

切妻屋根建物の風荷重に及ぼす突風の立ち上がり時間の影響に関する実験的検討

川下, 寛正
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

竹内, 崇
九州大学大学院人間環境学府都市共生デザイン専攻博士後期課程

鶴, 則生
九州大学大学院人間環境学府

森本, 康幸
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

他

<https://doi.org/10.15017/19105>

出版情報：都市・建築学研究. 13, pp.41-48, 2008-01-15. 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：

切妻屋根建物の風荷重に及ぼす突風の立ち上がり時間の影響に関する実験的検討

The influence of a rising time of a wind gust on the wind force on a gable roof structure

川下寛正*¹, 竹内 崇*², 鶴 則生*³, 森本康幸*⁴, 前田潤滋*⁴

Hiromasa KAWASHITA, Takashi TAKEUCHI, Norio TSURU, Yasuyuki MORIMOTO and Junji MAEDA

Recently railcar vehicles are often overturned by wind gusts, such as from tornadoes, and so unsteady aerodynamic forces due to gusts rising in very short times have gotten a lot of attention. Although several early studies have pointed out that increasing wind velocity in a very short time increases wind force, there are few examinations focusing on local wind pressure of structural bodies. In this paper the effects of the rise time of a step-function-like gust on the distribution of wind pressure on a gable roof structure, which is on the ground, are investigated and discussed using a specially equipped wind tunnel. We confirmed an overshoot phenomenon bringing a much bigger wind pressure than in a steady wind flow. And it was found that the overshoot magnitude increased with a decrease in the target wind velocity and rise time.

Keywords: *Unsteady aerodynamic force, Step-function-like gust, Rise time of gust, Gable roof structure*

非定常空気力, ステップ関数的突風, 突風の立ち上がり時間, 切妻屋根建物

1. 序

竜巻やダウンバーストなどの突風による被害が注目を浴びているが, 老朽化や施工不良を除けば, 強風による構造物の被害は設計風圧を超える風力が作用するために起きる。風荷重は, 準定常理論にもとづいていわゆる静風圧の式(1)で算定される。

$$P = \rho C A U^2 / 2 \quad (1)$$

ここに, ρ : 空気密度, U : 風速, A : 受風面積, C : 風力係数。

風力係数 C は, 定常流を用いた風洞実験によって決めるのが一般的である。自然風のような乱れを考慮した検討も行われているが, 一般に 10% 程度の乱れの強さを有する風速場を対象にしたものが多く, 竜巻や台風時などに見られる風速の立ち上がり時間が非常に短い突風に対する建物表面の風圧力特性や構造物全体への風力特性の検討は非常に少ない。その理由の一つは, 流体実験で急速な流れの変化を生成することの技術的難点にあるが, 既往の研究^{1)~5)}によれば, 流れの急激な変化が及ぼす流体力のオーバーシュート現象が指摘されている。種子田¹⁾は水槽を用いた実験で, 楕円柱を静止状態から短時間に一定速度に上げて水中を走行させた場合, 走行開始直

後に定常速度で見られる揚力の数倍の非定常揚力が発生するオーバーシュート現象を示した。また, 松本他⁵⁾は, 橋梁上に置いた車両に突風が作用した場合に, その抗力が 20% 程度定常抗力より大きくなることを風洞実験で示し, そのメカニズムをインデンシヤル応答理論で解説している。

本報は, 突風を受ける地上建物の場合のオーバーシュート現象に着目し, 切妻屋根構造物の風圧力分布と抗力に及ぼす突風の立ち上がり時間の影響を風洞実験での検証する。なお使用した風洞装置では, 風速の立ち上がり時間を 0.2~5 秒で調整できる翼列駆動装置を開発し, ステップ関数的な風速の発生を可能とした。

2. 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。同装置に付設している脈動流発生のための翼列駆動を改良して最短時間 0.2 秒での風速立ち上がりを実現している。風洞断面内での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, 計測部全長は 3m, 計測部前面の風速調整部は 2m である。基本性能は, 風速範囲約 2 m/s ~ 18 m/s, 乱れの相対強さは 0.7% 以下(風速 18m/s 時) 及び平均風速分布偏差 ± 2% 以下(ただし, 風速 18 m/s 時で壁面 15 cm 以下を除く)である。上述のように本風洞は吸い込み式である

*1 都市共生デザイン専攻 修士課程

*2 都市共生デザイン専攻 博士後期課程

*3 人間環境学府

*4 都市・建築学部門

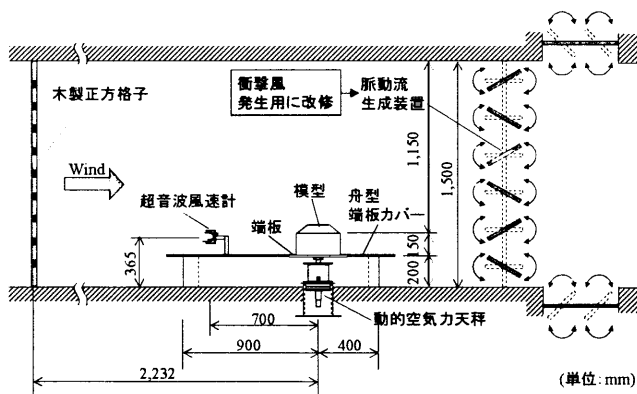


図1 風洞実験配置図

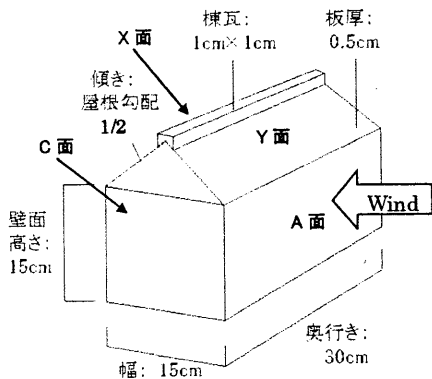


図2 試験体

ので、翼列を閉鎖した状態での吸引部の圧力低下の回避を行うために吸引部の天井と床面に翼列を配置して、突風制御の翼列開閉と反転同期させている。

実験では模型表面に作用する風圧力と模型全体に作用する抗力を計測した。模型表面の風圧分布を多点圧カスキャナー(大手技研 DSA3200)で、模型に作用する抗力を動的空気力天秤(日章電機, LMC-6511)で測定した。圧カスキャナーの出力値の応答特性はパルプチューブの長さによって変化するが、本実験での仕様では約 20Hz 程度までを有する。また、風速測定には熱線風速計と超音波風速計を併用した。

検討した立ち上げ風速は無風時からそれぞれ 5m/s, 10 m/s, 15 m/s, 18m/s とした。無風時からの突風の立ち上がり時間は 0.2 秒から 0.4 秒までを 0.1 秒刻み, 0.6 秒から 1.0 秒までを 0.2 秒刻み, 及び 1.5 秒とした。測定時間を 15 秒間として試験体の長辺側屋根棟側が風に正対する場合を測定した。なお、風速計と空力天秤の信号は 100Hz, 圧カスキャナーの信号は 12.5Hz でサンプルした。

2.2 試験体概要と測定位置

実験には図2に示すような棟瓦部を有する軒の出無し切妻屋根模型(幅 15 cm・奥行き 30 cm・壁面高さ 15 cm, 屋根勾配 1/2)を使用し、風に正対する長辺側の壁面を A 面, 風向き上流側の屋根を Y 面, 下流側の屋根を X 面, 下流側の壁面を C 面とし、各面に作用する局部風圧力、及び模型全体に作用する抗力を測定した。

図3に示すように、測定点を A 面 ch1~ch5 の 5 点, Y

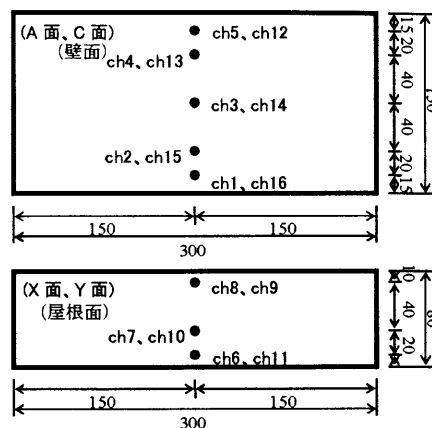


図3 表面の測定位置

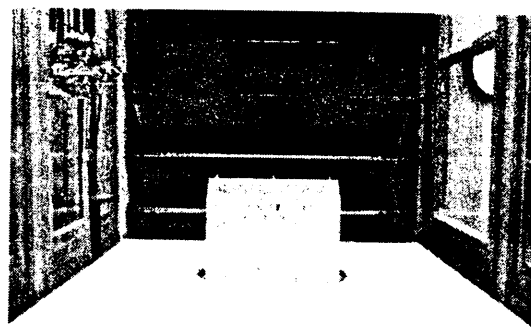


図4 模型を風洞内に設置した様子

面 ch6~ch8 の 3 点, X 面 ch9~ch11 の 3 点, C 面 ch12~ch16 の 5 点の合計 16 点とした。

風洞内に模型を設置した様子を図4に示す。

3. 風圧力分布計測の結果

3.1 代表点の計測波形

実験に使用した立ち上がり時間 0.2 秒と 1.5 秒の突風(目標風速 5m/s)と各面の代表測定点(ch4, ch8, ch10, ch15)での風圧力の計測波形を図5に示す。

立ち上がり時間 0.2 秒の突風において風上側壁面 A 面での測定点 ch4 の風圧力は、風速の立ち上がりと同時に極めて大きな負圧のピーク値が見られ、その直後に大きな正圧のピーク値が発生するオーバーシュートが見られ、次第に正圧の定常圧力に落ち着いた。しかし、立ち上がり時間 1.5 秒の突風ではこのような現象が見られなかった。

また、一般に負の圧力となる風下側壁面 C 面と風下側屋根面 X 面での各風圧力でも立ち上がり時間 0.2 秒の突風において A 面と同様極めて大きな負と正のピーク値が交互に発生して、負の定常圧力に落ち着くが、立ち上がり時間 1.5 秒の突風では、このようなオーバーシュートは見られず、定常値のみが見られた。

風上側屋根面 Y 面における測定点 ch8 の風圧力に着目すると、この模型形状では本来ゼロに近い定常圧力を示すが、立ち上がり時間 0.2 秒の突風では、他点と同様に大きな負と正のピーク値が見られ、立ち上がり時間 1.5 秒の突風ではこのような現象は起きなかった。

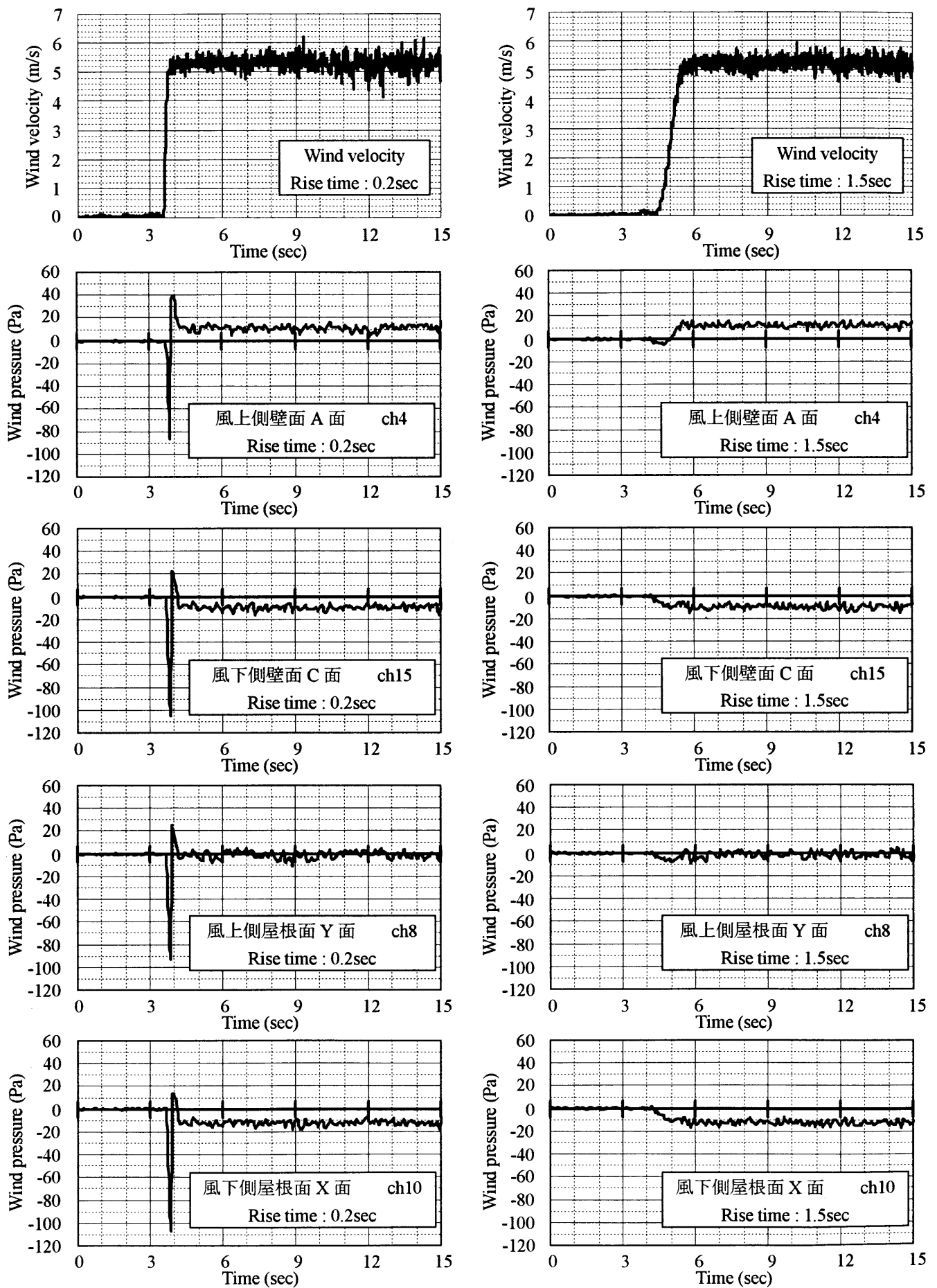


図5 風速 5m/s での風速と風圧力の計測波形

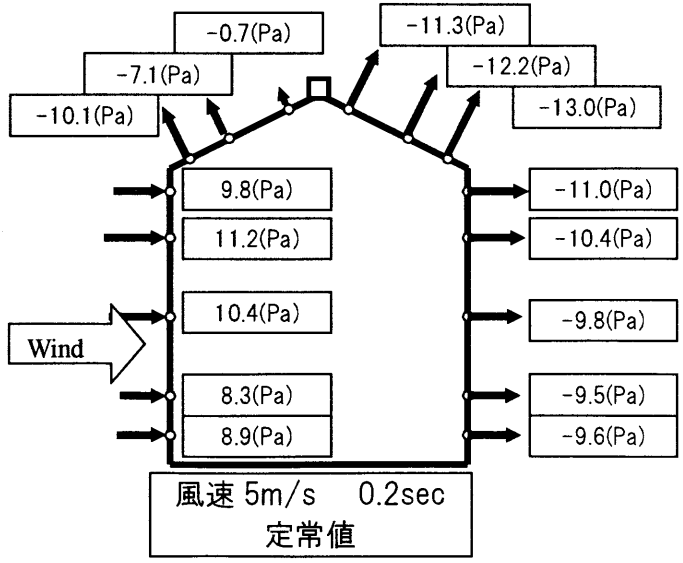
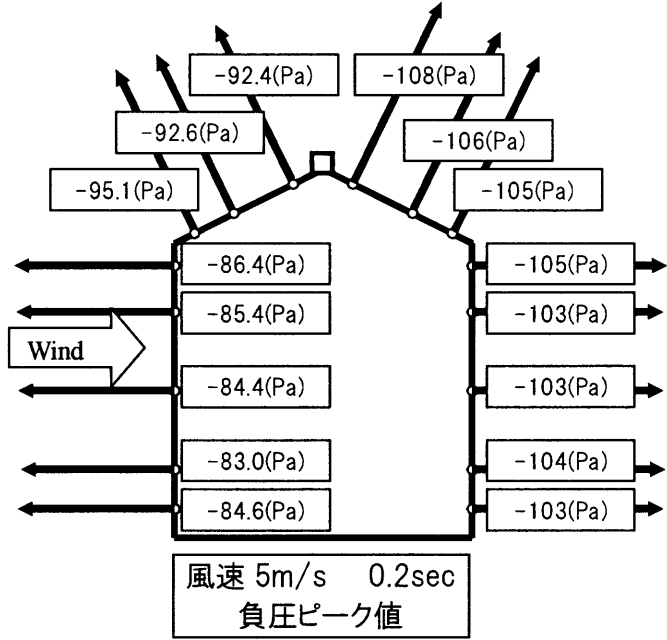
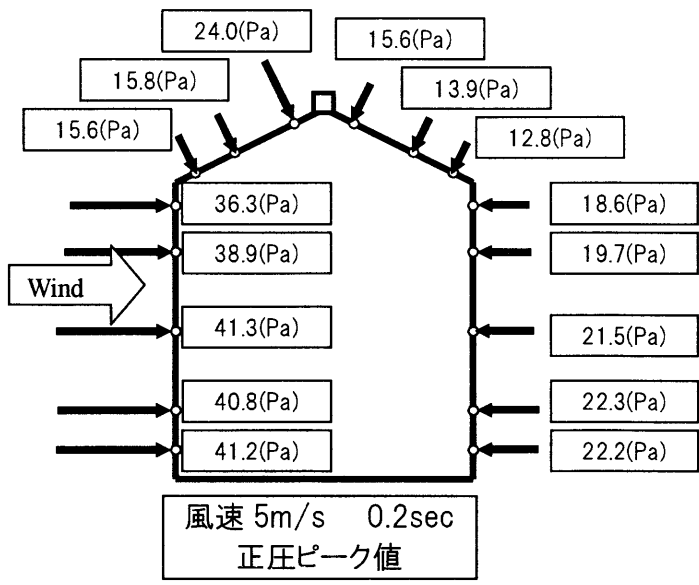


図 6 圧力分布図

3. 2 圧力分布

立ち上がり時間 0.2 秒の突風 (目標風速 5m/s) の場合の各測定点の風圧力の正側と負側のピーク値, および定常値を図 6 に示す. なお, 定常値は実験風速が一樣となる計測時間 10 秒から 15 秒までの 5 秒間の風圧力の平均値とした.

立ち上がり時間 0.2 秒における各点の正圧と負圧のピーク値の絶対値はともに定常値より大きい. また, 風上側壁面 A 面と風下側壁面 C 面での正圧ピーク値では A 面のピーク値の方が大きいのに対して, 負圧ピーク値では風下側壁面 C 面のピーク値の方が大きい. また, 屋根面のピークは正圧よりも負圧のピーク値の方が大きい.

3. 3 風圧係数

立ち上がり時間 0.2 秒で風速を立ち上げたときに見られた各面の代表測定点での正と負のピーク風圧係数と定常風圧係数との比較を図 7 と図 8 に示す. ただし, 各風圧係数はそれぞれの定常風速時の速度圧で割った値で定義している.

図 7 において, 各測定点とも定常風圧係数は風速値にかかわらずほぼ一定の値であるが, 正のピーク風圧係数は目標風速が大きくなるほど減少し, 目標風速 18m/s における風下側壁面 C 面の測定点 ch15 では, オーバーシュートそのものが見られなかった. 図 8 も同様に, 負のピーク風圧係数は風速が大きくなるほど減少していることがわかる.

また, 風上側屋根面 Y 面の測定点 ch8 を除くと, 正のピーク風圧係数は大きくても定常風圧係数の約 3 倍の値だが, 負のピーク風圧係数は大きいものでは約 7 倍の値を示し, 正圧よりも負圧の方が大きなピーク風圧係数を示すことが特徴といえる. 風上側屋根面 Y 面の測定点 ch8 は定常値そのものがゼロに近いので定常風圧係数はほぼゼロを示すことに留意する必要がある.

3. 4 風圧係数と無次元立ち上がり時間

立ち上がり時間と風速の異なるデータを比較するために, 種子田の研究¹⁾に従って, 風速と模型の奥行き長さを用いて式 (2) のように立ち上がり時間を無次元化した.

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

ここで, t_r' は無次元立ち上がり時間, U_t は立ち上がり風速, t_r は立ち上がり時間, d は代表長さ (住宅模型の幅)

これを無次元立ち上がり時間とし, 代表測定点の正と負のピーク風圧係数との関係を表したものがそれぞれ図 9 と図 10 である. 各測定点とも無次元立ち上がり時間が増加するにつれて, ピーク風圧係数が減少する傾向にあり, 無次元立ち上がり時間とピーク風圧係数との間に明確な相関が見られる.

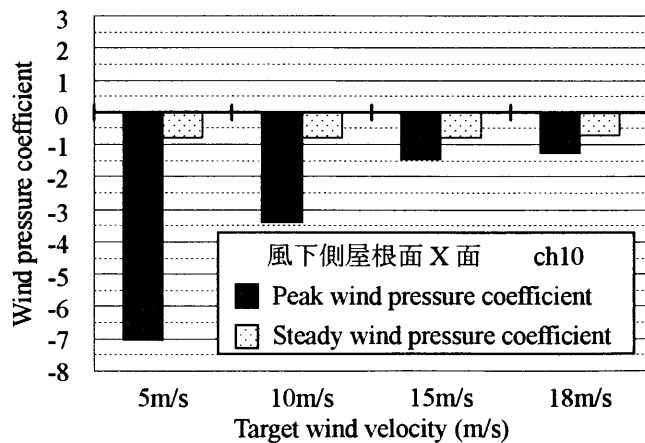
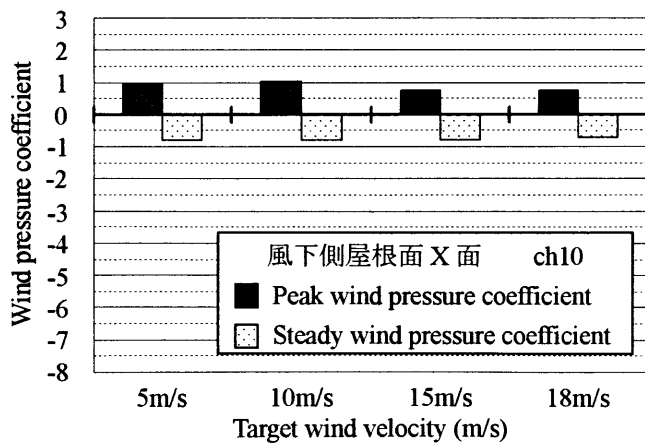
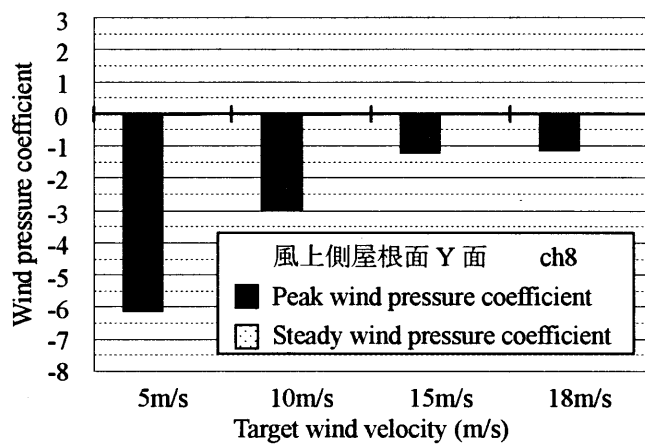
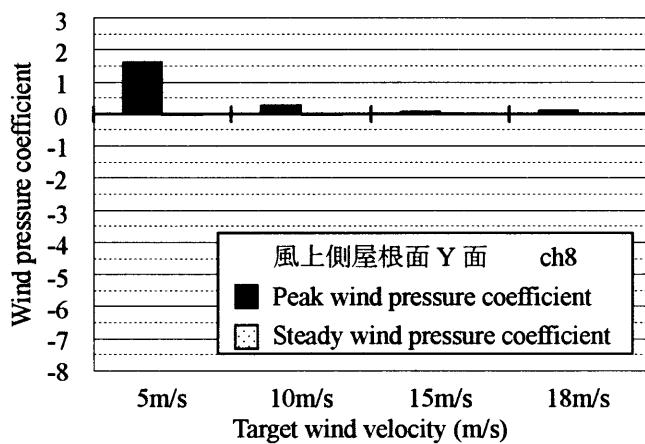
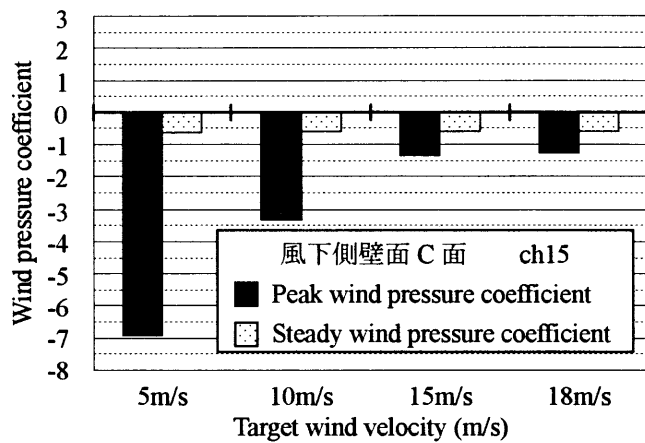
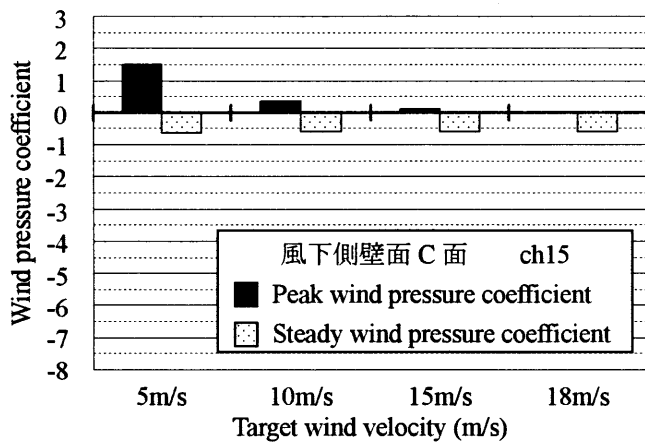
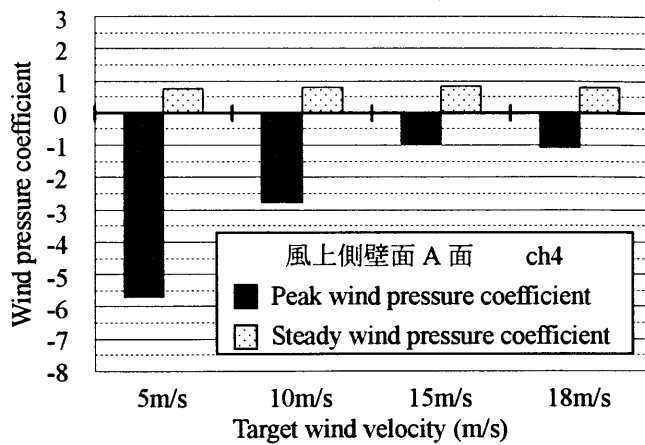
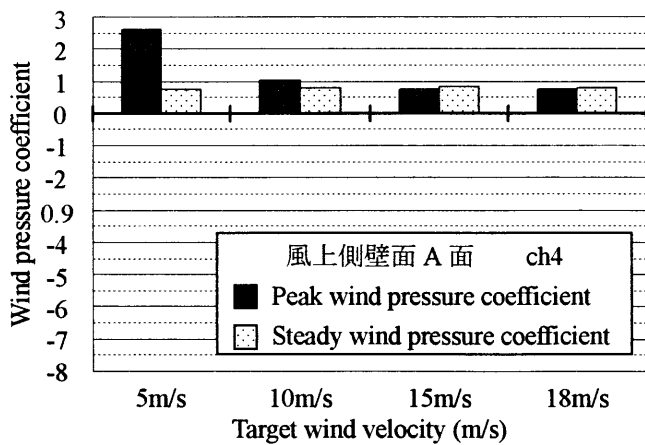
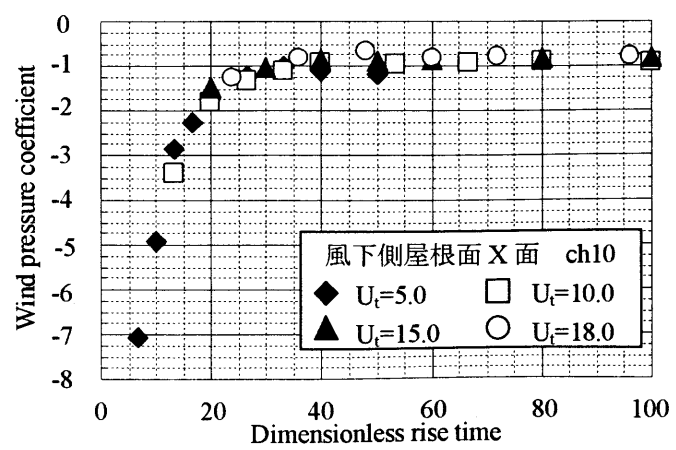
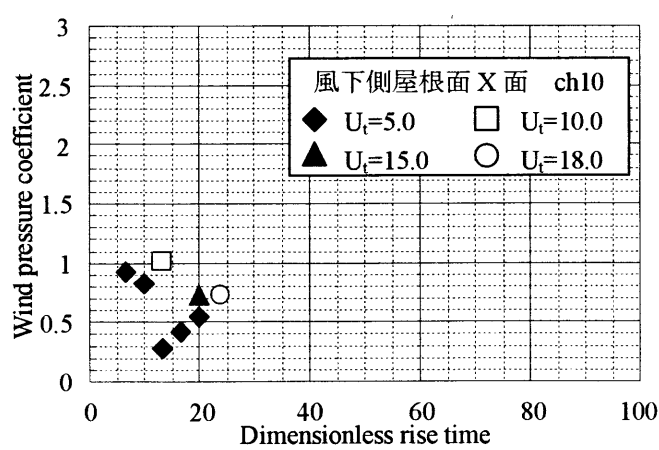
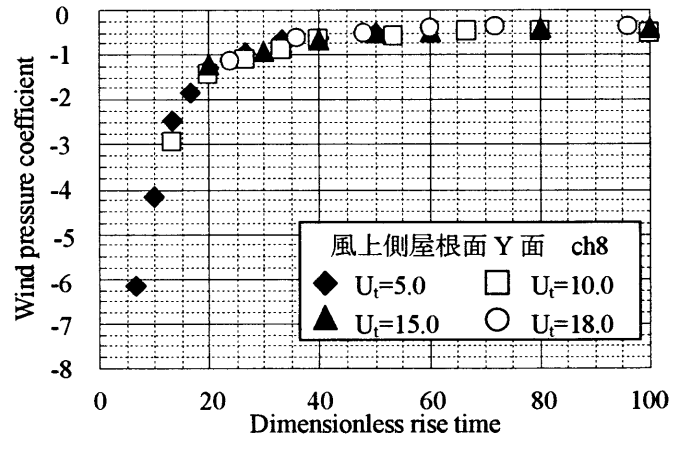
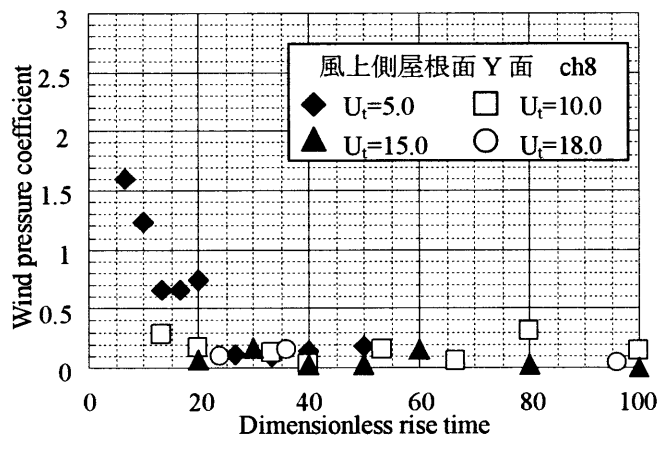
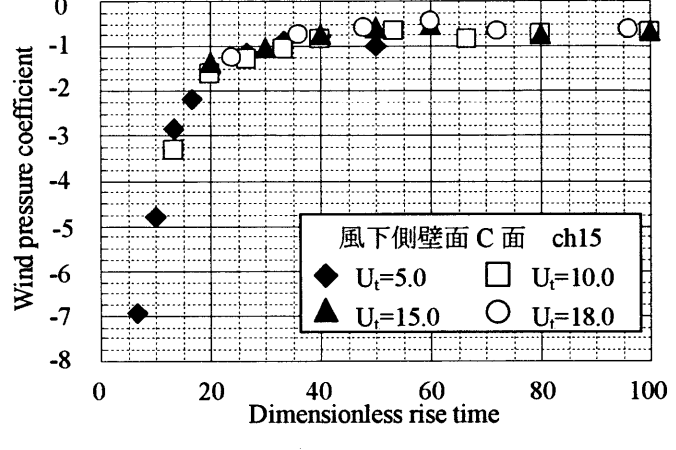
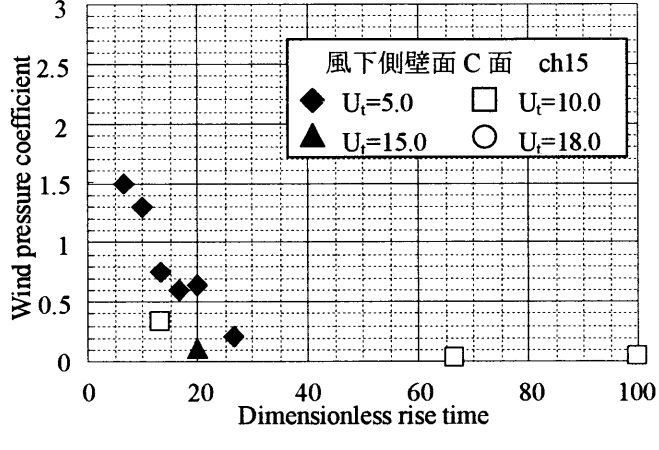
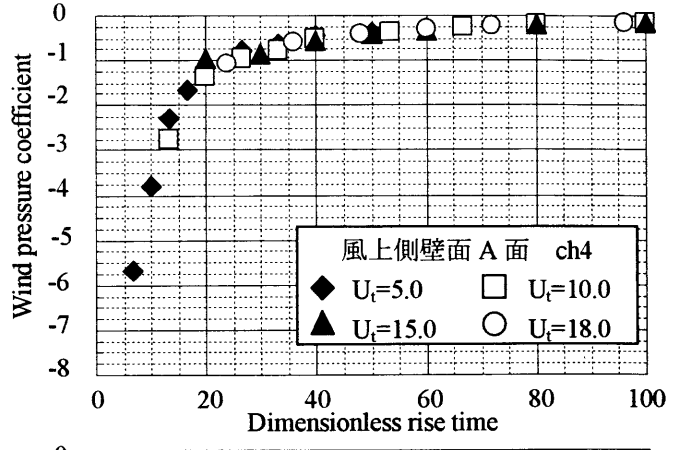
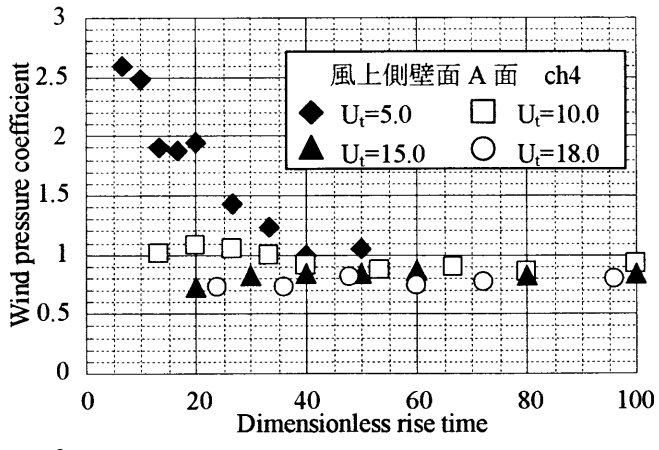


図7 正のピーク風圧係数と定常風圧係数との比較

図8 負のピーク風圧係数と定常風圧係数との比較



※ U_t : 立ち上がり風速

図9 無次元立ち上がり時間と正のピーク風圧係数

図10 無次元立ち上がり時間と負のピーク風圧係数

4. 風力実験結果

4.1 計測波形

立ち上がり時間 0.2 秒と 1.5 秒の突風 (目標風速 5m/s) での風速と抗力波形を図 11 に示す。

図 11 の抗力波形では、風速立ち上がり時間 0.2 秒の場合、突風の発生と同時に定常値以上の値が出るオーバーシュート現象が見られるがすぐに減少し、その後次第に一定の定常状態に落ち着いた。一方、立ち上がり時間 1.5 秒の突風においてはそのようなオーバーシュート現象は見られず、わずかに遅れた抗力が発生した。

4.2 ピーク値と定常値

突風の目標風速 5m/s で立ち上がり時間を変化させた場合の抗力のピーク値と定常値を図 12 に示す。なお、定常値は風が一様流となる計測時間 10 秒から 15 秒までの 5 秒間の抗力の平均値とした。

立ち上がり時間が長くなるほどピーク値は減少して定常値に近づき、立ち上がり時間 0.8 秒以降ではピークが見られなかった。この傾向は前節での風圧力分布と同じである。

4.3 抗力係数とオーバーシュート係数

ピーク値と定常値の比 (以下、これをオーバーシュート係数とする) とピーク値、定常値の抗力係数を図 13 に示す。ただし、抗力係数は定常時の速度圧を用いて基準化し、オーバーシュートが見られない 0.8 秒以降のオーバーシュート係数とピーク抗力係数は表示していない。

ピーク値の抗力係数は立ち上がり時間が長くなるほど減少し、定常値の抗力係数に近づくのがわかる。また、立ち上がり時間 0.2 秒でのオーバーシュート係数は定常値の約 1.4 倍の抗力が作用することを意味するが、ピーク値の抗力係数同様、立ち上がり時間が長くなるほど減少する。

4.4 オーバーシュート係数と無次元立ち上がり時間

前節までで、立ち上がり時間が短いほど抗力のオーバーシュート現象がみられることがわかった。立ち上がり時間と風速の異なるデータを比較するために、3.4 節で用いた無次元立ち上がり時間でオーバーシュート係数の関係を表したのが図 14 である。

無次元立ち上がり時間が増加するにつれて、オーバーシュート係数が減少する傾向にあり、無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数との間に相関が見られる。

また、風速が大きくなるにつれても、オーバーシュート係数が減少し、風速 18m/s ではオーバーシュートが見られなかったためオーバーシュート係数は表示していない。

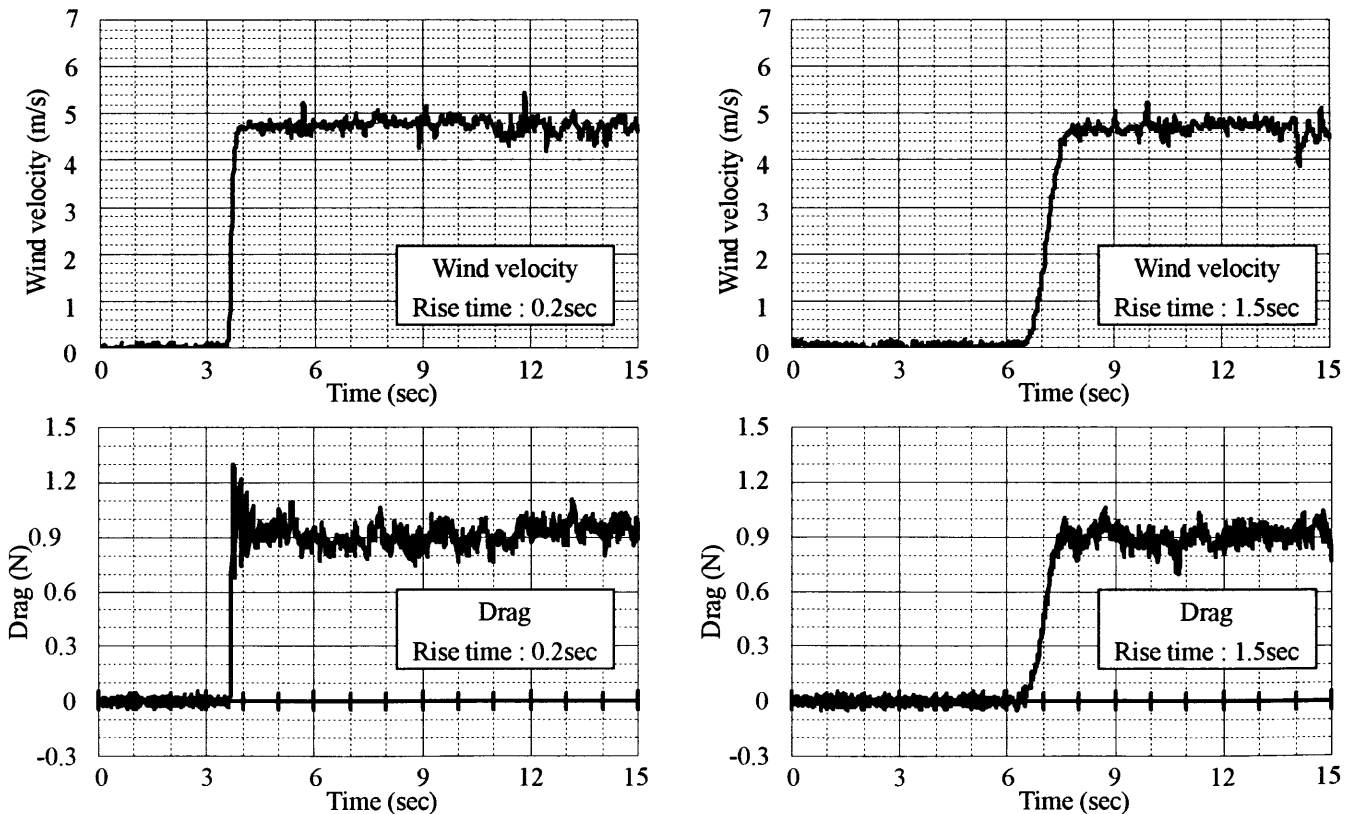


図 11 風速 5m/s での計測波形

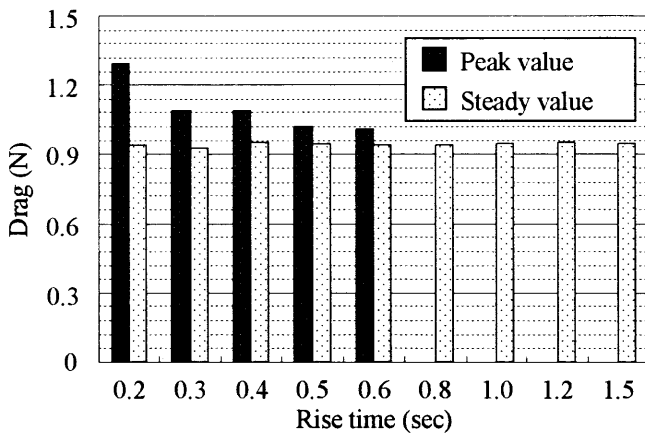


図 12 ピーク値と定常値(風速 5m/s)

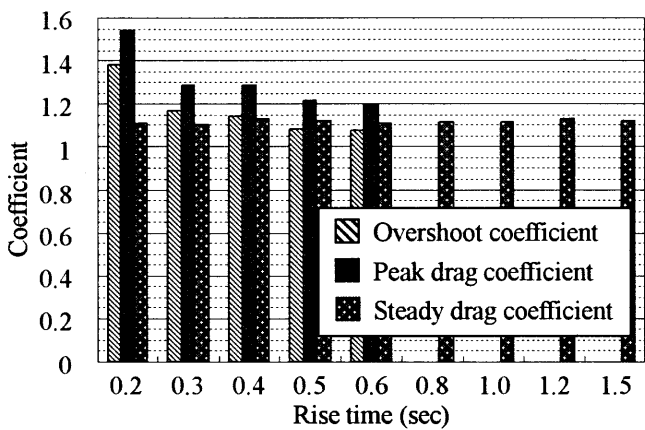


図 13 オーバーシュート係数と抗力係数(風速 5m/s)

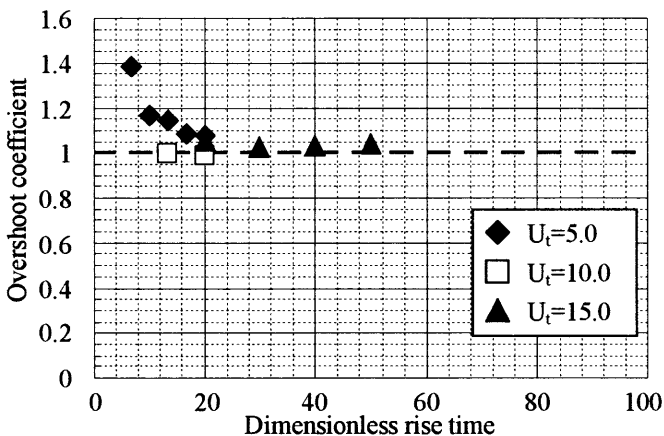


図 14 無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数

5. むすび

短時間に立ち上がる突風を受ける切妻屋根建物の表面圧力分布と抗力の特性をステップ関数的な突風を発生できる風洞で検証したところ、以下の所見が得られた。

- (1) 突風を受ける物体には、短時間で消滅するが、定常値以上の風圧分布や風力が発生するオーバーシュート現象が生じることがわかった。
- (2) オーバーシュート現象は、立ち上がり時間が長くなるほど、あるいは風速が大きくなるほど、オーバーシュートの大きさが小さくなる。

- (3) オーバーシュートの大きさは、目標風速とその立ち上がり時間および模型寸法で定義した無次元立ち上がり時間で一般化することが可能である。

短い立ち上がり時間における風圧力の極めて大きなピークの発生と風力のオーバーシュート現象との関係や、このような短時間で非常に大きな風圧力や風力の発生が建物の被害発生にどのように関連するか検討を進めたい。

謝辞 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(「局所地形と大気温度層分布形状の相互作用による突風災害発生メカニズム」, 基盤研究(B)(2) 課題番号 16360279, H16~18, 代表者: 前田潤滋, および「2006年台風13号に伴う暴風・竜巻・水害の発生機構解明と対策に関する研究」, 特別研究促進費, H18, 代表者: 真木太一)の援助を受けました。厚く御礼申し上げます。

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, 1706-1711, 1972.
- 2) T. Sarpkaya, Separated Flow about Lifting Bodies and Impulsive Flow about Cylinders, *AIAA Journal*, Vol. 4, No. 3, 414-420, 1966.
- 3) T. Sarpkaya, An Analytical Study of Separated Flow About Circular Cylinders, *Trans. of ASME, J. of Basic Eng.*, Vol. 90, 511-520, 1968.
- 4) N. Shiraishi, M. Matsumoto, H. Shirato, A Fundamental Study about Unsteady Aerodynamic Characteristics of Structures due to Fluctuating Wind, *Proc. of JSCE*, No.328, 19-30, 1982.
- 5) M. Matsumoto., M. Shimamura, T. Maeda, H. Shirato, T. Yagi, K. Hori, Y. Kawashima, M. Hashimoto, Drag Forces on 2-D Cylinders due to Sudden Increase of Wind Velocity, *12th International Conference on Wind Engineering*, Vol.2, 1727-1734, 2007.

(受理:平成19年12月6日)