

7.5 学位論文要旨 (別紙様式博 5)

学位論文要旨

学位授与申請者
氏名 桐生 智明

題目： モウソウチク (*Phyllostachys pubescens*) の成長に伴う物性発現機構

第1章：緒言

タケの竹稈支持機構については、大小さまざまな要素の寄与に関して既に議論されてきている。例えば、中空円筒に間隔をおいて節を配置する竹稈の構造的な特徴や、柔軟な柔細胞からなる柔組織の中に強靱な繊維細胞からなる維管束鞘を外皮側に集中的に配置するといった組織的な特徴は、より少ない材料で効率的に竹稈を支持するのに有効であることが知られている。また、竹稈を構成する竹材の曲げ弾性率などの力学的性質は、伸長成長終了後にも向上することが知られており、密度といった細胞壁実質の量に支配されるというのが通説である。しかしながら、細胞壁実質は、更に小さなオーダーの構成要素であるセルロースやヘミセルロース、リグニンといった構成成分から構成されており、それらの含有量や含有割合、それぞれの分子の質といった要素も竹材の力学的性質に影響を及ぼすと考えられる。竹材構成要素以外では、竹稈内に残留している応力が竹稈支持に寄与する因子である可能性についても報告されている。それら各因子の竹稈支持機構への寄与や、竹齡の増加に伴う変化について明らかにすることは、竹の生存戦略を理解することに繋がり、非常に興味深い。そこで、本研究では、発筍からの経過時間の異なる複数本の竹稈を実験対象とし、竹材の力学的性質や、竹稈や竹材内の残留応力といった、竹材の物理的性質の竹齡増加に伴う推移と、細胞壁実質量やその分布、構成成分の含有割合や量、質といった竹材構成要素の関わりについて検討を行い、モウソウチクの物性発現機構の解明を試みた。

第2章：既往の研究

これまでに多くの研究者が明らかにしてきた、竹齡と力学的性質の関係や、組織構造、構成成分割合との関わりについての知見や、本研究の検討項目や実験方法の決定に必要な、竹に関する基礎的な知見についてまとめた。また、木材の研究の中から、物理的性質と構成成分の関わりや、成長応力に関する研究報告等、本研究の考察の助けとなる知見についてもまとめた。

第3章：竹齡の増加に伴う物理的性質の変化

自然界での竹稈には、巨視的には風などによる曲げ作用が働き、同時に竹材の微小部には圧縮および引張の作用が働いていると考えられる。そこで本研究では、比較的大きな試験片として、柔細胞と繊維細胞からなる不整中心柱のほぼ全部を含む試験片を用いた曲げ試験と、内皮側および外皮側から採取した小試験片を用いて引張の動的粘弾性を測定した。その結果、曲げ弾性率が竹齡と共に増加し、特に発筍から105日までの期間でその増加が顕著であることが示された。動的弾性率 (E')、損失弾性率 (E'') は、竹齡と共に増加することなどが示された。

残留応力に関しては、ある部位の周辺組織を切除した際にあらわれる寸法変化である解放ひずみと、湿潤状態で熱を加えた際にあらわれる寸法変化である熱回復ひずみを測定することで評価した。結果、解放ひずみとしてあらわれる接線方向の縮み変形の大きさは、発筍後105日までの期間において減少することが示され、熱回復ひずみとしてあらわれる接線方向の縮み変形の大きさは、発筍後105日までの期間において増加し、発筍後130日までの期間で減少、そ

の後、伸び変形に転じ、発筍後9年までの期間で伸び変形の大きさが増大した。

物理的性質と竹材構成要素との関わりについては、第5章において詳細な考察を行った。

第4章：竹齡の増加に伴う細胞壁実質の量と構成成分の変化

本章においては、竹齡の増加に伴う各竹材構成要素の変化について検討を行なった。

細胞壁実質量に関する検討では、容積密度については、竹齡の増加に伴い増加することが確認された。細胞壁厚については、若齡時は柔細胞と繊維細胞のそれぞれにおいて、内皮側と外皮側の差が小さく、竹齡の増加に伴って内皮側の柔細胞と外皮側の繊維細胞で顕著な肥厚が認められた。細胞壁率については、柔組織では、発筍後169日から1年の期間で顕著に増大し、維管束では、発筍後43日から56日の期間に顕著に増大することが示された。

竹材構成成分に関する検討では、主要構成成分の割合については、発筍から84日が経過するまでの期間においてリグニンの重合度および含有割合が増加するが、それ以降では成分の割合は大きく変化しなかった。結晶性構成要素については、結晶子寸法、格子面間距離、マイクロフィブリル傾角、結晶化度を測定したが、それぞれの値はほぼ一定であり、竹齡と共に増減するような傾向はなかった。構成成分の存在状態について、赤外分光法により検討した結果、成分割合がほぼ一定である発筍後84日以降においても、主にリグニンが有する官能基に由来するピークの低周波側への移動が観測され、竹齡の増加と共にリグニンの官能基に対する周囲の分子構造からの干渉が強くなっていることが示された。また、一部のリグニンの官能基の吸収ピークがブロードになっていることから、リグニンの重合が進行している可能性が示唆された。構成成分の存在状態について、動的粘弾性の温度依存性から検討した結果、成分割合がほぼ一定である発筍後84日以降においても、リグニンの熱軟化温度が上昇しており、リグニンの重合度や架橋密度が増加している可能性が示された。同様の結論は、赤外分光法を用いた検討でも得られており、リグニンの官能基間とその周辺の分子構造間の距離が小さくなるように、つまり、リグニン周辺で分子が緊密に存在するようになった可能性が示唆された。

第5章：総合考察

曲げ弾性率と動的粘弾性、細胞壁厚、細胞壁率の竹齡の増加に伴う変化から総合的に考察した結果、曲げ弾性率は、試験片全体の密度ではなく、曲げ試験時の圧縮側に多く存在する細胞の細胞壁実質量によって向上することが明らかになった。また、微小部の E' や E'' は、試験片中の細胞の細胞壁実質量とともに増加することが示された。

解放ひずみや熱回復ひずみと、各竹材構成要素の変化から総合的に考察した結果、リグニンの堆積過程においては、セルロースマイクロフィブリルの間隙に堆積したリグニンによって間隙が押し広げられた状態になり、その後、リグニンとその周辺の分子構造が緊密に存在するようになりマイクロフィブリルの間隙が引絞られることで残留応力が発生、変化すると考えられた。

第6章：総括

竹齡の増加に伴う力学的性質および残留応力の変化機構について、数多く存在する竹材構成要素のうち、どの要素が影響を及ぼしているのかを明らかにした。曲げ弾性率には、曲げ圧縮側の細胞壁実質量の量が、微小部の動的弾性率 E' や損失弾性率 E'' は、試験片中の細胞の細胞壁厚とともに増加することが示され、竹材の力学的性質を左右する要素は、必ずしも材全体の密度ではないことを明らかにした。残留応力が変化する機構は、主にリグニンの含有割合の増加と、リグニン分子と周辺の分子構造が緊密に存在するようになることで変化していると説明できることを示した。また、そのような分子の存在状態の緊密化は、竹材の力学的性質の向上にも寄与している可能性がある。