

木材の衝撃曲げに関する研究の現状

Studies on the Bending Impact of Wood

今 山 延 洋

Nobuhiro IMAYAMA

(平成元年10月11日受理)

木材および木質材料の衝撃曲げに関する最近の研究の現状を概観し、これからの衝撃曲げに関する研究に資することを目的とした。内容は、衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼす因子からみた研究、材料的側面からみた研究、衝撃曲げ疲労に関する研究、衝撃に対する緩和効果の研究に大別した。更に、衝撃緩和効果については、内部減衰、板のたわみ、衝撃曲げ疲労に分けて検討した。

1. はじめに

木材が船舶、車両、運動具、機械、器具、倉庫の床、体育館の床、住宅の床などに使われるとき、静的荷重の外に瞬間的に大荷重を衝撃的に繰返し受けることになる。このように、材料に衝撃的に極めて短時間に外力が作用した場合の強度を衝撃強度という。材料が衝撃荷重を受けた際に吸収または消費するエネルギーを衝撃吸収エネルギーという。

一方、人は歩いたとき、あるいは飛び跳ねたとき足の裏や膝などに衝撃を受ける。手や腕あるいは腰など人の体が壁や階段の手すりなど、ものに当たるとその部分を中心に衝撃を受ける。バットや玄能やハンマーや鋏などなどの道具を使うと、道具を通して人は不快な衝撃や快い衝撃を受ける。人間ばかりでなく、物同士が接触した場合も一方が他方から衝撃を受ける。

衝撃の強さやその影響は相手の物によって変わってくる。飛び跳ねても衝撃の少ない床や使いやすいハンマーがあることはよく経験することである。

衝撃の具体例として材料の立場から、例えば、良いバットの条件として、次のことが考えられる。

a. 遠くへ、速く飛ぶには

- ① 衝撃曲げ強さ（最大値）が大きいこと
- ② たわみ難い（ヤング率が大きい）こと

b. 折れ難いためには（折れたバットが遠くへ飛ばないためには）

- ③ 衝撃曲げ吸収エネルギーが大きいこと
- ④ き裂が発生しても、伝ばし難いこと

c. 打撃の衝撃が手に伝わり難いためには

⑤ 衝撃のエネルギーを材料内で吸収し易いこと

d. 重さ

⑥ 軽い方がよい。

従って①, ②, ③の諸数値を比重で割った値が大きい方がよい。

e. 経済性

⑦ 安価であること

以上のようなことを考慮して、木材の衝撃曲げについて考える必要があると思われる。このように、木材の衝撃を考える時、次の二つに分けて考える。

① 衝撃を受けた材料の衝撃強さ

② 衝撃に対する緩和効果

本報告では、このような観点から最近の木材の衝撃に関する研究の動向を述べる。衝撃荷重の種類が多岐にわたるので、ここでは曲げ荷重に限定した。

項目として次の順序で述べる。

1. 衝撃曲げ吸収エネルギーに関する因子
2. 材料的側面から見た衝撃曲げ吸収エネルギー
3. 衝撃曲げ疲労
4. 衝撃緩和効果
 - a. 内部減衰
 - b. 板のたわみ
 - c. 衝撃曲げ疲労

2. 衝撃曲げ吸収エネルギーに関する因子

2-1 比重と衝撃曲げ強さの関係

従来、比重は材質判定上の重要な指標であり、動的比強度の算出には衝撃曲げ吸収エネルギーを比重の2乗で除する方法が用いられている。しかし、最近これに疑問を投げかける報告が出されている。

高橋・藤田(1969)は熱帯産材19樹種について衝撃曲げ吸収エネルギー(U)と比重(R)との関係を求め、 $U = a \cdot R^n$ の関係において、係数 $n = 0.8933 \pm 0.3474$ を得て、従来からいわれている $n = 2$ に再検討の必要性を述べている。

更に、高橋ら(1973)は供試材5グループ(日本産針葉樹、広葉樹、シベリア産材針葉樹、広葉樹、熱帯産材)からなる70樹種(産地)について、比重(R)と衝撃曲げ吸収エネルギー(U)の関係を求めている。そして、70樹種中30樹種のみが相関関係が有意であった。指数回帰式 $U = a \cdot R^n$ における指数値 n は2より小さく、全グループでは $n = 1.353$ としている。

藤田ら(1976)は、東南アジア産材17樹種について比重と機械的性質との関係を検討している。衝撃曲げ吸収エネルギーの平均の最も大きい樹種は、カラバヤンの $1.2 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ であり、最も小さいのはエリマの $0.08 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ であった。比重と衝撃曲げ吸収エネルギーの相関は0.88と比較的よかったが、比重が0.6~0.8になっても衝撃曲げ吸収エネルギーは増加せず、バラツキが多くなった。これらの多くに脆性破壊が観察されている。

藤田ら(1977)は、ソ連邦産材のエゾマツ、トドマツ、ベニマツ、カラマツとニュージー

ランド産材のニュージーランド・パインについて比重と機械的性質の関係を調べている。衝撃曲げ吸収エネルギーの平均の最も高いのは、マゾマツの $0.51\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ であり、最も低いのはトドマツ、ニュージーランド・パインの $0.32\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ であるとしている。

丸山ら(1978)は、前述の藤田ら(1976)の東南アジア産材17樹種以後に入手した東南アジア産材16樹種について比重と機械的性質の関係を検討している。比重は平均で $0.55\sim 1.01$ の範囲にあった。衝撃曲げ吸収エネルギーの平均の最も高いのは、オバヌギラスの $1.32\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ であり、最も低いのはカロフィルム $0.41\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ であった。比重と衝撃曲げ吸収エネルギーの関係は相関係数が 0.31 と非常に低くバラツキが多い。脆心部の衝撃曲げ吸収エネルギーは正常材に比べ、非常に劣っていて、太田ら(1977)と同様な結果であるとしている。

藤田ら(1977)、丸山ら(1978)の報告は、比重と衝撃曲げ吸収エネルギーの指数関係については検討していない。

友松ら(1980)は針葉樹材7樹種、広葉樹材12樹種(散孔材:5, 環孔材:7)の19樹種について衝撃曲げ挙動に及ぼす比重の影響を検討している。そして、木材の衝撃曲げエネルギーは比重の2乗に比例せず、 1.33 乗に比例した。樹種グループ化すると、針葉樹材では比重のほぼ1乗に、広葉樹材では比重の 1.76 乗に比例した。衝撃曲げ吸収エネルギー(U)と破壊強度(σ_m)と破壊たわみ(y_m)との間には、 $U = b_0 \cdot \sigma_m^{b_1} \cdot y_m^{b_2}$ (b_0, b_1, b_2 : 定数の関係が極めて高い相関で成立することを確かめている。

浦上ら(1985)によると、スギ、アカマツ、ヤチダモ、トチノキ、マカンバを用いた結果では、比重(γ)と衝撃曲げ吸収エネルギー(a)の間には、指数曲線 $A = k \cdot \gamma^n$ (k, n : 定数)の関係が成立し、 n は $0.9\sim 1.9$ を得ている。

友松ら(1980)によると、比重一定の6樹種における衝撃曲げ破壊挙動は樹種で異なり、たわみやすい材やたわみにくい材、強靱な材や脆い材がある。

アオダモ、ヤチダモの両者で、衝撃曲げ吸収エネルギーと比重の間には比較的高い相関がみられ、脆破壊を示すものは低比重域に多くみられた。この低比重は年輪幅が狭いぬか目材のところで見られる(海老原ら, 1985)。

以上のように、比重との関係において指数は2以下であり、少なくとも針葉樹と広葉樹を区別して別のグループとして取扱い、この場合の指数および相関係数には樹種によってバラツキがあり、脆心材を区別するなどにより厳密な検討が必要であろう。

2-2 試験片寸法

衝撃曲げ吸収エネルギーの算出に際して、JISでは断面積で除して求めることを定めている。これに対して北原(1950)は BH^2 (B : 試験片の幅, H : 試験片の高さ)で除するのが妥当であるとしている。これに対して、浦上ら(1985)は次の関係を得ている。衝撃曲げ仕事量と試験片幅の間には、直線または指数曲線(指数 < 1)的な関係が認められた。衝撃曲げ仕事量と試験片の高さの間には、指数曲線(指数 > 1)的な関係が認められた。衝撃曲げ仕事量(W)と試験片寸法(幅: B , 高さ: H)の関係は、 $W = a \cdot B^m \cdot H^n$ (a : 衝撃曲げ吸収エネルギー m , n : 定数)の式で表せる。

2-3 含水率

含水率と衝撃曲げ吸収エネルギーの関係は、浦上ら(1985)によると樹種によって異なり、スギとアカマツでは含水率10%付近に最小値を、ヤチダモでは含水率20%付近に最大値を持つ曲線、マカンバでは含水率10%以上で単調に低下する曲線となり、トチノキでは含水率に

依存しない一定値を示している。

海老原ら(1985)、鷺見ら(1986)はプロ野球バットの品質向上を目的として、アオダモとヤチダモの衝撃曲げ性能に及ぼす含水率の影響について検討している。アオダモでは含水率の低下にともない破壊荷重は増加するが、たわみ量は減少する。その結果として、含水率が低下するに従い衝撃曲げ吸収エネルギーが低下する傾向にみられた。宮島(1978)も、アオダモの衝撃曲げ吸収エネルギーは、気乾材より生材の方が大きいと報告している。一方、ヤチダモでは含水率変化に伴う衝撃曲げ吸収エネルギーの変化はみられなかった。アオダモの含水率低下に伴う衝撃曲げ吸収エネルギーの減少は、破壊たわみの減少、いわゆる、“ねばり”の減少が主な原因であると報告している。

ヤチダモについては、海老原ら(1985)や鷺見ら(1986)と浦上ら(1985)では若干結果が異なっている。

2-4 乾燥

アオダモは前述のように、含水率の低下に伴い衝撃曲げ吸収エネルギーが低下するが、海老原(1985)によると、アオダモの生材時と含水率7%時の衝撃曲げ吸収エネルギーの比(平均値)は0.66であった。これから、アオダモにおいては過乾燥にすると、耐衝撃性に対して不利になると考え、気乾状態(10~14%)に調整すべきであるとしている。プロ野球バット問題諮問委員会(大木, 1985)はその諮問の中でバット製造業者に対して、バットを軽くするために気乾含水率を過ぎて過乾燥(10%以下)にするのは危険であるとしている。

2-5 年輪角(板目, 柾目, 木裏, 木表)

J I Sでは試験片は二方柾、荷重面は柾目面を標準とし、板目または追い柾への荷重の時は木表から加えることになっている。

高橋ら(1980)は、スギ、ヒノキ、エゾマツ、アカマツ、オウシュウアカマツ、クリ、カツラ、ブナ、ホオノキを用いて年輪角との関係を求めている。針葉樹材の衝撃曲げ吸収エネルギーは年輪傾角の増加と共に減少する。ただヒノキだけはほとんど変化がなくほぼ一定に近い。広葉樹材についてはクリ、ブナの2種類のみが衝撃曲げ吸収エネルギーと年輪傾角に関係がみられ、カツラとホウノキは共に相関がないが、カツラはほぼ一定であり、ホオノキは中間年輪傾角で減少する傾向がある。

また、高橋ら(1980)は、木表打撃によって衝撃曲げ吸収エネルギーは年輪傾角に依存しているか否か検討し、両者の相関が有意なものは10樹種中7樹種に達し、そのいずれについても柾目面打撃が板目打撃や追柾打撃よりも衝撃曲げ吸収エネルギーが統計的に値が小さいことがわかった。しかし、板目打撃の中の木表打撃と木裏打撃については前記樹種の中で平均的傾向を示したオウシュウアカマツを用いた結果では、吸収エネルギーの値は木表でも木裏でも変わらないとしている。

アオダモを用いて板目打撃と柾目打撃した場合、衝撃曲げ吸収エネルギーは明確な差はない。衝撃面ヤング係数にも同様に明確な差はない。静的曲げ強さを見ても、板目面と柾目面の差は明瞭でない(宮島, 1978)。これらのことから推測すれば、アオダモのバットで打撃する場合、どちらの面でも良いことになる。しかし、実際には柾目面打撃が行われている。これは目切れなどによって破壊の開始点となる初期き裂が板目面打撃の方が発生し易いからである。

2-6 樹幹内変動

塩倉・小林(1975)は、インドネシア産ライトレッドメランチ丸太(半径22.5~45.6cm)5本を用いて、衝撃曲げ強さなど半径方向の材質を検討している。衝撃曲げ吸収エネルギーは、髓から約9cmまでは小さく、それから外方はほぼ安定する。衝撃曲げ吸収エネルギーを比重で割った比衝撃曲げ吸収エネルギーで表すと、樹心部と外周部とでは極端にその差が大きく樹心部の脆さが端的に示される。

藤田ら(1979)は、東南アジア産のセプター、カロフィルム、アサム、セランガン、バツ、カラカウラ材を用いて樹幹内での半径方向の材質分布を測定している。セプター、セランガン、バツの衝撃曲げ吸収エネルギーは、樹心部から外方に向かって各部位において大きな変動を示すが、全体的にみると樹心部から外方に向かって低下する傾向を示す。カロフィルムは樹心部より20cm付近まで漸増し、比重は増大するにもかかわらず、衝撃曲げ吸収エネルギーは樹皮側に至り再び低下する場合と、同一横断面においても樹心部より外方へ向かって衝撃曲げ吸収エネルギーは増大する場合がみられた。これは樹心部ではブリットルハート、樹皮側では試験片内に存在する交錯木理による目切れの存否の影響が顕著に現れたものと思われる。カラカウラは樹心部より外方へ向かって比重の変動はほとんど見られないが、衝撃吸収エネルギーは樹心部で低く、その後樹心部より約18cm付近まで増加し、ほぼ一定値を示すが、樹心部より約27cm付近に至り急に低下する。これはこの付近より辺材となり、加えて数多くのモメの存在に原因したものと考えられている。

藤田(1981, b)は、東南アジア産6樹種の樹幹内横断面の髓から樹皮側に至る半径方向の比重および機械的性質の分布を検討している。いずれの樹種でも衝撃曲げ吸収エネルギーの変動は、比重のそれに比較的よく一致している。ペルポックの衝撃曲げ吸収エネルギーは樹心部で低く、外方に向かってわずかに増加したのち、再び低下をはじめるか、またはほぼ一定した変動となるが、左右対称とはならなかった。ターミナルは樹心部付近で最小値を示し、その後外方へ向かって低下もしくは増加を繰り返す、一定した傾向が得られなかった。一方、バユールは樹心部で最小値を、外方に向かって徐々に増大し、最外部位で最大値を示した。最小値は最大値の約9%の値であり、樹心部が最外周部に比較していかに衝撃曲げ吸収エネルギーが小さいかが分かる。ペナラハンでは樹心部付近で低く、外周へ向かって約9cm付近まで増大するがそれ以降減少する。レサクの場合、樹心部付近で高い衝撃曲げ吸収エネルギーを示し、外周に向かって急激に減少する。最小の衝撃曲げ吸収エネルギーは最大の約35%であった。

藤田(1981, a)は、ソ連産トドマツ、エゾマツ、ベニマツ、ソ連カラマツを用いて樹幹横断面内半径方向の比重と機械的性質を測定している。トドマツ、エゾマツおよびベニマツの衝撃曲げ吸収エネルギーは、樹心部で低く、外方に向かって増大し、最外周部の部位に至って低下する(トドマツ、エゾマツ)か、もしくは一定(ベニマツ)となる。しかし、カラマツの衝撃曲げ吸収エネルギーは髓を中心にして対称の形を示さなかった。これは取り扱ったカラマツ材は節が多く、試験片作製時にそれを避けたにもかかわらず、節による木理の影響が出たものと考えられている。

2-7 ミセル傾角

友松ら(1980)はスギ樹幹内の平均ミセル傾角を取り上げ、平均ミセル傾角が小さくなるほど衝撃破壊強度および衝撃曲げ吸収エネルギーは大きくなったが、破壊たわみには変化がないとしている。

2-8 年輪内細胞壁率

友松ら(1980)は、樹種中の比重が一定な0.50~0.55の範囲にある6樹種(アカマツ、カラマツ、ホオノキ、カツラ、オニグルミ、クリ)を用いて細胞壁率との関係を調べた。細胞壁率の大きい均質な樹種ほど衝撃曲げ破壊吸収エネルギーが大きく、破壊たわみも大きくなることを認めている。

2-9 温度

温度との関係では奥山(1975)は次のことを明らかにしている。衝撃曲げ強さおよび比例限度は、温度を高くするほど低くなる。逆に、温度がマイナスになると衝撃曲げ強さは増加する。衝撃曲げ吸収エネルギーは温度を高くするにしたがって小さくなり、衝撃曲げ強さおよび静的曲げ強さとよい相関性が認められた。衝撃曲げにおける荷重~たわみ線図のうちで、弾性挙動領域の占める割合は温度-50~120°Cの間ではほとんど変化が認められなかった。衝撃破壊過程の活性化エネルギーは、65kcal/moleであった。この値は、クリープ破壊および静的曲げ試験による破壊強さの温度、時間依存性から求めた値とほぼ同じであった。

衝撃曲げ強さを直接には測定していないが、都築ら(1976)は、-180~+20°Cの範囲で比重の異なる6樹種(バルサ、キリ、ヒノキ、ブナ、ケヤキ、テツボク)につき曲げ試験を行い、破壊までの曲げ仕事量は温度の影響をほとんど受けず、ほぼ一定と見なすことが出来たとしている。このように、温度が零下になっても衝撃曲げ吸収エネルギーが低下しないのも木材の特徴といえよう。

3. 材料的側面から見た衝撃曲げ吸収エネルギー

3-1 脆心材

いわゆる南洋材の中には本邦産材には見られない幾つの特徴を持つものがあり、なかでも脆心材は木材の強度的性質を利用していく上で重大な欠点となり注目すべきものである。

岡野(1978)は、丸太の径が大きいほど脆心材の径が大きいことから細胞の肥厚が終了した後二次的な要因で健全材が脆心材に変化していくことは確実として、脆心材のいわゆる“もめ”の成因として、樹木の自重による圧縮力を受けた為、あるいは繊維方向の生長応力・樹心部における長期圧縮応力を上げている。

太田・岡野(1977)は、レッド・メランチとメランチ・ババの丸太(直径、約60cm)を用いて、半径方向の衝撃的性質などを連続的に調べた。肉眼的にも認められる“もめ”が観察される範囲は樹心から半径6cm前後であった。衝撃曲げ吸収エネルギーと引張強さは比重を考慮に入れても、なおかつ脆心材と正常材とで大きな差異を示した。しかし、気乾比重および繊維長は脆心材から正常材まで連続的な推移を示し、中間域で特に不連続域はみられなかった。平均ミセル傾角および相対結晶化度にも両者に顕著な差はみられなかった。また、脆心材と未成熟材との関係においても出現範囲に差異がみられなかった。比重と圧縮強さおよび引張ヤング率は脆心材、正常材の別なくよい直線関係を示した。

更に、太田ら(1979)はレッド・メランチ材を用いて次のことを明らかにした。脆心材と正常材の破壊性状の違いは衝撃曲げ破壊エネルギーに端的に現れた。これは破壊までのたわみ量、最大荷重、塑性領域の量、最大荷重を過ぎた後の持ちこたえなどの諸因子の大きさの違いが組み合わさって得られた結果として説明された。破断面の引張側クラック長さ主破断進行時間との間にはほぼ比例関係を認めている。つまり、破壊荷重が最大値に達してから完

全破断までの時間が正常材の1/2から1/3であった。

衝撃による破壊の過程は最大（破壊）荷重に達する前と後に区別できる。最大荷重に達するまでのエネルギーがき裂発生エネルギーと考えられ、最大荷重の後の過程エネルギーがき裂の伝ばに要するエネルギーと考えられる。最大荷重が同じなら、後の過程のたわみの量が大きいほうが衝撃曲げエネルギーが大きくなる。脆い材料では後の過程が殆どなく、強靱な材では後の過程が顕著に現れる。脆い材料では、一度発生したき裂はたちまち材料の全体の断面に広がり破断し折れてしまうが、強靱な材では一度発生したき裂は、年輪構造や細胞や細胞壁の多層構造など木材特有の組織構造によって、進行を妨害される。そのため、き裂が進行するのに多くの経路と時間を要するので後の過程のたわみが大きくなり、荷重-たわみ曲線の面積が大きくなり、衝撃曲げエネルギーが大きくなる。

太田ら(1979)の報告は、材質の違いをき裂伝ばの挙動から深めることを示唆している。

3-2 改良木材

①パーティクルボード

齊藤・橋本(1977)はパーティクルボードの衝撃曲げ吸収エネルギーを求め、3.4~6.7kgf cm/cm²の値を得ている。

宮川・森(1980)は、木材（タイワンヒノキ、ヘムロック）を合板、パーティクルボードと比較したとき、試験片が1回の落下衝撃で破壊するとき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、合板がこれにつき同じく約5倍であり、木材は耐衝撃抵抗に富み強靱であるとしている。このときの衝撃曲げ強度は、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としている。

②LVL (Laminated Veneer Lumber)

構造用LVLは、主に信頼性を要求される住宅用部材に使用されるが、産業用資材（足場板、トラックボディ材、パレット用材）がある。林(1987)は、針葉樹LVL（スギ、ヒノキ、アカマツ、ベイマツおよびベイツガ）を用いて衝撃曲げ試験を行ない、樹種、辺心材、単板厚さ、バットジョイント位置、荷重方向、衝撃速度、スパン長、衝撃ヘッドの曲率などの因子が、衝撃特性に及ぼす影響を検討し、いずれも平使い（接着面が荷重の方向に垂直）が縦使い（接着面が荷重の方向と並行）よりも大きな値を示している。また、落下物のヘッドの曲率半径が衝撃曲げ破壊応力に及ぼす影響が顕著であったとしている。

③WPC（木材-プラスチック複合材）

往西ら(1973)は、WPCの曲げ挙動に及ぼす可塑性の影響を検討し、衝撃曲げ吸収エネルギーを測定している。ポリマー率の増加と共に衝撃曲げ吸収エネルギーは相対的に増加する。しかし、高ポリマー率では無処理材よりも低下する場合もあった。また、比重で割った比衝撃曲げエネルギーは無処理材よりも低下する。

④スカーフジョイント

伏谷ら(1980)は、ブナ材を用いて、種々の接着剤で接合したスカーフジョイント部材について衝撃曲げ試験を行った。スカーフ傾斜率は1/3である。衝撃曲げ吸収エネルギーの大小関係は、エポキシ>酢酸ビニル>レゾルシノールとなり、静的曲げ強さやヤング係数の結果と著しく異なる。また、衝撃曲げ吸収エネルギー有効率は著しく低く、もっとも高いエポキシでも50%にも満たない。

⑤アイソトープ

藤田・後藤(1967)は、極性型溶媒または非極性型溶媒のモノマーを注入して、加熱重合または放射線重合処理を行った木材の力学的性質ならびに物理的性質を検討している。衝撃曲げ吸収エネルギーは、広葉樹の場合、ブナ材だけが無処理材よりも処理材が低く現れたけれども、他の3樹種(トチ、ミズメザクラ、カキ)とも無処理材よりも処理材の方が高く現れた。ブナの場合、比重が高いにもかかわらず、衝撃曲げ吸収エネルギーが低く現れるということは、未処理材に比較して材自身が脆くなっていることが考えられる。スギについては、衝撃曲げ吸収エネルギーの差はほとんど考えられなかったとしている。

⑥木質セメント板

茅原ら(1979)は木質セメント板の衝撃曲げ吸収エネルギーを測定し 4.7kgf/cm^2 の結果を得ている。茅原ら(1979)の調査、実測した市販木質セメント板の衝撃曲げ吸収エネルギーは $0.8\sim 2.0\text{kgf/cm}^2$ であった。

⑦圧縮バット

宮川・吉田(1987)は、プロ野球で使用され破損した白木バット(アオダモ材)を11社計75本(セ・パ両リーグ9球団49選手分)と、同じく大学野球で使用され破損した公式圧縮バット(ヤチダモ材)を1社計38本(東大野球部23選手分)を用いて、静的曲げ試験と衝撃曲げ試験を行った。その結果、曲げ破壊係数の平均値は白木バットが 1440kgf/cm^2 、圧縮バットが 1260kgf/cm^2 で、衝撃曲げ吸収エネルギーは白木バットが 42.3J 、圧縮バットが 34.5J であり、また使用履歴による強度の顕著な差は認められなかった。

3-3 スギ

スギは日本の建築用材として重要な位置を占めるので、スギ材について検討した。

中山ら(1980)は、高知県産のヤナセスギ天然木、同造林木、一般スギ造林木、オビスギの衝撃曲げ試験において、衝撃最大荷重の高い材が最大たわみ量が大きく、衝撃曲げヤング率が高くなるとたわみ量は小さくなる傾向がある。ヤナセスギ天然木はオビスギに比べて早晚材の材質差が大きく、オビスギは晩材率が高く、塑性域における影響が高いとしている。

見尾ら(1985)が、九州産在来スギ6品種(クモトオシ、ヤイチ、オビアカ、メアサ、ヤブクグリ、アヤスギ)について衝撃曲げなどを行った結果では、樹幹材積生長量が大きい品種ほど、衝撃曲げ吸収エネルギーが小さかった(図1)。逆に、九州産スギ4品種についての結果(表1)では、クモトオシが見尾ら(1985)の約4倍の値を示している(藤田・池田, 1984, 1985, 藤田, 1988a, b)。

ほかに、スギ36品種について、佐々木ら(1983)は、衝撃曲げ実験は行っていないが、衝撃曲げ破壊エネルギーと対応関係にある曲げ破壊エネルギーを計測している。

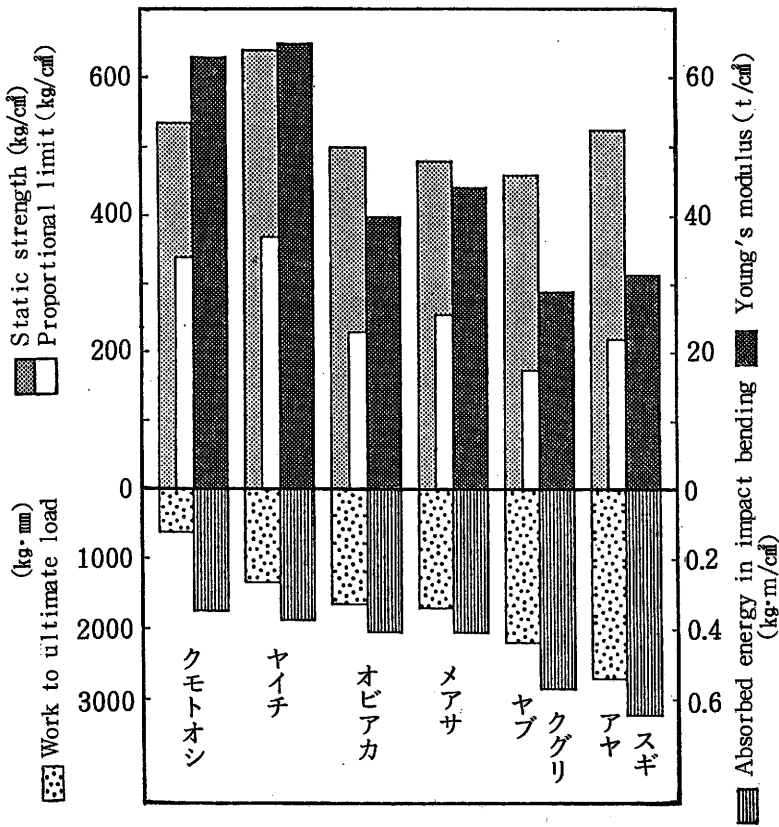


図1 スギ品種の静的および衝撃曲げに対する性質
(見尾ら, 1985)

表1 九州産スギの衝撃曲げ吸収エネルギー

品 種	比 重	含水率 (%)	衝撃曲げ吸収エネルギー-(kgf·cm/cm ²)			参 考 文 献
			平均	最大	最小	
ヤ ク ス ギ	0.43	13.7	0.73	1.32	0.12	藤田・池田(1984)
サツマメアサスギ	0.38	13.4	0.70	1.74	0.21	” (1985)
クモトオシスギ	0.38	15.6	0.79	1.32	0.36	藤 田 (1988, a)
ヨ シ ノ ス ギ	0.38	15.5	0.56	0.96	0.32	” (1988, b)

3-4 地域別木材の衝撃曲げ吸収エネルギー

世界各地の地域別に得られている報告を分類してみた。

①日本産材

中井・山井(1982)は、日本産主要樹種の利用上の基礎資料を得る目的で針葉樹11種と広葉樹24種(環孔材9種、散孔材12種、放射孔材3種)の計35樹種について、気乾状態の無欠点小試験体による衝撃を含む各種強度実験を詳しく行っている。また、林試・木材部(1982)でも詳しく行っている。

②九州産広葉樹材

九州産広葉樹材の衝撃曲げデータは、藤田(1985, 86, 87)、藤田・遠矢(1988)に詳しく出ている。

③南洋産材

南洋産材の衝撃曲げデータは、林業試験場報告('66・6), ('66・9), ('67・1), ('67・10), ('68・2), ('68・11・a), ('68・11・b), ('69・5), ('71・3), ('72・2), ('73・6), ('74・3), ('74・12), ('77・8), ('82)に各地域のデータが詳しく報告されている。

④ソ連産材

ソ連産材の衝撃曲げデータは、藤田ら(1977)、藤田(1981, a)に詳しい。

⑤ニュージーランド産材

ニュージーランド産材の衝撃曲げについては、藤田ら(1977)が行っている。

⑥アフリカ、ヨーロッパ

アフリカ産材については高橋(1978)が、ヨーロッパ産材については高橋ら(1983)が報告している。

4. 衝撃曲げ疲労

木構造部材、家具、体育館の床、学校の廊下、階段などでは使用中に衝撃的な荷重を繰返し受けることも少なくない。ここでは衝撃曲げ疲労の研究の現状について検討した。

4-1 素 材

宮川・森(1980)は衝撃曲げ荷重を繰返し木材(台湾ヒノキ、ヘムロック)、合板およびパーティクルボードに与えた。その結果、累積履歴エネルギー(曲げ応力と残留ひずみの囲む面積)の大なる材料ほど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であった。また、宮川・森(1981)はヘムロックを用いて、引張側に半円形切欠をもつ試験片に衝撃曲げを与え、切欠による影響を検討している。

Miyakawa (1987)は、レッドラワンの中央に円孔を有する試験片に四点曲げ衝撃試験を行ない、円孔の半径が5, 10, 15mmのものは、半径が2mmのものより速く破断し、両者の間で違った傾向を示した。

友松ら(1978)は、スギを用いて衝撃曲げ疲労試験を行ない、1回ごとの衝撃エネルギーが低いほど、破断までの繰返し回数は低くなり、典型的なS-N曲線を得ている。

4-2 パーティクルボード

田中・鈴木(1984)は、パーティクルボードを床下地材として使用することを想定して、4種のパーティクルボードに毎秒1回の曲げ荷重を繰返し与えた。フレックボードでは比重および含脂率の増加によって、疲労強度が大きくなる。また、フレックを配向させると疲労強

度は無配向の約1.8倍大きくなった。

関野・大熊(1985)は、パーティクルボードおよび中比重ファイバーボードに毎秒1～2.5回の繰返し曲げ荷重を与え、1000万(10^7)回における疲労強度は破壊強度の38～44%を示し、接着剤による差も顕著ではない結果を得ている。

4-3 スカーフジョイント

伏谷ら(1980)は、ブナ材を用いて、種々の接着剤で接合したスカーフジョイント部材について、衝撃曲げ疲労を行っている。スカーフ傾斜率は1/3である。素材の場合と同様に両者の間に負の相関が認められるが、ジョイント部材の破断に必要な衝撃エネルギーは、素材の衝撃エネルギーに比べてかなり低くなっている。しかし、レゾルシノールの場合、高い衝撃エネルギーの単一衝撃に対しては耐衝撃性が低いが、低い衝撃エネルギーの繰返し衝撃に対しては、かなり耐衝撃性があることが分かったとしている。

以上のように、木材及び木質材料についての衝撃曲げ疲労の研究は非常に少なく、これからの成果が期待される。

5. 衝撃曲げ緩和効果

衝撃曲げに対する緩和効果を次の三つの因子に分けて検討する。

1. 内部減衰(摩擦)
2. 板のたわみ(しなり)
3. 衝撃曲げ疲労

5.1 内部減衰

木材は、外部からの振動や衝撃を吸収または遮断する材料として広く使用されている。たとえば、各種道具の柄、野球のバットなどがある。

木材は、肌触りの柔らかい材料である。これには木材の粘弾性という性質が関係している。粘弾性とは一つの材料の中に弾性(跳ね返る性質)と粘性(流れる性質)の二つを兼ね備えた性質である。鋼や青銅のような弾性材料であれば、材料に力を加えたとき、加えられたエネルギーのほとんどが材料の中に蓄えられるが、木材のような粘弾性材料ではこのエネルギーの一部が材料中の粘性要素によって吸収される。例えば、鐘を叩くと、叩くために使ったエネルギーが長く蓄えられているので、音が長く響くのに対して、木魚を叩くとエネルギーは木材の中に吸収されるので、短い間しか響かないのはこの性質によるものである。木材は、この粘弾性的性質によって振動や衝撃などを適度に吸収するので、床や道具の柄などのように人が直接触れる箇所に使用する材料として適しているほか、楽器、音響材料、壁面のように音に関係する部材に使用される(佐道, 1988)。

5.1-1 木材の内部摩擦量

鈴木(1979)は多数の木材の内部摩擦量($\tan \cdot \delta$)を調べている。表2に示す。この表では、平均の $\tan \cdot \delta$ の大小順に配列してある。平均の $\tan \cdot \delta$ が小さいものに、キリ、ヒノキ、大きいものにイタヤカエデ、アカガシ、マホガニーなどがある。いろいろな樹種を気乾比重で比較すると、気乾比重の増加によって $\tan \cdot \delta$ は大きくなる傾向を示す。繊維方向、半径方向、接線方向などの方向によっても、樹種の特徴がみられる。

更に、鈴木(1979)は、ヒノキの柾目面の木理角を試験片の長軸に対して、種々に変えたときの $\tan \cdot \delta$ を調べた。 $\tan \cdot \delta$ は木理角が 0° で小さく、 50° 付近で最大を示している。

表2 Mechanical loss tangent of various wood species (鈴木, 1979)

Wood species	Specific gravity	tan δ ($\times 10^{-4}$)				Fibril angle (deg.)			tan δ_L ($\times 10^{-4}$)		
		L	R	T	Av ¹⁾	E①	E②	E③ ²⁾	E①	E②	E③ ²⁾
Kiri ^{b)}	0.287	62	140	150	117	10	10	10	75	70	70
Hinoki ^{b)}	0.384	67	165	198	143	10	10	7	80	72	72
Sawara ^{b)}	0.355	65	185	188	146	9	9	9	67	67	67
Kaya ^{b)}	0.473	85	167	190	147	12	12	10	75	75	75
Todomatsu ^{a)}	0.381	80	138	222	147	10	7	7	90	88	80
Akamatsu ^{c)}	0.458	76	190	183	150	14	12	9	< 95	90	75 >
Himekomatsu ^{a)}	0.422	78	148	239	155	15	14	12	85	83	76
Honoki ^{b)}	0.484	91	205	187	161	14	14	14	105	95	95
Karamatsu ^{c)}	0.507	82	208	198	163	12	12	8	< 100	95	90 >
Onigurumi ^{b)}	0.528	92	194	204	163	16	13	14	105	100	100
Keyaki ^{a)}	0.611	72	202	222	165		9	9	140	100	96
Katsura ^{b)}	0.520	92	199	218	169	9	10	11	100	95	95
Ezomatsu ^{a)}	0.455	72	197	244	171	9	10	7	100	88	75
Kuromatsu ^{c)}	0.520	93	182	240	172	13	13	11	< 100	100	95 >
Tsuga ^{a)}	0.483	95	212	212	173	14	14	10	110	110	95
Shioji ^{b)}	0.595	95	194	232	174		14	14		95	95
Sugi ^{a)}	0.376	100	183	242	175	14	14	9	120	110	84
Momi ^{c)}	0.446	95	226	213	178	15	15	13	< 115	110	110 >
Harunire ^{a)}	0.519	81	230	228	180		9	5	145	115	88
Tochinoki ^{b)}	0.526	96	231	214	180	12	12	13	102	102	102
Harigiri ^{a)}	0.518	112	196	243	184	14	8	8	140	120	95
Asada ^{a)}	0.733	84	237	240	187	13	13	10	86	86	65
Kusu ^{b)}	0.508	104	220	255	193	16	16	15	115	115	115
Hannoki ^{b)}	0.514	82	248	258	196	11	11	11	80	85	85
Itayakaede ^{a)}	0.663	146	202	244	197	16	16	16	150	150	140
Red lauan	0.572	110	221	260	197		(16)				
Makanba ^{b)}	0.720	100	255	242	199	14	12	12	105	100	100
Buna ^{b)}	0.644	122	261	218	200	17	15	15	150	130	130
Yachidamo ^{a)}	0.616	114	239	251	201		13	13	145	125	110
Tabunoki ^{b)}	0.690	102	243	261	202	13	13	14	110	105	105
Mizunara ^{a)}	0.675	110	259	250	206		16	11	160	130	115
Shinanoki ^{b)}	0.520	105	255	268	209	12	13	12	120	110	110
Akagashi ^{b)}	0.866	95	275	270	213	15	15	15	110	100	100
Mahogany	0.533	140	265	260	221		(18)				

Notes ^{a)} A-type, ^{b)} B-type, ^{c)} C-type, see Fig. 4¹⁾ L, R and T indicate Longitudinal, radial and tangential directions. Av.: average of tan δ in three directions.²⁾ E①: first-formed earlywood, E②: intermediately-formed earlywood, L③: latewood. Measuring conditions: frequency 90 and 110 Hz; moisture content ca. 10%; temperature 18-23°C.

北原・松本(1974)は、温度を $-150\sim+150^{\circ}\text{C}$ の範囲で内部減衰を調べている。図2に示すように、常温では気温の低下と共に徐々に上昇し、 $-20\sim50^{\circ}\text{C}$ 付近に最大値を示す。この最大値は含水率の増加につれて低温側へずれる。低温では他の材料は脆くなるが、寒冷地や冷凍輸送などの条件で衝撃や振動の緩和に対して有利な条件を示している。

中尾ら(1983)は、スプルースとカリンを用いて、温度 $180\sim250^{\circ}\text{C}$ で熱処理をし内部減衰を測定し、熱処理の効果を見ている。熱処理の初期段階で結晶化度が増加すること、 $\tan\cdot\delta$ は特に高周波域で減少することが分かった。そして、結晶化度を増大させるように熱処理を行えば $\tan\cdot\delta$ を小さくすることが出来るとしている。この熱処理は楽器関係に 응용が期待される。

北原・松本(1973)は、空気の影響を除いた減圧状態でたわみ振動による実験を行っている。実験に使用した振動数範囲の低い振動数域ではクーロン摩擦および粘性の両者が関与し、振動数が増加するにつれて粘性が主体となる。また、このクーロン摩擦の存在が合金鋼、アルミニウム、ポリカーボネートでは認められないとしている。これらの対数減衰率を表3に示す。

5.1-2 バット

松井(1981)の報告によると、木製バットの方が打撃中心が一点に明瞭であるのに対し、金属バットは数センチの幅がある。この点は金属バットの方が有利である。しかし、打撃中心を離れた場合の握りへの衝撃反応は、それが打撃中心を離れるほど木製バットより大きい。ことに握りに近い方で打った場合にはかなり大きいので、バットの打った感触としては望ましくないといえる(図3)。大木(1985)によると、衝撃緩和を手袋で補強するとバットの折れにつながることもある。バットは通常スイートスポット(打しん)で打つ限りほとんど折れることはない。手袋を着用すれば、ボールをバットの手元または先端で打った場合でも、若干手のしびれ痛みが緩和される。しかし、手袋によってしっかりグリップされているから、打球時の手のゆるみが少なく、手袋をしらない場合よりショックによる力の分散が少なく折れにつながることで警告している。

表3 種々の材料の対数減衰率(北原・松本, 1973)

材 料	比 重	観 察 した 周波数 (Hz)	対数減衰率 $\times 10^{-2}$	動的ヤング率 (dyne/cm ²)
エ ゾ マ ツ	0.37	28.0	3.68	6.35×10^{10}
合 金 鋼	7.52	27.1	0.89	2.15×10^{13}
アルミニウム	2.65	27.2	1.86	6.04×10^{11}
ポリカーボネート	1.37	20.7	4.82	3.24×10^{10}

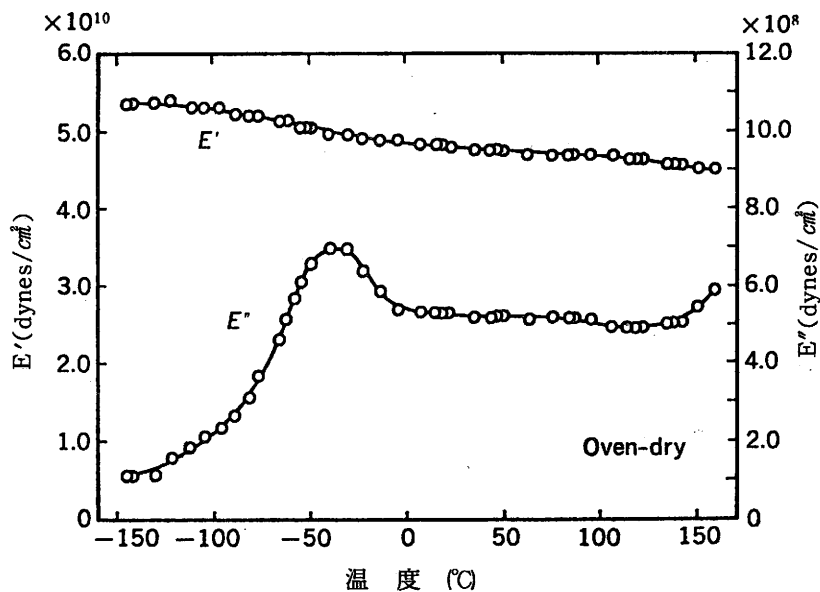


図2 温度変化に対する動的ヤング率 (E') と損失弾性率 (E'') の変化。
測定周波数は110Hz。材料はエゾマツ。(北原・松本, 1974)

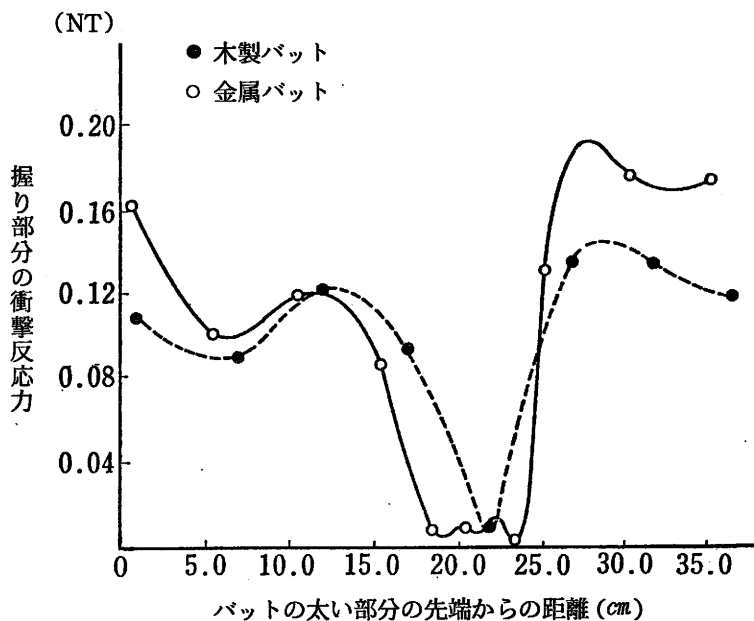


図3 木製バットと金属バットの打撃中心と握りの衝撃反応との関係比較
(松井, 1981)

5.2 板のたわみによる緩和

5.2-1 床

小野ら(1982)は、床板の厚さや構法が同じであれば、一般的に床に使用される材種の違いにより床の硬さが大きく異なることはないとしている。また、小野ら(1985)は、床の構造について比較している。一般に木材を用いた床は適度な柔らかさがあるって歩行感がよいといわれているが、そうでない場合もある。例えば、コンクリートのスラブに接着剤あるいはモルタルで直貼りした場合である。そうでない場合は、大引・根太構法の床つまり床板を何らかの形で架構させた構法の床か、床板の下あるいは、上にクッション材あるいはカーペットなどの緩衝性のある材料を敷いた構法の床であるとしている。

物性的には鋼やコンクリートなどより柔らかいとされている木材でも、使い方次第では非常に硬い床になることになる。木材を使用する場合、硬さの観点では従来の物性的な硬さで論じることが危険であり、また、木材の使い方次第では床の硬さは大きく異なる。

5.2-2 “しなり”の利用

しなりは学術的に厳密に定義された言葉ではなく、様々な場面において人間の感覚との対応から、微妙な変形特性を表す言葉として受け継がれている。木材はこの言葉が当てはまる数少ない材料の一つで、具体的には床板を架構して用い、適度なたわみ変形により初期の緩衝効果を具現し、さらに、他の材料にない変形の滑らかなもどりの特性を利用して適度な復元の強さを具現し、合せて最適な硬さを具現するという日本古来からの木材の使い方に帰結することになる(小野, 1987)。

歩きごちのよい床とはどのような特性をもった床であろうか。増田(1985)は、表面硬さとたわみ(局所変形)剛性の両因子の複合された形で、床の硬さのイメージが構成されると考え、合板床において、根太の間隔を通常より狭く、あるいは広くすると歩行感のイメージがどのように変化するかを調べ、表4の結果を得ている。歩きごちの良い床は、根太間隔が最も狭い床である。木質床においては、たわみの小さな床ほど“しっかりした床”というイメージを与えることが分かる。コンクリート床の結果と考え合わせると、床剛性には局所変形が1.8mm/100kgfあるいはそれより少し小さいところに最適値が存在する。一方、床下のたわみが歩きごちのイメージに与える影響は小さいという報告もある(増田, 1986)。

安藤・杉山(1985, a)は、床パネルを想定した合板釘打ちストレススキンパネルに、物品荷重や人間荷重を乗せて曲げ振動を測定したところ、人間荷重の場合には人体が振動吸収体として働くことを明らかにしている。

早村ら(1986)が、在来構法による木造校舎の床(杉板15mm)ツーバイフォー工法の床(合板, 12, 15mm)などについて、床のたわみを測定した例では、ボール, 砂袋, タイヤ等の落下により生じる床たわみは、重量, 落下距離に依存するが、人間の着地の場合は必ずしもそうではないとし、これは人間の足腰が衝撃を吸収していることに関係しているとしている。

5.2-3 住宅内の衝撃力

衝撃力は、人間との関わりでは、実際の住宅などにおいて人間と壁と床との間に生ずる諸力、たとえば壁を足, 腰, 両手や両肩で押す, 座る, 立つ, 歩く, 走る跳躍するなどの荷重に相当する。木質複合床の上で、人が飛び跳ねた場合やドンドンッと歩いた場合、軽く跳躍すると体重の3.5~3.7倍程度(ドンッと降った場合)の荷重が床支持点(合計)に伝わる。色々な場合を表5に示す(増田ら, 1980)。

根太に208材, 面材に12mm厚ラワン合板を用い, 釘CN50 (釘間隔15cm)で接合した合板釘打ちストレススキンパネルの上を, 体重37~103kgfの人間が歩いた結果では, 歩行時の衝撃力は体重によらずほぼ一定で, 3 kgfの粘土塊の落下に換算すると, 落下高さ0.2~4.0cm, 平均1.1cmに相当する。この様なパネルの中央に衝撃力が作用した場合に発生する衝撃点直下の根太のたわみは梁に関する理論式を用いて予測することが出来る。歩行によるパネルの振動はパネルの固有振動数によらず, むしろ1歩毎にたわみが発生すると見なせる。木質床の歩行振動を評価する場合, 床の固有振動数を用いず, 人間の歩くリズム, 即ち2Hz (毎秒2回)前後を指標と考える方が有効である (安藤・杉山, 1985, b)。

5.2-4 各種床の衝撃吸収率

合板釘着床, パーティクルボート釘着床 (いずれもベイマツ根太), ALC板 (軽量発泡コンクリート), コンクリート板, 合板足場板に対して各種の落下物を落とした。その結果, 表6に見るように木質床はコンクリート床に比して衝撃エネルギー吸収率が大きく緩衝性は高い (増田, 1983)。

表4 根太間隔の異なる合板床のたわみおよび歩行感 (増田, 1985)

根太間隔 (cm)	15	30	45	60	90	
床たわみ (mm/100kgf)	1.85	3.19	5.81	8.22	19.65	合板: 11.3mm厚
硬い-柔い (+3~-3)	2.45	1.20	0.50	-0.05	-2.45	P. B.: 15.2mm厚
イス・たわみを						根太: ベイツ45mm角
感じない-不安(0~-4)	-1.05	-1.35	-1.90	-2.75	—	大引: ベイツ90mm角
歩きごちが						大引間隔: 90cm
良い-悪い (+3~-3)	1.15	0.85	0.40	0.20	-1.80	コンクリート: 64mm厚
歩行感アンケート: 男子10名, 女子10名, 計20名の平均						ALC板: 100mm厚
						スパン: 180cm

表5 木質床パネル上での歩行および跳躍等の衝撃度 (増田ら, 1980) (衝撃最大荷重/体重)

静 止	普通の歩行	荒々しい歩行	パイプ・イスに 強くドンと座る	跳 躍 (6~7cm)
1.0	1.2 ~ 1.3	1.8 ~ 2.2	2.6 ~ 2.9	3.5 ~ 3.7

表6 各種床の衝撃エネルギー吸収率 (増田, 1983)

	質量 (g)	衝撃エネルギー吸収率				衝撃係数			
		合板床	合板床+ クッション	コンクリート床	コンクリート床 +クッション	合板床	合板床+ クッション	コンクリート床	コンクリート床 +クッション
ガラス球	34.3	.89	.95	.49	.94	2797	1517	-	-
ゴルフボール	42.0	.81	.92	.38	.84	1759	1144	-	-
鉄球	67.7	.94	.95	.49	.92	1687	1162	515	258
木球	83.0	.93	.95	.62	.91	1517	890	399	241
硬球野球ボール	147.4	.82	.87	.62	.79	683	595	167	145
ソフトボール	190.0	.73	.78	.59	.71	513	487	134	131
硬式テニスボール	57.0	.42	.48	.37	.40	445	455	-	-
軟式野球ボール	137.6	.50	.55	.44	.52	371	353	84	79
バレーボール	260.5	.31	.35	.26	.27	104	103	111	109
バスケットボール	617.5	.36	.39	.30	.32	92	92	114	109
自転車タイヤ	2130.					60	59	108	107
自動車タイヤ	7600.					36	33	(84)	(85)
サンドバッグ	14340.					8.5	8.4	(40)	(39)

落下高さ40cmでの値。 カッコ内は高さ5cmでの値

5.3 緩衝曲げ疲労に対する緩和

増田, 瀧野(1983)によると, 表5から分かるように, 一般に人の歩行による負荷は体重の1.2~1.3倍程度であり, せいぜい100kgfの負荷が100万回(1日90回×365日×30年)程度かかると思われる。

5.3-1 緩衝ゴムによる緩和

木材を床材や壁材として用いる場合も, 表面材の下に何かの衝撃を吸収する緩衝材を含む場合が多い。宮川(1984)は, ベイツガに衝撃ハンマーを加えた場合と, その金属のハンマーをゴムで覆った場合との比較をしている。金属のハンマーをゴムで覆った場合, 衝撃曲げ吸収エネルギーは金属ハンマーだけの場合の1.3~1.6倍である。また, ゴム同士では柔らかいものほど大きな値を示した。宮川(1985)は, 衝撃を繰り返し与える衝撃疲労でも, 緩衝材の効果が顕著であるとしている。更に, 緩衝材のゴムの厚さが厚いほど, また柔らかいほど効果があるとしている(宮川, 1987)。

5.3-2 ストレストスキンパネルによる緩和

増田ら(1981)は, 実際の床使用ではせいぜい100kgfが100万回繰り返されるに留まると考えて, 面材に合板あるいはパーティクルボードを用いた片面張りストレストスキンパネルに, 毎秒1.2~2.5回の荷重を加えた。合板パネルでは静的強度の15%, パーティクルボードパネルでは30%の荷重が100万回繰り返されることに相当する結果を得ている。これは, 合板やパーティクルボードを単体で用いず, 木質床構造あるいはストレストスキンパネルにすることによって, 大幅に繰り返し衝撃荷重に耐えられることを示している。

たわみの増加は, 合板パネルではほとんどなく, パーティクルボードパネルでもわずかであるが, 飽水あるいは水分非正常の状態においては大きなたわみが生じることも予想される。

(増田ら, 1981)。

5.3-3 縁甲床

増田・瀧野(1983)は、表板に合板および中比重乾式ファイバーボード(MDF)を用いて、毎秒5~7回の荷重を縁甲床に繰返し加える実験をした。表板にさねはぎをしているとたわみ剛性は小さく終局の耐力は大きくなり、100kgfの負荷が100万回作用しても十分に耐えられる結果を得ている。

5.3-4 ボード釘着床

増田・瀧野(1983)は、木質系住宅の畳下地として多用されているタイプの一つである、ボード釘着床に毎秒2~7回の荷重を繰返し加えた。通常の歩行時の作用荷重は体重の1.2~1.3倍程度であるから、まず100kgfを越えることはなく、たわみの増加はほとんどない(面材として、耐水性パーティクルボードを使用)。200kgf(標準体重の3倍余)に相当する衝撃力は、イスにドンッと強く座るか、飛び跳ねてドンッと降りる場合などであるが、階段の下のような所に相当することを考えて、200kgf・100万回でも床の終局耐力の低下はほとんどなく、釘の浮き上がりも概観上認められないとしている。

他に、内装ユニット床パネルの報告もある(瀧野・佐々木, 1983)。

おわりに

衝撃曲げ荷重に関する研究の現状のいろいろな側面から述べてみた。研究の現状を概観してみると、衝撃曲げ吸収エネルギーに関する因子を破壊ないしはき裂と関連させることによってもっと深まるのではないだろうか。また、板のたわみなどによる衝撃緩和は実用面で早急に要求される分野である。衝撃曲げ疲労の研究は現実の現象面では多々見られるが、それに対して研究の面が大幅に遅れている。系統的な研究が期待される。

衝撃エネルギーの吸収機構については、小さな応力を加えて研究する内部摩擦のほかはほとんど研究されていない。最後に、衝撃曲げではなく衝撃圧縮であるが、吸収機構の研究について触れておく。浜野・松本(1979)は、衝撃圧縮荷重を用いて、吸収エネルギーは加えられた衝撃エネルギーの大きさに応じて増大するが、ある衝撃エネルギーを境にして吸収エネルギーが更に大きく増大する変曲点が存在することを明らかにし、この変曲点の前後においてエネルギーの吸収機構が異なることを予想している。更に、浜野・松本(1980)は、吸収エネルギーは20~50cm/secの衝撃速度では速度の2乗に、50cm/sec以上では3乗に比例し、衝撃による見かけのポアソン比は衝撃負荷過程と除荷過程で異なる挙動を示すことを明らかにしている。

参考文献

- (1) 安藤直人, 杉山英男(1985, a): 木質床の振動性状 ストレストスキンパネルの振動性状一, 木材学会誌, Vol. 31, No.2, p. 89~96.
- (2) 安藤直人, 杉山英男(1985, b): 木質床の振動性状 ストレストスキンパネルの衝撃荷重による歩行振動一, 木材学会誌, Vol. 31, No.2, p. 97~102.
- (3) 浦上弘幸, 福山萬治郎(1985): 木材の衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼす試片寸法, 比重ならびに含水率の影響, 材料, Vol. 34, No.383, p. 949~954.
- (4) 海老原 徹, 鷺見博史, 中野達夫(1985): アオダモ, ヤチダモの衝撃曲げ性能に及ぼす人工乾燥および含水率の影響, 木材学会誌, Vol. 31, No.12, p. 1040~1046.

- (5) 大木 修(1985): バット折損事故防止のための諮問に対する答申, プロ野球コミッショナーバット問題諮問委員会.
- (6) 往西弘次, 城代 進, 後藤輝男(1973): 木質材料の改良に関する研究(第11報) 木材-プラスチック複合材の曲げ挙動に及ぼす可塑性の影響 —, 島根大学農学部研究報告, 第7号, p. 80~85.
- (7) 太田正光, 岡野 健(1977): 脆心材の力学的性質に関する研究(第1報) 脆心材の基礎的材質 —, 木材学会誌, Vol. 23, No.1, p. 1~9.
- (8) 太田正光, 浅野猪久夫, 岡野 健(1979): 脆心材の力学的性質に関する研究(第2報) — 衝撃曲げ破壊について —, 木材学会誌, Vol. 25, No.1, p. 7~13
- (9) 岡野 健: 脆心材について, 木材工業, Vol. 28, No.3, p. 100~104(1973).
- (10) 岡崎 光, 藤田普輔, 小松正行, 丸山則義, 杉田隆博(1973): 輸入木材の性質(I) — 東南アジア産材の物理的・強度的性質(その1) —, 静岡大学農学部研究報告, No.23, p. 65~68.
- (11) 奥山 剛(1975): 木材の力学的性質に及ぼすひずみ速度の影響(第5報) — 衝撃曲げ強さに及ぼす温度の影響について —, 木材学会誌, Vol. 21, No.4, p. 212~216.
- (12) 小野英哲(1987): “木質環境の科学(山田正編)”, 第11章, 海青社, p. 207~218.
- (13) 小野英哲, 横山 裕, 大野隆造(1982): 安全性からみた学校体育館床のかたさに関する研究, 日本建築学会論文報告集, No.321, p. 9~16.
- (14) 小野英哲, 横山 裕, 大野隆造(1985): 居住性からみた床のかたさの評価方法に関する研究 — その1 床のかたさに関する心理学的尺度の構成 —, 日本建築学会論文報告集, No.358, p. 1~9.
- (15) 茅原正毅, 田近克司, 中川 宏(1979): 木質セメント板の強度増加について, 木材学会誌, Vol. 25, No.8, p. 552~557.
- (16) 北原覚一(1950): 東大農演習林報, 38, p. 153.
- (17) 北原龍二, 松本 昶(1973): 木材における減衰の機構, 木材学会誌, Vol. 19, No.8, p. 373~378.
- (18) 北原龍二, 松本 昶(1974): 木材の力学的損失の温度依存性, 木材学会誌, Vol. 20, No. 8, p. 349 ~354.
- (19) 斉藤藤市, 橋本 誠(1977): パーティクルボードの機械的性質(第1報) — 強度, 変動および強度間の相関 —, 木材学会誌, Vol. 23, No.1, p. 45~52.
- (20) 佐々木 光, 角谷和男, 瀧野真二郎(1983): スギ36品種の力学的性質, 木材研究・資料, 第17号, p. 192~205.
- (21) 佐道 健(1988): 木に材料の原点を見る, 京都大学公開講座テキスト“木の文化と科学”, 京大農林産工学研究室・京大木材研究所, p. 24~28.
- (22) 塩倉高義, 小林 純(1975): メランチ丸太内の材質変動, 木材工業, Vol. 30, No.12, p. 549~551.
- (23) 鈴木正治(1979): 木材の内部摩擦と構造の関係について, 木材学会誌, Vol. 25, No.10, p. 623~629.
- (24) 鷺見博史, 中野達夫, 海老原 徹(1986): プロ野球におけるバットの損傷とその原因について, 木材工業, Vol. 41, No.2, p. 55~60.

- (25) 関野 登, 大熊幹章(1985): 構造用パーティクルボードの耐久性能(第1報) — 曲げ疲労挙動 —, 木材学会誌, Vol. 31, No.10, p. 801~806.
- (26) 高橋 徹, 藤田普輔(1969): 熱帯産材における衝撃曲げ吸収エネルギーの比重依存性, 木材学会誌, Vol. 15, No.4, p. 140~145.
- (27) 高橋 徹, 村上幸可, アルノ P. シュニービン(1973): 衝撃曲げ吸収エネルギーの比重依存性, 木材学会誌, Vol. 19, No.11, p. 521~532.
- (28) 高橋 徹(1978): 外国産木材の強度データ集, III, アフリカ, 輸入木材研究報告, No. 7, (島根大学農学部木材加工研究室).
- (29) 高橋 徹, 田中千秋, 塩田洋三(1980): 衝撃曲げ吸収エネルギーの年輪傾角依存性, 島根大農研報, 14巻, p. 69~75.
- (30) 高橋 徹, 田中千秋, 塩田洋三(1983): 外国産木材の強度データ集, IV, ヨーロッパ, 輸入木材研究報告, No.11 (島根大学農学部木材加工研究室).
- (31) 瀧野真二郎, 佐々木光(1983): 内装用ユニット床パネルの曲げ疲労性能, 木材研究・資料, 第18号, p. 141~145.
- (32) 瀧野真二郎(1986): 集合住宅内装用ストレススキンパネルの強度性能, 木材研究・資料, 第22号, p. 10~18.
- (33) 田中淳裕, 鈴木正治(1984): パーティクルボードの曲げ疲労強度について, 木材学会誌, Vol. 30, No.10, p. 807~813.
- (34) 都築一雄, 竹村富雄, 浅野猪久夫(1976): 低温における木質材料の物理的性質(第1報) — 木材の曲げ強さにおよぼす温度と比重の影響, 木材学会誌, Vol. 22, No.7, p. 381~386.
- (35) 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, 東京農工大農演習林報告, 第14号, p. 1~10.
- (36) 友松昭雄, 伏谷賢美, 蕪木自輔(1980, a): 木材の衝撃曲げに関する研究(第1報) — 比重の影響 —, 木材学会誌, Vol. 26, No.10, p. 664~672.
- (37) 友松昭雄, 伏谷賢美, 久保隆文, 蕪木自輔(1980, b): 木材の衝撃曲げに関する研究(第2報) — 平均ミセル傾斜角および年輪内細胞壁率変動の影響 —, 木材学会誌, Vol. 26, No.10, p. 673~678.
- (38) 中井 孝, 山井良三郎(1982): 日本産主要樹種の性質 — 日本産主要35樹種の強度的性質 —, 林業試験場研究報告, 第319号, p. 13~46.
- (39) 中尾哲也, 岡野 健, 浅野猪久夫(1983): 木材の損失正接におよぼす熱処理の影響, 木材学会誌, Vol. 29, No.10, p. 657~662.
- (40) 中山義夫, 小寺沢重裕, 藤原信二(1980): 高知県産スギ材における強度特性 — 靱性について —, 第30回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 81.
- (41) 浜野義昭, 松本 昴(1979): 木材の衝撃吸収機構の研究(第1報), 木材学会誌, Vol. 25, No.9, p. 567~572.
- (42) 浜野義昭, 松本 昴(1980): 木材の衝撃吸収機構の研究(第2報), 木材学会誌, Vol. 26, No.10, p. 658~663.
- (43) 林 毅編(1971): “複合材料工学”, 日科技連出版社, p. 295.
- (44) 林 知行(1987): 針葉樹LVLの動的特性(3) — 衝撃曲げ性能 —, 第37回日本木材

- 学会大会研究発表要旨集, p. 99.
- (45) 伏谷賢美, 小林克太郎, 友松昭雄(1980): スカーフジョイント部材の衝撃曲げ疲労, 木材工業, Vol. 35, No.10, p. 461~465.
- (46) 早村俊二, 大石隆洋, 丸山則義, 有馬孝礼(1986): 木質構造床の衝撃による音及び振動, 日本木材学会第36回大会研究発表要旨集, p. 229.
- (47) 藤田普輔, 後藤輝男(1967): 触媒加熱および放射線重合木材の力学的性質, 島根農科大学研究報告, 第15号, p. 41~52.
- (48) 藤田普輔, 丸山則義, 杉田隆博, 岡崎 光(1976): 輸入木材の性質(第2報) — 東南アジア産材の機械的性質と比重の関係 —, 静岡大学農学部研究報告, No.26, p. 23~31.
- (49) 藤田普輔, 丸山則義, 岡崎 光(1977): 輸入木材の性質(第3報) — ソ連邦産材およびN. Z. 産材の機械的性質と比重の関係 —, 静岡大学農学部研究報告, No.27, p. 55~63.
- (50) 藤田普輔, 丸山則義, 岡崎 光(1979): 輸入木材の性質(第6報) — 東南アジア産5樹種の丸太内の材質変動 —, 静岡大学農学部研究報告, No.29, p. 25~34.
- (51) 藤田普輔(1981, a): 輸入木材の性質(第7報) — ソ連邦産材4樹種の樹幹内の材質変動 —, 鹿児島大学農学部学術報告, 第31号, p. 123~131.
- (52) 藤田普輔(1981, b): 輸入木材の性質(第8報) — 東南アジア産材の樹幹内の材質変動 —, 鹿児島大学農学部学術報告, 第31号, p. 123~131.
- (53) 藤田普輔(1981, c): 輸入木材の性質(第9報) — 東南アジア産材の樹幹内の材質変動(3) —, 鹿児島大学農学部演習林報告, 第9号, p. 45~59.
- (54) 藤田普輔, 池田俊士(1984): 鹿児島大学農学部高隈演習林に植林されたスギ材の材質と利用 — ヤクスギ材の機械的性質と比重の関係 —, 鹿児島大学農学部演習林報告, 第12号, p. 57~66.
- (55) 藤田普輔, 池田俊士(1985): 鹿児島大学農学部高隈演習林に植林されたスギ材の材質と利用 — サツマメアサスギ材の機械的性質と比重の関係 —, 鹿児島大学農学部演習林報告, 第13号, p. 123~133.
- (56) 藤田普輔(1985): 南九州地域に生育する広葉樹材の利用開発 IV. — イタジ材の樹幹内における材質変動(2) —, 鹿児島大学農学部学術報告, 第35号, p. 195~204.
- (57) 藤田普輔(1986): 南九州地域に生育する広葉樹材の利用開発 VI. — アベマキ材の樹幹内における材質変動(2) —, 鹿児島大学農学部学術報告, 第36号, p. 205~214.
- (58) 藤田普輔(1987): 南九州地域に生育する広葉樹材の利用開発 VII. — ケヤキ樹幹内における機械的性質の変動 —, 鹿児島大学農学部学術報告, 第37号, p. 225~235.
- (59) 藤田普輔, 遠矢良太郎(1988): 南九州地域に生育する広葉樹材の利用開発VII — イジュ材の材質特性と用途について —, 鹿児島大学農学部学術報告, 第38号, p. 211~221.
- (60) 藤田普輔(1988, a): 鹿児島大学農学部高隈演習林に植林されたスギ材の材質と利用(第3報) — クモトオシスギ材の機械的性質と比重の関係, 鹿児島大学農学部演習林報告, 第16号, P. 1~11.
- (61) 藤田普輔(1988, b): 鹿児島大学農学部高隈演習林に植林されたスギ材の材質と利用(第4報) — ヨシノスギ材の機械的性質と比重の関係, 鹿児島大学農学部演習林報告, 第16号, P. 13~23.

- (62) 増田 稔, 瀧野真二郎, 冬木敏夫, 佐々木 光(1980): 木質床パネルの衝撃特性に関する研究 — 物体の落下や人の跳び跳ね等に伴う衝撃力について —, 第30回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 96.
- (63) 増田 稔, 冬木敏夫, 瀧野真二郎, 佐々木 光(1981): ストレススキンパネルの曲げ疲労特性, 「材料」, 第30巻, 第334号, p. 691~696.
- (64) 増田 稔(1983): 木質床の衝撃特性に関する研究, 日本木材学会第33回大会研究発表要旨集, p. 84.
- (65) 増田 稔, 瀧野真二郎(1983): 集中荷重を受ける木質床の疲労特性, 木材研究・資料, 第18号, p. 131~145.
- (66) 増田 稔(1985): 木質床の歩行感および緩衝性に関する研究, 日本木材学会第35回大会研究発表要旨集, p. 176.
- (67) 増田 稔(1986): 床の歩行感と物理量の関係, 日本木材学会第36回大会研究発表要旨集, p. 241.
- (68) 丸山則義, 藤田普輔, 岡崎 光(1978): 輸入木材の性質(第4報) — 東南アジア産材の機械的性質と比重の関係 —, 静岡大学農学部研究報告, No.28, p. 33~40.
- (69) 松井秀治(1981): “野球の科学 — 投げ・打つ・守るを解き明かす —”, 講談社, p. 189.
- (70) 見尾貞治, 松本 勲, 堤 壽一(1985): スギ品種の木材性質について — 九州産の在来6品種による予備実験 —, 九州大学農学部演習林報告, 第55号, P. 187~199.
- (71) 宮川秀俊, 森 稔(1980): 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 —, 九大農学芸誌, 第34巻, 第3・4号, p. 81~95.
- (72) 宮川秀俊, 森 稔(1981): 木材および木質材料の衝撃的性質(第7報) — 引張側に半円形切欠きをもつ木材はりの衝撃曲げ疲労 — 木材学会誌, Vol. 27, No.5, p. 372~380.
- (73) 宮川秀俊(1984): 衝撃的負荷に対する木材の力学的性質 — 衝撃接触面における緩衝材の影響, 第34回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 277.
- (74) 宮川秀俊(1985): 木材の衝撃破壊におよぼす緩衝材の影響(Ⅱ) — 衝撃接触面に緩衝ゴムを介した衝撃曲げ疲労, 第35回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 104.
- (75) Miyakawa, Hidetoshi(1987): Impact Bending Fatigue of Wood, Wood and Fiber Science, Vol. 19, No.1, p. 37~47.
- (76) 宮川秀俊(1987): 木材の衝撃破壊におよぼす緩衝材の影響(3) — 各種厚さ, 硬さのラバーシートを介した単一および繰返し衝撃曲げ試験, 第37回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 98.
- (77) 宮川秀俊, 吉田治夫(1987): 木製野球バットの破損に関する実態調査, 木材工業, Vol. 42, No.5, p. 216~219.
- (78) 宮島 寛(1978): 日高産アオダモ材の生長と基礎材質, 北大農演習林研報, Vol. 36, No.2, p. 421~450.
- (79) 林業試験場(1973): “木材工業ハンドブック(新版)”, 丸善, p. 234~235.
- (80) 林業試験場木材部(1966, 6): 南洋材の性質2 — サラワク産レッドメランチ類木材の強度的性質(1) —, 林業試験場研究報告, No.190, p. 107~180.
- (81) 林業試験場木材部(1966, 9): 南洋材の性質3 — カンボジア産の性質(2) —, 林業試験

- 場研究報告, No.194, p. 1~106.
- (82) 林業試験場木材部(1967, 1) : 南洋材の性質 4 — 北ボルネオ産カプール材の性質(1) — 林業試験場研究報告, No.197, p. 39~154.
- (83) 林業試験場木材部(1967, 10) : 南洋材の性質 7 — カリマンタン産クルイン材の性質(1) — , 林業試験場研究報告, No.206, p. 1~108.
- (84) 林業試験場木材部(1968, 2) : 南洋材の性質10 — フィリッピン産アピトン材の性質(1) — , 林業試験場研究報告, No.208, p. 85.
- (85) 林業試験場木材部(1968, 11, a) : 南洋材の性質11 — カリマンタン産バンキライおよびホワイトメランチ材の性質 — , 林業試験場研究報告, No.218, p. 1~98.
- (86) 林業試験場木材部(1968, 11, b) : 南洋材の性質12 — カリマンタン産13樹種の性質 — , 林業試験場研究報告, No.218, p. 99.
- (87) 林業試験場木材部(1969, 5) : 南洋材の性質13 — マラヤ産クルイン材の性質 — , 林業試験場研究報告, No.221, p. 53.
- (88) 林業試験場木材部(1971, 3) : 南洋材の性質16 — フィリッピン産レッドrawn材の性質 — , 林業試験場研究報告, No.234, p. 1~164.
- (89) 林業試験場木材部(1972, 2) : 南洋材の性質17 — ニューギニア, ソロンモン産 7 樹種の性質 — , 林業試験場研究報告, No.244, p. 115~208.
- (90) 林業試験場木材部(1973, 6) : 南洋材の性質18 — サラワク, ニューギニア産 8 樹種の性質 — , 林業試験場研究報告, No.254, p. 55~169.
- (91) 林業試験場木材部(1974, 3) : 南洋材の性質19 — カリマンタン, ニューギニア産10樹種の性質 — , 林業試験場研究報告, No.262, p. 59~163.
- (92) 林業試験場木材部(1974, 12) : 南洋材の性質20 — ニューギニア, その他地区産 9 樹種の性質 — , 林業試験場研究報告, No.269, p. 1~95.
- (93) 林業試験場未利用樹種研究班(1977, 8) : パプアニューギニア材の加工的性質 (第3報) — 東ニューブリテン産材の基礎的性質 — , 林業試験場研究報告, No.294, p. 1~49.
- (94) 林業試験場木材部・木材利用部(1982) : 日本産主要樹種の性質 — 木材の性質一覧表 — , 林業試験場研究報告, No.319, p. 85~126.