

I - A125

孟宗竹の節構造から学ぶ円筒構造形態に関する研究

広島大学 正会員 有尾 一郎

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

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、写真1の黒い部分の強化繊維である維管束鞘の正規化した肉厚方向に対する含有率と、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モーメントが作用する時の孟宗竹の構造形態の最適化を考える。

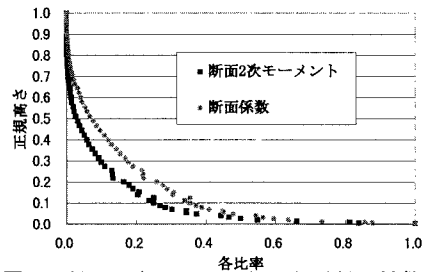


図1 断面2次モーメントおよび断面係数分布

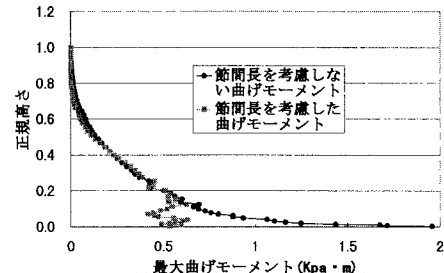


図2 最大曲げモーメント分布

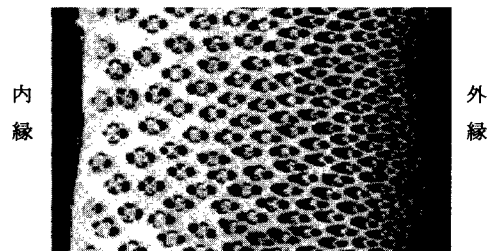


写真1 維管束鞘分布

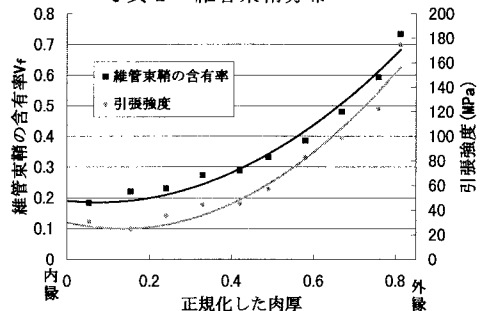


図3 維管束鞘の含有率と引張強度

Key words : 最適化, 組織構造, ひずみエネルギー

連絡先: 〒739-0046 東広島市鏡山1丁目4-1

TEL0824-24-7790

FAX0824-24-7792

構造形態としては、断面の維管束鞘の組織構造から見る。最適化を考える指標として、同一荷重条件下におけるひず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。

4. 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、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。これにより断面形状を図5のように孟宗竹の中空円断面と矩形断面について、弾性係数が異なる10層の均質材が重なり一体化した複合材料とみなし、それぞれの弾性係数分布の組織構造の曲げ剛性を求めた。そして、それぞれの弾性係数分布の組織構造を持つ孟宗竹の全体形状である円錐形の片持ち梁が、等分布荷重を受ける場合の曲げひずみエネルギーと、耐荷力を算出した結果をそれぞれ図6と図7に示す。中空円断面が、矩形断面よりも外縁の弾性係数が増加しても各比率がさほど変化しないのは、孟宗竹の肉厚が外径の1割ほどしかなく、これに伴う曲げ剛性に寄与しないためである。矩形断面および中空円断面において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が分かる。孟宗竹の組織構造は各比率の交点となっており、曲げに対して合理的な構造であることが分かった。

5. 結論

- 1) 図2より稈の全体形状として、根元部分ほど曲げに対する抵抗力も大きいことが分かった。
- 2) 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、矩形断面、中空円断面の場合において曲げに対して力学的に合理的な構造であることが得られた。

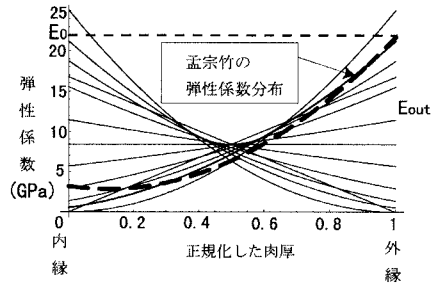


図4 孟宗竹の弾性係数分布と
仮定した弾性係数分布

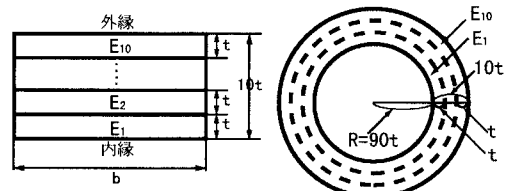


図5 矩形断面と中空円断面の複合材料

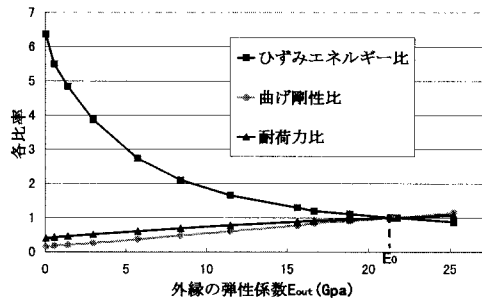


図6 矩形断面におけるひずみエネルギー、
曲げ剛性および耐荷力の比率

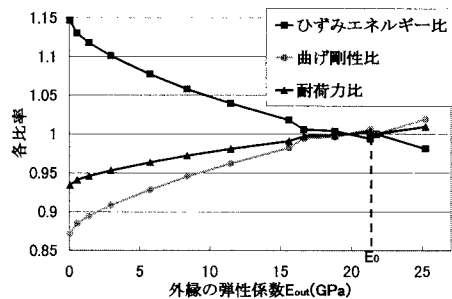


図7 中空円断面におけるひずみエネルギー、
曲げ剛性および耐荷力の比率

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

なお，本研究は奨励研究(A)の課題 10750366 (1998年度)の補助を受けている。