

## ヒノキ間伐材の材質\*

佐々木 光\*\*, 瀧 野 真二郎\*\*

### Properties of Hinoki from the Thinning Operation for Structural Use\*

Hikaru SASAKI\*\* and Shinjiro P. TAKINO\*\*

#### 1. は じ め に

言うまでもなく、間伐の促進はわが国林業のかかえる最も重要な問題である。そのためには、受皿である需要の確立が急務であるが、従来間伐材の最も大きな用途であった建築用足場丸太、仮設材などは鉄パイプ等に代替され、垂木、母屋角、根太等についても、間伐労働力の減退、賃金の高騰などのために、採算上または作業性の上でベイツガなど北洋材の代替を見るに至っている。このような状況が、一方では、「間伐材は材質的に利用価値が低いために需要の減退を見ている」という誤解に発展しているように思われる。

間伐材は、確かに、ねじれ、狂いが大きく、寸法上の制約があるために使いにくい面があるが、強度自体は住宅の構造部材として十分なものであるから、7×7 構法住宅のように未乾燥材を大壁の中に固定するような新構法を用いれば、住宅建設資材として大いに活用できるものと考えられる。このためには、間伐材の材質に関する多くの実験データを公表し、間伐材の材質に関する認識を高めその安定した流通をはかる必要があると思われる。

本報告は、木質材料研究部門における研究プロジェクトの一つである「間伐小径木の有効利用に関する研究」の一環として行ったヒノキ間伐材の材質調査結果の一例である。比較のために行ったヒノキ主伐材（心去り材）およびベイツガ材に関する材質試験結果を併せ記載し、三者の特性を比較検討した。間伐材の生産、流通にたずさわる方々および住宅建設にたずさわる方々の参考になれば幸甚である。

なお、試験木の提供ならびに実験遂行に種々御協力を賜った住友林業株式会社山林部および当研究所大学院生、研修員等諸氏に深甚なる謝意を表する。

#### 2. 供試材及び試験方法

##### 2.1. 供 試 材

供試ヒノキ間伐材は、住友林業（株）四国山林、別子山事業区、中尾地区、37林班、へ小班から得られた40年生間伐木から製材された心持材である。

比較のために供試されたヒノキ主伐材は、同じく住友林業（株）四国山林、別子事業区の物住地区、132林班ろ小班から得られた66年生主伐（皆伐）木から製材された心去り材である。また同様に比較供試されたベイツガ材は輸入市販材で樹令は不詳である。

以上三種の供試木の製材寸法、本数、記号、年輪幅等は Table 1 に示す通りである。これらの供試材は通

---

\* 間伐材の利用に関する研究 (I) とする, Studies on the Utilization of Logs from the Thinning Operation (I).

\*\* 木質材料研究部門, Division of Composite Wood.

Table 1. 供試ヒノキ間伐材, 主伐材およびベイツガ材の材種, 本数, 年輪幅, その他。

| 供 試 木  | 材 種              | 長 さ | 本 数 | 平均年輪幅  | 記 号      | 心持ち心去りの別 |
|--------|------------------|-----|-----|--------|----------|----------|
| ヒノキ間伐木 | 75 mm 間柱用正角      | 3 m | 13本 | 3.1 mm | K1M 1~13 | 心 持 ち    |
| 〃      | 60×50 mm垂木用平割    | 3   | 13  | 3.0    | K1T 1~13 | 〃        |
| 〃      | 45 mm 厚根 太用 耳つき材 | 3   | 13  | 2.3    | K1N 1~13 | 〃        |
| ヒノキ主伐木 | 75 mm 間柱用正角      | 3   | 13  | 2.7    | K2M 1~13 | 心 去 り    |
| 〃      | 60×50 mm 垂木用平割   | 3   | 13  | 2.0    | K2T 1~13 | 〃        |
| 〃      | 45 mm 根太用正割      | 3   | 13  | 2.4    | K2N 1~13 | 〃        |
| ベイツガ   | 75 mm 間柱用正角      | 3   | 13  | 2.8    | HM 1~13  | 心 去 り    |
| 〃      | 60×50 mm垂木用平割    | 3   | 13  | 2.0    | HT 1~13  | 〃        |
| 〃      | 45 mm 根太用正割      | 3   | 13  | 2.1    | HN 1~13  | 〃        |

常の流通過程を経て実験室に搬入され、直ちにビニールシートで覆われ、水分の変化を抑止し、そのままの含水率で試験に供した。含水率を調整しなかったのは、実用的な見地を主にしたためである。

## 2.2. 試験方法

### 2.2.1. 欠 点

供試材の中央、長さ 1 m の区間について、節、丸身等の欠点の測定を行った。この区間は後の曲げ試験において、一定曲げモーメントの生ずる区間で、破壊は主としてこの区間で生ずるので、強度と欠点の対応をとるのに都合がよい。測定は製材の日本農林規格（農林省告示第1892号、昭47）<sup>1)</sup>に示される項目に従って、供試材の四側面 A, B, C, D について行われ、同規格に従って製材等級が決められた。面 A は木表面（心持材では元口断面で見て心から一番遠い面）であり、元口断面で見て反時計廻りに順に側面を B, C, D とした。後の曲げ試験では荷重の与えられる面を A 面（耳つき材の場合は製材面の一つである B 面）とした。反りの測定は全長 3 m の間の最大矢高をもって表し、鋼製規準面にあてたときのすき間をノギスで読んだ。また割れの測定は長さ 10 cm 以上のもののみを対象とし、長さは物差しで、幅はノギスで読んだ。

Table 1 に示した記号の末尾の数字が 11, 12, 13 のものについては、そのまま曲げ試験を行わず、室内に 6 カ月間垂直に静置した後、含水率がほぼ 10% となった時点で再び反りと割れの測定を行なった後、曲げ試験を行い、それぞれの乾燥前後を比較した。

### 2.2.2. 含 水 率

実用的見地から、搬入された水分状態のまま曲げ試験を行うことにし、試験直前における中央 1 m 区間内の 3 点の含水率を電気抵抗式水分計を用いて測定し、その平均値をもって供試材の含水率とした。乾燥実験に供した記号末尾 No. 11, 12, 13 の供試材については 6 カ月間の乾燥前後に繰返し同上の測定を行った。

### 2.2.3. 曲げ試験

間柱、根太、垂木等の破壊は主として曲げによって生ずるから、強度試験として、ここでは曲げ試験を行った。試験方法は Fig. 1 に示す通りで、中央のスパン 1 m の 2 点支持、2 点荷重の方法を用い、曲げヤング係数は、中央スパンに対するたわみ  $\delta$  を用いて計算された。曲げ破壊係数  $\sigma$ 、曲げヤング係数 E は供試材の中央における見かけの断面についての値である。即ち、中央断面に丸身などの欠損が存在しても Fig. 2 に示すように見かけの幅  $b_1$  および見かけの高さ  $h_1$  を用いて、

$$\sigma = 3 P_{\max} l_1 / b_1 h_1^2 \dots \dots \dots (1)$$

$$E = 3 P_1 l_1^2 / 4 \delta_1 b_1 h_1^3 \dots \dots \dots (2)$$

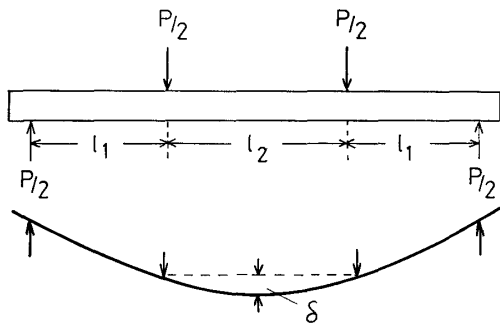


Fig. 1. 曲げ試験の方法

$l_1$ : 断面75 × 75 mm の材では 90 cm  
 // 60<sup>b</sup> × 50<sup>b</sup> の材では 70 cm,  
 // 45 × 45 mm の材では 40 cm  
 $l_2$ : すべての断面の材について 1 m

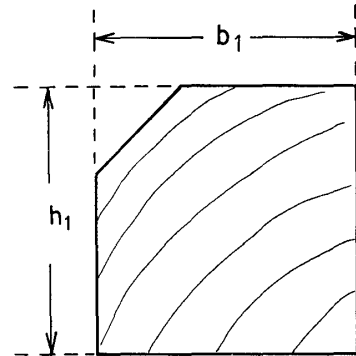


Fig. 2.

で算出された。但し,  $P_{max}$  は最大荷重,  $P_1$  は比例限度内の任意の荷重,  $\delta_1$  は  $P_1$  のときの中央たわみの値である。また, 曲げ剛性  $EI$  も供試材の中央における見かけの断面についての値で,

$$EI = 3 P_1 l_2^2 / 48 \delta_1 \dots \dots \dots (3)$$

で表された。

$l_1$  の値は材種ごとに,

- 間柱用 75 mm 正角については, 90 cm,
- 垂木用 60 × 50 mm 平割については, 70 cm,
- 根太用 45 mm 正割については, 40 cm,

とした。試験には 5 トン・オルゼンタイプ試験機を用い, たわみ測定には精度 1/100 mm のダイヤルゲージを用いた。また破壊形をスケッチし, その原因を推定した。曲げ試験の数は 1 条件につき記号の末尾の数字が 1 から 10 までの 10 本, 総計 9 条件 90 本である。

なお, 比較のために, 反りと割れの測定に供した記号末尾の数字が 11 ~ 13 の各条件 3 本, 計 27 本の供試材について, 室内で十分に乾燥された後の曲げ性能を上と同じ方法で試験した。

### 3. 試験結果及び考察

#### 3.1. 供試含水率における欠点と品等区分

供試含水率における欠点の測定結果をもとに, 日本農林規格によって等級分けした結果は Table 2 に示す通りである。表中に測定時の含水率を併記した。表から明らかなように, ヒノキ間伐心持材と主伐心去り材は測定時含水率が繊維飽和点以下 (21 ~ 26 %) であったのに反し, ベイツガ材は繊維飽和点以上であった。このことは本報告におけるヒノキ材の反りの発生に関与していると思われる。このように, 供試材のほとんどすべては, 含水率 20 % を越えており, 木構造設計規準<sup>2)</sup>の要件を満足していなかった。本例が製材の供給状況を代表するものではないが, 供給サイドが含水率に対し特別な注意を払っていない点が留意事項と考えられる。

供試含水率における欠点と等級の測定結果の概略の傾向を表から読みとると次の通りである。

- 1) ヒノキ間伐心持材の等級は 4 5 mm 正割を除くと, 主として節および丸身によって品等が決まり, 概して 1 等以上に格付けされた。しかし, 45 mm 正割の場合は, 主として反りによって品等が決まり, 平均 2 等材となった。
- 2) ヒノキ主伐心去り材では, 45 mm 正割を除けば, 主として反りによって品等が決まり, 2 等以下に格

Table 2. 供試木の含水率21~26%における各欠点別等級と総合等級

| 材種                 | 樹 種 等     | 記号  | 節 径 比 |   |   |   | 集中節径比 |   |   |   | 丸 身  |   |   |   | 曲 り |   |   |   | 総合等数 |   |   |   |
|--------------------|-----------|-----|-------|---|---|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|-----|---|---|---|------|---|---|---|
|                    |           |     | 特     | 1 | 2 | 外 | 特     | 1 | 2 | 外 | 特    | 1 | 2 | 外 | 特   | 1 | 2 | 外 | 特    | 1 | 2 | 外 |
| 75 mm<br>正 角       | 間伐ヒノキ心持材  | K1M | 5     | 5 |   |   | 5     | 5 |   |   | 5    | 4 | 1 |   | 9   |   | 1 |   | 1    | 7 | 2 | 0 |
|                    | 主伐ヒノキ心去り材 | K2M |       | 1 | 5 | 4 | 7     | 2 | 1 |   | 3    | 2 | 5 |   | 6   |   | 4 |   | 0    | 0 | 6 | 4 |
|                    | ベイツガ材     | H M | 1     | 1 | 6 | 2 | 7     | 3 |   |   | 10   |   |   |   | 10  |   |   |   | 1    | 1 | 6 | 2 |
| 60×<br>50mm<br>平 割 | 間伐ヒノキ心持材  | K1T | 4     | 6 |   |   |       |   |   |   | 10   |   |   |   | 10  |   |   |   | 4    | 6 | 0 | 0 |
|                    | 主伐ヒノキ心去り材 | K2T | 2     | 3 | 2 | 3 |       |   |   |   | 8    | 2 |   |   | 4   |   | 6 |   | 0    | 2 | 5 | 3 |
|                    | ベイツガ材     | H T | 2     | 6 | 2 |   |       |   |   |   | 9    | 1 |   |   | 10  |   |   |   | 2    | 6 | 2 | 0 |
| 45 mm<br>正 割       | 間伐ヒノキ心持材  | K1N |       | 9 | 1 |   |       |   |   |   | 耳つき材 |   |   |   | 4   |   | 3 | 3 | 0    | 4 | 3 | 3 |
|                    | 主伐ヒノキ心去り材 | K2N | 1     | 4 | 2 | 3 |       |   |   |   | 6    | 3 |   | 1 | 9   |   | 1 |   | 1    | 4 | 1 | 4 |
|                    | ベイツガ材     | H N | 1     | 3 | 4 | 2 |       |   |   |   | 10   |   |   |   | 9   |   | 1 |   | 1    | 3 | 4 | 2 |

付けされたものが多かった。これに反して 45 mm 正割の場合は、主として節によって品等が決まり、平均 2 等に格付けられた。

3) 一方、ベイツガ材では、含水率が繊維飽和点以上であったことも影響して、品等はすべて節で決まり、平均すると 2 等材に格付けられた。

以上のことから、この程度の含水率では、間伐心持ヒノキ製材は断面を極端に小さくしない限り、比較的高い等級にランクされるものが多いように思われる。また、心去りヒノキに比べて心持ヒノキの反りが少ない点が興味深い。

### 3.2. 乾燥に伴う狂いと割れ

昭和52年8月から昭和53年2月にかけて6カ月間、室内に風通しよくたてかけられていた間に生じた反りおよび割れの変化は Table 3に示す通りである。

Table 3. 含水率約11%までに静置乾燥される間に各材の側面4面に生じた割れと反りの測定結果 (各材種の3本平均値)

| 材 種                | 樹 種 等       | 記 号       | 全長3mに<br>対する最大<br>矢高 (mm) | 割れの個<br>数*3) | 割れの出<br>現率 *4) | 割れの最<br>大長 (cm) | 割れの最<br>大幅 (mm) |
|--------------------|-------------|-----------|---------------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 75 mm<br>正 角       | 間伐ヒノキ心持材    | K1M 11~13 | 6.3                       | 7            | 2/3            | 164             | 5.3             |
|                    | 主伐ヒノキ心去り材   | K2M 11~13 | 9.8                       | 1            | 1/3            | 11              | 0.1以下           |
|                    | ベイツガ材       | H M 11~13 | 5.9                       | 0            | 0              | —               | —               |
| 60×<br>50mm<br>平 割 | 間伐ヒノキ心持材    | K1T 11~13 | 11.3                      | 3            | 2/3            | 87              | 0.9             |
|                    | 主伐ヒノキ心去り材   | K2T 11~13 | 10.7                      | 1            | 1/3            | 25              | 0.1以下           |
|                    | ベイツガ材       | H T 11~13 | 5.8                       | 0            | 0              | —               | —               |
| 45 mm<br>正 割       | 間伐ヒノキ心持材*1) | K1N 11~13 | 11.6                      | 2            | 2/3            | 46              | 1.8             |
|                    | 主伐ヒノキ心去り材   | K2N 11~13 | 10.0                      | 0            | 0              | —               | —               |
|                    | ベイツガ材       | H N 11~13 | 24.3*2)                   | 0            | 0              | —               | —               |

\* 1): 厚さ 45 mm の耳付き材

\* 2): 大節の出現により材が屈曲

\* 3): 4 面の合計

\* 4): 2/3 は 3 本中 2 本に出現, 1/3 は 3 本中 1 本に出現の意味。

表より以下のことが言える。

- 1) 大節の出現したベイツガ材を例外とすればヒノキはベイツガよりも反りやすい。
- 2) ヒノキ心去り材では断面の形状によって反りの大きさが変わる傾向は認められないが、心持ち材の場合は断面が小さくなるにしたがって反りの増加が見られる。
- 3) 割れは間伐ヒノキ心持材に著しく現われるが、ベイツガ材には全く現われず、心去りヒノキでは大断面のものに時として現われる。
- 4) 割れの幅は間伐ヒノキ心持材では広いが、主伐ヒノキ心去り材のそれは極めて細く、見落しがちである。

間伐ヒノキ心持材における割れの著しい原因は、接線方向の収縮量が大きいことに関係があるように思われる。この乾燥応力の逃げ場のない材面の中央部に深い割れが発生しやすく、背割りが効果的であることを物語っている。このほか、材のねじれについても測定したが、実用的に問題となる程の量でなかったためここでは省略した。

これらの測定結果と、節と丸身に関する測定結果（乾燥前に測定）から、乾燥の前後における JAS 等級を算出し、比較した。結果は Table 4 に示す通りである。

Table 4. 含水率約11%まで静置乾燥される前後の供試材の等級変化

| 材 種                | 樹 種 等     | 記 号 | 節 等 級 |   |   | 丸 身 |   |   | 反 り   |   |       |             |   |   | 乾 燥 後* |             | 乾 燥 前 合 |   |   | 乾 燥 後 合     |   |   |   |             |   |
|--------------------|-----------|-----|-------|---|---|-----|---|---|-------|---|-------|-------------|---|---|--------|-------------|---------|---|---|-------------|---|---|---|-------------|---|
|                    |           |     |       |   |   |     |   |   | 乾 燥 前 |   | 乾 燥 後 |             |   |   | 割      |             | 総       |   |   | 総           |   |   |   |             |   |
|                    |           |     | 特     | 1 | 2 | 外   | 特 | 1 | 2     | 外 | 特     | 又<br>は<br>1 | 2 | 外 | 特      | 又<br>は<br>1 | 2       | 外 | 特 | 又<br>は<br>1 | 2 | 外 | 特 | 又<br>は<br>1 | 2 |
| 75mm<br>正 角        | 間伐ヒノキ心持材  | K1M | 1     | 2 |   |     | 3 |   | 3     |   | 2     | 1           | 1 | 2 |        | 3           |         |   | 1 | 2           |   |   | 1 |             | 2 |
|                    | 主伐ヒノキ心去り材 | K2M |       |   |   | 3   | 1 | 1 | 1     | 2 | 1     | 1           | 2 | 2 | 1      |             |         | 3 |   |             |   |   |   | 3           |   |
|                    | ベイツガ材     | HM  |       | 1 | 1 | 1   | 2 | 1 |       | 3 |       | 2           | 1 | 3 |        |             | 1       | 1 | 1 |             |   | 1 | 1 | 1           |   |
| 60×50<br>mm<br>平 割 | 間伐ヒノキ心持材  | K1T | 1     | 2 |   |     | 2 | 1 |       | 3 |       |             | 3 | 1 | 2      | 3           |         |   |   |             |   |   |   | 1           | 2 |
|                    | 主伐ヒノキ心去り材 | K2T | 1     | 1 |   | 1   | 1 | 2 |       | 2 | 1     | 1           | 1 | 1 | 2      | 1           |         | 2 | 1 |             |   |   | 2 | 1           |   |
|                    | ベイツガ材     | HT  |       |   | 1 | 2   | 3 |   |       | 3 |       | 2           | 1 | 3 |        |             |         | 1 | 2 |             |   |   | 1 | 2           |   |
| 45mm<br>正 割        | 間伐ヒノキ心持材  | K1N |       |   | 2 | 1   | — | — | —     | 2 |       | 1           | 1 | 1 | 1      | 1           | 2       |   | 2 | 1           |   |   |   |             | 3 |
|                    | 主伐ヒノキ心去り材 | K2N |       | 1 | 1 | 1   | 2 |   |       | 1 | 3     |             |   | 2 | 1      | 3           |         | 1 | 1 | 1           |   |   | 2 | 1           |   |
|                    | ベイツガ材     | HN  |       |   | 1 | 2   | 3 |   |       |   | 3     |             |   |   | 1      | 2           | 3       |   |   | 1           | 2 |   |   | 1           | 2 |

\* 割れの等級は JAS 幅 150 mm 未満の板類の規格における干割れの格付け方法にしたがった。

但し 2 等は干割れ寸法が材面の面積  $\text{m}^2$  で表した数値の 50 倍以下とした。

表から次のことがわかる。

- 1) 間伐ヒノキ心持材の等級は乾燥に伴って反りの増加と干割れの発生により乾燥後に著しい低下が見られ、大半の材は等外品になってしまう。その主たる原因は著しく発生する干割れによるものである。
- 2) これに反して主伐ヒノキ心去り材とベイツガ材には乾燥に伴う等級変化は見られない。これは節の存在により乾燥前の等級がすでに低かったことも一因ではあるが、全般的に見ると、乾燥に伴う反りや割れの発生がこれら 2 者では少ないからであると考えられる。

### 3.3. 曲げ性能

搬入されたままの含水率における曲げ試験を行った結果は Table 5 に示す通りである。同表には参考までに供試材の総合等級別の本数および試験時含水率が記されている。

表から明らかなように、試験された材は、75 mm 正角では間伐ヒノキ心持材は 1 等、主伐ヒノキ心去り材は 2 等～等外、ベイツガ材は 2 等のものが多く、60×50 mm 平割では間伐ヒノキ心持材は特～1 等、主伐ヒノキ心去り材は 2 等、ベイツガ材は 1 等ものが多かった。また 45 mm 正割 (K1N は耳つき材) で

Table 5. 供試材の等級, 含水率, 曲げ破壊係数および曲げヤング率

| 材種             | 樹 種 等     | 記号  | 供試材等級別本数 |     |     |     | 試験時含水率(u)  |                | 曲げ破壊係数( $\sigma_u$ )         |             | 曲げヤング係数( $E_u$ )                             |             | 破 壊 形                                                                 |
|----------------|-----------|-----|----------|-----|-----|-----|------------|----------------|------------------------------|-------------|----------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                |           |     | 特等       | 一 等 | 二 等 | 等 外 | 下均値<br>(%) | 変動係数*1)<br>(%) | 平均値<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>(%) | 平均値<br>(10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>(%) |                                                                       |
| 75 mm<br>正角    | 間伐ヒノキ心持材  | K1M | 1        | 7   | 2   | 0   | 22.5       | 12.0           | 461                          | 12.2        | 99.3                                         | 9.5         | 荷重点下引張8, 節と目切れ2<br>主伐ヒノキ心去り材<br>3 節と目切れ7, 引張<br>ベイツガ材<br>2 節と目切れ8, 引張 |
|                | 主伐ヒノキ心去り材 | K2M | 0        | 0   | 6   | 4   | 22.9       | 4.4            | 357                          | 8.3         | 97.0                                         | 9.5         |                                                                       |
|                | ベイツガ材     | HM  | 1        | 1   | 6   | 2   | 31.2       | 19.8           | 286                          | 12.2        | 84.7                                         | 20.7        |                                                                       |
| 60×50 mm<br>平割 | 間伐ヒノキ心持材  | K1T | 4        | 6   | 0   | 0   | 21.1       | 16.6           | 471                          | 7.9         | 87.2                                         | 8.3         | 引張6, 節と目切れ4<br>主伐ヒノキ心去り材<br>2 節と目切れ8, 圧縮<br>ベイツガ材<br>2 節と目切れ8, 引張     |
|                | 主伐ヒノキ心去り材 | K2T | 0        | 2   | 5   | 3   | 25.9       | 18.0           | 346                          | 14.9        | 91.9                                         | 13.2        |                                                                       |
|                | ベイツガ材     | HT  | 2        | 6   | 2   | 0   | 33.6       | 21.0           | 277                          | 17.5        | 87.0                                         | 14.9        |                                                                       |
| 45 mm<br>正割    | 間伐ヒノキ心持材  | K1N | 0        | 4   | 3   | 3   | 21.2       | 15.8           | 507                          | 8.4         | 100.7                                        | 10.1        | 引張5, 節と目切れ5<br>主伐ヒノキ心去り材<br>1 節と目切れ9, 圧縮<br>ベイツガ材<br>2 節と目切れ8, 引張     |
|                | 主伐ヒノキ心去り材 | K2N | 1        | 4   | 1   | 4   | 24.1       | 24.7           | 374                          | 9.8         | 89.3                                         | 13.5        |                                                                       |
|                | ベイツガ材     | HN  | 1        | 3   | 4   | 2   | 29.4       | 16.3           | 370                          | 13.5        | 101.2                                        | 10.7        |                                                                       |

\*1): (標準偏差/平均値) × 100(%)

は間伐ヒノキ心持材は1等～等外, 主材ヒノキ心去り材は2等～等外, ベイツガ材は2等～等外材が多かった。

試験時含水率は, 間伐ヒノキ心持材には20%以下のものも散見されたが, 主伐ヒノキ心去り材ではほとんどが20～30%であり, ベイツガの多くは30%以上であった。

曲げ破壊の形態についての観察結果の詳細は省略するが, 大体以下の傾向が認められた。

- 1) 間伐ヒノキ心持材の曲げ破壊は節によって影響されるケースが比較的少なく, 圧縮側のモメに始まり引張側の繊維引張破壊に終わっている (Photo 1)。
- 2) これに反して, 主伐ヒノキ心去り材およびベイツガ材の曲げ破壊は節によって影響されるケースが多く, その多くは節近傍の繊維の目切れに沿ったもので, 比較的単純な形をしたすべり破壊になっている (Photo 2,3)
- 3) 破壊時の最大たわみは読み取ることができなかったが, 観察によれば, 間伐ヒノキ心持材のそれは他の2者のそれに比べてはるかに大きく, また, 破壊までに小さな破裂音が多く聞かれ, 他の2者のように時として予告音もなく破断が突然おこるようなことはなかった。このことは構造部材として間伐ヒノキ心持材を使用することの安全性を示すものと考えられる。

表中の曲げ破壊係数とその変動係数から類推\*1) される許容応力度は, いずれも木構造設計基準の普通構造材の値\*2) 以上のものと考えられ, この含水率においても構造用材として十分な強度のあることがわかる。

一方, ヤング係数とその変動係数から明らかなように, ほとんどのものは木構造設計基準の普通構造材の値\*3) より低い曲げヤング係数をもつ確率が高いことがわかる。

これらの原因の一つに含水率が高かったことが考えられる。規準の値は含水率20%以下の木材に対する値

\*1): 曲げ破壊係数を  $\sigma$ , 変動係数を  $v$  とすると, 長期許容応力度  $f_b$  は  $f_b = \frac{\sigma}{2.1} (1 - 0.02v)$  で推定される<sup>3)</sup>。

\*2): ヒノキ: 90 kg/cm<sup>2</sup>, ベイツガ: 70 kg/cm<sup>2</sup> (長期応力に対する値)。

\*3): ヒノキ: 90 × 10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup>, ベイツガ: 70 × 10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup> (短期応力に対する値)。

であるから、含水率を20%にした場合の値に換算して比較する必要がある。既往の文献<sup>4,5)</sup>における換算率が、そのまま間伐材に、あるいは構造用の実大寸法の材に適用できるかどうか問題はあるが、ここでは一応の目安として、次式によった。

$$F_{20}=F_u\left(1+\frac{\alpha}{100}\right)^{u-20} \dots\dots\dots(u<28\% \text{の場合}) \dots\dots\dots(4)$$

$$F_{20}=F_u\left(1+\frac{\alpha}{100}\right)^8 \dots\dots\dots(u\geq 28\% \text{の場合}) \dots\dots\dots(5)$$

但し、

u: 試験時含水率 (%),

F<sub>20</sub>: 含水率20%における材質,

F<sub>u</sub>: 含水率 u %における材質,

α: 含水率 1 %変化した場合の材質の変化率,

曲げ強度では α=4<sup>4,5)</sup>,

曲げヤング係数では α=2<sup>4,5)</sup>,

供試材の繊維飽和点を28%と仮定。

Table 6 はこの換算結果である。表中には前述の方法で推定した曲げ許容応力度を記した。また、供試材断面に対する曲げ剛性も併記し、耳つき材 (K1N) の根太としてのたわみにくさを表現した。

表から以下のことがわかる

Table 6. 含水率20%における\*1)曲げ破壊係数、曲げヤング係数、  
曲げ剛性および曲げ許容応力度

| 材 種             | 樹 種 等           | 記号  | 曲げ破壊係数(σ <sub>20</sub> )       |                   | 曲げヤング係数(E <sub>20</sub> )                           |               | 曲げ剛性<br>E <sub>20</sub> I<br>(10 <sup>6</sup> ・<br>kg/cm <sup>2</sup> ) | 曲げ許容<br>応 力 度<br>(長期)*3)<br>f <sub>bL</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-----------------|-----|--------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                 |                 |     | 平 均 値<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 変 係 数*2)<br>v (%) | 平 均 値<br>(10 <sup>3</sup> ・<br>kg/cm <sup>2</sup> ) | 変動係数<br>v (%) |                                                                         |                                                                      |
| 75 mm<br>正 角    | 間伐 ヒノキ 心 持 材    | K1M | 513                            | 16.3              | 104.6                                               | 11.8          | 28.3                                                                    | 165                                                                  |
|                 | 主伐 ヒノキ 心 去 り 材  | K2M | 399                            | 7.9               | 102.6                                               | 9.8           | 29.1                                                                    | 160                                                                  |
|                 | ベ イ ツ ガ 材       | HM  | 373                            | 9.6               | 97.3                                                | 22.9          | 27.0                                                                    | 144                                                                  |
| 60×50 mm<br>平 割 | 間伐 ヒノキ 心 持 材    | K1T | 492                            | 15.2              | 89.3                                                | 9.6           | 7.83                                                                    | 163                                                                  |
|                 | 主伐 ヒノキ 心 去 り 材  | K2T | 419                            | 16.4              | 101.3                                               | 15.1          | 9.40                                                                    | 134                                                                  |
|                 | ベ イ ツ ガ 材       | HT  | 378                            | 17.7              | 100.5                                               | 17.7          | 9.56                                                                    | 116                                                                  |
| 45 mm<br>正 割    | 間伐 ヒノキ 心 持 材*4) | K1N | 538                            | 18.6              | 103.6                                               | 17.0          | 6.37                                                                    | 162                                                                  |
|                 | 主伐 ヒノキ 心 去 り 材  | K2N | 419                            | 8.3               | 95.2                                                | 18.4          | 3.56                                                                    | 157                                                                  |
|                 | ベ イ ツ ガ 材       | HN  | 478                            | 14.4              | 115.4                                               | 12.6          | 4.21                                                                    | 162                                                                  |

\*1) : (4) または (5) 式による換算値, \*2) : (標準偏差/平均値) × 100(%),

\*3) : f<sub>bL</sub>=σ<sub>20</sub> (1-0.02 v)/2.1, \*4) : 厚さ 45 mm の耳つき材。

- 1) 算出された曲げ許容応力度は木構造設計規準に規定されている上級構造材の値\*より十分に大きいものである。
- 2) 間伐ヒノキ心持材の曲げ破壊係数の平均値は、主伐ヒノキ心去り材やベイツガ材のそれより大きい、そのばらつきは幾分大きい傾向がある。
- 3) 主伐ヒノキ心去り材の強度は節の存在のために意外に低く、ベイツガ材のそれとあまり変らなかった。

\*) : ヒノキ : 120 kg/cm<sup>2</sup>, ベイツガ 90 kg/cm<sup>2</sup> (長期応力に対する値)。

4) 曲げヤング係数は3者の間に大きな差異がない。ベイツガ材の値はそのばらつきから考えて、木構造設計規準の普通構造材の規準値  $70 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$  を十分満足すると思われるが、間伐ヒノキ心持材および主伐ヒノキ心去り材のそれらは普通構造材の規準値  $90 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$  を満足しない確率が高い。これらはⅡ類（ベイツガ等）の値ならば十分に満足している。

5) 曲げ剛性を算出した結果は、間伐ヒノキ耳つき材（K1N）の曲げ剛性は同じ材種（厚さが同じ材）の他の2者のそれより極端に大きく、根太として使用する場合は耳を落さないことによって非常に大きくたわみを改善できることを示している。

以上の結論として、間伐ヒノキ心持材は強度に関しては上級構造材、針葉樹Ⅰ類と同等に扱ってよいが、曲げヤング率に関しては、普通構造材、針葉樹Ⅱ類程度のものとして扱う必要がある。しかし、若し耳つきのまま根太等に使用するならば、その曲げ剛性は非常に改善され、耳を落した場合の1.5倍程度の評価は十分になり得るものと考えられる。

最後に、参考までに乾燥後の材質についての実験結果を示す。これは乾燥に伴う反りおよび割れの測定に供した3本の試験材について曲げ破壊係数と曲げヤング係数を求めた結果であるため、試験数がそれぞれ3であり、しかも45mm正割材のうち主伐ヒノキ心去り材とベイツガ材では大きな節が存在したため試験結果から除外したのもあるので、全体として、議論に値する程信頼のおけるものではないことをおことわりする。Table 7は試験された材の等級と、結果の平均値である。

Table 7. 6カ月室内乾燥後の材質

| 材 種                 | 樹 種 等     | 記号  | 等級別本数 |    |    |    | 含 水 率   |          | 曲げ破壊係数 $\sigma_d$        |          | 曲げヤング係数 $E_d$                  |          |
|---------------------|-----------|-----|-------|----|----|----|---------|----------|--------------------------|----------|--------------------------------|----------|
|                     |           |     | 特等    | 1等 | 2等 | 等外 | 平均値 (%) | 変動係数 (%) | 平均値 ( $\text{kg/cm}^2$ ) | 変動係数 (%) | 平均値 ( $10^3 \text{ kg/cm}^2$ ) | 変動係数 (%) |
| 75 mm<br>正 角        | 間伐ヒノキ心持材  | K1M |       | 1  |    | 2  | 11.6    | 1.2      | 588                      | 1.9      | 142.0                          | 12.1     |
|                     | 主伐ヒノキ心去り材 | K2M |       |    |    | 3  | 10.9    | 0.86     | 463                      | 25.7     | 100.0                          | 12.1     |
|                     | ベイツガ材     | HM  |       | 1  | 1  | 1  | 11.3    | 3.3      | 447                      | 20.6     | 118.9                          | 4.0      |
| 60×<br>50 mm<br>平 割 | 間伐ヒノキ心持材  | K1T |       |    | 1  | 2  | 10.5    | 0.39     | 610                      | 9.4      | 109.9                          | 10.4     |
|                     | 主伐ヒノキ心去り材 | K2T |       |    | 2  | 1  | 10.8    | 2.2      | 532                      | 8.5      | 100.9                          | 15.7     |
|                     | ベイツガ材     | HT  |       |    | 1  | 2  | 11.0    | 0.34     | 430                      |          | 128.0*                         |          |
| 45 mm<br>正 割        | 間伐ヒノキ心持材  | K1N |       |    |    | 3  | 10.7    | 5.8      | 604                      | 5.7      | 105.8                          | 27.1     |
|                     | 主伐ヒノキ心去り材 | K2N |       |    | 2  | 1  | 11.2    | 2.1      | 522                      |          | 97.7*                          |          |
|                     | ベイツガ材     | HN  |       |    | 1  | 2  | 11.2    | 2.1      | 525                      |          | 113.8*                         |          |

\* 大節の出現したものを除外した。

表の曲げ破壊係数の値は Table 6 の値と比較すると確かに増加してはいるが、その値は(4)式を用いて求まる  $F_u$  の値よりもかなり低い。すなわち、破壊が節や目切れなどの強い影響を受ける構造材では、無欠点材で求められた含水率換算式中の係数  $\alpha=4$  は少し大きすぎるように思える。しかし、いずれにせよ、乾燥することによって、材の許容応力度を下げる必要の全くないことは明らかである。

また、曲げヤング係数については、乾燥後に増加するものと、ほとんど変化しないものが見られる。増加するものでは、(4)式の換算がよくあてはまるケースも見られる。しかし、全般的に評価すると、曲げヤング係数については3者共普通構造材、針葉樹Ⅱ類程度の評価がやっとのところであろう。

## お わ り に

ここでは間伐ヒノキ心持材の材質を主伐ヒノキ心去り材およびベイツガ材のそれと比較した。その結果、間伐ヒノキ心持材の特性として、(1)断面を極端に小さく製材しない限り、外観品質は良好で、反りも比較

的少ない，(2) しかし，乾燥に伴って著しい干割れを生じ外観品質の著しい低下をきたす，(3) 曲げ破壊に及ぼす節の影響は非常に少なく，(4) 破壊たわみおよび曲げ破壊係数は主伐ヒノキ心去り材やベイツガ材より大きい，(5) 破壊前に予告的な微細音が多く聞かれ，突発的な破断はおこらない，(6) ヤング係数は比較的的低く，普通構造材，針葉樹Ⅱ類程度にランクされる。などが明らかにされた。これらによって，外観やたわみを問題にしない構造部材として，あるいはたわみを問題とするときは耳つきのまま，利用することが適当であると結論される。

わが国で問題になっている 間伐材にはヒノキのほかに，カラマツ およびスギがある。これらは地域や環境，品種によって異った生育をし，異った材質をもっている。現状ではそれらの材質に関する調査は十分にやられていないうらみがある。今後，多くの研究者によってこれらがくまなく調査され，間伐材利用のための基盤が確立されることを希望すると共にわれわれも努力するつもりである。

## 文 献

- 1) 日本農林規格協会 “JAS 木材編” (1976).
- 2) 日本建築学会 “木構造設計規準・同解説” (1973).
- 3) P. KOCH: Forest Prod. J., **23**, 17 (1973).
- 4) MUNITIONS BOARD AIRCRAFT COMMITTEE “Design of Wood Aircraft Structures” U. S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE (1951).
- 5) U. S. Department of Agriculture F. P. L. “Wood handbook” U. S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE (1974).

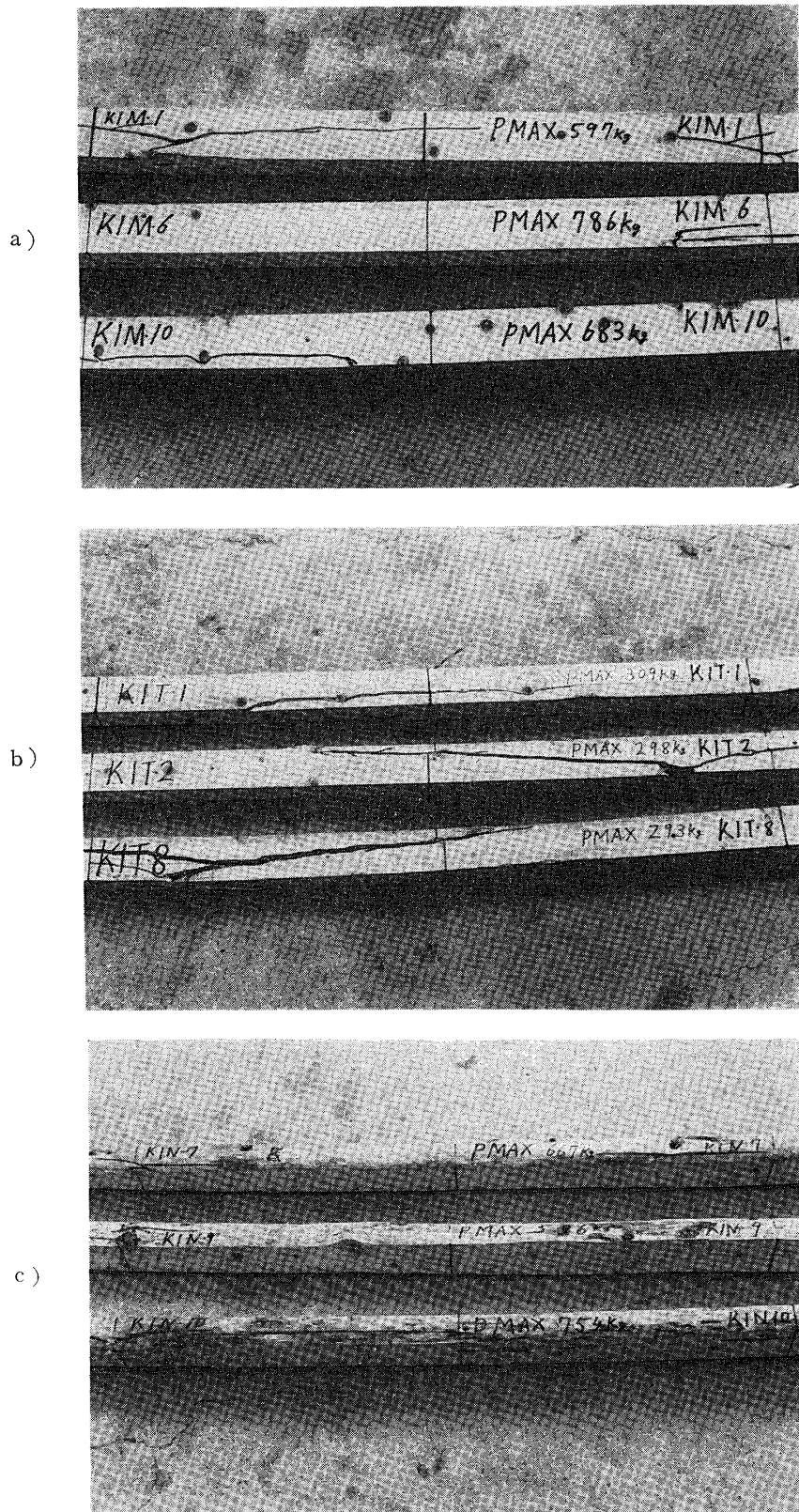


Photo 1. 間伐ヒノキ心持材の曲げ破壊状況の例,  
a) 75 mm 正角, b) 60×50 mm 平割, c) 厚さ 45 mm 耳つき材。

佐々木，瀧野：ヒノキ間伐材の材質

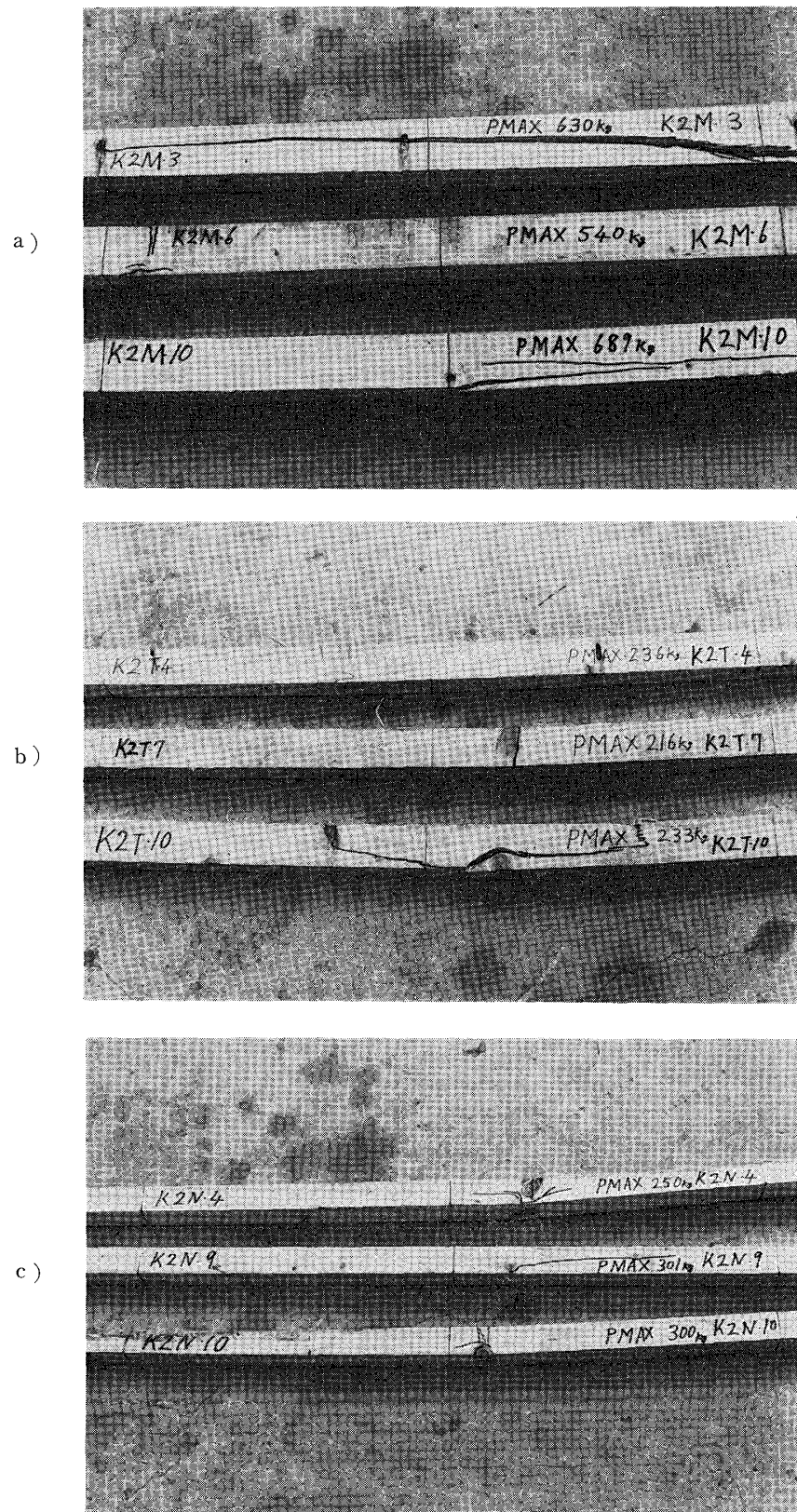


Photo 2. 主材ヒノキ心去り材の曲げ破壊状況の例，  
a) 75 mm 正角，b) 60×50 mm 平割，c) 45 mm 正割。

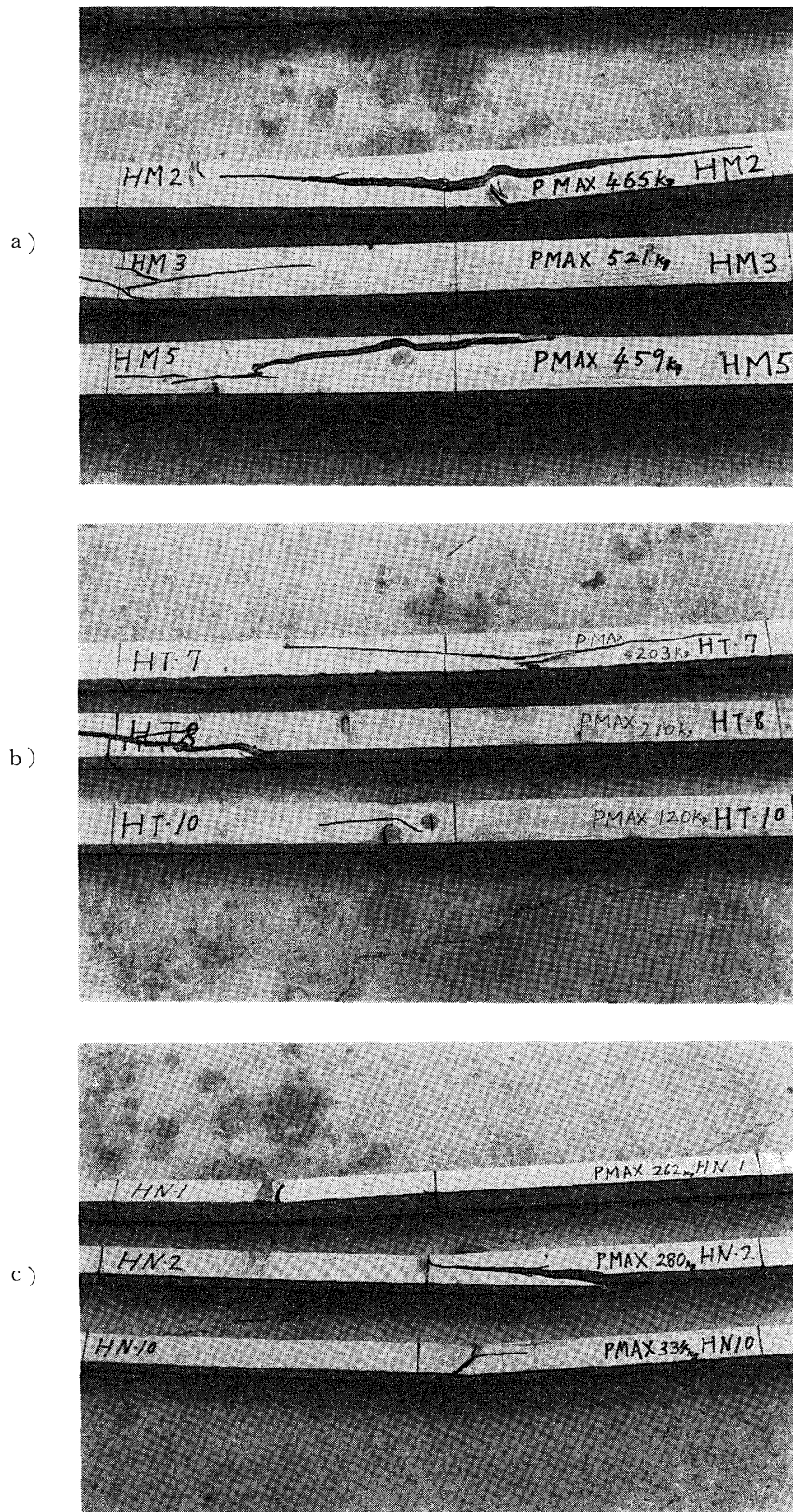


Photo 3. ベイツガ材の曲げ破壊状況の例,  
a) 75 mm 正角, b) 60×50 mm 平割, c) 45 mm 正割。