

引張・ねじり組合せ荷重下における木材の疲労挙動 — 負荷様式の影響 —

名古屋大学 [院]

○伊藤隆之

名古屋大学

佐々木康寿

大阪大学

山崎真理子

名古屋大学 [院]

秋田文江

1 緒 言

材料が実際に使用される場合、単純な一軸応力状態に置かれることは稀で、一般にはさまざまな応力が複合した状態になることが多い。これまで、軸力とねじりを組合せた複合応力下における木材の静的・動的力学特性について考察してきたが、本研究では特に負荷様式が疲労挙動に及ぼす影響について考察した。

2 実 験

供試材にはヒノキの気乾材を用いた。試験片の形状は繊維方向を長軸とする外寸 $300 \times 17.5 \times 17.5$ mm の角棒とした。また、中央部の4面にテーパをつけ、長さ 25 mm にわたって断面寸法が 11.5×11.5 mm の部分を設けた。試験体の両端の掴み部には、補強のためにブナの添え木を貼り付けた。

疲労試験における組合せ荷重条件は、予め求めた静的強度を基に Hill 型の破壊クライテリオンを適用し、求めた σ - τ 平面を均等に4分割して決定した。すなわちせん断と引張の組合せ応力比は $0/1$ (純引張:T) $\cdot 0.93/0.38$ (TC) $\cdot 0.73/0.71$ (TB) $\cdot 0.41/0.92$ (TA) $\cdot 1/0$ (純せん断:S) となるように設定した。この中で TC は引張が、TA はねじりが支配的な設定条件であり、TB は引張とねじりが同程度に作用する条件である。疲労試験における応力レベルは破壊クライテリオン上の静的強度を 100% とする 100~60% の5段階を設定した。複合加力疲労試験における引張およびねじり荷重は Fig. 1 に示す2通りの負荷様式により負荷させた。すなわち同図 (a) の場合、負荷波形は引張・ねじり荷重を同位相 1 Hz の三角波とし (Type 1)、(b) では引張荷重を 1 Hz の三角波、ねじり荷重を一定とした (Type 2)。実験に用いた試験片は静的・動的試験を合わせて全 138 体であり、その含水率・密度はそれぞれ $7.6 \pm 0.2\%$ $\cdot 0.42 \pm 0.01$ g/cm³ である。

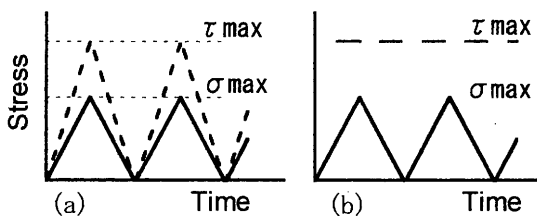


Fig. 1. Waveform for fatigue tests.

3 結果と考察

3.1 S-N 曲線 Fig. 2 に応力レベル (S) と疲労寿命 (N) との関係を示す。同図では S-N 関係におよぼす組合せ応力比と負荷様式の影響を考察するため、Type 1 の結果については S-N 関係の回帰線のみを示し、Type 2 についてはプロットのみを示した。これによれば、Type 1 についてねじり成分が増

加する (TC < TB < TA) に従い S-N 線の傾斜が大きくなっており、組合せ応力比の影響が見受けられた。つまり、ねじり成分が支配的な TA では、高応力レベルで長寿命となる傾向がある。

一方、プロットで示した Type 2 の場合、組合せ応力比が TC (これを添字 t を付けて TCt と表す。図中の×印) のものは Type 1 の TC に比べて概ね短寿命であることがわかる。条件 TCt ではねじり成分が小さいため、Type 1 と Type 2 ではほぼ同様の試験条件と考えられる。にもかかわらずこのような結果となったのは、ねじり成分が一定荷重であるため、ねじりによるより多くのダメージが蓄積されたためと考えられる。

それに対し、ねじり成分が支配的な TAt (○印) では Type 1 よりも長寿命となっている。TAt はねじり一定負荷を受けているため、Type 1 よりもさらに大きなねじりの影響を受けている。これにより短寿命となるように考えられるが、図のような結果となった。これは、ねじり成分が増す (引張成分が減る) ほど S-N 線の傾きが大きくなるという傾向が、より大きく現れていると考えられる。

なお、引張とねじりが同程度に作用する TBt (□印) では、Type 1 に比べて疲労寿命の違いは顕著ではなかった。厳しいねじりによる寿命低下の傾向と、ねじり成分が増すことによる高応力レベルでの疲労寿命増加の傾向がともに影響し、このような疲労寿命として表れたと考えられる。

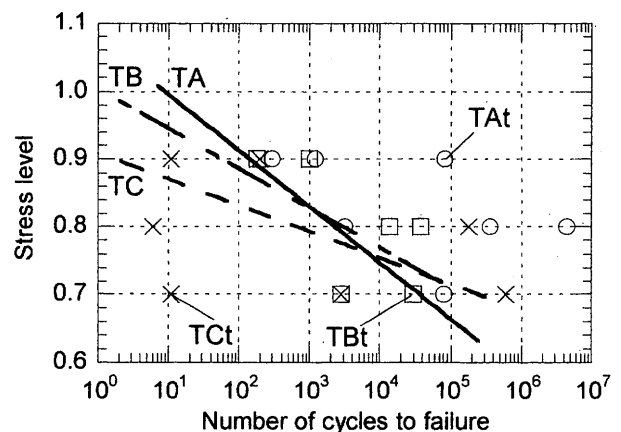


Fig. 2. Relationships between stress level and number of cycles to failure.

3.2 引張剛性 次に、繰返し負荷毎に得られる軸力とねじりに関する応力-ひずみ曲線より剛性を求めた。Fig. 3 に繰返し負荷による引張剛性の変化の一例を示す。これは負荷様式が Type 2、組合せ応力比 TBt のものである。なお、図の縦軸は繰返し負荷 1 回目の剛性で基準化しており、横軸は繰返し回数を表している。これによれば、いずれの応力レベルに

おいても剛性は初期の値を保ちながら推移し、疲労過程の後半で急速に剛性を低下させている。また、応力レベルが小さく疲労寿命の長いものほど、破壊時の剛性が低いようである。これは、応力レベルが小さいほど材料に大きなダメージを与えないため、すぐには破壊に至らないが、繰返し負荷の加わる時間が長くなることによってダメージが蓄積し、最終的な剛性の低下が大きくなったと考えられる。

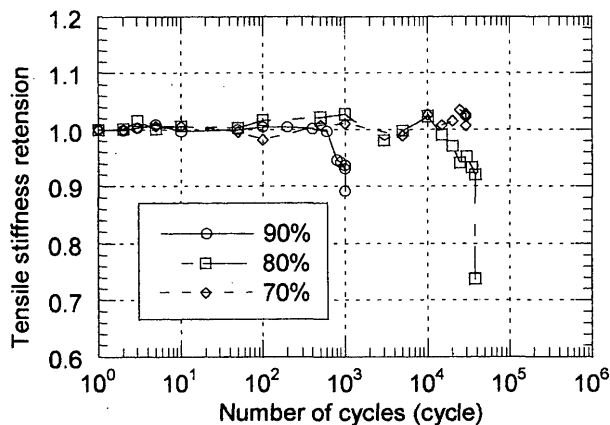


Fig. 3. Changes in tensile stiffness (Type 2, TBt).

また、繰返し負荷による引張剛性の変化には、組合せ応力比の影響が見受けられた。すなわち、TAt は破壊直前までほとんど剛性が低下せず、破壊直前になってきわめて急速に剛性を低下させた。これは、引張成分が小さいため引張剛性に与える影響が小さく、ねじりによるダメージが蓄積して破壊したと考えられる。一方、引張成分が支配的な TCt では、引張剛性は早い段階から低下し始め、疲労寿命直前で急速に剛性を低下して破壊に至った。これは、引張成分が大きいために、より早い段階から軸方向にダメージを与えたためと考えられる。

次に、Fig. 4 に繰返し負荷による引張剛性の変化について負荷様式が Type 1, 組合せ応力比 TB のものを示す。これによれば Type 2 (Fig. 3) と同様に初期の剛性をしばらく保った後に破壊に至った。しかしながら、Type 2 に比べると剛性の変動幅が比較的大きく、特にダメージが蓄積している疲労過程後半でその傾向が顕著に見られた。これは次に述べるように、比ねじり角の影響によるものと考えられる。すなわち、ねじり負荷が作用した場合、繊維は傾斜し、見かけ上、軸方向に縮まる。そのため、引張負荷が作用しても軸方向の伸びは拘束され、引張剛性が見かけ上増加すると考えられる。また、ねじり負荷は繊維間を引き剥がすように比ねじり角を増加させる。そのため、比ねじり角が増加しても直ちに軸方向にダメージを与える訳ではなく、むしろ引張剛性が増加して計測されたと考えられる。これに関して、比ねじり角と引張剛性の推移を見たところ、疲労寿命直前まで両者の増減はほぼ一致していた。つまり、比ねじり角の増加とともに引張剛性も増加し、比ねじり角が低下するときは剛性も低下した。このようなことから、ねじりが軸方向の変形挙動に影響を与えていることが考えられた。

なお、引張剛性に与える組合せ応力比の影響については、Type 2 の場合と同様に、引張成分が支配的なものほど早い段階から剛性が低下し始めた。

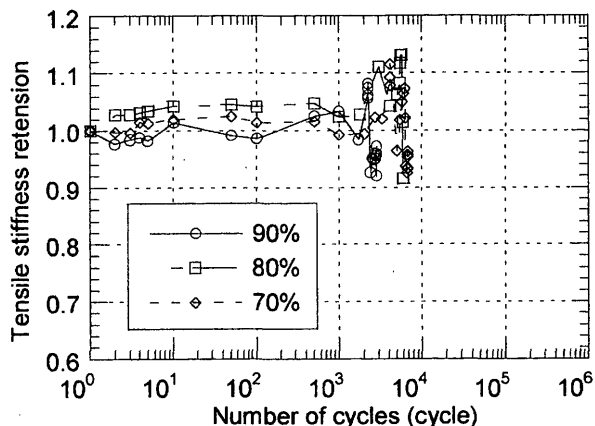


Fig. 4. Changes in tensile stiffness (Type 1, TB).

3.3 ねじり剛性 Fig. 5 に繰返し負荷によるねじり剛性の変化の一例を示す。これは負荷様式が Type 2, 組合せ応力比 TBt のものである。これによれば、ねじり剛性は初期の値を緩やかに低下させながら推移し、疲労寿命後半で急速に剛性を低下させている。また、引張剛性 (Fig. 3) と同様に、応力レベルが小さく疲労寿命の長いものほど、最終的な剛性の低下が大きかった。

これを、対応する組合せ応力比 (TB) における Type 1 のものと比較したところ、ねじり剛性は Type 2 の方が早い段階から緩やかに低下した (Fig. 5) のに対して、Type 1 では剛性は初期の値を保って推移し、疲労寿命直前で低下していた。これは、Type 2 ではねじりの一定負荷によるダメージが大きかったために早い段階から剛性を低下させたと考えられる。逆に、Type 1 では Type 2 と比べて相対的に引張負荷によるダメージが大きいため、ねじり剛性が低下する前に破壊が進行していると考えられる。いずれの組合せ応力比でも Type 2 の方が早い段階からねじり剛性が低下し始めており、負荷様式による影響が見受けられた。

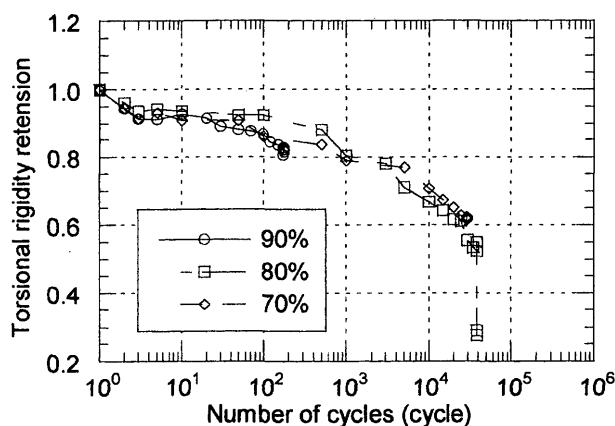


Fig. 5. Changes in torsional rigidity (Type 2, TBt).