

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：21301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23611028

研究課題名(和文) 乾漆を応用した炭素繊維漆コンポジットの制作工程の最適化と構造材料としての強度試験

研究課題名(英文) working

研究代表者

土岐 謙次 (Toki, Kenji)

宮城大学・事業構想学部・助教

研究者番号：20423783

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、漆で造型を行う伝統技術である乾漆に注目した。型を利用する工程のうち特に離型処理において簡便な手法を開発した。また、その構造材料としての強度実験を通して乾漆のもつ構造特性(強度・剛性)を定量的に把握することができた。実証実験としての乾漆による椅子の制作では、CADの導入により工芸的手法に設計の概念を導入することで、これまで職人の経験と勘に頼ってきた乾漆積層技術を規格化・一般化し、作業従事者固有の技術的特性に依存しない安定した乾漆製品を製作するためのガイドラインを制作することで伝統的な工芸技法としての乾漆のイメージを素材の構成技術として捉えなおす機会となった。

研究成果の概要(英文)：Besides being a painting material, natural Japanese lacquer called URUSHI is a form-making material. Its diverse character has been reevaluated in recent years therefore gathering URUSHI and its production are being reopened in Japan. The method called KANSHITSU is a way of making forms by using composite material consisting natural fiber such as hemp for the structure and URUSHI as a resin. This method has same principle as FRP (Fiber-Reinforced Plastic) and Japanese people were hundred of years ahead of their time in the way they worked on KANSHITSU before the invention of FRP in the twentieth century. Also meaning as a recycling natural material is expected. This research reveals the possibility of KANSHITSU being able to substitute FRP by an experiment to test the structural physical properties of KANSHITSU as a natural composite material and also reports the process of designing and fabricating a monocoque-structured chair that is made by the method of traditional KANSHITSU.

研究分野：デザイン学

科研費の分科・細目：プロダクトデザイン

キーワード：漆 デジタルファブリケーション 乾漆 強度試験

1. 研究開始当初の背景

FRPは工業製品に幅広く用いられている造形材料である。各種の型を利用して骨材のガラス繊維に母材となる液状合成樹脂を含浸させて硬化後、脱型して形状を得る成型方法が一般的である。合成樹脂としては一般に、不飽和ポリエステルやエポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂を使用することが多い。これら合成樹脂はいずれも製造の過程で精製プラント等大規模な設備が必要であり、また出来上がったFRPは素材の分離が困難であるため、一般にリサイクルや廃棄処分が難しく環境負荷の高い素材である。さらに将来的に枯渇する蓋然性が高い化石燃料由来であることから、循環型もの作りに対する社会的な機運・期待にそぐわない材料であると言える。

一方、漆を母材とし麻や綿布の天然繊維を骨材とする乾漆は、天平時代以降の技術的断絶があるが主に彫像制作に用いられた伝統的造形技術である。繊維骨材を用いて母材を強化するという点においてFRPより遙かに先駆けて実現された構造的に同じ発想の技法である。市販の食品トレイを象って制作された本研究代表者の乾漆作品「捨てられないかたち」が2010年英国立Victoria & Albert Museumに収蔵されたことにもみられるように乾漆は立体構造として再認識されつつある。漆は酵素ラッカーゼによって空気中の酸素を取り入れ漆の主成分であるウルシオールが重合し長くつながり、さらに酸化重合により網目状に高分子を形成し硬化する天然高分子素材である。このことから塗装用途以外にも木材や陶磁器の接着剤としても利用されてきた。漆はアジア全般に植生する天然木から採取される樹液を精製して得る。接着剤として利用される生漆(きうるし)の場合、適温のもと攪拌し水分を蒸発させるだけであり、精製に大がかりな設備は不要である。樹木としての漆は通常一定範囲に植林された樹木から得られるもので、原料としての漆は計画的・持続的な生産が可能な点において環境負荷の小さい材料であると言える。また漆は化学製品に比べて硬化にやや時間を要すものの、接着力は強力でありまた酸・アルカリにも高耐性の優れた天然樹脂である。

わが国では原材料のほぼ全量を輸入に頼らざるを得ない合成樹脂に対して、主にアジアを中心に植生する漆種のなかでも日本産の漆は品質が高く、高品質の乾漆の国内生産が可能である点において造形産業における積極的な漆の活用拡大は、日本固有の産業育成に寄与するのみならず、漆生産そのものを含めた漆産業の活性化にも大きく影響を与

えると考えられる。

一方で、接着強度や高温硬化(焼き付け)硬化速度の改善、かぶれにくさ、耐候性など、漆の性質改善や伝統技法に関する科学的・学術的研究は様々になされてきたが、現代的素材と漆を組み合わせた新素材開発について実証的な研究はこれまで行われていない。

2. 研究の目的

枯渇が危惧される化石燃料由来品に替わる素材開発において植物原料等の利点があらためて注目される中、塗料であると同時に造形素材でもある天然漆の多様な性質が注目され、全国各地で漆採取・生産が再開されつつある。そこで、本研究「乾漆を応用した炭素繊維漆コンポジットの制作工程の最適化と構造材料としての強度試験」では、天然漆と炭素繊維を用いた効率的な造形手法の開発とその強度試験を行い、漆コンポジットが造形性と強度においてFRPを代替しうる可能性を実証的に示す。

3. 研究の方法

本研究では、漆コンポジットの「制作工程の最適化」、「構造材料としての強度試験」および「漆コンポジットによる名作デザイナーズチェアの複製制作」の三本柱で計画を立案したが、研究を進める過程で、漆コンポジットが構造材料として十分な強度を有することが判明した段階で、名作デザイナーズチェアの複製から「漆コンポジットによる椅子の制作」としてオリジナルデザインの椅子の制作に計画を変更した。実際に着座することにより実用的強度を検証した。

4. 研究成果

(1) 制作工程の最適化

型からの離型処理において、従来の炭水化物系離型材(伝統的には米糊が一般的)に替わるものとしてテフロンシートなどの使用を検討した。主に調理用オープンなどによる食品調理用のテフロンシートが離成型・再利用性の面で好適であることを確認した。主に平面および二次曲面での使用については問題ないが、三次曲面への馴染みが悪く今後の課題となった。

乾漆を構成する際の型からの離型および離型面の品質向上のための工程の最適化を試みた。従来、離型面を平滑で高品質な漆面に整えるために、離型後に表面の修正および数層の漆塗装が必要とされてきたが、本実験により、離型面を鏡面として得ることが可能となった。具体的には、離型面に塩化ビニール製の平滑板を利用することで、薬剤等を予め塗布するというような特段の離型処理が不要であることが明らかになった。これによ

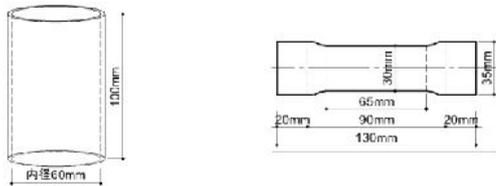
り、鏡面状態の漆塗り表面を得る技術の一般化が期待される。

(2) 構造材料としての強度試験

乾漆試験体の構造実験は、乾漆のもつ構造特性(強度・剛性)を定量的に把握することを目的とする。また、乾漆との比較対象として、カーボンファイバーに漆を含浸させたもの(以下、「カーボン漆」)を乾漆試験体と同形状で作り、同様に実験した。

試験体作成

圧縮試験用試験体は、塩ビ管(外径 60mm)に布状になった繊維(綿またはカーボンファイバー)を巻きつけ漆を含浸させる工程を繰り返し行なうことで内径を統一し層数の違うものを数パターン作成した。脱型した後上下を切り落とし高さを統一した。なお、すべてが手作業で行われるため、試験体の長さ、板厚等には若干のはばらつきが生じた。引張試験用試験体は、平板状に制作したものを(繊維に漆を含浸させる工程は圧縮試験体と同様)を JIS 規格による「金属材料引張試験片」のうち 4 号試験片を参考とし決定した形状にレーザーカッターにて切りぬいた。



圧縮試験

圧縮試験は、乾漆、カーボン漆とも 4 層、8 層の 2 種類を各 5 体ずつ行った。以下に代表的なものを抜粋した結果を示す。

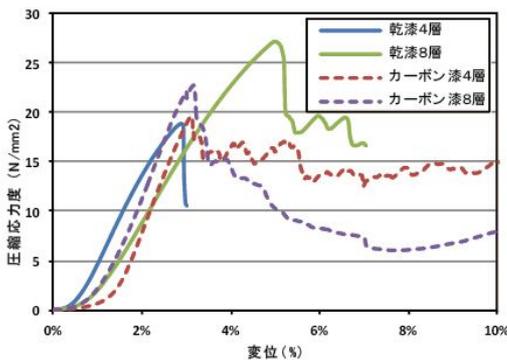
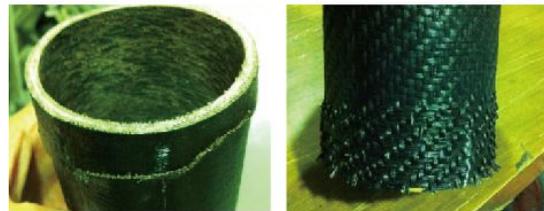


表.1 圧縮試験結果

試験体種類	最大圧縮力 (N)	最大圧縮力時変位 (mm)	試験体断面積 (mm ²)	最大圧縮応力度 (N/mm ²)	平均剛性 (N/mm ²)
乾漆 4 層	6157	2.87	327	18.83	846
乾漆 8 層	18450	4.96	677	27.26	734
カーボン漆 4 層	6350	3.06	325	19.55	1186
カーボン漆 8 層	13870	3.17	612	22.68	1093

圧縮力に対し剛性、強度ともに大きな差が見られなかったのは共通で用いている漆がより影響しており、繊維による影響は大きくないと考えられる。また、最大圧縮力を越えたのち、乾漆については変位が伸びず縦系(加力方向)が切れるような状態で面が破綻するが、カーボン漆については局部座屈を順に起こしながら変形が大きくなり、縦系の破綻が部分的に見られるものの、面としては破綻していない。

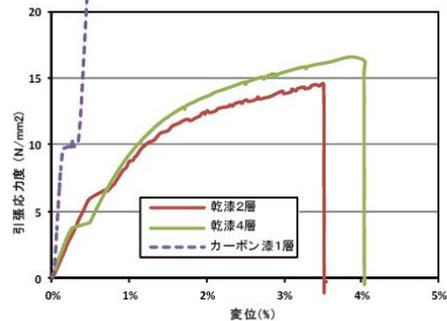


圧縮試験後試験体状況 (乾漆)

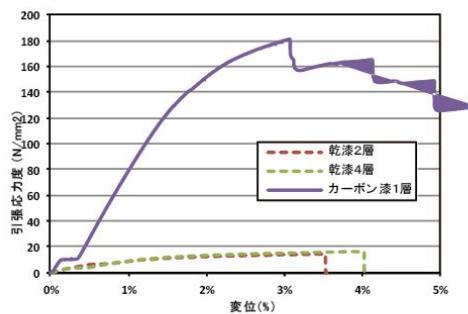
圧縮試験後試験体状況 (カーボン漆)

引張試験

引張試験は乾漆が 2 層、4 層の 2 種類を、カーボン漆は 1 層の 1 種類を各 5 片ずつ行った。以下に代表的なものを抜粋した結果を示す。



引張応力度-変位 曲線



引張応力度-変位 曲線 (カーボン漆最大値)

引張試験結果（弾性範囲）

試験体種類	弾性引張力 (N)	試験体断面積 (mm ²)	弾性引張応力度 (N/mm ²)	弾性域最大変位 (mm)	引張剛性 (N/mm)
乾漆 2 層	113	16.5	6.84	0.689	893
乾漆 4 層	110	29.5	3.73	0.231	1453
カーボン漆 1 層	116	12.0	9.66	0.124	7012

引張試験結果（最大値）

試験体種類	最大引張力 (N)	最大引張応力度 (N/mm ²)	最大引張力時変位 (mm)
乾漆 2 層	241	14.6	3.08
乾漆 4 層	491	16.6	3.48
カーボン漆 1 層	2175	181.3	2.76

弾性域での最大引張応力度（第 1 折れ点）を比較すると、乾漆 2 層に対しカーボン漆 1 層の値が約 1.4 倍となっている。また、最大引張応力度を比較すると 10 倍以上の差がある。これは引張力に対してはそれぞれの繊維が大きく影響していると考えられる。また破断状態の違いも顕著であり、乾漆が縦系（加力方向）のほぼすべてが破断しているのに比べ、カーボン漆は縦系の破断が部分的に見られるものの、面としては破断はしていない。

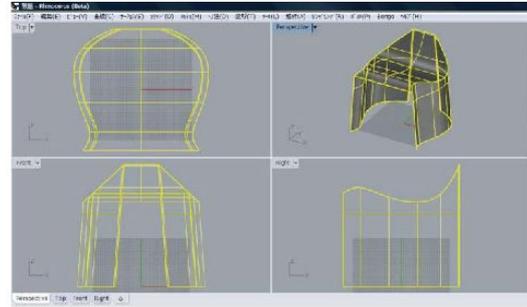
引張試験後試験片状況
（乾漆）引張試験後試験片状況
（カーボン漆）

（3）漆コンポジットに造型物制作

椅子のデザインと実制作

定量的な数値結果を収集するための構造実験と並行して、乾漆の構造物性を実証的に検証するために人体の荷重を支えられる構造物として椅子を制作した。骨材となる繊維の強度を最大化するため一枚の布（寒冷紗）を裁断することなく折り曲げのみで構成出来ることを形態の条件とした。さらに乾漆は基本的に型による成形法であることから、離型性を考慮した形態も条件とした。以上の条件から造形可能な二次曲面で構成された形態を検討するために CAD によるシミュレシ

ョンを行った。

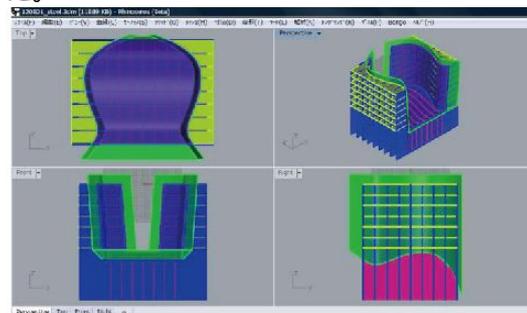


CAD による形態シミュレーション



形態スタディ

CAD によりシミュレーションされた椅子の外形をそのまま反転すると型の凹面表面データになる。この雌型設計プロセスにより型についても CAD 上で設計を行った。デジタルデータであるため、それを活用するデジタルファブリケーションツールを使っての制作も可能となった。よって、型の中でも曲線が多く手で切ることが難しいものや、高い精度を求められるパーツについては、レーザーカッターによる木製合板の切り出しを行った。



CAD による型の設計



レーザーカッターにより切り出された木製合板

型を要する脱活乾漆技法(型表面に繊維骨材を漆で貼り込んで硬化後、脱型する技法)とCADを活用した形態定義、デジタルデータ化されることにより可能となるデジタルファブリケーションツールの活用という一連の技術の親和性が「乾漆技法」と「木型による制作」という新たな出会いを生み出したことに意義がある。FRP (Fiber-Reinforced Plastic)に代わる漆(Urush)の可能性を検証するための乾漆椅子の実験制作という意味でFRU スツール」と名づけた。着座実験では成人男性でも十分座ることが出来た。



今回の乾漆椅子は、寒冷紗を漆で8層に積層することによって制作された。制作にあたっては漆作業を未経験の建築科学生を含む複数人からなるチームで制作を行った。



共同制作の様子

従来の一の職人が行う乾漆の積層工程では、一層を漆で型に貼り込んだ後、作業当日の温湿度から判断した硬化に適した環境にム口注1内部を調整して静置、硬化させた後、次層を同様に貼り重ねる工程を繰り返す。今回の試みでは複数人で作業経験を共有し、かつ積層技術を一般化するために行程

を整理した制作マニュアルを作成した。また、作業状況や静置のための環境(温度、湿度、天気)を都度確認し記録してゆくことで、必要とされる一定の環境を保持することに務めた。これは、これまで職人の経験と勘に頼ってきた乾漆積層技術を規格化・一般化し、作業従事者固有の技術的特性に依存しない安定した製品を製作するためのガイドラインとなるものである。

その工程の管理と技術的留意点、参加者の呼びかけはメーリングリスト上で行った。伝統的には分業で行われる漆器製作は前工程から次工程への職人間の技術的申し送りの連鎖で行われる共同制作といえる。今回はこの各積層工程間の作業の申し送りをメーリングリスト上で行うことで、関係する者全員が情報を共有することができ、一定の品質で工程を進めることができた。また、各工程を監督する専門的技術者を置くことで技術の精度を確保した。情報共有技術を利用することで、工程のオープン化を計り、伝統的な工芸技法としての乾漆のイメージを素材の構成技術として捉えなおす機会となった。

線的骨材による乾漆制作



麻布などの面材を骨材として、漆を母材に用いて造形を行うことで知られる乾漆であるが、骨材としては他にも紙や糸が使われてきた。縄文時代の後期から晩期にかけて各地の遺跡から出土する赤漆塗りで作られた糸玉は、苧麻(からむし・麻の繊維の一種)を漆で円環状に固めた宝飾品とみられる。古来よ

り繊維状の天然素材との組み合わせが行われてきたことが分かる。面材料としての布に先立つという意味では、糸を漆で固める技法は、むしろ乾漆にとってより原初的であると言える。面的素材として麻布を骨材とした乾漆構造物の強度が明かになったことをうけて、骨材が線材である場合の物性を探ることとした。具体的にはたこ糸（線材）程度の繊維がどの程度の大きさの構造物を構成するか、について実証的に検証することにした。直径 3mm 程度のたこ糸に漆を含浸させて、木型に配置することを繰り返すことで網目状の 3 次元曲面を形成した場合に、自立する可能性を探ることとした。直径 1700mm、高さ 705mm のドーム状の自立構造物を製作した。骨材を線材とする研究課題は、当初計画になかったものではあるが、製作工程の最適化を行う上で、より柔軟な造型の可能性を拓げるモノであり、また、その設計段階ではアルゴリズムデザイン手法と制作段階ではデジタルファブリケーションを採用したことにより、工芸的な技術の一般化・普遍化に繋がる可能性が見いだせた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

土岐謙次、金田充弘、尾関美紀、構造実験にもとづいた乾漆造型手法の研究、Design シンポジウム 2012 講演論文集、査読有、1 巻、2012、pp207-211

〔学会発表〕(計 5 件)

土岐謙次、金田充弘、FRU ツール(乾漆椅子)制作プロジェクトの紹介、共創のたち〜デジタルファブリケーション時代の創造力、文化庁メディア芸術祭京都展《パラレルワールド》、招待講演、京都市立芸術大学ギャラリー@KCUA、2011 年 10 月 11 日

金田充弘、構造実験にもとづいた乾漆造型手法の研究、Design シンポジウム 2012、招待講演、京都大学、2012 年 10 月 16 日～17 日

土岐謙次、構造実験にもとづいた乾漆造型手法の研究、日本デザイン学会第 60 回研究発表会、筑波大学、2013 年 6 月 22 日

尾関美紀、乾漆造の構造実験による力学的特性に関する研究、日本建築学会大会、北海道大学、2013 年 7 月 20 日

土岐謙次、Hybrid Craft-from Craft to Algorhythm、第 9 回世界ファブラボ会議、招待講演、横浜市開港記念会館、2013 年 8 月 24 日

〔図書〕(計 1 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称：FRU001
発明者：林映理
権利者：林映理
種類：意匠
番号：意匠 2012-6227
出願年月日：2012 年 3 月 1 日
国内外の別：国内

取得状況(計 1 件)

名称：腰掛け
発明者：林映理
権利者：土岐謙次ほか 3 名
種類：意匠
番号：意匠、1460759
取得年月日：2012 年 12 月 28 日
国内外の別：国内

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土岐謙次 (TOKI, Kenji)
宮城大学事業構想学部デザイン情報学
科・助教
研究者番号：20423783

(2) 研究分担者

金田充弘 (KANADA, Mitsuhiro)
東京藝術大学美術学部建築科・准教授
研究者番号：00466989

(3) 連携研究者

()

研究者番号：