

ホルン型張力膜構造の風応答性状に関する研究
 -屋根面を構成するユニット数が膜面の風力係数に及ぼす影響について-
 Study on Wind Response on Horn-Shaped Membrane Structure
 -Effect of Number of Units on Wind Coefficient on Membrane Roof-

○渡部匠³, 宮里直也¹, 岡田章¹, 廣石秀造²
 Takumi Watanabe³, Naoya Miyasato¹, Akira Okada¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract: The horn-shaped membrane structure is a kind of suspension membrane, which is a structure with a curved surface with a two directional curvature. So far, studies have been reported in order to understand the basic wind force coefficient distribution of this structure. However, since the shape of the membrane surface varies depending on the number of units to the membrane surface and boundary conditions, further study is needed to assume various shapes. In this paper, the effect of the number of units on the membrane surface on the wind pressure characteristics is investigated by CFD analysis for a full-scale horn-shaped membrane structure.

1. はじめに

ホルン型張力膜構造は、サスペンション膜構造の一種であり、2方向曲率を有する曲面形状を持つ構造物である。一般に膜構造物は、軽量で剛性が小さいことから、設計時には風荷重が支配的となる。特に下部構造を持たない場合、屋根の上下面に風の影響を受けるため、膜面に作用する風圧力は複雑な性状を示す。これまで、中央部1点を突き上げて形成する単一ユニットモデル及びそのユニットを連結して構成されるモデルを対象に、ホルン型張力膜構造の基本的な風力係数分布の把握を目的とした風洞実験及び数値解析による研究が報告されている^[1]。しかし、ホルン型張力膜構造は、膜面の突き上げ点数や境界条件によって膜面形状が変化するため、様々な形状を想定した更なる検討が必要であると考えられる。

一方、曲面形状を有する構造物に作用する風圧力は、レイノルズ数の変化により影響を受ける。本構造の場合、レイノルズ数の増加に伴って風圧力は大きくなることが確認されている^[2]。しかし、縮小モデルを用いた風洞実験による研究が多く、実規模を対象とした研究はほとんどみられないのが現状である。

以上を踏まえて、本報では、実規模を想定したホルン型張力膜構造を対象として、屋根面を構成するホルン型ユニットの数が膜面に作用する風圧力特性に及ぼす影響に関して、CFD解析による検討を行った。

2. 検討モデル概要

Fig.1に検討モデルの概要を示す。本報では、スパンLが10m、ライズhが1.0mのホルン型張力膜構造を対象とする。パラメータは突き上げ点数とし(Fig.1-c)、1点、4点、9点と変化させる(以下、「1点モデル、4点モデル、9点モデル」と称す)。なお、本報では図中赤線部分の解析結果を基に、検証を行う。

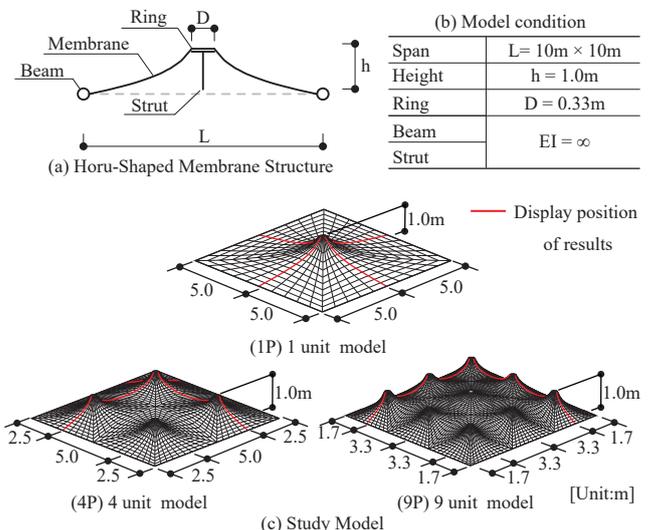


Fig.1 Outline of Model

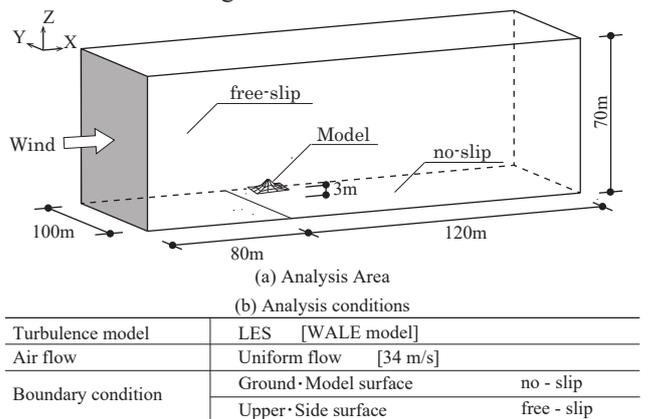


Fig.2 Outline of CFD analysis

3. CFD解析概要

Fig.2にCFD解析の概要を示す。CFD解析には、scFlow(Ver. v2020)を用いる。乱流モデルはLESのWALEモデルとする。評価時間は実スケールの約600秒相当とし、計算の時間刻みは 1.0×10^{-1} 秒とする。

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

解析領域は、 $X \times Y \times Z = 200\text{m} \times 100\text{m} \times 70\text{m}$ とし、モデル先端が風流入口から80mの位置となるように配置する。流入条件は、34m/sの流入面垂直流入による一様流とし、流出条件は静圧=0とする。境界条件は、地表面及びモデル表面をno-Slip境界とし、上空及び側面をfree-Slip境界とする。

Fig.3に各種係数の定義を示す。風力係数、上面風圧係数、下面風圧係数をそれぞれ C_p 、 C_{po} 、 C_{pi} と表し、風力係数は上面風圧係数から下面風圧係数を差し引くことで算出する。

4. 解析結果及び考察

Fig.4に各モデルの平均風力係数のコンター図、Fig.5に風向に平行な一列（以下、「X列」と称す）の平均風力係数及び変動風力係数、Fig.6に風向に直交する一列（以下、「Y列」と称す）の平均風力係数及び変動風力係数を示す。なお、グラフ(a)、(b)の縦軸は評価時間600秒の平均風力係数 C_p と、風圧力の標準偏差を速度圧で除した変動風力係数 C_p' をそれぞれ示し、横軸はモデル先端からの距離とする。

Fig.4より、風上側に生じている正圧について比較すると、突き上げ点の増加に伴って、より広い範囲に正圧が生じている。これは、突き上げ点の位置が膜面の端部に近づくことで膜面の傾斜が大きくなり、風を正面から受ける面積が増えたためだと考えられる。一方、頂点部から風下にかけては、全てのモデルで負圧が発生し、突き上げ点の増加に伴い、広範囲に生じている。このことから、突き上げ点を増加することで膜面全体に作用する風圧力係数が増加するため、膜面に生じる応力及び変形に対する検討が必要だと考えられる。

Fig.5-aより、頂点部付近での平均風力係数の最大値を比較すると、1点モデルは約-1.8、4点モデルは約-2.6、9点モデルは約-2.1であり、突き上げ点が複数点になると、平均風力係数も増加することが確認された。このことより、突き上げ点が複数あるホルン型張力膜構造を設計する際に、1点モデルで得られた風力係数をそのまま流用することは危険側に評価する可能性が示唆された。またFig.5-bより、変動風力係数は、1点モデルに比べて4点及び、9点モデルの方が頂点部付近で大きくなっている。このことから突き上げ点数は変動風力係数にも影響があることが確認された。

Fig.6より、1点モデルに比べて4点及び、9点モデルの方が広範囲に大きな負圧が生じていることがわかる。これは、突き上げ点の増加に伴い、突き上げ点の側面へ流れる風が多くなり、風速が大きくなったためだと考えられる。また、Fig.6-bより、変動風力係数は、Fig.5-bと同様に突き上げ点の増加に伴い、

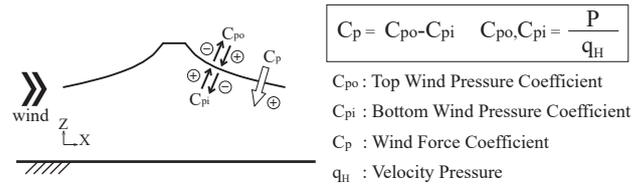


Fig.3 Coefficient Definition

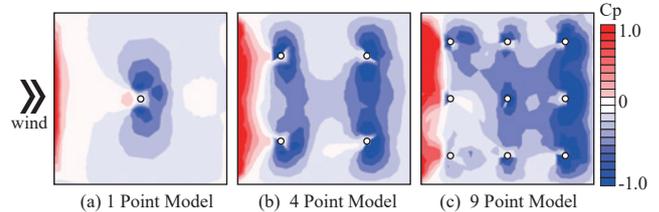


Fig.4 Wind Force Coefficient Distribution Map

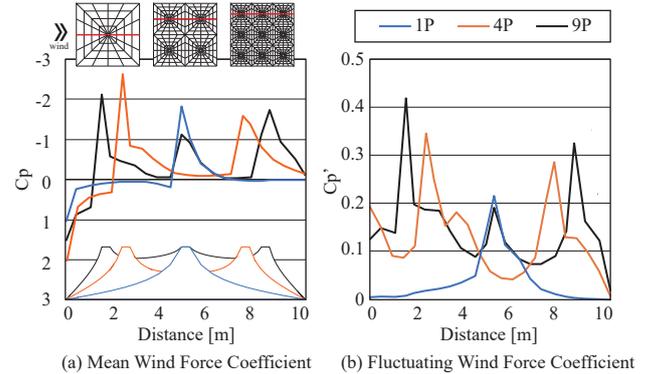


Fig.5 Comparison of Wind Force Coefficient (X Line)

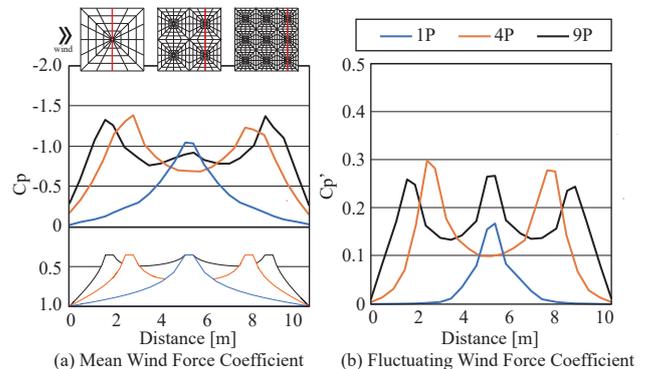


Fig.6 Comparison of Wind Force Coefficient (Y Line)

頂点部付近で大きな値となることが把握された。

5. まとめ

本報では、ホルン型張力膜構造を対象として、突き上げ点数が膜面の風圧力特性に及ぼす影響について、CFD解析により検討を行った。検討の結果、突き上げ点が複数あるホルン型張力膜構造は、1点モデルに比べ、平均風力係数、変動風力係数共に大きくなることが把握された。

6. 参考文献

- [1] 永井佑季, 他: 「開放型ホルン形状張力膜構造の一様流中における風力係数分布」, 日本建築学会技術報告集, Vol.17, No.36, 2011.6
- [2] 大村拳成, 他: 「ホルン型張力膜構造の風応答性状にレイノルズ数が及ぼす影響」, 日本建築学会 2020.9