

伝統的木造建築に用いる柿葺き材の物性分析と改質処理による
持続的保全技法に関する研究 その1 こけら材の物性分析

1.材料施工ー 7. 有機系材料・工法・工事
伝統的木造建築、屋根、柿葺き、改質処理、耐久性

準会員 ○ 清永美奈子*1 正会員 田村雅紀*2
正会員 後藤治*3 非会員 山本博一*4

1. はじめに

伝統的建築物の屋根にこけら葺きというものがある。こけら葺きは秋田ではザク葺きといい¹⁾、天然杉や栗の木を柾目に割って敷き詰めた屋根である。こけら板は、採取された木材の産地をはじめ、生育環境、伐採時の年輪密度をはじめとする様々な条件で、屋根材としての耐久性に関わる基本的性質が大きく相違する。特に人工木においては、天然木と比較して材の損傷や木材成分の溶出が顕著となり、結果、使用年限が天然木の25年より短くなる傾向にある。

本研究では、秋田県産の各種樹齢の人工・天然木の切り出し試験体を用いて、異方性を考慮した要素試験体の針状要素の貫入抵抗性、圧縮強度特性を行い、その基礎的性質を把握した後に、実際のこけら材を用いた基礎的物性を評価するために、密度分析、曲げ試験、表面粗さ試験、流下速度試験を行い、評価する。

2. 研究概要

2.1 使用材料と試験項目

使用材料を表1に示す。試験材料は原木の切り出し木材と同材料を用いて実際の作り手により製造されたこけら材を用いる。

表2に試験項目を示す。はじめに密度分析をしてから、原木の切り出し木材での貫入試験、圧縮試験を行い、こけら材での曲げ試験、表面粗さ試験、流下速度試験を行った。

2.2 密度分析

表3に使用材料寸法と密度の測定結果を示す。密度をみると、栗材は密度が大きい、杉材は天然木、人工木に関係なくほぼ同じ密度であった。しかし、年輪数をみると天然木が多いことから、天然木は年輪幅が小さく、人工木は年輪幅が大きいことがわかる。天然木は年輪が詰まっていることが明らかである。しかし、宮崎は秋田とは地域の生育環境が違うためか、天然木でも年輪が詰まっていないところがあり、年により年輪幅が大きく季節間変動が大きい。

2.3 切り取り部材を用いた針貫入試験

針貫入試験では人工杉の樹齢約44年、88年、天然杉の樹齢約169年の原木を試験体に用いた。この試験では、人工杉は早材と晩材、天然杉早材を試験し、柾目面、木口面ともに針貫入試験を行った。針を刺す位置によって貫入量が異なっていたため、貫入量が5mm時の貫入力を基本とした。

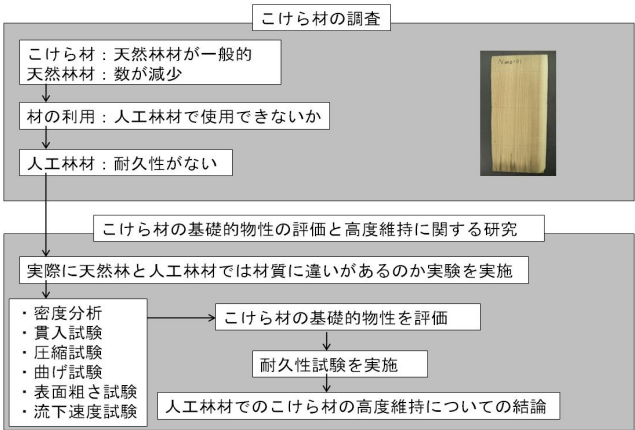


図1 本研究の流れ

表1 使用材料

記号	種類
A46	秋田人工杉 樹齢約46年、平均密度0.35(g/cm ³)
A88	秋田人工杉 樹齢約88年、平均密度0.29(g/cm ³)
N169	秋田天然杉 樹齢約169年、平均密度0.33(g/cm ³)
N88	秋田天然栗 樹齢約88年、平均密度0.51(g/cm ³)
A35	宮崎人工杉 樹齢約35年、平均密度0.31(g/cm ³)
A80	宮崎人工杉 樹齢約80年、平均密度0.33(g/cm ³)

表2 試験方法

試験項目	試験方法
密度分析	実測測定
貫入試験	切り取り部材を用いたペネトロ式針貫入試験
圧縮試験	JIS Z 2101 : 直方試験体30・30・60mm 寸法試験
曲げ試験	JIS A 1408 : 3線式1点載荷曲げ試験
表面粗さ試験	表面粗さ(μm)測定
流下速度試験	屋根勾配15、30、45、60度、雨粒流下0.1mL

表3 使用材料寸法と密度測定結果

項目	内容						
記号	A46	A88	N169	N169	N88	A35	A80
木取り	柾目	柾目	柾目	板目	柾目	柾目	柾目
試料(枚)	4	5	4	3	5	5	5
平均質量(g)	27.2	22.4	24.5	57.5	38.9	37.0	34.9
平均長(mm)	237.8	236.8	234.8	235.7	233.0	298.4	301.6
平均幅(mm)	95.0	89.8	94.9	186.0	91.3	111.9	98.3
平均厚(mm)	3.43	3.60	3.34	4.07	3.45	3.60	3.54
密度(g/cm ³)	0.35	0.29	0.33	0.32	0.53	0.31	0.33
年輪数N(個)	23.25	17.80	56.50	—	35.40	20.20	34.00

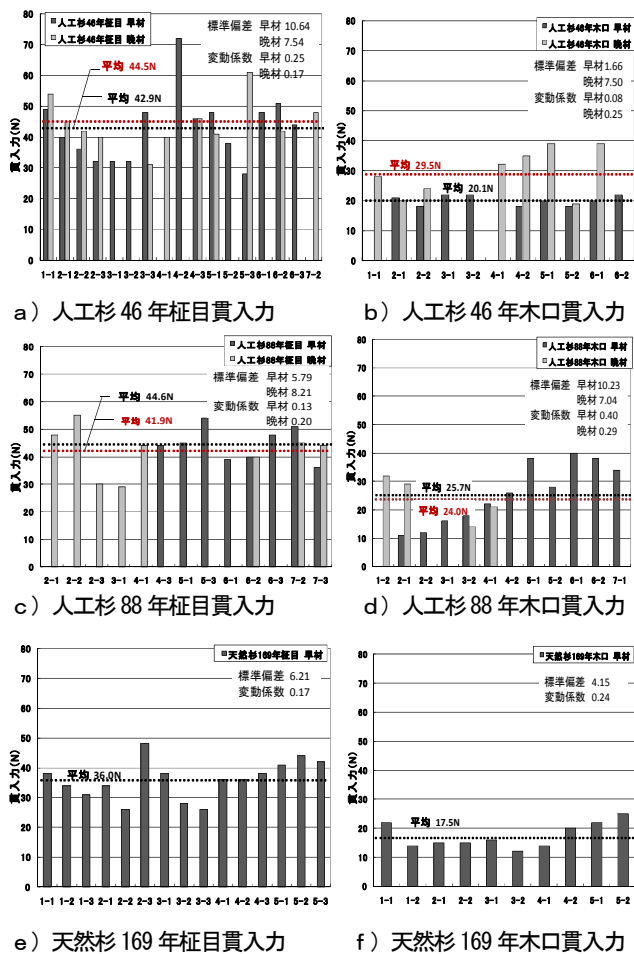


図2 針貫入試験結果

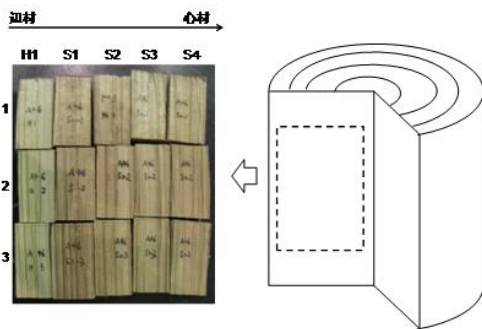


図3 直方試験体による圧縮試験状況

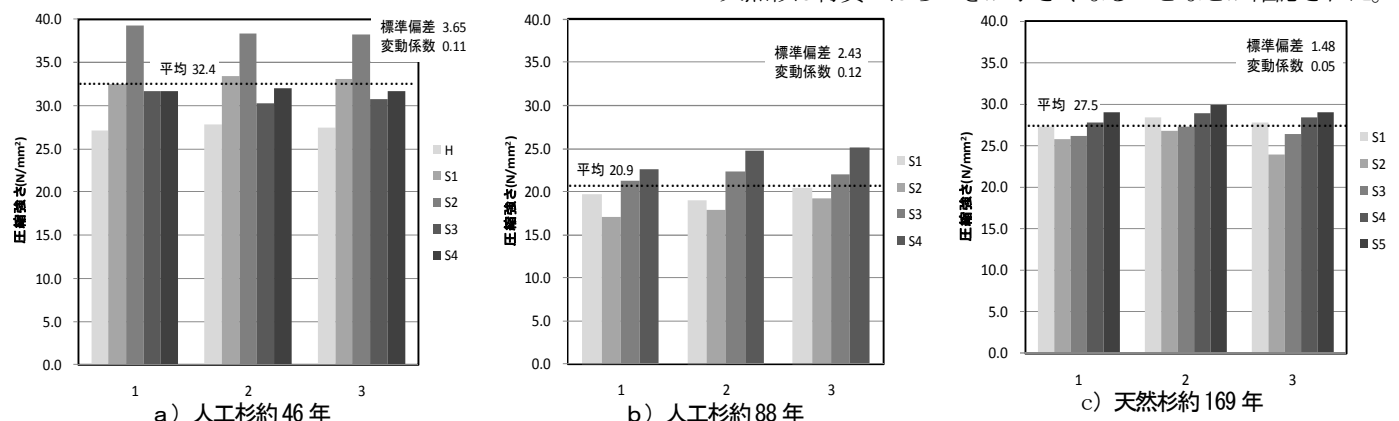


図4 切りだし試験片の圧縮強度

図2に針貫入試験結果を示す。柢目面より木口面のほうが貫入力小さい値となる。そのことから、軸方向にある仮導管等による組織の異方性の影響があるため貫入力小さいと考えられる。なお、全体的にf)の貫入力小さく年輪密度の影響があることも考えられるが天然杉の貫入力小さいこともあり明確な影響は確認されなかった。人工杉の場合は、柢目面での貫入力の違いはあまりないと考えられる。早材と晩材の違いは平均値を評価したところ、b)に少し差があるが、大きな力学特性の差は生じていない。

人工杉と天然杉では、密度はそれほど大きな違いがあるわけではないが、貫入力に差が生じているということは、年輪密度が詰まっている天然杉は、仮導管を始めとする微細な組織構造も、年輪が高密度化するように小さい寸法で構成されているのではないかと考えられる。それにより、密度は変わらない状況下においても、貫入抵抗性については差異が生じるのではないかと考えられる。

2.4 直方切り出し試験体による圧縮試験

図3に圧縮強度の試験片を、図4に試験結果を示す。圧縮試験では、針貫入試験で使用した試験体を平滑処理を行い切断して試験を行った。Hは辺材、Sは心材を示し、Sは1から5の番号において、数字が大きいほど中心に向かう心材で構成される。a)は辺材があり、辺材は心材と比較すると圧縮強度が低い。しかし、すべての圧縮強度を比較すると、辺材の方が圧縮強度が低いというわけではないことが確認できた。全体的には、b)の人工杉約88年の図が圧縮強度が低い。そのことから、人工杉は樹齢が若い方が圧縮強度が高く、樹齢が高くなるにつれて徐々に圧縮強度が低くなる場合もあることが考えられた。また、標準偏差、変動係数をみると、天然杉約169年はばらつきがなく、人工杉約46年はばらつきが大きい。さらに、1から3を図ごとにみると、各でほぼ一定の圧縮強度を示すことから、軸方向の気取りでは今回の結果では、どの位置でこけら材を採取しても物性に大きな差は生じない。以上、人工杉は樹齢が高くなるに従って圧縮強度が低くなる場合があることや、天然杉は材質のばらつきが小さくなることなどが確認された。

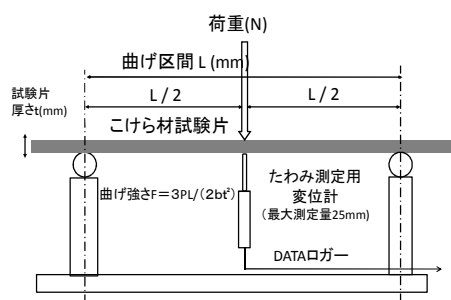


図5 こけら材の3線式1点載荷曲げ試験

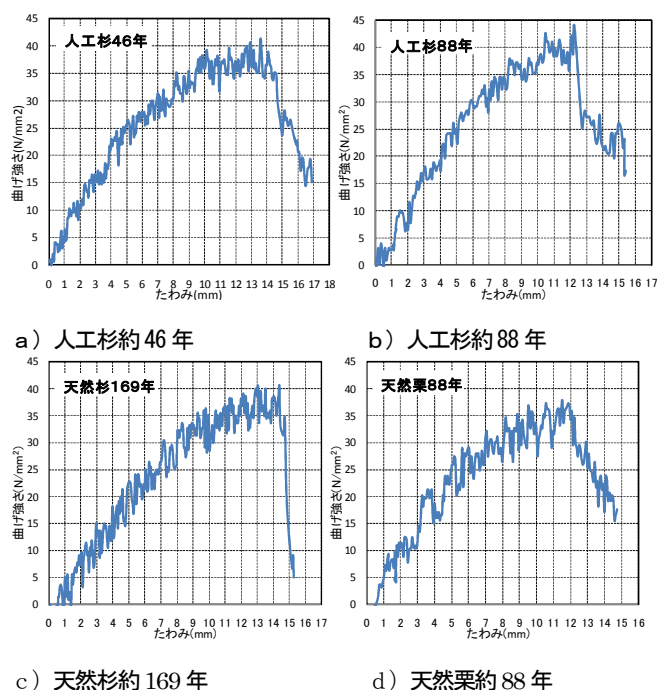


図6 こけら材を用いた曲げ-たわみ曲線

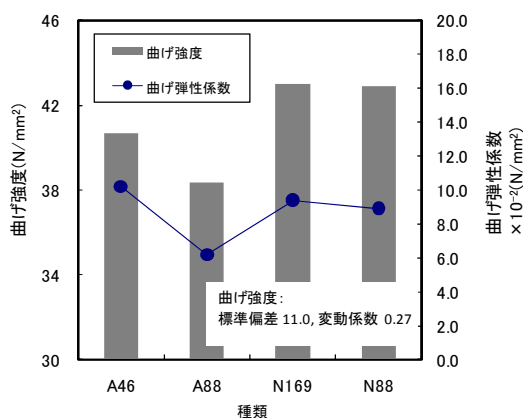


図7 曲げ弾性係数と最大曲げ強さ

2.5 実職人が製造したこけら材の曲げ試験

図5に曲げ試験の概要を示す。ここでは、実際の職人により製造されたこけら材を用いて試験を行った。曲げ試験に供

するために、こけら材を長手方向長さを維持した上で、2つに切断し、試料とした。試験体はA46、A88、N169、N88の4種類とし、A46とN169が各8枚、A88とN88が各10枚の計36枚のこけら材を用いて、3線式1点載荷の曲げ-たわみ曲線を測定した。

図6に曲げ試験結果を示す。4種類、計36枚の試験体のうち、各種類の典型的な1枚の試験体の曲げ-たわみ曲線を示した。なお、実際のこけら材を使用しているため、表面が平滑ではなく、異方性もあること、木材の弾性が影響するなどで、荷重がかかり局所的に応力が集中し、微細なひずみが生じ、破壊が進んだあとに、応力が再分配されて再び抵抗力を発揮するような荷重履歴を細かく描く。全体的にはほぼ同等の曲げ-たわみ曲線になっていることがわかる。

図7の曲げ弾性係数と最大曲げ強さの平均では、天然林が最大曲げ強さが大きい。A88は全体的に曲げ弾性係数と最大曲げ強さ低く、A46は曲げ弾性係数が天然林に近い強度である。

以上より、こけら材の曲げ-たわみ曲線は、材の生育環境や樹齢などの諸特性に大きく影響を受けず評価値は大きな差異がないといえるが、天然林のほうが若干曲げ強度が大きくなることや、人工杉は樹齢が高くなるほど曲げ強度が低くなることが確認された。

2.6 こけら材の表面粗さ試験

図8に表面粗さ試験結果を示す。式(1)により求める算術表面粗さ(Ra)は、高感度レーザー変位計(測定分解能 $1\mu\text{m}$ 、許容分解能 $10\mu\text{m}$)をセンサー部とした粗さ測定器を用い、こけら材に対し、年輪垂直方向面の凹凸波形を3箇所測定し、うねり成分を取り除いた粗さ曲線 $f(x)$ における振幅の絶対値の総和を式(1)より算術表面粗さ(Ra)として算定した。その結果、天然林 N169 の平均 Ra は $185\mu\text{m}$ 、人工林 A46 は平均 $66\mu\text{m}$ 程度であった。各材ごとのうねりと粗さのばらつきは大きい、天然杉の単位長さ波長数ならびに振幅は大きく、溝が深く均等な断面構成をしていることが確認された。逆に人工林は溝の深さが均等ではないことがわかった。そのことから、天然林は粗さが大きいので、流下速度試験では粗さによって大きく結果が変わるのではないかとはいえる。

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| dx \quad \cdots \text{式(1)}$$

ここに $Ra(\mu\text{m})$: 算術平均粗さ、 $L(\mu\text{m})$: 測定長さ

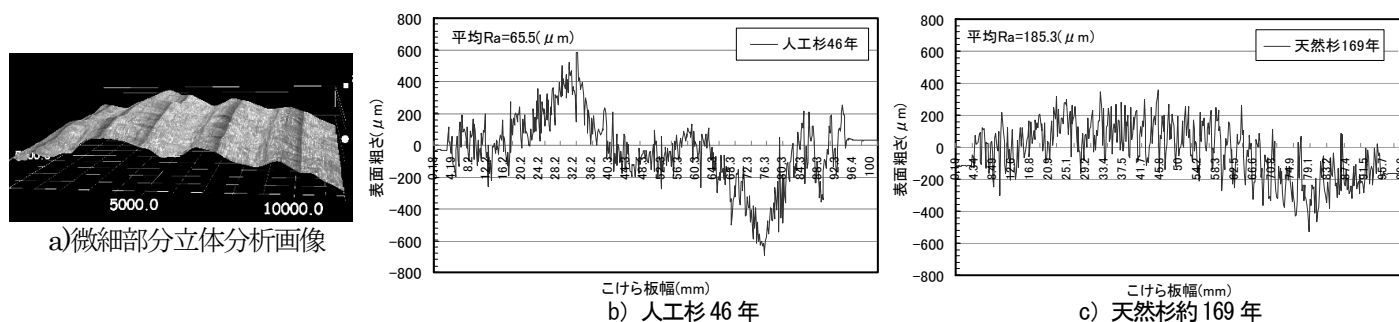
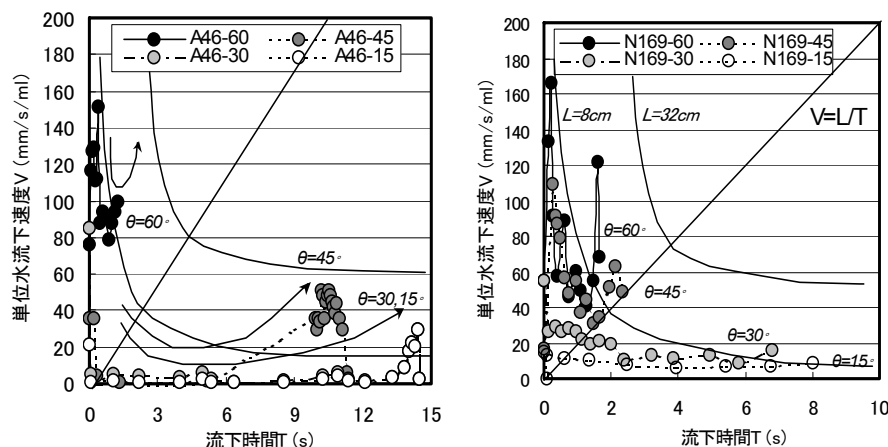
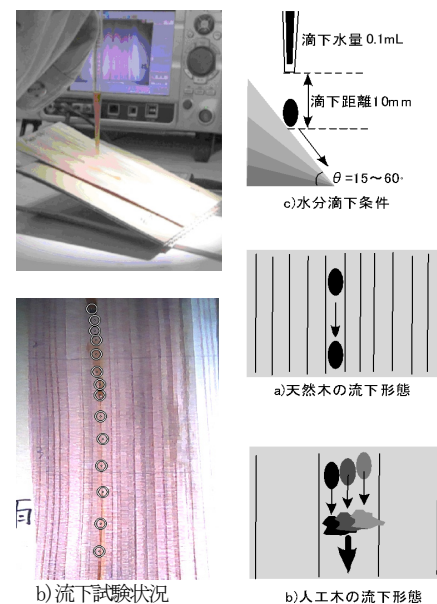


図8 こけら材の表面粗さ試験結果



a) 雨水の流下速度 (左: (人工杉 樹齢46年、右: 天然杉 樹齢169年)

図9 こけら材の雨水流下速度試験結果



2.7 こけら材の雨水流下試験

図9にこけら材の雨水流下速度試験結果を示す。この実験では、傾斜角度を4段階の15度、30度、45度、60度の雨水流下試験器を作製し、やや大きめの雨を想定してピペットで0.1mlの水粒を設置面10mm上位より落下、雨水流下状態を高速度カメラ(分解能24000コマ/秒対応 Keyence VW6000)で測定し、速度、加速度を解析した。結果、天然杉a)では、角度によらず、雨水の落下直後に速度・加速度が最大となり、その後、徐々に緩やかになる。人工杉b)では、所定の雨量では流下せず、2～4倍の雨水が落下し、年輪幅が覆われた時点で団粒状に流下したため、流下速度に大きな違いがあることが確認された。このことから、流下速度は年輪幅が小さいほうが速いと考え、天然林のほうが年輪幅が詰まっていることから流下速度が速い。しかし、年輪幅は木材のため変えることができない。つまり、人工材で天然林の流下速度に近づけるためには、雨水を接触界面で滑らかに流下させる工夫等が必要となる。

3. まとめと今後の予定

今回の試験では、以下のことが明らかになった。

- 1) 天然木のほうが年輪数が多く、年輪が詰まっている。

- 2) 天然杉は材質のばらつきが人工杉よりも少ない傾向にある。
- 3) 人工杉は樹齢が大きくなると強度が低くなる場合がある。
- 4) 曲げ強度は天然林のほうが大きくなる傾向にあるが、人工林との大きな差はない。
- 5) 天然林のほうが人工林よりも算術表面粗さが大きく、溝が深く均等な断面構成をしている。
- 6) 年輪幅が覆われた時点で団粒状に流下したため、年輪幅が小さいほうが流下速度が速いことがわかる。
- 7) 以後は、地域性の影響がみるため、採取済の宮崎産材で検討し、両者の耐久性試験を進め、地域性や樹齢の影響を見る。

参考文献

- 1) 塩野米松：手業に学べ 月の巻 2000年

謝辞

こけら材の採取・製缶に関して、木匠清信伝承技法一級技能士の雲雀佐太雄氏、宮崎県木材利用技術センター有馬孝禮所長および関係各位に、有限会社熊谷産業熊谷秋雄氏、磯和亮治氏をはじめ関係各位に謝意を表します。本研究の一部は、文部省科学研究費基盤研究(A)(文化財建造物の保存に必要な木材及び植物性資源の安定確保の基礎的要件に関する研究：代表山本博一)平成21年度工学院大学総合研究所研究費(伝統的建造物の維持保全に資する資材改質技法の開発：代表田村雅紀)による。

- *1 工学院大学工学部建築学科・学部4年
- *2 工学院大学工学部建築都市デザイン学科准教授・博士(工学)
- *3 工学院大学工学部建築都市デザイン学科教授・博士(工学)
- *4 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授・博士(農学)