

曲げモーメントに対する孟宗竹の形態特性

石川島播磨重工業(株) 正会員 関谷 安男
 広島工業大学 正会員 佐藤 誠
 広島大学 正会員 有尾 一郎

1. はじめに

生物の形態や材料組織は極めて複雑で、それらの創生メカニズムは未だ未知であるが、長い年月を経てきていることから自然環境下で最適化されているものとして構造形態を考える。本研究では、複合材料の理想構造体として力学的にバランスのとれた孟宗竹の観察と力学的強度試験を通して、その構造形態の力学的な仕組みを利用し、孟宗竹の構造形態から工学的な利用法を検討する。

2. 工学的観察と強度試験

図1は、孟宗竹の高さ方向に対する断面2次モーメントと断面係数の分布を示す。ともに根元の位置に近いほど比率が非線形に増加している。図2は、孟宗竹全体が最大曲げモーメントに至るときの分布を示す。ここに、節間長を考慮した曲げモーメントは、図1の節間ごとに調べた断面係数と、円筒形の供試体の曲げ試験で得られた最大曲げ応力との積である。節間長を考慮しない曲げモーメントは、図1の節間ごとに調べた断面2次モーメント、曲げ試験で得られた最大曲げモーメントおよび実験のスパン長に対する節間長の比から求めた。正規高さ0.1以下で2つの分布が異なっていることから、その差は拘束力のある節が受け持つ曲げモーメントと考えられ、根元部分の真かん部にかかる大きな曲げモーメントを、節の拘束力により真かん部の負担を緩和しているものと推察される。

図3は、正規化した肉厚方向に対する強化繊維である維管束鞘の含有率と、引張強度の分布を示す。ともに肉厚方向に対して非線形に増加しており、維管束鞘の含有率と引張強度には、相関係数 $\rho=0.992$ の線形関係を得た。

3. 孟宗竹の構造形態の最適化

自然界で発生する風等によって起こる曲げが作用する時の孟宗竹の構造形態の最適化を示す。構造形態として、全体形状と断面の組織構造の場合に分ける。最適化を示す指標として、同一荷重条件下でのひずみ

みエネルギーの最小量を考える。ひずみエネルギー U は

$$U = \int \frac{M(z)^2}{EI(z)} dz$$

で表わされる。ここに、 z は任意高さであり、 $M(z)$ は図2の節間長を考慮しない曲げモーメント分布を近似曲線としたもので、 E は弾性係数、 $I(z)$ は高さ方向に対する断面2次モーメントである。

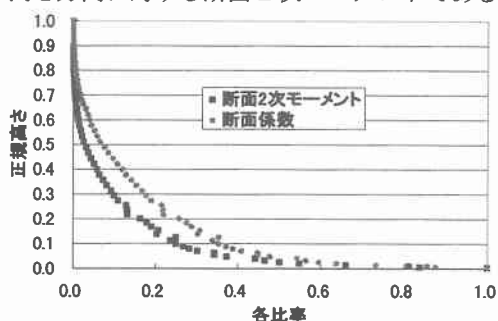


図1 断面2次モーメントおよび断面係数分布

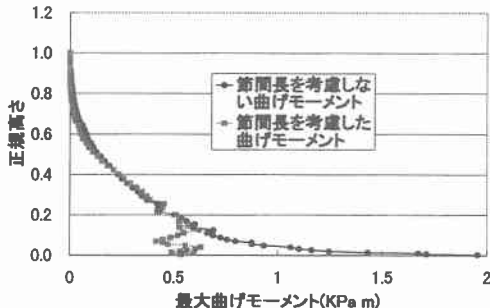


図2 最大曲げモーメント分布

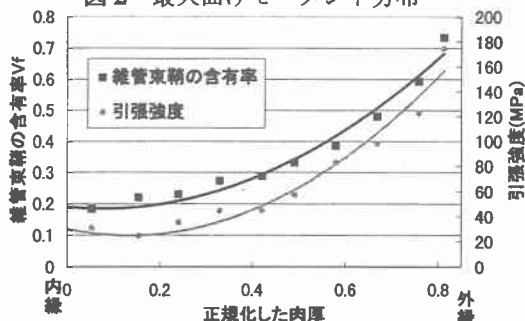


図3 維管束鞘の含有率と引張強度の関係

3. 1 孟宗竹の組織構造の最適性

引張実験で得られた維管束鞘の弾性係数 21.62GPa および母材である基地組織の弾性係数 2GPa と、図 3 の維管束鞘の含有率から図 4 の破線のような正規化した肉厚に対する孟宗竹の弾性係数分布が得られた。この分布と他の弾性係数分布の数値的な最適性を知るため、断面形状を中空の円断面として、全体の弾性係数が等しくなる条件の下で、図 4 の実線のように分布を変化させた。これによりそれぞれの組織構造の曲げ剛性を求め、ひずみエネルギーを算出した結果を図 5 に示す。外縁の弾性係数が大きくなると、ひずみエネルギーは小さくなり、曲げ剛性と耐荷力は大きくなることから、外縁に弾性係数が大きい組織構造ほど曲げに有利なことから、孟宗竹の組織構造が有効な構造であることが分かった。

3. 2 孟宗竹の稈全体形状の最適性

孟宗竹全体の観察から図 6 の破線のような孟宗竹の円錐形が得られた。円錐形と凹凸型の稈全体形状の数値的な最適性を知るために、断面形状を中空の円断面として、全体の実体積が等しくなる条件の下で、形状係数 α を変化させることで全体形状を変化させた。これからそれぞれの全体形状の高さ方向に対する断面 2 次モーメントを求め、ひずみエネルギーを算出した結果を図 7 に示す。この結果より、 α の増加に伴って、ひずみエネルギー比に対しては小さくなり、座屈荷重比に対しても小さくなる傾向が得られた。このことから、ひずみエネルギー比が最小で座屈荷重比が最大となる係数は $\alpha = 1$ の孟宗竹の円錐形となることが分かった。

4. 結論

- 1) 孟宗竹の肉厚部の維管束鞘の含有率分布に基づいた複合構造は、曲げに対して力学的に合理的な結果が得られた。
- 2) 孟宗竹の稈全体形状は円錐形をしており、曲げひずみエネルギー、断面 2 次モーメントおよび自重による座屈荷重から優れた稈形状であることが分かった。

参考文献

- 1) 日本機械学会, 構造・材料の最適設計, 技報堂出版, 1989

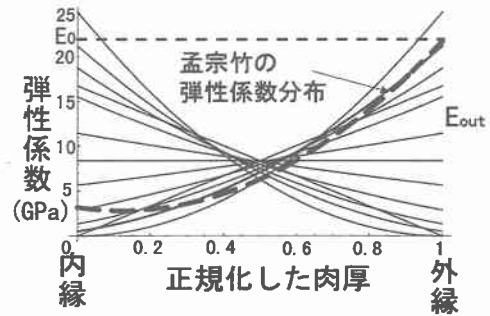


図 4 孟宗竹の組織構造と変化させた組織構造

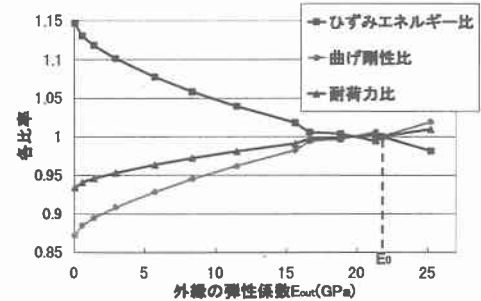


図 5 ひずみエネルギー、曲げ剛性および耐荷力の比率

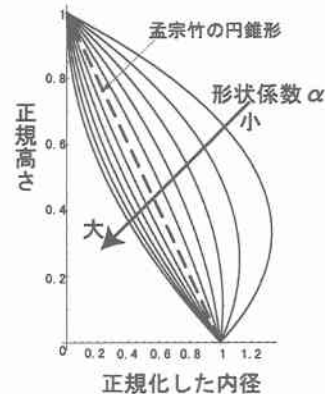


図 6 孟宗竹の全体形状と変化させた全体形状

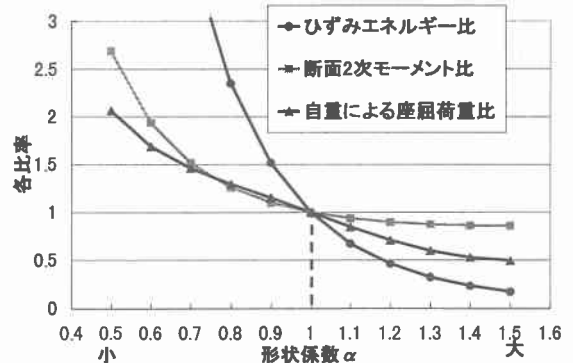


図 7 ひずみエネルギー比、断面 2 次モーメント比および自重による座屈荷重比