

論文審査の結果の要旨および担当者

| | | | |
|------|---|---|---|
| 報告番号 | ※ | 第 | 号 |
|------|---|---|---|

氏 名 豊 嶋 勲

論 文 題 目

台風被害木材の構造利用に向けた性能評価

論文審査担当者

| | | | |
|-----|----------|-------|-------|
| 主 査 | 名古屋大学准教授 | 山 崎 | 真 理 子 |
| 委 員 | 名古屋大学教授 | 佐 々 木 | 康 寿 |
| 委 員 | 名古屋大学教授 | 土 川 | 覚 |
| 委 員 | 名古屋大学教授 | 山 本 | 浩 之 |
| 委 員 | 名古屋大学助教 | 安 藤 | 幸 世 |

論文審査の結果の要旨

森林被害の気象要因には強風、冠雪、乾燥、自然火災などが挙げられる。このうち強風は、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1950～1960年代の拡大造林木の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、適正な保育間伐が適正な事態が続いている。このような森林は立木密度が高く、形状比も大きいことから、台風に対して極めて脆弱な林分構造となっている。さらに、近年の地球温暖化の影響により台風の大型化や短期間の暴風雨の頻発も予測され、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のうち拡大造林されたものは、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相当に低く、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、あえなく台風被害木材が発生した場合に備えて、台風被害木材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しておくこと、また商品価値の低下を極力抑えるために、品質管理の質向上策を検討しておくことが必要である。

強風による森林被害は国内にとどまらない。近年、全世界的な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。こうした課題に対して、ヨーロッパをはじめ森林の強風被害が発生する地域では、これまでも耐風性と林分構造、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には至っていない。モデル研究が難しい本課題においては、個別的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の策定に活かすことが望ましい。

以上の背景のもと、本博士論文は日本の針葉樹人工林の大きな割合を占めるスギとヒノキに焦点を当て、これらが台風被害を受けた際の建築用材としての適性を検討するとともに、林分の被害状況や丸太の損傷といった外観因子との関係を調べ、有効な林分処理を行うための判断基準を得ることを目的としている。さらに、被害木材は予期されず大量に発生することから、建築用材の流通量を超える可能性が高く、貯木期間の長期化が避けられない。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課題となる。これに対して、本博士論文では、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、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管理法の提案を行っている。

論文は7章構成となっており、**第1章**では本研究の背景と目的、**第2章**では森林の

耐風性、被害木材の力学性能及び振動法による木材の含水率評価手法について既往の研究を踏まえて概説し、本博士論文で解決すべき問題点を整理している。続く**第3章**から**第6章**は中核となる部分であり、スギ・ヒノキ被害木材の構造利用のための性能評価と被害木材の品質保持のための含水率評価方法の提案を行っている。**第7章**では、本研究で得られた知見を整理、総括している。以下に第3章から第6章までの知見をまとめる。

第3章 台風被害人工林の実態調査及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。被害林の調査により、被害林の多くは既往の研究と同様に形状比が大きい森林であること、被害形態は「根返り」が最も多いことを示した。次に、被害木材の構造利用を想定した丸太選別を行うために被害丸太及び被害木由来の製材のモメ発生率の関係について調べた。その結果、丸太では「幹曲り」での発生率が、また製材では「傾斜」及び「幹曲り」での発生率が高く、丸太と製材のいずれも「根返り」での発生率は低いことを示し、丸太での被害形態及びモメの有無による選別は、製材加工後のモメが出現する割合を低減するのに有効であることを示した。さらに、これらの被害丸太由来の製材、集成材の被害木由来の構造用材の強度性能について調べた。本研究では上述したように丸太の段階で構造利用に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が想定されている。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、表面の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成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であることが明らかとなった。

第4章 台風被害木材の樹幹断面内における微小モメの分布

3章で述べられたように、ヒノキ台風被害木材の力学性能の低下にはモメの影響が大きい。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。その結果、モメは、木材の樹幹断面内で材表面（樹皮側）から内部（髓）

に向かって徐々に軽佻なものとなりながら分布した。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が見られ、髓付近では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いことを示した。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を明らかにした。このスギとヒノキの組織レベルでの損傷の差異は、両樹種の強度性能におけるモメの影響の違いの要因の一つであるとの見解をまとめた。

第 5 章 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

応力波伝播速度法を用いて簡易に製材の含水率を評価する手法について検討した。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、データベース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。材質のバラツキを考慮するため、89 本のスギ製材を高含水率域（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、その間に約 7 回、応力波伝播速度と含水率を測定した。その結果、まず、スギの含水率は個体ごとに変動が大きく、かつ含水率範囲が広いことを確認した。これまで、「応力波伝播速度－含水率」関係は小試験体での基礎研究が基になっていたが、断面寸法が比較的大きい実大の製材においても、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示された。繊維飽和点以上の含水率域では、「応力波伝播速度－含水率」関係は線形関係を示した。実験値から成る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ることを示した。この推定精度には、上述の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ことを示している。そこで、「応力波伝播速度－含水率」関係のバラツキを統計学的に考慮できる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（たとえば平均値）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とが特徴である。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値を導入した。例えば、90th パーセンタイル値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、10th パーセンタイル値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割れの防止に有用であることを述べ、本方法の製材の含水率管理における実用性を示した。

第6章 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

第5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、含水率の範囲は繊維飽和点以上に限定された。そこで、供試材にスギとヒノキを用い、データベースを気乾状態まで拡大し、その影響を調べた。測定期間は製材直後から最大2年間である。含水率20%以下に至るまで天然乾燥を行いながら、応力波伝播速度と含水率を最大24回測定した。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。実験値からなる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ることを示した。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各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ることを明らかにした。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」関係の指数関数及びバイリニア線形回帰を行った。その結果、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。特に、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推定精度の向上に寄与することを明らかにした。

以上のように、本博士論文では、台風被害木材の構造利用を目的として、被害木材の強度性能評価と被害木材の品質保持のための含水率評価を行ったものである。本研究により得られた成果は次のように集約される。

1. 林分の被害状況と丸太の損傷に関係があること。スギは丸太にモメが認められなければ、製材段階で微小なモメが存在しても構造用材としての利用は力学的に問題ないこと、これに対してヒノキについては製材段階でモメが認められた場合には健全材強度より低下することを明らかにした。また、スギではモメが認められた丸太であっても、これよりラミナを製造し、モメが確認されないものを選抜すれば、集成材化により健全木と同等の利用が可能であること、これに対してヒノキではラミナにモメが認められなくても力学性能が低下していることを明らかにした。このような樹種による違いには、微小モメの分布における樹種特性の影響が考えられることを示唆した。
2. 伐採直後の生材状態から気乾状態に及ぶ含水率領域において、乾燥過程における「応力波伝播速度－含水率」関係のデータベースを構築し、これを用いた含水率評価の適用可能性を明らかにした。さらに、推定精度が低い繊維飽和点以上のスギについて、応力波伝播速度に対する含水率変動の確率分布を用いた統計的な含水率管理手法を新たに提案し、その有用性を示した。

これらの研究成果について、報文として国際学術誌に2報が既に発表され、ほ

か2報が投稿準備中である。

以上のことから、本博士論文は、実験及び解析のいずれにおいても新規性と独自性が認められるとともに、高度の学術的価値を有していると判断された。また、木材利用による炭素貯蔵効果が求められ、これに値する木材生産が求められる中、その森林経営に大きな脅威となる台風被害木材のリスクを低減し、材料の無価値化を抑制することは世界共通の重要な課題であり、本研究成果はこのような林業課題に大きく貢献するものと考えられる。

よって、本審査委員会は本論文の内容が博士（農学）の学位を授与するに十分な価値を有するものと認め、合格と判定した。

試験の結果の要旨および担当者

| | | | | |
|---|--------------------------------------|---|----|------|
| 報告番号 | ※ 第 | 号 | 氏名 | 豊嶋 勲 |
| 試験担当者 | 主査 山崎 真理子 佐々木 康寿 土川 覚 山本 浩之 安藤 幸世 | | | |
| <p>(試験の結果の要旨)</p> <p>平成29年 8月 1日学位審査委員会において、主論文の内容を中心としてこれに関連する科目の学識および研究能力について試問し審査した結果、合格と判定した。</p> | | | | |