

〔報告〕 三軸織物・紙貼合シートの特性 —紙本絹本文化財の裏打を想定して—

加藤 雅人・君嶋 隆幸*・酒井 良次*²・川野邊 渉

1. はじめに

絵画書跡などの日本の紙本、絹本文化財は、本紙を支持したり保護するために裏打を施されているものも多い。裏打は、伝統的には数枚の紙をそれぞれの文化財の特性に合わせて、紙の種類や向きを選択しながら貼り合わせて行う。現状、このような伝統的な裏打法で問題は起きていないが、裏打が改善されることで、展示中の本紙への負担を軽減したり裏打自体の寿命が延び、次の修復までの期間が延長されることは望ましい。

近年、文化財修復において三軸織物が利用されるようになってきた。裏打に織物を使用する利点としては、三軸織に限らず、繊維を選択することによって裏打の強度向上、軽量化などが期待できる。さらに三軸織物は形状安定性と立体への対応性の良さなどの特徴がある。形状安定性が良い材料を裏打に使用することにより、本紙の歪み・変形の予防などが期待できる。実際の三軸織物の使用例としては、立体への対応の良さから裏面が平面でない壁画の裏打に使用されたという報告がある^{1,2)}。また、レーヨン三軸織物と紙の貼合シート材料に関しては、巨大な掛軸の折れ伏せとして、強い折れの矯正と再発防止を期待して使用された事例もある³⁾。

三軸織物は宇宙開発などの分野で使用されていることもあり、数多くの報告がなされているが、本研究では未だ検討のなされていない、三軸織物と和紙をデンプン糊で貼合して複合化した際の特性に注目した。紙本絹本文化財裏打の層の一部代替として、三軸織物を使用することを想定し、物理強度など基礎的な知見を得ることを目的として研究を行った。

2. 実験

2-1. 試料

通常の裏打を行う作業を想定して試料を作製した。各シートの材料およびそれらを貼りわせて作製した各試料の構成と本論文中での表記法をそれぞれ表1、表2に示す。各シートどうしは小麦デンプン糊で接着し、全体に打刷毛を施した後、常温常湿で十分に乾燥した。三層のシート材料の内、中間を三軸織物とした。

2-2. 標準状態および調湿

紙および板紙の試験のための標準状態に関しては、2000年3月31日までは、 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $65 \pm 2\% \text{RH}$ が適用可能であったが、現在は $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $50 \pm 2\% \text{RH}$ であり⁴⁾、繊維製品の物理試験の標準状態は一般には $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $65 \pm 4\% \text{RH}$ である⁵⁾。ただし、繊維製品においても、代替標準状態 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $50 \pm 4\% \text{RH}$ で可能である⁵⁾。本研究においては、基本的には紙の試験法に準じて、標準状態を 23°C 、 $50\% \text{RH}$ とした。ただし、相互比較の意味も含めて、次項で特記した引裂試験のみ、 20°C 、 $65\% \text{RH}$ で行った。

*坂田墨珠堂 *²サカセ・アドテック

表1 試料を作製するためのシート材料

材料	仕様・原料など
楮紙（美濃紙）	長谷川和紙工房製、コウゾ100%（ソーダ灰煮熟、化学薬品漂白なし）、てん料なし、板張り乾燥、3勾（推定坪量20 g/m ² ）
三軸織物（レーヨン細）	サカセ・アドテック製、レーヨン糸（ホワイトマウンテン製、織度：113 dtex）
三軸織物（レーヨン太）	サカセ・アドテック製、レーヨン糸（ホワイトマウンテン製、織度：334 dtex）
三軸織物（アラミド）	サカセ・アドテック製、ケブラー49（デュポン製、織度：110 dtex）

表2 作製した試料の構成

構成	表記法（略号）
楮紙＋楮紙＋楮紙	S
楮紙＋三軸織物（レーヨン細）＋楮紙	R1
楮紙＋三軸織物（レーヨン太）＋楮紙	R2
楮紙＋三軸織物（アラミド）＋楮紙	A

楮紙の方向は全て同方向で使用した

小麦デンプン糊および打刷毛の影響を検討するため、通常の裏打と同様の製法で作製した試料に関して、調湿挙動を測定した。試料を、一般の部屋（25.4℃、54.0%RH）から、恒温恒湿室内（23℃、50%RH）に移動し、その時点から紙の質量を計測し始め、10minごとに自動で測定、記録を行った。サンプルはSを使用した。また、参考までに、R2に関しても同様の測定を行ったが同時計測が不可能であるため初期値などの条件が異なった。

2-3. 測定

厚さ、密度、坪量を求めた^{6,7)}。ただし、重量は紙の標準状態（2-2参照）での気乾重量を採用した。そのため、坪量、密度ともに気乾時のものである。厚さに関しては、JISを参考に試験片5枚を重ねて測定して1枚あたりの厚さを求めた（バルク厚さ）。

強度試験としては引張試験、引裂試験、耐折試験、こわさ試験を行った。

今回の試料は、コウゾ繊維、レーヨン繊維あるいはアラミド繊維、デンプン糊の複合材料であることから、繊維強化プラスチックの引張試験を参考に引張試験を行った⁸⁾（以後、引張試験（複合）と表記）。試験片幅20mmつかみ間隔150mm、引張速度5mm/minとした。各試料で試験片数は5個とした。

引張試験に関しては、紙及び板紙の方法⁹⁾も参考に試験を行った（以後、引張試験（紙）と表記）。試験片幅15mm、つかみ間隔100mm、引張速度10mm/min、各試料で試験片数5個を測定に供した。

引裂試験はJISに従いA法（シングルタング法）で行った¹⁰⁾。試験片幅50mm、つかみ間隔100mm、引張速度50mm/min、調湿・測定環境20℃、65%RHで行った。試験片は各試料1個とした。

耐折試験は JIS に従い、試験片幅は 15mm とし、9.8N の荷重をかけて行った¹¹⁾。各試料で試験片は 5 個とし、最大値と最小値を除いた 3 点で平均値を求めた。評価は耐折回数の常用対数を取った耐折強さを用いて行った。

こわさ試験は JIS に従い、試験片幅 30mm とし、各試料 1 試験片で行った¹²⁾。

全ての強度試験は三軸織物の方向性を考慮し、0°方向と90°方向で行った(図1)。

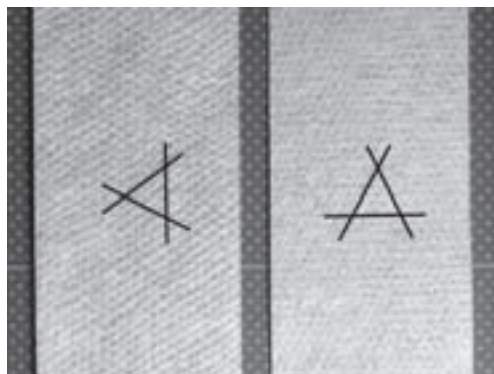


図1 作製した試料の方向 左：0°，右：90°
(図中の線は、糸の方向を示す)

3. 結果と考察

3-1. 基本的な知見

三軸織物は織組織が比較的粗く、楮紙で挟みデンプン糊で貼合してもその組織が紙表面から観察できた(図1)。また、アラミド繊維は黄色いため、特に目立った。裏打層として使用する際には、その前後の紙の選択なども含めて工夫する必要がある。アラミド繊維糸の色に関しては、アラミド繊維糸に絹などを巻きつけ、表面を覆うことで色を目立たなくする手法などが検討できる。

3-1-1. 調湿挙動

図2に調湿挙動を示す。Sでは重量変化はおよそ13hで平衡に達したと考えられる。通常、紙の調湿は数時間程度で十分である⁴⁾。本試料はサイズしていないにもかかわらず、かなり長い時間を要する結果となった。本試料には小麦デンプン糊を使用した。デンプン自体親水性ではあるが、紙の空隙をデンプン糊が埋めることにより透気性が低下したことが調湿に時間を要した理由であると考えられる。

R2では重量が平衡に達するまで15h程度要した。厚みがあるためより長い時間が必要になった可能性がある。ただし、温度湿度の初期値、温度湿度の変化履歴が異なっているために厳密な比較ではない。

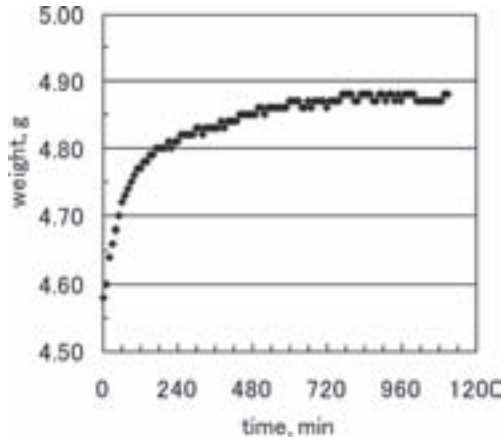


図2 調湿挙動 (試料:S)

3-1-2. 厚さ, 密度, 坪量

本実験で作製した試料の坪量, 厚さ, 密度を表3に示す。レーヨン糸三軸織物を使用した場合, 紙よりも坪量が増加した。アラミド繊維糸では密度, 坪量ともに同程度となった。

表3 試料の厚さ, 坪量, 密度

試料	厚さ mm	坪量 g/m ²	密度 g/cm ³
S	0.167	86.1	0.52
R1	0.215	107	0.50
R2	0.327	169	0.52
A	0.169	95.0	0.56

3-2. 強度特性

強度試験結果を表4-1-1~4-2-2に示す。

表4-1-1 物理強度試験結果 0°方向

試料	引張特性 (複合)		引張特性 (紙)		
	破断荷重	破断伸び	破断荷重	比引張強さ	破断伸び
	N	mm	N	N・m/g	mm
S	212.7	6.33	149.7	116	4.70
R1	172.7	8.72	123.3	76.5	6.39
R2	211.6	7.80	143.3	56.5	6.42
A	513.6	2.70	312.8	220	3.73

表4-1-2 物理強度試験結果 90°方向

試料	引張特性 (複合)		引張特性 (紙)		
	破断荷重 N	破断伸び mm	破断荷重 N	比引張強さ N・m/g	破断伸び mm
S	138.8	9.20	90.0	69.7	5.67
R1	112.7	12.65	73.8	45.8	6.87
R2	158.6	9.42	109.0	43.0	7.08
A	171.3	3.85	121.3	85.1	2.70

表4-2-1 物理強度試験結果 0°方向

試料	引裂き強さ (平均荷重), N	耐折強さ \log_{10} (耐折回数)	クラークこわさ $\text{cm}^3/100$
S	1.55	2.93	114
R1	1.92	2.78	154
R2	3.27	2.94	239
A	37.24	3.18	164

表4-2-2 物理強度試験結果 90°方向

試料	引裂き強さ (平均荷重), N	耐折強さ \log_{10} (耐折回数)	クラークこわさ $\text{cm}^3/100$
S	1.85	2.82	109
R1	9.08	2.91	97.3
R2	10.04	3.02	195
A	41.07	3.42	111

3-2-1. 引張特性

引張試験(複合)では全ての試料で異方向性が現れた。特にAでは方向の影響が大きく、三軸織物自体の強度特性が大きく表れたと考えられる。同方向で比較した場合、破断荷重はR1, S, R2, Aの順に強くなり、破断伸びはR1, R2, S, Aの順に短くなった。

引張試験(紙)も、破断荷重は引張試験(複合)と類似した挙動を示した。しかし、引張強さを坪量で除した指数である比引張強さは、レーヨンを用いると低下することが明らかになった。つまり、単位面積あたりに使用されている材料の重量を考慮すれば、レーヨン三軸織物を使用するよりも、紙のみの方が効果が高いことになる。また、アラミド糸を用いた場合でも、方向によっては紙のみで十分に対応できる程度の強度であることがわかった。引張破断伸びに関しては、Aのみ90°方向の試料の方が小さい結果となった。破断時の挙動を見ると、Aの90°のみ、最大破断荷重を記録した後もある程度の荷重を記録し、測定時の観察では最大破断荷重を示した後も糸が破断せずに残っていた。しかし、文化財であれば、最大荷重時の破断で本紙が裂けた状態であるので、その後の引張強度は実用的には無意味である。そのため、本研究では最大破断荷重を破断荷重とし、その時の伸びを破断伸びとして採用したことが、Aの90°のみ挙動が異なった原因である。

3-2-2. 引裂強さ

引裂試験では、三軸織物を使用することにより平均荷重、最大荷重ともに高くなることが明らかになった。また、材料別に見た場合、方向としては90°の方が0°よりも平均荷重、最大荷重ともに高くなった。

3-2-3. 耐折強さ

耐折強さは、三軸織物を使用した場合には、90°方向が若干強いことが示された。Sと比較して、Aではかなり強いことが分かった。

3-2-4. こわさ

こわさは曲げに対する抵抗度であるため、こわさが高い試料ほど折れが生じるために強い力が必要となる。クラークこわさ試験においても、三軸織物を使用すると異方向性が大きく表れた。R2はそれぞれの方向で最もこわさが大きくなった。こわさは厚みの影響を大きく受けるため、R2で最も大きくなったと考えられる。

3-2-5. 強度特性と実用

三軸織物・紙貼合シートは異方向性を持つことが明らかになった。掛軸は、一定方向に巻き、また掛軸の上側で吊るすことから、特に異方向性が大きく影響する可能性がある。まず掛軸裏打に三軸織物を使用することを想定して、特徴を考察する。図1の試料の上下に軸を取り付ける方向で三軸織物を使用するとする。①基本的には0°方向で三軸織物を使用した方が、重力方向に強く、伸びも少ない。ただし、Aでは、0°方向の方が伸びるが、他の試料と比較すると伸びは少ない。②三軸織物は、どの方向に使用しても紙のみの場合よりも裂けに強くなる。特に0°方向で使用した場合には縦に、90°方向の場合には横に裂け難い。③三軸織物を0°方向で使用すると、90°で使用した際よりも横折れを生じさせる力への耐性が高くなると予想される。しかし、折れが発生してその個所で折り曲げ動作が繰り返し起きる場合には90°使用よりも破断が起きやすい。④Aを使用した場合、坪量、密度、こわさなどほとんどの条件・項目で同程度でありながら、引張、引裂、耐折などの強度が向上する。

そもそも三軸織物は形状安定性が良いことが知られているが、本研究でAを使用した場合には、破断強度の向上とともに伸びの減少も確認できた。つまり、Aの裏打は外力などにより変形し難いことになる。例えば、屏風や襖などは下地骨の変形により、特に四方の隅に皺が寄ったり、本紙が裏打や下地ごと裂けることがあるが、裏打や下地に三軸織物を使用すると、これらの現象の緩和、防止が期待できる。

4. まとめ

小麦デンプン糊を使用して紙などを貼合すると、単に厚く抄いた紙よりも調湿に時間を要する。

レーヨン糸(113 dtex)三軸織物を使用すると、引張強さは低下し、耐折強さは同程度、引裂強さおよびこわさは向上する。

レーヨン糸(334 dtex)三軸織物を使用すると、比引張強さを除き、強度特性は同程度あるいは向上する。

アラミド繊維糸(110 dtex)三軸織物を使用すると、紙のみの時と同程度の坪量、密度、こわさであっても強度が向上する。また、引張時の伸びは減少する。

三軸織物異方性が強く、また繊維の種類によっても特徴が異なることが明らかになった。そのため、実際の裏打に使用する際には、本紙の状態、表装の形態、修復後の展示・保存などの条件を考慮し、三軸織物の繊維の種類や方向を決定する必要がある。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、試験片の裁断、試験装置の操作などに関して、当研究所研究補佐員の山口加奈子、川端冴子の協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 木島隆康, 佐藤一郎, 工藤晴也, 増田久美, 鈴鴨富士子, 谷口陽子, 中右恵理子, 武田恵理, 池上久美, 古賀路子, 酒井良次: アフガニスタン流出仏教壁画片の修復と調査(3), 文化財保存修復学会第32回大会研究発表要旨集, 202-203 (2010)
- 2) 松岡秋子, 島津美子, 増田久美: タジキスタン国立古代博物館におけるソグド壁画の保存修復 - 壁画断片群のマウントと展示までの処置 -, 文化財保存修復学会第32回大会研究発表要旨集, 200-201 (2010)
- 3) 九州国立博物館: 大涅槃図(佐賀市・高伝寺所蔵)修理工程, 図録「トピック展示: 巨大掛軸をめぐる文化交流 ~祈りと暮らし~」, 九州国立博物館, 22-28 (2010)
- 4) JIS P8111:1998「紙, 板紙及びパルプー調湿及び試験のための標準状態」
- 5) JIS L0105:2006「繊維製品の物理試験方法通則」
- 6) JIS P8118:1998「紙及び板紙ー厚さ及び密度の試験方法」
- 7) JIS P8124:1998「紙及び板紙ー坪量測定方法」
- 8) JIS K7073:2003「炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法」
- 9) JIS P8113:2006「紙及び板紙ー引張特性の試験方法ー第2部: 定速伸張法」
- 10) 8.17 引裂試験, JIS L1096:2010「織物及び編物の生地試験方法」
- 11) JIS P8115:2001「紙及び板紙ー耐折強さ試験方法ーM I T試験機法」
- 12) JIS P8143:2009「紙ーこわさ試験方法ークラークこわさ試験機法」

キーワード: 三軸織物 (triaxial woven fabric); 裏打 (lining); 強度特性 (strength characteristics); 異方性 (anisotropy)

Characteristics of Triaxial Woven Fabrics Laminated with Paper and Used for the Lining of Paper or Silk Cultural Properties

Masato KATO, Takayuki KIMISHIMA*, Ryoji SAKAI*² and Wataru KAWANOBE

There are many paper or silk cultural properties which are lined for the purpose of support and protection. Characteristics of the lining layer with triaxial woven fabric were studied, especially focusing on strength.

Lining layer samples were made by laminating triaxial woven fabric with *kozo* paper using wheat starch paste.

Samples made by pasting with wheat starch paste required much time to be conditioned.

The sample with triaxial fabric woven with rayon thread (113 dtex) had lower tensile strength, higher tear strength and higher stiffness than the sample made from only paper.

The sample with triaxial fabric woven with rayon thread (334 dtex) had higher strength characteristics than the sample made from only paper except for tensile index.

Basis weight, density and stiffness of the sample with triaxial fabric woven with aramid fiber thread (110 dtex) were near to those of the sample with only paper. Other strength characteristics of the sample with aramid fiber thread were higher than those of the sample with only paper.

All samples with triaxial woven fabric have anisotropy. Therefore, conservators have to decide the direction of the fabric to line an art object, considering the conditions in which the object will be placed.

* Sakata Bokujudo Co., Ltd.,

*² Sakase Adtech Co., Ltd.