

B-4

ETFEフィルムを用いたアーチ突き上げ方式によるばねストラット式張力膜構造に関する研究

Study on Structural Behavior of Spring-Strut Type Membrane Structure by Arch-Pushed-Up System Using ETFE Film

○相浦究³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Kiwamu Aiura³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract : In case of spring-strut type membrane structure using ETFE film, there is a possibility that generation of localized stress on the film. In this paper, firstly, the authors proposed the spring strut-type tension membrane structure pushed up by arch. Secondly, From wind tunnel tests, the wind pressure coefficient is provided under the uniform-flow and the turbulence-flow. Finally, this paper calculated static response analyses using the result of wind tunnel test.

1. はじめに

ETFE フィルムは、応力弛緩が生じやすい特徴を有するため、建築物に用いられる場合、構造形式は空気膜構造が一般的である。近年、海外ではスタジアムの屋根等を実施例が見られるが、空気膜構造での適用による内圧の維持管理やランニングコスト等に関わる問題は解決されていない。既報^[1]では、常時内圧の代わりにばね内蔵のストラットによって膜面の中央一点を突き上げ、経時後の応力弛緩や膜面変位に追従することで、膜応力を維持することができる「ばねストラット式張力膜構造」への適用が提案されている。しかし、本構造は、頂点部のみを突き上げるため、当該膜部分の局部応力の発生が懸念される。本論では、これらの問題を解決する案として、膜面を湾曲材で突き上げる方式（以降、「アーチ突き上げ方式」と称す）による張力膜構造を提案する（Figure1）。また、アーチ材端部を曲げばねとみなすことで、端部における膜面変位への追従性の維持も可能と考える。

以上の観点より、本論では ETFE フィルムを用いたアーチ突き上げ方式によるばねストラット式張力膜構造を対象として、ばね剛性、アーチ剛性をパラメータとした風洞実験および数値解析を行い、本提案モデルの実用性を検討する。

2. 形状解析

2-1. 形状解析概要

提案モデルはアーチ材の曲げ剛性の違いにより膜面の初期形状が変化すると考えられるため、風洞実験に用いるモデルの形状を検討することを目的として、形状解析を実施した。解析においては、アーチと膜面の接触や離間を考慮している。Figure2に解析モデルの概要を示す。初期張力およびばね剛性は既報^[1]を参考に設定した。また、アーチ材の曲げ剛性は、材料をアルミ材とし、アルミ材の許容曲げ応力度を参考にしながら設定した厚さ(12, 20, 30mm)を用いた。突き上げる前のアーチ材の形状はライズスパン比が0.2の円弧とした。膜面の形状は膜面をアーチ材でライズスパン比が0.2になるよう突き上げることで形成した。

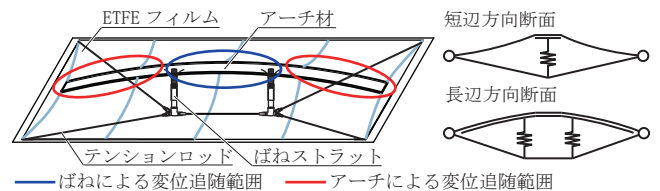


Figure 1. Membrane Structure by Arch-Pushed-Up System

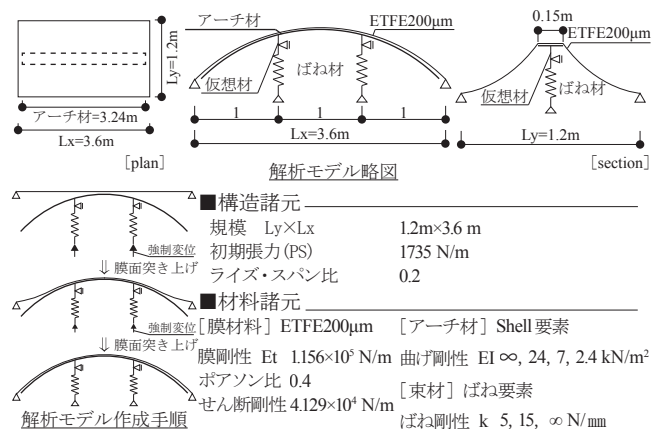


Figure 2. Outline of Shape Finding Analysis

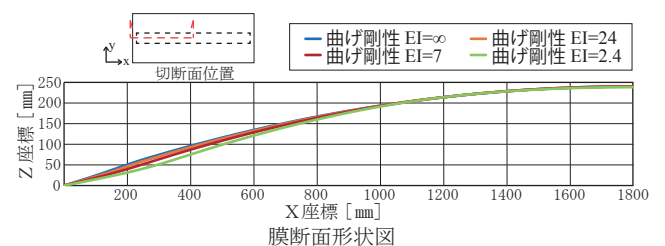


Figure 3. Outline of Shape Finding Analysis

2-2. 形状解析結果および考察

形状解析によって得られた膜断面の形状を Figure3に示す。なお、切断面の位置は図に示す位置とした。概ね同様の形状となっており、膜面における最大差でも鉛直方向に約25mmであることを把握した。これは、風洞模型スケール(縮尺率: 1/9.6)だと約2.6mmとなるため、誤差の範囲内と判断し、風洞模型を EI=∞の時の膜面形状を元に作成した。

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

3. 風洞実験

3-1. 実験概要

本提案モデルの風圧力特性を把握することを目的として、風洞実験を実施した。風洞実験にはエッフェル型風洞装置を使用した。Figure4に風洞実験の概要、Table1に実験諸元を示す。実験気流は一様流とした。模型はアクリル製の剛模型を用い、下部構造は壁を有する閉鎖型とした。測定はサンプリング周波数を500Hzとして約30秒間行い、5回計測した。

3-2. 実験結果および考察

Figure6に平均風力係数分布を示す。ここで、本論では風力係数は外圧係数から内圧係数を差し引いたものと定義し、符号は屋根面を押し方向を正、引く方向を負と定義した (Figure5)。なお、内圧係数は既報^[2]を参考にして0と仮定した。

平均風力係数分布は風上側軒先付近において大きな負圧を示し、風下側に向かうにつれ緩やかに増加する性状を示した。これは、気流が風上側軒先で剥離し、屋根面にぶつかることなく流れることが要因であると考えられる。

4. 数値解析

4-1. 数値解析概要

本章では、前章で得られた平均風力係数より算出した風荷重を用いて静的解析を行い、アーチ材の曲げ剛性およびばね剛性の変化によって及ぼされる影響を把握し、アーチ材およびばね材の有用性を検証する。解析モデルは2章のモデルと同様のものとし、アーチと膜面の接触状況も評価している。

4-2. 数値解析結果および考察

膜主応力コンター図、束軸力減少量およびアーチ材先端変位を Figure7に示す。なお、膜主応力は静的解析より得られた平均膜応力とし、束軸力減少量は束に生じる初期軸力と風荷重時の軸力の差とした。

Figure7- a)より、膜主応力は、風上側で最大値となり、ばね剛性および曲げ剛性が小さいほど大きな応力の発生範囲が広がる傾向を示し、応力集中の緩和に効果があると考えられる。これは、ばね剛性および曲げ剛性が小さいほど膜面の変位にアーチ材が追従し、張力が再導入されるからだと考えられる。

Figure7- b)より、ばね剛性及び曲げ剛性が小さいほど、束軸力減少量は減少する傾向を示した。曲げ剛性が小さいほど、アーチ材先端変位は増加する傾向を示した。これらは、ばね剛性及び曲げ剛性が小さいほど、膜面の変位にアーチ材が追従し、アーチ材と膜面の離間を抑える性状と考えられる。以上より、ばね剛性及び曲げ剛性が小さいほど、束軸力維持性能が高くなると考えられる。

4. まとめと今後の検討

ETFEフィルムを用いたアーチ突き上げ方式によるばねストラット式張力膜を対象として、風洞実験を行い、ばね剛性およびアーチ材の曲げ剛性をパラメータとした数値解析より、応力集中の緩和や束軸力の維持に効果があることが示唆された。今後の検討として、最適なアーチ材の曲げ剛性、ばね剛性の検討、雪荷重時の静的応答性状および風荷重時の動的応答性状の把握が挙げられる。

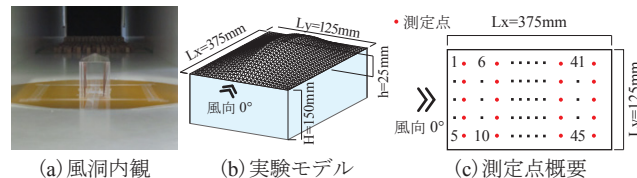


Figure 4. Outline of Wind Tunnel Test

Table 1. Condition of Wind Tunnel Test

ライズ・スパン比 (h/Ly)	0.2
風速 (基準高さ)	10 m/s
気流	一様流
サンプリング周波数・時間	500 Hz, 約 30 秒
風向	0 deg

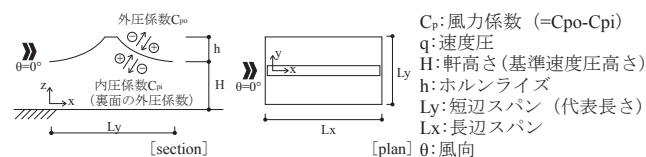


Figure 5. Definition of Coefficient (Positive and Negative)

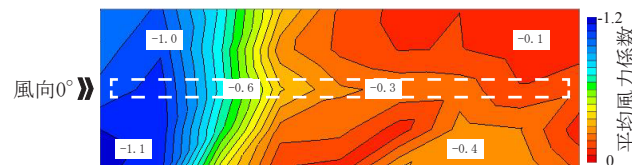
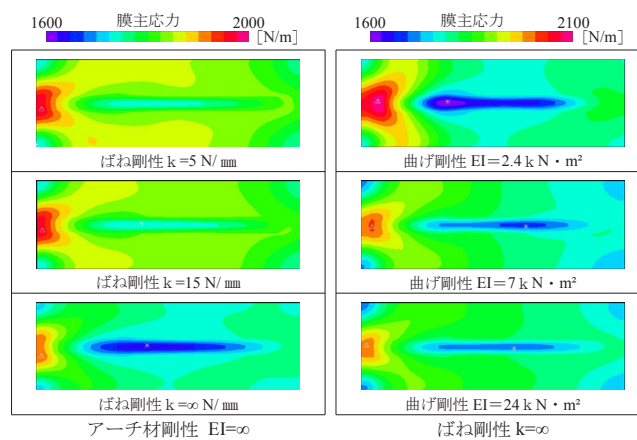
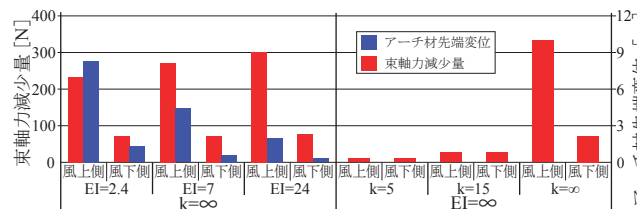


Figure 6. Wind Pressure Coefficient Obtained from Wind Tunnel Test



(a) 膜主応力コンター図



(b) 束軸力減少量およびアーチ材先端変位

Figure 7. Results of Numerical Analysis

【参考文献】

[1] 福井, 岡田, 宮里, 斎藤: ETFE フィルムを用いたばねストラット式張力膜構造の風荷重時の構造挙動に関する研究, 2011 年度学術講演梗概集, pp. 809-812, 2011. 8
 [2] 永井, 岡田, 神田, 宮里, 斎藤: 独立したホルン型張力膜構造の風応答性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 77, No. 672, pp. 211-219, 2012. 2