

突風による建物の風圧荷重の増大効果に関する研究

中村 諭史

1. はじめに

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と言っても過言ではなく、また、外装材被害が外装材の飛散による二次被害を引き起こす主因であることを考慮しても、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。種々の屋根形状における建物表面の風圧荷重に関する報告は数多くあるが、それらの多くは一定風速下での検討を行ったものである^{1), 2)}。竜巻などに見られる短時間で風速が立ち上がる突風に対する構造物の風力特性に関する研究はいくつか報告されており、立ち上がり時間の短い突風を受ける構造物には短時間で消滅するが定常状態では見られない大きな風力のピークが見られることが明らかにされている。また、その中では、風速の立ち上がり時間を風速の変化量及び模型の代表長により無次元化したものでオーバーシュート風力を系統的に整理できることを示している³⁾。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て模型表面圧においてもオーバーシュート現象が見られることを示した報告があるが、突風発生時の風洞内の瞬間的な静圧勾配の影響により基準静圧測定位置により圧力値に大きな差異が生じることが課題としてあげられ、測定結果の評価に難点があった⁴⁾。そのため、建築物の風圧分布

特性に関して明らかにされている点は少ない。

本報告では、風洞計測部内に複数個所の静圧測定点を設けることで突風発生時の静圧勾配の影響を除去する工夫を示すとともに、その測定方法による突風下での切妻屋根構造物模型表面の風圧力測定の結果を報告する。また大小2種類の試験体を用いて、局部風圧力のオーバーシュート現象に及ぼす受風物体の代表長の影響を検討する。

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、風速制御の翼列閉鎖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、風速計の信号は1000Hz、圧力スキャナの信号は500Hzでサンプルした。

2.2 試験体概要

実験には、大小2種類の切妻屋根模型(以下、大模型、小模型とする)を用いた。模型の辺長比は幅B:奥行D:高さH=2:1:1とし、屋根勾配は1/2とした。模型の概要及び各辺の寸法を図2及び表1に示す。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上述した多点圧力スキャナにより測定する。圧力測定点同士の間隔は20~120mmであり、模型が風向に対して対称であることを考慮して測定孔の位置は模型の半分のみとした。圧力測定孔の総数は大模型、小模型ともに90点である。各面の風圧力測定点の位置を図3に示す。模型は風洞床面から200mm離れた端板面に設置して実験を行った。切妻屋根模型を風洞内に設置した様子を写真1に示す。

2.3 測定方法・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部の翼列を閉鎖した状態で計測を開始し、計測開始から

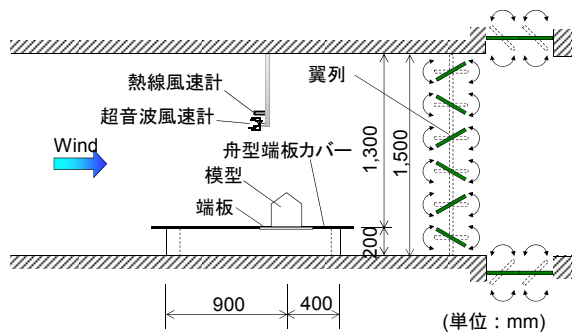


図1 風洞実感配置図

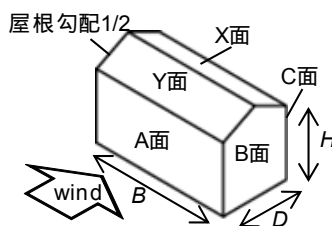


図2 試験体概要

表1 試験体寸法

	大模型	小模型
B	600	300
D	300	150
H	300	150

単位: mm

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及び計測部内の風速を時々刻々記録する。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。本実験で設定した目標風速及び立ち上がり時間を表 2 にまとめる。

3. 突風生成時の風洞内の静圧変動の影響

突風生成時の風洞内の静圧の特性を検証する。目標風速 5.0m/s、立ち上がり時間 0.2 秒の突風を生成した際の風洞内の端板面上の模型設置位置から風上に 500mm の位置の静圧を図 4 に示す。このときの基準静圧測定位置は風洞外部の風の影響を受けない点である。風速が立ち上がった瞬間に短時間で消滅するが極めて大きな負圧が確認できる。同様に、模型設置位置から風上に 200mm、300mm 及び 400mm の点の静圧も同時に測定し、それぞれの負圧のピーク値を示したものが図 5 である。図から、風速が立ち上がる瞬間の静圧のピーク値は、風下から風上にかけてほぼ一定の勾配を有することが分かる。一般的な風洞実験においては、測定部の場を代

表する基準静圧の測定点を風洞内の模型や気流の影響を受け難い任意の位置に設置する。しかし、本突風風洞装置で突風風洞実験を行う場合、上述した静圧の瞬間的な勾配が原因で基準静圧の値はその設置位置により大きく異なり、定常風と同じ測定方法では模型表面圧の測定値が大きく異なることが考えられる。

そこで本実験では、風洞計測部の天井付近に多数の静圧測定孔を有する板（以下、多点静圧孔板）を設置し、模型表面の各測定孔の直上の点における静圧をその板面で同時に測定した。このときの基準静圧測定位置は風洞外部の点とした。測定結果の一例として、目標風速 4.0m/s、立ち上がり時間 0.2 秒の場合の切妻屋根模型の風上壁面中央点及びその直上の多点静圧孔板面の静圧の時刻歴波形を図 6 及び図 7 に示す。図 6 の風上壁面中央の圧力波形は上述した瞬間的な静圧変動を含む圧力であり、図 7 の多点静圧孔板上の静圧波形は風上壁面位置での静圧変動を表している。よって図 8 に示す風上壁面中央の波形から静圧孔板上の波形を差し引いた波形が、風洞内の瞬間的な静圧変動の影響を除去した風圧力波形であるといえる。以下の節では、このように模型表面圧とその直上での静圧同時測定信号の差を求めてこの値を模型表面圧として評価・検討を行う。

4. 突風を受ける住宅模型の風圧力特性

4.1 風速及び風圧力波形

目標風速 4.0m/s を 0.2 秒及び 1.4 秒で立ち上げたときの風速波形を図 9 に、そのときの小模型の風上壁面及び風下屋根面の風圧力波形をそれぞれ図 10 及び図 11 に示す。立ち上が

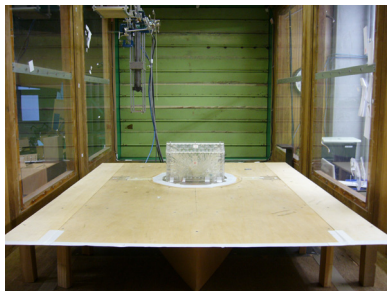


写真 1 模型を風洞内に設置した様子

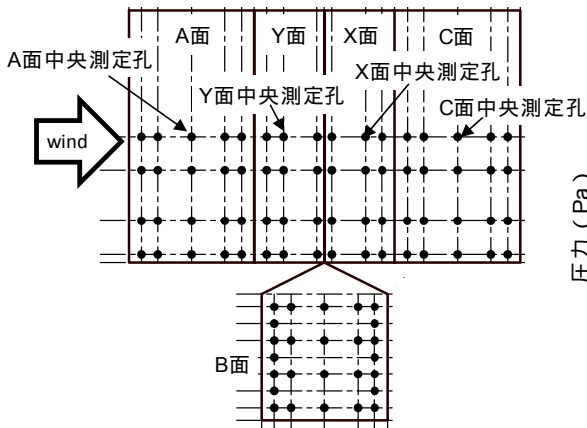


図 3 圧力測定孔位置

目標風速 U_t (m/s)	4.0, 6.0, 8.0
立ち上がり時間 t_r (秒)	0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.4

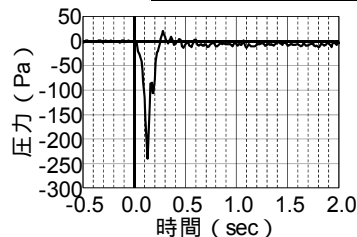


図 4 模型設置位置から 500mm の端板面上の圧力波形 ($U=4.0\text{m/s}$, $t_r=0.2$ 秒)

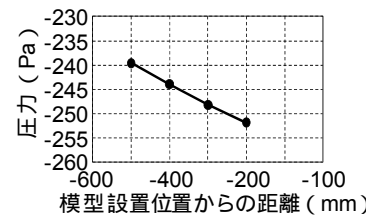


図 5 端板面上でのピーク値 ($U=4.0\text{m/s}$, $t_r=0.2$ 秒)

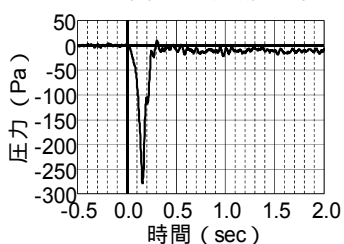


図 6 小模型風上壁面中央の風圧力 ($U=4.0\text{m/s}$, $t_r=0.2$ 秒)

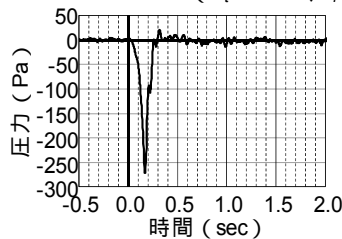


図 7 多点静圧孔板面の風圧力 ($U=4.0\text{m/s}$, $t_r=0.2$ 秒)

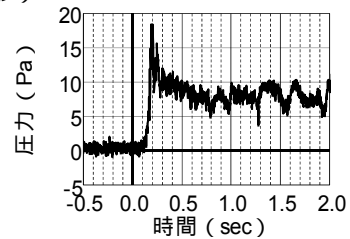


図 8 静圧を差し引いた風上壁面中央の風圧力 ($U=4.0\text{m/s}$, $t_r=0.2$ 秒)

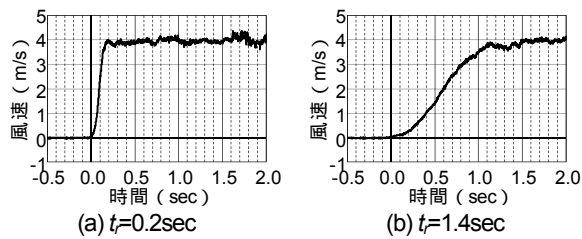


図9 風速波形 ($U=4.0\text{m/s}$)

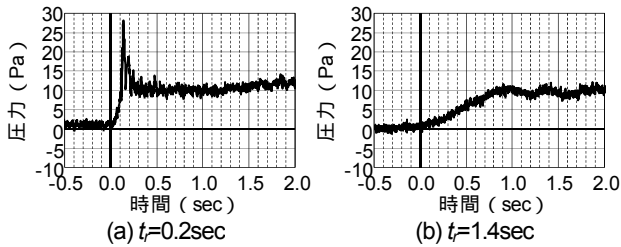


図10 小模型風上壁面中央の風圧力波形 ($U=4.0\text{m/s}$)

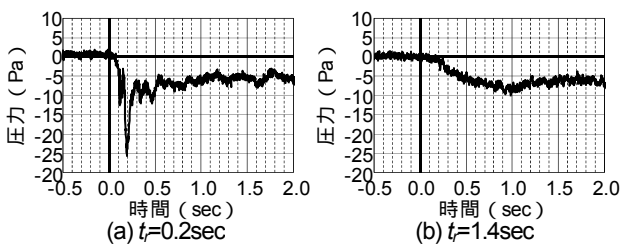


図11 小模型風下屋根面中央の風圧力波形 ($U=4.0\text{m/s}$)

り時間 1.4 秒の場合、風上壁面及び風下屋根面において、立ち上がり時間 0.2 秒の場合では、風速が立ち上がる際に立ち上がり時間 1.4 秒では見られない大きなピークが現れるオーバーシュート現象が確認できる。このピークは、風上壁面においては正圧、風下屋根面においては負圧となる。

4.2 風圧係数分布

風速 4.0m/s の一定風速が作用するときの小模型各面の風圧係数の分布を図 12 に示す。図中左が風上から見た様子、右が風下から見た様子である。風上壁面は全体が正圧となり、中央のやや上部で最も高い値を示す。中央から端部に行くにつれて風圧係数は低くなり、最短部の床面付近ではほぼ 0 となる。その他の面では負圧となり、側面の風上端付近で最も負圧が大きくなる。風上屋根面においては、軒部付近で最も負圧が大きくなり、棟部に近づくにつれて負圧は小さくなる。一定風速下でのこのような風圧係数分布は、既往の報告と同様の傾向となる^{1), 2)}。

目標風速 4.0m/s、立ち上がり時間 0.2 秒の突風が作用するときの各時刻の風圧係数分布を図 13 に示す。なお、各時刻の風圧係数は、各時刻の風圧力を定常状態の速度圧で除したものと定義する。風速が立ち上がり始めてから(a)0.05 秒後、(b)0.10 秒後、(c)0.15 秒後、(d)0.20 秒後をそれぞれ表している。立ち上がり開始から 0.05 秒後には、風上壁面においてはわずかに正圧、その他の面ではやや負圧が見られる。立ち上がり開始から 0.10 秒後には、風下屋根面及び側面において最も大きな負圧が見られる。立ち上がり開始から 0.15 秒後、風上壁

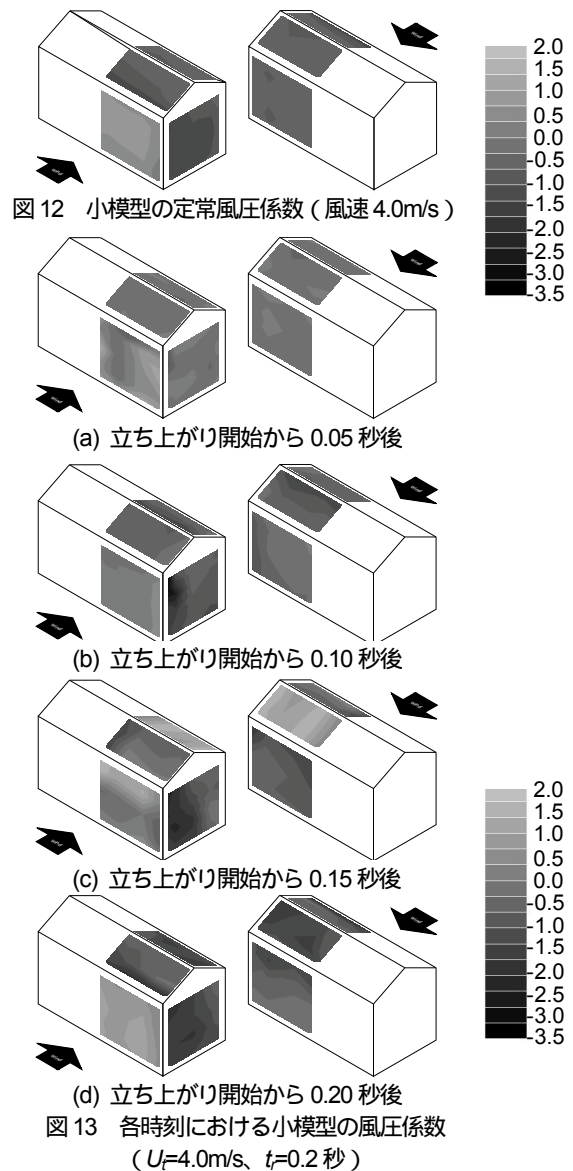


図12 小模型の定常風圧係数 (風速 4.0m/s)

(a) 立ち上がり開始から 0.05 秒後

(b) 立ち上がり開始から 0.10 秒後

(c) 立ち上がり開始から 0.15 秒後

(d) 立ち上がり開始から 0.20 秒後

図13 各時刻における小模型の風圧係数 ($U=4.0\text{m/s}$, $t=0.2$ 秒)

面の上部と風上屋根面において大きな正圧が見られる。この時刻付近において風上屋根面は最も大きな正圧となり、風下壁面では最も大きな負圧となる。風速が立ち上がり始めて 0.20 秒後には、風上壁面においては正圧、その他の面では負圧が分布する。各面とも定常状態と比べると大きな風圧係数となる。以上のことから、各面の圧力のピークの発生時刻はそれぞれ異なることがわかる。

4.3 棟部の突起の有無による風圧力特性の違い

切妻屋根の棟瓦の有無による屋根面の圧力特性の変化を検証するため、小模型の棟部に棟瓦に見立てた突起 (断面寸法 10mm×10mm) を設置した場合でも同様の実験を行った。図 14 は、小模型風上屋根面の風速 4.0m/s の一定風速下での風圧係数及び目標風速 4.0m/s を 0.2 秒で立ち上げたときのピーク発生時の風圧係数を、棟部突起がある場合とない場合と比較したものである。一定風速下での風圧係数は、棟部突起を設置した場合、突起がない場合と比較して大きく減少しており、特に棟部付近の測定孔では、風圧係数がほぼ 0 となる。ピーク発生時においても、一定風速下と同様に棟部突起を設

置することで負圧を大きく軽減できていることが分かる。

4.4 各パラメータが圧力のオーバーシュートに及ぼす影響

大小それぞれの模型の風上屋根面中央のオーバーシュート係数を、目標風速及び立ち上がり時間別に図 15 に示す。オーバーシュート係数は、ピーク風圧力を定常風圧力で除した値と定義する。模型の大小にかかわらず、立ち上がり時間が短いほどオーバーシュート係数が大きくなり、立ち上がり時間が等しい場合、目標風速が小さいほどオーバーシュート係数が大きくなる。模型の大小で比較すると、いずれの目標風速、立ち上がり時間においても大模型のほうが小模型よりもオーバーシュート係数が大きくなる。オーバーシュート現象の大きさは、目標風速、立ち上がり時間及び模型寸法に大きく影響を受けることが分かる。

4.5 無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数の関係

異なる目標風速、立ち上がり時間、及び模型寸法の実験データを系統立てて整理するため、以下の式で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' を定義する。

$$t_r' = t_r \cdot U_t / d$$

ここに、 t_r : 立ち上がり時間、 U_t : 目標風速、 d : 模型の代表長である。ここでは代表長を模型の流れ方向 D とした。

各模型の風上屋根面及び風下屋根面及びの中央におけるオーバーシュート係数と無次元立ち上がり時間の関係をまとめたものを図 16 に示す。なお、風上壁面中央及び風下壁面中央においては、オーバーシュートが発現するパラメータが少なく、無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数の関連性を充分検討できない。風上屋根面中央においては、各実験結果のプロットされた点が大きくばらついており、無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数に関連性は見られない。風下屋根面中央では、各実験結果がほぼ同一直線状にプロットされ、無次元立ち上がり時間が小さいほどオーバーシュート係数が大きくなる傾向が見られる。このように、同形状の模型であっても、部位によってオーバーシュート現象の発現があまり見られない点、数多く見られても無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数に関連性が見られない点、そして無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数が大きく関係している点があることが分かる。

5. 結び

突風発生時の風洞内の急激な静圧の変動が模型表面圧の測定値に及ぼす影響を除去する突風風洞実験の工夫を行い、寸法の異なる切妻屋根模型表面の風圧力測定を行ったところ、以下の知見を得た。(1)立ち上がり時間の短い突風が作用する際、風圧力のオーバーシュート現象が見られる。(2)各面におけるピークの発生時刻はそれぞれ異なる。(3)切妻屋根の棟部に突起を設けることで、一定風速下及び突風が作用する際の風上屋根面の負圧が大きく低減できる。(4)風下屋根面中

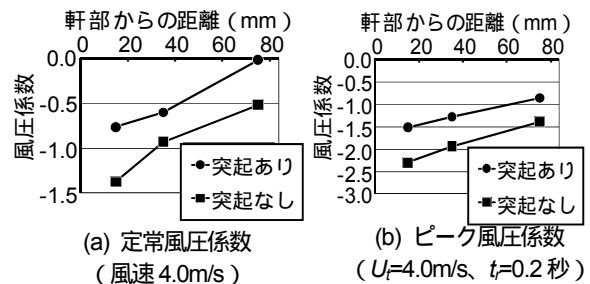


図 14 棟部突起の有無による風上屋根面の風圧係数比較

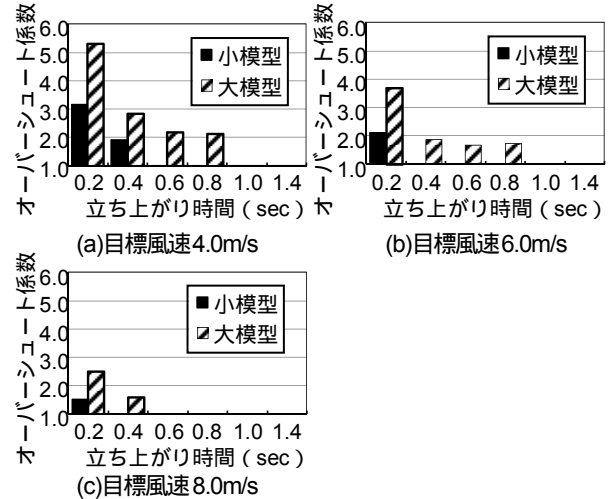


図 15 各パラメータにおける風下屋根面中央のオーバーシュート係数

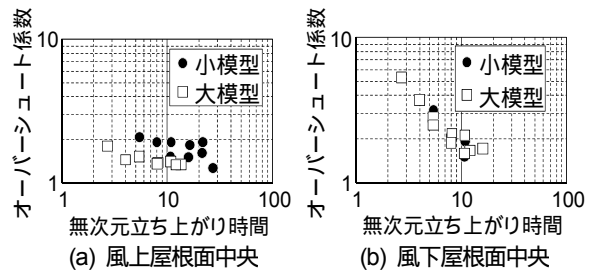


図 16 無次元立ち上がり時間とオーバーシュート係数の関係

央においては、立ち上がり時間が短いほど、目標風速が低いほど、また模型寸法が大きいほど風圧力のオーバーシュートは顕著に現れる。(5)無次元立ち上がり時間を用いて各測定点のオーバーシュート係数を整理すると、風下屋根面中央においては両者に強い関連性が見られる。

参考文献

- 1) 土谷学, 村上周三他, 改良 $k-\epsilon$ モデルによる直方体壁面風圧の数値解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1 pp.167-168, 1995.
- 2) 日本建築学会, 建築物荷重指針・同解説 2004, pp.22-33, 2004.
- 3) Takashi TAKEUCHI, Junji MAEDA, and Satoshi NAKAMURA, Effects of Step-function-like Gusty Winds on the Overshoot of Aerodynamic Forces Acting on a Member of a Transmission Tower, Eighth International Symposium on Cable Dynamics, pp.199-206, 2009.
- 4) 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.