

空気呼吸器用バンドの耐熱性向上に関する検証

小川 浩由*, 山本 將*

概要

300型空気呼吸器の各種バンドの耐熱性能向上を目的として、火炎暴露後の強度等について検証した。その結果、フラッシュオーバー相当の火炎(80kW/m²)に10秒以上バンドに暴露させた場合、現行のナイロン製バンドよりアラミド製バンドが有効であることを確認した。

1 はじめに

過去の実験から総務省消防庁 消防大学校 消防研究センター所有のサーマルマネキンに空気呼吸器が10秒間暴露(火炎の強さはフラッシュオーバーに相当する80kW/m²)した場合、背負子のバンド部分が溶融切断した。(写真1参照)

このことから、更なる隊員の安全性確保のため空気呼吸器用バンドの耐熱性向上を目的として、各種検証を実施した。

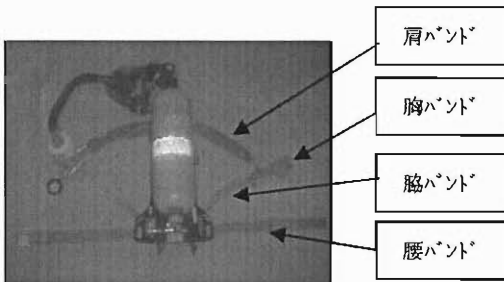


写真1 300型空気呼吸器

2 実験に使用した各種バンド

入手できた以下の製品(各種用途)で実験した。(表1参照)

表1 実験に使用した各種製品

各種製品	主な用途
ナイロン製(現行品)	空気呼吸器用
メタ系アラミド100%(その1)	〃
メタ系アラミド100%(その2)	流れ作業のベルトコンベア用
メタ系アラミド100%(その3)	〃
パラ系アラミド100%(その1)	空気呼吸器用
パラ系アラミド100%(その2)	耐履グッズ(バンドによる押え用)

PBO*100%	流れ作業のベルトコンベア用
ポリプロピレン100%	ズボン用
アラミド(A社製)	空気呼吸器用
アラミド(B社製)	〃

※ PBO(ポリアラフェレンポリアミド)の略。高レベルの引張強度・耐熱性・難燃性等を合わせ持つ繊維

3 検証方法

(1) 基本性能(幅、厚み、密度、しなやかさ、引張強度)
しなやかさは、直角の台の端からバンドを30cm水平に保ち、その後自重により台より垂れ下がった距離とした。引張強度については、引張試験機を用いて検証した。

(2) 耐炎性能

下記ア～オについては、火炎防護性試験機を用いて火炎(80kW/m²)を暴露後、引張試験機によるバンドの強度及び火炎暴露中の各種バンドの裏面の最高温度(熱電対使用)を測定した。(写真2~5参照)

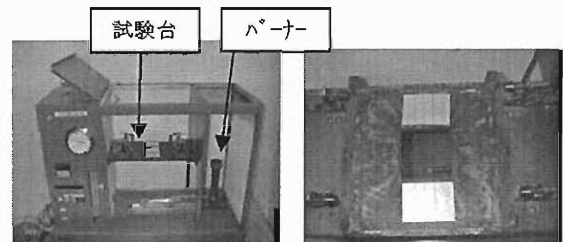


写真2 火炎防護性試験機

写真3 試験台(拡大)

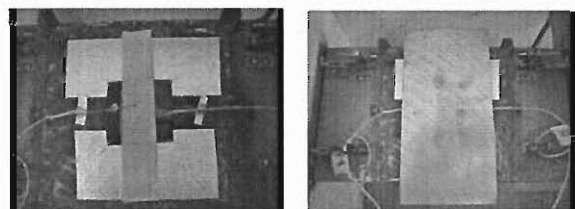


写真4 試験台に試料及び熱電対をセットした状況

写真5 熱電対がバンドから離れないように鉄製重し(約1.29kg)を載せた状況

* 装備安全課

ア 火炎暴露時間の変化 (その1)

試験片 (幅 25 mm×長さ 130 mm) を火炎に暴露後、その両端各 5 mm 切り落とし、引張試験機の測定限界等を考慮し全ての試験片を同じ 15 mm 幅にして、引張試験機を用いてバンドの強度を測定した。なお、熱電対がバンドから離れないようにバンドの裏面には平らな鉄製重し(約 1.29kg)を配置した。

また、PBO については引張試験機の測定限界の関係上 10 mm で実施した。

イ 火炎暴露時間の変化 (その2)

上記アでは、バンドの両端を切り落とすため、試験片の両端が溶融したり焦げたりという材質等の影響が考慮されないことから、試験片 (幅 15 mm×長さ 130 mm) に火炎を暴露し、その後そのまま引張試験機にかけ、バンドの強度を測定した。

なお、これ以降の測定はこの方法で実施した。

ウ バンドが引っ張られた状態での火炎暴露の影響

上記ア・イでは無荷重で実施したが、背負子のバンドが空気呼吸器の重量で引っ張られた状態を想定し、試験片 (幅 15 mm) を火炎に暴露させ実験した。(試験片の裏面：鉄製重し)

その際試験片にかかる張力は、空気呼吸器一式の重量約 11 kg が両肩に均等に掛かっていると想定し、約 54 N とした。

また、54 N の 1.3 倍の 70 N (火災防護性試験機を使用した本来の試験では引張荷重を与えて行うものではないが、ここでは実際の災害活動を想定した試験を行ったものであり、試験機の構造上の負荷限界がこの程度である。) が掛かっていることから、その影響について測定した。

エ バンドの裏面の影響

バンドの裏面に物体がある時と、ない時との影響を測定した。

なお、防火衣の上から空気呼吸器を背負うことを考慮し、バンドの裏面にはアラミド生地を使用した。

オ バンドの金属接触時の影響

バンドは金属(鉄製)の背負子(現行)に接触している。金属は熱伝導率が高いことから、その影響を測定するため、現行の背負子の腰バンド取り付け箇所を用いて、バンドをその部分に取り付け、10 秒間火炎暴露し、その後引張試験機を用いてバンドの強度を測定することで鉄製背負子の影響を測定した。(写真 6 参照)

なお、バンドの裏面にはアラミド生地を使用した。

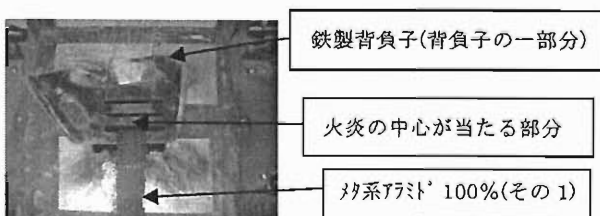


写真6 メタ(その1)を鉄製背負子に取り付けた状態

カ サーマルマネキンによる火炎暴露検証

サーマルマネキン(写真7参照)に防火衣(サイズL)・防火帽及び空気呼吸器(バンドは上記ア～オの検証結果から一番有効と想定されたパラ系アラミド 100% (その1)を使用した)(各バンドの幅はナイロン製と一緒に(後記4参照)を着装させ、フラッシュオーバー相当の火炎(80kW/m²)を10秒間暴露させ、その後各バンドを目視点検後引張試験機にかけ検証した。

なお、引張試験機には各バンドの幅を調節せずにそのまま引っ張った。

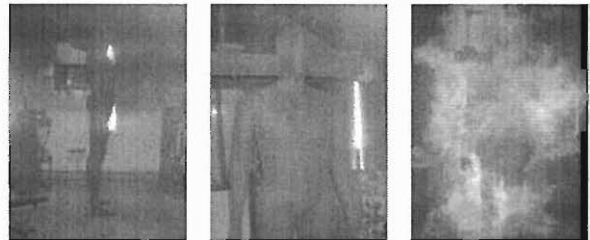


写真7 サーマルマネキン(左・中央(拡大)・右(火炎暴露中))

(3) 経年劣化

ア 経年劣化(約 10 年経過)の影響

背負子の耐用年数は 10 年であることから、約 10 年経過した呼吸器から各種バンドを入手し、そのバンドの経年劣化について引張試験機を用いて測定した。

イ 磨耗させたバンドの引張強度

金具(バックル)(写真 8・9 参照)とバンドの擦れによる耐久性を調べるため、現行の空気呼吸器の腰バンド部金具を用い、毎日 5 回使用することを想定し約 18000 回バンドの締め付け動作を繰り返し、その後バンドの引張強度を測定した。

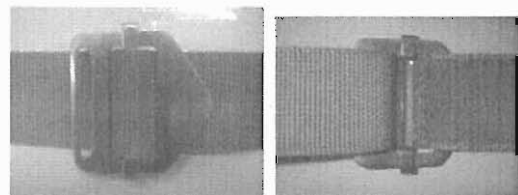


写真8 金具(バックル)表 写真9 金具(バックル)裏

4 実験結果及び考察

(1) 基本性能

ア 幅・厚み・密度・しなやかさ(表 2 参照)

厚みが 2.5 mm 以上のものはしなやかさに欠けることが分かった。

表 2 各種製品別幅・厚み・密度・しなやかさ

各種製品	幅(mm)	厚み(mm)	密度*(g/cm ³)	しなやかさ(mm)
ナイロン製(現行品)	39.1(肩・胸・腰) 24.3(脇バンド*)	1.872	0.7237	25.6
メタ系アラミド 100%(その1)	39.8(肩・胸・腰) 24.8(脇バンド*)	2.110	0.5538	28.1
メタ系アラミド 100%(その2)	49.6	3.512	0.6644	24.0

メタ系アラミド 100%(その3)	60.3	2.505	0.7135	20.8
パラ系アラミド 100%(その1)	41.1	1.704	0.7861	26.0
パラ系アラミド 100%(その2)	24.7	1.372	0.7115	28.8
PBO100%	35.5	2.669	0.9375	23.0
ポリプロピレン 100%	29.8	1.900	0.4796	27.8
アラミド(A社製)	50.3(腰バンド) 37.5(肩・脇) 25.5(胸バンド)	1.801	0.6056	28.8
アラミド(B社製)	38.3	1.592	0.5735	28.7

※ 密度は、各製品の長さ・重量・幅及び厚みからベルト内部が均一のものとして算出した。

イ 引張強度(表3参照)

(7) パラ及びPBOの製品は、ナイロン製(現行品)及びメタの製品に比べて引張強度に勝った。

(イ) ポリプロピレンの製品は、ナイロン製及びメタの製品に比べて引張強度に劣った。

(ウ) ナイロン製と同程度以上の引張性能がある製品は、メタ(その1)、メタ(その2)、パラ(その1)、パラ(その2)、PBO、A社製、B社製のものであることが分かった。

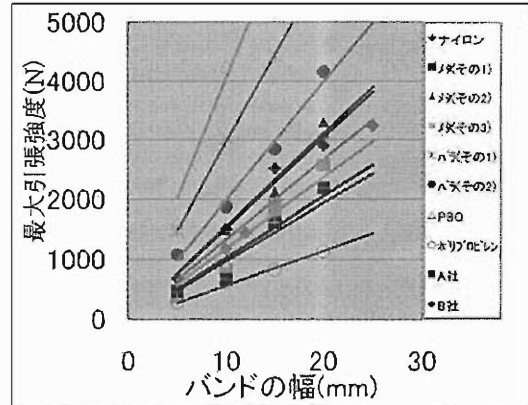


図1 バンド幅—最大引張強度関係直線

実験例(図1の引張試験機のデータより)

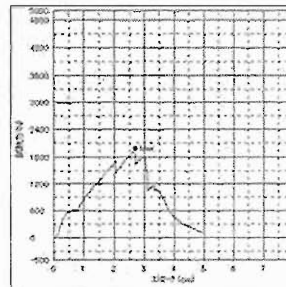


図2 ナイロン(幅15mm時)

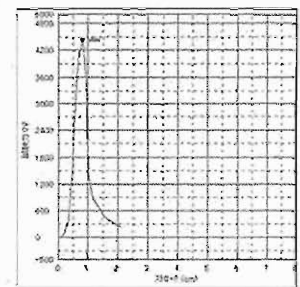


図3 パラ(その1)(幅15mm時)

表3 各種製品別引張強度

各種製品	バンド幅—最大引張強度関係直線(傾きより)(N/mm)	参考 最大引張強度※(幅15mmの時)(N)
ナイロン製(現行品)	133.85(図1参照)	1980(図2参照)
メタ系アラミド 100%(その1)	119.01(図1参照)	1831
メタ系アラミド 100%(その2)	156.22(図1参照)	2129
メタ系アラミド 100%(その3)	97.247(図1参照)	1306
パラ系アラミド 100%(その1)	298.16(図1参照)	4435(図3参照)
パラ系アラミド 100%(その2)	200.01(図1参照)	2845
PBO100%	405.68(図1参照)	4259(幅10mm時)
ポリプロピレン 100%	57.352(図1参照)	833
アラミド(A社製)	103.11(図1参照)	1621
アラミド(B社製)	152.69(図1参照)	2522

※ 最大引張強度は幅15mmとした。なお、PBOは引張強度が高く引張試験機の測定限界を越えてしまうことから幅を10mmとした。

(2) 耐炎性能

ア 火炎暴露時間の変化(その1)(表4参照)

(7) ナイロン製は、10秒の火炎暴露で引張性能は著しく低下(写真10・11参照)し、16秒暴露で切断寸前の状況(写真12・13参照)であった。

サーマルマネキンの実験(火炎暴露10秒間)ではナイロン製は熔融切断した部分もあったが、当該実験では切断しなかったことから、切断した部分はサーマルマネキンの火炎熱流速が80kW/m²以上あったと考えられる。

(イ) メタその1及びその2とも20秒という長時間暴露した後でも暴露前と比べて若干引張強度が落ちる程度であった。

(ウ) パラ(その2)は20秒という長時間暴露後では、ほぼ半分にまで引張性能が落ちたが、値はメタより高かった。

(エ) PBOは厚みがあるせいもあり、20秒という長時間暴露した後でもほとんど劣化しなかった。

(オ) ポリプロピレンは10秒暴露で熔融切断した。

(カ) A社製とB社製は10秒暴露で著しく引張性能が低下したが、20秒暴露でも熔融切断はしなかった。

(キ) 以上より、ナイロン製(現行品)よりも耐炎性能がある製品は、メタ・パラ・PBO・A社製及びB社製のものであった。(写真14・15参照)

特にメタ・パラ及びPBOは、20秒暴露後でも約1300N(130kgf)以上あり(幅15mm)、十分な強度があると考えられる。

表4 火炎暴露時間の変化(幅15mm・無荷重)
(単位:上段N・下段℃)

各種製品	火炎暴露無	火炎暴露時間			
		10秒	13秒	16秒	20秒
ナイロン製(現行品)	1980	324	325	111	—
	—	107.9	66.6	121.9	—
ポリエステル系100%(その1)	1831	1829	1702	1715	1680
	—	61.8	100.2	94.5	103.0
ポリエステル系100%(その2)	2129	1866	—	—	1889
	—	42.4	—	—	68.1
ポリエステル系100%(その3)*	1306	1325	—	—	1289
	—	57.7	—	—	84.1
ポリエステル系100%(その1)	4435	4419	—	—	3209
	—	99.0	—	—	134.9
ポリエステル系100%(その2)**	2845	2825	—	—	1580
	—	148.0	—	—	303.3
PBO100%(幅10mmで実施)	4259	3734	—	—	4020
	—	84.2	—	—	110.9
ポリプロピレン100%	833	溶融切断	—	—	—
	—	—	—	—	—
アラミド(A社製)	1621	896	—	—	193
	—	121.6	—	—	303.2
アラミド(B社製)	2522	293	—	—	12
	—	170.9	—	—	256.1

※ PBOは引張強度が高く引張試験機の測定限界を越えてしまうことから幅を10mmとした。なお、10秒で溶融切断したポリプロピレン100%、しなやかさに欠けるベルトコンベア用のメタ(その3)及びPBO、空気呼吸器用以外で20秒暴露時の強度がほぼ半分になったパラ(その2)は、これ以降検討から除外した。

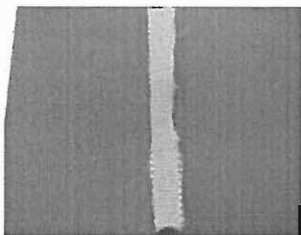


写真10 ナイロン 10秒 裏側

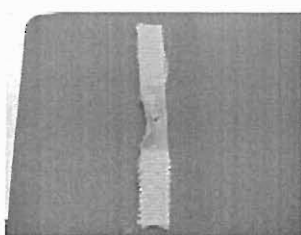


写真11 ナイロン 10秒 表側

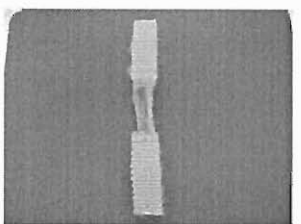


写真12 ナイロン 16秒 裏側

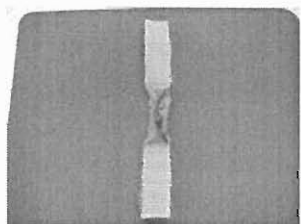


写真13 ナイロン 16秒 表側

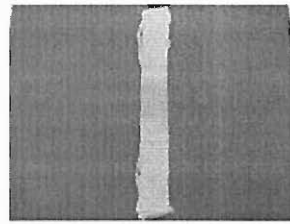


写真14 パラ(その1) 20秒 裏側

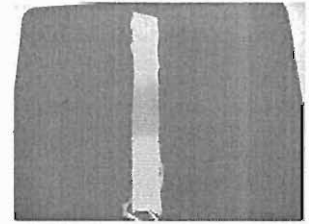


写真15 パラ(その1) 20秒 表側

裏側

表側

※ 表側:火炎暴露側、裏側:重し側

イ 火炎暴露時間の変化(その2)(表5参照)

いずれの材質も概して試験片の両端が溶融及び焦げる影響で、上記アより値が落ちていた。

メタ及びパラは20秒暴露後でも約1000N(100kgf)以上あり(幅15mm)、十分な強度があると考えられる。

表5 火炎暴露時間の変化(暴露前幅15mm・無荷重)
(単位:上段N・下段℃)

各種製品	火炎暴露無	火炎暴露時間		
		10秒	16秒	20秒
ナイロン製(現行品)	1980	182	165.165	—
	—	81.4	未測定	—
ポリエステル系100%(その1)	1831	1652	—	1316
	—	未測定	—	130.7
ポリエステル系100%(その2)*	2129	1375	—	1050
	—	80.6	—	99.3
ポリエステル系100%(その1)	4435	4450	—	3166
	—	82.0	—	128.3
アラミド(A社製)	1621	538	—	237
	—	267.4	—	395.3
アラミド(B社製)	2522	340	—	15
	—	349.6	—	384.1

※ しなやかさに欠け、空気呼吸器用以外で20秒暴露時の強度がほぼ半分になったメタ(その2)は、これ以降検討から除外した。

ウ バンドが引張られた状態での火炎暴露の影響(表6参照)

(ア) ナイロン製(現行品)について、荷重をかけない時は16秒暴露でも溶融切断しなかったが、荷重をかけたときは16秒暴露で溶融切断(写真16・17参照)した。

(イ) B社製のバンドについて、荷重をかけない時は20秒という長時間暴露した後でも溶融切断しなかったが、荷重をかけたときは20秒暴露で溶融切断した。

(ウ) 上記(ア)・(イ)より荷重がかかることで、若干溶融切断までの時間は早まるが、十分な強度があると考えられる。

(エ) メタ及びパラは54Nと70Nの引張荷重時における暴露時の引張強度は同程度であることが分かった。

(オ) メタ及びパラは20秒暴露でも約1300N(130kgf)以

上あり(幅 15 mm)、強度があると考えられる。(写真 18・19 参照)

表 6 有荷重時の火炎暴露の影響
(単位:上段 N・下段°C)

各種製品	火炎暴露無	荷重 54N			荷重 70N		
		火炎暴露時間			火炎暴露時間		
		10 秒	16 秒	20 秒	10 秒	16 秒	20 秒
ナイロン製 (現行品)	1980	364	溶融切断	—	304	溶融切断	—
	—	119.0	未実施	—	65	未実施	—
メ系アラミド 100%(その1)	1831	1641	—	1319	1618	—	1485
	—	75.3	—	100.7	79.9	—	141
パラ系アラミド 100%(その1)	4435	4621	—	3646	4660	—	3430
	—	113.0	—	179.2	101.9	—	138
アラミド (A社製)*	1621	835	—	768	—	—	—
	—	224.6	—	204.5	—	—	—
アラミド (B社製)**	2522	1023	—	溶融切断	—	—	—
	—	260.1	—	683	—	—	—

※ 20 秒暴露時の強度が半分以下になったアラミド (A・B 社製) は、これ以降検討から除外した。

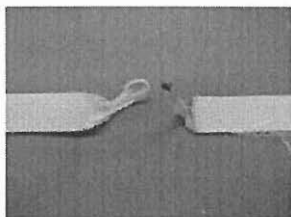


写真 16 ナイロン 16 秒 荷重 5.6kg 表側

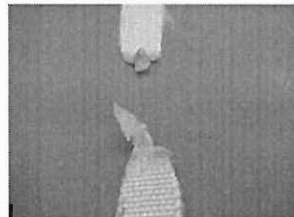


写真 17 ナイロン 16 秒 荷重 7.53kg 表側

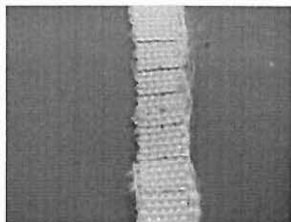


写真 18 パラ(その1) 20 秒 荷重 7.53kg 裏側

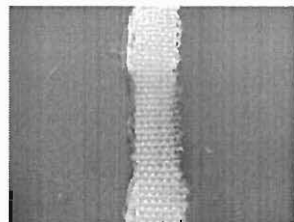


写真 19 パラ(その1) 20 秒 荷重 7.53kg 表側

エ バンドの裏面の影響(表 7 参照)

バンドの裏面に物体がないと、あるときに比べて早く溶融切断が起こることが分かった。これは、火炎が裏面に物体がないとバンドを火炎が包み込んで炙るようになるのに対して、裏面に物体があるとバンドの表面には火炎は当たるもののその後火炎は物体の表面を舐めて進みバンドの裏面にあまり影響を与えない影響と考えられる。

また、特にパラが火炎に強いことが分かった。

表 7 バンドの裏面有無による溶融切断するまでの時間

各種製品	バンド裏面—なし	バンド裏面—アラミド生地
	荷重 54N	
ナイロン製 (現行品)	10.56(秒)	17.81(秒)
メ系アラミド 100%(その1)	16.25(秒)	40.31(秒)
パラ系アラミド 100%(その1)	39.92(秒)	95.74(秒)

オ バンドの金属接触時の影響(表 8 参照)

ナイロン製 (現行品) 及びメタとも、金属接触時引張性能が落ちることが分かった。また、特にパラが金属接触時にも強いことが分かった。(写真 20・21 参照)

表 8 バンドが金属に接触している時の火炎暴露の影響

各種製品	10 秒火炎暴露		
	非接触		接触
	荷重なし	荷重 54N	荷重 54N
ナイロン製 (現行品)	182(N)	364(N)	溶融切断(6.93 秒で背負子接触部で切断)
メ系アラミド 100%(その1)	1652(N)	1641(N)	770(N)
パラ系アラミド 100%(その1)	4450(N)	4621(N)	2520(N)以上

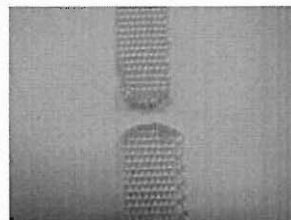


写真 20 ナイロン 10 秒 荷重 5.65kg 金属接触 表側



写真 21 パラ(その1) 10 秒 荷重 5.65kg 金属接触 表側

※ 表側:火炎暴露側

カ サーマルマネキンによる火炎暴露検証(表 9 参照)

使用した製品:パラ系アラミド 100%(その1)

(ア) パラ系アラミド製のバンドは破断せず、引張強度も 5kN 以上あり十分な強度があると考えられる。(写真 22~25 参照)

(イ) 背負板は溶融等はなかった。

表 9 各バンドの火炎暴露後の引張強度

各バンド	引張強度	目視点検
肩バンド	5(kN)以上	溶融・変形なし
胸バンド	5(kN)以上	溶融・変形なし
脇バンド	5(kN)以上	溶融・変形なし
腰バンド	5(kN)以上	溶融・変形なし



写真22 実験前(正面側)



写真23 実験後(正面上側)



写真24 実験後(正面下側)



写真25 実験後(裏面右下側)

(3) 経年劣化

ア 経年劣化(約10年経過)の影響(表10参照)

最低でも730N(15mm幅)あった。これは、最も幅が短い脇バンド(幅25mm)では、幅と引張性能は比例するので、約1200Nあることとなり、実験した各バンドは強度があることが分かった。なお、外観では背負子本体等の金具部で曲がりや擦れによるバンドの端の欠けが見受けられた。また、表に見えているところは変色が見受けられた。

表10 経年劣化した各バンドの引張強度(幅15mm)

NO	部位					
	腰バンド		胸バンド		脇バンド	
	バックル部	背負子部	右	左	右	左
1	1820(N)	1710(N)	2010(N)	1820(N)	1700(N)	1300(N)
2	1970(N)	910(N)	1950(N)	800(N)	1430(N)	1620(N)
3	1700(N)	1560(N)	1770(N)	730(N)	1820(N)	1500(N)

イ 磨耗させたバンドの引張強度(表11参照)

10年間毎日5回着装するものとして、実際腰バンドのバックル部(脇バンドの調整金具より引張った後、しっかり保持できる(バックルがのこぎり状になっているため)半面、バンドに損傷を与える影響は大きいことから、腰バンドのバックル部で測定した)を使用して測定した

結果、ナイロン製及びびメタは若干引張強度が落ちる(写真26・27参照)ことが分かった。また、パラはかなり落ちる(写真28・29参照)ことが分かった。しかし、依然データは高いことから、摩耗のみでは強度があることが分かった。

表11 金具でバンドを磨耗させた時の引張強度

各種製品	最大引張強度(幅15mm)	
	繰り返し未実施	繰り返し実施後
ナイロン製(現行品)	1980(N)	1660(N)
メ系アラミド [®] 100%(その1)	1831(N)	1707(N)
パラ系アラミド [®] 100%(その1)	4435(N)	1830(N)

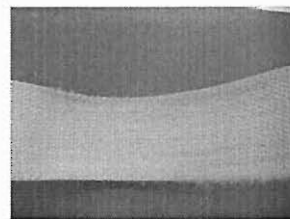


写真26 ナイロン 腰バンド
18250回後(表側)

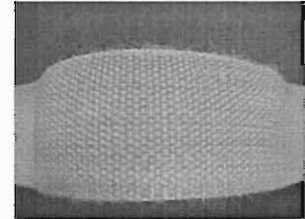


写真27 ナイロン 腰バンド
18250回後(裏側)

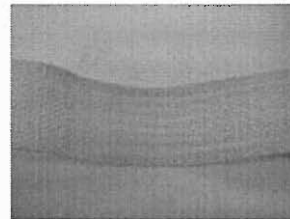


写真28 パラ(その1) 腰バ
ンド 18250回後(表側)

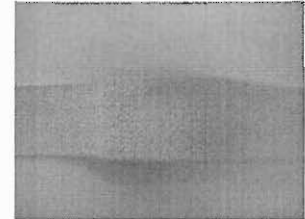


写真29 パラ(その1) 腰バ
ンド 18250回後(裏側)

5 おわりに

アラミド製品のバンドは、ナイロン製より耐熱性能及び摩耗に対する耐久性能が高く、引張強度に対しても同程度以上であることが確認された。

Verification Concerning the Improvement in Heat Resistance of the Belt for Breathing Apparatus

Hiroyuki OGAWA*, Shou YAMAMOTO*

Abstract

Different types of belts for the Model 300 were tested to improve their heat resistance after exposure to heat. As a result it was found that when the belt is exposed to flames (80kW/m^2) equivalent to those in a flashover for 10 seconds or more, an aramid belt is more effective than the existing nylon belt.