | 500 | 1083 | 104 | 385 | 532 | 131 |
| 6 | 0.67 | 12.7 | 415 | 1123 | 101 | 209 | 454 | 95 |
| 7 | 0.64 | 12.8 | 561 | 1203 | 120 | 247 | 515 | 97 |
| 8 | 0.64 | 12.6 | 374 | 1101 | 91 | 243 | 425 | 67 |
| 9 | 0.71 | 15.1 | 454 | 1133 | 125 | 249 | 482 | 98 |
| 10 | 0.62 | 15.4 | 298 | 715 | 63 | 134 | 349 | 57 |
| 11 | 0.70 | 12.7 | 459 | 1051 | 111 | 256 | 502 | 109 |
| 12 | 0.61 | 14.1 | 536 | 969 | 111 | 320 | 481 | 95 |
| 13 | 0.71 | 12.3 | 316 | 1084 | 127 | 257 | 499 | 97 |
| 14 | 0.67 | 15.2 | 456 | 1091 | 111 | 217 | 468 | 78 |
| 15 | 0.78 | 13.3 | 412 | 1113 | 121 | 237 | 512 | 101 |
| 16 | 0.73 | 14.6 | 417 | 1027 | 123 | 168 | 443 | 110 |
| 17 | 0.75 | 12.8 | 519 | 1293 | 117 | 256 | 510 | 111 |
| 18 | 0.66 | 12.9 | 627 | 1277 | 126 | 198 | 507 | 116 |
| 19 | 0.64 | 14.2 | 315 | 863 | 108 | 187 | 403 | 67 |
| 20 | 0.57 | 12.4 | 463 | 971 | 109 | 172 | 471 | 114 |
| 21 | 0.63 | 13.6 | 534 | 1061 | 109 | 330 | 504 | 118 |
| 22 | 0.62 | 12.4 | 380 | 972 | 82 | 126 | 450 | 87 |
| 23 | 0.71 | 14.4 | 511 | 1083 | 111 | 347 | 431 | 72 |
| 24 | 0.63 | 15.4 | 316 | 707 | 51 | 145 | 361 | 55 |
| 25 | 0.69 | 14.9 | 459 | 1118 | 111 | 188 | 463 | 111 |
| 26 | 0.73 | 12.5 | 532 | 1131 | 119 | 303 | 536 | 103 |
| 27 | 0.65 | 13.1 | 600 | 1268 | 135 | 327 | 530 | 70 |
| 28 | 0.71 | 14.6 | 575 | 1182 | 113 | 211 | 482 | 120 |
| 29 | 0.71 | 15.3 | 482 | 1204 | 123 | 190 | 470 | 64 |
| 30 | 0.63 | 12.4 | 557 | 1098 | 111 | 355 | 520 | 102 |
| 31 | 0.66 | 12.8 | 605 | 1232 | 122 | 301 | 555 | 126 |
| 32 | 0.70 | 13.9 | 435 | 1088 | 106 | 277 | 483 | 79 |
| 33 | 0.63 | 15.2 | 335 | 777 | 70 | 154 | 378 | 66 |
| 34 | 0.73 | 14.3 | 592 | 1206 | 132 | 217 | 541 | 127 |
| 35 | 0.69 | 12.6 | 405 | 1163 | 108 | 422 | 498 | 91 |
| 36 | 0.73 | 14.3 | 486 | 1158 | 188 | 212 | 497 | 85 |
| 37 | 0.66 | 12.9 | 437 | 1123 | 188 | 167 | 458 | 92 |
| 38 | 0.70 | 15.8 | 480 | 1128 | 118 | 174 | 476 | 83 |
| Av. | 0.67 | 13.7 | 464 | 1082 | 108 | 240 | 477 | 96 |

| No. | u | σ_{tp} | σ_t | E_t | No. | u | σ_{tp} | σ_t | E_t |
|-----|------|---------------|------------|-------|-----|------|---------------|------------|-------|
| 1 | 13.4 | 406 | 924 | 81 | 10 | 13.7 | 310 | 818 | 67 |
| 2 | 14.0 | 341 | 899 | 85 | 11 | 13.8 | 242 | 899 | 84 |
| 3 | 14.0 | 387 | 1016 | 86 | 12 | 13.9 | 292 | 972 | 85 |
| 4 | 13.5 | 234 | 731 | 64 | 13 | 14.0 | 256 | 794 | 68 |
| 5 | 13.7 | 520 | 1109 | 92 | 14 | 13.8 | 386 | 1238 | 91 |
| 6 | 13.7 | 362 | 768 | 85 | 15 | 13.5 | 382 | 987 | 87 |
| 7 | 13.8 | 418 | 1291 | 108 | Av. | 13.7 | 345 | 969 | 82 |
| 8 | 13.1 | 320 | 1225 | 99 | | | | | |
| 9 | 13.2 | 317 | 864 | 50 | | | | | |

付録 1 (続 き)

APPENDIX 1. (Continued)

(3) Harunire (*Ulmus davidiana* var. *japonica*)

| No. | r_u | u | σ_{bp} | σ_b | E_b | σ_{ep} | σ_e | E_e |
|-----|-------|------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|
| 1 | 0.55 | 11.5 | 492 | 999 | 88 | 191 | 447 | 89 |
| 2 | 0.55 | 11.8 | 537 | 943 | 90 | 236 | 452 | 103 |
| 3 | 0.54 | 11.6 | 533 | 929 | 98 | 181 | 408 | 92 |
| 4 | 0.57 | 11.7 | 445 | 989 | 91 | 229 | 463 | 98 |
| 5 | 0.55 | 11.3 | 486 | 979 | 92 | 270 | 441 | 108 |
| 6 | 0.60 | 10.8 | 370 | 914 | 93 | 154 | 389 | 106 |
| 7 | 0.54 | 11.1 | 425 | 865 | 78 | 118 | 350 | 87 |
| 8 | 0.50 | 10.9 | 398 | 775 | 64 | 137 | 385 | 71 |
| 9 | 0.43 | 11.4 | 245 | 647 | 60 | 142 | 285 | 47 |
| 10 | 0.62 | 10.8 | 390 | 724 | 80 | 226 | 457 | 88 |
| 11 | 0.45 | 11.5 | 272 | 716 | 68 | 127 | 313 | 50 |
| 12 | 0.59 | 11.0 | 372 | 1093 | 87 | 223 | 408 | 72 |
| 13 | 0.40 | 10.9 | 180 | 627 | 47 | 78 | 269 | 47 |
| 14 | 0.46 | 11.6 | 189 | 582 | 58 | 121 | 324 | 71 |
| 15 | 0.46 | 11.7 | 264 | 754 | 71 | 133 | 310 | 65 |
| 16 | 0.60 | 11.1 | 532 | 1042 | 112 | 192 | 442 | 106 |
| 17 | 0.54 | 10.8 | 621 | 1178 | 103 | 305 | 419 | 107 |
| 18 | 0.56 | 10.6 | 562 | 939 | 91 | 240 | 446 | 100 |
| 19 | 0.48 | 11.3 | 322 | 680 | 62 | 144 | 318 | 60 |
| 20 | 0.58 | 11.1 | 341 | 419 | 63 | 238 | 459 | 79 |
| 21 | 0.63 | 10.7 | 456 | 758 | 78 | 305 | 458 | 91 |
| 22 | 0.64 | 11.1 | 444 | 888 | 92 | 246 | 476 | 111 |
| 23 | 0.59 | 10.8 | 409 | 913 | 104 | 148 | 369 | 93 |
| 24 | 0.43 | 12.2 | 247 | 659 | 63 | 104 | 282 | 62 |
| 25 | 0.49 | 11.2 | 395 | 739 | 86 | 220 | 365 | 66 |
| 26 | 0.45 | 11.4 | 243 | 536 | 43 | 93 | 307 | 60 |
| 27 | 0.42 | 11.5 | 208 | 520 | 46 | 108 | 292 | 47 |
| 28 | 0.51 | 11.1 | 409 | 658 | 74 | 215 | 414 | 98 |
| 29 | 0.53 | 10.9 | 299 | 804 | 82 | 155 | 336 | 107 |
| 30 | 0.65 | 12.1 | 373 | 917 | 98 | 264 | 509 | 96 |
| 31 | 0.47 | 11.0 | 334 | 675 | 72 | 170 | 313 | 64 |
| 32 | 0.44 | 11.2 | 264 | 743 | 64 | 149 | 303 | 48 |
| 33 | 0.46 | 11.7 | 231 | 731 | 71 | 137 | 322 | 61 |
| Av. | 0.52 | 11.3 | 372 | 798 | 78 | 182 | 380 | 80 |

| No. | u | σ_{tp} | σ_t | E_t | No. | u | σ_{tp} | σ_t | E_t |
|-----|------|---------------|------------|-------|-----|------|---------------|------------|-------|
| 1 | 10.2 | 243 | 721 | 93 | 11 | 10.4 | 302 | 906 | 115 |
| 2 | 10.3 | 710 | 1397 | 129 | 12 | 10.3 | 524 | 703 | 84 |
| 3 | 9.6 | 301 | 1109 | 109 | 13 | 10.1 | 346 | 694 | 99 |
| 4 | 10.1 | 437 | 991 | 113 | 14 | 10.0 | 346 | 673 | 59 |
| 5 | 10.5 | 198 | 484 | 50 | 15 | 10.2 | 660 | 1372 | 110 |
| 6 | 10.0 | 371 | 1224 | 112 | 16 | 10.4 | 233 | 920 | 60 |
| 7 | 10.4 | 231 | 495 | 47 | 17 | 10.6 | 571 | 1159 | 117 |
| 8 | 10.0 | 244 | 1094 | 98 | | | | | |
| 9 | 10.3 | 794 | 1093 | 115 | | | | | |
| 10 | 10.1 | 800 | 1645 | 131 | Av. | 10.2 | 430 | 981 | 97 |

付録 1 (続 き)

APPENDIX 1. (Continued)

(4) Ezo-matsu (*Picea jezoensis*)

| No. | r_u | u | σ_{bp} | σ_b | E_b | σ_{cp} | σ_c | E_c |
|-----|-------|------|---------------|------------|-------|---------------|------------|-------|
| 1 | 0.39 | 13.0 | 374 | 756 | 111 | 268 | 400 | 131 |
| 2 | 0.39 | 13.5 | 372 | 706 | 110 | 298 | 408 | 104 |
| 3 | 0.34 | 12.5 | 278 | 533 | 77 | 146 | 277 | 73 |
| 4 | 0.41 | 13.0 | 408 | 721 | 114 | 311 | 401 | 132 |
| 5 | 0.40 | 13.0 | 321 | 621 | 81 | 218 | 342 | 93 |
| 6 | 0.39 | 13.0 | 423 | 649 | 84 | 264 | 362 | 102 |
| 7 | 0.37 | 13.6 | 329 | 497 | 63 | 121 | 297 | 65 |
| 8 | 0.35 | 13.6 | 329 | 570 | 76 | 119 | 287 | 99 |
| 9 | 0.40 | 13.0 | 414 | 733 | 105 | 310 | 397 | 115 |
| 10 | 0.40 | 12.6 | 424 | 752 | 107 | 340 | 400 | 126 |
| 11 | 0.36 | 12.1 | 313 | 477 | 78 | 200 | 236 | 69 |
| 12 | 0.41 | 13.1 | 431 | 767 | 111 | 339 | 405 | 141 |
| 13 | 0.35 | 12.2 | 375 | 600 | 77 | 247 | 300 | 84 |
| 14 | 0.39 | 12.9 | 453 | 738 | 101 | 151 | 351 | 108 |
| 15 | 0.36 | 11.9 | 311 | 445 | 87 | 174 | 259 | 106 |
| 16 | 0.34 | 12.7 | 270 | 504 | 68 | 180 | 254 | 103 |
| 17 | 0.37 | 13.3 | 340 | 609 | 89 | 174 | 315 | 94 |
| 18 | 0.37 | 12.9 | 436 | 763 | 93 | 256 | 350 | 111 |
| 19 | 0.37 | 13.0 | 305 | 580 | 72 | 221 | 275 | 67 |
| 20 | 0.37 | 13.3 | 400 | 799 | 104 | 305 | 362 | 109 |
| 21 | 0.45 | 13.5 | 474 | 772 | 80 | 187 | 347 | 69 |
| 22 | 0.39 | 13.2 | 443 | 734 | 98 | — | 330 | — |
| 23 | 0.37 | 13.2 | 428 | 701 | 96 | 301 | 354 | 120 |
| 24 | 0.36 | 13.9 | 421 | 631 | 78 | 158 | 291 | 96 |
| 25 | 0.41 | 13.4 | 406 | 775 | 113 | 214 | 392 | 105 |
| 26 | 0.35 | 13.1 | 331 | 575 | 76 | 206 | 309 | 79 |
| Av. | 0.38 | 13.0 | 369 | 640 | 89 | 224 | 332 | 102 |

| No. | u | σ_{tp} | σ_t | E_t | No. | u | σ_{tp} | σ_t | E_t |
|-----|------|---------------|------------|-------|-----|------|---------------|------------|-------|
| 1 | 9.9 | 676 | 1064 | 126 | 7 | 10.5 | 405 | 1051 | 130 |
| 2 | 10.6 | 605 | 947 | 124 | 8 | 10.3 | 793 | 1176 | 132 |
| 3 | 10.4 | 324 | 828 | 84 | 9 | 9.6 | 292 | 401 | 68 |
| 4 | 10.5 | 295 | 665 | 81 | 10 | 9.9 | 469 | 852 | 89 |
| 5 | 9.2 | 283 | 675 | 81 | 11 | 10.3 | 373 | 750 | 81 |
| 6 | 9.9 | 389 | 751 | 89 | Av. | 10.1 | 458 | 833 | 99 |

付録2 ラミナの性質

APPENDIX 2. Properties of lamina

| Beam No. | (Species) | Lamina No. | R_w | r_u | u | E_b |
|----------|-----------|------------|-------|-------|------|-------|
| AA 1 | (A) | 1 | 1.0 | 0.72 | 10.1 | 187 |
| | (A) | 2 | 0.7 | 0.65 | 9.9 | 140 |
| | (A) | 3 | 0.7 | 0.71 | 9.6 | 129 |
| | (A) | 4 | 0.9 | 0.65 | 9.7 | 133 |
| | (A) | 5 | 1.4 | 0.64 | 9.7 | 135 |
| | (A) | 6 | 1.3 | 0.59 | 9.0 | 131 |
| | (A) | 7 | 1.4 | 0.74 | 8.4 | 165 |
| AA 2 | (A) | 1 | 1.0 | 0.74 | 10.6 | 155 |
| | (A) | 2 | 1.7 | 0.68 | 10.1 | 128 |
| | (A) | 3 | 1.8 | 0.64 | 10.0 | 129 |
| | (A) | 4 | 1.1 | 0.67 | 10.3 | 106 |
| | (A) | 5 | 2.8 | 0.65 | 10.3 | 125 |
| | (A) | 6 | 1.1 | 0.75 | 10.5 | 138 |
| | (A) | 7 | 1.1 | 0.68 | 10.0 | 154 |
| AA 3 | (A) | 1 | 1.3 | 0.64 | 9.4 | 135 |
| | (A) | 2 | 1.0 | 0.63 | 9.9 | 131 |
| | (A) | 3 | 0.7 | 0.63 | 9.4 | 119 |
| | (A) | 4 | 2.1 | 0.70 | 8.9 | 110 |
| | (A) | 5 | 0.8 | 0.70 | 9.9 | 112 |
| | (A) | 6 | 1.3 | 0.68 | 9.8 | 124 |
| | (A) | 7 | 1.2 | 0.65 | 9.6 | 140 |
| AA 4 | (A) | 1 | 2.5 | 0.64 | 9.8 | 134 |
| | (A) | 2 | 1.5 | 0.70 | 9.4 | 122 |
| | (A) | 3 | 1.3 | 0.70 | 9.4 | 115 |
| | (A) | 4 | 2.2 | 0.68 | 9.3 | 98 |
| | (A) | 5 | 1.0 | 0.67 | 8.7 | 109 |
| | (A) | 6 | 1.2 | 0.68 | 9.0 | 125 |
| | (A) | 7 | 1.2 | 0.64 | 9.2 | 124 |
| AA 5 | (A) | 1 | 0.7 | 0.67 | 9.6 | 113 |
| | (A) | 2 | 1.0 | 0.68 | 8.6 | 108 |
| | (A) | 3 | 1.2 | 0.66 | 9.0 | 102 |
| | (A) | 4 | 1.9 | 0.69 | 9.3 | 86 |
| | (A) | 5 | 1.1 | 0.69 | 8.7 | 96 |
| | (A) | 6 | 2.1 | 0.70 | 8.8 | 104 |
| | (A) | 7 | 1.4 | 0.62 | 9.5 | 110 |
| AA 6 | (A) | 1 | 2.0 | 0.74 | 9.6 | 132 |
| | (A) | 2 | 1.0 | 0.64 | 8.8 | 124 |
| | (A) | 3 | 1.9 | 0.72 | 9.4 | 118 |
| | (A) | 4 | 1.2 | 0.69 | 9.1 | 112 |
| | (A) | 5 | 1.6 | 0.74 | 8.8 | 118 |
| | (A) | 6 | 0.6 | 0.71 | 9.5 | 120 |
| | (A) | 7 | 1.5 | 0.64 | 10.1 | 111 |
| FF 1 | (F) | 1 | 2.2 | 0.70 | 11.3 | 142 |
| | (F) | 2 | 1.1 | 0.72 | 12.4 | 134 |
| | (F) | 3 | 2.4 | 0.71 | 12.3 | 130 |
| | (F) | 4 | 1.6 | 0.65 | 11.5 | 125 |
| | (F) | 5 | 1.3 | 0.59 | 11.1 | 124 |
| | (F) | 6 | 1.5 | 0.66 | 11.1 | 120 |
| | (F) | 7 | 1.4 | 0.67 | 10.9 | 147 |
| FF 2 | (F) | 1 | 1.3 | 0.75 | 12.5 | 142 |
| | (F) | 2 | 1.9 | 0.66 | 11.2 | 124 |
| | (F) | 3 | 1.6 | 0.64 | 11.5 | 130 |
| | (F) | 4 | 2.0 | 0.66 | 12.8 | 113 |
| | (F) | 5 | 1.4 | 0.57 | 12.0 | 115 |
| | (F) | 6 | 2.5 | 0.67 | 11.7 | 121 |
| | (F) | 7 | 1.4 | 0.63 | 12.5 | 152 |

付録 2 (続 き)

APPENDIX 2. (Continued)

| Beam No. | (Species) | Lamina No. | R_w | r_u | u | E_b |
|----------|-----------|------------|-------|-------|------|-------|
| FF 3 | (F) | 1 | 2.2 | 0.70 | 11.5 | 131 |
| | (F) | 2 | 2.6 | 0.68 | 11.3 | 128 |
| | (F) | 3 | 1.5 | 0.67 | 11.6 | 120 |
| | (F) | 4 | 1.4 | 0.75 | 12.2 | 118 |
| | (F) | 5 | 1.4 | 0.65 | 11.2 | 110 |
| | (F) | 6 | 1.0 | 0.58 | 8.0 | 112 |
| | (F) | 7 | 1.9 | 0.63 | 10.8 | 125 |
| FF 4 | (F) | 1 | 1.4 | 0.72 | 12.4 | 115 |
| | (F) | 2 | 1.6 | 0.73 | 11.8 | 114 |
| | (F) | 3 | 0.9 | 0.72 | 12.8 | 95 |
| | (F) | 4 | 1.7 | 0.60 | 11.3 | 91 |
| | (F) | 5 | 1.7 | 0.63 | 11.5 | 107 |
| | (F) | 6 | 1.6 | 0.67 | 13.1 | 111 |
| | (F) | 7 | 1.8 | 0.63 | 11.8 | 113 |
| FF 5 | (F) | 1 | 1.6 | 0.62 | 11.0 | 107 |
| | (F) | 2 | 1.2 | 0.64 | 12.4 | 83 |
| | (F) | 3 | 1.2 | 0.65 | 13.5 | 76 |
| | (F) | 4 | 0.9 | 0.62 | 12.9 | 62 |
| | (F) | 5 | 1.2 | 0.59 | 11.9 | 88 |
| | (F) | 6 | 0.9 | 0.66 | 11.3 | 95 |
| | (F) | 7 | 1.7 | 0.67 | 12.3 | 104 |
| UU 1 | (U) | 1 | 1.6 | 0.56 | 9.1 | 120 |
| | (U) | 2 | 1.7 | 0.53 | 9.6 | 112 |
| | (U) | 3 | 1.6 | 0.57 | 9.4 | 96 |
| | (U) | 4 | 1.8 | 0.51 | 8.8 | 89 |
| | (U) | 5 | 1.7 | 0.48 | 8.7 | 102 |
| | (U) | 6 | 0.7 | 0.54 | 9.4 | 116 |
| | (U) | 7 | 1.4 | 0.64 | 9.9 | 125 |
| UU 2 | (U) | 1 | 2.0 | 0.57 | 9.4 | 110 |
| | (U) | 2 | 2.1 | 0.49 | 8.9 | 98 |
| | (U) | 3 | 1.4 | 0.47 | 9.1 | 92 |
| | (U) | 4 | 1.4 | 0.57 | 9.4 | 93 |
| | (U) | 5 | 1.2 | 0.52 | 9.4 | 87 |
| | (U) | 6 | 1.2 | 0.56 | 9.1 | 101 |
| | (U) | 7 | 1.4 | 0.58 | 9.1 | 112 |
| UU 3 | (U) | 1 | 1.2 | 0.48 | 9.1 | 92 |
| | (U) | 2 | 1.1 | 0.50 | 9.5 | 82 |
| | (U) | 3 | 1.8 | 0.46 | 9.1 | 69 |
| | (U) | 4 | 0.7 | 0.43 | 12.8 | 66 |
| | (U) | 5 | 0.9 | 0.46 | 10.4 | 66 |
| | (U) | 6 | 0.7 | 0.48 | 9.6 | 87 |
| | (U) | 7 | 1.5 | 0.52 | 9.8 | 95 |
| UU 4 | (U) | 1 | 0.7 | 0.45 | 9.5 | 75 |
| | (U) | 2 | 0.9 | 0.41 | 9.6 | 60 |
| | (U) | 3 | 0.6 | 0.44 | 8.9 | 59 |
| | (U) | 4 | 1.0 | 0.39 | 9.2 | 51 |
| | (U) | 5 | 1.0 | 0.43 | 9.0 | 60 |
| | (U) | 6 | 0.8 | 0.43 | 9.2 | 67 |
| | (U) | 7 | 1.2 | 0.43 | 9.2 | 78 |
| UU 5 | (U) | 1 | 0.8 | 0.54 | 10.0 | 69 |
| | (U) | 2 | 1.4 | 0.47 | 8.9 | 68 |
| | (U) | 3 | 1.0 | 0.44 | 7.4 | 59 |
| | (U) | 4 | 0.8 | 0.44 | 7.5 | 54 |
| | (U) | 5 | 2.0 | 0.59 | 8.9 | 61 |
| | (U) | 6 | 0.9 | 0.50 | 9.8 | 64 |
| | (U) | 7 | 0.8 | 0.44 | 9.7 | 75 |

付録2 (続 き)

APPENDIX 2. (Continued)

| Beam No. | (Species) | Lamina No. | R_w | r_u | u | E_b |
|----------|-----------|------------|-------|-------|------|-------|
| P P 1 | (P) | 1 | 2.8 | 0.44 | 11.5 | 138 |
| | (P) | 2 | 2.0 | 0.45 | 11.2 | 131 |
| | (P) | 3 | 1.6 | 0.39 | 10.8 | 95 |
| | (P) | 4 | 1.0 | 0.46 | 11.3 | 85 |
| | (P) | 5 | 1.9 | 0.44 | 11.4 | 129 |
| | (P) | 6 | 0.9 | 0.47 | 12.2 | 126 |
| | (P) | 7 | 0.9 | 0.51 | 11.7 | 140 |
| P P 2 | (P) | 1 | 0.9 | 0.47 | 10.5 | 124 |
| | (P) | 2 | 1.0 | 0.38 | 10.9 | 102 |
| | (P) | 3 | 1.9 | 0.50 | 10.9 | 102 |
| | (P) | 4 | 1.0 | 0.47 | 10.9 | 100 |
| | (P) | 5 | 0.9 | 0.45 | 11.7 | 100 |
| | (P) | 6 | 1.1 | 0.40 | 11.4 | 105 |
| | (P) | 7 | 0.7 | 0.41 | 10.6 | 129 |
| P P 3 | (P) | 1 | 1.0 | 0.48 | 11.3 | 106 |
| | (P) | 2 | 1.0 | 0.34 | 10.5 | 75 |
| | (P) | 3 | 1.5 | 0.38 | 11.4 | 73 |
| | (P) | 4 | 4.0 | 0.36 | 10.7 | 73 |
| | (P) | 5 | 1.4 | 0.35 | 10.9 | 81 |
| | (P) | 6 | 0.7 | 0.36 | 10.0 | 91 |
| | (P) | 7 | 0.6 | 0.36 | 10.5 | 101 |
| P P 4 | (P) | 1 | 1.1 | 0.42 | 11.7 | 126 |
| | (P) | 2 | 0.9 | 0.45 | 11.8 | 123 |
| | (P) | 3 | 1.6 | 0.46 | 11.4 | 122 |
| | (P) | 4 | 1.6 | 0.42 | 11.8 | 120 |
| | (P) | 5 | 1.8 | 0.38 | 11.5 | 121 |
| | (P) | 6 | 1.4 | 0.43 | 12.0 | 126 |
| | (P) | 7 | 2.1 | 0.39 | 11.5 | 123 |
| T T 1 | (T) | 1 | 1.9 | 0.49 | 11.4 | 150 |
| | (T) | 2 | 1.1 | 0.44 | 11.1 | 147 |
| | (T) | 3 | 2.4 | 0.56 | 10.5 | 127 |
| | (T) | 4 | 1.0 | 0.35 | 11.1 | 118 |
| | (T) | 5 | 1.4 | 0.41 | 14.4 | 122 |
| | (T) | 6 | 1.3 | 0.41 | 10.8 | 122 |
| | (T) | 7 | 1.5 | 0.50 | 11.5 | 153 |
| T T 2 | (T) | 1 | 2.8 | 0.38 | 11.2 | 126 |
| | (T) | 2 | 1.0 | 0.41 | 10.5 | 119 |
| | (T) | 3 | 1.3 | 0.42 | 12.0 | 121 |
| | (T) | 4 | 1.7 | 0.44 | 11.9 | 111 |
| | (T) | 5 | 1.6 | 0.47 | 11.6 | 116 |
| | (T) | 6 | 4.1 | 0.40 | 13.5 | 120 |
| | (T) | 7 | 3.0 | 0.41 | 11.6 | 124 |
| T T 3 | (T) | 1 | 5.0 | 0.51 | 12.6 | 94 |
| | (T) | 2 | 0.9 | 0.40 | 11.7 | 86 |
| | (T) | 3 | 0.6 | 0.40 | 10.9 | 85 |
| | (T) | 4 | 1.1 | 0.35 | 10.0 | 62 |
| | (T) | 5 | 1.8 | 0.36 | 10.3 | 82 |
| | (T) | 6 | 1.9 | 0.34 | 10.2 | 82 |
| | (T) | 7 | 1.8 | 0.34 | 10.8 | 86 |
| T P 4 | (T) | 1 | 2.8 | 0.40 | 10.4 | 142 |
| | (T) | 2 | 1.2 | 0.42 | 11.7 | 125 |
| | (P) | 3 | 0.6 | 0.46 | 12.7 | 128 |
| | (P) | 4 | 0.7 | 0.48 | 11.3 | 124 |
| | (P) | 5 | 0.8 | 0.44 | 11.9 | 122 |
| | (T) | 6 | 2.0 | 0.56 | 12.0 | 130 |
| | (T) | 7 | 0.9 | 0.49 | 11.0 | 145 |

付録 2 (続 き)

APPENDIX 2. (Continued)

| Beam No. | (Species) | Lamina No. | R_{20} | r_u | u | E_b |
|----------|-----------|------------|----------|-------|------|-------|
| A T 1 | (A) | 1 | 1.2 | 0.76 | 10.5 | 147 |
| | (T) | 2 | 2.6 | 0.43 | 10.6 | 145 |
| | (T) | 3 | 2.9 | 0.42 | 10.6 | 135 |
| | (T) | 4 | 1.4 | 0.38 | 10.6 | 137 |
| | (T) | 5 | 3.6 | 0.50 | 11.1 | 147 |
| | (T) | 6 | 2.0 | 0.46 | 10.7 | 141 |
| | (A) | 7 | 1.1 | 0.72 | 10.2 | 136 |
| A T 2 | (A) | 1 | 0.9 | 0.70 | 9.8 | 147 |
| | (T) | 2 | 3.0 | 0.42 | 10.6 | 148 |
| | (T) | 3 | 1.8 | 0.45 | 7.1 | 136 |
| | (T) | 4 | 2.0 | 0.39 | 10.3 | 126 |
| | (T) | 5 | 0.9 | 0.45 | 10.6 | 128 |
| | (T) | 6 | 1.5 | 0.41 | 10.0 | 130 |
| | (A) | 7 | 2.0 | 0.66 | 9.7 | 138 |
| A T 3 | (A) | 1 | 1.0 | 0.70 | 10.0 | 142 |
| | (T) | 2 | 2.8 | 0.50 | 10.8 | 126 |
| | (T) | 3 | 3.0 | 0.42 | 10.9 | 126 |
| | (T) | 4 | 1.8 | 0.54 | 12.6 | 110 |
| | (T) | 5 | 0.9 | 0.37 | 11.3 | 123 |
| | (T) | 6 | 1.7 | 0.41 | 10.7 | 123 |
| | (A) | 7 | 2.6 | 0.65 | 9.8 | 144 |
| A P 4 | (A) | 1 | 1.9 | 0.65 | 10.0 | 134 |
| | (P) | 2 | 1.0 | 0.43 | 12.2 | 137 |
| | (P) | 3 | 1.6 | 0.45 | 11.1 | 118 |
| | (P) | 4 | 1.6 | 0.45 | 10.9 | 125 |
| | (P) | 5 | 2.0 | 0.47 | 11.7 | 125 |
| | (P) | 6 | 1.5 | 0.41 | 11.2 | 132 |
| | (A) | 7 | 2.3 | 0.74 | 10.1 | 142 |
| A P 5 | (A) | 1 | 1.3 | 0.64 | 10.1 | 127 |
| | (P) | 2 | 1.6 | 0.45 | 10.6 | 154 |
| | (P) | 3 | 2.0 | 0.41 | 10.0 | 142 |
| | (P) | 4 | 1.0 | 0.46 | 11.7 | 132 |
| | (P) | 5 | 1.3 | 0.42 | 11.2 | 128 |
| | (P) | 6 | 1.1 | 0.46 | 11.2 | 147 |
| | (A) | 7 | 1.9 | 0.63 | 9.7 | 126 |
| A P 6 | (A) | 1 | 1.6 | 0.69 | 9.6 | 126 |
| | (P) | 2 | 1.2 | 0.41 | 10.3 | 103 |
| | (P) | 3 | 0.6 | 0.48 | 10.5 | 117 |
| | (P) | 4 | 2.4 | 0.36 | 10.7 | 109 |
| | (P) | 5 | 2.0 | 0.43 | 10.6 | 108 |
| | (P) | 6 | 1.1 | 0.39 | 10.3 | 111 |
| | (A) | 7 | 2.5 | 0.67 | 9.7 | 123 |
| A P 7 | (A) | 1 | 0.7 | 0.68 | 9.8 | 131 |
| | (P) | 2 | 3.3 | 0.45 | 10.5 | 120 |
| | (P) | 3 | 1.0 | 0.43 | 10.6 | 118 |
| | (P) | 4 | 1.6 | 0.44 | 10.7 | 111 |
| | (P) | 5 | 0.8 | 0.42 | 10.7 | 110 |
| | (P) | 6 | 2.3 | 0.36 | 9.7 | 112 |
| | (A) | 7 | 1.0 | 0.73 | 10.7 | 118 |
| A U 1 | (A) | 1 | 1.0 | 0.65 | 10.3 | 132 |
| | (U) | 2 | 1.1 | 0.49 | 10.0 | 93 |
| | (U) | 3 | 1.1 | 0.48 | 9.4 | 91 |
| | (U) | 4 | 1.1 | 0.50 | 9.8 | 90 |
| | (U) | 5 | 1.2 | 0.53 | 9.3 | 89 |
| | (U) | 6 | 1.1 | 0.50 | 9.0 | 89 |
| | (A) | 7 | 2.4 | 0.66 | 9.2 | 139 |

付録 2 (続 き)

APPENDIX 2. (Continued)

| Beam No. | (Species) | Lamina No. | R_w | r_w | u | E_b |
|----------|-----------|------------|-------|-------|------|-------|
| AU 2 | (A) | 1 | 1.7 | 0.70 | 9.7 | 126 |
| | (U) | 2 | 1.6 | 0.47 | 9.6 | 96 |
| | (U) | 3 | 1.1 | 0.54 | 9.7 | 91 |
| | (U) | 4 | 1.2 | 0.50 | 9.8 | 84 |
| | (U) | 5 | 1.6 | 0.54 | 9.9 | 91 |
| | (U) | 6 | 1.8 | 0.54 | 10.0 | 100 |
| | (A) | 7 | 0.9 | 0.71 | 10.0 | 122 |
| AU 3 | (A) | 1 | 0.8 | 0.68 | 10.5 | 110 |
| | (U) | 2 | 2.0 | 0.61 | 9.7 | 81 |
| | (U) | 3 | 0.8 | 0.47 | 9.7 | 79 |
| | (U) | 4 | 0.8 | 0.48 | 10.3 | 78 |
| | (U) | 5 | 1.4 | 0.48 | 10.2 | 79 |
| | (U) | 6 | 1.0 | 0.51 | 10.4 | 84 |
| | (A) | 7 | 1.1 | 0.67 | 9.7 | 111 |
| FP 1 | (F) | 1 | 1.2 | 0.72 | 10.5 | 162 |
| | (P) | 2 | 1.2 | 0.51 | 12.2 | 137 |
| | (P) | 3 | 2.4 | 0.41 | 11.2 | 110 |
| | (P) | 4 | 2.8 | 0.39 | 10.0 | 103 |
| | (P) | 5 | 1.6 | 0.39 | 11.3 | 113 |
| | (P) | 6 | 0.3 | 0.50 | 12.0 | 145 |
| | (F) | 7 | 1.9 | 0.68 | 10.6 | 142 |
| FP 2 | (F) | 1 | 1.4 | 0.71 | 12.0 | 155 |
| | (P) | 2 | 1.4 | 0.35 | 11.0 | 95 |
| | (P) | 3 | 3.3 | 0.39 | 11.3 | 87 |
| | (P) | 4 | 1.7 | 0.34 | 11.7 | 79 |
| | (P) | 5 | 1.0 | 0.37 | 11.7 | 84 |
| | (P) | 6 | 3.3 | 0.38 | 11.9 | 93 |
| | (F) | 7 | 1.4 | 0.69 | 12.1 | 138 |
| FP 3 | (F) | 1 | 1.8 | 0.74 | 12.0 | 127 |
| | (P) | 2 | 1.0 | 0.44 | 10.5 | 116 |
| | (P) | 3 | 3.1 | 0.39 | 11.4 | 107 |
| | (P) | 4 | 4.0 | 0.38 | 11.5 | 97 |
| | (P) | 5 | 2.3 | 0.41 | 12.0 | 108 |
| | (P) | 6 | 0.6 | 0.44 | 12.3 | 110 |
| | (F) | 7 | 1.3 | 0.65 | 11.6 | 127 |
| FP 4 | (F) | 1 | 1.8 | 0.66 | 12.6 | 134 |
| | (P) | 2 | 0.8 | 0.45 | 12.0 | 101 |
| | (P) | 3 | 1.0 | 0.41 | 11.2 | 85 |
| | (P) | 4 | 3.0 | 0.39 | 11.2 | 79 |
| | (P) | 5 | 0.8 | 0.40 | 10.7 | 96 |
| | (P) | 6 | 1.2 | 0.40 | 11.1 | 102 |
| | (F) | 7 | 1.9 | 0.71 | 12.8 | 127 |
| FP 5 | (F) | 1 | 2.0 | 0.67 | 10.4 | 129 |
| | (P) | 2 | 1.0 | 0.41 | 11.5 | 114 |
| | (P) | 3 | 3.3 | 0.39 | 11.6 | 92 |
| | (P) | 4 | 2.2 | 0.37 | 11.3 | 90 |
| | (P) | 5 | 3.2 | 0.39 | 11.6 | 101 |
| | (P) | 6 | 0.7 | 0.40 | 11.7 | 109 |
| | (F) | 7 | 2.2 | 0.72 | 12.8 | 127 |
| FP 6 | (F) | 1 | 1.9 | 0.65 | 10.8 | 126 |
| | (P) | 2 | 1.0 | 0.43 | 15.9 | 110 |
| | (P) | 3 | 1.0 | 0.43 | 10.7 | 105 |
| | (P) | 4 | 1.4 | 0.44 | 10.9 | 103 |
| | (P) | 5 | 1.8 | 0.40 | 11.2 | 109 |
| | (P) | 6 | 1.9 | 0.40 | 11.0 | 120 |
| | (F) | 7 | 2.0 | 0.64 | 12.0 | 130 |

付録 2 (続 き)

APPENDIX 2. (Continued)

| Beam No. | (Species) | Lamina No. | R_w | r_w | u | E_b |
|----------|-----------|------------|-------|-------|------|-------|
| FT 7 | (F) | 1 | 1.2 | 0.69 | 11.0 | 139 |
| | (F) | 2 | 0.9 | 0.71 | 15.5 | 130 |
| | (T) | 3 | 1.5 | 0.40 | 11.3 | 104 |
| | (T) | 4 | 1.5 | 0.37 | 9.2 | 99 |
| | (T) | 5 | 1.2 | 0.36 | 9.8 | 106 |
| | (T) | 6 | 3.1 | 0.37 | 10.6 | 112 |
| | (F) | 7 | 1.8 | 0.65 | 10.3 | 136 |
| FT 8 | (F) | 1 | 0.9 | 0.69 | 11.8 | 120 |
| | (F) | 2 | 1.7 | 0.61 | 11.6 | 106 |
| | (T) | 3 | 1.8 | 0.33 | 10.9 | 91 |
| | (T) | 4 | 2.0 | 0.41 | 10.7 | 91 |
| | (T) | 5 | 2.1 | 0.37 | 10.3 | 92 |
| | (T) | 6 | 2.6 | 0.39 | 10.5 | 96 |
| | (F) | 7 | 1.6 | 0.80 | 12.4 | 132 |
| FT 9 | (F) | 1 | 1.3 | 0.63 | 11.1 | 133 |
| | (T) | 2 | 1.4 | 0.39 | 11.2 | 113 |
| | (T) | 3 | 1.4 | 0.40 | 11.1 | 121 |
| | (T) | 4 | 1.0 | 0.38 | 12.5 | 110 |
| | (T) | 5 | 2.8 | 0.43 | 11.1 | 114 |
| | (F) | 6 | 1.0 | 0.61 | 13.1 | 115 |
| | (F) | 7 | 1.5 | 0.60 | 10.4 | 117 |
| FT 10 | (F) | 1 | 1.1 | 0.77 | 12.0 | 111 |
| | (T) | 2 | 1.0 | 0.37 | 11.8 | 106 |
| | (T) | 3 | 1.6 | 0.40 | 12.8 | 100 |
| | (T) | 4 | 2.0 | 0.45 | 12.8 | 97 |
| | (T) | 5 | 5.0 | 0.50 | 11.7 | 104 |
| | (F) | 6 | 1.9 | 0.70 | 12.1 | 100 |
| | (F) | 7 | 0.7 | 0.63 | 12.3 | 107 |
| UT 1 | (U) | 1 | 1.7 | 0.64 | 10.2 | 138 |
| | (T) | 2 | 2.0 | 0.41 | 11.1 | 127 |
| | (T) | 3 | 1.0 | 0.46 | 9.9 | 133 |
| | (T) | 4 | 1.6 | 0.39 | 10.3 | 111 |
| | (T) | 5 | 2.0 | 0.41 | 10.5 | 112 |
| | (T) | 6 | 1.5 | 0.38 | 10.6 | 121 |
| | (U) | 7 | 1.8 | 0.60 | 9.0 | 125 |
| UT 2 | (U) | 1 | 2.4 | 0.66 | 9.1 | 120 |
| | (T) | 2 | 2.4 | 0.43 | 10.1 | 120 |
| | (T) | 3 | 2.7 | 0.37 | 10.4 | 113 |
| | (T) | 4 | 0.7 | 0.37 | 11.1 | 103 |
| | (T) | 5 | 0.7 | 0.39 | 13.5 | 108 |
| | (T) | 6 | 2.4 | 0.47 | 11.7 | 114 |
| | (U) | 7 | 1.8 | 0.52 | 10.3 | 115 |
| UT 3 | (U) | 1 | 3.6 | 0.64 | 9.6 | 109 |
| | (T) | 2 | 2.0 | 0.42 | 10.4 | 111 |
| | (T) | 3 | 1.3 | 0.42 | 10.9 | 102 |
| | (T) | 4 | 1.2 | 0.37 | 10.3 | 99 |
| | (T) | 5 | 1.0 | 0.45 | 10.4 | 102 |
| | (T) | 6 | 0.7 | 0.38 | 11.3 | 105 |
| | (U) | 7 | 1.7 | 0.57 | 8.9 | 116 |
| UT 4 | (U) | 1 | 2.4 | 0.62 | 8.8 | 106 |
| | (T) | 2 | 0.7 | 0.38 | 12.3 | 103 |
| | (T) | 3 | 0.8 | 0.43 | 11.3 | 100 |
| | (T) | 4 | 2.4 | 0.47 | 11.4 | 91 |
| | (T) | 5 | 2.1 | 0.35 | 6.0 | 104 |
| | (T) | 6 | 0.7 | 0.39 | 9.5 | 106 |
| | (U) | 7 | 1.7 | 0.53 | 9.1 | 102 |

付録2 (続 き)

APPENDIX 2. (Continued)

| Beam No. | (Species) | Lamina No. | R_w | r_u | u | E_b |
|----------|-----------|------------|-------|-------|------|-------|
| UT 5 | (U) | 1 | 1.0 | 0.50 | 9.1 | 103 |
| | (T) | 2 | 4.3 | 0.41 | 10.6 | 101 |
| | (T) | 3 | 2.9 | 0.40 | 10.9 | 99 |
| | (T) | 4 | 1.2 | 0.38 | 10.6 | 95 |
| | (T) | 5 | 2.4 | 0.39 | 11.1 | 93 |
| | (T) | 6 | 6.5 | 0.44 | 11.5 | 103 |
| | (U) | 7 | 2.0 | 0.59 | 9.8 | 98 |
| UP 6 | (U) | 1 | 1.2 | 0.51 | 9.6 | 107 |
| | (P) | 2 | 2.4 | 0.49 | 11.1 | 107 |
| | (P) | 3 | 2.3 | 0.43 | 11.5 | 109 |
| | (P) | 4 | 1.1 | 0.43 | 10.9 | 114 |
| | (P) | 5 | 1.4 | 0.40 | 11.4 | 103 |
| | (P) | 6 | 1.5 | 0.41 | 11.3 | 107 |
| | (U) | 7 | 1.6 | 0.48 | 9.1 | 105 |