

第一章 研究の目的について

1.1 研究の背景

紙文化財（紙資料・書籍等）の修復における処置は、クリーニング、折れ箇所の補強処置など様々あるが、欠失部、特に虫害による複雑な形の大量の欠失部の補填処置は、修復処置の中で最も時間と人手の掛かる作業である。そして、その作業は修復後の仕上がりを大きく左右する処置でもある。この作業は、従来は1箇所ずつ補修紙を貼っては重なりを削るといった手作業で行われることが普通で、時間の掛かる根気がいる作業であった。

図書資料の場合、手作業で欠失部を一つ一つ補修しているわけにも行かない。江戸時代の日本の書籍のように片面印刷袋綴じの場合は裏打ちをすれば解決したが、両面印刷が主流であったヨーロッパの書籍では裏打をすると片面が読めなくなることから、欠失部だけを簡単に補填する技術が求められていた。20世紀初め頃にロシアで開発され、欧米で発展してきたリーフキャスト法は、水に分散させた紙の繊維を欠失部に流し込んで、圧搾乾燥させることで補填する、つまり、欠失部で新たに紙を漉く技術であった。しかし、短繊維の木材パルプの紙に適した補修方法ではあるものの、和紙の長い繊維の紙では均一に補填できない、接合が十分に行われないなど問題点があった。

そのため、長い繊維を実際に和紙を漉く動き（流漉き）を取り入れた機械を新しく開発し、原料も本紙と同じ繊維や填料を使って、本当に紙漉きをする様な形で補填していく日本独自の「漉嵌法」という技術が開発されたのである（注1、2）。

文化財の紙資料修復の現場では、手繕いで補填する補修紙の紙質をいかにオリジナルに近づけるかということに関して様々な取り組みが行われてきた。当然、繊維を流し込む漉嵌法においてもオリジナル（本紙）の繊維の分析とそれに合わせた紙料の調製などが追求されたことは言うまでもない（注3、4）。一方で、接合時の本紙と補修紙のバランスや接合強

度に関する部分は、手繕いの場合でも、経験による検証に止まっている。これらの問題は手作業で行われることから数値化などの検証が難しいという潜在的な意識があると思われる。しかしながら、漉嵌の場合は、本紙と補修紙の接合強度の問題は深刻である。一般的な手繕いの場合は、糊を塗布して補修紙の糊代部分を圧着し、適切に乾燥する。漉嵌の場合は、一般的には接着剤を用いずに接合部における水素結合に依存することになり、その接着強度を向上させるための方法として「捨糊」を施すという技術が既に実用化されている（注5）。

日本の国指定文化財の修復では、書籍の修理においても手繕いが主流であった。近年では、漉嵌法にデジタル技術を応用して、欠失部の形通りに補修紙を作成する DIIPS 法（注6）が徐々に広まってきている。しかしながら、手間やコストの面では漉嵌法には及ばない。そういう意味でも、漉嵌法の技術で対応可能な範囲を広げることで、修理方法の選択肢に入れる事ができるようになれば、数の上でもより多くの文化財の修理を行えるようになるはずである。そういう意味において、現在、経験による判断で施工されている漉嵌法の材料、技術の客観的かつ詳細な検討は必要であると考ええる。また、日本の漉嵌技術は、欧米の木材パルプ中心の図書資料、紙資料を中心とした技術から、古文書など比較的長繊維である靱皮繊維の古文書などにも対応できる技術として改良されている。この日本の漉嵌法を客観的に検証する事で、木材パルプでもなく、楮繊維でもない、竹紙や宣紙が中心である中国の紙資料、書籍の修理への応用を最終的な研究目的としたい。

1.2 研究の対象

1.2.1 手繕いと漉嵌について

紙文化財の修理で最も多くの人手（ひとで）と時間が掛かるのは、虫に食害されて穴のあいた部分を補修する作業で、工房では「繕い」「補紙」と呼んでいる。最初に手繕いと漉嵌の技術について簡単に説明する（写真1、2）。

手繕いの方法は、まず、本紙と補修紙を全体的に湿し、補修紙を裏から欠失部（虫穴）の

小口付近に糊を付けて貼り、乾燥させてから、糊しろ部分を印刀で削ってなだらかに整形する（図 1）。

漉嵌の方法は、図のように繊維を水の中に分散して本紙の穴の開いた部分に流し込む。下向きに吸引すると、穴の開いている部分には下に向かう力が働くので、水がそちらに向かって流れ、同時に紙の繊維も穴の部分に集まって行く。反対に、穴の開いていない部分は下に向かう力が加わらないので、繊維は水と共に穴の開いた部分へと移動していく。この原理によって、穴の開いた部分にのみ紙が形成されることで補填する（図 2）。

「漉嵌」と「手繕い」を比べると、それぞれメリットとデメリットがある。手繕いは一箇所一箇所手で繕うため、その場所に応じた細かい対応ができる反面、習熟度や集中力によって差やムラが生じやすい。また、時間と手間が欠失部の数や複雑さに応じてふくれあがっていく事が挙げられる。対して、漉嵌では欠失部の数や複雑さに関係なく、どの 1 紙もほぼ同じ時間（漉いている時間は長くても 2 分程度）で補填が完了するが、場所に応じた細かい調製は難しく、1 紙の中に大きな欠失部と線香穴と呼ばれるような小さな穴がある場合には同じようには埋まらないなどの問題がある。また、水に弱い色材や痕跡があると、そもそもこの技術が使えない。さらには、手繕いに比べて接合部の接着強度が弱い事が挙げられる。

こうした、メリットやデメリットに関しては、現場では様々に工夫して対応しているものの、漉嵌の材料としての特性や施工方法による特性などを解明して、解決している訳ではない。つまり、素材や構造などの異なる本紙に対して常に対応できる訳ではない。そういう意味では、根源に立ち戻って、漉嵌の素材や施工方法による特性を検証し、基本的なメカニズムを明らかにして行くことが、より幅広い本紙により正確に対応するためには必要であると考ええる。

本研究では、漉嵌による補修部分と本紙の接合部の接着強度について、試料を作製し、計測して数値化を試みて検証する。まず、手繕いと漉嵌の差がどの程度あるのかから始め、水素結合が接合部分の強度となる事から、その強度を上げる条件を、材料面、技術面の両

面から検討する。元々、手作業に依存する部分が多く、素材である和紙自体も必ずしも均質とは限らないので、個々の「計測値」を検証するという事は意味がない。ただし、同じ材料、同じ技術で行った実験において、検証する条件のみを変えた試料同士を比較するという範囲内においては、結果が導き出せるはずである。あくまでもその前提に立って、それぞれの条件が接着強度にどう影響するかという点を導き出すことを目標とする。また、同時に漉嵌法で補填した補修部分の物性が、目標としたはずの（本実験における）本紙の物性と比較してどういう特徴を持つのかについても検証していくこととする。現状ではこうした数値化による比較はほとんど行われていないので、接着条件を向上させる条件を導き出すだけでなく、現場で経験的に判断されている部分の妥当性を検証する事にも繋がるはずである。

第二章 接合強度についての検討

2.1. 水素結合について

漉嵌による補填では、基本となるのは繊維同士の水素結合である。糊を使用しないことから、修復技法としてはある意味で理想的であるが、接着力が弱いことが問題点として挙げられる。

水素結合（英：hydrogen bond）とは、水素とフッ素（F）、酸素（O）、窒素（N）などの電気陰性度の高い原子との共有結合でできる分子に存在する（比較的）大きな極性によって発生する強い分子間力のことである。セルロース分子には水酸基が多数存在し、水中では水分子との間で極性吸引力が働くため、脱水していく過程で異なる繊維間の水酸基同士が引きつけられて、直接の水素結合を生じる（図3）。この状態が紙の構造である（図4）。水素結合は、弱い結合であるが、結合が多ければ多い程強度が上がることは明らかであり、原料の違いや、漉き方、乾燥方法などの条件によって、水素結合箇所が多くなったり少なくなったりする。いいかえれば、条件次第で、接合強度に違いが出てくるはずである。

2.2 接合強度を左右する要素について＝6つの検証

2.2.1 糊による接着と水素結合の比較

まず大前提として、修復現場で伝統的に行われてきた手繕いの場合と漉嵌の場合の接合強度の差がどの程度なのかについては、数値化されていない。漉嵌についても、「捨糊」の技術が開発され、接合強度が向上しているというのが、現場での理解である。「捨糊」というのは、本紙の欠失部の周囲に糊を塗布する工程のことを言い、手繕いと同じ工程である。違いはその場で補修紙を貼らずに、乾燥させて後に漉嵌を行う。澱粉糊は調製した後、乾くまでの間で接着力は最大であるが、一旦乾いてしまうと、再度水を含ませても最初の接着力には及ばない。しかし、糊を塗る時間は欠失部の形の複雑さと量に応じて掛かるので、塗っては漉嵌をするという繰り返しでは効率が悪すぎるので、一旦乾かして、捨糊の終わった本紙をある程度数を揃えてから漉嵌を行う。

この捨糊の有無による違いについては、これまで数値化されたことがない訳でない^(注5)が、手繕いと合わせて検証する対象としたい。

2.2.2 紙料繊維の長さによる違い

紙料繊維の長さが長く、柔らかいほど接合強度は大きいと言われている。繊維の長さが長い場合は多少まばらでもシートを形成するが、繊維が短い場合は繊維の総量が同じでも同じ大きさのシートを形成できるとは限らない。また、シートが形成されても、単位面積あたりの水素結合の箇所は多くなると考えられる。そこから考えると、繊維の長さ和水素結合の総量は何らかの関係があると予想できる。また、現場では、紙の表面の調子を整えるために1～2割程度の細断繊維を混ぜることが行われることがある。こうした長さの違う繊維の混合によって接合強度がどうなるのかについても検証が必要である。

2.2.3 繊維の叩解度（フィブリル化度^{注7)}による違い

紙漉きの際には叩解という原料調製の工程があり、十分に叩解が行われると繊維の一部が崩れてひげ状のマイクロフィブリルが出てくる。このフィブリルが出た状態では更に水素結合を生じる箇所が増えて強度が上がるとされている。とはいえ、叩解が過ぎてフィブリル化が進み過ぎると、今度は繊維本体の強度が低下するので、どこまでも強度が上がることではなく、限界値があると言われている。このフィブリル化した繊維を補修した場合の強度についても検証が必要である。

2.2.4 異種繊維の混合による違い

2.2.2 で同じ楮の繊維で長さの違う繊維を混合した場合について検証したが、楮繊維とは形状物性の違う繊維と混合した場合についても検証する必要があると考えた。本実験では異種繊維として、竹の繊維を取り上げた。竹の繊維は楮繊維に比べて長さも短く、柔らかいので、混合した場合に差が見られる可能性が高いので検証が必要である。

2.2.5 漉き方（溜漉きと流漉き）による違い

和紙の紙漉き技法で最も特徴とされるのが、流漉きである。紙料液を簀桁に組み込んで、揺すりながら脱水していくことで繊維の方向性（配向性）が生じたり、繊維同士の絡まりが生じるといわれている。この揺すりの有る無しでも接合強度は変わるはずであるので検証が必要である。

2.2.6 乾燥時のプレス強度による違い

和紙の水素結合が生じるのは、脱水して水が抜けていく過程である。その段階で加圧されていると繊維が押しつぶされたり、繊維同士が圧着したりすることで水素結合の総量が増えると考えられるので検証が必要である。

以上の6点について検証するために原料の調製、漉き工程、乾燥工程のそれぞれで条件

を変えた試料を作製して接合強度を計測する実験を行って検証して行く。

第三章 接合強度実験概要

3.1 試料作製

接合強度を測定する方法として、JIS K 6854-3 の T 形はく離試験に準拠した試料を作製した。T 字型はく離を選択したのは、漉嵌あるいは手繕いで施工した紙資料の補修部分が外れる形は、180 度方向への引っ張りではないという考えによる。はく離初め（はく離のきっかけ）においては、はく離途中に比べて抵抗力が大きいはずであるが、計測する方法が難しいと考え、本実験でははく離途中の抵抗値＝はく離強度を接合強度として比較している。はく離についての比較では、これ以外にもいくらかファクターはあるので、今後の検討課題としておいておくこととする。

一般的な繕い、漉嵌の接合部は 1～2mm 程度で、その部分だけで測定することは難しいと考えられたので、擬似本紙として市販の 7 匁 (0.012cm) の楮紙を 22.0cm×5.0cm に裁断し、18.0cm×1.0cm の 2 本のスリットを開けたものにそれぞれの条件で補修（漉嵌）を行った試料の補修部分を引きはがす形とした（図 5、写真 11）。本実験における接合強度は、本紙と補修紙の境界の接合強度と定義している。しかし、理論上は欠失部だけに紙料が流れ込んで本紙裏には繊維が載らないはずであるが、実際は本紙の厚さ等の条件によっては裏にも繊維が載り、そこに接合部が近ければ、接合強度に影響することも少なくない。こうしたケースを回避するために、紙料を流し込む枠を作製し、接合部以外のところに紙料が流れ込まないようにした。この形の試料で T 形はく離を行うと、同時に 4 点の接合部の抵抗が力として生じるので、1 点における計測より平均化され、なおかつ力の総和として数値も大きくなることから計測しやすいと考えた（写真 7、8、9、10）。

試料は 5 枚ひと組で測定した。

3.1.1 補填方法による違い（漉嵌（捨糊無）/漉嵌（捨糊有）/手繕い）

実験 1 試料作製

・①-1 漉嵌（捨糊無）

一切前処理を行わない試料に、標準の紙料液を溜漉きで補填した。

①-1、①-2 の漉嵌工程では、紙料液は試料本体の楮紙と同じ紙を 1cm 角に裁断した楮繊維を水に分散させて化学ネリを適量加えて作製した。一定の厚さになるように、紙料液の濃度から割り出した紙料液量をサクシオンテーブル上の試料の上に被せた枠（余分なところに紙料液が落ちないようにしたもの）に流し込んで、サクシオンで吸引して紙層を形成した。

漉嵌後は、吸い取り紙に挟んだ状態で板に挟んで 9kg の重石を載せて脱水し、吸い取り紙に挟んで板を載せ 30kg の重石で加圧して乾燥させた。

・①-2 漉嵌（捨糊有）

手作業で糊を欠失部の廻りに塗布して、一旦乾燥させたものを漉嵌で補填した（写真 5）

。

・①-3 手繕い

手繕いは、本紙補修紙を適度に湿らせて、手作業で糊を欠失部の周囲 2mm に塗布して、その糊代部分で接合できるように補修紙（本紙と同じ紙）を喰い裂いて成形したものを貼り付けた（写真 5、6）。

3.1.2 繊維の長さの違う紙料の混合比による違い

実験 2 試料作製

- ・②-1 長繊維：短繊維=100:0→これは実験①-1 試料と共通
- ・②-2 長繊維：短繊維=80:20
- ・②-3 長繊維：短繊維=60:40
- ・②-4 長繊維：短繊維=50:50

- ・ ②-5 長繊維：短繊維=0：100

②-2、②-3、②-4、②-5 で使用した短繊維は、試料本体と同じ楮紙を 1mm 角に細断したものを使用した。②-4 では長繊維と短繊維の重量が同じになるように混合したものを紙料液とした。他の条件は実験①-1 と同じである。

3.1.3 繊維の叩解度（フィブリル化度）による違い

実験 3 試料作製

- ・ ③-1 叩解無 →実験①-1 試料と共通
- ・ ③-2 叩解有

③-2 は、1cm 角に細断した繊維を石板の上で木槌を使って 1 時間程度打ったものを水に分散し適量のネリを加えたものを紙料液とした（写真 22）。紙料液の濃度を計測して、標準試料と繊維の重量が同じになる紙料液量を使用して補填した。他の条件は①-1 と同じである。

3.1.4 異種繊維との混合による違い

実験 4 試料作製

- ・ ④-1 (=①-1) 楮繊維：竹繊維=100：0 →実験①-1 試料と共通
- ・ ④-2 楮繊維：竹繊維=50：50
- ・ ④-3 楮繊維：竹繊維=0：100

実験のために、混合する繊維として竹を選択し、楮繊維と 1：1 に混合した試料、竹繊維のみの試料を作製して実験を行う。比較する楮繊維のみの試料は①-1 と同じである。

異種繊維との混合による検証については、様々な繊維を試していく予定ではあるが、手始めに、楮繊維と著しく違う繊維として竹繊維を選択した。単一の繊維として手に入りやすく、楮繊維に比べて長さも短く細い繊維であることで実験による差が顕著に出るかも知れないと考えたからである。また、竹繊維で漉かれた竹紙は、中国の図書を初めとする紙

試料としてはかなりよく出てくる素材であることから、次の段階である中国の紙資料に対する処置方法などの検証でも重要な役割を果たすと考えたからでもある。

3.1.5 溜漉きと流漉き（揺漉き）の違い

実験 5 試料作製

- ・⑤-1 溜漉き →実験①-1 試料と共通
- ・⑤-2 流漉き（揺り漉き）

⑤-2 は標準の紙料液を流し込んだ後、サクシオンテーブルを前後に動かして揺りを行った。比較する溜漉きの試料は①-1 と同じである。

3.1.6 乾燥時のプレス強度の違い

実験 6 試料作製

- ・⑥-1 脱水無&軽プレス（板を載せた程度） →実験①-1 試料と共通
- ・⑥-2 脱水無&重プレス
- ・⑥-3 脱水有&軽プレス
- ・⑥-4 脱水有&重プレス
- ・⑥-5 板干
- ・⑥-6 製本用万力機（プレス機で最大限加圧）

⑥-6 の試料は①-1 と同じ条件で漉嵌を行って、脱水した後、製本用プレス機で最大限加圧した。どの程度の力で加圧したかは測定出来ていないが、標準で行っていた 30kg の重石による加圧よりはかなり強いことは確かである。

3.2 実験結果の評価方法

測定は、京都市産業技術研究所の恒温恒湿（20℃、65%）室内で、（株）島津製作所製のオートグラフ AG-I 形引張試験機を使用した（写真 13）。

試料をより垂直に引っ張れるよう、また補修側の 2 本を同時に引っ張れるように、測定する前に、試料の先端から 5cm を剥がして、それぞれの端に薄板を貼り付けた（写真 12、14、15、16）。

計測単位（X 軸）は 0.1mm で測定単位（Y 軸）は N である。

実験データは、グラフ（1～21）に示し、各試料のはく離強度全体の平均値を表（1-1～6-6）にまとめた。なお、計測時に破断や相剥ぎ等の異常があった試料のデータは省き、平均値の算出においても 3 点以上の平均値として値を出した。各試料の比較はこの平均値の棒グラフで行った。

3.3 漉嵌の場合の紙料や技術の差による接合強度の比較

まず、漉嵌（捨糊無/有）と手繕いの場合の接合強度の違いについて実験 1 で検証する。原料面では、実験 2 として原料の調製方法（繊維の長さと配合比）、実験 3 として叩解度（フィブリル化度）を変えた場合、実験 4 として異種の繊維を混合した場合。技法面では、実験 5 として漉き工程の揺すりによる影響、実験 6 として乾燥方法の違いによる差異を検証する実験を行う。以下、実験 1～6 の試料について説明する。

3.3.1 計測結果

実験 1 漉嵌（捨糊無）の 5 点試料を計測した平均値は 0.078740204 であり、その標準偏差は 0.019052406 だった（表 1-1）。同様に、漉嵌（捨糊有）では試料 4 点の平均値は 0.108491394、標準偏差は 0.016458472 だった（表 1-2）。手繕いの平均値は 0.282148549、標準偏差は 0.136666562 だった（表 1-3）。

実験 2 ②-1（長繊維のみ）の平均値と標準偏差は①-1（漉嵌（捨糊無））と同じである。

②-2（80:20）、②-3（60:40）、②-4（50:50）、②-5（短繊維のみ）の 5 点試料のそれぞれ

れの平均値は 0.062244587、0.048450279、0.040052303、0.040912323 であり、標準偏差は 0.011868736、0.019826857、0.007221888、0.018528589 だった（表 2-1～表 2-5）。

実験 3 叩解無の平均値と標準偏差は漉嵌（捨糊無）と同様であり、叩解有の 5 点試料によって、平均値は 0.120572345 であり、標準偏差は 0.019940926 だった（表 3-1、表 3-2）。

実験 4 ④-1（楮繊維のみ）と①-1（漉嵌（捨糊無））の数値が同じく、5 点試料の数値によって、④-2（50:50）の平均値は 0.070835454、標準偏差は 0.013267628 であり、④-3（竹繊維のみ）の平均値は 0.113731644、標準偏差は 0.045322173 だった（表 4-1～表 4-3）。

実験 5 溜漉きと漉嵌（捨糊無）の数値が同様であり、流漉きの平均値は 0.128480805 であり、その 5 つの数値をとると、標準偏差は 0.061426539 だった（表 5-1、表 5-2）。

実験 6 ⑥-1 と漉嵌（捨糊無）の数値が同様である。計測した 5 つの数値によって、⑥-2、⑥-3、⑥-4、⑥-5 と⑥-6 のそれぞれの平均値は 0.07722985、0.097791278、0.078574255、0.064134486、0.199047126 であり、それぞれの標準偏差は 0.02332948、0.046075834、0.036466937、0.015378783、0.034567482 だった（表 6-1～表 6-6）。

3.4 考察

実験 1 のグラフ 22 をみると、手繕いと漉嵌との間で大きな差があることが分かる。漉嵌（捨糊有）は漉嵌（捨糊無）の約 1.4 倍であるのに対して、手繕いは約 3.6 倍となった。ただし、漉嵌（捨糊有）や漉嵌（捨糊無）の標準偏差の値はそれぞれ 0.019052406、0.016458472 であるのに対して、0.136666562 であった。この平均値の元となったはく離強度試験を示すグラフ 1～3 を見ても一目瞭然であるが、手繕いのデータは場所によるばらつきが著しいということが分かる。手作業による部分であり、個人差や施工上の条件

に左右されやすいということもあると考えられるが、糊代部分に関して喰い裂きした毛先＝外に向かってまっすぐに揃っているものを糊代部分に接着した場合と、吸引による力が働いているとは言え、無作為に繊維が糊代に積層する＝糊代上で繊維が一方向にまっすぐにはならない漉嵌の場合との違いである可能性がある。

実験 2 のグラフ 23 をみると、長繊維のみの②-1 が 0.078740204 で、短繊維のみの②-5 は 0.040912323 となり、約 0.52 倍つまり半分ほどの強度に止まることが分かった。混合比率を変えたグラフで見ると、短繊維の比率が多くなるに従って強度が落ちていくという分かり易い結果となった。実験前には短繊維が長繊維のネットワークの間に入って水素結合の箇所を増やす事でより強度が上がると予測していたが、逆の結果となった。実際に繊維の色を変えて作成した試料を観察してみると、1mm 角に細断した短繊維も長繊維のネットワークの間に入るわけではなく、むしろ長繊維とともにネットワークを作ることで弱い部分を作っていくと言うことが分かった。従って、当初の予測自体が誤っており、短繊維をまぜることによって接合強度を向上させることは考えられないことがはっきりした。修理現場では長繊維に対して短繊維を 1 ～ 2 割程度混ぜることがあるが、地合を良くするためと説明されている。地合＝表面の状態がどうなっているかについての検証は本実験ではできていないので今後の課題としたい。

実験 3 のグラフ 24 をみると、叩解処理なしの③-1 が 0.078740204 で、叩解ありの③-2 が 0.120572345 となり、約 1.5 倍の強度であることが確かめられた。フィブリル化が生じることで理屈通りに水素結合点が増え、接合強度が向上するということが証明された。

実験 4 のグラフ 25 をみると、楮繊維 100%の④-1 が 0.078740204 で、竹繊維 100%の④-33 が 0.113731644 で、竹繊維 100%の方が楮繊維 100%の試料より 1.4 倍の接合強度という結果となった。竹繊維は楮繊維より細く短いことから、接合部分の単位面積内で本

紙の楮繊維との水素結合点が増えるためという仮説で説明できそうであるが、楮 50%と竹 50%の④-2 がその中間の値に収まっていないことからすると、単純にこの説明で言い切れない可能性がある。実際、竹 100%の標準偏差の値が大きく、試料によっては楮繊維 100%より弱い場合もありそうなので、この実験の結果は保留としたい。

実験 5 のグラフ 26 をみると、溜漉きの⑤-1 が 0.078740204 で、流漉きの⑤-2 は 0.128480805 となっており、流漉き＝揺りを加えた漉嵌の場合は、揺り無しの場合に比べて約 1.6 倍である。揺りを加えることで補修紙自体の強度が向上するのは明らかであるが、接合においても強度が向上するのも、同様のメカニズムであろう。

実験 6 のグラフ 27 をみると、⑥-1 が 0.078740204、⑥-2 が 0.07722985、⑥-3 が 0.097791278、⑥-4 が 0.078574255、⑥-5 が 0.064134486 となり、なおかつ標準偏差も大きいことから、ジャッキを使った脱水やプレス乾燥時の加重の軽重、あるいは板干しの条件では有意な差が認められなかったと言える。ただ、⑥-6 の製本用万力によるプレス乾燥のみ 0.199047126 で、脱水無し軽プレスの⑥-1 の役 2.5 倍という結果となった。但し、どれくらいの力で加圧したのか数値化ができていないので今後の課題としたい。何れにしても、乾燥条件が接合に大きく関わると予測されるにも拘わらず、実験で比較が十分にできなかったと云うことは、実験のやり方そのものを見直す必要がある。

条件を変えた試料を作製し、接合強度（はく離強度）を測定する実験では、以上のような結果となった。冒頭から何度も繰り返したように、手作業を含む試料を使う時点で、作製精度の問題が大きいことは避けられない。測定時に相剥ぎ等となった測定不能の試料を省いて 3 点の平均値で出したものもあったことも含めて、今回の各試料数 5 点は少なかったと感じた。とはいえ、その接合部分の強度だけが漉嵌技術の評価である訳ではなく、補填された補修紙部分の物性についての検証も必要であると考えられることから、次章では、

各試料の補修紙部分の曲げ剛さと密度について計測、分析することとする。

第四章 各補修紙の曲げ剛さと密度

第3章で本紙と補修紙の接合強度について試料を作製して検証を進めてきたが、修理の結果として接合強度が必要十分であることは前提である。しかし、補修紙として考えたとき、補修紙として必要な条件が既に存在する。例えば、厚さや密度が本紙と著しく違う場合、吸湿乾燥時の伸縮が本紙と著しく違う場合、あるいは曲げ剛さが本紙よりも大きい場合などは本紙に負担を与えてしまう。また、こうした補修紙の物性は前章の接合強度にも影響を与えると考えられることから、これらについても検証が必要である。本章では、前章で作製した実験試料の補修紙部分の物性、特に曲げ剛さについて検証することとする。

補修部分と本紙の物性の比較は、本紙の種類や物性ごとに、それに適する補修部分を形成する原料と補填技術をセットで検証する必要がある。今回は本紙と補修紙部分の硬さ（あるいは柔軟さ）と密度を測定した。

4.1 試料作製

曲げ剛さ実験は補修紙部分のみ測定するので、前回の接合強度用の試料サイズより小さく、紙料液流し込み枠の範囲で 18.4cm×3.5cm の試料を作製した。本紙は同じサイズに裁断したものを使用した。

4.2 計測結果の評価方法

測定は、京都市産業技術研究所の恒温恒湿 (20℃、65%) 室内で、(株)カトーテック会社製の KES-FB2-AUTO-A 純曲げ試験機を使用した(写真 17)。曲げ試験では力学特性値として、曲げ剛性 ($\text{gf} \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$) とヒステリシス ($\text{gf} \cdot \text{cm}/\text{cm}$) が得られる。曲げ剛性の単位は ($\text{gf} \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$) である。本実験では、5 点の曲げ剛さの平均値 B をグラフで比較する形とした。試

料は 5 枚ひと組で測定した（写真 18～20）。また、すべての実験に本紙のデータも加えて比較できるようにした。

4.3 計測結果

本紙の曲げ剛さ試料 5 点の平均値は 0.449257143 であり、標準偏差は 0.072869355 だった（表 7-2）。

以降、すべての補修紙の曲げ剛さの平均値と標準偏差は試料 5 点の数値から算出した。それぞれの試料番号○-1 の数値は漉嵌（捨糊無）と共通なので、4.3.1 以降は省略する。

4.3.1 漉嵌（捨糊無）/漉嵌（捨糊有）/手繕い（グラフ 28/表 7-1）

漉嵌（捨糊無）と漉嵌（捨糊有）は同じ試料を使用したのもので、その 5 点試料の平均値は 0.347657143、標準偏差は 0.075678806 だった。

4.3.2 繊維の長さの違う紙料の混合比による違い（グラフ 29/表 8-1～表 8-5）

長繊維の場合は漉嵌（捨糊無）と同様である。②-2（80:20）、②-3（60:40）と②-4（50:50）のそれぞれの平均値は 0.29632、0.31018、0.28258 であり、それに対しての標準偏差は 0.016375347、0.04417111、0.04192925 だった。短繊維のみの平均値は 0.24894 で、標準偏差は 0.019301114 だった。

4.3.3 繊維の叩解度（フィブリル化度）による違い（グラフ 30/表 9-1、表 9-2）

叩解有の平均値は 0.4043、その数値によって計算した標準偏差は 0.162122161 だった。

4.3.4 異種繊維との混合による違い（グラフ 31/表 10-1～表 10-3）

④-2（50:50）の平均値は 0.35562 であり、標準偏差は 0.030503065 だった。④-3（竹繊維のみ）の平均値は 0.31162、標準偏差は 0.015078362 だった。

4.3.5 溜漉きと流漉き（揺漉き）の違い（グラフ 32/表 11-1、表 11-2）

流漉きの平均値は 0.41902 であり、標準偏差は 0.017500771 だった。

4.4 考察

グラフ 28 を見ると、手繕い（①-3）は本紙と同じ紙を使用したので本紙と長繊維溜漉きの試料（①-1 と①-2 は同じもの）を比較した。補修紙部分は本紙と比べて曲げ剛さが小さい＝柔らかいという数値であるが、密度とも関連している。当然のことながら既製品の楮紙においては、経年数は不明ながら漉かれてからある程度の期間が経過しており、いわゆるシーズニング（枯れ）が進んでいると考えられ、密度が高い。対して実験で作製した試料は、漉き立てであり密度が低いという当たり前の結果と思われる。

グラフ 29 を見ると、長繊維（②-1=①-1）の場合と短繊維（②-5）の場合は曲げ剛さでは長繊維の方が硬いという結果であった。②-2、②-3、②-4、の数値はその値の間にはなっており、配合比に応じているようにも見えるが、一部で逆転するものもある。標準偏差を見るとそのばらつきの範囲内で、おおよそ配合比に応じていると言えなくもないという結果である。短繊維を混ぜることで、密度が上がるとした、実験前の想定が違っていたことが分かる。繊維の密度が小さい＝水素結合による接合箇所が少ないという意味でもあるので、3 章の実験で短い繊維が多い程、接合強度が小さくなることは当然と言える。なぜ、繊維長が短くなると密度が下がるのかという問題を含めて、さらなる検証が必要と思われる。

グラフ 30 を見ると、フィブリル化を生ずるまで叩解した試料（③-2）は、叩解をしていない試料（③-1=①-1）の試料より硬く、密度も高い。補修紙より本紙の数値に近い数値を示した。フィブリル化によって水素結合のポイントが増えれば密度も向上し、硬くなることは自明なので、ある意味で予想通りだったと言える。

グラフ 31 を見ると、楮紙（④-1=①-1）と竹紙（④-3）の違いとして見た場合、竹紙の

方が柔らかいが、密度が高い事が分かる。つまり、繊維そのものの性質の違いが表れているといえる。ただし混合した試料では柔らかさがその中間という訳でもなく、密度は却って竹繊維 100%の場合より高くなっている。3 章で長繊維と短繊維の混合したモデルについて述べたこととは逆の事象が生じていると考えられる。即ち長繊維のネットワークに竹繊維が入り込んで上記とは別の構造となっている可能性がある。それについては、さらに断面の観察など検証する必要があると考えられる。

流漉き（揺漉き）の試料（⑤-2）の試料は溜漉きの試料（⑤-1=①-1）より硬く、密度も高い。本紙に近いということは、本紙が流漉き（揺漉き）で漉かれてシーズニング（枯れ）が進んでいることを示していると思われる。

実験 6 の試料の調製と計測が間に合わなかったため、乾燥時のプレスに関する測定ができなかった。今後継続して実験を行うこととしたい。

おわりに

本研究における実験では、補修部の接合強度に加えて補修部分に形成された紙の物性についても評価する事ができた。実験 1 の手繕いと漉嵌（捨糊有/無）では予想を上回る大きな差が認められた。これは使用した糊の濃さ、作業者の技術力などの要素が関係しており、本実験で得られたような差として現れるとは限らない。とはいえ、逆に言えばこれほどの差になる可能性もあるということを示している。こうした部分を実験によって検証するのはやはり難しいと痛感した。より客観的なデータが出せるようにさらに条件を厳密にして実験を組み立てる必要があると思われる。実験 2 の短繊維の配合は、実験前には、配合比率によっては接合強度が向上するかも知れないと考えたが、全く逆の結果となった。配合比率以前の問題として、長繊維ネットワークの空隙の大きさについてのスケール感覚が欠如していた事が原因であったと考えている。短繊維を混ぜる目的として地合を整えるためということであったので、強度というよりはむしろ、補修部分の地合＝表面の状態についての検証も必要であると思う。実験 4 の異

種繊維配合比による違いでは、当たり前の事ながら紙料繊維ごとの特徴をもっと把握する必要があると分かった。また、実験6の乾燥方法では万力による高圧下では接合強度が著しく向上したが、ジャッキによる脱水やプレス乾燥時の加重については本実験の条件下では接合強度に影響しているとは思えなかった。実験の方法や条件の見直しが必要である。

当初の目的であった接合部分の強度については、補修紙の密度が関係しているという漠然とした感触を得ることができた。

今後の方向性について考えると、本実験では単独条件での検証を行ったが、中には条件を組み合わせることで強度が上がったりする可能性もないとは言えない。更に条件を厳密にするとともに、試料数を増やして実験誤差を少しでも小さくすることも課題であろう。

〔謝辞〕

本研究を行うにあたり、接合強度及び曲げ試験のご指導協力頂いた京都市産業技術研究所の小田明佳様に深く御礼申し上げます。

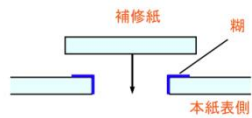
注：

1. 大林賢太郎 2000 p40-43
2. 宇都宮正紀 2004 p36-41
3. 刀谷公子 2014 p10
4. 堀田圭吾 2016 p10
5. 宇都宮正紀 2018 p16～18
6. 本紙の欠失部の形と位置のデジタルデータをもとに、本紙代替シートを作製し、そのうえで紙漉きをして、補修紙を作成するものである。（大林『装演文化財の保存修理 東洋絵画・書跡修理の現在』）
7. フィブリルとは、繊維を構成している微小な組織単位。フィブリルは繊維軸に対して70度くらいの角度でらせん状に配列し、たとえば扁平な木綿繊維では表裏で網目模様になる管状構造を形成している。セルロース繊維から成るパルプはそのままでは繊維の長さや太さが大きすぎたり硬すぎたりするので、叩解（こうかい）という主としてフィブリル化を目的とする操作を行う。フィブリル化は木材繊維の第二次膜およびその内部組織を形成している比較的大きなフィブリルがほぐれてきて、さらにその表面に微細なマイクロフィブリルが毛羽立ってくる現象である。（『世界大百科事典 第2版』）

参考文献

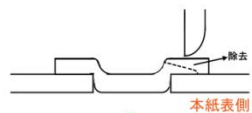
1. 大林賢太郎 「漉嵌」、岡墨光堂『修復 6』 2000 p40-43
2. 宇都宮正紀 「Digital Image Infill Paper System (DIIPS)」 岡墨光堂『修復 7』
2002 p36-39
3. 宇都宮正紀 「修理技術 漉嵌 2」、岡墨光堂『修復 8』 2004 p36-41
4. 刀谷公子 「重要文化財 彦根藩井伊家文書 老中奉書・老中達書・伺書」保存修理について 『国宝修理装演師連盟第 22 回定期研修会報告書』 2014 p10
5. 堀田圭吾 「重要文化財 対馬宗家関係資料」の保存修理－漉嵌法、特に足し紙について－ 『国宝修理装演師連盟第 22 回定期研修会報告書』 2016 p10
6. 大林賢太郎 『装演文化財の保存修理 東洋絵画・書跡修理の現在』
国宝修理装演師連盟 2015
7. 宇都宮正紀 「漉嵌を用いた大量文書群の修理理論と実践」 奈良大学 博士論文 2018
8. 福島希 「リーフキャストの技術と歴史」 2009. 5
https://www.hozon.co.jp/report/post_8667 (2019. 5. 20 閲覧)
9. 多仁照廣 (涛声学舎舎主) 「文化財未指定の古文書修復の必要性、具体的対応と問題点について」 第 8 回 資料保存シンポジウム 2014. 10
<http://www.kms.gol.com/bunken/tanisenn/tanisi.htm> (2020. 9. 13 閲覧)
10. 東京修復保存センター 「リーフキャストの歴史」 2016. 11
http://www.trcc.jp/1st_lc_001.html (2020. 9. 10 閲覧)

1. 本紙と補修紙を湿して貼る



2. 仮張りもしくはプレス乾燥

3. 糊代部分をなだらかに削り取る



4. 完成

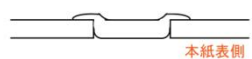
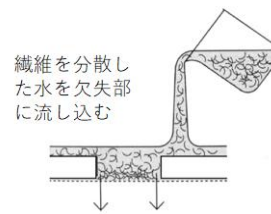


図 1 手繕い工程

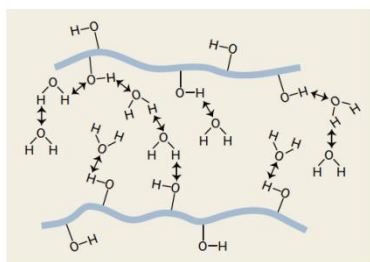


下へ吸引すると、欠失部にのみ吸引力が働き、
繊維が欠失部に蓄積し、水が抜ける

脱水し、乾燥させて完成

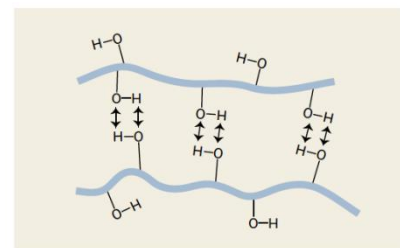


図 2 澆嵌工程



繊維が水の中に分散している状態では、セルロースの水酸基や水はゆるやかに引き合っている

図 3



水がなくなると、繊維同士が引き寄せられ、セルロース間で水素結合が生じる

図 4



試料サイズ (cm) $22.0 \times 5.0 \times 0.012$

穴サイズ (cm) $(18.0 \times 1.0) \times 2$ 本

図 5

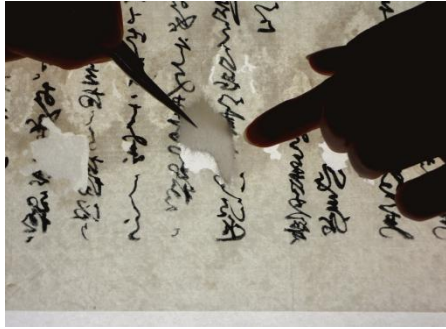


写真 1 手繕い



写真 2 漉嵌



写真 3 漉嵌機

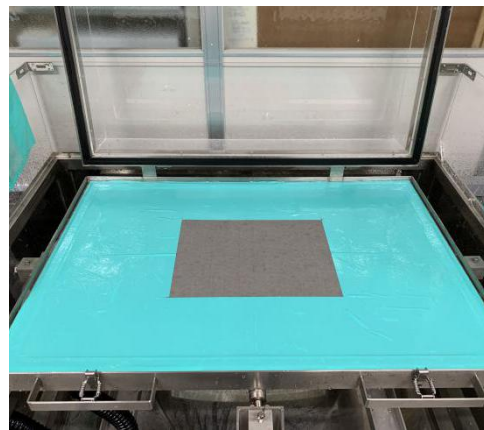


写真 4 漉嵌機



写真 5 糊を塗布する



写真 6 「手繕い」の貼り作業

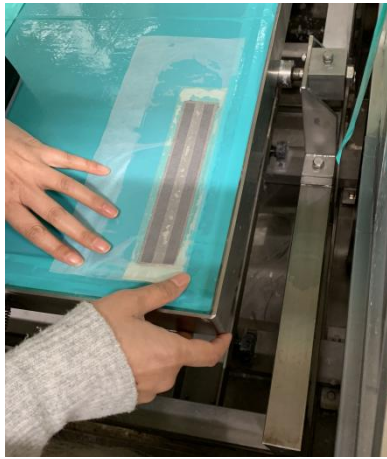


写真 7 澆嵌作業



写真 8 澆嵌作業



写真 9 澆嵌作業



写真 10 澆嵌作業

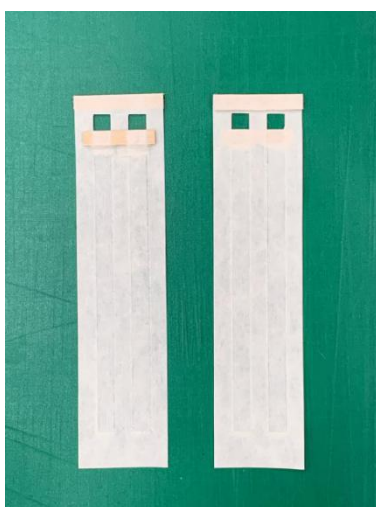


写真 11



写真 12

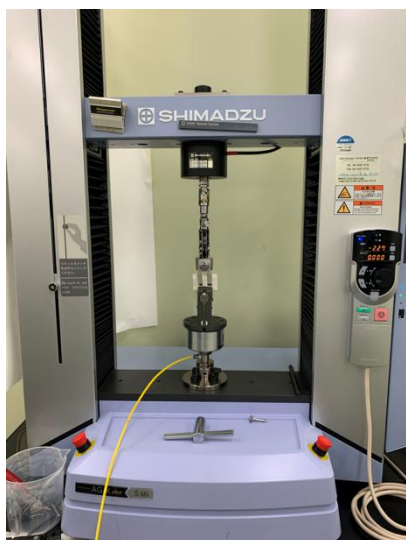


写真 13 引っ張り試験機



写真 14 引っ張り試験機



写真 15 引っ張り強度試験の様子



写真 16 引っ張り強度試験の様子



写真 17 純曲げ試験機



写真 18 測定様子

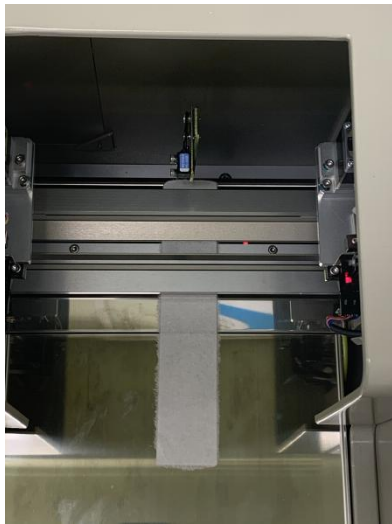


写真 19 測定様子

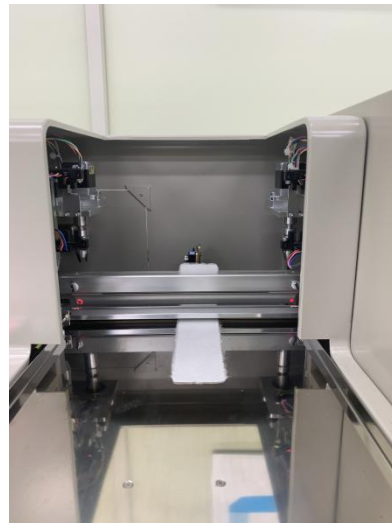


写真 20 測定様子

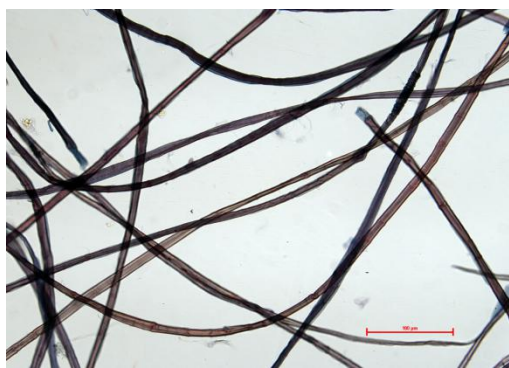


写真 21 フィブリル化無し

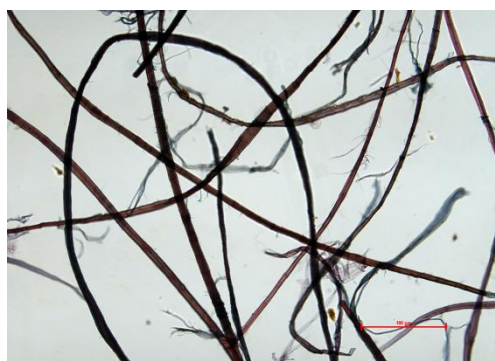


写真 22 フィブリル化有り

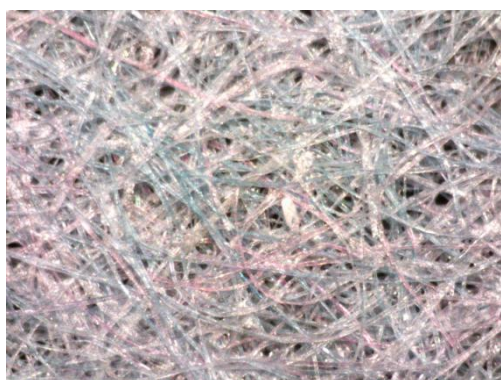


写真 23 混合繊維 表



写真 24 混合繊維 裏

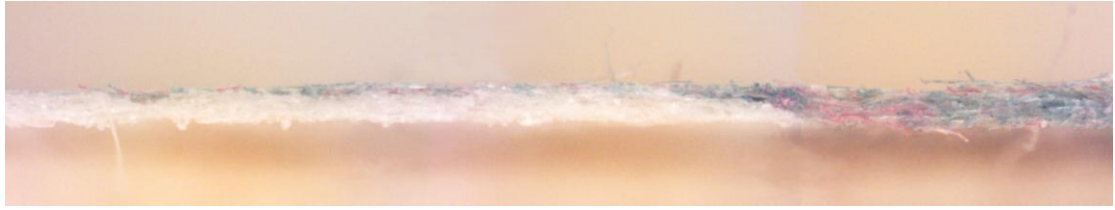


写真 25 長繊維:短繊維=8:2 断面

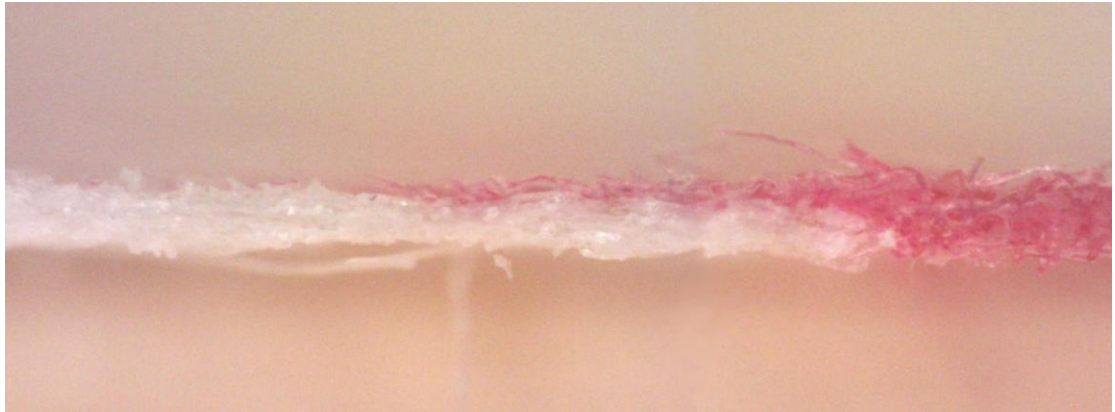


写真 26 短繊維 断面

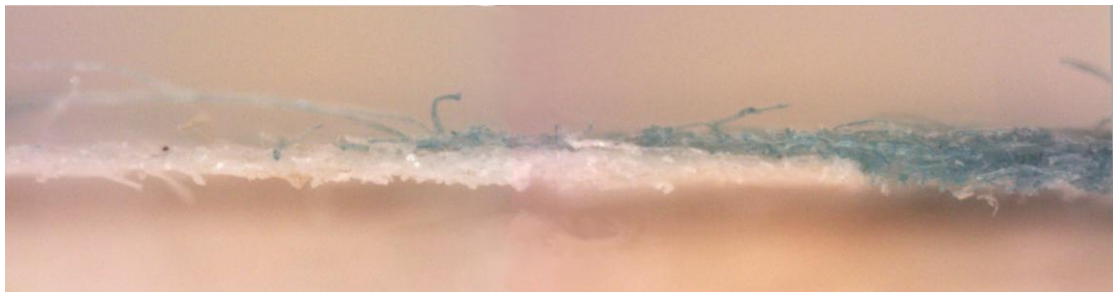


写真 27 長繊維 断面

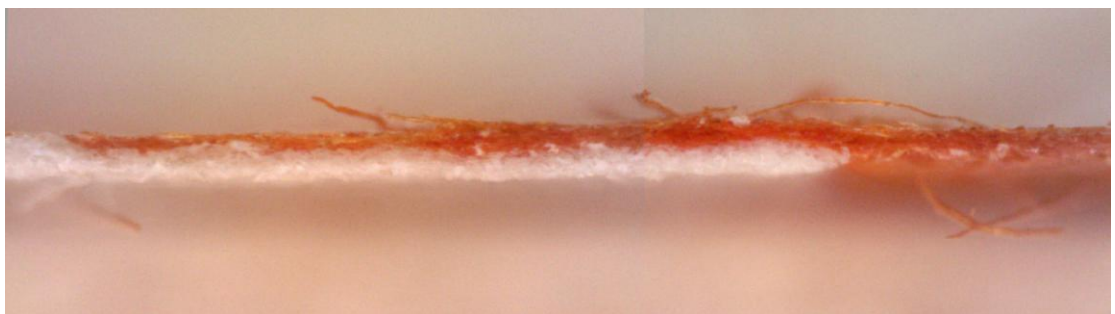


写真 28 手繕い 断面

表1-1（澱嵌（捨糊無））

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.08323795	0.07184729	0.07623291	0.05505782	0.10732504	0.0787402	0.01905241

表1-2（澱嵌（捨糊有））

試料名	試料1-2_1	試料1-2_2	試料1-2_3	試料1-2_4	試料1-2_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.08664135	0.10951546	0.11124572	計測不能	0.12656304	0.10849139	0.01645847

表1-3（手繕い）

試料名	試料1-3_1	試料1-3_2	試料1-3_3	試料1-3_4	試料1-3_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.17399254	0.51764457	0.27749696	0.22268045	0.21892823	0.28214855	0.13666656

表2-1（=1-1）（長繊維：短繊維＝100:0）

試料名	試料2-1_1	試料2-1_2	試料2-1_3	試料2-1_4	試料2-1_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.08323795	0.07184729	0.07623291	0.05505782	0.10732504	0.0787402	0.01905241

表2-2（長繊維：短繊維＝80:20）

試料名	試料2-2_1	試料2-2_2	試料2-2_3	試料2-2_4	試料2-2_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.05539665	0.05398356	0.07421454	0.05156415	0.07606404	0.06224459	0.01186874

表2-3（長繊維：短繊維＝60:40）

試料名	試料2-3_1	試料2-3_2	試料2-3_3	試料2-3_4	試料2-3_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	計測不能	0.03523045	計測不能	0.07124758	0.03887281	0.04845028	0.01982686

表2-4（長繊維：短繊維＝50:50）

試料名	試料2-4_1	試料2-4_2	試料2-4_3	試料2-4_4	試料2-4_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	計測不能	計測不能	0.04400837	0.04443177	0.03171677	0.0400523	0.00722189

表2-5（長繊維：短繊維＝0:100）

試料名	試料2-5_1	試料2-5_2	試料2-5_3	試料2-5_4	試料2-5_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.02103495	0.0220165	0.04537989	0.0605826	0.05554768	0.04091232	0.01852859

表3-1（=1-1）（叩解無）

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.08323795	0.07184729	0.07623291	0.05505782	0.10732504	0.0787402	0.01905241

表3-2（叩解有）

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.14923167	0.11507474	0.11254118	0.09627364	0.12974049	0.12057234	0.01994093

表4-1（=1-1）（楮：竹＝100:0）

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.08323795	0.07184729	0.07623291	0.05505782	0.10732504	0.0787402	0.01905241

表4-2（楮：竹＝50:50）

試料名	試料4-2_1	試料4-2_2	試料4-2_3	試料4-2_4	試料4-2_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.0747415	0.06571418	0.05312415	0.07108356	0.08951387	0.07083545	0.01326763

表4-3 (楮:竹 = 0:100)

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.08323795	0.07184729	0.07623291	0.05505782	0.10732504	0.0787402	0.01905241

表5-1(溜漉き)

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.08323795	0.07184729	0.07623291	0.05505782	0.10732504	0.0787402	0.01905241

表5-2(流漉き)

試料名	試料5-2_1	試料5-2_2	試料5-2_3	試料5-2_4	試料5-2_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.14455352	0.2289106	0.08287632	0.08421794	0.10184564	0.1284808	0.06142654

表6-1 (脱水無&軽プレス)

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.08323795	0.07184729	0.07623291	0.05505782	0.10732504	0.0787402	0.01905241

表6-2 (脱水無&重プレス)

試料名	試料6-2_1	試料6-2_2	試料6-2_3	試料6-2_4	試料6-2_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.57566158	0.05662919	0.10689378	0.08468542	0.06071101	0.1769162	0.2238192

表6-3 (脱水有&軽プレス)

試料名	試料6-3_1	試料6-3_2	試料6-3_3	試料6-3_4	試料6-3_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.13827317	0.07662987	0.15505526	0.04966068	0.06933742	0.09779128	0.04607583

表6-4 (脱水有&重プレス)

試料名	試料6-4_1	試料6-4_2	試料6-4_3	試料6-4_4	試料6-4_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.47095136	0.04442531	0.07431273	0.85822164	0.11698473	0.31297915	0.34990757

表6-5 (板干)

試料名	試料6-5_1	試料6-5_2	試料6-5_3	試料6-5_4	試料6-5_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.05178619	0.37718128	0.08136063	0.05925664	0.33246121	0.18040919	0.16036794

表6-6 (製本用万力)

試料名	試料6-6_1	試料6-6_2	試料6-6_3	試料6-6_4	試料6-6_5	平均	標準偏差
平均はく離強度	0.1660779	0.23179603	0.22574569	0.157908	0.213708	0.19904713	0.03456748

表7-1 (補修 = 漉嵌部分)

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.284	0.30685714	0.28742857	0.42857143	0.43142857	0.34765714	0.07567881

表7-2 (本紙)

試料名	試料0-1_1	試料0-1_2	試料0-1_3	試料0-1_4	試料0-1_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.41371429	0.35314286	0.54114286	0.44171429	0.49657143	0.44925714	0.07286935

表8-1(長繊維 :短繊維 = 100:0)

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.284	0.30685714	0.28742857	0.42857143	0.43142857	0.34765714	0.07567881

表8-2(長繊維 :短繊維 = 80:20)

試料名	試料2-2_1	試料2-2_2	試料2-2_3	試料2-2_4	試料2-2_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.3169	0.3095	0.2894	0.2887	0.2771	0.29632	0.01637535

表8-3(長繊維 :短繊維 = 60:40)

試料名	試料2-3_1	試料2-3_2	試料2-3_3	試料2-3_4	試料2-3_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.2765	0.2502	0.3398	0.3337	0.3507	0.31018	0.04417111

表8-4(長繊維 :短繊維 = 50:50)

試料名	試料2-4_1	試料2-4_2	試料2-4_3	試料2-4_4	試料2-4_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.2962	0.2172	0.2665	0.319	0.314	0.28258	0.04192925

表8-5(長繊維 :短繊維 = 0:100)

試料名	試料2-5_1	試料2-5_2	試料2-5_3	試料2-5_4	試料2-5_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.284	0.30685714	0.28742857	0.42857143	0.43142857	0.34765714	0.07567881

表9-1(叩解無)

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.284	0.30685714	0.28742857	0.42857143	0.43142857	0.34765714	0.07567881

表9-2 (叩解有)

試料名	試料3-2_1	試料3-2_2	試料3-2_3	試料3-2_4	試料3-2_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.284	0.30685714	0.28742857	0.42857143	0.43142857	0.34765714	0.07567881

表10-1 (楮:竹 = 100:0)

試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.284	0.30685714	0.28742857	0.42857143	0.43142857	0.34765714	0.07567881

表10-2 (楮:竹 = 50:50)

試料名	試料4-2_1	試料4-2_2	試料4-2_3	試料4-2_4	試料4-2_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.3169	0.3292	0.3794	0.3835	0.3691	0.35562	0.03050307

表10-3 (楮:竹 = 0:100)

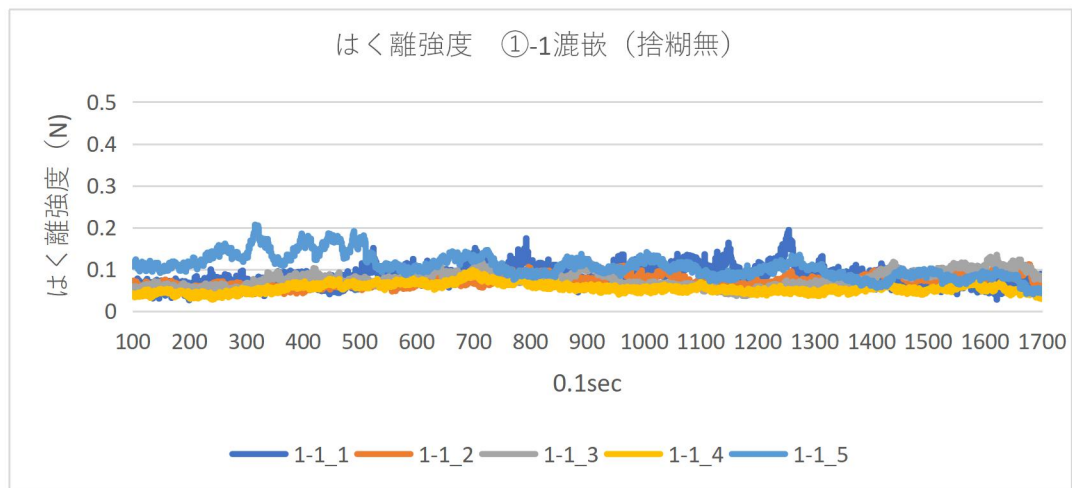
試料名	試料4-3_1	試料4-3_2	試料4-3_3	試料4-3_4	試料4-3_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.3135	0.2901	0.3084	0.3138	0.3323	0.31162	0.01507836

表11-1(溜漉き)

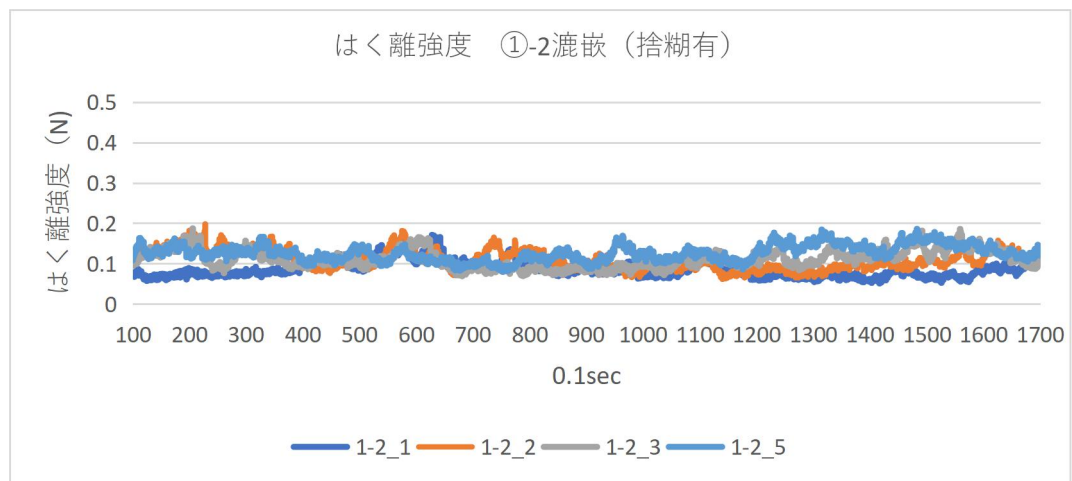
試料名	試料1-1_1	試料1-1_2	試料1-1_3	試料1-1_4	試料1-1_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.284	0.30685714	0.28742857	0.42857143	0.43142857	0.34765714	0.07567881

表11-2 (流漉き)

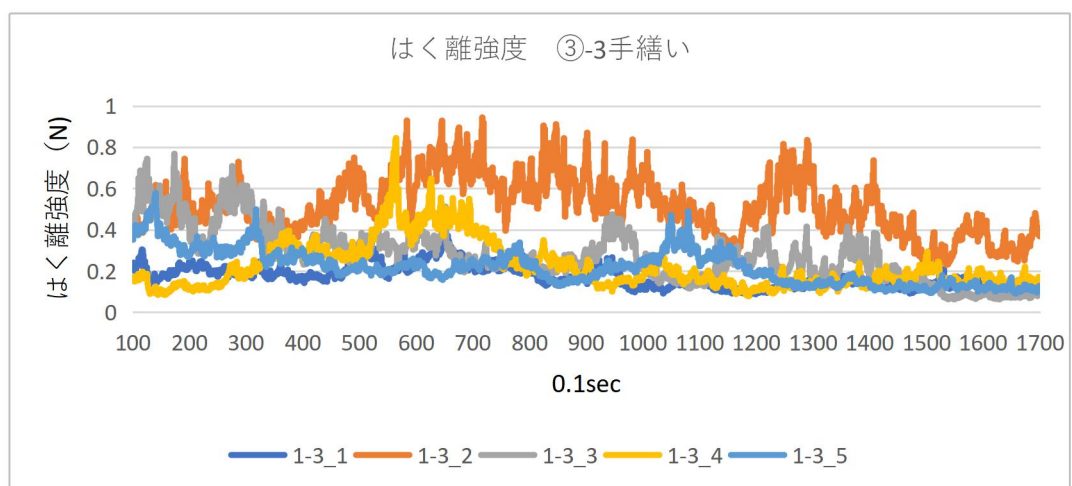
試料名	試料5-2_1	試料5-2_2	試料5-2_3	試料5-2_4	試料5-2_5	平均	標準偏差
平均曲げ剛さ (B-MEAN)	0.447	0.4033	0.4079	0.4125	0.4244	0.41902	0.01750077



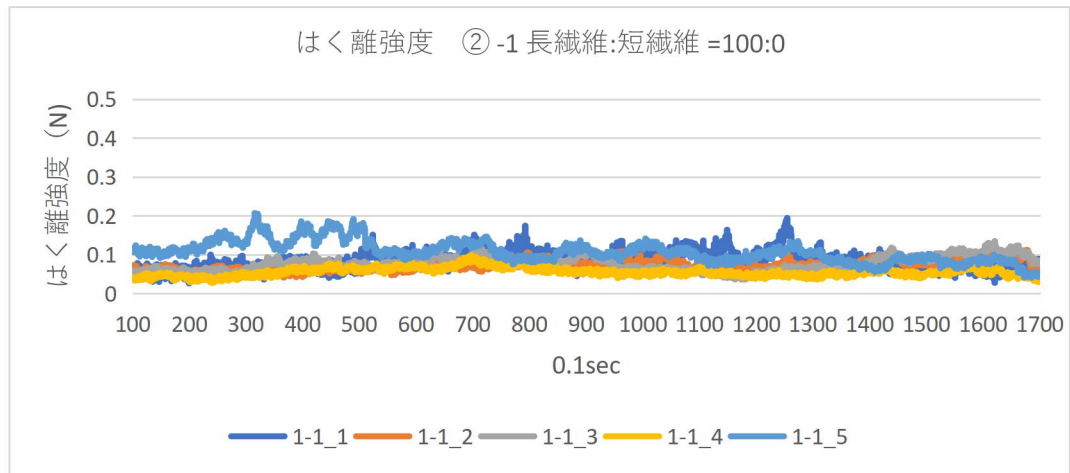
グラフ 1



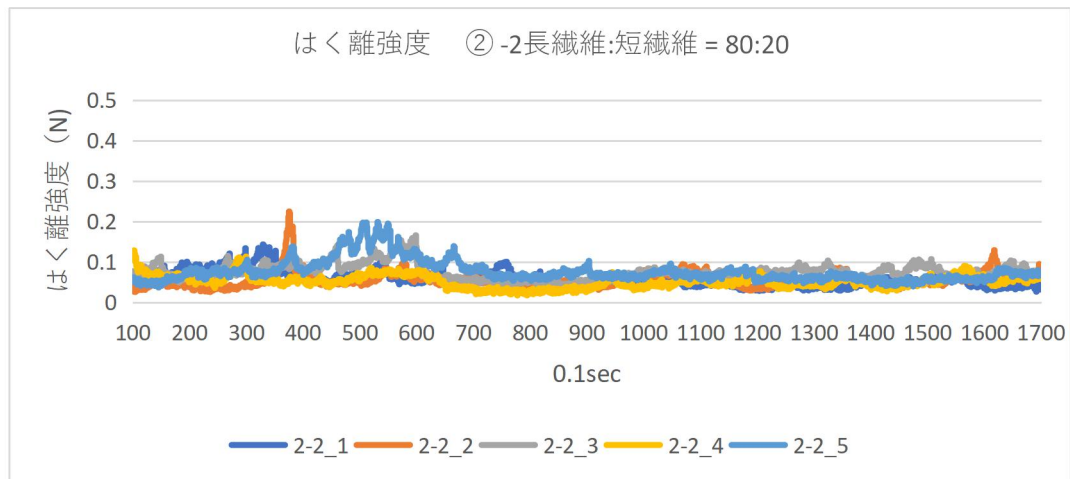
グラフ 2



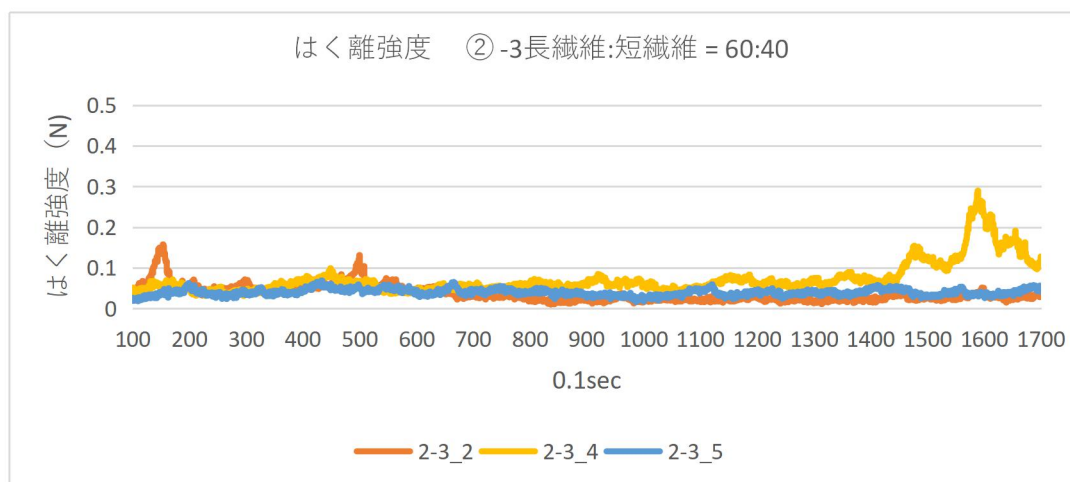
グラフ 3



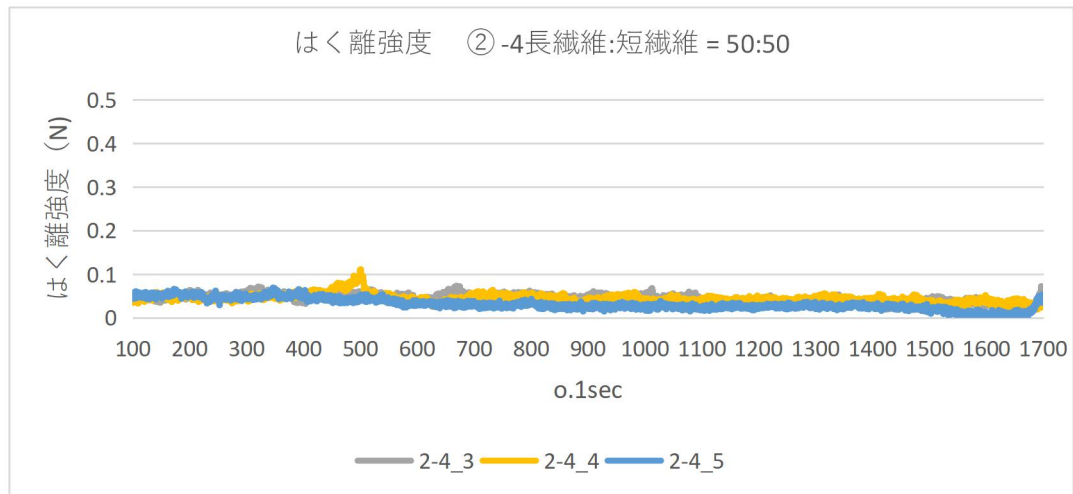
グラフ 4



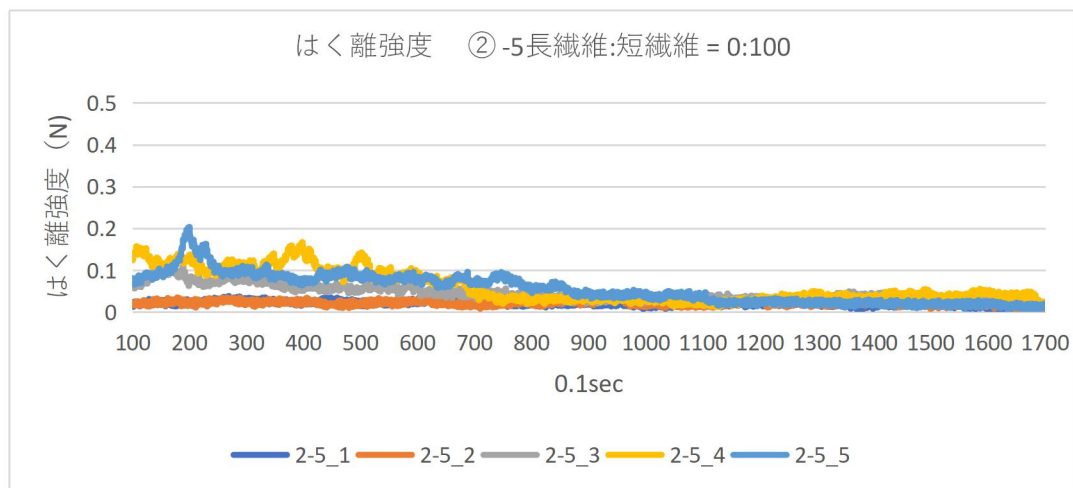
グラフ 5



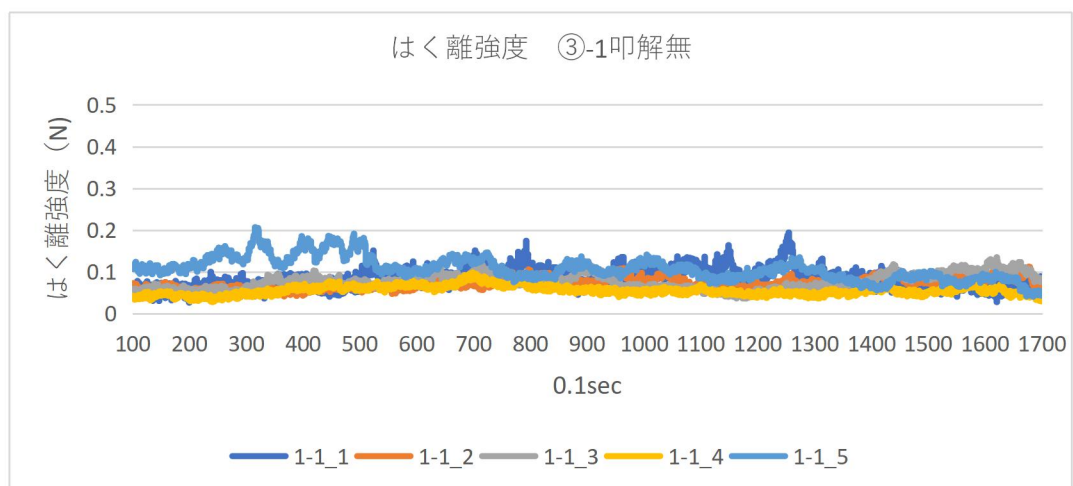
グラフ 6



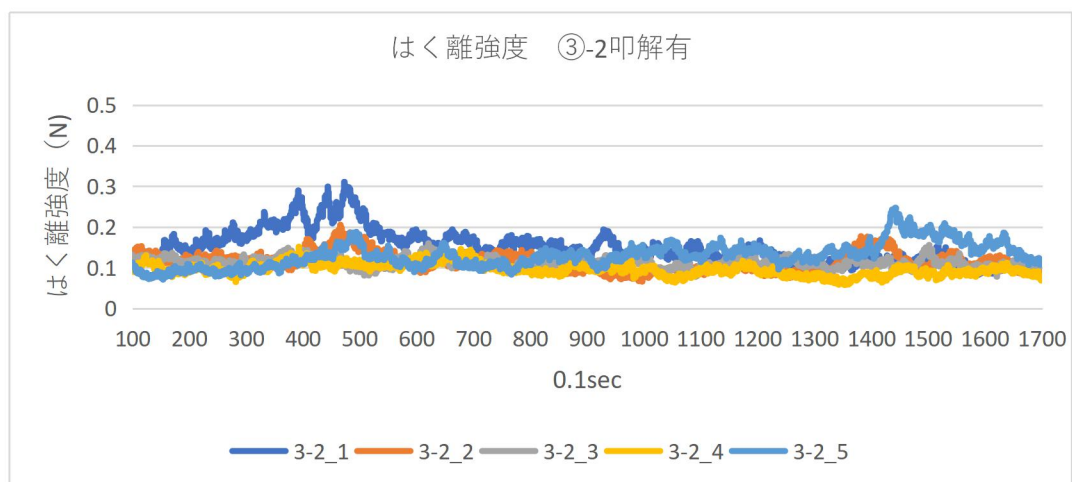
グラフ 7



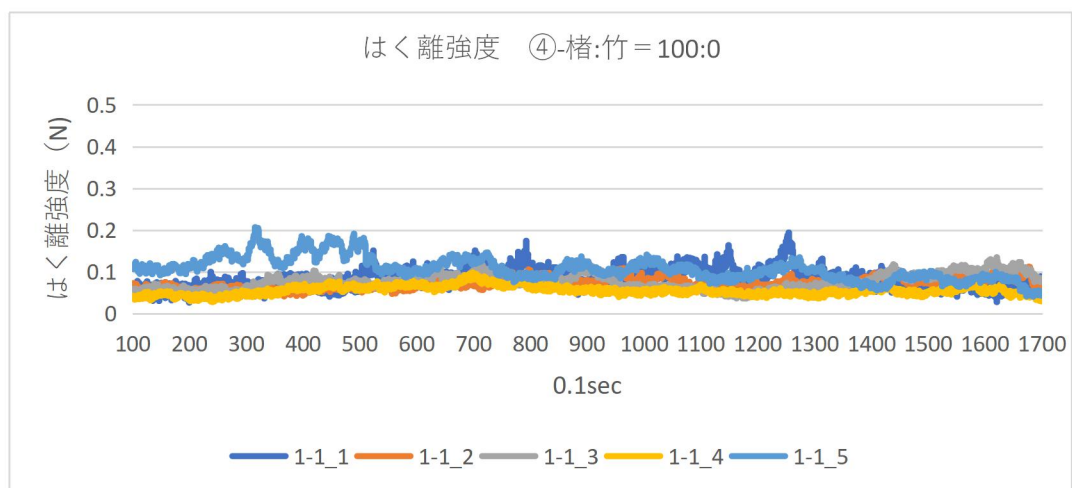
グラフ 8



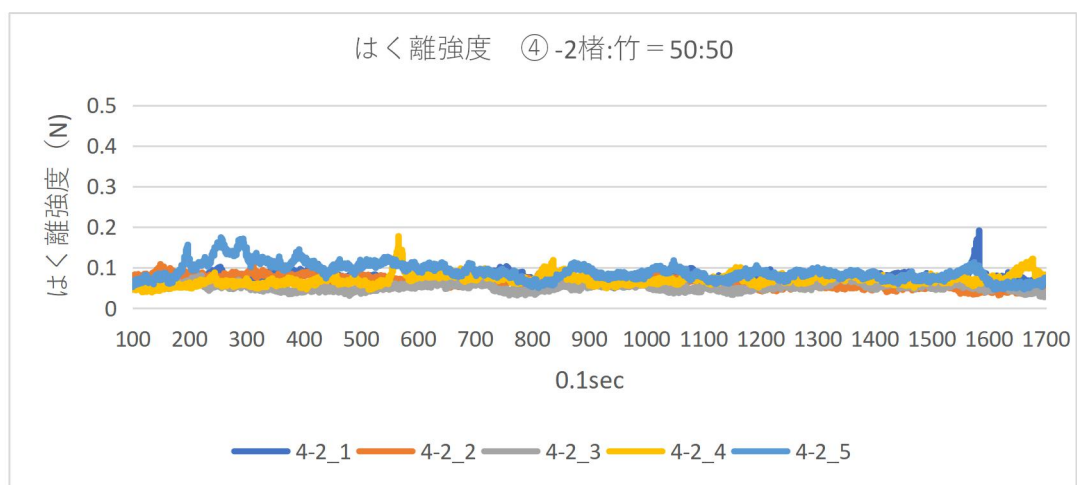
グラフ 9



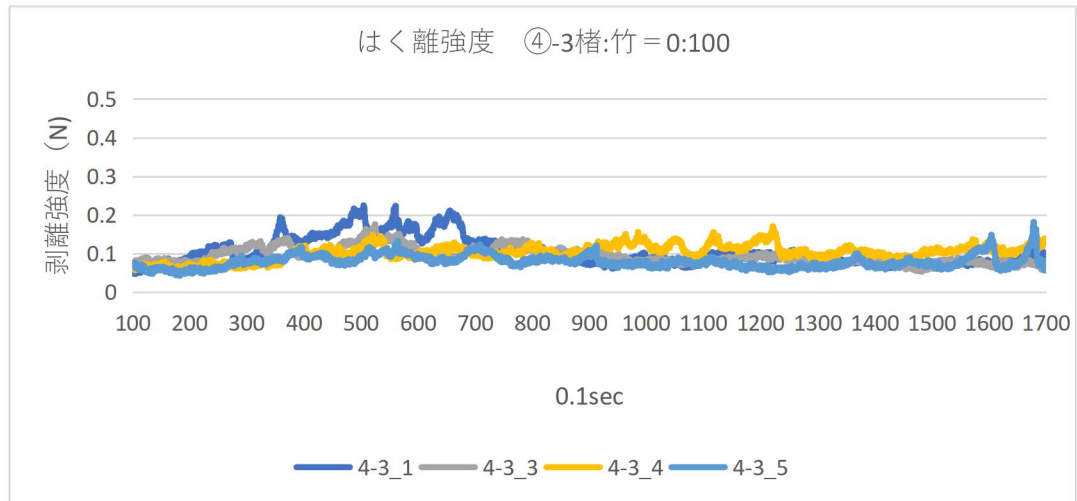
グラフ 10



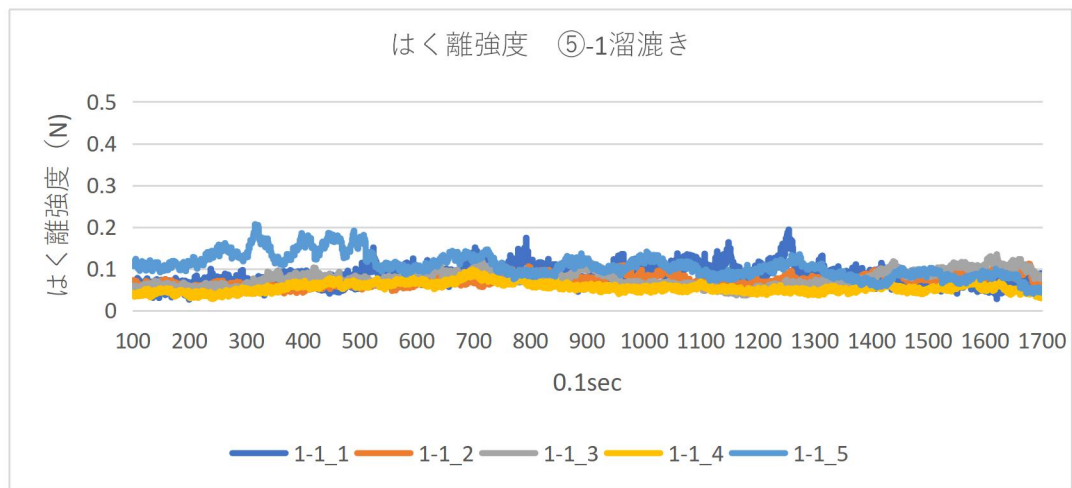
グラフ 11



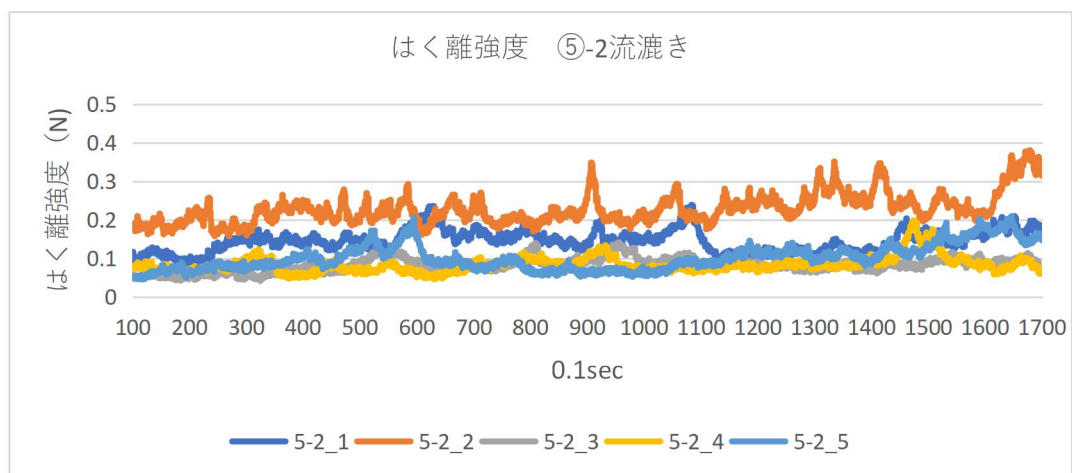
グラフ 12



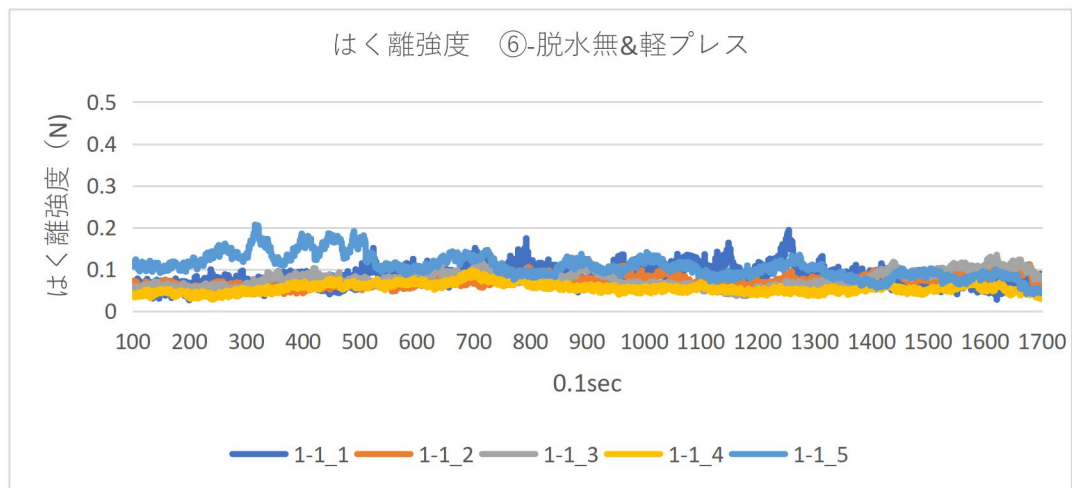
グラフ 13



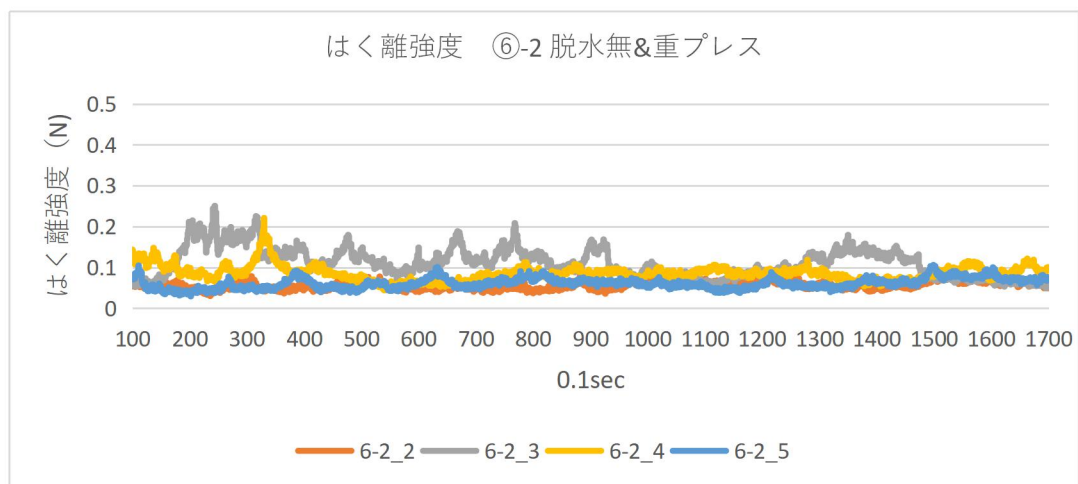
グラフ 14



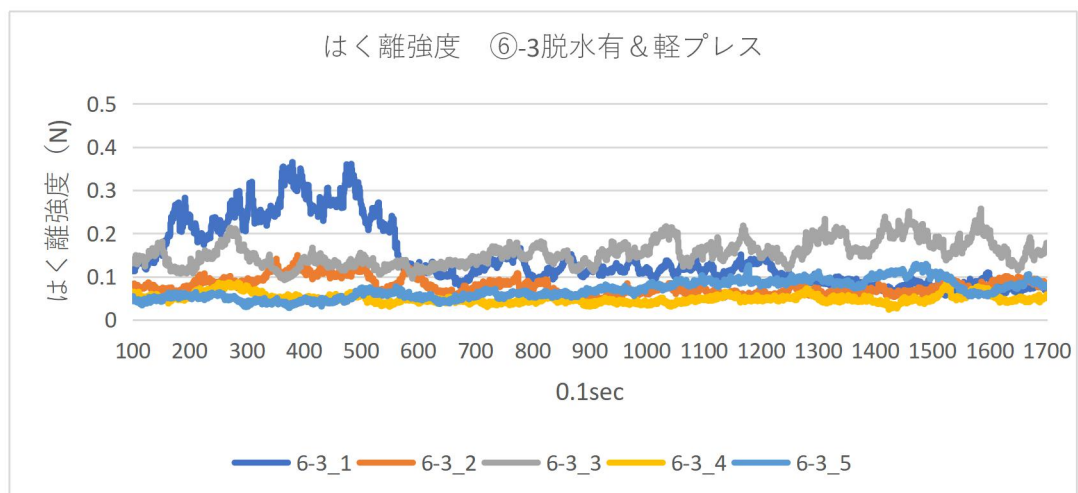
グラフ 15



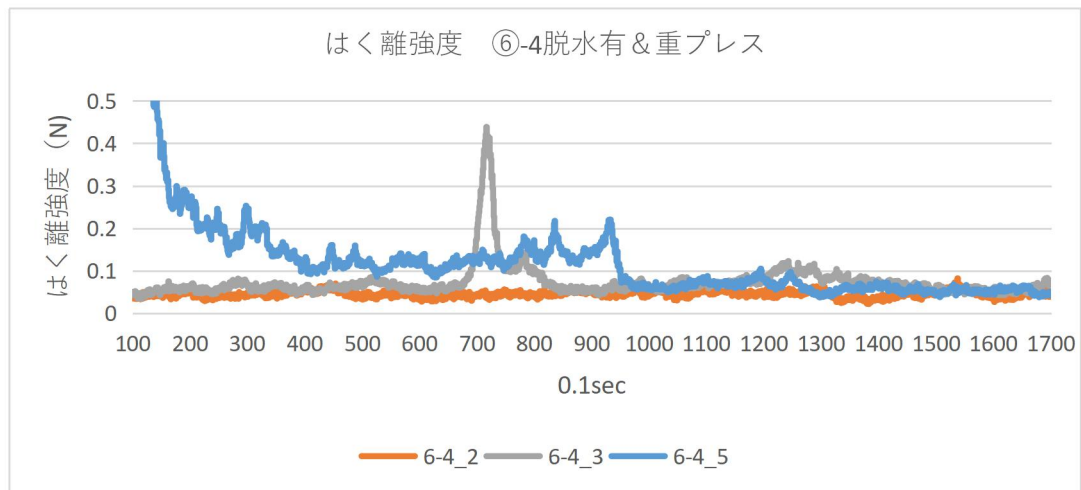
グラフ 16



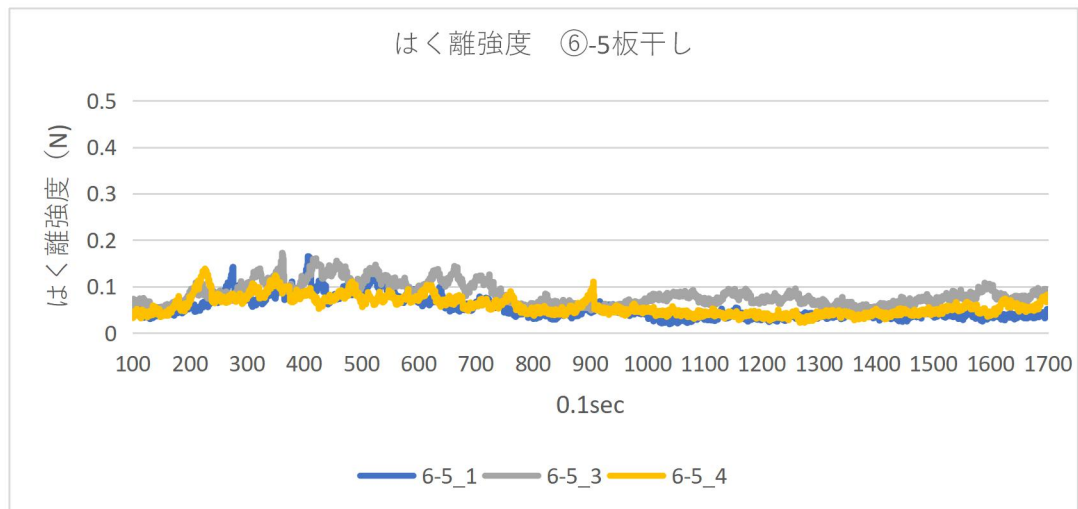
グラフ 17



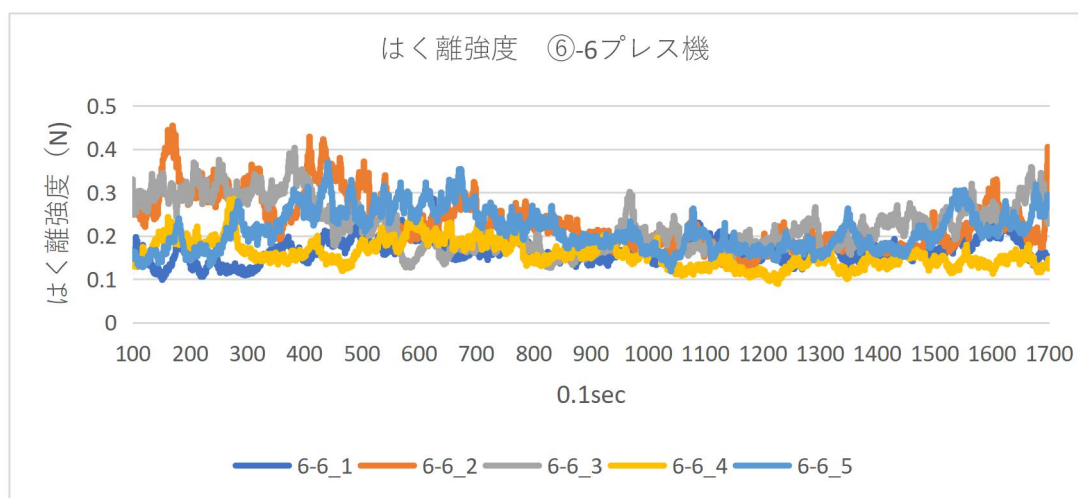
グラフ 18



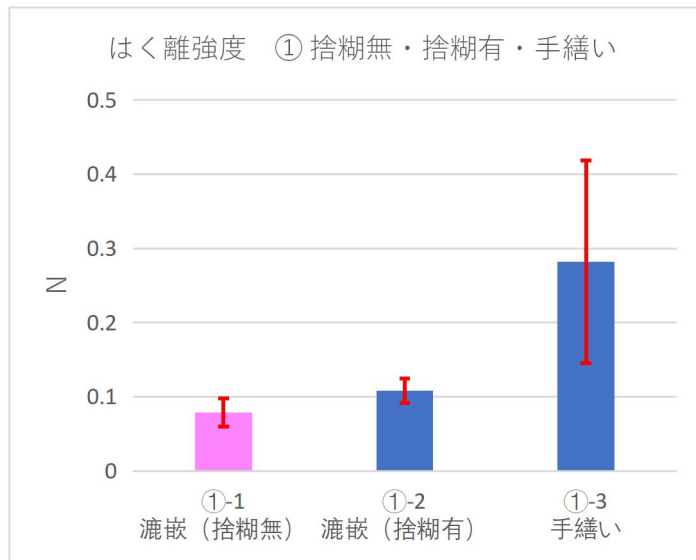
グラフ 19



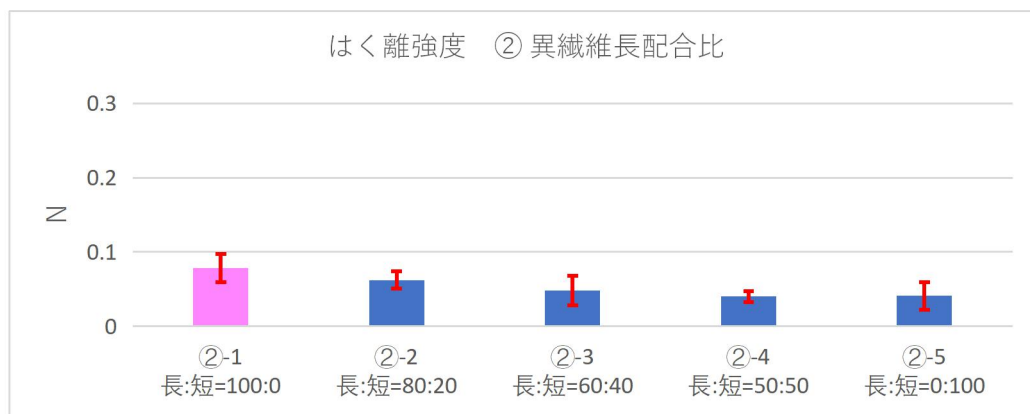
グラフ 20



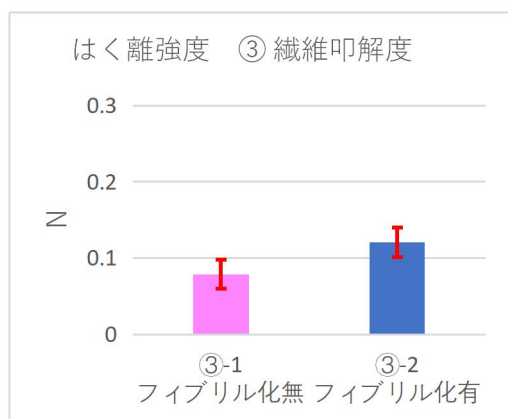
グラフ 21



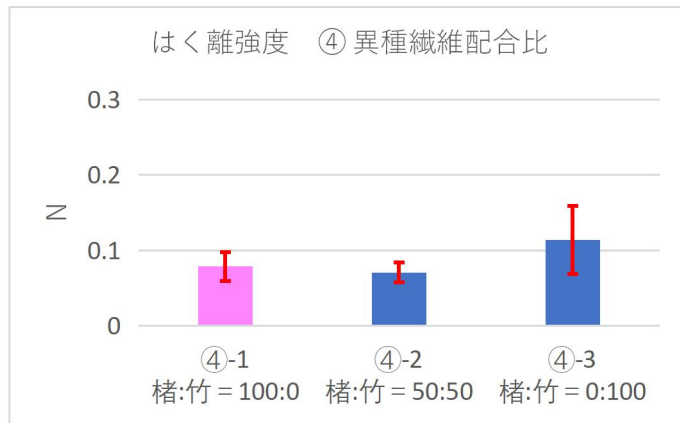
グラフ 22



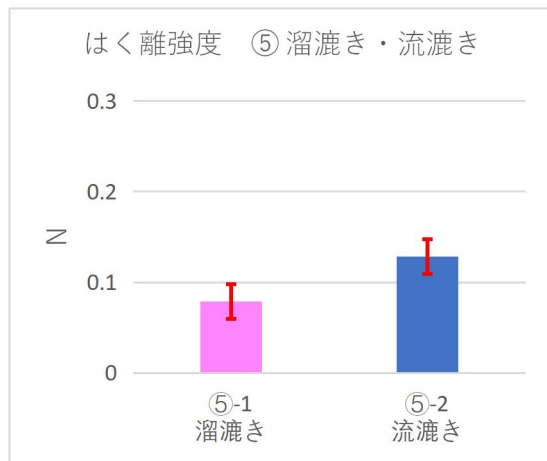
グラフ 23



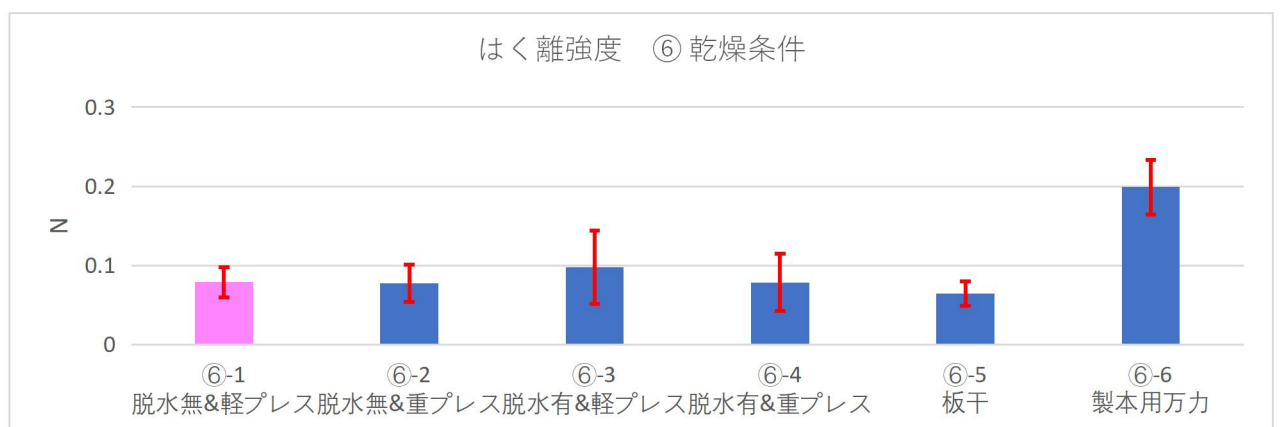
グラフ 24



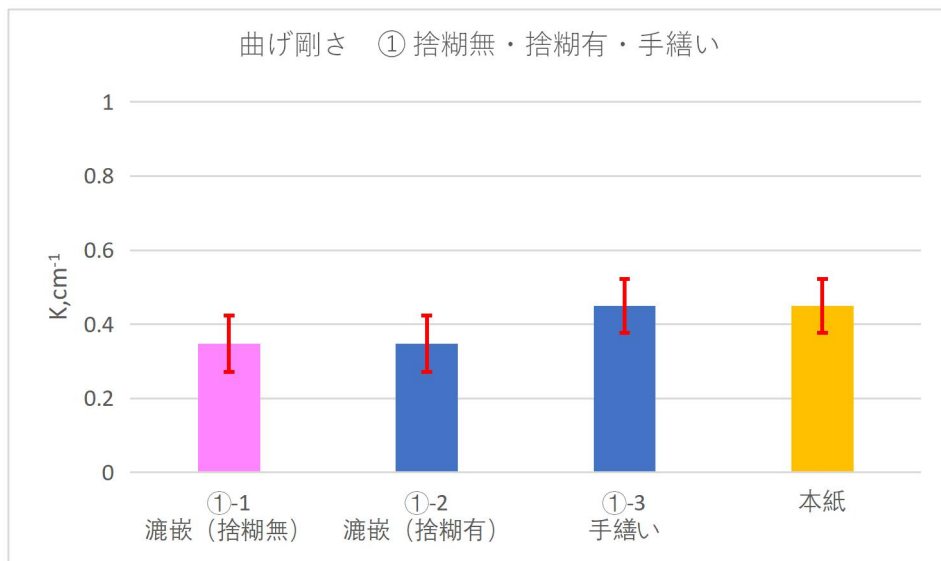
グラフ 25



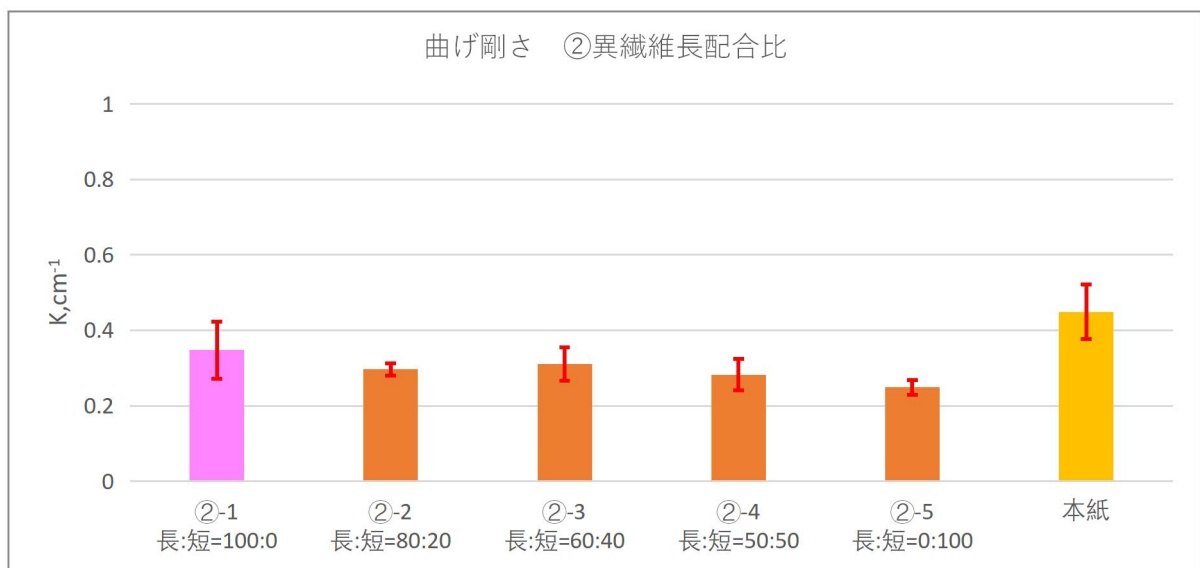
グラフ 26



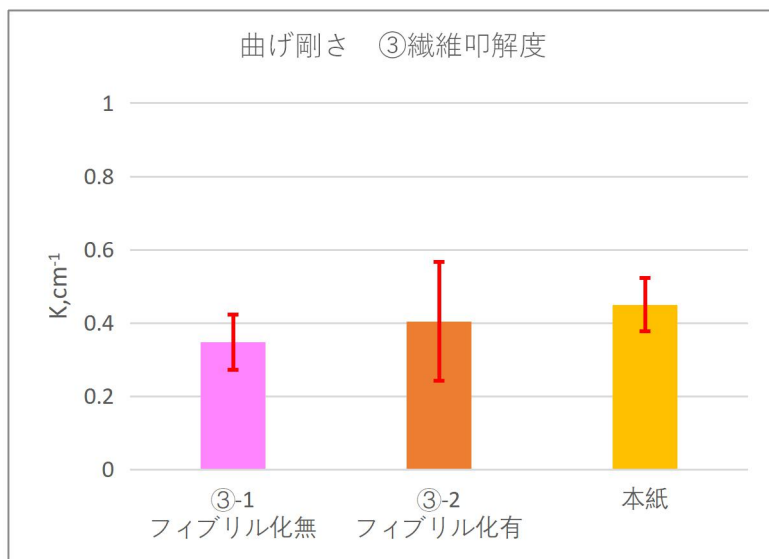
グラフ 27



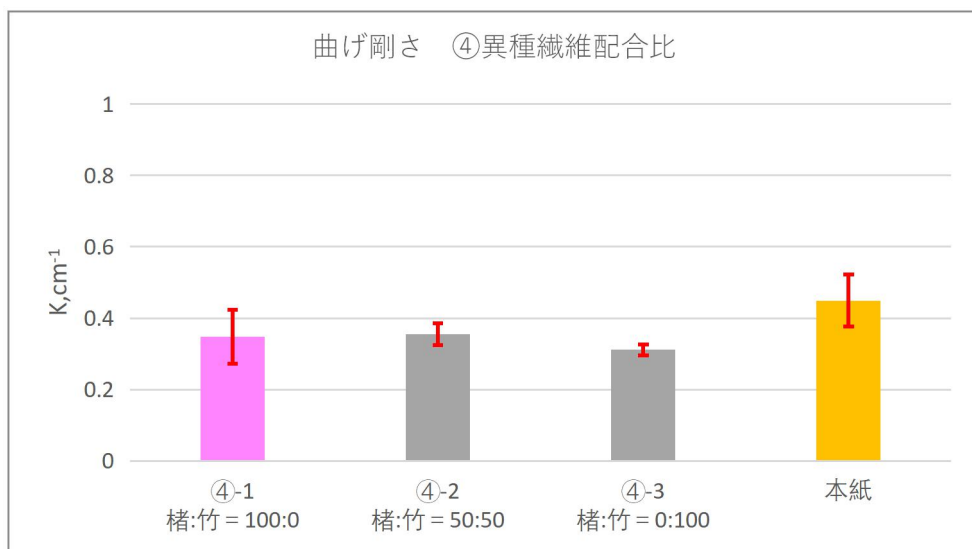
グラフ 28



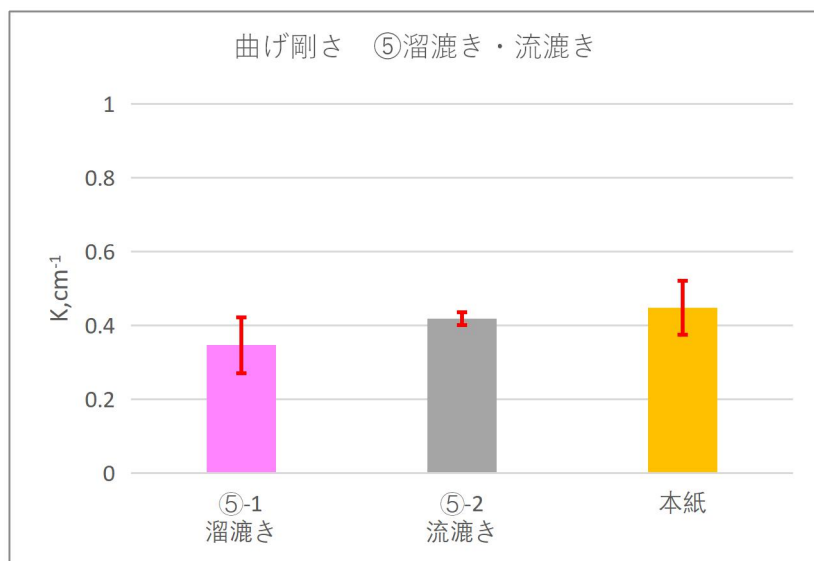
グラフ 29



グラフ 30



グラフ 31



グラフ 32

Verification of Joint Strength and Physical Properties of Repaired Parts in Filling Treatment of Leaf-casting

Leaf casting, which is one of the repair methods for damaged paper materials, has advantages in terms of work time and labor, but it has the disadvantage that the joint between the base paper and the filling part is comparatively weak. The experiment was conducted to test the joint strength among hand repair, leaf-casting, and the "sute nori" applied. It was recognized that hand repair was 3.6 times stronger than leaf-casting. It was only 1.5 times improvement even "sute nori" used in leaf-casting. We also measured the adhesive strength of samples with different blending ratios of fibers and their different lengths. It shows that the longer fibers are used, the stronger the adhesion tends to be. Moreover, we conducted experiments on different situations such as the presence or absence of beating of fibers, the mixing ratio with fibers from various plants, the presence or absence of shaking during papermaking, and different drying methods of after papermaking. In addition, we provided data on bending rigidity as the physical properties of the supplementary part.