

ホーム上家の風荷重評価のための風洞試験法

鈴木 実* 菊地 勝浩* 清水 克将**

Method of Wind Tunnel Test for Evaluation of Wind Load on Platform Shed

Minoru SUZUKI Katsuhiko KIKUCHI Katsuyuki SHIMIZU

Platform shed constructed at ground level is classified as a building in a free-standing canopy roofs. Since these roofs are supported by columns and no walls, wind exerts its force directly on both the top and bottom roof surfaces. In addition the wind forces on the roofs are influenced by many factors such as roof shapes, blockage arrangements under the roof and wind directions. In general the wind load acting on these roofs is larger than that of enclosed building roofs. In this report, wind tunnel tests were conducted on two types of roof geometries, i.e. typical butterfly roof type and mono-sloped roof to evaluate the peak wind force coefficient.

キーワード：旅客上家，盛土ホーム，風洞試験，ピーク風力係数，風荷重，圧力測定

1. はじめに

ホーム上家は、鉄道事業法における建築物であり、建築基準法の適用範囲からは除外されているものの、実態として建築基準法を準用して設計されることが多い。地平に建つホーム上家は、屋根とそれを支える梁・支柱で構成され壁がなく、建築物としては独立上屋と呼ばれる形態に類しており、建築基準法や日本建築学会・建築物荷重指針¹⁾（以下、荷重指針）の風力係数を参考に設計されている。

独立上屋は、屋根の両面（上面および下面）が風に曝されていることから、風荷重が設計上支配的となる場合が少なくなく、風力係数の検討が重要になると考えられる。そのため、これまでに屋根形状として切妻、翼型、片流れ型等の独立上屋の風洞試験が行われており^{2) 3)}、屋根の角度に応じた構造骨組み用風力係数や屋根葺き材用のピーク風力係数が提案され、荷重指針に反映されている。

一方、ホーム上家は梁間（枕木）方向に比べて桁行（レール）方向に長く、荷重指針における独立上屋の風力係数の適用範囲である 30m を超える場合がある。また、建築基準法や荷重指針における独立上屋の風力係数は、屋根の下部領域に風の流れを遮る遮蔽物が無い場合の値を与えているのに対して、ホーム上家では盛土ホーム上に屋根がある場合や背面壁などの遮蔽物が存在し、一般建築物とは異なる形状的な特徴を有している。

そこで、本研究ではホーム上家に多くみられる、屋根形状が翼型および片流れ型の地平上家（以下、それぞれ M 型、F 型）を対象に、縮尺模型を用いた風洞試験によ

り屋根上下面の圧力測定を行った。

ここでは、屋根模型を用いた風洞試験方法と、その結果について報告する。

2. 縮尺模型による風洞試験方法

2.1 風洞装置および気流条件

風洞試験には、鉄道総研の大型低騒音風洞（滋賀県米原市）密閉型測定部を用いた。風洞気流は、荷重指針の地表面粗度区分Ⅱに相当する自然風を模擬した乱流境界層で、平均風速の地上高さ方向の分布を表す指標のべき指数は 0.14 である。

2.2 風洞試験模型

本件で対象とした上家模型は、M 型上家、F 型上家の 2 種類の形状で、縮尺は 1/40 である。

2.2.1 M 型上家模型

図 1 に M 型上家模型（屋根面勾配 2.86 度 = 5/100）を示す。上家模型は全長 1,018mm（実寸 40.7m）、盛土ホーム長 2,000mm（実寸 80m）で、長さ 200mm で圧力孔を配置した同一の上家模型を 2 個と、同形状で圧力孔が無いダミー上家を 3 個製作して、上家模型全長の端部と中央部を同時に測定できるようにした。

現実の屋根は折板屋根（実寸山高 0.15m）であるが、模型にした際に圧力孔や導圧管の配置が困難になるため、ここでは一般的な建築物の風洞試験模型と同様に単純形状化して厚さ 3.75mm の平板とした。また、現実の柱は H 鋼断面（模型寸法で幅 3.75mm に相当）であるが、屋根表面圧力測定を行うための導圧管を埋め込む関係で、模型寸法 7.7mm の正方形断面とした。これにより、柱一本につき 8 本の導圧管を埋め込むことが可能と

* 環境工学研究部 車両空力特性研究室

** 構造物技術研究部 建築研究室

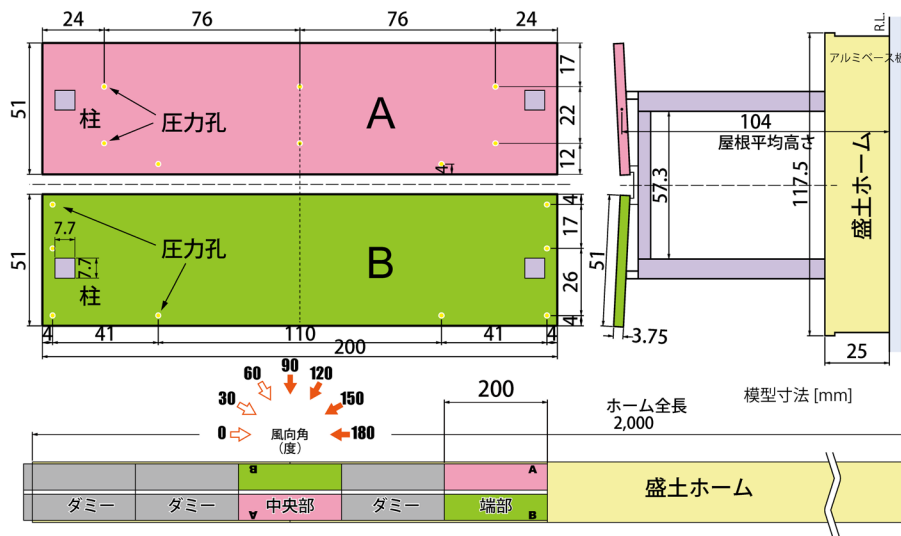


図1 M型上家模型概略図

なり、1スパンの上家模型には、上下面それぞれ16点、合計32点の圧力孔を配置できるようにした。上家模型はその内部に直径1.5mmの導圧管を設けて3Dプリンタで造形し、加工精度や模型の剛性を考慮して導圧管は肉厚が0.8mm以上となるようにした。なお、圧力孔から屋根の端部までの最短距離は4mmである。導圧管の長さは可能な限り短くなるように設計した。模型内部に造形した導圧管の長さは約140mm～約270mmであり圧力孔の位置により異なる。造形した導圧管と圧力計の間は真鍮パイプを介して長さ100mm、内径1.37mmのウレタンチューブで接続した。導圧管全長を短くするため、圧力計との接続は盛土ホーム模型内部の空間で行ったが、盛土ホーム模型内部が狭く、接続できる圧力計が16チャンネルに限られた関係で、上家のA面、B面は別々に測定することにした。ただし、同一位置に配置した上下面の圧力孔は同時に測定を行った。A面の圧力孔は屋根全体にグリッド状に、B面の圧力孔は屋根の端部にそれぞれ配置されている。この上家模型のA、Bを反転（180度回転し上流と下流を入れ替えること）して測定することで、屋根全体の風力係数を評価できる。風向角は90度～180度の間を30度刻みとした4条件である。なお、風向角については、一般に10度刻みとされることが多く、また、建築分野の風洞試験では圧力測定点数が数百点程度となることが少なくないが、本件では圧力計のチャンネル数や試験時間の制約から30度刻みの条件とした。

2.2.2 F型上家模型

図2にF型上家模型（屋根面勾配11.3度＝20/100）を示す。上家模型の全長は1,000mm（実寸40.7m）、盛土ホーム長2,000mm（実寸80m）である。長さ250mmの圧力孔の配置が異なる圧力測定用上家2種類各1個と、同形状で圧力孔が無いダミーを2個製作し、端部および

中間部を同時に測定できるようにし、M型上家模型と同様に3Dプリンタで造形した。

各模型には、上下面の同一位置にそれぞれ8点ずつ、合計32点の圧力孔を配置した。模型内部の導圧管の長さは、約130mm～約280mmである。A面の圧力孔は、屋根全体にグリッド状に、イ面の圧力孔は屋根端部にそれぞれ配置されている。F型上家は非対称であり、図示する正対の風向き（線路側からの風）で90度～150度の間を30度刻みに3条件と、反対の風向き（線路反対側からの風）（-90度）の条件で測定した。また、遮蔽物による影響を調べるため、一部の風向角で背面壁（充実率100%）ありの条件を実施した。

2.3 計測方法

使用した計測系は、圧力計にZOC-23B（スキャニバルブ製）、A/D変換器にNI 9229（ナショナルインスツルメンツ製）を使用して32chの同時測定を行った。

サンプリング周波数は2kHz、サンプリング数は1回の測定に対して80,000個（＝40秒）とし、同一条件で5回収録した。ここで、模型の幾何学的縮尺と風速の縮尺から評価時間を見積る。模型の縮尺は1/40＝0.025である。試験風速は20m/sで、このとき屋根平均高さの風速は約13.1m/sとなるため、設計用基本風速を30m/sと仮定した場合、風速の縮尺は13.1/30＝0.44となる。風速の縮尺に対する模型の縮尺から時間の縮尺は0.06（＝0.025/0.44）となる。なお、時間平均値の評価に必要な評価時間は気象観測に基づく10分間（600秒）を想定し、外装材応答に関する瞬間最大値の評価に必要な評価時間は0.5秒とした。

導圧管として使用したウレタンチューブや3Dプリンタで造形された管には圧力変動により歪が生じる。そこで、基準圧力計（導圧管を介さず高い周波数領域まで

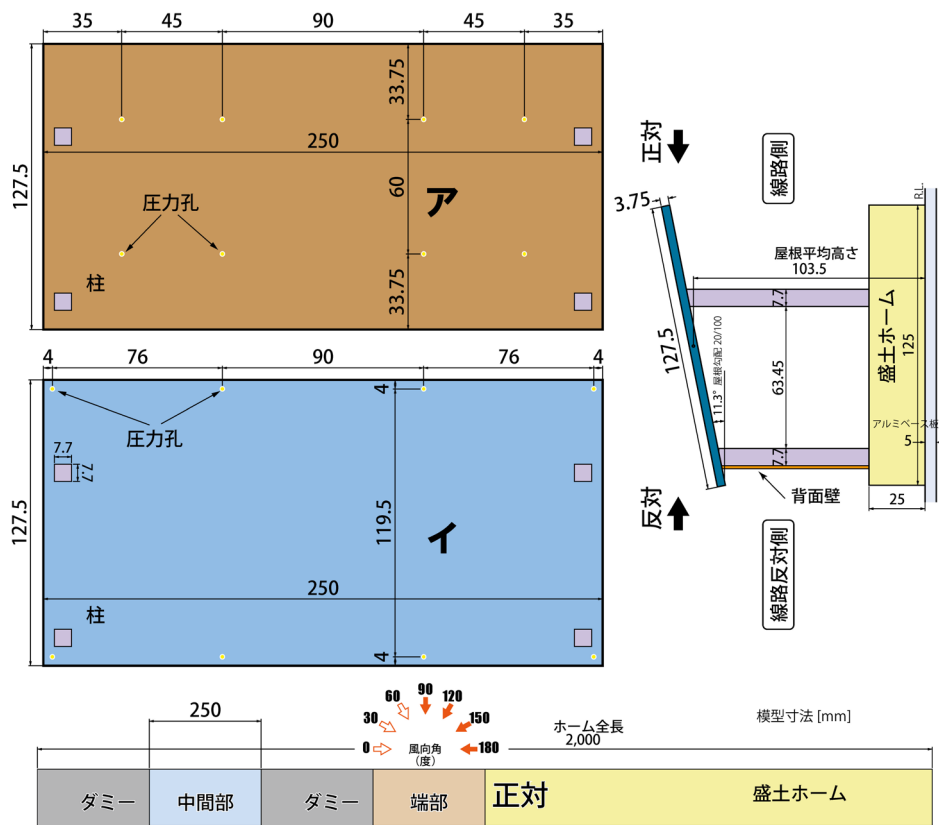


図2 F型上家模型概略図

歪が小さい)で計測された圧力の時刻歴波形に対する、各圧力測定孔で計測された圧力の時刻歴波形から、各導圧管の伝達特性を求めて、別途、チュービング補正を行った⁴⁾。

2.4 データ整理方法

風力の統計量は、5回の測定結果のアンサンブル平均で評価した。

具体的には、屋根の同一位置に配置された上下面の圧力孔で測定されたチュービング補正済みの圧力時刻歴波形データの同一時刻の両者の差(上面圧力-下面圧力)として風力時刻歴波形データを作成した後、風力時刻歴波形データに対する60サンプル(外装材の応答に関する評価時間0.5秒に相当する0.03秒)の移動平均をとった波形データのピーク値(風力の最大値および最小値)を求め、収録した5回分のピーク値を平均して最大ピーク風力および最小ピーク風力とした。このとき、風力の向きは、上から下の向きが正の方向となる。

これらの風力の値から、模型それぞれの屋根平均高さを基準高さとした平均風速を用いて最大ピーク風力係数、最小ピーク風力係数それぞれを算出した。なお、屋根平均高さは、M型上家模型では109mm、F型上家模型では108.5mmである。

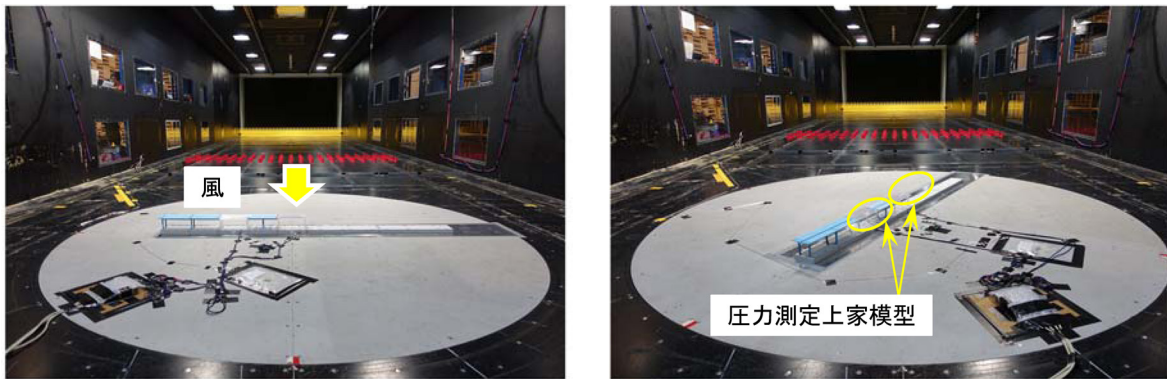
3. 風洞試験結果

3.1 M型上家

風洞試験の様子を図3に示す。図には風向角が90度および150度の場合を例に示した。半透明の模型が圧力測定用の上家模型である。模型の下流側には、圧力計の信号線や差圧リファレンス用のチューブなどを風洞床面に固定してある。丸い灰色の部分にはターンテーブルで、これを回転することで風向角を変更できる。

風洞試験結果として風向角90度の最大ピーク風力係数のコンタを図4に示す。中央部と端部の分布には大きな違いは見られず、模型の上流端付近(紙面上方の薄緑の領域)が負になっているのを除き、最大ピーク風力係数は正であり、その最大値は約+1.6であった。

次に、風向角90度および150度の最小ピーク風力係数のコンタを図5に示す。中央部は、150度でも長手方向(レール方向)の分布に大きな変化が見られず、角度が浅くなる(風向角が大きくなる)に従い、風上面、風下面の両面とも絶対値が小さくなる。端部の分布では、風向角が90度の場合、模型端領域(紙面右側端付近)に強い負のピーク風力係数がみられ、その値は約-5.1である。この領域のピーク風力係数は角度が浅くなるに従って絶対値が小さくなり、図示はしていないが、180度の場合には約-2.7であった。端部の風下面の風力係



(a) 風向角 90 度

(b) 風向角 150 度

図3 M型上家の風洞試験の様子

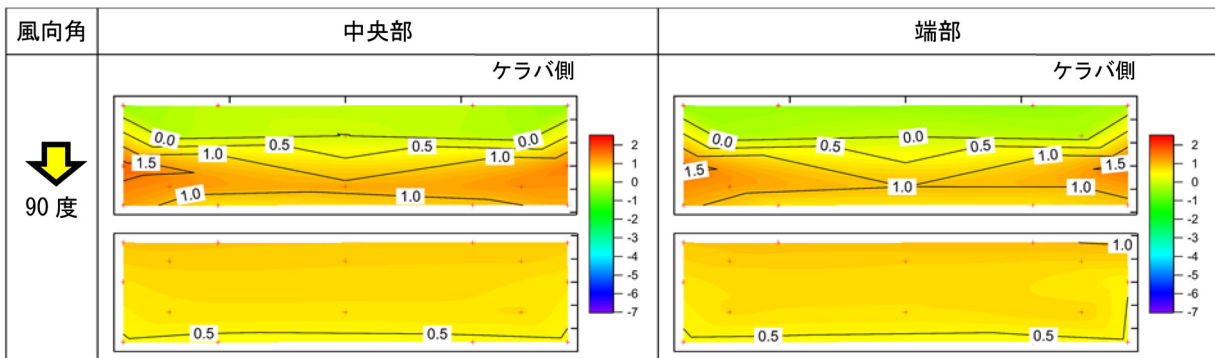


図4 風向角 90 度の M 型上家の最大ピーク風力係数

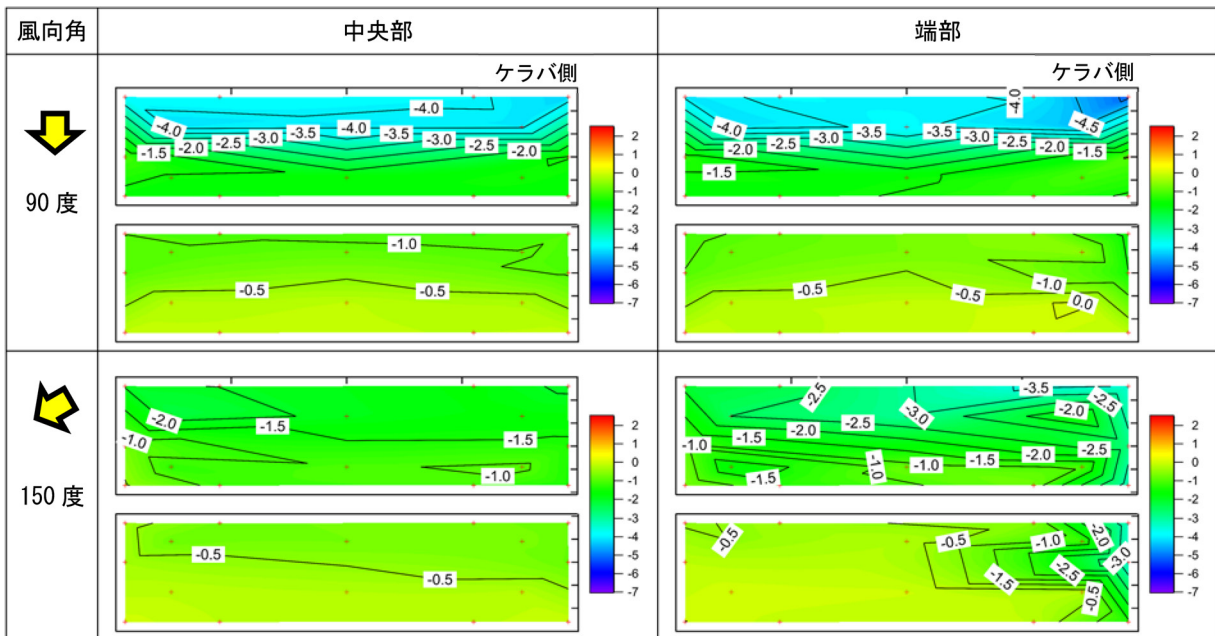


図5 風向角 90 度および 150 度の M 型上家の最小ピーク風力係数

数は、角度が浅くなるに従いその絶対値が大きくなった。また、端部のケラバ側を除く紙面左側の領域では、風向角が 90 度の場合、ほぼ中央部と同様の分布となった。最大ピーク風力係数と最小ピーク風力係数を比較すると、最小ピーク風力係数の方が絶対値が大きくなった。

これと同様なことは、一般建築物の翼型屋根でも確認されている。これらから、屋根面には、下向きの風力に比べて、上向きに局所的かつ瞬間的に大きな風力が作用していることとなり、設計用の風力係数の検討には、最小ピーク風力係数が重要となる。

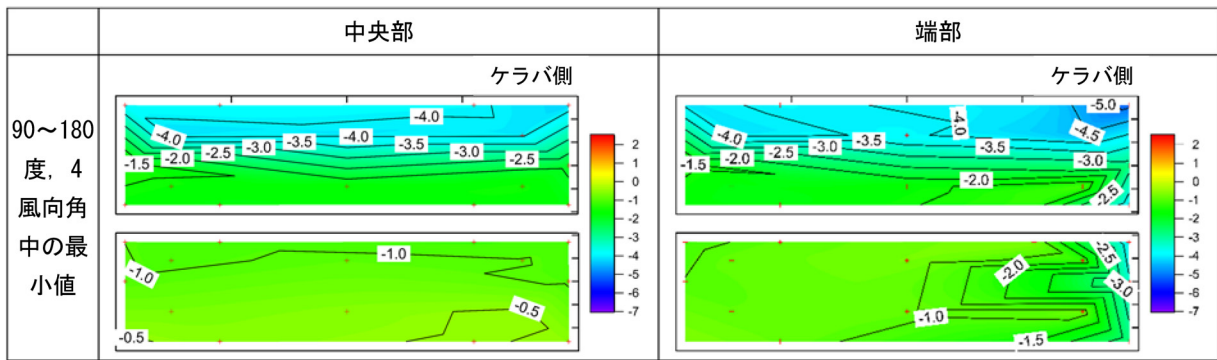


図6 風向角90～180度，4風向角中の最小値（M型上家の最小ピーク風力係数）

自然風は、建築物に対して様々な風向から吹いてくる。このため、一般的に設計用の風力係数は風向角に応じて示されるわけではなく、測定された圧力孔位置の最小ピーク風力係数のすべての風向角で最も大きな絶対値を求めてその分布のコンタから設計用風力係数を検討することが望ましいとされている。ここでは、風向角90、120、150、180度の4条件における最小ピーク風力係数の最小値のコンタを図6に示す。図6から、端部のケラバ側軒先（紙面右上側）からの剥離の影響と考えられる最小ピークがみられ、-5を超える負の最小ピーク風力係数が生じている。また、中央部と端部を比較すると、風上面、風下面ともに端部ケラバ側を除くと、中央部と端部で長手方向に大きな差はみられない。

お、風向角90度の条件では非対称形状であるF型上家の線路側からの風に対して、風向角-90度の条件では線路反対側からの風となるが、図7ではともに紙面上方からの風として示されていることに注意されたい。

風向角90度の場合、中央部では模型端部（紙面両側）の圧力孔が2点と少なく誤差の大きくなると考えられる領域を除き、レール方向に大きな差が見られない。最小ピーク風力係数は線路側（紙面上方）の方が絶対値が大きく、線路反対側に向かうに従い小さくなる。端部では、ケラバ側（紙面右上側）には-6程度の大きな負のピークが見られるが、この領域を除くと、中央部と端部で長手方向に大きな差はみられない。

風向角-90度の場合、中央部、端部とも同様な分布で、最小ピーク風力係数は線路反対側（紙面上方）で-3程度となるのを除き、広い範囲ではほぼ0となった。なお、図示はしていないが、風向角-90度の条件では、最小ピーク風力係数に比べて最大ピーク風力係数の方が絶対値が

3.2 F型上家

F型上家の風洞試験結果として、風向角90度および-90度の最小ピーク風力係数のコンタを図7に示す。な

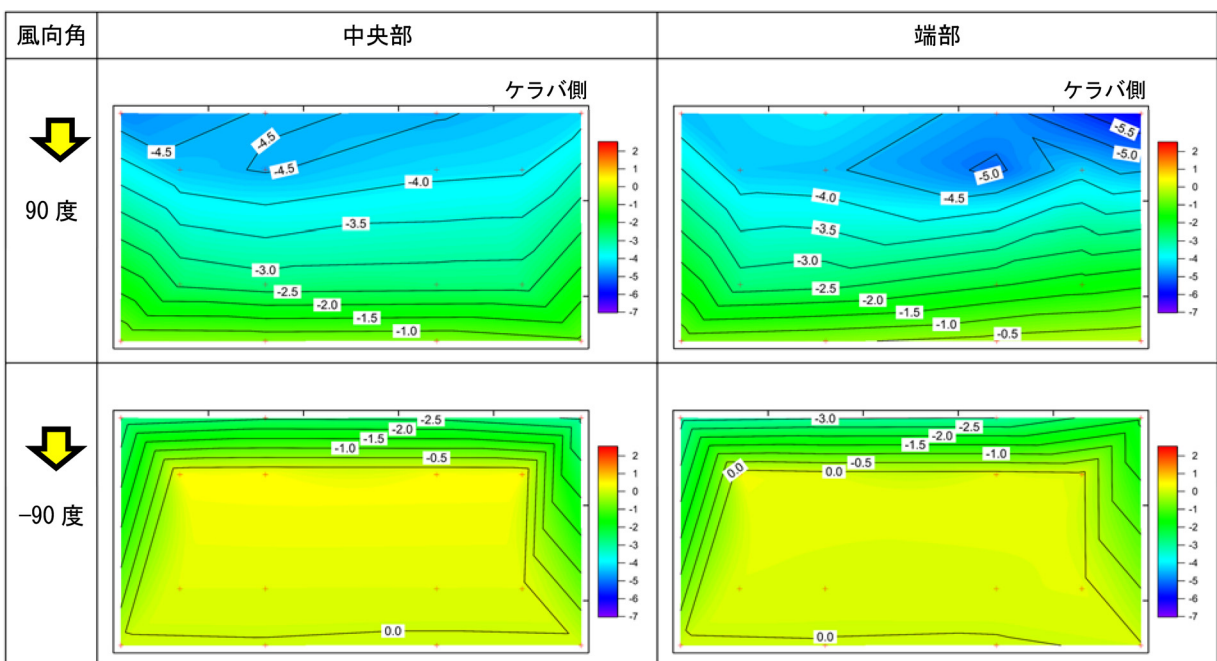


図7 風向角90度および-90度のF型上家の最小ピーク風力係数

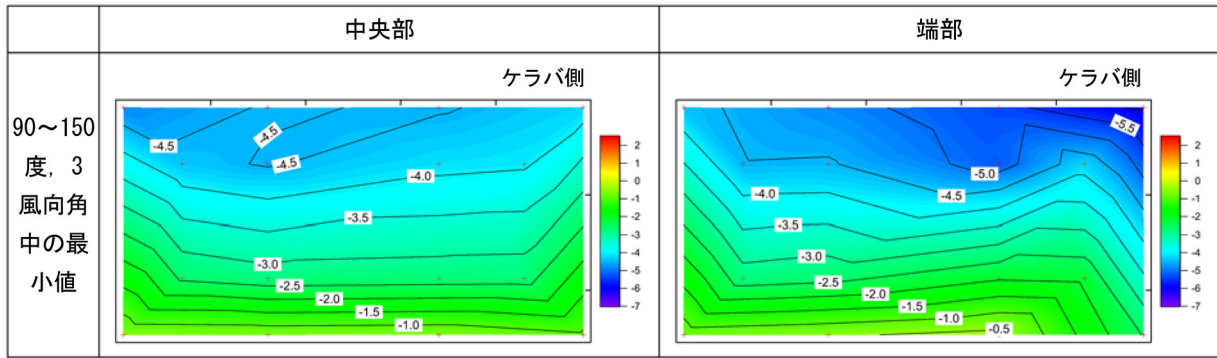


図8 風向角 90 ～ 150 度，3 風向角中の最小値（F 型上家の最小ピーク風力係数）

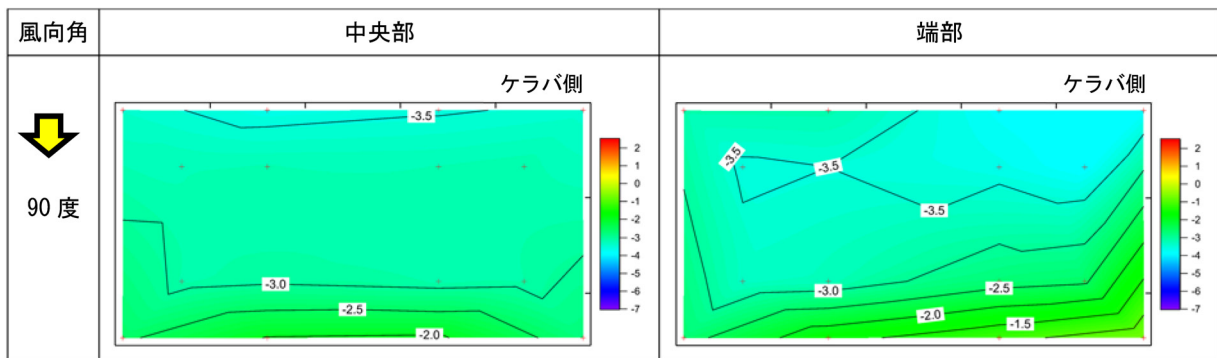


図9 風向角 90 度，背面壁ありの F 型上家の最小ピーク風力係数

大きくなり、その値は 2.4 程度であった。

次に、風が正対（線路側からの風）の場合の、風向角 90, 120, 150 度の 3 条件における最小ピーク風力係数の最小値のコンタを図 8 に示す。端部のケラバ側の一部の領域を除き、図 7 に示した風向角 90 度のコンタと概ね同じ分布となった。これは、風向角の条件が 3 条件と少なく、測定した圧力孔が少ないことによるものと考えられる。

なお、今回行った M 型上家と F 型上家では、風荷重に大きな影響を及ぼすパラメータの屋根面勾配が異なり、さらに、屋根面の辺長比なども異なる。このため、2 種類の上家の最小ピーク風力係数を直接比較することは難しい。

次に、遮蔽物の影響をみるため、風向角 90 度、背面壁ありの条件の最小ピーク風力係数のコンタを図 9 に示す。中央部と端部を比較すると、端部の方が -3.5 を超える領域が若干大きく、ケラバ付近を除くと、大きな差はみられない。図 7 の上段に示した背面壁なしの条件と比較すると、背面壁を設置することで、負のピークの最大値が、-6 程度から -3.9 程度に小さくなり、背面壁で閉鎖されることの影響がみられた。

4. おわりに

多くの基規準において示されているように、風荷重の算定に必要な風力係数は、風洞試験によって求められる

ことが多い。そこで、本件では鉄道総研でこれまであまり対象としてこなかったホーム上家を対象とした風洞試験を行い、上家のレール方向端部と中央部それぞれの分布に大きな差異がないことなどの傾向があることについて示した。

今後は、風洞試験の価値を高め、より効率的に行えるよう、模型の製作方法の検討や、その設置方法の見直しを行うとともに、更なる風洞試験による検討を加え、ホーム上家の合理的な耐風設計に向けて取り組む予定である。

文 献

- 1) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説（2015），2015
- 2) 植松康，飯泉江梨，Theodore Stathopoulos：独立上屋の風荷重に関する研究：その 1 外装材用ピーク風力係数，日本風工学会論文集，Vol.30，No.4（Ser.No.105），pp.91-102，2005
- 3) C.W. Letchford, J.D. Ginger：Wind loads on planar canopy roofs – Part 1: Mean Pressure distributions, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 45, pp.25-45, 1992.
- 4) 日本建築センター：実務者のための建築物風洞実験ガイドブック 2008 年版，2008