

B-7

凹凸形状を有する円筒型膜屋根の風応答性状に関する基礎的研究
 -凹凸形状が風圧力特性に及ぼす影響-

Basic Study on Wind Response Characteristics of Cylindrical Membrane Structures with Irregularities on Roof Surface
 -Effect of Surface Irregularities on Wind Pressure Characteristics-

○林航平³, 宮里直也¹, 岡田章², 廣石秀造¹, 鴛海昂¹
 *Kohei Hayashi³, Naoya Miyasato¹, Akira Okada², Shuzo Hiroishi¹, Akira Oshiumi¹

Skeletal membrane structures in architecture, known for their lightweight design, are often exposed to significant wind loads, especially in curved-roof buildings like domes and vaults. Reynolds numbers play a critical role in understanding wind performance in these structures. Additionally, surface roughness, similar to golf balls, can reduce drag coefficients and increase flight distances. Buildings with skeletal membrane structures tend to have uneven surfaces due to membrane tension, potentially leading to varying wind responses. This paper aims to assess the impact of uneven surfaces on wind responsiveness. conducted wind tunnel tests, adjusting Reynolds numbers to replicate real-scale characteristics and analyzed wind pressure.

1. はじめに

膜構造の一種である骨組膜構造は、膜材への張力導入や外力に対する変形抑制等の観点から、ケーブルや骨組等を用いて膜を面外方向に変形させている事例が多く存在する。また、これらの事例は、大規模なドームやヴォールト形状が多く、膜面は凹凸形状を有する。一方で、曲率を有する屋根面の風圧力特性は、レイノルズ数の影響を顕著に受けることが知られており、既報^[1]ではゴルフボールに表面粗度を与える事で、抗力係数が低減することが報告されている。このため、ドームやヴォールトの場合、屋根面の凹凸形状の有無によって風圧力特性が変化すると考えられる。

以上より、本報では凹凸形状を有するヴォールトを対象として、風洞実験を実施し、ヴォールト(円弧型屋根)の風圧力特性の把握を試みる。

2. 風洞実験概要

風洞実験模型の概要をFig. 1に、風洞実験の概要をTable 1に示す。本報で対象とする円弧型モデルは60m×60mの正方形平面とし、高さ2mの基礎上に屋根を載せた閉鎖型形状とし、検討パラメータはライズ・スパン比(h/L)および凹凸形状とした。h/Lは0.3・0.4・0.5の3ケースとした。また、凹凸は屋根面に等間隔に10個設け、凹凸深さはスパンLに対し1/30・1/60の2ケースとした。併せて、凹凸を配置しないモデル(NONE)も設定した。

模型は縮尺率1/200の剛模型とし、ABS樹脂を用いて3Dプリンターで製作した。模型表面には、外形1.6mm、内径1.0mmの銅製パイプを用いて、屋根中央部上面に21点の測定孔を設けた。風向はアーチ方向とし、実験気流は地表面粗度区分Ⅲ相当の境界層乱流を用いた。なお、実験風速は事前検討により算出した。既報^[2]ではレイノルズ数が 1×10^6 以上であれば極超臨界流れを再現でき、実構造物周りの流れ場を概

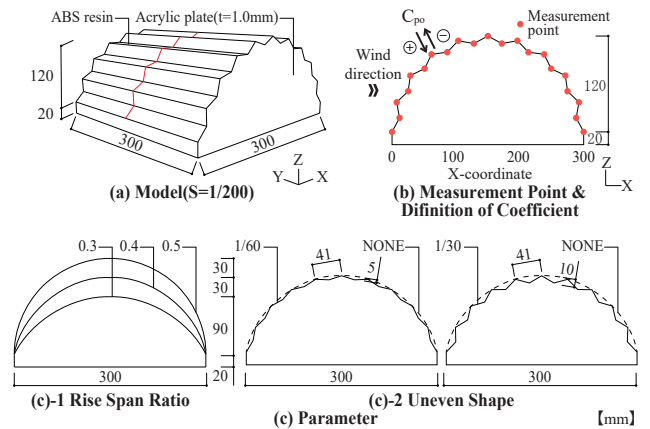


Figure 1. Outline of Wind Tunnel Test Model

Table 1 Conditions of Wind Tunnel Test

Wind tunnel device	Eiffel type wind tunnel device (1.2m×0.9m)
Air Flow	Boundary layer turbulence (category of surface roughness III)
Wind velocity	6m/s at z=80mm (around the test model)
Velocity gradient α	$\alpha=0.2$
Sampling frequency / time	400Hz / 20.0sec
Model scale	L=300mm, H=140mm (S = 1 / 200)
Model type	Close model

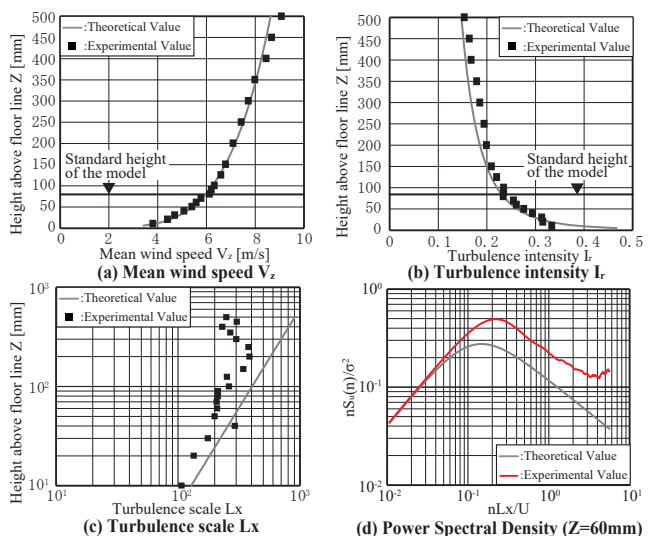


Figure 2. Window flow conditions in the wind tunnel tests

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・上席研究員 2 : 日大理工・院(前)・建築

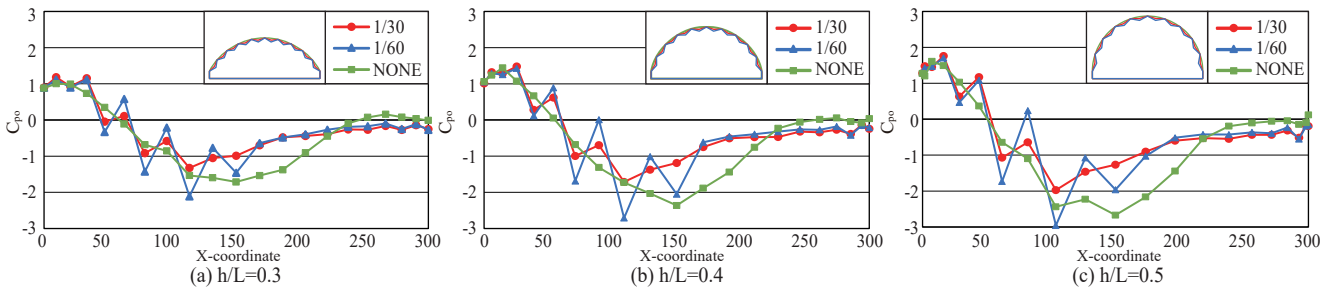


Figure 3. Comparison of average external pressure coefficients for different uneven geometries

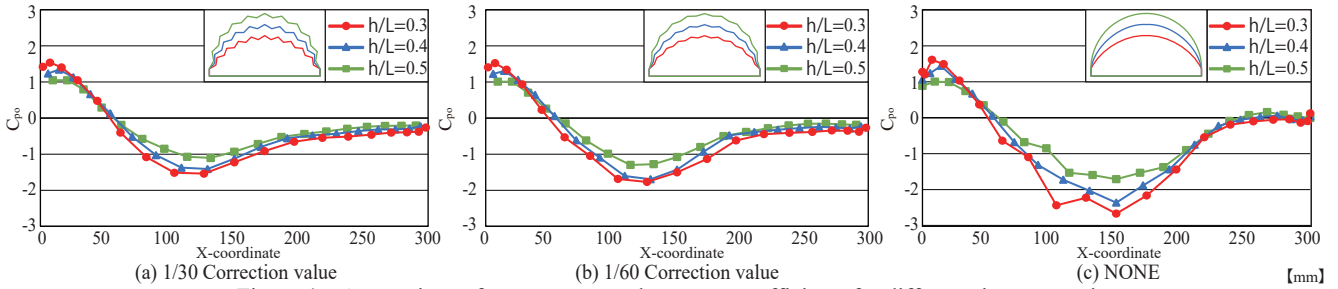


Figure 4. Comparison of average external pressure coefficients for different rise-span ratios

ね再現できるとしている。既報^[2]より、アーチの曲率半径の2倍を代表長さとする、本モデルでは、風速6m/s時にレイノルズ数が 1.01×10^6 となる。また、NONEモデルを用いた事前実験において、風速6m/sの一様流下では、風速11m/sと比較して風圧性状に大きな変化はなかったため、基準高さ ($Z=80\text{mm}$) における風速を6m/sとした。

Fig. 2に模型設置位置での測定気流を示す。風速、乱れ強さは指針値^[3]と概ね一致している。一方、乱れのスケール、パワースペクトル密度は、指針値より大きい値を示しているが、本実験では考慮していない。基準速度圧は模型の影響を受けない風洞床上400mmの位置で測定し、風速の鉛直分布を考慮して模型基準高さでの値に換算した。測定は、サンプリング周波数400Hzで約20秒間（フルスケール換算で約10分）とし、全点同時測定を行った。

3. 実験結果および考察

3-1. 凹凸形状による比較

Fig. 3に各h/Lにおける平均外圧係数を示す。NONEではh/Lによらず150mm、1/30と1/60は約110mmの位置で負圧が最大を示していることから、風の剥離が生じていると考えられる。通常、曲面に表面粗度を設ける場合、剥離点が後方に移動する事が知られている。しかし、本報で対象としたモデルでは凹凸形状が比較的大きいため、凸部での剥離が生じやすく、頂点部手前の凸部で剥離が生じたと考えられる。また、風上において、1/30と1/60はNONEより凸部で負圧側、凹部で正圧側に大きな外圧係数を示す傾向にある。加えて、1/30よりも1/60の方が凹凸部の差が顕著に表れることが確認された。これは、凹凸部が深い1/30の場合、多くの風が凹部に滞留するため、屋根表面を流れる風の影響を受けにくくなったためと考えられる。

3-2. ライズパン比による比較

Fig. 4に各凹凸形状の平均外圧係数の比較を示す。図中

に示す平均外圧係数の値は、Fig. 3の隣り合う凹部と凸部の平均値(Correction value)より算定している。全モデルにおいて風上で正圧が作用し、以降の領域では負圧が作用している。また、負圧は頂点部付近で最大値を示し、h/Lが大きいほど負圧が大きくなり、最大を示す位置は風上側に移動する傾向にある。これは、Fig. 2(a)よりh/Lの大きいモデルにおいて頂点部の風速が増加することにより、負圧の増大や、剥離現象の促進が生じたものと考えられる。加えて、1/30と1/60はNONEより圧力勾配が比較的滑らかになっており、変曲点が確認出来ない。これは凹凸を有する屋根周辺付近の乱流境界層が発達したことで、剥離による風圧力への影響が、モデル全体に拡大したためと考えられる。

Fig. 4よりh/L=0.4の最大負圧を凹凸形状で比較すると、1/30と1/60はNONEよりそれぞれ約40%、30%低減されていることが確認され、屋根面に凹凸形状を設けることで風荷重が低減されることが示唆された。

4. まとめ

本報では、風洞実験により、屋根面に凹凸を有する場合、風圧力低減に効果的であること、風圧力とh/Lとの関係性について報告した。今後は、実験結果を基に風応答解析を実施する予定である。

参考文献

- [1]青木克己：「ゴルフボールのディンプル構造に対する飛翔距離とボール周りの流れ」、日本風工学会誌, pp.61-67, 2004.7
- [2]P.A.Macdonald et al: Wind loads on circular storage bins, silos and tanks : I. Point pressure measurements on isolated structures, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.31, pp.165-187,1988
- [3]日本建築学会：建築物荷重指針・同解説, 2015.2