

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
 一過大な負圧荷重時と繰り返し荷重時の挙動の把握一

Study on Basic Mechanical Properties of Sealed ETFE Air Cushion

一 Grasp of Behavior under Excessive Negative Pressure and Cyclic Loading 一

○中村咲瑛子³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造², 与那嶺仁志⁴

*Saeko Nakamura³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi², Hitoshi Yonamine⁴

Abstract: Lenticular pneumatic structure has a system to resist external force with raising internal air pressure. When load is applied, this structure has a characteristic of which membrane tension and shape change while being accompanied by a change of internal volume and internal air pressure. When ETFE film is used for this structure, it is thought that the problem in the structural design is added by low stiffness and creep property peculiar to these materials. This paper aims for the grasp of the behavior under excessive negative pressure and cyclic loading of sealed ETFE air cushion using an experiment and analysis.

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, 外力に抵抗するシステムである. 比較的小さい伸び剛性, 降伏応力と大きなクリープ歪を特徴とするETFEフィルムを使用した場合, 特に密閉型のレンズ状空気膜では, 上膜に負圧を受けた際, 空気膜内圧 (以下「内圧」と称す) の消失に伴い生じる下膜の張力消失時の不安定現象の発現が懸念される. また, ETFEフィルムは材料非線形性を有し, 海外では第二勾配までの使用を許容しているが, 日本では第二勾配までの使用が平成29年6月に告示で認められたばかりである. レンズ状空気膜においては第二勾配の残留歪によるフィルムの伸びは, レンズ状空気膜の膨らみが大きくなることで吸収されるため, 第二勾配までの運用は可能だと考えられるが, 第一降伏点を越えた範囲での検討はこれまで充分になされていない. 以上の観点から, 本論では負圧荷重時に内圧が0となり膜張力が消失した際の挙動と, 第一降伏点を越える範囲での繰り返し荷重による挙動の把握を目的として, ETFEパネルを対象とした検討を実験及び数値解析により行った.

2. 実験及び数値解析概要

レンズ状空気膜の繰り返し載荷時及び膜面が不安定となる際の挙動の把握を目的に, 空気圧を利用した載荷実験を行った. 実験概要をFig.1に示す. 実験ではETFEフィルム2枚を重ねてシワのないように外周を固定し, 密閉されたフィルムの間へ空気を送風することで初期形状を形成した. 試験体は一辺が500mmでアスペクト比1の矩形平面とし, 初期内圧は事前の数値解析結果に基づき, 最大膜応力が3MPaとなる280Paとした. 載荷はチャンバー内の空気を吸引することによる全面負圧載荷で行い, 荷重ケースをFig.1-bに示す3ケースとした. ここで, 「ケースA」は10,000Paまで単調載荷したもの, 「ケースB」は内圧が0となり膜張力が消失した際の挙動の把握を目的に, 載荷に

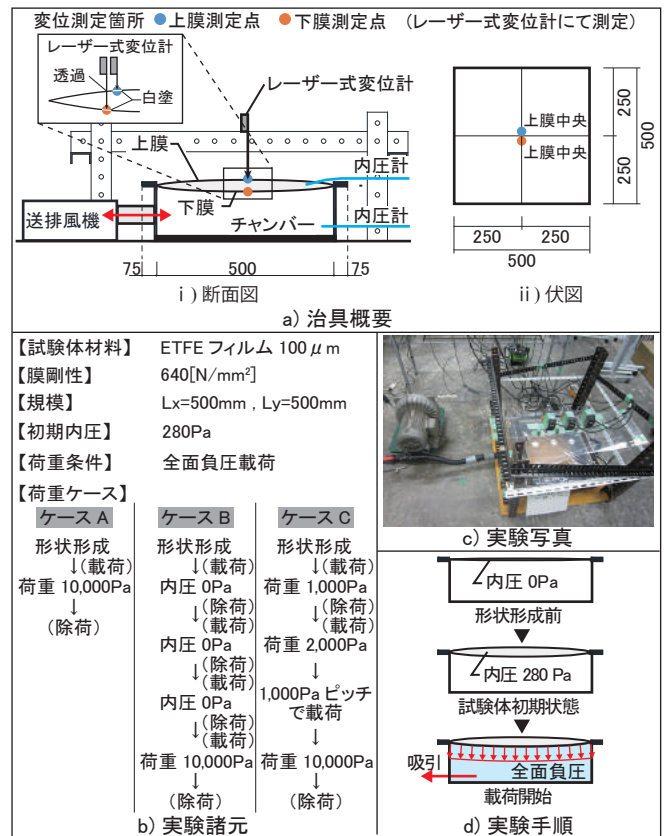


Fig.1 Outline of Experiment

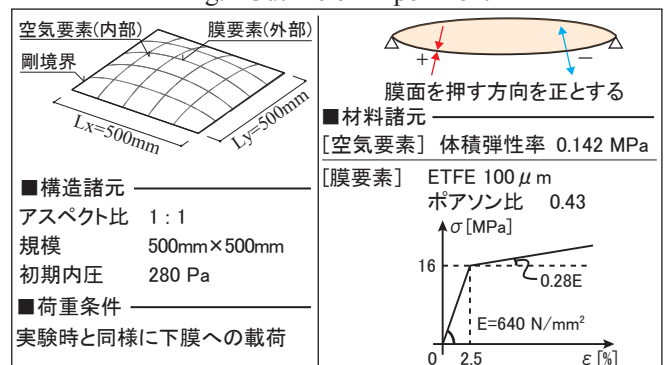


Fig.2 Outline of Numerical Analysis

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

より内圧が0となった時点で載荷を終了し除荷を行うサイクルを3回繰り返し、その後10,000Paまで載荷を行ったもの、「ケースC」は第一降伏点を超える範囲での繰り返し載荷時の挙動の把握を目的に、1,000Pa以降に除荷を挟んで1,000Pa刻みで荷重を10,000Paまで増加させた。

数値解析概要をFig.2に示す。解析モデルは膜面同士の接触を考慮し、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、密閉型をモデル化した。膜面の変位は境界部の高さを0とし、載荷は実験と同条件の荷重パターンで膜面に法線方向の荷重を与えた。

3. 実験及び数値解析結果

ケースAの荷重-膜面変位及び内圧関係をFig.3に、荷重-最大膜応力関係をFig.4に示す。上下膜の変位は、初期形状のデプスを保ったまま変位が進行する傾向を示した。また、最大膜応力が第一降伏点の16MPaとなる-3,220Paを超えても上下膜の変位進行にほぼ影響がない事を確認した。

ケースBの内圧と外力の相関関係をFig.5に、荷重-膜面変位及び内圧関係をFig.6に示す。変位・内圧共に包絡線はFig.3のケースAと概ね同様の経路を辿る事を確認した。内圧0Pa時において、載荷面(下膜)と反対側の膜面(上膜)は曲面形状が保たれず、膜面がフラットとなる挙動が見られたが、載荷面は曲面形状を保っており架構として不安定とはならなかった。また、実験において載荷毎に若干の内圧の低下が確認された。これは試験体設置の際の膜面のシワ等の影響が原因だと考えられる。

ケースCの内圧と外力の相関関係をFig.7に、荷重-膜面変位及び内圧関係をFig.8に示す。載荷により徐々に変位が進行し、それに伴い内圧が減少する傾向が見られたが、変位・内圧共に包絡線はFig.3のケースAと概ね同様の経路を辿る事を確認した。Fig.7の実験結果において、載荷荷重0~-6,000Paの範囲では載荷により内圧が負圧とならなかった。また0~-3,000Paでは除荷に伴い内圧の増加が確認され、これは膜面張力が戻る性状を示している。-6,000Pa以降は載荷に伴い内圧が負圧へ増加する傾向を示し、載荷により内圧が正圧から負圧へ移行する際に内圧値が0Paを保つ期間がある事を確認した。内圧0Pa時は架構が不安定とはならないため、内圧値が負とならないような設計をする事で第一降伏点を超える範囲での繰り返し載荷においても架構が不安定とはならない設計が可能であると考えられる。

4. まとめと今後の検討

本論ではアスペクト比1のレンズ状空気膜を対象として、実験と数値解析により検討を行った。今後は負圧荷重下における膜張力消失時の動的挙動の検討を行う予定である。

6. 謝辞

本研究は、能村膜構造技術振興財団の助成及びAGC旭硝子の試験体提供により実施した。

7. 参考文献

[1]宮内隼,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(中国),構造I,pp.723-730,2017.8

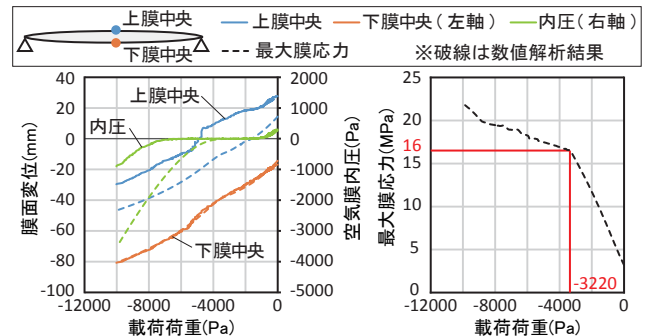


Fig.3 Result of the load case A Fig.4 Film Stress - Load

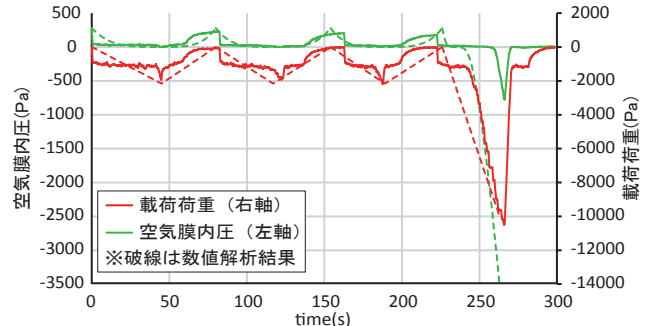


Fig.5 Fluctuations in the internal pressure of the load case B

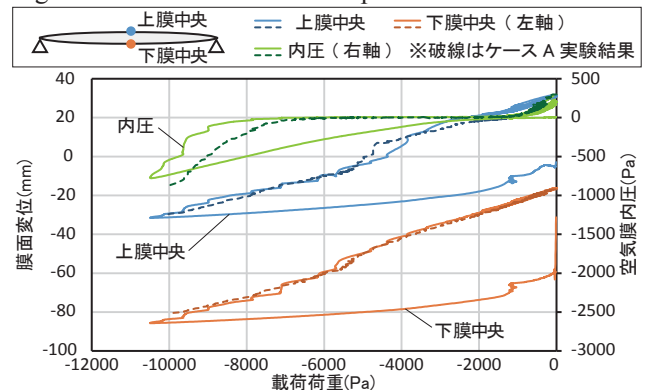


Fig.6 Result of the load case B

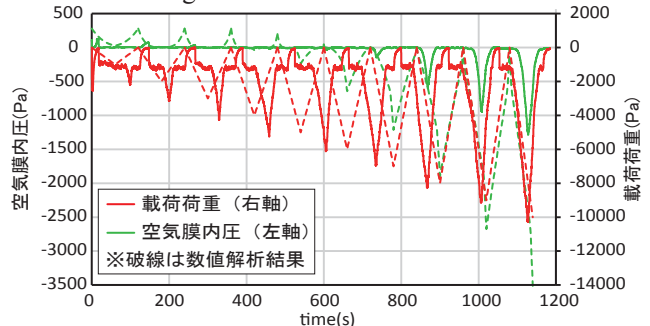


Fig.7 Fluctuations in the internal pressure of the load case C

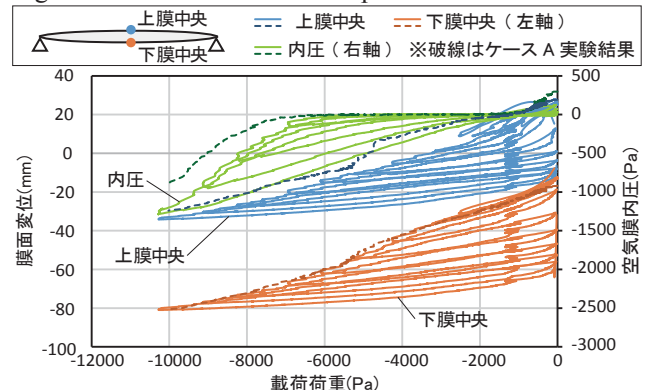


Fig.8 Result of the load case C