

ETFEフィルムを用いたレンズ状二重空気膜構造の基本的力学性状に関する研究
-密閉型と定圧型の比較-

Study on Basic Mechanical Properties of Air Cushion Made of ETFE
- Comparison of Properties Between Sealed Type and Constant Pressure Type -

○進藤隆太⁴, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造², 与那嶺仁志³
*Ryuta Shindo⁴, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi², Hitoshi Yonamine³

Abstract : Lenticular pneumatic structure has a system to resist external force with raising internal air pressure. This structure is often used when using ETFE film. There are two types of this structure: sealed type and constant pressure type. When load is applied, sealed type has a characteristic of which membrane tension and shape change while being accompanied by a change of internal volume and internal air pressure. On the other hand, constant pressure type always maintains a constant internal pressure regardless of external force, and resists short-term loads by intentionally increasing the internal air pressure. This paper aims to compare the mechanical properties of the sealed type and the constant pressure type.

1. はじめに

レンズ状二重空気膜構造(以下「レンズ状空気膜」と称す)は、膜材等で密閉された空間の圧力を外気よりも少し高くすることで、膜面に張力を与えて剛性を付加し、外力に抵抗する構造システムである。近年、ETFEフィルムを用いた建築物で数多く採用されている。レンズ状空気膜は「密閉型」と「定圧型」の2種類の形式に大別できる。「密閉型」は、体積×内圧が常に一定との仮定の下、ボイルシャルルの法則が成り立つ形式であり、付加荷重時には内圧変動が生じる。一方、「定圧型」は外力に関わらず、内圧制御機器を用いて、常に内圧を一定値(あるいは設定値)に維持し、短期荷重に対しては意図的に内圧を上げることで抵抗する形式である。現状では、定圧型の仮定による計算手法が一般的であるが、風荷重などの瞬間的に荷重が増加する場合、内圧制御機器の時間的遅れから、密閉型に近い挙動を示すと考えられる。このため、形式に拘らず、密閉型の挙動の把握は必要不可欠である。また、定圧型は内圧制御機器等の設備が必要であるのに対して、密閉型はエアリークに対応できる簡易的な送風設備のみでよく、維持管理コストの低減も期待できる。

以上の観点から、本報では密閉型の有用性の把握を目的として、ETFEフィルムを用いたレンズ状空気膜の密閉型と定圧型の力学性状の比較を数値解析により行った。

2. 数値解析概要

数値解析概要をFig.1に示す。解析モデルは、一辺が2,000mmでアスペクト比1の矩形平面を有するレンズ状空気膜とし、密閉型と定圧型の2ケースを対象とした。初期形状は立体裁断を想定することで、初期内圧時(300Pa)に膜面の応力度が長期許容応力度以下(1.93MPa)となる初期形状(サグスパン比:0.1)を得た。

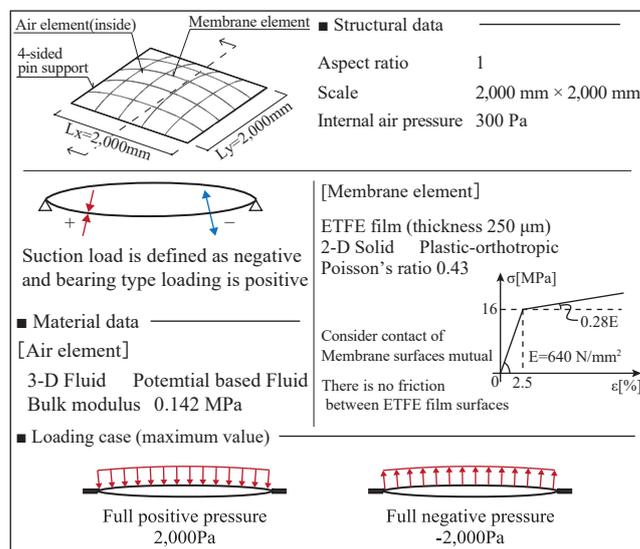


Fig.1 Outline of numerical analysis

密閉型は、空気要素に初期内圧を与えた後、内部空気量を一定とすることでモデル化した。また、定圧型は、上膜と下膜それぞれに初期内圧300Paの荷重を与えることでモデル化した。両モデルともに上下の膜面同士の接触を考慮した。荷重条件は、2,000Paまでの全面正圧載荷、-2,000Paまでの全面負圧載荷の2ケースとし、それぞれ膜面の法線方向に荷重を与えた。膜面の変形は境界高さを0とした座標値で表現(上膜側を正)し、圧力は膜面を押す側を正とした。なお、定圧型では、一般的に短期荷重時に非常時内圧として、常時内圧より高い内圧を設定することが行われるが、本報では非常時内圧を設定していない。

3. 数値解析結果

Fig. 2に±2,000Pa載荷時の上下膜パネルの頂点を通る中央線の変形の様子を断面図で示す。

全面正圧載荷時の荷重-変位、内圧、膜応力関係をFig. 3に示す。密閉型は、荷重<内圧の範囲では、上

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : Ove Arup & Partners Japan Limited 4 : 日大理工・院(前)・建築

下膜で抵抗し、荷重=内圧(=650Pa)時に、上膜の張力が消失し、下膜のみで抵抗し始めることが確認された。このことは、上下膜の変位の傾きが変化することからも判断できる。また、荷重650Paまでは上膜の応力の減少量と下膜の応力の増加量の絶対値が一致した。なお、本検討範囲内では、下膜の降伏は確認されなかった。

定圧型は、荷重<内圧の範囲では、上下膜ともに線形的に変位が進行するが、荷重>内圧(=300Pa)となった際に、上膜が反転することが確認された。また、上膜は反転後に再び張力が発生し、荷重に抵抗している。一方、荷重650Paで上下膜それぞれの変位の傾きに変化が生じている。これは、上膜と下膜が接触したことによるものと考えられる。

密閉型において上膜の張力消失後も、上膜の反転が生じないのは、内圧が増加するためである。このため、内圧制御を行うことなく膜面が反転するリスクを低減可能であることから、積雪や降雨に伴うボンディング現象に対しても密閉型は有効と考えられる。

全面負圧載荷時の荷重-変位、内圧、膜応力関係を Fig. 4に示す。密閉型は、低荷重域においては上下膜で抵抗し、荷重<700Pa時に内圧が0Paとなり、下膜の張力が消失し、その後は上膜のみで抵抗している。この時、下膜の変位に不安定挙動が確認できるが、張力消失が要因と推察される。

一方、定圧型は下膜の変位および膜応力が一定であることから、荷重の大小に関わらず、上膜のみで抵抗していると考えられる。

密閉型は初期内圧を上げることで、正圧載荷では内圧と釣り合う荷重、負圧載荷では内圧が0Paとなる荷重をより大きくすることが可能であり、上下膜で抵抗する荷重域を広げることが可能となる。しかし、初期内圧の増加は、常時の応力が過大となるため、クリープ発生の観点から、初期内圧の設定には十分な検討が必要である。一方、定圧型は初期内圧を上げることで、正圧載荷では載荷側の膜面の反転を防止できるが、上膜のみで抵抗する荷重域が広がり、過大な膜応力に対して注意が必要となる。

以上を踏まえ、適切な初期内圧を設定することで、密閉型の方が定圧型に比べ、合理的なシステムとなることが推察される。

4. まとめ

本報では、レンズ状空気膜の密閉型と定圧型の力学性状を数値解析により把握した。今後は、密閉型における初期内圧の検討、内部体積やパネル形状等と与える影響について検討を行う予定である。

参考文献

[1]中村咲瑛子, 他: 「ETFEフィルムを用いた密閉型レンズ状二重空気膜構造の基本的力学性状に関する研究」, AIJ大会(東北), 構造I, pp. 1099-1104, 2018. 7

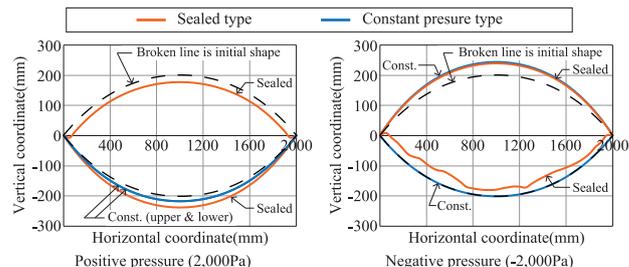


Fig.2 Deformation diagram of the center of the panel

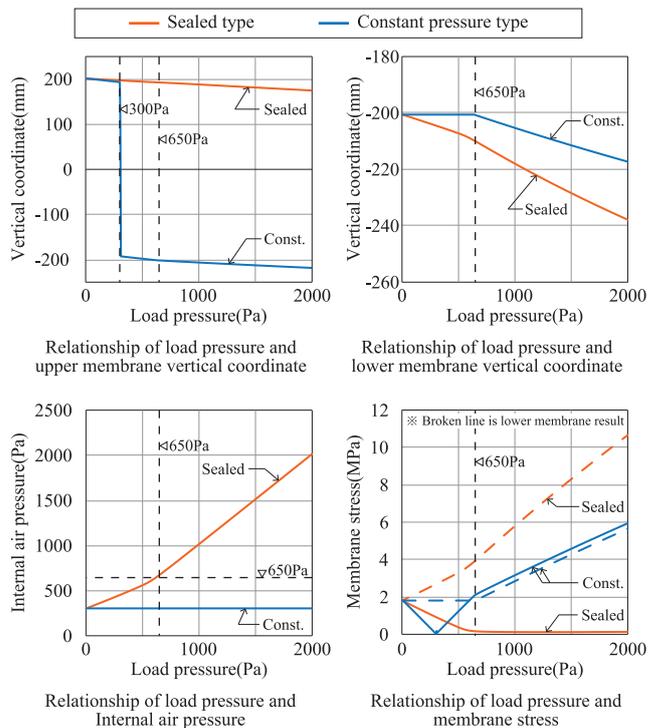


Fig.3 Results of Full positive pressure loading

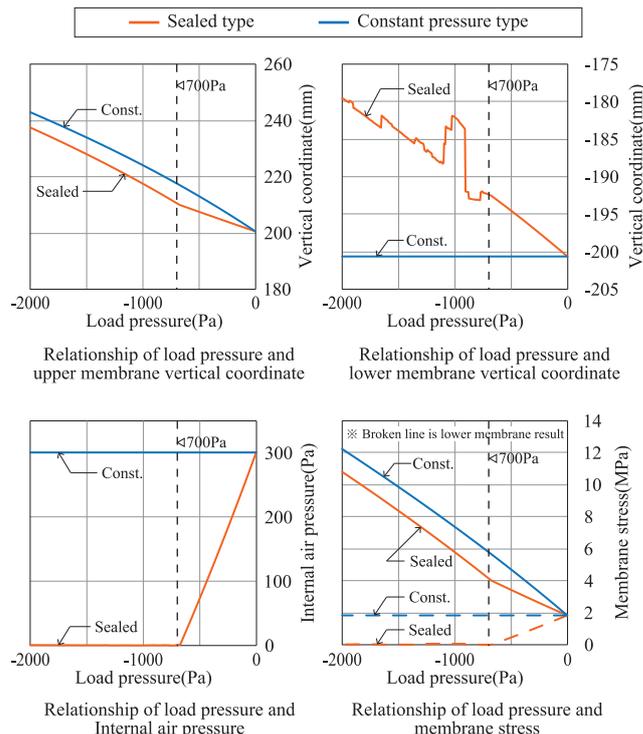


Fig.4 Results of Full negative pressure loading