

屋根葺き植物資材オギススキの炭素固定量と収穫性ならびに施工条件の検討

Da20265 野原大陽

1. はじめに

日本の伝統建築としてし植物材料であるススキ・ヨシを利用して建てられた茅葺き建築は、建築の維持管理をする後継者不足や良質な材料の不足に悩まされている。茅葺き屋根の寿命は 10 年から 30 年とされており、定期的な交換などが必須となっている。しかし葺き替えには高額のコストなどが掛かり手間もかかってくる。また、日本の茅葺き屋根は人手不足や職人の後継者不足などにより数の減少が著しく見える。そこで、刈り取りの手間などを減少させかつ環境問題に貢献していける茅建材が必要であり、その候補としてオギススキが使用可能か検証する。

研究の第一段としては、オギススキの育成量や質量などを計測し二酸化炭素固定量を調べる。社会貢献性をまちづくりの観点から評価する。第 2 段としては降雨対策に関わる物性試験を行い、実際に茅葺き屋根の建材としての実用性を検証し、その劣化度や吸水性に対する保全状況を評価する。

2. 研究概要

2.1 オギススキの生育環境に関する現地調査（研究 1）

2.1.1 土地環境全体の調査

宮城県のオギススキの生育環境について、土壌や周りの植物生育環境に関する調査を行う。続いて、オギススキの 1 m²あたりの、本数、質量、根の質量、密度、二酸化炭素固定量に関する調査を行う。また、既往建材であるヨシと刈り取りについて比較を行い、収穫の所要時間や必要人数など今後の実用化に向けた建材利用に至るまでの労務負担を数値化する。

2.1.2 オギススキの環境貢献性

表 3 より、平均長さは 3m となっており、ヨシなどと比較して大きさものである。一束当たりでは 20 本程度で、25 本以上の個体も存在した。上記の情報を光合成の化学式にセルロースとして入力する。

$$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 \downarrow \cdots \text{式(1)}$$

質量計算すると、セルロースの 0.63 倍が CO₂ 量であることがわかる。写真 1 から見て取れるように、根が 5.35 kg、オギススキが 80g×20 本で 1.6 kg 合わせて 6.95 kg になる。よって、CO₂ の固定量は株あたり 6.95 kg×0.63=4.4(kg-CO₂)/株となる。1ha 当たりの CO₂ 固定量の比較をすると 1 m²あたりの CO₂ 量が 4.4 kg-CO₂/m²なので 101×101×4.4=44884 kg-CO₂/ha となる。一年あたりでは根を除くと 10282 kg-CO₂≒10.3t-CO₂/ha であり、これは適切に手入れされているスギの 36-40 年生の人工林が 302t-CO₂/ha であることから(林野庁)²⁾、一年当あたり 8.8t-CO₂/ha となり、非常に CO₂ 吸収率は高いといえる。

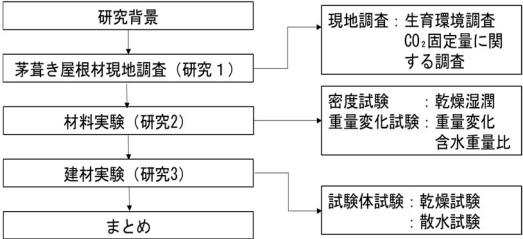


図 1 研究フロー

表 1 使用材料

材料	長さ	産地
ヨシ	3260.0	宮城県石巻市 (冬季刈り取り)
オギススキ	3300.0	宮城県石巻市 (2023 年 3 月刈り取り)

表 2 実験要因と水準

項目	要因	水準
研究 1 生育調査	材の育成特性	刈り取り（宮城県石巻市）、調査日付（1 月） オギススキ株単位本数、刈り取り年（年）、 平均長さ（mm）、節数（本）、平均質量（g）
	刈り取り機の種類	排気量（cc）、使用燃料種
	刈り取り機の運用時間	使用時間（min）、移動距離（m）、燃料消費量（L）
研究 2 材料吸水 実験	材と長さ	ヨシ、オギススキ（100mm 一定）
	温度	17.0℃
	水分	乾燥/湿潤
	吸水時間	水中 6 時間
研究 3 建材降雨 残留率実験	材と長さ	ヨシ、オギススキ（300 mm 一定）
	温度	17.0℃
	面勾配	0°、45°
	水分	自然乾燥
	散水量	5ml/秒
研究 3 建材乾 実験	材と長さ	ヨシ、オギススキ 150 mm（一定）
	温度	17.0℃、60℃
	水分	自然乾燥
	散水量	霧吹きで約 1 秒間

表 3 材の刈り取り後寸法

項目	数量
オギススキの長さ（mm）	3300（mm）
オギススキの平均重さ（g）	84（g）
オギススキの平均節数	10
1 年目ヨシの長さ（mm）	3260（mm）
1 年目ヨシの重さ（g）	37.7（g）



a) オギススキ b) ヨシ c) オギススキ根

写真 1 宮城県調査地区のオギススキとヨシの生育状況

2.2 オギススキの材使用量と茅密度（研究2）

2.2.1 オギススキの材使用量

図4に、この試験で茅量を測定し実際に屋根に葺くときの使用量、密度を測定した。実際の茅葺屋根と可能な限り近い状態とするため現地職人に対してヒアリングを行い、茅量測定箱を設計した。茅葺き屋根表面勾配は、地面に対し45°が一般的であることから、屋根面の勾配はすべて45°、幅は600mm、各層の厚みは最低100mm、奥行きに関しては材の長さに合わせるために800mm、面から450mmの場所で茅を押さえつける形とした(写真3)。台が完成した後に茅を差し込むが、この時に可能な限り茅を押し詰めて、実際に屋根に葺く際の縛り付けの役割とした。オギススキを試験体の1段目に可能な限りつめた状態で重量を計測しヨシとの比較とした。全体的にオギススキのほうが重量は重たいものとなっていた。これはオギススキの特性でもある節の多さや、太さなどからくる重量であるといえる。

2.2.2 オギススキの材密度

写真4より、茅密度の試験はひとつの試験体一段におき3か所、計9か所の測定を行った。その中で100cmあたりの材の本数を数えた。そこから密度を求めたものを図5に示した。これは、中層部分の比較的細い材料を使用したため、細く、まっすぐ芯のあるオギススキのほうが多い本数積むことができたのではないかと推測できる。

2.3 乾燥湿潤状態の密度試験

写真5より、オギススキの根元部分と中間部の二か所に加えヨシを使用して乾燥状態での密度を求めた。試験体は100mmに切断したオギススキの根元部分と中間部分の2箇所から摘出したものを試験体とし、長さ、茎の直径、重さを測定して密度を算出した。重量に関しては乾燥状態のものは冬季刈り取りのものを自然乾燥させたものであり、湿潤状態のものは冬季刈り取りの乾燥状態のものを6時間水に浸し十分に水を含ませたものである。表4に乾燥湿潤状態の密度試験結果を、図7に乾燥湿潤状態の密度差を示す。密度に関しては乾燥状態においてヨシが圧倒的に低かったのに対し、湿潤状態では2番目の密度となっており、最も密度変化が大きいといえる。重量に関してはヨシは2倍になっているのに対しオギススキは1.5倍程度であった。外見はオギススキ、ヨシともに円柱形の形をしており、内部に海綿組織のようなものがあるか否かで今回の実験においては大きな差となった。オギススキは海綿組織を有していることから密度変化が大きいと考えられていたが、実際は空中であるヨシのほうが水分によって大きな密度変化となった。総じて最も密度が高かったのはオギススキの根元部分であり、十分な耐久性を保つ条件となる。

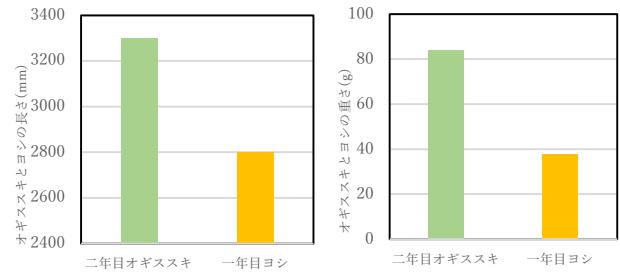


図2 オギススキとヨシの基本寸法

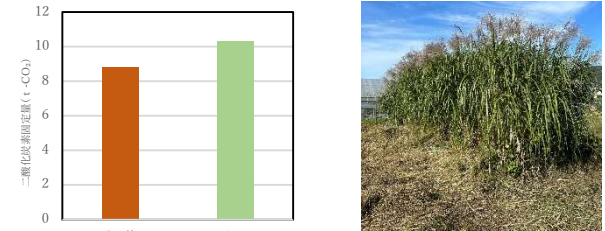


図3 二酸化炭素固定量比較 写真2 オギススキ生育場

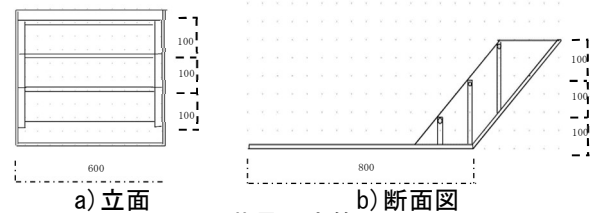


図4 茅量測定箱図面



写真3 模擬屋根茅葺き試験体

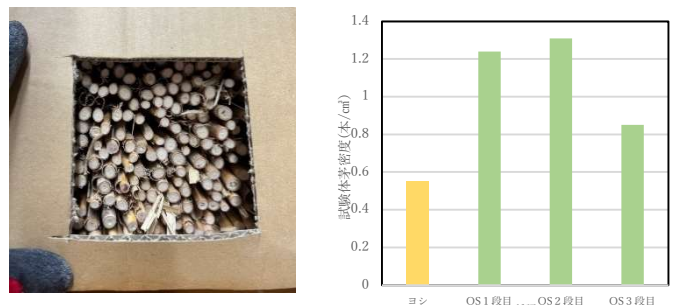


写真4 試験体茅密度測定

図5 試験体茅密度



写真5 密度・吸水試験体

2.4 オギススキ吸水試験

図 7 は、根元部分と中間部分の 2 箇所から摘出したオギススキとヨシ 100mm を試験体として 2.3 の試験体と同様に 6 時間水につけた短期吸収の特性についての試験結果である。開始 1 時間後の計測段階で平均 1 g 以上の重量増加がみられた。根元部分のオギススキ 2 時間目以降は 0.1 g 前後での変動となった。その他の 2 種類は 2 時間目まで 0.1 g 以上の変化が見られたが以降は根元部分のオギススキと同様の結果となった。植物材料屋根は吸湿性に優れており、また各試験体において最初の 1 時間にて吸収率が最も高くその後減少する。ヨシに比べオギススキの方が、質量当たりの吸水量が小さく、ヨシよりも吸水により劣化しにくい可能性がある。

2.5 オギススキ建築屋根材の降雨・乾燥性状

2.5.1 水平面における散水試験と結果

図 6 は、実際の茅葺屋根の施工を想定した水平散水試験である。試験体は長さ 350 mm 幅 250 mm 厚さ 100 mm として散水範囲は試験体の表面部分を対象として散水後、水が試験体を通ずるまでの時間と試験体が蓄えた水量を測定した (写真 6)。散水方法は持続的に散水することができる霧吹きで 150 mm から散水し開始 4 分までは 1 分ごと 13ml を噴霧し 4 分 30 秒と 5 分においては短いスパンで 13ml を同様に噴霧し最後 5 分 30 秒時点で 9 回目の噴霧として 25ml の噴霧をし、計 116ml の噴霧とした。オギススキの根元部分は 5 回目噴霧後にて落水が始まり以降は急激な落水となった。オギススキの中間部分に関して根元部分と比較して 4 回目の噴霧後落水したことから最大吸水量は低いことがわかった。したがって吸水限界を超えると急激な落水になることが判明した。これはオギススキの海綿組織の面積が根元部分の大きいことが影響だと推測できる。また、各部位のオギススキを比較すると根元部分の落水が急速に生じて持続したことである。限界値を超えてからは多くの落水が観測でき、水を排出しやすいといえる。

2.5.2 斜面における散水試験と結果

図 10 は、試験体規格は水平面と同様だが、今回は材の端を 45 度の面角度とし、散水範囲は試験体の斜面部分を対象として散水した試験の結果である。散水方法は上記同様で 30 秒ごと 13ml の噴霧で計 180 秒、91ml の噴霧とした。結果はオギススキの根元部分で 2 回目の散水後落水が始まり、その後緩やかな落水が継続した。オギススキ中間部分は根元部分と同様に 2 回目の噴霧後に落水が始まり、根本部分と比較すると落水量は増加している。一方、ヨシ 5 回目の噴霧まで落水はなく以降も少量の落水となり、ヨシは中が空のため内部に水分を蓄えやすく腐食しやすいと推測できる。

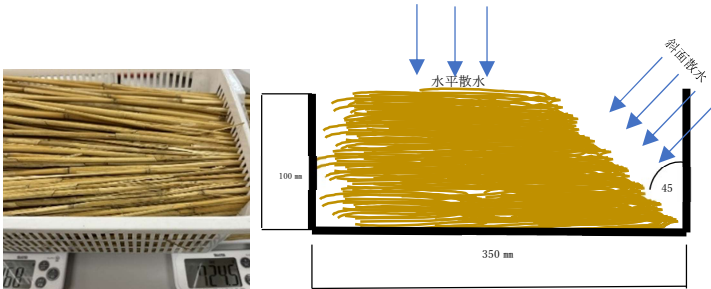


写真 6 水平噴霧試験体

図 6 斜面噴霧試験体



a) 試験体



b) 恒温槽 (60℃)

写真 6 乾燥試験体と恒温槽

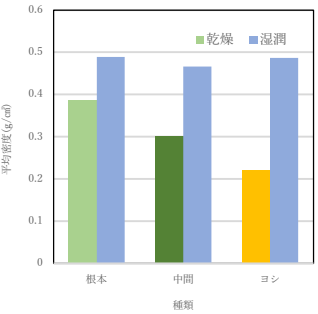


図 7 乾燥湿潤状態の密度差

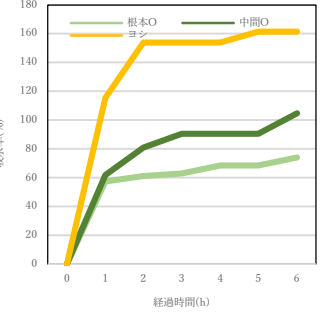
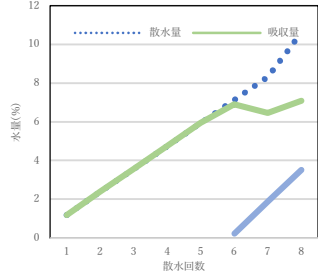
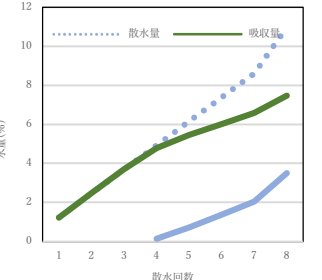


図 8 吸水率変化

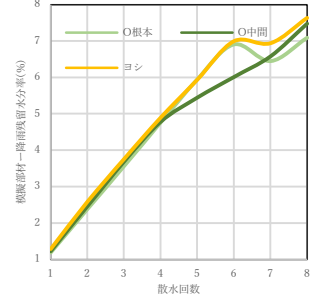


a) オギススキ根元部分

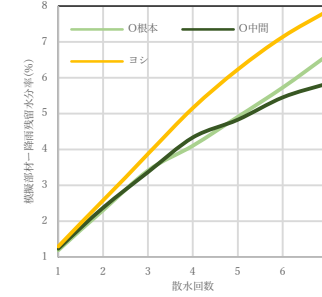


b) オギススキ中間部分

図 9 平面散水試験



a) 平面散水



b) 斜面散水

図 10 模擬部材降雨残留率試験

2.6 重量変化に伴う含水重量比と乾燥時間(研究 3)

写真 6 は、直径約 100 mm、長さ約 150 mm のモデル茅束に 45 度の傾斜を付けた試験体をオギススキの各部位 2 体計 4 体の試験体を作成した様子である。水を約 1 秒間茅束の傾斜部分に散水し、温度 17 度の部屋で平衡状態になるまで約 80 時間自然乾燥させながら 1 時間毎に重量測定し、温度 60 度に設定した恒温槽で約 24 時間強制乾燥をしながら最初の 3 時間は 30 分ごと計測を継続して行った。

図 11 に時間経過に伴う重量変化を示す。根元部分と中間部分とはともに試験開始後の数時間で重量が大きく減少し、徐々に初期重量近くまで重量が減少し 48 時間後には平衡状態になり始めた。温度 60 度の恒温槽に入れて測定した場合においても同様の変化が見られ、絶乾状態に近い重量となった。この結果をもとに対数時間を取り線形回帰を行った。図 12 のように、各々の重量変化による含水重量比を求めた。含水率の減少に関してオギススキ根元部分のほうが高いことが判明した。含水重量比は散水後の重量を 100% としたときの乾燥に伴う重量変化であり、その傾き式は式(1)でしめされる水分逸散速度計数 V_t となり、 V_t が大きければ大きいほど水分の逸散速いということになる。17℃より 60℃の場合の V_t が大きく根元部分と中間部分の固有の係数を導くことができた。また、式(2)より茅葺屋根が散水後に乾燥していく乾燥重量 M_1 が材に固有の V_t を用いることで簡単に求めることができ茅葺屋根の耐久性評価に関する指数とすることができる。

$$V_t = M/T \quad \dots \text{式(1)}$$

$$M_1 = M_0(100 - V_t T)/100 \quad \dots \text{式(2)}$$

V_t : 水分逸散速度 M : 重量含水比(%) T : 対数時間(t)

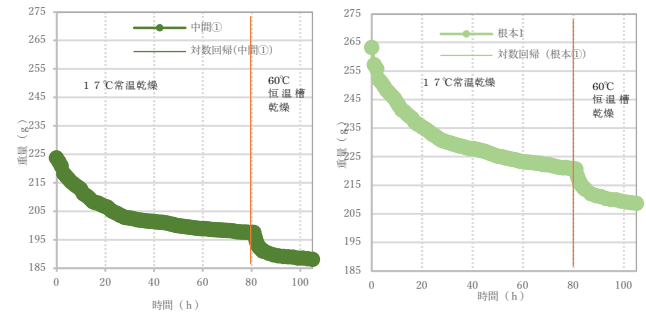
M_0 : 散水後重量(kg) M_1 : 乾燥後重量(kg)

3. まとめ

- (1)オギススキは環境貢献性が高く収穫高効率化が可能な環境貢献度の高い建材であり今後の人手不足問題に対し有効である。
- (2)オギススキは吸水量がヨシと比較して少ないため、耐久性に関して優位であり、建物に使用した際の長寿命化という面で期待できる。
- (3)オギススキの根元部位は散水試験開始直後からの重量変化が中間部分より大きく、早い段階で初期重量に近い乾燥状態で平衡状態となる。
- (4)水分逸散速度係数が高ければ高いほど乾燥時間が短く、 V_t を用いた式を利用すると降雨後の時間経過に伴う重量変化を安易に求めることができる。

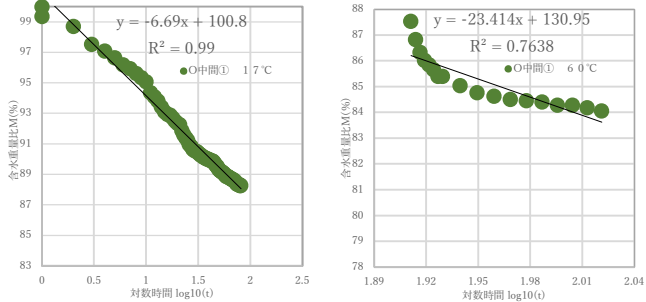
謝辞

本研究は、2023 年度工学院大学と熊谷産業との共同研究であり、実験にご協力いただいた。

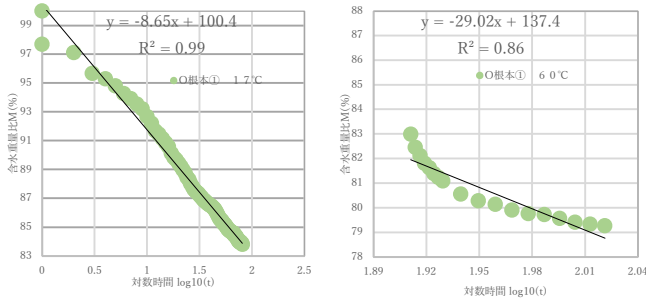


a) 中間部分 b) 根元部分

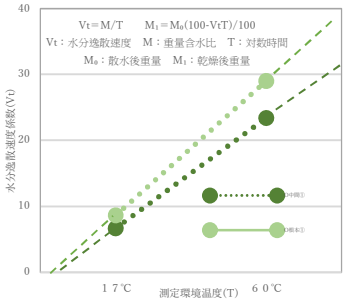
図 11 時間経過に伴う重量変化



a) 中間部分の含水重量比(左 17℃, 60℃)



b) 根本部分の含水重量比(左 17℃, 60℃)



c) 水分逸散速度係数

図 12 オギススキの含水重量比と水分逸散速度係数

参考文献

- 1) 石塚裕実ほか、茅勾配を変化させた伝統的茅葺屋根の内部温湿度分布と乾燥状態の変化 日本建築学会関東支部, 2010
- 2) 林野庁 地球温暖化防止にむけて https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/
- 3) 野原太陽ほか、屋根葺き植物資材オギススキの炭素固定量と収穫性ならびに施工条件の検討 日本建築学会関東支部, 2023