

B-12

ホルン型張力膜構造の風応答性状に関する研究

-ガスト影響係数及びピークファクターの算出-

Study on Wind Response on Horn Shaped Membrane Structure

-Calculate The Gust Factor and The Peak Factor-

○ 梶谷友昭⁴, 岡田章¹, 神田亮², 宮里直也¹, 廣石秀造¹, 中川梨菜⁴, 斎藤公男³

*Tomoaki Kaseya⁴, Akira Okada¹, Kanda Makoto², Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi¹, Rina Nakagawa⁴, Masao Saitoh³

Abstract :Wind load is most dominant load for light-weight structure such as membrane roofs. Particularly since the membrane structure has a characteristic of low stiffness and needs the initial tensile force to resist the wind load, The problem of applying gust effect factor provided by The Building Standard Law of Japan to membrane structure is pointed out by references. In this paper, the authors focus on dynamic response, and calculate the gust factor and the peak factor based on stress of the membrane.

1. はじめに

ホルン型張力膜構造(以下,ホルン型張力膜と称す)は,軽量で風荷重が支配的となるため,膜面の動的な振幅や応力変動を考慮した耐風設計が重要となる.また,膜材は外装材かつ構造材であるため,膜構造の耐風設計では,構造骨組用風荷重及び外装材用風荷重の両方の荷重に対して設計が行われている.しかし,膜構造は比較的広い支持点に囲まれた領域における最大膜応力に対して設計が行われ,局所的な荷重に対しては,膜面全体で変形を伴い応力を伝達する構造であるため,告示に示されたガスト影響係数を用いた風荷重評価の適用の問題が文献^[1]でも指摘されている.このため,上記の特徴や初期張力が寄与する膜面の幾何剛性を考慮した設計用風荷重の評価方法の検討が必要であると考えられる.

以上の観点から,本研究では,張力膜構造の耐風設計における設計用風荷重の評価を目的とし,既往の風洞実験^[1]より得られた変動風圧力を用い時刻歴応答解析を行い,ホルン型張力膜の動的応答性状の把握を行う.また,得られた荷重効果より荷重効果のガスト影響係数 G_s ,及び統計的応答評価において最大値の評価に用いられる係数であるピークファクター g_R の算出結果を示す.ここでピークファクター g_R は,剛な曲面屋根に作用する風の剥離や再付着を考慮した風荷重評価法であるピークファクター法における変動風圧力から算出するピークファクター g に対応するもので,同方法を柔な構造物に応用するため,動的応答から算出した荷重効果として位置付けられる.

2. 風洞実験の概要

変動風圧力は,日本大学生産工学部のエッフェル型境界層風洞装置にて測定した.模型概要をFig. 2に示す.対象モデルは,10m×10mの矩形平面を有するライズ・スパン比(h/L)0.2のホルン型張力膜であり,下部構造(壁)が無い開放型と,下部構造(壁)を有する閉鎖型とした.模型はアクリル製の剛模型で,屋根面に上下面25点ずつの測定孔を設けた(模型の縮尺率:1/100).実験気流は,建築物荷重指針^[2]における地表面粗度区分Ⅲ相当の境界層乱流とし,測定はサンプリング周波数を500Hzとして約30秒間行った.風洞実験結果については参考文献^[1]を参照されたい.

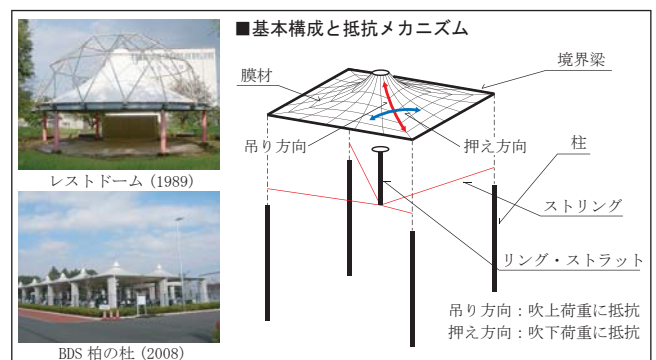


Figure 1. Horn-Shaped Membrane Structure

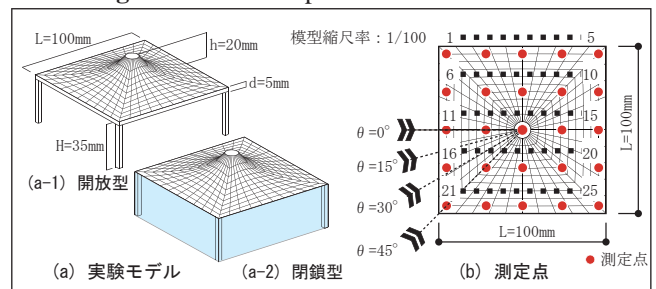


Figure 2. Outline of Wind Tunnel Test

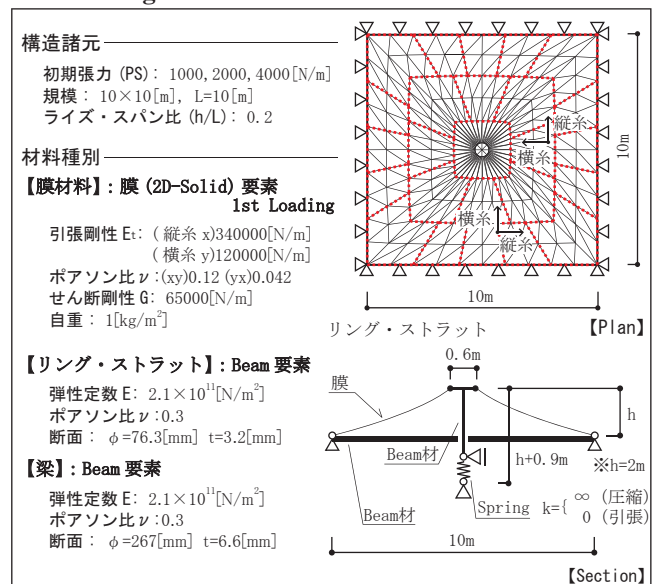


Figure 3. Outline of Numerical Analysis Model

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大生産工・教員・建築工 3 : 日大名誉教授 4 : 日大理工・院・建築

3. 数値解析概要

Fig. 3に数値解析概要を示す. 解析対象は風洞実験の対象と同一の架構である. 荷重は風洞実験で得られた変動風圧より算出した風力係数に基準速度圧と負担面積を乗じて算定した. また, 時刻歴の風力係数を用いた時刻歴応答解析, 全時刻で平均化した風力係数を用いた静的応答解析を行った. 減衰は, 1次, 2次の減衰定数を3%としたRayleigh減衰と仮定した. なお, 1次固有振動数はPS1000N/mで6.4Hz, PS2000N/mで7.6Hz, PS4000N/mで9.2Hzである.

4. 荷重効果と相対度数分布

Fig. 4に各パラメータごとの最大膜応力, 平均膜応力および膜応力の標準偏差(それぞれ5回計測の結果のアンサンブル平均値)を示す. 下部構造の有無で比較すると, 最大膜応力は値に差異が生じるのに対し, 平均膜応力と膜応力の標準偏差は概ね同様な値を示した. 一方, 初期張力で比較すると, 最大膜応力は概ね一定の値を示すのに対し, 平均膜応力は初期張力の増加に伴い増加し, 膜応力の標準偏差は初期張力の増加に伴い減少する傾向が得られた.

Fig. 5に風向0度時の膜応力の相対度数分布を示す. 閉鎖型のPS1000, PS2000を除き, 分布は概ね正規分布で評価できると考えられる.

5. 荷重効果のガスト影響係数 G_e .

Fig. 6に各パラメータごとの荷重効果のガスト影響係数 G_e を示す. G_e は10分間相当のデータから, 最大膜応力の発生した要素における最大膜応力 σ_{max} と平均膜応力 $\bar{\sigma}$ を用いて式(1)で定義した.

$$G_e = \frac{\sigma_{max}}{\bar{\sigma}} \quad (1)$$

告示に示されている G_f 値(2.5)と比較すると, 概ね荷重効果の G_e 値を評価できるが, 閉鎖型の初期張力が小さい場合は危険側となっている.

6. 荷重効果のピークファクター g_R

Fig. 7に各パラメータごとの荷重効果のピークファクター g_R を示す. g_R は10分間相当のデータから, 最大膜応力の発生した要素における最大膜応力 σ_{max} と平均膜応力 $\bar{\sigma}$ および標準偏差 σ_{sd} を用いて式(2)で定義した.

$$g_R = \frac{\sigma_{max} - \bar{\sigma}}{\sigma_{sd}} \quad (2)$$

荷重効果の g_R は4~6程度となり, 一般に言われている3~3.5を上回る結果となった. また, アンサンブル平均値に着目すると, g_R は初期張力や下部構造の有無による影響が少ない傾向が得られた.

7. まとめと今後の検討

ホルン型張力膜の荷重効果のうち膜応力に着目し, 幾何学的非線形性や動的応答を考慮したガスト影響係数 G_e およびピークファクター g_R を算出し傾向を把握した. 今後の検討として, 実施例の多い連結型のホルン型張力膜構造に関しても同様の検討を行い, 荷重効果のピークファクターを用いた風荷重の評価について検討を進める予定である.

【参考文献】

- [1]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」,日本建築学構造系論文集, No. 672, pp. 211-219, 2012. 2
- [2](社)日本建築学会:「建築物荷重指針・同解説2004」, 2004. 9
- [3]大熊,神田,田村:「建築物の耐風設計」, 鹿島出版会, 1996
- [4]植松,ニコラス:「低層建築物に作用する局部風圧力に関する研究 その4 文献調査」, 日本風工学会誌, 第78号, 1999. 1

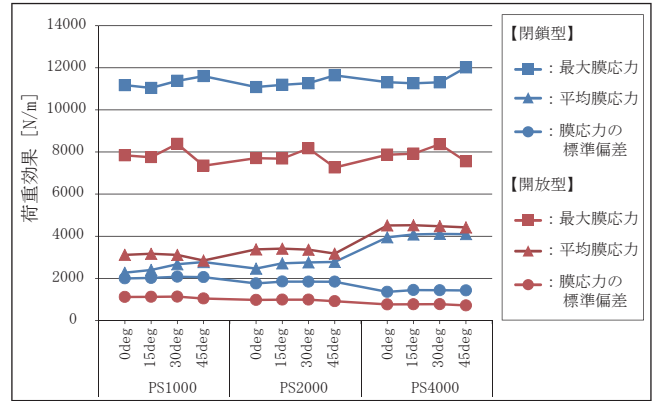


Figure 4. Results of Numerical Analysis

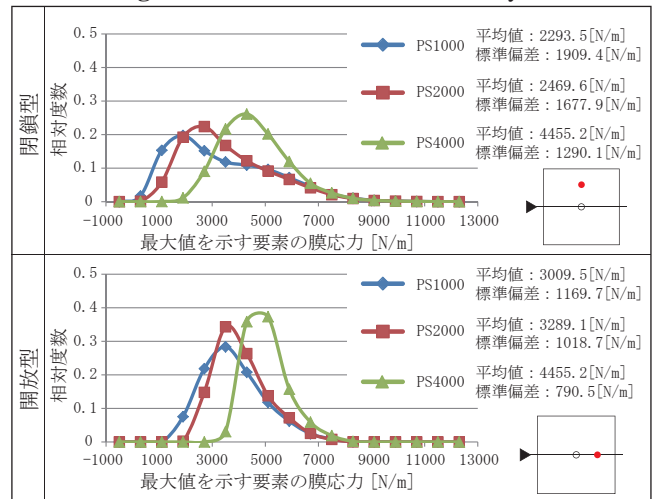


Figure 5. Relative Frequency Distribution(0deg, Wave 1)

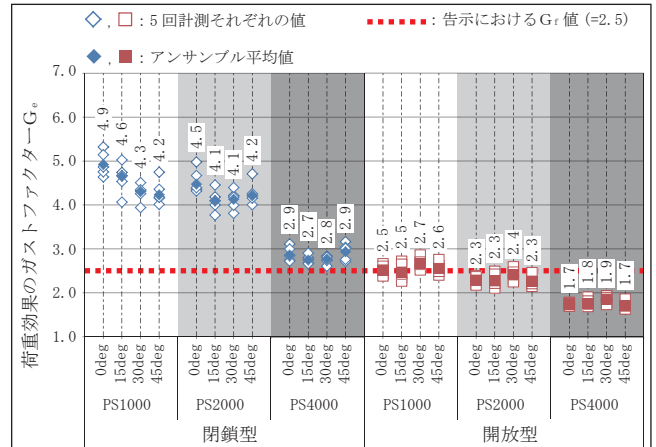


Figure 6. Values of Gust Factor

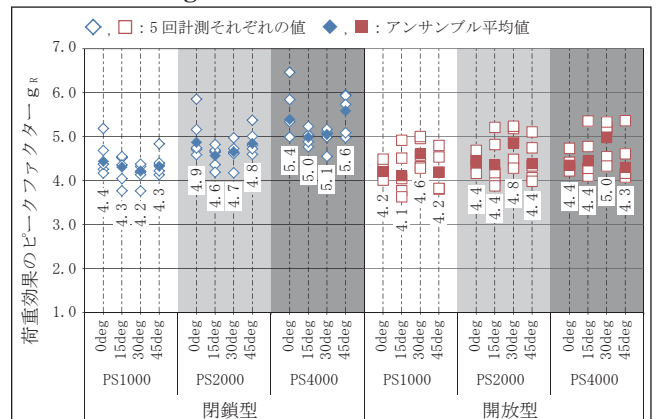


Figure 7. Values of Peak Factor