

開放型ホルン形状張力膜構造の設計用風荷重に関する基礎的研究

一様流・一様乱流を用いた風洞実験と実験結果を用いた応力変形性状について

永井 佑季^{*1} 福田 隆徳^{*4}
岡田 章^{*2} 斎藤 公男^{*5}
宮里 直也^{*3}

梗概

膜構造は軽量構造であることから、一般に風荷重が支配的となる。特に、ホルン型張力膜は、二方向の曲率を有する複雑な形態であり、円柱や四角柱に比べ特殊な形状であることから、その周囲に複雑な気流が形成されることが予想される。本論では、下部構造(壁)を持たない「開放型」で、かつ1ユニットで構成される「独立型」を対象として、一様流、一様乱流中における風洞実験を行い、その結果から得られた平均風力係数とピーク風力係数を提示する。さらに、実験より得られた風力係数分布を用いて数値解析を行い、その応答結果と共に、本構造における設計用風荷重と本構造に対する風洞実験手法に関する考察を行う。

1. はじめに

膜構造は、空気膜構造と張力膜構造(テンション膜構造)に大別され、さらに張力膜構造はサスペンション膜構造と骨組膜構造に分類されることが一般的である。一方、張力膜構造はガウス曲率が負であるHP曲面、あるいはホルン曲面を基本曲面としている。特に本論文で対象とする矩形平面のホルン形状の張力膜構造(以下、「ホルン型張力膜」と称す)は、当該部分を1ユニットとして連結配置することで、各種の平面の規模と形状に適用が可能という設計上の利点を有する。

ホルン型張力膜は、従来、形状決定手法、応力解析手法、設計手法など多くの研究が成されてきており、国内外を問わず多くの実施例が存在する(図1)。本構造に関しては、斎藤ら¹⁻²⁾により、最初に研究テーマとして注目され、その基本的力学性状と共に、特徴的な初期応力分布、数値解析手法などの成果が報告されている。また、ホルン型張力膜を応用した開発的研究や報告³⁻⁶⁾もなされている。近年ではホルン型の中央部のストラットにばねを付加した構造システムや、膜の応力弛緩に関する研究についても中島・斎藤らにより報告されている⁶⁻⁷⁾。

膜構造は軽量構造であることから、一般に風荷重が支配的となる。特に、ホルン型張力膜は、二方向の曲率を有する複雑な形態であり、円柱や四角柱に比べ特殊な形状であることから、その周囲に複雑な気流が形成されることが予想され

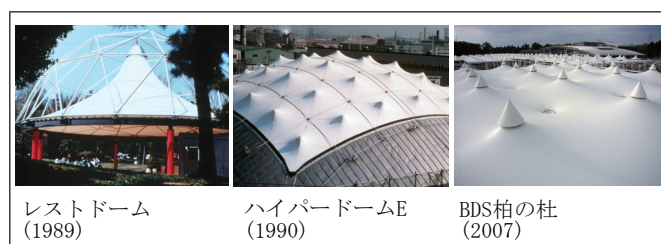


図1 ホルン型張力膜構造を用いた実施例

る。また、特殊な形状であるゆえに、建築基準法や荷重指針には、設計用風力係数は記載されていない。さらに、多くの実施物件があるにも関わらず風力係数分布等の基礎データは著者らの知る限り少なく、つくば万博駅前シェルターに関する報告⁸⁾の一部にその風洞実験結果が記載されているに留まる。さらに、膜構造に関する指針⁹⁾にもホルン型張力膜の風力係数分布に関する記述はない。また、海外にも類似した形状の空力特性に関する論文は存在するが、日本における風荷重の算定手法は、ヨーロッパ等とは異なる部分が多く、日本の法規に則った検討が必要であると考えられる。

これらの状況を踏まえ、著者らは2006年より約4年にわたり数々のホルン型張力膜に関する風洞実験を行い、その研究成果を報告してきた¹⁰⁻¹⁶⁾。図2は、建築基準法¹⁷⁾、荷重指針¹⁸⁾から作成したホルン型張力膜の風荷重の算定フローと

*1 日本大学大学院理工学研究科 大学院生
日本学術振興会 特別研究員・工修
*2 日本大学理工学部建築学科 教授・工博
*3 日本大学理工学部建築学科 助教・工博

*4 株式会社山下設計・工修
*5 日本大学 名誉教授・工博

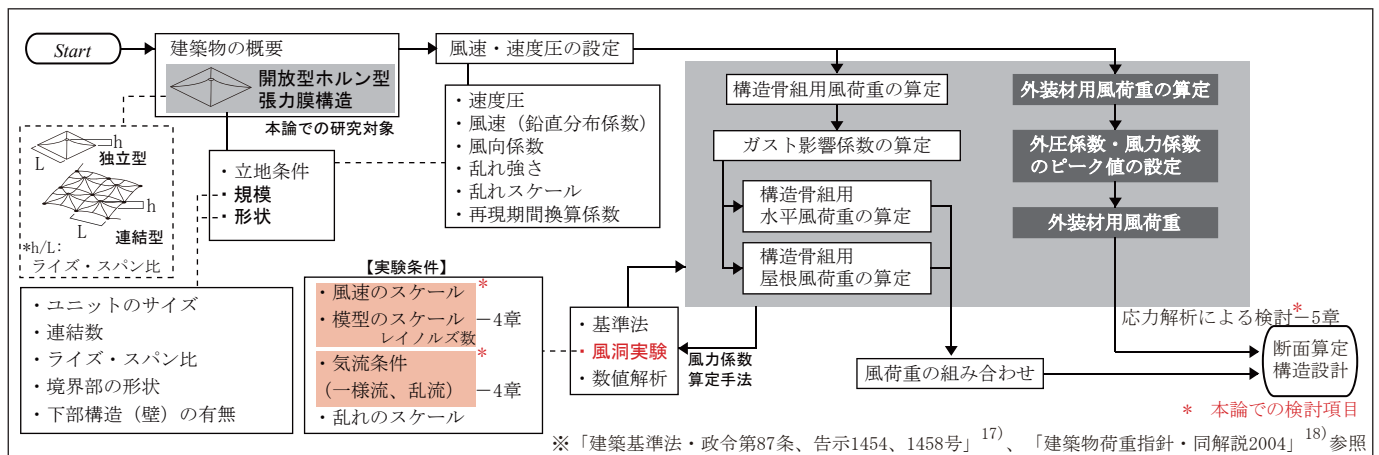


図2 ホルン型張力膜構造の設計用風荷重算定フローの概略と本論での検討項目

本研究との関係をまとめたものである。現在まで、ホルン型張力膜のライズ・スパン比、連結数等の形状をパラメータにしたものから、乱流、一様流と気流条件をパラメータにしたものを行ってきた。

本論では、これまで実施してきたホルン型張力膜の実験の中から下部構造（壁）を持たないモデル「開放型」で、かつ1ユニットのみで構成される「独立型」を対象とした。

2章と3章の本論で対象とする形状と記号および座標の定義に続いて、4章では風洞実験を行い、4-1では一様流中、4-2では一様乱流中でのホルン型張力膜周囲の風力係数分布の結果について報告する。さらに5章では、4章で得た平均風力係数とピーク風力係数を用いて数値解析を行い、その応答結果を示す。これらの結果から、本構造における設計用風荷重と本構造に対する風洞実験手法に関する考察を行う。

2. 本論文で対象とするホルン型張力膜の形状

本論で対象とするホルン型張力膜の形状とその決定手法の概要を図3に示す。ホルン型張力膜の中でも矩形平面を有するものを対象とし、その膜形状は、FEM解析による形状解析を行うことにより算出した。形状解析は、既往の研究¹⁾²⁾、指針⁹⁾を参考として、解析に用いる膜材料は極めて柔らかい材料を定義した。一方で、膜面中央のストラット部は剛な部材とし、膜面中央部を鉛直方向へ強制変位させることにより釣合い形状を算出した。なお本論で取り扱うモデルは屋根頂点部に開口を有さないものとした。

3. 本論文に使用する記号および座標系

本論で取り扱う記号の定義を図4に示す。風力係数、上面風圧係数、下面風圧係数を C_f 、 C_{po} 、 C_{pi} と表す。風力係数は、測定した平均風圧係数を、一様流時にはピット管で得た平均速度圧で、乱流時には屋根軒高で得た平均速度圧で除した値とした。さらにピーク風圧係数は、測定したピーク風圧力を平均速度圧で除すことにより算出した。このとき、風力係数 C_f は上面風圧係数 C_{po} から下面風圧係数 C_{pi} を差し引くことにより算出した。また、風力係数と風圧係数に関する符号

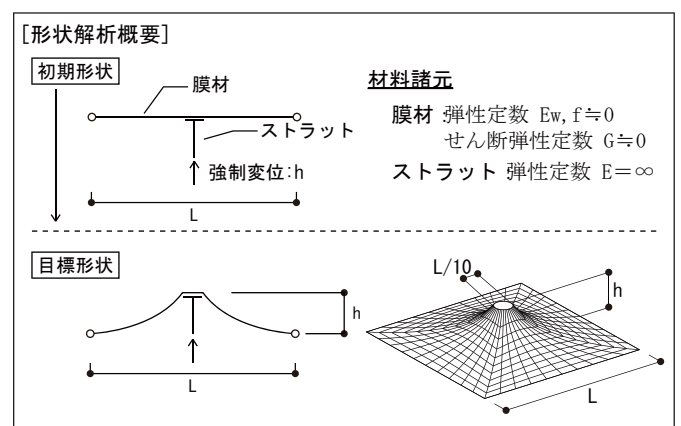


図3 本論で対象とするホルン型張力膜の形状とその形状決定手法

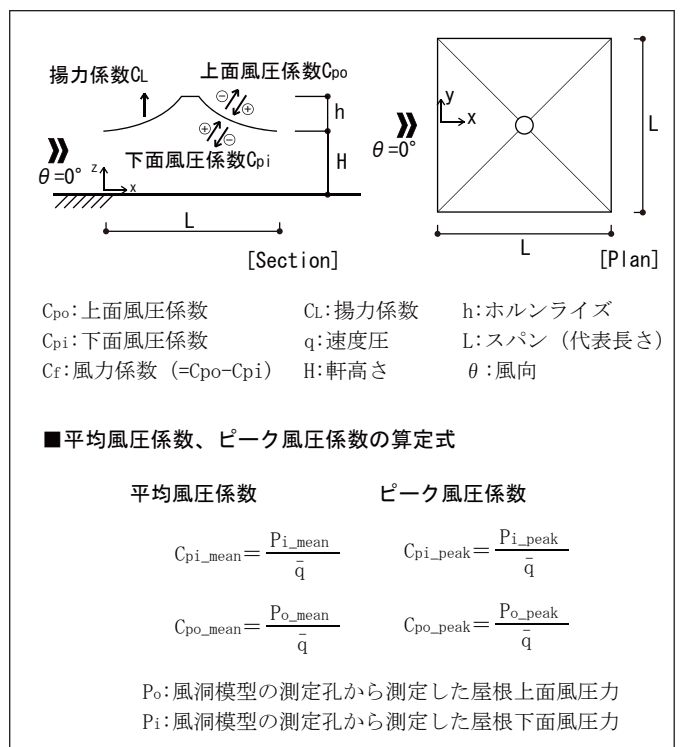


図4 本論中における記号の定義

は、屋根面を押す方向を正とし、屋根面を引く方向を負と定義した。

また本論文での揚力係数 C_L とは、下式(1)に示すようにホルン型張力膜一辺の長さを L と定義したとき、風力係数とその負担する面積の水平投影面積の積の和をホルン型張力膜全体の水平投影面積 A と速度圧 q で除した値とした。

$$C_L = \frac{\sum (C_{fi} \times A_i)}{(L^2 \cdot q)}$$
$$= \frac{\sum (C_{fi} \times A_i)}{(A \cdot q)}$$

(1)

4. 風洞実験

4-1. 一様流中における風洞実験

本章では、一様流中における平均風力係数を算出することを目的として、風洞実験を行った。また、ここでは、模型サイズと風速をパラメータにとり、レイノルズ数の変化による風圧力分布特性の確認を行うものとする。

4-1-1. 実験概要

本論で取り扱う全ての実験は、日本大学理工学研究所空気力学研究センターの2m×2mの断面を有するゲッチング型風洞装置により行った。圧力測定孔を有するアクリル製剛模型から圧力を測定し、一様流中での実験ではピトー管より得られた速度圧を用いて風力係数を算出した。実験装置概要を図5に示す。図6に風速6m/s、12m/s時の平均風速のプロファイルを示す。実験気流は、風洞実験装置の床面から40mm程度までは速度勾配が確認されたが、屋根面下端部では十分に一様流となっていることから、一様流とみなした。実験モデルは、膜部分のライズ・スパン比(h/L)を0.2として、主な実験パラメータは模型サイズ(200×200mm、300×300mm、600×600mm)、実験風速(4m/sec～15m/sec)等を設定した(図7、表1)。測定点は模型の対称性を考慮し、半面にのみ設けた。なお、600×600mmモデルには、200×200mm、300×300mmモデルの約2倍の測定点を配置した。

ここで、気流と建物まわりの風力係数分布は、代表風速 U [m/sec]、代表長さ L [m]、動粘性係数 ν [m²/sec]とする場合、次式のレイノルズ数 Re に依存するとされている。

$$Re = U L / \nu$$

(2)

これまでレイノルズ数に関する研究・報告は多数存在し、一般に隅角部を有する建物ではレイノルズ数の影響が少ないとされているが、本論で対象とする曲面形状を有し、かつ屋根の下への遮蔽物のない場合、少なからずレイノルズ数の影響が存在すると考えられる。

以上の点を踏まえて本章では、ホルン型張力膜を対象とする風洞実験において、模型規模、風速が風力係数分布へ及ぼす影響を確認し、一様流下での風力係数分布を示すこととする。なお、ここで取り扱うレイノルズ数は、 $\nu = 0.145 \times 10^{-4}$ [m²/sec] (15℃時) としたとき、 $Re = 5.5 \times 10^4 \sim 6.2 \times 10^5$ の範囲である。

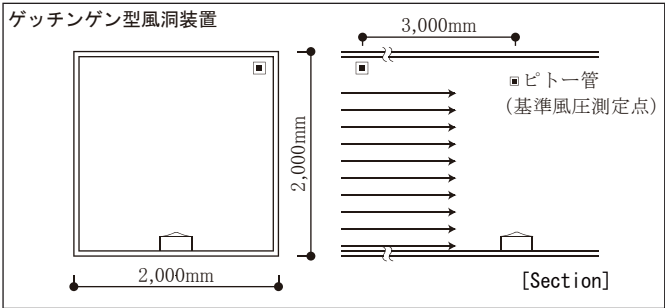


図5 風洞装置と模型設置位置

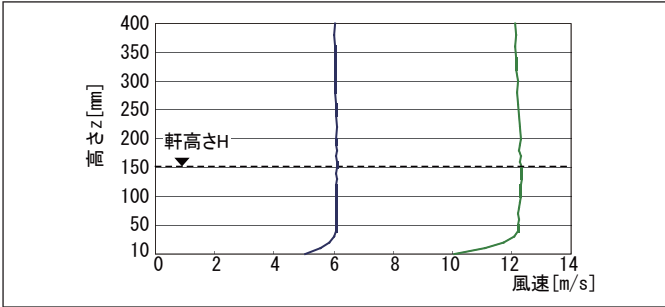


図6 模型設置点の一様流時平均風速分布 (風速6m/s、12m/s)

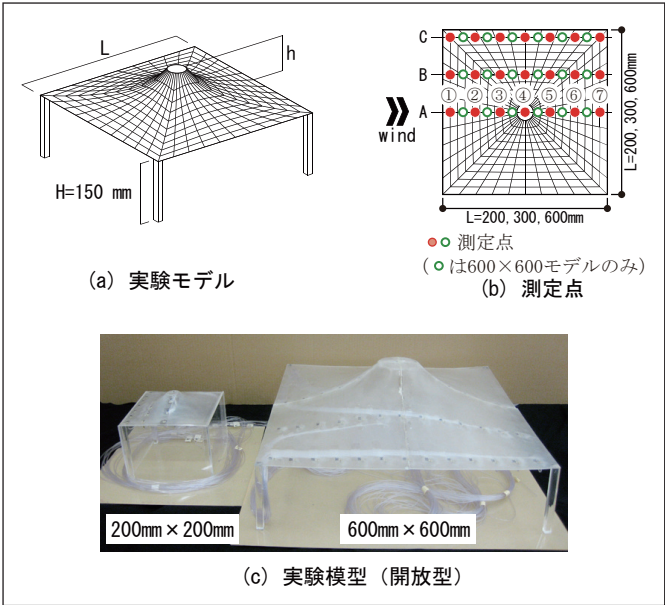


図7 実験概要

表1 実験条件

気流	一様流
実験風速	4, 5, 6, 7. 5, 9, 10, 15m/sec
サンプリング速度	500Hz
サンプリング時間	10sec
ライズ・スパン比 (h/L)	0. 2
模型サイズ	200mm×200mm, 300mm×300mm, 600mm×600mm
風向	0度

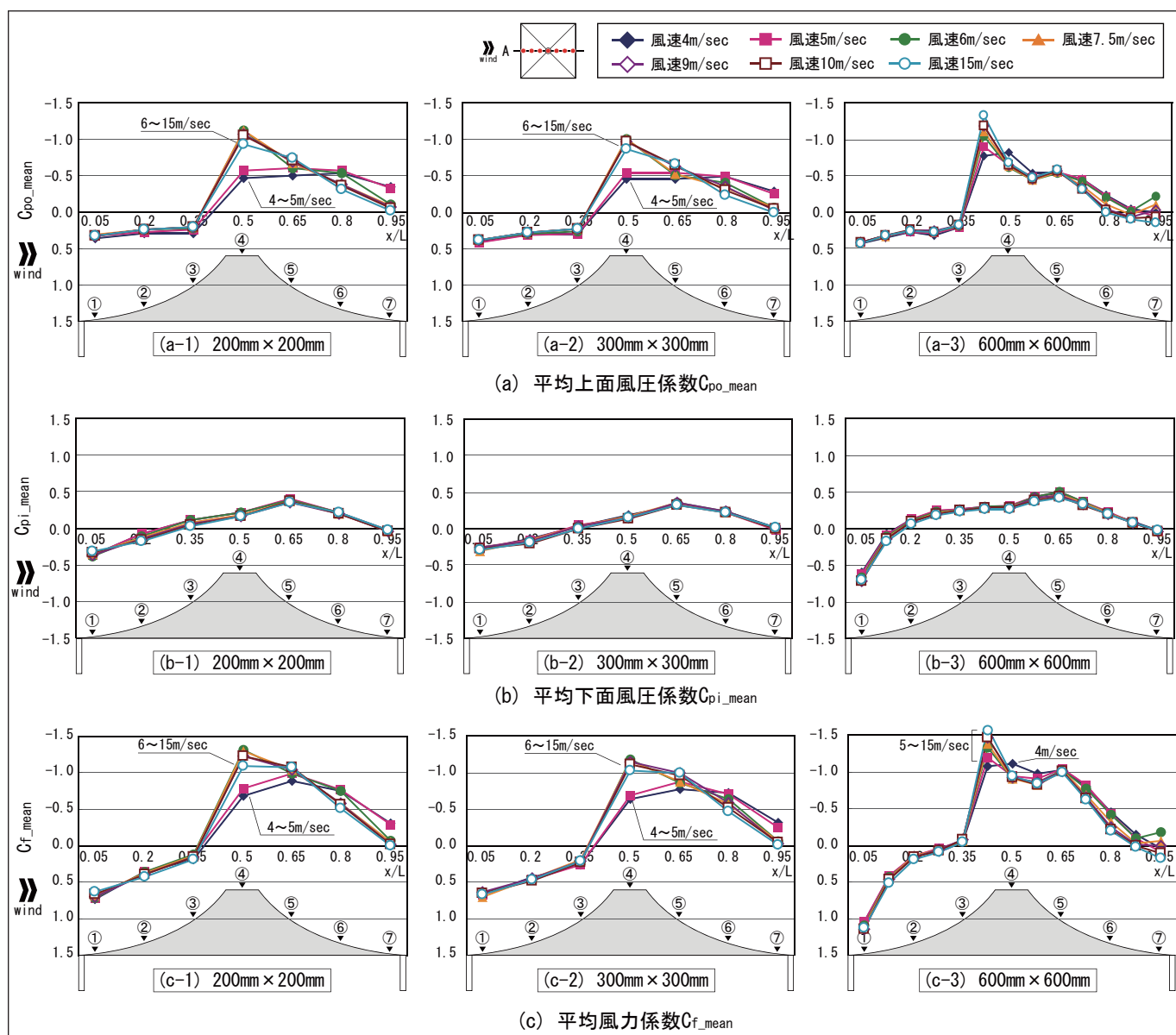


図8 模型サイズ、風速をパラメータとしたA列（中央列）の平均上面風圧係数 C_{po_mean} 、平均下面風圧係数 C_{pi_mean} 、平均風力係数 C_{f_mean} の比較

4-1-2. 実験結果および考察

実験より得た中央列(A列)の平均上面風圧係数 C_{po_mean} 、平均下面風圧係数 C_{pi_mean} 、平均風力係数 C_{f_mean} を図8に示す。縦軸に風圧係数または風力係数を、横軸に風上側の端部から測定点までの距離 x を辺長 L で除して無次元化した値 x/L を示す。

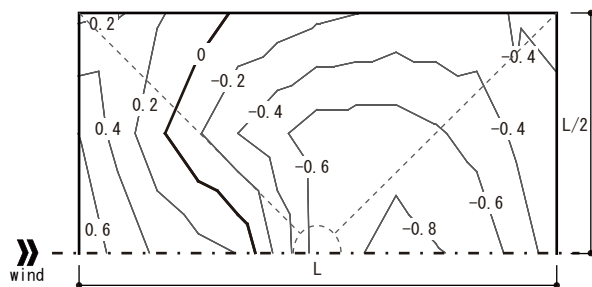
模型サイズと風速の変化に伴い、上面風圧係数の負圧の最大値を示す点が変わっている。具体的には、模型サイズ200mm×200mm、300mm×300mmに着目すると、 $Re=8.2 \times 10^4 \sim 1.2 \times 10^5$ 前後で分布性状が変化する性状が把握された。また測定点③-④間の風圧係数に特徴が表れ、風速の増加に伴い負圧が強くなる結果となった。

一方、下面風圧係数200mm×200mm、300mm×300mmではどのケースもほぼ等しい結果が得られたが、600mm×600mmの

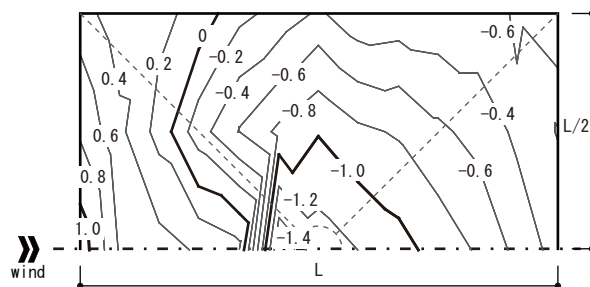
ケースでは他のモデルと異なり、風上側端部で負圧がおおよそ0.5程度大きくなる結果が得られた。これは、地表面の影響と模型の製作精度が一因として挙げられる。

以上より、風力係数の分布性状は上面風圧係数の影響を大きく受け、 $Re=1.2 \times 10^5$ 付近で風圧力分布は変化することが把握された。図9に本実験から得られたライズ・スパン比0.2の $Re \geq 1.2 \times 10^5$ 、 $Re < 1.2 \times 10^5$ の平均風力係数分布を示す。対称性を考慮して、半面の結果を示す。ここで示す分布は、各実験パラメータより得られた結果の絶対値の最大値を用いて作成した。

全体の風力係数の分布傾向は、レイノルズ数によらず一致しているが、風上側端部、および、屋根頂点部付近の値は、(b) $Re \geq 1.2 \times 10^5$ のほうが大きい値を示すことが分布図より把握された。



(a) $Re < 1.2 \times 10^5$



(b) $Re \geq 1.2 \times 10^5$

図9 一様流時の平均風力係数分布(ライズ・スパン比0.2)

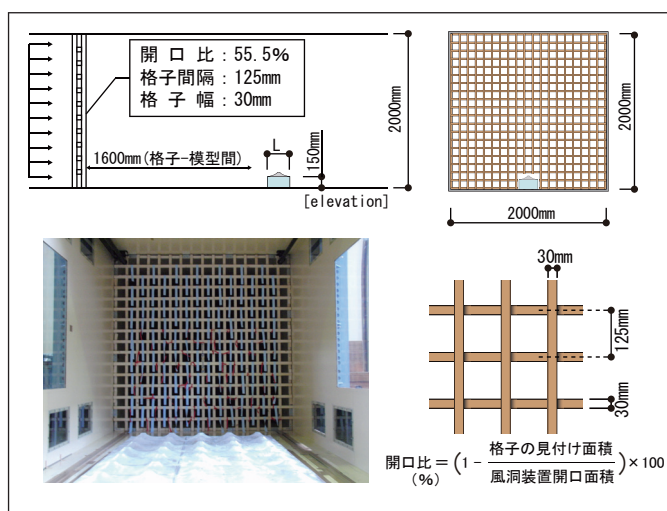


図10 乱流風洞実験概要

4-2. 一様乱流中における風洞実験

本章では、乱流格子を用いた一様乱流中における風洞実験を行った。ここでも、4-1章と同様に、模型サイズと風速をパラメータにとり、その風圧係数分布の確認を行った。

4-2-1. 実験概要

実験は、4-1章で用いた実験装置に、図10に示す乱流格子を取り付ける事により乱れ強さ7%の乱流を再現した。風洞内の模型設置点における風速6m/secと12m/sec時の速度勾配と乱れ強さ分布を図11に示す。実験モデルは、4章で用いた模型のうち200mm×200mm、300mm×300mmを用いて実験を行った。その他の実験条件も合わせて表2に示す。なお、風力係数、風圧係数の算出にあたっては、軒高さの平均風速より算出した速度圧を用いた。

4-2-2. 実験結果および考察

図12に乱流時におけるA列(中央列)の平均風力係数分布を示す。乱流中の値は200mm×200mm、300mm×300mm共にほぼ同じ結果を示したことから、本論では前者を報告する。なお、参考のために300mm×300mm(風速5m/sec)の結果を合わせて示す。乱流下での平均風力係数は、風速に対する依存性はなく、一様流時の $Re \geq 1.2 \times 10^5$ の風力係数結果(図8、9)

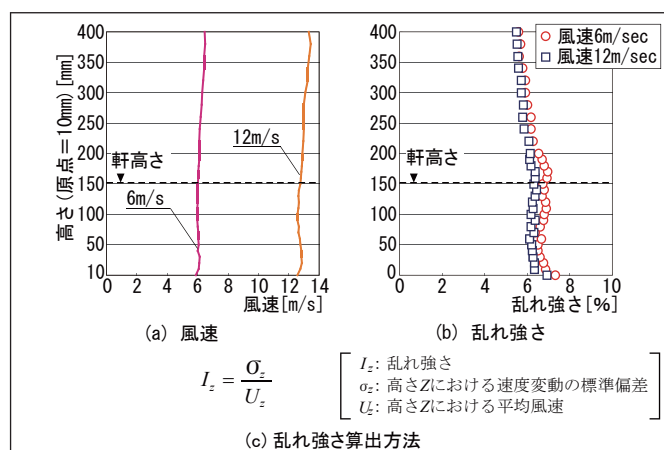


図11 気流の鉛直方向分布

表2 実験条件

気流	一様乱流
実験風速	4, 5, 6, 7.5, 9, 10m/sec
サンプリング速度	500Hz
サンプリング時間	10sec
ライズ・スパン比(h/L)	0.2
模型サイズ	200mm×200mm, 300mm×300mm
風向	0度、45度

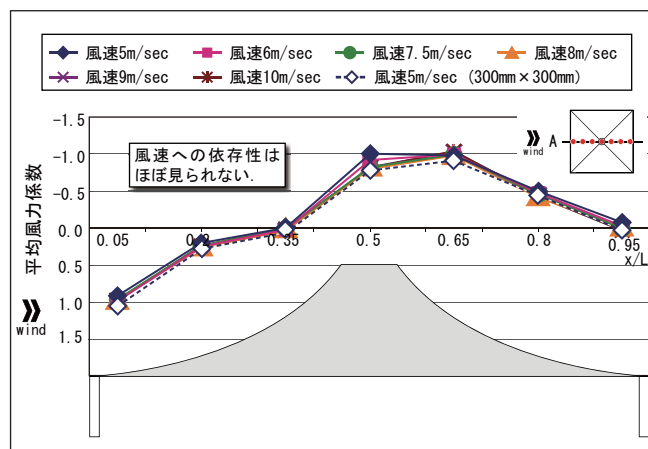


図12 乱流中における中央列の平均風力係数 $C_{f_mean-7\%}$ (実験モデル200×200mm)

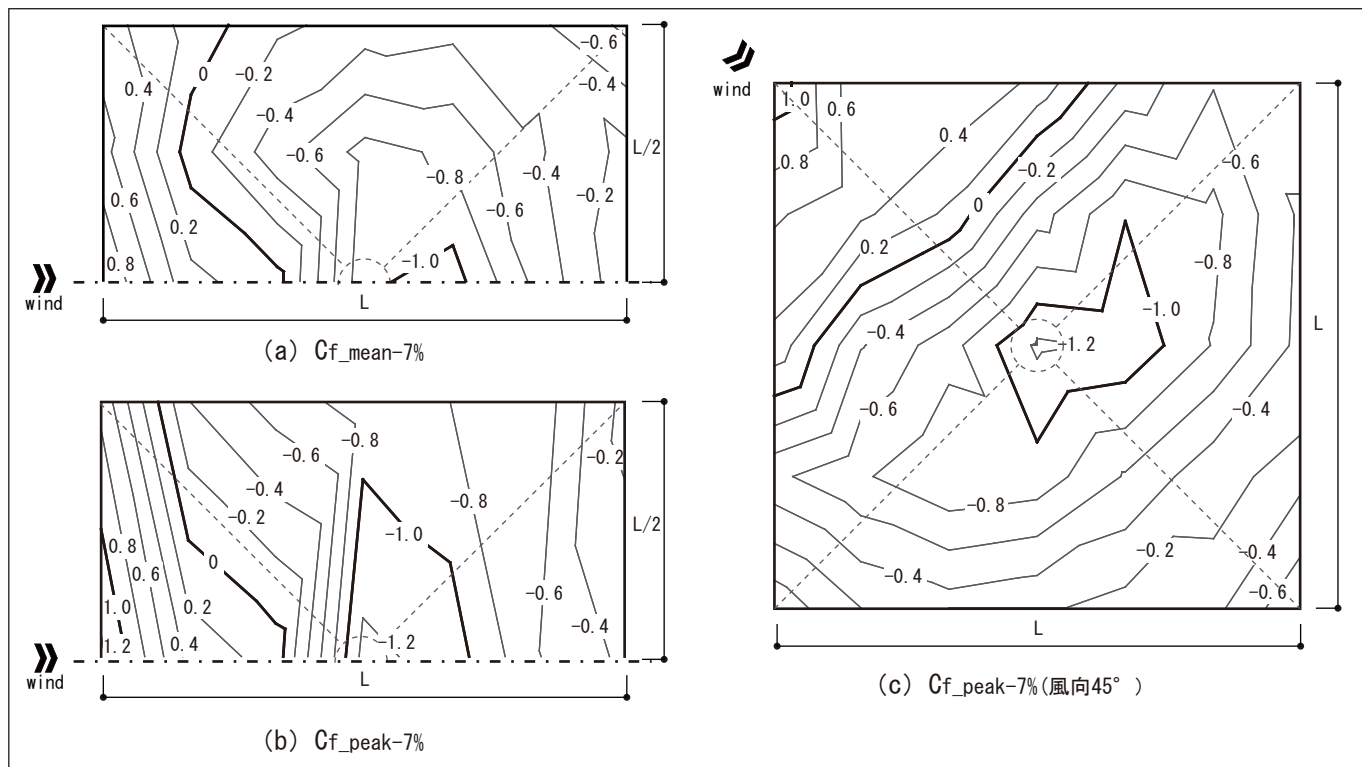


図13 一様乱流中における平均風力係数 C_{f_mean} 、ピーク風力係数の比較 C_{f_peak}

と概ね同様の結果となった。これは、気流を乱したことで、一時的にどの風速においても $Re \geq 1.2 \times 10^5$ 域のレイノルズ数と類似した気流状態に達したためと考えられる。

図13に $Re = 1.3 \times 10^5$ の(a)乱流時の平均風力係数 C_{f_mean} -7%、(b)乱流時のピーク風力係数 C_{f_peak} -7%、(c)乱流時の風向45度のピーク風力係数 C_{f_peak} -7%(45°)を示す。また、ここで示すピーク風力係数は、上面ピーク風圧係数から下面ピーク風圧係数を差し引いて得られる値の絶対値の最大を示しており、安全側の評価を行っている(式(3))。

$$C_{f_peak} = C_{p_{o_max,min}} - C_{p_{i_max,min}} \quad (3)$$

図13(a) C_{f_mean} -7%、(b) C_{f_peak} -7%を比較すると、分布の傾向は一致するが、風上側端部の値は、 C_{f_peak} -7%が1.2であることにに対し、 C_{f_mean} -7%が0.8と約0.4の差が生じることが示された。また屋根頂点部付近でも同様に約0.2から0.4程度 C_{f_peak} -7%の値が上回ることが把握された。一方で、風下部では概ね C_{f_mean} -7%と C_{f_peak} -7%の分布が同様であることが確認できた。

風向45度のピーク風力係数は、屋根頂点部付近では-1.2、風上側先端で1.0を示すものの、その他の軒先部では顕著に大きな値を示す範囲は得られなかった。ピーク風力係数の値は風向0度時の結果と概ね一致しており、ホルン型形状が屋根頂点部に近づくにつれて円形断面に近づくことにより、風向への依存性が小さくなると考えられる。また、乱れ強さ7%の実験条件においては、軒先部分においても乱れの影響がほとんど見られないことが把握された。

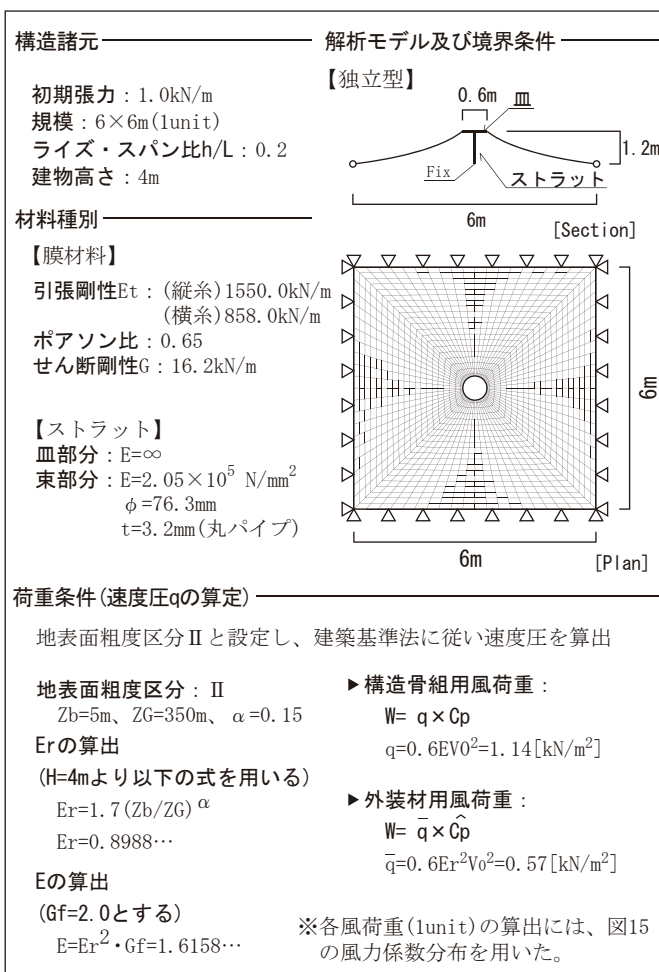


図14 解析概要

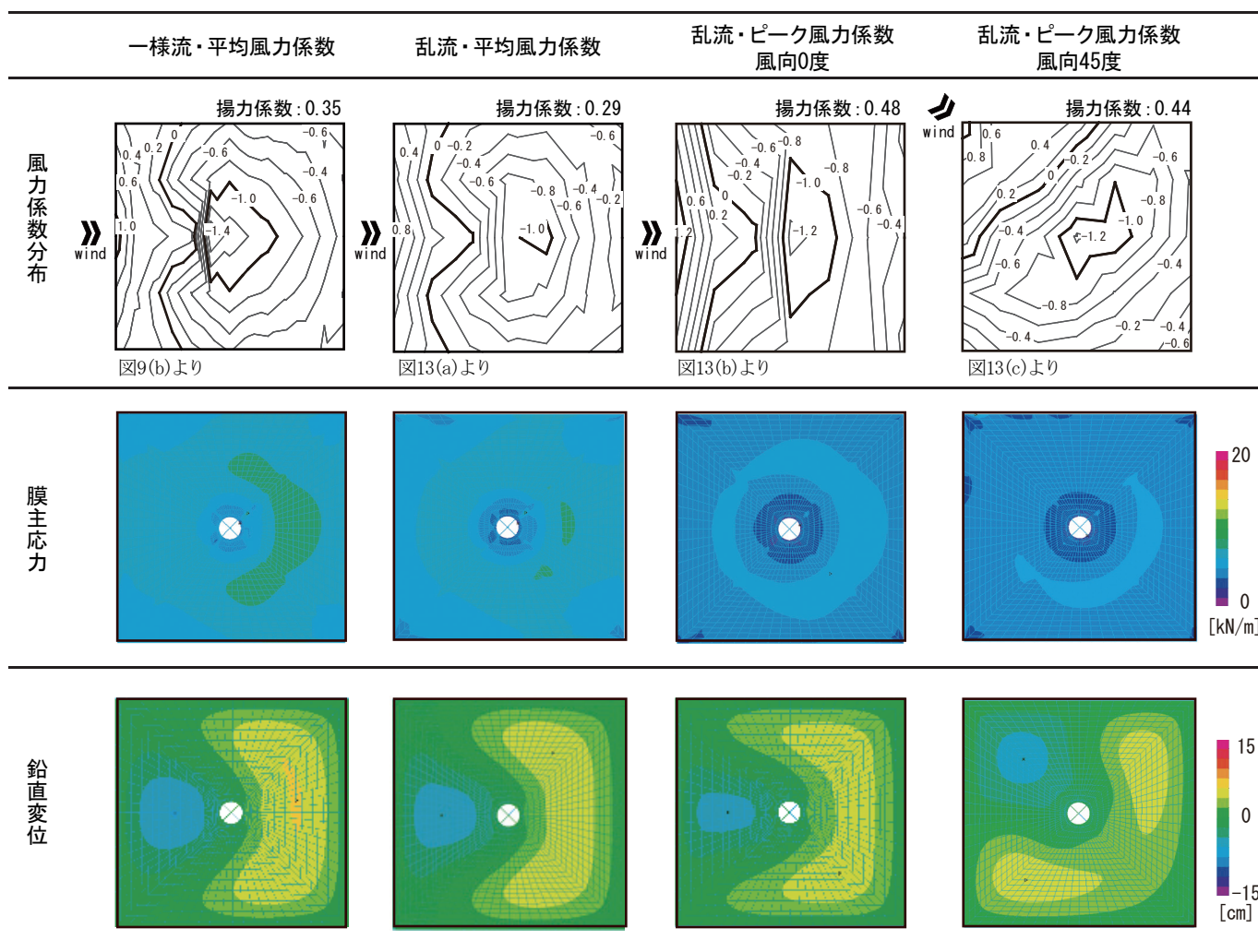


図15 風力係数分布及び解析結果(主応力分布/鉛直変位)

5. 風荷重時における膜面の応答性状の把握

5-1. 解析概要

前章の風洞実験より得られた各風力係数をもとに風荷重の違いが膜応力状態に及ぼす影響の把握を試みる。

解析概要を図14に示す。解析モデルは、6×6mの独立型ホルン型張力膜を想定し、風洞実験同様にライズ・スパン比 h/L を0.2とした。境界条件は、周辺に境界梁を配置した4辺支持モデルを対象とし、ユニット中央には、下端部を固定端としたストラットを配置した。ストラット上端部には、スパン1/10の皿状の膜突き上げ部を配置し、膜の変形に追従して動くものとしている。荷重条件は、建築基準法に従い地表面粗度区分Ⅱとし、平均風力係数を用いて構造骨組用風荷重を、ピーク風力係数を用いて外装材用風荷重を、それぞれ算出した。なお、算出に用いる風力係数は、前章で得られた風力係数とし、建物高さ $H=4m$ と仮定して速度圧を算出した。

5-2. 解析結果および応答性状の把握

図15に、数値解析に用いた風力係数分布、その揚力係数、数値解析より得られた膜面主応力分布と鉛直変位を示す。

揚力係数は、測定したピーク風力係数分布と負担する水平投影面積から求めたものである。

ピーク風力係数を用いた解析結果よりも一様流、乱流の平均値を用いた解析結果の方が膜主応力と鉛直変位は大きくなることが把握された。また構造骨組用風荷重として計算した一様流・平均風力係数と一様乱流・平均風力係数より得た解析結果を比較すると、膜主応力に大きな差異は見られなかった。風向き45度に対する応答性状は、風力係数分布が0度と大きな差異はなかったことから、膜主応力と鉛直変位でも同様の傾向を示した。

揚力係数を比較すると、一様流下の結果では約0.35、一様乱流中の平均風力係数では約0.3、ピーク風力係数では風向に関わらず約0.45という結果が得られた。揚力では、乱流中のピーク風力係数が最大を示すが、その値が直接応力や変位に影響を及ぼしていないことが確認できた。

以上の結果より、本実験条件と本解析条件の範囲内ではあるが、一様流風洞実験で得られた平均風力係数を用いた構造骨組用風荷重で外装材用風荷重を用いた場合の結果を評価可能であることが把握された。

6. まとめ

本論では、開放型ホルン型張力膜を対象とした一様流・一様乱流中における一連の風洞実験結果に基づき、その風圧力の特性を明らかにし、それぞれ代表的な風力係数分布を示した。さらに、その風力係数分布から風荷重を算定して数値解析を行い、膜主応力、鉛直変位の比較を行った。

一様流中の実験からは、 $Re=1.2 \times 10^5$ 付近で風力係数分布が変化する点があることが把握され、 $Re < 1.2 \times 10^5$ 、 $Re \geq 1.2 \times 10^5$ の2種類の風力係数分布を示した。一様乱流中における風洞実験からは、乱れ強さ7%下ではレイノルズ数の影響は少なく、全パラメータではほぼ同様の平均風力係数が得られたことから、1種類の平均風力係数分布と風向0度、45度のピーク風力係数分布を示した。ピーク風力係数は、風向45度で風上側先端部に風向0度と異なる値を示すものの、全体の分布傾向はどちらも同様の結果が得られた。

実験から得られた風力係数を用いた数値解析では、本構造形式の場合、構造骨組用風荷重を用いることで十分に応力変形状を評価可能であることが把握された。

また一方で、本論文で扱った乱流は、乱れ強さ7%の一様乱流である。今後は設計用風荷重として用いることのできる詳細の値を示すべく、乱流境界層を用いた実験を行い、本実験結果との比較を行うと共に、より詳細な検討が必要であるとする。さらに、応力解析時の構造形式や建物の高さ、大きさも評価項目として加えることも考えられる。

謝辞

本研究を実施するにあたって、日本大学理工学研究所空気力学研究センターを利用しました。実験実施にあたった日本大学理工学部空間構造デザイン研究室の学生各位、空気力学センターの関係者諸氏に感謝の意を表します。また、本研究は科学研究費補助金（特別研究員奨励費、課題番号：22・7895）により執り行われたものです。

[参考文献]

- 1) 斎藤公男, 黒木二三夫:ホルン型張力膜構造の基本的力学性状と単一膜パネルの構造実験 : 張力膜構造の研究(その1), 日本建築学会構造系論文報告集, No.404, pp.115-128, 1989.10
- 2) Masao Saitoh and Fumio Kuroki:Horn Types Tension Membrane Structures, IASS1989 (Madrid) , 1989
- 3) 斎藤公男, 黒木二三夫:ハンガー式およびユニット式張力膜の構造特性に関する模型および実大実験ー張力膜構造の研究(その2) , 日本建築学会構造系論文報告集, No.410, pp. 107-121, 1990.4
- 4) 斎藤公男, 杉崎健一, 宮田勝利, 黒木二三夫, 中島肇, 和田昌樹:ハイブリッド張力膜構造の構造特性に関する研究(その2) ユニット式張力膜構造の曲面形成実験:学術講演梗概集B(近畿), pp.1341-1342, 1987.8
- 5) 真柄栄毅, 斎藤公男, 岡田章, 岩佐義輝, 中山荘太郎, 菅

- 陽一, 高橋裕, 遠藤精一, 石徳秀一:テンション・ラチス・ドームの設計と施工(その1~2), 学術講演梗概集B(東北), pp.1277-1278, 1991.8
- 6) 中島肇, 斎藤公男, 黒木二三夫, 岡田章:膜材料の応力-ひずみ曲線のモデル化に関する研究ー張力膜構造の応力弛緩に関する基礎的研究(その1), 日本建築学会構造系論文集, No. 579, pp.63-70, 2004.05
 - 7) 中島肇, 斎藤公男, 黒木二三夫, 岡田章:膜材料の応力弛緩を考慮した応力-ひずみ曲線モデルを適用した構造解析ー張力膜構造の応力弛緩に関する基礎的研究(その2), 日本建築学会構造系論文集, No. 591, pp. 85-92, 2005.5
 - 8) 斎藤公男, 黒木二三夫, 今川憲英:周辺開口をもつ膜構造の風洞実験および応力解析ーつくば'85万博中央駅シェルターの研究報告(その2), 学術講演梗概集, B, 構造I, pp.1153-1154, 1985.9
 - 9) 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, 2003.8
 - 10) 永井佑季, 斎藤公男, 岡田章, 宮里直也, 吉野誠一, 大森慎司:ホルン型張力膜屋根の風荷重に関する基礎的研究:ホルン型ユニットの連結配置の影響, 日本建築学会学術講演梗概集(九州), B-1, pp.923-924, 2007.9
 - 11) 永井佑季, 斎藤公男, 岡田章, 宮里直也, 小野晋, 福田隆徳:連結したホルン型張力膜屋根に関する基礎的研究(その1~3), 日本建築学会学術講演梗概集(中国), B-1, pp.951-956, 2008.9
 - 12) Yuki NAGAI, Akira OKADA, Naoya MIYASATO and Masao SAITOH:Basic Study on Multi-Bay Horn-Shaped Membrane Roof -Evaluation of Wind Load and Effect of Supporting System on Multi-bay Horn-shaped Membrane Roof, IASS2009, pp.592-593, 2009.9
 - 13) 永井佑季, 岡田章, 宮里直也, 斎藤公男:風荷重の評価および膜面の支持方式が風荷重時の構造挙動に及ぼす影響, 構造工学論文集, Vol.55B, pp. 9-14, 2009.9
 - 14) 福田隆徳, 岡田章, 宮里直也, 永井佑季, 福井直輝, 斎藤公男:ホルン型張力膜構造の設計用風荷重に関する基礎的研究, 日本建築学会関東支部研究報告CD, pp.189-192, 2010.3
 - 15) Yuki Nagai, Akira Okada, Naoya Miyasato and Masao Saitoh:Basic Study on Multi-Bay Horn-Shaped Membrane Roof -Evaluation of Wind Load and Influence of Supporting System on Structural Behavior under Winds, INTERNATIONAL JOURNAL OF SPACE STRUCTURES, Volume 25, Number 1, pp. 35-43, 2010.4
 - 16) 福田隆徳, 岡田章, 宮里直也, 永井佑季, 福井直輝, 斎藤公男:ホルン型張力膜構造の設計用風荷重に関する基礎的研究(その1~3), 日本建築学会学術講演梗概集(北陸), B-1, pp.919-924, 2010.9

- 17)2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書, 全国官報販売協同組合, pp. 246-260, 406-411, 2008.5
18)建築物荷重指針・同解説(2004) , (社)日本建築学会, 2004.9
19)大熊武司, 他共著:実務者のための建築物風洞実験ガイドブック2008年版, (財)日本建築センター, 2008.10
20)江守一郎, 斎藤孝三・関本孝三:模型実験の理論と応用(第三版), 技報堂出版株式会社, 2009.1
21)宮城弘守, 小園茂平, 佐々浩司:擬似格子法で生成した乱流場の等方性と慣性小領域の特性, 第18回風工学シンポジウム, 2004
22)大熊武司, 神田順, 田村幸雄:建築物の耐風設計, 鹿島出版会, 2004
-

BASIC STUDY ON DESIGN WIND LOAD FOR OPEN-TYPE HORN-SHAPED MEMBRANE ROOF

- Wind Tunnel Test and Structural Behavior Analysis under Laminar or Homogeneous Turbulence -

Yuki Nagai^{*1)} Takanori Fukuda^{*4)}
Akira Okada^{*2)} Masao Saitoh^{*5)}
Naoya Miyasato^{*3)}

SYNOPSIS

The horn-shaped membrane roof has a curved surface. Therefore, it was expected that the aerodynamic characteristics around this roof are complicated. In almost guideline and national code such as 'The Building Standard Law of Japan', the wind force coefficient on the horn shaped membrane roof is not defined. And also, that has not been sufficiently reported yet. From these reasons, the authors have reported about the wind tunnel test on the horn-shaped membrane roof past few years.

In this paper, the wind tunnel test and the FEM analysis for the open type horn shaped membrane roof are reported. On the wind tunnel test, the mean value of wind force coefficient and the peak value of it are indicated. Furthermore, a stress and a displacement of the horn shaped membrane roof against the wind load from tests were gotten by FEM analysis. Finally, the design wind load and the wind tunnel test method for the horn shaped membrane roof were weighed from these studies.

*1) JSPS Research Fellow, Graduate Student, Dept. of Architecture, Nihon Univ., M. Eng.

*2) Prof., Dept. of Architecture, Nihon Univ., Dr. Eng.

*3) Assistant Prof., Dept. of Architecture, Nihon Univ., Dr. Eng.

*4) YAMASHITA SEKKEI INC., M. Eng.

*5) Emeritus Prof., Nihon Univ., Dr. Eng.