

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14341

研究課題名(和文) 飛翔中のブラフボディの空力特性の直接測定

研究課題名(英文) Direct measurement of aerodynamic characteristics of flying bluff-body

研究代表者

丸山 敬 (Maruyama, Takashi)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：00190570

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：台風や竜巻などの強風により生じる飛散物の多くは、碎石、枝、破壊された建物の部材など“流線型でない形状”をもった物体、すなわち“ブラフボディ”であり、飛散性状を予測し、飛散物に対する被害防止・減災対策を行うためにはそれらの空力特性を知ることが基本となる。本研究では、並進・回転運動および表面風圧力を自立的に直接測定可能な計測装置を開発し、その計測装置を埋め込んだブラフボディ模型を、無風のドーム建物内で実際に飛ばして計測を行った。同時に、ビデオ画像から3次元飛翔運動を求め、計測装置で得られた測定結果との比較を行い、提案する測定手法の有用性を示すとともに、ブラフボディの空力特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Most damage to houses and buildings in strong wind such as typhoon or tornado are caused by the impact of flying debris such as stone or sticks. In order to reduce the damage, the estimation of impact force by clarifying the aerodynamic characteristics of flying debris is required. In many cases, the flying debris has a non-streamline shape, i.e. bluff-body". Therefore, this study aims to measure directly the aerodynamic characteristics of bluff-body. A stand-alone measuring device was developed, and was built in a bluff-body modeled typical shape of flying debris, such as cube, plate and rod. These models were dropped from a stage in a dome located at 50m height from the ground with windless condition. The pressure, the acceleration and the angular velocity were measured, while capturing the falling motion of bluff-body by video camera. The measuring method with the proposed device in this study was evaluated by comparing with the image analysis of movie records.

研究分野：風工学、建築耐風構造

キーワード：ブラフボディ 空力特性 直接測定 飛散物 飛翔運動

1. 研究開始当初の背景

近年の温暖化による台風の強化、竜巻や突風などの極端気象現象の多発化による建物の強風被害に対して、防災・減災対策が望まれるところであるが、建物の強風被害の実態調査から、被害の多くは飛散物の衝突による外装材の被害であることが判っている^{1,2)}。したがって、建物の強風被害防止・低減対策として飛散物に対する防備は重要で、建物の外装材が飛散物の衝撃力に耐えられるように設計する必要があり、飛散物の衝突時の速度を予測することが求められる。このためには、飛散物の飛翔運動を精度よく求めねばならず、風から受ける空気力を適切に評価する必要がある。



図1 強風時に建物の壁に突き刺さった飛散物
破壊された建物の部材など、“流線型でない形状”をもった物体が衝突することが多い

台風や竜巻などの強風により生じる飛散物の多くは、碎石、木の枝、破壊された建物の部材など“流線型でない形状”をもった物体、すなわち“ブラフボディ”であり、飛散性状を予測するためにはそれらの空力特性を知ることが基本となる。

飛行機のような流線型物体の飛翔中の空力特性を直接測定して解明しようとする研究は、これまでに数多く存在する。歴史的にみて、流線型物体の空力特性はその多くが風洞実験により求められてきた。その場合、物体は風洞に固定された状態で測定が行われることが多いので、物体と気流の相対風向風速がほぼ一定な状況の結果となる。一方、流線型の物体に比べてブラフボディ周囲の流れは複雑で、物体が受ける空気力も動的に変化するため、物体自身の姿勢変化も大きい。さらに、地面付近の風は乱れていることが多く、相対的な風向風速は時々刻々変化する。そのため、強風時の飛散物のように、地上付近で飛翔するブラフボディに加わる空気力を実験的に測定することは困難なことが多く、これまであまり測定されたことがなく、その空力特性に関する情報も、ほとんどないのが現状である。したがって、飛散物の飛翔運動を精度よく予測するために非定常な流れの中を飛翔するブラフボディのもつ動的な空力特性を明らかにし、風洞実験のような定常流中で得られた静的な空力特性との差異を明らかにすることが強く望まれている。

ブラフボディの空力特性を求める風洞実験もいくつか行われているが、風向風速が一定な気流中において求められたもの³⁾がほとんどである。したがって、ブラフボディの飛翔運動を計算する際には、静的に求められた空力特性を、各時刻における風向風速に対して適用し計算する準静的な解析方法が一般的に用いられてきた。しかし、準静的な解析方法で求められたブラフボディの飛翔運動が、実際の運動をどのくらい再現できるかに関する情報は少なく、それらを検証した研究もほとんどない。

そこで、本研究ではブラフボディの空力特性を、飛翔中の飛散物において直接測定する方法を提案し、計測を行う。本研究はこのような測定手法における新しい分野を切り開くものである。

2. 研究の目的

台風や竜巻などの強風による建物被害は、その多くが風に飛ばされた飛散物の衝突によるものである。このとき、飛散物の多くは、碎石、枝、破壊された建物の部材など“流線型でない形状”をもった物体、すなわち“ブラフボディ”であり、飛散性状を予測するためにはそれらの空力特性を知ることが基本となる。本研究は、飛散物の衝突時の衝撃力を予測するために必要となる空力特性を、飛翔中の飛散物において直接測定する方法を確立することを目的とする。

ブラフボディが、相対的な風向風速が変化する流れの中を飛翔する際の空力特性は、これまでほとんど明らかにされていないが、本研究ではそれらを明らかにする測定法を提案する。具体的には、並進・回転運動および表面風圧を記録するセンサーを埋め込んだブラフボディを作成し、飛翔中の3軸方向の加速度と回転速度、および、表面風圧力の時刻歴変化を測定して、ブラフボディが受ける力と姿勢変化を測定する方法を確立する。同時に、ビデオカメラにより飛翔運動を記録して、ビデオ画像からブラフボディの3次元運動を求め、上記、並進・回転運動および表面風圧を記録したセンサーによる観測結果との比較を行うことにより空力特性の精度検証を行って、提案する測定手法の有用性を示す。

これにより、ブラフボディの飛翔運動を予測し、建物の強風被害の原因である飛散物の衝突による衝撃力を精度よく推定することが可能となる。その結果、飛来物に対して要求される耐衝撃性能を適切に評価し、建物の飛散物に対する防御性能を高めるための、より合理的な耐風設計が可能となつて、建物の強風被害低減に貢献できる。

3. 研究の方法

本研究では、飛行中のブラフボディに加わる空力特性を直接測定する手法を提案し、その有効性を以下の手順で検証して、ブラフボディに加わる動的な空力特性を明らかにした。

①計測装置の開発

図2に示すような、圧力センサー、3軸加速度センサー、角速度センサー、マイコン、計測データを保存するためのSDカード、計測開始時刻を与えるスイッチ、および、小型電源からなり、並進運動、回転運動の測定、風圧力の多点測定を自立的に行うことができる計測装置を開発した。

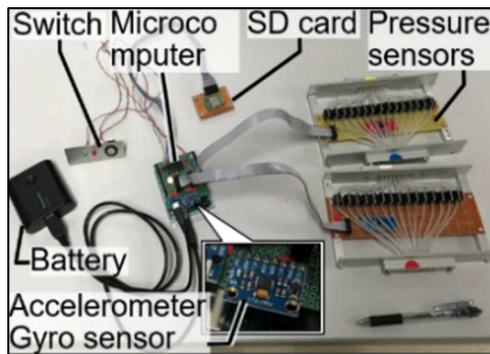


図2 自立型計測装置

②ブラフボディ試験体の作成

Willsらの研究⁴⁾に基づき、飛散物の代表的な形状として取り上げられる塊状、平板状、棒状の3種類形状をもったブラフボディ試験体を作製し、開発した計測装置を組み込んだ(図3)。各ブラフボディ試験体の表面には圧力を測定するための測定孔が設けてあり、圧力センサーで正対する測定孔間の差圧を測り、表面に加わる風圧力を測定した。



図3 ブラフボディ試験体
写真は立方体模型で自立型計測装置を内蔵する

③飛行実験

ブラフボディ試験体を図4に示すようにドーム建物内の上部、地面からおおよそ50mにあるステージから無風状態で自由落下させ、加速度、角速度およびブラフボディ試験体表面に作用する差圧を計測した。同時に、ブラフボディ試験体の落下運動は3箇所に配置したビデオカメラでも撮影し、画像データをもとにブラフボディ試験体の落下運動を解析した。

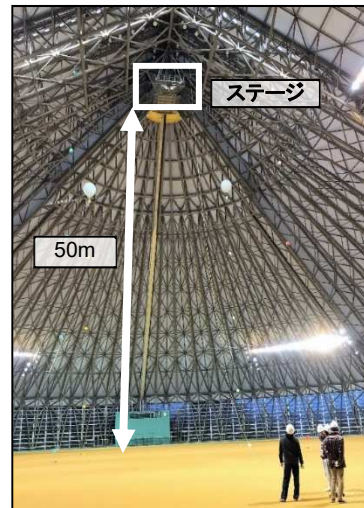


図4 ドーム内での落下実験

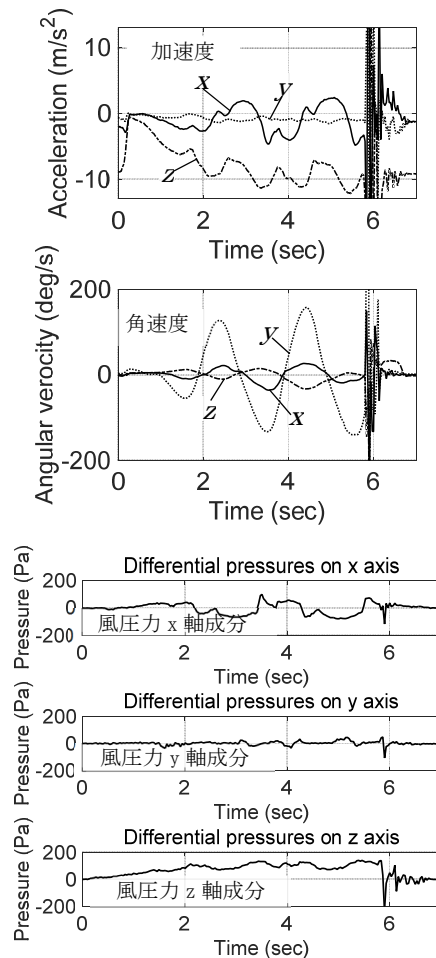


図5 計測結果

4. 研究成果

当初の目標通り、ブラフボディ試験体の飛行時の加速度、角速度、風力を計測した(図5)。さらにビデオ画像の解析により求めた落下軌道との比較(図6)により、計測により得られた測定値の妥当性を確かめ、以下の結果を得た。

- ① 計測された加速度・角速度を積分することによりブラフボディ試験体の姿勢、軌道が求められた。

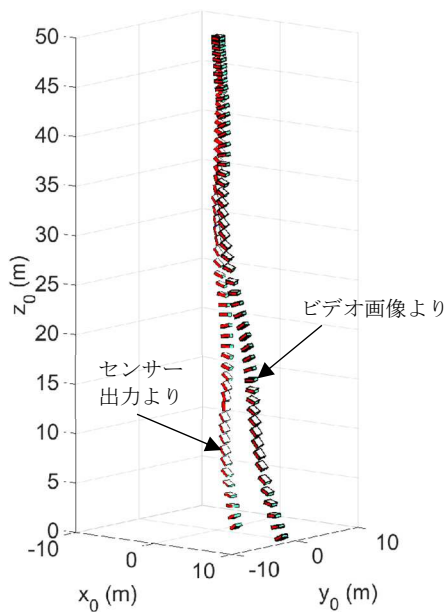


図6 模型の落下軌道

- ② ブラフボディ試験体表面に作用する風圧力の測定値は、加速度、角速度および画像解析による運動から得られた結果と対応していることが確かめられた。

これにより、開発した自立型計測装置により、ブラフボディ試験体の空力特性を直接測定することができることを示した。

ただし、計測された加速度、角速度から求めた飛散軌道と画像解析から求めた飛散軌道の結果にはいまだ差異があるので、加速度、角速度のデータ処理方法、および、運動を求める際の解析方法に改良を加えていく予定である。また、風洞実験により風向・風速が一定な条件で計測された静的な風圧力との比較により、運動時の動的な風圧力の特性を明らかにする予定である。

<引用文献>

- 1) 吉田昭仁, 松井正宏(2010), 飛散物の種類と発生要因, 日本風工学会誌, 第35巻, 第1号, pp.6-11.
- 2) 前田潤滋 (2013), 平成24年5月6日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと市街実態の総合調査(課題番号24900001), 平成24年度文部科学省科学研究費補助金(特別研究推進費)研究成果報告書.
- 3) 岡崎純也, 丸山敬(2012), 瓦と正方形平板の飛散性状のシミュレーション, 第22回風工学会シンポジウム, pp.377-382.
- 4) J. A. B. Wills, B. E. Lee, T. A. Wyatt(2002), A model of wind-borne debris damage, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 90, No.4-5, pp. 555-565.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① 松居 健人, 丸山 敬, 西村 宏昭, 野田 博, 西嶋 一欽, 飛散物の動的空力特性の自立型直接計測システムの試作, 日本風工学会誌, 査読無, Vol.42, No.2 (No.151), 2017, 144-145

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他] (計2件)

- ① 松居 健人, 丸山 敬, 西村 宏昭, 野田 博, 西嶋 一欽, ドーム建物内における飛散物の動的空力特性の直接計測の試み, 京都大学防災研究所年次発表会, 一般公演 B31, 2018

- ② 丸山 敬, 松居 健人, 西村 宏昭, 野田 博, 西嶋 一欽, 飛散物の動的空力特性の直接計測システムの試作, 京都大学防災研究所年次発表会, 一般公演 B16, 2017

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丸山 敬 (MARUYAMA, Takashi)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 00190570

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

松居健人 (MATSUI, Kento)
京都大学・大学院工学研究科・大学院生
研究者番号: なし