

平成2年度農林水産省補助事業
日本住宅・木材技術センター事業

技術開発推進事業報告書

集成材構造

実験編

平成3年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

集成材構造委員会の委員構成（平成2年度）

| | 氏 名 | 所 属 |
|-------|-------|--------------------------|
| 委員長 ✓ | 有馬 孝禮 | 東京大学農学部林産学科助教授 |
| 委員 ✓ | 太田 正光 | 東京大学農学部林産学科助教授 |
| 〃 | 中村 昇 | 東京大学農学部林産学科 |
| 〃 ✓ | 稲山 正弘 | 東京大学工学部建築学科 |
| 〃 ✓ | 安村 基 | 建築研究所第三研究部耐風研究室主任研究員 |
| 〃 ✓ | 神谷 文夫 | 森林総合研究所木材利用部構造性能研究室長 |
| 〃 ✓ | 林 知行 | 森林総合研究所木材利用部集成加工研究室主任研究官 |
| 〃 ✓ | 川元 紀雄 | 森林総合研究所木材利用部接合研究室 |
| 〃 ✓ | 丸山 則義 | 鹿島建設（株）技術研究所主任研究員 |
| 〃 | 田代 貞 | 川島建設合資会社 |
| 〃 | 伊東 洋路 | セブン研工業（株）課長 |
| 〃 | 飯村 豊 | 三井木材工業（株） |
| 協力委員 | 春川 真一 | 林野庁林産課住宅木材技術専門官 |
| 事務局 | 倉田 久敬 | 財団法人日本住宅・木材技術センター試験研究部長 |
| 〃 | 鷺海 四郎 | 財団法人日本住宅・木材技術センター主任研究員 |

スギ集成材の実験編の目次

| | | |
|-------|---------------------------|----|
| 第1章 | 集成材のせん断強度 | |
| 1.1 | せん断強度について | 1 |
| 1.2 | 実験方法 | 2 |
| 1.2.1 | 供試試験体 | |
| 1.2.2 | 試験体形状 | |
| 1.2.3 | 試験方法及び測定項目 | |
| 1.3 | 結果 | 2 |
| 1.4 | 参考 | 2 |
| 第2章 | 集成材の横引張強度 | 28 |
| 2.1 | 緒言 | 28 |
| 2.2 | 実験方法 | 28 |
| 2.2.1 | 供試試験体 | |
| 2.2.2 | 試験体形状 | |
| 2.2.3 | 試験方法 | |
| 2.3 | 結果 | 29 |
| 2.4 | 考察 | 29 |
| | 引用文献 | 41 |
| 第3章 | 複合集成材の強度特性(Ⅱ)縦つぎラミナを用いた場合 | 42 |
| 3.1 | はじめに | 42 |
| 3.2 | 材料と実験方法 | 43 |
| 3.2.1 | ラミナ | 43 |
| 3.2.2 | スギラミナの引張試験 | 45 |
| 3.2.3 | 実大曲げ試験 | 46 |
| 3.2.4 | 引張試験体 | 49 |
| 3.3 | 結果と考察 | 50 |
| 3.3.1 | ラミナの特性 | 50 |
| 3.3.2 | 曲げ試験結果 | 54 |
| 3.3.3 | 引張試験結果 | 57 |
| 3.4 | 引張強度の分布予測シミュレーション | 59 |
| 3.4.1 | 確立モデル(モンテカルロシミュレーションモデル) | 59 |
| 3.4.2 | 実大試験結果とシミュレーション結果の比較 | 64 |
| 3.5 | まとめ | 70 |
| 3.6 | 参考文献 | 71 |

第1章 集成材のせん断強度

1. 1 せん断強度について

木材のせん断強度は、圧縮、引っ張りなどの強度に比較して非常に低い。したがって、ボルト接合など接合部を始めとして、断面の大きい集成材構造では、せん断強度が構造物の終局強度を制限するケースが多いので、設計に当っては十分注意を払う必要がある。

木材のせん断強度には、繊維に平行方向にせん断力が作用する縦せん断強度と、繊維に直角方向に作用する横せん断強度があるが、通常問題になるのは縦せん断強度である。スギは繊維走行が素直で、通直であるため、せん断強度はそれほど大きくはない。JIS 椅子型試験体による無欠点小型試験片のせん断強度は平均値で 60kgf/cm^2 であるとも^[1]、 79kgf/cm^2 である^[2]とも言われている。針葉樹材のなかでは中～低程度のせん断強度を持つ。建築基準法の樹種群による強度分類では一番低いIV群に分類されている。

スギ集成材のせん断強度は、接着強度の測定を目的にしたものを除くと報告例はあまり多くない。本報告書の実験は構造物材としてのスギ集成材のせん断強度を正確に位置づけるためにおこなわれた。

1. 2 実験方法

1. 2. 1 供試試験体

用いた試験材料はスギおよび対照としてのベイマツの集成材である。用いた試験材の比重と音速から求めた繊維直交方向のヤング率との関係を図1. 2-1、図1. 2-2に示す。なおこの横ヤング率は、めりこみ実験試験体より、損傷を受けていない部分を切りだして測定したものである。

1. 2. 2 試験体形状

用いた試験体形状は、せん断面 $8\times 8\text{cm}$ の変形椅子型である。形状を図1. 2-3に示す。接着層がせん断破壊面と一致する場合を Type A、接着層がせん断破壊面と平行であるが一致しないものを Type B、接着層とせん断破壊面が直交しているものを Type Cとした。

1. 2. 3 試験方法および測定項目

試験は30tonアムスラー型試験器で行なった。破壊荷重をせん断破壊面積で

割ることにより、せん断強度を求めた。また、Type A 試験体については試験後目視により木破率を求めた。

1. 3 結果

図1. 3-1~6にタイプ別に試験の結果を、ヒストグラムで示した。また、全試験体のデータは本章の後ろにまとめて示した。

図1. 3-7、8にはスギおよびベイマツの Type A 試験体の木破率をせん断強度との関係で示した。

1. 4 考察

ベイマツ集成材のせん断強度と対比して、表1. 4-1にタイプ別の実験結果を平均値で示した。

スギの場合、接着層がせん断破壊面になる Type A の強度が、他のタイプと比較して若干劣っている。一方、ベイマツは Type A の強度は広い範囲に分布し、しかも平均値は他のタイプよりも高い。この理由は不明である。

集成材のせん断強度を総合的に見るために、スギとベイマツの3つの負荷タイプの結果を1つのグラフにまとめて、図1. 4-1に示した。これを見ると、スギとベイマツのせん断強度の分布はかなり良く似ていることがわかる。

また、図1. 3-7の木破率とせん断強度の間には特別な相関は見られず、スギは集成材としてその性能を十分に発揮しているといえる。

以上を総合してみると、全体平均でスギ 66.97kgf/cm^2 、ベイマツ 71.28kgf/cm^2 で、建築基準法の樹種群による強度分類でI群に分類されるベイマツと比較べて、スギ集成材のせん断強度はそれほど劣るものではないといえる。

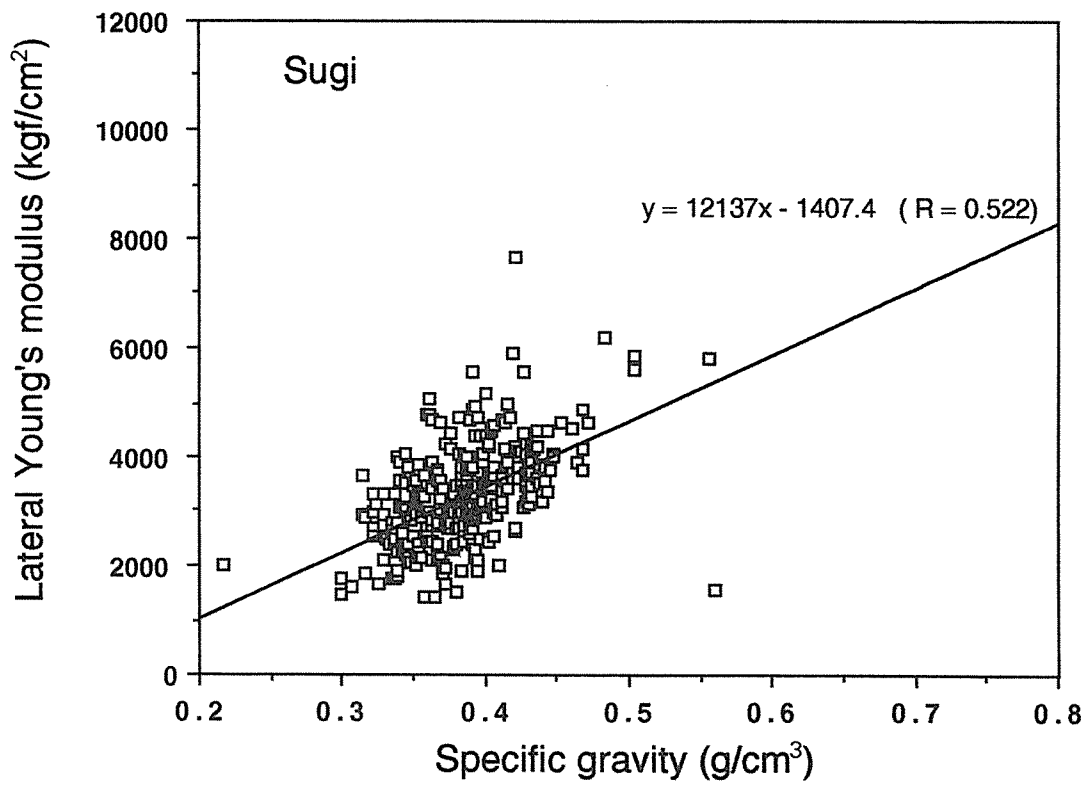


図 1. 2 - 1 スギの比重と横ヤング率の関係

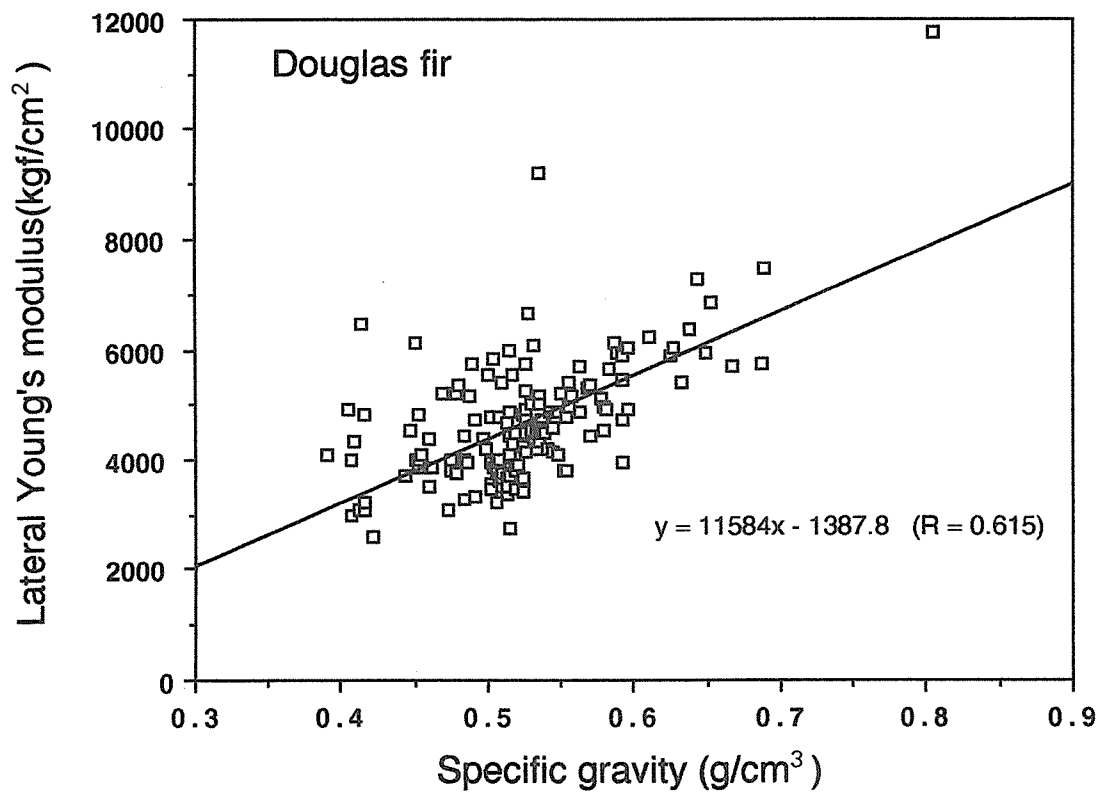
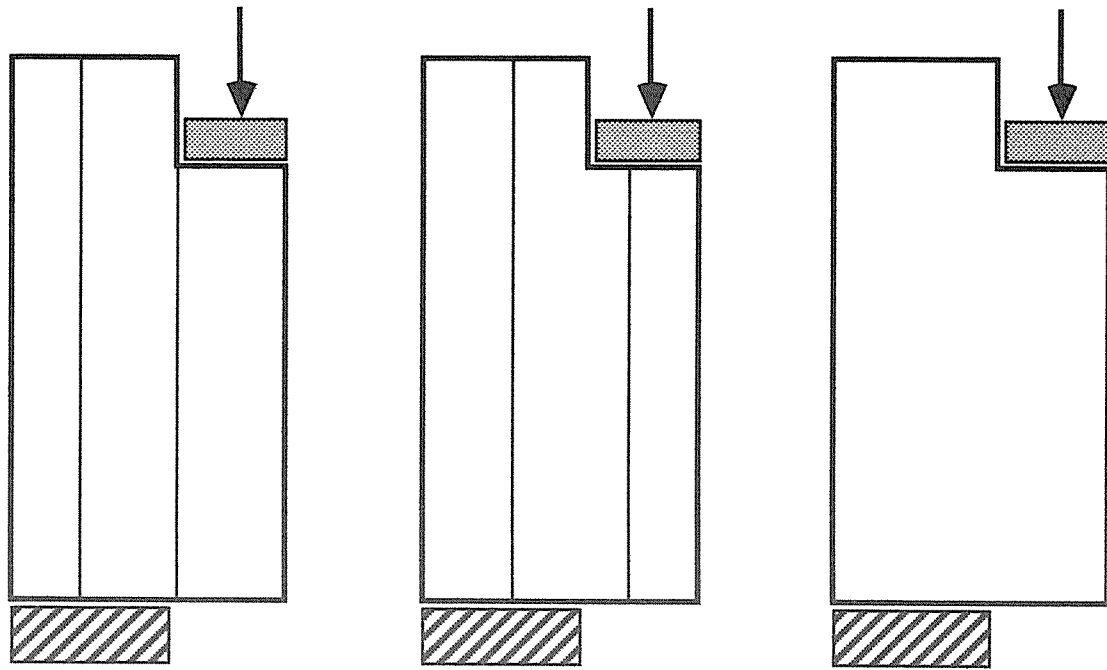
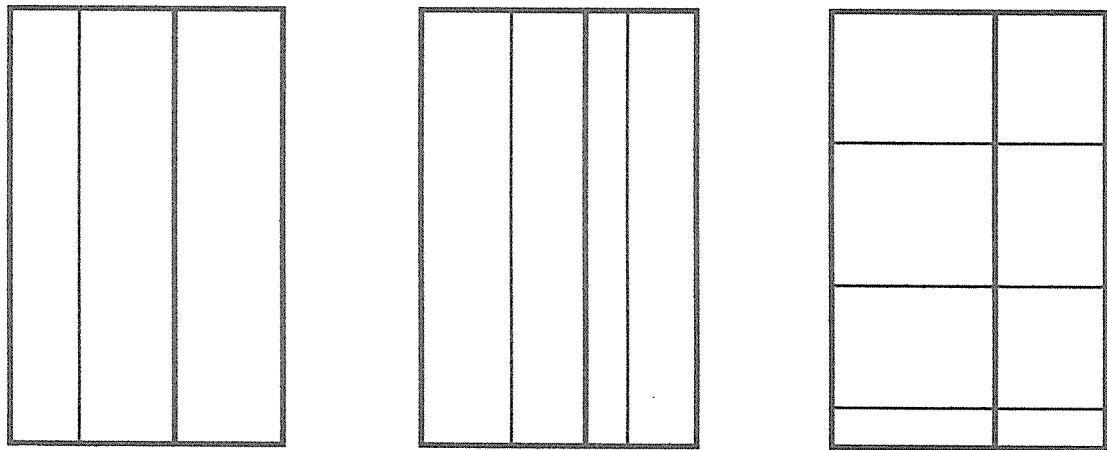


図1. 2-2 ベイマツの比重と横ヤング率の関係



側面図



上面図

TYPE A

TYPE B

TYPE C

図1. 2-3 椅子型せん断試験体の3つのタイプの形状
細実線は接着層を示す

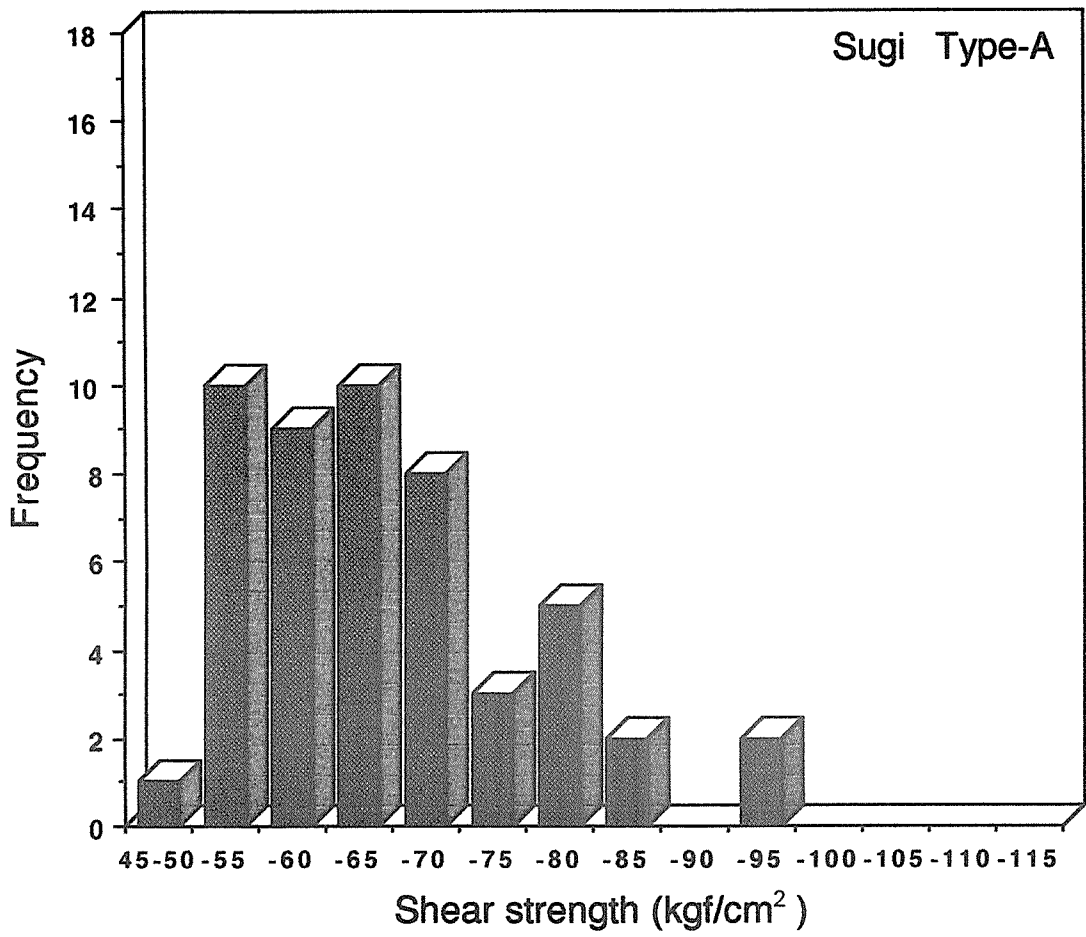


図1. 3-1 集成材のせん断強度の頻度分布
スギ集成材 Type A

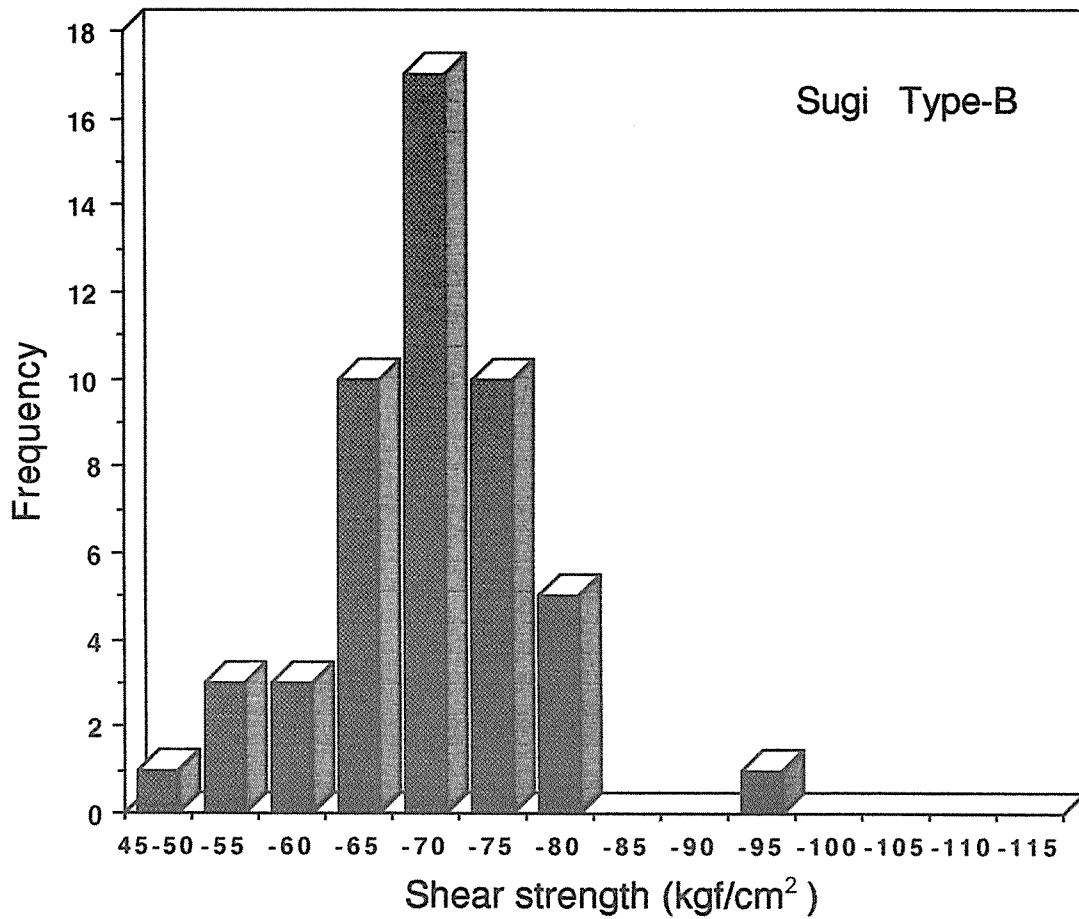


図 1 . 3 - 2 集成材のせん断強度の頻度分布
スギ集成材 Type B

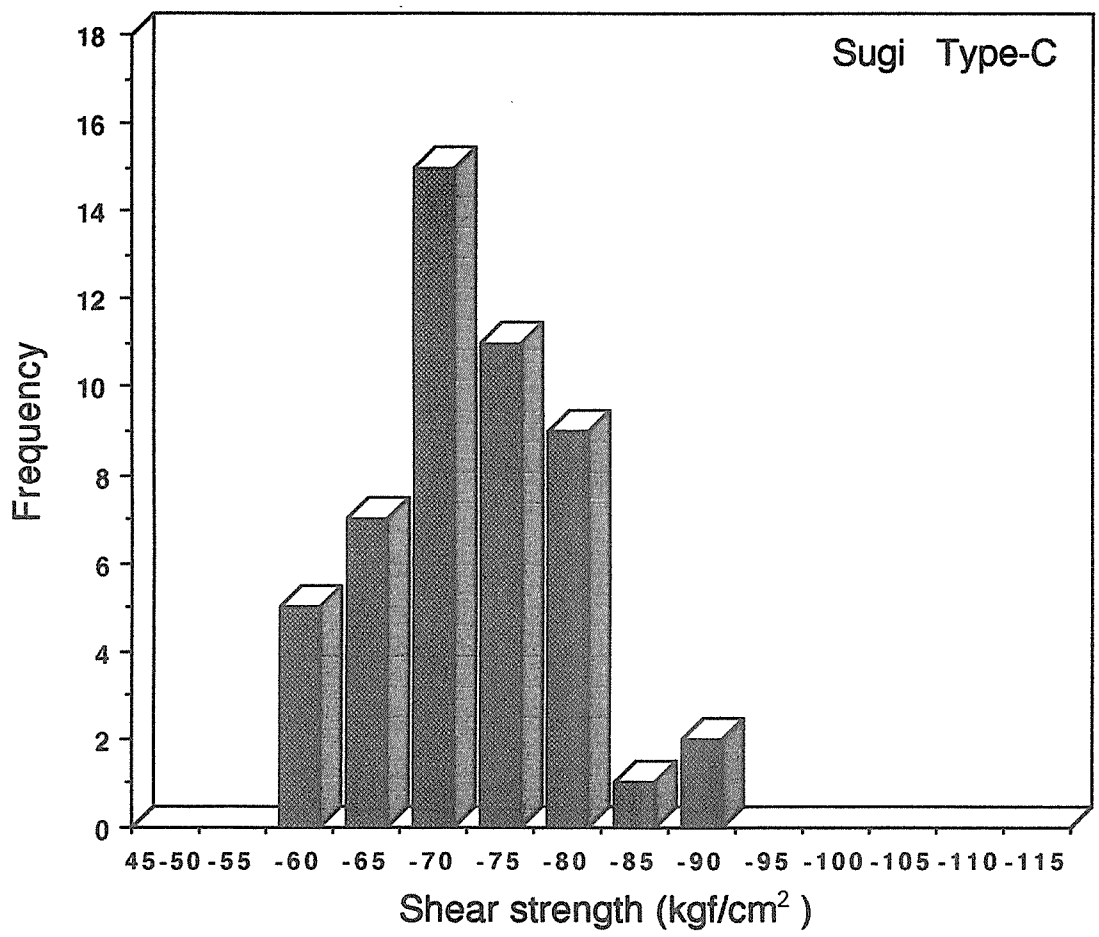


図 1. 3 - 3 集成材のせん断強度の頻度分布
スギ集成材 Type C

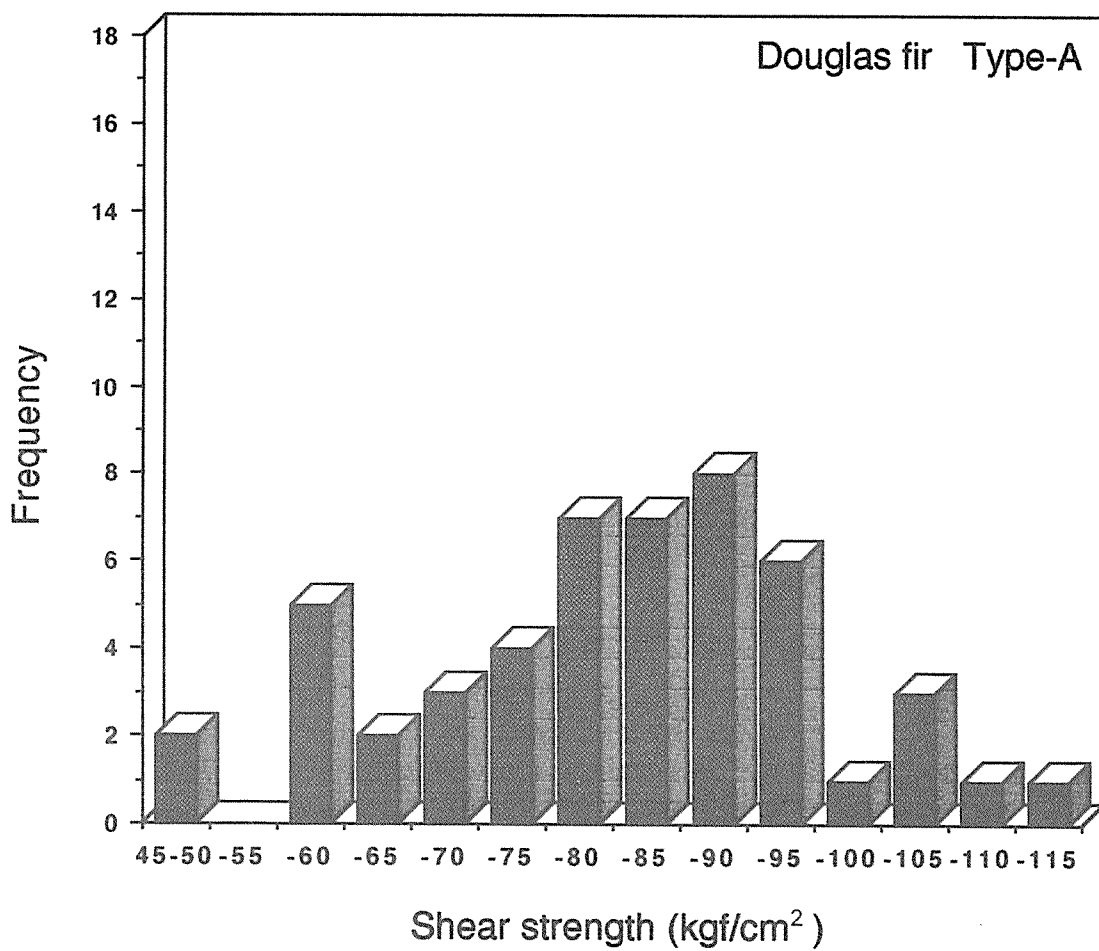


図1. 3-4 集成材のせん断強度の頻度分布
ベイマツ集成材 Type A

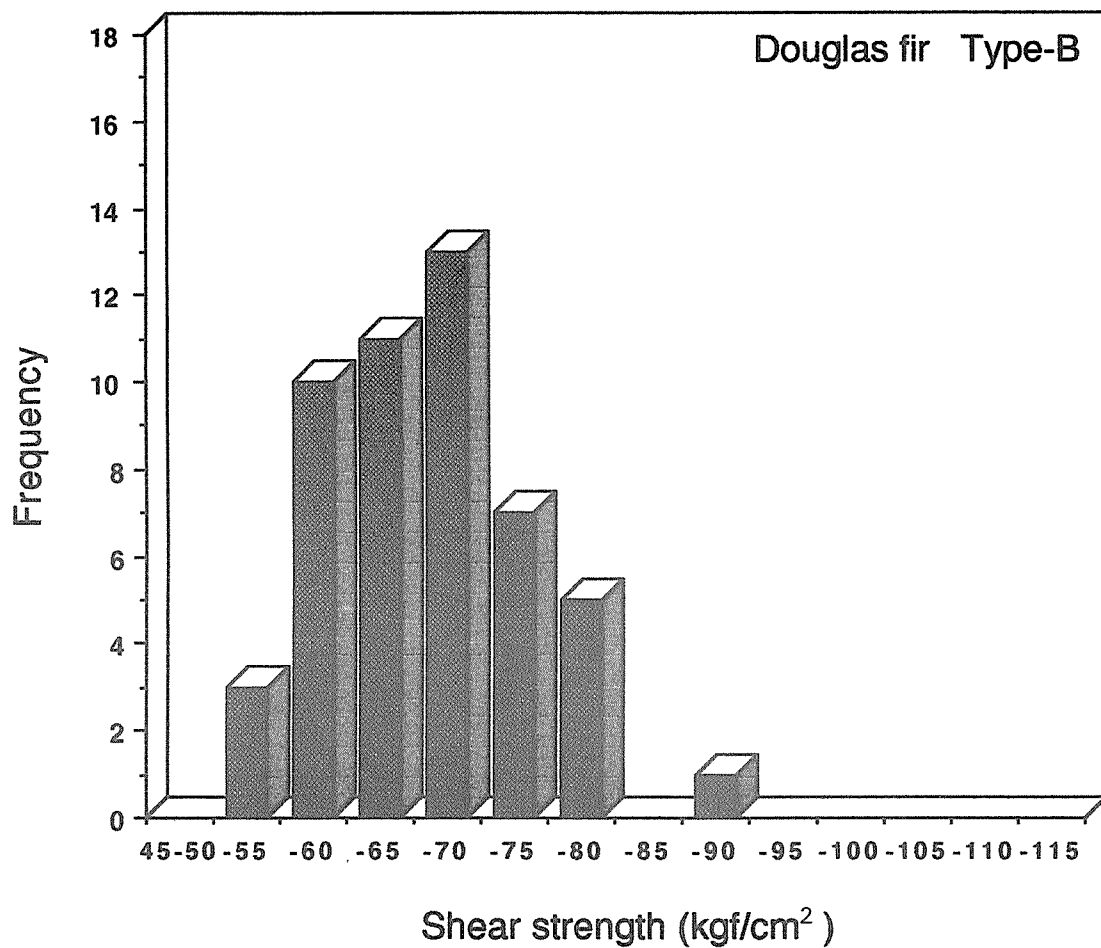


図1. 3-5 集成材のせん断強度の頻度分布
 ベイマツ集成材 Type B

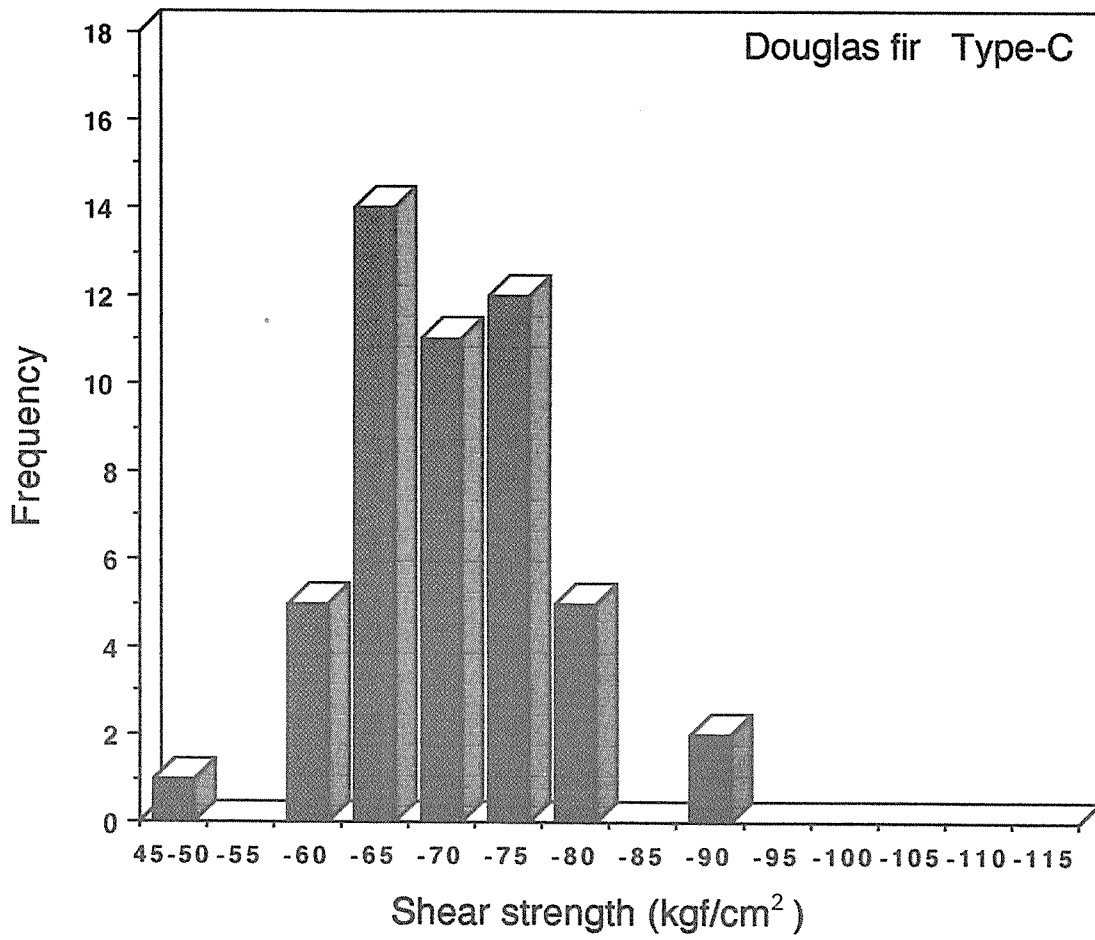


図1. 3-6 集成材のせん断強度の頻度分布
 ベイマツ集成材 Type C

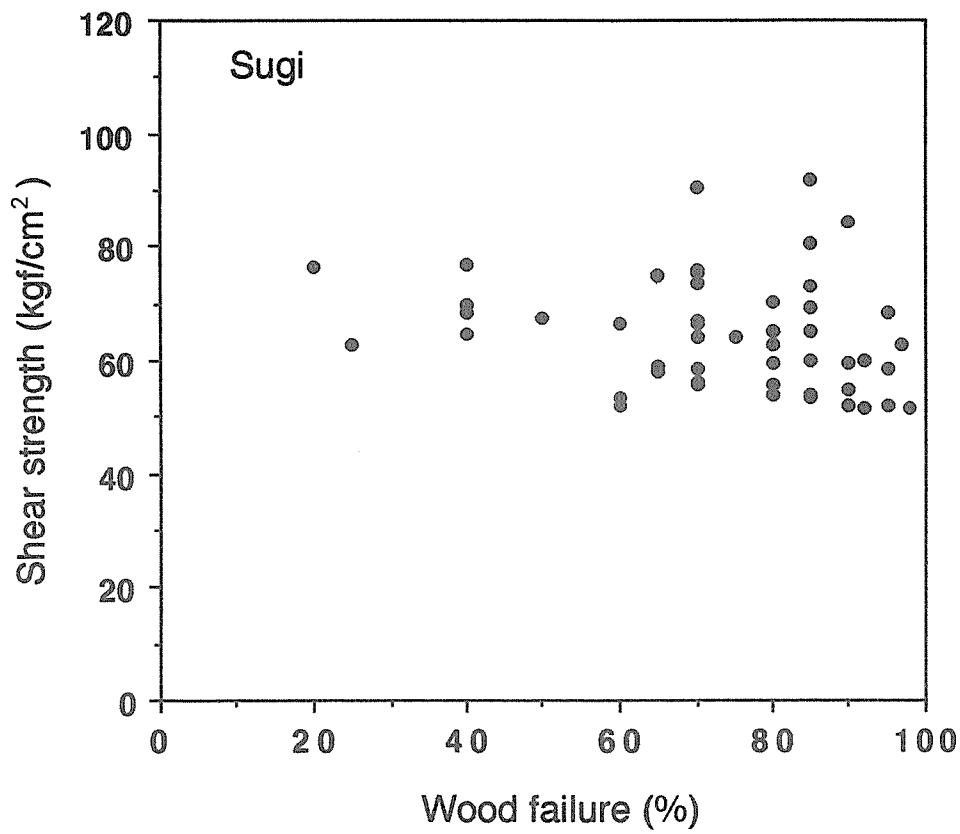


図1. 3-7 スギ集成材の木破率とせん断強度の関係

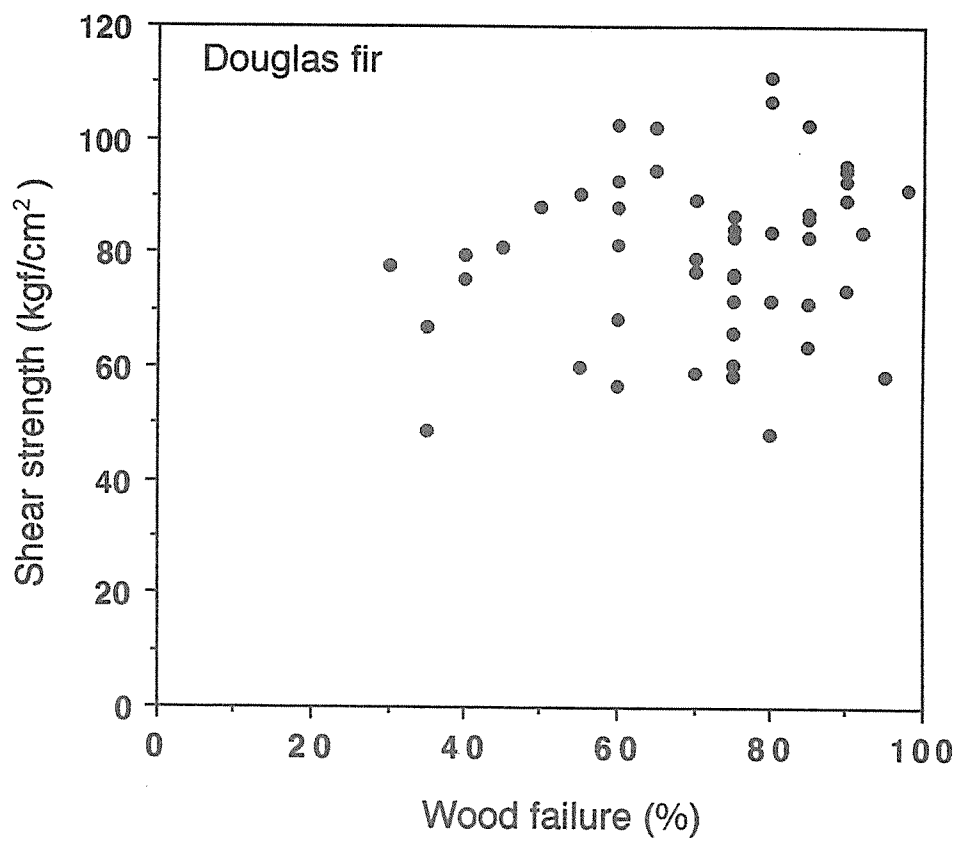


図1. 3-8 ベイマツ集成材の木破率とせん断強度の関係

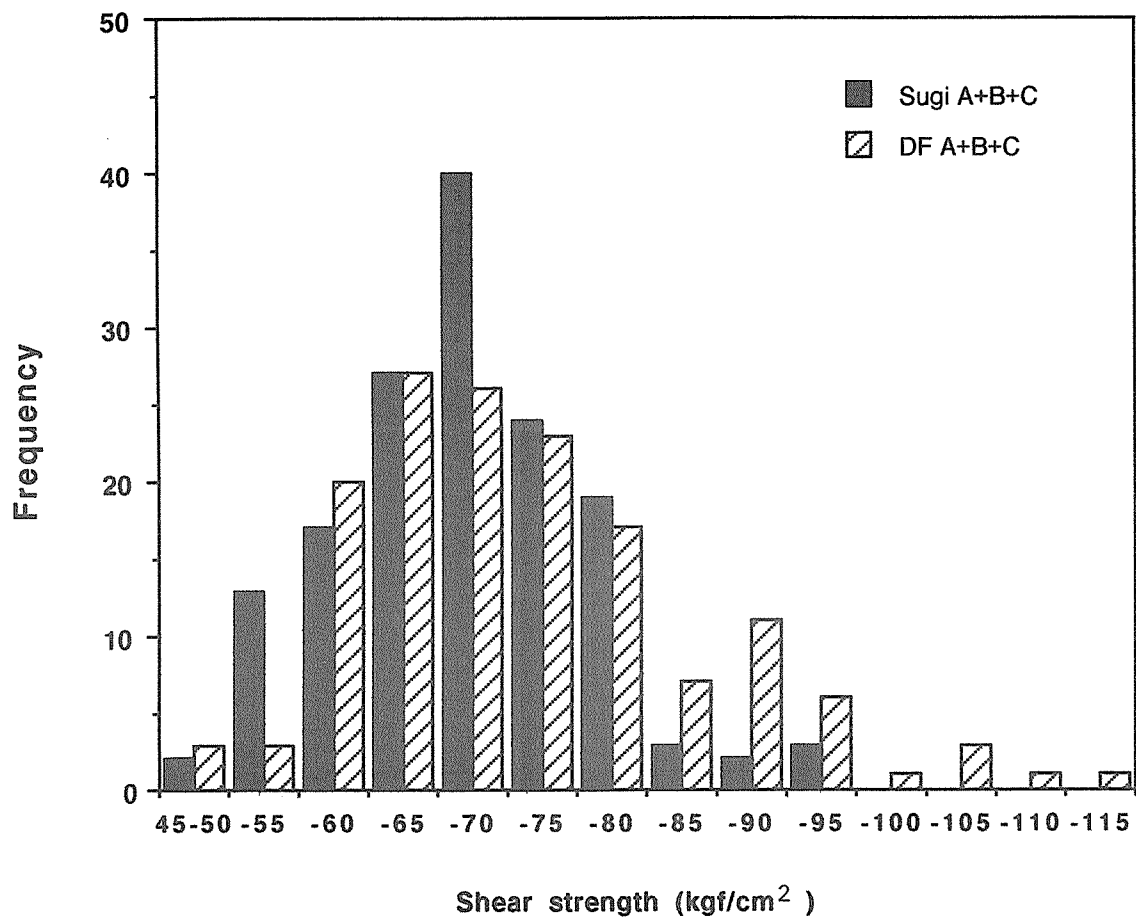


図1. 4-1 集成材のせん断強度の頻度分布
スギ集成材とベイマツ集成材の比較

表1. 4-1 集成材のせん断強度 (イス型、断面8x8cm)
 単位kgf/cm²

| | Type A | Type B | Type C |
|------|------------------|-----------------|-----------------|
| スギ | 64.46 (10.12) | 66.81 (7.73) | 69.64 (6.82) |
| ベイマツ | 80.11 (14.80) | 65.91 (7.64) | 67.82 (7.32) |

注：Type A～Cはせん断面に接着層の有無および接着層とせん断面の位置による違いによる。図1. 2-3参照。
 ()内は標準偏差

スギせん断強度 (TYPE-A)

| No. | a | b | h | d | e | W | Pmax | r | s. str. | 木破率 |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|-----|
| | cm | cm | cm | cm | cm | g | kgf | g/cm ³ | kgf/cm ² | % |
| SA-1 | 8.040 | 7.980 | 9.985 | 5.020 | 2.985 | 141.7 | 3,450 | 0.383 | 53.8 | 85 |
| 2 | 8.030 | 8.005 | 9.990 | 5.005 | 3.000 | 158.3 | 3,320 | 0.428 | 51.6 | 92 |
| 3 | 8.025 | 8.000 | 10.000 | 5.010 | 2.985 | 170.7 | 4,180 | 0.462 | 65.1 | 80 |
| 4 | 8.015 | 8.030 | 9.995 | 5.005 | 3.040 | 164.5 | 3,310 | 0.445 | 51.4 | 98 |
| 5 | 8.020 | 7.980 | 9.990 | 5.005 | 2.970 | 163.0 | 3,420 | 0.443 | 53.4 | 85 |
| 6 | 8.025 | 7.975 | 9.990 | 5.025 | 3.010 | 156.9 | 3,580 | 0.424 | 55.9 | 80 |
| 7 | 8.030 | 7.980 | 10.015 | 5.005 | 3.015 | 167.8 | 3,460 | 0.454 | 54.0 | 80 |
| 8 | 8.025 | 7.945 | 9.995 | 5.005 | 2.975 | 151.7 | 3,720 | 0.412 | 58.3 | 65 |
| 9 | 8.015 | 7.990 | 9.990 | 5.020 | 2.950 | 165.0 | 4,380 | 0.447 | 68.4 | 40 |
| 10 | 8.045 | 7.940 | 9.975 | 5.045 | 2.965 | 168.1 | 4,260 | 0.453 | 66.7 | 60 |
| 11 | 8.020 | 7.960 | 9.990 | 5.010 | 2.985 | 158.2 | 4,000 | 0.429 | 62.7 | 80 |
| 12 | 8.015 | 7.950 | 9.990 | 5.005 | 2.980 | 156.0 | 3,830 | 0.424 | 60.1 | 92 |
| 13 | 8.010 | 7.995 | 10.000 | 5.015 | 2.975 | 162.2 | 4,030 | 0.440 | 62.9 | 97 |
| 14 | 8.025 | 7.990 | 10.015 | 5.005 | 3.005 | 154.1 | 3,320 | 0.417 | 51.8 | 95 |
| 15 | 8.010 | 7.950 | 9.980 | 5.000 | 2.975 | 162.4 | 3,780 | 0.443 | 59.4 | 80 |
| 16 | 8.020 | 7.940 | 9.995 | 5.025 | 2.985 | 155.1 | 4,420 | 0.420 | 69.4 | 85 |
| 17 | 8.025 | 7.945 | 9.990 | 5.005 | 2.950 | 170.6 | 5,870 | 0.464 | 92.1 | 85 |
| 18 | 8.035 | 7.950 | 10.015 | 5.035 | 2.980 | 164.0 | 4,100 | 0.442 | 64.2 | 70 |
| 19 | 8.030 | 7.960 | 10.000 | 5.010 | 2.950 | 167.2 | 4,260 | 0.454 | 66.6 | 70 |
| 20 | 8.015 | 7.970 | 9.990 | 5.010 | 2.985 | 154.1 | 4,150 | 0.418 | 65.0 | 85 |
| 21 | 8.000 | 7.950 | 10.000 | 5.000 | 2.970 | 159.6 | 4,800 | 0.435 | 75.5 | 70 |
| 22 | 8.040 | 7.935 | 9.990 | 5.010 | 2.985 | 148.3 | 4,480 | 0.402 | 70.2 | 80 |
| 23 | 8.045 | 7.950 | 10.000 | 5.020 | 2.975 | 141.7 | 3,590 | 0.383 | 56.1 | 70 |
| 24 | 8.030 | 7.940 | 9.995 | 5.005 | 2.955 | 149.2 | 3,300 | 0.406 | 51.8 | 90 |
| 25 | 8.035 | 7.950 | 9.990 | 5.035 | 2.985 | 152.4 | 3,320 | 0.411 | 52.0 | 60 |
| 26 | 8.015 | 7.950 | 9.990 | 5.005 | 2.950 | 154.0 | 4,370 | 0.419 | 68.6 | 95 |
| 27 | 8.020 | 7.985 | 9.990 | 5.005 | 3.010 | 168.6 | 4,100 | 0.457 | 64.0 | 75 |
| 28 | 8.020 | 7.950 | 9.995 | 5.005 | 2.975 | 183.6 | 4,310 | 0.499 | 67.6 | 50 |
| 29 | 8.010 | 7.995 | 9.980 | 5.015 | 2.985 | 159.8 | 4,300 | 0.434 | 67.1 | 70 |
| 30 | 8.020 | 7.940 | 9.990 | 5.020 | 2.960 | 147.8 | 3,830 | 0.401 | 60.1 | 85 |
| 31 | 8.035 | 7.940 | 9.995 | 5.010 | 2.940 | 164.6 | 4,910 | 0.447 | 77.0 | 40 |
| 32 | 8.025 | 8.015 | 9.985 | 2.005 | 2.975 | 170.7 | 4,700 | 0.970 | 73.1 | 85 |
| 33 | 8.015 | 7.940 | 9.995 | 5.025 | 2.965 | 169.6 | 5,750 | 0.460 | 90.4 | 70 |
| 34 | 8.025 | 7.940 | 9.985 | 5.020 | 2.955 | 152.1 | 4,850 | 0.413 | 76.1 | 70 |
| 35 | 8.020 | 7.935 | 10.005 | 5.000 | 2.960 | 147.6 | 3,550 | 0.402 | 55.8 | 70 |
| 36 | 8.020 | 7.945 | 10.005 | 5.005 | 2.970 | 151.2 | 3,720 | 0.411 | 58.4 | 70 |
| 37 | 8.025 | 7.935 | 9.990 | 5.005 | 2.960 | 171.0 | 4,690 | 0.465 | 73.7 | 70 |
| 38 | 8.005 | 7.940 | 10.000 | 5.000 | 2.960 | 164.3 | 4,430 | 0.448 | 69.7 | 40 |
| 39 | 8.040 | 7.980 | 9.990 | 5.010 | 2.985 | 148.8 | 3,420 | 0.403 | 53.3 | 85 |
| 40 | 8.010 | 7.970 | 9.990 | 5.000 | 2.985 | 161.1 | 3,750 | 0.438 | 58.7 | 95 |
| 41 | 8.045 | 7.955 | 9.995 | 5.010 | 2.945 | 153.4 | 4,020 | 0.416 | 62.8 | 25 |
| 42 | 8.025 | 7.940 | 9.990 | 5.005 | 2.960 | 143.8 | 3,400 | 0.391 | 53.4 | 60 |
| 43 | 8.030 | 7.985 | 9.990 | 5.010 | 3.010 | 163.8 | 3,810 | 0.443 | 59.4 | 90 |
| 44 | 8.035 | 7.895 | 9.980 | 5.005 | 2.890 | 153.3 | 5,120 | 0.419 | 80.7 | 85 |

スギせん断強度 (TYPE-A)

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|
| 45 | 8.020 | 7.990 | 10.005 | 5.020 | 2.970 | 165.3 | 4,910 | 0.447 | 76.6 | 20 |
| 46 | 8.020 | 7.940 | 9.995 | 5.025 | 2.975 | 169.5 | 4,120 | 0.459 | 64.7 | 40 |
| 47 | 8.020 | 7.950 | 9.985 | 5.040 | 2.980 | 160.6 | 4,790 | 0.434 | 75.1 | 65 |
| 48 | 8.020 | 7.935 | 9.995 | 5.010 | 2.940 | 174.6 | 5,360 | 0.475 | 84.2 | 90 |
| 49 | 8.020 | 7.975 | 9.990 | 5.010 | 2.975 | 167.0 | 3,500 | 0.453 | 54.7 | 90 |
| 50 | 8.020 | 7.935 | 9.980 | 5.010 | 2.970 | 166.1 | 3,760 | 0.452 | 59.1 | 65 |
| 平均 | 8.024 | 7.960 | 9.993 | 4.952 | 2.974 | 159.90 | 4,116.0 | 0.444 | 64.46 | 73.48 |
| S.D. | 0.010 | 0.026 | 0.009 | 0.425 | 0.024 | 9.09 | 640.2 | 0.080 | 10.12 | 18.57 |

スギせん断強度 (TYPE-B)

| No. | a | b | h | d | e | W | Pmax | r | s. str. |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|
| | cm | cm | cm | cm | cm | g | kgf | g/cm ³ | kgf/cm ² |
| SB-1 | 8.015 | 8.025 | 9.990 | 5.005 | 3.060 | 161.2 | 4,600 | 0.436 | 71.5 |
| 2 | 8.020 | 8.025 | 10.000 | 5.005 | 3.060 | 169.5 | 4,730 | 0.457 | 73.5 |
| 3 | 8.025 | 8.060 | 10.000 | 5.020 | 3.030 | 169.8 | 4,360 | 0.457 | 67.4 |
| 4 | 8.015 | 8.040 | 9.900 | 5.005 | 3.040 | 156.6 | 4,720 | 0.426 | 73.2 |
| 5 | 8.030 | 8.015 | 9.985 | 5.010 | 3.055 | 157.2 | 3,880 | 0.424 | 60.3 |
| 6 | 8.030 | 8.030 | 9.995 | 5.010 | 3.035 | 154.1 | 3,750 | 0.415 | 58.2 |
| 7 | 8.015 | 8.025 | 10.005 | 5.005 | 3.040 | 164.6 | 4,370 | 0.445 | 67.9 |
| 8 | 8.015 | 8.050 | 9.980 | 5.000 | 3.040 | 159.3 | 4,950 | 0.431 | 76.7 |
| 9 | 8.010 | 8.015 | 9.985 | 5.005 | 3.055 | 157.5 | 4,050 | 0.426 | 63.1 |
| 10 | 8.010 | 8.030 | 9.990 | 5.025 | 3.025 | 152.7 | 4,200 | 0.412 | 65.3 |
| 11 | 8.020 | 8.020 | 10.000 | 5.005 | 3.060 | 155.3 | 3,630 | 0.419 | 56.4 |
| 12 | 8.035 | 8.055 | 10.000 | 5.010 | 3.035 | 164.1 | 4,690 | 0.441 | 72.5 |
| 13 | 8.020 | 8.020 | 9.995 | 5.000 | 3.045 | 155.6 | 3,480 | 0.421 | 54.1 |
| 14 | 8.025 | 8.015 | 9.990 | 5.015 | 3.035 | 153.8 | 4,640 | 0.415 | 72.1 |
| 15 | 8.035 | 8.055 | 9.985 | 5.025 | 3.025 | 159.1 | 4,610 | 0.428 | 71.2 |
| 16 | 8.020 | 8.025 | 9.990 | 5.000 | 3.045 | 170.5 | 4,840 | 0.461 | 75.2 |
| 17 | 8.005 | 8.025 | 9.995 | 5.005 | 3.025 | 154.2 | 3,860 | 0.418 | 60.1 |
| 18 | 8.035 | 8.025 | 9.990 | 5.005 | 3.030 | 159.5 | 4,450 | 0.430 | 69.0 |
| 19 | 8.020 | 8.055 | 10.005 | 5.010 | 3.035 | 147.1 | 3,640 | 0.396 | 56.3 |
| 20 | 8.020 | 8.020 | 9.990 | 5.000 | 3.020 | 177.6 | 4,490 | 0.481 | 69.8 |
| 21 | 8.025 | 8.030 | 9.985 | 5.005 | 3.040 | 155.9 | 4,420 | 0.421 | 68.6 |
| 22 | 8.020 | 8.025 | 9.990 | 5.005 | 3.035 | 165.1 | 4,230 | 0.446 | 65.7 |
| 23 | 8.030 | 8.030 | 10.000 | 5.000 | 3.025 | 153.7 | 3,920 | 0.415 | 60.8 |
| 24 | 8.010 | 8.050 | 10.000 | 5.030 | 3.035 | 155.0 | 4,340 | 0.417 | 67.3 |
| 25 | 8.030 | 8.025 | 9.985 | 5.010 | 3.025 | 151.5 | 4,290 | 0.409 | 66.6 |
| 26 | 8.030 | 8.040 | 9.990 | 5.015 | 3.030 | 160.5 | 4,250 | 0.432 | 65.8 |
| 27 | 8.015 | 8.040 | 9.995 | 5.010 | 3.035 | 155.2 | 4,850 | 0.419 | 75.3 |
| 28 | 8.015 | 8.030 | 10.000 | 5.010 | 3.025 | 181.1 | 4,890 | 0.489 | 76.0 |
| 29 | 8.025 | 8.035 | 9.990 | 5.010 | 3.060 | 156.9 | 4,260 | 0.423 | 66.1 |
| 30 | 8.025 | 8.035 | 10.000 | 5.025 | 3.040 | 155.3 | 4,360 | 0.418 | 67.6 |
| 31 | 8.015 | 8.040 | 9.990 | 5.010 | 3.030 | 159.8 | 4,590 | 0.432 | 71.2 |
| 32 | 8.025 | 8.020 | 9.995 | 5.020 | 3.035 | 147.8 | 3,490 | 0.398 | 54.2 |
| 33 | 8.035 | 8.005 | 9.990 | 5.010 | 3.030 | 152.9 | 4,380 | 0.413 | 68.1 |
| 34 | 8.035 | 8.025 | 9.990 | 5.005 | 3.035 | 153.6 | 4,270 | 0.414 | 66.2 |
| 35 | 8.030 | 8.030 | 10.000 | 5.010 | 3.035 | 149.9 | 3,930 | 0.404 | 60.9 |
| 36 | 8.010 | 8.040 | 9.995 | 5.005 | 3.025 | 164.6 | 4,560 | 0.445 | 70.8 |
| 37 | 8.030 | 8.030 | 9.995 | 5.010 | 3.035 | 169.5 | 4,620 | 0.457 | 71.6 |
| 38 | 8.030 | 8.030 | 10.000 | 5.000 | 3.050 | 152.8 | 4,160 | 0.412 | 64.5 |
| 39 | 8.015 | 8.025 | 10.000 | 5.005 | 3.030 | 151.7 | 4,210 | 0.410 | 65.5 |
| 40 | 8.010 | 8.010 | 10.005 | 5.015 | 3.030 | 153.6 | 4,460 | 0.415 | 69.5 |
| 41 | 8.030 | 8.030 | 10.005 | 5.015 | 3.030 | 149.7 | 3,190 | 0.403 | 49.5 |
| 42 | 8.030 | 8.030 | 10.000 | 4.995 | 3.020 | 147.2 | 3,230 | 0.398 | 50.1 |
| 43 | 5.025 | 8.065 | 10.005 | 5.025 | 3.050 | 154.2 | 3,830 | 0.661 | 94.5 |
| 44 | 8.035 | 8.030 | 9.990 | 5.010 | 3.040 | 168.8 | 4,880 | 0.455 | 75.6 |

スギせん断強度 (TYPE-B)

| | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|
| 45 | 8.030 | 8.015 | 9.995 | 5.025 | 3.055 | 162.7 | 4,260 | 0.437 | 66.2 |
| 46 | 8.030 | 8.020 | 10.000 | 5.005 | 3.030 | 172.9 | 4,050 | 0.467 | 62.9 |
| 47 | 8.030 | 8.035 | 9.990 | 5.000 | 3.035 | 162.8 | 4,100 | 0.440 | 63.5 |
| 48 | 8.015 | 8.050 | 10.005 | 5.000 | 3.030 | 167.3 | 4,820 | 0.452 | 74.7 |
| 49 | 8.030 | 8.030 | 9.990 | 5.000 | 3.050 | 153.0 | 4,050 | 0.413 | 62.8 |
| 50 | 8.020 | 8.025 | 9.985 | 5.020 | 3.030 | 149.2 | 4,150 | 0.402 | 64.5 |
| 平均 | 7.963 | 8.031 | 9.993 | 5.009 | 3.037 | 158.67 | 4,259.6 | 0.433 | 66.81 |
| S.D. | 0.424 | 0.013 | 0.015 | 0.008 | 0.011 | 7.86 | 431.9 | 0.039 | 7.73 |

スギせん断強度 (TYPE-C)

| No. | a | b | h | d | e | W | Pmax | r | s. str. |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|
| | cm | cm | cm | cm | cm | g | kgf | g/cm ³ | kgf/cm ² |
| SC-1 | 8.010 | 8.025 | 10.005 | 5.010 | 3.040 | 194.7 | 5,480 | 0.526 | 85.3 |
| 2 | 8.015 | 8.015 | 9.990 | 5.005 | 3.040 | 160.3 | 4,680 | 0.434 | 72.9 |
| 3 | 8.015 | 8.025 | 10.000 | 5.010 | 3.035 | 160.0 | 4,790 | 0.432 | 74.5 |
| 4 | 8.015 | 8.040 | 9.995 | 5.015 | 3.035 | 171.4 | 4,220 | 0.462 | 65.5 |
| 5 | 8.010 | 8.040 | 9.990 | 5.005 | 3.035 | 164.4 | 4,500 | 0.445 | 69.9 |
| 6 | 8.015 | 8.020 | 9.990 | 5.000 | 3.030 | 152.5 | 4,460 | 0.413 | 69.4 |
| 7 | 8.015 | 8.025 | 9.995 | 5.015 | 3.035 | 162.1 | 5,290 | 0.438 | 82.2 |
| 8 | 8.025 | 8.040 | 10.000 | 5.010 | 3.035 | 177.9 | 5,010 | 0.480 | 77.6 |
| 9 | 8.010 | 8.005 | 9.980 | 5.005 | 3.020 | 166.3 | 4,850 | 0.451 | 75.6 |
| 10 | 8.050 | 8.035 | 9.995 | 5.010 | 3.035 | 171.3 | 4,650 | 0.461 | 71.9 |
| 11 | 8.015 | 8.025 | 9.985 | 5.005 | 3.020 | 168.3 | 4,800 | 0.456 | 74.6 |
| 12 | 8.010 | 8.025 | 10.000 | 5.010 | 3.010 | 163.5 | 4,800 | 0.442 | 74.7 |
| 13 | 8.015 | 8.015 | 9.990 | 5.005 | 3.015 | 161.7 | 4,870 | 0.438 | 75.8 |
| 14 | 8.010 | 8.030 | 10.000 | 5.005 | 3.025 | 170.8 | 4,940 | 0.462 | 76.8 |
| 15 | 8.015 | 8.025 | 9.995 | 5.005 | 3.040 | 162.7 | 4,980 | 0.440 | 77.4 |
| 16 | 8.010 | 8.010 | 9.980 | 5.000 | 3.025 | 178.4 | 4,900 | 0.484 | 76.4 |
| 17 | 8.010 | 8.020 | 9.990 | 5.000 | 3.025 | 169.0 | 4,600 | 0.458 | 71.6 |
| 18 | 8.010 | 8.015 | 9.990 | 5.000 | 3.045 | 154.6 | 4,460 | 0.419 | 69.5 |
| 19 | 8.020 | 8.035 | 10.015 | 5.005 | 3.045 | 175.5 | 4,290 | 0.473 | 66.6 |
| 20 | 8.010 | 8.030 | 9.995 | 5.000 | 3.020 | 140.2 | 3,800 | 0.380 | 59.1 |
| 21 | 8.020 | 8.035 | 10.000 | 5.010 | 3.025 | 168.5 | 4,860 | 0.455 | 75.4 |
| 22 | 8.010 | 8.035 | 9.990 | 5.005 | 3.030 | 154.3 | 4,100 | 0.418 | 63.7 |
| 23 | 8.010 | 8.030 | 10.000 | 5.005 | 3.030 | 154.1 | 3,800 | 0.417 | 59.1 |
| 24 | 8.015 | 8.035 | 9.995 | 5.005 | 3.025 | 161.8 | 4,000 | 0.437 | 62.1 |
| 25 | 8.005 | 8.035 | 9.995 | 5.000 | 3.030 | 176.0 | 4,270 | 0.477 | 66.4 |
| 26 | 8.005 | 8.015 | 8.990 | 5.000 | 3.045 | 172.4 | 5,460 | 0.500 | 85.1 |
| 27 | 8.010 | 8.020 | 9.990 | 5.005 | 3.025 | 167.9 | 4,760 | 0.455 | 74.1 |
| 28 | 8.020 | 8.030 | 10.000 | 5.000 | 3.025 | 161.1 | 4,720 | 0.436 | 73.3 |
| 29 | 8.015 | 8.025 | 9.995 | 5.000 | 3.030 | 166.0 | 4,230 | 0.449 | 65.8 |
| 30 | 8.025 | 8.040 | 9.975 | 5.035 | 3.030 | 167.4 | 4,570 | 0.450 | 70.8 |
| 31 | 8.020 | 8.035 | 9.995 | 5.005 | 3.030 | 186.1 | 4,870 | 0.503 | 75.6 |
| 32 | 8.010 | 8.010 | 9.990 | 5.000 | 3.025 | 158.0 | 4,290 | 0.428 | 66.9 |
| 33 | 8.010 | 8.045 | 9.990 | 4.995 | 3.040 | 161.3 | 4,530 | 0.437 | 70.3 |
| 34 | 8.010 | 8.040 | 9.990 | 5.000 | 3.035 | 161.8 | 3,950 | 0.438 | 61.3 |
| 35 | 8.015 | 8.035 | 9.995 | 5.000 | 3.020 | 155.4 | 4,410 | 0.421 | 68.5 |
| 36 | 8.010 | 8.115 | 10.000 | 5.010 | 3.015 | 150.4 | 4,270 | 0.405 | 65.7 |
| 37 | 8.005 | 8.025 | 9.990 | 5.000 | 3.025 | 171.9 | 4,920 | 0.466 | 76.6 |
| 38 | 8.015 | 8.025 | 10.000 | 5.010 | 3.030 | 172.0 | 4,480 | 0.465 | 69.7 |
| 39 | 8.010 | 8.035 | 10.000 | 5.020 | 3.025 | 149.6 | 4,290 | 0.404 | 66.7 |
| 40 | 8.010 | 8.020 | 9.995 | 5.005 | 3.020 | 150.8 | 3,680 | 0.408 | 57.3 |
| 41 | 8.010 | 8.015 | 9.995 | 5.000 | 3.030 | 163.0 | 3,800 | 0.442 | 59.2 |
| 42 | 8.010 | 8.030 | 10.000 | 5.025 | 3.020 | 169.1 | 4,630 | 0.456 | 72.0 |
| 43 | 8.020 | 8.020 | 9.995 | 5.015 | 3.035 | 153.5 | 4,310 | 0.414 | 67.0 |
| 44 | 8.005 | 8.030 | 9.995 | 4.995 | 3.025 | 158.3 | 3,910 | 0.429 | 60.8 |

スギせん断強度 (TYPE-C)

| | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|
| 45 | 8.020 | 8.015 | 9.995 | 5.005 | 3.025 | 176.5 | 4,050 | 0.477 | 63.0 |
| 46 | 8.020 | 8.025 | 9.990 | 5.015 | 3.035 | 157.5 | 3,750 | 0.425 | 58.3 |
| 47 | 8.020 | 8.010 | 9.965 | 5.015 | 3.035 | 149.4 | 4,100 | 0.404 | 63.8 |
| 48 | 8.015 | 8.025 | 9.985 | 5.000 | 3.035 | 152.3 | 4,350 | 0.412 | 67.6 |
| 49 | 8.005 | 8.030 | 9.995 | 4.995 | 3.020 | 161.3 | 4,000 | 0.438 | 62.2 |
| 50 | 8.010 | 8.025 | 9.995 | 5.010 | 3.010 | 152.6 | 4,280 | 0.413 | 66.6 |
| 平均 | 8.014 | 8.028 | 9.973 | 5.006 | 3.029 | 163.72 | 4,480.2 | 0.443 | 69.64 |
| S.D. | 0.007 | 0.016 | 0.142 | 0.008 | 0.008 | 10.23 | 437.7 | 0.029 | 6.820 |

ハイマツせん断強度 (TYPE-A)

| No. | a | b | h | d | e | W | Pmax | r | s. str. | 木破率 |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|-----|
| | cm | cm | cm | cm | cm | g | kgf | g/cm ³ | kgf/cm ² | % |
| FA-1 | 8.025 | 8.035 | 9.970 | 5.005 | 2.975 | 165.4 | 5,360 | 0.448 | 83.1 | 85 |
| 2 | 8.015 | 7.935 | 9.985 | 5.000 | 2.935 | 189.0 | 4,260 | 0.516 | 67.0 | 35 |
| 3 | 8.020 | 7.945 | 9.985 | 5.005 | 2.940 | 174.8 | 6,020 | 0.476 | 94.5 | 90 |
| 4 | 8.020 | 8.020 | 9.990 | 5.000 | 3.025 | 170.5 | 3,120 | 0.462 | 48.5 | 80 |
| 5 | 7.990 | 7.935 | 9.975 | 4.990 | 2.865 | 187.2 | 5,330 | 0.516 | 84.1 | 92 |
| 6 | 8.020 | 7.935 | 9.990 | 5.005 | 2.925 | 166.6 | 5,680 | 0.454 | 89.3 | 90 |
| 7 | 8.015 | 7.950 | 9.985 | 5.010 | 2.935 | 186.7 | 7,070 | 0.509 | 111.0 | 80 |
| 8 | 8.020 | 7.970 | 9.995 | 5.000 | 2.935 | 169.3 | 5,050 | 0.461 | 79.0 | 70 |
| 9 | 7.990 | 7.935 | 9.990 | 5.000 | 2.910 | 188.0 | 5,320 | 0.515 | 83.9 | 80 |
| 10 | 8.015 | 7.955 | 9.985 | 4.990 | 2.915 | 195.5 | 5,630 | 0.535 | 88.3 | 50 |
| 11 | 8.005 | 8.050 | 10.000 | 4.990 | 2.975 | 208.5 | 4,920 | 0.567 | 76.3 | 75 |
| 12 | 8.005 | 7.930 | 9.985 | 4.995 | 2.915 | 184.1 | 6,500 | 0.504 | 102.4 | 65 |
| 13 | 8.000 | 7.925 | 9.985 | 4.985 | 2.910 | 185.6 | 6,500 | 0.510 | 102.5 | 60 |
| 14 | 8.010 | 7.950 | 9.985 | 4.990 | 2.920 | 187.1 | 5,600 | 0.512 | 87.9 | 60 |
| 15 | 8.010 | 7.935 | 9.990 | 4.995 | 2.930 | 183.6 | 5,700 | 0.502 | 89.7 | 70 |
| 16 | 8.015 | 7.955 | 9.990 | 5.000 | 2.955 | 164.7 | 4,830 | 0.449 | 75.8 | 75 |
| 17 | 8.015 | 7.965 | 9.990 | 4.990 | 2.930 | 190.0 | 6,030 | 0.519 | 94.5 | 65 |
| 18 | 8.015 | 7.910 | 9.990 | 5.000 | 2.910 | 165.9 | 4,180 | 0.454 | 65.9 | 75 |
| 19 | 8.025 | 7.900 | 9.990 | 5.015 | 2.925 | 166.8 | 3,100 | 0.454 | 48.9 | 35 |
| 20 | 8.015 | 7.925 | 9.990 | 5.005 | 2.935 | 169.1 | 5,800 | 0.461 | 91.3 | 98 |
| 21 | 8.010 | 7.920 | 10.000 | 4.990 | 2.920 | 192.0 | 6,500 | 0.526 | 102.5 | 85 |
| 22 | 8.020 | 8.015 | 9.990 | 5.010 | 3.000 | 171.8 | 3,790 | 0.465 | 59.0 | 70 |
| 23 | 8.025 | 8.005 | 9.985 | 5.005 | 2.955 | 170.6 | 5,950 | 0.463 | 92.6 | 90 |
| 24 | 8.000 | 7.970 | 9.995 | 4.998 | 2.975 | 201.4 | 4,820 | 0.549 | 75.6 | 40 |
| 25 | 8.002 | 7.980 | 9.995 | 4.995 | 2.960 | 167.9 | 5,100 | 0.458 | 79.9 | 40 |
| 26 | 7.990 | 8.010 | 9.985 | 4.990 | 3.000 | 190.9 | 4,560 | 0.521 | 71.3 | 85 |
| 27 | 8.010 | 7.930 | 9.990 | 5.010 | 2.940 | 180.4 | 6,800 | 0.492 | 107.1 | 80 |
| 28 | 8.020 | 7.950 | 9.980 | 5.010 | 2.935 | 172.8 | 5,560 | 0.471 | 87.2 | 85 |
| 29 | 8.000 | 7.940 | 9.985 | 5.010 | 2.940 | 191.3 | 3,720 | 0.522 | 58.6 | 95 |
| 30 | 8.000 | 7.930 | 9.985 | 4.995 | 2.945 | 192.8 | 5,460 | 0.528 | 86.1 | 85 |
| 31 | 8.015 | 7.910 | 9.990 | 4.985 | 2.910 | 162.3 | 6,070 | 0.445 | 95.7 | 90 |
| 32 | 8.000 | 7.945 | 9.990 | 4.990 | 2.935 | 161.2 | 4,940 | 0.441 | 77.7 | 30 |
| 33 | 8.015 | 7.965 | 10.000 | 5.010 | 2.950 | 171.9 | 3,830 | 0.467 | 60.0 | 55 |
| 34 | 8.025 | 7.905 | 9.970 | 5.005 | 2.940 | 171.4 | 4,870 | 0.468 | 76.8 | 70 |
| 35 | 8.015 | 8.005 | 9.980 | 5.005 | 2.970 | 164.8 | 3,750 | 0.448 | 58.4 | 75 |
| 36 | 7.990 | 7.885 | 9.995 | 5.005 | 2.920 | 161.4 | 5,850 | 0.443 | 92.9 | 60 |
| 37 | 8.010 | 7.925 | 9.985 | 4.990 | 2.935 | 195.9 | 5,150 | 0.536 | 81.1 | 45 |
| 38 | 8.020 | 8.005 | 9.975 | 5.020 | 2.970 | 174.8 | 3,650 | 0.473 | 56.9 | 60 |
| 39 | 8.015 | 8.000 | 9.985 | 5.000 | 3.050 | 169.9 | 4,090 | 0.460 | 63.8 | 85 |
| 40 | 8.020 | 7.975 | 9.960 | 5.020 | 3.010 | 168.3 | 3,870 | 0.456 | 60.5 | 75 |
| 41 | 8.015 | 7.965 | 9.980 | 5.005 | 2.990 | 174.0 | 5,380 | 0.473 | 84.3 | 75 |
| 42 | 8.025 | 8.005 | 9.995 | 5.010 | 2.990 | 164.0 | 4,590 | 0.444 | 71.5 | 75 |
| 43 | 7.995 | 7.975 | 10.010 | 4.980 | 2.975 | 205.8 | 5,210 | 0.562 | 81.7 | 60 |
| 44 | 8.005 | 7.925 | 9.990 | 5.000 | 2.915 | 201.8 | 4,550 | 0.552 | 71.7 | 80 |

ベイマツせん断強度 (TYPE-A)

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|
| 45 | 7.995 | 7.950 | 10.000 | 5.030 | 2.935 | 187.5 | 5,290 | 0.510 | 83.2 | 75 |
| 46 | 8.015 | 7.980 | 10.005 | 4.995 | 2.970 | 171.6 | 4,370 | 0.467 | 68.3 | 60 |
| 47 | 8.000 | 7.985 | 9.990 | 5.000 | 2.985 | 191.1 | 4,690 | 0.520 | 73.4 | 90 |
| 48 | 8.000 | 7.965 | 10.015 | 5.000 | 2.965 | 170.7 | 5,540 | 0.465 | 86.9 | 75 |
| 49 | 8.020 | 7.965 | 10.015 | 5.000 | 2.965 | 170.7 | 5,540 | 0.464 | 86.7 | 75 |
| 50 | 8.000 | 7.995 | 10.010 | 5.020 | 2.965 | 190.1 | 5,790 | 0.515 | 90.5 | 55 |
| 平均 | 8.010 | 7.959 | 9.990 | 5.001 | 2.950 | 179.19 | 5,105.6 | 0.489 | 80.11 | 71.00 |
| S.D. | 0.010 | 0.037 | 0.011 | 0.010 | 0.034 | 12.82 | 934.5 | 0.036 | 14.80 | 16.85 |

ベイマツせん断強度 (TYPE-B)

| No. | a | b | h | d | e | W | Pmax | r | s. str. |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|
| | cm | cm | cm | cm | cm | g | kgf | g/cm ³ | kgf/cm ² |
| FB-1 | 8.005 | 8.035 | 9.985 | 5.035 | 3.015 | 170.5 | 4,280 | 0.460 | 66.5 |
| 2 | 8.015 | 8.020 | 9.980 | 4.990 | 3.015 | 215.9 | 4,150 | 0.586 | 64.6 |
| 3 | 8.020 | 8.035 | 10.000 | 5.045 | 3.020 | 168.3 | 3,770 | 0.452 | 58.5 |
| 4 | 8.000 | 8.050 | 9.995 | 4.995 | 3.035 | 169.8 | 3,770 | 0.460 | 58.5 |
| 5 | 8.020 | 8.025 | 9.960 | 5.025 | 3.015 | 179.8 | 5,070 | 0.486 | 78.8 |
| 6 | 8.020 | 8.025 | 10.000 | 5.025 | 3.015 | 178.9 | 4,110 | 0.482 | 63.9 |
| 7 | 8.020 | 8.025 | 10.000 | 5.000 | 3.040 | 204.1 | 3,630 | 0.552 | 56.4 |
| 8 | 8.040 | 8.025 | 9.990 | 5.005 | 3.025 | 192.4 | 4,330 | 0.519 | 67.1 |
| 9 | 8.000 | 8.035 | 9.985 | 4.995 | 3.065 | 181.0 | 4,400 | 0.491 | 68.5 |
| 10 | 8.005 | 8.030 | 10.000 | 5.000 | 3.015 | 206.9 | 4,390 | 0.561 | 68.3 |
| 11 | 8.030 | 8.010 | 9.985 | 5.000 | 3.070 | 183.1 | 5,080 | 0.494 | 79.0 |
| 12 | 8.020 | 8.030 | 10.000 | 5.005 | 3.040 | 187.7 | 4,680 | 0.507 | 72.7 |
| 13 | 8.010 | 8.045 | 9.990 | 5.005 | 3.030 | 169.7 | 4,460 | 0.459 | 69.2 |
| 14 | 8.020 | 8.020 | 9.995 | 5.010 | 3.045 | 187.8 | 4,160 | 0.507 | 64.7 |
| 15 | 7.990 | 8.015 | 10.000 | 5.000 | 3.010 | 192.8 | 5,050 | 0.524 | 78.9 |
| 16 | 8.015 | 8.050 | 9.990 | 5.000 | 3.050 | 168.6 | 4,050 | 0.456 | 62.8 |
| 17 | 8.010 | 8.020 | 9.985 | 5.000 | 3.020 | 183.8 | 4,700 | 0.498 | 73.2 |
| 18 | 8.020 | 8.035 | 9.990 | 5.005 | 3.070 | 185.4 | 4,420 | 0.500 | 68.6 |
| 19 | 8.020 | 8.025 | 9.960 | 5.005 | 3.050 | 192.9 | 4,490 | 0.522 | 69.8 |
| 20 | 8.005 | 8.045 | 10.000 | 5.000 | 3.035 | 181.9 | 3,690 | 0.492 | 57.3 |
| 21 | 8.015 | 8.010 | 9.985 | 5.005 | 3.020 | 174.4 | 4,410 | 0.472 | 68.7 |
| 22 | 8.005 | 8.020 | 9.990 | 5.005 | 3.015 | 180.5 | 4,000 | 0.489 | 62.3 |
| 23 | 8.025 | 8.025 | 10.000 | 5.010 | 3.045 | 196.2 | 4,160 | 0.529 | 64.6 |
| 24 | 8.015 | 7.990 | 9.965 | 5.000 | 3.030 | 180.5 | 5,560 | 0.490 | 86.8 |
| 25 | 8.010 | 8.010 | 9.980 | 5.005 | 3.025 | 183.0 | 4,270 | 0.496 | 66.6 |
| 26 | 8.015 | 8.040 | 9.995 | 5.010 | 3.075 | 175.6 | 4,120 | 0.473 | 63.9 |
| 27 | 8.010 | 8.030 | 9.995 | 5.000 | 3.015 | 172.8 | 3,460 | 0.468 | 53.8 |
| 28 | 8.010 | 8.015 | 9.985 | 5.010 | 3.045 | 172.9 | 3,990 | 0.468 | 62.1 |
| 29 | 8.000 | 8.020 | 9.990 | 5.000 | 3.035 | 174.5 | 3,690 | 0.473 | 57.5 |
| 30 | 8.040 | 8.050 | 10.010 | 5.000 | 3.060 | 229.0 | 4,030 | 0.616 | 62.3 |
| 31 | 8.025 | 8.035 | 9.900 | 5.000 | 3.110 | 193.0 | 3,930 | 0.523 | 60.9 |
| 32 | 8.045 | 8.070 | 9.995 | 5.035 | 3.035 | 166.4 | 3,570 | 0.445 | 55.0 |
| 33 | 8.025 | 8.030 | 10.000 | 5.005 | 3.030 | 172.7 | 4,780 | 0.466 | 74.2 |
| 34 | 8.010 | 8.025 | 9.995 | 5.005 | 3.025 | 174.0 | 4,410 | 0.471 | 68.6 |
| 35 | 8.020 | 8.035 | 9.975 | 5.005 | 3.025 | 171.1 | 4,210 | 0.463 | 65.3 |
| 36 | 8.025 | 8.030 | 10.000 | 5.045 | 3.025 | 173.4 | 3,630 | 0.465 | 56.3 |
| 37 | 8.035 | 8.025 | 9.990 | 5.005 | 3.020 | 172.8 | 3,580 | 0.467 | 55.5 |
| 38 | 8.000 | 8.030 | 9.995 | 4.990 | 3.050 | 177.2 | 3,480 | 0.481 | 54.2 |
| 39 | 8.005 | 8.040 | 10.000 | 5.005 | 3.020 | 175.7 | 3,800 | 0.475 | 59.0 |
| 40 | 8.025 | 8.030 | 9.995 | 5.010 | 3.035 | 174.7 | 4,420 | 0.471 | 68.6 |
| 41 | 8.020 | 8.030 | 9.975 | 5.010 | 3.050 | 166.8 | 4,810 | 0.451 | 74.7 |
| 42 | 8.005 | 8.020 | 9.990 | 4.985 | 3.015 | 180.6 | 4,200 | 0.491 | 65.4 |
| 43 | 8.000 | 8.035 | 9.985 | 4.990 | 3.030 | 166.9 | 4,720 | 0.454 | 73.4 |
| 44 | 8.005 | 8.035 | 9.995 | 4.995 | 3.035 | 166.8 | 4,530 | 0.452 | 70.4 |

ベイマツせん断強度 (TYPE-B)

| | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|
| 45 | 8.015 | 8.035 | 10.000 | 4.990 | 3.035 | 175.0 | 4,920 | 0.474 | 76.4 |
| 46 | 8.020 | 8.050 | 9.985 | 5.000 | 3.065 | 166.5 | 4,850 | 0.450 | 75.1 |
| 47 | 8.030 | 8.025 | 9.990 | 5.005 | 3.040 | 173.8 | 3,990 | 0.469 | 61.9 |
| 48 | 8.010 | 8.030 | 9.995 | 4.995 | 3.040 | 183.0 | 3,550 | 0.496 | 55.2 |
| 49 | 8.020 | 8.050 | 9.970 | 5.010 | 3.025 | 181.9 | 4,680 | 0.492 | 72.5 |
| 50 | 8.025 | 8.025 | 9.995 | 5.000 | 3.025 | 194.6 | 3,690 | 0.526 | 57.3 |
| 平均 | 8.016 | 8.030 | 9.988 | 5.006 | 3.036 | 180.95 | 4,242.4 | 0.489 | 65.91 |
| S.D. | 0.012 | 0.013 | 0.017 | 0.013 | 0.020 | 13.01 | 488.6 | 0.035 | 7.64 |

ベイマツせん断強度 (TYPE-C)

| No. | a | b | h | d | e | W | Pmax | r | s. str. |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|
| | cm | cm | cm | cm | cm | g | kgf | g/cm ³ | kgf/cm ² |
| FC-1 | 8.015 | 8.040 | 9.990 | 5.025 | 3.035 | 165.1 | 4,000 | 0.445 | 62.1 |
| 2 | 8.005 | 8.030 | 9.995 | 5.010 | 3.030 | 176.1 | 4,600 | 0.476 | 71.6 |
| 3 | 8.025 | 8.025 | 9.995 | 5.000 | 3.030 | 172.6 | 4,960 | 0.467 | 77.0 |
| 4 | 8.010 | 8.085 | 10.025 | 4.995 | 3.020 | 167.8 | 3,700 | 0.453 | 57.1 |
| 5 | 8.005 | 8.020 | 9.990 | 5.015 | 3.020 | 174.2 | 4,340 | 0.471 | 67.6 |
| 6 | 8.005 | 8.045 | 10.000 | 5.010 | 3.045 | 185.2 | 4,810 | 0.500 | 74.7 |
| 7 | 8.010 | 8.035 | 10.005 | 5.000 | 3.040 | 173.6 | 4,310 | 0.469 | 67.0 |
| 8 | 8.000 | 8.030 | 10.000 | 4.990 | 3.020 | 166.9 | 4,230 | 0.453 | 65.8 |
| 9 | 8.010 | 8.030 | 9.990 | 4.995 | 3.030 | 186.9 | 5,490 | 0.507 | 85.4 |
| 10 | 8.020 | 8.020 | 9.995 | 5.000 | 3.020 | 178.7 | 3,850 | 0.484 | 59.9 |
| 11 | 8.010 | 8.045 | 10.005 | 4.990 | 3.005 | 169.1 | 4,210 | 0.459 | 65.3 |
| 12 | 8.005 | 8.070 | 9.995 | 5.005 | 3.020 | 176.0 | 4,650 | 0.476 | 72.0 |
| 13 | 8.000 | 8.010 | 9.980 | 4.995 | 3.020 | 171.9 | 3,800 | 0.468 | 59.3 |
| 14 | 8.000 | 8.035 | 9.995 | 4.995 | 3.025 | 186.2 | 5,090 | 0.505 | 79.2 |
| 15 | 8.010 | 8.030 | 9.995 | 4.995 | 3.015 | 175.3 | 4,060 | 0.475 | 63.1 |
| 16 | 8.005 | 8.025 | 10.000 | 5.010 | 3.015 | 181.9 | 4,150 | 0.492 | 64.6 |
| 17 | 8.015 | 8.025 | 9.990 | 5.010 | 3.030 | 195.7 | 4,370 | 0.529 | 67.9 |
| 18 | 8.000 | 8.040 | 10.005 | 4.995 | 3.015 | 185.8 | 5,500 | 0.504 | 85.5 |
| 19 | 8.015 | 8.040 | 10.000 | 5.000 | 3.020 | 172.3 | 4,740 | 0.466 | 73.6 |
| 20 | 8.010 | 8.030 | 9.990 | 5.000 | 3.015 | 170.7 | 4,600 | 0.463 | 71.5 |
| 21 | 8.010 | 8.055 | 9.980 | 5.015 | 3.015 | 179.0 | 5,000 | 0.484 | 77.5 |
| 22 | 8.030 | 8.040 | 9.995 | 4.935 | 2.975 | 167.9 | 5,110 | 0.460 | 79.1 |
| 23 | 8.005 | 8.040 | 9.985 | 4.995 | 3.020 | 182.0 | 4,670 | 0.494 | 72.6 |
| 24 | 8.010 | 8.050 | 9.990 | 4.995 | 3.025 | 167.3 | 3,920 | 0.453 | 60.8 |
| 25 | 8.005 | 8.020 | 9.990 | 5.015 | 3.010 | 182.2 | 4,050 | 0.493 | 63.1 |
| 26 | 8.015 | 8.065 | 10.000 | 5.000 | 3.050 | 182.3 | 4,480 | 0.492 | 69.3 |
| 27 | 8.005 | 8.045 | 9.985 | 5.000 | 3.030 | 183.1 | 4,530 | 0.496 | 70.3 |
| 28 | 8.005 | 8.030 | 9.990 | 5.000 | 3.010 | 179.8 | 4,790 | 0.488 | 74.5 |
| 29 | 8.050 | 8.030 | 9.995 | 4.995 | 3.055 | 181.1 | 4,050 | 0.488 | 62.7 |
| 30 | 8.000 | 8.020 | 9.980 | 5.020 | 3.025 | 167.1 | 4,170 | 0.452 | 65.0 |
| 31 | 8.010 | 8.040 | 9.980 | 5.020 | 3.045 | 178.5 | 4,960 | 0.482 | 77.0 |
| 32 | 8.010 | 8.045 | 9.990 | 4.975 | 3.025 | 183.4 | 4,500 | 0.499 | 69.8 |
| 33 | 8.005 | 8.045 | 10.000 | 4.990 | 3.005 | 202.2 | 4,580 | 0.549 | 71.1 |
| 34 | 8.005 | 8.035 | 9.990 | 5.010 | 3.015 | 176.1 | 4,670 | 0.477 | 72.6 |
| 35 | 8.010 | 8.040 | 9.990 | 5.005 | 3.020 | 204.0 | 4,260 | 0.552 | 66.1 |
| 36 | 8.010 | 8.035 | 9.980 | 5.000 | 3.025 | 181.2 | 4,100 | 0.491 | 63.7 |
| 37 | 8.015 | 8.010 | 9.995 | 5.000 | 3.015 | 174.3 | 4,100 | 0.472 | 63.9 |
| 38 | 8.025 | 8.050 | 10.000 | 5.005 | 3.025 | 170.3 | 4,790 | 0.459 | 74.1 |
| 39 | 8.010 | 8.045 | 10.000 | 5.000 | 3.025 | 184.1 | 4,200 | 0.498 | 65.2 |
| 40 | 8.005 | 8.025 | 9.990 | 5.000 | 3.030 | 169.7 | 3,900 | 0.460 | 60.7 |
| 41 | 8.005 | 8.025 | 9.995 | 5.000 | 3.020 | 164.5 | 3,610 | 0.446 | 56.2 |
| 42 | 8.015 | 8.030 | 9.995 | 5.000 | 3.020 | 181.8 | 4,600 | 0.492 | 71.5 |
| 43 | 8.010 | 8.030 | 9.990 | 4.995 | 3.025 | 178.2 | 4,380 | 0.483 | 68.1 |
| 44 | 8.025 | 8.040 | 10.000 | 5.005 | 3.030 | 186.2 | 4,410 | 0.502 | 68.3 |

ベイマツせん断強度 (TYPE-C)

| | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|
| 45 | 8.005 | 8.010 | 9.980 | 4.995 | 3.010 | 179.5 | 4,060 | 0.488 | 63.3 |
| 46 | 8.020 | 8.010 | 9.975 | 5.015 | 3.025 | 167.8 | 4,100 | 0.454 | 63.8 |
| 47 | 8.015 | 8.055 | 10.000 | 5.005 | 3.025 | 168.8 | 3,880 | 0.456 | 60.1 |
| 48 | 8.000 | 8.000 | 9.990 | 4.985 | 3.010 | 169.2 | 3,200 | 0.461 | 50.0 |
| 49 | 8.015 | 8.025 | 9.995 | 5.005 | 3.040 | 165.7 | 3,790 | 0.448 | 58.9 |
| 50 | 8.005 | 8.035 | 10.000 | 5.000 | 3.015 | 173.9 | 3,950 | 0.471 | 61.4 |
| 平均 | 8.011 | 8.035 | 9.993 | 5.000 | 3.023 | 177.26 | 4,365.4 | 0.480 | 67.82 |
| S.D. | 0.009 | 0.016 | 0.009 | 0.013 | 0.013 | 8.86 | 473.6 | 0.024 | 7.323 |

第2章 集成材の横引っ張り強度

2.1 緒言

集成材では割裂もしくは横引っ張りの力によって、接合部などで破壊が発生する場合がある。これは木材の横引っ張り強度が曲げ、圧縮、縦引っ張りなどの強度に較べて非常に低いため、設計にあたり注意する必要がある。

スギと言う名称は「まっすぐ」という言葉から出ていると言われていたくらいで、スギの繊維走行は素直で、通直である。したがって割裂性は大きい。歴史的には、スギが極めて割れやすい木材であったために、鋸の未発達な時代においても人力によって容易に縦割りすることができ、古代から近代に至るまで、我が国の技術、文化を支えるうえで役に立ってきたと見做されている^[3]。したがってもともとスギは繊維に直角に作用する引っ張り力には弱い材であるといえる。ただし、小径木で、小節を多く含む場合は裂けの進行を妨げる場合もある。割裂にたいする抵抗力の面からは適度な節の存在は好ましい。

割裂強度はJISでその測定方法が規定されている（JIS Z2114）が、得られた値は特殊な次元をもっていて、樹種間の比較には役立っても、その値を用いて強度設計をするのには向いていない。割裂強度と横引っ張り強度との間には比例関係があることが知られているので、スギ素材（比重0.33）の引っ張り強度を見てみると、繊維方向 560kgf/cm^2 、半径方向 70kgf/cm^2 、接線方向 20kgf/cm^2 となっている^[1]。素材では放射組織の配向の関係で接線方向の引っ張り強度よりも半径方向の引っ張り強度の方が強い。

集成材の横引っ張り強度は、接着層の破壊靱性値を求めたものを除くと、あまり報告は多くない。本報告書の実験は構造用材としてのスギ集成材の横引っ張り強度を評価するために行なわれた。

2.2 実験方法

2.2.1 供試試験体

試験材料としてはスギおよびベイマツの集成材を用いた。ラミナの厚さはスギ集成材が約20mm、ベイマツ集成材が約30mmである。

2.2.2 試験体形状

用いた試験体形状は、図2.2-1に示すような双割裂型と評される、ASTM型横引っ張り試験体で、規格よりも若干大きめの、断面寸法 $3.5\times 7\text{cm}$ の

ものである。試験体の中央に接着面がくるもの (Type A) とこないもの (Type B) とを試験した。

2. 2-3 試験方法

試験装置には5tonインストロン型試験機を用いた。荷重速度3cm/minで行なった。最大荷重を破断面積で除して、横引っ張り強度とした。

2. 3 結果

図2. 3-1~4に、試験体のタイプ別に試験の結果をヒストグラムで示した。また、全試験体のデータは本章の後ろにまとめて示した。

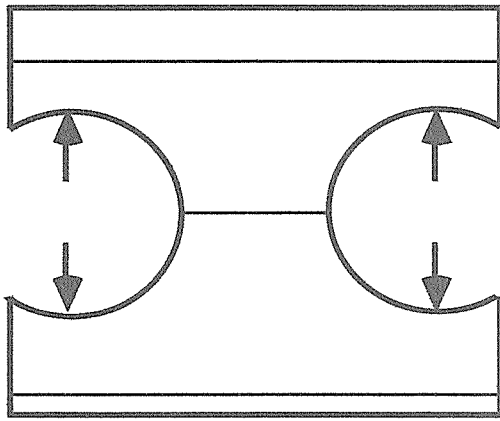
2. 4 考察

スギ Type A で試験体の数があまり多く採れなかったので、断定的な結論が出せないが、表2. 4-1のベイマツ集成材の横引っ張り強度と対比した、タイプ別の平均値で見ると、スギの Type A がこのなかでは劣っている。

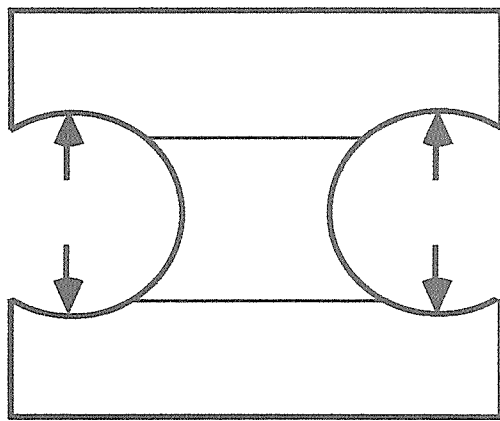
Type A 試験体での木破率はスギ、ベイマツともに85~100%と大きかった。これはせん断試験での木破率よりも大きいですが、これは横引っ張り試験のほうがせん断試験に較べて、破壊する面を厳密に制限していないためと考えられる。

集成材の横引っ張り強度を総合的に見るために、スギとベイマツの2つの負荷タイプの結果を1つのグラフにまとめて、図2. 4-1に示した。これを見ると、ベイマツ集成材の横引っ張り強度の頻度分布は比較的正規分布に近いが、スギ集成材の頻度分布は低い位置にもピークがあるようである。

総合してみると、全体平均でスギ16.13kgf/cm²、ベイマツ17.64kgf/cm²で、スギ集成材の横引っ張り強度はベイマツ集成材に較べて10%ほど劣るといえるのではなかろうか。



TYPE A



TYPE B

図 2. 2 - 1 横引っ張り試験体の2つのタイプの形状
細実線は接着層を示す

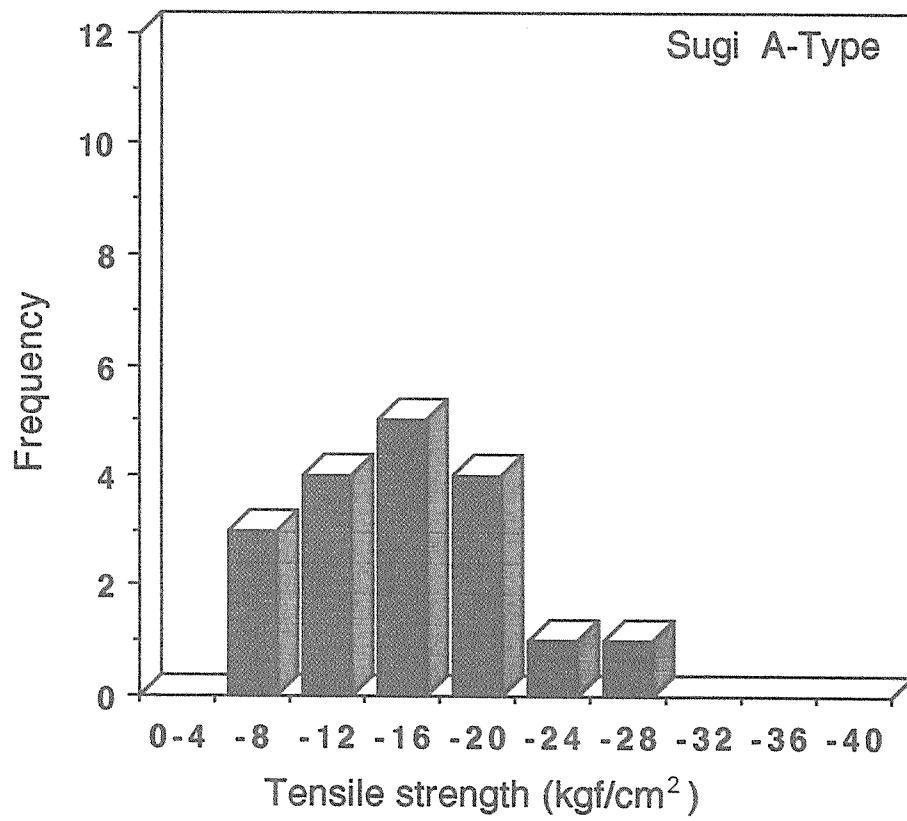


図 2. 3 - 1 集成材の横引っ張り強度の頻度分布
スギ集成材 Type A

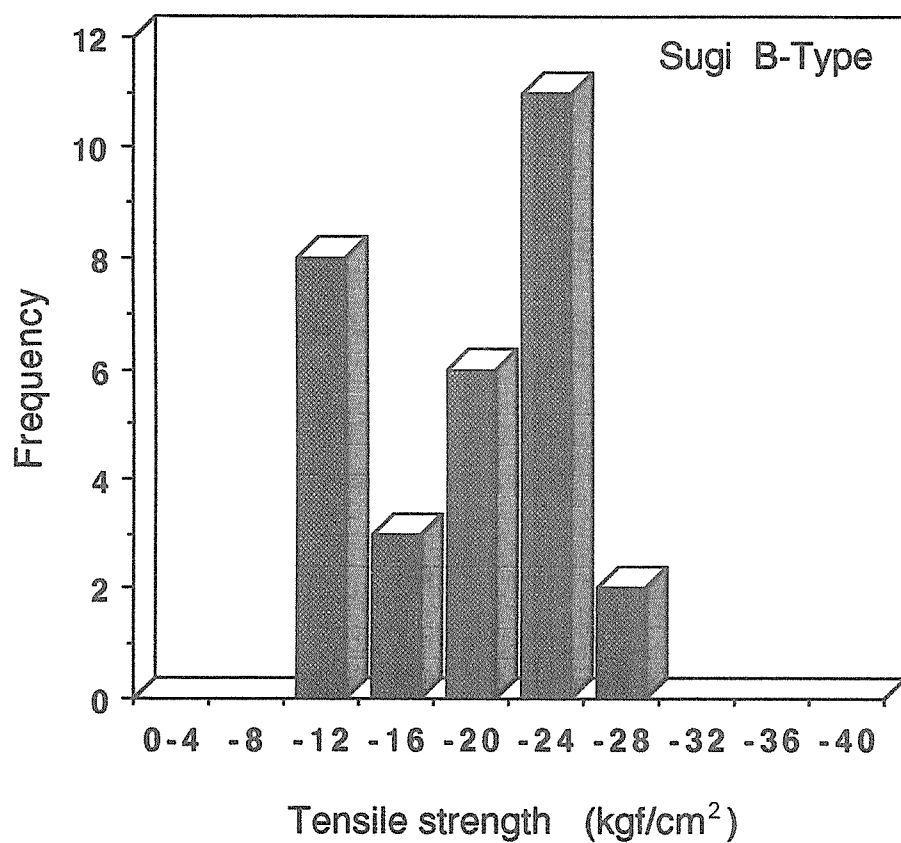


図 2. 3 - 2 集成材の横引っ張り強度の頻度分布
スギ集成材 Type B

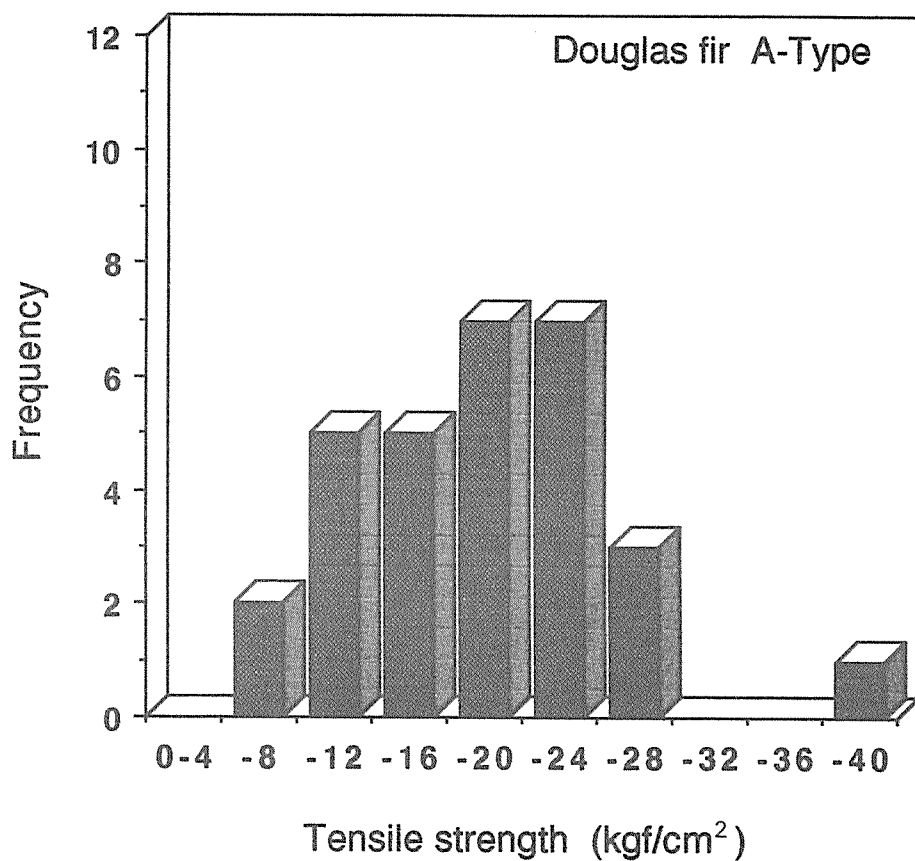


図 2. 3 - 3 集成材の横引っ張り強度の頻度分布
ベイマツ集成材 Type A

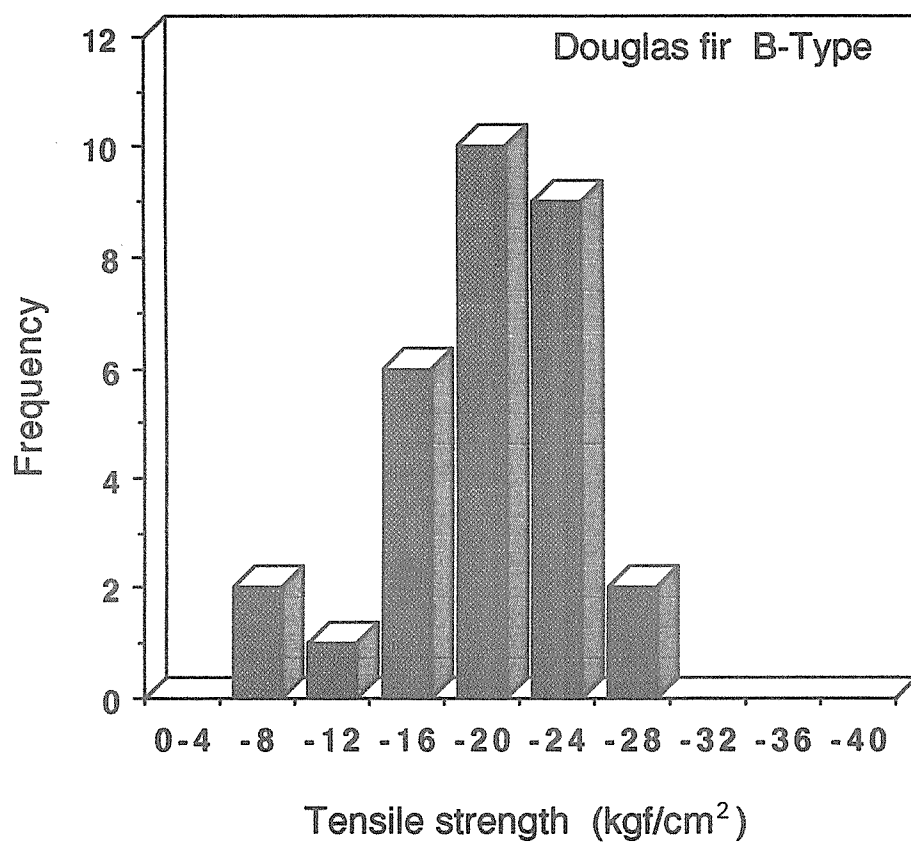


図2. 3-4 集成材の横引っ張り強度の頻度分布
 ベイマツ集成材 Type B

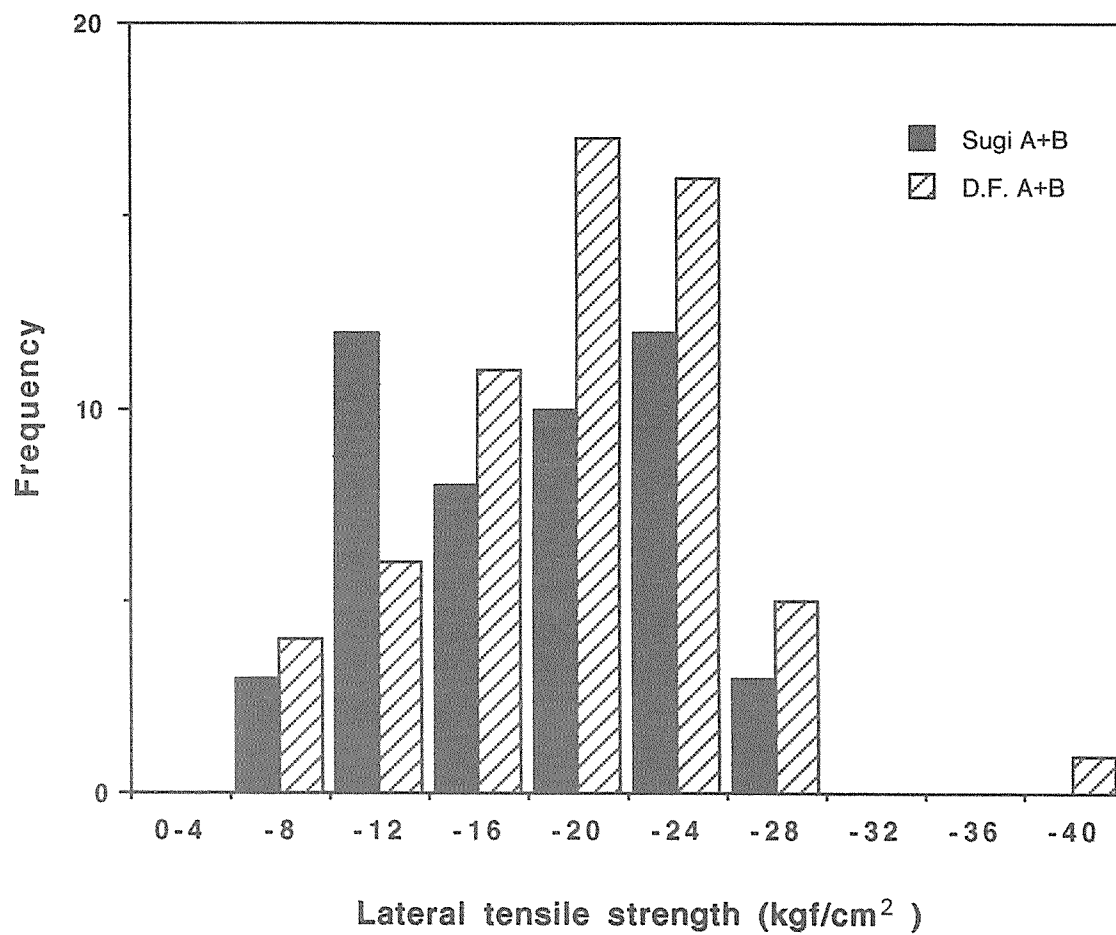


図 2. 4 - 1 集成材の横引っ張り強度の頻度分布
スギ集成材とベイマツ集成材の比較

表 2. 4 - 1 集成材の横引っ張り強度
 (変形ASTM型、断面3.5x7cm)

単位kgf/cm²

| | Type A | Type B |
|------|-----------------|-----------------|
| スギ | 13.52 (5.40) | 17.70 (5.38) |
| ベイマツ | 17.58 (6.73) | 18.15 (4.68) |

注：Type A,Bは中心層に接着層が位置する(Type A)か否か(Type B)の違いによる。図 2. 2 - 1 参照。

() 内は標準偏差

スギ横引っ張り強度 (TYPE-A)

| No. | w | a | b | h | W | Pmax | r | T. str. |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|---------------------|
| | cm | cm | cm | cm | g | kgf | g/cm ³ | kgf/cm ² |
| SA-1 | 8.830 | 3.370 | 6.995 | 6.995 | 132.6 | 380 | 0.421 | 16.12 |
| 7 | 8.825 | 3.550 | 7.025 | 7.005 | 146.5 | 340 | 0.457 | 13.63 |
| 8 | 8.830 | 3.335 | 7.025 | 7.020 | 136.2 | 245 | 0.430 | 10.46 |
| 11 | 8.830 | 3.475 | 7.005 | 7.005 | 143.0 | 653 | 0.450 | 26.83 |
| 14 | 8.835 | 3.500 | 7.015 | 7.015 | 142.3 | 203 | 0.445 | 8.27 |
| 16 | 8.825 | 3.695 | 7.005 | 7.020 | 140.9 | 145 | 0.435 | 5.60 |
| 19 | 8.830 | 3.515 | 7.010 | 7.015 | 134.6 | 430 | 0.421 | 17.45 |
| 22 | 8.820 | 3.510 | 7.030 | 7.010 | 141.7 | 348 | 0.443 | 14.10 |
| 28 | 8.840 | 3.540 | 7.025 | 7.005 | 139.5 | 351 | 0.435 | 14.11 |
| 29 | 8.830 | 3.490 | 6.990 | 7.005 | 130.6 | 320 | 0.411 | 13.12 |
| 30 | 8.820 | 3.410 | 7.015 | 7.010 | 135.7 | 240 | 0.428 | 10.03 |
| 32 | 8.815 | 3.440 | 7.030 | 7.010 | 145.2 | 174 | 0.456 | 7.20 |
| 33 | 8.830 | 3.280 | 7.035 | 7.010 | 133.0 | 430 | 0.422 | 18.64 |
| 35 | 8.855 | 3.415 | 7.035 | 7.015 | 131.3 | 245 | 0.411 | 10.20 |
| 38 | 8.820 | 3.290 | 6.990 | 7.005 | 122.1 | 405 | 0.390 | 17.61 |
| 40 | 8.815 | 3.400 | 7.005 | 7.020 | 130.5 | 307 | 0.412 | 12.89 |
| 43 | 8.830 | 3.415 | 7.040 | 7.010 | 133.1 | 166 | 0.418 | 6.90 |
| 44 | 8.825 | 3.565 | 7.020 | 7.005 | 133.5 | 506 | 0.416 | 20.22 |
| 平均 | 8.828 | 3.455 | 7.016 | 7.010 | 136.24 | 327.1 | 0.428 | 13.52 |
| S.D. | 0.009 | 0.104 | 0.016 | 0.007 | 6.25 | 130.4 | 0.018 | 5.40 |

スギ横引っ張り強度 (TYPE-B)

| No. | w | a | b | h | W | Pmax | r | T. str. |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|---------------------|
| | cm | cm | cm | cm | g | kgf | g/cm ³ | kgf/cm ² |
| SB-1 | 8.820 | 3.335 | 7.000 | 7.005 | 127.6 | 230 | 0.406 | 9.85 |
| 2 | 8.830 | 3.305 | 7.005 | 7.010 | 144.0 | 450 | 0.458 | 19.44 |
| 3 | 8.830 | 3.245 | 7.000 | 7.000 | 131.1 | 530 | 0.420 | 23.33 |
| 4 | 8.835 | 3.280 | 7.000 | 7.005 | 129.6 | 469 | 0.413 | 20.43 |
| 5 | 8.825 | 3.310 | 6.990 | 6.995 | 141.0 | 230 | 0.451 | 9.94 |
| 6 | 8.840 | 3.480 | 7.000 | 7.000 | 128.4 | 383 | 0.404 | 15.72 |
| 7 | 8.820 | 3.370 | 7.010 | 7.005 | 128.8 | 615 | 0.408 | 26.03 |
| 8 | 8.830 | 3.260 | 7.005 | 7.005 | 129.5 | 418 | 0.413 | 18.30 |
| 9 | 8.820 | 3.460 | 7.015 | 7.000 | 135.4 | 277 | 0.426 | 11.41 |
| 10 | 8.830 | 3.360 | 7.005 | 7.010 | 131.7 | 480 | 0.417 | 20.39 |
| 11 | 8.820 | 3.565 | 7.000 | 7.005 | 142.2 | 460 | 0.445 | 18.43 |
| 12 | 8.835 | 3.320 | 6.995 | 7.000 | 142.0 | 386 | 0.452 | 16.62 |
| 13 | 8.820 | 3.435 | 7.015 | 7.005 | 136.9 | 275 | 0.431 | 11.41 |
| 14 | 8.820 | 3.265 | 7.005 | 7.010 | 135.5 | 243 | 0.432 | 10.62 |
| 15 | 8.825 | 3.525 | 7.005 | 7.000 | 139.2 | 330 | 0.437 | 13.36 |
| 16 | 8.855 | 3.410 | 7.000 | 7.000 | 131.8 | 565 | 0.416 | 23.67 |
| 17 | 8.825 | 3.525 | 7.000 | 7.005 | 137.9 | 303 | 0.433 | 12.28 |
| 18 | 8.820 | 3.285 | 7.005 | 7.005 | 127.3 | 255 | 0.406 | 11.08 |
| 19 | 8.840 | 3.475 | 7.005 | 7.010 | 136.1 | 560 | 0.427 | 23.01 |
| 20 | 8.830 | 3.205 | 7.005 | 7.000 | 139.5 | 383 | 0.447 | 17.06 |
| 21 | 8.820 | 3.275 | 7.005 | 7.035 | 139.0 | 485 | 0.441 | 21.14 |
| 22 | 8.825 | 3.145 | 7.000 | 7.005 | 143.9 | 476 | 0.464 | 21.62 |
| 23 | 8.830 | 3.185 | 7.000 | 7.010 | 146.3 | 441 | 0.469 | 19.78 |
| 24 | 8.820 | 3.590 | 7.000 | 7.000 | 135.4 | 573 | 0.423 | 22.80 |
| 25 | 8.830 | 3.390 | 7.010 | 7.010 | 148.5 | 280 | 0.469 | 11.78 |
| 26 | 8.830 | 3.200 | 7.015 | 7.005 | 129.8 | 516 | 0.415 | 22.99 |
| 27 | 8.825 | 3.270 | 7.000 | 7.005 | 139.5 | 467 | 0.446 | 20.40 |
| 28 | 8.815 | 3.185 | 6.985 | 7.000 | 137.6 | 576 | 0.444 | 25.89 |
| 29 | 8.820 | 3.335 | 6.995 | 7.005 | 130.9 | 204 | 0.417 | 8.74 |
| 30 | 8.845 | 3.310 | 7.000 | 7.005 | 136.1 | 543 | 0.433 | 23.44 |
| 平均 | 8.828 | 3.343 | 7.003 | 7.005 | 136.08 | 413.4 | 0.432 | 17.70 |
| S.D. | 0.009 | 0.120 | 0.007 | 0.007 | 5.88 | 123.8 | 0.019 | 5.38 |

ベイマツ横引っ張り強度 (TYPE-A)

| No. | w | a | b | h | W | Pmax | r | T. str. |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|---------------------|
| | cm | cm | cm | cm | g | kgf | g/cm ³ | kgf/cm ² |
| FA-1 | 8.770 | 3.400 | 7.000 | 6.995 | 140.0 | 290 | 0.446 | 12.18 |
| 2 | 8.830 | 3.345 | 7.015 | 7.000 | 160.3 | 393 | 0.508 | 16.75 |
| 3 | 8.825 | 3.335 | 7.020 | 7.000 | 170.6 | 613 | 0.541 | 26.18 |
| 4 | 8.820 | 3.350 | 7.010 | 7.000 | 171.3 | 500 | 0.544 | 21.29 |
| 5 | 8.825 | 3.310 | 7.005 | 7.000 | 172.3 | 538 | 0.549 | 23.20 |
| 6 | 8.825 | 3.310 | 7.020 | 7.010 | 176.4 | 430 | 0.560 | 18.51 |
| 7 | 8.815 | 3.355 | 7.050 | 7.000 | 161.0 | 550 | 0.508 | 23.25 |
| 8 | 8.820 | 3.170 | 7.010 | 7.050 | 167.5 | 461 | 0.533 | 20.75 |
| 9 | 8.830 | 3.360 | 6.970 | 7.000 | 144.1 | 178 | 0.460 | 7.60 |
| 10 | 8.815 | 3.460 | 7.000 | 7.000 | 163.5 | 615 | 0.516 | 25.39 |
| 11 | 8.825 | 3.375 | 7.010 | 7.000 | 179.8 | 270 | 0.570 | 11.41 |
| 12 | 8.820 | 3.390 | 7.000 | 7.000 | 153.0 | 196 | 0.485 | 8.26 |
| 13 | 8.825 | 3.480 | 7.035 | 7.010 | 184.1 | 295 | 0.576 | 12.05 |
| 14 | 8.825 | 3.365 | 7.010 | 7.005 | 177.6 | 463 | 0.563 | 19.63 |
| 15 | 8.840 | 3.325 | 7.005 | 7.000 | 165.2 | 563 | 0.525 | 24.17 |
| 16 | 8.820 | 3.390 | 7.000 | 6.995 | 168.7 | 865 | 0.536 | 36.45 |
| 17 | 8.810 | 3.390 | 7.005 | 7.010 | 139.4 | 386 | 0.441 | 16.25 |
| 18 | 8.820 | 3.360 | 7.015 | 7.005 | 164.4 | 483 | 0.521 | 20.49 |
| 19 | 8.820 | 3.370 | 7.000 | 7.000 | 168.1 | 471 | 0.534 | 19.97 |
| 20 | 8.815 | 3.435 | 7.020 | 7.000 | 167.4 | 463 | 0.528 | 19.20 |
| 21 | 8.785 | 3.345 | 7.010 | 7.005 | 164.6 | 362 | 0.524 | 15.44 |
| 22 | 8.845 | 3.435 | 6.990 | 7.000 | 152.4 | 194 | 0.481 | 8.08 |
| 23 | 8.855 | 3.485 | 7.040 | 7.000 | 188.5 | 262 | 0.589 | 10.68 |
| 24 | 8.840 | 3.275 | 7.010 | 7.000 | 163.4 | 440 | 0.521 | 19.17 |
| 25 | 8.820 | 3.430 | 7.010 | 7.005 | 168.9 | 383 | 0.533 | 15.93 |
| 26 | 8.815 | 3.390 | 7.010 | 7.010 | 162.8 | 532 | 0.515 | 22.39 |
| 27 | 8.815 | 3.320 | 7.015 | 7.000 | 174.4 | 526 | 0.555 | 22.58 |
| 28 | 8.815 | 3.365 | 6.995 | 7.000 | 152.4 | 176 | 0.485 | 7.48 |
| 29 | 8.815 | 3.345 | 7.000 | 7.000 | 156.7 | 220 | 0.499 | 9.40 |
| 30 | 8.840 | 3.380 | 7.005 | 7.000 | 181.5 | 317 | 0.575 | 13.39 |
| 平均 | 8.821 | 3.368 | 7.010 | 7.003 | 165.34 | 414.5 | 0.524 | 17.58 |
| S.D. | 0.016 | 0.062 | 0.015 | 0.010 | 12.11 | 157.9 | 0.037 | 6.73 |

ベイマツ横引っ張り強度 (TYPE-B)

| No. | w | a | b | h | W | Pmax | r | T. str. |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------|---------------------|
| | cm | cm | cm | cm | g | kgf | g/cm ³ | kgf/cm ² |
| FB-1 | 8.820 | 3.480 | 6.990 | 6.995 | 171.4 | 555 | 0.541 | 22.82 |
| 2 | 8.805 | 3.260 | 7.000 | 7.000 | 149.1 | 320 | 0.478 | 14.02 |
| 3 | 8.820 | 3.355 | 7.000 | 7.005 | 154.1 | 390 | 0.489 | 16.61 |
| 4 | 8.820 | 3.240 | 6.990 | 6.995 | 147.6 | 370 | 0.474 | 16.34 |
| 5 | 8.820 | 3.515 | 7.000 | 7.000 | 149.9 | 508 | 0.471 | 20.65 |
| 6 | 8.825 | 3.360 | 7.000 | 7.000 | 163.3 | 150 | 0.519 | 6.38 |
| 7 | 8.820 | 3.400 | 7.010 | 7.005 | 151.9 | 463 | 0.480 | 19.43 |
| 8 | 8.815 | 3.345 | 7.020 | 7.000 | 153.1 | 345 | 0.486 | 14.69 |
| 9 | 8.845 | 3.320 | 7.000 | 7.000 | 166.6 | 433 | 0.530 | 18.63 |
| 10 | 8.835 | 3.365 | 7.005 | 6.995 | 147.0 | 550 | 0.467 | 23.33 |
| 11 | 8.820 | 3.340 | 7.000 | 7.005 | 153.7 | 595 | 0.489 | 25.45 |
| 12 | 8.825 | 3.455 | 7.000 | 7.005 | 175.4 | 419 | 0.553 | 17.32 |
| 13 | 8.830 | 3.485 | 7.000 | 7.000 | 170.1 | 338 | 0.535 | 13.86 |
| 14 | 8.850 | 3.345 | 7.000 | 7.005 | 148.0 | 360 | 0.469 | 15.37 |
| 15 | 8.815 | 3.390 | 7.005 | 7.010 | 163.0 | 180 | 0.516 | 7.58 |
| 16 | 8.835 | 3.590 | 7.000 | 7.010 | 162.8 | 532 | 0.507 | 21.17 |
| 17 | 8.810 | 3.270 | 7.020 | 7.010 | 148.9 | 400 | 0.474 | 17.43 |
| 18 | 8.825 | 3.420 | 7.000 | 6.995 | 147.1 | 377 | 0.466 | 15.75 |
| 19 | 8.825 | 3.370 | 6.985 | 7.000 | 169.5 | 520 | 0.539 | 22.09 |
| 20 | 8.825 | 3.435 | 6.995 | 7.005 | 165.7 | 459 | 0.523 | 19.10 |
| 21 | 8.825 | 3.350 | 6.985 | 7.000 | 158.0 | 485 | 0.503 | 20.73 |
| 22 | 8.870 | 3.380 | 7.000 | 7.005 | 162.1 | 463 | 0.512 | 19.57 |
| 23 | 8.820 | 3.280 | 6.985 | 6.995 | 153.2 | 270 | 0.491 | 11.78 |
| 24 | 8.830 | 3.415 | 6.995 | 7.005 | 163.1 | 561 | 0.516 | 23.48 |
| 25 | 8.815 | 3.385 | 7.005 | 6.995 | 164.5 | 643 | 0.522 | 27.12 |
| 26 | 8.820 | 3.330 | 7.000 | 7.005 | 162.9 | 461 | 0.518 | 19.78 |
| 27 | 8.810 | 3.380 | 7.005 | 7.000 | 150.4 | 498 | 0.477 | 21.03 |
| 28 | 8.825 | 3.360 | 7.015 | 7.005 | 160.0 | 473 | 0.507 | 20.07 |
| 29 | 8.820 | 3.360 | 6.995 | 6.995 | 157.3 | 417 | 0.501 | 17.74 |
| 30 | 8.825 | 3.500 | 7.010 | 7.010 | 164.4 | 373 | 0.515 | 15.20 |
| 平均 | 8.825 | 3.383 | 7.001 | 7.002 | 158.47 | 430.3 | 0.502 | 18.15 |
| S.D. | 0.013 | 0.079 | 0.009 | 0.005 | 8.24 | 112.9 | 0.025 | 4.68 |

引用文献

- [1] 林業試験場（監修）：木材工業ハンドブック、丸善（1982）
- [2] 有馬孝礼（代表）：「スギ」分科会、日本木材学会研究分科会報告書、（1991.4）
- [3] 坂口勝美（監修）「新版スギのすべて」、全国林業改良普及協会、1983

第3章 複合集成材の強度特性

(Ⅱ) 縦つぎラミナを用いた場合

3. 1 はじめに

強度面から見たスギ集成材の2つの問題点、すなわち低いヤング係数と低いめりこみ抵抗力を解決するために、最外層ラミナに強度特性が高く、バラツキの少ないLVLを用いて複合化をはかる方法が提案された[1]。

昨年度はこのような断面構成のいわゆる「スギ複合集成材」について、曲げ、引張等の試験を行ない、その強度特性について検討した。その結果、複合化によって部分圧縮性能が非常に向上すること、またMOE（曲げヤング係数）の値が顕著に向上することが明らかになった。しかしながら、この実験で用いた構成の複合集成材では、集成材としての曲げおよび引張強度がLVL単体の強度ほど高くないことが明らかになった。

曲げや引張強度の顕著な向上が見られなかった理由として、複合集成材ではMOEの高いLVLラミナに応力が集中することになるので、MOEが高い割には強度が低いLVLでは集成材全体として強度の向上に寄与する割合が小さくなることがあげられる。しかしながら、比較の対象としたスギ集成材の外層ラミナの品質が比較的良質であったことや実験に用いたスギラミナがフィンガージョイントのない「通しラミナ」であったことなど、複合の効果が現われにくい条件であったことも顕著な向上が見られなかった一因であると考えられる。もし、比較的low質なラミナをフィンガージョイントして積層したスギ集成材と複合集成材とを比較すれば、複合化の効果がより明確になるものと考えられる。

そこで今年度は、フィンガージョイントラミナを用いて製造した複合集成材およびスギ集成材について昨年度と同様の試験を行ない、フィンガージョイントラミナを用いた場合と通しラミナを用いた場合との強度特性の変化について検討した。さらに、昨年度実施した試験データを用いて引張強度の分布予測シミュレーションを行ない、予測された強度分布と実大実験の結果を比較することによって、3種類の統計モデルの適応性を検討した。

昨年度実施した部分圧縮強度や接着強度の耐久性などについては、フィンガージョイントの有無によって影響を受けることはないと判断し、本年度は実験を省略した。またカラマツラミナについても試験を実施しなかった。

3. 2 材料と実験方法

3. 2. 1 ラミナ

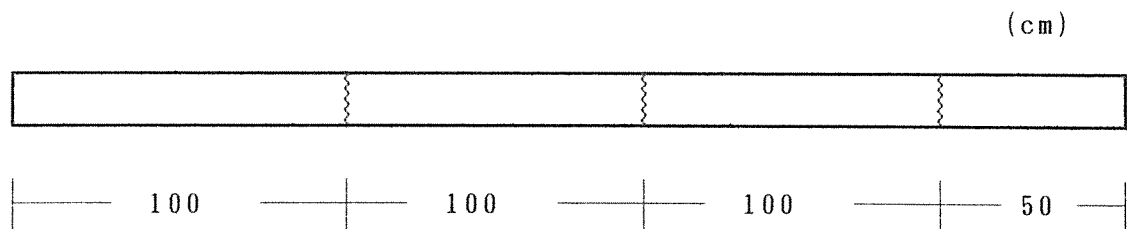
実験に用いたラミナは次の2種類である。

2.1.1. スギのラミナ

試験に用いたスギラミナは栃木県産で、寸法が（幅13.0*厚さ2.4*長さ400cm）のものである。集成材工場より搬入された約450本のラミナのMOEをまず打撃法により測定した。450本の内、約50本は幅12.0cm、厚さ2.2mmにプレーナがけした後、引張試験を行なった。残りのラミナは測定されたMOEで等級区分した。この時の等級区分の制限値は1等：MOE>95、2等：85<MOE≤95、3等：75<MOE≤85、4等：65<MOE≤75、5等：MOE≤65（ $\times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ ）とした。前回の試験ではこの様なMOEの制限値に加えて、集中最大節径比による制限も設定したが、今回はフィンガージョイントに加工する際に大きな節が除去されるため、節径比については制限を設けなかった。

ラミナは等級区分された後、集成材製造用（100および50cm）とラミナ引張試験用（70cm）に切断され、引き続いてフィンガー加工された。ただしこの際同じ等級のラミナ同士がランダムに縦つぎされた。縦つぎラミナの形状を図1に示す。

集成材製造用



引張試験用

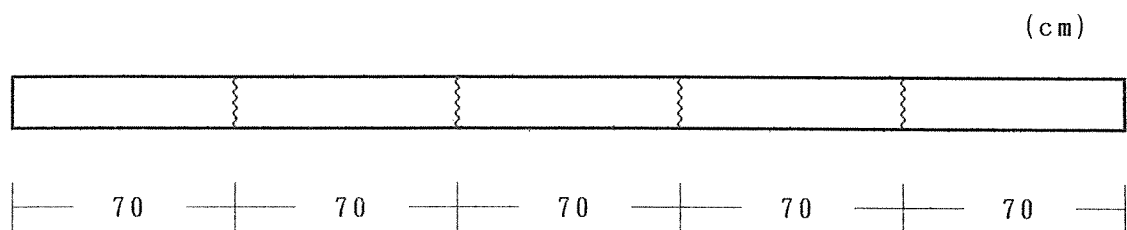


図1、縦つぎラミナの形状

縦つぎラミナの製造条件は以下に示す通りである。

まずフィンガーの形状および寸法を図2に示す。ここに示されたカッタは構造材用として試作されたもので $t_1=0.85$ 、 $t_2=0.65$ 、 $p=5.0$ 、 $l=17.5$ mm、 $\theta=1/10$ に設定されている。フィンガー加工機の条件は、主軸回転数3000 rpm、カッタ超硬付刃4枚刃スパイラルセット、送り速度約10m/min、垂直型加工（V型：材幅の広い面に歯型が見えるもの）である。接合条件は、レゾルシノール樹脂接着剤+硬化剤（15%）+増量剤（5%）、両面塗布、エンドプレッシャー70kgf/cm²、養生期間は1週間である。

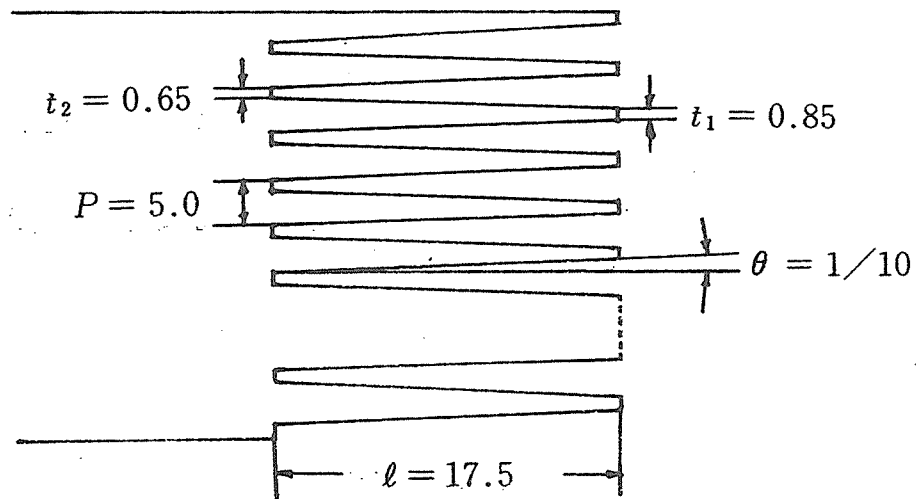


図2、フィンガージョイントの形状と寸法

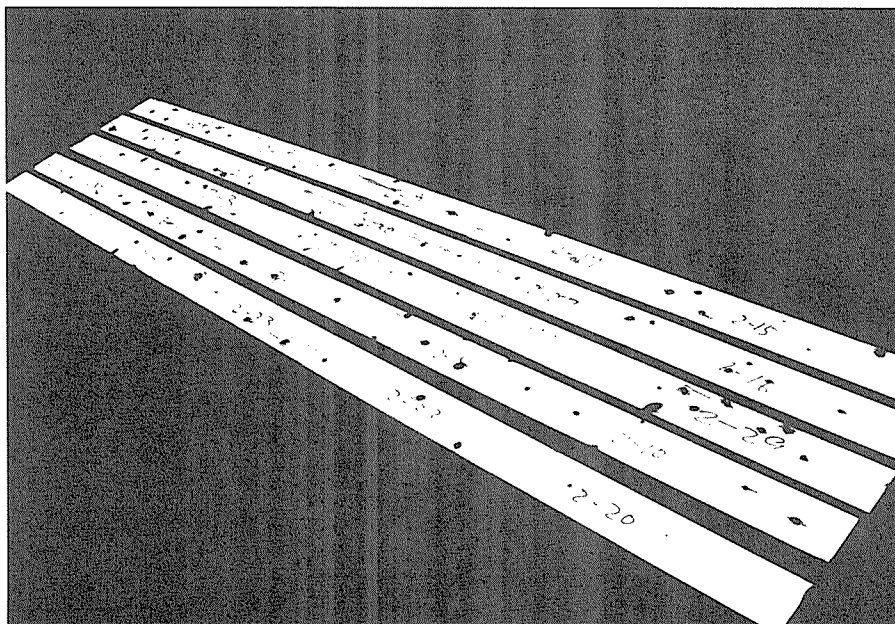


写真1、フィンガージョイント加工されたスギラミナ

2.1.2、 ベイマツ L V L (マイクロラム)

搬入された原板 (幅 60.0 * 厚さ 1.9 * 長さ 300cm) を 15cm 幅に切断した後、両面から 0.5mm ずつプレーナで削り取り、所定の寸法とした。

なお、材料の含水率はスギ、L V L とも 8 ~ 10 % 程度であった。

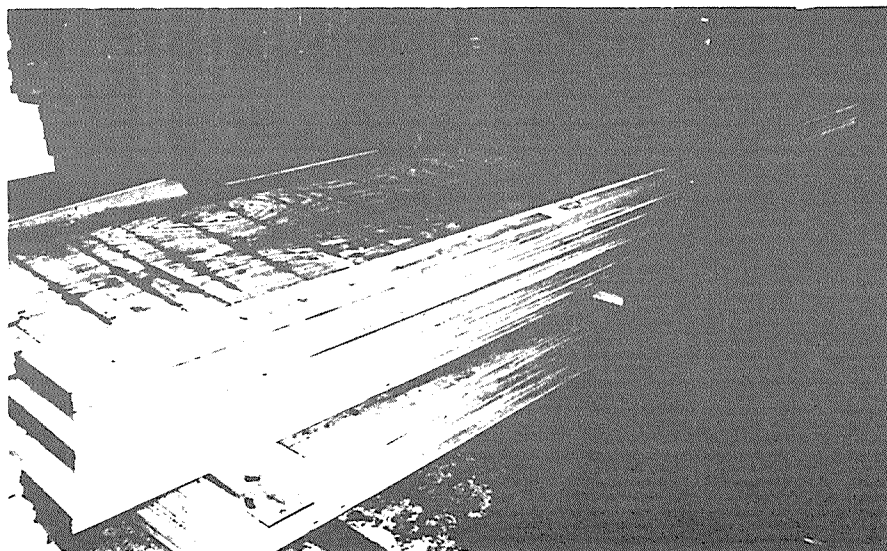


写真 2、 ベイマツ L V L

3. 2. 2 スギラミナの引張試験

引張試験用に用意したスギラミナから 100 体の引張試験片 (長さ 150cm) をランダムに取り出し、引張ブルーロード (最大容量 20 トン) を用いて引張試験を行ない、引張強度を求めた。

また、同様にして縦つぎラミナの引張試験も行なった。なお、チャック間の距離は約 55cm であった。

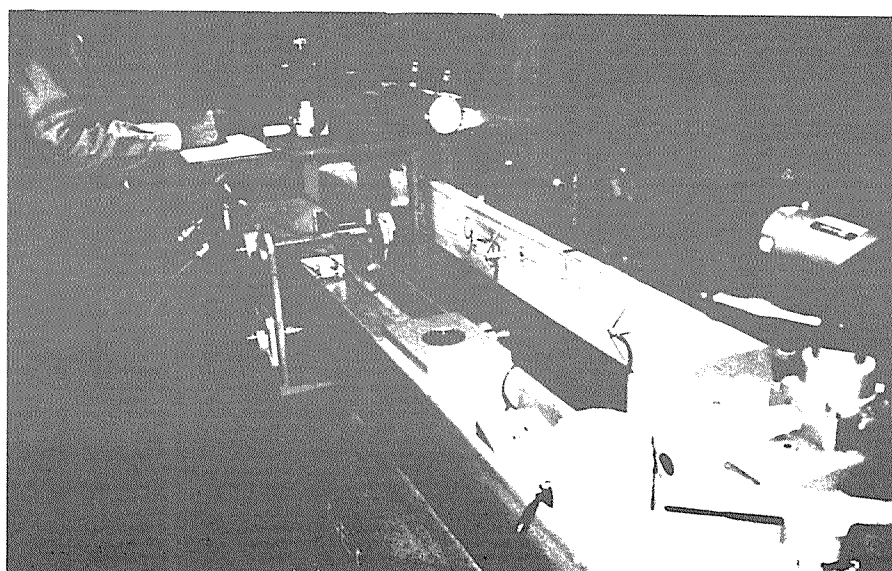
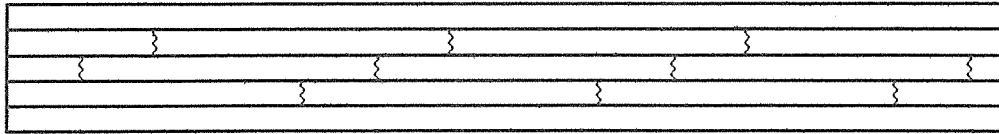


写真 3、 ラミナの引張試験

3. 2. 3 実大曲げ試験

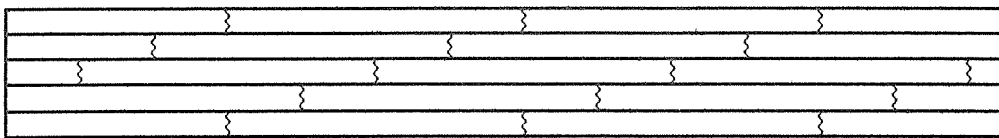
図1に示した縦つぎラミナを用いて、フィンガージョイントの配置が以下のような複合集成材およびスギ集成材を製造した。なお試験体の寸法は（約12.0 * 11.0 * 300 cm）であり、本数は各条件につき4本である。

複合集成材



スギ集成材

1) フィンガージョイントがスパン中央最外層にあるタイプ



2) フィンガージョイントがスパン中央最外層に無いタイプ

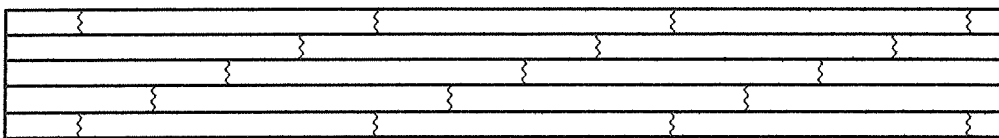


図3、フィンガージョイントの配置

集成材の断面構成は以下の通りである。等級は2. 1に示したように、
 1等: $MOE > 95$ 、 2等: $85 < MOE \leq 95$ 、 3等: $75 < MOE \leq 85$ 、 4等: $65 < MOE \leq 75$ 、 5等: $MOE \leq 65$ ($\times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$) である。

表1、集成材の断面構成

| 記号 | 外層(2層) | 内層(3層) |
|------|--------|--------|
| SS12 | スギ 1等 | スギ 2等 |
| SS13 | スギ 1等 | スギ 3等 |
| LS2 | L V L | スギ 2等 |
| LS3 | L V L | スギ 3等 |

すべての集成材は積層後、1週間以上の養生期間を経て、実大試験に供された。

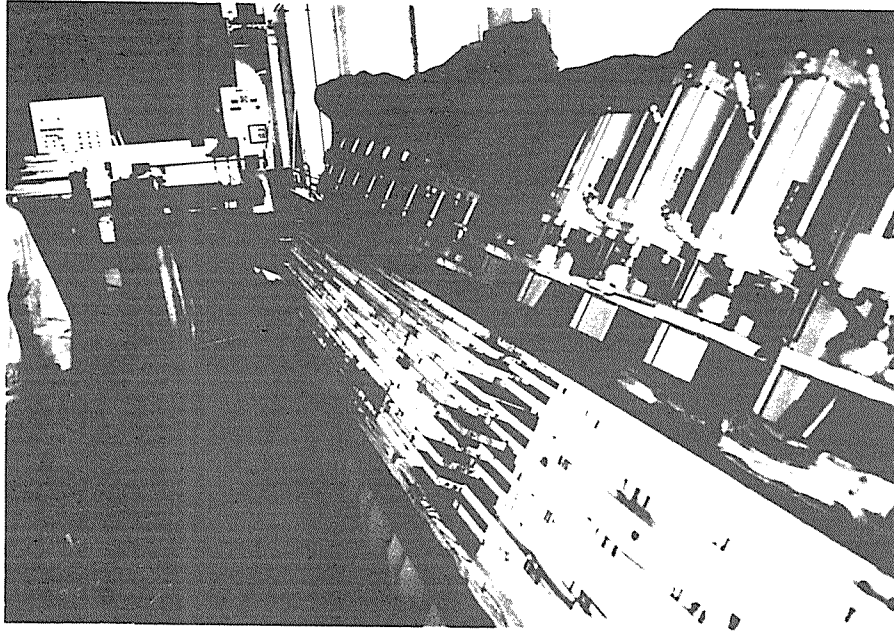


写真 4、 集成材の製造

このようにして製造された集成材を用いてスパン270cmの3等分4点曲げ試験を行ない、MOEとMORを求めた。なお、MOEは支点間およびモーメント一定区間の2種類を求めた。

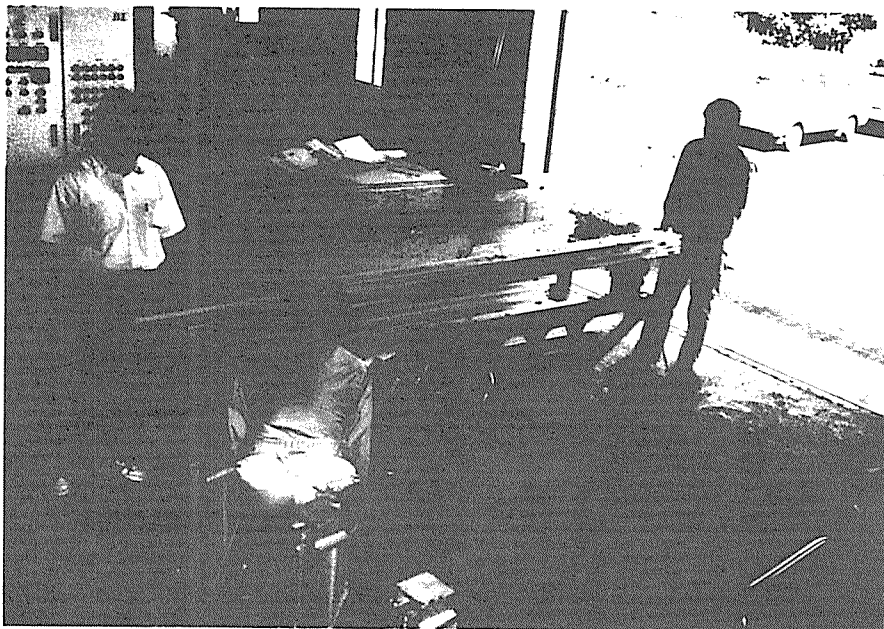


写真 5、 曲げ試験体（打撃法によるMOEの測定）

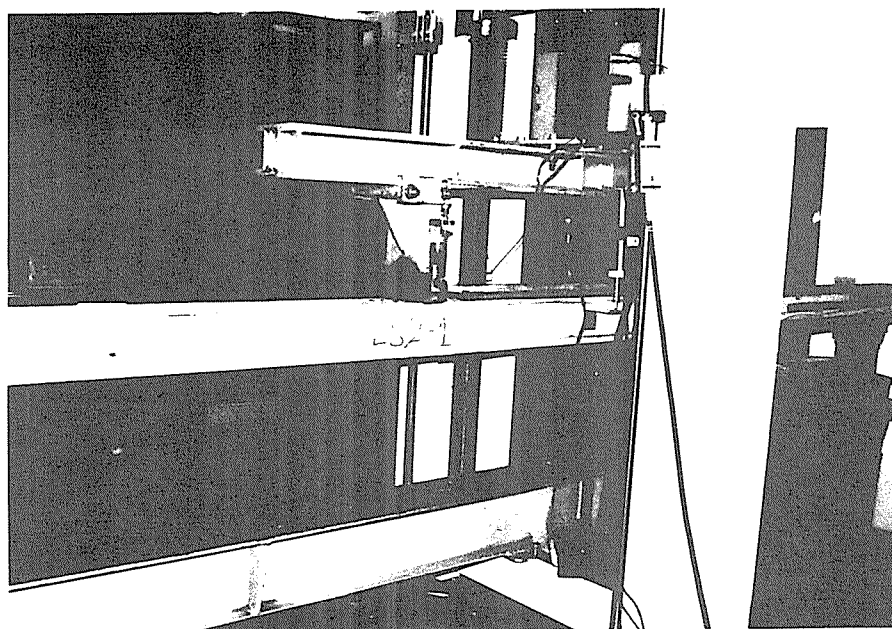


写真 6、実大曲げ試験（セットされた試験体）

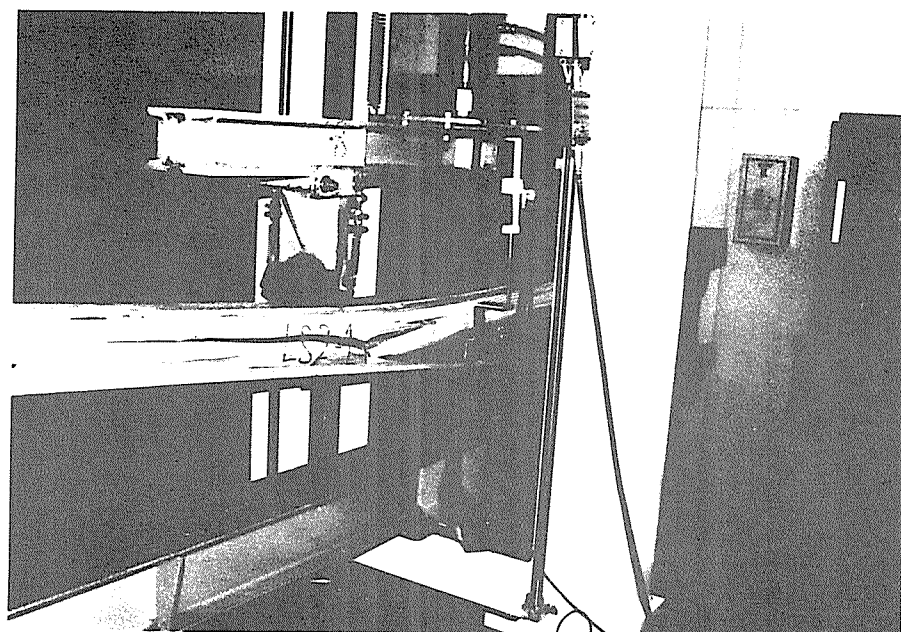


写真 7、実大曲げ試験（破壊後）

3. 2. 4 引張試験体

まず曲げの場合と同様に、図1に示した縦つぎラミナを用いて、複合集成材およびスギ集成材を製造した。次にこの集成材を長さ方向に2等分、幅方向に3等分して引張試験体を作成した。試験体の種類は表2に示す通りである。なお試験体の寸法は(約12.0 * 4.0 * 150 cm)、試験体数は各条件に付12本である。

引張試験の方法はラミナの引張試験の場合と全く同じである。

表2、引張試験体の種類と断面構成

| 記号 | 外層(2層) | 内層(3層) |
|------|--------|--------|
| SS12 | スギ 1等 | スギ 2等 |
| SS13 | スギ 1等 | スギ 3等 |
| SS14 | スギ 1等 | スギ 4等 |
| SS44 | スギ 4等 | スギ 4等 |
| LS1 | L V L | スギ 1等 |
| LS2 | L V L | スギ 2等 |
| LS3 | L V L | スギ 3等 |
| LS4 | L V L | スギ 4等 |

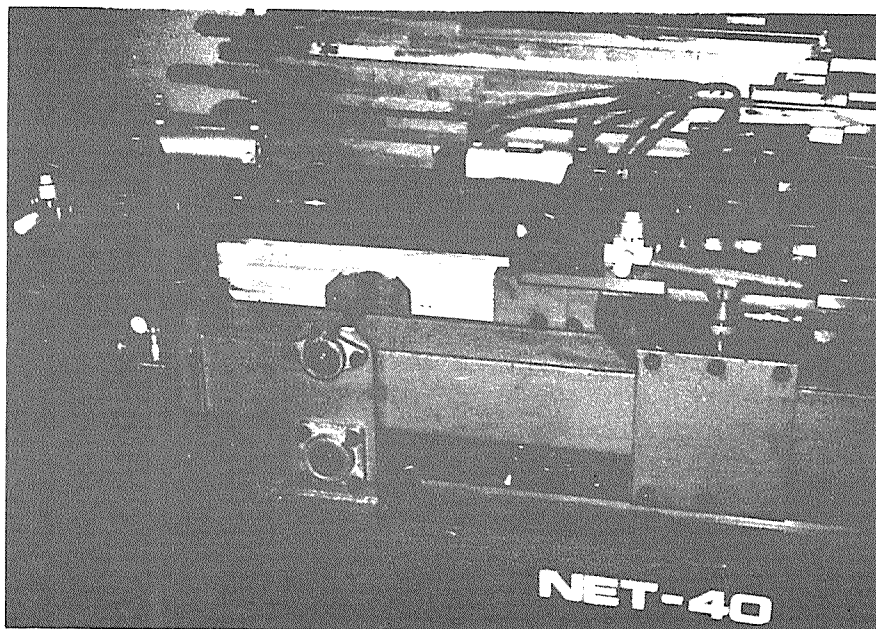


写真8、集成材の引張試験

3. 3 結果と考察

3. 3. 1 ラミナの特性

3.1.1 スギラミナの品等と等級区分

視覚区分による等級とMOEによる等級の関係を原料ラミナの約半数（216本）について調べた結果を表3に示す。

なお、MOEによる等級は2. 1に示したように、1等： $MOE > 95$ 、2等： $85 < MOE \leq 95$ 、3等： $75 < MOE \leq 85$ 、4等： $65 < MOE \leq 75$ 、5等： $MOE \leq 65$ ($\times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$)である。また、視覚による等級は集中節径比（ ϕ ）が1等： $1 / 8$ 以下、2等： $1 / 4$ 以下、3等： $1 / 3$ 以下、4等： $1 / 2$ 以下、5等： $1 / 2$ 以上である。

表3、視覚等級とMOE等級の関係

| MOE 等級 | 視覚等級 | | | | | 合計 |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | 18 | 15 | 6 | 7 | 2 | 48 (22.2%) |
| 2 | 6 | 15 | 14 | 10 | 5 | 50 (23.2%) |
| 3 | 7 | 17 | 15 | 9 | 7 | 55 (25.5%) |
| 4 | 4 | 8 | 12 | 5 | 10 | 39 (18.1%) |
| 5 | 2 | 4 | 9 | 4 | 5 | 24 (11.1%) |
| 合計 | 37 17.1% | 59 27.3% | 56 25.9% | 35 16.2% | 29 13.4% | 216 100% |

この表から明らかのように、この原料ラミナからはどちらの等級区分であっても1、2等合わせて40%強のラミナしか得られない。また芯持ちラミナの割合は比較的高く、完全に髓を含んだものが全体の10%程度を占めた。一方、全く材面に節の現われない無節ラミナは1枚も見られなかった。

もし前年度のようにMOEと視覚両方の等級区分を併用すると、全体の半数近くが使用不可となるので、今回は視覚に関する制限は全く設けず、MOEのみによる等級区分とした。

いずれにせよ、今回の材料は標準的なスギラミナに比べて程度の悪いものであったと判断される。

原料ラミナのM O Eのヒストグラムを図4に示す。

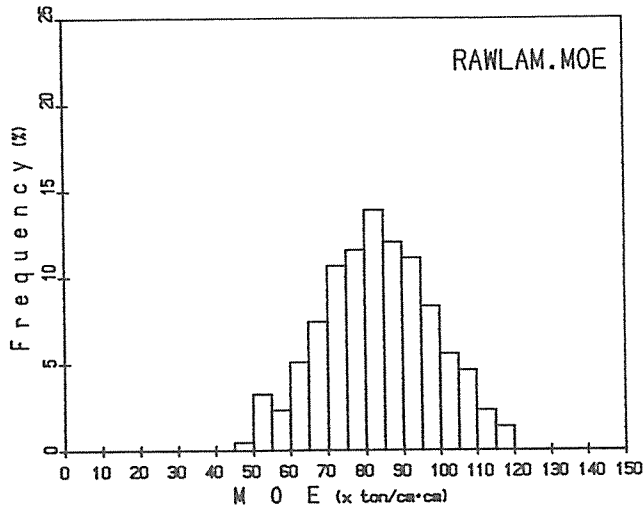


図4、原料ラミナのヒストグラム

3.1.2、原料ラミナの引張強度分布

縦つぎのない原料ラミナ（通しラミナ）の引張強度の分布を図5に、またそのM O Eの分布を図6に示す。

図6は図4に比べて左に偏っているが、これは原料ラミナから引張試験体のサンプリングを行なう際に低M O E側のサンプルを多く取ったためである。

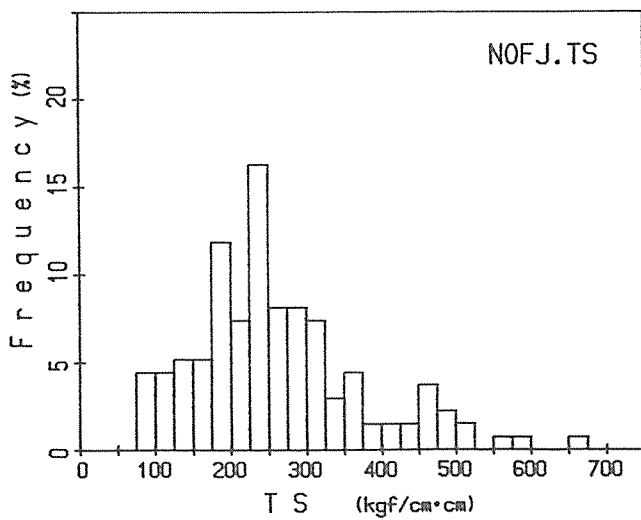


図5、引張強度の分布

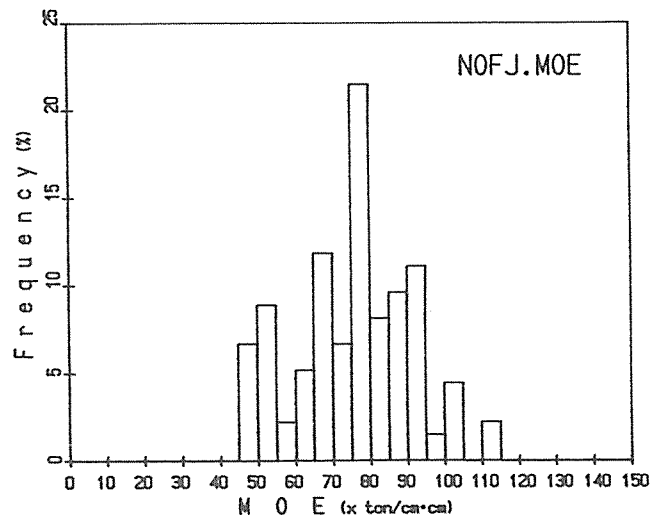


図6、引張試験されたラミナのM O Eの分布

原料ラミナのM O Eと引張強度の相関と回帰直線を図7に示す。さらに前回引張試験を行ったスギラミナの相関と回帰直線を図8に示す。

これらの図から明らかなように、今年度のラミナの回帰直線は昨年度のそれより下に存在し、同一のM O Eであっても本年度のラミナの引張強度の方が約50～60 kgf/cm² 低い。この傾向は、M O R - M O Eの回帰直線が産地や品種等とは無関係にほぼ1本の回帰直線で表わされることと対照的である。

ラミナの引張強度は節径比と相関が高いため、たとえ同じM O Eの分布をしめすロットであっても、引張強度 - M O Eの回帰直線は含まれる節径比の量によってかなり変化するのではないかと思われる。

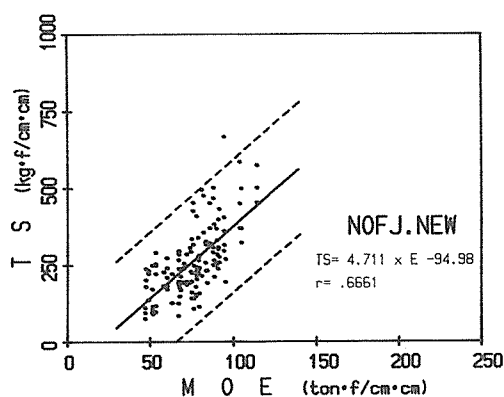


図7、TS - M O Eの相関図

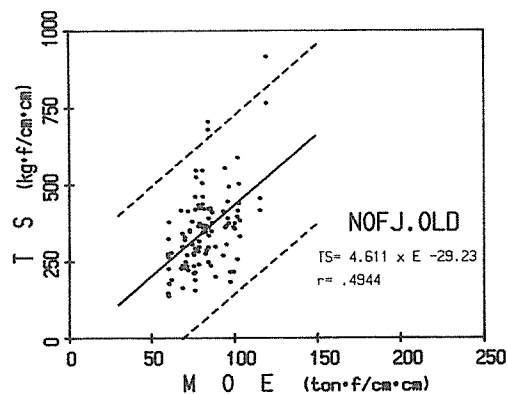


図8、TS - M O Eの相関図
(昨年度の結果)

3.1.3、フィンガージョイントラミナの引張強度分布

図9にフィンガージョイントされたラミナのM O Eとその引張強度の相関図と回帰直線を示す。なおこのプロットにはフィンガージョイントで破壊した試験体と節で破壊し試験体両方のデータが含まれている。

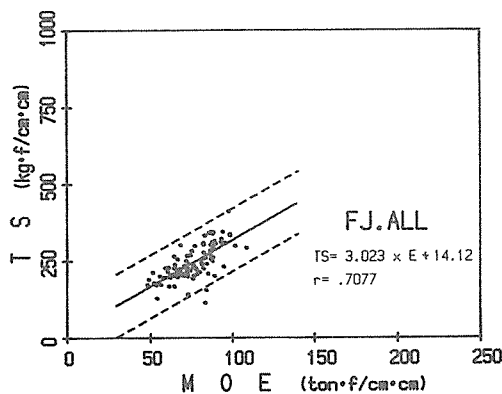


図9、フィンガージョイントラミナのM O Eと引張強度の関係

図7と図9を比較して見ると明らかなように、MOEが50 t·f/cm²以上では縦つぎなしラミナの回帰直線の方が上に存在する。またTSの平均値を比較すると縦つぎなしラミナ（通しラミナ）の方が高い値を示している。しかしながら、信頼限界95%の下限値の直線を見ると、120 t·f/cm²以下では縦つぎラミナの方が上位に存在している。すなわち、本試験材料のようにラミナの節径比が高い場合には、フィンガージョイントした方が構造的に信頼性が向上することがわかる。もちろん、この結論が成り立つためには、フィンガージョイントの接着が完全に行なわれるという条件が必要である。

図10は図9からフィンガージョイントで破壊した試験体のデータのみを取り出したものである。同様に図11は図9から節で破壊した試験体のデータのみを取り出したものである。

今、フィンガージョイントラミナの強度が単純な直列モデルであると仮定するならば、図7と図10における引張強度のデータの中で最も低いデータをシミュレートしたものがラミナの強度となるはずである。しかしながら、シミュレートされた値は図9に一致しない。これはフィンガージョイント加工により、大きな節径比を持つ部分が削除されてしまうため、図7の中で低い値を示すデータ、すなわち節径比の高い部分のデータが消えてしまうことによるものである。

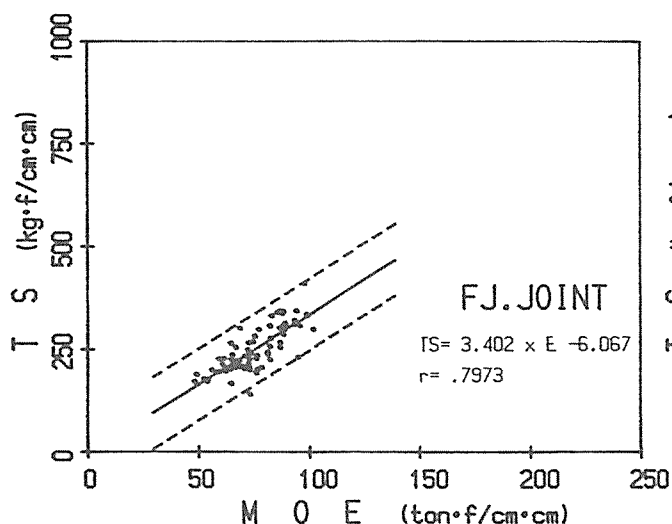


図10、フィンガージョイントで破壊したラミナのMOE-引張強度

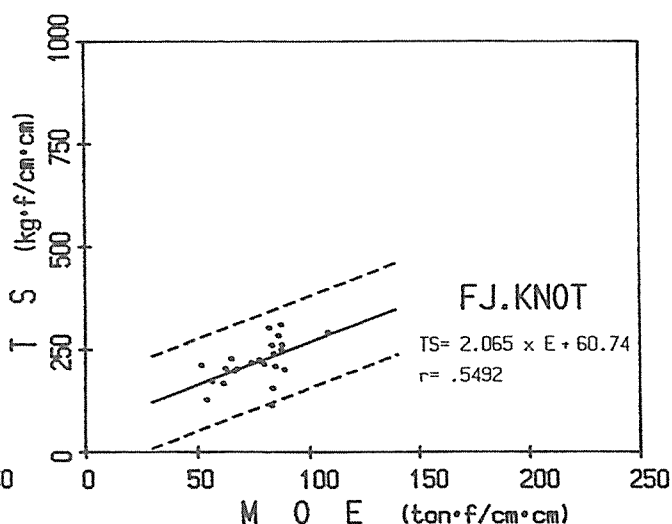


図11、節の部分で破壊したラミナのMOE-引張強度

3.1.4、 L V L の引張強度分布

L V L の引張強度のヒストグラムを図 1 2 に示す。 L V L の引張強度と M O E の相関はほとんど 0 に近い値となった。

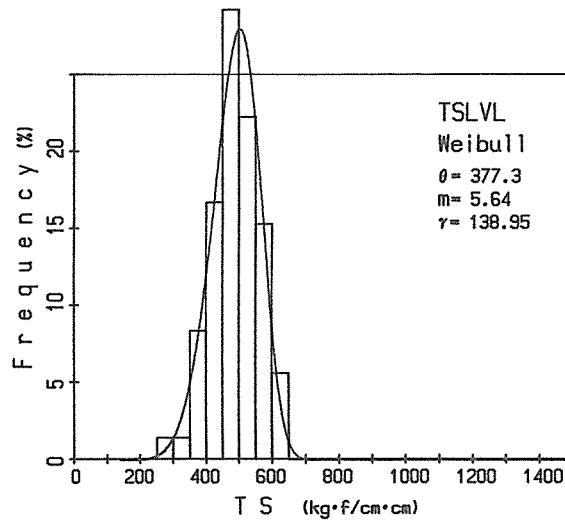


図 1 2、 L V L の引張強度

3. 3. 2 曲げ試験結果

表 4 に実大曲げ試験の結果を示す。 S S 1 2 と S S 1 3 の内、 番号 1 ~ 4 はスパンの中央最外層にフィンガージョイントが存在しないもの、 5 ~ 8 は存在するものである。 M O E の E 1 はモーメント一定区間で測定したヤング係数、 E L は全スパンで測定したヤング係数、 また E C A L は構成ラミナのそれぞれのヤング係数から次式により計算したものである。

$$E C A L = \frac{\sum E_i I_i}{I} \quad (A)$$

E_i : i 番目のラミナの M O E

I_i : i 番目のラミナの中立軸に関する断面 2 次モーメント

I : 中立軸に関する断面 2 次モーメント

なお、 比較のために表 5 に前年度実施した縦つぎなしラミナを用いた集成材の曲げ試験結果を示す。 各値は試験体 5 体の平均値である。

まず表 4 で、 最外層のフィンガージョイント位置の M O R に及ぼす影響を見てみると、 番号 1 ~ 4 の方が番号 5 ~ 8 よりわずかに平均値が高い。 試験体数が 4 体と少ないので厳密な比較をすることは出来ないが、 この程度の差では有意差が無いと考えるべきであろう。

同様にして、 S S 1 2 と S S 1 3 の M O R にも有為差がないと考えられ

る。なお、スギ集成材の破壊はすべて引張側最外層のフィンガージョイントから生じた。

複合集成材（LS）とSSとを比較してみると、SSが平均で370kgf/cm²程度であるのに対し、LSでは500kgf/cm²以上となり35%以上もの強度の向上が見られる。この結果は複合化による強度向上効果がほとんど見られなかった昨年の結果と非常に対照的である。このことから、複合集成材への加工は原料ラミナが低質であるほど、すなわち良質なラミナが得られない場合ほど、強度向上に対して効果的であるといえよう。

表4と表5を比較すれば明らかなように、同じグレードであっても今年度の実験結果の方が昨年に比べて低い値となっている。これは先にも説明したとおり、ラミナそのものの品質が低いためであるが、ただ、複合集成材ではその低下割合が低い。SSでは30%以上の低下となっているのに対し、LS2では10%程度の低下にとどまっている。

表4、実大曲げ試験結果

| 種類 | 番号 | MOR (kg·f/cm ²) | MOE E1 (t·f/cm ²) | MOE EL (t·f/cm ²) | MOE ECAL (t·f/cm ²) |
|--------------|----|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| SS12 | 平均 | 377.8 | 93.5 | 87.5 | 96.8 |
| | CV | 7.2% | 5.8% | 5.0% | 6.0% |
| SS12 中央FJ | 平均 | 369.7 | 95.1 | 86.5 | 97.4 |
| | CV | 11.6% | 3.0% | 3.6% | 4.4% |
| SS13 | 平均 | 381.8 | 95.9 | 87.7 | 92.0 |
| | CV | 4.9% | 6.3% | 4.4% | 2.8% |
| SS13 中央FJ | 平均 | 369.7 | 91.2 | 85.9 | 93.8 |
| | CV | 5.1% | 1.6% | 5.2% | 2.9% |
| LS2 | 平均 | 513.4 | 128.2 | 117.7 | 136.8 |
| | CV | 11.0% | 11.5% | 9.1% | 10.1% |
| LS3 | 平均 | 500.8 | 127.4 | 117.9 | 139.1 |
| | CV | 8.6% | 3.3% | 3.1% | 4.8% |

E1 :モーメント一定区間で測定されたMOE

EL :全スパンで測定されたMOE

ECAL:(A)式により計算されたMOE

表 5、 昨年度の実大曲げ試験結果

| 種類 | 番号 | M O R (kg · f/cm ²) | M O E E l (t · f/cm ²) | M O E E L (t · f/cm ²) | M O E E C A L (t · f/cm ²) |
|---------|-----|------------------------------------|--|--|--|
| S S 1 2 | 平均 | 503.0 | 101.5 | 94.4 | 98.6 |
| | C V | 12.0% | 2.7% | 1.8% | 2.8% |
| S S 1 3 | 平均 | 538.4 | 102.8 | 93.4 | 96.5 |
| | C V | 12.9% | 3.9% | 3.0% | 2.2% |
| L S 2 | 平均 | 562.8 | 133.3 | 122.3 | 142.5 |
| | C V | 6.9% | 3.8% | 4.0% | 4.3% |
| L S 3 | 平均 | 500.8 | 127.4 | 117.9 | 139.1 |
| | C V | 8.6% | 3.3% | 3.1% | 4.8% |

E l :モーメント一定区間で測定された M O E

E L :全スパンで測定された M O E

E C A L : (A) 式により計算された M O E

次に、表 4 から M O E について見てみる。前回同様複合集成材の L S 2 と L S 3 では、M O E (E L) が S S に比べ 20 ~ 30 t · f/cm² 程度向上しており、複合の効果が明確に現われている。

E L と E C A L の関係を見てみると、S S では計算値と測定値がほぼ一致するのに対し、L S では測定値が計算値を 10 % 程度下回る。これは、複合集成材ではより大きなせん断付加たわみが生じ、見かけの M O E が低下するためである。

3. 3. 3 引張試験結果

表6に引張試験結果を示す。試験体数は1条件につき12体である。同様にして、フィンガージョイントのない「通しラミナ」を用いた昨年度の試験結果を表7に示す。

表6で、SS12とLS2、SS13とLS3、SS14とLS4とを比較すると、引張強度の平均値がそれぞれ、23、12、11%増加している。また変動係数もそれぞれ低下しているので、下限5%値の上昇率は平均値の増加率を上回ることになる。このように曲げの場合と同様に、複合化による強度の向上が明らかになった。

表6、集成材の引張試験結果

| 種類 | | 引張強度 (kg·f/cm ²) | M O E (t·f/cm ²) |
|---------|-----|---------------------------------|---------------------------------|
| S S 1 2 | 平均 | 290.8 | 93.4 |
| | C V | 13.9% | 6.1% |
| S S 1 3 | 平均 | 265.7 | 87.9 |
| | C V | 14.1% | 6.5% |
| S S 1 4 | 平均 | 261.1 | 83.5 |
| | C V | 14.3% | 7.4% |
| S S 4 4 | 平均 | 212.7 | 71.3 |
| | C V | 9.59% | 9.3% |
| L S 1 | 平均 | 415.8 | 120.7 |
| | C V | 7.3% | 2.6% |
| L S 2 | 平均 | 357.1 | 108.8 |
| | C V | 12.8% | 4.0% |
| L S 3 | 平均 | 317.6 | 104.6 |
| | C V | 9.6% | 3.8% |
| L S 4 | 平均 | 292.7 | 99.2 |
| | C V | 11.7% | 4.3% |

表 7、 昨年度実施した集成材の引張試験結果

| 種類 | 番号 | 引張強度 (kg · f/cm ²) | M O E (t · f/cm ²) |
|---------|-----|-----------------------------------|-----------------------------------|
| S S 1 1 | 平均 | 402.9 | 100.2 |
| | C V | 13.4% | 6.3% |
| S S 1 2 | 平均 | 426.4 | 102.5 |
| | C V | 14.3% | 4.7% |
| S S 1 3 | 平均 | 350.6 | 93.1 |
| | C V | 25.9% | 6.6% |
| S S 2 2 | 平均 | 425.9 | 84.7 |
| | C V | 15.0% | 29.0% |
| S S 2 3 | 平均 | 312.7 | 84.9 |
| | C V | 14.4% | 5.0% |
| S S 3 3 | 平均 | 324.4 | 81.9 |
| | C V | 16.0% | 8.1% |
| S S 3 4 | 平均 | 355.4 | 79.3 |
| | C V | 17.5% | 7.6% |
| L S 1 | 平均 | 444.4 | 120.4 |
| | C V | 14.9% | 3.0% |
| L S 2 | 平均 | 400.8 | 114.5 |
| | C V | 10.3% | 4.2% |
| L S 3 | 平均 | 410.8 | 107.7 |
| | C V | 7.0% | 9.2% |
| L S 4 | 平均 | 370.0 | 103.8 |
| | C V | 12.7% | 5.4% |

3. 4 引張強度の分布予測シミュレーション

昨年度報告した研究では、M O E（曲げヤング係数）によって等級区分されたラミナで構成された複集合成材（梁せい10～12cm程度）の曲げ強度分布予測を行ない、実大実験結果と比較した。その結果、限られた条件下ではあるが、ラミナの統計データから集成材の曲げ強度分布を予測できることが明らかになった。

ここではこれらの研究と同様の手法（モンテカルロシミュレーション）を用いて、5プライ集成材の引張強度分布を予測することを試みた。

強度予測のモデルとしては、直列（最弱リンク）モデル〔2〕、並列（束）モデル〔2〕、平均値（延性）モデル〔3〕の3種類を想定した。

なお乱数発生に用いるためのラミナのデータおよび5プライ集成材の実大実験データは本年度の実験結果ではなく、昨年度の実験データである。

3. 4. 1 確立モデル（モンテカルロシミュレーションモデル）

本研究で用いた3種類のモデルの基本的な流れを簡単に説明すると、以下のようになる。

① 仮想ラミナの作成

まず実測されたラミナのM O Eの度数分布に従い、かつ等級区分の範囲内にある乱数（例えばスギ2等なら $85\sim 95 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲にある乱数）をコンピュータ内部に発生させ、これを仮想ラミナのM O Eとする。次にTaylor-Bender法〔4〕を用いて仮想ラミナのT S（引張強度）を発生させる。

② 仮想集成材の作成

上の過程を5回繰返して仮想の5プライ集成材をコンピュータ内部に作成し、仮定した破壊条件下におけるT Sを求める。

③ 仮想集成材の強度分布予測

上の過程を5000回繰返し、作成された5000体の仮想集成材の強度分布を求める。

プログラムの流れは以上であるが、シミュレーションを行なう前には、乱数発生のための定数、例えばM O Eの分布にあてはめた確率密度関数のパラメータなどを予め計算しておく必要がある。この準備段階を含めて、各モデルの詳細について以下に説明する。

4.1.1、実大ラミナのデータの統計解析

乱数発生用の基礎定数を得るために、実大ラミナのデータについて以下のような統計解析を行なった。

(回帰分析)

実験により得られたスギラミナおよびベイマツLVLのMOEとTSのデータについてそれぞれ単回帰分析[5]を行ない、分散、共分散および相関係数を求めた。結果を図13に示す。図から明らかなように、MOEとTSの相関はスギでは比較的高いのに対し、LVLでは非常に低い。この結果から、LVLの乱数発生の際には、MOEとTSが統計的に独立であると仮定した。

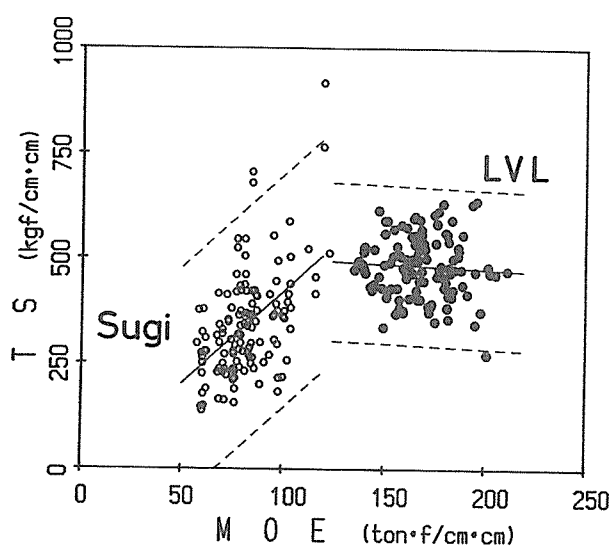


図13、スギラミナ（通しラミナ）およびLVLのTS-MOE

(累積分布関数の当てはめ)

MOEとTSのデータに3パラメータワイブル分布関数を当てはめ、各々の形状、尺度および位置パラメータを求めた。結果を表8に示す。

表8、当てはめられた累積分布関数のパラメータ

| 強度特性 | ラミナ | 試片数 | 3パラメータワイブル | | |
|-------------------------------|-----|-----|------------|-------|--------|
| | | | 尺度 | 形状 | 位置 |
| MOE (トフ/cm ²) | スギ | 127 | 29.41 | 1.856 | 55.76 |
| | | 100 | 51.14 | 2.750 | 115.41 |
| 引張強度 (kg/cm ²) | スギ | 127 | 234.5 | 1.746 | 133.23 |
| | | 100 | 367.4 | 5.338 | 154.26 |
| | LVL | | | | |

4.1.2、乱数発生方法

本モデルにおける仮想ラミナの特値は2種類（MOEおよびTS）なので、コンピュータ内部における乱数の発生は前々報[6]で採用したような回帰直線と標準誤差を用いた方法でも可能であるが、ここではTaylor-Bender法をラミナが等級区分された場合にも適用出来るように改良した方法[7]を用いた。これは後者の方が発生されるTSの乱数の統計値がより表8に示された値に近くなるためである。前者の方がプログラミングが容易で、乱数発生に要する時間が短い、発生される乱数の信憑性は後者の方が高い[6]。

なおこの方法の詳細については昨年度の報告書に示したものと同様であるため、ここでは説明を省略する。

4.1.3、モデルの種類

本研究で用いた3種類のモデルでは、いずれの場合でもラミナの引張ヤング係数（E）は曲げヤング係数すなわちMOEに等しく、またラミナの引張応力（ σ ）が最大値に達するまでは、縦ひずみ（ ϵ ）との間に

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (1)$$

の弾性関係が成立するものとする。

当然のことながらラミナの引張応力が最大値 σ_T （引張強度：TS）になったときには、

$$\sigma_T = E \cdot \epsilon_T \quad (2)$$

が成立する。ここで、 ϵ_T ： σ_T における縦ひずみ。

シミュレーションでは、各ラミナについてそれぞれEと σ_T の乱数が発生されるので、各ラミナの ϵ_T は(2)式よりただちに求められる。

以上の仮定では、ラミナ内部のEの変動や節とEとの関係、さらには節とTSとの関係などは考慮されていない。これは上に述べたような因子による影響はMOEとTSの関係を用いてシミュレーションする際にすべて包含されると考えられるからである。またラミナ間は強固に結合しているものとするが、接着層の影響はここでは考慮しない。

(1) 直列（最弱リンク）モデル [2]

まず、以下の説明のために、各ラミナの ϵ_T を昇順に列べたものを、 $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_5$ とし、それに対応したそれぞれのラミナの断面積を（ A_1, A_2, \dots, A_5 ）、MOEを（ E_1, E_2, \dots, E_5 ）、引張強度を（ $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_5$ ）とする（図14）。

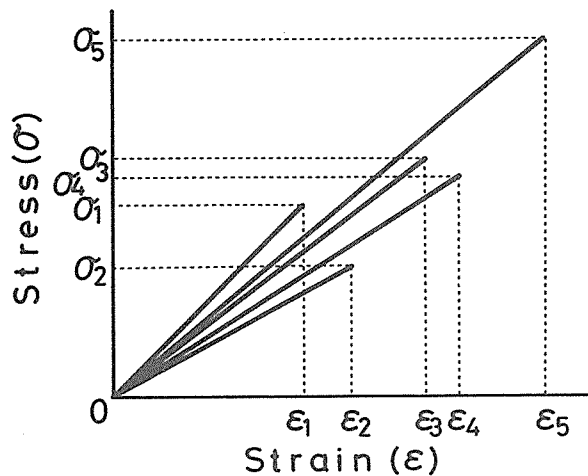


図 1 4、各ラミナとひずみの模式図

本モデルでは、集成材に生じる縦ひずみがラミナの ϵ_1 の最小値 (ϵ_1) に達したときに集成材全体の破壊が生じると仮定する。この時、集成材の引張強度 (σ_0) は次式で計算される。

$$\sigma_0 = \epsilon_1 \times \frac{\sum_{i=1}^5 (A_i \cdot E_i)}{A} \quad (3)$$

ここで、

A : 集成材の断面積、すなわち $\sum_{i=1}^5 A_i$

A_i : i 番目のラミナの断面積

E_i : i 番目のラミナの M O E

上の仮定から明らかなように、本モデルは要素が鎖のように直列的に並び、その最弱のリンクが破壊したときにシステム全体の破壊が生じる直列（最弱リンク）モデルである。このモデルは1つのラミナで生じた破壊が断面全体に瞬時に伝播すると仮定するものであり、前報 [7]、前々報 [6] の曲げの場合に採用した破壊条件と同じメカニズムに立脚している。

(2) 並列 (束) モデル [2]

本モデルでも、直列モデルと同じようにひずみが ϵ_1 に達したときにまず最弱のラミナが破壊すると仮定する。しかしそこですぐに集成材全体の破壊が生じるのではなく、 A_1 が消失し荷重の再配分が生じると仮定する。もし残存する全てのラミナが再配分された荷重に耐えることができるなら、集成材は少なくとも2番目に弱いラミナが破壊するまで、すなわち全体のひずみが ϵ_2 に達するまで破壊しない。逆に、再配分された荷重に耐えるこ

とが出来ない場合、そこで集成材が破壊することになる。このような過程が最強のラミナまで繰り返される間に、集成材全体の強度が決定される。

最弱ラミナが破壊した時に集成材の破壊が生じる場合には、集成材のTSは直列モデルと同じく(3)式で計算される。

同様にしてk番目に弱いラミナが破壊したときに集成材が破壊するとすると、集成材の σ_g は次式で表わされる。

$$\sigma_g = \varepsilon_k \times \frac{\sum_{i=k}^5 (A_i \cdot E_i)}{A} \quad (4)$$

上の仮定から明らかなように、本モデルは要素が束のように並列的に列んだ並列(束)モデルであり、(4)式により求められる5種類の σ_g の中で最も大きな値が集成材の引張強度となる。

(3) 平均値(延性)モデル [3]

本モデルでは、前2モデルのように各ラミナのひずみが ε_i に達したときに破壊が生じると考えるのではなく、図15に示すようにひずみが ε_i を越えてもラミナは延性状態にあり、 σ_i の応力を分担する能力があると仮定する。ただし、 ε_5 を越えると集成材全体が延性状態になり、そこで破壊が生じると仮定する。

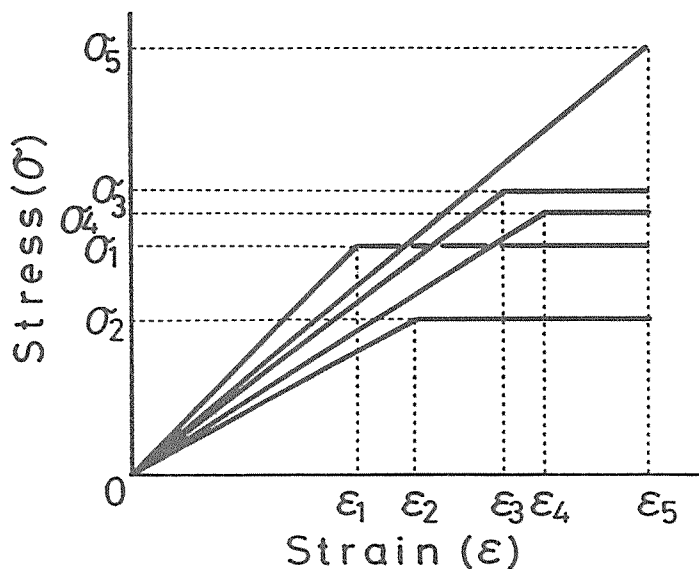


図15、並列モデルにおける応力とひずみの関係

この仮定から、集成材の破壊時における各ラミナの応力は σ_i そのものとなるので、集成材の引張強度 σ_g は各ラミナの応力に各ラミナの断面積を乗じたものの総和を集成材の断面積で除した値となる。すなわち、

$$\sigma_g = \frac{\sum_{i=1}^5 (A_i \cdot \sigma_i)}{A} \quad (5)$$

となる。この式から明らかなように、集成材の引張強度 σ_g は各ラミナの引張強度 σ_i の平均的な値となる。もし、各ラミナの厚さが一定であれば、 σ_g は σ_i の平均値に全く一致する。

本モデルでは、直列モデルや並列モデルのように ϵ の最小値を求める過程がなく、 σ_g は単純な確率変数の和によって計算される。したがって、もし積層数(n)が多い場合には、中心極限定理が成立することになる。すなわち、 σ_g の分布は正規分布に近似し、その平均値 μ_g および標準偏差 S_g は次式で表わされる[8]ことになる。

$$\mu_g = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \cdot \mu_i)}{A} \quad (6)$$

$$S_g^2 = \sum_{i=1}^n \left\{ (A_i / A)^2 \cdot S_i^2 \right\} \quad (7)$$

ここで、

μ_i : 第*i*層の引張強度の平均値

S_i : 第*i*層の引張強度の標準偏差

3. 4. 2 実大試験結果とシミュレーション結果の比較

本研究で想定した3種類のモデルの妥当性を検証するために、昨年度のラミナデータを用いてモンテカルロシミュレーションを行い、得られた結果とスギ集成材およびスギ複合集成材の試験結果[1]とを比較した。

4.2.1. シミュレーションの方法

前章で説明したプログラムをBASIC言語で作成し、これを実行ファイルにコンパイルした後、32ビットのパーソナルコンピュータを用いてシミュレーションを行なった。

集成材は11種類、モデルはそれぞれについて3種類なので、本研究では計33種類のシミュレーションを行なったことになる。

4.2.2、実大試験結果とシミュレーション結果の比較

シミュレーションにより得られた複集合成材のTSの強度分布と実大試験の結果を図16～18に示す。図の縦軸は頻度、横軸はTSである。図中の番号は先に説明したように集成材の種類を表わしている。横軸上の丸印は実大試験により得られた試験体一体ごとのTSである。試験体数はSS23のみが6体で、それ以外は12体である。

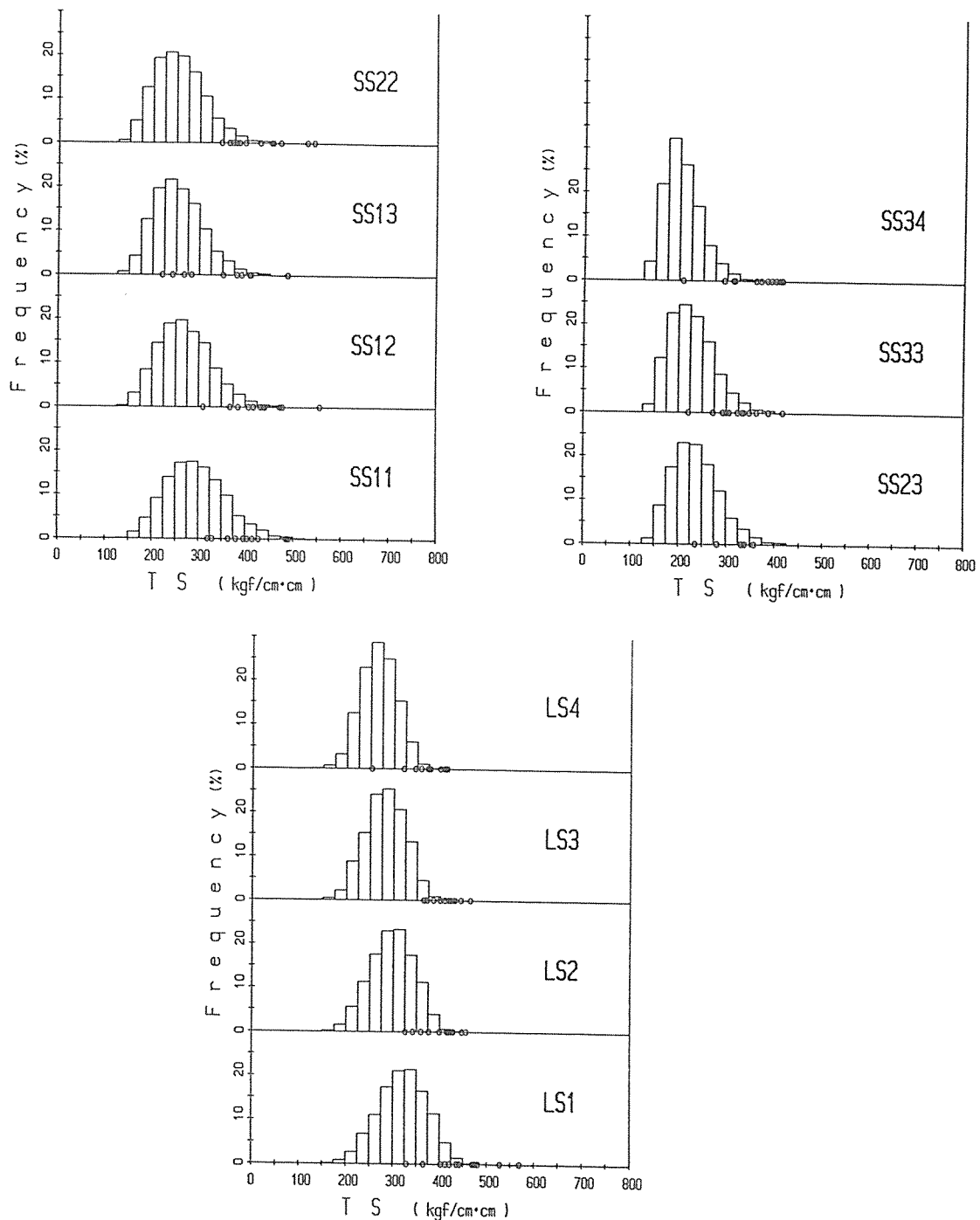


図16、引張強度分布予測と実大試験結果（直列モデル）

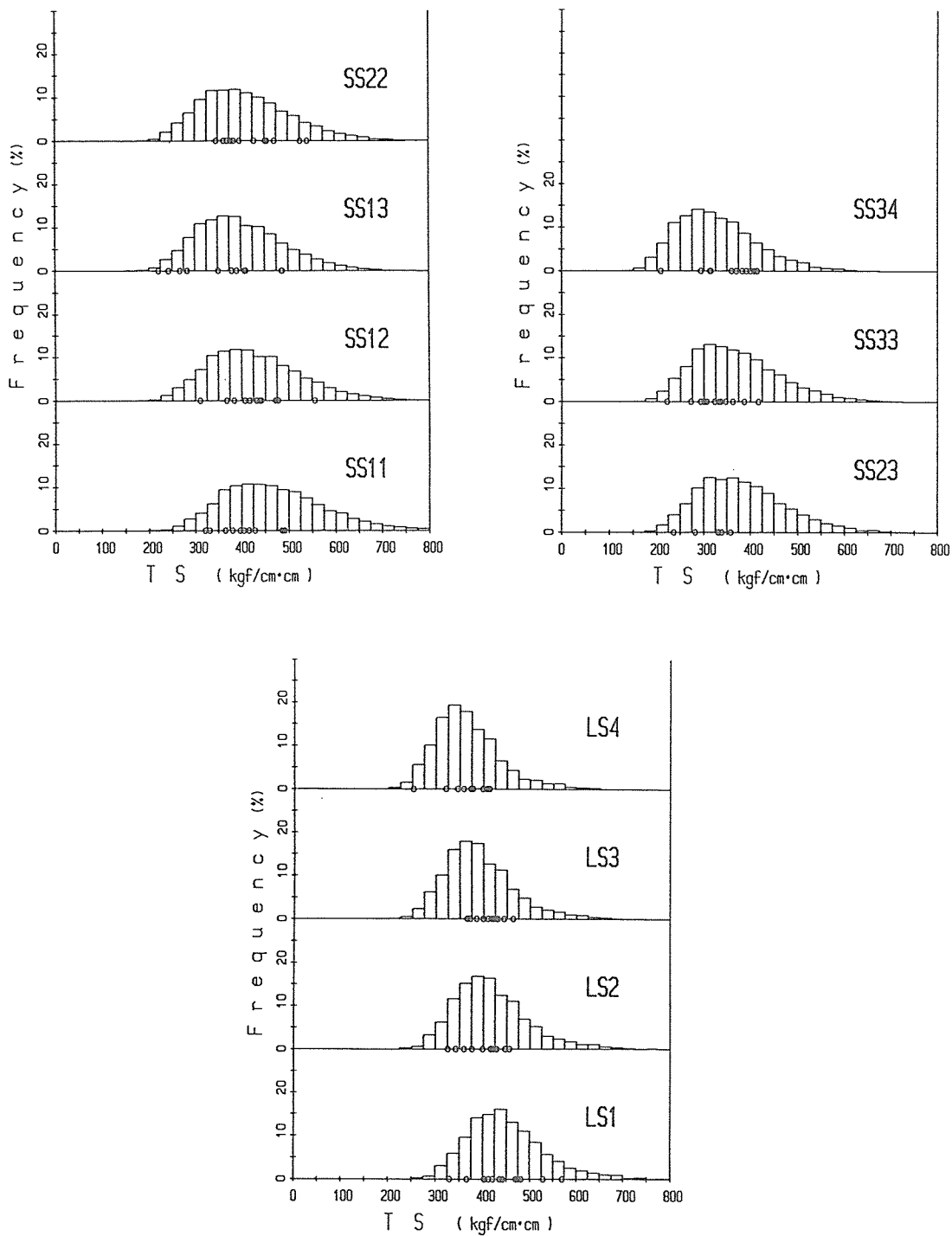


図 1 7、引張強度分布予測と実大試験結果（並列モデル）

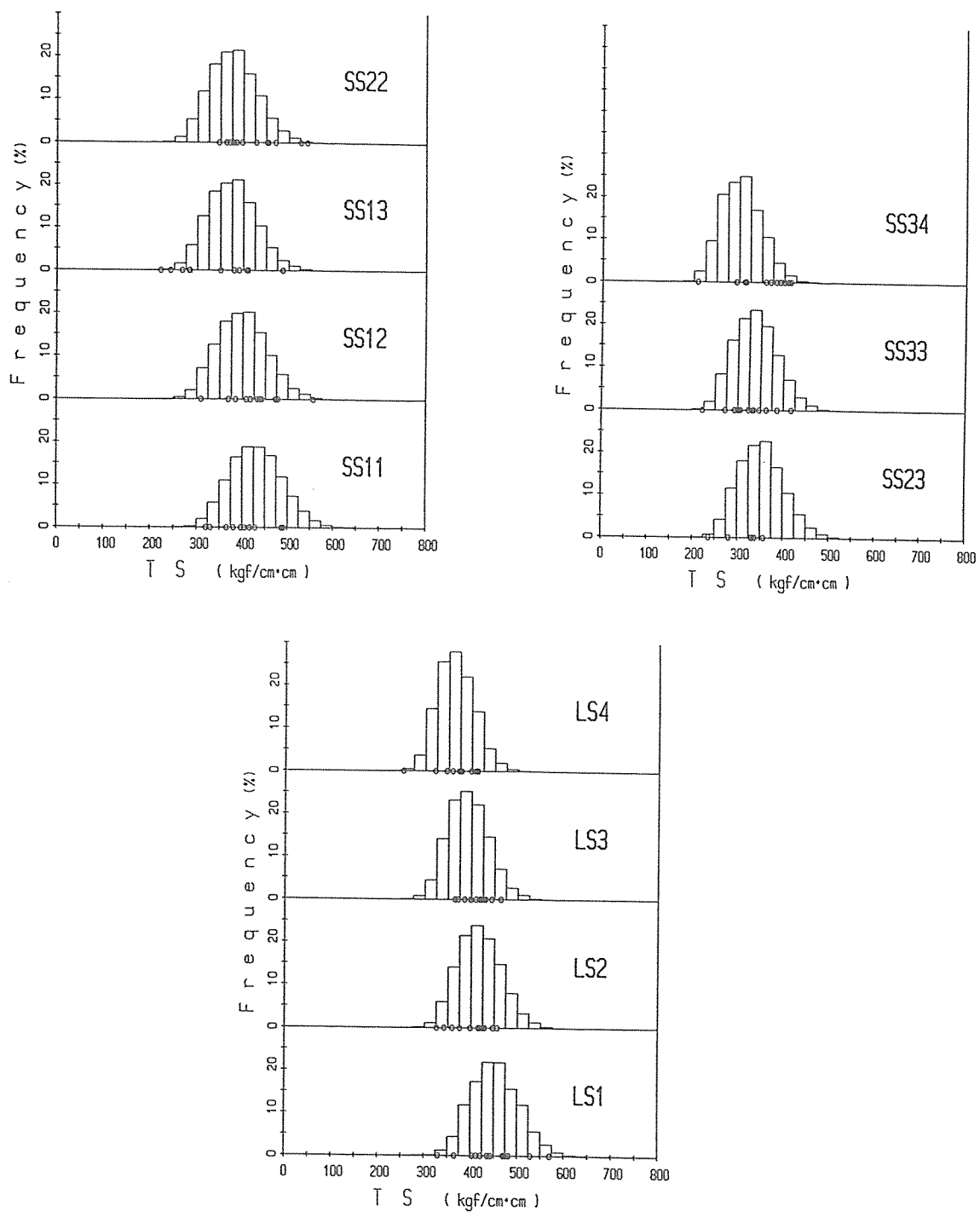


図 1 8、引張強度分布予測と実大試験結果（平均値モデル）

これらの図におけるシミュレーション結果と実験結果の全体的な傾向を見てみると、直列モデルでは予測の分布が実験結果よりも低い位置にあり、引張強度予測モデルとしてこのモデルが適切でないことが明らかである。一方、並列モデルと平均値モデルではどちらも予測の範囲内に実験データが分散している。しかしながら、平均値モデルではSS13やSS22の結果から明らかのように、予測の範囲から逸脱しそうなデータがいくつか存在するのが見うけられる。データ数から判断してこのようなデータが存在する確率は非常に小さいと考えられるので、平均値モデルの適合性は並列モデルよりも劣っていると判断される。

以上の考察結果により、3種類のモデルの中では並列モデルが強度予測モデルとして最も適切であると考えられた。そこでこのモデルの適合性を定量化するために、Kolmogorov-Smirnovテスト[5]を行ない、「実大実験結果のデータは並列モデルによって予測された強度分布の母集団から得られたものであると見なしてもよい。」という帰無仮説がどの程度の危険率で棄却されるかを検定した。方法は以下の通りである。

まず、発生された集成材のTSのデータに対数正規分布を当てはめ、パラメータを求めた。対数正規分布を当てはめに用いたのは、最尤法による適合性の検定結果が3パラメータワイブル分布より優位であることが明らかになったためである。なお表8には比較のために正規分布のパラメータも示した。

表8、並列モデルにより予測された強度分布の統計値

| 試験体 | 正規分布 | | | 対数正規分布 | |
|------|-------|--------|---------|--------|--------|
| | 平均 | 標準偏差 | C V (%) | 平均 | 標準偏差 |
| LS1 | 451.5 | 85.61 | 18.96 | 6.095 | 0.1844 |
| LS2 | 418.5 | 81.86 | 19.56 | 6.019 | 0.1892 |
| LS3 | 394.4 | 78.96 | 20.02 | 5.958 | 0.1928 |
| LS4 | 367.8 | 74.49 | 20.25 | 5.888 | 0.1942 |
| SS11 | 468.8 | 109.22 | 23.30 | 6.123 | 0.2329 |
| SS12 | 428.7 | 100.49 | 23.44 | 6.033 | 0.2351 |
| SS13 | 399.7 | 94.70 | 23.69 | 5.963 | 0.2379 |
| SS22 | 412.7 | 100.45 | 24.34 | 5.994 | 0.2424 |
| SS23 | 383.4 | 94.34 | 24.61 | 5.919 | 0.2455 |
| SS33 | 370.9 | 93.70 | 25.26 | 5.885 | 0.2502 |
| SS34 | 330.2 | 86.57 | 26.22 | 5.766 | 0.2597 |

次に、この分布関数を用いて実験データのKS統計値を求め、KS検定表から帰無仮説が棄却される危険率を検定した。ただし、検定表には危険率の値が、0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0, 20.0%の時の値しか示されていないので、検定の結果はこれらの値で示した(表9)。

表9では、11種類のシミュレーションの中で危険率20%以上を示すものが5種類、10%以上が3種類、5%以上が2種類、2%以上が1種類という結果となっている。試験体数が1条件につき12体程度に限られているので、この結果のみから本モデルの予測精度を議論するには無理があるが、前報[3]や前々報[6]の曲げ強度分布予測の結果と比べれば、より精度の高い予測が可能であるといえよう。

表9、K-Sテストの結果

| 試験体 | データ数 | D_{n^*} | α^{**} (%) |
|---------|------|-----------|-------------------|
| L S 1 | 1 2 | 0.164 | 20 |
| | 1 2 | 0.294 | 10 |
| | 1 2 | 0.333 | 20 |
| | 1 2 | 0.245 | 20 |
| S S 1 1 | 1 2 | 0.409 | 2 |
| | 1 2 | 0.214 | 20 |
| | 1 3 | 0.324 | 10 |
| | 2 2 | 0.255 | 20 |
| | 2 3 | 0.564 | 5 |
| | 3 3 | 0.322 | 10 |
| | 3 4 | 0.298 | 5 |

D_{n^*} : KS 統計値

α^{**} : 危険値

以上の結果では、並列モデルが引張強度予測モデルとして最も適切であると考えて考察を加えた。しかしながら平均値モデルでは、積層数が多くかつそれぞれのラミナのTSの平均値と標準偏差が明らかであれば、シミュレーションを行なうことなく引張強度の分布を概略的に予測すること[9, 10]が可能である。また、LVLのせん断強度のような場合には、平均値モデルがよく適合する[11]ことが明らかにされているので、厳密に分布の形態を考慮しながら信頼度を求めるような場合を除き、実用面から下限5%値を予測したりするような場合には、平均値モデルの解に適当な係数を乗じることによって推定値とすることも可能であろう。

3. 5 まとめ

フィンガージョイントラミナを用いて製造した複合集成材およびスギ集成材について昨年度と同様の実験を行ない、フィンガージョイントラミナを用いた場合と通しラミナを用いた場合との強度特性の変化について検討した。また強度等級区分されたラミナを用いて製造された5プライ集成材の引張強度分布を予測するため、3種類のモンテカルロシミュレーションモデルを作成し、11種類の集成材についてシミュレーションを行い、予測結果を実大実験結果と比較した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 今回用いたスギラミナは前年度のそれより節が非常に多く低質であったため、引張強度は同一MOEの条件下で約50～60 kgf/cm²低い値を示した。このことから、引張強度とMOEの関係は曲げ強度とMOEの関係のように1本の回帰直線では表現し得ないことが明らかになった。

(2) 通しラミナにおけるMOE-TSの回帰直線は縦つぎラミナのそれより高い位置にあるが、下限5%の直線では両者の位置が逆転し、縦つぎラミナのそれが高い位置にくる。すなわち、節の多い低質ラミナでは縦つぎした方が構造材としての信頼性が高くなる。

(3) 集成材の引張強度、曲げ強度ともに、原材ラミナの品質が悪いほど複合化の効果が高くなり、強度性能の向上がはかれる。

(4) 前回と同様に、複合化による曲げヤング係数の向上は顕著であった。ただし、せん断付加たわみが大きくなるため、実測されたMOEの値は常法による計算値より低い値となった。

(5) 引張強度分布を予測するために提案された3種類の確率モデルの中では、並列モデルが最も良い適合性を示した。このモデルの適合性についてKolmogorov-Smirnovテストを行ない、「実大実験結果のデータは本シミュレーションモデルによって予測された分布の母集団から得られたものであると見なしてもよい。」という帰無仮説がどの程度の危険率で棄却されるかを検定したところ、11種類中8種類において、10%以上の危険率で帰無仮説が棄却された。

3. 6 参考文献

- [1] 林 知行、宮武 敦：木材学会誌、37(3)、p.200-205.(1991)。
- [2] 市川昌弘：“構造信頼性工学”、海文堂、1988、p.33-34。
- [3] 建築研究所：“建設省総合技術開発プロジェクト、新木造建築技術の開発報告書 No63-1 構造分科会” p.69-77 (1989)。
- [4] Taylor, S.E.;Bender,D.A.: Forest Prod. J.,39(7/8), 71-74 (1989)。
- [5] 林 知行：木材学会誌、35(12)、p.1144-1153 (1989)。
- [6] 林 知行：材料、39(9)、p.1197-1202 (1990)。
- [7] 林 知行：木材学会誌、36(10)、p.920-926 (1990)。
- [8] Ang, A.H.S.;Tang, W.H.:"Probability Concept in Engineering Planning and Design, Vol.1, Basic Principles", John Wiley and Sons, 1975, p.179。
- [9] 王 潜、林 知行、佐々木光、長谷泰弘：木材学会誌、36(8)、p.624-631 (1990)。
- [10] 林 知行：材料技術、9(2)、p.49-53 (1991)。
- [11] 林 知行、宮武 敦：第41回日本木材学会大会要旨集、松江、1991。