

# 膜材料の力学特性を

## 一軸引張試験から決定する方法について

— 一軸および二軸引張試験法の結果を考慮して —

石徳秀一\*1

田中耕太郎\*2

高橋喜代志\*3

安宅信行\*4

### 梗概

現在、膜材料の力学的な特性は、実際の膜材料が二軸応力状態で使用されていることから、二軸引張試験に基づいて求めることがよいとされている。構造解析に必要な縦および横の弾性定数やポアソン比は二軸引張試験法に基づいて決定され、また、せん断弾性係数はシリンダー試験から決められている。しかし、これらの試験法は試験装置およびその操作性や、試験体の大きさなどに難点があり、より簡便な試験法が望まれている。

そこで、本研究では膜材料の力学特性を一軸引張試験法で評価することを最終的な目的として、まず一軸および二軸引張試験法の結果を詳細に検討し、これら結果を実際の構造物に適用したときどれほどの差異が生じるかを明かにし、膜材料の力学特性を一軸引張試験から決定する方法の可能性について述べる。

### 1. はじめに

現在、膜構造の構造解析に用いる材料の縦糸方向および横糸方向の弾性係数やポアソン比などの力学的な特性値は、実際の膜材料が二軸応力状態で使用されることから二軸引張試験の結果から求めることがよいとされている。しかし、二軸引張試験の結果から材料の特性値を決定する合理的な方法は未だ確立されておらず、文献1で最小二乗法による材料特性の決定法が提案されているだけである。そのため、実際の設計に際して、膜材料の特性値はこの手法によって決定されている場合が多い。

しかし、文献1の著者自身も指摘しているように、この方法には問題がある。最大の問題点は、得られた特性値が一般に元の異なった応力比の下での応力 $\sigma$ —ひずみ曲線のいずれとも、特に、一軸時の主軸方向弾性係数と異なるため、実験的に得られたひずみから応力を求めるとき、求められた応力は実験値と異なること

が予想され、このことが理論的な解析を実験的に検証するときに大きな障害となっている。

一方、構造解析に用いる材料のせん断弾性係数はシリンダー試験から求められる。しかし、この試験方法はシリンダー型の試験体のサイズ、製作の難しさおよび試験装置の操作性などに問題がある

そこで、本研究では簡便で合理的な膜材料の特性値の決定方法を確立する事を目的とし、従来の二軸引張試験法とによって求められた縦糸方向および横糸方向の弾性係数やポアソン比などとシリンダー型の試験から得られたせん断弾性係数とを縦糸、横糸方向および45°方向の一軸引張試験の結果から求めたこれらの値を詳細に比較検討し、それらの得失を明かにする事によって、膜材料の特性値を小さな試験体で、より簡便な一軸引張試験から求める方法を確立しようとしている。

\*1, \*2 小川テント(株) 建築設計部

\*3, \*4 (株)ニーマイクス総合研究所

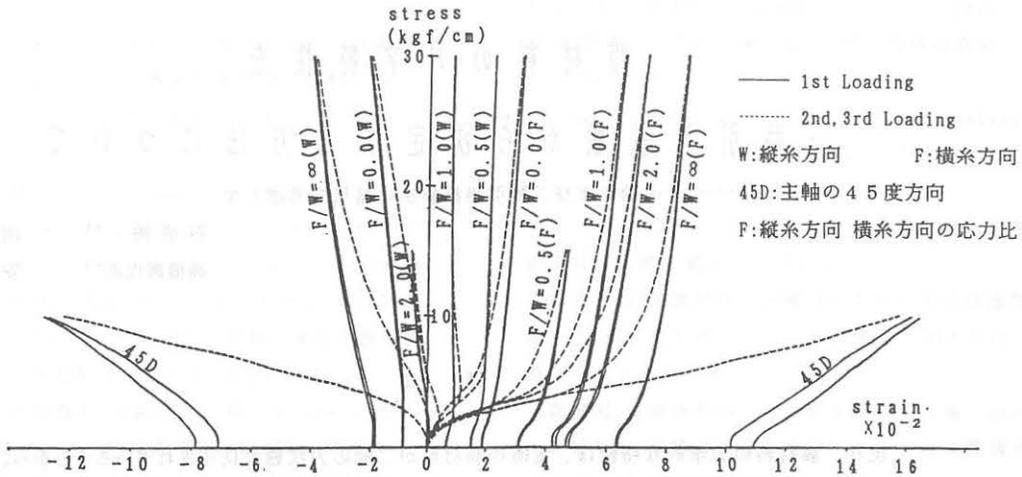


図1 二軸引張試験結果 および 一軸45度方向引張試験結果

## 2. 二軸引張試験の結果に対する考察

図1は二軸引張試験において縦糸、横糸方向の応力比 ( $F/W$ ) を変化させたときの応力-ひずみ曲線である。ここに示した図からも明らかなように応力-ひずみ曲線は縦糸方向および横糸方向の応力比の数だけ存在する。

これに対して、材料を直交異方性と仮定して、一組の縦糸方向および横糸方向の弾性係数とポアソン比を決定すると、この素材は各応力比の下でそれぞれ異なった応力-ひずみ関係が存在すると考えられる。これらを全て試験値と一致させることは難しい。最小二乗法では特性値として導入される四つのパラメーターに対して、試験値との差をできるだけ小さくするように決めることを意味している。

しかし、全ての応力比において一致させることができないから、これら応力比の間にも優先順位あるいは重みを考える必要がある。まず考えておかなければならないことは一軸引張試験と二軸引張試験の結果の連続性であろう。そのためには縦糸方向および横糸方向の一軸引張試験の結果と連続することを最優先させて四つのパラメーターを決定する方法がある。この場合には構造試験と解析との対応が容易に説明つけられる。

## 3. 弾性係数の決定法

前項の考察を踏まえ、文献3を参照して縦糸方向および横糸方向の弾性係数(縦弾性係数)とポアソン比を一軸引張試験の結果から次のように求める。まず、

膜材料は直交異方性の膜材と仮定する。主軸をX軸およびY軸方向と一致させる。

### 3.1 X軸方向の引張弾性係数とポアソン比 (縦弾性係数)

X軸に沿う短冊型の試験体を引張り、そのときのX軸およびY軸方向ひずみ ( $\epsilon_x, \epsilon_y$ ) を測定し、それらの結果を次式に代入して縦弾性係数  $E_x$  を決定する。なお、 $t$  は膜材の厚みを表す。

$$E_x t = \sigma_x t / \epsilon_x \quad (3.1)$$

また、ポアソン比  $\nu_x$  は次式で決定する。

$$\nu_x = -\epsilon_y / \epsilon_x \quad (3.2)$$

### 3.2 Y軸方向の引張弾性係数とポアソン比 (横弾性係数)

Y軸に沿う短冊型の試験体を引張り、そのときのX軸Y軸方向ひずみ ( $\epsilon_x, \epsilon_y$ ) を測定し、それらの結果を次式に代入して横弾性係数  $E_y$  を決定する。

$$E_y t = \sigma_y t / \epsilon_y \quad (3.3)$$

次に、ポアソン比  $\nu_y$  は相反定理に基づく次の式から決定される。

$$\nu_y = \nu_x (E_y / E_x) \quad (3.4)$$

### 3.3 せん断弾性係数

X軸と45°の角度で交わる軸に沿う短冊型の試験体を軸方向に引張り、そのときの軸方向およびこれと直交する軸方向のひずみ $\varepsilon_{45}$   $\varepsilon_{135}$ を測定し、それらの結果を用いてせん断弾性係数を求めることができる。

第一の方法は45°方向の弾性係数 $E_{45}$ を次式に代入して決定する。なお、45°方向の引張応力を $\sigma_{45t}$ で表す。

$$E_{45t} = \sigma_{45t} / \varepsilon_{45} \quad (3.6)$$

次に、45°方向のポアソン比 $\nu_{45}$ は次の式から決定される。

$$\nu_{45} = -\varepsilon_{135} / \varepsilon_{45} \quad (3.7)$$

このとき、せん断弾性係数 $G$ は次の式から決定される。

$$Gt = E_{45t} / [2(1 + \nu_{45})] \quad (3.8)$$

第二の方法は45°方向の引張応力 $\sigma_{45}$ および、そのときの縦糸、横糸方向のひずみ $\varepsilon_{45}$   $\varepsilon_{135}$ からせん断弾性係数は次のよう求められる。

$$Gt = \sigma_{45t} / 2(|\varepsilon_{45}| + |\varepsilon_{135}|) \quad (3.9)$$

### 4 試験体と試験装置

ここでは図2に示すような16cm幅の短冊型試験体を使用している。この寸法形状は必ずしも本質的なものではなく、もっと小型のものでもよいと思われるが、ここでは次の二つの理由からこのような試験体の形状を決定した。第一に、二軸引張試験結果との対比の点である。第二に、対象としている膜材料がガラス繊維平織りの織布を四フッ化エチレン樹脂でコーティングした一種の複合材料となっているため、この種材料ではひずみゲージを貼布できず、ひずみはマグネスケールを用いて測定される。そのため試験体のサイズは最小限変位計を設置できる大きさとするところから決められている。なお、ここでは二軸引張試験装置を使って一軸引張試験を行なっているが、これは通常の一軸引張試験機によって行なうことができるので、試験はきわめて簡略化される。

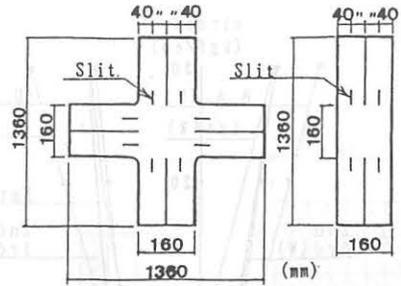


図2 試験体形状

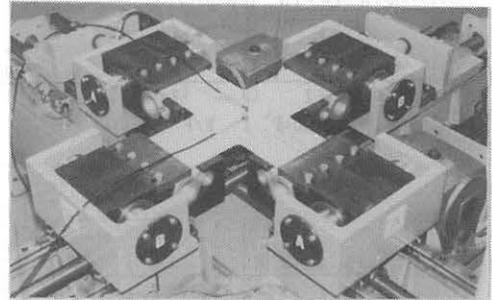


写真1 試験装置および試験状況

## 5 一軸引張試験の結果と考察

### 5.1 縦糸、横糸方向の弾性係数とポアソン比の決定

図4.1 および図4.5は四フッ化エチレン樹脂をコーティングしたガラス繊維布の軸方向の一軸引張試験結果を示している。この結果を基にして3節で示した方法(式(3.1)~(3.4))に従って一組の縦糸、横糸方向の弾性係数とポアソン比を決定すると、次のようになる。

$$E_{xt} = 2206 (964) \text{ kgf/cm}$$

$$E_{yt} = 1278 (767) \text{ kgf/cm}$$

$$\nu_x = 0.92 (0.82)$$

$$\nu_y = 0.53 (0.56)$$

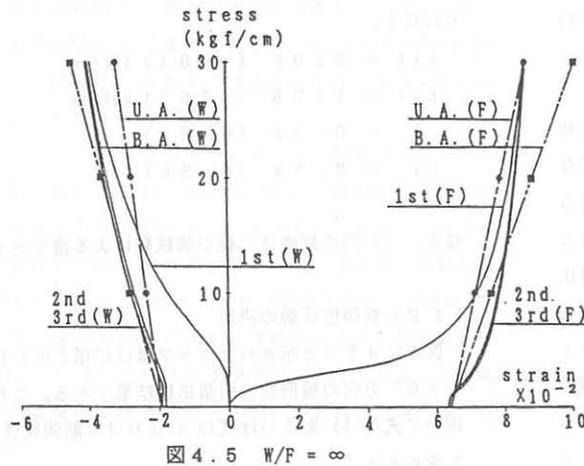
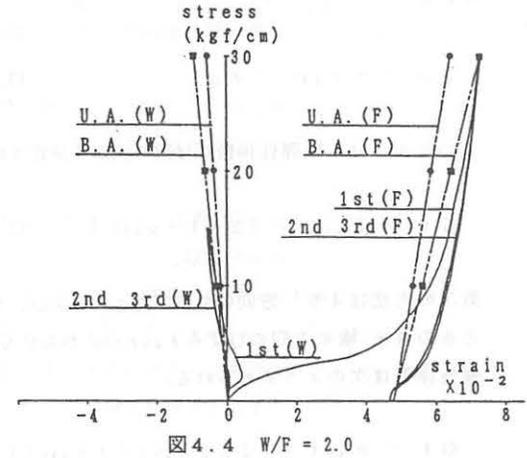
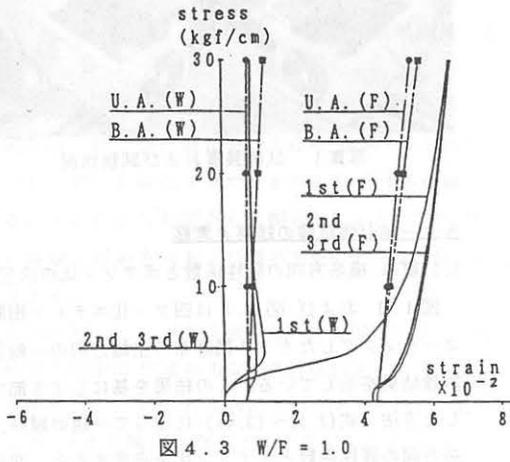
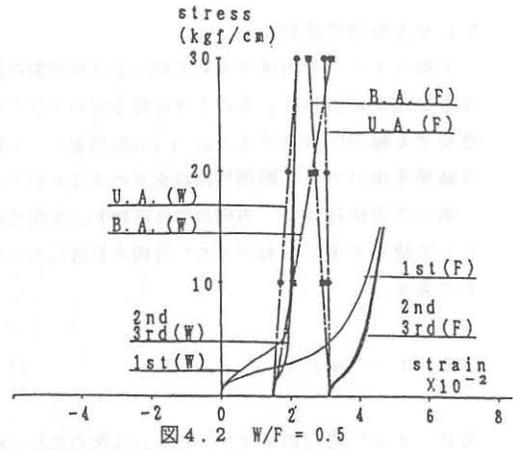
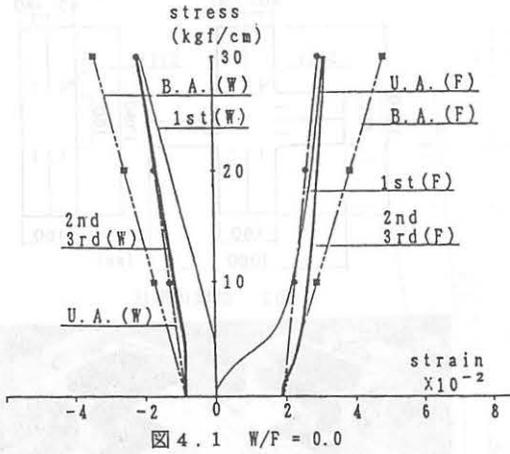
なお、( )内の数値は二軸引張試験による値である。

### 5.2 せん断弾性係数の決定

図1に45°と示されたグラフは前項と同じ材質を45°方向の短冊型の引張試験結果である。これを用いて式(3.8)あるいは式(3.9)よりせん断弾性係数を求めると

$$Gt = 33 (56) \text{ kgf/cm}$$

であった。なお、( )内はシリンダー型の試験法による結果である。



U.A. : 一軸引張試験による膜材剛性での解析結果  
 B.A. : 二軸引張試験による膜材剛性での解析結果

図 4 一軸、二軸引張試験による膜材剛性を用いた解析結果 および 二軸引張試験結果

表 1 初期歪み量

四フッ化エチレンコーティングガラス繊維布

F/W	Initial Strain ( $10^{-3}$ )	
	Warp	Filling
0.0	19.2	-8.7
0.5	15.2	31.3
1.0	6.6	43.7
2.0	-0.3	47.8
$\infty$	-19.2	63.8

PVCコーティングポリエステル繊維布

F/W	Initial Strain ( $10^{-3}$ )	
	Warp	Filling
0.0	21.0	-2.0
0.5	20.5	22.6
1.0	15.7	79.0
2.0	4.3	85.0
$\infty$	-0.5	87.0

## 6. 二軸引張試験と解析解との比較

図4.1～4.5は二軸引張試験における各種応力比における応力-ひずみ曲線を示している。この試験をモデル化し、コンピューターでシミュレートしたものが点線と一点鎖線で示されている。前者は一軸引張試験より求めた特性値を用いて計算した結果であり、後者は二軸引張試験より求めた特性値を用いて計算した結果である。

縦糸方向引張 ( $F/W=0$ ) 時の縦糸方向および横糸方向の変形挙動、および横糸方向引張 ( $F/W=\infty$ ) 時の横糸方向の変形挙動はよく一致しているが、縦糸方向の縮みはあまり一致していない。これは相反定理を優先させたことによる。しかし、その他の応力比のときにも、 $F/W=0.5$  の横糸 (Filling) 方向を除けば、かなりよい一致をしていることがわかる。また、これらの結果がこれまで使われてきた二軸引張試験の結果に近いことも明らかになった。なお、ここで、初期ひずみは二軸引張試験の結果から求めたものを採用している。

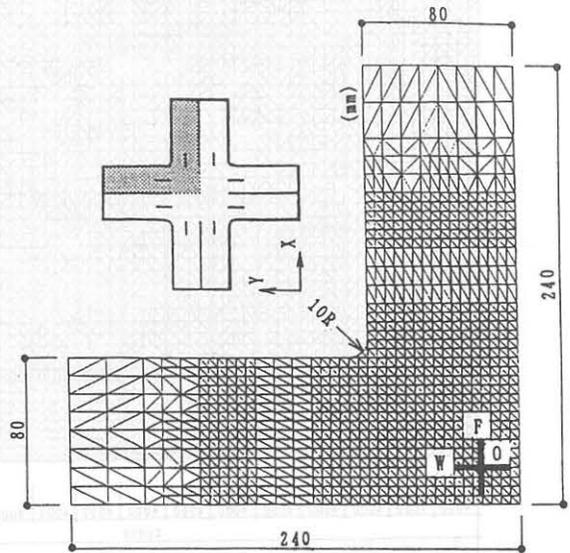


図3 解析モデル

表2 二軸引張試験と解析解の比較

F/W	$\sigma_{x \cdot t}$ (kgf/cm)			$\sigma_{y \cdot t}$ (kgf/cm)			$\tau_{xy \cdot t}$ (kgf/cm)		$\epsilon_x$ ( $10^{-2}$ )			$\epsilon_y$ ( $10^{-2}$ )		
	U. A.	B. A.	T. V.	U. A.	B. A.	T. V.	U. A.	B. A.	U. A.	B. A.	EXP.	U. A.	B. A.	EXP.
0.0	9.96	9.90	10.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.45	1.03	0.78	-0.42	-0.85	-0.28
	19.82	19.60	20.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.90	2.02	1.10	-0.83	-1.69	-0.76
	29.61	29.13	30.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	1.33	2.99	1.36	-1.24	-2.52	-1.25
0.5	9.86	9.78	10.0	4.95	4.88	5.0	-0.01	-0.04	0.24	0.60	0.53	-0.03	-0.20	1.02
	19.57	19.33	20.0	9.87	9.73	10.0	-0.02	-0.07	0.48	1.17	0.66	-0.05	-0.38	1.38
	29.19	28.73	30.0	14.77	14.57	15.0	-0.03	-0.10	0.71	1.73	0.78	-0.07	-0.55	1.64
1.0	9.81	9.72	10.0	9.91	9.78	10.0	-0.02	-0.05	0.03	0.18	0.20	0.36	0.44	1.38
	19.52	19.30	20.0	19.66	19.37	20.0	-0.03	-0.09	0.07	0.36	0.19	0.72	0.87	1.88
	29.18	28.78	30.0	29.31	28.82	30.0	-0.04	-0.13	0.11	0.55	0.23	1.06	1.29	2.27
2.0	4.86	4.81	5.0	9.92	9.81	10.0	-0.01	-0.04	-0.19	-0.33	-0.12	0.57	0.86	1.59
	9.72	9.63	10.0	19.67	19.37	20.0	-0.03	-0.07	-0.38	-0.64	-0.39	1.12	1.68	2.19
	14.58	14.45	15.0	29.29	28.74	30.0	-0.04	-0.10	-0.56	-0.93	-0.53	1.66	2.47	2.60
$\infty$	0.00	0.00	0.0	9.92	9.87	10.0	0.00	0.00	-0.41	-0.84	-0.85	0.77	1.27	1.50
	0.00	0.00	0.0	19.70	19.51	20.0	0.00	0.00	-0.82	-1.66	-1.59	1.53	2.50	2.01
	0.00	0.00	0.0	29.33	28.93	30.0	0.00	0.00	-1.23	-2.47	-2.08	2.27	3.69	2.35

U. A. : 一軸試験による膜材剛性を用いた解析結果  
 F/W : 縦糸方向、横糸方向の荷重比  
 T. V. : 設定値

B. A. : 二軸試験による膜材剛性を用いた解析結果

EXP. : 実験値

## 7. 実際の構造物における解析の比較

図5 および 写真2は青森県五戸町の五戸町屋内トレーニングセンターである。膜屋根には四フッ化エチレン樹脂をコーティングしたガラス繊維が使用されている。また、図6 および 写真3は大阪で開催された『花と緑の博覧会』のナムコパビリオンである。この膜屋根はPVCコーティングポリエステル繊維布である。これらの膜屋根の解析に一軸引張試験および二軸引張試験の結果を用いて検討した。

表3および表4にはこの構造物の代表的な点について、ここで示した一軸引張試験の結果から求めた材料特性値を用いて解析した結果U. A (Uniaxial) と二軸引張試験の結果から最小二乗法によって求めた材料特性値を使って解析結果B. A (Biaxial) とを比較している。縦糸方向および横糸方向の弾性係数は一軸引張試験の方が二軸引張試験よりも2倍ほど大きいので変形は小さくなる傾向にあり、応力はやや高めになる。

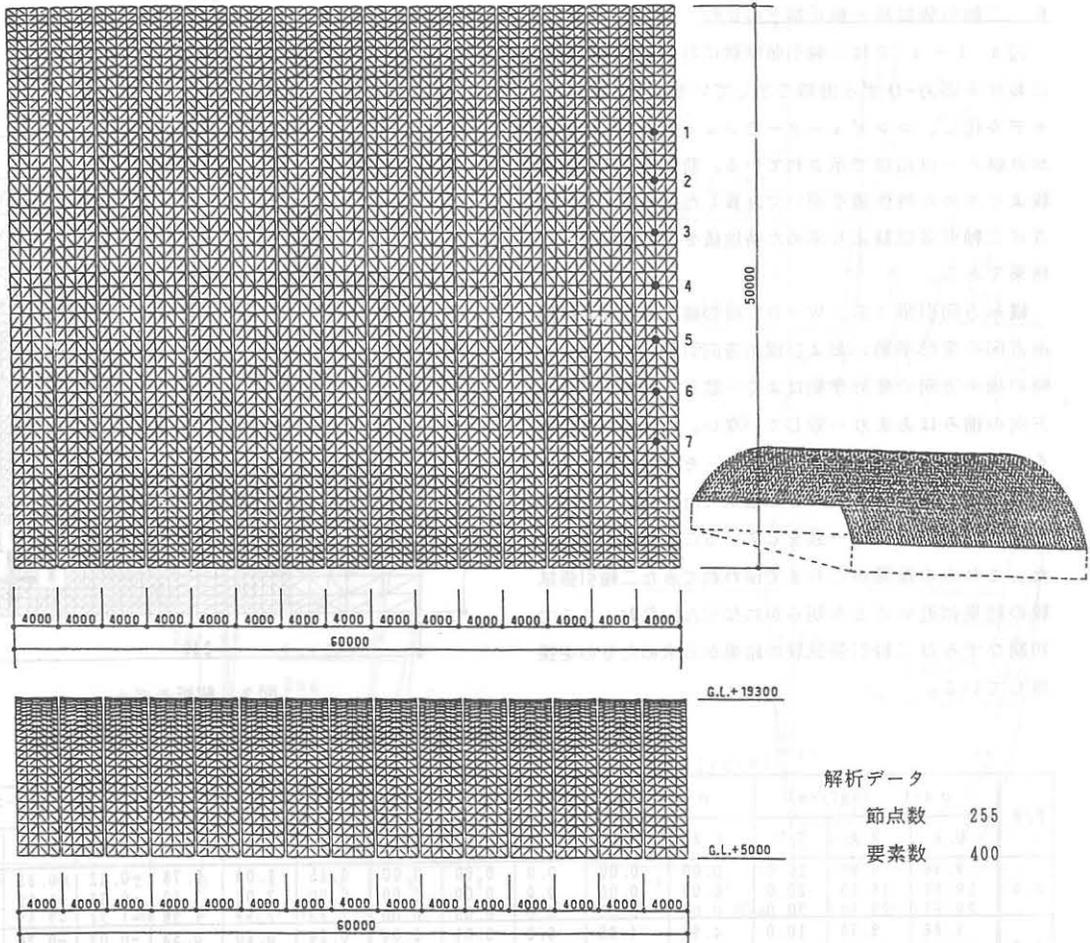


図5 五戸町屋内トレーニングセンター 解析モデル図



写真2 五戸町屋内トレーニングセンター 設計・施工 鹿島建設(株) 膜屋根施工 小川テント(株)

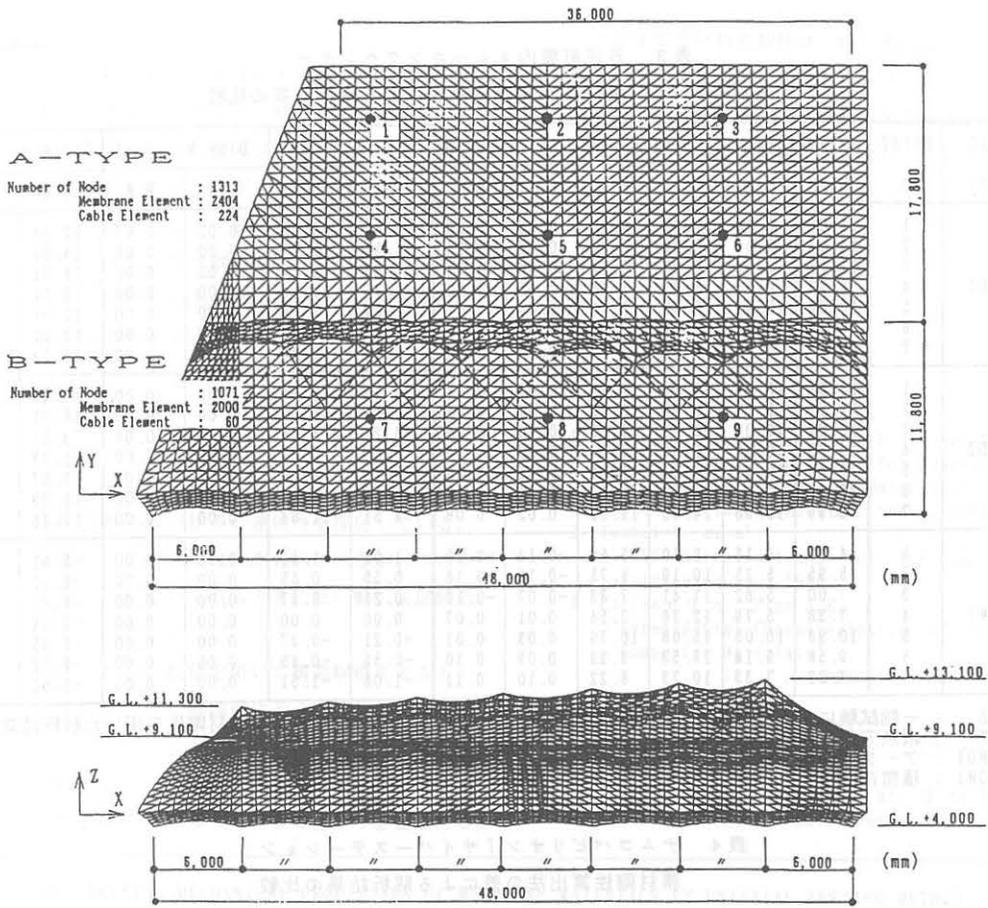


図6 ナムコパビリオン「サイバーステーション」 解析モデル図

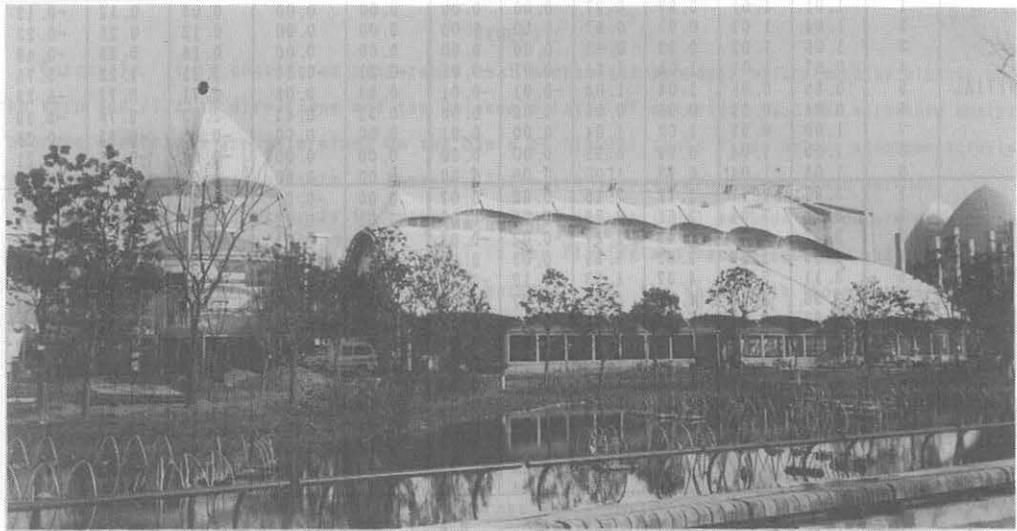


写真3 ナムコパビリオン「サイバーステーション」 設計 石川忠 & アトリエ・アイ 膜屋根施工 小川テント(株)

表3 五戸町屋内トレーニングセンター

膜材剛性算出法の差による解析結果の比較

LOAD CASE	POINT NO.	$\sigma x \cdot t$ (kgf/cm)		$\sigma y \cdot t$ (kgf/cm)		$\tau xy \cdot t$ (kgf/cm)		DISP. X (cm)		DISP. Y (cm)		DISP. Z (cm)	
		U. A.	B. A.	U. A.	B. A.	U. A.	B. A.	U. A.	B. A.	U. A.	B. A.	U. A.	B. A.
WIND1	1	11.03	9.43	9.85	8.58	0.05	0.08	-6.81	-8.19	0.00	0.00	12.94	15.38
	2	11.11	9.56	10.05	8.73	0.02	0.05	-4.91	-5.79	0.00	0.00	14.06	16.69
	3	11.01	9.52	10.07	8.74	0.00	0.03	-2.82	-3.14	0.00	0.00	14.74	17.48
	4	9.93	8.59	8.21	7.48	-0.03	0.00	-0.76	-0.56	0.00	0.00	15.14	17.83
	5	12.26	10.01	9.68	8.24	-0.04	-0.01	1.37	2.06	0.00	0.00	12.05	14.22
	6	11.44	9.43	9.35	7.98	-0.04	0.00	3.53	4.61	0.00	0.00	12.22	14.19
	7	10.40	8.57	8.37	7.27	-0.08	-0.07	5.03	6.40	0.00	0.00	11.29	13.03
WIND2	1	18.81	15.99	20.69	16.58	0.04	0.08	-9.51	-11.84	0.00	0.00	17.46	21.57
	2	18.91	16.03	20.70	16.58	0.04	0.07	-6.50	-8.09	0.00	0.00	18.79	23.25
	3	18.99	16.09	20.72	16.60	0.04	0.08	-3.26	-4.06	0.00	0.00	19.57	24.24
	4	19.09	16.25	21.30	17.06	0.06	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	21.73	26.81
	5	23.25	19.12	24.64	19.08	0.03	0.07	3.26	4.06	0.00	0.00	19.57	24.24
	6	23.13	19.04	24.57	19.04	0.04	0.08	6.50	8.09	0.00	0.00	18.79	23.25
	7	22.99	18.98	24.53	19.02	0.03	0.08	9.51	11.84	0.00	0.00	17.46	21.57
SNOW1	1	4.23	4.13	8.10	5.60	-0.14	-0.20	1.08	1.51	0.00	0.00	-5.51	-5.94
	2	5.95	5.25	10.19	6.75	-0.13	-0.18	0.55	0.85	0.00	0.00	-6.12	-6.68
	3	7.00	5.82	11.41	7.33	-0.07	-0.10	0.21	0.37	0.00	0.00	-6.41	-7.03
	4	7.38	5.79	12.36	7.54	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.04	-7.70
	5	10.98	10.05	15.08	10.79	0.03	0.01	-0.21	-0.37	0.00	0.00	-6.41	-7.03
	6	9.58	9.14	13.53	9.93	0.09	0.10	-0.55	-0.85	0.00	0.00	-6.12	-6.68
	7	7.09	7.33	10.73	8.22	0.10	0.11	-1.08	-1.51	0.00	0.00	-5.51	-5.94

U. A. : 一軸試験による膜材剛性を用いた解析結果

B. A. : 二軸試験による膜材剛性を用いた解析結果

F/W : 縦糸方向、横糸方向の荷重比

WIND1 : A-1方向風荷重時

WIND2 : 局部風圧風荷重時

SNOW1 : 積雪荷重時

表4 ナムコパビリオン「サイバーステーション」

膜材剛性算出法の差による解析結果の比較

LOAD CASE	POINT NO.	$\sigma x \cdot t$ (kgf/cm)		$\sigma y \cdot t$ (kgf/cm)		$\tau xy \cdot t$ (kgf/cm)		DISP. X (cm)		DISP. Y (cm)		DISP. Z (cm)	
		U. A.	B. A.	U. A.	B. A.	U. A.	B. A.	U. A.	B. A.	U. A.	B. A.	U. A.	B. A.
INITIAL	1	1.01	1.01	0.97	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.12	-0.13	-0.31
	2	1.04	1.02	0.97	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.26	-0.28	-0.56
	3	1.06	1.02	0.93	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.35	-0.48	-0.83
	4	0.97	1.01	1.05	1.04	-0.01	-0.01	-0.21	-0.19	2.21	2.22	-5.76	-5.77
	5	0.95	0.98	1.04	1.04	-0.01	-0.01	0.03	0.08	2.71	2.72	-6.23	-6.22
	6	0.94	0.95	0.96	0.96	0.00	0.00	0.32	0.43	2.82	2.78	-6.39	-6.40
	7	1.00	0.98	1.02	1.04	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.08	-0.13	-0.28	-0.46
	8	1.05	1.04	0.99	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.13	-0.21	-0.45
	9	1.05	1.04	0.99	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.13	-0.20	-0.45
WIND1	1	3.37	2.77	2.12	2.18	0.02	0.02	0.00	-0.01	4.91	6.96	-6.30	-10.53
	2	3.74	3.04	2.61	2.79	-0.04	-0.03	-0.01	-0.01	5.84	7.86	-6.95	-11.08
	3	3.72	2.96	2.42	2.47	-0.02	-0.02	0.00	0.01	6.19	8.29	-7.83	-12.04
	4	3:09	2.83	3.53	3.59	0.03	0.02	-1.37	-1.49	15.14	15.57	-24.54	-26.00
	5	3.11	2.97	4.37	4.53	-0.13	-0.13	-0.39	-0.57	18.86	19.28	-26.02	-27.22
	6	2.96	2.75	4.06	4.19	-0.07	-0.06	1.12	1.33	20.27	20.81	-28.41	-29.49
	7	2.92	2.51	5.72	7.32	0.02	0.02	0.00	0.00	-6.13	-9.66	-17.26	-25.80
	8	7.37	5.79	2.62	2.20	-0.03	-0.03	0.00	0.00	-5.08	-9.68	-15.68	-25.71
	9	7.36	5.84	2.71	2.20	0.02	0.03	0.00	0.00	-5.08	-9.68	-15.68	-25.71
WIND2	1	4.77	4.23	5.76	5.84	-0.03	-0.03	-0.01	-0.03	-20.05	-21.09	37.75	40.38
	2	5.43	4.77	6.24	6.24	0.01	0.01	-0.02	-0.02	-19.68	-21.24	36.87	40.18
	3	5.89	4.73	5.37	5.27	0.06	0.05	-0.02	0.02	-20.34	-22.23	36.59	40.54
	4	7.70	5.81	6.14	6.02	0.10	0.12	2.64	2.16	-16.47	-19.00	52.18	57.95
	5	7.95	6.09	7.01	6.95	-0.02	-0.02	1.10	1.14	-18.20	-20.91	55.63	60.68
	6	8.24	6.23	6.46	6.26	-0.04	-0.04	-1.53	-1.30	-20.20	-23.32	54.25	59.97

U. A. : 一軸試験による膜材剛性を用いた解析結果

B. A. : 二軸試験による膜材剛性を用いた解析結果

F/W : 縦糸方向、横糸方向の荷重比

INITIAL : 形状決定後の初期応力

WIND2 : X方向風荷重時

WIND1 : Y方向風荷重時

## 8. 結論

- (1) 膜材料に対しても縦糸、横糸方向 および 45° 方向の短冊型の一軸引張試験から縦糸、横糸方向の弾性係数とポアソン比およびせん断弾性係数を容易に決定することができる。
- (2) このようにして求められた縦糸方向および横糸方向の弾性係数の値は一般にこれまでの二軸引張試験の結果を最小二乗法を用いて決めた値よりは大きくなる。
- (3) また、45° 方向の引張試験より求めたせん断弾性係数はシリンドラー型の試験法よりも小さくなる傾向にある。
- (4) これらの数値は少なくとも一軸引張試験と二軸引張試験の結果の連続性を保証している。すなわち、通常膜は二次元的であるが、これが一次的に用いられるときには一軸引張試験の結果に一致する。
- (5) これらの数値を用いて構造解析をすると一軸評価の応力は理論値に近く、一般に二軸評価の応力より高くなる。変形は逆に小さくなる傾向にある。しかし、これらの真偽を判定するためにはさらに多くの試験を行なう必要がある。

これまでの材料の特性は二軸引張試験によるのがよいという通説は必ずしも正しいとはいえず、ここで行った一軸引張試験による評価方法でも十分に膜の二軸応力状態の挙動を表現することができると考えられる。

## 参考文献

1. Minami H. Toyoda H. Kotera K. Segawa S.  
"Some Reviews on Methods for Evaluation of Performance of Membrane Materials"  
Proceedings IASS Symposium, Osaka, 1986, Vol. 2
2. Tsuboi Y. et al  
"IASS Recommendations for Air-Supported Structures" 1985
3. Carlsson L.A. Pipe R.B.  
"Experimental Characterization of Advanced Composite Materials"  
PRENTICE-HALL, INC. 1987
4. Kondo K. Uemura M.  
"Deformation and Stresses of Orthotropic Rectangular membrane under Uniform Lateral Pressure"  
IASS Pacific Symposium Part II on Tension Structures and Space Frames, Tokyo, 1971

## DETERMINING MECHANICAL PROPERTIES OF MEMBRANE MATERIALS BY UNIAXIAL TESTING METHOD

Syuuichi Ishitoku\*<sup>1</sup> Kohtaro Tanaka\*<sup>3</sup>  
Kiyoshi Takahashi\*<sup>2</sup> Nobuyuki Ataka\*<sup>4</sup>

## SYNOPSIS

Currently, it is considered preferable that mechanical property values such as elastic moduli in the warp and filling directions and the Poisson's ratio of materials used for structure analysis of membrane structures are determined on the basis of biaxial tests since actual membrane materials are used in a biaxial stress state. However, there are several problem in these methods.

The object of this study is to establish simple and rational methods for determining property values of membrane materials. Elastic moduli in the filling and warp directions and the Poisson's ratio determined from the conventional biaxial methods and the shear with those determined from a cylinder test are compared and reviewed with those determined from the results of filling, warp, and 45 direction tension tests. By clarifying the loss and/or gain, the paper attempts to establish methods for determining properties values with simpler uniaxial tests using small test pieces.

The widely held belief that material properties should preferably be determined with biaxial tests is not necessarily true. Evaluation with uniaxial tests conducted for other orthotropic materials indicated herein can sufficiently express the membrane behavior in a biaxial stress state.

\*1, \*2 STRUCTURAL DESIGN DEPT., Ogawa Tent Co. Ltd.

\*3, \*4 New-Medics Synthetic Institute Co. Ltd.