

# 主 論 文 の 要 約

論文題目 台風被害木材の構造利用に向けた性能評価

氏 名 豊 嶋 勲

森林の気象害の中で、強風は日本での主要な被害要因の一つである。その理由は、台風の上陸頻度の高さに加えて、針葉樹人工林の大半を占める拡大造林木は樹心が高く台風被害を受けやすいことにある。さらに、近年の材価低迷により林業収益は極めて悪化しており、保育間伐が適正に実施されていない森林が多い。このような森林は、立木密度が高く、形状比が大きいことから、台風に対して極めて脆弱な林分構造となっていると考えられる。また、近年の地球温暖化の影響により台風の大型化も予測され、森林は甚大な強風被害を受ける危険が増加している。一方で、日本の針葉樹人工林は、建築用材として利用するのに適した伐期齢を迎えており、今後大規模な台風被害が発生すれば、これらの木材が損傷を受けた状態で大量に発生することになる。現状では台風被害木材の商品価値は低く、林業に及ぼす経済的影響も大きい。したがって、これらの森林の耐風性を高めるとともに、台風被害木材が発生した場合に備えて、その力学性能を把握し、建築用材としての適性を科学的に評価すること、また品質管理の質を向上させることで、商品価値の低下を極力抑える必要がある。

強風による森林被害は、国内にとどまらない。近年、世界での人工林の増加とともに風害は地球規模で増加傾向にある。このため、ヨーロッパをはじめ北中米、オセアニア、日本では、これまでに風害と林分構造、立地条件や樹種との関係、被害木材の性能評価について研究が行われてきた。しかし自然災害であるが故に個々の事例ごとに被害パターンや被害レベルが異なり、さらには立木材質にも地域特有の性質があるために、森林の耐風性向上や被害木材の利用可能性について普遍的な見解を得ることは難しい。個別の分析事例を積み上げ、共通する知見を風害対策や被害木材の利用方針に活かすべきであると考え。そこで本論文では、スギ、ヒノキ人工林から発生した被害木材を対象に製材および集成材の力学試験と損傷部位の組織観察を行い、既往の研究成果を踏まえて建築構造利用への適正について検討した。一方で、被害木材は予期されず大量に発生するため、建築用材の流通量を超える可能性が高く、貯木期間の延長が避けられない。したがって、貯木環境の整備が通常以上に求められ、特に貯木中の水分管理は建築用材の品質低下に直結する生物劣化を抑制する上で非常に重要な要件となる。そこで本論文では、山土場や製材現場での測定が容易な応力波伝播速度法に焦点を当て、まず木材含水率と応力波伝播速度のデータベースを構築し、これを用いた含水率評価法の開発を試みた。以下に本研究の主要な成果をまとめる。

## 1. 台風被害人工林の実態調査および台風被害木材由来の製材・集成材の強度特性

2009年10月に発生した台風18号による被害林の実態を明らかにするとともに、被害木由来のスギ、ヒノキ供試材を用いて製材及び集成材の強度性能を調査した。その結果、被害形態で最も多かったのは、スギ、ヒノキともに「根返り」であった。被害丸太及び被害木由来の製材のモメ発生率について、丸太では「幹曲り」での発生率が、また製材では「幹曲り」および「傾斜」での発生率が高かった。丸太と製材のいずれも「根返り」での発生率は低かった。次に、被害木由来の構造用材の強度性能について調べた。本研究では丸太の段階でモメが目視確認されなかった場合は製材利用を、モメが確認された場合にはモメを除去して集成材利用することを想定した。まず、丸太の段階でモメが目視確認されなかった場合でも、製材加工すると、製材表面に微小なモメが出現する場合があった。製材の強度性能を実大曲げ試験により調べた結果、表面にモメが目視確認されない製材の強度はスギ、ヒノキともすべて基準強度（健全材の5%下限値）を上回った。これに対して、微小モメが確認された製材の場合、スギではモメのない製材と同程度の強度性能を示したが、ヒノキでは弾性域で破壊するねばりのない破壊形態を示し、ほとんどが基準強度を下回った。次に、モメの認められた丸太からラミナを挽き、その中から表面にモメが確認されないラミナを選抜して、これより被害木集成材を製造した。被害木集成材の強度性能を実大曲げ試験により調べた結果、スギでは健全木由来のラミナからなる健全木集成材と同程度であったが、ヒノキでは基準強度を上回るものの、健全木集成材より有意に低い曲げ強度を示した。

## 2. 台風被害木材の樹幹断面内における微小モメの分布

前章で述べたように、台風被害木材の力学性能の低下にはモメの影響が認められた。そこで、製材表面にモメが目視観察された台風被害木材を対象にSEM観察を行い、モメの樹幹断面内分布（樹皮側から髓への分布）を調べ、スギとヒノキの違いを検討した。SEM観察によれば、材表面近傍部では主に晩材部のスリッププレーンと早材部の微小なしわ、髓付近では主に微小なしわが見られた。樹種の違いについて、スギの場合には、髓付近の微小なしわはほぼ早材部に存在しており、晩材部では極めて少ない。一方、ヒノキの場合には、微小なしわが全体に存在し、早材部と晩材部でしわの大きさに違いはなく、早晩と晩材の間で連続して発生した。このことから、スギとヒノキでは、モメの樹幹断面内分布にSEM観察レベルでの差異があることが明らかになった。

## 3. 応力波伝播速度を用いた製材の天然乾燥過程における繊維飽和点以上の含水率評価

スギ製材を対象に「応力波伝播速度－含水率」関係のデータベースを構築し、これに基づく含水率評価の可能性を検討した。特に、モンテカルロシミュレーション法を用いた含水率評価法を提案し、含水率管理への応用について検討した。スギ製材を生材から繊維飽和点付近まで約半年間にわたり天然乾燥に供し、その間に応力波伝播速度と含水率を測定した。その結果、断面寸法が大きい製材においても、含水率が低下するにつれて応力波伝播速度が増加することが確認された。繊維飽和点以上の含水率

域では、「応力波伝播速度－含水率」関係は線形関係となった。このデータベースの回帰直線を基に応力波伝播速度から含水率を評価したところ、含水率 40%～60%域において推定誤差が 10%程度と最も推定精度が高く、その他の含水率域では最大で 30%程度の推定誤差があった。この推定精度には、個体差によるデータベースのバラツキが大きく影響している。そこで、このデータベースから含水率変動の確率分布を基にモンテカルロシミュレーション法を用いて、含水率評価を行った。この方法によれば、応力波伝播速度の測定値に対応する含水率評価値が、一つの値（平均値）ではなくデータベースのバラツキを考慮した分布として得られる。この分布を製材品の品質管理に応用するため、累積頻度に基づくパーセンタイルを導入した。例えば、90<sup>th</sup> パーセンタイルを含水率評価値として採用すると、実際の含水率より過小評価された製材の割合は約 10%となり、乾燥材を供給する際の未乾燥材の出荷防止に有用である。これに対して、10<sup>th</sup> パーセンタイルを評価値として採用すれば、過小に評価された製材の割合は約 90%となり、乾燥工程における過乾燥の防止に有用であると考えられる。

#### 4. 応力波伝播速度を用いた製材の含水率評価法に及ぼす樹種の影響

前章ではスギを対象に「応力波伝播速度－含水率」関係のデータベースを構築し、含水率評価の可能性を検討したが、適用範囲は繊維飽和点以上に限定された。そこで、本章では、供試材にスギとヒノキを用い、またデータベースを含水率 20%以下まで拡大し、その影響を調べた。得られた「応力波伝播速度－含水率」関係は、繊維飽和点付近を変曲点とするバイリニア関係あるいは緩やかな非線形関係を示した。このデータベース全体を指数関数曲線で回帰し、この回帰結果を基に応力波伝播速度から含水率を推定したところ、両樹種ともに含水率が高くなるほど過小評価、含水率が低くなるほど過大評価となった。一方、繊維飽和点を境に繊維飽和点以上と繊維飽和点以下の 2つの領域でそれぞれ線形回帰した場合、この回帰結果から推定される含水率は、繊維飽和点以下では両樹種ともに非常に高い推定精度が得られた。繊維飽和点以上では、ヒノキは繊維飽和点以下と同様に高い推定精度を得たが、スギでは前章で述べた程度の推定精度にとどまった。次に、逐次測定したみかけの密度または動的ヤング率で分類し、それぞれに対して「応力波伝播速度－含水率」関係の指数関数およびバイリニア線形回帰を行った。いずれの回帰結果を用いても、分類しない場合と比較して推定誤差は減少した。推定精度はみかけの密度で分類した場合の方が動的ヤング率で分類する場合より良好であった。