

木材および木質材料の衝撃的性質(第6報) : 繰返し 衝撃曲げによる木材, 合板, パーティクルボードの疲 労現象

宮川, 秀俊
九州大学農学部木材工学教室

森, 稔
九州大学農学部木材工学教室

<https://doi.org/10.15017/23296>

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 34 (3/4), pp.81-95, 1980-07. 九州大学農学部
バージョン :
権利関係 :

木材および木質材料の衝撃的性質 (第6報)[†]

繰返し衝撃曲げによる木材, 合板, パーティクルボードの疲労現象

宮川 秀俊・森 稔

九州大学農学部木材工学教室
(1980年3月3日受理)

Impact Properties of Wood and Wood Based Materials (VI)[†]

Fatigue Proceedings of Wood, Plywood, and Particleboard
under Repeated Impact Bending

HIDETOSHI MIYAKAWA and MINORU MORI

Laboratory of Wood Technology, Faculty of Agriculture,
Kyushu University 46-08, Fukuoka 812

緒 言

構造部材は、衝撃荷重を繰返し受けると、たとえ1回ごとの荷重は小さくても、その繰返しによつて次第に疲労しついに破壊するに至る。この疲労に対する材料特性は構造部材として重要な意味を持つが、従来木材および木質材料についてはこの面の研究資料が乏しい(継田, 1958; Kurtenacker, 1975; 友松ら, 1978)。そこで筆者らはこの面についての一連の研究を計画した。すなわち、第1, 2報(宮川・森, 1976, 1977)では、木材および接着層を含む木材に引張間接衝撃を繰返し加えた場合の疲労現象について研究し、その衝撃疲労強度を求めると共に1回ごとの衝撃による材料のひずみ波形を検出して、衝撃繰返しに伴う衝撃ひずみおよび残留ひずみの変化を追跡し、さらに、疲労破断に至るまでの履歴エネルギー蓄積の経過を明らかにし得た。

以上の実験に引き続き、本報では、繰返し衝撃曲げ荷重下における構造部材としての木材および木質材料の疲労挙動についての研究の一環として、繰返し落下衝撃試験機による疲労試験を行った。実験では、木材としてタイワンヒノキ、ヘムロック、木質材料として合板、パーティクルボードを供試し、曲げ試験片が破

壊するまで一定の衝撃エネルギーを与え、この場合の衝撃エネルギーおよび衝撃曲げ強度と破壊繰返し数の関係について調べた。次に1回の衝撃ごとの試験片上のひずみ波形を検出して、破壊に至るまでの衝撃ひずみの変化と残留ひずみの蓄積過程を測定すると共に、破壊形態の観察を行い衝撃曲げ疲労についての基礎的知見を得ようとした。

なお、本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(昭和52年度一般研究C, 課題番号256124)によつて行つた。

実 験 方 法

1. 繰返し衝撃曲げ試験機

試験機には、吉田精機 K・K 製の落下衝撃試験機 DST-A 200 型を用いた。

本機は、Fig. 1 に示すように、試験片①の支持台を固定する鉄床②、落下重錘③を垂直に降下させるための案内柱④、落下重錘を所要の高さまで上げるためのギヤードブレーキモータ⑤、落下重錘の釣上げと切離しをする電磁フック⑥、落下高さの設定に必要なスケール⑦と設定指針⑧, ⑩, ⑫, さらに、リバウンド停止装置⑨、全ての運転操作を行う制御装置⑬により構成されており、落下重錘を一定の高さに設定すると、それ以降は制御装置により試験片が破壊に至るま

[†] Report V: Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ., 33: 87-94 (1979).

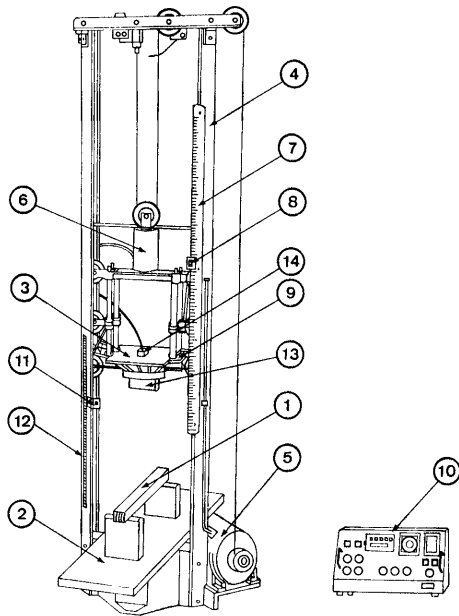


Fig. 1. Dropping type impact machine. ①; specimen, ②; iron foundation, ③; dropping hammer, ④; guide support, ⑤; geared brake motor, ⑥; electromagnetic hook, ⑦; scale, ⑧, ⑪, ⑫; indicator, ⑨; device to suspend a rebound, ⑩; control equipment.

で、自動的に衝撃曲げ荷重を繰返し加える構造である。

2. 供試材料および試験片

供試材料には、木材試験片として比重の異なる2種類のタイワンヒノキ〔H〕(H: High density) および〔L〕(L: Low density) (*Chamaecyparis taiwan-*

ensis Masamune et Suzuki) と、ヘムロック (*Tsuga heterophylla Sarg.*) の気乾材を、木質材料としては、市販7層合板および三層パーティクルボードを用いた。

木材試験片は、二方まきの材料から幅 20 mm、高さ 20 mm、長さ方向(繊維方向) 320 mm (スパン 280 mm) の形状に加工した。

合板およびパーティクルボードは、幅 20 mm、40 mm、60 mm の3種類を供試し、高さ (=材料厚さ、 20 ± 0.5 mm)、長さおよびスパンは木材試験片とほぼ同じ寸法である。なお、合板では、表層の単板の繊維方向が長さ方向となるように木取りした。

供試材料の諸性質を Table 1 に示す。

木材試験片ではまさ目面を、合板、パーティクルボードは材料の表面を負荷面とし、試験片は樹種および試験片の幅別にそれぞれ 17~33 個を供試した。

3. 曲げ試験方法

曲げ試験は中央集中荷重方式で、落下重錘の頭端部は試験片の幅方向には直線、長さ方向の断面は曲率半径 15 mm の円弧、また、両支点の頭端部は同じく 10 mm である。

実験では、上記衝撃試験機の落下重錘の重量を 8.5 kg に一定とし、落下高さは材料の曲げ強さに応じて木材では 6~20 cm、合板では 3~27 cm、パーティクルボードでは 2.5~7 cm に変化させた。

4. 衝撃曲げ強度および材料のひずみ分布の測定法

落下重錘が試験片を打撃する時の加速度は、その落下重錘に取り付けた加速度変換器 (Fig. 1 の⑩) (新興通信工業製 BA-500 H) の出力を増幅器から電磁

Table 1. Physical and mechanical properties of tested materials.

	Wood species ¹⁾			Plywood			Particleboard		
	Taiwanhinoki H	L	Hemlock	20	40	60	20	40	60
Specific gravity	0.51	0.41	0.47	0.75			0.80		
Static bending strength ²⁾ (kg/cm ²)	1157	962	951	630	708	682	249	249	285
Moisture content (%)	10.5	12	11	11			11		
Remark	Annual ring width (mm)			Sevenlayer			Threelayer		
	0.6	1.1	0.7						

¹⁾ Width of wood specimen: constant in 20 mm.

²⁾ Measured by Instron type testing machine (speed of crosshead: 10 mm/min.); average value of ten specimens.

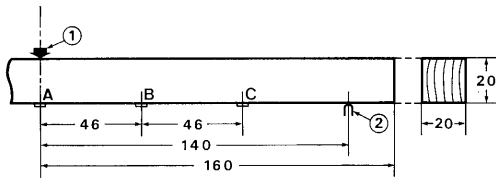


Fig. 2. View of the wood specimen (unit: mm). ①; loading portion, ②; fulcrum. A, B, C: strain gauges applied on the test specimen.

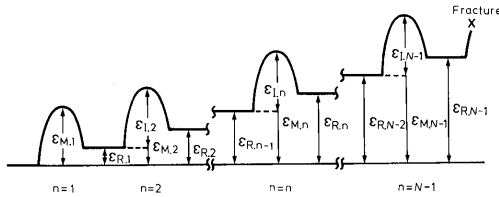


Fig. 3. Simplified schematic diagram of strain wave patterns caused by repetitions of impact blow. $\epsilon_{M,n}$, $\epsilon_{I,n}$ and $\epsilon_{R,n}$: maximum strain, impact strain and residual strain at the repetition number of n respectively.

オシログラフに接続して記録した。

試験片が破壊した時の衝撃荷重を P とすると、その衝撃曲げ強度 σ_b は次式から求め得る。

$$\sigma_b = \frac{3Pl}{2bh^2} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad (1)$$

$$P = M\alpha \quad (2)$$

l : 中央集中荷重による曲げ試験のスパン [cm]

b, h : 試験片の幅, 高さ (厚さ) [cm]

M : 落下重錘の重量 [kg], α : 打撃時における落下重錘の加速度 [m/sec²]

また、試験片の単位幅当りに加わる衝撃エネルギー E_b は、落下重錘の落下高さを H [cm] とすると、次式で与えられる。

$$E_b = \frac{M \cdot H}{b} \text{ [kg} \cdot \text{cm/cm]} \quad (3)$$

衝撃荷重により試験片に発生するひずみを測定するため、Fig. 2 に示すように、荷重部の裏面引張側 A 点と、それから支点方向へ 46 mm ずつ離れた B および C 点の 3 箇所にひずみゲージを貼付し、その出力を増幅器を通じて電磁オシログラフに記録した。

一般に繰返し衝撃荷重を加えると、試験片のある位置のひずみ波形は、Fig. 3 のように、衝撃の繰返しに伴って次第に増加し、 n 回目の衝撃荷重を受けた時

のひずみ波形の最大値 $\epsilon_{M,n}$ は、前回までの残留ひずみ $\epsilon_{R,n-1}$ とその回の衝撃荷重で発生したひずみ $\epsilon_{I,n}$ の和となる ($\epsilon_{M,n} = \epsilon_{R,n-1} + \epsilon_{I,n}$)。従つて、試験片が N 回の衝撃で破壊した時、破壊直前回 ($N-1$) での最大ひずみは、

$$\epsilon_{M,N-1} = \epsilon_{R,N-2} + \epsilon_{I,N-1}$$

となる (宮川・森, 1976)。

Fig. 4 は 1 回の衝撃荷重による 3 位置のひずみ波形および加速度波形の測定例である。同図において、A は荷重部裏面、B, C はそれより支点方向へ 46 mm ずつ離れて貼付したひずみゲージにより得られた波形 (引張ひずみ) を、D は落下重錘に取り付けられた加速度計により得られた波形を表わす。各ひずみ波形の高さから、それぞれの衝撃繰返し数における $\epsilon_{I,n}$ を、またオシログラフにおける基準線からの高さの移動量から $\epsilon_{R,n-1}$ を、さらにそれらから $\epsilon_{M,n}$ を測定した。

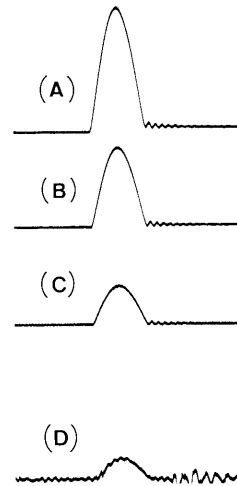


Fig. 4. Typical patterns of strain wave on the particleboard specimen caused by impact blow. (A): the strain wave on the center of specimen. (B), (C): the strain wave on the portion at 46 mm and 92 mm away from the center respectively. (D): the wave of acceleration.

また、加速度波形 D の最大値から、試験片に加わる衝撃荷重 P を上式 (2) を用いて計算した。

実験結果および考察

1. 繰返し衝撃による試験片の曲げ破壊形態
衝撃曲げ試験における各供試材料の代表的な破壊形

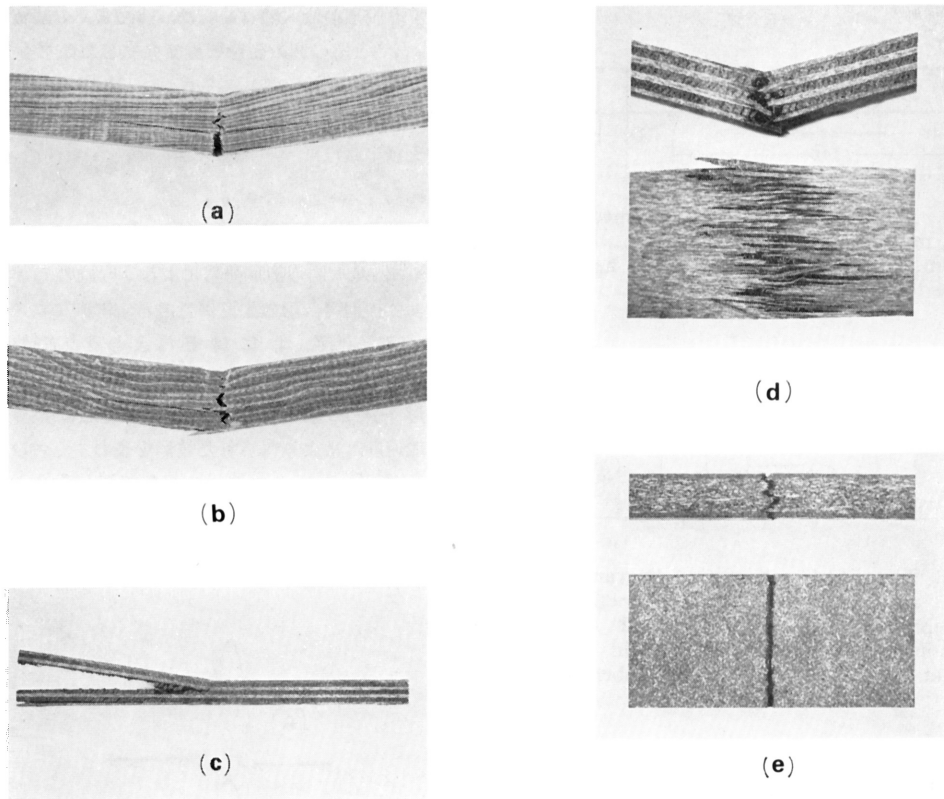


Fig. 5. Fracture types of test specimens in impact fatigue tests.
 (a): Taiwanhinoki. (b): Hemlock. (c): plywood in 20 mm width.
 (d): plywood in 40 mm, 60 mm width. (e): particleboard.

態を Fig. 5 に示す。タイワンヒノキでは、同図(a)に示すように、荷重部裏面から高さ方向への長繊維状の割れと、試験片高さの中心線よりやや下よりの長さ方向に平行な縦裂線が発生し、ヘムロックでは、同図(b)のように、高さ方向の長繊維状の割れに一方の縦裂線がはいる形態がほとんどであった。すなわち、両形態とも荷重部裏面での引張破壊と中心線付近でのせん断破壊が曲げ疲労破壊の主因であることを意味する。

合板では、同図(c)のように、幅 20 mm の場合はその繊維方向が試験片の長さ方向と直交する単板、すなわち 7 枚重ねの表層から第 2, 4, 6 層のいずれか、あるいはその 2 つ以上の層での接着層のせん断破壊 (horizontal shear), 裏割れを起点として亀裂が進展し裏割れごとに個々に分離してころがるような状態になる破壊 (rolling shear), およびそれらが混合した複雑な形態が観察された。幅 40, 60 mm の場合は、上記のような場合も数例見られたが、多くは同図

(d) のように、荷重部裏面で最下層の単板の引張疲労によるささら状の破壊形態であった。すなわち、合板では試験片の幅が狭くなる繊維方向が試験片の長さ方向と直交する単板層での破壊が多くなっており、このことは、接着面あるいは裏割れによる欠陥が試験片幅が狭い時は大きく影響して破壊に至らせ、逆に広くなればそれが分散されるため、その影響が小さくなることを示唆している。

パーティクルボードは、同図(e)のように、試験片幅に関係なく荷重部裏面の頂点 A の位置から長さ直角方向に破壊が生じ、その破壊は削片相互間の接着層を縫って進み、その破壊面は小さな鋸歯状の凹凸を示す。

2. 衝撃エネルギー、衝撃曲げ強度と破壊繰返し数の関係

2.1 衝撃エネルギーと破壊繰返し数

衝撃エネルギー E_0 と破壊繰返し数 N の関係を

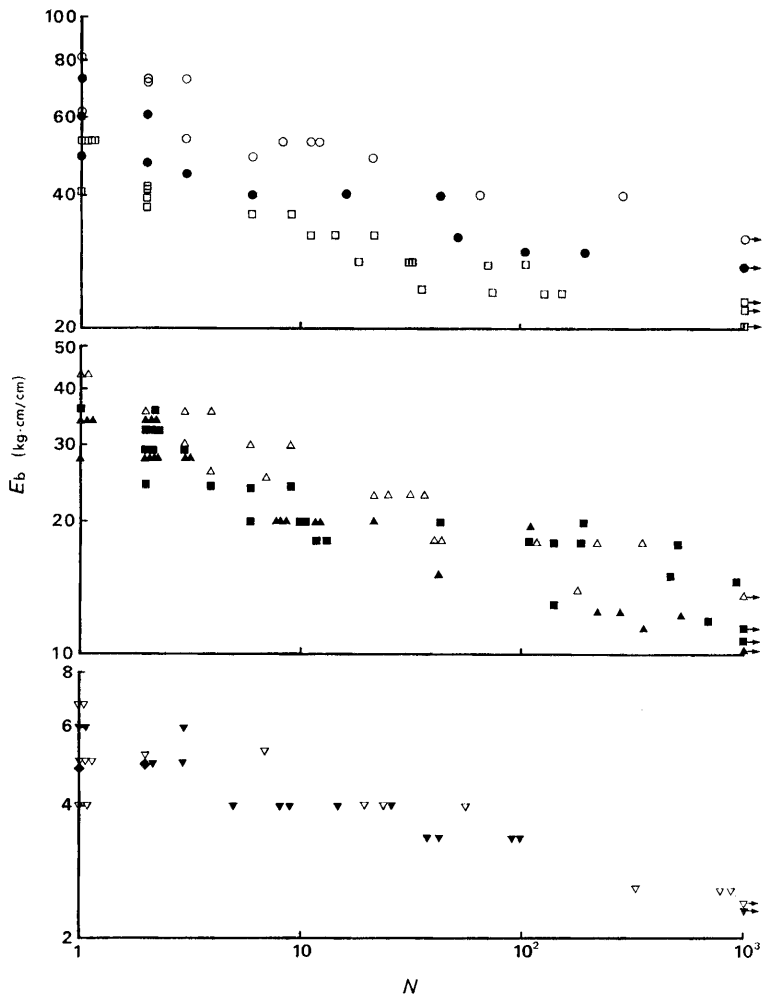


Fig. 6. Relation between impact energy applied to a test specimen (E_b) and repetition number to fracture (N). ○; Taiwanhinoki (H), ●; Taiwanhinoki (L), □; Hemlock, ▲; plywood in 20 mm width, △; plywood in 40 mm width, ■; plywood in 60mm width, ◆; particleboard in 20 mm width, ▼; particleboard in 40 mm width, ▽; particleboard in 60 mm width.

両対数グラフ上にプロットすると、Fig. 6 のように、各材料とも負の相関関係が認められた。なお、前述のように合板では試験片の幅によつて衝撃による破壊形態の差異が観察されたが、 $E_b \sim N$ 関係線にはこの試験片の幅による有意差は認められない。各材料間の $E_b \sim N$ 関係線を比較すると、試験片の破壊にはタイワンヒノキ [H] では同寸法のパーティクルボードの約 10 倍、タイワンヒノキ [L] は 8.5~9.5 倍、ヘムロックは同じく 6~8 倍、また、合板は約 5 倍の衝撃エネルギーを必要とする。

2.2 衝撃曲げ強度と破壊繰返し数

落下重錘が試験片を打撃する時の加速度から式(2)を用いて衝撃荷重 P を求めると、落下高さ H と P の間には、FRP を供試材とする林ら (1967) の衝撃試験の結果と同じく、Fig. 7 のように、放物線の関係が認められた。

上記の P を用いて式 (1) から衝撃曲げ強度 σ_b を求めて、 N との関係を保対数グラフ上にプロットすると、負の直線相関が認められ、

$$\sigma_b N^m = a \tag{4}$$

式 (4) がほぼ成立すると見てよい。ここに、 m は指

Table 2. Calculated value of exponent m and constant a in Eq. 4.

	m	$a(\text{kg/cm}^2)$	$r^{1)}$
Taiwanhinoki [H]	0.022	1286	0.44
Taiwanhinoki [L]	0.033	1089	0.52
Hemlock	0.042	1031	0.66
Plywood 20 mm	0.037	627	0.54
Plywood 40 mm	0.036	699	0.67
Plywood 60 mm	0.045	685	0.64
Particleboard 40 mm	0.062	243	0.75
Particleboard 60 mm	0.050	243	0.77

¹⁾ r : coefficient of correlation

数, a は第 1 回の衝撃で破壊する場合の衝撃曲げ強度を示す。上式の関係は, 例えば, 炭素鋼を供試材料とした Yokobori (1955) の実験結果と同傾向である。

実験結果から, 式 (4) における a, m の値を求め Table 2 に示す。同表のように, a の値は台湾ヒノキ [H] が最も高く, 台湾ヒノキ [L], ヘムロックがこれに次ぎ, 合板, パーティクルボードの順に低くなる。合板では, 試験片幅の狭い 20 mm は 40 mm と 60 mm より低い値を示すが, パーティクルボードでは, 試験片幅による差異は認められない。また, 各材料について, 衝撃第 1 回目で破壊する場合

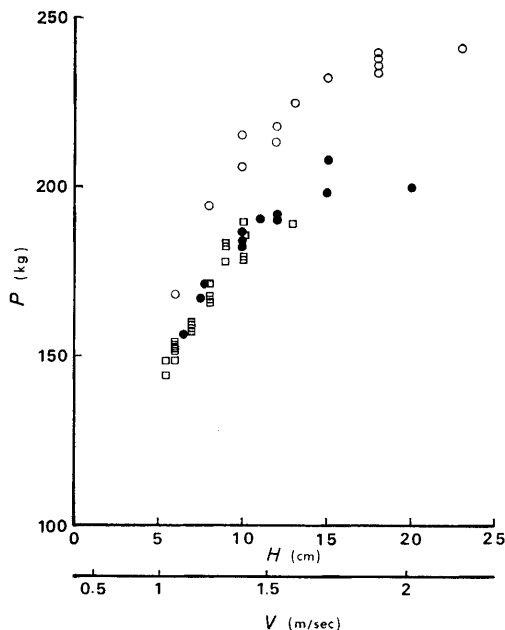


Fig. 7. Relation between impact load (P) and dropping height (H). V : impact velocity. Marks: refer to Fig. 6.

の衝撃曲げ強度 a と静的曲げ強度 σ_{bs} の比 (a/σ_{bs}) を比較すると, 木材では 1.08~1.13 で衝撃曲げ強度の方が大きく, 合板は 0.99~1.00 で両強度はほぼ同じであるのに対し, パーティクルボードは 0.85~0.98 であり静的曲げ強度より衝撃曲げ強度の方が低い。ただし, この比の値は, 落下重錘の落下高さによつて決められる衝撃速度 $V (= \sqrt{2gH}, g$: 重力の加速度) に支配されると考えられる。

次に, 衝撃繰返しによる材料の疲労の低下度合を表わす m の値を比較すると, タイワンヒノキ [H] が最も小さく, 合板, ヘムロック, そしてパーティクルボードと順次大きな値を示す。特にパーティクルボードは, タイワンヒノキ [H] の 2~3 倍の値を示し最も疲労の進行が速いのに対し, 合板はタイワンヒノキ [H] の 1.6~2 倍, タイワンヒノキ [L], ヘムロックとはほぼ同程度で疲労による強度低下が比較的少ないことを示している。

上記から, 静的曲げ強度を基準にして考えると, 木材は衝撃抵抗が大きく, また衝撃の繰返しによる疲労に対する性能が高いのに対し, 木材削片の集合接着体であるパーティクルボードはその性能が劣り, 木材の薄単板の繊維方向を直交配列して接着した合板は両者の中間的位置にあることがわかる。この結果は, F・P・L Toughness Testing Machine による耐久力試験の報告 (Chow, 1973) と共通点が見られる。

3. 衝撃荷重によるひずみ分布

3.1 衝撃荷重と静的荷重によるひずみ分布の比較

第 1 回目の衝撃荷重を加えた場合, 曲げ試験片の長さの中央, 荷重部裏面 A 点とその位置から支点方向に 46 mm ずつ離れた B, C の両点における引張ひずみ分布は, 各材料とも A 点で最大値を示し, B 点, C 点に行く程減少するが, 木材ではその減少が著しく, パーティクルボードではほぼ直線的に減少し, 合板はその中間的な傾向を示す。また, Fig. 8 に静的荷重を加えた場合の破壊直前のひずみ分布を破線で, 繰返し衝撃荷重による破壊直前回のひずみ分布を実線で示す。両者とも, ひずみ分布は定性的にも定量的にもよく一致していることを示している。

3.2 衝撃繰返しに伴うひずみ分布の変化

衝撃繰返しに伴う A, B, C 各点におけるひずみの変化を台湾ヒノキについて Fig. 9 に示す。A 点では, 繰返し荷重による残留ひずみの増加が著しいため, 破壊直前のひずみは衝撃第 1 回目のひずみより著しく高いのに対し, B, C 両点では衝撃第 1 回目の

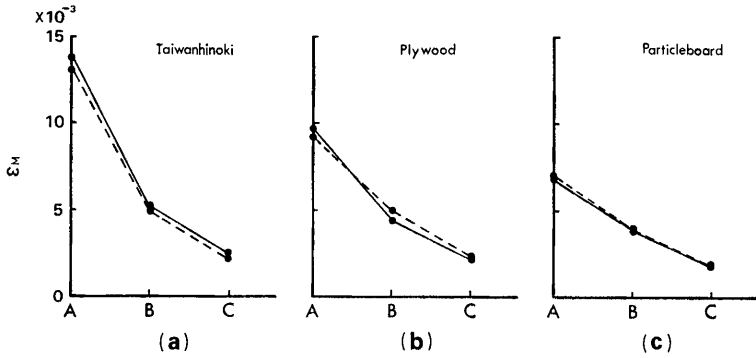


Fig. 8. Strain distributions along the tensile side on the bending specimens when they have been fractured by impact or static load. ϵ_M : maximum strain. A, B, C: refer to Fig. 2. (a): Taiwanhinoki. (b): plywood in 40 mm width. (c): particleboard in 60 mm width. —●—: impact load, - -●- -: static load.

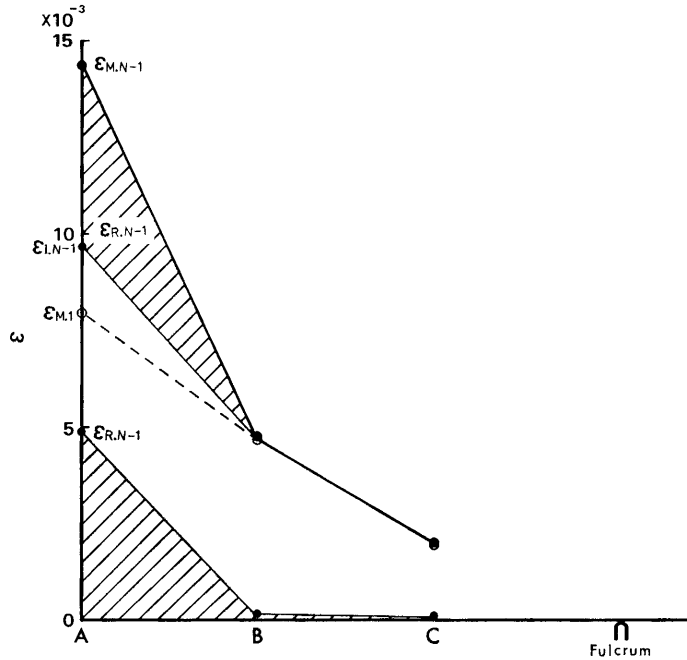


Fig. 9. Variation of the strain distribution along the tensile side on the bending specimen. Signs are the same as shown in Fig. 3. Material: Taiwanhinoki. A, B, C: refer to Fig. 2.

ひずみに若干の残留ひずみ加わるだけで増加が少ない。従つて、試験片中央の荷重点から支点の方向 B 点, C 点に遠ざかるに従ひひずみは急速に減少する。合板では、衝撃荷重による horizontal shear あるいは rolling shear により B 点に特異な残留ひずみが残る場合を除いては、衝撃第 1 回目と破壊直前のひずみ分布の差異は木材より小さく、A 点で木材より

少量の残留ひずみ加わっているに過ぎない。

パーティクルボードでは、試験片幅 60 mm の場合に A, B 点で僅少な衝撃ひずみの増加が観察される場合があるが、それ以外は、衝撃第 1 回目によるひずみ分布と比較し、衝撃繰返しに伴う A, B, C 3 点のひずみ分布は破壊に至るまであまり変化しない。

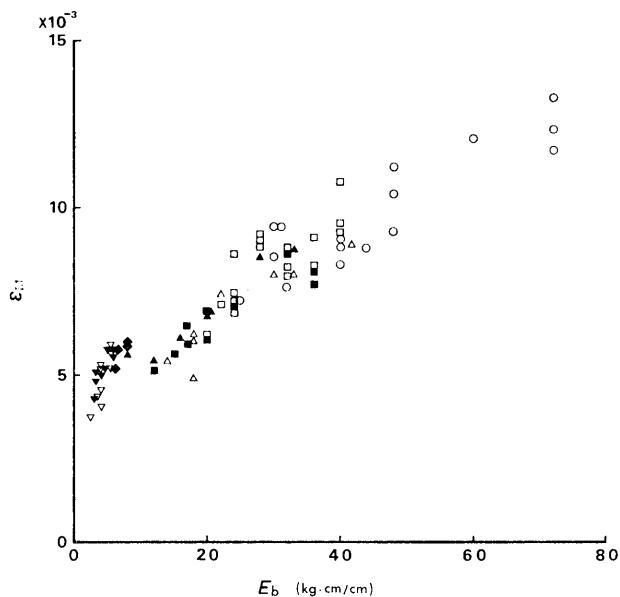


Fig. 10. Relation of maximum strain (impact strain) caused by first impact blow $\epsilon_{i,1}$ to E_b . Marks: refer to Fig. 6.

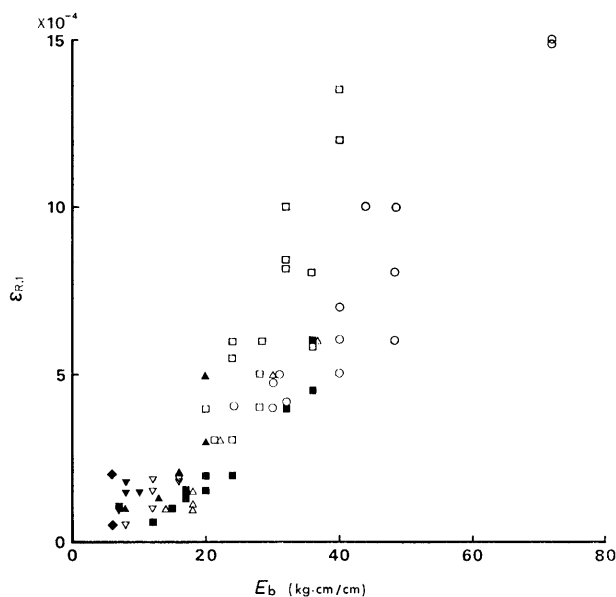


Fig. 11. Relation of residual strain caused by first impact blow $\epsilon_{R,1}$ to E_b . Marks: refer to Fig. 6.

4. 荷重部裏面 (A) におけるひずみ

前項に述べたように、衝撃曲げにおける破壊や疲労は、衝撃荷重位置の裏面 (引張面)、すなわち Fig. 2 の A 点のひずみが直接関係するので、以下ではこの

A 点のひずみの測定結果について述べる。

4.1 衝撃第 1 回目の衝撃ひずみと残留ひずみ

衝撃第 1 回目の衝撃ひずみ $\epsilon_{i,1}$ は、Fig. 10 に示すように、各材料とも与える単位幅当り衝撃エネルギー E_b に対し上に凸の曲線を描いて増加している。なお、この $\epsilon_{i,1}$ の値は、材料の可撓性を表わす。

次に、衝撃第 1 回目の残留ひずみ $\epsilon_{R,1}$ は、Fig. 11 に示すように、 E_b の大なる程高い値を示す。そして台湾ヒノキ、ヘムロックの値は、合板、パーティクルボードのそれより大きく塑性変形を受け易いことを示している。

4.2 衝撃繰返しに伴うひずみの変化

衝撃エネルギーが異なる場合について、衝撃繰返し数に伴う各材料の A 点における引張りひずみ変化を Fig. 12 に示す。

同図 (a) のヘムロックは、衝撃繰返しに伴い衝撃ひずみ、残留ひずみが増加の傾向を示し、特に残留ひずみは、合板、パーティクルボードに比べて顕著な増加を示す。

同図 (b) の合板 [○印] は、木材よりその量は少ないが衝撃ひずみと残留ひずみの増加が観察される。

同図 (b) のパーティクルボード [●印] は、繰返しに伴う衝撃ひずみ、残留ひずみの変化が僅少である。

4.3 残留ひずみの増加比率

残留ひずみ $\epsilon_{R,n}$ は、Fig. 12 の縦方向の細線部分に相当し、衝撃繰返しに伴って増加して行く。いま、この残留ひずみの破壊に至るまでの増加比率を調べるために、横軸に破壊直前回の繰返し数に対する繰返し数の比 $n/N-1$ を、縦軸に全残留ひずみに対する繰返し数 n の残留ひずみの比 $\epsilon_{R,n}/\epsilon_{R,N-1}$ をとってプロットすると、いずれの材料も Fig. 13 のように、初期に大きくその後ゆるやかな上に凸の増加傾向を示しており、繰返し初期に材料中の組織変化 (塑性変形) を大きく受けていることが推察できる。

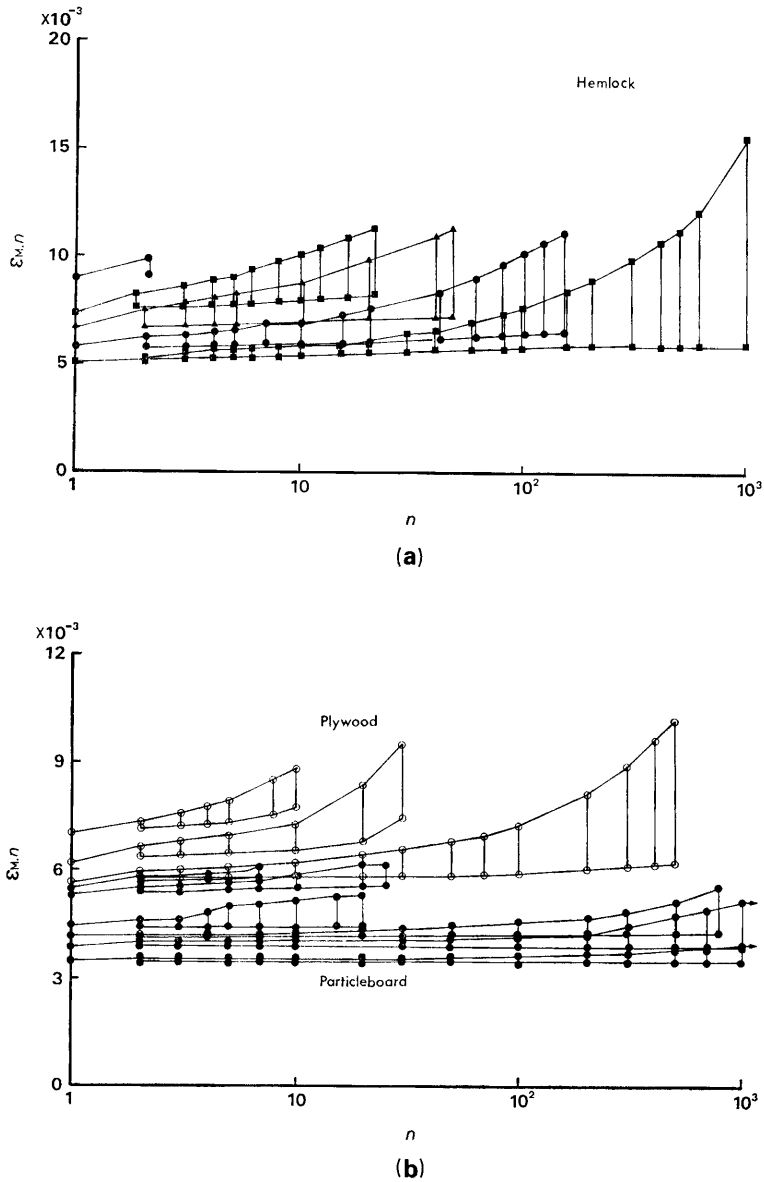


Fig. 12. Variation of maximum strain ($\epsilon_{M,n}$), impact strain ($\epsilon_{I,n}$), and residual strain ($\epsilon_{R,n}$) with increase of repetition number (n). (a): Hemlock. (b): plywood in 20 mm width (○), particleboard in 60 mm width (●).

5. 材料の衝撃疲労破壊におけるひずみと履歴エネルギー

5.1 破壊繰返し数におけるひずみ

材料に繰返し衝撃荷重を加える場合、1回ごとの荷重が大きくて少数回の繰返しで破壊する場合と1回ごとの荷重が小さくて多数回の繰返しによつて破壊する

場合のひずみ（荷重部裏面の A 点におけるひずみ）の差異を比較するため、破壊繰返し数 N とその繰返し数におけるひずみとの関係を調べた。

まず、 N と衝撃ひずみ $\epsilon_{I,N-1}$ の関係は、Fig. 14 のように、いずれの材料も N の大なる程減少の傾向が認められる。特に、台湾ヒノキ、ヘムロックの減少が著しく、合板がこれに次ぎ、パーティクルボー

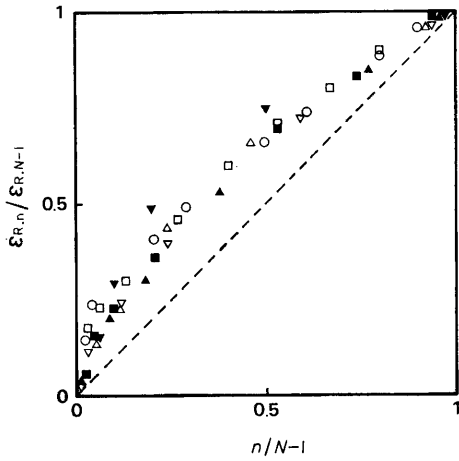


Fig. 13. Relation of $\varepsilon_{R,n}/\varepsilon_{R,N-1}$ to $n/N-1$. Marks: refer to Fig. 6.

ドは減少が比較的少ない。

次に、残留ひずみは Fig. 15 のように、いずれの材料も N の大なる程増加する。タイワンヒノキ、ヘムロックでは衝撃繰返しの増加に伴い残留ひずみが著しく増加し、合板がこれに次ぎ、パーティクルボードは増加が少ない。言うまでもなく、 N が大なる場合は小なる場合に比し、1 回ごとに加えられる衝撃荷重が小さいため、毎回の残留ひずみそのものは小さいのであるが、その繰返しに伴う蓄積によつて終局的には総残留ひずみが大きくなって行くわけである。

そして、上記の結果として、両ひずみの和（最大ひずみ）の N に伴う変化は材料によつて異なる。すなわち、Fig. 16 のように、最大ひずみ $\varepsilon_{M,N-1}$ はタイワンヒノキ [H, L]、ヘムロックでは N のほぼ 50 回までは変化が少なく、それ以上の N では増加する。合板では、 N のほぼ 100 回以上で増加して行くが、木材の場合程顕著ではない。パーティクルボードでは、 N に伴う最大ひずみの変化は少なく、僅少の減少傾向

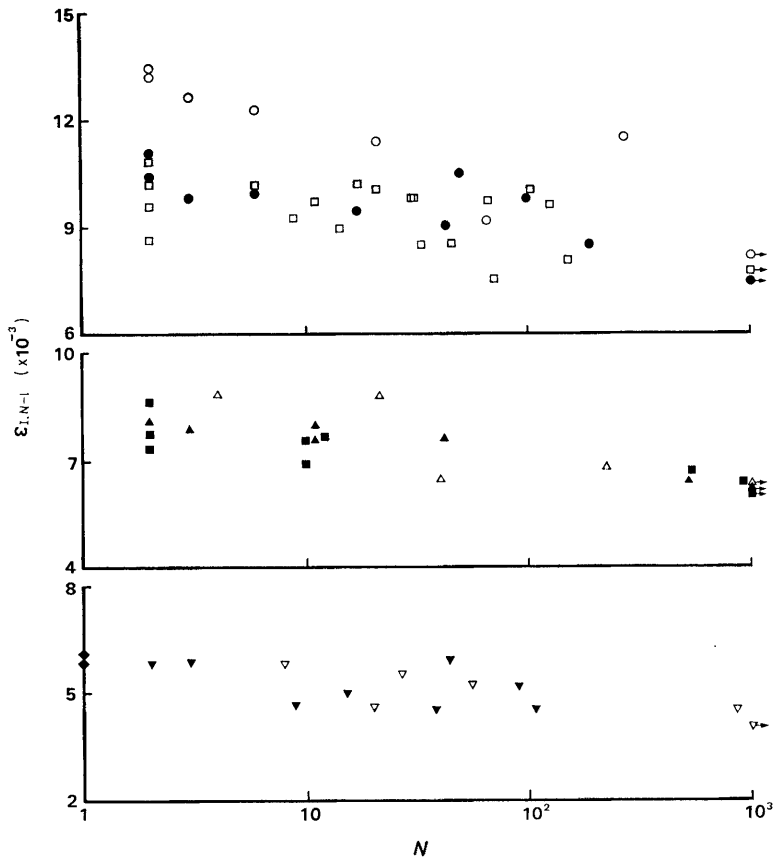


Fig. 14. Relation between impact strain ($\varepsilon_{I,N-1}$) and repetition number to fracture (N). Marks: refer to Fig. 6.

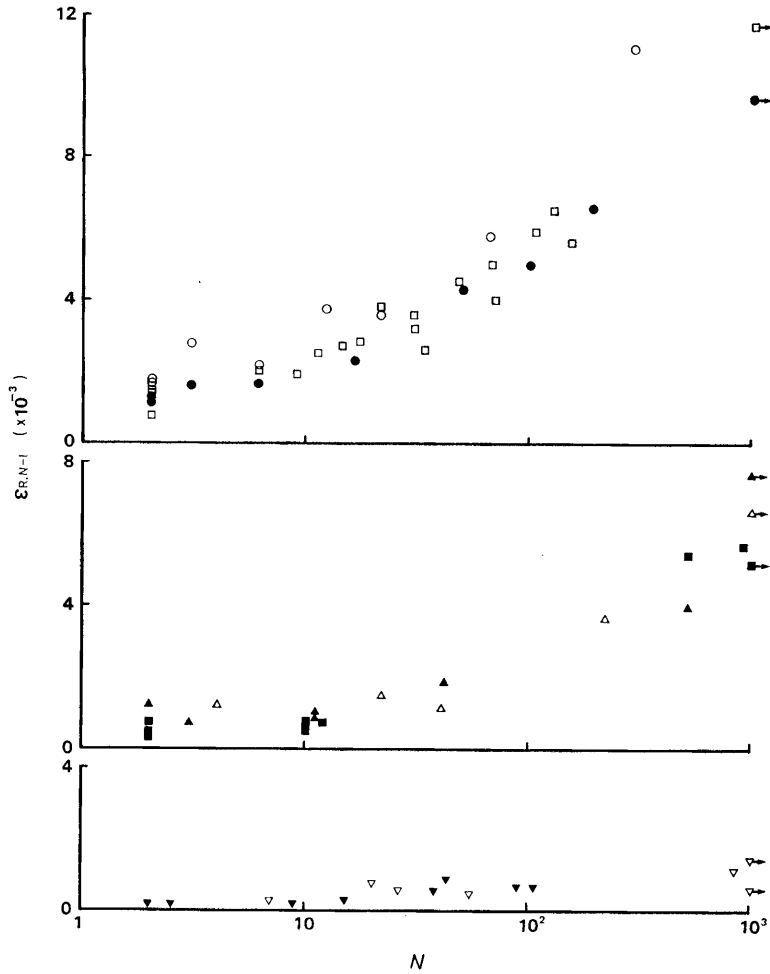


Fig. 15. Relation between residual strain ($\epsilon_{R,N-1}$) and repetition number to fracture (N). Marks: refer to Fig. 6.

を示すに過ぎない。

以上、木材では小さな衝撃荷重を繰返し多数回加える程残留ひずみ、最大ひずみの増加が著しく、たわみが大きくなって破壊する。最大ひずみの絶対値も合板、パーティクルボードに比して大きい。これに対し、パーティクルボードは衝撃荷重の繰返しによる最大ひずみ、残留ひずみの変化が少なく、絶対値そのものも小さい。

5.2 累積履歴エネルギー

上記のように、衝撃荷重を受けると試験片には残留ひずみが残っており、そのため衝撃繰返しの各サイクルにおいて Fig. 17 のように応力～ひずみの履歴曲線を描いている。この曲線の囲む面積は、材料が衝撃繰返しの1サイクル中に吸収したエネルギーである。

このエネルギーの蓄積によつて組織の変化を起こし、それが疲労の進行を促進するものと考えられる。そこで、ここでは各サイクルで吸収したエネルギーを履歴エネルギー Δw_n [$\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$]、このエネルギーの破壊直前回までの累積値を累積履歴エネルギー W_b

$$W_b = \sum_{n=1}^{N-1} \Delta w_n [\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3]$$

と定義し、この W_b と N の関係を Fig. 18 に示す。

同図のように、 W_b は N の増加に伴い漸増するが、一定の N に対してはタイワンヒノキ [H] が最も大きく、タイワンヒノキ [L]、ヘムロック、合板、パーティクルボードがこれに次ぐ。このことは、木材が合板、パーティクルボードに比し繰返し衝撃荷重に対する耐久性の大きいことを示している。

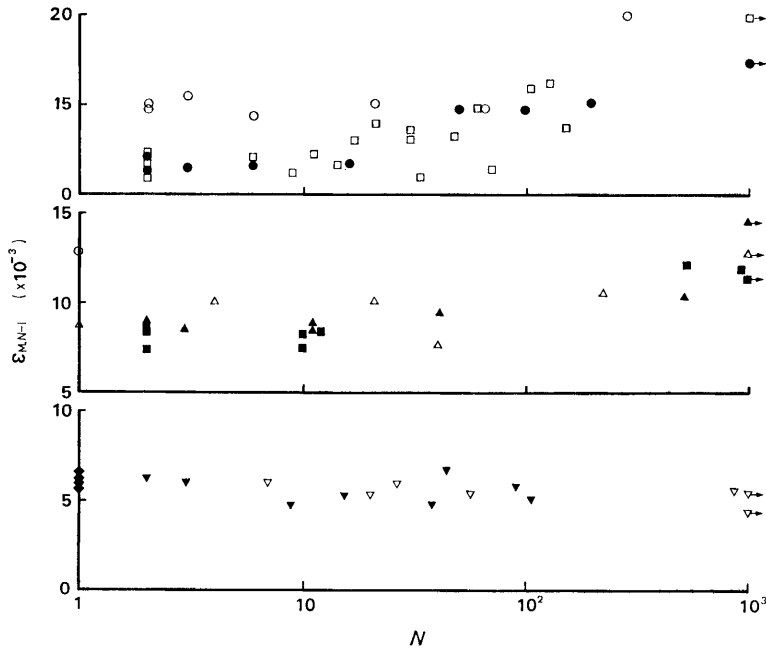


Fig. 16. Relation between maximum strain ($\epsilon_{M,N-1}$) and repetition number to fracture (N). Marks: refer to Fig. 6.

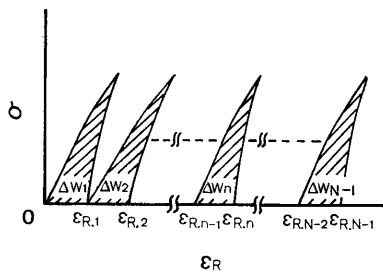


Fig. 17. Schematic illustration of hysteresis energy caused by repetitions of impact blow. σ : impact bending stress. Δw_n : hysteresis energy at repetition number of n . Signs are the same as shown in Fig. 3.

結 論

木材(タイワンヒノキ, ヘムロック), 合板およびパーティクルボードを供試材料とし, 落下衝撃による繰返し曲げ疲労試験を行い, 各材料の衝撃疲労に対する特性を研究した. 落下重錘は 8.5 kg に一定, 曲げ試験片は厚さ 20 mm, 幅 20, 40, 60 mm, スパン 280 mm (長さ 320 mm) で, 中央集中荷重方式により行った.

(1) 衝撃荷重による破壊形態は, 木材ではスパンの中央, 荷重位置の引張側 A 点からの長繊維状の破壊

と中立軸付近での長さ方向の縦裂線を伴う. 合板では直交単板の接着層のせん断破壊 (horizontal shear) および rolling shear, それに A 点でのささら状の破壊が発生し, その状態は試験片幅の影響を受ける. パーティクルボードは, A 点から削片の接着面の弱体部に沿って鋸歯状の破壊面を呈する.

(2) 試験片が 1 回の落下衝撃で破壊する時の衝撃エネルギーは, 木材が最も高くパーティクルボードの約 10 倍, 合板がこれに次ぎ同じく約 5 倍であり, 木材は耐衝撃抵抗に富み強靱である. また, この時の衝撃曲げ強度は, 静的曲げ強度に比較して木材ではやや高く 1.08~1.13 倍, 合板では 0.99~1.00 でほぼ等しい. パーティクルボードは 0.85~0.98 倍で衝撃性能が低く脆弱である.

(3) 衝撃を受けた試験片の長さ方向のひずみ分布は, A 点を最高値とし両支点方向に行くに従い, 木材ではひずみが急速に減少するが, パーティクルボードでは直線的に減少しており, 両材料の可撓性の差異を示している. 合板は, その中間的性質を示す.

(4) 衝撃第 1 回目における試験片の最大ひずみ (衝撃ひずみ) と残留ひずみは, 衝撃エネルギーが大なる程大きい. また, 繰返し衝撃を受けた試験片の各点の最大ひずみ ϵ_M は, 衝撃によるひずみ ϵ_1 とそれまでの残留ひずみ ϵ_R の和である. A 点に注目すると, ϵ_1

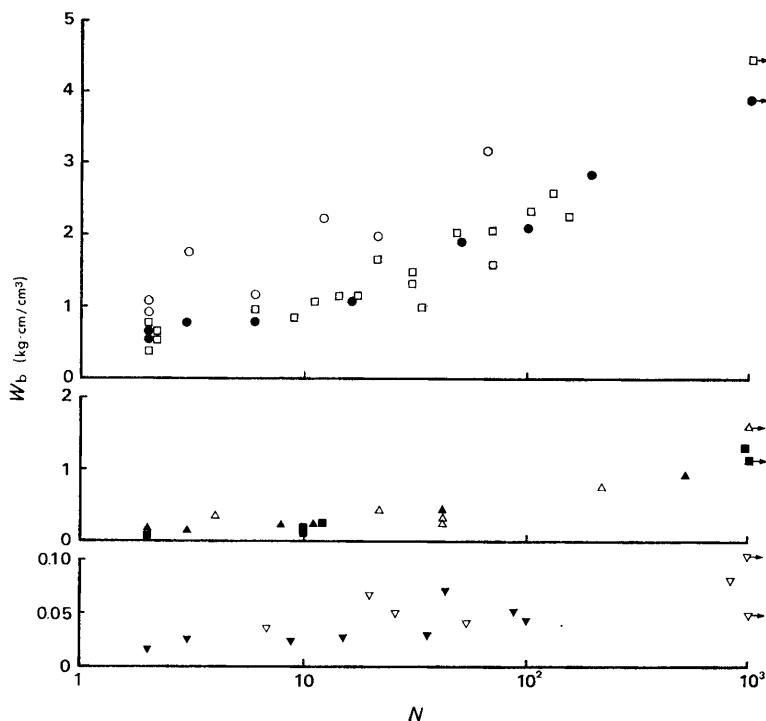


Fig. 18. Relation between accumulated hysteresis energy (W_b) and repetition number to fracture (N). Marks: refer to Fig. 6.

は衝撃繰返しによる変化が少なく、 ϵ_R は衝撃繰返しの増加に伴い次第に蓄積され増加して行くが、木材ではその増加量が大きく、合板がこれに次ぎ、パーティクルボードは最も少ない。この結果として最大ひずみ ϵ_M は、木材では破壊繰返し数約50回程度までは変化が少なくそれ以上で増大する。合板では約100回以上から増加して行く。これに対しパーティクルボードでは繰返し数と共に漸減しており、木材に比し破壊時におけるひずみが極めて小さく、耐疲労性の劣ることを示している。

(5) 試験片に大きな衝撃荷重を加えて少数回の繰返しで破壊する場合と小さな荷重で多数回の繰返しで破壊する場合を比較すると、1回ごとの衝撃による残留ひずみは勿論前者の方が大きい。木材ではこれが次第に蓄積されて行くため、破壊直前では後者の小さな荷重で繰返し数の多い程最大ひずみはその値が大きく、大きな変形に耐え得る。これに対し、パーティクルボードは蓄積が少なく、後者の場合の方が最大ひずみの値が小さい。すなわち、小さな荷重でも繰返し受けると破壊し易い。合板は両者の中間的性質を示す。

(6) 試験片には衝撃荷重を受けるごとに曲げ応力と

残留ひずみの囲む面積に相当する履歴エネルギーが蓄積されて行く。各材料について破壊直前までの累積履歴エネルギーを比較すると、木材では破壊繰返し数に伴う増加が顕著でその絶対値も大きい。パーティクルボードは増加も絶対値もごく少なく、合板は両者の中間に位置する。この累積履歴エネルギーの大なる材料程繰返し衝撃に対する耐久性を持ち、その値はパーティクルボードを1とすると、木材は約45、合板は約15である。

文 献

- Chow, Poo 1973 Toughness of selected wood composites. *For. Prod. J.*, 23: 24-27
- 林 毅・小林繁夫・紀平正知・浅井貞重・小山一夫 1967 強化プラスチック製ヘルメットの衝撃強度に関する研究. *強化プラスチック*, 13: 57-66
- Kurtenacker, R. S. 1975 Staple- and nail-assembled pallets under impact loading. *USDA For. Serv. Res. Pap.*, FPL 272: 1-8
- 継田視明・懸川栄男・山名成雄 1958 合板ハードボードの破裂強度試験. *木材工業*, 13: 298-303
- 宮川秀俊・森 稔 1976 木材および木質材料の衝

- 撃的性質 (第1報) 低サイクルにおける木材の衝撃引張疲労. 木材学会誌, **22**: 69-75
- 宮川秀俊・森 稔 1977 木材および木質材料の衝撃的性質 (第2報) 繰返し衝撃引張によるバットエンドジョイント部材の疲労現象. 木材学会誌, **23**: 69-75
- 友松昭雄・伏谷賢美・蕪木自輔 1978 低サイクルにおける木材の衝撃曲げ疲労. 農工大演報, **14**: 1-10
- Yokobori, T. 1955 The theory of fatigue fracture of metals. *J. Phys. Soc. Japan*, **10**: 368-374

Summary

It is the purpose of this study to obtain the fundamental information on the fatigue behavior of wood and wood based materials under impact blows applied repeatedly on their bending specimens. Four kinds of test materials were used, namely, Taiwanhinoki (*Chamaecyparis taiwanensis* M. et S.), Hemlock (*Tsuga heterophylla* Sarg.), sevenlayer plywood and threelayer particleboard. The impact bending tests were carried out by center loading method on the dropping type impact machine. The weight of dropping hammer was 8.5 kg and the test specimens were made on 20 mm thick by 20, 40 or 60 mm wide by 320 mm long. The test results obtained are summarized as follows.

The fracture types of specimens in the impact fatigue tests differ with each material. The type in the case of solid wood (Taiwanhinoki and Hemlock) is horizontal shear slit near the neutral axis of bending specimen and tension fracture at the center of bending span on the tensile side. The type in plywood is rolling and horizontal shear fracture on the veneer layers which intersect at right angle to lengthwise, or tension fracture on the outer layer, and these fractures are depended on their widths of the specimens. The type in particleboard is brush tension fracture at the center of span.

There exists a negative rectilinear correlation on a log scale between the impact bending strength of test specimen (σ_b) and the repetition number of impact blow to fracture (N) in all materials. The values of impact energy applied to a test specimen (E_b) when solid wood and plywood are fractured by the first impact blow show about ten and five times as much as that of particleboard respectively.

The strain distribution along the tensile side on the bending specimen when a impact blow is applied to it shows the curve which has a maximum value at the center of span and has a decreasing slope with going away from the center, and the decreasing slope is steep in the case of solid wood, but it is gentle in the case of particleboard. And plywood shows a medium slope of them.

The maximum strain on the center of span at n repetition number of impact blow (ϵ_M) is presented by the sum of the strain generated by the impact blow itself (impact strain) and the strain remained by the last blow (residual strain), and the both strains increase with increase of n .

The final value of ϵ_M when the specimen is fractured is depended on not only tested material but also N . In the case of solid wood, the value is constant regardless of N in the smaller range of N but it increases gradually with N above the range, and the value is largest among the tested materials. The variation of ϵ_M with N in the case of plywood resembles to the case of solid wood and the value follows the case. On the contrary of those, ϵ_M in the case of particleboard decreases with increase of N , and the value of ϵ_M is smaller than that of

the other two materials.

Hysteresis energy accumulated in the specimen by every impact blow increases with increase of n , and the accumulated values of the energy until the final blow in the case of solid wood and plywood are about forty-five and fifteen times as much as that of particleboard respectively.