

微細竹粉から開発した竹紙の抗菌・消臭性能および竹紙糸の力学的性質について

(家政教育講座) 眞 鍋 郁 代
(県立広島大学 健康科学科) 谷 本 昌 太
(愛媛県産業技術研究所繊維産業技術センター) 橋 田 充
(カミ商事) 大 井 辰 夫

Antibacterial Activity and Deodorization Effect of Compounded Papers Using Ground Wasted Bamboo

Ikuyo MANABE, Shota TANIMOTO, Mitsuru HASHIDA and Tatsuo OI

(平成23年6月10日受理)

要旨：竹には昔から抗菌効果、消臭効果、抗酸化作用があるといわれている。そこで竹の機能を生かした繊維製品化を目指し、竹を粉碎して作られた竹粉を配合した竹紙を試作した。異なる粉碎方法で作られた竹粉2種類を配合して作った手漉き竹紙2種類とパルプ100%の手漉き紙1種類を用いて、①抗菌性試験（JIS L 1902に基づく）、②消臭性試験を実施した。その結果、竹粉を配合した手漉き竹紙には、JISが定める抗菌防臭加工・制菌加工に求められる基準だけでなく、(社)繊維評価技術協議会の定める抗菌防臭加工の合格基準も満たす、非常に高い抗菌効果がみられた。消臭性能については、パルプ紙と比べて竹紙はアンモニアガスの吸着率が高く、消臭性能に優れていることがわかった。竹紙糸の作製については、7 mm幅、5 mm幅の竹紙をスピンドル回転数6,000rpm、撚り回数12回／1 inchが生産性、物性の両面からみてバランスがよいことがわかった。

Key words: papers using ground wasted bamboo, antibacterial activity, mechanical properties

キーワード：竹紙、抗菌性、消臭性、力学的性能

1. 緒言

竹には昔から抗菌効果、消臭効果、抗酸化作用があるといわれており、竹の皮が食品を包装するのに使用されるなど、笹とともに古くから食品との結びつきが深いことが知られている。

愛媛県内では、竹や筍の輸入量の増大や代替材の進展等により、竹製品の需要量の減少、生産者の減少・高齢化等が進み、モウソウチクを中心に多くの竹林が放置されるようになった。よって里山の農地やスギ、ヒノキ等の人工林に侵蝕し、多様な自然植生が失われてきているとともに、水資源の涵養や山腹崩壊防止等、里山の持つ公益的機能低下が懸念されており、近年、有効な利活用が課題となっている。

竹資源の利活用としては、日常生活用品への竹材利用、筍の食材としての利用、建材としての利用なども、従来通り行われているが、県内の新しい取り組み例として、有機堆肥、畜産飼料としての利用が進展しつつある。これにともなって、愛媛県内では竹の粉碎化技術が非常に発達した。

一方、竹を利用した繊維化の現状としては熔融紡糸が主力である。しかしこの方法では繊維化された後、竹自体に含有される成分に由来すると思われる抗菌効果、消臭効果、抗酸化作用といった機能が、十分に生かされないことも予想される。

そこで本研究では、竹資源の利活用および近年発達した竹の粉碎技術を十分に活用することと、竹のもつ機能性をそのまま生かすことを目指し、竹を粉碎して作られた竹粉を配合した竹紙を試作した。これら竹紙の、織物材料としての可能性を検討するため、竹粉を配合した竹紙の抗菌性試験および消臭性試験を行った。

さらに、テープ状にカットされた竹紙を原材料とし、撚糸機を用いて紙に撚りをかけ、織物用の原糸として適用可能な紙糸を作製した。また作製した紙糸について、紙の種類や撚糸条件など、各条件下における紙糸の強さと伸び率、撚り縮みなどの評価を行った。

2. 方法

2.1 竹紙を用いた抗菌性試験および消臭性試験

(1) 供試した竹粉および竹紙試料

竹紙の原料である、異なる粉碎方法で作製された竹粉2種類（竹粉A：80℃に加熱してニーディング粉碎したもの、竹粉B：加熱なしのニーディング粉碎したもの）と、それら竹粉を配合した手漉き竹紙2種類（竹紙A：パルプ80%／竹粉A20%、竹紙B：パルプ80%／竹粉B20%）とブランクとしてパルプ100%（竹粉0%）の手漉き紙1種類を用いて、抗菌性試験及び、消臭性試験を行った。抗菌性試験はJIS L 1902（2009年度版）に従い、菌液吸収法を実施し、抗菌性の評価を行った。消臭性試験については、テドラーバッグ、検知管式気体測定器、濃度を調節したアンモニアガスを用いて、消臭性の評価を行った。

(2) 抗菌性試験

JIS L 1902（2009年度版）にしたがい、抗菌性の評価試験を行った。試料は、まず竹紙の材料である竹粉A、竹粉Bの抗菌性について確かめた後、竹粉Aを配合して作製された手漉き竹紙A、竹粉Bを配合して作製された手漉き竹紙B、比較のため手漉きパルプ（100%）紙について、それぞれを0.2g採取したものについてJIS L 1902菌液吸収法を実施した。試験菌株は黄色ぶどう球菌（*Staphylococcus aureus*, NBRC12732）であり、菌濃度を $1 \sim 3 \times 10^5$ 個/mlに調製した物を試験菌液とした。検体に試験菌液を0.1mlずつ接種した直後と37±1℃で18時間培養後の生菌数を測定、比較することで、抗菌性の評価を行った。

(3) 消臭性試験

5ℓテドラーバッグ（アズワン株式会社製ラボランテドラーバッグ（一つ口））中に紙試料を1±0.001g入れてヒートシールした後、空気を3ℓ注入した。

次に、常温下において濃度を調節したアンモニア水（濃度28.0～30.0%関東化学製試薬特級を調整）が約400ml

入った500ml容器のガラス瓶の上部空間より、2.0mlガスシリンジを用いて適量の飽和上記を吸引して採取した。採取した高濃度のアンモニアガスを3ℓの純粋な空気の入ったテドラーバッグにガスシリンジを用いて注入した。その際、テドラーバッグ内のガス濃度が30±2ppmになるようにガス濃度を調整した。そして注入開始直後から30分後、1時間後、3時間後、6時間後、24時間後のテドラーバッグ内のガス濃度をガステック株式会社製の検知管式気体測定器を用いて測定した。試料の入っていないテドラーバッグによる空試験も同時に行い、アンモニア減少率を算出し、それをアンモニア吸着性として評価した。³⁾なお、算出方法は次式(a)による。

アンモニア減少率(%) = { (空試験の濃度-試料中の濃度) / 空試験の濃度 } × 100 … (a)

試験は20±1℃、50±10% RHの環境下で行った。

2.2 竹紙糸の撚糸方法及竹紙糸の評価

(1) 供試した竹紙糸の材料（竹粉および竹紙試料）について

竹粉Bを配合した実機漉き竹紙B（パルプ80%／竹粉B20%）と実機漉きパルプ紙（パルプ100%）を用いて、テープ状にカットされたものを原材料とし、撚糸機を用いて紙に撚りをかけ、織物用の原糸として適用可能な竹糸を試作した。竹糸材料としての竹紙は紙幅3種類（3mm、5mm、7mm）、異なる加工2種類（通常加工、キャレンダ加工）の計6種類を用いた。（以下、紙幅と加工の表記について、紙幅3mm通常加工の場合は3mm-1、キャレンダ加工の場合は3mm-2と記す。）

撚糸機は、アップツイスター（片岡機械工業㈱製、BS-SD-240）を用いた。織物に用いられる原糸はスピンドル回転速度3,000～8,000程度、撚り回数6～18回/2.54cmが一般的であることから、これらの範囲内の条件で竹紙糸の作製を試みた。

(2) 竹紙糸の引張り試験

JIS L 1902（2009年度版）にしたがい、定速伸長型引張試験機を用いた引張り試験（つかみ間隔：25cm、引張速度：25cm/分、試験回数：30回）を行った。加工また作製した紙糸について、紙幅の種類や撚糸条件など、各条件下における紙糸の強さ、伸び率などの評価を行った。

3. 結果と考察

3.1 手漉き竹紙の抗菌性能について

(1) 竹粉の抗菌性

竹紙の抗菌性を調べる前に、竹紙に配合した、異なる粉碎方法で作製された竹粉2種類（竹粉A：80℃に加熱してニーディング粉碎したもの、竹粉B：加熱なしのニーディング粉碎したもの）について、JIS L 1902（2009年度版）抗菌性試験（菌液吸収法）を参考に抗菌性試験を実施した。

竹粉A竹粉Bそれぞれに直接試験菌液を0.1mlずつ接種した直後の検体と37±1℃で18時間培養後の検体に洗い出し用生理食塩水（JIS L 1902（2009年度版）菌液吸収法参照）を用いて菌を振とう分散させたものを、生理食塩水を用いて原液から10⁷倍まで所定濃度に希釈し、各々の濃度に希釈した菌液を、マンニット食塩培地を用いて調製した培地に接種した。その際、培地を4分割して1つの区画に同じ希薄濃度の菌液を5μlずつ5

箇所に滴下する方法を採用した。²⁾ 37±1℃の恒温器内で44時間培養し、培養後の生育コロニー数を算出した。¹⁾ 検出コロニー数の結果を表1、表2に、生菌数の算出結果を表3に示す

(2) 手漉き竹紙の抗菌性能

竹粉自体の抗菌性は認められたが、これら竹粉を配合して作られた竹紙の抗菌性についても確かめるため、JIS L 1902（2009年度版）菌液吸収法にしたがい、抗菌性試験を行った。

JIS L 1902定量試験（菌液吸収法）では、「未加工」の布（標準布）と「抗菌加工済み」の布の18時間培養後の生菌数の対数値差で評価することから、今回は、パルプ100%（竹粉0%）紙を「未加工」布とし、試験で得た値を、抗菌効果を判断するための静菌活性値などの算出に用いている。なお、JISでは増殖値1.0以上で試験成立、抗菌効果については、抗菌防臭加工は静菌活性値が2.0以上、制菌加工は、殺菌活性値が0以上とされて

表1 竹粉A、竹粉B菌液接種直後の洗い出し菌液希釈濃度による検出コロニー数

試験菌株： 黄色ぶどう球菌 (NBRC12732)		洗い出し菌液希釈濃度による検出コロニー数		
		×10 ²	×10 ³	×10 ⁴
竹粉 A	A-1	5	2	0
	A-2	5	3	1
	A-3	5	2	0
竹粉 B	B-1	5	2	0
	B-2	5	1	1
	B-3	5	3	0

表2 竹粉A、竹粉B接種18時間培養後の洗い出し菌液希釈濃度による検出コロニー数

試験菌株： 黄色ぶどう球菌 (NBRC12732)		洗い出し菌液希釈濃度による検出コロニー数		
		×10 ²	×10 ³	×10 ⁴
竹粉 A	A-1	0	0	0
	A-2	0	0	0
	A-3	0	0	0
竹粉 B	B-1	0	0	0
	B-2	0	0	0
	B-3	0	0	0

表3 竹粉A、竹粉Bに接種直後回収した菌数と18時間培養後に回収した菌数の差（常用対数）

試験菌株：黄色ぶどう球菌 (NBRC12732)		生菌数 (個/ml)	生菌数 (常用対数)	菌数の差 (常用対数)
竹粉 A	接種直後	1.39×10 ⁵	5.11	1.55 (以上)
	18 時間後	3.6×10 ³ 以下	3.56 (以下)	
竹粉 B	接種直後	1.16×10 ⁵	5.05	1.49 (以上)
	18 時間後	3.6×10 ³ 以下	3.56 (以下)	

いる。表4に竹紙A、表5に竹紙Bそれぞれの抗菌性試験の結果を示す。

結果より、竹紙Aは静菌活性値2.66（以上）、殺菌活性値1.26、竹紙Bは静菌活性値2.64（以上）、殺菌活性値は1.14であり、両者ともJISが定める抗菌防臭加工・制菌加工に求められる基準をクリアしている。また、本試験で得られたこれら竹紙A・竹紙Bの静菌活性値は、社団法人繊維評価技術協議会による抗菌防臭加工の合格基準（2.2以上）も満たしていることから、竹粉を配合した竹紙は、非常に優れた抗菌性を持つことがわかった。

表4 竹紙A抗菌性試験結果

試験に用いた菌種 (細菌の保存番号)	スタフィロコッカス・アウレウス (NBRC12732)
接種菌濃度 (個/ml)	2.09×10^5
増殖値	1.63
静菌活性値	2.66 (以上)
殺菌活性値	1.26
菌濃度の測定法	顕微鏡による直接観察法
試験片の種類	竹紙A (パルプ80%, 竹粉A20%)
試験菌液に添加した 非イオン界面活性剤 の種類・濃度・操作	ポリオキシエチレンソルビタンモノ オレエート 0.05%

表5 竹紙B抗菌性試験結果

試験に用いた菌種 (細菌の保存番号)	スタフィロコッカス・アウレウス (NBRC12732)
接種菌濃度 (個/ml)	2.09×10^5
増殖値	1.63
静菌活性値	2.64 (以上)
殺菌活性値	1.14
菌濃度の測定法	顕微鏡による直接観察法
試験片の種類	竹紙B (パルプ80%, 竹粉B20%)
試験菌液に添加した 非イオン界面活性剤 の種類・濃度・操作	ポリオキシエチレンソルビタンモノ オレエート 0.05%

(3) 手漉き竹紙の消臭性能

竹粉を配合した竹紙の持つ消臭性能を調べるため、パルプ100%紙（竹粉0%配合）、竹紙A、竹紙Bについて消臭性試験を行った。図1にその結果を示す。本試験にはアンモニアガスを用い、初期濃度を 30 ± 2 ppmに調節して行った。アンモニア減少率の経時変化から本試験の評価を行った。

その結果、パルプ100%紙のアンモニア吸着性が比較的低く、時間が経過してもテドラーバッグ内のアンモニア減少率が上がらず、30分後で28%、24時間後であっ

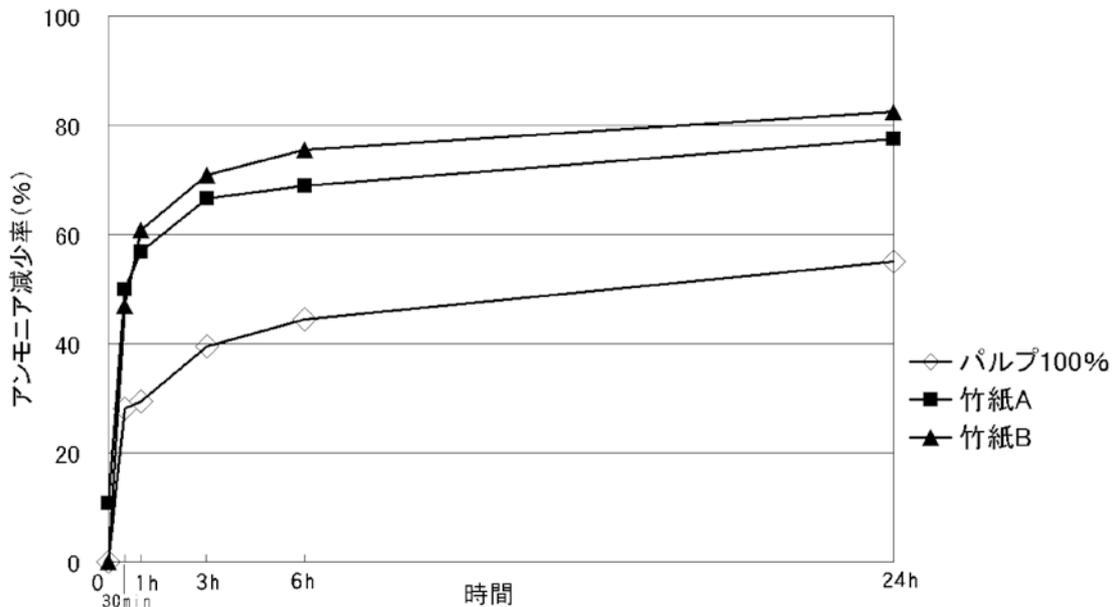


図1 アンモニア減少率の経時変化

でも55%程度であった。一方、竹紙A（パルプ80%/竹粉A20%）竹紙B（パルプ80%/竹粉B20%）ともにアンモニア吸着率が高く、30分後のアンモニア減少率は、竹紙A：50%、竹紙B：46.88%、24時間後では、竹紙A：77.5%、竹紙B：82.5%にまで上昇している。

竹粉を配合した竹紙はパルプ100%紙と比べ、アンモニア吸着率が高く、アンモニアガスに対する消臭性が優れていることがわかった。

3.2 竹紙の燃糸の条件と竹紙糸の評価

(1) 竹紙の燃糸の可否について

図2に燃糸した竹紙糸の例（写真）を示す。

高速回転より低速回転の方が生産効率は低下するものの、燃糸が容易となることが多いため、今回は3,000rpmで燃糸ができなかった紙のみ2,000rpmでも検証を行った。ただし、2,000rpm以下の条件では燃糸機に低速負荷がかかるため推奨はできない。一方、高速回転では6,000rpmを超えると、スピンドル回転時に風の抵抗や遠心力が大きくなり、3mmでは強度不足で全く燃糸できず、5mm、7mmでは8,000rpmで風切り音（うなり）も発生し、撚り回数によっては燃糸ができなかった。8,000rpmでは燃糸可能な条件はあるものの、大量に燃糸する場合は燃糸用ボビンに巻く紙の巻き量が多くなり、ボビンの質量や巻きムラが大きくなるため、振動や風圧が顕著に発生する可能性が高いため、6,000rpm程度が現実的であると思われる。

通常の織物用原糸では同じ撚り回数であれば、外観や物性にほとんど違いはないが、紙に関しては同じ撚り回数でも回転速度が異なれば、外観（丸さ）に顕著な違い

が生じることが分かった。高速回転では糸切れ原因となった遠心力の強さの影響で、回転速度が速い方が丸い外観が得られていると思われる。

燃糸可否に対するカレンダー加工の効果について、3mmの原紙では燃糸可能な条件が若干良好であることが確認された。

(2) 竹紙糸の力学的性能について

図3、4に、各条件下で作成した竹紙糸の引張試験結果を示す。

図3、4の紙糸では同じ撚り回数であればスピンドル回転速度が速くなるほど強さが増し、伸び率が低下することが分かった。回転速度が速くなるほど番手が細くなるのに対し、強度が上がっているのは、回転速度の違いにより発生する外観（丸さ）の変化と同様に遠心力などで紙糸が引き締まり、強さが増したものであると思われる。一方、同じ回転速度でも撚り回数が12回を超えると弱くなることが確認された。今回の紙糸では撚り回数が12回前後に強さのピークがあると思われる、それを超えると脆化が始まり、最後にはねじ切れると推測される。

通常の綿織物用として多く用いられるのは20番手前後の糸であり、その強さ水準は450cN前後である。5mm、7mm幅の紙糸は450cNと同等かそれ以上の強さを有しており、織物用の糸として十分に使用できる範囲であると考えられた。伸び率について、糸の切断点においては高い数値を示しているが、100cN程度の低荷重時は低く、しなやかさに欠けるため、整経作業時などに注意が必要であると思われる。

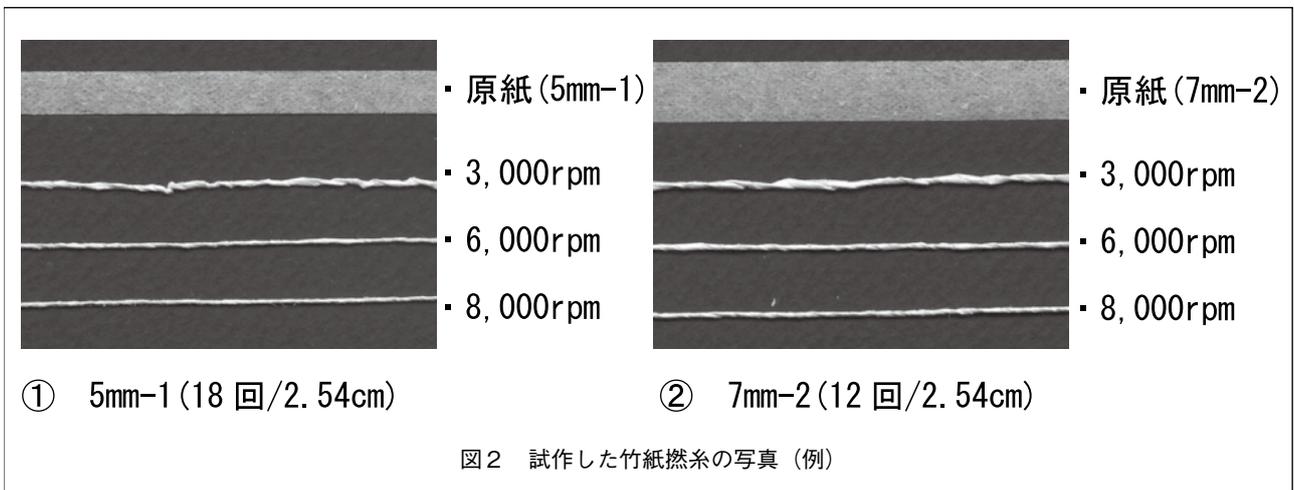


図2 試作した竹紙燃糸の写真（例）

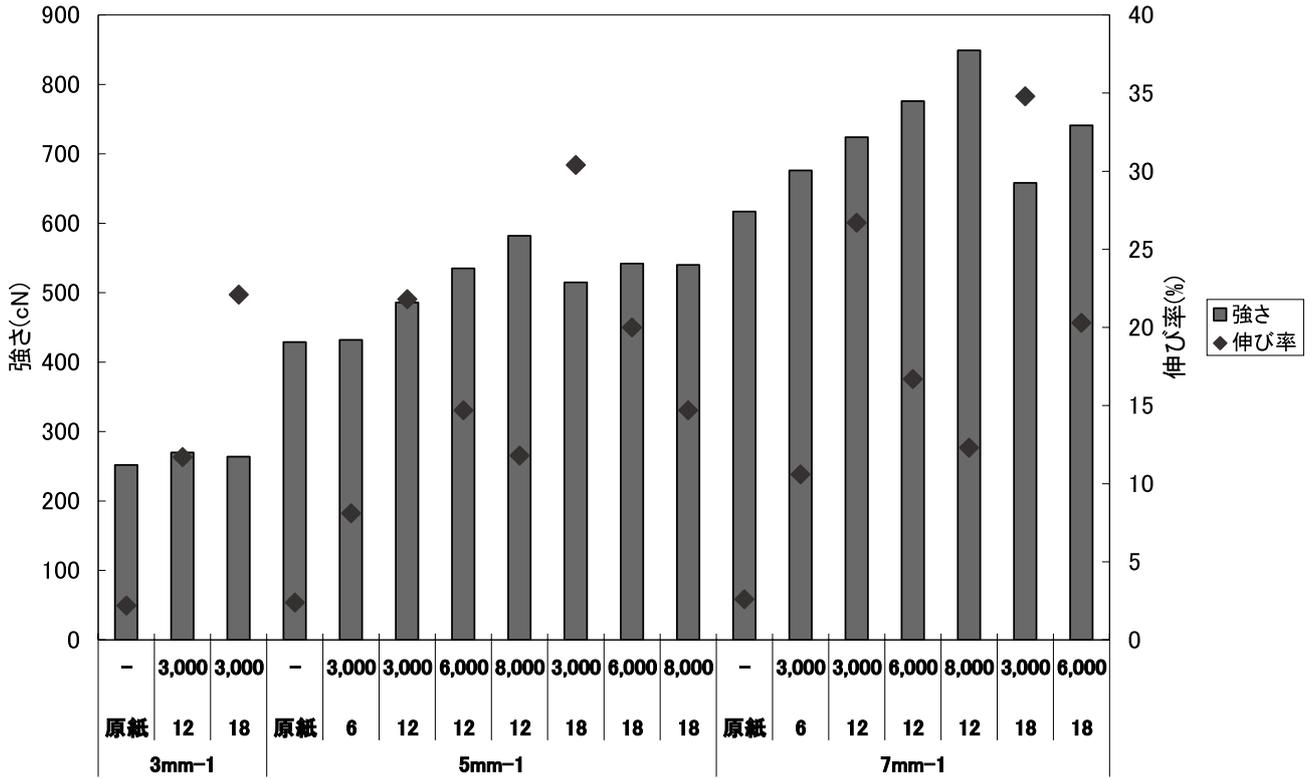


図3 通常加工紙系の引張強さ及び伸び率

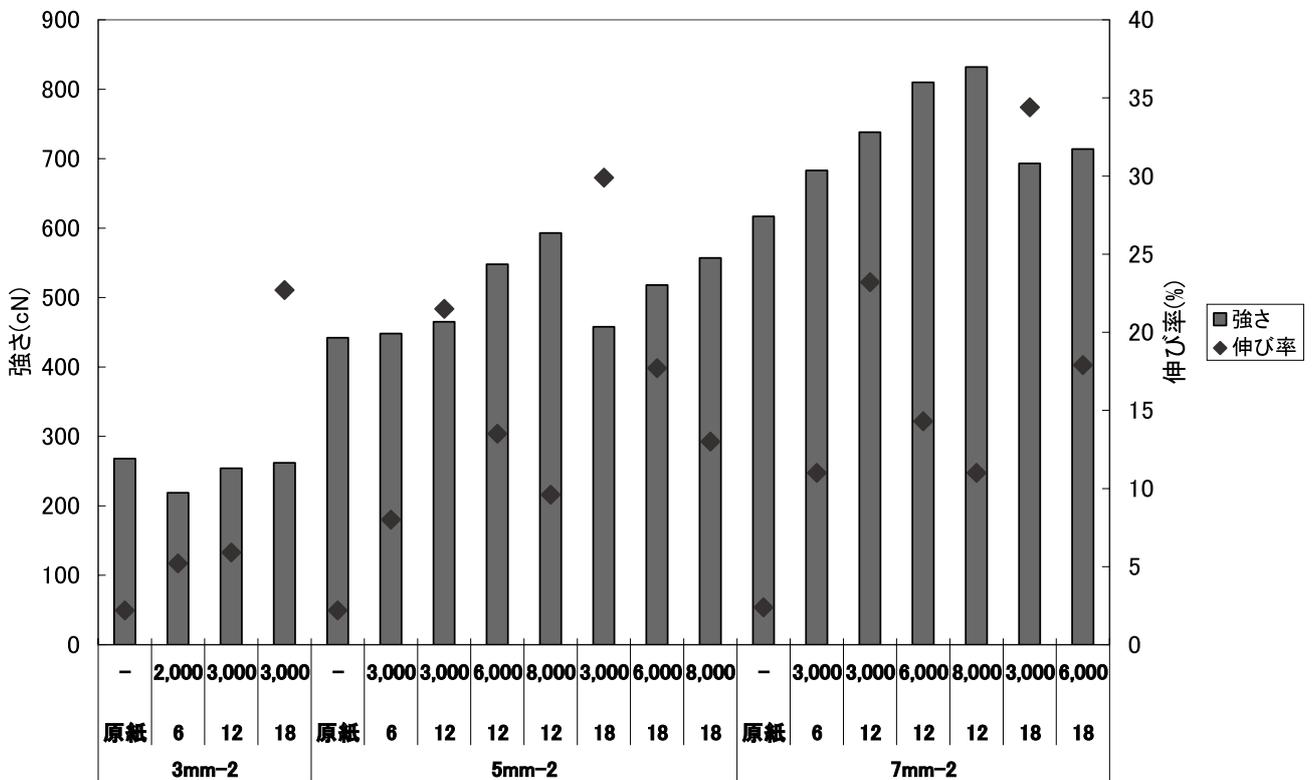


図4 キャレンダー加工紙系の引張強さ及び伸び率

4. 結語

本研究では、竹資源の利活用および竹のもつ機能性をよりよく生かすことを目指し、竹を粉碎して作られた竹粉を配合した手漉き竹紙を試作した。これら手漉き竹紙の織物材料としての可能性を検討するため、竹粉を配合した手漉き竹紙の抗菌性試験および消臭性試験を行った。さらに、テープ状にカットされた実機漉き竹紙を原材料とし、撚糸機を用いて紙に撚りをかけ、織物用の原糸として適用可能な紙糸を作製した。また作製した紙糸について、紙の種類や撚糸条件など、各条件下における紙糸の強さと伸び率、撚り縮みなどの評価を行った。本研究で得た結果は以下の通りである。

(1) 竹粉の抗菌性試験について

異なる粉碎方法で作製された竹粉2種類（竹粉A、竹粉B）に対して抗菌性試験を行った。その結果、どちらの製法で作製された竹粉も、優れた抗菌作用を有することがわかった。

(2) 手漉き竹紙の抗菌性試験について

2種類の手漉き竹紙（竹紙A、竹紙B）に対して抗菌性試験を行った。その結果、竹粉を配合した手漉き竹紙は、非常に優れた抗菌性を持つことがわかった。

(3) 手漉き竹紙の消臭性試験について

パルプ100%手漉き紙1種類と2種類の手漉き竹紙（竹紙A、竹紙B）に対して消臭性試験を行った。その結果、パルプ100%紙に比べて竹紙は、アンモニアガスに対する消臭性に優れていることがわかった。

(4) 竹紙の撚糸の条件と竹紙糸の評価について

3mm幅の機械漉き竹紙Bは撚糸可能な条件の範囲が狭かったが、7mm、5mm幅の場合は、スピンドル回転数6,000rpm、撚り回数12回/2.54cm程度が生産性、物性などのバランスがよかった。また、撚り回数が同じでもスピンドル回転数を変化させることで、外観や物性を変化させることができることがわかった。

カレンダー加工は通常加工よりも、撚糸できる範囲がわずかながら広がることがわかった。

5. 謝辞

試料の提供と機能性評価にご協力いただいたカミ商事株式会社・開発企画部大山浩様、また竹糸の物性測定等にご協力いただいた愛媛県産業技術研究所繊維産業技術セ

ンター石丸祥司様に感謝の意を表します。また、本実験を遂行するにあたり、協力をいただきました本学卒業生、菊川理沙さん、篠原祐美さんに深謝いたします、ありがとうございました。

6. 参考文献

- (1) 森地敏樹監修，栄研化学株式会社，食品微生物検査マニュアル，64-66（2009. 9）
- (2) 高橋哲也，近藤哲男，笠井稚子，横田博志，国武哲則，茶殻を有効利用した茶殻配合紙の作製，繊維学会誌，Vol.63，No.11，256-263（2007）
- (3) 横田博志，国武哲則，岡部孝之，未利用羊毛屑シートの機能性，繊維機械学会誌，Vol.61，No. 3，25-30（2008）

