

## 妻壁に突風を受ける切妻屋根建物の風圧分布特性に関する風洞実験

高橋, 正名  
九州大学大学院人間環境学府都市共生デザイン専攻 : 修士課程

大坪, 和広  
九州大学大学院人間環境学府都市共生デザイン専攻 : 修士課程

鶴, 則生  
九州大学大学院人間環境学府

友清, 衣利子  
九州大学大学院人間環境学府都市・建築部門

他

<https://doi.org/10.15017/1456081>

---

出版情報 : 都市・建築学研究. 24, pp.37-42, 2013-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門  
バージョン :  
権利関係 :

# 妻壁に突風を受ける切妻屋根建物の風圧分布特性に関する風洞実験

## Wind Pressure of Gabled Roof Building under a Gusty Wind in its Gable Wall Direction Based on Wind Tunnel Test

高橋正名\*, 大坪和広\*, 鶴 則生\*\*, 友清衣利子\*\*\*, 前田潤滋\*\*\*

Masana TAKAHASHI, Kazuhiro OTSUBO, Norio TSURU, Takashi TAKEUCHI,  
Eriko TOMOKIYO and Junji MAEDA

Already the authors have reported that wind pressure on many local points of a gable roof body under a short-time rise gust wind became much bigger than in a steady flow. This is called the overshoot of wind pressure. This paper focused on the direction of a gusty wind against a gable roof body. We investigated properties of wind pressure on a gable roof body under a short-rise-time gust acting to its gable wall by wind tunnel test. We found that the peak wind pressure coefficients of the roof under a gust to the flat wall which runs parallel to the roof's ridge became bigger than under a gust to the gable end wall in the same non-dimensional rise time of gusty wind.

**Keywords :** Gable roof structure, Overshoot of wind Pressure, Wind Tunnel Test, Gusty wind

切妻屋根建物, 風圧力のオーバーシュート, 風洞実験, 突風

### 1 序

建築物の風荷重は骨組用荷重と外装材用荷重に大別できるが, 強風被害の多くは外装材被害である。外装材被害が外装材の飛散により二次被害を引き起こす主因であることを考慮すると, 建物表面の風圧力に基づく外装材風荷重の見積は耐風設計上重要なプロセスである<sup>1)</sup>。種々の屋根形状の建物表面の風圧荷重に関する報告<sup>1-5)</sup>は数多くあるが, ほとんどは定常風下での検討である。一方, 竜巻などに見られる短時間で風速が急激に変化する突風を受ける構造物に定常状態では見られない「風力のオーバーシュート現象」が発生することが明らかにされており<sup>6)</sup>, 中村ら<sup>7)</sup>は突風風洞装置を用いて突風を受ける切妻屋根模型表面の風圧力を測定し, 模型の表面局部風圧においてもオーバーシュート現象が見られ, 各面でそのオーバーシュート風圧の特性が異なることを示した。しかし, その検討は平壁に突風を受ける場合のみにとどまり, 他の壁面に受ける場合は検討されていない。定常風下の風洞実験では風向角の変化によって建物の表面局部風圧分布は大きく異なるこ

とが報告<sup>8)</sup>されており, 突風実験においても突風作用壁面が異なる場合を検討する必要がある。本論文では, 突風風洞を用いて妻壁に立ち上がり時間の短い突風を受ける切妻屋根模型表面の局部風圧力を計測し, その風圧分布特性を検討するとともに, 平壁面に突風を受けた場合<sup>7)</sup>の風圧分布特性との比較を行う。

### 2 風圧力測定実験概要

#### 2.1 実験装置概要

実験は九州大学大学院人間環境学研究院のエッフェル型吸込式風洞を用いて行った。風洞の計測部下流に水平方向に設置した6枚の翼列を回転させることにより, ほぼ無風状態から最短時間0.2秒での風速の立ち上げが可能である。風洞断面内での各計測機器の配置状況を図1に示す。計測部断面寸法は1.5m×1.5m, 計測部前面の風速調整部は2.0m, 計測部は3.0mである。上述のように本風洞は吸込式であるので, 翼列を閉鎖した状態での吸引部の圧力低下を回避するために吸引部の天井と床面に翼列を配置して, 風速制御の翼列開閉と反転同期させている。切妻屋根模型表面に作用する風圧力は多点圧カスキャナ(大手技研 DSA3217)を用いて計測し, 風速測定には超音波風速計と熱線風速計

\* 都市共生デザイン専攻 修士課程

\*\* 人間環境学府

\*\*\* 都市・建築学部門

を併用した。なお、風速計と圧力スキャナの出力信号はそれぞれ 1000Hz と 250Hz(仕様での最大値)でサンプリングした。サンプリング周波数の違いは本実験の所期の目的に影響を及ぼさず、本設定で十分に風圧力のピーク値を捉えることを確認している。

## 2.2 試験体概要

実験には、図2に示す切妻屋根模型を用いた。模型の各辺の寸法は幅  $B=300\text{mm}$ 、奥行  $D=600\text{mm}$ 、高さ  $H=300\text{mm}$  とし、勾配 1/2 の屋根を上部に設置した。模型の表面には多数の圧力測定孔が設けられており、これらの測定孔の圧力はチューブを介して接続した上述の多点圧力スキャナにより測定する。圧力スキャナと

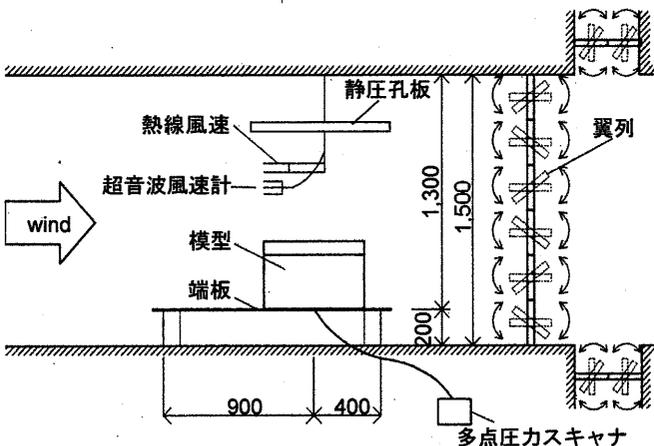


図1 風洞実験配置図 (単位: mm)

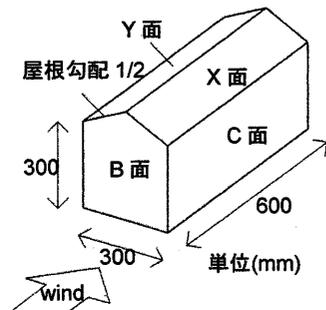


図2 試験体概要

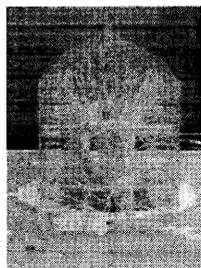


写真1 切妻屋根模型

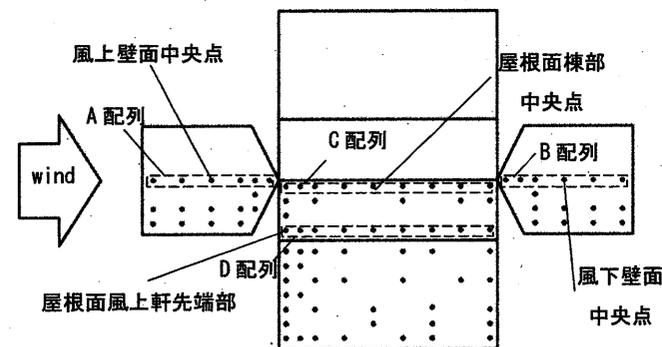


図3 圧力測定孔位置

表1 実験パラメータ

目標風速 $U_t$ (m/s)	2.0, 4.0, 6.0
立ち上がり時間 $t_r$ (sec)	0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 1.0

模型表面測定点を結ぶ導圧チューブの長さピーク圧力の計測値に影響を与えるが、ここでは約 2000mm の長さを使用した。圧力測定点の間隔は 20~120mm で、模型は風向に対して対称であるため実験計測位置は模型の片側のみとした。各面の風圧力測定点の位置を図3に示す。圧力測定孔の総数は 86 点である。写真1は切妻屋根模型を風洞内に設置した様子で、正面の妻面に突風があたる。

## 2.3 測定方法と実験パラメータ

風洞の送風ファンを所定の回転数で駆動させたまま風洞下流部の翼列を閉鎖した状態で計測を開始し、計測開始から約 6 秒後に翼列を所定の速度で開放することで無風状態から風速を立ち上げ、計測時間 20 秒に達するまで模型表面の風圧力と計測部内の風速の時刻歴変化を記録する。

風速が立ち上がった後の定常状態での風速を目標風速  $U_t$ 、無風状態から目標風速に達するのに要する時間を立ち上がり時間  $t_r$  とし、これらを実験のパラメータとした。本実験で用いた目標風速は 2m/s から 6m/s までの 3 通り、立ち上がり時間は 0.2 秒から 1.0 秒まで 6 通りである。表1にパラメータをまとめる。

突風風洞装置を用いて突風を生成した場合、風洞内の瞬間的な静圧勾配の発生により基準静圧の参照位置によって圧力の測定値に大きな差異が生じることが中村らによって報告されている<sup>7)</sup>。この手法<sup>7)</sup>を参考に、本実験では風洞計測部の天井付近に多数の静圧測定孔を配列した板を設置し、模型表面の各測定孔の直上の点における静圧値を同時に測定した。模型の任意の測定孔の圧力波形は瞬間的な静圧変動を含む圧力であるため、その直上の静圧孔板上の圧力波形を差し引いて模型表面の風圧力とした。

## 3 実験結果

### 3.1 風上壁面及び風下壁面の風圧力分布

目標風速 4.0m/s を 0.2 秒および 1.0 秒で立ち上げたときの風速波形を図4(a)と(b)に、そのときの切妻屋根模型の風上壁面中央及び風下壁面中央 (床面からの距離が 190mm) の測定点の風圧力波形をそれぞれ図5(a)と(b)と図6(a)と(b)に示す。前述のように模型の測定点位置は図3に示している。立ち上がり時間 1.0 秒で風速が立ち上がる場合には、風上および風下壁面中央点ともに風速の変化に伴って漸増的に風圧力が変化した。立ち上がり時間 0.2 秒の場合には風速が立ち上がる際に、どちらの壁面中央点でも大きなピークが現れた後に定常となる「オーバーシュート現象」を確認できる。

また、目標風速 4.0m/s を 0.2 秒で立ち上げたときの風上壁面と風下壁面でのピーク風圧係数と定常風圧係数を図7に示す。ピーク風圧係数  $C_p$  を以下のように定

義する。

$$\text{正圧ピーク風圧係数 } C_{pmax} = p_{max} / q_H$$

$$\text{負圧ピーク風圧係数 } C_{pmin} = p_{min} / q_H$$

ここに、 $p_{max}$ ：正のピーク風圧力、 $p_{min}$ ：負のピーク風圧力、 $q_H$ ：基準速度圧 $=1/2 \rho U_i^2$ 、 $\rho$ ：空気密度、 $U_i$ ：目標風速である。

ここでの測定点は、図3に示した棟部を通る直線上に位置する風上壁面の測定点(A配列)と風下壁面の各測定点(B配列)である。風上壁面と風下壁面ともに、定常状態の2倍以上の大きなピーク風圧が現れている。

### 3.2 屋根面の風圧力分布

以下では図3に示した棟部のC配列と軒先部のD配列に着目する。風速4.0m/sを0.2秒で立ち上げたとき

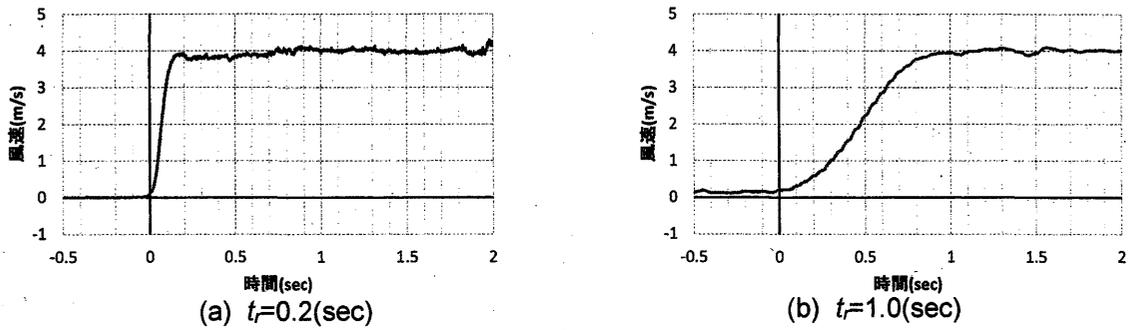


図4 風速波形 ( $U_i=4.0\text{m/s}$ )

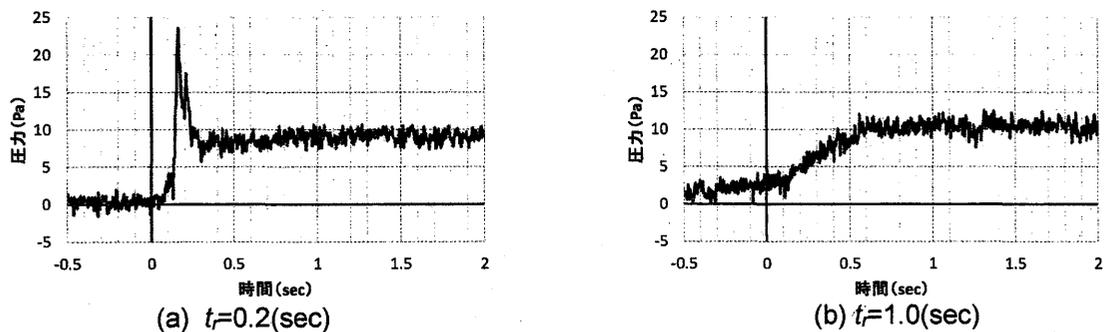


図5 風上壁面中央(床面から190mm)の点の風圧力波形 ( $U_i=4.0\text{m/s}$ )

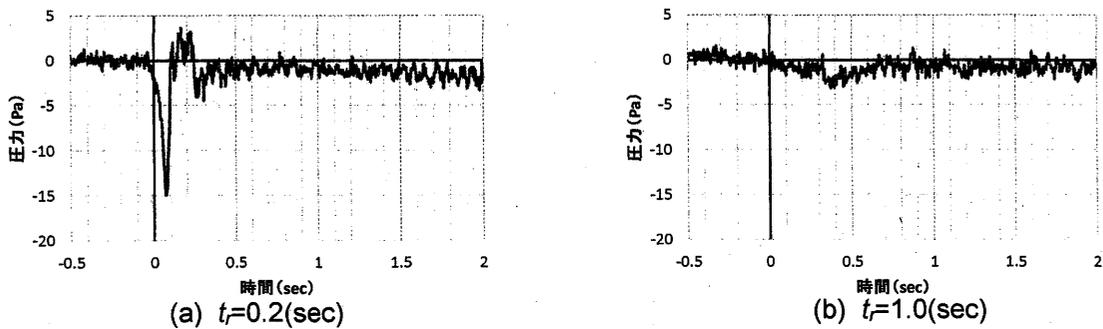


図6 風下壁面中央(床面から190mm)の点の風圧力波形 ( $U_i=4.0\text{m/s}$ )

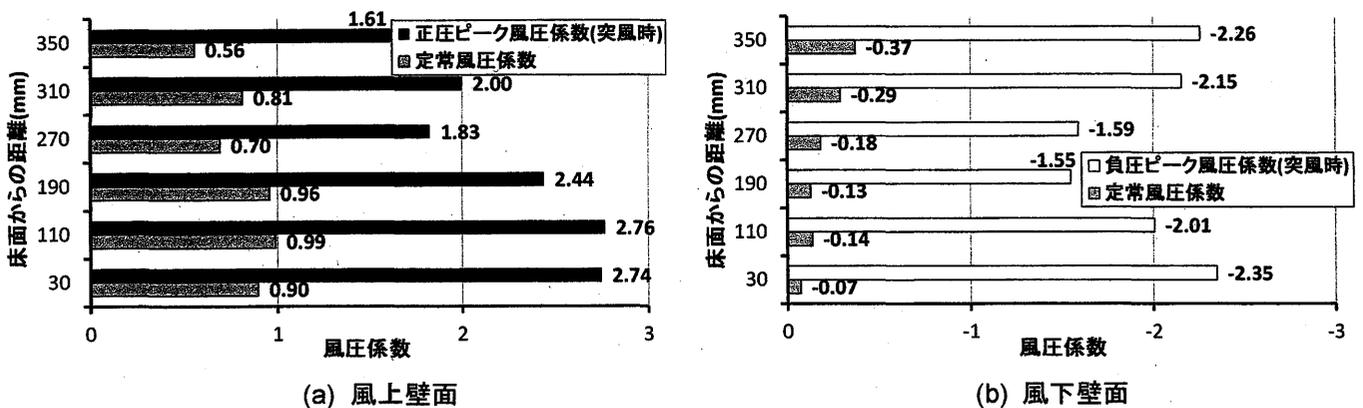


図7 風上・風下壁面におけるピーク風圧係数と定常風圧係数 ( $U_i=4.0\text{m/s}$ ,  $t=0.2\text{sec}$ )

の屋根面における正圧ピーク風圧係数、負圧ピーク風圧係数および定常風圧係数の比較を図8(a)と(b)に示す。棟部、軒先部ともに正圧よりも負圧の方が大きく、定常状態と比べてもかなり大きなピークが現れている。棟部では風下側で、軒先部では風上側で負圧が大きくなる傾向にある。棟部と軒先部ともに、風上壁面からの距離が60mmと100mmの点では正圧でもピーク風圧係数が1を超えている。

棟部の風上壁面からの距離60mmの点での風圧力波形を図9(a)に示す。この位置では棟部と軒先部ともに負の定常風圧力に達する前に、大きな正のピークを記録した。この現象は風上壁面から60mmと100mmの点でよく見られたが、正の圧力ピーク値は徐々に小さくなり、目立たなくなる。剥離により生じる渦の影響で正側に大きなピーク風圧力が生じる可能性が考えられるが、さらなる検討が必要である。

図8より最も大きなピーク風圧係数が確認された軒先部における風上壁面からの距離が20mmの計測点での波形を図(b)に示す。この点では負圧に大きなピークが現れた後に定常となっている。

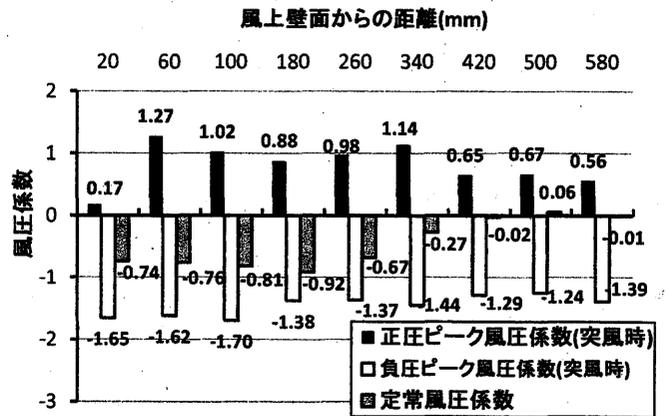
### 3.3 無次元立ち上がり時間とピーク風圧係数の関係

目標風速と立ち上がり時間の実験データを系統立てて整理するため、立ち上がり時間を無次元化した無次元立ち上がり時間  $t_r'$  を次式で定義する<sup>8)</sup>。

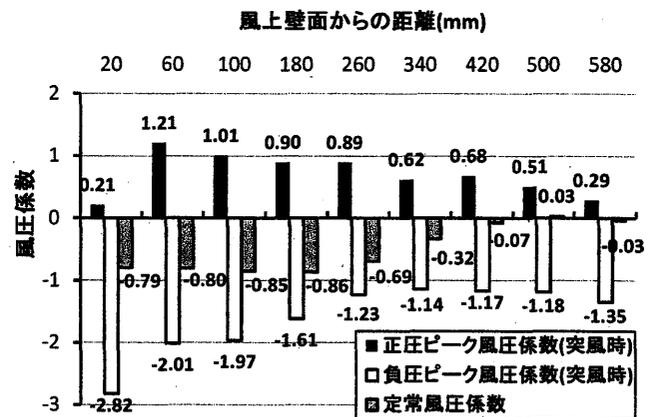
$$t_r' = U_i \cdot t_r / d \quad (1)$$

ここに、 $t_r$ : 立ち上がり時間、 $U_i$ : 目標風速、 $d$ : 模型の代表長さで、ここでは代表長さを模型の流れ方向長さである奥行き  $D$  とした。

図3に示した屋根面の棟部(C配列)と軒先部(D配列)における風上(風上壁面からの距離20mm)測定点、中央(風上壁面からの距離260mm)測定点および風下(風上壁面からの距離580mm)測定点毎の無次元立ち上がり時間とピーク風圧係数の関係を図10(a),(b)に示す。ここでのピーク風圧係数は負圧ピーク風圧係数の絶対値とした。棟部における風上と中央のピーク風圧係数は無次元立ち上がり時間が1以上ではあまり変化していないが、風下では無次元立ち上がり時間が小さくなるにつれ大きくなり、無次元立ち上がり時間が0.67では全ての点で最大となりその値は同程度となる。軒先部において、中央では無次元立ち上がり時間が1以上ではピーク風圧係数にあまり変化がない。また、風上と風下では無次元立ち上がり時間が小さくなるにつれ大きくなり、無次元立ち上がり時間が0.67で全ての点で最大となるが、風上では中央、風下と比較してもかなり大きな値であることがわかる。さらに、棟部測定点と軒先部測定点を比較すると、中央と風下ではあまり変化がないが、風上では無次元立ち上がり時間が2以下で軒先部の方が大きくなる。

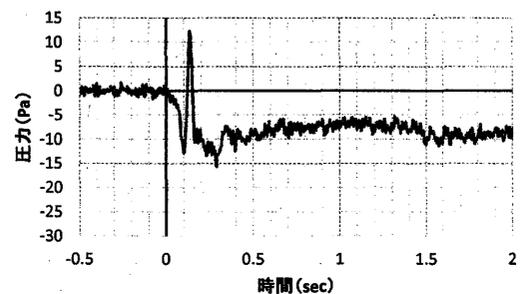


(a) 棟部(C配列)測定点

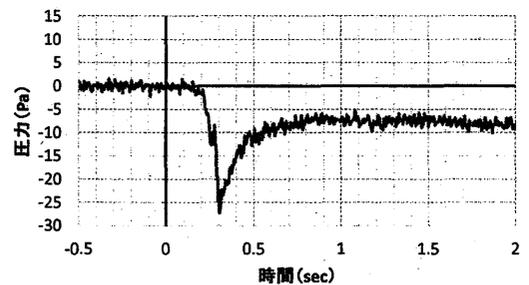


(b) 軒先部(D配列)測定点

図8 風上・風下壁面におけるピーク風圧係数と定常風圧係数 ( $U_i=4.0\text{m/s}$ ,  $t_r=0.2\text{sec}$ )



(a) 棟部における風上壁面からの距離が60mmの点での波形



(b) 軒先部における風上壁面からの距離が20mmの点での波形

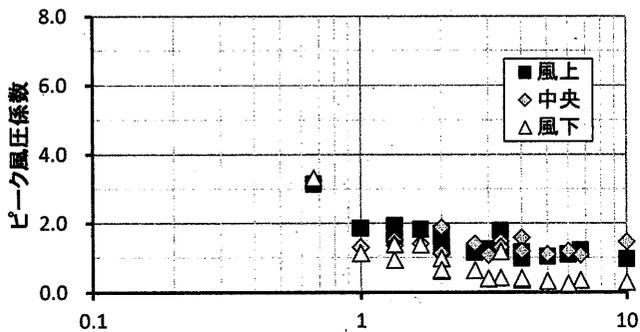
図9 屋根面における風圧力の波形 ( $U_i=4.0\text{m/s}$ ,  $t_r=0.2\text{sec}$ )

図3に示した各模型の風上壁面中央点、屋根面棟部中央点及び風下壁面中央点のピーク風圧係数と無次元立ち上がり時間の関係を図11に示す。ここでの風圧係数は、風上壁面中央点では正圧ピーク風圧係数、屋根面棟部中央点と風下壁面中央点では負圧ピーク風圧係数の絶対値とした。どの測定点においても実験結果はほぼ同一直線上にプロットされ、無次元立ち上がり時間が小さいほどピーク風圧係数が大きくなる傾向が見られる。また、各風速での定常状態におけるピーク風圧係数  $peak C_s$  を図11に示しているが、これはそれぞれのパラメータでの定常状態における圧力の最大値または最小値を平均化したものを基準速度圧で除したものと定義する。それぞれの風速で  $peak C_s$  を上回ってプロットされたパラメータにおいてオーバーシュート現象が確認された。風上壁面中央と風下壁面中央では無次元立ち上がり時間が3程度までオーバーシュート現象が見られたに対し、屋根面棟部中央でオーバーシュート現象が見られたのは目標風速2.0m/sと4.0m/sの立ち上がり時間0.2秒の場合のみであった。

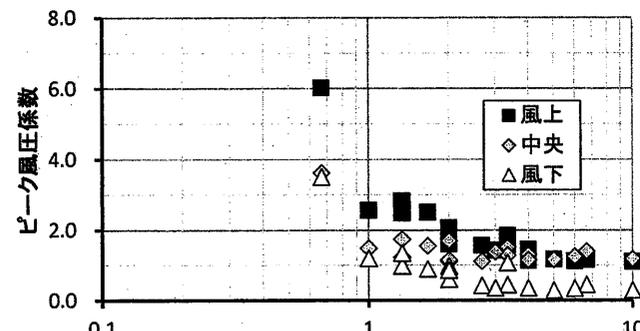
### 3.4 突風作用壁面が異なる場合との比較

突風作用壁面の違いが与える影響を検討するため、平壁に突風を受ける場合との比較を行う。

妻壁に突風を受ける場合の屋根面棟部中央点および軒先端部測定点と平壁に突風を受ける場合の風上屋根



(a) 棟部測定点

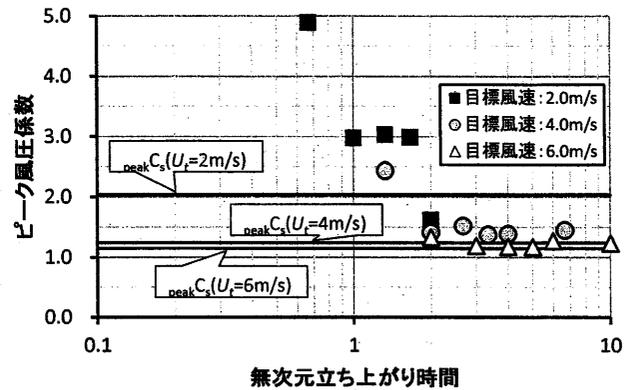


(b) 軒先端部測定点

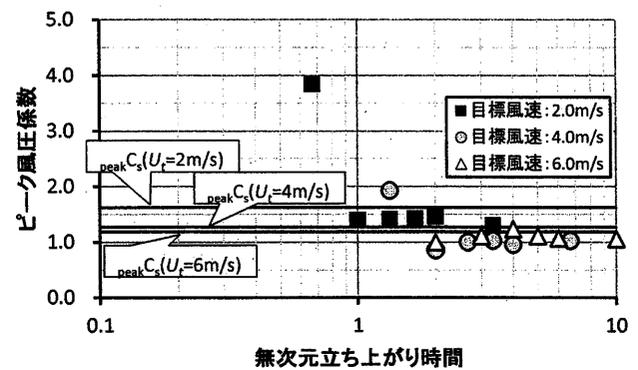
図10 屋根面の各位置における無次元立ち上がり時間とピーク風圧係数

面中央点および風下屋根面中央点での、負のピーク風圧係数の絶対値と無次元立ち上がり時間との関係を図12(a)で比較する。同一測定点での比較ではないが、同じ無次元立ち上がり時間では、平壁に突風を受ける場合の方が妻壁に突風を受ける場合よりも、屋根面で大きなピーク風圧係数が見られる。

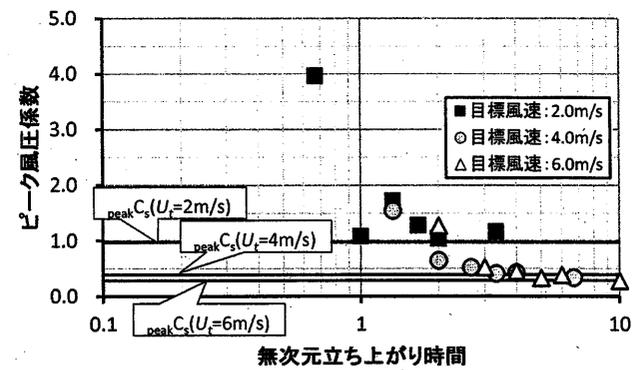
また、平壁の中央点において妻壁に突風を受ける場合(側壁面として受ける場合)と平壁に突風を受ける場合(風下壁面として受ける場合)での負のピーク風圧係数の絶対値と無次元立ち上がり時間との関係を図12(b)で比較する。実験パラメータが異なるため平壁に突風



(a) 風上壁面中央点

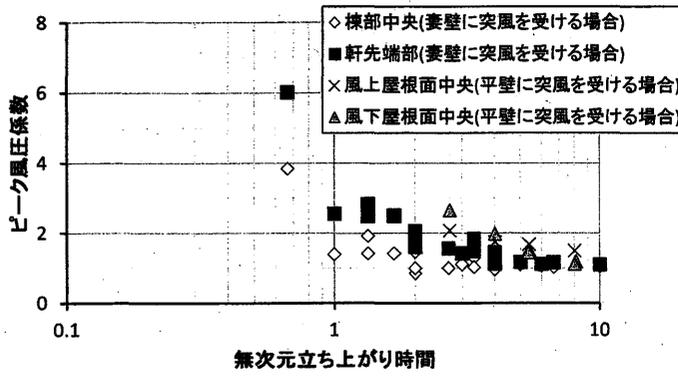


(b) 屋根面棟部中央点

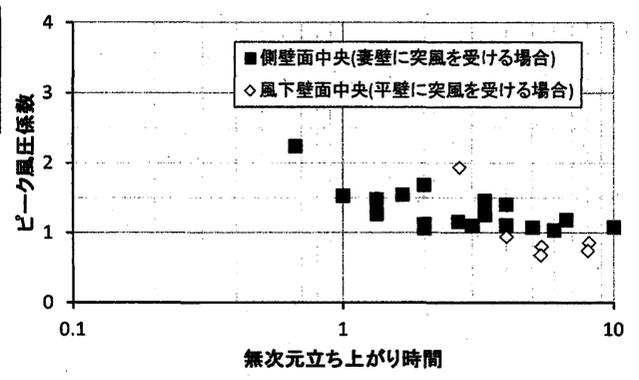


(c) 風下壁面中央点

図11 無次元立ち上がり時間とピーク風圧係数の関係



(a) 屋根面における比較



(b) 壁面における比較

図 1 2 突風作用壁面が異なる場合との比較

を受ける場合では無次元立ち上がり時間が小さい場合のデータが少ないが、無次元立ち上がり時間が比較的小さいときは風下壁面として受ける場合の方が大きなピーク風圧係数が見られる。

4 まとめ

妻壁に突風を受ける切妻屋根の風圧力測定を行ったところ、以下の知見を得た。

- (1)妻壁側に立ち上がり時間の短い突風が作用する場合、模型の各面で風圧力のオーバーシュート現象が見られる。
- (2)妻壁から少し離れた屋根面に正のピーク風圧力が発生する。
- (3)軒先部の風上端部測定点で最も大きな負のピーク風圧力が確認された。
- (4)屋根面のピーク風圧係数の分布は風の流れ方向の長さによって異なり、風上では棟部と軒先部でも異なる。
- (5)ピーク風圧係数と無次元立ち上がり時間の関係はほぼ同一直線上にプロットされ、無次元立ち上がり時間が小さいほどピーク風圧係数が大きくなる傾向が見られる。
- (6)風上壁面中央と風下壁面中央では、屋根面棟部中央と比較してオーバーシュート現象がみられるパラメータが多いが、無次元立ち上がり時間が 3 以上になるとほとんどオーバーシュート現象は見られない。
- (7)突風を妻壁に受ける場合と平壁に受ける場合での屋根面における負圧ピーク風圧係数の絶対値は、無次元立ち上がり時間が同程度の場合、平壁に突風を受ける場合の方が大きくなる。
- (8)平壁の中央点において負圧ピーク風圧係数の絶対値と無次元立ち上がり時間で比較すると、無次元立ち上がり時間が比較的小さいときは風下壁面として突風を受ける場合の方が大きな値となる。

参考文献

- 1) 日本建築学会, 建築物荷重指針・同解説 2004, pp.22-33, 2004.
- 2) 西村宏昭, 高森浩治: 種々の勾配と奥行き/高さ比を持つ切妻屋根の構造骨組用風荷重, 第 21 回風工学シンポジウム論文集, pp327-332, 2010.
- 3) 亀井勇他, 切妻屋根を持つ建物の風圧係数に関する風洞実験, 日本建築学会学術講演梗概集 (構造系), pp, 887-888, 1980 年
- 4) 亀井勇他, 切妻屋根を持つ建物の風圧係数に関する風洞実験 (その 2 軒・妻軒を有する場合), 日本建築学会学術講演梗概集 (構造系), pp, 1041-1042, 1981 年
- 5) 神田亮他, 陸屋根・切り妻屋根を有する低層建物の設計用風圧係数に関する研究 その 3. 平均風圧係数と風向, 日本建築学会学術講演梗概集 B (構造 I), pp. 119-120, 1992 年
- 6) 中村諭史, 前田潤滋他: 切妻屋根物体の非定常風圧力に及ぼす突風の立ち上がり時間の影響, 第 20 回風工学シンポジウム論文集, pp.337-342, 2008.
- 7) 中村諭史, 前田潤滋他: 突風風洞での基準静圧変動を考慮した圧力計測による切妻屋根物体の表面風圧特性, 第 21 回風工学シンポジウム論文集, pp197-202, 2010.
- 8) Takeuchi, T., Maeda, J., Hayata, T., and Kawashita, H., Effects of section size on aerodynamic forces on an elliptical cylinder under short-rise-time gusts. Proceedings of the 7th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, pp.731-734, 2009.

(受理:平成25年5月23日)