

## 強風による棒状物体の飛散挙動に関する数値解析

## Numerical Simulation on the Flight Behavior of a Rod-Shaped Object in Strong Winds

○関根加奈子<sup>1</sup>, 長谷部寛<sup>2</sup>\*Kanakano Sekine<sup>1</sup>, Hiroshi Hasebe<sup>2</sup>

Abstract : The risk of accidents caused by wind-borne debris has increased due to the rise in strong winds and typhoons. To address this issue, this study evaluated the flight behavior of a rod-shaped object by combining computational fluid dynamics (CFD) and a motion analysis. Static aerodynamic characteristics of the object were evaluated using CFD with OpenFOAM, revealing that the lift coefficient reaches its maximum at an angle of attack between 45° and 60°. Motion analysis was then conducted using these aerodynamic coefficients data to simulate the object's flight trajectory. The results showed that the flight distance of the object significantly increases with wind speeds and the initial positions from the ground. These findings provide fundamental insights for mitigating accidents caused by wind-borne debris. Future work will focus on improving the accuracy of the aerodynamic coefficients and applying this method to other object shapes.

## 1. はじめに

強風による被害は、構造物の倒壊といった直接的な被害と、飛散物による間接的な被害の二つに大別される。近年、風災害の増加に伴い、特に飛散物による事故のリスクが高まっている。実際に2025年5月長野県で発生した事故では、強風で飛ばされた小屋が列車に衝突し、死傷者が生じる事態となった<sup>[1]</sup>。

飛散物による被害を軽減するためには、その運動特性を正確に理解し、飛翔挙動を予測することが不可欠である。特に、平板状の飛散物に関する運動シミュレーション<sup>[2]</sup>は進んでいるものの、棒状物体の飛翔挙動については未だ不明な点が多いのが現状である。

そこで本研究では、風災害で飛散する棒状物体に着目した。その飛翔挙動を詳細に評価するため、静的三分力特性を測定し、得られたデータに基づいて運動解析を行い、その挙動を明らかにすることを目的とする。

## 2. 解析手法

本研究では、棒状物体の飛散挙動を解明するため、以下の解析手法を用いた。

まず、棒状物体の静的三分力特性を評価するために数値流体解析を行った。解析には、オープンソースソフトウェアであるOpenFOAM (v2412) を使用し、棒状物体に作用する空力特性を把握した。

次に、数値流体解析で得られた空気力を外力とした運動解析を実施した。運動方程式は、並進運動と回転運動を考慮して定式化し、時間積分法にはNewmark- $\beta$

法を適用した。これにより、飛翔中の物体の姿勢や軌跡を計算し、この飛翔挙動を明らかにした。

## 3. 解析条件

## 3.1 静的三分力特性解析

物体の形状は、道路標識のポールとし、国土交通省道路標識設置基準<sup>[3]</sup>に記載された規定に合わせた形状を前提とし、CADを用いて作成した。今後実施予定である風洞実験を見据え縮尺は1:2としている。棒状物体は、断面一様、全長1.3m、断面直径0.03mである。解析領域のメッシュはFigure 1に示す。領域の断面寸法は、今後予定している風洞実験に合わせて一辺2.0mとし、頭上げ迎角0~90度の範囲で検討した。

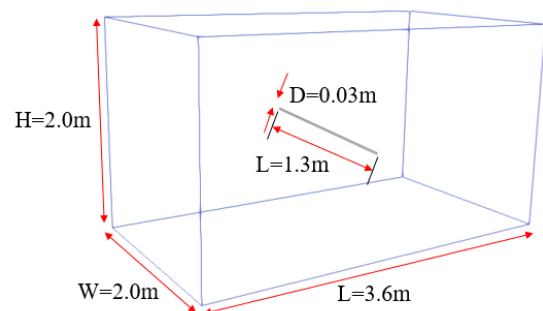


Figure 1. Computational domain

## 3.2 運動解析

運動解析には、静的三分力特性の数値流体解析で得られた空力特性データを用いて、飛翔物体の挙動を評価した。変更しない解析条件はTable 1に示す。初期風速、初期位置はそれぞれ条件を変えて解析を行った。

1: 日大理工・院(前)・土木 2: 日大理工・教員・土木

Table 1. Analysis conditions

質量 (kg)	10
空気密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1.225
重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )	9.81
慣性モーメント (kgm <sup>2</sup> )	0.09
時間積分間隔 (s)	0.01
解析時間 (s)	3.0
投射角 (度)	30

また、解析時間は飛翔開始から地表面に着地までの時間をシミュレーションした。

4. 解析結果

4. 1 静的三分力特性解析結果

数値流体解析により、棒状物体に作用する空力特性を評価した。解析で得られた迎角 15 度ごとの空気力係数を Figure 2 に示す。抗力係数 ( $C_D$ ) は迎角の増加に伴い、抗力係数の増加する傾向が見られた。揚力係数 ( $C_L$ ) は迎角 45 度から 60 度で最大値となった。モーメント係数 ( $C_{My}$ ) は迎角の増加に伴い減少する傾向が見られた。

4. 2 運動解析結果

強風下における棒状物体の飛翔軌道のシミュレーションを行った。風と飛散挙動の関係性を調べるため、風速を変化させて解析を行った結果を Figure 3 に示す。風速が強まるほど放物線が大きくなり、飛距離が伸びる傾向が見られた。また、初期位置を変化させた場合の結果を Figure 4 に示す。初期位置が大きいくほど、飛距離も大きくなる傾向が見られた。

5. 結論

本研究は強風下における棒状物体の飛散挙動を明らかにするため、数値流体解析と運動解析を組み合わせた評価手法を提案した。数値流体解析により、棒状物体に作用する空力特性を把握した。この空力特性データを用いた運動解析により、風速の増加が飛翔距離の増大に直接的に影響することを明らかにした。今後の課題として、空気力評価の精度をさらに高め、様々な形状の飛散物に応用することにより、本研究の成果を広範な風災害対策に活かしていくことが挙げられる。

謝辞

物体の飛翔挙動に関して、畑瀬聡先生（日本大学芸術学部）、加藤幸真先生（日本大学スポーツ科学部）にご助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

[1] NHK, 社会ニュース,  
[https://www3.nhk.or.jp/news/html/20250521/k1001481276\\_1000.html](https://www3.nhk.or.jp/news/html/20250521/k1001481276_1000.html) (閲覧日: 2025 年 9 月 10 日)  
 [2] 野田稔, 長尾文明, 平板状飛散物の 6 自由度飛散軌道シミュレーション, 風工学シンポジウム論文集, 2010.  
 [3] 国土交通省道路標識設置基準,  
<https://www.mlit.go.jp/common/001085090.pdf> (閲覧日: 2025 年 8 月 25 日)

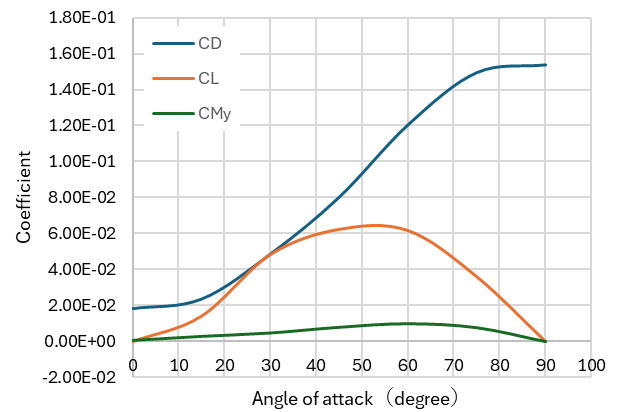


Figure 2. Aerodynamic coefficients and angle of attacks

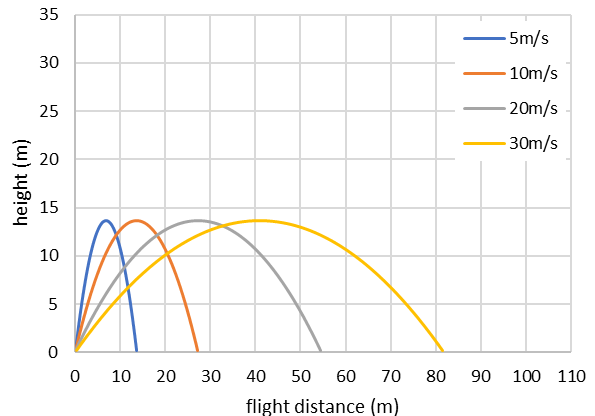


Figure 3. Wind speeds and the flight distances.

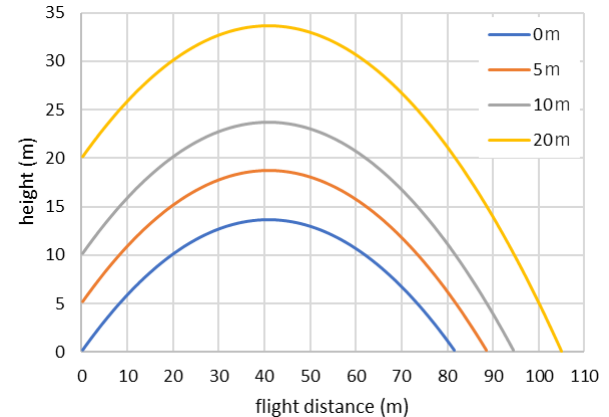


Figure 4. Flight distances when the initial positions are changed.