

## 重心の移動が平板状飛散物の運動に与える影響

徳島大学大学院 学生会員 ○鹿島 貴侑      徳島大学 正会員 野田 稔  
大鉄工業 西村 俊吾      徳島大学 フェロー 長尾 文明

### 1. はじめに

飛散物による被害とは、台風や竜巻などの強風によって破壊された建築物等の外壁やガラスが、看板や木の枝などが飛散し、他の構造物などに衝突することを指す。その被害の中でも構造物材やガラス、看板などが建築物の外壁や構造物に突き刺さるものをミサイルと呼ぶ。ミサイルは突き刺さるように飛散すると考えられるため、通常の飛散物よりも衝突における力が分散しにくく危険性が高い。そこで、本研究では飛散物がミサイルになる原因として重心の移動に着目して、重心の移動と平板状飛散物の回転運動の関係について検討した。

飛散シミュレーションの解析を行うには現実性の高い3次元運動シミュレーションで行うべきであるが、3次元飛散物の回転方向は3軸あり複雑である。ここでは基本的な検討として平板状モデルを想定した平面運動シミュレーションを行う。平板状モデルを用いる理由は、建築物が強風などにより被害を受けた際、発生する飛散物は屋根瓦やガラスなど平板状であるものが多いとされるからである。本来、物体が回転を伴う運動をする際にはマグヌス揚力とよばれる力が働くが、野田ら<sup>1)</sup>の研究で飛散物の回転速度のアンサンブル平均値は0であり、平均的に解釈すればマグヌス揚力の作用は平均軌道に影響していないことが分かっているため、マグヌス揚力は考慮していない。一様な流れ場を想定し重心位置の偏心距離、立川数<sup>2)</sup>をパラメータとして与え解析を行い、飛散物の軌道や時間経過に伴う回転角を算出する。

### 2. 解析手法

飛散物の飛行軌道を求める上で重要となるのが運動方程式である。これは飛散物に作用する空気力、重力を外力として用いて求められる。各方向に対応する運動方程式はそれぞれ常微分方程式になっており、ルンゲクッタ法によって解析した。

今回の解析で用いるパラメータは、縦幅  $H$ 、横幅  $B$ 、厚さ  $t$  の平板状のモデルを想定し、辺長比  $H/B=1.0$  としており、風速  $U = 10(\text{m/s})$  の水平方向の一様流中で、立川数  $Ta = 10$ 、重心位置を平板の中心から平板の縦幅  $h$  より  $d = 0, h/8, h/4$  と変えることによって飛行軌道、回転角の時刻歴への影響を検討する。風軸鉛直方向の迎角  $\psi$  を  $-180^\circ$  から  $180^\circ$  まで  $15^\circ$  ピッチで変化させ、高さ  $10(\text{m})$  から飛散させることで  $z = 10 \sim 0(\text{m})$  の間の挙動を検討する。立川数とは飛散物の飛びやすさを表す無次元パラメータで、次式で定義される。

$$Ta = \frac{\rho U^2 A}{2mg} \quad (1)$$

ここで  $\rho$  は空気密度、 $A$  は飛散物の代表面積、 $m$  は飛散物の質量、 $g$  は重力加速度、 $U$  は  $10(\text{m/s})$  の一様流を表している。

### 3. 解析結果および考察

立川数  $Ta = 10$  において偏心距離別に解析して得られた飛行軌道を図-1 に、回転角の時刻歴を図-2 に示す。図-1 の飛行軌道を見ると、初期回転角の違いによる軌道のばらつきが小さくなる傾向を示した。回転角の図-2 から偏心距離が長くなることで回転が抑制されいくつかの回転角に集まるような傾向を示した。このことが初期回転角の違いによる軌道のばらつきを小さくした要因であると考えられる。回転が抑制された要因としては、重心が偏心し飛散物の回転中心と空気力の合力の作用位置がずれることによって生じる空気力によるモーメントであると考えられる。

表-1 モデルのパラメータ

| $H/B$ | $H(\text{m})$ | $B(\text{m})$ | $t(\text{m})$ |
|-------|---------------|---------------|---------------|
| 1.0   | 0.300         | 0.300         | 0.002         |

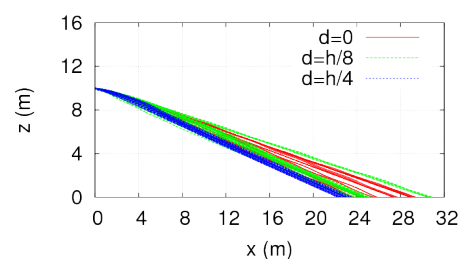


図-1 偏心距離別の飛行軌道 ( $Ta = 10$ )

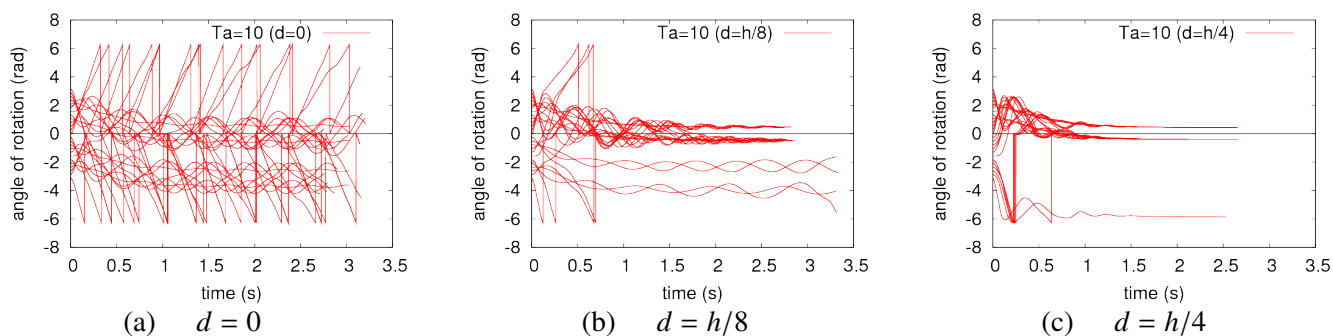


図-2 偏心距離別の回転角の時刻歴 ( $Ta = 10$ )

初期回転角  $\theta_0$  を  $30^\circ$  ピッチで変化させ、偏心距離  $d = 0$ 、立川数  $Ta = 10$  で解析して得られた初期回転角毎の回転角の時刻歴の平均  $\bar{\theta}$  を図-3 に示す。 $\sigma$  は標準偏差である。回転しているもの(初期回転角  $\theta_0 = -\pi, 0, \pi$ ) は平均、標準偏差を表すことができないため矢印で示している。図-3 から、回転しているもの、標準偏差の大きいもの(大きく振動しているもの)、標準偏差の小さいもの(殆ど振動していないもの)の3つに分類する。それぞれの分類から初期回転角を1つずつ取り出し、分類した初期回転角で、偏心距離  $d$  を  $d = 0, h/8, h/4$  と変化させることによりそれぞれのケースがどのように変動するか検討する。 $Ta = 10$  の結果を図-4 に示す。図-4 をみると、 $d = 0$  のとき回転しているケース ( $\theta_0 = -\pi$ ) では重心を偏心させることによる影響は大きく、回転が抑制され回転角が  $0^\circ$  に収束するような傾向を示した。また、 $d = 0$  で振動しているケースでも、重心が偏心することにより振動が減少し回転角が  $0^\circ$  に収束するような傾向がみられた。重心の偏心により回転や振動が抑制された要因としては、重心が偏心し飛散物の回転中心と空気力の合力の作用位置がずれることによって生じる空気力によるモーメントであると考えられる。

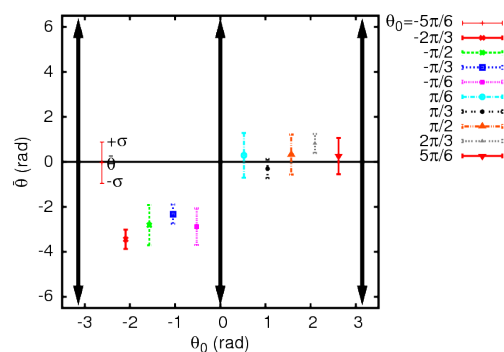


図-3 平均回転角と初期回転角の関係 ( $Ta = 10, d = 0$ )

#### 4. おわりに

重心位置が偏心することにより卓越した回転角が生じ、飛散物がミサイルになることが考えられる。そして偏心距離が長くなるほど飛距離が短くなり、初期回転角の違いによる軌道のばらつきが小さくなる傾向を示した。今後6自由度での解析を行い、より現実に近い状態でミサイルになる条件を評価していく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 野田 稔, 長尾 文明, 政井 一仁 : 六自由度飛行軌道解析による平板状飛散物の飛行性状の検討, 構造工学論文集, Vol.58A, pp. 542-551, 2012
- 2) 立川正夫, 飛散物の拡散範囲の推定方法 台風時の飛散物の軌跡と速度に関する研究 その5, 日本建築学会論文報告集, 第363号, pp.23-31, 1986.

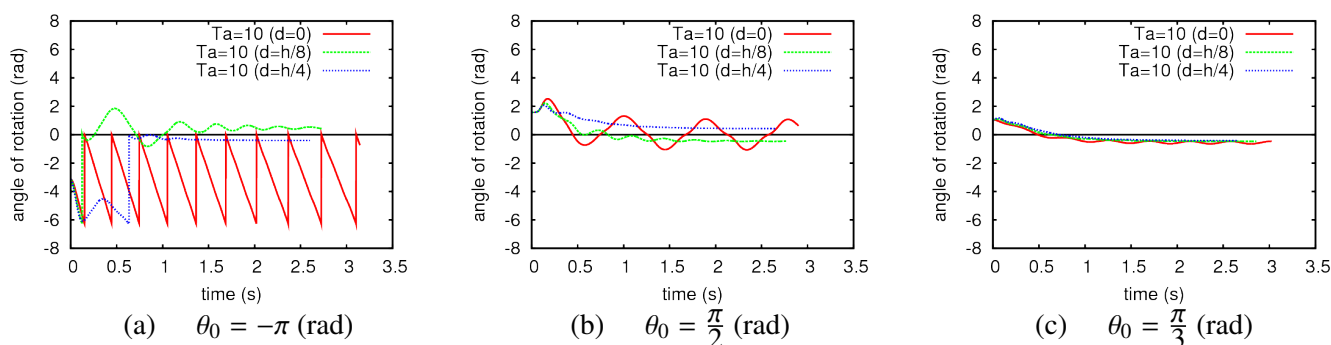


図-4 各初期回転角に対する回転角の時刻歴 ( $Ta = 10$ , 左から  $\theta_0 = -\pi, \pi/2, \pi/3$ )