

研究助成実施報告書

助成実施年度	2022 年度
研究課題（タイトル）	ヨシを原材料としたストランドボードの開発ーヨシの特性がボード性能に与える影響の検証およびボード性能の高度化
研究者名※	永井 拓生
所属組織※	滋賀県立大学 環境科学部環境建築デザイン学科 講師
研究種別	研究助成
研究分野	建築技術
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

（ ）は、報告書提出時所属先。

大林財団 2022 年度研究助成実施報告書

所属機関名 滋賀県立大学環境科学研究所
 申請者氏名 永井拓生

研究課題	ヨシを原材料としたストランドボードの開発ーヨシの特性がボード性能に与える影響の検証およびボード性能の高度化
(概要) ※最大 10 行まで ヨシは基本的には人の手を要することなく生長するため、ヨシ原の定期的な管理作業を行うことで半永久的に調達可能な持続可能素材である。加えて引張強度が高く、木質系構造用材料の原材料として実用性がある。そこで、ヨシの活用法の 1 つとして、ヨシを原材料とした構造用ストランドボードの開発を目的とし、力学的性能に影響する因子を網羅的に把握するための各種の実験・調査を行った。まず、原材料であるヨシの力学的特性については、ヨシの稈形状と稈高さ・根際稈直径の間に明確な相関が確認でき、稈高さ・根際稈直径が得られればヨシ稈の各高さの稈直径・稈壁厚を推定することが可能である。次に、ヨシと接着剤との接着強度は決して低いわけではなく、じゅうぶんに接着剤を塗布することができればヨシの材料強度をじゅうぶんに活かせること、および接着材の付着量を大きくすれば接着強度は確実に増大することを確認した。また、カップリング剤による接着強度への影響については顕著な傾向は確認できなかった。	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
ヨシは湖や河川岸に生息する多年生のイネ科の植物で、国内外の多くの地域に植生・分布している。例えば、滋賀県近江八幡市の「西の湖」はかつてヨシの一大産地であり、周辺地域ではヨシを使った様々な産業が営まれていたものの、現在はヨシ需要の減少・ヨシ産業の衰退とともに湖岸のヨシ地も管理不全の状態となりつつある。したがって、ヨシの継続的な有効活用の方法を確立することは、ヨシ地を背景とした地域固有の文化や湖岸の環境・生態系の保全、さらには当地域の観光資源の再生という点からも大変重要な課題と言え、また、SDGs の観点からも重要な意義を持つと考える。 同地域のヨシは 1 年で最大高さ 4 m 前後に成長し、根際付近の茎の太さは 10 mm 前後となる。引張強度の平均値は杉や竹と同程度 (約 100 N/mm²) で、古くからヨシ葺き屋根にも使われるように、優れた耐久性・耐水性も持つと考えられる。したがって、ヨシは構造材料としてじゅうぶんに実用的な性質を持っていると言えるが、自然素材ゆえに形状や寸法のばらつきも大きく、工学的な利用の対象とされてこなかった。そこで、応募者らはヨシの高い引張強度等の特性を活かし、なおかつ様々な用途に使いやすい利用法として、ヨシ製ストランドボードの提案・試作を行い、実用性を検証してきた。本研究はそれらの継続研究であり、ヨシ製ストランドボードの実用化に向け、原材料であるヨシおよびボードの各種の特性について詳細な実証実験を行うことを目的とする。本助成期間においては、特に以下の項目について研究を行った。	

- (1) 原材料であるヨシの力学的・物理的性質
- (2) ヨシと接着剤の接着性
- (3) 接着剤・カップリング剤の調合パラメータがボード性能に与える影響

2. 研究の経過

(注) 必要なページ数をご使用ください。

(1) 原材料であるヨシの力学的特性

ヨシの構造材料等への利用を目的とし、近江八幡市の西の湖周囲に自生する草丈 3.5 m 前後のヨシについて、稈形状および曲げに対する力学的特性を調査した。

研究対象としたヨシの草丈と節数には強い相関があり、節の配置には幾何学的な相似性が確認できた。稈直径は根際から穂先に向かって凸状に緩やかに減少し、稈壁厚は凹状に急速に小さくなる。一方、節間長は中腹で最大となり、根際と穂先直下では小さくなる。

比重・曲げ強度・曲げヤング係数のいずれも中腹で最大となり、根際と穂先直下では小さくなる。また、これらの特性値には互いに強い正の相関が見られ、木材と同様の傾向が確認できた。なお、含水率は試料の大半が 10 %未満で、平衡含水率に近い状態であったと考えられる。

稈形状と材質の間には構造力学的な合理性が見出された。すなわち、曲げ強度・曲げヤング係数が比較的小さい箇所（根際および穂先）では断面寸法を大きくし、節間長を小さくするという幾何学的な補強が行われている。一方、曲げ強度・曲げヤング係数が大きな箇所（胸高さあたり）においては節間長が大きくなっており、効率的な材料配分が行われていることが確認できた。

また、連続的に分布したヨシ原においても、採取地点によってヨシの草丈、直径の平均値には大きな変動があり、草丈の小さなエリアでは 2500mm、大きなエリアでは 4000mm であった。一方、曲げ強度については草丈ほどに明確な採取地点による違いは観察されなかった。

なお、本項目の成果の一部は「3. 研究成果」の[2]に詳細に示している。

(2) ヨシと接着剤の接着性

ヨシの接着性に関係する物性、および各種の接着剤に対し熱圧時間および放置時間が硬化反応の安定性に及ぼす影響を把握し、ヨシとの接着性を評価しボード材料としての性質を把握する。

・実験項目

A. ヨシのケイ素含有率把握およびシリカ由来の水酸基の存在の確認

ヨシ表面のケイ素の質量含有率、ヨシ表面のシリカ由来の水酸基存在を確認し、シランカップリング剤を用いる仮説を構築する。

B. 熱圧縮および放置の時間が接着剤の硬化反応の安定性に及ぼす影響

各調合の接着剤について、熱圧時間と経過時間時間が反応の安定性に及ぼす影響を把握する。

C. ヨシの部位、表裏面、接着剤の種類が破壊性状および引張強度に及ぼす影響

ヨシの部位、表裏面の引張り接着強さを測定し、破壊性状と応力の関係および力学特性の差を把握する。

・結果

ボードの品質向上に向けた接着剤の改良の効果を検証するためには、まず適切な接着剤の硬化条件を把握する必要がある。接着剤の加熱時間および放置時間の影響を調べた。まず、検討する

3 種類のシランカップリング剤のうち、アミノ系のものは pMDI（水性高分子-イソシアネート系木材接着剤：ポリメチレンポリフェニルポリイソシアネート）と混合するとダマになってしまうため、実用性が無いことが分かった。

透過法での試験では 1 分間加熱した各調合の接着剤の初期段階の IR スペクトルを測定し比較した。本試験ではヨシの存在はないが、いずれの接着剤も 15 時間後には安定していることが分かった。また、水分が加わると硬化が早まることが確認できた。

全反射測定法での試験では、ヨシに接着剤を塗布し熱圧することで、ヨシの表面の水酸基とヨシの水分を反応に導入した。1 分と 6 分間の 2 水準で熱圧した試験体の経時変化を測定し、1 分間の熱圧時間で 7 日経ったものであれば硬化反応は安定していることが示された。

接着剤の調合の効果を検証し、ボードの性能因子と性能水準を選定するために接着引張試験を行った。しかし、観測対象ではない破壊層が多発したこと、pMDI とヨシの界面破壊が現れる調合に関して一貫した傾向がなかったことから、調合の効果を確かめることができなかった。

ヨシの材料破壊はどの調合でも多く表れ、次にヨシと pMDI の界面破壊、最後に pMDI の凝集破壊がわずかに存在した。どの調合であつてもじゅうぶんに接着剤が付着している場合、ヨシの材料破壊が主な破壊層となることが分かり、接着剤の改良がなくても接着剤の噴霧量でボードの性能を向上させられる可能性が示された。また、pMDI の凝集破壊はごく僅かしか発生しなかった。加えて、ヨシ稈の上中下部位のストランドでの引張り接着試験では、部位ごとの差はほぼなく、使い分けが必要ないことが分かった。

ヨシの材料破壊が 9 割以上であつた試験体の引張接着強さを通して、ヨシの材料破壊の平均値は 1.76N/mm^2 、標準偏差 0.44N/mm^2 より、 1.32N/mm^2 付近で材料破壊が起きることが分かった。これらは JIS や JAS に規定される一般的なボードの剥離強さの基準に対し、じゅうぶん大きな値である。

（３）接着剤・カップリング剤の調合パラメータがボード性能に与える影響

前項目の調査により、選定した接着剤・接着方法によってヨシの材料破壊が実現可能なことが分かった。そこで、実際にストランドボードの試験体を製作し、複数パターンの接着剤配合と付着量をパラメータとし、剥離、吸水膨張、曲げ、湿潤時曲げ試験の各種のボード性能との関係を調査した。

・試験項目

剥離強さ試験、吸水厚さ膨張率試験、曲げ強さ試験、湿潤時曲げ強さ試験

・結果

まず、接着剤付着率について全体の傾向を述べる。剥離試験に関しては、界面破壊と剥離強度に負の相関があり、界面破壊が多いほど強度が低下することが分かった。接着剤付着率が増えるにつれ接着強さは上昇し、6 %以上で頭打ちとなることが分かった。

吸水試験に関しては、付着率 6 %で吸水量が横ばいになり、付着率 6.5 %で吸水膨張率も横這いになった。

曲げ試験では接着剤付着率 6 %まで曲げ強度は上昇し、その後は横這いとなった。曲げヤング係数は接着剤付着率に依存せず横這いであつた。湿潤時曲げ試験では、接着剤付着率が高いほど、曲げ強さ、ヤング率は上昇した。

次に調合の差について述べる。平準状態のものに関しては、接着剤がじゅうぶんに付着していないと考えられる付着率で調合差が確認できた。JIS A 5908 パーティクルボードの性能基準に照らし合わせた結果、すべての性能項目において SCA（シランカップリング剤）が効果を発揮しているのが確認できた。特に pMDI+エポキシ SCA 3 %および pMDI+イソシアネート系 SCA 5 %で製作した試験体が優れた結果を示した。

平準時と湿潤時の曲げ試験結果を比較すると、pMDI+エポキシ SCA 3 %および pMDI+イソシアネート系 SCA 5 %の調合で製作した試験体が、接着剤付着率の高い領域で平準時と近い強度を保った。特に pMDI+エポキシ SCA 3 %は平準時と強度面では遜色なく、優れた耐水性を保有することが分かった。

JIS 基準との比較については、吸水膨張率に関して特に課題が残るが、用途と共に調合や接着剤の量を操作することで、課題は解決できると考えられる。耐水性が必要と想定される用途の場合は pMDI+エポキシ系 SCA 3 %の調合のものを多く使用するのが耐久性の面で勧められる。

なお、（２）・（３）項目の成果の一部は「３．研究成果」の[5]に詳細に示している。

※ 本研究は山田宮土理氏（早稲田大学准教授）、長田剛和氏（エスウッド）、中川純氏（東京都市大学准教授）との共同研究として行ったものである。

３．研究の成果

（注）必要なページ数をご使用ください。

■査読論文

- [1] 永井拓生, 長田剛和：ヨシを原材料とするストランドボードの開発 その１：ストランドボードの製造パラメータと面外曲げ性能の関係の検証, 日本建築学会技術報告集, vol. 29, no. 72, pp. 737-740, 2023. 6. <https://doi.org/10.3130/aijt.29.737>
- [2] 永井拓生：ヨシ（*Phragmites australis*）の稈形状および曲げに対する力学的特性, 木材学会誌, vol. 69, no. 2, 日本木材学会, pp. 66-78, 2023. 4. <https://doi.org/10.2488/jwrs.69.66>

■総説・解説記事

- [3] 永井拓生：素材や工法をより活かすジオメトリーやディテールの探求, 特集「We are Structural Engineers」, GA JAPAN 185, エーディーエーエディタトーキョー, pp. 36-43, 2023. 10.

■学会発表

- [4] 野村涼ロバート, 山田宮土理, 永井拓生：茅材の建築への活用に関する研究-事例調査に基づく近年の活用方法の実態把握-, 日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集, 材料施工, pp. 643-644, 2023. 9.
- [5] 野村涼ロバート, 輿石直幸, 山田宮土理, 永井拓生, 長田剛和：ヨシを原材料とするストランドボードの開発 接着剤の量およびシランカップリング剤の添加が性能に及ぼす影響, 日本建築学会大会（関東）, 2024. 9.（発表決定）

■産業技術見本市・展覧会出展等

- [6] 永井拓生, 他：ヨシ製ストランドボード出展, 大津市, 2024.3.18-3.24.
- [7] 永井拓生, 他：ヨシ製ストランドボード出展, 第３回 たまゆらフェスタ UNIFORM EXPO 2023, グランキューブ大阪 12 階, 2023.9.8-9.9.

[8] 永井拓生, 他: ヨシ製ストランドボード出展, Tokyo Creative Salon, コレド室町, 東京都中央区, 2023. 3. 17 ~ 3. 31.

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

・原材料であるヨシの力学的特性について

本研究で調査対象とした西の湖周囲の他の植生エリアや草丈の異なるヨシについても同様の調査を行い、同地域のヨシを活用するための基礎資料の充実化を図り、ヨシ稈の力学的特性値の統計的な定式化を行いたい。また、本研究はヨシ稈の物性として特に力学的特性に着目したが、今後はヨシの活用の可能性を拡大すべく、その他の特性についても調査対象を広げたいと考える。

・接着性および接着材の調合方法について

本研究で用いた接着剤とヨシの接着強度は良好であり、接着剤がヨシの表面にじゅうぶんに塗布されれば、接着強度はヨシの材料破壊によって決定されると言える。これは、これまでにヨシや竹といったワックス成分で覆われた材料は接着性が低いと言われてきたことが定性的な議論にとどまっており、定量的に確認されてこなかったことを示す結果である。したがって問題はヨシの削片になぜじゅうぶんに接着剤が塗布されないか、という点であり、今後、技術開発を含め取り組んできたい。具体的には、以下の研究を進める予定である。

(1) アルカリ性水溶液による煮沸処理

ヨシを弱アルカリ性の水溶液で煮沸処理し、ストランドボードの接着強度に対する影響を確認する。セルロース繊維の抽出にアルカリ処理を行うことは製紙・繊維業においてはごく一般的であるが、材料の質量欠損を最小限に留めること、および、構造用ボードに必要な原材料の強度を損なうことなく接着性を向上させる方法を検討する必要がある。

(2) ヨシと木材の混合ストランドボードの開発

ヨシ同士の接着性に難があるとすれば、他材料との混合によりその欠点を補える可能性がある。ヨシは強度に優れる反面、採取地・資源量ともに木材と比べれば稀少であり、ヨシと木材を混合することで、ヨシの強度を活かしつつ接着性能を向上させる配合・配向き方法を検討する。