技術動向

通気性防水シート “Gore-Texlamine”について

細 川 孝 尚

1. はじめに

従来の防水シートは、ゴム類や柔軟性の合性樹脂膜を織布に糊剤で貼り合せたものと、織布に撥水性の合成樹脂溶液を塗布し、織布の通気性をそこなわないように織布の糸それぞれの表面を撥水処理した二種類に分類される。前者は縫目の防水処理さえほどこせば、殆んど完全な防水性を示し、一般屋外の作業用雨具、漁業用、軍用、消防士や警官用の分野に永年使用されてきたことは説明するまでもない。又後者は近年弗素樹脂、シリコン樹脂等のディスパージョンやエマルジョン等による処理が発達し、通気性のある着心地のよい雨具として、一般のレインコート、スポーツ用雨具等に多く使用されていることも周知のことである。しかし、永年この完全な防水と通気性、すなわち着心地のよいことを完全に両立させることは困難と思われていた。特に第二次大戦以来、軍用その他の分野でこれに関する研究が盛んであったにも拘らず、現在まで完全と思われるものはできていなかったのである。現に通気性が悪いために発汗による凍死の山岳事故、テントの中での一酸化中毒事故等々、の例があり、又一般用の雨具で着心地のよいものは洗濯のたびに防水加工のやり直しを必要とするなど問題は依然として解決されていないのが現状である。

そもそも人間の体は一つのエネルギーの発生体であり、新陳代謝によって、常に一定の熱エネルギーと水蒸気とを発生している。快適さとは、体の発生エネルギーと体の周囲との熱交換のバランスがよくとれている状態と定義できる。生理学上の見地からは、このバランスは皮膚温度を約 34℃に維持し、皮膚の表面の湿度を常に 100% 以下の状態に保つことである。したがって、冬は保温が必要となり、夏は通気による熱と湿気の発散が必要とさ

れるが、これを同一の衣料ですますことは不可能と思われる。しかし、最近以上の条件をある程度みたく、オールシーズンの防水衣類が米国の W. L. Gore 社により開発された。この防水生地は Gore-Tex Lamine[®] の商品名で売り出されているので、これについて解説したい。

2. Gore-Tex Lamine[®]とは

まず Gore-Tex とは如何なるものかを説明しておかねばならない。それは一言でいえば、四弗化エチレン樹脂の成型品を延伸してフィブリル化した多孔質体であって、米国の R. W. Gore 氏（現在の W. L. Gore 社社長）が四弗化エチレン樹脂（以下 PTFE と記す）の研究中に発明したものである。Gore-Tex の原料は純粋な PTFE で、他の薬品は含んでいない。その製法は一般的な PTFE ファインパウダーの成型条件に従い未焼成（融点 327℃ 以上の温度に加熱されていない状態のこと）のフィルムを作り、これを急速に延伸すると、フィブリル状の構造ができる。次にこれを収縮しないように固定して、融点 327℃ 以上に加熱し、クリーブの起こりにくい安定した構造のものができる。この製法は世界各国で特許とされている。又この応用や特殊処理についても幾多の特許がある。この加工方法により作られた防水布用のフィルムは、厚さ約 25 μm 、気孔率 82%、最大孔径 0.2 μm の孔が 1 平方吋当り 90 億個あいている。この延伸フィルムの表面の走査型電子顕微鏡像を（写真 1）に示す。

この写真から判るように、極めて細い PTFE のフィブリルが、ノードとよばれる節状の接点により各方向に連結されている。この様な層が厚さ方向に幾層にも重なり合い、かつ互いに立体的にからみ合っている。しかもその様な組織が極めて均等に分布している。マクロ的には、白色不透明で非常に柔らかな手ざわりで、感触のよい通気性のあるフィルムである。製造条件を変えることにより、任意の形状で、種々な気孔率、孔径、および柔軟度、物性（耐熱性、耐薬品性、撥水性、電気特性、滑性、不燃性、耐候性、等々）をもっている。それゆえに極めて

Waterproof-breathable fabric, "Gore-Tex laminate[®]"

TAKANAO HOSOKAWA

JUNKOSHA Co., LTD. Gore-Tex Division

Technical Development Dept. General Manager

潤工社ゴアテックス事業部開発部

写真1 ゴアテックスの表面走査電顕写真(3,300倍)

表1 Gore-Tex の特性

用途に応じて、おおむね下記の範囲内で各種特性をコントロールした製品がある。

特性項目	範 囲
平均孔径 (μ)	0.2~5.0
気孔率 (%)	25~95
バブル・ポイント (psi)	1.0~30.0(エタノール)
ガレイ・ナンバー (sec)	0.2~50.0
空気流量 (cc/min/in ²)	0.1~3,000(4.88 in, H ₂ O)
水流量 (cc/min/in ²)	0~5,000(13.5 psi)
水渗透圧 (psi)	1.0~500
引張強さ (psi)	~40,000
耐熱性 (℃)	-210~260
耐薬品性	ほとんどの化学薬品に全くおかされない
親水性	強い撥水性をもっているが、特殊処理で親水性を与えることもできる。
接着染色性	前処理なしで十分可能。
電気特性	PTFE本来の良好な特性をもっている。

特殊な用途が開発されつつある。その物性については表1に示す。

Gore-Tex の製品として最も成功したものの一つに人工血管がある。これは東大医学部胸部外科の松本博志博士の研究により、この多孔性の延伸 PTFE の人工血

管が抗血栓性に非常に優れていることが確かめられ、

1971 年の札幌に於ける日本人工臓器学会で発表されて以来、世界各国で相次いで研究された。そしてその製品開発に Gore 社が成功し、1976 年より販売を開始している。すでに 6 万例以上の臨床例があり、臨床報告は 6291 例を数えるという。これらのデータによると、Gore-Tex 人工血管の平均開存率は 87% とのことである。この様に人体の組織によくなじむ構造を持った膜は、医用の分野で色々な用途が開発され評価されつつある。

又水を通さないが油を通す性質を利用して、油水分離や油洩れ検知ケーブルの開発も着々と進められている。特に油洩れ検知ケーブルは実用段階にある。又更に空気やガスは通すが、水は通さない特性を利用して、Gore-Tex 膜をガスの膜と考え、それをへだてて一方に揮発性のガスを含んだ水溶液を置き、他の側にそれと反応する液を置くことにより、ガス抽出も可能である。

この応用例として沃度の抽出がある。すなわち、天然ガスと共に出る水に含まれる沃度を、苛性ソーダ液中に採り出すことができ、同様に水に溶けているアンモニアも分離することができる。その他電解や燃料電池における隔膜として利用される可能性があり、現在検討されている。又単にロット状や厚いベルト状 Gore-Tex 構造のものは、極めて便利なフリーサイズのガasket 材として商品化されている。更に高度に延伸されてフィブリル化が進んだものを、スリットヤーンにして工業用縫糸や織物が作られている。これらは耐熱性、耐薬品性はもとより、PTFE としての優れた特性をもち、特に、その強度は今迄の PTFE 糸の強度より倍以上の値を示している。糸の物性の比較を表2に示す。この糸により織られた工業用織物は特殊な分野に利用されている。例えば、耐薬品性の織布とか、又その織布に Gore-Tex フィルムを貼り合せたバッグフィルターは高温の状態での粉体分離に使用できる。

以上の如く非常に多くの用途をもった Gore-Tex フィルムの撥水性と多孔性を生かして、各種の織物と貼り合わせて防水布としたものを Gore-Tex Laminate[®] と称している。この特性について以下に述べる。表3を参照されたい。

この表で示される透水圧は Gore-Tex Laminate[®] が 2 層、3 層とも 3.85 kg/cm² を示している。この値はシリコンゴムを塗ったナイロンの織物(通気性は小さい)に匹敵する。又透気性はガレーナンバー(水柱 124 cm の圧力下で 100 cc の空気が 6.45 cm² の面積を通過する秒数で通気度を示す)であらわすと、Gore-Tex Laminate[®] の 2 層で 50 秒、3 層では 80 秒である。ちなみに、ポリリンでは 0.5 秒~1 秒位である。又ビニールを塗布した

表2 Gore-Tex 糸物性比較表

	Gore-Tex Yarn, Sewing Thread						弗素系繊維	ナイロン6	ポリエステル	ポリプロピレン
	200d	400d	1200d	2400d	500B	1200B				
引張強さ (g/d)	3.52	3.43	3.10	3.14	5.04	3.84	1.0~2.5	4.8~6.4	4.3~6.0	4.5~7.5
引掛強さ (g/d)	6.56	8.66	5.68	5.93	9.23	6.78	2.0~4.0	8.5~11.5	7.0~10.0	8.0~12.0
結節強さ (g/d)	2.95	3.04	2.65	2.90	4.35	3.41	1.0~3.0	4.3~6.0	3.8~4.4	4.0~5.5
伸び率 (%)	5.2	5.3	5.8	7.8	3.6	4.5	25~50	28~45	20~32	25~60
初期引張抵抗度 (kg/mm ²)	595.8	675.2	599.4	512.8	1079.1	613.8	95~450	200~450	1100~2000	330~1000
伸長弾性率 (3%時, %)	45.3	46.6	52.0	37.3	34.7	42.1	80~100	98~100	95~100	90~100
熱の影響	m. p. : 327℃ (不溶融)						m. p. 327℃	m. p. 215 ~220℃	m. p. 255~260℃	m. p. 165~173℃
熱水収縮率 (100℃, %)					0.92	0.70				
乾熱収縮率 (220℃, %)					2.3	6.9				
耐 候 性	強度低下ナシ						ナシ	ヤヤ低下	ナシ	
酸の影響	ナシ						ナシ		35% HCl 75% H ₂ SO ₄ HNO ₃	HCl, H ₂ SO ₄ HNO ₃
アルカリの影響	ナシ						ナシ		10% NaOH 28% NH ₄ OH	50% NaOH 28% NH ₃
溶剤の影響	ナシ						ナシ			
平滑度	0.12	0.12	0.12	0.12	14					
燃 数 (T/25cm)	32.5	32.2	31.7	35.7	46.6					
水分率 (%)	0	0	0	0	0		0	4.5	0.4	0

試験方法: JIS L1073 準拠

1. 引張強さ, 伸び率 n=10 テンシロンにて引張速度 200mm/min ツカミ間 200 mm
2. 引掛強さ, 結節強さ n=10 テンシロンにて引張速度 100mm/min ツカミ間 100 mm
3. 初期引張抵抗度 n=10 SSカーブより求む
4. 伸長弾性率 n=10 伸長率をツカミ間の3%とし, テンシロンにて測定
5. 熱水収縮率, 乾熱収縮率 n=5
6. 平滑度(動摩擦係数) n=2 シャーレイ平滑度試験機による
7. 燃 数 n=10 試験長 25 cm
8. 水分率(平衡水分率) 31ea(約330m)の試料を採り, 20℃ 65%室内中で72hrs 以上コンデンショニング後赤外線式乾燥計量器によって測定

防水布は殆んど無限大を示して, ほぼ通気性はない。ここで着心地についてのもう一つの指標として, MVTR (Moisture Vapor Transmission)について触れておかねばならない。

この測定方法はASTM-E 96-66のB法* およびBW法**を使用しておこなわれる。

さて, MVTR (水蒸気の移動量)は次の式により計算される。

$$MVTR = g \times 24 / t \times a [g/m^2 \cdot 24hr]$$

ここで g = 重量変化 (単位: gr)

t = 重量変化を観察した時間 (hr)

a = 試験片の曝露面積 (m²)

表3の数値はBW法によっている。

表3によれば, 透水圧はナイロン布にシリコンゴムを塗布したものと同じ位で, しかも通気性のある防水加工を施こされているポリエステル/綿のポプリン生地と同程度のMVTRを示している。このことから解かるように, むれない雨具として理想的な値に近いものである。

このGore-Tex Laminate[®]の一般的物性は, PTFEの非常に高度の特性を有しているにもかかわらず, 貼り合せてある布がポリエステルやナイロン織物であるため,

* (B法 - 試験材料が高湿度の範囲であるが, 通気濡れていない状態で用いられるときに使用される方法。)

** (BW法 - 試験材料が一方の面を濡らされており, 水柱圧が比較的重要でなく, 湿度の移動が毛管現象と水蒸気の拡散力に支配されるような条件で用いられる。)

表3 Water Entry Pressure, Moisture Vapor Transmission and Weights of Materials as Determined by W. L. Gore and Associates, Inc.

Material	Water Entry* Pressure (psi)	Moisture Vapor** Transmission gm/m ² /24 hours	Overall Weight oz/yd ²
Nylon, Thermoplastic Polyurethane Coated	30	497	3.08
Nylon, Silicone Rubber Coated	50	216	2.39
Cotton, Microporous Polyurethane Coated	20	1,002	5.59
Polyester/Cotton Poplin Quarrel Treated	1	5,843	5.70
Nylon, Thermoset Polyurethane Coated	>60	74	5.70
Nylon/GORE-TEX/Nylon 3 Layer Laminate	55	4,806	2.85
Nylon Taffeta/GORE-TEX 2 Layer Laminate	55	5,080	2.54
Nylon Taffeta/GORE-TEX/ non-woven 3 Layer Laminate	60	4,560	3.70
"Ventile" (English)	2	4,371	7.2
"Ventile" (Howe and Bainbridge)	2	4,987	6.04
"Reeveair" ^{a)}	12	154	3.33
"Airweave" ^{b)}	>60	241	5.29
"Bukflex" ^{c)}	>60	93	5.89
GORE-TEX Film	61	11,072	0.5

* High Pressure Water Entry Pressure

** Gore modified ASTM 96-66BW

^{a)} Product of Reeves Brothers^{b)} Product of Industrial Products Co.^{c)} Product of Peter Storm Ltd.

それらの物性に支配されるのは止むをえないところである。しかし特に耐熱を必要とすれば、耐熱ナイロンのノメックス® (Du Pont) 又はケブラー® (Du Pont) 等を使用することもできる。勿論、此等は極めて高価である。

3. Gore-Tex Laminate® の種類 とその構成

用途別の構成や、布の種類が違いため、極めて多くの組合せがある。例えば登山用のレインパーカーは、表はナイロンータフタ、裏はナイロントリコット、その中間にGore-Texのフィルムが貼り合わされている3層の構成である。又寝袋の場合は、ナイロンリップストップが表で、裏はGore-Texの2層の構成である。軽量で通気性のある小型テントは、表がナイロンリップストップ、裏はポリエステル不織布で、中間層にGore-Texが貼り合わされている3層の構成になっている。これらは登山用として、防水、通気、軽量に重点を置いて、最初に開発された製品なので、他の目的にはややそぐわない風合のものもある。しかし、これらは遂次色々なもの

が開発されつつあり、かつまた、近く国産化が開始される運びなので、さらにきめ細かく対応できるであろう。

4. 注意事項について

4.1 縫目の防水処理について 在来材質においても、常に縫目からの浸水の問題があった。このことはGore-Tex Laminate®でも同様で、以前よりこの対策は色々な方法が考えられている。まず縫目の部分に粘着テープ、又は熱融着テープなどを貼って水を防ぐ方法があるが、効果は殆んど認められない。一番効果的なのは、合成樹脂の糊状液を、縫目の外側より充分丁寧に塗りつけることであるが、外見上極めて目ざわりな感じになる。しかし、この糊を内側から塗ったのでは、外見はよくなるが、効果は全く低下してしまう。最近このためのチューブ入り糊剤「シームスタッフ」がJapan Gore-Tex (株) から売り出されている。

他の方法は、ナイロンなどの極性熱可塑性合成繊維に限るが、高周波ウエルダーによる融着の縫製加工である。この加工法は現在、西ドイツ製のGore-Texレインパー

カーのものに見られるが、極めて稀である。よい設備と熟練がないと、縫目のもみはがれ強度に危険があるが、この点さえ解決できれば、防水効果も、外見上も大変によい方法である。同様に超音波や熱風などによる融着も検討されているが、十分な結果は得られていない。いずれにしても、糸で縫っただけでは、水の浸入は避けられない。

4.2 体脂等による浸水 (Contamination) とその対策 多量の汗にふれると、汗の中の体脂と塩分が Gore-Tex の層の中に浸入し、防水性を失なわせてしまう場合がある。体脂はほとんど、親水性脂肪酸やコレステロールを含んでいるので、油を吸い易い Gore-Tex の特性から、容易に水分を透過させる。又、純毛の特に脱脂していないセーターなどは (特に登山用の太い毛糸編のものに多い)、同様な理由で防水性を失なう場合がある。この対策としては、洗濯による方法があるが、一般のドライクリーニングはクリーニング液中に、界面活性剤が添加されているので、乾燥後も界面活性剤が Gore-Tex 層の中に残り、結局、水をその層中に呼び込み透水してしまい、防水効果を発揮できない。したがって、普通の洗剤による水洗の方が効果がみられる。特に Gore 社が推薦する洗剤は、純粋な石鹼、次に非イオン系洗剤がよいとされている。

あまり好ましくないのは陰イオン系、又は陰イオンと非イオン系の混合洗剤である。いずれにしても、一般の洗濯のすすぎ洗いは、湯が好ましく、又回数も3倍位は多くして、十分に洗剤を除去する必要がある。Gore-Tex Laminate[®]は連続50時間の耐洗濯強度の規格で作られているので剥離の恐れはない。

5. Gore-Tex Laminate[®] の今後の開発方向

前述の登山用品として、雨具の各種、軽量テント、寝袋など、またその他のスポーツ用として、ゴルフウェア、ヨットパーカー、フィッシングパーカーなど、それぞれの風合や性能について検討され改良されつつある。又将来性のある用途として軍用があり、米国陸軍では以

前から検討中であるが、結論がでるまでには、あと数年かかることである。その主たる検討項目は、1. 耐火性、2. 耐水性、3. 耐寒性、4. 快適性、5. 浮水性、などである。一方 NASA に於ても女性用宇宙服として検討しているようである。耐水性、耐酸性、耐汚染性が優れていることから、石炭採掘用の作業衣としてカナダで試用されている。その結果では大半の人々が満足しているようである。将来、量産効果により更に価格が下がるようになれば郵便配達人、警官、その他の雨具として充分採用の可能性をもてよう。

最近の傾向として、トレーニングウェアの生活着や野外のレジャーウェアとしての利用が驚くほど増加していることが見られる。この傾向に何らかのきっかけが与えられた時に、爆発的に流行するかもしれない。そこでこれに適合した素材として Gore-Tex Laminate[®] を考えるのも面白いと思われる。

6. おわりに

この素材は米国で売り出されてから1年余りしか経ていないので、まだ色々な問題点を抱えているが、一つ一つ解決に向っている次第である。此の Gore-Tex Laminate[®] の製品を、日本でいち早く専門的な角度から評価テストをされた武庫川女子大 安田 武教授の非常に興味ある報文が、日本繊維製品消費科学会誌 昭和53年12月号に掲載されているので参照されたい。誌上を借りて安田 武教授並びにテストに協力された方々に心から謝辞を呈したい。

文 献

- 1) W. L. Gore 社 カタログ
- 2) W. L. Gore 社 資料 “COMFORT, BREATHABILITY and GORE-TEX LAMINATES,”[®] J. C. Tanner.
- 3) 「通気性防水布とゴアテックス、ファブリックについて」 安田 武、日本繊維製品消費科学会誌、1978年12月号
- 4) (株) 潤工社「Gore-Tex」カタログ
(昭和53年10月20日受理)