

カラマツ材の靱性

本多 琢己

Toughness of Karamatu lumber

Takumi HONDA

Summary : The physical characteristics which relate to the toughness of karamatu were investigated. It could recognize comparatively good correlation with janka plastic modulus and specific gravities. It was not recognized at all correlation with the work to maximum load in bending and specific gravities. Absorbed energy in impact bending for the heartwood was higher than that of the sapwood. In case of the test specimens with the notch, it could recognize the influence of notch ratio on absorbed energy in impact bending. The stress concentration in the vicinity of the notch seems to affect fracture morphology. The fracture surface of test specimen with the notch was more brittleness than that of normal test specimens

要旨 : カラマツのタフネスに関係した物理的特性を測定した。ヤンカ靱性係数は比重との間で比較的良好な相関関係が認められた。曲げ破壊仕事量は比重との間にほとんど相関関係は認められなかった。心材の衝撃曲げ吸収エネルギーは辺材のそれよりも高かった。切り欠きを有する試験体においては、衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼす切り欠き比の影響が認められた。切り欠きを有する試験体では破壊面が脆性的であった。切り欠き底のコーナー付近への応力集中が破壊形態に影響を及ぼすようである。

1 はじめに

木材のように予めクラックが存在する材料では、単に材料力学的な評価ではその特性が正しく評価されているとは言い難い。このような材料の評価にはクラックの存在を前提とした破壊力学の適応が有効である。破壊力学ではクラック先端の力学的環境として K (応力拡大係数)、あるいはこれと一対一対応の関係にある G (エネルギー解放率) というパラメーターを用いる。 K がある臨界値 K_c に達するか、あるいは G がある臨界値 G_c に達すると破壊が開始する。前報¹⁾では、繊維に直交する方向にクラックを持つカラマツの応力拡大係数 K_{IC} を求めた。その結果、破壊靱性値は試験片の大きさ、クラック比によらないある一定値が得られた。この K は、き裂進展開始に要するエネルギー G_{IC} と $K_{IC} = (G_{IC}E)^{1/2}$ (E : 弾性率) の関係にある。

一方、木材の靱性を測定する様々な方法が考案されている。代表的な静的試験として中央集中荷重方式の3点曲げ試験がある。この場合、荷重-たわみ曲線の下面積から算出される曲げ破壊仕事量が靱性の目安とされる。また、動的試験として振り子型衝撃力による中央集中荷重方式の衝撃曲げ試験がある。これから求められる衝撃曲

げ吸収エネルギーは曲げ破壊仕事量と相関関係が大きい。

本研究では、靱性の指標を破壊までに吸収されるエネルギーとする立場に立ち、カラマツ材の各種靱性を求め、比重との関わりで整理した。

2 実 験

2.1. 曲げ強度試験

山梨県産カラマツ気乾材 (MC=15%) の節などを含まない心材部分から、幅 (w) 4.0 mm、厚さ (t) 20 mm、長さ (l) 320 mm の柁目試片を採取した。平均比重は 0.588、平均年輪幅は 2.9 mm であった。曲げ強度試験はスパン 280 mm の3点曲げ方式で行い、中央集中荷重を柁目面にクロスヘッドスピード 5 mm/min で負荷した。

記録紙の荷重-たわみ曲線とたわみ軸で囲まれた面積から曲げ破壊仕事量 W_b を算出した。さらに次式よりヤンカ仕事量 α およびヤンカ靱性係数 Z を算出した。

$$\alpha = W_b / \delta_{\max}$$

$$Z = (P_{\max} - P_p) / (\delta_{\max} - \delta_p)$$

ここに、 P_{\max} : 破壊荷重、 P_p : 比例限荷重、

δ_{\max} : 破壊たわみ、 δ_p : 比例限たわみ

である。

なお、測定は室温下で行った。

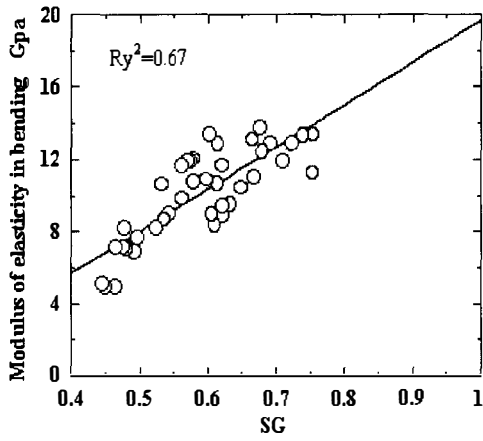


Fig. 1 Relationships between modulus of elasticity in bending and specific gravity.

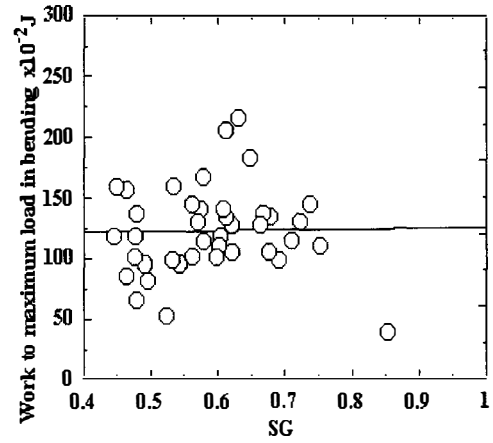


Fig. 4 Relationships between work to maximum load in bending and specific gravity.

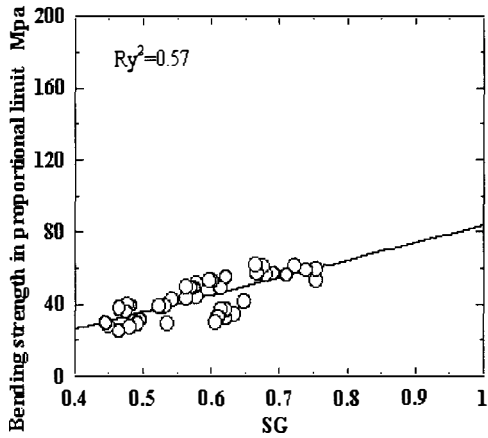


Fig. 2 Relationships between bending strength in proportional limit and specific gravity.

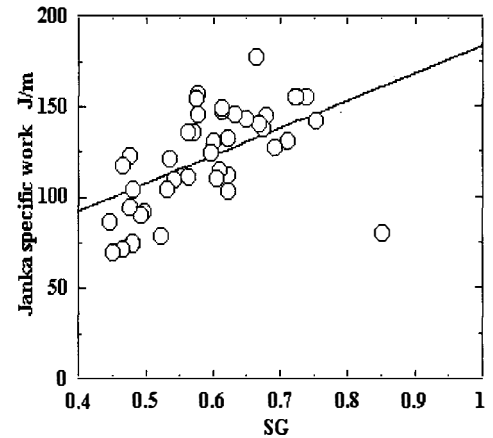


Fig. 5 Relationships between Janka specific work and specific gravity.

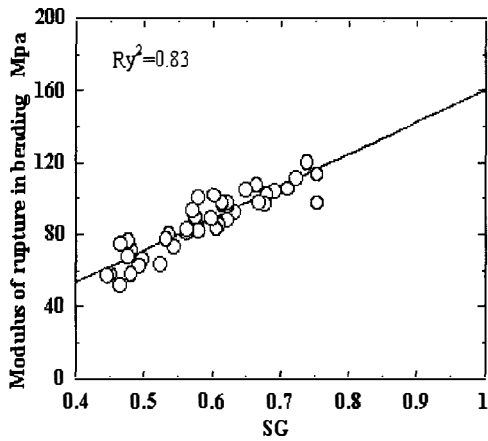


Fig. 3 Relationships between modulus of rupture in bending and specific gravity.

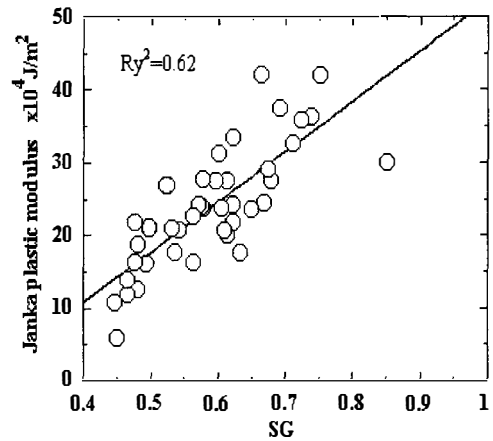


Fig. 6 Relationships between janka plastic modulus and specific gravity.

2.2. 衝撃曲げ試験

前項と同様の供試材から節などを含まない辺材、心材部分それぞれから、幅(w)420 mm、厚さ(t)20 mm、長さ(l)300 mmの柵目試片を採取した。平均比重は辺材で0.578、心材で0.641、また、平均年輪幅は辺材で2.4 mm、心材で3.8 mmであった。振子型衝撃力による中央集中荷重方式(シャルピー型)で行い、打撃面を柵目面とした。

次に切欠きの影響を調べる実験では、試験体の長さ方向の中央部にLTモード(初期切欠き方向がT方向)となるように切欠きを導入し、切欠き比を0.2、0.3、0.4、0.5の4段階に変化させた。打撃面は切欠きの反対側の柵目面とした。試験片は辺材部分から採取した。

次式から衝撃曲げ吸収エネルギーUを算出した。

$$U = GL(\cos\theta_2 - \cos\theta_1) / A$$

ここで、A:試験体の断面積、G:ハンマの重さ(11.437 kg)、L:ハンマの腕の長さ(60 cm)、 θ_2 , θ_1 :ハンマの衝撃前後の角。

なお、測定は室温下で行った。

3 結果及び考察

3.1. 静的曲げ強度

Fig.1に曲げヤング係数と比重の関係を、Fig.2に曲げ比例限強度と比重の関係を、Fig.3に曲げ破壊強度と比重の関係をそれぞれ示した。各平均値は曲げヤング係数が10.10 Gpa (STD=0.84 Gpa)、曲げ比例限強度が44.23 Mpa (STD=10.89 Mpa)、曲げ破壊強度が86.20 Mpa (STD=17.06 Mpa)であった。

3.2. 静的靱性

Fig.4に曲げ破壊仕事量と比重の関係を、Fig.5にヤンカ仕事量と比重の関係を、Fig.6にヤンカ靱性係数と比重の関係をそれぞれ示した。曲げ破壊仕事量と比重との相関はほとんど認められない。ヤンカ仕事量では、わずかながら相関が認められる。一方、ヤンカ靱性係数と比重の間には比較的よい相関($Ry^2=0.62$)が認められた。曲げ破壊仕事量は弾性域と塑性域の吸収エネルギーの合計として算出される。これに対してヤンカ靱性係数では塑性域のタフネスを取り扱っている。このことが相関関係の差異に関係するものと考えられる。

3.3. 動的靱性

Fig.7に衝撃曲げ吸収エネルギーと比重の関係を示した。図中の○、□はそれぞれ心材、辺材を示している。平均して心材で $8.24 \times 10^{-2} \text{ J/m}^2$ 、辺材で $5.17 \times 10^{-2} \text{ J/m}^2$

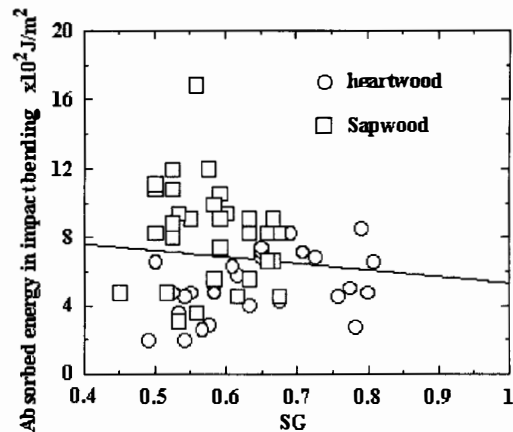


Fig.7 Relationships between absorbed energy in impact bending and specific gravity.

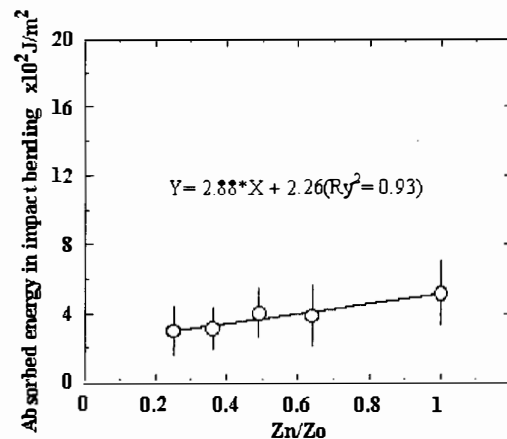


Fig.8 Relationships between absorbed energy in impact bending and specific section modulus.

であった。このように心材の衝撃曲げ吸収エネルギーは、辺材に比べて60%程度大きい。衝撃曲げ吸収エネルギーは同一樹種内では比重との相関が良く無いが、これには比重と共に構成する細胞の種類、結合の強さが関係すると思われる。

Fig.8に切欠きを有する試験体の衝撃曲げ吸収エネルギーと断面係数比Zn/Zoの関係を示す。図中のX軸ではZn/Zoが0→1の順に大きくなると、逆に切欠き比は0.5→0のように小さくなる。切欠き比が大きくなる(Zn/Zoは小さくなる)と、衝撃曲げ吸収エネルギーは低下する。

衝撃曲げ吸収エネルギーと断面係数比Zn/Zoの間に次の実験式が得られた。

$$U = 2.88(Zn/Zo) + 2.26 (Ry^2 = 0.93)$$

切欠きの無い材の破壊面は、ささら状で縦裂線を混ざる破壊型、あるいは鋸歯状の破壊型が観察された。一方、

切欠きを有する材の場合、初期の亀裂進展は切欠きとは垂直方向（木目方向）に起こり、その後、亀裂は進展方向を木目方向とそれに垂直な方向と交互に変えながら進むように見える。破壊面が斜裂するような破壊型を示し、脆性的な破壊性状であった。さらに切欠きのコーナー部分における応力集中の影響もあると考える。

4 ま と め

カラマツのタフネスに関係した物理的特性を測定し、以下の結果を得た。

1. ヤンカ靱性係数は比重との間で比較的良好な相関関係が認められた。

2. 曲げ破壊仕事量は比重との間にほとんど相関関係は認められなかった。
3. 衝撃曲げ吸収エネルギーは辺材よりも心材の方が高かった。
4. 切り欠きを有する試験体においては、衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼす切り欠き比の影響が認められた。
5. 衝撃曲げ吸収エネルギー U と断面係数比 Z_n/Z_o に関して以下の実験式が得られた。

$$U = 2.88(Z_n/Z_o) + 2.26(Ry^2 = 0.93)$$

文 献

- 1) 本多琢己：林技情報：20, 30-38 (1992).