

# 構造用木質パネルの面内せん断疲労 —エネルギーロスに基づく挙動解析—

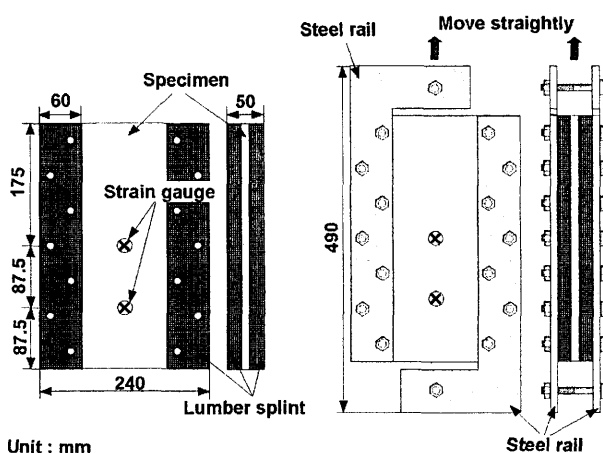
名古屋大学[院] ○杉本貴紀 名古屋工業大学[院] 山崎真理子  
名古屋大学[院] 佐々木康寿

## 1 緒言

構造用木質パネルは、床や耐力壁・複合梁などに用いられる。前者の場合には、使用中に曲げ荷重が繰返し作用することが多い。そのために、木質パネルの曲げ疲労はこれまでに数多く調べられてきた<sup>(1-3)</sup>。一方、後者の場合には、木質パネルはせん断力に対する抵抗要素として機能し、使用中にしばしば繰返しせん断力を受ける。しかしながら、木質パネルの面内せん断疲労に関する研究例は見られない。このような背景から、我々はすでに2種類の構造用木質パネルの面内せん断疲労挙動に関して、S-N線、せん断剛性やせん断ひずみの変化などを報告した<sup>(4)</sup>。本報ではさらに、ヒステリシスループの面積で表されるエネルギーロスに焦点をあて、木質パネルの面内せん断疲労挙動を検討した。

## 2 実験

**2.1 試験体** 供試パネルとして、市販のカラマツ構造用合板(PW: JAS 特類1級)の公称厚さ9, 12 mmの2種類と、配向性ストランドボード(OSB)の公称厚さ9.5 mm (JAS 構造用パネル4級), 12 mm (同3級)の2種類の計4種類を用意した。試験体は、それぞれの供試パネルから、試験体短辺方向を表層単板の繊維方向(PW)及び表層ストランドの配向(OSB)と一致させ、寸法350 mm×240 mmとなるように裁断した。さらに、裁断した試験体長辺の両端の表裏に合計4枚の重硬木(アフリカ産広葉樹マコレ)をレゾルシノール樹脂接着剤で貼り付け、補強した。その後、治具固定のためのボルト孔(片側7箇所、計14箇所)をあけた(Fig. 1(a))。



(a) Test specimen.

(b) Shear test.

Fig. 1. Schematic illustrations of test specimen and shear test.

**2.2 試験方法** 実験には、電気油圧サーボ式疲労試験機を用い、ASTM D 2719に規定されている“Method C; Two Rail Shear

Test for Larger Specimens” (TRS法)に準じて行った。前述の硬木で補強した試験体長辺の両端を幅60 mmのL型スチールレール対で挟み、片側7本、計14本のボルトで固定して、これを介してせん断力を負荷させた(Fig. 1(b))。疲労試験はサイン波による片振り引張で行い、繰返しの周波数を0.5 Hzとした。応力レベルは、静的試験により得られたせん断強さの平均値(12 mm-PW:  $6.82 \pm 0.59$  MPa, 9 mm-PW:  $9.10 \pm 0.69$  MPa, 12 mm-OSB:  $7.98 \pm 0.81$  MPa, 9.5 mm-OSB:  $9.17 \pm 0.41$  MPa)を基準として、その値の60, 70, 80, 90, 100%の5段階を設定した。ひずみは、試験体中央部及び長辺方向の4等分点下部の2箇所貼付した2軸ひずみゲージにより検出した。また、同時にアクチュエータの動きも計測した。

## 3 結果と考察

**3.1 応力-ひずみ曲線** 疲労試験時のせん断応力-せん断ひずみ曲線の推移の例をFig. 2に示す。既報<sup>(4)</sup>でも述べたように、繰返し負荷回数の増加に伴う初期傾斜(剛性)の経時変化やひずみの増加をみてとることができる。さらに、ヒステリシスループの面積が変化していることがわかる。ループ内の面積は、1サイクルあたりのエネルギーロスを表す。そこで、このエネルギーロスに注目して、疲労挙動との関連を以下で検討した。

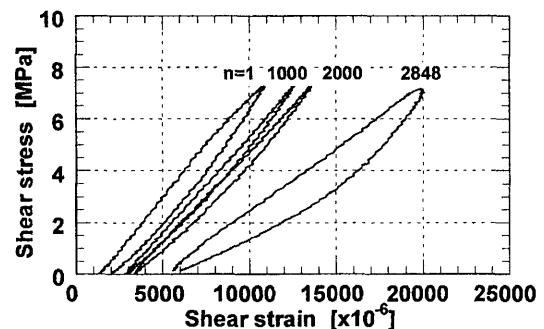


Fig. 2. Obtained stress-strain curves under cyclic loading at several fatigue stages for 12 mm-PW (Stress level = 80%,  $N_f = 2849$ ).

**3.2 エネルギーロスの変化** まず、1サイクル毎のエネルギーロスの経時変化の例をFig. 3に示す。1回目のエネルギーロスは、2回目以降のエネルギーロスに比べて大きく、さらに高応力レベルほど大きい傾向を示した。これは、不均質な木質パネルの、強度の低い部分が1回目の負荷によって損傷を受けたためであると考えられる。その後のエネルギーロスは、ほぼ一定の値で推移し、その値は応力レベルが高いほど大きかった。破壊直前には、エネルギーロスは顕著に増加した。このような傾向は、PW, OSBのいずれにもみられた。

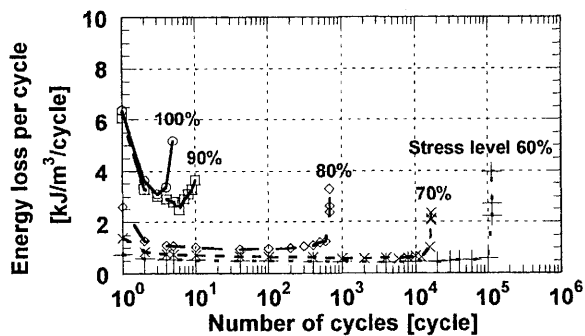


Fig. 3. Energy loss per cycle under fatigue test for 12 mm-OSB.

**3.3 疲労寿命の予測** このように、エネルギーロスの経時変化は、3段階に分けて考えることができる。特に、エネルギーロスがほぼ一定である第2段階は疲労寿命の大部分を占めることから、第2段階の挙動と疲労寿命との間には何らかの関係があることが予想される。そこで、第2段階の初期にあたる5~10回目のエネルギーロスの平均値を初期エネルギーロスとし、疲労寿命との関係を調べた (Fig. 4)。これらの中には、PW、OSBの両者とも片対数グラフ上で有意な相関がみられ (危険率1%)、初期エネルギーロスが小さいほど疲労寿命が長いという結果が得られた。従って、負荷回数が10回程度のごく短期間の疲労試験を行えば、本報で得られた式を用いて木質パネルの疲労寿命を予測することが可能であろう。

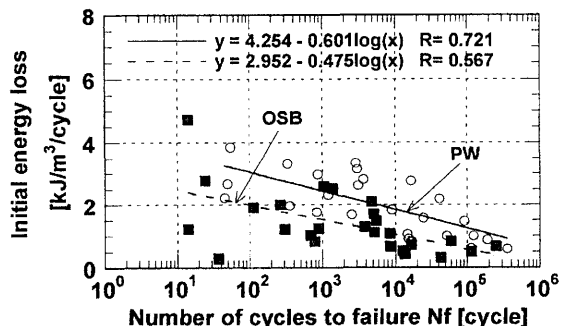


Fig. 4. Relationships between initial energy loss and number of cycles to failure.

**3.4 疲労限度** 1サイクル毎のエネルギーロスの、疲労破壊までの和である累積エネルギーロスと、疲労寿命との関係を Fig. 5 に示す。両者の間には、両対数グラフ上で有意な右上がりの直線関係がみられた (危険率1%)。

次に、累積エネルギーロスを疲労寿命で除して1サイクルあたりの平均エネルギーロスを算出し、疲労寿命との関係を調べた (Fig. 6)。平均エネルギーロスは、疲労寿命が長くなるにつれて、約0.4 kJ/m³/cycle程度に漸近するよう見受けられ、その値以下では疲労寿命は無限に長くとみることができる。従って、このときの応力レベルは疲労限度を意味すると考えられる。そこで、平均エネルギーロス ( $E_{ave}$ ) と応力レベル (SL) との関係を調べると、両者の間には以下に示す有意な回帰直線が得られた (危険率1%)。

$$PW : E_{ave} = -2.215 + 0.0638 SL, R = 0.676, \quad (1)$$

$$OSB : E_{ave} = -4.317 + 0.0789 SL, R = 0.536. \quad (2)$$

平均エネルギーロスが0.4 kJ/m³/cycle以下である場合に疲労寿命が無限大になると仮定すると、これらの回帰直線から、PWの疲労限度は応力レベル40%、OSBでは応力レベル60%程度の値が得られた。しかしながら応力レベルが60%の場合には、OSBは約10⁵回で疲労破壊しており<sup>(4)</sup>、これと矛盾する。また、木質パネルの曲げ疲労に関する研究<sup>(2)</sup>によると、疲労限度は応力レベル30~40%程度であることが実験的に得られている。これらのことから、研究の蓄積を更に必要とするが、木質パネルの面内せん断疲労限度は40%程度と推測される。

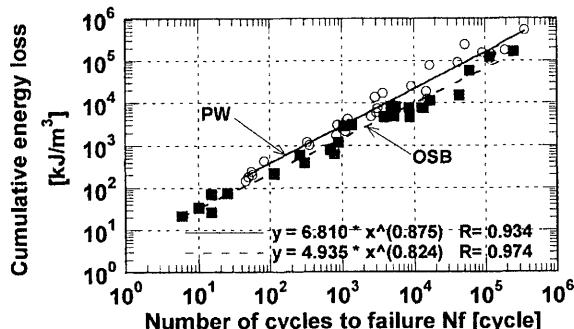


Fig. 5. Relationships between cumulative energy loss and number of cycles to failure.

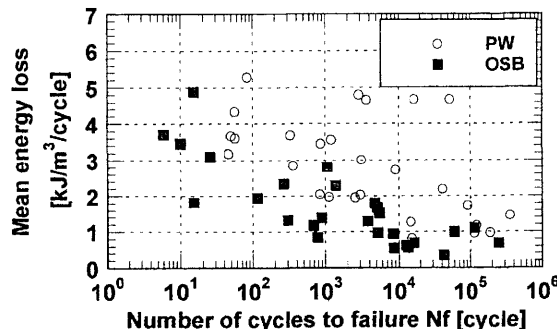


Fig. 6. Relationships between mean energy loss and number of cycles to failure.

#### 4 結言

構造用木質パネルの面内せん断疲労について、エネルギーロスに着目して解析を行った。その結果、疲労試験初期のエネルギーロスから疲労寿命を予測できることが示された。

#### 参考文献

- 1) W.J.Kommers, U.S.Forest Prod. Lab. Re. No. 1327 (1943).
- 2) Z.Bao, C.Eckelman and H.Gibson, Holz Roh- Werkstoff, 54, 377 (1996).
- 3) J.Pritchard, M.P.Ansell, R.J.H.Thompson and P.W.Bonfield, Wood Sci. Technol., 35, 395 (2001).
- 4) 佐々木康寿, 安藤勝幸, 山崎真理子, 伊藤隆之, 鈴木滋彦, 材料, 52, 827 (2003).