B-64

ETFEを使用したレンズ型二重空気膜構造の基本的力学性状に関する研究 一負圧荷重下における膜張力消失時と繰り返し荷重時の挙動の把握一 Study on Basic Mechanical Characteristics of Lenticular Double Layer Pneumatic Structur Using ETFE – Grasp of Behavior in Membrane Stress Disappearance under Negative Pressure and in Cyclic Loading –

〇中村咲瑛子³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造², 与那嶺仁志⁴, 宮内隼³ *Saeko Nakamura³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi², Hitoshi Yonamine⁴, Jun Miyauchi³

Abstract: Lenticular pneumatic structure has a system to resist external force with raising internal air pressure. The ETFE film produces the increase in internal volume and a drop of the internal pressure with the elongation of the film under external force. This paper aims grasp of the behavior in membrane stress disappearance under the negative pressure and in the cyclic loading of lenticular pneumatic structure using an experiment and analysis.

1. はじめに

レンズ型二重空気膜構造(以下「レンズ型空気膜」と称 す)は、膜材等で密閉された空間の圧力を外気よりも 高くすることで、膜面に張力を与え剛性を付加し、外 力に抵抗する構造システムである.近年、屋根面に ETFEフィルムを用いた矩形パネルのレンズ型空気膜も採 用され始めている(Fig.1).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型空気膜では以 下のような現象の発生が懸念される.

- (1)上膜に負圧を受けた場合,内圧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.
- (2)経年時の形状変化に伴う,内部体積の増加と内圧 の減少.

一方,風荷重時の膜全面への荷重に関する研究^[1]は 多く報告されているものの,膜面不安定時に関する データは充分とは言い難いのが現状である.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繰り返し荷重による内圧の変動 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

レンズ型空気膜の繰り返し載荷時及び膜面が不安定 となる時の挙動の把握を目的として,空気圧による 載荷実験を行った.実験概要をFig.2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四周を固 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7MPaとなる970Pa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.2-bに示す3ケースと した.ここで,「ケースA」は送風機の最大吸引力であ る13000Paまで載荷したもの,「ケースB」は繰り返し載



a)London Heathrow Airport b)Manchester Piccadilly station Fig.1 Example of building



Fig.2 Outline of Experiment

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

荷時の挙動の把握を目的に3000Pa以降に除荷を挟んで 1000Pa刻みで荷重を13000Paまで増大させたもの、「ケー スC」は膜面不安定時の挙動の把握を目的に内圧が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13000Paまで載荷を行ったものである.

数値解析概要をFig.3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.4に示 す.荷重が初期内圧(970Pa)より大きくなると,内圧 は0Paになり,その後この状態が維持された後,負圧に 変化する性状が得られた.この負圧への変化時は,下 膜の上昇傾向が小さくなる時点とほぼ一致しており,内 圧が0Pa維持時に下膜の反転が生じたものと判断でき る.また上膜と下膜の変位は,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.

ケースBの荷重-内圧関係をFig.5に示す.実験,解析 ともに載荷により密閉型のレンズ型空気膜の内圧が0と なり膜面が不安定となる挙動が見られたが、荷重-3000 ~-5000Paにおいては除荷に伴う内圧増加により, 張力 が戻る性状を示した.また、荷重の増加に伴って除荷後 の初期内圧の減少が確認された. これはETFEフィルム の伸び(塑性化)による体積増加が原因と考えられる.ま た,-3000Pa,-4000Pa載荷後の除荷時に,内圧が解析値 に比べ小さい値を示した.これは実験の試験体設置の 時に、人力で引張りながらフィルムを固定したため、局 所的に応力が大きくなっていたことが原因と考えられ る.ケースBの荷重-膜面変位及び内圧関係をFig.6に, ケースCの荷重-内圧関係をFig.7にそれぞれ示す. Fig.6 より包絡線は、Fig.4の荷重ケースAとほぼ同様の経路を 辿ることが確認された. Fig.7では一度目の載荷では内 圧の低下が確認されたが,その後の二度目,三度目の除 荷後は内圧の低下が生じないことが確認された.

4. まとめと今後の検討

本論では、アスペクト比1のレンズ型空気膜を対象 として、実験と数値解析により検討を行った.実験に より、膜張力の消失や片方の膜の反転が発生しても上 下膜が同じデプスを保ちながら変形する性状と、レン ズ型空気膜の膜面不安定時の挙動及び繰り返し載荷時 の内圧の低下による挙動の把握を行った.

今後は立体裁断を行った場合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] 篠塚皓太,他:「矩形平面を有するレンズ型二重空気膜構 造に関する研究」, AIJ 大会(関東),構造 I, pp. 753-758, 2014.8



Fig.3 Outline of Numerical Analysis







Fig.7 Fluctuations in the internal pressure of the pattern C