

## 飛散物の空力特性に関する直接計測と風洞実験との比較 Comparison of Aerodynamic Characteristics of Flying Debris between Direct Measurement and Wind Tunnel Experiment

○松居健人・丸山 敬・西村宏昭・野田 博

○Kento MATSUI, Takashi MARUYAMA, Hiroaki NISHIMURA, Hiroshi NODA

Damage to buildings during strong wind is caused by flying debris in many cases. In order to reduce the damage, motion of flying debris needs to be estimated by measuring its aerodynamic characteristics. Aerodynamic characteristics of flying debris have already been measured in wind tunnel experiment; however, there is little information of those when wind force acting on debris changes from moment to moment. This study aims to clarify the aerodynamic characteristics of flying debris by direct measurement. A measuring probe was built in a model of debris. By dropping the model from 50 meters height in a dome with windless condition, wind force coefficients were measured. The measured wind force coefficients were compared with those measured in wind tunnel experiment.

### 1. はじめに

近年、台風や竜巻などの極端気象現象の増加により日本では強風による建物被害が多く生じており、特に飛散物の衝突による被害が多いことが知られている<sup>[1]</sup>。飛散物の衝突による建物被害を低減させるためには、飛散物の衝撃力に耐えられるように建物外装材を設計する必要がある。そのためには強風中での飛散物の運動を精度良く求める必要がある。飛散物の運動を求めるには、飛散物の空力特性を計測し、強風中で飛散物が受ける空気力を精度よく求める必要がある。既往の研究では飛散物の空力特性は風洞実験によって求められることが多い。しかし、実際の飛散物は風向風速が変化する強風中を運動しており、飛散物の姿勢も時々刻々変化しているため飛散物に作用する空気力は動的に変化している。このため飛散物の運動を精度よく求めるためには動的な空力特性を計測する必要がある。

本研究では飛散物の動的な空力特性を明らかにすることを目的に、直接計測された飛散物の動的な空力特性と風洞実験で計測された静的な空力特性を比較する。

### 2. 動的な空力特性の直接計測実験

飛散物の動的な空力特性を計測するために、圧力センサー、6軸センサーからなる計測装置を図1の平板状モデルに内蔵した。モデル上にモデルに固定の座標系(x-y-z座標系)を定義した。モデルに作用する

各軸の風力が求められるように、モデル表面に圧力測定孔を設け、対面する測定孔間の圧力差を圧力センサーで計測した。

このモデルを無風のドーム建物の中で地面からおよそ50mの高さから自由落下させ、加速度と角速度、モデルに作用する圧力差を計測した。モデルに作用する各軸方向の風力  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  については測定孔  $i$  点での圧力差に  $i$  点が負担する面積を乗じ、これらを積分することで算出した。

風向角は図2に示すように、x-y面内方向を  $\alpha$ 、面外方向を  $\beta$  とした。6軸センサーの出力からモデルの姿勢と落下速度ベクトルを求めた<sup>[2]</sup>。ここではモデルの落下速度ベクトルと反対向きに速度ベクトルをモデルに作用する風速ベクトルと仮定し、風速ベクトルから風速  $U$  と風向角を求めた。風力係数は以下の式(1)で求められる。ここでは  $z$  軸方向

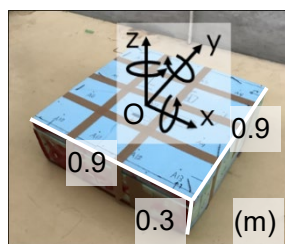


図1 直接計測実験に用いた飛散物モデル

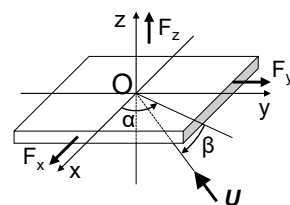


図2 風力、風向角の定義

$$C_{fz} = \frac{F_z}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (1)$$

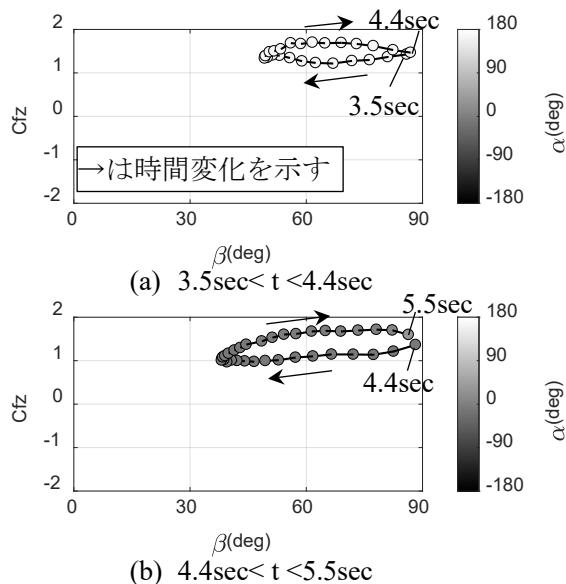


図3 直接計測実験での風力係数

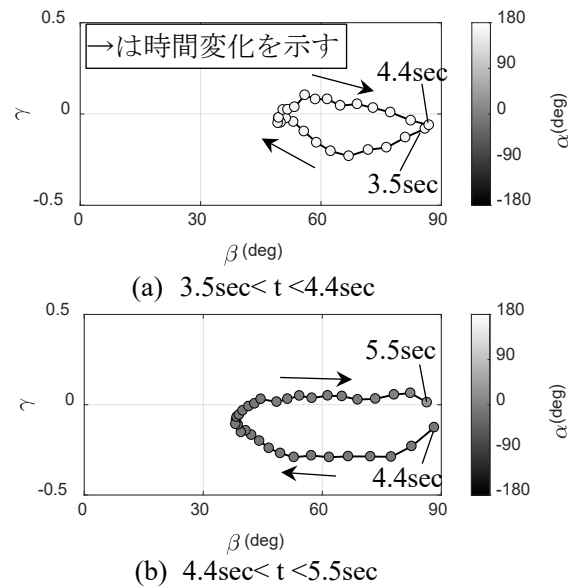


図4 直接計測と風洞実験との風力係数の比較

の風力について述べる。 $A$  は模型の代表面積で  $0.81\text{m}^2$ 、 $\rho$  は空気密度である。

風力係数と風向角との関係を図3に示す。風力係数の時間変化を示すためにプロット間を実線で結んだ。 $t$ は落下開始からの時刻を表している。図3中では(a)、(b)ともに面内方向の風向角はほとんど時間変化しておらず、主に面外方向の風向角が時間変化している。時間経過とともに面外方向の風向角が大きくなる場合の風力係数の時間変化と、小さくなる場合の風力係数の時間変化とが異なっていることが分かる。模型の姿勢の変化が模型周辺の気流性状を変化させており、面外方向の風向角が大きくなる場合と小さくなる場合とで気流性状が異なることが考えられる。そしてこの気流性状の変化が模型に作用する風力を変化させていると考えられる。

### 3. 風洞実験による静的空力特性の計測

前章で計測した動的空力特性と比較するために、風洞実験によって飛散物の静的空力特性を計測した。前章で用いた模型と同様の形状の模型に一樣流を与え、模型に作用する風力を6分力天秤で計測した。得られた計測結果から全風向角に対する静的空力特性のデータベースを作成した。

### 4. 空力特性の比較

ある風向角での直接計測による風力係数と、同風向角での風洞実験による風力係数とを比較した。

$$\gamma = \frac{C_{fd} - C_{fw}}{C_{fw\max}} \quad (2)$$

直接計測の風力係数を  $C_{fd}$ 、風洞実験の風力係数を  $C_{fw}$ 、風洞実験の風力係数の最大値を  $C_{fw\max}$  とし、(2)式で表した。なお  $C_{fw\max}$  は1.65であった。

比較した結果を図4に示す。時間経過とともに面外方向の風向角が大きくなる場合の  $\gamma$  は(a)では最大で0.1程度、(b)では最大で0.06程度であった。一方で時間経過とともに面外方向の風向角が小さくなる場合の  $\gamma$  は、(a)では最小で-0.23程度、(b)では最小で-0.3程度であった。

### 5. まとめ

落下する飛散物の動的空力特性を直接計測し、風洞実験で計測された静的空力特性と比較した。直接計測の結果、平板状模型では面外方向の風向角の時間変化によって模型に作用する風力が異なることが分かった。また風洞実験の結果と比較すると面外方向の風向角が時間経過とともに大きくなる時の風力係数の値は風洞実験による値とほぼ等しく、小さくなる時の風力係数の値は風洞実験による値よりも小さくなった。

### 謝辞

本研究は科研費16K14341および平成29年度京都大学防災研究所一般共同研究の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1]吉田昭仁、松井正宏、“飛散物の種類と発生要因,” 日本風工学会誌, vol. 35, no. 1, pp. 6–11, 2010.
- [2]J. M. Cooke, M. J. Zyda, D. R. Pratt, and R. B. Mcghee, “NPSNET: Flight Simulation Dynamic Modeling Using Quaternions,” *Presence*, vol. 1, no. 4, pp. 404–420, 1994.