

一定風から立ち上がる突風による切妻屋根表面の風圧力分布特性

石崎, 翔
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

鶴, 則生
九州大学大学院人間環境学府

前田, 潤滋
九州大学人間環境学研究院都市・建築学部門

<https://doi.org/10.15017/1515821>

出版情報 : 都市・建築学研究. 26, pp.29-34, 2014-07-15. 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 :

一定風から立ち上がる突風による切妻屋根表面の風圧力分布特性

Properties of Wind Pressure on a Gable Roof Body under Gusts with a Steady Wind

石崎 翔*, 高橋正名*, 大坪和広**, 鶴 則生***, 前田潤滋****

Sho ISHIZAKI, Masana TAKAHASHI, Kazuhiro OHTSUBO,

Norio TSURU and Junji MAEDA

Most previous studies have reported an overshoot phenomenon of wind pressure on a gable roof body under a short-rise-time gust from a calm condition. This paper focused on a gust with an initial steady wind speed and reported the properties of unsteady wind pressures on the body using a gust wind tunnel. As a result, it was confirmed that an overshoot wind pressure coefficient decreased with an initial wind speed, and it was possible to systematically classify the overshoot of wind pressure using several non-dimensional coefficient including a rise-time, wind speed and its acceleration.

Keywords: Wind tunnel test, Step-function-like gusty wind,
Overshoot of wind pressure, Non-dimensional acceleration

風洞実験, ステップ関数的突風, 風圧力のオーバーシュート, 無次元加速度

1. 序

竜巻などの突風または台風や季節風などの強風下で風速が短時間で急激に増加すると、定常風時と比較して非常に大きな風力すなわち「風力のオーバーシュート現象」が構造物に発生することが知られている^{1,2)}。また、構造物全体への風力だけでなく、急激に変化する突風下での局所的な風圧力のオーバーシュート現象に関する報告^{3,4)}も多い。中村ら³⁾や高橋ら⁴⁾は突風風洞装置を用いて無風から立ち上がる突風を受ける切妻屋根模型の風圧力の測定を行い、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ることを確認し、定常風圧力と突風下でのピーク風圧力との比であるオーバーシュート係数が無次元立ち上がり時間によって整理できることを示した。しかしながら、実際の突風は無風からではなく、ある一定の風速から急激に変化する場合が多いため、より現実に対応するためには、一定の開始風速から立ち上がる突風での検証が必要である。一定風速から立ち上がる突風下での風力のオーバーシュート現象は既に竹内ら⁵⁾が報告しているが、建物表面に分布する局所的な風圧力のオ

ーバーシュート現象に関する所見は未だ報告されていない。

本研究では、一定の開始風速から立ち上がる突風を受ける切妻屋根模型表面の局部風圧力を、突風風洞装置を用いて計測し、開始風速が風圧力のオーバーシュート現象に与える影響に着目する。新たに、オーバーシュート現象の発生時のピーク風圧係数を「オーバーシュート風圧係数」として整理し、従来の「無次元立ち上がり時間」に加えて、「無次元加速度」を用いて、突風風速と立ち上がり時間および模型の代表長さとの関係を検証する。

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

* 都市共生デザイン専攻 修士課程

** 都市共生デザイン専攻 博士後期課程

*** 人間環境学府

**** 都市建築学部門

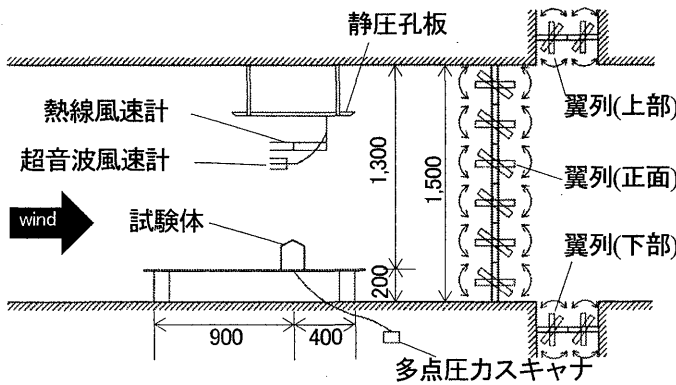


図1 突風風洞概要 (mm)

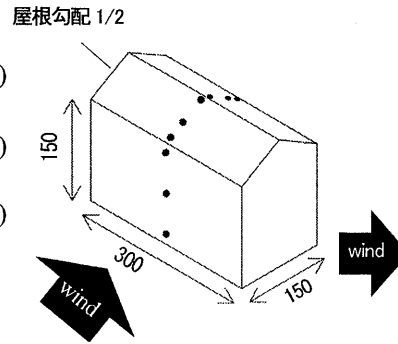


図2 切妻屋根模型の寸法(mm)及び測定点

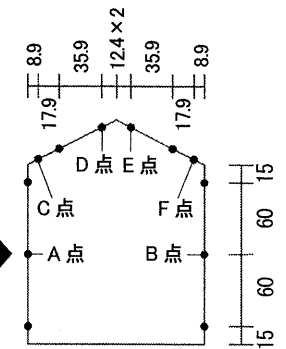


図3 測定点位置(mm)

超音波風速計と熱線風速計を併用した。なお、風速計の信号は 1000Hz、圧カスキャナの信号は 250Hz でサンプルした。

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 300mm、奥行 150mm、軒高さ 150mm とし、勾配 1/2 の屋根を上部に設置した。模型の表面に圧力測定孔を設け、チューブを介して接続した上述の多点圧カスキャナによりこれらの測定孔の圧力を測定する。本論では、図 2 に示す切妻屋根模型の中心を通る線上における測定点の測定結果を報告するとともに、壁面及び屋根面における代表測定点として図 3 に示す A, B, C, D, E, F 点での測定圧力の詳細な検証と考察を行う。

2.3 風圧力測定方法と実験パラメータ

風洞ファンを所定の回転数で駆動させたまま翼列の回転角を調整することで開始風速値を設定する。風洞内の風速が設定値となっ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一定状態から風速を急激に増加させ、計測時間 20 秒に達するまで模型表面の風圧力と計測室内の風速の時刻歴変化を記録する。図 4 は、翼列制御によって生成した風速が一定の状態から急激に変化する突風の例である。本実験では突風風速として立ち上がり開始前の風速を開始風速 U_s 、立ち上がった後の風速を目標風速 U_t と定義し、目標風速までの立ち上がりに要する時間を風速の立ち上がり時間 t_r として定義した。

無風状態から突風を生成する既往の風洞実験^{3,4)}では、立ち上がり時間 t_r が、翼列の開放に要する時間(以下、これを開放時間と呼ぶ)とほぼ同じであったため、翼列の開放時間を風速の立ち上がり時間としていた。しかしながら、本手法で一定風速からの突風を生成する場合、最初から翼列をわずかに開放することで、翼列の開放時間と風速の立ち上がり時間に差が生じるため、竹内らの手法⁵⁾を参考に次式で得られる値を立ち上がり時間とした。

$$t_r = 2.348(t_{80} - t_{20}) \quad (1)$$

ここで t_{20} と t_{80} は、目標風速と開始風速の差の 20% 及

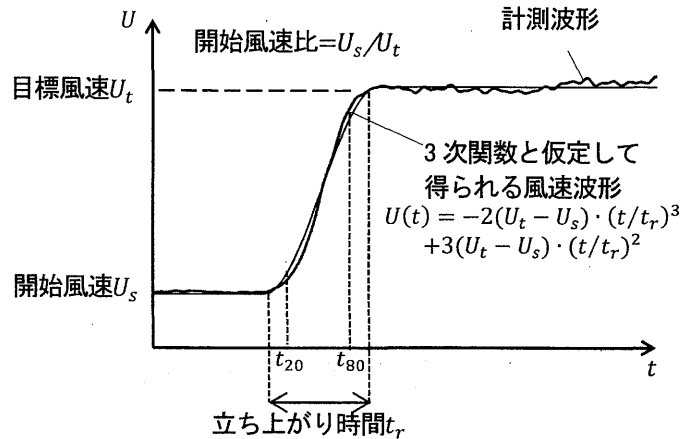


図4 一定風速から急変する風速の計測波形と風速波形を3次関数と仮定して得られる風速波形

表1 実験パラメータ

目標風速 U_t (m/s)	2, 4, 6, 8
立ち上がり時間 t_r (sec)	0.13~0.55
開始風速比 U_s/U_t (%)	0, 20, 40, 60, 80

び 80% に風速が達したときの時間である。この式で得られる t_r は、図 4 に示す立ち上がり時の風速波形を時間 t の 3 次関数と仮定したときに得られる立ち上がり時間である。

本実験では目標風速 U_t 、開始風速と目標風速の比 U_s/U_t (以下、これを「開始風速比」と呼ぶ) および風速の立ち上がり時間 t_r を実験パラメータとし、目標風速を 2~8m/s、開始風速比を 0~80%、風速の立ち上がり時間を 0.13~0.55 秒で変化させた。表 1 にパラメータをまとめた。それぞれの実験パラメータに対して 3 回の実験計測を行った。

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測定位置によって圧力値に大きな差異が生じる³⁾ことが確認されており、模型の任意の測定孔の圧力は瞬間的な静圧変動を含んでいる。中村らの手法³⁾を参考に、本実験では風洞計測部の

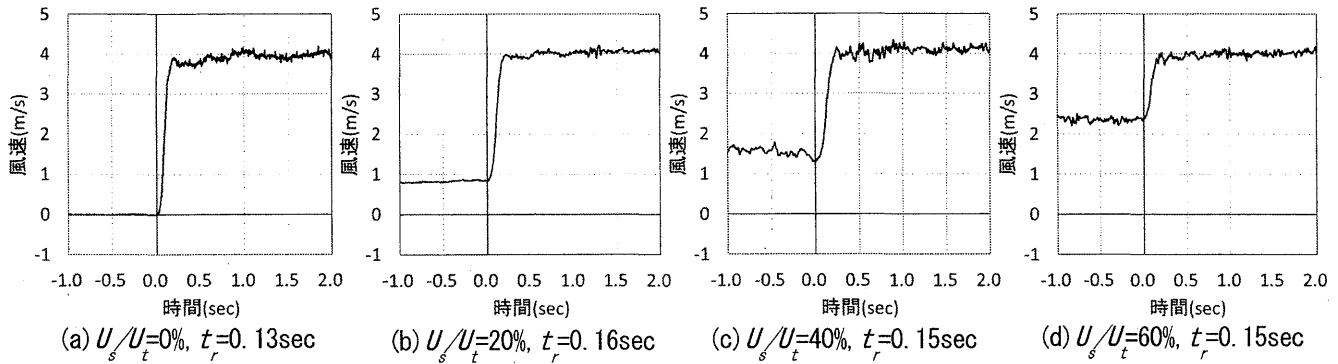


図5 風速波形 ($U_t=4\text{m/s}$)

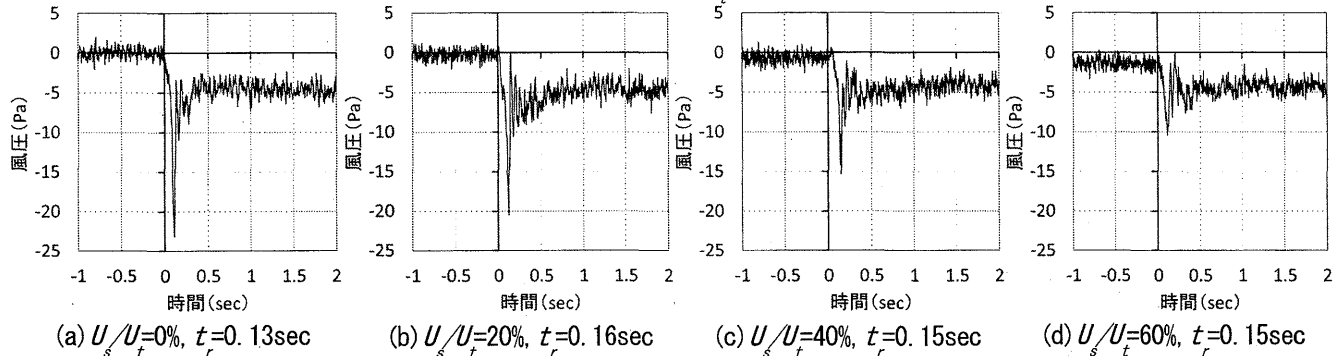


図6 測定点E (風下屋根面棟付近) での風圧力波形 ($U_t=4\text{m/s}$)

天井付近に多数の静圧測定孔を有する静圧孔板を設置し、模型表面の各測定孔の直上の点における静圧変動を同時に測定して、任意の測定孔での計測圧力から、その直上の静圧孔板で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 風速及び風圧波形

目標風速 4m/s 、立ち上がり時間約 0.15 秒程度で、開始風速比 0% 、 20% 、 40% 、 60% の突風を生成した時の風速波形を図5に、その風速で特にオーバーシュート現象が顕著であった切妻屋根模型のE点(風下屋根面棟付近)での風圧力の時刻歴波形の一例を図6に示す。風圧力波形を見るとすべての場合でオーバーシュート現象が見られるが、開始風速比が大きくなると風圧力のピークが小さくなる。

3.2 模型中心線上の各計測点におけるオーバーシュート現象に及ぼす開始風速比の影響

切妻屋根模型の計測点において開始風速比がオーバーシュート現象に及ぼす影響を比較する。ここで、突風計測時の風圧係数のピーク値をオーバーシュート風圧係数と定義し、次式のように、定常時の速度圧を用いて算出する。

オーバーシュート風圧係数

$$= \frac{\text{風圧力のピーク値}}{\text{定常時の速度圧: } 0.5\rho U_t^2} \quad (2)$$

ただし、 ρ は空気密度、 U_t は目標風速である。

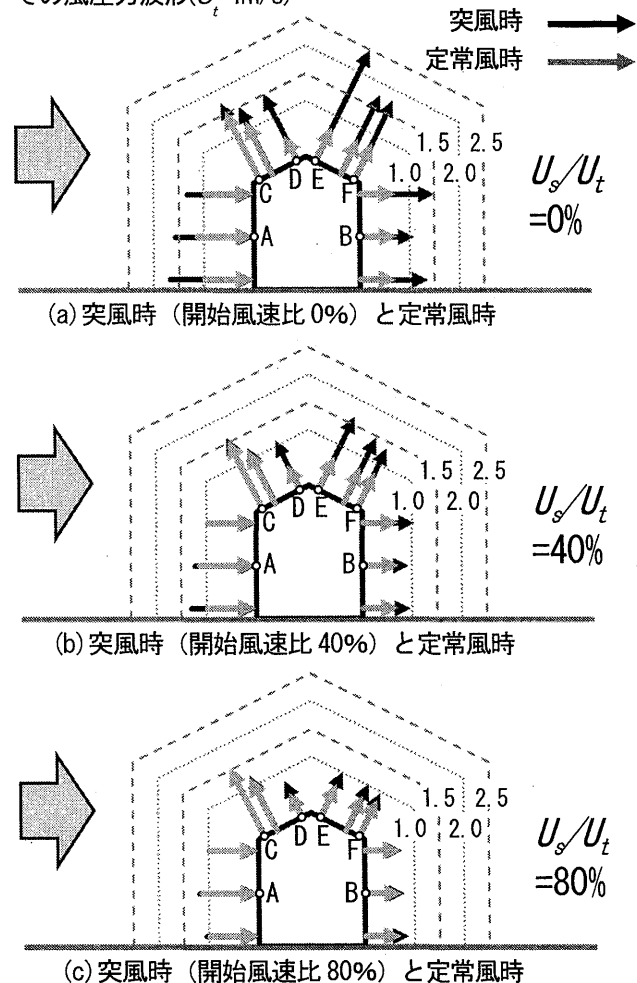


図7 風速 4m/s の定常風が作用した時のピーク風圧係数および開始風速比別のオーバーシュート風圧係数分布 ($U_t=4\text{m/s}$, t_r ≈ 0.15sec)

図7に風速4m/sの定常風が作用したときの定常ピーク風圧係数(灰色の矢印)及び目標風速4m/s,立ち上がり時間0.15秒程度で,開始風速比0,40,80%の突風が作用したときのオーバーシュート風圧係数(黒色の矢印)を示す。ただし,3回の計測の平均値である。定常時および各開始風速比において,風上壁面では正圧,それ以外の面においては負圧の風圧係数が確認できる。開始風速比0%の場合をみると,すべての計測点で,突風時のオーバーシュート風圧係数は定常時のピーク風圧係数と比べて大きな値となった。定常風の場合,風上側屋根面の軒付近(C点)の定常ピーク風圧係数が最も大きい,突風の場合,風下側屋根面の棟付近(E点)が顕著に大きく,定常時と比べてその増加率が最も大きいことが確認できる。また,開始風速比が40%,80%と大きくなると,各計測点において突風時のオーバーシュート風圧係数の値は定常時のピーク風圧係数に近づくことが確認できる。

3.3 代表測定点におけるオーバーシュート現象に及ぼす開始風速比の影響

壁面及び屋根面における代表測定点6点に着目し,開始風速比がオーバーシュート現象に及ぼす影響を比較する。目標風速4m/s,立ち上がり時間約0.15秒程度で,開始風速比0~80%の計5ケースのオーバーシュート風圧係数を図8で比較する。図中の点線は風速4m/sの定常風が作用した時の風圧係数のピーク値である。ここでは3回の計測の平均値を示した。風上壁面のみ風圧係数が正圧となっているが,風圧係数の大きさを比較するためにグラフ軸の正負の向きをすべて同じ方向にしている。また計測波形の目視により行ったオーバーシュート現象の発生有無を図中に示す。C点では全ての風速比において,定常のピーク風圧係数とオーバーシュート風圧係数の値に差がほとんどなく,オーバーシュート現象が起きていないと判断した。A,B,D,E,F点では開始風速比0%で定常ピーク風圧係数とオーバーシュート風圧係数の差が最も大きく,開始風速比が大きくなるとその差が小さくなる傾向が見られた。E点では,全ての開始風速比において定常時のピーク風圧係数とオーバーシュート風圧係数の差が他の点に比べて大きく,定常時と比較して,より大きなピーク値を発生しており,顕著なオーバーシュート現象が発生している。

3.4 無次元立ち上がり時間とオーバーシュート風圧係数との関係

無風からの突風時におけるオーバーシュート風圧係数は次式によって定義される無次元立ち上がり時間 t_r' で整理できることが報告されている^{3,4)}。

$$t_r' = \frac{U_t \cdot t_r}{d} \quad (3)$$

ここで, d は模型の代表長さ(m)で,切妻屋根模型の奥行

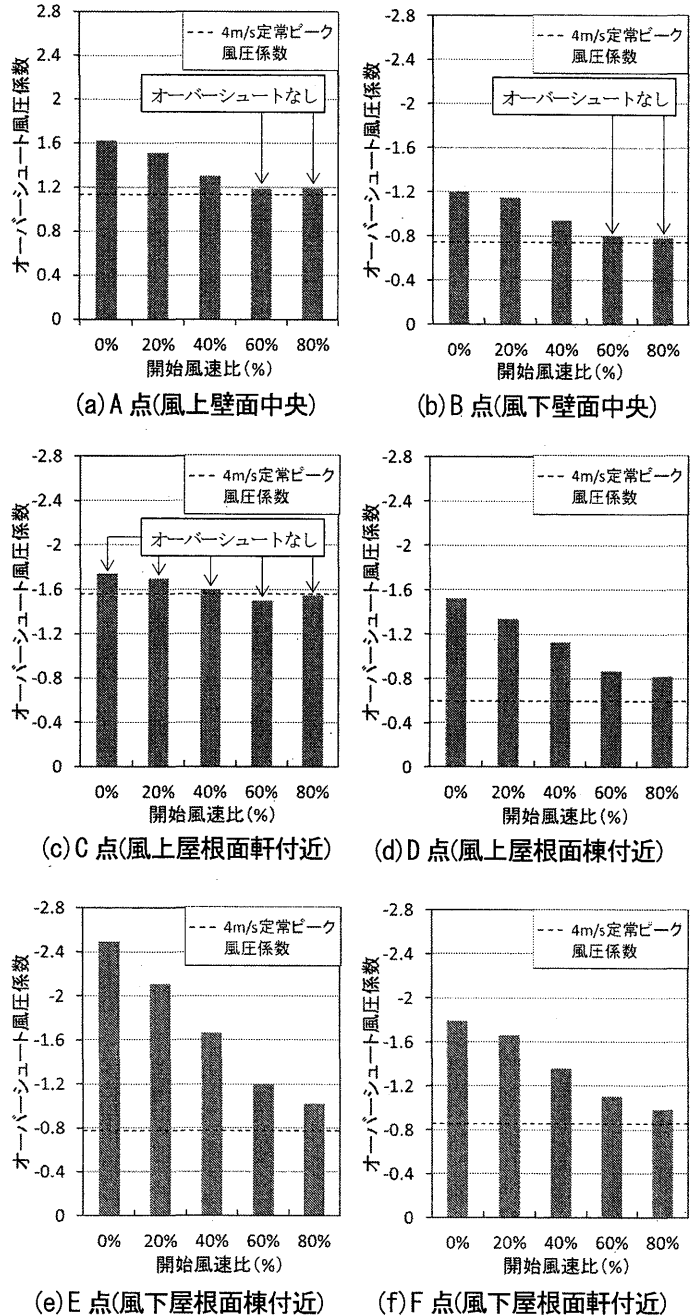


図8 開始風速比とオーバーシュート風圧係数の関係 ($U_t=4\text{m/s}$, $t_r \approx 0.15\text{sec}$)

(0.15m)を用いて,無次元立ち上がり時間を求め,一定風速から立ち上がる突風での計測結果を整理した。

各点のオーバーシュート風圧係数と無次元立ち上がり時間の関係を図9に示す。風上壁面のみ風圧係数が正圧となっているが,風圧係数の大きさを比較するためにグラフ軸の正負の向きをすべて同じ方向にしている。いずれの点においてもグラフのプロットが同一のパターンに並び,オーバーシュート風圧係数と無次元立ち上がり時間との間に関連が見られたが,開始風速比によってその傾きは異なった。特に,D,E,F点では開始風速比が大きくなるとグラフのプロットの勾配が緩やかになり,E点でその傾向が大きかった。

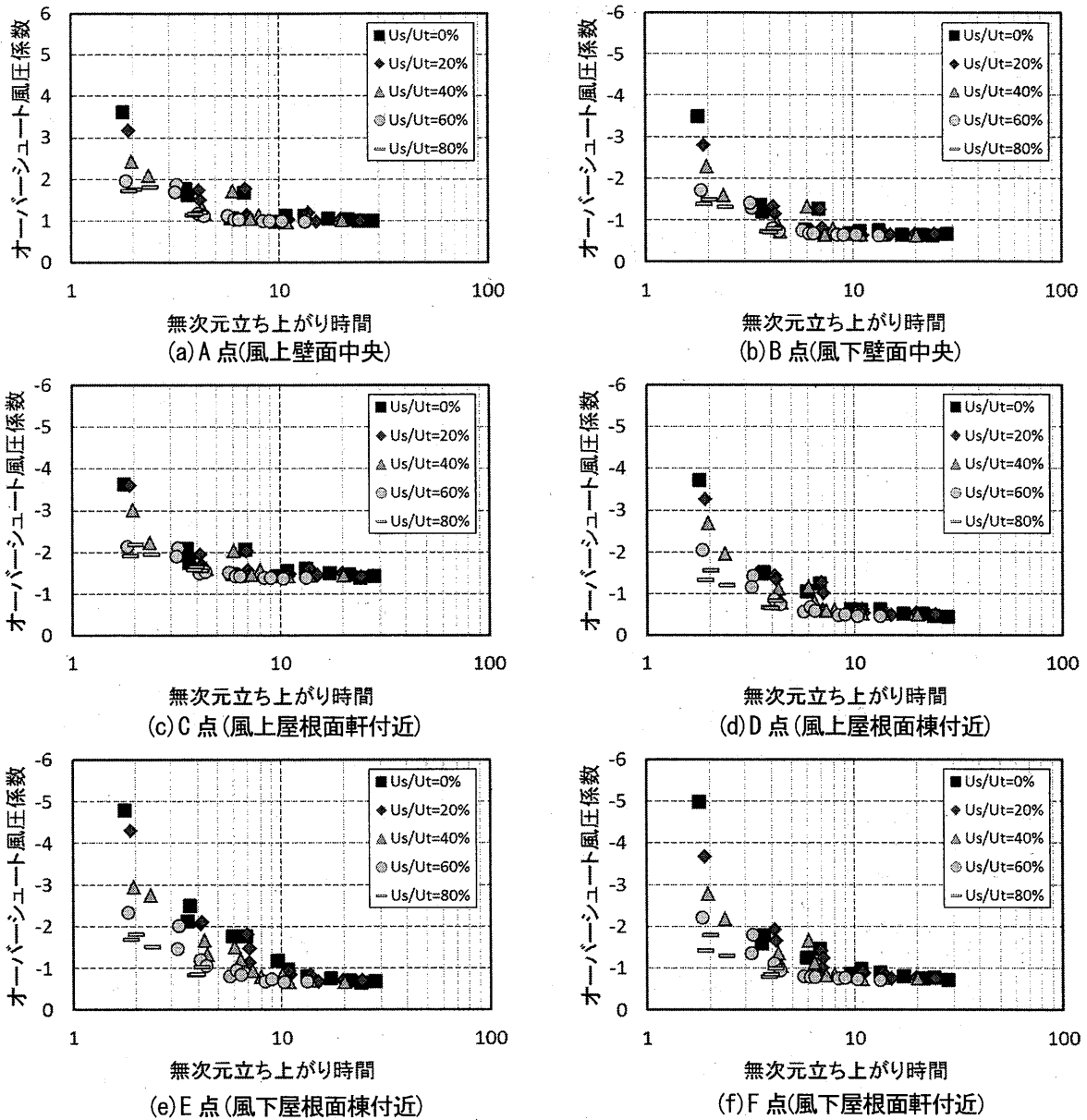


図9 オーバーシュート風圧係数と無次元立ち上がり時間の関係

3.5 無次元加速度とオーバーシュート風圧係数との関係

オーバーシュート風圧係数は、無次元立ち上がり時間以外に次式によって定義される無次元加速度 a' で整理できることが報告されている⁷⁾。本研究では次式に示す無次元加速度で整理を行った。

$$a' = a_{max} / \frac{U_t^2}{d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{U_t - U_s}{t_r} / \frac{U_t^2}{d} \quad (4)$$

ここで、 a_{max} とは立ち上がり時間の風速波形を3次関数と仮定して得られる加速度（単位時間当たりの風速の変化率）の最大値である。

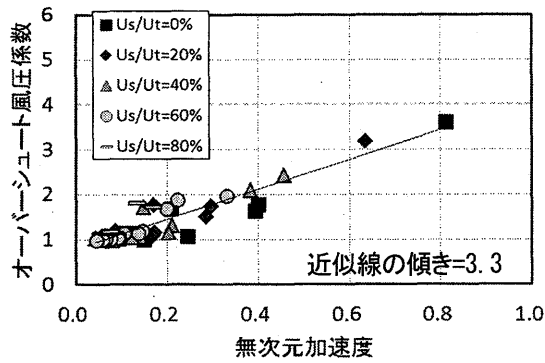
各点のオーバーシュート風圧係数と無次元加速度の関係を図10に示す。風上壁面のみ風圧係数が正圧となっているが、風圧係数の大きさを比較するためにグラフ軸の正負の向きをすべて同じ方向にしている。図中には全プロットの近似線を示している。いずれの測定点において

も、開始風速比にかかわらずグラフのプロットがほぼ一直線にならび、オーバーシュート風圧係数と無次元加速度に強い関連が見られた。データの分布を比較すると、オーバーシュート現象がほとんど見られなかったC点の傾きの大きさが2.9と最も小さく、定常時と比較してより大きなピーク値が見られたE点での傾きの大きさが5.7と最も大きくなっており、定常時と比較して大きなピークが見られる点ほど近似線の傾きが大きくなる傾向が見られた。

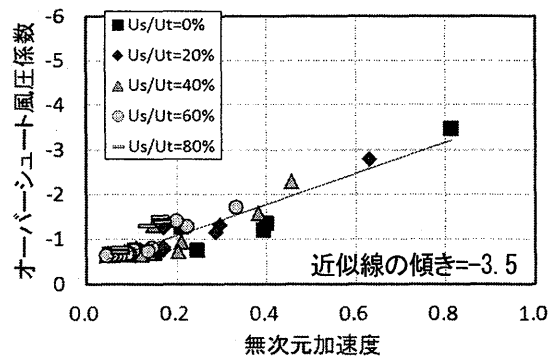
4. まとめ

突風風洞装置を用いて一定風速から立ち上がる突風を受ける切妻屋根模型表面の局部風圧力の計測実験を行い、以下の所見が得られた。

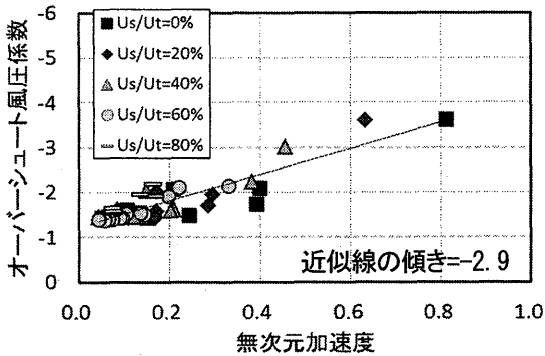
- (1) 一定風速から変化する突風を受ける切妻屋根模型においても風圧力のオーバーシュート現象が現れることを確認した。



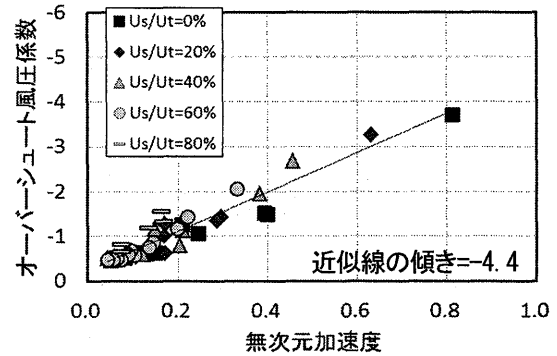
(a) A点(風上壁面中央)



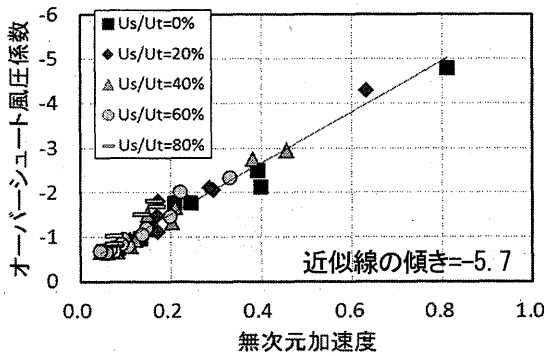
(b) B点(風下壁面中央)



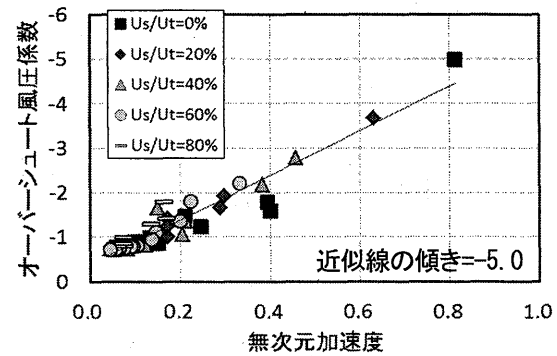
(c) C点(風上屋根面軒付近)



(d) D点(風上屋根面棟付近)



(e) E点(風下屋根面棟付近)



(f) F点(風下屋根面軒付近)

図10 オーバーシュート風圧係数と無次元加速度の関係

- (2) 目標風速，立ち上がり時間が同じ場合，開始風速比が大きいほどオーバーシュート風圧係数は小さくなった。
 - (3) 計測点によってオーバーシュート現象の出現に異なる特徴が見られた。
 - (4) 無次元立ち上がり時間とオーバーシュート風圧係数には強い関連が見られた。顕著なオーバーシュート現象が現れる計測点では，開始風速比が大きくなると無次元立ち上がり時間に対する風圧係数のプロットの勾配が緩やかになった。
 - (5) 無次元加速度とオーバーシュート風圧係数との間にも強い関連が見られ，開始風速比に関係なく実験結果のプロットが一直線上に並んだ。定常時と比較して大きなオーバーシュート風圧係数が生じる点ほど近似線の傾きの大きさが大きくなる傾向が見られた。
- 謝辞 日本学術振興会科学研究費補助金「竜巻通過時に

急変する風速と気圧降下との相乗効果による建物の破損プロセス」(H26年度基盤研究(B)26282112，代表：前田潤滋)の助成を受けた。

参考文献

- 1) 川下寛正，前田潤滋，早田友彦，竹内崇，中村諭史，鶴則生，ステップ関数的突風を受ける楕円柱の風力特性，第20回風工学シンポジウム論文集，pp.325-330，2008.
- 2) 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，日本建築学会構造系論文集，第77巻，第681号，pp.1629-1635，2012.11
- 3) 中村諭史，前田潤滋，竹内崇，鶴則生，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.197-202，2010.12
- 4) 高橋正名，大坪和広，鶴則生，竹内崇，友清衣利子，前田潤滋，風洞実験に基づく妻壁に突風を受ける切妻屋根建物の風圧分布特性，日本建築学会2013年度大会(北海道)学術講演梗概，pp.241-242，2013.8
- 5) 竹内崇，石野智慎，鶴則生，前田潤滋，一定風速からの風速急変場の楕円断面柱に作用する非定常風力に関する考察，その1，その2，2011年度日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集，pp.43-46，2011.8
- 6) 竹内崇，前田潤滋，大坪和広，友清衣利子，立ち上がり時間の短い突風を受ける物体に作用する非定常風力-基準静圧変動を考慮した圧力計測による実験的検討，日本建築学会構造系論文集，第79巻，第697号，pp.357-366，2014.3
- 7) 野田稔，九延周平，脇孝文，長尾文明，突風作用時に正方形柱に作用する非定常抗力のオーバーシュート係数，第22回風工学シンポジウム論文集，pp.133-138，2012.12

(受理：平成26年5月29日)