

面内振りを受ける円形張力膜に発生するしわの実験

宮村倫司*1
小田憲史*2
半谷裕彦*3

梗概

しわに関する問題として、面内に振られる円形張力膜のしわがしばしば取り上げられる。本論文では、この問題に関して行った実験の方法およびその結果を報告する。

最初に、これまでに行ってきた有限要素法による分岐解析の結果^[7]、ならびに、過去に Mikulas によって提案されている理論解^[3]との定量的な比較を行うために、等方性弾性体であるプラスチック系のフィルムについて実験を行う。1軸引張試験により材料定数を求めてから、初期張力導入時の膜面の歪を測定し、応力状態を把握する。その後で、振りモーメントと回転角の関係および初期張力の大きさとしわの形状の関係について調査する。

次に、直交異方性ならびに材料非線形性を有する各種膜材料に対して、発生するしわの形状を観察し、その特徴を述べる。

1 はじめに

面内に振られる円形張力膜に発生するしわの問題は、しわの研究におけるベンチマークテストのひとつであると考えられ、多くの研究者が取り上げている^{[1]~[7]}。その中には解析的な研究のみならず、実験的なものもいくつかみられる。W.R.Dean は初期張力が入っていない場合の座屈モード(しわのモード)を理論的に求め、その形状を実験結果と比較している^[1]。文献^[2]において、M.Stein 等はポアソン比をパラメータとした張力場理論的な考え方によってこの問題を解析しており、同論文には実験例の写真が掲載されている。同論文では、境界が無限遠にある場合のみを扱っているが、後に M.M.Mikulas Jr. は同理論を有限な円形の境界をもつ張力膜の振りにも適用し、同時に実験を行い解析結果と比較している^[3]。この実験では解析条件と同じ条件を実現するためにいろいろな工夫がなされており、解析と実験の結果は非常に良く一致している。

著者等はこの問題について解析的な研究として、幾何学的非線形性を考慮した有限要素法を用いて分岐解

析を行い、しわの発生荷重やその形状等を調査してきた^[7]。本論文では、円形膜に初期張力を導入した後、その中央部を面内に振ることができるような試験装置を製作し、これを用いて行った実験の結果を報告する。最初に、等方性で弾性的な挙動を示す膜材料を用いて、有限要素法によるこれまでの解析に近い条件で実験を行う。解析条件と実験条件の違いを明確にするため、材料試験を行い材料の性質を十分に把握した後、膜面の歪を測定して初期張力の導入状態を調べる。その後で、荷重-変位曲線、初期張力の大きさとしわの本数の関係を測定し、解析結果と比較する。次に、弾塑性材料、異方性材料について発生するしわの形状を調査する。

2 実験モデル

図1のように、円形の膜の中央部に剛体の円盤を取り付け、次に半径方向に一様に引っ張ることにより初期張力を導入する。その後、円盤を回転させて膜に面内振りを与える。なお、本実験では、中央円盤の半径を5cm、

*1 東京大学 大学院 *2 太陽工業株式会社 空間技術研究所 *3 東京大学 生産技術研究所 5部

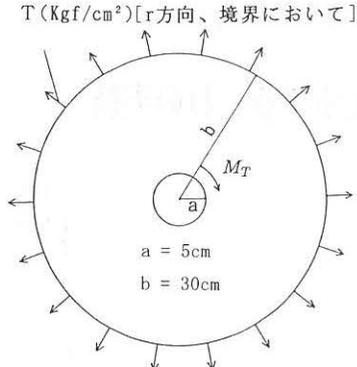


図1. 実験モデル

円形膜の半径を30cmとする。

3 試験装置

図2. は試験装置の平面図および側面図である。前節で述べたように、実験モデルでは初期張力は半径方向に一樣に引っ張ることで導入する仮定している。しかし、この条件を正確に満たすような試験装置を作るの

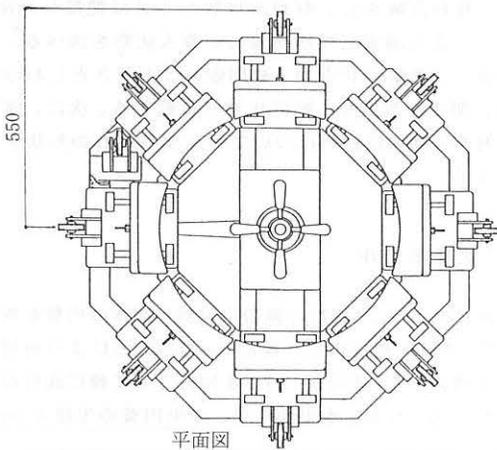
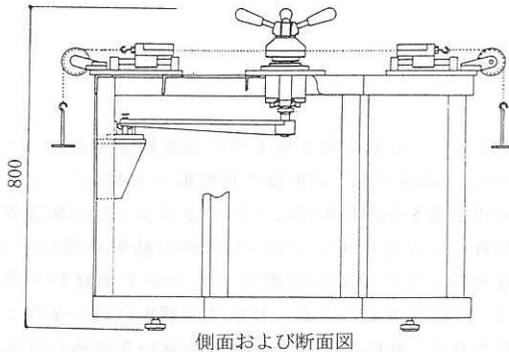


図2. 試験機

は困難なため、次のように8方向から引っ張ることで近似する。つまり、円形膜の外側の境界を8等分し、それぞれの部分をスライドする台に取り付けられたチャックではさんで固定し、このチャックを錘により水平に引っ張る。錘を使っているため、たとえ膜が変形しても一定の張力が保たれる。

膜の中央部は膜材料と比較して剛性の高い円盤2枚ではさんで固定する。この円盤はベアリングを入れた軸受けの中の回転軸に取り付けられており、滑らかに回転できる。この回転軸には棒を取り付け、この棒を錘によって水平に引っ張ることによりトルクを与える。初期張力は中央の円盤を固定してから導入する。

初期張力導入用の8つのチャックと中央部の円盤は、共に膜をはさむことで固定しているので、ここで滑りが発生しないように膜との接触面に1.3mm ピッチの溝をつける。

中央円盤の回転角は回転変位計によって測定する。また、トルクは回転軸に取り付けた棒の腕の長さに棒を引っ張る錘の重さをつけることにより、近似的に求める。また、初期張力の大きさの評価については、5節で詳しく述べる。

4 使用する膜材料と材料試験

表1. に示すような膜材料を用いる。それぞれにアルファベットの名前を付けておく。aのプラスチック系のフィルムについては、材料試験を行いヤング率およびポアソン比を求める。また、実験も定量的な計測を行い、解析の結果と比較をする。その他の材料については厚さのみ測定し、今回の実験では写真によるしわの形状の定性的な把握にとどめることにする。

4.1 1軸引張試験

aのプラスチック系のフィルムの材料定数は、1軸引

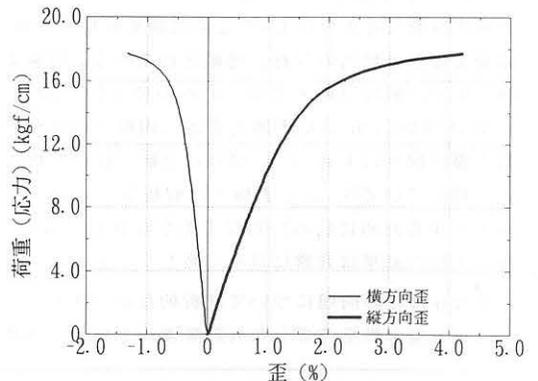


図3. 歪-荷重曲線(1軸引張試験)

張試験において2方向の歪を測定することにより求める。この時、薄い膜材料の歪をどのようにして測定するのがポイントとなる。ここでは、変位計と歪ゲージをそれぞれ用いて歪を測定し、その結果からヤング率とポアソン比を求める。

変位計を用いた測定では、太陽工業株式会社の2軸引張試験機の1軸の荷重装置のみを用いて試験体を引っ張る。試験体のサイズはチャックしろを除いて900×160である。変位計はポテンショメーターであり、試験体には針で固定する。一方、歪ゲージを用いた試験では、試験体のサイズはチャックしろを除いて200×50であり、ユニバーサル試験機で引っ張る。歪ゲージは大歪用のもので、2方向ゲージを1つの試験体に貼り、また、1方向ゲージを2つの試験体に縦と横でそれぞれ貼る。

図3.は変位計を用いて測定した、引張軸に対して縦方向と横方向の歪と荷重の関係である。縦方向の歪と荷重の曲線の線形な部分の勾配からヤング率を求め、縦方向と横方向の勾配の比からポアソン比を求める。歪ゲージを使って測定した場合にも同様な形の曲線が得られる。

測定結果より求めたヤング率(ただし、膜の厚さをかけたもの)とポアソン比を表2.に示す。ここに、ゲージaは1方向のゲージを2つの供試体にそれぞれ縦と横に貼ることによって測定した場合、ゲージbは2方向ゲージによって縦と横の歪を同時に測定した場合である。また、変位計aはロール状に巻かれた材料をロールに直角な方向(縦)に長く切りだして試験体を作った場合であり、変位計bはロールに平行な方向(横)に長く切りだして試験体を作った場合である。なお、2つの試験体は同一のロールから切りだしている。得られたヤング率やポアソン比はかなりばらついている。傾向として歪ゲージを用いるとやや硬めのヤング率となることがわかる。これは、ゲージそのものの剛性や接着剤の剛性の影響であると考えられる。また、変位計による結果から、ロールに対する方向の違いはあまり大きくないことがわかるので、ほぼ等方性の材料であるとみなすことができる。

以上のように、変位計で測定した歪に基づくヤング率は比較的正しいものであるとみなせる。ただし、実際の円形膜の実験で歪を歪ゲージで測り、その結果から応力を計算する場合には、歪ゲージによる測定結果から求めたヤング率を用いることにより補正をしたほうが良い。また、ポアソン比については、2方向の曲線の勾配の比であるので、変位計による結果も歪ゲージによる結果も同程度に信用できる。

最後に、これから用いる材料定数を計算しておく。ヤング率E(×厚さt)は変位計による結果を平均して、

$$Et = (952.4 + 1090.9)/2 = 1021.6(kgf/cm) \quad (4-1)$$

また、歪ゲージからの応力のリカバリー用のヤング率(×厚さ)は、2種類のゲージによる結果を平均して、

$$Et = (1224.5 + 1428.6)/2 = 1326.5(kgf/cm) \quad (4-2)$$

とする。ポアソン比 ν は4つの結果を全て平均して、

$$\nu = (0.245 + 0.262 + 0.254 + 0.309)/4 = 0.267 \quad (4-3)$$

とする。

表1. 実験に用いた膜材料(厚さは実測値)

	材料名	厚さ
a	プラスチック系フィルム (aの厚さのカタログ値)	0.18 mm 0.188 mm
b	テフロンフィルム	0.10 mm
c	ビニールコーティングしたシート	0.79 mm
d	繊維にコーティングしたもの	0.15 mm
e	気球のシート	0.18 mm
f	ゴム	1.00 mm

表2. 測定結果から求めた材料定数

変位測定方法	Et(kgf/cm)	ν
変位計(供試体900×160 1)	952.4	0.254
変位計(供試体900×160 2)	1090.9	0.309
ゲージa(供試体200×50 1)	1224.5	0.245
ゲージb(供試体200×50 1)	1428.6	0.262
カタログ値	752.0	/

4.2 曲げ剛性の測定

カトーテック社の純曲げ試験機から得られる単位幅あたりのモーメントと曲率の関係から $D = Et^3/12(1-\nu^2)$ を計算する。試験体はロールに対して縦、横、斜めの3種類である。斜めの試験体は2つである。合計4つの試験体の測定結果は縦、横、斜め(2つ)それぞれ、 $D = 0.0281, 0.03, 0.0281, 0.0258(kgf \cdot cm)$ であり、これらを平均すると、

$$D = (0.0281 + 0.03 + 0.0281 + 0.0258)/4 \quad (4-4)$$

$$= 0.028(kgf \cdot cm) \quad (4-5)$$

となる。式(4-1)、(4-3)で求めた、 Et および ν と上に得られた D を用いて t を逆に計算してみると、

$$t = \left(D \cdot \frac{12(1-\nu^2)}{Et} \right)^{1/2} = 0.0175(\text{cm}) \quad (4-6)$$

となる。薄肉板理論によって曲げを考慮した解析を行い実験結果を比較する場合には、ここで求めた厚さ t を用いることとする。

5 初期張力の導入

5.1 目的

3節で述べたように、本実験では初期張力の導入を半径方向に均一に引っ張るかわりに8方向から引っ張ることにより近似している。また、張力導入用のチャックと台の間のスライド部分には、ベアリングが入っていないのでかなりの摩擦がある。従って、初期張力のモードに乱れがあり、また、錘の力がすべて膜に伝わってはいないと考えられる。実際の初期張力の状態を把握するために、膜面の歪を測定する。歪ゲージを図4.の位置に貼る。2つのチャックの継ぎ目の部分の列には3方向ゲージを貼り、主応力を計算できるようにしておく。応力は式(4-2)、(4-3)で求めた材料定数を用いて求

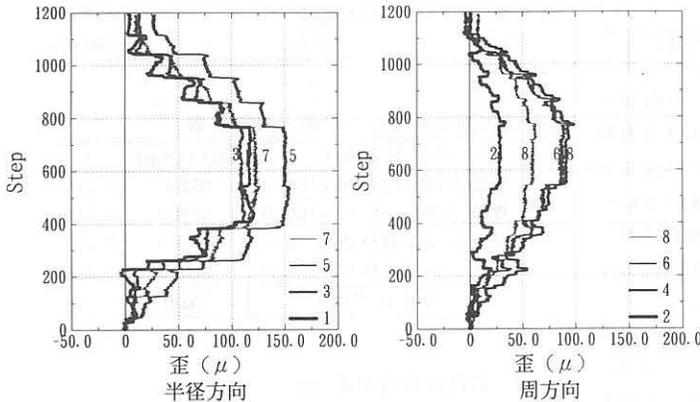


図5. 初期張力導入時の歪(数字はゲージの番号)

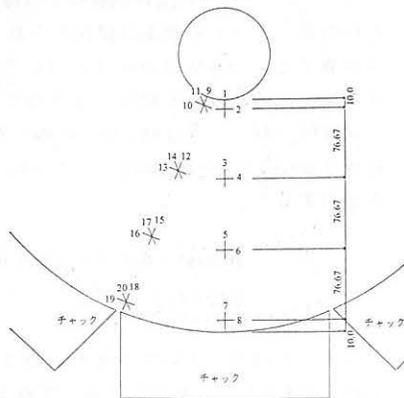


図4. 歪ゲージの位置

める。ただし、材料試験で用いた歪ゲージ(大歪用)と本試験で用いる歪ゲージ(スチール用)は種類が異なり、ベースの大きさも違うものである。

5.2 荷重方法

錘はゲージにいちばん近いチャックから半時計回りに2kgfずつ順番にのせていく。最大1チャックあたり8kgfまでのせ、その後荷重の時と同様に2kgfずつ降ろす。次に、同じ試験体に対して同様に2kgfずつ最大10kgfまで錘をのせてから、順に錘を降ろす。図5.は1チャックあたり8kgfまでのせた時のゲージ1、3、5、7の歪である。縦軸は経過時間に相当する。

5.3 主応力

図6、7.は1チャックあたりそれぞれ8kgf、10kgfの時のチャックの継ぎ目に近い列の主応力図である。この列は2つのチャックについて対称であるので、主応力は半径方向にそろってはいなくてはならない。けれども、実験結果ではやや乱れがでていることがわかる。1チャックあたり8kgfの場合でチャックにいちばん近い点の応

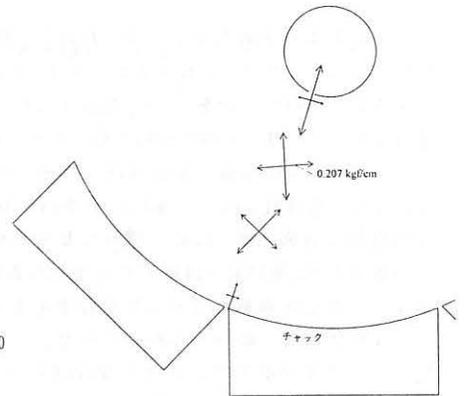


図6. 初期張力導入時の主応力(8kgf/チャック)

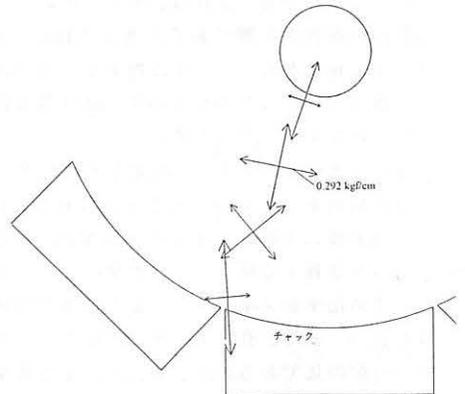


図7. 初期張力導入時の主応力(10kgf/チャック)

力が小さくていているのに対し、10kgfの場合には主応力が一方のチャックのスライド方向に大きくずれている。これらの乱れは例えば錘をのせる時の衝撃によって入った張力が、スライド部分の摩擦のために開放されない、というような理由によるものである。また、中央の円盤を固定する時に、周辺のチャックを締め付けてから円盤を締め付けるハンドルを回したために、振りによるせん断応力が入った可能性もある。

5.4 理論解との比較

実験モデルにおいて周辺の境界を半径方向に $T(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ の力で引っ張った時の面内合応力は、中央円盤の半径を a 、円形膜の半径を b 、厚さを t とした場合、

$$N_r = \frac{Ttb^2}{b^2(1+\nu) + a^2(1-\nu)} \left[\frac{a^2}{r^2}(1-\nu) + (1+\nu) \right] \quad (5-1)$$

$$N_\theta = \frac{Ttb^2}{b^2(1+\nu) + a^2(1-\nu)} \left[-\frac{a^2}{r^2}(1-\nu) + (1+\nu) \right] \quad (5-2)$$

となる。上式の Tt を錘の重さ $W(\text{kgf})$ とチャックの幅 (23cm) から、

$$Tt = W/23.0 \quad (5-3)$$

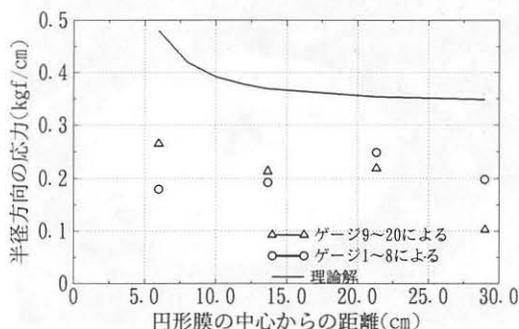


図8. 半径方向の応力の比較 (1チャック8kgf)

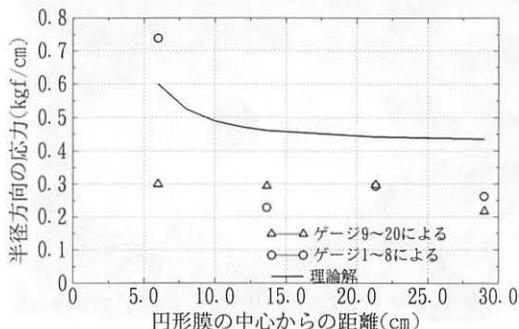


図9. 半径方向の応力の比較 (1チャック10kgf)

と換算した場合を理論解とみなす。図8、9は半径方向の応力 N_r について、ゲージ1~8およびゲージ9~20の歪から求めた応力と理論解を比較したものである。実験結果は理論解の約60%の値となっている。そこで、初期張力の大きさは、錘の重さから求めた理論解に0.6をかけたものと仮定することにする。

6 振りモーメント-回転角曲線

6.1 実験結果

4、5節で性状を調べたaのプラスチック系のフィルムについて、振りモーメントと中央円盤の回転角との関係を測定する。回転角は回転型の変位計で、振りモーメントは中央円盤の回転軸に取り付けた棒の長さ、棒を引っ張る錘の重さと錘をのせる皿の重さを足したものをかけることによって求めた。初期張力は1チャックあたり0kgf、5kgf、10kgfとしている。錘は最初0.5kgf刻みに、2kgfからは1kgf刻みにのせる。次に、錘が10kgfに達した時点で順に除荷を行う。

図10. に結果を示す。なお、錘によって載荷するためしわの発生点を精密に特定することはできないので、最初にしわの発生が認められたプロットを黒く塗り潰しておく。材料は弾性範囲にあるので載荷と除荷はほぼ同じ曲線をたどる。完全に一致しないのは、試験装

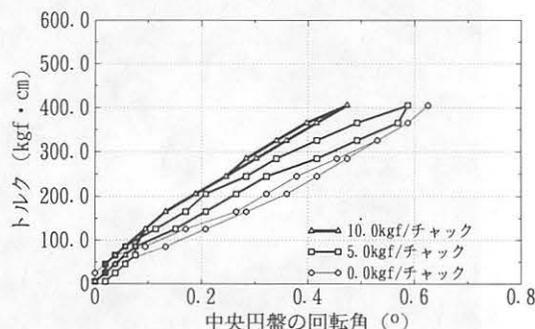


図10. 中央円盤の回転角とトルクの関係 (実験)

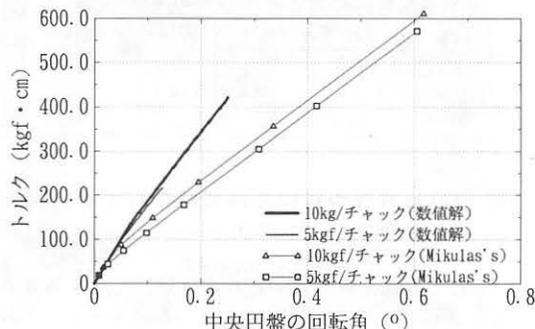


図11. 中央円盤の回転角とトルクの関係 (解析)

置のガタ等によるものであると考えられる。初期張力が大きいほど回転しにくくなるのがわかる。

6.2 解析との比較

図11.にMikulasによる理論解^[3](付録参照)と、曲げを考慮した有限要素法^[7]による数値解析解を示す。初期張力の大きさは5-4節に基づいている。また、曲げ剛性は4-2節で求めたものを用いる。実験結果はMikulas等の理論解よりもやや軟らかくなっている。数値解析解は硬めにでるようである。

7 初期張力の大きさとしわの形状

ここでは、初期張力が1チャックあたり0kgf、5kgf、10kgfの錘によるときのしわの形状をそれぞれ観察する。膜面の垂直変位を測定することは今のところ不可能であるので、しわの本数のみを観察した。結果は、有限要素法による分岐解析から得られたしわの本数とともに表3.に示す。実験では場合によって多少本数がばらつく。実験と解析の結果はおおむね一致するといえる。写真1.にしわの形状を示す。膜が透明であるためにわかりにくい、発生するしわは中心軸にたいしてほぼ対称であり、均一に発生する。

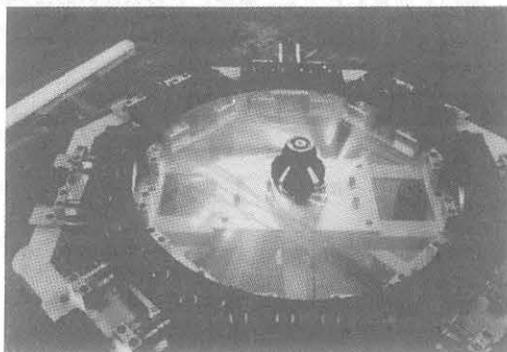


写真1. プラスチックのフィルム

表3. 初期張力の大きさとしわの本数

初期張力 (kgf/チャック)	実験	分岐解析
0.0	5	2
5.0	5 or 6	7
10.0	6 or 7	8

8 直交異方性や材料非線形性を有する材料を用いた場合のしわの形状

本節では直交異方性や材料非線形性を有する各種の膜に発生するしわの実験を行う。今のところ、これらについて解析をしていないので、得られたしわの写真

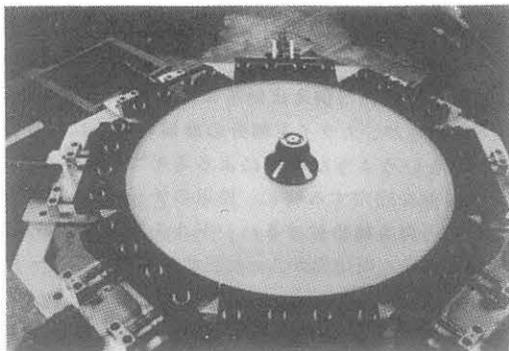


写真2. テフロンフィルム(トルク=0kgf・cm)

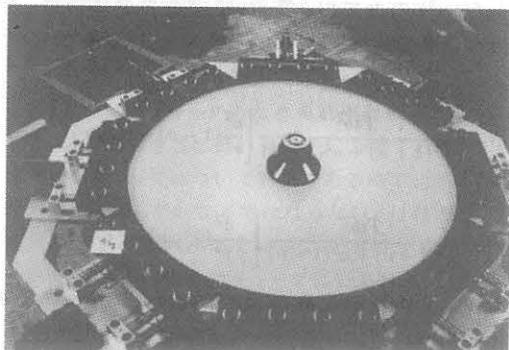


写真3. テフロンフィルム(トルク=165kgf・cm)

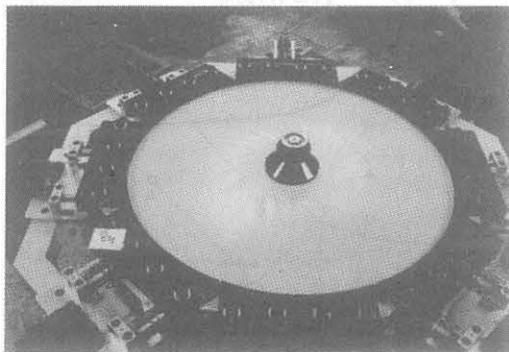


写真4. テフロンフィルム(トルク=325kgf・cm)

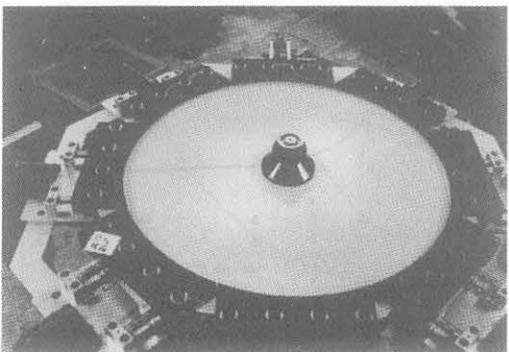


写真5. テフロンフィルム(トルクを除荷)

のみを示す。初期張力は全ての材料で1チャックあたり8kgfの錘によって導入している。材料の記号は表1.による。なお、写真の下に表示されたトルクの値はcのビニールシート以外は回転角が大きいため、あまり正確でない。

写真2.~5. はbのテフロンフィルムを用いた場合の結果である。このフィルムは等方性である。振りモーメントを0から325.2kgf・cmまで順に大きくしている。しわの本数は29本である。ここで、膜と中央円盤の境界における初期不整の影響をみてみると、たとえ境界において不整による微小なしわが発生しても、それは境界から離れるとすぐに減衰してしまうことが観察される。従って、しわの形は境界の初期不整にはあまり影響されず、膜の材料や厚さ、初期張力などに支配される自然な形態に納まるといえる。このことは、他の膜材料についても同様である。また、フィルムは非常に薄い材料であるため曲げ剛性が小さく張力場の状態に近いと考えられる。写真5. は振りモーメントを除荷した状態である。残留変形があることがわかる。

写真6. はfのゴムの場合である。ゴムは等方性超弾性体であり、しわはテフロンフィルムの時と同様に均一にでている。特徴としてしわの波の振幅が大きいがあげられる。

写真7. はdの繊維にコーティングをほどこした直交異方性材料である。この材料は日除けなどに用いられる。コーティングの剛性は繊維の剛性に比べると小さいと考えられ、しわの方向はほぼ繊維方向に一致している。そのため、しわの発生領域は4つの領域に分かれている。この材料に関して初期張力を1チャックあたり2kgfに減らした場合には、トルクをかけたあとで除荷すると写真10. のような残留変形によるしわが発生する。これは、材料の塑性化によるものであると考えられる。

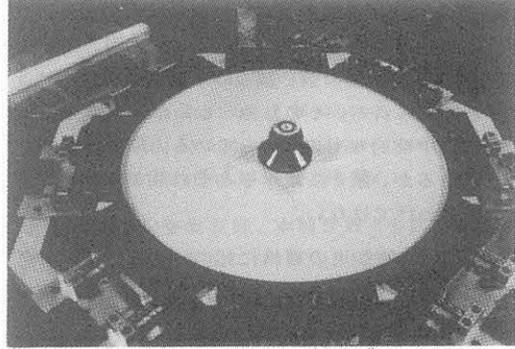


写真7. 繊維にコーティングした膜
(直交異方性、トルク=405kgf・cm)



写真8. 気球の材料(直交異方性、トルク=325kgf・cm)

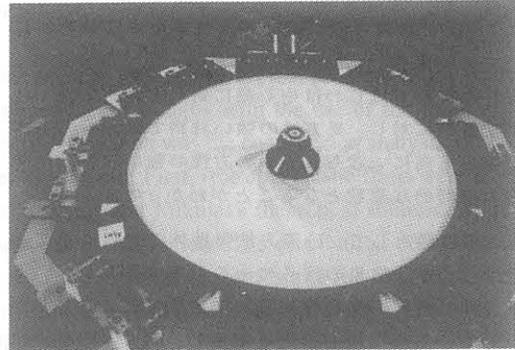


写真9. ビニールシート(直交異方性、トルク=405kgf・cm)

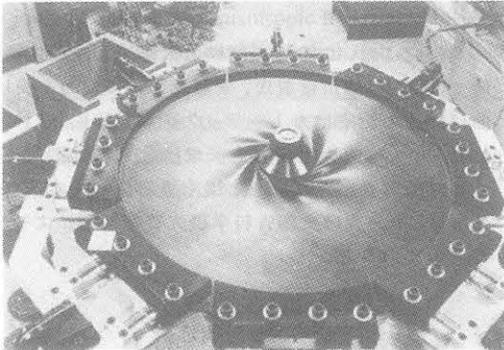


写真6. ゴム(等方性、トルク=245kgf・cm)

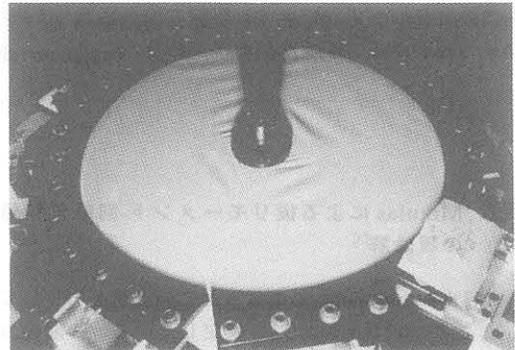


写真10. 繊維にコーティングした膜(除荷後)

写真8. はeの気球を作るための材料の場合である。この材料はシートに剛性の高い糸が入っており、等方性の膜a、b、fと異方性の強い膜dの中間的な性質を持っていると考えられる。そのため、しわの形状は写真4.と写真7.の中間的なものになっている。発生領域は4つに分かれるが、膜dに比べるとそれ程はつきりと分かれているわけではない。

写真9. はcの建築用の繊維にビニールコーティングをした直交異方性膜である。ここでも、しわは4つの領域に分かれて発生している。

9 おわりに

本論文では、初期張力を導入した円形膜に面内振りを与えた時に発生するしわの実験について報告した。

最初に、等方性の弾性体材料に導入した初期張力の状態を調べた。モードに多少乱れはあるものの、かけた錘の重さの約6割は膜に伝わっていることがわかった。その後、振りモーメント-回転角曲線、初期張力の大きさとしわの形状の関係について実験し、解析結果との比較を行った。両者は比較的良く一致している。

次に、直交異方性や材料非線形性を有する膜材料について実験を行い、発生するしわの形状を調査した。等方性の材料ではしわは中心軸に対して対称で均一に発生するのに対し、異方性の強い材料ではしわの方向が繊維の方向に一致し、やや異方性の強い材料ではそれらの中間的な形状となることがわかった。

今後の課題として、1) 等方性弾性体の材料に対する実験では、実験結果のばらつきを把握するため、いくつかの同じ条件の試験体について実験する、2) しわが発生している時に膜面の歪を測定し、応力状態を調べる、また、3) 異方性および材料非線形性を持つ材料については解析例が少ないので、解析方法を開発して実験結果と比較する、等の点があげられる。

付録 Mikulas による振りモーメント-回転角関係の理論解^[3]

文献[3]のappendix Bに掲載されている式を引用しておく。ここでは、平面応力を仮定している。初期張力は中央円盤を取り付けてから周辺を引っ張ることで入

れる。この解は、しわの発生領域で常に $N_r N_\theta = N_{r\theta}$ を満たしているので、圧縮応力が存在せずかつ主応力のひとつが常に0となっている。

記号は本文で使用したものと同じである。パラメーター \bar{M} 、 \bar{R} 、 $\bar{\phi}$ を次のように定義する。

$$\bar{M} = \frac{M}{2\pi a^2 T t} \quad (\text{付録-1})$$

$$\bar{R} = \frac{R}{a} \quad (\text{付録-2})$$

$$\bar{\phi} = \frac{E\phi}{T(1-a^2/b^2)(1+\nu)} \quad (\text{付録-3})$$

ここに、Mは振りモーメント、Rはしわの発生領域の半径、 ϕ は中央円盤の回転角(ラジアン)である。

最初に適当な $\bar{R}(1 \leq \bar{R} \leq b/a)$ の値を仮定して次の3式より \bar{M} を決定する。

$$\frac{1}{A} + \frac{1}{B} - \ln\left(\frac{B}{A}\right) - \frac{2}{3} = 0 \quad (\text{付録-4})$$

ここに、 $A = \bar{C}_4/\bar{M}^2 - 1$ 、 $B = \bar{R}^2 \bar{C}_4/\bar{M}^2 - 1$ 。

$$\bar{C}_1^2 - \left[1 + 2\bar{C}_1 \left(\frac{a}{b}\right)\right]^2 \bar{R}^4 + \bar{M}^2 = 0 \quad (\text{付録-5})$$

$$\bar{C}_4 = \left[\bar{R} + \left(\frac{1}{\bar{R}} + 2\bar{R}\frac{a^2}{b^2}\right)\bar{C}_1\right]^2 + \frac{\bar{M}^2}{\bar{R}^2} \quad (\text{付録-6})$$

まず、2次方程式(付録-5)を \bar{C}_1 について解く。これを式(付録-6)に代入すれば \bar{C}_4 が得られる。 \bar{C}_1 、 \bar{C}_4 を式(付録-4)に代入すれば、式(付録-4)は \bar{M} についての方程式となる。この式を中点法などで数値的に解くと \bar{M} が得られる。

次に、 $\bar{\phi}$ を次式により求める。

$$\bar{\phi} = \frac{3\bar{M}}{8(1-a^2/b^2)} \left[\frac{1/\bar{R}^2 - 1}{B} + \ln\left(\frac{B}{A}\right) + \frac{1}{\bar{R}^4} - \frac{8a^2}{3b^2} + \frac{5}{3} \right] \quad (\text{付録-7})$$

謝辞

本研究において、材料試験は太陽工業空間技術研究所で実施し、瀬川信哉氏、安藤真司氏の協力を受けた。曲げ剛性の測定はカトーテック株式会社において実施した。また、東大生研の大矢俊治技官には測定方法について助言をいただいた。深く感謝致します。

なお、本研究は文部省科学研究費補助金によって行ったものである。

参考文献

- [1] W.R.Dean, "The Elastic Stability of an Annular Plate", Proc. Roy. Soc. Lond. A.106,1924,pp.268-284
- [2] M.Stein,J.H.Hedgepeth."Analysis of Partly Wrinkled Membrane",NASA TN D-813,Jul. 1961
- [3] M.M.Mikulas,Jr., "Behavior of a Flat Stretched Membrane Wrinkled by the Rotation of an Attached Hub",NASA TN D-2456,Sept. 1964
- [4] R.K.Miller,J.M.Hedgepeth, "An Algorithm for Finite Element Analysis of Partly Wrinkled Membranes", AIAA Journal,Vol.20,1982,pp1761-1763
- [5] T.Suzuki,T.Ogawa,S.Motoyui,T.Sueoka,"Investigation on Wrinkling Problem of Membrane Structure",Proc. of IASS-MSU Symposium on Domes from Antiquity to the Present,Istanbul,1988,pp.695-702
- [6] 西村敏雄、登坂宣好、本間俊雄「有限要素法による張力場解析手法について」、日本建築学会構造系論文報告集、第351号、昭和60年5月、pp.76-83
- [7] 宮村倫司、半谷裕彦、「振りを受ける円形張力膜のしわ後挙動解析」、膜構造研究論文集'92、No.6、1992年12月、pp.15-23

Experiment on the Wrinkling of Circular Membranes under Torsion

Tomoshi MIYAMURA*1
Kenshi ODA*2
Yasuhiko HANGAI*3

SYNOPSIS

The wrinkling of a stretched circular membrane under in-plane torsion is a typical problem in the study of wrinkling phenomena. The above problem was analyzed by the authors with the use of the finite element method based on the theory of bifurcation. Theory of bifurcation was the basis of that analysis.

In this paper, the experiment of this problem has been carried out. First, isotropic elastic films were used for making quantitative comparison with the numerical analysis and Mikulas's theoretical solution. Material properties were evaluated from the result of the uniaxial stretching test. The distribution of the initial stress was checked by calculating the stress from the obtained material properties and the strain that was measured by the strain gages. Then the relationship between torque and rotation is measured, and the effect of initial stress on the configuration of wrinkles is studied.

Second, anisotropic or material nonlinear membranes were tested and the configurations of wrinkles are investigated. In the anisotropic material whose shear rigidity is not so strong, the direction of the wrinkles was almost the same with the direction of the fiber in the membrane.

*1 Graduate Student, University of Tokyo

*2 Center for Space Structure Research, Taiyo Kogyo Corporation

*3 Institute of Industrial Science, University of Tokyo