

高強度繊維不織布を用いた防護材料の開発

榎本 一郎^{*1)} 長尾 梨紗^{*2)}

Development of protective materials using a high-strength fiber non-woven fabric

Ichiro Enomoto^{*1)}, Risa Nagao^{*2)}

In this study, we examined non-woven fabric made by a needle punch machine using high-strength fibers whose applications are expanding in various fields. Compared with the fibers of garment applications such as wool, needle breakage is known to occur even in thin, high-strength fibers when the density gets higher. Therefore, with the aim of producing non-woven fabric made of high-strength fibers with existing equipment, we managed to produce non-woven fabric made of aramid fibers with a targeted thickness of 2.0mm and density of 200g/m² by using needles arranged with 8 barbs on one edge after changing the thickness, shape, etc. of the needles to find out the penetration strength and gripping quantity. During an incision strength test, a prototype non-woven fabric was found to have the same or better performance compared to commercial products. As an example of an aramid non-woven application, a prototype disaster prevention hood was subjected to performance tests for fire prevention certification purposes and this was found to have met the fireproofing and impact absorbing performance requirements.

キーワード：不織布，高強度繊維，アラミド，目付け，防災頭巾

Keywords：Non-woven fabric, High-strength fiber, Aramid, Mass per unit area, Disaster prevention hood

1. はじめに

これまで都産技研ではウールやポリエステルなどの衣料用繊維を対象としてニードルパンチ機による不織布化に対応してきた。一方で、アラミド繊維等高強度繊維についての不織布化に関する研究^{(1)・(3)}が進められている。これまでの衣料用繊維で行っていた試験条件でアラミド繊維の不織布化を行うと、ニードルパンチ機の針の大部分が破損して不織布化できないことがわかった。対策としてニードルパンチ機の針を打ち込む深さを浅くする、またはm²当たりの繊維量を少なくするなどの方法で不織布化できるものの、繊維同士の交絡が少なく十分な強度が得られないなどの課題が生じた。

そこで、本研究では既存のニードルパンチ機で目付けや厚さを変えたアラミド繊維の不織布化を目指し、使用する針の選定や試験条件を検討した。アラミド繊維は高強度、強靱性等に特徴があることから、防護・防刃服などでの用途は知られている。また難燃性繊維であることも大きな特徴の一つである。したがって、ここではより身近な防護製品として防災頭巾を試作しその性能を評価することで、広く一般に普及する機会も増えると考えた。

2. 実験方法

2.1 フェルト針の貫通力試験 生地を貫通する際、針に

事業名 平成26年度 基盤研究

*1) 複合素材開発セクター

*2) 開発企画室

かかる荷重が大きすぎるために針が折れると考え、不織布への貫通力を調べる試験を行った。試験は、JIS L 1913-2010の一般短繊維不織布試験法に準じて行い、(株)エー・アンド・デイ製の万能材料試験機 RTC-1210Cを用いて圧縮モードで測定した。試験布には、目付 500 g/m²のポリエチレン不織布を用いた。フェルト針は一般衣料で多く用いられる32番手、9バーブの針を使用した。フェルト針の太さ、バーブ形状、バーブ数、バーブ間隔が異なる針を使用してそれぞれ最大点荷重を求めた。

ニードルパンチ機のフェルト針は基の部分に直角に曲がっているため、試験機の取り付け治具に直接取り付けられて試験を行うことができない。そこで、はじめにニードルパンチ機のフェルト針が固定できる治具を試作して試験を行った。

2.2 不織布の作製 フェルト針の貫通力試験を行った結果から針を選定し、目付 100 g/m² ~ 200 g/m²を目途にニードルパンチ機によりアラミド繊維の不織布を作製した。アラミド繊維は、東レ・デュポン(株)製のケブラー(平均繊維長 51 mm)を用いた。

2.3 切創抵抗試験 試作したアラミド不織布の特性を評価するため、JIS T 8052-2005の切創抵抗試験を行った。この試験は、不織布試料と接触させた試験用刃物に負荷荷重を徐々に加えながら、試験用刃物をゆっくりと移動させ、刃物が試料を貫通したときの力から切創力を評価する。評価方法は、試験装置に取り付けた試験片上を、試験用刃物が 20 mm 移動して試験片を切断する時に必要な切創力で表す。試験の特徴として、試験用刃物の移動する速度は 1 分間に 150 mm

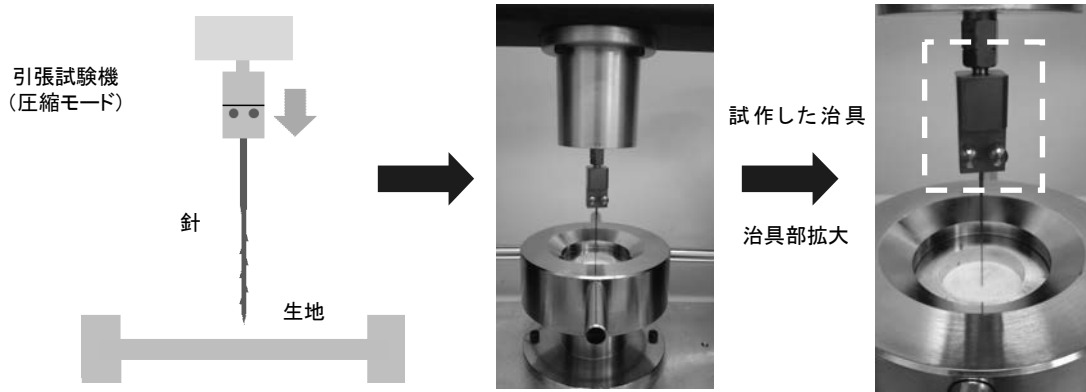


図 1. フェルト針取り付け用治具および圧縮試験の概要

とゆっくり移動するため、衝撃性の要素は含まれないことにある。

2.4 防災頭巾の試作 アラミド繊維が難燃性繊維である特徴を生かし、身近な防護製品として防災頭巾の試作を行った。アラミド不織布を中綿として用い、表生地および裏生地、縫製糸は市販の難燃性素材を使用した。市販されている防災頭巾の中綿は約 200 g であったが、最終製品としてのコストも考慮してできるだけ少量の中綿で試作を行った。

2.5 防災性能試験 試作した防災頭巾の防災性能を評価した。防災製品としての判定基準は、45° エアーミックスバーナー法による試験で残炎時間が 20 秒以下、炭化長が最大 10 cm 以下である。燃焼試験に加えて、5 kg のおもり（鉄製）を 10 cm の高さから落下させて、衝撃力が 9.8 kN 以下である。

3. 結果および考察

3.1 フェルト針の評価 図 1 に試作したフェルト針の取り付け治具および圧縮試験の概要を示す。この治具により試験機にフェルト針をしっかりと固定できるため、針が試験体に対して垂直に移動して正確な値が得られるようになった。

図 2 に貫通力試験の結果を示す。図 2 の測定結果から、初期値の 5 mm/min では負荷が大きく、10 mm/min, 20 mm/min と速度が速くなるに従い最大点荷重が少なる傾向を示した。その後、50 mm/min, 100 mm/min と試験速度が速くなるとほぼ一定の最大点荷重になった。この値は 10 mm/min とほぼ同じであることから、以降の試験は 10 mm/min の試験速度で測定することとした。

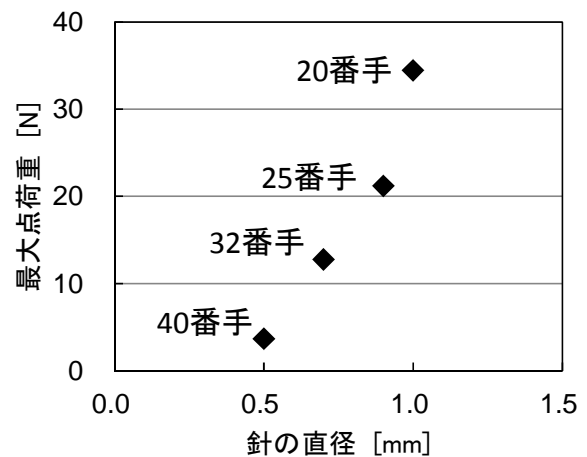


図 3. 貫通力試験における針径の影響

図 3 に貫通力試験における針径の影響を調べた結果を示す。フェルト針は数値が大きくなるほど針径が細くなる。図 3 より、針番手が小さくなる、つまり針径が太くなるほど荷重が大きくなることから、針径が太くなることにより不織布への抵抗が増すことから、このような傾向を示したと考える。

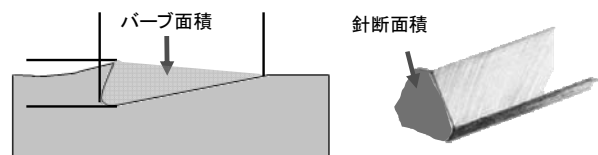


図 4. バンプ面積および針断面積の概略図

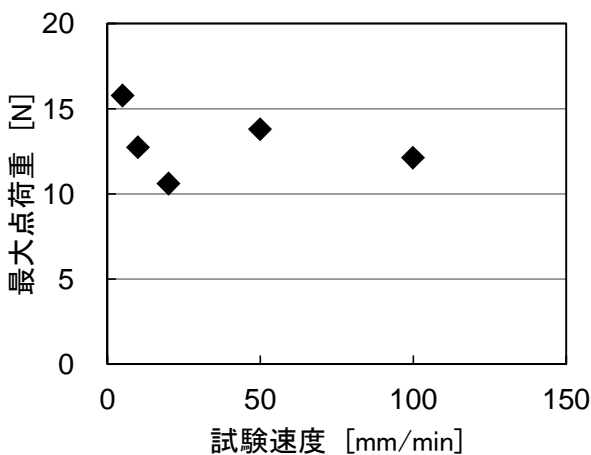


図 2. 貫通力試験における試験速度の影響

図4にバーブ面積および針断面積の概略図を、図5にバーブ面積・針断面積と荷重の関係を示す。図4より、バーブとはフェルト針に設けられた繊維が引っ掛かる溝の部分を示す。形状の異なるものもあるが、一般に針が太くなればそれに準じてバーブ面積も大きくなる。また、フェルト針は三角形の断面を持ち、各エッジの部分にバーブの溝が切られている。図5の番手の異なる各フェルト針から、バーブ面積と針断面積との積を求め、最大点荷重との関係を調べたところ、ほぼ直線になることがわかった。

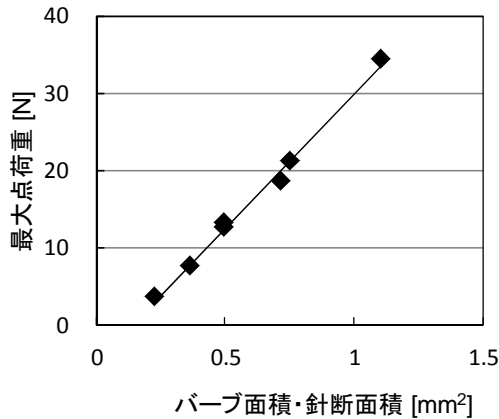
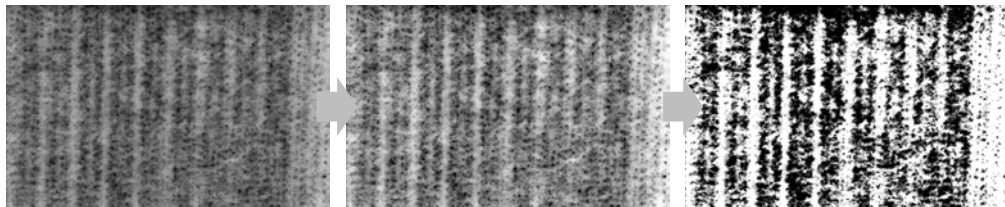


図5. バーブ面積・針断面積と荷重の関係

アラミド繊維を用いた場合、一般衣料用の32番手、9バーブのフェルト針が折れてしまったことを考えると、32番手より細い針またはバーブ面積の少ない針を使う必要があると考える。しかし、細い針やバーブ面積の少ない針では繊維間の交絡が少なく強度のある不織布化が課題であった。そこで、繊維の交絡の状態を調べるため、色の付いた繊維を上面に置き、不織布を作製したときに裏面にどの程度色の付いた繊維が現れるかを目視により確認した。結果を図6に示す。色の付いた裏面を白黒の画像に変換した後、黒の数をピクセル数(個/cm²)で表した。この結果、不織布裏面のピクセル数は太い針で多くなるものの、針を打ち込む深さによって大きく変わることがわかった。打ち込む深さが深くなるほど裏面のピクセル数は当然増えるが、バーブ面積の少ない針でも同程度のピクセル数になることがわかった。特に、32番手のFTP-96 32CSMは1稜に8バーブと、一般的な32番手のフェルト針と比べてバーブの数が少なく面積も少ないことを確認している。

3.2 アラミド繊維の不織布化および特性評価 32番手のFTP-96 32CSMフェルト針でも交絡が多いことから、このフェルト針を使用してアラミド繊維の不織布化を行った。市販品として売られているアラミド繊維の不織布は特殊なニードルパンチ機で作られているとのことであり、都産技研に設置してある汎用型の機器とは異なっていると考える。



裏面に抜けた色糸(画像処理により白黒に変換し、ピクセル数(個/cm²)で計算)

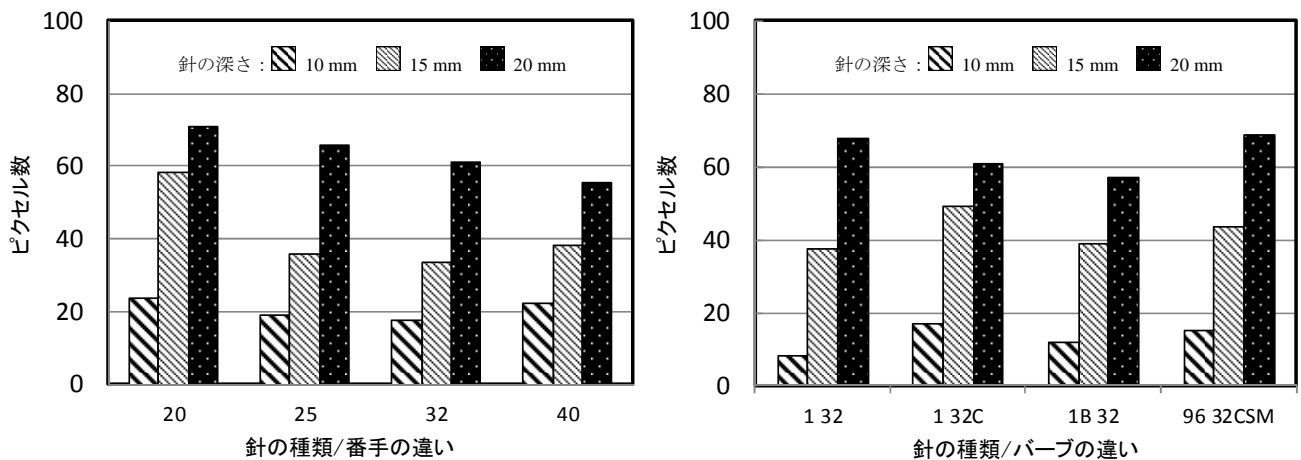


図6. 各種フェルト針とピクセル数との関係

しかし都産技研のニードルパンチ機で 200 g/m^2 の目付を一つの目標とし，同程度の目付の不織布を試作することができた。フェルト針，打ち込み深さ，打ち込み回数などを調整した結果，針折れがなく十分に交絡したアラミド繊維の不織布化が可能となった。

表 1 に切創抵抗試験の結果を示す。厚さ 2.0 mm ，目付 200 g/m^2 の市販品と比較するため，厚さ 2.0 mm で目付 100 g/m^2 と目付 200 g/m^2 ，厚さ 4.0 mm で目付 400 g/m^2 の試作品を準備した。この結果，目付の低い試作品は市販品の切創力に劣るものの，同じ目付の試作品は同等以上に良い結果となった。特に両面からニードルパンチ機にかけた試作品は片面処理よりわずかではあるが切創力が高くなった。厚さおよび目付を倍にした試作品では，切創力もほぼ倍になった。このことから，切創力是不織布の厚さおよび目付に依存することがわかった。これまで行えなかった高強度繊維であるアラミド繊維の不織布化が，フェルト針をはじめとする諸条件を検討することで汎用型のニードルパンチ機でも可能であることが一連の試験で明らかとなった。

表 1. 切創抵抗試験結果

試料	切創力/N
市販品 (200 g/m^2)	6.8
100 g/m^2	4.9
200 g/m^2	7.0
200 g/m^2*	8.0
400 g/m^2**	16.0

*両面ニードルパンチ，**厚さ 4mm (他は 2mm)

3.3 防災頭巾の性能試験 試作したアラミド不織布の実用化を図るため，防災頭巾を試作して防災性能試験を実施した。試作した防災頭巾を図 7 に示す。難燃製品は火元があるうちは燃えるが，火元が取り除かれると燃え広がらない製品であり，不燃製品とは異なる。したがって，火元に接していると薬剤からの燃焼ガスが少なからず発生している。



図 7. 試作した防災頭巾

アラミド不織布の防災頭巾は，アラミド繊維自体が難燃性であるため特別に薬剤で難燃加工を行う必要がない利点に加えて，薬剤を使わないことは燃焼時に有害ガスを発生しないことも大きな利点である。

表 2 に防災性能試験の結果を示す。表 2 から，燃焼性の試験ではいずれの試験品も防災性能試験の基準を満たしている。衝撃力においては中綿の少ない試験品で一部基準を満たしていない品もあるが， 140 g 以上の中綿量があれば衝撃を吸収できることがわかった。

表 2. 防災性能試験結果

試料 No.	①	②	③	④	⑤
表生地	防災7#ミックス	防災7#ミックス	カネカロン	カネカロン	防災ローランド
裏生地	カネカロン	カネカロン	カネカロン	カネカロン	カネカロン
中綿	120 g	140 g	140 g	160 g	160 g
残炎時間 (秒)	1	0	0	0	1
炭化長 (cm)	4.3	4.6	3.3	3.7	4.3
衝撃力 (kN)	116	7.8	4.2	5.4	2.7
判定	×	○	○	○	○

4. まとめ

高強度繊維を用いたニードルパンチ機での不織布製造では，汎用型の設備でもフェルト針を選択するなど処理条件を整えることである程度の目付および厚さのある不織布を作製できることがわかった。

ニードルパンチ機を利用した不織布は開織が可能で，リサイクルしやすいという特徴がある。これはサーマルボンド法やケミカルボンド法にない特徴であり，環境に配慮した不織布の製造方法であるといえる。

今回，高強度繊維の代表ともいえるアラミド繊維を用いて不織布化を行ったが，他の高強度繊維に関しても適応が可能と考える。これまでの衣料用繊維に加えて，産業用繊維および高強度繊維の不織布化に本研究の成果を役立てていきたい。

(平成 28 年 7 月 4 日受付，平成 28 年 8 月 5 日再受付)

文 献

- (1) A. Watanabe, M. Miwa, T. Yokoi, A. Nakayama: "Fatigue Behavior of Aramid Nonwoven Fabrics Under Hot-Press Conditions Part IV: Effect of Fiber Fineness on Mechanical Properties", Textile Research Journal, Vol.68, pp.77-86 (1998)
- (2) A. Watanabe, M. Miwa, T. Yokoi, A. Nakayama: "Fatigue Behavior of Aramid Nonwoven Fabrics Under Hot-Press Conditions Part V: Effect of Punching Density on Mechanical Properties", Textile Research Journal, Vol.68, pp.171-178 (1998)
- (3) A. Watanabe, M. Miwa, T. Yokoi: "Fatigue Behavior of Aramid Nonwoven Fabrics Under Hot-Press Condition Part VI: Effect of Stable Base Fabrics on Mechanical Properties", Textile Research Journal, Vol.69, pp.1-10 (1999)