

台風被害木に関する研究

2011年度～2013年度

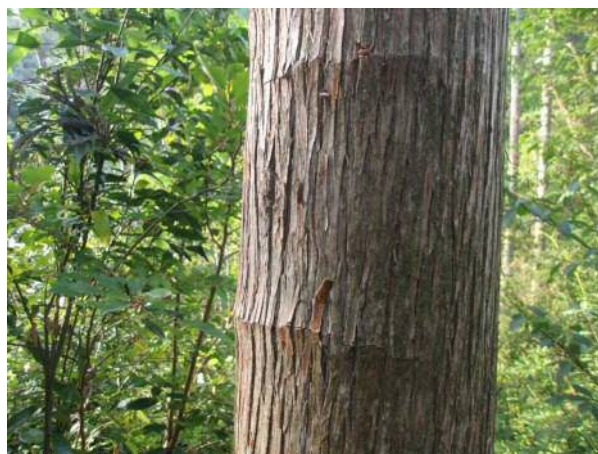
豊嶋 勲 野口博史*

要旨

平成21年の台風18号で被災したスギ・ヒノキ人工林の被害木の実態調査と被害木の構造用材としての性能評価を実施した。その結果、被害林分は9～10齢級が最も多く、30度を超える急傾斜地での被害が約60%を占めた。また、被害形態は、根返りタイプが全体の6割を占め、急傾斜地ほど多く発生した。また、各被害形態における製材後の「もめ」出現状況については、湾曲タイプが約8割と最も多く、根返り、傾斜タイプは1割未満であった。被害木の構造用材としての性能については、乾燥後に外観上「もめ」が認められないスギ製材曲げ強度の95%下限値は、無等級材の基準強度を上回った。一方、スギと同一林分を含むヒノキについては、無等級材の基準強度を大幅に下回った。ヒノキの集成材への利用については、「もめ」のないラミナを使用したL90、L100、L110の同一等級構成集成材の曲げ試験の結果、健全材のラミナを使用した集成材と比較して全体で約10%の強度低下が認められ、等級が低いほど低下傾向は顕著であった。合板への利用については、「もめ」有り単板を芯・添え芯として健全木由来の単板と組み合わせることで使用可能であることが示された。

I 目的

台風被害木は「もめ」（写真－1）や「白色斑」といった部分的な圧縮破壊が発生する可能性があることが知られている（島地ほか 1985）。このため、県内で発生した台風被害木の多くは放置されるか一部チップ材として利用されているにすぎない。これまでも台風被害木の「もめ」の発生と被害木の強度性能の関係について多くの調査事例があるが、台風の規模や進路によって被害は様々であり、一定の結論には至っていない。そこで、本研究では、2009年の台風18号により被害を受けたスギ、ヒノキの有効活用を図るため、被害木の実態を明らかにするとともに被害材の構造用材としての利用適否について検討した。



写真－1 被害木表面に現れた「もめ」

II 方法

1. 台風被害木の実態調査

2011年に設楽町、東栄町、新城市内の被害林

Isao Toyoshima, Hiroshi Noguchi: Examination of actual condition of plantation forests damaged by typhoon and strength performance of damaged Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.)

※現あいち海上の森センター

本論文の一部は第64回日本木材学会大会で発表した。

分29箇所に10×10mのプロットを設定し、プロット内の樹種、林齢、傾斜、方位、胸高直径、立木・倒木本数、被害形態について調査した。被害形態は、図-1に示すように根ごと横倒しとなった「根返り」、立木で樹幹が湾曲する「湾曲」、斜めに傾いた「傾斜」、樹幹が途中で折れた「幹折れ」、直立する「生立木」の5区分とした。



図-1 被害形態5区分イメージ図

2. 被害木の材質特性の解明

(1) もめや目回りの欠点の発生状況の解明

2012年から2013年にかけて東栄町A、Bの2箇所、新城市A、Bの2箇所の被害林分において約50年生のスギ、ヒノキ被害木から長さ3~4mで、径級に応じて2番玉から4番玉まで計100本の丸太を採取した。内訳は「根返り」丸太50本、「湾曲」丸太15本、「傾斜」丸太32本、「生立木」丸太3本であった。もめの測定は、目視により剥皮前、剥皮後、製材後とそれぞれの段階で材面に出現する割れやしわ状の「もめ」や製材直後に現れる「白色斑」の有無を調査した。

(2) 被害木の強度などの材質特性の解明

(1)で採取した各被害形態の丸太のうち、新城市A、Bと東栄町Aからスギ ($d=19.8 \pm 4.4\text{cm}$, $n=45$)、東栄町Aからヒノキ ($d=17.6 \pm 2.3\text{cm}$, $n=16$) を径級に応じて長さ3mの105mmまたは120mmの心

持ち正角に製材した。目視で割れやしわ状の「もめ」材を除いた61本(スギ45本、ヒノキ16本、約50年生)を、低温域での人工乾燥または天然乾燥により含水率15%程度に乾燥後、実大強度試験機(島津製作所製UH-G1000kNA)で3等分点4点荷重方式で曲げ試験を行った。荷重は、圧縮力を受けたと想定される風下側を引張側とした。

3. 台風被害木の利用開発

(1) 集成材

東栄町Bのヒノキ被害丸太計20本から集成材用ラミナを製材、目視で割れ、しわ状の「もめ」出現ラミナを除外した。含水率約15%まで乾燥後、等級(等級L90, L100, L110)、寸法105×105×4000mmの同一等級構成集成材を製造し、3等分点4点荷重方式で曲げ試験を行った。接着剤は、水性高分子イソシアネート(FR7200 アイカ工業製)を使用した。なお、比較対照として健全木から被害木と同じ等級の集成材を製造し、比較を行った。その際、健全木、被害木ともに最外層に使用するラミナの材縁節径比を、25%以下とした。

(2) 合板

東栄町Bで丸太表面の「もめ」が最も顕著な「湾曲」のスギ被害丸太2本と表面上に「もめ」が観察されなかった「傾斜」のスギ被害丸太1本から、ベニヤロータリーレース(ALT-10 名南製作所)により厚さ3.2mm、幅1m、長さ1mの単板を剥き芯約2cmになるまで採取した。単板はJAS品質規格に従って表裏単板用をA~D、芯・添え芯用単板用に仕分けした。仕分けの際、「もめ」の取り扱いとして、木繊維が切れていない”しわ”状の「もめ」は、横割れとしてカウントしなかった。含水率約12%まで乾燥後、表裏の単板品質を(A~D)-Dの組み合わせとした5プライ、15mm厚の構造用合板を製造し、3点曲げ方式により曲げ試験を行った。試験体の単板構成条件は、全層被害丸太で「もめ」有り単板使用のもの(D1, D2)、

表裏に健全丸太からの単板、芯・添芯に被害丸太で「もめ」有り単板使用もの (DN1, DN2)、全層健全丸太からの単板使用のもの (N1, N2) とした。なお、合板製造にあたっては、装置の都合上、1つの試験体を6分割した。試験体の強度性能は分割試験体の平均値で評価した。製造条件は、接着剤としてフェノール樹脂 (アイカ工業製) を使用し、コールドプレスで接着、仮圧縮後、圧力10kg/cm²、135℃、6分間の熱プレス圧縮とした。

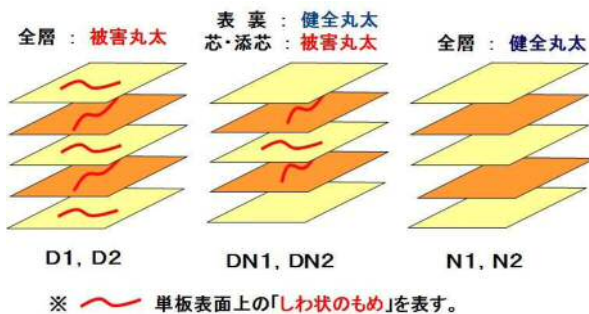


図-2 各試験体の単板の構成条件

III 結果

1. 台風被害木の実態調査

被害林分はスギ18箇所、ヒノキ2箇所、スギ・ヒノキ混交林9箇所、面積では、スギ4.3ha、ヒノキ0.9ha、混交林2.9haであった。斜面方向は北東から東、南東方向と東向きの斜面が全体の約9割を示した。被害林分の林齢は41~50年生が15箇所と約半分を占めていた。被害林分の面積は0.11~0.20haの規模のものが10箇所と約3割を占めてお

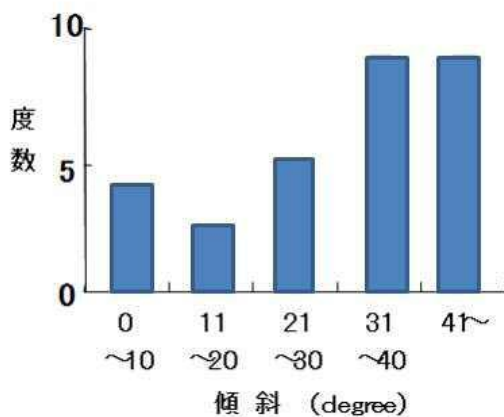


図-3 傾斜度ごとの被害林分数

り、比較的小規模な被害林分が多かった。図-3に被害林分の傾斜ごとの度数を示す。被害林分は傾斜度が30度を超える急傾斜地での被害が約6割を占めた。また、図-4に示すように傾斜が30度を超える箇所では「根返り」被害が約8割を占め、傾斜が大きいほど顕著に増大した。被害木の胸高直径については、スギが24.7±7.0cm、(n=218, mean±SD) ヒノキが22.0±5.8cm (n=46) で、形状比は平均値で86であった。立木密度は600~2,400本/ha (平均値：1,200本/ha) であった。

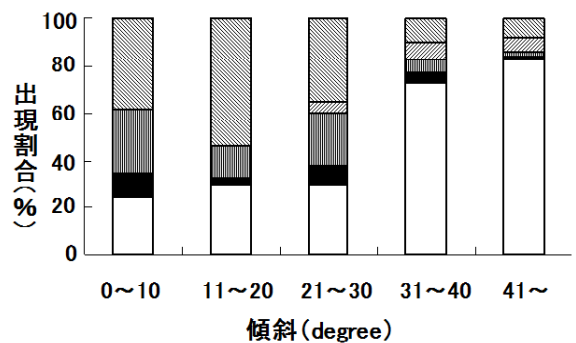


図-4 傾斜度ごとの被害形態出現割合

2. 被害木の材質特性の解明

(1) もめや目回りの欠点の発生状況の解明

「もめ」が出現した剥皮前後の丸太、製材の割合を被害形態ごと、樹種別に表-1に示す。剥皮前の丸太に「もめ」が観察されたのは、湾曲タイプの被害丸太だけで、スギ38%、ヒノキ14%全体では27%であった。傾斜タイプの被害丸太は、剥皮後にスギで13%の丸太に「もめ」が現れた。その他の被害形態には、丸太表面上に「もめ」は観

表-1 各段階の「もめ」、「白色斑」出現数

被害形態	試験丸太		剥皮前丸太		剥皮後丸太		製材	
	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ
根返り	37	13	0	0	0	0	1	3
			(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(3%)	(23%)
湾曲	8	7	3	1	6	3	6	5
			(38%)	(14%)	(75%)	(43%)	(75%)	(71%)
傾斜	16	16	0	0	2	0	2	0
			(0%)	(0%)	(13%)	(0%)	(13%)	(0%)
生立木	3	-	0	-	0	-	0	-
			(0%)	-	(0%)	-	(0%)	-

※ ()内は試験丸太数に対する割合を表す

察されなかった。湾曲、傾斜タイプの丸太に認められた「もめ」は主に風下側であった。製材後に「もめ」または「白色斑」が現れた被害形態は、根返り、湾曲、傾斜タイプで、それぞれ出現率は、スギ、ヒノキ併せて、8%、74%、7%となり。湾曲タイプの丸太が有意に高かった（t検定、 $p < 0.01$ ）そのうち、根返りと傾斜には割れ、しわ状の「もめ」はなく、いずれも製材直後に現れる「白色斑」のみが観察された。

(2) 被害木の強度などの材質特性の解明

スギ、ヒノキ被害丸太から製材した正角材の曲げ試験結果を図-5に示す。スギは製材後に「白色斑」が認められた試験材を含めた曲げ強度の75

%信頼水準95%下限値は、 33.9N/mm^2 で、スギ無等級材の基準強度 22.2N/mm^2 を上回った。一方、ヒノキは「白色斑」が認められた試験材を含めた曲げ強度の75%信頼水準95%下限値は 12.8N/mm^2 であり、「白色斑」が認められた試験材を除いた場合でも 15.3N/mm^2 となりヒノキの無等級材の基準強度 26.7N/mm^2 を下回った。

3. 台風被害木の利用開発

(1) 集成材

ヒノキ被害木集成材の曲げ強度試験結果を図-6に示す。L90(n=1)、L100(n=3)、L110(n=3)すべてでJAS基準を上回った。また、被害木集成材の曲げヤング率の健全木から製造した集成材に対する平均値の比率は、L90、L100、L110の各等級それぞれ、98%、101%、99%と同等の値を示した。一方、曲げ強度は、それぞれ67%、87%、98%となり、L90とL100で低下傾向が見られた。

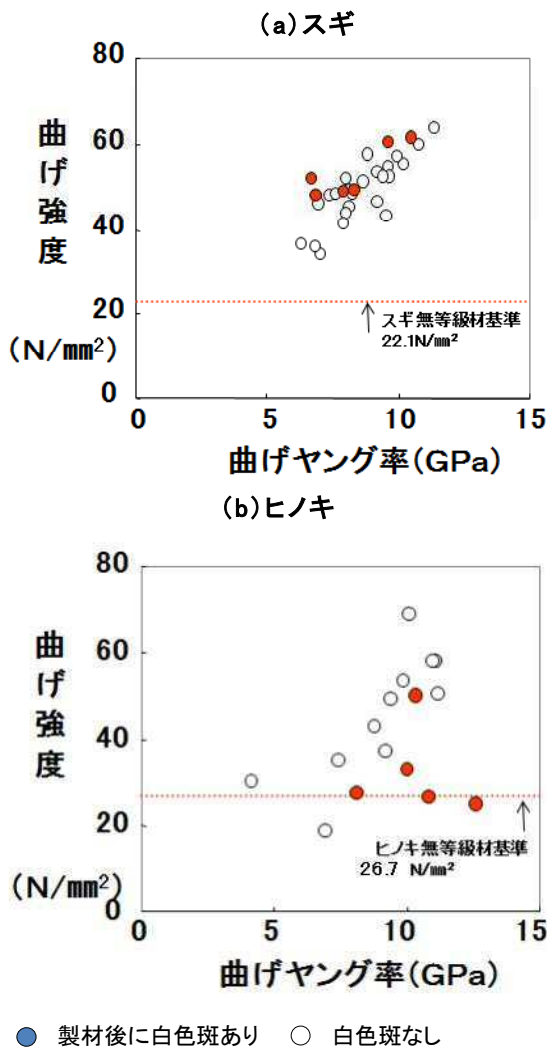
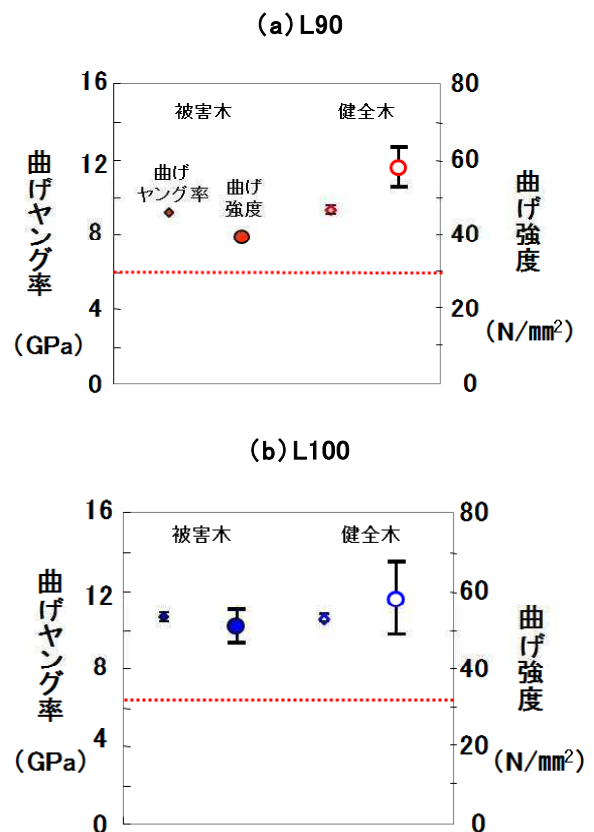


図-5 スギ、ヒノキ被害木の製材曲げヤング率と曲げ強度の関係



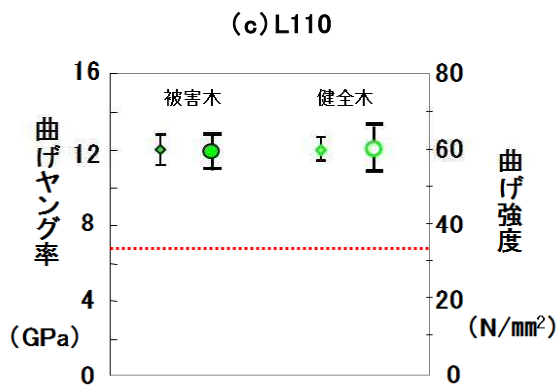


図-6 ヒノキ被害木集成材と健全木集成材の強度試験結果

(2) 合板

単板の「もめ」発生状況について、丸太表面で「もめ」が観察された被害丸太からはすべての単板で「もめ」が観察された。表層付近の単板は完全に木繊維の切れた横割れ状の「もめ」（写真-2）、随付近の単板には、木繊維が切れていない“しわ”状の「もめ」（写真-3）が観察された。



写真-2 横割れ状の「もめ」



写真-3 しわ状の「もめ」

横割れ単板のみを除いた乾燥後の歩留まりは「もめ」のない丸太が64.4%に対し、「もめ」有り丸太は51.4%であった。図-7に合板の曲げ強度試験結果を示す。被害丸太、健全丸太、単板の組み合わせに関わらず、すべての試験体で曲げヤング率平均値が構造用合板2級の基準値4.0GPaを上回った。しかし、D2は2つの分割試験体で曲げヤング率が低く、変動係数が28.2%と最も高かった。

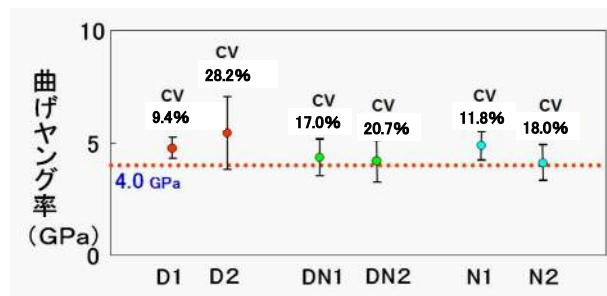


図-7 スギ合板各条件の強度試験結果

IV 考察

1. 台風被害木の実態調査

台風による被害林分の状況について考察する。被害を受けた林分は9～10齢級が多かった。これは、この齢級にある林分面積が最も多いことがあるが、5～10齢級では、その他の齢級より被害率が高い（藤森 1995）とされ、形状比が増し重心が高くなるとともに樹幹付近の風速が強くなることが要因といわれている。形状比については、本研究で被害形態が根返りや湾曲など外観上なんらか被害を受けた立木の形状比の平均は86であった。形状比は耐風性の指数として重要（嘉戸ら 2008）とされる。また、水井ら（1984）によると、形状比が70を超える林分から被害木の出現が増加しているとされる。これらのことから、今後大型化が予測される台風（気象研究所 2008）への対策として、形状比の適正管理、樹冠長率を高めることが有効である。これは、現在間伐が進んでいない人工林を適正な立木密度にすることで達成できるものと考えられる。

被害林分の立木密度については、600~2,400本/haまで存在したが、間伐率30%を超えると風害を受けやすい（秋田県農林水産部 2006）ことから、強度間伐直後の林分は風害を受けやすくなると考えられる。このため、風害を低減するには、林分の状況に応じた間伐方法が求められる。

被害林分の斜面方向は東向きを含む斜面が9割を占めた。当時の東三河地方の気象データ（名古屋地方気象台 2009）から、新城市を通過中の台風最大の瞬間風速が41.1m/sで東向きであったことが原因であろう。当地域では、台風が北東方向に通過するケースが多く、今後も本台風と同様な被害が発生しやすいことが推測され、東側斜面に位置する林分の状況には特に注意が必要と思われる。

次に傾斜と被害形態の関係について考察する。急傾斜地で「根返り」被害が多かったのは、傾斜が急なほど樹冠付近の枝張りが斜面下方に伸長することが多く、樹幹の重心が下方へ偏心したことで風圧により傾倒しやすかったのではないかと考えられる。

2. 被害木の材質特性の解明

「もめ」等欠点の発生状況調査から、「もめ」のある丸太を効率よく仕分けする方法について考察する。丸太から製材までの各段階での「もめ」出現率は大きく変化し、皮付き丸太の段階で製材後の「もめ」出現率を高い割合で予測することは困難である。しかしながら、各被害形態のうち、発生量が多い根返りと傾斜は、製材後の「もめ」出現率が低く、欠点の発生も「もめ」の前段階とされる（飯田 1982）「白色斑」がほとんどであることから、被害形態で現場仕分けして搬出・利用することが有効と考えられる。

次に被害木の強度などの材質特性の調査結果から被害木を構造用製材として使用可能かどうかを考察する。製材については、スギは「白色斑」が認められた製材を含めても曲げ強度の95%下限値

が基準強度を上回ったことから、製材として利用することができると考えられる。一方、ヒノキは「白色斑」等欠点が観察されなかった製材でも曲げ強度が95%下限値を下回ったことから、製材としての強度を保証することはできない。飯田ら（1982）により、カラマツ被害木で目視では観察できない微小「もめ」（minute compression failure）の存在が指摘されている。また、スギ（永井 2007）やヒノキ（松村 1993）でも顕微鏡観察により同様な微視的しわ状「もめ」の存在が確認され、これらと強度低下との関連性が一部で指摘されている。台風による暴風の中、繰り返し風圧を受ける状態にある立木が破壊までに至らずとも、軽い塑性変形領域まで曲げ応力を受けた可能性は十分にある。北原ら（1984）によっても破壊荷重に対して0.3の小さな曲げ荷重を繰り返し加えた結果、細胞壁に微小しわが発生し、曲げ強度の低下が見られたことが報告されている。これらは、気乾材の小試験体での実験であるため、弾性挙動に若干の違いはあると思われるが、このようなことが高含水率の立木で起きていると考えられる。しかし、同一林分の被害木を含む両樹種で強度の低下挙動が異なった原因は、樹種特性の違いが考えられるが、今後の検討課題である。

3. 台風被害木の利用開発

「もめ」や「白色斑」が目視で製材面に認められないヒノキのラミナから製造した集成材の強度性能について考察する。ヒノキは集成化すれば、各グレードともJAS基準強度を満たし、構造材として十分に使用できることが確かめられた。しかし、再構成し欠点の分散を図っても、製材と同様に健全木から製造した集成材と比較して強度の低下傾向が見られた。この原因は先に考察した製材と同様、繰り返しの曲げ応力のため発生した微小しわによるものと推察される。

次に「もめ」が丸太表面に認められる丸太から

得られた単板を使用して製造した合板の強度性能について考察する。全層に「もめ」のあるD試験体のうち1つはしわ状「もめ」が曲げ荷重の荷重点直下にあった場合に極度な曲げヤング率の低下が認められた。これは目視で観察可能な「もめ」のある小試験体の曲げヤング率が極度に低下する(松村ら 1993)とした報告とよく一致する。このことから、しわ状「もめ」のある単板を全層に使用した合板は使用に適さないと判断される。一方、しわ状「もめ」単板を芯・添え芯として使用した試験体は、分割試験体の曲げヤング率の変動係数は健全丸太から製造した合板とほぼ同等で、構造用合板JAS 2級の基準もクリアした。川上(2006)は、スギの台風被害木由来の単板を芯に使用し、表裏をラーチ単板とした3plyの小試験体の強度性能について、芯にもめが存在しても強度性能に影響はないと報告している。これらの結果から、単板製造後しわ状の「もめ」が現れた場合でも芯・添え芯として有効利用することが十分可能であることが示された。

以上のことから、台風被害木は被害形態による選別に目視による被害程度チェックを加えることで、割れを伴った被害の激しい丸太はほとんど除去できると考えられる。スギは、製材としての利用が可能で、ヒノキについては、内層ラミナや芯・添え芯単板への利用に限定し、健全木と組み合わせ、目視で確認できない欠点のリスクを分散させることで、集成材、合板等木質材料への利用が可能であると考えられる。

V 謝辞

本研究の試験材の搬出・運搬にご協力くださった東栄町森林組合の伊藤輝宣氏はじめ多くの職員の方々、また、単板製造にご協力くださった株式会社名南製作所の長谷川英生氏をはじめスタッフの方々に心よりお礼申し上げます。

引用文献

- 飯田信男、堀江秀夫、長谷川雅浩、高橋正治、川口信隆、滝沢忠昭(1982) 昭和56年台風15号によるカラマツ風害木の材質調査, 林産試月報 347(5):1-8
- 嘉戸昭夫、関子光太郎(2008) 2004年台風23号により富山県西部のスギ林で発生した風害の要因解析, 富山林技セ研究報告 21:1-8
- 川上敬介(2006) 意匠性に優れた県産ロータリー単板の製造に関する研究, 鳥取県林業試験場平成18年度業務報告:24-25
- 気象研究所(2008) 温暖化の基礎知識, 台風の将来予測:22
- 北原龍士、堤堤壽一、松本勲(1984) 木材の力学的挙動への曲げ荷重の影響, 木材学会誌 30(7):522-529
- 島地謙ほか(1985) 木材の構造, 島地編 文永堂出版:203
- 永井智(2007) 台風被害木の材質—スギ白色斑の目視・顕微鏡観察—, 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 54:19-22,
- 名古屋地方気象台(2009) 平成21年10月 台風18号に関する愛知県気象速報
- 藤森隆郎(1995) Relationships between Stand Ages and Wind Resistances of Stand -Forest damage by Typhoon 7 in 1959 in the Tokyo Regional Forestry Office, Japan-, Journal of the Japanese Forestry Society 77(6):602-605
- 松村順司、小田一幸、堤壽一(1993) スギ、ヒノキの力学的性質におよぼすもめの影響, 日本林学会九州支部研究論文集 No.46:291-292
- 水井憲雄、畠山末吉(1984) カラマツ人工林の台風被害と耐風性, 北海道立林業試験場研究報告 22:12-21