

膜構造：技術ニュース

No.1

目次

1. ETFE フィルムによる屋根：フィルムクッション構造
2. 韓国済州島Wカップスタジアムの台風による屋根膜面の破壊の原因
3. 新しい膜材料の開発状況
4. 膜彫刻
5. 世界からの膜構造
6. 技術委員会の活動状況

2004年6月

(社)日本膜構造協会

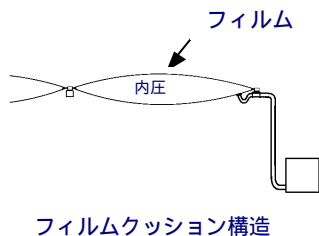
1. ETFE フィルムによる屋根：フィルムクッション構造

(はじめに)

最近ヨーロッパを中心に、ETFE フィルムによる建築物屋根が多く使われるようになり、すでに、あるファブリーケータは1社で200棟以上を建設している。

ETFE (エチレンテトラフロロエチレン共重合樹脂) フィルムはふっ素樹脂系の透明フィルムで、耐久性、光線透過性、軽量性に優れ、透明な屋根材として、ある用途に沿ったとき、これまでの建築材料では表現できなかった柔らかい透明性と曲面性のある魅力ある屋根面とすることができる。

フィルムそのものは伸び率が大きく、面として使うと変形も大きく、また屋根面として、雨水、積雪等で大きく凹み、水を溜めてしまう(ボンディング現象)。これを防ぐため、フィルム面を二重にし、その間に空気を送り、内圧を高め、断面をレンズ状のパネルにして使う。古くよりクッション構造と呼ばれている。



(フィルム構造のこれまで)

1967年、ドイツシュツツガルトで開催された第1回ニューマチック構造国際会議で、H. Isler氏(スイス)が、当時はまだ若かったが、古い城の中庭の屋根をフィルムクッション構造とする計画を発表した。それまで、温室等では屋根に合成樹脂フィルムを使う例は古くよりあったが、まだ建築的な次元で、強度、耐久性のあるフィルム材料はなかった。そのとき彼は講演で、このような透明性のある屋根を実現したいが、耐久性、強度のあるフィルムをメーカーは開発してくれないかと結んだ。しかし、当時はポリエステルフィルムが有力であったが実現はしていない。

1970年、大阪万博のお祭り広場屋根(設計:都市・建築設計研究所)で大規模なフィルムクッション構造が実現した。9.9×9.9mパネル243個をスペースフレームに取付けた。クッション構造の上側面、下側面は次のような構成となっている。いずれもポリエステルフィルム(東レKK)であり、外側6層、内側5層としている。

外側フィルム	内側フィルム
・耐候性フィルム 200 μ	・気密性フィルム 50 μ
・熱線反射フィルム 200 μ 金属箔を蒸着	・構造フィルム 250 μ 3層
・構造フィルム 250 μ 3層	・耐候性フィルム 200 μ
・気密フィルム 50 μ	

耐候性フィルム、気密フィルムは接着(接着幅10cm)するが、構造フィルムは主として1方向応力状態なので、接合部は単に3枚重ねているのみで接着していない。

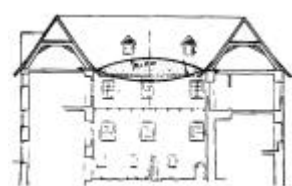
内圧は常時50mmAq、台風時100mmAqとしている。

空気銃でパネル面垂直の射撃では、フィルム厚1mmの場合、10mで貫通しないことを確かめている。また、JIS防炎1級であり、たばこ1本では接触し続けても穴は貫通することはなかった。ここでは熱線遮断を金属箔の蒸着で、フィルム厚250 μ の場合、波長700nm付近の光の約60%を反射する。

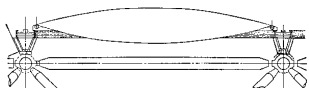
* * * * *

この他、フィルムによるクッション構造はヨーロッパで1970年代、当時はポリエステルフィルムを使い小規模のものがつくられたが、耐久性がなく、直ぐ駄目になった。その後、ETFEの高耐久性がこの構法に適しているのではないかとということで、1980年に入り、ドイツVector Foil GmbH. が屋根用フィルムとして使い始めた。

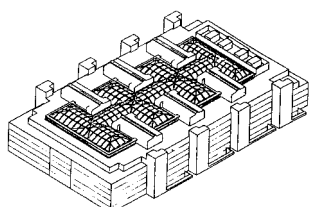
Buro Happold事務所が、それを使って幾つかのフィルムクッション構造の計画を行った。1980年代初め、北カナダの町で大規模の屋根として考えられたのが最初の建築的次元での計画であったが実現はしていない。最初の実現の一つに、1982年の建設のBurger's Zoo Mangrove Hall 800 m^2 (オランダ)がある。その後、小規模のものに使われたが、建築的な次元での実現は、1980年代は話題になるような物件はなかった。しかし、幾つ



城の中庭の Cushion roof



お祭り広場屋根
フィルムクッション構造



ロンドンの病院アトリウム
フィルムクッション構造



ゲーリーウエーバー
テニススタジアム



シュランバーガー
研究所アトリウム



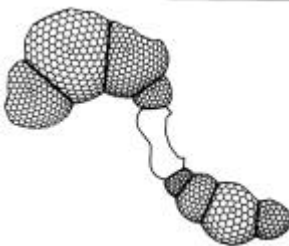
エデンプロジェクト
熱帯雨林棟



エデンプロジェクト
内部



エデンプロジェクト
単位パネル



エデンプロジェクト
平面

かの小規模の実例が、次第にこの構造の新しい屋根面としての性能とユニークさが認識され、軽構造の流れの中に位置付けられ、1990年代に入り、ようやく多くの計画に乗せられるようになった。

完成年 1992 年のロンドンの病院のアトリウムでは、最大 4×3 m のパネル約 300 個を骨組に嵌め込んだもので 400Pa の内圧で完成している（設計 Buro Happold）

1994 年完成のドイツ、ゲーリーウエーバーテニススタジアム（屋根設計構造 SBP）はこの ETFE フィルム屋根の大型の最初の頃の作品で、開閉屋根だが、軽量ゆえに 1 分 30 秒で屋根開閉ができる。28×40 m の開閉屋根部は降雪と同時に屋根を開くこととしているので、積雪荷重は考慮していない。このため、フィルム間の内圧は年間を通して一定としている。イギリス、シュランバーガー研究所の 2 期工事（設計 Michael Hopkins）では、入口の屋根 150m² に使われ、通路を明るくした。

これらを機に ETFE フィルムクッション構造は、ヨーロッパで次第に注目され、建設されるようになる。

* * * * *

ヨーロッパ北部の気候は、夏期でも乾燥した空気は涼しさを生み、透明な屋根は明るい室内となり、冬期には明るく太陽光を室内に持ち込む。屋根に不燃性を要求する建築では、ガラス屋根となるが、それ以外の建築では、ETFE フィルムの軽さのための取り付け用 2 次部材を少なくすることができ、雨仕舞のよさと汚れ難さと人間の皮膚のような柔らかさはガラスでは表現できない内部と外観を生む。

この頃より、ETFE フィルムの設計法、施工法も固まり、これ以後、ヨーロッパで一挙にその市場を広げた。

イギリスで、ミレニアムの計画の 1 つとしてエデンプロジェクトが建設された（設計：Nicholas Grimshaw & Partners, 構造：Anthony Hunt Associates）。これは、ETFE フィルムクッション構造でつくった熱帯雨林、温帯の植物園 2 棟からなり、約 3 万 m² の規模である。設計当初、ガラスとの比較が行われ、植物の育成にも、エネルギー的にも ETFE の方がまさっていることがわかった。構造的にも軽量であり、耐久性も問題ないことが確かめられ、ETFE が選択された。エデン計画は成功し、次に同じ ETFE フィルムクッション構造で、砂漠地帯の植物園が現在設計されている。

フィルム屋根の傾向は、次第に大規模化し、スタジアムの観客席部分の大屋根として、アリーナ屋根として使われるようになる。

建設中のドイツ 2006 年ミュンヘン W-カップスタジアム屋根にも使われ、また、2008 年北京オリンピックスタジアム屋根、北京オリンピックプール屋根としても建設中となっている。日本では、1994 年 680m² のレストハウス屋根（設計：菊竹建築設計事務所）三重県南勢町に使われている。

日本での ETFE フィルム材料は、1985 年に旭硝子 KK によって、当初は農業用温室材料として作られ、現在はフィルムクッション構造用も生産が行われている。ドイツのミュンヘン W-カップスタジアム屋根 ETFE フィルムはこの会社の材料である。その他（ダイキン工業 KK、サンゴバン社）においても ETFE フィルム材料は生産可能となっている。

（ETFE フィルム構造の特徴）

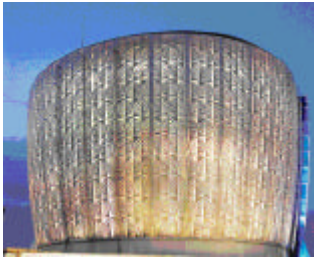
このように、現在、ヨーロッパでは、アトリウム屋根、スポーツ施設屋根（特にプール屋根が多い）、動植物園屋根、駅舎などの開放型建築の屋根などに多く使われ、またスタジアムの観客席屋根に注目され、天然芝の育成にも有効となっている。

透明性ゆえの内部の熱の問題も様々な工夫がされ、光線を遮断したり、透過させたりする方式も工夫され、また透光性をコントロールするプリントフィルムや、紫外線を吸収する充填材の混入などにより紫外線の透過率を大きく低減できるフィルムもできる。

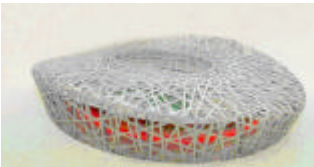
ETFE フィルムの透明、軽量の屋根は、ガラスのような密な取り付け 2 次部材を必要とし



三重県レストハウス



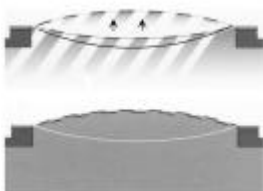
プリントフィルムによる
クッション構造外装材
ハノーバー博 Duales 館
(設計 Atelier Bruckner)



北京オリンピック
スタジアム



フィルムクッションパネルは
1方向は長くできる



3層フィルム
内部の縞模様のフィルム
を上側の縞模様フィルム
につけ、互いの縞模様が
重ならないようにすると
遮光する

ないが、フィルム強度のためパネル規模は大きくはできない。日本の風荷重、積雪荷重を考慮すると、1方向の取り付け間隔はフィルム面にケーブル等の補強がない場合には、概ね 2m程度が限度となるが、もう一方の勾配方向には制限は特になく、長尺とすることができる。また、不燃材料ではない点は、用途と建設場所に制限を与える。

ボンディング対策のためにクッション構造とするが、設備（電源、送風機、内圧制御等）を必要とする。重要度の高い建物では、これらのバックアップの設備も必要となる。

飛来物への問題、音の問題（クッション構造であるため、雨音等が大きくなる）は、閉鎖形の空間での問題を引き起こす。

クッション構造の内部結露に対しては、現在は乾燥空気の送り込みで防いでいる。

（日本の法的問題）

日本で ETFE フィルムによる屋根を設計、建設する場合、多くの制約がある。

フィルム材は現在、法規上の指定建築材料ではなく、構造耐力上主要な屋根構造とすることはできない。使うためには、フィルム材料の告示の制定がまず必要となる。このため、現在考えられる方法は、屋根ふき材、外装材という扱いとなる。

膜材料の告示を作成する折、国際的な動きのなかで、フィルム材料も同時に扱おうと当初は考えられ原案をもった。しかし、はじめての材料であるため、必要性能項目、試験法が、通常の織布膜材料と大きく異なり、織布膜材料と同じ扱いができないことがわかった。時間的にも告示化するための原案作りは無理であった。また、フィルム材料の強度から、日本での風荷重に対して 200 μ 厚を想定すると許容限度はスパン 2m程度あり、まず最初はこの程度のパネルによる屋根ふき材、外装材扱いから出発しようということになった。今後、この構造が一般化した折には、告示化して膜構造用の主要な材料として使っていけるようにする必要はある。

ただし、個別物件として、地震時刻歴応答解析等を行い、大臣認定の取得が得られれば、屋根ふき材ではなく、単位パネルの大きい構造用屋根として使える。この場合、フィルム材料が建築物の設計において想定したとおりの特性又は機能を有するものであること等の確認が大臣認定の場で必要となる。例えば、スタジアム観客席上の屋根、あるいはドーム屋根に使う場合で定着間隔を大きくしたい場合には、フィルム補強を行ない、このようにして使うことができる。

* * * * *

ガラス、ポリカの固い透明性ではなく、フィルムの柔らかい透明性はこれまでの建築材料では表現できなかった。模様をプリントされたフィルムは、外装面、屋根面にプリントを浮き出させることができる。小規模のひさしには、このプリントフィルムは思わぬ魅力を醸し出す。このようなフィルムの特徴を設計のなかでどう取り込んでいくかが大きなポイントとなる。フィルムパネルの形態は自由な形態と曲面が可能であり、北京オリンピックスタジアムに見られるようにパネルごとに形態と大きさを変え、鳥の巣といわれるような有機的な屋根表面を演出することができる。大面積ではフィルム面の補強が必要となり、ケーブル補強、メッシュ補強などの方法が取られる。

しかし、視覚的な魅力のみにひかれての設計は、日本の風土気候のなかで適応できるのかどうか、設計は慎重に行う必要がある。このようなことが十分に考慮され、ある用途に沿ったとき、この構造は魅力的な屋根を表現できると考えられる。

当協会が現在「フィルム屋根・外装材設計施工指針」を作成中であり、ETFE フィルムによる屋根、外壁の設計標準として、設計資料を含め、設計時の考慮点を示した有用な指針となる。フィルム構造は、現状の法的問題から、構造耐力上主要な屋根構造とすることができないので、屋根ふき材、外装材扱いで作成される指針である。次号で指針の詳細が示される予定。

（記：石井一夫）

2. 韓国チェジュ（済州島）ワールドカップスタジアムの台風による屋根膜面の破壊の原因

2002年チェジュW-カップスタジアムは、屋根骨組間をサスペンション膜構造としたスタジアムであり、2003年の台風により屋根膜面が大きく破壊した。この原因についての発表論文が2003年10月台北 IASS 会議で公表されているのでその概要を紹介する。

韓国チェジュ（済州島）ワールドカップスタジアム 台風による膜面の破壊の原因

Seung-Dong Kim (Semyung University, Korea)

金 勝徳（世明大学）



写真 1
チェジュ W-カップスタジアム

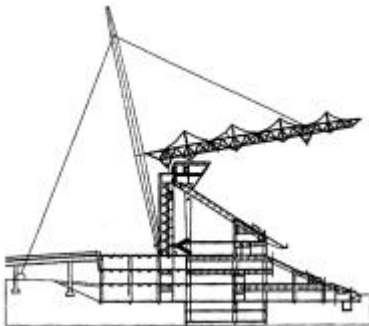


図 1 断面図

チェジュ W-カップスタジアムは鋼構造骨組間を PTFE コーティングガラス繊維膜材（A 種膜材料）によるサスペンション膜構造としたもので、2001 年 12 月 31 日に完成した。この場所は海岸に近く、美しい形態のサッカー場である。FIFA W-カップサッカーが韓日で 2002 年 5 月 31 日から 6 月 30 日の間開催され、このスタジアムでは 3 試合が行われた。

収容人員 42256 名

建築面積 75929 m²

屋根構造 屋根は 19 区画に分けられ、各区画は鋼管による三角形断面のトラス梁の鋼骨組構造としている。これらの屋根は屋根の外側に建てられた最高高さ 98.3 m のポール 6 基より吊られている。

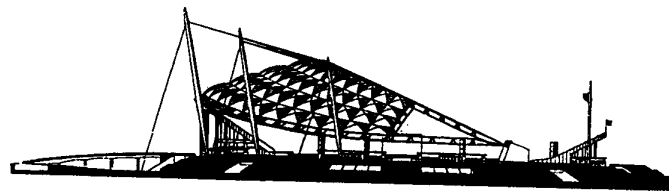


図 2 側面図

（屋根膜面の大きな破損）

W-カップ終了後、2 回の強い台風チェジュは遭遇した。最初の台風は 2002 年 6 月 26 日最大風速 28.7 m/s で、屋根面の 3 区画で引裂が発生した。2 回目 2002 年 8 月 30 日最大風速 40.8 m/s でさらに 3 区画で膜面が大きく破損した。

（屋根膜面の解析）

屋根膜面の破壊の原因を掴むため、次の二つの方法をとった。一つは膜面施工の問題で他は構造設計上の問題である。調査の結果、現場での膜面施工の問題では重大な欠陥は見出すことはできなかった。しかし、構造設計に関しては膜材料安全率について重大な問題を発見した。そのため、ここではこの構造設計の問題に絞っている。

この構造の構造解析を著者の開発したケーブル膜構造解析プログラムを使って行ってみた。解析モデルは、最も規模の大きい膜面パネルを使っている区画 1 と、風圧が最も不利となっている区画 3A である。実際に建設されたこれらの区画の形態は当初の設計とは多少異なっているため、解析は実際の膜面に合せた形態として解析を行った。

奇異なことは、実際に施工された空中束頂部のキャッププレートと膜面とは固定されておらず、風荷重によって滑り、また離れる場合もある。

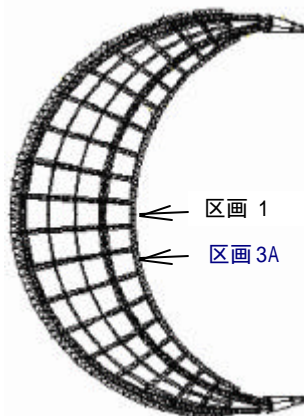


図 3 屋根の伏図

このため、この空中束とそれに取り付いているリッジケーブルとは膜面の変形を拘束することがなく、膜面の挙動はかなり大きくなる。このため、風負圧時にはこの空中束、リッジケーブルは解析時にはないものとして解析を行った。初期形状についてはこれらがすべて存在するとし形状解析によった形状としている。

図5に示す解析モデルは区画3Aのものであり、節点数1349、要素数2504。

境界条件は、膜面パネルの鉄骨への取り付け部は固定、膜面パネル中央の空中束との節点は、横荷重に対しては固定、上下方向はフリーとした。

風圧については風洞実験より最も不利な負圧を採用した。最大風圧係数 -5.47で879 kgf/m²となる。

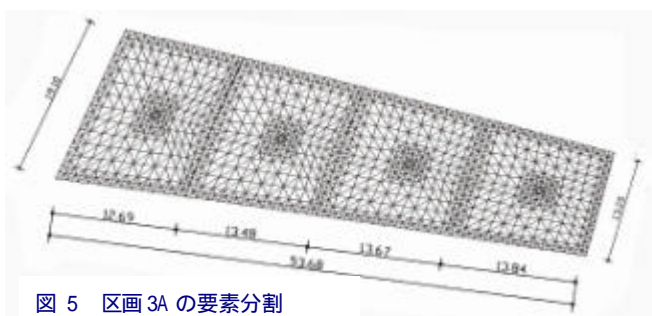


図5 区画3Aの要素分割



図6 区画A3の形態

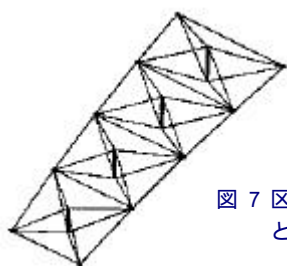


図7 区画3Aの空中束とケーブル位置

表1 膜材料弾性定数

	シアフィル II	FGT-800
Et ₁	1400 kN/m (142761 kgf/m)	1396 kN/m (142449 kgf/m)
Et ₂	875 kN/m (89226 kgf/m)	890 kN/m (90816 kgf/m)
₂₁	0.8854	0.86
₁₂	0.5534	0.55
Gt	58 kN/m (5914 kgf/m)	65.1 kN/m (6643 kgf/m)

表2 膜材料引張強さ

膜材料	たて糸方向	よこ糸方向
シアフィル II	14016 kgf/m	10000 kgf/m
FGT-800 (公称値)	15000 kgf/m	12000 kgf/m
FGT-800 (測定最小値)	15908 kgf/m	13105 kgf/m
FGT-800 (測定平均値)	16368 kgf/m	13659 kgf/m

屋根面の膜材料は設計時にはシアフィル II であったが、現場で FGT-800 に変更された。これらの膜材料の機械的性質はほとんど差はない。FGT-800 の引張強さについて、表2に示すように、公称値（基準強度）と日本でのチェジュスタジアム向けの出荷時に測定されたすべての FGT-800 のなかの最小値と平均値を表している。

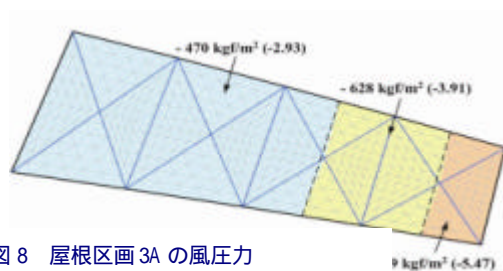


図8 屋根区画3Aの風圧力

風力係数)

区画3Aの風力係数と風圧力を図8に示す。風力係数は、外装材用風力係数で、内圧、外圧の合計値としている。

(解析結果)

表 3 膜材料の残存安全率

解析モデル	系方向	解析よりの最大張力 (kgf/m)	残存安全率			
			テフロン II 公称許容値より	FGT-800 公称許容値より	FGT-800 最小強度より	FGT-800 平均強度より
区画 3A 設計図書の値 ¹⁾	たて	8366	1.68	1.79	1.90	1.96
	よこ	8068	1.24	1.49	1.62	1.69
区画 3A 当解析での値 ²⁾	たて	11683	1.02	1.28	1.36	1.40
	よこ	9905	1.01	1.21	1.32	1.39
区画 3A 当解析での値 ³⁾	たて	8744	1.60	1.72	1.82	1.87
	よこ	7603	1.32	1.58	1.72	1.80

残存安全率 = 存在応力 / 破断引張強さ

- 1) 設計者により当初の計算値 初期張力 = 500 kgf/m 風負圧力 = 501 kgf/m²
- 2) 筆者による解析 初期張力 = 300 kgf/m 風負圧力 = 879 kgf/m²
- 3) 筆者による解析 初期張力 = 500 kgf/m 風負圧力 = 879 kgf/m²

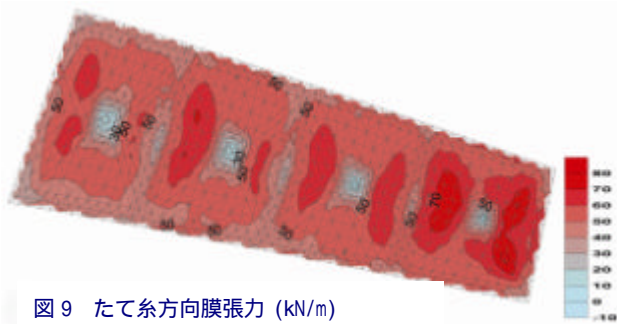


図 9 たて系方向膜張力 (kN/m)

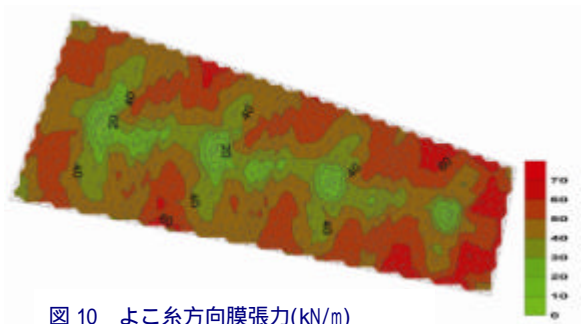


図 10 よこ系方向膜張力(kN/m)

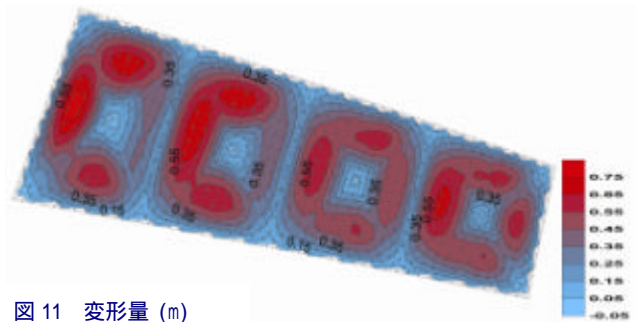


図 11 変形量 (m)

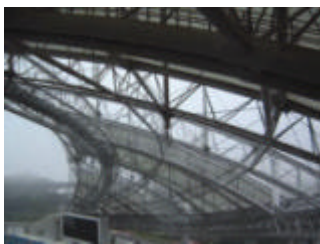


図 12 変形後の形態

(結 語)

通常は、構造設計における膜材料の安全率は膜材料強度の不確定要素によって、4.0 以上を必要としている。しかし、表 3 によってわかるようにこのスタジアムの屋根では実際には台風時に膜材料の存在応力に対して安全率は 2.0 以下となっている。このような状態では、膜面が台風に対して破断してもおかしくない。このことを考えると、当初の構造設計が非常に理解し難いものとなっている。これがこのスタジアムの屋根の崩壊に重大な影響を与えたと考えている。

3. 新しい膜材料の開発状況

日本では、膜材料の脱塩ビ、リサイクル利用といった環境問題に対応した膜材料の開発が相次いでいるが、ここでは、アメリカでの新しい膜材料の開発を紹介する。出典は、IFAI 2003 Conference Proceedings: 「Explore Fabric as a Building Material」

1) PTFE 繊維系基布と PTFE コーティング材の新膜材料

(T.P.KelMartin, PE, W.L.Gore Associates, Inc.)

PTFE はこれまで一般には、コーティング材として使われていたが、これを繊維にしたもので、ここではこの繊維をさらに高強度とした繊維を使った新材料についてである。

高強度の PTFE 繊維はこれまでの PTFE 繊維の 50% 増しの強度となっている。この繊維を糸にし、どのような織り方がもっとも強度と可撓性を得ることができるか、膨大な試験を行った。

この基布は、PTFE 繊維系であり、それだけで紫外線に影響されず耐久性があるが、防水性をあたえるため PTFE のコーティングは施される。

このため、膜材料として光線透過率（透光率）40%程度まで可能となっている。現在タイプ 1（600 N/cm）とタイプ 2（800 N/cm）、各々透光性 19%と 38%のものが開発されている。引裂強さも 800~900 N で、これまでの膜材料に比べはるかに高い値となっている。

表 1 基本性能

	タイプ 1	タイプ 2
質量	630 g/m ²	830 g/m ²
厚さ	0.38 mm	0.43 mm
幅	1.5 m	1.5 m
引張強さ	たて糸方向 3000 N/5cm	4200 N/5cm
	よこ糸方向 2900 N/5cm	4000 N/5cm
引裂強さ	たて糸 818 N	925 N
	よこ糸 854 N	925 N
透光率	38 or 19%	38 or 19%

（接合）

接合は通常の熱板溶着でよい。タイプ 1 では接合幅 50 mm,

タイプ 2 では 62 mm 以上が望ましい。

高温での接合効率 室温 90~95% 70 50~70%
使用例 現在はまだ小型の物件で使われるようになっている。

表 2 引張強さ、引裂強さの比較表 縦横平均

コーティング材	基布	引張強さ たて,よこ平均	引裂強さ
PTFE	PTFE	4100 N/5 cm	925 N
PVC	ポリエステル	4580	515
PTFE	ガラス繊維系	4862	212

（繰り返し折り曲げ）

83×108 mm の矩形試験片をロール状にして、9 回/分の割合で荷重をかけて潰す。最初は、20000 回潰し、その試験片を 78 ミリバールの水圧を 3 分間かけ水漏れがあるかどうかの試験である。今後はこれを、50000 回でも大丈夫なようにする。

このような性能は、開閉に向いている。

（防火性）

防火性試験（ASTM D6413/FTM191-5903）の垂直テストでは、残炎、溶融、したたりなし。

耐候性 PTFE は本来紫外線劣化のない材料である。QUV 試験機で、1 ワット/m² で 3000 時間では、黄化、硬化は生じなかった。屋外暴露 21 ヶ月では、白色を保ち汚れは生じなかった。

商品名 TENARA[®]

W.L.Gore Associates, Inc.

2) 温度調節機能をもつ新しい膜材料

(Barbara Pause, Textile testing & Innovation, LLC.)

これまで、膜材料は、他の材料にくらべ、断熱性の劣る材料と考えられていた。特に夏期に膜構造内部は温度上昇という問題が生ずる。ここでは、温度調節の可能な性質をもった新しい膜材料の開発によって解決できる。この温度調節機能を持つ膜材料は、相が変化する材料（Phase Change Material (PCM)）はある温度領域において、その材料の相を変化させることができるもので、高温状態では熱を吸収し、低温状態では熱を放出する性質をもつ。これを

膜材料に応用した例を示している。ここではコーティング材料に PCM をもったシリコンラバーをつかったガラス繊維基布膜材料についての実験例を示している。

この相の変化する材料ある温度領域において物理的特性がかわる材料で、熱処理の段階で、この相の変化する材多量の潜熱を蓄える。また冷却過程で、この潜熱は放出され、液体から固体へ相が変化する。これによりこの材料はほぼ一定の温度を保つ。

これを膜材料に応用した。屋根につかった場合、昼間は太

陽放射で膜は熱を吸収し、屋内に熱を侵入を妨げ、また夜間は、ある温度領域で熱を放出する。

また、この相の変化する材料では材料の劣化を遅らせる効果もある。

この相の変化する材料は普通の膜材料に混入することはむずかしいが、シリコンラバーでは可能である。これを基布材にコーティングを行う。

このようにして作った膜材料を実際に試験してみた。熱を吸収する範囲を 30 ~ 39 °C、熱を放出する温度を 15 ~ 20 °C になうように PCM を混入した。この PCM は塩水和物で、不燃性であり、熱の貯量は、230 J/g、シリコンラバーに PCM を 40% 容量を含めると、熱貯量は 92 kJ/m² となった。これを通常の膜材料である塩ビコーティングポリエステル基布では、同じ熱量を吸収させるには、その温度は約 75K にあげなければならない。

膜材	質量	厚さ	光線透過率
ポリエステル基布塩ビコーティング	1245 g/m ²	1.0 mm	5 %
ガラス繊維基布/シリコンコーティング	830	0.7	23 %
ガラス繊維基布/PCMシリコンラバー	1210	1.4	39 ~ 54 %

表の種類の膜材料について、断熱性の点から比較すると、次のようになる。

また、他の材料ではないが、PCM の潜熱吸収がある温度領域で断熱効果が付加されるので、これを付加的断熱と呼ぶ。

膜材料	基本的な熱抵抗	付加的熱抵抗	全体の熱抵抗
ポリエステル基布塩ビコーティング	0.0073 m ² K/W		0.0073 m ² K/W
ガラス繊維基布シリコンコーティング	0.0054		0.0054
ガラス繊維基布 PCM シリコンラバーコーティング	0.0096	0.0230	0.0326

3) シリコン：コーティング材，トップコート材

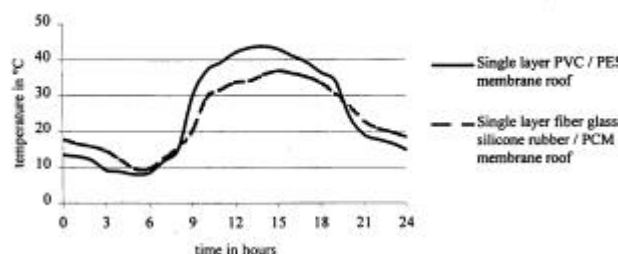
(W. Blackwood, A.K. Shim, Dow Corning Corp.)

イソブチレン樹脂は耐候性、接着性、使用温度範囲、塗装性などの利点があるが、一方簡単に和硫しない。ポリイソブチレンとシリコンのよさを共有した新しいイソブチレンと p-メチルスチレンメチルビニルシリコン (Si-PIB) が、膜材料コーティング材としてよい性能がある。

この新しいコーティング材をこれまでのブチルゴムとシリコンとを比べた特性は次の表となる。このような性能がある和硫 Si-PIB は膜材料のコーティング材として、よい結果を出しており、またコーティング材の上のトップコート材として使えば、シリコンのような表面性状を示し、

ポリエステル基布塩ビコーティング膜材とガラス繊維基布/PCM シリコンラバー膜材とを、実験棟屋根に使い、内部温度を同じ条件で測定した実験では、次の図のような結果となった。

Figure 1: Temperature development inside the model buildings



光線透過率もよい。

その他の特徴

耐熱温度	-50 ~ 200
防火性	不燃性
防汚性	汚れない
弾性の耐久性	高い
強度	高強度
耐薬品性	優秀
耐候性	とくによい

従来のシリコンコーティングガラス繊維織布にくらべ、耐候性、防汚性はよい。

このように、従来の膜材料にくらべ、種々な点で利点が多く、特に断熱性能が高く、従来 2 重にして使っていた屋根膜面は一重でよいとしている。

Textile testing & Innovation, LLC.

摩擦係数が少なく、さらさらとした感触となり、汚れ難くなるとしている。(和硫 Cureable の訳として使っている)

	ブチルゴム	和硫 Si-PIB	シリコン
加工処理性	Poor	Good	Very good
和硫性	Poor	Good	Very good
温度安定性	Fair	Good	Very good
接着性	Good	Good	Good
透過性	Low	Low	Very high
塗装性	Fair	Fair	Very poor
減衰性	Good	Good	Good
熱膨張性	Moderate	Moderate	Large
硬さ	High	Low	Low

4. 膜 彫 刻

膜構造 Sculpture (彫刻)

膜材料を使った彫刻が、世界各地に広まっていくようになった。彫刻といえるかどうかは別にして、膜の造形が新しい芸術素材として使われ始めている。

膜面の張力と曲面性を表現したこれらのオブジェは、われわれに新鮮な魅力を与える。張力を与えた膜面、あるいは空気を閉じ込めた膜面は、空間の中に大きなマスで鋭さと同時に柔らかさを表現する。フィルムを使った透明性のあるオブジェ、強い色彩を使った膜彫刻など、様々な試みが行われる。世界的に話題となっている幾つかの膜彫刻を探る。これらデザインはいずれも彫刻家である。



(Head First : クリーブランド健康ミュージアム)

クリーブランド健康ミュージアムの膜彫刻は、顔をかたどった形態で、細いアルミニウム骨組構造による。膜材料は伸縮性のあるポリエステルメッシュ膜材料で半透明性である。高さ約 10m, 顔の曲面と表情を出すため色々と工夫を凝らしている。

表情は、コミカルなものでもなく、深刻なものでもなく、生き生きとし、空間と良くマッチしたもので、ということがテーマとなっている。中へも入れる。

デザイン Cindy Thompson, MFA, Transformit Inc., Gorham, Maine USA

(IFAI 2003 Conference Proceedings : 「Explore Fabric as a Building Material」)



(Marsayas : ロンドンテートギャラリー)

“Marsayas” と名づけられたこの膜彫刻は、ロンドンテート美術館 “Turbine hall” の天井に張られた長さ 150 m, 面積 3500 m² の膜彫刻で、両方に直径 30 m の口のあるトランペットのような形態をしている。PVC ポリエステル膜材を使っているが、彫刻家の希望で特別なラッカーをつかい表面の赤は皮を剥いだスキンの色とし、その光沢をだしている。形態は膜張力により形成される曲面であるが、実際にはリングを入れ、この形をだしている。膜面は一体のものとなっている。

この Turbine Hall は彫刻家にとって非常に難しい空間であるとし、この空間に置く彫刻は垂直性を要求している、このことは彫刻家のこれまでの仕事ではなかったもので、彫刻の概念に反する。このため、彫刻家は、唯一の解決策として、この垂直性を水平性に切り替えてみた、という。

批評家のクレームは、大きすぎて写真に撮れないという。また全体を一見することができず、歩きながら見上げることとなる。デザイン Anish Kapoor (彫刻家)

(Fabric Architecture May/June 2003)



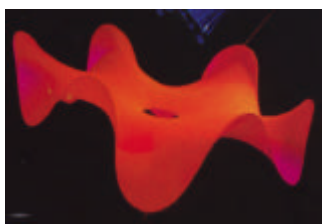
(シドニーメイヤー音楽堂彫刻)

動く彫刻 材料ナイロン織布

天井のケーブルネットから形態の周囲をナイロンロッドで吊り、形態を形成している。このロッドを天井面ケーブルネットに取り付けられた滑車を通して、引き上げることによって膜面は形態を変化させることができる。この引き上げ装置は、照明と組み合わせられ、イメージの異なる種々の形態となる。

Sidney Mayer Music Bowl (メルボルン, オーストラリア) 一部を覆う規模であり、開所式に覆われた音楽堂から引き上げられた。デザイン Sarah Winfrey

(Fabric Architecture March/April 2004)



5. 世界からの膜構造



(膜によるルーバー外装)

フェニックス中央図書館のファサードは、膜材料(塩ビコーティングポリエステルメッシュ織布)によるもので、朝の日差しを防ぐ目的

50%メッシュで適当なシェイドが可能で、夜には内部照明が外に浮きでる。

水平に走るケーブルと、壁面から突き出るバーに膜面は接続され、バーは左右に可動となっている。これによってルーバー膜面は曲率が得られ、初期張力が導入されている。微風のように太陽光が入る。

設計 FTL Design Studio

WWW.ftlstudio.com



(膜材料によるダクト)

膜構造内部のダクトを、従来の金属製ダクトに代え、膜材料によるダクトとしたもの。

膜構造内部では天井を一般に用いない。このような場合に空気の吹き出しダクトに膜材料を用いた例で、金属性ダクトにくらべ、膜構造になじむ。

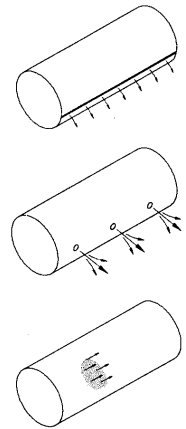
ダクトからの空気の吹き出しは、金属性ダクトの局所的な吹き出しと異なり、ダクト面全面からとし、一様な空気の吹き出しとしている。膜材料によるダクトであるため、色彩、曲線状の自由があり、デザイン的にも面白いものが可能となる。

ダクトを外装のデザインとしたパリポンピドーセンターがあるが、内部を膜ダクトによるデザインも可能となる。

- ・柔軟性があり、他のものへ傷を与えない。
- ・多孔性、通気性のある膜材料
- ・ダクトの結露がない
- ・膜材料の色彩でデザイン的にもなる。
- ・曲線状のダクトが可能
- ・取り外しが簡単で、清掃しやすい。
- ・ポータブル
- ・低価格
- ・施工が簡単
- ・ポリエステル繊維織布

製品名:Ductsox

www.ductsox.com



(ウインブルドンセンターコート:膜構造開閉屋根)

毎年ウインブルドンを悩ませている雨による遅延に対して、センターコート屋根を開閉にするとALL England Club が発表した。

開閉屋根は骨組膜構造で、骨組折りたたみ方式としている。設計:HOK

Fabric Architecture March/April 2004



(膜構造による駅舎計画) 2004年完成予定 ドレスデン駅

1898年建設のドレスデン駅は、Ernst Giese, Paul Weidnerによって設計されたものだが、第2次大戦で破壊され、その後改修を重ねていたが、大規模修復が必要となり、駅舎を含み、屋根を膜構造とする設計となった。設計:Foster and Partners

Fabric Architecture March/April 2004

6. 技術委員会の活動状況

当協会の技術委員会では、膜構造に関する各種の委員会を設け、膜構造の技術的、法的問題点の解決のため、また膜構造の品質と安全確保の問題に取り組み、一層の健全な発展を目指して積極的な作業を行っている。現在の委員会の活動概要を示す。

<p>(フィルムパネル構造委員会)</p>	<p>ETFE フィルム(エチレンテトラフルオロエチレン共重合樹脂)は、透明性の高い材料で、このフィルムを二重にし、その間にやや圧力の高い空気を送り、あるいは封じ込め、パネル状にして屋根や外壁材に用いる例は、ヨーロッパを中心に広がっている。最大3万㎡の植物園屋根から、アトリウム、プール屋根、開放空間の屋根など、また2006年W-カップスタジアム屋根、2008年北京オリンピックスタジアム屋根など施工中のものも多い。これらは、透明な軽量屋根という位置付けで、これまでにない空間を創り出す。パネル状にするのは、フィルムの高い伸び率のため、荷重によって大きく伸び、ポンドリング現象が起こらないようにするため。</p> <p>日本において、今後この材料と構造が使われていくことが予想されるので、本委員会では、この材料と構造法についての「フィルム屋根材施工指針」を作成し、設計時、施工時の指針をまとめ、また設計時の参考となる資料をまとめている。</p> <p>2004年6月に刊行予定。(委員長 西川薫：大成建設KK)</p>
<p>(膜構造における地震時刻歴 応答解析法委員会)</p>	<p>現在、大規模膜構造あるいは規模の大小を問わず開閉屋根構造、空気膜構造を建設するためには、地震時刻歴応答解析等の計算を行い大臣の認定を受けなければならない。膜構造のような軽構造について、地震時刻歴応答解析をどのように進めていくのか、この計算に替わり得るような計算法がないものか。本委員会ではこの問題について取り組んでいる。これらは、当協会が指定性能評価機関になったときの大臣認定の性能評価時の内規となっていく。</p> <p>(委員長 竹内 徹：東京工業大学)</p>
<p>(仮設膜構造委員会)</p>	<p>膜構造による仮設建築は、膜構造の原点でもある。しかし、現在、仮設膜構造としてサスペンション膜構造、簡単形態以外の骨組膜構造は1000㎡までとされ、空気膜構造、開閉屋根構造の建設は認められない。建設には地震時刻歴応答解析等の計算を行い、大臣認定物件となる。</p> <p>社会的に仮設膜構造建築に対して多くの自由な設計と建設を望む声が大きく、このような状況を打開するため、告示の改正に向かって、仮設建築の安全性の確保の立場より資料を整えている。(委員長 黒木二三夫：日本大学)</p>
<p>(膜材料標準化委員会)</p>	<p>膜材料及びテント倉庫用膜材料は基準法改正に伴い、大臣認定を受けた指定建築材料となった。また建設業界における電子商取引システムであるCI-NETの建設資機材コードには膜材料が追加され、膜材料の性能項目による情報検索が加わる予定にある。このように膜材料が一般化された建築材料として位置付けられる中で、膜材料に関するデータベースの整備が重要になっている。本委員会では、膜材料の品質及び強度、耐久性等の性能表示方法の統一や、これまで標準化されていなかった透光性や防汚性等の試験方法や評価方法について検討し、資料を整えている。(委員長 河端昌也：横浜国立大学)</p>
<p>(膜構造施工標準作成委員会)</p>	<p>膜構造の告示は、構造方法に関して定められた技術的基準であり、工事施工等を含む品質管理上の規定はされていない。</p> <p>このため、膜構造の品質確保の立場から膜構造の施工指針、標準についての要望が施主、設計者、施工者等より、また主事等より強く要望されている。</p> <p>当委員会では、これらを受けて、膜構造の品質の確保と安全性の確保を目的とし、膜構造の施工方法に関する推奨規準としての「施工標準」の作成を行っている。</p> <p>膜構造の施工標準は、「テント倉庫建築物施工標準」と、一般の「膜構造施工標準」とを作成することとし、作業が開始された。(委員長 畠山孝宏：太陽工業KK)</p>
<p>(膜材料委員会)</p>	<p>膜材料は、基準法改正に伴い、その認定は指定性能評価機関で膜材料の告示にそって行われる。膜材料の告示には、これまでの協会で定めていた品質性能基準がそのまま移行しているが、新しく製造段階での品質管理に関しての要求事項が加わった。これは、ISOによる品質管理の流れのなかで膜材料の製造での品質管理が位置付けられ、それにそった品質マネジメントシステムの構築が要求されている。</p> <p>当委員会では、性能評価を受ける場合の内規の作成を目的として、膜材料製造に係る品質管理のための具体的な要求事項をまとめている。(委員長 石井一夫：会長)</p>
<p>(膜構造研究論文集委員会)</p>	<p>膜構造にはまだ多くの解決しなければならない点、新しい技術開発に伴うその基礎を固めるため、一層の研究が必要となる。当委員会では、この膜構造の研究発表の場として、年次膜構造研究論文集の刊行の査読及び編集、制作を行っている。</p> <p>今後、研究論文以外、技術報告を併せ採録して行き、広い意味で膜構造の発展に寄与していくことを目的としている。(幹事 河端昌也：横浜国立大学)</p>

編集後記

(社)日本膜構造協会より、定期的に「膜構造：技術ニュース」を刊行します。内容は、膜構造を中心としたものになりますが、広い立場で膜構造をとらえ、いろいろな角度で、ニュースを会員に流していく予定です。会員各位の原稿も積極的に掲載の予定としていますので、ご希望がありましたら事務局にお知らせ下さい。

原稿の募集

膜構造技術ニュースに原稿を寄せて下さい。内容は自由で、例えば下記のようなもの。

- ・膜構造作品紹介
- ・製品紹介（膜材料、その他関連材料）
- ・工事報告
- ・委員会報告
- ・膜構造事情
- ・会社、事務所、研究室紹介
- ・紀行文、随筆、感想文
- ・膜構造その他建築の写真

発行 (社)日本膜構造協会 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-13-5
Tel : 03-3501-3535 Fax : 03-3501-3548
e-mail : info@makukouzou.or.jp

ホームページ <http://www.makukouzou.or.jp>
