

HP曲面張力膜構造の風応答性状に関する研究
(その2) レイノルズ数が動的応答に及ぼす影響について

Study on Wind Response on HP-Shaped Membrane Roof
(Part2) Effect of Reynolds Number on Dynamic Response of Membrane

○松本良太⁵, 岡田章¹, 神田亮², 宮里直也¹, 吉野誠一⁴, 総谷友昭⁵, 斎藤公男³

*Ryota Matsumoto⁵, Akira Okada¹, Kanda Makoto², Naoya Miyasato¹, Seiichi Yoshino⁶, Tomoaki Kaseya⁵, Masao Saitoh³

Abstract: In this paper, the authors make a comparison between static response analysis and dynamic response analysis using the results of wind tunnel test to indicate the gust factor based on the stress of the membrane for effect of Reynolds number on the membrane.

1. はじめに

通常、膜構造の設計においては、構造骨組用風荷重および外装材用風荷重の両方の設計用風荷重に対して設計が行われている³⁾。しかし、膜構造は連続体であり、変形を伴いながら応力を伝える柔軟な構造物であるため、現状の法規に示された風荷重の妥当性は明らかにされていない。さらに、本構造物は上述のような特徴を有するため、レイノルズ数の変化が膜面に及ぼす影響は不明確である。以上のことから、本論では(その1)で得られた風圧分布性状を用いて、静的および動的応答解析を行い、膜構造の耐風設計の基本的知見を得ることを目的にすると共に、レイノルズ数の変化が膜面に及ぼす影響を把握することを目的とする。

2. 数値解析概要

Fig. 1に数値解析概要を示す。対象とする形状は10m×10mの矩形平面を有するHP張力膜である。解析モデルは、4辺を剛な梁で囲った梁境界とし、サグ・スパン比(s/L)は0.05, 0.10, 0.15の3タイプを対象とする。荷重は、(その1)で報告した風洞実験から得られた風力係数を用いて基準速度圧と負担面積を乗じて算出した。基準速度圧の算定には、軒高さでの基準風速27m/sを用いた。また、動的応答解析の減衰はReyleigh減衰とし、減衰定数は文献^{4,5)}より1次, 2次モード共に3%と設定した。なお、本モデルの固有振動数は[s/L=0.05]で3.7Hz, [s/L=0.10]で5.1Hz, [s/L=0.15]で6.6Hzである。

3. 静的応答解析結果

Fig. 2に静的応答解析結果の膜主応力コンター図を示す。各風向で同様の結果が得られたため、本論では風向45度のみを報告する。すべてのモデルで同様の応力分布がみられたが、サグ・スパン比が大きくなるに従って、膜主応力が増加する傾向が把握された。また、Fig. 3に各パラメータの最大膜主応力を示す。どのサグ・スパン比においても風向による同様の傾向がみられ、サグ・スパン比が大きくなるにつれてその影響が大きいことが把握された。また、静的応答ではレイノルズ数の変化による影響はほとんど見られず、その傾向も把握できなかった。

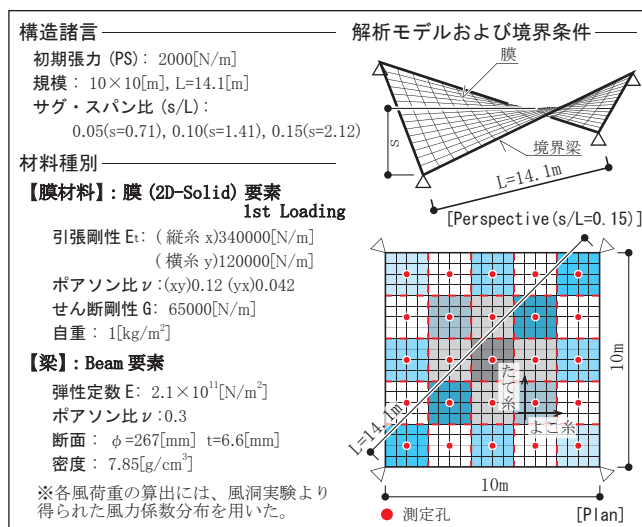


Figure1. Outline of Numerical Analysis Models

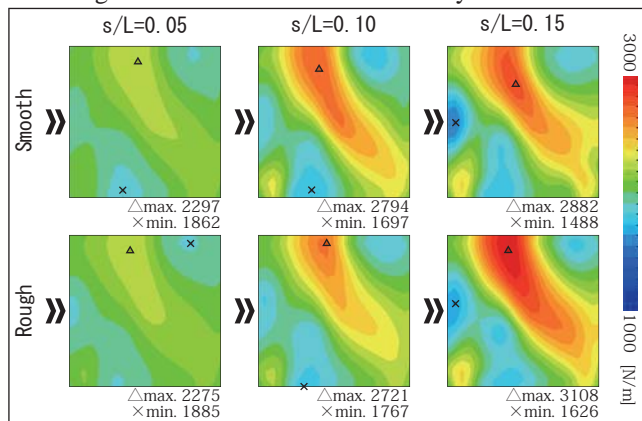


Figure2. Effective Stress from Static Response Analysis

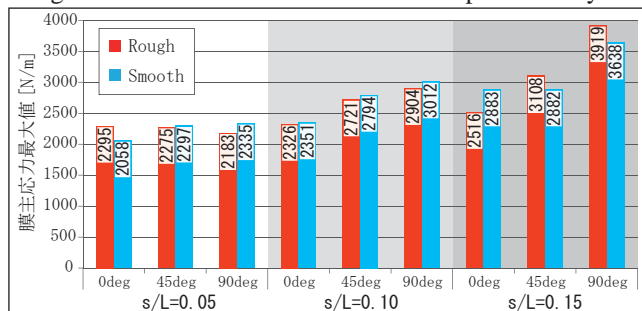


Figure3. Maximum value of Effective Stress from Static Response Analysis

1: 日大理工・教員・建築 2: 日大生産工・教員・建築工 3: 日大名譽教授 4: 日大理工・院(後)・建築 5: 日大理工・院(前)・建築

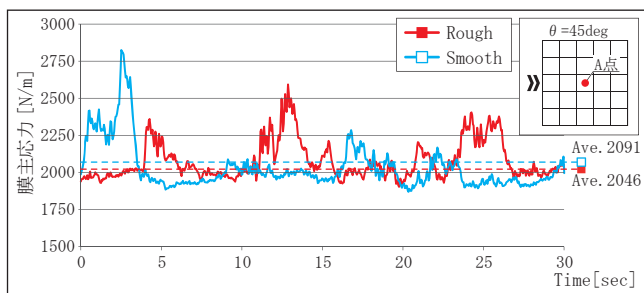


Figure4. Time History of Effective Stress; $s/L=0.10$

4. 動的応答解析結果

Fig. 4に $s/L=0.10$ の風向45度における膜面中央A点の膜主応力の時刻歴応答を示す。ここでは総測定時間600秒のうち0~30秒の結果を示す。レイノルズ数の変化に対しては、膜主応力の変動に大きな変化は見られなかった。また、時刻歴応答の全測定時間に対する平均値は静的応答値と概ね一致していることが把握された。

5. 静的応答解析結果と動的応答解析結果の比較

通常の膜構造の設計では、風圧力の平均成分に建築基準法で定められたガスト影響係数を乗じた荷重に対する静的応答解析より膜応力を算定し、その最大値から設計が行われる。しかし、膜構造の場合膜面全体で外力に抵抗する特徴を有するため、時刻歴応答解析から得られる荷重効果の平均成分と、静的応答解析の結果は必ずしも一致しない。そこで、本論では既往の研究で定義された「膜設計用ガスト影響係数 G_{fm} 」を算出し、解析結果の比較を行う。 G_{fm} は膜面全体を一部材とみなし、静的応答解析から得られる最大膜主応力 $\sigma_{static-max}$ と、時刻歴応答解析から得られる各要素(全400要素)ごとの最大膜主応力 $\sigma_{dynamic-max}$ との比から算出される⁶⁾。

Fig. 5に各風向の風荷重作用時におけるエリア別 G_{fm} を示す。 G_{fm} が過大となる点は静的応答の最大値と概ね一致しており、いずれも中央に位置するエリアで大きくなる傾向が把握できた。また、ほとんどのパラメータでレイノルズ数の変化による影響は確認できない。

Fig. 6に5回測定の実パラメータにおける最大 G_{fm} を示す。サグ・スパン比の増加と共に、 G_{fm} が大きくなる傾向が得られた。また $s/L=0.10$, $\theta=0^\circ$ の場合、レイノルズ数の変化による影響を大きく受ける性状も示されているが、その他の場合においては、影響は小さいことが把握され、本検討においては、レイノルズ数が膜面に及ぼす影響は小さいとみなしても設計上差しつかえないと判断できる。また、建築基準法のガスト影響係数($G_f=2.5$)との比較より、 $s/L=0.15$ では危険側の評価になる可能性があることが示唆された。

6. まとめと今後の検討

HP張力膜における風荷重に対する静的と動的応答の比較を行い、レイノルズ数が膜面に及ぼす影響を把握した。本検討ではレイノルズ数の影響は小さいことが知見として得られた。今後の検討として、境界条件・初期張力・風向をパラメータとした検討を行い、より幅広い比較を行う必要があると考えられる。

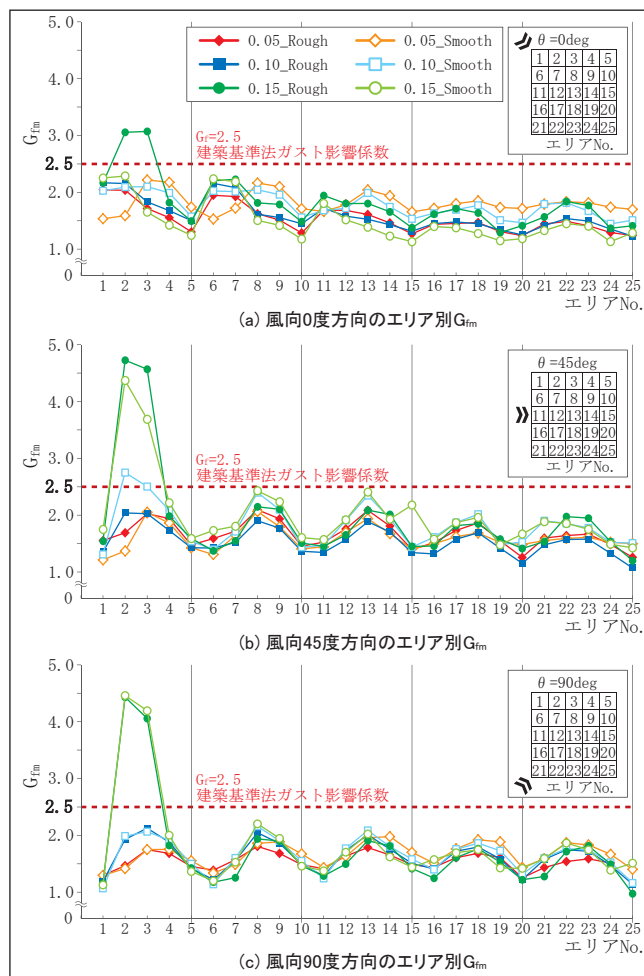


Figure5. G_{fm} value in Each Element

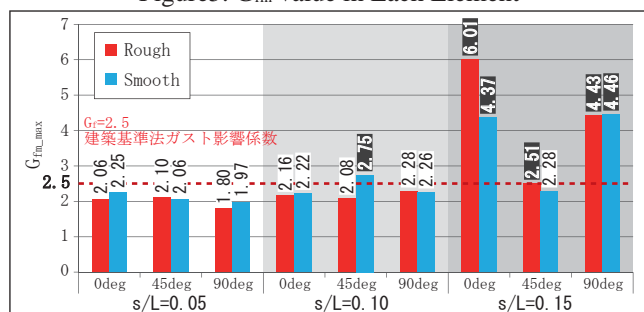


Figure6. Maximum Value of G_{fm}

<<謝辞>>

風洞実験にご協力いただいた、日本大学生産工学部建築工学科神田研究室各位に感謝の意を表します。

【参考文献】

- [1]野田博,長谷川功,寒川慎也,作田美知子:球形ドームに作用する風圧特性と屋内気流性状に関する研究,三井住友建設技術研究所報告第2号,2002
- [2]建築物荷重指針・同解説2004,(社)日本建築学会,2004.9
- [3]国土交通省国土技術政策総合研究所,他監修,(社)日本膜構造協会,他編集:膜構造建築物・膜材料等の技術基準及び同解説,海文堂出版株式会社,2003.5
- [4]日本建築学会:空間構造の動的挙動と耐震設計,日本建築学会,2006.3
- [5]立道郁生:空間構造の地震応答制御に関する研究,学位請求論文,2001.3
- [6]永井佑季,岡田章,神田亮,宮里直也,斎藤公男: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,日本建築学構造系論文集, No. 672, 2012.2