

回転運動に着目した一様流下での板状模型の飛散性状 Flight Characteristics of Flat Plates in Uniform Flow Focusing on Rotational Motion

○文礼志・西嶋一欽

○Lizhi WEN, Kazuyoshi NISHIJIMA

An experiment on the free flight of flat plates with different initial attitudes in uniform flow was conducted. Two cameras were used to record the flight motion of the plates. Then the recordings were processed in the image analysis software to estimate the time series of position and attitude of the plates. According to the rotational characteristics, the flight patterns are categorized into four categories; 2D flutter, 2D tumbling, 3D flutter and 3D tumbling. The flight patterns and the flight distances show strong correlation. However, further investigation is needed to clarify the specific mechanism.

1. はじめに

近年、台風に伴う住宅への飛散物衝突被害が多く生じている。飛散物衝突を評価するために、飛散物の飛散範囲や衝撃力を予測することが必要である。台風時に代表的な飛散物である瓦は一般に平板状飛散物に分類される。多くの既往研究では平板の二次元飛散運動について実験や解析が行われている^[1]。これらの研究では、平板の質量中心は常に同一の平面内にあり、平板の回転軸とこの平面は常に垂直であるとしている。ただし、実際の台風時には、二次元飛散運動の飛散物よりも三次元飛散運動の方が多いと考えられる。しかしながら、平板の三次元飛散運動に関する研究は不十分である。

平板の二次元飛散運動の研究により、平板の回転運動は平板の空力特性と飛散性状に大きな影響を与えることが分かっている。そこで、本研究は平板の三次元飛散運動に関する風洞実験を行い、回転運動に着目して一様流下での平板の飛散性状を調べる。なお、平板の空力特性については今後別の方法で検討する。

2. 風洞実験

2. 1 概要

風洞実験は一様流中に行われる。飛散物模型は正方形平板である。また、実験では平板の初期姿勢を変えることにより飛散性状を変える。まず、二つのカメラ(CASIO EX-100PRO)を使って異なる方向から飛散運動を撮影する。次に、動画を運動解析ソフトウェア(DIPP-MotionV/3D)に入力し、平

板の飛散中の三次元位置と姿勢の時刻歴を推定する。

2. 2 実験方法

図1には平板の初期姿勢のコントロールシステムを示している。支持棒の先端にある吸盤はパイプで真空ポンプに繋がる。平板の設置方法は以下の通りである。まず、平板を吸盤に吸着させる。この時、空間に固定される絶対座標系 XYZ と平板に固定される物体座標系 xyz の方向は一致する。次に、Rod 1 を水平面内に角度 α だけ回転し、その後 Rod 2 を鉛直面内に角度 β だけ回転し、最後に平板を x 軸回りに角度 γ だけ回転する。角度 α, β, γ はオイラー角という。本実験では α と β はそれぞれ $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ とし、 γ は $0^\circ, 45^\circ$ とする。つまり、初期姿勢が異なる $32(=4 \times 4 \times 2)$ ケースの飛散実験を行った。放流のときは真空ポンプのエアバルブを開けて平板を飛ばす。なお、すべての平板は 0.55m の高さから放流するように Rod 2 の高さを調整した。

平板の飛散運動に関する重要な無次元数は Tachikawa 数である。Tachikawa 数(Ta)は風力と重力の比を表し、下の式で計算される：

$$Ta = \rho v^2 A / 2mg \quad (1)$$

式の中で、 ρ は空気密度、 v は風速、 A は平板の面積、 mg は重力。

風洞実験と実際の台風時の飛散運動の Tachikawa 数が合うようにするために実験のパラメータを調整した。想定する実際の飛散物は寸法 $300 \times 300 \times 15\text{mm}$ 、質量 3kg である。想定する風速は 40m/s である。このとき、 Ta は約 3 である。そ

ここで、平板模型は辺長 60mm、厚さ 3mm、質量 5g である正方形の木の板を使う。風洞実験の一様流風速は 8m/s に設定する。

平板の四角は白く塗られ、画像解析の認識マーカーとされる。マーカーの認識を容易にするために、マーカー以外の部分は黒く塗られる。カメラは 1 秒間に 240 枚の写真を取る。運動解析ソフトウェアを使って時々刻々の四つの認識マーカーの座標を抽出し、平板の位置と姿勢の時刻歴を推定する。ランダム誤差を減らすために、推定された平板の速度と角速度の時刻歴に対して 5 時点の移動平均を行った。

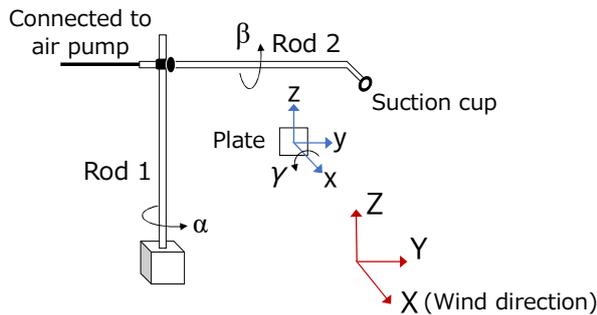


図 1. 初期姿勢のコントロールシステム

3. 実験の結果

3.1 飛散パターンの分類

二次元飛散運動には Flutter と Tumbling という現象がある。この二つの概念を三次元飛散運動に拡張する。拘束がない剛体の 6 自由度の運動は質量中心の並進運動と質量中心回りの回転運動に分解できる。任意の時刻に、剛体は質量中心を通るある軸回りに回転する。この軸は瞬間回転軸と言い、時々刻々に変動することが可能である。瞬間回転軸の方向は角速度の方向である。このことを踏まえて、三次元飛散運動における Flutter と Tumbling を以下のように定義する：

Flutter : 角速度 ω が 0 になる時刻の前後に、回転軸の方向が瞬間に逆転することが起きる現象。

Tumbling : 回転軸が瞬間に逆転しない(回転軸の方向が連続的に変化する)間に、角速度の大きさの時

間積分 $\int |\omega| dt$ が 2π 以上になる現象。(注、瞬間逆転の発生が必要ではない)

以上の Flutter と Tumbling の定義を使って、平板の飛散過程を以下の四つのパターンに分類する。それは飛散過程の中に、(1)Flutter のみが起きたパターン(Flutter 型); (2)Tumbling のみが起きたパターン(Tumbling 型); (3)Flutter も Tumbling も起きたパターン(Hybrid 型); (4)最後は飛散時間が短くて、両者も起きなかったパターン(分類しない)。具体的な分類方法は、まず、飛散開始時刻を t_S とし、着地時刻 t_E とし、Flutter が起きたら、起きた各時刻を t_1, \dots, t_N とする。次に、図 2 のように分類する：

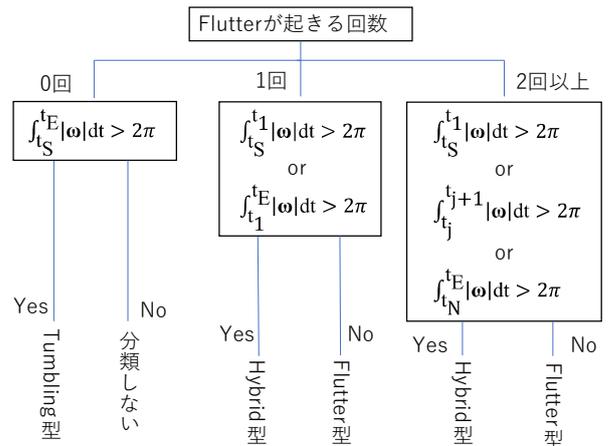


図 2. 飛散過程の分類方法(図の中に、 $j=1, \dots, N-1$)

3.2 各飛散ケースの分類と飛散距離

図 3 に各飛散ケースの飛散距離を示している。なお、本研究の実験では落下高さが大きくないため、Hybrid 型はなかった。分類しないケースもなかった。図に示すように、すべての Flutter 型のケースの飛散距離は長くない。それに対して、Tumbling 型のケースの飛散距離は比較的に大きければらつきを示す。今後は、飛散距離に対して、平板の角速度の大きさ、および回転軸と相対風速(風速と平板速度の差)がなす角度が与える影響に着目して、この実験の解析を続ける。

参考文献

[1] 立川正夫, 福山雅弘: 台風時の飛散物の軌跡と速度に関する研究。日本建築学会論文報告集. 1981, 302: 1-11

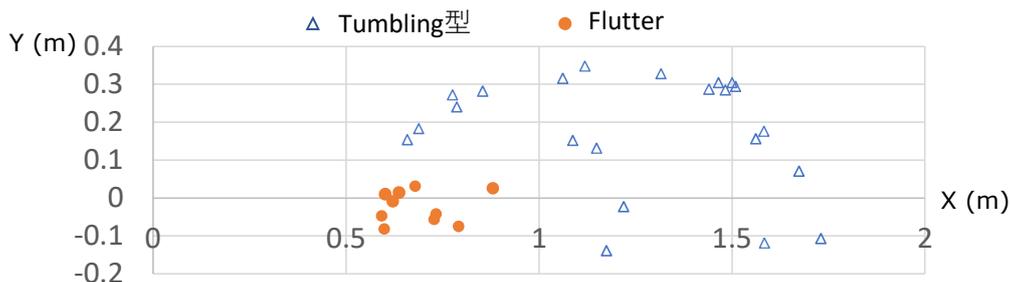


図 3. 各飛散ケースの飛散距離(落下高さは約 0.55m)