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

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.

 $P = \rho CAU^2/2 \qquad (1)$

ここに, ρ: 空気密度, <u>U</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

*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

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ャ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2m/s~18m/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



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力ス 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バルブチューブの長 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, 圧力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 の切妻屋根模型(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様とな 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.

 $\mathbf{t}_{\mathbf{r}} = \mathbf{U}_{\mathbf{t}} \cdot \mathbf{t}_{\mathbf{r}} / \mathbf{d}$ (2)

ここで, t_i'は無次元立ち上がり時間, U_t は立ち上がり 風速, t_i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.





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.





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)