

竹の異方性組織構造に観る複合構造の力学的特性

長崎大学大学院 学生会員 ○佐藤 英一 長崎大学工学部 正会員 森田 千尋
 長崎大学工学部 正会員 松田 浩 長崎大学工学部 正会員 崎山 毅
 広島大学大学院 正会員 有尾 一郎

1 まえがき

竹の断面は、表皮近くは維管束の密度が密に形成され堅さがあり、表皮から内部に入ると疎になる。維管束は群落状をなして柔組織内に点在しており、竹は一方向強化材料の最も代表的なものである。そこで本研究では、複合材料として有用な働きを持つと思われる竹の異方性組織構造に着目し、竹を繊維強化材と想定した場合の材料特性を画像観察や材料実験から得るとともに、部分円筒シェル構造に対する強度実験と直交異方性積層モデルによるFEM解析を行い、竹が持つ合理的な組織構造を検証することを目的としている。

2 竹の概要および弾性係数

写真1に節間部の横断面の一部を示す。個々の維管束はその周囲を維管束鞘と呼ばれる多量の厚壁繊維の組織で保護されている。この維管束鞘の発達の度合いと維管束の発達の度合いは反比例しており、幹の外側になるほど維管束鞘の量が多く、逆に維管束の発達は悪くなっていることがわかる。

広島大学が行った実験結果¹⁾によると、維管束鞘の含有率と弾性係数の関係は、図1のような結果になった。この図から、維管束鞘の含有率と弾性係数はほぼ比例関係にある事がわかる。なお、最小二乗法より、直線 $E = -1.47 + 23.09V_f$ という式が得られた。

しかし、このままでは竹の弾性係数を一概に定義する事は難しいため、竹の断面を数層に分けた、各層ごとに弾性係数を変化させた積層円筒シェルを考え解析を行う。

3 数値解析

真かん部を積層円筒シェル要素モデルとし、広島大学で得られた孟宗竹の引張試験データを用いて竹の弾塑性解析を行い、曲げ実験の結果との比較を試みる。この結果より、積層順序によってどのような力学的効果をもたらすかに着目し、材料配置に伴う積層構造の強度について検討を行う。

3.1 弾塑性曲げ解析

ここでは、実験で用いられた供試体を5層からなる積層円筒シェル要素モデルとして考える。モデルの境界条件は実験時と同様に四点支持とし、中央点において鉛直下向きに集中荷重Pを载荷させる。なお、モデルの寸法等は図2に、また解析に用いた諸量を表1に示す。

解析を行った各モデルは、図3に示すように各層毎に弾性係数を変化させた5層の積層円筒シェルとして考えており、通常の竹のように半径方向に層毎の弾性係数が増えていく配置にしたものをモデル1とし、その比較として層ごとの弾性係数を全く逆に配置したものをモデル2とした。

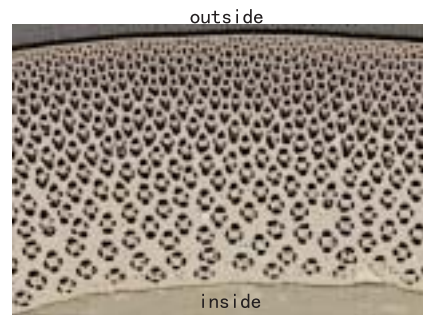


写真1：孟宗竹の横断面

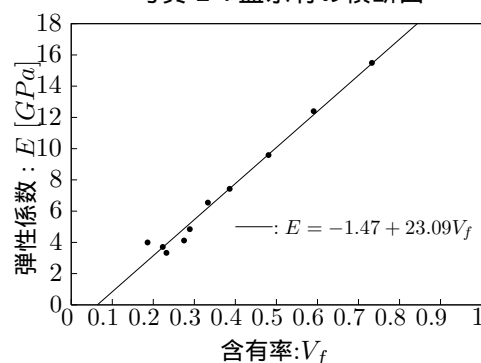


図1：維管束鞘の含有率と弾性係数

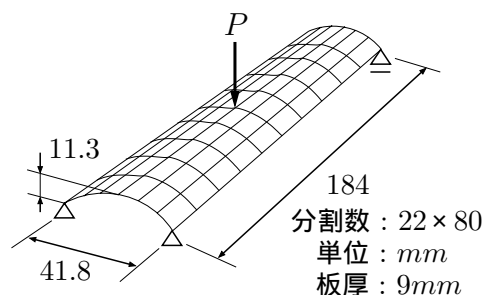


図2：解析モデル

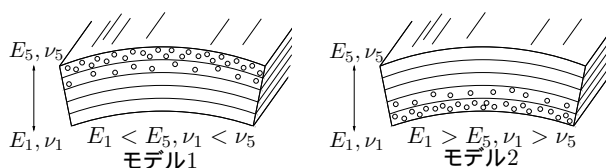


図3：各解析モデルの想定断面図

キーワード 竹，積層構造，弾塑性，座屈，FEM

連絡先 〒852-8521 長崎市文教町1-14 TEL 095-847-1111 FAX 095-843-7464

表 1：解析モデルに用いた諸係数

i 層	繊維方向				繊維直角方向			
	E_L (GPa)	σ_{YL} (MPa)	G_{LT} (MPa)	ν_{LT}	E_T (GPa)	σ_{YT} (MPa)	G_{TL} (MPa)	ν_{TL}
5	16.01	180	6158	0.30	2.0	6.94	935	0.07
4	13.31	100	6050	0.10	1.6	8.84	734	0.09
3	8.31	60	3920	0.06	1.5	2.90	688	0.09
2	6.03	35	2871	0.05	1.7	3.47	726	0.17
1	5.0	25	2427	0.03	1.6	5.75	727	0.10

3.2 解析結果

本解法による弾塑性解析の結果を、広島大学の実験値とともに図4に示す。まず、通常の竹の組織形態に似せたモデル1の解析結果と実験値の比較より、モデル1と実験値の剛性はほぼ一致する結果が得られ、このことから解析に用いた各諸量は妥当と言える。しかし、耐荷力に着目すると、モデル1の耐荷力は実験値の約1.3倍という結果となった。これは、現段階ではまだせん断強度を考慮していないために、このような結果になったと考えられる。実際には、せん断強度を考慮した場合、通常では耐荷力が低下するため、より実験値に近い傾向を辿るものと考えられる。また、モデル1とモデル2に強度差が表れたのは、弾性係数の配置順序の違いによる影響であるが、この結果から積層順序を孟宗竹断面と同じ場合に配置した場合に最も剛性が高いことがわかる。

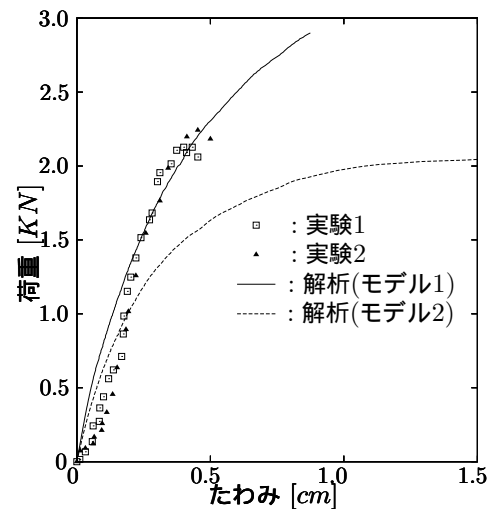


図 4：実験値と解析結果の比較

3.3 座屈解析

解析モデルは図5のような積層板および曲げ解析と同様なモデル1,2を考える。なお、諸量は曲げ解析と同様なものを使用し、境界条件は四辺単純支持、曲率半径を $R = 32\text{mm}$ とし、図5のように面内荷重をかけて解析を行った。ここで、 a は変数とした。

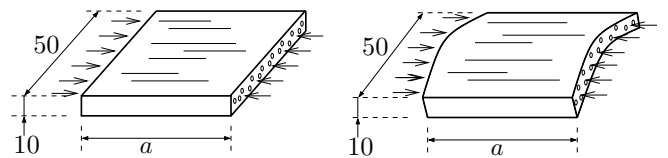


図 5：解析モデル

3.4 解析結果

積層円筒シェルモデルと積層板モデルの解析結果を、図6に示す。モデル1の座屈強度の最小値に着目すると、その値は積層板モデルの約1.6倍、またモデル2の約1.1倍という結果となり、曲率をもった積層円筒シェルの方が積層板よりも座屈に対して高い強度を示すことがわかった。

4 まとめ

竹を層毎に弾性係数が変化する積層構造とみなしたとき、積層順序を竹断面と同じように配置した場合に最も剛性が高いことがわかったことから、竹の組織構造は内部から表皮側に向うにつれ維管束鞘が密に分布する合理的な配置となっていることがわかった。また、今回の結果から本解法は有効である事がわかり、今後さらに研究を進めていく上で竹の挙動により近い結果が得られると期待できる。

今後の研究では、今回考慮しなかったせん断強度を考え、竹の挙動をより正確に再現するとともに、竹のような組織形態をした複合材料は、実際どのような構造物に最適利用できるかなどの検討を行う予定である。最後に数値計算を手伝って戴いた坂口宗則君に謝意を表します。

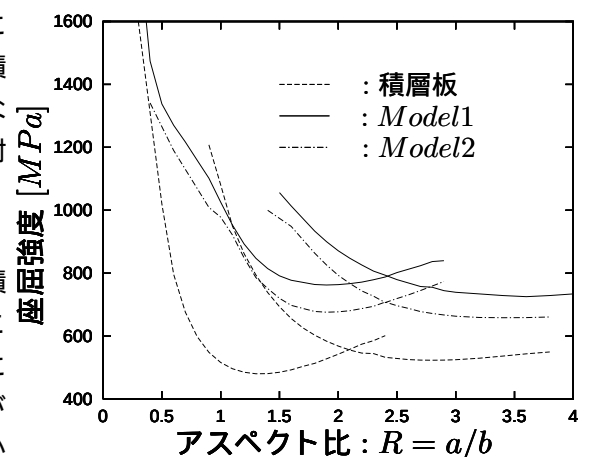


図 6：各モデルの座屈強度

- 参考文献 1) 有尾一郎・関谷安男・藤井堅: 孟宗竹の組織構造に観る複合構造の最適性に関する一考察, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.1693-1702, 2000.