

名古屋大学 [院] 学○山崎真理子 名古屋大学 正 佐々木康寿
名古屋大学 正 安藤 幸世

1. 緒言

構造物を合理的に設計する上で、その構成部材の破壊条件を知ることは重要である。ところで実際の構造物において、その応力状態が単純な場合は希で、一般に何らかのかたちで複合応力状態になると考えられる。そこで、本研究では複合応力（引張・ねじり、圧縮・ねじり）を受ける木材の強度特性について、特に初期負荷・載荷経路と強度の関係、および破壊条件について検討した。

2. 実験

試験体にはブナ (*Fagus crenata* BL.) 及びベイヒ (*Chamaecyparis lawsoniana* PARL.) の2樹種を用意し、形状は図1に示すような繊維方向を軸とする中実丸棒とした。試験体の中央部分には直径20mm、長さ30mmの平行部分を設けた。

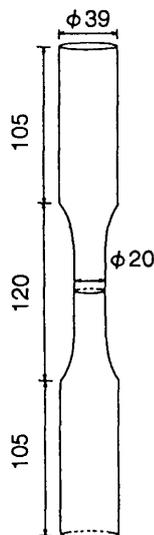


Fig. 1. Test specimen.
(Unit: mm)

試験体は室温 25℃、RH 57% の室内において重量が恒量に達するまで調整した。複合加力試験では、(1) あらかじめ軸方向に一定の初期負荷を与えておいてねじり試験を行う場合と、(2) あらかじめ一定のねじりモーメントを与えておいて軸力試験を行う場合の2種類の載荷経路を考えた。試験条件は、この載荷経路の違いと初期負荷の大きさにより計 19 条件を設定した。試験体の重量と目視により、同一試験条件内および各試験条件間での試験体状態がほぼ均一となるよう、試験体を割り振った。なお初期負荷は、事前に行った引張、圧縮、ねじりの各単純試験の結果に基づく各

単純強度の 20, 40, 60, 80% に相当する値とした。

実験には電気油圧サーボ式軸力・ねじり複合疲労試験機（島津サーボバルサ複合疲労試験機 EFHF-ED10/TD1 型）を用いた。この試験機は、任意の軸およびねじり負荷を同時かつ独立に負荷することができる。ロードセルより軸荷重とトルクを、試験体の LT・LR 面に相当する表面に貼った3軸ひずみゲージより縦・せん断ひずみを検出しパーソナルコンピュータに取り込んだ。加力は全て変位制御のもとで行い、ストローク速度 0.01mm/min、ねじり速度 0.05 deg/sec とした。

3. 結果

本研究では軸方向応力は材料力学により、またせん断応力はトルクの値をもとに以下に示す Nadai-Hill 式^{1,2)}により求めた。これを用いることにより、木材の弾塑性変形を考慮に入れた。

$$\tau = \frac{1}{2\pi a^3} \left(\gamma \frac{d}{d\gamma} T + 3T \right)$$

図2に単純引張試験と初期せん断応力を加えた複合応力下での引張試験における応力-ひずみ曲線の一例を示す。

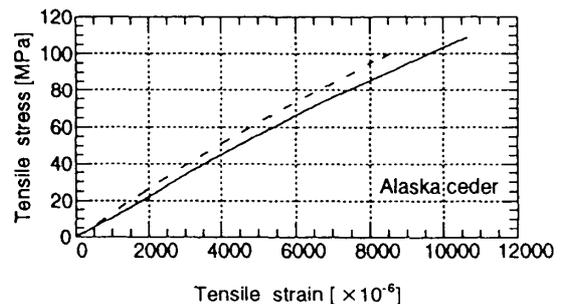


Fig. 2. Relations between stress and strain.

Legend: solid: Tension test, broken: Tension test under torsion.

実線が単純引張試験、破線が複合応力下における引張試験の結果である。応力-ひずみ曲線の形状は、単純加力試験と複合加力試験で類似したものとなっている。この傾向は、圧縮試験やねじり試験においても同様であり、応力-ひずみ曲線の形状は実験の載荷方法に依存することが考えられる。最大応力到達をもって破壊と見なし、その応力

値をその試験体の（破壊）強度とした。図3にはブナの最大軸応力と最大せん断応力の関係（破壊曲面），および Hill 型，Norris 型，Tsai - Wu の破壊条件を示した。

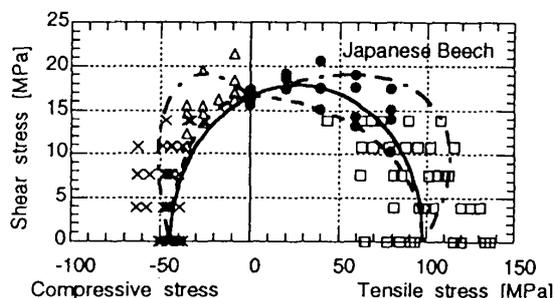


Fig. 3. Failure loci under axial - shear combined stresses.

Legend: □: Failure stresses obtained from tension test under torsion, ×: Failure stresses obtained from compression test under torsion, ●: Failure stresses obtained from torsion test under compression, △: Failure stresses obtained from torsion test under tension, broken: Eq. (1), dot-dash: Eq. (2), solid: Eq. (3).

これによれば，いずれの載荷経路においても初期負荷が小さい場合には最大応力が増大し，逆に初期負荷が大きい場合（80%程度）には最大応力が急に低下する傾向が見られる。破壊曲面に関する樹種による違いはあまり見受けられず，ベイヒでもこれと同様の傾向を示した。図3には，さらに，以下の(1)～(3)式で表される各破壊条件式について，その曲線形状を示すととも適合性を検討した。

$$\left(\frac{\sigma_L}{F_L}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{LT}}{F_{LT}}\right)^2 = 1 \dots\dots\dots (1)$$

$$\left(\frac{\sigma_L}{F_L}\right)^2 - \frac{\sigma_L}{F_L} \cdot \frac{\tau_{LT}}{F_{LT}} + \left(\frac{\tau_{LT}}{F_{LT}}\right)^2 = 1 \dots\dots\dots (2)$$

$$\left(\frac{1}{F_{Lc}} - \frac{1}{F_{Lc}}\right)\sigma_L + \frac{1}{F_{Lc}F_{Lc}}\sigma_L^2 + \left(\frac{\tau_{LT}}{F_{LT}}\right)^2 = 1 \dots\dots (3)$$

(1) 式は Hill 型の破壊条件式で，古典的でシンプルなものであるが，実験結果に概略沿うものとなっている。ただし，やや過小評価する傾向がある。(2) 式は Norris の破壊条件式を基に手を加えたものである。初期負荷が小さい実験条件において最大応力が上昇することをよく表現しているが，初期負荷が大きい実験条件では最大応力の低下は表現できていない。また，この2つの破壊条件は引張・ねじりと圧縮・ねじりを一つの破壊条

件で表すことができない。これに対して(3)式は Tsai - Wu の破壊条件式であるが，引張・ねじりと圧縮・ねじりを一括して表現でき，その適合性は両樹種において概ね良好であった。このことから，本実験の中実丸棒木材の複合応力下（引張・ねじり，圧縮・ねじり）の挙動を表現するには，Tsai - Wu の破壊条件が適当であると思われる。

次に，以下の(4)式に示す Goldenblat - Kopnov の破壊条件について検討した。

$$\left(\frac{\sigma_L}{F_L}\right)^m + \left(\frac{\tau_{LT}}{F_{LT}}\right)^n = 1 \dots\dots\dots (4)$$

この破壊条件はパラメータが多く，載荷経路の違いによる影響を検討する場合には有効であると考えられる。図4にそれぞれブナおよびベイヒの破壊曲面と Goldenblat - Kopnov の破壊条件による各載荷経路毎の回帰線を示した。

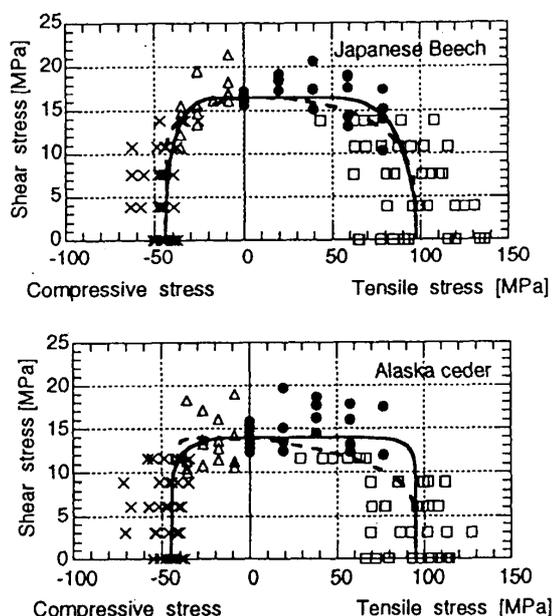


Fig. 4. Comparison of failure loci obtained from different loading patterns.

Legend: solid: Regression curve by Eq. (4) for torsion test , broken: regression curve by Eq. (4) for tension or compression test.

図4によると，特にベイヒの引張・ねじり複合応力下における破壊曲面に関して，ブナや他の複合応力状態に比べ載荷経路の影響が見受けられる。

参考文献

1. Hill, R. (鷲津久一郎, 山田嘉昭, 工藤英明共訳), 塑性学, 培風館, 98 - 99, 151 - 152 (1954).
2. 山田嘉昭, 塑性力学, 日刊工業新聞社, 84 - 96 (1965).