

B-1

数値流体解析を用いたホルン型張力膜構造の風応答性状に関する研究
 -レイノルズ数が膜面の風圧力特性に及ぼす影響について-

Study on Wind Response on Horn-Shaped Membrane Structure Using Computational Fluid Dynamics
 -Effect of Reynolds Number on Wind Pressure Characteristics of Membrane-

○大村 拳成³, 岡田 章¹, 宮里 直也¹, 廣石 秀造²

*Kensei Omura³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract: The horn-shaped membrane structure is a curved structure with a two directional curvature and is lightweight and has low rigidity. Wind tunnel tests are considered the most reliable method for evaluating wind loads, but wind tunnel tests are conducted in the Reynolds number range, which is 10^2 to 10^3 orders lower than actual buildings. For curved structures that are thought to have a significant effect on Reynolds number, the wind load acting on the roof surface may differ between the actual building and the wind tunnel. From the above, CFD analysis is used to clarify the effect of changes in the Reynolds number on the wind pressure characteristics acting on the roof in the horn-shaped membrane structure.

1. はじめに

ホルン型張力膜構造は、2方向の曲率を有する曲面形状を持った構造物であり、Fig.1に示すような実施例が存在する。また、膜構造は、軽量かつ剛性が低いことから設計時には風荷重が支配的となる。この風荷重等の構造物に生じる空力現象を明らかにするための手段として、風洞実験が一般に行われている。しかし、風洞実験に用いられる実験装置の多くは、低風速風洞(最大風速50m/s程度の風洞)であり、また実験は、実建物より $10^2 \sim 10^3$ オーダーの低いレイノルズ数(以下、Re数)域で行われている。一方で、円柱や曲面形状を有する構造物に作用する風力は、Re数の変化により影響を受けることが知られている。このため、構造物に作用する風荷重は、実建物と風洞実験モデルで異なる可能性がある。このRe数の影響について、永井ら^[1]は角錐型のホルン型張力膜構造を対象に、風洞実験からRe数 $5.5 \times 10^4 \sim 6.2 \times 10^5$ の範囲で屋根面の風力係数分布が変化することを報告している。しかし、Re数の変化が屋根面に作用する風荷重に及ぼす影響は必ずしも明らかになっておらず、実建物と風洞実験モデルでの検討が必要であると考えられる。

以上を踏まえ、本報では、CFD解析を利用し、円錐型のホルン型張力膜構造を対象として、Re数の変化が屋根面に作用する風圧特性に及ぼす影響について検討を行う。

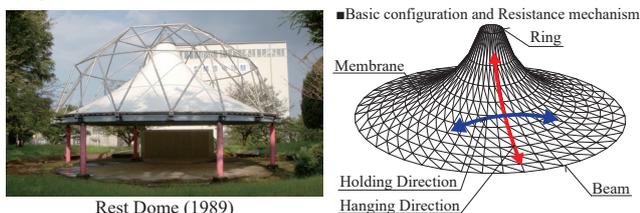
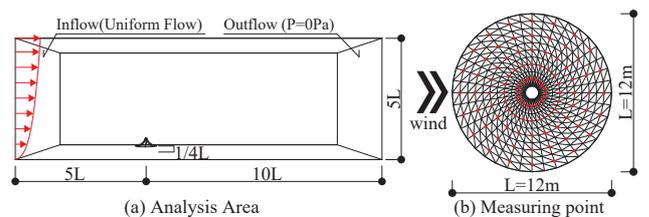


Fig.1 Horn-Shaped Membrane Structure

2. 数値流体解析の概要

本報では、スパン12m、屋根頂部高さ7.4mのホルン型張力膜構造を対象とする。境界は風向の影響を受けない円境界とし、モデルの幾何学的縮尺率は3/100, 1/10, 1/1の3ケースとする。

CFD解析には、scFlow(Ver. 14. 1)を用いる。支配方程式は、連続式とNavier-Stokes方程式である。乱流モデルはLESのSmagorinskyモデルとし、モデル定数Csは0.15とする。評価時間は実スケールの約600秒相当とし、計算の時間刻みはそれぞれ 9.0×10^{-3} , 1.5×10^{-2} , 1.0×10^{-1} 秒とする。境界条件は、上空及び側面境界をfreeSlip条件、地表面及びモデル面をnoSlip条件、流出境界の圧力Pを0Paとする。流入境界には、屋根頂部で風速 U_H が $10 \sim 30$ m/sとなるような一様流を使用する。Fig.2に解析領域及び風圧測定点、解析パラメータを示す。解析における総メッシュ数は約170万である。解析領域はモデルのスケールに合わせて変化させ、測定点は上下面計200点とした。解析パラメータは、代表風速 U_H とライズhから算出したRe数とし、 2.75×10^4 (風洞実験規模), 5.5×10^5 (風洞実験と実建物の中間規模), 8.25×10^6 (実建物規模)の3ケースとする。



	2.75×10^4	5.5×10^5	8.25×10^6
Reynolds Number	2.75×10^4	5.5×10^5	8.25×10^6
Wind Velocity (m/s)	10	20	30
Model Scale	3/100	1/10	1/1
Sampling frequency · time	111.1 Hz · 54 s	66.7 Hz · 90 s	10 Hz · 600 s

Fig.2 Previous Analysis Model

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

本報で扱う記号の定義をFig.3に示す。風力係数、上面風圧係数、下面風圧係数を C_p 、 C_{po} 、 C_{pi} と表す。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し、符号は屋根面を押す方向を正、引く方向を負としている。なお、本報では屋根頂部高さを基準高さとし、風力係数等の算出を行った。

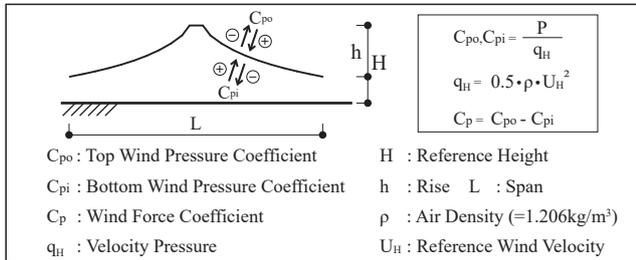


Fig.3 Coefficient Definition

3. 平均風力係数と変動風力係数による比較

Fig.4aに平均風力係数の分布図、Fig.4bにモデル中央一列(A~E:風上側/F~J:風下側)の平均風力係数、Fig.4cに変動風力係数を示す。グラフの縦軸は、評価時間600秒の風力係数を平均した平均風力係数 C_{pmean} 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' 、横軸はモデル中央一列(A~J)の10点を表す。

Fig.4aより、モデル頂部周辺で負圧が大きくなり、頂部横で流れのはく離による大きな負圧が発生していることが確認できる。また、 Re 数が大きいほど、モデル頂部周辺で大きな負圧が広範囲に生じている。Fig.4bより、いずれの Re 数においても風上側で正圧、風下側で負圧を示し、 Re 数が小さいほど平均風力係数が大きくなっている。また、風上側端部(A)において、 Re 数により平均風力係数の差が顕著に生じている。Fig.4cより、 Re 数が中間規模以上の場合、風上側(A, B)で風力係数の変動が大きくなっている。一方、風下側では Re 数の変化が変動風力係数に与える影響は小さく、ほぼ一致している。以上より、頂部横の流れのはく離が発生する箇所とモデル中央一列の風上側(A~E)で、平均風力係数と変動風力係数が Re 数の影響を受けることを確認した。

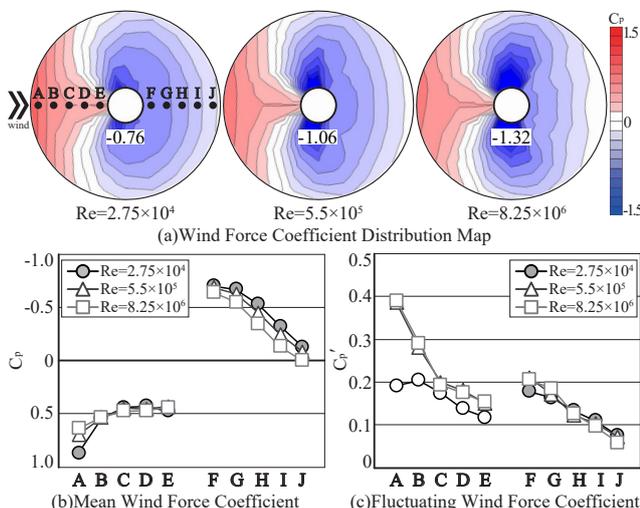


Fig.4 Comparison of Wind Force Coefficient

4. 風力係数の時刻歴波形による検討

Re 数により、平均風力係数と変動風力係数に顕著な差が確認された、風上側端部(a点)と頂部横(b点)の2点について、詳細に検討を行う。

Fig.5a, bにそれぞれa点とb点の風力係数の時刻歴波形と平均値、Fig.5cに Re 数毎の標準偏差を示す。この時刻歴波形は評価時間600秒のうち、270~300秒の30秒間の風力係数の変動を示している。Fig.5aより、a点の風力係数の平均値は、 Re 数が小さいほど大きくなっている。また、Fig.5cから、 Re 数が小さいほど風力係数の変動は小さいことが分かる。これが前述した風上側端部の変動風力係数の差として現れているものと考えられる。一方、Fig.5bより、b点の風力係数の平均値は、a点と同様に Re 数が小さいほど大きくなっている。しかし、Fig.5cから、 Re 数による風力係数の変動は小さく、 Re 数が風力係数に及ぼす影響は小さい。a, b各点の風力係数の変動周期は、どちらも Re 数が小さい時に短く、 Re 数が大きい時に長くなっている。風力の変動は大小様々な渦によるもので、この小さな渦が持つ短周期の変動成分の影響が Re 数が小さい時に現れ、風力係数の変動に差が生じたと考えられる。以上より、ホルン型張力膜構造のような複雑な曲面を有する構造物は、 Re 数の変化が屋根面に作用する風圧特性に影響を及ぼし、 Re 数が小さい時は大小の渦の影響により風力係数を過大に評価していることが示唆された。

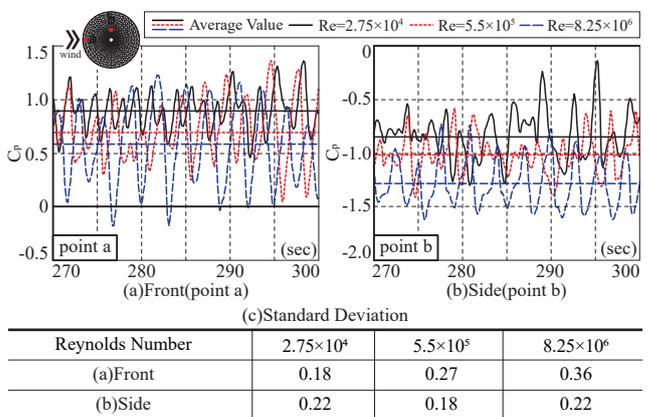


Fig.5 Wind Force Coefficient Time History Waveform

5. まとめ

本報では、ホルン型張力膜構造の Re 数の変化が風圧力特性に及ぼす影響について検討を行った。風上側端部と頂部横に発生する平均風力係数は、 Re 数の変化により差が生じる。具体的には、 Re 数が小さい場合、大小の渦の影響により風力係数を過大に評価している性状が把握された。

6. 参考文献

[1]永井, 他:「開放型ホルン形状張力膜構造の一樣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, pp.499-504, 2011.6
 [2]建築物荷重指針・同解説, 日本建築学会, 2015.2