

B-5

ETFEフィルムを用いたばねストラット式張力膜構造の強風時の構造挙動に関する研究

Study on Structure Behavior of Spring-Strut Type Membrane Structure Using ETFE Film Under Strong Winds

○中川梨菜³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Rina Nakagawa³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract : In case of spring-strut type membrane structure with low spring stiffness using ETFE film, there is a possibility that conspicuous surface membrane responses. It is necessary to consider the safety of the dynamic response variation of the film surface and resonance to the film surface. In this paper, the authors focus on horn-shaped membrane structure under the wind-load and report wind tunnel tests for it. From these tests, the wind pressure coefficient is provided under the uniform-flow and the turbulence-flow. In addition, this paper calculated static response analyses using the result of wind tunnel test.

1. はじめに

低強度, 低剛性, 大きなクリープ歪等の材料特性を有する ETFEフィルムは, 応力弛緩を回避する目的から, 建築物として適用される構造形式は空気膜構造が一般的である. しかし, 空気膜構造は送風機により永続的に空気を送風する必要があり, 内圧の維持管理やランニングコスト, 環境への配慮等が問題点として挙げられる. そこで既報 [1]では, 常時内圧の代わりにばね内蔵のストラットにより ETFEフィルムを突き上げ, 経時後も膜応力を維持できる「ばねストラット式張力膜構造」への適用が提案されており, 膜面に対してある一定の初期張力を導入し, 低剛性ばねを用いることが有効であるとの結果が報告されている. しかし, 低剛性ばねを使用した場合, 風荷重に対し膜面が大きく変動する可能性が考えられ, 低剛性ばねの使用時の膜面に対する共振や膜の動的応答変動に対する安全性の検討が必要と考えられる.

以上の観点より, 本論では ETFEフィルムを用いたばねストラット式張力膜構造を対象として, ばね剛性と風の乱れ強さをパラメータとした, 実験および数値解析を通して, 強風時の膜面挙動を把握すると共に, 低剛性ばねの動的挙動下における有効性について検証することを目的とする.

2. 風洞実験

2-1. 実験概要

風洞装置はエッフェル型風洞装置を使用した. Figure2に風洞実験模型の概要, Table1に実験概要を示す. 対象モデルは 2.8m×2.8m(縮尺率:5/28)の矩形平面を有するライズ・スパン比 (h/L)0.2のホルン型張力膜構造である. 下部構造(壁)を有する閉鎖型とし, 既報 [2]を参考に内圧係数を 0と仮定した. 模型はアクリル製の剛模型を用いて, 屋根面に 81点の測定孔を設けた. 実験気流は, 一様流と乱流ブロックを用いた 3パターンの乱流を用いた(Figure3). 測定はサンプリング周波数を 500Hzとして約 30秒間行い, 各風向で 5回ずつ計測した.

2-2. 実験結果および考察

Figure5に乱れ強さをパラメータとして, 風向 0度

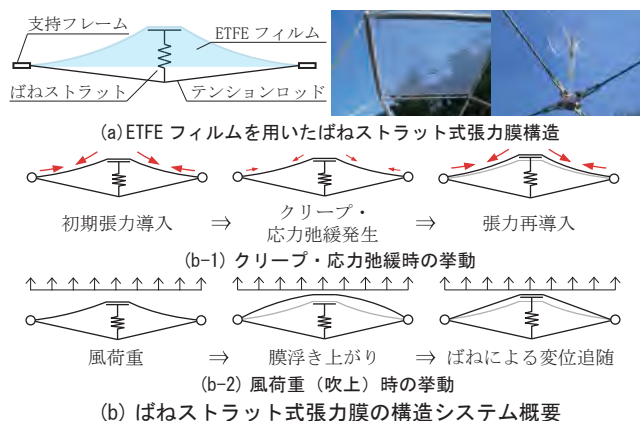


Figure 1. Tensile Membrane Structure Spring-Strut System

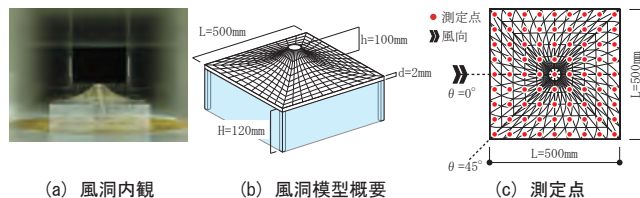


Figure 2. Outline of Wind Tunnel Test

Table1. Condition of Wind Tunnel Test

ライズ・スパン比 (h/L)	0.20
風速 (基準高さ)	10 m/s
気流	乱流境界層流 (乱れ強さ: 0, 10, 15, 20%)
サンプリング周波数・時間	500Hz, 約 30秒
風向	0, 45 deg

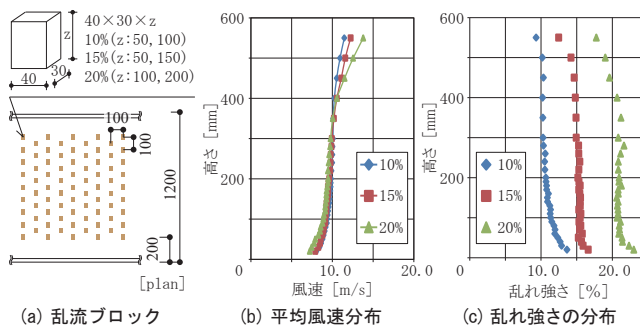


Figure 3. Outline of Airflow

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・院・建築

おける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, 符号は屋根面を押す方向を正, 引く方向を負と定義した (Figure4). 風力係数分布は乱れ強さによらず風上側軒先付近および屋根頂点部において大きな負圧, 風下側で正圧を示す性状が把握された. これは, 気流が風上側軒先で剥離し, その後再付着と剥離を繰り返すことが要因であると考えられる. また, 風の乱れ強さに着目すると, 風上側の軒先付近および屋根頂点部で一樣流の風力係数は乱流に比べ, 僅かではあるが上回っていることを確認した. これは, 外力である平均風力係数の差異が大きく, 一樣流の結果が乱流時より全面で負圧側に大きくなったと考えられる.

3. 数値解析

3-1. 数値解析概要

本章では, 前章で得られた実験結果を用いて, ホルン型張力膜構造を対象として, 平均風力係数を用いた静的応答解析を行い, 風の乱れ強さおよびばね剛性の変化が膜面応答に及ぼす影響を把握する. Figure6に解析モデルの概要を示す. 解析対象は風洞実験のモデルと同一の架構であり, 初期張力は既報 [1]より束軸力維持率が高く, 風荷重時も安定した軸力変動性状を示すことから, 長期許容応力の 100%のレベルを導入した. また, ばね剛性に関しても既報 [1]を参考に設定した. 荷重は前章の風洞実験より得られた変動風圧力より算出した風力係数に基準速度圧を乗じて算出した.

3-2. 数値解析結果

Figure7に風向 0度における各パラメータの膜応力カウンター図および膜面法線方向および束の鉛直変位を示す. なお膜応力は静的応答解析より得られた平均膜応力, 最大変位は全てモデル状の同一要素において算出した. 乱れ強さに着目すると, 膜応力は一樣流に対する応答結果が乱流に対する応答結果を上回っていることが確認できる. また, ばね剛性に着目すると, 乱れ強さによらずほぼ同様の結果となった. 膜面の法線方向変位に着目すると, その変位性状はどのケースにおいても一樣流時, 乱流時共にほぼ同様の傾向であることが確認できる. しかし, 一樣流に対する応答値が乱流時と比較して大きくなる一方で, 乱れ強さによる影響は殆ど認められないことが把握された.

4. まとめと今後の検討

ETFEフィルムを用いたばねストラット式張力膜を対象として, 風の乱れ強さおよびばね剛性の各パラメータに対する応答結果の把握を行った. 今後の検討として, 時刻歴応答解析を行い, 風荷重時の動的応答性状の把握を進める予定である.

【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, AIJ 大会 (関東), pp809-812, 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, No. 672, pp. 211-219, 2012. 2
 [3] (社) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説 2004, 2004. 9
 [4] 日本建築センター: 建築物風洞実験ガイドブック, 2008. 10
 [5] 大熊, 神田, 田村: 建築物の耐風設計, 1966. 3

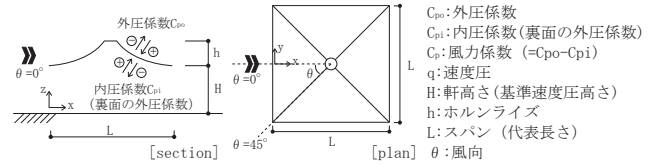


Figure 4. Difinition of Coefficient(Positive and Negative)

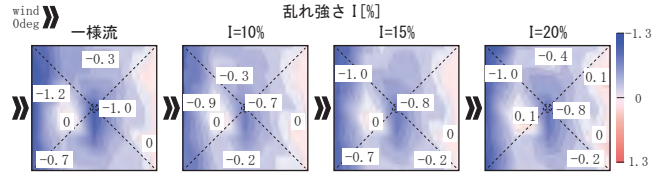


Figure 5. Wind Pressure Coefficient Obtained from Wind Tunnel Test(0deg)

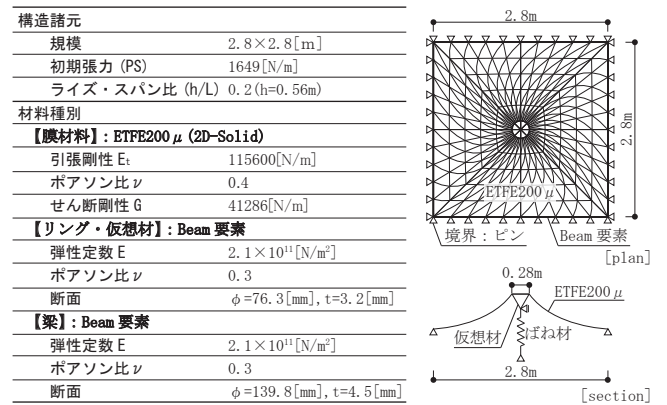
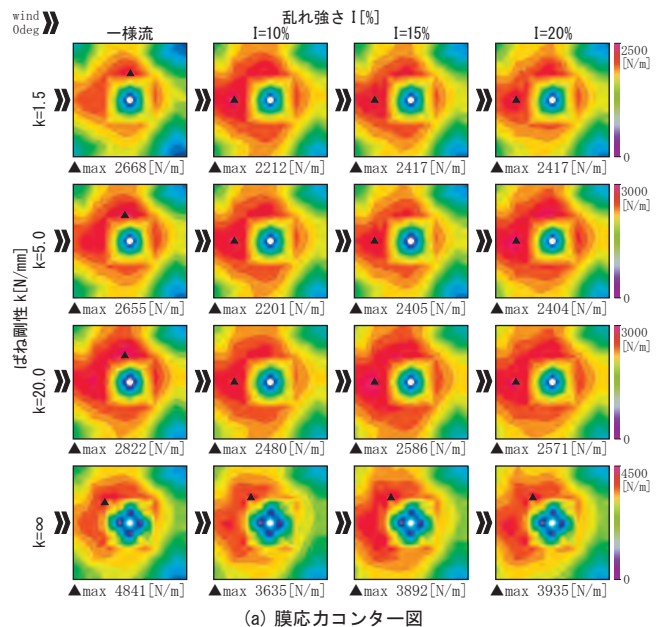
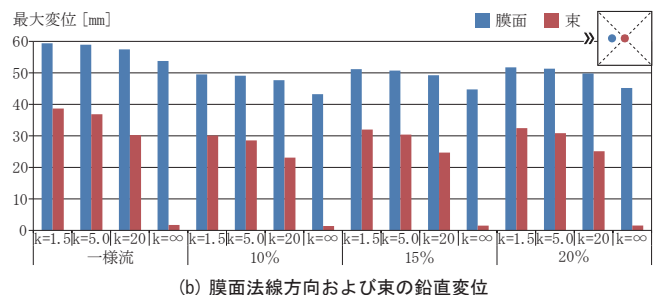


Figure 6. Outline of Numerical Analysis Model



(a) 膜応力カウンター図



(b) 膜面法線方向および束の鉛直変位

Figure 7. Results of Numerical Analysis(0deg, σL100)