

氏名	かわもと すみれ 川 元 スミレ
学位(専攻分野)	博士(農学)
学位記番号	論農博第2438号
学位授与の日付	平成14年7月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Use of Acoustic Emission/Acousto-ultrasonic Techniques for Monitoring Wood Drying Defects. (木材の乾燥損傷監視のためのアコースティック・エミッション/超音波技術の利用)
論文調査委員	(主査) 教授 奥村正悟 教授 則元 京 教授 増田 稔

### 論文内容の要旨

木材の乾燥では乾燥割れなどの損傷を発生させずに、しかも効率よく乾燥することが求められるが、温度、湿度などの乾燥条件の設定を誤ると重大な損傷が発生する。そこで、巨視的な破壊に先立つ微小な破壊に伴って弾性波が発生する現象(アコースティック・エミッション, AE)を利用し、弾性波(AE波)の発生状況によって乾燥条件を制御することにより、乾燥割れの発生を防止しながら木材を効率的に乾燥することが1980年頃から内外で試みられたが、乾燥割れとAEの関係、木材中のAE波の減衰などが十分解明されなかったこともあって、本格的な実用化には至らなかった。本論文は、この乾燥制御へのAEの利用に着目し、乾燥制御のためのAE計測システムの構築に必要な基礎的知見を得るため、木材中でのAE波の伝搬および減衰特性、AEを検出するセンサが乾燥割れの発生を監視できる範囲、AEを効率よく補足する方策などについて、超音波の減衰によって内部の状態および欠陥を検出する手法であるacousto-ultrasonic(AU)法を併用して検討した一連の研究の成果を取りまとめたものであり、4章から成る。

第1章では、非破壊試験法としてのAEおよびAU法の位置付け、用語の定義、長所と短所、歴史的経緯の取りまとめと本論文に関連する既往の研究の調査を行い、これらの手法を木材に適用する場合の問題点を明らかにするとともに、測定対象および目的に適合したAEセンサの選択がとくに重要であることなどを指摘した。

第2章では、木材中の超音波の伝搬および減衰特性を明らかにするため、カラマツ柱材と気乾および飽水ラワン板材の表面の一点に超音波パルスを加えたときの材各部における受信振幅(AU振幅)について検討した。その結果、カラマツ柱材について、超音波は晩材を通過して軸方向に比較的遠方まで伝搬すること、節での減衰が著しいこと、受信センサの取り付け方向によりAU振幅が異なることなどを明らかにした。また、繊維方向に伝搬したときのAU振幅は、晩材仮道管のマイクロフィブリル傾角が小さいほど、材の密度が高いほど大きくなることを明らかにした。さらに、ラワン板材についての実験から、飽水材の方が気乾材よりも超音波の振衰が著しいことなどを確かめた。

第3章では、伝搬中の減衰によりAE波が検出点まで到達しないという、従来から指摘されていた測定上の問題点を解決するため、生材円板を用いて乾燥割れが発生する位置をAU法によって乾燥前に推定することを試みた。円板の一方の表面から加えた超音波を反対側の面で受信することによって円板各部位における繊維方向のAU振幅分布を求める方法と、円板の髓の位置に加えた超音波をその回りの表面各部で受信して等振幅曲線を得る方法を試みたところ、後者の方法で求めた、超音波パルスの放射方向の減衰が最大になるところで乾燥後期に巨視的な割れが進展することが示され、これは円板における巨視的な割れの発生位置を乾燥前に予測する簡便な手法となり得ることが示唆された。

第4章では、アカマツの小試験体、円板、および板を用いてAEの発生挙動と大小の乾燥割れの関係について検討した。その結果、AE波の減衰が問題とならない小試験体では、センサの共振周波数(150 kHz)を主成分にもつAEと、それよりも低い周波数成分をもつAEが検出され、後者のAEの割合が小さな割れの発生と進展に関係すること、振幅情報をもつAE計数率は割れの消長にほぼ一致した変化を示すことなどを明らかにした。円板では、第3章のAU法を利用して巨視的な割れの発生位置を乾燥前に予測し、その付近を含めて円板上に複数のセンサを設置してAEを計測したところ、巨

視的な割れが発生する直前に割れの近くに設置したセンサでは他のセンサよりも振幅の大きい AE が検出され、AU 法の有効性が確かめられた。さらに、板材を用いた実験から、木口面における小さな割れが AE 源となること、木口面をシールして乾燥した場合に検出される AE は割れ以外に起因する可能性が高いことなどを推察した。

### 論文審査の結果の要旨

超音波を用いた非破壊試験は種々の材料について古くから行われているが、それらの方法を年輪構造をもつ異方性の大きい材料である木材にそのまま適用するのは一般に難しい。とくに、巨視的な破壊に先立つ微小な破壊に伴って発生する超音波を検出するアコースティック・エミッション (AE) 法は比較的新しい手法であり、木材で発生する AE の特性、木材中の AE の伝搬および減衰特性などについては不明な点も多い。本論文は、木材の乾燥制御に AE 法を利用するための基礎的研究として、木材中での超音波の伝搬および減衰特性、乾燥割れに伴って発生する AE の特性、乾燥割れの発生を AE として監視するための方法などを、超音波の減衰によって内部の状態および欠陥を検出する手法である acousto-ultrasonic (AU) 法を併用して検討したものであり、評価すべき点は以下の通りである。

1. 木材中の超音波の伝搬および減衰特性について、節を含む実大の柱材などを用いた丹念な実験により、超音波の伝搬および減衰に及ぼす針葉樹の年輪構造、節の存在、晩材仮道管のマイクロフィブリル傾角の影響などを明らかにするとともに、超音波を受信するセンサの信号振幅は超音波の伝搬方向とセンサの取り付け方向にも影響されることを指摘した。
2. 木材中で発生した AE が伝搬中の減衰により検出点まで到達しないという測定上の問題点を解決するため、生材円板を用いて乾燥割れが発生する位置を AU 法によって乾燥前に推定することを試み、髓に加えた超音波パルスの放射方向の減衰が最大になるところで乾燥後期に巨視的な割れが進展することを明らかにした。さらに、この方法を利用して割れの発生が予測される付近に設置した AE センサでは、巨視的な割れの前兆となる AE が検出できることを確かめた。
3. 木材の大小の乾燥割れと検出される AE の関係について検討し、AE 波の減衰が無視できる小試験体の乾燥で検出される AE は、センサの共振周波数 (150 kHz) を主成分とするものと、それよりも低い周波数成分をもつものに分類でき、割れの発生と進展に関係するのは後者の AE であること、振幅情報をもつ AE 計数率は割れの消長にほぼ一致した変化を示すことなどを明らかにした。

以上のように、本論文は木材の乾燥制御に AE 法を利用するための基礎となる多くの知見を得るとともに、AE 波の減衰の問題を克服する新しい手法を提案したものであり、林産加工学、木材物理学の発展のみならず、超音波を用いた木材の非破壊試験法の進展にも寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士 (農学) の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成14年6月20日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士 (農学) の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。