

PTFEコーテッド・ガラス繊維平織物（膜材料A種） の種々の力学的特性とその評価

南 宏和^{*1}

梗 概

恒久膜構造物用として代表的である標記の膜材料の1軸・2軸伸長、せん断変形、2軸クリープおよび応力緩和、クラック引裂強度の各特性について実験結果および評価資料をまとめた。本膜材料は顕著な異方性、非弾性ととも強い非線形性をもつことが特徴である。またクラックが1cmを越えるとクラック引裂強度は1軸破断強度の50%以下となる特性をもつ。

1. まえがき

膜材料A種「中小規模、特定膜構造建築物技術基準」昭和62年11月)であるPTFE(Polytetrafluoroethylene (4フッ化エチレン樹脂))コーティング・ガラス繊維平織物の使用は、1970年代の初めに米国において始まり多くの実績を作りつつある。我国ではこの膜材料は昭和59年(霊友会体育館)に始めて使用され、現在盛んに建設されるようになっている恒久膜構造建築物の膜材料として代表的存在となっている。それだけに、膜構造設計施工においてこの膜材料の持つ力学的特性に関する資料は非常に重要となる。

一方、この膜材料は平織物と軟質のコーティング材料とから構成された一種の複合材料であるために、その力学特性は従来の建築強度材料に比べて特殊である。たとえば特に設計で重要な2軸伸長曲線は顕著な異方性、強くかつ複雑な非線形性、および顕著な非弾性を示す。このような特殊な材料特性を持つことから、この膜材料の力学的特性に関する資料は膜構造設計施工に特に重要となる。

著者はこれまで研究協力者とともにPTFEコーテッド・ガラス繊維平織物の力学的特性を幾つかの項目と試

料について実験的に調べ、その結果および一部についてはその評価結果を個々に報告してきた。他の著者らの報告もあるが、2軸伸長特性に関連したものが多くまた設計上の特定の目的に関するものが多い^{1)~4)}。そこで、上述の膜構造設計施工での重要性を勘案すると、著者がこれまで報告してきたこの膜材料の力学特性の調査および評価の結果をすべての項目についてひとまとめとし、かつ新しい結果を加えたものは非常に有意義な資料となると考えられる。これを目的として本論では、(1)1軸伸長破断特性(破断応力、破断ひずみ、ポアソン比:試料S1,F1)、(2)2軸伸長特性(異方性、非線形性、1段・3段線形近似、非弾性:試料S1,S2)、(3)せん断変形特性(線形性、せん断弾性係数値:試料S1,S2)、(4)2軸クリープ特性(応力依存性:試料S3)、(5)2軸応力緩和特性(ひずみ依存性、繰り返し応力緩和特性:試料S3)、(6)クラック引裂強度特性(1軸・2軸強度特性、強度特性の数式表現結果:試料S4)についての力学的特性項目につき実験的調査結果とその評価結果をまとめる。ここに試料はS品の4つのロットの試料S1,S2,S3,S4およびF品の1つのロットの試料F1である。なお力学的特性とは言えないが、試料の表面状態に試

*1 大阪市立大学建築学科 客員助教授

料間(S1-S3,F1)で特徴が見出されたのでその観察結果を参考に示す。

2. 試料

主要目を表1に示す。試料S1-S4はN社、試料F1はC社の品種である。表1で1軸破断ひずみは、試料S1とF1については後述の光方式で測定した結果を、他の試料についてはチャック移動距離をもとに測定した結果を示しているため、これら結果には測定方式による相違がある。この点を除いて、他の要目については試料間の値の差は小さい。ただし試料F1の糸密度は他に比べやや大きい(糸間隔がやや小さい)と言える。

表 1. 試料

試料	S1	S2	S3	S4	F1
1軸破断応力	167	170	180	176	166
経糸/緯糸方向 (kgf/cm)	/134	/120	/140	/146	/136
1軸破断ひずみ	4.3	9	8	7	7.4
経糸/緯糸方向 (%)	/7.8	/14	/14	/13	/11.5
厚さ(mm)	0.84	0.80	0.79	0.80	0.82
重量(gf/m ²)	1313	1252	1229	1330	1323
糸密度(1/cm)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.3
経糸/緯糸方向	/7.3	/7.3	/7.3	/7.2	/7.7

電子顕微鏡写真による PTFE-ガラス繊維膜材料の表面の詳しい調査結果はすでにAnsellらにより報告されている⁵⁾。著者らも表面と断面の若干の観察を行い報告した⁶⁾。この報告で試料間の表面状態の違いを指摘した。本報では試料S1,S2,S3およびF1の断面(経(た)糸および緯(よこ)糸の縦断面)とともに表面を写真1-4に示し考察する。写真1-3(試料S1-S3)の表面は同品種のものであるがこれらの状態は同様ではない。さらに写真4(試料 F1)の表面状態もこれらと同様ではない。試料S1の表面は平滑で縦横に走るクラックと丸い小穴が点在している。試料S2では亀の甲状の凹凸がわずかにあって平滑でなく、クラックはないが丸い小穴がやはり点在している。試料S3ではクレータ状のあばたに覆われて平滑でなく、やはり丸い小穴が点在している。試料F1では非常にはっきりとした亀の甲状の凹凸があり平滑でなく、丸い小穴はあるが他の試料よりかなり少ない。一方、断面の状態については試料間で特に相違は見られない。なお、試料S1-S4と同品の試料について、3年および7年間の屋外暴露によっても表面状態はほとんど変わらない結果を得ている¹⁸⁾。

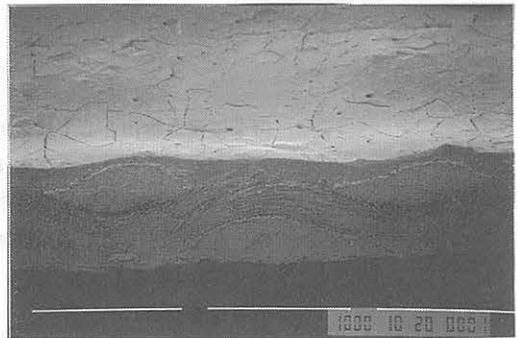
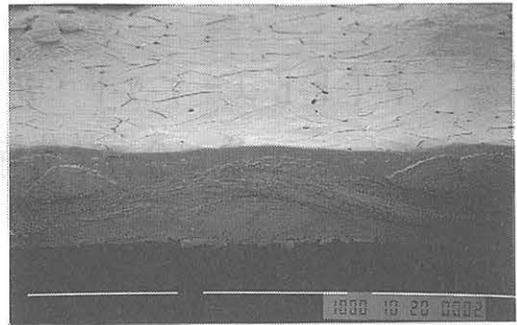


写真 1. 経糸縦断面(上)と緯糸縦断面(下)(試料 S1)

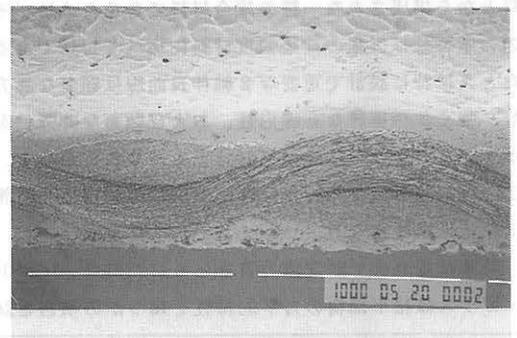
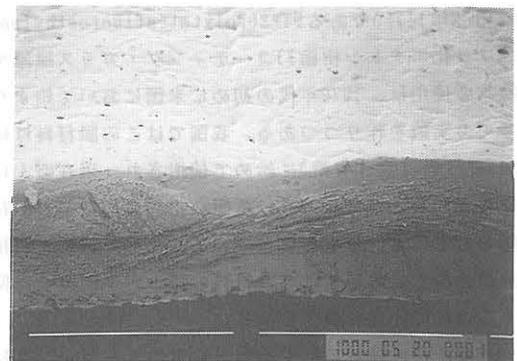


写真 2. 経糸縦断面(上)と緯糸縦断面(下)(試料 S2)

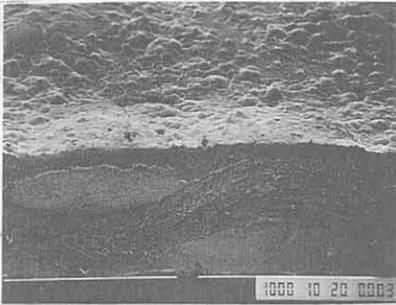
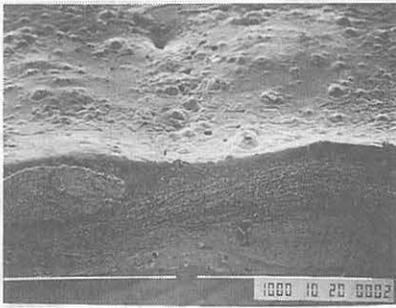


写真 3. 経糸縦断面(上)と緯糸縦断面(下)(試料 S3)

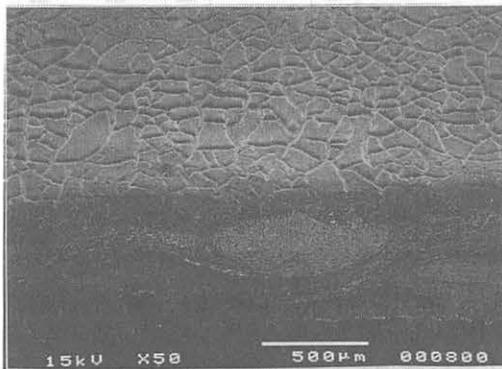
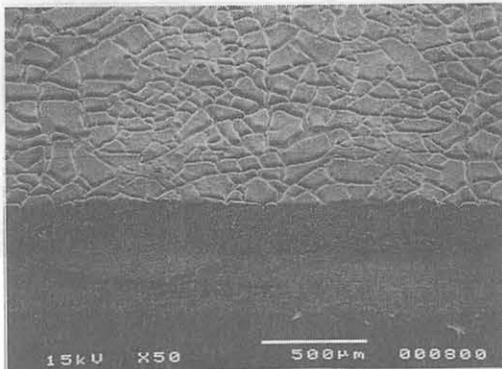


写真 4. 経糸縦断面(上)と緯糸縦断面(下)(試料 F1)

写真1-4にみる試料断面の糸のクリンプ(織りによる曲がりの程度)をみると、経糸と緯糸で明確な差がある。後述の顕著な異方性は主にこの差に基づくもので、緯糸方向での強い非線形性は主にこの差と緯糸の大きいクリンプに基づくものである。

3. 座標軸、および応力とひずみの定義

本論では特記の他は図1のように、経糸方向をx軸方向、緯糸方向をy軸方向と定め、x,y方向それぞれの応力とひずみを $[T_x, \epsilon_x]$ および $[T_y, \epsilon_y]$ 、せん断応力とせん断ひずみを $[T_{xy}, \gamma]$ と定義する。また応力は変形前の単位幅当たりの力と定義する。

さらに応力比を $[T_x:T_y]$ と表現する。ただしx,y方向の1軸伸張状態の応力比は、正確ではないがそれぞれ1:0,0:1と表現する。

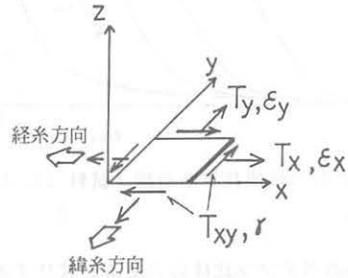


図 1. 座標軸、および応力とひずみの定義

4. 1軸伸長破断特性

膜構造物において膜材料は一般に2軸応力状態にあるのでその破断強度は正確には2軸引張破断強度をもって表されるべきであるが、その測定が困難なため従来1軸引張破断強度をもって表されている。また同様の理由で、破断までの広い応力範囲で本試料特有の顕著な異方性と強い非線形性を調べるためには1軸伸長曲線が有用となる。

1軸伸張試験でひずみをチャックの移動距離を用いて測定する場合はクランプ部での試料のすべりに注意する必要がある。そこで高精度測定のために光方式で標線間5cmのひずみを測定しながら1軸伸張試験をおこなった結果を試料S1とF1につき図2に示す⁶⁾。前述のように、両試料で破断応力はほとんど変わらないが破断ひずみはかなり異なる。一方、顕著な異方性と強い非線形性の様式は類似している。膜構造設計で特に重

要な低応力域を見ると、両試料のひずみは、経糸方向では伸張の初めから大きく異なり、緯糸方向では応力が約5kgf/cmまではほぼ等しく以後伸張とともに大きく異なるようになる。なお、他の試料S2,S3,S4の同様の測定方式による1軸伸長曲線は、後述の2軸伸長曲線の比較結果から、試料S1のものに大きく相違しないと考えられる。

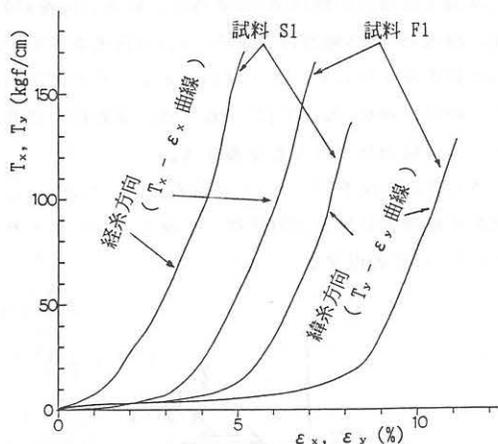


図 2. 1軸伸長破断曲線 (試料 S1, F1)

膜材料のポアソン比は応力あるいはひずみとの関係において、平織物とコーティング材料の複合構造に起因して特有の非線形性を示す^{6),7)}。このことを、図3で試料S1とS2について示す。ポアソン比の測定は後述の2軸伸張試験機による1軸伸長曲線を用いた。ここでポアソン比は、 $T_y=0$ (経糸方向1軸伸張)で $\epsilon_y = -\nu_{yx} \epsilon_x$ 、 $T_x=0$ (緯糸方向1軸伸張)で $\epsilon_x = -\nu_{xy} \epsilon_y$ と定義している。図3のようにポアソン比は複雑な応力(ひずみ)依存性を示すので、膜構造応力変形解析とその結果の評価には注意が必要である。同品種の異なる製造ロット(試料 S1, S2)での差は ν_{xy} で小さいが、 ν_{yx} は大きな差を示すことがわかる。

5. 2軸伸長特性

写真5に示す2軸引張試験機と図4に示す試験体を用いて測定した1軸、2軸伸長曲線を試料S1, S2につきそれぞれ図5,6に示す。伸張は表1に示した1軸破断応力の約20%の30kgf/cmまでの応力範囲で行った。この範囲の応力-ひずみ関係は膜構造解析で特に重要である。図5は測定曲線のばらつきを調べるために一つの

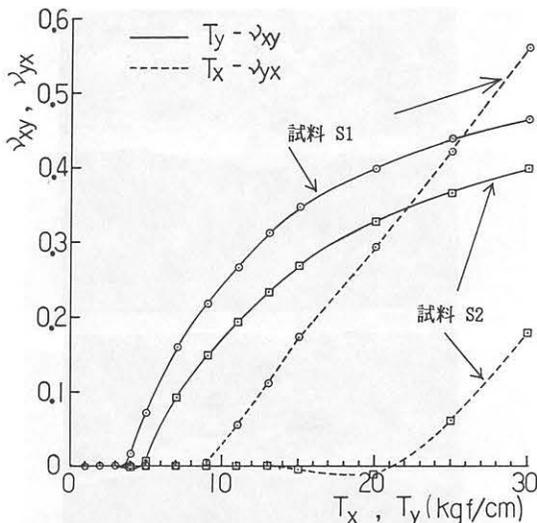


図 3. ポアソン比の測定結果(試料 S1, S2)

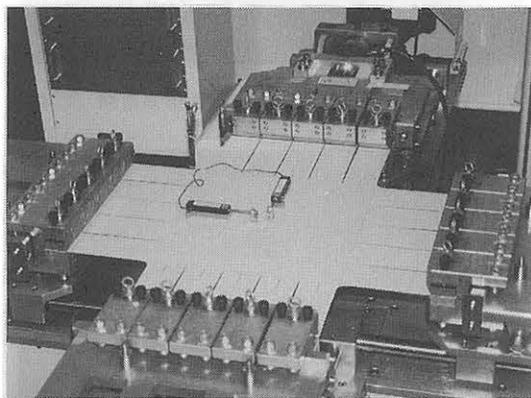


写真 5. 2軸引張試験機

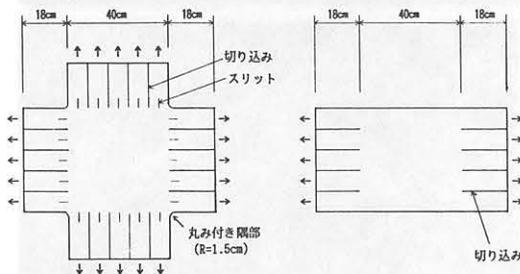


図 4. 2軸引張試験試料 (2軸(左)、1軸(右)引張用)

応力比条件ごとに3試料の伸長曲線示している。1軸伸張は引張速度4mm/minで、2軸伸張は既報⁹⁾⁻¹⁰⁾に

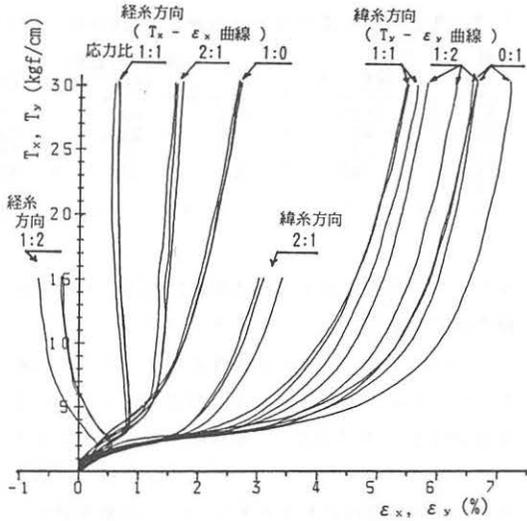


図 5. 2軸伸長曲線 (試料 S1)

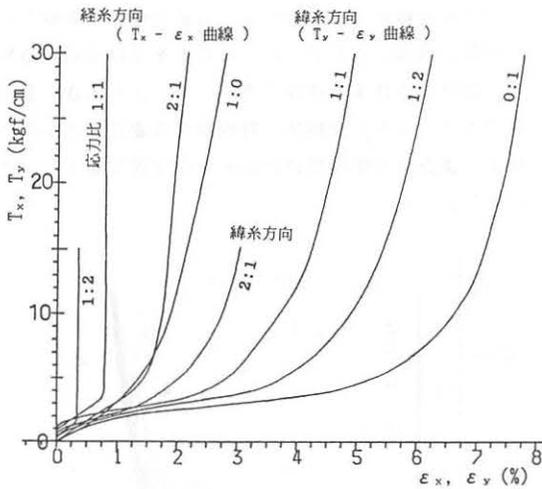


図 6. 2軸伸長曲線 (試料 S2)

述べた1方向引張速度 4mm/minの定応力比制御方式で行った。つまりこの制御方式によるこれらの伸長曲線のうちx方向伸長曲線は、一定応力比をKとおくと、 $T_x = T_x(\epsilon_x, K)$ を表し、y方向伸長曲線は $T_y = T_y(\epsilon_y, K)$ を表している。図5,6の伸長曲線は顕著な異方性と、1軸破断応力の5%(約7.5 kgf/cm)までの低応力域で強い非線形性を示している。この非線形性の強さは応力比により変化している。図5,6の伸長曲線はほぼ同等で、応力比1:2の経糸方向曲線の非線形性の強さの程度の差を除き、製造ロットの異なる試料S1とS2に2軸伸長

特性の差はほとんどないと言える。なお図5が示すように伸長曲線のばらつきは緯糸方向の応力比0:1, 1:2でやや大きい但他の応力比では小さい。

弾性理論で応力がひずみだけの関数の形式、すなわち $T_x = T_x(\epsilon_x, \epsilon_y)$, $T_y = T_y(\epsilon_x, \epsilon_y)$ で表されることが多いので、この形式の関数の測定結果は設計で参考となる。この測定結果は上述の定応力比制御による伸長曲線から得ることができる。図5の試料S1の伸長曲線から得たその結果⁹⁾を参考に図7に示す。この図の各曲線はほぼなめらかに得られているので、元の伸長曲線(図5)は精度よく測定されたものと考えられる。

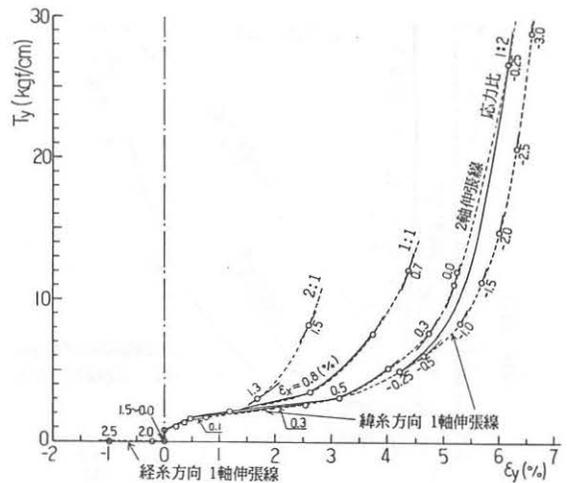
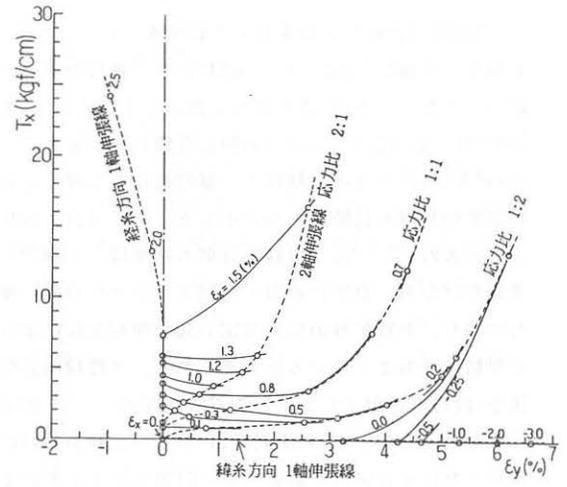


図 7. 曲線 $T_x = T_x(\epsilon_x, \epsilon_y)$ (上), $T_y = T_y(\epsilon_x, \epsilon_y)$ (下)

上述の異方性と非線形性をもつ本試料に、膜構造解析でさしあたって線形弾性理論を適用することが一般に行われている。著者はすでに、この場合の必要になる弾性係数を、特殊な2軸伸長特性を示す本試料の伸長曲線を最小自乗誤差で近似するように算定する方式を提案している^{9), 10)}。しかし、本試料の非線形性の強さを見ると、さらに精度の高い線形近似方式の追求の必要性が強く感じられる。そこで著者はその最小自乗誤差方式を一般化した多段線形近似法を提案した¹¹⁾。この近似法では(1)式を各段の伸長線の構成式として用いる。

$$\left. \begin{aligned} T_x &= E_{xx} \varepsilon_x + E_{xy} \varepsilon_y + e_x \\ T_y &= E_{yx} \varepsilon_x + E_{yy} \varepsilon_y + e_y \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

試料S1に3段線形近似を行った結果を、応力比1:1の2軸伸長曲線(図5)について図8に示す。各段の伸長線について算定した(1)式の弾性定数の結果は表2に示す。図8には、応力比1:0と0:1の伸長曲線にそれぞれ応力30kgf/cmの点でとった割線で一意的に決まる弾性定数が表す伸長線も比較のために示した。この場合の弾性定数も表2に示した。3段線形近似の結果は、1軸伸長曲線だけから一意的に近似した結果に比べて格段に優れており、非線形性の強い低応力域で伸長曲線に近い近似精度で追従していると考えられる。多段線形近似法を1段線形近似として用いる方法は既報^{9), 10)}の方法に相当するが、これを試料S1-S4に同品種の試料に適用した結果は弾性定数とともに同報告に示している。

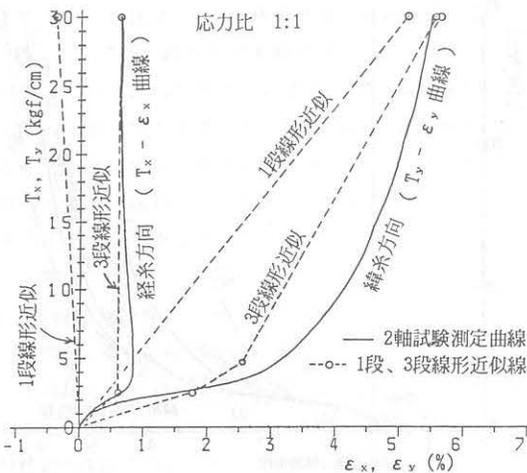


図8. 最小自乗誤差方式による非線形伸長曲線の1段、3段線形近似の結果(試料S1)

表2. 算定した各段の伸長線の弾性定数(単位 kgf/cm)

弾性定数	3段線形近似			3段目
	1段線形近似	1段目	2段目	
E_{xx}	1512	393	892	2001
E_{xy}	701	4	222	790
E_{yx}	343	128	232	561
E_{yy}	612	93	271	813
e_x	0	0	-7	-28
e_y	0	0	-4	-20

なお、(1)式を従来の膜構造解析に組み込むことは比較的容易である。

本試料は後述のように粘弾性を示す。そのため繰り返し伸長曲線は非弾性を示す。前述の定応力比制御の2軸伸張を、応力比1:1で伸長曲線が収斂するまで繰り返し行った結果を図9に示す⁸⁾。試料はS1である。経糸方向伸長曲線はわずか2-3回で、緯糸方向は8-10回の伸張で特に緯糸方向に大きな残留ひずみを生じて収斂した。残留ひずみは弾性余効果で若干回復する。初期伸長曲線ほど強くはないが収斂曲線にも非線形性が明確に残る。なお著者は、風荷重を受ける膜構造物での膜材料のひずみ速度を考慮して、より大きい引張速度でこのような2軸伸長特性がどう変化するかについての調査を引張速度180mm/minの伸張実験で行っている⁸⁾。

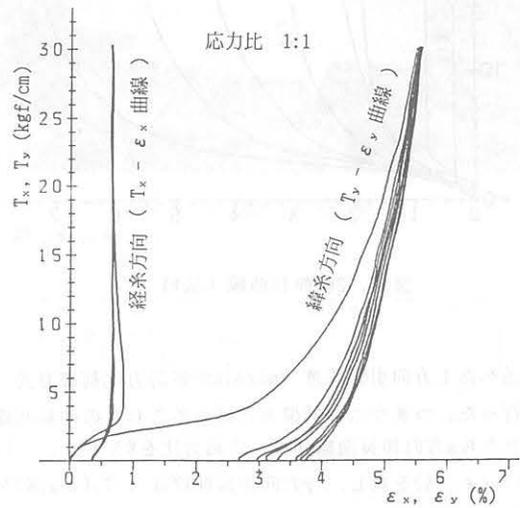


図9. 繰り返し2軸伸長曲線(試料S1)

6. せん断変形特性

著者は、膜材料を長さL、半径Rのシリンダーにし、ねじり角θを与えてねじり角-ねじりモーメント(M)特

性を調査した¹²⁾。この特性は膜材料のせん断変形特性に同等とみなせる。この特性を試料S1,S2について図10に示す。この結果からは、試料のせん断応力(T_{xy})-ひずみ(γ)関係は、せん断変形の繰り返しにはほとんど影響を受けないこと、ねじり角2度に相当するせん断変形まではほぼ線形とみなすことができその結果は試料間でほぼ同じであることがわかる。 T_{xy} - γ 構成式を $T_{xy}=G \cdot t \cdot \gamma$ と表す時、測定したねじり角-ねじりモーメント関係を線形化して、(2)式でせん断弾性係数 $G \cdot t$ が算定できる。

$$G \cdot t = LM / (2\pi R^3 \theta) \quad (2)$$

図10に直線で示すように各試料に共通に線形化をして(2)式で算定した $G \cdot t$ の値は76kgf/cmである。

なお最近、簡易な試験装置で $G \cdot t$ を測定する試験方法が西川らにより報告されている¹³⁾。

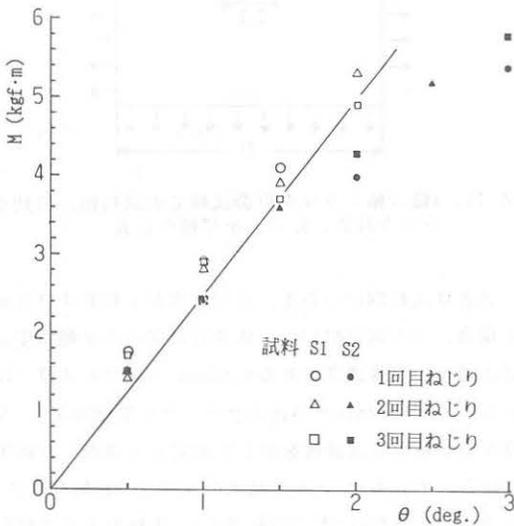


図 10. シリンドラ-ねじり角-ねじりモーメント関係 (試料 S1, S2)

7. 2軸クリープ特性

膜材料は一般に顕著な粘弾性をしめす。合成繊維を基材とする他の膜材料に比べて、ガラス繊維が粘弾性を強く持たないことから本試料の粘弾性は強く現れないと考えられたが、試料S3についての実験の結果、クリープはさほどでないが応力緩和は顕著に現れた¹⁴⁾。本節にはその結果のうち、室温20-21°Cで3水準の一定均等2軸応力条件でのクリープ試験結果を図11に示す。この結果によれば、クリープは経糸方向ではどの応力

でも起こらないが、緯糸方向では一定応力が5kgf/cmを越えると起こるようになる。

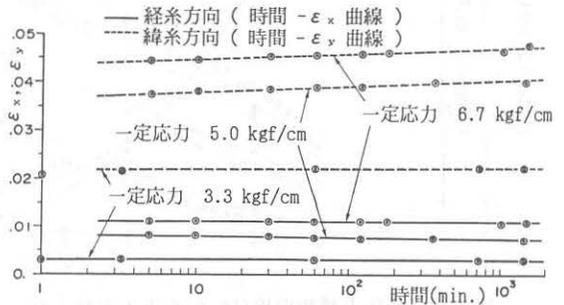


図 11. 2軸クリープ曲線(試料S3, 応力比1:1, 温度21°C)

8. 2軸応力緩和特性

3水準の初期均等2軸応力を与えた後の試料S3の2軸応力緩和試験結果を図12に示す¹⁴⁾。経糸方向、緯糸方向ともに、どの初期応力についても応力緩和が起こり、初期応力が大きくなると顕著になる。同図の応力緩和曲線には、緩和速度が不連続的に変化するように見える屈曲域が現れている。この屈曲域以後は応力緩和はかなり小さくなる。ここで、屈曲域を決める観測時間(図12の横軸時間)を t_{1n} として、図12の曲線を t_{1n} 以前と以後にわけてそれぞれ(3),(4)式で表し、その実験定数を求めた結果を参考に図13に示す。横軸の t_{1n} は均等初期応力である。

$$T_x \text{ or } T_y = -a_1 \log t + b_1, \quad (0 < t < t_{1n}) \quad (3)$$

$$T_x \text{ or } T_y = -a_2 \log t + b_2, \quad (t_{1n} < t) \quad (4)$$

ここに t は観測時間である。

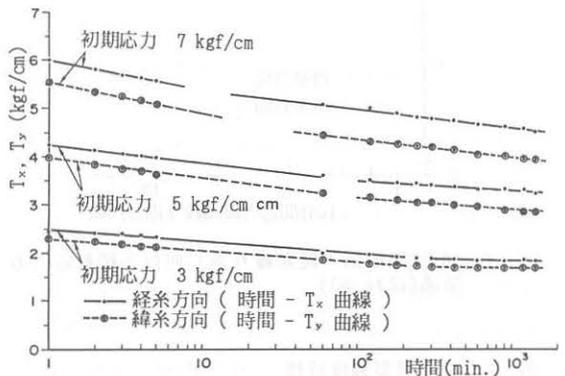


図 12. 2軸応力緩和曲線(試料S3, 初期応力比1:1, 温度21°C)

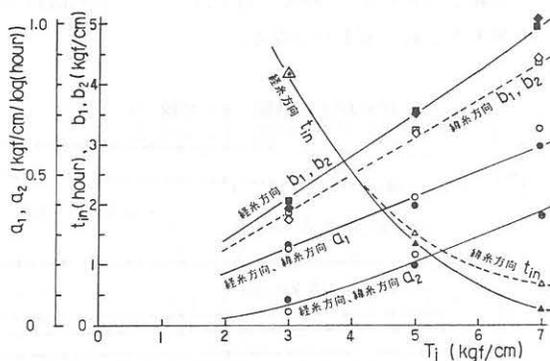


図 13. 2軸応力緩和曲線(図 8)を表す実験定数

膜構造物の建設時に所定の初期応力を与えるため、一旦導入して緩和した応力を再び元の大きさにもどすことを繰り返す場合がある。その場合の参考として、均等2軸初期応力3kgf/cmで10分間の応力緩和を繰り返した時の、繰り返し回数とともに緩和後の応力が収斂する様子を、図14に示す¹⁴⁾。室温は20-22°Cである。この結果からは、10分後の応力は8回の繰り返してでほぼ収斂すると言える。

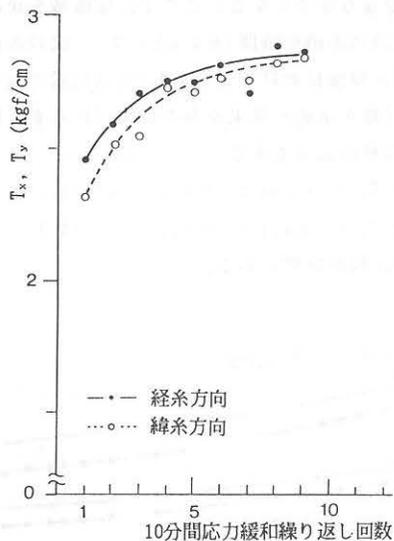


図 14. 10分間2軸応力緩和繰り返し回数と緩和応力の関係(試料 S3)

9. クラック引裂強度特性

膜構造物で膜材料は常に引張応力状態にあるので、引裂による損傷について無視する事はできない。

膜構造物での実際の引裂モードに最もよく対応する試験法は、既報^{15), 16)}のあるいは以下に述べるクラック引裂試験であると考えられる。

図15に示すように初期に長さ2aのクラックをもつ試料の1軸あるいは2軸応力状態でのy方向の最大荷重を、試料幅Bで除して求めた最大応力をクラック引裂強度(T_p)と定義する。クラック引裂試験はこの T_p を測定する試験である。ここで図15に示したx,y方向は特定の糸方向を意味しない。

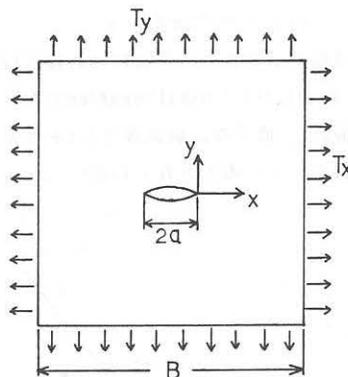


図 15. 1軸,2軸クラック引裂試験での試料幅、初期クラック長さ、応力、座標軸の定義

著者は試料S4について、応力状態が1軸および2軸の場合、y方向(図15)の引張速度が前述の2軸引張試験の通常の引張速度である4mm/minの場合および一段と高速の200mm/minの場合のクラック引裂強度を、写真5の2軸引張試験機を用いて測定して調査した結果を報告している¹⁷⁾。その結果のうち、試料幅40cmで、クラック長さが5cmまでの範囲で、1軸および2軸応力状態での T_p を、引張速度4および200mm/minで測定した結果を図16に示す。縦軸は T_p の1軸破断応力 T_0 に対する比率で表している。この結果から、クラック引裂強度はクラック長さが2cmを越えると2軸応力状態のほうが1軸状態よりも小さくなる。また引張速度が小さいほうがクラック引裂強度は小さい。

図16に示した T_p -2a関係を数式で表しておく膜構造設計に有用である。著者が導いた破壊靱性値を表す式¹⁵⁾から得られる(5)式、およびRacahの示した(6)式で図16の測定曲線を表した結果を図17に示す¹⁷⁾。

$$T_p = [1 - (1 - 8aC\sqrt{C_F / (4a + 1/n_c)})^{0.5}] / (4aC) \quad (5)$$

$$T_p = C_R(2a)^m \quad (6)$$

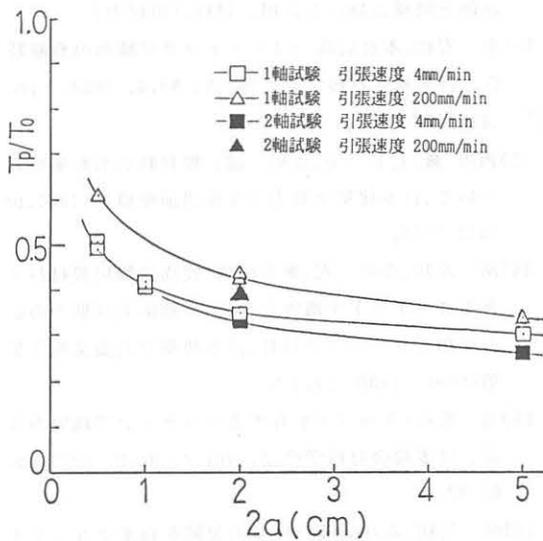


図 16. 初期クラック長さ-クラック引裂強度の関係 (試料 S4)

ここに n_c は表1に示した糸密度である。 C, C_p, C_R, m は測定曲線から決める実験定数で、図17の表示にはそれぞれ0.00135(1/kgf), 11673(kgf²/cm), 75.2, -0.22とした。(1)式はクラック長さが2cm以下で適合しない。一方(6)式はどのクラック長さにもよく適合している。なお(5)式と異なり、(6)式の当てはめはまったくの数学的なもので、その実験定数に物理的意味はない。

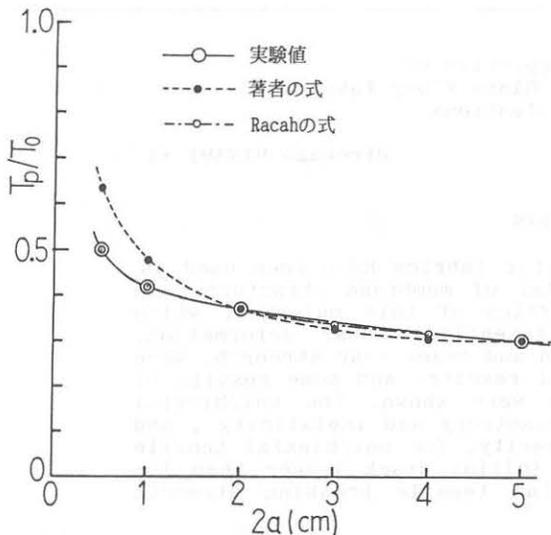


図 17. クラック引裂強度 T_p (試料S4)の数式表現 (1軸試験 引張速度 4mm/min)

10. 結論

膜構造設計施工に有用となるPTFEコーティング・ガラス繊維平織物の力学的特性をいくつかの項目について調査した。その結果は以下のとおりである。

伸長曲線は顕著な異方性、強くかつ応力比依存性を示す非線形性をもつ。ポアソン比の値は応力あるいはひずみによって特殊かつ大きな変化を示す。伸長曲線はまた非弾性を顕著に示し、繰り返し伸張で収縮するが大きな残留ひずみを示し非線形性を残す。せん断応力-せん断ひずみ関係は、変形範囲は限られるが線形であるとみなせる。粘弾性のうちクリープは小さいが、応力緩和は顕著である。クラック引裂強度は初期クラック長さが1cmを越えると1軸破断応力の50%以下となる。この強度の低下曲線に(6)式がよく適合する。

伸長曲線の非線形性は強い。またポアソン比の応力(ひずみ)依存性も強い。現在一般的となっている線形弾性仮定に基づく膜構造解析は材料特性の取扱い以外の面で研究が進み高度なものとなっていると考えられるが、たとえば(1)式を用いる著者の多段線形近似法など何らかの方法によって改善し、材料非線形の考慮を入れることによって精度を高める必要があると考えられる。

謝 辞

本論は、太陽工業株式会社の本林信哉、多賀正、小寺清隆、豊田宏、瀬川信哉、呉鷲の各氏の多大な協力と助言に基づいている。また京都大学高分子化学教室の川端季雄博士の貴重な助言とご指導に基づいている。心より感謝を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) G.Rehm: SFB64, Weitgespannte Flächentragwerke, Univ. Stuttgart, 1981, pp.152-163.
- 2) R.Mott, G.Huber, A.Leewood: Biaxial Test Method for Characterization of Fabric Materials Used in Permanent Fabric Roof Structures, J. Testing and Evaluation, 13, 1985, pp.9-16.
- 3) 西川 薫, 石井一夫, 達富 浩: 構造用膜材料の荷重-伸び特性と構造モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1988年10月.
- 4) K.Tanaka et al: Fabrication and Construction of Membrane Panels for Suspension Membrane

- Structures Having Rigid Frames, Proc. IASS-MSU Int. Symp., Istanbul, 1988, pp.611-620.
- 5) M.P. Ansell, C.A.S. Hill and C. Allgood : Architectural PTFE-Coated Glass Fabrics - Their Structure and Limitations, Textile Research Journal, Nov. 1983, pp.692-700.
- 6) 南 宏和, 豊田 宏, 呉 鷲 : 膜構造物用膜材料であるコーテッド平織物の伸長特性-第1報 コーテッド平織物の観察と1軸伸張実験, 材料.(印刷中)
- 7) H. Minami : Deflection and Tension Properties of Coated Fabrics Subjected to Lateral Pressure, Proc. of 1st Int. Conf. ENGINEERING SOFTWARE, Southampton Univ., 1979, pp.123-144.
- 8) 南 宏和, 瀬川信哉 : 膜構造物用膜材料であるコーテッド平織物の伸長特性-第2報 コーテッド平織物の2軸伸張実験, 材料.(印刷中)
- 9) 南 宏和: 膜構造物に使用されるコーティング平織物の二軸変形特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1984, pp.303-304.
- 10) H. Minami, H. Toyoda, K. Kotera, S. Segawa : Some Reviews on Methods for Evaluation of Performance of Membrane Materials Being Used for Membrane Structures, Proc. IASS Symp., Osaka, Vol.2, 1986, pp.201-208.
- 11) 南 宏和 : コーテッド平織物の異方性伸長特性の評価と膜構造物への応用, 材料.(印刷中)
- 12) 南 宏和, 本林信哉 : コーティング平織物の剪断特性, 日本複合材料学会, Vol.9, No.4, 1983, pp.147-152.
- 13) 西川 薫, 石井一夫, 萱嶋 誠 : 膜材料の剪断剛性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991, pp.1315-1316.
- 14) 南 宏和, 豊田 宏, 瀬川信哉: 膜構造物用膜材料であるコーテッド平織物の1軸, 2軸応力状態での応力緩和とクリープの特性, 日本建築学会論文報告集, 第408号, 1990, pp.1-9.
- 15) 南 宏和: クラックを有するコーティング織物の強度, 日本複合材料学会誌, Vol.4, No.2, 1978, pp.81-87.
- 16) 南 宏和, 本林信哉 : 種々の欠陥を有するコーティング平織物の1軸及び2軸引張強度に関する実験的研究, 日本複合材料学会誌, Vol.7, No.3, 1981, pp.112-118.
- 17) 南 宏和, 豊田 宏, 呉 鷲 : コーテッド平織物のクラック引裂強度特性, 材料.(印刷中)
- 18) 呉 鷲, 南 宏和, 豊田 宏, 瀬川信哉 : 膜構造物用膜材料の屋外暴露後の1軸引張強度および2軸変形特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991, pp.637-638.

Mechanical Properties of
PTFE-Coated Plain Weave Glass Fiber Fabrics
and the Evaluations

Hirokazu MINAMI *1

SYNOPSIS

PTFE-coated plain weave glass fiber fabrics have been used as the representative membrane material of membrane structures. In this paper, the mechanical properties of this material, which were properties of uni/biaxial extension, shear deformation, biaxial creep and stress relaxation and crack tear strength, were investigated using the experimental results. And some results of the evaluation on the properties were shown. The uni/biaxial extension curves showed notable anisotropy and inelasticity, and showed strong and peculiar nonlinearity. The uni/biaxial tensile strength of this material with a initial crack longer than 1cm was lower than 50% of the uniaxial tensile breaking strength without crack.

*1 Guest Assoc. Prof., Osaka City Univ..