九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

風洞実験による軒の出を有する切妻屋根建物の突風風圧分布

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

高瀬, 賢佑
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, 和弘
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

他

https://doi.org/10.15017/1485049

出版情報：都市・建築学研究. 25, pp.55-60, 2014-01-15. Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

都市・建築学研究　九州大学大学院人間環境学研究院紀要　第25号，2014年1月
J. of Architecture and Urban Design, Kyushu University, No.25, pp. 55～60, Jan. 2014

風洞実験による軒の出を有する切妻屋根建物の突風風圧分布

Gust Pressure of Gabled Roof Building with Pendent Eaves by Wind Tunnel Test

高橋正名*，高瀬賢佑*，大坪和広*，鶴　則生**，友清衣利子***，前田潤滋***
Masana TAKAHASHI, Kensuke TAKASE, Kazuhiro OTSUBO,
Norio TSURU, Eriko TOMOKIYO and Junji MAEDA

Already the authors have reported that wind pressure on surface of a gable roof body caused by a short-time rise gust grew much bigger than in a steady flow. In this paper, we focused on wind pressure on pendent eaves of gable roof structure. In the result of our gusty wind tunnel test, it was found that the overshoot of wind pressure occurred on top and bottom faces of the pendent eaves. And the intensity of overshoot wind force, acting on eaves, which is calculated as the difference between pressure on top and bottom faces of the eaves, depended on the location of measuring point strongly.

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

2012年に北関東で発生した複数の竜巻による住家の転倒や外装材の飛散など多くの被害[1]は記憶に新しいが，このような竜巻などでは，風速が短時間で急激に増加する。そのような立ち上がり時間の短い突風下では，定常的な風による風力と比較して非常に大きな風力が構造物に作用することがあり，これを風力の「オーバーシュート現象」と呼び，これまでにも多くの報告[2-5]がなされているが，突風を受ける建物表面の風圧分布特性[6]には未解明な点も多い。立ち上がり時間の短い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た中村ら[7]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。また，切妻屋根模型の屋根勾配や突風作用壁面などをパラメータとして風圧分布特性の比較検討を行った大坪ら[8]や高橋ら[9]の報告があるが，いずれも主として軒の出を有しない切妻屋根を対象としている。本報告では，軒の出を有する切妻屋根模型に立ち上がり時間の短い突風を作用させ，切妻屋根軒の出の軒上面・軒下面および“けらば”に作用する突風風圧荷重の特性を明らかにする。

*　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

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 250Hz(使用器の仕様での可能最大値)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 に示す軒の出のある切妻屋根模型を用いた。模型の各辺の寸法は幅 600mm，奥行 300mm，軒高 300mm とし，勾配 1/2，軒の出の寸法 55.7mm，けらばの出の寸法

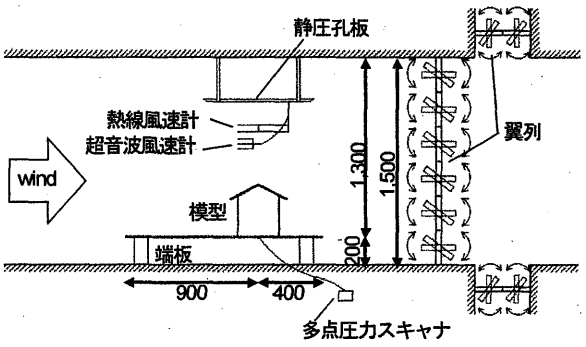


図１　風洞実験配置図（単位：mm）

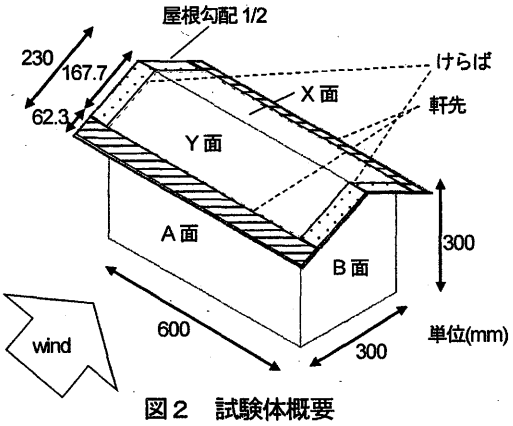


図２　試験体概要

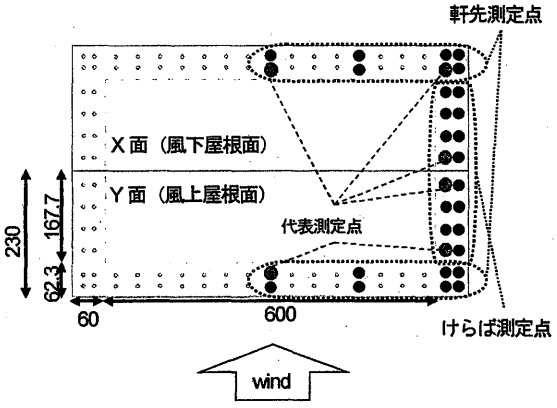


図３　圧力測定孔位置

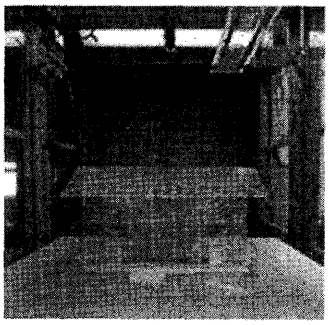


写真１　試験体設置の様子

60mm 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を配置しているが，軒の出とけらばの出部分には屋根面材（厚さ 7mm）の表裏に測定孔を置き，それぞれを“軒上面測定孔”と“軒下面測定孔”と呼ぶ。ただし軒上面測定孔と軒下面測定孔の設置位置の制限から両者の間隔を 10mm ずらしている。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力スキャナにより測定する。なお，軒の出での上下２面の測定チューブは，屋根面材の中を通って模型室内に誘導している。圧力スキャ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。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。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 32 点と軒下面 32 点の計 64 点で行ったが，本論文では図 3 に示した代表測定点 6 点について報告する。写真 1 は試験体を風洞内に設置した様子である。正面の平壁に突風があたる場合を検討した。

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。表 1 に示すように，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 0.6 秒まで 4 通りとし，パラメータ毎に 3 回測定を行った。

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 [7]。この静圧勾配の影響を除去するために，中村らの手法 [7] 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勾配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。

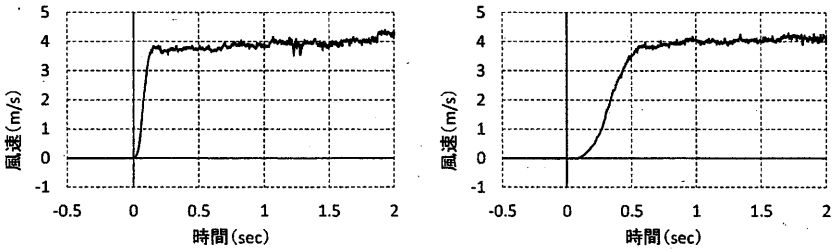
表１　実験パラメータ

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, 0.6

3　実験結果

3.1　風速・風圧力波形

目標風速4.0m/sを0.2秒および0.6秒で立ち上げたときの熱線風速計による風速波形を図4(a)と(b)に示す。図5に示す各代表計測点での目標風速4.0m/sを0.2秒で立ち上げた時の表面圧波形を図6(a)～(f)に示す。ここでの表面圧は軒上面下面ともに，正圧は表面を押す力，負圧は表面を引っ張る力と定義した。図6(a)～(f)に示すとおり，全ての代表測定点で軒上面下面ともに風圧力のオーバーシュート現象を確認した。いずれの計測点でも表面圧が急激に低下した後，大きく上



(a) t_r=0.2sec　　(b) t_r=0.6sec

図４　風速波形（U_r=4.0m/s）

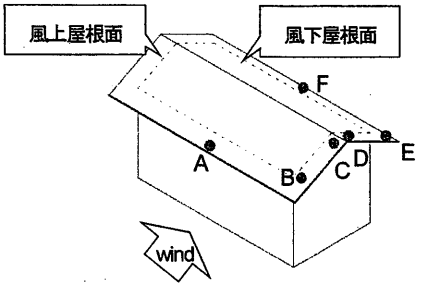
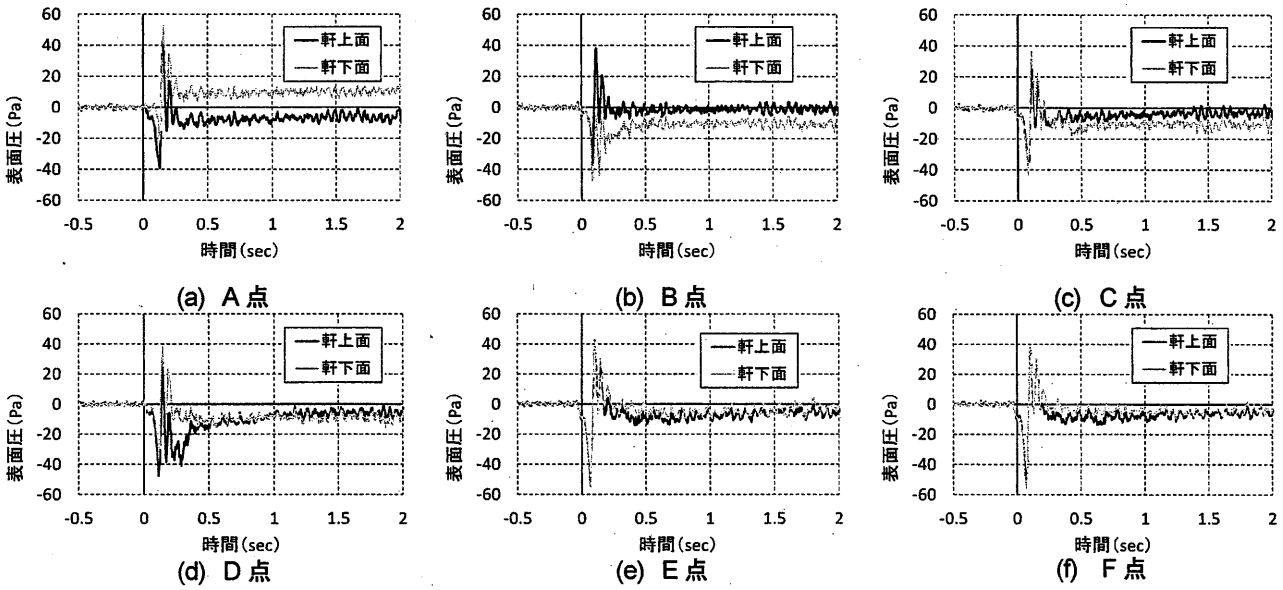


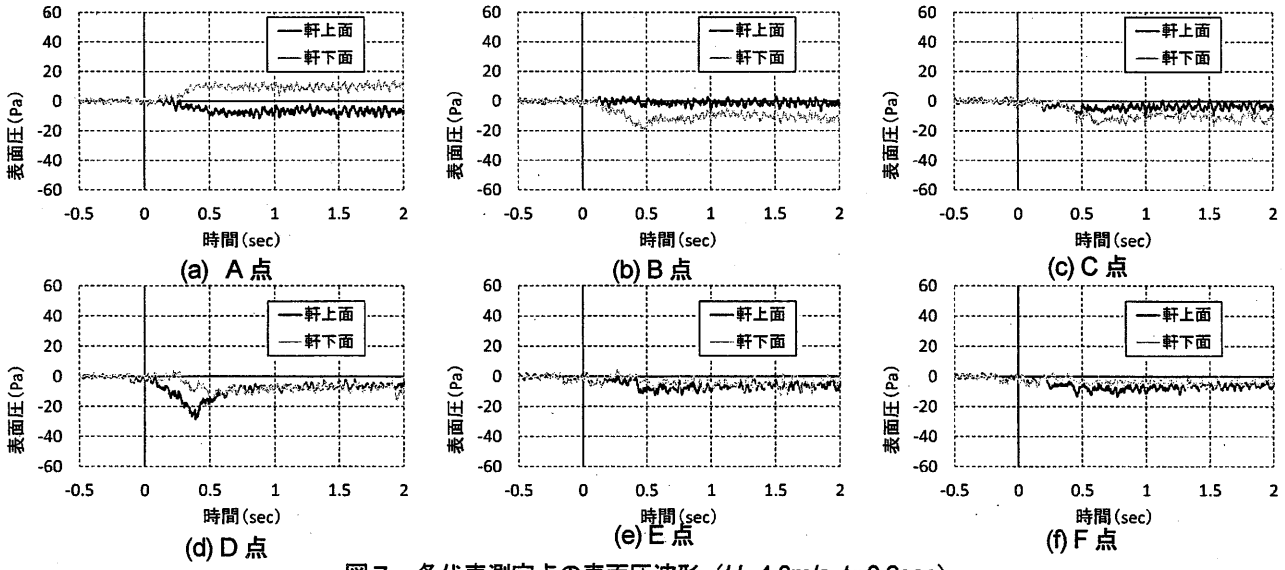
図５　切妻屋根軒先の代表計測点位置



(a) A点　(b) B点　(c) C点

(d) D点　(e) E点　(f) F点

図６　各代表測定点の表面圧波形（U_r=4.0m/s, t_r=0.2sec）



(a) A点　(b) B点　(c) C点

(d) D点　(e) E点　(f) F点

図７　各代表測定点の表面圧波形（U_r=4.0m/s, t_r=0.6sec）

昇し，その後は定常状態へと移行している。A点の軒下面では最も大きな正圧のピークを記録し，その後の定常状態でも正圧であった。これは風上壁面にあたった風が壁面に沿って吹き上がり，軒下面に作用するためであると考えられる。A点以外の計測点では軒上面下面ともに定常状態は負圧，もしくはほとんど風圧力が作用しない。風上屋根面のけらばに位置するB点とC点では負のオーバーシュートが生じる場合および定常状態で軒上面より軒下面の負圧が大きい。

図6 (d)～(f)で示す風下屋根面の表面圧波形に着目すると，軒先にあるE点とF点では軒上面と軒下面の表面圧波形はほぼ一致するが，けらばにあるD点の軒上面では，一度表面圧が低下し，上昇した後，再度大きく圧力低下が起きており，軒下面とは傾向が異なる。また，目標風速4.0m/sを0.6秒で立ち上げた時の表面圧波形を図7(a)～(f)に示す。ほとんどの測定点で圧力は風速とともに緩やかに増加または減少している。風下屋根面のけらばにあるD点では軒上面においてオーバーシュート現象が確認できるが，軒下面では確認できない。これは棟部で風が剥離するため軒上面で大きな負圧が作用したためと考えられる。

3.2 軒先とけらばに作用する風荷重

3.1 で示した軒上面の表面圧波形から軒下面の表面圧波形を差し引くことで軒とけらばに作用する単位面積当たりの風力の時刻歴波形を求める。この波形の単位はPa（=N/m^2）で，以下これを風力波形と呼ぶ。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。目標風速 4.0m/s を 0.2 秒および 0.6 秒で立ち上げたときの風力波形を図 8(a)～(f)に示す。風上屋根面にある A～C 点での風力の絶対値は，立ち上がり時間 0.6 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 秒ではオーバーシュート現象が発生している。A 点では負圧のオーバーシュート現象が確認できるが，B 点でのオーバーシュート風力は正値となる。C 点では負値に変動した後定常状態で正値となった。

風下屋根面である D～F 点に着目すると，D 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。0.6 秒でも負のピークを記録し，定常状態ではわずかに正値となる。E 点および F 点では立ち上がり時間の短長に関わらず目立ったオーバーシュート現象は見られなかった。

また，これらの風力波形を図 6 および図 7 で示した表面圧波形から考察すると，オーバーシュート現象が見られない E 点や F 点では軒上面と軒下面の波形がほぼ一致しており，軒の上下にかかる表面圧力は相殺される。オーバーシュート現象が顕著に見られる点に着目すると，A 点でのピーク値は軒上面の負圧より軒下面の正圧の方が大きく，B 点では軒下面の負圧よりも軒上面の正圧の方が大きい。また D 点では前述のとおり棟部で剥離した風により，軒上面に負圧が生じる。

3.3 無次元立ち上がり時間と風荷重の関係

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(1)で定義する [10]。

$$t_r' = U_t \cdot t_r / d \qquad (1)$$

ここに，t_r：立ち上がり時間，U_t：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とした。

また，軒上面の表面圧力値から軒下面の表面圧力値を差し引いた値を軒の単位面積当たりの作用風力とし，けらばに作用する単位面積当たりの風力 P_a（=N/m^2）とともに，

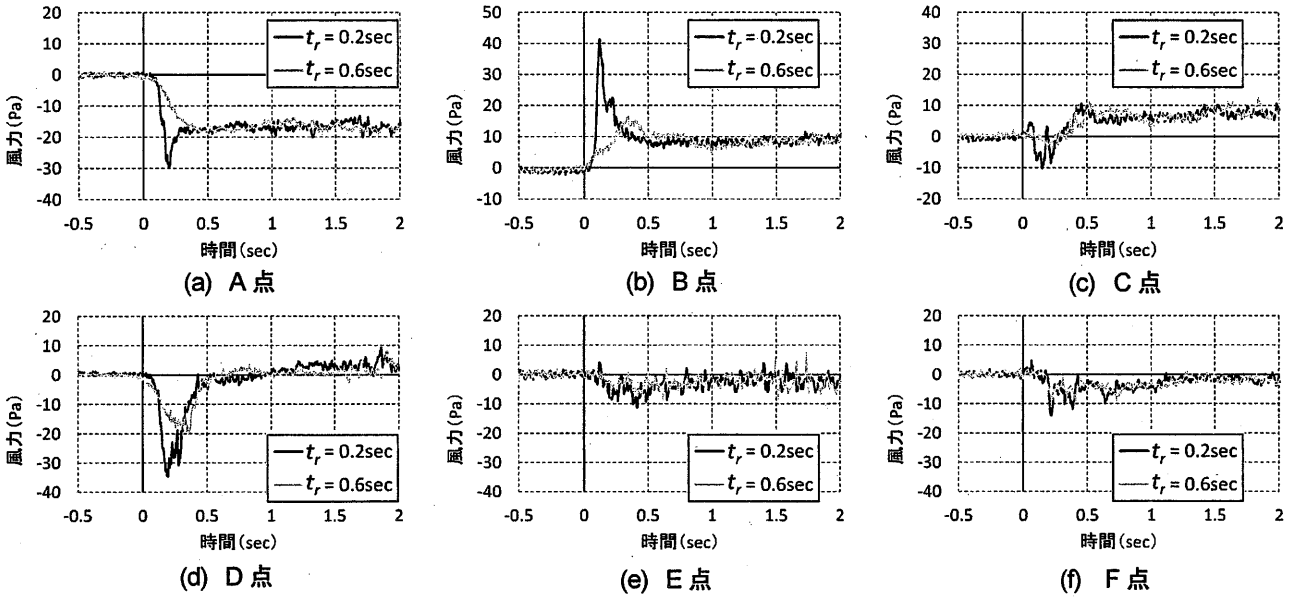


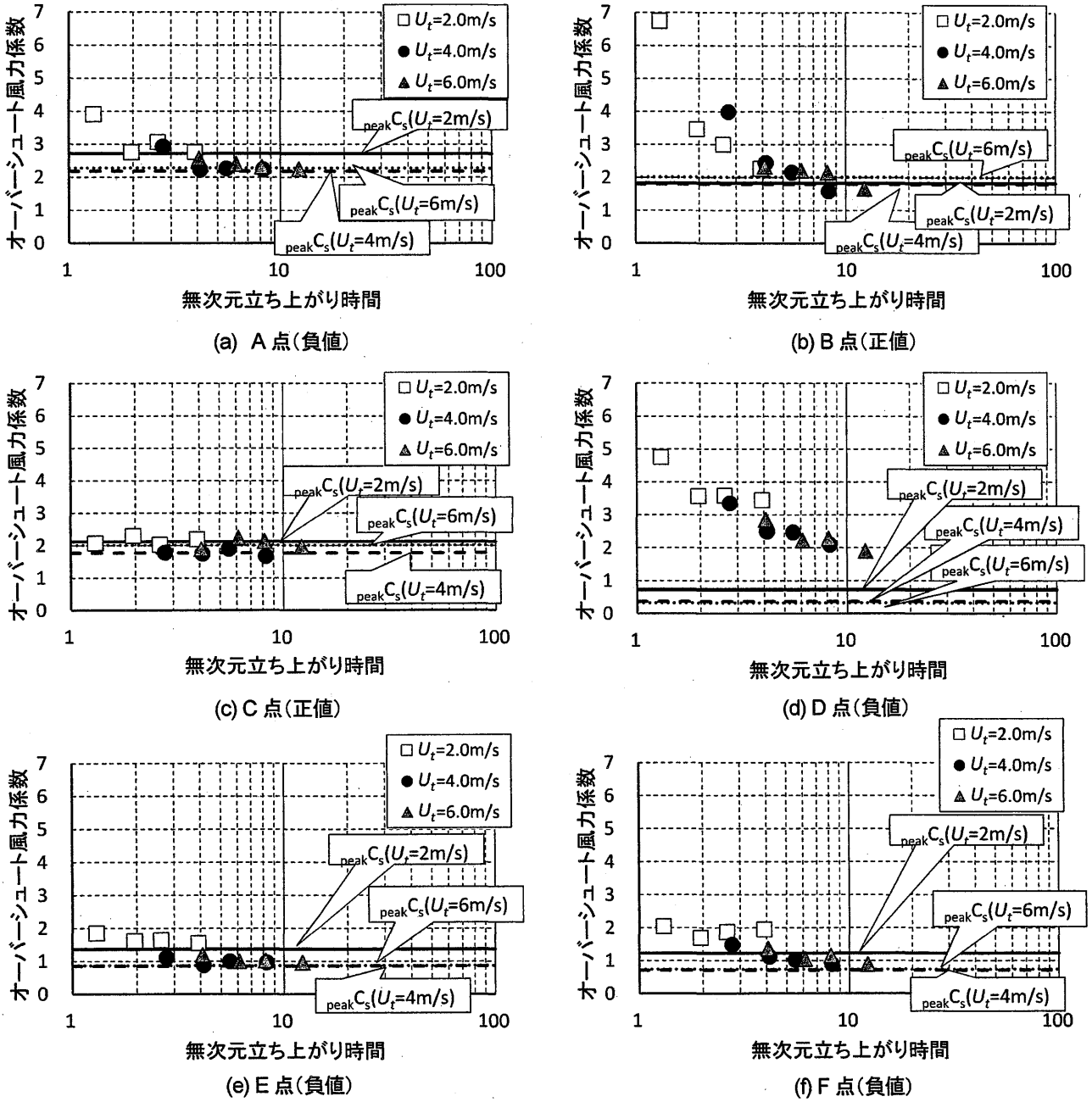
図8 各代表点の風圧力波形（U_t=4.0m/s）

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(2)で算出する。

$$C_{overshoot}=p_{peak}/q_H \qquad (2)$$

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$=1/2\,\rho U_t^2$，ρ：空気密度，U_t：目標風速である。

無次元立ち上がり時間とオーバーシュート風力係数の関係を図9(a)～(f)に示す。代表測定点位置は図5を参照されたい。ここでのオーバーシュート風力係数は，B点とC点では正値，その他の点では負値の絶対値である。また，図9では各風速での定常状態における風力係数のピーク値を $_{peak}C_s$ として示し，それぞれの風速で $_{peak}C_s$ を上回っているものをオーバーシュート現象が発生しているとする。どの測定点においても実験結果はほぼ同じパータンにプロットされ，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。A点，B点，E点，F点では無次元立ち上がり時間が3～4程度までオーバーシュート現象が見られ，特にB点で正のオーバーシュート風力係数が大きくなった。E点とF点でのオーバーシュート風力係数は2程度で，大きなピークは見られなかった。C点では全てのパラメータにおいてオーバーシュート現象は見ら



(a) A点(負値)　(b) B点(正値)　(c) C点(正値)　(d) D点(負値)　(e) E点(負値)　(f) F点(負値)

図9　無次元立ち上がり時間とオーバーシュート風力係数の関係

れなかった。D点では無次元立ち上がり時間が10以上でもオーバーシュート現象が見られた。このような情報は式(1)の無次元立ち上がり時間を用いて実構造物に対応できる。

4　まとめ

突風を受ける軒の出のあ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) 切妻屋根の軒先に立ち上がり時間の短い突風が作用する場合，模型の軒上面，軒下面の表面圧においてオーバーシュート現象が見られた。

(2) 風下屋根面のけらばには，軒上面の表面圧力にはオーバーシュート現象が見られるが，軒下面では見られない測定点があった。

(3) 軒上面と軒下面の表面圧波形を差し引いて得られた単位面積当たりの風力波形においてもオーバーシュート現象が見られた。

(4) 軒の出の位置によってオーバーシュート風力の特性は異なり，風上屋根面のけらばで最も大きな正のピーク風力，風下屋根面のけらばで最も大きな負のピーク風力が確認された。

(5) 無次元立ち上がり時間とオーバーシュート風圧係数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) 軒およびけらばのほとんどの測定点において，無次元立ち上がり時間が3～4程度までオーバーシュート現象は見られた。

(7) 軒上面が風の剥離の影響を受けると考えられる風下屋根面けらばの棟寄りに位置する測定点では，無次元立ち上がり時間10以上でもオーバーシュート現象が確認された。

謝辞　本研究は科学研究費補助金「台風・竜巻等のスーパー突風による建物の風荷重の増大インパクト（基盤(B)22360230代表：前田潤滋）」の助成を受けました。

参考文献

1) 平成24年度文部科学省科学研究費補助金（特別研究促進費）「平成24年5月6日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと被害実態の総合調査研究」成果報告書(研究代表者，前田潤滋)，2013.2

2) 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.

3) 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

4) T. Sarpkaya, Separated Flow about Lifting Bodies and Impulsive Flow about Cylinders, AIAA Journal, Vol.4, No.3, pp414-420, 1966

5) 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.

6) 日本建築学会，建築物荷重指針・同解説2004，pp.22-33，2004.

7) 中村論史，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) 大坪和広，高橋正名，田村直哉，友清衣利子，前田潤滋，立ち上がり時間の短い突風を受ける切妻屋根形状物体の風圧分布特性に及ぼす屋根勾配の影響，都市・建築学研究　九州大学大学院人間環境学研究院紀要，第24号，pp31-36，2013.7

9) 高橋正名，大坪和広，鶴則生，友清衣利子，前田潤滋，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，都市・建築学研究　九州大学大学院人間環境学研究院紀要，第24号，pp37-42，2013.7

10) 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.

（受理：平成25年11月14日）