

# 切妻屋根形状建物の軒先と“けらば”に作用する突風時風荷重の増大効果に関する研究

高橋 正名

## 1. 序

立ち上がり時間の短い突風下で、定常風と比較して非常に大きな風力が構造物に作用する風力の「オーバーシュート現象」は、既に多くの報告<sup>1)4)</sup>があるが、突風を受ける建物表面の風圧分布特性<sup>2)</sup>には未解明な点が多い。突風風洞装置を用いて切妻屋根模型表面の突風時風圧力を測定した中村ら<sup>6)</sup>の報告は、風力と同様に建物模型の局部風圧にもオーバーシュート現象が見られ、各面でオーバーシュート風圧の分布特性が異なることを示した。一方、竜巻などの突風による被害は軒先および“けらば”に多く見られるが、現行の設計基準<sup>7)</sup>では、軒先の垂木等に作用する風圧力を検討する場合の風力係数として、屋根上面を引き上げる力と壁面に正対する風が軒を押し上げる力とが同時に作用する場合を想定して、屋根上面の外圧係数  $C_{pe(屋根上面)}$  と屋根下面の外圧係数  $C_{pe(屋根下面)}$  (=風上壁面の外圧係数) の和として算定する。しかしながら、壁面に沿って屋根下面に作用する軒の出以外のけらば等の風力については考慮されておらず、また突風などの非定常な場合を想定していないため、オーバーシュート発生時に軒の出のどの位置で最も大きな力が作用するのか、その値はどの程度なのかは明らかにされていない。

本報告では、切妻屋根の軒先と“けらば”に作用する突風風荷重の特性に着目し、突風風向を平壁面と妻壁面として、両者の荷重分布を比較検討することによって、切妻屋根の軒と“けらば”に作用する骨組用風荷重に及ぼす突風風向の影響を明らかにする。

## 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約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力スキャナ(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500Hzでサンプリングした。

### 2.2 試験体概要

実験には、図2に示す軒の出ている切妻屋根模型を用いた。平壁に突風を受ける場合の模型の各辺の寸法は幅300mm、奥行150mm、軒高150mmとし、勾配1/2、軒の出33.5mm、けらばの出30mm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、軒、けらば部分には面の表裏に測定孔がある。それぞれを“軒上面測定孔”と“軒下面測定孔”と示す。軒上面測定孔と軒下面測定孔の間隔は仕様のため3mmのずれを置いてい

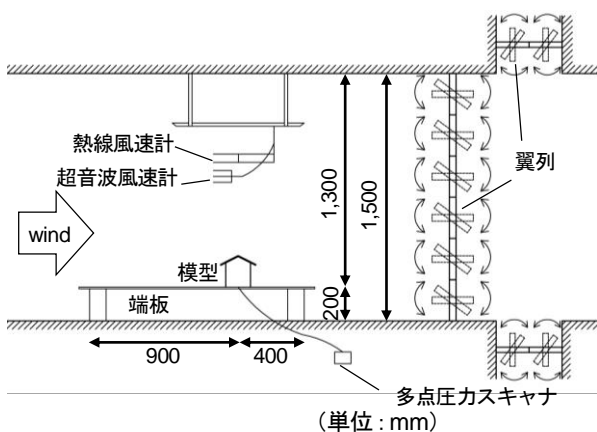


図1 風洞実験配置図

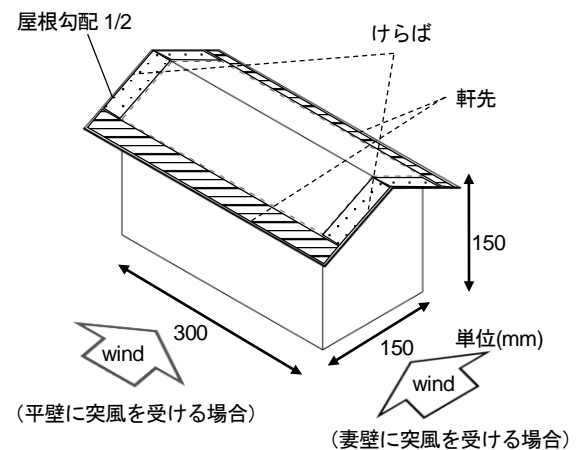


図2 試験体概要

る。これらの測定孔の圧力をチューブを介して接続した上述の多点圧カスケナにより測定する。圧カスケナと模型表面測定孔を結ぶ導圧チューブの長さは 2000mm である。本実験は、図 2 に示すように平壁に突風を作用させた場合と、模型を 90°回転させ妻壁に突風を作用させた場合との 2 つの風向で行ったが、模型はそれぞれの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。切妻屋根展開図に示した風圧力測定点の位置を図 3 に示す。圧力測定は軒上面 48 点と軒下面 48 点の計 96 点で行ったが、本論文では図 3 に示した平壁に突風を受ける場合の 4 点と妻壁に突風を受ける場合の 4 点の代表測定点について報告する。

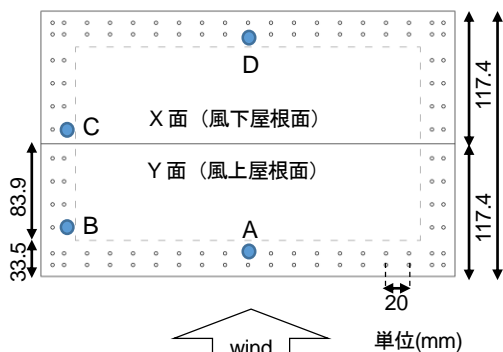
### 2.3 測定方法と実験パラメータ

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。

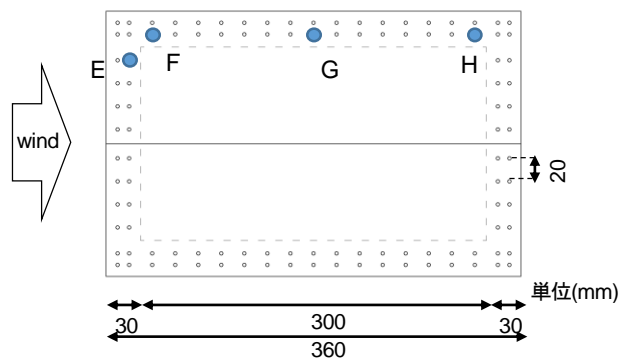
風速が立ち上がった後の定常状態での風速を目標風速  $U_t$ 、無風状態から目標風速に達するのに要する時間を立ち上がり時間  $t_r$  とする。これらを実験のパラメータとし、パ

表 1 実験パラメータ

目標風速 $U_t$ (m/s)	2.0, 4.0, 6.0, 8.0
立ち上がり時間 $t_r$ (sec)	0.2, 0.4, 0.6, 1.0



(a) 平壁に突風を受ける場合



(b) 妻壁に突風を受ける場合

図 3 圧力測定孔位置

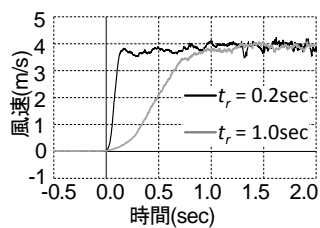
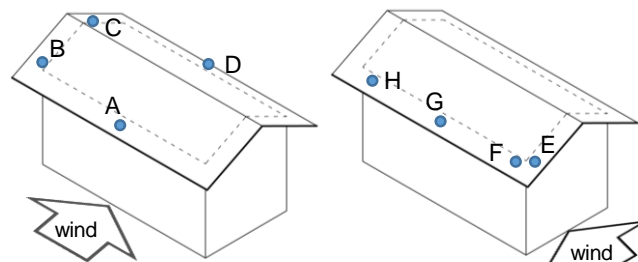


図 4 風速波形 ( $U_t=4.0\text{m/s}$ )



(a) 平壁に突風を受ける場合

(b) 妻壁に突風を受ける場合

図 5 代表計測点位置

ラメータ毎に 3 回測定を行った。表 1 にパラメータをまとめる。

### 3. 実験結果

#### 3.1 風速・風力波形

目標風速  $4.0\text{m/s}$  を  $0.2\text{秒}$  および  $1.0\text{秒}$  で立ち上げたときの風速波形を図 4 に示す。また各代表計測点における目標風速  $4.0\text{m/s}$  を  $0.2\text{秒}$  および  $1.0\text{秒}$  で立ち上げたときの平壁に突風を受ける場合の風力波形を図 6(a)~(d) に、妻壁に突風を受ける場合の風力波形を図 7(a)~(d) に示す。代表点位置を図 5 に示した。ここでの風力は軒上面で測定した波形から軒下面で測定した波形を差し引くことで求めた。軒とげらばに作用する単位面積当たりの力であるため単位は  $\text{Pa}(\text{N/m}^2)$  であるが、以下これを風力と呼ぶ。この風力波形では、正値は軒を下向に押す力、負値は上向へ引っ張る力と定義した。

平壁に突風を受ける場合の A, B 点、妻壁に突風を受ける場合の E, F, H 点での風力は、立ち上がり時間  $1.0\text{秒}$  では緩やかに増大しているのに対し、立ち上がり時間  $0.2\text{秒}$  ではオーバーシュート現象が発生している。A, E 点では負のオーバーシュートが確認できるが、B, F, H 点でのオーバーシュート風力は正値となる。A, E 点では定常状態の風力値も大きい、これは軒上面に作用する負圧に加えて、風上壁面にあつた風が壁面に沿って吹き上がり、軒下面に作用した正圧の影響であると考えられる。B 点では定常状態においても正値となるのに対し、F 点と H 点の定常状態ではそれぞれ負と正になるが値が小さくなる。これは風を受け

る屋根の向きの違いによる勾配の影響であると考えられる。

C点では立ち上がり時間0.2秒で最も大きな負のピークを記録した。1.0秒においてもわずかに負のピークを記録し、定常状態ではわずかに正值となる。D点では立ち上がり時間0.2秒でオーバーシュート現象が見られたが値は小さく、定常状態ではほとんど力がかからない。一方、G点では立ち上がり時間0.2秒においてもオーバーシュート現象は起こらない。

### 3.2 軒先と“けらば”の風力係数分布

目標風速4.0m/s、立ち上がり時間0.2秒のときの突風を平壁および妻壁に受ける場合の軒とけらばの風力係数分布をそれぞれ図7と図8に示す。オーバーシュート発生時のピーク風力値 $P_{peak}$ を突風風速の速度圧 $q_H$ で除した値をオーバーシュート風力係数と定義して、次式(1)で算出する。

$$C_{overshoot} = P_{peak} / q_H \quad (1)$$

ここに、 $P_{peak}$ :オーバーシュート発生時のピーク風力絶対値、 $q_H$ :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。

平壁に突風を受ける場合において、定常状態とオーバーシュート発生時では風力係数分布が異なる。オーバーシュート発生時の風上屋根面の軒先及びけらばでは、定常状態の値と比較して1.5倍程度のピーク値の分布となるのに対し、定常状態ではほとんど力のかからない風下屋根面において、オーバーシュート発生時ではけらばの棟付近にて大きな負値をとり、けらば寄りの軒先の点で大きな正值をとる。

妻壁に突風を受ける場合に注目すると、定常状態では負の分布となる風上側のけらばより後方に位置する軒先ではほとんど力がかからないのに対し、オーバーシュート発生時では軒先に正のピークを記録する点がある。

突風を平壁に受ける場合と妻壁に受ける場合を比較すると、オーバーシュート発生時のピーク値は正負ともに平壁に突風を受ける場合の方が大きい。これは風向に対して屋根勾配のある平壁に受ける場合の風上屋根面を下に押す力や棟部での剥離によって生じる非定常渦の影響の影響であると考えられる。

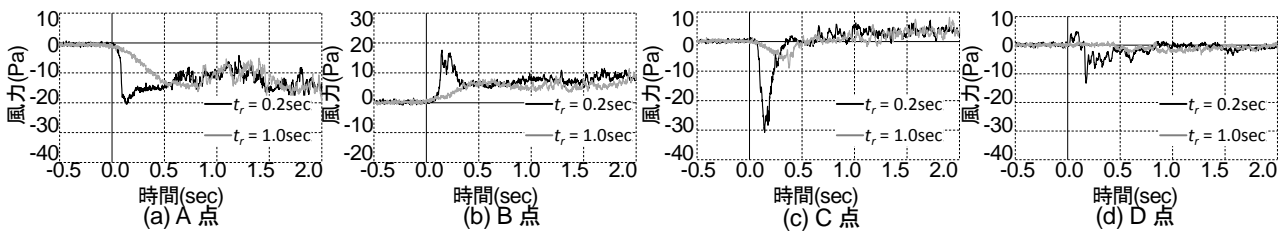


図6 平壁に突風を受ける場合の風力波形 ( $U_f=4.0\text{m/s}$ )

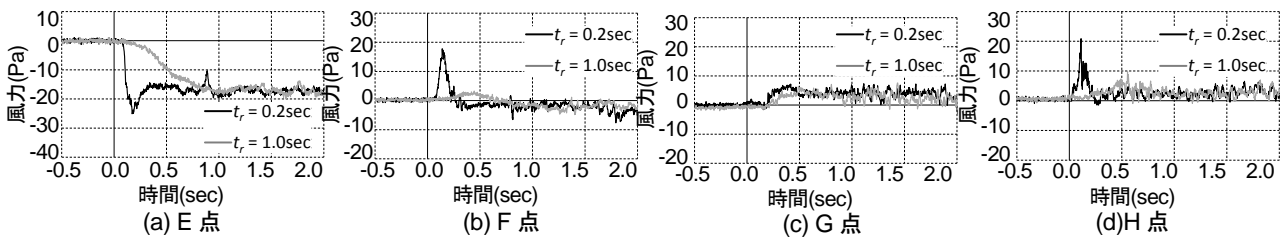


図7 妻壁に突風を受ける場合の風力波形 ( $U_f=4.0\text{m/s}$ )

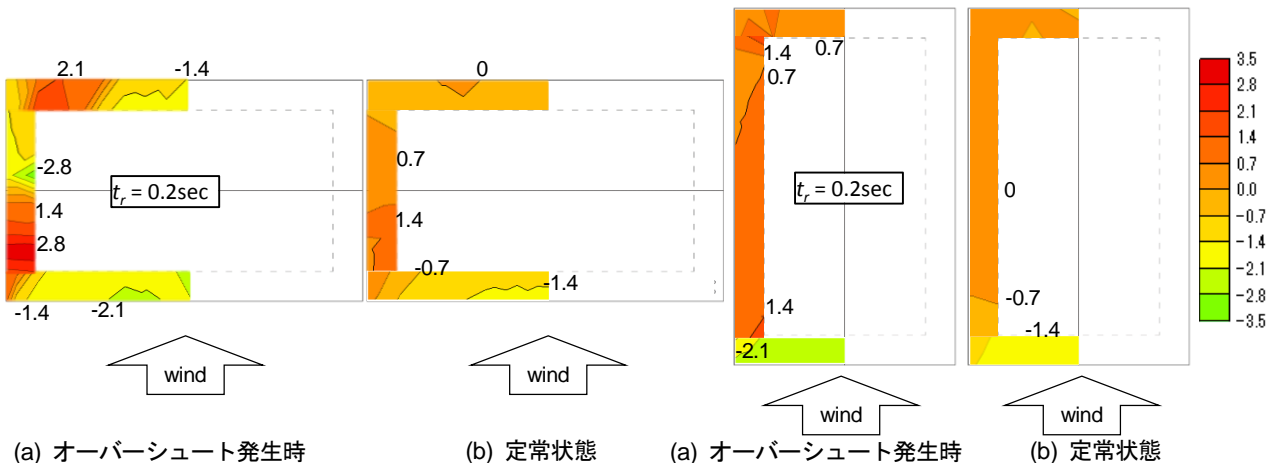


図8 平壁に突風を受ける場合の風力係数分布

図9 妻壁に突風を受ける場合の風力係数分布

### 3.3 突風作用壁面の違いによる比較

風速と立ち上がり時間の実験データを系統的に整理するため、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(2)で定義する<sup>8)</sup>。

$$t_r' = U_i \cdot t_r / d \quad (2)$$

ここに、 $t_r$ : 立ち上がり時間、 $U_i$ : 目標風速、 $d$ : 模型の代表長さである。ここでの代表長さは平壁に突風を受ける場合の模型の流れ方向長さである奥行き 150mm とした。

無次元立ち上がり時間と 3.2 節で示したオーバーシュート風力係数の関係によって 2 風向を比較したものを図 10 に示す。突風を平壁に受ける場合の A,C 点と妻壁に受ける場合の E 点を比較する。A,E 点は現行の設計の基準となっている部分で、3.2 節で示した風力分布において定常状態、オーバーシュート発生時ともに負値をとる部分に位置する。またそれぞれの風向でその部分内での風力が最大となる点である。また、C 点は図 8 と図 9 のオーバーシュート発生時において最も大きな負のピークを記録した点である。どの測定点においても実験結果はほぼ同じパターンにプロットされ、無次元立ち上がり時間が小さいほどオーバーシュート風力係数が大きくなる傾向が見られた。また同じ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小さい場合は平壁に突風を受ける場合の C 点の風力係数が大きく、無次元立ち上がり時間が 5 以上では妻壁に突風を受ける場合の E 点の風力係数が大きい。軒先に位置する A 点とけらばに位置する E 点は両者とも軒下に正圧が作用することで時刻歴波形が類似するが、無次元立ち上がり時間の大小に関わらずけらばに位置する E 点の方が大きい。これらから 3 点の局部に作用する風力を比較すると、パラメータを問わず、軒先に作用する風力よりけらばに作用する風力の方が負に大きいことがわかる。

### 4. まとめ

2 風向に突風を受ける切妻屋根の軒と“けらば”の風力測定を行い、以下の知見を得た。

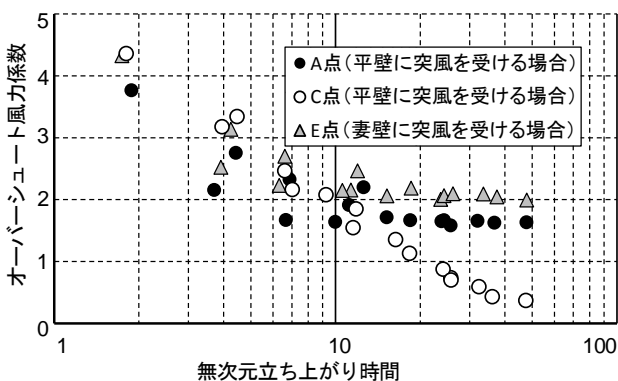


図 10 風向別の比較

- (1) 立ち上がり時間の短い突風下では、軒と“けらば”に作用する単位面積当たりの風力においてオーバーシュート現象が見られるが、波形の特性は風向および測定孔位置によって異なる。
- (2) 軒と“けらば”の風力係数分布は定常状態とオーバーシュート発生時では異なり、平壁に受ける場合の定常状態ではほとんど力のかからない風下屋根面で、オーバーシュート発生時にはけらばの棟付近にて大きな負値をとり、けらば寄りの軒先の点で大きな正値をとる。
- (3) 平壁に突風を受ける場合のオーバーシュート発生時の風力係数分布は、屋根勾配や棟部での風の剥離による影響を受けて複雑な分布となり、突風を妻壁に受ける場合より正または負に大きなピークを記録する点が多い。
- (4) 無次元立ち上がり時間で整理したオーバーシュート風力係数の比較では、無次元立ち上がり時間が小さいほど、平壁に突風を受ける場合の風下屋根面“けらば”に位置する棟寄りの測定点での値が大きく、無次元立ち上がり時間が大きい場合では妻壁に突風を受ける場合の“けらば”の測定点での値が大きい。
- (5) 軒先に作用する風力と“けらば”に作用する風力を比較すると、2 風向の場合ではパラメータに関わらず“けらば”に上向きに作用する風力の方が大きい。

### 参考文献

- 1) S.Taneda, The development of the lift of an impulsively started elliptic cylinder at incidence. Journal of the Physical Society of Japan, Vol.33, No.6, pp.1706-1711, 1972.
- 2) Matsumoto, M., Shimamura, M., Maeda, T., Shirato, H., Yagi, T., Hori, K., Kawashima, Y. and Hashimoto, M., Drag forces on 2-D cylinders due to sudden increase of wind velocity. Proceedings of 12th International Conference on Wind Engineering, pp.1727-1734, 2007
- 3) T. Sarpkaya, Separated Flow about Lifting Bodies and Impulsive Flow about Cylinders, AIAA Journal, Vol.4, No.3, pp.414-420, 1966
- 4) 竹内崇, 前田潤滋, ステップ関数的突風を受ける物体のオーバーシュート風力 - 基本形状物体に作用する非定常抗力の実験的検討 -, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 681 号, 1629-1635, 2012.
- 5) 日本建築学会, 建築物荷重指針・同解説 2004, pp.22-33, 2004.
- 6) 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, pp.197-202, 2010.
- 7) 2007 年版建築物の構造関係技術基準解説書, p.259
- 8) Takeuchi, T., Maeda, J., Hayata, T., and Kawashita, H., Effects of section size on aerodynamic forces on an elliptic cylinder under short-rise-time gusts. Proceedings of the 7th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, pp.731-734, 2009.